

촉각측정 및 질감제시기술 개발

Quality Feeling Realization Using Touch Measurement

연구기관

재단법인 한국표준과학연구원

과학기술부

BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET		1. 관리번호	2. 수행부서 힘그룹	3. 발행일 1998. 11. 30
4. 제목/ 부제 촉각측정 및 질감제시기술 개발			7. 주제분야	
5. 저자(공저자) 강대임, 박연규, 송후근, 김갑순, 이정태, 김희국, 권영하, 서창원, 강제식, 박현영			8. 수행기관 보고서번호 KRISS - 98 - 110 - IR	
6. 수행기관 (연구원 이외의 공동 혹은 위촉연구기관) 고려대학교, 경희대학교, 충남대학교			9. 계약번호	
			10. 자료내역	
11. 위탁기관		과학기술부		
12. 보충사항 (관련업무를 기록한다)				
13. 초록 (주요 참고문헌이나 관련문헌이 있을 경우 여기에 명시한다)				
<p>본 연구에서는 촉각의 객관화를 위한 촉각측정장치를 개발하였는데, 이를 사용하여 표면 거칠기, 표면 마찰계수, 컴플라이언스를 측정할 수 있었다. 장치의 성능검증을 위하여 4개의 직물 시편에 대한 측정을 수행하였고 이를 KES(Kawabata Evaluation System)의 결과와 비교하였다.</p> <p>가상적인 질감을 제시하기 위한 질감제시기를 개발하였는데, 이는 표면제시기와 컴플라이언스 에뮬레이터로 구성된다. 질감제시기는 철심다발을 사용하여 원하는 표면을 제시할 수 있으며, 컴플라이언스 에뮬레이터는 전자석을 사용한 부공 시스템과 같은 작동을 한다.</p> <p>또한, 직물, 특히 내의류에 대하여 직물의 물리적 특성과 감성과의 관계를 파악하였다. 19종의 내의에 대한 분석을 수행하였으며, 물리량의 취득을 위하여 KES를 이용하였다.</p>				
14. 키워드 (6-12개) 촉각측정장치, 표면거칠기, 마찰계수, 컴플라이언스, 촉각제시장치, 카와바타 시스템, 물리량/질감 상관관계				
15. 배포구분	16. 해제기간		17. 면수	366
01	199 년 월 ~ 년 월		18. 가격	

BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET	1. REPORT NO.	2. PERFORMING LAB. Force Group	3. REPORT DATE 1998. 11. 30
4. TITLE / SUBTITLE Quality feeling realization using touch measurement			7. SUBJECT CATEGORY
5. AUTHOR(S) D.-I. Kang, Y.-K. Park, H.-K. Song, G.-S. Kim, J.-T. Lee H.-K. Kim, Y.-H. Kwon, C.-W. Seo, J.-S. Kang, H.-Y. Park		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. KRISS - 98 - 110 - IR	
6. PERFORMING ORGANIZATION NAME Korea University, Kyunghee University, Chungnam University		9. CONTRACT OR GRANT NO.	
		10. TYPE OF REPORT	
11. SPONSERING ORGANIZATION Ministry of Science and Technology			
12. SUPPLEMENTARY NOTES			
13. ABSTRACT <p>We developed a tactile measuring system to quantify touch. By using the system, we can measure surface roughness, friction coefficient, and compliance, etc. Physical properties of four cloths are examined by using the developed measuring system. These are compared to the test results using the Kawabata evaluation system(KES), and found to be reasonable.</p> <p>We developed a texture reproducing system which consists of surface reproducing system and compliance emulator system. The surface generating system reproduces the approximately similar surface by using a "U" shaped bundle of wires. The compliance emulator system is a kind of levitation system using magnetic force.</p> <p>We investigated the relationship between textile physical properties and human sensibility. We analyzed 19 texture samples and acquired physical properties of them by using the KES system</p>			
14. KEYWORDS Tactile measuring system, Surface roughness, Friction coefficient, Compliance, Tactile reproducing system, Kawabata evaluation system, Relationship between textile physical properties and human sensibility			
15. CLASSIFICATION	16. SCHEDULE OF DECLASSIFICATION	17. NO. OF PAGES	366
01	19 . . . ~ . . .	18. PRICE	

제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “촉각측정 및 질감제시기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다

1998. 11. 30.

주관연구기관명 : 한국표준과학연구원

총괄연구책임자 : 강 대 임

연 구 원 : 박 연 규

송 후 근

김 갑 순

이 정 태

김 희 국

권 영 하

서 창 원

강 재 식

박 현 영

여 백

요 약 문

I. 제목

촉각측정 및 질감제시기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

인간의 감성은 시각, 미각, 청각, 촉각, 후각으로 구성되는 오감과 관련이 있으며 이 중에서 특히 촉각에 대한 측정이나 이를 정량화하는 방법은 매우 낙후되어 있다. 그럼에도 불구하고 촉각감성의 정량화 및 인간 감성과의 상관관계 분석이 이루어져 여러 산업분야에 적용된다면 소비자의 취향을 충족시킬 수 있는 고부가가치 제품의 생산이 가능해진다. 이를 위하여 인간의 다양한 감성을 정량적으로 측정하거나 이를 인간의 감성 지수와 연관시켜서 평가할 수 있는 기술의 개발이 이루어져야 하며 더 나아가서는 이러한 인간의 감성을 가상으로 구현할 수 있는 모의 환경 제시 시뮬레이터의 개발이 필요하게 된다. 따라서, 주요 산업제품 및 환경 평가에 활용될 수 있는 모의환경 제시 시뮬레이터 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이러한 촉각 및 질감 제시 시뮬레이터는 재현된 가상 제품의 촉각/질감에 대한 인간감성의 반응특성을 측정/분석하기 위하여 활용될 수 있으며 궁극적으로는 인간에 의한 촉각/질감과 관련된 감성실험을 대체할 수 있으므로 제품의 설계 및 개발시간을 단축시킬 수 있게 할 것이다. 이와 같이 본 연구의 성공적인 결과는 여러 산업분야에 소비자의 취향을 충족시킬 수 있는 고부가가치 제품의 생산을 가능케 할 수 있으므로 매우 필요하다고 판단된다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1) 촉각측정기술 개발

- 표면 거칠기 측정 시스템 설계 및 제작
- 표면 마찰 측정 시스템 설계 및 제작
- 컴플라이언스 측정 모델 정립
- 촉각 측정용 압력부하 시스템 개발
- 통합된 촉각 측정시스템 제작 및 성능평가

2) 질감제시기술 개발

- 표면생성 시스템의 기본설계, 제작 및 성능실험
- 컴플라이언스 시스템의 기본설계, 제작 및 성능실험

3) 촉각과 감성과의 상관관계 규명

- 대표적인 표현을 위한 분류 및 용어의 선정
- 직물의 역학적/물리적 특성의 연구
- 인간 감성의 질감 표현요소 정량화
- 질감 감성표현 요소와 표면 특성, 역학적/물리적 특성과의 관계 해석

IV. 연구 개발 결과

1) 촉각측정기술 개발

- 촉각 물리량으로 표면 거칠기, 표면 마찰계수, 컴플라이언스 정의
- 표면 거칠기 측정 기술 개발 및 측정 장치 제작
- 표면 마찰계수 측정 기술 개발 및 측정 장치 제작
- 촉각 측정 통합 시스템 구성
- 컴플라이언스 측정 방법 정립
- 시편 고정장치 설계 및 제작
- 시스템 성능 검증
- 표준 샘플에 대한 물리량 측정/분석 및 Kawabata 측정 결과와 비교분석

2) 질감제시기술 개발

- 표면 생성 시스템
 - PZT 구동 시스템 구입 및 인터페이스 완료
 - 와이어(0.25mm 직경) 다발 가공 및 와이어 고정대 제작(6 셀)
 - 2 자유도 X-Z 테이블 시스템 및 구동 액츄에이터 구입 및 구동 소프트웨어 작성완료(입출력 인터페이스)
 - 영상 관련 시스템 구입 및 와이어 중심 위치 확인 소프트웨어 작성
 - 전체 시스템 작동 소프트웨어 통합완료
 - 전체 시스템 제작 및 작동 실험완료
- 컴플라이언스 제시 시스템(suspension방식)
 - 데이터 입출력 인터페이스 완료

- 시스템 모델링 및 구동 소프트웨어 작성
- 모형 시스템의 제작 및 인터페이스 완료
- 시스템의 작동 실험완료

3) 촉각과 감성과의 상관관계 규명

- 직물의 주관적 감성을 객관화하기 위한 심리척도 개발
- 개발된 척도에 대한 신뢰도 분석
- 직물에 대한 역학적 특성 파악 : KES 이용
- 선호도에 따른 질감(형용사) 특성 분석
- 질감 선호도를 예측하는 방정식 도출

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서 제작한 질감 제시 시뮬레이터는 다양한 질감 자극에 대한 인간 감성의 연구에 기여할 수 있을 뿐 아니라 촉각이 중요한 요소로 작용하는 제품의 개발에 있어 고 부가가치를 부여할 수 있는 유용한 것이다. 이는 전체 인간 감성 모의 환경 제시 시뮬레이터 시스템의 일부 시스템으로서 사용되어 다른 감각 제시기와 조합된 형태로 사용될 수 있으며, 또한 촉각 환경 변화에 따른 감성 측정 등에 이용되는 별도의 시뮬레이터의 역할을 수행할 수 있을 것이다.

촉각이 중요한 요소로 작용하는 제품에 있어서, 그 디자인 단계에서 가상적인 촉감을 미리 제시함으로써 제품에 대한 소비자의 감성을 미리 예측하는 데 사용할 수 있다. 이는 제품 개발에 대한 노고와 비용을 줄일 수 있는 효과적인 방법이 될 뿐 아니라, 인간 감성이 충분히 반영된 시장에서의 성공 가능성이 높은 고부가가치 제품의 생산을 가능하게 할 것이다. 인간의 피부와 항상 접촉을 하고 있는 섬유제품의 개발 뿐 아니라 가구, 페인트, 자동차, 건축, 제지 등에 응용될 수 있으리라 기대되는 바이다. 본 연구에서 개발한 질감 시뮬레이터는 섬유산업의 고부가가치를 확보하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

각종 섬유제품 중에서 촉각의 중요도가 강조되는 대표적인 제품은 각종 속옷 등의 인너웨어 제품이라 할 수 있다. 따라서, 인너웨어야말로 본 연구에서 수행한 촉각 측정 및 질감제시기술을 적용하여 고부가가치 제품을 개발할 수 있는 최적의 제품 분야 중의 하나이다. 본 연구진은 계속되는 감성공학 2단계 사업에서 “착용감/쾌적성을 고려한 감성적 인너웨어 개발” 과제를 지속적으로 추진할 계획이다.

SUMMARY

Tactile sense, one of five senses of human being, is employed to get information on properties of the objects through actual contact. If the tactile sense is introduced to engineering and industries, it is possible to develop products that satisfy various consumers' tastes. The precedent condition of the introduction is to establish a quantitative barometer of the feeling. For this purpose, it is necessary to measure its physical properties, such as surface roughness, friction coefficient, and compliance, etc. This report describes such a measuring system. In this study, the characteristics and performances of the system are illustrated in detail. Physical properties of four cloths are examined by using the developed measuring system. These are compared to the test results using the Kawabata evaluation system(KES), and found to be reasonable.

In order to introduce the physical properties of texture into engineering, it is necessary to relate the properties to the human sensibility. To do this, we developed psychological scale to quantify human feeling, and checked its reliability and validity. Next, we analyzed 19 texture samples by using the KES system, and acquired physical properties of them. Finally, we found human preference about the samples, and established relationship between textile physical properties and human sensibility.

Texture reproducing system can provide a useful method to measure effectively human feeling about texture. It consists of surface reproducing system and compliance emulator system. The surface generating system which can reproduce the approximately similar surface with the one of the objects without actual manufacturing of the surface of them is implemented. The implemented system employs the method of reproducing desired surface by moving each wire in a "U" shaped bundle of wires along the lateral direction appropriately. Therefore, range of reproducible surface of objects depends on the diameter of the wires. In this report, the hardware along the surface reproduction method of the system are described in detail. The compliance emulator system is a kind of levitation system using magnetic force. In the

compliance emulator system, a floated plate moves vertically. When an external force is applied to the plate, the system produces a controlled reaction force by using 6 electric magnet. For the control, a LVDT displacement sensor is used.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	11
Chapter 2 State of the art	13
Chapter 3 The main subject and results	15
Section 1 Tactile measuring system	15
1. Necessity of the tactile measuring system	15
2. Structure and function of tactile measuring system	15
3. Application to textures and discussion	18
Section 2 Tactile reproducing system	24
1. Basic concept of tactile reproduction	24
2. Surface reproducing system	25
3. Compliance emulator system	30
4. Relationship between vibration and touch	32
Section 3 Relationship between textile physical properties and human sensitivity	35
1. Psychological scale of human touch	35
2. Physical properties of texture and measuring method	37
3. Relationship between textile physical properties and human sensibility	40
Section 4 Summary of the results	43
Chapter 4 Research achievement and contribution	45
1. Development of tactile measuring technique	45
2. Development of tactile reproducing technique	46
3. Relationship between textile physical properties and human sensibility	47
4. Papers and patents	48
Chapter 5 Utilizing plan of the results	50
Chapter 6 References	52
Appendix	
• Study on the Development of Tactile Measurement and Texture Reproduction Simulator	55
• A study on the relationship between textile mechanical properties and human sensibility	163
• Correlation between the Human Touch Feeling and Mechanical Characteristics of Surface	241

목 차

제 1 장 서론	11
제 2 장 국내외 기술개발 현황	13
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	15
제 1 절 촉각측정기술 개발	15
1. 촉각측정기술 개발의 필요성	15
2. 촉각측정장치의 구조 및 기능	15
3. 직물의 특성 평가 및 고찰	18
제 2 절 질감제시기술 개발	24
1. 질감제시의 기본개념	24
2. 표면생성기술	25
3. 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템	30
4. 진동과 촉감간의 관계	32
제 3 절 직물의 물리적 차원과 감성의 관계	35
1. 본 연구에서 사용된 촉감에 의한 질감 평가 척도	35
2. 직물의 물리적 특성 및 측정 방법	37
3. 직물의 물리적 특성과 감성과의 관계분석	40
제 4 절 연구결과 요약	43
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도	45
1. 촉각측정기술 개발	45
2. 질감제시기술 개발	46
3. 촉각과 감성과의 상관관계 규명	47
4. 연구 실적	48
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	50
제 6 장 참고문헌	52
별 책	
• 촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구	55
• 직물의 물리적 차원과 감성의 관계에 관한 연구	163
• 촉각/질감 감성요소와 역학적 측정값과의 상관관계 연구	241

여 백

제 1 장 서 론

과학문명이 고도화됨에 따라 인류의 주요관심은 생활환경의 개선과 삶의 질을 향상시키는 데 역점을 두고 있으며 이에 따라 인간의 편안함과 편리함에 대한 욕구는 더더욱 증가하고 있다. 한편, 산업적으로는 UR협정으로 인하여 국제적으로 완전 자유경쟁시대를 맞이하고 있는 실정이다. 그러므로, 이러한 추세에 적절히 대처하여 국가 경쟁력을 증가시키기 위해서는 소비자의 욕구를 충족시킬 수 있는 제품을 생산, 제공할 수 있어야 하며 이미 일본을 선두로하여 몇몇 선진국에서는 소비자의 육체적인 욕구는 물론 소비자의 감성까지를 고려한 감성공학에 대한 연구가 진행되고 있다.

인간의 감성은 시각, 미각, 청각, 촉각, 후각으로 구성되는 오감과 관련이 있으며 이중에서 특히 촉각에 대한 측정이나 이를 정량화하는 방법은 매우 낙후되어 있다. 그럼에도 불구하고 촉각감성의 정량화 및 인간 감성과의 상관관계 분석이 이루어져 여러 산업분야에 적용된다면 소비자의 취향을 충족시킬 수 있는 고부가가치 제품의 생산이 가능해진다.

이렇게 되기 위해서는, 먼저 이러한 인간의 다양한 감성을 정량적으로 측정하거나 이를 인간의 감성 지수와 연관시켜서 평가할 수 있는 기술의 개발이 이루어져야 하며 더 나아가서는 이러한 인간의 감성을 가상으로 구현할 수 있는 모의 환경 제시 시뮬레이터의 개발이 필요하게 된다. 그러므로, 주요 산업제품 및 환경 평가에 활용될 수 있는 모의환경 제시 시뮬레이터 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

그러나, 현재, 선진국의 대학이나 연구소에서 2차원 촉각을 측정하는 촉각 센서에 대한 연구가 수행되어 일부는 상품화되었지만, 아직 인간의 감성과 관련된 촉각의 다양한 특성을 측정할 수 있는 측정시스템은 개발되지 못하고 있으며 촉각 감성을 정량적으로 측정하거나 이를 인간의 감성 지수와 연관시켜서 평가할 수 있는 기술은 선진국에서도 초보단계에 머물고 있다. 또한, 가상촉각을 구현하는 모의 환경 제시 기술은 전혀 보고되고 있지 않고 있다.

따라서, 촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터 시스템은 전체 인간 감성 모의 환경 제시 시뮬레이터 시스템의 일부 시스템으로서 제품의 촉각/질감과 관련된 물리적 환경을 인공적으로 자유롭게 바꿀 수 있는 기능을 가진 시스템을 의미한다. 이러한 촉각 및 질감 제시 시뮬레이터는 재현된 가상 제품의 촉각/질감에 대한 인

간감성의 반응특성을 측정/분석하기 위하여 활용될 수 있으며 궁극적으로는 인간에 의한 촉각/질감과 관련된 감성실험을 대체할 수 있으므로 제품의 설계 및 개발시간을 단축시킬 수 있게 할 것이다. 이와 같이 본 연구의 성공적인 결과는 여러 산업 분야에 소비자의 취향을 충족시킬 수 있는 고부가가치 제품의 생산을 가능케 할 수 있으므로 매우 필요하다고 판단된다.

이와 같이 가상촉각을 재현하는 촉감 모의 환경 제시 기술과 촉감 측정 및 질감 제시 기술이 커다란 산업적 가능성이 있음에도 불구하고, 현재까지 이들 분야에 관한 연구는 개념의 정립단계에 있다. 그러므로, 본 연구에서는 감성평가 시뮬레이터의 개념설계 및 모의 환경 제시 시스템 구축에 대한 일부분으로서 촉각과 질감에 대한 제시 시뮬레이터의 구현에 관한 연구를 수행한다.⁽¹⁾ 제품과 환경에 대한 인간 감성의 반응특성을 측정, 파악하기 위하여 인공적으로 물리적 환경을 자유롭게 바꿀 수 있는 촉각/질감 제시 시뮬레이터의 개발을 목표로 하며 궁극적으로는 주요 산업제품 및 환경평가에 활용될 수 있는 모의 환경 제시 시뮬레이터의 부시스템을 개발하는 것이다.

촉감을 공학에 적용하여 감성적 측면을 고려한 제품을 개발하기 위해서는 촉감의 객관화가 반드시 필요한 상황이다. 질감과 관련된 물리적 요소와 감성적 요소 중, 보다 객관적인 측정이 가능한 부분은 물리적 요소이다. 따라서, 물리적 요소를 측정하여 감성을 유추해낼 수 있다면, 이는 질감을 객관적으로 표현하는 한 방법이 될 수 있다. 이를 위하여는 촉각 물리량과 감성과의 상관관계의 파악이 선행되어야 하며, 보다 근본적으로 촉각 물리량의 측정이 필요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 촉각을 대표할 수 있는 물리량으로 표면 거칠기, 표면 마찰 계수와 같은 표면 특성, 물체의 폭신한 정도를 나타내는 컴플라이언스(compliance), 그리고 굽힘 특성과 열전달 특성을 선정하고,^(2, 3) 이를 측정할 수 있는 시스템을 실제로 구현하고자 하였다. 우선 1단계로 표면 거칠기, 표면 마찰 계수, 컴플라이언스를 하나의 장치로 측정할 수 있는 측정 시스템을 개발하였으며, 2단계에는 굽힘 특성과 열전달 특성 역시 가능하도록 개발된 시스템의 보완을 수행할 것이다. 촉각 물리량으로부터 인간 감성을 유추해 내기 위해서는 촉각 물리량과 감성과의 상관관계 파악이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 이에 대한 연구 역시 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

대부분의 질감 및 촉감에 관한 국내연구는 감각과 생리신호적 반응에 주안점을 두고 있으며 국내에서의 연구는 매우 미약한 상태이다.⁽⁴⁾

촉각의 경우 시각, 청각의 정보와는 달리 물체와의 매우 세밀한 접촉반력에 관한 정보를 제공함으로써 물체의 재질이나 질감 등을 파악하는 데 매우 중요한 감각중의 하나이다. 이와 관련하여 사람이 직접 수행하기에는 너무 위험한 작업이나 원격지에 떨어져 있는 작업을 수행하기 위한 원격 로봇 시스템의 개발에 관한 연구가 많이 수행되어 오고 있는데, 이러한 시스템에서 가장 주요한 목표중의 하나는 원격지에 있는 환경을 있는 그대로 현실감있게 원격 조작자에게 전달하는 것이다. 대부분의 원격작업이 불확실한 환경속에서 물체와의 접촉을 수행하는 작업으로 이루어지므로 초기에는 힘 반향 기능에 역점을 둔 연구가 많이 수행되었다. 그러나, 최근에는 이보다 더 향상된 촉각의 반향 기능에 관한 연구도 많이 수행되고 있다. 이러한 기존의 촉각반향에 관한 연구는 크게 시각정보를 제공하여 이용하는 방법,⁽⁵⁾ 공압자극을 제공하여 촉각을 반향하는 방법,^(6, 7) 진동자극을 이용하여 촉각을 반향하는 방법,⁽⁸⁾ 전기자극을 이용하여 촉각을 반향하는 방법,⁽⁹⁾ 신경에 전기자극을 가함으로써 촉각을 반향하는 방법등이 제안되었다.

촉감의 측정과 관련된 선행 연구를 살펴보면, 먼저 로봇트를 연구하는 사람들은 촉감을 물체를 잡을 수 있는 파지의 관점에서 접근하였으며 이에 대한 연구를 수행하였다.^(10, 11) 반면에 섬유를 연구하는 사람들은 촉감을 질감의 관점으로 파악하였고, 이와 관련된 물리량들을 측정하고자 하였다.^(12, 13) 또한, 촉감에 대한 연구는 암진단 등의 의료분야에서도 활발히 이어져 왔다.^(14, 15) 촉감을 측정하기 위한 다양한 형태의 센서가 개발되었는데, 대표적인 것으로는 어레이를 사용하여 공간 정보를 측정하는 형태와,^(10, 14) 하나의 센서를 이동시켜가며 촉각 정보를 측정하는 형태를 들 수 있다.⁽¹⁶⁾

섬유와 관련된 대표적인 촉감 측정 시스템인 KES(Kawabata evaluation system)⁽¹²⁾는 촉각과 관련된 물리량들을 측정하여, 이로부터 태(total hand value)라고 하는 섬유의 좋고 나쁜 정도를 예측하기 위한 시스템이다. 그러나, 이는 각 물리량의 측정을 위해 독립적인 고가의 장비를 사용하여야 하는 비용의 문제와, 그 측정이 복잡하고 많은 시간을 요구한다는 단점을 갖는다. 또한, 열전달 특성과 시각 질감에 대해 고려하고 있지 않다는 문제점 역시 갖는다.

일본 교토대학의 Kawabata 등은 직물의 역학적 성질, 표면의 상태와 인간의 촉감/질감간의 관계에 대하여 연구하였다. 그들은 질감의 감성적 용어로 사용할 수 있는 것으로서 stiffness, smoothness, fullness & softness를 선정하였다. Stiffness는 일본어로 KOSHI라고 불리며, 굽힘성과 관련된 느낌을 일컫는다. 굽힘 탄력성은 이 느낌을 크게 하며, 직물의 밀도를 높게 하고 탄력성이 있는 실로 제작한 직물은 이 느낌을 강하게 나타낸다. Smoothness는 일본어로 NUMERI라 부르며, 매끄럽고 유연하고 부드러운 느낌으로부터 나오는 혼합된 느낌을 말한다. 캐쉬미어 섬유로 짜여진 직물은 이 느낌을 강하게 나타낸다. 마지막으로 fullness & softness는 일본어로 FUKURAMI라 부르는데, 부피감이 있고 풍부하고 좋은 맵시에서 오는 느낌이다. 압축시의 탄력성과 따뜻한 느낌이 동반된 두꺼움은 이 느낌과 밀접한 연관이 있다. Kawabata 등은 이와 같은 감성들이 직물의 물리적/역학적 특성 즉 표면 거칠기, 마찰, 인장, 전단, 압축 및 굽힘 등과 상관관계가 있음을 밝혔다. 또한, 일본 섬유 회사의 직물을 대상으로 표준 샘플을 제작한 후 일본인들의 감성과 표준 샘플의 역학적 특성으로부터 얻어진 촉감 데이터들과의 상관관계를 분석하여 역학적 특성으로부터 질감 평가치, 즉 태를 구하는 변환식을 얻었다. 그후 지속적인 연구를 수행하여 표준화 작업 및 데이터베이스 구축을 완료하였으며 현재 일본의 많은 섬유회사에서는 이 결과를 이용하여 의복의 감성설계를 행하고 있는 실정이다. 그러나, KES는 온도 특성과 시각 질감을 고려하고 있지 않다는 단점 외에도, 그 적용대상이 의류제품이 아니라 단순 직물이라는 한계를 갖는다. KES는 직물에 대한 물성치 측정과 측정된 물성치로부터 촉감을 예측할 수 있는 관계식을 설정했을 뿐, 진정한 의미의 감성연구와는 거리가 있다.

이와 유사한 연구는 호주 New South Wales대학의 Postle교수, 미국 MIT대학의 Backer교수도 수행하였다. 일본과 호주 및 미국 등의 연구결과는 매우 다르게 나타났다. 이 결과는 감성이 동일한 감각자극에 대해서도 문화, 환경, 기후, 지역에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보여준다. 따라서 우리나라의 경우에도 외국의 연구 결과와 차이가 날 것은 명확하다. 그러나 이에 대한 체계적인 연구가 되고 있지 않은 실정이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 촉각측정기술 개발

1. 촉각측정기술 개발의 필요성

섬유 등의 질감과 관련된 촉각 물리량을 측정하기 위한 장치 개발의 필요성은 제 1 장 서론에서 언급한 바 있다. 이와 관련된 대표적인 장치로는 전술한 바와 같이 일본의 Kawabata 등이 개발하여 섬유 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 KES가 있다. 그러나, KES에서는 표면 특성, 압축 특성, 인장 특성, 굽힘 특성 등의 물리적 특성들을 별도의 고가 장비를 사용하여 측정하여야 한다는 단점을 갖는다. 또한, KES는 직물의 중요한 성질 중 하나인 따뜻함을 나타내는 열전달률에 대한 고려와 시각 질감에 대한 고려를 하지 않는다는 문제 역시 갖는다. 본 연구에서는 이와 같은 단점을 극복, 보완할 수 있는 새로운 촉각측정장치를 개발하고자 하였다. 우선, 1단계에서는 직물의 질감과 관련된 여러 성질들 중에서 표면 거칠기와 마찰 특성으로 기술될 수 있는 표면 특성과 직물의 폭신한 정도를 나타내는 컴플라이언스를 하나의 통합된 장치로써 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한, 앞으로의 연구를 통해 굽힘 특성, 열전달률 역시 측정 가능하도록 본 연구에서 개발된 측정장치를 보완할 것이다. 장기적으로 시각 질감을 정량화 할 수 있는 방법을 도입하여 통합 질감의 객관화를 달성하고자 한다.

2. 촉각측정장치의 구조 및 기능

인간이 물체의 촉감을 감지할 때, 물체의 표면을 손으로 훑으면서 그 질감을 느끼게 된다. 즉, 사람은 대상물에 대한 상대적인 운동을 통해 물체의 표면 정보를 취득하는 것이다. 이는 적은 수의 센서를 사용하여 넓은 영역의 정보를 취득할 수 있는 효과적인 방법이다. 본 연구에서는 이러한 방법을 촉각 측정 시스템에 도입하고자 한다. 그 결과, 본 측정 시스템에서는 해석하고자 하는 시편이 고정된 센서에 대하여 상대운동을 할 수 있도록 설계되었다.

시편의 표면 정보가 모든 방향에 대하여 동일하다면, 즉 방향성을 갖지 않는다면, 이를 해석하기 위한 측정 시스템은 한 방향으로의 상대운동만으로도 충분한 결과를 도출할 수 있을 것이다. 그러나, 직물의 예에서와 같이 시편의 표면 특성이 방향성을 갖는다면, 이를 해석하기 위한 측정 시스템은 그 방향성을 분석할 수 있도록 여

러 방향의 운동을 수행할 수 있어야 한다. 따라서, 본 측정 시스템에서 해석 시편은 하나의 평면상에서 임의의 방향으로 운동을 할 수 있도록 설계되었다.

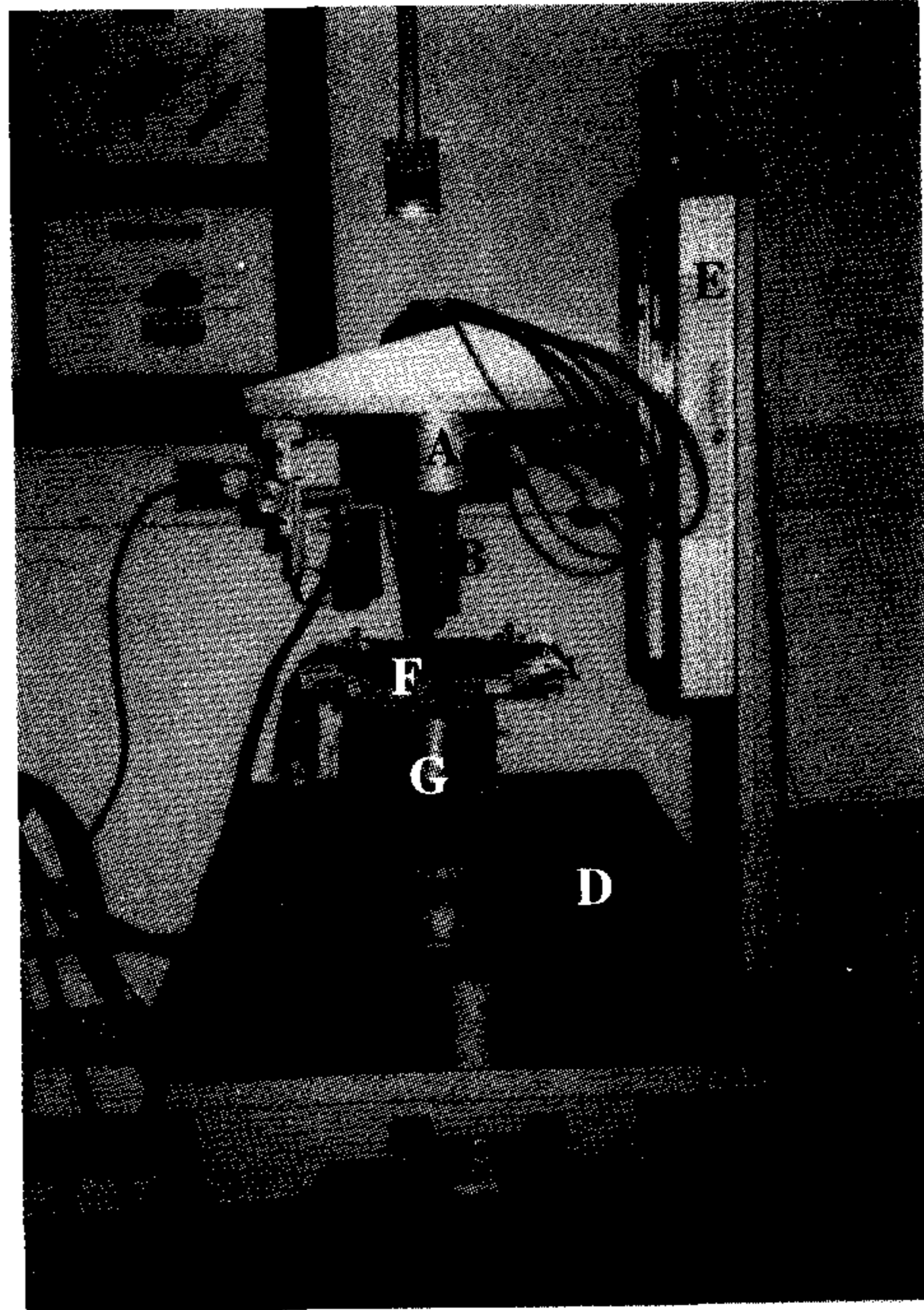
촉감에 영향을 미치는 물리량들로서는 표면 특성과 압축 특성을 들 수 있다. 표면 특성은 다시 표면 거칠기와 마찰 특성으로 나뉘어 질 수 있으며, 압축 특성은 부드러운 정도를 나타내는 컴플라이언스(compliance)로 대별될 수 있다. 표면 거칠기를 측정하기 위해서는 기본적으로 시편 표면에서의 미세 변위 측정을 수행하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 레이저를 이용한 변위 센서를 사용하였다.

마찰 특성, 즉 마찰 계수는 시편 운동 평면에 대한 수직 방향 힘과 시편 운동 방향을 따른 힘의 비로서 정의될 수 있으며, 이의 측정을 위하여 수직 방향과 운동 방향으로의 힘을 동시에 측정할 필요가 있다. 전술한 바와 같이 방향성을 갖는 시편의 경우, 마찰 특성 역시 각 방향에 따른 분석을 필요로 한다. 이를 위하여 평면상에서 임의의 운동 방향으로의 힘을 측정하기 위한 x , y 방향과, 수직력을 측정하기 위한 z 방향 등, 모두 세 방향으로의 힘을 측정할 수 있는 센서가 필요함을 알 수 있다. 또한, 인간이 촉감을 감지할 때 흔히 행하는 원운동을 고려할 경우 시편 역시 원운동을 할 필요가 있으며, 이를 위하여 모우먼트의 측정 또한 필요함을 알 수 있다. 따라서, 본 측정 시스템에서 마찰 특성의 파악을 위하여는 세 방향으로의 힘과 한 방향으로의 모우먼트를 측정할 수 있는 센서가 기본적으로 필요함을 알 수 있다.

시편의 컴플라이언스는 스프링 상수의 역수로 생각될 수 있다. 따라서, 이의 측정은 시편에 가해진 힘과 시편의 변형된 정도를 측정함으로써 가능할 것이다. 이의 측정은 별도의 센서 없이 거칠기 측정용 변위 센서와 마찰 계수 측정용 힘 센서를 조합하여 달성할 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발한 촉각 측정 장치를 도 1에 나타내었다. 해석 시편은 x - y 평면상에서 자유롭게 움직일 수 있으며, 거칠기 센서와 힘 센서는 z 방향으로 움직일 수 있는 구동부에 장착되어 있음을 알 수 있다. 힘 센서에 장착된 탐침자(probe)는 시편에 직접 접촉하여 시편과 상대운동을 하며, 이 때 발생한 힘을 힘 센서로 전달해 주는 역할을 한다. 탐침자의 끝 부분은 반구 형태의 것으로서, 해석 시편에 따라 단단한 재질과 부드러운 재질로 바뀌어가며 장착될 수 있다.

본 측정 시스템에서 사용된 x - y 구동부는 공기 베어링을 사용하여 마찰을 줄임으로써, 정숙하고 정밀한 운동을 가능하게 하였다. 본 구동부는 x , y 방향으로 각각 10 cm의 범위 내에서 움직일 수 있으며, 운동 속도의 범위는 0.1 ~ 470 mm/s가 된다. 위치 분해능은 0.3 μ m이며, 최대로 175 N의 수직력을 견딜 수 있다. 본 구동



- A : 6-axis loadcell
- B : Probe
- C : Roughness sensor
- D : X-Y stage
- E : Z stage
- F : Test specimen
- G : Specimen holder

도 1. 촉각 측정 장치

부를 위한 제어기는 RS-232-C에 의해 컴퓨터에 연결된다. 측정 시스템의 센서부를 상하로 이동시키는 z 방향 구동부 역시 RS-232-C를 통해 컴퓨터로 제어된다. z 구동부의 운동 범위는 20 cm이며, 위치 분해능은 10 μ m가 된다.

측정 대상인 시편의 장착을 위하여 직물 시편과 고풍 시편에 대한 시편 장착부를 별도로 제작하였다. 두 가지의 시편 형태에 대하여 실제 측정이 이루어지는 부분은 10x10 cm의 면적으로 하였으며, 단순하게 시편을 고정하는 형태인 고풍 시편의 경우와 달리 직물 시편의 경우 추를 사용하여 직물에 가해지는 장력을 조정할 수 있게 하였다.

본 장치에 사용된 거칠기 센서는 레이저를 이용한 변위 센서로서, 최대 5 mm까지의 변위를 측정할 수 있으며, 측정 분해능은 1 μ m가 된다. 힘 센서는 x, y, z 세 방향의 힘과 모우먼트를 측정할 수 있는 6축 힘-모우먼트 센서로서, 한국표준과학

연구원에서 자체 개발된 것이다.⁽¹⁷⁾ 이는 힘과 모우먼트에 대하여 각각 200 N과 20 N·m의 측정 범위를 갖는다. 변위 센서와 힘 센서에서 측정된 신호는 HBM9012A 앰프에서 동시에 샘플링된 후 GPIB를 통해 컴퓨터로 전달된다.

3. 직물의 특성 평가 및 고찰

앞서 기술한 촉각 측정 장치의 적용 가능성을 살펴보고 그 특성을 파악하기 위한 목적으로 가죽, 모직, 벨벳, 공단의 4가지 직물에 대하여 촉각 물리량의 측정을 시도하였다. 이 때, 직물에 가해지는 장력은 약 19.45 N/m로 정하였는데, 이는 KES⁽¹²⁾와 동일하다. 마찰 계수와 컴플라이언스의 측정 시 사용되는 탐침자의 끝단은 시편이 직물임을 고려하여 금속 재질의 단단한 것을 사용하였다.

가. 표면 거칠기

표면 거칠기는 레이저 변위 센서로부터 직접 측정될 수 있다. 전술한 4개의 직물 시편에 대하여 각각 $\pm x$, $\pm y$ 의 4 방향으로의 거칠기 측정을 3회에 걸쳐 수행하였고, 그 중 하나의 결과를 도 2에 나타내었다. 측정 시 시편의 이동 속도는 1.0 mm/s로 정하였으며, 1 mm당 75개의 데이터를 취득하였다. 이 때, 파장이 1 mm보다 긴 성분은 제거되도록 고대역 통과 필터(high pass filter)를 적용하였다.

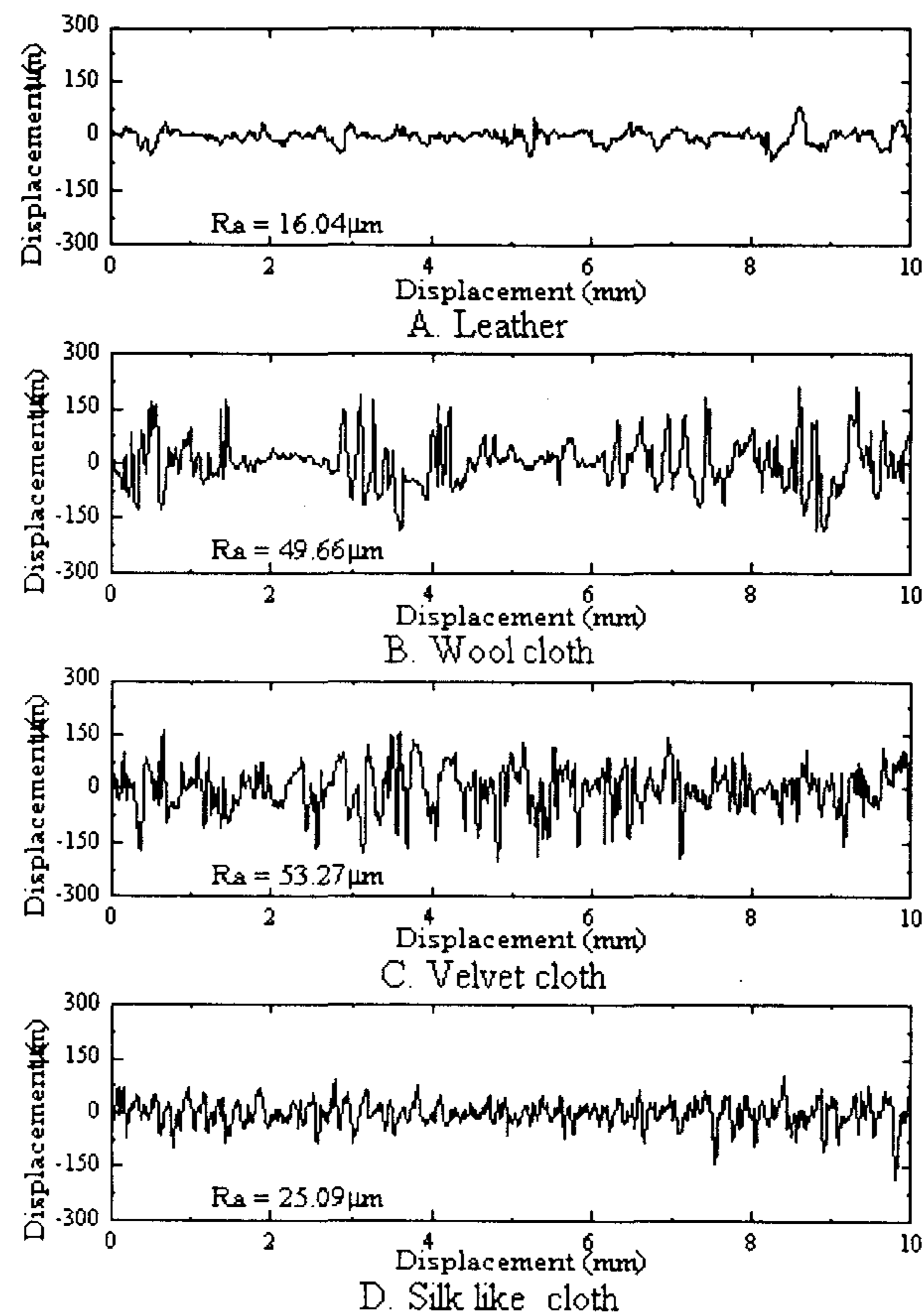
도 2는 각 시편에 따른 거칠기의 차이를 잘 나타내고 있다. 여러 가닥의 실들의 결합으로 이루어지는 일반 섬유와는 달리, 가죽의 경우 그 표면은 매끄러운 상태를 유지하며, 따라서 측정 결과 역시 가장 작은 거칠기 특성을 보여주고 있다. 일반 직물들 중에서는 비단과 비슷한 모습을 나타내는 공단의 거칠기가 가장 작았으며, 모직의 거칠기가 가장 큼을 알 수 있다. 벨벳과 공단은 가는 실들의 조합으로 이루어져 있으며, 따라서 그 거칠기 특성은 거리에 따라 비교적 균일한 형태를 보여준다. 반면, 여러가지 다른 굵기의 실들로 구성되어 있는 모직의 경우 거리에 따른 거칠기 형태가 일정하지 않음을 알 수 있다.

표면 거칠기의 크기를 보다 정량적으로 관찰하기 위하여 중심선 평균 거칠기 R_a 를 도입하고자 한다. 중심선 평균 거칠기는 다음과 같이 표현된다.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (1)$$

여기서, $y(x)$ 는 중심선으로부터의 거리를 나타내며, L 은 측정 구간이 된다.

표 1은 각 직물에 대해 측정한 중심선 평균 거칠기를 나타내며, 단위는 μm 이다. 괄호 안의 $\pm x$, $\pm y$ 는 측정 방향을 나타내며, 각 경우의 거칠기는 3회 측정의 평균



도 2. 가죽, 모직, 벨벳, 공단에 대한 표면 거칠기

치를 나타낸다. 이 때, 3회 측정의 상대 재현도를 괄호안에 나타내었는데, 이는 표준 편차를 평균치로 나눈 값을 사용하였다. 괄호 안의 x, y는 각각의 방향에 대한 거칠기를 의미하는데, 이는 +와 -방향으로의 거칠기의 평균값을 나타낸다. 시편의 대표 거칠기는 x와 y 방향에 대한 거칠기의 평균으로 표현되었다. 본 시스템의 측정 결과를 기존의 시스템을 이용한 측정 결과와 비교하기 위하여, KES를 이용한 측정 결과를 함께 나타내었다.

모든 경우에 있어, 상대 재현도는 5%를 넘지 않는 우수한 특성을 나타내었으며, 이로부터 측정의 재현성을 확인할 수 있었다. 직물에 따라서 x 방향과 y 방향으로의 거칠기 특성이 다름을 보여주고 있는데, 이는 모직과 공단의 경우 상대적으로 크게 나타나고 있다. 본 시스템에 의한 측정 결과와 KES에 의한 측정 결과를 비교해 볼 때, KES에 의한 측정 결과가 현저히 낮은 값을 나타내고 있다. KES는 직경 0.5 mm의 피아노 선을 측정하고자 하는 직물의 표면에 0.098 N(10 gf)의 수직력으로 접촉한 상태에서 거칠기를 측정한다. 따라서, 비접촉 상태에서 측정하는 본 시스

표 1. 표면 거칠기 분석결과

	Leather	Wool	Velvet	Silk
R _a (+x)	16.1790 (0.82 %)	49.0917 (2.65 %)	53.2864 (0.34 %)	25.4087 (1.41 %)
R _a (-x)	16.9089 (0.33 %)	47.5886 (1.15 %)	52.2261 (1.20 %)	25.5910 (0.51 %)
R _a (x)	16.5440	48.3402	52.7563	25.4999
R _a (+y)	15.2469 (1.78 %)	60.8487 (4.63 %)	47.2563 (0.06 %)	17.7886 (2.73 %)
R _a (-y)	16.9181 (0.71 %)	65.8152 (2.48 %)	52.4118 (0.79 %)	17.0849 (0.45 %)
R _a (y)	16.0825	63.3320	49.8341	17.4368
R _a	16.3133	55.8361	51.2952	21.4684
R _a (KES)	2.4190	9.2553	3.4463	1.6096

템의 거칠기에 비해 현저히 작은 결과를 나타내는 것이다. 접촉 센서의 영향은 잔털의 영향을 줄이기 때문에, 가죽에 비해 일반 직물들에서 그 차이는 더욱 크게 나타나고 있으며, 특히 잔털의 영향이 지배적인 벨벳의 경우 가장 큰 차이를 보이고 있다.

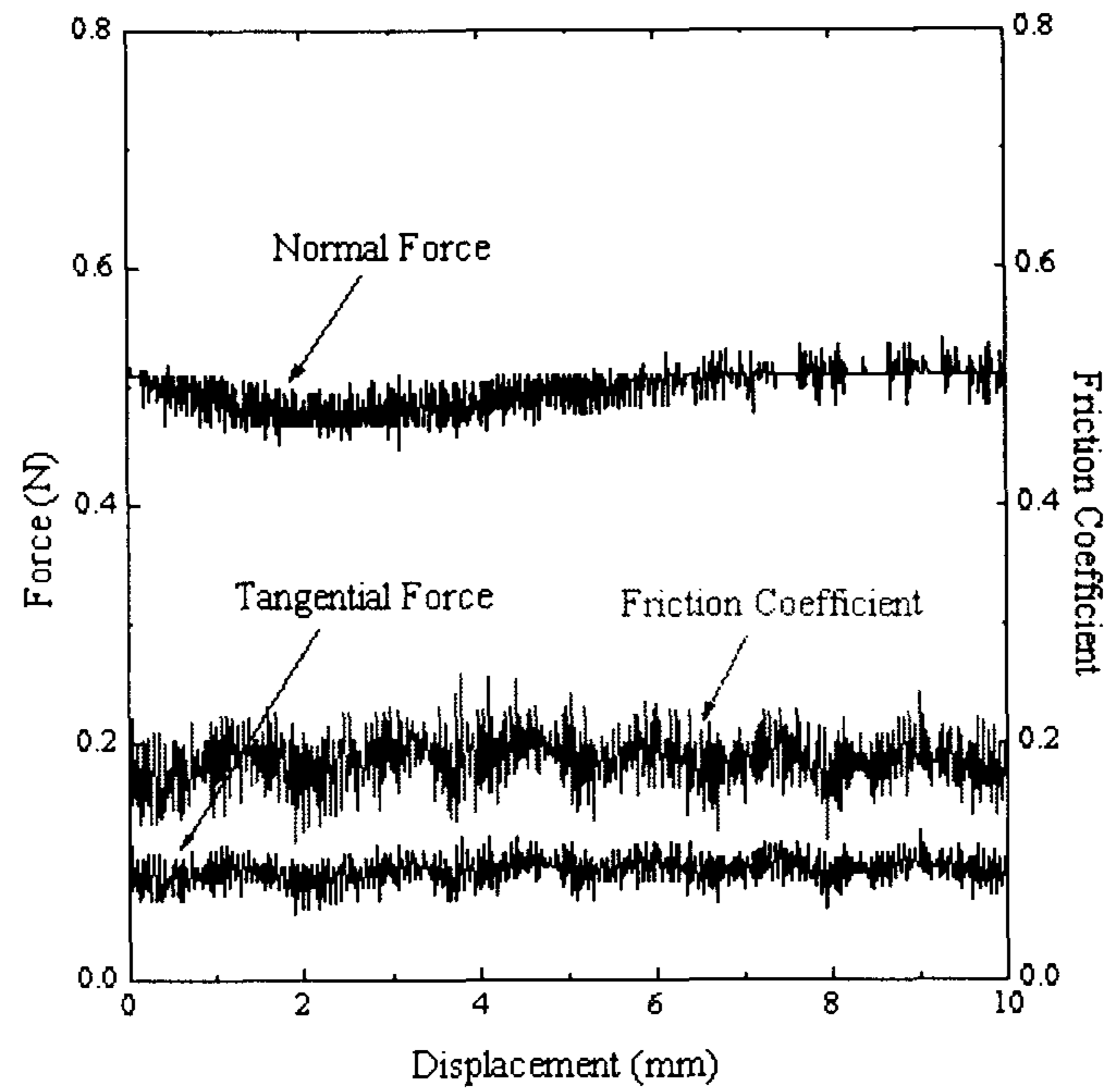
나. 표면 마찰 계수

표면 마찰 계수는 상대운동에 대한 수직력과 운동방향으로의 힘 사이의 비로 정의되며, 그 표현은 다음과 같다.

$$\mu = \frac{\text{Tangential force}}{\text{Normal force}} \quad (2)$$

여기서, μ 는 마찰 계수를 나타낸다.

모직에 대한 마찰 계수 측정결과를 도 3에 나타내었다. 이 때, 기본적인 측정의 조건 및 방법은 표면 거칠기 측정 시와 동일하다. 도 3은 수직력과 운동방향으로의 힘, 그리고 이들의 비로서 표현되는 마찰 계수를 측정 위치에 따라 나타내고 있는데, 수직력의 경우 KES의 조건(0.49 N)을 고려하여 약 0.5 N 정도를 유지하도록 하였다.



도 3. 모직에 대한 마찰계수와 이의 계산을 위한 수직력 및 수평력

표 2. 표면 마찰계수 분석결과

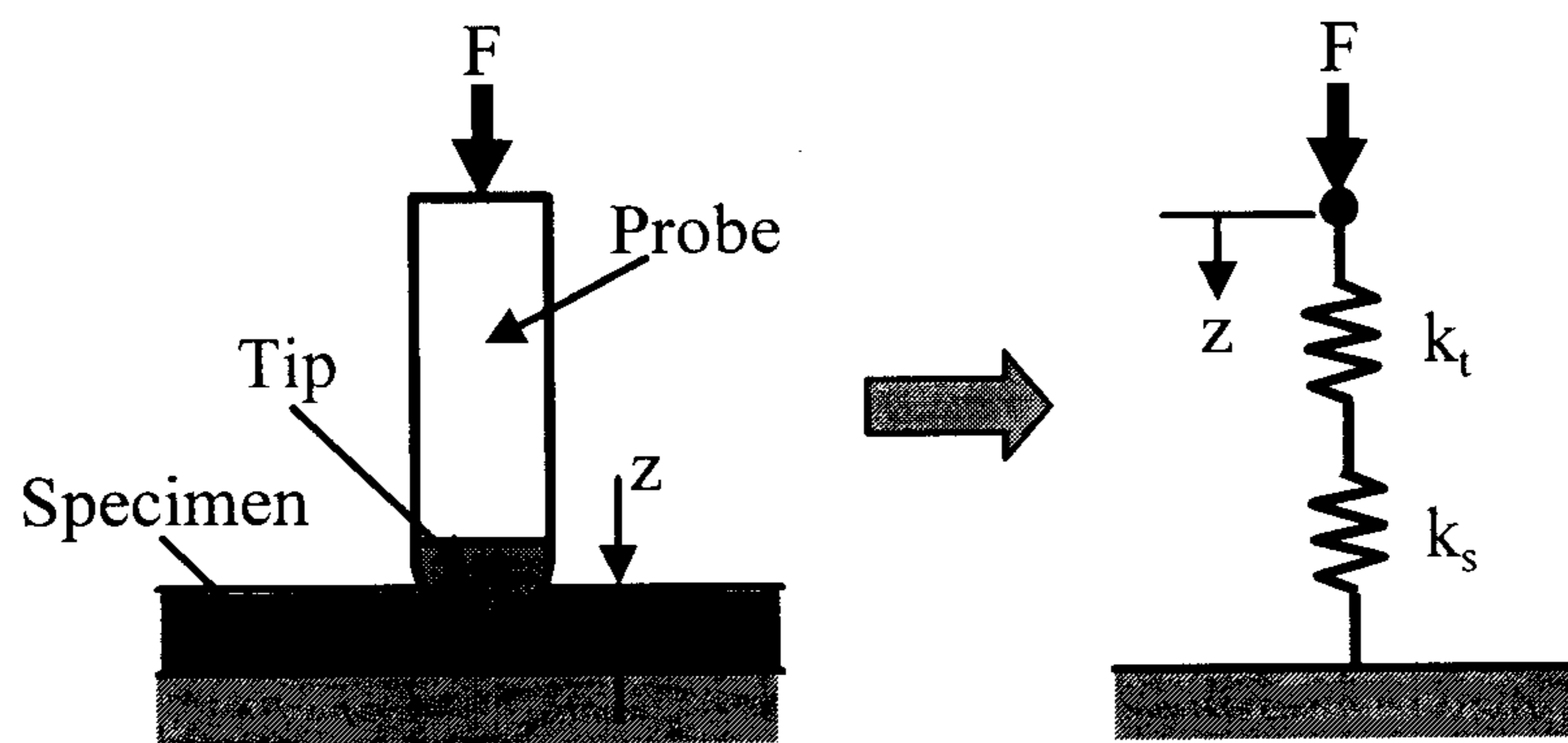
	Leather	Wool	Velvet	Silk
μ (+x)	0.4467 (7.80 %)	0.1801 (1.92 %)	0.1176 (6.72 %)	0.1240 (2.31 %)
μ (-x)	0.5881 (2.72 %)	0.2474 (2.24 %)	0.2514 (0.99 %)	0.1581 (2.27 %)
μ (x)	0.5174	0.2138	0.1845	0.1411
μ (+y)	0.5255 (8.08 %)	0.1793 (1.09 %)	0.2613 (1.63 %)	0.1319 (4.19 %)
μ (-y)	0.5011 (14.84%)	0.2431 (1.08 %)	0.2017 (1.28 %)	0.1648 (1.03 %)
μ (y)	0.5133	0.2112	0.2315	0.1484
μ	0.5154	0.2125	0.2080	0.1448
μ (KES)	0.4149	0.2878	0.2853	0.1955

표 2는 4개의 직물에 대한 표면 마찰 계수의 분석 결과를 나타낸다. 표의 구조는

거칠기 특성을 나타낸 표 1과 동일하다. 측정의 상대 재현도는 가죽의 경우를 제외하고는 우수한 특성을 나타내고 있다. 다른 직물들에 비하여 가죽의 경우 현저히 높은 마찰 계수를 나타내고 있는데, 이는 쉽게 받아들여 질 수 있는 사실이다. 일반 직물들 중에서는 공단이 가장 작은 마찰 계수를 나타낸다. 비단과 비슷한 특성을 갖는 공단의 매끄러운 성질을 반영하는 결과임을 알 수 있다. 각 방향으로의 마찰 계수를 살펴볼 때, x와 y 방향에 따른 차이에 비해, +와 -방향에 따른 차이를 보다 분명하게 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 본 시스템을 사용하여 측정한 마찰 계수를 KES를 사용한 결과와 비교해 볼 때, 직물에 따른 마찰 계수의 순서는 동일하나, 절대값에서는 약 25 %의 차이를 나타내고 있다. 일반 직물들의 경우 본 시스템의 마찰 계수가 더 작게 나타나고 있으나, 가죽의 경우 더 큰 마찰 계수를 나타낸다. 이는 직물과 접촉하는 탐침자의 차이에 연유한다. KES의 탐침자는 직경 0.5 mm의 피아노선 10개를 덧붙인 형태로서, 직물의 특성인 잔털에 민감하게 반응할 수 있다. 따라서, 잔털이 있는 일반 직물의 경우 본 시스템보다 큰 마찰 계수를, 잔털이 없는 가죽의 경우 더 작은 마찰 계수를 나타내는 것이다.

다. 컴플라이언스

직물과 같은 점탄성 재질의 경우, 그 역학적 특성의 기술을 위하여는 재질의 탄성 뿐 아니라 점성 역시 해석되어야 할 것이나, 본 연구에서는 재질의 부드러운 정도에 대한 정성적 근거를 제시한다는 관점에서 직물을 단순한 탄성체로 가정하여 이의 해석을 시도하고자 한다.



도 4. 컴플라이언스 측정의 기본 개념

시편의 부드러운 정도를 나타내는 컴플라이언스는 힘이 가해졌을 때의 시편의 변형 정도를 나타내는 상수로서, 스프링 상수의 역수가 된다. 따라서, 컴플라이언스의

측정은 시편에 가해진 힘과, 그에 의하여 시편의 변형된 정도를 측정함으로써 가능할 수 있다. 이 때, 시편과 직접 접촉하는 탐침자의 끝단이 시편에 비견될 정도로 부드럽다면, 하중이 가해질 때 시편 뿐 아니라 탐침자 끝단 역시 변형될 것이다. 이는 시편만의 변형된 정도를 측정하는 데 문제를 야기시킬 수 있으며, 이의 해결을 위하여 본 연구에서는 시편과 탐침자 끝단을 모두 스프링으로 가정하였다(도 4 참조).

도 4에 대한 고찰과 함께, 힘과 변위에 대한 절대량의 측정보다는 상대적인 값의 차이를 측정하는 것이 더욱 용이하다는 사실로부터, 두 번의 측정으로부터 얻어지는 시편의 스프링 상수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$k_s = \frac{\Delta F}{\Delta z} \frac{k_t}{k_t - \Delta F / \Delta z} \quad (3)$$

여기서, k_s 와 k_t 는 시편과 탐침자 끝단의 스프링 상수를 나타내며, ΔF 와 Δz 는 두 번의 측정에 의한 힘과 변위의 차이를 나타낸다. (3)식의 특별한 경우로 탐침자의 끝단이 시편에 비하여 단단한 재질로 만들어졌을 경우, 다음과 같이 시편의 스프링 상수를 표현할 수 있다.

$$k_s = \frac{\Delta F}{\Delta z} \quad (4)$$

시편의 컴플라이언스는 (3)식과 (4)식에 나타난 스프링 상수의 역수, 즉 $C = 1/k_s$ 로 표현된다.

표 3. 컴플라이언스 분석결과

	Leather	Wool	Velvet	Silk
C (10^{-6} m/N)	3.58	106.55	75.65	4.10
Compression Energy : KES (gf cm/cm ²)	0.4116	1.8898	1.3972	0.0382

(4)식의 적용성을 살펴보기 위하여, 전술한 4개의 시편에 대하여 컴플라이언스를 측정하였고, 이를 표 3에 나타내었다. 측정 결과 상대적으로 부드러운 재질인 모직과 벨벳의 컴플라이언스가 크게 나타난 반면, 단단한 재질인 가죽과 공단의 컴플라이언스는 작게 나타났으며, 이로부터 본 연구에서 제안한 컴플라이언스의 측정 방

법이 재질의 부드러운 정도 파악에 있어 정성적인 판단 근거를 제시할 수 있음을 확인할 수 있었다.

KES의 경우, 직물의 부드러운 정도를 나타내는 지표로서 압축 에너지를 사용하였는데, 이는 넓이 2 cm^2 의 원형 강철판이 $20\ \mu\text{m/s}$ 의 속도로 $50\ \text{g/cm}^2$ 의 압력에 이를 때까지 직물을 압축하는 데 필요한 에너지로 정의된다. KES에 의한 압축 에너지와 본 시스템에서 측정한 컴플라이언스의 직접적인 비교는 곤란하지만, 가죽을 제외한 일반 직물들에 대한 부드러움의 서열은 두 지표가 동일한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

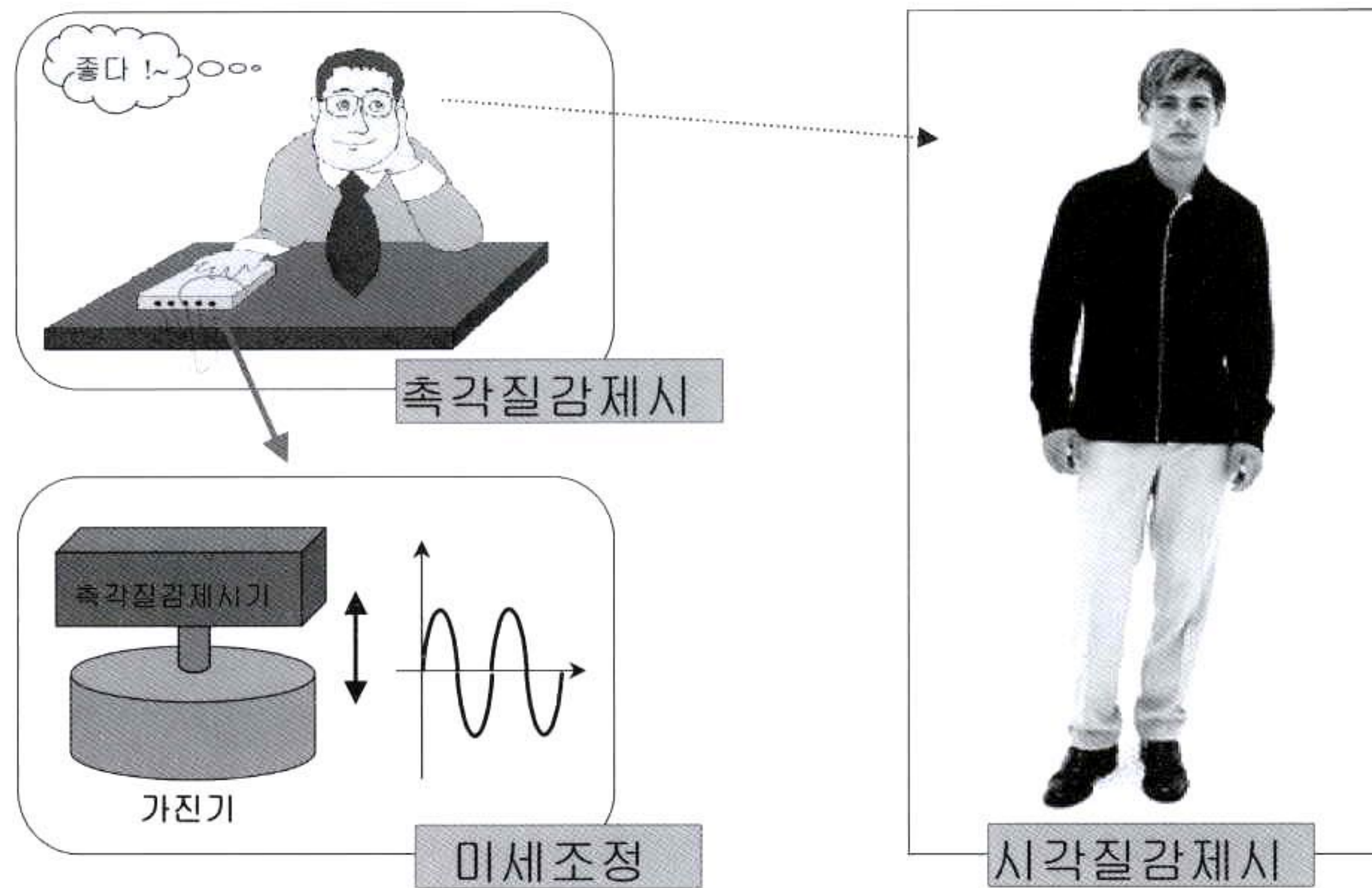
제 2 절 질감제시기술 개발

1. 질감제시의 기본개념

본 연구에서 개발한 질감제시장치의 기본 개념은 도 5와 같다. 제시하고자 하는 물리량은 표면 거칠기와 마찰 계수로 특징지어지는 표면 상태, 딱딱함의 정도를 나타내는 컴플라이언스, 그리고 열전달률이며, 이의 가상 제시를 위하여 가는 철사들로 이루어진 철심다발을 사용하였다. 철심다발에서 각 철심들의 높이를 조절함으로써 원하는 표면을 생성할 수 있다. 이 때, 철사 직경의 문제로 인해 극히 미세한 질감의 제시에는 한계를 보일 것이며 이를 극복하기 위해 진동을 이용하여 인간이 느끼는 질감을 미세조정하고자 한다. 이와 같이 구현된 촉각질감제시와 시각질감제시를 결합함으로써 최종적으로 통합 질감의 제시를 가능하게 할 수 있을 것이다.(도 6 참조)



도 5. 촉각질감제시의 기본 개념



도 6. 촉각/시각 질감 제시의 결합

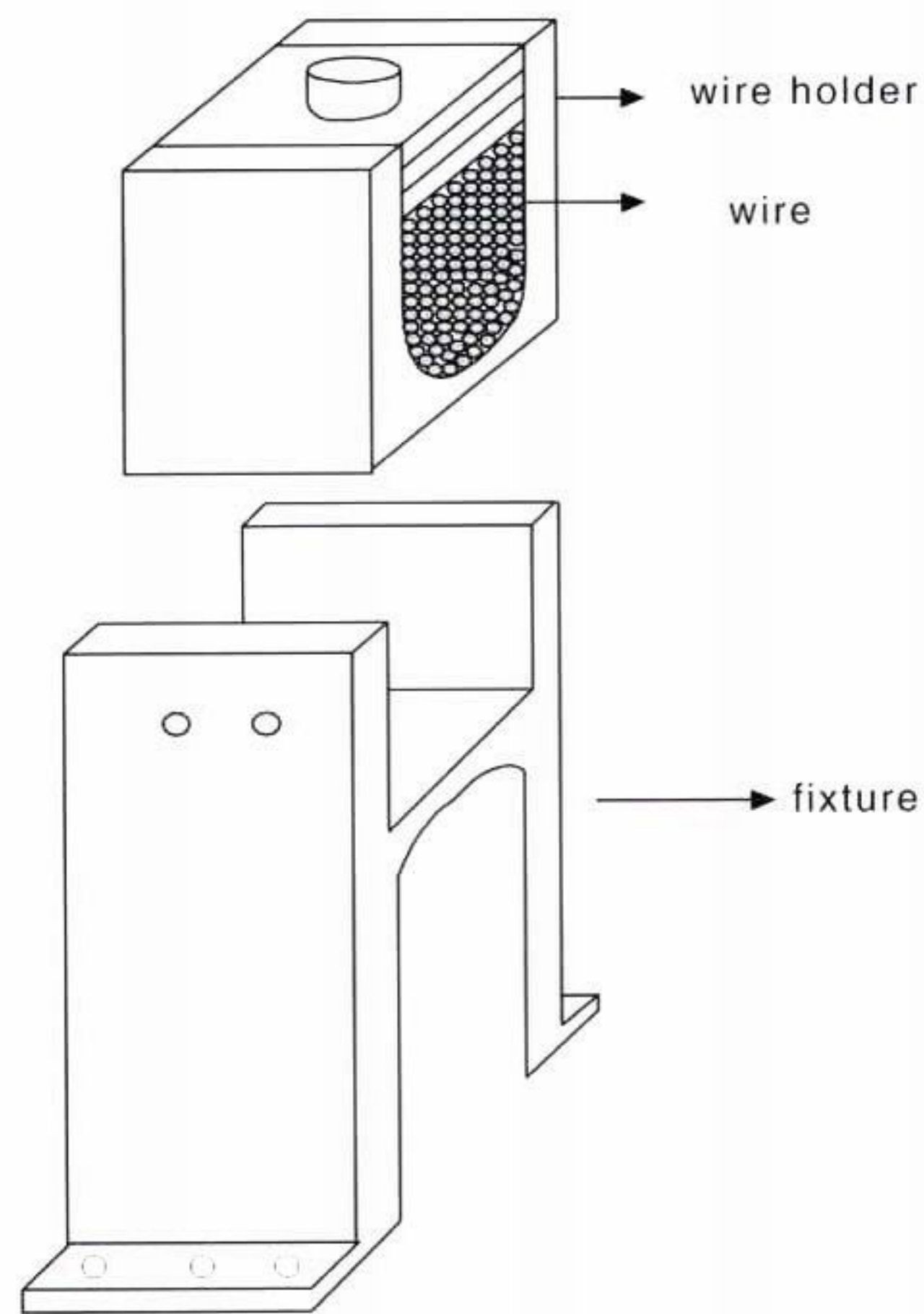
2. 표면생성기술

가. 표면 생성기의 사양

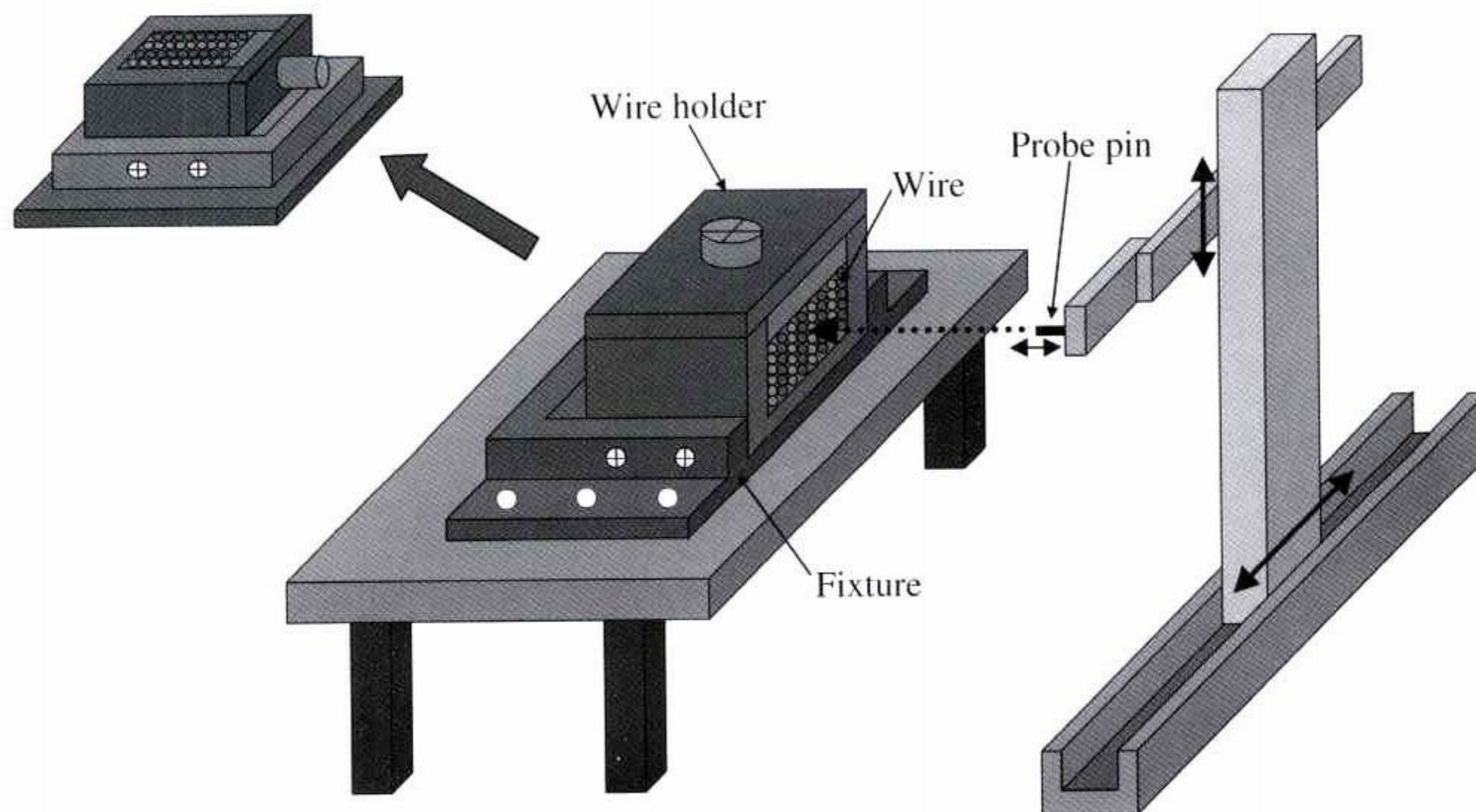
표면 생성 기술로서는 여러 다양한 제품의 표면을 재현하는 것을 목표로 하며 이에 준하여 결정된 사양을 요약하면 다음과 같다.

- 점과 점 사이의 중심거리(distance between two neighboring dots) :
(0.1 mm ~ 0.25 mm)
- 각 점의 높이(0.001 μ m ~ 0.9 mm 정도)
- 생성 표면 넓이(30 mm 직경의 원).

본 연구에서 제안된 표면 생성기로서는 아주 미세 표면의 생성은 가능하지 않으며 어느정도 거친 표면의 생성만이 가능하다. 그럼에도 불구하고, 미세한 표면을 재현해야 하는 경우는 주어진 표면을 직접 가공하거나 미리 가공된 표준 표면 시편을 활용할 수 있다. 그러나, 이러한 방법에 의존한다 하더라도 현존하는 가공기술로는 미세하지만 임의의 표면거칠기를 가지는 표면의 생성은 용이하지 않으므로 많은 제약이 있다. 이에 반하여, 본 연구에서 개발하려는 표면 생성기의 경우는 임의의 표면 거칠기를 가지는 표면의 생성도 가능하며 미세한 표면거칠기가 요구되는 경우 생성된 표면위에 도금과 같은 doping기법을 적용하여 그 이상의 미세한 표면을 생성할 수 있는 가능성을 내포하고 있다.



도 7. 철심다발집과 다발집 고정대



도 8. 표면 생성 시스템의 개략도

나. 표면 생성기 설계

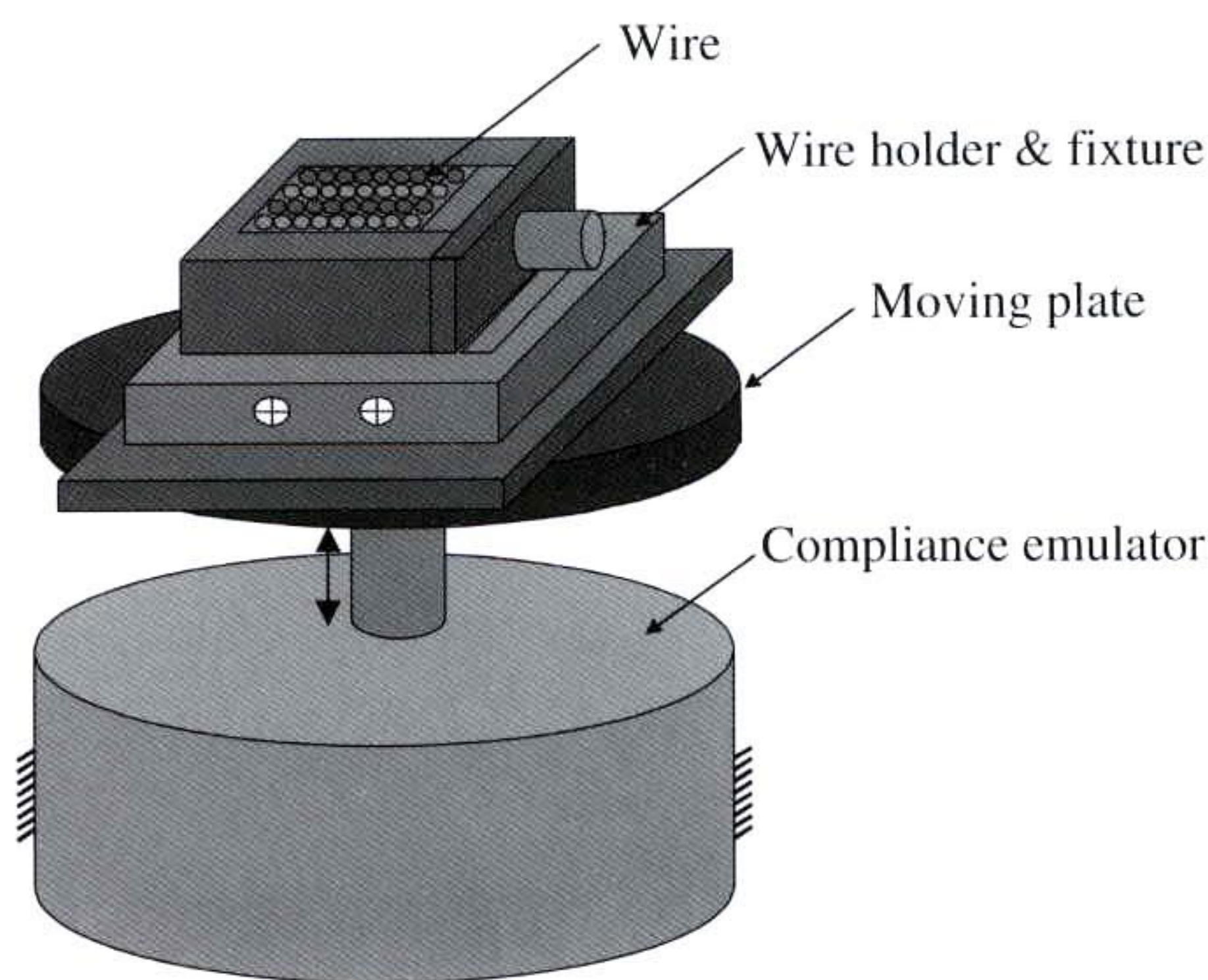
제 1차년도에서는 표면생성을 위해서 도 7과 같은 철선(wire) 다발을 이용한 방법이 제시되었다. 이러한 방법에 관하여 기술하면 다음과 같이 요약된다. 먼저, 가

는 철선으로 이루어진 철심 다발을 만들고 다발에 속한 각 철선을 축방향으로 움직임으로서 원하는 표면을 형성시키게 된다. 이러한 원리를 이용한 표면 생성 시스템의 경우 여러 형상의 표면 생성은 가능하지만 생성되는 표면의 정확도는 각 철선의 직경과 강도, 철선의 양끝면의 가공도, 그리고 각 철선을 표면의 거칠기에 맞추어 얼마나 정확하게 움직일 수 있는 가에 달려있다. 그러므로, 2차년도에서는 이러한 원리를 활용하는 표면 생성기의 상세 설계를 수행하고 실제 시스템을 구현하였다. 도 8은 구현된 표면 생성 시스템의 개략도를 나타낸다.

다. 표면 제시기의 작동원리

가상적인 표면을 제시하기 위한 과정을 기술하면 다음과 같다.

1. 철심 고정대를 느슨하게 함으로서 철심 다발에서 철심간의 접촉력을 최소화시킨 후, 철심 다발을 추스림으로서 철심의 한 면(밑면)을 평평하게 만든다.
2. 그리고, 철심 다발을 적당히 조임으로서 철심이 흐트러지지 않도록 한다. 이러한 접촉력은 각 철심을 압전 액츄에이터가 밀게되는 경우 주변의 철심들과의 표면 마찰과 관계가 있다. 그러므로 이 마찰력을 적절히 조절하여 미는 힘을 받는 철심만 움직이도록 한다.
3. 철심 다발집을 철심 고정대위에 놓고 압전 액츄에이터와 접촉하도록 맞춘다.
4. 비전을 이용한 영상처리를 수행함으로서 각 철심의 중심위치를 파악한다. 철심의 축방향과 일치하는 방향으로 움직이도록 압전 액츄에이터가 설치되면 $y-z$



도 9. 컴플라이언스 에뮬레이터와 철선다발집의 개략도

구동 테이블과 압전 액츄에이터를 제어함으로서 각각의 철심을 밀게 되며 이러한 과정을 되풀이함으로서 표면을 생성한다.

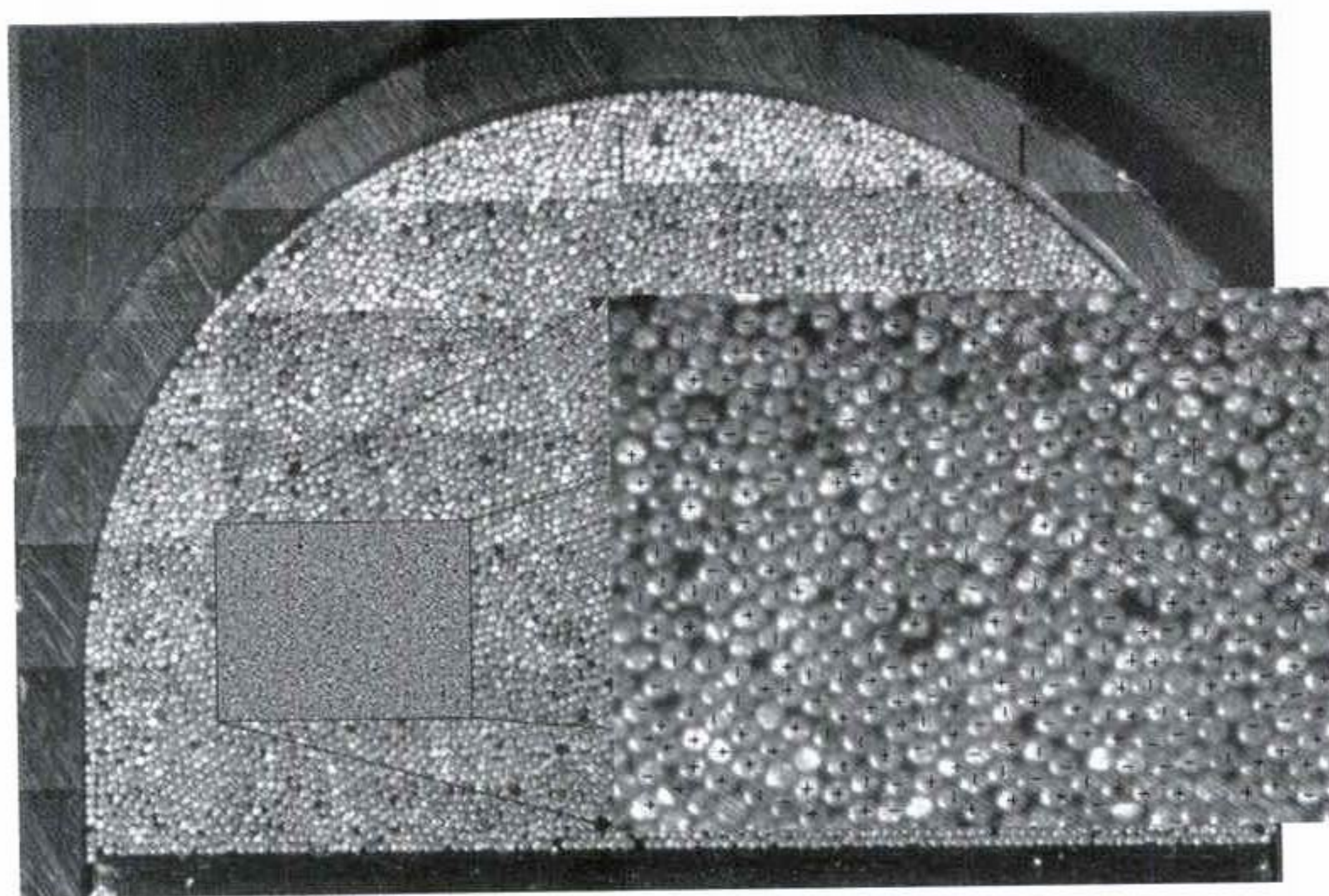
5. 일단 표면이 생성되면 다시 철심 다발집을 다시 조임으로서 생성된 표면이 흐트러지지 않도록 한 후 도 9와 같이 철심 고정대를 컴플라이언스 에뮬레이터의 유동판(moving plate) 표면위에 놓게 된다.

이상의 1, 2, 3, 4, 5과정을 되풀이함으로서 원하는 표면들을 생성할 수 있게 된다.

라. 영상처리

감성 측정 패턴의 생성을 위하여 Computer Vision을 통하여 철심의 blob을 찾기 위하여 blob analysis의 방법을 이용한다. 전체적인 연구 과정은 크게 Grabbing, Calibration, Calculation 세 부분으로 나눌 수 있다. Grabbing 단계에서는 CCD 카메라를 이용하여 철심의 영상을 획득하는 부분으로서 본 연구에서 가장 기본이 되는 단계라 할 수 있다. Calibration 단계에서는 CCD 카메라로부터 획득한 영상에서의 pixel 간의 거리를 실제 거리(μm)로 변환하는 작업을 담당한다. Calibration을 위해 철심의 가장자리에는 3 mm 간격으로 선이 그어져 있다. 마지막으로 Calculation 단계에서는 획득한 영상에서 blob을 찾아 해당 blob의 중심좌표를 실제 거리로 변환하는 작업으로 calibration의 정확성과 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서는 가장 효율적으로 철심의 blob을 찾기 위한 알고리즘의 개발을 위해 off-line으로 작업하고 있다.

영상처리의 실제 작업 시 철심을 일정 간격으로 움직이며 영상을 획득하였으며, 획득한 영

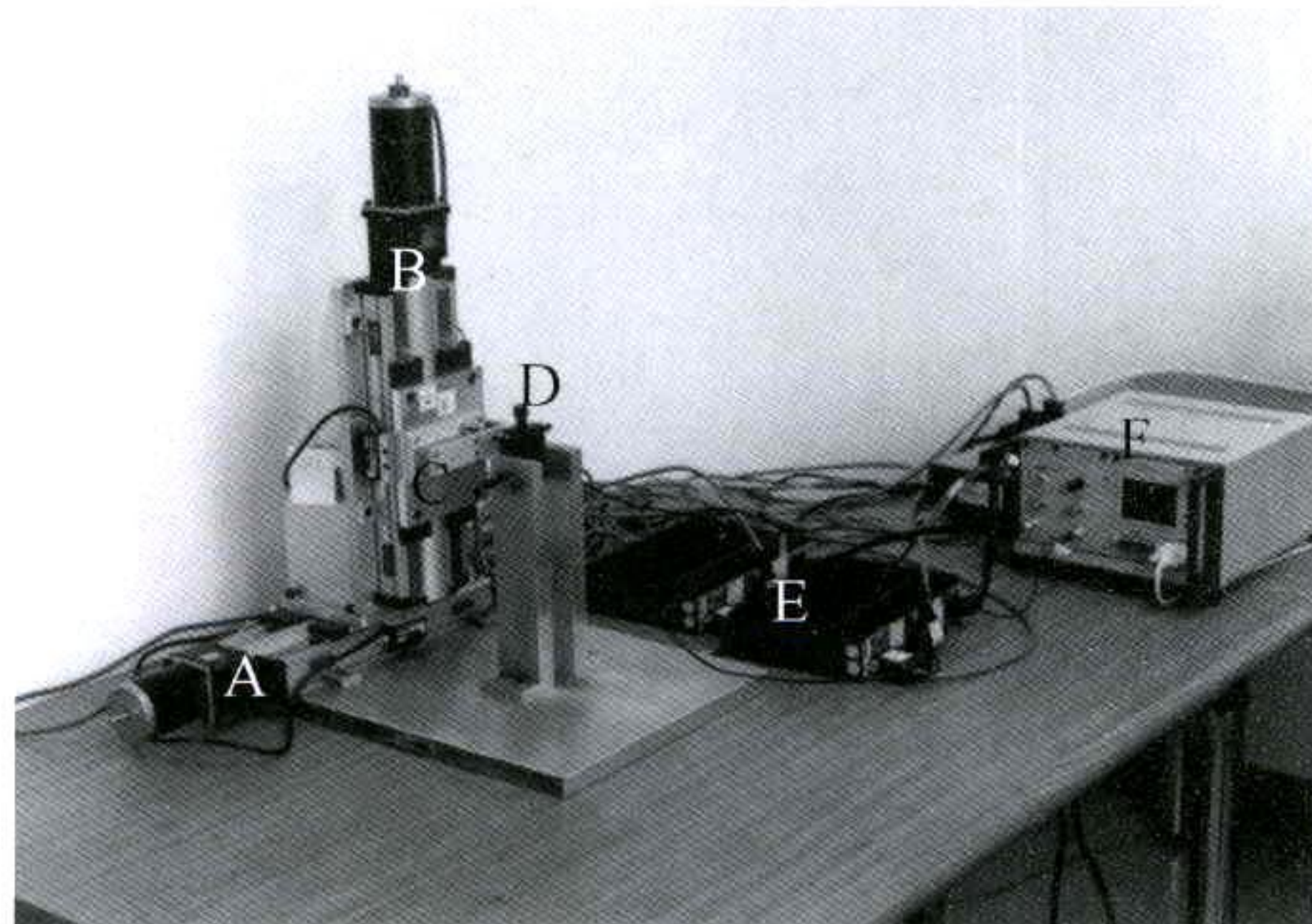


도 10. 철심 이미지 조합결과

상에서 중복되는 부분을 찾아 매칭(matching)시켜 전체 영상으로 조합하였다. 도 10은 획득한 각각의 영상을 전체 이미지로 조합한 결과를 나타낸다.

마. 표면 생성기 하드웨어

도 11은 제작된 표면 생성 시스템을 나타낸다. 제작된 표면 생성기는 크게 압전 시스템, 철선다발, 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 관련 부품으로 구성된다. 압전 시스템은 독일의 Physik Instrument (PI) GmbH & Co. (Germany)사에 제품으로 행정길이 2 mm를 가지는 macro block translator, 서보 제어기, 전류증폭기, display/interface 모듈, LVDT 센서 및 센서 probe로 구성된다. 그리고 이 압전 시스템의 끝부분에 철선을 이동시킬 핀을 부착할 수 있는 probe pin fixture가 제작되었다. 표면 생성에 사용될 철선다발의 경우 6 셀이 제작되었으며 이를 고정하기 위해 도 7과 같은 철선다발 고정대가 고정되었다. 사용된 철선의 직경은 0.25 mm였다. 2축 테이블 구동 시스템은 Compumotor사 제품으로 두 개의 마이크로 스텝모터와 각 모터의 회전변위를 측정할 수 있는 두 개의 회전형 엔코더, linear sliding axis의 절대 위치를 측정할 수 있는 두 개의 선형 엔코더, 이들의 인덱서와 제어기, 컴퓨터와의 인터페이스 card가 있으며 Daedal사 제품으로 2축 linear positioning table로 구성된다.



도 11. 표면 생성 시스템

A : Y stage, B : Z stage, C : PZT actuator, D : Wire and Wire holder
E : YZ stage controller, F : PZT actuator controller

3. 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템

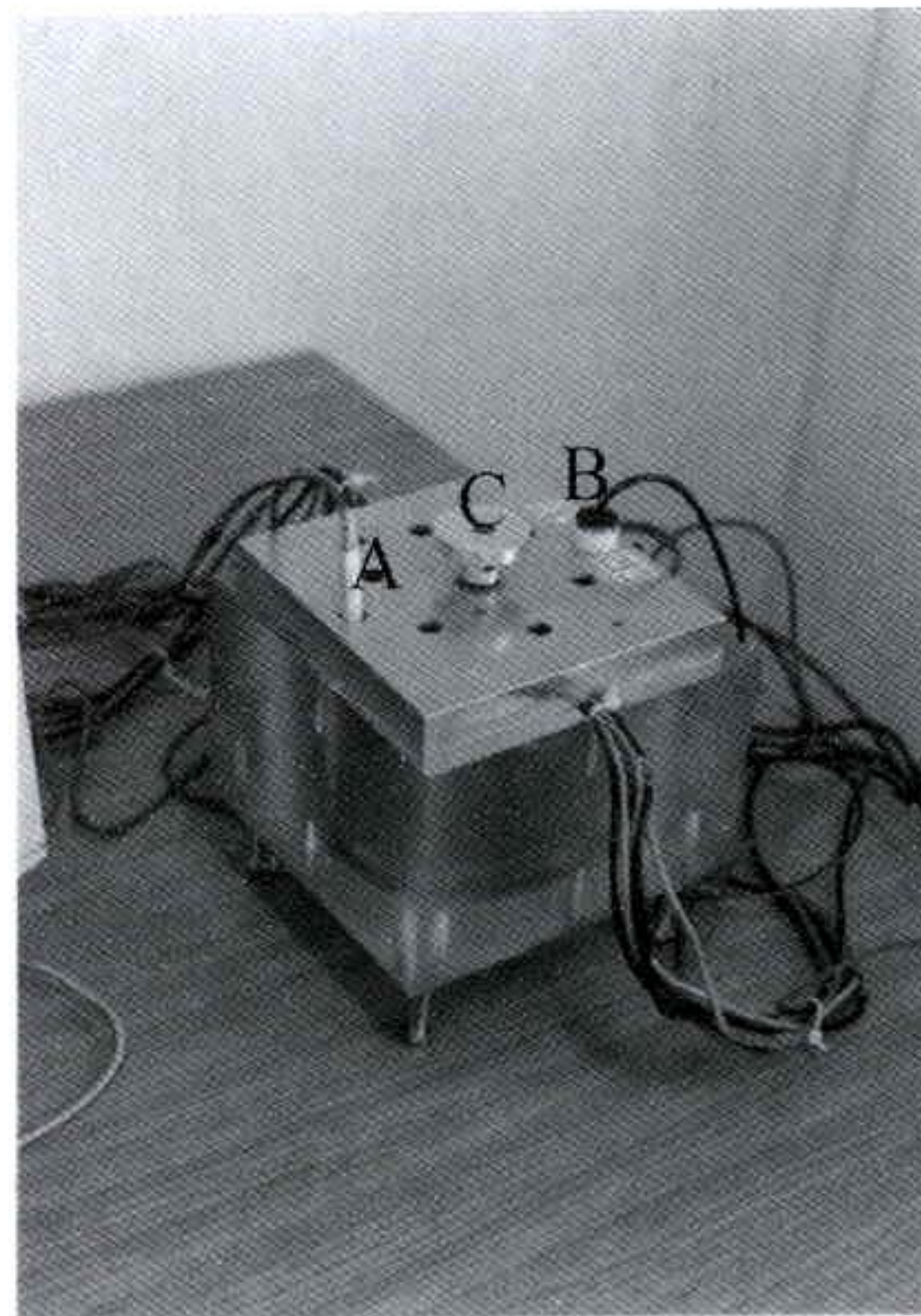
컴플라이언스 에뮬레이터 시스템은 사람이 물체를 접촉할 당시에 느껴지는 다양한 물체의 컴플라이언스를 재현하는 것을 목표로 하므로, 넓은 범위의 컴플라이언스 제시 특성을 가져야 한다. 공압을 이용하여 제품의 컴플라이언스를 재현할 수 있으나 공압 실린더에서의 큰 정지 마찰력으로 인하여 실제 원하는 제품의 정확한 컴플라이언스의 재현하기 어렵다. 그러므로, 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템의 설계시 유동부의 관성과 마찰효과를 최소화하여 우수한 컴플라이언스 재현 특성을 현실감있게 재현하는 것이 중요하다. 이러한 목적에 맞는 시스템으로서 본 연구에서는 자력을 이용한 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템을 구현하였다. 이러한 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템은 전자석과 영구자석을 이용한 levitation 시스템과 같이 유동판이 지면에 수직으로 움직이는 구조를 가지고 있으며 feedback 센서로는 LVDT센서가 사용되었다.

도 12에 보여진 컴플라이언스 에뮬레이터는 크게 유동부와 고정부로 나누어지는데, 고정부에는 원형모양의 판에 코일이 감겨진 스푼모양의 코아(wired spool core) 또는 전자석 여섯 개가 대칭으로 고정되어 있다. 그리고 유동부의 축이 한 방향으로 운동하도록 슬리브 베어링 부분이 설치되어 있다. 유동부는 축과 축에 고정된 원형모양의 하판과 이 하판의 윗면에 부착된 여섯 개의 영구자석으로 구성된다. 유동부의 하판에 부착된 여섯 개 각각의 영구자석은 고정부의 전자석 바로 밑에 위치된다. 스푼 모양의 코아의 재질로서는 ferromagnetic material을 사용되었고 유동부의 모든 재질은 알루미늄과 같은 non-ferromagnetic 재질을 활용하여 자화되는 것을 방지하였다.

이러한 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템의 작동원리에 관하여 기술하면 다음과 같다. 여섯 개의 전자석에 동일한 크기의 전류를 가함으로서 자력을 발생시키며 발생된 자력과 고정판에 고정되어 있는 영구자석과의 반발력 또는 흡입력을 제어하여 원하는 유동부의 위치를 조절함으로써 컴플라이언스를 재현시키게 된다. 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템의 초기상태에는 영구자석의 자력으로 인하여 전자석과 영구자석이 가깝게 마주보고 있는 상태에 있다. 시스템이 작동하게 되면 전자석에 전류를 가함으로서 반발력을 발생시킴으로서 중력을 상쇄시킴과 더불어 위치센서(LVDT센서)를 이용하여 지정된 평형위치에 있도록 한다. 이러한 상태에서, 유동부의 상판으로부터 외력이 가해졌을 때, 유동판에서 느끼는 컴플라이언스를 재현하도록 전자석에 적절한 크기의 전류를 가하게 되는 구조를 가지고 있다. 도 12와 같이

이 시스템의 상판부에 철심다발이 놓여지게 된다.

그리고 이러한 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템은 PC에 구동 소프트웨어가 위치해 있으며 구동 신호가 바로 D/A 변환기를 거쳐 그리고 다시 전압 증폭기를 통하여 컴플라이언스 에뮬레이터의 코일로 입력되며 LVDT 위치센서로부터의 유동부 하판의 위치 신호 및 속도를 A/D 변화기로 받아들임으로서 폐회로가 구성되는 구조를 가지고 있다.



도 12. 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템

A : digital LVDT sensor, B : analog LVDT sensor, C : surface plate

도 12는 제작된 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템을 나타낸다. 이 시스템은 여섯 개의 영구자석과 전자석, HP사의 6825A bipolar 전압증폭기, PC 586, 두개의 12-bit D/A channel과 16개의 12-bit A/D channel이 내장된 PCL718 card, digital LVDT 센서, 그리고 시스템 하드웨어로 구성된다. 시스템에 사용된 주요부품의 사양을 요약하면 다음과 같다. HP사의 6825A bipolar 전압증폭기는 30 kHz의 대역폭을 가지고 있으며 PCL-718의 A/D converter의 sampling rate는 10 kHz의 속도를 가지고 있다. 그리고 digital LVDT sensor의 측정길이는 10 mm이며 분해능은 1 μ m이다. 그러나, digital LVDT sensor의 측정속도는 상대적으로 느리며 약 200~250 Hz로 관찰되었다. 제작된 시스템은 PC 586과 인터페이스 되어 작동과 관련된 모든 소프트웨어는 완료된 상태이다. 그러나, 영구자석과 전자석으로 인한 자력에 대한 비선형 관계식이 아직까지 측정이 되지 않은 상태이며 전체 시스템의 성능을 향상시키

기 위하여 이 관계식을 효과적으로 측정하거나 또는 얻어진 관계식을 이용할 수 있는 제어 알고리즘이 개발되어야 한다.

4. 진동과 촉감간의 관계

가. 목적

전술한 바와 같이 본 연구에서 개발한 표면 제시기는 철심다발을 이용하므로 철심의 직경에 기인하는 한계를 갖는다. 따라서, 철심다발로써 구현될 수 없는 미세 질감을 제시하기 위한 방법으로 진동을 이용하고자 한다. 이를 위하여는 진동의 변화, 즉 진동의 진폭과 주파수의 변화에 따른 촉감의 변화를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 그러나, 이는 많은 시간과 노고를 필요로하는 작업으로서 이에 대한 정량적인 분석은 2단계의 연구에서 수행할 것이며, 제 1단계에서는 진동에 의해 촉감의 변화를 야기시킬 수 있는지의 가능성을 확인하였다. 이에 대한 실험 방법 및 결과를 기술할 것이다.

나. 실험방법

준비된 시편에 진동의 변화를 주어 제시함으로써 피험자에게 진동의 변화에 따른 촉감을 평정하게 하였다. 이 때, 시편은 2.0 mm 의 철심들로 이루어진 다발을 사용하였는데, 각 철심들의 높이를 일정하게 맞추어 가능한 범위내에서 매끄럽게 하였다.

준비된 거칠기 시편을 가진기 위에 고정하여 진동이 변화되는 것을 피험자들이 직접 느낄 수 있도록 하였다. 이 때, 가진기를 구동하는 앰프의 게인은 일정하게 유지되도록 하였으며, 진동의 진폭과 주파수는 신호 발생기로부터 발생하는 정현파의 크기와 주파수를 조정함으로써 가능하게 하였다. 진동기와 시편을 제작된 상자 안에 넣고 피험자들이 만지도록 하였다. 가진기가 들어있는 상자를 네모난 탁자에 놓아두는데, 이 때 상자를 폭신한 방석 등의 위에 올려놓고 피험자가 상자를 실험을 하였다.

상자는 20×18×18 cm 의 크기로 제작하였는데, 상자의 앞은 피험자들이 손을 넣어 만질 수 있을 만큼의 크기로 구멍을 뚫어 천으로 가렸다. 천으로 가린 이유는 피험자들이 상자 안을 볼 수 없도록 하기 위한 것이다. 상자의 뒷편에는 가진기를 넣을 수 있을 만큼의 구멍을 뚫었다. 이는 가진기를 상자 안에 넣는 것을 용이하게 하기 위한 것이기도 하지만, 맞은편에서 실험자가 실험을 진행하면서 피험자가 가

진기 위의 시편을 잘 만지고 있는지를 확인하며, 피험자가 시편을 만지고 있는 속도 등을 맞추어 진행을 용이하게 하기 위함이다. 상자는 밑부분이 없는데 이것은 피험자들이 진동기와 시편을 볼 수 없도록 상자를 사용하기는 했지만, 상자와 가진기의 접촉으로 인한 진동 및 그에 따라 유발되는 소음을 줄이기 위한 것이다.

가진기를 방석 등의 폭신한 것 위에 놓고, 피험자가 상자속 에 손을 넣어 가진기 위의 시편을 만질 수 있도록 하였다. 피험자의 팔꿈치에는 폭신한 방석 등을 깔아 두어 실험으로 인한 피로를 최대한 통제하였다.

피험자는 실험이 진행되는 동안 백색 잡음(white noise)을 듣게 되는데 이때의 백색 잡음은 실험에 사용되는 진동의 주파수 범위(50, 100, 150, 300, 500 Hz)모두를 포함하여 각각의 소리가 나도록 만들게 되므로 특별한 진동에 대한 소리를 차폐시킬 수 있다.

손으로 시편을 누르는 정도에 따라 느낌이 달라질 수 있으므로 실험이 시작되기 전 피험자들에게 가능한 한 가볍게 시편을 만지도록 요구하였다.

피험자가 실험을 하게 될 실험 조건은 주파수 5 수준(50, 100, 150, 300, 500 Hz), 진폭 6 수준(50, 100, 300, 500, 1000, 2000 mV)이며, 각각의 수준을 4가지의 처치로 제시하였다. 이 때, 각각의 진동을 제시할 때마다 기준값인 무진동 상태를 제시하였다. 실험의 4 처치는 각각의 주파수와 진폭을 상향과 하향으로 제시하는 것이다(표 4). 각 피험자는 이상의 4 가지 조건 중에 2가지 조건에 할당되며, 이 값들의 평균 점수를 사용한다.

표 4. 실험의 4 수준

		주 파 수			
		상 향	무작위	하 향	무작위
진 폭	상 향				조건 2
	무작위	조건 1			
	하 향				조건 4
	무작위	조건 3			

피험자들은 각각의 진동의 변화에 따라 매끄럽다-거칠다의 정도를 의미미분법을 사용하여 7점 척도로 평정하게 되는데 항상 제시되는 기준값을 4점으로 평정하도록 한다. (표 5. 실험에 사용된 평정척도)

표 5. 실험에 사용된 평정척도

1	2	3	4	5	6	7
매끄럽다		기준값			거칠다	

실험시 평가는 촉감이 기준값보다 매끄럽게 느껴진다면 1점에 가깝게, 기준값보다 거칠게 느껴진다면 7점에 가깝게 평정하도록 한다.

다. 실험결과

실험의 각 2조건에 할당된 피험자들의 평정값에 대한 평균을 구하였으며, 각 피험자의 2개의 반응에 대한 신뢰도를 구하였다. 그 결과 신뢰도 값은 $\alpha = .49$ 였다. 또한 각 피험자의 반응값의 평균값과 표준편차값은 표 6에 나타나있다. 대부분의 값이 기준값보다는 매끄러움을 보이고 있으며, 특히 100 Hz조건에서 300, 500 mV일 때와 150 Hz 조건에서 2000 mV 일 때 가장 매끄러운 경향을 보이고 있다. 반면, 50 Hz 조건에서 2000 mV 일 때 가장 거친 경향을 보임을 알 수 있다. 4점은 기준값이므로 4점에 가까울수록 차이가 거의 나지 않음을 알 수 있는데, 500 Hz 조건에서는 거의 대부분의 값이 4점에 가까운 경향을 보이고 있다.

표 6. 촉감평정값의 기술통계치

		진폭 (mV)					
		50	100	300	500	1000	2000
주 파 수 (Hz)	50	3.64 (.74)	3.29 (1.44)	3.57 (1.40)	3.57 (1.16)	3.86 (1.75)	4.36 (2.06)
	100	3.71 (.83)	3.43 (.76)	3.21 (.97)	3.21 (1.19)	3.50 (1.56)	3.57 (1.70)
	150	3.71 (.47)	3.64 (.84)	3.50 (1.02)	3.29 (1.14)	3.43 (1.45)	3.21 (1.48)
	300	3.79 (.80)	3.86 (.77)	3.71 (.83)	3.57 (1.16)	3.50 (1.02)	3.36 (.84)
	500	4.00 (.55)	3.86 (.36)	4.00 (.96)	3.57 (.65)	3.93 (.73)	3.86 (.53)

이상의 결과에서 알 수 있듯이, 진동에 의해 인간이 느끼는 촉감은 미세하나마 조절될 수 있음을 확인할 수 있었다. 진동에 의해 미세 질감을 조절하기 위해서는 진동과 촉감 사이의 관계를 정량적으로 분석할 필요가 있으며, 이는 2단계에서 정밀하게 수행될 것이다.

제 3 절 직물의 물리적 차원과 감성의 관계

1. 본 연구에서 사용된 촉감에 의한 질감 평가 척도

본 연구에서는 선행 연구 결과를 종합하여 본 연구에서 대상으로 하는 시료(내의직물)의 질감평가척도를 제작하였다. 즉, 10개의 “감각요인”을 나타내는 10개의 형용사(8개의 양측척도, 2개의 단측척도)와 8개의 “감성요인” 형용사로 구성된 질감평가척도(7점 Likert Scale)를 제작, 사용하였다. (표 7, 표 8 참조).

표 7. 선행연구를 통합·보완하여 추출된 형용사

번호	감각요인	감각형용사 척도	감성요인	감성형용사 척도
1	매끄럽기	매끄럽다-거칠다	편안함	편안하다-불편하다
2	요철감	편편하다-우둘두둘하다	청결감	청결하다-불결하다
3	유연감	부드럽다-뻣뻣하다	독특성	독특하다-평범하다
4	폭신감	폭신하다-딱딱하다	(평범함)	
5	두께감	얇다-두껍다	상쾌감	상쾌하다-불쾌하다
6	온냉감	따뜻하다-차갑다	(불쾌감)	
7	끈끈함	끈끈하다	낯음	낯았다-새것이다
8	단단함	단단하다	시원함	시원하다-답답하다
9	무게감	가볍다-무겁다	고급감	고급스럽다
10	신축성	신축성이 있다	섹시함	섹시하다

표 8. 직물 촉감에 사용된 형용사 척도 (18)

1. 매끄럽다	1	2	3	4	5	거칠다
2. 편편하다	1	2	3	4	5	우둘우둘하다
3. 부드럽다	1	2	3	4	5	뻣뻣하다
4. 폭신하다	1	2	3	4	5	딱딱하다
5. 얇다	1	2	3	4	5	두껍다
6. 따뜻하다	1	2	3	4	5	차갑다
7. 가볍다	1	2	3	4	5	무겁다
8. 편안하다	1	2	3	4	5	불편하다
9. 청결하다	1	2	3	4	5	불결하다
10. 독특하다	1	2	3	4	5	평범하다
11. 상쾌하다	1	2	3	4	5	불쾌하다
12. 낱았다	1	2	3	4	5	새것이다
13. 시원하다	1	2	3	4	5	답답하다
14. 고급스럽다	1	2	3	4	5	
15. 섹시하다	1	2	3	4	5	
16. 끈끈하다	1	2	3	4	5	
17. 단단하다	1	2	3	4	5	
18. 신축성이있다	1	2	3	4	5	

2. 직물의 물리적 특성 및 측정 방법

가. 직물의 물리적 특성

직물의 역학적 성질들을 조절하여 태를 조절하기 위해서는 태와 직물의 역학적 성질들간의 상호관계를 잘 알아야 한다.

1972년 Kawabata와 Niwa등은 역학적 성질등에 관한 연구와 태분석에 관한 연구등을 토대로 측정할 역학적 성질들을 결정하고 이런 역학적 성질들을 특성화는 등의 연구를 통해 다음과 같은 역학적 성질등과 그 성질들의 측정을 위한 조건들을 제안하였다.

표 9. 직물의 역학적 특성치 분석결과

역학적 성질	기호	역학적 특성치	단위
인장 TENSILE	LT	선형도 (linearity)	
	WT	인장에너지 (tensile energy)	gf · cm/cm ²
	RT	회복도 (resilience)	%
굽힘 BENDING	B	굽힘강성 (bending rigidity)	gf · cm ² /cm
	2HB	이력 (hysteresis)	gf · cm ² /cm
전단 SHEAR	G	전단강성 (shear stiffness)	gf/cm · deg
	2HG	∅ = 0.5°에서의 이력	gf/cm
표면 SURFACE	MIU	마찰계수 (coefficient of friction)	
	MMD	MIU 의 평균편차	
	SMD	기하학적 거칠기 (geometrical roughness)	μm
압축 COMPRES -SION	LC	선형도 (linearity)	
	WC	압축에너지 (compressional energy)	gf · cm/cm ²
	RC	회복도 (resilience)	%
두께와 무게 THICKNES WEIGHT	W	단위 면적당 무게.	mg · cm ²
	T	0.5 gf/cm ² 에서의 두께	mm

Kawabata 등이 제안한 역학적 성질들은 아래와 같이 6개의 그룹으로 나뉘어진다.

- 그룹 1 : 인장 성질(Tensile property)
- 그룹 2 : 굽힘 성질(Bending property)
- 그룹 3 : 표면 성질(Surface property)
- 그룹 4 : 전단 성질(Shearing property)
- 그룹 5 : 압축 성질(Compressional property)
- 그룹 6 : 무게와 두께(Weight and thickness)

그룹 3과 그룹 6은 엄밀히 따지면 역학적 성질이 아닌 물리적 성질이지만 이것들은 역학적 성질과 간접적으로 관련되어 있다. 위의 6개 그룹 각각의 성질을 나타내는 역학적 특성치의 수는 가급적 적어야 하지만 그 그룹의 성질을 충분히 나타낼 수 있도록 고려하여 결정된 것이다.

KES의 16개의 역학적 특성치들을 표 9에 정리하여 나타내었다.

나. 표본시료 추출 및 역학적 특성 분석

본 연구의 목표는 직물의 촉각 질감을 측정하고자 하는 것이므로, 직물중에서도 실제 착용시 그 용도와 쓰임의 측면에서 사람의 피부에 가장 많이 밀착되고, 따라서 신체에 닿는 느낌을 중요하게 평가한다고 판단되는 직물인 내의류를 사용하였다.

본 연구에 이용될 대표 직물을 선정하기 위해 내의를 전문적으로 생산하는 내의 회사에서 일부를 제공받고, 잠옷 및 내의용으로 현재 시판되고 있는 직물을 직접 시장조사를 통해 준비하였다. 이 직물들은 모두 내의용으로서 그 소재의 표시가 분명한 것들이다.

대부분의 사람들이 직물의 질감을 평가할 때 기준으로 하는 요소들은 직물의 표면과 두께, 폭신한 정도, 또는 직물이 가지고 있는 고유의 온도 등이 있는데 본 연구에서는 직물의 표면에 관련된 질감을 예측하는 형용사와 요소들이 중요하기 때문에 구입한 내의류를 중심으로 본 연구가 목적으로 하는 직물의 질감을 평가하기에 적합하다고 판단되는 직물을 최종적으로 선정하였다.

여러 종류의 소재로 된 내의류를 구입하려 했으나, 현재 시판되는 잠옷의 대다수는 면 등의 일부 소재에 편중되었기 때문에 같은 소재라도 처리를 달리함으로써 표면 느낌이나 직물 자체의 성질이 달라진 것들도 포함을 시켰다. 또한 본 촉각질감 연구에서는 직물의 색이나 무늬 디자인 등, 시각 및 기타 감

표 10. 각 직물의 물성특성치

직물	소재	용도	TENSILE				BENDING		SHEAR		SURFACE			COMPRESSION			THICK NESS	WEIG HT
			EM	LT	WT	RT	B	2HB	G	2HG	MIU	MMD	SMD	LC	WC	RC		
직물1	면	모시메리	19.53	0.61	3.07	39.22	0.12	0.13	0.40	0.93	0.26	0.01	3.35	0.74	0.12	41.53	1.07	21.90
직물2	나일론	속치마	11.25	0.72	2.02	39.19	0.02	0.02	0.77	1.81	0.17	0.01	2.82	0.69	0.08	41.62	0.77	14.01
직물3	면	런닝	23.90	0.62	3.26	24.85	0.01	0.02	0.41	1.18	0.22	0.02	5.95	0.64	0.08	38.80	0.96	15.25
직물4	폴리에스텔	슬립	14.18	0.62	2.02	21.02	0.04	0.05	0.59	2.01	0.20	0.01	4.76	0.75	0.09	41.44	1.05	17.51
직물5	면	런닝	1.05	1.13	0.29	55.78	0.05	0.04	1.45	1.84	0.12	0.01	2.37	0.69	0.06	45.46	0.43	11.87
직물6	나일론	슬립	5.53	1.02	1.32	41.47	0.07	0.07	0.77	1.17	0.18	0.02	7.04	0.67	0.07	36.99	0.65	13.17
직물7	면	추동내의	0.90	0.92	0.20	92.64	0.03	0.01	0.22	0.10	0.20	0.01	1.25	0.89	0.01	52.38	0.22	10.38
직물8	나일론	상하	14.70	0.66	2.26	22.88	0.05	0.08	0.68	2.32	0.19	0.01	2.46	0.74	0.09	36.36	0.97	19.28
직물9	면	평직	54.64	0.46	6.32	48.67	0.00	0.01	0.17	0.30	0.28	0.01	8.57	2.19	0.18	52.87	0.81	7.69
직물10	폴리에스텔	아동잠옷	2.63	1.10	0.69	33.83	0.27	0.31	2.75	3.16	0.14	0.03	11.64	0.66	0.06	44.32	0.69	10.79
직물11	면	크레이프	1.60	1.11	0.41	46.16	0.08	0.09	1.23	1.83	0.15	0.01	1.88	0.73	0.14	43.76	1.48	13.29
직물12	폴리에스텔	잠옷바지	9.73	0.68	1.62	44.19	0.01	0.00	0.41	1.22	0.16	0.01	6.06	0.89	0.01	38.89	0.42	12.52
직물13	폴리에스텔	연중잠옷	14.06	0.61	1.97	46.04	0.01	0.01	0.36	0.92	0.26	0.03	11.77	0.82	0.05	46.85	0.86	15.39
직물14	레이온	속옷상의	0.82	0.85	0.17	62.26	0.03	0.01	0.26	0.25	0.17	0.02	2.40	0.72	0.01	56.02	0.19	8.70
직물15	면	남성내복	1.40	0.92	0.30	52.50	0.04	0.01	0.31	0.34	0.21	0.01	1.87	0.75	0.01	50.81	0.28	10.29
직물16	레이온	속치마	1.05	0.83	0.22	60.27	0.02	0.01	0.25	0.09	0.14	0.00	1.12	0.73	0.02	50.20	0.28	9.08
직물17	면	망사런닝	2.84	0.80	0.55	42.86	0.01	0.01	1.41	3.24	0.16	0.02	9.32	0.79	0.01	47.06	0.34	7.80
직물18	면	아동잠옷	1.08	0.90	0.21	63.33	0.03	0.01	0.24	0.15	0.13	0.00	0.78	0.69	0.01	55.56	0.22	10.04
직물19	면	모시메리	3.41	0.80	0.68	36.80	0.01	0.02	1.12	2.97	0.20	0.04	6.76	0.81	0.02	34.87	0.35	8.61
전체평균			9.70	0.81	1.45	46.0	0.05	0.05	0.73	1.36	0.18	0.02	4.85	0.82	0.06	45.04	0.63	12.5

각과 관련된 요소들은 고려하지 않았으므로 소재가 중복되지 않는 범위로만 직물을 선정하였다.

최종 선정된 직물은 모두 19종으로 면 소재 10종, 폴리에스테르 소재 4종, 나일론 소재 3종, 레이온 소재 2종이다. 각각의 직물은 모두 30×30 cm의 크기로 규격화하였다.

본 연구에 사용된 내의류의 물성특성치를 KES system에 의해 분석한 결과는 표 10과 같다.

- 1) 인장요인에서 인장변형, 인장 회복도에서 시료간에 매우 큰 차이가 발견되었다. 일반적으로 면이 다른 시료보다 매우 높은 수치를 나타내고 있다.
- 2) 굽힘요인은 시료에 따른 특성치의 그리 큰 분산을 나타내지 않고 있다. 그러나 아동잠옷용 Polyester가 높은 수치를 나타내었다.
- 3) 전단요인에서는 시료간 큰 차이를 보이지 않으나, 아동잠옷의 Polyester가 매우 높은 수치를 나타내며, 평직의 면, 아동잠옷용 면이 낮은 값을 보인다.
- 4) 표면 특성에서는 잠옷 세 종류의 Polyester와 두 종류의 면에서 높은 수치를 나타내었다.
- 5) 압축 특성 요인에서는 큰 차이가 나타나지 않으나, 평직의 면 표본시료에서 가장 높은 수치를 나타내었다.
- 6) 두께와 무게에서는 시료별로 수치가 고른 분포를 보이고 있다.

3. 직물의 물리적 특성과 감성과의 관계분석

직물 16개의 물성특성과 심리적 감성 형용사 및 선호도(전반적인 감성)와의 상관관계를 구한 결과가 표 11에 제시되어 있다.

질감에 대한 반응인 형용사와 물성 특성간에 유의미한 상관관계가 많이 발견되었다. 그러나 표면마찰계수(miu), 마찰계수의 평균편차(mmd), 그리고 기하학적 거칠기(smd)의 표면특성의 역학적 성질 요인과 전단이력(S-2hg)의 전단요인 그리고 압축요인중 압축선형도(comp.lc)의 5개의 물성특성치는 내의류에 대한 심리적 감성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그리고 형용사를 중심으로 보면 “가볍다”, “끈끈하다”, “단단하다”, 그리고 “독특하다” 등은 상관성이 높은 물성특성치 변인의 수가 적은 것을 알수 있다. 특히, 인장회복도와 굽힘의 두 가지 특성치, 전단강성, 압축 에너지, 그리고 두께와 무게의 특성치들은 대부

분의 내의류 감성형용사와 유의미한 상관을 가지는 것으로 나타났다.

표 11. 물성치와 형용사간의 상관

	ten.em	ten.lt	ten.wt	ten.rt	bend.b	bend.2 hb	shear. g	shea r.2h	comp. lc	comp. wc	comp.r c	surf.m iu	surf.m md	surf.s md	thickn ess	weigh t
매끄럽다					.52*	.57*	.48*			.58**				.56**	.57**	
편편하다	.45*		.47*		.40*	.45*				.57**				.69**	.47*	
부드럽다		.49*			.56**	.58*	.63**			.42*					.43*	
폭신하다	-.46*	.77**	-.48*		.45*	.40*	.57**					-.53**				
얇다				-.60**	.45*	.53**				.72**	-.42*				.79**	.74**
따뜻하다	-.60**	.70**	-.64**	.46*						-.48*		-.54**			-.45*	-.60**
가볍다				-.64**		.47*				.62**	-.48*				.76**	.79**
편안하다		.64**			.53*	.52*	.64*									
청결하다			.39*	-.62**		.60*				.71**	-.43*				.72**	.63**
독특하다				-.41*				-.47*		-.44*				-.50*	.44*	.62**
상쾌하다			.44*	-.62**	.45*	.55**				.74**	-.47*				.78**	.65**
넓었다	-.56**		-.65**	.76**		-.40*				-.74**	.61**				-.78**	-.71**
시원하다	.43		.48*	-.60**						.72**					.73**	.69**
고급스럽다				-.58**	.49*	.57**	.41*			.70**	-.52*				.74**	.59**
섹시하다				-.61**	.47*	.57**	.40*	.39*		.70**	-.53*				.75**	.64**
끈끈하다		.57**					.41*					-.43*				
단단하다		-.71**			-.68**	-.67**	-.73**	-.40*				.48*				
신축성있다	-.81**	.86**	-.85**	.52*			.40*			-.49*					-.45*	.54**

표 12는 각 감성차원을 나타내는 형용사를 예언하기 위해 KES에 의한 물성 특성치와의 회귀 분석을 통한 회귀방정식을 구한 것이다. 회귀분석은 Stepwise regression방법을 사용하였다.

우선 물성 특성에 의해 가장 높은 설명변량을 나타내는 감성 형용사는 “신축성”, “가벼움”, “단단함”, 그리고 “독특함” 순으로 나타났고($R^2 > .80$), 설명력이 가장 작은 감성어휘는 “끈끈함”, “시원함”, “편안함”, 그리고 “상쾌함”($R^2 > .60$), 의 순으로 나타났다.

내의류에 대한 선호도에서는 $R^2 = .635$ 로 물성특성중 “두께”와 “전단” 두요인이 결정하는 것으로 나타났다.

표 12. 감성형용사를 예측하는 물성특성치

형용사	kawabata 물리량 측정치	
dependent v.	R ²	regression equation
매끄럽다	.785	.642 comp.wc + .581 surf.smd + .480 ten.lt
편편하다	.713	.631 surf.smd + .488 comp.wc
부드럽다	.785	.568 comp.wc + .745 ten.lt + .473 surf.smd
폭신하다	.777	.935 ten.lt + .648 surf.smd + -.428 surf.mmd
얇다	.617	.785 thickness
따뜻하다	.654	.571 ten.lt + -.428 weight
가볍다	.855	.719 weight + .151 shear.g + .433 comp.wc + -.294 surf.miu
편안하다	.557	1.165 shear.g + -.646 shear.2h
청결하다	.645	.577 thickness + .389 bend.2hb
독특하다	.821	.502 weight + -.711 surf.smd + .550 shear.2h
상쾌하다	.601	.775 thickness
납았다	.724	-.497 thickness + .445 ten.rt
시원하다	.536	.732 thickness
고급스럽다	.654	.617 thickness + .347 bend.2hb
섹시하다	.662	.627 thickness + .341 bend.2hb
끈끈하다	.325	.570 ten.lt
단단하다	.842	-.353 shear.g + -.642 ten.lt + -.452 comp.wc
신축성있다	.983	.515 ten.lt + -.788 ten.wt + .420 comp.lc
선호도	.635	.612 thickness + .432 shear.g

그리고 전반적인 감성을 나타내는 지표인 형용사 차원은 “매끄러움”과 “상쾌함”으로 설명변량이 R² = .913 으로 매우 높게 나타났다.

(예언식 : Y_{선호도} = 0.701 * “매끄러움” + 0.335 * “상쾌함”)

다른 변인보다도 “상쾌함”이 유의미한 예언변인으로 들어온 이유는 다른 형용사들과의 공변량이 적어 partial out되지 않았기 때문이다.

제 4 절 연구결과 요약

본 연구에서는 촉감 질감을 기술할 수 있는 물리량으로, 표면 거칠기, 표면 마찰 계수, 컴플라이언스를 도입하고, 이를 측정할 수 있는 방법을 정립하였으며, 측정 장치를 설계 및 제작하였다.

4가지의 직물 시편에 대하여 표면 거칠기, 마찰 계수, 컴플라이언스를 측정하였고, 이를 KES의 측정 결과와 비교하였다. 측정치들은 정성적으로 타당한 결과를 보여주었고, 이로부터 본 연구에서 제안한 시스템의 타당성을 검증할 수 있었다. 본 시스템의 측정 결과와 KES의 측정 결과를 비교해 볼 때, 가죽을 제외한 일반 직물의 경우 직물에 따른 상대적인 비교가 가능하였다. 가죽의 경우 상대적으로 다른 경향을 나타내었는데, 이는 KES가 가죽이 아닌 일반 직물에 적용되도록 제작되었음에 기인한다.

촉각측정장치의 개발과 관련된 앞으로의 과제로는 측정의 정밀도 향상과 거칠기 측정시의 접촉에 따른 영향 분석이 있다. 또한 단순한 스프링으로 모델링하기 어려운 직물에 대하여 점성 특성을 고려하여 부드러운 정도를 보다 정확하게 기술할 수 있는 방법을 확립하는 것이다.

본 연구에서는 철선을 이용한 제품의 표면 생성 시뮬레이터와 물체의 컴플라이언스를 재현할 수 있는 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템을 제안하였다. 이는 실제 제품의 표면을 철선을 이용하여 생성하고 이러한 표면에 컴플라이언스 특성을 부여함으로써 사람에게 실제 제품과 동일한 접촉감 또는 질감을 느끼도록 하는 방법이다. 즉, 사람이 일반적으로 실제 제품에서 촉감을 느낄때와 마찬가지로 재현된 제품의 표면위를 손가락으로 적절히 움직임으로서 느낄 수 있도록 하는 방법이다.

표면 생성 시스템과 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템을 실제로 구현하였는데, 표면 생성 시스템은 압전 시스템, 2축 테이블 구동 시스템, 영상처리 시스템, 철선 다발, 그리고 관련 하드웨어부품으로 구성되며 이들 시스템과 관련된 모든 입출력 인터페이스와 구동 소프트웨어를 작성하였다. 그리고 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템은 영구자석, 전자석, 위치센서, 시스템 하드웨어, 제어기로 구성되는데 이들 시스템과 관련된 모든 입출력 인터페이스와 구동소프트웨어를 작성하였다. 그리고 이들 시스템의 실험 가동을 수행함으로써 시스템의 작동원리 및 가능성을 확인하였다. 그러나, 아직까지 이 들 두 시스템이 표면 제시나 컴플라이언스 제시에 있어 현실감있는 우수한 성능을 나타내기 위해서는 보다 심도있는 연구가 요구된다.

촉감에 의해 유발되는 내의류 직물감성을 측정하기 위해 심리적 척도를 개발

하였다. 이 척도는 18개 형용사로 구성된 각각의 형용사는 7점척도의 Likert 척도이며, 감각형용사와 감성형용사로 구분된다. 또한, 19개의 표본직물을 선정하고 이들에 대한 KES 분석을 수행하여 역학적 특성을 획득하였다. 이를 바탕으로 직물의 역학적 특성과 감성간의 관계를 파악하고자 하였는데, “매끄러움”, “부드러움”, “고급스러움”, “편편함”, “섹시함”, “상쾌함”, 그리고 “편안함”을 예측해주는 물성특성중에서 두께, 압축과 기하학적 거칠기 등의 순으로 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

1. 촉각측정기술 개발

가. 표면 거칠기 측정 방법 개발

레이저를 이용한 비접촉 방식의 변위센서를 사용하여 시편의 거칠기 측정을 수행하였다. 본 측정 방법에서는 변위 센서는 고정된 상태에서 시편이 이동하게 된다. 본 장치에 사용된 거칠기 센서는 레이저를 이용한 변위 센서로서, 최대 5 mm까지의 변위를 측정할 수 있으며, 측정 분해능은 1 μm 가 된다. 거칠기 센서는 한국표준과학연구원의 길이그룹에서 보정하였다. (목표 달성도 100 %)

나. 표면 마찰특성 측정 방법 개발

마찰 특성, 즉 마찰 계수는 시편 운동 평면에 대한 수직 방향 힘과 시편 운동 방향을 따른 힘의 비로서 정의될 수 있으며, 이의 측정을 위하여 수직 방향과 운동 방향으로의 힘을 동시에 측정할 필요가 있다. 직물과 같이 방향성을 갖는 시편의 경우, 마찰 특성 역시 각 방향에 따른 분석을 필요로 한다. 이를 위하여 평면상에서 임의의 운동 방향으로의 힘을 측정하기 위한 x, y 방향과, 수직력을 측정하기 위한 z 방향 등, 모두 세 방향으로의 힘을 측정할 수 있는 센서가 필요함을 알 수 있다. 또한, 인간이 촉감을 감지할 때 흔히 행하는 원운동을 고려할 경우 시편 역시 원운동을 할 필요가 있으며, 이를 위하여 모우먼트의 측정 또한 필요함을 알 수 있다. 따라서, 본 측정 시스템에서 마찰 특성의 파악을 위하여는 세 방향으로의 힘과 한 방향으로의 모우먼트를 측정할 수 있는 센서가 기본적으로 필요함을 알 수 있다. 본 장치에 사용된 힘 센서는 x, y, z 세 방향의 힘과 모우먼트를 측정할 수 있는 6축 힘-모우먼트 센서로서, 한국표준과학연구원에서 자체 개발된 것이다. 이는 힘과 모우먼트에 대하여 각각 200 N과 20 N·m의 측정 범위를 갖는다. (목표 달성도 100 %)

다. 컴플라이언스 측정 방법 개발

시편의 부드러운 정도를 나타내는 컴플라이언스는 힘이 가해졌을 때의 시편의 변형 정도를 나타내는 상수로서, 스프링 상수의 역수가 된다. 따라서, 컴플라이언스의 측정은 시편에 가해진 힘과, 그에 의하여 시편의 변형된 정도를 측정함으로써 가능할 수 있다. 본 연구에서는 시편과 탐침자 끝단을 모두 스프링으로 가정하여 컴플

라이언스 측정 모델을 개발하였는데, 이의 측정은 변위센서와 힘센서를 동시에 사용하여 달성될 수 있다. (목표 달성도 100 %)

라. 촉각 측정 장치 제작

시편의 표면거칠기, 마찰 계수, 컴플라이언스를 동시에 측정할 수 있는 장치를 설계, 제작하였으며 그 성능을 시험하였다. 4개의 시험 직물에 대하여 물리량들을 측정하였으며, 그 결과를 KES를 이용한 결과와 비교하였는데, 이로부터 본 연구에서 개발한 측정장치의 성능을 검증할 수 있었다. 촉각 측정장치의 개발은 의류 뿐 아니라 촉각이 중요한 요소가 되는 다양한 산업분야에서 촉감의 객관화를 통한 감성 제품의 개발에 유용하게 쓰일 수 있을 것이다. (목표 달성도 100 %)

2. 질감제시기술 개발

가. 표면 생성 기술 개발

본 연구에서는 철선다발을 이용하는 표면 재현기술을 제안하였다. 우선 제안된 방법이 어느정도 실현가능성이 있는가에 대한 타당성을 조사하기 위하여 첫째 단계로서 가는 철선을 이용하여 다발을 만들고 이 철선 다발이 실제로 어느 정도의 표면까지 생성하기 위해 활용될 수 있는가에 관하여 조사하였다. 또한, 실제로 표면 생성 시스템을 구현하고 철선다발의 제작 및 철선 끝면의 가공을 수행하였으며, 이러한 철선다발을 이용하여 표면 생성이 가능하다는 것과 그 가능성을 확인하였다. (목표 달성도 100 %)

나. 컴플라이언스 재현 기술 개발

물체의 표면의 성질중 컴플라이언스 특성을 재현하기 위하여 자력을 이용한 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템을 제안하였으며 이러한 시스템의 기초설계를 수행하였다. 또한, 실제의 컴플라이언스 제시 시스템을 제작하였으며 시스템에서 요구되는 위치센서와 하드웨어의 설계 제작을 완료하였다. 그리고 선형모델에 근거한 간단한 PD제어법을 사용하여 원하는 컴플라이언스 특성이 재현되는가에 관한 실험을 수행하였다. 그러나, 제작된 시스템의 경우 재현할 수 있는 컴플라이언스의 폭이 다소 제한되었으며 이는 시스템의 마찰력과 관성, 센서의 noise, 그리고 하드웨어 자체의 부정확성으로 인한 것임을 확인하였다. 이러한 시스템들의 단점이 보완되는 경우가 시스템들의 성능이 매우 향상될 것으로 판단된다. (목표 달성도 100 %)

3. 촉각과 감성과의 상관관계 규명

가. 촉감에 의한 질감의 심리척도 개발

질감을 표현하는 형용사들을 추출하여 최종적으로 18개의 감각 및 감성을 구분한 Likert Scale을 개발하였으며 이 척도의 신뢰도(reliability)는 매우 높았다. 이들 18개의 형용사는 요인분석결과 5개의 주된 요인으로 묶였으며 구성타당도가 높은 척도이다.

본 척도는 감성반응을 타당하고 신뢰롭게 평가할 수 있게 해주므로, 소비자의 관점에서 직물의 질감 연구 및 제품 디자인에 유용하게 활용될 수 있으며, 앞으로 학계와 산업계에 기여도가 매우 클 것으로 기대된다. (목표 달성도 100%)

나. 질감의 선호도에 관련된 소비자의 중요 심리 반응 분석

19종의 내의 표본에 대한 세 차례의 측정을 통해, 내의 직물의 선호도(감성)에 영향을 미치는 주된 감각적 감성요인을 추출하였다. 특히 “매끄러움”, “부드러움”, “섹시함”, “편안함”, “폭신함” 등의 감성요인이 선호직물과 비선호 직물을 매우 잘 구분해 주는 소비자의 대표적 감성이므로, 향후 제품 디자인 및 제품 생산시 이들 대표적 감성요인을 중요하게 고려해야 할 필요성이 크다. 이러한 연구는 국내외에서 연구된 적이 없어 매우 가치가 있으며 산업계 활용시 고부가가치를 창출할 수 있는 연구이다. (목표 달성도 100 %).

다. 질감감성과 직물의 역학적 특성관계 규명

본 연구의 가장 중요한 결과로, Kawabata Evaluation System을 이용하여 시료 내의 직물의 16개 물성 특성을 분석하였으며, 이들 특성이 감성에 어떠한 영향을 미치는지를 회귀 분석을 통해 분석하였다. 본 연구의 시료직물 중 선호되는 내의류들은 폴리에스테르(속칭, 물실크)종류이었으며, 가장 비선호되는 것들은 망사나 모시메리로 나타났다. 내의류 선호도에 가장 많은 영향을 미치는 주된 심리적 특성인 “매끄러움”, “부드러움”, “섹시함”, “편안함”, 그리고 “폭신함” 등을 결정짓는 방정식을 만들었다. 산업계에서 감성적인 내의개발시, 본 연구를 토대로 소비자의 최고 감성 반응을 유발할 수 있는 물성특성이 최적으로 조합된 고부가가치 감성제품을 생산할 수 있다. 이러한 내의류에 대한 연구는 세계적으로 시도된 바 없는 것으로 일본에서는 신사복, 여성복 등에 대하여 연구하

였고, 우리와 그들 문화와 용어, 감성등이 차이가 나기 때문에 본 연구 결과는 매우 의미가 깊은 연구이다. (목표달성도 100 %).

4. 연구 실적 (특허 및 논문발표)

가. 국내학술지

1. 박연규, 강대임, 송후근, “촉감의 물리량 측정 시스템 개발 및 응용에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집 심사중, 1998.
2. 손진훈, 박현영, 이임갑, 최상섭, 강대임, “내의 직물의 역학적 특성과 질감 감성과의 관계,” 감성과학, 1(2), pp.35~41, 1998.

나. 국제 학술회의

1. Jin-Hun Sohn, Jae J. Im, Dae-Im Kang, Ji-Eun Kim, Kyung-Hwa Lee, Hyung S. Yeo, "Evaluation of emotional changes based on the wavelet transform of EEG signals evoked by tactile stimulation," The J. of the Society for Psychophysiological Research, 34, p.s83, 1997.
2. W. K. Kim, D. I. Kang, H. S. Kim, M. G. Kim, "Design of new spring type constant-force mechanism," Proceedings of IMEKO TC3/APMF '98 International Conference on force, mass and torque measurements, Taejon, Korea, Sept. 14-18, pp.429~435, 1998.
3. Y. H. Kwon, D. I. Kang, "Application of 3-component load cell to surface characteristics measurement system for tactile perception," Proceedings of IMEKO TC3/APMF '98 International Conference on force, mass and torque measurements, Taejon, Korea, Sept. 14-18, pp.442~446, 1998.

다. 국내 학술회의

1. 문지성, 권영하, 장승호, 강대임, 이주영, 강재식, “질감의 객관적 표현을 위한 표면특성 측정장치의 설계,” 1997년 추계한국섬유공학회 학술발표회 논문집, pp.354~358, 전주, 1997.
2. 임재중, 손진훈, 강대임, 여형석, 김지은, “뇌파의 시간-주파수 분석을 통한 피부감성 평가,” 1997년 한국감성과학회 연차학술대회 논문집, pp.90~93, 서울, 1997.

3. 문지성, 권영하, 이주영, 강대임, “질감의 객관적 표현을 위한 특성 측정장치의 설계,” 1997년 한국감성과학회 연차학술대회 논문집, pp.16~21, 서울, 1997.
4. 강대임, 박연규, “촉각질감의 물리적 성질 측정 시스템 개발,” 1998년 한국감성과학회 춘계학술대회 논문집, pp.243~248, 대전, 1998.
5. 박연규, 강대임, 송후근, “촉감의 물리량 측정 시스템 개발 및 응용에 관한 연구,” 1998년 재료 및 파괴 학술대회 논문집, pp.29~34, 수원, 1998.

라. 특허

1. 강대임, 박연규, 송후근, 김희국, 권영하, 손진훈, “질감제시 방법 및 장치,” 특허출원번호 98-11883호, 한국, 미국 및 일본 출원중, 1998.
2. 강대임, 박연규, 송후근, “촉각측정장치,” 특허출원중, 1998.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서 제작한 질감 제시 시뮬레이터는 다양한 질감 자극에 대한 인간 감성의 연구에 기여할 수 있을 뿐 아니라 촉각이 중요한 요소로 작용하는 제품의 개발에 있어 고 부가가치를 부여할 수 있는 유용한 것이다. 이는 전체 인간 감성 모의 환경 제시 시뮬레이터 시스템의 일부 시스템으로서 사용되어 다른 감각 제시기와 조합된 형태로 사용될 수 있으며, 또한 촉각 환경 변화에 따른 감성 측정 등에 이용되는 별도의 시뮬레이터의 역할을 수행할 수 있을 것이다.

촉각이 중요한 요소로 작용하는 제품에 있어서, 그 디자인 단계에서 가상적인 촉감을 미리 제시함으로써 제품에 대한 소비자의 감성을 미리 예측하는 데 사용할 수 있다. 이는 제품 개발에 대한 노고와 비용을 줄일 수 있는 효과적인 방법이 될 뿐 아니라, 인간 감성이 충분히 반영된 시장에서의 성공 가능성이 높은 고부가가치 제품의 생산을 가능하게 할 것이다. 인간의 피부와 항상 접촉을 하고 있는 섬유제품의 개발 뿐 아니라 가구, 페인트, 자동차, 건축, 제지 등에 응용될 수 있으리라 기대되는 바이다. 특히 98년 대통령 연두기자회견시 섬유제품의 국제 경쟁력을 확보할 수 있는 방안을 강구하도록 지시한 바 있으며 98년 7월초 대통령이 과학기술부를 방문한 자리에서도 섬유산업을 벤처기업에 포함시켜 고부가가치를 창출할 수 있도록 지시한 바 있다. 본 연구에서 개발한 질감 시뮬레이터는 섬유산업의 고부가가치를 확보하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

질감 제시 시뮬레이터의 부 시스템으로서 제작된 촉각 측정 장치는 질감 제시에 필요한 기초 자료를 제공함과 동시에 촉감에 대한 객관적인 측정을 가능하게 함으로써, 섬유 뿐 아니라 자동차, 가전/정보기기 제품, 생활용품 등의 질감평가에 활용될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구를 통해 구비된 감성에 관한 DB는 한국인을 대상으로 한 것으로서, 한국적인 디자인의 기본자료로서 활용될 수 있다.

본 연구에서 세계 최초로 개발한 질감 제시 시뮬레이터는 표면거칠기, 마찰특성, 킴플라이언스를 구현할 수 있는 장치로서 감성의류 등 실제 제품에 응용하기 위해서는 열전달 제시방법, 진동을 이용한 미세조절방법의 개발 및 통합연구를 수행하여야 하고 시각질감과 통합연구도 수행되어야 한다. 이를 위해서 지속적인 추가연구가 필요하다.

각종 섬유제품 중에서 촉각의 중요도가 강조되는 대표적인 제품은 각종 속옷 등의 인너웨어 제품이라 할 수 있다. 따라서, 인너웨어야말로 본 연구에서 수행한 촉

각 측정 및 질감제시기술을 적용하여 고부가가치 제품을 개발할 수 있는 최적의 제품 분야 중의 하나이다. 본 연구진은 계속되는 감성공학 2단계 사업에서 “착용감/쾌적성을 고려한 감성적 인너웨어 개발” 과제를 지속적으로 추진할 계획이다.

섬유산업이 아닌 다른 산업 분야에서 촉각이 중요한 요소로 작용하는 산업으로 화장품 산업을 들 수 있다. 화장품은 여성의 외모를 가꾸는 역할로 인해 시각적인 면이 강조되는 제품이지만, 실제로 인간의 피부와 접촉하기 때문에 촉각 역시 중요한 인자가 되는 제품이다. 기존의 화장품 개발 시 촉각의 평가는 전적으로 평가자의 느낌에만 의존하고 있는 상황이며, 따라서 화장품에 의한 촉감의 객관화는 고품질 화장품의 개발에 큰 도움을 줄 것이라 기대된다. 이는 본 연구에서 개발한 촉각 측정장치의 유용한 응용 분야가 될 것이다.

제 6 장 참고문헌

1. 김철중, “감성공학 기술 개발,” 감성공학기술, 한국표준과학연구원, pp. 22~30.
2. 박연규, 강대임, 송후근, “촉각 질감의 물리적 성질 시스템 개발,” 한국감성과학회 98 춘계학술발표논문집, 시스템공학연구소, pp.243~248, 1998.
3. 박연규, 강대임, 송후근, “촉감의 물리량 측정 시스템 개발 및 응용에 관한 연구,” 대한기계학회 재료 및 파괴부문 98 학술대회논문집, 성균관대학교, pp.29~34, 1998.
4. 손지훈, 임재중, “피부감각의 감성측정 기술 및 DB 개발,” 충남대 중간 내부보고서, 1997.
5. M.S. Sanders, E. J. McComick, *Human Factors in Engineering and Design*, McGraw-Hill, 1987.
6. R.A. Grupen, T.C. Henderson, T.D. McCammon, “A survey of general purpose manipulators,” *Int'l J. Robotics Research*, 8(1), pp.38~62, 1989.
7. Robert J. Stone, “Advanced human-system interfaces for telerobotics using virtual reality and telepresence technologies,” *ICAR'91*, pp.168~173, 1991.
8. J.D. Foley, “Interfaces for advanced computing,” *Scientific American*, pp. 127~135, 1987.
9. B.T. Tan, “Sensor application to space-suit glove,” in J.G. Vedbster(Ed.) *Tactile sensors for robotics and medicine*, John Wiley and Sons, NY, pp.331~340, 1988.
10. R.S. Fearing, “Tactile Sensing Mechanisms,” *The International Journal of Robotics Research*, 9(3), pp.3~23, 1990.10.
11. M.R. Cutkosky, J.M. Jourdain, and P.K. Wright, “Skin Materials for Robotic Fingers,” *IEEE*, pp.1649~1654, 1987
12. S. Kawabata, *The Standardization and Analysis of Hand Evaluation*, The Hand Evaluation and Standardization Committee, 1980.
13. 문지성, 권영하, 이주영, 강대임, “질감의 객관적 표현을 위한 표면 특성 측정장치의 설계,” 97 한국감성과학회 연차학술대회논문집, pp.16~21, 1997.
14. R.D. Howe, W.J. Peine, D.A. Kontarinis, and J.S. Son, “Remote Palpation Technology for Surgical Applications,” *The IEEE Engineering in Medicine*

- and Biology Magazine, 14(3), pp.318~323, 1995.
15. S. Chonan, Z. Jiang, M. Tanaka, Y. Suga, and Y. Tanahashi, "Palpation Probe for Detecting Prostatic Cancer and Hypertrophy," Proceedings of the 2nd Asian Control Conference, pp.183~185, 1997.
 16. R.D. Howe and M.R. Cutkosky, "Dynamic Tactile Sensing: Perception of Fine Surface Features with Stress Rate Sensing," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 9(2), pp.140~151, 1993.
 17. 강대임, 김갑순, 정수연, 주진원, "실험계획법을 이용한 쌍안경식 6축 로드셀의 설계 및 상호간섭 오차 평가," 대한기계학회 논문집(A), 21(11), pp.1921~1930, 1997.17.

여 백

'97특정연구개발사업
위탁연구보고서

촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구

Study on the Development of
Tactile Measurement and Texture Reproduction
Simulator

위탁연구기관 : 고려대학교

한국표준과학연구원

여 백

제 출 문

한국표준과학연구원장 귀하

본 보고서를 한국표준과학연구원 '97년도 특정연구개발사업의 위탁연구개발과제인 "촉각측정 및 질감제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구"의 보고서로 제출합니다.

1998년 9월 30일

위탁연구기관명 : 고려대학교

위탁연구책임자 : 김희국

연 구 원 : 양윤모

연 구 원 : 이승은

연 구 원 : 송호섭

연 구 원 : 한주용

여 백

요 약 문

I. 제목

촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 주요 산업제품 및 환경 평가에 활용될 수 있는 모의환경 제시 시뮬레이터 시스템의 일부 시스템으로서 제품의 촉각/질감과 관련된 물리적 환경을 인공적으로 자유롭게 바꿀 수 있는 촉각/질감 제시 시뮬레이터의 개발 및 이에 관련된 기반기술을 확보하는 것을 목표로 한다. 이러한 촉각 및 질감 제시 시뮬레이터는 재현된 가상 제품의 촉각/질감에 대한 인간감성의 반응특성을 측정/분석하기 위하여 활용될 수 있으며 궁극적으로는 인간에 의한 촉각/질감과 관련된 감성실험을 대체할 수 있으므로 제품의 설계 및 개발시간을 단축시킬 수 있게 할 것이다. 이와 같이 본 연구의 성공적인 결과는 여러 산업분야에 소비자의 취향을 충족시킬 수 있는 고부가가치 제품의 생산을 가능케 할 수 있으므로 매우 필요하다고 판단된다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

촉각/질감 제시 시뮬레이터의 개발을 위하여 1차년도에 물체의 표면생성과 물체의 콤플라이언스와 같은 촉각과 관련된 재질의 두 가지 특성을 재현할 수 있는 시스템을 제안하였다. 이러한 연구에 이어 당해연도에서는 표면생성 시스템과 콤플라이언스 시뮬레이터 시스템의 구현과 관련된 상세 설계를 수행하고 실제로 이 두가지 시스템을 제작하였다. 그리고 시스템에 대한 성능시험을 통하여 작동원리에 대한 타당성과 이들 시스템이 촉각/질감 제시 시뮬레이터의 부시스템에 적합한 성능을 가질 수 있는지를 확인할 수 있었다.

IV. 연구개발결과

○ 표면 생성 시스템

- 표면 생성을 위한 여러 셀의 철선다발 가공 및 제작(직경 0.25mm),
- 비전을 이용한 철선의 위치 확인 소프트웨어 작성,
- 표면 생성 시스템 제작 및 입출력 인터페이스, 구동 소프트웨어 작성,
(2축 테이블 구동 시스템 + 1축 PZT 액츄에이터 시스템)
- 표면 생성 성능 시험 수행.

○ 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템

- 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템 상세 설계 및 제작,
- 입출력 인터페이스 및 구동 소프트웨어 작성,
- 기초 성능 시험 수행(기초적인 콤플라이언스 재현 기술 및 성능확인).

V. 연구개발결과의 활용계획

- 표면 생성 시스템을 이용하여 임의의 제품표면을 생성함으로써 표면에 관한 데이터 베이스 구축에 관련된 작업에 유용하게 활용할 수 있을 것임.
- 표면 생성시스템을 이용하여 제품의 가상 표면을 생성함은 물론 제품의 콤플라이언스 특성을 재현함으로써 가상 제품의 촉각/질감의 재현 기능을 갖춘 시뮬레이터로의 활용이 가능할 것으로 예상됨.
- 촉각/질감 측정 시스템과 함께 본 과제 의 궁극적인 목표인 감성을 고려한 촉감/질감 측정 및 제시 시뮬레이터의 개발에 매우 유용한 활용될 것임.

목 차

제 1 장 서론	65
제 2 장 국내.외 기술개발 현황.....	69
제 1 절 문헌조사.....	69
제 2 절 촉각 측정 센서 및 물체의 접촉성질.....	74
1. 촉각 측정 센서의 성능사양.....	74
2. 물체의 접촉성질.....	75
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과.....	79
제 1 절 표면생성기술.....	79
1. 표면 생성기의 사양.....	79
2. 표면 생성기 설계.....	79
3. 표면 제시기의 작동원리.....	85
4. 영상처리.....	86
5. 하드웨어 인터페이스 및 작동 소프트웨어.....	97
6. 실험 및 고찰.....	100
제 2 절 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템.....	102
1. 콤플라이언스 에뮬레이터 설계.....	102
2. 콤플라이언스 에뮬레이터의 모델링.....	104
3. 자석의 반발력 해석.....	106
4. 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 구동 알고리즘.....	110
5. 실험 및 고찰.....	112
제 3 절 하드웨어 구성.....	116
1. 표면 생성기 하드웨어.....	116
2. 콤플라이언스 에뮬레이터 하드웨어.....	119
제 4 절 결론.....	121

1. 결론.....	121
2. 향후과제.....	122
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도.....	125
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획.....	127
제 6 장 참고문헌.....	128
부록 A : PZT 액츄에이터 시스템 및 관련 부품 도면.....	131
부록 B : 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템 관련 부품 도면.....	134
부록 C : 철선다발집 도면.....	138
부록 D : 표면 제시 프로그램.....	139
부록 E : 콤플라이언스 에뮬레이터 프로그램.....	155

도 표 목 차

그림 1. 촉각(표면 거칠기+컴플라이언스) 제시 시스템의 계통도.....	68
그림 2. Three methods of providing touch feedback using pressurized air... (a) air-jet. (b) air-pocket, (c)air-ring	70
그림 3. Vibro-tactile stimulation	71
그림 4. The principle behind using electro-tactile stimulation	72
그림 5. Exploratory procedure and associated object properties.....	78
그림 6. 철심다발집과 다발집 고정대.....	80
그림 7. 표면 생성 시스템의 개략도.....	81
그림 8 압전 액츄에이터 시스템.....	83
그림 9 LVDT probe의 장착 형태 a) 직렬형, b) 병렬형.....	84
그림 10. 컴플라이언스 에뮬레이터와 철선다발집의 개략도.....	86
그림 11. 영상 시스템 구성.....	88
그림 12. 영상 처리 흐름도.....	88
그림 13. 획득한 영상의 예.....	90
그림 14. 히스토그램 계산 결과.....	91
그림 15. blob 계산 결과.....	95
그림 16. 철심 이미지 조합 결과.....	96
그림 17. 전체 시스템 하드웨어 인터페이스.....	98
그림 18. 경로 계획 과정.....	99
그림 19. 영구자석 및 전자석 시스템.....	104
그림 20. Calculation of axial induction of a circular current I'	107
그림 21. An ideal electro-magnet of Length L_e	108
그림 22. 표면 생성 시스템.....	116
그림 23. 컴플라이언스 이뮬레이터 시스템.....	120

표 1. 센서데이터로부터 직접 추정될 수 있는 접촉성질.....	76
표 2. 영상 시스템 사양.....	87
표 3. PZT 구동 시스템 부품 및 사양.....	117
표 4. 2축 테이블 구동 시스템 관련 부품 및 사양.....	118

제 1 장 서 론

인간의 감성은 시각, 미각, 청각, 촉각, 후각으로 구성되는 오감과 관련이 있다. 이 중에서 특히 촉각에 대한 측정이나 이를 정량화하는 방법은 매우 어려운 난제로 알려져 있다. 그러나, 이러한 촉각 감성의 정량화 및 인간 감성과의 상관관계 분석이 이루어지고 더 나아가서 촉각 감성을 정량적으로 측정하거나 이를 인간의 감성 지수와 연관시켜서 평가할 수 있는 기술의 개발과 가상제품표면과 가상촉감을 재현시킬 수 있는 시뮬레이터의 개발이 성공적으로 이루어진다면 인간에 의한 촉각/질감 감성 실험을 대체할 수 있으므로 제품의 설계 및 개발시간을 단축시킬 수 있다. 그러므로, 여러 산업분야에 다양한 소비자의 취향을 충족시킬 수 있는 고부가가치 제품의 생산이 가능해진다. 실제로, 현재 여러 산업분야에서 제품의 개발에 있어 이미 감성을 고려한 제품의 개발에 역점을 두고 있으며 이들의 공통적인 목표는 생활환경의 개선과 삶의 질을 향상시키는 데 있다. 또한, 이러한 제품을 접하게 되는 소비자들의 편안함과 편리함에 대한 욕구는 더더욱 증가하고 있는 실정이다.

특히, 이미 일본을 선두로하여 몇몇 선진국에서는 소비자의 육체적인 욕구는 물론 소비자의 감성까지를 고려한 감성공학에 대한 본격적인 연구가 시작 또는 진행되고 있다. 이러한 국제적인 추세에 적절히 대처하여 국가 경쟁력을 증가시키기 위해서는 소비자의 욕구를 충족시킬 수 있는 제품을 생산, 제공할 수 있어야 할 것이다.

본 연구에서는 촉각과 관련된 제품의 특성을 제시할 수 있는 기술 및 제시 시스템의 개발에 목표를 두고 있으며 이러한 연구에 선행되어 이미 개발되어 있는 촉각 측정 및 제품의 특성 분석 등을 수행할 수 있는 기존 시스템 및 이들의 한계성등에 관하여 기술하면 다음과 같다. 현재까지 촉각을 측정하는 여러 형태의 촉각 센서에 대한 연구가 수행되고 있으며 이미 상품화된 다양한 형태의 촉

각 센서들이 제시되고 있다.[20] 그러나, 아직 측정된 촉각과 인간의 감성을 접목시킴으로서 촉각 감성을 정량적으로 측정하거나 이를 인간의 감성 지수와 연관시켜서 평가할 수 있는 기술은 선진국에서도 초보단계에 있다.

1980년대에 의류업계를 중심으로 직물의 촉감 평가기술에 대한 연구가 수행된 바 있으며 대표적인 예로서 일본의 Kawabata와 호주의 Postle의 연구를 들 수 있다. 특히, Kawabata의 결과(Kawabata evaluation system:KSE)는 일본의 섬유회사에서 도입하여 사용중에 있으나 한국형 데이터 베이스가 구축되지 않은 상태이므로 사용상에 많은 어려움이 있다. 더구나, Postle의 결과와는 서로 상반된 결과를 나타냄으로 국내에서의 KSE의 효용성에 많은 의문이 제시되고 있다. 이러한 상반된 결과가 도출된 이유로는 문화, 환경, 기후, 또는 지역적인 요인이 이들에 많은 영향을 주는 것으로 추측되고 있으며 이러한 측면에서, 촉각 측정 및 질감 제시 기술이 우리 실정에 맞도록 개발되어야 한다. 그리고 이러한 결과는 가까운 미래에 수입개방사회의 압력에 대응하여 강인한 고부가가치의 국내 산업 제품을 생산할 수 있게 함으로서 커다란 수입대체 효과를 발생시킬 것이므로 경제·사회·기술적인 측면에서 매우 중요한 영향을 미칠 수 있을 것이다.

이와 같이 가상촉각을 재현하는 촉감 모의 환경 제시 기술과 촉감 측정 및 질감 제시 기술이 커다란 산업적 가능성이 있음에도 불구하고, 현재까지 이들 분야에 관한 연구는 개념의 정립단계에 있다. 그러므로, 본 연구에서는 감성평가 시뮬레이터의 개념설계 및 모의 환경 제시 시스템 구축에 대한 일부분으로서 촉각과 질감에 대한 제시 시뮬레이터의 구현에 관한 연구를 수행한다.[1] 제품과 환경에 대한 인간감성의 반응특성을 측정, 파악하기 위하여 인공적으로 물리적 환경을 자유롭게 바꿀 수 있는 촉각/질감 제시 시뮬레이터의 개발 확보를 목표로 하며 궁극적으로는 주요 산업제품 및 환경평가에 활용될 수 있는 모의 환경 제시 시뮬레이터의 부시스템을 개발하는 것이다.

구체적으로, 본 연구에서는 직물 뿐 만 아니라, 가전/정보기기용품, 생활환경용품, 자동차, 제지, 플라스틱, 금속가공면, 목재가구 등과 같은 제품의 표면에서 느

끼는 촉감/질감 제시 시뮬레이터의 개발을 목표로 한다. 특히, 촉각 및 질감 제시 시뮬레이터는 표면생성, 콤플라이언스, 레질리언스, 플라이언스, 마찰감, 진동감, 온도감등과 같은 촉각과 관련된 수많은 물체의 특성을 재현하여야 하지만 제 1 차년도에서는 다음과 같은 두 가지 제품의 특성(즉, 1) 표면생성, 2) 콤플라이언스 특성 재현)들을 활용하여 촉감을 재현할 수 있는 시뮬레이터를 제시하고 이들 시스템의 설계를 수행하였다. 당해연도인 제 2 차년도에서는 이들 두 시스템의 상세설계를 수행하고 이들 시스템의 작동과 관련된 인터페이스 및 작동 소프트웨어의 개발을 완료하였다.

제품의 표면생성에 관해서는 표면의 거칠기에 따라 미세 표면과 거친 표면로 분류할 수 있는데 미세 표면을 생성하고자 하는 경우 직접적으로 제품을 가공하는 방법 이외에는 현존하는 마이크로 액츄에이터 기술로는 한계가 있다. 그러나, 가공을 통하여 생성된 미세표면의 경우 모든 표면이 균일한 표면 거칠기를 갖는다. 실제로, 현재의 공작기술은 마이크로 단위까지 도달되어 있으므로 균일한 표면 거칠기 패턴을 가지는 시편을 제작하는 데는 어려움이 없으며 이미 상품화된 여러 종류의 표면 거칠기를 가지는 시편이 있다. 그러나, 가공을 통하여 임의의 표면 거칠기를 가지는 표면을 생성하고자 하는 경우에는 한계가 있다. 그러므로, 본 연구에서는 기계적인 방법을 활용하여 이러한 임의의 표면을 생성할 수 있는 표면 생성 시스템(surface generator)의 설계 및 구현을 수행하였다.

이상과 같은 표면 거칠기를 생성하는 표면 생성 시스템과 더불어 제품의 콤플라이언스 특성을 재현할 수 있는 에뮬레이터 시스템의 상세 설계 및 모형 시스템을 제작하였다. 그리고 이 시스템에 관한 성능을 조사하였다. 이상과 같은 각 시스템을 구성한 후, 이들 각 시스템으로부터 재현되는 각 기능들(예를들면, 표면생성, 콤플라이언스 재현)을 적절히 접합시킴으로서 보다 향상된 촉감을 재현할 수 있는 시뮬레이터를 개발하고자 하는 것이 본 연구과제의 궁극적인 목표이다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 표면 생성 시스템과 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템이 접합된 촉각 제시 시뮬레이터 시스템의 계통도를 나타낸다.

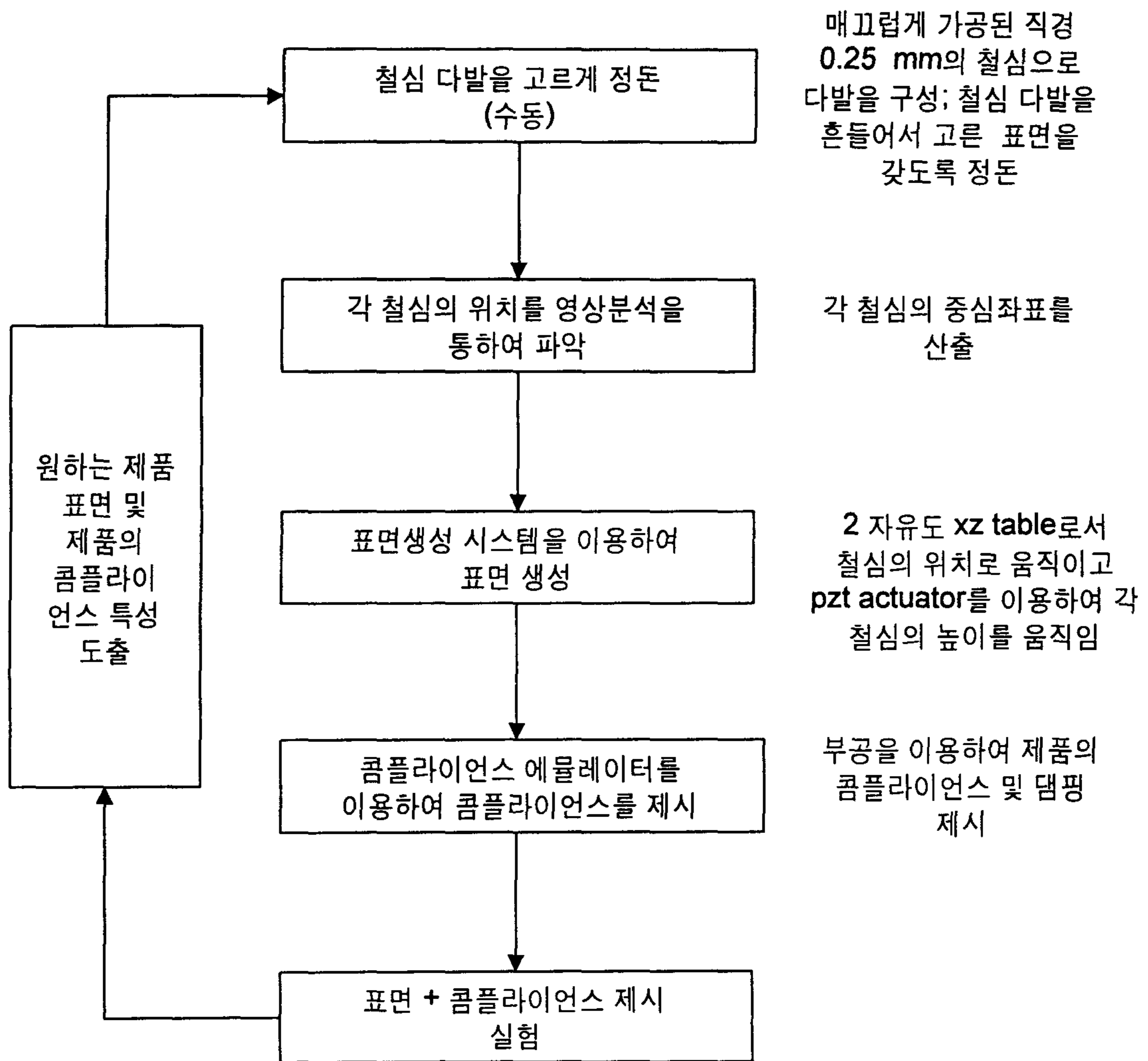


그림 1. 촉각(표면 거칠기+컴플라이언스) 제시 시스템의 계통도

제 2 장 국내·외 기술개발현황

제 1 절 문헌조사

대부분의 질감 및 촉감에 관한 국내연구는 감각과 생리신호적 반응에 주안점을 두고 있으며 국내에서의 연구는 매우 미약한 상태이다.[2] 질감의 경우, 일본의 Kawabata system은 옷감에 한하여 인장성질(tensile property), 굽힘성질(bending property), 표면성질(surface property), 전단성질(shearing property), 압축성질(compressional property), 무게와 두께(weight and thickness)등과 같은 역학적 성질을 측정하여 옷감의 성질을 분석하고 이를 질감이나 촉감과 관계를 나타내고 있다고 주장하고 있으나 옷감을 제외한 가전제품이나 그밖의 딱딱한 일반적인 제품의 경우에는 이러한 시스템을 활용하는 것이 매우 제한된다.[3]

촉각의 경우 시각, 청각, 역각의 정보와는 달리 물체와의 매우 세밀한 접촉반력에 관한 정보를 제공함으로써 물체의 재질이나 질감 등을 파악하는 데 매우 중요한 감각중의 하나이다. 앞에서 언급한 옷감의 성질에 관한 연구이외에도, 사람이 직접 수행하기에는 너무 위험한 작업이나 원격지에 떨어져 있는 작업을 수행하기 위한 원격 로봇 시스템의 개발에 관한 연구가 많이 수행되어 오고 있는데, 이러한 시스템에서 가장 주요한 목표중의 하나는 원격지에 있는 환경을 있는 그대로 현실감있게 원격 조작자에게 전달하는 것이다. 대부분의 원격작업이 불확실한 환경속에서 물체와의 접촉을 수행하는 작업으로 이루어지므로 초기에는 힘 반향 기능에 역점을 둔 연구가 많이 수행되었다. 그러나, 최근에는 이보다 더 향상된 촉각의 반향 기능에 관한 연구도 많이 수행되고 있다. 이러한 기존의 촉각반향에 관한 연구는 크게 시각정보를 제공하는 이용하는 방법, 공압 자극을 제공하여 촉각을 반향하는 방법, 진동자극을 이용하여 촉각을 반향하는 방법, 전기자극을 이용하여 촉각을 반향하는 방법, 신경에 전기자극을 가함으로써 촉각을 반향하는 방법등이 제안되었다.[4]

시각 정보를 제공하는 방법은 slave finger(종 손가락)의 촉각상태(touch status)를 아이콘, 접촉력을 수치 또는 그래픽을 이용하여 표현하는 방식으로서 접촉력을 시각정보를 바꾸기 때문에 현실감있는 촉각 정보를 제공할 수 없는 단점이 있다.[5] 공압자극은 그림. 2와 같이 공기분사(air-jet), 공기주머니(air-pocket), 공기고리(air-ring), 등을 이용하여 종 손가락에 발생하는 촉각력을 원격조작자에게 전달하는 방식을 취하고 있다.[6][7] 이러한 방식은 힘 또는 진동의 형태로 촉각력을 반향하며 비교적 크고 안정된 힘을 전달할 수 있는 것으로 알려지고 있다. 그러나, 고주파 대역에서 잡음의 영향이 많고 부피가 매우 커짐으로 미세한 촉각정보의 전달이 어려운 단점이 있다.

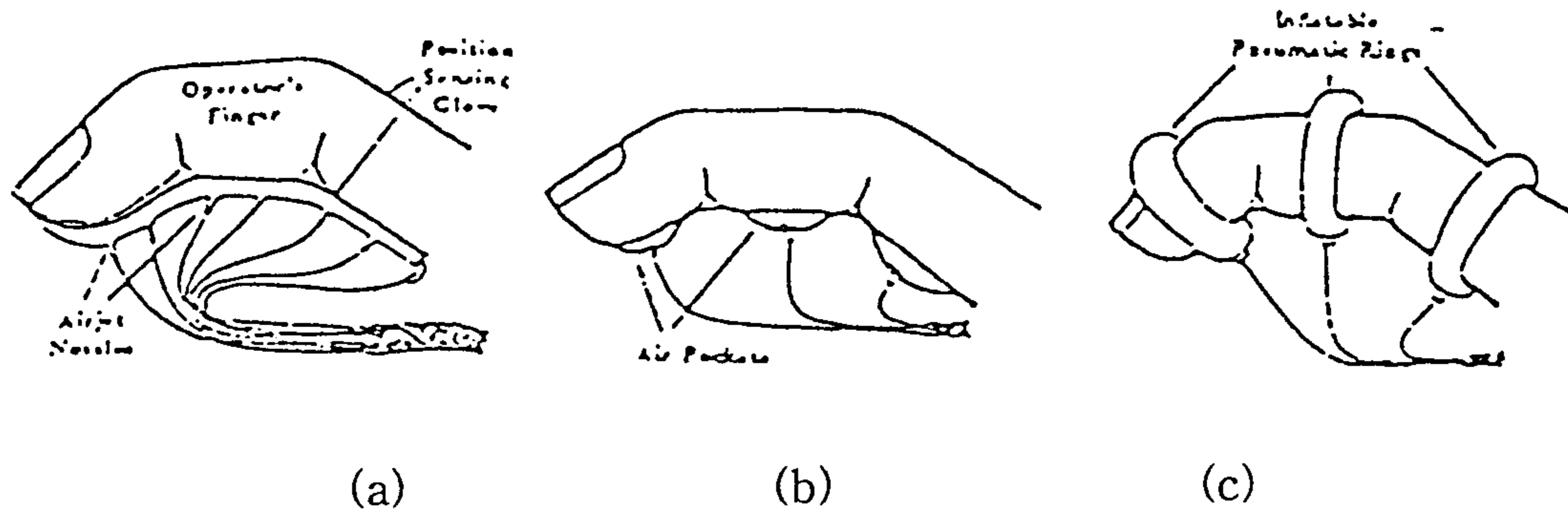


그림 2. Three methods of providing touch feedback using pressurized air:

(a) air-jet. (b) air-pocket, (c)air-ring [4]

진동자극을 이용한 방법으로서는 그림 3과 같은 핀 진동방식, vibrating voice coil을 이용한 방식, piezoelectric crystal을 이용한 방식등이 있다.[8] 핀 진동방식은 큰 힘을 낼 수 있지만 높은 전력이 요구되며 시스템의 중량이 큰 단점이 있다. 특히, Ohio 대학에서는 맹인들을 위하여 진동핀을 적당한 간격으로 배치한 후 진동을 사람의 손가락 끝부분에 가하여 의사전달의 방법으로 활용될 수 있는가에 관한 연구를 수행하고 있다.

그러나, 이러한 진동핀을 사용하는 경우, 진동핀의 구동 메카니즘의 복잡성이나 진동핀 사이의 간격제한으로 인하여 현실적인 접촉감을 재현하는 데 한계가 있으며 앞으로 많은 개선이 요구된다.

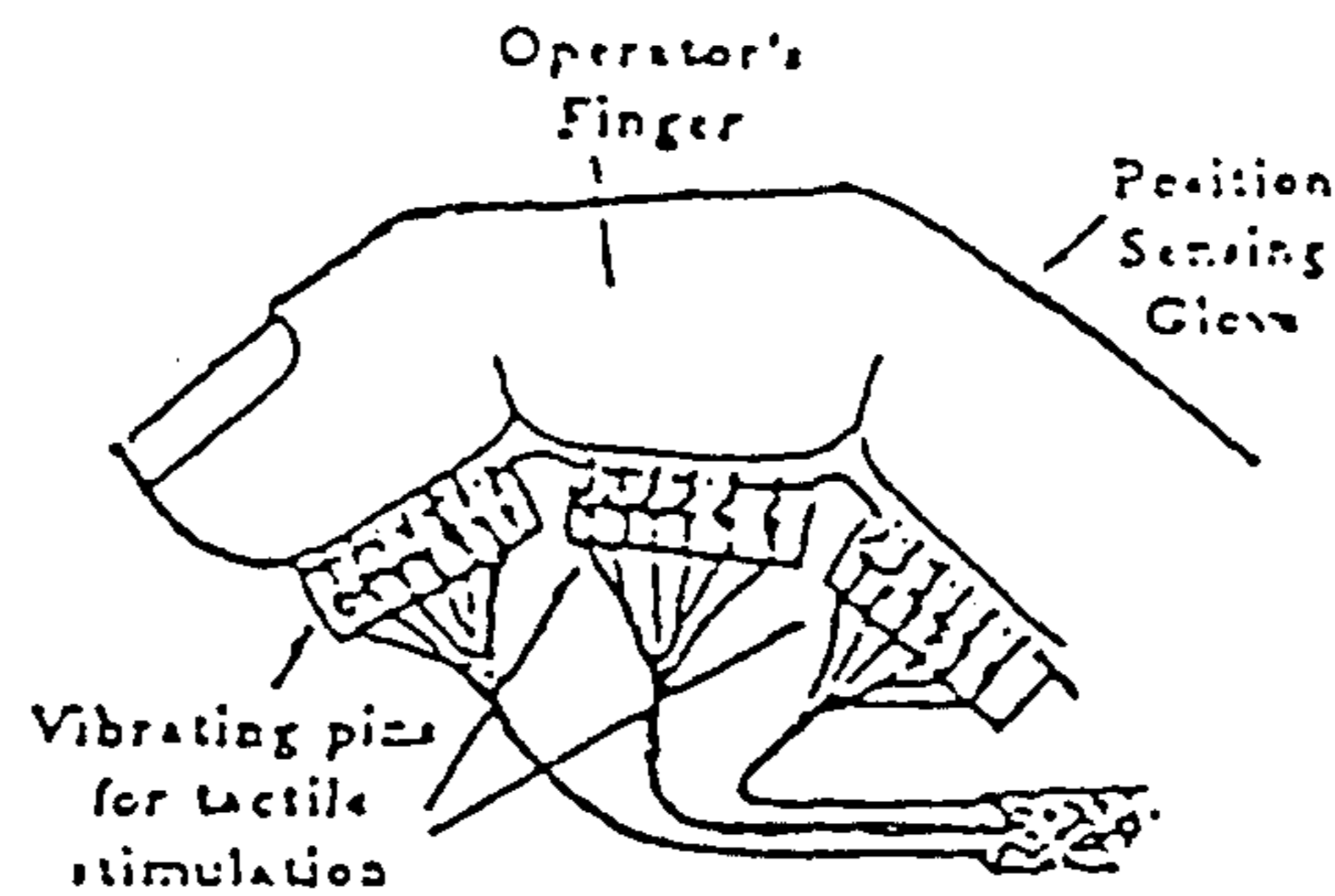


그림 3. Vibro-tactile stimulation [4]

Vibrating voice coil을 이용한 방식은 비교적 적은 잡음을 가지며 높은 주파수 대역폭에 걸친 촉각 정보를 제공할 수 있으며 적은 전력소비가 필요하다. 그러나, 사람의 감각기관의 피로가 쉽게 발생하는 단점이 있다. Piezoelectric crystal을 이용한 방식은 가볍고 소형으로 제작이 가능하며 적은 전력을 소비하지만 고전압이 요구되며 감각기관의 피로가 쉽게 발생하는 단점이 있다. 그림 4와 같은 전기자극을 이용한 방법은 매우 가볍고 적은 전력이 요구되지만 사람의 감각기관의 임계점과 고통사이의 범위가 적으므로 반향하고자 하는 촉각재현의 신뢰성에 문제가 있다는 단점이 있다.[9] 신경자극을 이용한 방식은 전기자극을 직접 신경(neuromus-cular)에 가하는 방법으로 침해성(invasiveness)을 가지는 치명적인 단점이 있다.

상용화된 촉각반향기기로는 영국의 ARRC/Air-muscle사의 Teletact II와 미국의 Xtensory사의 Tactools XTTI이 있으며, 구조 및 작동원리는 다음과 같다. Teletact II는 공압에 의하여 비례적으로 팽창할 수 있는 작은 공기주머니를 부착하고 전자 제어기와 압축기를 사용하여 압력의 형태로 촉각을 전달한다.[7] tactor 1개의 크기는 15 mm이며 완전히 부풀려 졌을 때 접촉 단면적은 100 mm^2 이다. 손가락 마디에 1 개씩 부착이 가능하며 각 tactor당 최대 출력은 8.4 gf/mm^2 정도이다. Tactools XTTI은 형상기억합금(SMA)을 이용한 것으로 출력을 연속적으로 제어할 수 없는 스위칭 형태로 구동한다.[10] tactor 1개의 크기는 $9 \times 20 \times 5\text{ mm}^3$ 이므로 사람의 손가락에 각 1개씩밖에 장착할 수 없으며 각 tactor당 4 개씩 부착된 직경 1mm의 전달부가 손가락 끝 마디의 피부에 출

력을 가하게 된다. 최근에 국내에서는 자석의 반발력을 이용한 촉각반향장치를 제안하였으며 시험 제작된 시스템의 크기는 $\phi 4.7 \times 38mm$ 이며 피부와 접촉하게 되는 촉침에 가해지는 힘의 크기를 직접 제어할 수 있는 구조로 되어 있다. 그러나, 이러한 시스템이 적절한 분해능을 가진 촉침의 형태로 개발되어 어레이 형태로서 손가락 부위에 장착되어 될 수 있으려면 앞으로 많은 개선이 요구된다.[11]

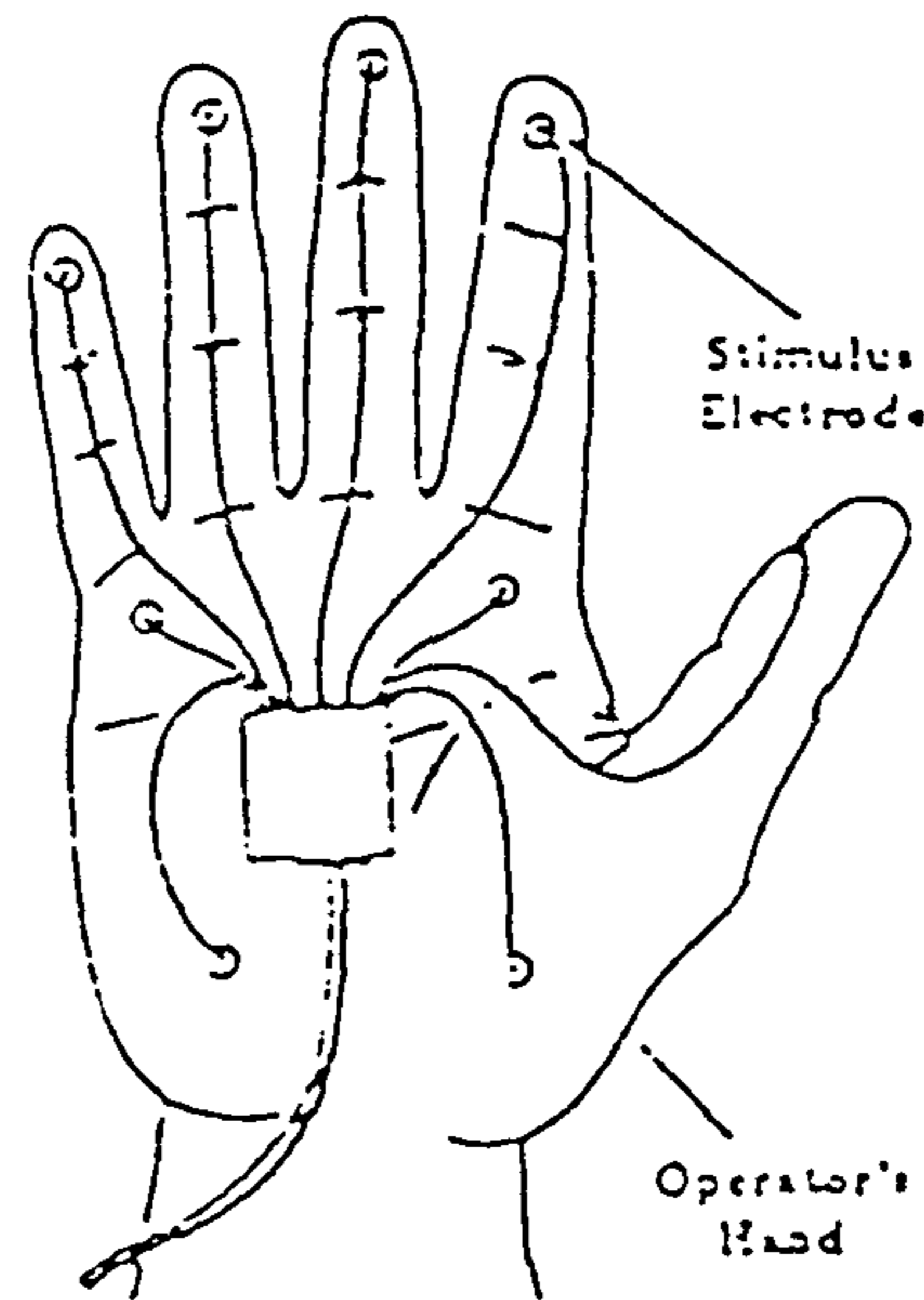


그림 4. The principle behind using electro-tactile stimulation [4]

이상과 같이 현재까지 개발되어 사용되고 있는 촉각 센서들의 대부분은 사람의 손가락에서의 촉감을 재현하기 위하여 고안되었으나 모두 실시간 작업(real time operation)에서 요구되는 방안들이며 아직까지도 재질의 실제 표면에서 느낄 수 있는 미세한 촉감의 재현까지는 앞으로 많은 개선이 요구되고 있다. 이에 반하여, 감성공학분야에서 촉감의 재현은 실시간 작업조건이 요구되지 않으므로 본 연구의 제 1차년도에서는 먼저 실제 생성하고자 하는 표면을 생성하고 사람으로 하여금 이러한 생성된 표면을 접촉하도록 함으로서 보다 향상된 촉감을 재현하는 접근방법을 제안하였다.[26] 이러한 접근방법은 현재까지 국내외적으로 전혀 시도되지 않는 표면생성기술이다.

최근에 일본에서 물체의 대략적인 형상을 수동적으로 재현한 후 사람이 다른

형태의 손가락 운동을 수행하도록 하여 이들 물체의 형태를 파악하는 정도를 측정하는 연구가 수행되었으나 이러한 연구는 실제로 사람이 접촉하여 실표면과 유사하게 느낄 수 있는 표면을 직접 생성하는 기술은 아니며 단지 생성된 표면을 사람이 어떻게 물체의 형태를 파악하는가에 관한 연구로서 표면 생성 기술과는 근본적인 차이가 있다.[12] 그러므로, 제 1차년도에 이어 제 2차년도인 당해연도에서는 실제 물체의 표면을 생성하는 시스템을 개발하고 개발된 시스템이 어느 정도의 성능을 나타내는가에 관한 초보적인 조사를 수행하였다.

한편, 콤플라이언스의 재현기술에 관한 연구의 경우도 아직까지 제품의 콤플라이언스를 직접 에뮬레이트하기 위한 현존하는 시스템은 개발되지 않고 있다. 그러나, 로봇 시스템이 조립작업에 활용되는 경우와 같이 물체와의 직접적인 접촉을 수반되는 작업을 수행하는 경우 다양한 형태의 힘제어 방식이 활용되고 있다. 이러한 방식중에서 stiffness 제어 또는 임피던스 제어등과 같은 제어 알고리즘은 콤플라이언스 제어와 동일하거나 또한 그 기본 개념이 확장된 제어방식이다.[13] 이러한 각각의 제어 방식은 접촉점에서 로봇 시스템이 느끼는 유효강성 또는 임피던스를 재현하는 의미를 가진다. 이와 같은 로봇 시스템의 임피던스 제어 또는 stiffness 제어에서의 주 목적은 접촉 물체와 충격을 완화하기 위하여 로봇 시스템 자체의 콤플라이언스를 모듈레이션하는 것으로서 발생시킬 수 있는 로봇 시스템의 콤플라이언스 크기의 범위는 구동 시스템의 동적 특성이나 하중관성 등으로 인하여 많은 제한이 있다.

이와는 달리 본 연구에서 구현하고자 하는 콤플라이언스 에뮬레이터의 경우는 사람이 물체를 접촉할 당시에 느껴지는 물체의 콤플라이언스를 재현하는 것을 목적으로 하였다. 특히, 최소한의 관성과 마찰을 줄이도록 하는 경우 시스템의 동특성을 최소화할 수 있으므로, 매우 우수한 콤플라이언스 재현 특성을 나타낼 수 있다. 그러므로, 이러한 목적에 맞는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 예비 설계가 제 1차년도에 제시되었다. 당해연도에서는 제 1차년도에 제시된 시스템을 구현하고 이러한 시스템의 성능 특성에 관하여 조사하였다.

제 2 절 촉각측정 센서 및 물체의 접촉성질

본 절에서는 촉각측정과 질감제시 시뮬레이터의 개발에 요구되는 주요기술에 관하여 간략하게 정리한다. 현실과 유사한 성질을 측정 또는 제시하기 위해서는 물체의 기하학 성질, 기계적 성질, 열성질, 전기적 성질등 다양한 분야에 관련된 성질을 측정 또는 재현하여야 한다. 그러나, 본 연구와 병행하여 수행되는 촉각 측정에 관한 연구에서는 기계적인 성질중에서도 다음과 같은 몇 가지의 촉각 측정과 관련된 성질만을 조사하고자 한다.

즉, 촉각 측정에서는

- 압력 측정 및 제어 기술,
- 마찰력 측정기술,
- 표면거칠기와 마찰력과의 관계 규명,
- 손가락 피부와 같은 부드러운 재질의 특성을 나타내는 구현기술,
- 신호처리 기술

등의 기술이 연구되며 본 연구에서는 촉감/질감 제시 시뮬레이터의 개발을 위한

- 표면 생성 기술(surface generator)
- 제품의 콤플라이언스 재현 기술(compliance emulator)
- 물체의 촉감/질감 재현 기술

등의 기술을 중점적으로 연구하여 이러한 특성들을 현실감있게 재현하는 시스템을 개발한다. 그러므로, 본 절에서는 현존하는 촉각측정센서 및 물체의 접촉성질에 관하여 간략하게 기술한다.

1. 촉각 측정 센서의 성능사양

현존하는 접촉 및 질감에 관계된 대부분의 연구는 사람 손가락들의 접촉감지 (tactile sensing) 기능을 규명하거나 사람 손가락과 동일한 기능을 가지는 접촉

센싱 메카니즘을 개발하는 데 중점을 두고 있으며[14-19] Leon D. Harmon이 연구자들과 산업기술자들로부터 조사한 연구결과들로부터 로봇 촉각 센서로 사용되는 바람직한 성능사양은 다음과 같이 요약될 수 있다.[20,21,22]

- 공간적 분해능: 1 - 2 mm

사람의 손가락 끝부분이 두 개의 다른 자극이 피부에 주어졌을 때 두 점을 구별할 수 있는 최소의 간격을 나타내며 공간적 분해능(spatial resolution)은 1 - 2mm정도이다. 한 예로서, LaMotte와 Whitehous(1986)은 사람들이 부드러운 유리표면위에 돌출된 0.55mm의 반경을 가지고 1 - 3 μm 높이의 점들을 감지할 수 있다는 것을 보였다.[23]

- 어레이 크기: 5x10 또는 10x20

사람의 손가락 끝부분의 경우 접촉에 민감한 점들을 대략 10x15 크기의 어레이로서 표현할 수 있다.

- 힘의 감지분해도(force threshold sensitivity)

한점에 힘이 가해졌을 때 감지할 수 있는 감지분해도는 0.5 - 10 g정도이다.

- 동적범위폭(dynamic range): 1000:1

- 히스테리시스가 없는 안정되고 단조롭고 반복적인 센서의 기능.

(Stable, monotonic, and repeatable sensor response with no hysteresis)

- 샘플링률 : 100Hz - 1000 Hz

- 전반적으로 피부와 유사하고 튼튼하고 경제적인 센서.

(broadly-the sensor to be skin-like, rugged, and inexpensive)

2. 물체의 접촉성질

물체의 특성중의 많은 부분이 접촉센서로부터 측정될 수 있는데 측정과정을 관찰하기 위해 요구되는 지능정도에 따라 구분될 수 있다. 이중, 가장 낮은 단계로서 단순한 측정과정에 의해 예견될 수 있는 접촉기본특성(tactile primitives)이 있으며 이들은 측정된 센서 데이터로부터 직접 추정될 수 있는 물체의 성질을 의미한다. 표 1은 이러한 접촉기본특성과 이들을 측정하기 위해 필요되는

센서 데이터를 보여주고 있다.

표 1 센서데이터로부터 직접 추정될 수 있는 접촉성질[20]

Tactile primitives					
Mechanical behavior	Gross Characteristics	Surface Shape	Thermal	Electrical Behavior	Groupings
-Compliance -Resilience -Viscosity	- Size - Mass	- Corner - Edge - Surface normal	- Temperature - Thermal conductivity - Thermal diffusivity	- Electrical conductivity - Contact potential	Examples
					Parameters to be measured
o	o				Forces and torques transmitted between gripper and object
		o			Image of area of contact between gripper and object
o	o	o			Configuration of robot gripper
			o		Thermal
				o	Electrical

사람이 손으로 물체를 파악하는 과정으로서는 그림 5에서와 같이 lateral motion을 통한 texture 측정, 압력을 가함으로서 경도 및 강성을 측정, 정적으로 물체와 접촉을 유지함으로서 물체의 온도를 측정, 물체를 들어봄으로서 중량을 측정, 물체를 잡아봄으로서 물체의 전체형태와 체적을 측정, 물체의 표면을 손가락으로 어루만져 봄으로서(contour following) 전체물체의 정확한 형태를 파악하는 등의 여러 가지 방법을 이용하고 있다.[21] 그러나, 본 연구에서는 특히 물체의 표면과 콤플라이언스를 재현하는 시스템의 개발에 관한 연구에 중점을 두고 있으므로 액체나 기체가 아닌 재질이 지닌 콤플라이언스(Compliance), 레질리언스(resilience), 플라이어빌리티(pliability)등과 같은 기계적인 성질에 관하여 간략하게 기술한다.

컴플라이언스(Compliance) :

힘이 가해졌을 때 재질이 얼마나 변형하는 가를 나타내는 척도로서 다음과 같이 정의된다.

$$C = \frac{\Delta x}{f} \quad (1)$$

위 식에서 C , Δx 그리고 f 는 각각 재질의 컴플라이언스, 재질이 변형길이, 그리고 재질에 가해진 힘을 나타낸다. 그리고 측정방법은 재질에 일정한 크기의 힘(f)을 가한 후 현재의 변형길이(x_1)를 측정한다. 이 후 추가의 힘(f)을 가한 후 이 때문에 늘어난 변형길이(x_2)를 측정한다. 이 때, 이들 변형길이의 차($x_2 - x_1$)를 컴플라이언스의 척도로 활용한다.

레질리언스(Resilience) :

가해진 힘에 의해 재질의 변형이 일어나게 한 후 가해진 힘을 제거하였을 때 얼마나 재질이 가지고 있던 원래의 형상을 회복하는 정도를 나타낸다. 측정방법은 다음과 같이 요약될 수 있다. 먼저 물체에 힘(f)을 가한 후 변형된 길이(x_1)를 측정한다. 이 상태에서 추가의 힘(f)을 가한 후 이 때문에 늘어난 변형길이(x_2)를 측정한다. 추가된 힘(f)을 제거한 후 물체의 변형이 감소되었을 때의 변형길이(x_3)를 측정한다. 이 때, $\frac{x_2 - x_3}{x_2 - x_1}$ 의 값이 재질의 resilience 척도를 사용된다.

플라이언스(Pliance):

물체에 가해진 동일한 크기의 힘에 의해 시간이 지남에 따라 발생하는 변형을 나타낸다. 측정방법은 먼저 물체에 힘을 가하고 발생하는 변형길이(x_1)를 측정한다. 일정한 시간이 경과될 때 까지 기다린 후 물체의 변형길이(x_2)를 측정하고 이들 변형길이의 차($x_2 - x_1$)를 pliance의 척도를 사용한다.

이상의 기계적인 특성중에서 콤플라이언스의 경우 시스템의 구현을 통하여 다양한 크기의 콤플라이언스 성질의 물리적인 재현이 가능하다. 그러나, 현존하는 기계·전자관련 기술로서는 아직까지 다양한 크기의 resilience나 pliability를 재현할 수 있는 시스템의 구현에는 많은 어려움이 있다. 그러므로, 다음절에서는 다양한 콤플라이언스의 크기를 재현할 수 있는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 구현과 이에 사용되는 제어 알고리즘에 관하여 조사한다.

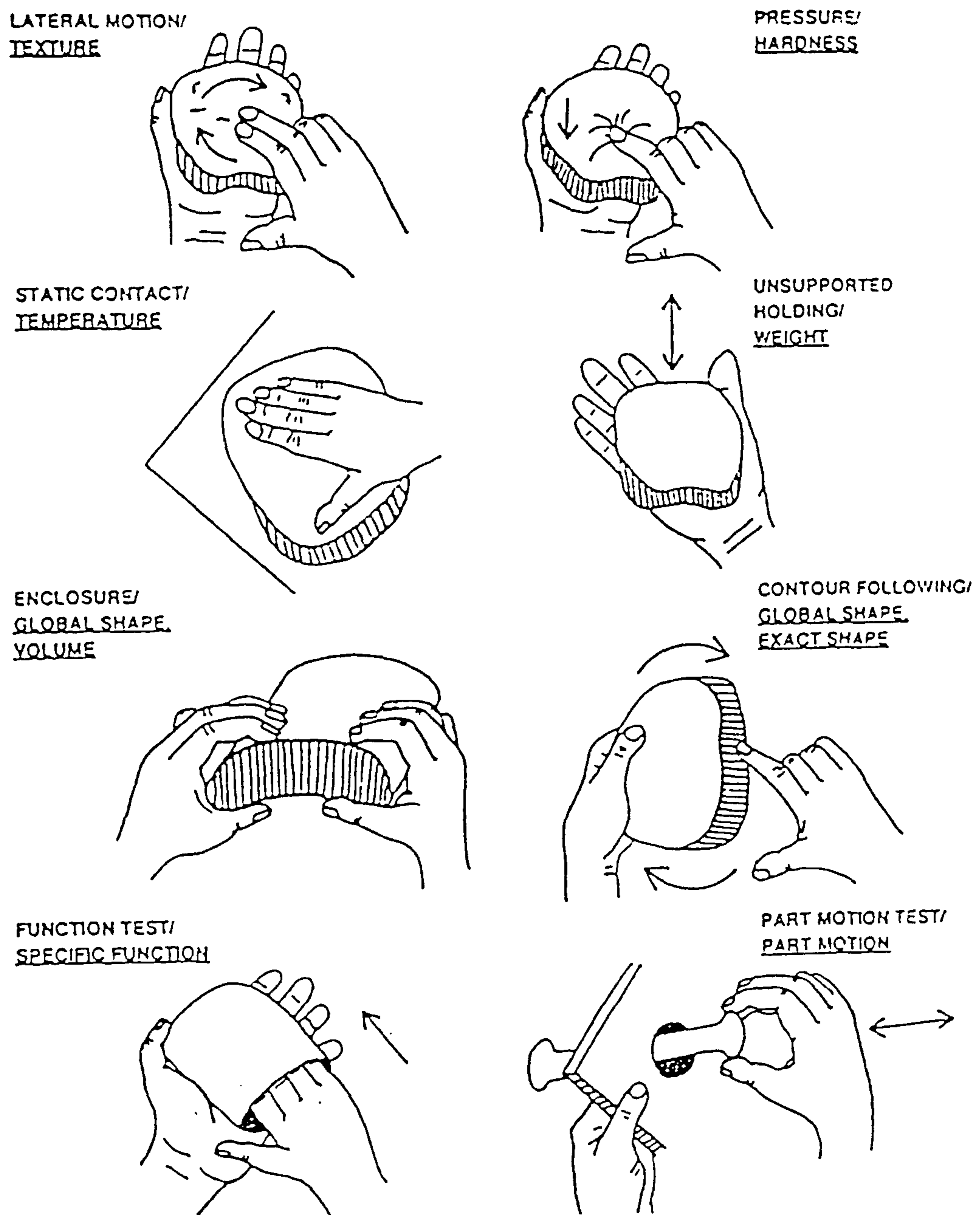


그림 5. Exploratory procedure and associated object properties[24]

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 표면생성기술

1. 표면 생성기의 사양

표면 생성 기술로서는 여러 다양한 제품의 표면을 재현하는 것을 목표로 하며 이에 준하여 결정된 사양을 요약하면 다음과 같다.

- 점과 점 사이의 중심거리(distance between two neighboring dots):
($0.1mm - 0.25mm$)
- 각 점의 높이($0.001 \mu m - 0.9 mm$ 정도)
- 생성 표면 넓이($30 mm$ 직경의 원).

본 연구에서 제안된 표면 생성기로서는 아주 미세 표면의 생성은 가능하지 않으며 어느정도 거친 표면의 생성만이 가능하다. 그럼에도 불구하고, 미세한 표면을 재현해야 하는 경우는 주어진 표면을 직접 가공하거나 미리 가공된 표준 표면 시편을 활용할 수 있다. 그러나, 이러한 방법에 의존한다 하더라도 현존하는 가공기술로는 미세하지만 임의의 표면거칠기를 가지는 표면의 생성은 용이하지 않으므로 많은 제약이 있다. 이에 반하여, 본 연구에서 개발하려는 표면 생성기의 경우는 임의의 표면 거칠기를 가지는 표면의 생성도 가능하며 미세한 표면거칠기가 요구되는 경우 생성된 표면위에 도금과 같은 doping기법을 적용하여 그 이상의 미세한 표면을 생성할 수 있는 가능성을 내포하고 있다.

2. 표면 생성기 설계

제 1차년도에서는 표면생성을 위해서 그림 6과 같은 철선(wire) 다발을 이용한 방법이 제시되었다. 이러한 방법에 관하여 기술하면 다음과 같이 요약된다.

먼저, 가는 철선으로 이루어진 철심 다발을 만들고 다발에 속한 각 철선을 축방향으로 움직임으로서 원하는 표면을 형성시키게 된다. 이러한 원리를 이용한 표면 생성 시스템의 경우 여러 형상의 표면 생성은 가능하지만 생성되는 표면의 정확도는 각 철선의 직경과 강도, 철선의 양끝면의 가공도, 그리고 각 철선을 표면의 거칠기에 맞추어 얼마나 정확하게 움직일 수 있는가에 달려있다. 그러므로, 당해연도에서는 이러한 원리를 활용하는 표면 생성기의 상세 설계를 수행하고 실제 시스템을 구현하였다.

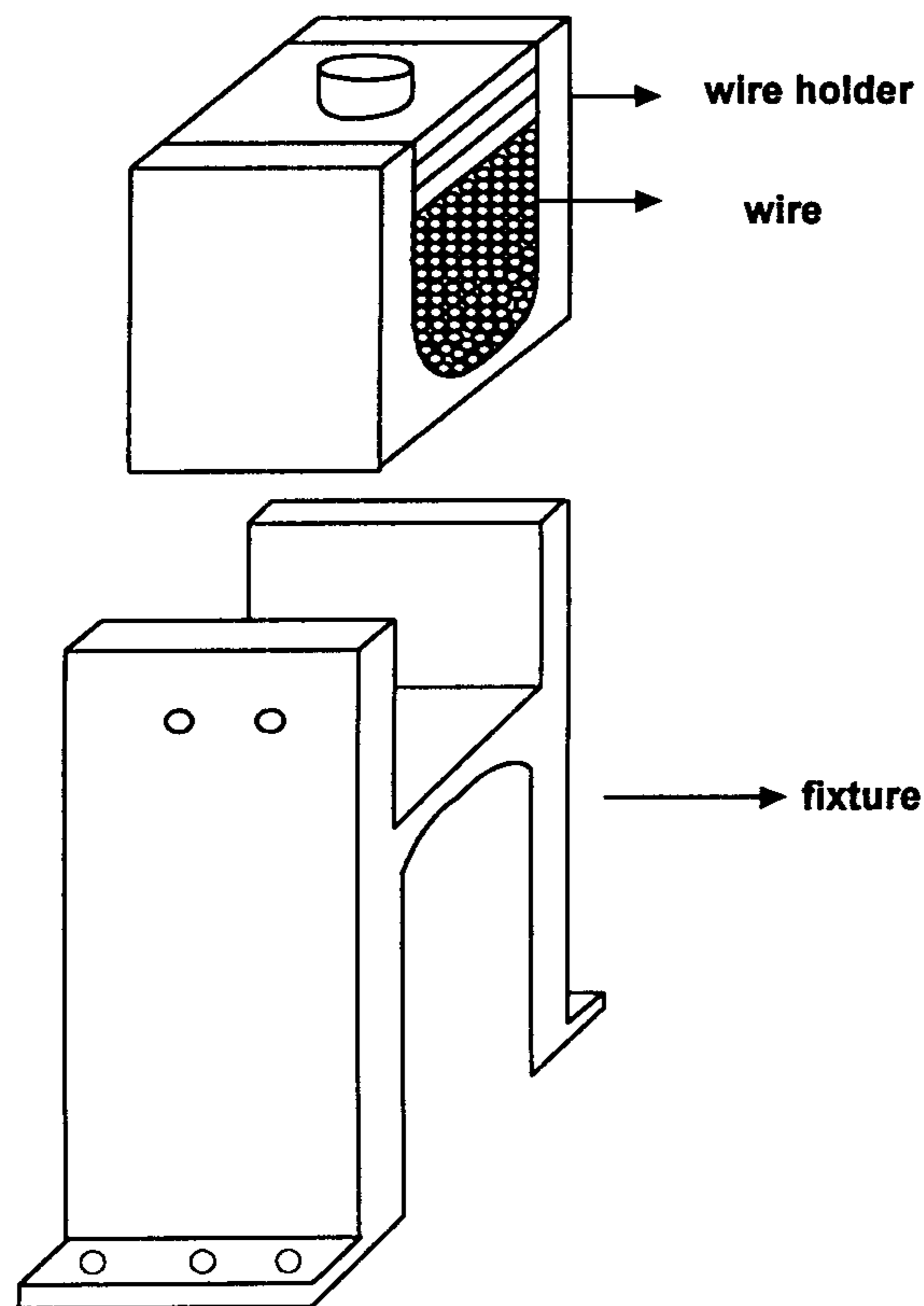


그림 6. 철심다발집과 다발집 고정대

그림 7은 구현된 표면 생성 시스템의 개략도를 나타낸다. 그리고 그림에서 사용된 각각의 부시스템의 사양 및 제작과정 그리고 그 기능은 다음과 같이 요약된다.

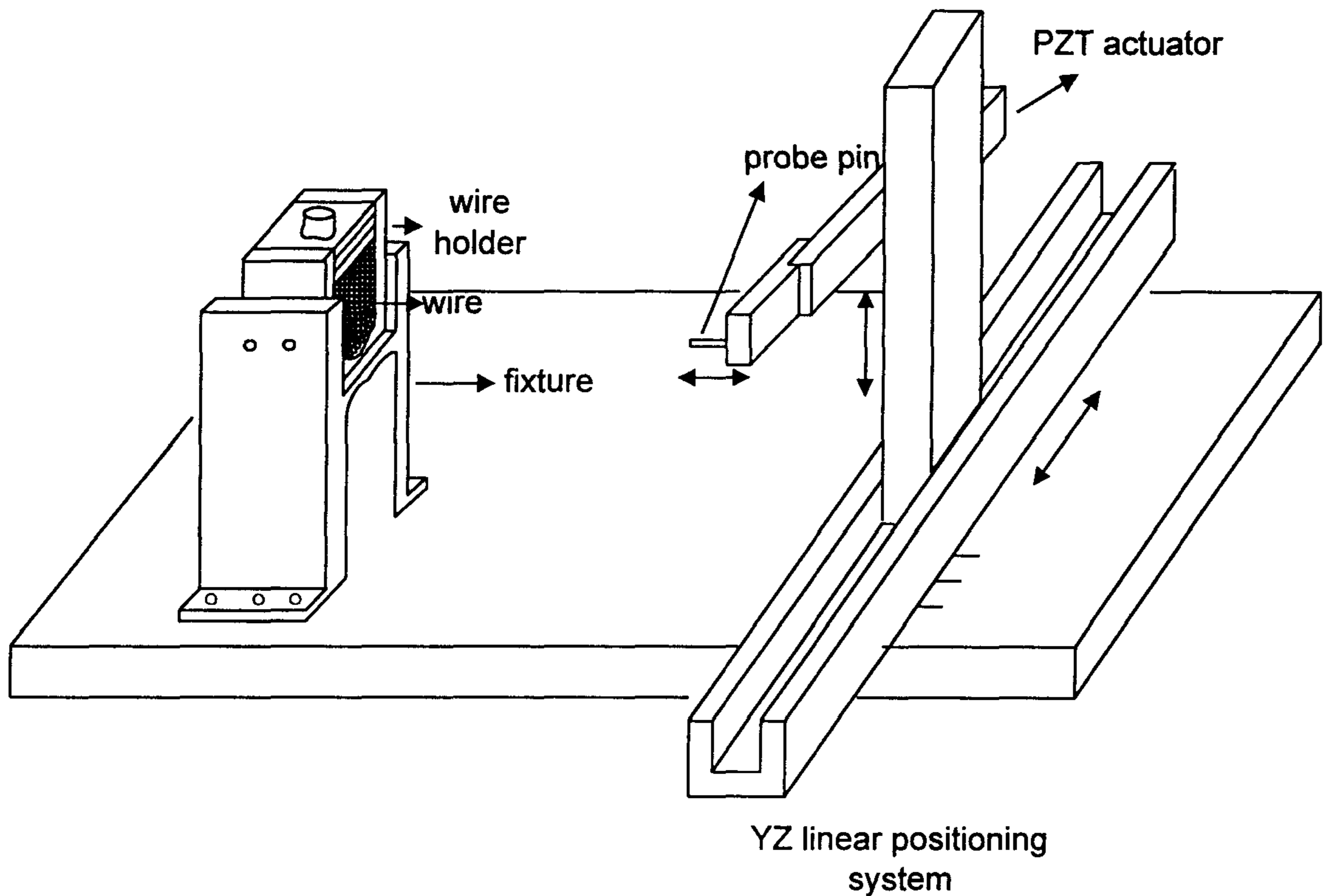


그림 7. 표면 생성 시스템의 개략도

철선 다발 제작:

1. 먼저 직진도를 가진, 그리고 강도가 높은 철선을 3.3 mm의 길이를 가지도록 절단한다.(곧지 않은 철선의 경우 적절한 크기의 인장력을 가한 상태에서 열처리를 하여 철선을 곧게 하였다.)
2. Wire cutting가공법을 이용하여 철선의 끝면을 매우 고르게 절단한다.
(wire cutting가공을 위한 jig 가공: jig 가공시에 철선들이 균일한 하중을 받도록 철심다발집과 같은 반구형 모양을 유지하도록 제작하였다.)
3. 진동연마기(창진기계 CV-100TYPE)를 이용하여 철심의 예각 및 bur를 제거한다. 사용된 기계, 작동조건 및 연마제등은 다음과 같다:
진동연마기의 진폭은 3-4mm,
진동수는 20Hz(60Hz 3상모터 사용) ,

윤활제 : 연마용(비누형) compound 1리터,
직경 5mm인 구형 barrel 연마용 media 20kg,
가공시간 : 2시간(확대경을 통하여 철심의 예각 및 bur의
제거형태를 확인).

철심 다발집 제작 :

본 연구에서 제시된 그림 7과 같은 표면 생성기는 철심다발을 이용하는 것으로서 철심다발의 표면에 외부로부터 힘이 가해지더라도 변형이 일어나지 않도록 잡아주는 철심 다발집(wire holder)이 있으며 이 철심 다발집은 그림 8과 같은 콤플라이언스 에뮬레이터의 유동판 표면위에 놓여지게 된다.

이러한 철심 다발집의 경우, 철심을 철심 다발집에 가지런히 정렬한 후 다발집의 위로부터 힘을 가하여 철심이 흐트러지지 않도록 하게 되는 데 균일한 하중이 골고루 각 철심에게 전달되도록 반구형 형태의 모양을 가지도록 하였다. 이러한 모양을 가지지 않는 경우 철심 다발집이 철심을 단단히 잡지 못하게 되어 자꾸 흐트러지게 된다.

철심다발 표면 정렬 :

표면 생성을 수행하기 전에 먼저 압전 액츄에이터가 접촉하는 철선다발의 밑면을 고르게 하여야 되며 이를 위한 방법으로는 철선 다발집으로부터 철심들에 가해진 힘을 적절한 양만큼 제거한 후 매끄러운 표면에 대고 random vibration을 주어 표면을 정렬시키는 방법이 사용되거나 또는 수동적으로 매끄러운 표면에 대고 흔들음으로서 철심다발의 밑면을 고르게 할 수 있다.

압전 구동 액츄에이터 시스템 :

철심다발에 속한 각 철선을 축방향으로 움직이는 구동 액츄에이터로서는 그림 8과 같은 압전(piezoelectric) 액츄에이터를 사용하였다. 사용된 압전 액츄에이터의 특성은 다음과 같다.

최대행정변위 : 1.0 mm

작동속도 : 30 Hz (LVDT센서를 활용하여 페루프를 구성하는 경우)

100 Hz (LVDT 센서를 사용하지 않는 경우)

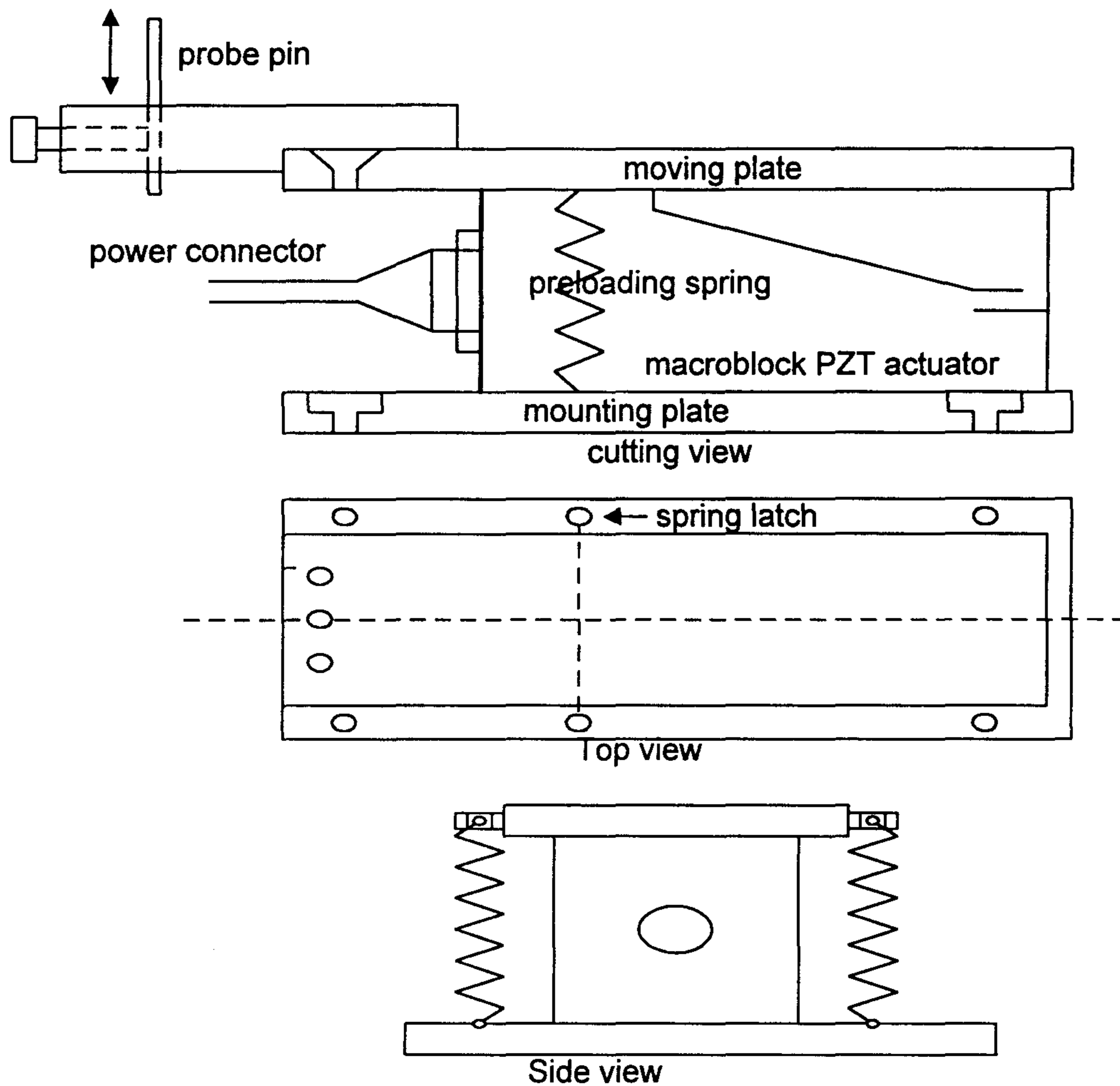
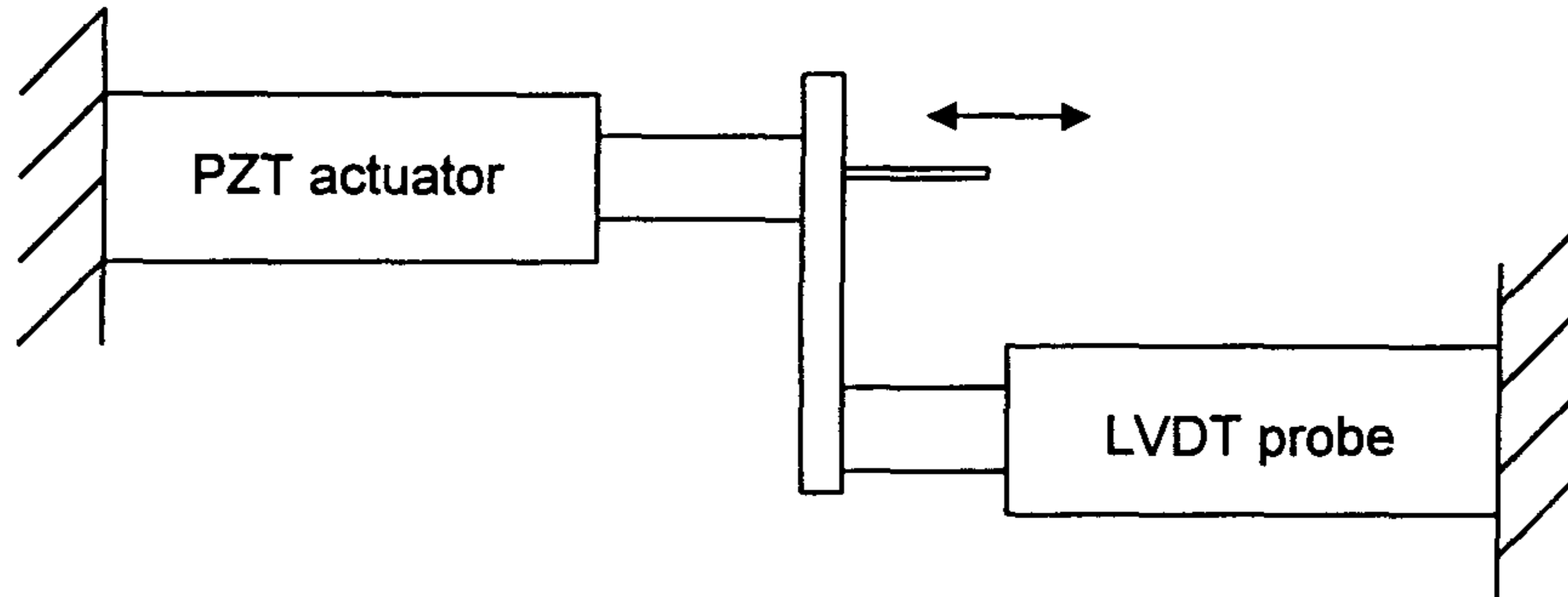


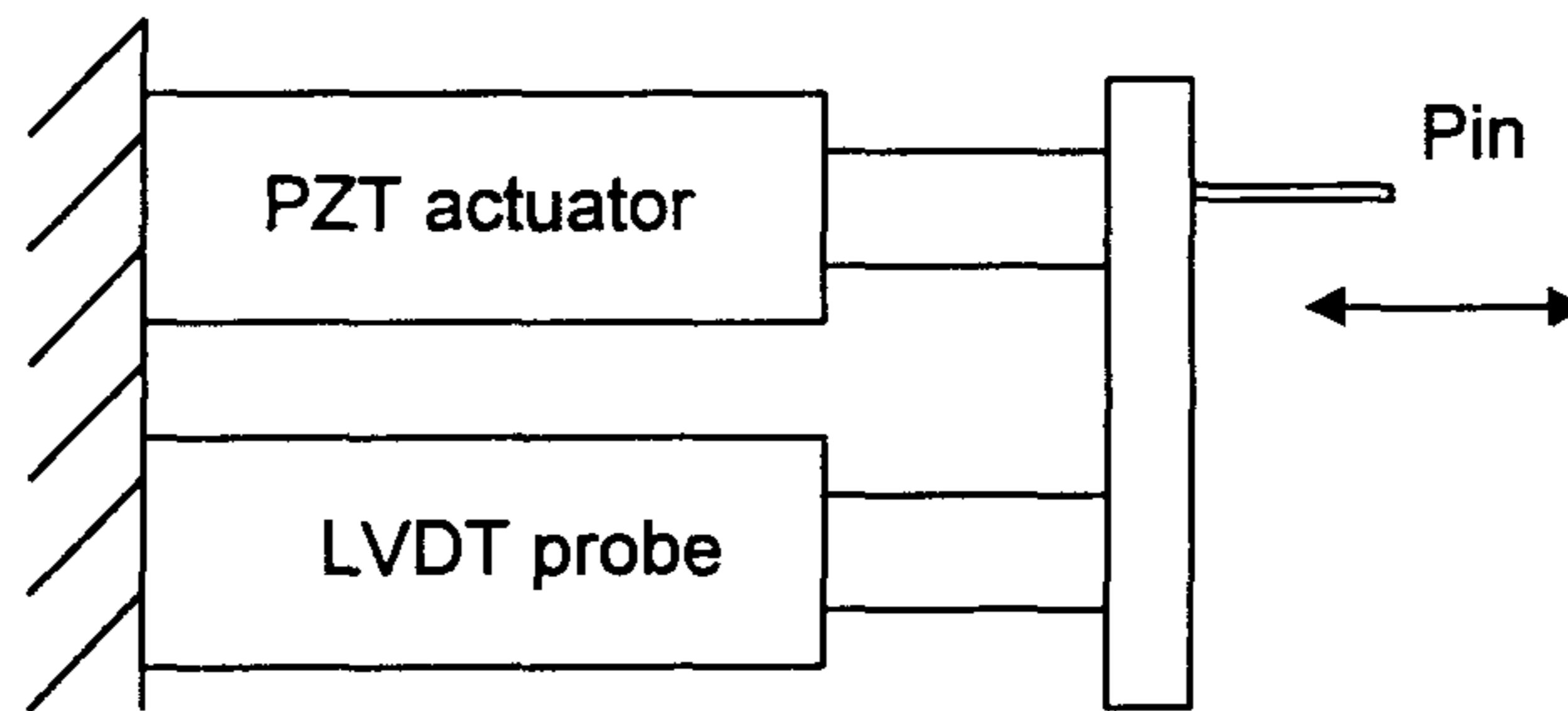
그림 8. 압전 액추에이터 시스템

그리고, 압전 액추에이터의 끝단에 철심과 접촉하여 철심을 움직일 수 있는 핀과 핀 고정대가 제작/부착되었다.(압전 액추에이터 시스템의 부품리스트는 부록 참조) 한편, LVDT센서를 부착하는 경우, 그림 9와 같이 PZT 시스템과 LVDT probe가 직렬로 연결되거나, 병렬로 연결되는 두 가지 경우를 고려할 수 있는데 이들은 서로 LVDT 센서의 plug에서 pin # 2와 pin # 3를 바꾸어 납땜을 하게 되면 올바른 feedback이 제공되는 구조를 가지고 있다. 특히, 본 연구에서

개발된 표면 생성 시스템에서는 PZT센서와 LVDT센서가 병렬의 형태로 부착되는 구조를 setting이 되었으며 이 경우 PZT액츄에이터와 LVDT probe의 핀이 동시에 팽창하게 된다.



a) 직렬형



b) 병렬형

그림 9 LVDT probe의 장착 형태 a) 직렬형, b) 병렬형

2축 테이블 구동 시스템 :

Y축과 Z축 방향으로 각각 1 자유도를 가지는 table 시스템으로서 각 방향으로 스텝모터로 구동되는 선형 액츄에이터를 사용한다. 각 방향으로의 행정거리는 100 mm 를 가지며 정밀도는 $5\mu\text{m}$ 에서 $10\mu\text{m}$ 를 가진다. 이러한 x-y table 시스템은 압전 액츄에이터를 움직이고자 하는 철심의 중앙의 위치로 옮기기 위해 사용된다.(각 부속 시스템의 사양은 부록을 참조)

철선의 이동 :

철선을 움직이기 위해서 활용될 수 있는 방안으로서는 철선을 파지할 수 있는 파지기기를 고안하는 방법, 가이드홈을 제작하여 가이드 홈사이로 철선이 움직이도록 하는 방법등이 고려되었으나, 가이드홈 사이의 거리가 가깝도록 제작하거나, 적은 파지기기를 고안하여 구현하는 것은 현재의 기술로는 많은 어려움이 있었다. 결과적으로, 철선표면 사이의 미끄럼을 이용하는 방법이 가장 적절한 것으로 확인되었다.

이상과 같은 본 연구에서 개발하려는 철선다발을 활용하는 표면 생성 시뮬레이터의 장점을 요약하면 다음과 같다.

- 구동 액츄에이터로서 하나의 압전 액츄에이터만 소요됨으로 전체 시스템의 경비절감 및 소형화가 가능하다.
- 생성된 표면이 철심다발로 이루어져 있기 때문에 철선을 가열하는 방법과 같은 온도 조절 및 철선 다발을 콤플라이언스 에뮬레이터에 놓으므로써 콤플라이언스 재현 및 진동 재현 등이 가능한 구조를 가지고 있다.
- 다양한 철심의 직경을 활용하는 경우 생성할 수 있는 표면 거칠기의 폭이 매우 넓다.

3. 표면 제시기의 작동원리

이상과 같은 표면을 제시하기 위한 과정을 기술하면 다음과 같다.

1. 철심 고정대를 느슨하게 함으로서 철심 다발에서 철심간의 접촉력을 최소화시킨 후, 철심 다발을 추스림으로서 철심의 한 면(밑면)을 평평하게 만든다.
2. 그리고, 철심 다발을 적당히 조임으로서 철심이 흐트러지지 않도록 한다.
이러한 접촉력은 각 철심을 압전 액츄에이터가 밀게되는 경우 주변의 철심들과의 표면 마찰과 관계가 있다. 그러므로 이 마찰력을 적절히 조절하여 미는 힘을 받는 철심만 움직이도록 한다.
3. 철심 다발집을 철심 고정대위에 놓고 압전 액츄에이터와 접촉하도록 맞춘다.

4. 비전을 이용한 영상처리를 수행함으로써 각 철심의 중심위치를 파악한다. 철심의 축방향과 일치하는 방향으로 움직이도록 압전 액츄에이터가 설치되면 y-z 구동 테이블과 압전 액츄에이터를 제어함으로써 각각의 철심을 밀게 되며 이러한 과정을 되풀이함으로써 표면을 생성한다.
5. 일단 표면이 생성되면 다시 철심 다발집을 다시 조임으로써 생성된 표면이 흐트러지지 않도록 한 후 그림 10과 같이 철심 고정대를 콤플라이언스 에뮬레이터의 유동판(moving plate) 표면위에 놓게 된다. 이상의 1,2,3,4,5과정을 되풀이함으로써 원하는 표면들을 생성할 수 있게 된다.

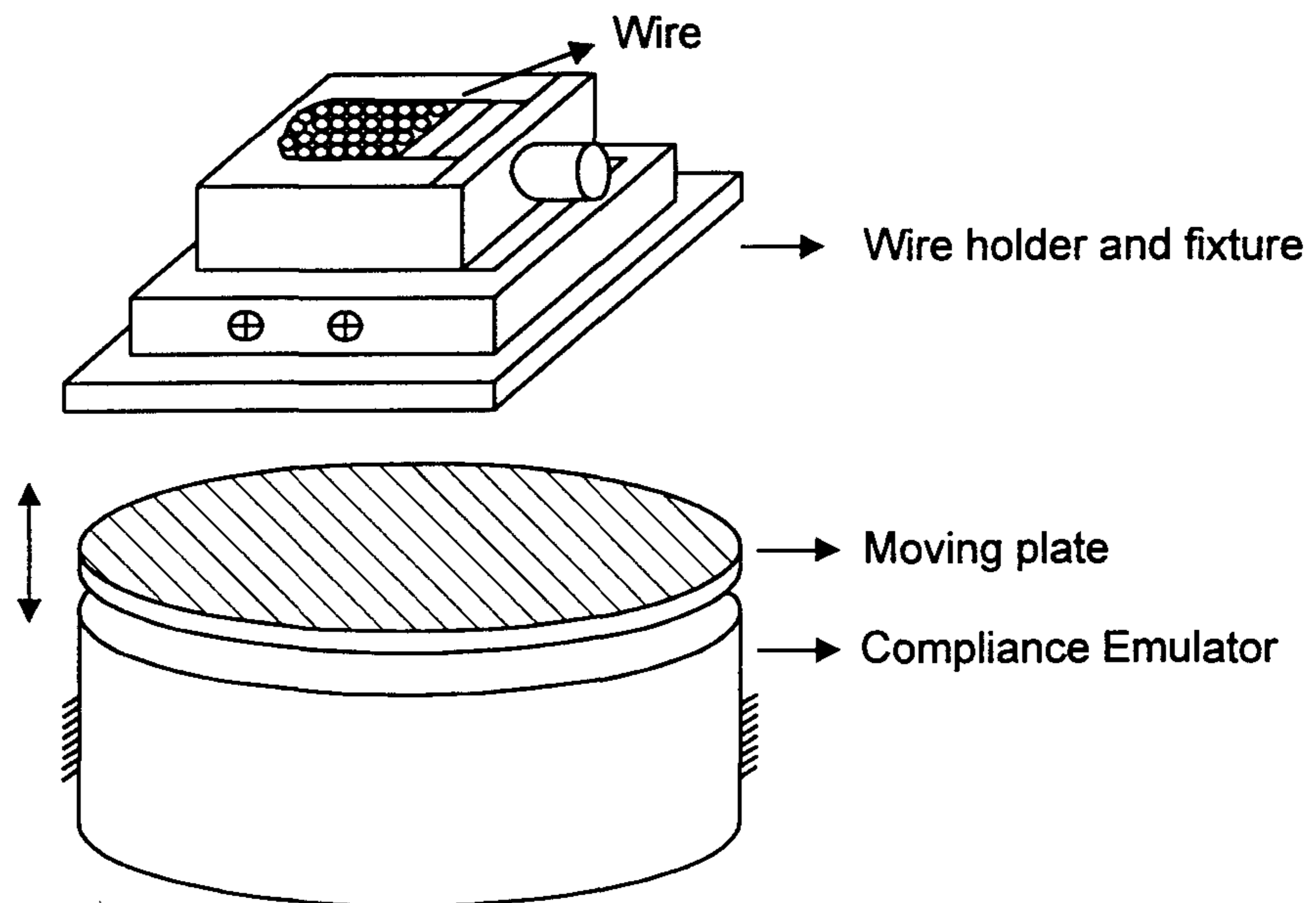


그림 10. 콤플라이언스 에뮬레이터와 철선다발집의 개략도

4. 영상처리

감성 측정 패턴의 생성을 위하여 Computer Vision을 통하여 철심의 blob을 찾기 위하여 blob analysis의 방법을 이용한다. 전체적인 연구 과정은 크게 Grabbing, Calibration, Calculation 세 부분으로 나눌 수 있다. Grabbing 단계에서는 CCD 카메라를 이용하여 철심의 영상을 획득하는 부분으로서 본 연구에서 가장 기본이 되는 단계라 할

수 있다. Calibration 단계에서는 CCD 카메라로부터 획득한 영상에서의 pixel 간의 거리를 실제 거리 (μm)로 변환하는 작업을 담당한다. Calibration을 위해 철심의 가장자리에는 3 mm 간격으로 선이 그어져 있다. 마지막으로 Calculation 단계에서는 획득한 영상에서 blob을 찾아 해당 blob의 중심좌표를 실제 거리로 변환하는 작업으로 calibration의 정확성과 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서는 가장 효율적으로 철심의 blob을 찾기 위한 알고리즘의 개발을 위해 off-line으로 작업하고 있다.

시스템 사양

본 연구에서 사용된 영상 시스템 사양은 다음 표 2와 같으며, 전체 시스템의 구성은 그림 11과 같다. 그리고 그림 11의 시스템에서 MATROX 사의 Meteor II 보드를 이용하여 영상을 획득하는 모듈과 프로세싱을 담당하는 모듈은 MIL(Matrox Image Library) 5.1을 이용하여 제작하였다.

표 2. 영상 시스템 사양

Image Grabber	MATROX Meteor II
Camera	PULNIX TM-440
Lens	SF0020 접사링 set
	SF0040 2배 확대용 접사링 set
	SR12575 12.5-75 mm zoom lens
Light Source	Source KLS-100H
	Guide KLG-PY

영상 처리

영상 처리 부분은 blob analysis를 기본으로 하고 있으며, 크게 Grabbing, Calibration, Calculation의 세 단계로 나뉘어 진다. 각각의 모듈은 MATROX 사의 이미지 라이브러리인 MIL 5.1의 Active MIL-Lite와 Microsoft MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용하였으며, Visual C++ 5.0을 사용하여 Windows 95 환경에서 제작되었다. 다음 그림 12는 영상 처리에 대한 전체 흐름도이다.

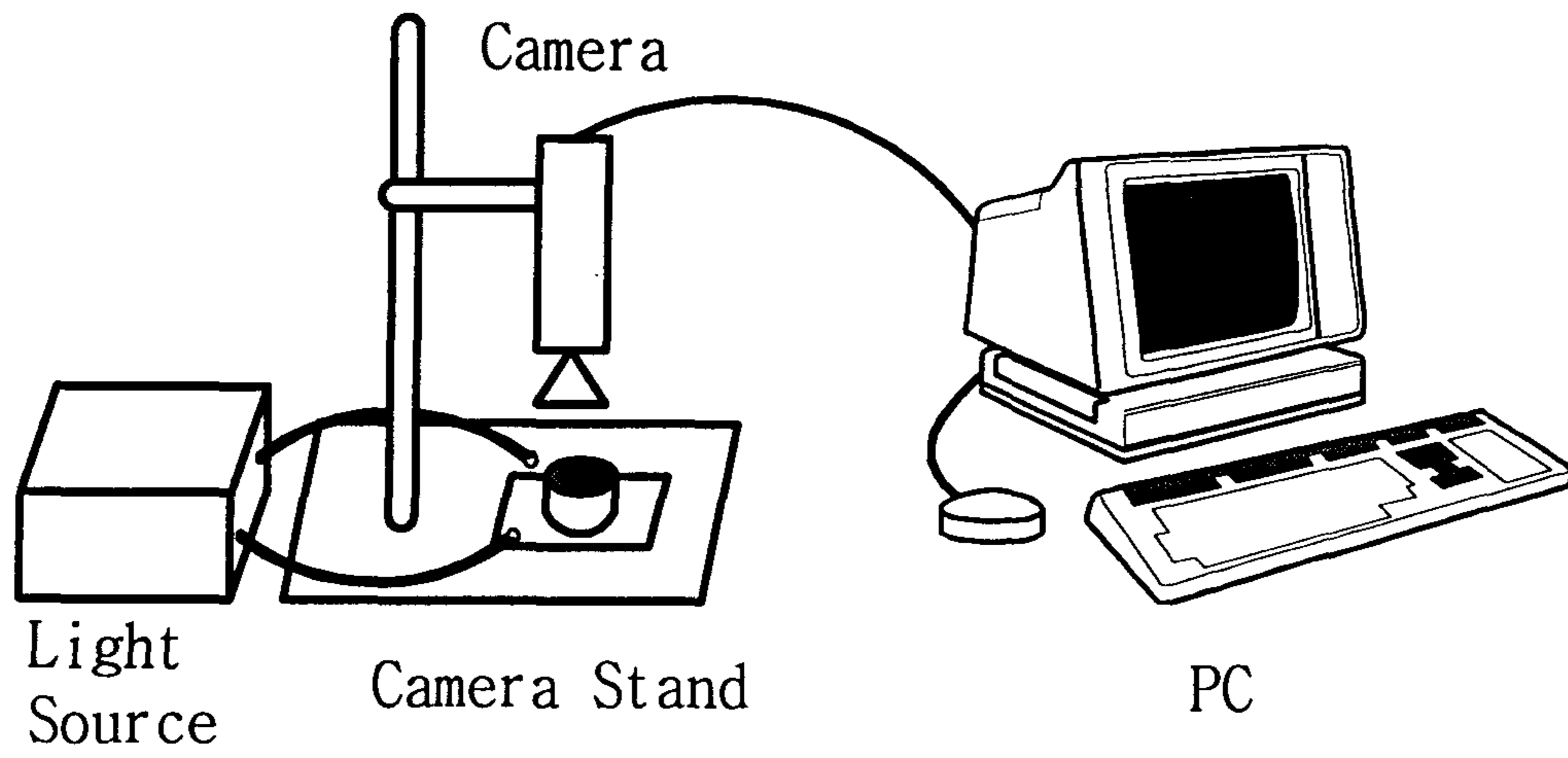


그림 11. 영상 시스템 구성

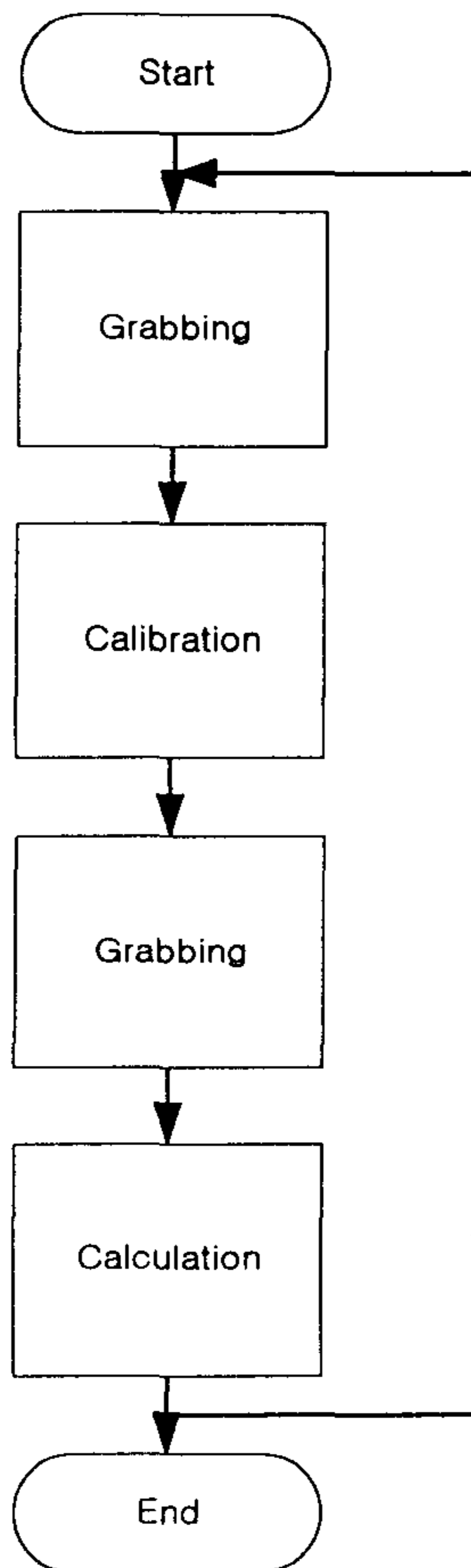


그림 12. 영상 처리 흐름도

Grabbing : Grabbing은 영상을 획득하기 위한 모듈이며, 초당 28 프레임의 속도로 영상을 획득할 수 있기 때문에, 영상의 떨림이 없이 정확한 영상을 획득할 수 있다. 이 모듈에서는 카메라가 움직이는 경우나, 초점(focus)이 정확하지 않은 동안에는 연속적으로 영상을 디스플레이하며, 카메라가 원하는 위치에 고정되거나, 초점이 정확한 경우에 영상을 획득하게 된다. 영상 획득에 대한 기본적인 모듈은 다음과 같다.

```
#include <stdio.h>

#include <mil.h>

void main(void)

{ MIL_ID MilApplication, /*Application identifier */

      MilSystem,      /* System identifier */

      MilDisplay,     /* Display identifier */

      MilDigitizer,   /* Digitizer Identifier */

      MilImage;       /* Image buffer identifier */

  /* Allocate defaults */

  MappAllocDefault(M_SETUP,      &MilApplication,      &MilSystem,
&MilDisplay, &MilDigitizer, &MilImage);

  /* Grab continuously */

  MdigGrabContinuous(MilDigitizer, MilImage);

  /* Stop continuous grab */

  MdigHalt(MilDigitizer);

  /* Release defaults */

  MappFreeDefault(MilApplication, MilSystem, MilDisplay, MilDigitizer,
MilImage);

}
```

그림 13은 위의 영상 획득을 위한 기본적인 모듈을 이용하여 획득한 영상의 예이다.

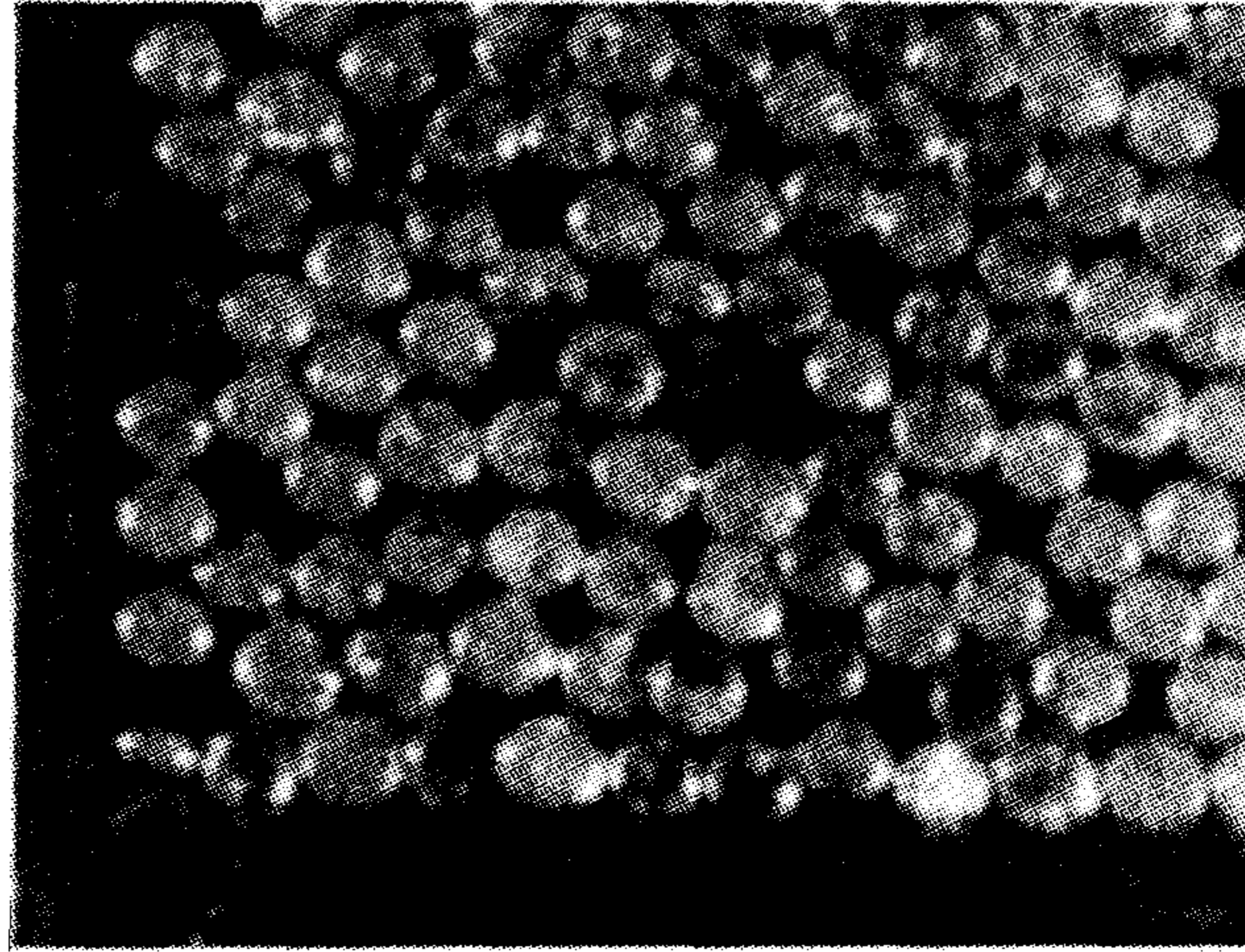


그림 13. 획득한 영상의 예

Calibration : Calibration 모듈은 영상에서의 거리 단위를 실제 거리 단위(μm)로 변환하기 위한 모듈이며, calibration을 위해 철심의 가장 자리에 3mm 간격으로 눈금이 매겨져 있기 때문에, 이 눈금을 읽어 다음과 같이 변환한다.

$$x \mu m/pixel = \frac{3000 \mu m}{\text{영상에서의 } 3mm \text{에 해당하는 } pixel \text{ 거리}} \quad (2)$$

식 (2)에서 계산된 영상 좌표 거리와 실제 거리 비율(比率)을 참조하여 Calculation 모듈에서의 계산 값을 변환한다.

Calculation : Calculation 모듈은 blob analysis를 기본으로 하고 있으며, 기존의 blob analysis가 영상에서의 문턱 값(threshold)를 임의로 결정하여 사용하고 있는 반면, 본 연구의 calculation 모듈에 사용된 blob analysis는 영상의 히스토그램을 계산하여 히스토그램 값의 평균을 기준으로 문턱 값을 변화시키며 계산하고 있다. 다음 그림 14는 그림 13의 영상에 대한 히스토그램 계산 결과를 그래프로 표현한 것이다.

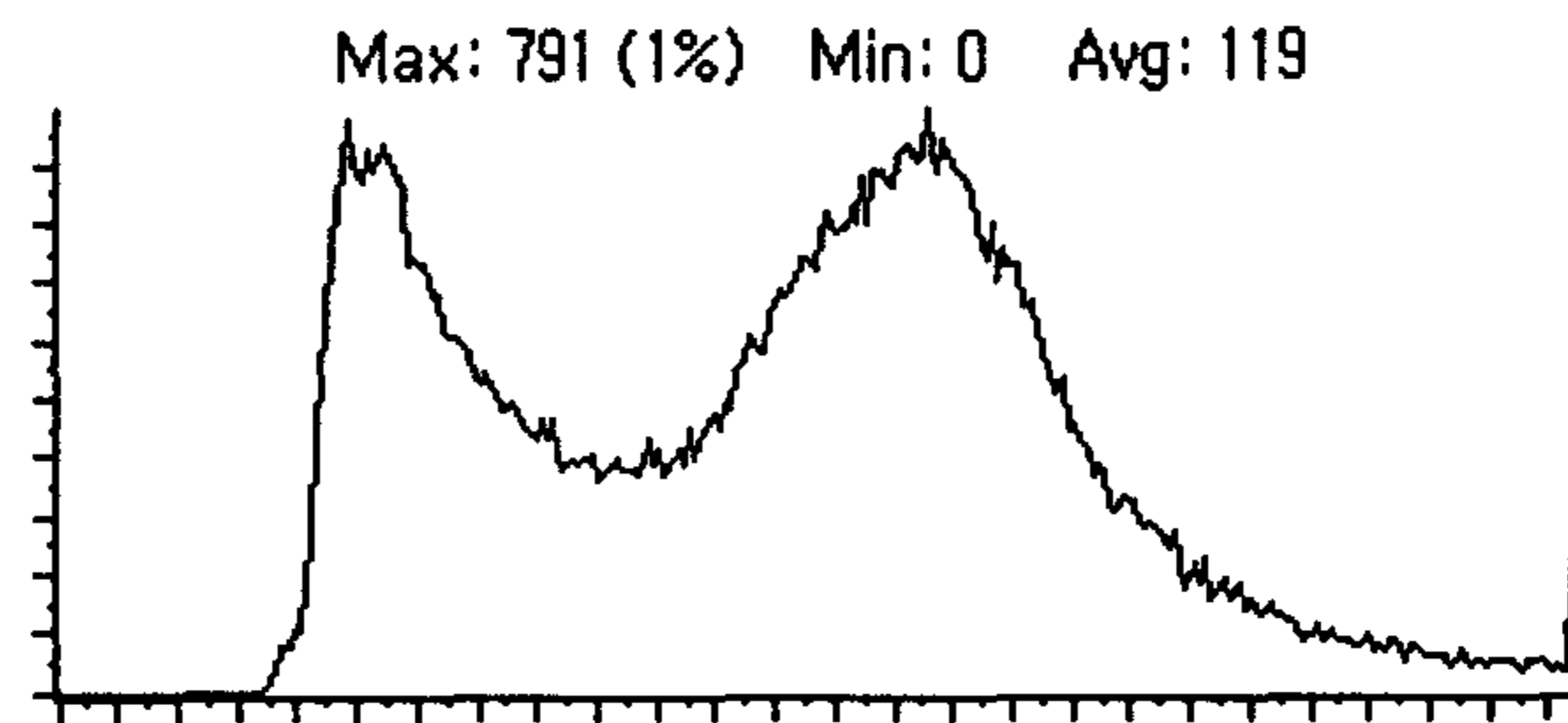


그림 14. 히스토그램 계산 결과

그림 14의 히스토그램 계산 결과는 0~255까지 256 계조의 색이 카운트된 결과와 영상에서의 히스토그램 값의 평균을 나타내고 있다. 계산된 평균값을 문턱 값으로 사용하여 영상을 이치화(二値化)하여 blob의 중심 좌표를 찾는다. 또한 평균을 기준으로 문턱 값을 일정 간격으로 증가, 감소시키며 찾지 못했던 blob의 중심 좌표를 찾는다. 다음은 blob analysis를 위한 기본적인 모듈이다.

```
#include <stdio.h>

#include <mil.h>

/* Target MIL image file specifications. */

#define IMAGE_FILE          M_IMAGE_PATH"bolts.mim"

#define IMAGE_WIDTH        512L

#define IMAGE_HEIGHT       480L

#define IMAGE_THRESHOLD_VALUE  24L

/* Maximum number of blobs and minimum area of blobs. */

#define MAX_BLOBS          100L

#define MIN_BLOB_AREA      50L

/* Radius of the smallest particles to keep. */

#define SMALL_PARTICLE_RADIUS  3L

/* Size of the cross used to mark centers of gravity. */
```

```

#define CSIZE                20L

void main(void)
{
    MIL_ID MilApplication,    /* Application identifier. */
        MilSystem,          /* System identifier.      */
        MilDisplay,        /* Display identifier.     */
        MillImage,         /* Image buffer identifier */
        BinImage,          /* Binary image buffer identifier */
        BlobResult,        /* Blob result buffer identifier. */
        FeatureList;       /* Feature list identifier. */

    long TotalBlobs,        /* Total number of blobs. */

        CogX[MAX_BLOBS],   /* X coordinate of center of gravity. */
        CogY[MAX_BLOBS],   /* Y coordinate of center of gravity. */
        n;                  /* Counter. */

    /* Allocate defaults */

    MappAllocDefault(M_SETUP, &MilApplication, &MilSystem,
&MilDisplay, M_NULL, &MillImage);

    /* Allocate a binary image buffer for fast processing. */

    MbufAlloc2d(M_DEFAULT, IMAGE_WIDTH, IMAGE_HEIGHT,
1+M_UNSIGNED, M_IMAGE+M_PROC, &BinImage);

    /* Load source image into image buffer. */

    MbufLoad(IMAGE_FILE, MillImage);

    /* Binarize image. */

    MimBinarize(MillImage, BinImage, M_GREATER_OR_EQUAL,

```

```

IMAGE_THRESHOLD_VALUE, M_NULL);

/* Remove small particles and then remove small holes. */

MimOpen(BinImage, BinImage, SMALL_PARTICLE_RADIUS,
M_BINARY);

MimClose(BinImage, BinImage, SMALL_PARTICLE_RADIUS,
M_BINARY);

/* Allocate a feature list. */

MblobAllocFeatureList(MilSystem, &FeatureList);

/* Enable feature to select blobs of interest. */

MblobSelectFeature(FeatureList, M_AREA);

/* Allocate a blob result buffer. */

MblobAllocResult(MilSystem, &BlobResult);

/* Calculate selected features for each blob. */

MblobCalculate(BinImage, M_NULL, FeatureList, BlobResult);

/* Exclude blobs whose area is too small. */

MblobSelect(BlobResult, M_EXCLUDE, M_AREA,

M_LESS_OR_EQUAL, MIN_BLOB_AREA, M_NULL);

/* Get the total number of selected blobs. */

MblobGetNumber(BlobResult, &TotalBlobs);

printf("\nThere are %ld objects in the image,\n", TotalBlobs);

/* Select center of gravity feature. */

MblobSelectFeature(FeatureList, M_CENTER_OF_GRAVITY_X);

MblobSelectFeature(FeatureList, M_CENTER_OF_GRAVITY_Y);

/* Calculate selected features for each blob. */

```



```

MblobCalculate(BinImage, M_NULL, FeatureList, BlobResult);

/* Check for array overflow. */

if(TotalBlobs > MAX_BLOBS)

    { printf("Error: too many blobs.\n"); }

else

{

    /* Get the results. */

    MblobGetResult(BlobResult,
M_CENTER_OF_GRAVITY_X+M_TYPE_LONG, CogX);

    MblobGetResult(BlobResult,
M_CENTER_OF_GRAVITY_Y+M_TYPE_LONG, CogY);

    /* Draw gray cross at the center of gravity of each blob. */

    MgraColor(M_DEFAULT,250L);

    for(n=0; n < TotalBlobs; n++)

    {

        MgraLine(M_DEFAULT, MillImage, CogX[n]-(CSIZE/2), CogY[n],
CogX[n]+(CSIZE/2), CogY[n]);

        MgraLine(M_DEFAULT, MillImage, CogX[n], CogY[n]-(CSIZE/2),
CogX[n], CogY[n]+(CSIZE/2));

    }

}

/* Free all allocations. */

MblobFree(BlobResult);

MblobFree(FeatureList);

MbufFree(BinImage);

```

```
MappFreeDefault(MilApplication, MilSystem, MilDisplay, M_NULL,  
MilImage);  
}
```

실험 및 고찰

실험은 철심을 일정 간격으로 움직이며 영상을 획득하였으며, 획득한 영상에서 중복되는 부분을 찾아 매칭(matching)시켜 전체 영상으로 조합하였다. 그림 15는 그림 13의 영상에서 blob을 찾은 결과이다.

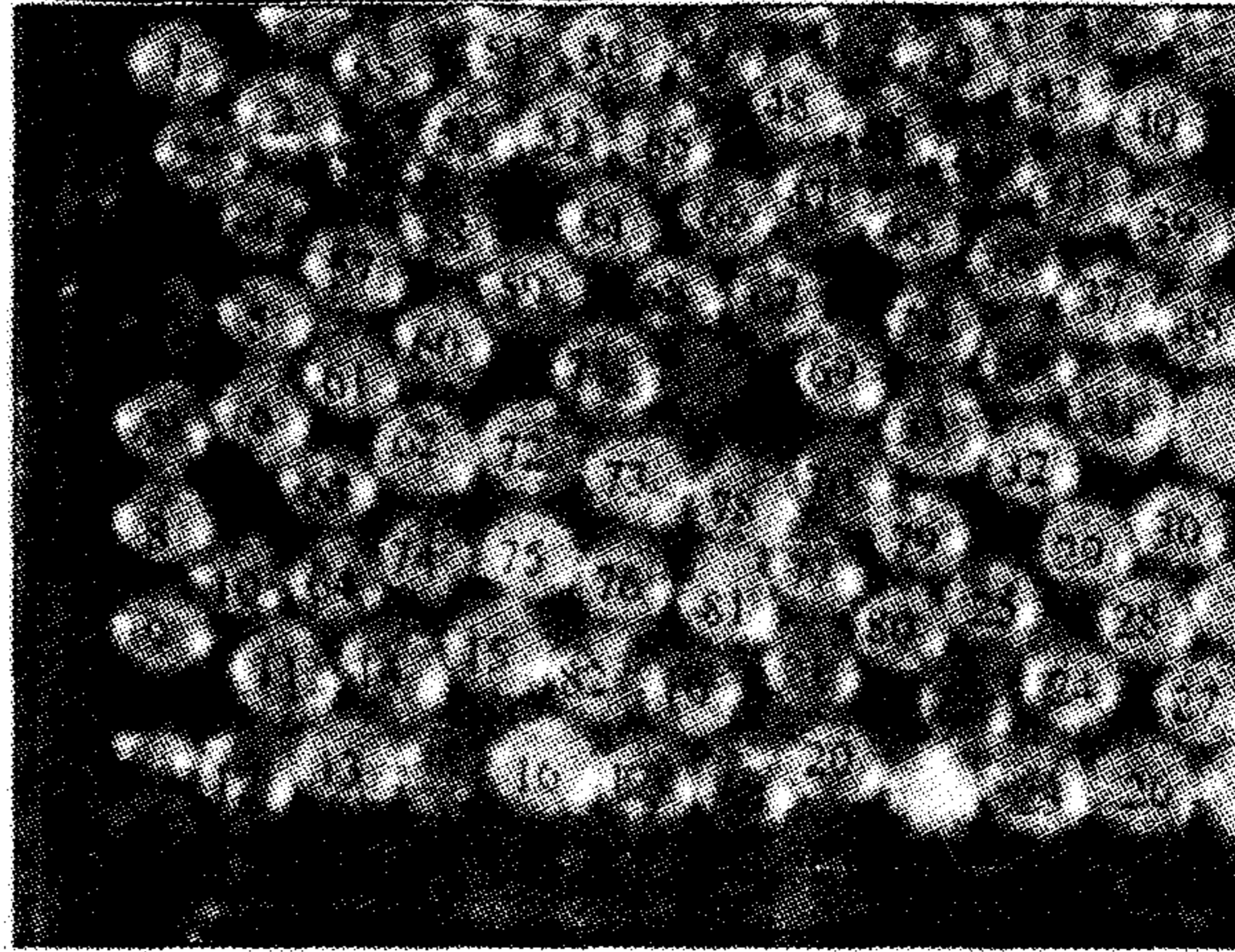


그림 15. blob 계산 결과

그림 15의 계산 결과를 보면 영상 내에 존재하는 blob 중에 찾지 못한 것이 있는데, 이것은 영상의 히스토그램의 평균과 값이 너무 크게 차이나는 부분이다. 영상 중앙의 blob은 실제로는 다른 blob보다 안으로 들어가 있어 조명을 덜 받은 경우이고, 영상 하단의 blob은 다른 blob보다 더 튀어 나와 있어 조명을 많이 받은 경우이다. 그림 16은 획득한 각각의 영상을 전체 이미지로 조합한 결과이다.

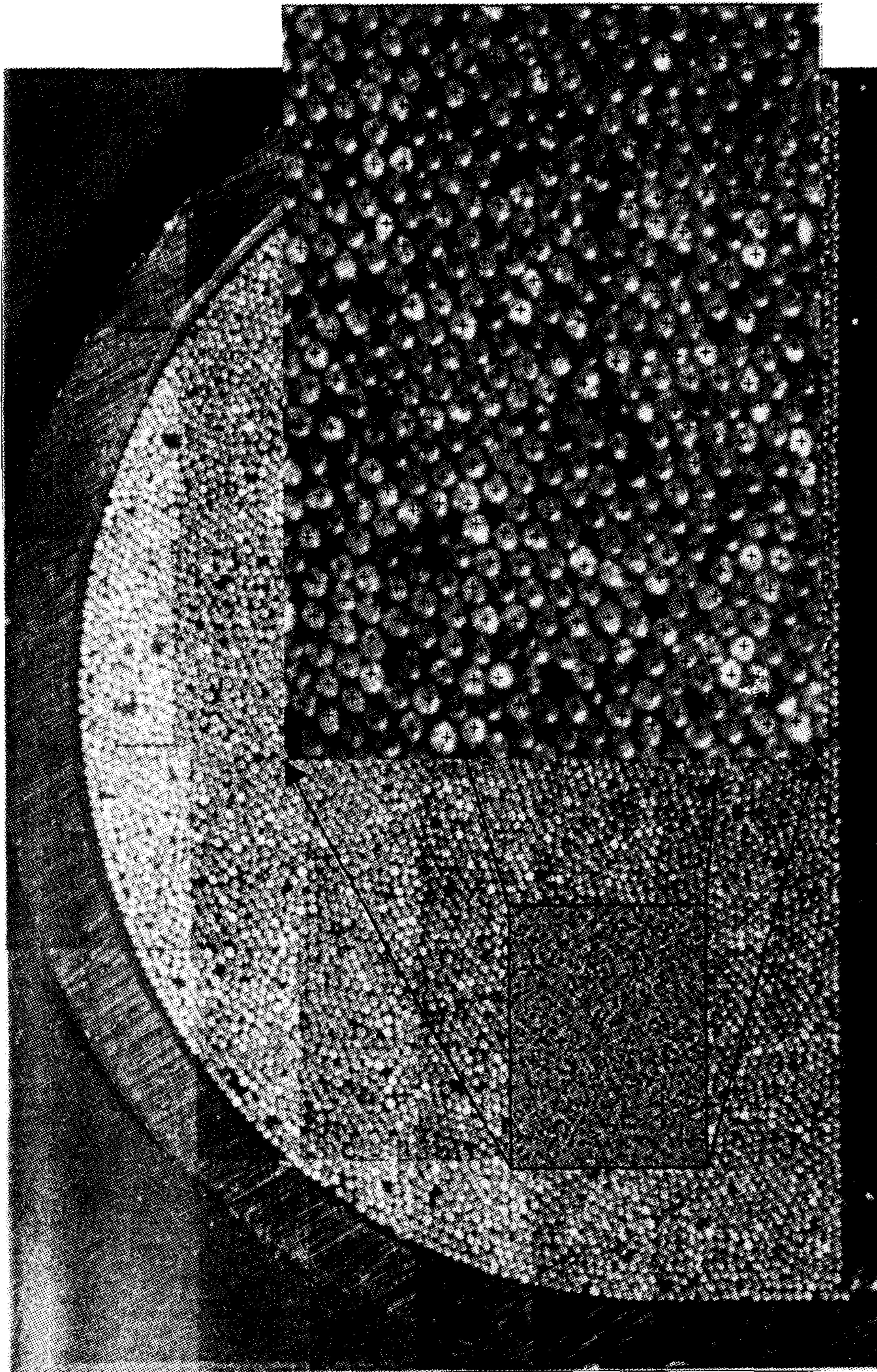


그림 16. 철심 이미지 조합 결과

5. 하드웨어 인터페이스 및 작동 소프트웨어

표면 제시기와 컴퓨터와의 인터페이스 그리고 콤플라이언스 이물레이터 시스템과 컴퓨터와의 인터페이스 다이어그램은 그림 17과 같이 요약된다. 표면 생성 시스템은 y-z table positioning system과 PZT 액츄에이터로서 구성되는데 이들은 모두 PC586을 중심으로 구동된다. 그림 17에서와 같이 2축 (y-z) table positioning system의 경우, PC586에 DRV6000 control card를 설치한 후 이 control card를 통하여 각 시스템 모터의 구동출력 신호와 엔코더의 출력신호가 상호교환되는 구조를 가지고 있다. 또한, 철선다발에 속한 철선의 위치 파악을 위한 영상처리 시스템이 독자적으로 PC와 인터페이스 되어 있다.

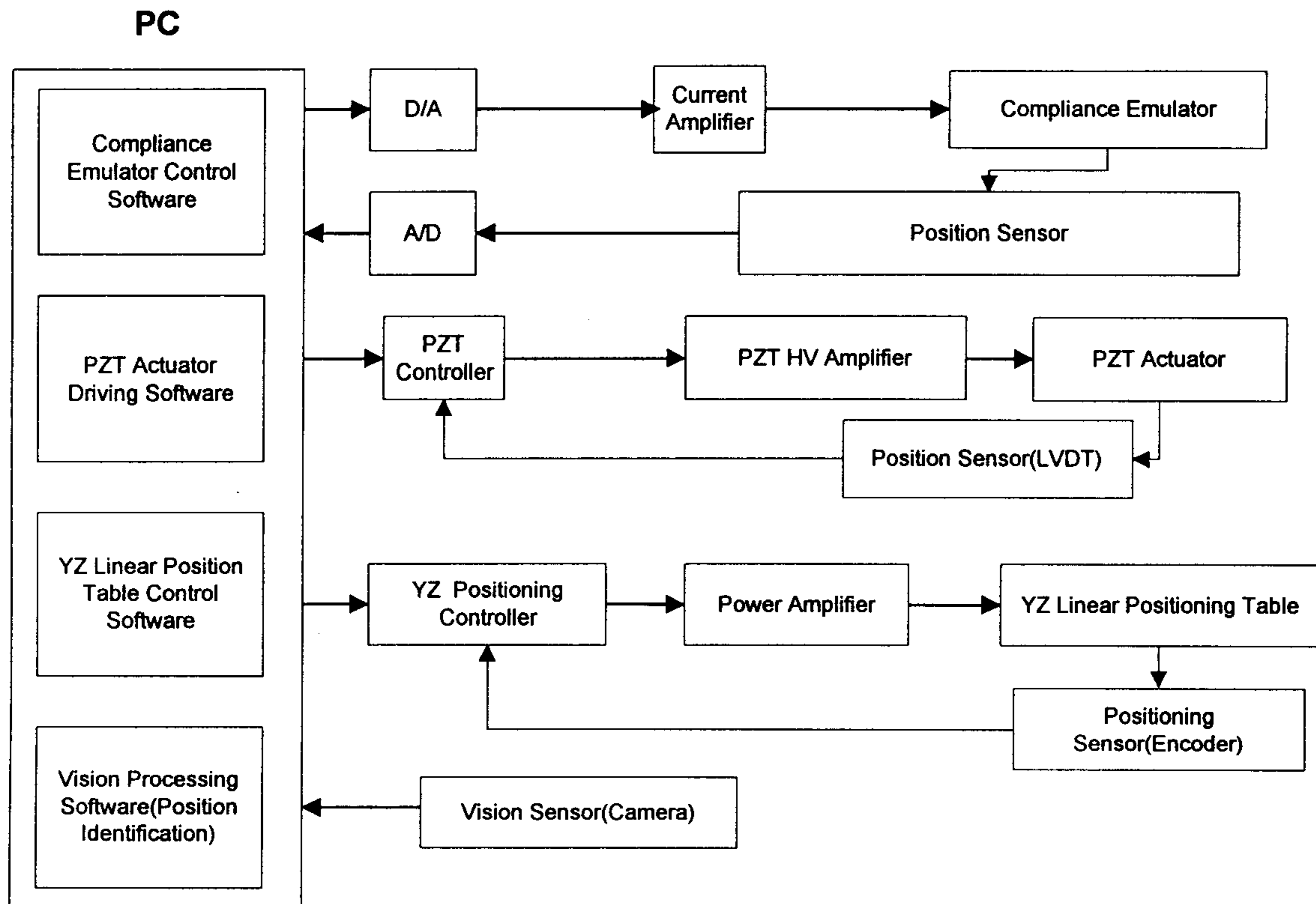


그림 17. 전체 시스템 하드웨어 인터페이스

PZT 액츄에이터 시스템 인터페이스를 나타내는 블록의 경우 PC에 PZT 액츄에이터의 구동 소프트웨어가 위치하며 직렬포트를 통하여 구동 신호가 PZT 제

어기로 전달된다. 또한, PZT 제어기는 LVDT 센서와 페루프로 구성되어 서보 제어를 수행하도록 제작되어 있으며 출력신호는 PZT High Voltage(HV) 증폭기를 통하여 PZT actuator를 구동하도록 되어 있다. 이러한 각각의 통신 소프트웨어 및 작동 소프트웨어가 작성되었다.(부록 C 참조)

표면 생성 시스템의 소프트웨어 작성

그림 18은 원하는 표면을 생성하는 단계를 크게 세 단계로 나누어 보여주고 있다. 그림에서 첫 번째 단계인 desired surface data generation 과정에서의 원하는 생성 표면에 관한 정보는 인간의 감성에 관한 데이터베이스로부터 추정된 제품의 가상 표면 정보를 얻어내는 과정을 내포하고 있으며 본 연구에서는 이러한 데이터는 이미 주어진다고 가정한다.

두 번째 단계인 경로생성기(trajjectory generator)는 표면 생성기의 응답속도와 표면 거칠기의 변화를 고려한 경로계획을 수행하는 과정을 내포하고 있다. 현재 활용하고 있는 각 철심의 직경은 0.25 mm 이며 반경이 1.5 cm 인 철심 다발 표면을 갖는다. 실제로 각 철심의 배열이 균일하지 않기 때문에 각 철심의 중심위치가 측정되어야 한다. 그러므로, 시각센서를 이용하여 영상처리를 수행함으로써 철심 다발에서의 각각의 철심의 위치를 파악하고 생성하고자 하는 표면의 높이 변화에 맞추어 압전 액츄에이터와 x-y 구동 테이블에 대한 경로계획을 수행하였다. 철심들의 위치를 파악한 후 이들 모두를 거쳐 최단시간에 이동하기 위해서는 traveling agency problem에서 활용되는 방법을 사용할 수 있다. 그러나, 생성하고자 하는 표면을 구성하는 철선의 수는 15000 - 20000개정도이며 이러한 모든 점들에 대한 최적경로를 찾기 위해서는 많은 전산시간이 소요된다. 그러므로, 본 연구에서는 먼저 일정한 크기의 세로방향의 band를 지정하여 모든 철심 표면을 포함하도록 구분하고 y-z table 시스템을 가로방향으로 움직이면서 각 band 지역내에 있는 모든 철심들을 거처가도록 하였다. 그리고 마지막 단계로서 표면 생성 시스템에서는 철심 다발의 각 철심을 계획된대로 밀어줌으로써 원하는 표면을 생성하는 과정으로 구성된다.

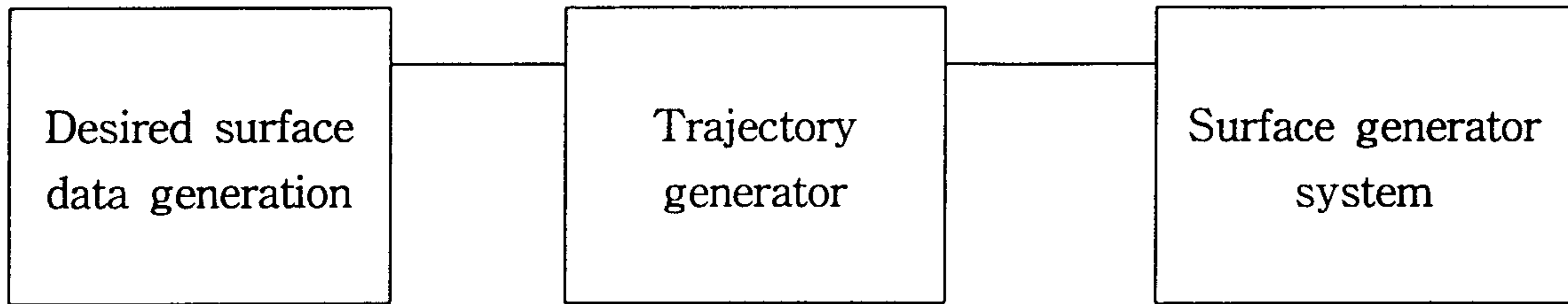


그림 18. 경로 계획 과정

이상의 전체 표면 생성 과정에 대한 소프트웨어가 포함하는 모듈 및 구동절차를 기술하면 다음과 같다.

1. “motor.bat” program은 compumotor에서 제공하는 소프트웨어로서 이 프로그램을 실행함으로써 DRV6000 card에 프로그램을 load하고 card의 주소를 입력할 수 있다. 프로그램을 실행하게 되면 프로그램을 load한후, DRV6000 card의 주소를 묻은 후 prompt가 나타나는데 이 상태에서 y-z table positioning system을 작동시킬 수 있다. 그러므로, 주소(784)를 입력한 후, prompt가 나타난 후 “motor.bat” 프로그램의 실행을 끝낸다.
2. surface.c 프로그램을 실행한다. 이 프로그램은 y-z table positioning system과 PZT actuator system을 구동하는 프로그램으로서 이 프로그램을 실행하기에 앞서 움직이고자 하는 철심의 위치에 관한 데이터가 data file에 저장되어 있어야 한다. 일단 프로그램이 실행되면, 프로그램내에서 y-z table positioning system을 이동하여 reference position까지 이동할 수 있다. 이 때, 표면 생성을 위한 작업이 실행되는 데 표면 생성과정에서의 작동순서는 먼저 y-z table positioning system을 철심의 중심위치로 움직인 후 PZT actuator를 구동하여 원하는 길이만큼 철심을 이동시키는 과정을 반복하게 되어있다. 모든 표면 생성 작업을 수행한 후 y-z table positioning system은 원래의 HOME 위치로 돌아온다.

6. 실험 및 고찰

본 연구에서 제작된 표면 생성 시스템을 이용한 성능실험이 수행되었으며 실험으로부터 관찰된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 먼저 철심 다발을 매끄러운 표면에 대고 적당히 흔들어서 철심다발의 끝 표면을 정렬하였는데 이러한 방법이 매우 효과적임을 확인하였다.
2. 비전을 이용한 영상처리를 수행함으로써 확인된 각 철심의 중심위치는 표면 생성 시스템에서 요구되는 정확성을 가지고 있는 것으로 확인 할 수 있었다. 즉, 2축 테이블 구동 시스템을 구동하고 PZT actuator를 이용하여 정해진 구역내에 있는 모든 철심을 균일한 양만큼 이동시키는 구동 실험을 통하여 모든 철심이 이동되는 것을 확인하였다.
3. 그러나, 표면의 거칠기는 다소 균일하지 않다는 것이 확인되었다. 원래, PZT actuator 시스템은 LVDT 위치센서를 활용한 서보루프로서 설계되었다. 특히, 철심을 파지하지 않은 상태에서 그리고 철심의 한쪽에서 PZT probe pin으로서 미는 방식을 취하기 때문에 응답신호에서 overshoot이 발생되어서는 안되는 구조를 가지고 있다. 그러므로, LVDT 위치센서의 feedback 신호는 critically damp되도록 setting되어야 한다. 그러나, 당해연도에서는 센서의 고장으로 인하여 이러한 feedback 신호를 전혀 활용하지 못하였다. open loop로 PZT actuator를 구동하는 경우 10%-20%정도의 overshoot이 발생되므로 이를 감소시키기 위하여 PZT actuator를 구동할 때 주어진 변위를 sine함수의 반주기형태를 따라 세 단계 내지 네단계로 나누어 구동하였다. 이 때문에 전체 표면 생성 시스템의 작동 속도가 지연되었으며 전체 표면 생성 시스템의 하나의 철심을 이동시키는 데 요구되는 작동속도는 7Hz정도로 나타났다. 설치된 위치센서를 이용한 서보루프를 활용하는 경우 이러한 작동속도는 다소 향상될 수 있을 것이다. 또한, 제시 표면의 경우도 매우 향상될 것이다.
4. 철심의 중심위치를 확인하기 위해서 수동적으로 철심다발을 이동하는 과정을 포함함으로써 각 영상 frame을 조합하는 과정에서 많은 전산하중과

오차를 유발하여 다소 각 철심의 위치에 offset 오차가 발생되었으나, 이러한 과정은 영상처리 소프트웨어와 표면 생성 시스템의 작동 소프트웨어를 통합함으로써 자동화 할 수 있으며 이로서 각 영상 frame간의 조합으로 인하여 발생하는 오차는 감소될 수 있을 것이다.

2 절 콤프라이언스 에뮬레이터 시스템

물체 표면의 생성과 물체의 기계적 특성중의 하나인 콤프라이언스를 동시에 재현하는 경우 보다 현실적인 접촉감 및 질감을 제시할 수 있을 것이다. 또한, 표면의 재현과 콤프라이언스 또는 적절한 진폭과 주파수를 가지는 운동을 재현하는 경우 현존하는 가진편에 의해 제시되는 접촉감에 비하여 다소 향상된 접촉감을 제시할 수 있을 것으로 사료된다. 그러므로, 본 절에서는 수직방향으로의 콤프라이언스 재현 기능을 갖춘 콤프라이언스 에뮬레이터 시스템의 설계와 구현에 관하여 기술한다.

콤프라이언스 에뮬레이터의 설계에 있어 고려되어야 할 주요 사항은 첫째로, 최대 가진 주파수와 가진폭의 크기를 극대화하는 것과 둘째로 마찰을 최소화하는 것이다. 최대 가진 주파수와 가진폭의 크기는 시스템의 동적특성 즉 관성과 관련이 되므로 콤프라이언스 에뮬레이터의 설계에 있어 유동부분의 관성과 마찰력을 최소화하여야 한다. 특히, 현존하는 선형 액츄에이터 시스템의 경우, 현 목적에 적합하도록 제작되어 있지 않으므로 본 연구에서는 새로이 본 연구취지에 적합한 콤프라이언스 에뮬레이터 시스템을 제작하였다.

1. 콤프라이언스 에뮬레이터 설계

콤프라이언스 에뮬레이터 시스템은 사람이 물체를 접촉할 당시에 느껴지는 다양한 물체의 콤프라이언스를 재현하는 것을 목표로 하므로, 넓은 범위의 콤프라이언스 제시 특성을 가져야 한다. 공압을 이용하여 제품의 콤프라이언스를 재현할 수 있으나 공압 실린더에서의 큰 정지 마찰력으로 인하여 실제 원하는 제품의 정확한 콤프라이언스의 재현하기 어렵다. 그러므로, 콤프라이언스 에뮬레이터 시스템의 설계시 유동부의 관성과 마찰효과를 최소화하여 우수한 콤프라이언스 재현 특성을 현실감있게 재현하는 것이 중요하다. 이러한 목적에 맞는 시스템으로서 본 연구에서는 자력을 이용한 콤프라이언스 에뮬레이터 시스템을 구현하였다. 이러한 콤프라이언스 에뮬레이터 시스템은 전자석과 영구자석

을 이용한 levitation 시스템과 같이 유동판이 지면에 수직으로 움직이는 구조를 가지고 있으며 feedback 센서로는 LVDT센서가 사용되었다.

그림 10에 보여진 콤플라이언스 에뮬레이터는 전년도에 제안 및 제작된 시스템으로서 크게 유동부와 고정부로 나누어지는데, 고정부에는 원형모양의 판에 코일이 감겨진 스펴모양의 코아(wired spool core) 또는 전자석 여섯 개가 대칭으로 고정되어 있다.(자세한 설계도면은 부록 참조) 그리고 유동부의 축이 한 방향으로 운동하도록 슬리브 베어링 부분이 설치되어 있다. 유동부는 축과 축에 고정된 원형모양의 하판과 이 하판의 윗면에 부착된 여섯 개의 영구자석으로 구성된다. 유동부의 하판에 부착된 여섯 개 각각의 영구자석은 고정부의 전자석 바로 밑에 위치된다. 스펴 모양의 코아의 재질로서는 ferromagnetic material 을 사용되었고 유동부의 모든 재질은 알루미늄과 같은 non-ferromagnetic 재질을 활용하여 자화되는 것을 방지하였다.

이러한 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 작동원리에 관하여 기술하면 다음과 같다. 여섯 개의 전자석에 동일한 크기의 전류를 가함으로서 자력을 발생시키며 발생된 자력과 고정판에 고정되어 있는 영구자석과의 반발력 또는 흡입력을 제어하여 원하는 유동부의 위치를 조절함으로써 콤플라이언스를 재현시키게 된다. 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 초기상태에는 영구자석의 자력으로 인하여 전자석과 영구자석이 가깝게 마주보고 있는 상태에 있다. 시스템이 작동하게 되면 전자석에 전류(i_e)를 가함으로서 반발력을 발생시킴으로서 중력을 상쇄시킴과 더불어 위치센서(LVDT센서)를 이용하여 지정된 평형위치(x_e)에 있도록 한다. 이러한 상태에서, 유동부의 상판으로부터 외력이 가해졌을 때, 유동판에서 느끼는 콤플라이언스를 재현하도록 전자석에 적절한 크기의 전류를 가하게 되는 구조를 가지고 있다. 그림 10과 같이 이 시스템의 상판부에 철심다발이 놓여지게 된다.

그리고 이러한 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템은 그림 17과 같이 PC에 구동 소프트웨어가 위치해 있으며 구동 신호가 바로 D/A 변환기를 거쳐 그리고 다시 전압 증폭기를 통하여 콤플라이언스 에뮬레이터의 코일로 입력되며 LVDT

위치센서로부터의 유동부 하판의 위치 신호 및 속도를 A/D 변화기로 받아들임으로서 폐회로가 구성되는 구조를 가지고 있다.

2. 콤플라이언스 에뮬레이터의 모델링

우선 여섯 개의 영구자석과 전자석간의 간섭이 없다고 가정한다. 하나의 영구자석과 전자석간의 갭(air gap)의 형태는 그림 19와 같이 반경 r 과 높이에 해당하는 변위 x 를 가지는 실린더 형태이다. 영구자석과 전자석의 자극에서 발생하는 자속선에 누출(leakage)이 없다고 가정할 때 Maxwell의 응력 텐서(tensor)는 다음과 같이 정의된다.[25]

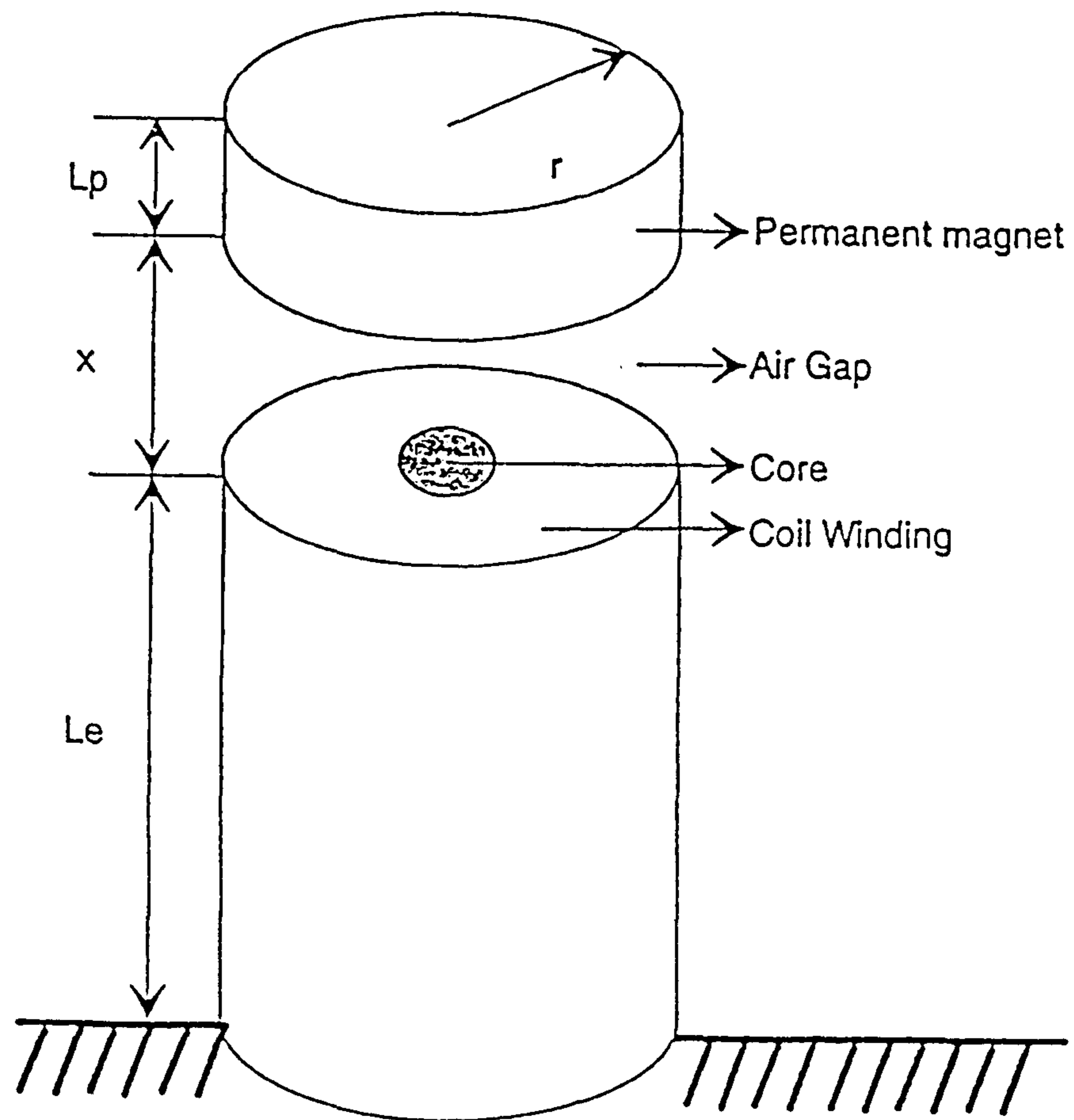


그림 19. 영구자석 및 전자석 시스템

$$[T] = \begin{bmatrix} H_x B_x - \frac{H \cdot B}{2} & H_x B_y & H_x B_z \\ H_y B_x & H_y B_y - \frac{H \cdot B}{2} & H_y B_z \\ H_z B_x & H_z B_y & H_z B_z - \frac{H \cdot B}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

위 식에서 H_k 는 자기장의 세기($k=x, y, z$), 그리고 B_k 는 자속밀도(magnetic flux density)를 나타낸다. 식 (3)에서 미소부피에 대한 힘을 구하면

$$f_k = \frac{\partial T_{kx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{ky}}{\partial y} + \frac{\partial T_{kz}}{\partial z} = \nabla \cdot T_k \quad (4)$$

$$T_k = (T_{kx} \quad T_{ky} \quad T_{kz}) \quad (5)$$

식 (4)에서 air-gap를 가지는 두 자석사이의 작용력을 구하면

$$F_k = \int_V f_k dV = \int_V \nabla \cdot T_k dV = \int_S T_k \cdot \hat{n} dS \quad (6)$$

와 같으며 \hat{n} 은 단위법선벡터, S 는 air-gap의 부피 V 의 표면적을 나타낸다. 식 (6)으로부터 실린더 형태의 air-gap은 중심축에 대하여 대칭이므로 두 자석간의 반발력은 중심축 방향인 x 축으로 힘요소만을 가진다는 것을 알 수 있다.

한편, 영구자석과 전자석의 표면자속밀도(surface magnetic density)가 균일하다고 가정할 때 식 (6)은

$$F = \frac{S_p B_p H_e}{2} + \frac{S_e B_e H_p}{2} \quad (7)$$

와 같이 정리되며 여기서 S_i 는 각각 전자석과 영구자석의 표면적($i=e$:전자석, p : 영구자석)이다. 두 자석의 자극강도를 각각 m_i 인 자하로 가정하면, 이들 각각에 대한 자장의 세기는

$$H_i = \frac{m_i}{4\pi\mu_0 x^2} \quad (8)$$

이며 여기서 μ_0 는 진공의 투자율(permeability) 그리고 x 는 두 자석사이의 거

리를 나타낸다. 그러므로, 자하가 각각 m_e 와 m_p 인 전자석과 영구자석 사이에 작용하는 힘은

$$F = \frac{m_e m_p}{4\pi\mu_0 x^2} \quad (9)$$

와 같이 표현된다.

영구자석과 전자석 사이의 힘은 다음과 같은 반발력과 흡입력이 존재하며

$$f_M = \alpha \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x+L_e)^2} - \frac{1}{(x+L_p)^2} + \frac{1}{(x+L_e+L_p)^2} \right) \quad (10)$$

여기서 α 는 자석의 형태와 배치환경에 따라서 결정되는 상수를 나타낸다. 특히, air-gap의 크기와 영구자석의 길이(L_p)가 전자석 축의 길이(L_e)에 비하여 매우 적다고 가정하면 식 (10)은 다음과 같은 근사식으로 나타낼 수 있다.

$$f_M \approx \alpha \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x+L_p)^2} \right) \quad (11)$$

3. 자석의 반발력 해석

영구자석과 전자석사이의 반발력은 근사적으로

$$F_m = \frac{m_e m_p}{4\pi\mu_0 x^2} - \frac{m_e m_p}{4\pi\mu_0 (x+L_p)^2} \quad (12)$$

로 표현된다. 영구자석의 자극강도는 생산자로부터 주어지며 전자석의 자극강도 m_e 는 다음과 같이 얻어진다.

$$m_e = B_e S_e = B_e \pi a_e^2 \quad (13)$$

그리고 위 식에서 표면자석밀도 B_e 는 그림 20과 같이 코일이 한 번 감긴 경우에 대하여 고려하는 경우 Biot-Savart의 법칙으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$B = \int_C \frac{\mu I'}{4\pi} \left(\frac{ds' \times \hat{a}_R}{R^2} \right) = \int_C \frac{\mu I'}{4\pi} \left(\frac{ds' \times R}{R^3} \right) \quad (14)$$

여기서

$$\mathbf{r} = z \hat{\mathbf{z}} \quad (15)$$

$$\hat{\mathbf{r}}' = x' \hat{\mathbf{x}} + y' \hat{\mathbf{y}} = a(\cos \psi' \hat{\mathbf{x}} + \sin \psi' \hat{\mathbf{y}}) \quad (16)$$

$$d\mathbf{s}' = d\mathbf{r}' = a d\psi' (-\sin \psi' \hat{\mathbf{x}} + \cos \psi' \hat{\mathbf{y}}) \quad (17)$$

$$\mathbf{R} = -a \cos \psi' \hat{\mathbf{x}} - a \sin \psi' \hat{\mathbf{y}} + z \hat{\mathbf{z}} \quad (18)$$

$$R^2 = a^2 + z^2 \quad (19)$$

$$d\mathbf{s}' \times \mathbf{R} = a d\psi' [z(\cos \psi' \hat{\mathbf{x}} + \sin \psi' \hat{\mathbf{y}}) + a \hat{\mathbf{z}}] \quad (20)$$

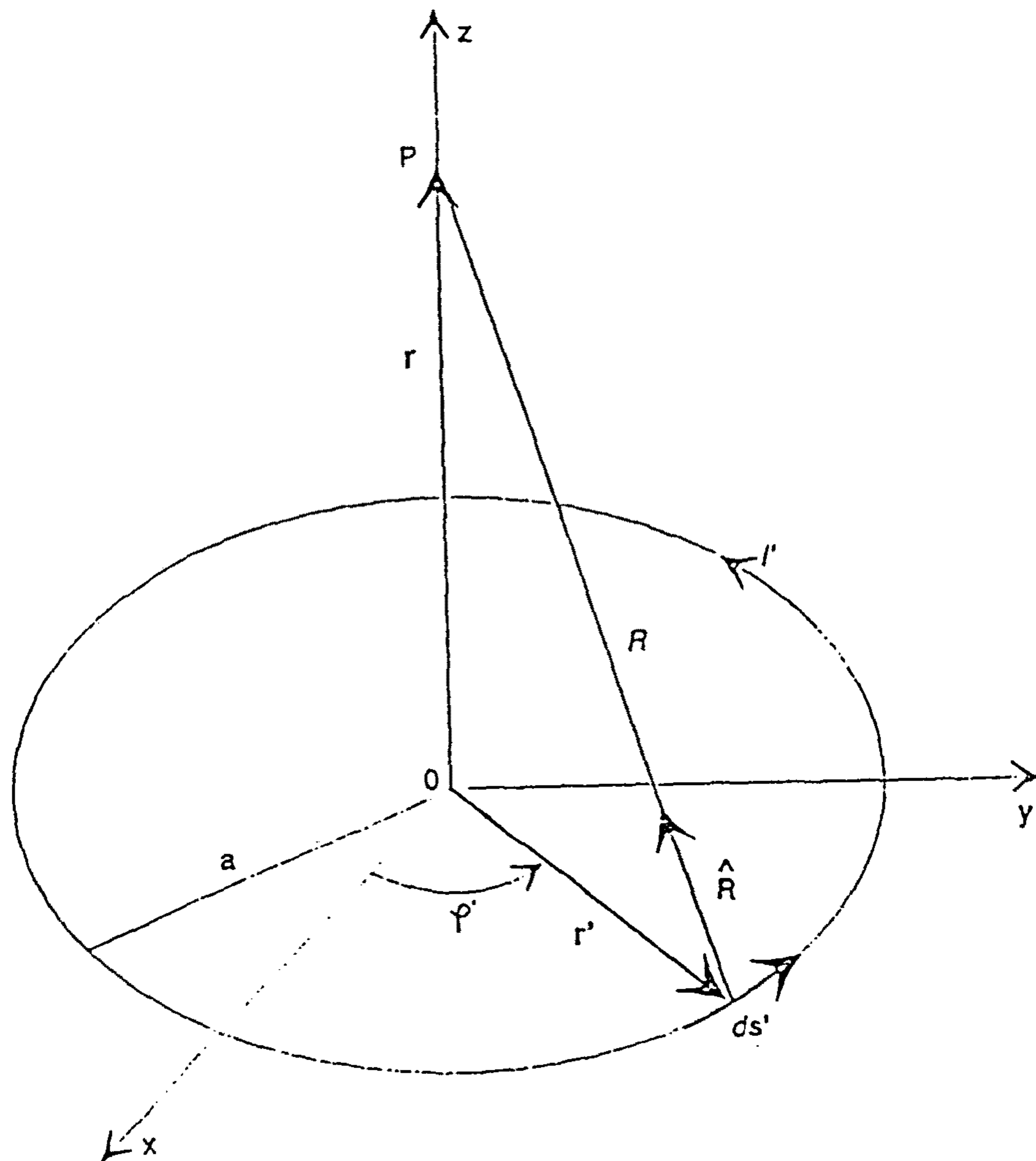


그림 20. Calculation of axial induction of a circular current I'

이다. 그러므로 식 (14)는

$$B(z) = \frac{\mu I' a}{4\pi} \frac{\int_0^{2\pi} [z(\cos \psi' \hat{x} + \sin \psi' \hat{y}) + a \hat{z}] d\psi'}{(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu I' a^2}{2(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \hat{z} \quad (21)$$

와 같이 구해진다. 위 결과를 이용하여 그림 21과 같이 투자율이 μ , 반경이 a_e , 그리고 길이가 L_e 인 원통형 형태의 코아에 코일이 균일하게 N 번 감긴 전자석의 자석밀도를 구해본다. 식 (21)을 이용하면

$$dB = \frac{\mu I' a_e^2 n dz_o}{2[a_e^2 + (z_p - z_o)^2]^{\frac{3}{2}}} \hat{z} \quad (22)$$

임을 알 수 있으며 여기서

$$n = \frac{N}{L_e} \quad (23)$$

로서 단위 길이당 권선수를 나타낸다.

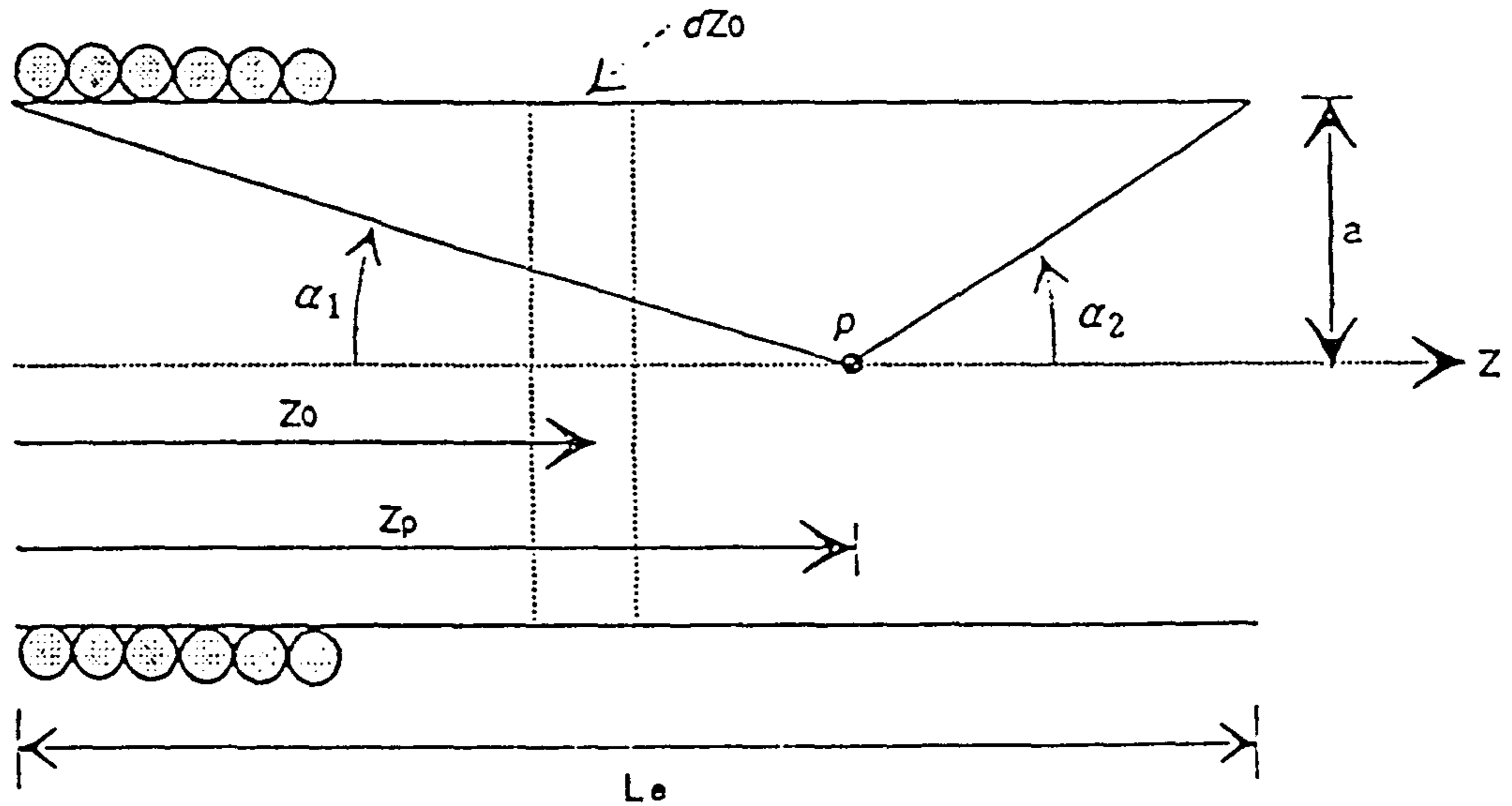


그림 21. An ideal electro-magnet of Length L_e

식 (22)를 코아의 길이를 따라 적분하면 자석밀도는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_o n I' a_e^2}{2} \int_0^{L_e} \frac{dz_o}{[(z_p - z_o)^2 + a_e^2]^{\frac{3}{2}}} \hat{z} \\ &= \frac{\mu_o n I' a_e^2}{2} \left[\frac{L_e - z_p}{\sqrt{(L_e - z_p)^2 + a_e^2}} + \frac{z_p}{\sqrt{a_e^2 + z_p^2}} \right] \hat{z} \end{aligned} \quad (24)$$

식 (24)에서 전자석의 자극은 $z_p = L_e$ 이므로 자극밀도는 다음과 같다.

$$B_e = \frac{\mu n I'}{2} \left\{ \frac{L_e}{\sqrt{L_e^2 + a_e^2}} \right\} \quad (25)$$

식 (25)를 식 (13)에 대입하면 전자석의 자극강도 m_e 는 아래와 같이 구해진다.

$$m_e = \frac{\mu \pi a_e^2 n I' L_e}{2 \sqrt{L_e^2 + a_e^2}} \quad (26)$$

한편, 영구자석의 자극강도 m_p 는

$$m_p = B_p S_p = B_p \pi a_p^2 \quad (27)$$

로 표현되며 여기서 B_p 와 S_p 는 각각 영구자석의 표면자속밀도와 영구자석의 표면적을 나타낸다. 식 (26)과 식 (27)을 식 (12)에 대입하여 정리하면 air gap 내의 임의의 위치에서의 자력은 아래와 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} F_m &= \frac{\mu \pi B_p a_e^2 a_p^2 n I L_e}{8 \mu_o \sqrt{L_e^2 + a_e^2} x^2} - \frac{\mu \pi B_p a_e^2 a_p^2 n I L_e}{8 \mu_o \sqrt{L_e^2 + a_e^2} (x + L_p)^2} \\ &= \frac{\mu \pi B_p a_e^2 a_p^2 n I L_e}{8 \mu_o \sqrt{L_e^2 + a_e^2}} \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x + L_p)^2} \right) \end{aligned} \quad (28)$$

식 (28)에서 변위와 시스템 인자들을 구분하여 정리하면

$$F_m = \beta \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x + L_p)^2} \right) I \quad (29)$$

와 같으며 여기서

$$\beta = \frac{\mu \pi B_p a_e^2 a_p^2 n L_e}{8 \mu_o \sqrt{L_e^2 + a_e^2}} \quad (30)$$

는 설계변수인 시스템의 형상과 물성치의 함수로서 상수이다. 이상의 결과식

(27)로부터 영구자석과 전자석에 의해 발생하는 자력은 자석 시스템의 형상과 물성치에 의해 결정되는 상수이며 코일에 가해진 전류의 크기와 변위 x 의 함수임을 알 수 있다.

4. 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 구동 알고리즘

대부분의 전자석이나, 영구자석을 활용하는 실제 시스템의 경우, 영구자석과 전자석의 형상 및 재질이 균일하지 않으며 코일이 코아에 감기게 되어 코일의 반경이 변화되므로 식 (29)와 같이 이상화된 시스템의 관계식을 바로 적용하기에는 어려움이 있다. 그러므로, 정확한 자력을 구하기 위하여 유한요소법(FEM)이나 경계요소법(BEM)과 같은 컴퓨터를 이용한 수치적인 방법을 활용될 수 있다.[25] 그러나, 본 연구에서는 식 (29)에서 알 수 있는 바와 같이 영구자석과 전자석사이에 발생하는 자력은

$$f_M = f_M(x, i) \quad (30)$$

와 같이 전류의 크기와 변위의 함수로 표현된다고 가정한다. 실제로 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템은 제품의 콤플라이언스를 재현하려는 목적으로 사용될 것이므로 발생하는 변위의 크기가 매우 적은 경우에 한해 결정된 한 작용점을 중심으로 선형화된 자력 관계식을 활용할 수 있다. 그러나, 다양한 크기의 콤플라이언스 특성을 제시하거나 큰 외력이 가해지는 경우 이러한 가정은 적합하지 않다.

그러면, 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 동역학식에 관하여 기술한다. 먼저 영구자석과 가까운 코아의 끝을 기준점으로 할 때(즉, $x=0$), 유동판에 관한 동역학식은 다음과 같이 표현된다.

$$M\ddot{x} + b\dot{x} = f_{ext} + f_M(x, i) + Mg \quad (31)$$

위 식에서 M 은 영구자석과 유동판의 질량, b 는 유동판과 고정판 사이에 있는 슬리브 베어링의 점성 마찰계수, f_{ext} 는 유동판에 가해진 외력, f_M 는 코일이 감겨진 철심에서 발생하는 자석력, 그리고 Mg 는 영구자석과 유동판의 중량을 나

타낸다. 이밖에 stiction등이나 비선형 마찰력등이 존재하지만 이들은 모두 외란으로 처리하여 식 (31)에 포함하지 않았다. 식 (31)에서 가해진 외력이 없다고 할 때(즉, $f_{ext}=0$) 정상상태에서 요구되는 전자력은 다음과 같이 표현된다.

$$f_{Me}(x_e, i_e) = -Mg \quad (32)$$

식 (32)에서와 같이 자력은 두 값 x_e 와 i_e 의 함수임을 알 수 있으며 이 점을 중심으로 식 (31)을 선형화하면 다음과 같이 근사적으로 표현할 수 있다.

$$M \ddot{\Delta x} + b \dot{\Delta x} \approx f_{ext} - k_M \Delta x - k_i \Delta i \quad (33)$$

여기서

$$k_M = \left. \frac{\partial f_M}{\partial x} \right|_{x_e, i_e} \quad (34)$$

$$k_i = \left. \frac{\partial f_M}{\partial i} \right|_{x_e, i_e} \quad (35)$$

로 정의되며 이 값들은 실험에 의해서 구할 수 있다. 특히, k_M 은 전자석 또는 연구자석으로부터 형성되는 스프링 계수를 의미한다. 식 (35)에서 Δi 는 전자석으로의 추가 입력전류를 나타내며 Δx 는 평형위치로부터의 변위를 나타낸다. 즉,

$$\Delta x = x - x_e \quad (36)$$

$$\Delta i = i - i_e \quad (37)$$

한편, C_d 는 유동판에서의 원하는 콤플라이언스(또는 $\frac{1}{k_d}$), f_{ext} 는 유동판에 가해진 힘, 그리고 Δx_d 를 이로 인하여 유발되는 평형위치 x_e 로부터의 변위를 나타낸다고 할 때, 유동판이 원하는 콤플라이언스를 나타내기 위해서는 다음의 관계식을 만족하여야 한다.

$$f_{ext} = \frac{\Delta x_d}{C_d} \quad (38)$$

그러므로, 코일에 가해지는 입력전류로서 다음과 같이 결정되는 입력전류를 사

용한다고 하자.

$$k_i \Delta i = -b^* \dot{\Delta x} - k^* \Delta x \quad (39)$$

이 식을 식 (33)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 정리된다.

$$M \ddot{\Delta x} + (b + b^*) \dot{\Delta x} + (k_M + k^*) \Delta x = f_{ext} \quad (40)$$

정상상태에서의 변위 Δx_{ss} 는

$$\Delta x_{ss} = \frac{f_{ext}}{k_M + k^*} \quad (41)$$

의 값을 갖는다. 식 (38)과 식(41)로부터 식 (39)에서의 위치계인 k^* 는

$$k^* = k_d - k_M \quad (42)$$

으로 결정되면 원하는 강성이 재현된다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로, 식(39)에서의 b^* 값으로서 적절한 값을 선정함으로써 유동판의 damping ratio 특성을 조절할 수 있다. 실제 시스템의 경우, 유동판의 변위 Δx 는 위치 센서(LVDT sensor)를 이용하여 측정될 수 있으며 $\dot{\Delta x}$ 는 사용된 위치센서로부터 측정된 위치신호를 수치적으로 미분하여 사용할 수 있다.

5. 실험 및 고찰

당해연도에는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템의 하드웨어 및 입출력 인터페이스가 완료되었지만 제작된 실제 시스템의 성능향상과 밀접한 관계가 있는 시스템의 제어인자들(즉, M, b, k_M, k_i)에 대한 측정이 수행되지 못하였다. 그럼에도 불구하고, 입력전류로서 다음과 같은 제어법을 이용하여 시스템의 개략적인 성능을 점검하였다.

$$i = -\frac{K_p}{k_i} \Delta x - \frac{K_v}{k_i} \dot{x} = -K_p^* \Delta x - K_v^* \dot{x}, \quad (43)$$

또한, 식(43)에서 제어출력으로서 전류가 사용되어 증폭기로서 전류 증폭기가 사용되어야 하지만 시중에서 구입된 전류증폭기의 대역폭이 불과 200-300Hz 정도의 성능으로 콤플라이언스 시스템이 매우 불안정한 응답특성을 나타내었다. 이

러한 단점을 보완하기 위하여 전류증폭기는 아니지만 HP에서 제공되는 30 KHz의 대역폭을 가지고 있는 6825A bipolar 전압증폭기가 사용되었다. 실제로 전자석 coil의 시상수는 $50\mu\text{sec}$ 정도여서 제작된 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템에 비하여 충분히 빠른 동적응답특성을 가지기 때문에 전압증폭기가 대신 사용되어도 시스템의 동적 특성에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다.

위치 센서로서는 약 200-250 Hz의 sampling frequency를 가지고 있는 digital LVDT 센서가 사용되었다. 그리고 식 (43)에서 요구되는 속도를 측정하기 위해서 위치센서로부터 얻어진 데이터를 backward difference 방법을 사용하여 속도 데이터를 구하여 적용하였다. 그러나, digital LVDT센서의 경우, 측정가능한 속도범위가 1m/sec정도이므로 시스템이 빠른 속도로 움직이게 되는 경우 정확한 위치 데이터는 물론 속도 데이터를 효과적으로 제공하지 못하는 단점이 발견되었다. 그리고 얻어진 위치 데이터로부터 얻어지는 추정 속도 데이터도 미분으로 인한 noise효과가 매우 커서 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템에서 요구되는 동적 응답특성을 얻기에는 한계가 있는 것으로 확인되었다. 즉, 이론적으로 식 (40)에 주어진 바와 같은 feedback spring효과나 feedback damping효과가 실험적으로는 매우 미흡한 효과를 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

그러므로, 이론적으로 무한대의 분해능을 가지는 analog LVDT센서를 digital LVDT 대안으로 사용하였으나, 이 센서의 출력에서 9.09KHz의 frequency를 가지며 진폭이 $\pm 1.0\text{V}$ 정도를 가지는 noise 신호가 감지되었다. 이러한 noise 신호는 여러 형태의 analog low pass filter를 사용하여 이를 제거하려 하였으나 이러한 신호를 완전히 제거할 수 없었으며 white noise와 같은 넓은 대역폭을 가지고 있다는 것이 확인되었다. 그러나, 적절한 크기의 resistor-capacitor를 사용한 analog low pass filter를 사용하는 경우, noise의 진폭은 $\pm 0.5\text{V}$ 정도까지 감소되는 것으로 나타났다. 한편, 이러한 신호를 A/D converter로 입력한 후 다시 digital filter를 사용한 경우에도 위치 및 속도 신호에 포함된 noise 신호는 제거되지 않았다.

이러한 analog LVDT 센서로부터의 출력신호중 noise를 제거하기 위하여

10KHz의 sampling rate를 가지는 PCL-718에 내장된 A/D converter를 사용하여 7개의 data를 입력받은 후 이들 중 평균값이 아닌 가운데(네번 째) 값에 속하는 값을 취했을 때, 대부분의 noise가 제거되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 현재 이로부터 backward difference 방법과 그 밖의 방법을 혼용하여 noise가 적은 속도 데이터를 추정하기 위한 연구가 지속되고 있다.

이상과 같은 analog LVDT 또는 digital LVDT 센서를 이용하여 측정된 위치 및 속도 정보를 가지고 식 (43)과 같은 제어법을 적용하여 콤플라이언스 특성을 재현하는 간단한 실험을 수행하였는데 상대적으로 제한된 폭의 콤플라이언스를 재현할 수 있는 것으로 확인되었다. 아주 크거나, 또는 매우 적은 콤플라이언스를 재현하려고 하는 경우 불안정한 응답특성을 나타내었다. 이러한 이유로는, 첫째로, 시스템에서 감지되는 정 마찰력(stiction)의 크기가 매우 큰 것으로 나타났으며, 이 때문에 낮은 콤플라이언스의 재현이 어려웠다. 시스템의 구성요소로서 영구자석, 전자석등이 사용되었으며 이들 각각의 특성이 서로 동등해야 하지만, 다소 차이가 있었다. 이러한 차이는 유동축에 모멘트를 유발시킴으로서 마찰력을 증가시키는 것으로 관찰되었다. 둘째로, 제작된 시스템의 동적 응답 특성이 일반 시스템에 비하여 매우 우수하지만 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템에서 요구되는 동적 응답 특성을 만족시키기 위해서는 관성이 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

이상의 실험으로부터 시스템의 성능향상에 요구되는 주요한 사항을 요약하면 다음과 같다.

1) 위치 센서의 늦은 동적 특성과 noise 문제 :

- 위치 센서로서 Digital LVDT 센서가 활용되었는데 sampling 속도가 매우 늦으므로 효과적인 콤플라이언스 특성을 재현하는 데 적합하지 못한 것으로 나타났다.
- 시스템의 안정성을 보장하기 위하여 속도정보가 요구되며 LVDT 센서의 출력을 low pass filter를 적용하여 속도정보로서 활용하였으나, 미분으로 인한 noise의 효과가 너무 커서 적절한 dampin효과를 얻을 수가

없었다. 특히, 엔코더 위치 센서를 사용하는 것도 고려되었으나, 이 경우 동적 응답속도가 매우 늦어서 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템에는 적합하지 않은 것으로 판단되어 사용되지 않았다.

2) 전자석과 영구자석의 비선형성 :

- 시스템의 구조상 영구자석과 전자석을 이용하고 있으므로 이들 사이의 air gap내에서의 비선형성이 존재한다. 전년도에서는 콤플라이언스의 재현에 요구되는 유동축의 변위가 매우 적다는 가정하에 작업구간 내에서 이러한 비선형성을 선형화로 근사할 수 있다고 가정하고 간단한 PD제어방식을 적용하였다. 이러한 근사적인 가정은 시스템의 안정도에 나쁜 영향을 준 것으로 추정되었다.

3) 전자석과 영구자석의 misalignment로 인한 마찰력과 비선형적인 자력 :

- 전자석과 영구자석이 정확하게 align이 되지 않는 경우 유동축에 모멘트가 가해지게 되는데 이로 인하여 유동축에 마찰이 증대되었다. 그리고 실제 영구자석의 자력이 모두 똑 같지 않으며 정확히 축방향으로 향하지 않는 사실과 여섯 개의 각 전자석에 사용된 코일이 균일하게 감기지 않거나 감긴 수가 다른 경우 서로 다른 크기의 자력을 나타내므로 이로 인하여 유동축의 마찰이 증대되었다.

4) 유동판의 관성 최소화 문제 :

- 여섯 개의 영구자석이 유동판에 고정되어 같이 움직이게 되므로 유동판의 유효관성이 증가하게 된다. 이로 인하여 동적 응답 속도가 현저히 저하되는 특성을 보였다.

이상과 같은 문제점으로 인하여 제작된 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템은 상대적으로 높은 마찰력과 관성으로 인하여 동적 대역폭이 매우 저하되는 결과를 보였고 이로 인하여 넓은 범위의 콤플라이언스 특성을 제시하는 데 한계를 나타내었다.

제 3 절 하드웨어 구성

1. 표면 생성기 하드웨어

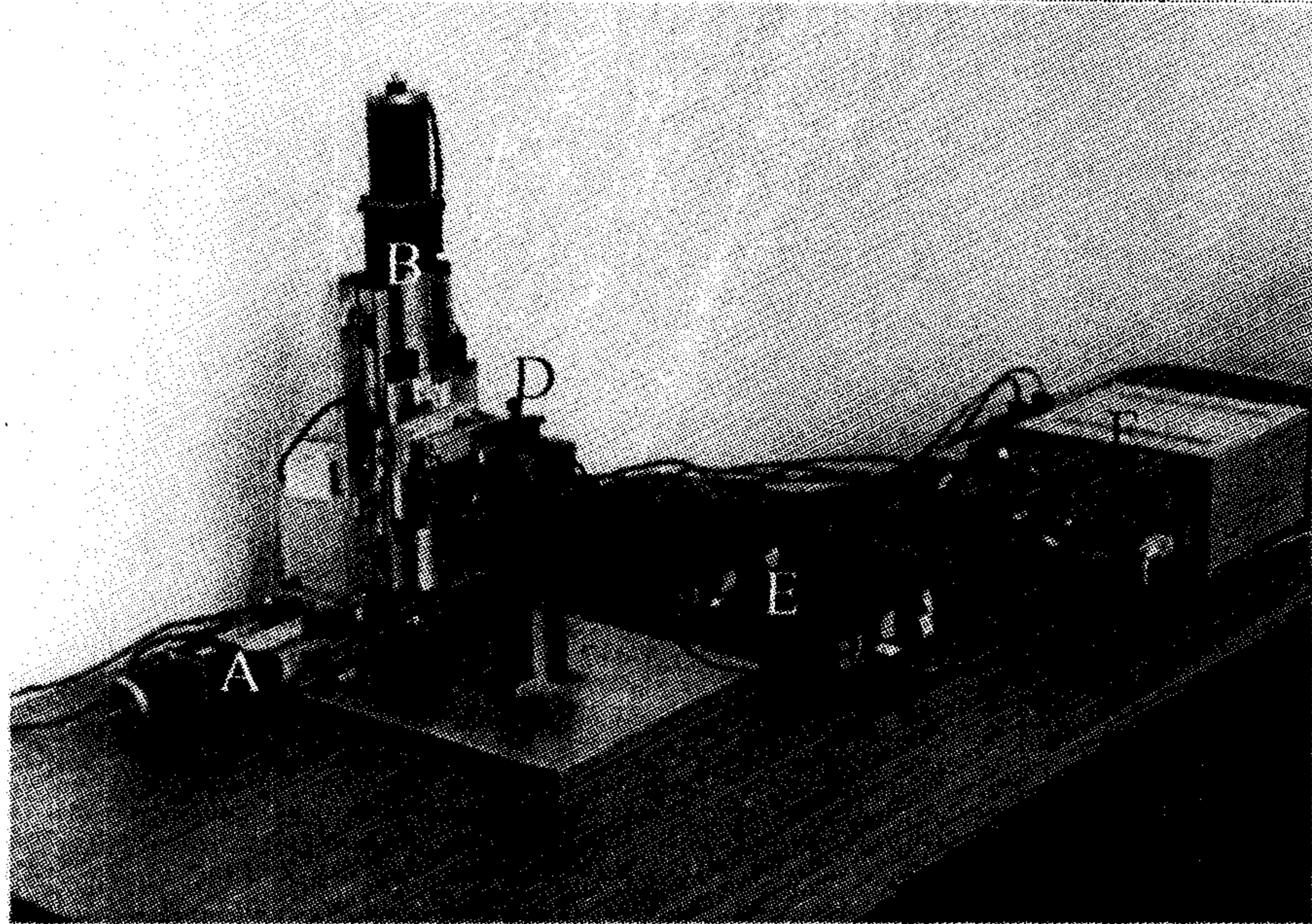


그림 22. 표면 생성 시스템

A : Y stage, B : Z stage, C : PZT actuator, D : Wire and Wire holder
E : YZ stage controller, F : PZT actuator controller

그림 22는 제작된 표면 생성 시스템을 나타낸다. 제작된 표면 생성기는 크게 압전시스템, 철선다발, 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 관련 부품으로 구성된다. 압전 시스템은 독일의 Physik Instrument (PI) GmbH & Co. (Germany)사에 제품으로 행정길이 $2mm$ 를 가지는 macro block translator, 서보 제어기, 전류증폭기, display/interface 모듈, LVDT 센서 및 센서 probe로 구성된다. 이 압전 시스템에 대한 부품 및 사양은 표 3과 같다. 그리고 이 압전 시스템의 끝부분에 철선을 이동시킬 핀을 부착할 수 있는 probe pin fixture가 제작되었다(설계

도면은 부록참조). 표면 생성에 사용될 철선다발의 경우 6 셀이 제작되었으며 이를 고정하기 위해 그림 5과 같은 철선다발 고정대가 고정되었다. 사용된 철선의 직경은 $0.25mm$ 였다. 2축 테이블 구동 시스템은 compumotor사 제품으로 두 개의 마이크로 스텝모터와 각 모터의 회전변위를 측정할 수 있는 두 개의 회전형 엔코더, linear sliding axis의 절대 위치를 측정할 수 있는 두 개의 선형 엔코더, 이들의 인덱서와 제어기, 컴퓨터와의 인터페이스 card가 있으며 Daedal사 제품으로 2축 linear positioning table로 구성된다. 이들에 대한 간략한 사양은 표 4와 같다. 한편, 2축 테이블 구동 시스템을 고정할 수 있는 고정판이 제작되었다.

표 3. PZT 구동 시스템 부품 및 사양

품 명	모 델 명	기 능
Modified P-287.70 macro block translator	P287K001	travel range : $1mm$ pushing force : $80N$ pulling force : $10N$ resonance : $380Hz$
PZT amplifier/position servo-controller basic chasis 19"	E-501.00	
Modified HVPZT amplifier module	E-507K001	$150mA$ peak current
16-bit DAC interface/display module	E-515.11	IEEE 488 / RS-232
PZT sensor/controller module, LVDT sensor	E-509.L1	
Inductive Linear Probe	E-115.21	LVDT range : $\pm 1mm$

표 4. 2축 테이블 구동 시스템 관련 부품 사양

품 명	모 델 명	기 능
404XR Series Linear Position Table (2 units)	404100XRMP-D2- H3L2C2M3E2B	Position repeatability : $1.3 \mu m$ Stroke : $100mm \times 100mm$ Max acceleration : $20m/sec^2$ Axial loading : $90kg$ Direct loading : $170kg$ Table weight : $3.0kg$ $1.0\mu m$ resolution linear encoder
Z-axis Bracket (1 unit)	100-2856-01	
2-Axis motion controller (1 unit)	AT6200-AUX1-12 0V	2 axis of step and direction control with encoder feedback 24 programmable I/O 4 analog inputs that can be used for joystick or feedrate override control
Microstepping Driver (1 unit)	ZETA4	4 amp. $0.46 - 2.8Nm$ torque Damping ratio 0.5 Power input $90 - 130 VAC$ Accuracy $\pm 5arc \text{ sec}$ $20khz$ fixed frequency
Microstepping Motor (1 unit)	ZETA57-83-MO	Static torque $0.88Nm$ Rotot inertia $0.201kg - cm^2$ Thrust load $11.3kg$ Radial load $6.8kg$ weight $1.1kg$
Microstepping Motor (1 unit)	ZETA57-102-MO	Static torque $1.05Nm$ Rotot inertia $0.309kg - cm^2$ Thrust load $11.3kg$ Radial load $6.8kg$ weight $1.5kg$

2. 콤플라이언스 에뮬레이터 하드웨어

그림 23은 제작된 콤플라이언스 에뮬레이터(Compliance Emulator) 시스템을 나타낸다. 이 시스템은 여섯 개의 영구자석과 전자석, HP사의 6825A bipolar 전압증폭기, PC 586, 두개의 12-bit D/A channel과 16개의 12-bit A/D channel 이 내장된 PCL718 card, digital LVDT 센서, 그리고 시스템 하드웨어(설계도면: 부록 B 참조)로 구성된다. 시스템에 사용된 주요부품의 사양을 요약하면 다음과 같다. HP사의 6825A bipolar 전압증폭기는 30 KHz의 대역폭을 가지고 있으며 PCL-718의 A/D converter의 sampling rate는 10KHz의 속도를 가지고 있다. 그리고 digital LVDT sensor의 측정길이는 10mm이며 분해능은 1 μ m이다. 그러나, digital LVDT sensor의 측정속도는 상대적으로 느리며 약 200-250Hz로 관찰되었다. 제작된 시스템은 PC 586과 인터페이스 되어 작동과 관련된 모든 소프트웨어는 완료된 상태이다.(부록 D 참조) 그러나, 영구자석과 전자석으로 인한 자력에 대한 비선형 관계식이 아직까지 측정이 되지 않은 상태이며 전체 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 이 관계식을 효과적으로 측정하거나 또는 얻어진 관계식을 이용할 수 있는 제어 알고리즘이 개발되어야 한다.

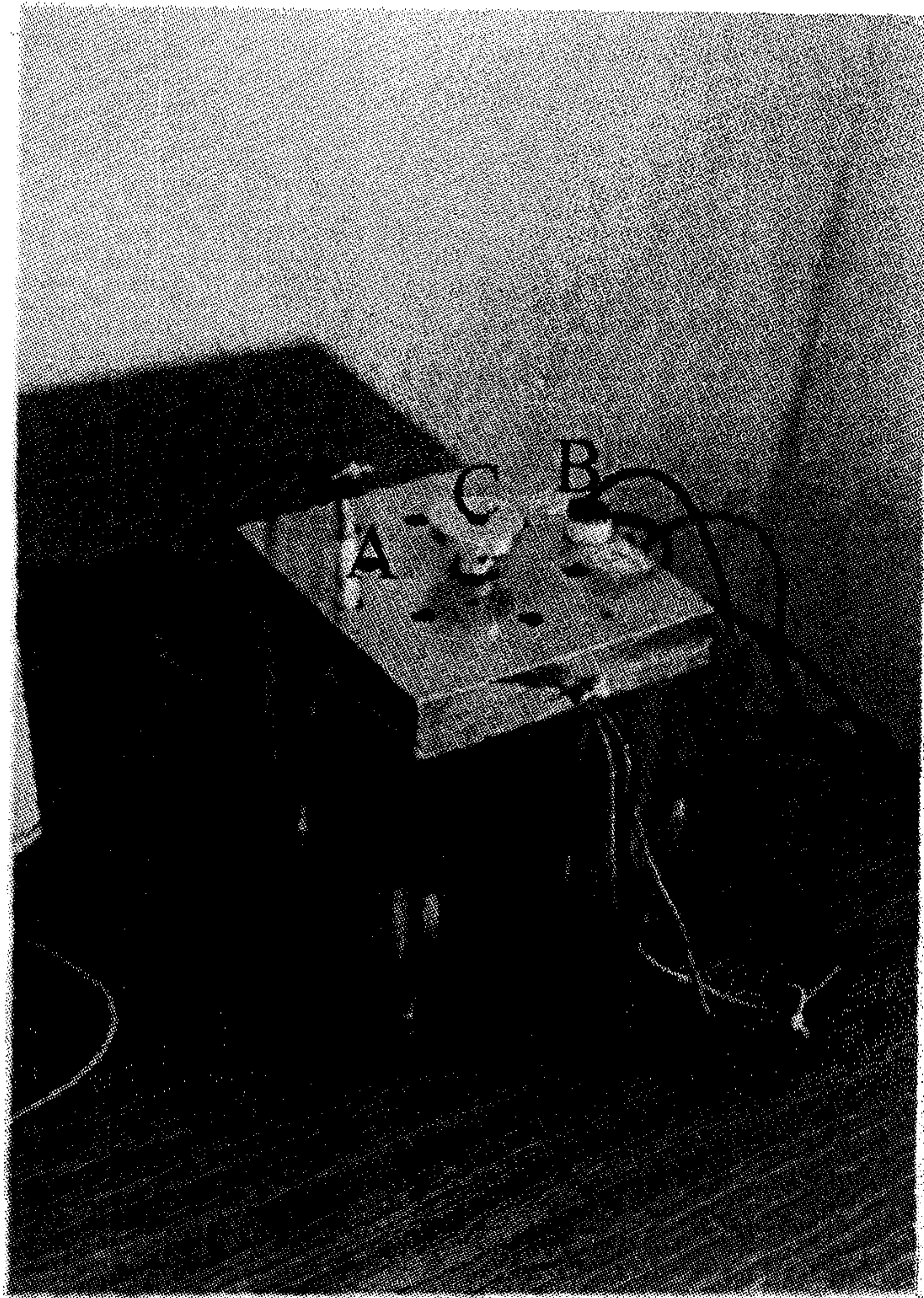


그림 23. 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템

A : digital LVDT sensor, B : analog LVDT sensor, C : surface plate

제 4 절 결 론

1. 결론

촉감 및 질감 제시와 관련된 많은 연구가 있지만 촉감을 제시하기 위한 방법을 요약하면 시각을 이용한 방법, 공압자극을 이용한 방법, 진동자극을 이용한 방법, 전기자극을 이용한 방법, 그리고 신경자극을 이용한 방법들이 있다. 그러나, 이러한 방법들은 모두 미세한 표면의 접촉감에 대한 재현과는 많은 차이가 있다.

그러므로, 본 연구자는 이와는 전혀 다른 접근방법으로서 철선을 이용한 제품의 표면 생성 시뮬레이터와 물체의 콤플라이언스를 재현할 수 있는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템을 제안하였다.[26] 가상 접촉감을 재현하는 기존의 방식과는 달리 실제 제품의 표면을 철선을 이용하여 생성하고 이러한 표면에 콤플라이언스 특성을 부여함으로써 사람에게 실제 제품과 동일한 접촉감 또는 질감을 느끼도록 하는 방법이다. 즉, 사람이 일반적으로 실제 제품에서 촉감을 느낄 때와 마찬가지로 재현된 제품의 표면위를 손가락으로 적절히 움직임으로서 느낄 수 있도록 하는 방법이다.

본 연구에서는 물체의 표면을 제시할 수 있는 표면 생성 시스템과 물체의 기계적 특성중의 하나인 콤플라이언스 특성을 제시할 수 있는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템을 실제로 구현하였다. 표면 생성 시스템은 압전 시스템, 2축 테이블 구동 시스템, 영상처리 시스템, 철선 다발, 그리고 관련 하드웨어부품으로 구성되는데 이들 시스템과 관련된 모든 입출력 인터페이스와 구동 소프트웨어를 작성하였다. 그리고 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템은 영구자석, 전자석, 위치 센서, 시스템 하드웨어, 제어기로 구성되는데 이들 시스템과 관련된 모든 입출력 인터페이스와 구동소프트웨어를 작성하였다. 그리고 이들 시스템의 실험 가동을 수행함으로써 시스템의 작동원리 및 가능성을 확인하였다. 그러나, 아직까지 이들 두 시스템이 표면 제시나 콤플라이언스 제시에 있어 현실감있는 우수한 성능을 나타내기 위해서는 보다 심도있는 연구가 요구된다.

2. 향후과제

이상과 같이 당해연도에서는 표면생성시스템과 콤플라이언스 에플레이터 시스템을 제작하고 이들에 대한 기초적인 성능시험을 수행하였다. 그러나, 이러한 시스템이 실제로 촉감 및 질감 제시 시뮬레이터로 활용되기 위해서는 현재 시스템의 성능 보완, 수정 및 관련 제어기술에 관한 심도 있는 연구가 수행되어야 하면 이들 내용을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

표면 생성 시스템 :

- 1) 철선의 직경, 길이 및 강도에 대한 조사 :
 - 표면 생성에 사용될 다양한 직경($0.10mm - 0.25mm$) 및 길이를 가지는 철심다발 제작,
- 2) 표면 생성 소요 시간의 단축 :
 - PZT 액츄에이터의 servo-feedback 기능을 추가,
 - PZT 액츄에이터와 2축 테이블 구동 시스템을 고려하여 최적 경로 계획 조사,
- 3) 영상 처리 과정의 자동화 :
 - 비전 센서를 사용한 각 철심의 위치 측정 알고리즘 개선,
 - 철선의 중심파악을 위한 영상 처리과정을 포함한 표면 생성과정의 자동화,
- 4) 철선 끝면의 가공 방법 조사 :
 - 생성된 철선다발의 표면을 매끄럽고 실표면에 가깝도록 만들기 위한 가공방법 조사,
- 5) 표면 생성 시스템의 성능 보완 및 검사 및 제반 관련 작동 소프트웨어 개발 :
 - 전체 표면 생성 시스템은 2 축 테이블 구동 시스템, 철심다발, PZT 액츄에이터, 비전센서, 제어기 등으로 구성되는데 이들 시스템의 보완, 설계, 통합 및 제반 관련 인터페이스 및 통합 구동 소프트웨어의 개발,
 - PZT 액츄에이터를 사용하여 각 철심의 높이를 $0\mu m - 1000\mu m$

범위내에서 조절함으로써 다양한 거칠기를 가지는 표면의 생성을 시도,

- 생성 표면 측정 및 분석,

컴플라이언스 에뮬레이터 시스템 :

1) 대체 위치 센서에 대한 조사 :

- analog LVDT 센서의 대체 타당성 조사 및 noise 처리,

2) 전자력 측정 및 제어 알고리즘 개발 :

- 전자석과 영구자석사이에 발생하는 비선형 자력에 대한 데이터 측정과 측정된 데이터를 활용하는 제어 알고리즘의 개발,

3) 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템의 구동 소프트웨어 작성 :

- 구현된 컴플라이언스 이뮬레이터 시스템에 관련된 작동 및 효과적인 제어 소프트웨어의 구성,

4) 컴플라이언스 에뮬레이터 시스템의 보완 및 특성 분석 :

- 현재 제작된 시스템에 관한 성능 실험을 통하여 문제점을 보완하고 재현 가능한 컴플라이언스의 범위 조사.

본 연구의 궁극적인 목표는 실제 물체의 직접적인 접촉이 요구되는 감성실험을 대체할 수 있는 촉각/질감 제시 시뮬레이터를 개발하는 것이므로 이미 구현된 두 시스템의 촉각/질감 시뮬레이터로서의 적용에 관한 연구를 본 연구와 병행되어 수행되는 연구들과 연계하여 우수한 성능을 가진 촉각/질감 제시 시뮬레이터를 개발할 수 있도록 다음과 같은 연구가 수행되어야 한다.

- 본 연구와 병행하여 개발되고 있는 촉각측정 시스템과 촉각/질감 감성 요소와 역학적 측정값과의 상관관계에 관한 연구결과로부터 요구되는 임의의 가상 물체의 가상표면 생성과 컴플라이언스 특성의 재현,

- 개발된 표면 생성 시스템과 컴플라이언스 에뮬레이터를 활용하여 실제 촉감/질감과 유사한 촉감/질감을 제시할 수 있는 다양한 제시기술에 관한 연구,

- 표면과 컴플라이언스특성 이외에도 촉각 및 질감에 관련된 많은 특성이

있는데, 온열감에 관한 기초적인 조사와 개념적인 시스템의 구조에 관한 연구,

- . 촉감측정 시스템과 연계한 다양한 분야로의 활용방법 및 범위에 관한 조사,
- . 표면 생성시스템과 콤플라이언스 에뮬레이터를 이용한 촉감/질감 재현 성능 시험 및 활용,
- . 촉감측정 시스템과 연계한 활용방법 및 범위에 관한 조사.

이밖에 촉감의 경우 대부분이 손가락 끝 마디부분의 접촉에 의존하여 인지되며 사람의 손가락 끝마디 부분은 점탄성을 가지고 있으므로 다양한 물체의 기계적 특성을 감지하기에 적합하도록 되어 있다. 이러한 손가락 끝 마디 부분에 해당하는 기능은 촉각 및 질감 제시와 관련된 시스템의 개발에 반드시 필요되며 사람의 손가락 끝마디 부분과 유사한 특성을 가지는 시스템이 개발되어야 한다. 그러므로, 촉각 및 질감과 밀접한 관련이 있는 사람의 손가락 끝마디 부분의 점탄성 특성에 대한 분석과 이러한 분석을 바탕으로 질감과의 연계 메카니즘에 관한 기초적인 연구가 수행되어야 한다. 또한, 실제 사람의 손가락 끝 마디부분을 대체할 수 있는 손가락 모형 시스템의 개발에 관련된 자료조사 및 기초적인 연구가 수행되어야 한다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

본 연구에서는 촉각 및 질감 제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구를 수행하였다. 현존하는 촉각 재현기술의 경우 실시간 작업기준에 적합한 방법을 개발하는 것을 목표로 하고 있으나, 감성공학에서의 촉각재현기술의 개발에 있어서는 이러한 실시간 작업기준조건이 요구되지 않는다. 그러므로, 본 연구에서는 기존의 방법과는 전혀 다른 접근 방법으로 철선다발을 이용하는 표면 재현기술을 제안하였다. 제 1 차년도에서는 이러한 제안된 방법이 어느정도 실현가능성이 있는가에 대한 타당성을 조사하기 위하여 첫째 단계로서 가는 철선을 이용하여 다발을 만들고 이 철선 다발이 실제로 어느 정도의 표면까지 생성하기 위해 활용될 수 있는가에 관하여 조사하였다. 그리고 이러한 연구와 더불어 물체의 표면의 성질중 콤플라이언스 특성을 재현하기 위하여 자력을 이용한 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템을 제안하였으며 이러한 시스템의 기초설계를 수행하였다. 제 2 차년도인 당해년도에서는 실제로 표면 생성 시스템을 구현하고 철선다발의 제작 및 철선 끝면의 가공을 이러한 철선다발을 이용하여 표면 생성이 가능하다는 것과 그 가능성을 확인하였다. 그리고 제 1차년도에 제안된 콤플라이언스 시스템을 제작하였으며 시스템에서 요구되는 위치센서와 하드웨어의 설계 제작을 완료하였다. 그리고 선형모델에 근거한 간단한 PD제어법을 사용하여 원하는 콤플라이언스 특성이 재현되는가에 관한 실험을 수행하였다. 그러나, 제작된 시스템의 경우 재현할 수 있는 콤플라이언스의 폭이 다소 제한되었으며 이는 시스템의 마찰력과 관성, 센서의 noise, 그리고 하드웨어 자체의 부정확성으로 인한 것임을 확인하였다. 이러한 시스템들의 단점이 보완되는 경우 이 시스템들의 성능이 매우 향상될 것으로 판단된다.

결론적으로, 본 연구에서는 2년에 걸쳐 새로운 개념의 표면 생성 시스템을 제안하고 개념적인 설계단계를 거쳐 실제로 시스템을 구현함으로써 촉각/질감 제시 시뮬레이터의 구현에 필요되는 핵심적인 방안을 제시, 확인하였다. 이러한 표면 생성 시스템과 더불어 물체의 기계적인 특성중의 하나인 콤플라이언스를

재현하는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템을 제안.제작하였으며 현재 이러한 시스템의 성능향상을 위한 연구를 수행하고 있다. 이러한 시스템의 보완. 성능향상과 더불어 여러 형태의 실험을 수행을 끝마치게 되는 경우 본 연구에서 최종 목표로 하는 촉각 및 질감 제시 시뮬레이터의 기능을 현실감있게 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서는 2년간에 걸쳐 촉각 및 질감 재현 기술과 관련된 표면 생성 시스템과 콤플라이언스 시스템을 제안하고 이들 시스템을 실제로 제작함으로써 이들 시스템의 작동원리와 가능성을 확인하였다. 현재 이들 시스템에 대한 개선이 다소 요구되고 있지만 이러한 수정, 보완과정을 거침과 동시에 시스템들의 성능해석을 마치게 되면 촉각 측정 및 촉감/질감과 관련된 정보와 더불어 여러 형태의 촉감 재현 시뮬레이터로서 유용하게 활용될 수 있으리라 사료된다. 즉, 미지의 제품의 가상 표면을 생성하고 또한 제품의 콤플라이언스 특성을 재현함으로써 가상 제품의 촉각/질감의 재현 기능을 갖춘 시뮬레이터로의 활용이 가능할 것으로 예상된다. 그리고 구현된 시스템들은 촉각/질감 측정 시스템과 함께 본 과제에 궁극적인 목표인 감성을 고려한 촉감/질감 측정 및 제시 시뮬레이터의 개발에 매우 유용한 활용될 것이다. 또한, 이러한 시스템들의 기능과 더불어 온도감, 마찰감등과 같은 물체의 촉각에 관한 재현이 앞으로 지속적으로 추가되는 경우 실제 산업분야에 있어 감성을 고려한 고부가가치를 지닌 제품의 설계 및 생산이 가능하리라 판단된다.

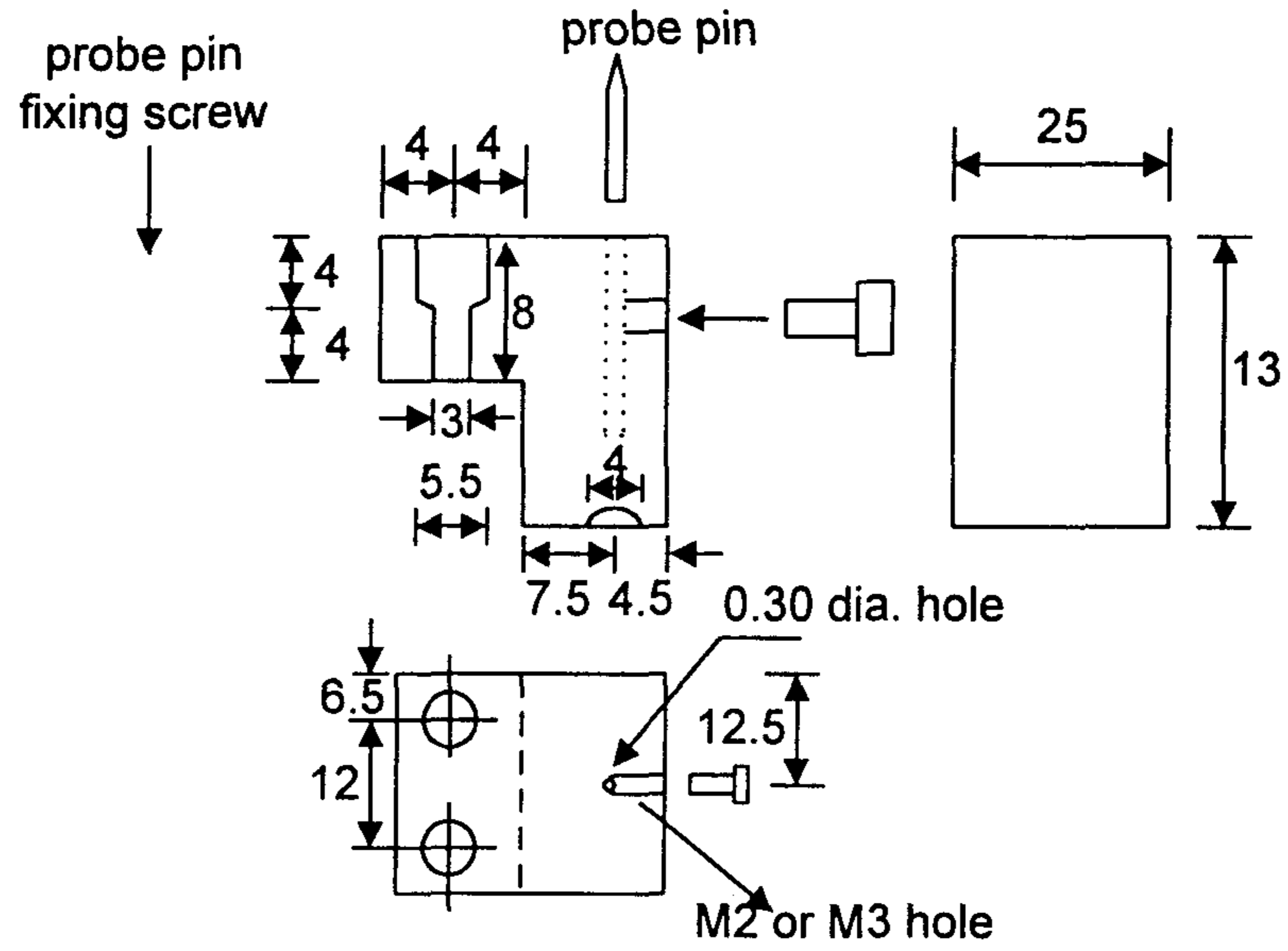
제 6 장 참고문헌

- [1] 김철중, "감성공학 기술 개발," 감성공학기술, 한국표준과학연구원, pp. 22-30
- [2] 손지훈, 임재중, "피부감각의 감성측정 기술 및 DB 개발," 충남대 중간 내부 보고서, 1997.
- [3] Sueo Kawabata, "The Standardization and Analysis of Hand Evaluation," 2nd ed. The Hand Evaluation and Standardization Committee, Japan.(생산 기술연구원 섬유기술실용화 센터 역).
- [4] Karun B. Shinoga, "Finger force and touch feed-back issues in dextrous telemanipulation," CIRSSE, pp. 159-178, 1992.
- [5] M.S. Sanders, E. J. McComick, Human Factors in Engineering and Design, McGraw-Hill, 1987.
- [6] R.A. Grupen, T.C. Henderson, T.D. McCammon, "A survey of general purpose manipulators," Int'l J. Robotics Research, vol.8, no.1, pp. 38-62, 1989.
- [7] Robert J. Stone, "Advanced human-system interfaces for telerobotics using virtual reality and telepresence technologies," ICAR'91, pp. 168-173, 1991.
- [8] J.D. Foley, "Interfaces for advanced computing," Scientific American, pp. 127-135, 1987.
- [9] B.T.Tan, "Sensor application to space-suit glove," in J.G. Vedbster(Ed.) Tactile sensors for robotics and medicine, John Wiley and Sons, NY, pp. 331-340, 1988.
- [10] Ken Pimentelk and Kevin Teixeira, Virtual Reality:through the new looking glass, Windcrest/McGraw Hill, 1992.
- [11] 안인석, 문용모, 이정훈, 박종오, 이종원, 우광방, "자석의 반발력을 이용한 원력조종용 촉각제한장치," 제어.자동화.시스템 공학회 논문집, 제 3권, 제1호, pp. 52-60, 1997.
- [12] M. Shimoju, M. Shinohara, Y. Fukui, "Human shape recognition performancey for 3D tactile display--comparing finger motion," 일본기계 학회 '97강연 논문집, Vol B, 1997, pp. 681-682.
- [13] J.J. Craig, "An introduction to robotics:mechanics and control," published

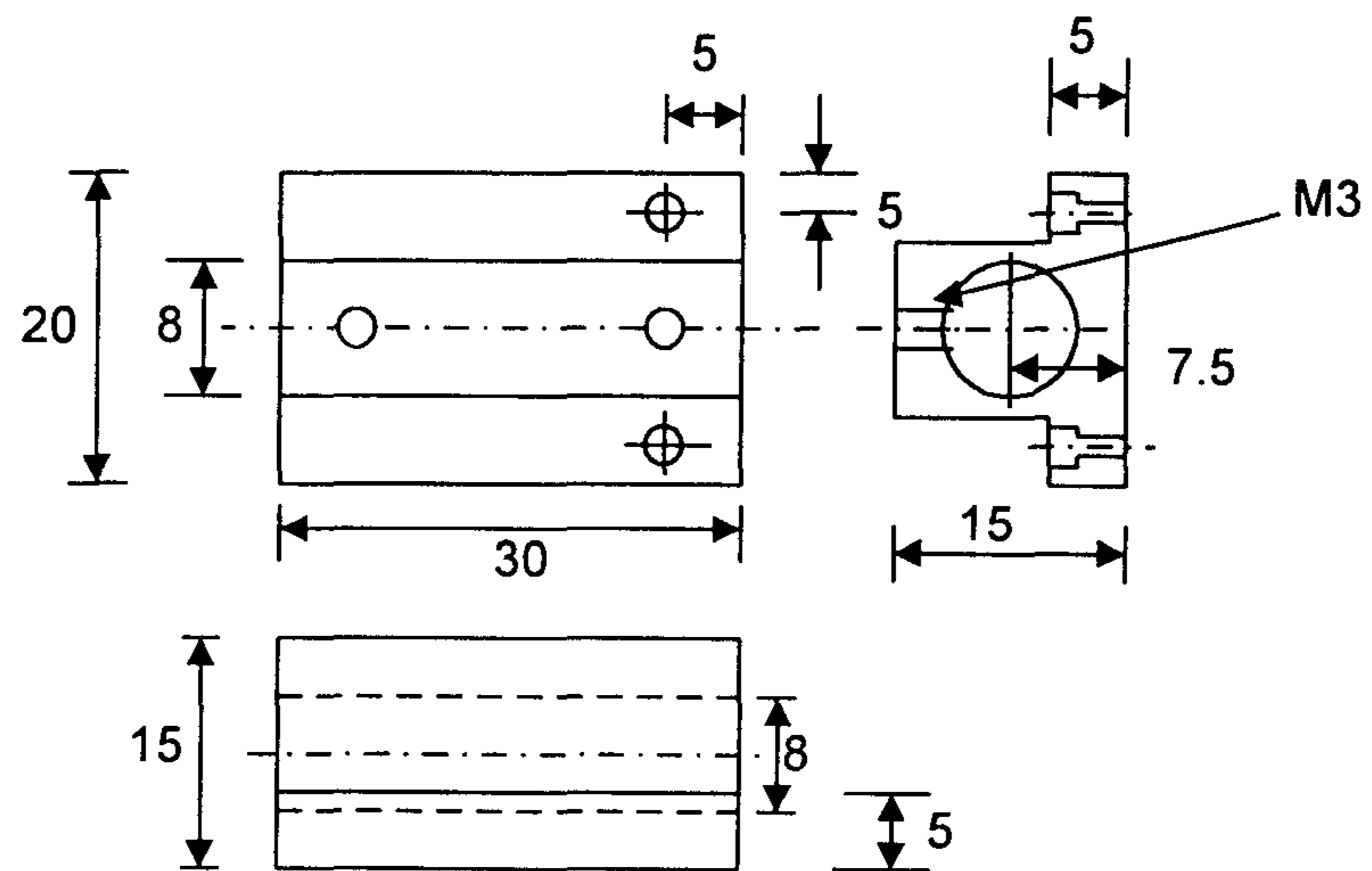
- by Addison Wiley, 1989.
- [14] R.S. Fearing and J.M. Hollerbach, "Basic Solid Mechanics for Tactile Sensing," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 4, No.3, Fall 1985, pp. 40-54.
- [15] R.D. Howe and M.R. Cutkosky, "Sensing Skin Acceleration for Slip and Texture Perception," *IEEE Conf. of robotics and automation*, 1989, pp. 145-150.
- [16] B.L.Gray and R.S. Fearing, "A Surface Micromachined Microtactile Sensor Array," *proceedings of the 1996 IEEE int'l conf on robotics and automation*, April 1996, pp. 1-6.
- [17] R.D.Howe and M.R. Cutkosky, "Dynamic Tactile Sensing: Perception of Fine Surface Features with Stress Rate Sensing," *IEEE Trans. on robotics and automation*, Vol. 9, No. 2, 1993, pp. 140-151.
- [18] M.A. Srinivason and K. Dandekar, "An Investigation of the Mechanics of Tactile Sense Using Two-Dimensional Models of the Primate Fingertip," *Trans. of the ASME Journal of Biomechanical Engineering*," Vol 118, Feb. 1996, pp. 48-55.
- [19] R.S. Fearing, "Tactile Sensing Mechanisms," *The international Journal of Robotics Research*, Vol. 9, No. 3, June 1990, pp. 3-23.
- [20] R. Andrew Russel, *Robot Tactile Sensing*, published by Prentice Hall, 1990.
- [21] *Advanced Tactile Sensing For Robotics*, edited by Howard R. Necholls, published by World Scientific Publishing Co. 1992.
- [22] John G. Webster, "Tactile sensors for robotics and medicine," John Wiley & Sons, 1988.
- [23] LaMotte, R. H., Whitehouse, J., Tactile detection of a dot on a smooth surface: peripheral neural events. *J. Neurophysiol.* 56: 1109-1128, 1986.
- [24] S.J, Lederman, et. al., "Task-driven extraction of object contour by human haptics: Part 2," *Robotica*, 9, pp. 179-188, 1991.

- [25] Takashi Onuki, et. al, "Calculation of electro-magnetic forces in magnetic levitation system by 3-D magnetic field analysis," Electromagnetic Forces and Applications(T. Tani and T. Takagi(eds.)), Elsevier Science Publishers B. V., 1992.
- [26] 김희국의 2인, "촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구," 한국표준과학원 '96 특정연구개발사업 위탁연구보고서, 1996.

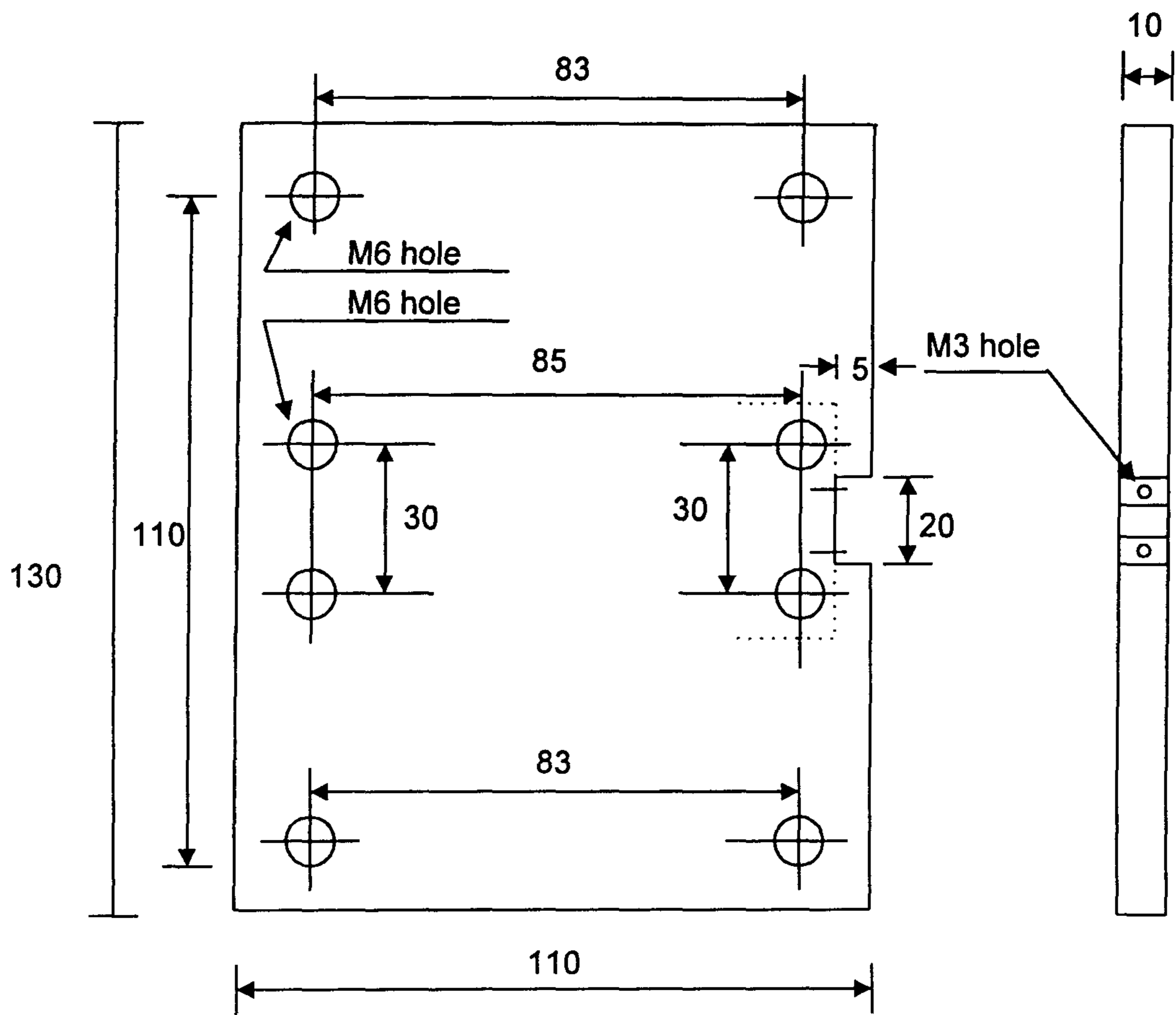
부록 A. PZT 액츄에이터 시스템 및 관련부품도면



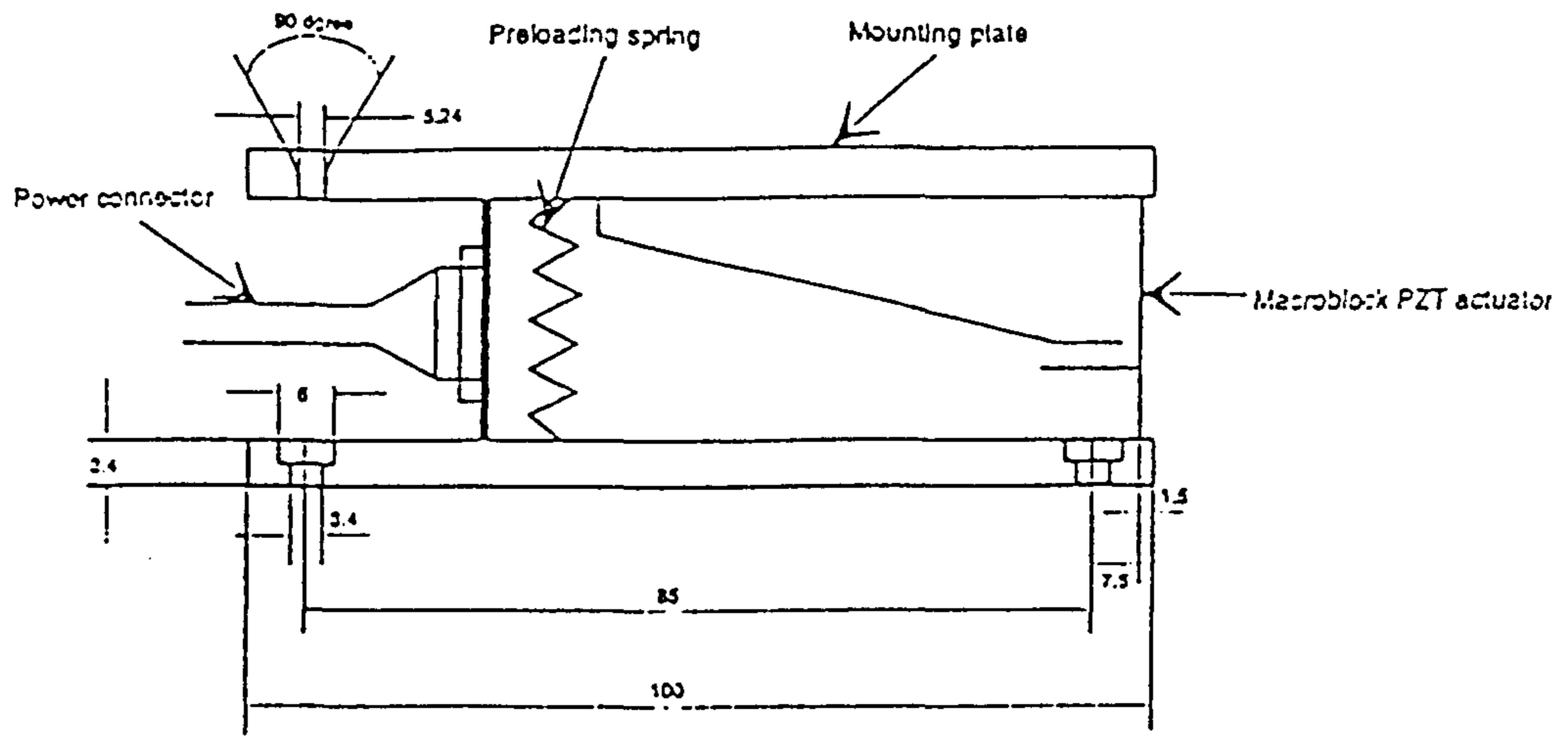
Probe Pin Fixture



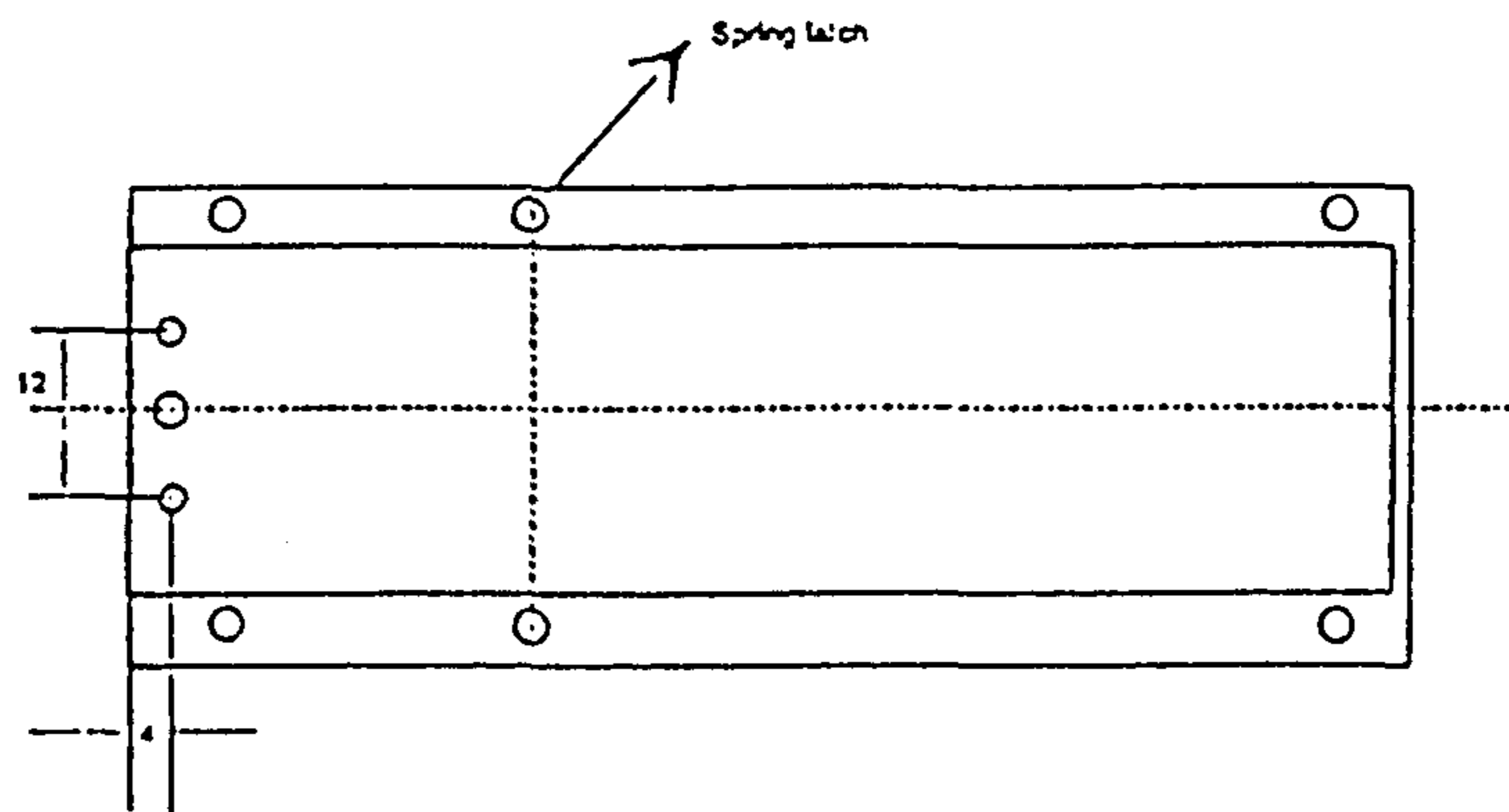
LVDT Sensor Fixture



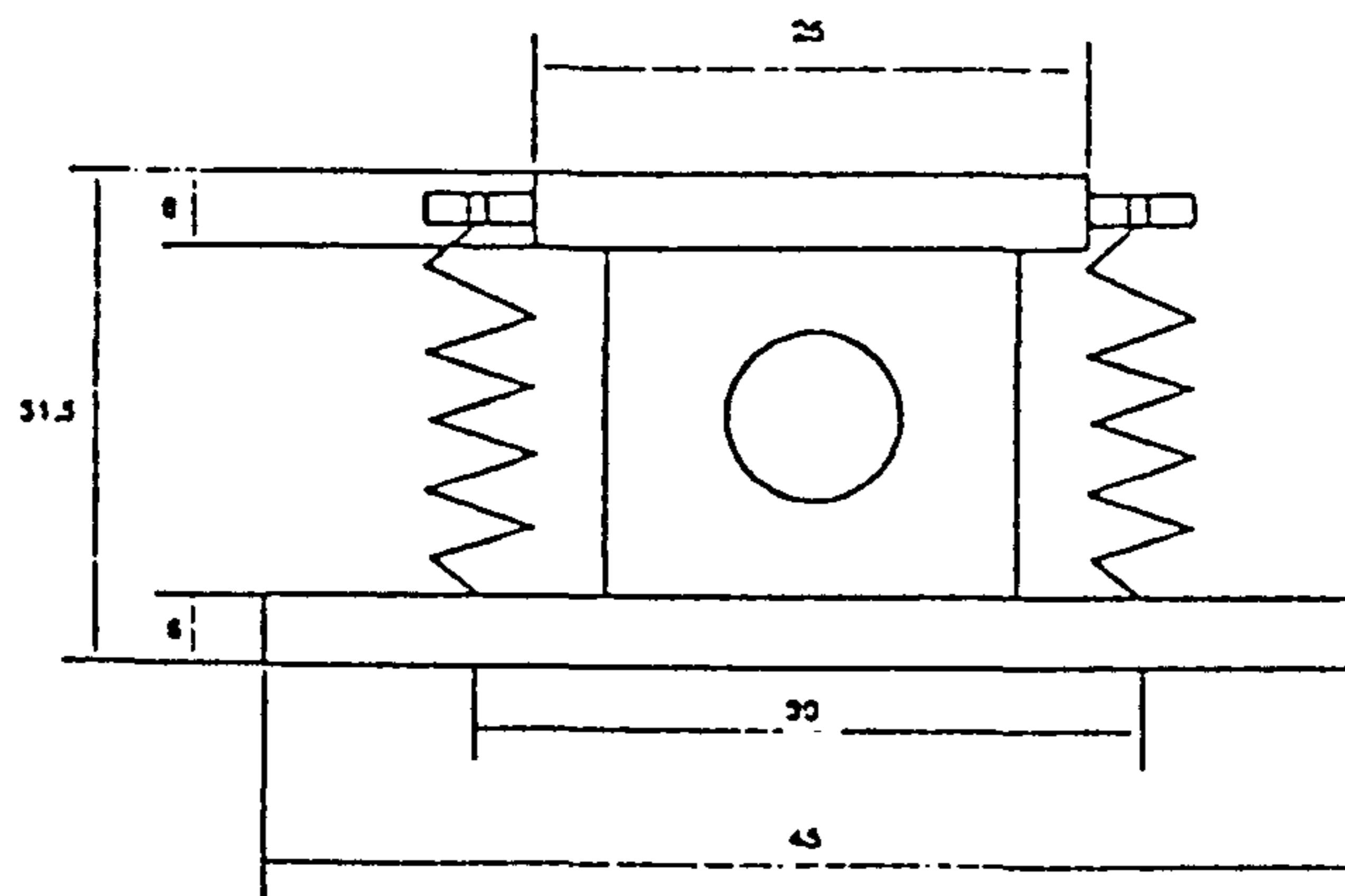
PZT Actuator Fixture



Cutting View



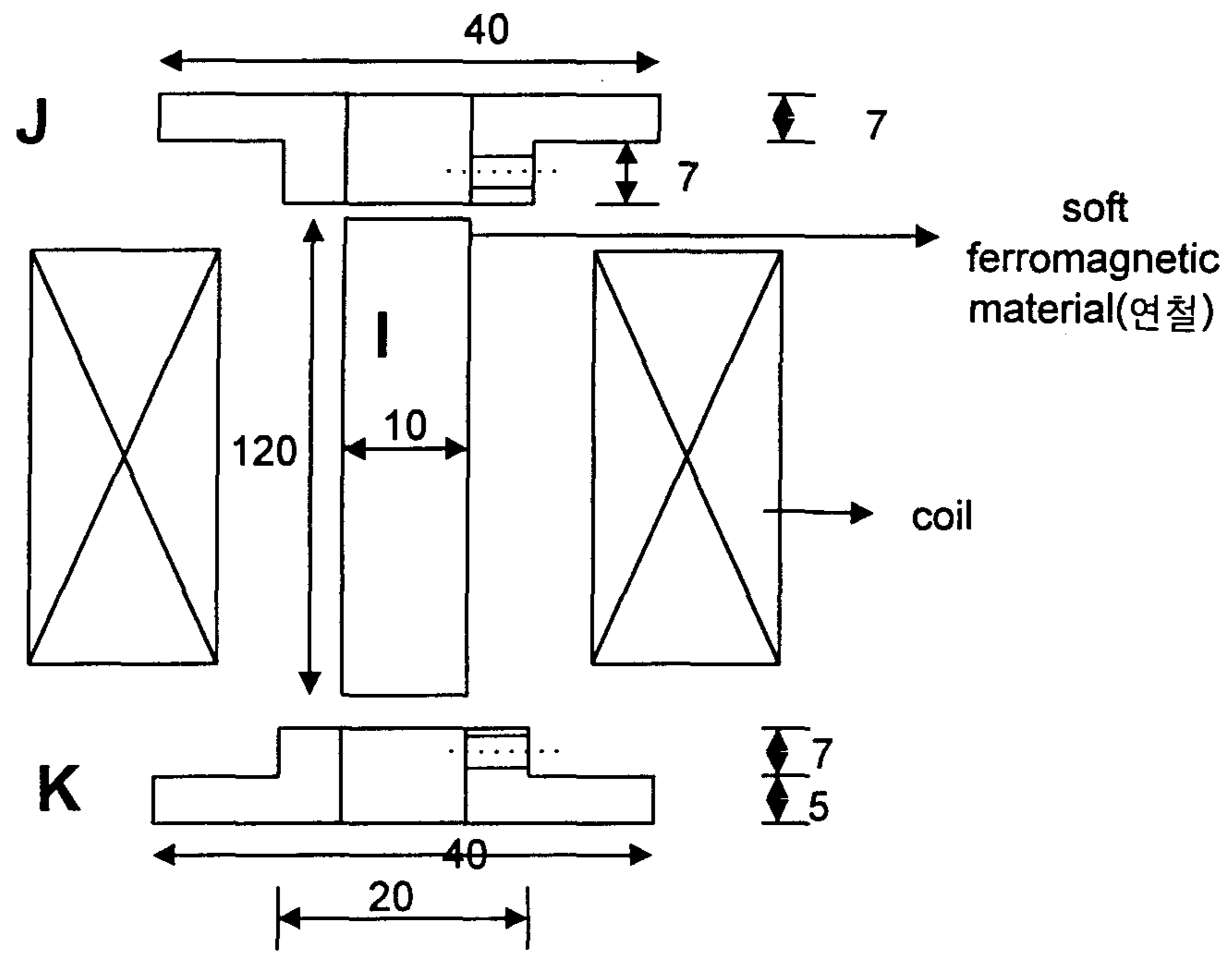
Top View



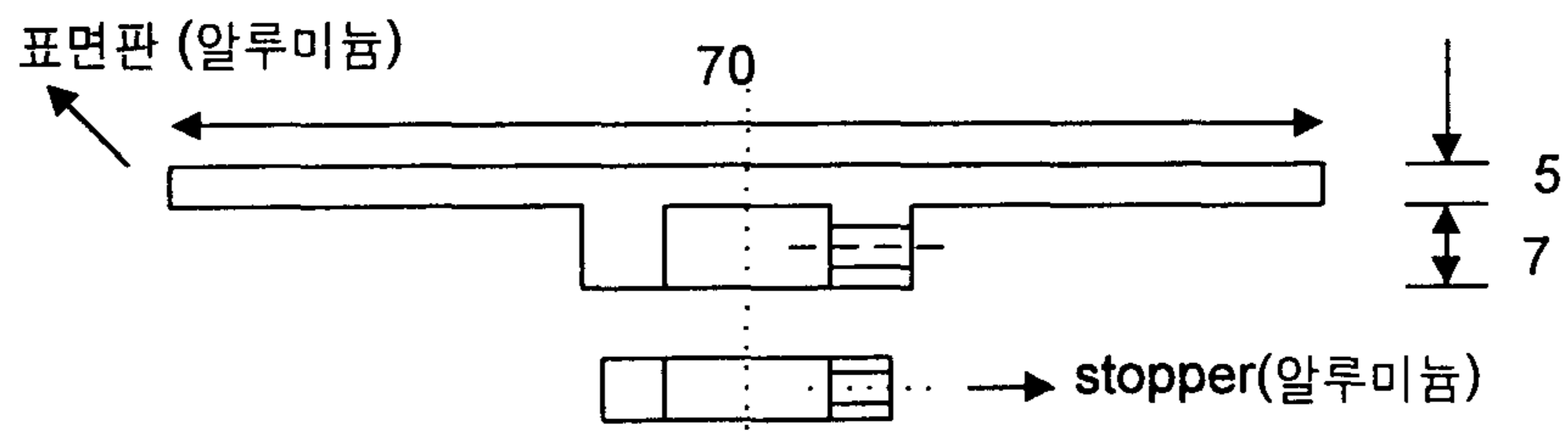
Side View

PZT actuator 시스템 도면

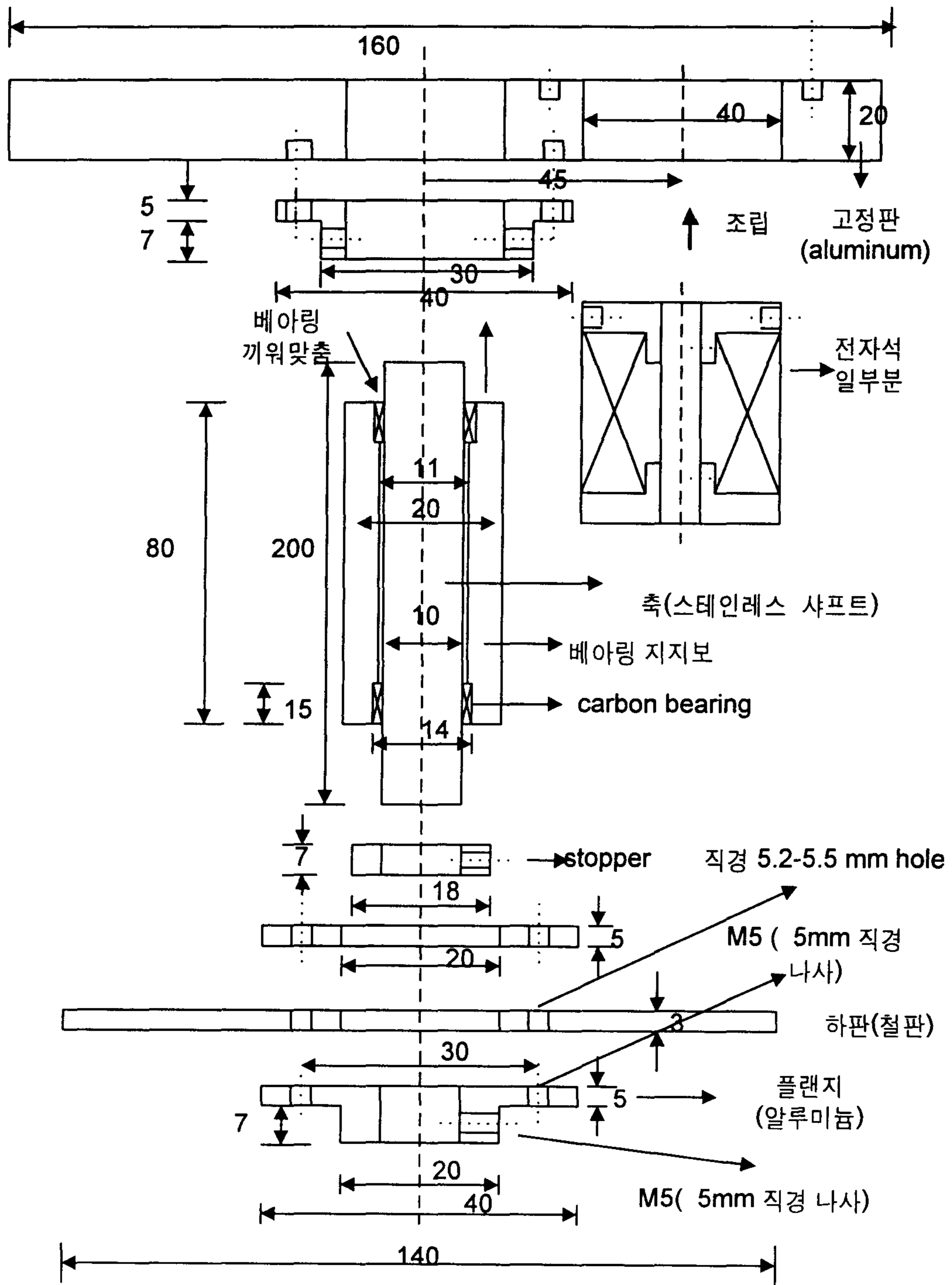
부록 B. 콤플라이언스 에플레이터 관련 부품 도면



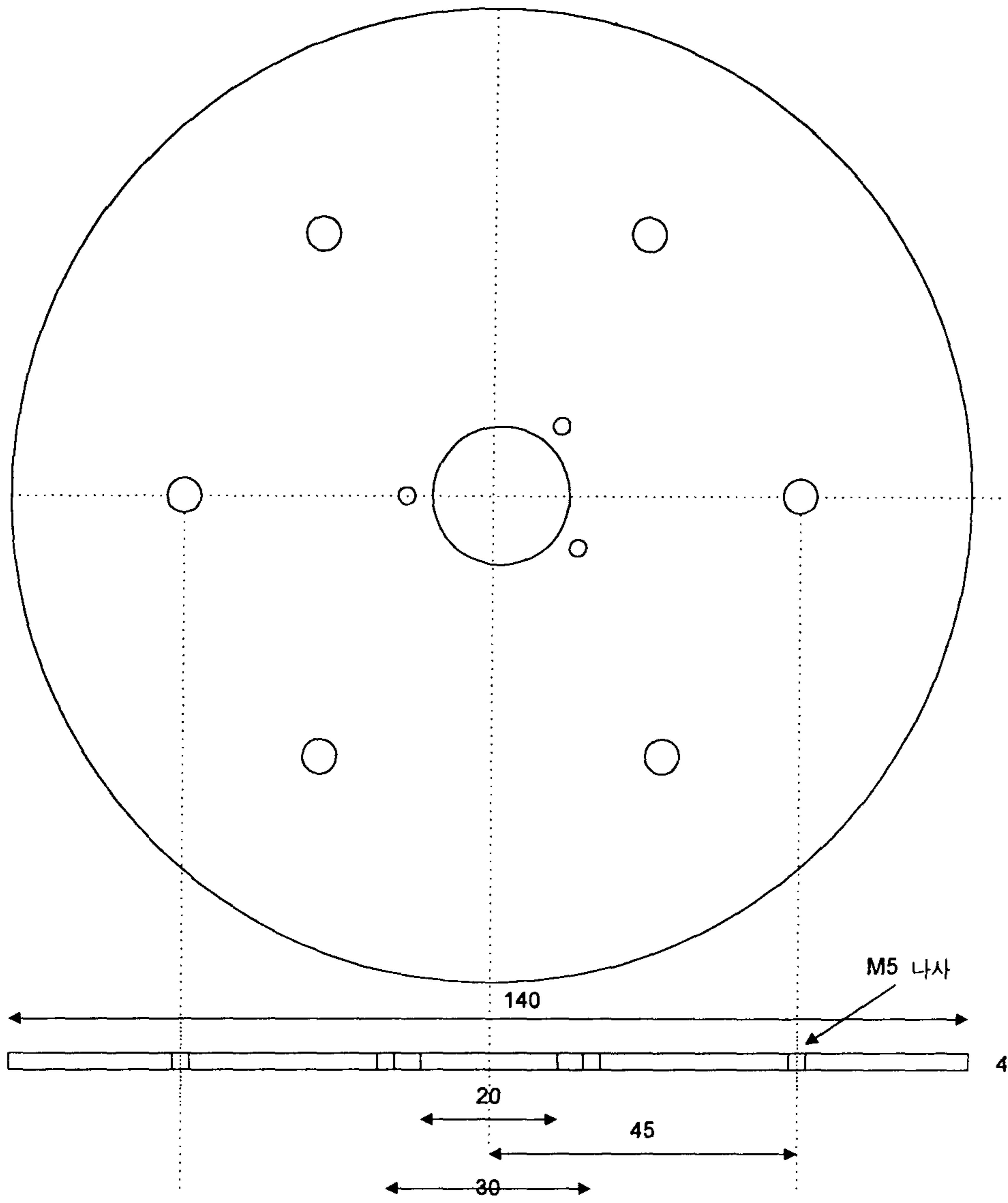
Electro-Magnet



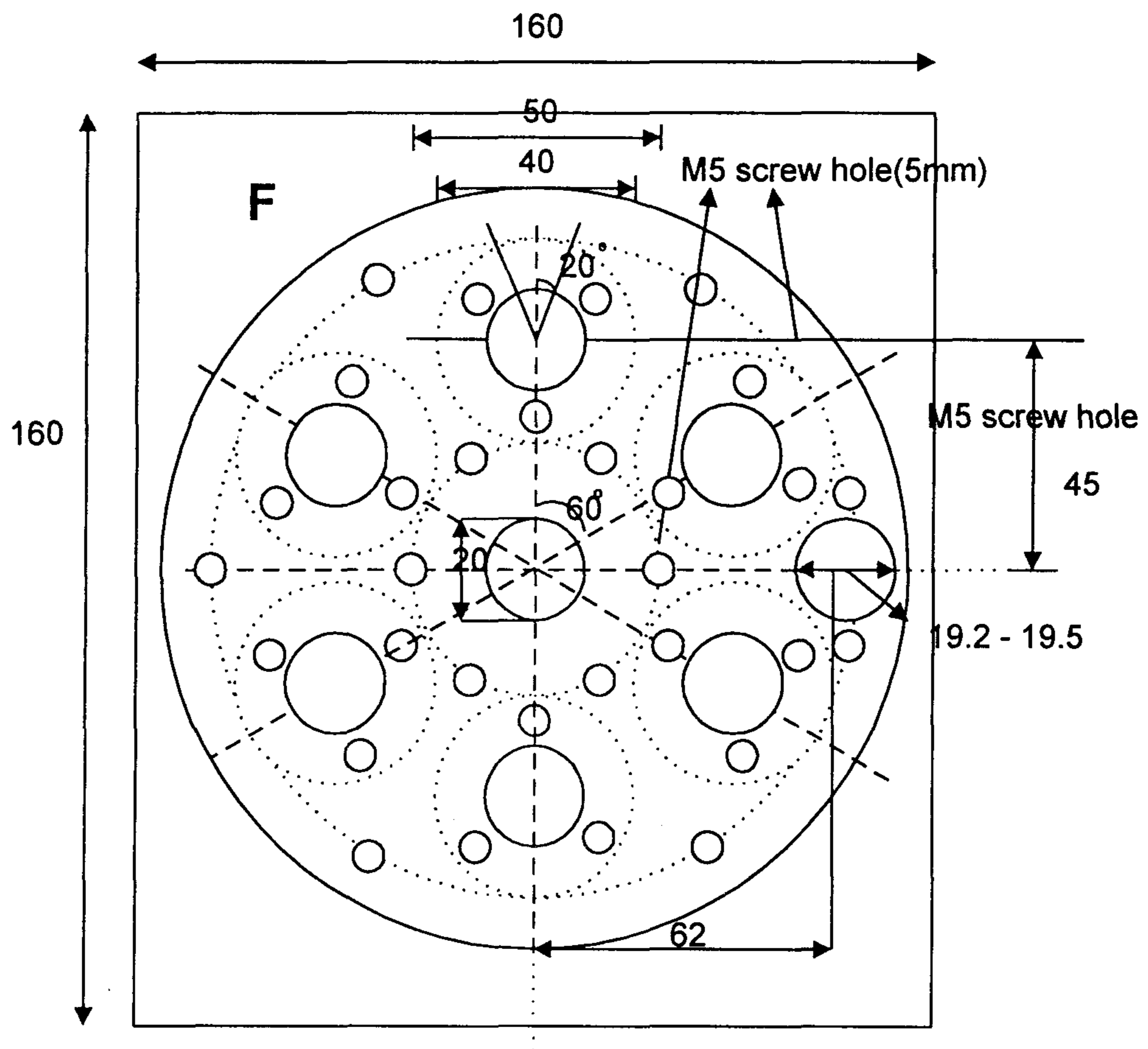
Top Surface Plate



Compliance Emulator Components

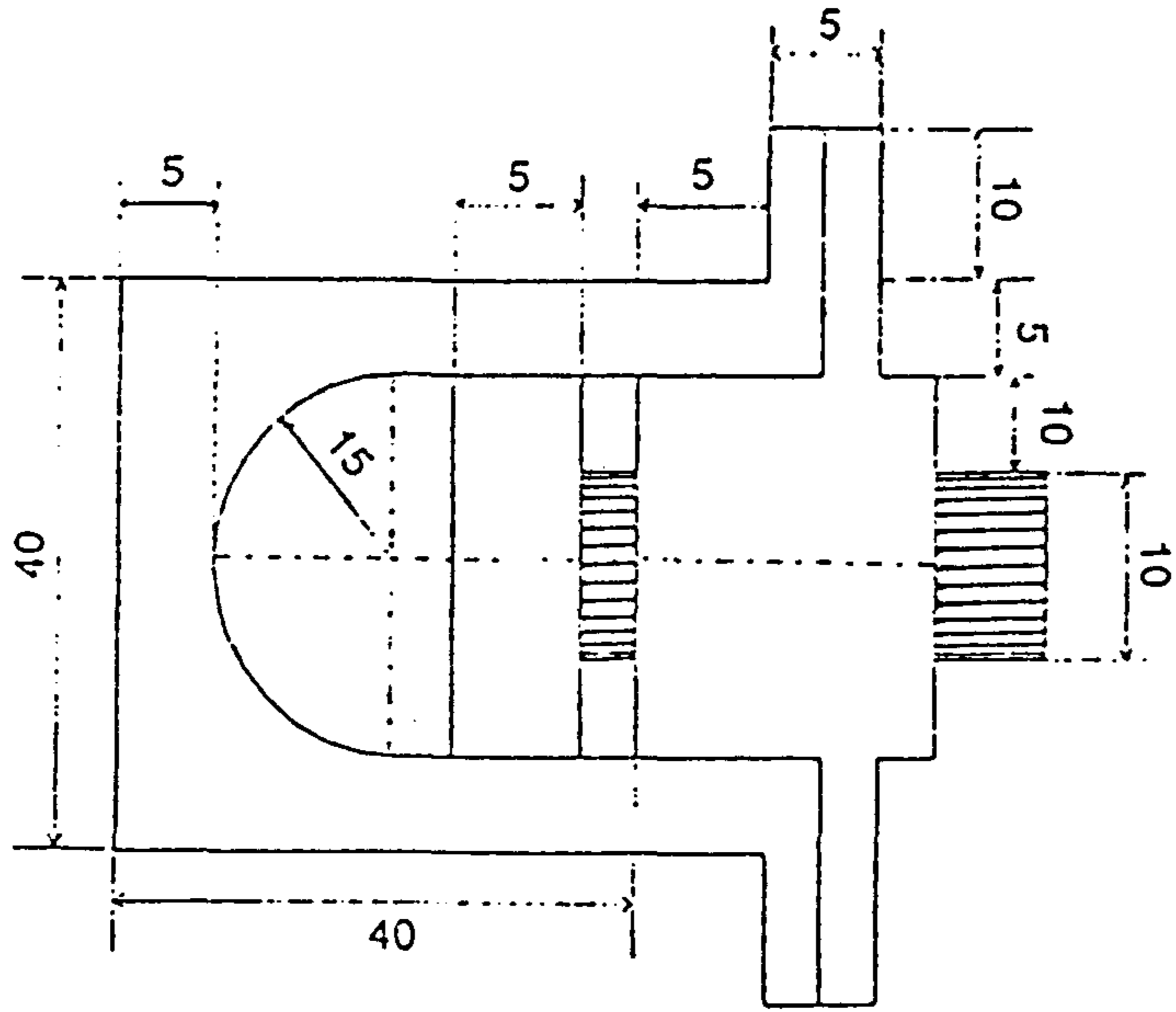


Moving Plate

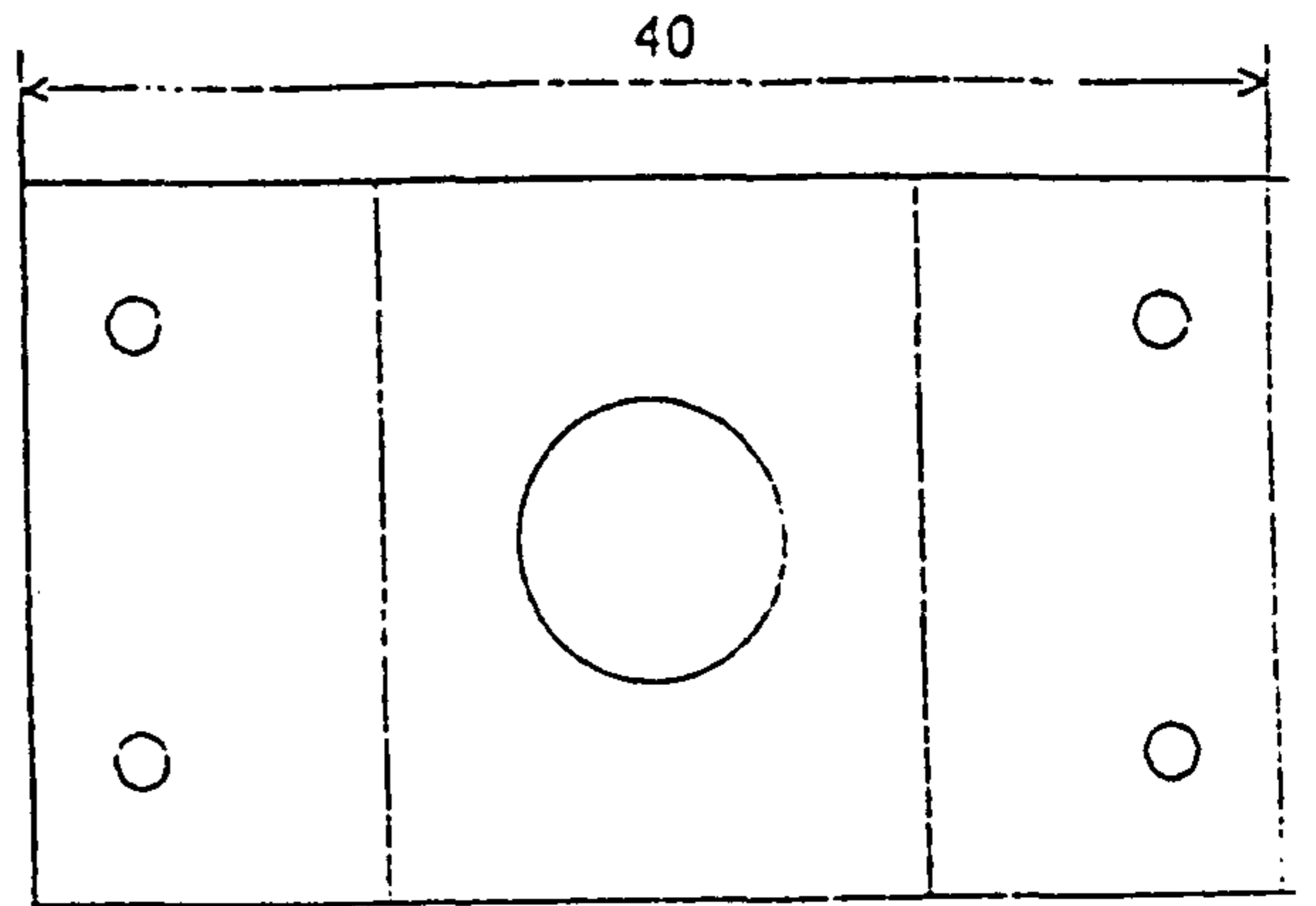


Compliance Emulator Fixture Plate

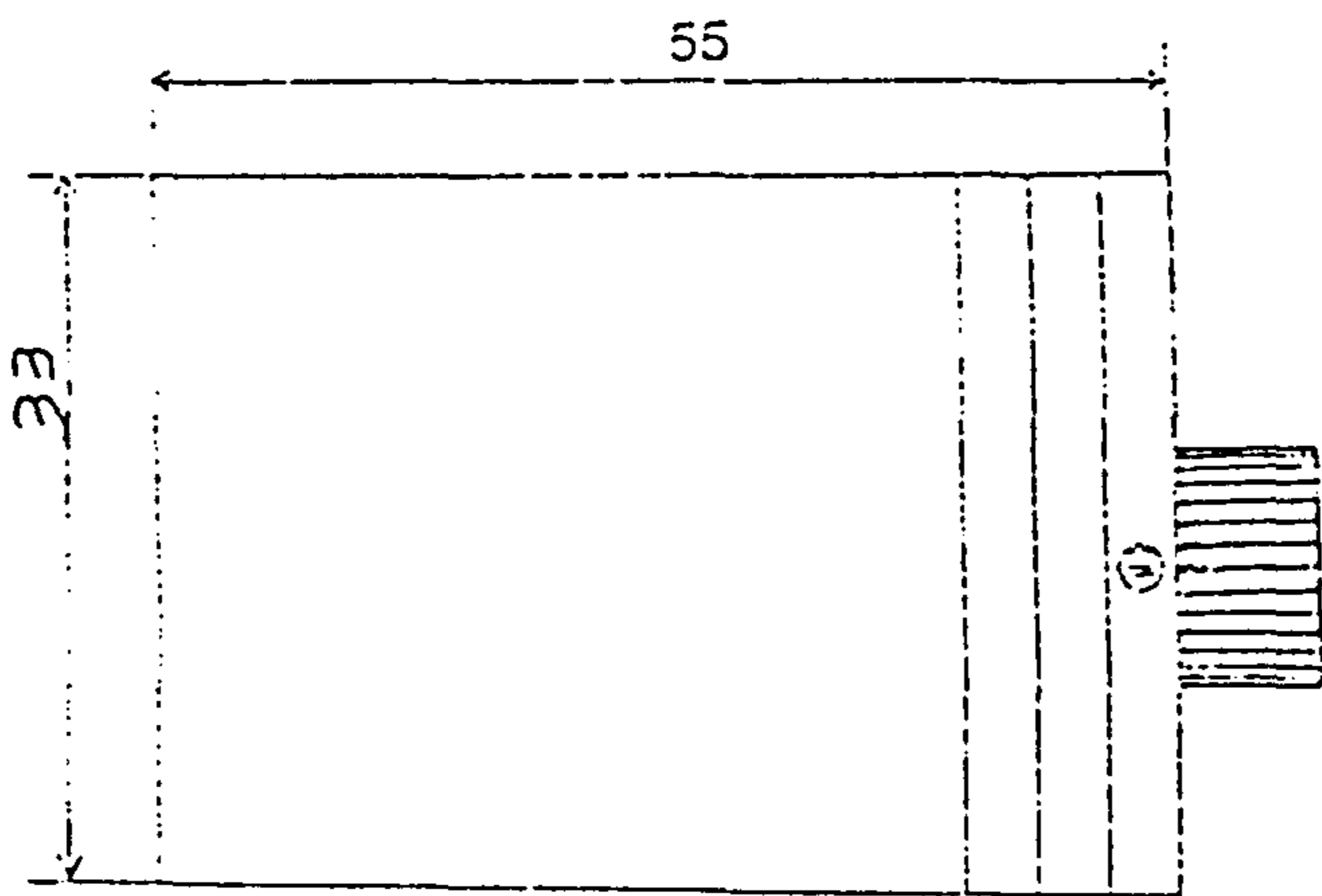
부록 C. 철선다발집 도면



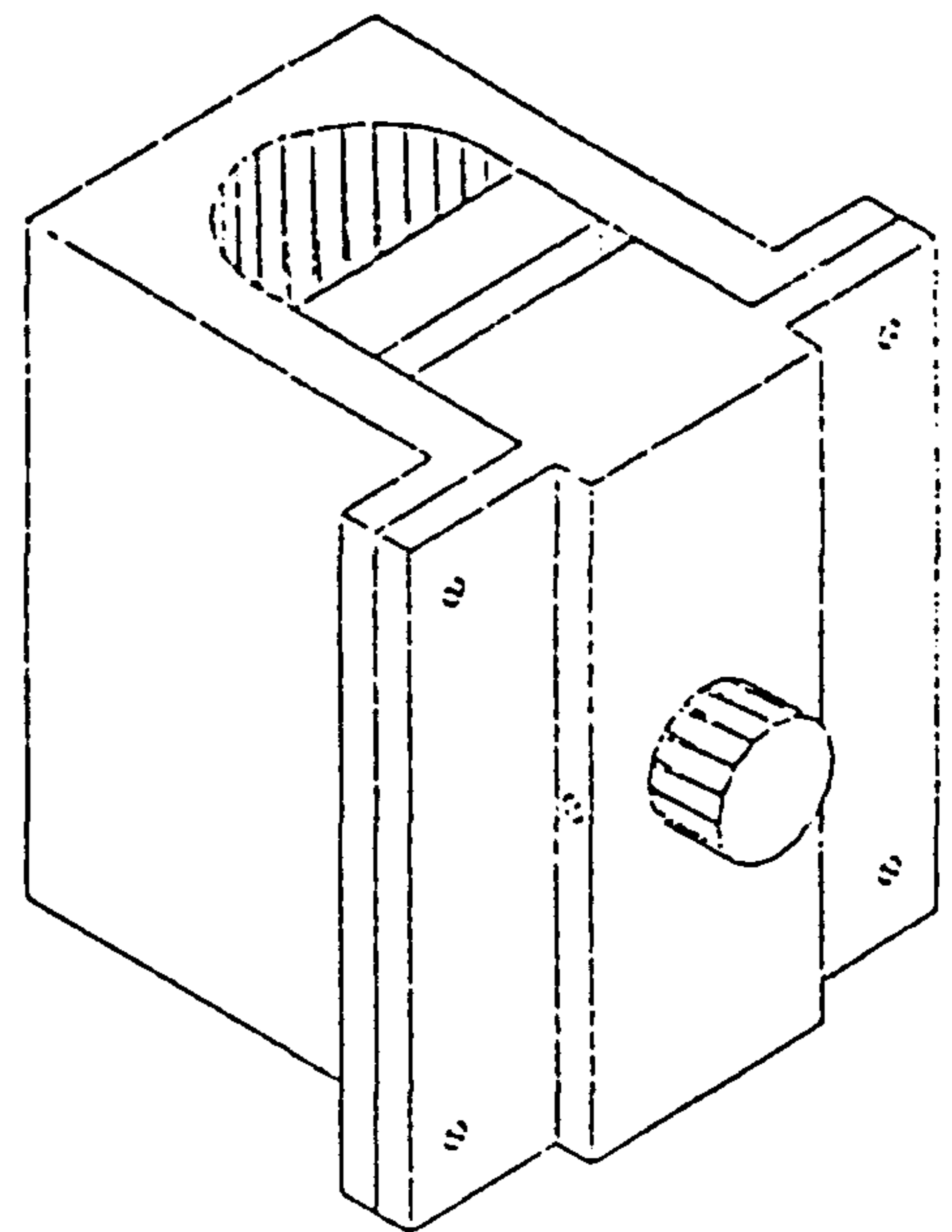
Top view



Right sideview



Front view



3D view

부록 D. 표면 제시 프로그램

```
/******
file name : surface.c
*****/
/*****
pzt control and compumotor control
*****/

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <dos.h>
#include <limits.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <bios.h>
#include <time.h>
#include "pml.h"

#define THR          UART+0          /* 8250/16450 UART-Register */
#define RBR          UART+0
#define IER          UART+1
#define IIR          UART+2
#define LCR          UART+3
#define MCR          UART+4
#define LSR          UART+5
#define MSR          UART+6
#define EOI          0x20          /* non specified EOI */
#define PI 3.141592
#define PLUS 0x2b
#define MINUS 0x2d

byte    transmit_buffer[BUFSIZE],
        receive_buffer[BUFSIZE],
        *transmit_wr_ptr,*receive_wr_ptr,          /* Address next write char */
        *transmit_rd_ptr,*receive_rd_ptr;          /* Address char to be read */
int     transmit_ptr_diff,receive_ptr_diff;

void    interrupt (*oldhandler) ();          /* original interruptvector */
int     rts;

unsigned int address;          /* global variable */

char move[MAXBYTES][16];
char value[MAXBYTES][5][4];
```

```

int n_max = 6;                /* n_max : PZT의 변위를 n_max등분하여 이동 */

/*****
* It all starts here!!!!!!
*****/
void main()
{
int key, N, i, j, k, n, m, message1;
char response[MAXBYTES + 2];
char rem[13]={'d','e','v',':','c','o','n','t',' ','r','e','m',CR};
    /* PZT 초기화 */
char servoff[13]={'d','e','v',':','s','e','r','v',' ','o','f','f',CR};
char selch1[13]={'i','n','s','t',' ','s','e','l',' ','c','h','l',CR};
char volt[11]={'s','o','u','r',' ','v','o','l','t',' ','MINUS'};

char *com_move = {"D+002500,+002500:G011:TPE:"};
    /* 2500은 0.25mm를 의미한다 */
char *com_ref_pt = {"D-180000,-045000:G011:TPE:"};
    /* move to reference point */
char *com_pset = {"PSET0,0:MA11:"};
    /* setting abs. origin as current position, set abs. move mode */
char *com_input = {"D+2500,+2500:G011:TPE:"};
    /* receive relative motion command */

char *input;
clock_t start, end;

address = 784;                /* compumotor controller의 주소 */

/*****
initialize PZT actuator
*****/

clrscr();
init_buffer();
open_port();                /* com1 port open */
printf("Wnopen COM%d: 9600Bd, 8Bit, no Parity, 1Stopbit,
RTS/CTS-Handshake Wn",PORT+1);

for(i=0;i<13;i++)    /* dev:cont rem */
{
    key=rem[i];
    send_char(key);
}

```

```

delay(100);

for(i=0;i<13;i++) /* dev:serv off */
{
    key=servoff[i];
    send_char(key);
}

for(i=0;i<13;i++) /* inst:sel chl */
{
    key=selchl[i];
    send_char(key);
}

/*****
initialize compumotor
*****/
SendAT6400Block(address, "!RESET:");
delay(2000); /* delay 2 seconds to wait for reset */
while(RecvAT6400Block(address, response) == 0){};
cputs(response);
while(RecvAT6400Block(address, response) == 0){};
cputs(response);
SendAT6400Block(address, "TPE:");
while(RecvAT6400Block(address, response) == 0){};
cputs(response);
SendAT6400Block(address, "HOMBAC11:@HOMV10:@HOMVFO.5:HOMOO:");
/* move the robot to home position */
while(RecvAT6400Block(address, response) == 0){};
printf("moving the robot to the reference point... \n");
SendAT6400Block(address, com_ref_pt);
do {message1 = RecvAT6400Block(address, response);}
while (message1 <= 4);
cputs(response);
printf("\n \n >");
delay(1000);
printf("in the followin, to continue, type 's' any time...\n");
printf("\n input the desired input relative displacement command..\n");
printf("input format ex)[d+xxxx,-xxxx(s)] \n");
printf("> ");
do
{
scanf("%14s", input);
for (i=0;i<12;i++)
    com_input[i] = input[i];

```



```

    printf("%s \n", com_input);
com_input[12]=': ';
    SendAT6400Block(address, com_input);
    do {message1 = RecvAT6400Block(address, response);}
    while (message1 <= 4);
    printf("\n");
    cputs(response);
    printf("\n >");
    } while ( input[12] != 's');
    clrscr();
    printf("now, setting reference position...");
    SendAT6400Block(address, com_pset);
    while(RecvAT6400Block(address, response) == 0){};
    cputs(response);

    printf("now, reading data.....");

    /*****
reading data for PZT and Compumotor
*****/
convert_data_2_ascii(&N);
        /* hi_limit, dis_x, dis_z의 data들을 ascii code로 변환시킨다 */

    /*****
Setting distance, acc. and vel. for Compumotor
*****/
    printf("now, setting acceleration, velocity level...");

    SendAT6400Block(address, "@A500:@V10:");
        /* compumotor의 x축, z축의 가속도, 속도 설정 */
        /* A = 100rev/sec^2, V = 10rev/sec */
    while(RecvAT6400Block(address, response) == 0){};
    cputs(response);

    printf("\n START!!!!!!!!!! \n");
    printf("\n PRESS ANY KEY IF YOU WANT TO STOP \n");
    sound(400);
    delay(1000);
    nosound();

    start = clock();

    /*****
Operating!!!
*****/

```

```

for (j=0; j<N; ++j)
{
    if (kbhit())      /* 어떤 키보드 입력이 있으면 for-loop를 중단한다 */
    {
        printf("Wn PROGRAM WILL BE NOT OPERATED!! Wn");
        break;
    }
    com_move[0] = move[j][0]; /* 'd' */
    for (i=1; i<=7; ++i)      /* x축의 변위 설정 */
        com_move[i] = move[j][i];
    com_move[8] = move[j][8]; /* ', ' */

    for (i=9; i<=15; ++i)     /* z축의 변위 설정 */
        com_move[i] = move[j][i];
    SendAT6400Block(address, com_move);
    do {message1 = RecvAT6400Block(address, response);}
    while (message1 <= 4);
    printf("Wn");
    cputs(response);

    for (n=1; n<=n_max; n++)
        /* PZT actuator의 작동시 sin파의 반주기 6등분하여 이용 */
    {
        for(i=0; i<11; i++)    /* sour:volt - */
        {
            key=volt[i];
            if (transmit_buffer_free())
                /* transmit_buffer free ? */
            put_transmit_char(&key);
                /* write char into buffer */
            else putchar(BEL);
                /* no buffer_space */
            process_receiver_char();
            process_transmitter_char();
        }

        for (m=0; m<4; m++) /* PZT의 voltage level 설정 */
        {
            key = value[j][n][m];
            send_char(key);
        }
    }
}

```

```

end = clock();
printf("\n The time was : %f seconds...\n", (end - start)/CLK_TCK);
    /* program 실행 시간 */

close_port();
printf("\nclose COM%d\n",PORT+1);

/*****/
    SendAT6400Block(address,"HOMBAC11:@HOMV10:@HOMVFO.5:HOMOO:");
/*****/
}

/*****/
convert_data_2_ascii
*****/
void convert_data_2_ascii(int* NN)
{

    FILE *fpr;
    float height[500];
    long int dis_x[500], dis_z[500];
    int N;
    long int nn;
    long int i,j, n;
    long int A,B,C,D,E,F,a,b,c,d,e,f,G,H,T,O;
    fpr = fopen("c:\\piezo\\made\\cir2.dat","r");

    fscanf(fpr, "%ld ", &nn);
    clrscr();
    printf("# of data = %ld \n", nn);
    N=(int)nn;
    *NN = N;
    getch();

    printf("current data table...\n");
    for (i=0;i<nn;i++)
    { fscanf(fpr, "%ld %ld %f", &dis_x[i], &dis_z[i], &height[i]);
      dis_x[i] = 10*dis_x[i]; /* *10 */
      dis_z[i] = 10*dis_z[i];
      printf("i=%ld %ld %ld %8.3f\n",i,dis_x[i], dis_z[i], height[i]);
    }
    printf("loading is finished...\n");
    getch();
}

```

```

for (j=0; j<nn; ++j)
{
    move[j][0]='D';      /* 'D' */
    move[j][8]=',';     /* ',' */

    if (dis_x[j] >= 0)
    {
        A = dis_x[j]/100000;
        a = A*100000;    /* 10^5 */
        B = (dis_x[j] - a)/10000;
        b = B*10000;    /* 10^4 */
        C = (dis_x[j] - a - b)/1000;
        c = C*1000;     /* 10^3 */
        D = (dis_x[j] - a-b-c)/100 ;
        d = D*100;      /* 100 */
        E = (dis_x[j] - a-b-c-d)/10;
        e = E*10;       /* 10 */
        F = dis_x[j] -a-b-c-d-e;

        move[j][1] = PLUS;
        move[j][2] = A + 48;
        move[j][3] = B + 48;
        move[j][4] = C + 48;
        move[j][5] = D + 48;
        move[j][6] = E + 48;
        move[j][7] = F + 48;
    }
    else
    {
        A = -dis_x[j]/100000;
        a = A*100000;    /* 10^5 */
        B = (-dis_x[j] - a)/10000;
        b = B*10000;    /* 10^4 */
        C = (-dis_x[j] - a - b)/1000;
        c = C*1000;     /* 10^3 */
        D = (-dis_x[j] - a-b-c)/100 ;
        d = D*100;      /* 100 */
        E = (-dis_x[j] - a-b-c-d)/10;
        e = E*10;       /* 10 */
        F = -dis_x[j] -a-b-c-d-e;

        move[j][1] = MINUS;
        move[j][2] = A + 48;
        move[j][3] = B + 48;
        move[j][4] = C + 48;
    }
}

```

```

        move[j][5] = D + 48;
        move[j][6] = E + 48;
        move[j][7] = F + 48;
    }

    if (dis_z[j] >= 0)
    {
        A = dis_z[j]/100000;
        a = A*100000;    /* 10^5 */
        B = (dis_z[j] - a)/10000;
        b = B*10000;    /* 10^4 */
        C = (dis_z[j] - a - b)/1000;
        c = C*1000;    /* 10^3 */
        D = (dis_z[j] - a-b-c)/100 ;
        d = D*100;    /* 100 */
        E = (dis_z[j] - a-b-c-d)/10;
        e = E*10;    /* 10 */
        F = dis_z[j] -a-b-c-d-e;

        move[j][9] = PLUS;
        move[j][10] = A + 48;
        move[j][11] = B + 48;
        move[j][12] = C + 48;
        move[j][13] = D + 48;
        move[j][14] = E + 48;
        move[j][15] = F + 48;
    }
    else
    {
        A = -dis_z[j]/100000;
        a = A*100000;    /* 10^5 */
        B = (-dis_z[j] - a)/10000;
        b = B*10000;    /* 10^4 */
        C = (-dis_z[j] - a - b)/1000;
        c = C*1000;    /* 10^3 */
        D = (-dis_z[j] - a-b-c)/100 ;
        d = D*100;    /* 100 */
        E = (-dis_z[j] - a-b-c-d)/10;
        e = E*10;    /* 10 */
        F = -dis_z[j] -a-b-c-d-e;

        move[j][9] = MINUS;
        move[j][10] = A + 48;
        move[j][11] = B + 48;
        move[j][12] = C + 48;
    }

```

```

        move[j][13] = D + 48;
        move[j][14] = E + 48;
        move[j][15] = F + 48;
    }

    for (n=0; n<n_max; n++)
    {
        G=(int)(height[j]*sin(n*PI/n_max));
        H=G/100+1;
        /* 더 안정된 PZT의 움직임을 위해서 1 즉 100을 더했습. */
        T=(G-100*(H-1))/10;
        O=G-100*(H-1)-10*T;
        value[j][n][0]=H+48;
        value[j][n][1]=T+48;
        value[j][n][2]=O+48;
        value[j][n][3]=CR;
    }
}

printf("\n type return key to continue....");
getch();
fclose(fpr);
}

/*****
send_char:
*****/
void send_char(int key)
{
    if(key==CR)
    {
        putchar(CR);
        putchar(LF);
        key=LF;
    }
    if(transmit_buffer_free())
        put_transmit_char(&key);
    else putchar(BEL);
    process_receiver_char();
    process_transmitter_char();
}

/*****

```

```

process_receiver_char:                checks receiverbuffer and handshakesignals
*****/
void process_receiver_char()
{
    byte c;

    if (get_receive_char(&c))        /* receiver_char in buffer ? */
    {
        textcolor(YELLOW);
/*****
        putchar(c);
*****/
        if (c==LF) putchar(CR);
        check_handshake();
    }
}

/*****
process_transmitter_char:            checks transmitbuffer and transmit character
*****/
void process_transmitter_char()
{
    byte *c_ptr;                    /* transmit_char in buffer ? */

    if (BUFSIZE-1-transmit_buffer_free())
        if (NULL!=(c_ptr=transmit()))
        {
            textcolor(LIGHTCYAN);

/*****
            putchar(*c_ptr);
*****/
        }
}

/*****
open_port: init UART, change interruptvectors.
*****/
void open_port()
{
    bioscom(0, SETTINGS, PORT);      /* UART-parameter */
    oldhandler=getvect(IRQ4);        /* save old interruptvector */
    setvect(IRQ4,uart_int);         /* new interruptvector */
}

```

```

        outportb(LCR, inportb(LCR) & 0x7f);        /* UART-DLAB=0 */
        (void)inportb(RBR);                        /* UART-RBR clear */
        disable();                                /* disable interrupts */
        outportb(IER, 0x01);                      /* enable UART-Rx-Ints */
        outportb(0x21, inportb(0x21) & 0xef);
                                                /* enable IRQ4 in 8259A-IMR */
        outportb(MCR, 0x08);                      /* set OUT2 */
        enable();
        outportb(MCR, inportb(MCR) | 0x01);      /* DTR on */
        handshake_on();
    }

/*****
close_port:        restore old interruptvectors.
*****/
void close_port()
{
    disable();
    outportb(0x21, inportb(0x21) | 0x10);        /* Disable IRQ4 */
    outportb(IER, 0x00);                        /* disable RxInt */
    outportb(MCR, 0x00);                        /* reset OUT2, DTR, RTS */
    setvect(IRQ4, oldhandler);                  /* restore Interruptvector */
    enable();
}

/*****
async_int: process 8250-UART-receiver-interrupts
*****/
void interrupt uart_int()
{
    static byte rbr;

    outportb(0x21, inportb(0x21) | 0x10);
                                                /* disable COM1 Interrupts */
    enable();
    rbr=inportb(RBR);                            /* RxInt */
    if (OFF_LIMIT > put_receive_char(&rbr))
        handshake_off();
        /* check buffer and switch handshake off if needed */
    disable();
    outportb(0x21, inportb(0x21) & 0xef);        /* OCW1 */
    outportb(0x20, EOI);                        /* OCW2 (EOI) */
}

```



```

/*****
transmit: returns address of sended character, else NULL.
*****/
byte *transmit()
{
    int timeout;
    static byte c;

for (timeout=0x0100; !(inportb(MSR) & 0x10) && timeout>0; timeout--);
for (timeout=0x0100; !(inportb(LSR) & 0x20) && timeout>0; --timeout);

    if (get_transmit_char(&c))
    {
        outportb(THR,c);          /* transmit character */
    }
    return &c;
}

/*****
handshake_on:      switch handshakesignal ON
*****/
void handshake_on()
{
    outportb(MCR,inportb(MCR) | 0x02);          /* RTS on */
    rts=TRUE;
}

/*****
handshake_off:      switch handshakesignal OFF
*****/
void handshake_off()
{
    outportb(MCR,inportb(MCR) & 0xfd);          /* RTS off */
    rts=FALSE;
}

/*****
check_handshake:  checks receiver_buffer, switch handshakesignal ON
*
*                  if the write reach the highwater-mark.
*****/

```

```

void check_handshake()
{
    if (!rts && ON_LIMIT < receive_buffer_free())
        outportb(MCR, inportb(MCR) | 0x02);
}

/*****
init_buffer:          initialize all bufferpointer
*****/
void init_buffer()
{
    transmit_wr_ptr=transmit_rd_ptr=transmit_buffer;
    receive_wr_ptr =receive_rd_ptr =receive_buffer;
    transmit_ptr_diff=receive_ptr_diff=0;
}

/*****
put_transmit_char:   write character unconditionend into buffer,
                    returns free buffersize (0 .. BUFFSIZE-1).
*****/
int put_transmit_char(byte *c)
{
    *transmit_wr_ptr++=*c;
    if (transmit_wr_ptr>=transmit_buffer+BUFFSIZE)
        transmit_wr_ptr=transmit_buffer;          /* set pointer to start */
    return (transmit_ptr_diff=transmit_wr_ptr - transmit_rd_ptr) >= 0 ?
        BUFFSIZE -1 - transmit_ptr_diff : transmit_rd_ptr - transmit_wr_ptr -1;
}

/*****
get_transmit_char:   returns number of nonprocessed character in buffer,
                    set pointer to current character if value > 0.
*****/
int get_transmit_char(byte *c)
{
    if (0==transmit_ptr_diff) return 0;
    *c=*transmit_rd_ptr++;
    if (transmit_rd_ptr>=transmit_buffer + BUFFSIZE)
        transmit_rd_ptr=transmit_buffer; /* set pointer to start */
    return (transmit_ptr_diff=transmit_wr_ptr - transmit_rd_ptr) > 0 ?
        transmit_ptr_diff : BUFFSIZE + transmit_ptr_diff;
}

```

```

/*****
transmit_buffer_free: returns free bufferposition, max. BUFFSIZE-1.
*****/
int transmit_buffer_free()
{
    return transmit_ptr_diff >= 0 ?
        BUFFSIZE - 1 - transmit_ptr_diff : transmit_rd_ptr - transmit_wr_ptr - 1;
}

/*****
put_receive_char:   write character unconditionend into buffer,
                    returns free buffersize (0 .. BUFFSIZE-1).
*****/
int put_receive_char(byte *c)
{
    *receive_wr_ptr++=*c;
    if (receive_wr_ptr>=receive_buffer+BUFFSIZE)
        receive_wr_ptr=receive_buffer; /* set pointer to start */
    return (receive_ptr_diff=receive_wr_ptr - receive_rd_ptr) >= 0 ?
        BUFFSIZE - 1 - receive_ptr_diff : receive_rd_ptr - receive_wr_ptr - 1;
}

/*****
get_receive_char:   returns number of nonprocessed character in buffer,
                    set pointer to current character if value > 0.
*****/
int get_receive_char(byte *c)
{
    disable();
    if (0==receive_ptr_diff)
    {
        enable();
        return 0;
    }
    *c=*receive_rd_ptr++;
    if (receive_rd_ptr>=receive_buffer+BUFFSIZE)
        receive_rd_ptr=receive_buffer; /* set pointer to start */
    enable();
    return (receive_ptr_diff=receive_wr_ptr - receive_rd_ptr) > 0 ?
        receive_ptr_diff : BUFFSIZE + receive_ptr_diff;
}

```

```

/*****
receive_buffer_free: returns free bufferposition, max. BUFFSIZE-1.
*****/
int receive_buffer_free()
{
    return receive_ptr_diff >= 0 ?
        BUFFSIZE -1 - receive_ptr_diff : receive_rd_ptr - receive_wr_ptr -1;
}

/*****
FUNCTION : int SendAT6400Block(unsigned address, char *command)
PURPOSE  : To send a block of up to 128 words to the AT6400.
ALGORITHM: Send words to AT6400 until either a null word is detected,
            or 128 words have been sent. Return the number of words
            sent to the calling program.
*****/
int SendAT6400Block(unsigned address, char *command)
{
    int count = 0;
    int cmd[MAXWORDS];
    int *ptr = cmd;

/*****
clear cmd buffer
*****/
    memset(cmd, 0, sizeof(cmd));

/*****
copy command buffer to cmd buffer
*****/
    strcpy((char *)cmd, command);

/*****
wait until AT6400 buffer is empty
*****/
    while( inportb(address+STATUS) & IB_IS_EMPTY );

/*****
send command block to AT6400 one word at a time
*****/
    while( (*ptr != 0) && (count++ < MAXWORDS) )
        outport(address, *ptr++);
}

```

```

/*****
tell AT6400 that block has been sent
*****/
        outportb(address + STATUS, CMD_READY);

        return(count);
}

/*****
FUNCTION : RecvAT6400Block()
PURPOSE  : To receive a block of up to 128 words from the AT6400.
ALGORITHM : Receive words from AT6400 until either 128 words have been
              received or the AT6400 is finished sending data. Return
              the number of words received to the calling program.
*****/
int RecvAT6400Block(unsigned address, char *response)
{
    int count = 0;
    int *ptr = (int *)response;

/*****
get response from AT6400 one word at a time
*****/
    while(!((inportb(address + STATUS) & OB_HAS_DATA)){});

    while( (inportb(address + STATUS) & OB_HAS_DATA) && (count < MAXWORDS) )
        {
            *ptr++ = inport(address);
            count++;
        }

    *ptr = TERMINATOR;

    return(count);
}

```

부록 E. 콤플라이언스 에뮬레이터 프로그램

```

/*****
 * Program      : COM_EMUL.C                               *
 * Description  : Compliance emulator program(PCL718 and LVDT) *
 * Revision    :                                           *
 *****/
/* project file : COM_EMUL.PRJ
           com_emul.c : compliance emulator main program
           718cppl.lib : large mode compilation
           oncifc.obj  : large mode compilation in C++

*/

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <dos.h>
#include <math.h>

#include <string.h>
#include "orbit.h"          /* header file for digital probe */

float PI=3.1415920;

/* LVDT variables */
void init_dig(int);
int brd,chnl,card,address;
int baseaddr=0x31E,base;    /* LVDT multi-card base address : 31E */
char *id ;

/* DA/AD converter variabls */
extern pcl718(int,int*,int*,int*);
int dat[5],ary1[1000],ary2[1000],buffer[10000];
void InitialAD_Convertor();
void SetScanRange();
void SendDA_out(float Vout);
float GetData(int count);

void main()
{
    float k_obj ; /* desired stiffness */
    float del_x ; /* emulator actual displacement */
    float top_data, bottom_data; /* top, bottom position of analog LVDT */
    float del_x_offset ; /* actual del_x = del_x_offset - del_x */
    float Vout_offset = 0.0; /* gravity compensation */

```

```

    int n,i,iii;
    float del_xo, pre_del_x, k_p, k_v, mid_point, ratio;
    float V_posfdbk, V_velfdbk;
/* data output file */
    FILE *fpr1,*fpr2, *fpr3, *fpr4;

/* DA output variable filter variables */
    float del_v, pre_del_v=0.; /*filter variables */

/* DA variables */
    int point;
    float Vin, Vout, Vout_mag=3.0, Vout_ground=5.0;

/* Digital LVDT variables */
    float raw_data,pre_raw_data; /* LVDT data */
    brd=1; chnl=1; card=1; address=1; /* LVDT Multi-card */
    id = "000A449-15" ; /* LVDT id number */

/* Start of the program... */
    clrscr();
    fpr1 = fopen("dat1.c","wt");
    if (fpr1 == NULL) fputs("File not found !\n", stderr), exit(1);
    fpr2 = fopen("dat2.c","wt");
    if (fpr2 == NULL) fputs("File not found !\n", stderr), exit(1);
    fpr3 = fopen("dat3.c","wt");
    if (fpr3 == NULL) fputs("File not found !\n", stderr), exit(1);
    fpr4 = fopen("dat4.c","wt");
    if (fpr4 == NULL) fputs("File not found !\n", stderr), exit(1);
/* DA initialization */
    printf("initialization processes are ongoing... wait \n");
    InitialAD_Convertor();
    SetScanRange();

/* move the plate to the bottom position */
    Vout = Vout_ground; /* set output DA port to ground */
    SendDA_out(Vout);

    for (n=0;n<=60 ; n++)
    {
        Vout = -Vout_mag*sin(n*PI/60.) + Vout_ground;
        SendDA_out(Vout);
        delay(50);
    }

/* Digital LVDT initialization */

```

```

    oncifc(&errorword,baseaddr); /* initialization */
    rst(brd,chnl); /* Board and Channel setting */
    delay(2000); /* give time delay after reset */
    setaddr(brd,chnl,address,id,0);

/* LVDT offset displacement are adjusted */
    printf("measureing bottom position of the shaft... \n");
    raw_data=read_dig(brd,chnl,address); /* LVDT data reading */
    bottom_data = raw_data; /* bottom position */
    do {
        raw_data=read_dig(brd,chnl,address); /* LVDT data reading */
        bottom_data = raw_data; /* bottom position */
        printf("%6.3f\n", bottom_data);
    } while (kbhit() == 0);

    getch();
    printf("current Vout_offset is %6.3f \n",Vout_offset);
    printf("moving the shaft to top position ....\n");

    for (n=0;n<=30 ; n++)
    {
        Vout = Vout_mag*sin(n*PI/60.) + Vout_ground;
        SendDA_out(Vout);
        delay(50);
    }

    printf("measuring top position of the shaft... \n");
    delay(100);
    raw_data=read_dig(brd,chnl,address); /* LVDT data reading */
    top_data = raw_data; /* top position */

    for (n=30;n<=60 ; n++)
    {
        Vout = Vout_mag*sin(n*PI/60.) + Vout_ground;
        SendDA_out(Vout);
        delay(50);
    }

    printf("top = %6.3f , bottom = %6.3f \n",top_data, bottom_data);
    del_x_offset = bottom_data - top_data ;
    printf("data offset is %6.3f \n ",del_x_offset);

    printf("Input desired equilibrium position\n");
    printf("input range (0.0(top) <= ratio <= 1.0(bottom)):" );
    scanf("%f",&ratio);

```



```

del_xo = del_x_offset*ratio;

pre_del_x = 0.;
printf("Input the k_p (float):");
scanf("%f",&k_p );
printf("\n Input k_v (float):");
scanf("%f",&k_v);

/* starting control loop */
do {
/*   if (n >=1000)
   { n=n-1000;
     printf("1000 times...\n"); } */
n=0;
while (n ==0)
  {
    raw_data=read_dig(brd,chnl,address); /* LVDT data reading */
    if (pre_raw_data != raw_data) n=1;
  }

pre_raw_data = raw_data;
del_x = raw_data - top_data ; /* actual lvdt displacement(mm) */

switch(errorword) {
  case 0x0 :
                                /* actual displacement(mm) from core */
    break;
  case 0x2112:
    printf(" Under ");
    /*Error num : %4xh\n",errorword);*/
    del_x = 0.;
    break;
  case 0x2113:
    printf(" Over  ");
    /*Error num : %4xh\n",errorword);*/
    del_x = del_x_offset;
    break;

}
if (del_x <= 0.) del_x = 0.;
if (del_x > del_x_offset) del_x = del_x_offset;

del_v = del_x - pre_del_x;
del_v = pre_del_v * 0.1 + 0.9* del_v;

```

```

V_posfdbk=k_p*(del_x-del_xo);
V_velfdbk=k_v*del_v;
Vout = Vout_offset + V_posfdbk + V_velfdbk; /*without filter*/

/*   printf("%6.3f %6.3f %6.3f %6.3f\n", diff_x, V_out, V_posfdbk, V_velfdbk); */

if (Vout >= 5.0) Vout = 5.0; /* setting saturation block */
if (Vout <= -5.0) Vout = -5.0; /* setting saturation block */
Vout = Vout + 5.;

SendDA_out(Vout);

pre_del_x = del_x;
pre_del_v = del_v;

/*   saving data for file.

fprintf(fpr1, "%10.6f \n",del_x);
fprintf(fpr2, "%10.6f \n",del_v);
fprintf(fpr3, "%10.6f \n", V_velfdbk);
fprintf(fpr4, "%10.6f \n", Vout-5.);
*/

} while (kbhit() ==0); /* end of loop */

Vout = Vout_ground;
SendDA_out(Vout); /* send 0 to DA output before terminate */
getch();

fclose(fpr1);
fclose(fpr2);
fclose(fpr3);
fclose(fpr4);

}

void init_dig(int baseaddr) /* LVDT initialization */
{
    oncifc(&errorword, baseaddr);
}

void InitialAD_Convertor()
{
    int port, fun_no, err;

```

```

/* ***** INITIALIZE DRIVER USING FUNC 0 ***** */
    port=0x100;    /* port base address = 0x100 */
    dat[0]=port;
    dat[1]=5; /* IRQ level 5 */
    dat[2]=1;
    fun_no=0;
    err=pci718(fun_no,&dat[0],&ary1[0],&ary2[0]);
    if (err != 0)
    {
        printf(" Error Number is %d", err);
        printf(" DRIVER INITIALIZATION FAILED !");
        exit(0);
    }
}

void SetScanRange()
{
    int func_no = 1;
    int err;
    dat[0]=0;
    dat[1]=0;

    err=pci718(func_no, &dat[0], &ary1[0], &ary2[0]);
    if (err != 0)
    {
        printf(" DRIVER INITIALIZATION FAILED !");
        exit(0);
    }
}

void SendDA_out(float Vout)
{
    int func_no=15;
    int err;
    dat[0]=0; /* select D/A channel */
    dat[1]= (int)(Vout/10.*4095.); /*convert to D/A output number */

/*    printf("\n Vout number is %d ", dat[1]);
    getch();
*/

    err = pci718(func_no, &dat[0], &ary1[0], &ary2[0]);
        /* ary1[] & ary2[] are dummy */
    if (err != 0) printf("set single D/A failed ! ");
}

```

```

float GetData(int count)
{
    int func_no = 3;
    int err;
    float Vin=0.;

    /*  dat[0]=0;
       dat[1]=0;
    */

    err=pcl718(func_no, &dat[0], &ary1[0], &ary2[0]);
    Vin = (float)(dat[0]/4095.) * 10.;

    /*  printf("\n ch = % 3d  Read= %4d", dat[1], dat[0]);  */
    /*  printf(" output= %6.3f V ",Vin);    */

    if (err != 0)
        {
        printf(" Error Number is %d", count);
        printf(" Data Reading Error by I/O Port !");
        exit(0);
        }
    return(Vin);
}

```

여 백

'97특정연구개발사업
위탁연구보고서

직물의 물리적 차원과 감성의 관계에 관한 연구

A study on the relationship between textile
mechanical properties and human sensibility

위탁연구기관 : 충 남 대 학 교

한국표준과학연구원

여 백

제 출 문

한국표준과학연구원장 귀하

본 보고서를 한국표준과학연구원 '97년도 특정연구개발사업
의 위탁연구개발과제인 “직물의 물리적 차원과 감성과의 관
계”의 보고서로 제출합니다.

1998년 월 일

위탁연구기관명 : 충남대학교

위탁연구책임자 : 서 창 원

연 구 원 : 이 임 갑

최 상 섭

연 구 조 원 : 박 현 영

문 성 실

여 백

요약문

I. 제목

직물의 물성 특성과 감성과의 관계 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

착용감이 좋고 감성적인 의복을 디자인하고 개발하기 위해서는 재료 등 여러 가지 요인에 대한 연구가 필요하다. 그중 본 연구에서는 직물의 여러 가지 물성특성과 감성과의 관계를 규명하고자 한다. 이러한 연구는 외국 특히 일본과 호주 등에서 연구되어 오고 있으나 감성은 인종과 문화적인 특성에 따라 매우 다르기 때문에, 국내에서 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 이를 위하여 소비자의 직물 감성을 객관화하고 정량화하기 위한 표준화된 심리척도의 개발이 필요하다. 이 척도를 사용하여 표본 사료를(본 연구에서는 내의 직물 사용함) 잘 감성적으로 변별할 수 있는 특징적인 심리적 반응을 추출한다. 다음으로는 표본 직물 소재의 역학적 특성을 분석하고, 어떠한 역학적 특성이 소비자의 감성 반응에 영향을 미치는가를 하고자 한다. 이렇게 함으로써 고부가가치의 감성 내의류 제품개발에 활용하는 기반기술을 제공하고자 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 직물에 대한 심리척도 개발

촉감에 의해 유발되는 질감에 대한 감각적·감성적 표현이나 반응을 객관화/정량화 시키기 위한 심리척도 개발이 필수적이다. 이를 위하여 국내의 선행 연구를 객관하여 본 연구에서 수행하고자 하는 내의 직물에 대한 심리반응을 잘 나타낼 수 있는 형용사 어휘를 이용하여 의미분배에 의한 Likert Scale을 개발하고 이 척도의 신뢰도(reliability)와 타당도(validity)를 밝힌다.

● 직물의 역학적 특성 및 분석

Kawbata Evaluation System(KES)을 이용하여 6개의 역학적 성질(인장, 굽힘, 전단, 표면, 압축, 그리고 무게와 두께)에 따른 16개의 물리적·역학적 특성을 개관하고 본 연구에서 사용된 19개 시료에 대한 물성·역학적 특성을 분석한다.

● 직물의 역학적 특성과 감성과의 관계분석

- 표본 시료에 대한 선호도(전반적인 감성)를 조사하고 이들 선호도의 상·하위 집단에 따른 직물표본 특성을 분석한다. 그리고 이들 두 집단에 따른 본 연구에서 제작한 척도를 이용하여 심리적 반응을 분석하여, 내의 직물의 감성을 잘 구별할 수 있는 심리적 차원을 규명한다.
- 분석한 표본시료의 역학적 특성과 주관적 감성간에 상관관계를 구하고 회귀분석을 통하여 내의 직물의 특징적 감성차원에 영향을 미치는 중요한 물성특성을 규명한다.

IV. 연구 개발 결과

- 촉감에 의해 유발되는 직물의 주관적 감성을 객관화/정량화 하기 위한 심리척도를 개발을 위하여 최종 18개의 형용사를 추출하였고 이 척도는 14개의 단극(monopolar) 문항과 14개의 양극(bipolar) 문항으로 구성되었다. 각 문항은 7점 척도로 구성된 Likert Scale을 최종 개발하였다.
- 개발된 척도에 대한 검사-재검사 신뢰도 분석 결과 $r = .86$ 으로 나타나, 주관적 감성측정을 매우 신뢰롭게 측정할 수 있는 것으로 나타났다. 요인 구조에 대한 분석결과 5개의 요인으로 나타났으며 구인 타당도가 높은 것으로 밝혀져, 본 척도가 신뢰롭고 타당한 척도임을 알 수 있다.
- 감성적인 내의직물 소재는 주로 Polyester(속칭 ‘물 실크’)이며, 상대적으로 감성적이지 못한 직물 소재는 모시 메리, 망사 종류로 나타났다.
- 선호도(전반적 감성)에 따라 상·하위 두집단으로 나누어 심리적 감성 반응을 분석한 결과 “매끄러움”, “편편함”, 그리고 “부드러움” 등의 14개의 감성 형용사에서 유의미한 차이를 나타내었다.
- 직물의 역학적 특성에 따라 주관적 감성이 가장 잘 예언되는 형용사 반응은 “신축성”, “단단함”, 그리고 “독특성” ($R^2 > .80$) 이었다. 그러나 이들 형용사 차원은 내의류에 대한 소비자의 감성에는 큰 영향을 미치지 못하는

것으로 앞에서 밝혀졌다. 따라서 그 다음으로 $R^2 = .70$ 이상인 “매끄러움”, “부드러움” 그리고 “고급스러움” 등의 7개 형용사 였으며, 이들을 잘 예언해 주는 역학적 특성은 두께, 압축, 그리고 기하학적 표면 거칠기 순으로 나타났다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구의 결론은 감성적인 내의류 직물을 변별하기 위해서는 최소 14개의 형용사로 구성되는 의미미분에 의한 심리적 척도를 사용하여야 하며, 이중 “매끄러움”, “편편함”, 그리고 “부드러움” 등의 7개의 심리적 차원이 중요한 것으로 나타났다. 이들을 가장 잘 예언하는 직물의 특성은 두께, 압축, 그리고 기하학적 표면 거칠기 등으로 나타났다. 산업체에서 내의류 제품을 디자인하고 개발하는데 상기한 상기한 결과를 이용한다면 고부가가치의 제품화에 성공할 것으로 본다. 그리고 모든 직물에 대한 감성적인 연구를 위해 본 연구에서 개발한 process를 prototype으로 활용할 수 있다.

목차

제 1 장 서론	173
제 2 장 국내·외 연구동향	176
제 3 장 연구개발 수행 및 결과	179
제 1 절 촉감에 의한 질감의 심리적 척도 개발	179
1. 선행연구에서 개발된 척도 개관	179
2. 본 연구에서 사용된 촉감에 의한 질감평가척도	183
제 2 절 직물의 물리적 특성 및 측정방법	185
1. 직물의 물리적 특성	185
2. 역학적 특성치	186
3. 표본시료 추출 및 역학적 특성 분석	195
제 3 절 직물의 물성특성과 감성과의 관계분석	199
1. 직물에 대한 심리 반응 분석	199
2. 직물의 물성 특성과 감성과의 상관분석	211
제 4 절 종합논의 및 결론	214
제 4 장 연구개발 결과의 활용계획	216
제 5 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도	217
제 6 장 참고문헌	219
부록	221
1. 직물 19개에 대한 각각의 형용사 프로파일	221

여 백

제 1 장 서 론

감성(sensibility)이란, 외부의 물리적인 자극에 의하여 발생하는 감각 또는 지각의 최종산물의 하나로 인간이 경험하게 되는 복합적인 심리상태를 말한다.

질감에 의한 감성은 손이나 피부에 접촉될 때의 냉온감, 압감, 마찰감, 습윤감 그리고 시각에 대한 감각 등에 의해 복합적으로 일어나는 감성을 나타낸다. 매끄럽다(smooth), 부드럽다(soft), 딱딱하다(hard), 뻣뻣하다(stiff), 그리고 따뜻하다(warm) 등 감각·감성을 나타내는 다양한 형용사의 다차원적인 의미분석(Multi-Dimensional Semantic Differential Analysis)을 이용하여 느낌과 표현을 객관화된 정량적인 값으로 표현되는 척도를 개발한다면, 의류, 자동차, 종이, 플라스틱 등의 표면 촉감/질감 특성연구 및 제품개발에 응용할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 주관적인 질감에 대한 신뢰롭고 타당한 심리척도를 개발하고자 한다.

착용감이 좋고 감성적 의복을 만들기 위한 소재로서 구비해야 할 천의 성능에 관한 연구는 1920년대의 감성(태, Hand Value)에 관한 심리검사를 위주로 한 주관적인 평가에서 오늘날에는 측정기기를 이용하여 얻어진 물리측정치와 심리검사에 의해 얻어진 감성과의 관계를 통계적인 방법으로 해석하려는 객관적인 평가 방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

1970년대 일본에서는 Kawabata, Niwa 등이 중심으로 구성된 “태의 계

량화 및 규격화 연구 위원회”가 Kawabata에 의하여 고안된 Kwabata Evaluation System(KES)을 이용하여 직물의 역학량과 관능량을 단계별 블록회귀방식으로 대응시켜 기본 태의 변환식을 개발하므로서 태의 수치화 및 표준화를 시도하였다.

이를 활용하여, Niwa는 일본 화복지, 남성 슈츠용 직물, 부인 양장용 직물, 외의용 편성포의 역학적 성질과 부인 양장용 얇은 직물의 성질 등을 보고한 바 있으며, 최근에는 국제간의 태값' 비교 및 그 유의성에 관한 공동 연구결과도 보고되었다.

국내에서는 신사용 하복지의 혼방율과 중량에 따른 물리적 성질, 신사복지의 태, 직물 구조인자와 공정조건이 소모직물 태의 균질성에 미치는 영향, 착용에 의한 물리적 성질의 변화 등을 KES System을 사용하여 보고한 바 있다.

본 연구에서는 감성적인 내의류 개발에 적합한 소재가 구비해야 할 내의직물의 물성·역학적 특성을 규명할 목적으로 내의류 19종의 물리적 특성 즉, 인장특성, 굽힘특성, 전단특성, 압축특성, 표면특성, 두께 및 중량 등의 6특성 16항목 특성치와 열전도율, 열확산을 및 초기 열유속 최대치 등을 KES System을 사용하여 분석하고자 한다. 그리고 감성에 따라 어떤 시료가 내의류에 적절하며 감성적으로 좋은 직물이 가지게 되는 소비자의 심리 특성을 분석하고자 한다.

최종적으로 본 연구에서는 또 내의류의 기계적·역학적 성질과 직물에

의한 사람의 감성과의 관계를 규명할 목적으로 내의류 19종을 대상으로 KES System을 사용하여 얻어진 인장특성, 굽힘특성, 전단특성, 압축특성의 기본 역학적 특성 및 표면특성의 측정치와 심리적 척도에 의한 반응에서 얻어진 감성과의 관계를 회귀방정식을 이용, 내의류의 감성을 수량화 할 수 있는 산출식을 구하여, 내의직물의 역학적 특성과 감성과의 관계를 규명하고자 한다.

제 2 장 국내·외 연구 동향

감성공학에 대한 연구는 심리학, 인간공학, 생리학, 산업공학, 그리고 디자인 등 여러 학문 분야에서 일본을 필두로 진행되어 왔으며, 우리나라에서도 G-7 프로젝트로 시작되었다. 특히 촉감 / 질감에 대한 연구는 의류학 및 섬유공학 분야에서 항상 인간의 피부에 접촉되고 있는 의류표면과 역학적, 물리적 특성을 연구함으로써 구체적으로 이루어져 왔다.

일본에서는 교토대학의 Kawabata를 중심으로 나라여자대학의 Niwa, 섬유회사(Toray, Wncol 등), 어패럴 회사등이 1968년부터 직물의 역학적 성질, 표면의 상태가 인간의 촉감 / 질감을 결정한다는 가정하에 연구하기 시작했다. 그들은 질감의 감성적 용어로 사용할 수 있는 것으로서 stiffness, smoothness, fullness & softness를 선정하였다. 이와 같은 감성 등은 직물의 물리적/역학적 특성 즉 표면 거칠기, 마찰 인장, 전단, 압축 및 굽힘 등과 상관관계가 있음을 규명하였다. 일본 섬유 회사의 직물을 대상으로 표준 샘플을 제작한 후 일본인들의 감성과 표준 샘플의 역학적 특성으로부터 얻어진 촉감 데이터들과의 상관관계를 분석하여 역학적 특성으로부터 질감 평가치를 구하는 변환식을 얻었다. 그후 지속적인 연구를 수행하여 표준화 작업 및 데이터베이스 구축을 완료하였으며 현재 일본의 많은 섬유회사에서는 이 결과를 이용하여 의복의 감성설계를 행하고 있는 실정이다.

이와 유사한 연구는 호주 New South Wales대학의 Postle교수, 미국

MIT대학의 Backer교수도 수행하였다. 일본과 호주 및 미국 등의 연구결과는 매우 다르게 나타났다. 이 결과는 감성이 동일한 감각자극에 대해서도 문화, 환경, 기후, 지역에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보여준다. 따라서 우리나라의 경우에도 외국의 연구 결과와 차이가 날 것은 명확하다. 그러나 이에 대한 체계적인 연구가, 특히 내의류에 대한 연구가 되고 있지 않은 실정이다.

한편, 감성을 측정하고 분석하기 위해서는 질감의 물리적 특성의 분석이 선행되어야 한다. 국내에서는 심리학, 섬유공학, 그리고 의류학 분야에서 이러한 연구를 해오고 있다. 우리나라에서는 한국표준연구원의 강대임박사팀이 질감의 물리적 특성을 규명하려는 연구를 진행하고 있다.

Kawabata교수는 객관적인 측정값을 얻기 위해서 고정밀 측정장치를 개발하였다. 섬유에서의 종합태(Total Hand Value, T.H.V; 감성이라고 칭함) 값은 직물의 인장, 압축, 굽힘, 표면 마찰계수, 거칠기를 일정한 방법으로 측정하여 얻을 수 있으며 이 값은 인간이 느끼는 질감과 매우 유사함을 보여주고 있다.

천의 물리적 특성과 감성과의 관계는 부분적으로 밝혀지고 있으나 아직 규명해야 할 많은 과제가 남아있다. 천의 역학적 특성을 주로 한 연구로는 역학적 특성과 드레이프계수와의 관계, 의복의 착용 및 반복 변형에 의한 천의 피로 및 태의 변화, 착용감에 미치는 천의 역학적 특성, 세탁에 의한 천의 역학적 특징 및 태의 변화, 프레스에 의한 천의 성능 변화, 의복의 외

관 형태에 미치는 천의 역학적 성질에 관한 연구 등이 보고된 바 있다.

감성에 관한 연구로는 1920년대의 주관적 평가인 관능검사에 의한 감성의 판정, 감성에 관련된 역학적 특성 및 감성의 계측, 감성의 관능량과 물리량과의 대응 등 감성의 평가를 주로 하는 연구와 더불어 천의 변형거동에 따른 역학량, 의복의 착용과 소비과정에 따른 역학적 특성 및 감성의 변화, 기계적 반복 변형에 따른 천의 역학적 특성 및 태의 변화에 관한 연구 등이 있다.

직물의 태는 촉감, 시각, 미적감각 등의 관능량과 이와 관련된 직물의 물리량을 종합한 품질과 품위를 나타내고 있다. 따라서, 현대의 섬유 및 의류산업에 있어서 고품격의 제품생산을 위해 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 감성에 대한 연구도 활발해지기 시작하여 종래의 KES System에 의한 평가에 여러 가지 비판이 대두되었고, 이에 따라 근래에는 FAST System을 이용하거나 Fuzzy 이론을 이용하여 주관적인 감성의 평가를 물리적 측정치로 예측하기도 한다. 그러나, KES System을 이용한 연구는 국내외적으로 계속되고 있어, 실 및 직물의 각종 구성조건이 감성에 미치는 영향 또는 가공이 감성에 미치는 영향, 내의류의 감성 평가등은 주로 KES System을 이용하여 직물의 물리적 특성을 측정하고, 이를 바탕으로 종합태와 기본태를 예측한 연구들이다. 근래에는 응용연구도 활발해지기 시작하여 봉제후의 외관 평가나 직물의 피로현상등의 연구는 소비자와 업계에 실질적 정보를 제공하는 방향으로도 나아가고 있다.

제 3 장 연구개발 수행 및 결과

제 1 절 촉감에 의한 질감의 심리적 척도 개발

본 연구에서는 촉감에 의한 질감을 나타내는 심리적 척도 사용을 위해 국내의 선행연구를 개관하여 이 중 내의류 직물의 감각과 감성을 나타내는 18개의 형용사를 이용하여 주관적 척도로 사용하였다.

1. 선행연구에서 개발된 척도들

권영하등(1997)은 섬유공학, 의상학과 대학생, 대학원생과 국문학 전공 대학원생들(N=419)에게 35가지의 대표직물을 능동적으로 만지게 하여 이와 관련하는 촉감과 관련된 형용사를 자유롭게 기술하여 일차적으로 90개의 형용사를 추출한 다음 최종적으로 6개의 형용사를 이용 7점 척도의 Likert Scale을 개발하였다. <Table 3-1 참조>.

손진훈등(1997)은 촉감에 의한 질감을 감각적 요소와 감성적 요소를 구분하여 국어사전을 통해 500개의 형용사를 일차 추출한 후, 사용빈도가 낮거나 어근이 같은 단어를 4명의 전문가가 평가하여 선별하고 감각 및 감성 어휘로 구분하였다.

Table 3-1 권영하등의 연구에서 추출된 형용사

요인	대표형용사	
매끄럽기	매끄럽다	결끄럽다
요철감	편편하다	우들두들하다
유연감	부드럽다	뻗뻗하다
폭신감	폭신하다	딱딱하다
온냉감	따뜻하다	차갑다
두께감	얇다	두껍다

감각어휘는 자극이 속성이나 강도의 변화로 인해 나타나는 일차적인 감각의 질이나 상태를 기술하는 어휘로 물리적으로 조작이나 측정이 가능하다고 판단되는 형용사 60개를 선발하였다(예 거칠다, 부드럽다, 딱딱하다, 울퉁불퉁하다 등). 감성어휘는 일차적 감각에 대해 주관적인 해석을 통해 발생하는 심리적인 상태를 기술하는 어휘로 162개의 형용사를 선발하였다(예, 편안하다, 고급스럽다, 섹시하다 등).

이들 형용사를 사용하여 형용사 적합성을 대학생들에게 사전조사(N=120)시키기 위해 7점 Likert 척도를 사용하여, 평정점수가 평균 4.0 이상인 감각 형용사 31개, 감성 형용사 66개를 선발하였다. 군집분석(Cluster Analysis)과 다차원 척도분석(MDS, Multidimensional Scaling)을 이용해 감각 형용사를 총 465개의 가능한 쌍으로 묶은 후 무선적으로 배열하여 2 종류의 설문지를 만들어 평정하였다(N=200). 감성어휘 유사성도 2145개의 가능한 감성형용사 쌍에 42종류의 설문지를 만들어 평정하였다(N=200).

다차원 분석결과 얻은 차원의 해석을 위하여 대학생 200명을 대상으로 감각 형용사 31개, 감성형용사 66개에 대한 의미미분평정(Semantic Differential Scaling)을 실시하였다(N=200).

먼저 감각차원에서는 이들 결과를 요약해 보면 MDS 결과 “긴장-이완”, “활동-비활동”, “쾌-불쾌”의 3차원으로, Cluster 분석 결과 “부드러움”, “단단함”, “끈끈함”, “거침”의 4개의 형용사로 드러났다. 감성요인에 대해서는 MDS 분석결과 “쾌-불쾌”, “홍분-침잠”, “안전-위험”의 3차원으로 그리고 Cluster 분석결과 11개의 형용사로(예, 편안함) 구성되었다. <Table 3-2 참조>

Table 3-2. 손진흔등의 감각 및 감성 형용사

	감각요인	감성요인
1	부드러움	편안감
2	단단함	청결감
3	끈끈함	독특성
4	거침	상쾌감
5		불쾌감
6		불결감
7		낯음
8		평범함
9		시원함
10		고급감
11		섹시함

홍경희등(1998)은 의류관련 전문가 60명, 비전문가 10명을 대상으로 110 종류의 직물을 sampling 하여 질감과 관련된 형용사를 297개 수집한 후,

반응빈도가 높은것과 유사형용사를 묶어 40개의 형용사 쌍으로 축약하였다

Table 3-3. 흥경희등의 7개의 인자에 따른 형용사

인 자	추 출 형 용 사
1. 표 면 특 성	매 끄 럽 다
	까 실 까 실 하 다
	부 드 럽 다
	오 돌 도 돌 하 다
	촉 감 이 좋 다
	춤 춤 하 다
	광 택 이 있 다
2. 무 계	가 범 다 - 무 겁 다
	두 겁 다 - 얇 다
	하 늘 하 늘 하 다
	톡 톡 하 다
3. 온 냉 감	따 뜻 하 다
	차 갑 다
	폭 신 폭 신 하 다
	보 송 보 송 하 다
4. 신 축 성	신 축 성 이 있 다
	잘 늘 어 난 다
	탄 력 있 다
5. 강 경 성	뻗 뻗 하 다
	딱 딱 하 다
	바 삭 거 린 다
6. 처 집 성	휘 감 긴 다
	늘 어 진 다
7. 회 복 특 성	구 김 이 안 간 다
	(전) 반 발 성 이 있 다
	강 하 다

그런 다음, 20종류의 시료를 사용하여 219명의 대학생에게 40개의 7점 척도 (Semantic Differential Scale)에 평정하게 하였다. 평정결과를 토대로 1개의 양극 척도(“가볍다-무겁다”)를 제외한 26개의 의미미분척도를 제작하였다.

최종적으로 407명의 의류전문가 및 비전문가에게 다른 18개의 직물시료를 만져보게 하여 7개의 인자(예, “표면특성“, “무게”, “온냉감” 등)에 따른 26개의 형용사(예, “매끄럽다”, “가볍다 - 무겁다”, “따뜻하다” 등)을 확정, 7점 의미미분 척도를 제작하였다<Table 3-3 참조>.

2. 본 연구에서 사용된 촉감에 의한 질감 평가 척도

본 연구에서는 선행 연구 결과를 종합하여 본 연구에서 대상으로 하는 시료(내의직물)의 질감평가척도를 제작하였다. 즉, 10개의 “감각요인”을 나타내는 10개의 형용사(8개의 양측척도, 2개의 단측척도)와 8개의 “감성요인” 형용사로 구성된 질감평가척도(7점 Likert Scale)를 제작, 사용하였다. <Table 3-4. Table 3-5 참조>.

<Table 3-4 > 선행연구를 통합·보완하여 추출된 형용사

번호	감각요인	감각형용사 척도	감성요인	감성형용사 척도
1	매끄럽기	매끄럽다-거칠다	편안함	편안하다-불편하다
2	요철감	편편하다-우둘우둘하다	청결감	청결하다-불결하다
3	유연감	부드럽다-뻣뻣하다	독특성	독특하다-평범하다
4	폭신감	폭신하다-딱딱하다	(평범함)	
5	두께감	얇다-두껍다	상쾌감	상쾌하다-불쾌하다
6	온냉감	따뜻하다-차갑다	(불쾌감)	
7	끈끈함	끈끈하다	낯음	낯았다-새것이다
8	단단함	단단하다	시원함	시원하다-답답하다
9	무게감	가볍다-무겁다	고급감	고급스럽다
10	신축성	신축성이 있다	섹시함	섹시하다

<Table 3-5> 직물 촉감에 사용된 형용사 척도 (18)

1. 매끄럽다	1	2	3	4	5	거칠다
2. 편편하다	1	2	3	4	5	우둘우둘하다
3. 부드럽다	1	2	3	4	5	뻗뻗하다
4. 폭신하다	1	2	3	4	5	딱딱하다
5. 얇다	1	2	3	4	5	두껍다
6. 따뜻하다	1	2	3	4	5	차갑다
7. 가볍다	1	2	3	4	5	무겁다
8. 편안하다	1	2	3	4	5	불편하다
9. 청결하다	1	2	3	4	5	불결하다
10. 독특하다	1	2	3	4	5	평범하다
11. 상쾌하다	1	2	3	4	5	불쾌하다
12. 낯았다	1	2	3	4	5	새것이다
13. 시원하다	1	2	3	4	5	답답하다
14. 고급스럽다	1	2	3	4	5	
15. 섹시하다	1	2	3	4	5	
16. 끈끈하다	1	2	3	4	5	
17. 단단하다	1	2	3	4	5	
18. 신축성이있다	1	2	3	4	5	

제 2 절 직물의 물리적 특성 및 측정 방법

본 연구에서는 직물의 인장, 굽힘, 전단 등의 16개의 역학적 특성을 측정하기 위해 일본의 Kawabata (1972)가 제작한 Kawabata Evaluation System을 이용하였다.

다음은 KES에서 정의되고, 사용되고 있는 것을 옮겨놓은 것이다.

1. 직물의 물리적 특성

직물의 역학적 성질들을 조절하여 태를 조절하기 위해서는 태와 직물의 역학적 성질들간의 상호관계를 잘 알아야 한다.

1972년 태평가표준화위원회가 조직되던 당시 kawabata 와 Niwa등은 역학적 성질등에 관한 연구와 태분석에 관한 연구등을 토대로 측정할 역학적 성질들을 결정하고 이런 역학적 성질들을 특성화하는 등의 연구를 통해 다음과 같은 역학적 성질등과 그 성질들의 측정을 위한 조건들을 제안하였다.

아래와 같이 측정될 역학적 성질들을 6개의 그룹으로 나누었다.

그룹 1 : 인장 성질(Tensile property)

그룹 2 : 굽힘 성질(Bending property)

그룹 3 : 표면 성질(Surface property)

그룹 4 : 전단 성질(Shearing property)

그룹 5 : 압축 성질(Compressional property)

그룹 6 : 무게와 두께(Weight and thickness)

그룹 3과 그룹 6은 엄밀히 따지면 역학적 성질이 아닌 물리적 성질이지만 이것들은 역학적 성질과 간접적으로 관련되어 있다. 위의 6개 그룹 각각의 성질을 나타내는 역학적 특성치의 수는 가급적 적어야 하지만 그 그룹의 성질을 충분히 나타낼 수 있도록 고려하여 결정된 것이다.

2. 역학적 특성치.

측정조건외 세부사항과 함께 역학적 특성치들은 다음과 같이 보고되었다.

가. 인장 성질

(a) 시료의 치수: 길이 5 cm, 폭 20 cm의 직사각형 모양

(b) 변형: 길이 방향으로 인장 변형이 가해진다. 그리고 폭 방향의 변형률은 시료가 옆으로 긴 모양을 하므로 거의 0(zero)에 가깝다. 역학에서는 이 변형을 “strip biaxial deformation”이라고 한다.

변형율은 $4.00 \times 10^{-3}/\text{sec}$ 로 일정하게 유지된다. 인장력이 $F_m = 500f/\text{cm}$ 에 이르면 회복과정이 측정된다.

(c) 역학적 특성치

LT : 선형도, Linearity (단위: 없음)

WT : 단위면적당의 인장에너지,

Tensile energy per unit area (단위: $\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$)

RT : 회복도, Resilience (단위: %)

이러한 역학적 특성치들은 다음과 같이 정의된다.

$$LT = WT / WOT$$

$$(1) WT = \int_0^{\epsilon_m} F d\epsilon \text{ (gf} \cdot \text{cm/cm}^2\text{)}$$

$$(2) RT = (WT' / WT) \cdot 100$$

$$(3) \text{ 여기서 } WOT = F_m \epsilon_m / 2$$

$$(4) F ; \text{ 단위 폭 당의 인장력(gf/cm)}$$

ϵ ; 인장변형량인데, 단위는 %가 아니라 단위가 없는 양이다.

F_m 과 ϵ_m : F 와 ϵ 의 최고치이다.

$$W' = \int_0^{\epsilon_m} F' d\epsilon \text{ (단위면적당 회복에너지)}$$

$$F' ; \text{ 회복과정에서의 인장력(gf/cm)}$$

(d) 주의점

(1) 인장방향이 경사방향이면 역학적 특성치들은 WT_1, RT_1 과 같이 1이라는 부지수로 나타내었고 위사방향의 경우에는 WT_2, RT_2 와 같이 2라는 부지수로 나타내었다.

계산에 의한 감각 평가치를 얻기 위해 이러한 값들을 나중에 언급할 변환식에 적용시킬 때는 경사와 위사 방향에서 측정된 값의 평균값을 사용한다.

(2) 최근에는 ϵ_m 이 자주 사용되고 있으며, 보통 ϵ_{m1} 과 ϵ_{m2} 는 ϵ_1 과 ϵ_2 와 같이 간단한 형태로 나타낸다. 또 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned}\epsilon_m &= 2 [WT] / [LT] \cdot F_m \\ &= [WT] / 250 [LT]\end{aligned}$$

나. 굽힘 성질

(a) 시료의 치수 ; 길이 2.5cm 폭 1cm의 크기를 가지며 이 1cm의 폭에 굽힘이 가해진다. 시료의 세로 길이는 2~20cm 사이에서 적당한 크기로 선택한다.

(b) 곡률 $K = -2.5$ 와 $2.5(\text{cm}^{-1})$ 의 사이에서 일정한 곡률 변화율에 따라 순수한 굽힘이 일어난다. 곡률 변화율은 $0.50(\text{cm}^{-1})/\text{sec}$ 이다. 중력의 영향을 방지하기 위해 시료를 수직으로 놓는다.

(c) 역학적 특성치

B ; 단위길이당의 굽힘강성,

Bending rigidity per unit length (단위: $\text{gf} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$)

2HB ; 단위길이당의 이력모멘트

Moment of hysteresis per unit length (단위: $\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}$)

B는 M-K곡선의 기울기로부터 얻을 수 있으며 이때 M은 시료의 단위 길이당의 굽힘 모멘트이다. 여기에서 측정의 표준화를 위해 B와 2HB를 다시 정의해야한다.

(i) B는 기울기이며 $K = 0.5 \sim 1.5$ 일때는 B_f , $K = -0.5 \sim -1.5$ 일때는 B_b 로 정의하였다.

(ii) B_f 는 앞면굽힘시의 B값, B_b 는 뒷면굽힘시의 B값, B_1 는 경사굽힘시의

B값, B_2 는 위사굽힘시의 B값으로 각각 정의된다. 따라서 B_{f1} , B_{b2} 등과 같은 값들을 얻을 수 있다.

(iii) 또한 양과 음의 곡률에 대해서도 정의를 내릴 수 있는데 양의 곡률은 앞면굽힘에 있어서의 곡률을 의미하고 음의 곡률은 뒷면굽힘에 있어서의 곡률을 의미한다. 2HB는 HB값의 2배를 의미하며 이력곡선의 폭으로부터 측정할 수 있다.

(iv) 2HB는 이력곡선 폭의 평균값을 나타내며 $K = 0.5 \sim 1.5$ 일 때는 $2HB_f$, $K = -0.5 \sim 1.5$ 일 때는 $2HB_b$ 로 각각 나타낸다. 때문에 각각의 부지수에 따라 정의 가 다른 $2HB_f$, $2HB_b$, $2HB_1$, $2HB_2$ 를 얻을 수 있다.

(v) 계산에 의한 감각평가치를 얻기 위해서는, f_1 , f_2 , b_1 , b_2 의 평균값을 사용한다. 하지만 필요에 따라 그 값들을 따로따로 사용할 수 있다. 그것은 어떤 방향의, 어떤면의 굽힘성질을 알고자하는가에 따라 결정한다.

다. 표면성질

(a) 시료의 치수는 길이 20cm 폭 3.5cm로 주어져 있지만 이 크기는 하나의 예일 뿐이며 시료의 치수는 규정되어 있지 않다. 하지만 실제 측정되는 부위는 길이 2 cm와 폭 0.5 cm의 표면이다.

(b) 표면의 마찰과 거칠기는 다음과 같이 측정한다. 표면 거칠기의 측정에 사용되는 접촉자(contactor)는 지름이 0.5cm인 피아노선으로 만들어져 있다. 그 선은 굽혀져 있으며, 스프링 상수가 $25 \pm 1 \text{gf/mm}$ 인 스프링에 의해 가해지는 10g의 접촉력(허용오차 $\pm 0.5 \text{g}$)하에서 사용한다. 표면의 마찰은

접촉자를 사용하여 측정할 수 있다.

거칠기 측정에서 접촉자로 사용되었던 것과 같은 종류의 피아노선 10개가 겹쳐져 있으며, 무게(dead weight)에 의한 50gf의 압축력으로 시료의 표면 위에 놓는다.

거칠기와 마찰을 측정할 때 접촉자는 그대로 있고 시료의 장력은 20gf/cm(단위길이당의 힘)로 유지된 채로 시료는 가로로 위치한 매끄러운 강철판 위에서 2cm의 간격을 0.1cm/sec의 일정속도로 움직이게 된다.

표면 마찰과 표면 거칠기의 측정 전기 신호들은 주파수 응답곡선(frquency response)을 갖는 필터를 통과해야 하는데, 전달 함수는 다음과 같다.

$$G(j\omega) = \omega n^2 / (j\omega)^2 + 2(j\omega)\zeta \omega n + \omega n^2$$

여기에서 $\omega n = 2\pi$ rad/sec, ζ (감폭계수, damping factor)=0.6, 그리고 ω 는 각진동수(angular frequency)이다. 이 필터는 고주파 필터(High pass filter)이며 파장이 1mm보다 짧은 신호들만이 이 필터를 통과할 수 있다.

(c) 역학적 특성치

마찰 측정
MIU ; 마찰계수의 평균치 (단위: 없음)
MMD ; 마찰계수의 평균편차 (단위: 없음)
거칠기 측정
SMD ; 표면거칠기의 평균편차 (두께의 평균 편차)(단위: 마이크론)

$$MIU = 1 / X \int_0^X \mu d\alpha,$$

$$\text{MMD} = 1 / X \int_0^X \mu - \mu \, d\alpha,$$

$$\text{SMD} = 1 / X \int_0^X T - T \, d\alpha,$$

여기에서 μ 는 마찰력 / 압축력, α 는 시료표면에서 운동하는 접촉자의 변위이며, X 를 이 표준측정에서는 2cm으로 하였다. T 는 임의의 위치 α 에서의 시료의 두께로 이 접촉자에 의해 측정되며, T 는 T 의 평균치이다.

(d) 주의점

MIU, MMD, SMD는 시료의 1(경사)방향, 2(위사)방향, 앞면과 뒷면에 대해 각각 정의하였다. 그리고 우리는 이러한 값들을 굽힘성질의 표기와 마찬가지로 방법 MIU_{f1}, MIU_{f2}, MIU_{b2} 등등과 같이 나타내었다. 감각평가치의 계산에 있어서는 보통 MIU_{f1}과 MIU_{f2}의 평균값이 사용되었다.

라. 전단 성질

(a) 시료의 치수는 20cm의 길이방향을 위사방향으로 한다.

(b) 전단력과 직각방향으로 일정장력 W 가 가해진다. 이 때의 변형은 무긴장 이축 인장(strip biaxial tensile)과 무긴장 이축 전단 (strip biaxial shesar)의 중복된 변형이다. 전단속도는 0.417mm/sec로 하였으며 전단변형률로 환산하면 약 0.00834/sec가 된다.

(c) 역학적 특성치

G ; 전단강성 (단위: gf/cm · degree)

2 HG ; 전단각 $\phi = 0.5$ degree에서의 이력 (단위:gf/cm)

2HG5 ; $\phi = 5$ degree일때의 이력 (단위: gf/cm)

G가 전단계수와 다르다는 것을 주의해야 한다. 이 경우에 G는 (단위길이당의 전단력) / (전단각)으로 정의한다. 표준측정에서 기울기는 $\phi = 0.5^\circ \sim 5^\circ$ 사이에서 측정한다. 이 부분의 기울기가 선형이 아닌 경우에는 이 범위 내의 평균 기울기를 사용하였다.

(d) 주의점

(1) 표준측정에서는 G_f 를 측정한다. G_f 는 시료 앞면이 측정시 앞에 올때의 G값이다. G를 정의할 때 전단각 대신에 전단변형량을 사용하면 그 값은 전단계수와 같으며 (전단력 $F_s(\text{gf/cm}) / (\text{전단변형량} = \tan \phi)$)로 정의된다. 단위는 gf/cm 가 될 것이며, $\tan \phi$ 에 의해 정의된 G, 값과 ϕ (degree)에 의해 정의된 G값 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$G (\tan \phi) = 57.30 G (\phi \text{ degree})$$

(2) 비대칭의 제직 구조를 갖는 시료의 전단 변형에서는 양의 영역과 음의 영역에서의 F_s 곡선이 각각 다르다. 이 경우에는 두 영역 모두를 반드시 측정해야 한다. 그리고 G, 2HG, 2HG5 각각에 대하여 두 영역에서 측정된 값들의 평균을 구하여 표준 측정으로 삼았다.

마. 압축 특성

(a) 시료의 치수 ; 압축되는 면적은 2cm^2 의 원이다. 길이 2.5cm의 시료를 사용하며 길이방향은 경사와 위사방향 양쪽으로 하여 측정한다.

(b) 시료는 넓이 2cm^2 의 두 원형 강철판에 의해 압축된다. 압축 속도는 20micron/sec 이며 압력이 50g/cm^2 에 이르면 회복 과정이 같은 속도로 측정

된다. 숙녀용 박지를 측정할 때는 속도를 6.66micron/sec로 속도를 줄인다.

(c) 역학적 특성치

LD ; 선형도, Linearity (단위:없음)
WC ; 압축에 필요한 에너지 (단위:gf · cm/cm ²)
Energy required for the compression
RC ; 회복도, Resilience (단위:%)

$$LC = WC / WOC$$

$$WC = \int_{T_m}^{T_o} P d T$$

$$RC = WC' / WC$$

여기서 T는 시료의 두께, thickness(cm), T_o는 최대입력 0.5gf/cm²에서의 시료의 두께(cm)이다. 이 값은 시료의 두께를 나타낼 때 그 역학적 특성치로도 사용된다. 그때의 단위는 mm이다. T_m는 압출력 P_m에서의 시료의 두께인데, 여기에서 P_m = 50gf/cm² 이다. 또한, WOC는 P_m (T_o - T_m) / 2이며, WC'는 회복과정에서의 압출력 P'에 의해 정의되는 회복에너지로서 WC'는 $\int_{T_m}^{T_o} P' d T$ 이다.

바. 두께와 무게

(a), (b) 두께는 압축 성질의 측정 시에 이미 측정하였었다.

그리고 T는 P = 0.5gf/cm² 일때의 두께이며 단위는 mm이다. 무게는 시료의 단위면적당의 무게로 표시한다.

(c) 역학적 특성치

T ; 압력이 0.5gf/cm² 일때의 두께 (단위: mm)
 W ; 단위면적당의 무게 (단위: mg/cm²)

사. 요약

KES의 16개의 역학적 특성치들은 다음과 같다.<Table 3-6 참조>.

<Table 3-6> 직물의 역학적 특성치 분석결과

역학적 성질	기호	역학적 특성치	단위
인장 TENSILE	LT	선형도 (linearity)	
	WT	인장에너지 (tensile energy)	gf · cm/cm ²
	RT	회복도 (resilience)	%
굽힘 BENDING	B	굽힘강성 (bending rigidity)	gf · cm ² /cm
	2HB	이력 (histeresis)	gf · cm ² /cm
전단 SHEAR	G	전단강성 (shear stiftness)	gf/cm · deg
	2HG	∅ = 0.5 ° 에서의 이력	gf/cm
표면 SURFACE	MIU	마찰계수 (coefficient of friction)	
	MMD	MIU 의 평균편차	
	SMD	기하학적 거칠기 (geometrical roughness)	micron
압축 COMPRES -SION	LC	선형도 (linearity)	
	WC	압축에너지 (compressional energy)	gf · cm/cm ²
	RC	회복도 (resilience)	%
두께와 무게 THICKNES WEIGHT	W	단위 면적당 무게.	mg · cm ²
	T	0.5 gf/cm ² 에서의 두께	mm

아. 시료의 준비

지금까지 언급한 모든 측정들에 필요한 시료는 25cm X 25cm의 정사각

형 시료로 규격화된다. S1부분은 인장과 전단성질, S2와 S3는 표면성질, S4와 S5는 굽힘과 압축성질의 시험에 사용될 부분이다. 최근에는 KES-FB시스템이 개발됨으로써 20cm X 20cm크기의 시료 하나만으로도 16개의 역학적 특성치들에 대한 모든 측정이 자르지 않고서 가능하다. 즉, KES-F에서는 25cm X 25cm의 정사각형 시료로서 모든 측정이 가능하다. KES-FB에서는 20cm X 20cm의 정사각형 시트를 자르지 않고 그대로 사용한다.

표준측정환경은 20 ° C RH 65%로 한다. 그러나 만약 측정의 목적상, 예를 들어, 습도가 감각평가치(HV, Hand Value)에 미치는 영향에 관한 연구를 한다면 물론 어떤 습도조건도 사용할 수 있다.

3. 표본시료 추출 및 역학적 특성 분석

본 연구의 표본시료와 KES에 의한 역학적 특성은 다음과 같다.

가. Fabric sample의 선정 내용

본 연구의 목표는 직물의 촉각 질감을 측정하고자 하는 것이므로, 직물 중에서도 실제 착용시 그 용도와 쓰임의 측면에서 사람의 피부에 가장 많이 밀착되고, 따라서 신체에 닿는 느낌을 중요하게 평가한다고 판단되는 직물인 내의류를 사용하였다.

본 연구에 이용될 대표 직물을 선정하기 위해 내의를 전문적으로 생산하는 내의 회사에서 일부를 제공받고, 잠옷 및 내의용으로 현재 시판되고 있는 직물을 직접 시장조사를 통해 준비하였다. 이 직물들은 모두 내의용으

로서 그 소재의 표시가 분명한 것들이다.

대부분의 사람들이 직물의 질감을 평가할 때 기준으로 하는 요소들은 직물의 표면과 두께, 폭신한 정도, 또는 직물이 가지고 있는 고유의 온도 등이 있는데 본 연구에서는 직물의 표면에 관련된 질감을 예측하는 형용사와 요소들이 중요하기 때문에 구입한 내의류를 중심으로 본 연구가 목적으로 하는 직물의 질감을 평가하기에 적합하다고 판단되는 직물을 최종적으로 선정하였다.

여러 종류의 소재로 된 내의류를 구입하려 했으나, 현재 시판되는 잠옷의 대다수는 면 등의 일부 소재에 편중되었기 때문에 같은 소재라도 처리를 달리함으로써 표면 느낌이나 직물 자체의 성질이 달라진 것들도 포함을 시켰다. 또한 본 촉각질감 연구에서는 직물의 색이나 무늬 디자인 등, 시각 및 기타 감각과 관련된 요소들은 고려하지 않았으므로 소재가 중복되지 않는 범위로만 직물을 선정하였다.

최종 선정된 직물은 모두 19종으로 면 소재 10종, 폴리에스테르 소재 4종, 나일론 소재 3종, 레이온 소재 2종이다. 각각의 직물은 모두 30×30cm의 크기로 규격화하였다.

나 . 직물의 물성특성치

본 연구에 사용된 내의류의 물성특성치를 KES system에 의해 분석한 결과가 <Table 3-7>와 같다.

일반적으로 면이 다른 시료보다 매우 높은 수치를 나타내고 있다.

- 1) 인장요인에서 인장변형, 인장 회복도에서 시료간에 매우 큰 차이가 발견되었다. 일반적으로 면이 다른 시료보다 매우 높은 수치를 나타내고 있다.
- 2) 굽힘요인은 시료에 따른 특성치의 그리 큰 분산을 나타내지 않고 있다. 그러나 아동잠옷용 Polyester가 높은 수치를 나타내었다.
- 3) 전단요인에서는 시료간 큰 차이를 보이지 않으나, 아동잠옷의 Polyester가 매우 높은 수치를 나타내며, 평직의 면, 아동잠옷용 면이 낮은 값을 보인다.
- 4) 표면 특성에서는 잠옷 세 종류의 Polyester와 두 종류의 면에서 높은 수치를 나타내었다.
- 5) 압축 특성 요인에서는 큰 차이가 나타나지 않으나, 평직의 면 표본시료에서 가장 높은 수치를 나타내었다.
- 6) 두께와 무게에서는 시료별로 수치가 고른 분포를 보이고 있다.

Table 3-7 각 직물의 물성특성치

직물	소재	용도	TENSILE				BENDING		SHEAR		SURFACE			COMPRESSION			THICK NESS	WEIGH T
			EM	LT	WT	RT	B	2HB	G	2HG	MIU	MMD	SMD	LC	WC	RC		
직물1	면	모시메리	19.53	0.61	3.07	39.22	0.12	0.13	0.40	0.93	0.26	0.01	3.35	0.74	0.12	41.53	1.07	21.90
직물2	나일론	속치마	11.25	0.72	2.02	39.19	0.02	0.02	0.77	1.81	0.17	0.01	2.82	0.69	0.08	41.62	0.77	14.01
직물3	면	런닝	23.90	0.62	3.26	24.85	0.01	0.02	0.41	1.18	0.22	0.02	5.95	0.64	0.08	38.80	0.96	15.25
직물4	폴리에스텔	슬립	14.18	0.62	2.02	21.02	0.04	0.05	0.59	2.01	0.20	0.01	4.76	0.75	0.09	41.44	1.05	17.51
직물5	면	런닝	1.05	1.13	0.29	55.78	0.05	0.04	1.45	1.84	0.12	0.01	2.37	0.69	0.06	45.46	0.43	11.87
직물6	나일론	슬립	5.53	1.02	1.32	41.47	0.07	0.07	0.77	1.17	0.18	0.02	7.04	0.67	0.07	36.99	0.65	13.17
직물7	면	추동내의	0.90	0.92	0.20	92.64	0.03	0.01	0.22	0.10	0.20	0.01	1.25	0.89	0.01	52.38	0.22	10.38
직물8	나일론	상하	14.70	0.66	2.26	22.88	0.05	0.08	0.68	2.32	0.19	0.01	2.46	0.74	0.09	36.36	0.97	19.28
직물9	면	평직	54.64	0.46	6.32	48.67	0.00	0.01	0.17	0.30	0.28	0.01	8.57	2.19	0.18	52.87	0.81	7.69
직물10	폴리에스텔	아동잠옷	2.63	1.10	0.69	33.83	0.27	0.31	2.75	3.16	0.14	0.03	11.64	0.66	0.06	44.32	0.69	10.79
직물11	면	크레이프	1.60	1.11	0.41	46.16	0.08	0.09	1.23	1.83	0.15	0.01	1.88	0.73	0.14	43.76	1.48	13.29
직물12	폴리에스텔	잠옷바지	9.73	0.68	1.62	44.19	0.01	0.00	0.41	1.22	0.16	0.01	6.06	0.89	0.01	38.89	0.42	12.52
직물13	폴리에스텔	연중잠옷	14.06	0.61	1.97	46.04	0.01	0.01	0.36	0.92	0.26	0.03	11.77	0.82	0.05	46.85	0.86	15.39
직물14	레이온	속옷상의	0.82	0.85	0.17	62.26	0.03	0.01	0.26	0.25	0.17	0.02	2.40	0.72	0.01	56.02	0.19	8.70
직물15	면	남성내복	1.40	0.92	0.30	52.50	0.04	0.01	0.31	0.34	0.21	0.01	1.87	0.75	0.01	50.81	0.28	10.29
직물16	레이온	속치마	1.05	0.83	0.22	60.27	0.02	0.01	0.25	0.09	0.14	0.00	1.12	0.73	0.02	50.20	0.28	9.08
직물17	면	망사런닝	2.84	0.80	0.55	42.86	0.01	0.01	1.41	3.24	0.16	0.02	9.32	0.79	0.01	47.06	0.34	7.80
직물18	면	아동잠옷	1.08	0.90	0.21	63.33	0.03	0.01	0.24	0.15	0.13	0.00	0.78	0.69	0.01	55.56	0.22	10.04
직물19	면	모시메리	3.41	0.80	0.68	36.80	0.01	0.02	1.12	2.97	0.20	0.04	6.76	0.81	0.02	34.87	0.35	8.61
전체평균			9.70	0.81	1.45	46.0	0.05	0.05	0.73	1.36	0.18	0.02	4.85	0.82	0.06	45.04	0.63	12.5

제 3 절 직물의 물리적 특성과 감성과의 관계분석

1. 직물에 대한 심리 반응 분석

가. 피험자 및 실험절차

- 피험자

본 연구의 피험자는 충남대학교에 재학 중인 여학생으로만 구성되었다. 25명의 피험자가 실험에 참가하였으며, 실험의 소요 시간은 약 50 분 정도였다.

- 실험 절차

하나의 Box에 직물 1종씩 19개의 상자가 준비되었다. 직물을 일단 가로 23cm, 세로11cm, 높이13cm의 크기로 제작한 상자에 넣어 두고 응답자가 손을 넣어 직물을 직접 만져 보도록 제시하여 그 직물의 촉감을 18개의 의미미분 형용사에서 7점 척도위에 평정하게 하였다.

직물을 상자 안에 넣어 제시한 이유는 응답자가 직물을 보면서 응답을 했을 때 색이나 무늬 또는 외관의 선입관이 촉감에 미칠 수 있는 영향을 배제하기 위해서이다. 피험자들이 손을 넣어 만질 수 있도록 상자의 윗부분에 구멍을 내었다. 그 구멍을 통하여 두 개의 천을 이중으로 덧달아 피험자가 상자에 손을 넣어 직물을 자유자재로 만져 보는데 어려움이 없으며 상자의 내부를 전혀 볼 수 없도록 하기 위한 것이다.

각 직물과 상자에는 피험자가 D라지 못하도록 고유의 번호를 매겨 놓았

다. 피험자는 각각의 직물을 무작위로 하나씩 선택하도록 한 후, 설문지를 실시한다. 상자를 섞어 놓은 상태에서 피험자가 상자의 번호나 거리에 상관 없이 상자를 선택하는 방식을 취하였다. 설문지는 18개의 감각, 감성 형용사로 구성되어 있으며, 19종의 직물 하나 하나마다 각각의 설문지를 작성해야 하므로, 피험자는 19장으로 된 일련의 설문지를 받았다.

피험자들은 상자 안의 내용물이 내의용으로 쓰이는 직물이라는 설명만을 듣고 질문지에 평정했다.

각각의 직물에 대한 피험자들의 느낌을 형용사로 평정하는 것이 끝나면, 각각의 직물에 대한 선호도(전체적인 감성량으로 정의할 수 있다)평가를 실시하도록 했다. 이 때에도 역시 직물이 상자 안에 들어 있는 상태에서 손으로 만져보면서 평가하도록 하였으므로 피험자는 직물을 볼 수 없었다. 이것 역시 무작위로 직물을 선택하며, 가장 선호하는 것부터 가장 선호하지 않는 직물을 등수를 매겨 일렬로 배열하도록 한다. 이 때 피험자는 가장 선호하는 직물을 왼쪽에, 가장 선호치 않는 직물을 가장 오른쪽에 놓는다. 그리고 나서 가장 왼쪽부터 오른쪽으로 차례로 1 - 19 등까지의 등수를 매겨 직물에 대한 선호도 순위가 결정된다.

피험자들이 직물을 만지는 방식은 엄지와 검지를 이용하여 압력을 주지 않고 부비듯이 만지거나, 엄지와 검지를 이용하여 약간의 압력을 가하여 만지거나, 다섯손가락 모두를 사용하여 약함 힘을 주어 비벼보는 등의 방법을 사용하여 직물을 평가하였다.

나. 질감 심리척도의 신뢰도 분석

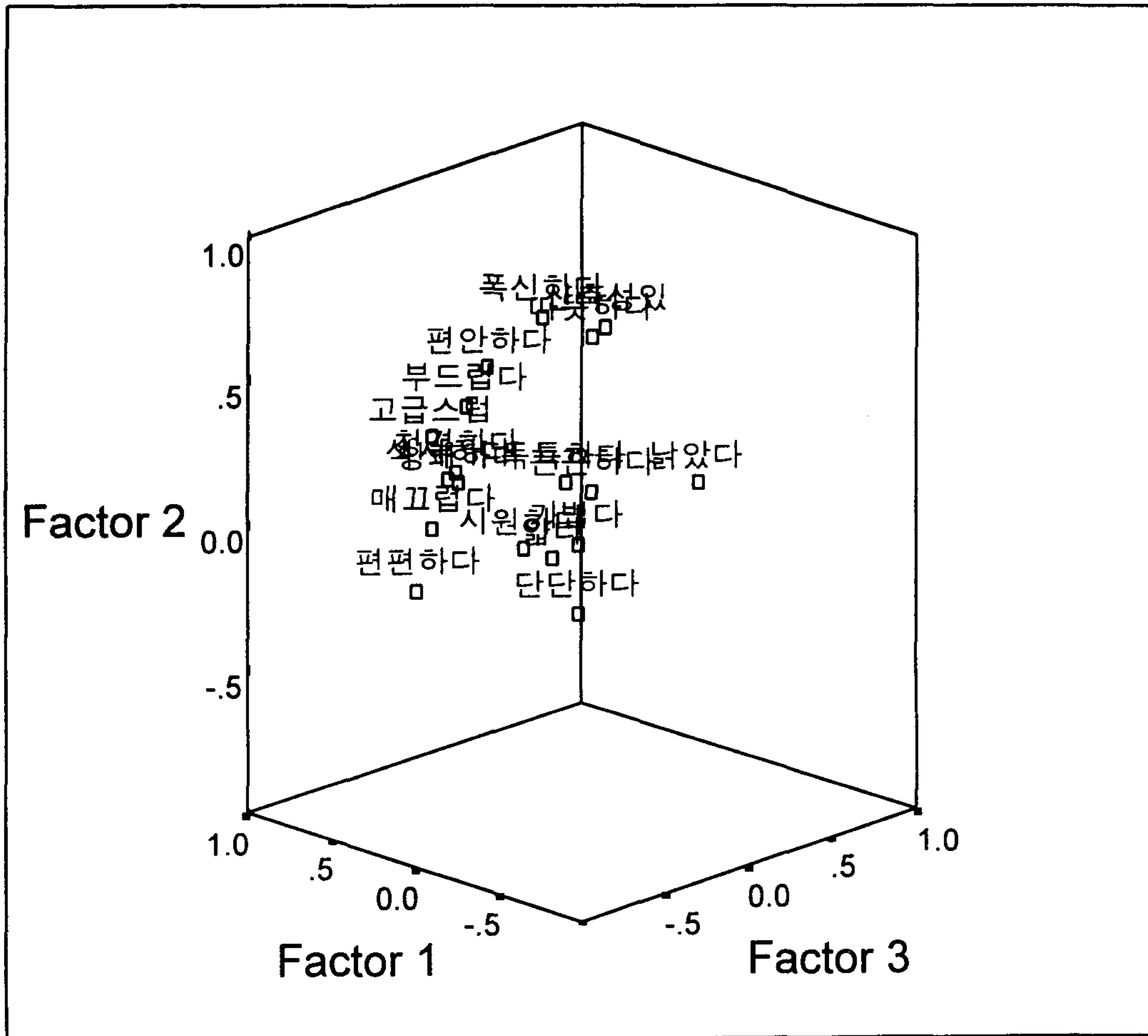
19종 직물에 대한 18개 형용사 각각에 대한 신뢰도를 산출하기 위해 동일한 절차와 조건으로 1달 간격으로 재실험을 실시한 결과 $r = .86$ 으로 나타나 본 연구에서 사용한 감성척도가 매우 신뢰로운 것으로 나타났으며, 실험참여자들의 반응이 일관적인 것으로 나타났다.

다. 질감 심리척도의 요인구조 분석

19종 직물 각각에 대한 18개 형용사를 요인분석(Principal Component Analysis; Equamax Rotation)한 결과가 < Table 3-8 > 에 제시되어 있다. Eigenvalue (고유가)가 1.0 이상으로 추출된 요인은 5개 있었으며, 전체 설명변량이 71.27 % 로 이들 5개 요인이 전체 척도를 높게 설명하고 있다. 18개의 감각, 감성 형용사의 요인묶음에서는 제 1 요인으로는 “표면 마찰 특성”, 제 2 요인은 “심미성”, 제 3 요인은 “ 무게”, 제 4 요인은 “온도감”, 제 5 요인은 “단단함” 특성으로 명명할 수 있겠다. 형용사 “편안하다”와 “시원하다” 는 요인 부하량이 두 가지 요인에 모두 비슷하게 높아 해석에서 제외하였다.

< Fig. 3-1 >은 주된 성분 3개의 축에 대한 형용사의 위치를 표현한 것이다.

Factor Plot in Rotated Factor Space



< Fig. 3-1 > 3축에 따른 형용사 분류

< Table 3-8 > 요인분석결과

형용사	componen				
	1	2	t 3	4	5
편편하다	0.87	0.17	0.00	0.00	0.00
매끄럽다	0.83	0.18	0.22	0.19	0.00
부드럽다	0.68	0.21	0.22	0.50	-0.13
상쾌하다	0.16	0.74	0.19	0.00	-0.22
청결하다	0.20	0.73	0.19	0.00	-0.21
고급스럽다	0.37	0.68	0.26	0.19	-0.10
낯았다	-0.28	-0.57	-0.23	0.26	-0.17
섹시하다	0.40	0.56	0.43	0.00	0.00
독특하다	-0.39	0.53	0.35	0.00	0.00
가볍다	0.00	0.19	0.88	0.00	0.00
얇다	0.17	0.23	0.84	-0.10	0.00
시원하다	0.00	0.49	0.56	-0.20	-0.18
신축성있다	-0.16	0.00	0.00	0.79	0.14
폭신하다	0.39	0.00	0.00	0.76	-0.14
따뜻하다	0.15	-0.16	-0.37	0.71	0.00
편안하다	0.53	0.24	0.00	0.58	-0.18
끈끈하다	0.00	-0.13	0.11	0.17	0.88
단단하다	-0.14	0.13	-0.43	-0.41	0.55
EigenValue	3.04	3.0	2.76	2.67	1.34
설명변량 (%)	16.88	16.67	15.33	14.88	7.46

라. 감성형용사간의 대한 상관도 분석

전체 19개 직물에 대한 18개 형용사간의 분석결과가 <Table 3-8>에 제시되어 있으며, 이들 상관계수로 $p < .05$ 이상의 유의도 검증에서 신뢰로운 차이 즉, 모집단의 상관이 $\rho = 0$ 이 아닌 것들을 나타낸 값들이다. 이 표에서 알수 있듯이 감성을 나타내는 형용사들간에는 상호 독립적이라기 보다는 높은 공변량을 갖고 있음을 알수 있다. 그러나 “끈끈함”, “독특함”, “끈끈함”의 형용사는 다른 형용사들에 비해 상대적으로 더 독립적인 것으로 나타났다. 전체적인 감성의 지표로 생각되는 선호도와의 상관에서는 “독특함”, “신축성” 그리고 “따뜻함”과는 매우 낮으므로, 제외시켜도 될 것으로 해석된다. 그리고 상관계수가 $r = .80$ 이상임으로 높은 상관을 가진 감성 형용사로 “매끄러움”, “부드러움”, “편편함”, “고급스러움” 그리고 “섹시함”으로 나타나 이들이 매우 중요한 변별 어휘로 가정된다.

마. 직물별 감성반응 및 선호도 분석

19개 직물에 따른 감성형용사 중앙집중치 및 선호도 점수가 다음 (Table 3-9) 에 제시되어 있다. 대체적으로 감성(선호도 점수)이 좋은 시료는 주로 폴리에스테르(속칭, 물실크)로 나타났으며, 상대적으로 감성이 나쁜 시료는 모시메리, 망사류로 나타났다.

Table 3-9 감성 형용사간의 상관관계

	매끄럽다	편편하다	부드럽다	폭신하다	얇다	따뜻하다	가볍다	편안하다	청결하다	독특하다	상쾌하다	낯았다	시원하다	고급스럽다	섹시하다	끈끈하다	단단하다	신축성있다
선호도	.927	.845	.884	.502	.608	.078	.555	.758	.723	.063	.736	-.685	.406	.864	.810	.449	-.687	-.101
매끄럽다		.949 **	.926 **	.580 **	.507 *		.443 *	.833 **	.666 **		.640 **	-.586 **		.785 **	.685 **	.517 *	-.687 **	
편편하다			.795 **	.434 *				.686 **	.548 **		.529 **	-.543 **		.650 **	.533 **		-.461 *	
부드럽다				.786 **			.398 *	.965 **	.598 **		.567 **	-.425 *		.759 **	.673 **	.650 **	-.863 **	
폭신하다						.820 **		.890 **								.810 **	-.753 **	.746 **
얇다						-.543 **	.972 **		.948 **	.661 **	.918 **	-.841 **	.913 **	.857 **	.899 **		-.496 *	
따뜻하다							-.537 **	.578 **	-.392 *	-.484 *	-.456 *	.556 **	-.719 **			.630 **		.791 **
가볍다									.922 **	.737 **	.904 **	-.822 **	.893 **	.836 **	.892 **		-.480 *	
편안하다									.420 *					.609 **	.514 *	.727 **	-.857 **	.463 *
청결하다										.510 *	.942 **	-.872 **	.826 **	.929 **	.934 **		-.572 **	
독특하다											.547 **	-.481 *	.689 **	.459 *	.571 **			
상쾌하다												-.903 **	.834 **	.940 **	.930 **		-.572 **	
낯았다													-.792 **	-.872 **	-.878 **			.602 **
시원하다														.703 **	.765 **			-.474 *
고급스럽															.968 **		-.685 **	
섹시하다																	-.635 **	
끈끈하다																	-.553 **	.544 **
단단하다																		-.493 *
신축성있																		

< Table 3-10 > 각 직물별 감성 형용사

형용사	매끄 럽다	편편 하다	부드 럽다	폭신 하다	얇다	따뜻 하다	가볍 다	편안 하다	청결 하다	독특 하다	상쾌 하다	납았 다	시원 하다	고급스 럽다	섹시 하다	끈끈 하다	단단 하다	신축성 있다
직물1 면/보온메리	2.24 1.09	2.24 1.16	1.72 0.68	1.28 0.46	3.96 1.34	1.48 0.51	3.48 1.33	1.68 0.63	3.28 0.94	3.28 1.21	3.4 1.04	2.48 1.12	4.08 0.81	3.64 1.11	4.24 0.88	3.64 1.22	3.8 1.26	2.32 1.11
직물2 나일론/속치마	1.36 0.49	1.4 0.50	1.6 0.71	2.32 0.85	1.56 0.77	3.04 1.06	1.52 0.77	2.08 0.86	2.12 0.73	2.68 1.14	2.24 0.78	3.76 0.78	2.12 0.93	2.16 1.03	2.2 1.04	3.72 1.10	3.96 0.84	3.72 1.06
직물3 면/런닝	2.56 1.12	2.44 1.00	2.56 1.00	2.08 0.86	3.48 0.92	2.16 0.85	3.44 0.96	2.48 1.08	3.36 0.99	3.4 1.08	3.4 0.91	2.68 1.14	3.56 0.82	3.64 0.91	4.2 0.91	4.08 0.86	3.44 1.19	3.32 1.11
직물4 폴리/슬립	1.48 0.65	1.48 0.59	1.48 0.59	2.96 1.02	1.72 0.74	3.28 1.06	1.64 0.70	2.04 0.98	2.24 0.83	2.72 0.98	2.16 0.80	3.96 0.93	2.48 1.05	2.04 0.93	2.16 1.07	4.2 0.76	3.88 1.09	4.16 0.85
직물5 면/런닝	2.64 1.11	2.52 1.05	2.28 0.94	1.8 0.91	3 0.96	2.2 0.96	2.76 1.13	2.44 1.12	2.92 0.95	3.48 1.00	3.2 0.76	2.36 0.70	3.88 0.83	3.48 1.00	4.08 1.04	3.72 1.24	3.72 0.94	2.48 1.36
직물6 나일론/슬립	1.8 0.87	1.96 0.84	2 0.96	2.72 1.14	1.52 0.51	3.76 2.13	1.72 0.61	2.28 1.02	2.36 0.91	2.76 1.09	2.52 0.92	3.6 0.96	2.4 1.00	2.44 0.82	2.72 0.89	3.96 0.98	3.84 0.94	3.64 1.08
직물7 면/추동내의	2.84 0.90	2.52 1.08	2.48 1.05	2.12 0.97	3.96 0.73	1.84 0.69	3.72 0.94	2.36 0.99	3.32 0.85	3.68 1.03	3.52 0.71	2.48 0.96	4.12 0.67	3.84 0.75	4.28 0.74	3.72 1.14	3.36 1.15	2.8 1.32
직물8 나이론/상하	2.12 1.01	2 0.96	2.36 1.08	3.28 1.02	2.24 1.09	3.48 0.87	2.08 1.04	2.76 1.13	2.64 1.04	2.64 1.08	2.64 0.86	3.4 1.08	2.6 1.08	2.92 0.86	3.24 1.33	3.88 1.17	3.68 0.95	4.24 0.88
직물9 면/평직	3.12 1.05	2.6 1.12	3.96 0.98	3.84 0.85	2.68 1.07	3.52 1.00	2.72 1.10	3.64 0.91	2.88 0.83	3.32 1.03	3.2 1.04	3.24 1.01	3.24 1.05	3.8 0.87	4.32 0.69	4.08 1.12	2.72 1.17	4.12 0.83
직물10 폴리/아동잠옷	1.72 0.84	1.68 0.95	2.08 1.32	2.88 1.17	1.76 0.78	3.36 1.08	1.88 0.97	2.56 1.12	2.44 1.00	2.8 1.08	2.28 0.89	3.8 0.82	2.76 1.16	2.44 1.16	2.52 1.12	4 1.00	3.88 1.05	4.12 0.78
직물11 면/크레이프직	4.4 0.71	4.08 1.00	4.4 0.76	4.16 0.80	2.92 1.29	4.16 0.75	2.6 1.15	3.84 0.90	3.24 1.05	2.72 1.17	3 1.29	2.8 1.26	2.68 1.25	4 0.82	4.32 0.85	4.24 1.01	3 1.26	4.04 0.93
직물12 폴리/잠옷바지	1.44 0.65	1.56 0.51	1.48 0.87	1.96 0.89	2 1.08	3.04 1.21	1.96 0.93	1.96 0.93	2.4 0.76	2.56 1.12	2.32 0.99	4.2 0.65	2.92 1.15	2 1.00	1.88 0.88	3.56 1.19	3.72 1.06	3.96 0.73
직물13 폴리/연중잠옷	1.4 0.76	1.64 0.81	1.6 0.71	2.8 1.12	1.64 0.70	3.6 0.91	1.56 0.65	2.08 0.76	2.2 1.00	2.76 1.01	2.44 0.96	3.92 0.81	2.04 0.84	2.36 0.99	2.44 1.16	3.84 1.07	3.64 1.22	4.16 0.69
직물14 레이온/속옷상의	4.12 0.73	4.28 0.74	3.36 1.22	3.08 1.12	2.08 1.04	3.36 1.08	2.16 1.07	3.2 1.04	2.56 0.87	2.08 0.91	2.72 1.02	3.16 0.99	2.56 1.04	3.08 1.04	3.16 1.21	4.12 0.93	3.72 0.84	2.84 1.14
직물15 면/남성내복	2.52 1.00	2.24 0.88	2.52 1.16	2.28 0.94	3.76 0.83	2.48 1.00	3.72 0.94	2.32 1.07	3.28 1.06	3.64 0.76	3.2 0.91	2.48 0.96	3.8 0.91	3.68 0.80	5.08 4.00	3.76 1.16	3.6 1.26	2.96 1.24
직물16 레이온/속치마	1.68 0.85	1.92 1.12	1.64 0.81	2.08 0.95	1.2 0.41	3.24 1.23	1.6 0.58	2.08 0.64	2.24 0.97	2.4 0.96	2.48 1.00	3.48 1.19	2 1.00	2.44 1.19	2.28 1.28	3.8 1.00	4 0.82	2.96 1.21
직물17 면/망사런닝	3.56 1.16	4.2 1.08	2.72 1.10	2.2 1.12	2.48 1.16	2.36 0.91	1.96 1.14	2.36 1.11	2.88 1.09	2.04 0.84	3 1.00	2.8 1.00	3.28 1.14	3.2 1.15	3.44 1.23	3.76 1.09	4 1.00	2.28 1.37
직물18 면/아동잠옷	3.64 1.08	2.72 1.17	4 1.00	4.08 0.81	3.32 1.14	3.64 0.76	3 1.19	3.64 0.81	3 0.82	3.24 1.01	3.16 0.94	3.2 1.12	3.36 1.08	3.72 0.84	4.32 0.75	4.16 0.80	2.6 1.26	4.44 0.65
직물19 면/모시메리	4.76 0.44	4.32 1.03	4.72 0.46	4.36 0.91	3.24 1.36	3.84 0.90	2.88 1.27	4.16 0.80	3.36 1.19	2.4 1.15	3.4 1.19	2.84 1.37	3.12 1.45	4 0.82	4.56 0.51	4.16 0.90	2.44 1.08	4.44 0.87

바. 선호도 상 하 위직물에 따른 심리반응 분석

19개 직물 중 평균 선호점수가 가장 높은 직물 네 개와 가장 낮은 직물 네 개씩만을 선정하여 이 두 집단에 대한 분석결과가 다음 그림들에 제시되어 있다.

먼저, 선호도가 가장 높은, 즉 감성적으로 매우 좋은 네 개의 직물(bst)에 대한 실험참여자의 형용사 어휘 반응에 대한 평균값을 나타낸 < Fig. 3-2 >을 보면 대부분의 형용사 반응에서 매우 유사한 값을 보이고 있다. 선호도가 가장 낮은 네 개 직물(wst)에 대한 결과인 < Fig. 3-3 >에서는 “매끄러움”과 “편편함”을 제외한 형용사 반응의 평균값이 유사한 값을 보이고 있다.

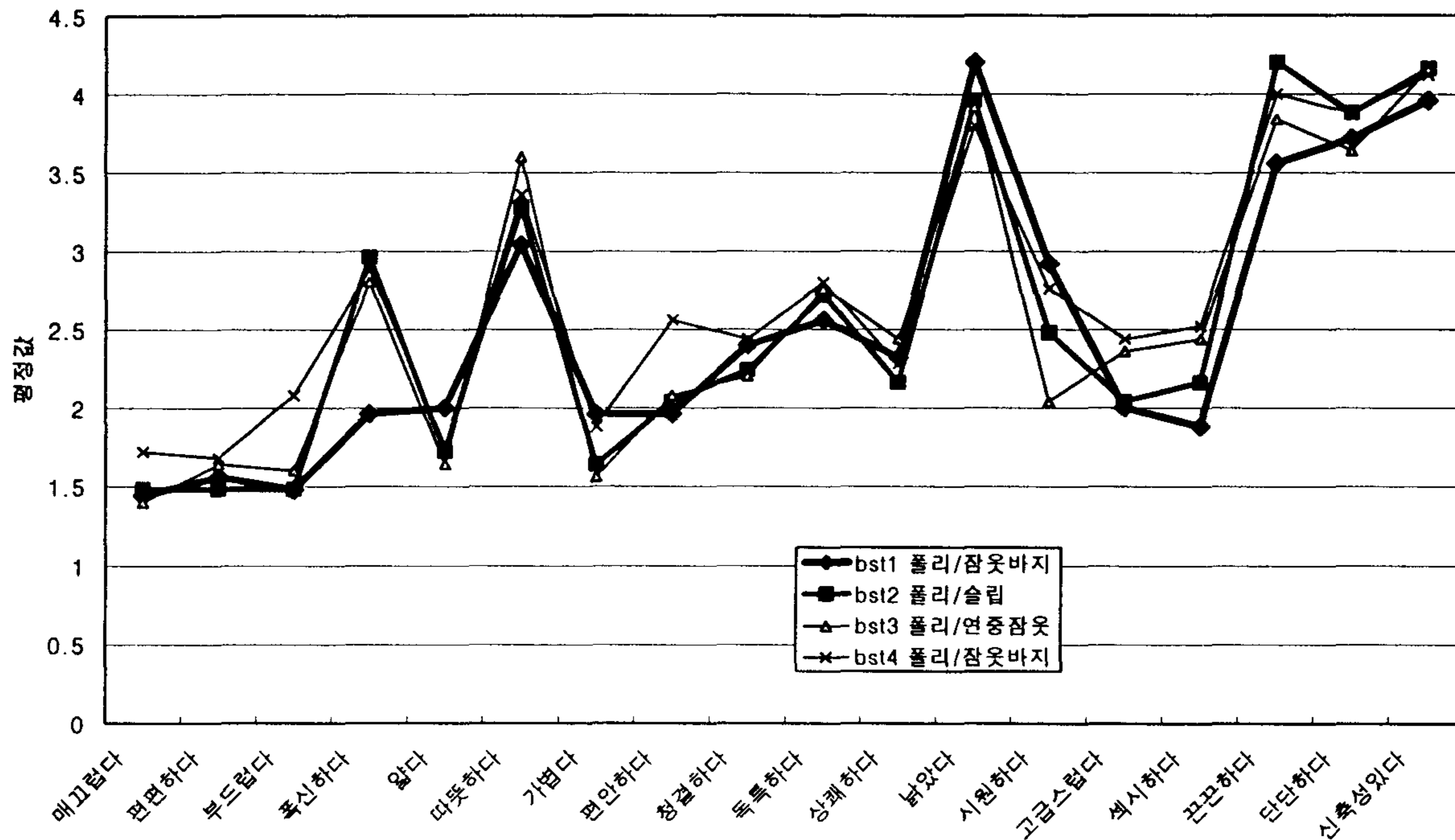
< Fig. 3-4 >는 선호도가 높은 네 개 직물과 낮은 네 개 직물들 두 집단간에 각 형용사에 대한 평균값을 나타낸 것으로 “독특함”, “시원함”, “끈끈함”, “신축성”을 제외한 14개의 형용사에서 통계적으로 유의미한 차이를 나타내고 있다. (< Table 3-10 > 통계량을 참조).

따라서 내의류를 제작, 디자인할 때 특히 “매끄러움”, “편편함”, “부드러움”, “섹시함”, “고급스러움” 등의 소비자의 감각적, 감성적인 측면을 고려해야 한다.

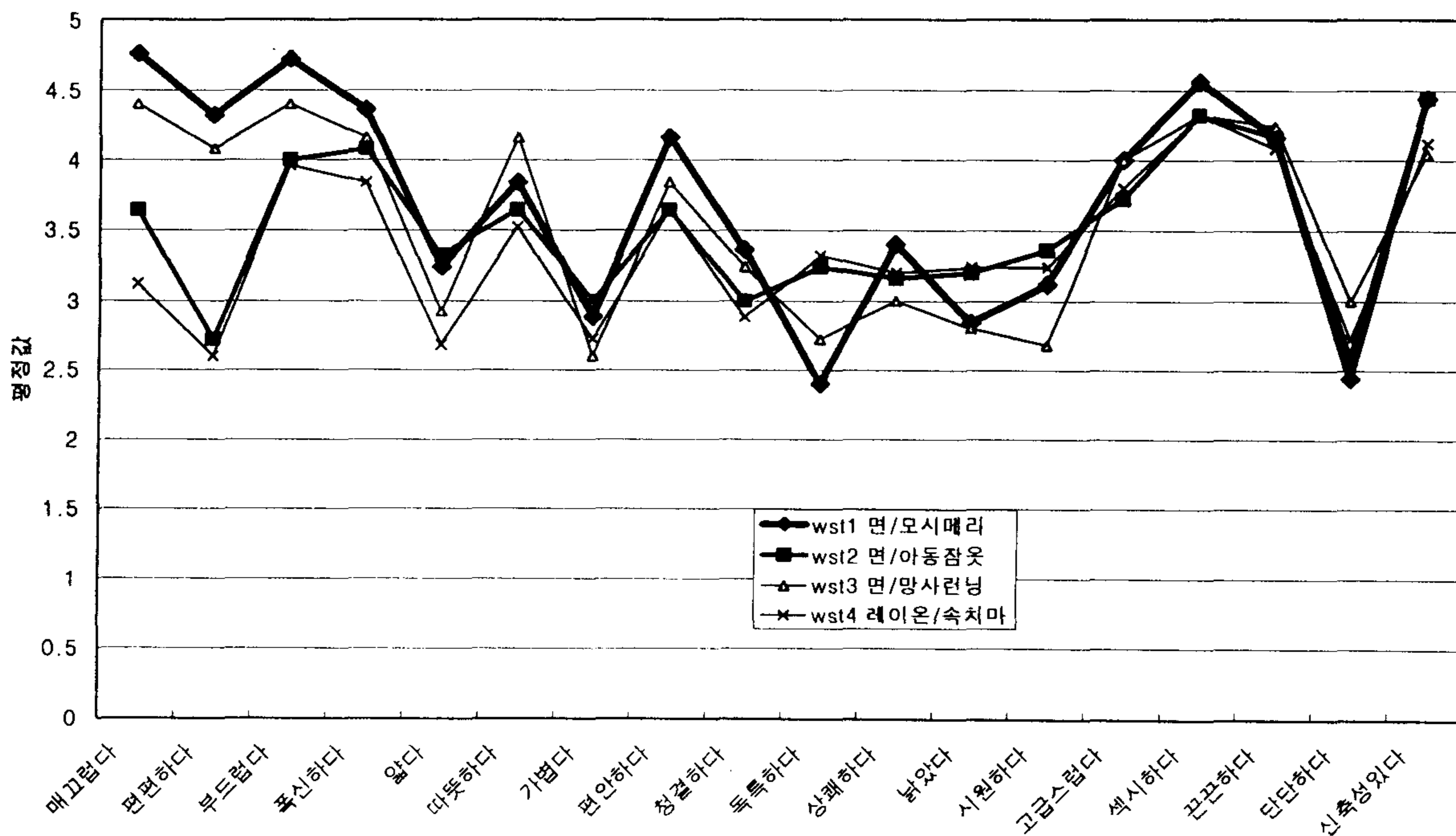
< Table 3-11 > 선호상위와 선호하위 집단별 심리반응 분석표

	선호상위		선호하위		t-test	
	평균	표준편차	평균	표준편차	t값	pro
매끄럽다	1.44	0.65	4.76	0.44	-16.80	0.000
편편하다	1.56	0.51	4.32	1.03	-11.18	0.000
부드럽다	1.48	0.87	4.72	0.46	-17.50	0.000
폭신하다	1.96	0.89	4.36	0.91	-8.67	0.000
얇다	2.00	1.08	3.24	1.36	-4.11	0.000
따뜻하다	3.04	1.21	3.84	0.90	-2.67	0.013
가볍다	1.96	0.93	2.88	1.27	-3.66	0.001
편안하다	1.96	0.93	4.16	0.80	-8.98	0.000
청결하다	2.40	0.76	3.36	1.19	-3.43	0.002
독특하다	2.56	1.12	2.40	1.15	0.46	n.s.
상쾌하다	2.32	0.99	3.40	1.19	-3.97	0.001
납았다	4.20	0.65	2.84	1.37	5.04	0.000
시원하다	2.92	1.15	3.12	1.45	-0.54	n.s.
고급스럽다	1.96	1.00	4.00	0.83	-7.89	0.000
섹시하다	1.88	0.88	4.56	0.51	-11.35	0.000
끈끈하다	3.56	1.19	4.16	0.90	-2.32	n.s.
단단하다	3.72	1.06	2.44	1.08	4.57	0.000
신축성있다	3.96	0.73	4.44	0.87	-2.30	n.s.

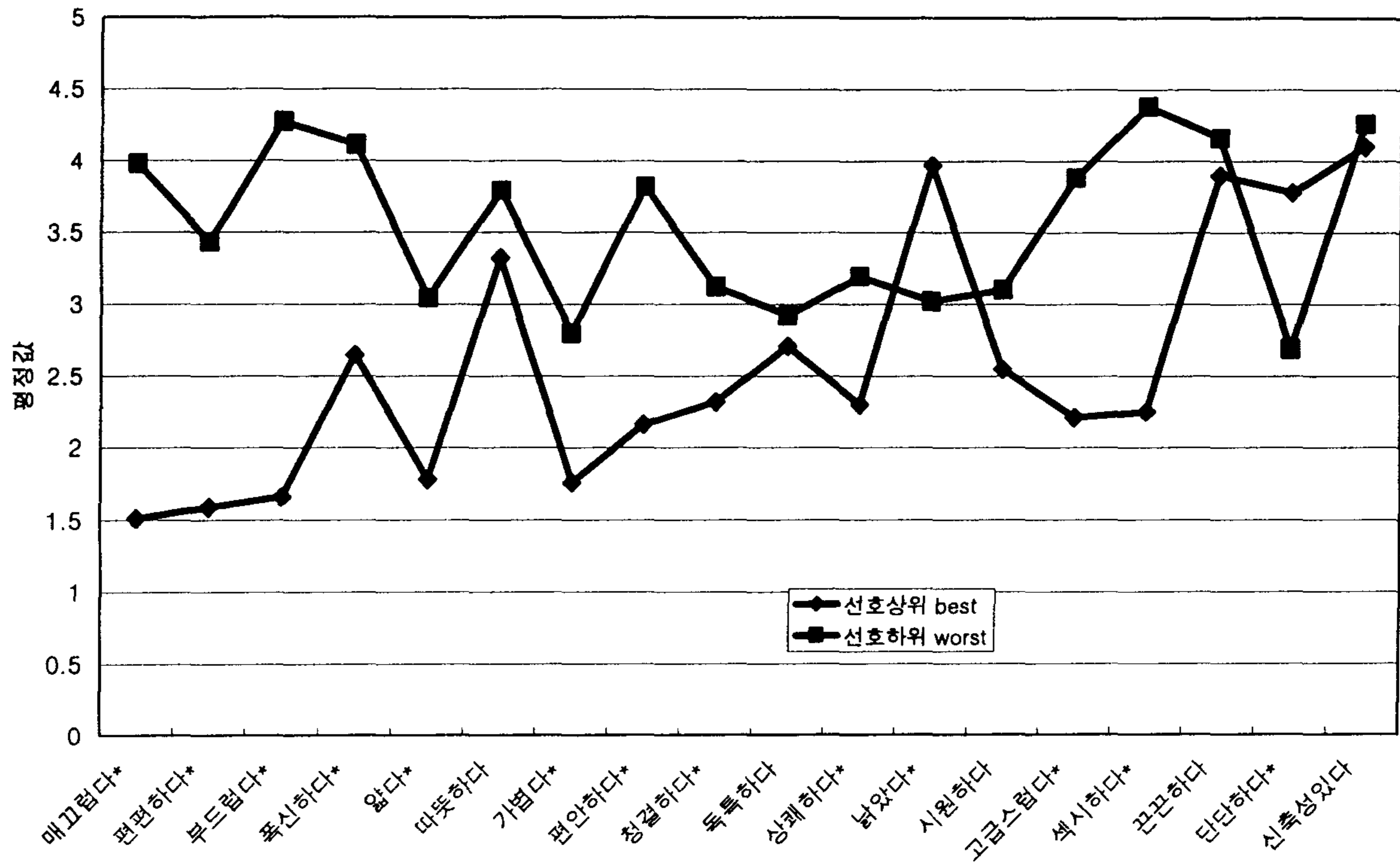
< Fig. 3-2 > 선호상위 직물의 형용사 프로파일



< Fig. 3-3 > 선호하위 직물의 형용사 프로파일



< Fig. 3-4 > 선호 상·하위 직물의 형용사 프로파일



2. 직물의 물성특성과 감성과의 상관분석

직물 16개의 물성특성과 심리적 감성 형용사 및 선호도(전반적인 감성)와의 상관관계를 구한 결과가 다음 < Table 3-12 > 에 제시되어 있다.

< Table 3-12 > 물성치와 형용사간의 상관

	ten.em	ten.lt	ten.wt	ten.rt	bend.b	bend.2 hb	shear. g	shea r.2h	comp. lc	comp. wc	comp.r c	surf.m iu	surf. mmd	surf.s md	thickn ess	weigh t
매끄럽다					.52*	.57*	.48*			.58**				.56**	.57**	
편편하다	.45*		.47*		.40*	.45*				.57**				.69**	.47*	
부드럽다		.49*			.56**	.58*	.63**			.42*					.43*	
폭신하다	-.46*	.77**	-.48*		.45*	.40*	.57**					-.53**				
얇다				-.60**	.45*	.53**				.72**	-.42*				.79**	.74**
따뜻하다	-.60**	.70**	-.64**	.46*						-.48*		-.54**			-.45*	-.60**
가볍다				-.64**		.47*				.62**	-.48*				.76**	.79**
편안하다		.64**			.53*	.52*	.64*									
청결하다			.39*	-.62**		.60*				.71**	-.43*				.72**	.63**
독특하다				-.41*					-.47*		-.44*			-.50*	.44*	.62**
상쾌하다			.44*	-.62**	.45*	.55**				.74**	-.47*				.78**	.65**
납았다	-.56**		-.65**	.76**		-.40*				-.74**	.61**				-.78**	-.71**
시원하다	.43		.48*	-.60**						.72**					.73**	.69**
고급스럽다				-.58**	.49*	.57**	.41*			.70**	-.52*				.74**	.59**
섹시하다				-.61**	.47*	.57**	.40*	.39*		.70**	-.53*				.75**	.64**
끈끈하다		.57**					.41*					-.43*				
단단하다		-.71**			-.68**	-.67**	-.73**	-.40*				.48*				
신축성있다	-.81**	.86**	-.85**	.52*			.40*			-.49*					-.45*	.54**

질감에 대한 반응인 형용사와 물성 특성간에 유의미한 상관관계가 많이 발견되었다. 그러나 표면마찰계수(miu), 마찰계수의 평균편차(mmd), 그리고 기하학적 거칠기(smd)의 표면특성의 역학적 성질 요인과 전단이력(S-2hg)의 전단요인 그리고 압축요인중 압축선형도(comp.lc)의 5개의 물성 특성치는 내의류에 대한 심리적 감성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그리고 형용사를 중심으로 보면 “가볍다”, “끈끈하다”, “단단하다”, 그리고 “독특하다” 등은 상관이 높은 물성특성치 변인의 수가 적은 것을 알 수 있다. 특히, 인장회복도와 굽힘의 두 가지 특성치, 전단강성, 압축 에너지, 그리고 두께와 무게의 특성치들은 대부분의 내의류 감성형용사와 유의미한 상관을 가지는 것으로 나타났다.

< Table 3-13 >은 각 감성차원을 나타내는 형용사를 예언하기 위해 KES에 의한 물성특성치와의 회귀 분석을 통한 회귀방정식을 구한 것이다. 회귀분석은 Stepwise regression방법을 사용하였다.

우선 물성 특성에 의해 가장 높은 설명변량을 나타내는 감성 형용사는 “신축성”, “가벼움”, “단단함”, 그리고 “독특함” 순으로 나타났고($R^2 > .80$), 설명력이 가장 작은 감성어휘는 “끈끈함”, “시원함”, “편안함”, 그리고 “상쾌함”($R^2 > .60$), 의 순으로 나타났다.

내의류에 대한 선호도에서는 $R^2 = .635$ 로 물성특성중 “두께”와 “전단” 두요인이 결정하는 것으로 나타났다.

< Table 3-13> 감성형용사를 예측하는 물성특성치

형용사	kawabata 물리량 측정치	
dependent v.	R ²	regression equation
매끄럽다	.785	.642 comp.wc + .581 surf.smd + .480 ten.lt
편편하다	.713	.631 surf.smd + .488 comp.wc
부드럽다	.785	.568 comp.wc + .745 ten.lt + .473 surf.smd
폭신하다	.777	.935 ten.lt + .648 surf.smd + -.428 surf.mmd
얇다	.617	.785 thickness
따뜻하다	.654	.571 ten.lt + -.428 weight
가볍다	.855	.719 weight + .151 shear.g + .433 comp.wc + -.294 surf.miu
편안하다	.557	1.165 shear.g + -.646 shear.2h
청결하다	.645	.577 thickness + .389 bend.2hb
독특하다	.821	.502 weight + -.711 surf.smd + .550 shear.2h
상쾌하다	.601	.775 thickness
납았다	.724	-.497 thickness + .445 ten.rt
시원하다	.536	.732 thickness
고급스럽다	.654	.617 thickness + .347 bend.2hb
섹시하다	.662	.627 thickness + .341 bend.2hb
끈끈하다	.325	.570 ten.lt
단단하다	.842	-.353 shear.g + -.642 ten.lt + -.452 comp.wc
신축성있다	.983	.515 ten.lt + -.788 ten.wt + .420 comp.lc
선호도	.635	.612 thickness + .432 shear.g

그리고 전반적인 감성을 나타내는 지표인 형용사 차원은 “매끄러움”과 “상쾌함”으로 설명변량이 R² = .913 으로 매우 높게 나타났다.

(예언식 : Y_{선호도} = 0.701 * “매끄러움” + 0.335 * “상쾌함”)

다른 변인보다도 “상쾌함”이 유의미한 예언변인으로 들어온 이유는 다른 형용사들과의 공변량이 적어 partial overt되지 않았기 때문이다.

제 4 절 종합 논의 및 결론

촉감에 의해 유발되는 내의류 직물감성을 측정하기 위해 심리적 척도를 개발하였다. 이 척도는 18개 형용사로 구성된 각각의 형용사는 7점척도의 Likert 척도이며, 감각형용사와 감성형용사로 구분된다. 검사-재검사 신뢰도가 $r = .86$ 으로 매우 안정된 척도로 밝혀졌다. 요인타당도 분석에서는 5개의 요인이 나타나 구성타당도가 있음이 밝혀졌다.

시료직물에 대한 종합적 감성으로 정의될 수 있는 선호도의 상·하위에 따라 두집단으로 분류하여 심리반응을 분석한 결과, 네 개의 형용사를 제외하고 대부분의 형용사 항목에서 통계적으로 신뢰로운 차이가 발견되었다. 따라서 본 연구에서 사용한 직물에 대한 감성평가 척도가 타당한 것으로 밝혀졌다. 중요한 감각·감성 요인으로는 “매끄러움”, “편편함”, “부드러움”, “섹시함”, “고급스러움” 등의 심리적 반응이었다. 따라서 감성내의 디자인과 제품개발을 위해서는 이들 심리적 요인을 반드시 고려해야 할 것이다.

본 연구에서 사용한 19개 내의류 시료중 선호도가 높은 직물은 주로 폴리에스테르(속칭 물실크)였으며, 낮은 직물은 모시메리나 망사류였다.

KES에 의해 분석한 16개 역학특성을 분석한 결과, 심리적 감성과의 회귀분석에서는 형용사간 상관이 적은, 즉 독립적인 “신축성”, “단단함”, “가벼움”, “독특성” 등은 $R^2 = .80$ 이상으로 높은 설명력을 가지고 있지만, 이들 변인들은 전술한 바와 같이 내의류에 대한 심리적 감성에는 커다란 영

향을 미치지 못하는 것으로 밝혀졌다.

이상의 결과들을 토대로 볼 때 “매끄러움”, “부드러움”, “고급스러움”, “편편함”, “섹시함”, “상쾌함”, 그리고 “편안함”을 예측해주는 물성특성중에서 두께, 압축과 기하학적 거칠기 등의 순으로 나타났다.

감성적인 내의류 직물을 디자인하거나 제품개발을 위해서는 감성을 객관화, 정량화 시킬수 있는 “매끄러움”, “편편함”, 그리고 “부드러움”등을 포함하는 14개의 형용사로 구성되는 심리척도를 사용해야 한다. 그리고 이들 심리적 반응을 잘 예언하는 것으로 밝혀진 물성 특성(예: 두께, 압축, 표면 거칠기 등)을 충분히 고려하여 제품을 개발해야 할 것으로 나타났다.

본 연구의 제한점으로는 직물에 대한 감성(선호도, 태)은 촉감에 의해서만 결정되는 것이 아니고 직물의 시각적 효과 및 착용감도 매우 중요한 변인으로 여겨지기 때문에 차후에 이에 대한 연구가 복합적으로 이루어져야 한다.

제 4장 연구 개발 결과의 활용 계획

질감에 대한 감성공학적 측면에서의 연구는 이제 시작 단계에 불과하다. 특히 한국인을 대상으로 한 내의류에 대한 연구는 전무한 실정에서 본 연구를 수행하였다. 따라서 본 연구를 기초로 하여 촉감에 의한 질감뿐 아니라 시각적 요소를 포함한 직물의 복합감각 질감에 대한 연구를 계속하여, 의류 연구 및 제품 디자인에 활용할 수 있다. 특히 내의류 소재의 역학적 특성과 심리적 감성과의 관계 규명을 응용하면, 소비자가 가장 선호하는 제품을 만들 때, 산업체가 목표로 하는 대상의 감성을 본 연구에서 만든 심리 척도를 이용하여 규명하고, 이에 가장 알맞는 물성특성을 고려하여 배합하게 되면 고부가가치의 제품을 개발할 수 있을 것이다. 그리고 앞으로 가능한 모든 촉감/피부감각에 의한 감성의 Data Base로서 활용되어 기업, 산업체의 미래형 감성제품의 개발에 미치는 효과가 클 것이다.

제 5장 연구 개발 목표 달성도 및 대외 기여도

본 연구의 연구 개발 목표는 직물의 역학적·물성 특성과 감성과의 관계를 규명하는 것으로, 내의 직물을 대상으로 한 본 연구의 달성도는 다음의 세부분으로 나누어 평가할 수 있다.

1. 촉감에 의한 질감의 심리척도 개발

질감을 표현하는 형용사들을 추출하여 최종적으로 18개의 감각 및 감성을 구분한 Likert Scale을 개발하였으며 이 척도의 신뢰도(reliability)는 매우 높았다. 이들 18개의 형용사는 요인분석결과 5개의 주된 요인으로 묶였으며 구성타당도가 높은 척도이다.

본 척도는 감성반응을 타당하고 신뢰롭게 평가할 수 있게 해주므로, 소비자의 관점에서 직물의 질감 연구 및 제품 디자인에 유용하게 활용될 수 있으며, 앞으로 학계와 산업계에 기여도가 매우 클 것으로 기대된다. (목표 달성도 100 %)

2. 질감의 선호도에 관련된 소비자의 중요 심리 반응 분석

19종의 내의 표본에 대한 세 차례의 측정을 통해, 내의 직물의 선호도(감성)에 영향을 미치는 주된 감각적 감성요인을 추출하였다. 특히 “매끄러움”, “부드러움”, “섹시함”, “편안함”, “폭신함” 등의 감성요인이 선호직물과 비선호 직물을 매우 잘 구분해 주는 소비자의 대표적 감성이므로, 향후 제품 디자인 및 제품 생산시 이들 대표적 감성요인을 중요하게 고려해야

할 필요성이 크다. 이러한 연구는 국내외에서 연구된 적이 없어 매우 가치가 있으며 산업계 활용시 고부가가치를 창출할 수 있는 연구이다. (목표 달성도 100 %).

3. 질감감성과 직물의 역학적 특성관계 규명

본 연구의 가장 중요한 결과로, Kawabata Evaluation System을 이용하여 시료 내의 직물의 16개 물성 특성을 분석하였으며, 이들 특성이 감성에 어떠한 영향을 미치는지를 회귀 분석을 통해 분석하였다. 본 연구의 시료 직물 중 선호되는 내의류들은 폴리에스테르(속칭, 물실크)종류이었으며, 가장 비선호되는 것들은 망사나 모시메리로 나타났다. 앞에서(B) 언급한 내의류 선호도에 가장 많은 영향을 미치는 주된 심리적 특성인 “매끄러움”, “부드러움”, “섹시함”, “편편함”, 그리고 “폭신함” 등을 결정짓는 방정식을 만들었다. 산업계에서 감성적인 내의개발시, 본 연구를 토대로 소비자의 최고 감성 반응을 유발할 수 있는 물성특성이 최적으로 조합된 고부가가치 감성 제품을 생산할 수 있다. 이러한 내의류에 대한 연구는 세계적으로 시도된 바 없는 것으로 일본에서는 신사복, 여성복 등에 대하여 연구하였고, 우리와 그들 문화와 용어, 감성등이 차이가 나기 때문에 본 연구 결과는 매우 의미가 깊은 연구이다. (목표달성도 100 %).

6. 참고문헌

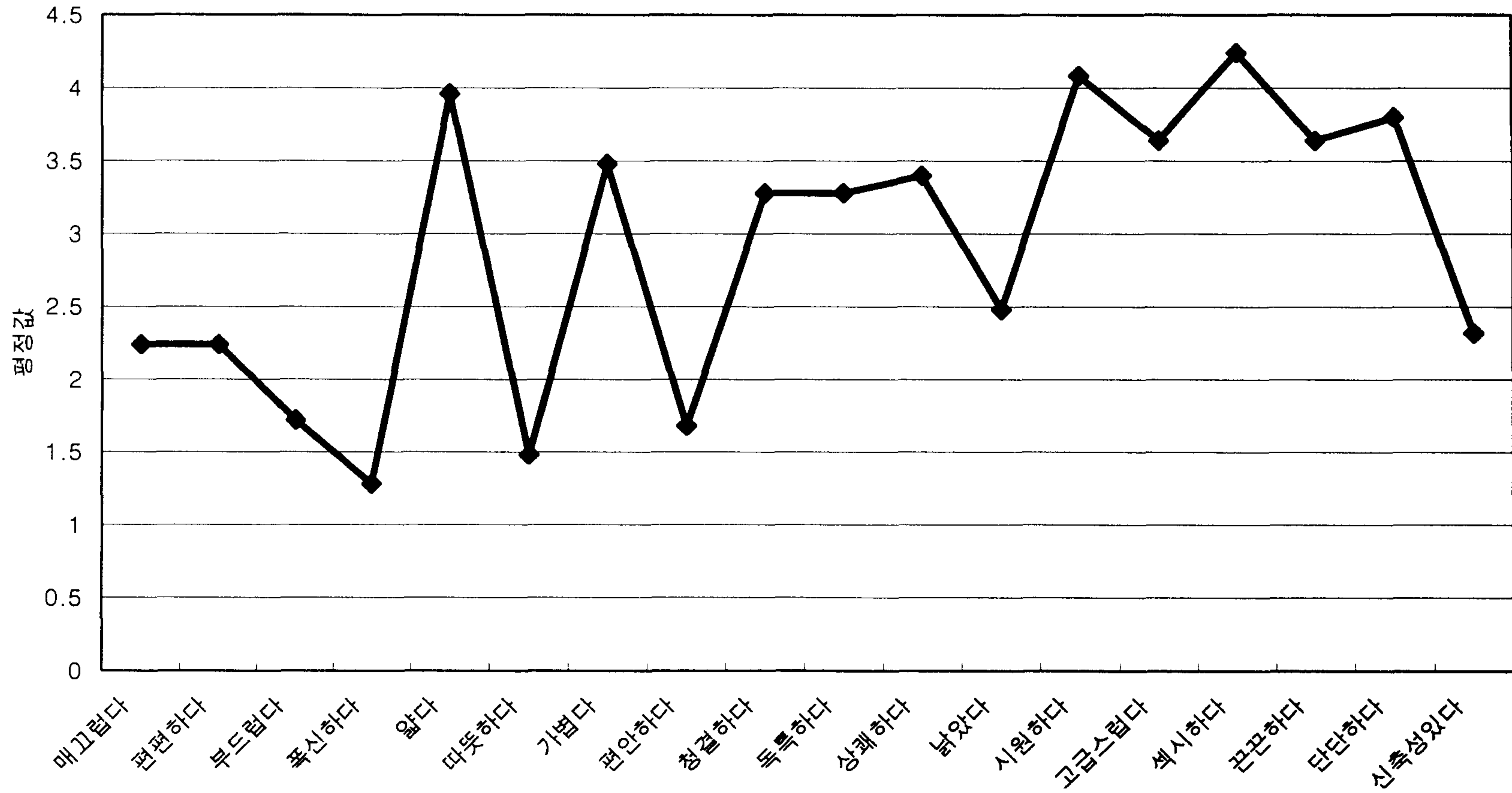
1. 홍경희, 김재숙, 박춘순, 박길순, 이영선, 김재임, 여성용 춘추복지의 태에 관한 연구(제 1보) - 태의 주관적 평가척도 개발을 중심으로 -, 한국의류학회지 18(3), 1994
- 2 권오경, 한복지의 역학적 특성과 착용성능에 관한 연구, 효성여자대학원 이학박사 학위논문, 1991.
- 3 홍경희, 김재숙, 박춘순, 박길순, 이영선, 김재임, 여성용 춘추복지의 태에 관한 연구 (제 2보) -직물의 특성과 솔기가 태에 미치는 영향-, 한국의류학회지 18(4), 1994
- 4 손진훈, 피부감각의 감성측정기술 및 DB 개발, 제 13회 G7 감성공학 감성용소 기술개발 및 DB 구축 Workshop 자료집. 1998.
- 5 권영하, 촉각/질감 감성요소와 역학적 측정값과의 상관관계 연구, 한국표준과학연구원 위탁연구보고서, 1996
6. 김덕리. 박정환, 직물의 역학적 성질과 HANDLE 에 관한 연구, 한국 의류학회지, 8, 161-171(1984)
7. 김석근. 김덕리, 국산 하복지의 태에 관한 연구, 한국섬유공학학회지, 22, 82-89(1985)
8. 김덕리. 박정환. 김석근, 국산 동복지의 태에 관한 연구 , 한국 섬유공학학회지, 23, 340-349(1986)

9. 이세곤. 김승진, 직물의 태에 관한 연구, 한국섬유공학회지, 22, 185-193(1986)
10. 서영숙, 직물의 피로에 관한 연구, 한국의류학회지, 10, 47-57(1986)
11. S.Kawabata, "THE STANDARDIZATION AND ANALYSIS OF HAND EVALUTION" second edition. The hand evaluation and standardization committee 1980.
12. M. Niwa, Data files of the mechanical property of clothing materials, (part 4); Gabrics for woman's out wear, J. Text. Mach. Soc. of Jap. 29, p460-476(1976)

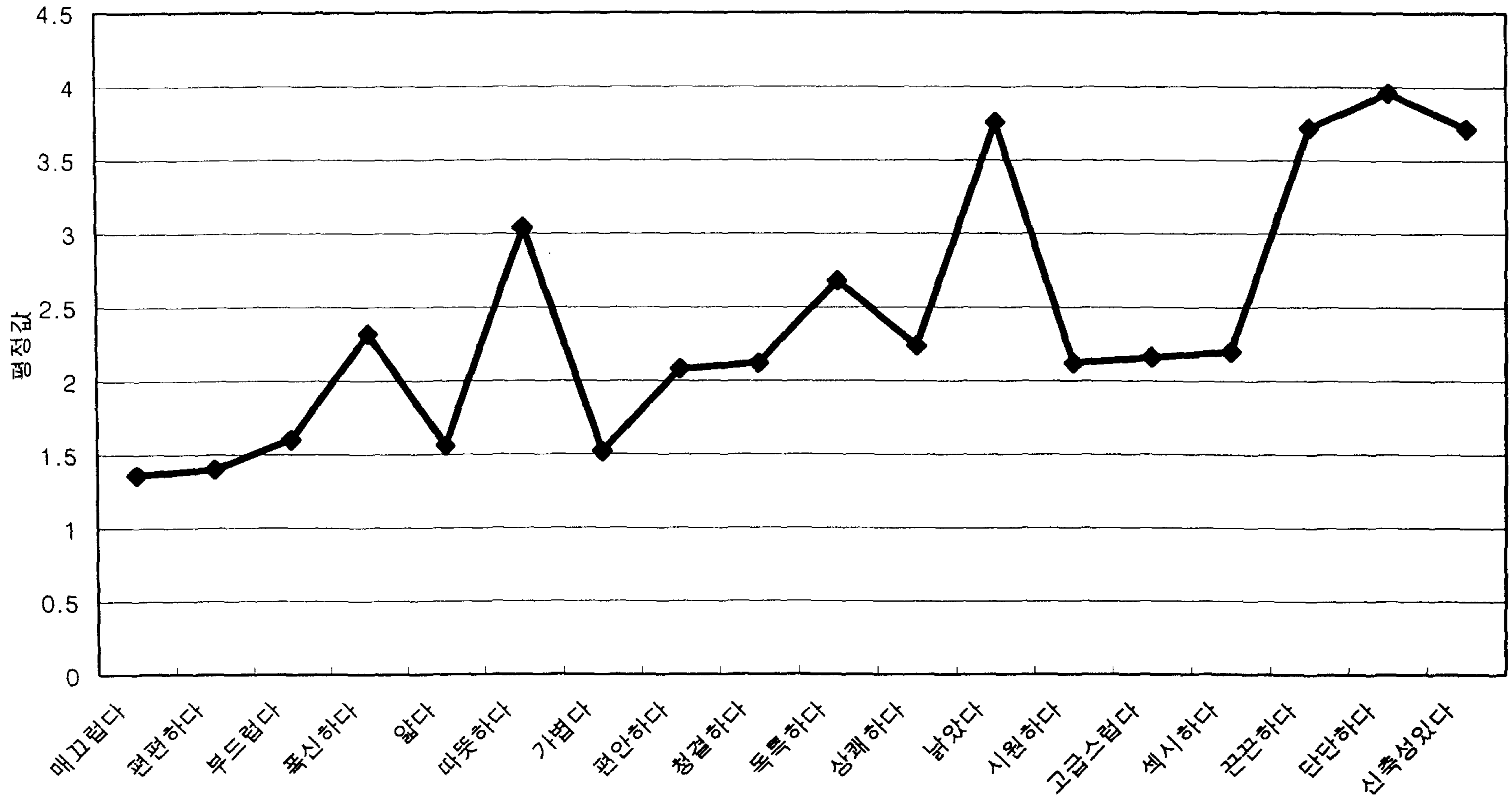
부록

* 표본직물별 심리적 반응 분석표(선호도 상위에서 하위순으로 배열함)

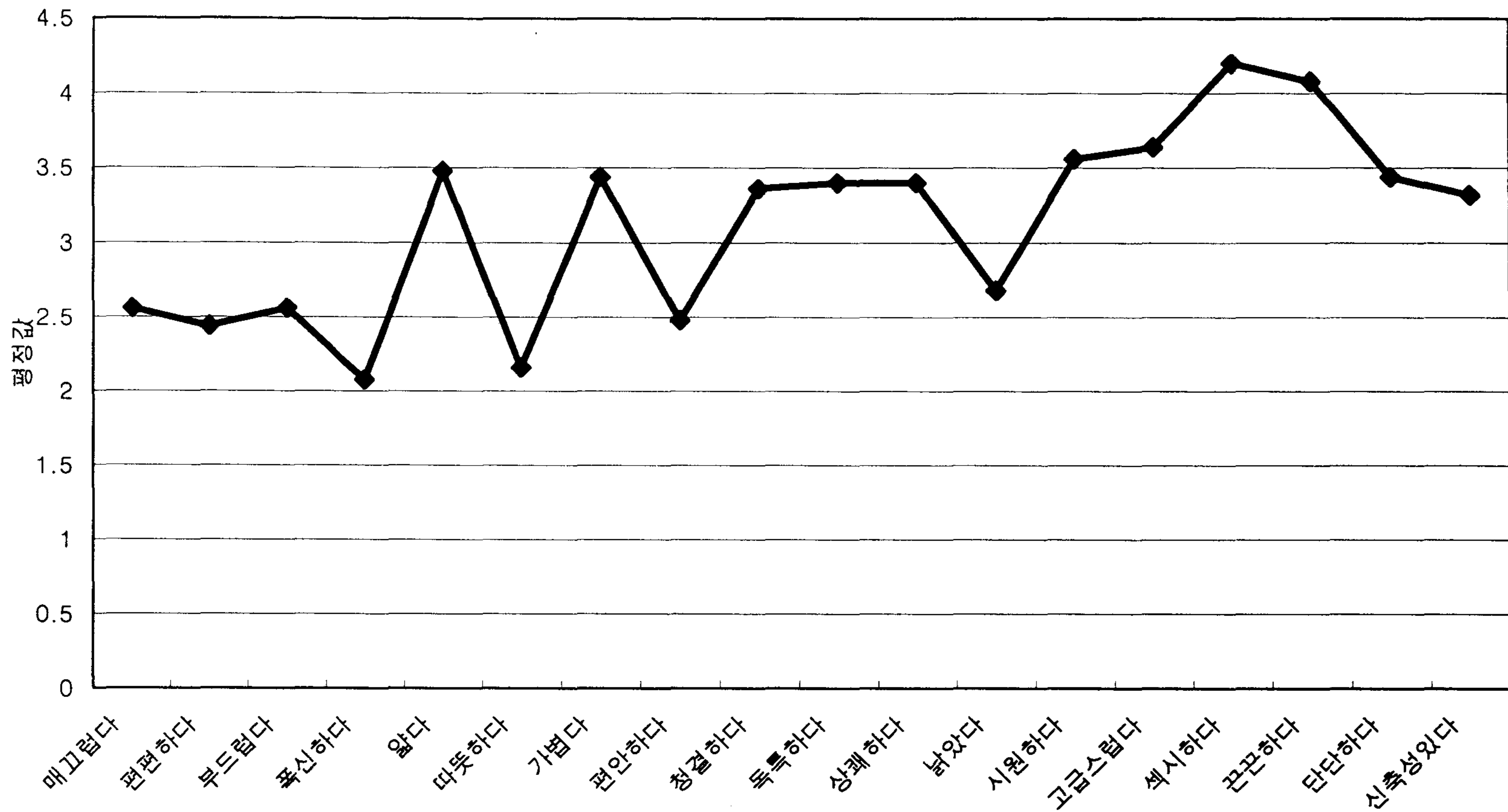
직물1-면/보온메리



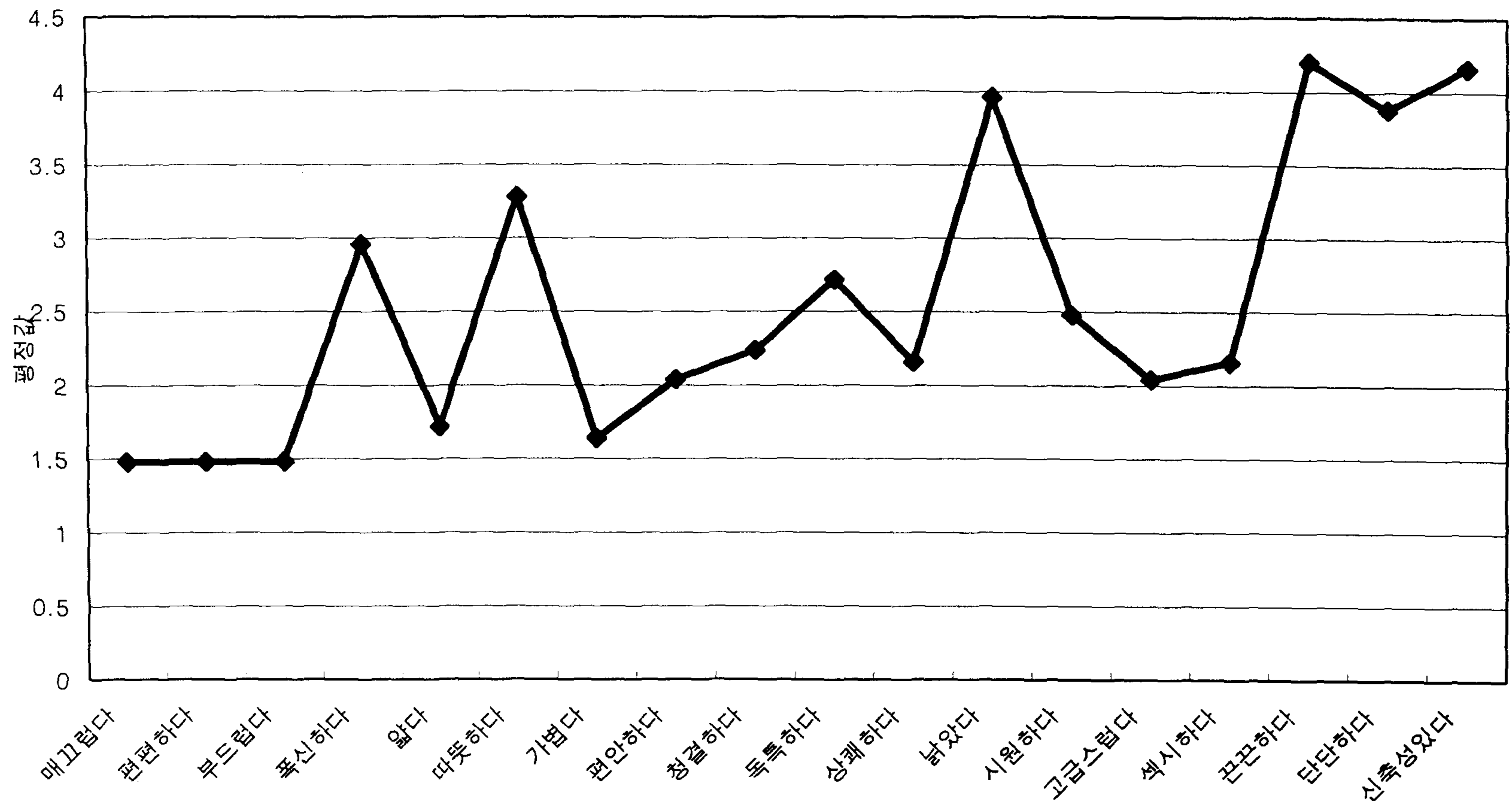
직물2-나일론/속치마



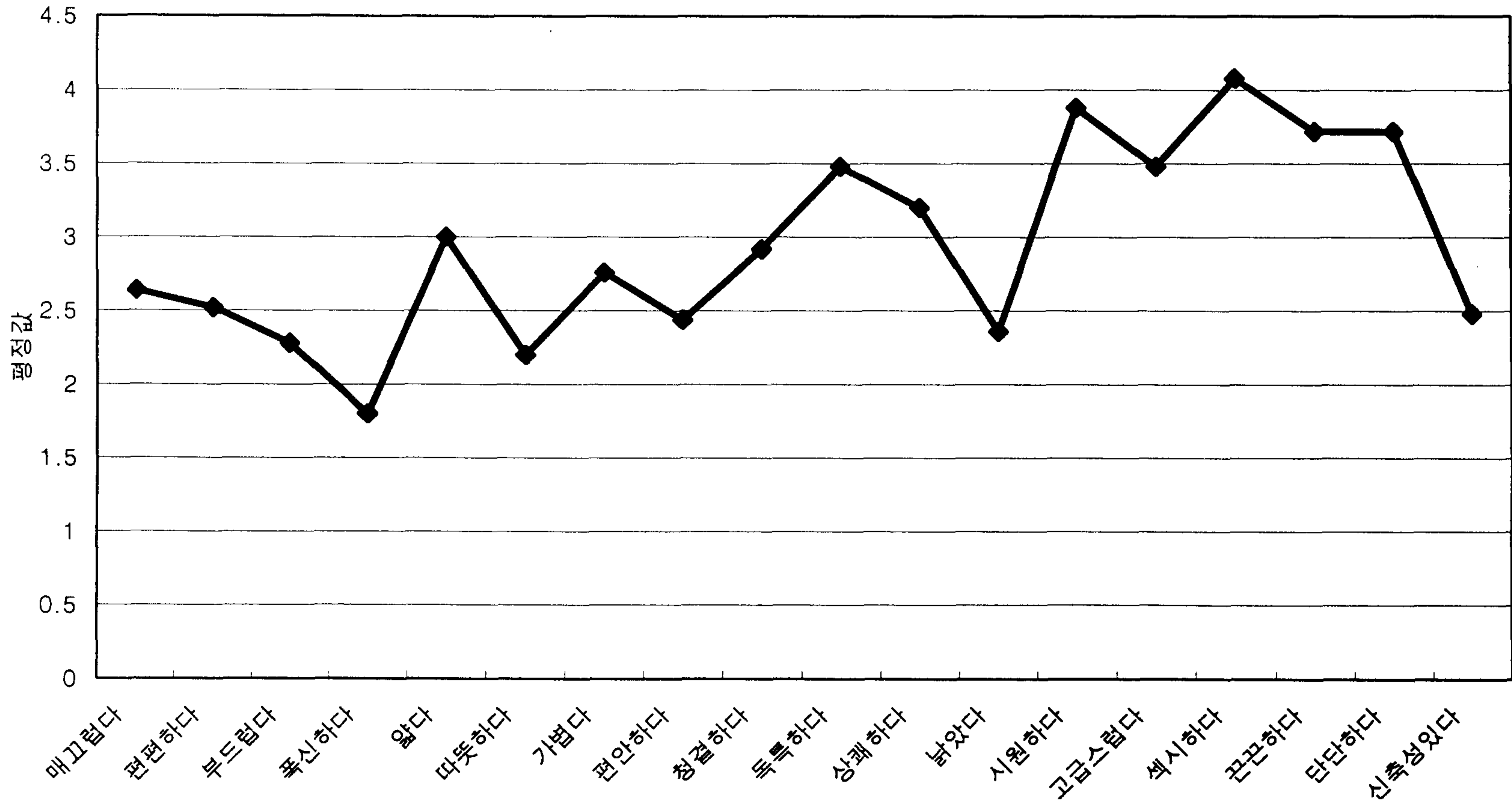
직물3-면/런닝



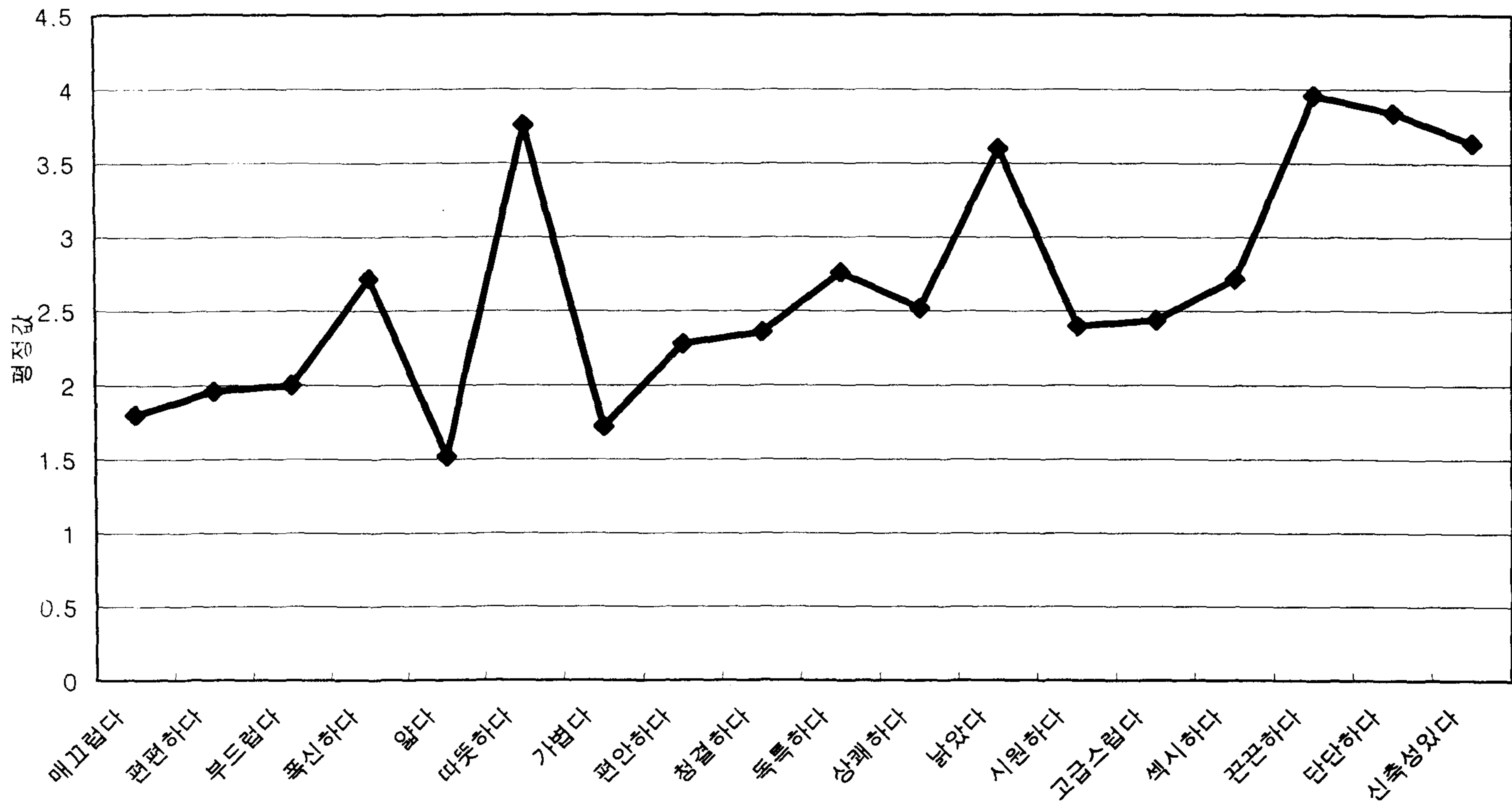
직물4-폴리/슬립



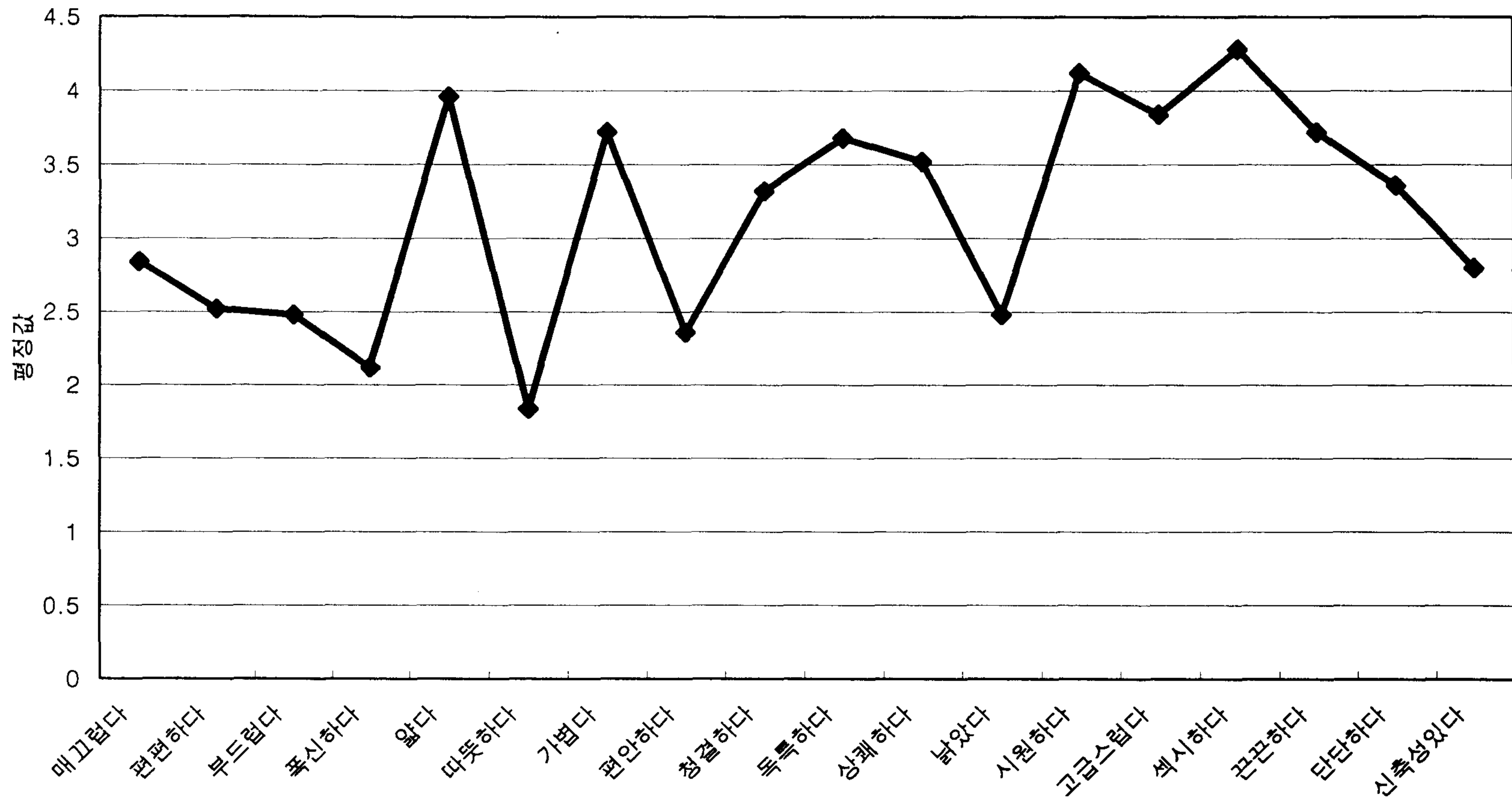
직물5-면/런닝



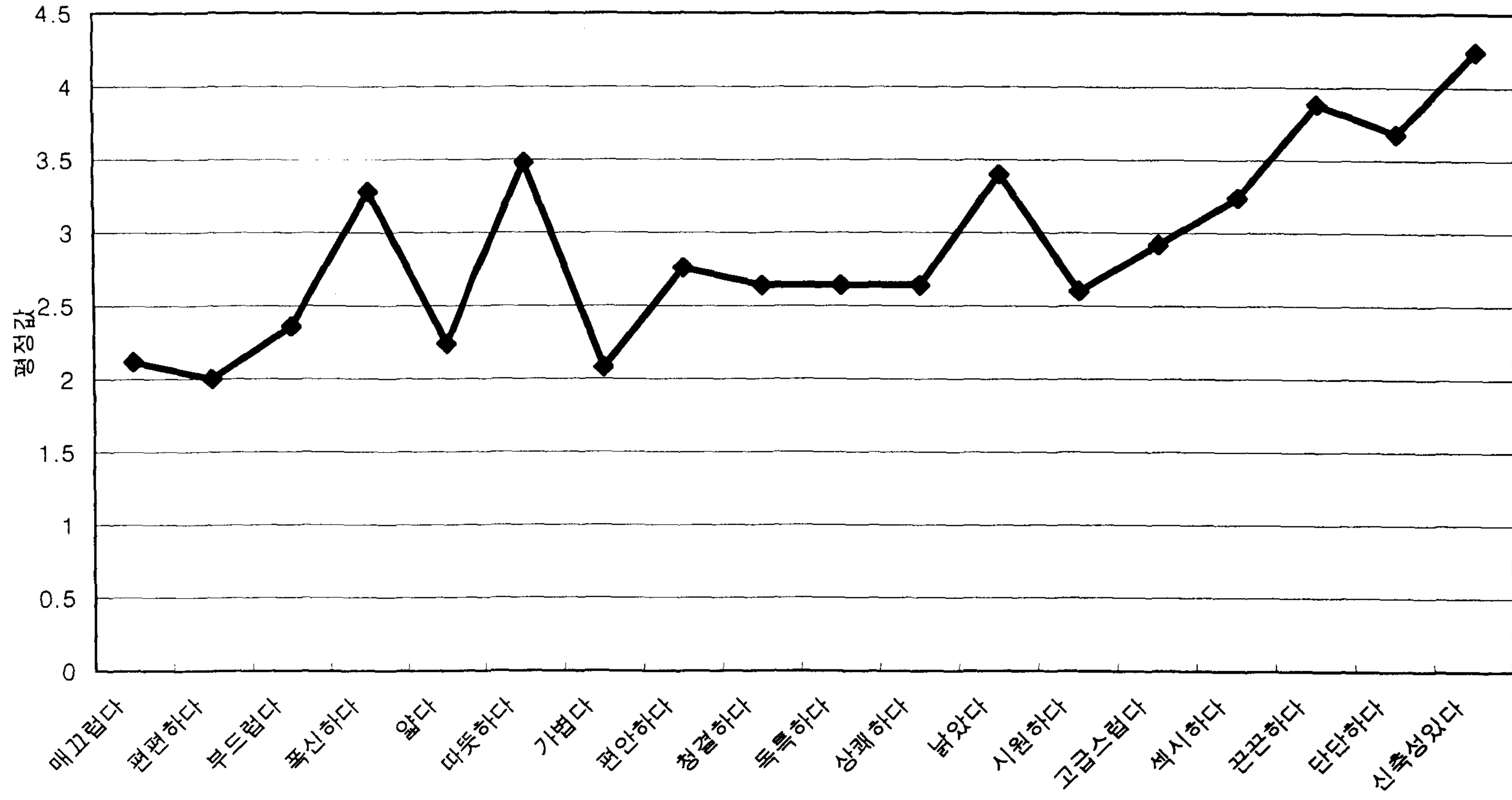
직물6-나일론/슬립



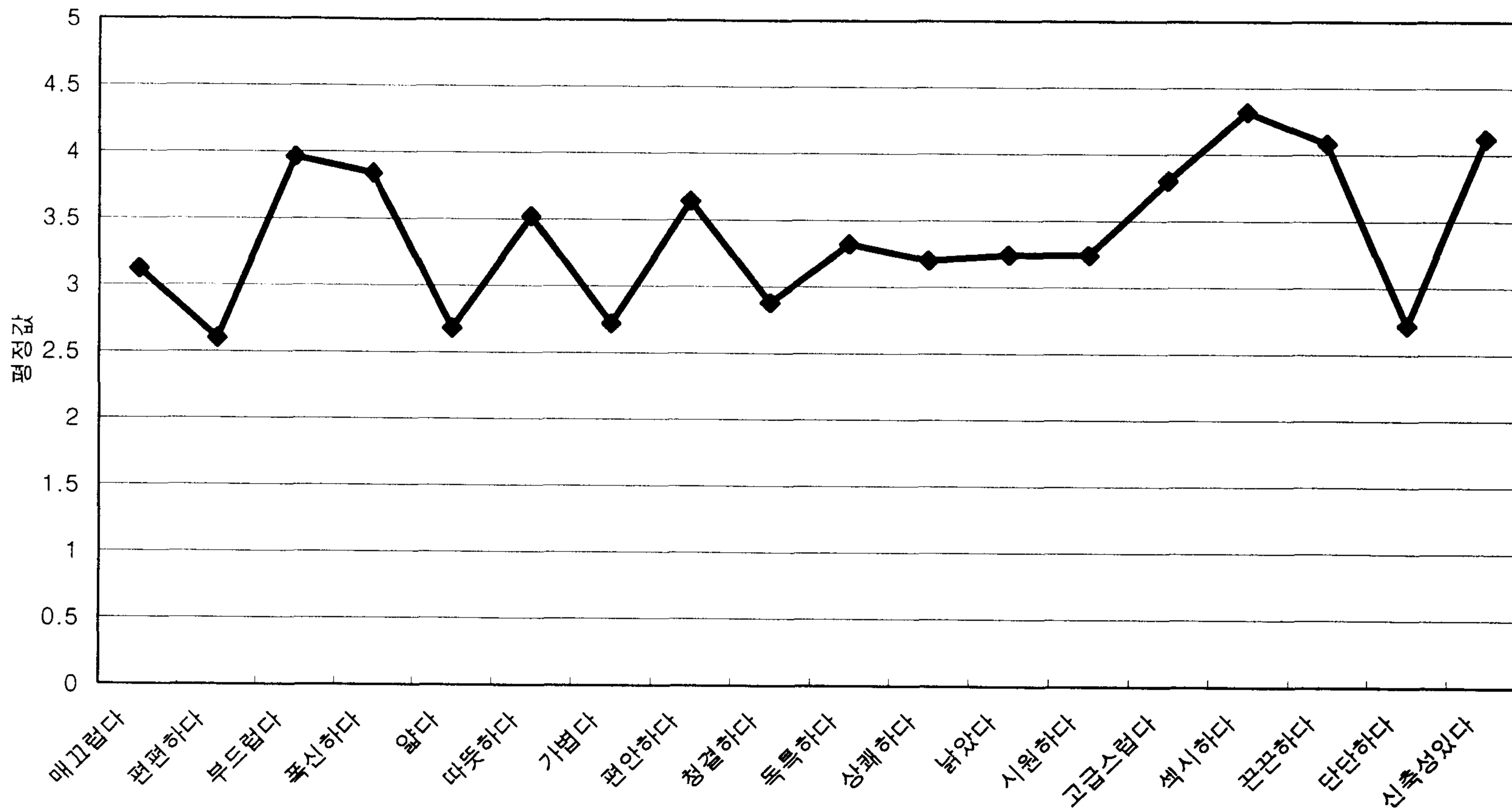
직물7-면/추동내의



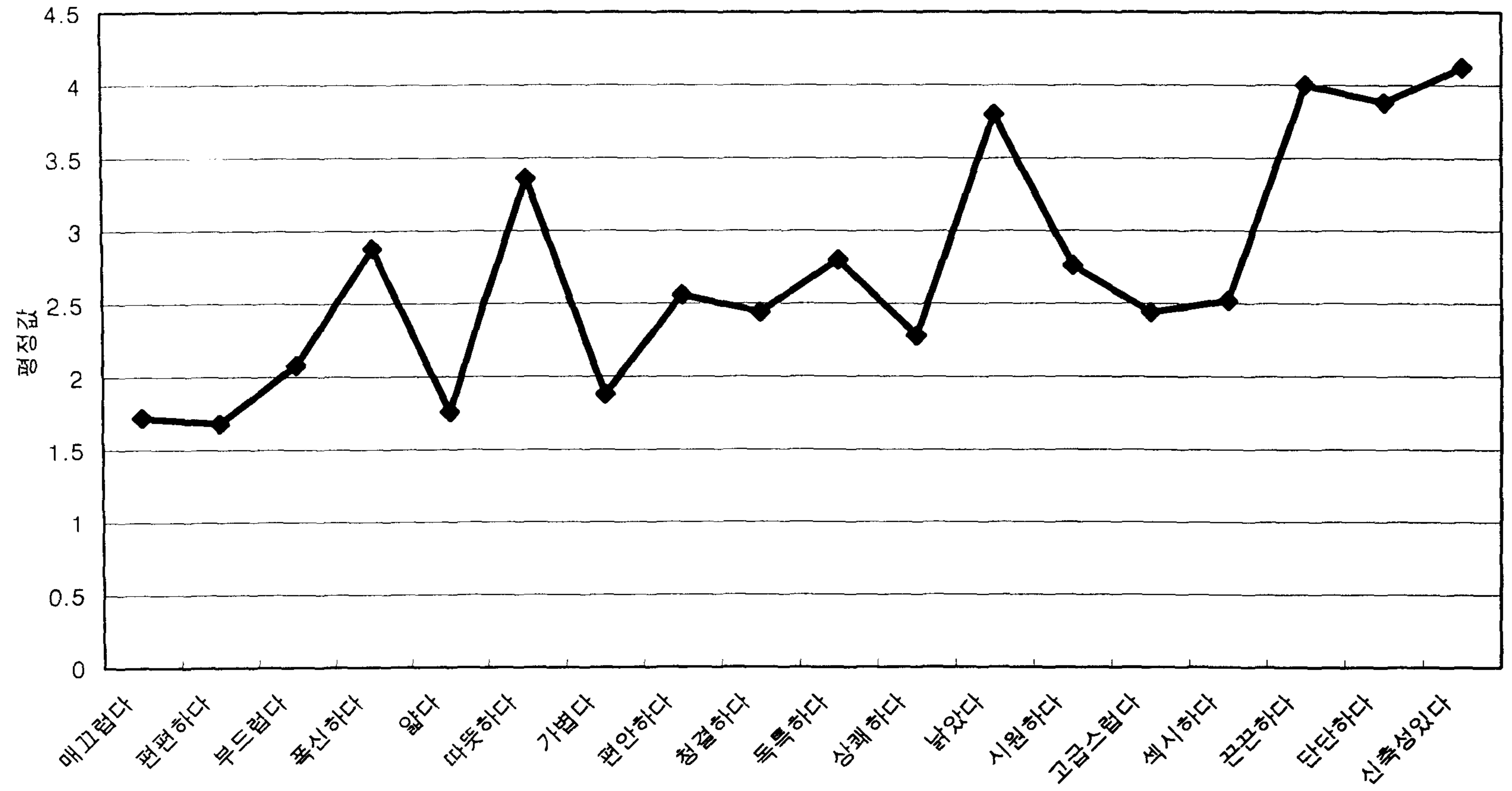
직물8-나이론/싱하



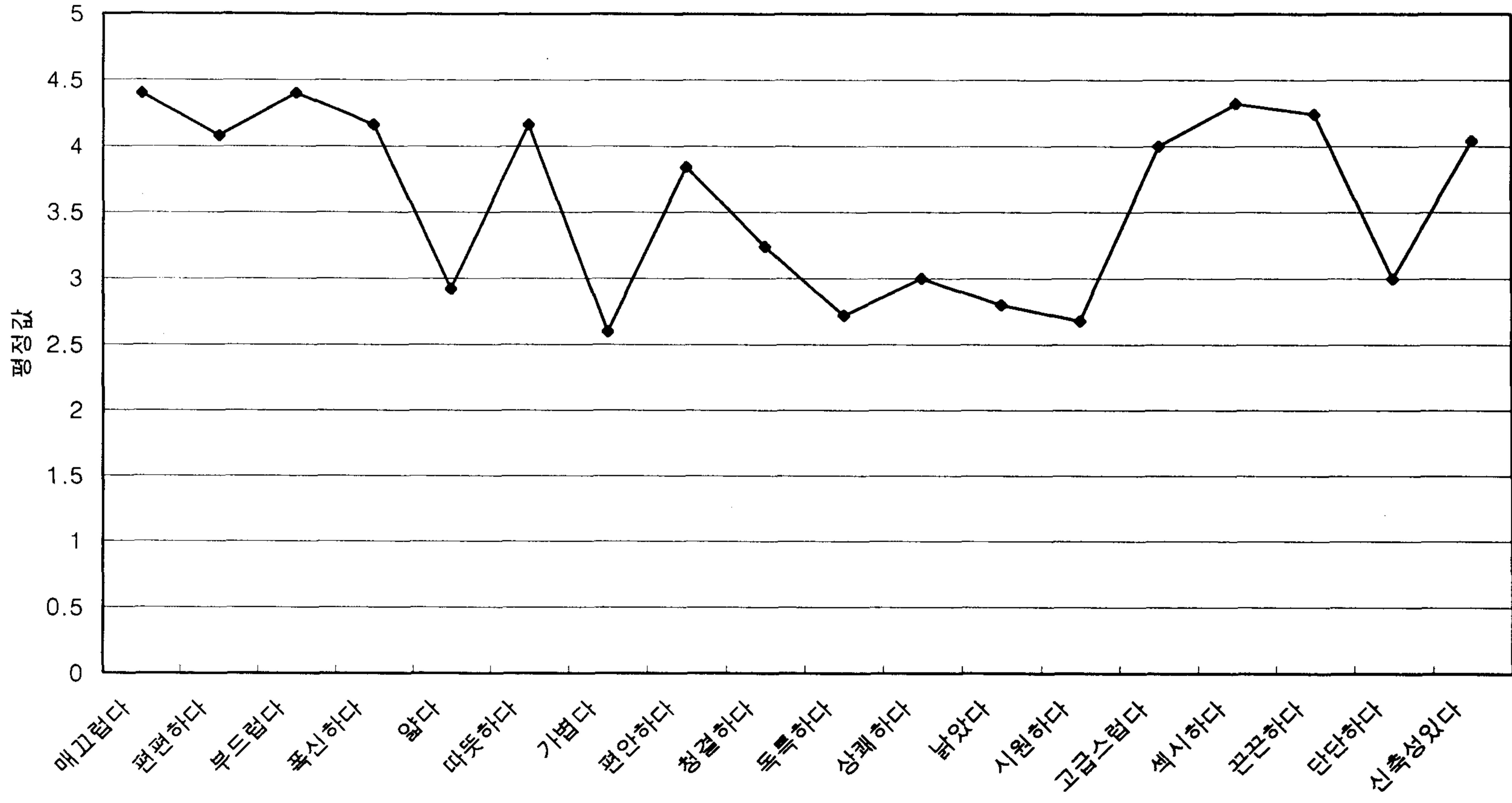
직물9-면/평직



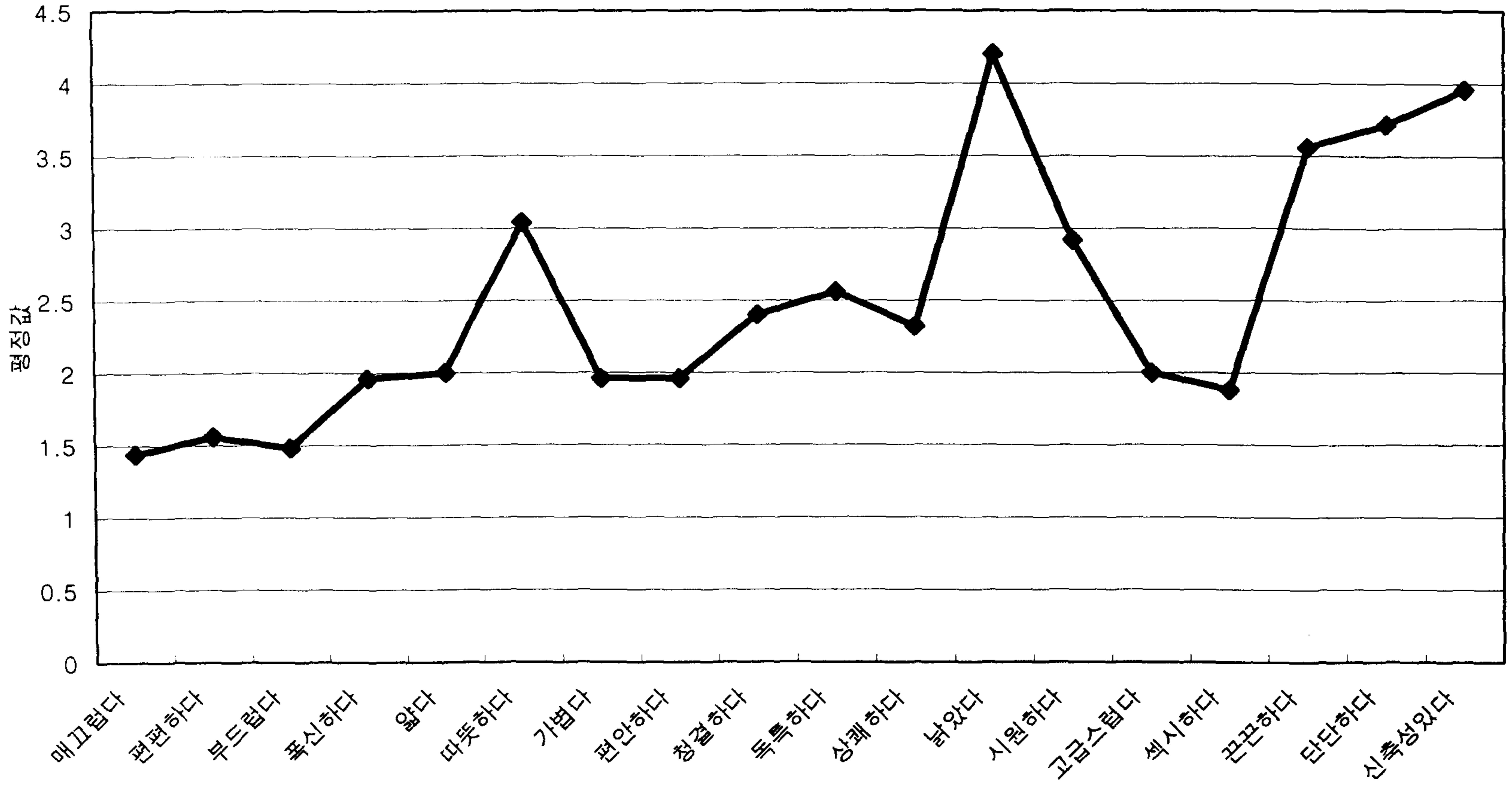
직물10-폴리/아동잠옷



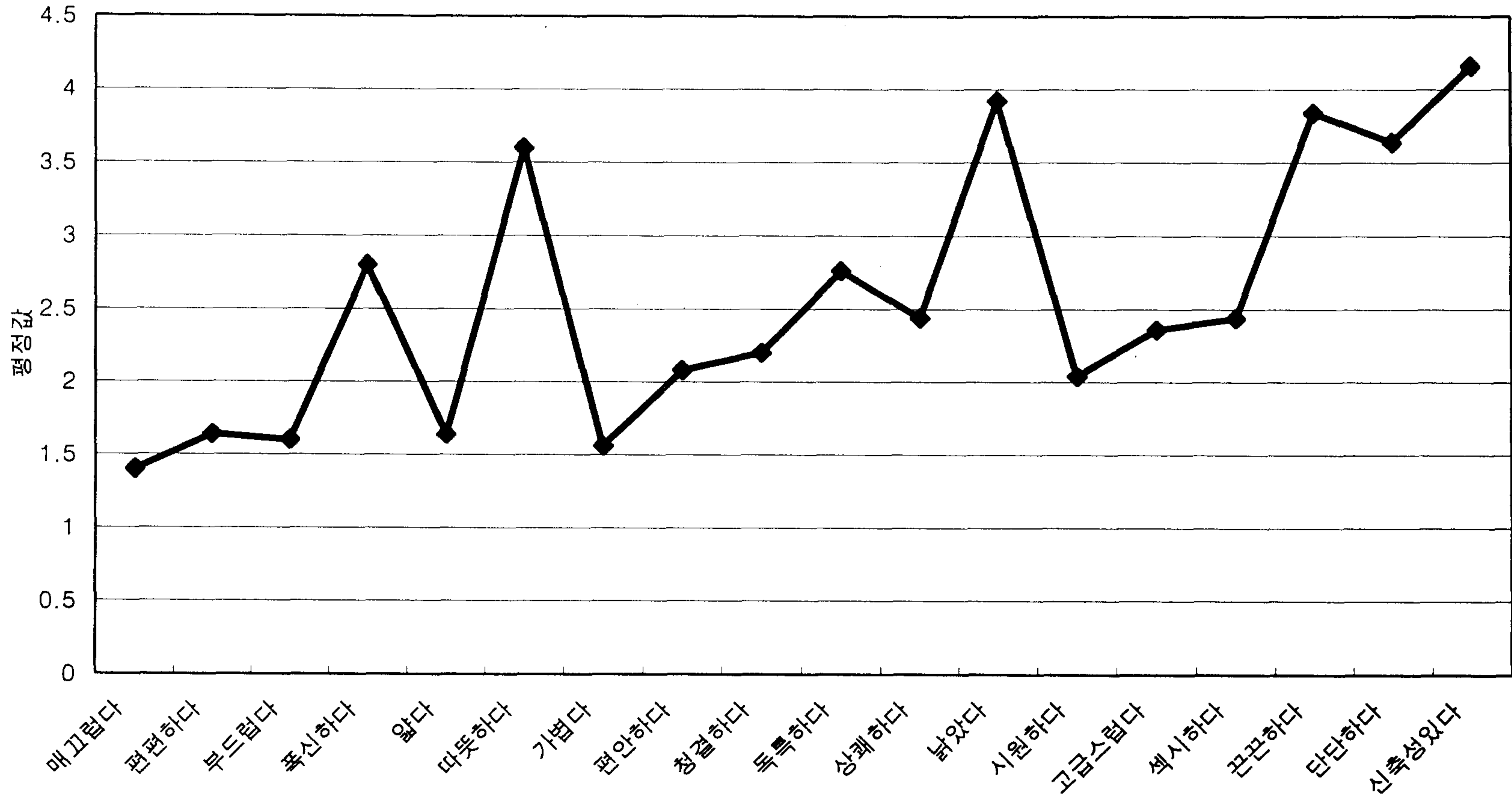
직물11-면/크레이프직



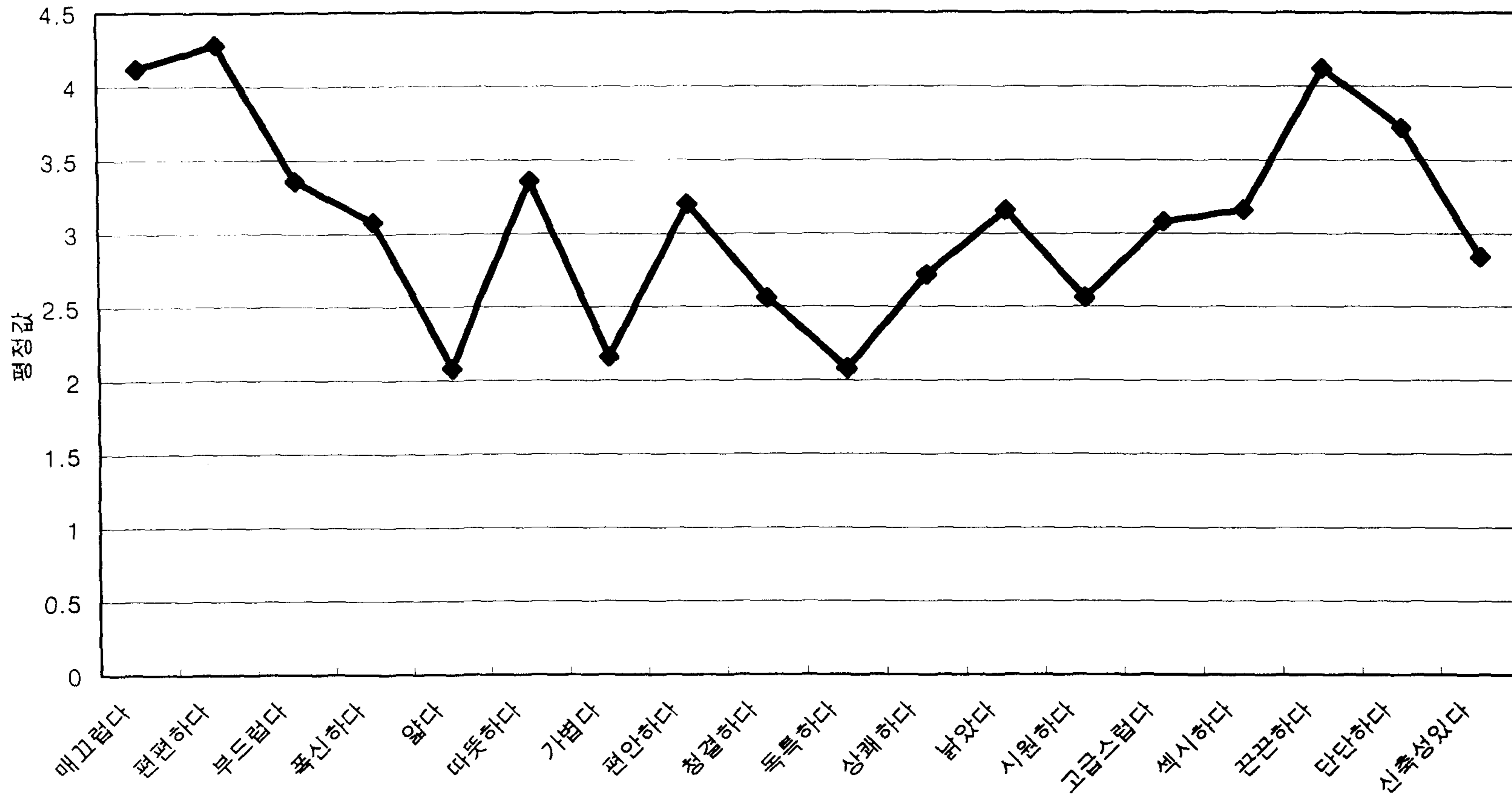
직물12-폴리/잠옷바지



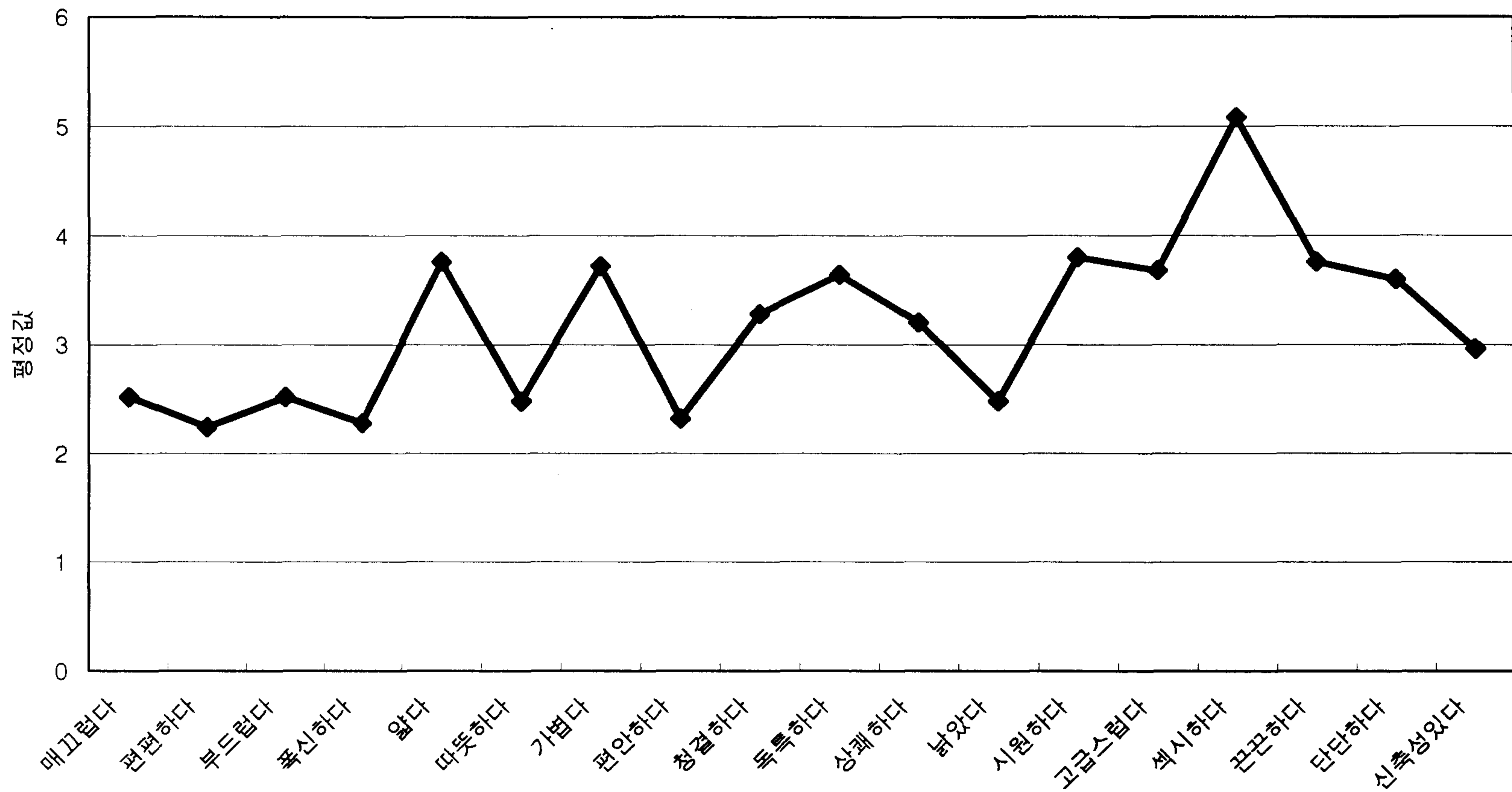
직물13-폴리/연중잠옷



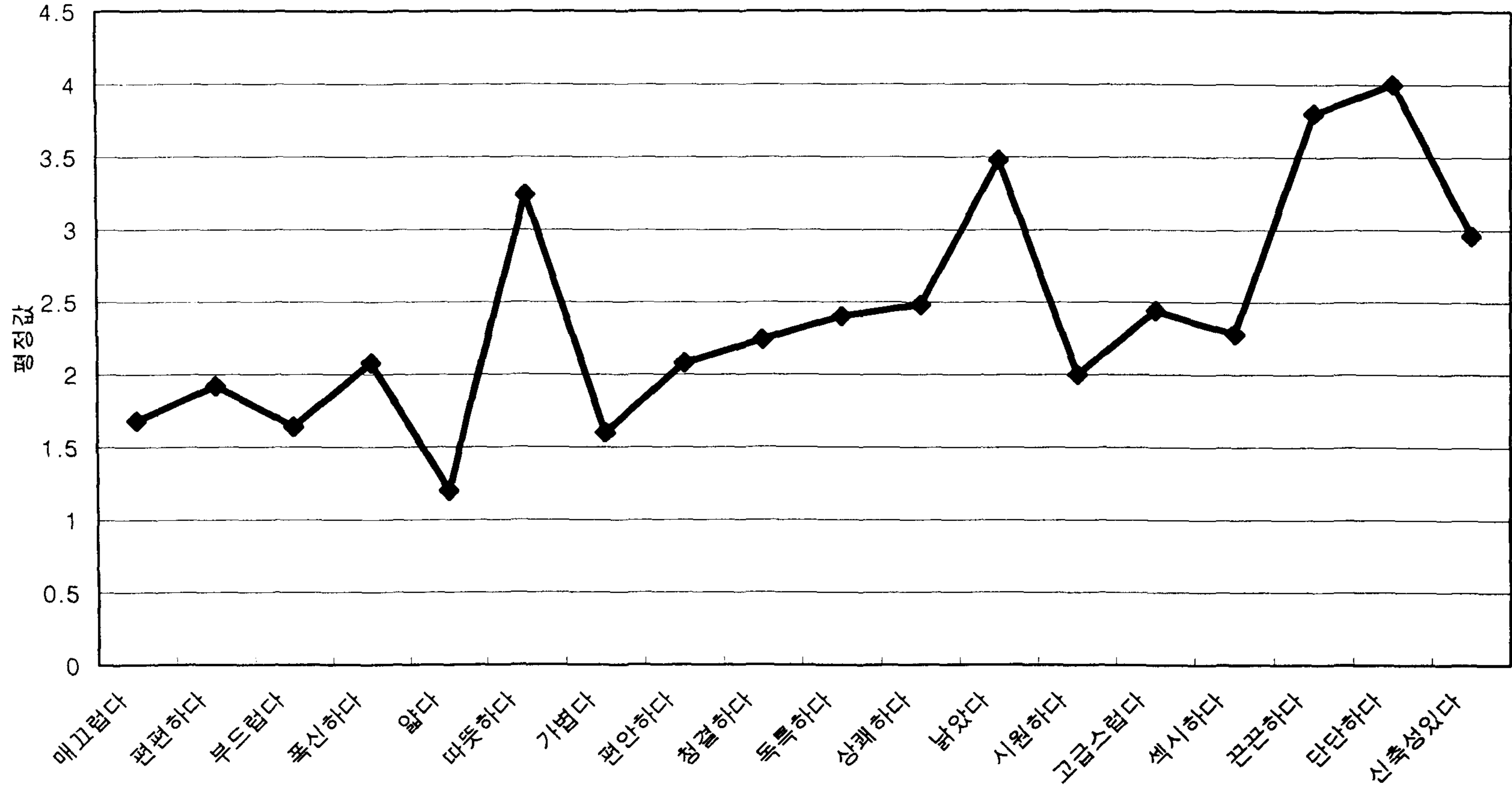
직물14-레이온/속옷상의



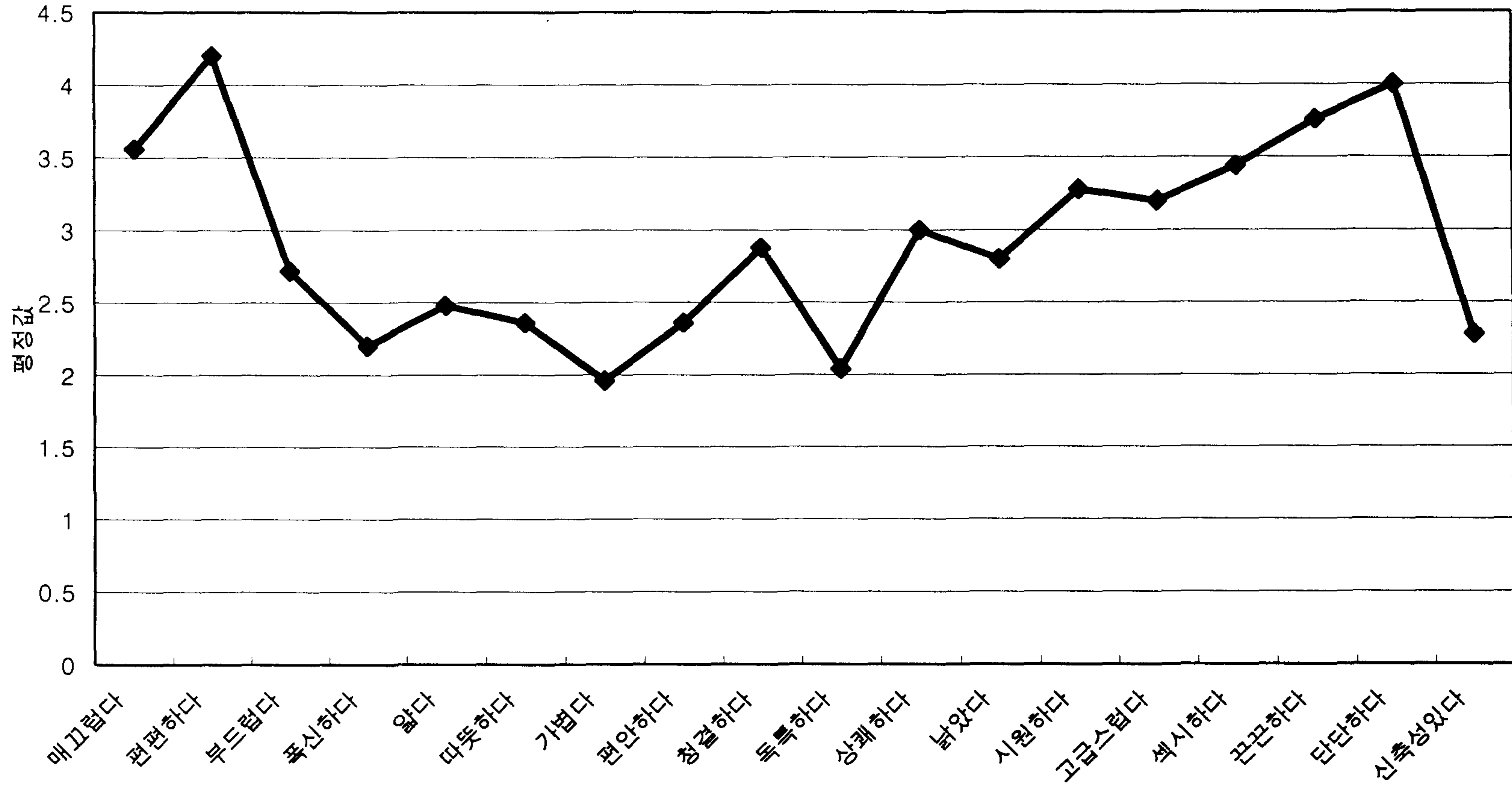
직물15-레이온/속치마



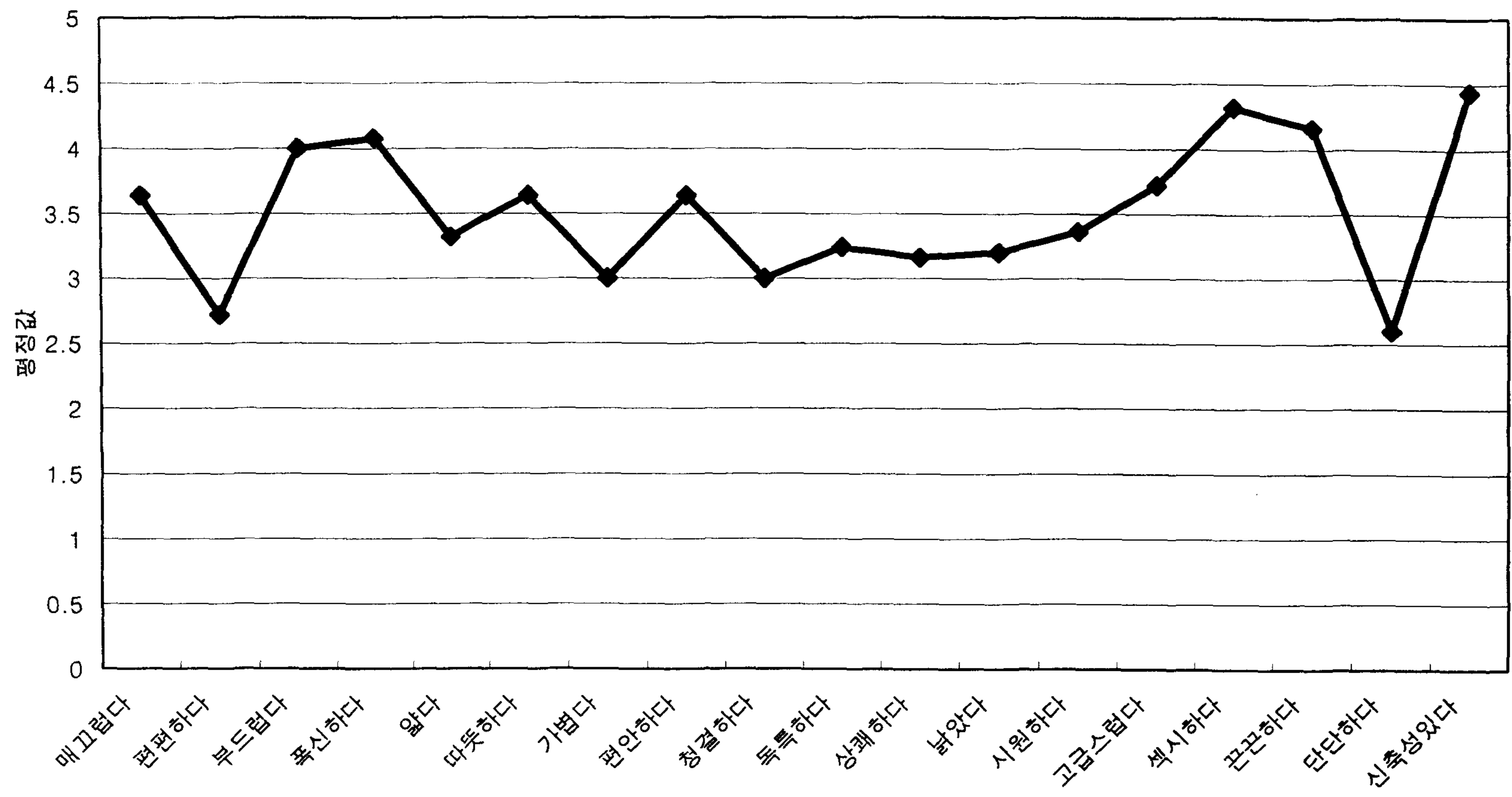
직물16-레이온/속치마



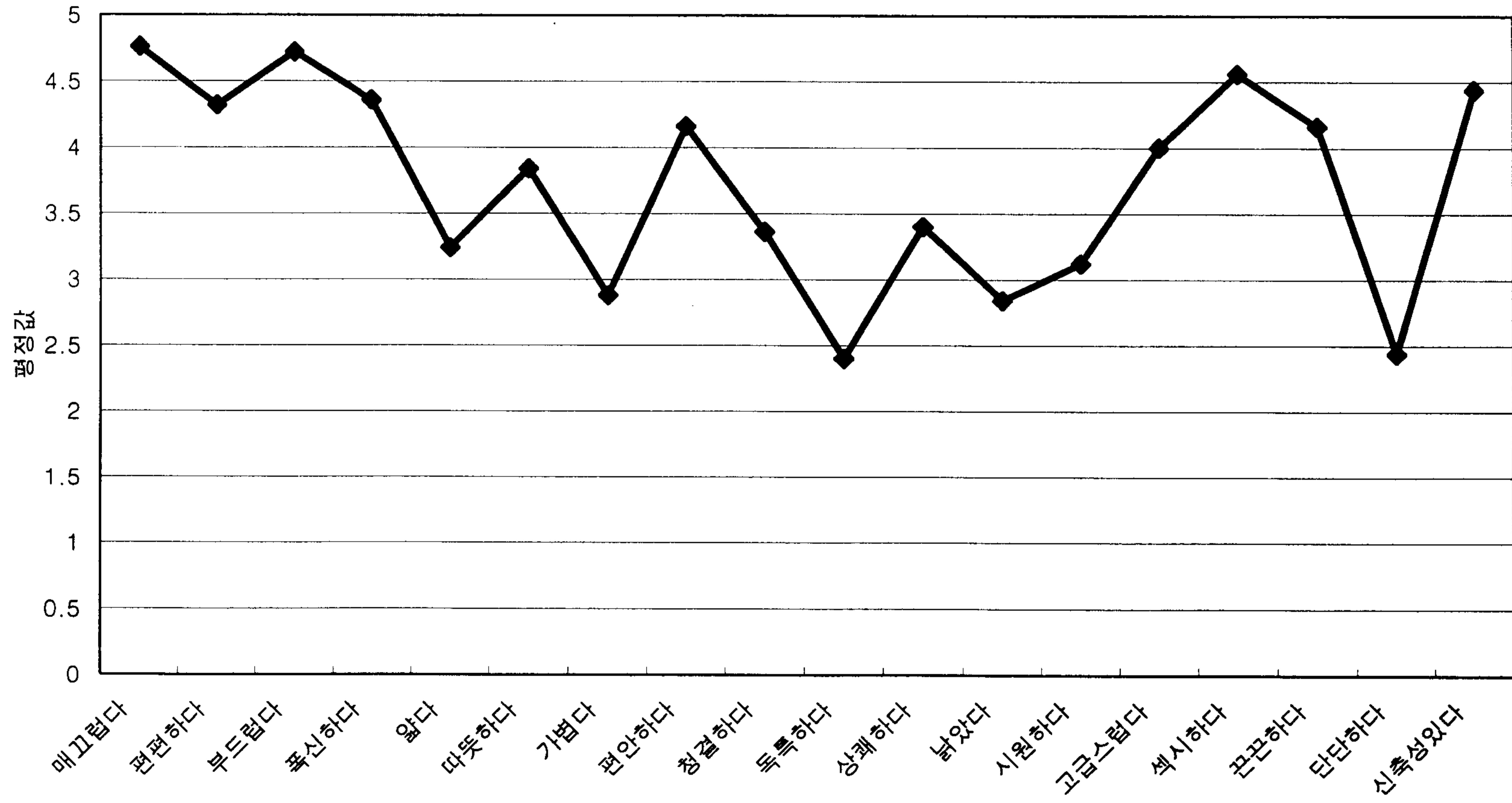
직물17-면/망사러닝



직물18-면/아동잠옷



직물19-면/모시메리



여 백

'97특정연구개발사업
위탁연구보고서

촉각/질감 감성요소와 역학적 촉정값과의 상관관계 연구

Correlation between the Human Touch Feeling and
Mechanical Characteristics of Surface

위탁연구기관 : 경희대학교

한국표준과학연구원

여 백

여 백

요 약 문

I. 제목

촉각/질감 감성요소와 역학적 측정값과의 상관관계연구

II. 연구 개발의 목적 및 필요성

인간의 감각은 눈, 귀, 피부, 코, 혀를 통해서 종합적으로 이루어지고 있으며 희, 로, 애, 락의 감정을 유발하는 것이다. 이와 같은 정신적인 변화를 유발시키는 요인의 분석은 일상제품의 개발에 응용되는 감성공학의 한 부분이다.

최근, 풍요로운 사회로의 변화로 인하여 제품의 질과 느낌을 중요시하는 고부가가치의 상품의 개발은 필수적이다. 대부분의 제품은 손으로 만져서 사용되며 느끼게 되고, 의복의 경우에는 피부에 계속 접촉한 상태에서 제품의 기능을 유지하고 있다. 이와 같이 손과 피부에서 느끼는 감각인 촉감과 시각적인 요인이 포함되며 감성적인 개념의 질감을 연구하는 것은 제품의 고부가가치화에 반드시 필요한 분야이다.

피부의 감각을 연구하는 분야는 대부분 의학, 심리학, 생리학으로서 제품의 응용이 가능한 질감에 대한 개념을 갖고 연구하는 경우가 필요하게 되었다. 그러므로 감성의 공학적인 응용이 가능하도록 촉감/질감의 객관적인 평가 방법을 연구하고 이에 따르는 주관적 감성 표현에 대해서 조사하였다.

피부의 표면에서 느낌을 갖도록 하는 역학적인 값들을 측정하며, 감성표현과의 상관관계를 연구하게 되면 제품의 개발에 객관적인 정보를 부여하여 고부가가치를 형성하게 되는데 반드시 필요한 분야이다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 촉감/질감 표현의 형용사 조사

직물에 대한 촉감을 표현하는 200개의 형용사를 추출하여, 표면의 특성과 관계되는 90개의 표현형용사를 설문지를 통하여 선정하였다. 선정된 형용사를 요인분석 방법으로 상호 상관 관계를 정리하여 아래와 같이 6쌍의 대표 형용사를 구하였다.

매끄럽다	꺼끌꺼끌하다
편편하다	우둘우둘하다
부드럽다	뻗뻗하다
폭신하다	딱딱하다
얇다	두껍다
따뜻하다	차갑다

○ 대표직물의 선정

전문가들이 직접 직물을 만져 촉감을 느낀 후 위 형용사의 대표직물 35개를 선정하여 각 형용사에 상응하는 촉감 정도를 7점 척도에 의해 조사하였다.

○ 질감 측정 장치의 구성

인간이 손으로 느끼는 질감은 피부와 표면사이의 요철정도, 움직임 때의 마찰력, 방향성, 온도변화, 진동 등의 여러 요인이 작용한다. 그러므로 객관적인 질감의 측정을 위해 손가락 끝의 표면과 같은 contact prober를 직물표면 위를 이동시키면서 마찰력을 3축 Load-cell 이 감지하도록 측정장치를 구성하였다. Load-cell로 나오는 signal을 해석하여 마찰력의 평균값과 표준편차를 구하였다.

○ 질감해석

실험에 의해서 얻어진 마찰력의 평균값과 표준편차와 직물표면의 상태,표현되는 질감 형용사 값을 종합하여 객관적인 해석을 통하여 질감을 정량화 하였다.

○ 질감 표현과 손끝의 문지르는 압력 변화

인간의 물리적인 값은 LOG를 취한 값이 가장 감각과 유사하다는 것을 밝혀낸 Steven's Law에 따라 압력의 평균값과 표준편차를 LOG를 취해 상관관계를 조사하였다. 여름용 직물은 표준편차가 가와바타의 T.H.V와 반비례의 상관을 이루고 있었고 여름용으로서 불확실한 것은 손끝의 압력의 변화 많고 질감의 인식을 위하여 압력을 증가시켰음을 알 수 있었다. 또한 겨울용 직물은 평균값과 T.H.V와 상관이 반비례함을 알 수 있었다. 겨울용에 가까울수록 손끝의 압력은 작게 가해지고 있었다.

○ 손끝의 동적 점탄성 반응

접촉이론을 바탕으로 손끝의 접촉 반응에 대한 모델을 만들었으며 실험장치를 구성하였다. 실험을 통해 측정된 값을 이론 식과 비교하여 유사한 결과를 얻었다. 약 2 초까지는 누를 때 곡률 반경이 작을수록 압축 변위에 따라 힘의 변화가 작으나 그 후부터는 더 급격하게 힘이 증가하였다. 또한 손끝은 접촉면의 상태에 따라 반응하는 것이 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

IV. 연구 개발 결과

한국인의 질감에 대한 형용사를 200여개 수집하여 분류를 하였으며 요인 분석을 통하여 6쌍의 대표형용사를 구하였다. 질감 측정장치의 구성을 통하여 질감은 Contact prober와 표면사이의 마찰력의 평균값과 표준편차에 따라 표현 가능함을 발견하였다. 상반되는 형용사(매끄럽기-결끄럽기)의 대표직물의 표면의 특성을 측정한 결과 매끄럽게 느낄수록 마찰력의 평균값은 증가하고 표준편차 값은 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 특히, 누르는 압력의 변화, 이동속도에 따르는 결과 값도 질감의 표현에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 손끝을 누르는 probe는 곡률 반경이 작을수록 압축 변위에 따라 힘의 변화가 작으나 그 후부터는 더 급격하게 힘이 증가하였다. 손끝은 접촉면의 상태에 따라 반응하는 것이 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

직물을 문지를 때 손가락의 압력과 감성형용사 그리고 THV와 비교를 하였다. 여름용 직물이 폭신할수록 부드러울수록 압력은 더 가해지고 딱딱할수록 거칠수록 덜 가해짐을 알 수 있다. 즉 인간은 겨울용 직물을 만질 때 여름용 직물보다 압력은 더 가해짐을 알 수 있다.

V. 연구 개발 결과의 활용계획

제품의 품질을 많은 요소 중에서 촉감/질감에 의한 고부가가치의 상품개발에 응용할 수 있다. 섬유, 의류, 종이, 자동차, 플라스틱, 페인트, 등의 산업분야에서 인간의 좋은 감성을 유발시키는 표면의 형태를 설계에 응용하게 하면 새로운 개념의 제품 생산이 가능할 것으로 판단된다. 특히, 이와 같은 객관적

인 질감의 표현과 제시 기술은 제품의 표면을 모사하여 제품의 생산이 전에 설계단계에서 미리 인간감성을 예측하는 시스템의 구축에 응용할 계획이다. 접촉할 때 손끝에서 나타나는 반응을 측정하여 촉각에 대한 감성요소를 미리 예측할 수 있으며 이와 같은 연구는 신체와 접촉하는 대상체의 질감을 느끼는 객관화된 지표를 마련할 수 있고 손끝의 점탄성을 측정하는데 응용할 것이며 섬유의 점탄성을 측정하여 손끝과의 상관관계를 찾는 데 응용할 것으로 기대된다.

목 차

제 1 장 서 론	253
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	256
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	258
제 1 절 질감 표현 형용사 및 질물의 선정	258
제 2 절 직물의 물리량 선정	272
제 3 절 표면 특성 측정 장치	274
제 4 절 대표 형용사와 표면 특성 값과의 상관관계 해석	291
제 5 절 손끝의 동적 점탄성 반응	315
제 6 절 질감 표현과 손끝의 문지르는 압력변화	337
제 7 절 토론	352
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도	357
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	360
제 6 장 참고문헌	362

여 백

제 1장 서론

산업혁명 이후, 현대사회는 문명의 발전과 급속한 기술의 발달로 대량생산의 산업구조를 이루어왔다. 하지만 인간의 가치관이 양에서 질로, 물질에서 정신으로 변화하고 있는 현 사회에서 대량생산에 의한 기능만을 추구한 제품으로는 더 이상 소비자의 욕구를 충족시키지 못하게 되었고, 더욱이 현재와 미래사회에서는 사용자에게 마음의 여유를 주는 새로운 요소를 갖춘 고부가가치의 제품들만이 소비자들의 욕구를 충족시킬 수 있게 될 것이다. 즉 제품에서 인간이 느끼는 감성을 충분히 만족시킬 수 있는 설계가 반드시 필요한 요소가 되었고, 이런 감성적 만족을 추구하기 위해서는 시각, 청각, 미각, 후각, 촉각 등의 인간의 감각을 의, 식, 주뿐만 아니라 가전제품, 자동차, 비행기 등 산업 전반에 응용되어야 한다.

인간의 여러 가지 감각 중에서 질감은 손이나 피부에 직접 접촉할 때 느끼는 감각이며, 이 때에 생기는 온도, 압력, 마찰, 습도 등이 종합되어 인간이 질감을 느끼게 되는 기준이 된다. 따라서 제품의 품질을 결정할 때, 기능이나 내구성, 외관 이외에 직접 사용할 때 손이나 피부로 접촉하게 되는 촉감이 일차적인 기준이 되는 것이다.

일반적으로 인간이 질감을 느낄 때 표현하게되는 형태는 형용사적인 어휘로써 나타내어지며, 이때 매끄럽다(smooth), 부드럽다(soft), 딱딱하다(hard), 뻣뻣하다(stiff), 따뜻하다(warm)등이 있으며, 이런 어휘들을 이용하여 감정의 느낌과 표현을 객관화된 정량 값으로 표현할 수 있고, 이를 태(hand)라고 하며, 의류, 자동차, 종이, 플라스틱, 유리등의 표면 질감 특성에 응용한다면, 산업분야에서도 제품의 디자인 단계에서부터 미리 소비자의 느낌을 예측할 수 있으므로 매우 중요한 연구가 될 것이다.

질감 표현 어휘들의 정량화된 값을 얻기 위하여 인간이 질감을 표현할 때 대표적으로 나타내어질 수 있는 형용사들을 조사하여 그 표현에 적합한 질감을 가진 물질을 찾아야 할 것이며, 본 연구에서는 일차적으로 질감에 관련된 물질을 직물로서 정의하고 이와 관련된 대표 형용사와 대표 직물을 선정하여 질감에 적합한 감성적 느낌을 객관적으로 정립하였다.

먼저 대표형용사와 직물을 선정한 후, 설문조사를 실시하여 질감의 느낌을 SD(Semantic Differential)법에 의한 7점 척도로 나타내도록 하였다. 이로써 직물이 가지는 질감을 인간의 감각으로써 결정한 감성 데이터를 가질 수 있었고, 이 데이터를 기준으로 직물의 물리적 성질과 역학적 성질을 조사할 수 있었다.

직물의 역학적 성질을 조사하기 위하여, 표면 특성 측정장치를 제작하여, 직물의 마찰력을 측정하도록 하였다. 표면과 접촉하는 부위는 무엇보다도 인간의 손과 유사한 재질을 이용하여, 인간이 촉감을 느낄 때 주어지는 여러 조건을 갖추도록 하였으며, 인간의 손이 누르는 순간의 압력과 방향성, 그리고 표면의 마찰정도가 유사하다고 판단되는 Silicon 재질의 접촉자(contact prober)를 손가락의 접촉면과 유사한 반구형태로써 제작하여 실험에 임하였다. 이 때 직물표면을 감지하는 인간의 손동작을 경사, 위사, 45° bias 방향, 그리고 회전을 하는 경우로써 지정하였으며, 본 연구에서는 직물의 표면과 관련된 질감 측정을 목적으로 하였으므로 직물을 손으로 잡으면서 감지하는 경우는 제외시켰다.

직물의 질감을 표현하는 대표형용사와 직물을 선정하여 직물에 따른 각각의 실험 Data 들을 종합하여 비교해 보았으며, 설문조사에서 각 대표직물에 대한 질감의 정도를 형용사로서 표현한 감성 Data를 구하였다. 본 연구의 표면 특성 측정장치에서 얻어진 실험 Data와 형용사, 그리고 물리적 성질들과

의 상관관계를 Fuzzy Membership Function을 이용하여 분석하고 비교하였다.

본 논문에서는 시간과 비용의 문제로 인하여 설문조사에 이용된 응답자들을 섬유 전공 학부생 및 대학원생들을 이용하였으며, 이들의 비 전문성과 신중함의 결여가 정확한 질감 표현 정도의 신뢰성에 어느 정도는 무리일 수 있으며, 공간적인 제약성으로 인하여 응답자 인원에 제약이 있었다. 차후의 연구에서는 이들의 전문성과 신중함을 확보하고 많은 응답자에게 설문조사를 실시한다면, 좀 더 정확하고 신뢰할 수 있는 형용사 정보들을 확보할 수 있으며 이들로부터 한국인의 질감 표현 정도를 형용사로서 표현한 객관적인 표준데이터도 확보할 수 있으리라 생각된다. 이제까지 섬유 생산업체들이 한국어로 된 질감 표현 형용사를 가지지 못하고, 일본에서 조사된 후꾸라미, 코쉬, 누메리등 일본인의 정서를 표현한 형용사를 질감을 표현하는데 이용하고 있고, 이는 대한민국의 섬유 산업이 세계로 진출하는데 있어 뒤지고 있는 점이며, 본 연구는 한국인의 질감 표현 대표 형용사를 정리하고, 직물의 물리적, 역학적 성질로서 질감을 예측하여 섬유산업이 가지고 있는 여러 가지 문제점과 미래의 발전방향의 한 부분으로써 질감에 관계된 직물 연구에 응용할 수 있는 첫 발을 내딛고자 하였다.

제 2 장 국내·외 기술 개발 현황

감성공학에 대한 연구는 심리학, 인간공학, 산업공학, 디자인 등 여러 학문 분야에서 진행되어 왔다. 특히 촉감/질감에 대한 연구는 섬유공학 분야에서 항상 인간이 피부에 접촉되고 있는 의류의 표면과 역학적, 물리적 특성을 연구함으로써 구체적으로 이루어져왔다. 교토대학의 Kwabata 교수를 중심으로 나라여자대학의 Niwa교수, 섬유회사, 어패럴 회사 등이 1968년부터 직물의 역학적 성질, 표면의 상태가 인간의 촉감/질감을 결정한다는 가정 하에 태(hand)를 연구하기 시작하였다. 즉 인간의 느낌을 여러 감성요소로 나누어 이를 표면의 계측 값과 상관관계를 구함으로서 Hand Value를 0에서 10까지 나누어 객관화시키며 종합적인 Total Hand Value(THV)값을 0에서 5로 평가하는 작업을 하였다. 이와 같은 연구는 호주 New south wales 대학의 Postle 교수, 미국 MIT대학의 Backer 교수가 함께 참여하였다. 한편 Kwabata 교수는 객관적인 측정값을 세계가 공통으로 얻기 위해서 고정밀 측정장치를 함께 개발하였다. 섬유에서의 THV값은 직물의 인장, 압축, 굽힘, 표면 마찰계수, 거칠기를 일정한 방법으로 측정하여 얻을 수 있으며 이 값은 인간이 느끼는 질감과 매우 유사함을 보여주고 있다.

한편 로봇 공학에서 로봇 손이 느끼는 압력과 질감의 느낌을 얻기 위해서 미소 힘, 압력, 토크, 변위 측정장치 등이 개발되어 산업용으로 일부 사용되고 있으나 직접 제품의 품질을 평가하여 촉감/질감을 정의하며 이를 제품의 디자인 및 평가에 응용은 거의 하고 있지 않다. 단지 초소형의 측정 센서의 개발단계에 있으며 특히 감성요소와의 상관관계를 연구한 예는 보고되고 있지 않다. 경희대학교 섬유공학과에서는 그 동안 감성공학, 어패럴 공학을 대학원 및 학부에서 강좌를 열어 강의하고 있으며 인체의 3차원계측, 촉각측

정 등에 많은 관심을 갖고 연구하고 있다. 더욱이 섬유공정해석을 위한 힘, 토크 측정기술 뿐 아니라 진도, 회전을 측정하는 기술을 보유하고 있으며 Dynamic Signal Processing, Image Processing 등을 이용한 연구가 진행되고 있다. 이와 같이 섬유공학 분야에서의 연구는 대상이 섬유에 한정되어 있어 제품의 질감을 객관적으로 표현하는 방법으로는 부적절하며 특성만을 파악할 뿐이며 개발에 응용되는 결과의 추측에는 어려움이 따른다. 그리고 로봇공학에서의 연구는 현재 질감의 객관화, 제품의 생산에 응용을 목표로 진행하지 않고 의사가 수술기구를 집어 인체의 일부를 만져본 후 수술을 진행하는 대신 로봇 센서와 수술기구를 통하여 제거 부위를 느끼고 수술을 시행하는 방법을 개발하고 있다. 그러나 본 연구는 객관화된 질감을 제시하는 방법을 연구하고 더 나아가 인간의 느낌, 감성을 예측할 수 있는 Simulation Software의 개발가능성이 주어지는 연구이다. 그리고 인간의 감성을 유발시켜주며, 외부 감각을 통해서 만족감을 주는 제품의 표면개발에 목표를 하고 있으므로 새로운 개념의 연구개발을 추진하고 있다

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 질감 표현 형용사 및 직물의 선정

1. 질감 표현 형용사 조사

직물의 질감을 표현하는 형용사를 조사해보기 위해 국어사전과 관련 문헌 자료를 조사하였다. 형용사에는 감각을 나타내는 어휘와 감성을 나타내는 어휘로 구분이 되는데, 감각어휘란 자극의 속성이나 강도의 변화로 인해 나타나는 일차적인 감각의 질이나 상태를 기술하는 어휘로써 물리적으로 조작이나 측정이 가능한 형태이며, 이들 감각의 차원은 긴장-이완의 1차원, 활동-비활동의 2차원, 쾌-불쾌의 3차원으로 나누어 부드러움, 단단함, 끈끈함, 거침의 4가지 요소로 나눌 수 있다. 또한 감성어휘란 일차적 감각에 대한 주관적인 해석을 통해 발생하는 심리적인 상태를 기술하는 어휘를 나타내며, 감성 차원은 쾌-불쾌의 1차원, 흥분-침잠의 2차원, 안전-위험의 3차원으로 나누어 편안함, 청결감, 독특성, 상쾌감, 불쾌감, 불결감, 낯음, 평범함, 시원함, 고급감, 섹시함 등의 11가지 요소로 나눌 수 있음을 알게 되었다. 이 조사 결과, 본 연구에서 직물의 질감에 대한 형용사로써는 인간의 느낌을 심리적인 상태로 표현하는 감성어휘는 적절하지 않음을 판단할 수 있게 되었고, 사전 조사와 관련 자료 조사의 결과 감성어휘를 제외한 직물의 질감과 관련된 감각어휘와 촉감을 표현하는 형용사로서 약 200여개의 어휘로 정리하였다.

Table. 3.1.1에서 보는 바와 같이 직물에 대한 지식과 관심이 높은 섬유공학과 의상학 전공 대학생, 대학원생들과, 어휘에 대한 지식이 상대적으로 뛰

어난 국어국문학 전공 대학생들을 대상으로 직물을 직접 만져보게 하여 촉감에 대한 형용사들을 자유 기술형 질문지에 서술하도록 하였다. 앞서 수집한 200여개의 형용사와 일치하는 어휘를 조사한 결과 직물의 촉감을 표현하는 형용사 90여개를 선정하였는데, 물론 이 조사에서도 앞의 문헌 조사와 마찬가지로 중복이 되는 형용사들이 많았으며, 일반적으로 생각할 때에도 유사한 의미를 담고 있는 어휘들이 많았다. 결국 본 연구에서는 중복이 되고 유사한 의미의 형용사들을 가장 간략하게 축약해서 직물의 질감을 대표하는 몇 개의 대표 형용사들로 분류를 하는 것이 우선 과제였다. 그러므로 이들 형용사들로 구성된 질문서를 작성하였는데 이 질문서는 선다형(Likert 척도형)으로 만들었으며, 제시된 형용사가 직물의 질감을 표현하는 형용사로서 적절한가하는 정도를 7점 척도 즉 의미미분법(Sementic Deferential)으로 평가하도록 하였다. 여기서 의미미분법이란 통상적인 설문조사에서 응답자가 설문에 적절하다고 판단되는 답을 1점에서 7점까지의 점수로써 불확실한 응답을 할 수밖에 없는 경우 이를 수치화 하여 응답에 공정성과 주관성을 표현한 형식이다.

Table 3.1.1 Characteristics of Subjects

항목		Number	백분율%
성별	남	198	47.25
	여	221	52.75
연령	20~25	353	84.25
	26~32	66	15.75
전공	섬유공학	50	11.94
	의상학	208	49.64
	국문학	161	38.42
합계		419	100.0

2. Fabric Sample의 선정 내용

본 논문에 이용될 대표 직물을 선정하기 위하여 의류용으로 시판된 직물 견본 중 표면 상태가 서로 다른 느낌을 가지고 있다고 판단되는 여러 직물들을 수집하였다. 직물의 색은 고려치 않았고, 주로 표면의 거친 정도와 부드러운 정도를 관찰하였다. 또한 대부분의 사람들이 직물의 질감을 평가할 때 기준으로 하는 요소들은 직물의 표면과 두께, 폭신한 정도, 또는 직물이 가지고 있는 고유의 온도 등이 있는데 본 연구에서는 직물의 표면에만 관련된 질감 표현 형용사와 요소들이 필요하므로, 주로 직물의 표면을 만져보아 서로 다른 느낌을 가지고 있다고 판단되는 직물들을 선택하였다.

20가지로 선택되어진 대표직물을, 위에서 작성하였던 의미미분형 설문서로 설문조사를 실시하였다. 직물을 상자 속에 넣고 응답자가 손을 넣어 직물의 표면을 가로, 세로, bias 방향, 회전 방향등 여러 가지 방향으로 스치듯이 만져보도록 제시하여 그 직물의 촉감을 8가지 요인으로 구분된 4쌍의 질감표현 어휘에서 7점 척도로써 표현하게 하였으며, 직물을 상자 속에 넣어 제시한 이유는 응답자가 직물을 보면서 응답을 하였을 때 색이나 무늬 또는 외관 등의 선입관이 촉감에 미칠 수 있는 영향을 배제하기 위해서였다. 직물 표면의 가로, 세로 방향이란 직물을 제작하였을 때 서로 수직으로 배열된 경사, 위사를 말하는 것으로써 일렬로 늘어진 경사에 위사가 투입되어 직물의 형태를 이루는데 이때 투입되는 실의 재질과 직물의 편성 형태으로써 여러 가지 질감을 표현하게 된다.

본 조사의 설문서에는 의상학 전공 4학년 재학생과 대학원생 및 교·강사진으로 구성된 47명이 응답하였으며, 촉감의 성별차이가 확인되지 않았기 때문에 여성 응답자에 국한시켰다. 또한 각각의 직물에 대한 설문조사 결과 각 요인의 평균값을 구했으며, 35가지 대표 직물에 해당하는 질감을 표현한 주

관적인 판단 자료를 작성할 수 있었다.

설문조사 결과 “부드럽기”, “두께감”, “유연감” 등의 요인은 마찰동작만으로는 판단하기 어렵다는 것을 알 수 있었고, 응답자중에는 표면을 손가락으로 만져본 후 응답한 경우도 있었다. 또한 직물의 직조상태를 고려하지 않았으며, 마찰방향이 다를 때마다 촉감의 평가가 차이가 날 수도 있음을 알았다.

3. 요인 분석에 의한 형용사 분류

2절의 조사에서 채택된 총 90 문항 중에서 빈도 분석과 평균, 표준 편차를 구해 중복되거나 요인분석을 통해 변별력이 낮은 64문항은 제외되었는데, 이는 Table. 3.1.2와 3.1.3에서 보는 바와 같이 빈도 분석과 평균, 표준 편차를 구하여 추출한 30개의 형용사를 SAS 통계 program으로 요인 분석을 실시한 후, 이 중 요인 적재량(factor loading)-각 변수와 요인간의 상관관계 정도를 나타내며 각 변수들은 요인적재량이 가장 높은 요인에 속하게 된다. 또한 변수와 요인간의 상관관계를 나타내므로 상관관계 검정을 통해 변수의 유의성을 체크할 수 있다.-이 낮은 4문항을 제외한 총 26개의 문항이 최종적으로 채택된 결과이다. 또한 최초의 해를 보다 명확히 하기 위하여 요인의 회전이 있게 되는데 이는 변수들이 여러 요인에 비슷하게 요인 적재량을 나타낼 경우 변수들을 각 요인에 분류하기가 힘들므로 변수들을 어느 한 요인에 쏠리도록 요인을 회전시키는데 본 연구에서는 각 형용사들과의 관계가 완전히 독립적인 경우가 아니었으므로 회전 시에 직각을 유지하지 않는 비직각(Oblique)방식을 적용하였다. 그 결과 총 26개의 어휘를 요인 12가지로 구조를 파악할 수 있었다.

여기서 요인 분석(Factor Analysis)이란 다수의 변수들간의 상관관계

(interdependence)를 기초로 많은 변수들 속에 내재하는 체계적인 구조를 발견하려는 기법으로써 이를 통해, 변수의 형태로 주어진 많은 정보를 쉽고 간단하게 보다 적은 수의 요인으로 제시해주는 분석 방법이다.

Table 3.1.2 Frequencies of Appropriate Adjectives for Touch Feeling N(%)

번호	내용	Mean	S. D.
1	거칠다	4.89	1.57
2	거칠거칠	5.38	1.33
7	까슬까슬	5.08	1.42
8	까칠까칠	5.53	1.18
9	까글까글	5.01	1.63
23	도독하다	4.09	1.58
24	도툼하다	4.71	1.49
25	따뜻하다	4.28	1.91
26	두껍다	4.89	1.63
27	도톨하다	5.04	1.49
29	따갑다	4.85	1.59
30	딱딱하다	4.45	1.78
36	만질만질	4.94	1.49
40	매끄럽다	5.65	1.34
41	매끈하다	4.98	1.65
49	보드랍다	5.97	1.22
50	보들보들	5.58	1.22
53	보송보송	4.93	1.13
56	빠닥빠닥	4.33	1.70
61	솜털같다	5.06	1.68
62	우툴우툴	5.44	1.44
64	얇다	4.98	1.83
65	야들야들	4.58	1.81
68	올록볼록	4.86	1.43
72	쫄글쫄글	4.55	1.49
75	차갑다	4.05	1.53
78	팽팽하다	4.18	1.37
84	포근하다	4.66	1.60
85	폭신하다	5.16	1.53
87	하늘하늘	4.61	1.59

Table 3.1.3 Mean and Standard Deviation of the Selected Adjectives

(N=179)

번호	내용	매우부적절 1	2	3	보통이다 4	5	6	매우적절 7
1	거칠다	0(0.0)	17(9.6)	22(12.4)	33(18.5)	25(14.0)	53(29.8)	28(15.7)
2	거칠거칠	3(1.7)	3(1.7)	11(6.2)	24(13.6)	31(17.5)	74(41.8)	31(17.5)
7	까슬까슬	4(2.2)	7(3.9)	10(5.6)	34(19.1)	43(24.2)	53(29.8)	27(15.2)
8	까칠까칠	0(0.0)	4(2.2)	6(3.4)	23(12.8)	41(22.9)	69(38.5)	36(20.1)
9	까글까글	5(2.8)	15(8.4)	14(7.8)	24(13.4)	35(19.6)	54(30.2)	32(17.9)
23	도둑하다	11(6.1)	17(9.5)	38(21.2)	39(21.8)	41(22.9)	19(10.6)	14(7.8)
24	도툼하다	3(1.7)	9(5.0)	30(16.8)	35(19.6)	41(22.9)	39(21.8)	22(12.3)
25	따뜻하다	10(5.6)	36(20.1)	22(12.3)	25(14.0)	25(14.0)	33(18.4)	28(15.6)
26	두껍다	6(3.4)	10(5.6)	8(10.1)	40(22.3)	27(15.1)	45(25.1)	33(18.4)
27	도톨하다	2(1.1)	14(7.8)	11(6.1)	35(19.6)	26(14.5)	68(38.0)	23(12.8)
29	따갑다	5(2.8)	11(6.2)	17(9.6)	41(23.0)	34(19.1)	38(21.3)	32(18.0)
30	딱딱하다	13(7.3)	14(7.9)	25(14.1)	39(22.0)	28(15.8)	31(17.5)	27(15.3)
36	만질만질	5(2.8)	7(3.9)	16(8.9)	29(16.2)	64(35.8)	24(13.4)	34(19.0)
40	매끄럽다	2(1.1)	3(1.7)	10(5.6)	16(9.0)	34(19.2)	56(31.6)	56(31.6)
41	매끈하다	7(3.9)	11(6.1)	15(8.4)	24(13.4)	49(27.4)	34(19.0)	39(21.8)
49	보드랍다	2(1.1)	2(1.1)	2(1.1)	16(8.9)	26(14.5)	54(30.2)	77(43.0)
50	보들보들	6(3.4)	4(2.2)	5(2.8)	21(11.7)	36(20.1)	44(24.6)	63(35.2)
53	보송보송	6(3.4)	6(3.4)	21(11.7)	31(17.3)	46(25.7)	41(22.9)	28(15.6)
56	빠닥빠닥	17(9.7)	12(6.8)	17(9.7)	43(24.4)	41(23.3)	29(16.5)	17(9.7)
61	숨털같다	7(3.9)	14(7.8)	7(3.9)	30(16.8)	39(21.8)	40(22.3)	42(23.5)
62	우툴우툴	4(2.2)	3(1.7)	13(7.3)	19(10.6)	40(22.3)	51(28.5)	49(27.4)
64	얇다	10(5.6)	13(7.3)	19(10.7)	19(10.7)	31(17.4)	40(22.5)	46(25.8)
65	야들야들	15(8.4)	9(5.1)	29(16.3)	25(14.0)	35(19.7)	35(19.7)	30(16.9)
68	올록볼록	5(2.8)	7(4.0)	18(10.2)	30(16.9)	54(30.5)	43(24.3)	20(11.3)
72	쫄글쫄글	1(0.6)	17(9.5)	28(15.6)	41(22.9)	39(21.8)	34(19.0)	19(10.6)
75	차갑다	28(15.6)	24(13.4)	17(9.5)	32(17.9)	25(14.0)	26(14.5)	27(15.1)
78	팽팽하다	6(3.4)	15(8.4)	34(19.0)	60(33.5)	30(16.8)	29(16.2)	5(2.8)
84	포근하다	6(3.4)	12(6.7)	23(12.8)	44(24.6)	29(16.2)	40(22.3)	25(14.0)
85	폭신하다	6(3.4)	7(3.9)	9(5.0)	32(17.9)	38(21.2)	50(27.9)	37(20.7)
87	하늘하늘	3(1.7)	16(8.9)	31(17.3)	33(18.4)	34(19.0)	39(21.8)	23(12.8)

본 논문에서는 변수의 형태로써 존재하는 많은 수의 형용사들을 그 어휘들 간의 공통적인 개념을 조사하여 직물의 질감을 표현하는 몇 개의 대표 요인으로 축약해내기 위하여 분석을 실시하게 되었다. 요인(factor)이란 기본적으로 변수들간의 선형결합으로써

$$F_i = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots\dots\dots + a_nX_n \quad (3.1.1)$$

(F_i : i 번째요인 a : 계수 X : 변수 n : 변수와계수)

식 2.1과 같이 둘 수 있으며, 이러한 방법을 통해 수많은 변수들을 가능한 한 적은 수의 요인으로 분류하려는 것으로, 예를 들어 7개의 변수가 몇 가지 요인으로 분류된 경우를 제시해 보면,

$$\begin{array}{l} F_1 = a_1X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_5 \quad X_6 \quad X_7 \\ F_2 = \quad \quad a_2X_2 + a_3X_3 \quad + a_4X_4 + a_5X_5 \quad + a_6X_6 \\ F_3 = \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad a_7X_7 \end{array} \quad (3.1.2)$$

로서 식 2.2와 같이 주어지는데 이 때 변수 1, 4, 5는 요인 1에 의해 설명되고 변수 2, 3, 6은 요인 2에 의해 설명되도록 되어있으며, 변수 7은 요인 1, 2에 설명되지 않는 다른 하나의 요인 7에 의해 설명되도록 분리되어있다. 이런 과정을 좀 더 체계적으로 설명하기 위해 요인분석의 전체적인 흐름을 Fig 3.1.1에서 보였다. 여기서 R-type과 Q-type이란 요인분석을 실시하여 그 관계를 알려는 대상이 변수인가 혹은 표본인가에 따른 분류이다. 즉 변수들간의 상관관계를 이용하여 변수들을 요인으로 분류하는 경우는 R-type이며, 표본들을 일정한 기준에 따라 분류하는 경우는 Q-type 요인분석이라 한다. 따라서 본 연구에서는 변수들 즉 형용사들간의 상관관계를 이용해 몇 가지 요인으로 추출해내는 것이 목표이므로 R-type 요인분석을 이용하였다. 또한 요

인 추출 모델의 선정으로는 여러 가지 방식이 있는데, 대표적으로 PCA(주요인 분석법-Principal Component Analysis)와 PFA(주축요인 분석법-Principal Axis Factor Analysis)가 있다. 이 방식들은 대칭 행렬(Symmetric Matrix)의 아이겐 구조를 찾아내는 것이 과제이며, 회전된 요인이 바로 아이겐 벡터(Eigen Vector)가 되는 것인데, 상관계수 행렬(Correlation Matrix)에서 특성방정식(Characteristic Equation)을 이용해 Eigen Value와 Eigen Vector를 구하면 이들이 각각 요인 분석의 Eigen Value와 요인이 되는 것이다. 본 논문에서는 원래의 상관관계와 요인분석후의 상관관계간의 차이를 극소화시키기 위하여 즉, 정보의 손실을 최대한 줄이면서 수많은 변수들을 가능한 한 적은 수의 요인으로 줄이기 위하여 PCA를 하였다. 결국 요인 수를 결정하기 위하여 아이겐 값을 기준으로 했는데, 여기서 아이겐 값이란 요인이 설명해 줄 수 있는 분산의 정도를 의미하고 일반적으로 아이겐 값이 1이라는 것은 변수 하나 정도의 분산을 축약하고 있다는 것이다. 즉, 적어도 각 요인이 1개 변수의 분산정도는 포함할 수 있어야 한다고 보는 것이다. 일반적으로 요인 분석을 통해 얻어지는 가능한 최대요인의 수는 변수의 수와 같다. 하지만 많은 수의 요인을 사용하게 되면 설명력은 높아지나 변수의 수가 많기 때문에 요인 분석의 의도가 소멸되며, 적은 수의 요인을 사용하면 분석은 용이하여지나 설명력은 낮아지게 된다. 따라서 적절한 요인의 수를 정하기 위한 방법으로는 가장 흔히 사용되는 아이겐 값이 1이상인 요인만을 선택하는 방법과 연구자가 직접 요인의 수를 사전에 결정하는 방법이다. 또 연구자가 요인들의 설명력의 합이 얼마 이상이어야 한다고 규정을 하고(예를 들어 60% 또는 80%) 그 설명력에 상응하는 요인을 추출하는 것이다.

그리고 스크리 테스트(Scree Test)를 사용하는 방법이 있는데, 이는 하나의 요인을 더 추가하여 얻어지는 설명력의 한계치(marginal value)가 하나의

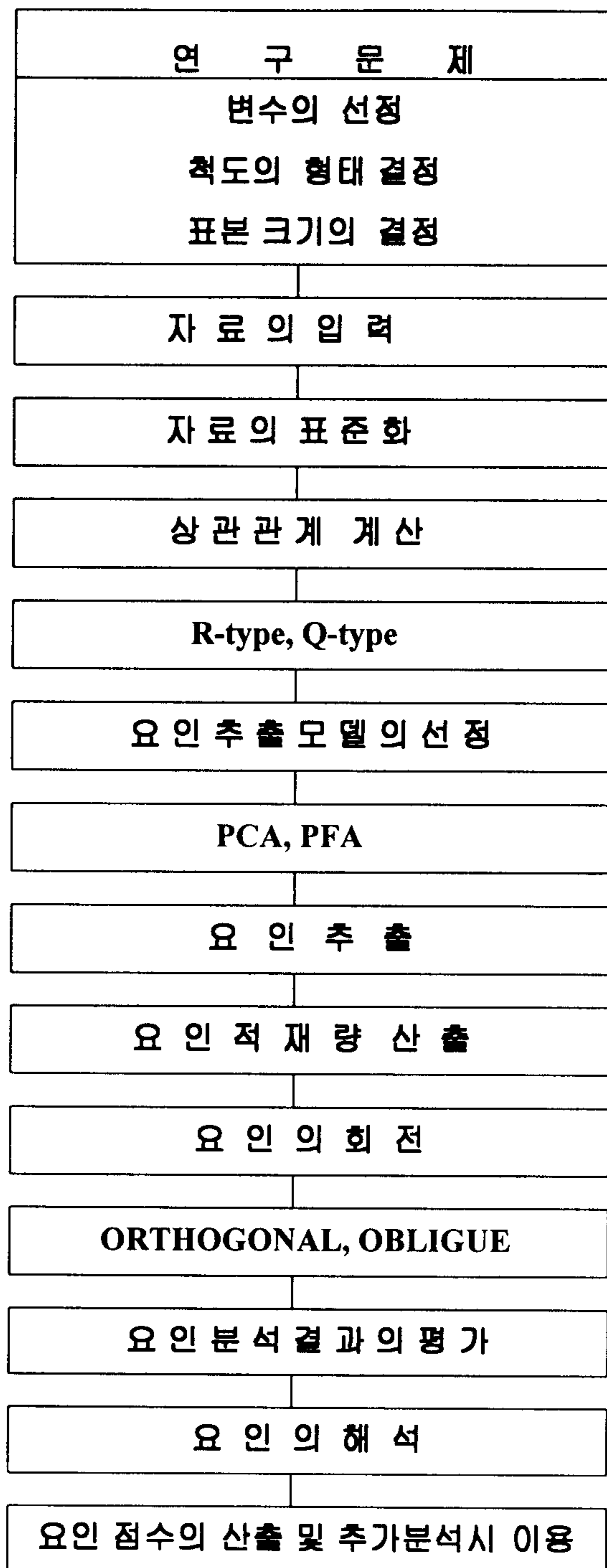


Fig. 2.1 The Flowchart of Factor Analysis

요인을 추가할 정도로 큰지를 비교하는 방법이다. 즉, Fig. 3.1.2의 스크리 테스트 결과를 보면 아이젠 값과 요인의 수를 나타내어 곡선이 팔꿈치(elbow)의 모양이 되는 곳에서 요인의 수를 결정하는 것이다. 그 결과, Eigen Value가 1.0보다 큰 요인이 9개로 나타났다. 하지만 Scree Test에서는 12개의 요인이 더욱 설득력이 있는 것으로 나타나 Table 3.1.4에서 보인 바와 같이 12개의 요인을 선택하였다. 또한 변수들을 요인으로 묶어냄에 있어서 요인간의 독립성이 다소 명확하지 않은 경우에 사용하는 비직각 회전(Oblique Rotation)을 하였으며, 직물의 질감을 표현하는 형용사를 분류하기 위해서 총 12가지의 요인으로 묶어낸 결과도 보였다. 한편 이들 12개의 요인은 그 개념을 기준으로 해서 같은 의미를 가진 요인들로 다시 분류해 본다면 6개 요인으로 분류할 수 있었다. 즉, 같은 의미를 가졌다고 판단되는 1과 10요인은 “요철감”요인으로, 2와 3, 12 요인은 “매끄럽기”요인, 4요인은 “폭신감”요인, 5와 7요인은 “두께감”요인, 6과 9, 11요인은 “유연감”요인, 8요인은 “온냉감”요인으로 분류하였다. 결국 본 연구에서 직물의 질감을 표현하는 형용사들로 분류되는 요인들은 요철감, 매끄럽기, 폭신감, 두께감, 유연감, 온냉감 6가지로 정리되었다.

위의 2절에서 선정했던 대표 직물들의 질감을 7점 척도로 평가하기 위하여 설문서를 작성하였다. 6가지로 분류된 질감 표현 형용사들의 요인들마다 각각의 대표하는 형용사들을 조사하였는데, ‘요철감’은 ‘우툴두툴하다’, ‘매끄럽기’는 ‘매끄럽다’, ‘폭신감’은 ‘폭신하다’, ‘두께감’은 ‘두껍다’, ‘유연감’은 ‘부드럽다’, ‘온냉감’은 ‘따뜻하다’로써 명명할 수 있었으며, 다시 각 형용사들마다 반대 개념으로 제시되는 형용사를 짝지었다. 즉, Table 3.1.5와 같이 4쌍의 직물의 질감을 표현하는 대표 형용사를 구하였다.

Table 3.1.5 Representative Adjectives

요인	대표형용사	
매끄럽기	매끄럽다	결끄럽다
요철감	편편하다	우들두들하다
유연감	부드럽다	뻗뻗하다
폭신감	폭신하다	딱딱하다

위에서 설명한 바와 같이 대표 형용사 쌍들로 이루어진 의미미분형 설문서를 작성한 후 다시 설문 조사를 실시하였다. 이미 채택된 35개의 대표직물을 각각의 응답자들에게 만지도록 하여 각 직물에서 느껴지는 질감을 응답자가 생각하는 형용사에 적합한 정도로써 7점 척도로 응답하도록 하였다. 이로써 본 연구에서는 각각의 35개의 대표직물에 응답자들이 답한 주관적인 직물의 형용사 느낌을 7점 척도화 할 수 있었으며 이 값들의 평균값을 구하여 각각의 직물마다 6쌍의 대표 형용사에 적합한 주관적인 질감의 판단 기준을 마련할 수 있었다. 35개의 대표 직물 질감 표현의 형용사 기준을 데이터화한 결과는 부록 3에 제시하였다.

Scree Plot of Eigenvalues

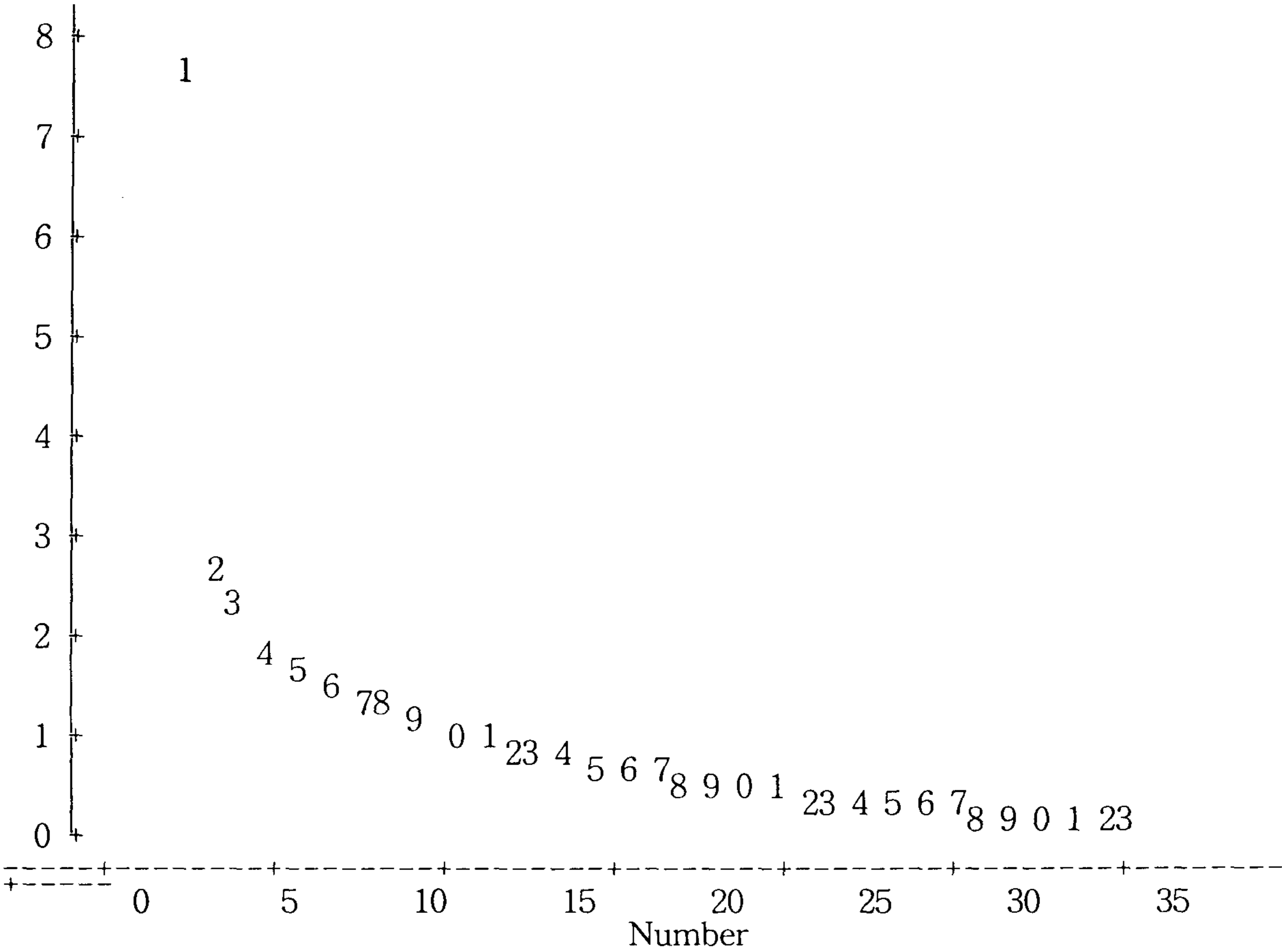


Fig. 3.1.2 The Result of Scree Test

Table 3.1.4 Properties of Selected Factor

요인명		문항	인자적재	eigen value	설명변량(%)	누적변량
요 철 감	요인1	우툴우툴하다	0.78	6.0146	29.4	23.1
		올록볼록하다	0.77			
만질만질하다		0.62				
도톨도톨하다		0.44				
요인2	쫄글쫄글하다	0.75	0.9198	4.49	72.50	
	편편하다	0.78				
매 끄 럽 기	요인3	까끌까끌하다	0.78	2.3014	11.3	31.9
		까칠까칠하다	0.71			
		까슬까슬하다	0.66			
요인4	매끄럽다	0.81	1.8758	9.17	39.20	
	매끈하다	0.74				
요인5	꺼칠꺼칠하다	0.86	0.7868	3.85	78.67	
	거칠다	0.50				
폭 신 감	요인6	폭신하다	0.86	1.5735	7.69	45.20
포근하다		0.84				
두 꺼 감	요인7	도독하다	0.88	1.4561	7.12	50.85
		도툼하다	0.66			
요인8	두텁다	0.79	1.2517	6.12	60.66	
	얇다	0.58				
유 연 감	요인9	보드랍다	0.81	1.2994	6.35	55.85
		보들보들하다	0.80			
	요인10	하늘하늘하다	0.70	1.0230	5.01	68.96
야들야들하다		0.59				
요인11	빠닥빠닥하다	0.78	0.8183	4.00	75.64	
온 냉 감	요인12	차갑다	0.80	1.1331	5.54	65.02
따뜻하다		0.79				

제 2 절 직물의 물리량 선정

1. 선정 내용

직물의 질감을 대표하는 물리적, 역학적 성질에는 많은 요소가 있지만, 본 논문에서는 가장 중요하다고 판단되는 요소들을 연구자 임의로 선정하여 측정하였으며, 측정이 비교적 용이하지 못한 요소는 배제하였다.

먼저 물리적인 성질로써 직물의 두께, 중량, 밀도를 선정하였으며, 역학적 성질로는 직물의 마찰력, 표면 거칠기, 마찰계수를 선정하여, 총 6가지의 대표 요소를 선정하였다.

1.1 두께 (mm)

가와바타 측정장치(KES-F System)의 compressional test에서 0.5 gf/cm²의 압력 하에서 구해진 두께를 이용하였으며, 단위는 mm로 정하였다. 총 20개의 직물 sample은 0.234 ~ 1.472 mm의 두께 분포를 가졌다.

1.2 중량 (mg/cm²)

직물 1 cm²당 mg을 구하여 7.425 ~ 31.475 mg/cm²의 중량 분포를 가졌다.

1.3 밀도 (wp*wf/in)

직물의 경사, 위사 방향으로 각 1 in당 올 수로써 밀도를 구하였다. 경사 방향으로는 48~176 wp/in의 분포를 보였으며, 위사방향은 40~92 wf/in를 보였다.

1.4 마찰력 (gf)

직물의 마찰력을 측정하기 위하여 제 4장에서 설명할 측정 장치를 직접 설계하여 구성하였으며, 평균값과 표준편차 값을 구하였다. 경사, 위사, 45° bias, 135° bias, 정회전, 역회전 방향의 6가지 방향으로 50 gf의 압력하에서 1 mm/s의 속력으로 직물 표면을 접촉하였을 때의 마찰력을 구하였다.

$$\text{마찰력} = \frac{1}{X} \int_0^X F_f dx$$

X : 측정 장치가 움직인 거리

F_f : Friction Force

1.5 표면 거칠기 (SMD : micron)

가와바타 측정장치(KES-F System)의 surface test에서 구해진 roughness 값을 선택하였으며 이는 surface roughness의 평균편차로써 두께의 평균편차라고도 할 수 있다.

$$\text{SMD} = \frac{1}{X} \int_0^X |T - \bar{T}| dx$$

T : 시료의 두께

\bar{T} : 두께의 평균 편차

1.6 마찰계수(MIU)

가와바타 측정장치(KES-F System)의 surface test에서 구해진 값으로써 마찰계수의 평균값을 이용하였다.

$$\text{MIU} = \frac{1}{X} \int_0^X \mu dx$$

μ : 마찰 계수

제 3 절 표면 특성 측정 장치

1. 실험 장치

1.1 장치 구성

직물의 마찰력을 측정하기 위하여 측정 장치를 설계·제작하였으며, 직물을 Rotary Table위에 장착한 후 표면의 상태를 감지하여 마찰력을 얻을 수 있도록 하였다.

기계 장치는 Table 3.3.1과 같이 구성되어 있으며, 이송장치, Rotary Table의 속도는 Speed Controller에 의해 가변 하도록 하였다.

Table 3.3.1 Elements of Measuring system

구성 부분
Leg & Table
이송장치 (전후, 상하, 좌우)
Rotary Table (정회전, 역회전 가능)
Sensor부
Controller

Leg 부위는 높이 조절과 이동이 용이하도록 하였다. 또한 Table의 수평도를 조절하여 비수평도를 100분의 2이하가 되도록 하였다.

측정 Sensor 부위는 Total 용량이 ± 2 kgf인 X, Y, Z 3축 Load-cell을 부착하였으며, 20 cm 길이의 정사각형 모양의 Rotary Table이 회전할 수 있도록 하였다. Sensor 부위가 X축, Y축 방향으로 이동할 수 있도록 설치하였

으며, 직물의 질감을 측정할 때 표면을 여러 방향으로 접촉한 후 평가한다는 사실을 조사 결과 확인하여, 주관적인 판단 기준과 객관적인 실험 기준이 동일하도록 하기 위해 Load-cell이 전후, 좌우로 움직일 수 있도록 제작하였다.

Controller는 모터의 동력을 on/off 시킬 수 있고, Load-cell과 Rotary Table이 움직일 때의 속도를 제어하는 조절기를 부착하였다.

본 측정 장치는 여러 방향에서 직물의 촉감을 측정할 수 있도록 구성하였다. 대표적인 예로 가와바타 측정장치(KES-F System)의 Surface Tester는 직물의 경사, 위사 방향으로만 측정이 가능하였는데, 본 측정 장치는 인간이 촉감을 느낄 때의 여러 조건들을 재현 하였다. 직선, Bias 방향뿐만 아니라 15°, 30°, 회전 방향 등 원하는 방향으로 다양하게 측정할 수 있도록 하였다. 전체 장비의 구성도는 Fig. 3.3.1에 보였다.

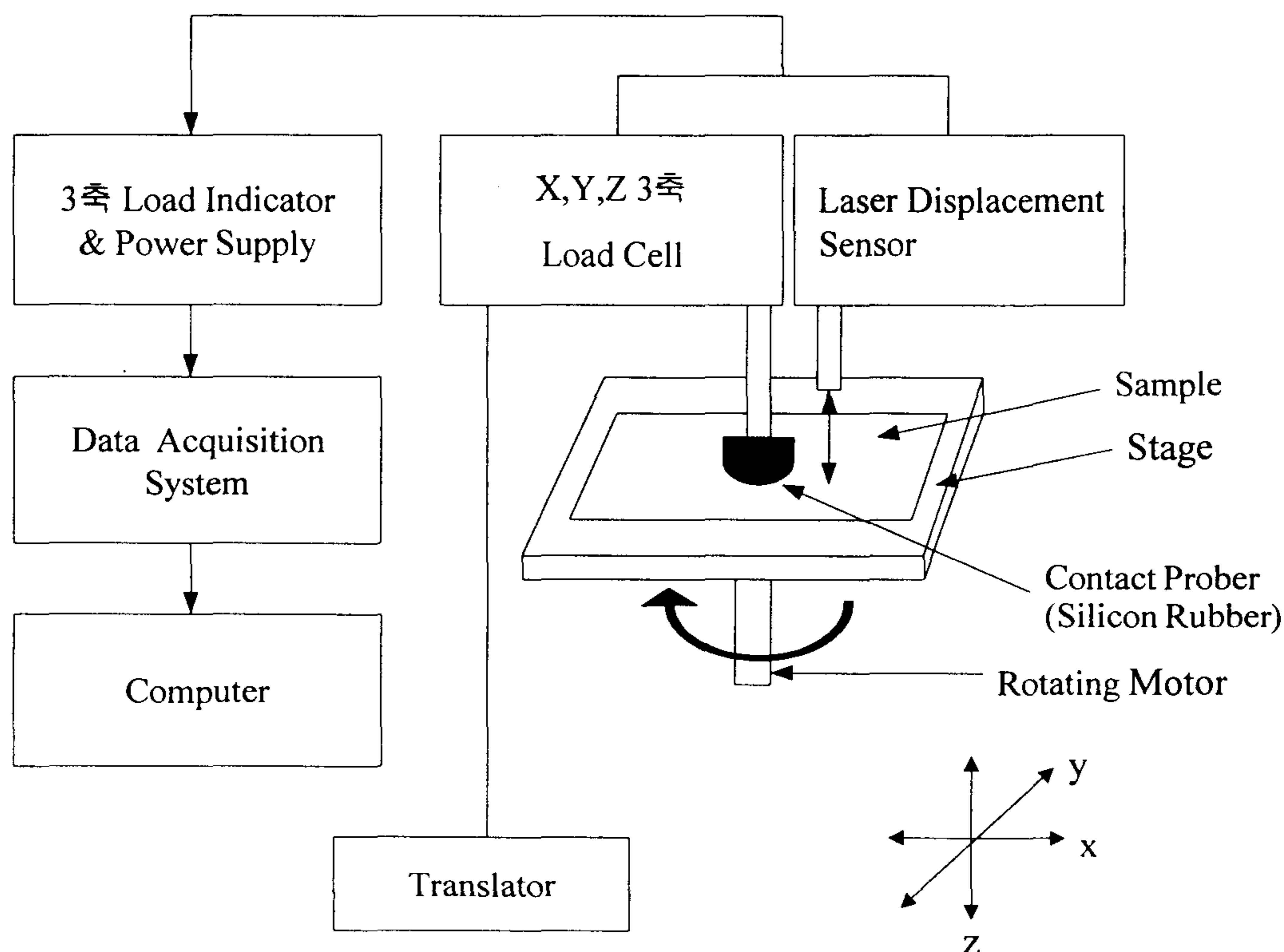


Fig 3.3.1 Constitution of Measuring System

1.1.1 접촉자 (Contactor Prober)

Load-cell의 아래에는 직물에 직접 접촉하여 표면을 감지할 수 있는 접촉자(Contact Prober)를 부착했는데, 접촉자의 재질은 직물의 촉감을 느낄 때의 인간의 손과 유사하고, 가장 비슷한 재질과 손가락의 탄성을 지니고 있는 소재로써, Silicon을 이용하였다. 하지만 Silicon의 마찰이 사람의 손보다 컸기 때문에 이를 줄이기 위하여 화학 실험 시에 이용되는 Parafilm을 Silicon위에 덧씌워 해결하였다.

접촉자의 형태는 손가락의 지문 부분의 굴곡을 표현할 수 있도록 반구 형태로 제작하였고, 구의 크기는 손의 검지끝 마디의 굴곡도가 탁구공의 표면과 비슷하다는데 착안하여 직경이 약 3.6 cm 가량 되는 탁구공에 Silicon을 주입하여 제작하였다.

Silicon은 직물과 접촉할 때 방향성을 가지지 않는 장점이 있으며, 접촉자는 Load-cell 아래로 자유로이 탈, 부착이 가능하도록 하여, 다양한 크기와 형태로 실험자가 원하는 상태에서 사용할 수 있도록 하였다. 다만 접촉자 자체에 지문과 손의 온도를 표현하기에는 무리가 따랐다.

1.1.2 Indicator

X, Y, Z축 각각의 Load-cell에서 나온 값들을 3개의 Digital Indicators상에 표시하도록 제작하였고, 이 때의 Analog 신호들을 Digital 값으로 바꾸어 Indicator상에 나타내도록 하였다. 이 수치들은 접촉자에서 직물 Sample에 가해지는 Load를 kg단위로 나타낸 것이며, Digital로 변환된 신호를 다시 Analog로 변환시켜 출력할 수 있다.

1.1.3 데이터 획득 장치 (Data Acquisition System)

측정 장치에서 나온 신호들은 Computer를 통해 Data로 나타내게 하였으며, 신호를 분석하는 과정에서 Signal Conditioning Amplifier를 사용하였는데, Indicator의 Load-cell input 단자에 직접 Amplifier를 연결해 Analog 신호를 받아내었다. 신호 출력 과정은 Fig 3.3.2와 같다

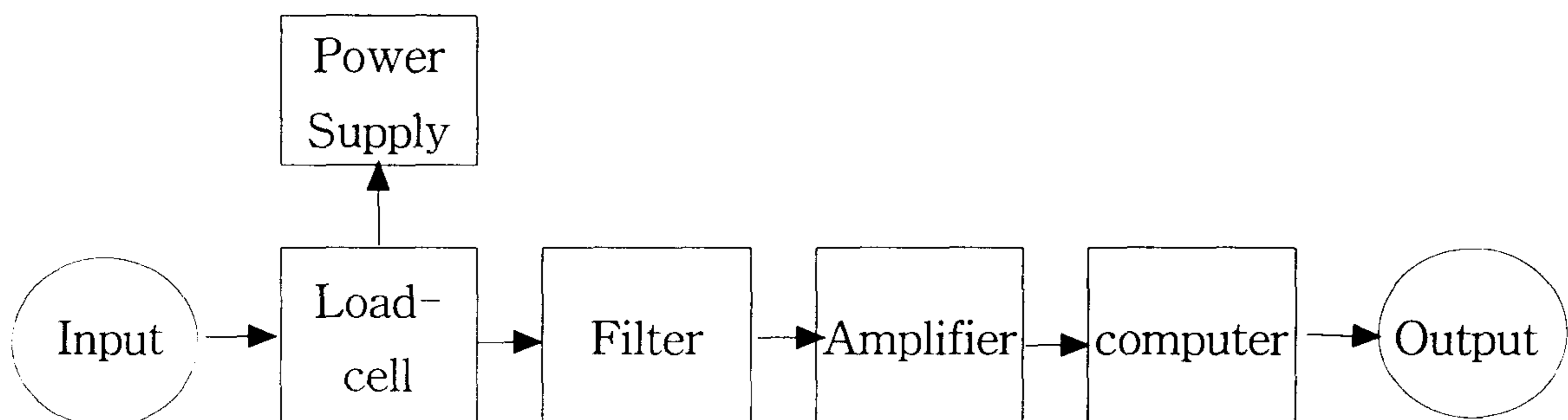


Fig. 3.3.2 Signal Flow Diagram

이 때 Analog Output이 0~10 V내에서만 가능하여 측정 장치의 출력 신호들은 [+]와 [-] 출력이 공존하여, Z축의 경우 Load-cell에 작용하는 힘이 인장력일 경우에는 [+] 신호로 압축력일 경우에는 [-] 신호로 출력되는데, 실험 시에는 인장력보다는 압축력이 더 많이 사용되었다. 경사, 위사, 회전방향으로의 측정등 각 실험에서 X축이나 Y축으로의 마찰력을 측정할 경우 [+] [-] 신호가 함께 나왔다.

Indicator에서 나오는 Analog Output은 일단 Load-cell에서 출력되는 신호를 자체 Amplifier를 통하여 증폭시킨 후 A/D Converter를 통과시켜 Digital

신호로 바꾸어주고, 전기적인 값을 가지는 Digital 신호를 다시 물리적인 값인 gf로 변환시켜 출력하였다. Analog Output은 Digital로 변환된 신호를 D/A Converter를 통해 다시 Analog 신호로 바꾸어 Analog Output 단자로 출력하였다.

이때 Amplifier를 최대로 증폭하여 신호를 받았으며, Zero Control 부위가 Digital 방식이 아닌 회전 방식이어서 0점을 정확하게 맞추기가 어려웠고, 0점 부위에서 약간의 Noise가 발생하여 초기 값을 0보다 높거나 낮게 잡아주고 나중에 Program상에서 보정을 하여 해결하였다.

1.1.4 Data 기록·처리 System

Amplifier를 통과한 신호는 Computer를 사용해 분석하였는데, Sampling Frequency를 100 Hz로 하고, 측정시간을 180초로 하여 신호를 저장하였다.

실험시 접촉자의 전체 이동거리가 18 cm이고, 이에 따라 0.1 cm/s의 속도로써 측정시간을 180초로 하였다. 0.1 cm/s의 이동 속도는 KES F-System에서의 측정 속도이고, 또한 이와는 별도로 속도의 변화에 따른 출력 값들을 비교해 본 결과로써 정하였다.

이후 공학용 프로그램인 Matlab을 이용하여 Data 분석과 출력을 자동화하였다.

1.1.5 특성 평가

기계 장치의 신뢰성을 검증하고 특성을 평가해 보기 위하여, 전기적인 신호로 출력되는 Data값을 물리적인 신호로 바꿔주어 X, Y축으로 Load-cell에 가해지는 힘의 크기와 출력되는 전기적인 신호를 비교한 후 보정해 보았다.

Fig 3.3.3 와 같이 도르래의 원리를 이용하여 감지 부의 X축 방향과 Y축

방향으로 일정한 힘을 주어 신호를 받았으며, 접시에 50 g의 분동을 하나씩 올려 Static한 상태에서 각 무게에 대한 Volt 신호를 측정하여 정리하였다.

각각의 Data와 Graph들은 Matlab으로 Programming하여 정리하였고, 1차의 Graph는 Least-Squares Curve Fitting을 한 결과이다.

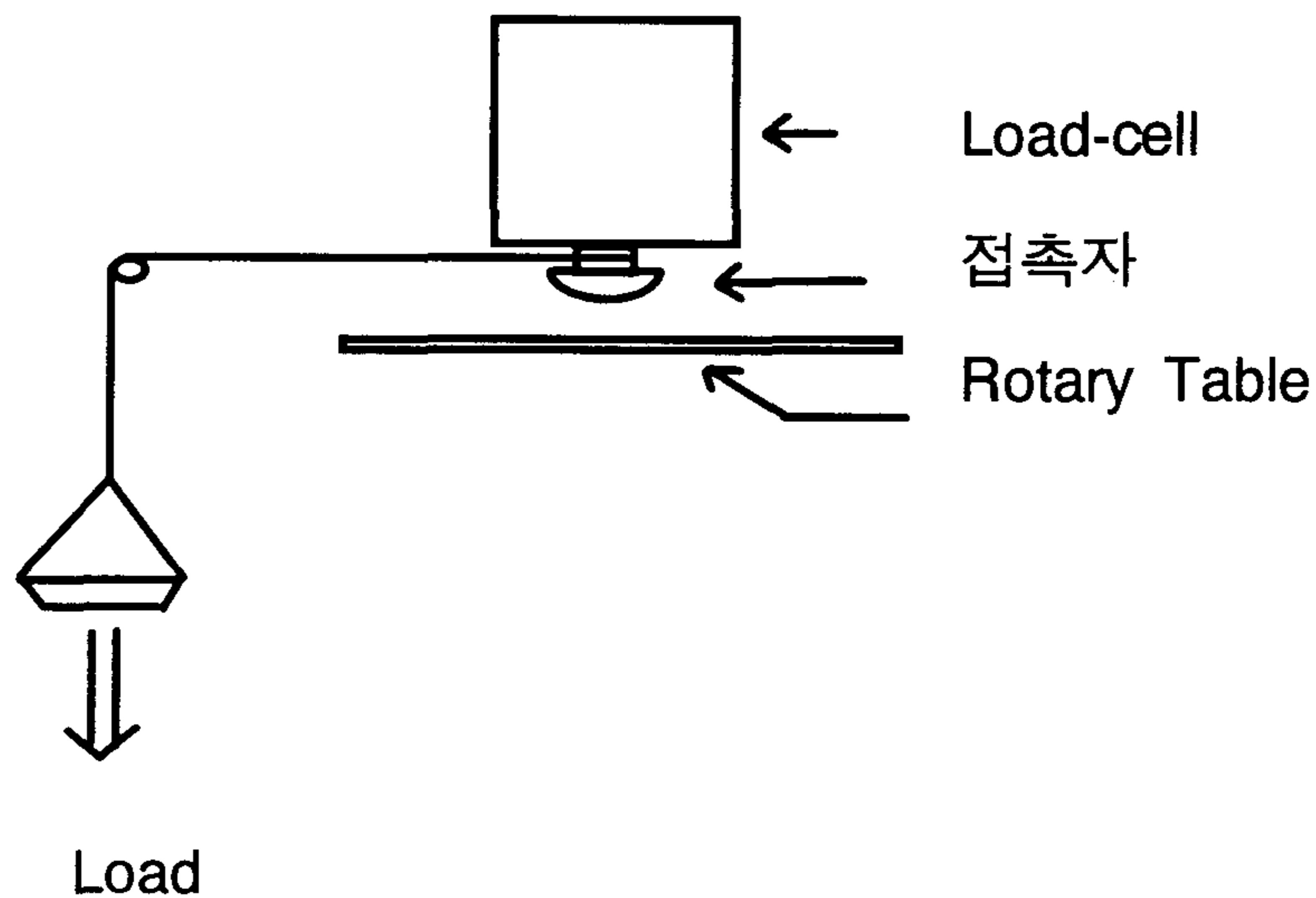


Fig. 3.3.3 Experimental Equipment for Calibration of the Measuring System

Matlab에서 Programming한 내용은 다음과 같다.

```
load jxxp.dat -ascii      % X축의 [+] 방향에 대한 DATA를 불러옴.
load jxxm.dat -ascii     % X축의 [+] 방향에 대한 DATA를 불러옴.
jp=50:100:1950;
jm=1950:-100:50;
```

```

jxp=jxxp(jp);
jxm=jxxm(jm);
xp=ones(20,1)*jxp(1,1);      % 초기값 설정
xm=ones(20,1)*jxm(20,1);
xpp=jxp-xp;                  % 각 신호를 초기값으로 빼주어 0점 보정
xmm=jxm-xm;                  % 각 신호를 초기값으로 빼주어 0점 보정
xx=ones(39,1);
xx(1:20)=xmm;                % [+] [-] 방향에서의 신호를 합쳐줌
xx(21:39)=xpp(2:20);        % [+] [-] 방향에서의 신호를 합쳐줌.
gram=-950:50:950;
gr=gram';
coefx=polyfit(gr,xx,1);      % 1차 Graph로 Least-Squares Curve Fitting
mx=coefx(1);
bx=coefx(2);
vox=mx*gr+bx;
voltx=vox-ones(39,1)*bx;
load jyyp.dat -ascii
load jyym.dat -ascii
jyp=jyyp(jp);
jym=jyym(jm);
yp=ones(20,1)*jyp(1,1);
ym=ones(20,1)*jym(20,1);
ypp=jyp-yp;
ymm=jym-ym;

```

```

yy=ones(39,1);
yy(1:20)=ymm;
yy(21:39)=ypp(2:20);
coefy=polyfit(gr,yy,1);
my=coefy(1);
by=coefy(2);
voy=my*gr+by;
volty=voy-ones(39,1)*by;
plot(gr,voltx,gr,volty), title('calibration-xy'), grid,
xlabel('Gram'), ylabel('Volt')

```

Fig 3.3.4에서 보는 바와 같이 가해지는 힘에 대한 출력 Volt 신호는 Linear한 Graph가 나오게 되며, X축 방향으로 1720.60 g/V, Y축 방향으로 779.22 g/V의 값이 됨을 알 수 있다.

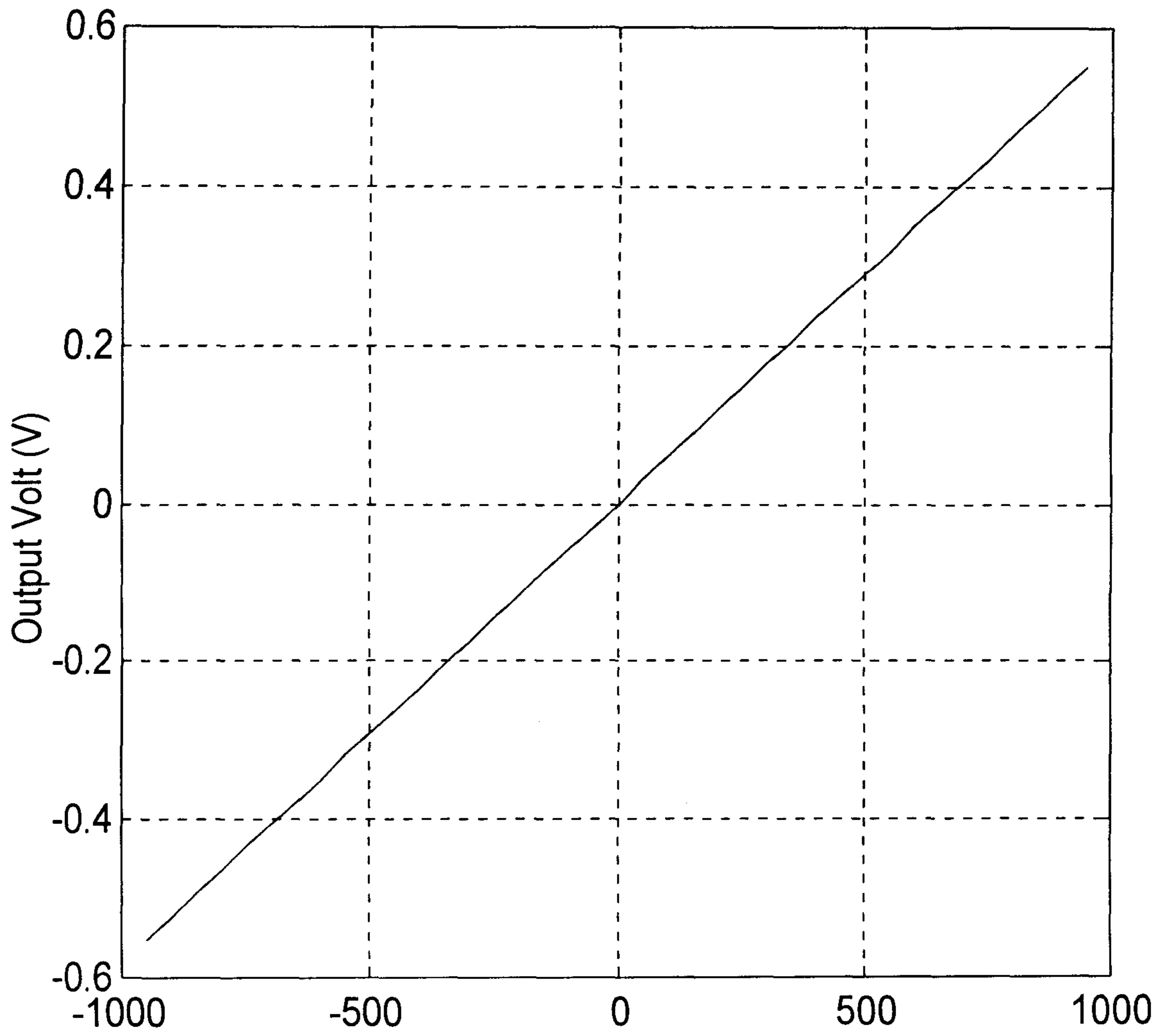


Fig. 3.3.4 Calibration Curve for X-axis in the Load-cell

2. 실험

2.1 실험 Data 분석

직물의 경사, 위사, 45° bias, 135° bias, 회전 방향으로 총 5번의 실험을 하여, 6개의 Graph와 16개의 Data가 획득되었다.

Table 3.3.2 와 같이 Data의 선택 범위가 주어지며, 직물의 전체 측정 길이 18 cm중 원하는 범위의 Data와 Graph를 선택할 수 있다. 이 때 회전을 제외한 나머지 경우는 Y성분의 마찰력만 측정하였다.

Fig 3.3.5 는 측정 장치에서 얻어지는 6개의 Graph를 모두 보였다. 경사, 위사, 45° bias, 135° bias 방향, 정회전, 역회전으로 측정할 수 있는 마찰력의 변화를 접촉자의 이동 거리에 따라 측정하였으며, 접촉자의 이동거리를 선택하여 선택된 부분에서의 마찰력을 Graph로 표현할 수 있다.

Table 3.3.2 Experimental Values of Samples

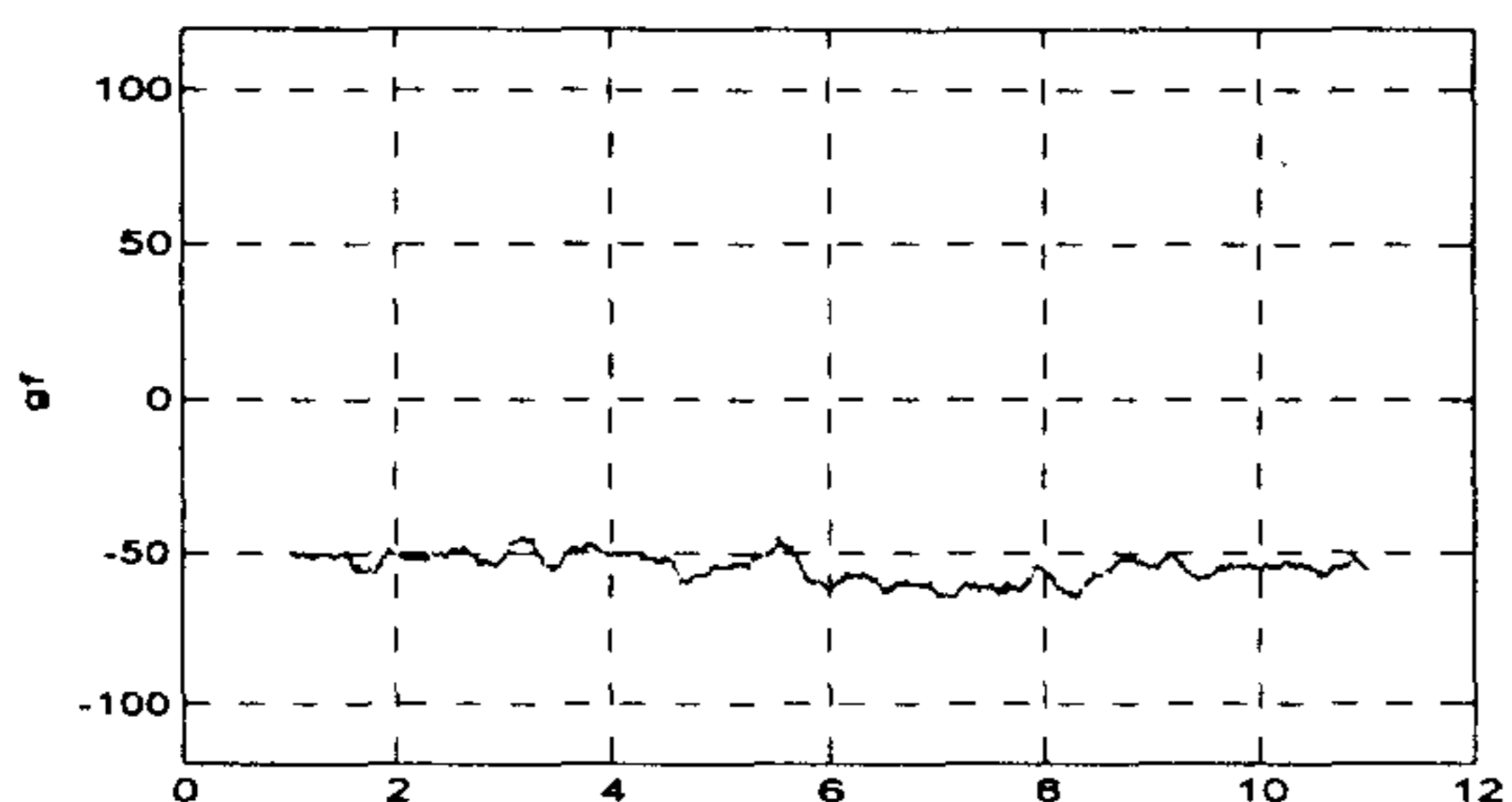
	Mean	standard deviation
warp	-54.027847	4.597084
weft	-53.046659	2.436797
45 ° bias	-55.002065	4.189523
135 ° bias	-60.862638	4.088571
정회전	-20.201970	3.366347
역회전	70.657336	2.964556

2.2 실험 방법

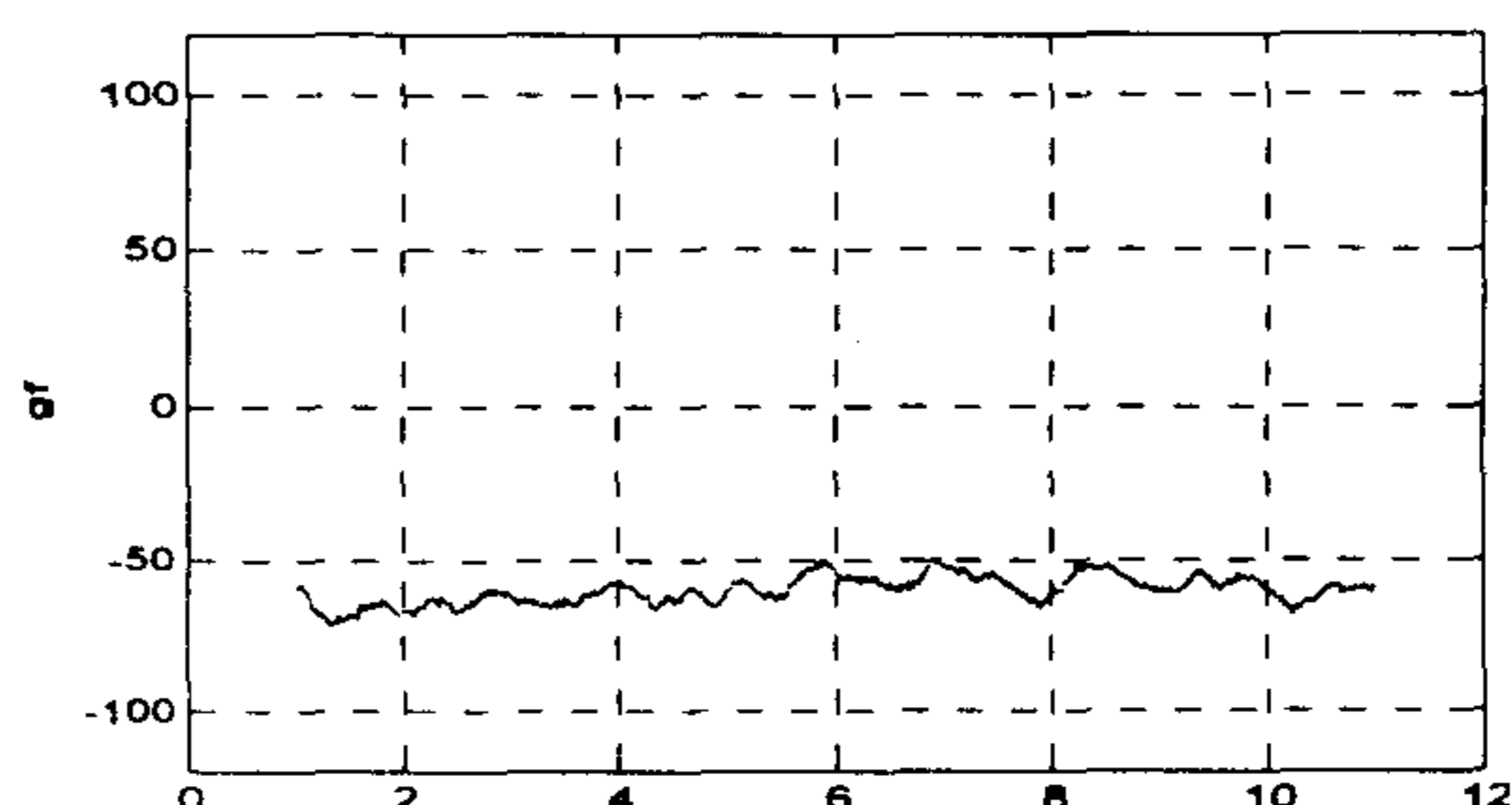
직물을 한 변의 길이가 30 cm인 정사각형 모양으로 자른 후, 한 변이 20 cm인 정사각형 금속판 위에 준비한 직물을 편편하게 펼쳐 놓는다. 직물에 일정한 Tension을 가하기 위하여 총 2000 g의 무게가 나가는 추를 직물에 매달았으며, 금속판에서 늘어진 직물은 네면이 10 cm 길이였고, 이 직물의 Biaxial 방향으로 Tension을 가하는 방법을 이용하였다. 동일한 무게를 가진 8개의 쇠막대를 2개씩 짝지어 늘어진 직물의 네 면에 집계를 이용하여 고정시켰으며, 직물에 가해진 Tension은 1 cm당 20 gf으로 일정하게 가하였다. 한 변에 대한 500 g의 무게 기준은 KES F-System에서 직물에 가해지는 tension을 기준으로 정하였으며, 직물 위에 압력이 일정하게 가해진 상태로 접촉자가 전후 이동을 할 때, 얇은 직물일 경우 마찰로 인해 밀리는 현상이 있어, 이를 방지하기 위해 300 g의 무게가 나가는 금속 링을 직물 위에 올려 두도록 하였다. 이 링 위에는 10° 간격의 각도를 표시하여 직물과 함께 금속판이 회전할 때 Bias 방향과 같은 다양한 각도를 확인할 수 있도록 하였다.

접촉자를 직물의 측정 위치까지 근접하도록 이동시킨 후, 미세 조절용 Micro-meter를 사용하여 직물에 직접 접촉시킨다. 접촉자의 상하 방향으로 가해지는 압력을 일정하게 고정시키기 위하여 “Lock”장치를 하였는데, 이는 실험 시에 발생할지도 모르는 우발적인 사고 즉, 상하 이동시에 조작 미숙으로 한계 Load (500 gf) 이상의 압력을 가하여 Load-cell이 파손될 경우를 예방하였다. 접촉자를 직물 위에 미세하게 근접시킬 때 반드시 Z축 Indicator를 주시해야 하며, 영점을 조절 후 Micro-meter를 이용하여 압력을 조절한다.

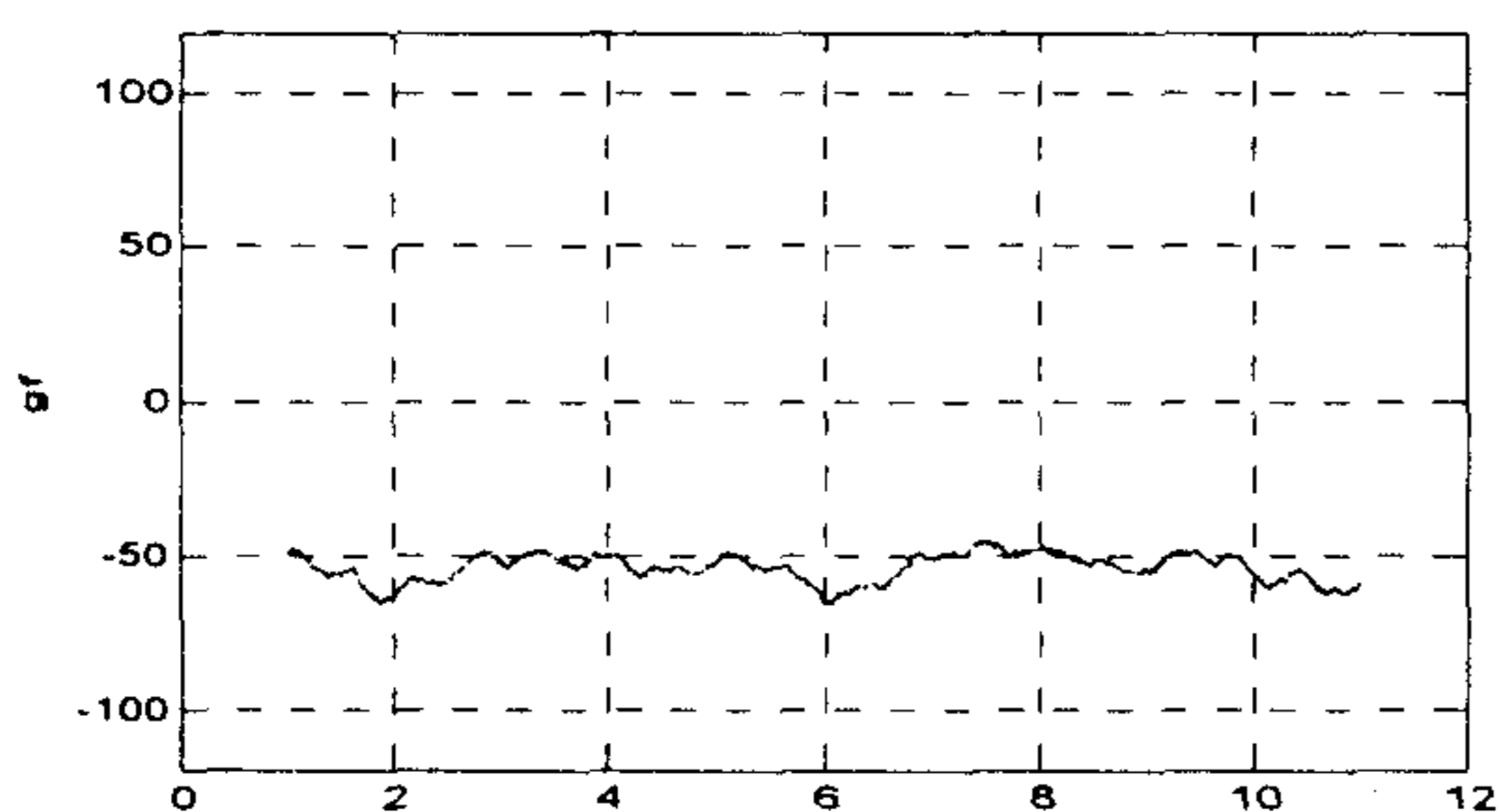
warp



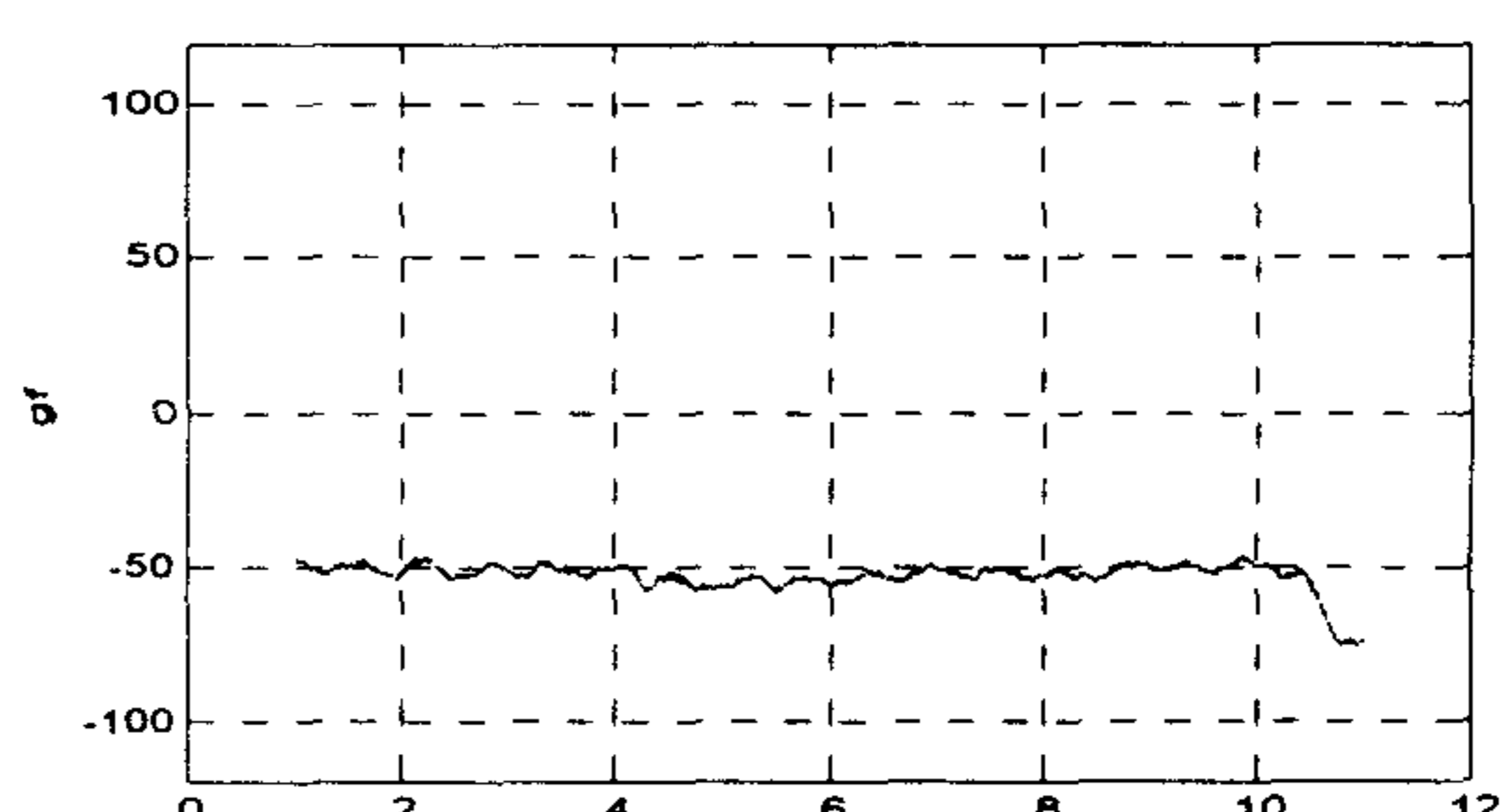
weft



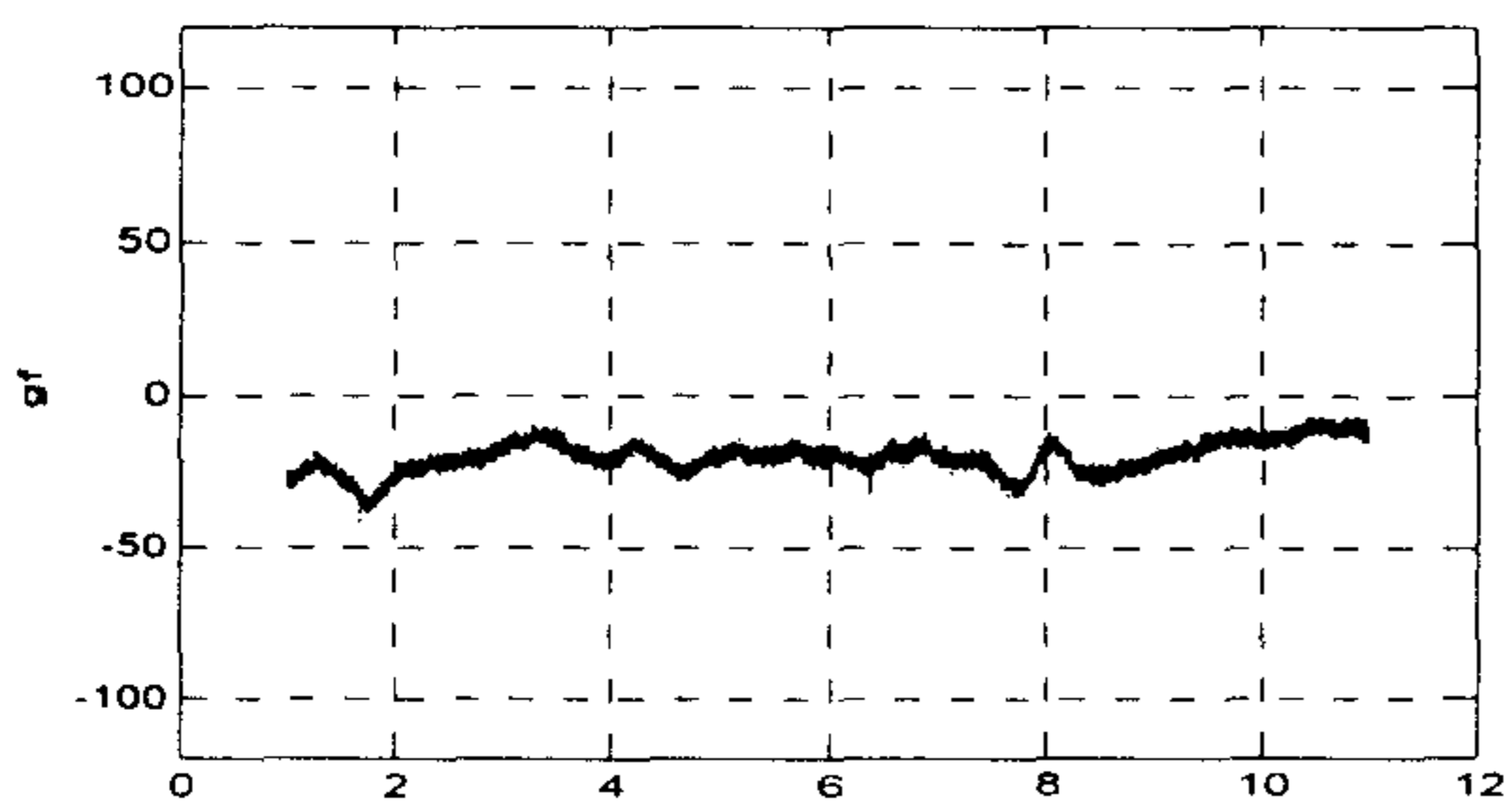
45° bias



135° bias



Rotation-X



Rotation-Y

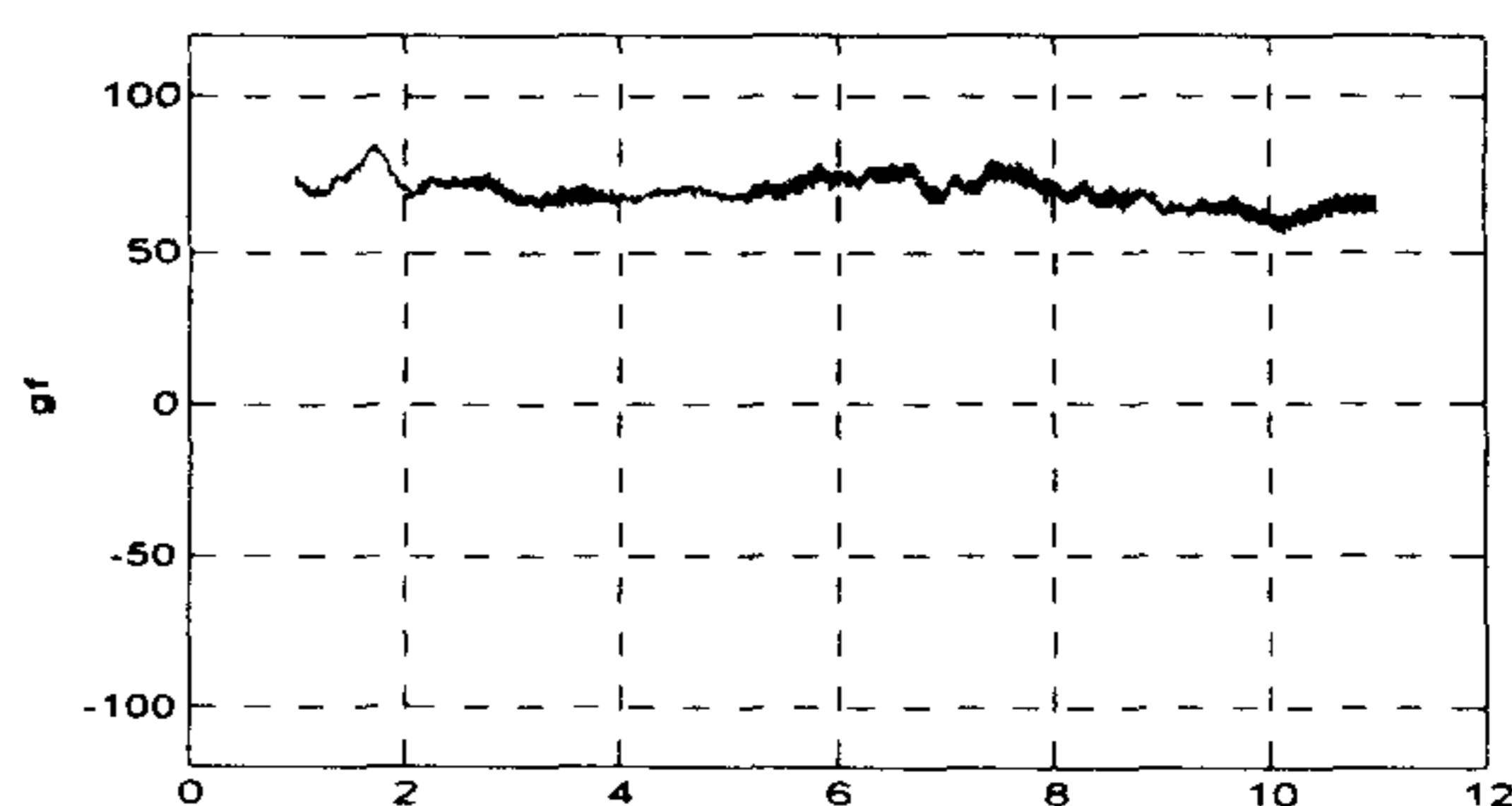


Fig. 3.3.5 Measured Friction Force at Sample

본 실험에서는 50 gf로 기준을 정하였는데, 이는 KES F-System에서 직물에 가해지는 압력의 기준과, 본 실험에서 피험자를 이용하여 직물의 질감을 느낄 때의 압력과 속도를 구해본 결과에 기준을 두고 있다. 여기서 질감을 느낄 때 직물의 표면에서 인간의 손이 움직이는 속도와 압력을 구해 보기 위하여, 전자 저울 위에 직물을 펼쳐 놓은 후 네 면을 고정 시킨 후, 피험자들에게 직물 위에 두 번째 손가락을 이용하여 원을 그리면서 촉감을 느껴 보도록 주문을 하였다. 이 때 응답자의 눈을 가려 직물에 대한 선입견을 배제하도록 하였다. 실험의 결과는 Table 3.3.3 에 보이고 있다. 직물을 누르는 손가락의 힘을 측정하였고, 이 때의 시간과 그려지는 원의 반경을 조사하였다. 두 번째 손가락은 Index Finger로써 사람이 손가락을 이용하여 물체를 인식할 때 가장 중요한 판단 기준이 되는 손가락이며 이 부분에 있는 신경은 물체를 인식하기에 적절한 세포형태를 가지고 있다. 여기서 구해진 최대값의 평균 80 gf와 최소값의 평균 28 gf의 평균을 구해 본 결과는 약 54.6 gf로써 가와바타 측정장치에서 고정된 압력과 큰 차이가 없었다. 본 실험에서는 접촉자를 직물 시료 위에 올려놓았을 때의 힘을 Indicator 상의 수치로써 판단하였는데, 이 수치는 어느 정도(약 ± 1 gf)는 유동적이다.

접촉자가 움직이는 속도는 KES F-System에서 접촉자가 직물의 표면을 움직이는 속도(1 mm/s)와, 위의 실험에서 구한 속도인 3 cm/s로써 피험자가 원을 그리면서 촉감을 느낄 때의 시간과 지름을 측정하여 원둘레의 길이에 대한 시간의 값을 구하여 본 실험에서의 속도를 구할 수 있었다. 본 실험에서는 전후 방향은 1 mm/s, 2.5 mm/s, 5 mm/s로 속도에 변화를 주어 결과를 살펴보았다. 회전 속도도 전후 방향과 마찬가지로 다양한 속도 변화를 줄 수 있었다.

Table 3.3.3 Pressure and Speed at Fingertip during Touch Motion

피험자	Min(gf)	Max(gf)	time(sec)	dia(cm)	원주(cm)	velocity (m/sec)
1	60	106	6	12.3	38.622	0.063
2	42	93	8	11.2	35.168	0.044
3	18	34	8	9.4	29.516	0.037
4	32	82	14	13.5	42.390	0.030
5	18	62	17	11.5	36.110	0.021
6	20	64	9	12.2	38.308	0.043
7	19	71	6	10.6	33.284	0.055
8	21	90	9	11.6	36.424	0.040
9	18	105	11	11.3	35.482	0.032
10	37	100	9	10.5	32.970	0.037
평균	28.5	80.7	9.7	11.41	35.8274	0.0402

2.3 실험 결과

직물 표면의 마찰력의 평균값을 측정하기 위하여, 직물에 가해지는 압력을 30 gf, 50 gf, 70 gf 로 변화를 가하였고, 접촉자가 움직이는 속도는 1 mm/s, 2.5 mm/s, 5 mm/s로써 실험 하였다. 압력과 속도에 따라 변화하는 결과 그래프를 Fig 3.3.6 에서 보여주고 있는데 압력변화에 따른 평균값은 전체적으로 증가하고 있음을 관찰할 수 있다.

본 실험에서는 직물의 압력과 속도를 각각 50 gf와 0.1 cm/s 에 고정하였

는데, 앞의 실험 결과, 측정 속도는 직물의 변화에 별다른 차이를 보이지 않았으며, 인간이 질감을 느낄 때 손으로 직물을 누르는 압력을 직접 측정해 본 결과 거의 50 gf에서 평균값이 구해졌기 때문에 접촉자가 움직이는 속도와 직물을 누르는 압력을 각각의 값으로 고정을 시킨 후 실험을 하였다.

Table 3.3.4 에 20개의 직물 sample의 마찰력 평균값의 측정 결과를 보이고 있다.

Table 3.3.4 Mean of Friction Force

	warp	weft	45° bias	135° bias	정회전	역회전
sample1	63.7	57.6	65.9	79.3	42.3	90.8
sample2	89	51	51	47	20	63
sample3	40.8	58.3	62.8	70.8	37	82.5
sample4	55	53	54	61	20	70
sample5	67.3	106.3	68.3	56.3	21.2	79.4
sample6	54.3	67.5	54.5	54.8	28.5	61
sample7	79.8	70.4	65.3	66.8	28.4	77.3
sample8	54.2	58.5	47.8	57.6	36.2	69.4
sample9	79.5	75.3	77.9	79.1	32.4	86.1
sample10	106.4	64.3	66	73.4	26.6	62.4
sample11	71	64	52	63	19	71
sample12	53.9	56.6	60.6	63	22.1	58.7
sample13	41.3	49.8	60.8	58.6	35.7	67.6
sample14	57.8	45.6	48.9	52	28.1	59.7
sample15	69.6	78	83.7	70.5	23.1	87.6
sample16	45	56	72	48	28	69
sample17	79.9	109.6	77.3	90.3	37.3	120
sample18	67	56	51	18	12	45
sample19	144.3	71.9	84.9	97.1	50.7	102.9
sample20	61	33	43	49	36	54

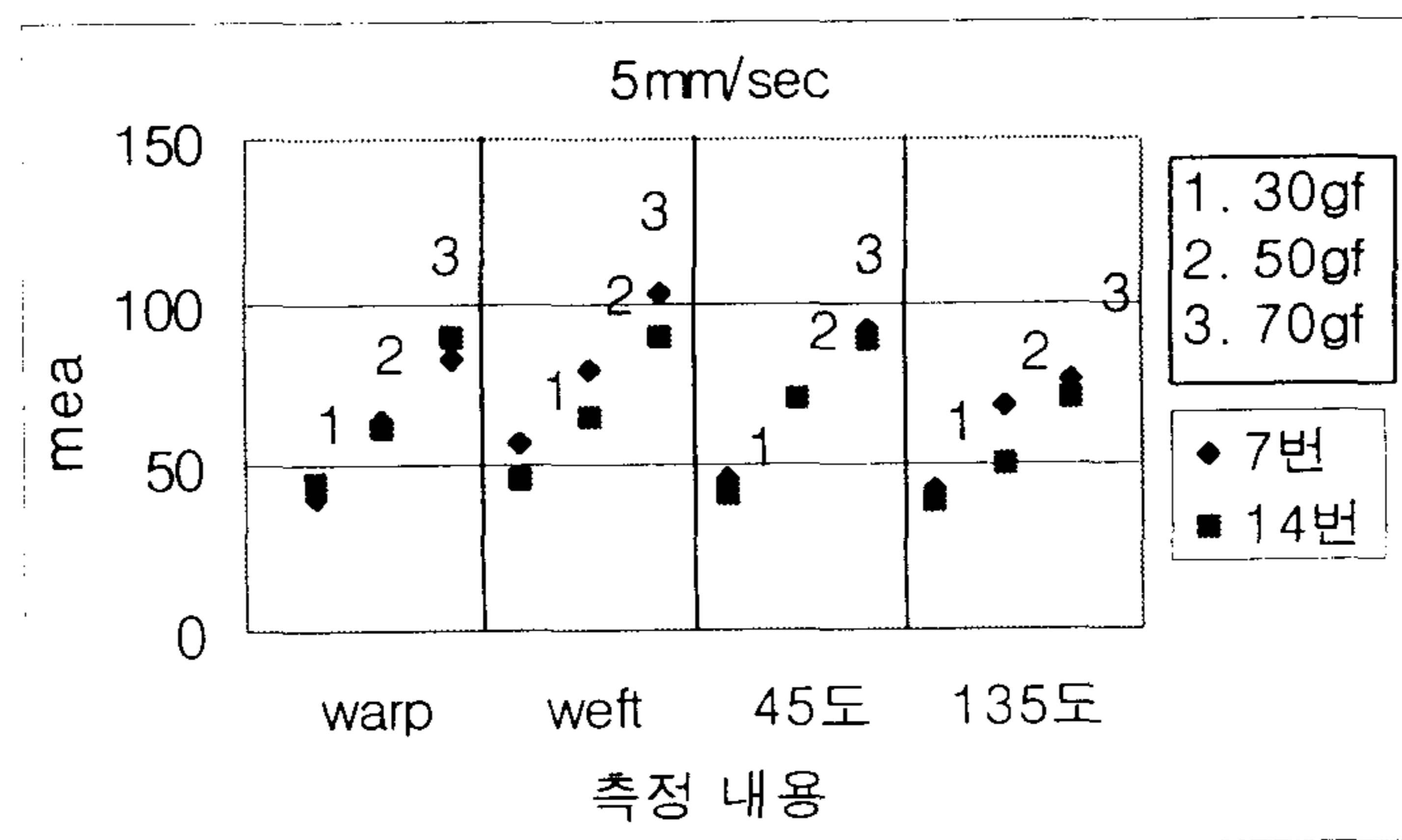
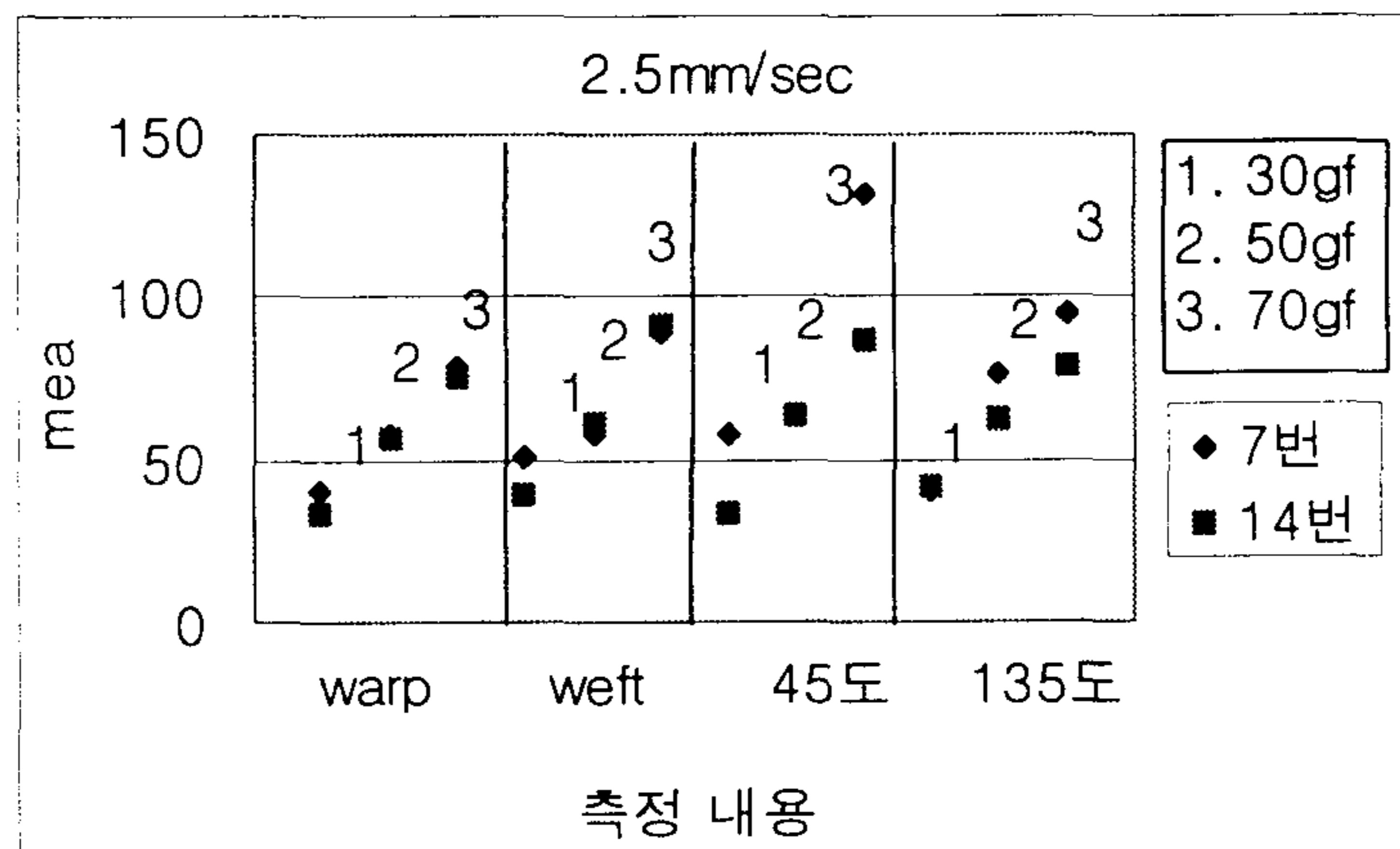
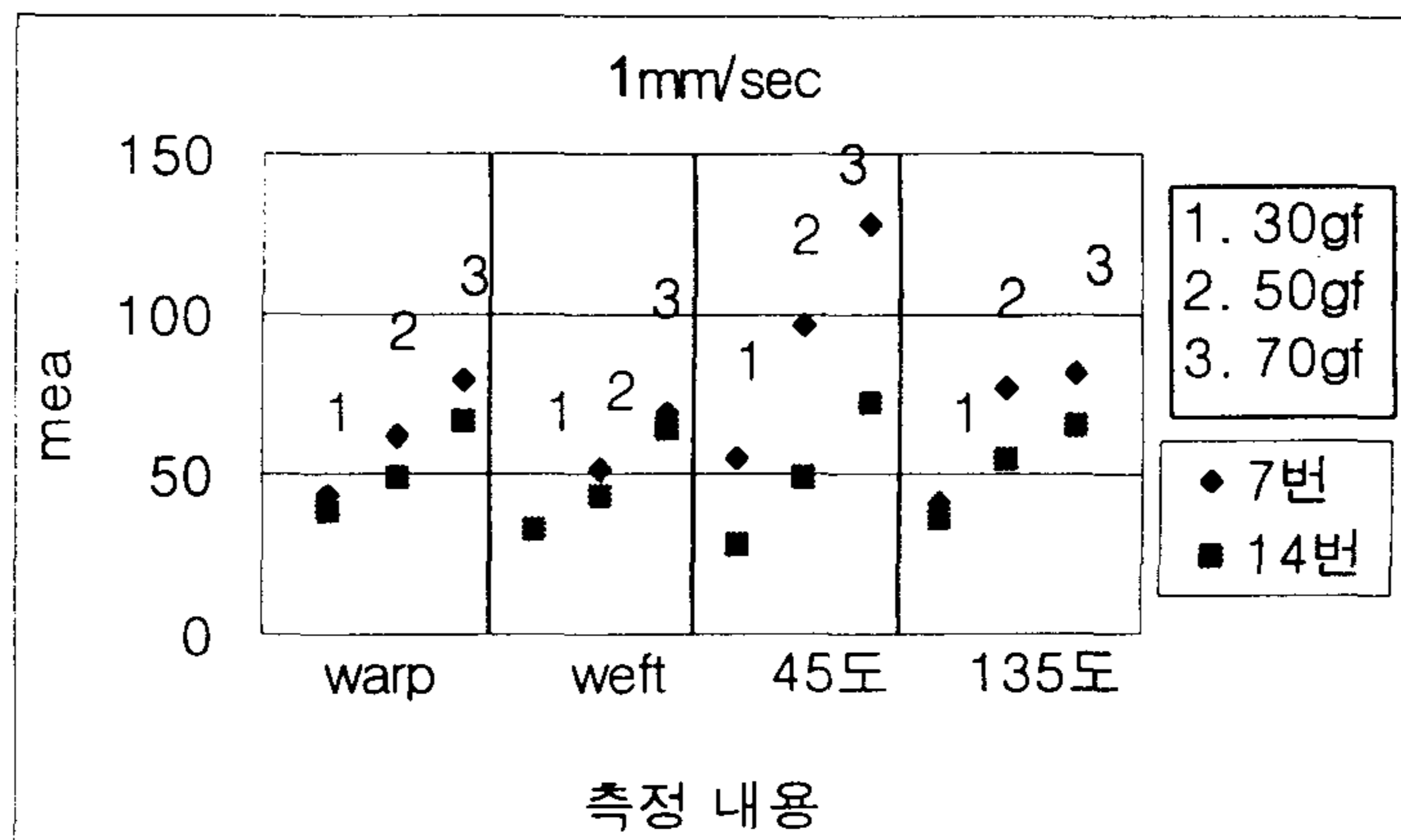


Fig. 3.3.6 Mean of Friction Force according to Change of Speed and Pressure

제 4 절 대표 형용사와 표면 특성 값과의 상관관계 해석

1. 각 형용사에 대한 관련 물리량 추출

제 2절 및 3절에서 선정 및 측정된 모든 물리량 중 각 형용사에 있어서 물리량과 7점 척도 값의 상관관계의 고찰을 통하여 관련된 물리량들을 추출한다.

20개의 sample에 대하여 물리량 대 7점 척도 값의 분포가 전혀 상관관계를 보이지 않는 물리량들은 각 형용사에 있어서 배제하도록 하였다

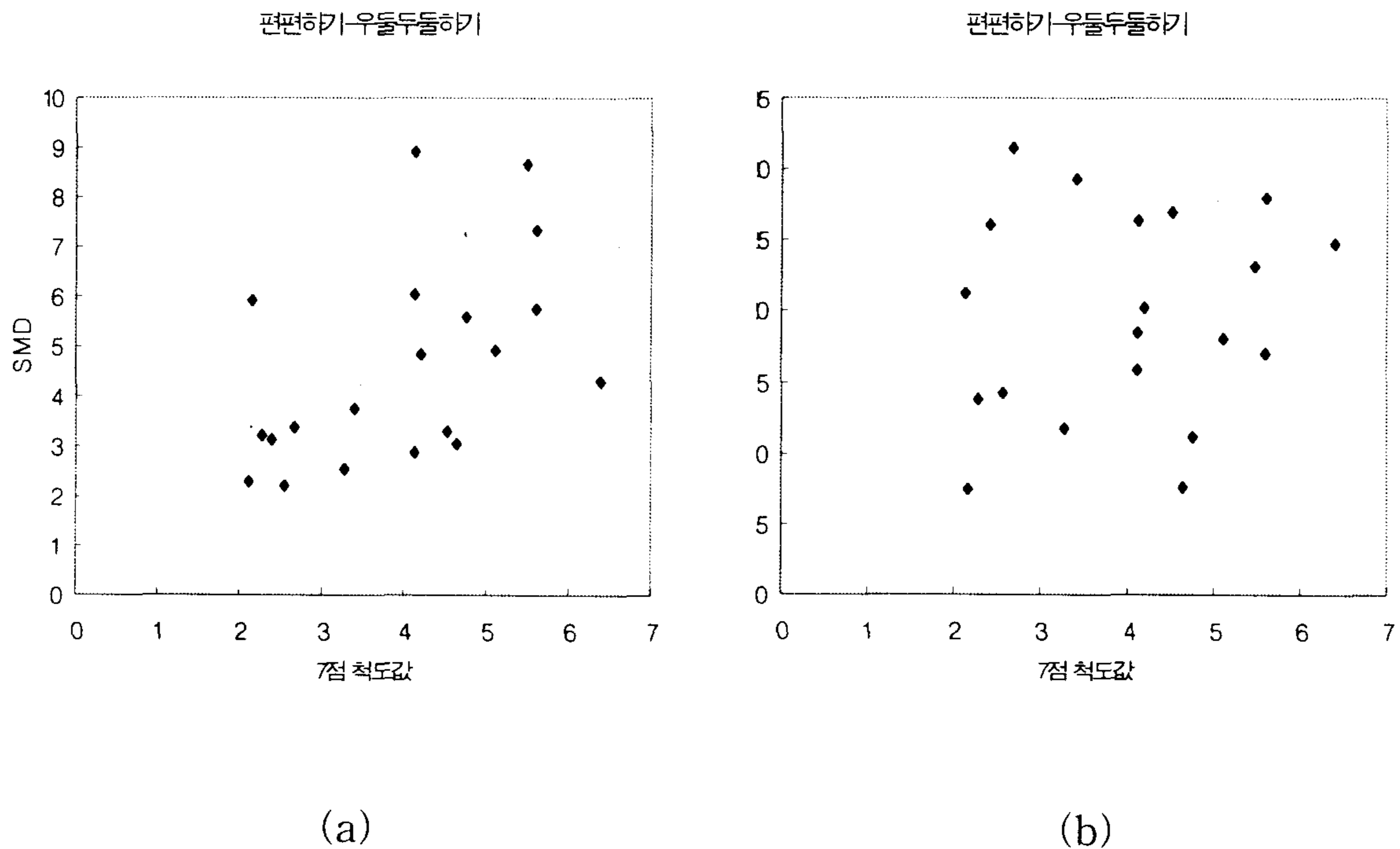


Fig 3.4.1 Distributions between SMD and Subjective Measurements in Flatness

Fig 3.4.1은 형용사 편편하기-우들두들하기에 대하여 두 가지의 물리량에 대한 7점 척도 분포 값을 보여주고 있다. (a)의 경우 분포가 Regression을 통하여 7점 척도에 대한 증가함수로서 상관관계를 얻을 수 있을 것으로 기대되나 (b)의 경우는 분포가 넓은 범위의 일정한 규칙 없이 고루 분포하여 상관관계를 얻어낼 수 없을 것으로 보인다. 이러한 경우 (a)의 물리량을 관련 물리량으로써 추출하였고, (b)의 경우는 뒤에 보여질 평가 모델에 대하여 영향이 없을 것으로 판단하여 배제하였다.

분포의 크고 적음은 이후 Weight Vector를 구하는데 반영되어 있다.

1.1 매끄럽기-결끄럽기

관련 물리량은 다음과 같다.

1.1.1 표면 거칠기

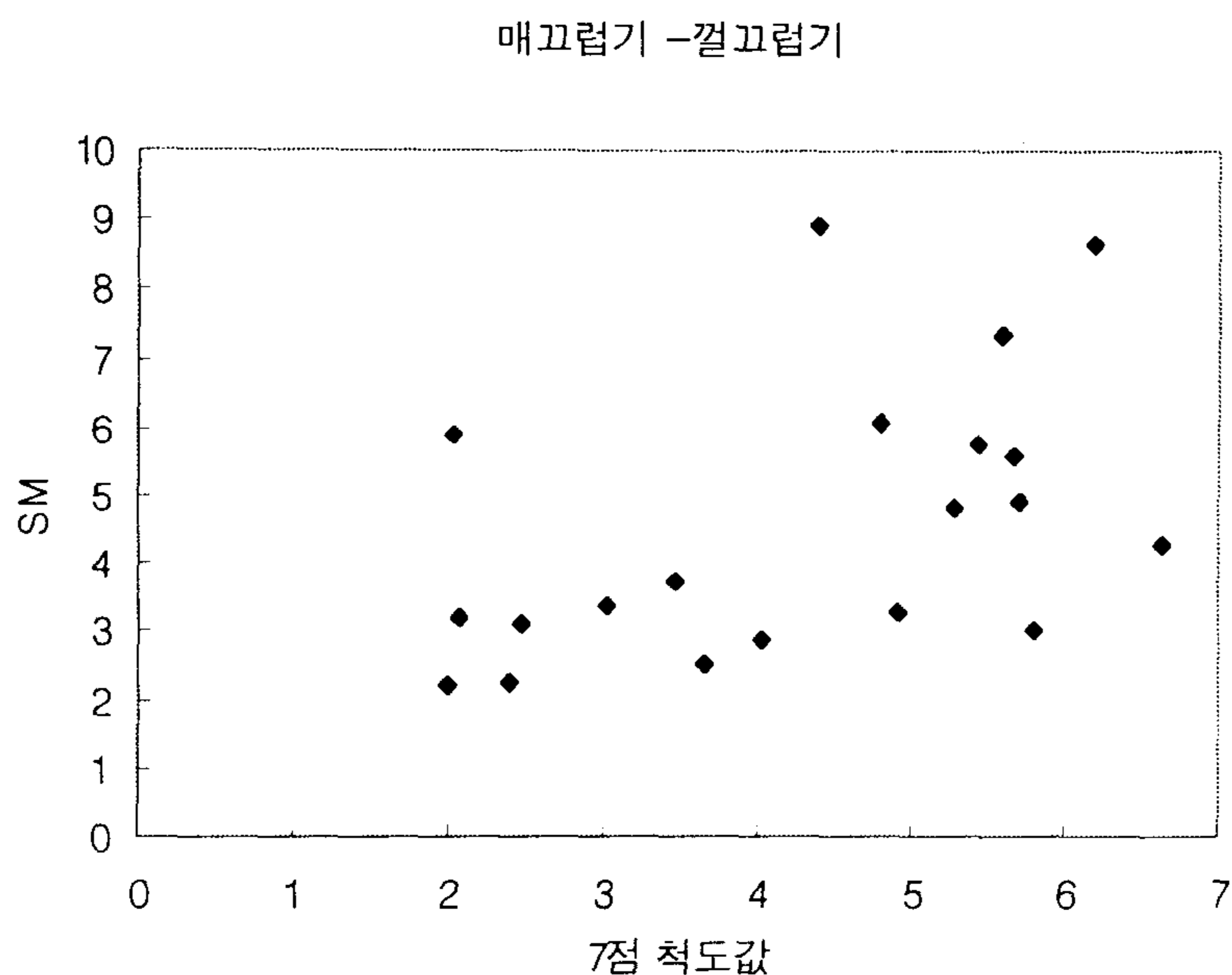


Fig. 3.4.2 Relation between SMD and Subjective Measurements in Smoothness

Fig. 3.4.2는 설문응답자들이 직물의 표면이 걸끄럽다고 판단할수록 표면 거칠기 값이 커짐을 보이고 있다.

1.1.2 회전 마찰력

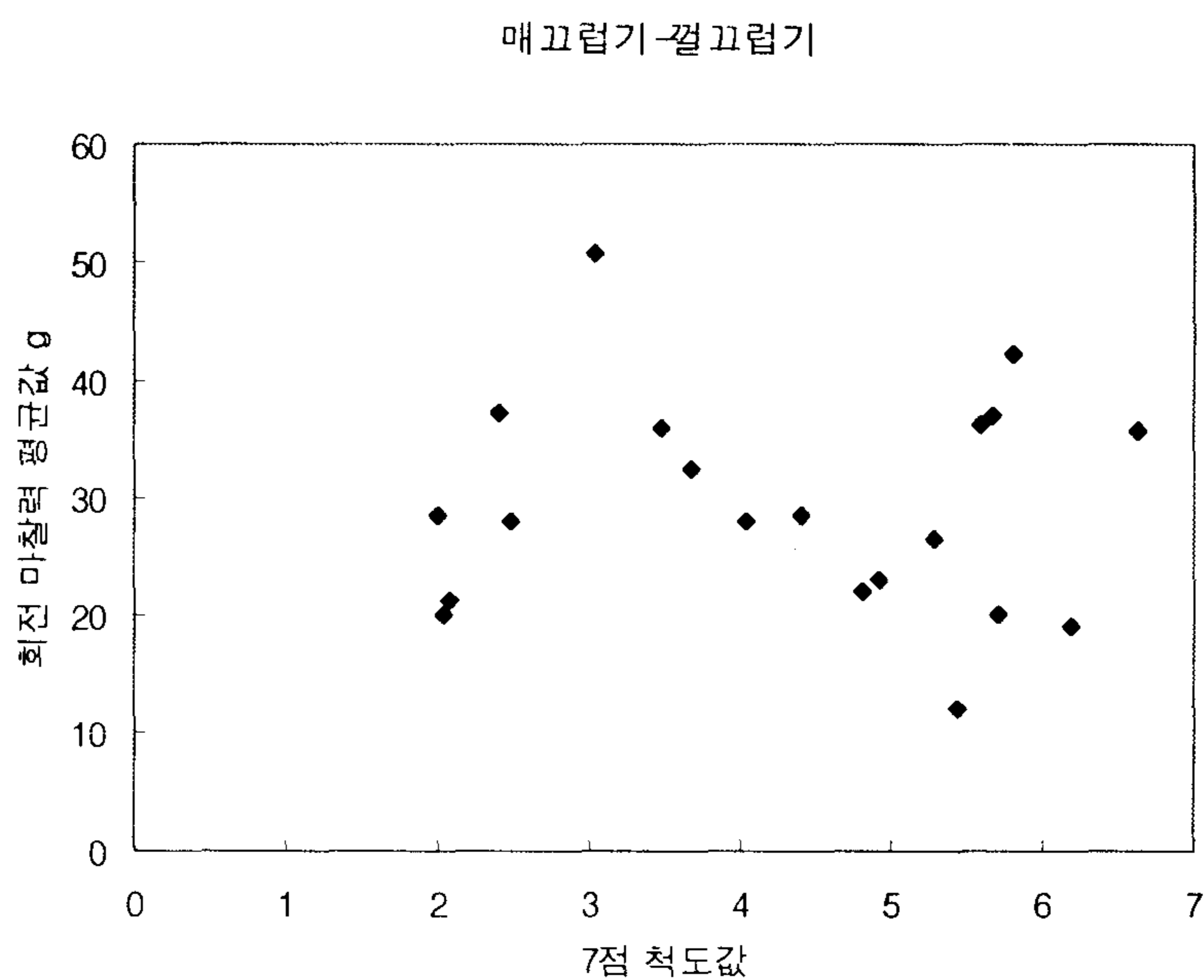


Fig. 3.4.3 Relation between Rotational Friction forces and Subjective Measurements in Smoothness

Fig. 3.4.3은 설문응답자들이 직물의 표면이 걸끄럽다고 판단할수록 회전 마찰력의 평균값은 작아짐을 보이고 있다.

1.1.3 Warp 밀도

Fig. 3.4.4는 직물의 표면이 거칠수록 warp 밀도 값이 커짐을 보이고 있다.

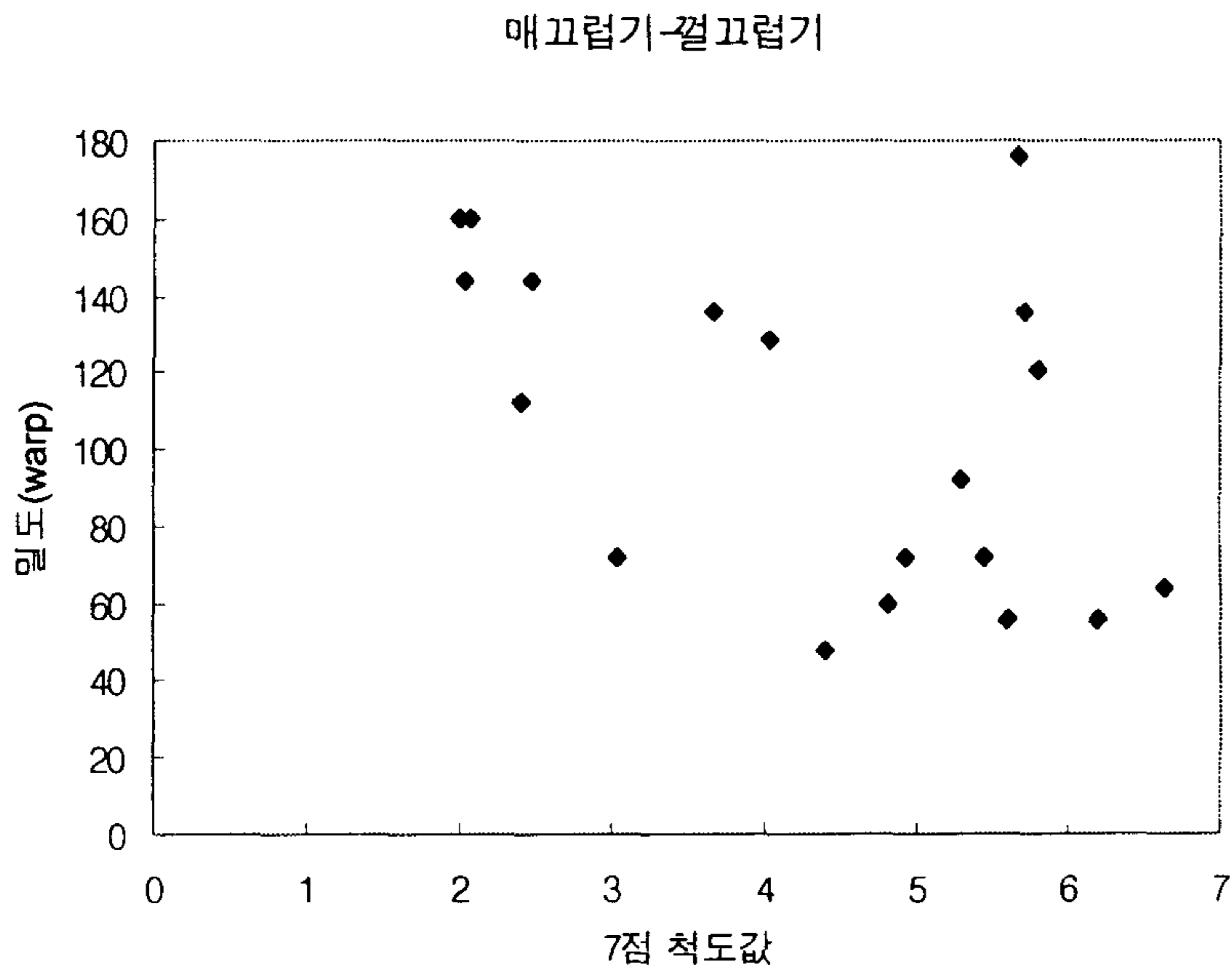


Fig. 3.4.4 Relation between Warp density and Subjective Measurements in Smoothness

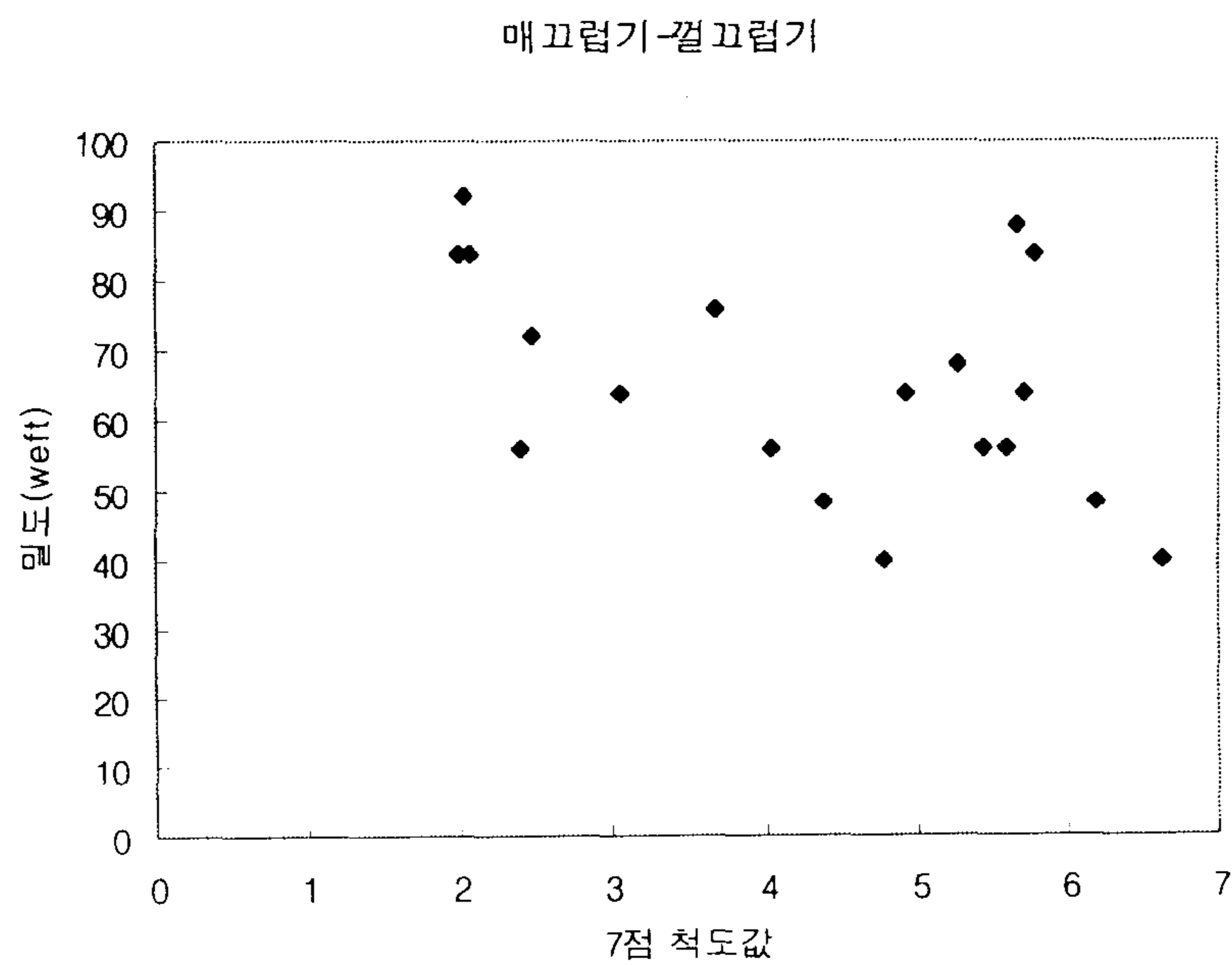


Fig. 3.4.5 Relation between Weft density and Subjective Measurements in Smoothness

1.1.4 Weft 밀도

Fig. 3.4.5는 직물의 표면이 거칠수록 weft 밀도 값이 감소함을 보이고 있다.

1.2 편편하기-우둘두들하기

1.2.1 표면 거칠기

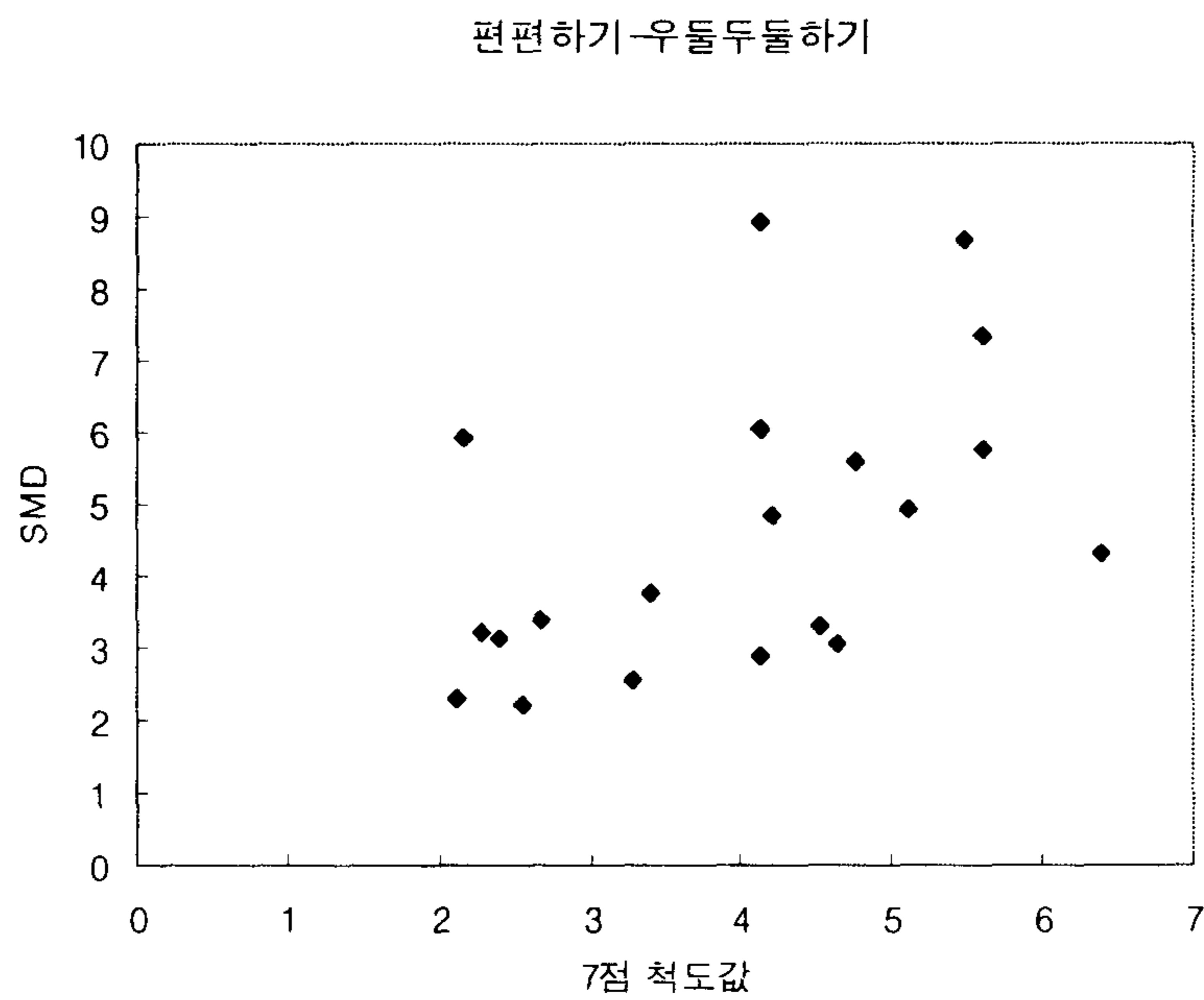


Fig. 3.4.6 Relation between SMD and Subjective Measurements in Flatness

Fig. 3.4.6은 직물의 표면이 우둘두들할수록 표면 거칠기 값이 증가함을 보이고 있다.

1.2.2 회전 마찰력

Fig. 3.4.7은 직물의 표면이 우둘두들할수록 회전 마찰력 값이 감소함을

보이고 있다.

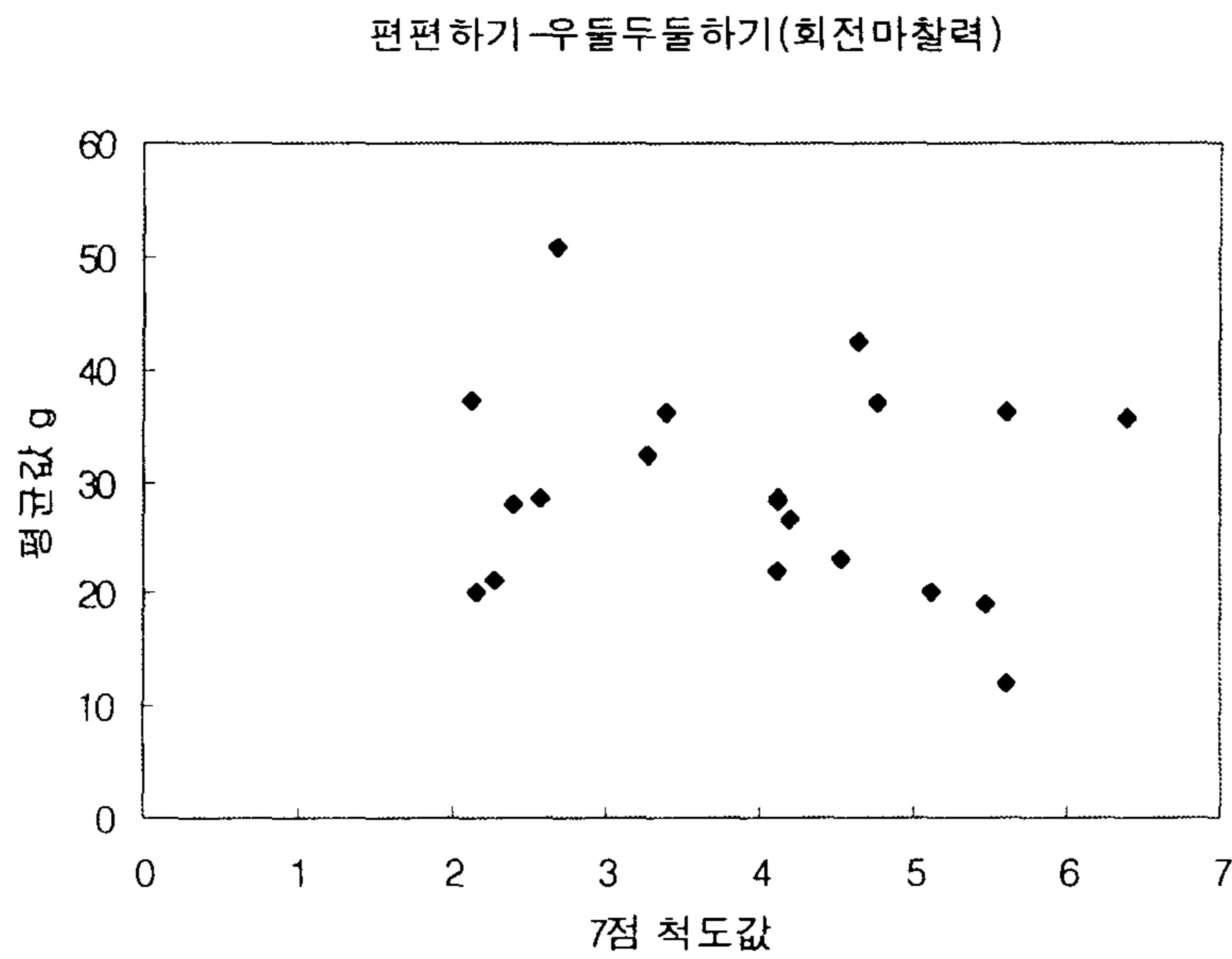


Fig. 3.4.7 Relation between Rotational Friction forces and Subjective Measurements in Flatness

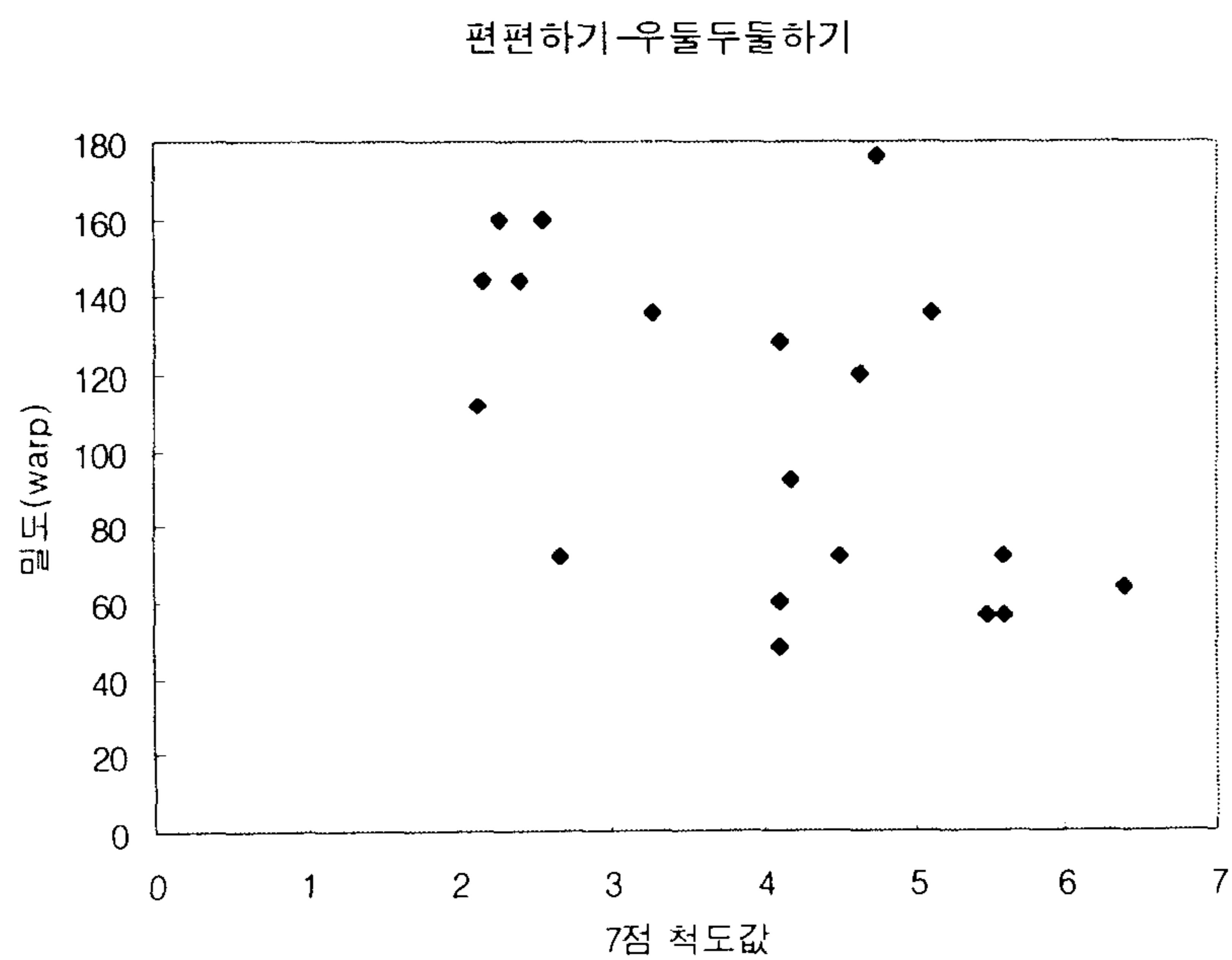


Fig. 3.4.8 Relation between Warp density and Subjective Measurements in Flatness

1.2.3 Warp 밀도

Fig. 3.4.8 은 직물의 표면이 우둘두들할수록 warp 밀도 값이 감소함을 보이고 있다.

1.2.4 Weft 밀도

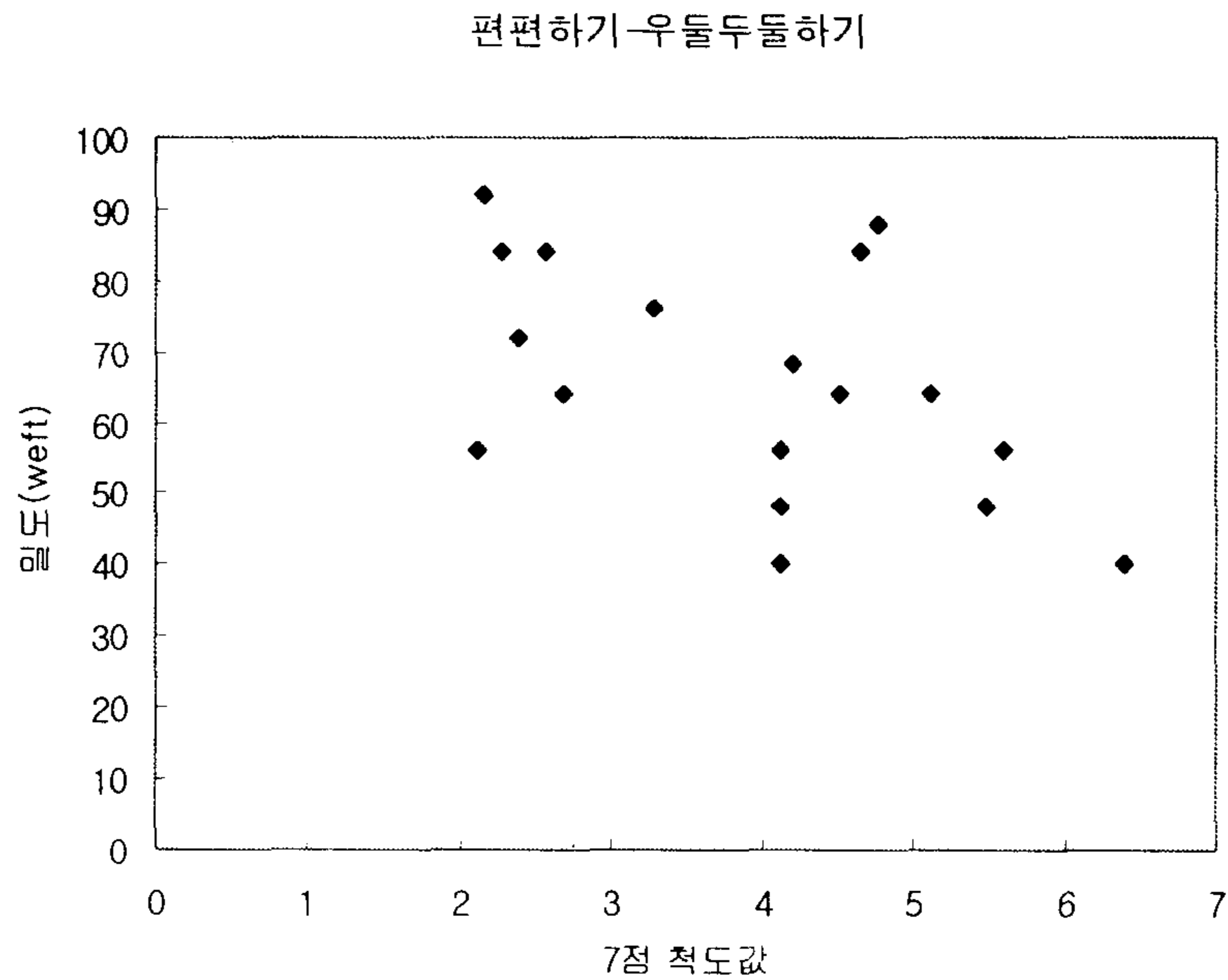


Fig. 3.4.9 Relation between Weft density and Subjective Measurements in Flatness

Fig. 3.4.9은 직물의 표면이 우둘두들할수록 weft 밀도 값이 감소함을 보이고 있다.

1.3 폭신하기-딱딱하기

1.3.1 중량

Fig. 3.4.10은 직물의 표면이 딱딱할수록 중량 값이 감소함을 보이고 있

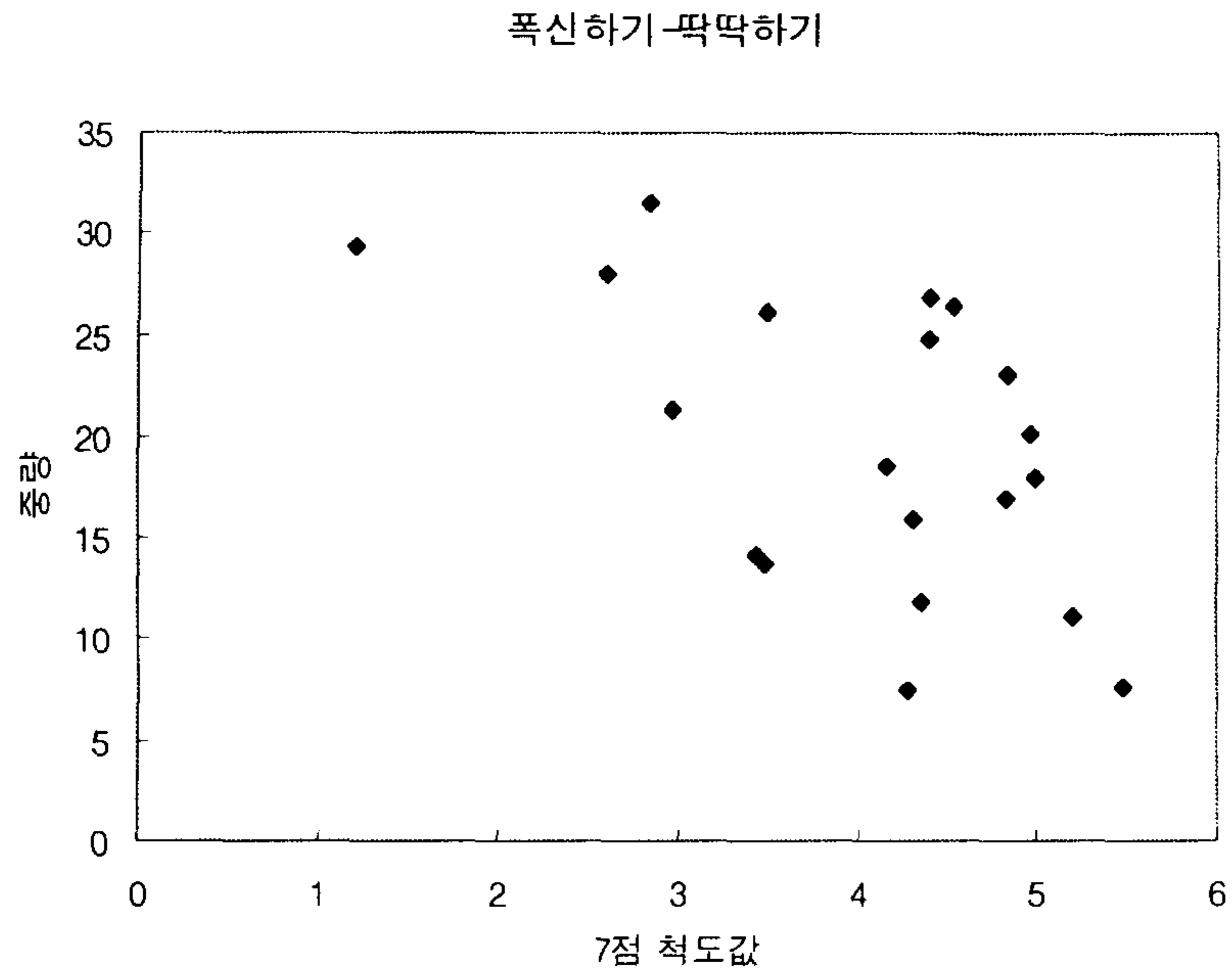


Fig. 3.4.10 Relation between Specific Weight and Subjective Measurements in Softness

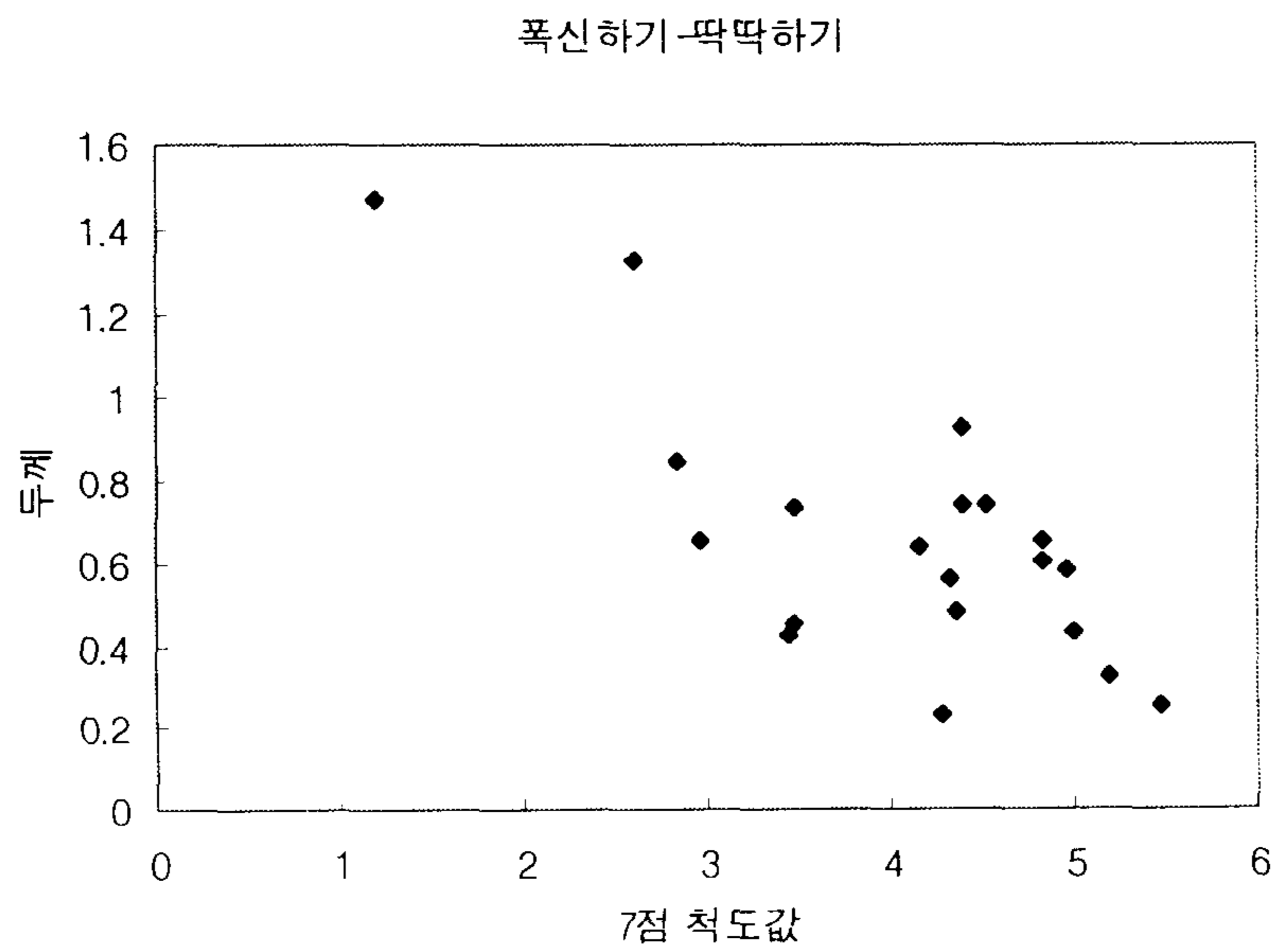


Fig. 3.4.11 Relation between Thickness and Subjective Measurements in Softness

다.

1.3.2 두께

Fig. 3.4.11은 직물의 표면이 딱딱할수록 두께 값이 감소함을 보이고 있다.

2. Fuzzy Theory를 이용한 평가 모델 확립

2.1 Membership Degree화

각 대표형용사쌍의 7점 척도 값을 Fuzzy Membership Function에 적용시키기 위하여 1점에서 7점까지 표시된 7점 척도 값을 0에서 1사이로 표시되는 Membership Degree값으로 변환시킨 후 Polynomial Regression으로 각 물리량에 대한 Membership Function을 구한다. Polynomial Regression은 일률적으로 3차식으로 가정하여 구하였다. 그에 대한 결과는 다음과 같다.

2.1.1 맵프럽기 - 꺾프럽기

(1) 표면 거칠기

Fig. 3.4.12는 1점에서 7점까지 표시된 7점 척도값으로 표현되는 표면의 꺾프러운 정도를 0에서 1사이로 환산한 membership degree의 regression 결과로써 직물의 표면 거칠기에 대하여 보이고 있다.

(2) 회전 마찰력

Fig. 3.4.13은 1점에서 7점까지 표시된 7점 척도값으로 표현되는 표면의 꺾프러운 정도를 0에서 1사이로 환산한 membership degree의 regression 결

과로써 직물의 회전 마찰력에 대하여 보이고 있다.

(3) Warp 밀도

Fig. 3.4.14은 1점에서 7점까지 표시된 7점 척도값으로 표현되는 표면의 결끄러운 정도를 0에서 1사이로 환산한 membership degree의 regression 결과로써 직물의 warp 밀도에 대하여 보이고 있다.

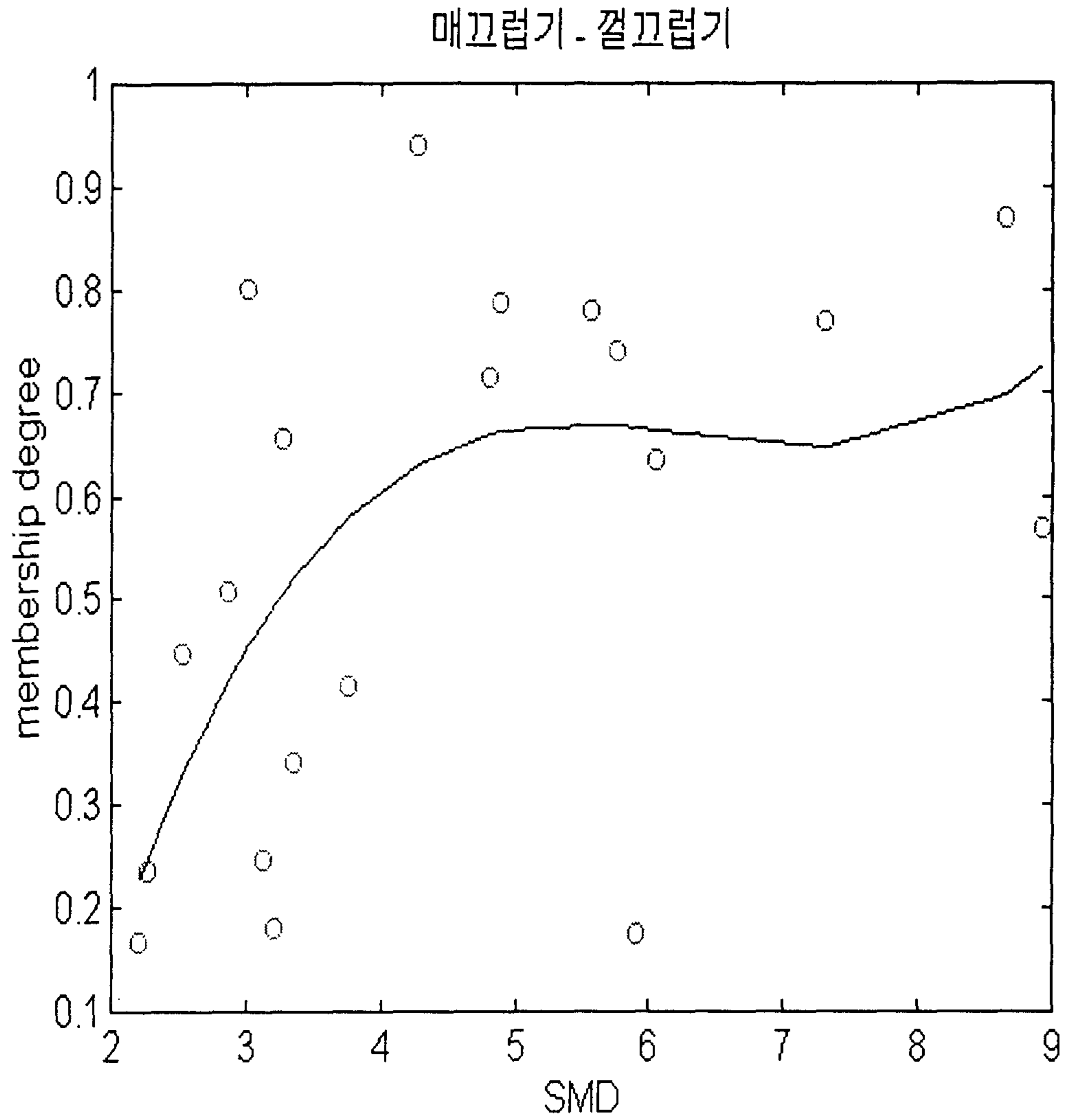


Fig. 3.4.12 Regression Function between SMD and Membership Degree in Smoothness

$$\mu(x) = 0.007x^3 - 0.1334x^2 + 0.8331x - 1.0363 \quad (3.4.1)$$

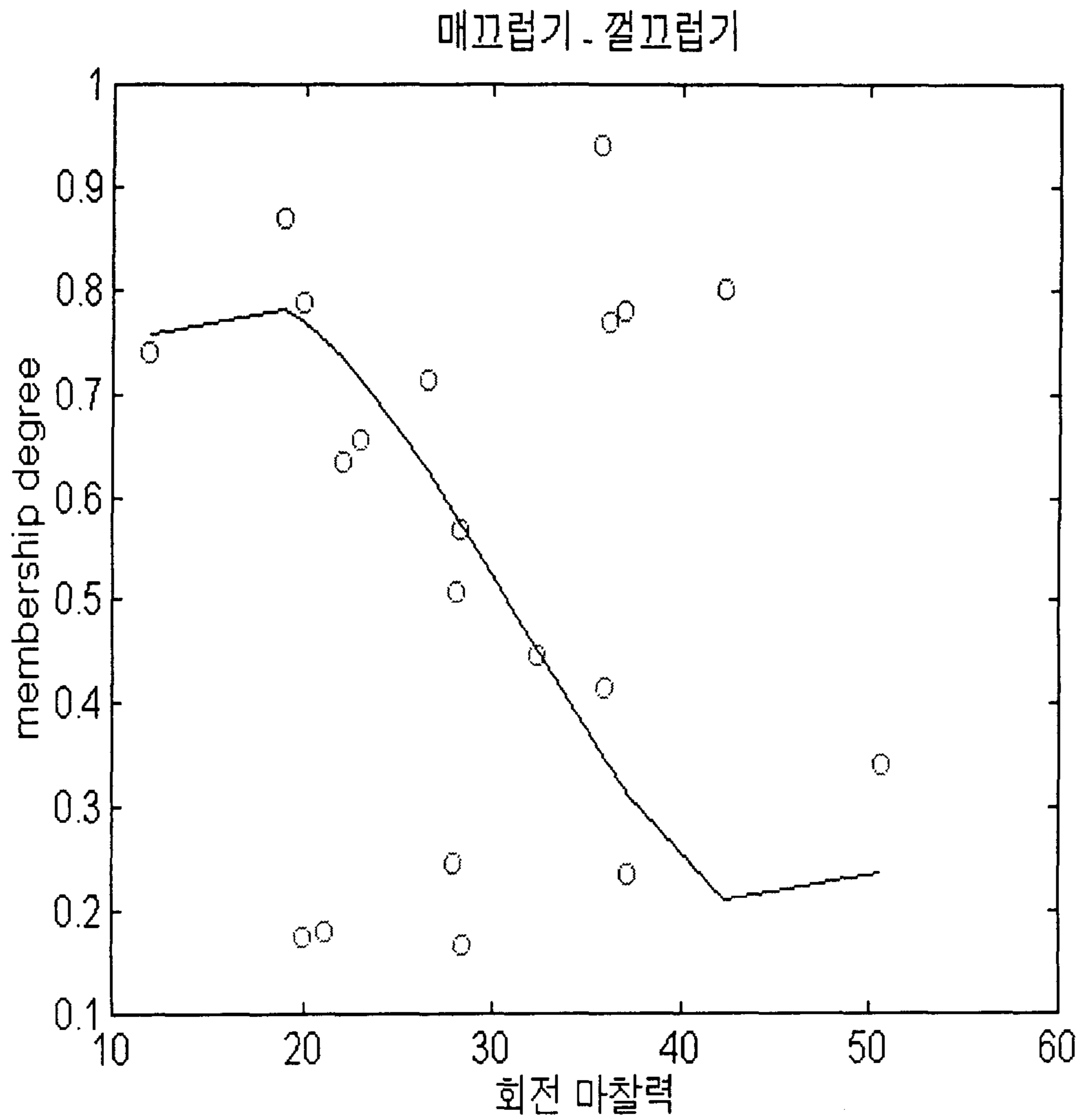


Fig. 3.4.13 Regression Function between Rotational Friction forces and Membership Degree in Smoothness

$$\mu(x) = 4.6136 \times 10^{-5} x^3 - 0.0043x^2 + 0.1029x + 0.0614 \quad (3.4.2)$$

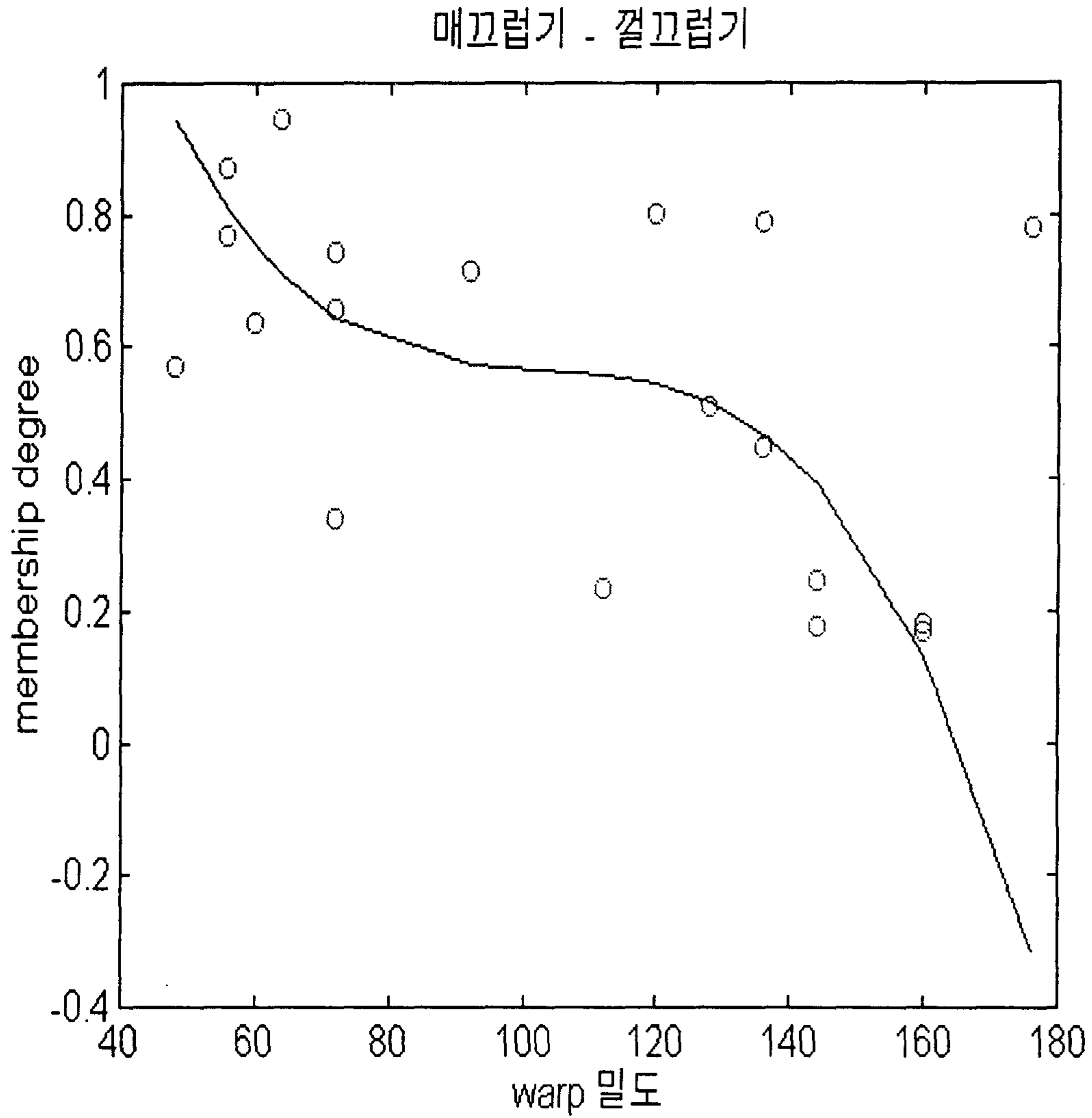


Fig. 3.4.14 Regression Function between Warp Density and Membership Degree in Smoothness

$$\mu(x) = -2.1341 \times 10^{-6} x^3 + 6.5768 \times 10^{-2} x^2 - 0.0681x + 2.9318$$

(3.4.3)

(4) Weft 밀도

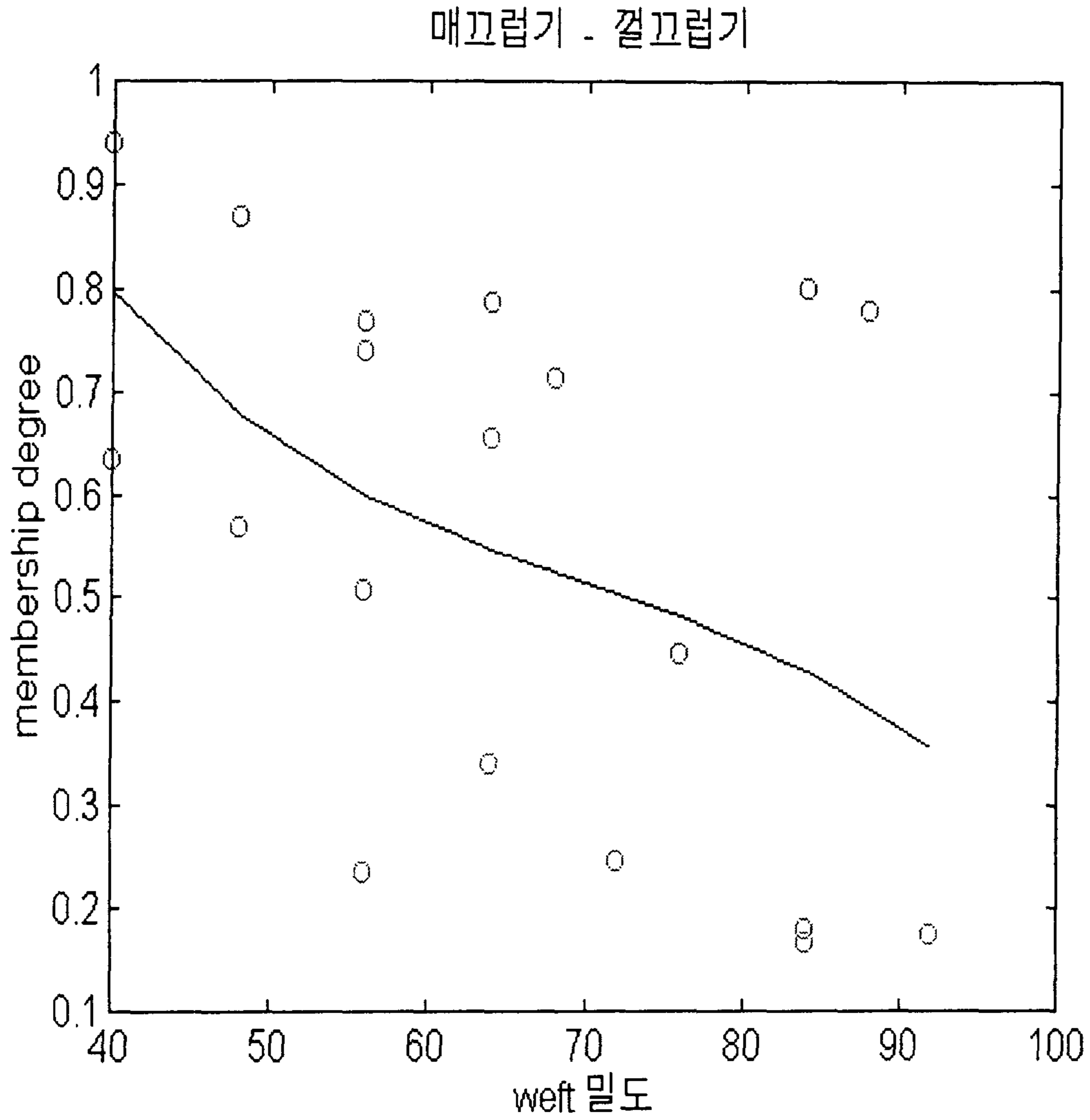


Fig. 3.4.15 Regression Function between Weft Density and Membership Degree in Smoothness

$$\mu(x) = -4.4321 \times 10^{-6} x^3 + 9.3931 \times 10^{-4} x^2 - 0.0716x + 2.4400$$

(3.4.4)

2.1.2 편편하기-우둘두들하기

(1) 표면 거칠기

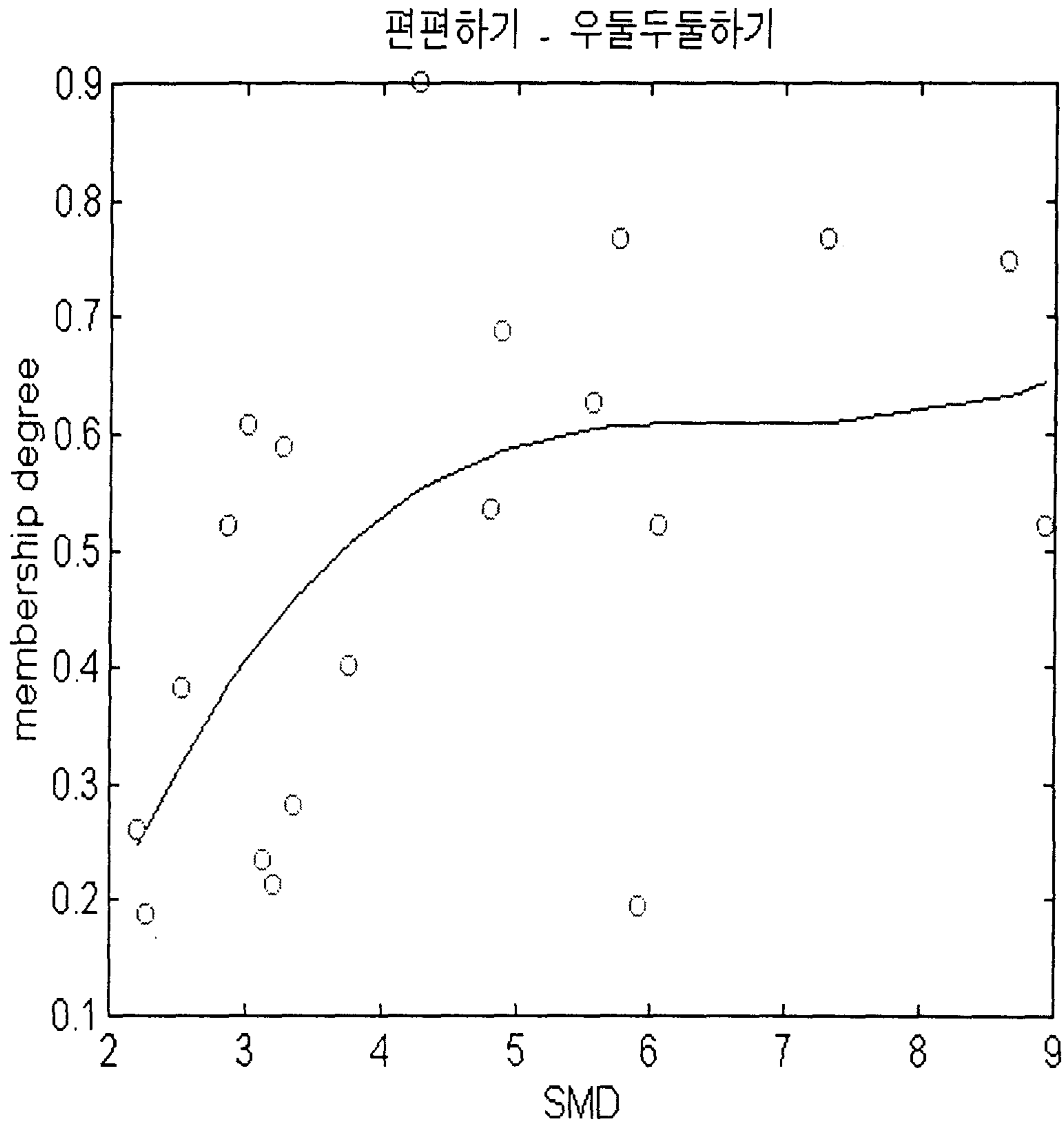


Fig. 3.4.16 Regression Function between SMD and Membership Degree in Flatness

$$\mu(x) = 0.0038x^3 - 0.0774x^2 + 0.5253x - 0.5767 \quad (3.4.5)$$

(2) 회전 마찰력

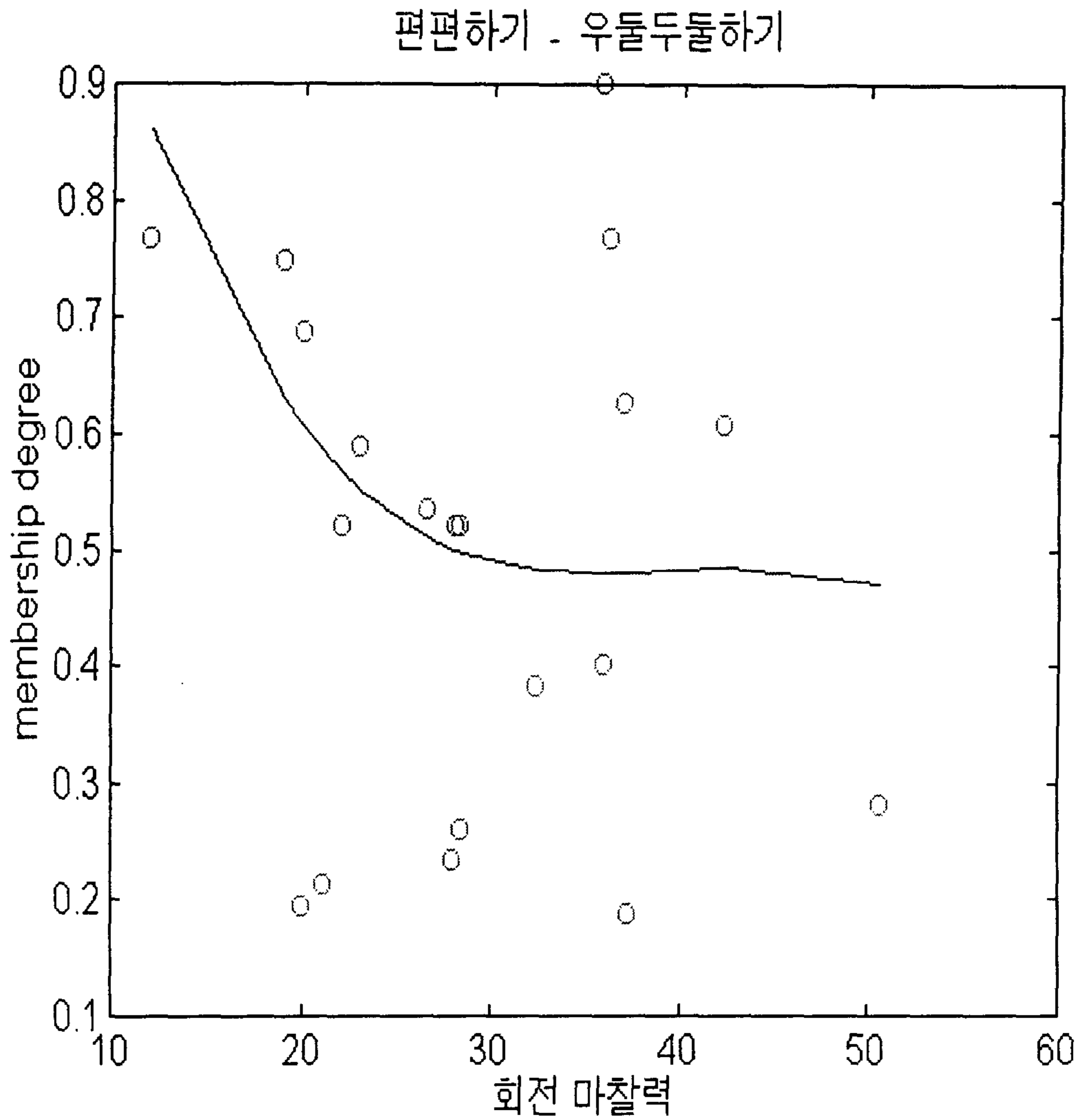


Fig. 3.4.17 Regression Function between Rotational Friction forces and Membership Degree in Flatness

$$\mu(x) = -1.9318 \times 10^{-5} x^3 + 0.0023x^2 - 0.0901x + 1.6436 \quad (3.4.6)$$

(3) Warp 밀도

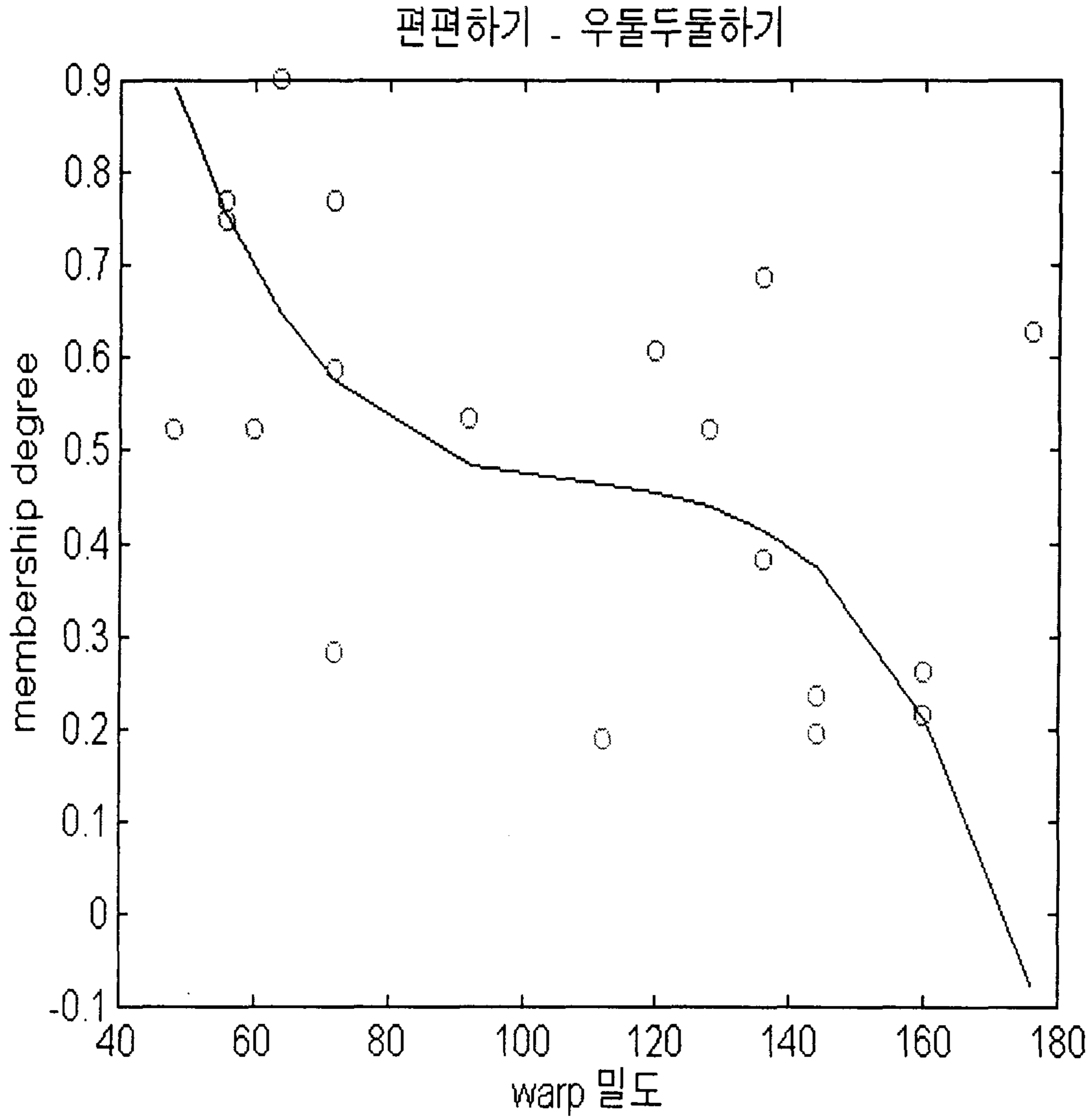


Fig. 3.4.18 Regression Function between Warp Density and Membership Degree in Flatness

$$\mu(x) = -1.6908 \times 10^{-6} x^3 + 5.5431 \times 10^{-4} x^2 - 0.0612x + 2.7383$$

(3.4.7)

(4) Weft 밀도

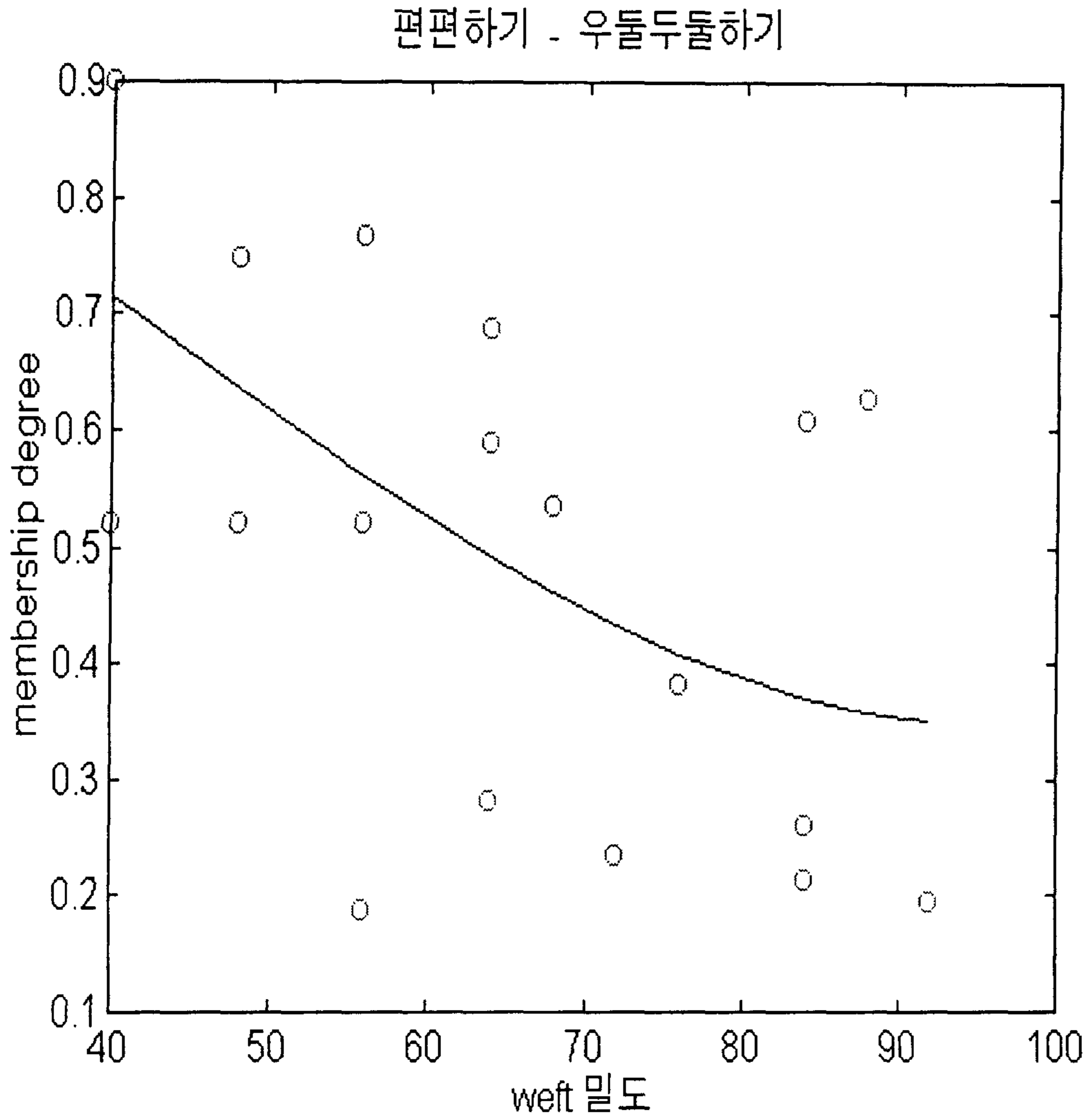


Fig. 3.4.19 Regression Function between Weft Density and Membership Degree in Flatness

$$\mu(x) = 9.6825 \times 10^{-7} x^3 - 1.0868 \times 10^{-4} x^2 - 0.0060x + 1.0638$$

(3.4.8)

2.1.3 폭신하기-딱딱하기

(1) 중량

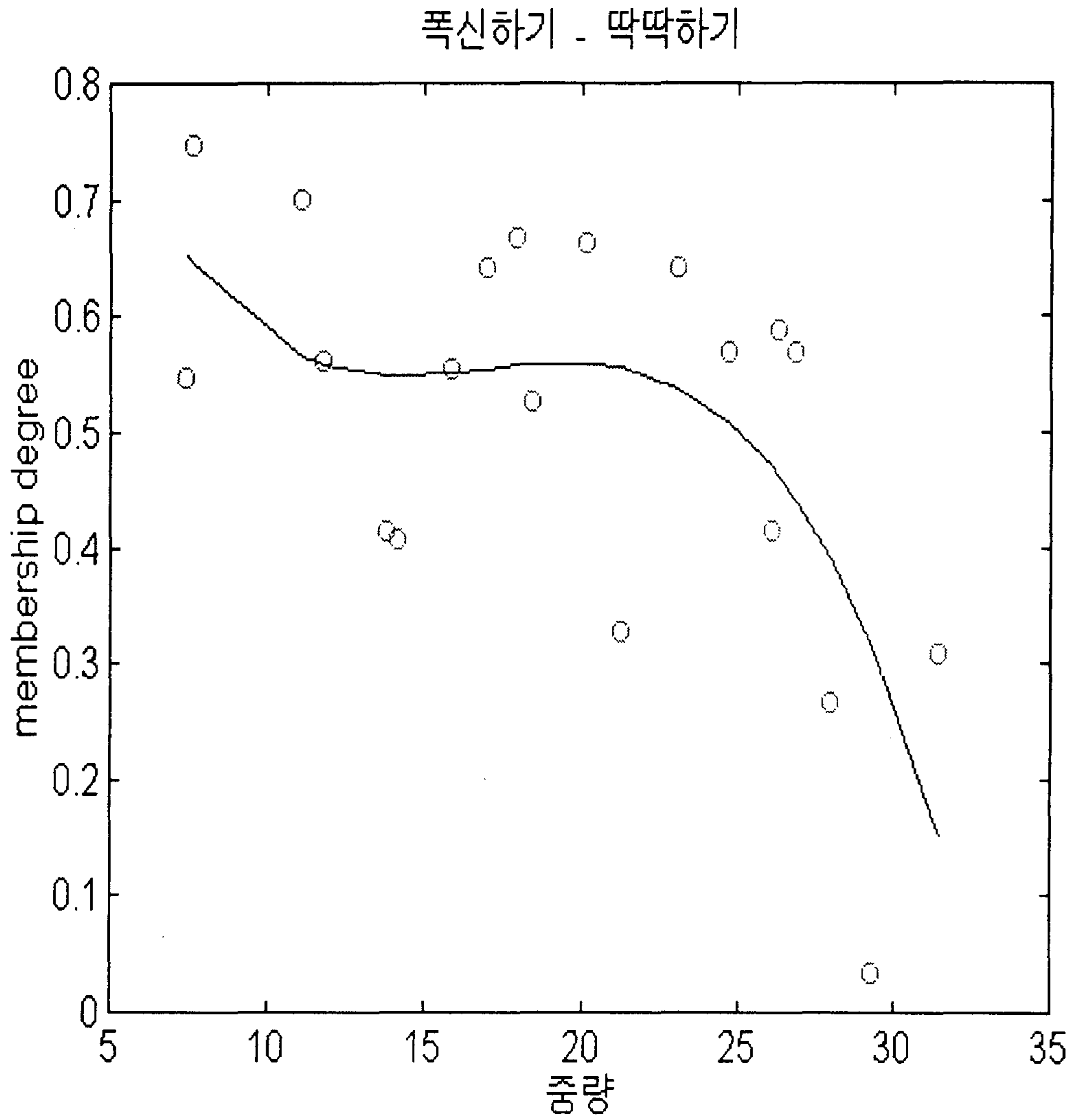


Fig. 3.4.20 Regression Function between Specific Weight and Membership Degree in Softness

$$\mu(x) = -1.4578 \times 10^{-4} x^3 + 0.0074x^2 - 0.1226x + 1.2137 \quad (3.4.9)$$

(2) 두께

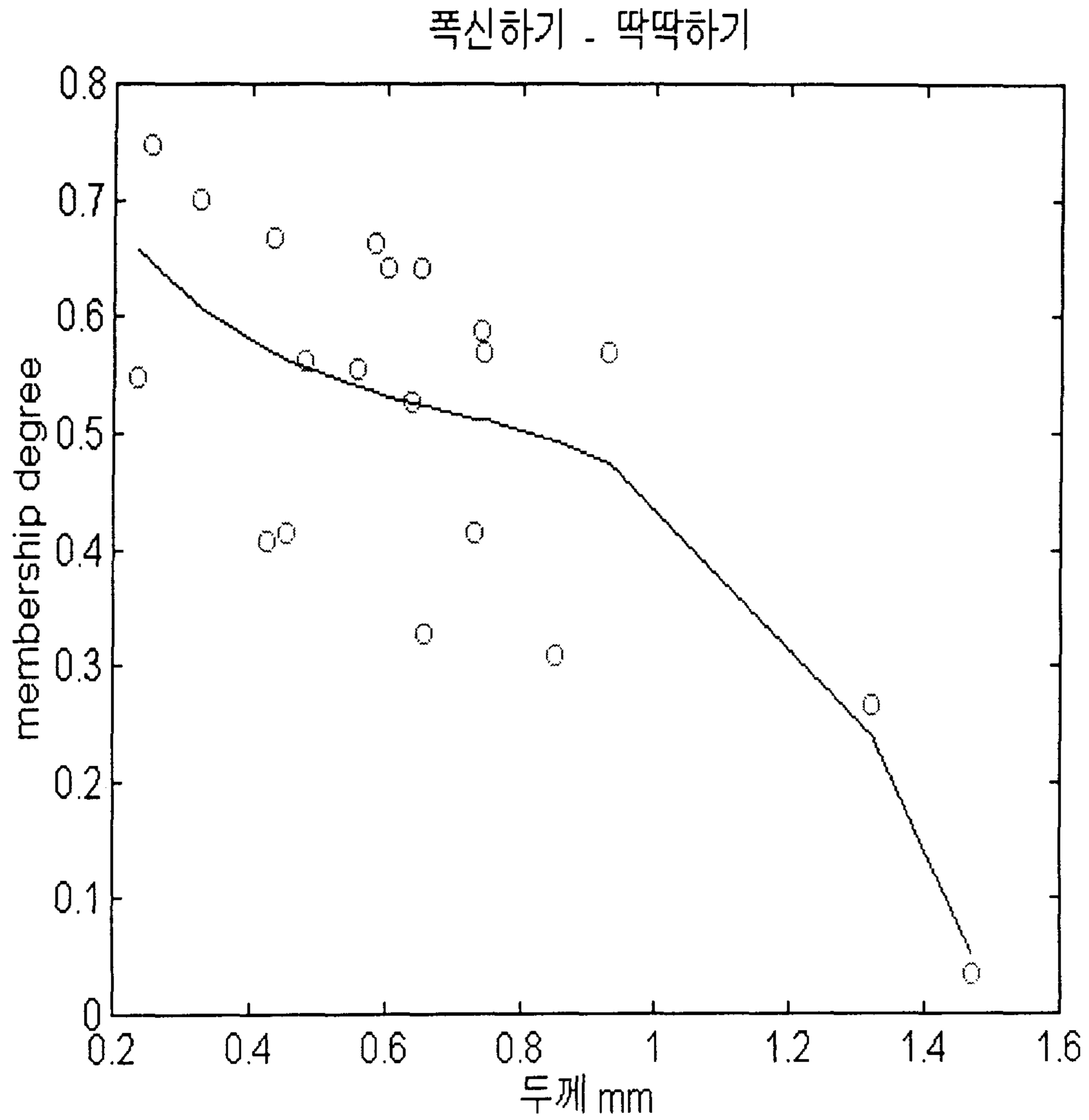


Fig. 3.4.21 Regression Function between Thickness and Membership Degree in Softness

$$\mu(x) = -0.7566x^3 + 1.5728x^2 - 1.2322x + 0.8683 \quad (3.4.10)$$

2.2 Weight Vector

Weight Vector는 평가 모델에 있어서 각 물리량이 질감 표현에 기여하는 정도를 반영하기 위하여 산정 하였는데, 본 논문에서 Weight Vector는 5.2.1의 Polynomial Regression에서 Mean Square Error(MSE)값을 이용하여 구하였다. 이것은 MSE가 작은 물리량은 그 형용사에 대한 질감에 큰 영향을 미쳐 사람이 민감하게 느낄수록 이 값이 작은 값을 나타내며, 이 값이 커질수록 민감하게 느끼지 못한다는 개념으로 출발하였다.

Mean Square Error(MSE)는 다음과 같이 정의된다.

$$mse = \frac{\sum_{k=0}^N (y_k - y1_k)^2}{N} \quad (3.4.11)$$

$y1_k$: Regression된 Curve상의 Membership Degree값

y_k : 원래의 y 좌표값

기여도 Point(CP)는 다음과 같이 정의된다.

$$CP = 1/\sqrt{MSE} \quad (3.4.12)$$

여기서 CP값은 MSE값이 Curve 상에서 Regression 하였을 때 그 때의 절대값의 제곱을 하여 구한 값이므로 다시 제곱근의 역수를 취함으로써 질감

의 민감함에 대한 정도를 수치화 하였다. CP가 구해지면 각 물리량이 그 형용사에 대하여 CP의 합에 대한 백분율로써 수치화할 수 있는데 이것이 Weight Vector의 요소 값이 된다.

2.2.1 매끄럽기-결끄럽기

Table 3.4.1 Weight Factors in Smoothness

요소	MSE	기여도(CP)	백분율(%)
표면 거칠기	0.0411	4.93	31.5
회전 마찰력	0.1048	3.09	19.7
Warp 밀도	0.0990	3.18	20.3
Weft 밀도	0.0500	4.47	28.5
계		15.67	100

$$\text{Weight Vector } A = (0.315 \quad 0.197 \quad 0.203 \quad 0.285)$$

2.2.2 편편하기-우둘두들하기

Table 3.4.2 Weight Factors in Flatness

요소	MSE	기여도(CP)	백분율(%)
표면 거칠기	0.0305	5.73	28.6
회전 마찰력	0.0451	4.71	23.5
Warp 밀도	0.0574	4.17	20.8
Weft 밀도	0.0342	5.41	27.1
계		20.02	100

$$\text{Weight Vector } A = (0.286 \quad 0.235 \quad 0.208 \quad 0.271)$$

2.2.3 폭신하기-딱딱하기

Table 3.4.3 Weight Factors in Softness

요 소	MSE	기여도(CP)	백분율(%)
중 량	0.0165	7.78	45.6
두 께	0.0116	9.28	54.4
계		17.06	100

$$\text{Weight Vector } A = (0.456 \quad 0.544)$$

3. 평가 모델

평가 모델은 다음과 같이 정립된다.

$$B = A \cdot R$$

B : Grading Vector

A : Weight Vector

R : Fuzzy Membership Evaluation Matrix(FMEM)

Grading Vector는 원하는 직물에 대하여 그 형용사에 대한 질감의 정도를 수치화 할 수 있는 Vector를 의미한다. 만일 k 개의 직물(T_1, T_2, \dots, T_k)에 대하여 해당 질감의 정도를 수치화하고 순서를 비교하고자 한다면 FMEM은 다음과 같이 구성된다.

$$R = R(\mu_{ij})$$

$$= \begin{array}{cccc|l} & T_1 & T_2 & \cdots & T_k & \\ \begin{array}{l} \mu_{11} \\ \mu_{21} \\ \dots \\ \mu_{k1} \end{array} & \begin{array}{l} \mu_{12} \\ \mu_{22} \\ \dots \\ \mu_{k2} \end{array} & \begin{array}{l} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{array} & \begin{array}{l} \mu_{1k} \\ \mu_{2k} \\ \dots \\ \mu_{kk} \end{array} & \begin{array}{l} \text{물리량 1} \\ \text{물리량 2} \\ \dots \\ \text{물리량 } k \end{array} & \text{(식 3.4.13)} \end{array}$$

μ_{ij} : 식 3.4.1~3.4.10으로부터 구한 membership degree

그러므로 평가 모델은 다음과 같다.

$$B = A \cdot R$$

$$= (w_1 \ w_2 \ \cdots \ w_k) \begin{array}{cccc} \left[\begin{array}{cccc} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1k} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2k} \\ \dots & & & \\ \mu_{k1} & \mu_{k2} & \cdots & \mu_{kk} \end{array} \right] & \text{(식 3.4.14)} \end{array}$$

제 5 절 손끝의 동적 점탄성 반응

1. 인간의 촉감 메카니즘

인간이 외부로부터 신체에 주는 감각은 촉각, 시각, 청각, 후각, 미각의 5 가지 감각을 통해서 느끼게 되는데 그 중에서 촉각은 가장 원시적인 감각기관으로 시작하여 인간의 중요한 감각으로 여겨지고 있다. 피부자극에 의한 촉각을 감각기관으로부터 인간이 정신적으로 해석하여 느끼는 감정을 촉감이라고 생각할 수 있다. 손으로 물건을 쥐거나 문지를 때 손바닥과 물체 표면 사이의 물리적인 현상에 의해 자극이 손바닥으로 전달되어 뇌에서 반응하여 느끼게 된다. 인간의 피부의 안쪽에는 여러 가지 센서에 해당되는 기관들이 Fig. 3.5.1과 같이 존재하여 외부로부터 힘, 진동, 압력, 온도 등을 감지하여 촉감을 느끼게 된다. 손바닥과 같이 털이 존재하지 않는 피부는 표피, 진피, 피하조직으로 층을 이루고 있으며 내부에는 마이스너 소체(Meissner corpuscle), 촉반(Merkel disk), 파치니 소체(Pacinian corpuscle), 루피니 소체(Ruffini ending) 등의 센서가 자유신경종말에 연결되어 마이스너 소체는 촉감, 루피니 소체는 온감, 크라우제 소체는 냉감, 파치니 소체는 압감 등 외부적인 자극을 감지하고 있다. 외부적인 자극은 대부분 역학적인 성질을 갖는 진동, 압력, 힘, 온도 등으로 Table 3.5.1에 범위와 자극의 내용에 대해서 요약된다.

Table 3.5.1과 같이 소체들은 진동에 민감한 것을 알 수 있으므로 촉감 메카니즘의 해석에는 동적인 현상을 연구해야한다. 감지 가능한 힘의 크기는 수 mN으로 대단히 작은 크기의 값을 측정하는 능력을 인간이 보유하고 있

음을 알 수 있으며 특히 손을 움직일 때 느끼는 촉감은 압력과 더불어 움직이는 힘(진동)이 중요한 감지요소가 된다. 더욱이 털이 있는 피부는 지극히 미소한 힘의 변화도 느끼게 된다. 이와 같은 여러 가지 역학적인 자극으로 인해 질감을 창출하게 된다. 더우기 피부는 friction(마찰), stiffness(강도), vibration(진동)과 같은 역학적 특성을 처리하는 압축변형이 쉽게 일어나는 점탄성 매개체이다. 이런 특성으로 인해 피부에 동적인 자극을 가하여 역학적으로 나타나는 impedance를 측정하여 점탄성 반응을 해석하게 된다.

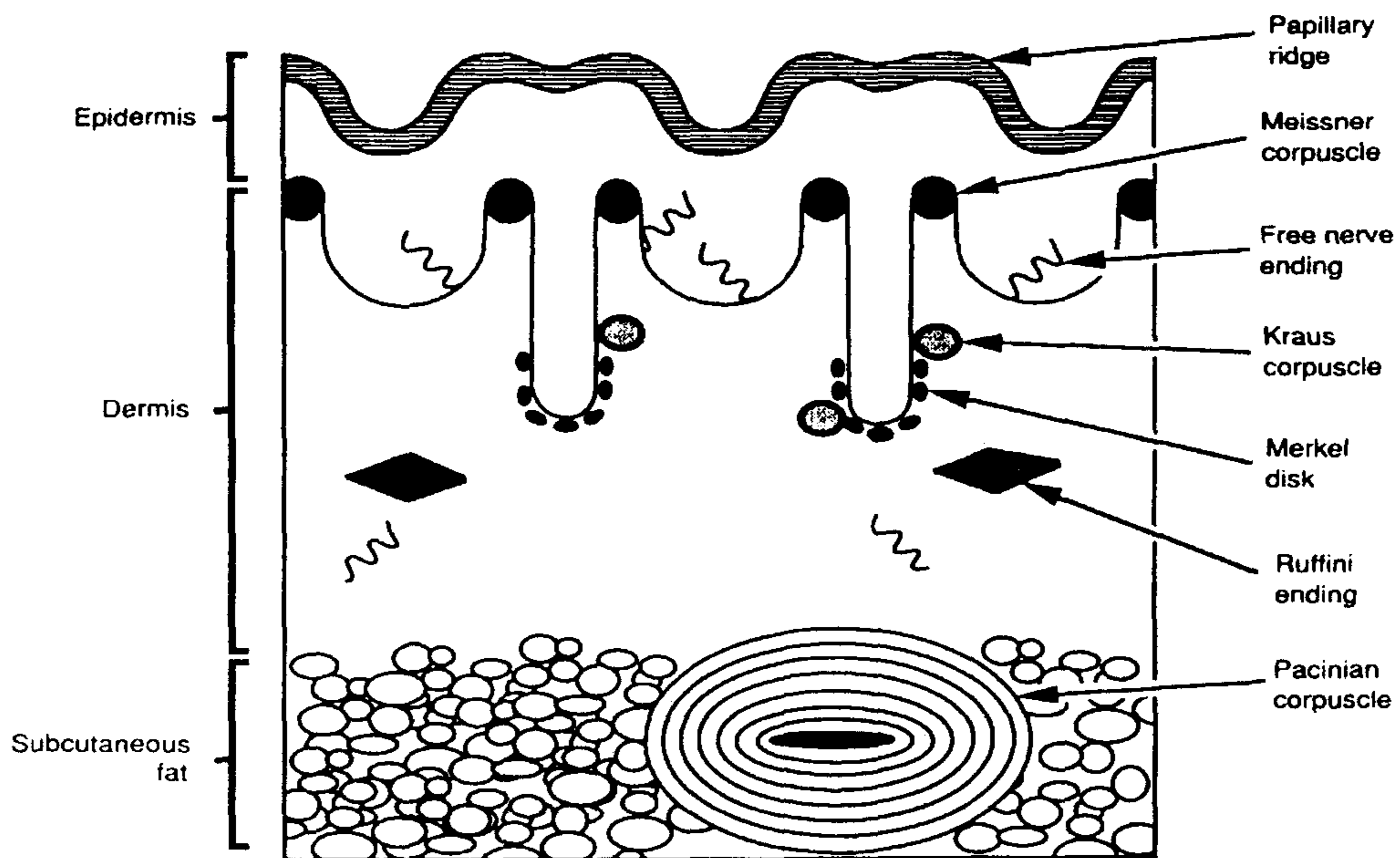


Fig. 3.5.1 Nerve Supply to the Fingerprint Skin of the Hand

Table 3.5.1 The Characteristics of Some Nerve Endings which Respond to Small Deformations of the Skin below the Threshold of Pain

Nerve ending	Receptive field(mm)	Vibration response(Hz)	Stimulus
Meissner	3-4	8-64	Texture, normal force
Merkel	3-4	2-32	Shape, edges, texture
Pacinian	10	64-400	Vibration
Ruffini	-	1-16	Lateral skin stretch

2. 이론

2.1 접촉 이론 (Hertzian 이론)

Hertzian 이론은 기본적인 접촉이론으로 두 물체가 접촉하고 있을 때 나타나는 반응의 압력분포와 접촉변형사이의 관계를 이론적으로 설명한 것이다. Fig. 3.5.2와 같이 R_1, R_2 의 곡률 반경을 갖고 있는 두 물체가 서로 접촉하여 하중 P 가 가해지게 되면 Fig. 3.5.3와 같은 접촉압력에 의해 변형이 일어난다고 가정하였다.

Hertzian equation에 의한 압력분포는

$$p(r) = p_0 \{1 - (r/a)^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.5.1)$$

여기서 $p(r)$ 은 압력이고, p_0 는 최대압력, r 은 중심으로부터 거리이며 a 는 접촉면의 반지름이다. 변형된 길이 normal displacement는 \bar{u}_z 로 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\bar{u}_z = \frac{1-\nu^2}{E} \frac{\pi p_0}{4a} (2a^2 - r^2) \quad (3.5.2)$$

여기서 ν 는 Poisson's ratio, E 는 Young's modulus이다.

두 개의 접촉 물체의 Young's modulus가 다를 경우(E_1, E_2, ν_1, ν_2) 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \quad (3.5.3)$$

그리고 a 를 가해진 하중 P 와 Young's modulus와 접촉곡률 반지름과의 관계

로 나타내면

$$a = \left(\frac{3PR}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5.4)$$

으로 정리된다. 최대 늘려진 변위와 압력은

$$\delta = \frac{a^2}{R} = \left(\frac{9P^2}{16RE^{*2}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5.5)$$

$$p_o = \frac{3P}{2\pi a^2} = \left(\frac{6PE^{*2}}{\pi^3 R^2} \right)^{1/3} \quad (3.5.6)$$

이며 곡률(R)은 다음과 같은 관계가 된다.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3.5.7)$$

압력과 접촉면적에 따른 total force P는 계산되며 식 (3.5.4)을 식 (3.5.6)에 대입하여 P를 소거하면 식 (3.5.8)을 얻어서 (3.5.1)식에 넣으면 압력분포는 식 (3.5.10)으로 나타나게 된다.

$$p_o = \frac{2E^* a}{\pi R} \quad (3.5.8)$$

$$P = \int_0^a p(r) 2\pi r dr = \frac{2}{3} p_o \pi a^2 \quad (3.5.9)$$

$$p(r) = \frac{2E^*}{\pi R} [a^2 - r^2]^{1/2} \quad (3.5.10)$$

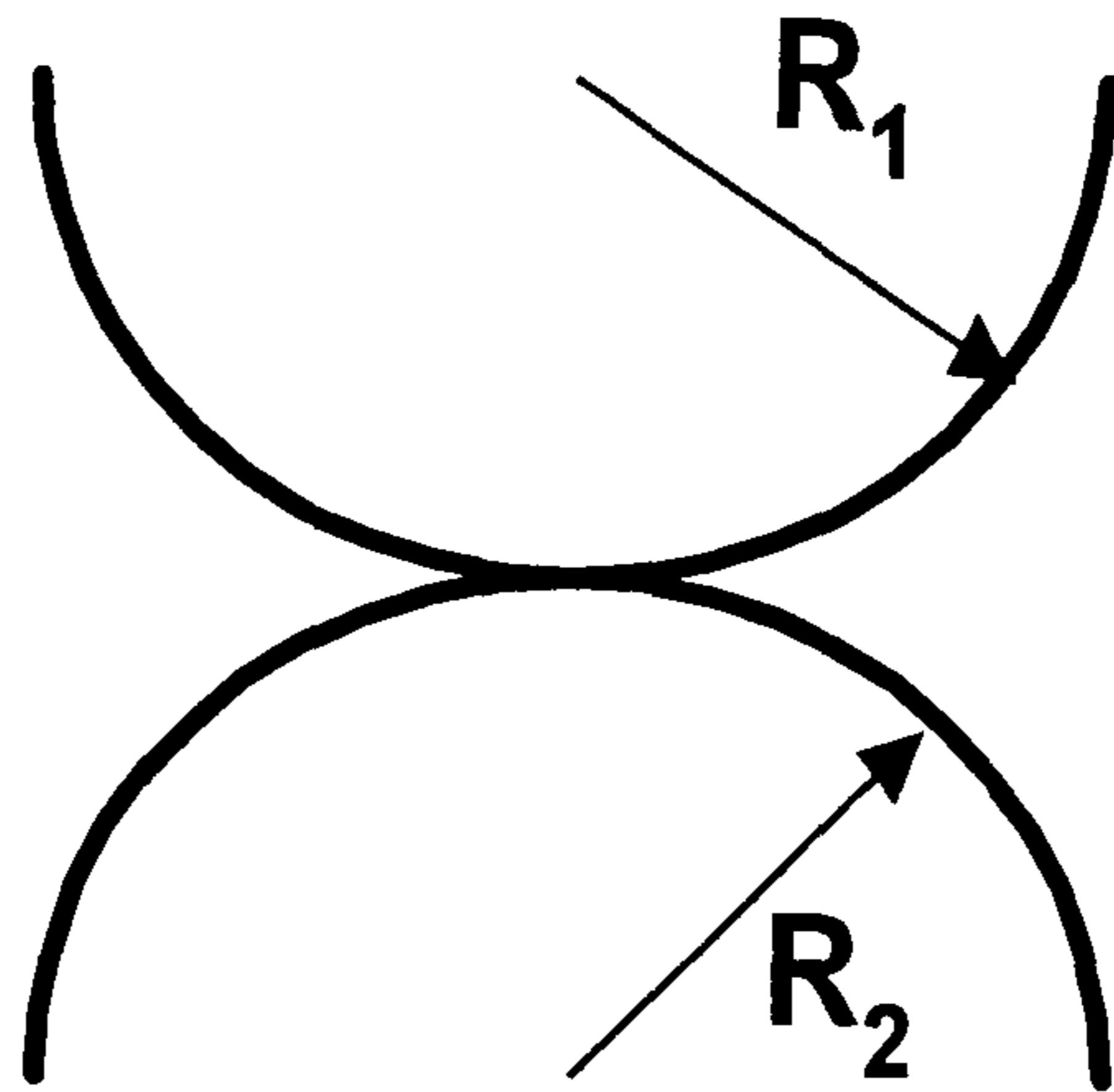


Fig. 3.5.2 Two Curved Surfaces of Different Radii Pressed against Each Other

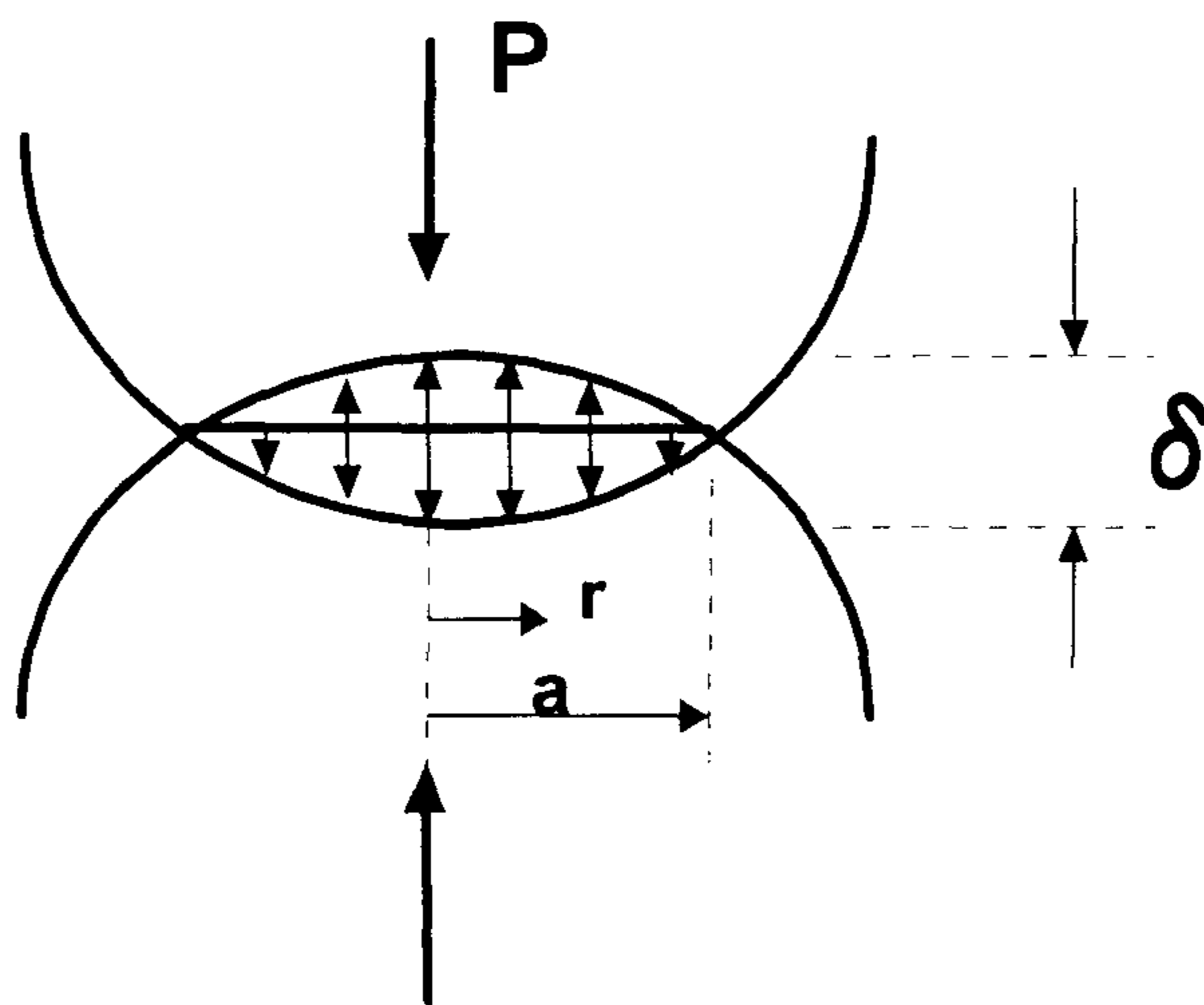


Fig. 3.5.3 Pressurized Distributions at the Surface Caused by Hertz Pressure Acting on a Circular Area

2.2 손끝의 접촉이론 모델

손끝이 직물을 누르게 되면 직물과 손끝 피부 사이에 접촉에 의해 질감을 느끼게 되며 이 때 나타나는 현상을 Hertz의 접촉이론을 이용하여 모델을 만들었다.

Fig. 3.5.4와 같이 손끝이 직물과 접촉할 때 직물이 눌려지는 것과 동시에 손끝도 접촉이론에 의해 변형된다고 가정할 수 있다. 누르는 손끝을 강체로 가정하면 Fig. 3.5.5와 같이 누르는 방향으로 이동만을 하지만 손끝은 $u_z(r)$ 의 변위가 동시에 일어난다. 이 때 변위 $u_z(r)$ 은 손끝에서 질감을 느끼게 한다. 그리고 손끝의 Young's modulus는 Pawluk이 modeling한 것에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있으며 눌려지는 손끝의 변위에 따라 변하게 된다.

$$E_1 = \frac{2b}{m} [e^{mx} - 1] \quad (3.5.11)$$

식 (3.5.3)에서 E_2 를 강체로 가정하면 E_1 에 비해 E_2 가 매우 커지므로 식 (3.5.3)은

$$\frac{1}{E^*} \rightarrow \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \quad (3.5.12)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 fingerpad의 Poisson's Ratio는 0.5로서 rubber와 비슷한 값으로 가정하였다. 식 (3.5.6)과 식 (3.5.12)을 식 (3.5.2)에 대입하여 손끝의 변위

$$u_z(r) = \frac{1}{E^*} \left(\frac{3PE^{*2}}{32a^3R^2} \right)^{1/3} [2a^2 - r^2] \quad (3.5.13)$$

를 얻을 수 있다. 그러므로 손끝의 변위 $u_z(r)$ 과 하중을 측정하여 손끝의 접촉특성을 해석하였다. 접촉이론의 모델로서 손끝이 강체를 누른다고 가정하였다. 손끝에 하중이 주어지면 각 point마다 압력이 다르게 작용하므로 압력분포를 고려해야 하지만 본 연구에서는 $r=0$ (즉 손끝이 가장 많이 눌려진 최대 변위)인 경우로 한정시켰다.

식 (3.5.13)에서 $r=0$ 인 경우 손끝이 가장 많이 눌려져 변위($u_z(0)$)은 최대 변위(δ)가 된다. 실험에 의해서 δ 와 P 를 측정하여 손끝의 compliance 변화를 살펴 실험식과 이론 식을 비교하였다.

$r=0$ 일 때의 $u_z(0) = x$ 라고 하면

$$x = \frac{1}{E^*} \left[\frac{3PE^{*2}}{32a^3R^2} \right]^{1/3} [2a^2] \quad (3.5.14)$$

$$= \frac{1}{E^*} \left(\frac{9P^2E^*}{16R} \right)^{1/3} \quad (3.5.15)$$

식 (3.5.14) (3.5.15)은 압력이 가해졌을 때 눌려진 변형(indentation displacement), x 를 나타내며 P 와 관계를 측정하여 식 (3.5.14)을 확인하였다.

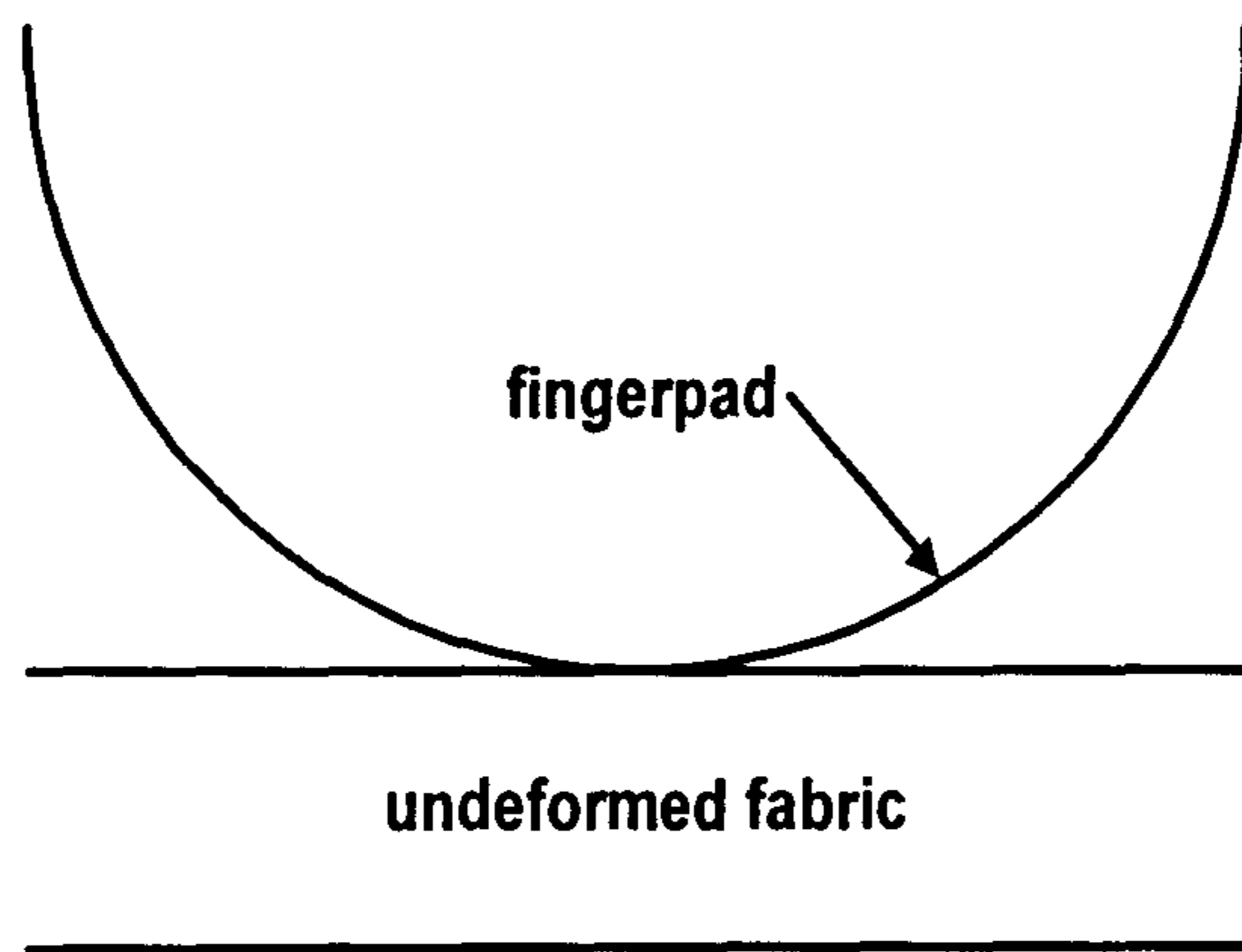


Fig. 3.5.4 Contact of Fingerpad and Undeformed Fabric

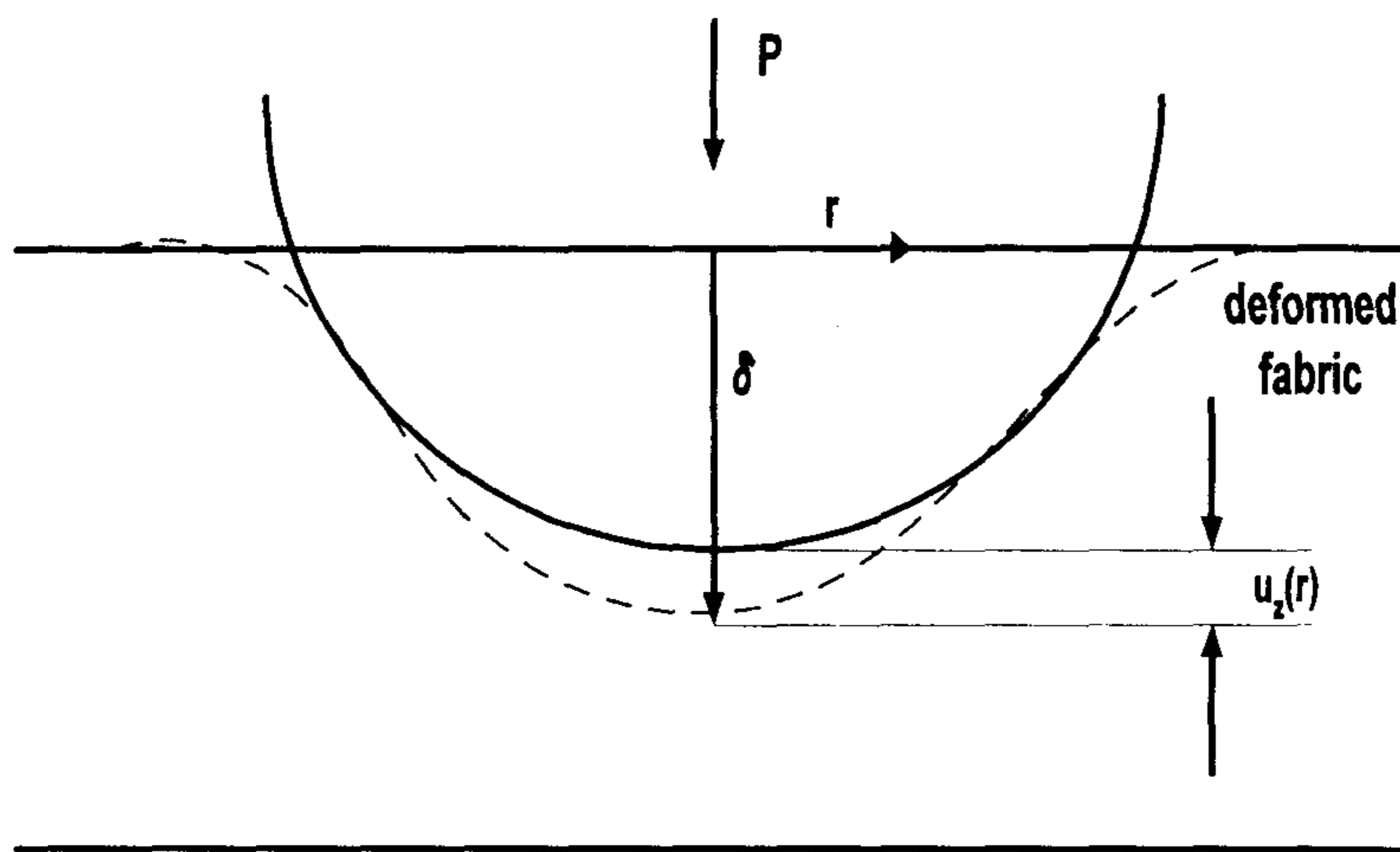


Fig. 3.5.5 Indentation by a Fingerpad and Deformation of Fabric

2.3 점탄성 이론

점성과 탄성을 각각 Newton과 Hooke의 법칙으로 나타내면 점탄성 거동은 선형미분방정식의 형태로 나타내며 Boltzmann의 중첩원리로 표현하게 된다.

Boltzmann의 중첩원리는

$$\epsilon(t) = C(t)\sigma(0) + \int_0^t C(t-\tau) \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.5.15)$$

이다. 여기서 $\epsilon(t)$ 는 시간 t 에서의 변형률, $C(t)$ 는 크리프 응답이고 $\sigma(\tau)$ 는 $t=\tau$ 에서의 응력이다.

Boltzmann의 중첩원리를 식에 적용하면 시간과 더불어 변화하는 변형 $\epsilon(\tau)$ 에 대한 시간 t ($\tau < t$)에서의 응력은

$$\sigma(t) = K(t)\epsilon(0) + \int_0^t K(t-\tau) \frac{d\epsilon(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.5.16)$$

이고, $K(t)$ 는 응력완화계수이다.

인간피부의 기본적인 점탄성 이론을 바탕으로 다음과 같이 식을 정리할 수 있다.

$$T^{(e)}(x) = \frac{b}{m} [e^{m(x-x_0)} - 1] \quad (3.5.17)$$

$T^{(e)}(x)$ 는 변위 x 를 x_0 높이의 step function으로 입력시켰을 때 손끝의 force response이며, b , m 은 실험에 의해서 결정할 수 있는 상수 값이다.

식 (3.5.17)으로부터 손끝의 stiffness k 를 구할 수가 있다.

$$k = \frac{d T^{(e)}}{dx} = m T^{(e)} + b \quad (3.5.18)$$

이와 같이 손끝의 stiffness는 force response와 선형인 관계를 나타내게 된다. 점탄성체인 손끝에 가해진 힘의 reduced relaxation function ($G(t)$)은 지수형태로 감소되는 것으로 가정하여 식을 정리하였다. 특히 감소 정도에 따라 10 msec, 10 ~ 100 msec, 그 이상의 3개 영역으로 나누어 설명할 수 있도록 하였다

$$G(t) = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^3 c_i e^{-v_i t}}{\sum_{i=0}^3 c_i} \quad (3.5.19)$$

c_i 는 각 영역의 기여 정도를 나타내는 상수이며 v_i 는 time constant이다. Pawluk의 실험에 의해서 구해진 각 상수의 값은 $c_0=0.26$, $c_1=0.41$, $c_2=0.18$, $c_3=0.15$, $v_1=231$, $v_2=15$, $v_3=0.69$ 이며 이 값을 식 (3.5.19)에 대입시키면 Fig. 3.5.6과 같은 영역별 힘의 완화를 계산하였다. 시간에 대한 힘의 변화 반응 $P(t)$ 에 손끝이 변형되는 길이 $x(t)$ 를 적용시켜서 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$P(t) = \int_{-\infty}^t G(t-\tau) \frac{\partial T^{(e)}[x(\tau)]}{\partial x} \frac{\partial x(\tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (3.5.20)$$

Fig. 3.5.7은 20mm/sec의 속도로 0 ~ 2 N 사이의 힘으로 손끝을 sinusoidal 형태로 4 Hz 변형시켰을 때 나타나는 반응을 보여주고 있다.

Fig. 3.5.7과 같이 가해지는 힘의 증가에 따라 stiffness가 증가되며, 각 cycle의 peak점의 감소로서 힘의 이완을 확인할 수 있다.

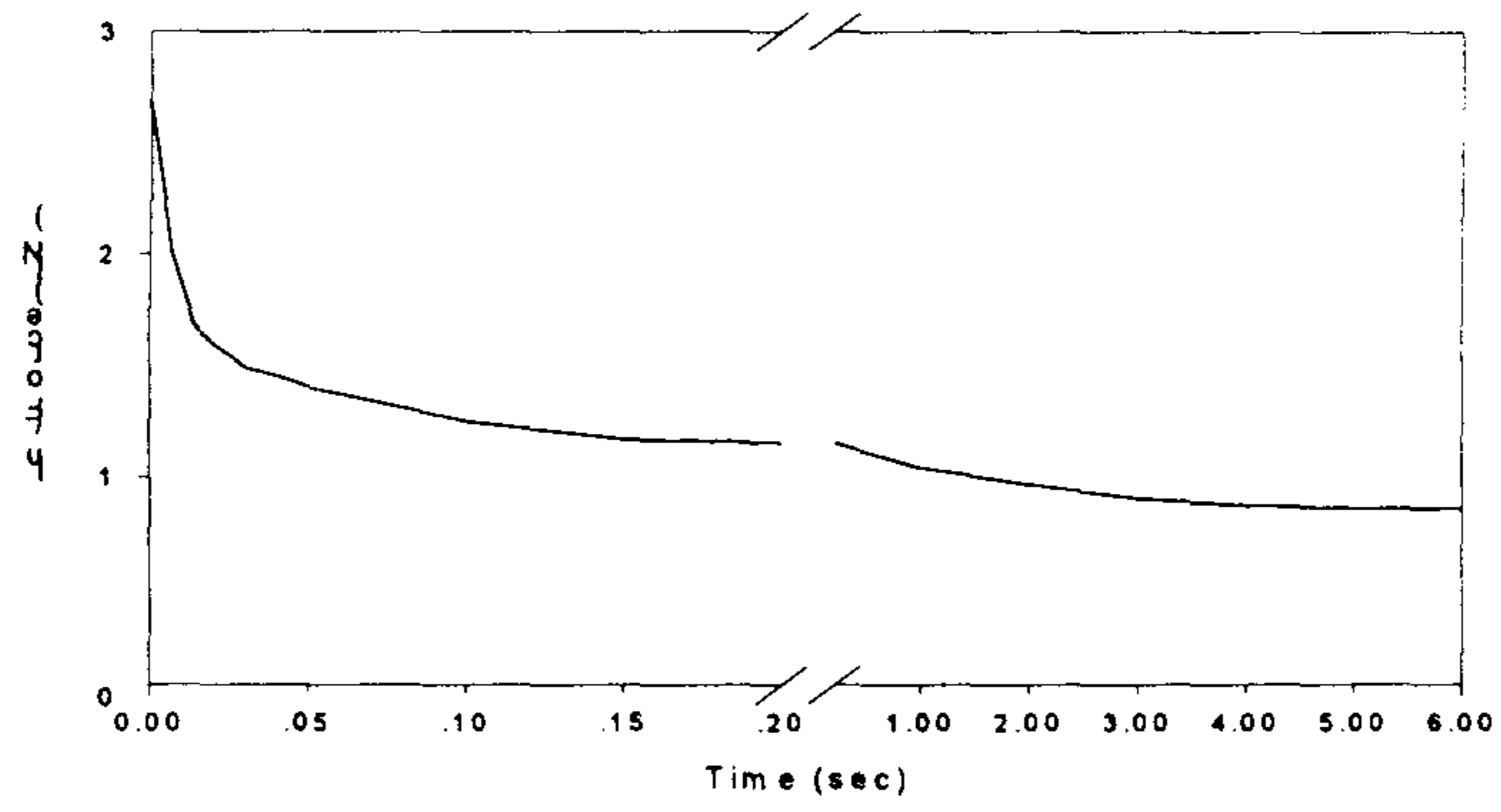


Fig. 3.5.6. Force Relaxation of Fingerpad

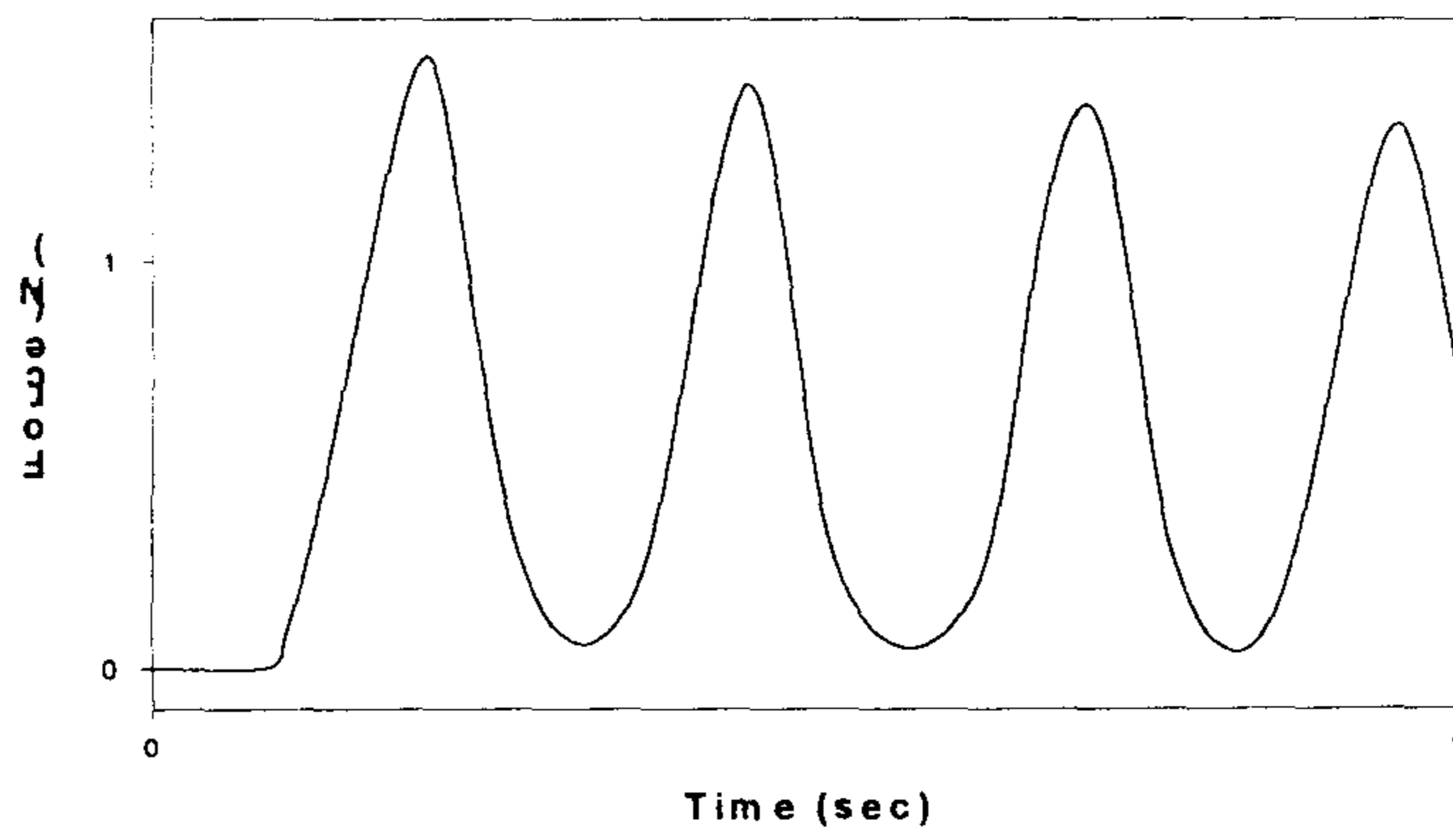


Fig. 3.5.7 Viscoelastic Response of Fingerpad
for Sinusoidal Position

3. 실험 장치의 설계, 제작

3.1 측정장치의 구성

일정한 질량을 linear motor에 부착시켜 손 끝에 동적으로 원하는 힘의 크기와 변위를 가할 수 있도록 하였다.

측정장치는 다음과 같이 구성하였다.

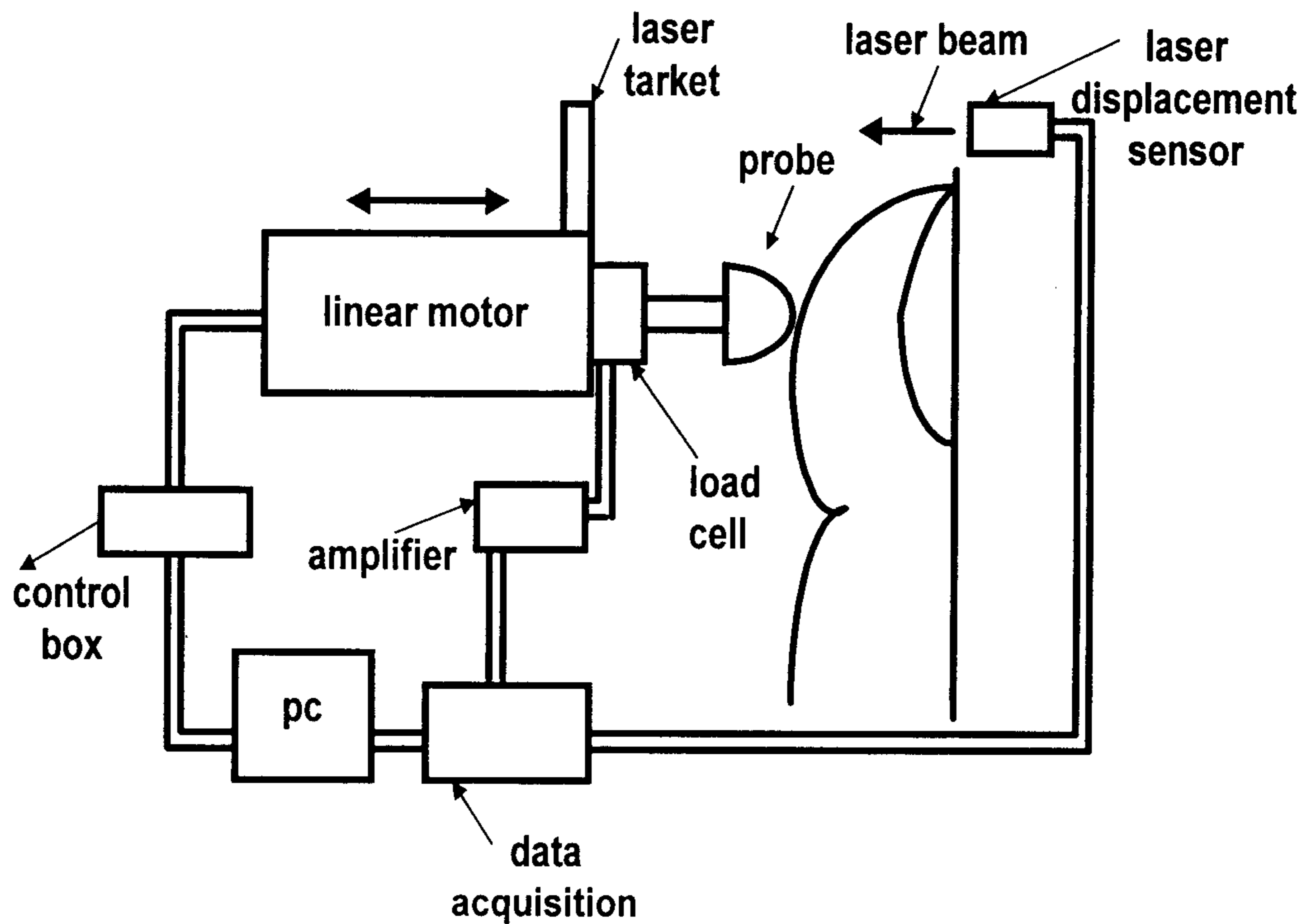


Fig. 3.5.8 Schematic Diagram of Experimental Setup

Linear motor에 부착된 load cell은 linear motor가 좌우로 움직이며 손끝에 닿았을 때 압축하중을 측정하고 laser displacement sensor는 손끝의 압축 변위를 측정한다. Linear motor 자체 내에서도 힘과 변위, 속도가 측정 가능하며 control box를 통해 computer에 연결되어 제어가 가능하고 신호를 직접 받아들여서 분석할 수 있다. Load cell과 laser displacement sensor에서 나온 data 값과 linear motor 자체내의 data 값을 평균 내서 좀 더 정확한 data를 얻을 수 있다. Load cell은 amplifier를 거쳐서 data acquisition에 연결되고 laser displacement sensor는 data acquisition에 직접 연결시켜 신호를 받아들이도록 하였다. 또한 질감은 대부분 손끝에서 느끼므로 물체가 손끝에 접촉했을 때의 압축 힘과 압축 변위를 측정해야 하므로 손끝은 움직이지 못하도록 고정시켰다. 물체의 질감은 fingerpad의 압력변화로서 느끼게 되는데 표면이 매끄러운 것과 울퉁불퉁한 것을 착안하여 fingerpad의 특성을 관찰하기 위하여 probe도 평평한 것과 볼록한 것을 바꾸어 가며 사용할 수 있도록 설계하였다.

측정장치에 대해 자세히 살펴보면 다음과 같다.

(1) Linear motor

Linear motor는 마찰 저항에 따른 힘의 감소를 최소화시키며 위치, 속도, 힘의 크기를 임의로 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 최대 이동속도는 1 m/s로 위치 분해능이 $2.5 \mu\text{m}$ 이며 0 ~ 10N까지 가해주는 힘의 크기를 자동 조정할 수 있는 장치이다. 또한 프로그램에 의해 자동제어가 가능하고 측정된 신호는 받는 즉시 직접 모니터에서 볼 수 있으며 힘, 속도, 변위가 동시에 측정되므로 비교가능하다. 모든 기능을 computer가 처리하므로 한번 프로그램을 입력 후 계속 실험을 할 수 있는 장점도 있다. 힘, 속도, 변위를 동시에

측정하여 시간 변화에 따른 변화를 비교 관찰할 수 있도록 설계되었다. 이와 같은 기능은 computer와 연결된 control box에서 자동제어 되어서 프로그램에 의한 조정이 가능하도록 하였다.

(2) Load cell

Load cell은 리니어 모터에 부착되어 물체가 손끝에 닿았을 때 압축 하중을 측정한다. 3167-25로 capacity는 25 lbs를 사용하였다. 측정에 앞서 신뢰성을 검증하고, 특성을 평가하기 위하여 전기적인 신호로 출력되는 data값을 물리적인 신호로 바꿔주기 위하여 가해지는 힘의 크기와 출력되는 전기적인 신호 값을 보정해 주었다. 일정한 질량을 갖는 물체를 하나씩 순차적으로 올려놓아서 static한 상태에서 각 무게에 대한 Volt신호를 측정하고 다시 물체를 하나씩 내려서 각 무게에 대한 Volt신호를 측정하였다.

신호에 대한 각 data를 Matlab으로 프로그램화하여 정리하고 Least-Squares Curve Fitting을 해서 calibration을 하였다.

(3) Amplifier system

측정한 신호를 분석하는데 있어서 주변에서 일어나는 전기적 기계적 noise들이 더 큰 값으로 나타나서 분석하는데 어려움이 따르므로 amplifier를 사용하였다. 모델명은 2300 system으로 Amplifier부분, Rack adator 및 Enclosure, Model 2331 Digital Display부분으로 나누어 지며 amplifier 부분은 실제로 센서에 전원 공급 및 값의 측정을 하는 장치이고, rack adator는 power supply 및 개개의 modul을 수용하는 장치로서 주전원을 공급받아 개개의 modul에 공급해주는 역할을 하며 enclosure부분은 system의 운용 및 운반등을 용이하게 하며 display장치는 출력되는 analog 신호를 별도의 장치

없이 그 값을 읽기위하여 사용되는 장치이다. Load cell에서 나오는 신호가 1mV이하의 아주 작은 전기적인 값으로 출력되고 있으므로 이를 분석하기 쉽게 하기 위하여 Amplifier의 증폭 값인 X 100, 10 gain으로 증폭하여 신호를 받았다. 또한 주변 noise들을 없애기 위하여 10 Hz 의 Lowpass Filter를 사용하였다. 또한 다른 amplifier에 비해 영점 맞추기가 쉬웠다. 영점 조정나사로 0점을 맞추고 측정에 앞서 다시 reset swich를 눌러 자동으로 0점을 맞추도록 되어있다.

(4) Data acquisition system

Amplifier를 통과한 신호는 computer를 사용해서 분석하는데 computer는 digital 신호를 받아서 분석하므로 amplifier를 통과한 analog 신호는 digital 신호로 바꾸어 주기 위하여 data acquisition system을 사용하였다. 또한 laser displacement sensor는 받은 신호가 digital로 display되며 data acquisition system을 이용해서 load cell과 동시에 신호를 받을 수 있게 하였다. 이 system은 동시에 8 channel 까지 신호를 받을 수 있으며 module을 연결시켜 load cell과 laser displacement sensor에서 받은 신호를 원하는 방식으로 받아볼 수 있도록 computer 상에서 display되며 조작도 매우 간단하다.

4. 실험

물체의 표면은 다양하므로 질감을 느낄 때의 손끝의 반응이 어떻게 나타나는지를 측정하기 위하여 본 연구에서는 대표적인 probe의 모양을 두 가지로 한정시켰으며 손끝의 접촉이론을 모델링 한 것을 실험을 통해서 이론 식과

비교하기 위하여 static 상태에서 실험을 하였고 식 (14)에 의해 손끝을 누르는 probe는 평평한 모양과 일정한 곡률을 갖고 있는 경우로 나누어서 측정하였다. 손끝이 평평한 표면을 누를 때를 Fig. 3.5.9와 같이 가정하면 R_2 가 매우 크고 손끝의 반지름은 약 15 mm로 가정하여 식 (3.5.7)에 의해 R은 15 mm로 얻어지므로 이론 식 (3.5.14)과 실험 값을 비교하기 위해서 x와 P를 측정하였다. Fig. 3.5.10은 볼록한 probe가 손끝을 누를 때를 가정한 것이며 R_2 의 값이 12.7 mm인 것으로 측정하였으므로 식 (3.5.7)에 의해 R은 6.873 mm가 된다. 리니어 모터에 평평한 모양의 probe를 부착시키고 일정한 힘으로 손끝을 누를 때 접촉하는 순간부터 시간에 따라 변화하는 힘을 전기신호로 받아서 뉴턴(N)으로 변환시켜 필터링을 했으며 속도를 1 mm/sec, 3 mm/sec, 5 mm/sec, 7 mm/sec로 변화시켰으며 동시에 laser displacement sensor를 이용하여 손끝이 압축되는 변위를 측정하였다. 실험은 각 속도에 대해서 3번씩 probe의 모양을 바꾸어 가며 했으며 피시험자는 1명으로 검지 손가락을 측정하였다.

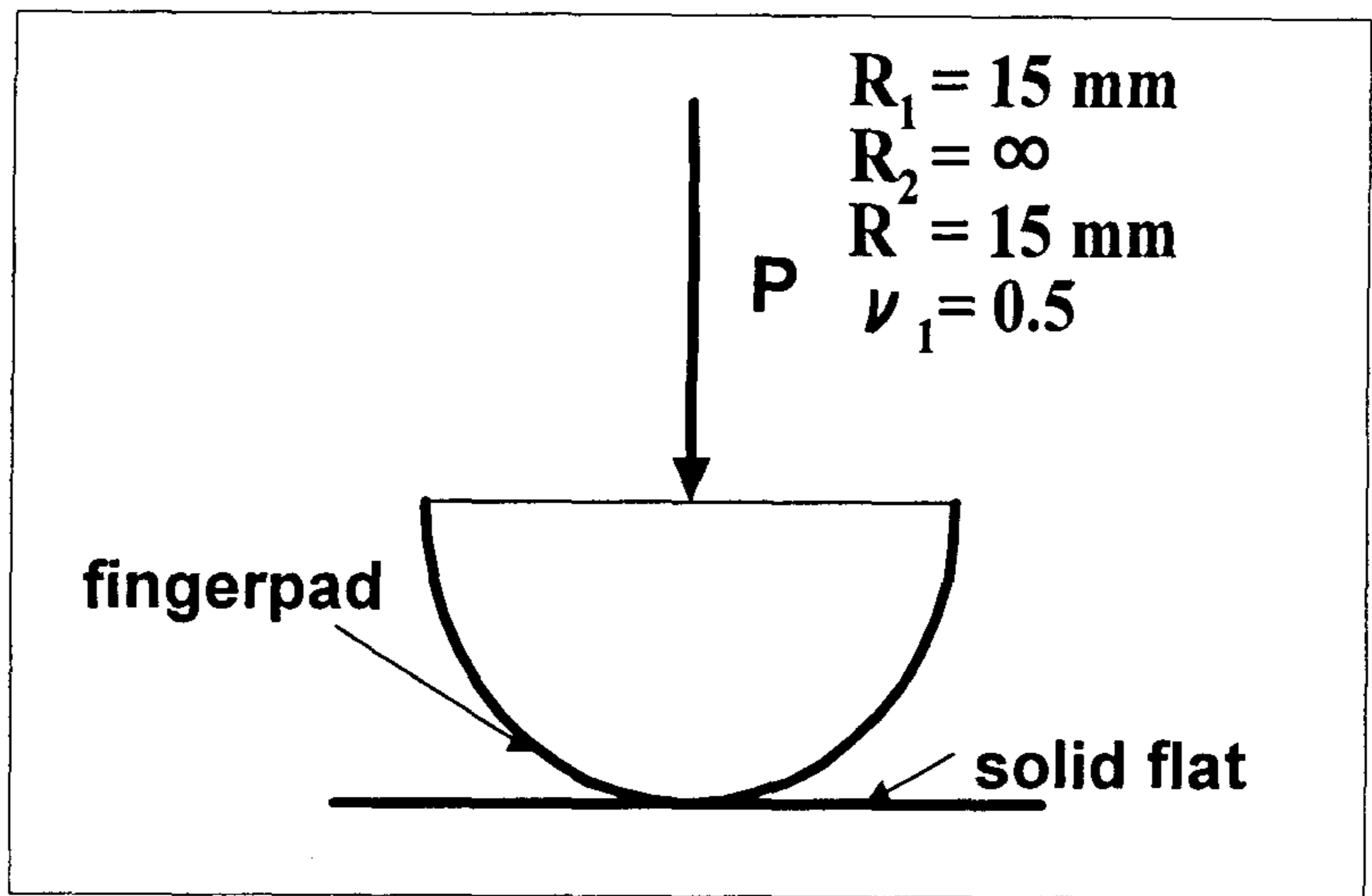


Fig. 3.5.9 Hertzian Contact between
Fingerpad and Flat Solid Body

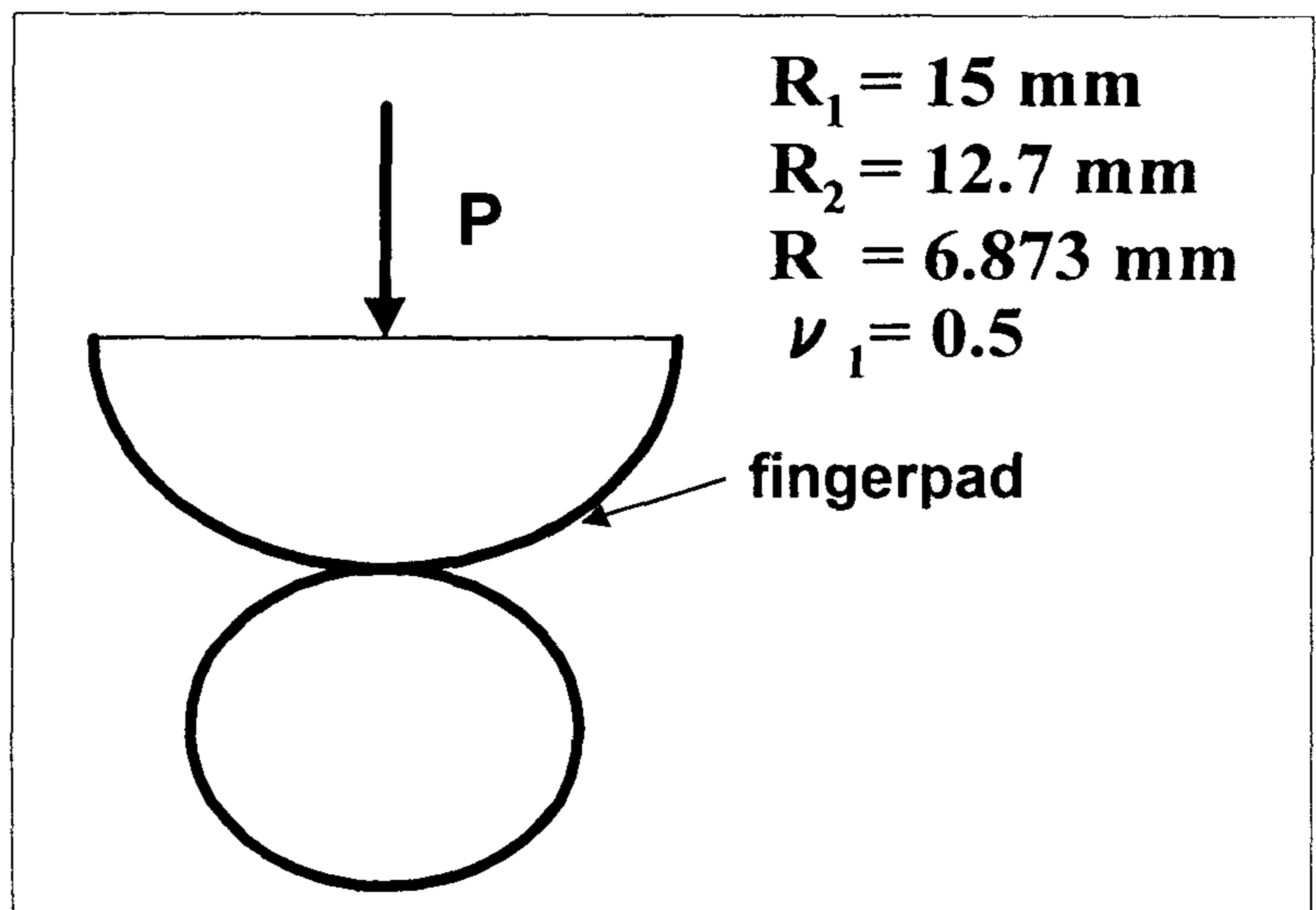


Fig. 3.5.10 Hertzian Contact between
Fingerpad and Spherical Solid Body

5. 결과

Fig. 3.5.11은 평평한 probe가 속도 1 mm/sec로 손끝을 누를 때 시간에 따라 압축하중을 측정한 경우이다. 약 2초 동안 2N까지 힘을 가하여 힘이 완화되는 것을 나타내고 있다. 힘이 완화되는 동안 손끝의 맥박에 따라 pulse가 나타나는 것으로 보아 힘이 정밀하게 측정되는 것을 확인하였다.

Fig. 3.5.12는 손끝의 반응이 변하므로 1 mm/sec, 3 mm/sec, 5 mm/sec, 7 mm/sec인 경우에 손끝의 압축 변위(indentation displacement)에 따른 압축하중을 측정한 그래프이다. 굵은 점선은 Fig 3.5.9에 의한 값을 이론식 (3.5.14)에 대입하여 matlab을 이용하여 나타낸 것이다. 이론식이 실험식과 잘 맞는다는 것을 확인하였다. 또한 압축 하중에 따른 압축 변위는 속도에는 영향을 받지 않는 것을 알게 되었다. Fig. 3.5.13은 볼록한 probe가 속도 1 mm/sec로 손끝을 누를 때 시간에 따라 압축하중을 측정한 것이다. 약 3초 동안 2.2 N까지 힘을 가하여 힘이 완화되는 것을 나타내고 있다. Fig. 3.5.14는 probe의 속도에 따라 압축 변위를 나타낸 것이다. Fig. 3.5.11과 Fig. 3.5.13을 비교하면 Fig. 3.5.11이 maximum force로 될 때까지 걸린 시간이 짧고 최대 압축하중도 작으며 pulse도 뚜렷하게 나타나는 것으로 보아 접촉 probe의 모양에 관계하는 것을 알 수 있다. Fig. 3.5.12와 Fig. 3.5.14를 비교해 보면 Fig. 3.5.12가 압축 변위에 따라 압축하중이 작게 나타나다가 손끝이 많이 눌러질수록 압축하중이 급격하게 변하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.5.15는 피험자 손끝의 Young's modulus는 식 (3.5.11)에서 b, m에 영향을 받기 때문에 table 3.5.1의 값으로 압축 변위에 따른 손끝의 Young's modulus를 나타낸 것이며 개인차에 따라 변화가 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 이론 식을 해석할 때에는 평균값을 이용하였다. 손끝의 Young's

modulus가 아직 정립되어 있지 않으므로 앞으로는 연구과제로의 진행이 필요하다.

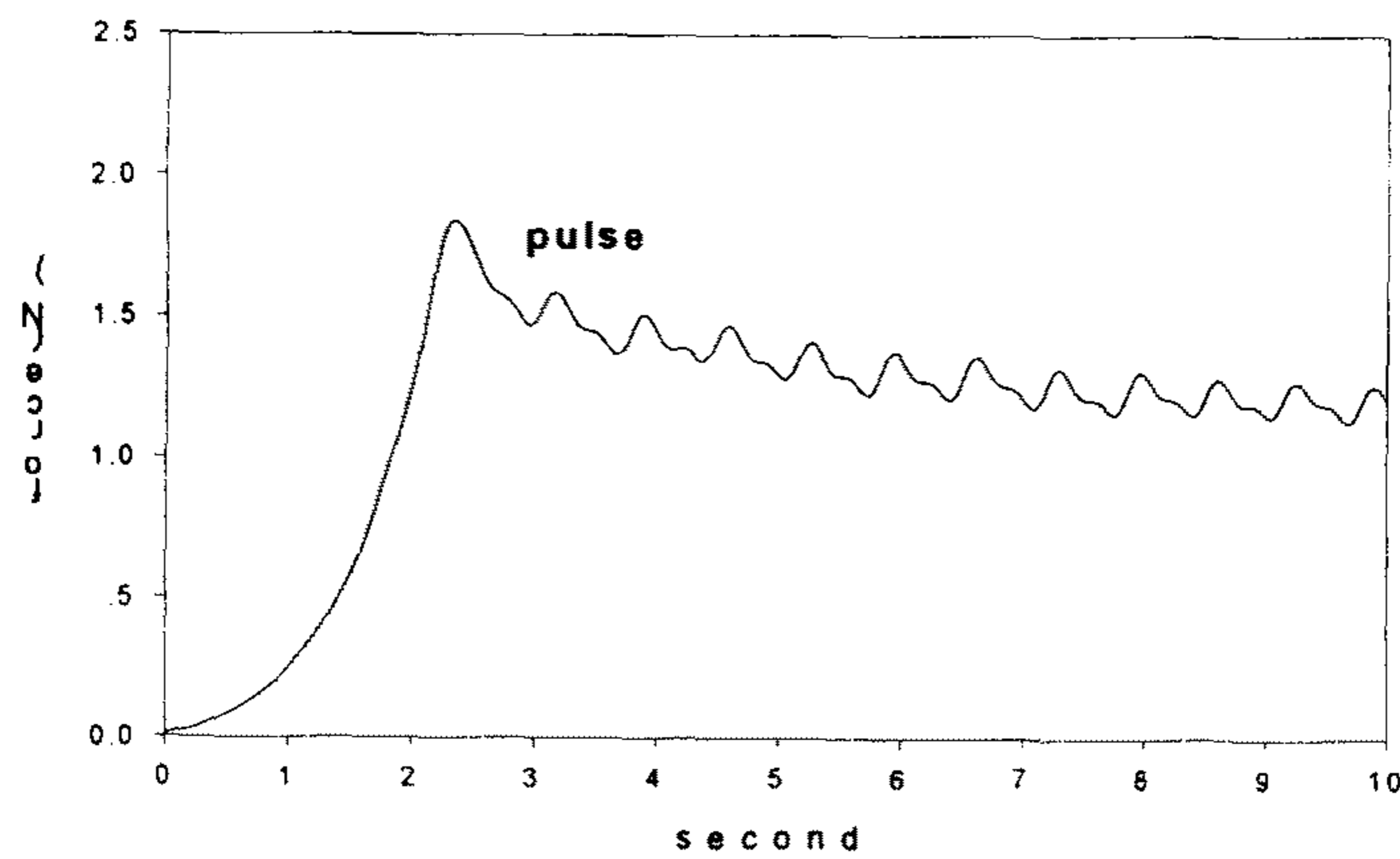


Fig. 3.5.11 Response Force of the Fingerpad between Fingerpad and Flat Solid Body

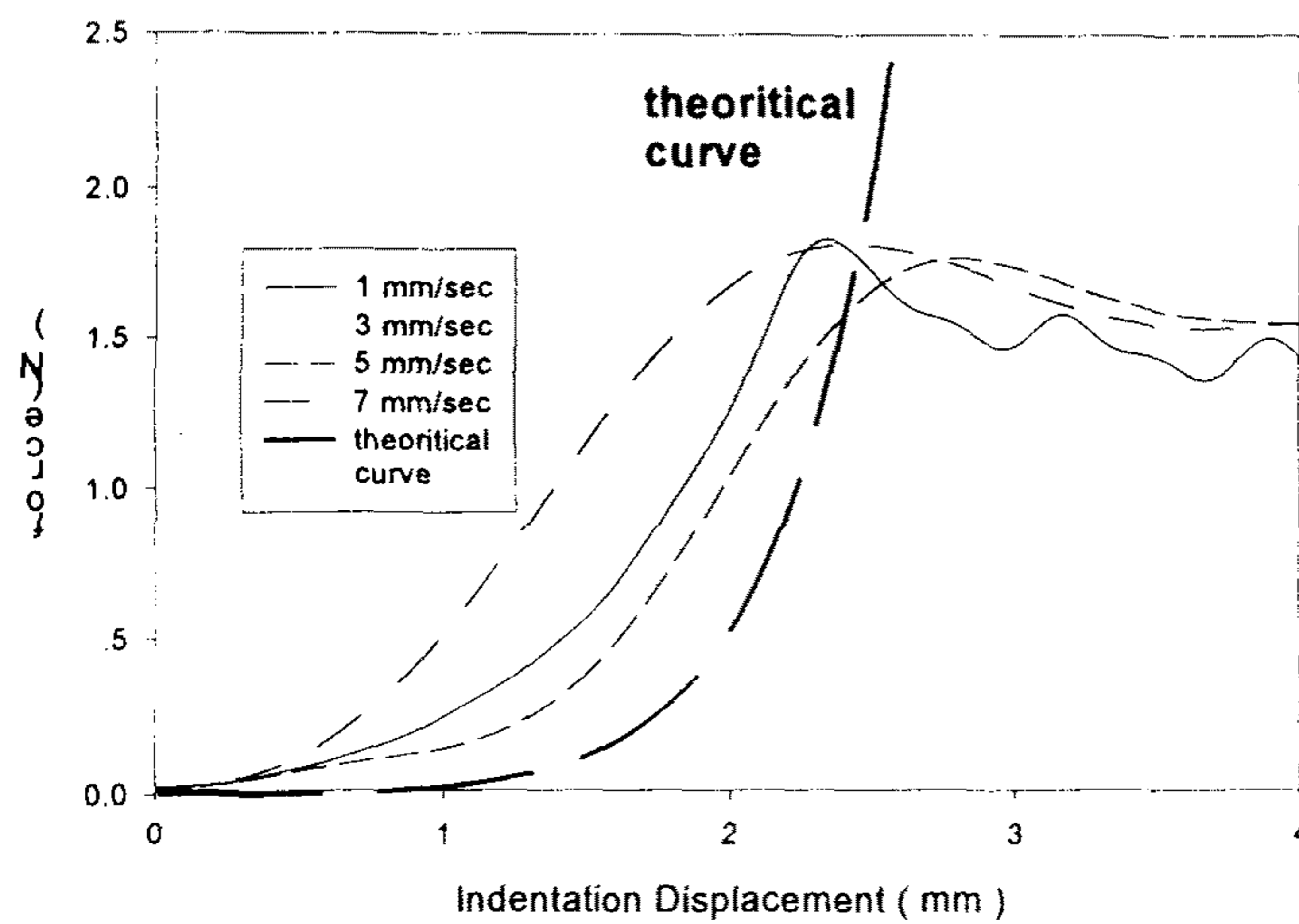


Fig. 3.5.12 Relation between Force and Indentation Displacement for Various Velocity

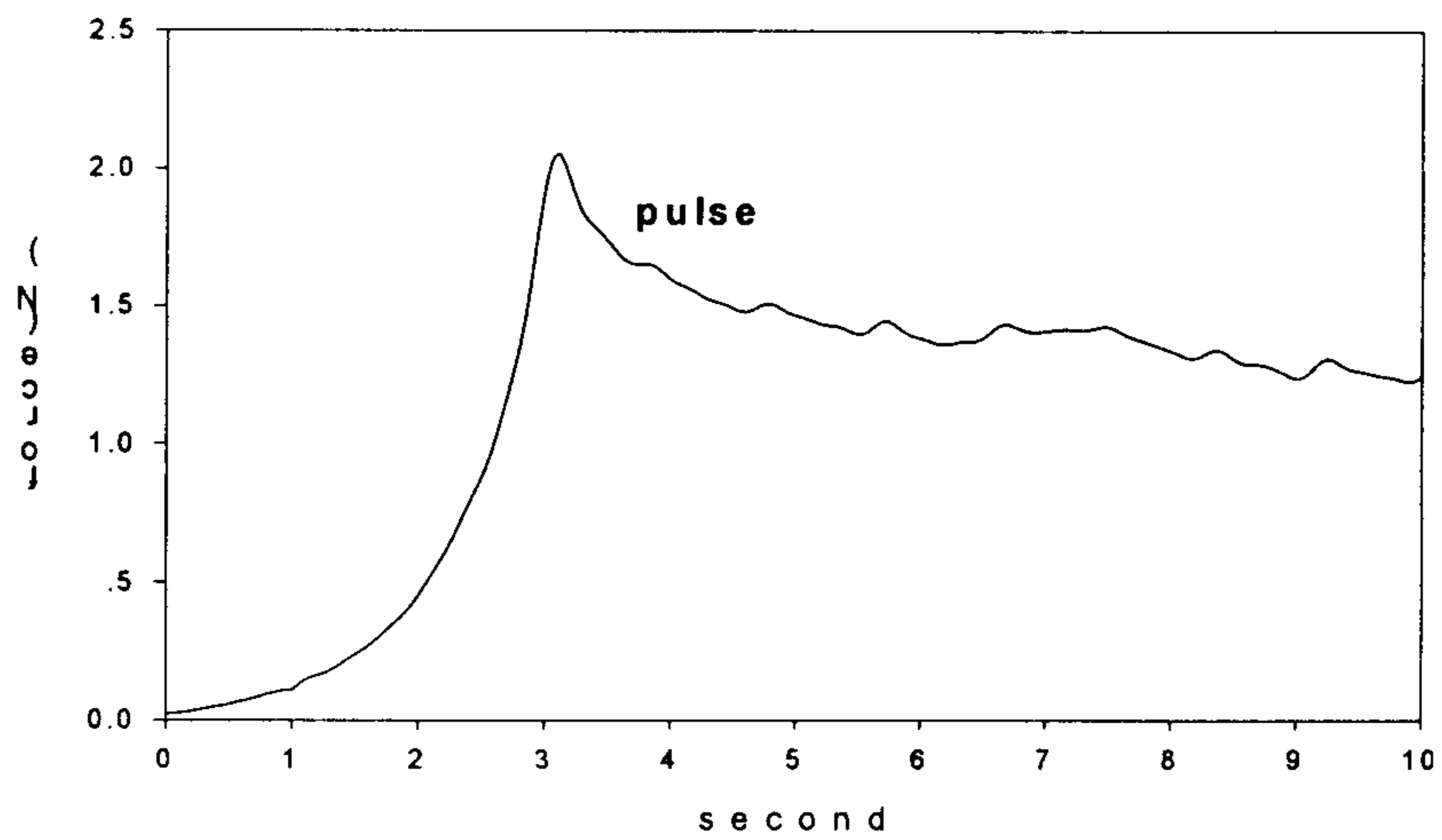


Fig. 3.5.13 Response Force of the Fingerpad between Fingerpad and Spherical Solid Body

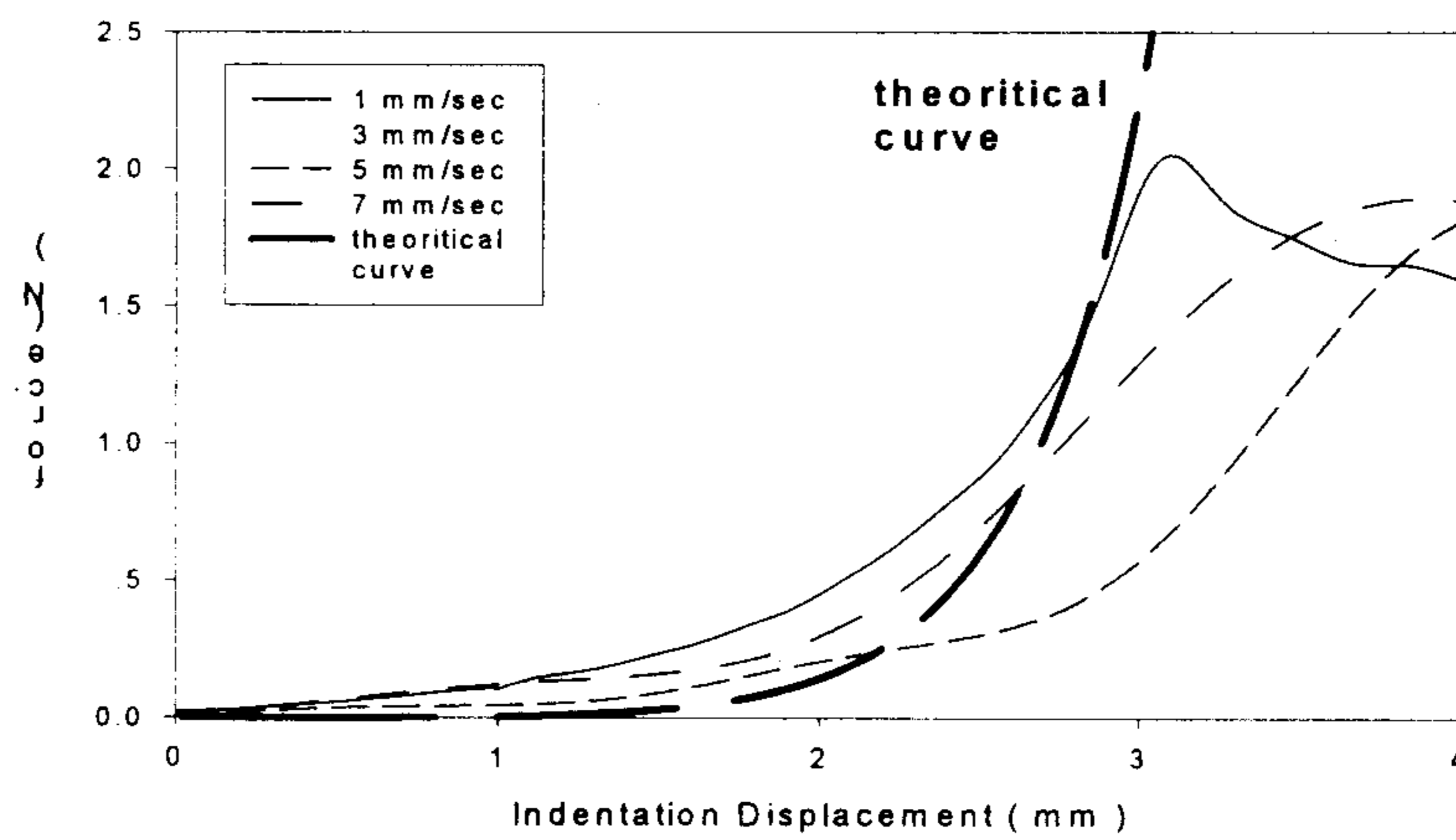


Fig. 3.5.14 Relation between Force and Indentation Displacement for Various Velocity

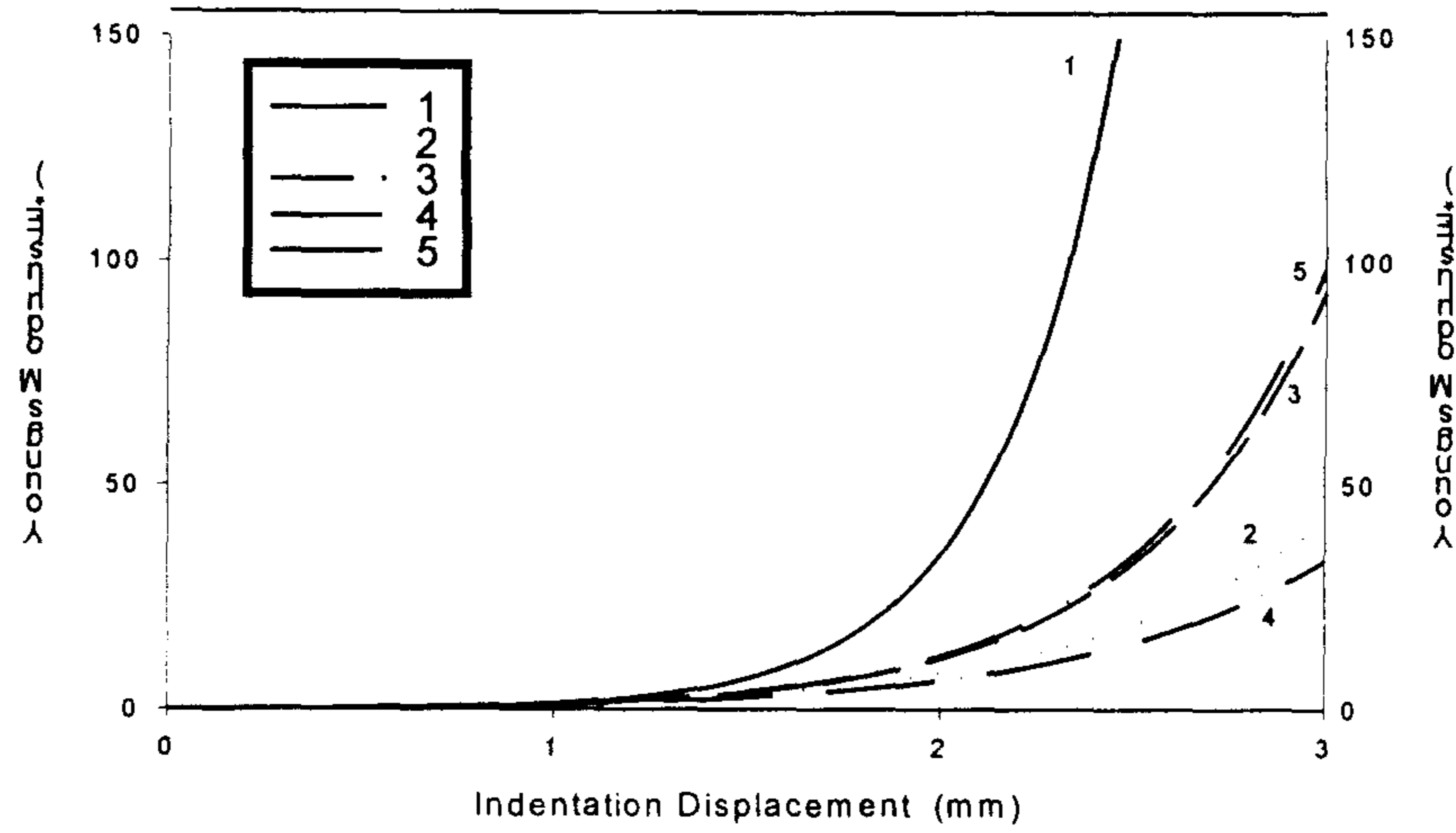


Fig. 3.5.15 Relation between Young's Modulus and Indentation Displacement for Individual Subjects

Table 3.5.2 Model parameters for Individual Subjects

subject	m (mm^{-1})	b (N/mm)
1	3.2	0.092
2	1.6	0.28
3	2.1	0.18
4	1.6	0.22
5 (means)	2.1	0.19

제 6 절 질감 표현과 손끝의 문지르는 압력변화

1. 요약

인간이 손끝으로 직물을 문지르거나 만질 때 질감을 객관화시키는 노력은 오래 전부터 연구되어져 왔다. 이러한 감성을 객관화시키기 위하여 가장 먼저 되어야 할 일은 인간이 질감을 나타내는 감성적인 형용사의 정리와 그에 필요한 물리적인 데이터의 정리이다. 감성적인 형용사는 지난번에 정리한 4쌍의 형용사를 그대로 사용하였다. 그 형용사는 ‘매끄럽다 - 곱끄럽다’, ‘폭신하다 - 딱딱하다’, ‘편편하다 - 우둘두둘하다’, ‘부드럽다 - 뻣뻣하다’ 등이다. 이러한 형용사를 직물과 대조시켜 설문조사를 하도록 하였다. 설문조사는 직물에 대한 형용사의 적절한 정도를 SD(Semantic Differential)법에 의한 7점 척도로 평가하도록 하였으며 그 직물의 계절성에 대한 정도를 5점 척도로 조사하였다. 설문조사를 할 때 직물의 색깔이나 외관의 편견을 배제하기 위하여 눈을 가리고 하였다.

인간이 직물을 문지를 때 누르는 압력은 표면의 상태에 따라 다르게 나타난다는 것을 Lederman이 물체의 표면을 가공하여 증명하였다. 이러한 이론을 직물에도 응용될 수 될 수 있도록 저울을 이용하였다. 저울과 컴퓨터를 연결하여 무게의 변화를 Digital로 직접 볼 수 있도록 제작하였으며 컴퓨터 내부는 Q-basic을 이용하여 Program해두었다. 저울 위에 직물을 두고 피험자가 누를 때 움직이는 것을 방지하기 위하여 30 gf로 Tension을 가하였다. 또한 피험자가 직물을 누를 때 손목을 사용하는 것을 방지하기 위하여 저울 주위에 손목 받침대를 설치하여 손목이 고정된 상태에서 직물을 만지고 느낄 수 있도록 하였다. 피험자는 처음부터 끝까지 눈을 가리고 하였고 직물의 순서

는 임의의 순서로 하였다. 또한 엄지손가락을 쓰면 압력의 변화가 직물의 표면보다는 개인차에 의한 변화가 될 가능성이 크므로 엄지를 사용하지 않고 검지, 중지, 약지만을 사용하도록 하였다. 그리고 직물을 만져보면서 동시에 설문조사가 되도록 피험자 옆에 도우미가 실험진행을 도와주도록 하였다. 이러한 과정을 거쳐 나온 데이터는 Sigma Plot란 프로그램을 이용하여 Plotting 하고 볼 수 있도록 하였다. 또한 물리적인 값은 Log변환을 거칠 때 인간의 감성과 가장 가깝다는 Steven'law에 따라 출력된 압력의 값에 Log변환을 시켜주었다. 이러한 압력과 감성적인 형용사와의 관계성을 파악하는 것은 질감 측정기의 제작에 있어서도 중요한 데이터로 응용될 수 있었으며 감성적인 언어를 객관화시키는 데도 많은 도움이 되었다.

2. 형용사의 설문조사

본 연구에서는 설문조사에 필요한 형용사 쌍을 전적으로 지난번의 결과에 의존하였다. 어떤 한 직물에 대하여 가장 적합한 느낌을 4쌍의 형용사중에서 7점 척도로 선택하게 하였으며 덧붙인 질문은 이 직물의 가장 적합한 계절을 택하게 하였다. 4쌍의 형용사는 '매끄럽다 - 곱끄럽다', '폭신하다 - 딱딱하다', '편편하다 - 우둘우둘하다', '부드럽다 - 뻣뻣하다' 등이다. 그 직물의 가장 적합한 계절을 묻는 질문은 5점 척도로 대답하게 하였다. 피험자가 느끼기에 여름용에 직물이 가깝다고 느껴지면 1을 겨울용에 적합하다고 느껴지면 5를 택하게 하였다. 이번 연구에서는 설문조사를 하는 동안에 압력을 측정하는 실험과 병행했기 때문에 눈을 가리고 직물을 저울 위에 올려놓은 뒤 적합한 느낌을 7점 혹은 5점 척도로 대답하면 옆에 있는 도우미가 설문지에 표기를 하는 방법을 택했다. 물론 직물은 피험자가 알지 못하게 임의의 순서대로 올

려졌다.

3. 직물의 선정과 피험자 선정

본 연구에 이용될 대표직물은 국내의 S기업에서 견본으로 내놓은 98/FW와 98/SS에서 각 20종류씩 추출하였다. 각 견본들의 목적은 남성용 정장을 위한 직물이었고 혼용률은 모직 100%로 일률화시켰다. 남성 정장용 직물이었기 때문에 복잡한 조직이 없었고 모두 High Quality로 고급 직물에 속했다. 이런 직물들은 먼저 가와바타 시스템을 거쳐서 T.H.V와 H.V를 비롯한 역학적인 데이터를 확보해 두었다. 직물의 색깔은 설문조사와 압력 측정할 때 눈을 가리고 했기 때문에 배제하였으며 크기는 가와바타의 크기인 20×20(cm)로 하였다. 피험자들은 직물을 전혀 보지 못하였고 순서도 알지 못하였다. 피험자들은 대부분 섬유공학을 3년 이상 전공한 자들로 직물의 조직이라든지 감성언어들을 대부분 이해하고 있는 사람들이었다. 이들은 어패럴공학이라든지 감성공학을 배운 적이 있으며 가와바타의 시스템도 대부분 이해를 하고 있었다. 하지만 실험 전에 모두에게 설문지의 요령과 문지르는 방법 그리고 느낌의 정도를 표현하는 것을 교육을 하고 충분한 연습을 거친뒤에 실험을 하여 개인차를 최소화한 줄이고자 노력하였다.

4. Lederman의 거칠기에 관한 손가락의 문지르는 압력의 이론

손가락의 압력은 규칙적인 표면의 거칠기 뿐 만 아니라 비 규칙적인 표면의 거칠기의 감촉을 느끼는데도 변화를 일으킬 수 있다. 이런 것은 시각적인 면에 있어서도 조명의 증가가 표면에 대한 느낌의 차를 일으킨다는 연구

와 유사하다. 재봉사는 그의 손가락 사이로 옷감을 통과시켜 봄으로서 그 옷감의 질을 검사하고 주부는 과일의 견고함이나 딱딱함을 기초로 하여 과일의 익은 정도를 평가한다. 이렇듯, 우리는 촉감체계에 대하여 누르고 있는 힘 즉, 압력의 효과에 대하여 많은 부분을 간과하고 있는 것이다. Lederman은 표면에 대해서 누르고 있는 힘에 관하여 연구하였다. 그는 피험자의 반대편에 균형저울을 두고 추를 1oz, 5oz, 25oz로 변화시켜 가면서 직접 제작한 홈(Groove)과 면(Land)이 서로 다르게 되어 있는 알루미늄 합판을 만지게 하였다. 이러한 실험을 통하여 그는 홈(Groove) 너비가 홈이 파인 표면의 지각된 거칠기에 영향을 준다는 것을 알아냈다. 또한 홈(Groove)의 너비가 증가할수록 힘이 적게 가해지며 거칠기를 지각할 수 있는 정도가 감소한다는 것을 알아냈다. 우리는 이러한 이론을 직물에 응용하여 직물의 거칠기와 손가락의 누르는 힘과의 관계성을 알아보고자 하였다.

5. 실험장치와 방법

5.1 압력측정을 위한 저울

본 실험에서는 피험자가 설문조사를 하는 동시에 질감을 느낄 때의 손끝의 압력을 측정하기 위하여 직물을 저울 위에 올려놓았다. 저울은 미국에서 제작한 OHAUS 제품을 사용하였으며 MAX 400 gf까지 측정할 수 있는 전자 저울이었다. 이 저울을 매뉴얼을 보고 컴퓨터와 연결할 수 있도록 직접 케이블을 제작하여 연결시켰다. 저울이 신호를 읽어들이는 최대는 5 Hz였다. 하지만 저울의 데이터를 받아들이는데는 그리 문제가 되지 않았다. 또한 매우 고정밀 저울이었기 때문에 소수점이하 4자리까지 표기되도록 맞추었다. 피험자가 손끝으로 직물을 만질 때 움직임을 방지하기 위해서 저울위에 올려놓은

직물은 네 모퉁이에 추를 매달았다. 네 귀퉁이의 추의 총 무게는 30 gf 정도였다. 먼저 저울의 영점 보정을 한 다음 추를 매단 직물을 올려놓고 다시 영점 보정을 시켰다. 그런 후에야 피험자가 손을 갖다대고 실험을 시작할 수 있도록 하였다.

5.2 실험 방법

본 실험의 목적은 직물을 문지를 때 압력의 변화를 알아보는 것이다. 피험자가 직물을 문지를 때 순수하게 손가락만의 힘만을 알아보고자 하였다. 즉, 손목의 힘을 배제하기 위하여 저울 주변에 손목 받침대를 설치하였다. 그리고 손목을 대고 느슨한게 고정을 시킬 수 있도록 하였다. 손가락의 검지와 중지 그리고 약지만을 사용할 수 있도록 주의를 준 후에 실험을 시작하였다. 저울을 영점 보정을 한 후 네 귀퉁이의 30 gf의 추를 단 직물을 올려놓았다. 추를 매단 이유는 피험자들이 직물을 만질 때 움직이는 것을 막기 위해서다. 추를 매단 직물을 올려놓은 후에 다시 영점 보정을 하고 실험을 시작하였다. 실험은 모두 20초 동안 시행하였다. 그런 후에 앞부분 5초를 배제한 후 데이터를 받아들인 시간은 15초 동안 들어온 데이터만을 썼다. 왜냐하면 앞부분 5초는 질감을 느끼기보다는 처음 시작의 위밍업으로 개인차가 너무 심하고 굴곡이 너무 심했기 때문이었다. 들어온 데이터는 Q-basic을 통해서 프로그래밍 해놓은 프로그램을 거친 후 텍스트 파일로 저장되었다. 이 데이터는 SigmaPlot을 통해서 Plotting을 하였고 그밖에 다른 평균값이나 표준편차 등도 이 프로그램을 통해서 이루어졌다. 직물을 만지고 있을 동안에 피험자들은 도우미를 통해서 설문조사도 이루어졌다. 피험자들은 실험시작부터 끝까지 직물의 시각적인 감각을 배제하기 위해 눈을 가리고 했기 때문에 실험할 때는 도우미가 필요하였다. 또한 직물은 무작위로 추출되어 저울 위에 올려

졌기 때문에 피험자가 갖고 있는 선입견을 최대한 배제하고자 하였다

BASIC Program 1 -- Balance measurement

Take reading to final%

INPUT "Final Point ?", final&:

INPUT "Output Filename ?", FS

FS = FS + ".TXT"

OPEN FS FOR OUTPUT AS #1

PRINT " time Gram"

PRINT "-----"

OPEN "COM1: 9600, N, 8, 1, RS, CSO, DSO, CDO, LF"

FOR RANDOM AS #2

PRINT #2, " CA"

PRINT #2, "P"

FOR I& = 1 To final&

INPUT #2, aaaaS

aaa = VAL (aaaaS)

```
PRINT USING "#####.#" ; i&
PRINT USING "#####.###" ; aaa
PRINT #1, USING "#####.#" ; I&
PRINT #1, USING "#####.###" ; aaa
IF (INKEYS = CHR$(27)) THEN END
dummy time
FOR z = 1 To 5000
NEXT z
NEXT I&
CLOSE #2
CLOSE #1
END
```

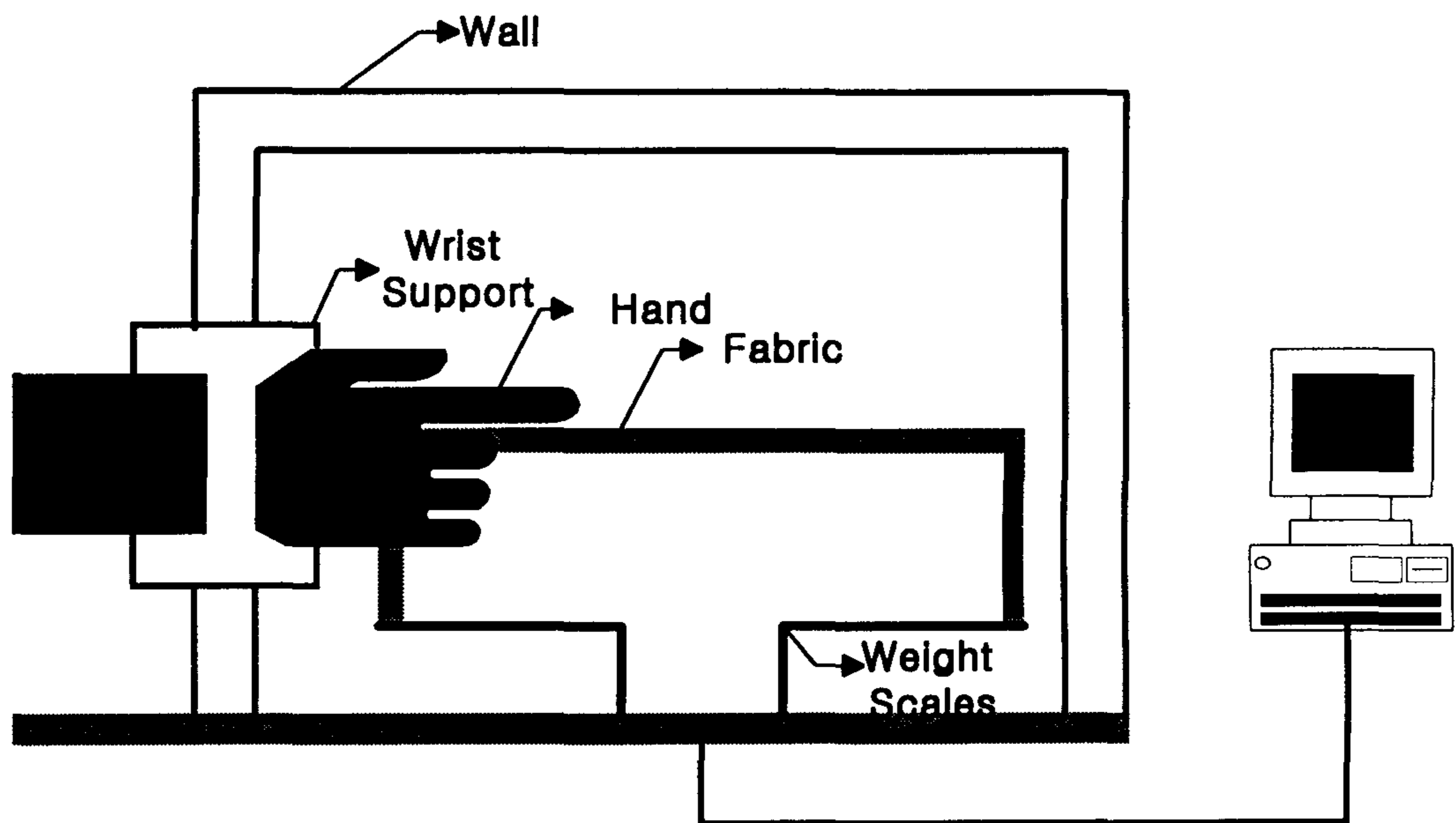


Fig. 3.6.1 Schematic of Measured pressure

Table 3.6.1 Fingertip Forces and Hand Values

여름용 직물	평균 (gf)	표준편 차(gf)	T. H. V	HARI	SHARI	겨울용 직물	평균 (gf)	표준편 차(gf)	T. H. V	NUMERI	FUKURAMI
1	27.38	5.17	2.63	2.87	3.44	1	32.01	3.70	1.96	3.41	2.93
2	30.87	4.00	2.67	2.25	3.76	2	44.38	3.96	2.29	4.64	3.72
3	32.93	4.55	3.09	5.77	4.59	3	36.50	3.27	4.25	10.00	7.24
4	33.34	5.48	2.56	3.03	3.34	4	39.23	4.38	4.48	7.93	5.87
5	34.32	4.77	2.70	2.68	3.98	5	37.98	3.29	4.36	7.68	6.18
6	35.29	5.05	3.26	3.40	5.38	6	47.22	5.36	3.97	7.22	5.25
7	37.55	5.30	2.54	1.46	3.33	7	43.60	4.35	4.49	8.04	5.51
8	33.73	3.48	3.07	3.27	4.31	8	47.14	4.79	3.07	6.15	4.63
9	33.04	5.98	3.11	3.64	4.55	9	50.65	5.53	4.26	7.86	5.57
10	40.45	4.78	2.17	2.07	2.34	10	43.14	4.70	3.13	5.73	4.70
11	34.88	5.61	3.05	4.81	4.50	11	44.46	3.68	2.91	5.97	4.63
12	46.99	6.28	3.08	3.94	4.40	12	46.99	6.27	4.51	8.43	5.91
13	43.10	4.22	2.70	4.43	3.28	13	56.08	5.72	4.12	7.77	5.88
14	53.48	5.28	2.93	4.85	4.64	14	45.82	5.67	5.00	9.01	6.42
15	43.87	3.68	3.12	4.54	4.71	15	41.03	8.15	3.85	7.35	4.71
16	32.21	3.02	4.16	4.66	8.58	16	40.83	4.09	4.01	8.12	6.87
17	34.28	3.83	2.99	3.46	4.56	17	41.19	4.84	3.81	7.04	4.76
18	36.58	3.89	3.06	4.54	4.22	18	43.13	4.62	3.12	6.24	3.69
19	37.02	2.89	4.00	4.56	6.89	19	49.72	4.66	4.06	7.34	5.10
20	34.86	3.17	3.60	5.47	6.53	20	46.70	4.00	4.67	8.38	5.19

6. 결 과

직물을 실험했을 때에도 Lederman의 결과와 유사하게 나왔다.

Fig. 3.6.2 대표적인 여름용, 겨울용 직물의 손끝의 문지르는 압력의 변화이다. 손끝의 누르는 압력의 평균은 여름용이 약 27.38 gf이며 겨울용은 약 38 gf였다. 표준편차는 여름용이 약 5.17 gf이었으며 겨울용은 약 3.29 gf로 알 수 있었다. 걸끄럽고 딱딱한 여름용 직물은 문지르며 질감을 느낄 때는 누르는 압력을 감소시키지만 표준편차는 증가하는 경향이 있었다. 그러나 질감을 느낀 후에는 압력의 변화가 생기지 않았다. 폭신한 겨울용 직물은 여름용 직물에 비해 질감의 변화가 상대적으로 작아 느낌을 느끼기 위하여 누르는 압력이 증가하는 현상이 있었다. Table 3.6.1 은 20개의 여름용 직물과 겨울용 직물의 평균, 표준편차, T.H.V를 보여주고 있다. 인간의 물리적인 값은 LOG를 취한 값이 가장 감각과 유사하다는 것을 밝혀낸 Steven's Law에 따라 압력의 평균값과 표준편차를 LOG를 취해 상관관계를 조사하였다. 여름용 직물은 표준편차가 가와바타의 T.H.V와 반비례의 상관을 이루고 있었고 여름용으로서 불확실한 것은 손끝의 압력의 변화 많고 질감의 인식을 위하여 압력을 증가시켰음을 알 수 있었다. 또한 겨울용 직물은 평균값과 T.H.V와 상관이 반비례함을 알 수 있었다. 겨울용에 가까울수록 손끝의 압력은 작게 가해지고 있었다.

감성 형용사와 손끝의 압력과의 상관관계(Fig. 3.6.3)를 살펴보았다. 감성형용사는 대표적으로 '매끄럽다-걸끄럽다'를 보았다. 여름용 직물은 걸끄러울수록 표준편차가 증가하였다. 걸끄러울수록 손끝의 압력 변화가 증가하였다. 또한 압력의 평균은 걸끄러울수록 힘이 덜 가해지고 있었다. 그러나 겨울용 직물은 걸끄러울수록 표준편차가 반비례됨을 보여주었다. 겨울용 직물은 이미 손

끝의 압력이 많이 가해진 상태이고 여름용에 비해 폭신했기 때문에 꺾끄러울 수록 힘의 변화가 적어짐을 알 수 있었다. 다만 여름용 직물이 겨울용 직물 보다 더 확실한 경향을 보여주었다.

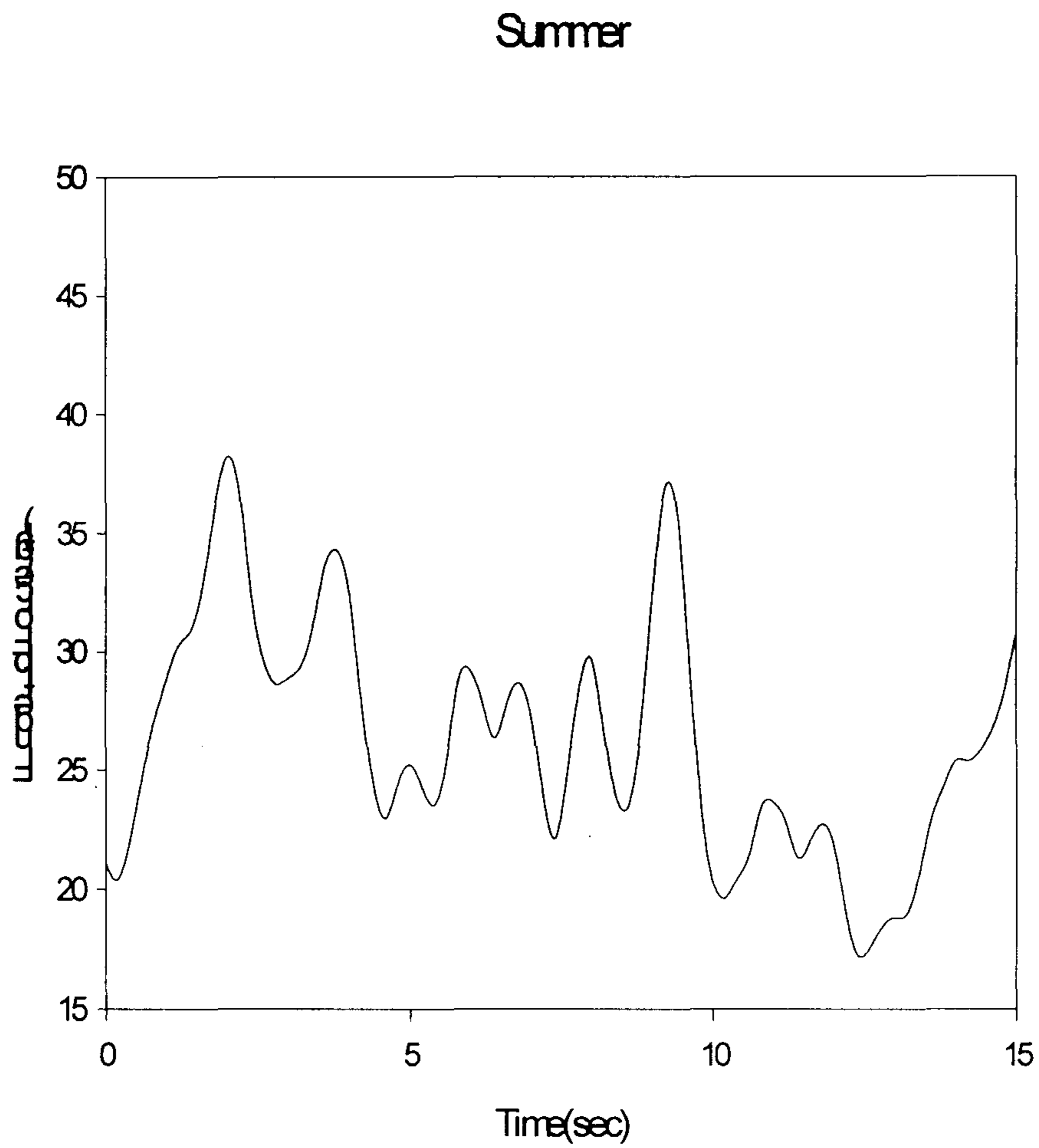


Fig. 3.6.2 Variation of Fingertip Forces of Sample for Summer

Winter

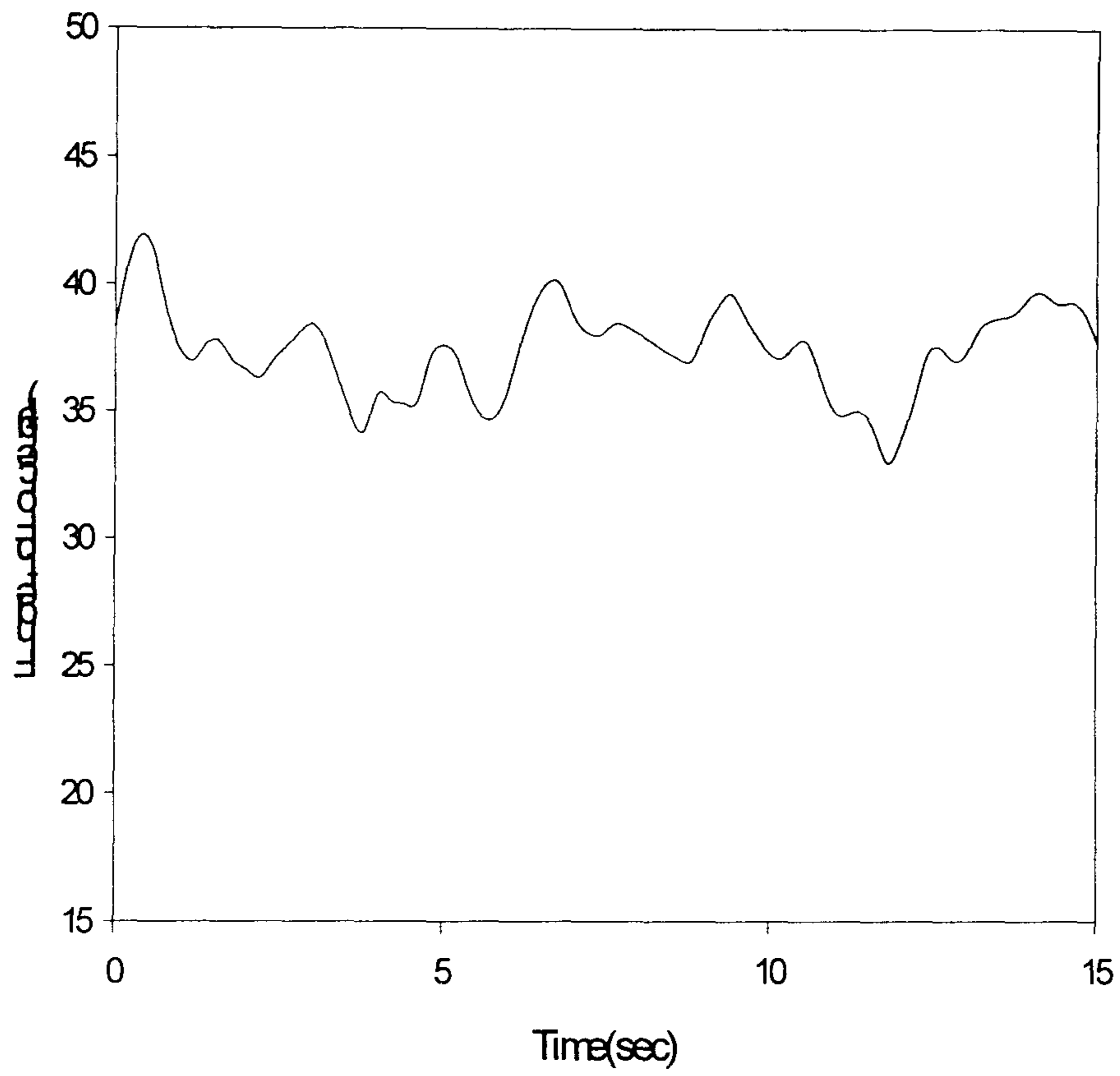


Fig. 3.6.3 Variation of Fingertip Forces of Sample for Winter

Summer

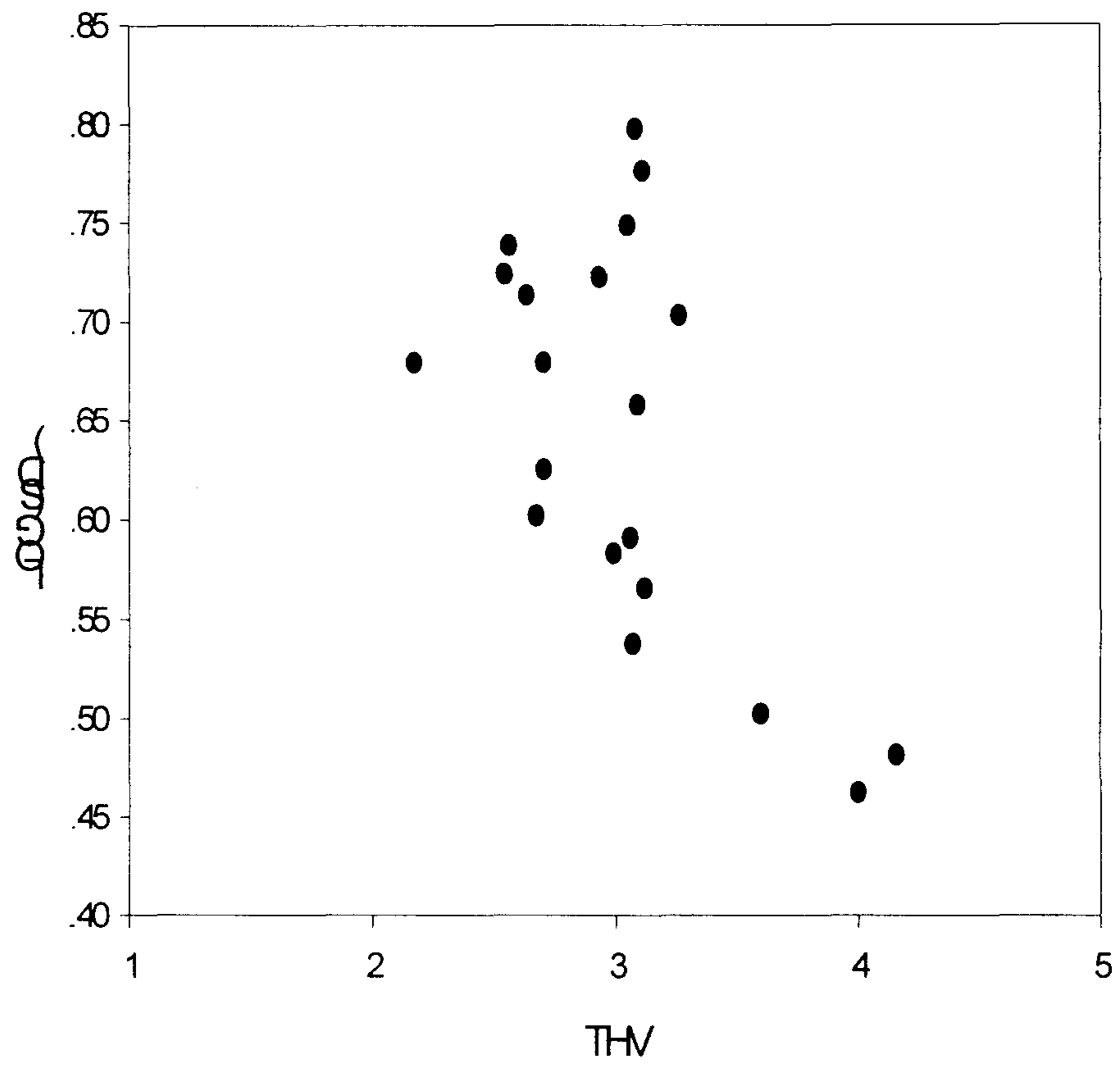


Fig. 3.6.4 SD of Fingertip Forces and THV for Summer Fabrics

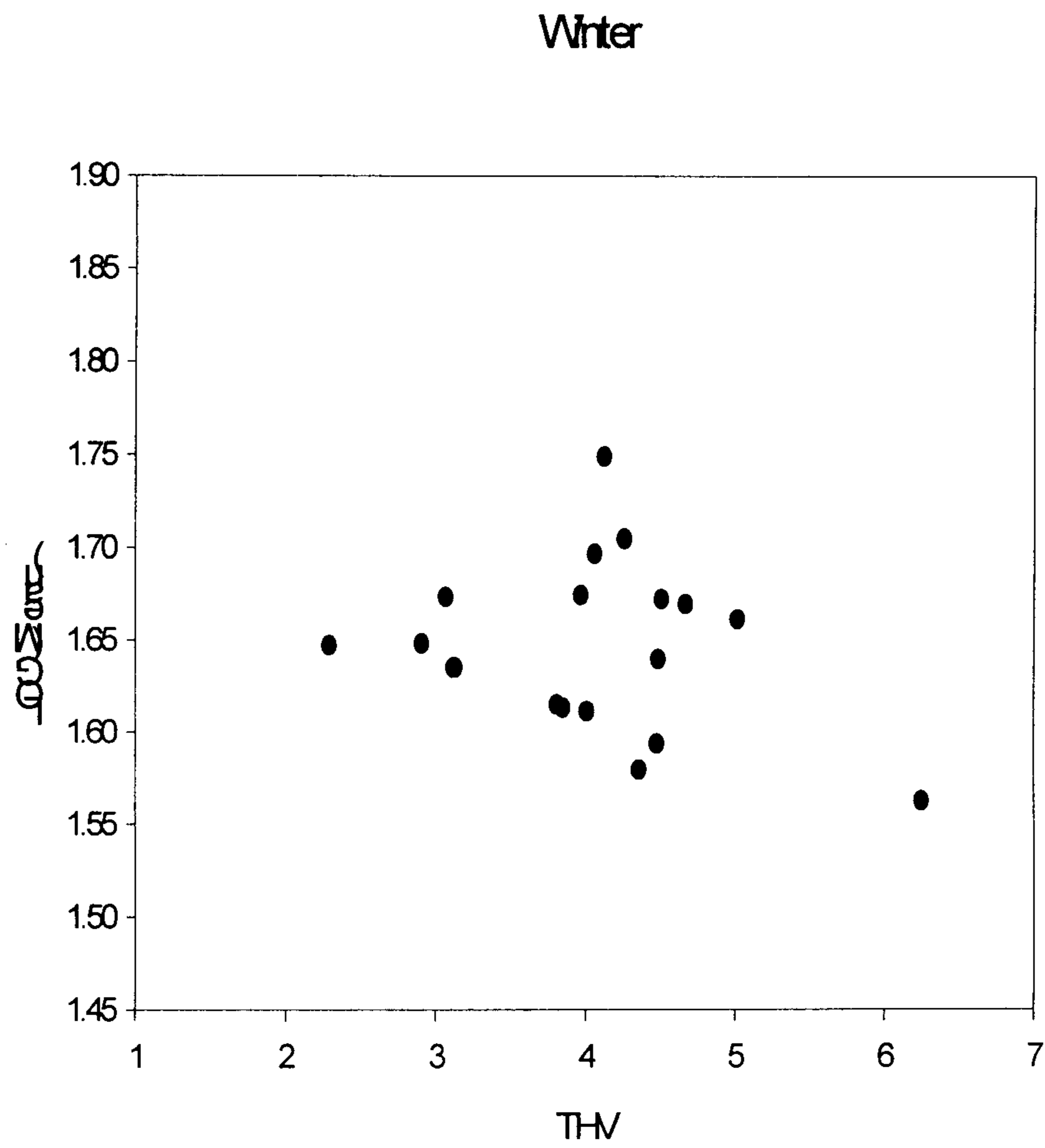


Fig. 3.6.5 Mean SD of Fingertip Forces and THV for Winter Fabrics

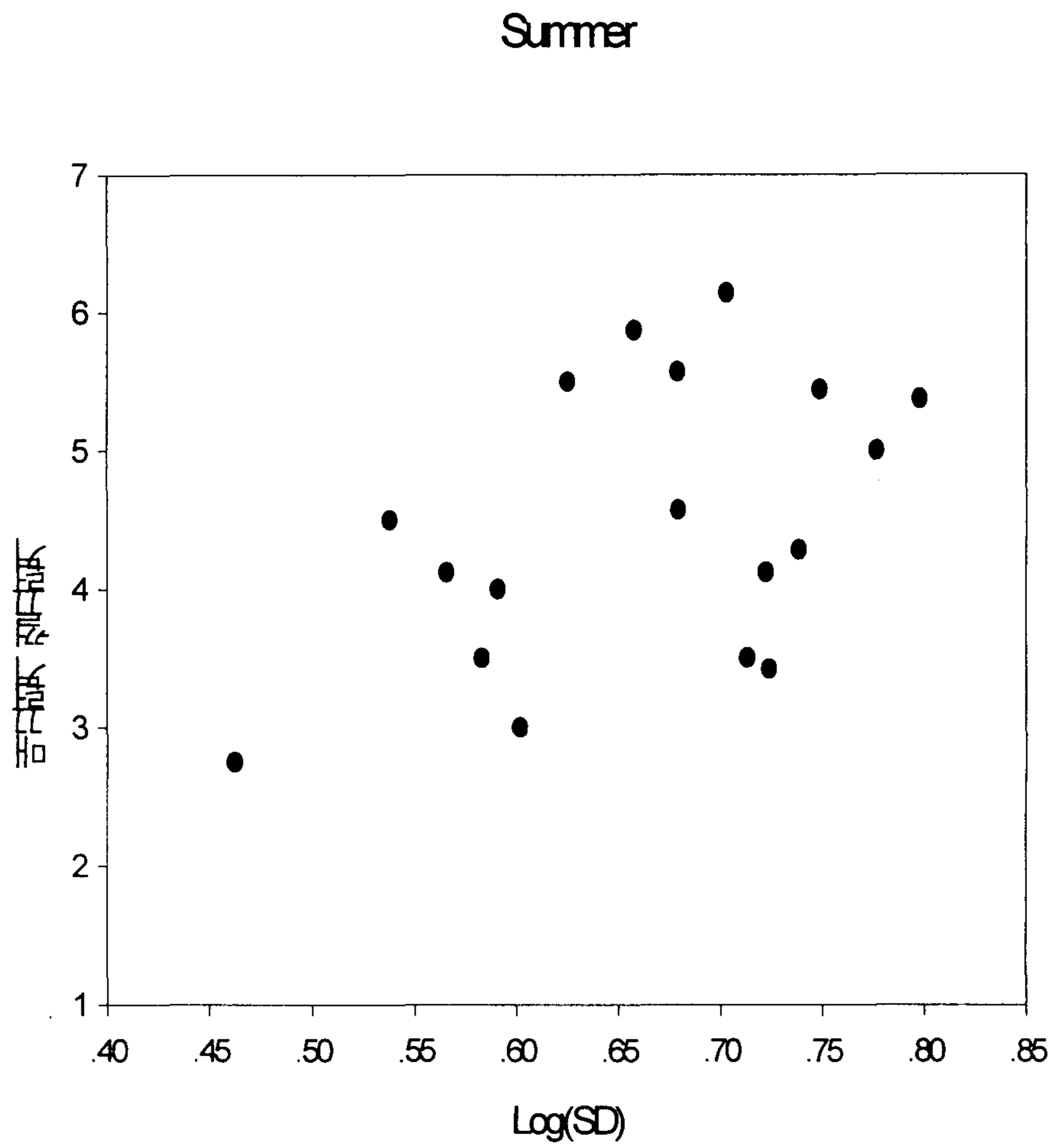


Fig. 3.6.6 Relation between SD of Fingertip Forces and Subjective Measurements in Smoothness

제 7 절 토론

임의의 4개 섬유를 선정하여 앞에서 평가 모델로써 확립한 형용사에 대하여 질감의 정도를 수치화하고 순서를 비교하는 예제를 제시하고자 한다.

4개 섬유의 물리량은 다음과 같다.

Table 3.7.1 Physical Properties of four samples

	표면 거칠기	회전 마찰력	warp 밀도	weft 밀도	두께	중량
S ₁	2.533	32.4	136	76	1.481	11.775
S ₂	4.817	26.6	92	68	0.586	20.15
S ₃	8.663	19.0	56	48	0.654	23.10
S ₄	6.061	22.1	60	40	0.640	18.475

1. 맵핑기-펼쳐기

Membership Degree는 식 3.4.1에서 3.4.4로부터 구하여 FMEM은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$R = \begin{bmatrix} 0.332 & 0.664 & 0.720 & 0.671 \\ 0.451 & 0.624 & 0.781 & 0.733 \\ 0.466 & 0.571 & 0.806 & 0.752 \\ 0.478 & 0.521 & 0.677 & 0.795 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{표면거칠기} \\ \text{회전마찰력} \\ \text{warp 밀도} \\ \text{weft 밀도} \end{matrix}$$

Weight Vector는 식 3.4.1으로 부터 다음과 같다.

$$\text{Weight Vector } A = (0.315 \quad 0.197 \quad 0.203 \quad 0.285)$$

$$B = A \cdot R$$

$$= (0.315 \ 0.197 \ 0.203 \ 0.285) \begin{pmatrix} 0.332 & 0.664 & 0.720 & 0.671 \\ 0.451 & 0.624 & 0.781 & 0.733 \\ 0.466 & 0.571 & 0.806 & 0.752 \\ 0.478 & 0.521 & 0.677 & 0.795 \end{pmatrix}$$

$$= (0.424 \ 0.597 \ 0.737 \ 0.735)$$

이 결과로써 Grading Vector의 수치는 각 섬유에 대하여 인간이 곱끄럽다고 느끼는 정도로써 표현된 수치이다. 가장 곱끄러운 섬유로부터 매끄러운 섬유까지의 순서는 다음과 같다.

곱끄럽다 : $S_3 > S_4 > S_2 > S_1$: 매끄럽다

2. 편편하기-우둘두들하기

$$R = \begin{bmatrix} 0.319 & 0.582 & 0.636 & 0.610 \\ 0.482 & 0.511 & 0.629 & 0.567 \\ 0.414 & 0.483 & 0.752 & 0.697 \\ 0.405 & 0.458 & 0.632 & 0.712 \end{bmatrix}$$

Weight Vector $A = (0.286, 0.235, 0.208, 0.271)$

$$B = A \cdot R$$

$$= (0.400 \ 0.511 \ 0.657 \ 0.646)$$

위 결과로써 직물의 질감이 우둘두들한 정도로부터 편편한 정도로 느껴지는 순서는 다음과 같다.

$$\text{우둘두들하다} : S_3 > S_4 > S_2 > S_1 : \text{편편하다}$$

3. 폭신하기-딱딱하기

$$R = \begin{bmatrix} 0.035 & 0.534 & 0.524 & 0.526 \\ 0.558 & 0.555 & 0.533 & 0.555 \end{bmatrix}$$

$$\text{Weight Vector } A = (0.456, 0.544)$$

$$\begin{aligned} B &= A \cdot R \\ &= (0.320 \ 0.545 \ 0.529 \ 0.542) \end{aligned}$$

$$\text{딱딱하다} : S_2 > S_4 > S_3 > S_1 : \text{폭신하다}$$

위의 결과로써 $S_2 \sim S_1$ 까지의 딱딱하기-폭신하기에 대한 비교를 통하여 순서는 알 수 있으나 그 차이는 매우 미미함을 결과 수치로써 확인 할 수 있다.

4. 결과 비교

sample	매끄럽기-결끄럽기		편편하기-우둘두들하기		폭신하기-딱딱하기	
	주관적 측정값	객관적 평가값	주관적 측정값	객관적 평가값	주관적 측정값	객관적 평가값
S ₁	3.68	0.424	3.28	0.400	4.36	0.320
S ₂	5.28	0.597	4.2	0.511	4.96	0.545
S ₃	6.2	0.737	5.48	0.657	4.84	0.529
S ₄	4.8	0.735	4.12	0.646	4.16	0.542

5. 결론

직물의 질감에 대한 주관적인 data의 객관적인 기준을 확립하기 위한 표준화의 한 접근 방법을 제시하기 위하여, 여러 가지 한계에도 불구하고 앞에서 보여진 평가 모델은 표준화의 한 방법으로써 훌륭히 이용될 수 있을 것이라 사료된다. 한국인의 질감 표현 형용사 어휘들을 조사·분류하여 가장 효과적으로 표현할 수 있는 형용사들을 제시하였으며, 직물에 대한 형용사 어휘의 감각적 느낌의 정도를 수치화 하여 본 논문의 모델로써 활용하였다. sample로써 선택한 직물의 주관적 수치뿐만 아니라 객관적 기준이라 할 수 있는 물리량을 조사하여 이들 주관적 표현과 객관적 기준과의 관계를 분석하였다. 이에 본 논문에서는 이러한 모델을 통하여 원하는 형용사에 대한 인간의 질감의 척도를 수치화 하였고, 당초 원하였던 표준화의 도구로써 이용할 수 있도록 시도하였다.

또한 직물의 물리량을 조사하기 위하여 표면 마찰력을 측정하는 표면 특

성 장치를 설계·제작하였으며, 이 과정에서 타 측정 장치에서는 시도되지 않았던 방법을 제시해 보고자 하였다.

단 본 논문에 나타난 3가지의 평가 모델은 인간이 느끼는 많은 질감을 표현하기에는 너무나도 부족하다. 또한 본 연구에 있어서 시간적, 비용적 제약으로 인하여 본 평가 모델이 가지는 신뢰성은 아직 절대적이라 할 수 없을 것이다. 이는 본 평가 모델이 응답자의 자질 및 진지함, 응답자의 수, Sample의 수 등에 영향을 받기 때문에 본 모델이 확고한 신뢰성을 가지고 표준화 모델로써 가치를 가지기 위해서는 이러한 요소들에 대하여 시간적으로 또 경제적으로 더욱더 투자되고, 연구되어야 한다고 생각한다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

연구 개발 목표는 촉감/질감 표현 용어의 수집 및 분석, 대상체 표면의 특성분석, 표면 특성 측정용 장치의 설계 뿐 만 아니라 Fuzzy 이론을 이용한 평가 방법과 Fingertip Force와 접촉이론을 통한 촉각의 기본 원리를 연구하였다.

○ 촉감/질감 표현 용어의 수집 및 분석

촉감/질감을 표현하는 형용사를 수집하여 요인분석에 의한 분석을 통해 6쌍의 직물의 질감을 표현하는 대표형용사를 추출하는 목표를 달성하였으며 이에 대한 활용은 직물의 질감을 연구하는데 상당한 기여를 할 것으로 판단된다.

특히 수집을 위해서 남, 여, 나이, 전공의 다양한 419명의 응답자를 선택하였으며, 섬유와 관계되는 전공과, 국문학을 전공한 전문 집단을 이용하여 형용사를 200여 개 수집하는 성과를 얻을 수 있었다. 그리고 이중에서 객관적으로 표현이 가능한 형용사 90개를 추출하여 7점척도 의미미분법(Semantic Differential)을 이용하여 설문지를 작성 정량화 된 질감 형용사 표현을 구하는 결과를 얻었다.

더욱이 직물을 수집하여 선택된 35가지 Sample 을 이용하여 6쌍의 대표형용사 값을 Sample별로 측정함으로써 대표직물을 선정할 수 있었다. 대표직물을 선정할 때는 질감에 영향을 미치는 시각적인 효과를 배제시켜 촉각에 의한 질감만을 표현하는 방법을 선택하였다.

요인분석은 SAS 통계 Program을 이용하여 요인을 추출, 회전, 해석을 통해

결과를 얻는 방법을 선택하였으며 6쌍의 대표형용사 추출의 객관성을 확보할 수 있었다. 질감에 영향을 주는 요인별 분류는 요철감, 매끄럽기, 폭신감, 두께감, 유연감, 온냉감으로 나타났으며 1차년도에는 요철감과 매끄럽기에 관심을 갖고 연구를 수행하였다.

○ 표면 특성 측정장치의 설계

질감은 피부표면의 변형과 압력, 진동에 의해서 감각소체가 자극을 받아 뇌에서 분석함으로서 느끼게 된다. 이와 같은 Mechanism을 객관적인 질감 측정 장치의 설계에 응용하는 연구를 수행하였다. 인간 손의 피부와 대상체 표면 사이에서 나타나는 현상은 두 표면 사이의 마찰력의 측정과 해석에 의해서 설명될 수 있다. 그러므로 손과 유사한 Contact Prober는 가로, 세로 방향과 45° , 135° 의 사선방향으로 움직이도록 설계하여 특수하게 고안된 3축 Load-cell에서 마찰력을 측정하도록 하였다. 움직이는 속도와 압력, 거리는 미세 조정하도록 하였으며 Signal Conditioning Amplifier와 Computer를 통해 신호를 기록하고 해석하는 자동화된 System을 구성하였다.

Contact Prober는 가능한 인간의 손끝과 같은 마찰계수와 경도를 유지하도록 고안하였으며 압력과 움직이는 속도를 변화시키면서 신호를 얻어 분석하는 방법을 이용하여 결과의 다양화를 시도하고 있다.

○ 대상체 표면의 특성분석

대상체로서는 직물을 이용하였다. 인간의 피부와 항상 접촉되어 있으며 질감을 상품의 가치기준으로 이용하는 직물은 실험 대상체로서 가장 적절한 것

으로 판단된다. 직물의 질감을 주관적 평가 방법에 의한 형용사적 표현의 분석내용을 이용하여 대표 직물을 선정하고, 동일직물을 표면특성 측정장치에 의해서 마찰력의 평균과 표준편차를 구하는 방법을 선택하였다. 연구 결과 감성의 표현에 따르는 역학적 특성값의 차이를 확인하였으며, 이의 분석을 통해 감성적인 요소를 미리 예측할 수 있는 연구의 기틀을 마련하였다. 이와 같은 연구의 결과는 직물의 설계, 전자제품의 표면가공연구, 페인트 산업, 가구 산업, 피복 산업 등의 다양한 분야에 활용될 것으로 판단된다.

그리고 심리학에서 촉감의 연구로서 나타나는 인간의 뇌파의 변화, 감정의 변화를 객관화된 본 연구결과와 함께 분석한다면 다양한 연구결과가 나올 것으로 기대된다.

○ 손끝의 접촉이론 연구

손끝의 접촉반응을 측정하기 위해 리니어 모터, Load cell, laser displacement sensor, data acquisition system등을 이용하여 자동화된 측정장치를 구성하였다. 손끝과 접촉하는 probe는 평평한 것과 볼록한 것을 사용하여 나타나는 반응을 비교하였다. 압축 속도를 변화시켜가며 측정하였고 손끝의 압축 변위는 속도에 영향을 받지 않는 것을 확인하였다. 또한 약 2 초까지는 누를 때 접촉하는 probe의 곡률 반경이 작을수록 압축 변위에 따라 힘의 변화가 작으나 그 후부터는 더 급격하게 힘이 증가하는 것을 확인하였다. 접촉할 때 손끝에서 나타나는 반응을 측정하여 촉각에 대한 감성요소를 미리 예측할 수 있으며 이와 같은 연구는 신체와 접촉하는 대상체의 질감을 느끼는 객관화된 지표를 마련할 수 있고 손끝의 점탄성을 측정하는데 응용할 것이며 섬유와 점탄성을 측정하여 손끝과의 상관관계를 찾는 데 응용할 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

촉감/질감에 관한 연구는 섬유공학, 의류학, 심리학, 사회학, 의학, 기계공학 등 다양한 분야에서 계속 진행하고 있으나 목적과 방법이 서로 다르기 때문에 정립된 학문 분야로서 자리매김을 하지 못하고 있는 상태이다. 특히 감성 공학으로서의 연구 및 제품 설계에 응용하는 연구는 아직 기초적인 단계에 머무르고 있는 상태이다. 특히 국내의 한국인을 대상으로 하는 연구는 전무한 상태이며 이에 대한 필요성은 계속 증대되고 있는 상태이다. 질감을 나타내는 형용사의 수집과 더불어 분류를 통해서 얻어진 결과는 산업디자인, 의류디자인, 광고 등의 분야뿐만 아니라 바탕이 된 것으로 판단된다. 더욱이 표면의 분석은 형용사 표현과 더불어 연구되어 짐으로서 과학적인 질감 표현 방법의 기초가 됨을 확인할 수 있다.

차기년도에는 이와 같이 당해연도의 기초적인 연구의 결과와 활용가능성을 토대로 여러 분야의 확장된 응용 가능한 연구로 확대할 필요성을 가지고 있다. 형용사 추출방법도 더욱 다양한 분야로 확대시켜 수집 분석을 실시하며 각 응용분야에 맞는 다른 결과를 얻는 방법을 시도할 수 있을 것이다.

질감의 객관적 값을 대신하여 측정된 역학적인 값의 다양한 해석과 측정장치의 고기능화, 자동화에 관점을 두어 연구를 계속한다면 여러 산업분야에서 응용 가능할 것이다. 당해연도에는 직물만을 대상으로 하였으나 피혁, 금속, 나무 등의 다양한 소재로 응용할 수 있는 방법을 연구하게 되면 자동차, 가구, 종이, 가전 등 질감이 제품의 품질을 좌우하는 산업에 활용될 수 있을 것이다. 더욱이 제품의 평가뿐만 아니라 설계단계에서 질감을 묘사하여 인간이 느낄 수 있는 감성을 다양하게 예측하게 되면 제품 생산의 비용절감은 물론 고부가가치가 형성될 것이다.

학문적인 관점에서는 심리적인 감성측정, 조사 및 뇌파 측정의 결과와 표면 특성과의 상관관계를 연구하게 되면 새로운 촉감/질감 연구의 시도가 될 것이며 이의 활용분야 역시 크게 확대될 것이다. 이와 같은 연구를 위해서는 여러 분야가 공동으로 연구하는 개념의 과제가 형성되어야 하며, 산업체에서는 결과 활용의 가능성에 대해 함께 토론하는 분위기 조성이 필요하다.

섬유공학분야의 활용 예로서는 직물의 설계단계에서 소비자가 원하는 촉감/질감을 정하여 모사화하는 일을 수행할 수 있다. 즉 부드럽고, 평평하며, 따뜻하게 느끼는 직물은 표면의 모양, 잔털양, 두께, 경•위사 밀도, 소재 등을 연구 Data를 중심으로 결정하여 모사화 할 수 있게 된다. 더욱이 이에 따르는 방적, 제직, 편성의 공정을 결정하고 생산함으로서 소비자가 원하는 직물을 간편하게 제품화하는 단계로 발전시켜 활용화 할 수 있을 것이다.

손끝의 접촉이론과 점탄성 이론을 바탕으로 손끝의 반응을 측정하고 섬유의 점탄성을 측정하여 손끝과 섬유의 상관관계를 파악하여 객관화된 데이터 베이스를 구축함으로서 제품의 설계 단계에서 제품의 질감을 파악하여 고부가가치의 제품을 생산할 수 있을 것이며 본 연구는 산업 전 분야로 응용 가능할 것으로 기대된다.

제 6 장 참고문헌

- 1) Mastura Raheel and Jiang Liu, "An Empirical Model for Fabric Hand, part I :Objective Assessment of Light Weight Fabrics", Textile Research J.31-38(1991)
- 2) Mastura Raheel and Jiang Liu, "An Empirical Model for Fabric Hand, part II :Sbjective Assessment, Textile Research", J.79-82(1991)
- 3) P.W.Harrison BSc CTextFTI, "Fabrics:Sensory and Mechanical Properties", The Textile Institute, 1996
- 4) P.W.Harrison BSc CTextFTI, "The Thermal-insulation Properties of Fabrics", The Textile Institute, 1993
- 5) P.W.Harrison BSc CTextFTI, "Physical Testing and Quality Control", The Textile Institute, 1993
- 6) 조인호 저, "SAS 강좌와 통계컨설팅", 한화경제연구원, 1996
- 7) 채서일 저, "사회과학 조사방법론", 학현사, 1996
- 8) 이광형, 오길록 공저, "퍼지이론 및 응용", 홍릉과학출판사, 1991
- 9) 채서일, 김범중, 이성근 공저, "SPSS/PC⁺를 이용한 통계분석", 학현사, 1996
- 10) 長町三生 著, "感性工學"
- 11) S. Kawabata, R. Postle and Masako Niwa, "Objective Measurment: Applications to Product Design and Process Control"

- 12) Delores M. Etter, "Engineering Problem Solving with Matlab", Prentice-Hall Inc., 1997
- 13) 김도현외 6인 공역, "핵심 퍼지 시스템", 에드텍, 1994
- 14) S. Kawabata, "The Standardization and Analysis of Hand Evaluation", The Hand Evaluation and Standardization Committee, 1980
- 15) K.L.Johnson, "Contact Mechanics", University of Cambridge
- 16) Boresi/Sidebottom/Seely/Smith, "Advanced Mechanics of Materials"
- 17) D.T.V.Pawluk, "A Viscoelastic Model of the Human Fingerpad and a Holistic Model of Human Touch", Thesis, Harvard University, Cambridge, 1997
- 18) D.T.V.Pawluk, W.J.Peine, P.S.Wellman and R.D.Howe, "Simulating Soft Tissue with a Tactile Shape Display", Harvard University, Cambridge
- 19) Lawrence Kruger, editor, "Pain and Touch", University of California, Los Angeles
- 20) L.Moss-Salentijn, "The Human Tactile System", In H.R.Nicholls, editor, "Advanced Tactile Sensing for Robotics", World Scientific, 1992
- 21) K.E.Atkinson, "An Introduction To Numerical Analysis", John Wiley and Sons, 1989
- 22) A.W.Goodwin, A.S.Browning, and H.E.Wheat, "Representation of Curved Surfaces in Responses of Mechanoreceptive Afferent Fibers Innervating the Monkey's Fingerpad", The Journal of Neuroscience, 15:798-810, 1995

- 23) A.Z.Hajian and R.D.Howe, "Identification of the Mechanical Impedance at the Human Finger Tip", ASME Journal of Biomechanical Engineering, 119:109-114, 1997
- 24) R.Lundstrom, "Local Vibrations-Mechanical Impedance of the Human Hand's Glabrous skin", Journal of Biomechanics, 17:137-144, 1984
- 25) J.F.M.Manschot and A.J.M.Brakee, "The Measurement and Modelling of the Mechanical Properties of Human Skin in vivo i. the Measurement", Journal of Biomechanics, 19:511-516, 1986
- 26) J.F.M.Manschot and A.J.M.Brakee, "The Measurement and Modelling of the Mechanical Properties of Human Skin in vivo ii. the Measurement", Journal of Biomechanics, 19:517-521, 1986
- 27) Jinlian Hu, Wenxiang Chen, and A. Newton "A Psychophysical Model for Objective Fabric Hand Evaluation : An Application of Stevens's Law" J. Tex. Ins. 1993, 84, No 3, 354-368
- 28) Susan J, Lederman and M. M Taylor "Fingertip force, Surface Geometry, and the Perception of roughness by active touch" Perception & Psychophysics, 1972, Vol 12(5), 401-408
- 29) P.W.Harrison BSc CTextFTI, "Fabric : Sensory and Mechanical Properties", Tetile Progress Vol 26, No.3
- 30) 이수민, 권영하, 이주영, "Fuzzy이론을 응용한 질감 표현의 객관적 등급 예측", 한국섬유공학회 춘계 학술발표회 논문집, 274-279
- 31) 윤일홍, 이시영 공저, "현대통계학", 삼영사, 1997