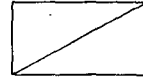


62.406
7393E
.v.1

MONO 19602360

제 1차년도
최종보고서

UCE95050



터어보 기계 부품 성능시험기의 효율 향상에 관한 연구

Studies on the Efficient Test Facility for Turbomachinery Components

연 구 기 관
한 국 항 공 우 주 연 구 소

과 학 기 술 처

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “터어보 기계 부품 성능시험기의 효율 향상에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1995. 12.

주관기관명 : 항공우주연구소

총괄연구책임자 : 김 진 한

선 임 연 구 원 : 차 봉 준

연 구 원 : 윤 민 수

연 구 원 : 김 춘 택

여 백

SUMMARY

I. Subject

Studies on the Efficient Test Facility for Turbomachinery Components

II. Objectives and Significance of Research

The test facilities of turbomachinery core components should be properly designed for each of its requirements. Independent facilities for each components, however, may cost large amount of unnecessary budget because of double investment on facility components. Thus, the design of efficient test facilities will save budgets and enable efficient facility controls.

III. Contents and Scope of Research

This project is focused on the establishment of efficient turbomachinery test facilities performing design and manufacture. The test facilities will contribute to the support of the development of domestic production and the enforcement of industrial manufacturing capability.

IV. Results and Suggestions

The obtained test facilities through this project will be used actively for the ECS, compressor, turbine, and combustor test programs which are currently in progress. Besides, these test facilities will play important roles in the future projects relating any small size turbomachineries (i.e., KTXII ECS, 100 pax. aircraft ECS, helicopter engine)

여 백

요 약 문

I. 제 목

터보기계 부품 성능시험기의 효율 향상에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

터보기계 부품 성능시험기는 각각의 특성에 따라 실험하기에 적합한 배관, 유량조절, 측정 시스템 등의 요구조건을 충족시켜 주어야 하나 각각의 독립적인 시험기로 갖추기에는 시험기 부품이 일부 서로 중복되어 중복투자로 인한 예산의 손실이 예상된다. 즉, 효율적인 시험기의 설계는 불필요한 시험기 부품의 중복투자로 인한 재정적 낭비를 없애며 시스템을 용이하게 Control하기 위한 효율적인 시스템을 가능케 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 현재 보유하고 있는 터보기계 부품 성능시험기를 효율적인 시스템으로 갖추기 위한 설계/제작/보완작업을 수행함으로써 국내에서 시급히 요구되는 국산화 개발 및 산업체 제조업 경쟁력 강화를 위한 시험평가 기술의 기반구축을 그 목표로 한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구를 통한 터보보기계 부품 성능시험기가 개발/설치되어 현재 개발중인 ECS용 터보 냉각기계용 압축기/터빈, 국제공동개발 과제의 연소기 성능시험을 효율적으로 수행가능케 되었으며 향후 국내에서 요구되는 고등훈련기용 ECS, 중형항공기용 ECS, 헬기엔진 개발을 비롯한 소형 터보보기계의 국산화 개발에 있어 일익을 담당할 것으로 기대된다.

TABLE OF CONTENTS

Summary.....	5
Table of contents.....	9
List of tables.....	10
List of figures.....	11
CHAPTER 1. INTRODUCTION.....	13
CHAPTER 2. ANALYSIS OF TEST REQUIREMENTS AND CONCEPTUAL DESIGN.....	14
Section 1. Establishment of test range.....	14
Section 2. Design of test facility.....	15
CHAPTER 3. MEASUREMENT AND FACILITY CONTROL.....	21
Section 1. Facility control and measurement.....	21
Section 2. Data acquisition and control.....	24
CHAPTER 4. ACCEPTANCE TEST OF TEST FACILITY.....	26
Section 1. Combustor performance test.....	26
Section 2. ECS performance test.....	31
CHAPTER 5. CONCLUSION.....	36

여 백

목 차

요약문	5
목차	9
표목차	10
그림목차	11
제 1 장 서론.....	13
제 2 장 시험요구조건 분석 및 개념설계.....	14
제 1 절 시험영역 설정.....	14
제 2 절 시험기 설계.....	15
제 3 장 측정 및 시험기 제어.....	21
제 1 절 시험기 제어 및 측정.....	21
제 2 절 데이터 획득 및 제어.....	24
제 4 장 시험기 검수 시험.....	26
제 1 절 연소기 성능시험.....	26
제 2 절 환경조절장치 성능시험.....	31
제 5 장 결론.....	36

표 목차

- 표 (2.1) 관 직경에 따른 고등훈련기급 ECS/ACM의 요구 유량, 압력, 온도와 속도, 마하수
- 표 (2.2) 공기공급원 제원
- 표 (2.3) Flange type orifice 제원
- 표 (2.4) 1차 밸브 사양
- 표 (2.5) 2차 밸브 사양
- 표 (3.1) 각종 온도 sensor의 장·단점 (Courtesy of Omega Engineering Inc.)
- 표 (3.2) 표준 thermocouple의 종류와 재질
- 표 (3.3) 재질에 따른 온도 측정가능 영역과 전압값의 범위
- 표 (4.1) 각 case에 대한 설정압 및 설정온도

그림 목차

그림 (2.1) 공기공급원 개념도

그림 (2.2) 500마력 공기 공급장치 설치도

그림 (2.3) 각 시험기 공기공급 배관도

그림 (2.4) Spin & burst 시험기 배관도

그림 (3.1) 0℃ 온도 보상시 온도에 따른 전압 값

그림 (3.2) Pitot tube의 static hole 위치에 따른 측정압의 변화

그림 (3.3) Pitot tube의 static hole의 위치

그림 (3.4) Yaw angle에 따른 pitot tube sensitivity

그림 (3.5) 성능시험기 자료획득 및 valve 구동시스템

그림 (3.6) ECS 시험기의 개략도 및 측정위치

그림 (3.7) DAS program의 front panel

그림 (3.8) DAS program의 block diagram

그림 (4.1) 연소기 시험장치 개략도

그림 (4.2) 연소기의 단면도

그림 (4.3) 연소기의 개략도 및 압력 탭의 위치

그림 (4.4) 연소기 각 영역에서의 압력변화

그림 (4.5) 유량 변화에 따른 압력 변화

그림 (4.6) 연소기 출구에서의 압력 측정위치

그림 (4.7a) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량=0.2Kg/s) 그림 (4.7b) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량=0.4Kg/s)

그림 (4.7c) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량=0.6Kg/s)

그림 (4.7d) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량=0.8Kg/s)

그림 (4.8) 대기압 상태에서의 시간에 따른 온도변화

그림 (4.9) 3기압(설정 gage 압력) 상태에서의 시간에 따른 온도변화

그림 (4.10) 대기압 상태에서의 시간에 따른 압력변화

그림 (4.11) 3기압(설정 gage 압력) 상태에서의 시간에 따른 압력변화

그림 (4.12) 시험기 입출구에서 밸브개폐 따른 전압력의 변화

그림 (4.13) 시험기내에서의 total loss와 valve loss

그림 (4.14) Setting된 압력값에 따른 orifice의 동압차와 계산된 유량

그림 (4.15) ECS 측정점에서의 온도 분포

그림 (4.16) ECS 측정점에서의 압력 분포

제 1 장 서 론

터보기계 부품 성능시험기는 각각의 특성에 따라 실험하기에 적합한 배관, 유량조절, 측정 시스템 등의 요구조건을 충족시켜 주어야 한다. 시험기를 각각 독립적으로 제작하기에는 시험기 부품이 일부 서로 중복되어 종합적인 시스템이 바람직하며 이 종합적인 시험기는 효율향상을 위한 설계가 없이는 중복투자로 인한 예산의 손실이 예상된다. 따라서, 완전 독립적이거나 혹은 불합리한 시험기의 설계는 불필요한 시험기 부품의 소요가 발생하여 복잡한 시스템이 되기 쉽다. 즉, 효율적인 시험기의 설계는 불필요한 시험기 부품의 중복투자로 인한 재정적 낭비를 없애며 시스템을 용이하게 Control하기 위한 효율적인 시스템을 가능케 한다.

본 연구는 현재 보유하고 있는 터어보 기계 부품 성능시험기를 효율적인 시스템으로 갖추기 위한 설계/제작/보완작업을 수행함으로써 국내에서 시급히 요구되는 국산화 개발 및 산업체 제조업 경쟁력 강화를 위한 시험평가 기술의 기반구축을 그 목표로 한다.

제 2 장 시험요구조건 분석 및 개념설계

제 1 절 시험영역 설정

본 연구는 전술한 바와 같이 현재 항공우주연구소 추진기관 연구 그룹이 보유하고 있는 터어보 기계부품 성능 시험기의 효율적인 시스템 구성을 목표로 하며 시험기의 종류로는 연소기 성능시험기, 터어빈 성능시험기, 환경제어계통 및 air cycle machine 성능 시험기, spin & burster 시험기가 있다. 이들의 시험을 위한 시험기 부품으로는 공기공급장치, 예열기 등의 기초 장비와 함께 유량제어장치, 유량측정장치, 소음기장치, 보온장치 등이 필요하다. 각 시험기는 많은 부품이 공통적으로 소요되어 전체 시험기의 효율적인 설계는 중복투자 및 시험기의 불필요한 복잡성을 없앨 수 있다. 효율적인 시험기의 설계를 위해서는 각 시험기에 요구되는 사양분석이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 이미 갖추어진 공기공급장치(500 마력, 50 마력 각 1조)와 예열기를 기준으로 시험기를 설계제작하므로 이들 용량으로 시험가능영역이 이미 정해진 것이며, 다만 이 가능 영역을 최대한 활용하기위한 공급 유관의 크기, 공기공급조절 밸브방식, 효율적 공급 방법, 유량에 따른 정확한 유량 측정방법 등이 주요 관심사이다.

1.1 유량

공기공급 유량은 본 연구소에서 갖추고 있는 공기공급장치를 사용하므로 그 용량이 최대한 발휘되도록 하여야한다. 즉, 500 마력의 공기공급장치는 최소 0.05 Kg/sec부터 최대 2 Kg/sec의 유량에서 작동이 가능해야 하며 50마력의 공기공급장치는 최소 0.005 Kg/sec 부터 0.1Kg/sec 까지 가능해야 한다. 이때, 최대값들은 공기공급장치의 용량에 따라 정해진 값이며 500 마력의 최소 유량 값을 0.05Kg/sec로 설정한 이유는 이 값 이하의 영역에서는 저유량에서의 균

질한 공기공급이 쉽지않으며 또한, 50마력의 공기공급장치로 요구되는 유량과 압력이 충분히 공급 가능하기 때문이고 초소형 터어보 기계를 제외하고는 0.05 Kg/sec 이하의 유량을 사용할 경우가 없기 때문이다.

1.2 온도

공급공기의 온도조절은 본 연구소에서 보유하고 있는 300Kw의 전기식 예열기를 사용하였으며 이 용량은 1Kg/sec의 유량에서 약 300 deg C의 공기를 공급 가능하고 이는 각종 소형 터어보기계의 공급조건을 만족하는 값이다.

1.3 압력

500 마력 공기공급장치의 공급가능압력은 1~4기압 이며 50 마력 공기공급장치의 공급 가능 압력은 1~7기압이다. 따라서 본 연구로 제작되는 시험기의 시험 가능 영역은 최대 300Kw, 2 Kg/sec, 4기압이다.

제 2 절 시험기 설계

공기공급장치의 공기공급 및 control 개념은 중앙에서 air supplier로 공급된 공기가 예열기를 통해 가열된 후 유량에 따라 설정된 유량 측정기에서 유량측정 후 각 시험기로 공급된다. 이때 공급 압력 및 유량은 air supplier에서의 압력 설정값과 각 시험기의 시험대상 및 배압밸브와 연동하여 정해지며 온도는 예열기에서 설정된다. Air supplier의 초과 유량은 자체 바이패스 및 시험기 바이패스에 의해 대기로 방출되도록 하였다. 시험기의 공기공급원의 개념 설계는 그림 (2.1)과 같다.

각각의 시험기들은 시험조건에 따라 시험부 입구에서 배관 크기의 변경이 요구될 수 있다. 예를 들면, 환경조절장치 시험기의 경우 유량 검증을 위해 시험기 입구부에서의 유량을 별도로 측정하도록 하였다. 이때 유속이 측정의 정확성에 영향을 미치며 따라서 관의 크기가 알맞게 선정되어야 한다. 환경조절장치 시험기의 경우 8인치의 중앙공급 배관이 ECS입구부에서 3인치로 축

소되어 공급되도록 하였다. 각 시험기의 배관은 필요한 유량에 따라 크기를 선정하였으며 이때 기술적 검토가 이루어졌다. 다음은 이러한 예로 환경조절 장치의 시험기의 기술검토 과정을 주로 기술하였다.

2.1 개념설계

가. 환경조절장치 성능시험기

본 성능시험기의 설계는 공기공급 배관의 경우 고등훈련기급 ECS를 기준으로 수행되었으며 유량측정 및 콘트롤은 FAMA IA-63용 ECS를 기준으로 설계하였고 향후의 용량증가시 변경이 용이하도록 설계하였다.

시험기의 배관 크기를 선정함에 있어 ECS 및 ACM의 입구조건에 따른 유속과 마하수를 검토하였다. 표(2.1)은 관직경에 따른 고등훈련기급 ECS/ACM의 요구 유량, 압력, 온도와 속도, 마하수를 나타내고 있으며 2인치 배관의 경우 마하수로 볼때 압축성 유체로 다루어야 할 정도는 안되나 다소 빠른 공기의 흐름을 나타내고 있다. 압력손실은 동압력에 비례하므로 모든 시험조건을 고려해 볼때 공기공급원으로부터 유량측정부 전방까지는 4인치 이상 되는 것이 좋을것으로 판단된다. 시험기의 배관이 너무 작을 경우 유속과 마하수가 커져 큰 압력손실을 초래하며 측정시 recovery factor를 감안해야할 만큼의 부정확성을 가질 수 있다. 한편, 유량측정 부위의 너무 큰 관 직경은 유속의 감소로 orifice를 이용한 유량 측정시 부정확성이 예상된다. 따라서 공기공급원으로부터 각 시험부 입구부까지는 8 인치 배관을 하여 압력손실이 거의 없도록 하였으며 ECS시험기의 경우 3인치 배관으로 축소하여 유량을 측정함으로써 고등훈련기급 ACM 및 ADD 제공 ECS의 성능시험이 가능하도록 설계하였다.

ECS 시험기는 ECS 입구 유량, 온도, 압력이 시험하고자 하는 ECS 및 ACM의 입구조건을 만족하여야 하며 시험대상 UUT의 배압 조절이 가능해야 한다.

입구압력과 유량은 서로 연동되는 관계가 있으며 또한 공기공급원의 특성에 좌우되어 active한 control은 통상적으로 간단하지 않다. 본 연구소가 보유하고 있는 공기 공급장치는 inlet guide vane과 자체 bypass 밸브를 이용하여 사용자가 setting한 일정한 압력을 토출하도록 되어있다. 즉, 입구압력은 공기 공급장치에서 setting이 가능하며 유량은 1차 valve의 개도에 따라 증가하게 되고 이때 valve의 개도에 따른 압력의 손실이 발생하여 실제적인 입구의 요구 압력을 맞추기에는 공기 공급장치의 pressure setting과 valve의 개도가 feed back 되어 연동적인 컨트롤이 이루어져야 한다. 본 시험장치에 이러한 컨트롤 개념을 넣으려면 공기공급원에 고가의 컨트롤러를 장착하여야 하는 관계로 시험기의 valve 개도에 따른 유량과 압력의 관계를 도표화 함으로써 passive한 유량/압력의 컨트롤이 가능하다. 시험기의 부품 및 제원을 보면 다음과 같다.

공기공급원으로는 Ingersol-Rand사의 2단형 원심압축기(Model CV35M2)를 이용하며 최대유량 2kg/sec, 최대압력 4기압으로 micro controller에 의해 제어된다. 외기의 공기가 inlet filter에 의해 흡입되어 inlet guide vane을 통과한 후 1단 원심압축기, inter-cooler, 2단 원심압축기 그리고 after-cooler의 순으로 통과한 공기는 20℃ ~ 30℃의 공기를 공급한다. 공급되는 공기의 압력은 사용자가 setting한 압력에 따라 inlet guide vane이 자체적으로 움직여 공급하며 공급장치의 특성상 초과유량이 발생하면 bypass 시킨다. 공기 공급원의 주요제원은 표 (2.2)와 같다.

시험기의 배관은 stainless steel로 하였으며 각 부품 전후에 loss를 평가할 수 있도록 pressure tap을 장착하였다. orifice로 정확한 유량을 측정하기 위하여는 orifice 전방에 유질을 제어하기 위한 장치가 필요하다. 본 시험기에는 tube bundle을 orifice의 유량측정에 교란의 영향이 없도록 ANSI 규정을 따라 설계/제작하였다.

본 시험기에서는 유량측정용 flowmeter로 flange형 orifice를 사용하였으며 orifice 전방에는 유량계산을 위해 온도와 압력을 측정하기 위한 thermocouple 이 장착된 pitot tube가 설치되었다. 장착한 orifice의 제원은 표 (2.3)과 같다. Orifice로 유량측정시 differential pressure가 너무 작으면 정확도가 떨어질 수 있으므로 orifice를 선정할 때에는 static pressure 측정방법과 pressure transducer의 선정이 함께 고려되어야 한다.

콘트롤 valve의 선정은 운용하는 유량, 온도, 압력, 그리고 시험목적에 따라 선정되어진다. 본 연구에서 사용되는 valve는 유량조절용 1차밸브와 배압조절용 2차밸브가 필요하다. 본 시험성격상 유량조절이 용이하고 관 size가 작은 점 등을 감안하여 globe 밸브를 선정하였다. 밸브의 size 선정에 있어 중요한 기준은 유량이며 유량조절이 충분히 되기 위해서는 개폐에 따른 전 영역에서 유량의 변화가 생길수 있도록 선정하는 것이다. 본 시험에서는 1차밸브는 3인치용 controller와 호경 2인치를 갖춘 고온용 globe valve를 사용하였으며 2차밸브는 3인치용 controller와 1.5인치 호경을 갖춘 globe valve를 구비하였다. 3인치용 controller를 사용한 것은 추후 배관 size 증가를 고려하여 선정한 것이며 관 size 증가에 따른 교체를 필요로 할때는 body만 교체하면 된다. 표 (2.4), (2.5)에는 구비한 1차, 2차 밸브의 사양이 제시되었다.

나. 기타 성능시험기

연소기 성능시험기 및 터빈 성능시험기의 경우 중앙공급배관과 같은 8로 배관을 하였으며 유량측정은 주 관로에서 이루어지도록 하였다. 이들 시험기에는 배압조절밸브를 장착하였다.

2.2 기본설계 및 상세설계

그림(2.2)에는 500마력 공기공급장치 설치도면이 제시되었다. 흡입 filter로부터 흡입된 공기는 500마력 압축기로 흡입되고 2단 원심압축기를 지난 공기는 자체 바이패스와 추가 장착한 바이패스를 통해 유량 조절이 가능하다. 8

인치 배관을 통해 주공기공급원은 예열기 및 시험기로 공급된다. 그림(2.3)은 각 시험기의 공기공급 배관도를 나타내며 500마력 공기공급원은 예열기를 거쳐 온도가 조절된 후 3인치 및 8인치의 배관을 통해 유량계에서 유량이 측정된다. 이는 소 유량과 큰 유량의 각 경우에 대해 정밀도를 높이기 위함이다. 유량측정부를 지난 공기는 각 시험기에 공기가 공급되며 isolation valve로 각 시험기의 공기공급과 차단이 가능하다. 터빈 시험기와 연소시험기는 출구를 공용으로 사용하도록 설치하였다. 그림(2.4)는 spin&burst 시험기의 배관도이며 향후 여러 시험기에 사용 가능하도록 여러 part를 마련해 두었다.

다음에는 그림(2.2), (2.3), (2.4)에 대한 도면 설명을 개조식으로 정리하였다.

- ① : 압축기 inlet filter부로서 지상에서 약 2m 수직하게 설치한다.
 - filter 지지용 앵글 구조물 제작
- ② : 압축기 by-pass 배관의 소음기
- ③ : 구시험동에서 이전하는 대형압축기 설치용 bed로서 압축기 설치후 앵커 볼트 작업
- ④ : 압축기 inlet 16" 배관으로서 지하 1층 천정부에 support 고정
- ⑤ : 8" 3way-control valve
- ⑥ : 지하 1층과 지상 1층 배관 연결용 공동구
- ⑦ : 고온용 (400℃) 수동 butterfly valve
- ⑧ : Thermal expansion을 위한 flexible pipe 설치
- ⑨ : Flow conditioner
- ⑨-A : 추가되는 flow conditioner
- ⑩ : Flange형 orifice 유량계
- ⑩-A : 추가되는 flange형 orifice 유량계
- ⑪ : 고온 유동 조성용 heater
- ⑫ : AREA 2 작업영역의 배관 지지대

⑬⑭⑮ : 구시험동으로부터 이전해온 Test Unit

사진 (3.1)부터 (3.12)는 공기공급원, 예열기 및 장착된 각 시험기의 사진을 보이고 있다.

제 3 장 측정 및 시험기 제어

각 성능시험장치에서는 valve control과 온도 및 압력을 측정하기 위한 여러 장비가 사용되고 있으며 이 장비들은 PC를 이용하여 제어 및 데이터 획득을 하도록 구성되어 있다.

제 1 절 시험기 제어 및 측정

1.1 밸브 제어

Control valve 제어에는 valve 구동에 필요한 4~20 mA DC의 전기적 신호를 발생 시키기 위한 analog output board와 Labview를 이용한 control program으로 구성되어 있다.

본 시험기에 적용된 data acquisition system(DAS)은 PC based system으로 구성하였으므로, 밸브 control에 사용된 analog output board는 PC용으로 National Instruments Corporation 제품인 AT-AO-10 board를 사용하였다.

밸브에 입력 전류가 4 mA DC 일때 밸브는 완전히 닫히게 되며 입력 전류가 증가 할 수록 밸브의 open 양도 선형적으로 증가하여 20 mA DC 일때 완전히 열리게 된다. 또한 밸브의 개폐 상태를 monitor 하기 위해서 digital process monitor를 사용하였다. 밸브의 출력 전류는 4-20 mA DC 이고 digital process monitor에서는 1-5 V DC 로 scaling해서 display한다.

1.2 온도측정

서로 다른 물질을 가진 두선의 양끝이 결합되고 한끝이 가열되면 지속적인 전류가 흐름을 Thomas Seebeck이 발견하여 thermocouple을 이용한 온도측정

이 시작되었다. Thermocouple은 비선형적이고 reference가 필요하며 매우 작은 전압이 발생하나 넓은 영역의 온도에서 간편히 또한 값싸게 사용할 수 있다는 장점으로 매우 보편화 되었다. Omega Engineering, Inc의 자료를 인용한 온도센서의 비교표가 표(3.1)에 제시되었다. IC sensor를 보면 선형성이 뛰어나고 출력이 가장 큰 장점이 있으나 200℃ 미만에서만 사용가능한 단점이 있어 주로 DAS의 0점 보상으로 많이 사용된다. 본 연구에서는 온도측정을 K-type의 thermocouple로 사용하였다. 표(3.2)에는 표준 thermocouple 종류에 따른 재질이, 그림 (3.1)에는 0℃ 온도보상시의 온도에 따른 전압값, 표 (3.3)에는 재질에 따른 온도 측정가능 영역과 전압 범위값이 제시되었다.

온도 측정에는 K-type thermocouple(온도범위: -200 ~ 1250 deg C)이 사용되었다. 시험기에 장착된 thermocouple은 pitot tube와 일체형으로 United Sensor 사의 PAC-T-8-C/A-KL 과 PAC-T-12-C/A-KL 을 사용하였으며 대기온 측정에는 OMEGA 사의 TJ36-CASS-116-12 형 thermocouple을 사용하였다. Thermocouple로 부터의 analog signal은 HP3852A 장비에 내장되어 있는 0점 보상 IC sensor로 보상된후 지정된 명령어에 따라 thermocouple type에 따른 내장된 calibration data를 이용하여 온도로 변환된후 digitize되어 GPIB cable을 통하여 PC로 보내진다.

1.3 압력 측정

본 시험기에서 전압력 측정은 pitot tube를 사용하며 pitot tube 사용시 고려할 사항은 다음과 같다.

그림 (3.2)에는 pitot tube의 static hole 위치에 따른 측정정압의 변화이며 통상적으로 그림 (3.3)와 같이 최소한 pitot tube의 8D 위치에 static hole이 위치하도록 권유한다.

Pitot tube의 장착시 yaw angle은 pressure 측정에 sensitive하며 그림 (3.4)에 그 sensitivity가 제시되었다.

시험기 각부분에 장착된 pitot tube(모델명: United Sensor사 PAC-T-8-C/A-KL, PAC-T-12-C/A-KL)와 static pressure tap으로부터 압력정보는 튜브를 통하여 scanivalve에 연결되며 scanivalve는 실험시 필요로하는 채널과 pressure transducer를 연결해준다.

이때 pressure transducer에서 나온 전압신호는 demodulator(VALIDDYNE사 CD15)를 통하여 0 ~10 V 의 직류 전압으로 바뀌서 HP3852A로 보내지며 이 신호는 digitize되어 GPIB cable 및 GPIB card를 통하여 PC로 보내진다. 출력전압신호와 압력사이의 관계는 pressure calibrator (Druck사 DPI605)를 사용하여 calibration하여 사용하였다.

본 시험기에서는 압력 측정용 transducer가 사용 영역에 따라 변경가능하며 시험기 검수시험에 사용된 pressure transducer는 VALIDDYNE사의 DP15로 pressure range는 550 kPa(약 80 psi)인 제품을 사용하였으며 정확도 (accuracy)는 linearity, hysteresis, repeatability를 포함하여 $\pm 0.25\%$ 이다. 이 장비는 differential pressure transducer로 고압단은 scanivalve에 연결되며, 저압단은 대기에 노출된다. 이때 대기에 노출된 압력은 settling chamber내에서 안정된 상태로 있으며 대기압은 수은기압계(SATO KEIRYOKI MFG. Co., LTD. 제품)로 측정하였다.

Scanivalve system은 scanivalve와 scanivalve를 제어하는 solenoid controller(SCANIVALVE사 CTRL2/S2-S6)와 scanivalve의 위치를 알려주는 odd-even decoder(SCANIVALVE사 OED2)로 구성되며 이 system은 D/I card (PLC-725)를 통해 PC로 제어된다.

제 2 절 데이터 획득 및 제어

2.1 데이터 획득장치

데이터 획득장비로는 HEWLETT PACKARD사의 HP3852A를 사용하였으며 이 장비는 main frame과 plug-in accessory로 구성되어 있다. 검수시험에서는 온도 측정을 위하여 온도 보정 기능이 있는 20 channel multiplexer thermocouple compensator와 압력측정을 위한 20 channel multiplexer등 2종류의 plug-in accessory를 사용하였다.

각 sensor로 부터의 analog 전압 신호는 HP3852A를 통하여 digital 신호로 바뀌어 GPIB cable과 GPIB card를 통해 PC에 보내진다.

2.2 자료획득 시스템 및 제어 프로그램

성능시험기의 자료획득 시스템은 그림 (3.5)와 같이 유량조절 및 측정을 위한 control valve 제어부와 유량을 비롯한 성능시험기 각 부위에서 발생된 압력 및 온도를 측정하는 자료획득부로 구성되어 있으며 모든 제어와 데이터 획득은 PC에서 Labview를 이용한 GUI 환경으로 구성되어 있다.

압력은 그림 (3.6)과 같이 성능시험기 전체에 19개의 압력공(pressure tap) 및 pitot tube를 설치하여 scanivalve를 이용하여 순차적으로 측정하였으며 온도는 시험기에 2개의 thermocouple을 장착하여 측정하였다.

2.3 Labview를 이용한 자료획득 시스템 구성

자료획득 시스템의 운용은 Labview로 구성된 program에 의해서 이루어지며 그림 (3.7), (3.8)와 같이 front panel과 block diagram으로 구성되어 있다. Front panel은 제어에 필요한 계측기의 정의, 실행환경 선택 및 조작, 측정 data의 표시 등과 같은 기능들을 포함하고 있으며 panel 자체로서 하나의 계기판을 구성 할 수 있다. 반면 block diagram은 계산, 제어 및 자료 획득을

위한 G언어(graphic language)로 구성된 연산 흐름도이다

제 4 장 시험기 검수 시험

각 성능시험기의 타당성을 검토하기 위한 검수시험이 수행되었으며 이들 시험결과는 본 성능시험기 설계와 제작이 타당함을 검증한다.

제 1 절 연소기 성능시험

연소기 내부에서의 공기역학적 성능은 가스터빈 연소 시스템 성능 및 설계에 중요한 요소이다. 연료분사 시스템과 동시에, 공기역학적 시스템은 연소기 설계에 있어서 대부분의 과정을 차지하고 있다. 설계시 연소기는 크기, 형태, 개념, 연료분사 방법등에 따라 다르지만, 공기역학적 특성은 공통적으로 적용될 수 있다.

유동의 손실이나, 불필요한 재순환영역 등이 없이 모든 연소기 영역에 적절히 공기를 분포시키고, 유속을 감소시키는 것이 디퓨저(diffuser)와 annulus의 주목적이며, 화염안정화를 위해 large-scale 재순환 영역의 형성과 연소 배출물의 효과적인 회석, 라이너 벽면에 따른 냉각공기의 효율적인 사용등은 연소기 라이너의 주목적이다. 연소기에서의 효과적인 혼합과정은, 일차 영역에서는 연소 속도 증가, soot 및 NOx 형성을 저감시키며, 회석영역에서는 연소기 출구의 온도 분포(pattern factor)의 균일성을 보장한다.

그러나, 이러한 효과적인 혼합과정을 위한 고려는 압력 손실과 연소기 길이의 증가 등의 결과를 낳을 수 있다. 이런 관계로 연소기의 주된 설계 목적은 불필요한 손실이 없고, 연소기 길이와 압력 손실이 최소인 상태에서, 연소기 전 영역에 안정된 유동형태와 라이너에서의 만족할 만한 혼합을 이루어 내는 것이다.

본 시험의 목적은 이러한 유동의 공기역학적 특성을 측정하여 시험기 설계

치의 타당성을 검증하는데 있다.

1.1 압력분포 및 손실 측정방법

본 연구에 사용된 실험 장치는 공기 공급원(air compressor), 유량 측정부, 연소기 시험부(test chamber), 제어 및 자료 획득 장치 등으로 구성되어 있으며, 실험 장치의 개략도는 그림 4.1과 같다. 공기 공급원은 연소기에 공기를 공급하기 위한 주 공급원(air compressor 1)과, ejector에 공기를 공급하기 위한 보조 공급원(air compressor 2)이 있다. 주 공급원으로는 500 마력의 출력을 갖는 Ingersoll-Rand의 2단 원심형 압축기(CV35M2)를 사용하였다. 보조 공급원은 출력 50마력을 갖는 Ingersoll-Rand의 스크류형 압축기(SSR 50 HP)로, 최대 공급 압력과 유량은 각각 820KPa(abs), 0.2 Kg/s이다. 대기압 조건 시험 시 공급 유량을 조절하기 위해 주공기 공급원 출구에 자동 제어 3-way 밸브를 설치하였으며, 고압 조건 시험 시 공기 유량 조절을 위해 연소기 시험부 하류에 자동 제어 밸브를 설치하였다.

연소기에 유입되는 공기 유량을 측정하기 위하여 flange tap을 이용한 ASME square-edged orifice 유량계를 사용하였고, orifice 상류에는 유질 안정화 장치를 설치하였다. 연소기 시험부는 분할 연소기를 장착하여 대기압 시험 및 고압 시험을 할 수 있도록 제작되었으며, 그 입구에 시험부로 유입되는 공기의 온도를 측정할 수 있도록 열전대를 장착하였다. 연소기 시험부는 직육면체 형상으로 사방에 분리 가능한 덮개가 설치되어 있어 대기압 시험 시에는 떼어낼 수 있도록 되어 있으며, 광학 실험 장치를 이용한 측정이 용이하도록 하였다. 연소기 시험부의 하류에는 보조 공기 공급원으로부터 고압 공기를 고속으로 분사하여 연소기 배기물을 효과적으로 배출하기 위한 ejector를 설치하였다. Orifice의 차압과 시험부의 압력을 측정하기 위해 pressure transducer (Validyne DP15-26, 40, 42)와 SCAN1 valve를 사용하였고, orifice 상류와 연소기 시험부 입구에서의 온도 측정을 위해 K형 열전대를 사용하였다. 연소기

출구에서의 전압과 정압은 3차원 이송장치(Velmex 8300)에 장착된 직경 1/16" 인 Pitot tube(United sensor, PAA-12-KL)를 이용하여 측정하였다. 일반적으로 압력 손실등의 공기역학적인 인자는 경제적인 제약으로 인해 subscale 시험이나, model 시험을 통해 측정되는데, 본 시험에서 사용된 분할 연소기의 기하학적인 형상은 실제 연소기와 같으므로 연소기 입구 유량은 연소기의 입구 Mach수가 같으면 압력손실이 같다는 상사성을 이용하여 결정하였다. 사용된 유량 범위는 약 0.1 - 0.8 kg/s 이며, 설계 조건인 이륙 조건($Ma_{inlet} = 0.252$)과 지상 공전 조건($Ma_{inlet} = 0.125$)에 해당되는 유량은 각각 0.21kg/s, 0.1kg/s이다. 연소기 출구의 압력은 대기압 상태이며, 실온에서 실험을 수행하였다.

연소기 각 영역에서의 압력을 측정하기 위해 입구안정실, 입구노즐 벽면, diffuser와 덮개(frontal device) 사이의 casing 양쪽 벽면, 연소기 첫번째 liner hole를 조금 지난(연소기 중앙) 양쪽 벽면등에 6개의 압력탭이 설치되었다. (그림 (4.2), 그림 (4.3) 참조) 유량을 0.1kg./s에서 0.8kg/s까지(0.1kg/s 씩 증가) 변화시키면서 이 지점에서의 압력 변화를 측정하였다.

연소기 출구에서의 전압력 분포를 그림 4.6의 swirler와 swirler 사이인 단면 A와 단면 B 사이의 7개 단면에서 측정하였다. 각 측정 단면은 2.5° 씩 떨어져 있으며, 각각의 단면에서 반경 방향으로($R = 270 - 310$ mm) 2mm 각격으로 측정하였다. 측정 단면은 연소기 출구에서 측방향으로 5mm 떨어져 있으며, 측정 위치는 그림 (4.6)에 자세히 나타내었다. 전압력 분포와 더불어 출구에서의 정압력 분포도 측정하였다.

1.2 측정결과

가. 연소기 각영역에서의 압력분포

본 실험에서는 대기압 조건에서 공기 유량의 변화에 따른 연소기의 압력 손실, 연소기 각 지점에서의 압력 변화 및 출구 전압력 분포 측정을 주로 하였

다. 유입되는 공기 유량의 측정을 위해 앞 절에서 언급한 바와 같이 ASME square-edges orifice 유량계를 사용하였고, flange 전후의 압력차를 측정하여 Benedict(1984)에 나타나 있는 절차에 의해 유량을 계산하였다. 유량을 0.12Kg/s에서 0.8Kg/s까지 변화시키면서 연소기 입구 및 케이싱의 벽면에 설치된 6개의 지점(그림 (4.3))에서 측정된 압력 변화를 그림 4.4에 제시하였다. 각 측정 값은 1초에 100개씩 5초간 얻은 값들을 평균하여 구하였다. 측정된 결과는 유량에 관계없이 비슷한 경향을 보여주는데, 안정실에서의 정압이 가장 크고, 입구 노즐에서의 정압은 높은 유속에 기인하여 매우 낮으며, 디퓨저를 지나면서 압력이 차츰 회복되어 감을 알 수 있다. 특히 측정 지점 4에서의 정압이 측정 지점 3에서의 정압보다 높게 측정되는데, 이는 외측 디퓨저에서의 압력회복이 더 빠르다는 것을 나타낸다. 이 결과는 디퓨저 형상과 밀접한 관계를 가지고 있는데, 입구 노즐(pre-diffuser)이 외측으로 넓어지는 형태임을 감안할 때 타당한 결과로 생각된다.

그림 (4.5)는 각 측정 지점에서의 압력이 유량 변화에 따라 어떻게 변화하는가를 보여주기 위해 그림 (4.4)의 측정값을 재구성한 것이다. 이미 많은 연구 결과에 의해 확인된 바와 같이 각 지점에서의 압력이 유량의 제곱에 비례하여 변화하는 형태를 보여주고 있다.

나. 연소기 출구에서의 압력분포

그림 (4.7)은 출구에서의 전압력 분포를 나타낸다. 출구에서의 정압이 거의 대기압과 동일하므로 출구에서의 속도 분포는 전압력 분포와 유사할 것으로 생각된다. 전압력 분포의 대칭성이 완전하지 못한 것은 라이너의 형상이 비대칭인 점과 분할 연소기 제작 상의 오차 등에 기인한다고 생각된다. 실험 결과를 통하여 출구에서의 전압력 분포는 라이너의 주 공기구의 분포(그림 (4.6) 참조)와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 연소기 출구의 전압력 분포를 검토해 보면, 2번째 열의 주 공기구(dilution hole)에서 유입되는 제트가 연소기

출구의 전압력분포에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 2번째 열의 주 공기구는 내측 라이너에는 분할 연소기의 중심 면에, 외측 라이너에는 단면 A, B (그림 (4.6))에 위치하고 있는데, 이에 따라 연소기 출구 전압력은 분할 연소기 중심 부근에서는 외측이 높고 A, B 단면 부근에서는 내측이 높은 분포를 갖는다. 이 결과는 연소기 출구 온도 분포와도 밀접한 관계를 가질 것으로 생각된다.

다. 압력 손실 계산

안정실(측정 지점 1)에서 측정한 압력과 연소기 출구에서 측정한 전압력을 바탕으로 연소기의 압력 손실을 계산하였다. 안정실에서의 동압력은 최대 유량에서 전압력의 1 % 미만이므로 안정실에서 측정한 정압을 연소기 입구의 전압력으로 하였다. 그리고 연소기 출구에서의 전압력은 그림 (4.7)의 측정값을 평균하여 구하였다.

연소기 압력 손실은 최대 부하 조건에서 측정하는 것이 가장 바람직하나, 대기압 조건에서 측정한 결과로부터 다음과 같이 계산할 수 있다. 그림 (4.8)은 입구 마하수 변화에 따른 압력 손실 및 압력 손실 계수의 변화를 나타낸다. $\Delta P_{3-4}^*/P_3^*$ 결과에 따르면 압력 손실()은 입구 마하수의 제곱에 비례하여 증가하며 $\Delta P_{3-4}^*/q_{inlet}$, 압력 손실 계수()는 약 1.36으로 입구 마하수에 관계없이 일정한 값을 가진다.

$$\Delta P_{3-4}^*/q_{inlet} = (P_3^* - P_4^*) / (0.5 \rho U_{inlet}^2) \quad (4.1)$$

$$\frac{\Delta P_{3-4}^*}{P_3^*} = \frac{\Delta P_{3-4}^*}{q_{inlet}} \cdot \frac{\gamma}{2} \cdot Ma_{inlet}^2 \quad (4.2)$$

위에서 측정한 압력 손실 계수를 관계식 Eq.4.2 에 대입하여 설계점(Mainlet = 0.252) 에서의 전압력 손실을 계산한 결과 그 값은 6.0% 이다. 이 값은 설계치인 5.6% 보다 약간 높은데, 이는 시험용 연소기가 분할 연소기로 실제 연소기에 없는 측벽이 존재하는 점, 연소기 라이너가 비대칭인 점, 시험 조건이 대기압, 상온 조건인 점 등에 기인한다.

제 2 절 환경조절장치 성능시험

2.1 시험기 기초성능시험

기초성능시험이란 시험대상 UUT의 성능시험을 위해 설계/제작된 시험기의 적합성 여부를 판단하기 위한 시험기 설계/제작 검증시험을 이른다. 우선 DAS의 steadiness와 측정값 검증이 필요하며 그후 기밀시험을 통하여 시험기의 기밀상태를 점검하고 다음으로 시험기의 특성을 알기 위한 압력손실을 점검하며 마지막으로 시험 가능 영역 설정 시험을 수행함으로써 UUT가 요구하는 입구조건을 충족하는지의 여부를 판단한다.

2.2 측정의 신빙성

온도의 경우 ice water 조건과 상온에서 측정한 결과 sensor 모두 0.1℃ 이내에서 일치하였다. 그림 (4.8)은 대기압 상태에서 그림 (4.9)는 3기압 상태에서 시간에 따른 온도측정값의 변화를 나타내며 이는 공기공급원과 DAS의 noise에 기인한 것으로 항상 0.5℃ 이내의 값을 유지하였다. 통상적인 ASTM 기준의 K-type wire error는 2.2℃이다. 압력은 전술한 바와 같이 압력 calibrator로 보정하였으며 calibrator 자체는 0.006%의 신빙성을 갖고 사용된 pressure sensor는 0.25%의 신뢰성을 갖는다. 이러한 값들은 다음에 설명할 uncertainty에 비해 무시 할만하다. 그림 (4.10)은 대기압 상태에서 측정한 압력이며 그림 (4.11)는 3기압 상태에서 측정한 압력이다. 그림 (4.10)을 보면 최대 fluctuation band가 300Pa 정도로 극히 작은 변동이고 그림 (4.11)의 경

우 4000Pa 이내로 1%이내이다. 그림 (4.10)과 비교할때 그림 (4.11)의 경우는 공기공급원에 의한 작은 변동률이 발생함을 알 수 있다. 이들 온도와 압력 값은 유량측정시 사용되며 유량이 흐르지 않을 때 유량 값을 측정한 결과 0.009kg/sec로 나타났으며 이는 P-ducer, 온도, DAS 오차를 통틀어 1% 이내의 error를 나타낸다. 그러나 이 값이 직접적인 유량측정 error라고 단정지을 수 없다. 왜냐하면 유량측정을 위한 측정값들은 짧은 시간동안의 평균값을 기준으로 계산된 것이므로 시간에 따른 최대변동량으로 error가 측정되어야 한다. 유량측정시 uncertainty는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \frac{W_m}{m} &= \left[\left(\frac{W_A}{A} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{W_{P1}}{P_1} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{W_P}{P} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{W_{T1}}{T_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[(0.01)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{4000}{403700} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{8000}{119780} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{2.2}{305.5} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[0.0001 + 2.4510^{-5} + 1.1110^{-3} + 1.29610^{-5} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= 3.5\%
 \end{aligned}$$

이것은 calibration factor의 영향은 무시한 값이며 통상의 orifice 유량오차가 5% 이내인 것과 비교하면 일치하는 값이다. uncertainty를 줄이기 위해서는 P를 측정하는 sensor의 정확성을 높일 필요가 있다. 왜냐하면 저 유량에서의 측정시 부정확성이 가중될 가능성이 있기 때문이다.

2.3. 기밀시험/압력손실시험/시험영역 설정시험

기밀시험은 1기압(게이지), 2기압, 그리고 ECS/ACM 최대 요구압력인 3기압까지 올리며 단계적으로 기밀유지를 검토하였다. 모든 조건에서 기밀유지가 양호하였으며 따라서 특별한 보수작업이 필요치 않았다. 다음으로 시험기 압력손실 및 시험 가능영역 설정시험이 동시에 행하여졌다. 이 시험 역시 1기압(게이지), 2기압, 3기압의 순으로 수행되었으며 밸브는 완전히 열린 상태

에서부터 1차 밸브를 잠그면서 측정하였다. 이때 주의할 점은 밸브를 조금씩 잠가야 하며 이는 급작스런 배압의 변화로 공기공급원의 압축기가 surge 영역에 떨어질 가능성이 있기 때문이다. 우선 그림 (4.12)는 성능시험기 입구부인 Pt(1)을 inlet condition으로 하고 Pt(7)을 outlet condition으로 할 때 공기공급원 setting 압력 및 valve 개도에 따른 전압력 값이다.(station number는 그림 (3.6) 참조) 공기공급원의 압력 setting 값은 공기공급원에서 나오는 static 압력을 측정하여 setting된 값과 일치하도록 feedback control하므로 Pt(1)에서 측정된 값과 비교하려면 setting 값에 동압력을 보상하여야 할 것이다. 그림 (4.12)의 A는 Air supply로부터 Pt(4) 지점까지 유량에 따른 공력손실이며 B는 Pt(1) 지점부터 Pt(7) 까지의 손실 즉, 배관, 오르피스 유량계, 90 앵글 2개와 밸브의 손실을 나타내고 있다. A를 보면 유량이 클수록 즉, 같은 배관 조건에서 동압이 클수록 공력손실이 커짐을 알 수 있다. B의 경우 이와 반대 현상 같이 보이나 그림 (4.13)으로 그 이유를 알 수 있다. 그림 (4.13)은 station Ps(14)부터 Ps(10)까지의 전 압력 손실을 total loss라 하고 station Ps(18)과 Ps(10)의 전 압력 손실을 밸브 loss라 할 때 유량에 따른 전 압력 손실을 나타내고 있다. C는 total loss에서 valve loss를 뺀 것으로 flow straightener, orifice, corner angle, 배관의 전 압력 손실을 나타내며 이는 유량이 커질수록 증가함을 알 수 있다. valve의 loss는 유량이 커질수록 즉, valve가 열릴수록 손실이 커지는 것으로 나타나며 이는 2차밸브가 완전히 열린 상태이므로 valve 후류의 배압이 대기압에 가까와 valve의 friction loss와 expansion loss가 합하여진 상태이기 때문이다. ECS가 장착되면 valve의 손실은 이보다 크게 줄어들 것으로 추정된다. 그림 (4.14)은 setting된 압력값에 따른 orifice의 동압차와 계산된 유량을 나타내고 있다. 그림에서 2기압으로 setting한 경우 0.3kg/s의 유량에서 P가 약 0.3기압을 나타내며 이는 orifice의 설계제원과 일치하여 유량측정의 신빙성을 뒷받침 해준다. 그림 (4.12)를 보

면 시험대상 ECS의 입구조건은 252KPa, 0.16kg/sec이며 추후 고등훈련기급 시험대상 ECS는 213KPa, 0.23kg/sec로 예상되어 ECS/ACM 성능시험기로서 용량이 충분하며 이 영역에서의 높은 resolution으로 유량조절이 조절될 수 있도록 설계되었음을 알 수 있다.

2.4 ECS 성능시험

설치한 ECS 성능시험기는 IA63급 환경제어계통을 대상으로 하였으며 이에 대한 검증의 일환으로 본 연구소가 보유하고 있는 IA63급 ECS로 시험을 수행하였다. 시험기는 5℃의 대기상태에서도 시험대상의 입구 온도가 180℃를 유지하였으며 입구 압력은 3기압까지 무리 없이 공급하였다. 유량은 UUT에 따라 달라지며 본 실험의 경우 시험조건에 따라 다르나 0.1~0.15kg/sec의 유량을 공급하였다. 이 유량은 ejector로 일부 열교환기 냉각에 사용되고 나머지는 ACM으로 들어간다. 표(4.1)은 ECS를 시험한 6가지의 시험 조건으로 3개의 UUT입구 압력과 2개의 입구 온도의 조합으로 수행하였다.

그림(4.15)와 그림(4.16)은 ECS 각 부품 입출구에서 측정한 온도와 압력 값이다. x 축은 station 번호로 1은 압력조절밸브 입구, 2는 1차 열교환기 입구, 3은 압축기 입구, 4는 2차열교환기 입구, 5는 터빈 입구, 6은 수분분리기 입구, 7은 ECS 출구이다.

우선 온도 분포를 보면 1차 열교환기에서 주로 열 교환이 이루어지며 압축기에 의한 압축일은 온도를 상승시키고 2차 열교환기와 터빈에 의해 온도가 0℃ 내외로 토출된다. 이것은 cabin이 24℃로 유지해야 한다고 볼 때 약 14kw의 열량을 흡수할 수 있는 양이다.(유량은 약 0.6kg/sec)

그림(4.16)의 압력분포를 보면 입구 압력이 210Kpa 영역에서는 압력의 손실이 없으나 260, 310Kpa의 영역에서는 1차 열교환기 입구의 압력을 제어하는 압력 조절 밸브의 조절기능을 볼 수 있다. 1차와 2차 열교환기에서는 많은 열교환 양에 비해 압력손실이 거의 없으며 이는 열교환기의 설계가 잘 되었음

을 입증한다. 조절된 압력의 공급을 위한 압력의 손실은 터빈에서 많은 양이 이루어지고 있음을 또한 알 수 있다. 보다 세밀한 시험은 이와 관련된 과제에서 수행될 예정이며 본 연구에서는 ECS 성능시험을 위한 시험기 공기공급 조건의 만족여부를 검증하는 데 있다.

제 5 장 결 론

본 연구는 각종 터보기계 부품의 성능시험기를 효율적으로 설계/제작함으로써 독립적인 시험기 구성으로 인한 중복투자를 막고 시험기의 용이한 제어가 가능케 하는데 역점을 두어 수행하였다. 본 연구를 통해 재구성된 공기공급원 및 연소기 성능시험기, 터빈 성능시험기, ECS 성능시험기, spin & burster 성능시험기는 각각 검증시험을 수행하여 설계/제작의 타당성을 입증하였으며 검증시험의 예로 연소기와 ECS의 성능시험을 수록하였다. 시험기의 효율 향상을 위해 재설계/제작된 시험기는 각종 터보기계 부품성능시험을 효율적으로 수행 가능케 되었으며 향후 국내에서 요구되는 고등훈련기급 ECS, 헬기엔진 개발을 비롯한 각종 소형 터보기계 국산화 개발에 있어 일익을 담당할 것으로 기대된다.

	Condition	Lb/min	Psi	DEG C	Kg/s	kPa	deg K	Kg/m ³
ECS	A	30.17	25.74	142	0.22856	176.853	415.15	1.48431
	B	122.36	99.7	546	0.92697	685.014	819.15	2.91376
	C	72.4	99.7	519	0.54848	685.014	792.15	3.01307
	D	68.87	91.84	53.6	0.52174	631.01	326.75	6.72881
CAU	E	18.87	25.35	108.7	0.14295	174.173	381.85	1.58931
	F	89.84	91.68	174.2	0.68061	629.91	447.35	4.90625
	G	70.99	90.63	132	0.5378	622.696	405.15	5.35523
	H	65.84	72.03	148.8	0.49879	494.9	421.95	4.08672

	DIA. (INCHES)	2		3		4		6		8	
	DIA. (METERS)	0.0508		0.0762		0.1016		0.1524		0.2032	
	AREA (METER ²)	0.0020268		0.00456		0.00811		0.01824		0.03243	
Condition	MFR (Lb/min)	Velocity	Mach No.	Velocity	Mach No.	Velocity	Mach No.	Velocity	Mach No.	Velocity	Mach No.
A	30.17	75.97	.186	33.77	.083	18.99	.047	8.44	.021	4.75	.012
B	122.36	156.96	.274	69.76	.122	39.24	.068	17.44	.03	9.81	.017
C	72.4	89.81	.159	39.92	.071	22.45	.04	9.98	.018	5.61	.01
D	68.87	38.26	.106	17.	.047	9.56	.026	4.25	.012	2.39	.007
E	18.87	44.38	.113	19.72	.05	11.09	.028	4.93	.013	2.77	.007
F	89.84	68.44	.161	30.42	.072	17.11	.04	7.6	.018	4.28	.01
G	70.99	49.55	.123	22.02	.055	12.39	.031	5.51	.014	3.1	.008
H	65.84	60.22	.146	26.76	.065	15.05	.037	6.69	.016	3.76	.009

Note : 상기의 조건 A-H는 다음과 같음

- | | | | |
|---------|----------------------------|---------|----------------------------|
| A : ECS | G. I. | E : CAU | G. I. |
| B : ECS | MPR, M=0.0, S. L. | F : CAU | MPR, M=0.0, S. L. |
| C : ECS | 80%, M=0.6, S. L., 45DEG C | G : CAU | 80%, M=0.6, S. L., 45DEG C |
| D : ECS | MPR, M=0.8, 6KM, 1.2DEG C | H : CAU | MPR, M=0.8, 6KM, 1.2DEG C |

표 (2.1) 관 직경에 따른 고등훈련기급 ECS/ACM의 요구 유량, 압력, 온도와 속도, 마하수

GAS	AIR
NOMINAL INLET CAPACITY (M ³ /MIN)	100.23
BAROMETRIC PRESSURE (Kg/cm ² (A))	1.033
INLET PRESSURE (Kg/cm ²)	1.012
RELATIVE HUMIDITY (%)	60
INLET TEMPERATURE (°C)	30
DISCHARGE PRESSURE (Kg/cm ² (A))	4.10
RATED SPEED (RPM)	3575
COOLING WATER INLET TEMPERATURE (°C)	32
COOLING WATER FLOW (l/min)	
1ST STAGE AIR COOLER	158
AFTERCOOLER	182
OIL COOLER	95
TOTAL (ALL COOLERS)	435

표 (2.2) 공기공급원 제원

1) Gas flow	1000 kg/h
2) Flow pressure	2.0664 kg/cm ²
3) Flow temperature	60 degC
4) Molecular weight	28.9625
5) Differential range	3000 mmH ₂ O
6) C _p /C _v	1.4
7) Absolute viscosity	0.0205 cp
8) Pipe ID	84.9 mm
9) Density CALCULATED BETA RATIO = CALCULATED ORIFICE BORE = CALCULATED REYNOLDS NUMBER = Selected Material - 304 SS	3.1436 kg/cm .44507 37.786 mm 319518

표 (2.3) Flange type orifice 제원

中央バルブ株式会社 VALVE CONTROL & REPAIR KOEI 工業(株) 総代理店		SPECIFICATION SHEET OF CONTROL VALVES		SHEET 2 OF 2							
				1							
				0	95.1.17	S. S. HAN	<i>[Signature]</i>				
				REVISION	DATE	MADE BY	CHECKED BY				
GENERAL	1	ITEM NO									
	2	TAG NO									
BODY	3	LINE SIZE	Q'TY (SET)	1							
	4	TYPE OF BODY		<input checked="" type="checkbox"/> GLOBE <input type="checkbox"/> BALL <input type="checkbox"/> B/F <input type="checkbox"/> DIAPHRAGM <input type="checkbox"/> PLUG <input checked="" type="checkbox"/> 2WAY <input type="checkbox"/> 3WAY							
	5	BODY SIZE (A)	PORT SIZE (A)	50		50					
	6	TYPE OF PORT	GUIDING	<input checked="" type="checkbox"/> SINGLE <input type="checkbox"/> CAGE-S <input type="checkbox"/> CAGE-D <input checked="" type="checkbox"/> TOP <input type="checkbox"/> BOTTOM <input type="checkbox"/> CAGE							
	7	RATING	JIS	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> 10K <input type="checkbox"/> 20K <input type="checkbox"/> 30K <input type="checkbox"/> 40K <input type="checkbox"/> 63K							
			ANSI	<input type="checkbox"/> 150# <input type="checkbox"/> 300# <input type="checkbox"/> 600# <input type="checkbox"/> 900#							
			PN	<input type="checkbox"/> 120 <input type="checkbox"/> 50 <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 150							
	8	END CONNECTION		<input checked="" type="checkbox"/> RF <input type="checkbox"/> FF <input type="checkbox"/> RTJ <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> BW <input type="checkbox"/> T/C <input type="checkbox"/> M/F							
	9	MATERIAL	BODY	<input type="checkbox"/> FC20 <input checked="" type="checkbox"/> SCPH2 <input type="checkbox"/> SCS13 <input type="checkbox"/> SCS14							
			TRIM (DISC/SEAT)	<input checked="" type="checkbox"/> SUS304 <input type="checkbox"/> SUS316							
			PACKING	<input type="checkbox"/> PTFE <input checked="" type="checkbox"/> GRAPHITE <input type="checkbox"/> ASBESTOS							
	10	BONNET TYPE		<input type="checkbox"/> STANDARD <input checked="" type="checkbox"/> FIN <input type="checkbox"/> BELLOWS SEAL <input type="checkbox"/> EXTENDED							
	11	TRIM FORM		<input type="checkbox"/> EQ* <input checked="" type="checkbox"/> LINEAR <input type="checkbox"/> QUICK OPEN <input type="checkbox"/> ON-OFF							
	12	LUBRICATOR	ISOLATING VALVE	<input type="checkbox"/> YES <input checked="" type="checkbox"/> NO		<input type="checkbox"/> YES <input checked="" type="checkbox"/> NO					
13	REQUIRED SEAT TIGHTNESS		<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input checked="" type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> VI								
14	MAX. ALLOW SOUND LEVEL (dba)		<input checked="" type="checkbox"/> LESS THAN 85								
ACTUATOR	15	MODEL		<input type="checkbox"/> NLCOM-10AS <input type="checkbox"/> NLCOM-10MM <input type="checkbox"/> NLCOM-10NL <input type="checkbox"/> NLCOM-L25 <input checked="" type="checkbox"/> NLCOM-L50 <input type="checkbox"/> NLCOM-L100 <input type="checkbox"/> UNIC-10 <input type="checkbox"/> UNIC-20 <input type="checkbox"/> UNIC-L25 <input type="checkbox"/> UNIC-L50 <input type="checkbox"/> UNIC-L100							
	16	FORCE (Kg+f)		<input type="checkbox"/> 200 <input checked="" type="checkbox"/> 500 <input type="checkbox"/> 1200							
	17	TORQUE (Kg·M)		<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 100							
	18	POWER SOURCE		<input type="checkbox"/> AC 110V, 단상, 50/60Hz <input checked="" type="checkbox"/> AC 220V, 단상, 50/60Hz							
	19	INPUT SIGNAL		<input type="checkbox"/> 4-20mA DC <input type="checkbox"/> 1-5V DC							
	20	MAX. STROKE (mm)		<input type="checkbox"/> 25 <input checked="" type="checkbox"/> 50 <input type="checkbox"/> 75							
	21	MAX. OPERATION ANGLE		<input type="checkbox"/> 0-90							
	22	OPERATION SPEED		<input type="checkbox"/> 1.4mm/sec/50Hz <input type="checkbox"/> 0.90/15, 30, 45sec/50Hz							
	23	AMB. TEMPERATURE (°C)		<input type="checkbox"/> -25 - 55							
	24	DRIP PROOF		<input checked="" type="checkbox"/> IP-55 <input type="checkbox"/> d2G4							
25	WEIGHT (Kg)		<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6.5 <input type="checkbox"/> 8								
26	CONDUIT		<input type="checkbox"/> PF 1/2"								
ACC'Y	27	HANDWHEEL		<input checked="" type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	28	1-TORQUE SWITCH (CLOSE)		<input checked="" type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	29	2-TORQUE SWITCH (OPEN/CLOSE)		<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	30	POTENTIO-METER		<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	31	R/I CONVERTER (4-20mA)		<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	32	SPACE HEATER		<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
33	2-EXTRA LIMIT SWITCH		<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO								
OPERATING CONDITION	34	FLUID		AIR <input type="checkbox"/> LIQUID <input checked="" type="checkbox"/> GAS <input type="checkbox"/> STEAM <input type="checkbox"/> VAPOR							
	35	FLOW UNIT	PRESSURE UNIT	<input type="checkbox"/> m ³ /h <input checked="" type="checkbox"/> Nm ³ /Hr <input type="checkbox"/> Kg/h <input checked="" type="checkbox"/> Kg/cm ² G <input type="checkbox"/> bar							
	36	MAX. Q	PI	°P	Cv	OPENING LIFT (%)	1390.34			32.06	90
		NOR. Q	PI	°P	Cv	OPENING LIFT (%)	417	3.5		9.62	58
		MIN. Q	PI	°P	Cv	OPENING LIFT (%)					
		MAX. SHUT OFF °P (Kg/cm ² G)		3.5							
37	MAX. TEMP (°C)	OPERATING (°C)		400							
38	OPER. SP GR.	MOL. WT.									
39	OPER. VISC	% FLASH									
40	MODEL NO	JVS-GV-NL50-503017									
REMARK											

표 (2.4) 1차 밸브 사양

中央밸브서비스株式会社 VALVE CONTROL & REPAIR KOEI 工業(株) 福岡代理店		SPECIFICATION SHEET OF CONTROL VALVES		SHEET 1 OF 2						
				1						
				0	95.0.13	S.S.HAN	2/2/97			
		REVISION	DATE	MADE BY	CHECKED BY					
GENERAL	1	ITEM NO								
	2	TAG NO								
	3	LINE SIZE	Q'TY (SET)	1						
	4	TYPE OF BODY	<input checked="" type="checkbox"/> GLOBE <input type="checkbox"/> BALL <input type="checkbox"/> B/F <input type="checkbox"/> DIAPHRAGM <input type="checkbox"/> PLUG <input checked="" type="checkbox"/> 2WAY <input type="checkbox"/> 3WAY							
5	BODY SIZE (A)	PORT SIZE (A)	50 40							
6	TYPE OF PORT	GUIDING	<input checked="" type="checkbox"/> SINGLE <input type="checkbox"/> CAGE-S <input type="checkbox"/> CAGE-D <input checked="" type="checkbox"/> TOP <input type="checkbox"/> BOTTOM <input type="checkbox"/> CAGE							
BODY	7	RATING	JIS <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 10K <input type="checkbox"/> 20K <input type="checkbox"/> 30K <input type="checkbox"/> 40K <input type="checkbox"/> 63K <input type="checkbox"/>						
			ANSI <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 150# <input type="checkbox"/> 300# <input type="checkbox"/> 600# <input type="checkbox"/> 900# <input type="checkbox"/>						
			PN <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 50 <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/> 150 <input type="checkbox"/>						
	8	END CONNECTION	<input checked="" type="checkbox"/> RF <input type="checkbox"/> FF <input type="checkbox"/> RTJ <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> BF <input type="checkbox"/> T/G <input type="checkbox"/> M/F <input type="checkbox"/>							
	9	MATERIAL	BODY	<input type="checkbox"/> FC20 <input checked="" type="checkbox"/> SCPH2 <input type="checkbox"/> SCS13 <input type="checkbox"/> SCS14 <input type="checkbox"/>						
			TRIM (DISC/SEAT)	<input checked="" type="checkbox"/> SUS304 <input type="checkbox"/> SUS316 <input type="checkbox"/>						
			PACKING	<input checked="" type="checkbox"/> PTFE <input type="checkbox"/> GRAPHITE <input type="checkbox"/> ASBESTOS <input type="checkbox"/>						
	10	BONNET TYPE	<input checked="" type="checkbox"/> STANDARD <input type="checkbox"/> FIN <input type="checkbox"/> BELLOWS SEAL <input type="checkbox"/> EXTENDED <input type="checkbox"/>							
	11	TRIM FORM	<input type="checkbox"/> EQ# <input checked="" type="checkbox"/> LINEAR <input type="checkbox"/> QUICK OPEN <input type="checkbox"/> ON-OFF <input type="checkbox"/>							
	12	LUBRICATOR	ISOLATING VALVE	<input type="checkbox"/> YES <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> YES <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>						
13	REQUIRED SEAT TIGHTNESS	<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> III <input checked="" type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> VI <input type="checkbox"/>								
14	MAX. ALLOW SOUND LEVEL (dba)	<input checked="" type="checkbox"/> LESS THAN 85 <input type="checkbox"/>								
ACTUATOR	15	MODEL	<input type="checkbox"/> NUCOM-10NS <input type="checkbox"/> NUCOM-10NM <input type="checkbox"/> NUCOM-10NL <input type="checkbox"/> NUCOM-L25 <input checked="" type="checkbox"/> NUCOM-L50 <input type="checkbox"/> NUCOM-L100 <input type="checkbox"/> UNIC-10 <input type="checkbox"/> UNIC-20 <input type="checkbox"/> UNIC-L25 <input type="checkbox"/> UNIC-L50 <input type="checkbox"/> UNIC-L100							
	16	FORCE (Kg f)	<input checked="" type="checkbox"/> 200 <input type="checkbox"/> 500 <input type="checkbox"/> 1200							
	17	TORQUE (Kg·M)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 100							
	18	POWER SOURCE	<input type="checkbox"/> AC 110V, 단상, 50/60Hz <input checked="" type="checkbox"/> AC 220V, 단상, 50/60Hz							
	19	INPUT SIGNAL	<input type="checkbox"/> 4-20mA DC <input type="checkbox"/> 1-5V DC							
	20	MAX. STROKE (mm)	<input type="checkbox"/> 25 <input checked="" type="checkbox"/> 50 <input type="checkbox"/> 75							
	21	MAX. OPER. ANGLE	<input type="checkbox"/> 0-90							
	22	OPERATION SPEED	<input type="checkbox"/> 1.4 mm/sec/50Hz <input type="checkbox"/> 0-90/15, 30, 45sec/50Hz							
	23	AMB. TEMPERATURE (°C)	<input type="checkbox"/> -25 - 55							
	24	DRIP PROOF	<input checked="" type="checkbox"/> IP-55 <input type="checkbox"/> d2G4							
25	WEIGHT (Kg)	<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6.5 <input type="checkbox"/> 8								
26	CONDUIT	<input type="checkbox"/> PF 1/2=2								
ACC'Y	27	HANDWHEEL	<input checked="" type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	28	1-TORQUE SWITCH (CLOSE)	<input checked="" type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	29	2-TORQUE SWITCH (OPEN/CLOSE)	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	30	POTENTIO-METER	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	31	R/I CONVERTER (4-20mA)	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
	32	SPACE HEATER	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO							
33	2-EXTRA LIMIT SWITCH	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO								
OPERATING CONDITION	34	FLUID	AIR <input type="checkbox"/> LIQUID <input checked="" type="checkbox"/> GAS <input type="checkbox"/> STEAM <input type="checkbox"/> VAPOR							
	35	FLOW UNIT	PRESSURE UNIT	<input type="checkbox"/> m ³ /h <input checked="" type="checkbox"/> Nm ³ /Hr <input type="checkbox"/> Kg/h <input checked="" type="checkbox"/> Kgf/cm ² G <input type="checkbox"/> bar						
	36	MAX. Q	P1	△P	Cv	OPENING LIFT (%)	1390.34		20.42	89
		NOR. Q	P1	△P	Cv	OPENING LIFT (%)	417	3.5	6.12	58
		MIN. Q	P1	△P	Cv	OPENING LIFT (%)				
		MAX. SHUT OFF △P (Kg/cm ² G)	3.5							
	37	MAX. TEMP. (°C)	OPERATING (°C)	0						
	38	OPER. SP GR.	MOL. WT.							
39	OPER. VISC	△ FLASH								
40	MODEL NO	JVS-CV-NI.50-503018								
REMARK										

표 (2.5) 2차 밸브 사양

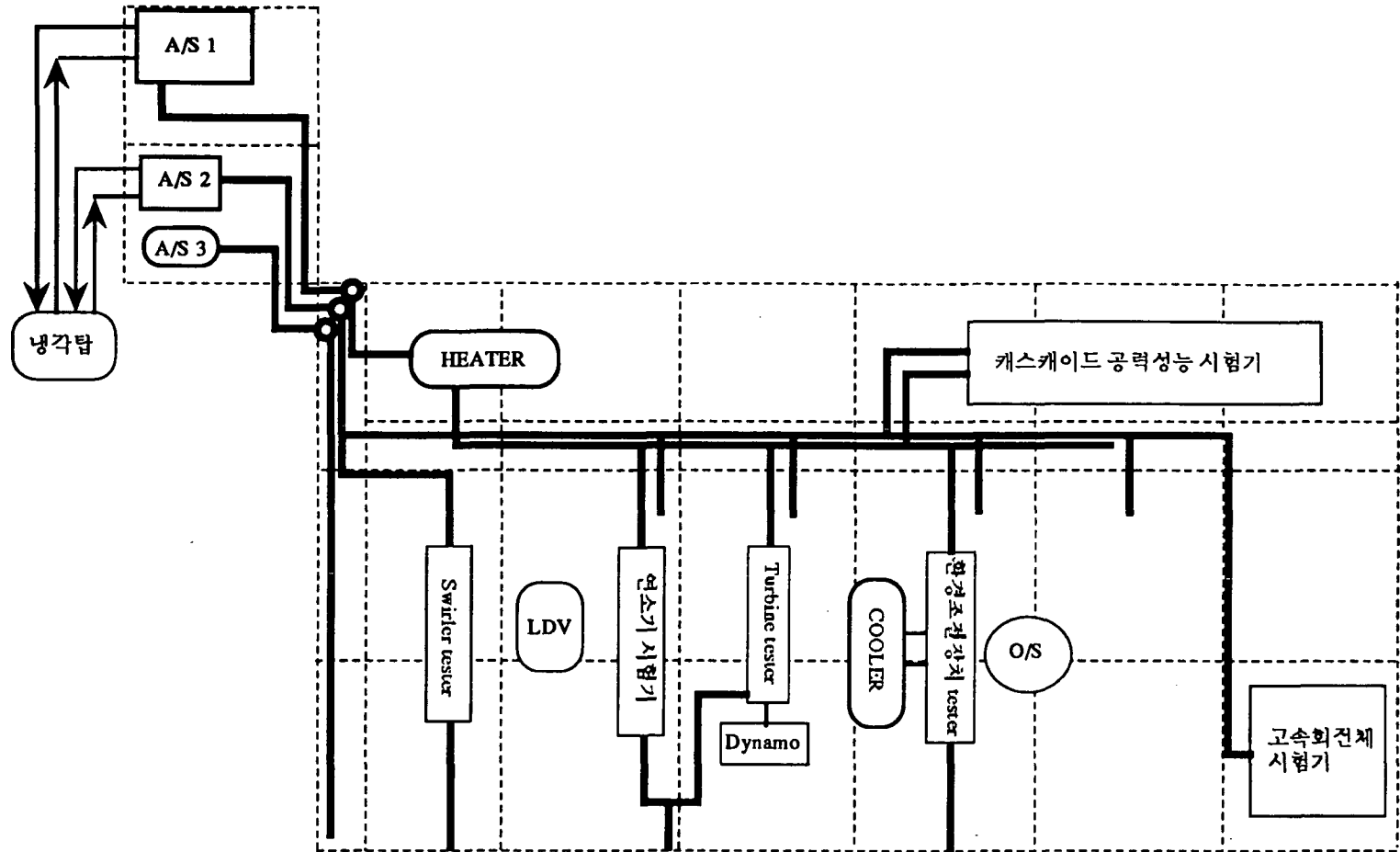


그림 (2.1) 공기공급원 개념도

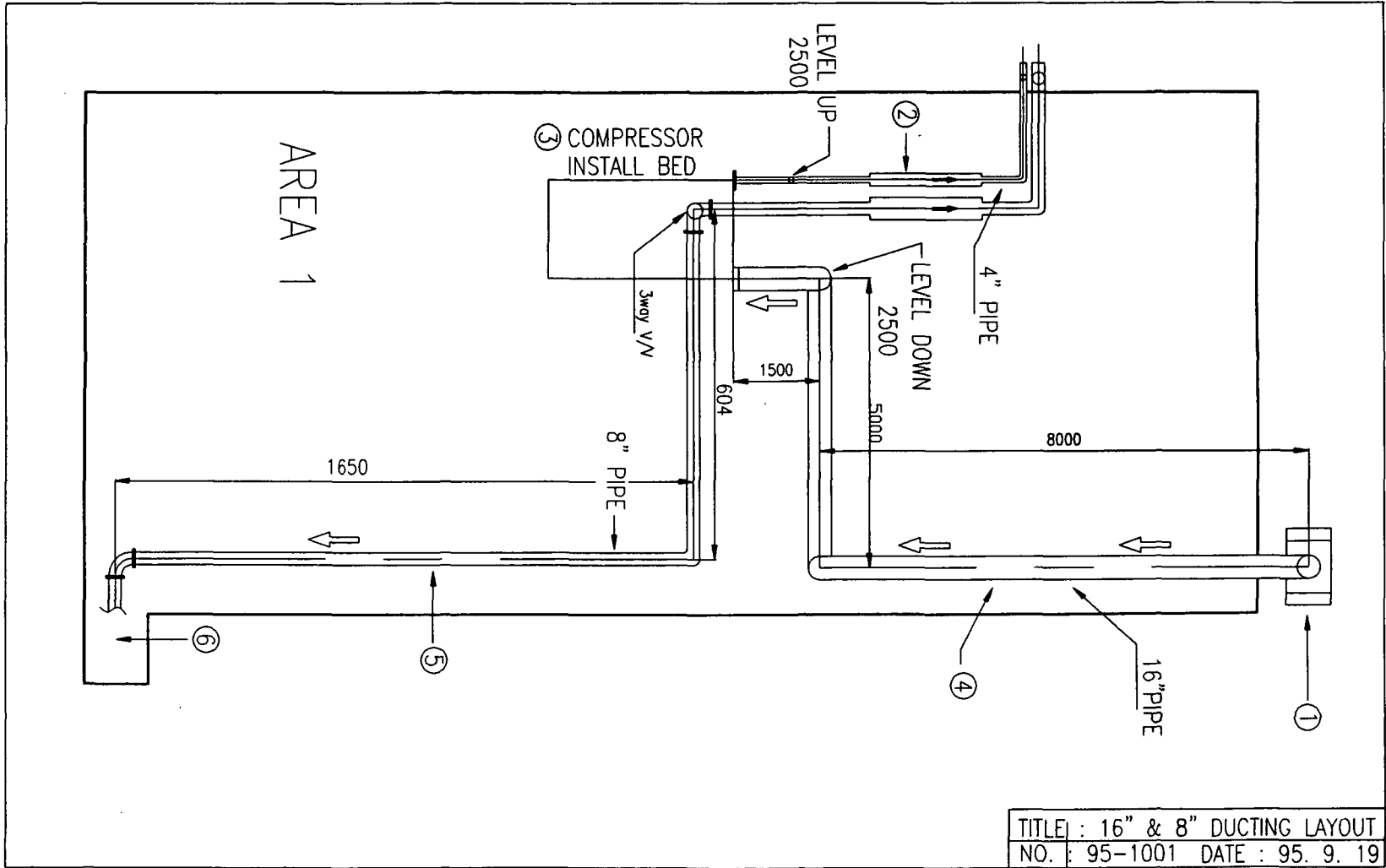


그림 (2.2) 500마력 공기 공급장치 설치도

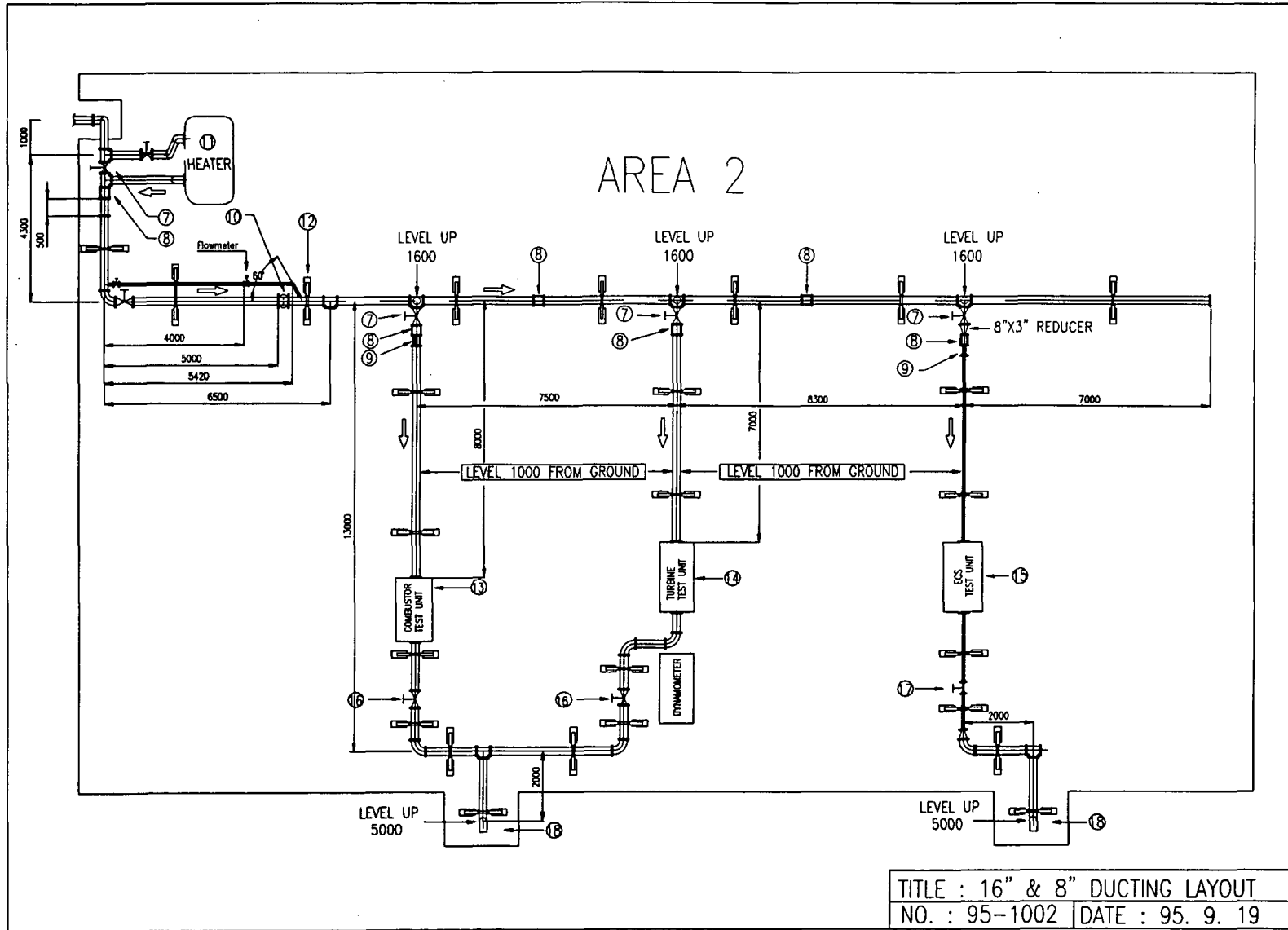
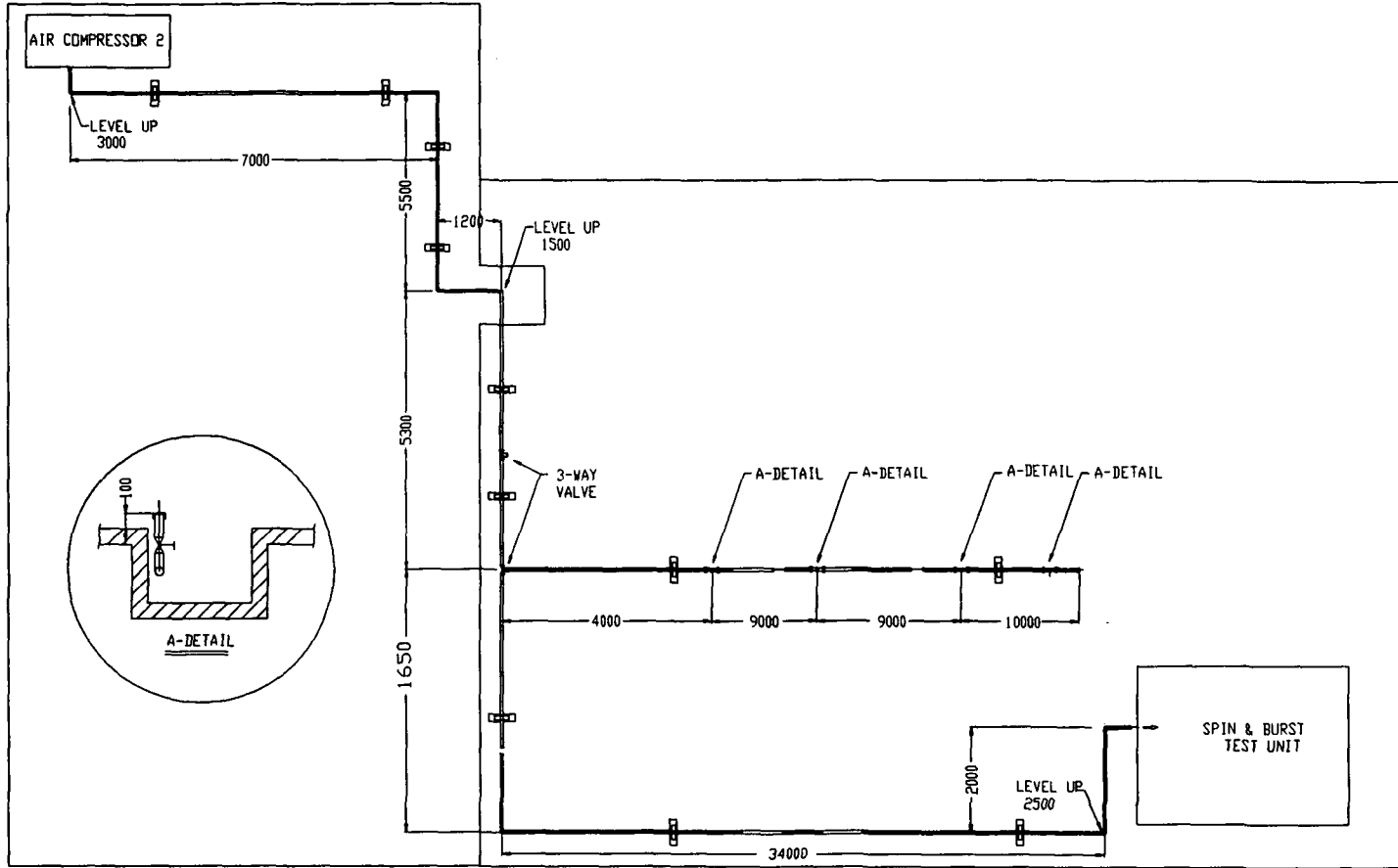


그림 (2.3) 각 시험기 공기공급 배관도



TITLE : 2" PIPE DUCTING LAYOUT

NO. : 95-1100

DATE : 95. 8.11

그림 (2.4) Spin & burst 시험기 배관도

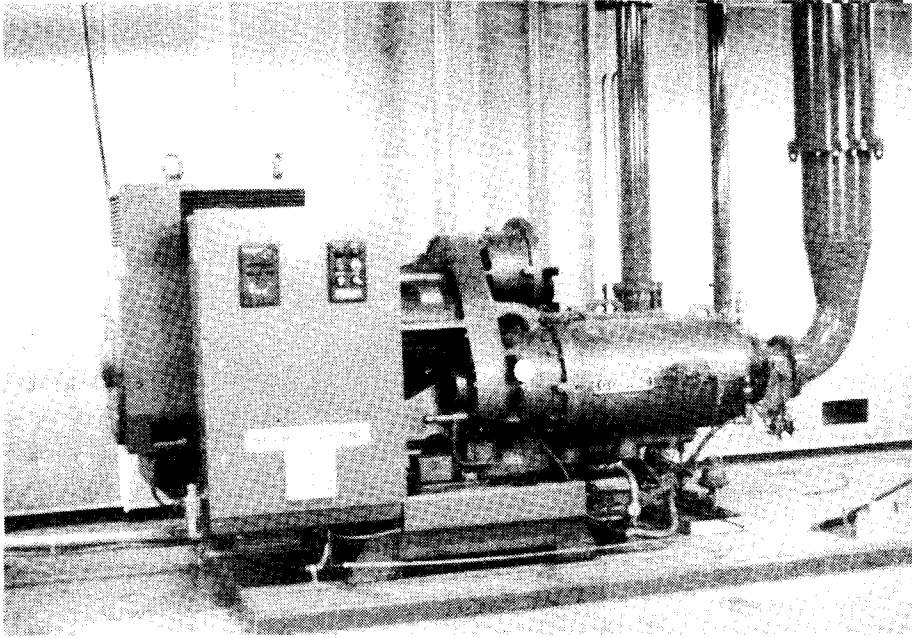


사진 (2.1) 장착된 500마력급 공기공급원

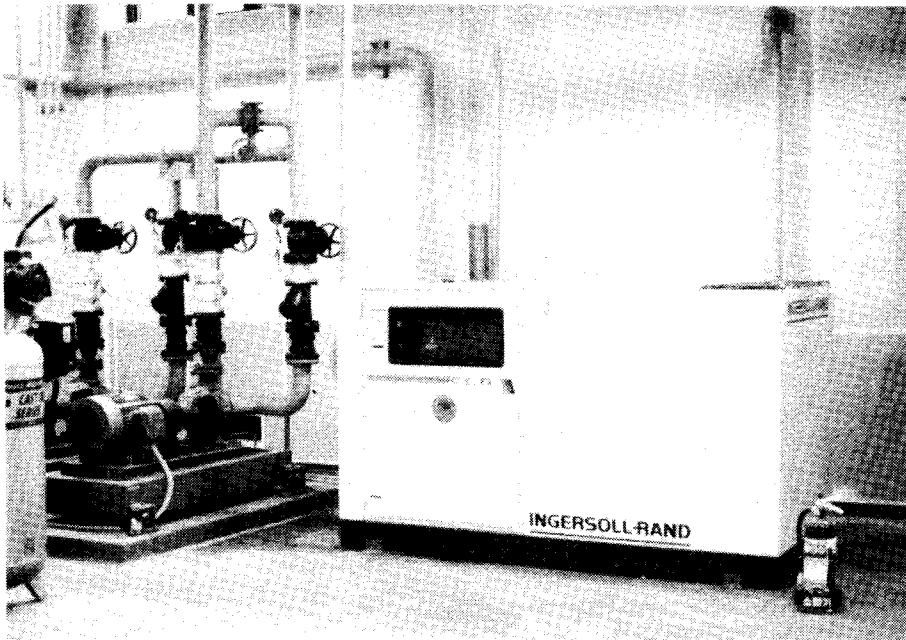


사진 (2.2) 장착된 50마력급 공기공급원

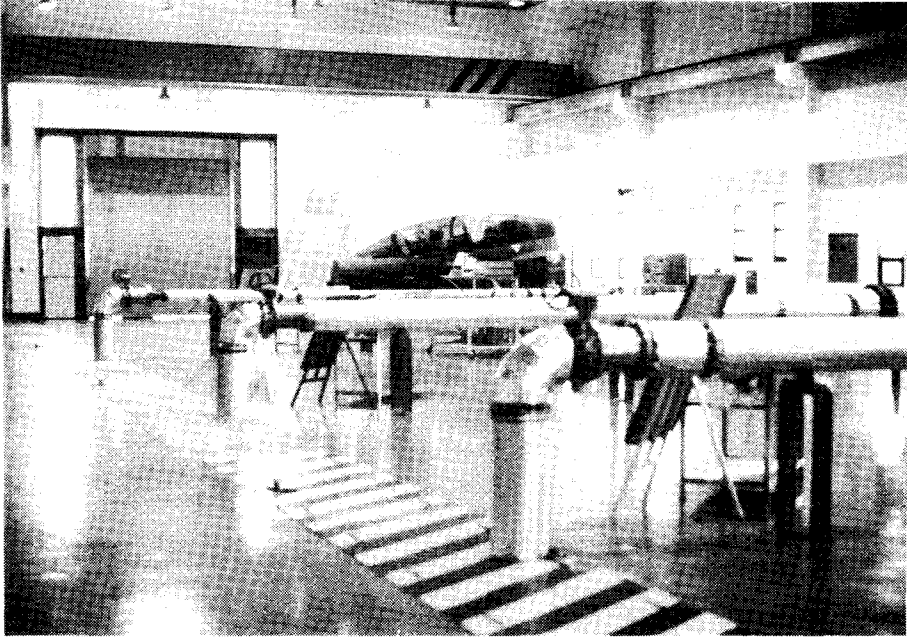


사진 (2.3) 장착된 각 시험기의 공기공급원 배관

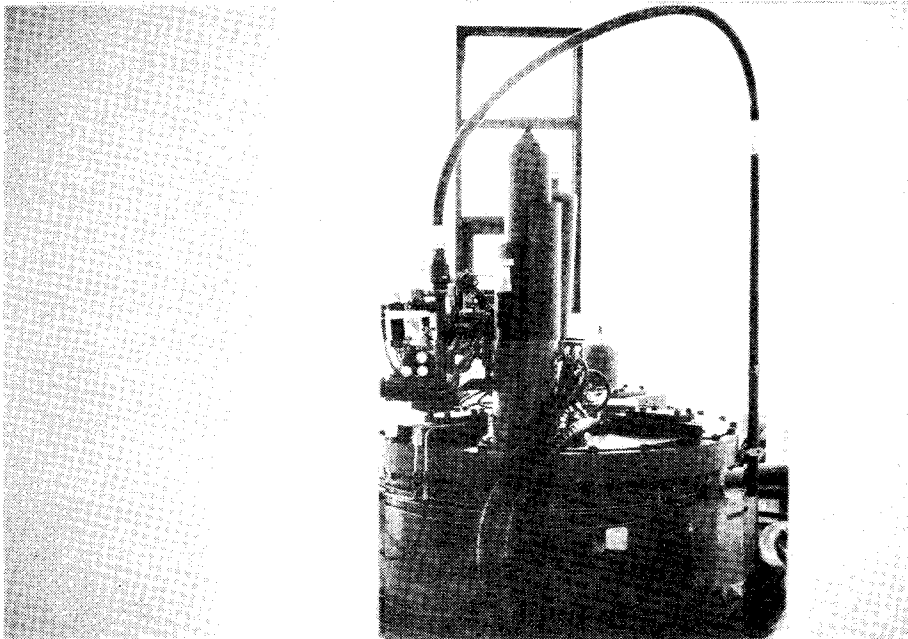


사진 (2.4) 장착된 Spin & Burster 시험기

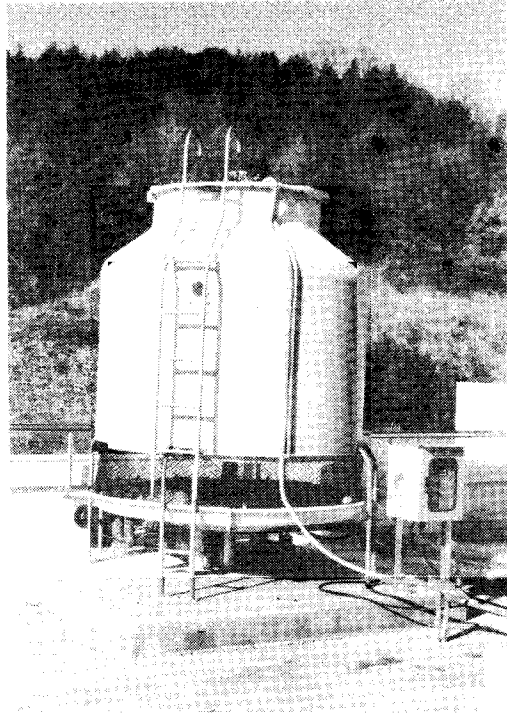


사진 (2.5) 500마력급 공기공급원 용 냉각탑

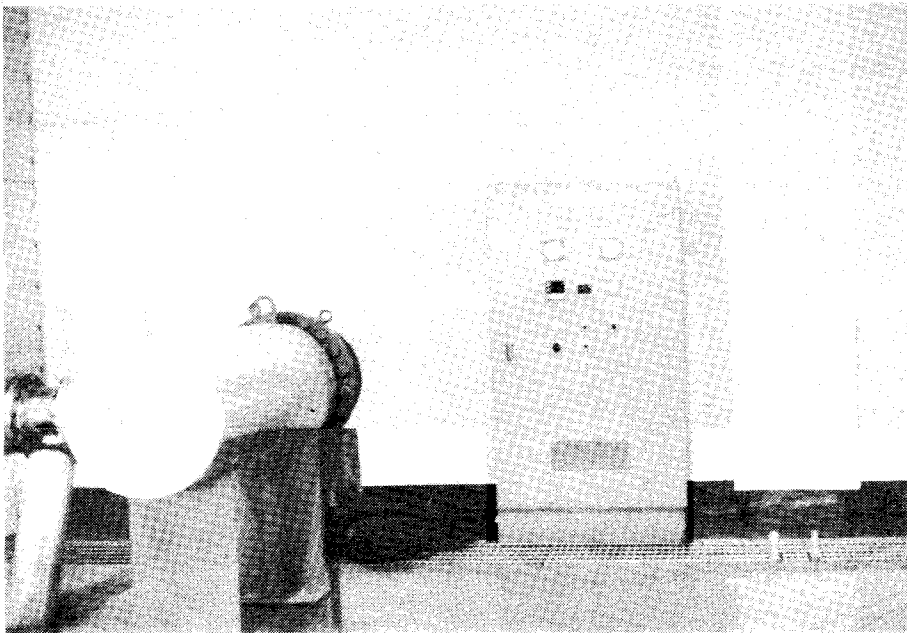


사진 (2.6) 300kw급 고압공기 예열기

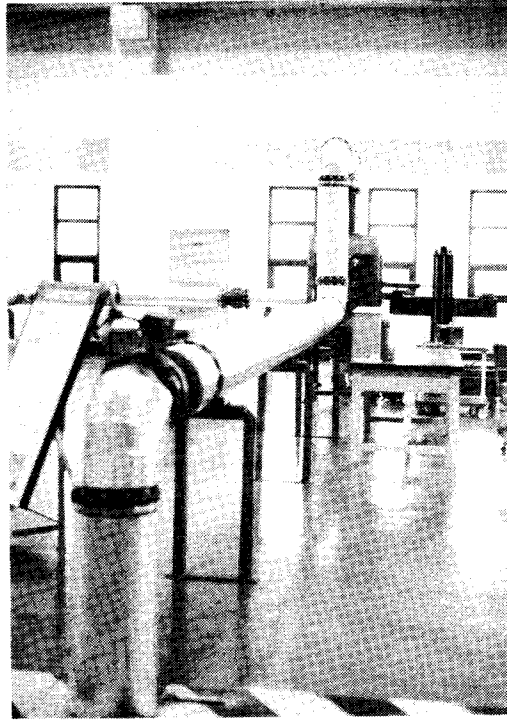


사진 (2.7) 장착된 연소기 성능시험기

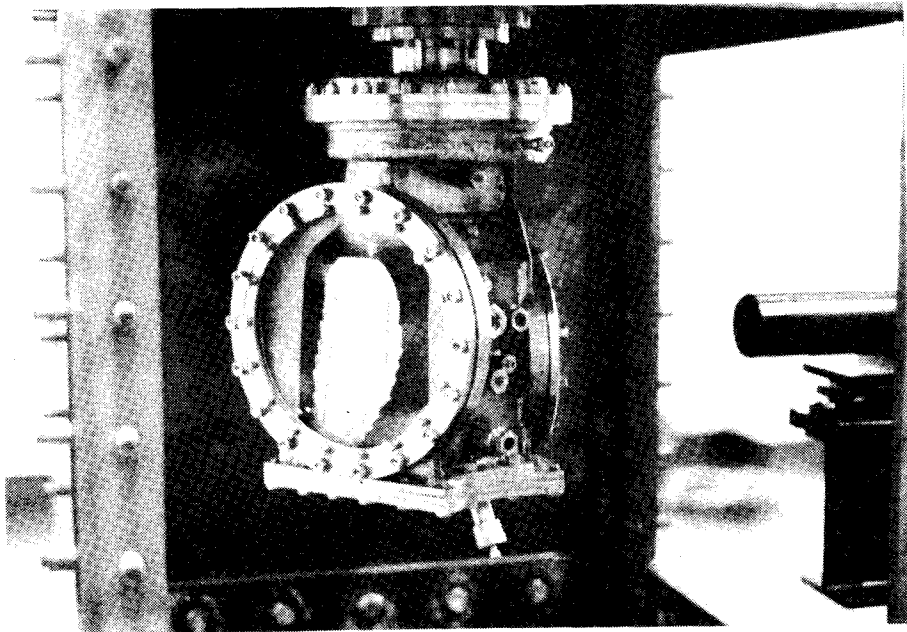


사진 (2.8) 연소기 시험부

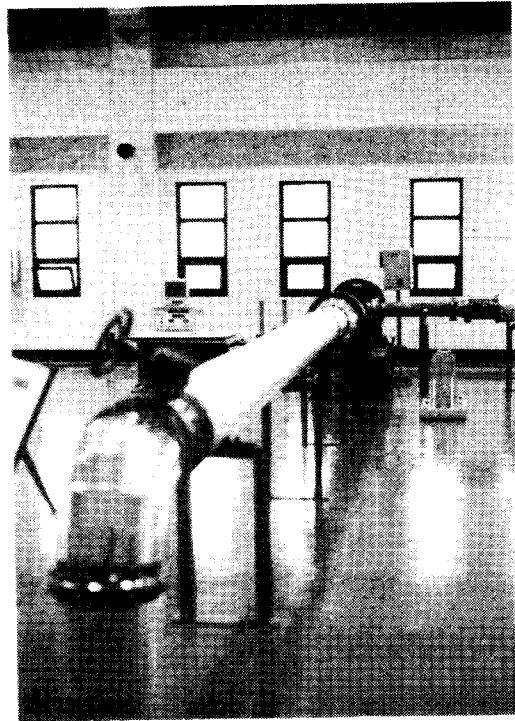


사진 (2.9) 장착된 터어빈 성능시험기

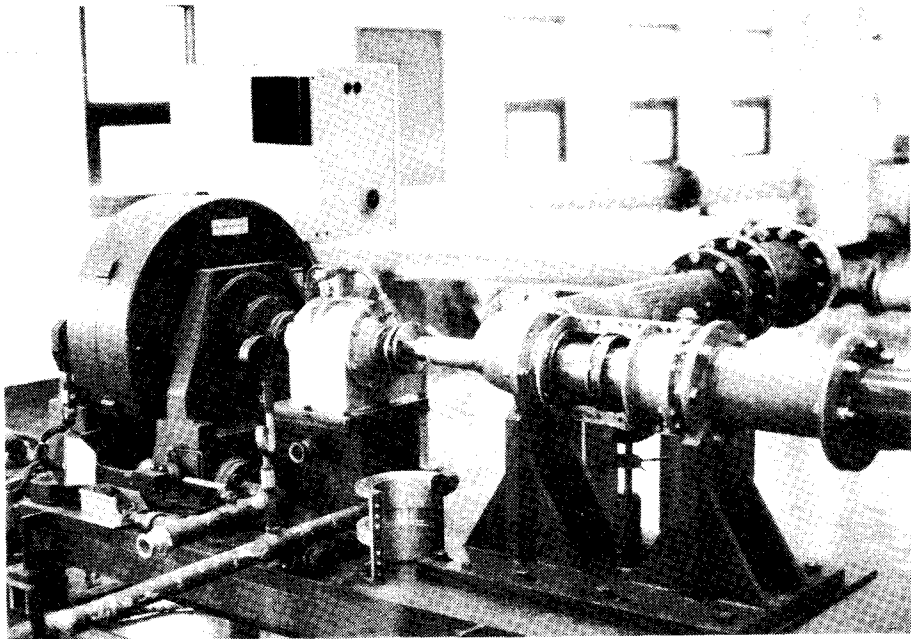


사진 (2.10) 터어빈 시험부

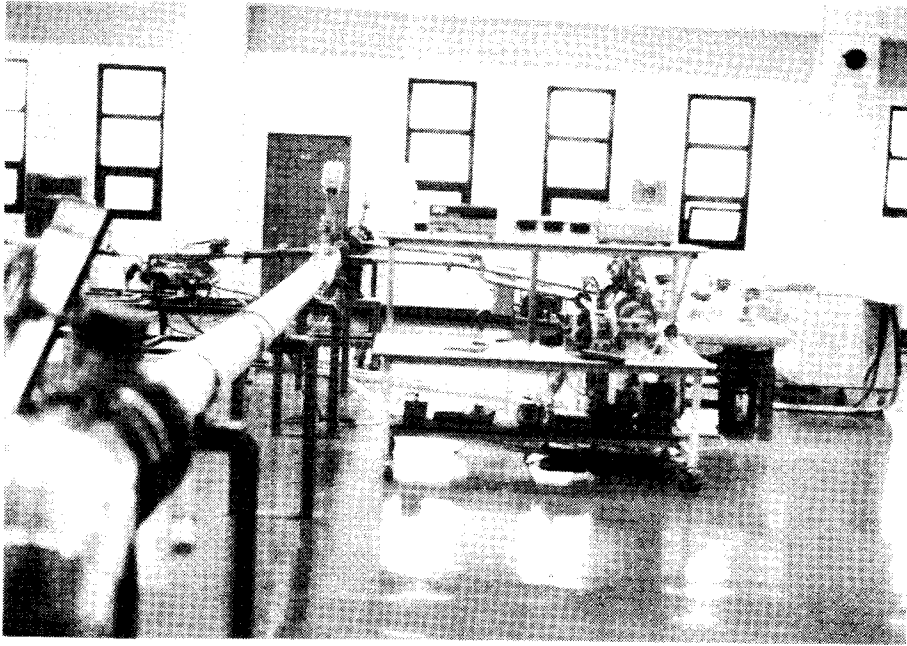


사진 (2.11) 장착된 ECS 성능시험기

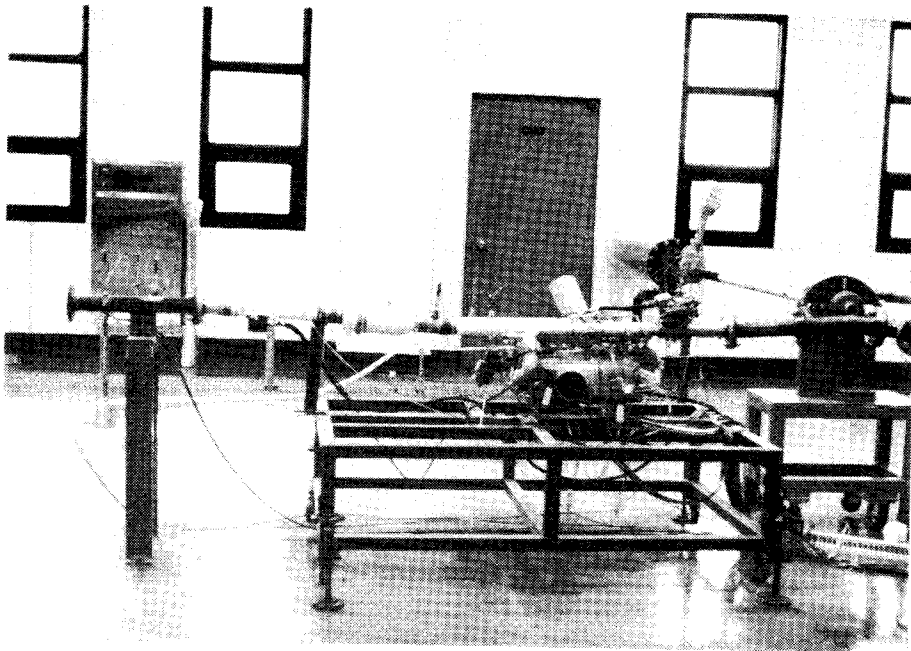


사진 (2.12) ECS 시험부

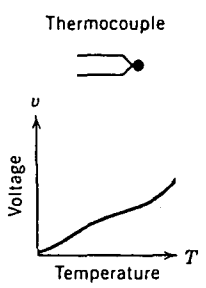
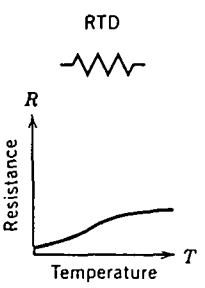
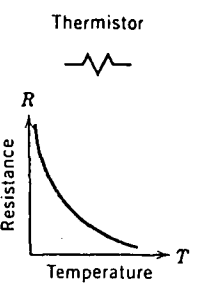
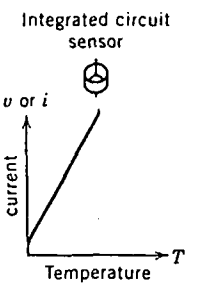
	Thermocouple 	RTD 	Thermistor 	Integrated circuit sensor 
Advantages	<input type="checkbox"/> Self powered <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Rugged <input type="checkbox"/> Inexpensive <input type="checkbox"/> Wide variety <input type="checkbox"/> Wide temperature range	<input type="checkbox"/> Most stable <input type="checkbox"/> Most accurate <input type="checkbox"/> More linear than thermocouple	<input type="checkbox"/> High output <input type="checkbox"/> fast <input type="checkbox"/> two-wire ohms measurement	<input type="checkbox"/> Most linear <input type="checkbox"/> Highest output <input type="checkbox"/> Inexpensive
Disadvantages	<input type="checkbox"/> Nonlinear <input type="checkbox"/> Low voltage <input type="checkbox"/> Reference required <input type="checkbox"/> Least stable <input type="checkbox"/> Least sensitive	<input type="checkbox"/> Expensive <input type="checkbox"/> Current source required <input type="checkbox"/> Small ΔR <input type="checkbox"/> Low absolute resistance <input type="checkbox"/> Self-heating	<input type="checkbox"/> Nonlinear <input type="checkbox"/> Limited temperature range <input type="checkbox"/> Fragile <input type="checkbox"/> Current source required <input type="checkbox"/> Self-heating	<input type="checkbox"/> $T < 200^\circ\text{C}$ <input type="checkbox"/> Power supply required <input type="checkbox"/> Slow <input type="checkbox"/> Self-heating <input type="checkbox"/> Limited configurations

표 (3.1) 각종 온도 sensor의 장·단점 (Courtesy of Omega Engineering Inc.)

Type	Positive Material	Negative Material
E	Chromel	Constantan
J	Iron	Constantan
K	Chromel	Alumel
N	Nicrosil	Nisil
R	Platinum 13% Rhodium	Platinum
S	Platinum 10% Rhodium	Platinum
T	Copper	Constantan

표 (3.2) 표준 thermocouple의 종류와 재질

Type of Thermocouple	°C	°F	Voltage Span (mV)
Copper-constantan	-185 to 400	-300 to 750	-5.284 to 20.805
Iron-constantan	-185 to 870	-300 to 1600	-7.52 to 50.05
Chromel-Alumel	-185 to 1260	-300 to 2300	-5.51 to 51.05
Chromel-constantan	0 to 980	32 to 1800	0 to 75.12
Nicrosil-Nisil	-270 to 1300	-450 to 2372	-4.345 to 47.502
Platinum 10% rhodium-platinum	0 to 1535	32 to 2800	0 to 15.979
Platinum 13% rhodium-platinum	0 to 1590	32 to 2900	0 to 18.636
Platinum 30% rhodium-platinum,	38 to 1800	100 to 3270	0.007 to 13.499
Platinel 1813-Platinel 1503	0 to 1300	32 to 2372	0 to 51.1
Iridium-60% rhodium 40% iridium	1400 to 1830	2552 to 3326	7.30 to 9.55
Tungsten 3% rhenium-tungsten	10 to 2200	50 to 4000	0.064 to 29.47
25% rhenium	16 to 2800	60 to 5072	0.042 to 43.25
Tungsten-tungsten 26% rhenium			
Tungsten 5% rhenium-tungsten 26% rhenium	0 to 2760	32 to 5000	0 to 38.45

표 (3.3) 재질에 따른 온도 측정가능 영역과 전압값의 범위

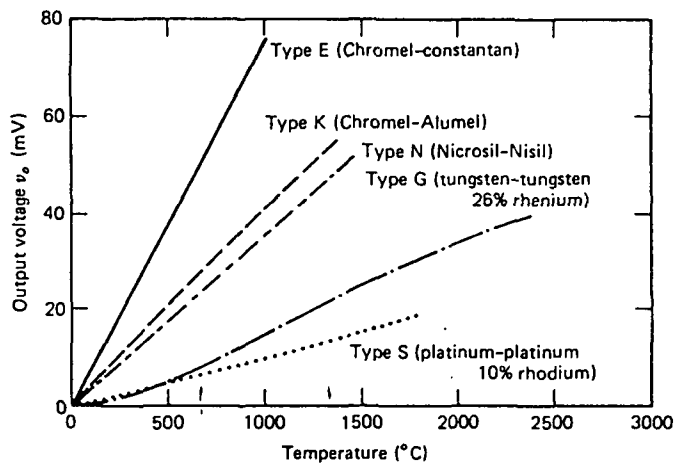


그림 (3.1) 0°C 온도 보상시 온도에 따른 전압 값

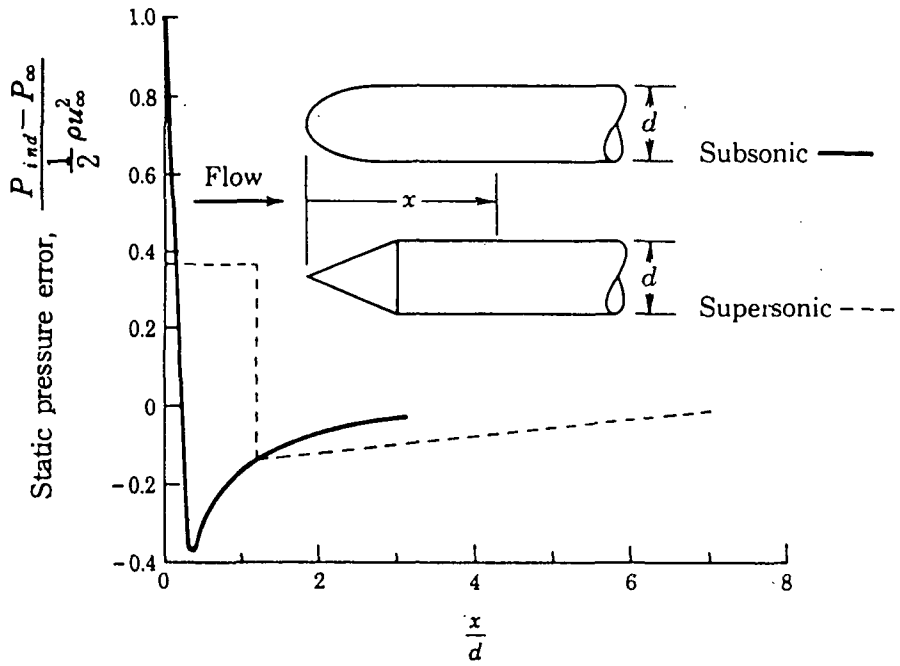


그림 (3.2) Pitot tube의 static hole 위치에 따른 측정압의 변화

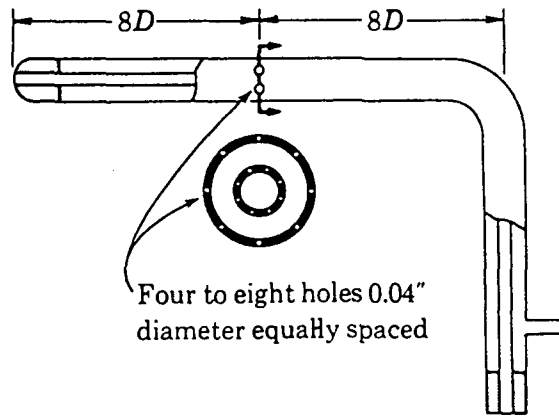


그림 (3.3) Pitot tube의 static hole의 위치

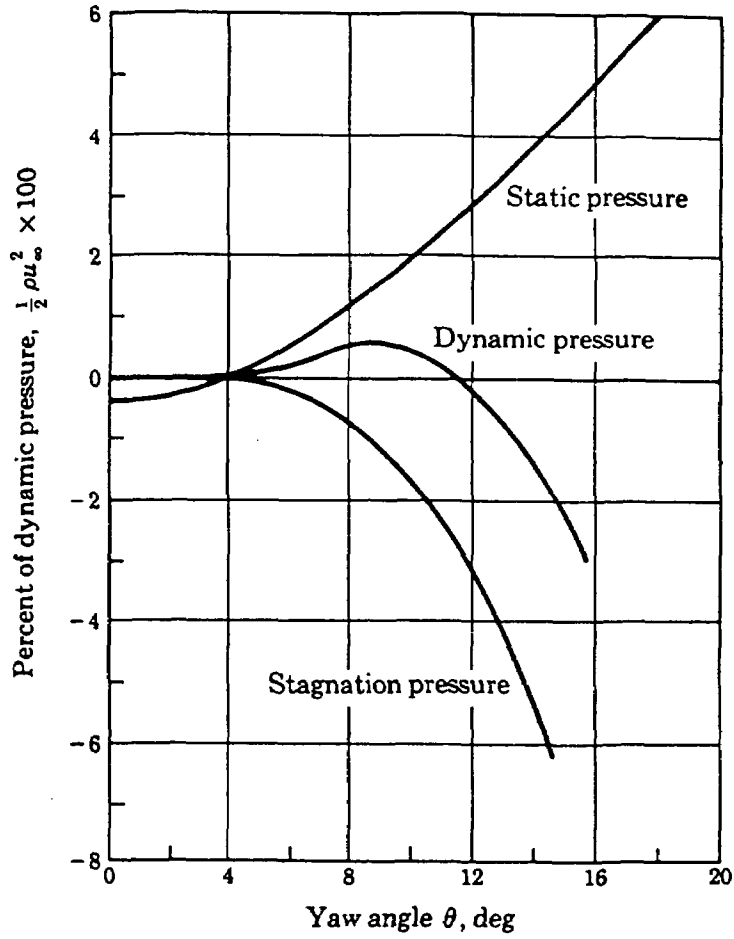


그림 (3.4) Yaw angle에 따른 pitot tube sensitivity

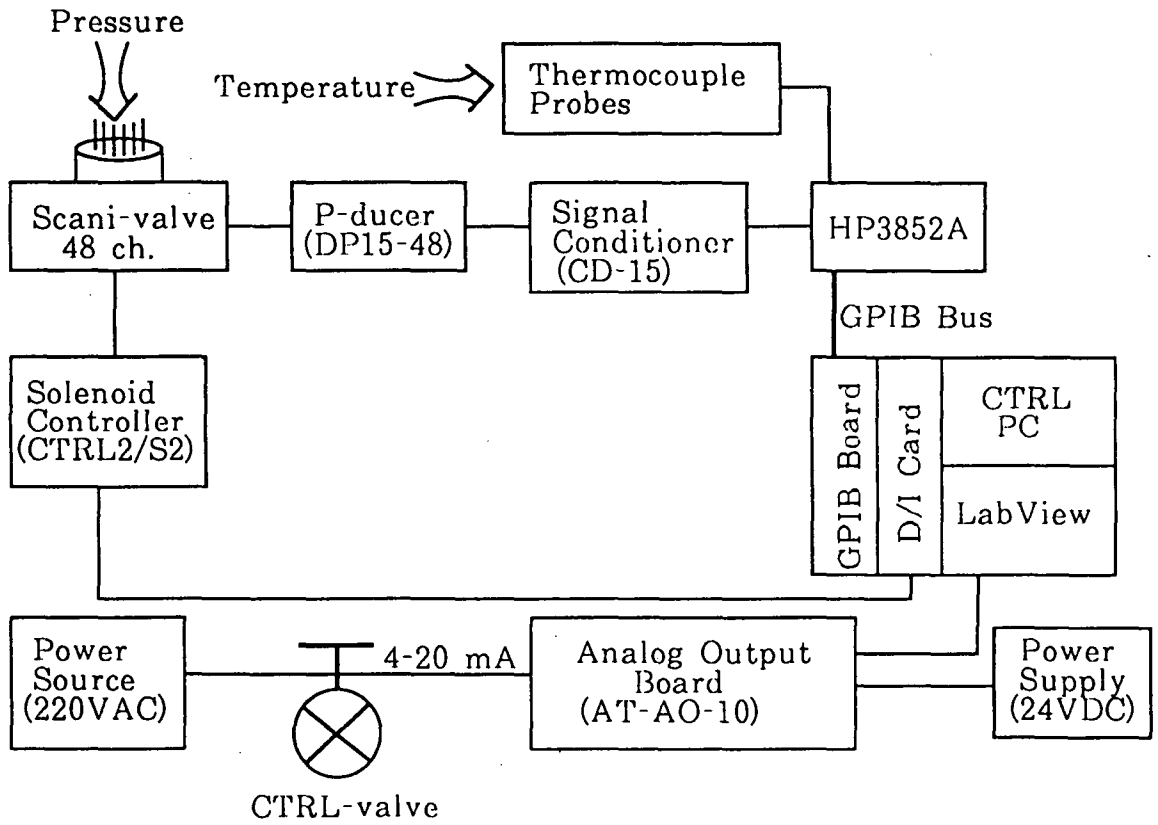


그림 (3.5) 성능시험기 자료획득 및 valve 구동시스템

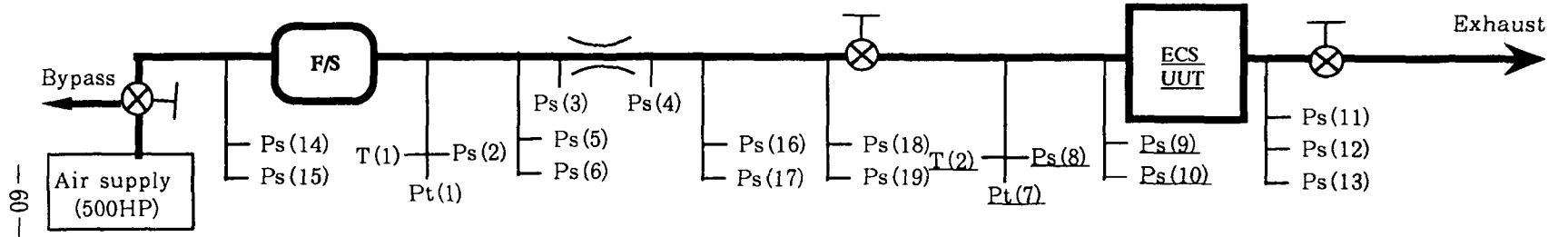


그림 (3.6) ECS 시험기의 개략도 및 측정위치

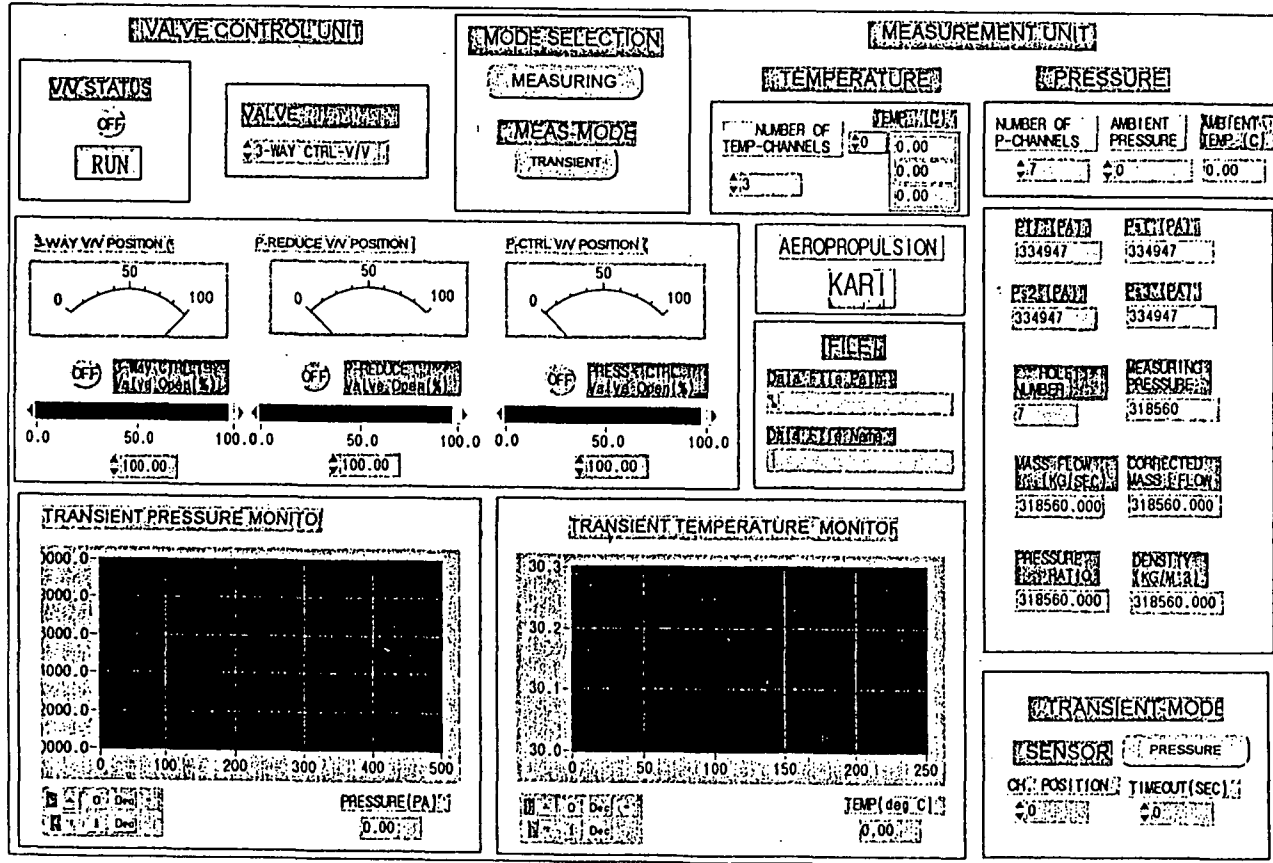


그림 (3.7) DAS program의 front panel

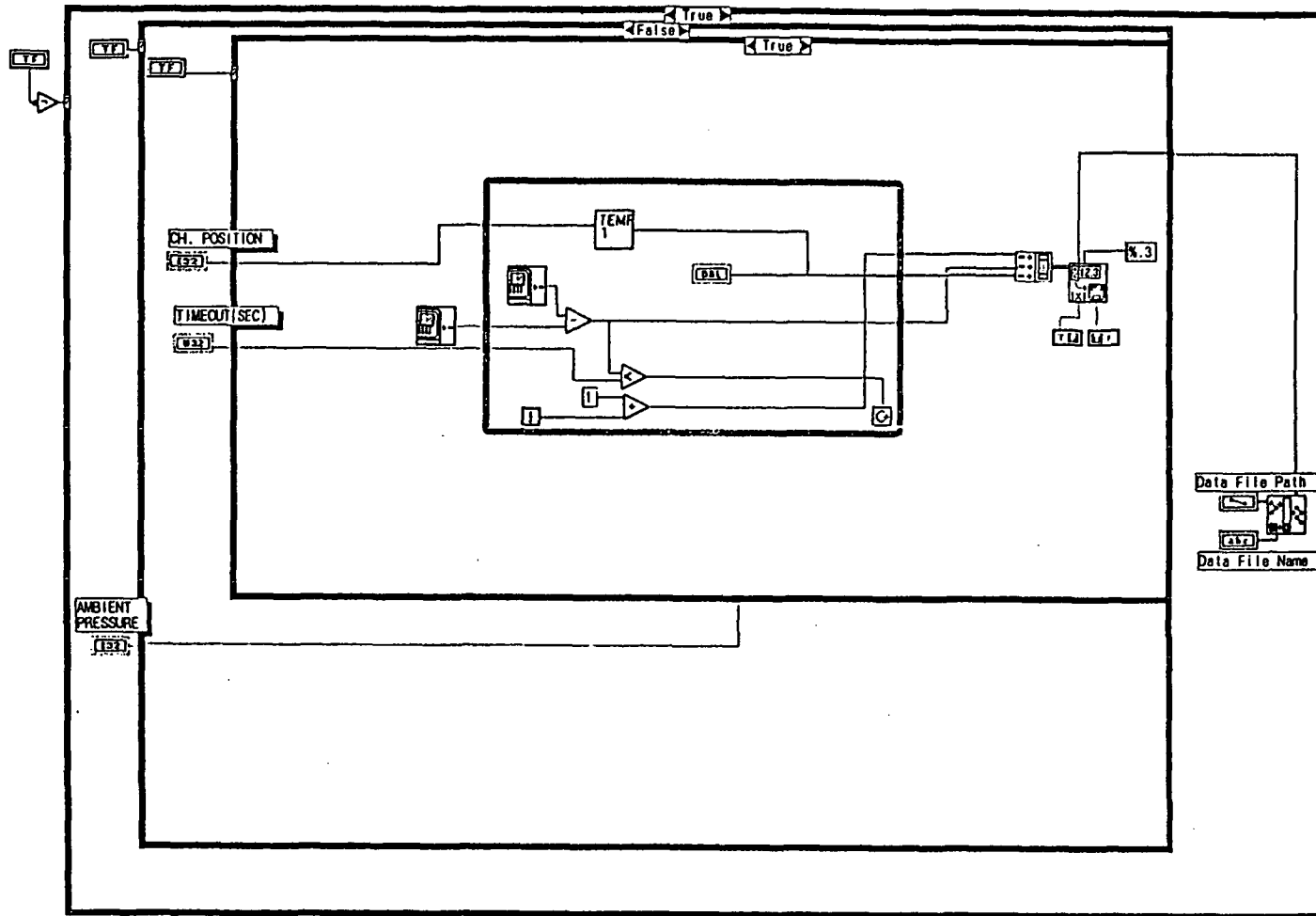
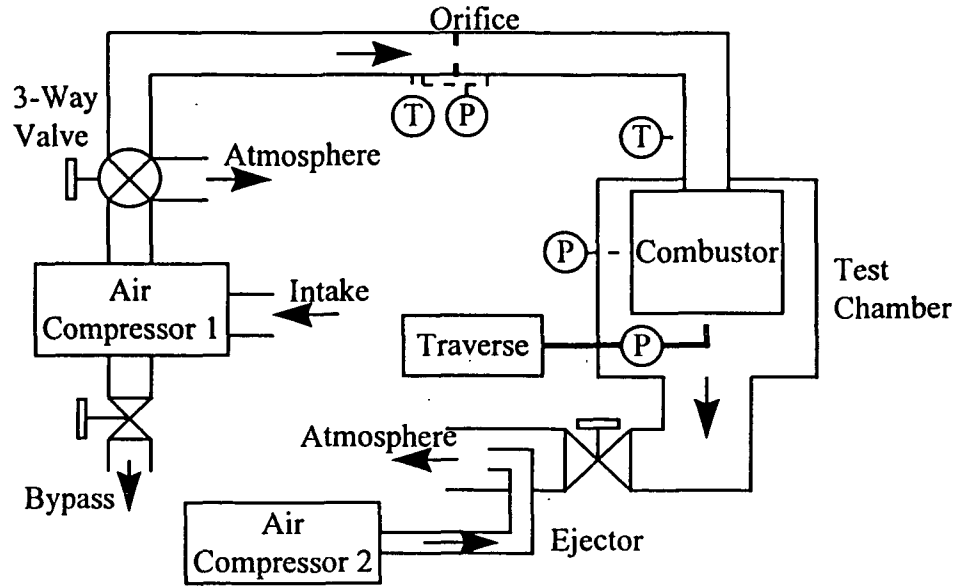


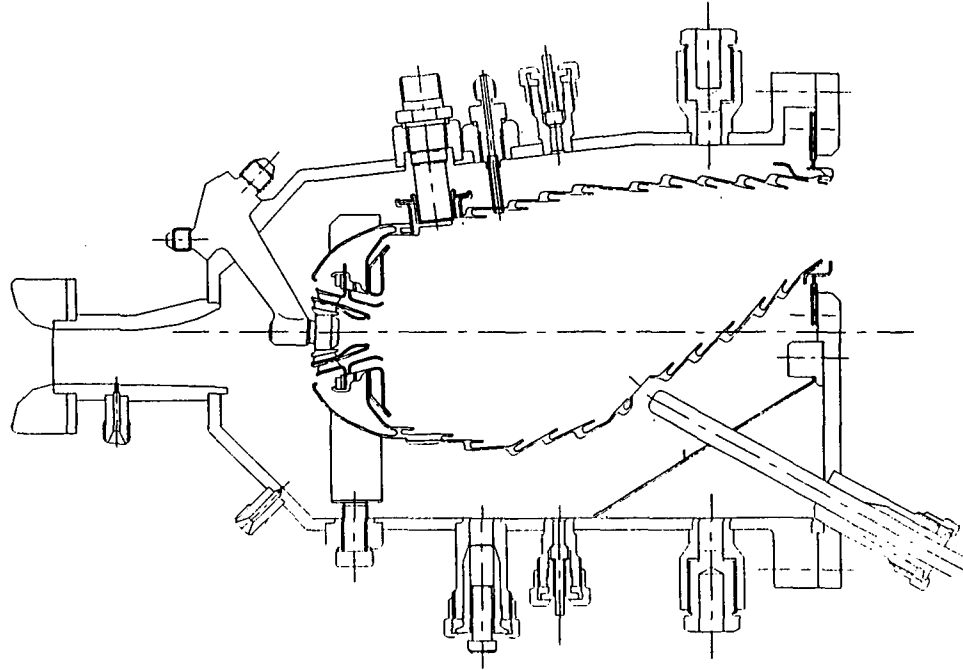
그림 (3.8) DAS program의 block diagram

표 (4.1) 각 case에 대한 설정압 및 설정온도

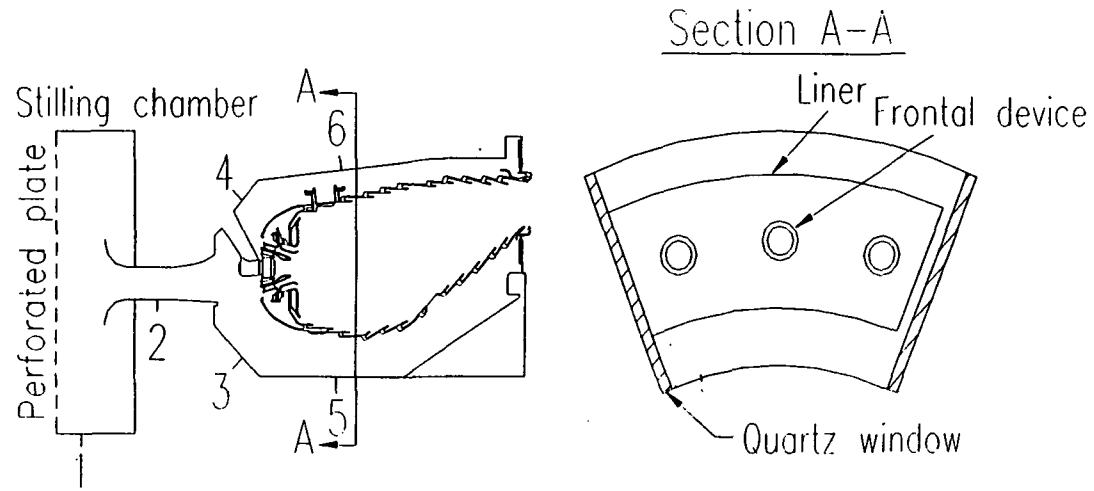
	Pset=196 kPa	Pset=140 kPa	Pset=70 kPa
Pattern 2(150 deg C)	Case 1	Case 2	Case 3
Pattern 3(300 deg C)	Case 4	Case 5	Case 6



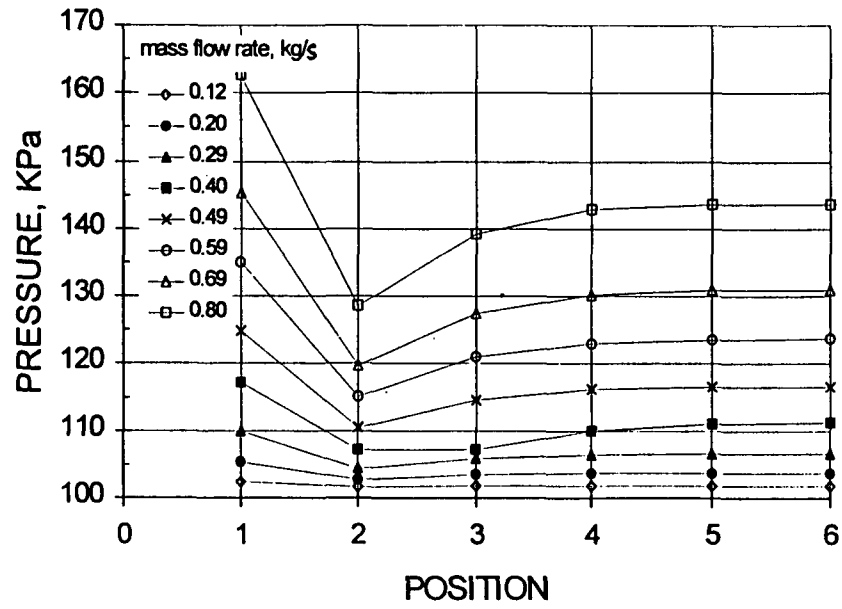
그림(4.1) 연소기 시험 장치 개략도



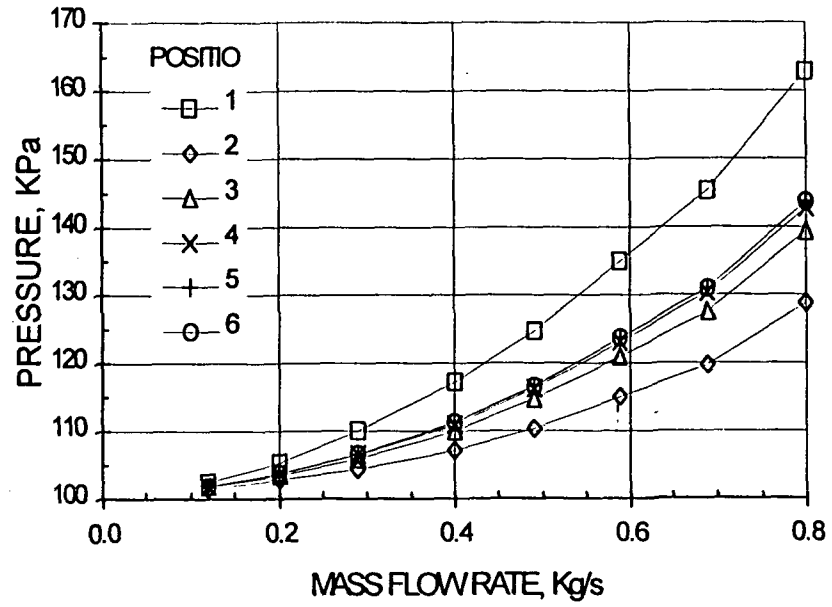
그림(4.2) 연소기의 단면도



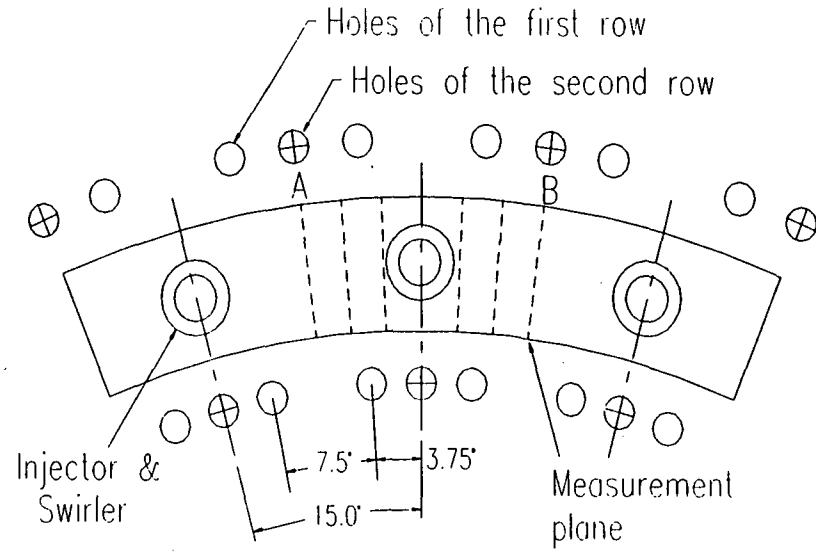
그림(4.3) 연소기의 개략도 및 압력 탭의 위치



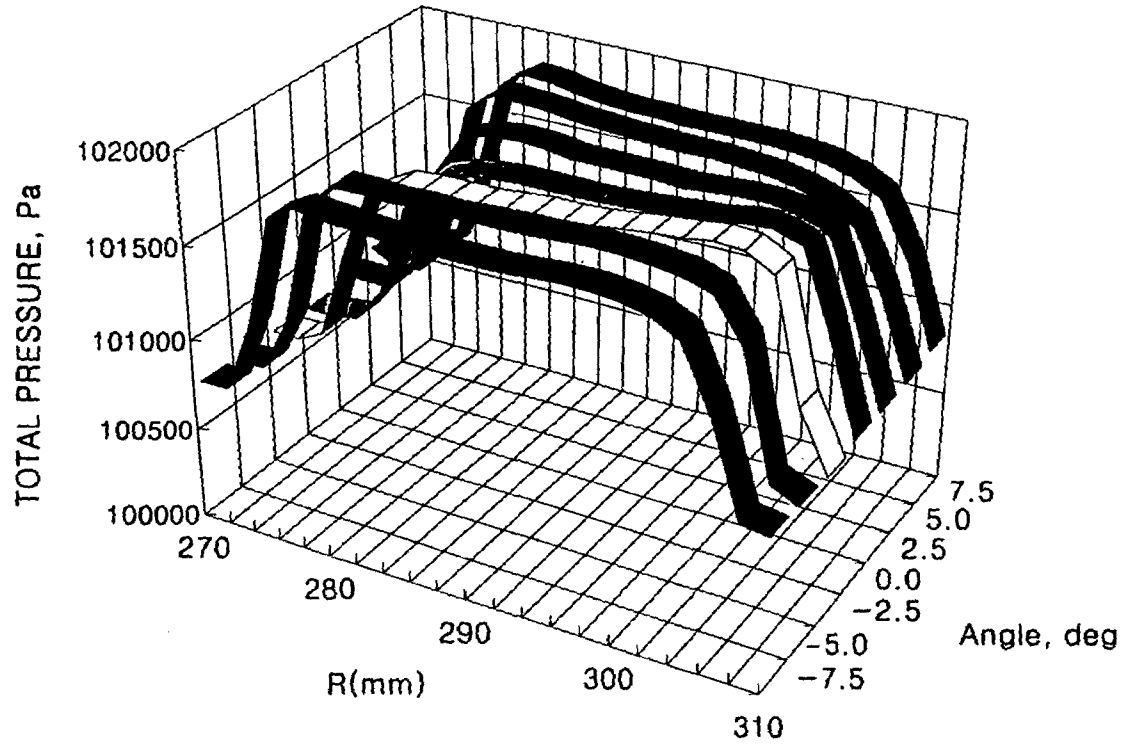
그림(4.4) 연소기 각 영역에서의 압력 변화



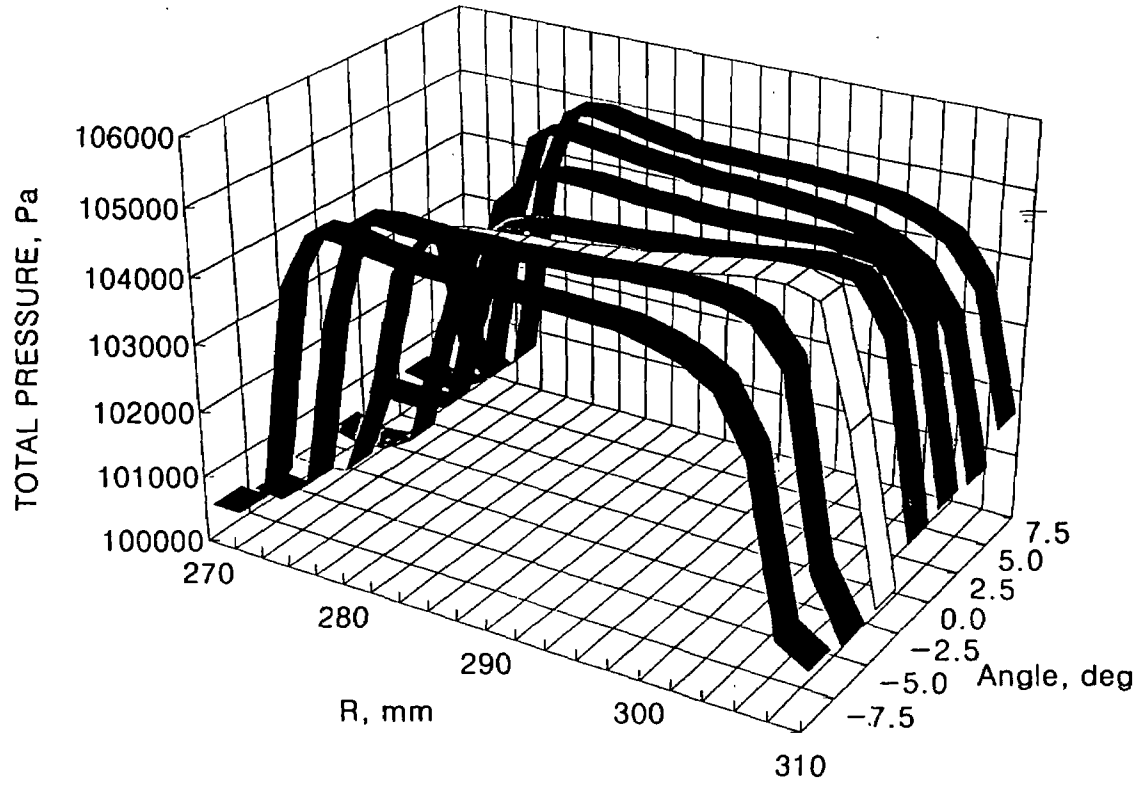
그림(4.5) 유량 변화에 따른 압력 변화



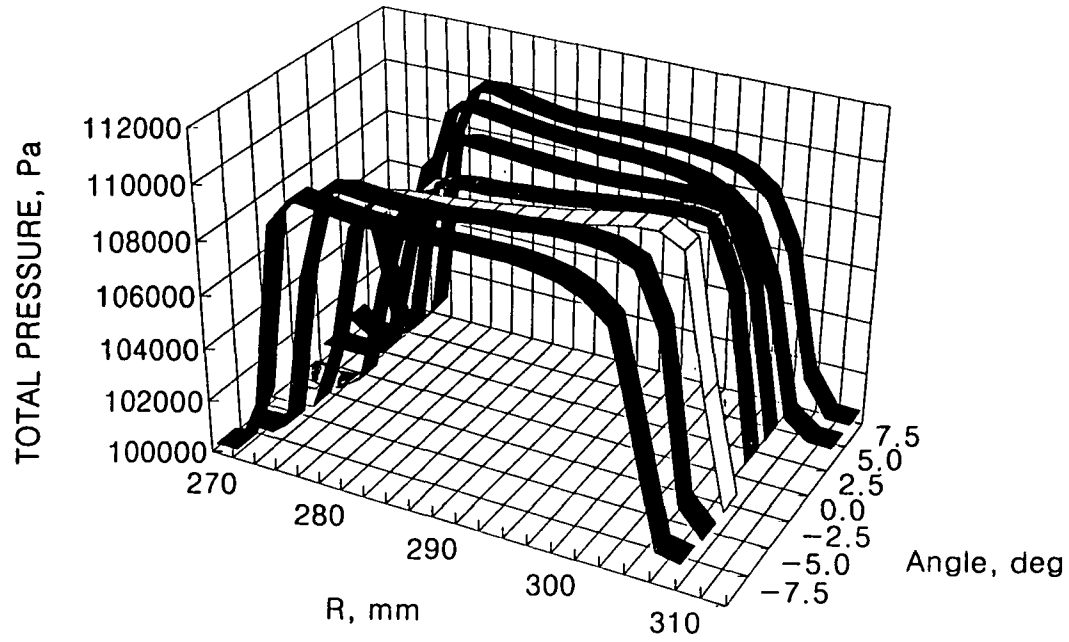
그림(4.6) 연소기 출구에서의 압력 측정 위치



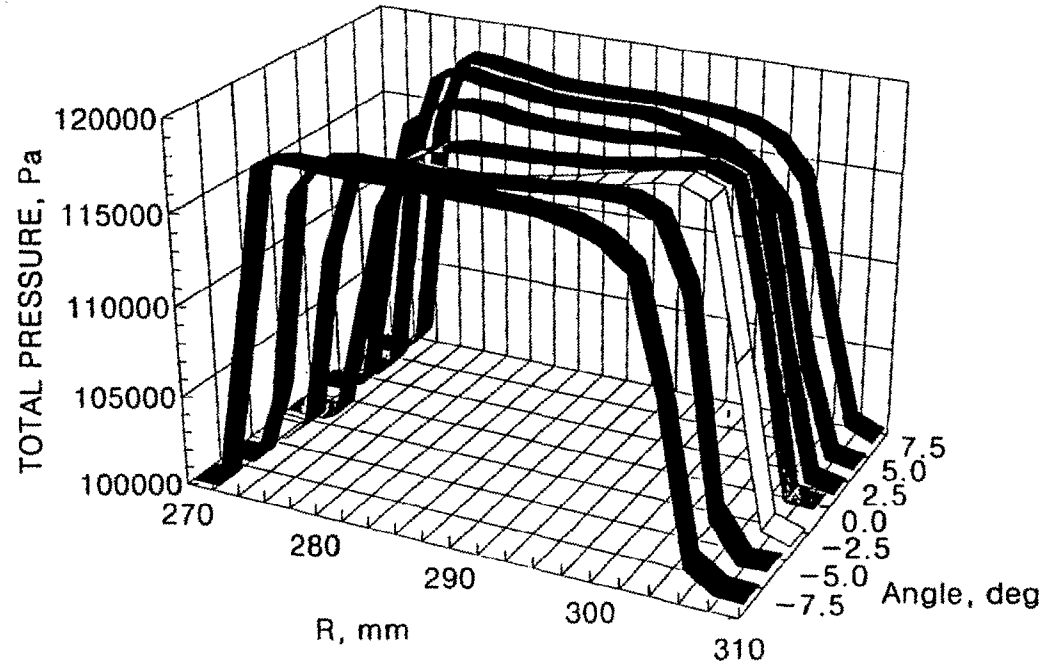
그림(4.7a) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량 = 0.2 Kg/s)



그림(4.7b) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량 = 0.4 Kg/s)



그림(4.7c) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량 = 0.6 Kg/s)



그림(4.7d) 연소기 출구에서의 전압력 분포(유량 = 0.8 Kg/s)

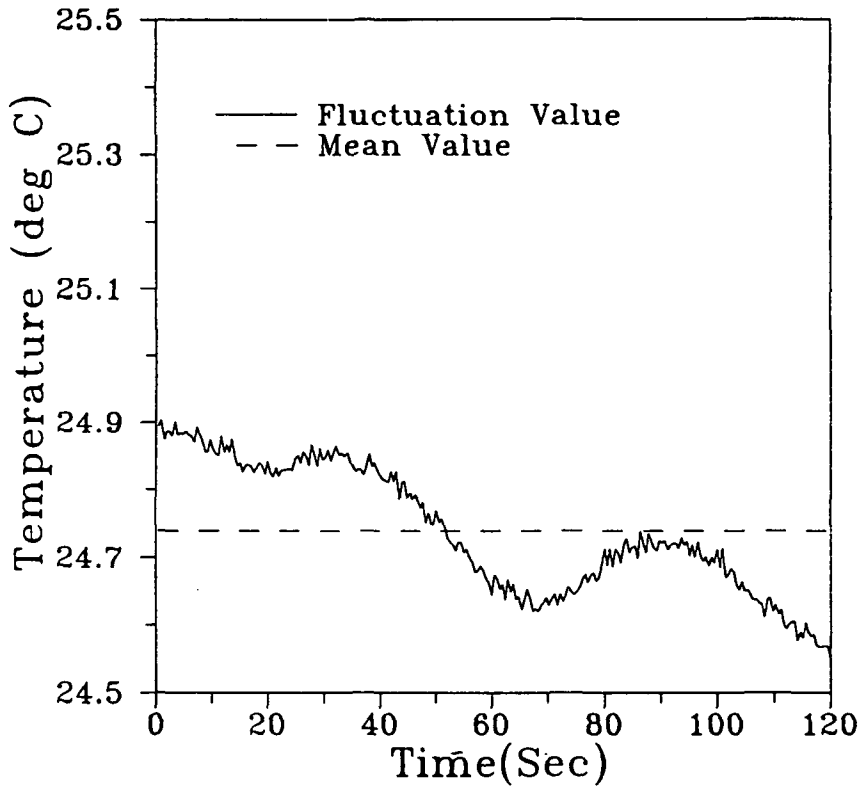


그림 (4.8) 대기압 상태에서의 시간에 따른 온도변화

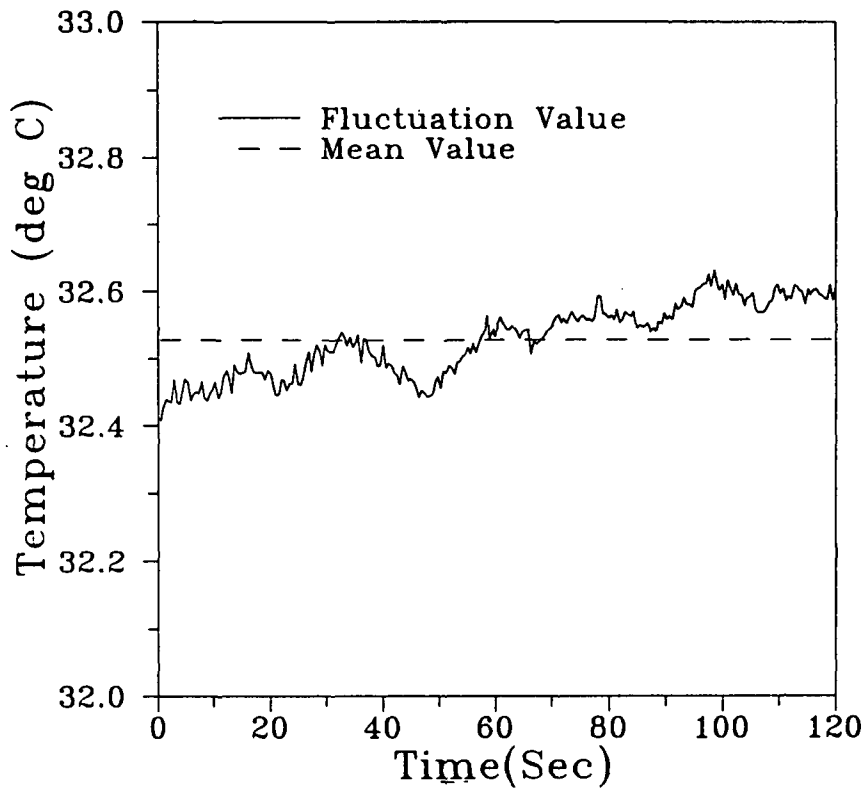


그림 (4.9) 3기압(설정 gage 압력) 상태에서의 시간에 따른 온도변화

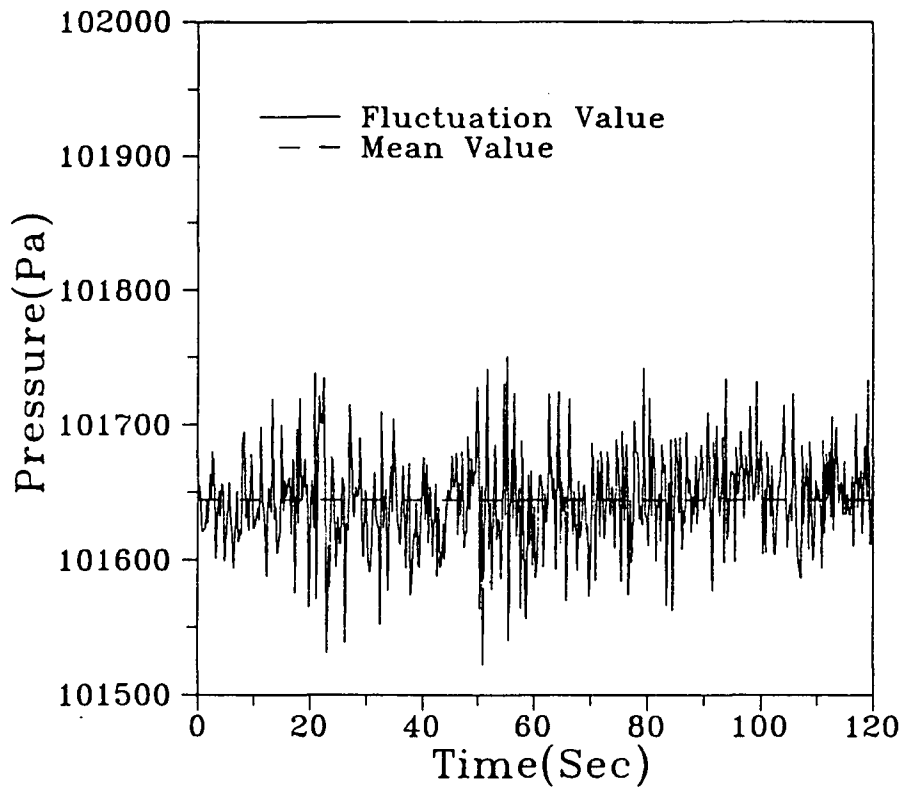


그림 (4.10) 대기압 상태에서의 시간에 따른 압력변화

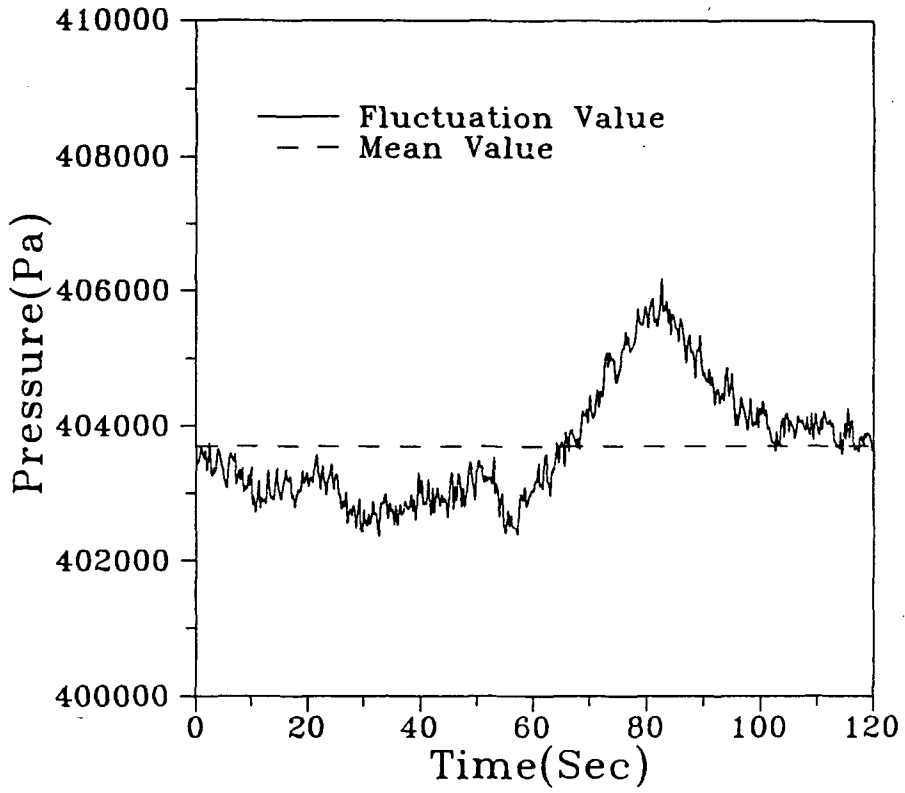


그림 (4.11) 3기압(설정 gage 압력) 상태에서의 시간에 따른 압력변화

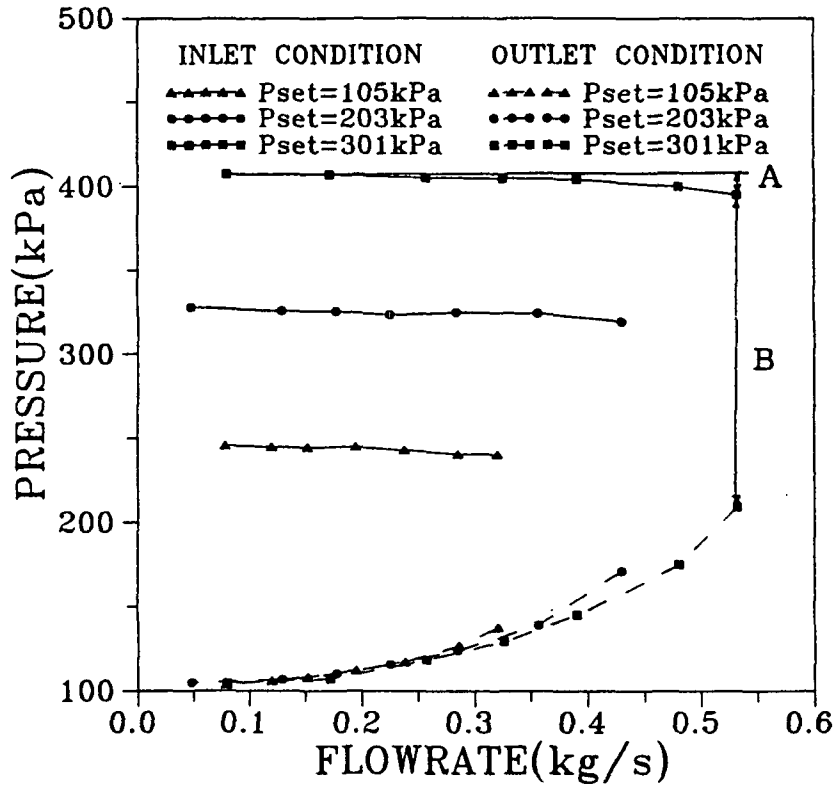


그림 (4.12) 시험기 입출구에서 밸브개폐 따른 전압력의 변화

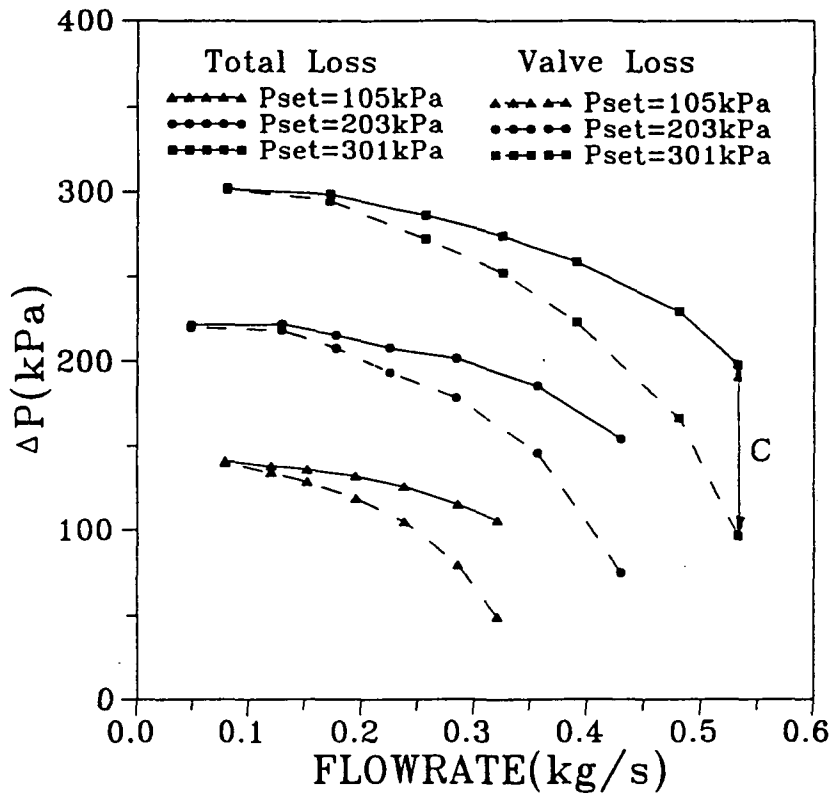


그림 (4.13) 시험기내에서의 total loss와 valve loss

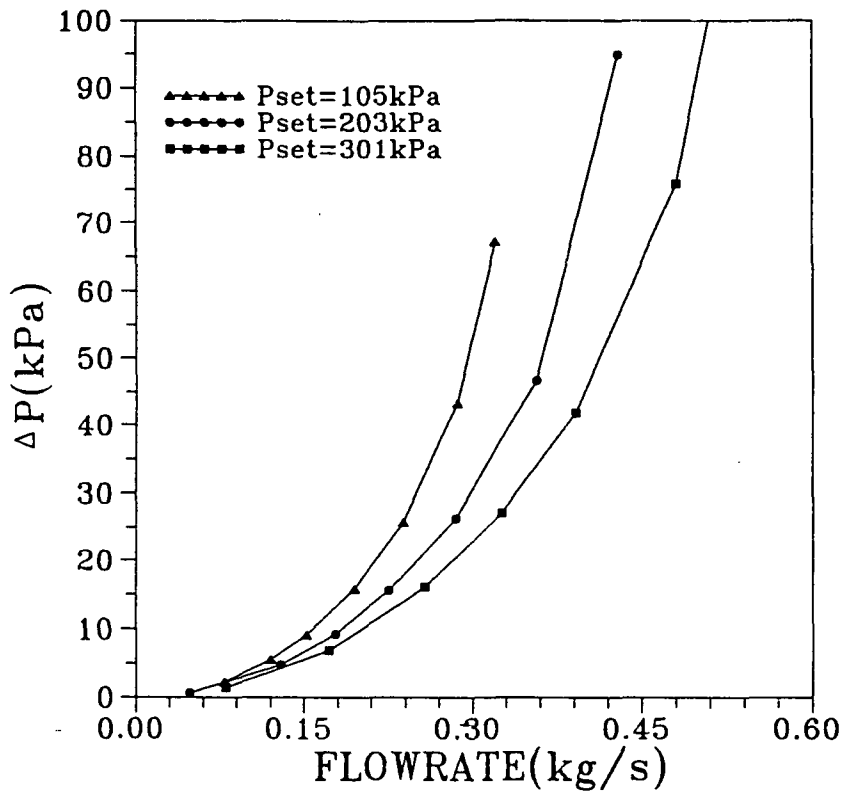


그림 (4.14) Setting된 압력값에 따른 orifice의 동압차와 계산된 유량

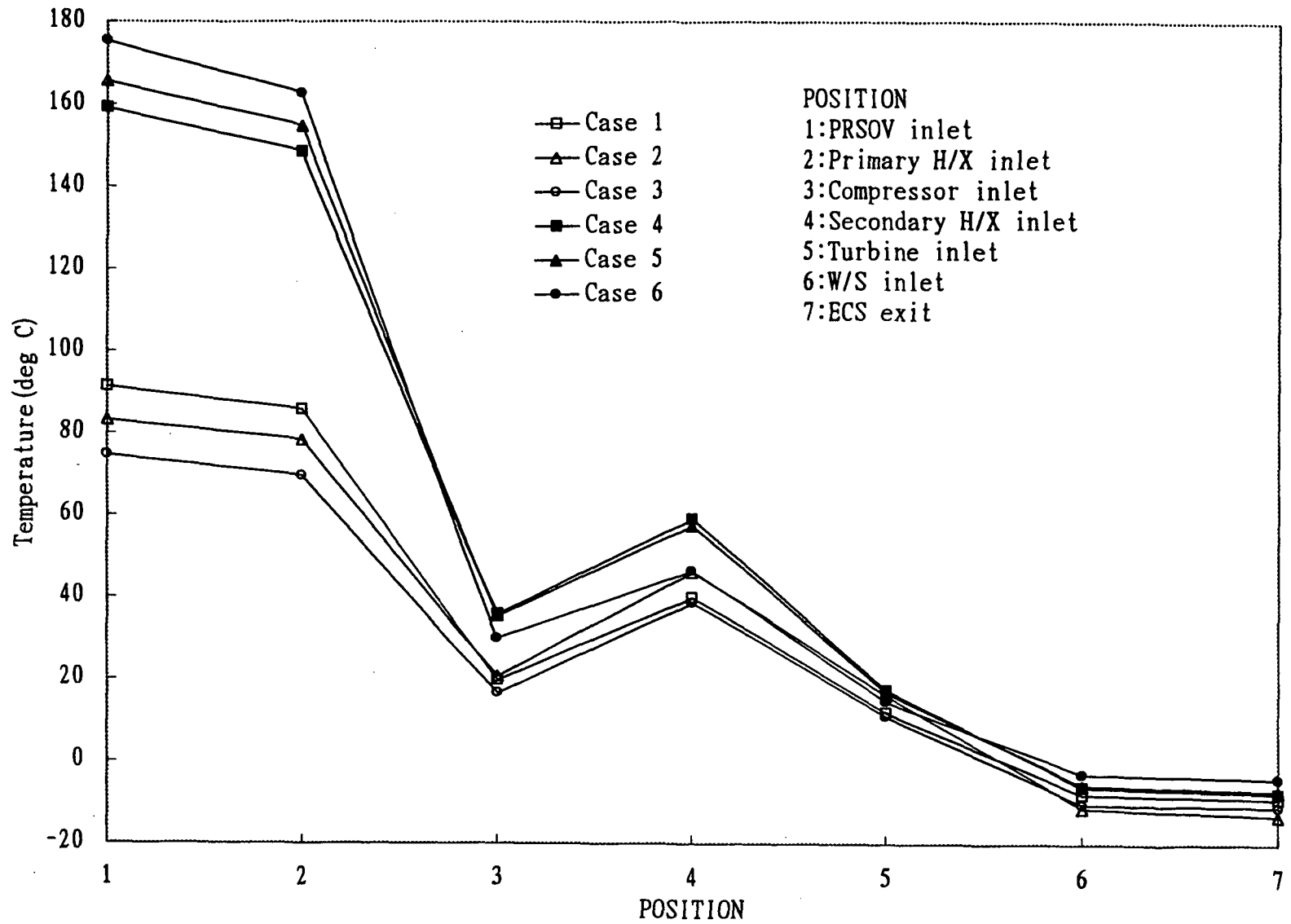


그림 (4.15) ECS 측정점에서의 온도 분포

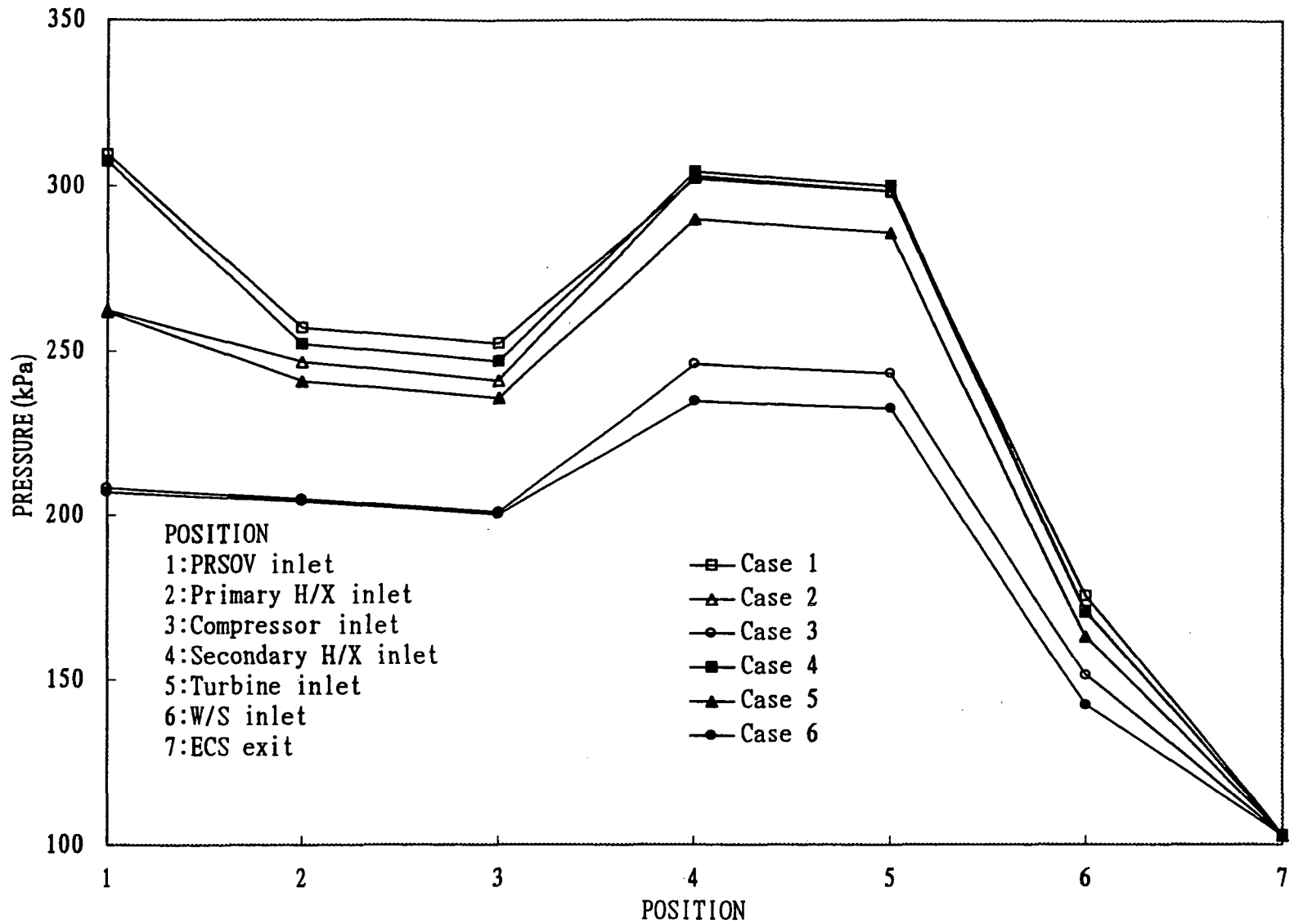


그림 (4.16) ECS 측정점에서의 압력 분포