

제1차년도
연차보고서

Diode 용 Glass Tube 제조공정 자동화 및 결속재료 개발

Development of Automatic Manufacturing System and
Binding Material for Diode Glass Tube

연구기관

중부지역공업단지관리공단 생산기술연구조합

과 학 기 술 처

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “Diode용 Glass Tube 생산공정 자동화 및 결속재료 개발”
과제의 연차보고서로 제출합니다.

1993. 9.

주관연구기관명 : 중부공단
 생산기술연구조합

총괄연구책임자 : 박 재 우

연 구 원 : 황 선 기

 권 기 원

 정 상 균

 정 상 호

 황 용 하

 장 등 영

 김 일 태

 강 용 섬

여 백

하
위
하

여 백

요 약 문

I. 제 목

Diode용 glass tube 제조공정 자동화 및 결속재료 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

- 공장 자동화는 모든 산업계에 걸쳐 그 중요성이 급증하고 있다.
- 중소기업의 경쟁력 강화가 우리나라의 경제 재도약에 절대 필요하다.
- Glass tube 제조공정의 개선은 관련 업계로 하여금 약화되어 가고 있는 경쟁력 회복에 절대적으로 필요하다.
- 현장에 즉각 적용 가능한 자동화 기술의 개발 및 이용이 가능하다.
- 유리봉의 결속을 위한 신소재의 개발은 생산성 제고, 근로 환경 개선, 나아가 환경 보호에도 크게 기여할 것으로 기대된다.
- 연구 수행과정에서 긴밀한 산학 협동이 이루어질 수 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 현재 diode용 glass tube 생산공정중 일부의 간이자동화 및 결속공정의 개선을 주과제로 하여 수행되었다.

1. 대체 결속재료 개발

- Glass tube를 결속하는데 사용되고 있는 송진을 대체하기 위한 새로운 재료를 개발하고자 우선 현재 사용하고 있는 결속공정의 문제점을 도출하고 결속제인 송진과 기존 결속공정을 분석한다.
- 문헌조사와 분석으로 얻어진 결과로부터 대체 재료가 가져야할 기본 성질을 도출한다.
- 열분석과 용해거동 등의 예비실험을 기초로 가장 적합한 대체 재료를 선택하여 적용 실험을 실시한다.
- 기존 결속재료와 비교 분석한다.

2. Glass tube 자동공급 장치 개발

- 기존 외경측정 공정의 문제점을 파악한다.
- 현재 사용중인 외경측정 장치를 최대한 활용하면서 그 개선책을 강구한다.
- Glass tube의 자동공급 및 불량 식별을 용이하게 할 수 있도록 conveyor상에 촘촘히 정렬되도록 한다.
- 향후 필요시 시스템 변경이 용이하도록 flexibility를 갖는 시스템으로 설계한다.
- 시작품의 제작을 통해 실제로 즉각 활용될 수 있는 결과를 얻도록 한다.
- 제작된 시제품의 성능 실험을 실시하여 현장과의 차이점을 확인하여 개선한다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

본 연구로부터 얻어진 결과는 다음과 같이 두가지로 요약할 수 있다.

1. 대체 결속재료의 개발

대체 재료로는 수용성 고분자인 PVA가 가장 적합함을 확인하였다. 여러 농도의 수용액을 제조해 본 결과, 용액상태의 결속제가 효과적으로 기능을 발휘하기 위해서는 용액점도가 될 수 있는 한 낮아야 하며 농도는 가능한 한 높아야 한다. 따라서 본 연구에서는 분자량이 가장 낮은 DP = 500의 PVA로 균일용액을 제조하였으며, 상온에서 보관중 어떠한 물성의 변화가 관찰되지 않는 것으로 보아 상당히 안정함을 알 수 있었다. 이 용액을 이용하여 그 대체 가능성을 조사하기 위해 젖음성, 표면장력, 증발거동, 전단응력, 용해거동 등을 알아보았다.

- 용액의 함침성은 젖음성으로부터 예측이 가능하였다. 그리고 함침성이 고농도 용액은 좋지 않았으나 용액온도를 증가시켜 상당히 향상시킬 수 있다.
- 건조시 물의 증발은 모든 농도에서 공히 초기에 급격히 일어나며 증발속도는 70℃에서 15분, 110℃에서 10분, 그리고 130℃에서 7분에 최대가 되었다.
- 110℃에서 건조시간의 변화에 따른 접착강도의 변화를 볼 때, 약 30분 이상의 건조로써 송진의 접착강도 이상의 값을 얻기에 충분하였다.
- 절단 후 결속제는 물을 이용하여 제거할 수 있으며 95% 이상 제거하는데 필요한 시간은 상온에서 50분이던 것이 60℃에서는 30분으로 단축되었다.

2. Glass tube 자동공급 장치 개발

Diode용 glass tube 제조공정 중의 하나인 1차 절단된 유리관을 외경측정 시스템의 일부인 컨베이어 벨트에 자동으로 균일하게 배열하는 feeder의 설계/제작 및 그 제어시스템을 개발하였다. 본 과제에서 다루는 자동화 공정은 외경이 매우 작고 길이가 비교적 긴 유리관을 다루는 것이므로 취급시 파손되기 쉽고, 잘 휘어진다. 따라서 유리관의 이송 특성을 이해하기 위해 먼저 몇 가지의 시작품을 제작하고, 여러 종류의 파라미터를 변화시켜 시험을 수행하였다. 그 결과 유리관을 용기로부터 안정적으로 분리하고, 유리관을 촘촘하고 균일하게 배열할 수 있는 시스템을 도출할 수

있었다. 이 시스템에는 유리관을 용기로부터 적절한 양만큼 분리하는 feeding 실린더, 유리관의 잼 현상을 방지하는 캠축과 유리봉의 운동량을 줄여 안정적으로 배열시켜 주는 감속장치가 포함되어 있다. 유리관을 컨베이어로 균일하게 이송하여도 feeding 실린더의 유리관 이송속도와 컨베이어의 이송속도 차이 때문에 유리관이 컨베이어에 쌓이는 문제는 해결되지 않는다. 이와함께 컨베이어의 하류에 설치된 유리관 외경측정시스템이 컨베이어를 정지시킬 때 유리관의 이송이 중단되어야 하므로, 본 이송시스템은 반드시 피드백 제어를 필요로 한다. Feeder의 구동모터 제어에는 PLC를 사용하였고, 투명하고 여자성이 없는 유리관을 효과적으로 검출하기 위해 정전용량식 근접스위치를 이용하였다. 이와같은 자동 feeding 시스템을 실제 생산라인에 설치 운용할 경우 많은 인건비 절감이 예상되며, 품질의 규격화도 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

SUMMARY

I. Title

Development of Automatic Manufacturing System and Binding Material for Diode Glass Tube

II. Objectives and Significances

- It is realized that automatic manufacturing system is enormously critical for industries.
- The increase of competitive power of small-to-medium-sized enterprises is essential for another take-off in our country.
- Improvement of the binding process is an absolute requirement in order to recover the competition that is being weakened.
- The automatic technology developed in this research is able to apply and utilize at job sites.
- The development of a new binding material for glass tube provides the raise of productivity, better working surroundings. Furthermore, one may expect the conservation of environment.
- The industrial-educational cooperation can establish the intimate relationship during performing the research..

III. Contents and Scope

This study has been carried out for partial automation of diode glass tube manufacturing process and improvement of its binding process.

1. Development of Binding Substitute

- Substitute material for the rosin that is being used for binding the glass tubes has been studied. It is necessary to examine the rosin and the binding process in use since the manufacturing process has several disadvantages.
- From the literature survey and the analysis of the material and the process, basic properties which the substitute must have has been summarized.
- Followed by doing some preliminary experiments such as thermal analyses and dissolution behavior, etc., the most suitable substitute has been selected.
- Comparison test and analyses have been carried out.

2. Development of Automatic Feeding System

- The outer-diameter measuring system in use is to be analyzed.
- The improvement for the system is considered with utilizing the measuring equipment effectively.
- The glass tubes is needed to be uniformly arranged on conveyer for the automatic feeding as well as the easy distinction of defective products.
- The system is designed to be flexible for the purpose of any change

when necessary in future.

- The results from this research are to be practically used through the construction of a prototype of the system.
- The prototype constructed is improved by fully considering the job site.

IV. Results and Application

1. Development of Binding Substitute

Watersoluble polymers, poly(vinyl alcohol), PVA, as the most suitable substitute may provide some improvements in processing. Various concentrations of PVA solution were made with different degrees of polymerization(DP). In order to bind tubes effectively, a solution should be as low as possible in viscosity and as high as possible in concentration. In this study, PVA with the lowest DP = 500 was employed because the PVA was readily formed a clear solution that has excellent stability in optical and physical properties during storage at room temperature. The experiments using the solution were wettability and surface tension, evaporation behavior, adhesion and shear strength, and dissolution behavior. The following conclusions were drawn from the experimental results:

- It is able to use wettability to estimate the impregnation of the solution. The wettability is not good for the concentrated solution, but is so much improved by raising the temperature of the solution. This means that the processing time can be shortened simply by increasing temperature.

- During drying, water evaporates real fast for all samples in an early stage and faster for lower concentrations. The maximum rates of the evaporation take place after 15 min at 70°C, 10 min at 110°C, and 7 min at 130°C.
- Adhesion strength of PVA solution after drying the water at 110°C for various periods of drying time was examined. After drying for 30 min, the adhesion of PVA on glass is already better than that of rosin.
- Cleaning of the residual binding material may be effectively done in warm water. The material is removed up to 95% for about 50 min at room temperature and 30 min at 60°C.

2. Development of Automatic Feeding System

A glass tube feeder, which automatically feeds glass tubes uniformly on a conveyor belt in an outer-diameter measurement system after the first-cutting process, and its control system has been developed successfully.

The glass tubes are so fragile and brittle that it should be careful to handle them. In order to understand the feeding characteristics of the glass tubes, several proposed prototypes of glass tube feeder were tested to some parameters. As a result, we finally found an optimal feeding system, which separated the glass tubes from container stably, and maintained uniform feed of the glass tubes. In this optimal system, a bladed feeding cylinder was employed to separate glass tubes from the container, and a cam shaft was installed to avoid the jam of the glass tubes at the container exit. In addition, decelerating system was added for the momentum decrease of glass tubes in the downstream of the feeding cylinder. The difference between feeding capabilities of the feeding cylinder and the conveyor belt results in accumulation of the glass tubes on the conveyor belt. The feeding cylinder

should be stopped, whenever the downstream outer-diameter measurement system stops the conveyor beyond its measuring capacity. In order to resolve these problems, a feedback control system should be employed. In this work, a programmable logic controller was used in the control of the driving motor which rotated the feeding cylinder, and capacitive proximity switches were adopted in sensing the transparent and noninductive glass tubes. It is considered that this automatic glass tube feeder and its control system saves labor, and enhances quality of product in the manufacturing process.

여 백

여 백

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	21
Section 1	Background of Study	23
Section 2	Necessity of Study	23
Section 3	Objectives of Study	25
Chapter 2	Development of Substituting Binding Material	27
Section 1	Requirements for Substitute	29
Section 2	Analysis of Binding Material in use	30
1.	Binding Process	30
2.	Thermal Analysis	31
Section 3	Watersoluble Polymers	31
1.	Properties of Watersoluble Polymers	31
2.	Watersoluble Polymers	37
Section 4	Binding Process for the Substitute	51
Section 5	Experimental	57
1.	Wettability and Surface Tension	57
2.	Rate of Evaporation	59
3.	Adhesion and Shear Strength	59
4.	Rate of Dissolution	61
Section 6	Results and Discussion	64
1.	Impregnation	64
2.	Drying	67
3.	Adhesion	67

4. Cleaning	74
References	79
Chapter 3 Development of Automatic Glass Tube Feeder for Outer-Diameter Measuring System	81
Section 1 Improvement of Outer-Diameter Measureing Process	83
Section 2 Manufacturing of Glass Tube Feeder	83
1. Manufacturing of Prototypes and Its Evaluation	83
2. Final Design	90
Section 3 Automatic Control of Manufacturing Process	93
1. PLC(Programmable Logic Controller)	94
2. Sensor	100
3. Feeder Driving Motor	116
4. Feeder Control System	118
Section 4 Performance Test and Evaluation of Finally-designed Feeder	123
Chapter 4 Conclusions and Suggestions	135
Appendix	139

목 차

제 1 장 서 론	21
제 1 절 연구개발의 배경	23
제 2 절 연구개발의 필요성	23
제 3 절 연구개발의 목표	25
제 2 장 대체 결속재료 개발	27
제 1 절 대체 결속재료 개발의 필요성	29
제 2 절 기존 결속재료 분석	30
1. 결속 공정	30
2. 특성 분석	31
제 3 절 수용성 고분자	31
1. 수용성 고분자의 성질	31
2. 수용성 고분자의 종류	37
제 4 절 대체 결속재료의 결속방법	51
제 5 절 실험 방법 및 장치	57
1. 젖음성 및 표면장력	57
2. 증발률	59
3. 접착강도 및 전단강도	59
4. 용해율	61
제 6 절 결과 및 고찰	64
1. 함침성	64
2. 건조성	67
3. 접착성	67

4. 세척성	74
참고문헌	79
제 3 장 외경측정 자동화를 위한 자동 공급장치의 개발	81
제 1 절 외경측정 공정의 개선	83
제 2 절 Glass Tube Feeder의 제작	83
1. 시작품 제작 및 평가	83
2. 최종 설계	90
제 3 절 공정의 자동제어	93
1. PLC(Programmable Logic Controller)	94
2. 센서(Sensor)	100
3. Feeder 구동 모터	116
4. Feeder의 제어 시스템	118
제 4 절 최종 설계 Feeder의 성능 시험 및 평가	123
제 4 장 결론 및 제언	135
부 록	139

여 백

제 1 장 서 론

여 백

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 배경

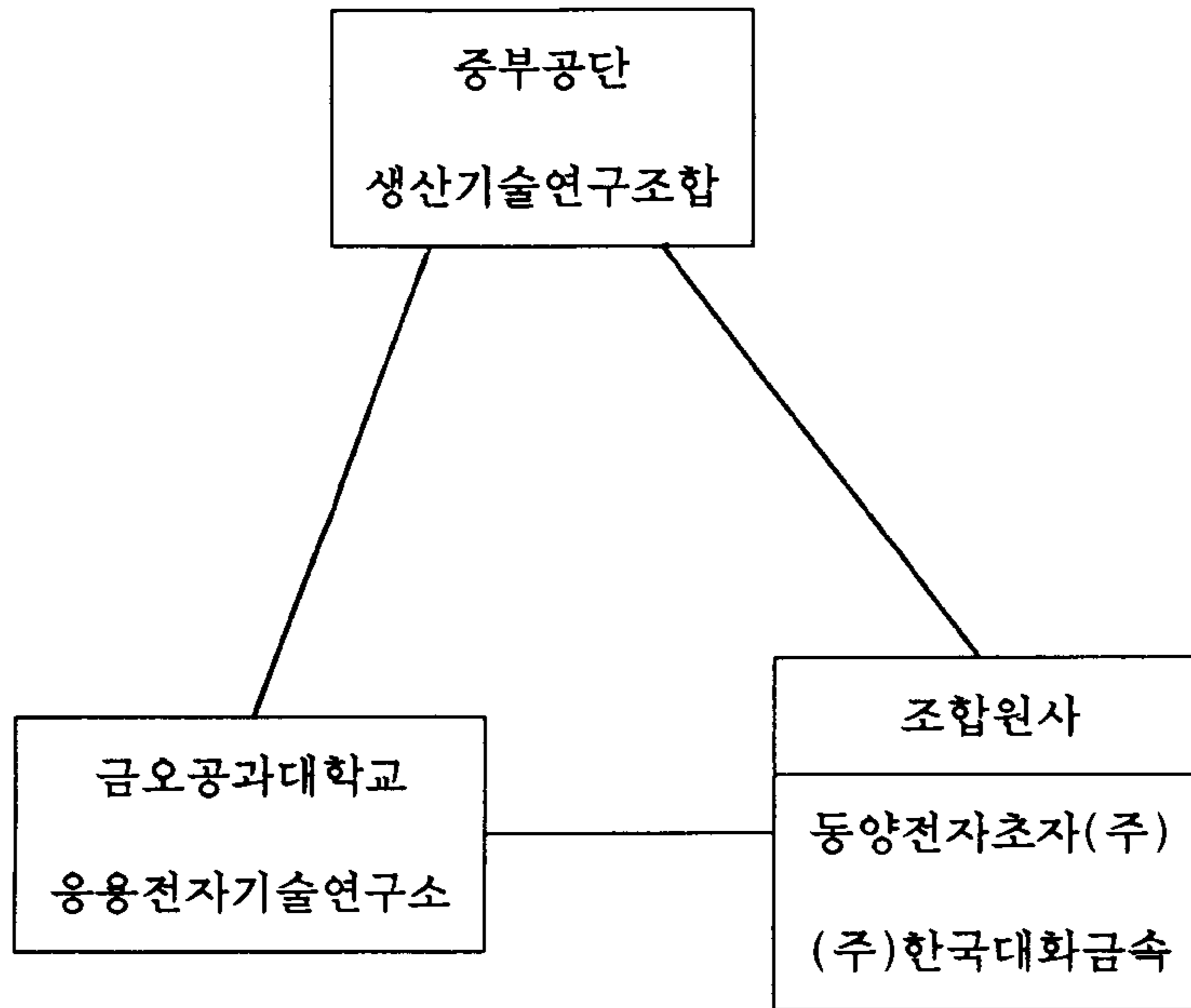
중소기업의 생산성 향상과 그 경쟁력 강화는 우리나라의 새로운 경제 도약을 위한 가장 핵심적인 요소로 인식되고 있으며 아울러 최우선적으로 해결되어야 하는 경제 발전의 심각한 장애 요소로 부각되고 있다. 또한 임금 상승으로 생산비 중 인건비 비중이 날로 과다해져 가고 있으며, 단순 반복 작업, 혹은 열악한 근로 조건을 기피하는 이른바 3D 기피 현상으로 생산 현장에서의 노동력 부족까지도 심각하게 대두되고 있다. 치열한 국제 경쟁은 선진국으로부터의 기술 도입을 점차 어렵게 하고 있으며 한편으로는 후진국의 맹렬한 경제 추격을 받고 있다.

구미 공업단지는 300여개의 회사가 입주해 있으나, 위와같은 다방면의 경제적 난관들로 그 제조 경쟁력이 급격히 하락하고 있음은 주지의 사실이다. 이에 1991년 구미국가공단(당시, 현 중부공단)이 주체가 되어 중소기업만을 대상으로 하는 '생산기술연구조합'을 결성하여 생산공정의 자동화, 신소재 개발 등에 의한 경쟁력 회복에 힘쓰고 있다. 또한 인근에 위치한 국립 금오공과대학교 부속 응용전자기술연구소와 공동 및 위탁 연구를 통해 산학 협동에도 크게 기여하고 있다.

본 연구과제는 조합의 회원사인 동양전자초자(주)의 생산공정 개선을 위해서 당 조합과 금오공과대학교 부속 응용전자기술연구소의 연구 지원 및 역시 회원사인 (주)한국대화금속의 hardware 설계, 제작의 협동 작업하에 수행되었다. 이 관계를 도표로 표시하면 <그림 1-1>과 같다.

제 2 절 연구개발의 필요성

본 연구의 주 과제인 diode용 glass tube는 discrete diode인 silicon PN junc-



〈그림 1-1〉 연구 수행을 위한 산학 협동 관계

(Fig. 1-1 Cooperative relationship between university and industry for the study)

tion을 보호하는 외피에 해당된다. 이러한 glass tube의 가공 공정은 <그림 1-2>에 나타난 바와 같이 대략 다음과 같다. 고품질의 유리봉(glass tube)을 열처리에 의해 가늘게 뽑아낸 후 일정 길이(대략 20~30 cm)로 1차 절단한 뒤 외경측정 및 내경측정을 통해 규격에 맞는 것을 선별한다. 그 다음 적당량의 glass tube를 보조 치구와 송진이라는 결속재료를 사용하여 결속 응고시킨 다음 2차 절단(2~5 mm)하고 마지막으로 결속재료의 제거를 위한 세척을 하게 된다.

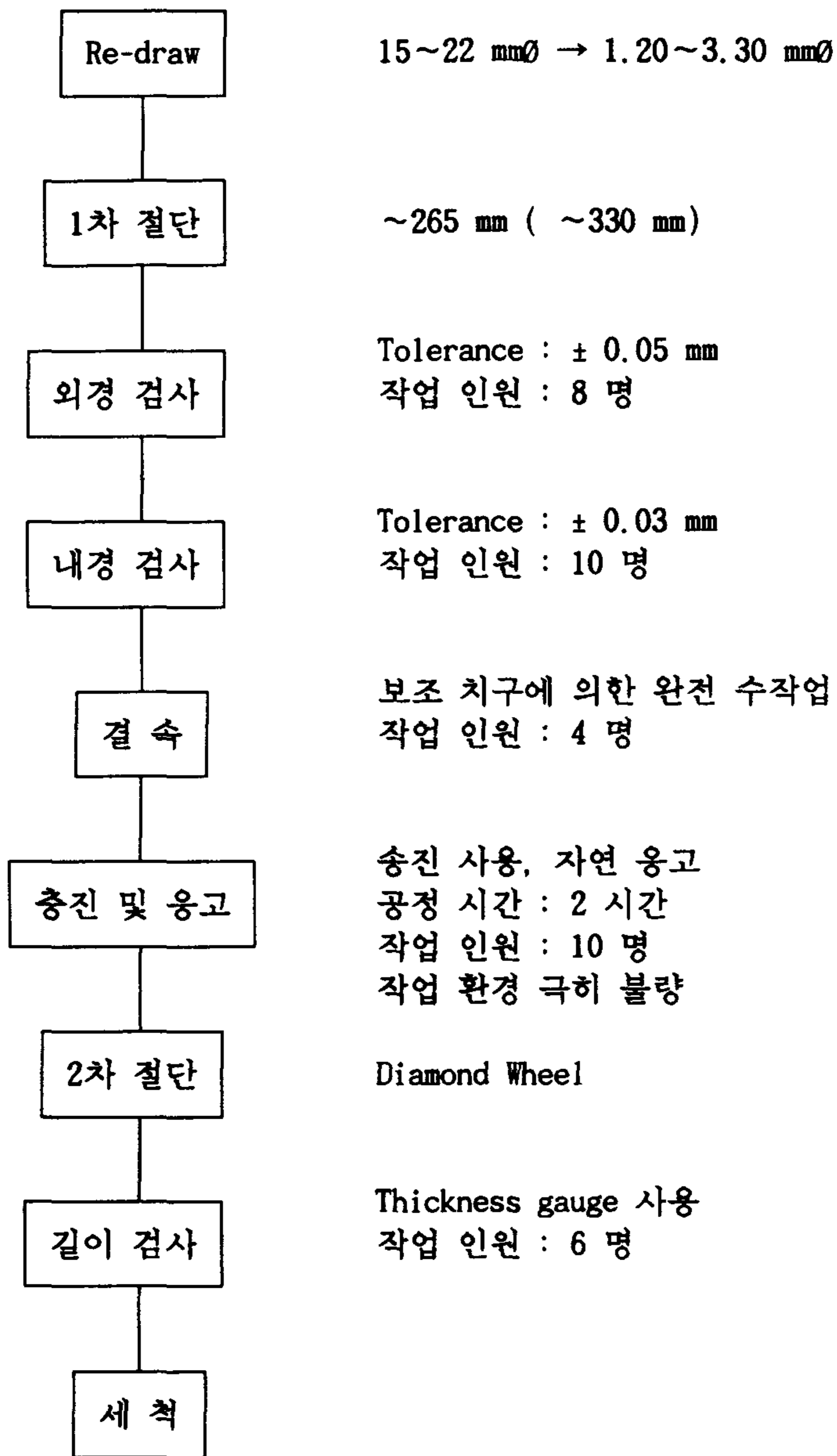
이러한 일련의 공정 중, 결속재료로서 값이 싸다는 점 때문에 송진이 사용되고 있으나 송진을 가열하는 과정에서 고열에 의한 악취 등 작업 환경이 극히 불결하며 또한 자연 응고시킴으로 해서 결속에 소요되는 시간이 매우 길게 된다. 따라서 송진을 대체할 수 있는 결속재료의 개발이 시급하나 그 기술적 연구는 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다.

그리고 1차 절단된 glass tube의 외경측정이 거의 인력에 의존하므로써 생산 업체로 하여금 과중한 인건비 부담 요인으로 작용하고 있으며 제품의 불량률을 높이는 원인이 되고 있다. 따라서 외경측정 공정에 간이 자동화를 도입하므로써 단위 공정의 생산성을 높이고 나아가 전 공정의 유기적인 조합을 통해 전체 생산성을 높여야 할 것이다.

제 3 절 연구개발의 목표

전술한 바의 연구 수행의 배경과 그 필요성 하에 본 과제의 연구개발 목표 및 내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. Diode용 glass tube 생산을 위한 단위 공정 진단
2. 결속공정 연구 및 송진 대체용 결속재료 개발
3. 외경측정 자동화를 위한 glass tube 공급 및 배열 자동화 장치 개발



<그림 1-2> Diode용 glass tube 제조 공정 흐름도

(Fig. 1-2 Flow chart of manufacturing process of glass tube for diode)

제 2 장 대체 결속재료 개발

여 백

제 2 장 대체 결속재료 개발

제 1 절 대체 결속재료 개발의 필요성

Diode 용 glass tube를 결속하기 위해 현재 송진(rosin)이 사용되고 있다. 이 물질은 다양한 종류의 천연수지 중에서 경제적으로 유리하여 여러가지 용도로 사용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 송진에 의한 결속공정의 문제점으로서 우선 작업 시간이 과다하며, 150℃ 이상 고온작업으로 인한 송진의 증발과 절단 후 세척시 사용하는 용매의 휘발 등에 의한 작업환경의 열악함을 들 수 있다. 그러한 송진을 대체할 수 있는 재료를 개발하는 데 있어서 대체 재료가 가져야 할 요구사항은

- 결속시간의 단축
- 환경문제
- 가격
- 결속능력

등으로 요약할 수 있다. 위의 사항들 중 환경 혹은 작업조건 개선의 관점에서 보면 우선 공정이 가급적 낮은 온도에서 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 세척이 인체에 무해한 물에 의해 수행될 수 있으면 바람직하다. 따라서 그 대체 재료로서 물에 녹을 수 있는 재료를 생각해 볼 수 있으며, 본 연구에서 대체 재료로 수용성 고분자 재료를 선택하였다. 그런데 그 재료가 결속제로서의 역할을 수행하기 위해서는 다음의 4가지 점을 만족해야 한다.

- 함침시 액체상태

- 절단시 충분한 견고성과 접착성을 유지
- 결속물의 효과적인 세척
- 공정시간의 단축

Box화 된 glass tube 사이에 생기는 작은 틈사이로 결속제를 용이하게 침투시키기 위하여 결속재료는 함침시 반드시 액체상태를 유지해야 한다. 이와 같은 액체상태를 유지시킬 수 있는 방법으로는 가열하여 그 물질을 녹이거나, 아니면 용액을 형성하게 하는 두가지 방법을 생각할 수 있다. 자세한 내용은 대체 결속방법에서 후술하고자 한다. 또한 glass tube에 손상을 주지않고 절단하기 위해서는 결속제와 tube 사이에 접착성(adhesion)이 좋아야 하며, tube사이에 있는 결속재료 자체가 절단시 발생하는 그 응력에 견딜 수 있는 정도의 강도를 지니고 있어야 한다. 또한 일단 절단된 tube에 접착되어 있는 결속물의 효과적인 제거도 전체 생산공정의 시간을 단축시킬 수 있으므로 중요하다.

제 2 절 기존 결속재료의 분석

노란색의 빛을 띠는 송진은 취약하며 쉽게 부스러지는 성질을 가지고 있다. 또한 송진의 유리전이온도(glass transition temperature, T_g)는 약 30℃, 연화온도는 약 75℃이다[1]. 평균분자량은 약 300 g/mol 이며 강직한 분자구조를 가지고 있으므로 같은 분자량의 무정형 고분자에서 기대되는 유리전이온도보다 더 높은 값을 가진다. 또한 용융점 이상으로 가열하면 점도가 급격히 떨어지는데 이는 분자량이 낮은 데 기인한다. 송진이 가지는 이러한 점도의 급격한 감소와 같은 특성은 여러 분야에 응용되고 있다[2].

1. 결속 공정

송진을 사용한 결속공정을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 외경과 내경검사를 마친

약 265mm 길이의 glass tube를 일정한 형태의 틀에 1200개 정도를 고정시켜 box화 시킨 후, 가열하여 녹은 상태의 송진에 담구어 함침을 시킨다. 담구는 과정은 150~170℃로 유지된 고온의 액체 송진에 한 시간, 그리고 140℃에서 한 시간 유지시킨다. 그 후 20분 정도 공냉하여 송진을 응고시켜 결속시킨 다음, 절단을 하고 세척하여 송진을 제거한다. 그 과정을 <그림 2-1>에 흐름도로 나타내었다.

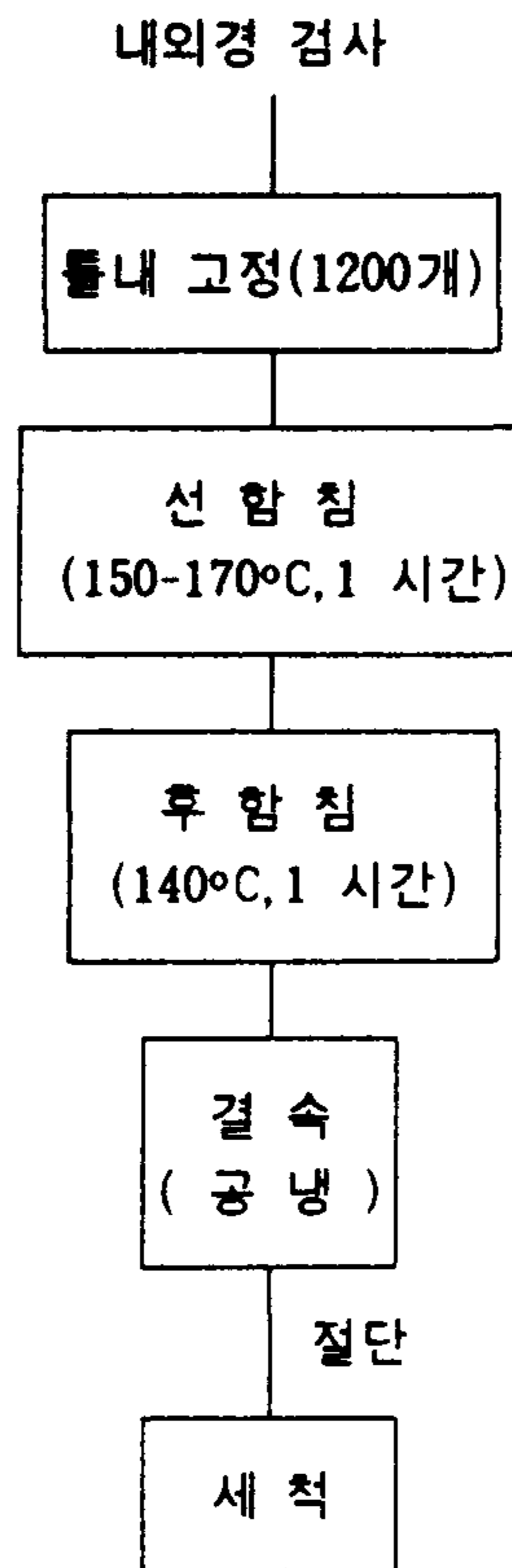
2. 특성 분석

송진은 그 구성 성분의 대부분이 abietic acid로서 <그림 2-2>에 나타낸 것과 같은 분자구조를 가지고 있다. 이러한 송진의 열적거동을 알아보기 위해 시차주사열분석기(Differential Scanning Calorimetry, DSC, Dupont 2000)를 사용하였으며 그 결과를 <그림 2-3>에 나타내었다. 약 120℃부터 190℃까지 걸쳐 넓은 흡열 peak가 나타나고 있으며 peak 정점으로 부터 결정된 송진의 용융점은 약 140℃이다. 그러므로 기존방법에서 함침온도는 140℃ 이상으로 사용하고 있다. 또한 녹는점 측정기(melting point apparatus)로 용융거동을 직접 눈으로 관찰해 본 결과 위의 시차주사열분석기를 이용하여 얻어진 결과와 거의 일치하였으며, 150℃ 정도로 녹인 송진은 상당히 낮은 용융점도를 나타냄을 관찰할 수 있었다.

제 3 절 수용성 고분자

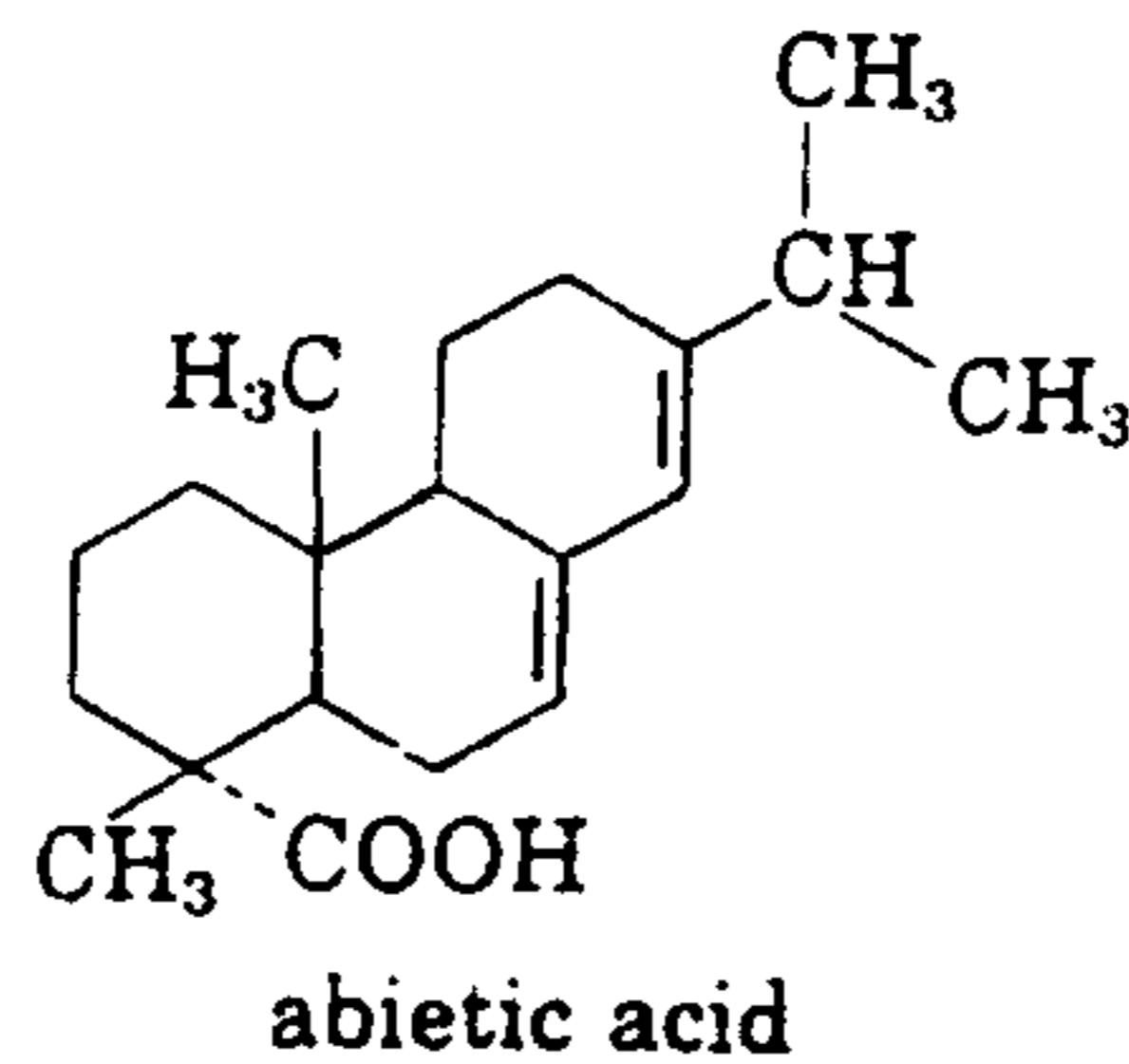
1. 수용성 고분자의 성질

수용성 고분자가 물에 녹아 용액을 형성하였을 때 그 성질이나 기능은 고분자를 구성하는 사슬(chain)의 구조적 특성에 의하여 결정된다. 그 구조를 결정하는 요소로서 첫째로 사슬을 구성하는 반복단위(repeat unit)의 본질 즉 결합각(bond angle)과 결합길이(bond length) 그리고 성분비, 위치, 빈도 등을 들 수 있다. 일반적인 고분자가 가지는 사슬의 모양을 <그림 2-4>에 나타내었다. 이 그림에서 (a)는 단량



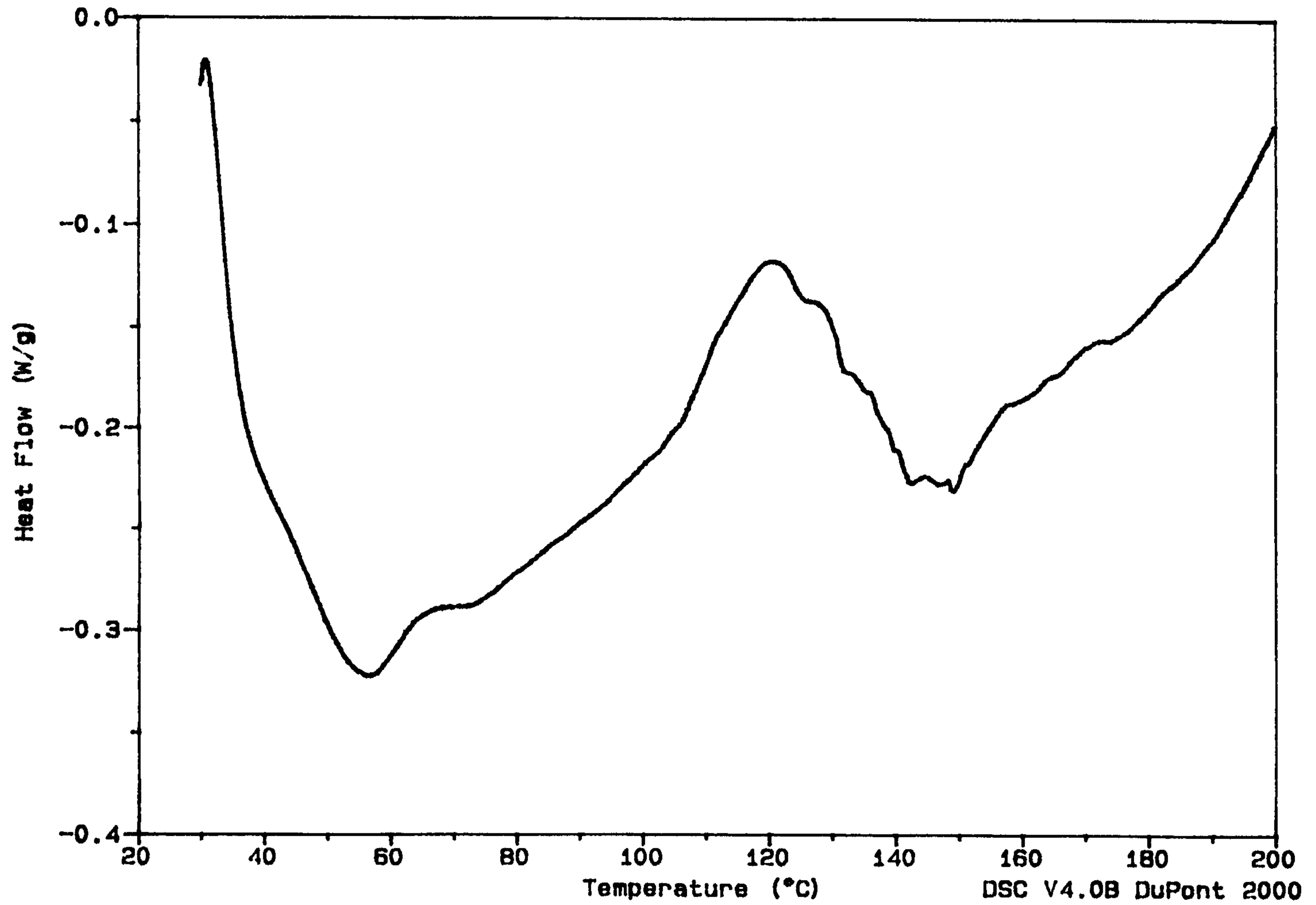
<그림 2-1> 기존 재료의 결속과정의 흐름도

(Fig. 2-1 Flow-chart of the binding process in use)



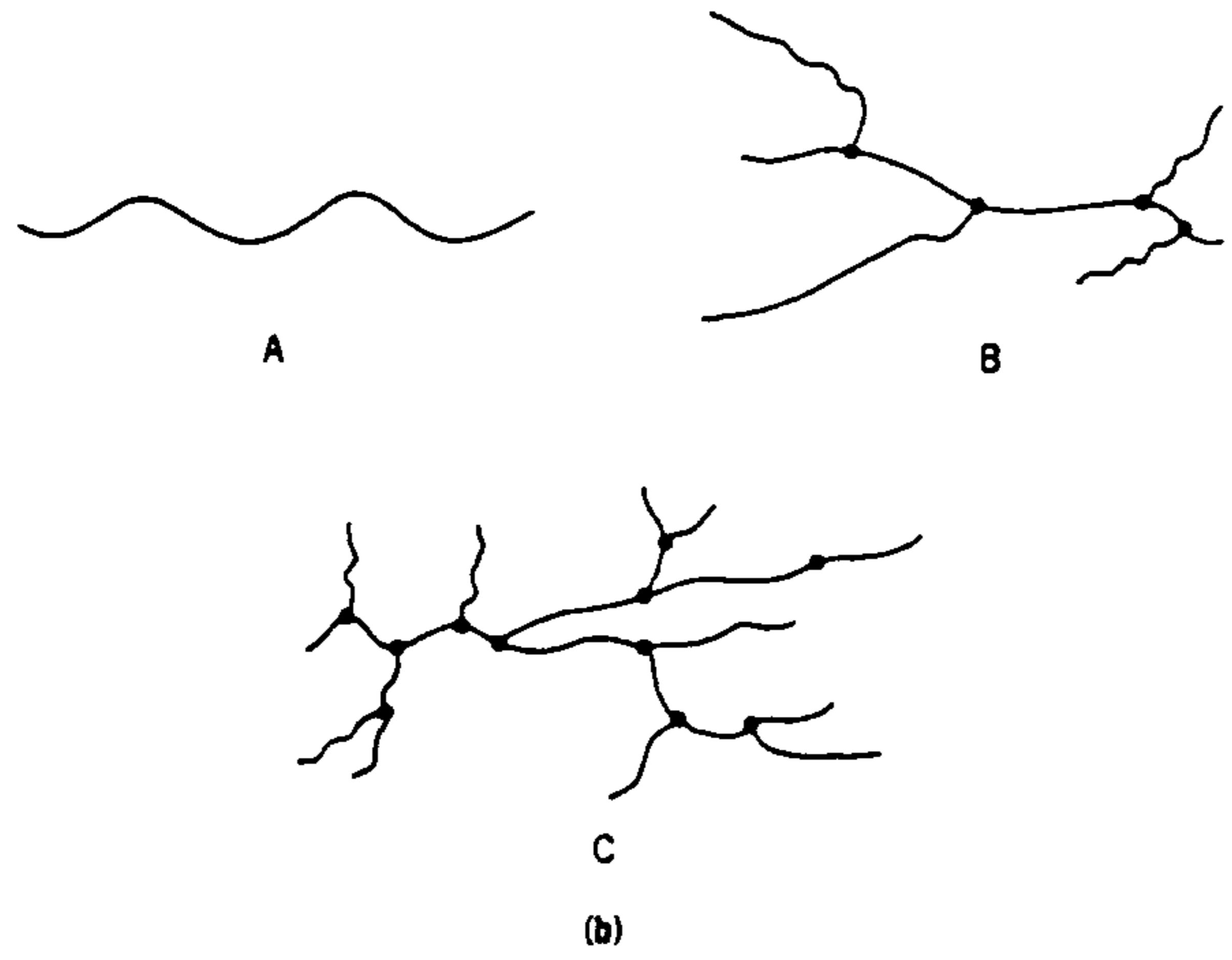
<그림 2-2> 송진의 분자구조

(Fig. 2-2 Chemical formula of rosin)



<그림 2-3> 송진의 열분석 곡선
(Fig. 2-3 DSC thermogram of rosin)

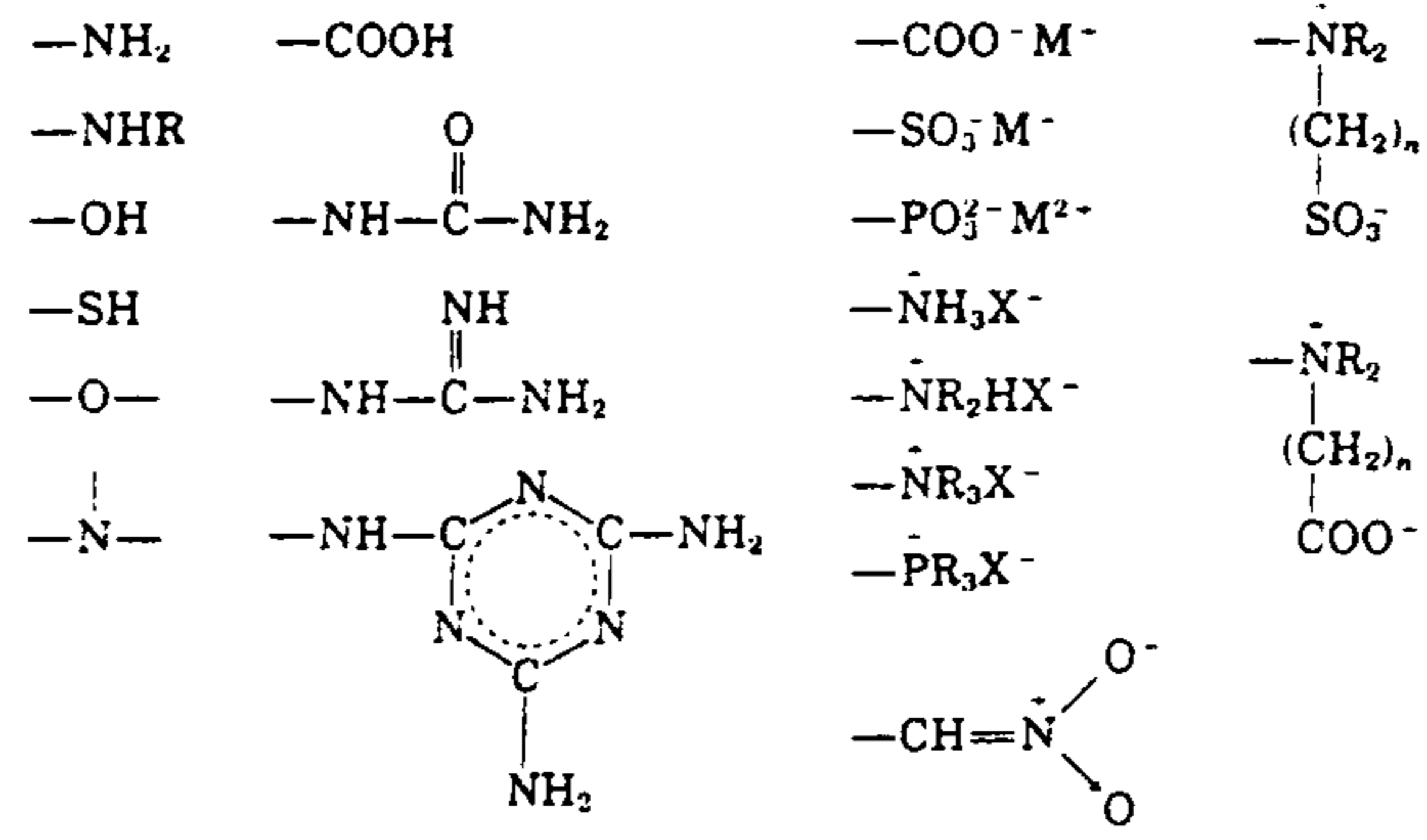
ABABABABAEABABABABABABAB
 Alternating copolymer
 AABABBBABAABAAABBABBBAAAB
 Random copolymer
 AAAAAABBBBBBAAAAAABBBBBB
 Block copolymer
 AAAAAAAAAAAAA
 B B B
 B B B
 B B B
 B B B
 B B B
 Graft copolymer
 (a)



<그림 2-4> (a) 단량체의 분포, (b) 고분자사슬의 구조 : 선형(A), 분지형(B, C)

(Fig. 2-4 (a) Monomer distributions

(b) Segmental disposition of copolymers : linear(A), branched(B, C))



<그림 2-5> 수용성을 부여하는 관능기의 종류

(Fig. 2-5 Functional groups imparting water solubility)

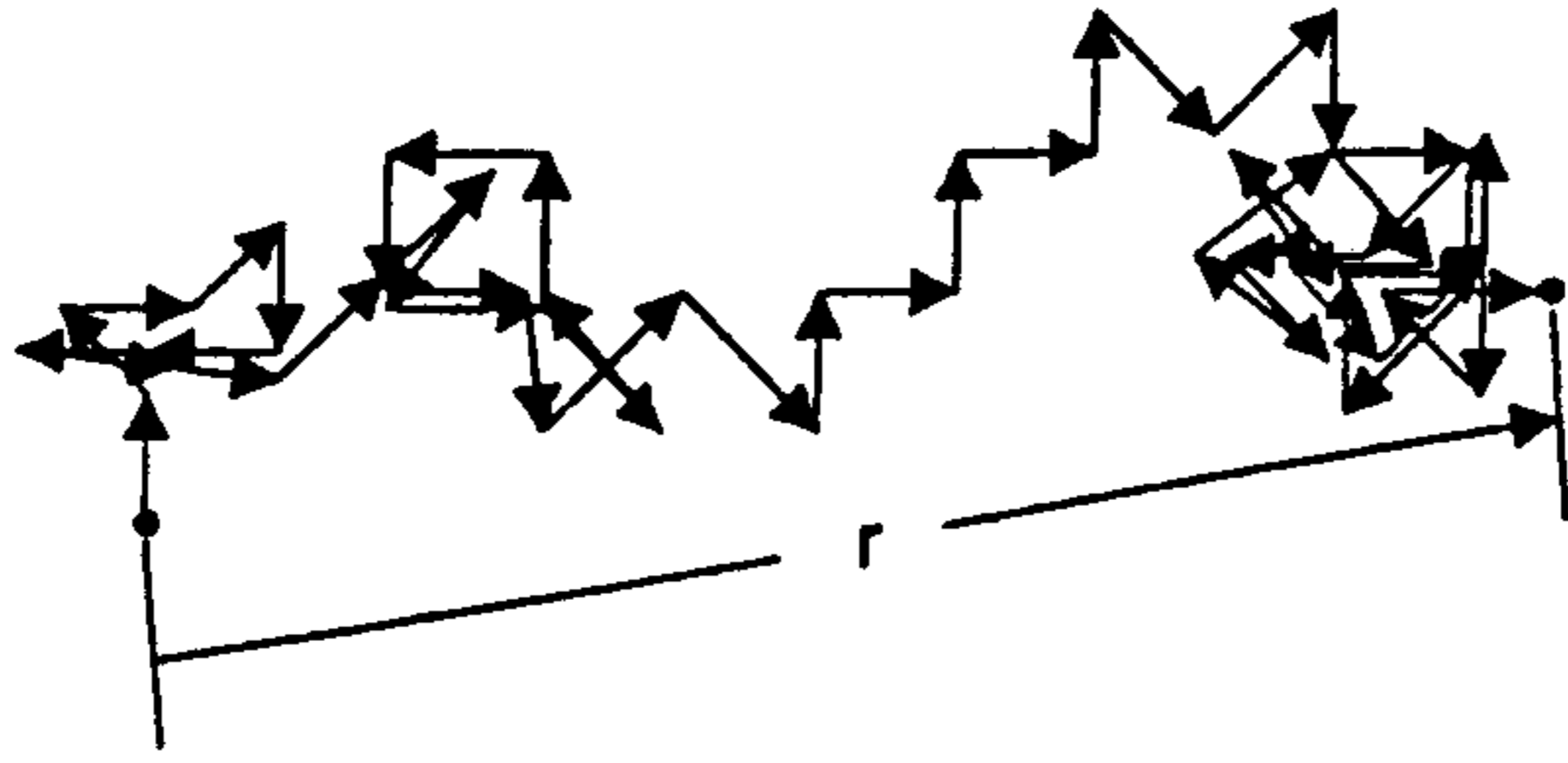
체의 분포에 따른 공중합체(copolymer)의 구조를 나타낸 것으로, 두 종류의 단량체가 연결되는 방식에 따라 alternating, random, block, graft 공중합체 등으로 분류된다. 그리고 (b)에는 주사슬에 붙은 곁가지의 위치에 따라 linear(A)와 branched (B,C) 고분자 구조를 나타내었다. 둘째로 입체배열(configuration)과 입체형태(conformation) 그리고 수소결합이나 이온결합과 같은 분자간력 등이 수용성 고분자의 구조와 관련이 있다. 셋째로 분자내의 상호작용과 multiple chain complexation에 의해 결정되어 진다. 특히 수용성을 좌우하는 주된 요소는 주사슬이나 곁가지에 달린 친수성 관능기(functional group)의 양이다. <그림 2-5>에 수용성을 부여하는 관능기들을 나타내었는데 이들은 강한 극성과 전하 혹은 수소결합을 할 수 있는 능력을 지니고 있다.

가. Hydrodynamic Volume

고분자의 용액거동은 사슬의 화학구조와 수화된 사슬에 의해 차지되어진 부피인 hydrodynamic volume(HDV)을 고려함으로써 잘 예측할 수 있다. 고분자의 크기와 화학구조와의 관계에 대한 이론적인 시도는 Flory에 의해 처음으로 시도 되었다[3]. 거대분자(macromolecules)의 크기는 결합의 갯수, 결합길이, 결합각, 입체형태의 제한성 등에 의해 결정되며, 배제 부피(excluded volume), 분자간 상호작용, 분자내 segment 사이의 상호작용 등에도 영향을 받는다. 수용성 고분자의 경우는 특히 사슬의 수화능력에도 의존한다. <그림 2-6>에는 사슬의 크기(end-to-end distance)를 나타낸 그림으로 자세히 살펴보면 (a)는 각각의 결합이 자유롭게 배치되어 질 수 있다고 가정(freely jointed chain)하고 50개의 결합으로 이루어진 사슬의 형태를 나타낸 것이다. 이 경우 사슬의 크기는 (a)의 식에 나타난 바와 같이 결합수(n)와 결합길이(l)만에 의존하고 있다. (b)와 (c)는 실제 사슬이 가질 수 있는 제약을 가하여 실제의 사슬 크기에 접근한 그림과 식을 나타내었다.

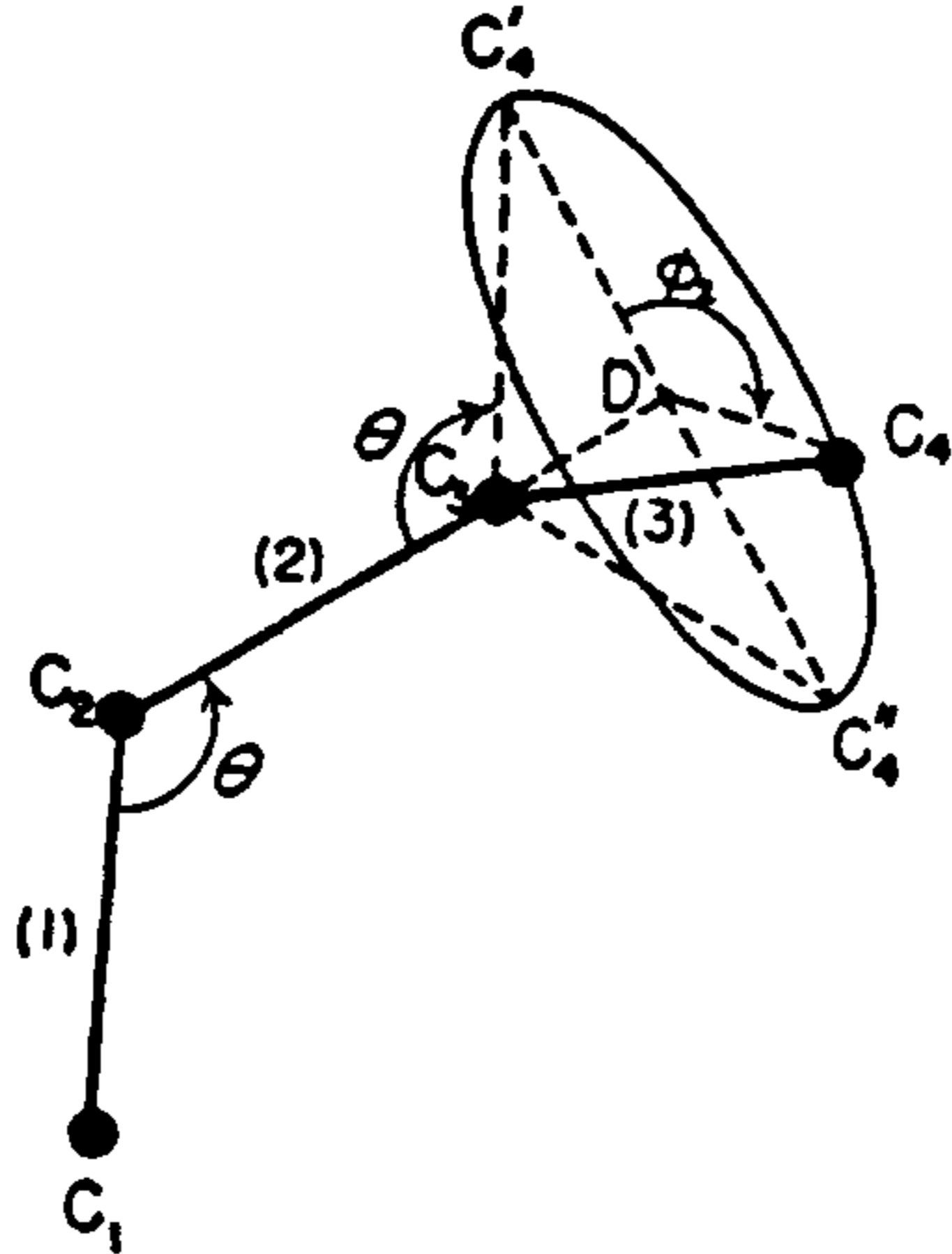
나. 점도와 유연적 성질

a



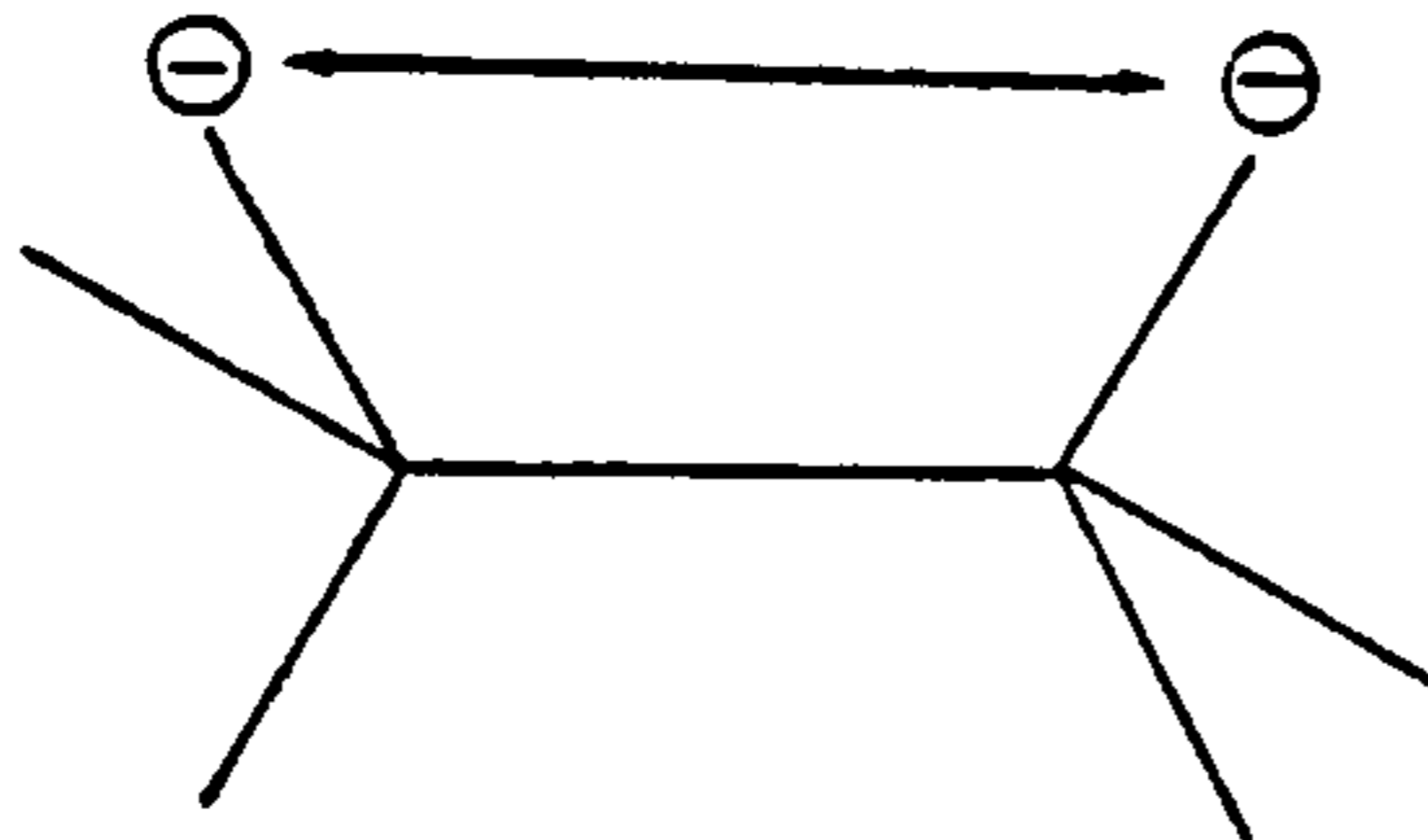
$$\langle r^2 \rangle = nl^2 \quad (1)$$

b



$$\langle r^2 \rangle = nl^2 \left(\frac{1 - \cos\theta}{1 + \cos\theta} \right) \left(\frac{1 + \overline{\cos\phi}}{1 - \overline{\cos\phi}} \right) \quad (2)$$

c



$$\langle r^2 \rangle = nl^2 \left(\frac{1 - \cos\theta}{1 + \cos\theta} \right) \left(\frac{1 + \overline{\cos\phi}}{1 - \overline{\cos\phi}} \right) \alpha^2 \quad (3)$$

<그림 2-6> (a) Freely jointed 사슬의 크기(50개의 결합수)

(b) Simple singly bonded 사슬의 크기

(c) 분자내 전하의 반발력

(Fig. 2-6 (a) Vectorial representation in two dimensions of a freely jointed chain of fifty steps

(b) Spatial representation of a simple singly bonded carbon chain

(c) Intramolecular charge-charge repulsion)

점도는 용액내 고분자 사슬의 배열에 대한 중요한 정보를 제공해 주며, 어떤 고분자가 특별한 목적에 이용하기 위하여 그 물성을 파악하는 데 사용되고 있다. 희박용액의 경우는 고유점도(intrinsic viscosity, $[\eta]$)를 사용하는데 이는 전술한 격리된 사슬의 hydrodynamic volume과 관련이 된다[4]. 점도와 고분자의 가장 근본적인 변수중의 하나인 분자량(molecular weight, M)과의 관계는 Mark-Houwink-Sakurada(MHS) equation으로 알려진 식 (1)로 표시되는데

$$[\eta] = K M^a \quad (1)$$

여기서 K 와 a 는 상수로서 어떤 조건하에 고분자 사슬의 특성을 나타낸다.

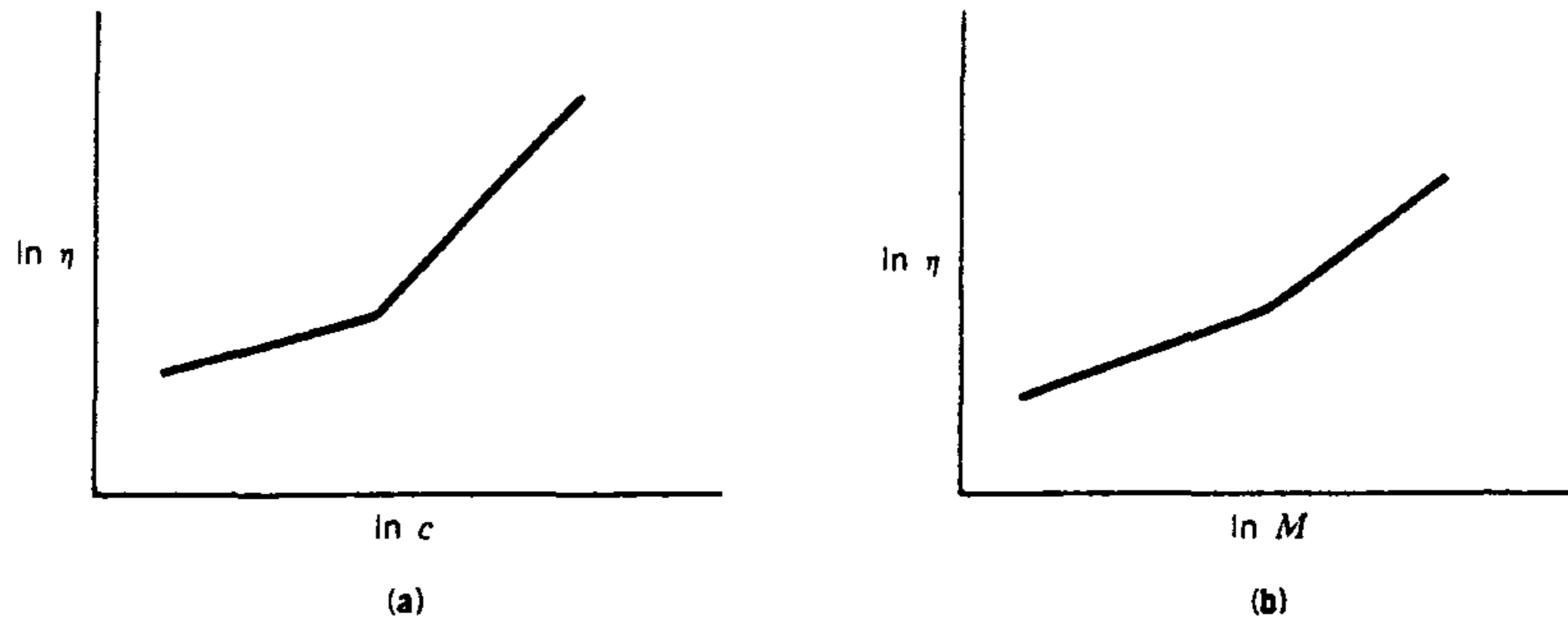
농도가 진해짐에 따라 고분자 사슬은 더 이상 격리되어 있지 않고, 어떤 임계농도 이상에서는 서로간의 상호작용이 생겨나서 농도의 증가에 따른 점도의 증가율이 커지게 된다. 그 점도(η_{sp})와 농도(c), 분자량(M)과의 관계는 식 (2)와 (3)에 나타나 있다.

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = \frac{[\eta]}{(1 + B \sqrt{c})} \quad (2)$$

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] + k c \quad (3)$$

<그림 2-7>에는 농도의 증가 혹은 분자량의 증가에 따른 점도의 증가를 보여준다. 어떤 임계치의 농도 혹은 분자량에서 점도의 증가량에 변화가 있는 데 이는 사슬간의 얽힘(entanglement)으로 인한 점도의 증가가 추가되기 때문이다.

2. 수용성 고분자의 종류



<그림 2-7> 점도와와의 관계와 (a) 일정분자량에서 농도 (b) 일정농도에서 분자량
 (Fig. 2-7 Relationship between apparent viscosity and
 (a) concentration at constant molecular weight
 (b) molecular weight at constant concentration)

<표 2-1> Polyacrylamide의 용도
 (Table 2-1 Uses of polyacrylamide)

역 할	용 도	산 업 계
접착성	건조후 강도	제지업
응집 유도체	벽간 접착용	건설업
	고체물질의 회수	광 업
	폐기물 제거	하수처리업
	정수용	일반용
유변성질의 조절	배수 촉진제	제지업
	수공용	석유산업
	점도조절	석유산업

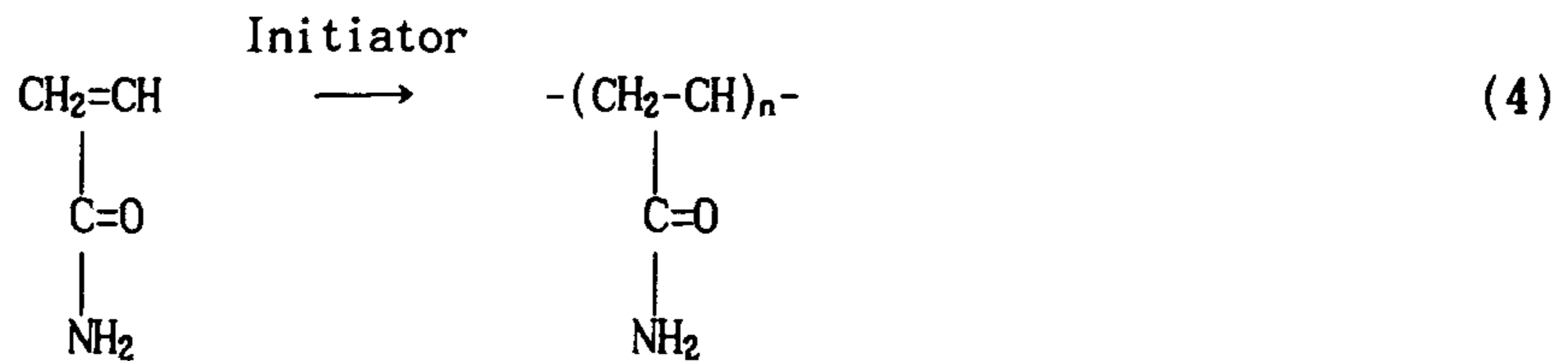
수용성 고분자에는 polynucleotides, polypeptides, polysaccharides와 같은 생물학적 원료로부터 유도된 생체고분자(biopolymer)가 있는가 하면, 이온성을 띠지 않는 nonionic acrylic, oxide, imine, vinyl계 합성고분자(synthetic polymer)도 있다. 그 밖에 polyelectrolyte는 전하를 띤 관능기(functional groups)가 사슬을 따라 붙어 있는 형태로서 수용성을 띤다. 그 중 이온성을 띠지 않고 수용성을 나타내는 고분자를 아래에 소개하고자 하며, 이 고분자의 수용성은 반복단위에 존재하는 극성(polar) 혹은 수소결합에 기인한다.

가. Sodium Carboxymethyl Cellulose(CMC)

천연의 cellulose는 구성하는 분자의 분자간력이 강력한 수소결합으로 되어 있어 용해가 어렵다. 그러므로 CMC는 인공적으로 수소결합의 수를 줄여 용해가 가능한 재료로 변화시켜 만든 재료로서 섬유나 종이의 사이징 재료로 많이 사용되고 있으며, 증점제, 안정제, 분산제, 접착제 등으로도 이용되고 있다.

나. Polyacrylamide(PAM)

식 (4)는 PAM을 acrylamide 단량체로부터 free-radical 중합법에 의해 합성하는 반응을 나타내고 있으며 초 고분자량인 106~107 g/mole까지 제조할 수 있다.



PAM은 유리전이온도가 165℃ 와 188℃로[5] 상대적으로 높은 T_g를 가진 수용성 고분자중의 하나이며 용해 속도는 느리지만 전 비율로 물에 녹는다. 그리고 PAM용액의

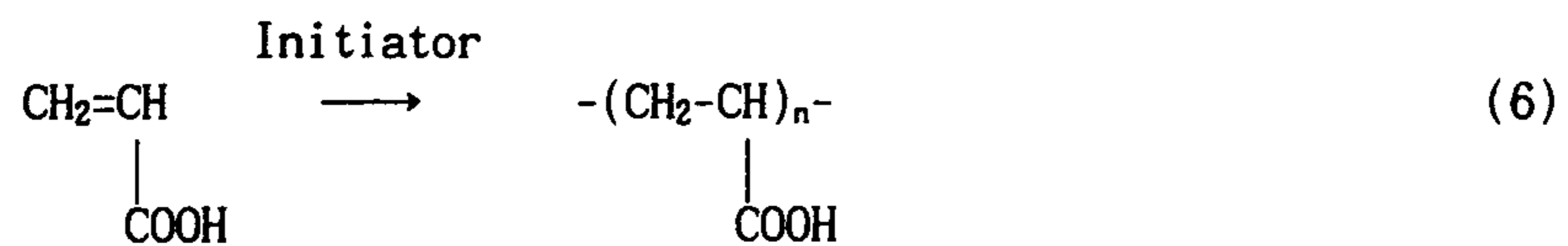
농도는 시간에 의존함을 보여주는데 이는 intramolecular conformation 변화에 기인한다. PAM은 분자량이 커서 효과적으로 점성을 증가시켜므로 증점제(viscosifier)로 사용되어지기도 하며 그 점도의 증가는 식 (5)에 따른다.

$$[\eta] = 1.0 \times 10^{-2} M_w^{0.755} \quad (\text{water, } 25^\circ\text{C}) \quad (5)$$

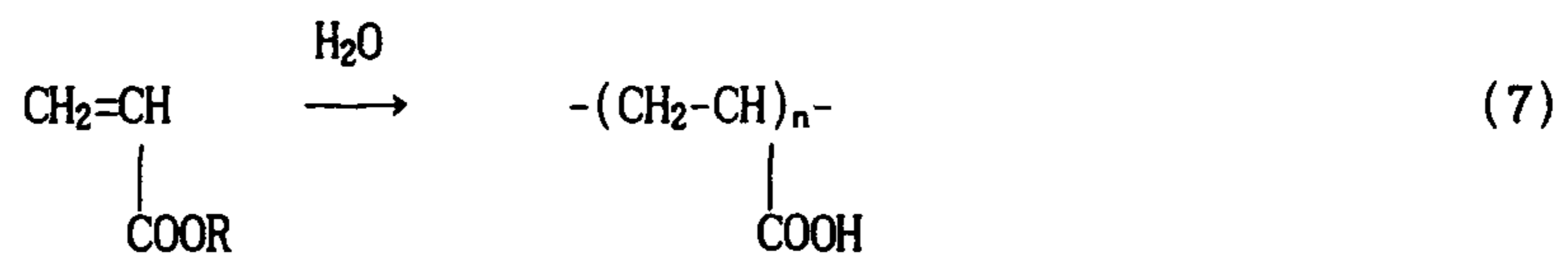
이러한 특성을 가진 PAM은 주로 <표 2-1>에 보여지는 용도로 사용된다.

다. Poly(acrylic acid)(PAA)

PAA는 식 (6)에서 처럼 직접 acrylic acid를 free-radical 중합하거나 precipitation 중합하여 제조할 수 있으며[6~8],



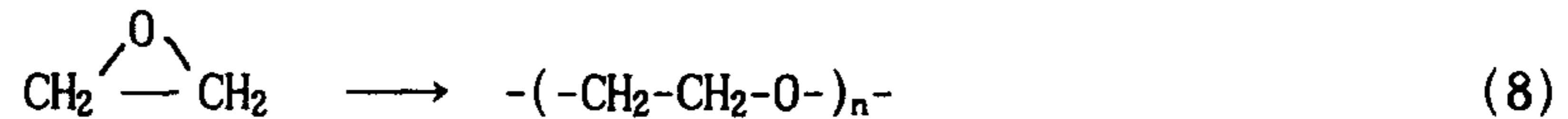
식 (7)에서와 같이 poly(alkyl acrylates)를 수화(hydrolysis)하여 중합하기도 한다.



이러한 PAA는 T_g 가 75, 106, 126 $^\circ\text{C}$ 등으로 다양하게 보고되어 있으며[5, 9], 고체상태에서 딱딱하고 투명하며 취약한 성질을 가지고 있다. 수용액 상태에서는 점도가 일반적인 경우와 마찬가지로 분자량의 증가에 따라 증가한다. PAA의 용도로는 라텍스의 증점제로 사용되며, 그 외에 오일 회수, 응집제, 접착제로도 이용되고 있다[5, 9].

라. Poly(ethylene oxide) (PEO)

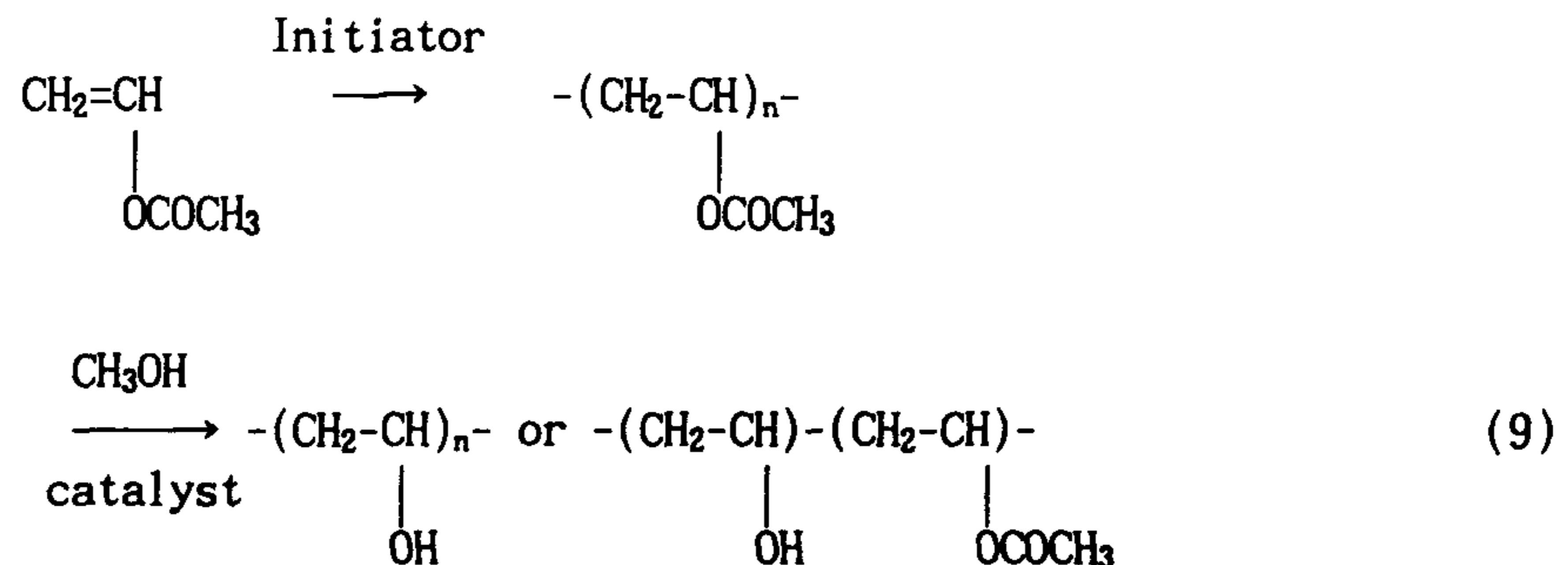
PEO는 ethylene oxide 단량체를 ring-opening 중합하여 제조되며[10,11] 그 반응을 식 (8)에 나타내었다.



일반적으로 분자량이 1×10^5 g/mol 이상의 고 분자량을 가지며, T_m 이 약 65°C , T_g 가 $-45 \sim -53^\circ\text{C}$ 정도이다[10,11]. T_m 이상에서 점도가 상당히 큰 편이며, 통상 가소제와 함께 사용된다. PEO는 상온에서 물에 완전히 녹으며 물의 끓는점 근처에서 lower critical solution temperature(LCST)를 나타낸다. PEO의 용도가 <표 2-2>에 나타나 있다.

마. Poly(vinyl alcohol)(PVA)

PVA는 식 (9)에서와 같이 직접 vinyl acetate 단량체를 free-radical 중합시켜서 생산된 poly(vinyl acetate)를 알콜화(alcoholysis) 혹은 수화(hydrolysis) 시켜서 제조한다[12,13].



PVA는 수용성 고분자 중 가장 많은 양이 생산되고 있는 것 중의 하나이다. 물리

〈표 2-2〉 Poly(ethylene oxide)의 용도

(Table 2-2 Uses of poly(ethylene oxide))

기 능	용 도		산 업 계
	최종제품	첨가제	
접착제	치과용 고정제 제지용 결속제		의약품 제지업
접합제		요업제품 생산 배터리용 전극 형광등	요업 전기업 전기업
코팅/사이징	마이크로 엔캡슐 잉크		출판업
		섬유형성제 유리섬유 사이징 알약 코팅 점토제거 석탄제거	제지 및 건설업 유리 의약품 광업 광업
응집제			광업
운활/연마제	세척제, 비누 크림, 로손 치약		일반용 일반용 일반용
중점제	세척액 페인트 페인트 제거제		공업용 페인트업 페인트업

적 성질은 생산방법에 의해 크게 좌우되는데 poly(vinyl acetate)의 중합조건, 수화 조건, 건조, 분쇄 등에 의존한다. PVA의 성질에 미치는 수화도와 분자량의 효과를 <그림 2-8>에 나타내었다. 그리고 <표 2-3>에는 대표적인 물성치들을 수록해 놓았다.

PVA는 수산화기(hydroxyl group)가 random하게 사슬에 결합되어 결정화가 되는데 방해요소로 작용할 수 있으나, 실질적으로 수산화기의 크기가 작으므로 사슬의 packing에 방해를 주지 않아 결정화가 일어날 수 있으며 그에 대한 많은 보고가 있다 [14~18]. 결정화도는 수용성, 인장응력, oxygen-barrier 성질, 열가소성 등에 큰 영향을 미치며, T_g 자체는 결정의 완전성과 크기에 의존한다. PVA의 T_g 은 완전히 수화가 된 경우 약 220~267°C의 범위를 나타내며, 정확한 T_g 의 결정은 130°C 이상에서 분해(decomposition)가 일어나기 시작하므로 어렵다. 완전히 수화된 PVA의 T_g 는 높은 분자량을 가진 것이 약 85°C이며 87~89% 수화 되었을 때 T_g 는 약 58°C로 알려져 있다. 그리고 중합도(DP)에 따른 T_g 의 의존성은 식 (10)과 같다[19].

$$T_g = 58 - \left(\frac{2.0 \times 10^{-3}}{DP} \right) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

PVA는 water, DMSO, acetamide, glycols, DMF와 같은 강한 극성을 띠고 친수성(hydrophilic)인 용매에 잘 녹는데, 특히 물에 녹을 경우는 다음과 같은 특성을 가진다. 완전히 수화된 경우는 80°C 이상 고온이나 끓는 물에서만 용해되고, 일단 용액이 되면 상온에서도 그 상태를 유지한다. 부분적으로 수화된 경우 중 70~80%의 것은 10~40°C의 온도 범위에서만 용해되며 대부분 상온에서 용해된다. <그림 2-9>에는 물에 대한 용해도가 중합도와 수화도에 의존함을 보여준다[20].

PVA내의 수산화기는 강력한 수소결합을 해서 분자사슬내 혹은 사슬간의 결합력을 증가시켜 수용성을 저하시킨다. 그래서 부분 수화된 PVA의 경우 잔존하는 acetate기에 의해 수소결합을 약화시켜 낮은 온도에서도 수용성을 가지게 한다. 수 분 동안의 열처리에 의해 결정화도가 증가해서 수용성과 물에 대한 민감성이 크게 감소하는 경

굽힘성, 물에의 민감성
수화능력 증가

점도, 인장강도, 물에의
저항성, 접착강도, 분산도
증가

감소

분자량

증가

감소

수화도

증가

굽힘성, 물에의 민감성
소수성 표면에의 접착성 증가

물에의 저항성, 인장강도,
친수성 표면에의 접착력 증가

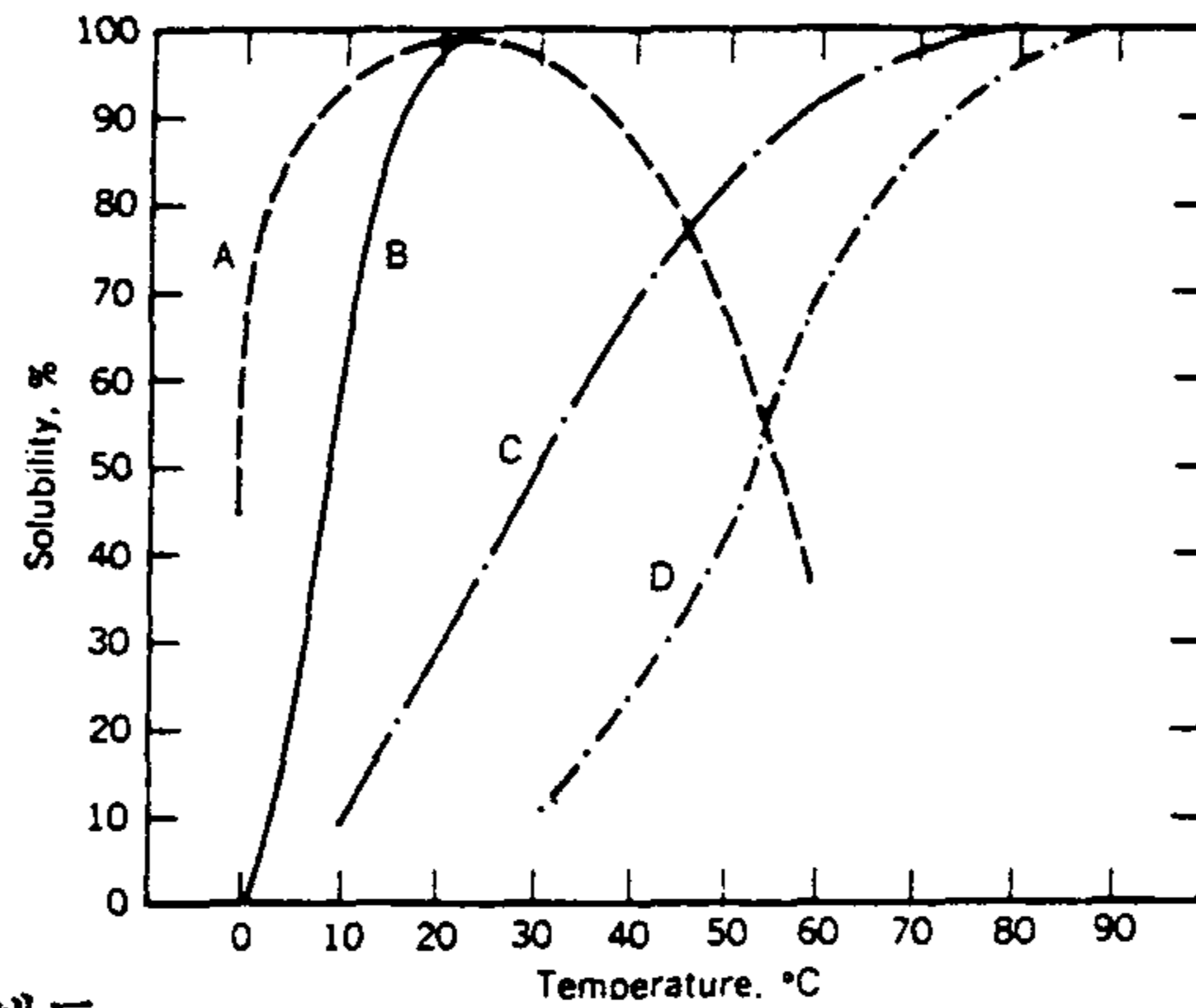
<그림 2-8> PVA의 분자량과 수화도에 따른 물성의 변화

(Fig. 2-8 Effects of molecular weight and degree of hydrolysis on
physical properties)

<표 2-3> Poly(vinyl alcohol)의 물리적 성질

(Table 2-3 Physical properties of poly(vinyl alcohol))

성 질	값	비 고
외양	흰색에서 상아색 과립상 분말	
비중	1.27-1.31	결정화증가에 따라 증가
인장강도(MPa)		
98-99% 수화	67-110	결정화 혹은 열처리에 의해 증가하나 습기가 있으면 감소. 분자량 증가에 따라 증가
87-89% 수화	24-79	결정화 혹은 열처리에 의해 증가하나 습기가 있으면 감소.
연신율(%)	0-300	
열팽창계수($\times 10^{-5}$)	7-12	
비열	1.67	
열전도율	0.2	
유리전이온도($^{\circ}\text{C}$)		
98-99% 수화	85	
87-89% 수화	58	
용점($^{\circ}\text{C}$)		
98-99% 수화	230	
87-89% 수화	180	
결정화도	0-0.54	열처리 혹은 수화도에 따라 증가

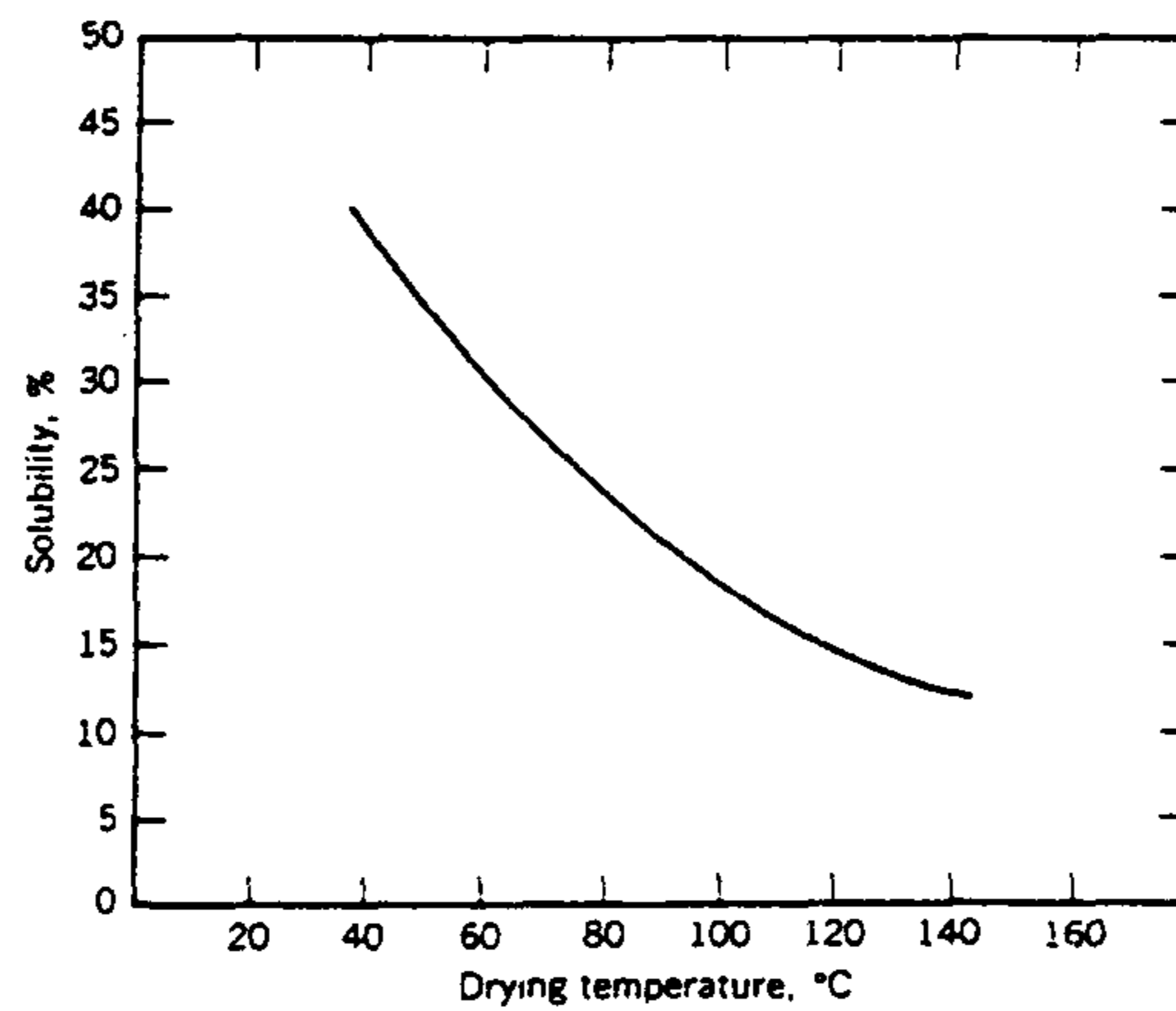


<그림 2-9> PVA의 용해도

- A. 78~81 mol% 수화, DP = 2000~2100 B. 87~89 mol% 수화, DP = 500~600
 C. 98~99 mol% 수화, DP = 500~600 D. 98~99 mol% 수화, DP = 1700~1800

(Fig. 2-9 Water solubility of PVA

- A. 78~81 mol% hydrolysis, DP = 2000~2100
 B. 87~89 mol% hydrolysis, DP = 500~600
 C. 98~99 mol% hydrolysis, DP = 500~600
 D. 98~99 mol% hydrolysis, DP = 1700~1800)



<그림 2-10> 용해도에 미치는 열처리의 영향 (40°C) ; DP = 1700, 98~99 mol% 수화

(Fig. 2-10 Influence of heat treatment on solubility at 40°C ;

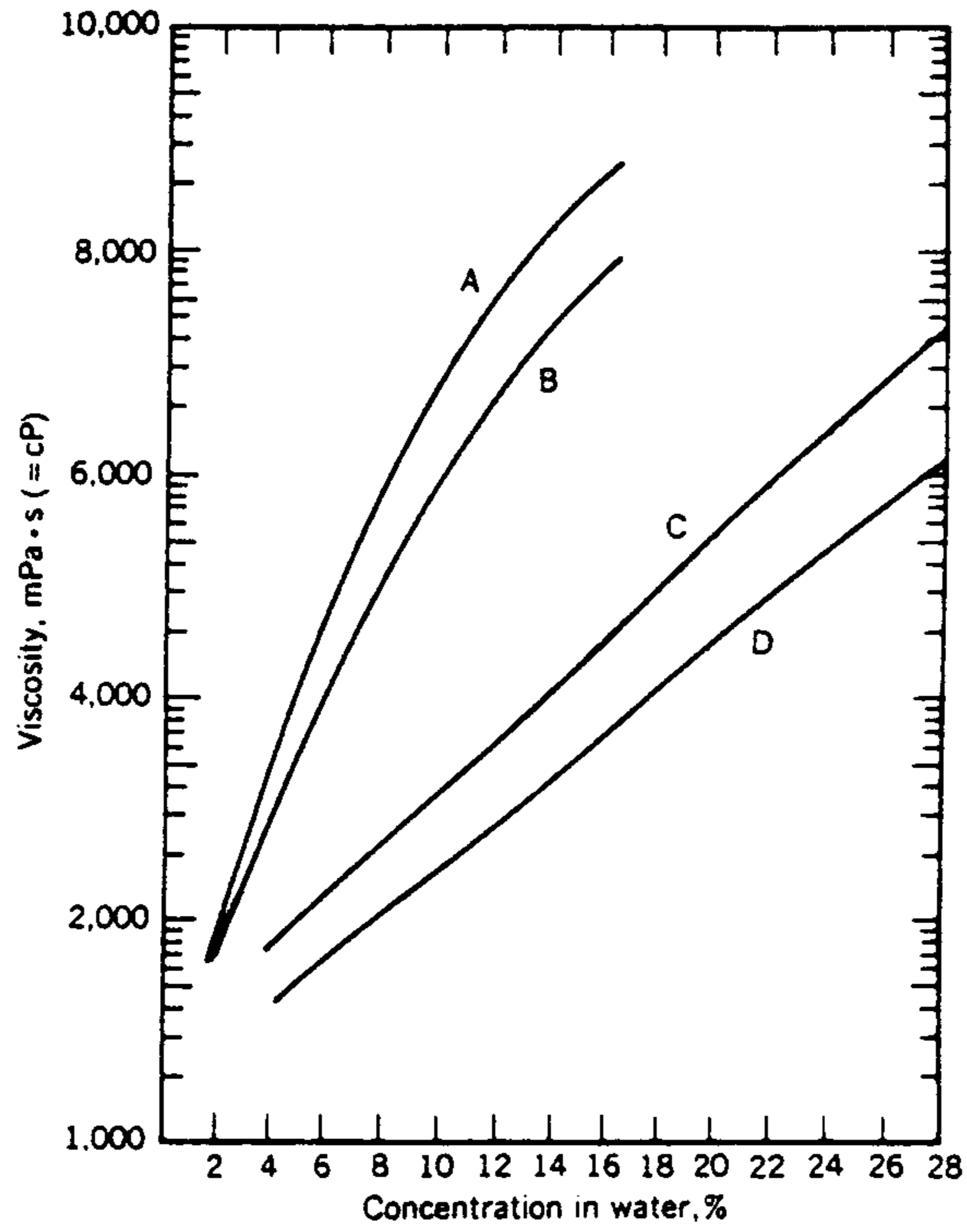
DP = 1700, 98~99 mol% hydrolysis)

우가 <그림 2-10>에 나타나 있다. 장시간 열처리를 하는 경우는 더 이상의 결정화가 진행되지 않으며, 이러한 열처리는 작은 불완전 결정들을 녹여서 확산이 가능하게 되므로 열처리 온도보다 더 높은 녹는점을 가진 결정이 재생성된다. Acetate기가 있음으로써 결정성은 저하되며, 열처리에 의한 효과도 거의 없어진다. 이러한 열처리는 물의 저항성이 필요한 접착용도의 경우는 바람직하나, 건조 과정 후 고분자를 제거해야 할 경우는 그렇지 않다.

(1) 용액점도

PVA 수용액의 점도는 <그림 2-11>에서 <그림 2-14>에 나타난 것 처럼 주로 분자량, 농도, 수화도, 온도 등에 의존한다. <그림 2-11>에는 중합도(degree of polymerization, DP)가 다른 4종류의 수용액의 점도에 농도의 변화가 영향을 미치는 것을 보여주는 것이다. 모든 종류에 대하여 수용액의 농도가 증가할수록 급격히 증가함을 관찰할 수 있으며, 같은 농도에서 분자량이 증가함에 따라 농도가 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 <그림 2-12>에는 16wt% 용액의 온도에 따른 농도의 변화를 나타내었는데, 분자량이 서로 다른 종류의 용액이 온도의 증가에 따라 비슷한 경향으로 점도가 감소한다. <그림 2-13>은 수화도의 변화에 따른 10wt% 용액의 농도 변화를 보여준다. 또한 같은 농도에서도 수화도가 증가할수록 수산화기에 의한 수소결합이 분자 상호간 인력을 상승시켜 분자의 흐름을 방해하므로 점도가 증가한다. 높은 수화도를 가진 재료는 시간이 지남에 따라 농도의 증가가 일어나서 심지어 겔 상태로 변화하기도 한다[20~26]. 그 증가율은 용해온도, 농도, 보관온도 등에 의존하며 보관온도와 용해온도가 낮을수록 그리고 농도가 높을수록 그 증가율이 높다. <그림 2-14>는 98~99% 수화된 용액에서 농도가 시간이 경과함에 따라 증가하지만, 부분 수화가 일어난 경우는(87~89%) 상당히 안정하다. 이와같은 수용액의 농도의 안정화는 소량의 aliphatic alcohol, urea, salts 등을 첨가함으로써 얻어질 수 있다.

(2) 기계적 성질



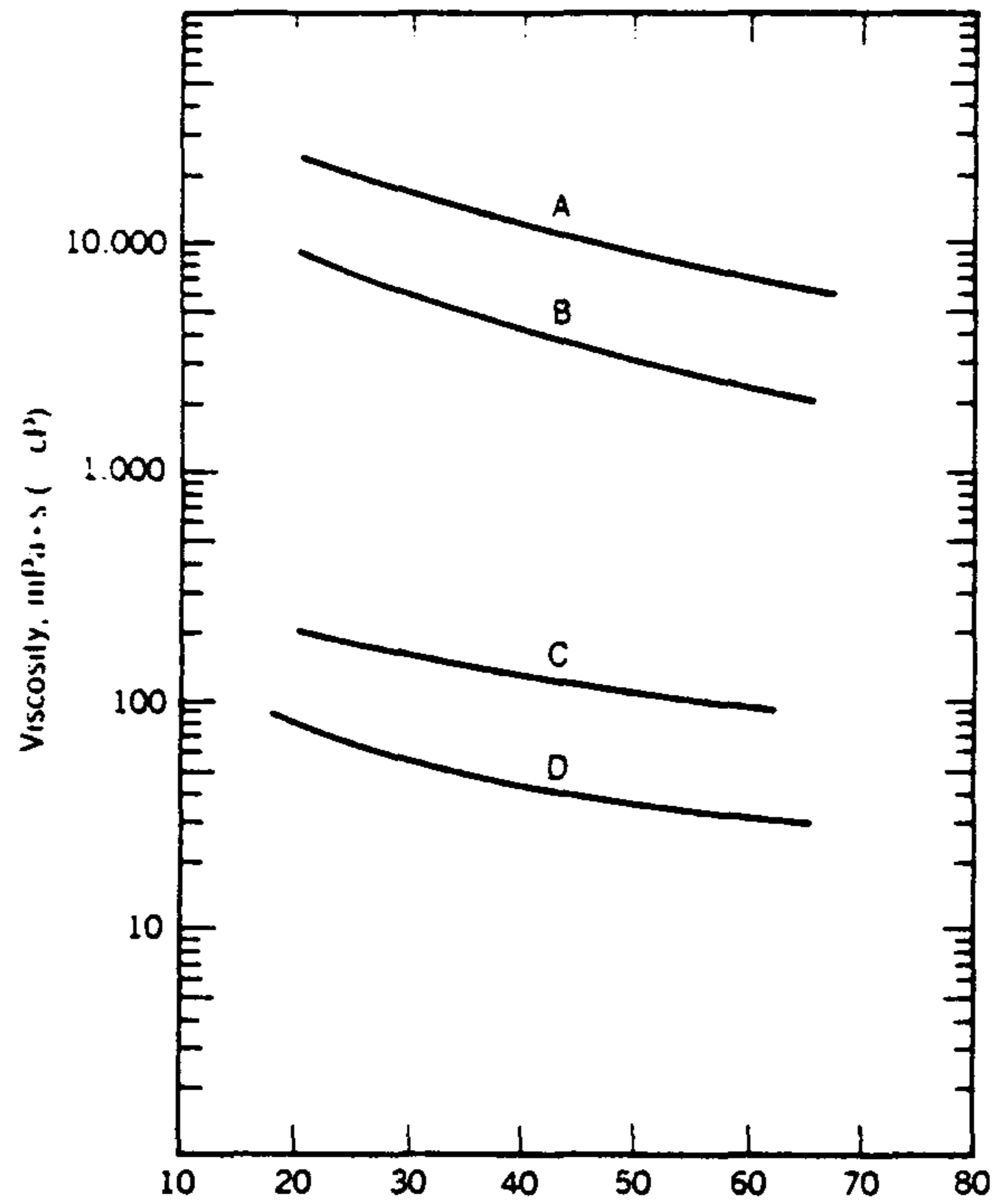
<그림 2-11> 농도에 따른 PVA의 용액점도(20°C) : 87~89 mol% 수화

DP = 2200(A), 1500(B), 550(C), 220(D)

(Fig. 2-11 Solution viscosity of PVA as a function of concentration

87~89 mol% hydrolysis

DP = 2200(A), 1500(B), 550(C), 220(D))



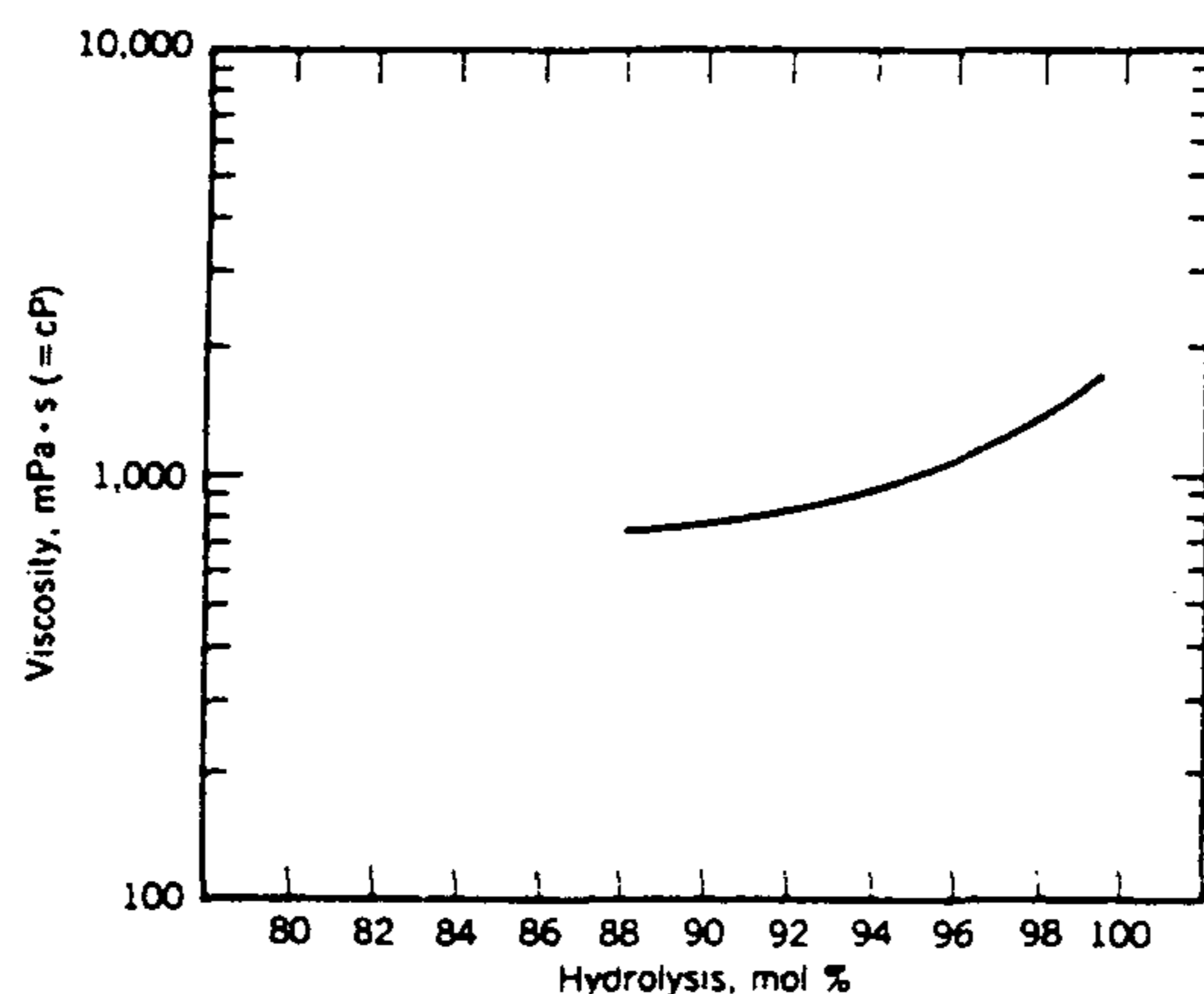
<그림 2-12> 온도에 따른 PVA의 용액점도(16 wt%) ; 87~89 mol% 수화

DP = 2200(A), 1500(B), 550(C), 220(D)

(Fig. 2-12 Solution viscosity of PVA as a function of temperature ;

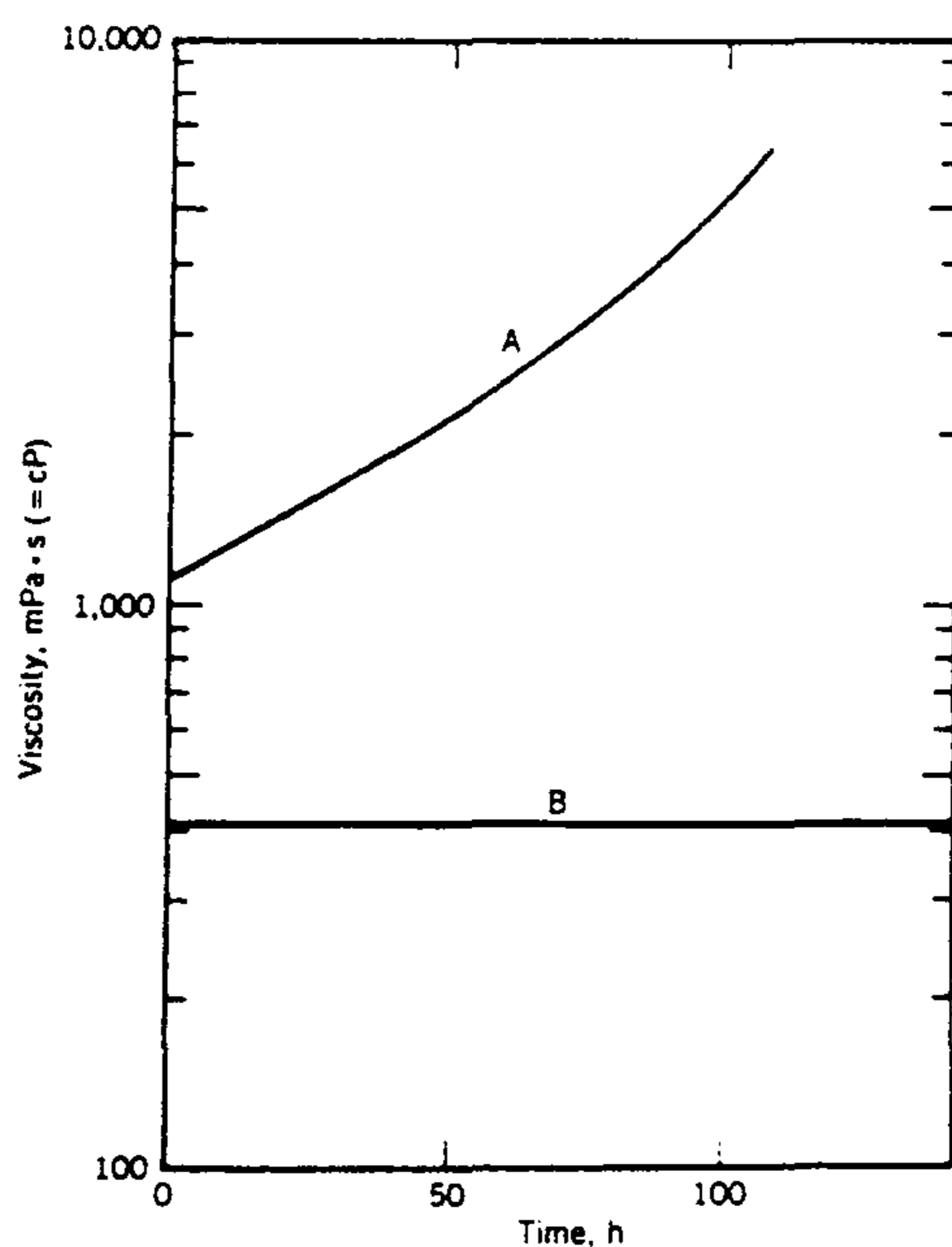
87~89 mol% hydrolysis.

DP = 2200(A), 1500(B), 550(C), 220(D))



<그림 2-13> 수화도에 따른 PVA의 용액점도(10 wt%) ; DP = 1500

(Fig. 2-13 Solution viscosity of PVA as a function of degree of hydrolysis(10 wt%) ; DP = 1500)



<그림 2-14> PVA의 용액농도에 미치는 시효의 영향

A. DP = 1500, 98~99 mol% 수화 B. DP = 1500, 87~89 mol% 수화

(Fig. 2-14 Effect of aging on solution viscosity of PVA

A. DP = 1500, 98~99 mol% hydrolysis B. DP = 1500, 87~89 mol% hydrolysis)

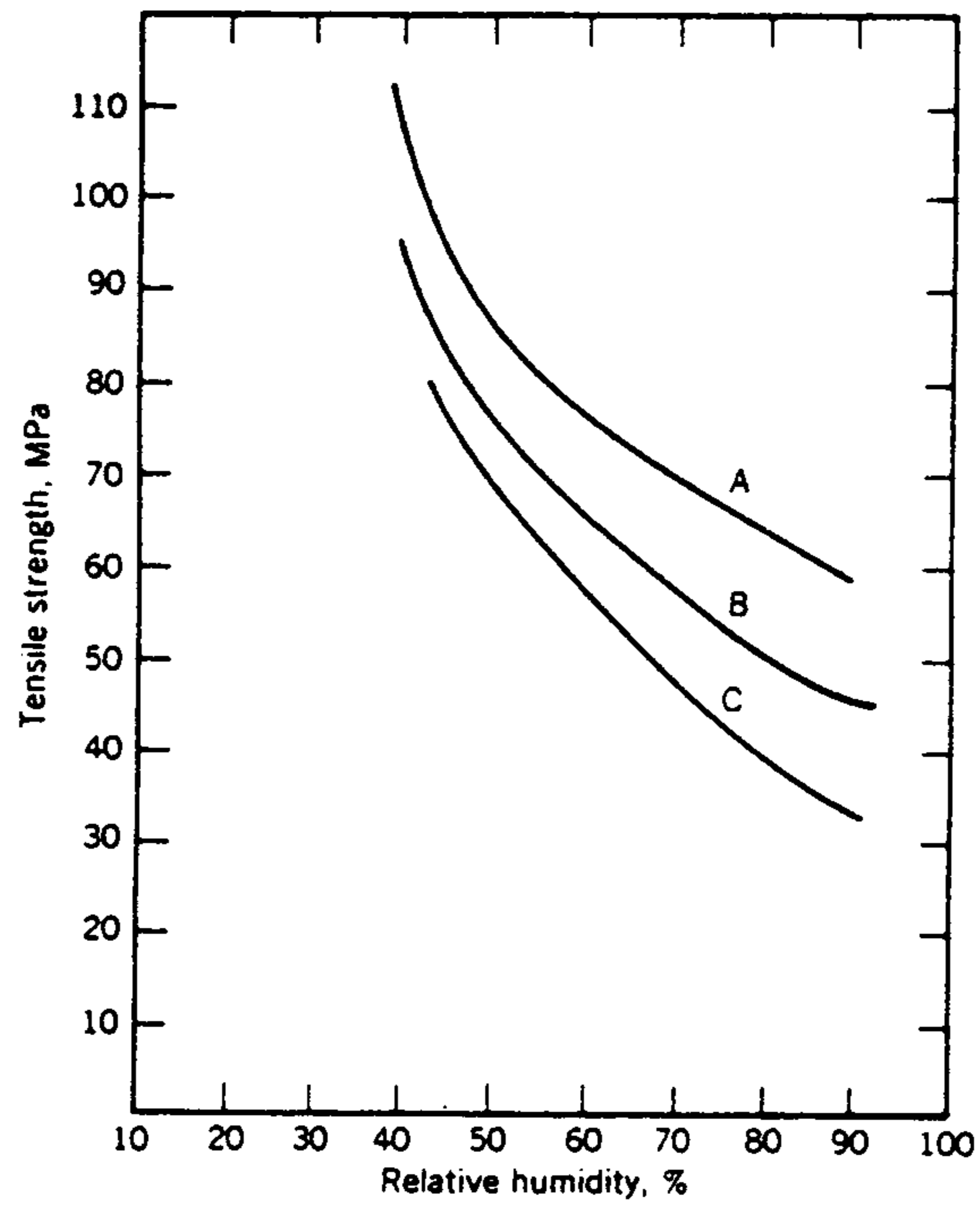
완전 수화된 PVA 필름의 인장강도가 상대습도에 의존하여 감소함을 <그림 2-15>에 나타내었다. 또한 DP가 증가할수록 인장강도는 증가하며 상대습도 증가에 따른 인장강도의 감소율은 DP에 관계없이 비슷한 양상을 띤다. 열처리에 의해 인장응력이 증가 될 수 있으며, 가소제를 사용하면 그 응력이 물에 대한 민감성 때문에 감소한다. 또한 인장 변형율은 습도에 아주 민감하여 완전히 건조시킨 후에는 그 값이 10%이하에 지나지 않으며, 80%의 습도인 경우는 300~400% 변형이 된다. 가소제를 첨가하면 이 값의 2배를 얻을 수 있다. 이 변형율은 수화도와는 무관하나 분자량에는 의존한다.

(3) 표면장력

PVA 수용액의 표면장력은 농도(<그림 2-16>), 온도, 수화도, PVA 주사슬 내 acetate기의 분포 등에 의존한다. <그림 2-16>에서 알 수 있는 바와 같이 농도가 증가함에 따라 표면장력은 0.1wt% 이상에서는 약간의 감소가 있다. 또한 수화도가 증가함에 따라 표면장력은 증가한다. 완전히 규칙적으로 acetate기가 분포하는 경우는 표면장력이 크며, block으로 있으면 낮은 값을 보여준다[27~30]. <그림 2-17>은 같은 수화도를 가진 PVA 용액이 농도가 증가함에 따라 표면장력이 변화하는 것을 나타낸 것이며 분자량의 감소에 따라 표면장력은 감소함을 알 수 있다.

제 4 절 대체 결속재료의 결속방법

문헌조사를 통하여 살펴 본 수용성 고분자중에서 가격 및 물성을 고려하여 sodium carboxymethyl cellulose(CMC, Junsei Chemical Co.) 그리고 polyvinyl alcohol(PVA, Katawama Chemical Co.)을 택하였으며 PVA의 경우는 분자량이 다른 두 가지 종류와 (DP = 500, 1000)와 공업용을 사용하였다. 이 수용성 고분자들의 대체재료로서 적용가능성을 위해 열분석을 하였으며 그에 필요한 결속방법을 고려해 보았다. 현재 사용하고 있는 결속재료인 송진의 경우는 전술한 바와 같이 고온에서 장시간 함침시키

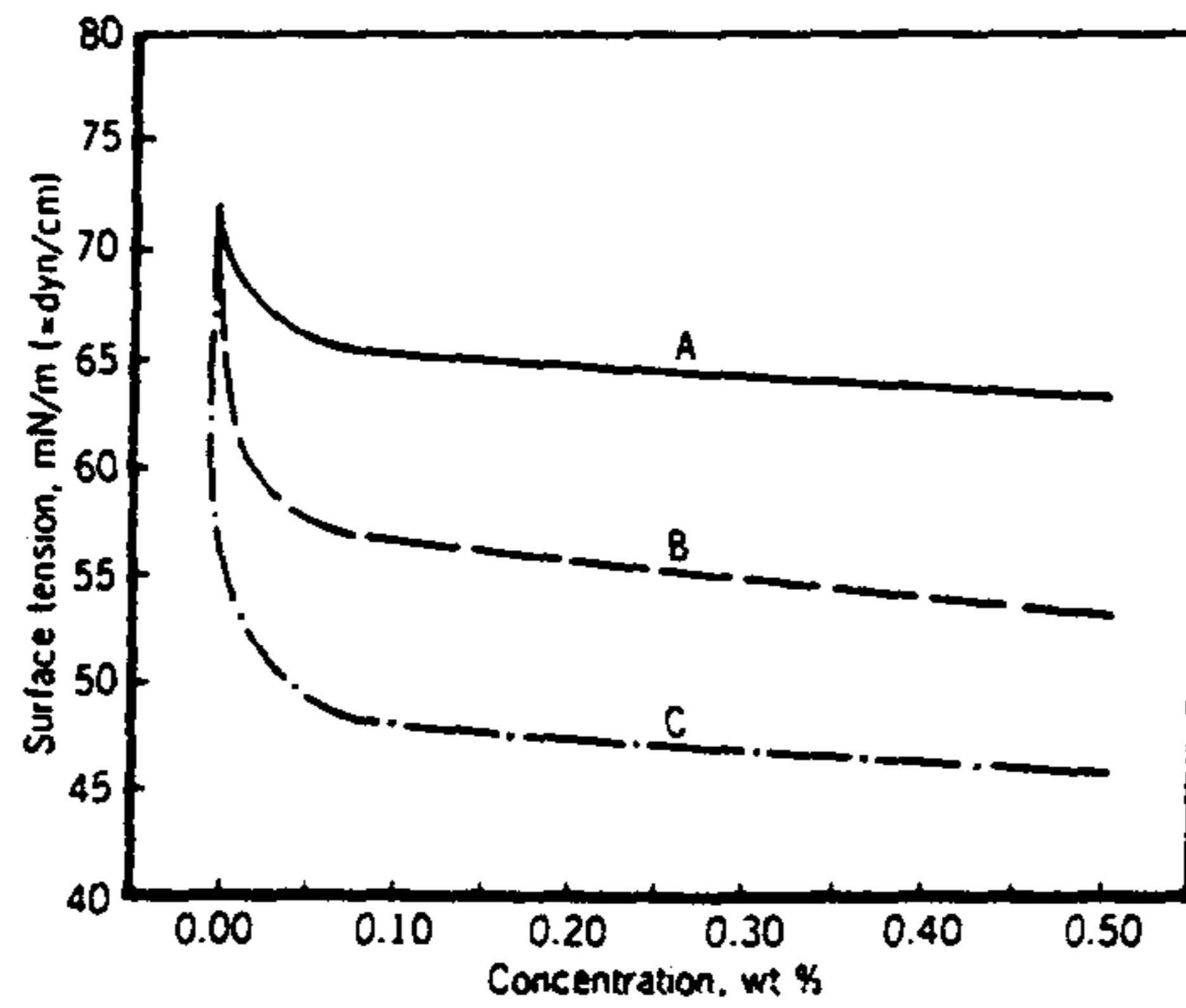


<그림 2-15> 완전 수화된 PVA필름의 인장응력에 미치는 상대습도의 영향

DP = 2400(A), 1700(B), 500(C)

(Fig. 2-15 Tensile strength as a function of relative humidity for fully hydrolyzed PVA films

DP = 2400(A), 1700(B), 500(C))

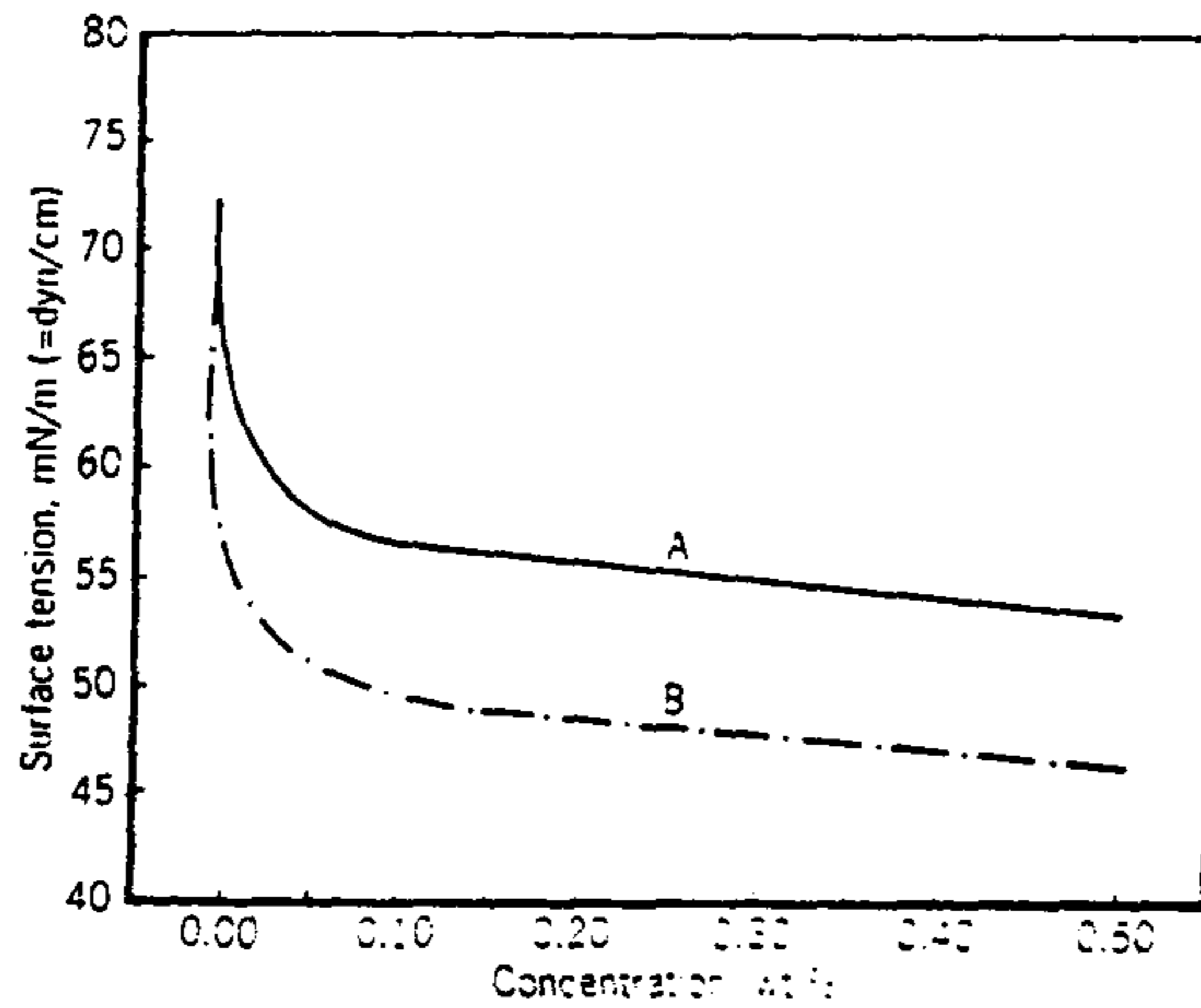


<그림 2-16> PVA 수용액의 표면장력(20℃, DP = 1700)

- A. 98~99 mol% 수화
- B. 87~89 mol% 수화
- C. 78~81 mol% 수화

(<Fig. 2-16> Surface tension of PVA solution(20℃, DP =1700)

- A. 98~99 mol% hydrolysis
- B. 87~89 mol% hydrolysis
- C. 78~81 mol% hydrolysis)



<그림 2-17> PVA 수용액의 분자량이 표면장력에 미치는 영향

(20℃, 87~89 mol% 수화) A. DP = 1700, B. DP = 550

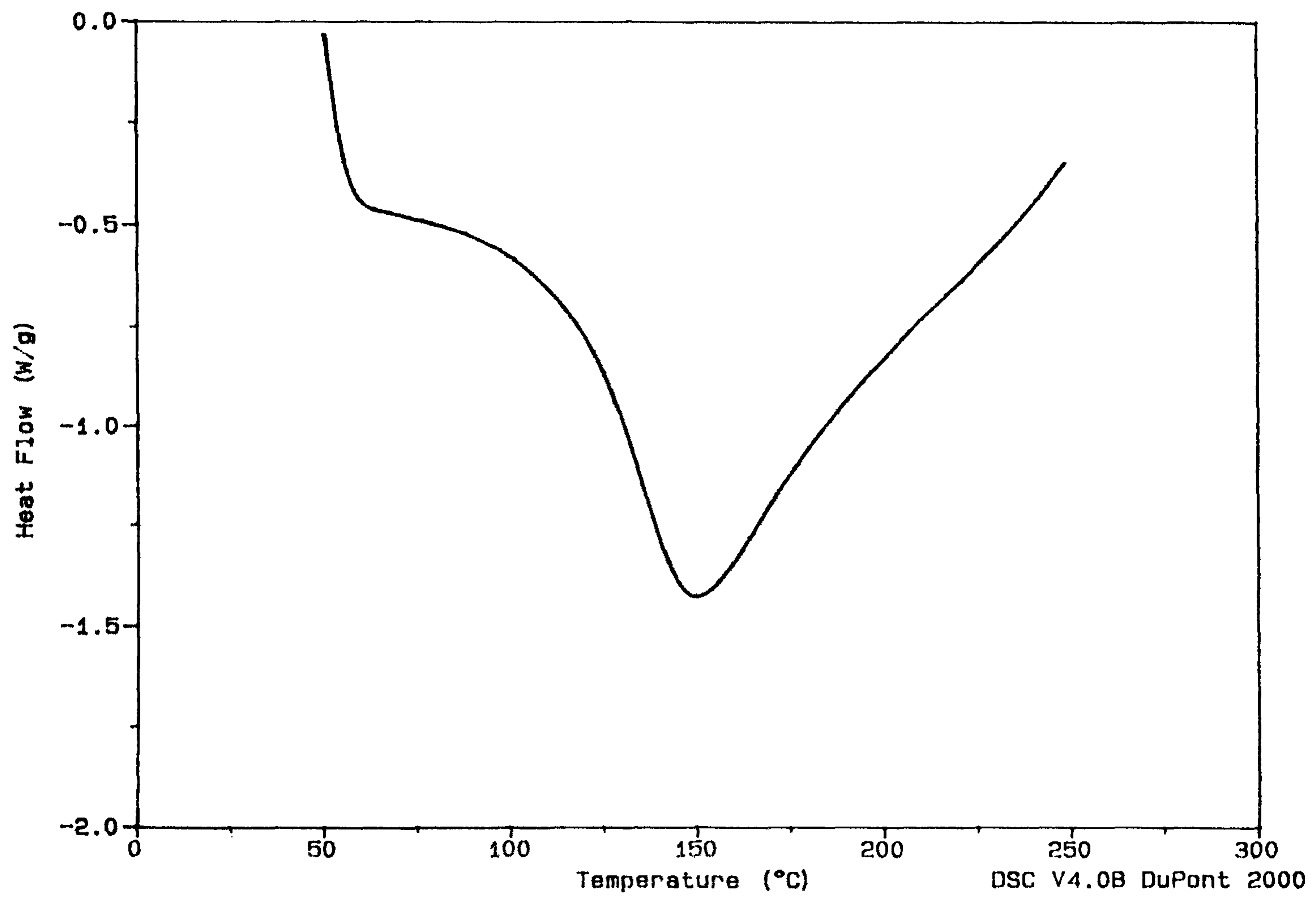
(Fig. 2-17 Surface tension dependence on molecular weight

(20℃, 87~89 mol% hydrolysis) A. DP = 1700, B. DP = 550)

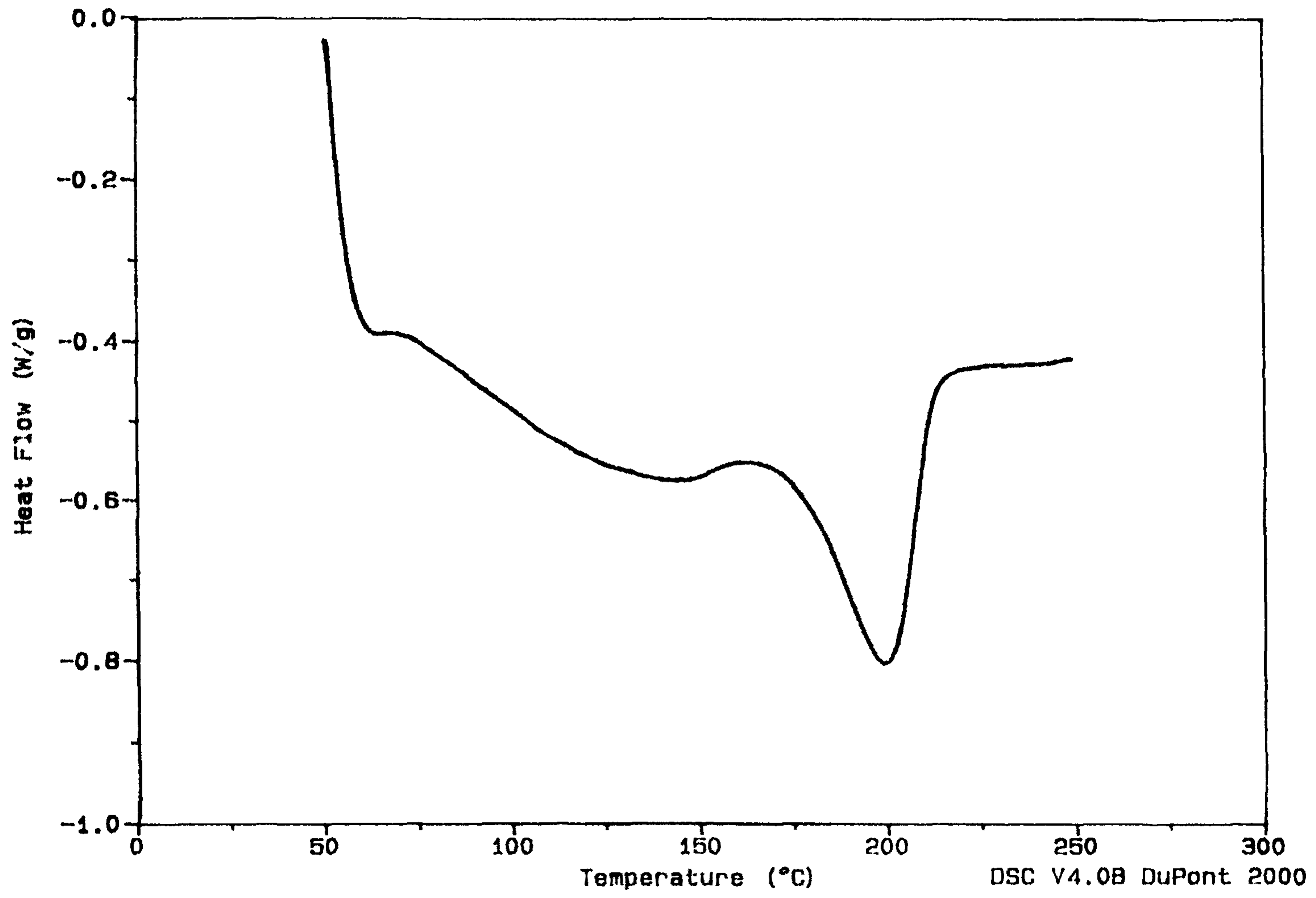
고 공냉으로 결속을 시키는 일종의 용융결속 방법을 이용하고 있다. 그래서 이 수용성 고분자들도 같은 용융결속 방법의 적용 가능성을 알아보기 위해 그들의 열적거동을 DSC로 조사해 보았다. 그 열분석곡선을 <그림 2-18>에서 <그림 2-19>에 나타내었다. <그림 2-18>은 CMC에 대한 것으로 용융점은 약 150°C이고 그 용융이 넓은 구간(100~220°C)에 걸쳐 일어나고 있다. 또한 <그림 2-19>는 DP가 500인 PVA에 대한 것으로 용융점은 거의 200°C에 달하며 비교적 좁은 구간에서 용융이 일어난다. 이들의 열적거동을 기초로 하여 보면 용융에 의한 함침은 고온에서 수행해야 하므로 작업상 개선이 될 수 없다. 그러므로 액상으로 만드는 또 하나의 방법으로 용매 즉 물에 녹이는 방법을 생각해 볼 수 있다. 위에서 제시한 결속방법을 요약하면 다음과 같다.

- i) 용융결속(melt process) : 결속재료를 용융시켜 액체상태로 한 후 함침시키고 상온으로 냉각시켜 고형화하는 방법
- ii) 용액결속(solution process) : 결속재료를 물에 녹여서 액체상태로 한 후 함침시킨 다음 건조시켜 고형화하는 방법

따라서 본 연구에서는 두번째의 방법인 용액 결속방법을 채택하고자 하며, 이 경우 우선 각 수용성 고분자가 용액이 형성되는 과정을 조사해 볼 필요가 있다. 그래서 위의 수용성 고분자들을 물에 녹이면서 그 과정을 관찰해 보았다. CMC의 경우는 상온에서 물에 녹는 속도가 아주 느리고 온도를 증가시켜도 좀처럼 균일한 용액상을 얻기가 어려웠다. 그리고 0.10 중량분률 정도의 농도에서도 하루 이상 장시간 방치하면 gel상태가 된다. 그러나 PVA의 경우는 모든 종류에 대해 비교적 용이하게 균일 용액을 제조할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 대체 결속재료로 PVA를 선택하였으며, 용액 형성거동이 분자량에 의존하므로 3가지의 각각 다른 PVA 즉 DP = 500, DP = 1000 그리고 공업용에 대하여 조사하였다. 그 결과 DP = 500 PVA가 용액의 제조가 용이할 뿐 아니라, 고 농도의 용액 제조가 가능하였으며(본 연구에서는 0.25 중량분률까지), 같은 농도에서 점도도 낮으므로 함침성도 우수하리라 예상하여, 본 연구에서는 DP = 500의 PVA를 선택하여 실험을 행하였다.



<그림 2-18> CMC의 열분석 곡선
(Fig. 2-18 DSC thermogram of CMC)



<그림 2-19> PVA의 열분석 곡선
(Fig. 2-19 DSC thermogram of PVA)

제 5 절 실험 방법 및 장치

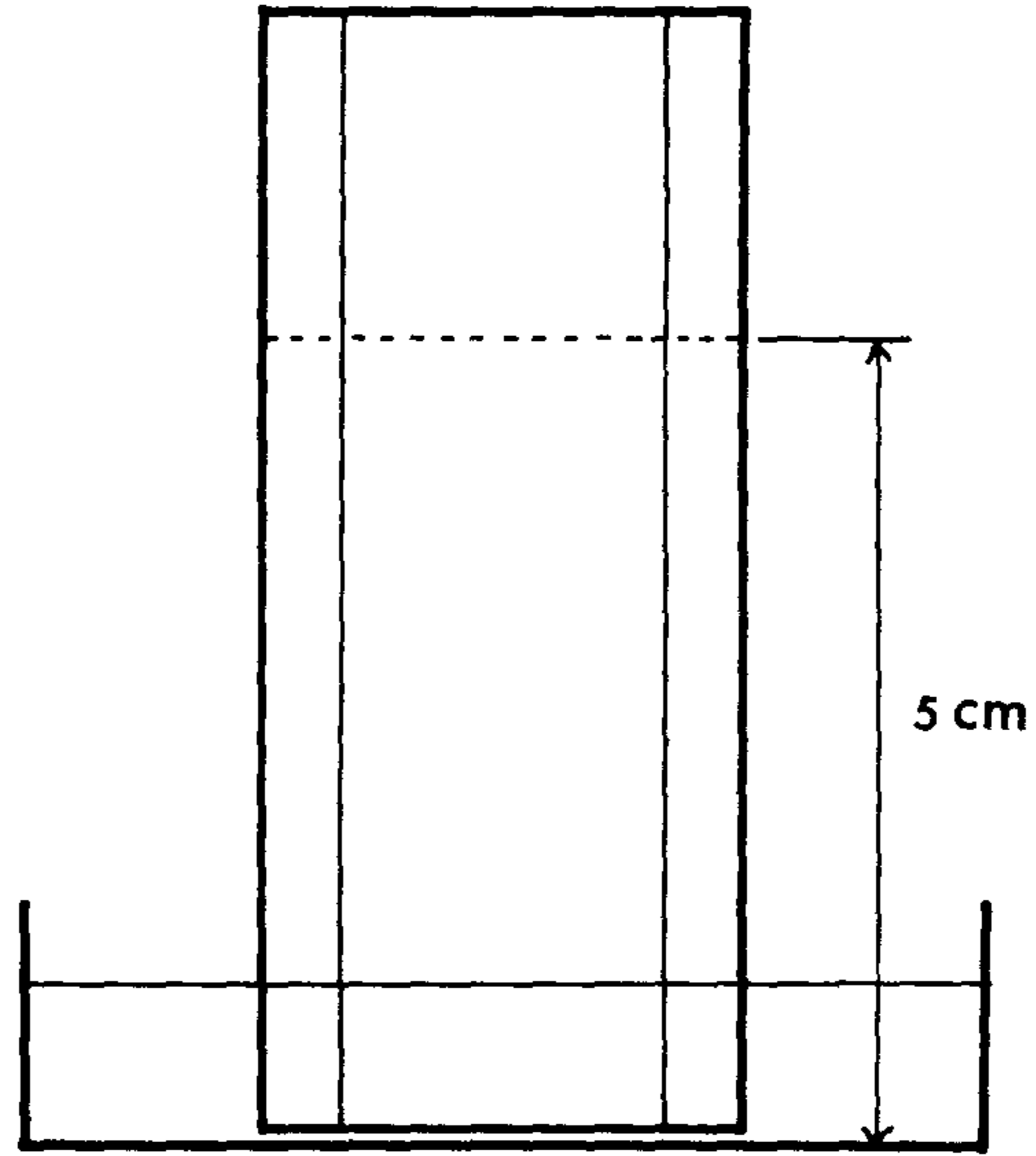
용액결속에 필요한 수용액은 다음의 과정으로 제조되었다. 먼저 상온에서 제조하고자 하는 농도에 해당하는 양 만큼의 PVA pellet을 비이커에 넣은 뒤 물을 부어서 기계적인 교반을 시킨다. PVA pellet이 물에 완전히 젖게 되면 50℃로 가열하여 입자가 보이지 않을 때 까지 계속 교반하여 투명상태의 균일 용액을 만들었다. 그리고 본 연구에서 사용한 용액의 농도는 0.05~0.25 중량분률까지 5 단계로 제조하였으며 농도가 증가함에 따라 균일용액을 얻는데 필요한 시간이 약 20분에서 50분까지로 길어졌다. 제조된 용액은 물의 증발을 방지하기 위해 상온에서 밀봉하여 보관하였으며 보관중에 어떠한 물성의 변화나 투명성의 저하가 관찰되지 않았으며 이는 용액이 상당히 안정함을 의미한다.

본 연구에서는 제조된 용액을 이용하여 다음의 물성을 조사하였다.

- 젖음성(Wettability) 및 표면장력(Surface tension)
- 증발률(Rate of evaporation)
- 접착강도(Adhesive strength) 및 전단강도(Shear strength)
- 용해율(Rate of dissolution)

1. 젖음성 및 표면장력

고분자와 다른물질이 상호작용할 때 그들의 표면성질은 매우 중요하게 작용한다. 이러한 성질은 섬유의 방사, 고분자 접착, 현탁물의 안정성, 고분자의 젖음성, 고체 표면에 대한 용융고분자의 퍼짐성 등을 이해하는데 중요하다. 본 연구에서 용액의 유리에 대한 젖음성은 실제 공정에서 용액이 glass tube 사이로 스며드는데 고려해야 할 중요한 요소중의 하나이다. 따라서 <그림 2-20>에 보여진 것처럼 두 개의 깨끗한 glass plate(1 mm 두께)사이에 0.2mm의 틈이 생기도록 하여 미리 준비된 일정 수위의 용액에 담구어 그 용액이 5cm까지 올라가는데 걸리는 시간을 조사하였다. 그 틈은



<그림 2-20> 젖음성 측정장치

(Fig. 2-20 Schematic diagram for measuring wettability)

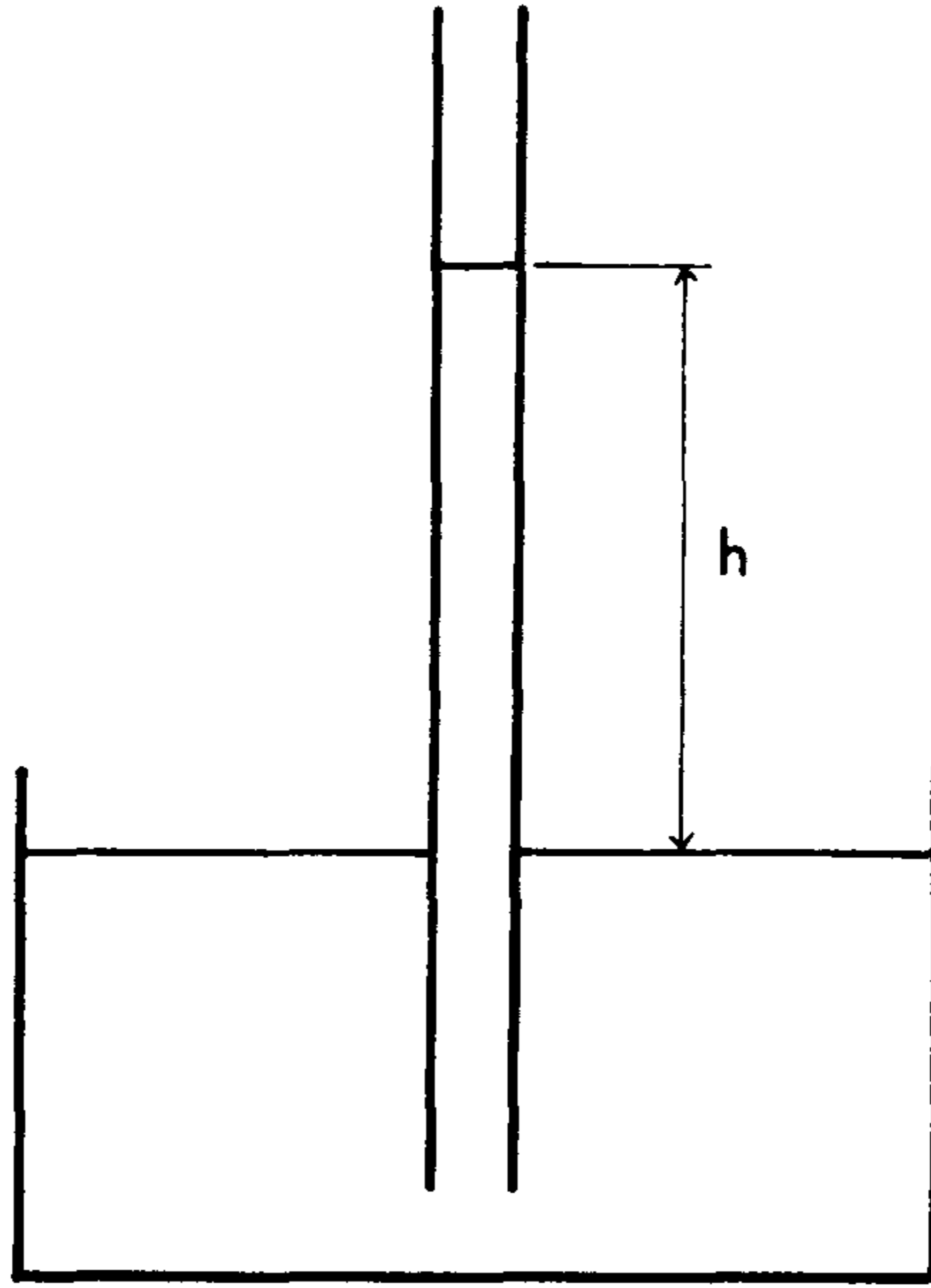
구리 박판으로 만들어진 spacer를 이용하였으며 전체를 집게로 고정하였다. 실험은 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 중량분률 용액에 대하여 상온, 50℃, 75℃에서 실행하였다. 실질적으로 젖음성은 접촉각(contact angle)을 통해 판정할 수 있는데 이러한 접촉각을 측정하는 방법은 여러가지가 있다. 필름형태의 고체인 경우는 tilting plate, liquid drop, slide technique 등이 있으며, 분말이나 다공성 입자의 경우에는 모세관 압력, 침강속도, 젖음속도, 흡수속도 등을 이용하여 측정할 수 있다. 본 연구에서 사용한 젖음성 측정방법은 실제공정과 최대한 유사하게 함침성을 조사하기 위한 것이다.

고분자 용액의 젖음성을 이해하기 위해서는 물질의 표면장력을 이해할 필요가 있다. 공기와 접촉한 액체의 경우를 예를 들면, 액체내부의 구성분자들 간에는 서로 인력이 작용한다. 따라서 이들 분자들은 분자들과의 힘의 균형을 유지하게 된다. 그러나 표면에 노출된 분자들은 내부로 향하는 인력과 좌우로 향하는 인력은 존재하지만 표면과 접하고 있는 분자들은 공기쪽의 상부로 향하는 인력이 매우 작아서 무시할 수 있기 때문에 힘의 균형이 깨어져서 액체 내부로 압력을 가하게 되어 표면장력이 존재하게 된다. 이러한 젖음성과 관련이 있는 표면장력을 모세관 오름방법(Capillary-rise method)으로 측정하였으며 그 측정장치가 <그림 2-21>에 있다. 이미 제조된 여러 농도의 수용액에 같은 내경의 유리관을 담근 후 24~48시간 후 평형에 도달했을 때 높이(h)로부터 계산하였다.

2. 증발을

본 연구에서와 같이 용액결속 방법을 사용할 경우 결속제로서의 역할을 하기 위해 필수적으로 수분을 증발시켜야 한다. 그러므로 수용액의 건조거동은 중요하며 이를 알아보기 위해 유리판 위에 200mg의 용액을 떨어뜨린 후 70, 110, 130℃에서 각각 시간에 따른 무게의 감소를 조사하였다.

3. 접착강도 및 전단강도



<그림 2-21> 표면장력 측정장치

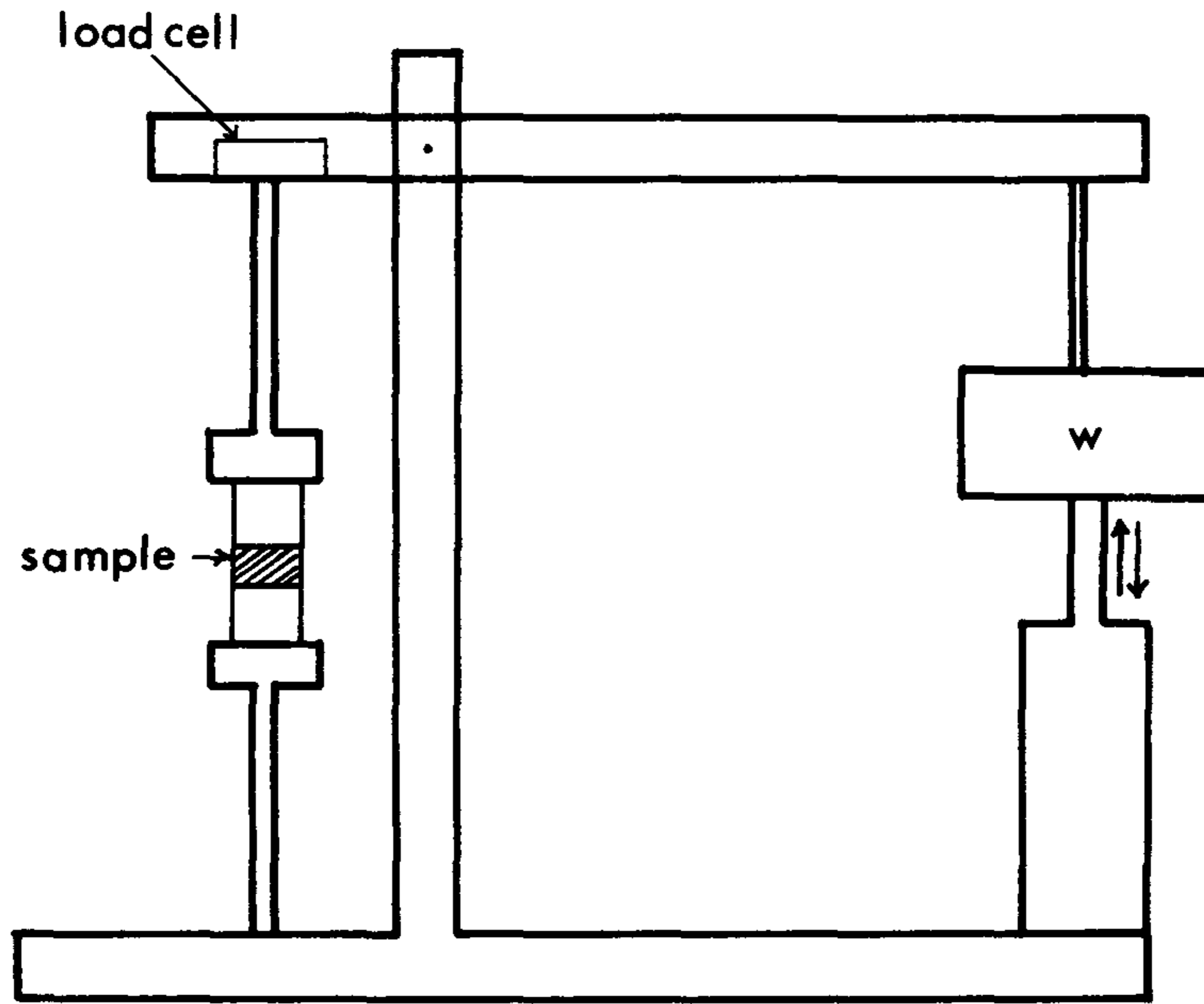
(Fig. 2-21 Capillary-rise method for measuring surface tension)

결속능력을 판정하는 중요한 변수중의 하나는 결속제와 glass tube 사이에 작용하는 결합력(adhesive strength)이다. 이러한 결합력을 측정할 수 있는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 lap shear test법을 사용하였다. 아래의 <그림 2-22>에는 본 연구에서 사용한 lap shear test용 기기이다. 접착강도는 일정한 무게(w)를 달아 일정한 속도로 내려 변형시킬 때 load cell (resolution : 4 Kgf)에 걸리는 힘을 읽어 lap section이 떨어질 때의 값을 채택하였다. 본 연구를 위해 사용된 시편의 모양이 <그림 2-23>에 있으며 다음과 같이 제작되었다. 시편 (a)는 두 개의 유리판[3(T) x 27(W) x 50(L) mm]을 준비하여 한쪽 유리판 위에 시료를 놓고, 다른 유리판을 그 위에 얹은 다음 균일한 접착이 이루어지게 하였다. 또한 시편 (b)는 0.2mm 두께의 spacer를 양끝에 끼워 틈을 인위적으로 만든 후, 그 틈새에 시료를 채웠다. Lap length는 약 15mm로 하였으며 물의 증발에 의한 건조성 실험을 실시한 결과로 부터 건조온도는 110℃로 결정하였으며 건조시간의 변화에 따른 전단응력을 측정하였다.

기존 결속재료인 송진도 접착강도를 측정하기 위해 다음과 같이 시편을 제작 하였다. Hot Plate를 약 150℃ 정도 가열한 후 유리판을 그 위에 올려 가열시키면서 송진 powder를 유리판 위 lap section 으로 될 부분에 뿌린 후, 이 powder가 용융되어 액체 상태로 되면 그 위에 다른 유리 plate를 놓고 약 15mm의 lap length로 맞추어 냉각하였다. 모든 시편은 4~6회 같은 조건에서 lap shear test를 실시되었으며 응력값은 평균을 취하였다.

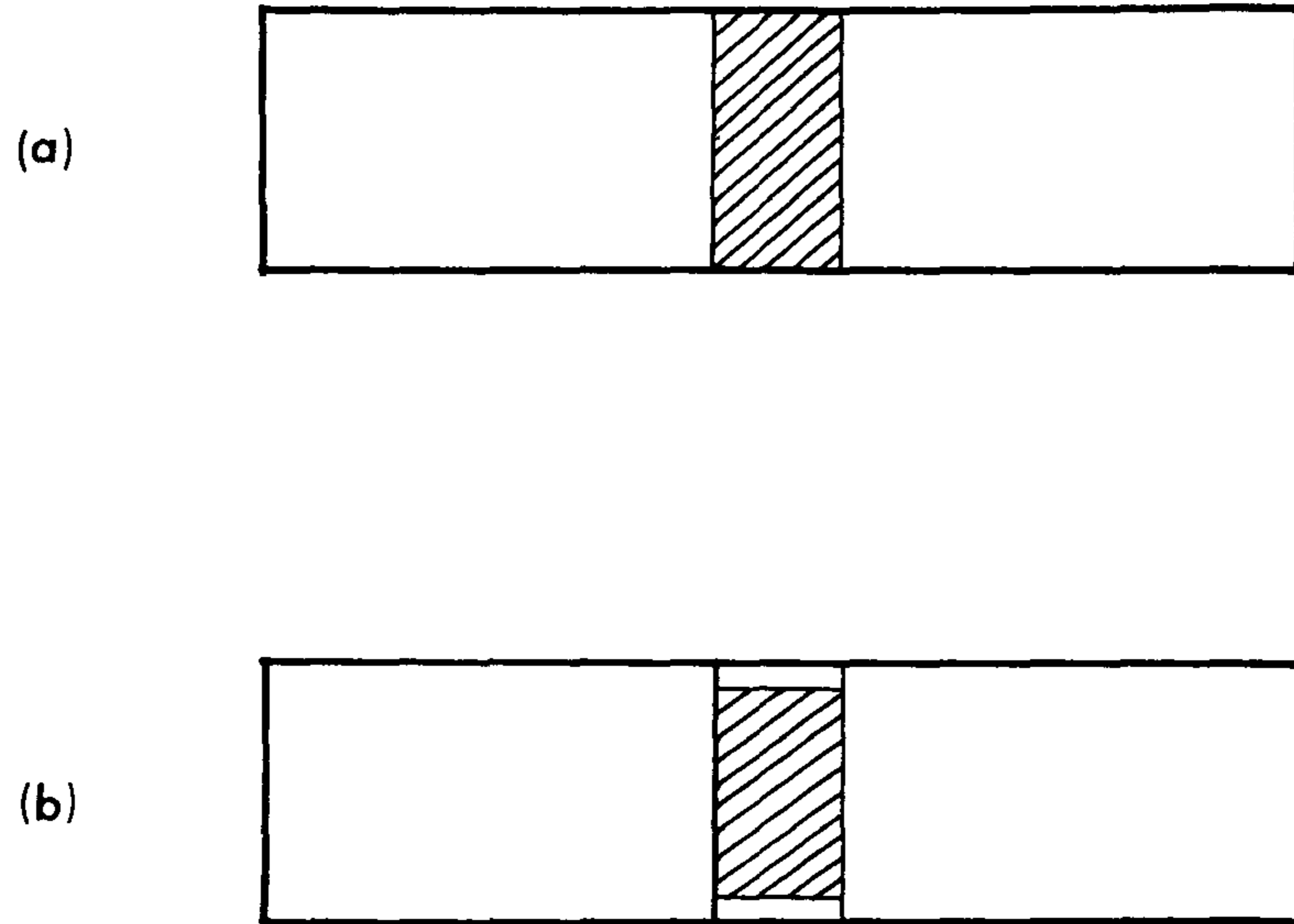
4. 용해율

PVA의 세척공정은 절단 후 최종적으로 결속제로 역할을 하던 재료를 제거하기 위해 필요한 작업이다. 먼저 0.25 중량분률의 용액을 유리판 위에 200mg을 떨어뜨려 110℃에서 2시간 동안 충분히 건조시킨 후, 물 속에서 일정시간 담구어 둔 다음 그 무게를 조사하였다. 여기서 실험온도는 15, 45, 60℃로 하였다.



<그림 2-22> 접착강도 및 전단응력 측정장치

(Fig. 2-22 Schematic diagram for measuring adhesion and shear strength)



<그림 2-23> 접착강도(a) 및 전단응력(b) 측정용 시편
(Fig. 2-23 Specimens for (a) adhesion (b) shear strength)

제 6 절 결과 및 고찰

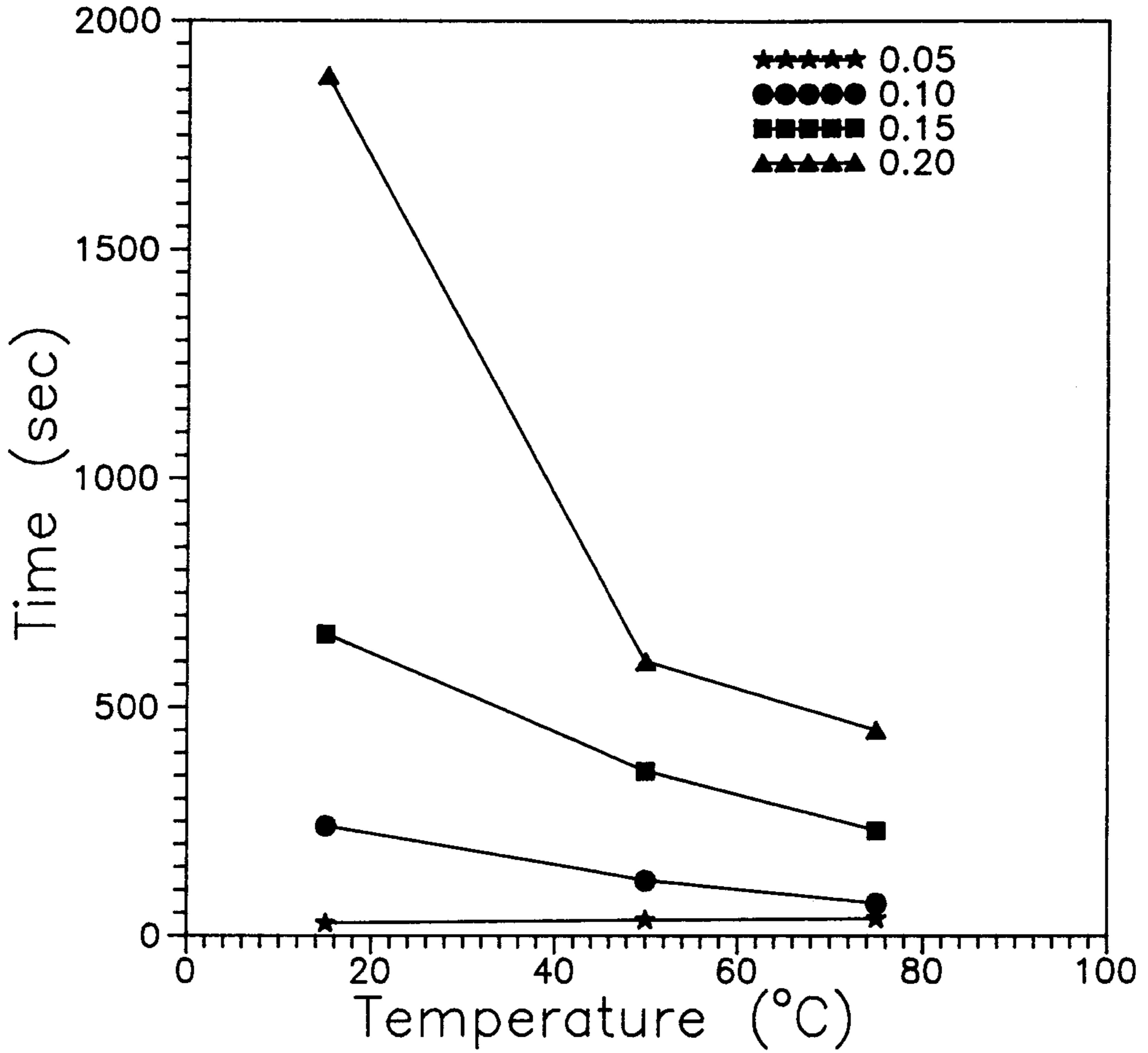
1. 함침성

수용액 상태의 결속제를 box화 된 glass tube 사이로 스며들게 하는 함침 과정을 젖음성 측정을 통하여 조사하였다. <그림 2-24>는 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 중량분률 등 4 종류의 용액에 대하여 온도에 따른 glass plate의 틈을 따라 5 cm까지 도달하는데 소요되는 젖음시간을 나타낸 것이다. 여기서 젖음시간의 단축은 젖음성의 향상을 의미한다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 중량분률의 변화에 따라 용액의 젖음 거동은 상당히 다르게 나타났다. 먼저 0.05 중량분률의 시료는 온도의 증가에 따른 젖음성의 향상이 거의 관찰되지 않았으나, 0.20 중량분률의 경우는 젖음시간이 1700 초 이상이던 것이 온도 75℃에서는 500초 이하로 단축되었음을 보여준다. 그리고 일정온도에서 농도의 변화에 따른 젖음시간의 변화를 보면, 상온에서는 농도가 증가할수록 시간의 차이가 많으나 온도가 증가할수록 그 차이가 감소되는 것을 관찰할 수 있다. 이상의 결과로부터 함침을 효과적으로 하기 위해서는 낮은 농도의 것이 유리하지만 높은 농도의 경우는 온도를 증가시켜 함침성을 상당히 증가시킬 수 있다.

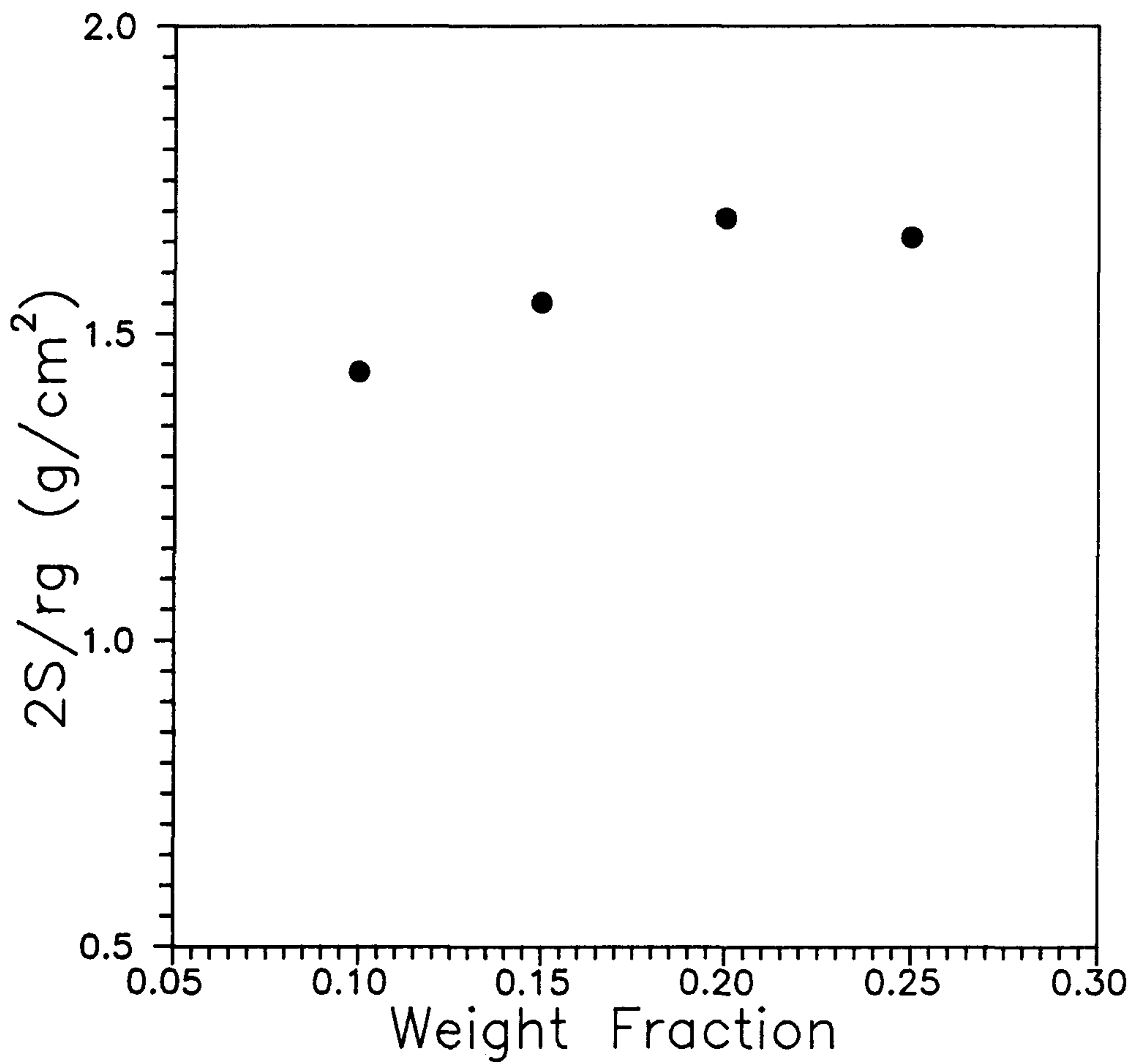
이러한 젖음성과 관련된 유리와 용액사이의 표면장력을 <그림 2-21>에서의 모세관 오름 방법으로 측정하였다. <그림 2-25>에는 식 (11)을 이용하여 계산된 상대적인 표면장력의 변화를 보여준다[31].

$$S = \frac{r g d h}{2} \quad (11)$$

여기서 S는 표면장력, r은 유리관의 내경, g는 중력가속도, d는 용액의 밀도 그리고 h는 용액의 상승높이를 나타낸다. 용액에 대한 밀도(d)는 식 (12)와 같은 단순 mixture rule로 계산하였다.



<그림 2-24> 다양한 용액의 농도에 대한 온도에 따른 젖음시간의 변화
 (Fig. 2-24 Wetting times as a function of temperature for various concentrations of solution)



<그림 2-25> 농도에 따른 상대 표면장력

(Fig. 2-25 Concentration dependence on relative surface tension)

$$d = f_{PVA} d_{PVA} + f_{WATER} d_{WATER} \quad (12)$$

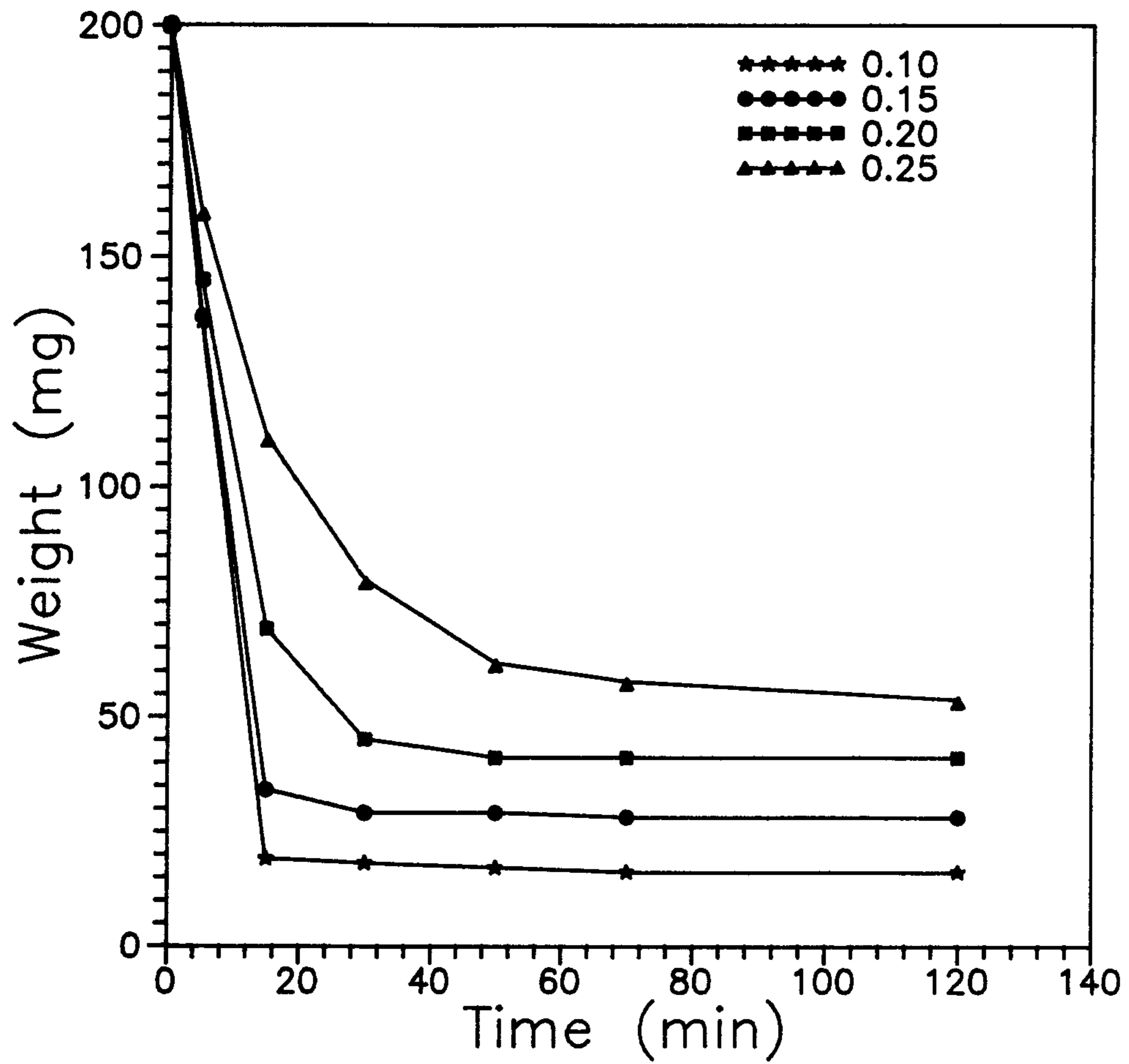
여기서 d_{PVA} 와 d_{WATER} 는 PVA 자체와 물의 밀도이고, f_{PVA} 와 f_{WATER} 는 PVA와 물의 중량분률이다. 본 계산을 위하여 PVA와 물의 밀도는 각각 1.274와 1로 하였다. 이 그림에서 나타난 표면장력은 농도가 증가함에 따라 다소 증가하였다. 그러나 그 값의 변화가 크지 않기 때문에 함침성은 젖음성으로 부터 예측할 수 있다고 생각된다.

2. 건조성

용액결속시 glass tube사이로 침투된 용액은 반드시 건조하여 고체상태로 변화시켜야 비로소 결속제로서 역할을 할 수 있다는 것은 전술한 바 있다. <그림 2-26>에서 <그림 2-28>에는 수용액을 유리판 위에 일정량(200mg)을 떨어뜨린 후 70, 110, 130℃에서 물이 증발될 때 시간에 따른 무게 변화를 조사하여 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 각 농도에 공히 초기에는 증발이 빠른 속도로 일어나다가 시간이 경과함에 따라 급격히 느려지며 그러한 경향은 낮은 농도에서 더 심하다. 그리고 완전히 건조한 후에는 각 농도에 해당하는 PVA양에 근접된 무게를 가져 건조를 시킬 동안 PVA자체의 무게 감소는 없는 것으로 생각된다. 또한 농도의 증가에 따라 그 증발속도가 느려짐을 볼 수 있다. 95% 이상 건조시키는 데 110℃의 경우 0.10 중량분률의 시료는 약 30분, 0.25 중량분률의 용액은 약 50분이 필요하였다.

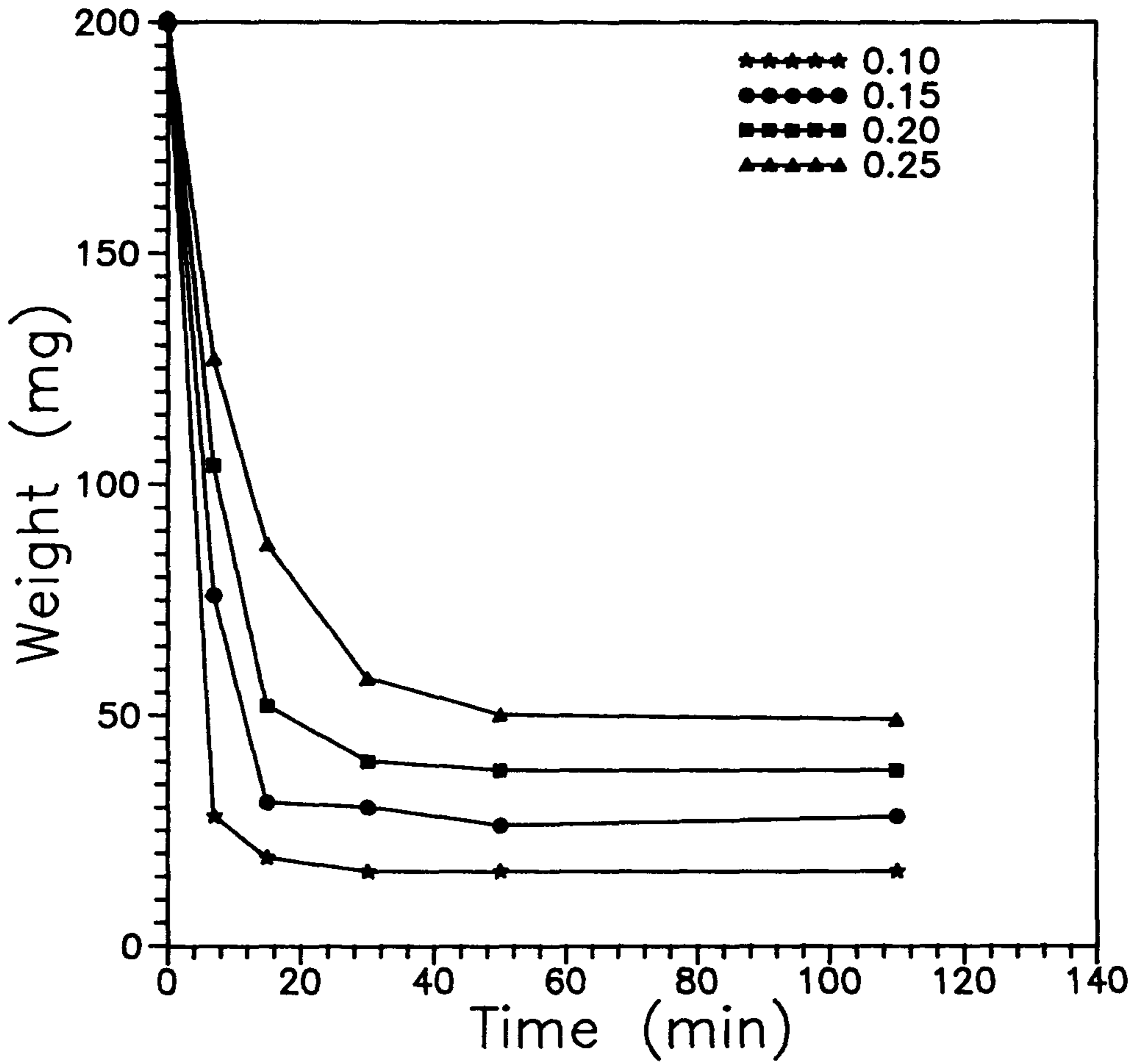
<그림 2-29>에서 <그림 2-31>에는 단위시간당 무게변화를 각 시간구간에서 계산된 결과이다. 흥미로운 결과는 일정 온도에서 최대 증발되는 peak의 위치가 농도에 관계없이 거의 일정하며, 이 peak의 위치는 온도가 증가함에 따라 70℃에서는 약 15분에서, 110℃에서는 약 10분에서 그리고 130℃에서는 약 7분으로 점차 짧아짐을 알 수 있다. 그리고 이 실험을 실행하는 동안 110℃와 130℃의 경우 시편 위에 기포가 발생됨을 육안으로 관찰할 수 있었으며, 이는 물의 끓는점이 100℃ 이상이므로 증발이 가속화되어 나타나는 현상으로 생각할 수 있다.

3. 접착성



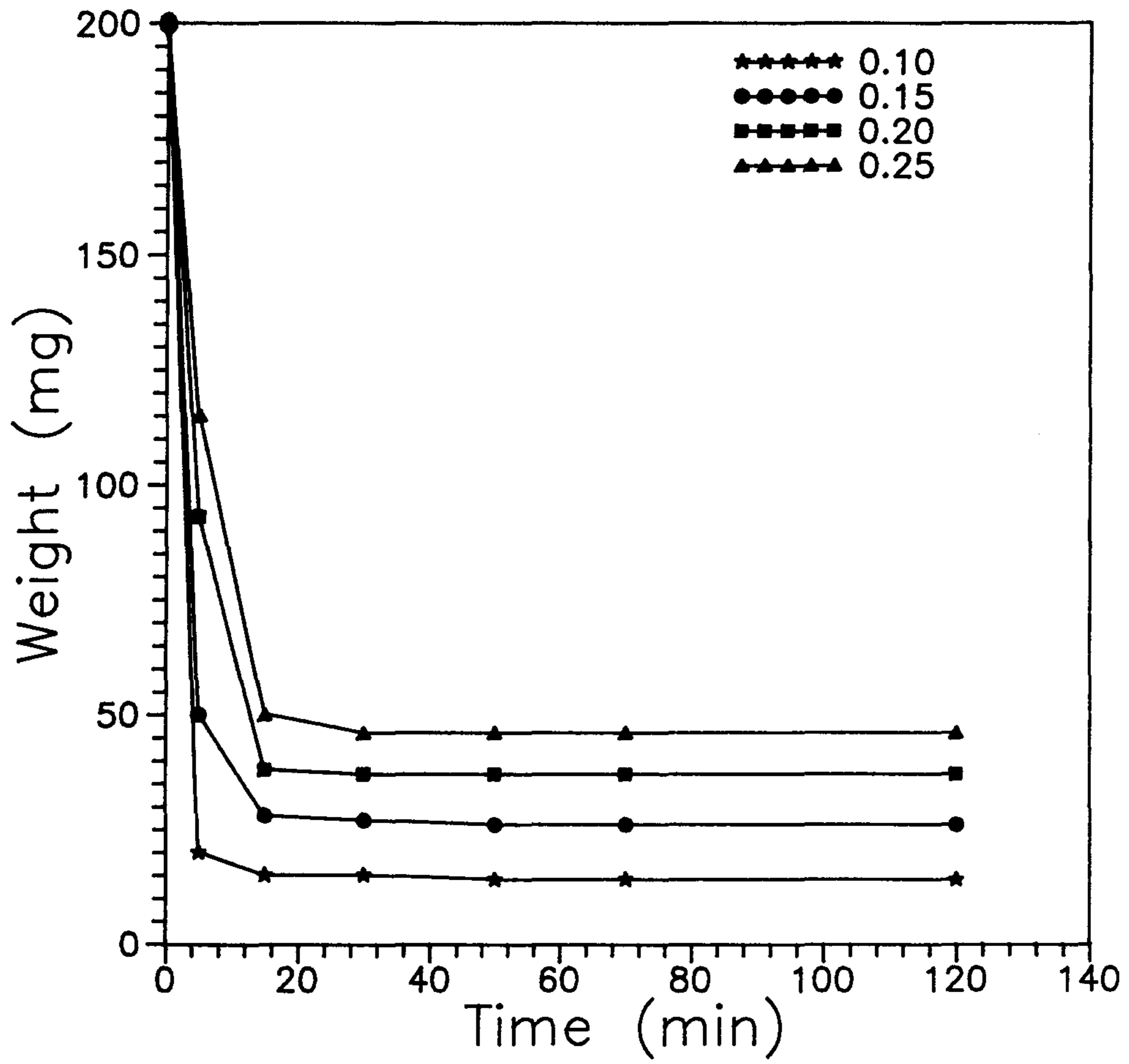
<그림 2-26> 건조시간과 수분증발(70℃)

(Fig. 2-26 Evaporation behavior of water at 70℃)



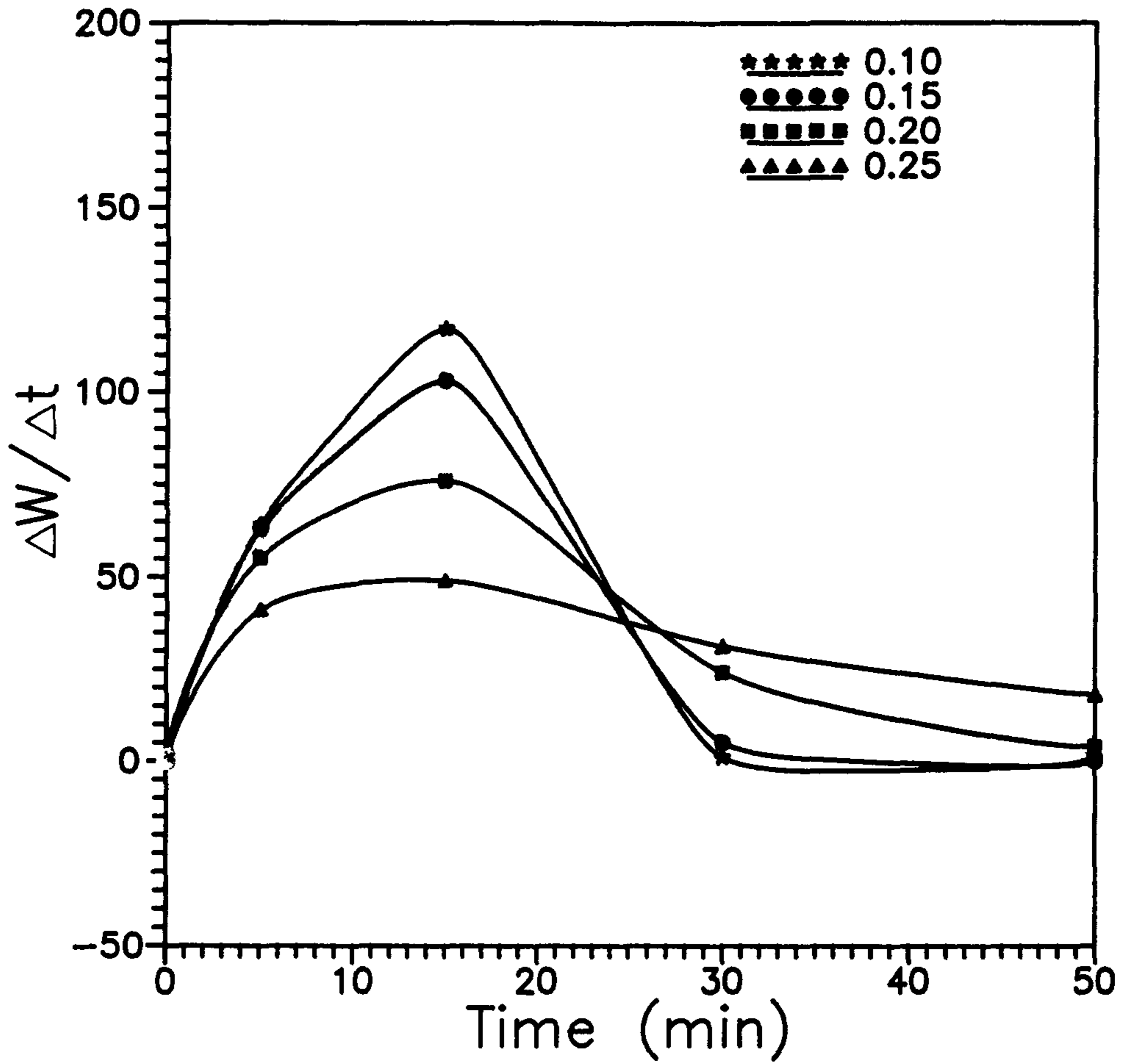
<그림 2-27> 건조시간과 수분증발(110°C)

(Fig. 2-27 Evaporation behavior of water at 110°C)



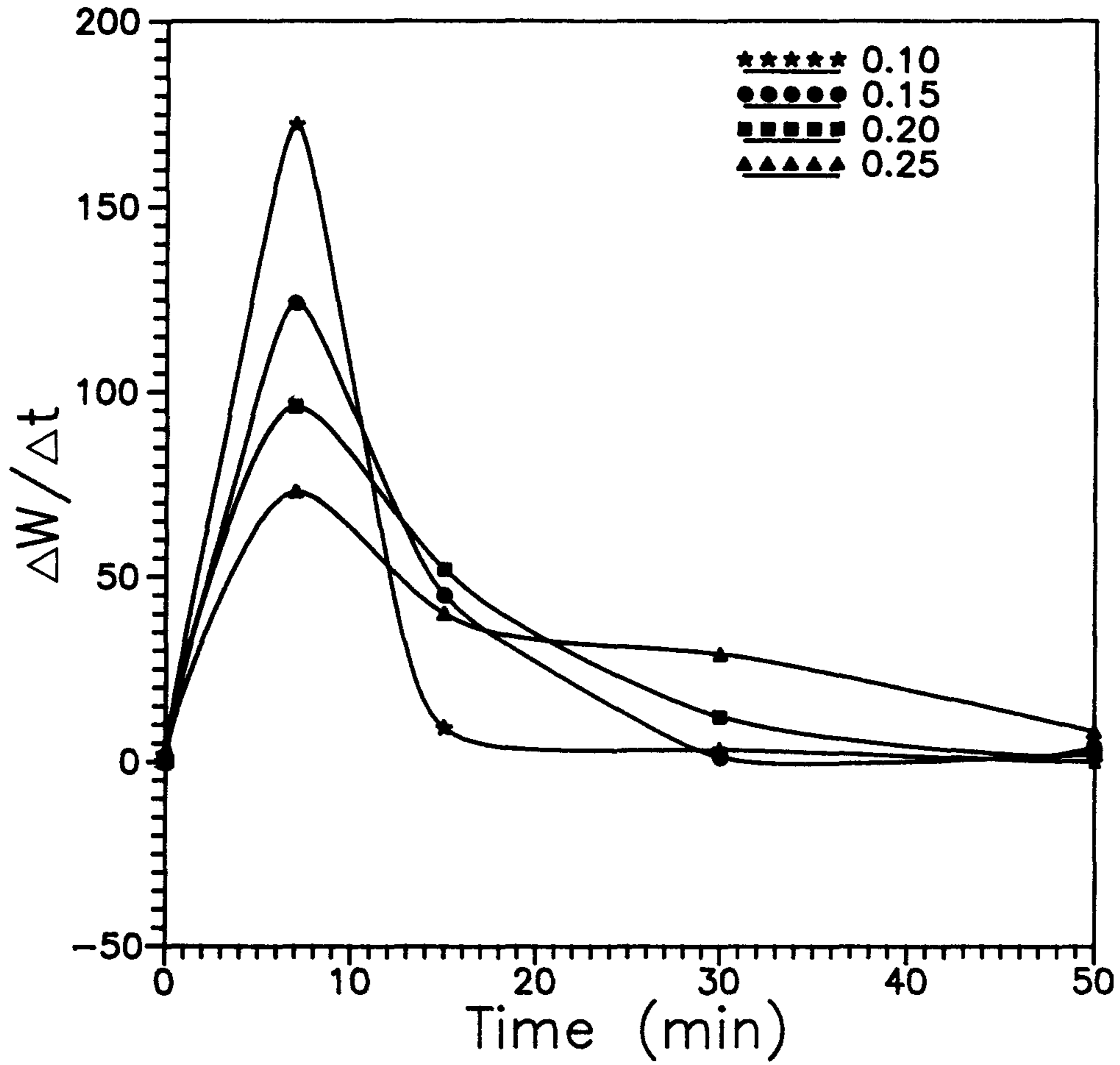
<그림 2-28> 건조시간과 수분증발(130℃)

(Fig. 2-28 Evaporation behavior of water at 130℃)



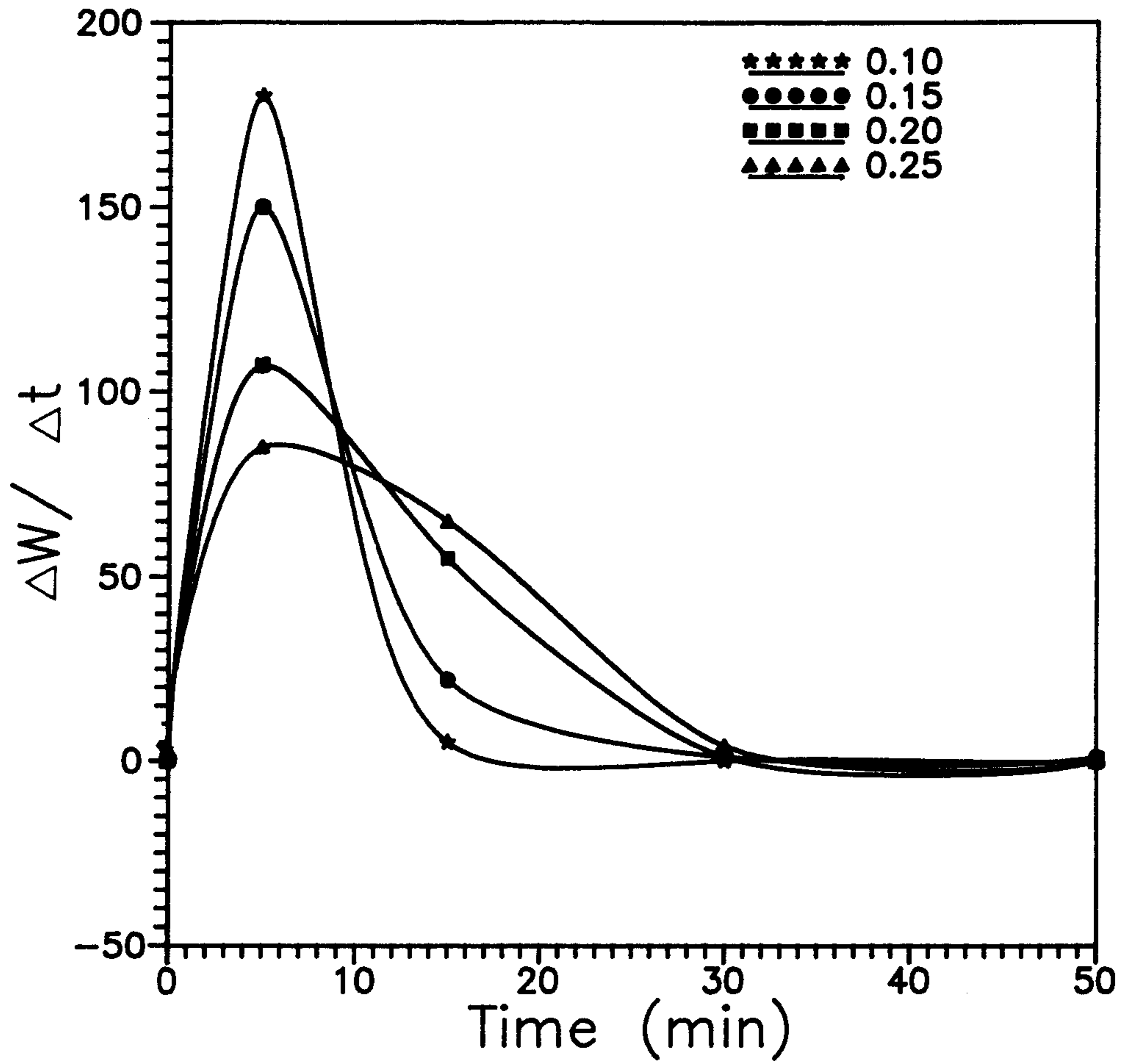
<그림 2-29> 단위시간당 수분증발량(70℃)

(Fig. 2-29 Rate of evaporation of water at 70℃)



<그림 2-30> 단위시간당 수분증발량(110°C)

(Fig. 2-30 Rate of evaporation of water at 110°C)



<그림 2-31> 단위시간당 수분증발량(130℃)

(Fig. 2-31 Rate of evaporation of water at 130℃)

기존의 결속재료인 송진의 유리에 대한 접착강도(adhesive strength)를 <그림 2-22>에 lap shear test용 기기를 사용하여 측정해 보았다. 그 결과 송진의 접착강도 값은 $4.96 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 으로 이 값을 기준으로 PVA의 접착능력을 상대적으로 비교할 수 있다. <표 2-4>에는 lap shear test로 부터 얻어진 PVA의 접착강도를 나타내었다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 건조시간이 10~20분정도에서는 거의 강도를 지니지 못하여 시편 장착시 분리가 되었으며, 30분 이상 건조 했을 때는 대부분의 시료에서 송진의 접착강도 이상의 값이 측정되었다. 그러므로 시료내 수분의 함유가 접착성에 많은 영향을 미침을 알 수 있다. 그리고 같은 건조시간에서도 농도가 증가함에 따라 접착강도가 감소함을 알 수 있는데 이것은 고농도의 시료의 경우 충분히 건조되지 못했음을 알 수 있다. 이 표에서 0는 시편 장착시 혹은 load cell에 어떤 값이 읽혀지기 전에 작은 힘에 의해 시편 떨어졌음을 의미하며, B는 강력한 접착력으로 말미암아 3mm 두께의 유리판이 파단이 일어났음을 나타낸다. 송진의 접착강도를 기준으로 볼때 건조시간 약 30~40분이면 결속을 위한 PVA와 유리간의 충분한 접착력을 발휘하는 것으로 생각할 수 있다.

<그림 2-32>에는 농도변화에 따른 PVA 결속물 자체의 전단강도(shear strength)를 측정한 것으로 이 경우는 유리판 사이의 간격을 0.2mm로 주어서 건조 후 이 틈새에 남은 결속제가 강도를 발휘할 수 있도록 시편을 제작하였다. 사용기기는 접착강도 측정시와 동일하며 건조시간은 50분과 90분으로 하였다. 낮은 농도의 용액은 건조 후 lap section에 남아서 전단응력에 저항할 수 있는 결속제의 양이 작기 때문에 접착강도가 낮은 반면, 농도가 증가할수록 증가하는 양상을 보인다. 0.20 중량분률의 시편에서 접착강도가 최상이 되었다가 0.25 중량분률에서는 오히려 줄어드는데 이것은 아직도 충분한 건조가 되지 못하여 잔류한 수분의 영향으로 사료된다.

4. 세척성

실제공정에서 절단된 glass tube 사이에 있는 결속제는 최종적으로 제거되어야 하므로 이를 위하여 물에 의한 건조된 PVA의 용해성을 통하여 세척성을 알아 본 결과

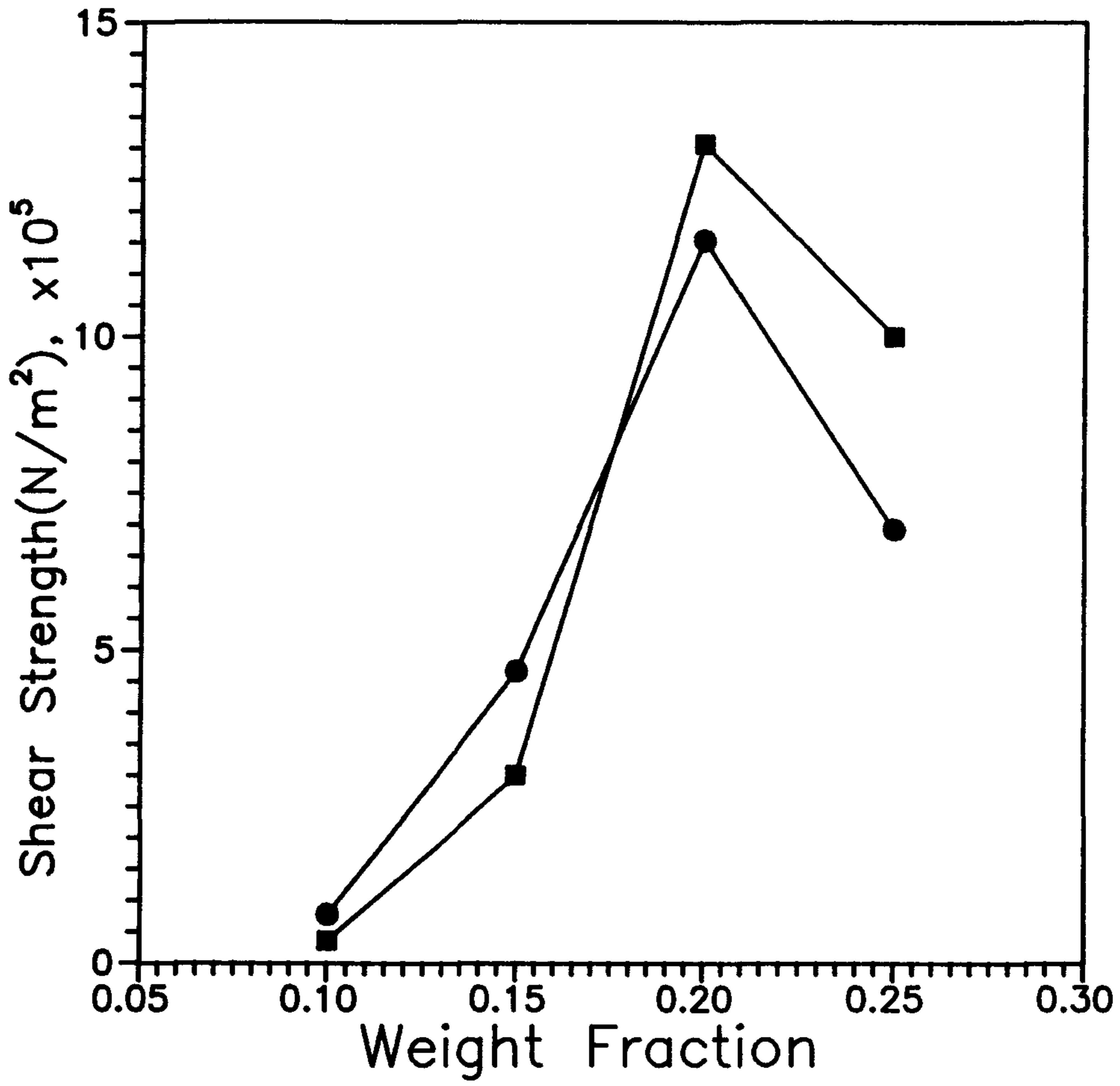
<표 2-4> PVA의 접착강도

(Table 2-4 Adhesive strength of PVA)

(N/m², X10⁵)

농도(f)	건조시간(min)			
	10	20	30	40
0.1	0	4.51	8.11	B
0.15	0	0	8.11	B
0.20	0	0	5.86	B
0.25	0	0	4.51	B

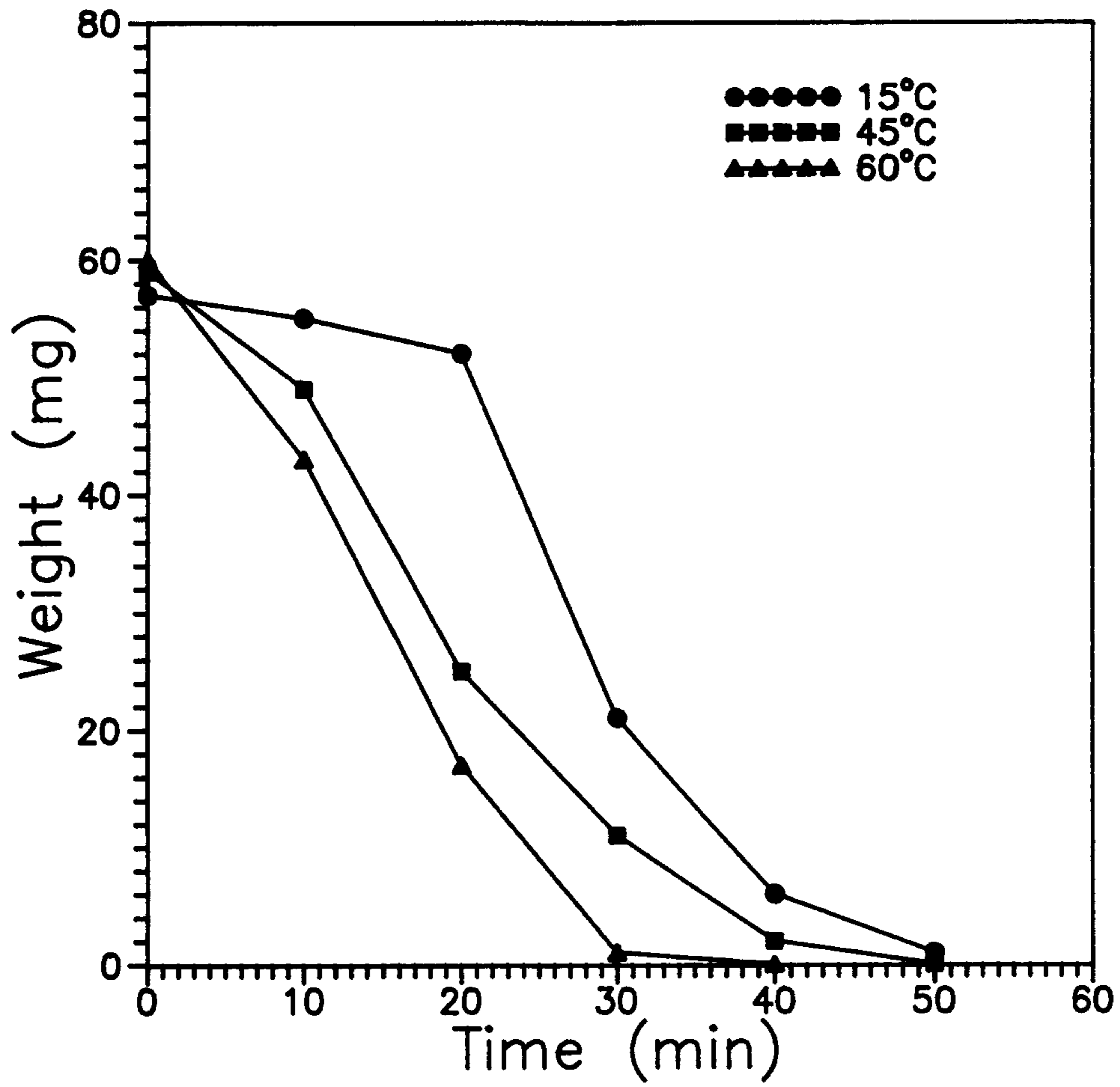
(B = Broken at the glass plate)



<그림 2-32> 농도에 따른 전단강도의 변화

(Fig. 2-32 Shear strength of various concentrations of solution)

가 <그림 2-33>에 있다. 이 그림에서 보여진 바와 같이 수중에서 머무는 시간이 경과함에 따라 물 속으로 용해되어 무게가 감소하게 된다. 95% 이상 유리판 위의 시료가 용해되어 제거되기 위해서 상온에서는 약 50분이 소요되며 온도가 증가하여 60℃에서는 약 30분간으로 단축되었다.



<그림 2-33> 용해시간에 따른 PVA의 무게변화

(Fig. 2-33 Effect of dissolution time on weight changes of PVA)

참 고 문 헌

- [1] H. J. Enos, Jr., G. C. Harris, and G. W. Hedrich in A. Standen, ed., Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd ed., Vol 17, John Wiley and Sons, NY, 1968, pp 475-508.
- [2] J. B. Class in H. F. Mark, ed., Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol. 14, A Wiley-Interscience, NY, 1988, pp 438-453.
- [3] P. J. Flory, Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press, Ithaca, NY, 1953, p 399.
- [4] P. Molyneux, Water-Soluble Synthetic Polymers. Properties and Behavior, Vol. 1, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1984, Chap. 1.
- [5] Ref 4, Chap. 3.
- [6] R. M. Fuoss, J. Polym. Sci., 3, 603 (1948).
- [7] J. D. Watson and F. H. C. Crick, Nature, 171, 737 (1953).
- [8] E. Chargaff, Experientia, 6, 201 (1950).
- [9] W. H. Montgomery in R. L. Davidson and M. Sittig, eds., Water-Soluble Resins, 2nd ed., Reinhold, NY, 1962, Chap. 9.
- [10] R. H. Harding and J. K. Rose in ref. 9, Chap. 10.
- [11] D. B. Braun, Handbook of Water-Soluble Gums and Resins, McGraw-Hill Inc., NY, 1980.
- [12] C. D. Argana and E. P. Czerwin in ref. 9, Chap. 10.
- [13] T. W. Modi, in ref 11, Chap. 20.
- [14] T. Osugi, Sci. Technol., 3, 245 (1968).
- [15] R. K. Tubbs and T. K. Wu in C. A. Finch, ed., Polyvinyl alcohol, John Wiley and sons, Inc., London, 1973, p 169.
- [16] I. Sakurada, A. Nakajima and H. Takida, Kobunshi Kagaku, 12, 21 (1955).

- [17] J. Brandrup and E. H. Immergut, *Polymer Handbook*, 2nd ed., Wiley, NY, 1975.
- [18] F. Hamada and A. Nakajima, *Kobunshi Kagaku*, 23, 395 (1966).
- [19] Unpublished data, Air Products and Chemicals, Inc.
- [20] K. Toyoshima in ref. 15, p 40.
- [21] K. Amaya and R. Fujishiro, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 29, 361 (1956).
- [22] E. Prokopova, P. Stern and O. Quadrat, *Colloid Polym. Sci.*, 263, 899 (1985).
- [23] P. Stern, E. Prokopova, and O. Quadrat, *Colloid Polym. Sci.*, 265, 234 (1987).
- [24] E. Prokopova, P. Stern and O. Quadrat, *Colloid Polym. Sci.*, 265, 903 (1987).
- [25] F. F. Vercauteren, W. A. B. Donners, R. Smith, N. J. Crowther, and D. Eagland, *Eur. Polym. J.*, 23, 711 (1987).
- [26] S. Fujishige, *J. Colloid Interface Sci.*, 13, 193 (1958).
- [27] K. Noro, *Br. Polym. J.*, 2, 128 (1970).
- [28] S. Hayashi, C. Nakano, and T. Motoyama, *Kobunshi Kagaku*, 20, 303 (1963)
- [29] *Ibid*, 21, 300 (1964).
- [30] M. Matsumoto and Y. Ohyanagi, *J. Polym. Sci.*, 31, 225 (1958)
- [31] G. M. Barrow, *Physical Chemistry*, 3rd ed., McGraw-Hill Co., NY, 1973.

제 3 장 외경측정 자동화를 위한 자동 공급장치의 개발

여 백

제 3 장 외경측정 자동화를 위한 자동 공급장치의 개발

제 1 절 외경측정 공정의 개선

제 3 장에서는 1차 절단된 유리관을 외경측정 시스템의 일부인 컨베이어 벨트에 자동으로 균일하게 배열하는 feeder의 설계/제작 및 그 제어시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

본 과제에서 개선하고자 하는 자동화 공정은 외경이 매우 작고 길이가 비교적 긴 유리관을 다루는 것이므로 취급시 파손되기 쉽고, 잘 휘어지는 특성이 충분히 고려되어야 한다. 또한 유리는 투명하고 금속과 같이 여자성이 없으므로 이것들을 검출하는 센서의 선택도 매우 까다롭다. 이러한 유리봉의 특징 때문에 기존의 생산라인에서 이용되는 제조공정 자동화 기구들을 유리봉의 자동이송시스템에 적용하는 것은 거의 불가능하였다.

제 3 장에서는 이와같은 자동 feeding 시스템의 개발 내용에 대하여 자세히 기술할 예정이다. 이 자동 feeding 시스템을 실제 생산라인에 설치 운용하게 될 경우 많은 인건비의 절감이 예상되며, 품질의 규격화도 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

제 2 절 Glass Tube Feeder의 제작

1. 시작품 제작 및 평가

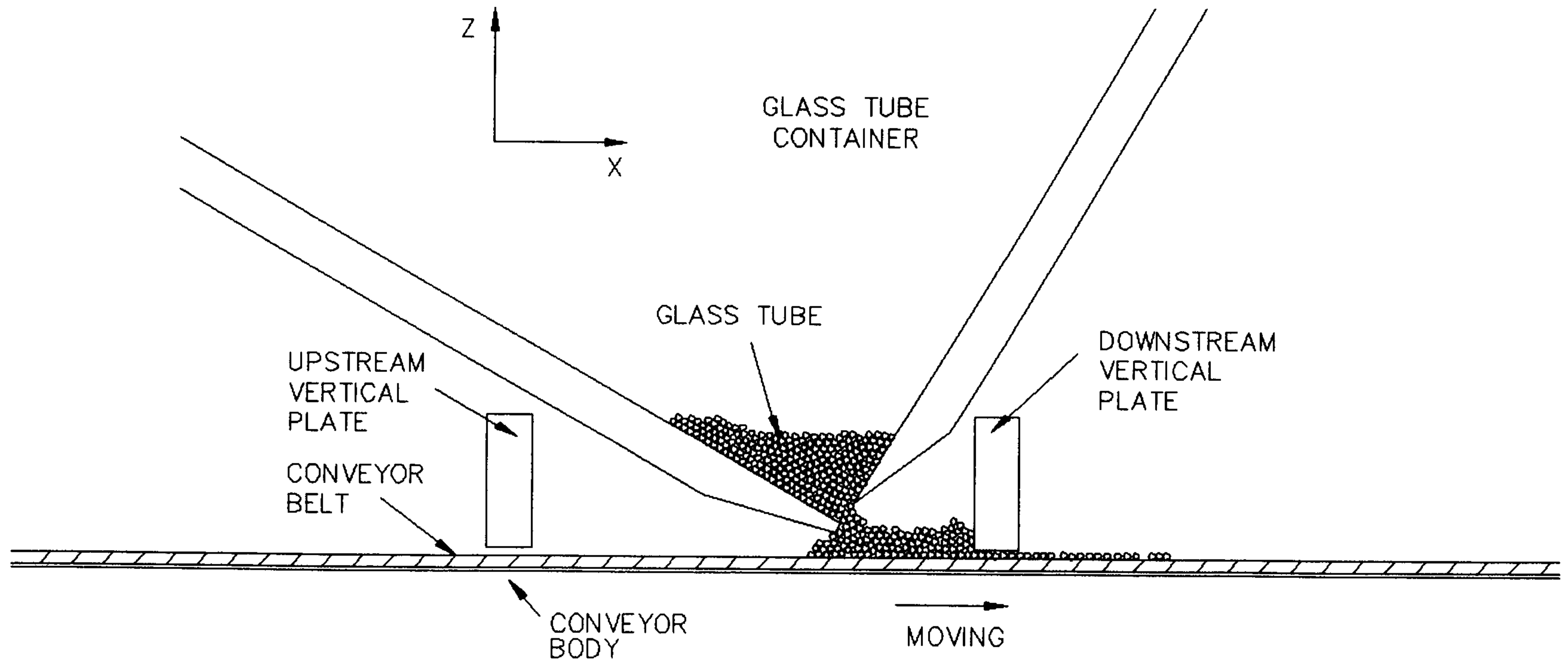
가. 시작품-1

본 연구에서는 먼저 유리관의 자동이송 공정의 가능성 및 유리관의 이송 특성을 간단히 확인하기 위해 <그림 3-1>과 같이 매우 단순한 feeder를 시작품-1로 제작하였다. 이 feeder는 실제 공정에 사용되고 있는 컨베이어와 동일한 성능을 가지고 있는 시험용 컨베이어에 설치되었고, 공정의 조건과 같은 상태에서 실험이 수행되었다. 시작품-1은 2개의 판으로 구성된 용기(glass tube container)에 담긴 유리관이 그 두 판 사이의 긴 틈새를 통해 컨베이어로 이동하고, 이 이동된 유리관들이 컨베이어 벨트와의 마찰로 +X 축 방향으로 이송되는 구조로 되어 있다. 이때 이송되는 유리관은 그림에서 예시된 바와 같이 컨베이어 벨트면과 일정한 간격을 유지하고 있는 하류쪽 수직판(downstream vertical plate)에 의해 일렬로 배열되게 된다. 이와같은 매우 간단한 구조의 시스템으로도 유리관을 촘촘하고 균일하게 배열하는 것이 가능하지만, 개선 및 보완을 해야 할 사항들이 많이 발견되었다.

<그림 3-1>의 시작품-1은 유리관 용기를 구성하는 두 판 사이의 틈 간격, 두 판의 각도, 수직판과 컨베이어 벨트 사이의 간격 등을 조정할 수 있도록 설계하였다. 따라서 이들 변수에 따른 feeding 특성을 검토할 수 있었고, 가장 이상적인 경우를 도출할 수 있었다. 그러나 이 최적의 경우에서도 많은 문제점이 노출되었다.

실험결과에 의하면 하류 수직판 상류 위치에 일정량 이상의 유리관이 쌓일 경우 유리관 사이의 간섭에 의해 치명적인 상태, 즉 유리관이 수직판과 컨베이어 벨트면 사이에서 연속적으로 부러지는 현상이 초래되었다. 따라서 시작품-1과 같은 구조에서 가장 중요한 요소는 유리관 용기로부터 적절한 양의 유리관이 일정한 속도로 컨베이어에 떨어져야 하는 것이다. 이를 위해서는 용기를 구성하는 두 판의 간격이 적절히 조정되어야 하지만 이 틈새의 조정만으로는 이와 같은 목표를 달성하는 것이 불가능하였다. 특히 이 틈새가 비교적 큰 경우에도 두 판과 유리관 사이의 마찰력이나 용기내 유리관들이 서로 평행하게 배열되지 못한 것들이 원인이 되어 이 틈새를 통해 유리관이 이동하지 못하는 현상, 즉 잼(jam)이 빈번히 발생하였다.

수직판과 컨베이어 벨트 사이의 간극은 유리관 직경의 약 1.5배 정도가 가장 적절하였다. 그러나 컨베이어 벨트가 컨베이어 바닥면에 항상 부착된 상태로 움직이는 것이 아니어서 수직판을 정밀하게 조정하였다고 해도 수직판과 컨베이어 벨트 사이의 간격이 컨베이어 폭방향으로 변화가 생길 수 있다. 이럴 경우 수직판과 평행하던 유



<그림 3-1> Feeder 시제품-1의 개략도

(Fig. 3-1 Schematic diagram of prototype feeder-1)

리관이 어긋나면서 수직판과 컨베이어 벨트면 사이에 끼게 되면서 연쇄적으로 파손되는 현상이 초래되었다.

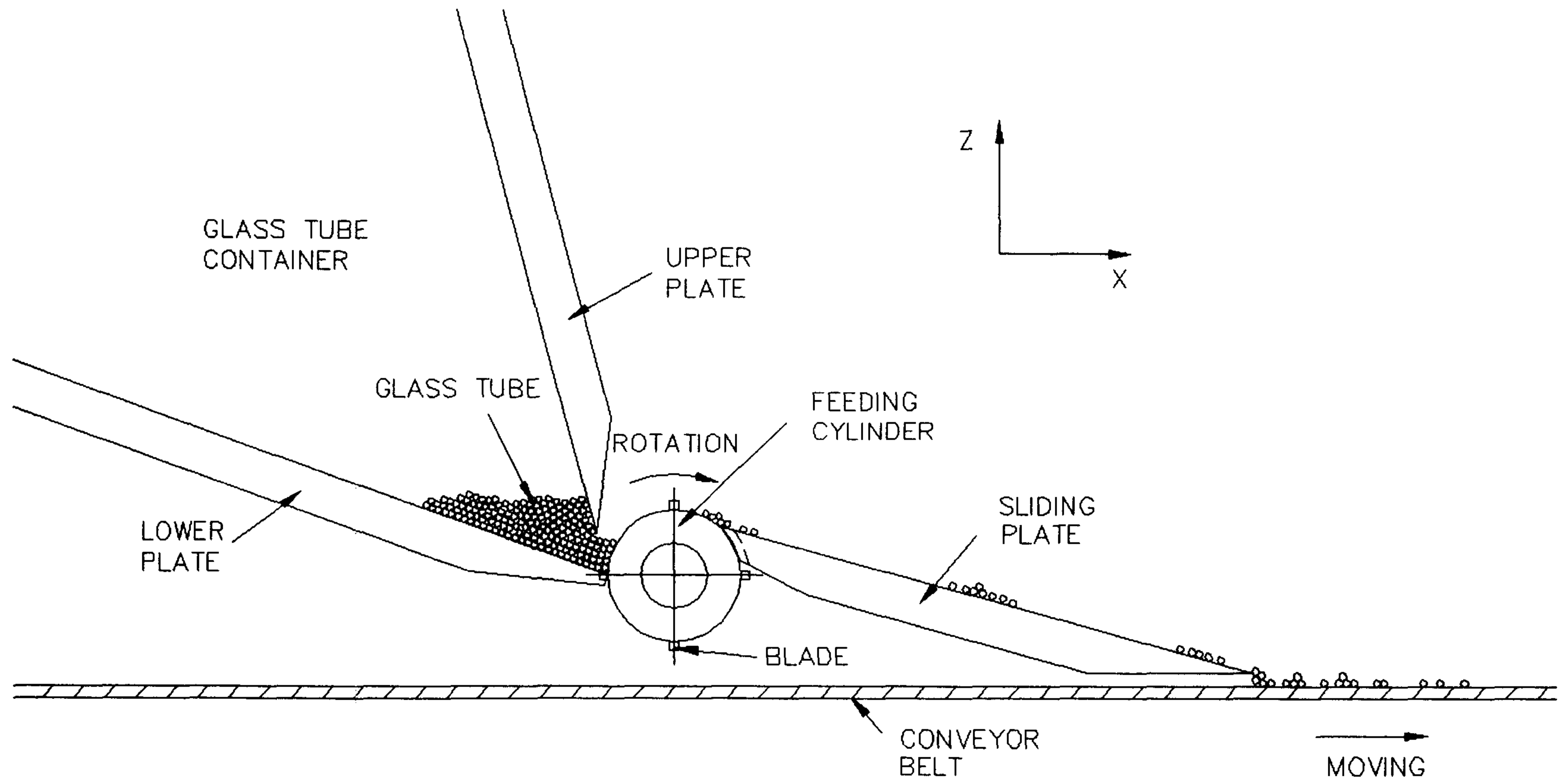
지금까지 언급한 시작품-1의 실험 결과를 종합해 보면 다음과 같은 개선점이 모색되어야 한다.

- ① 유리관이 담겨 있는 용기로부터 적절한 갯수의 유리관을 안정적으로 분리하는 장치의 고안
- ② 용기로부터 분리되어 컨베이어 벨트면으로 운반된 유리관을 공정에서 요구되는 조건대로 촘촘하고 균일하게 배열하는 시스템의 설계
- ③ 용기 출구에서의 잼 현상의 원천적인 예방

나. 시작품-2

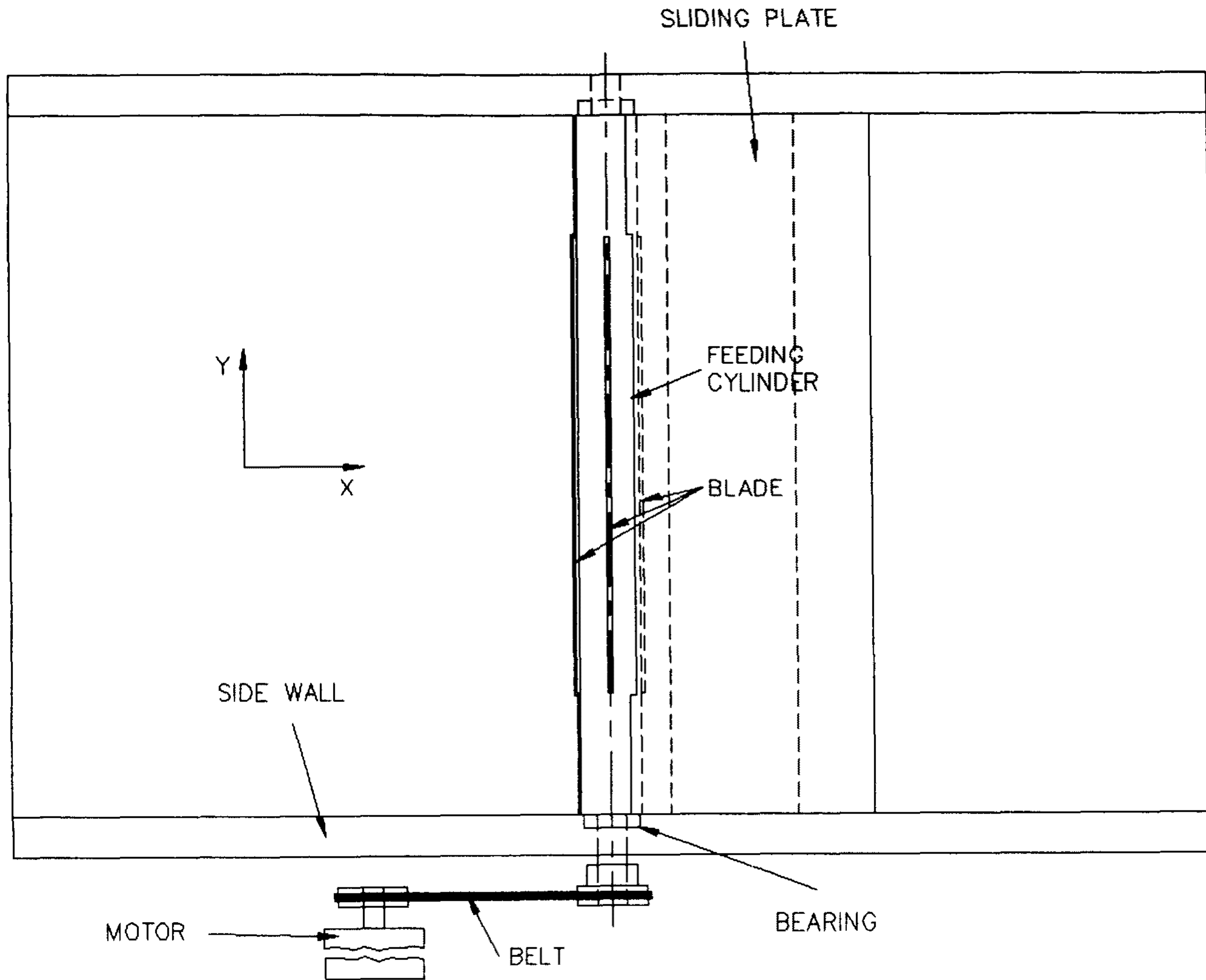
시작품-1의 문제점을 정밀 검토하여 개선한 시작품-2의 개략도가 <그림 3-2>에 나타나 있다. 이것은 4개의 블레이드가 부착된 feeding 실린더를 이용하여 유리관 용기로부터 적절한 갯수의 유리관을 분리해내어 미끄럼판(sliding plate)을 통해 컨베이어 벨트 표면에 떨어 뜨리는 구조로 되어 있다. 이 feeding 실린더는 <그림 3-3>에서와 같이 속도가 조절되는 모터와 고무벨트로 연결되어 구동된다. 이 평면도에서 알 수 있듯이 실린더의 블레이드는 유리관 용기 하판(lower plate)과 미끄럼판에 가공되어 있는 홈에 끼워진다. 따라서 유리관은 절대로 실린더와 용기 하판 사이에서 컨베이어로 바로 떨어지는 경우가 발생하지 않는다. 똑같은 이유에서 실린더 둘레를 돌아 미끄럼판으로 넘어가는 유리관이 컨베이어로 바로 떨어지지 않는다.

<그림 3-2>의 유리관 용기의 구조도 시작품-1의 실험 결과를 고려하여 설계된 것이다. 용기 상판(upper plate)이 컨베이어 면과 이루는 각도가 90도 보다 더 크다. 이것은 유리관의 자중에 의한 힘이 용기 하판에만 작용하도록 하여 시작품-1에서 빈번히 발생하던 유리관의 잼을 현저히 감소시킨다. 그리고 용기 하판과 블레이드가 실린더의 윗 부분이 아닌 측면에서 만나도록 용기 하판의 위치를 결정한 이유는 유리관의 자중을 이기면서 유리관을 분리시킬 때 발생할 수 있는 유리관의 파손을 방지하



<그림 3-2> Feeder 시제품-2의 개략도

(Fig. 3-2 Schematic diagram of prototype feeder-2)



<그림 3-3> Feeder 시제품-2의 평면도

(Fig. 3-3 Top view of prototype feeder-2)

기 위해서이다.

이 시작품-2의 동작성능을 점검하고 문제점을 분석하기 위해 여러가지 파라미터를 변화시켜 실험을 수행하였다. 이 실험에서 고려된 파라미터는 다음과 같다.

- ① 용기 상판과 용기 하판의 기울기
- ② 용기 상판과 하판의 거리
- ③ 용기 상판의 위치 및 블레이드 끝단과의 거리
- ④ 블레이드의 높이
- ⑤ Feeding 실린더의 회전수
- ⑥ 미끄럼판의 기울기

위와 같은 파라미터들을 변화시켜 실험을 수행하여, 적절한 파라미터를 결정한 결과 이 시스템이 매우 효과적으로 유리관을 분리해 낼 수 있음이 입증되었다. 실험 결과에 의하면 블레이드의 높이는 유리관 내경의 1배 정도가 가장 적절하였고, 블레이드가 회전하면서 꼭 1개의 유리관만을 분리할 필요는 없었다. 대체적으로 동작상태가 양호함에도 불구하고 여러가지로 개선해야 할 문제점들이 제기되었다. 가장 중요한 문제 중의 하나는 feeding 실린더의 회전력에 의해 가속된 유리관이 미끄럼판을 지나 컨베이어 벨트에 닿자마자 그 관성에 의해 서로 뒤얽히고 Y축(<그림3-3>)과 평행하게 되지 않는 것이었다. 따라서 이 바람직스럽지 못한 현상들을 없애기 위해서는 유리관이 미끄럼판을 벗어난 직후에 유리관의 운동량을 적절히 줄여 컨베이어에 균일하게 배치시키는 장치가 필요하다. 시작품-2의 설계에서 용기 출구에서 발생하는 잦을 줄이는 몇 가지 시도가 반영되었지만, 여전히 상판과 하판의 간격이 좁아지면 그 빈도는 매우 작지만 블레이드가 유리관을 나르지 못하고 헛도는 현상이 발생하였다. 이것을 확실히 예방하기 위해 그 간격을 크게 넓히면 1개의 블레이드에 의해 너무 많은 유리관이 이송되는 결과가 야기되었다.

결론적으로 시작품-2가 안정적으로 작동하기 위해서는 용기 상하판 사이에서 돌발적으로 발생하는 유리관의 잦을 해결하고, 될 수 있으면 적은 양의 유리관을 일정하게 보내는 방법을 개발하며, 마지막으로 가속되어 운동량을 가지고 있는 유리관을 적

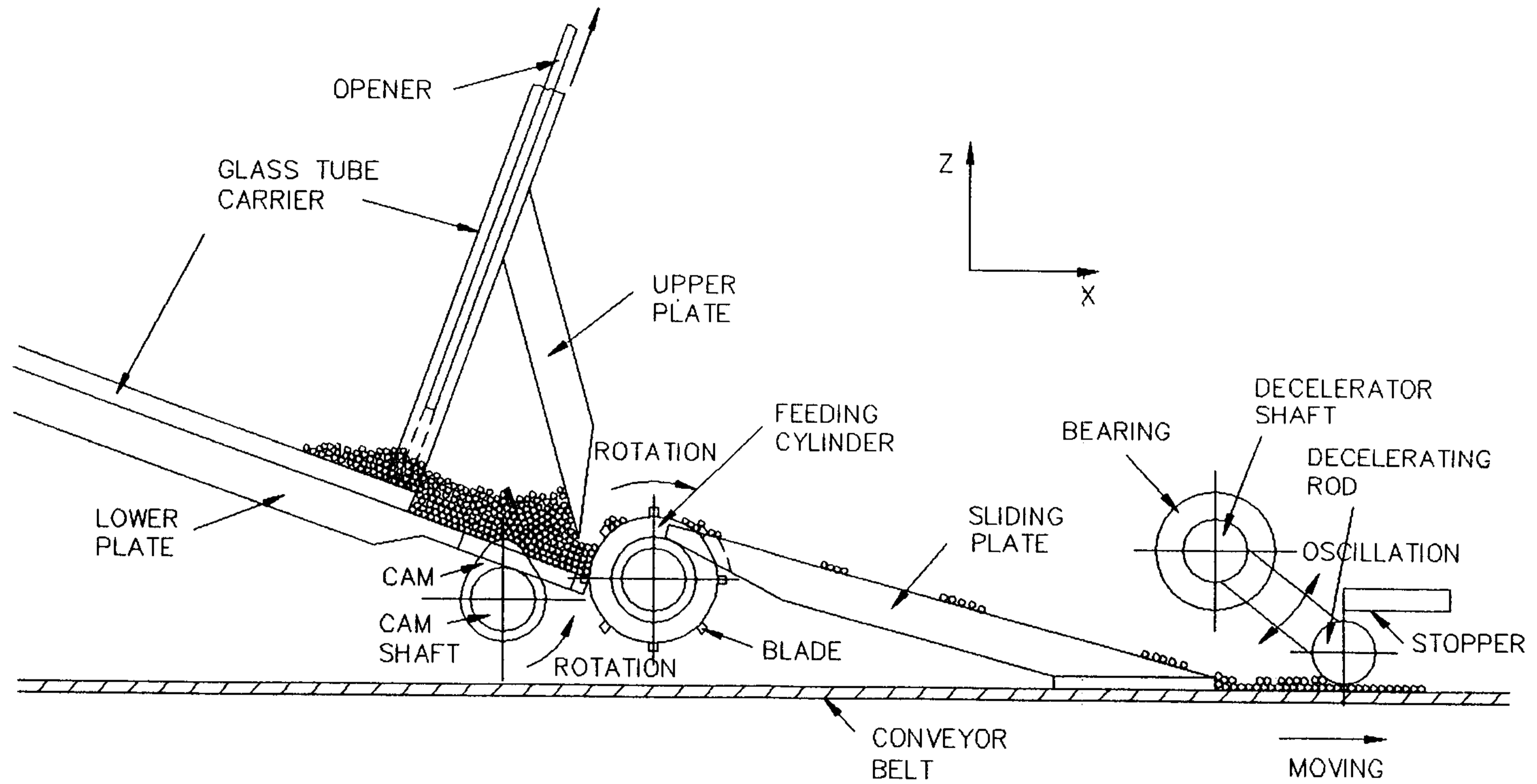
절히 감속, 배열하는 수단이 필요하다. 이와같은 문제점들은 다음의 최종설계에서 반영되어 해결되었다.

2. 최종 설계

<그림 3-4>와 <그림 3-5>는 앞에서 제기한 여러 문제점을 모두 해결한 최종 설계안의 개략도 및 평면도이다. <그림 3-4>에는 유리관 제조공정중 1차로 절단된 유리관을 담아 feeder로 운반하는데 사용되는 용기(glass tube carrier)가 장착된 형태를 보여주고 있다. 이 용기의 정밀한 설계 및 제작은 유리봉의 1차 절단공정까지 고려해야 하므로 뒤로 미루기로 한다. 이 최종 설계에서는 먼저 잼을 원천적으로 방지하기 위하여 캠이 설치되었다. 용기 하판 feeding 실린더 근처에 위치한 캠축에는 폭방향으로 3개의 캠이 부착되어 있어서 용기에 담겨 있는 유리관에 아주 작은 상하요동을 가해 준다. 이 요동은 유리관의 잼을 효과적으로 방지하여 신뢰성 있는 동작을 보증하여 주었다. 이 3개의 캠은 용기 하판에 뚫려 있는 3개의 홈을 통하여 상하운동을 하므로 feeding 실린더의 동작에는 하등의 영향을 주지 않는다. <그림 3-5>에서와 같이 캠축은 벨트에 의해 feeding 실린더와 연결되며, 적절한 회전비로 feeding 실린더와 같은 방향으로 구동된다. 이 회전비를 조정할 수 있도록 캠축 풀리를 여러개 제작하였다.

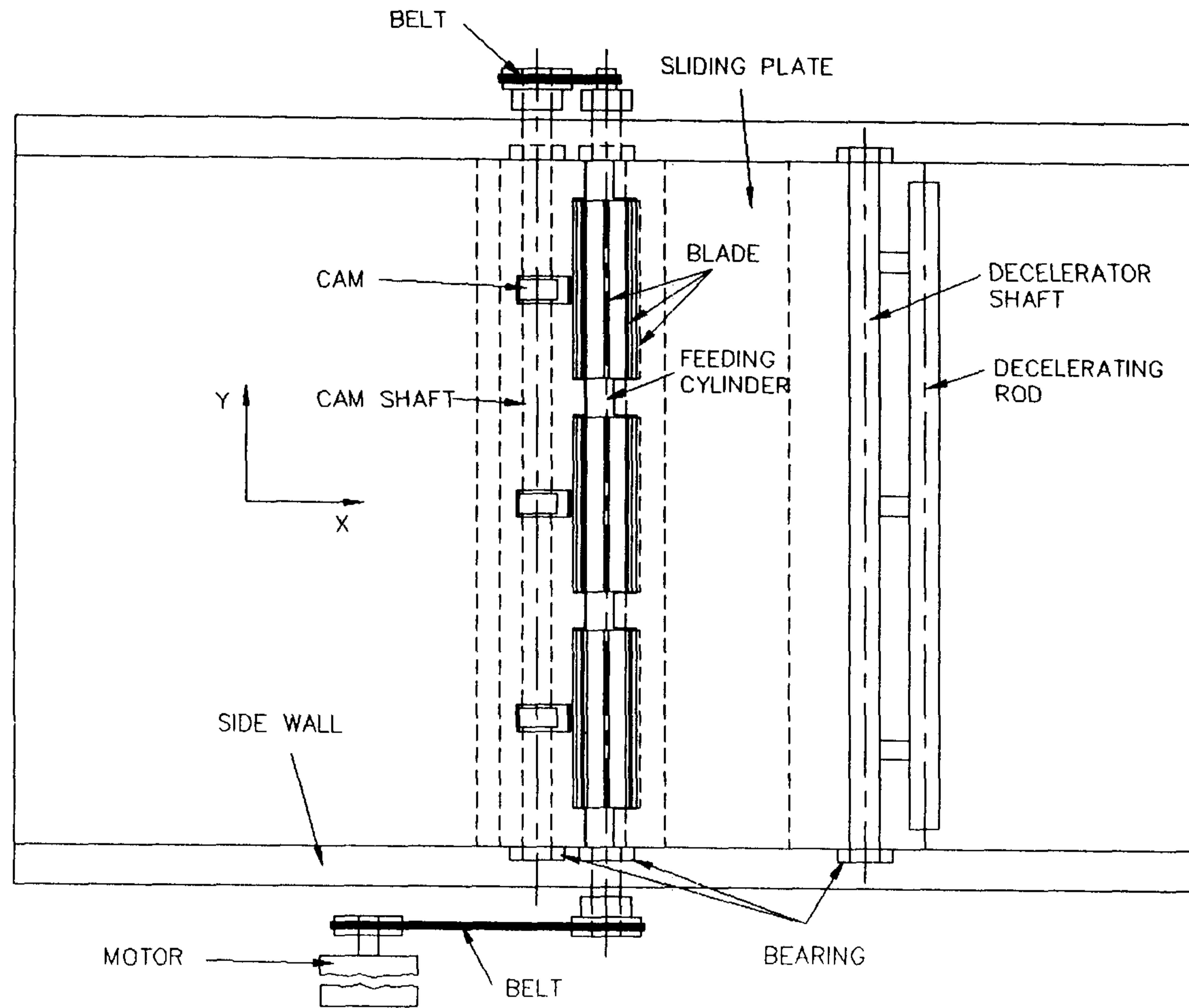
적절한 수의 유리관을 안정적으로 미끄럼판으로 이송시키기 위하여 블레이드의 수를 8개로 늘렸고, 각 블레이드는 폭방향으로 3개로 나누어 설치되었다. 이와 더불어 블레이드가 부착되지 않은 위치의 실린더에는 4개의 홈이 가공되어 있는데 이 홈에 용기 하판과 미끄럼판의 돌출 부분이 끼워지도록 하였다.

미끄럼판의 하류에는 유리관 감속장치가 새로 설치되었다. 이것은 양단에 베어링이 설치된 축(decelerator shaft)에 연결대를 이용하여 감속봉(decelerating rod)를 고정된 구조로 되어 있다. 따라서 감속봉은 감속장치 축의 중심선을 중심으로 자유롭게 회전운동, 다시 말해 회전요동을 할 수 있다. 이 회전요동 운동은 컨베이어 벨트면과 stopper에 의해 요동 폭이 제한된다. 이 stopper는 감속봉과 컨베이어 벨트 사이로 2개의 유리봉이 쌓인 상태에서 이동할 수 없도록 한다. 컨베이어 벨트와 감



<그림 3-4> Feeder의 최종 설계안의 개략도

(Fig. 3-4 Schematic diagram of finally-designed feeder)



<그림 3-5> Feeder의 최종 설계안의 평면도
(Fig. 3-5 Top view of finally-designed feeder)

속봉 사이의 간격은 감속봉에 걸리는 부하에 따라 항상 달라지므로 유리관에 무리한 힘이 가해져서 파손되는 것이 방지된다.

이와같은 최종 설계에서 문제가 되는 것은 feeding 실린더의 이송속도와 컨베이어의 이송속도 차이에 의하여 유리관이 감속봉 상류 위치에 쌓이는 현상을 해결하는 것이다. 이를 위해서 감속봉 상류의 유리관의 양을 정확히 감지하여 feeding 실린더의 회전을 적절히 제어하는 시스템이 필요하다. 이 feedback 제어시스템에 대해서는 다음 절에서 언급하기로 한다.

시작품-1, 시작품-2의 시험 결과가 반영되어 최종 설계된 feeder의 설계도면이 부록에 실려 있다. 실제 공정에서 쓰이는 컨베이어와 비슷한 성능의 시험용 컨베이어에 설치할 마운트까지 이 설계도면에 포함되어 있으며, 실제 feeding 시스템을 포함하는 모든 도면들이 수록되어 있다.

제 3 절 공정의 자동제어

최종 제작 완료된 feeder를 생산라인에 설치하여 시험가동을 하기 위해서는 앞절 끝부분에서 언급한 바와 같은 feedback 제어시스템이 필수적으로 필요하다. 공정상 제작된 feeder는 유리관 외경측정 시스템의 컨베이어에 장착되어 컨베이어 벨트 위로 유리관을 균일하게 배치하는 역할을 하게 된다. 외경측정은 LVDT를 이용하여 이루어지고, 공정의 특성상 컨베이어에서 공급되는 유리관의 양이 많으므로 이 측정시스템은 컨베이어를 on/off시킴으로써 측정시스템으로 공급되는 유리관의 양을 조절한다.

이와같은 공정의 흐름에 따라 feeder의 구동모터도 적절히 제어될 필요가 있다. 컨베이어가 외경측정시스템에 의하여 정지되었을 때 feeder의 구동모터도 반드시 정지되어야 한다. 앞절에서도 언급했듯이 감속봉 상류의 유리관의 양이 기준치를 초과할 경우에도 구동모터가 정지해야 하는데, 이를 위하여 유리관과 같은 비금속도 쉽게 검출할 수 있는 용량형근접센서(capacitive proximity sensor)를 이용하였다. 센서와 외경측정 시스템으로부터의 ON/OFF 신호는 공정제어용 소형 PLC(Programmable Logic Controller)로 입력되어 구동모터를 제어하였다.

지금부터는 제어시스템에 사용된 PLC, 센서, 구동모터의 선정 및 그 각각의 특성에 대하여 언급하고자 한다.

1. PLC(Programmable Logic Controller)

PLC는 시퀀서(Sequence Controller)라고도 불리우며, 입출력부를 사용하여 각종 장치를 제어하는 것으로 프로그래머블한 명령을 기억하기 위해 메모리를 내장한 전자 장치로 정의할 수 있다. 실제로는 FA(Factory Automation)의 중핵기기로서 폭넓게 이용되고 있어 자동화에 불가결한 산업용 전자제품이다. 그 이용 형태는 공장 전체를 제어하는 시스템으로부터 각종 분산기계를 개별로 제어하는 단독 사용 타입까지 여러가지가 존재한다.

PLC는 소형의 고신뢰도로 자유도가 매우 높은 두뇌로서 물품의 가공, 조립, 반송, 검사, 포장 등의 자동화에 널리 활용된다. 이것은 조작반에 설치된 푸시버튼 스위치나 셀렉터 스위치, 디지털 스위치의 지령입력, 또는 장치의 동작상태를 검출하는 리미트 스위치나 근접스위치, 광전스위치 등의 센서 입력에 의해 동작하고, 전자 밸브나 모터, 전자 클러치 등의 구동용 부하나 파일럿 램프, 디지털 표시기 등의 표시 부하를 제어한다. 이들 입력 신호에 대한 출력 신호의 출력 방법은 PLC에 주는 프로그램의 내용에 따라 결정한다. 또한 소형의 전자 밸브나 파일럿 램프와 같은 경부하(light load)는 PLC에서 직접 구동할 수 있지만, 3상 모터나 대형 전자 밸브 등의 부하는 컨택터나 중간 릴레이를 사용하여 구동할 필요가 있다. 이들 컨택터나 중간 릴레이, 전원용 브레이커 등은 PLC와 함께 구동반에 설치할 수 있다.

PLC는 공업용 마이컴 장치로서 마이크로 컴퓨터 및 메모리를 중심으로 하는 전자 회로로 구성되어 있다. 입출력 기기와 전자회로부의 중계역으로서 입출력 인터페이스부가 있다. 또 프로그래밍 패널(programming pannel)을 이용해서 PLC 내의 메모리에 프로그램을 기록한다. 실제로 PLC의 구조를 살펴보면 릴레이나 타이머의 집합체라고 생각할 수 있다. PLC는 마이크로 컴퓨터를 중심으로 하는 전자 장치이다. 그러나 실제로 사용자 입장에서는 마이크로 컴퓨터의 지식은 일절 불필요하고, 릴레이나 타이머, 카운터의 집합체라고 생각하고 있으면 충분하다.

가. PLC의 이용 효과

- (1) 경제성 : 릴레이 약 10개 이상의 제어반에서는 PLC 쪽이 일반적으로 가격이 낮다.
- (2) 설계 생력 : 부품 배치도의 간략화나 PLC 설계의 용이화, 시운전 조정의 용이화에 의해 설계가 간단해 진다.
- (3) 납기의 단축 : 수매 부품의 감소, 기계 장치와 제어반의 병행 수배, 시방 변경에 대한 유연성, 배선 작업의 간소화 등에 의해 대폭으로 납기가 단축된다.
- (4) 소형, 표준화 : 릴레이반에 비해 상당히 소형화할 수 있고, 프로그램의 재이용에 의한 양산화도 가능하다.
- (5) 신뢰성 향상 : 릴레이, 타이머의 트러블이 감소하여, 초기 조정이 끝나면 안심하고 사용할 수 있다.
- (6) 보수성 향상 : 수명 부품이 적고, 고장 진단기능이 있어 보수도 손쉽게 행할 수 있다.

나. 릴레이 제어와의 비교

항목	방식	릴레이 제어	PLC 제어
기능		다수의 릴레이를 사용하면 복잡한 제어도 가능	프로그램으로 어떤 복잡한 제어도 가능
제어내용의 가변성		배선 변경하는 이외의 방법은 없음	프로그램 변경만으로 되어 자유자재로 가능

신뢰성	통상적인 사용에서는 문제 없지만 접촉불량과 수명의 제약이 없음	심장부가 모두 반도체로 고신뢰도
범용성	완성된 장치는 다른 곳에는 사용할 수 없음	프로그램 하는대로 어떠한 제어에도 사용할 수 있음
장치의 확장성	추가, 개조를 요하므로 곤란	능력까지는 자유롭게 확장할 수 있음
보수의 용이함	정기 점검과 수명 부품의 교환을 요함	유닛 교환만으로 수리가 가능
기술적인 이해도	많이 보급되어 이해하고 사람이 많고, 간단해서 알기 쉬움	하드웨어의 내용은 전혀 모름
장치의 크기	일반적으로 대형	복잡, 고도의 제어 경우에도 크지 않음
설계, 제작 기간	많은 도면을 필요로 하고, 부품 수배, 조립 시험에 기간이 걸림	복잡한 제어라도 설계가 용이하여, 제작에 시간이 걸리지 않음
경제성에서 본 장치의 규모 (릴레이 갯수 환산)	10개 이하	10개 이상

다. PLC의 구조

PLC 안에는 다수의 입출력 릴레이나 타이머, 카운터가 내장되어 있어, 모두 무수한 a 접점과 b 접점을 갖고 있다.

(1) 입력 릴레이 : X

PLC가 외부의 압력 스위치에서 신호를 받는 창구가 입력 릴레이로, 요소 기호는 X를 사용한다. PLC의 규모에 따른 점수의 입력 릴레이가 내장되어 있다.

(2) 출력 릴레이 : Y

PLC가 외부의 부하를 구동하는 창구가 출력 릴레이로 요소 기호는 Y를 사용한다. PLC 내에는 다수의 출력 릴레이가 있다.

(3) 카운터 : C

PLC 내에는 다수의 카운터가 내장되어 있다. 요소 기호는 C를 사용한다.

(4) 타이머 : T

PLC 내에는 다수의 타이머가 있고, 요소 기호는 T를 사용한다.

(5) 출력 릴레이의 외부 출력용 접점(1개의 a접점) :

PLC의 규모에 따른 점수의 출력 접점이 내장되어 있다.

(6) 보조 릴레이: M

PLC 내에는 다수의 보조 릴레이가 있고, 요소 기호는 M을 사용한다.

라. 프로그램의 구성

다수의 명령이 모여 프로그램을 구성한다. 이들 명령에는 순번으로 번호를 붙이고 이것을 스텝 번호라고 한다(스텝 번호는 자동적으로 관리되어 있다). '명령 = 명령어 + 요소 번호'로 구성된다. 단, 요소 번호를 수반하지 않는 명령도 있다. 또 명령어를 그저 명령이라고 하는 일도 있다. 대체로 PLC에서는 0~1,999 스텝까지 합계 2,000 스텝의 프로그램을 할 수가 있다(0~7,999 스텝까지 늘릴 수도 있다). 이것을 프로그램 용량이라고 하는데, 명령은 0 스텝부터 END 명령까지가 반복해서 실행된다. 이것을 사이클릭 연산이라고 하고, 한 바퀴 도는데 필요한 시간을 연산주기(스캔타임)라고 한다. 이것은 통산적으로 약 10ms 정도의 값이 된다(2,000 스텝인 경우).

마. 프로그램 메모리의 종류

다수의 명령을 축적해 두기 위한 기억부를 프로그램 메모리라고 한다. 프로그램 메모리에는 다음의 3종류가 있다.

(1) RAM + 배터리

대체로 PLC에는 2,000 스텝분의 RAM과, 이것을 정전 유지하기 위한 배터리가 내장되어 있는데, 내장 RAM 대신에 8,000 스텝의 RAM카세트를 장착할 수도 있다. RAM 메모리는 기록, 판독을 손쉽게 행할 수 있으므로 프로그램 변경이 많은 시운전 단계의 사용에 적당하다.

(2) EPROM

기록이나 소거에 특별한 장치(ROM 라이터나 Eraser)를 필요로 하지만, 배터리가 없더라도 기억하고 있으므로 매우 편리하다. 보통의 PLC에서는 대체로 8,000 스텝분의 EPROM 카세트로 되어 있어 카세트의 교환에 의해 손쉽게 PLC의 동작을 변경할 수 있다.

(3) EEPROM

기록이나 소거에 특별한 장치를 필요로 하지 않고, 그 위에 배터리가 없어도 기억을 유지하고 있다. 4,000 스텝 또는 8,000 스텝분의 카세트 방식으로 되어 있어 EPROM보다 어느 정도 값이 비싸지만 RAM 과 EPROM의 특징을 겸비하고 있다.

바. 프로그램 입력 수단

(1) 프로그래밍 패널(HPP : Handy Programming Panel)

PLC 내의 배선을 키조작으로 행하기 위한 가장 간단한 도구가 휴대용 프로그래밍 패널(HPP)이다. 이 HPP는 리모트 케이블로 PLC에 접속 된다. 또 이 HPP는 단지 PLC 내의 배선을 행하는 것만이 아니고, 운전 상태에 있는 PLC 내부의 동작을 점검하는 모니터, 테스트 기능도 갖추고 있다. 그 외에 HPP의 상부에 장착해서 이용하는 ROM 라이터 모듈이 있어, EPROM이나 EEPROM 카세트에 대해 프로그램의 기록이나 판독을 행할 수 있다. 이와 함께 PLC 없이 오프라인 프로그램을 행하기 위한 전원 어댑터 등도 있다.

(2) 그래픽 프로그래밍 패널(GPP / PHP)

GPP는 CRT 화면에 의한 그래픽 프로그래밍 패널, PHP는 플라스마 화면에 의한 핸디 그래픽 프로그래밍 패널이다. PLC가 없더라도 GPP나 PHP 단품으로 프로그램이나 명령 등을 기록할 수 있다. 작성된 프로그램이나 명령은 손쉽게 PLC에 전송된다

사. Feeder 제어용 PLC의 선정

본 과제에서 수행해야 하는 제어 시스템은 컨베이어 1 개만의 제어를 생각하면 매

우 단순하다. 즉 2 개의 센서로부터 입력되는 신호와 유리관 내경측정 시스템으로부터 오는 모터의 ON/OFF 신호를 받아 feeding 실린더 구동모터를 적절히 ON/OFF를 하는 제어 시스템이다. 그러나 실제 제조 공정에는 여러 대의 컨베이어가 설치되어 있으므로 차후의 시스템 확장을 고려하여 릴레이 제어반이 아닌 PLC를 컨트롤러로 채택하게 되었다.

여기서 채택한 PLC는 (주)금성계전의 초소형, 고기능 PLC인 K30 series이다. 이 PLC는 PLC 본체(모델 K32P-DR)와 주변기기로 K시리즈 공용 handy loader(model KLD-100)으로 구성되어 있으며, 입출력은 DC IN 16점, Relay OUT 16점으로 구성되어 있다. 이 PLC 시스템의 성능사양 및 입출력 사양은 <표 3-1>과 <표 3-2>와 같다.

2. 센서 (Sensor)

일반적으로 공장자동화 및 생산라인의 자동화에서 위치의 검출이나 제어, 검출체의 유무 및 크기, 불량품 여부 등의 검출에 널리 쓰이고 있는 센서는 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 마이크로 스위치(micro switch) 또는 리미트 스위치(limit switch)
- ② 근접 스위치(proximity switch)
- ③ 광전센서(opto-electric sensor)
- ④ 초음파센서(ultrasonic sensor)

이들 각 센서들은 나름대의 장단점을 가지고 있어서 적용 범위에 따라 적절히 선택되어야 한다. 지금부터의 각 센서의 특성 및 장단점에 대해 검토하기로 한다.

가. 마이크로 스위치

이것은 기계 가동부의 이동 위치검출을 위해 널리 사용되고 있는 접점이 있는 기계적 스위치이며 리미트 스위치로도 불리고 있다. 이것은 기계적인 접점을 가지고

항 목		사 양		
제 어 방 식		Stored 프로그램, 반복연산		
입출력제어방식		일괄 처리방식		
명 령 어	스퀀스명령	14종류		
	기본 명령	15종류		
	응용 명령	147종류		
처리속도(시퀀스명령)		6.06 μ S/스텝		
프로그램용량		1.5K 스텝(1536 스텝)		
데 이 타 종 류	P	입출력 P000~P037(48점)	1Card=8점	
	M	보조 Relay M000~M637(512점)		
	K	Keep Relay K000~K317(256점)		
	F	특수 Relay F000~F157(128점)		
	T	100ms 타이머 T000~T095(96점)	명령어에 따라 용도가 다양	
		10ms 타이머 T096~T127(32점)		
	C	카운터 C000~C127(128점)		
	S	스텝 컨트롤러 S00~S31(32조×100 스텝)		
D	데이터(8bit) 레지스터 D000~D255(256레지스터)			
고속 카운터		고속카운터 1점, 2K BPS		
카운터 종류		Up, Down, Up-Down, Ring 카운터		
타 이 머 종 류		On-Delay, Off-Delay, 적산, Monostable, Retriggerable 타이머		
기 타		컴퓨터링크 기능, 9600bps		
정 수	10진정수	8비트 명령 0~255		
		16비트 명령 0~65535		
	16진정수	8비트 명령 0~FFH		
		16비트 명령 0~FFFFH		

<표 3-1> PLC 기본 사양

(Table 3-1 Basic specification of PLC)

입출력 사양

항목	사양 형식	입 력 부			출 력 부	
		-DR -DS -DT	-AR -AS	-DR -AR	-DR -AR	-DT
정 격 전 압		DC 24V	AC 110V	최대 AC 250V	AC 85~242V	DC 24V
ON보증전압		19V 이하	80V 이하	-	-	-
OFF보증전압		6V 이상	30V 이상	-	-	-
입 력 전 류		10mA/점	10mA/점	-	-	-
출 력 전 류		-	-	2A/점, 5A/8점	1A/점, 3A/8점	-
극 성		무극성	-	-	-	-
개 폐 소 자		-	-	Relay	Triac	Transistor
OFF시 누설전류		-	-	-	5mA 이하	1mA 이하
OFF → ON 응답시간		10mS이하	8mS이하	11mS이하	1mS이하	1mS이하
ON → OFF 응답시간		15mS이하	30mS이하	11mS이하	10mS이하	1mS이하
입출력신호표시		LED에 의한 숫자표시				
절 연 내 압		AC 1500V 1분간				
NOISE		1500Vp-p 1μS(Noise Simulator)				

<표 3-2> PLC 입출력 사양

(Table 3-2 Input/output specification of PLC)

있으므로 수명에 한계가 있고, 고속화가 불가능하며, 스위치가 동작하려면 어느 정도의 힘을 필요로 하는 단점이 있다. 마이크로 스위치는 그 형상에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 힌지형
- 힌지 레버형
- 롤러 레버형
- 힌지 푸시버튼형

이 마이크로 스위치를 응용하면 다음과 같은 용도에 사용할 수 있다.

- 원심스위치 : 모터 등의 회전 축에 설치되어 일정속도 이상이 되면 작동되는 스위치
- 액면스위치 : 액면이 일정한 높이 이상되면 작동되는 스위치
- 온도스위치 : 온도가 일정한 값이 되면 작동하는 스위치
- 리드스위치 : 자석이 있는 영역에 근접되면 작동하는 스위치

나. 근접 스위치

근접 스위치란 종래의 마이크로 스위치 및 리미트 스위치의 기계적인 접점을 무접촉화하여 검출 대상물의 유무를 무접촉으로 검출하는 스위치이다. 종전의 기계적인 스위치와 비교하면 고속화, 긴 수명, 고신뢰성 등의 잇점이 있고, 그 동작 원리에는 고주파 발진형, 정전용량형 등의 종류로 분류되며 많은 종류의 근접 스위치가 사용 용도에 알맞게 개발되어 시판되고 있다. 근접 스위치의 특징은 다음과 같다.

- 출력을 생성시킬 때 접촉시킬 필요가 없고, 힘을 가할 필요가 없다.
- 외부 충격에 오동작이 없다.
- 내부에는 반도체 소자로 구성되어 있어 가동부분이 없고 수명이 길며 보수가

불필요하다.

- 주위 환경(먼지, 진동, 기름)의 영향을 거의 받지 않는다.

근접 스위치의 응용 분야는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 수송과 컨베이어 시스템
- 자동창고 및 물류 시스템
- 포장기계
- 플라스틱 가공기계
- 공작기계
- 목공기계
- 섬유기계
- 자동화 산업
- 제어 및 자동화 장치
- 엘리베이터

(1) 근접 스위치의 동작원리

(가) 고주파 발진형 근접 스위치(inductive proximity switch)

고주파 발진형 근접 스위치는 검출면 내부에 검출 코일이 있으며 이 코일의 가까이 금속체가 접근 또는 존재하면 전자유도 작용으로 인하여 금속체 내에 유도전류가 흘러 검출코일의 인덕턴스의 손실이 발생한다. 이것을 검출하여 출력신호를 발생시키는 센서이므로 금속체의 검출에 사용된다.

(나) 정전용량형 근접 스위치(capacitive proximity switch)

정전용량형 근접 스위치에는 검출부에 유도전극을 가지고 있고, 이 전극과 대지

사이에 물체가 접근 또는 존재할 때는 검출부의 유도 전극과 대지 간의 정전용량이 크게 변하여 그 변화량을 검출하여 출력신호를 발생시키는 형태이다. 검출물체는 금속체를 포함한 나무, 종이, 플라스틱, 물 등이며 공기와 스티로폴을 제외한 모든 물체의 검출이 가능하다.

(2) 근접 스위치 선정법

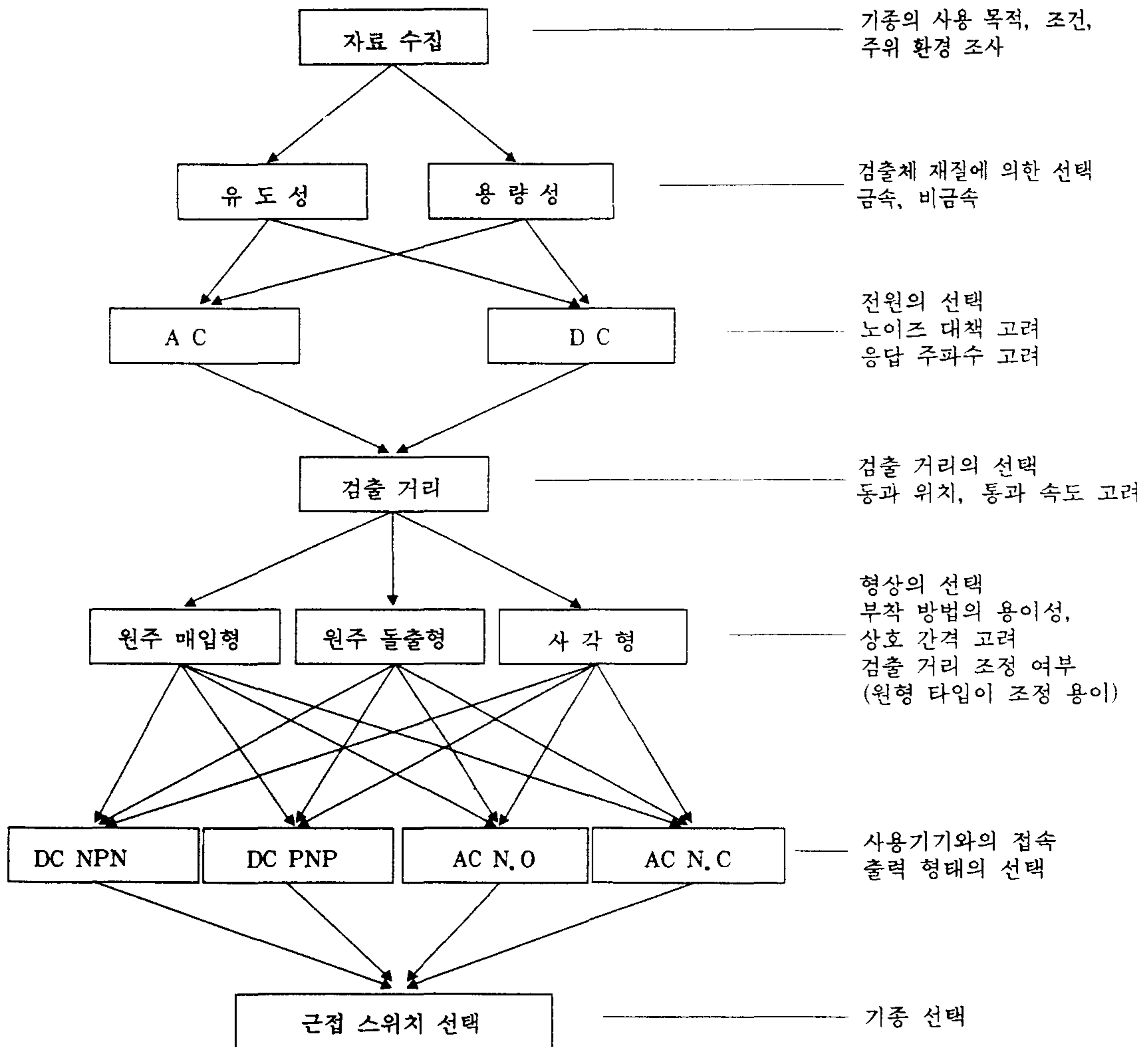
기종의 선정은 사용목적과 사용장소에서의 조건 및 제어장치의 연관성을 고려하여야 한다(<표 3-3> 참조).

(가) 검출체 재질에 의한 선택

- 유도성 : 자성 금속체 종류를 검출하려면 고주파 발진 유도성 근접 스위치를 선택한다. 유도성 검출 스위치는 검출물에 비금속이 묻어 있어도 오동작을 하지 않는다.
- 용량성 : 유전체 종류를 검출하려면 용량성 근접 스위치를 선택한다. 이것은 검출면에 오물이 묻어 있으면 오동작을 하므로 주의해야 한다.

(나) 전원에 의한 선택

- 직류형 : DC형은 제품에 따라 차이가 있으나 대체로 10~30 volt까지 동작한다. 최근에는 PLC 등에 DC 형을 많이 사용하고 있으며, DC 형은 AC 형에 비하여 응답주파수가 높지만 경우에 따라서 전원을 따로 공급해야 하는 단점이 있다.
- 교류형 : AC 형은 대체로 90~250 volt까지 동작하는 free voltage 근접 스위치가 있다. AC 형은 2선식이므로 릴레이 또는 마그네트 부하를 직접 연결해서 사용이 가능하지만 DC 형에 비하여 응답 주파수가 낮다.



〈표 3-3〉 근접스위치 선정 방법

(Table 3-3 Selection of proximity switch)

(다) 검출거리에 의한 선택

사용 목적에 알맞은 거리를 선택하며 일반적으로 원주형인 경우에는 근접 스위치 직경의 대략 1/2이 검출 거리가 된다. 검출 거리가 길면 설치상 간편한 점도 있지만 응답 주파수가 떨어지므로 유의해야 한다. 검출 거리가 길 경우 주위 금속의 영향을 고려할 필요가 있다.

(라) 형상에 의한 선택

- 매입형 : 검출면이 금속 외장과 동일하며 주위 금속의 영향을 적게 받는다.
- 돌출형 : 검출면이 금속 외장보다 돌출하여 사용되며 동일직경의 매입형보다 검출거리를 길게 얻을 수 있다. (단, 주위 금속의 영향을 많이 받는다.)

(마) 출력 형태에 의한 선택

- DC 형 : DC 형의 경우 유니버살(전압, 전류공용) NPN, PNP 출력형이 있다.
- AC 형 : AC 형의 경우 SCR제어 방식으로 NO(Normal Open)형, NC(Normal Close)형이 있다.

(바) 노이즈 대책에 의한 선택

- 노이즈 : 배선의 길이가 길어질 경우나 설치 라인에 노이즈가 많을 경우, AC 형 근접 스위치가 DC형 근접 스위치보다 노이즈에 강한 장점이 있으므로 이 점을 잘 고려해야 한다.

(3) 근접스위치의 출력 형식

- 직류형 근접 스위치
 - 유니버샬 NPN출력
 - 유니버샬 PNP출력
 - 개폐 출력(Open Collector)
- 교류형 근접 스위치

(4) 근접 스위치 일반적 특성

(가) 검출 거리의 표시법

근접 스위치의 검출거리 측정에 있어서는 표준 위치를 찾는 방법과 검출시 접근 방향을 다음과 같이 결정한다.

- 수직 검출거리 : 검출 물체를 기준축 방향(검출면에 수직)에 접근시켜 기준면에서부터 측정한 거리까지 표시한다.
- 수평 검출거리 : 검출 물체를 기준면(검출면)과 평행하게 이동시키고 기준축부터 측정한 거리까지 표시한다. 이 거리는 통과 위치에 따라 변하는 것에 대해 동작 점 궤적으로 하여 표시된다.

(나) 검출 물체의 위치 설정

근접 스위치의 동작거리는 검출체가 접근하여 근접 스위치가 동작할 때의 검출면과 검출체와의 거리를 말한다. 동작거리는 온도 변화, 전압 변동 등 주위 조건의 변화에 따라 다소 변동하기 때문에 근접 스위치를 안정적으로 동작시키기 위해서는 검출체의 최대 근접 스위치를 동작거리보다도 짧게 할 필요가 있으며 이것을 설정거리라 한다. 표준 검출체를 사용할 경우 설정 거리는 최대 동작 거리의 70% 이하로 해야 오동작을 피할 수 있다.

(다) 매입(shield)/ 돌출(non-shield)형의 근접 스위치 부착 방법

근접 스위치에는 매입, 돌출형이 있다. 돌출형은 금속내에 둘러 싸여 사용되지 못하고 외부로부터의 자계의 영향을 받기 쉬우나 동작 거리가 매입형보다 긴 거리의 검출 성능을 가지고 있다.

원주 금속형태의 매입형은 검출면이 금속 외장과 동일면이며, 돌출형은 검출면이 금속 외장보다 돌출하여 있는 것으로 외전상 용이하게 판별된다.

(5) 접속방법

(가) 직류 출력형 근접스위치 접속

- AND(직렬) 접속 : 직류 출력형 근접 스위치 AND 접속하면 접속된 근접 스위치가 모두 동작하여야 부하가 작동한다. AND 접속시 근접 스위치의 수는 근접 스위치가 ON 되었을 때 포화 전압의 합이 근접 스위치의 동작 전압과 부하 구동 전압에 영향을 미치지 않을 정도까지 접속이 가능하며 PNP 출력, NPN 출력형을 혼합해서 사용할 수는 없다.
- OR(병렬) 접속 : 직류 출력형 근접 스위치를 OR 접속하면 여러 개의 근접 스위치 중 1개만 동작해도 부하가 작동한다. OR 회로로 접속하여 사용할 수 있는 갯수는 접속된 근접 스위치의 누설 전류합이 부하에 영향을 미치지 않는 정도까지 다수를 연결하여 사용할 수가 있으며 NPN 출력, PNP 출력형을 혼합해서 사용할 수는 없다.

(나) 교류 출력형 근접 스위치 접속

- AND(직렬) 접속 : 교류 출력형 근접 스위치는 직렬 접속으로하여 사용할 수가 없다. 2개의 근접 스위치를 직렬로 하여 AND 회로로 사용할 경우는 다음과 같은 점에 주의해야 한다. 전원전압 AC 100V일 경우 블리더 저항이 없으면 AND 동작이 되지 않고, 전원전압이 AC 200V일 때에는 블리더 저항이 불필요하다.
- OR(병렬) 접속 : 2개 이상의 근접 스위치를 병렬 사용한다.

다. 광전센서

(1) 개요

일반적으로 FA(Factory Automation:공장 자동화)가 이루어진 각종 제어장치는 눈의 역할을 하는 검출부, 두뇌에 해당하는 제어부, 그리고 손과 발처럼 움직이는 조작부의 세 부분으로 구성된다. 검출용 스위치는 이런 동작을 하는 자동제어 장치에서 '검출부'를 구성하는 중요한 요소를 이루며, 빛을 매체로 하여 응용한 것이 광전센서이다. 따라서 검출용 스위치, 특히 무접촉 동작을 하는 광전센서는 리미트 스위치로 대표되는 접촉 스위치와 비교하면 인간의 눈과 같은 역할을 하는 검출기라고 말할 수 있다. 그리고 광전센서는 물체의 유무 혹은 통과 여부도 간단히 검출에서부터 물체의 대소 분별, 형태 판단, 색깔 판단 등 고도의 검출을 할 수 있으므로, 자동제어, 계측, 품질관리 등 모든 산업분야에 활용되고 있다. 광전센서는 검출 형태에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다.

- 투과형 : 이 광전센서는 투광기와 수광기로 구성되며, 광축이 일치하도록 일직선상에 마주 향하게 설치된다. 광축이 일치되어 있기 때문에 투광기로부터 나온 빛은 항상 수광기에 입사되고, 검출체가 접근하여 이 빛을 차단하면 검출 신호가 발생한다.
- 거울 반사형 : 투광기와 수광기가 하나의 케이스에서 광축이 거의 평행으로

되어 있으며 수광기와 투광기의 간격도 비교적 가깝다. 투광기로부터 나온 광선은 반사경에 반사되어 수광기로 입사되며 검출 물체가 접근하여 광선을 차단하면 검출신호가 발생한다.

- 직접 반사형 : 거울 반사형처럼 투광기와 수광기가 하나의 케이스에 있으며 투광기로부터 나온 광선은 검출 물체에 직접 부딪혀 그 표면에 반사하고 수광기는 그 반사광을 받아 출력 신호를 발생한다.

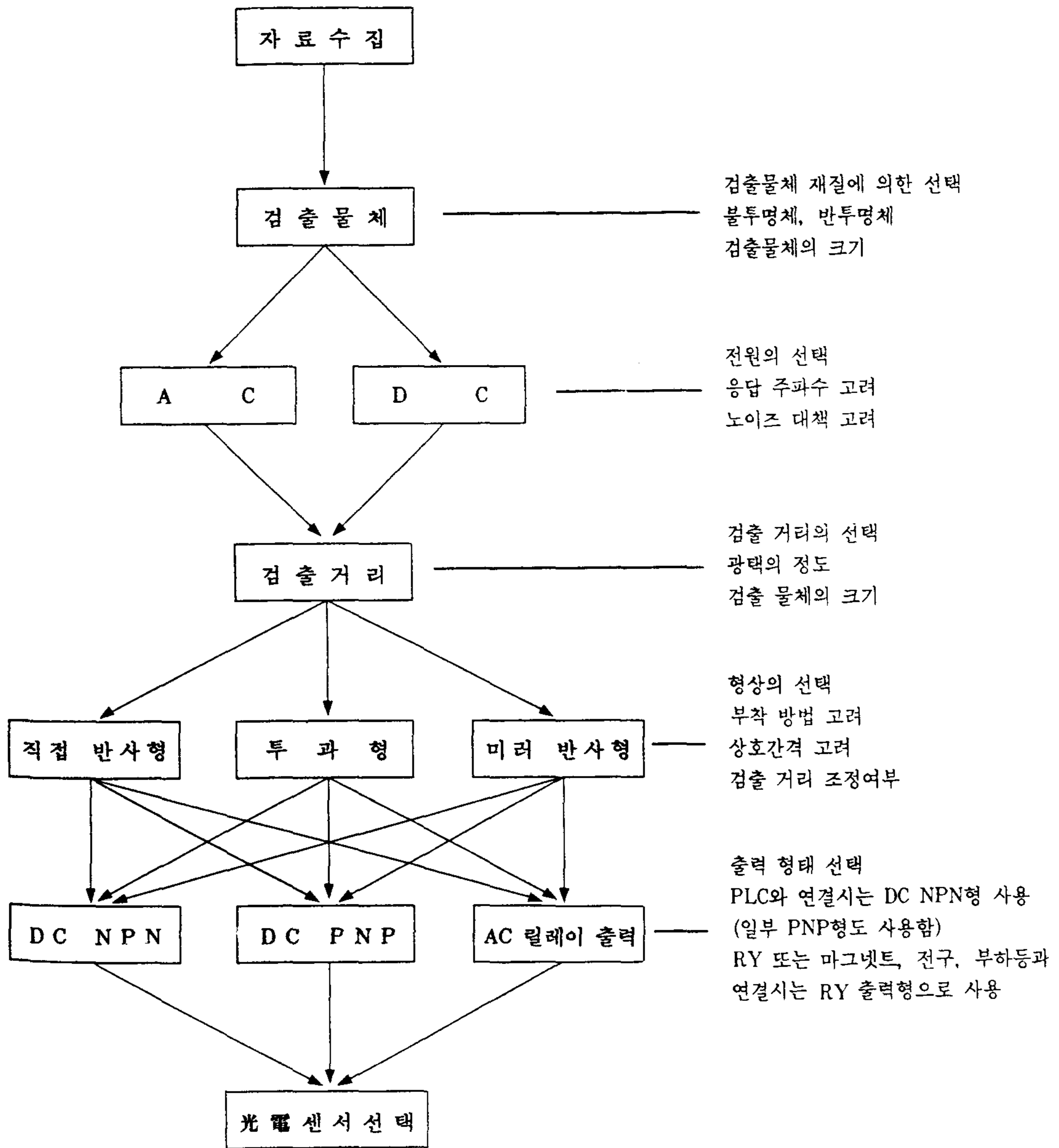
(2) 광전 센서의 선정법(<표 3-4> 참조)

(가) 전원에 의한 선택

- DC 형 : DC 형은 대체로 10~30V 범위에서 동작한다. DC 형은 AC 형에 비하여 응답이 빠르지만 경우에 따라서 전원을 따로 공급해야 하는 단점이 있다.
- AC 형 : AC 형은 12~24V, AC24~240V 범위에서 동작하는 free voltage 방식이며, AC 형은 릴레이 출력 형태이므로 DC 형에 비하여 응답 주파수가 낮다.

(나) 검출 형태에 의한 선택

- 투과형 : 서로 마주 보는 투광부, 수광부 간의 광을 검출 물체가 차단했을때 검출하는 것이다. 검출 거리와 검출 정도가 높고 작업 환경에도 강하나 투명 물체를 검출하는 데에는 어려움이 있다.
- 거울 반사형 : 투광기에서 보내어진 광을 거울에 반사되어 돌아와 수광기에 감지되고 여기에 거울보다 반사율이 낮은 물체를 센서와 거울간의 광을 차단함으로써 검출하는 방식이다. 광축 맞춤이 쉬우나 반사율이 높은 물체는 검출하는데 어려움이 있다.
- 직접 반사형 :



<표 3-4> 광전센서 선정 방법

(Table 3-4 Selection of opto-sensor)

- ① 확산 반사형 : 거울 반사형과 달리 투광부에서 검출 물체에 광을 비추어 물체에서의 반사광을 수광부에서 받아 검출하는 방식으로 광축 조정 및 설치가 용이하나 검출 거리가 짧다.
- ② 협시계 반사형 : 렌즈의 특수 효과로 검출면이 매우 협소하며 작은 물체를 검출할 수 있으나 설정 거리가 짧다.

(다) 구성에 의한 선택

- 앰프 분리형 센서 : 투광, 수광 소자만을 앰프 유니트로부터 분리하고 있으므로 검출부를 작게 할 수 있고, 감도 조정을 먼 장소로부터 할 수 있다. 헤드로부터의 신호를 배선으로 앰프까지 연결해야 하므로 앰프 내장형에 비해 노이즈에 약하며 전용 앰프 유니트가 필요하다.
- 앰프 내장형 센서 : 앰프 분리형에 비해 노이즈가 강하다. 비교적 부피가 작고 수명 부품을 내장하고 있지 않으므로 고신뢰, 장수명이 보장된다. 콘트롤 유니트는 반드시 필요하지 않고 시스템 전원과 외부 릴레이를 증설하는 것만으로 사용이 가능하므로 경제적으로 유리하다.
- 전원 내장형 센서 : 빔 센서에 필요한 기능을 전부 내장하고 있으므로 상용 전원만으로 제어 출력을 얻을 수 있다. 릴레이 내장형의 제품은 릴레이 수명에 주의하고 외형이 큰 것이 단점이다.

(라) 출력 형태에 의한 선택

- DC 형 : DC 형의 경우 유니버설(전압, 전류 공용) NPN, PNP 출력형과 open collector 출력형이다.
- AC 형 : AC 형의 경우 릴레이 출력을 얻을 수 있고, Dark On, Light On을 SW에 의하여 출력을 선택할 수 있다.

(3) 광전 센서의 일반적인 특징

- 무접촉으로 검출할 수 있다.
- 모든 물체가 검출 대상이다.
- 장거리 검출이 가능
- 응답 속도가 빠르다.
- 판별력이 뛰어나다.
- 검출 범위를 규제하기 쉽다.
- 자기와 진동의 영향을 받지 않는다.
- 색의 농담 검출이 가능하다.

(4) 광원에 사용되는 빛의 종류

(가) 변조광

일정한 시간마다 일정한 변조폭의 빛을 방사하는 것으로 직류광 또는 맥류광을 전기적으로 혹은 기계적으로 단속시킨 빛을 총칭하여 변조광이라 일컫는다. 변조 점등 방식을 사용한 광전 센서는 변조광형 광전센서라 부르며 현재 가장 많이 사용되고 있다.

(나) 직류광

발열 전구를 배터리나 정전압 전원 등의 직류전원으로 점등시킬 때 얻은 빛으로 방사 조도는 일정하다. 이 직류광 점등방식은 발열 때문에 발광 다이오드로 흐르는 전류가 제한되므로, 초고속 응답을 필요한 경우나 검출 거리가 짧고 외광의 영향을 받지 않는 기기 내장용 등에 사용된다.

(다) 맥류광

백열 전구를 일반 상용의 교류전원으로 점등시킬 때 얻어지는 빛이다. 이것은 일정한 방사 조도를 가지며, 형광등이나 수은등이 백열 전구보다 더 큰 맥류 성분을 갖는다.

이처럼 빛의 종류는 크게 3가지가 있지만 광전센서에 가장 적합한 빛은 변조광이다. 이 변조광은 주기 및 변조폭을 IC화 된 직접회로에 의해 자유스럽게 변하기 때문에 다른 외란광과의 구별하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 반면에 직류광은 외란광에는 약하지만 백열 전구를 사용할 경우 방사 조도가 높고 분해능이 뛰어나기 때문에 고성능, 고속 응답이 요구되는 검출에 사용된다.

라. 초음파 센서

에너지가 모든 방향으로 흩어지는 저주파 음파와는 달리 주파수 16KHz 이상의 고주파 음파, 즉 초음파는 음파를 집중시킬 수 있다. 실제로 산업에 많이 응용되고 있는 초음파 센서는 100 KHz 이상의 집중된 초음파를 발생시킬 수 있는 피에조초음파 변환기(piezoceramic ultrasonic transducer)를 내장하여 비교적 먼 거리에 있는 물체를 그 물체의 형상(고체, 액체, 과립 등)이나, 색깔 구조에 관계없이 정확하게 감지할 수 있다. 센서 검출부에 있는 변환기는 발생 모드에서 초음파를 발생시킨 뒤 자동적으로 수신 모드로 돌아가 극히 짧은 시간 후(수 ms) 감지 물체에 부딪혀 되돌아오는 반사파를 수신한다. 이 과정은 자동적으로 계속 반복되는데 반사파가 수신되는 시간은 센서와 감지 물체 사이의 거리에 비례하고 센서 내부의 전자회로에서는 사용자가 설정해 놓은 감지거리와 실제거리를 비교하여 출력신호를 발생시킨다.

마. 유리관 검출 방법

앞에서 언급한 각종 센서들을 검토한 결과 유리관의 검출에 가장 적절한 센서로 용량형 근접 스위치(capacitive proximity swich)가 선정되었다. 이 근접스위치는

모든 자성체 및 거의 모든 비자성체를 함께 검출할 수 있으며, 유리관의 검출에도 적합하다.

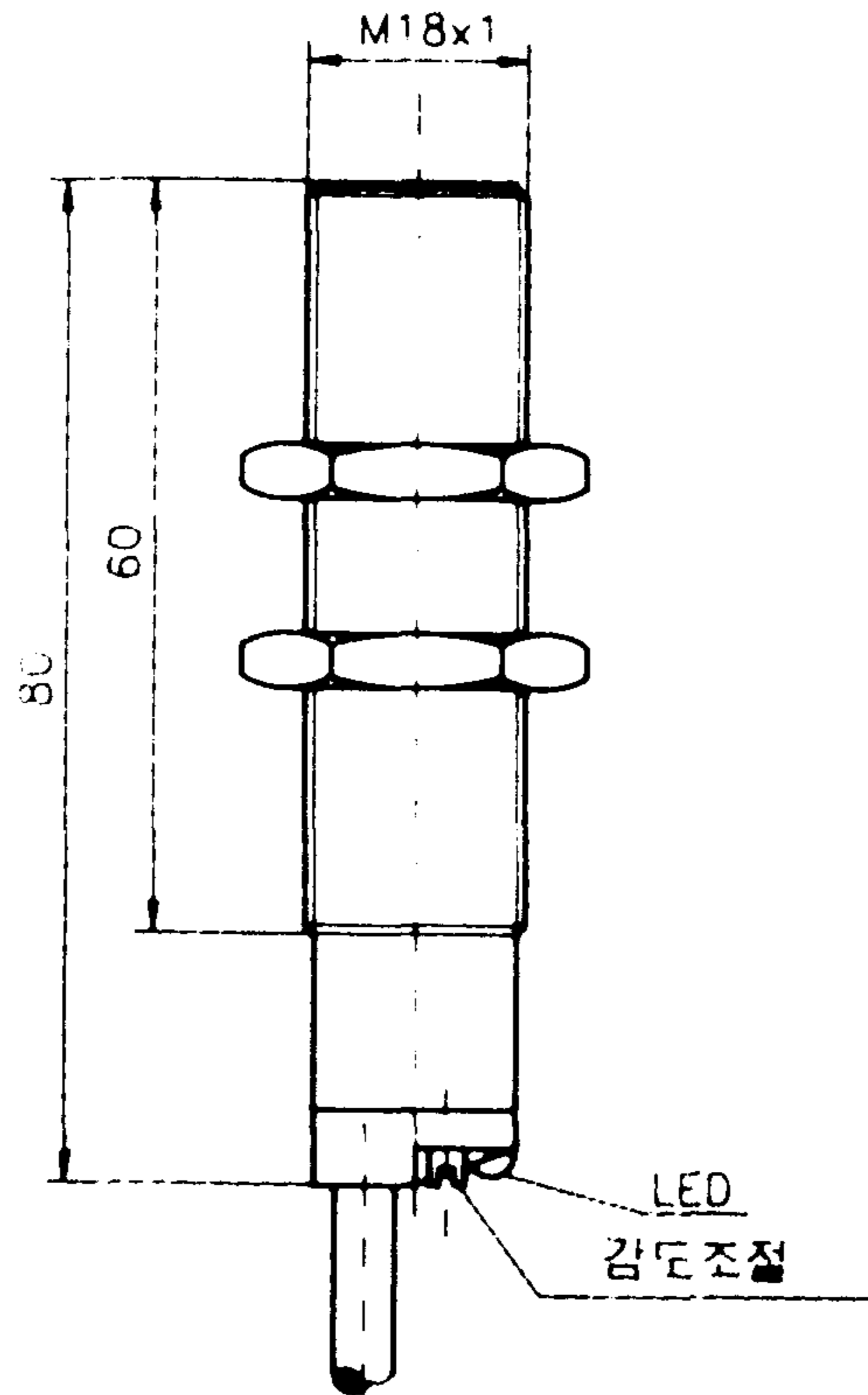
이 용량성 근접센서를 생산하는 전문회사가 전세계에 걸쳐 여러 개 있으나 여기서는 독일 BALLUFF 사의 정전용량 보상식 근접센서(모델 BCS 018-PS-1-Y)로 결정하였다. 이 센서는 센서부 직경이 18mm이고 고정방식은 non flush형식이다. 또한 정격 감지거리는 10mm, 동작보장범위는 0~8 mm, 동작주파수는 최대 250 Hz, 그리고 DC 3선식 PNP 형 normally open type이다. 이때 감지거리는 표준 감지물체로 철을 사용하였을 경우이며, 유리를 감지 물체로 사용할 때에는 정정상수가 0.5정도 이다. 이 BALLUFF 사의 정전용량 보상식 센서의 치수와 형상이 <그림 3-6>에 나타나 있는데 이 센서의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 출력 증폭회로(amplifier) 내장
- 감도조절기(potentiometer) 부착
- 단락 보호회로 내장

3. Feeder 구동 모터

<그림 3-4>의 최종 설계안에서 glass tube를 feeding하는데 캠축과 feeding 실린더가 사용된다. 따라서 이 두 축을 적절히 회전시켜 주는 동력원, 즉 모터가 필요하다. 이 구동모터의 선정에는 다음과 같은 조건들이 고려되어야 한다.

- 회전속도의 안정성
- 회전속도의 가변성
- 적절한 구동력
- 저소음, 저발열
- 긴 수명
- 설치의 편리성
- 경제성



<그림 3-6> 정전용량보상식 센서의 형상 및 치수
 (Fig. 3-6 Dimension of capacitive proximity switch)

위의 조건들을 근거로 하여 일본 Oriental Motor 사의 AC 모터 중에서 speed control 이 가능한 Unit Type US425-401 모터와 감속기어 4GN25K, 모터 마운트 PALAN을 선정 하였다. 선정된 모터의 사양을 보면, 최대출력 25W, 전원 단상 100V (50/60 Hz), 속도범위 90~1700 RPM, 기동토크 1100 gcm 등이며, 감속기어의 감속비는 1/25이다. 따라서 구동모터 시스템의 최종 가변속도 범위는 3.6~68 RPM이 된다. 이 정도의 가변 속도 범위는 본 feeder 시스템의 작동 영역을 충분히 만족한다. <그림 3-7>에서 <그림3-10>에 모터의 토크 특성, 모터와 감속기어의 치수, 제어 유니트의 제원, 그리고 모터 마운트의 치수가 나타나 있다.

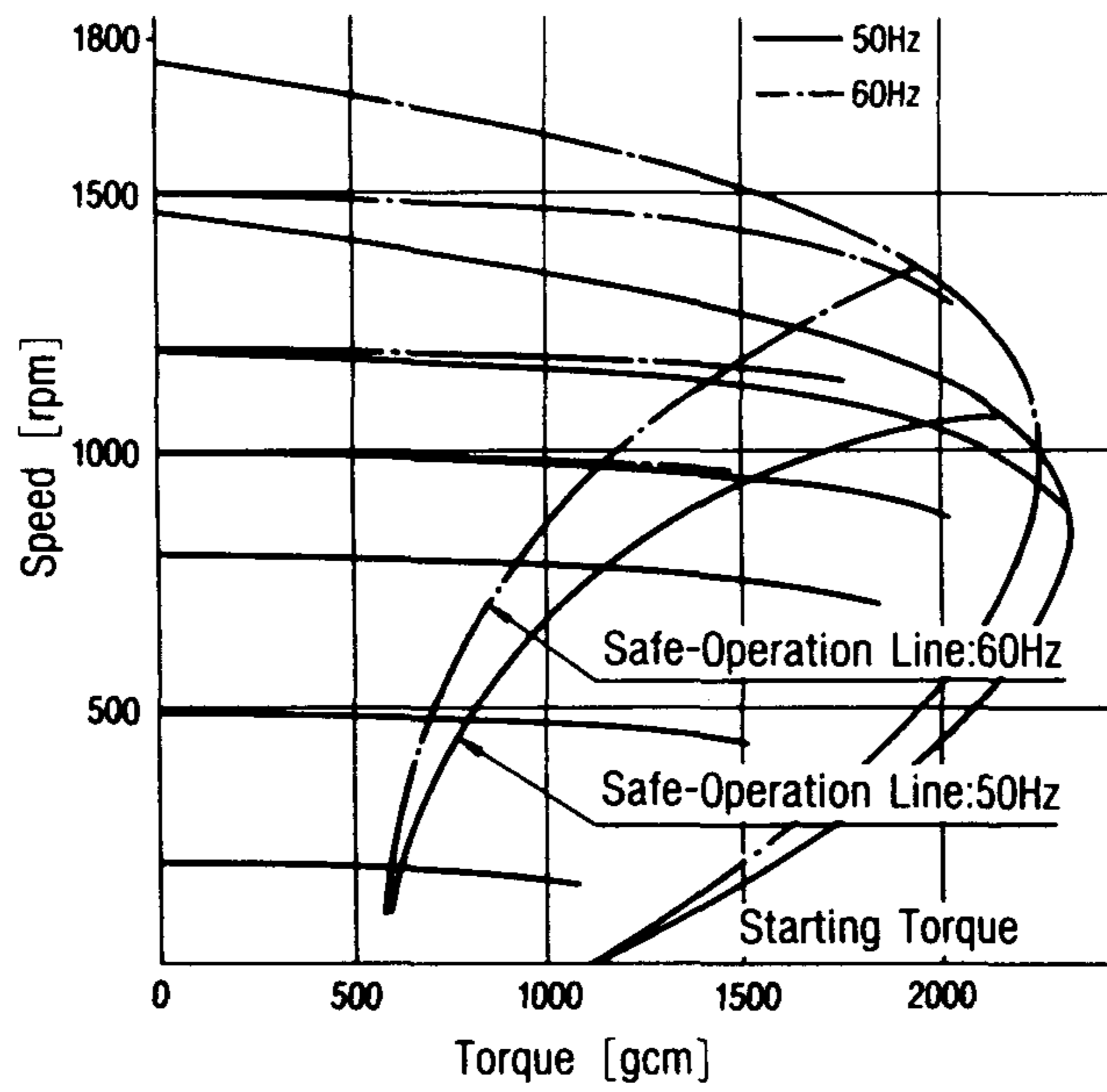
4. Feeder의 제어 시스템

최종 제작 완료된 feeder를 생산라인에 설치하여 시험 가동을 하기 위해서는 앞절 끝부분에서 언급한 바와 같은 feedback 제어시스템이 반드시 필요하다. 공정상 제작된 feeder는 유리관 외경측정 시스템의 컨베이어에 장착되어 컨베이어 벨트 위로 유리관을 균일하게 배치하는 역할을 하게 된다. 외경측정은 LVDT를 이용하여 이루어지고, 공정의 특성상 컨베이어에서 공급되는 유리관의 양이 많으므로 이 측정 시스템은 컨베이어를 ON/OFF 시킴으로써 측정 시스템으로 공급되는 유리관의 양을 조절한다.

이와같은 공정의 흐름에 따라 feeder의 구동모터도 적절히 제어될 필요가 있다. 컨베이어가 외경측정시스템에 의하여 정지되었을 때 feeder의 구동모터도 반드시 정지되어야 한다. 앞 절에서도 언급했듯이 감속봉 상류의 유리관의 양이 기준치를 초과할 경우에도 구동모터가 정지해야 하는데, 이를 위하여 유리관과 같은 비금속도 쉽게 검출할 수 있는 용량형 근접센서(capacitance type proximity sensor)를 이용하였다. 센서와 외경측정 시스템으로부터의 ON/OFF 신호는 공정제어용 소형 PLC(programmable logic controller)로 입력되어 구동모터를 제어하였다.

본 과제에서 채택된 PLC, 센서, 구동모터에 대해서는 앞에서 자세히 언급하였다. 이들 제어 요소들을 조합하여 feeder 제어시스템을 구성하였다. 센서는 미끄럼판과 감속봉사이의 공간, 즉 두 측벽 근처에 2개가 설치되어 있어서 감속봉 상류에 유리관

US425-401, US425-402



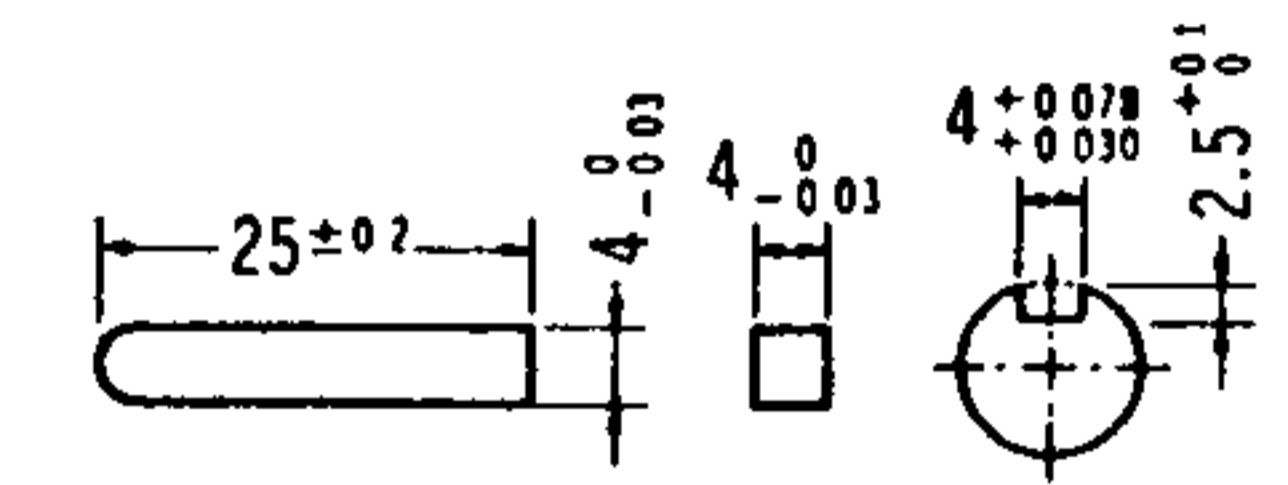
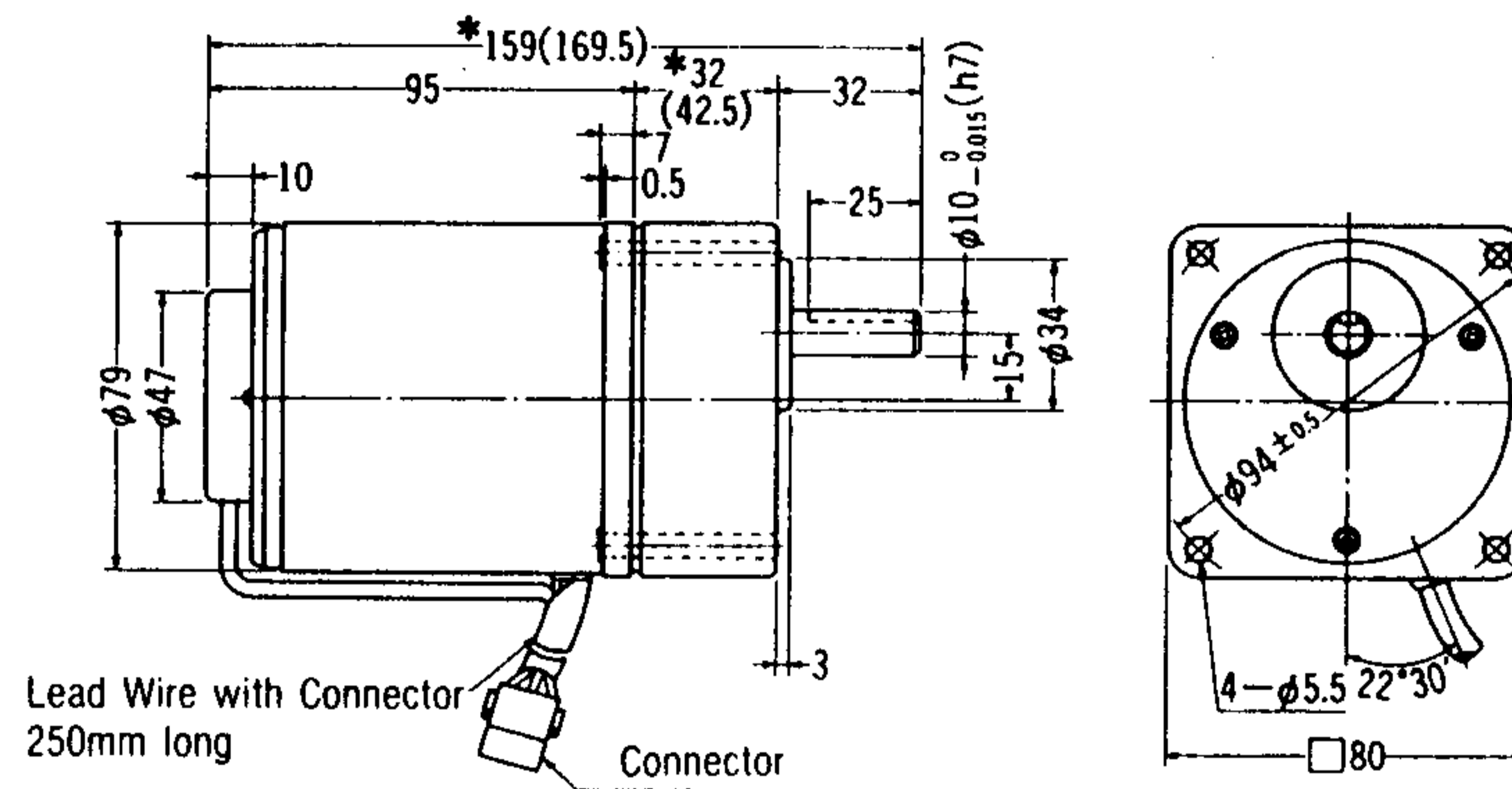
<그림 3-7> 구동모터의 토오크 특성

(Fig. 3-7 Torque characteristics of driving motor)

US425-401, US425-402 (Pinion Shaft)

Motor M425-401/Gearhead **4GN□K** Weight 2.25kg
 M425-402 (Gearhead is sold separately)

• **Key and Key Slot** scale 1 : 2
 (Key is provided with gearhead.)

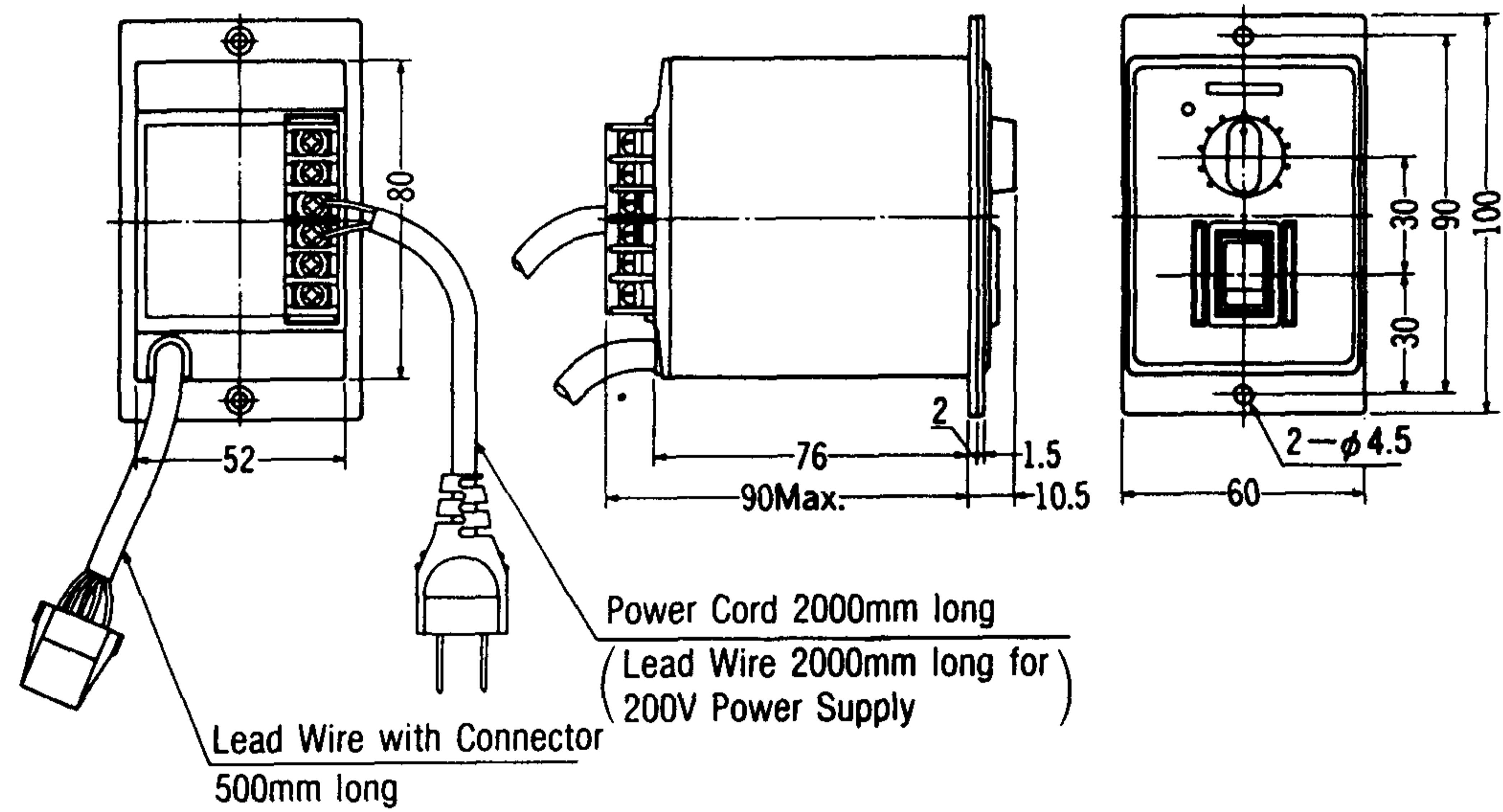


Asterisk (*) indicates dimensions of **4GN3K ~ 18K**, the figure in parentheses indicates dimensions of **4GN25K ~ 180K**.

<그림 3-8> 구동모터의 형상 및 치수

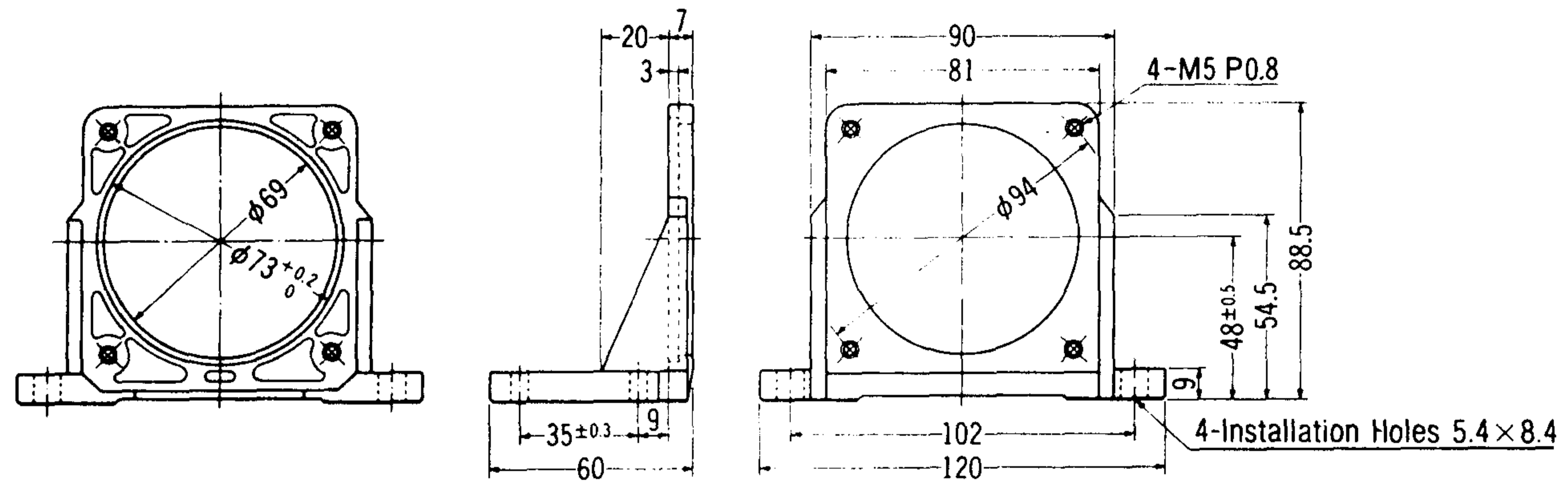
(Fig. 3-8 Dimension of driving motor)

- **Control Unit** Weight 0.45kg
- Common to **US206, US315, US425** and **US540** types
- US206-01T, US206-02T
- US315-01T, US315-02T
- US425-01T, US425-02T
- US540-01T, US540-02T



<그림 3-9> 구동모터의 제어부

(Fig. 3-9 Control unit of driving motor)



<그림 3-10> 구동모터 마운트 치수 및 형상

(Fig. 3-10 Dimension of driving motor mount)

이 일정량 이상 쌓이면 센서가 작동된다(〈사진3-3〉, 〈사진 3-4〉 참조). 이 센서에는 감도 조절기(potentiometer)가 장치되어 있으므로 유리관이 적절한 양만큼 쌓이면 검출되도록 쉽게 조정할 수 있다. PLC는 이 두개의 센서로부터 신호가 검출되거나, 외경측정 시스템으로부터 모터 정지신호를 받으면 구동모터를 정지 시킨다.

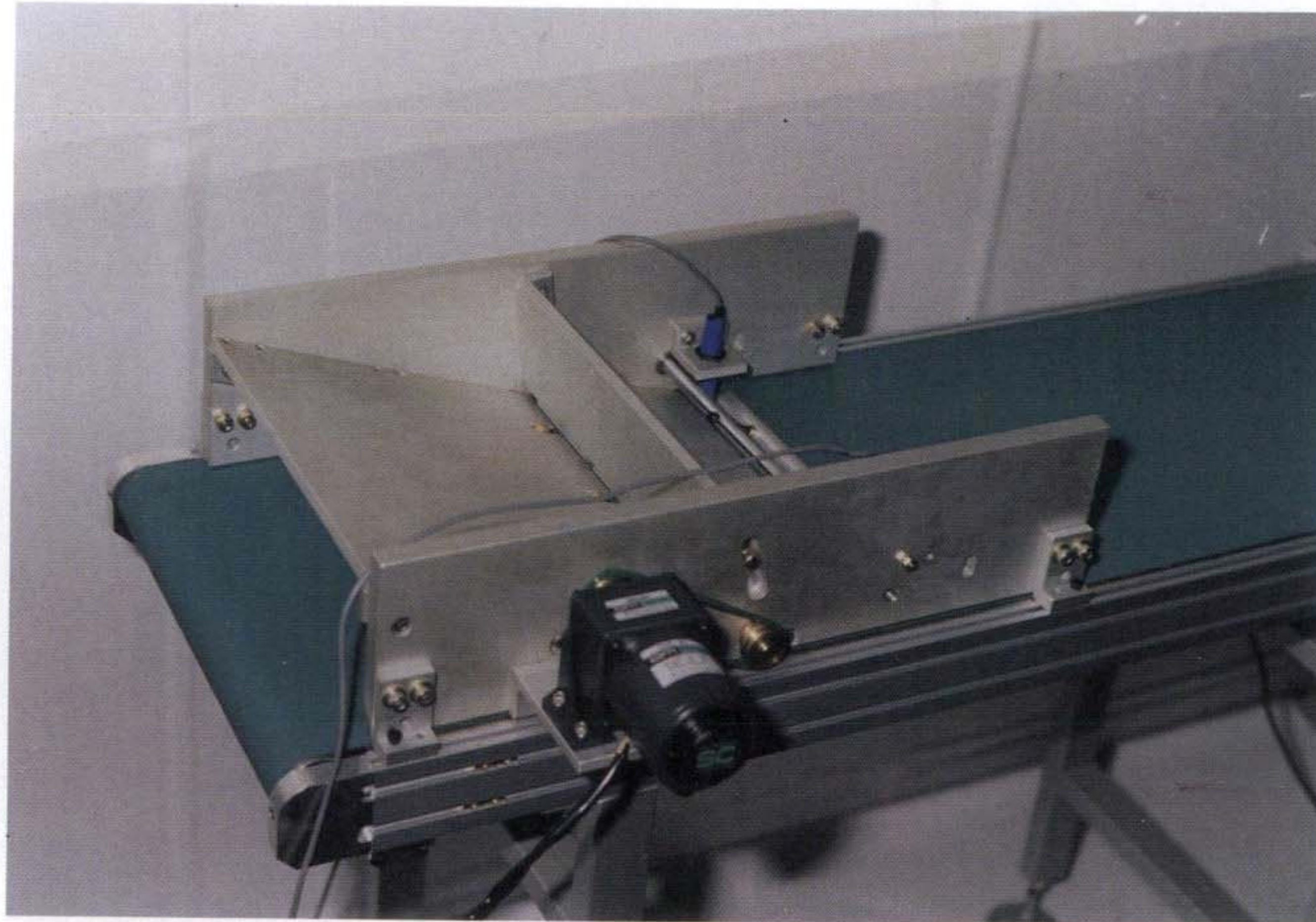
제 4 절 최종 설계 feeder의 성능시험 및 평가

최종 설계 제작된 feeder는 실제 공정에 설치되기 전에 시험용 컨베이어에 설치되어 그 성능이 시험되었다. 부록에 주어진 feeder의 설계도면을 바탕으로 제작된 feeder 및 시험용 컨베이어에 대한 사진이 〈사진 3-1〉에서 〈사진 3-7〉에 나타나 있다. 이 feeder 시스템에는 구동모터와 센서가 부착되어 있고, PLC에 의해 컨트롤된다. 〈사진 3-1〉은 feeder 시스템의 3차원 모습을 보여 주며, 〈사진 3-2〉는 feeder 시스템의 측면도이다. 〈사진 3-3〉은 feeder를 위에서 내려다 본 것으로 센서의 위치, 미끄럼판, 유리봉 감속장치, feeding 실린더 등의 모습을 자세히 보여 주고 있다. 〈사진 3-4〉는 부착된 센서와 감속장치를 자세히 보여 주고 있고, 〈사진 3-5〉는 feeder의 후면에서 찍은 사진으로 캠축을 자세히 나타내 준다. 〈사진 3-6〉은 feeding 실린더를 확대하여 찍은 사진이고, 〈사진 3-7〉은 유리관이 담길 용기 쪽에서 본 캠의 형상을 보여 준다. 〈사진 3-8〉은 본 과제에서 사용한 PLC 본체와 handy loader의 사진이다.

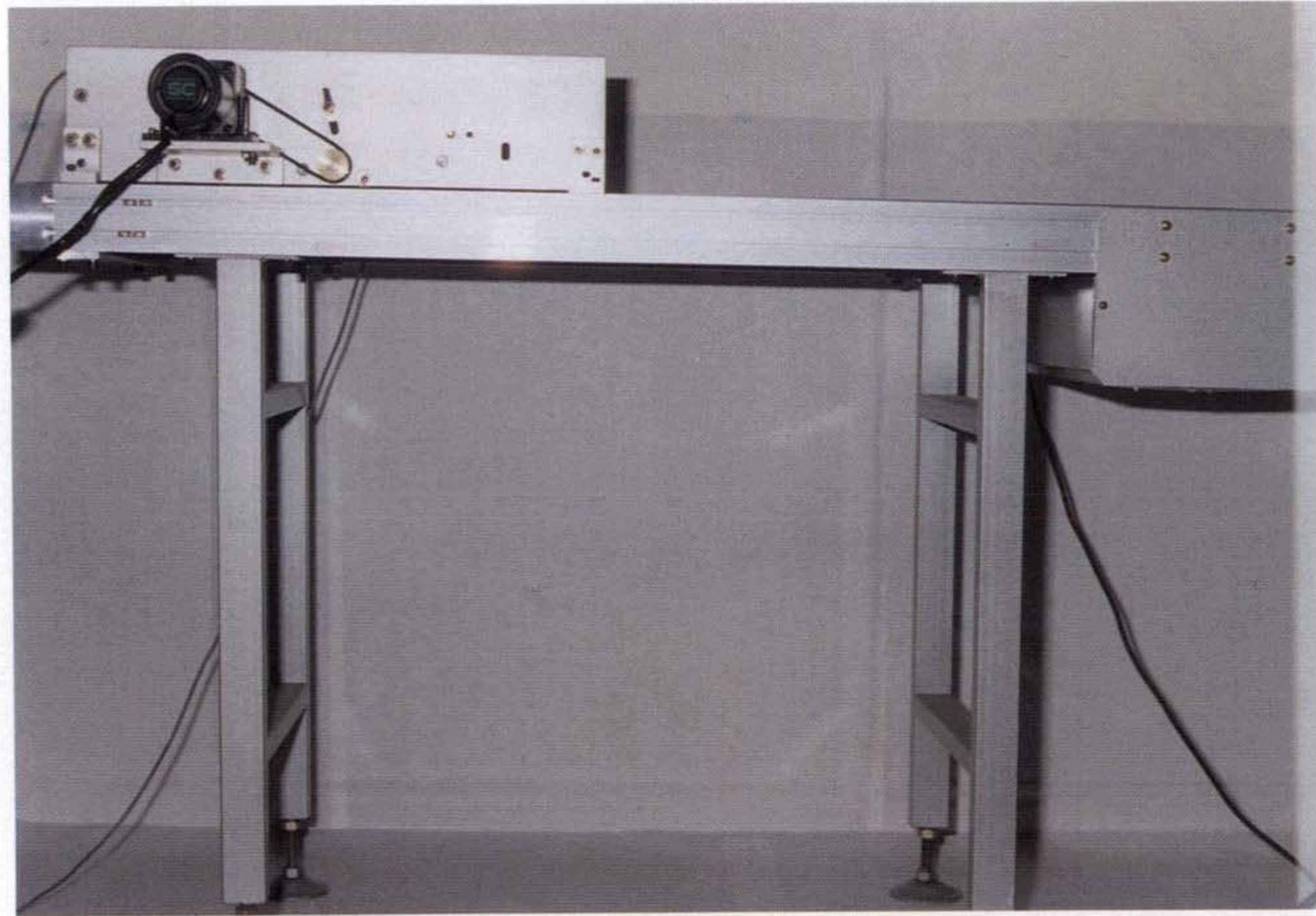
〈사진 3-9〉과 〈사진 3-10〉에 실제 유리봉을 용기에 넣어 실험한 결과를 찍은 것이다. 이 사진에서 알 수 있듯이 유리봉은 실제 공정과 같은 조건에서 별 문제없이 유리봉을 컨베이어에 이송시켰으며, 특히 시작품-2에서 가끔 발생하였던 잼 현상은 캠의 작동에 의해서 전혀 발생되지 않았다. 감속봉 역시 별 문제없이 작동되었고, 감속봉의 무게를 최적화함으로써 실험 결과 stopper가 불필요하였다. 그러나 실험 결과를 면밀히 검토해 본 결과 feeder의 성능을 더 안정화시킬 수 있는 몇 가지 개선사항이 발견되었다. 이 내용은 뒤에서 언급하기로 한다.

이로써 시험 컨베이어에서의 feeder 특성 시험이 성공적으로 마무리되었고, 실제

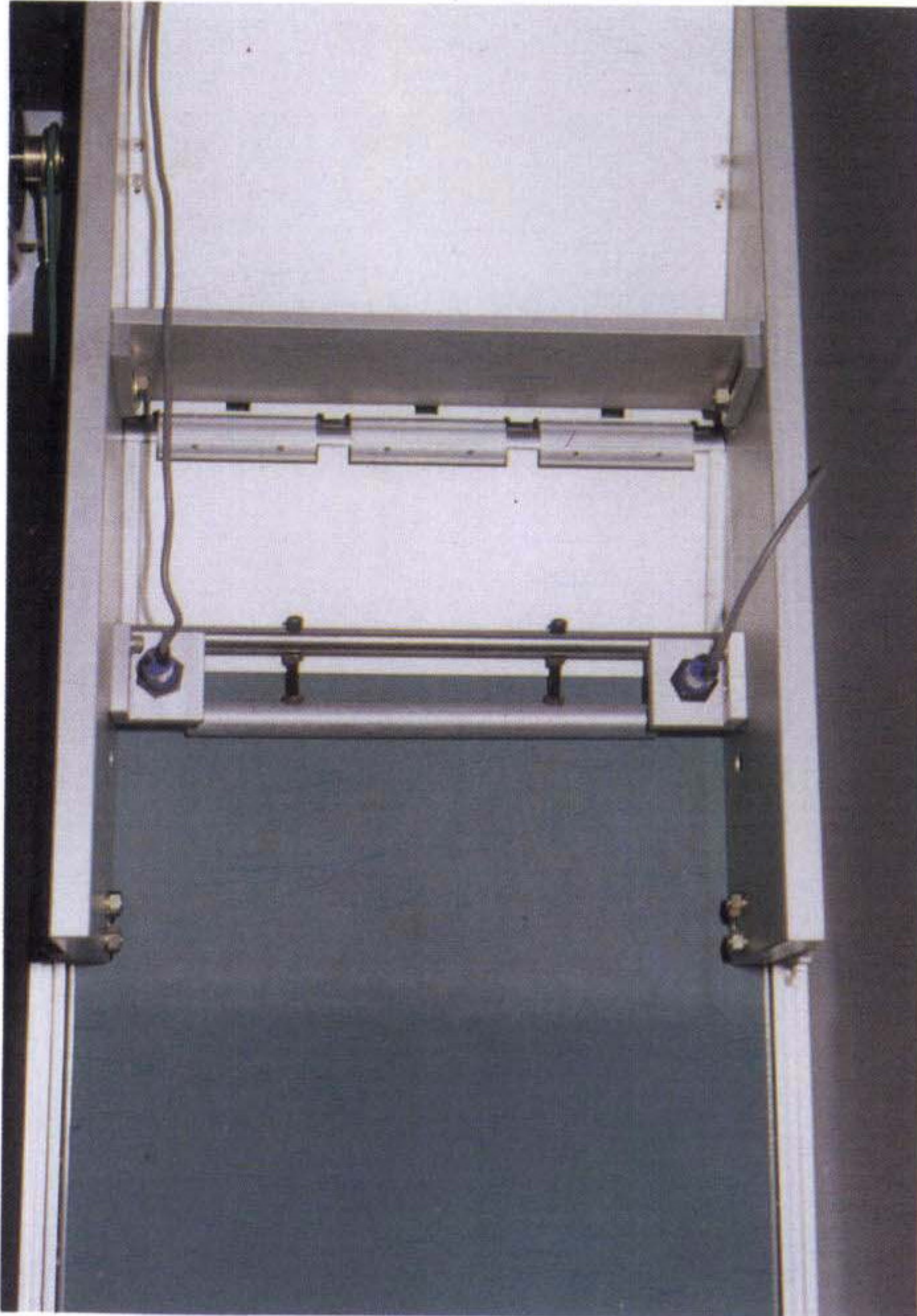
공정에 사용되고 있는 컨베이어 시스템에서의 실험 및 보완 작업이 이루어져야 할 것이다.



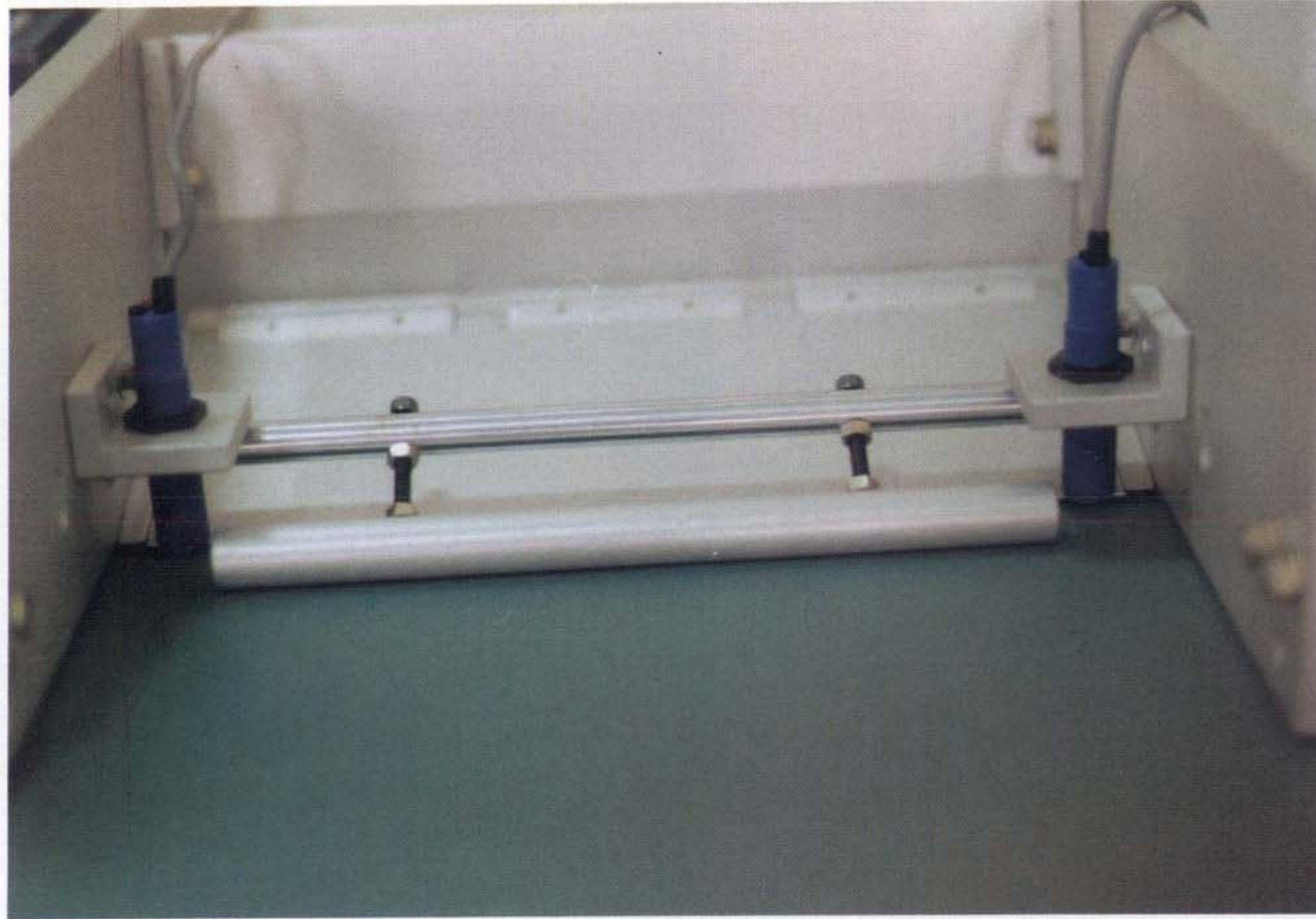
<사진 3-1> 시험용 컨베이어에 장착된 feeder
(Photo. 3-1 Feeder on test conveyor)



<사진 3-2> Feeder 시스템의 측면 사진
(Photo. 3-2 Side view of feeder)

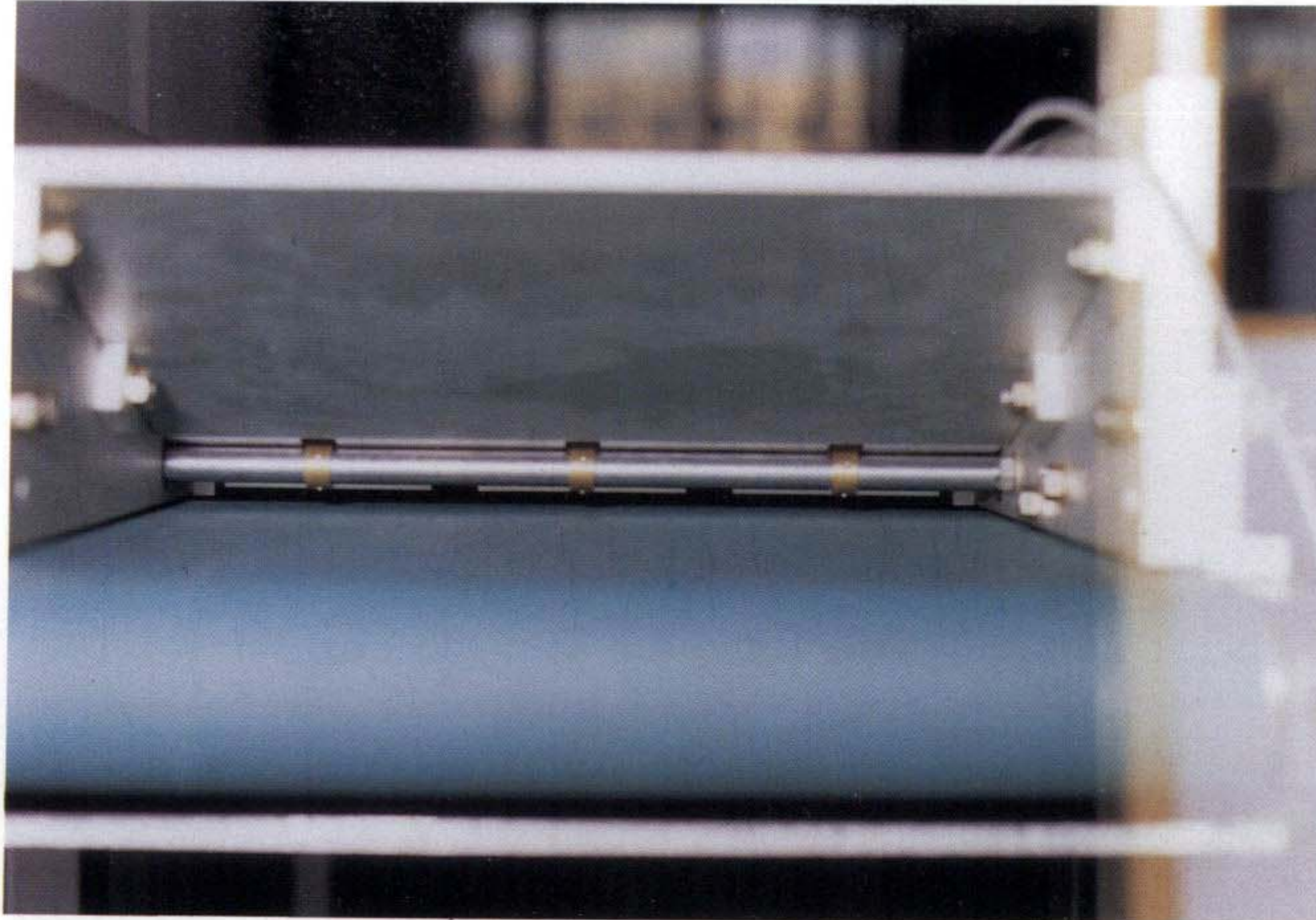


<사진 3-3> 위에서 내려다 본 feeder 시스템
(Photo. 3-3 Top view of feeder)

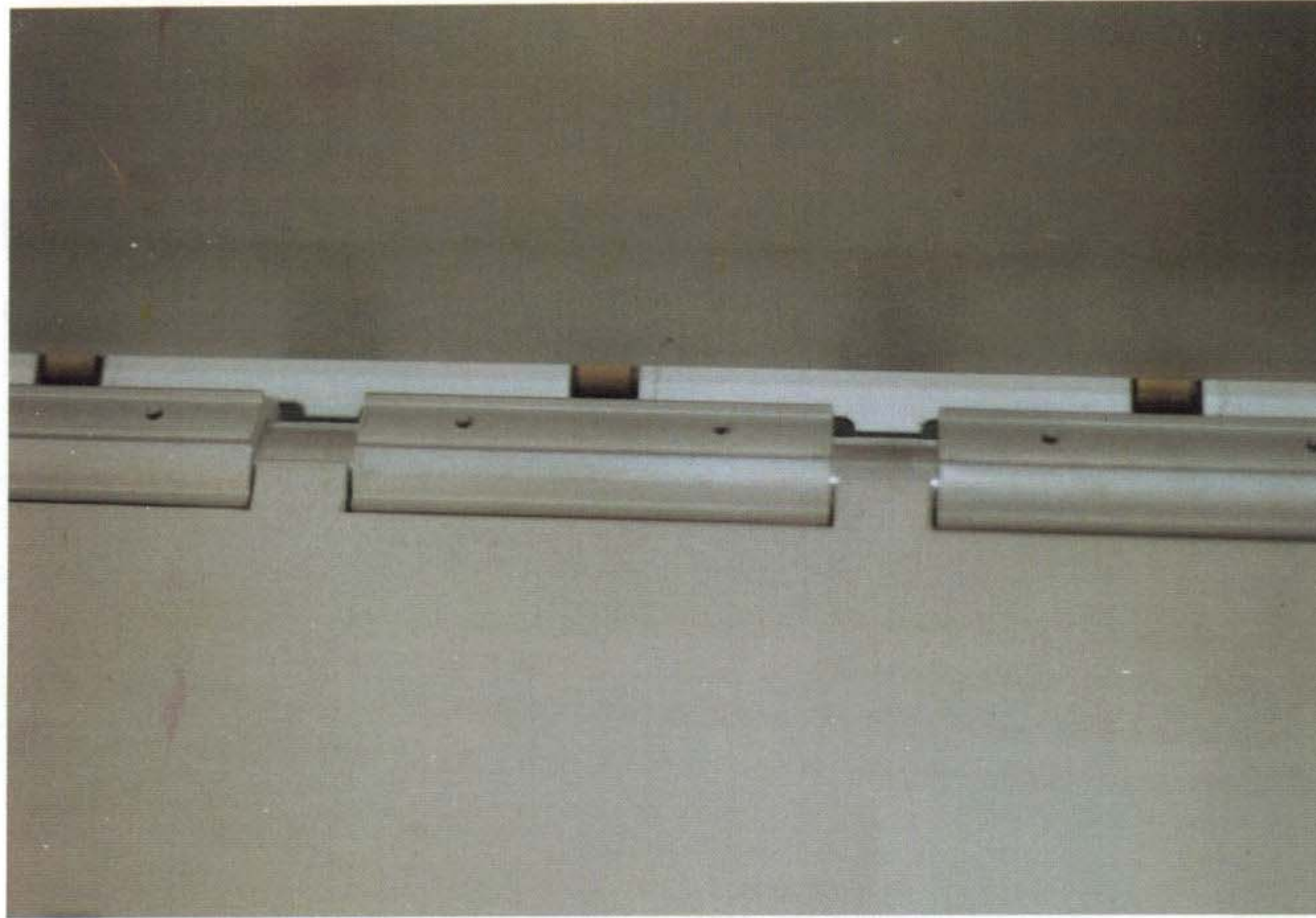


<사진 3-4> Feeder의 정면 사진

(Photo. 3-4 Front view of feeder)

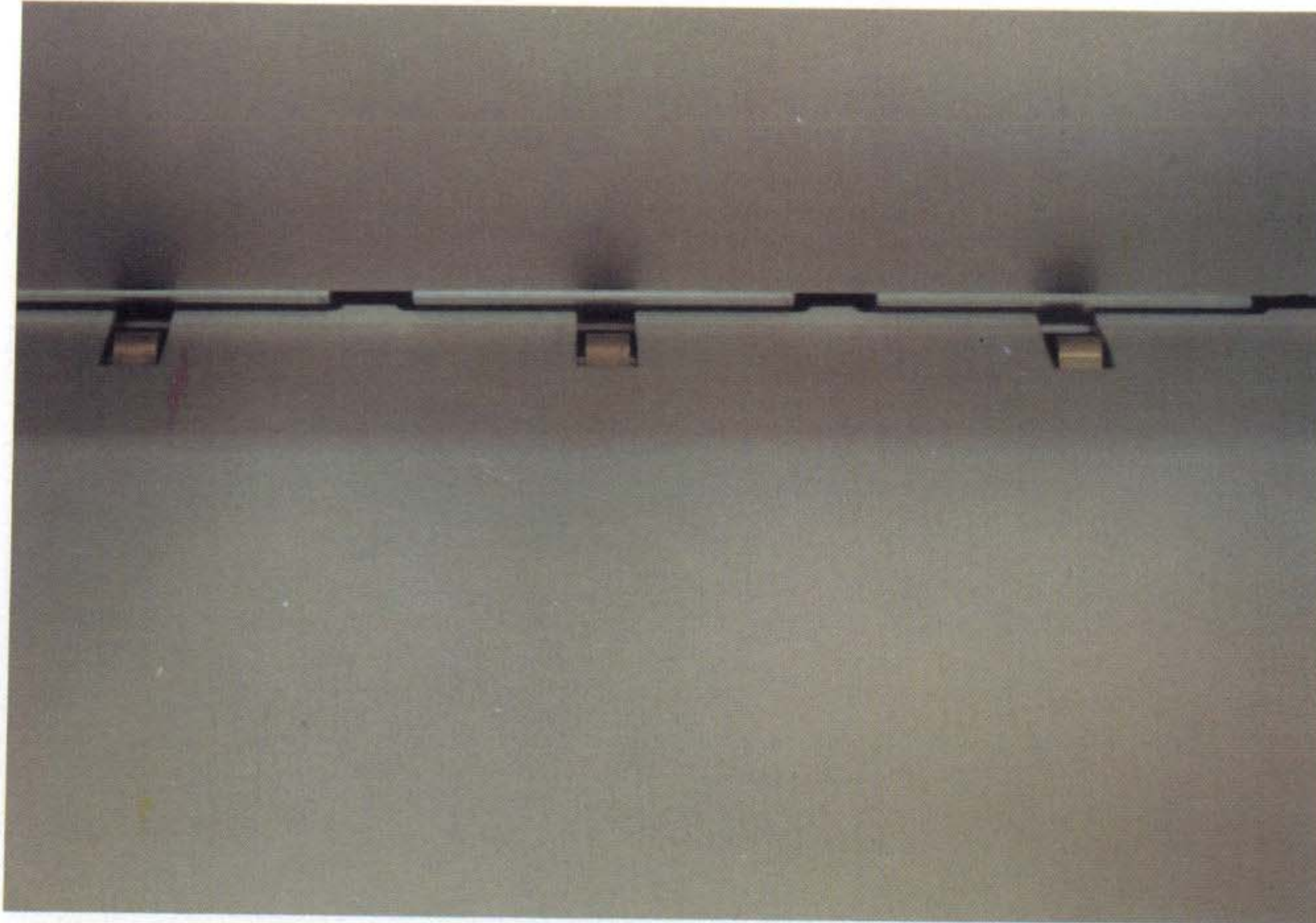


<사진 3-5> Feeder의 후면 사진
(Photo. 3-5 Rear view of feeder)



<사진 3-6> Feeding 실린더의 상세 사진

(Photo. 3-6 Detail of bladed feeding cylinder)



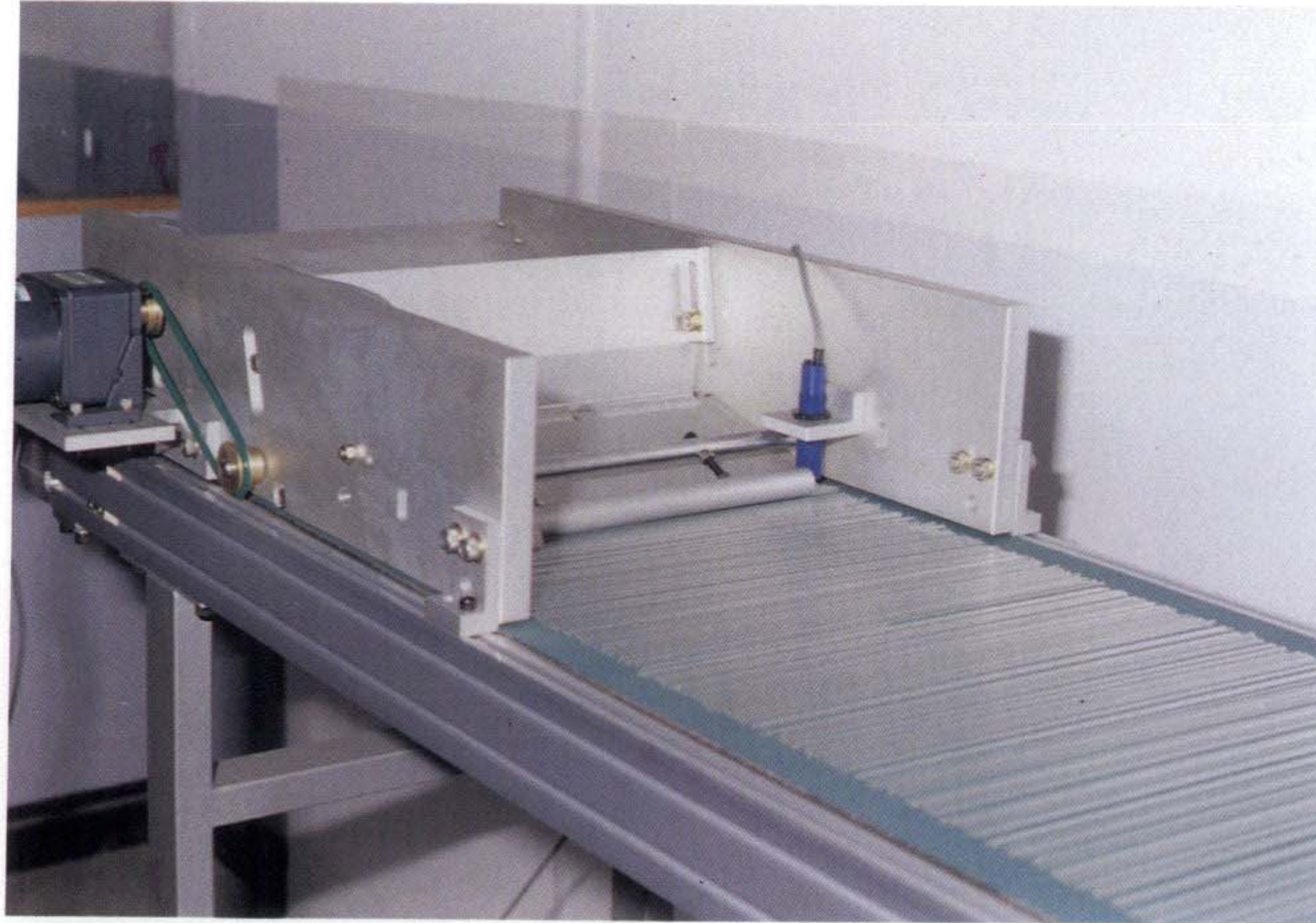
<사진 3-7> 캠축의 상세 사진

(Photo. 3-7 Detail of cam shaft)

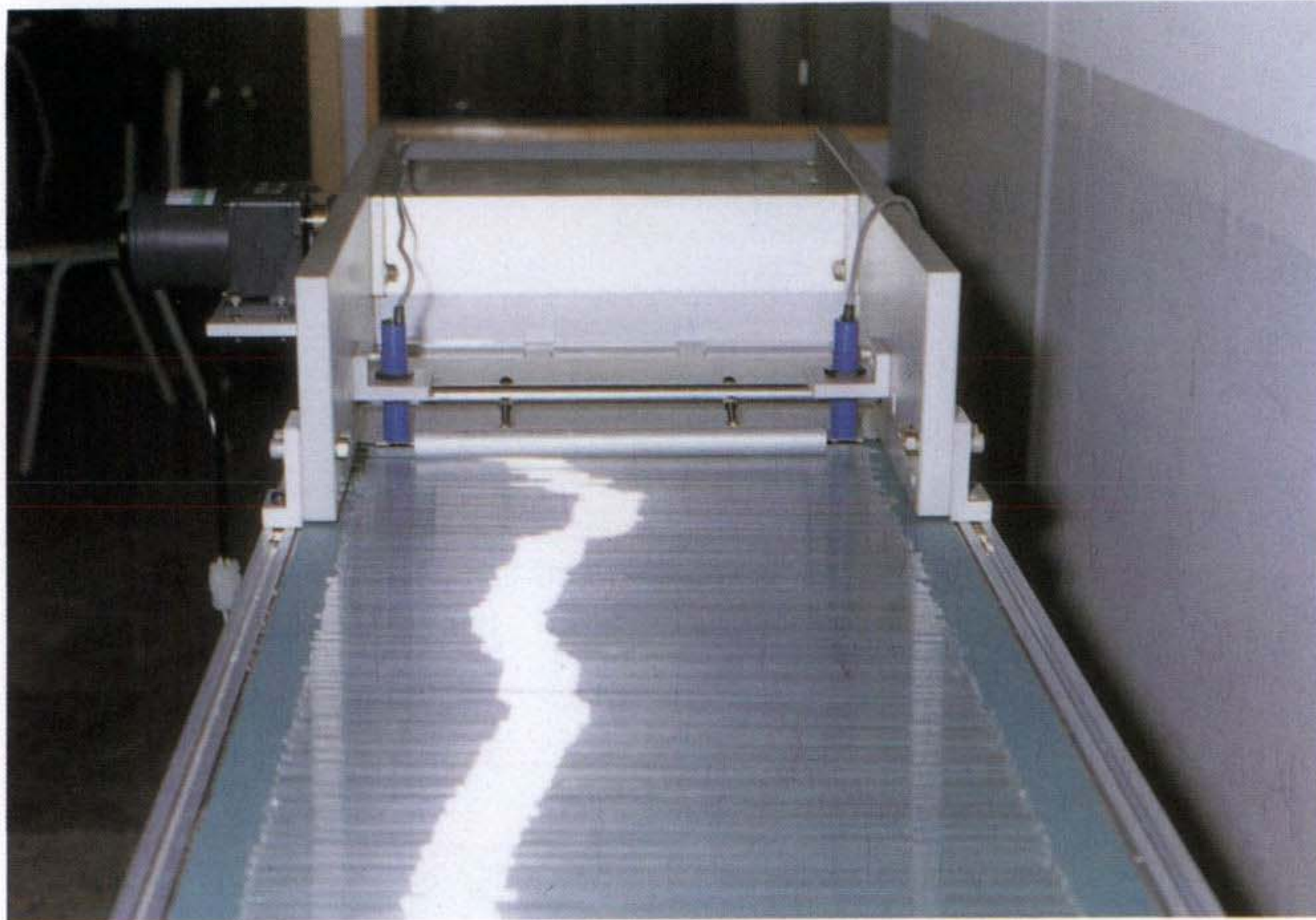


<사진 3-8> PLC 본체 와 handy loader

(Photo. 3-8 PLC main body and handy loader)



<사진 3-9> Feeder 시스템의 작동 모습(1)
(PHoto. 3-9 Feeder in operation(1))



<사진 3-10> Feeder 시스템의 작동 모습(2)

(Photo. 3-10 Feeder in operation(2))

제 4 장 결론 및 제언

여 백

제 4 장 결론 및 제언

Diode 용 glass tube의 결속을 위해 사용되고 있는 기존의 송진을 분석하고, 그 대체재료로서 수용성 고분자들 중에서 PVA를 선택하여 그 대체 가능성을 문헌조사와 실험을 통해 연구해 본 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 비교적 낮은 분자량인 DP가 500인 PVA가 최고농도 0.25 중량분률까지 용이하게 균일 수용액을 제조할 수 있었으며, 이 용액은 상온에서 밀봉하여 보관중 물성에 있어서 상당히 안정한 것을 관찰할 수 있었다.
2. 결속과정의 최초 단계인 제조된 수용액의 함침성은 젖음성으로 예측 가능하였다. 그 함침성은 고 농도의 용액에서 용액의 온도를 증가시킴으로서 현격히 향상시킬 수 있으며, 이는 실제로 공정시간의 단축이 단순히 용액의 온도의 상승에 의하여 가능하다는 것을 의미한다.
3. 건조거동은 사용한 시료에서 공히 초기에는 증발이 급격하게 일어나며 그러한 경향은 낮은 농도에서 더 심하다. 증발속도가 최대가 되는 시각은 온도가 증가함에 따라 70℃에서는 약 15분에서, 110℃에서는 약 10분에서 그리고 130℃에서는 약 7분으로 점차 단축되었다.
4. 건조온도 110℃에서 건조시간을 변화시킴에 따른 접착강도의 변화를 보았을 때, 사용한 모든 농도의 시편에 대해 30분 이상 건조시키면 기존 결속제인 송진의 접착강도 이상이 되었다.
5. 세척은 상온에서 거의 95% 이상 제거되는데 약 50분 이상 소요되던 것이, 60℃ 정도로 온도를 증가시켰을 때 약 30분으로 단축되었다.

이상의 연구에서 얻어진 실험 결과와 문헌조사를 기초로 하여 향후 연구는 다음과 같이 수행하고자 한다. 위 결과로 부터 대체 가능한 새로운 물질인 PVA 수용액을 실

제 공정에 적용시켜서 본 연구에서 행한 실험과 동일한 함침성, 건조성, 접착 및 전단강도, 세척성 등으로 가능성을 평가 및 조사할 예정이다. 이를 통하여 최적의 작업조건을 도출할 수 있으며, 또한 필요한 경우 용액을 사용하는데 따른 결속공정의 개선이나 공정흐름도의 재조정도 수반되어야 한다.

최종 설계 feeder의 성능시험 결과 유리관의 이송이 매우 안정적으로 이루어졌음을 다각적인 실험을 통하여 확인하였다. 제작된 feeder는 그대로 공정에 적용 가동이 가능하였으나 앞으로 개선, 보완해야 할 점들이 몇 가지 발견되었다. 이 보완 사항들은 최종 설계안을 조금만 수정하면 가능한 것으로 향후 시험용 컨베이어가 아닌 공정 컨베이어에 장착하기 전에 보완될 수 있는 내용들이다. 이 보완 사항들을 나열하면 다음과 같다.

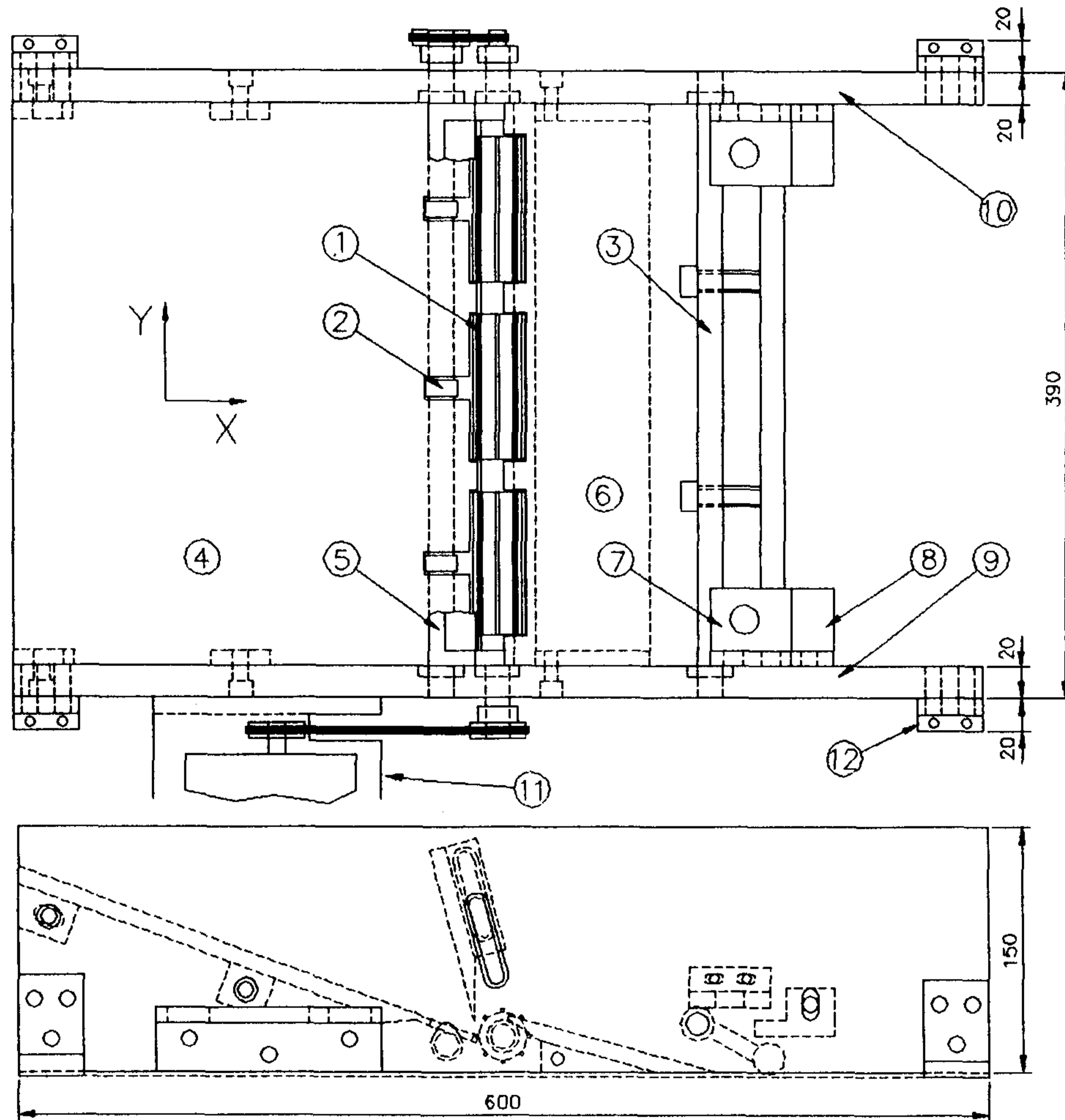
1. <그림 3-4>와 같이 feeder를 컨베이어 위에 설치하기 위해서는 feeding 실린더의 직경 때문에 유리관이 컨베이어 벨트보다 상당히 높은 위치에서 미끄럼판을 따라 컨베이어 벨트 면에 떨어질 수 밖에 없었다. 따라서 유리관은 feeding 실린더의 회전력에 의해서 가속될 뿐만 아니라 중력에 의해서도 속도가 빨라지는 현상이 일어났다. 이와 같은 결점을 해결하기 위해서는 부득이 feeder를 컨베이어의 끝부분에 설치하고 미끄럼판의 경사를 최소화하도록 해야 한다. 이것은 feeder를 조금만 수정하면 가능하다. 왜냐하면 부록에 첨가한 도면에서 알 수 있듯이 미끄럼판의 고정볼트가 힌지형으로 되어 있어서 미끄럼판 각도의 조정이 매우 용이하기 때문이다. 이때 감속봉이나 제어시스템은 그대로 사용되므로 문제가 없다
2. 기존에 설계된 캠축의 감속비가 실험 결과 너무 크게 나타났다. 따라서 감속비가 1:1 정도 되도록 캠축의 풀리를 재가공하는 것이 바람직할 것이다.

이와같은 간단한 설계변경이 이루어지면 더욱 신뢰성이 높은 자동화 시스템이 되리라고 사료된다.

부 부

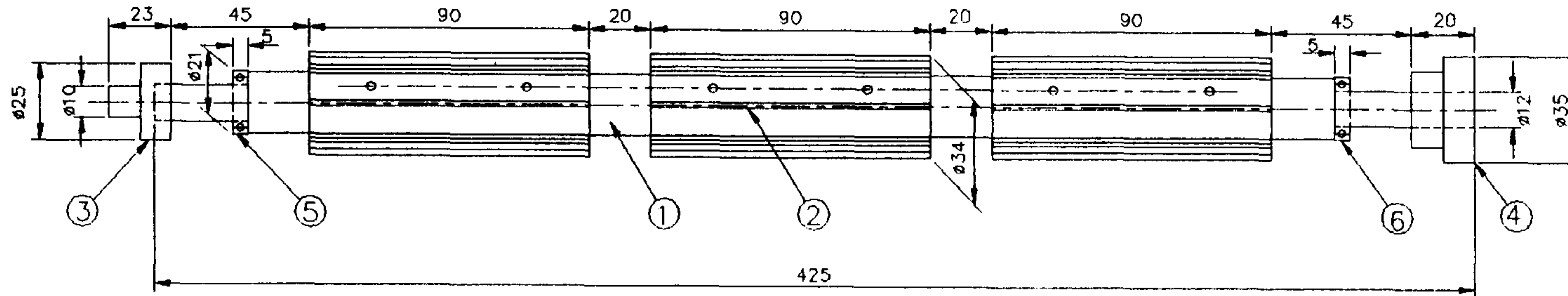
여 백

1. BLADED FEEDING CYLINDER
2. CAM SHAFT ASSEMBLY
3. DECELERATOR SHAFT
4. LOWER PLATE
5. UPPER PLATE
6. SLIDING PLATE
7. SENSOR MOUNT
8. STOPPER
9. SIDE WALL 1.
10. SIDE WALL 2.
11. MOTOR MOUNT
12. FEEDER LEG



TITLE FEEDER ASSEMBLY					
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT' L
	MM		1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

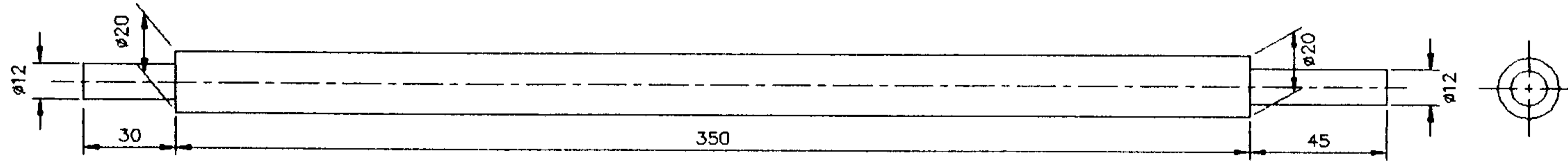
FEEDING CYLINDER ASSEMBLY



- 1. FEEDING CYLINDER SHAFT
- 2. BLADED CYLINDER
- 3. PULLEY FOR CAMSHAFT
- 4. PULLEY FOR MOTOR
- 5,6. BEARING (TYPE 6801)

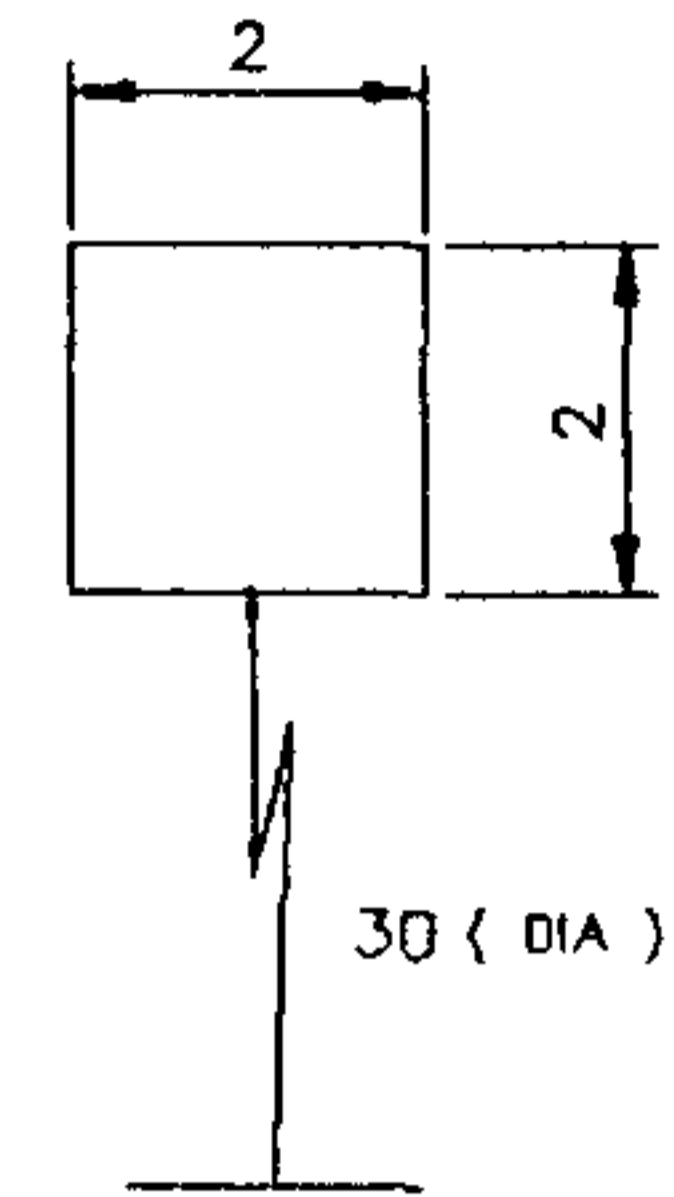
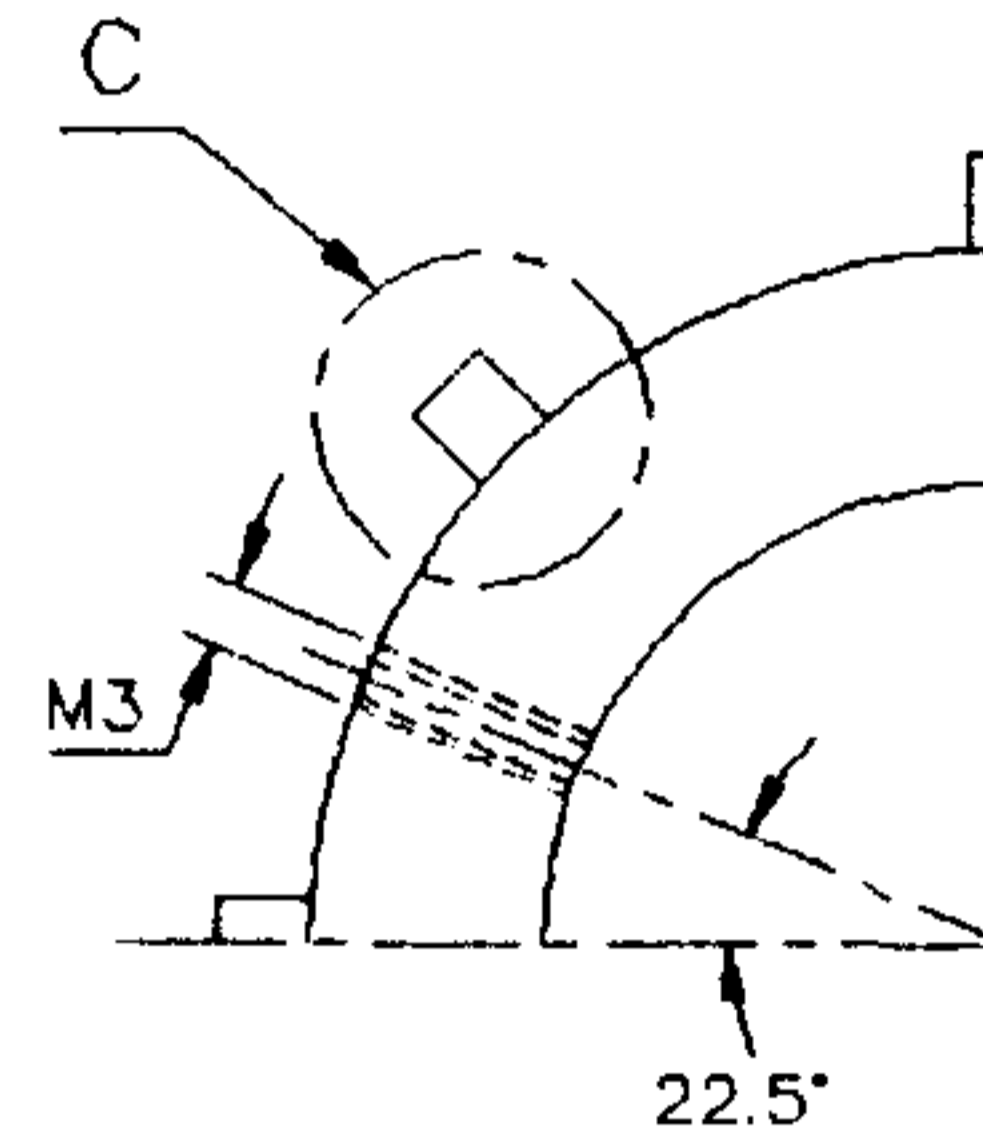
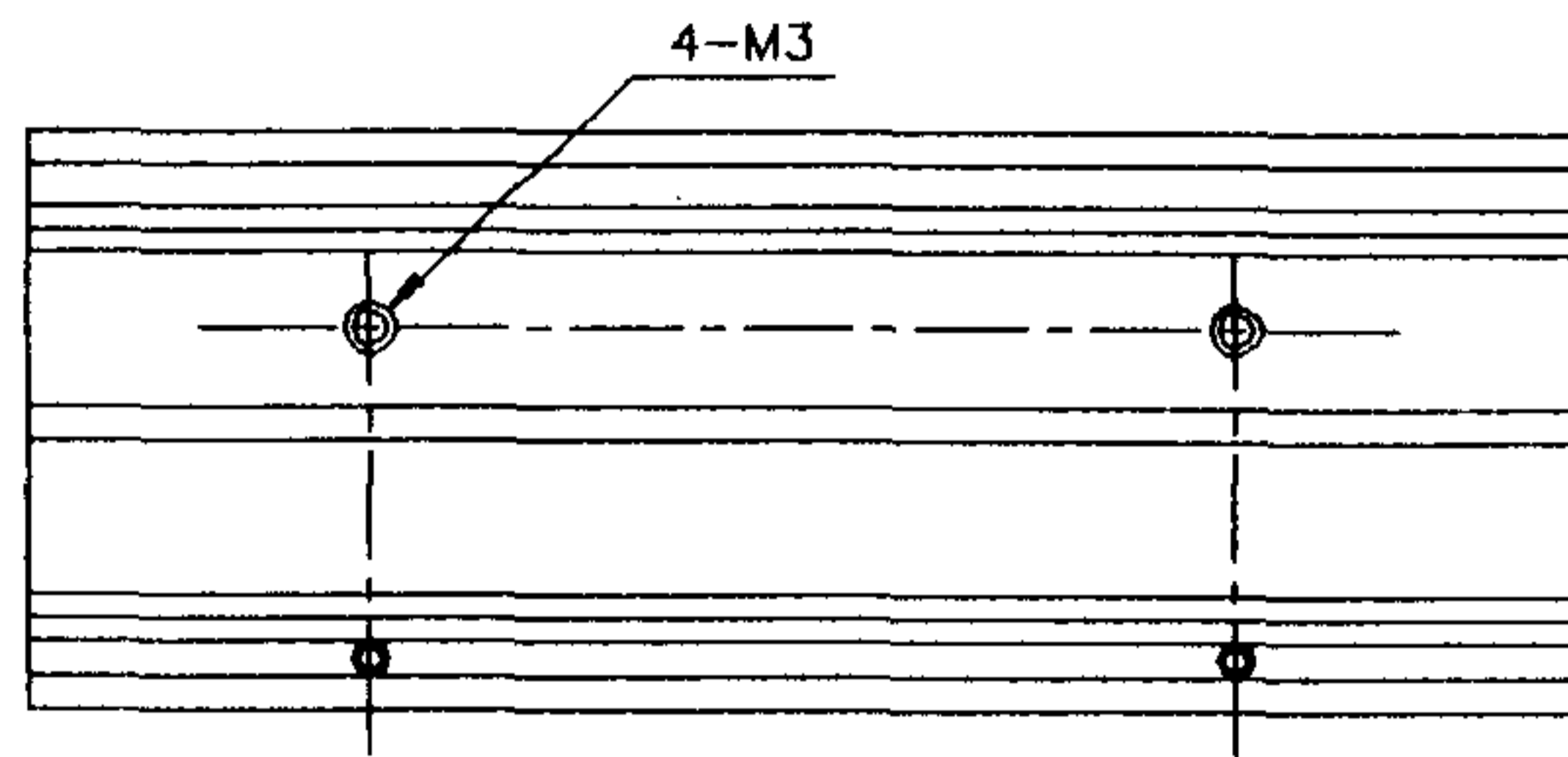
TITLE	FEEDING CYLINDER ASSEMBLY				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT'L
	MM	1 - A	1	8/20/1993	AB051
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

FEEDING CYLINDER ASSEMBLY 1.

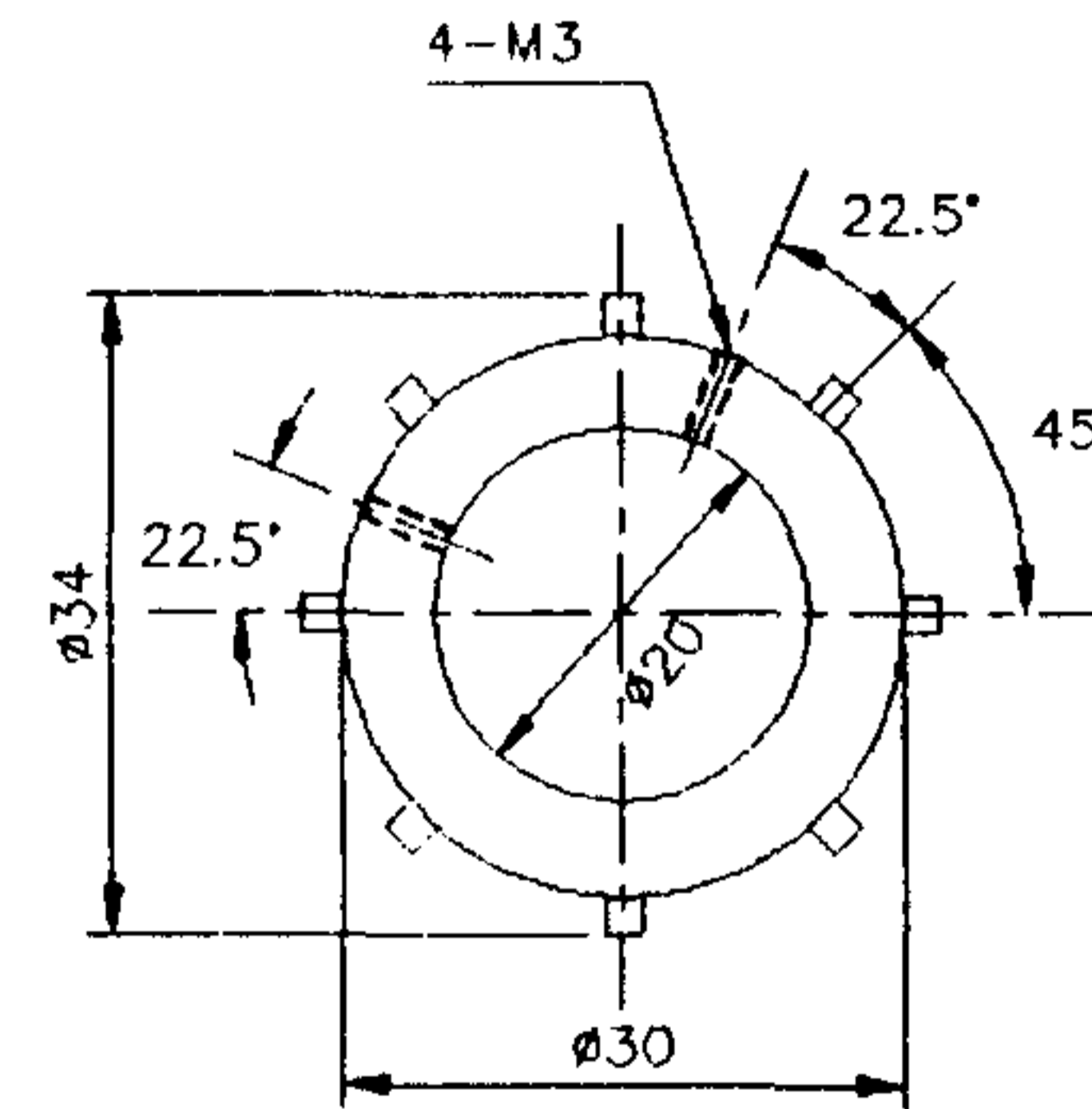
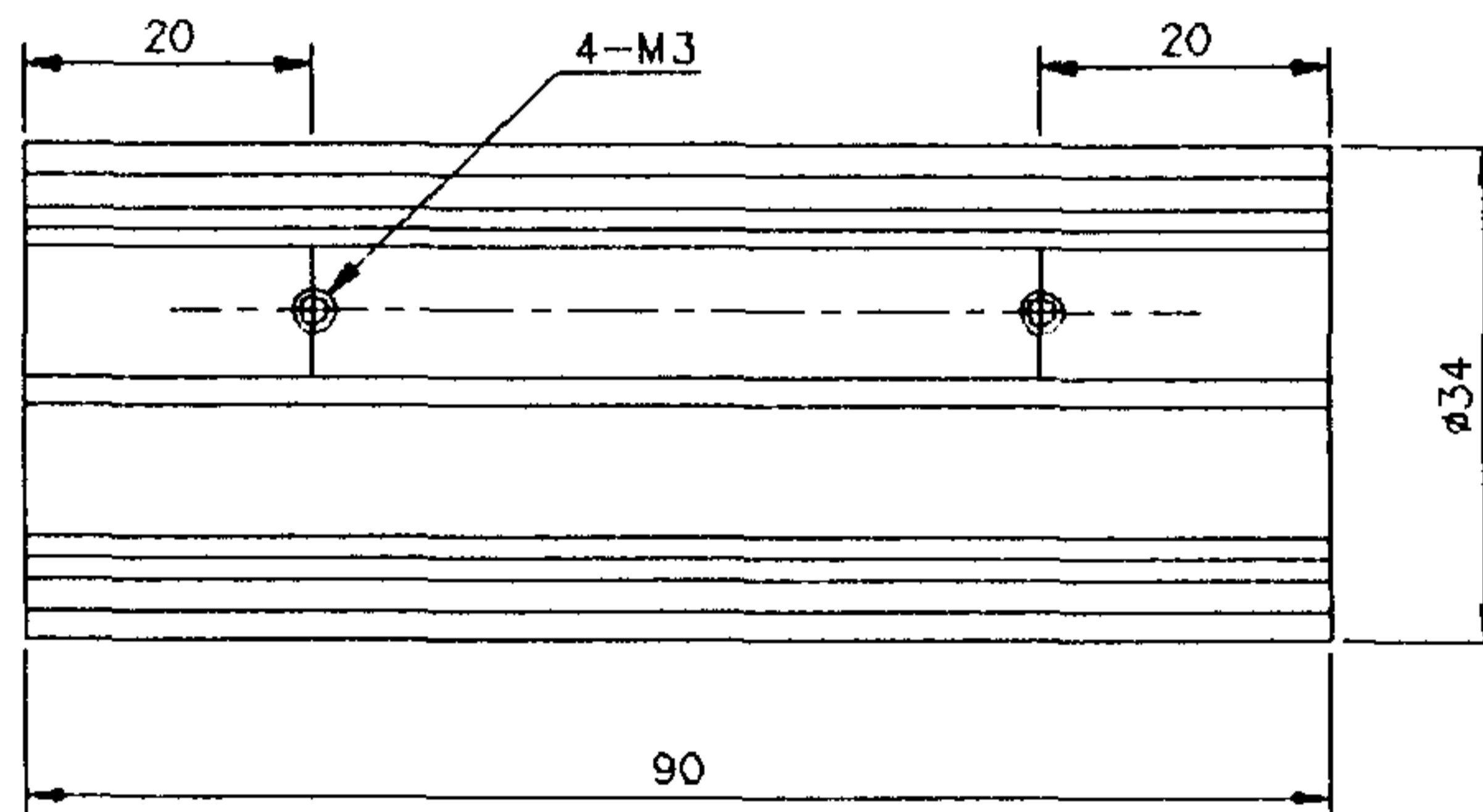


TITLE	BLADED CYLINDER SHAFT				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT' L
	MM	1 - 1	1	8/20/1993	SM45C
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

FEEDING CYLINDER ASSEMBLY 2.

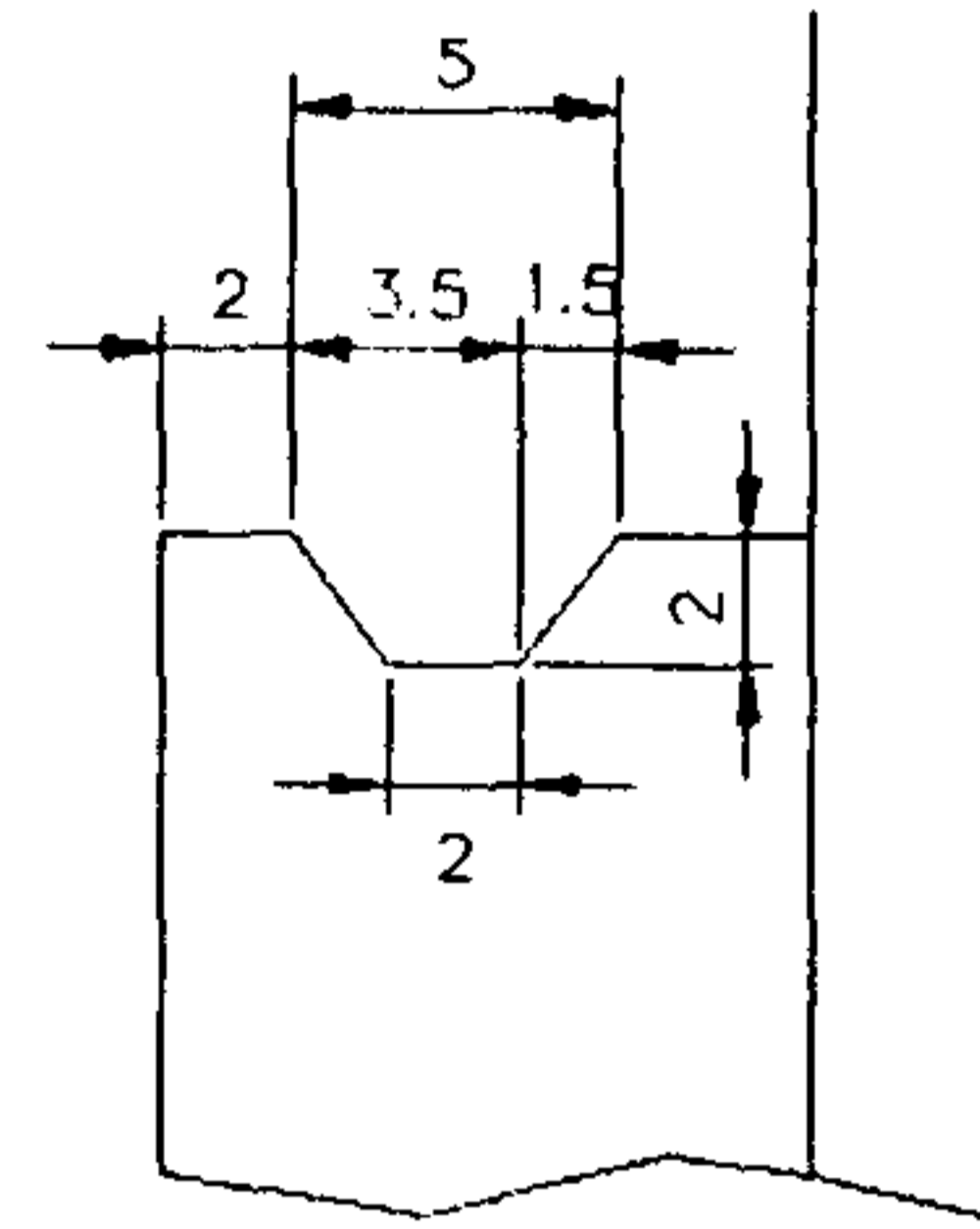
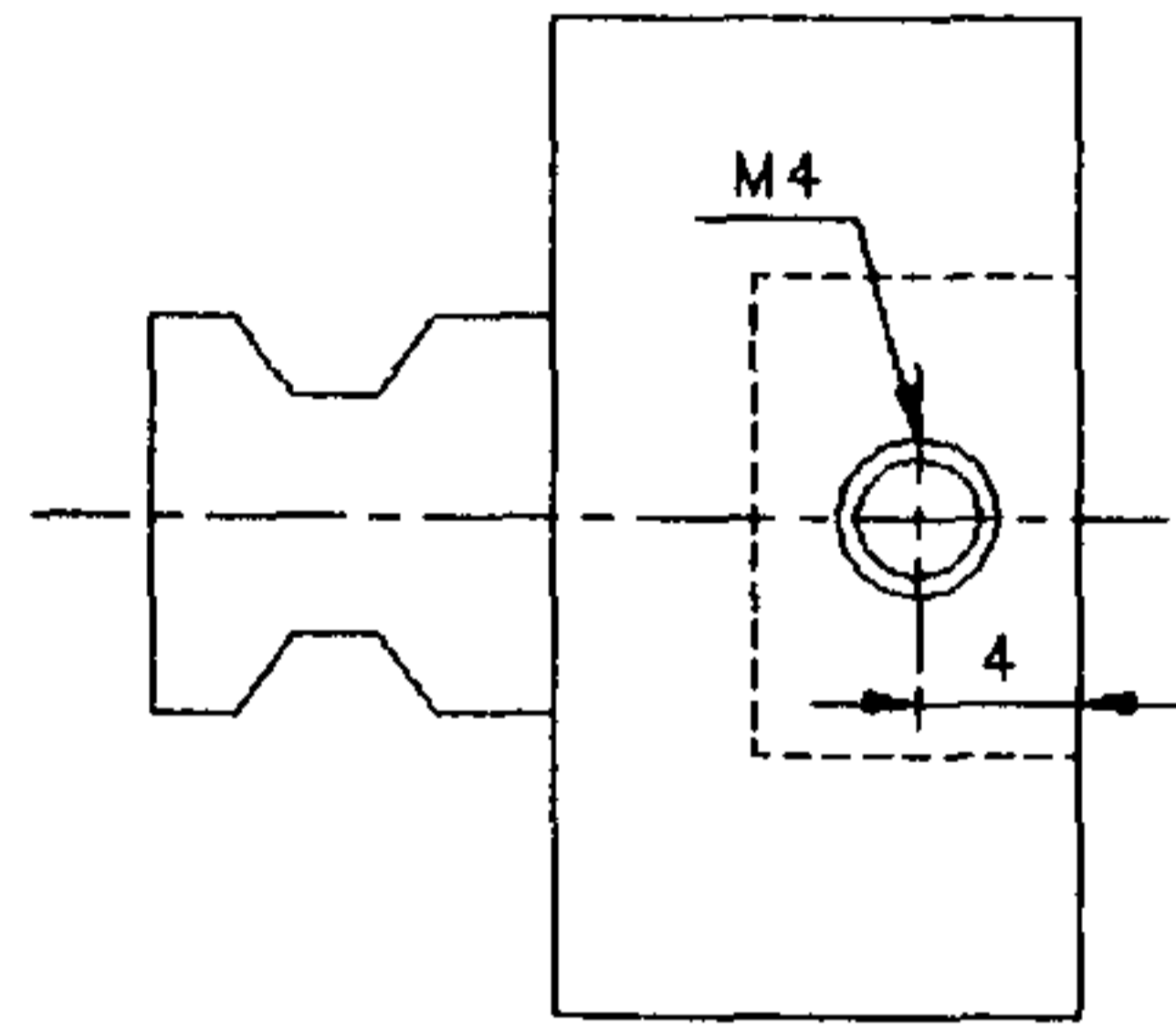


DETAIL C

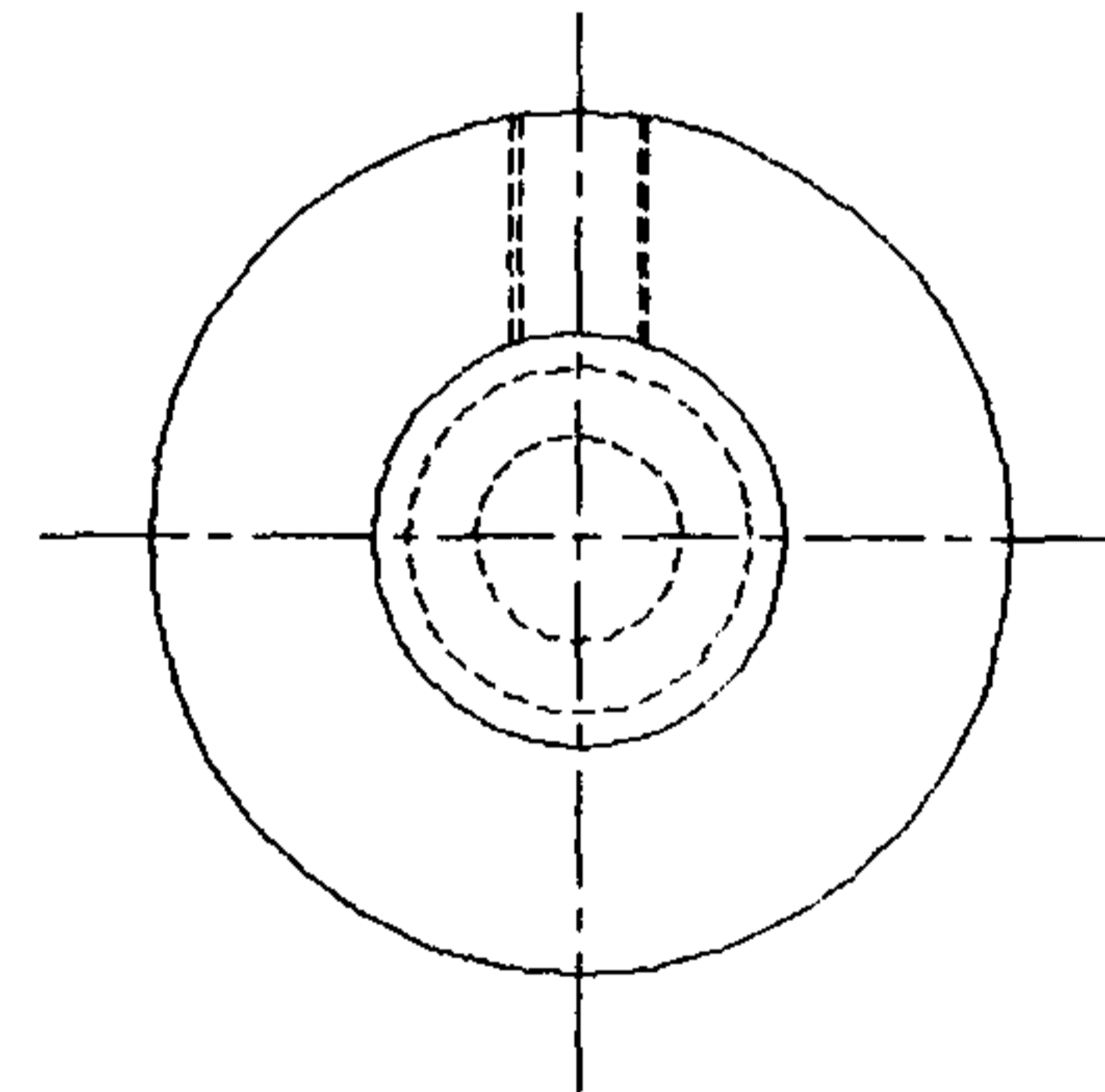
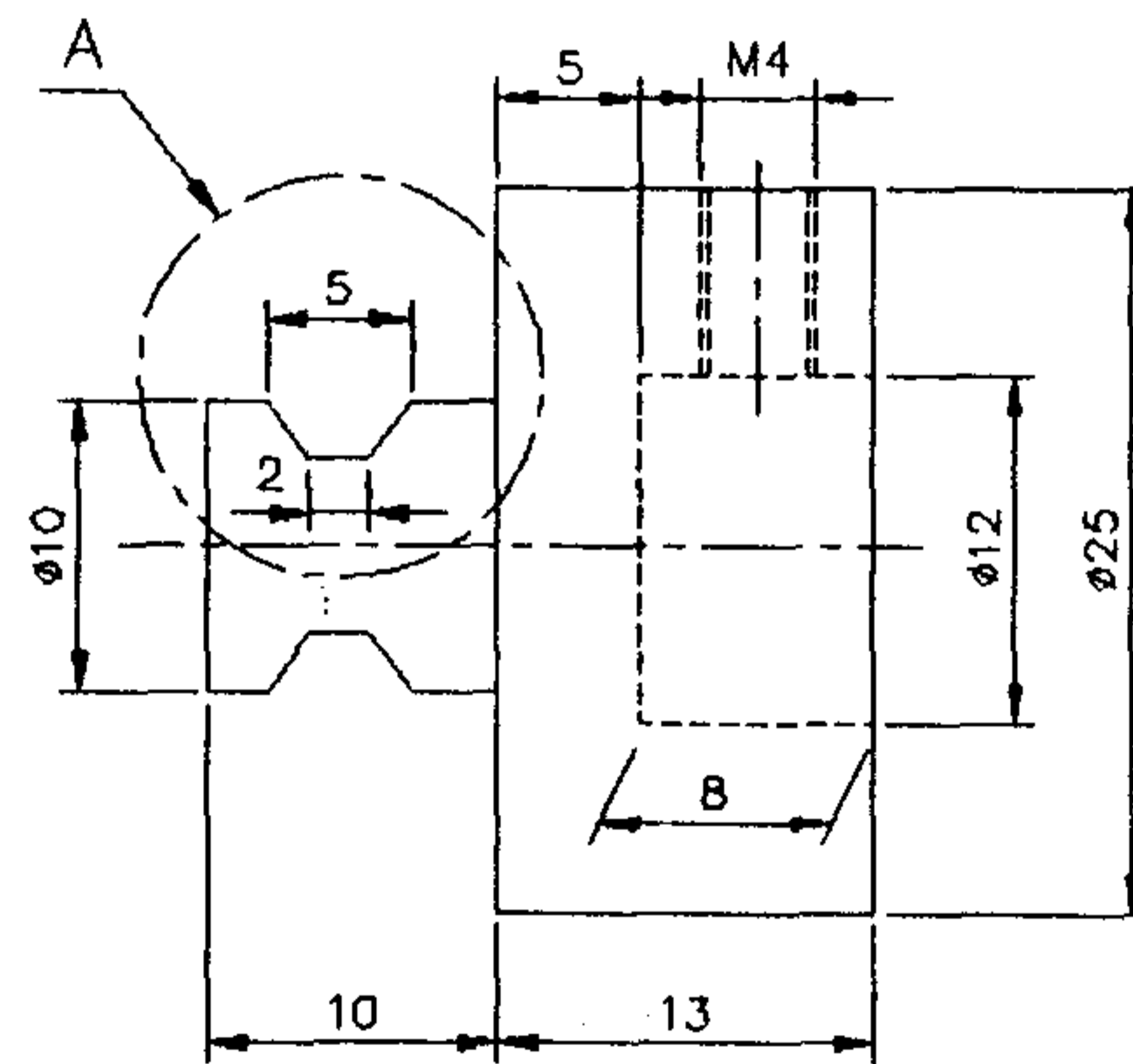


TITLE	BLADED CYLINDER				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT' L
	MM	1 - 2	3	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

FEEDING CYLINDER ASSEMBLY 3.

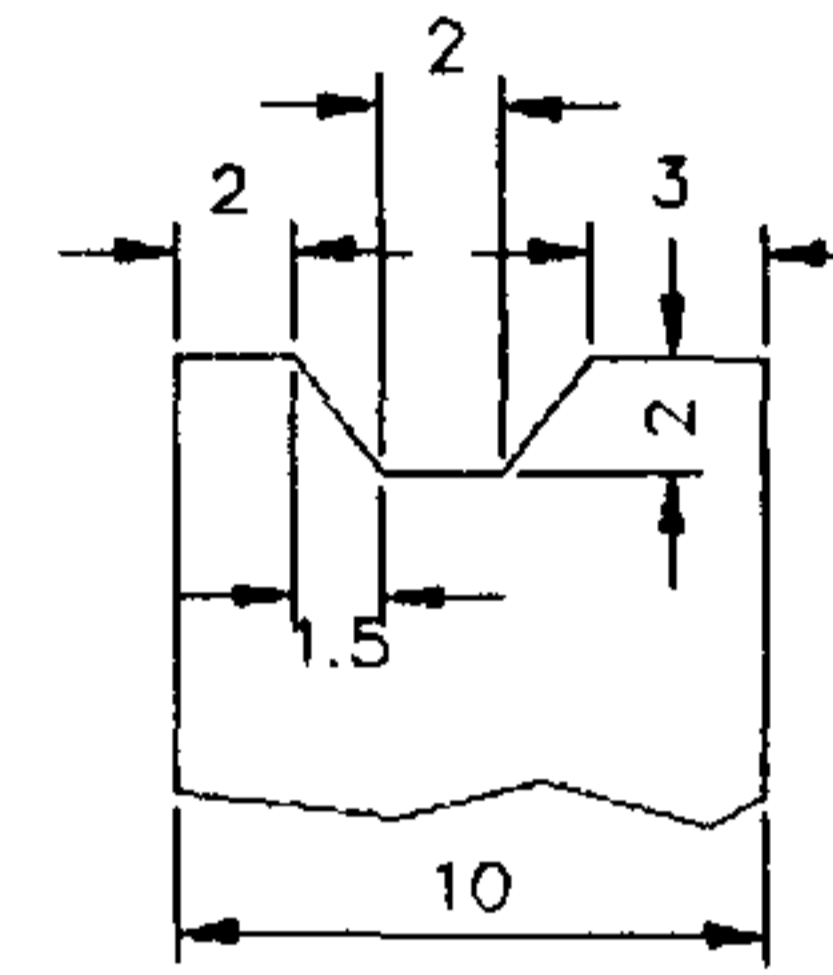
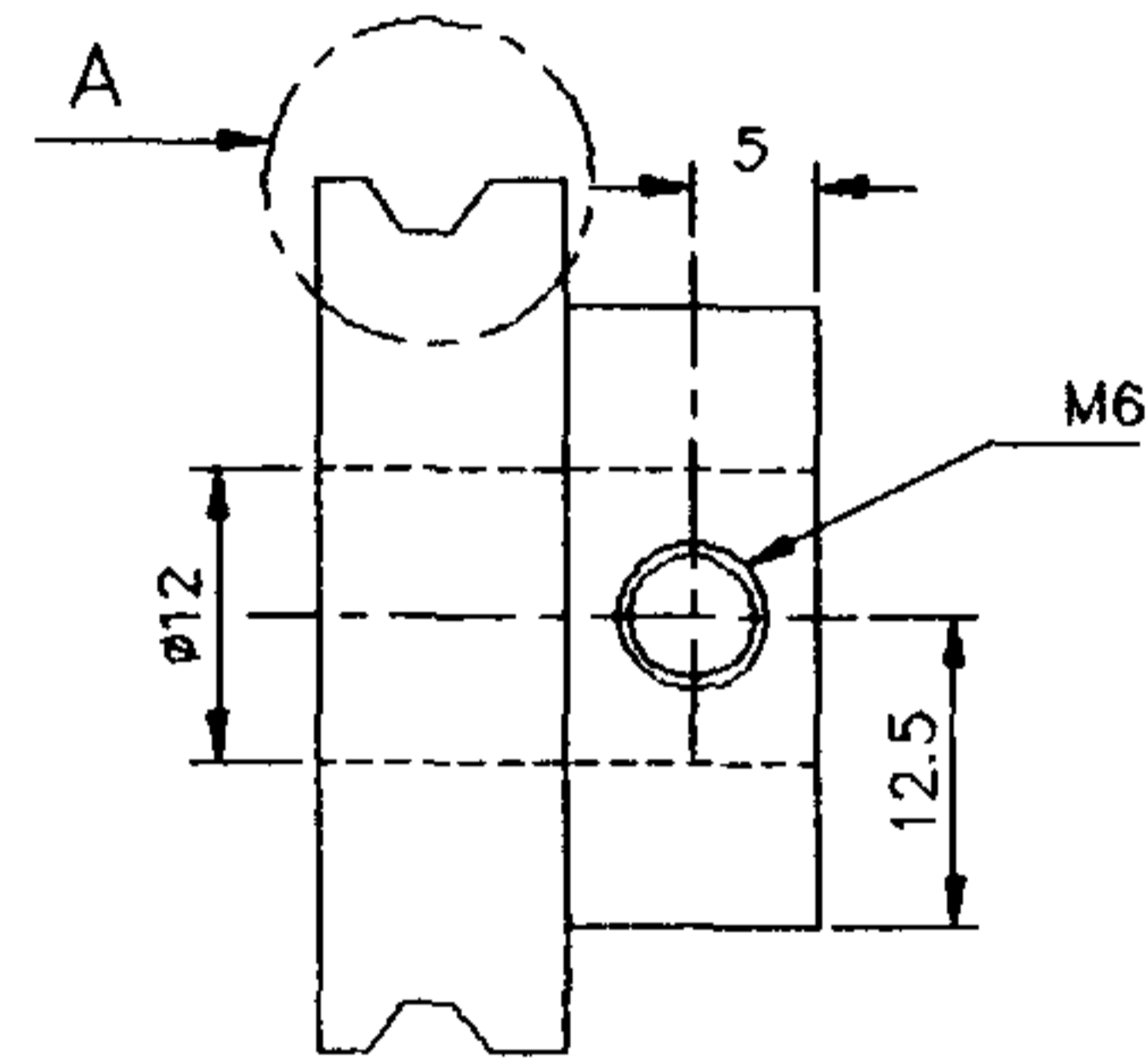


DETAIL A

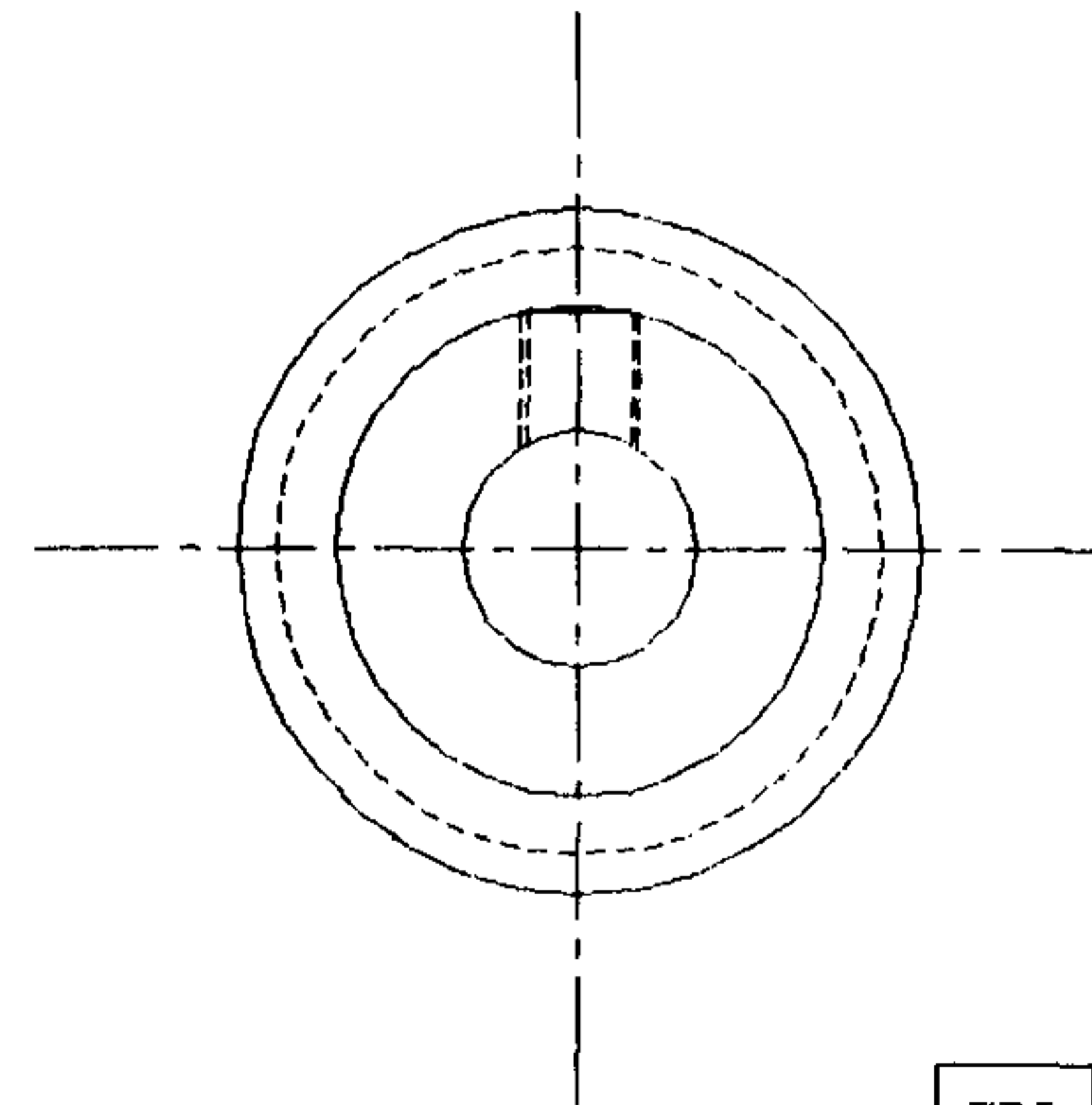
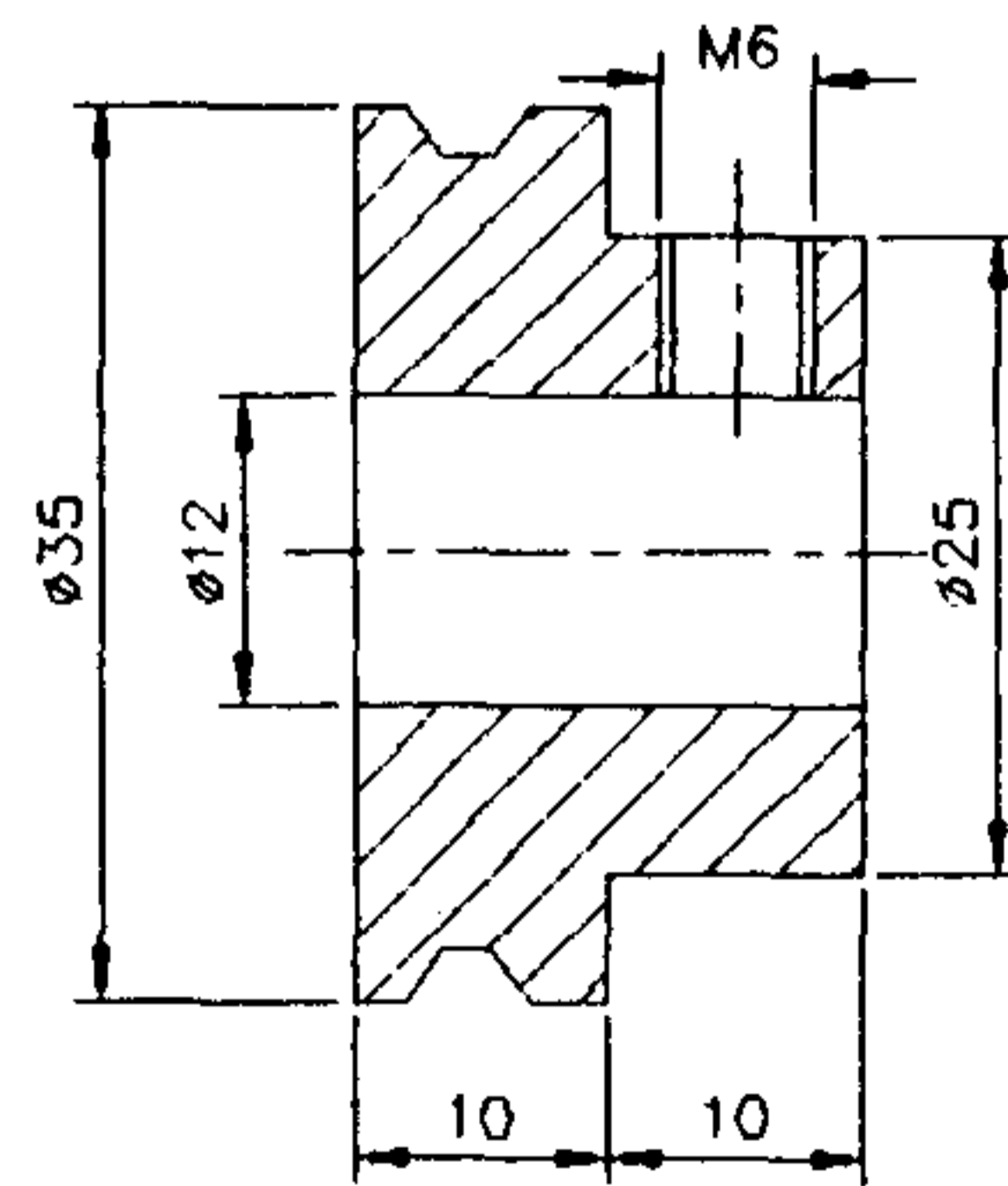


TITLE	PULLEY FOR CAMSHAFT				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	1 - 3	1	8/20/1993	MBR1
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

FEEDING CYLINDER ASSEMBLY 4.

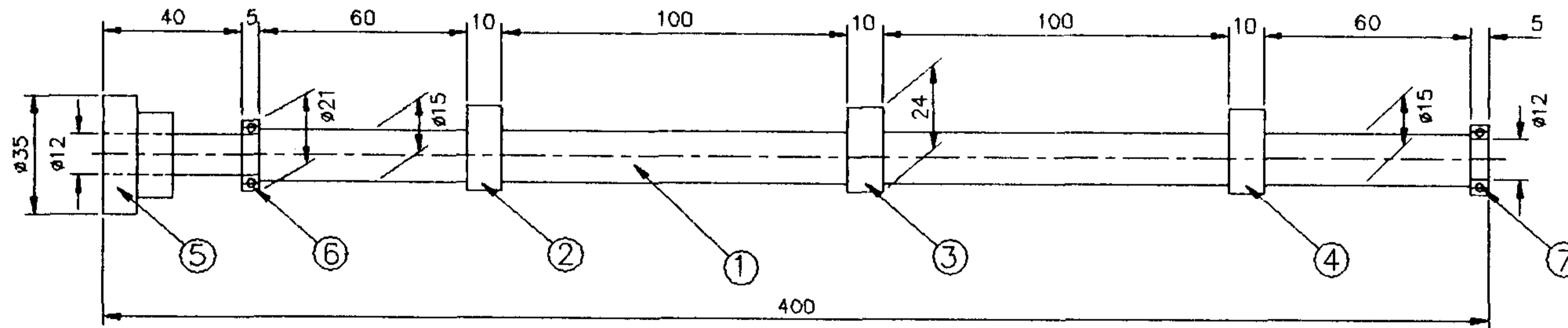


DETAIL A



TITLE	PULLEY FOR MOTOR				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	1 - 4	1	8/20/1993	MB9R1
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

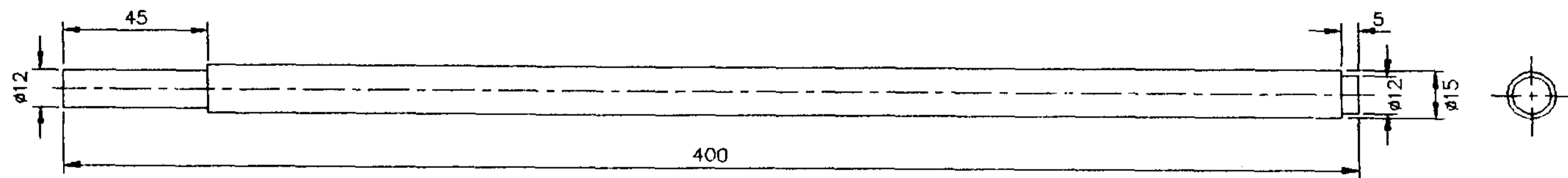
CAM SHAFT ASSEMBLY



- 1. CAM SHAFT
- 2,3,4. CAM
- 5. CAM SHAFT PULLEY
- 6,7. BEARING (TYPE 6801)

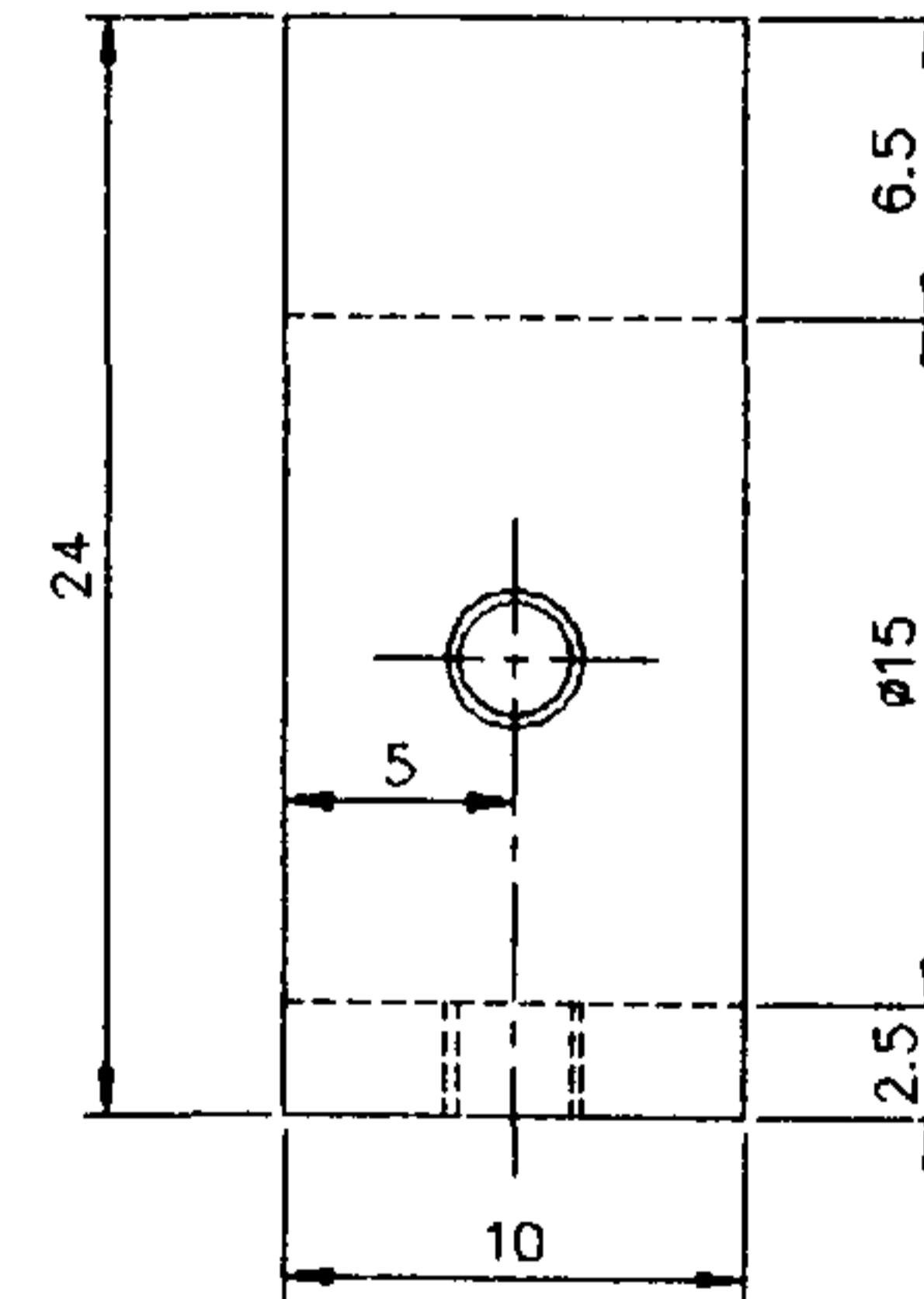
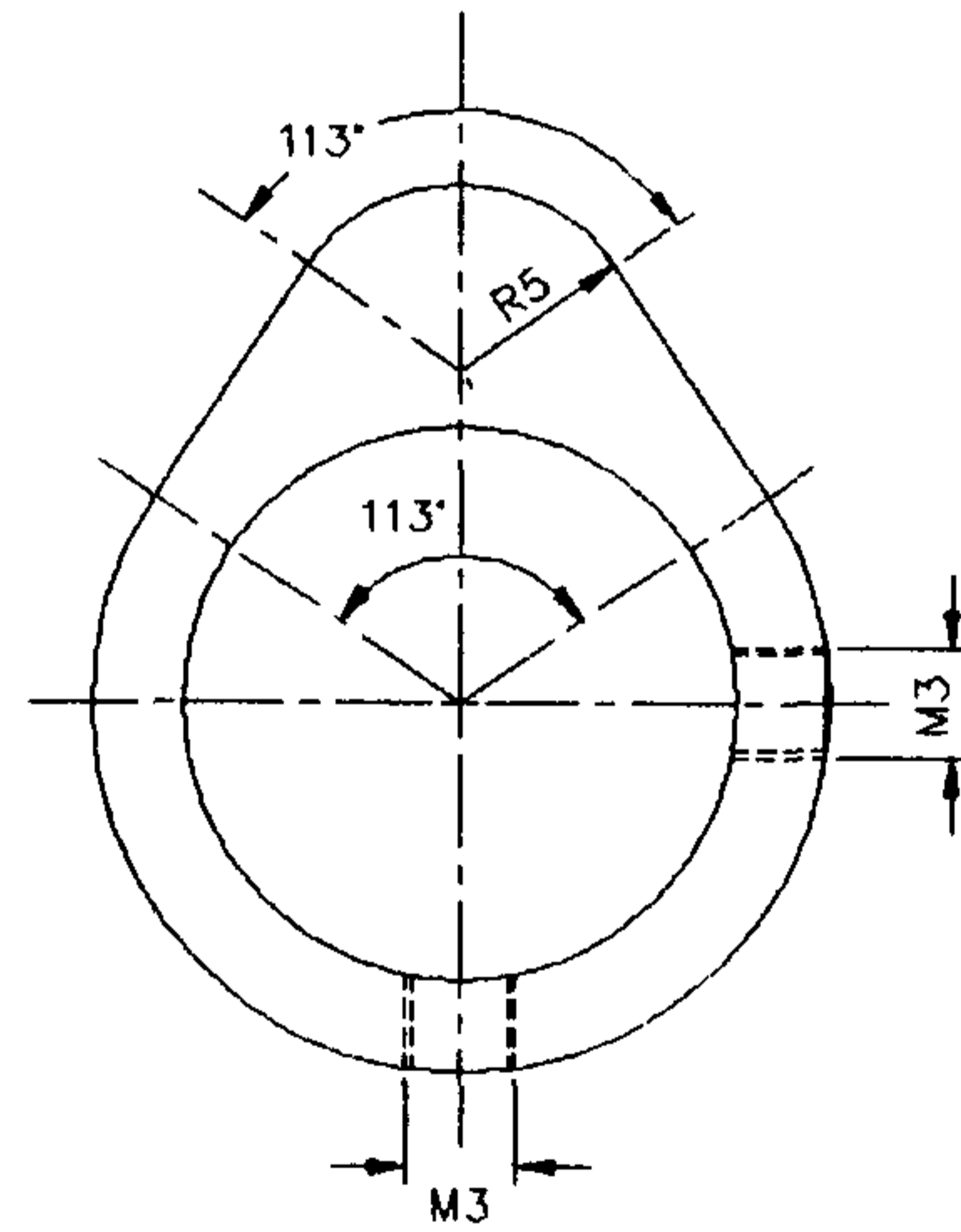
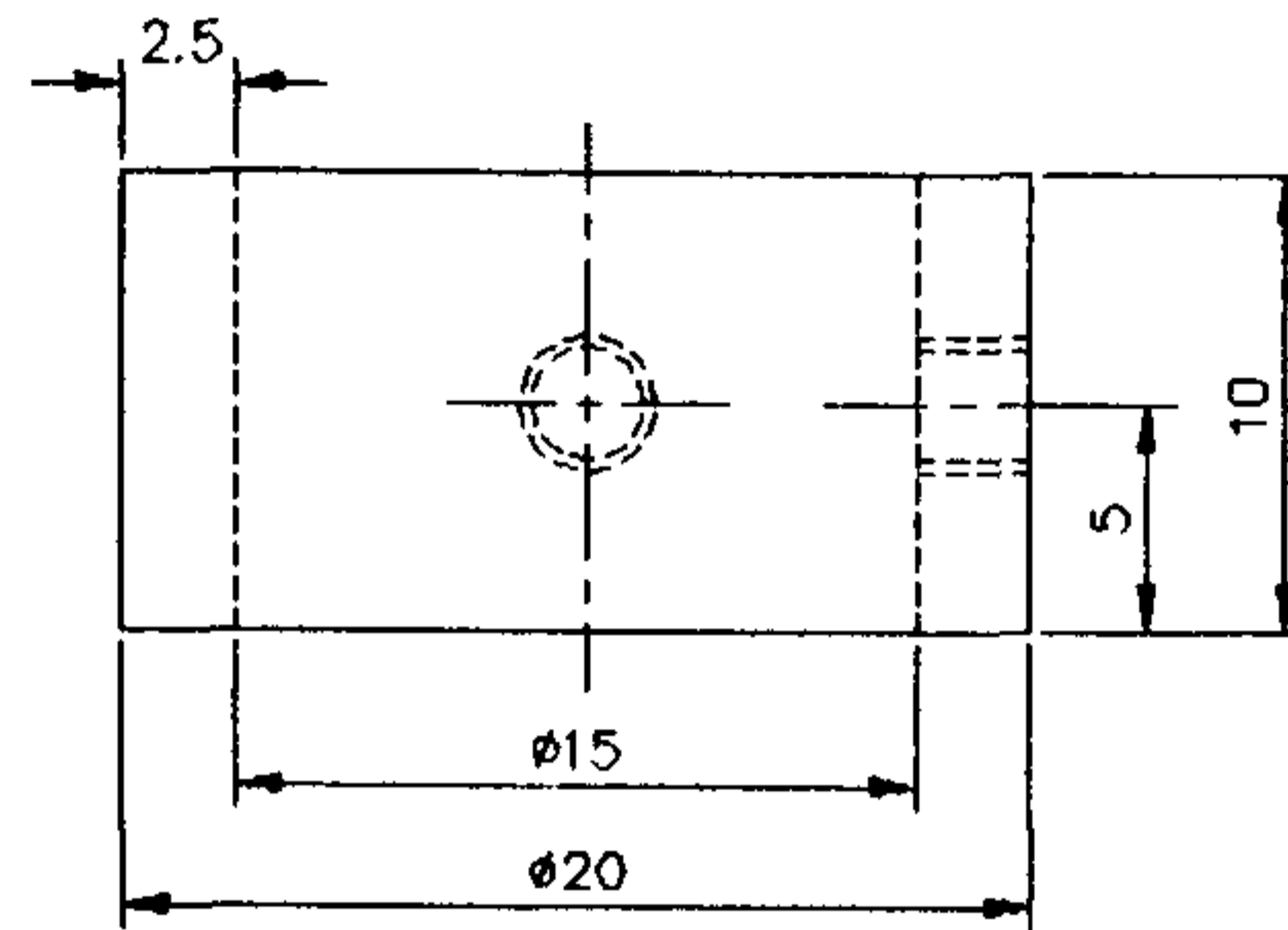
TITLE	CAM SHAFT ASSEMBLY				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT' L
	MM	2 - A	1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

CAM SHAFT ASSEMBLY 1



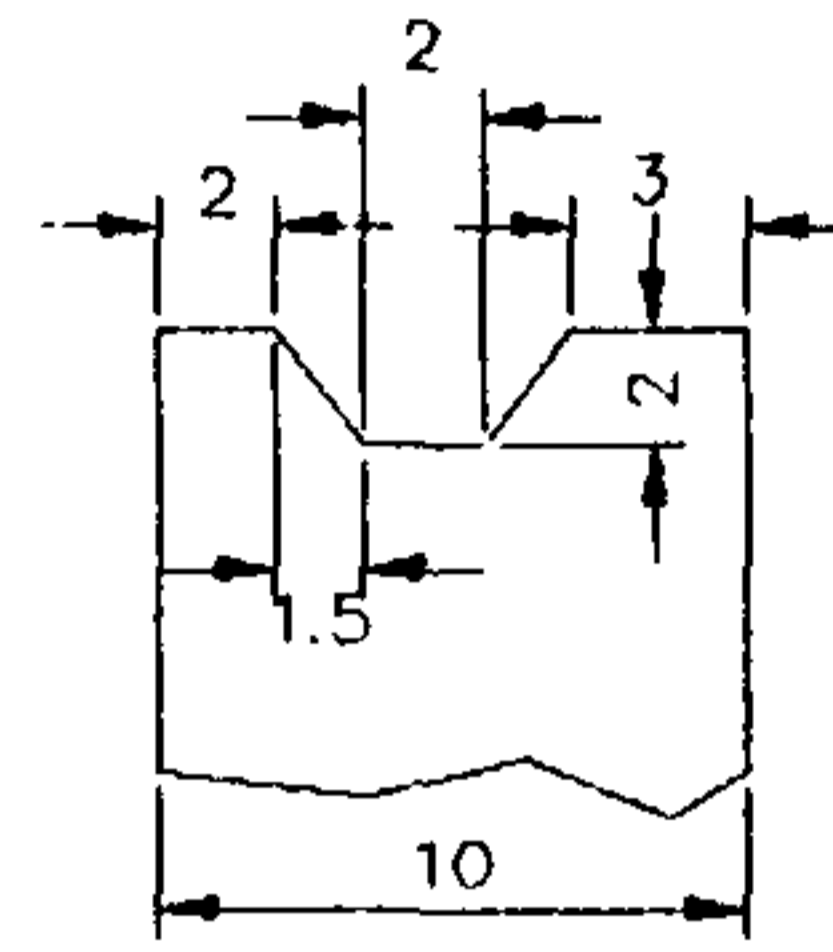
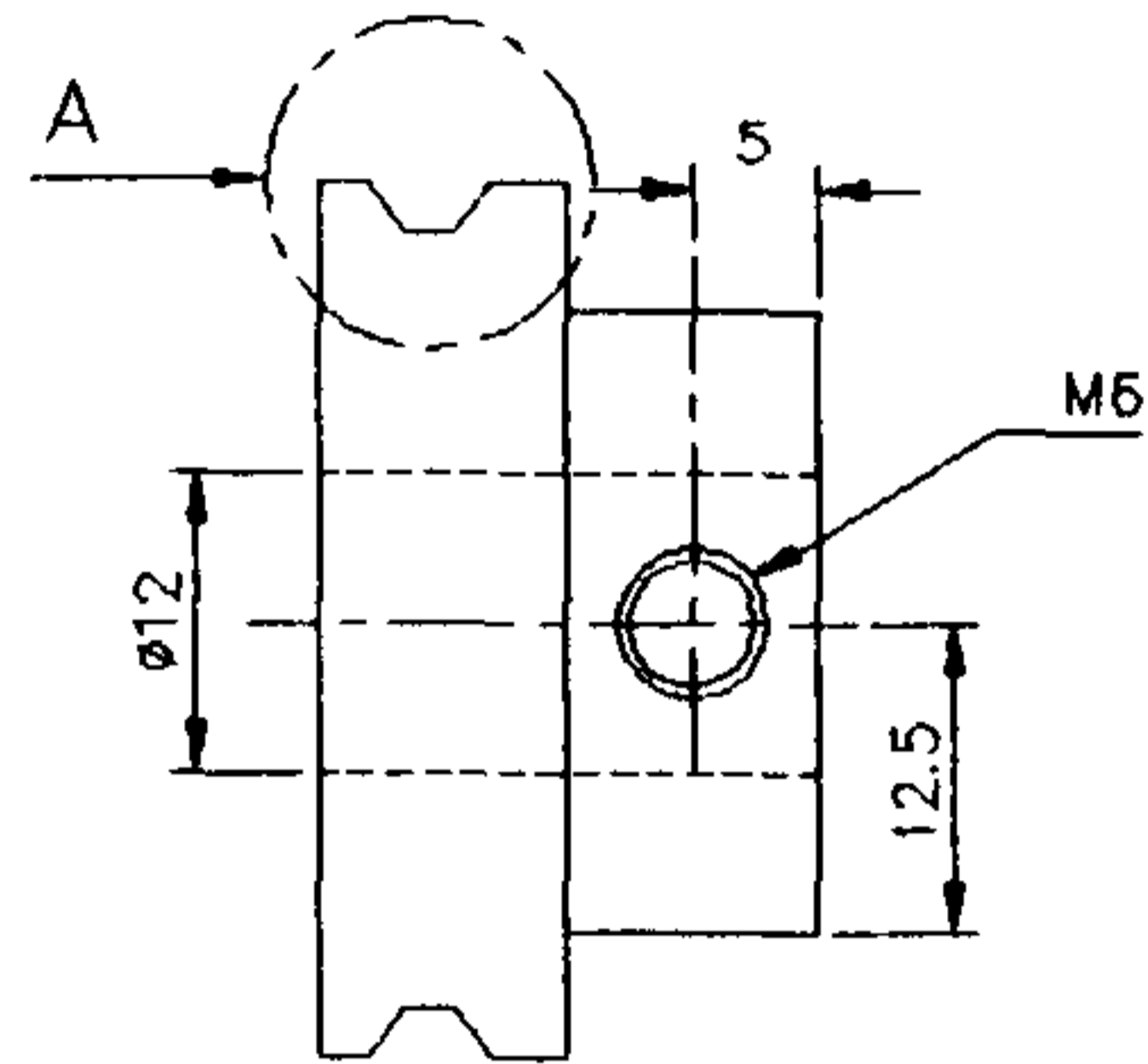
TITLE	CAM SHAFT				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT' L
	MM	2 - 1	1	8/20/1993	SM45C
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

CAM SHAFT ASSEMBLY 2,3,4. (CAM)

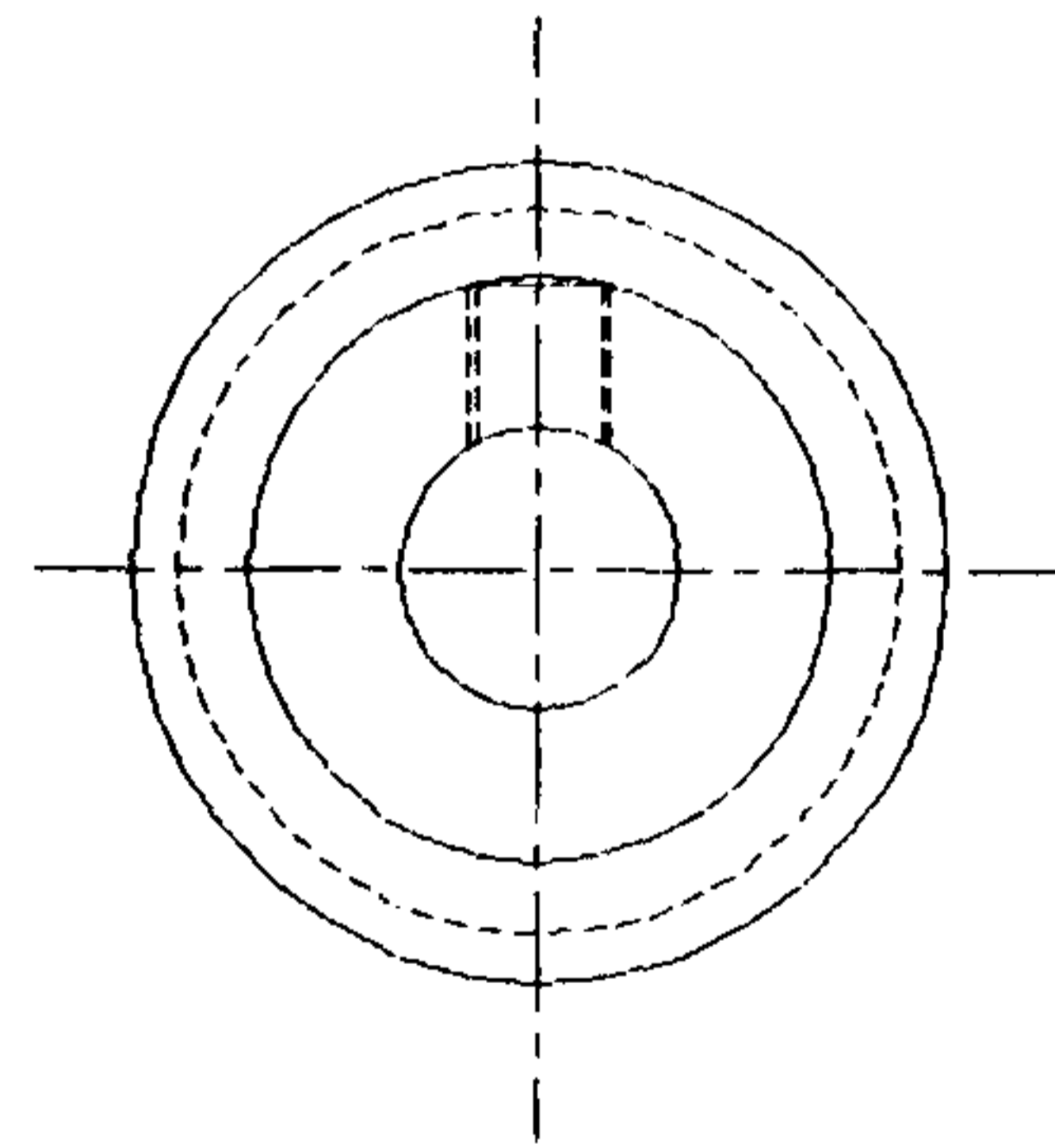
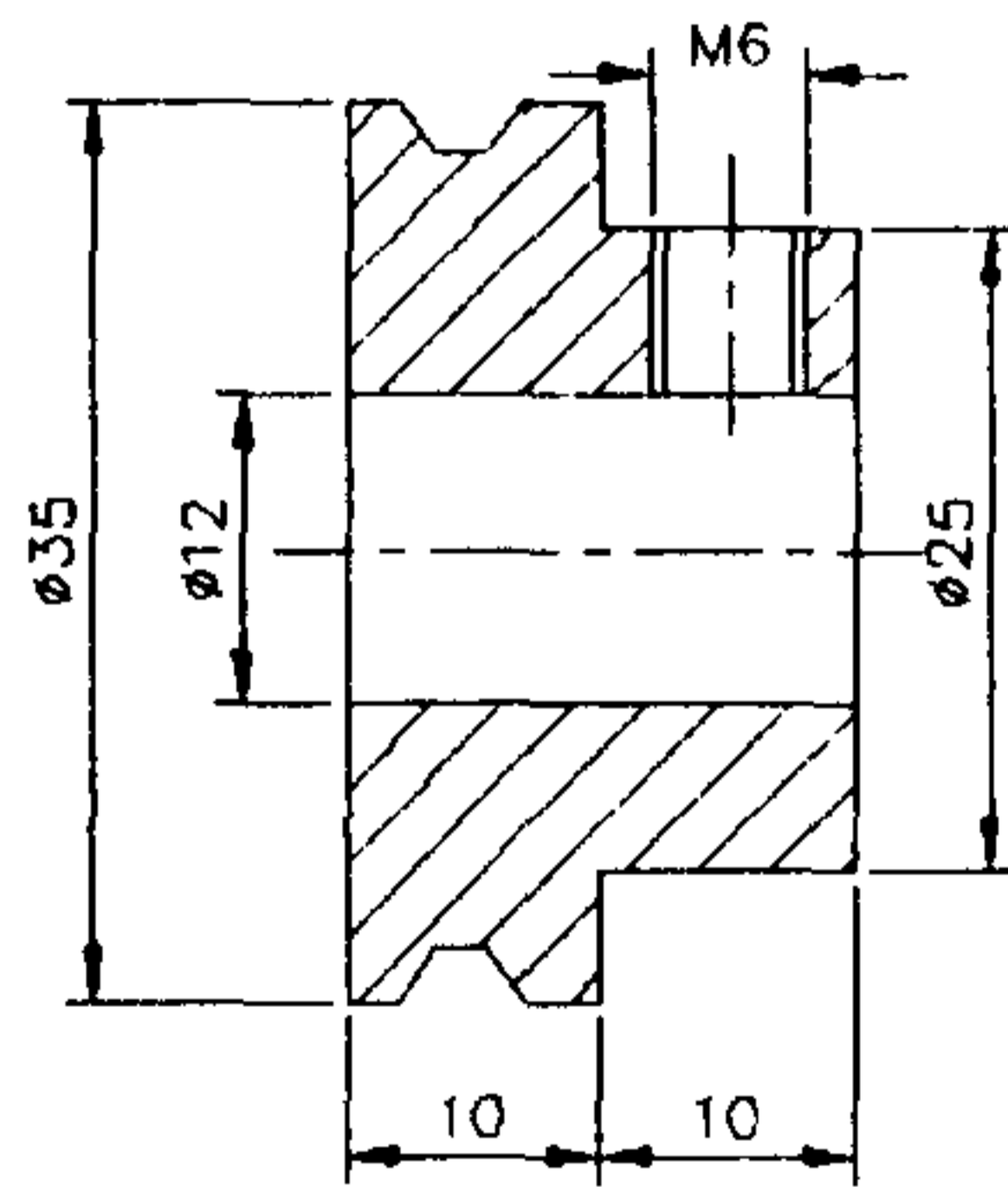


TITLE	CAM				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT' L
	MM	2-2,3,4	3	8/20/1993	MBR1
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

CAM SHAFT ASSEMBLY 5.

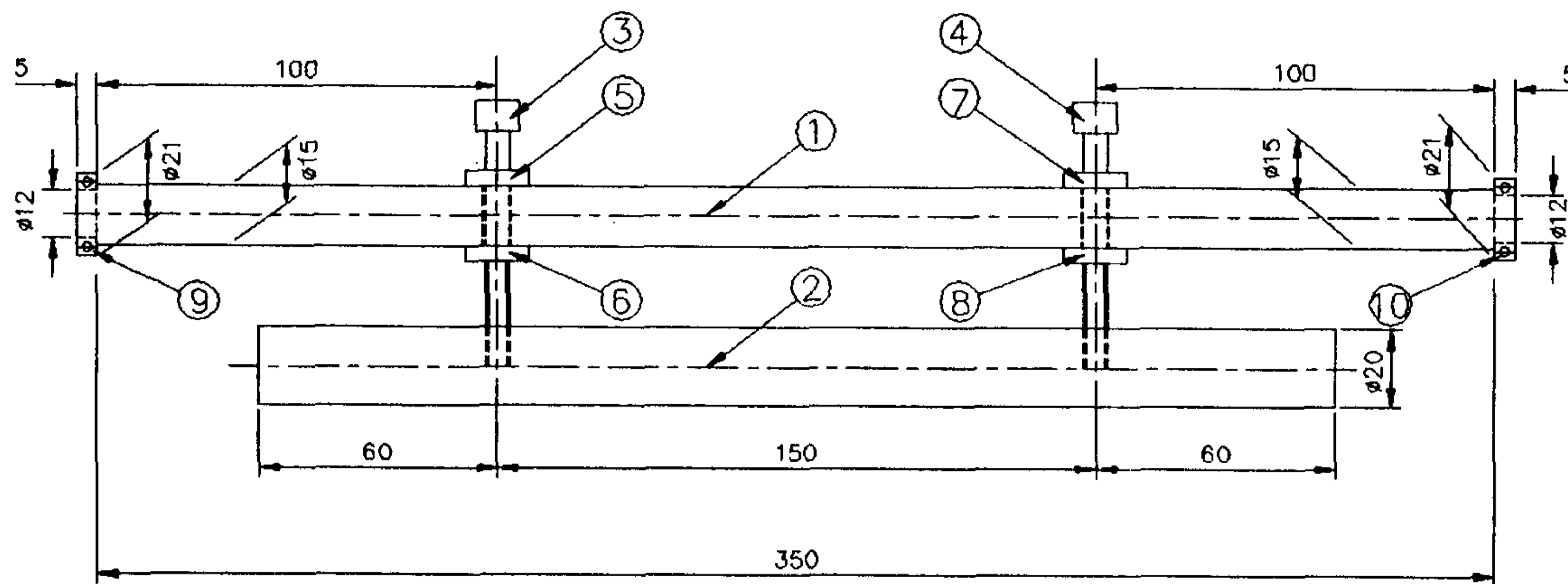


DETAIL A



TITLE	CAM SHAFT PULLEY				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	2 - 5	1	8/20/1993	MBR1
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

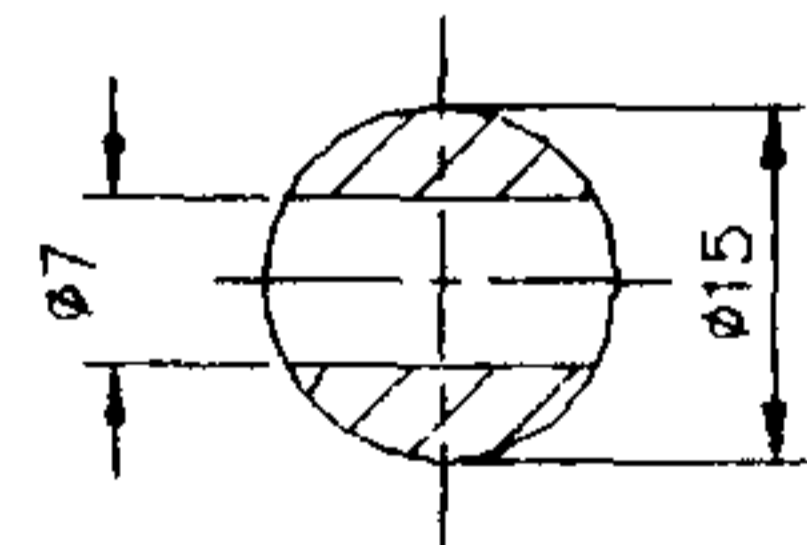
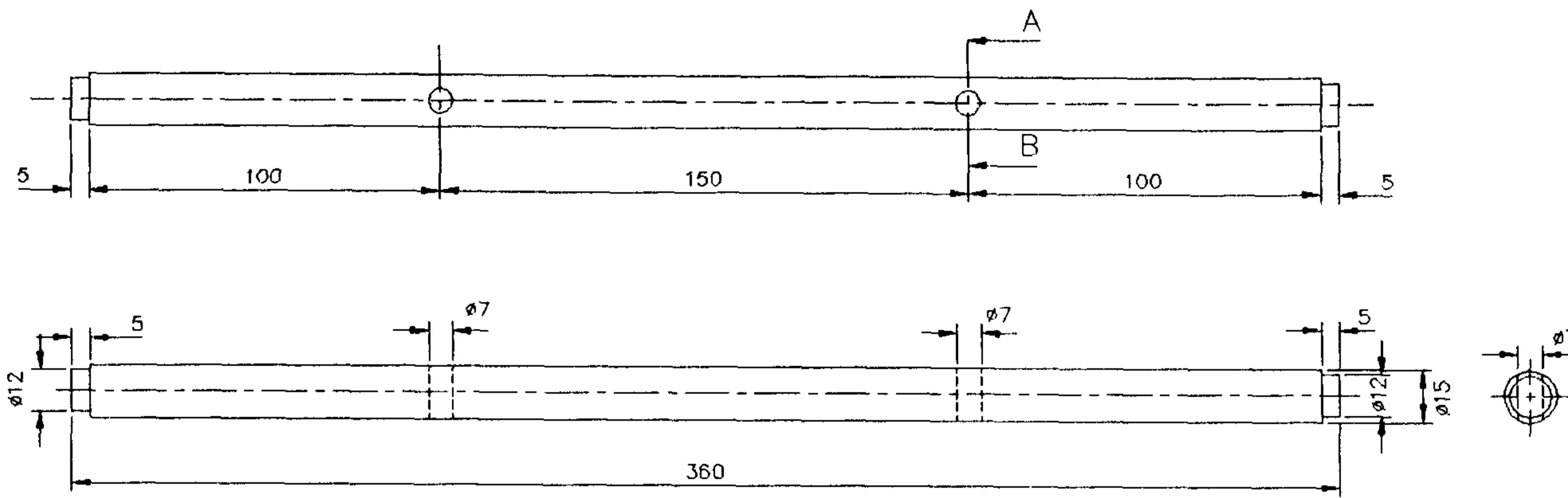
DECELERATOR ASSEMBLY.



- 1. DECELERATOR SHAFT
- 2. DECELERATING ROD
- 3,4. CONNECTING BOLT
- 5,6,7,8. NUT
- 9,10. BEARING (TYPE 6801)

TITLE					
DECELERATOR ASSEMBLY					
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	3 - A	1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

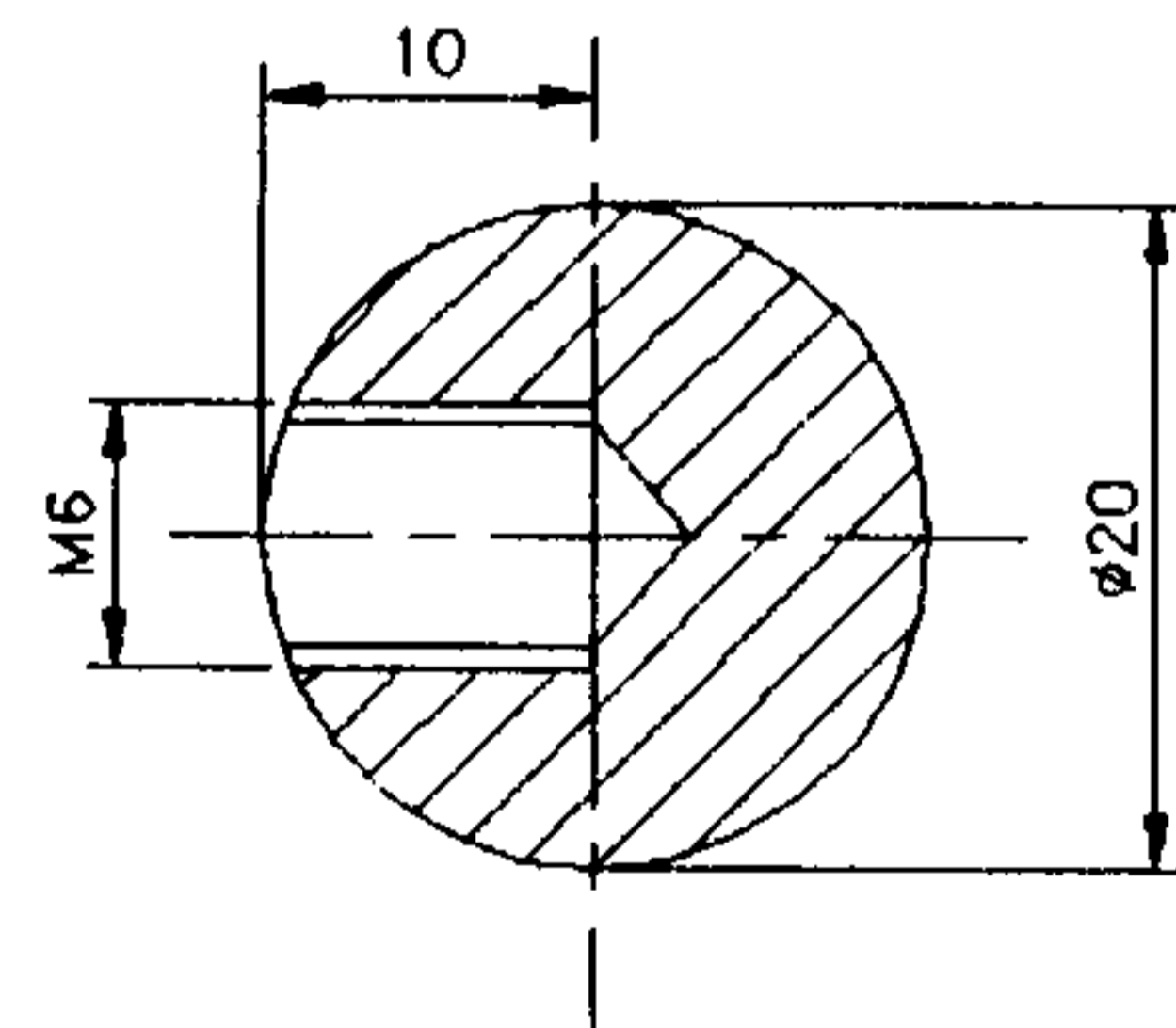
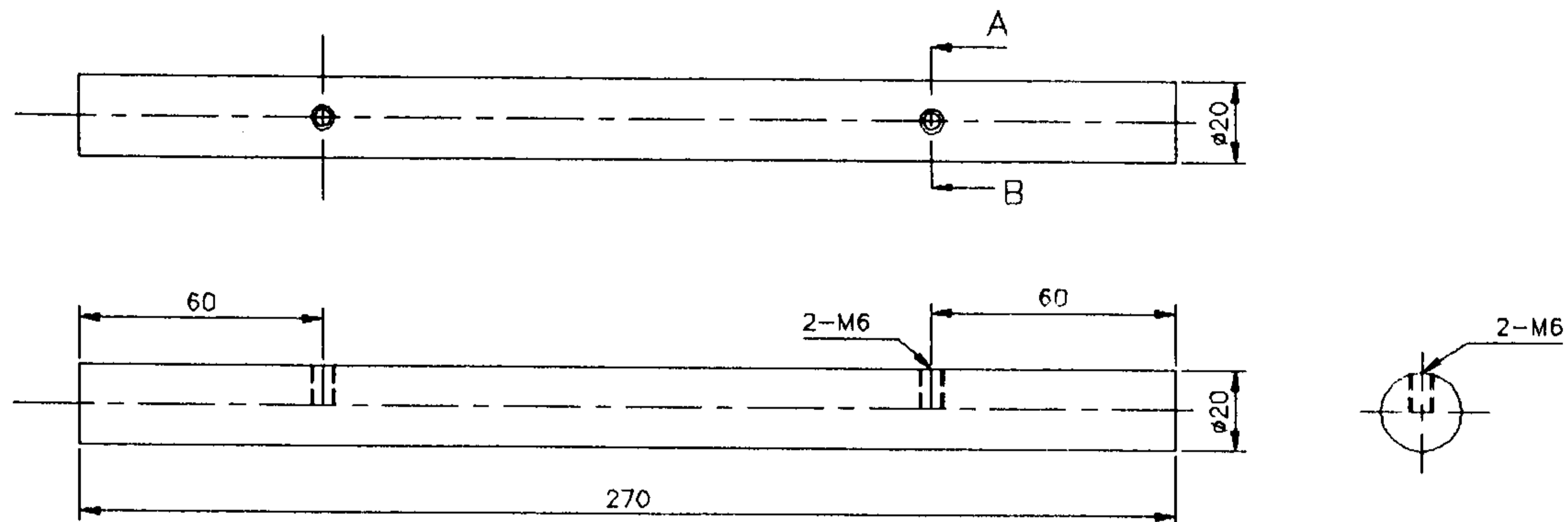
DECELERATOR ASSEMBLY 1.



SECTION A-B

TITLE	DECELERATOR SHAFT				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT'L
	MM	3 - 1	1	8/20/1993	SM45C
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

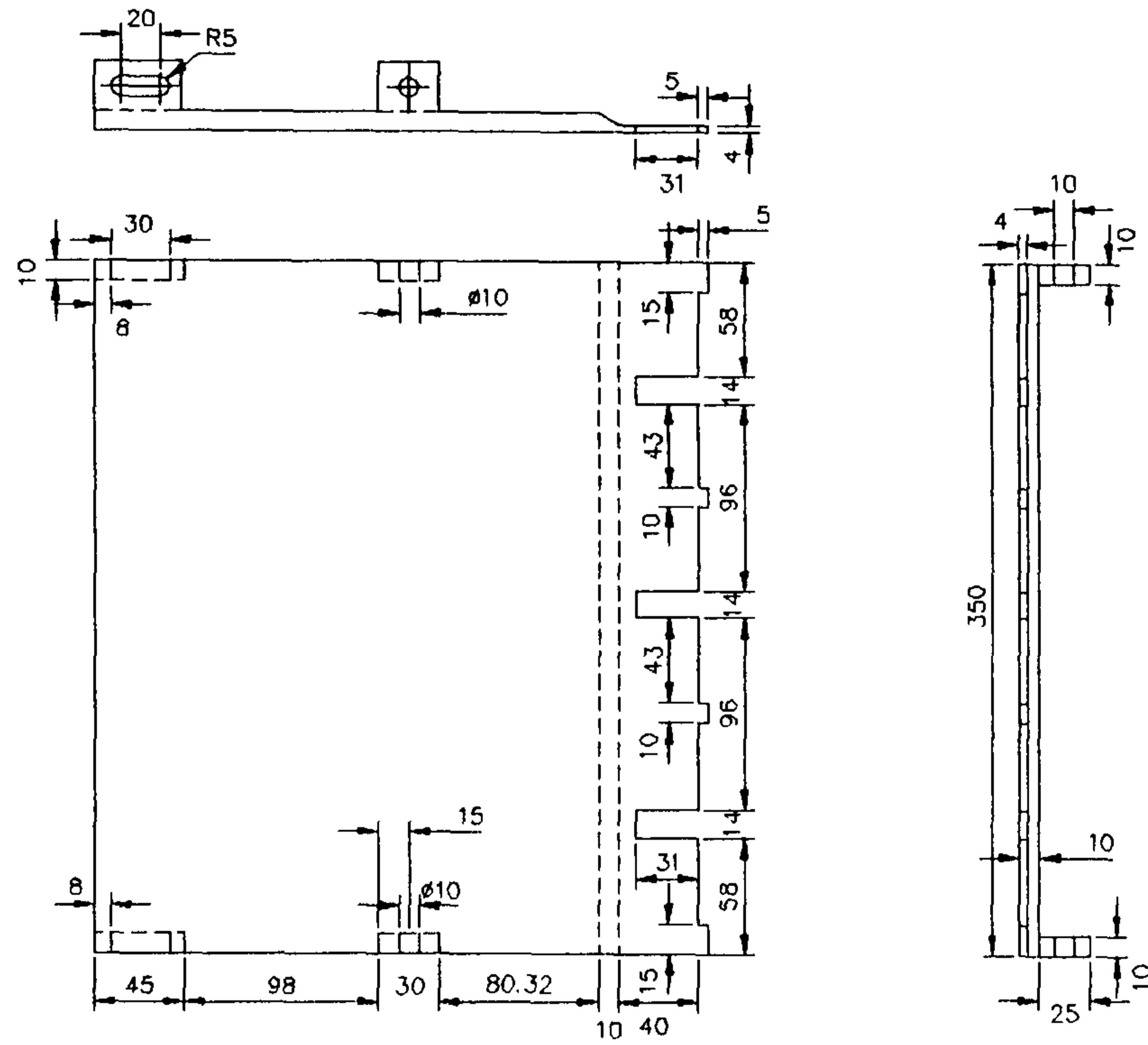
DECELERATOR ASSEMBLY 2.



SECTION A-B

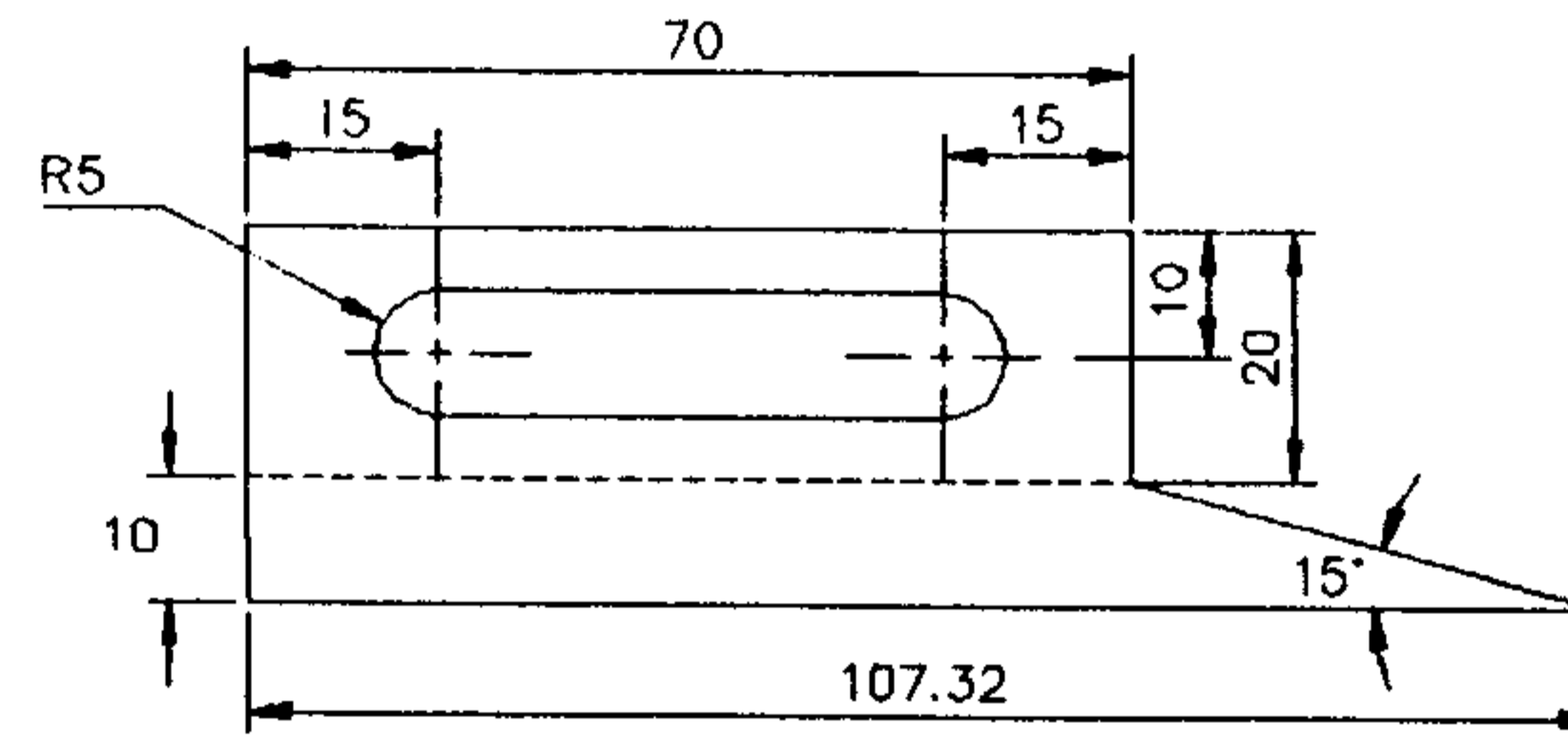
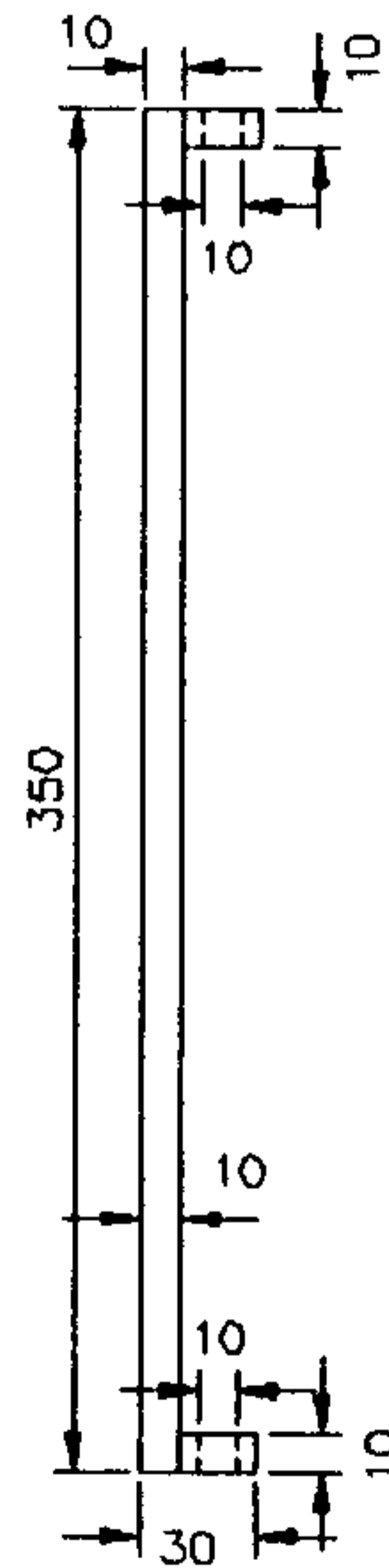
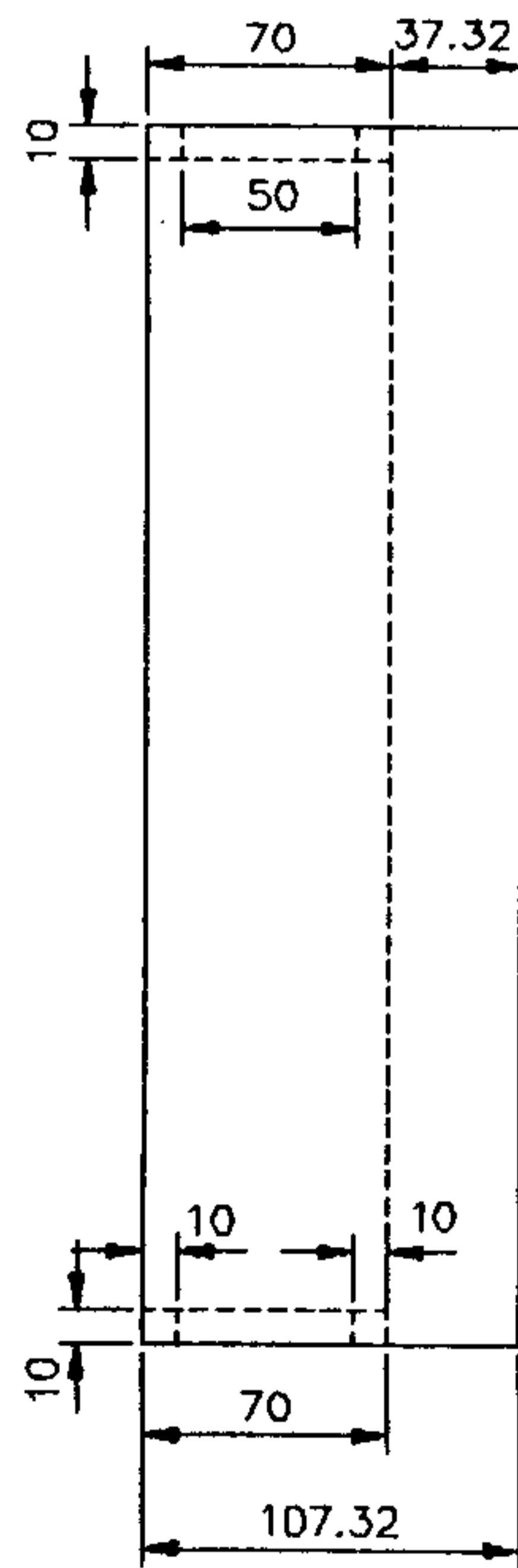
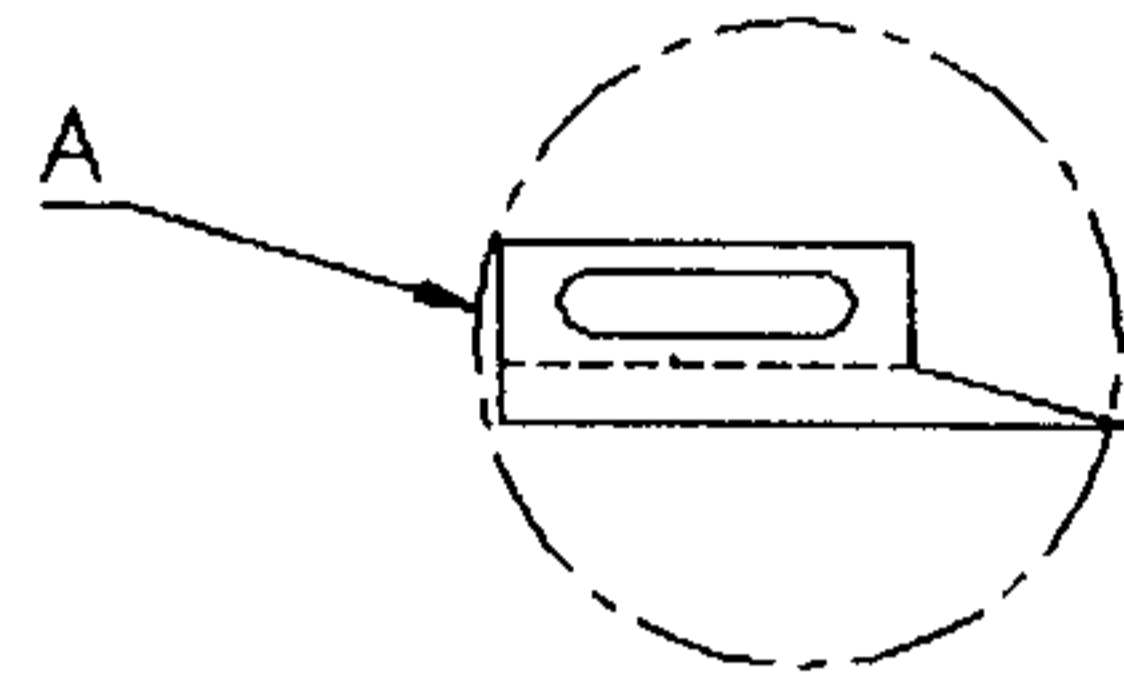
TITLE	DECELERATING ROD				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	3 - 2	1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

LOWER PLATE



TITLE	LOWER PLATE				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT'L
	MM	4	1	B/20/1993	A6081
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

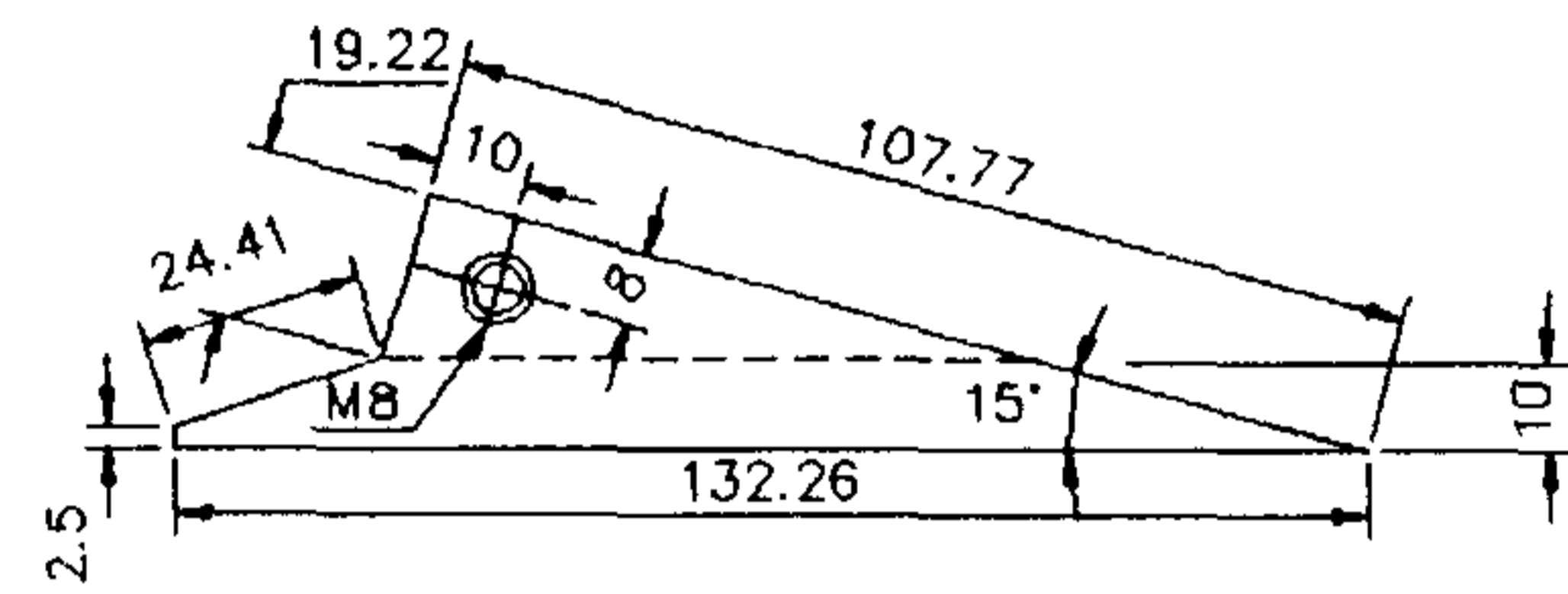
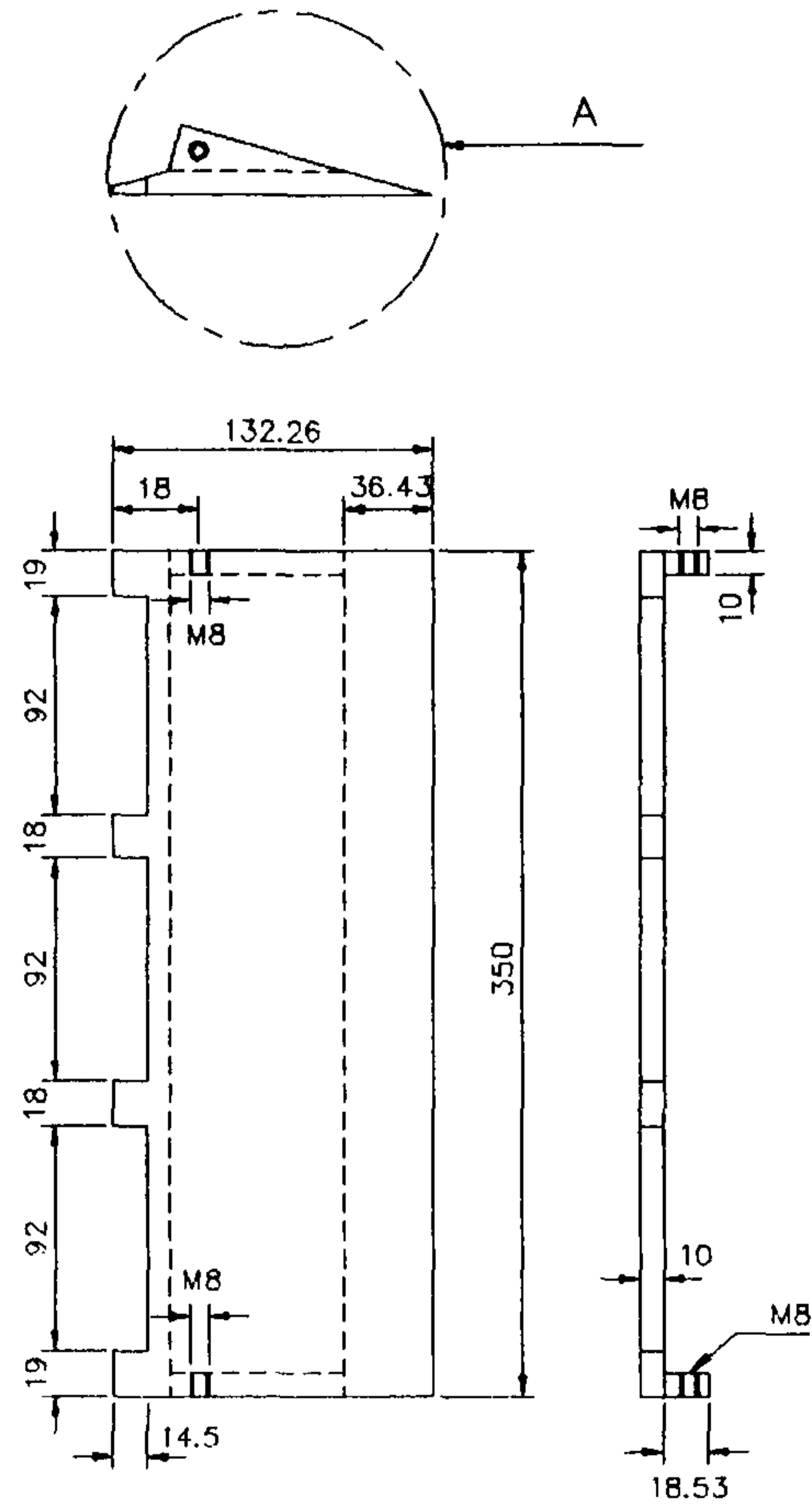
UPPER PLATE



DETAIL A

TITLE	UPPER PLATE				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	5	1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

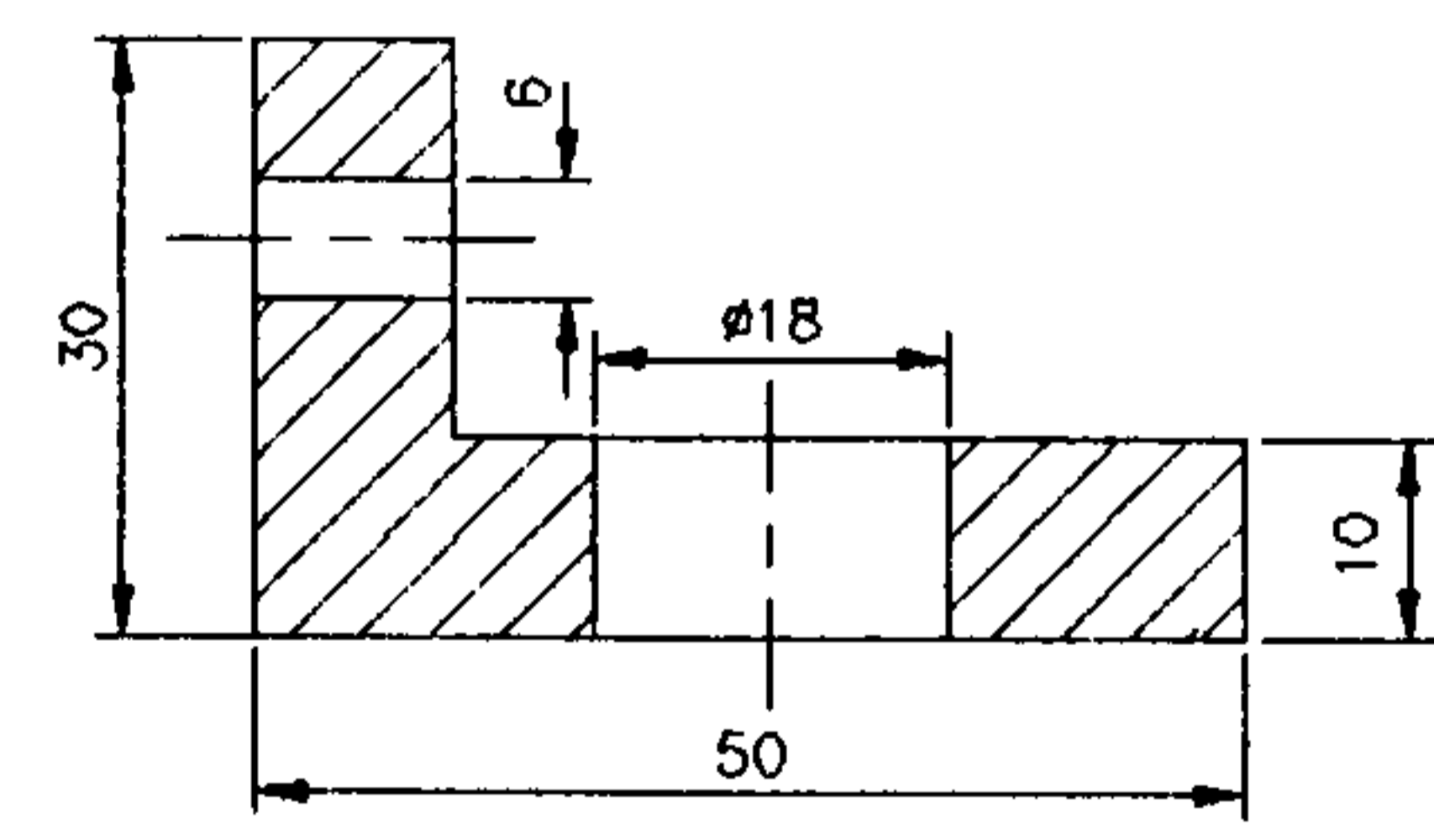
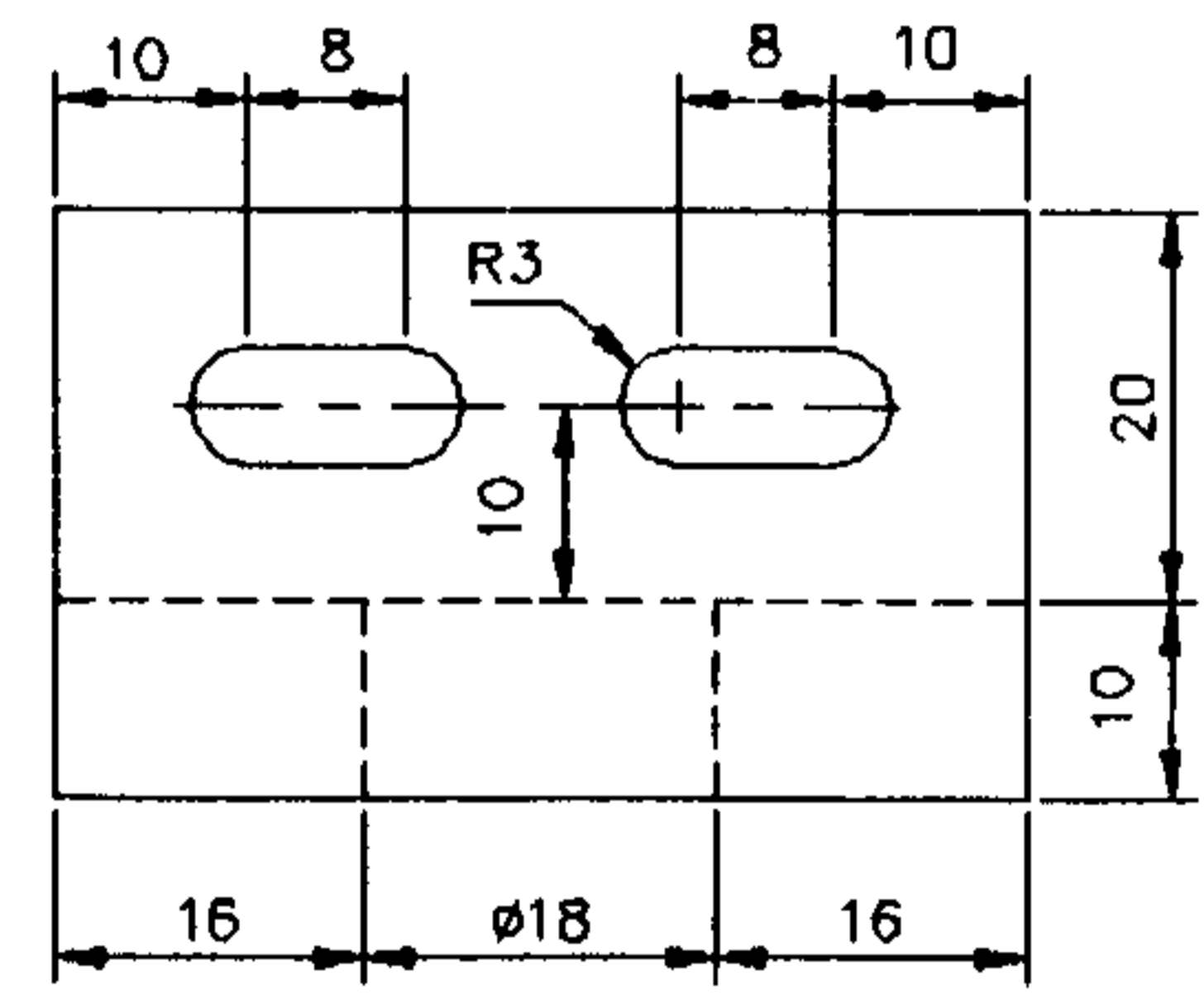
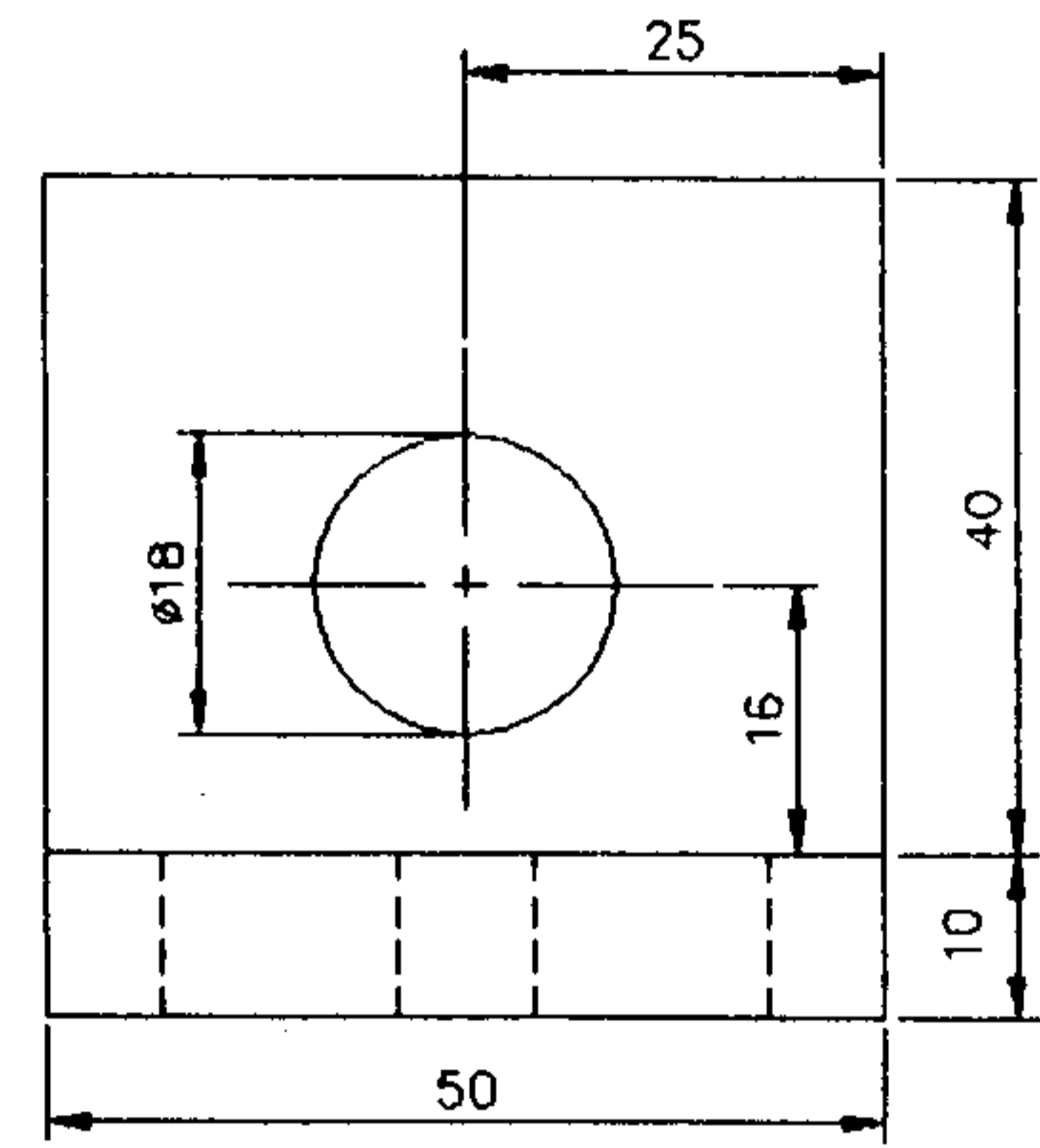
SLIDING PLATE



DETAIL A

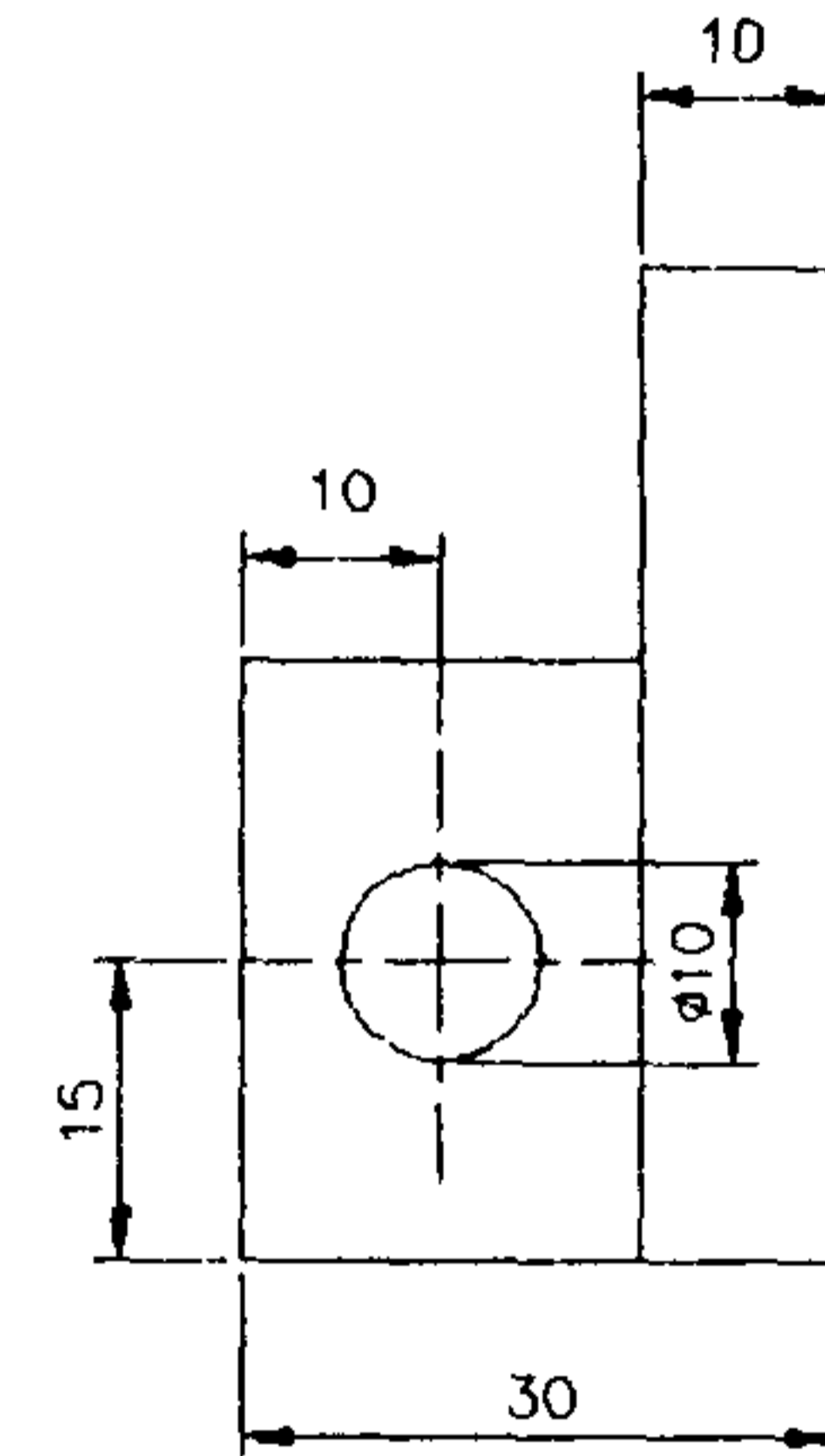
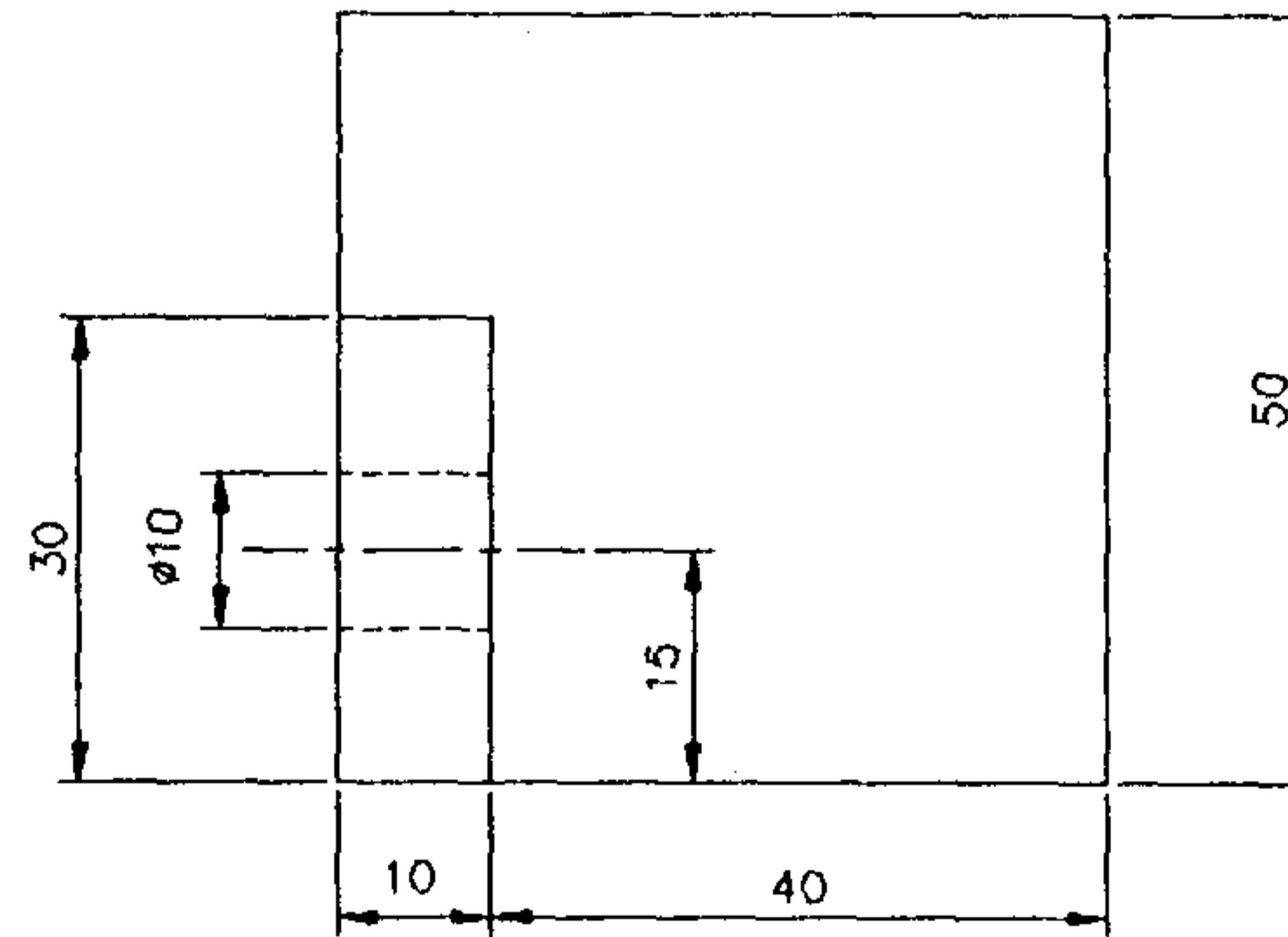
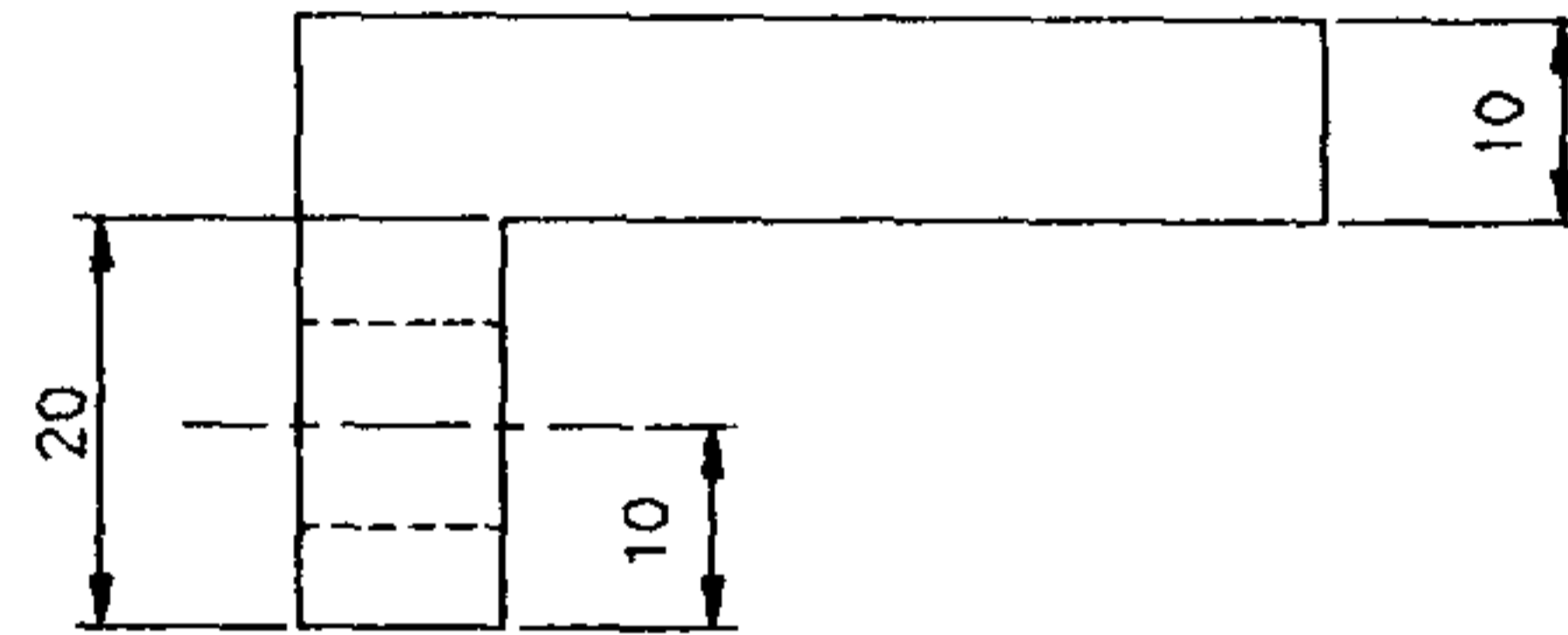
TITLE	SLIDING PLATE				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT'L
	MM	6	1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

SENSOR MOUNT



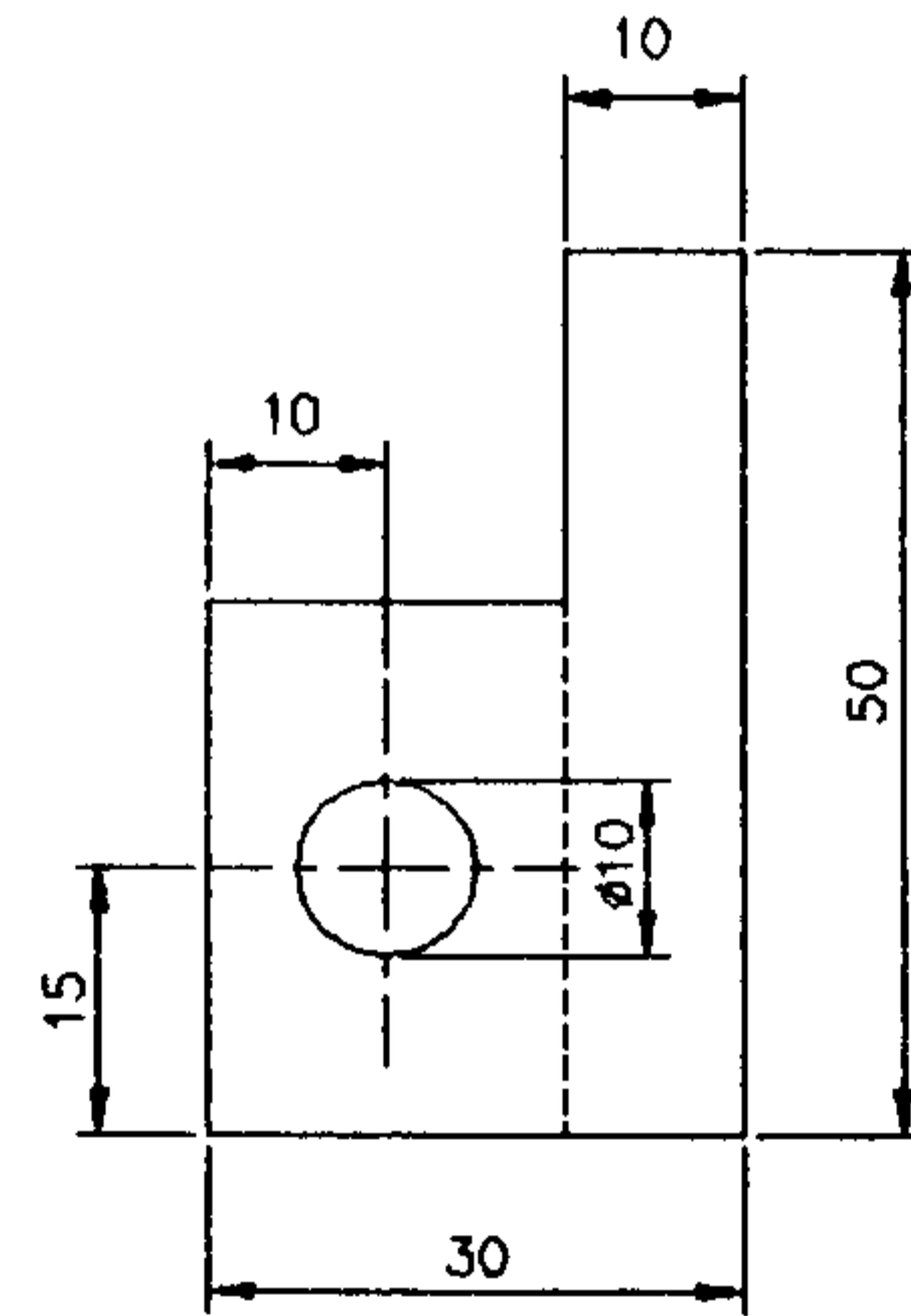
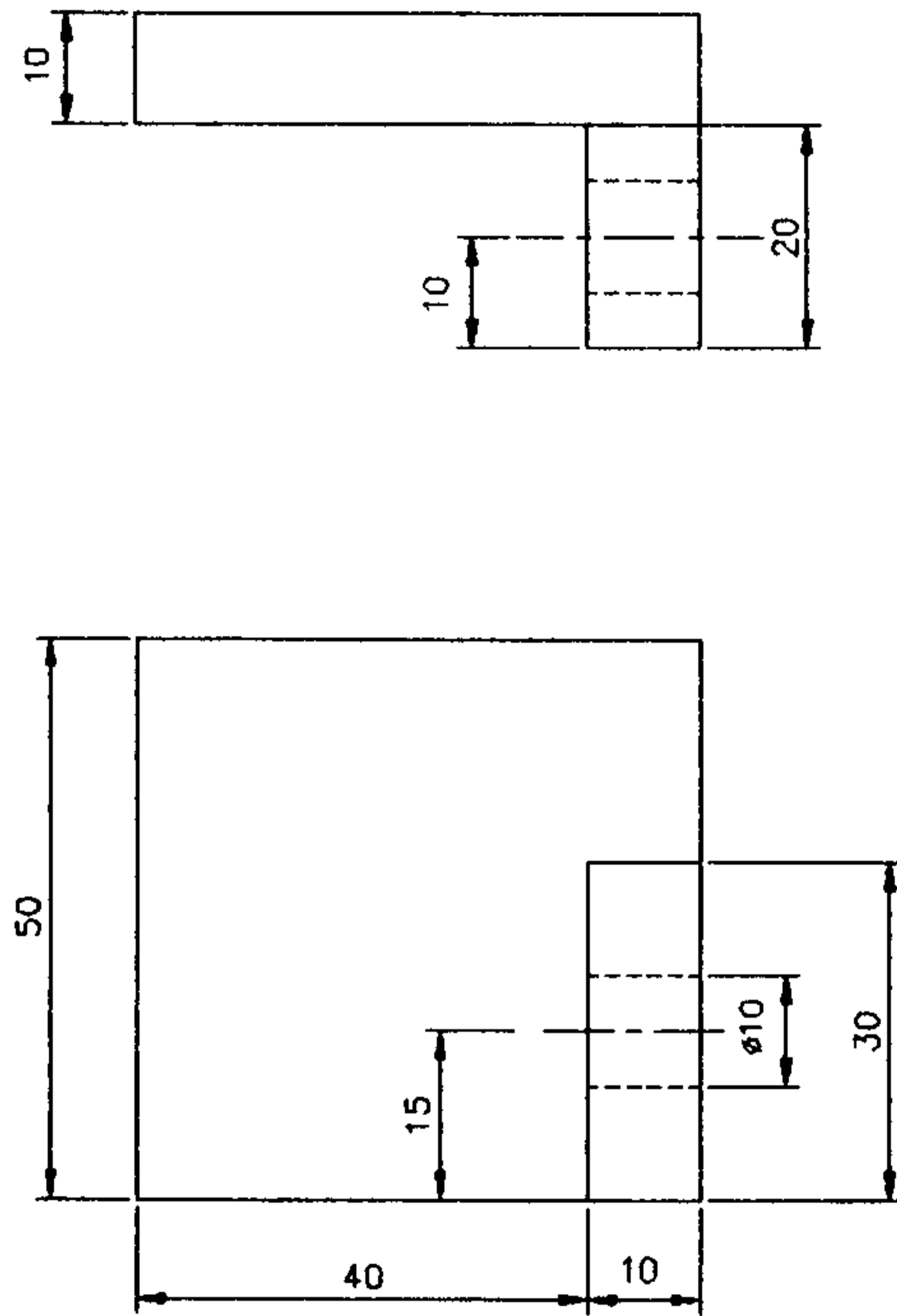
TITLE	SENSOR MOUNT				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	7	2	8/20/1993	A8061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

STOPPER 1.



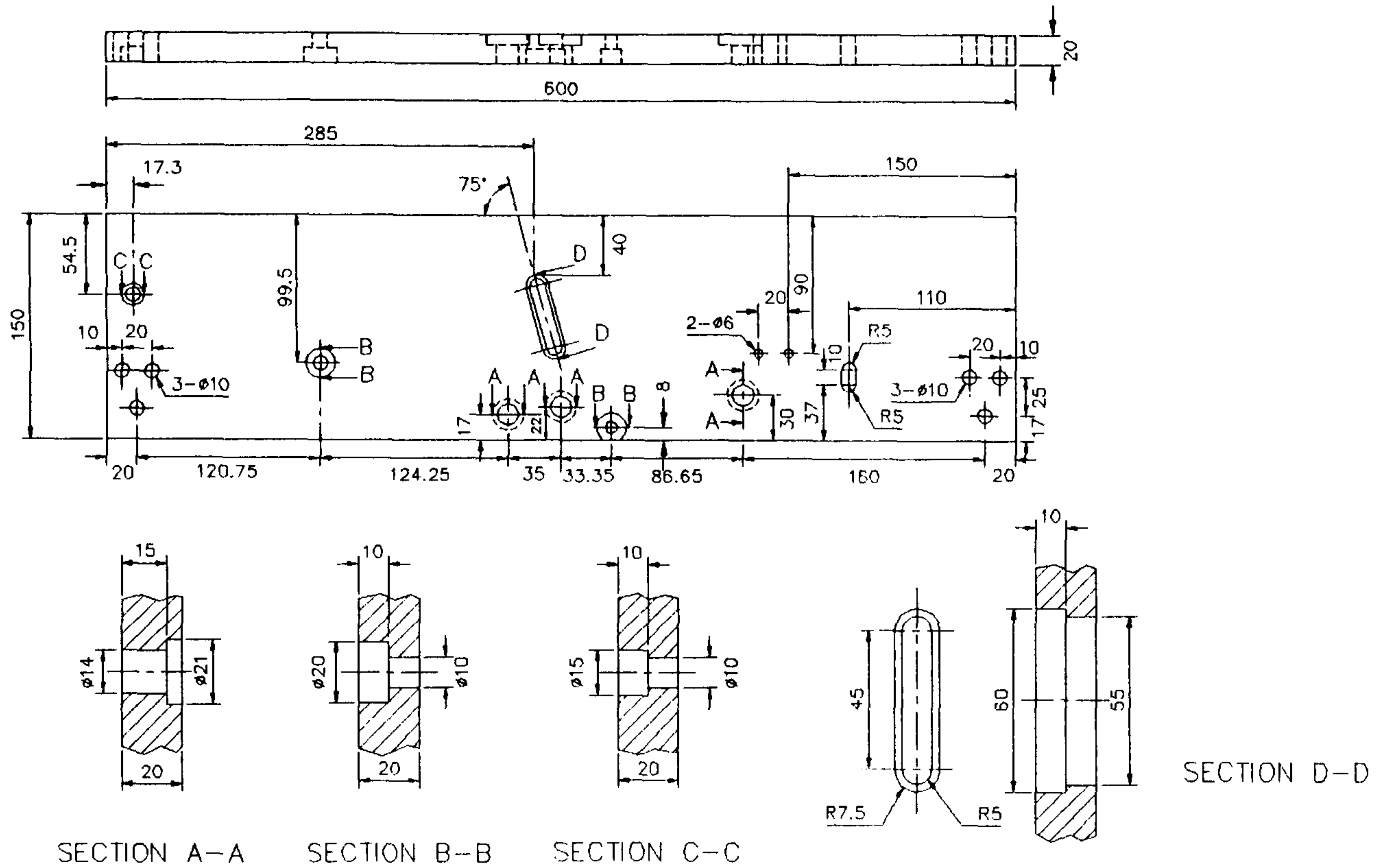
TITLE	STOPPER 1.				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	8 - 1	1	8/20/1993	A5061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

STOPPER 2.



TITLE	STOPPER 2				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MATL
	MM	8 - 2	1	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

SIDE WALL 1.



SECTION A-A

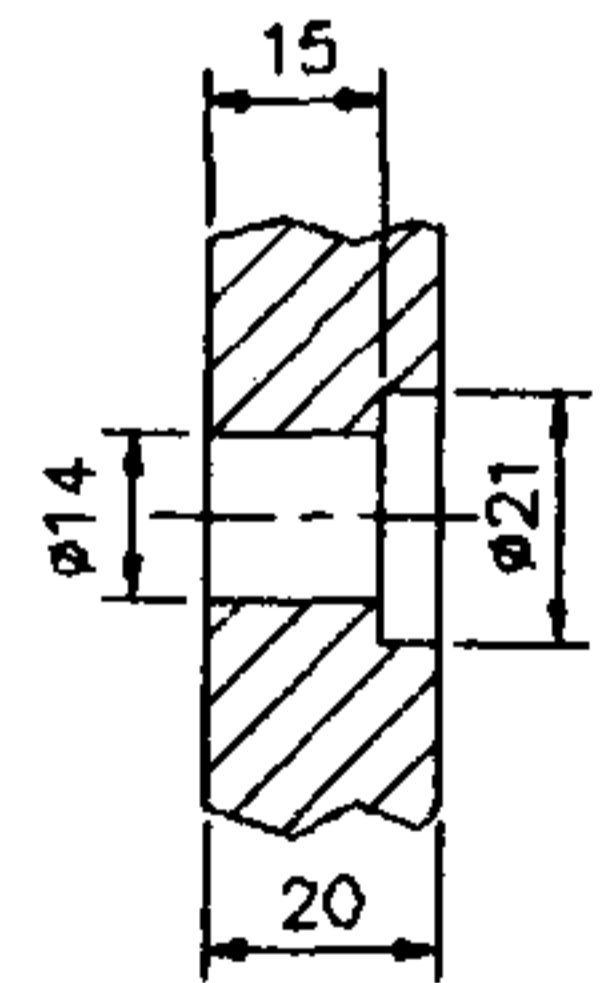
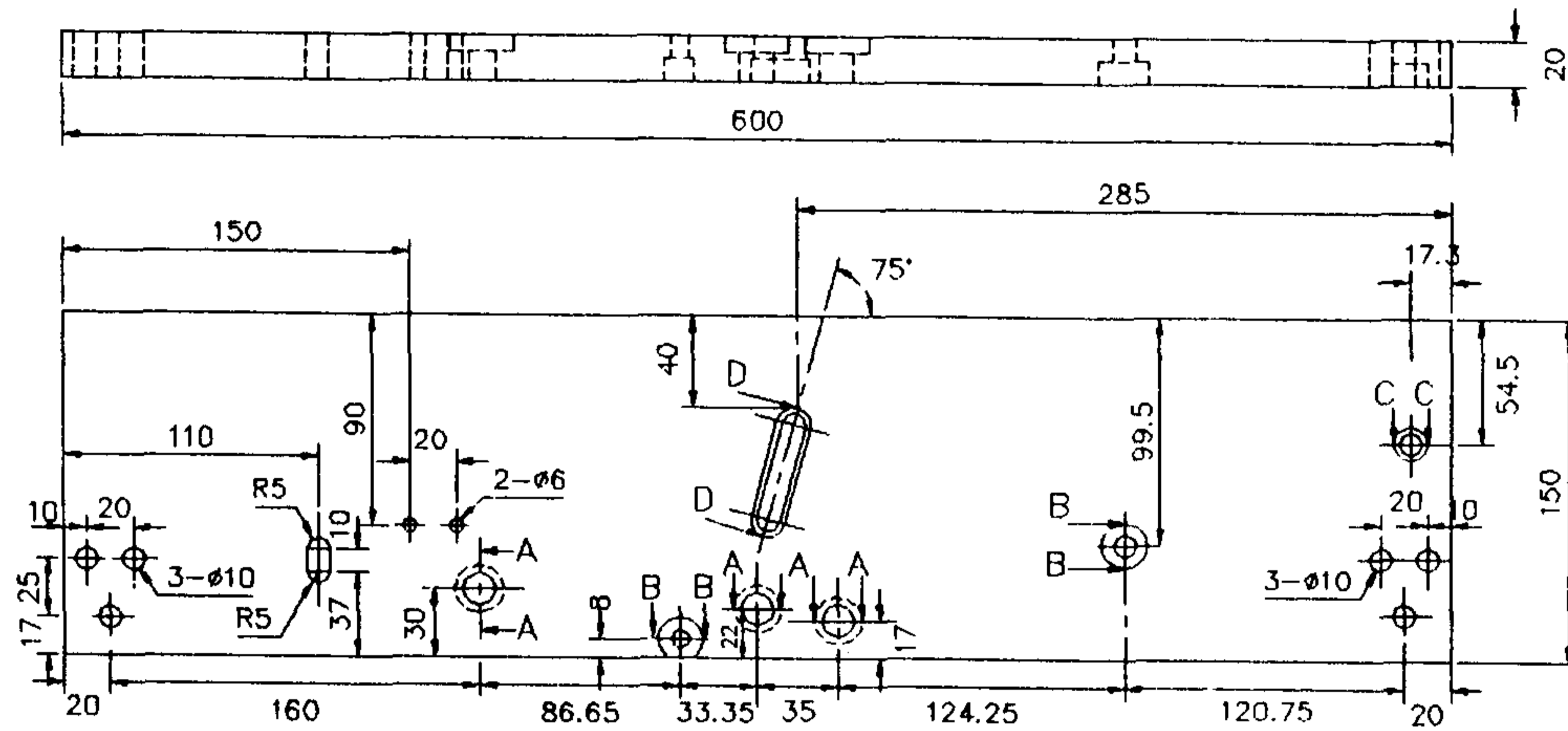
SECTION B-B

SECTION C-C

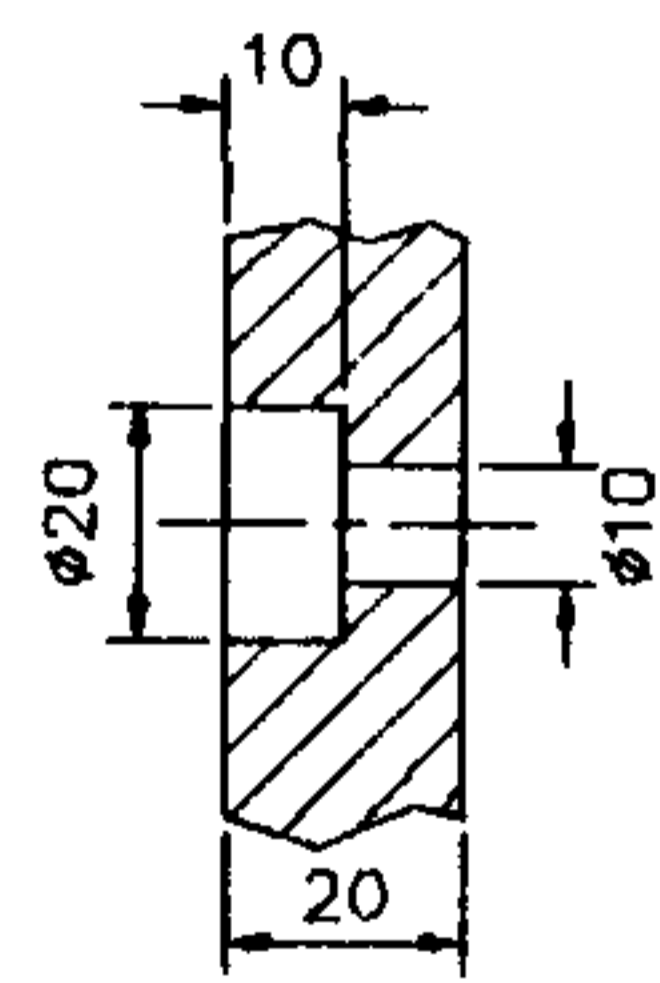
SECTION D-D

TITLE	SIDE WALL 1.				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	9	1	8/20/1993	A6051
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

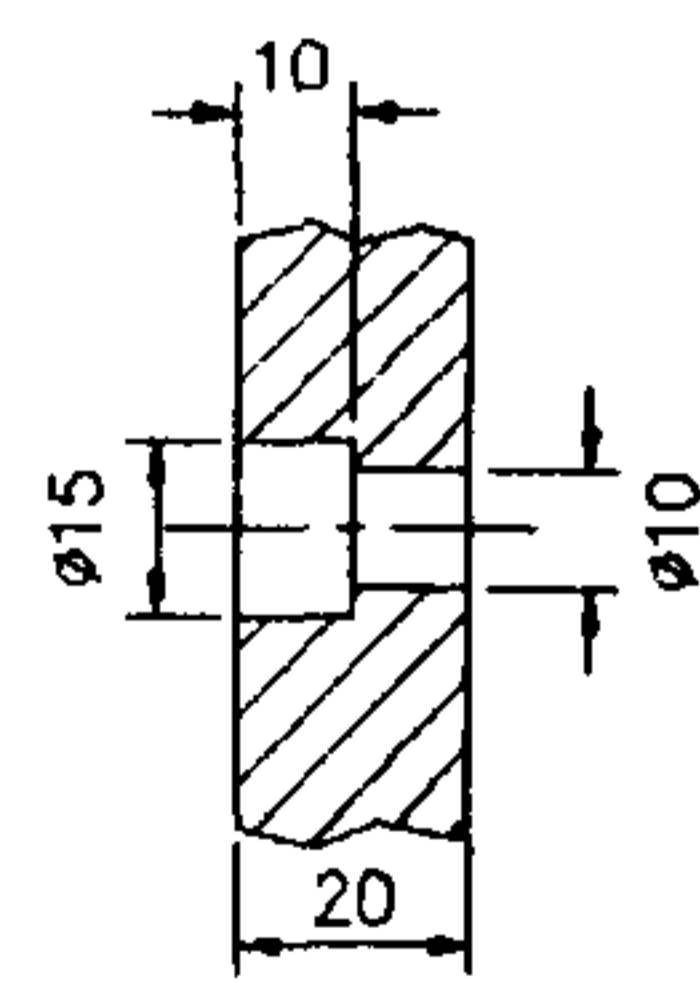
SIDE WALL 2.



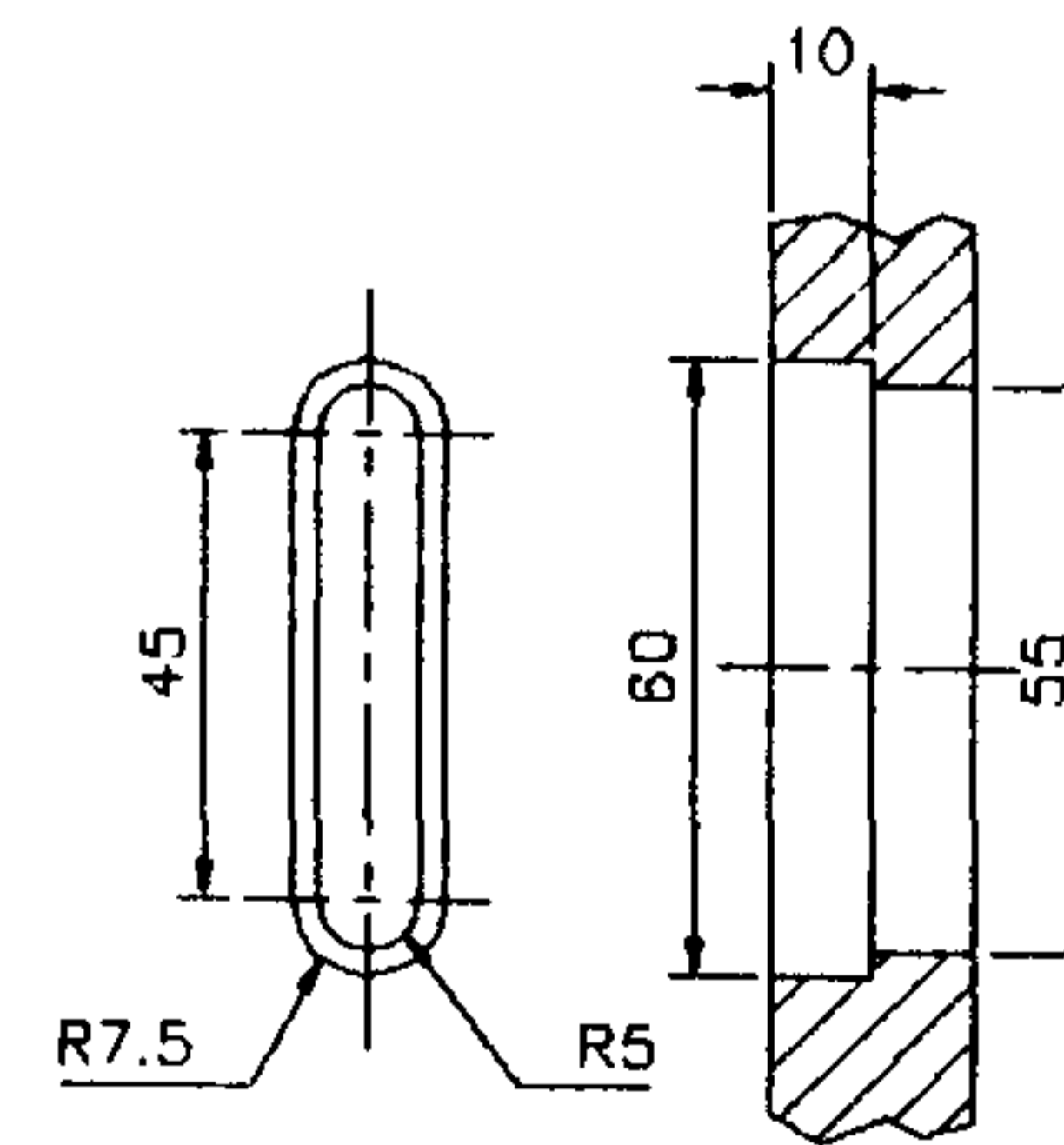
SECTION A-A



SECTION B-B



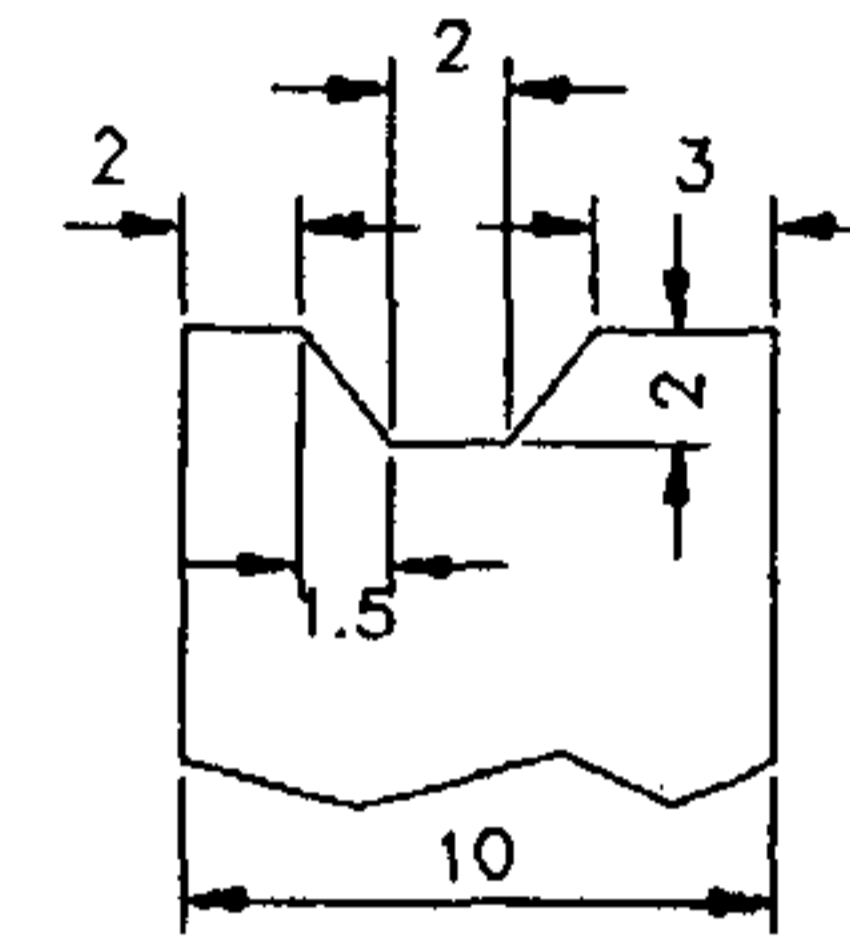
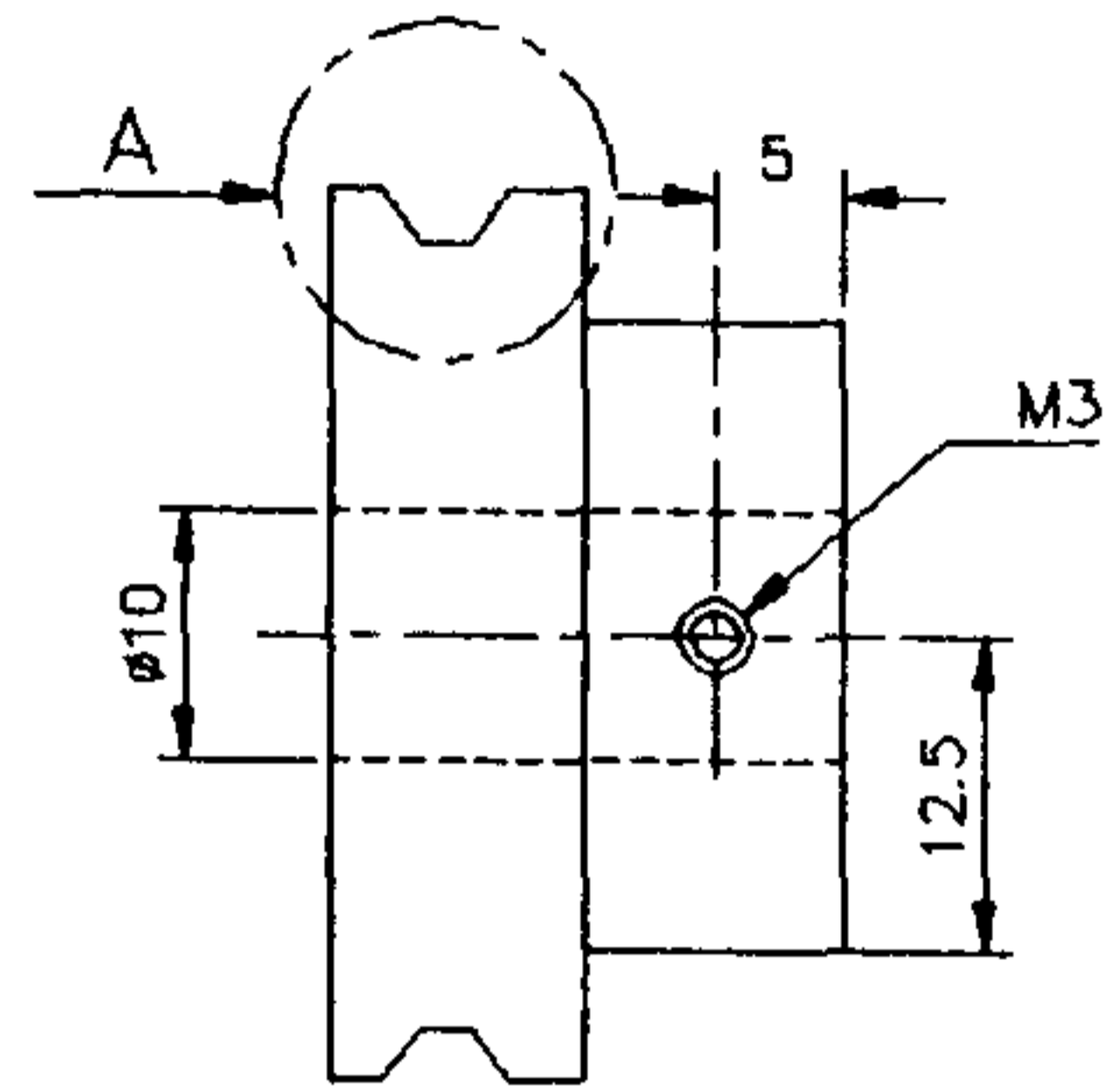
SECTION C-C



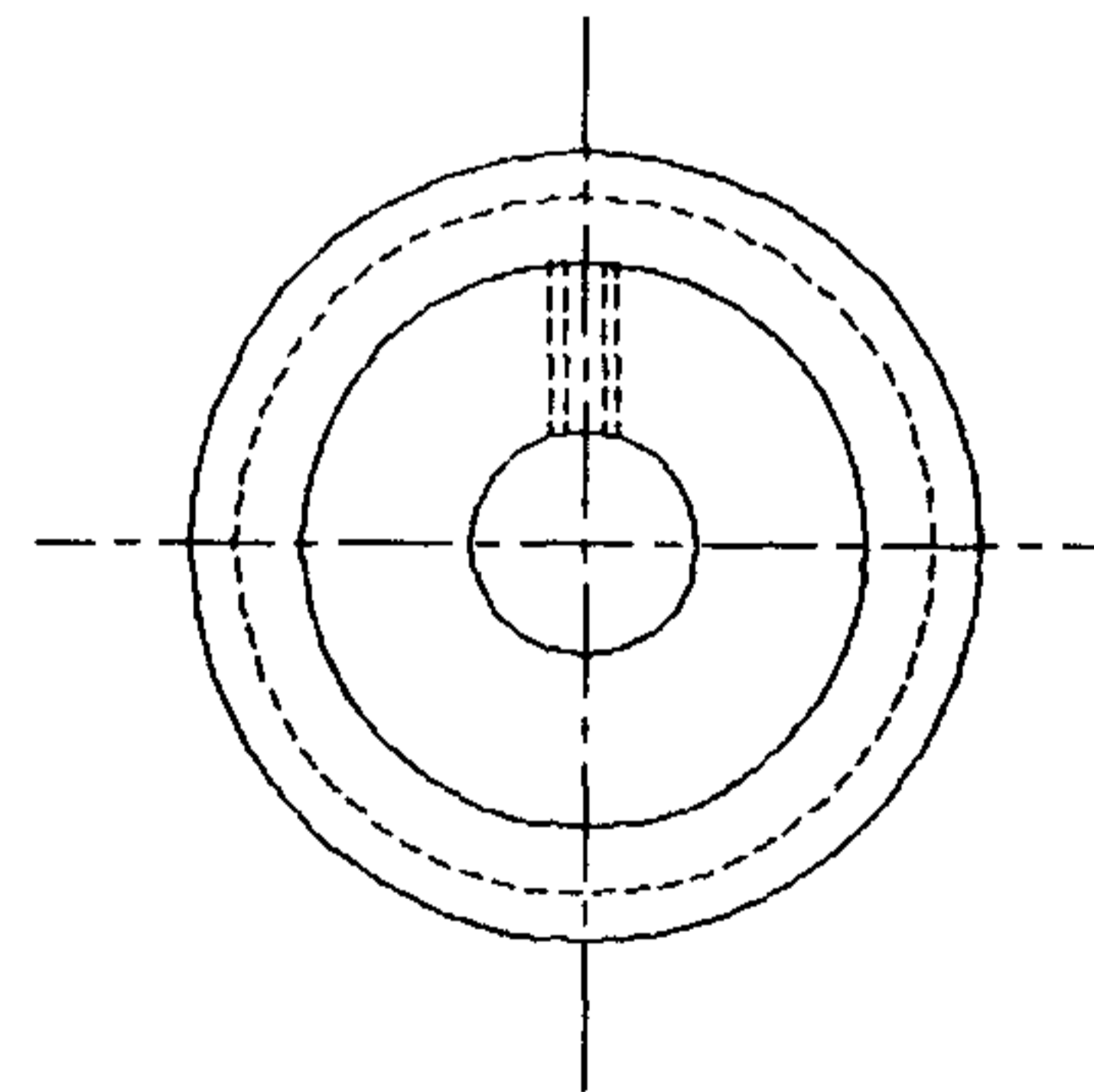
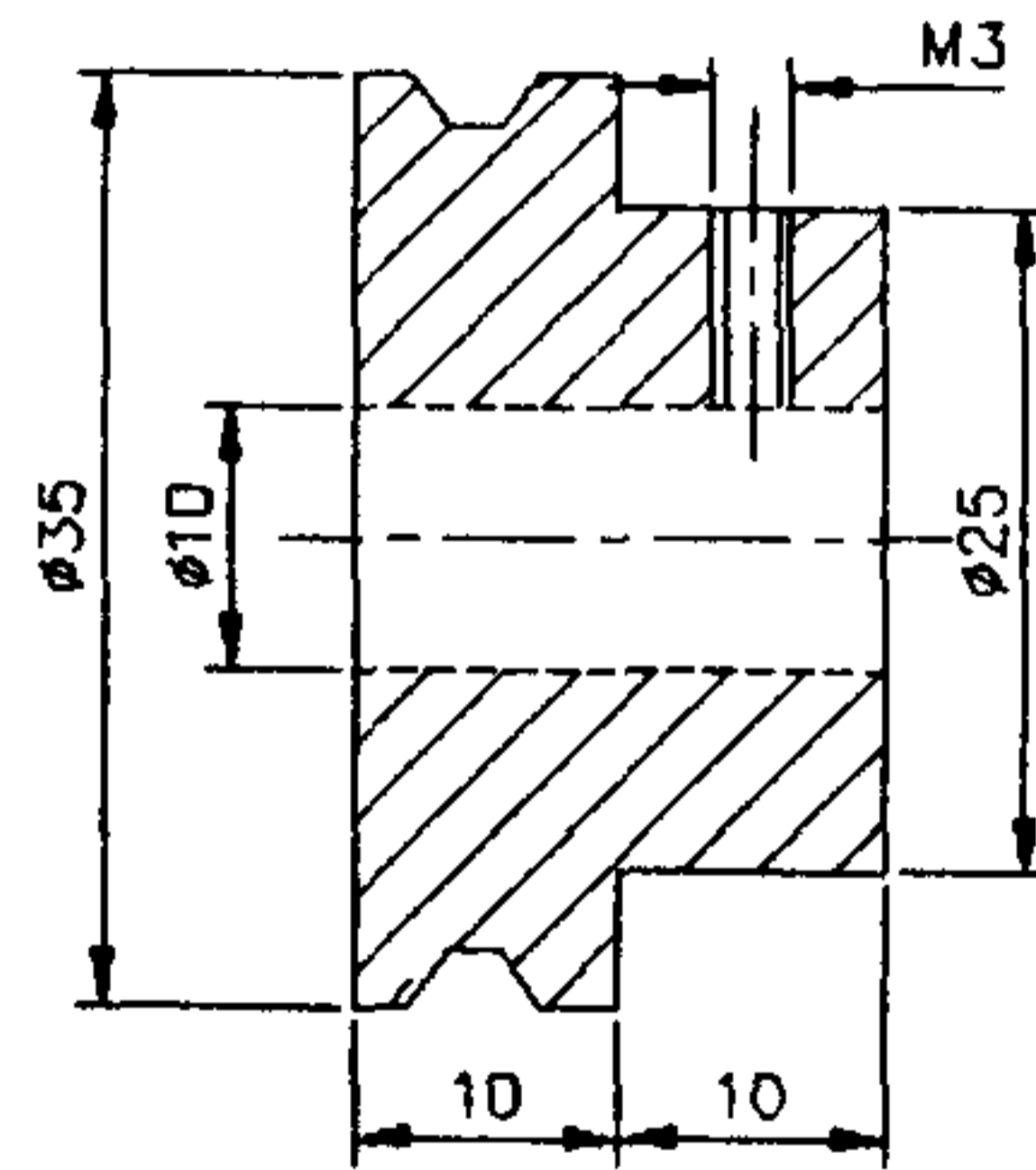
SECTION D-D

TITLE	SIDE WALL 2				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	10	1	8/20/1993	A6081
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

MOTOR SHAFT PULLEY

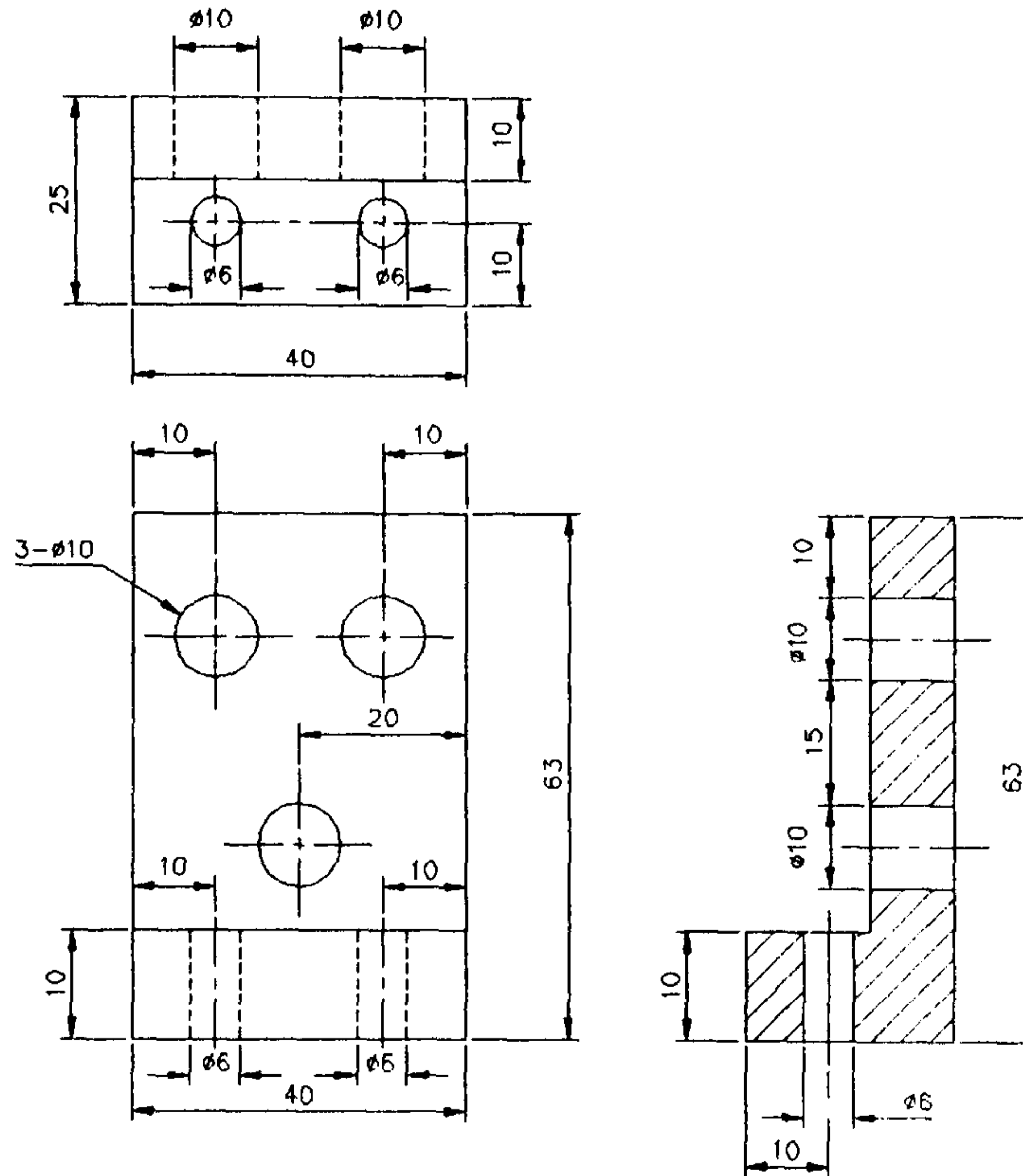


DETAIL A



TITLE	MOTOR SHAFT PULLEY				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT L
	MM	11 - 2	1	8/20/1993	MBsR1
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					

FEEDER LEG.



TITLE	FEEDER LEG				
SCALE	UNIT	DWG. NO.	QUANTITY	DATE	MAT'L
	MM	12	4	8/20/1993	A6061
DEPT. OF MECH. ENGRG., KUM-OH N. U. T.					