



KR0100814

KAERI/TR-1658/2000

경 · 중수로연계(DUPIC) 핵연료
제조 · 공정장비 유지보수를 위한 제염체임버

Decontamination Chamber for the Maintenance of DUPIC
Nuclear Fuel Fabrication and Process Equipment

한국원자력연구소

32 / 42

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2000 연도 "DUPIC 핵연료 시설기술개발" 과제의 "경·중수로연계 (DUPIC) 핵연료 제조·공정장비 유지보수를 위한 제염체임버"에 관한 기술보고서로 제출합니다.

2000. 10.

과 제 명 : DUPIC핵연료 시설기술개발

주 저 자 : 김기호

공 저 자 : 박장진

양명승

이호희

신진명

요 약 문

DUPIC핵연료는 이미 연소된 경수로 사용후 핵연료(PWR spent fuel)를 원료로 재사용하며 여러 공정을 거쳐서 제조된다. DUPIC핵연료 제조공정은 사용후핵연료 물질의 고방사성 때문에 당소의 조사재시험시설 M6 핫셀과 같이 특수시험시설에서 수행된다. 또한, 핫셀 내부로 작업자의 접근이 불가능하므로 DUPIC핵연료 제조작업에 사용되는 모든 장비 및 취급공구는 원격 운용 및 취급, 원격 유지 및 보수 등이 가능하도록 제작되었다.

DUPIC핵연료 제조공정은 주로 분말형태의 고방사성물질을 다루므로 핫셀에서 사용되는 제조/공정 장비 및 취급공구 등은 고방사성 분진으로 오염될 가능성이 아주 높다. 또한, 사용중 고장이 발생하였을 경우, 오염된 장비들은 핫셀 내부 또는 외부에서 수리 또는 부품 교체 등의 유지보수가 필요하다. 고방사성 물질로 오염된 장비 및 장치는 작업자의 직접접촉이 불가능하기 때문에 유지보수 전에 제염 작업이 선행되어야 한다. 드라이아이스를 이용한 원격제염작업은 제염시 고속분사로 인하여 제거된 오염물질이 핫셀 내로 확산될 우려가 있으므로 기 설치된 DUPIC핵연료 제조장비와 격리된 밀폐된 공간에서 수행되어야 한다.

본 보고서에서는 DUPIC 핵연료 제조 및 공정에 사용되어 오염된 장비 및 취급공구 등을 격리하여 제염 및 유지보수할 수 있는 제염체임버에 관한 내용을 기술하였다. 개발된 제염체임버는 수평개폐모듈, 수직개폐모듈, 보조도어모듈, 회전모듈 및 파지모듈 등 5개의 모듈로 구성되어 있으며, 당 연구소의 조사재시험시설 M6핫셀에 설치되어있다. 본 보고서에서는 제염체임버를 구성하는 각 모듈의 기계적 설계 개념 및 고려사항, 핫셀기 시설물과의 조화, 개발된 제염체임버의 원격 제어 및 운용 등에 관한 내용을 상세하게 기술하였다.

Abstract

DUPIC nuclear fuel is to reuse PWR spent fuel as a raw material and is fabricated through a variety of processes. DUPIC nuclear fuel fabrication processes are conducted in the M6 hot-cell of the IMEF (Irradiation Material Examination Facility) at KAERI (Korea Atomic energy Research Institute) because of the nature of the high radioactivity of spent fuel. All the process and treatment equipment were designed and constructed to be operated remotely because direct human access to the in-cell is not possible.

DUPIC nuclear fuel fabrication equipment and handling devices are apt to be contaminated with high radioactive particles because the high radioactive materials are treated in the fabrication processes. In the case of which such equipment and devices are malfunctioned in use, they need to be repaired and maintained in the hot-cell or outside of the hot-cell. The human operator can not deal with the contaminated equipment and devices by direct contact. Therefore, the decontamination needs to be done on such malfunctioned equipment before they are put into service for maintenance. The decontamination process needs to be conducted in a isolated and closed room to prevent contamination from spreading over the hot-cell.

This report presents the decontamination chamber of being capable of decontaminating and maintaining DUPIC nuclear fuel fabrication equipment contaminated in use. The developed decontamination chamber has mainly five sub-modules - a horizontal module for opening and closing a ceil of the chamber, a vertical module for opening and closing a side of the chamber, a subsidiary door module

for enforcing the vertical opening/closing module, a rotary module for rotating contaminated equipment, and a grasping module for holding a decontamination device. Such sub-modules were integrated and installed in the M6 hot-cell of the IMEF at the KAERI. The mechanical design considerations of each modules and the arrangement with hot-cell facility, remote operation and manipulation of the decontamination chamber are also described.

목 차

요약문

제 1 장 서 론 1

제 2 장 제염채임버 설계지침 3

1. 설계개념 3

2. 일반적 설계고려사항 3

3. 상세설계 및 제작사양 20

제 3 장 제염채임버 24

1. 개요 24

2. 수평개폐모듈 28

3. 수직개폐모듈 32

4. 보조도어모듈 37

5. 회전모듈 40

6. 파지모듈 43

7. 통합제어반 및 원격운용 46

제 4 장 결 언 53

참고문헌 54

부록

표 목 차

표 1. 수평개폐모듈 사양	31
표 2. 수직개폐모듈 사양	36
표 3. 회전모듈사양	40
표 4. 파지모듈사양	45
표 5. 통합제어반 기능	50

그림 목 차

그림 1. 조사재시험시설의 M6핫셀 작업구역	25
그림 2. 조사재시험시설의 M6핫셀 내부	26
그림 3. 조사재시험시설 M6-B 핫셀에 설치된 제염체임버의 개략도	27
그림 4. 수평개폐모듈의 고정형 및 이동형모듈 설계도	29
그림 5. 핫셀에 설치된 수평개폐모듈	30
그림 6. 수직개폐모듈의 가이드와 폴더형 슬레트의 설계도	33
그림 7. 핫셀에 설치된 수직개폐모듈의 가이드와 폴더형 슬레트	34
그림 8. 수평개폐모듈과 수직개폐모듈의 결합 설계도	34
그림 9. 핫셀에 설치되어 구성된 제염체임버 (단힌경우)	35
그림 10. 보조도어모듈의 설계도	37
그림 11. 핫셀에 설치된 보조도어모듈	38
그림 12. 보조도어를 닫았을 때 제염체임버의 측면	39
그림 13. 회전모듈 설계도	41
그림 14. 회전모듈 구동 메카니즘 설계도	41
그림 15. 제염체임버 안쪽에 설치된 회전모듈	42
그림 16. 파지모듈 설계도	43
그림 17. 제염체임버 안쪽에 설치된 파지모듈	44
그림 18. 제염체임버 안쪽의 회전모듈 주변에 설치된 파지모듈	45
그림 19. 제염체임버 통합제어반 설계도	47
그림 20. 작업구역에 설치된 제염체임버 통합제어반	48
그림 21. 각 모듈을 제어하는 공압밸브계통	48
그림 22. 핫셀 작업구역에서 방호창을 통해서 본 제염체임버	49

제 1 장 서 론

DUPIC핵연료는 원료로 이미 연소된 경수로 사용후 핵연료(PWR spent fuel)를 재 사용하여 제조되며, 제조된 DUPIC핵연료는 중수로 핵연료로 사용된다. DUPIC핵연료는 사용후핵연료의 고방사성 때문에 조사재 시험시설의 M6핫셀과 같은 특수시험시설에서 원격으로 제조된다. 따라서 DUPIC핵연료 제조를 위해서는 핵연료 제조장비 외에 사용후핵연료를 취급할 수 있는 특수한 장치 및 공구 등이 요구된다.

DUPIC핵연료는 분말공정에서 DUPIC핵연료 분말을, 소결공정에서 DUPIC핵연료 소결체를 만들고, 핵연료봉 제조공정을 거쳐서 최종 DUPIC핵연료봉을 제조한다. DUPIC핵연료 분말제조공정에서는 일정한 크기로 잘려진 사용후 핵연료봉으로부터 사용후핵연료 분말을 획득하고, 수거된 분말을 산화/환원, 예비압분, 과립화, 혼합 등을 통하여 재소결이 가능한 DUPIC핵연료 분말로 만들고, 소결과정에서는 이들 분말로 제조한 최종압분체를 소결한후 연마 공정을 거쳐서 최종 DUPIC핵연료 소결체를 제조한다. 핵연료봉 제조공정에서는 소결체들은 일정한 길이로 정렬한 다음 한쪽 끝단이 밀폐된 핵연료봉으로 장전하고 봉단마개로 다른 끝단을 용접하여 밀봉하여 한 개의 DUPIC핵연료봉을 제조한다.

DUPIC핵연료를 제조하기 위해서는 여러 종류의 다양한 장비와 장치 그리고 취급공구 등이 각 제조 공정에서 사용된다. DUPIC핵연료 제조공정은 주로 분말형태의 고방사성물질을 다루므로 제조장비 및 장치 그리고 취급공구 등은 고방사성 분진으로 오염될 가능성이 아주 높다. 사용중 고장이 발생하였을 경우, 오염된 장비들은 핫셀 내부 또는 외부에서 수리 또는 부품 교체 등의 유지보수가 필요하다. 고방사성 물질로 오염된 장비 및 장치는 작업자의 직접접촉이 불가능하기 때문에 유지보수 전에 제염 작업이 선행되어야 한다. 드라이아이스를 이용한 원격제염작업은 제염시 고속 분사로 인하여 제거된 오염물질이 핫셀 내로 확산될 우려가 있으므로

DUPIC핵연료 제조장비와 격리된 밀폐된 공간에서 수행되어야 한다.

본 보고서에서는 DUPIC 핵연료 제조 및 공정에서 사용된 장비 및 장치 그리고 취급공구 등을 유지보수할 수 있는 제염체임버에 관한 내용을 기술하였다. 제염체임버는 유지보수가 요구되는 오염된 장비 및 장치 등을 핫셀 공간에서 격리하고 제염하고 수리할 수 있는 공간이며, 유지보수가 끝난 후에는 핫셀의 한 공간으로 활용할 수 있다. 본 보고서에서는 제염체임버를 구성하는 각 모듈의 기계적 설계 개념 및 고려사항, 핫셀 기 시설물과의 조화, 개발된 제염체임버의 원격 제어 및 운용 등에 관한 내용을 상세하게 기술하였다.

제 2 장 제염체임버 설계지침

1. 설계개념

사용후핵연료와 같은 고방사성물질로 오염된 DUPIC핵연료 제조장비 및 장치를 제염하고 수리하기 위한 유지보수용 제염체임버는 제염시 제거된 오염물질로 인하여 핫셀자체의 오염확산을 방지하여야 하므로 조사재 시험시설 M6핫셀의 구조 및 DUPIC핵연료제조장비의 배치등을 고려하여 설계되어야 한다. 또한 제염체임버 설치환경의 고방사성 때문에 작업자의 접근이 불가능하여 체임버의 모든 운용은 원격으로만 가능하므로 체임버를 구성하는 모든 모듈은 핫셀에 이미 설치된 가용시설물과 접목성을 고려하여 설계되어야 하며, 제염체임버의 원격 운용, 수리 및 보수, 오염된 장비의 방사성 조사에 따른 체임버 구성모듈 부품의 기능상, 재질상의 열화 등도 고려하여야 한다. 이러한 특수성들 때문에 오염된 DUPIC핵연료 제조장비의 유지보수를 위한 제염체임버의 개발은 일반적인 체임버의 설계 및 제작 개념과는 달리 제염체임버 원격운용을 위한 관리계획, 핫셀 시설물에 고정된 기기와 인터페이스 사항, 핫셀 시설물에 고정된 기기 형태의 일반적 특성, 재료 선정 등 여러 가지 설계 요구사항을 반영하여야 한다.

제염체임버의 성공적 설치 및 운용은 핫셀 시설물의 특성 및 가용기구의 위치 및 종류와의 조화로 달성될 수 있으므로 개념설계 초기부터 제염체임버의 원격 운용성 및 원격 정비성 등이 핫셀 시설물과 어떻게 조합하는지를 검토하고 설계에 반영하여 제염체임버와 핫셀 시설물간의 최적 인터페이스 조건을 파악하여야 한다.

2. 일반적 설계고려사항

설계자는 제염체임버를 구성하는 각 모듈의 특징, 성능 및 제약 사항을 충분히 파악하여 최종 설계할 때 핫셀 시설물 내에 설치되어 있는 크

레인, 마스터/슬레이브 매니플레이터, 조명, 차폐창 및 가용 공구 등을 이용하여 각 모듈을 용이하게 원격 조작할 수 있도록 해야 한다. 특히 설계자는 적절한 접근성과 충분한 공간, 조명 및 시야를 충분히 고려하여 반드시 원격으로 체임버 모듈의 유지 및 보수가 가능하도록 설계해야 한다. 다음에서는 제염체임버 설계 시 고려해야 할 일반적인 설계 고려사항과 재료의 선정에 관하여 상세하게 알아본다.

가. 설계고려사항

(1) 방사선 차폐

방사성 물질을 취급하는 시스템은 작업자의 피폭을 최소화 하고 경제적이고 유용한 부품의 조립과 사용을 위하여 원격으로 보수가 가능해야 한다. 설계자는 방사선으로부터 작업자를 보호하는 것을 인지하고 있어야 하는데 방사선원으로는 사용후핵연료, 공정물, 2차 방사성 물질, 표면 오염 물질 등이 있다.

사용후핵연료는 강한 방사선원으로 악티나이드(U, Np, Pu, Am 등, α , n), 핵분열 생성물(β 와 γ) 및 구조재(β 와 γ)에서 방사선이 나온다. 표면 오염은 공정 용액이나 입자 등이 표면에 흡착하여 붙어 있는 것으로 정상 작업시에는 2차의 방사선원이나 공정히 끝난 후는 주 방사선원으로 강력한 방사선원이다.

설계자는 주로 감마선에 주의를 기울여야 하는데 대부분의 금속은 영향을 받지 않지만 전자부품이나 유기물질 등은 심각하게 영향을 받는다. 따라서 유기물질로 제작된 부품은 필요한 경우에 금속으로 차폐시켜 보호해 주어야 한다. 무게, 공간, 냉각장치 등도 고려해야 하는데 차폐의 정도는 내방사성능과 위치에 따라 달라진다.

(2) 표준화

표준화된 기기 및 부품의 사용은 전체 설계와 제조비용, 예비 부품,

작업자의 훈련기간을 줄일 수 있으므로 가능한 한 부품의 종류를 최소화하고 표준설계를 활용하는 것이 바람직하다. 또한 제염체임버의 원격 유지/보수 작업에서 원격공구의 필요성을 최소화시켜서 공구감소에 따른 핫셀 내 공구 보관공간을 줄이고 작업단계의 수도 줄여서 작업흐름을 원활하게 한다.

(3) 교체의 용이성

모듈식으로 제작된 장비는 가능하면 특수 공구, 지그 및 고정물 등을 사용하지 않고 기본적인 보수공구를 이용하여 쉽게 교체될 수 있어야 하고, 교체 모듈이나 부품 등의 실측 크기와 설치된 후의 크기를 쉽게 알 수 있어야 하며, 모듈에 label 등을 부착하여 전체 장비에서 교체될 부위를 쉽게 알 수 있어야 한다.

(4) 접근성

작업자의 손으로 직접 보수하는 것에 비하여 핫셀 내에서 매스터/슬레이브 매니플레이터를 이용해 원격으로 보수할 경우는 접근성의 요구조건에서 근본적으로 차이가 있다. 예를 들면, 핫셀에서 흔히 사용되는 임팩트 렌치는 대략적으로 길이가 41 - 46, 높이가 30 - 41, 폭이 15 - 20 cm 정도 된다. 이 렌치를 이용하여 기기에 부착된 볼트를 조이거나 풀 경우, 볼트 주위에 충분한 공간이 필요할 뿐만 아니라 보수공구의 직접적인 접근과 이 공구가 움직이는데 필요한 충분한 공간도 확보되어 있어야 하며 볼트 헤드가 차폐창을 통하여 밖에서 보여야 한다. 따라서 각 장비의 보수 가능한 모듈은 차폐창이나, 페리스코프 및 CCTV에 의해서 충분히 볼 수 있어야 하고, 사용 가능한 원격취급 장비에 의해서 분리와 취급될 수 있어야 하고, 매니플레이터나 크레인을 사용할 경우 각각의 접근성이 보장되어야 하고, 다른 장비에 영향을 주지 않고 분리되어 제거될 수 있어야 하고, 핫셀 주위의 공간에서 쉽게 검사되고 수리될 수 있도록 설계되어야 한다.

(5) 고장 및 오동작의 분석

설계자는 오동작이나 고장 등에 관하여 반드시 예측하고 분석할 수 있어야하며 고장 발생시 다른 부위에 영향을 미치지 않고 안전하게 처리할 수 있도록 다음과 같은 사항이 제공되어야 한다.

- 효과적으로 고장을 감지하거나 특정 오동작 또는 고장에 대한 인식 방법과 그 원인
- 모든 고장에 대한 수리 혹은 복구할 수 있는 방법
- 수리 전에 장비에 잔류하는 물질의 제거방법과 보관방법
- 수리시 소요되는 시간이 전체 시스템에 영향을 주지 않도록 설계
- 사용중에 원격으로 수행할 수 있는 예방적인 검사 및 작업 방법
- 기기는 모듈설계의 조건에 부합
- 오동작 및 고장에 의하여 더 악화되지 않도록 설계

(6) 검교정

원격 검교정은 매우 어려운 작업으로 위치, 속도, 힘, 온도, 유량 등을 측정하는 센서는 많은 문제를 야기시킨다. 이들은 정상적인 고장 이외에도 조사나 부식에 의해서 많은 영향을 받기 때문이다. 따라서 설계자는 가능하면 핫셀 내에서 수행하는 검교정을 피할 수 있도록 설계하여야 하며 여분의 센서를 활용하여 하나의 센서가 고장나도 다른 센서로 대체하여 작업에는 영향을 주지 않는 방법을 고려하는 것이 바람직하다. 또한 핫셀 밖에서 셀 내의 기기를 검교정할 수 있는 방법을 강구해야 하며, 부득이한 경우, 센서 등의 검교정은 미리 되어 있고 쉽게 설치할 수 있도록 설계되어야 한다.

(7) 제염체임버의 모듈화

제염체임버는 여러 부속물로 구성되므로 제염체임버 교체비용의 절감과 원격정비, 운용, 처분의 용이성을 감안하여 특정 부분을 원격으로 제거 및 교체할 수 있도록 모듈식으로 설계하는 것이 바람직하다. 제염체임버의 모듈 교체에 필요한 특수공구는 특정 작업을 수행하기 위해서 제작된다. 예를 들면 빈번하게 사용되지는 않지만 특정 모듈에 부착된 이동용 고정구는 일종의 특수공구에 해당한다. 특수공구는 보관이 힘들며 후에 사용하기 위해 제 위치에 놓는 것도 힘이 든다. 따라서 설계자는 이러한 특수공구의 사용을 최소화해야 한다. 특수공구의 종류는 다음과 같다.

(가) Lifting bail

모든 모듈이나 부품 혹은 집합체는 이동이나 설치 및 교체를 위하여 이동을 필요로 하며 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 필요시 고정된 이동용 bail을 모듈 위에 설치하여 들거나 취급하기 위한 특수공구의 사용을 최소화하며 작업시간을 절약함.
- 고정 bail이 설치나 운전에 방해가 되면 고정 bail 대신에 나사를 장착할 수 있다. 그러나 이것을 이용한 작업은 많은 숙련도를 요구하므로 여러 종류의 표준 나사 중에서 적합한 것을 선택하는 것이 중요함.
- 이동시 장비를 들게 되는데 설계자는 반드시 비정상적인 경우를 고려하여 최대 하중을 견딜 수 있도록 설계하여야 하며, 항복강도와 150%의 하중 속도를 기준으로 2배 이상의 안전 여유도가 바람직함.
- 크레인을 연결하기 위하여 bail 주위에 필요공간을 확보하여야 하며, 크레인에 연결하거나 해제시킬 때는 반드시 볼 수 있어야 함.
- 설치나 이동 때에 쉽게 위치를 조절할 수 있도록 lift point를 부품의 무게중심을 지나도록 해야 한다. 따라서 부품의 가공 후

bail을 부착하는 것이 효과적이며 주로 single point lift가 바람직하지만 부품의 모양이 불규칙적이므로 multiple도 필요함.

- 크레인과 bail은 안정되게 연결하고 bail은 수직으로 곧게 힘을 받도록 설계하는 것이 바람직하며, 작고 가벼운 부품은 매니플레이터로 움직일 수 있도록 잡는 부분을 수정하여 사용하는 것이 좋음.

(나) Rest point

모든 원격교체 가능 장비는 rest point가 아래와 같아야 한다.

- 모든 부품을 수직인 상태를 유지하면서 이동되고 고정되어야 하며 기울이거나 특수 장비를 이용하는 것은 바람직하지 않음.
- 한 모듈의 중요한 부품은 손상되지 않도록 함.
- 볼트 등으로 모듈을 고정하는 것이 일반적이며 이 볼트를 풀어도 모듈의 위치는 변동이 없어야 함.

(다) 축/위치 조정

모든 기기는 built-in alignment를 이용하는데 다음 사항을 고려해야 한다.

- 연속적으로 작동하는 2 종류의 유도장치가 필요하다. 첫번째는 대강의 위치를 유도하는 것이며 다음의 유도장치로 인도하는데 이용되며 두 번째는 미세하게 위치를 조정할 수 있도록 설계되어야 함.
- 설치 도중에 기울이거나 휘거나 혹은 팍 잡는 작업이 필요하지 않게 설계하여야 하며, 설치시 마지막의 3 - 5 mm 구간에서 정밀하게 조정이 되도록 설계하며 모듈과 다른 재료를 사용하여 galling이나 binding을 예방함.
- 정렬 작업은 작업자의 시야 확보가 대단히 중요하며, 필요시 보

조로 CCTV 등을 이용함.

- 1차와 2차 정렬은 1 개의 유도핀으로 수행하도록 설계하여 높이에 따라 1차와 2차 정렬을 수행하도록 함.
- 크레인이나 매니플레이터의 간섭이 없이 볼트를 조일 수 있도록 하며, 정렬 중에 볼트나 다른 고정물이 손상을 입지 않도록 설계함.

(라) 고정물

각종의 볼트, 너트, 나사, 크래프 및 핀 등이 고정물로 사용되며 쉽게 구할 수 있는 고정물을 선택하는 것이 바람직하다. 필요시 pilot nosed end 같이 약간 가공하여 사용할 수도 있지만 특수한 고정물을 설계하거나 제작하는 것은 바람직하지 않다. 대부분의 볼트 등은 impact wrench나 nut runner를 이용하는데 이에 필요한 선택 지침은 다음과 같다.

- 최소의 직경은 6 mm 이상 되게 선택한다. 이보다 작은 직경의 볼트는 많은 문제를 야기 시킴.
- 나사산의 간격이 큰 것으로 선택하는 것이 사용할 때 고장의 확률이 낮다. 나사산은 deburring 등을 하여도 좋음.
- 처음 나사를 돌릴 때 나사산이 어긋나지 않도록 주의하고 이의 방지를 위하여 나사 끝에 테이퍼를 주거나 특수 가이드를 부착하며, ACME threaded fastener를 사용하는 것이 바람직함.
- 볼트/너트 쌍은 윤활제 없이 사용하는 것이 바람직하며 다른 종류의 재질이나 경도가 서로 다른 재료를 사용해야 한다. 그러나 진동이 있어 마모가 예상되면 필요한 윤활제를 사용해도 좋음.
- 공구의 마모를 줄이기 위하여 재료는 Rockwell C45 이하의 경도를 갖도록 해야함.
- 스프링을 장착하여 쉽게 탈착되는 것을 감지할 수 있으며 이것은 이동시 야기되는 파손을 방지함.

- 유도핀 등을 이용하여 정렬은 오직 수직방향으로만 조정하면 가능하게 설계하며 무리하게 힘을 가하여 정렬하는 것은 금함.
- 수직이나 수평방향으로 탈착하게 하며 경사진 방향은 보조의 도구가 필요하므로 피해야 함.
- 쉽게 위치를 조정하거나 분리를 방지하기 위하여 자성을 이용함.
- 빈번히 움직이는 모듈은 toggle이나 clamp를 사용하는데 축조정 등이 쉽게 되도록 설계함.
- Snap rings, roll pins, spring clips 등은 직접 수리시에만 사용이 가능하므로 사용을 피함.

(8) 도장 및 표면처리

제염을 위하여 표면은 매끈하며 흠 등이 없어야 하고 주조물은 주조 중에 나타날 수 있는 pit 등의 제거를 위하여 적절한 도포가 필요하다. 모든 스텐레스 스틸은 전해연마를 하여 거친 연삭면이 없도록 한다. 핫셀의 분위기가 부식성이면 내 방사성과 내식성을 갖는 재료로 도포해야 하는데 일반적으로 도포된 층은 필요시 제거한 후 다시 적절한 도포재로 재도장하여야 한다. 표면을 도장할 때 색을 다르게 하면 부품과 주기의 구분이 쉬우며 사선이나 점박이 등의 무늬는 회전체에 도포시 시각적으로 매우 유용하다. 또한 작업자의 시력 보호를 위하여 표면에서의 빛의 반사율이 $0.35 \pm 25\%$ 정도 유지해야 하는데 전해연마의 경우 적절한 균형이 필요하다.

나. 재료 선정

(1) 설계 코드

American Society for Testing and Materials(ASTM)이나 American Society of Engineering Pressure Vessel and Boiler Code(ASME Code) 등과 같은 코드는 폭넓게 사용되고 있다. 이외의 적용 가능한 코드도 필요

시 명시하여 기기의 각 부위에 대한 규격이나 표준으로 적용하여야 한다.

(2) 재료의 선택

(가) 내방사성 재료

재료가 방사선에 노출되면 고에너지의 입자를 흡수하여 미세적으로 조성과 조직이 변하게 된다. 적은 변화는 재료에 큰 영향을 주지 못하나 계속적으로 조사되어 충분한 양의 변화가 누적되면 재료의 특성이 변하게 된다. 변화는 재료, 방사선 조사량, 주변 환경 등에 따라 달라지는데 조사의 결과는 여러 형태로 나타난다. 많은 경우 조사에 의해 재료의 특성이 악화된다. 금속 및 산화물보다는 화합물의 경우가 변화는 더욱 심하다. 일부 재료는 조사에 특히 민감하게 반응하며 이러한 재료를 사용할 때는 특별한 주의가 요구된다. 이러한 재료는 플라스틱, 렌즈, 전기/전자 부품, 유압 및 공압 부품의 윤활제, 밀봉제, 호스, 유체 등이 포함된다. 예를 들면, Elastomer 밀봉제와 호스는 유압 부품으로 일반적인 환경에서는 장시간 사용이 가능하나 조사에 의해서는 쉽게 변하여 그 수명이 현격히 감소한다. 크기와 강도, 탄성의 변화는 전체적인 유압시스템을 무용지물로 만들며 점도의 변화는 윤활 특성의 변화를 야기시킨다. 조사는 또한 전자회로에 영향을 미치는데 전자특성, 절연특성의 변화와 피복재의 파괴 등을 일으킨다.

금속과 산화물은 큰 영향 없이 사용할 수 있으나 일부 재료는 조사에 의해 취성을 나타낼 수 있으며 렌즈 등은 고방사선에 의해 수명이 감소된다. 따라서 설계자는 주위 환경을 고려하여 재료를 선택해야 한다. 내방사능은 조사량으로 계산할 수 있는데 γ 선의 경우 rad로 표시된다. 어떤 재료가 10^8 rad까지 사용할 수 있다면 10^5 rad/h의 방사능 환경에서는 $10^8/10^5 = 1000$ 시간 사용할 수 있다.

(나) 내식성 재료

Galling은 쉽게 관찰되지 않기 때문에 설계자는 이 문제에 특히 주의

(나) Materials resistant to galling

에 대한 내식성이 강하여 부품 제작에 적합하다.

에 대한 내식성이 강하며 기계적 성질도 우수하다. 알루미늄 합금도 원산
 며 또한 주조도 힘들며 가공도 극히 어렵다. 20-30% 크롬강은 특히 원산
 그러나 기계적 성질이 좋지 않으며, 특히 열응력 및 기계적 응력에 취약하
 3.5% 이상 Mo를 함유한 고강도 주철은 원산에 대한 내식성이 우수하다.
 매우 힘들다. 따라서 400계열과 주조 크롬강은 사용하지 않는 것이 좋다.
 관 사용되지 않는다(403 제외). 446은 304와 내식성은 비슷하나 가공이
 크롬량이 많을수록 부식속도는 감소한다. 400계열은 원산 분위기에서는
 습하나 가격이 다소 비싸다. 크롬강의 내식성은 크롬의 함량과 직결되며
 부식이 작으며 316과 316L은 소둔 상태에서 304L과 347의 부식속도와 비
 속도는 산의 농도와 온도에 따라 증가한다. 304L과 347은 용접상태에서
 항해의 내식성 재료로는 스테인레스강이 가장 많이 사용되는데 부식

정된다. 다음은 내식 재료에 대한 사용 경험의 요약이다.

단이고, 고장 시간, 초기 투자, 운영 지면 비용 및 저분 비용 등에 따라 결
 정기적인 교체로 운용할 수도 있다. 이러한 것은 운용 능력, 수명, 교체
 않아도 어느 정도 사용이 가능하다. 또한 부품의 가격이 비싸지 않다면
 면치리나 도장 등이 필요한 경우도 있다. 이로 인하여 재료가 적절하지
 한 점은 원산 증가와 각종 산이다. 이외에도 재료의 선택에서 적절한 표
 설계자는 우발적인 사건들을 예상하여야 하는데 항해에서 특히 고려
 으며 주기적으로 점검, 보수 등으로 정기적인 점검이 필요하다.

많이 사용되고 있다. 다른 종류의 재료는 부식을 많이 일으킬 우려가 있
 성이 적게 일어나므로 예민화에 영향을 적게 받기 때문이다. 300 계열이
 탄소 함유량이 적은 "L" 등급이 좋다. 저탄소는 특히 용접시 탄화물의 생
 가장 보편적이고 안전한 재료는 오스테나이트계 스테인레스강으로서

를 기울여야 한다. 특히 강하게 조이는 부분에 많이 발생하며 이종의 재료를 사용하여 예방한다. 다음은 예방책이다.

- 표면처리 : 특히 나사산은 deburring을 하여야 함.
- 윤활제 : 볼트는 어느 정도 마모가 되는데 때에 따라 윤활제를 첨가하여 galling을 예방함(많은 경우 윤활제는 사용하지 않는 것이 바람직함.).
- 재료의 선택 : 이종의 재료선택에 주의하여야 한다. Nitronic 60은 볼트에 사용되는 대표적인 재료이며, 특히 석출 경화(17-4 PH) 볼트와 Nitronic 너트의 조합은 매우 우수함.
- Cross-thread 방지를 위하여 볼트 끝의 설계가 중요함.
- 축조정 : 축 정렬이 어긋나면 볼트를 조이거나 고정시 galling이 일어나기 쉽다. 특히 볼트는 전단 응력이 없이 인장 응력만을 받도록 설계하여야 하며 유도핀이나 유도대 등을 적절히 이용하도록 권장함.

다. 기계부품

(1) 원격 유지보수 평가

원격보수는 설계시에 이에 대한 분석을 하여야 효과적으로 확실하게 수행될 수 있다. 이것은 원격보수지침 등에 의해서 이루어지는데 1) 교체 가능 모듈의 인식, 2) 작업 순서에 입각한 수행 업무의 정리 등이 먼저 수행되어야 하며 특수 공구의 사용도 표시되어야 한다. 그리고 다음 사항에 대한 해답을 고려하여야 한다.

- 적용 가능한 보수 시스템이 작업 영역에 도달할 수 있으며 필요한 작업을 수행할 수 있는가?
- 작업자가 필요한 작업을 할 때 시야가 확보되는가?
- Lift point가 제거와 설치시 정확하게 동작하도록 적절한 위치에 있는가?

- 모듈은 부품을 손상시키지 않고 놓을 수 있으며 안정되게 위치할 수 있는가?
- 모듈은 유도도구를 이용하며 작업자가 이를 볼 수 있는가?
- 설치와 제거시 필요한 작업공간이 준비되었는가?

필요한 작업을 제거, 해체 및 교체 순서로 그 작업이 명시되어야 한다. 교체시 미세조정이 필요한 경우는 핫셀에서 설치될 정확한 치수를 기록해야 한다.

(2) 조사량 평가

모두 금속이거나 무연활 및 하중이 작은 경우를 제외한 기기들은 조사영향에 대한 평가를 해야 한다. 조사량(dose)을 계산하거나 추론하여야 하며 이 때 핫셀의 background radiation과 방사선원의 종류, 분포, 양 등을 고려하여야 한다. 이러한 과정을 거친 후 조사시의 수명을 계산하여 필요시 차폐재를 보강하거나 방사능이 작은 부분으로 이동하거나 하여 수명을 연장하여야 한다.

(가) Mechanical drive

동력은 주로 모터에 의해 공급되는데 모터의 출력은 다른 부품을 파괴하지 않도록 가능한 작아야 한다. 휴즈나 단락기 등이 반드시 준비되어야 하는데 이것에 의해서도 동작까지의 짧은 시간 동안은 과하증을 방지하지 못한다는 것을 고려하여야 한다. 이외에도 torque-limiting 클러치나 교체 가능한 shear pin을 이용할 수도 있다. 모터 양끝을 이용하여 왼쪽을 원격에 의해 손으로 돌려볼 수 있도록 하면 고장시 진단 등에 이용할 수 있다.

(나) Gear trains 및 감속기

핫셀에서 사용하는 기어는 밀폐형과 개폐형이 있는데 밀폐형은 예전에 사용된 것으로 상업용 기어 감속기나 기어박스 형태이다. 특별히 설계해서 제작하는 형태는 여기서도 바람직하지 않은데 비용에 비하여 성능 향상이 적기 때문이다. Gear train은 수명이 제한되는데 이는 감마선에 의해서 윤활제와 밀폐재가 변하기 때문이다.

방사선 평가에 의해 윤활제와 밀폐재의 수명을 예측할 수 있는데 수명이 짧다면 모터와 같은 사항을 고려해야 한다. 부품별로 내방사성 재료를 사용하는 것도 고려할 수 있으며 윤활제의 선택도 수명에 영향을 준다. 많은 경우 모터와 감속기를 연결되게 설계하여 취급하는 것이 바람직하다.

개폐형은 저속 모터에 사용되며 윤활제가 없거나 필름 형태의 윤활제를 사용하는데 이를 모터의 선택시 고려하여야 한다. 강한 pinion과 약한 기어의 조합이 바람직하며 미세한 축조정을 위하여 필요한 장치가 부착되어야 한다. Large-tooth gear는 이러한 문제를 줄일 수 있다.

(다) Couplings

커플링은 축조정, 토크 및 속도에 따라 결정되며 그 방법도 대단히 많다. 저속 커플링은 자체 축조정 형태로 설계되면 핫셀에서 쉽게 탈착이 가능하며 모든 재료는 금속을 사용하는 것이 바람직하다. 탈착방법은 설계자의 능력에 따라 크게 좌우되는데 실증된 설계를 사용하는 것이 바람직하다. 고속용은 정밀한 축조정을 요하기 때문에 일반적인 도구에 의해서는 원격으로 설치와 교체가 거의 불가능하다. 따라서 이 경우는 모터, 커플링, 하중 부위를 나누지 말고 같이 고려하여 설계하는데 물론 크기와 무게를 고려하여야 한다. 따라서 고장시 전체를 교체하여야 한다. 특수한 경우는 분리하여 설계하는데 테이퍼를 주어 진동이 없게 설계하여야 한다.

저속용 jaw 커플링은 일반 탄소강이나 스텐레스강으로 제작되며 한쪽은 축에 pinned 혹은 고정시킨다. 수평의 경우 위치조정을 위한 모터의 수평이동을 고려를 하여야 하며 스프링을 이용하기도 한다. Male/female

spline 커플링도 원격으로 작동하므로 유용하게 사용될 수 있으며 수평으로 움직일 수 있는 여유가 필요하며, 또한 Open spur와 bevel 기어도 원격작업에 적당하다.

(라) 베어링

모터와 감속기에는 반드시 베어링이 사용된다. 조사에 의해서 윤활재료가 변하며 베어링 자체도 변할 수 있다. 그러나 많은 경우 베어링은 그대로 사용되는데 dose의 검토에 의해서 수명이 짧은 경우 내방사성 재료를 쓰기도 하는데 기존 제품에서 윤활제만 내방사성으로 교체해도 충분히 사용 가능한 경우가 많다. 흑연 부상은 조사에 의한 영향이 없어 많이 쓰이지만 50ppm 정도의 수분이 있어야 한다. 이 외에 흑연은 저하중과 저속에서만 사용 가능하며 미세조정에 의하여 정렬이 잘 되어야만 하는 약점이 있다. 합성 흑연이나 흑연 합금은 매우 강한 대신에 혼합된 레진이 조사에 의해 변형되어 수명을 감소시킨다. 그러나 방사선이 약하고 저속의 경우는 윤활제가 없이 사용하는 것이 바람직하다.

베어링 재료는 연금속합금, 청동, 황동 및 플라스틱이 널리 사용되고 있으며 장단점이 이미 잘 알려져 있다. 그러나 설계자는 다음 항목에 주의를 하여야 한다.

- 연금속합금은 산에 약하며 윤활제를 필요로 함.
- 청동, 황동은 산에 역시 약하며 윤활제가 손상되기 쉬움(보통의 경우 여유도가 없이 조립되어 있음).
- 플라스틱은 내산성은 좋으나 조사의 영향이 큼.

(마) Power screws

Power screw는 핫셀에서 많이 사용하며 이것은 회전 운동을 직선 운동으로 바꾸며 힘을 변환시킨다. ACME와 ball 형태의 screw가 사용되며 ACME screw는 ASA standards B1.3에 따라 설계된다. Ball screw는 여

러 공급자에 의해 생산되는데 두 가지 모두 주기적인 윤활과 베어링에 의해 제약이 있다. 또한 부식 및 내방사성 등을 고려한 재료 선택이 중요하다. 또한, 원격보수 개념에 따라 screw, 너트, 베어링은 일체로 제작되며 너트는 screw의 축방향에 직각으로 움직일 수 있게 하면 정렬한 조정이 해소된다.

(3) 윤활제

핫셀 작업에서는 윤활제를 정기적으로 교체하는 것보다는 처음 설치 시 내방사성 윤활제를 사용해야 한다. 일부 장치(fastener treads, jack screw, slide-way 등)에서는 흑연이나 Molybdenum disulfide층을 윤활제로 사용하는데 이러한 것은 오염 확산이 잘 안되므로 내방사성 그리스보다 우월하다. 특수 목적으로 핫셀 밖에서 장착이 가능할 경우 연금속, phosphates, flame spray, silicates 및 요업재료 등이 사용될 수 있다.

라. Seals

(1) Mechanical static seals

- Elastomeric seal rings : 일반적인 elastomer와 thermoplastic resin은 10^8 rads 정도의 방사선까지 사용 가능하며 Adiprene Cm urethane rubber는 10^9 rads까지 사용할 수 있다. O-ring은 핫셀에서 취급하기가 힘들기 때문에 최소 직경이 5cm 이상을 요하며 수평으로 장착해야 하며 모듈이 seal exposed로 취급되면 captive o-ring groove가 필요하다.
- Metallic seal ring : 고방사성 환경에서 충분히 견딜 수 있으나 탈착이 힘들다. 따라서 "sucker stick"을 이용하거나 access slot을 설치해야 한다. 아울러 모듈의 이동시 탈착에 주의하여야 한다.

- Packing : 상업적으로 asbestos-graphite(John Crane)와 graphite (Grafoil)가 조달 가능하며 모두 우수한 내방사성을 갖고 있다. 핫셀에서 패킹재를 사용할 경우는 사용된 패킹재의 제거가 힘들며 패킹재가 있던 부분을 완전히 청소하기 힘든 점이 있다. 또한 seal을 재충진하기가 매우 힘들다. 따라서 충전재는 밸브 같은 소모성 부품에 사용된다.

(2) Rotary shaft seal

여러가지 재료가 가능한데 온도, 압력 및 용액의 종류 등의 사용환경에 따라 재료가 정해지며 주로 평면이 접촉하도록 고안되어 있다. 탄소/탄소, /요업재료, /stellite 또는 요업재료/흑연 등이 주로 사용된다. 한쪽 링은 축에 고정되어 있으며 다른 쪽은 금속 bellow가 있는 틀에 고정되어 직선 운동과 각도의 움직임을 보정해 준다. Labyrinth seal은 모두 금속으로 되어 있으며 핫셀에서 충분히 사용할 수 있다.

(3) Linear shaft seal

금속 bellow seal이 가장 무난히 사용될 수 있다. 설계자는 bellow의 펌핑 동작과 운전중에 과압력이 발생하지 않도록 고려하여야 한다. Elastomeric wiper가 사용될 수 있으나 윤활제를 첨가하여야 하며 이에 따라 윤활제의 손상이 발생한다.

마. Covers and enclosures

(1) Unit shielding

철강, 납 또는 감손 우라늄을 이용하여 기기를 차폐하는데 강철이 가장 많이 사용되나 차폐측면에서는 가장 효과적이지 못하다. 납은 차폐의 효과는 좋으나 설계와 가공이 힘들다. 따라서 스텐레스통에 납을 채워서

많이 사용한다. 직사각형의 형태는 납벽들을 스텐레스통에 채운 후 위를 용접하여 사용하며 원통이나 부정형이며 원통형의 스텐레스통을 가공하여 납을 녹이거나 납조각을 채워서 사용한다. 감손 우라늄은 납보다 효과적이지만 설계와 가공이 더욱 힘들다.

(2) Isolation enclosures

독립된 시스템을 분리하여 밀폐하는 것이 종종 효과적일 때가 있다. 금속으로 밀폐시킨 후 출입구를 이용하여 보수와 물질의 이동을 효과적으로 수행한다. 출입구의 밀폐가 가장 힘든데 가스킷의 재료에 관한 고려와 가공 시 일정수준의 편평도를 얻어야 한다.

바. Connector design

(1) Hanford-Purex(HP) connector

HP는 50 - 100 mm 직경 크기의 연결에 많이 사용한다. 이의 특징은 self-aligning이며 볼트를 한 개만 사용한다. 또한 직선의 연결에는 사용할 수 없다. 처음 개발시에는 Teflon, glass-reinforced Teflon 및 plastic/elastomeric seal을 사용하였으나 조사의 영향을 고려하여 재료를 금속으로 바꿀 수 있게 되었으며 ORNL에서 현재 사용하는 설계로 개발하였다. 또한 핫셀의 어느 공구로도 쉽게 탈착이 가능하게 설계되어 있다. Gamah, Grayloc이 사용되며 Grafoil은 부서지기 쉬워 주의를 요한다.

(2) TRU connector

6 - 12 mm 정도의 작은 관의 연결에 적합하게 ORNL에서 개발한 TRU connector는 한 개의 볼트를 사용하며 female ferrule은 약 20도, male ferrule은 18도의 경사로 되어 있다. 접촉하는 표면은 연마하여 4 - 10 rms의 조도로 가공된다. 압력은 700kPa(100 psig) 까지 견디며 seal은 고정되어 분리되지 않는다. 재료는 내식과 내방사성 재료를 이용할 수 있으며 HP보다는 취급하기가 힘들으나 핫셀의 설비나 장비를 이용하여 충분

히 사용할 수 있다.

(3) Flanges

일반적으로 대형관에 사용되는데 원격으로 사용하기 위하여 약간의 개조가 필요하다.

- 볼트는 스프링이 장착된 captured feature로 하고 guide pin으로 두 조각을 쉽게 맞출 수 있도록 하여야 하며 guide pin은 2개로 서로 길이가 다르도록 해야 함.
- 수평방향으로 접속하는 것이 수직보다 바람직하나 부득이한 경우는 수직을 이용하는데 위치를 조정할 때 지지장치가 필요하며 guide pin은 사용하지 않음.
- Seal은 주기적으로 교체해야 하므로 이를 고려하여야 하며 볼트의 수는 가급적 적어야 한다. 많은 경우 3개의 볼트를 사용하는데 볼트의 고정시 토크를 조정하거나 순서를 지켜야 하는 것은 피함.

(4) Tube fitting

많은 표준화된 fitting은 매니플레이터를 이용하여 핫셀에서 사용할 수 있으며 double ferrule의 성능이 좋다. Cross-threading은 발생하지 않으나 ferrule은 교체하기가 힘들므로 이를 고려하여야 한다.

3. 상세설계 및 제작사양

가. 상세설계

사용후핵연료와 같은 고방사성물질을 취급하는 핫셀과 같은 특수시험 시설 내부에 작업자(특수방호복을 착용한 경우 포함)가 투입되어 오염된 취급장비 및 공구를 직접 또는 간접접촉에 의해 제염하는 것은 작업 공간 및 취급대상물질의 고방사성 때문에 불가능하다. 또한, ALARA(As Low

As Reasonably Achievable) 규정 때문에 작업자가 직접 제염작업을 수행할 수 없다. 따라서, 사용후핵연료로 오염된 DUPIC 핵연료 제조 및 공정 장비와 부수장치 및 공구들의 유지보수를 위한 제염 체임버는 다음과 같은 서로 종속적인 세가지 설계요소를 고려하였다.

- 조사재시험시설 M6 핫셀 시설물
- 제염체임버의 원격운용성
- 제염체임버의 원격취급성

첫 번째로, 조사재시험시설 M6 핫셀 시설물 설계요소는 제염체임버를 설치하고자 하는 시설물과 관련한 것으로 다음과 같은 사항을 포함한다.

- M6-B 핫셀 내부의 환경적/공간적 제한성
(핫셀 내부 형상, 벽면 및 천정의 정형성, 환기 계통, 방호 유리창의 위치 및 크기)
- 기 설치된 고정형/이동형 구조물의 접근성
(크레인의 용량 및 이송거리, 슬레이브 매니플레이터의 위치, 매니퓰레이터의 허용하중 및 작업영역)
- 전기(교류 및 직류 전원)/공기(공기양 및 공기압)/냉각수(입구 및 출구) 등과 같은 유틸리티(utility)의 위치 및 이용 가능성

두 번째와 세 번째 설계요소로서, 제염체임버의 원격운용성과 취급성은 핫셀 내부에 설치되는 제염체임버의 원격제어와 관련한 것으로 원격조작방법, 원격수리절차, 핫셀 내에서 유지보수장치 및 공구의 가용성 등을 포함한다. 또한, 핫셀 외부의 작업구역(operating area)에서 작업자가 제염체임버 안에서 이루어지는 모든 작업을 상시 모니터링할 수 있어야 한다. 이와 같은 설계조건을 만족하기 위해서는 다음과 같은 사항을 포함한다.

- 작업구역에 위치한 작업자가 입력장치 또는 제어장치를 통하여

핫셀 내부에 설치된 유지보수 চে임버를 원격으로 조작할 수 있는 통신 경로를 고려한다.

- 제염체임버의 기능적/기계적 구조는 수리가 요구될 때 용이하게 교체 및 수리할 수 있도록 모듈식 구조로 설계한다.
- 제염체임버의 동력 및 동력전달체계는 설치조건과 공간, 그리고 내방사성에 따른 수명 등을 고려하여 공압식 또는 전동식을 선정한다.
- 손상된 모듈 및 부품은 폐기 및 처분 전에 허용 준위까지 제염이 요구되므로, 드라이 아이스 펠릿을 이용하는 제염방법을 고려하여 부품 모듈을 설계한다.

나. 제작사양

- (1) 제염체임버는 오염된 장비 제염시 분진 및 미세 방사성 폐기물이 체임버 외부로 비산되지 않도록 충분한 기밀성을 유지하도록 제작하였다.
- (2) 제염체임버는 IMEF M6-B 핫셀 내부에 설치되고, 핫셀 시설물과 기 설치된 핵연료 제조 및 공정 장비의 운용에 영향을 주지 않아야 하며, 시설물의 유틸리티를 충분히 활용할 수 있도록 제작하였다.
- (3) 제염체임버는 핫셀에 기 설치된 크레인을 이용하여 제염이 요구되는 장비를 수용하고 이동할 수 있도록 제작하였다.
- (4) 제염체임버는 제염후 발생하는 모든 분진 및 미세 방사성 폐기물 등을 처리가 용이하도록 필터링을 통하여 포집 할 수 있고, 또한 시설물의 배기계통과 연계하여 처리될 수 있도록 제작하였다.
- (5) 제염체임버 모션 부분의 동력 및 동력전달체계는 방사능에 기인한 기능의 저하, 수리 및 교체를 최소화하기 위해 공압 구동 방식을 채택하였다.

- (6) 제염체임버의 동력부에 공급되는 동력의 공급라인은 방사능에 강인하고, 또한 슬레이브 매니플레이터를 이용하여 조작성이 용이하도록 제작하였다.
- (7) 제염체임버의 각 구동 모듈에 공급되는 공기라인은 핫셀 내의 오염된 공기가 라인을 통하여 핫셀 외부의 조작 구역으로 역류하지 않도록 이중 차단장치를 설치하여 제작하였다.
- (8) 제염체임버는 유사형 매니플레이터, 크레인, 또는 공구를 사용하여 원격 조작 및 운용, 원격 유지 및 보수가 용이하도록 제작하였다.
- (9) 제염체임버에서 취급대상물질인 사용후 핵연료의 고방사성을 고려하여 방사선에 강인한 재료 및 부품을 사용하여 모듈식으로 제작하였다.
- (10) 제염체임버의 수평개폐모듈은 기계식으로 구성되어 슬레이브 매니플레이터에 의하여 직선운동이 가능하도록 제작하였다.
- (11) 제염체임버의 수직 개폐모듈은 15rpm의 속도로 상하 직선운동을 할 수 있도록 제작하였다.
- (12) 제염체임버의 보조도어모듈은 기계식으로 구성되어 슬레이브 매니플레이터에 의하여 회전운동이 가능하도록 제작하였다.

제 3 장 제염체임버

1. 개요

제염체임버는 조사재시험시설 M6-B 핫셀에 설치된 별도의 제염셀로서, DUPIC핵연료 제조 및 공정 과정에서 생성된 고방사성 물질로 오염되거나 손상된 장비, 장치 또는 공구 등을 제염·유지·보수하는 공간으로 활용되며, 제염시 고방사성 폐기물분진의 비산을 억제하여 핫셀내 오염확산을 방지한다. 일단 제염체임버에서 제염된 장비·장치·공구 등은 크레인 또는 매니플레이터를 이용하여 M6-A 핫셀로 옮긴 후, M6-A 핫셀의 roof door를 통하여 격리실(isolation room)로 이송하여, 감마 방사능 오염준위 측정시스템으로 방사선 준위를 측정한 다음 작업자의 접근 허용을 판단 후 수선, 교체, 폐기, 재 제염 등 필요한 조치를 취하게 된다.

개발된 제염체임버는 M6-B 핫셀의 기 시설물과의 통합, 기능 및 공간적 최적화, 작업의 원격성을 고려하여 개발하였으며, 체임버 운용은 작업환경의 특수성 때문에 복잡함을 지양하고 단순함에 의하여 이루어지도록 하였다. 제염체임버는 M6-B 핫셀의 10번 방호유리창(shielding window)을 완전히 포함하며, 9번 과 10번 방호유리창 사이에 체임버의 주 출입구를 형성하도록 설계되었으며, 핫셀에 기 설치된 2쌍의 매스터/슬레이브 매니플레이터와 크레인, 그리고 시설물 환기계통을 활용할 수 있도록 설계·제작하였다. 10번 방호유리창을 제염체임버 전용으로 활용할 수 있게 설계함으로써 작업자가 핫셀 내에 설치된 체임버에서 행해지는 작업 활동을 상시 감시·감독할 수 있으며, 이상 발생시 신속히 대응할 수 있도록 하였다. 제염체임버를 사용하지 않을 경우에는 체임버의 출구를 완전히 개방하여 체임버 공간을 충분히 활용할 수 있도록 하였다. 제염체임버는 M6핫셀의 가동 중 사용후 핵연료와 같은 고방사성 물질에 대한 내방사성을 증대시키기 위하여 공압식 액튜에이터와 스테인리스 스틸 계통의 재료를 사용하였으며, 제염체임버의 모든 운용은 원격에 의하여 조작할 수 있도록 설

계·제작하였다.

개발된 제염체임버는 수평개폐모듈, 수직개폐모듈, 보조도어모듈, 회전모듈 및 파지모듈로 구성되어 있으며, 그림 1은 조사재시험시설의 M6 핫셀 작업구역을 그림 2는 M6 핫셀 내부를 보여준다. 그림 3은 M6-B 핫셀에 설치되는 제염체임버 각 모듈의 설치 위치 및 개략도를 보여준다. 수평개폐모듈과 수직개폐모듈은 M6-B 핫셀의 천정과 측면을 완전히 밀폐하여 M6-B 핫셀 내에 별도의 작은 cell (체임버)을 구성하며, 보조도어모듈은 이중안전장치로서 수직개폐모듈에 평행하게 설치되어 체임버의 기밀도를 증강시키고, 수직개폐모듈의 고장시 비상대응 보조수단으로 사용된다. 회전모듈은 체임버 내부에 설치되어 제염 대상체를 적재하고 회전하게 하여 전방향 제염이 가능토록 하며, 파지모듈은 건식오염제거장치를 체임버 내부의 임의의 공간으로 이동할 수 있도록 하여 제염공간을 증대시킨다.

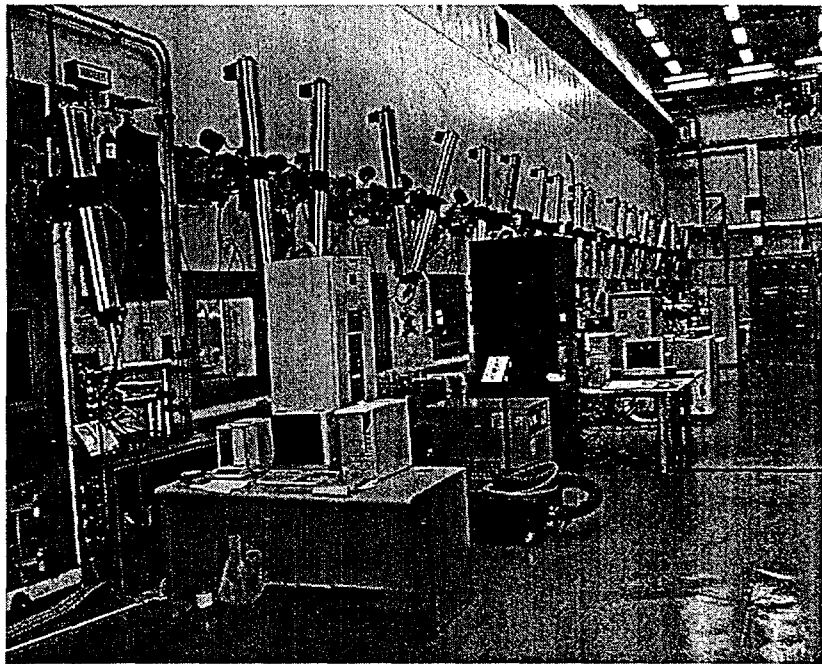
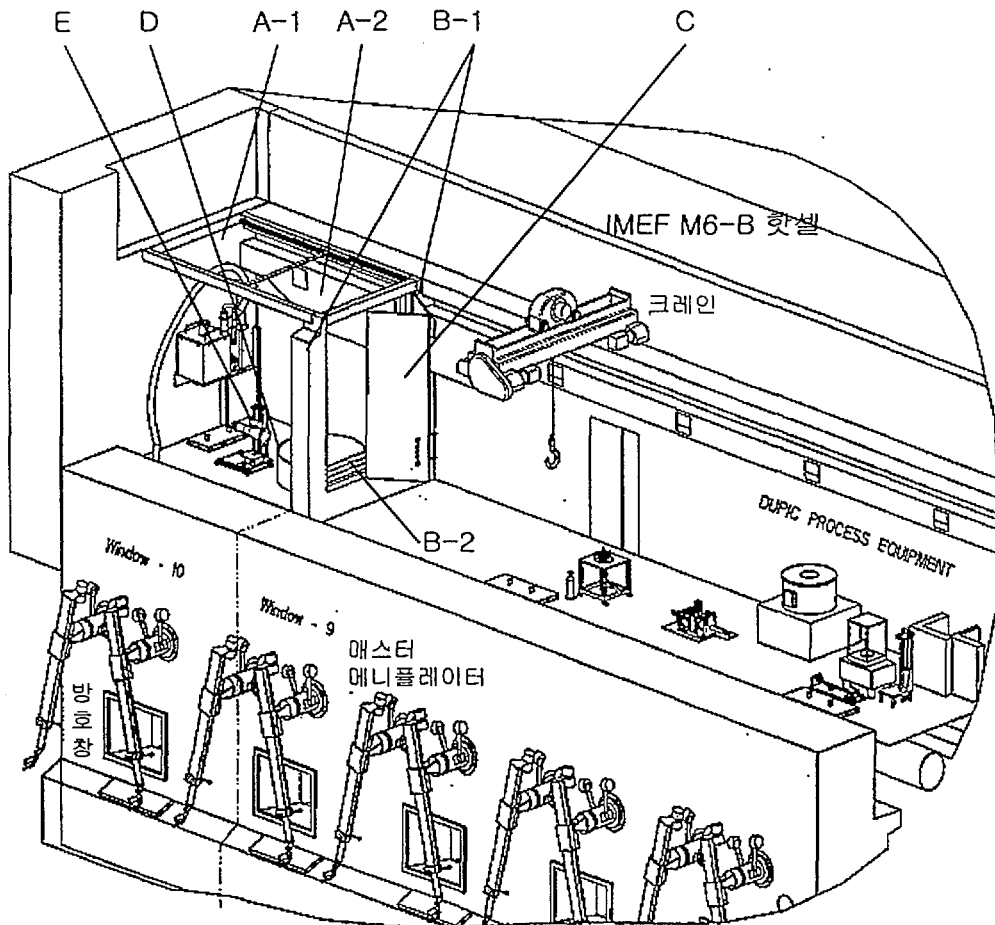


그림 1. 조사재시험시설의 M6핫셀 작업구역



그림 2. 조사재시험시설의 M6하셀 내부



- A : 수평개폐모듈 (A-1 : 고정형모듈, A-2 : 이동형모듈)
 B : 수직개폐모듈 (B-1 : 가이드, B-2 : 폴더형 슬레트)
 C : 보조도어모듈, D : 회전모듈, E : 파지모듈

그림 3. IMEF M6-B 핫셀에 설치된 제염체임버의 개략도.

2. 수평개폐모듈

수평개폐모듈은 telescopic 형태로 고정형모듈과 이동형모듈로 구성되어 있으며, 고정형모듈은 핫셀 천정과 평행(벽면에 대하여 수직)하게 핫셀 환기계통 바로 위에 설치되었다(그림 3 참조). 그림 4와 그림 5는 각각 수평개폐모듈의 설계도와 핫셀 설치를 보여준다. 고정형모듈은 핫셀구조물에 완전히 고정된 형태이며 리니어 가이드가 길이방향으로 양쪽에 설치되어서, 이동형모듈이 고정형모듈에 설치되어 수평으로 직선운동(수축/확장)을 할 수 있는 수단을 제공한다. 이동형모듈은 제염체임버의 상부 개폐용으로 이동형모듈이 완전히 수축하였을 때(체임버 상부가 완전히 열린 상태) 이동형모듈의 앞쪽 끝단과 고정형모듈의 앞쪽 끝단은 서로 일치하며, 이동형모듈이 완전히 확장하였을 때(체임버의 상부가 완전히 닫힌 상태)는 제염체임버의 최종 상부치수를 나타낸다. 이동형모듈의 왼쪽 끝단에는 일자형의 모션조종대가 설치되어 이동형모듈이 선형가이드를 따라 움직일 때 최대행정거리를 조종한다.

고정형모듈의 끝단은 핫셀 내에 기 설치된 크레인의 왼쪽 끝단 이동거리(작업구역에서 핫셀을 보았을 때 왼쪽 이송방향)를 반영하여 고정형모듈(이동형모듈이 완전히 수축된 경우)과 크레인간의 간섭을 배제하였다. 즉, 고정형모듈의 앞쪽 끝단은 크레인이 왼쪽방향으로 이동할 수 있는 최종위치이다. 수평개폐모듈은 10번 방호창 위에 설치된 슬레이브 매니플레이터의 지지대 및 작업영역(workspace)이 손상되지 않도록 슬레이브 매니플레이터 위에 설치하였다. 이동형모듈의 몸체 하단부에는 중심선을 기준으로 hook를 장착하여 슬레이브 매니플레이터의 집게(tong)가 접근할 수 있도록 하였으며, 작업자는 작업구역에서 매스터 매니플레이터를 통하여 슬레이브 매니플레이터로 hook를 잡고 이동형모듈을 원하는 위치까지 움직이면서 체임버의 상부(천정)를 원격 개폐할 수 있다. 표 1은 수평개폐모듈의 사양을 나타낸다.

핫셀 내부의 벽면들은 자체 구조 때문에 비정형적이므로 시설물에 대

한 평형성을 최대한 고려하였다. 수평개폐모듈의 평형성은 체임버의 다른 모듈과 조합하여 연결될 때 중요한 역할을 하므로 수평/수직 등의 평형을 상호 보완하면서 설치하였다. 특히, 수평개폐모듈을 지지하는 선형가이드의 불균형은 슬레이브 매니플레이터로 이동형모듈을 원격으로 조종할 때 무리한 힘을 요구하여 매니플레이터 자체의 허용 힘을 초과하여 손상시킬 수 있으므로 선형가이드들은 이동형모듈의 모션이 방해받지 않도록 평형성에 신중을 기하여 설치하였다.

체임버 상부는 기밀도를 유지하기 위하여 수평개폐모듈의 고정형모듈과 이동형모듈은 각각 단일 스테인리스 스틸 플레이트로 구성하였으며, 고정형모듈을 축으로 이동형모듈이 움직일 때 생기는 틈새는 이동형모듈의 양끝단에 걸림턱을 설치하여 기밀도를 극대화하였다. 또한 수평개폐모듈 전체 프레임과 프레임이 설치되는 핫셀 벽면사이의 틈새는 스테인리스 스틸 플레이트로 밀봉한 후 실리콘으로 마무리하였다.

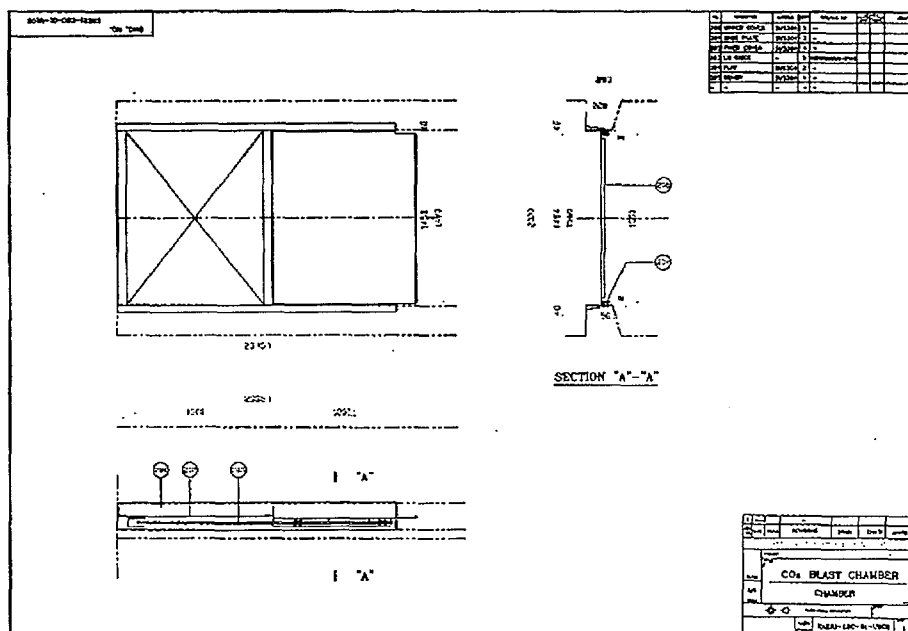


그림 4. 수평개폐모듈의 고정형 및 이동형모듈 설계도.

이동형모듈

고정형모듈

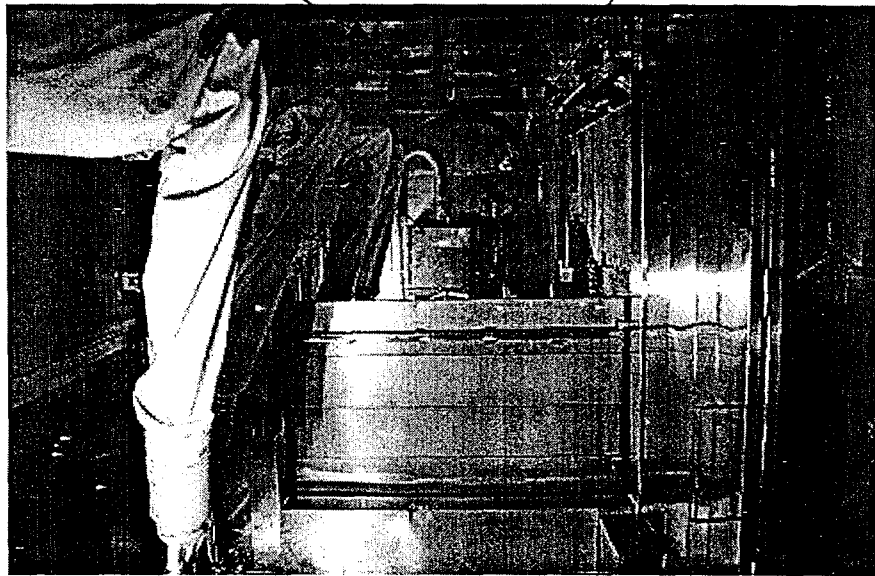


그림 5. 핫셀에 설치된 수평개폐모듈.

표 1. 수평개폐모듈 사양.

	고정형모듈	이동형모듈
형태	핫셀 벽면에 고정	고정형모듈에 장착된 telescopic형
모션		수평 선형운동
구동방식		수동식
치수(LxWxH)(mm)	1300x1484x30	1214x1450x30
재료	SUS 304	SUS 304
Stroke (mm)		1000
Pulling force (N)		0.7
원격유지보수		메니플레이터와 공구를 이용한 원격 수리 및 교체
원격조작성		슬레이브 메니플레이터를 이용한 체임버 상부 원격 개폐

3. 수직개폐모듈

수직개폐모듈(그림 3 참조)은 제염체임버의 측면 개폐용으로서 완전히 닫혔을 경우에는 체임버로서 기능을 수행하고, 또한 완전히 개방하였을 경우에는 체임버 공간을 다른 용도로 충분히 활용하고, 크레인을 이용한 장비 및 물건 이송에 영향을 미치지 않도록 제작·설치하였다. 수직개폐모듈은 폴더형 슬레트와 슬레트 가이드로 구성되어 있으며, 핫셀 바닥면에 대하여 수직으로 9번과 10번 방호창 사이에 설치되었다. 'U'형의 가이드는 폴더형 슬레트의 상하 운동시 각 슬레트의 이탈을 방지하고 마찰을 줄이기 위하여 핫셀 벽면과 바닥을 따라서 고정되었으며, 핫셀 내부 구조물 자체의 비정형 때문에 수준기를 사용하여 'U'형의 가이드가 좌/우 및 상/하로 평형상태를 유지하도록 설치하였다. 그림 6과 그림 7은 각각 수직개폐모듈의 가이드와 폴더형 슬레트의 설계도와 핫셀 설치를 보여준다. 그림 8은 수평형개폐모듈과 수직개폐모듈의 결합 설계도를 보여주며, 그림 9는 핫셀에 설치되어 완전히 구성된 제염체임버를 보여준다.

가이드에 설치된 폴더형 슬레트는 9개의 슬레트로 구성되어 있으며 서로 각각 기계적으로 연결되어있다. 1번 슬레트의 양 끝단은 체인에 연결되어 있으며, 체인은 스프라켓-기어 구동 메카니즘에 연결되어 공압식 모터에 의하여 구동한다. 체임버의 측면을 닫을 경우 각 슬레트는 순차적으로 위로 직선방향으로 상승한다. 즉, 1번 슬레트가 위로 올라가면서 2번 슬레트를 잡고 올라간다. 이러한 방식으로 8번 슬레트까지 윗 방향으로 완전히 펼쳐지고 최종 9번 슬레트는 가이드에 고정되어 폴더형 슬레트의 직진성(straightness)을 유지하게 된다. 체임버를 개방할 때는 역의 순으로 진행된다. 즉, 8번 슬레트가 7번 슬레트를 잡고 하강하며, 최종적으로 1번 슬레트가 하강하여 체임버를 완전히 열게 된다. 표 2는 수직개폐모듈의 특성을 보여준다.

제염체임버의 외관은 수평개폐모듈과 수직개폐모듈을 결합하여 구성된다. 먼저 작업구역에서 작업자가 슬레이브 매니플레이터로 수평개폐모듈에

부착되어있는 hook를 잡고 이동형모듈을 오른쪽으로 끝까지 확장한다. 그리고 수직개폐모듈을 작동시켜 처음 슬레트(1번 슬레트)의 끝단이 이동형 모듈의 하단부와 접촉할 때까지 상승시켜서, 제염체임버를 형성한다. 체임버를 개방할 때는 역으로 수직개폐모듈의 슬레트를 끝까지 하강시킨 다음, 이동형모듈을 왼쪽 끝까지 움직인다.

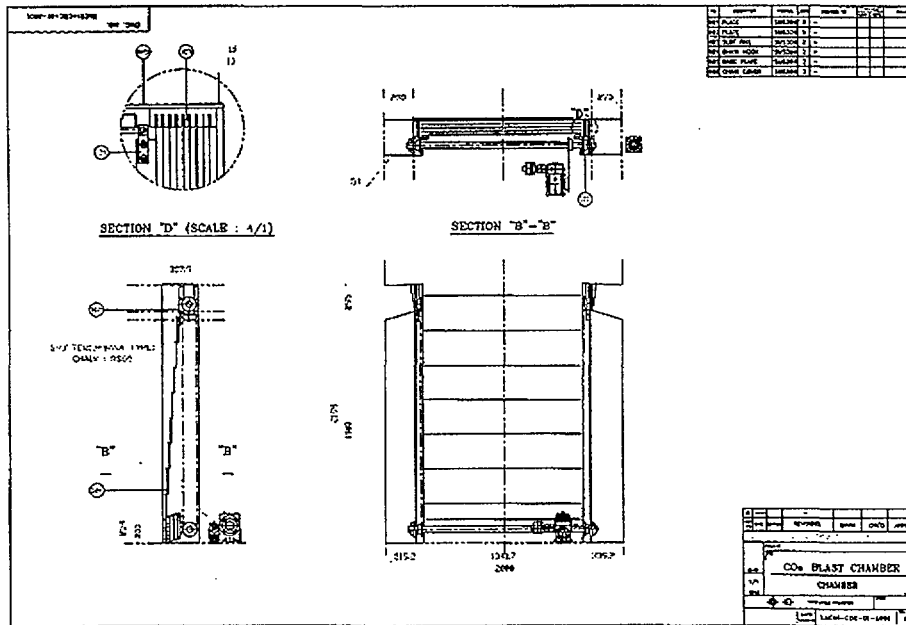


그림 6. 수직개폐모듈의 가이드와 폴더형 슬레트의 설계도.

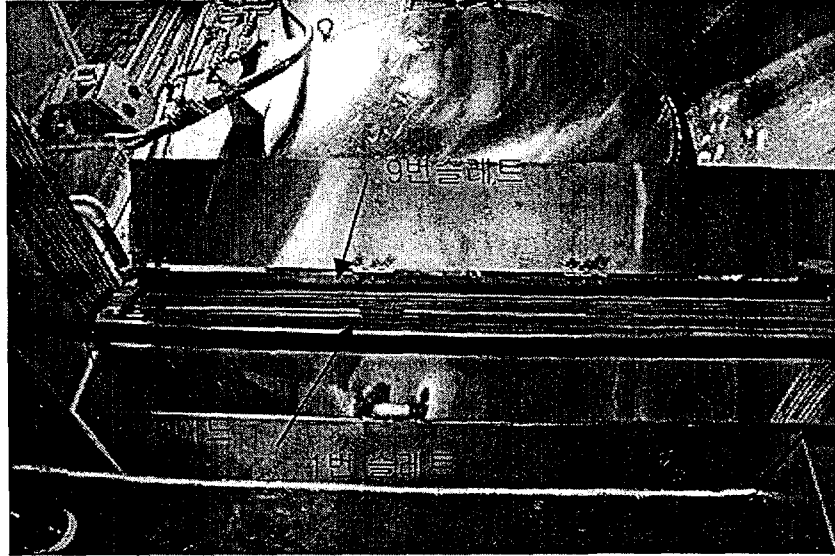


그림 7. 핫셀에 설치된 수직개폐모듈의 가이드와 폴더형 슬래트.

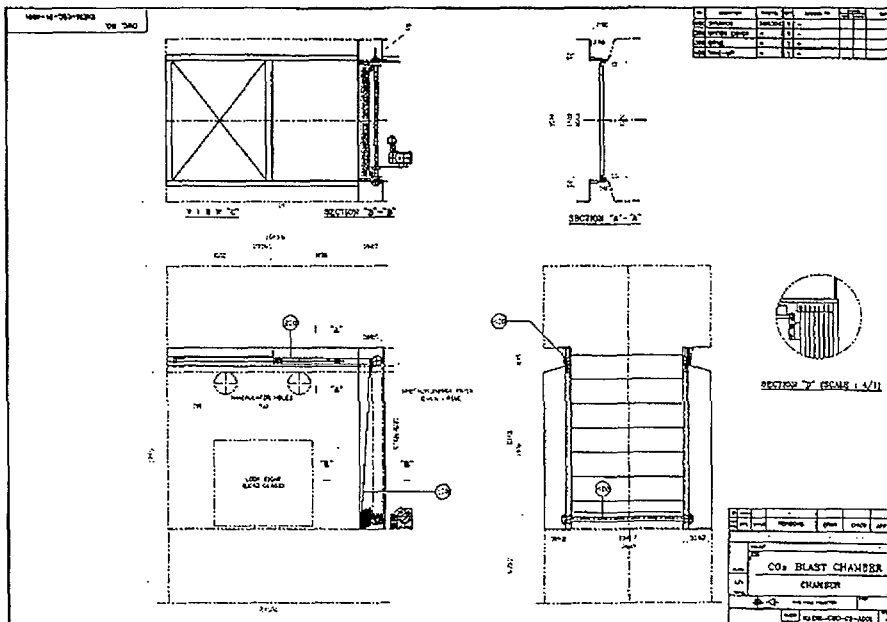


그림 8. 수평개폐모듈과 수직개폐모듈의 결합 설계도.



그림 9. 핫셀에 설치되어 구성된 제염체임버 (단힌경우).

표 2. 수직개폐모듈 사양.

슬레트 (LxWxT) (mm)	1432x220x3
연결방식	상하 슬라이드/폴더형
슬레트 수	9
Stroke (mm)	1975
구동방식	공압식
재료	SUS 304
제어방식	공압제어
원격유지보수	메니플레이터와 공구를 사용하여 원격으로 수리 및 교체
원격제어	방호창을 통한 vision feedback에 의하여 구동상황의 상시 모니터링 및 제어

4. 보조도어모듈

보조도어모듈은 제염체임버의 기밀도를 증강시키고, 수직개폐모듈의 이상 발생시 수직개폐모듈을 대체하기 위한 수단이다. 그림 10과 그림 11은 각각 보조도어모듈의 설계도와 핫셀 설치를 보여주며, 그림 12는 보조도어를 닫았을 때의 체임버의 측면을 보여준다. 보조도어모듈은 2단 기계식으로 구성되어 슬레이브 매니플레이터로 개폐가 용이하며, 보조도어를 닫았을 경우 수직개폐모듈을 완전히 막을 수 있다. 각 단을 구성하는 프레임은 스테인레스 스틸 판으로 구성되었으며, 스테인리스 스틸 베어링형의 장석을 사용하여 각 단을 연결하여 회전이 용이하도록 하였다. 이러한 구조는 작업자가 매니플레이터로 보조도어에 부착되어 있는 고리를 잡고 도어를 개폐하는 작업을 수행하는데 있어서, 육체적/심리적 부담을 줄이고 작업의 성과를 증대시킨다. 또한, 완전히 개방되었을 경우 수직개폐모듈과 전혀 간섭이 없으며 크레인의 작동 및 주변 구조물에 전혀 영향을 미치지 않는다. 보조도어의 안쪽에 자석을 부착하여 도어를 닫을 때 수직개폐모듈의 가이드 표면에 달라붙도록 되어있어 체임버의 기밀도를 향상시킨다.

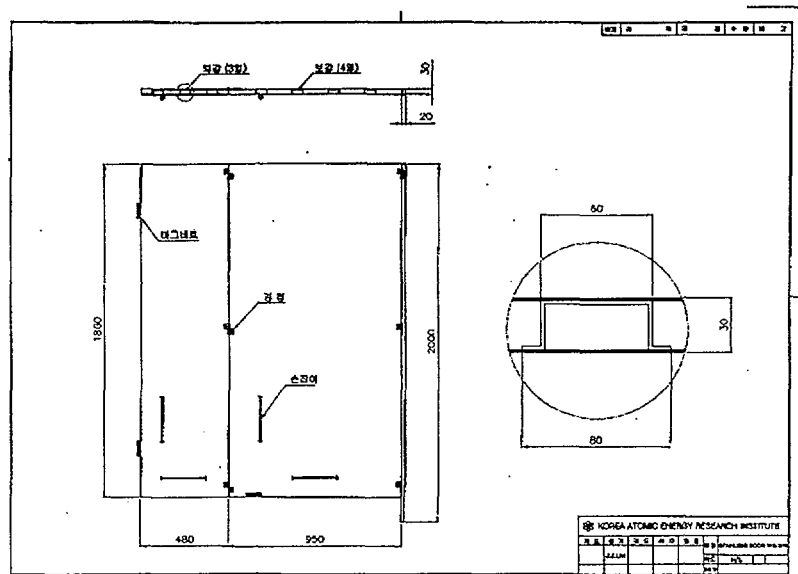


그림 10. 보조도어모듈의 설계도.

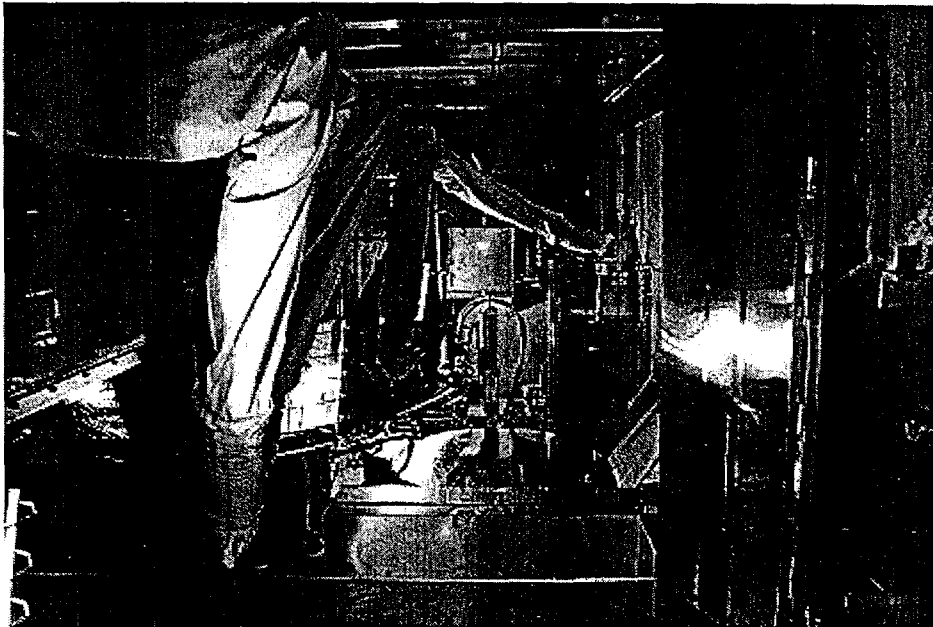


그림 11. 핫셀에 설치된 보조도어모듈.

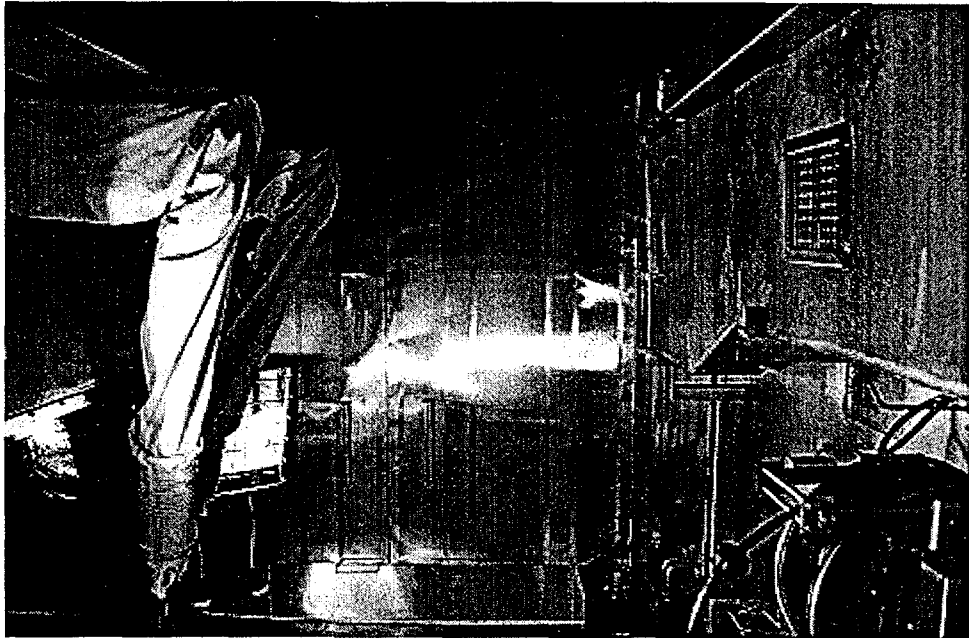


그림 12. 보조도어를 닫았을 때 제염체임버의 측면.

5. 회전모듈

회전모듈은 제염체임버의 안쪽에 설치되어, 제염하고자 하는 장비 또는 장치를 적재하여 회전시켜 주는 장치이다. 회전모듈의 개념은 핫셀과 같이 제한된 공간에서 제염 대상체를 전 방향으로 제염하는데 효과적으로 이용할 수 있다. 그림 13과 그림 14는 회전모듈의 설계도를 보여주며, 그림 15는 핫셀의 제염체임버 내부에 설치된 회전모듈을 보여준다. 회전모듈의 회전체는 DUPIC핵연료 제조공정에 사용되는 대부분의 장비 및 장치를 적재할 수 있는 충분한 적재하중과 적재 공간을 갖는다.

공압식 구동방식을 채택한 회전모듈은 CW/CCW 방향으로 회전할 수 있으며 일시 정지 및 복원 기능을 갖는다. 표 3은 제작된 회전모듈의 주요 사양을 나타낸다. 회전체의 회전 방향은 슬레이브 매니플레이터를 이용하여 체임버 안쪽에 설치된 내방사성 공압 밸브를 조작하여 선택할 수 있다.

표 3. 회전모듈사양.

적재하중 (kg)	1000
적재공간 (직경: mm)	1000
제어방식	공압식
회전방향	CW/CCW
최대속도 (rpm)	30
원격유지보수	매니플레이터와 공구를 사용하여 원격으로 수리 및 교체

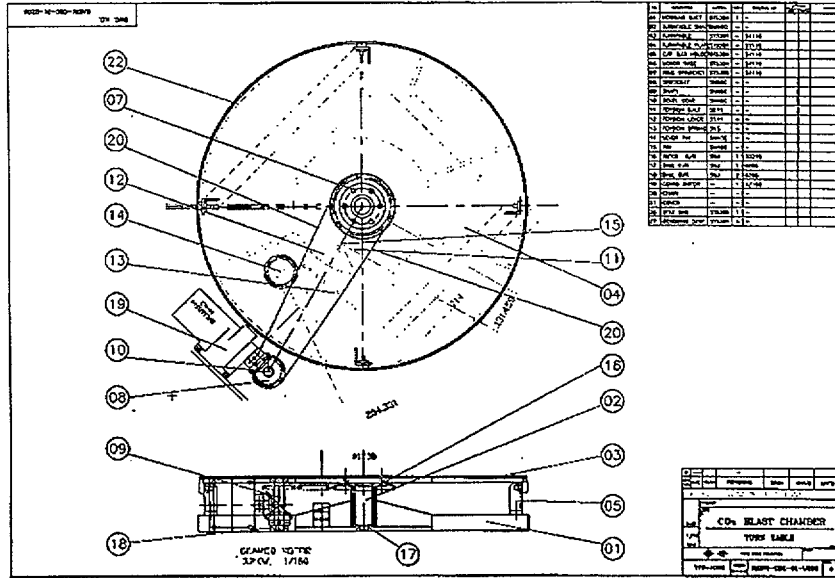


그림 13. 회전모듈 설계도.

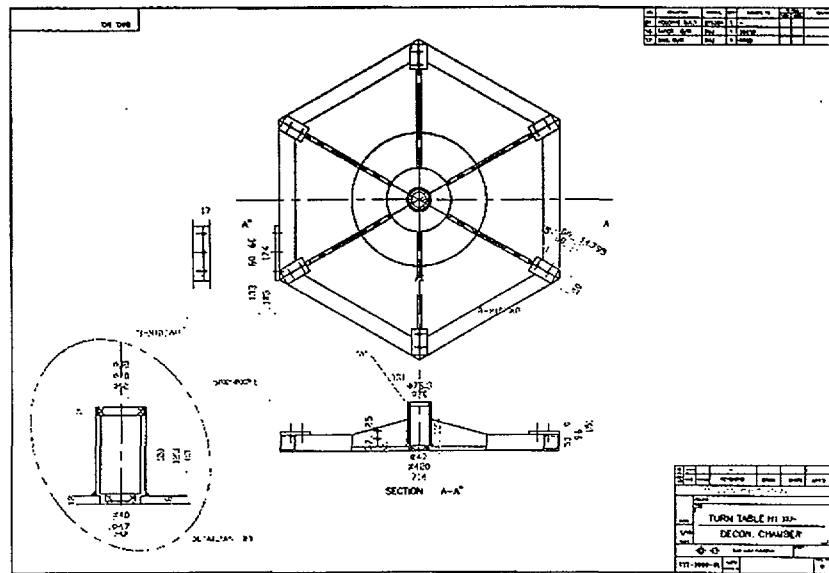


그림 14. 회전모듈 구동 메카니즘 설계도.

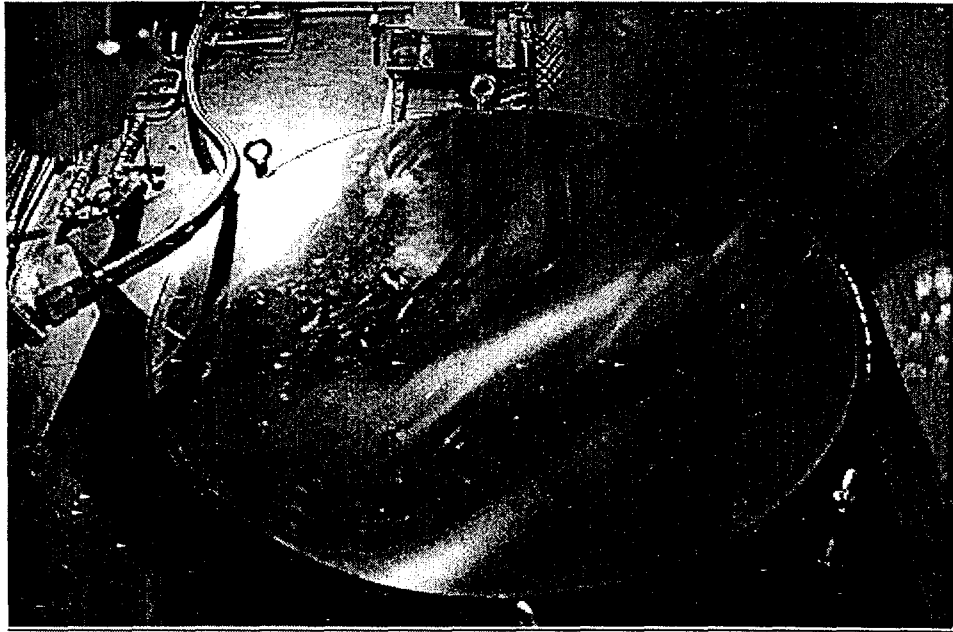


그림 15. 제염채임버 안쪽에 설치된 회전모듈.

6. 파지모듈

파지모듈은 제염체임버 안쪽의 회전모듈 주위에 설치되어, 드라이 아이스 펠릿을 이용하는 건식오염제거장치의 분사헤드(head)부분을 파지하여 제염하고자 하는 장비 또는 장치를 연속적으로 제염할 수 있게 하는 장치이다. 그림 16은 파지모듈의 설계도를 보여주며, 그림 17은 제염체임버 안쪽에 설치된 파지모듈을 보여준다. 그림 18은 회전모듈 주위에 설치된 파지모듈을 보여준다. 파지모듈은 3자유도의 구조로서 베이스 프레임으로부터 순차적으로 수평운동, 회전운동, 수직운동을 갖으며, 수직운동 링크의 끝에는 파지공구가 부착되어 건식오염제거장치의 분사헤드를 파지한다. 또한, 베이스 프레임 위에 선형 가이드를 따라서 지지대를 설치하여 분사헤드로부터 드라이아이스 펠릿이 분사될 때 발생하는 반발력을 흡수한다. 작업자는 슬레이브 매니플레이터의 집게로 건식오염제염장치의 분사헤드 부분 잡아서 파지공구에 고정시킨 다음, 분사헤드를 체임버 3차원 공간에서 원하는 제염위치까지 움직일 수 있다.

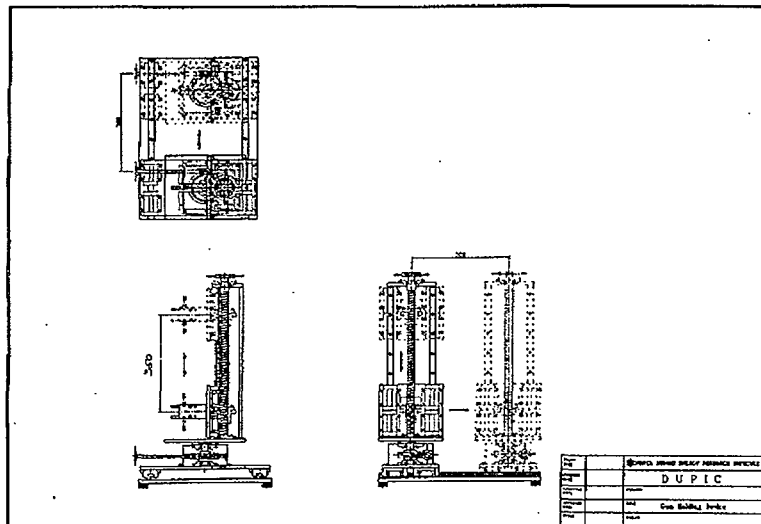


그림 16. 파지모듈 설계도.

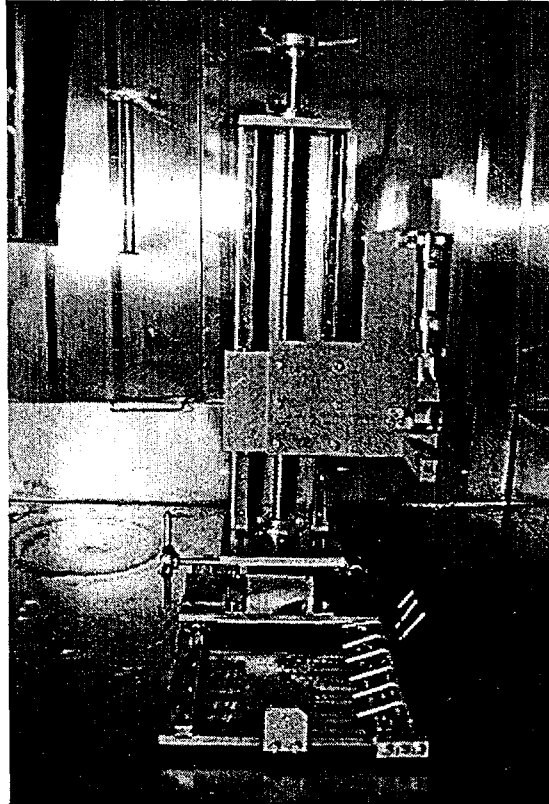


그림 17. 제염체임버 안쪽에 설치된 파지모들.

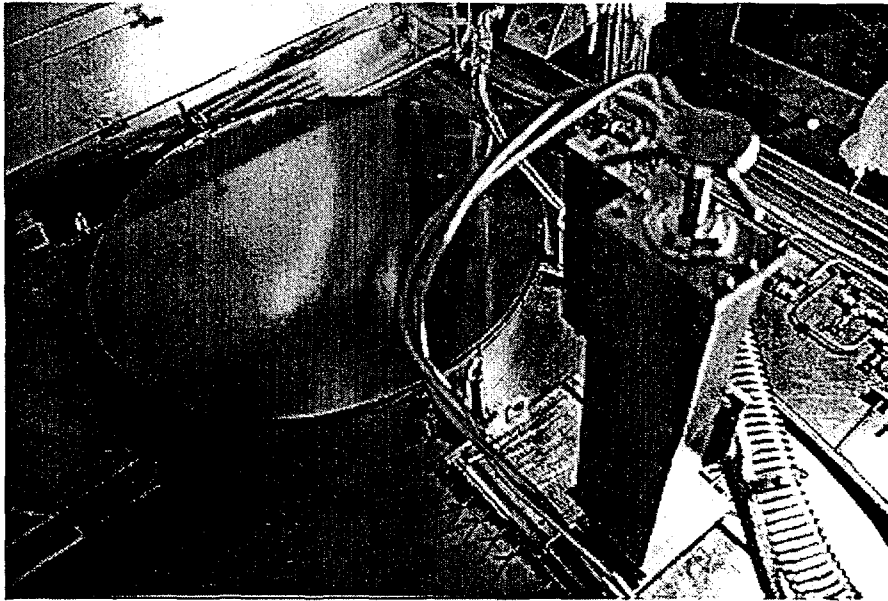


그림 18. 제염체임버 안쪽의 회전모듈 주변에 설치된 파지모듈.

표 4. 파지모듈 사양

Motion axis	3축
상하 stroke (mm)	350
좌우 stroke (mm)	300
회전각(degree)	180
파지	공압식
Head grasping pressure	56 kgf/cm ²

7. 통합제어반 및 원격운용

가. 제어반

통합제어반은 핫셀 외부의 작업구역에 설치되어 공압식으로 구동되는 제염체임버의 각 모듈을 원격으로 제어한다. 제염체임버의 모션은 구동방식에 따라 기계식과 공압식으로 구분된다. 수평개폐모듈의 수평운동, 파지모듈의 수평/수직/회전 운동은 기계식으로 이루어지며, 수직개폐모듈의 상하운동, 회전모듈의 회전운동, 파지모듈의 파지는 공압제어에 의해 이루어진다. 작업자는 작업구역에서 방호창을 통하여 체임버 내부의 작업상황을 모니터링하면서 작업에 필요한 모션에 따라 슬레이브 매니플레이터(기계식 모션) 또는 제어반(공압식 모션)을 조작하면서 제염체임버를 원격으로 운용한다.

그림 19와 그림 20은 각 각 제염체임버의 통합제어반 설계도와 IMEF M6 핫셀 작업구역 설치를 보여주며, 그림 21은 각 모듈을 제어하는 공압밸브의 계통을 보여준다. 각 모듈은 매니플레이터를 이용하여 4개의 공압밸브 개폐를 조합함으로써 구동된다. 표 5는 제염체임버 통합제어반의 기능을 보여준다. 제어반에는 비상스위치, 시작과 종료 스위치가 부착되어 있으며, 수직개폐모듈, 회전모듈, 파지모듈을 제어하기 위한 기능이 구분되어 있다. 제어반 왼쪽에는 수직개폐모듈, 중앙에는 파지모듈, 오른쪽에는 회전모듈과 관련한 제어스위치들이 부착되어 있으며, 각 제어모듈마다 별도의 시작과 종료 스위치들을 설치하여 제어반 조작의 안전성을 고양하였다. 또한, 일시정지 및 복원 기능을 추가하여 제어의 효율성을 높였다. 그림 22는 작업구역에서 방호창을 통하여 핫셀 내에 설치된 제염체임버 각 모듈의 배열을 보여준다. 제어반 운용에 있어서 작업자는 방호창을 통하여 제염체임버 내부의 상황을 감시하면서 슬레이브 매니플레이터를 사용하여 수행하고자 하는 작업과 관련한 공압밸브를 조작한 다음 제어반의 스위치로 원하는 작업을 수행한다.

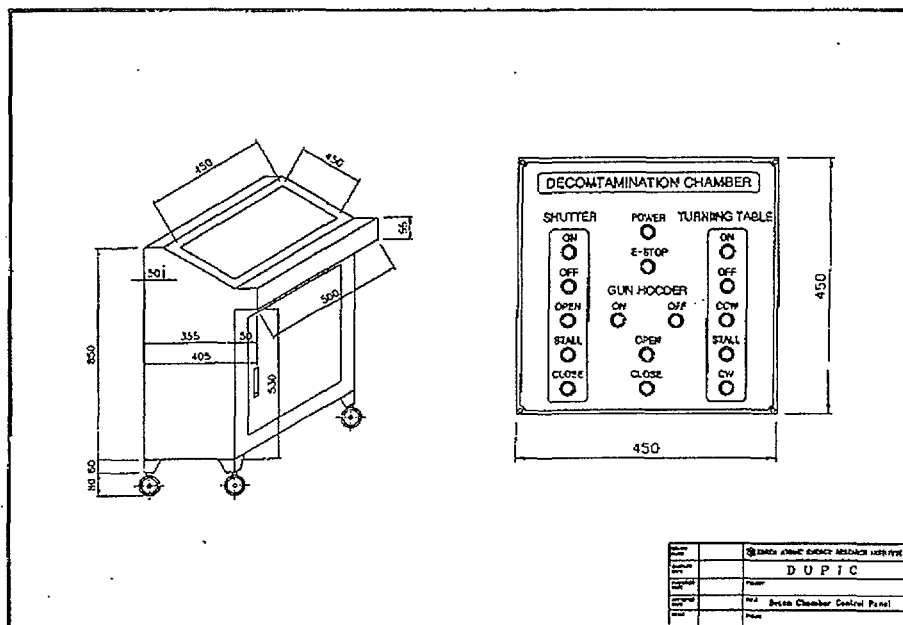


그림 19. 제염체임버 통합제어반 설계도.

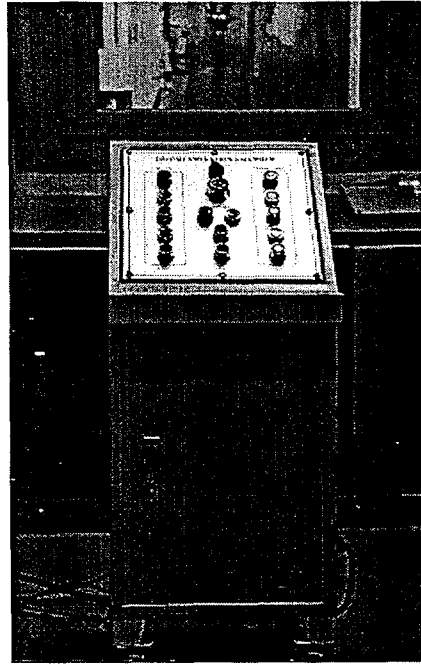


그림 20. 작업구역에 설치된 제염체임버 통합제어반.

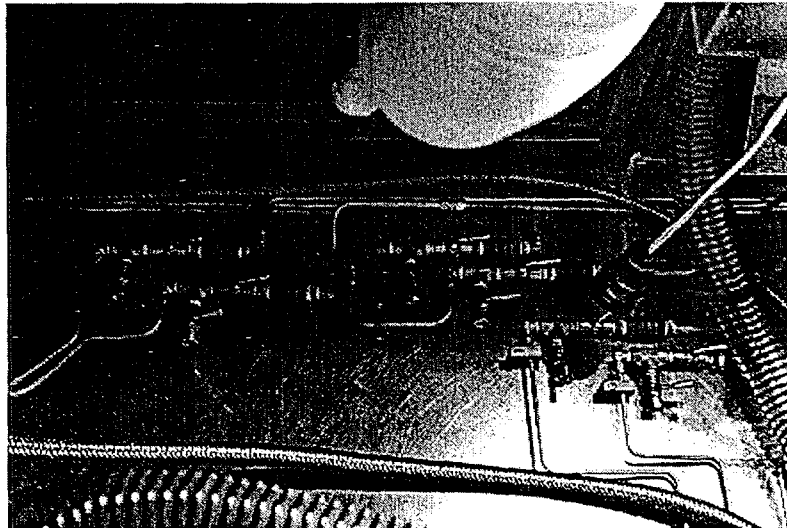


그림 21. 각 모듈을 제어하는 공압밸브계통.

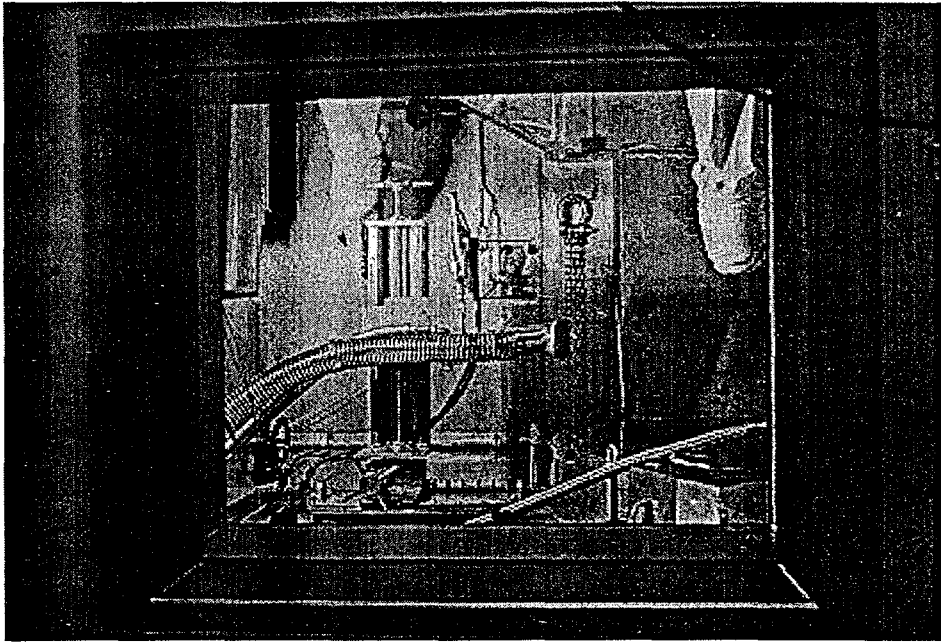


그림 22. 핫셀 작업구역에서 방호창을 통해서 본 제염제임버.

표 5. 통합제어반 기능.

	수직개폐모듈	파지모듈	회전모듈
주전원	○		
비상스위치	○		
상승	○		
하강	○		
CW			○
CCW			○
일시정지 및 복원	○	○	○
파지		○	

나. 원격운용

IMEF M6 핫셀 내부는 사용후핵연료와 같은 고방사성물질 때문에 작업자의 접근이 불가능하므로 제염체임버의 모든 운용은 원격에 의하여 행해진다. 핫셀내 설치된 장비 또는 공구의 유지·보수 및 제염을 위한 체임버의 원격 운용은 다음과 같은 절차를 통하여 수행된다.

(1) 제염체임버가 완전히 열린 경우

- (가) 유지·보수·제염이 요구되는 대상체를 크레인을 이용하여 체임버 내부에 설치되어있는 회전모듈의 회전체까지 이송한다.
- (나) 대상체를 하역한 다음, 크레인을 체임버 바깥쪽으로 이동시킨다.
- (다) 슬레이브 매니플레이터로 수평개폐모듈의 이동형모듈을 왼쪽 끝까지 끌어당긴다.
- (라) 수직개폐모듈의 폴더형 슬레트가 이동형모듈의 하단부와 접촉할 때까지 상승시켜 체임버를 밀폐시킨다.
- (마) 슬레이브 매니플레이터를 이용하여 수직개폐모듈 위로 보조도어를 닫아서 체임버의 측면 출입구를 이중으로 밀폐시킨다.
- (바) 슬레이브 매니플레이터로 건식오염제거장치의 분사헤드를 파지모듈까지 옮긴 후 파지공구에 고정시킨 다음, 분사헤드를 원하는 작업위치까지 이동시킨다.
- (사) 회전모듈의 회전체를 구동시키고, 건식오염제거장치를 작동시켜 제염작업을 시작한다.
- (아) 제염작업 종료 후, 수직개폐모듈의 폴더형 슬레트를 하강시키고, 이동형모듈을 왼쪽 끝까지 움직여 체임버를 완전히 개방한 후, 제염작업이 종료된 대상체를 크레인으로 M6-A 핫셀로 이송하여 roof door를 통하여 격리실로 이송한다.
- (자) 격리실에 설치된 감마방사능 오염준위측정장치로 제염된 대상체의 방사선 준위를 측정한 다음, 글러브 박스를 통한 작업자

의 접촉 및 접근 가능성을 판단한다.

(차) 대상체의 방사선 준위가 접근허용치 이하이면 유지 및 보수 등 필요한 작업을 수행하고, 접근허용치를 초과하면 대상체를 체임버로 다시 이송하여 (가) - (차)의 작업을 반복 수행한다.

(2) 제염체임버가 완전히 닫힌 경우

(가) 수직개폐모듈의 슬레트를 완전히 하강시키고, 수평개폐모듈의 이동형모듈을 왼쪽 끝까지 움직여 체임버를 완전히 개방한다.

(나) (1)의 (가) - (차)의 과정을 반복 수행한다.

제 4 장 결 언

DUPIC 핵연료 제조 및 공정에 사용된 장비 및 장치 그리고 취급공구 등을 유지보수할 수 있는 제염체임버를 개발하였다. 제염체임버는 유지보수가 요구되는 오염된 장비 및 장치 등을 핫셀 공간에서 격리하고 제염하고 수리할 수 있는 밀폐된 공간으로서 제염시 핫셀내 오염확산을 방지할 수 있는 시스템이며, 유지보수 작업이 끝난 후에는 핫셀의 한 공간으로 활용할 수 있다.

제염체임버는 핫셀 내 기시설물과 조화 및 배치 그리고 원격 취급 및 운용성 등을 설계에 반영하여 개발하였다. 개발된 제염체임버는 수평개폐 모듈, 수직개폐모듈, 보조도어모듈, 회전모듈 및 파지모듈 등 5개의 모듈로 구성되어 있으며, 모든 기능은 공압 및 기계식으로 구동되며 당 연구소의 조사재시험시설 M6핫셀에 설치되어있다.

핫셀에 설치된 제염체임버는 10번 방호창을 통하여 체임버의 운용을 원격 감시 및 모니터링할 수 있으며, 핫셀 시설물에 기 설치된 마스터와 슬레이브 매니플레이터, 원격 취급장치 및 공구 등을 사용하여 개발된 시스템의 원격 운용성과 원격 취급성을 시험하여 성공적인 핫셀적용 성과를 얻었다.

개발된 제염체임버는 고방사성 핫셀내 핵물질 취급 장비뿐만 아니라 폐기물취급장비 등의 유지보수에도 활용 가능하므로, 향후 실제 사용후핵연료를 이용하여 진행 중인 DUPIC핵연료개발 과제, 사용후핵연료차세대 관리기술개발과제 등 고방사성 물질을 이용한 연구과제 수행에 있어서 오염된 핵물질 취급장비의 유지보수 필요시 직접 현장 적용할 계획이다.

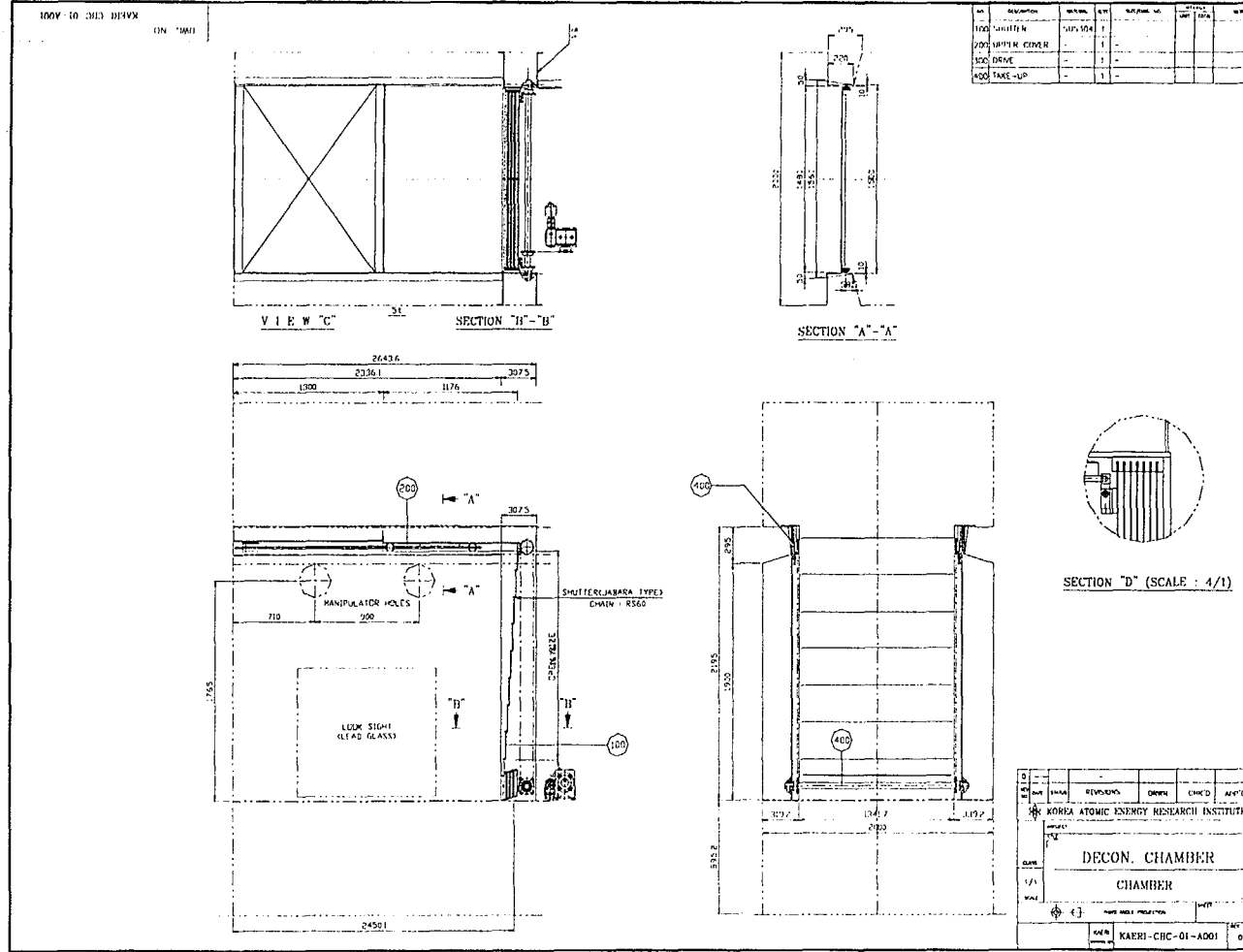
참고문헌

1. Burgess, T .W. *et al*, "Design Guidelines for Remotely Maintained Equipment," ORNL/TM-10864, (1988).
2. 박대규 외, "핵셀 설계기술" KAERI/AR-468/97(1997).
3. 양명승 외 "경·중수로연계핵연료기술개발-핵연료 제조 및 품질관리 기술개발" KAERI/RR-1744/96(1997).
4. 김기호 외, "경·중수로연계 핵연료 분말처리 제조장비개발" KAERI/TR-1328/99(1999).
5. 박장진 외 "경·중수로연계핵연료기술개발-핵연료시설 기술개발" KAERI/RR-2009/99(2000).

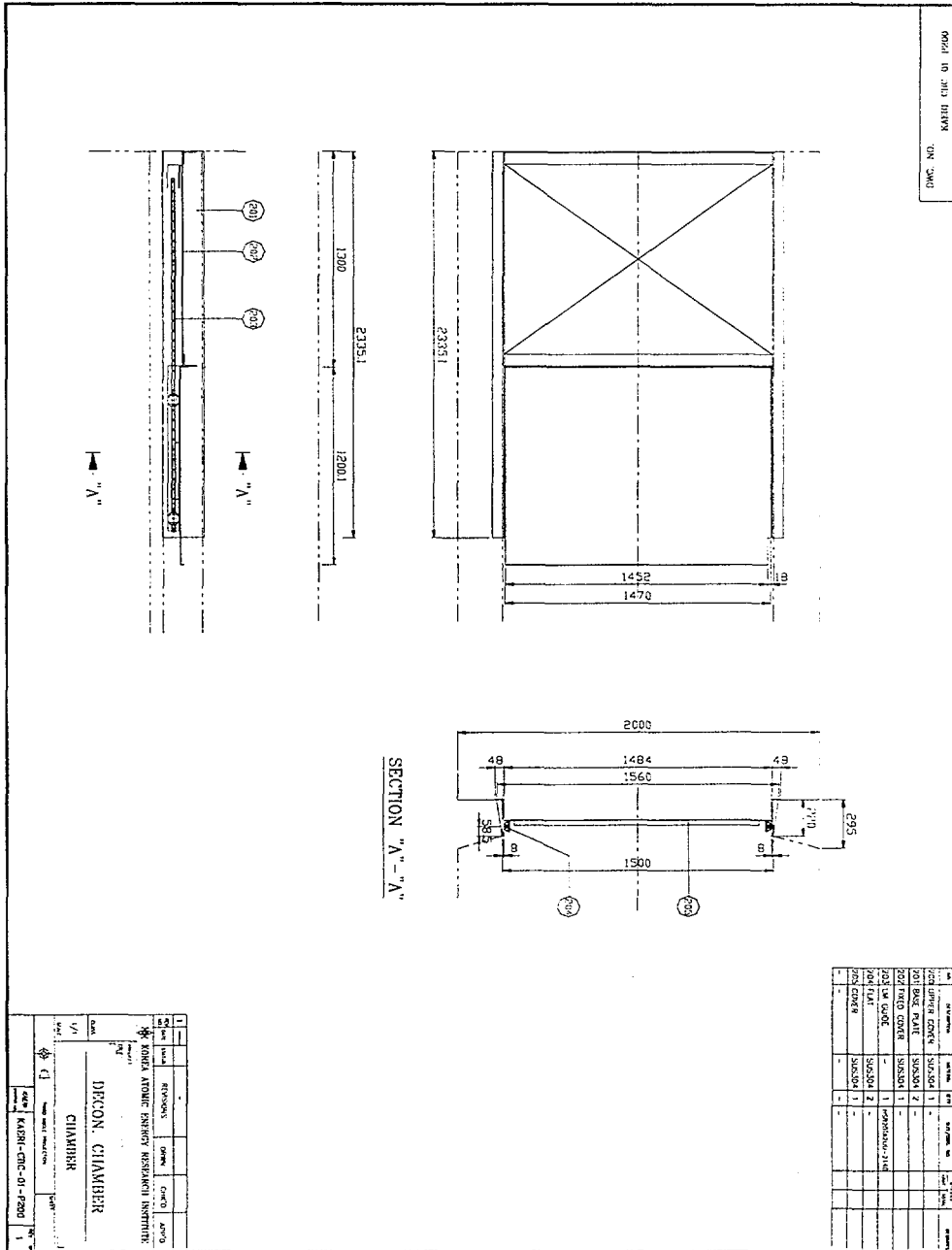
부 록

A-1-1. 제염체임버 외형도	2
A-2-1. 제염체임버 수평개폐모듈 외형도	3
A-2-2. 제염체임버 수평개폐모듈 부품도	4
A-3-1. 제염체임버 수직개폐모듈 외형도	9
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도	10
A-4-1. 제염체임버 보조도어모듈 외형도	29
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도	30
A-5-1. 제염체임버 회전모듈 외형도	38
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도	39
A-6-1. 제염체임버 파지모듈 외형도	55
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도	56
A-7-1. 제염체임버 통합제어반 외형도	71
A-7-2. 제염체임버 통합제어반 부품도	72

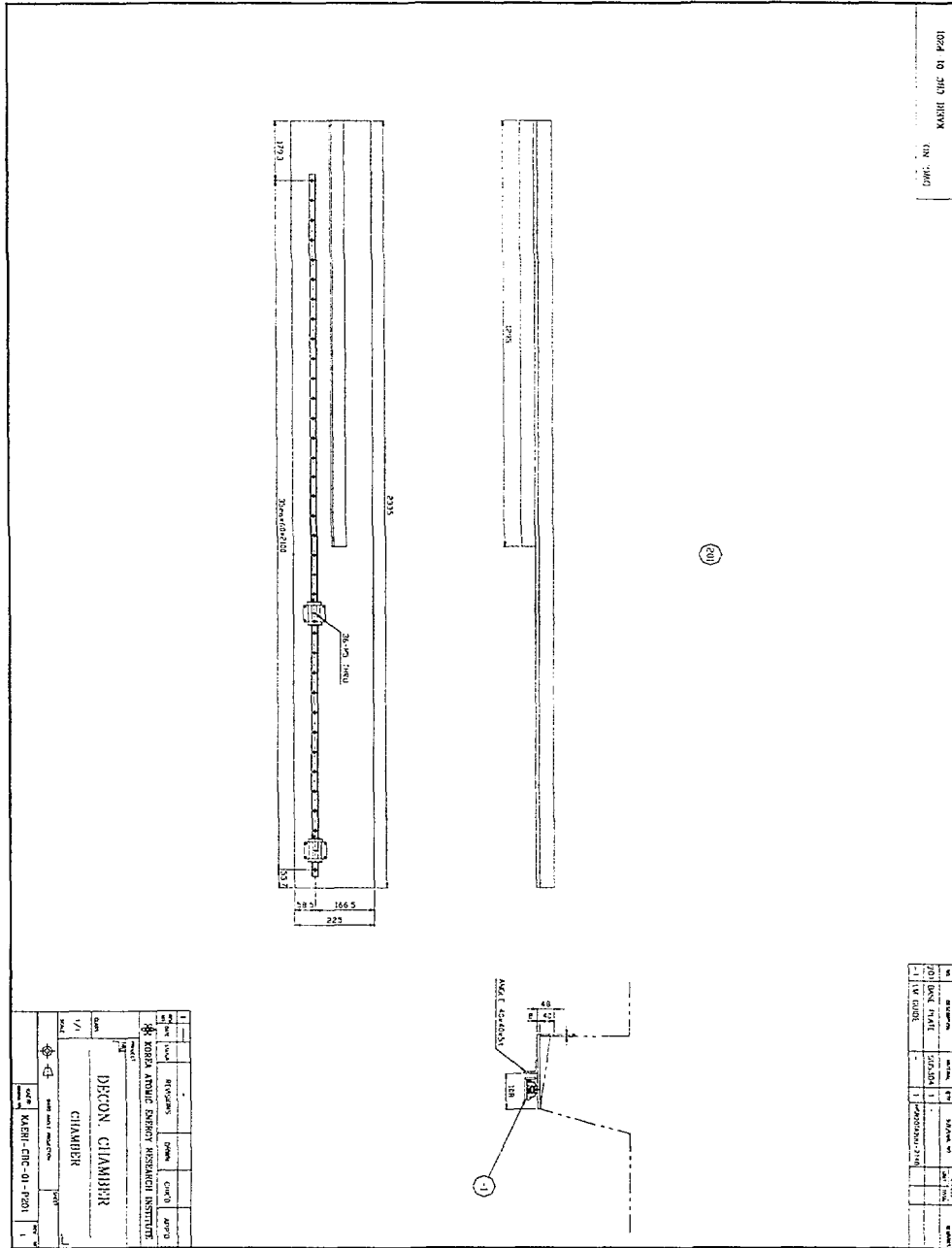
A-1-1. 제염챔버 외형도



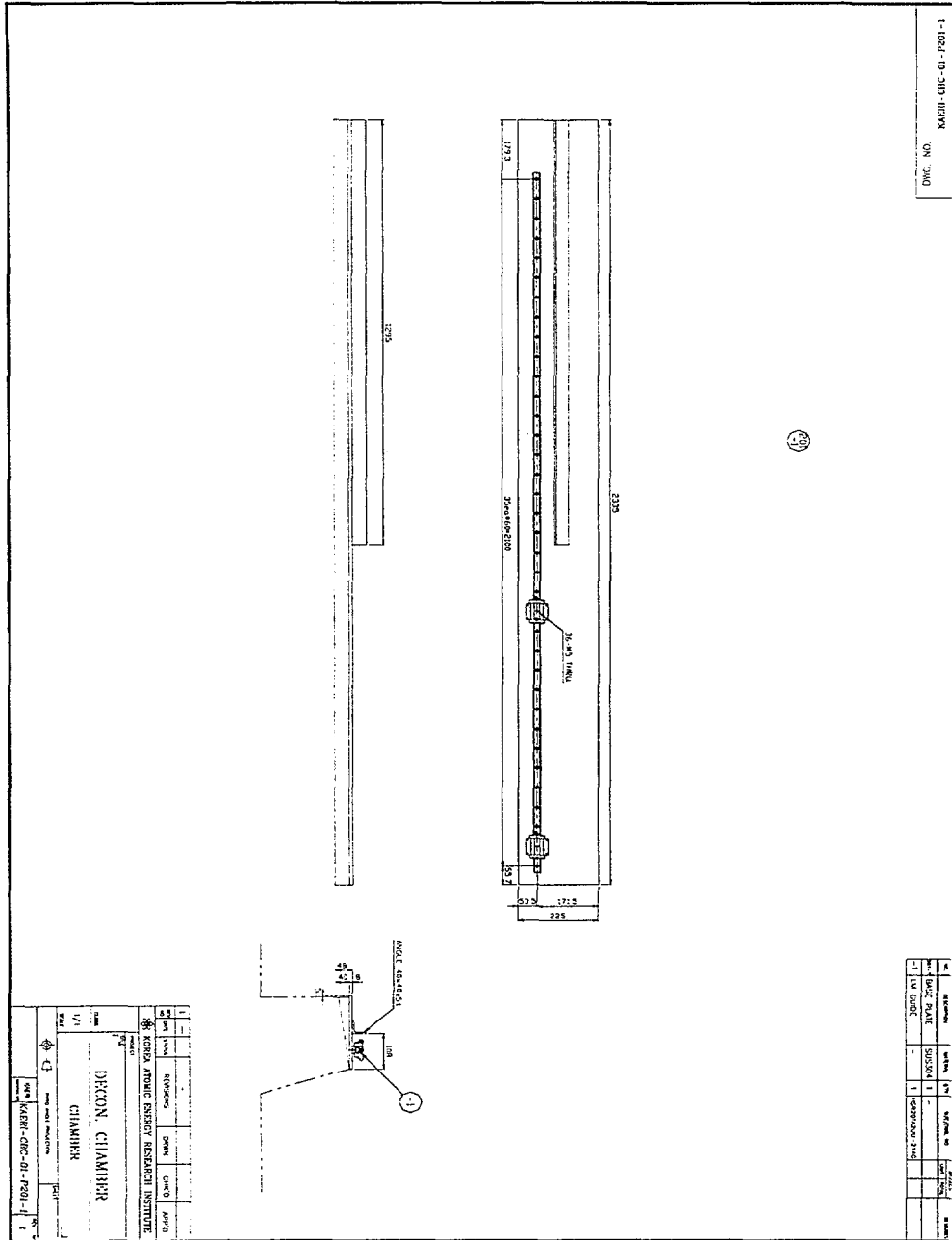
A-2-1. 제염채임버 수평개폐모듈 외형도



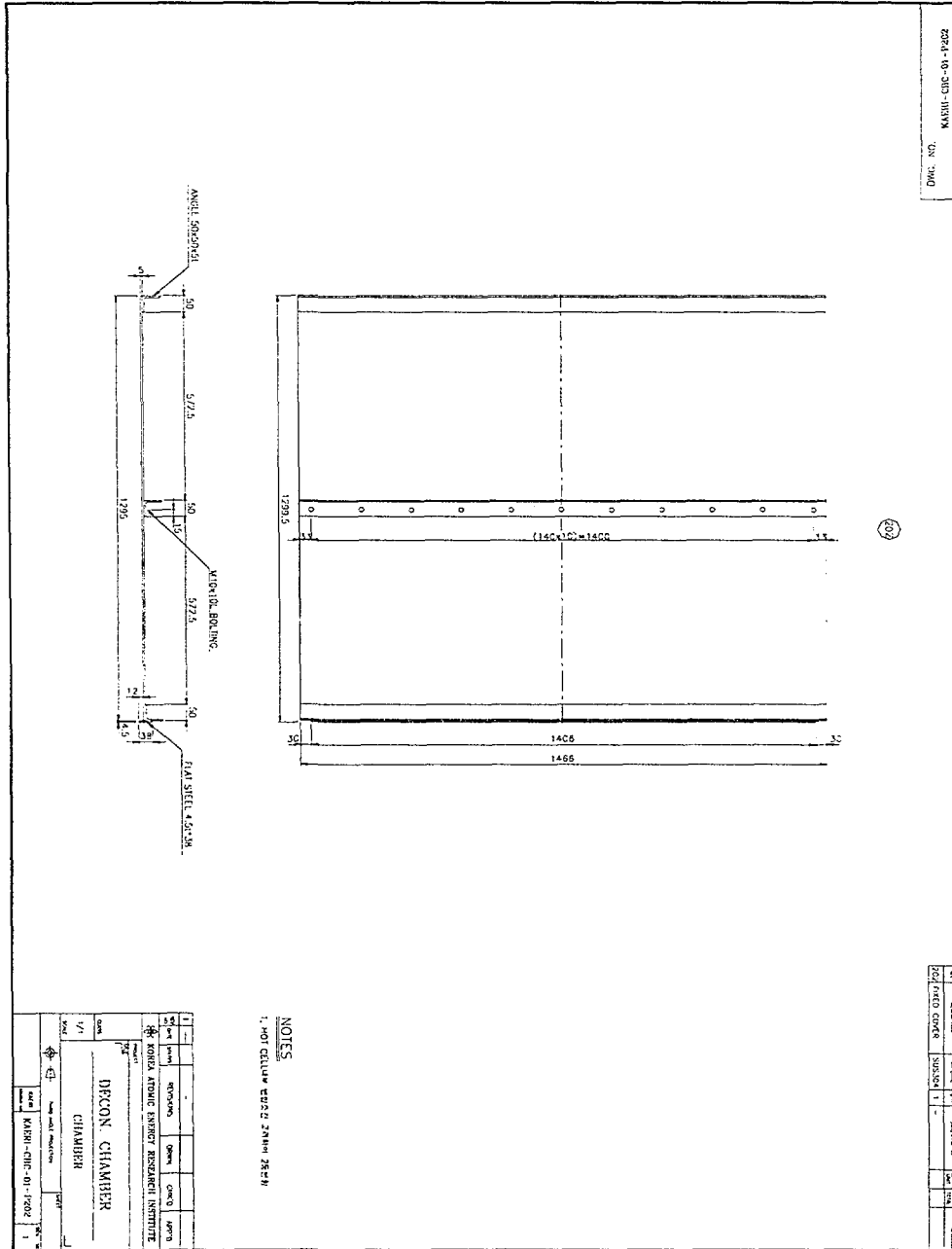
A-2-2. 제염챔버 수평개폐모듈 부품도



A-2-2. 제염채임버 수평개폐모듈 부품도(계속)



A-2-2. 제염챔버 수평개폐모듈 부품도(계속)



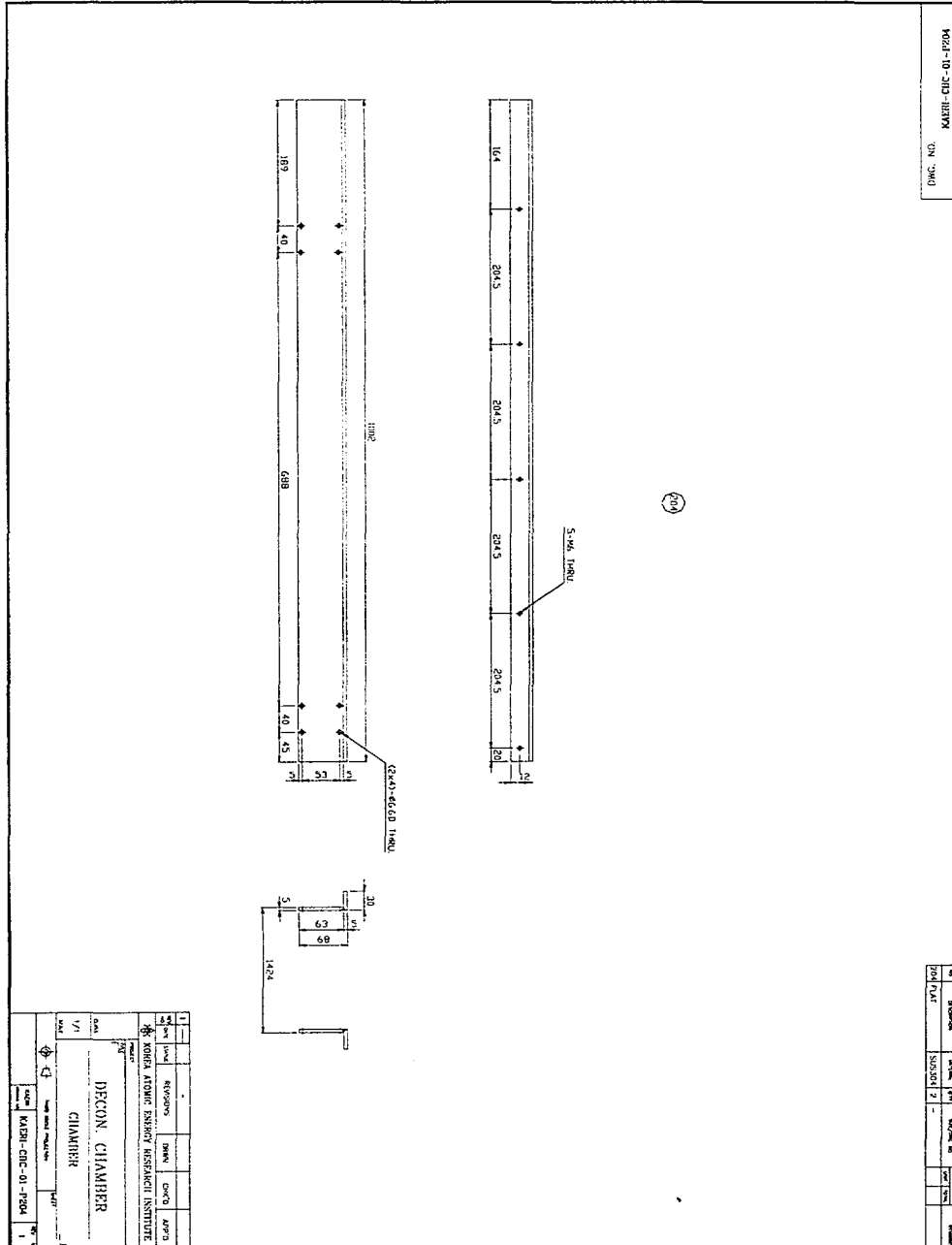
DWG. NO. KARIH-CIP-01-1202

NO.	REVISION	DATE	BY	CHK
202	FIELD CHANG	2023.04.11	YUNJUN	YUNJUN

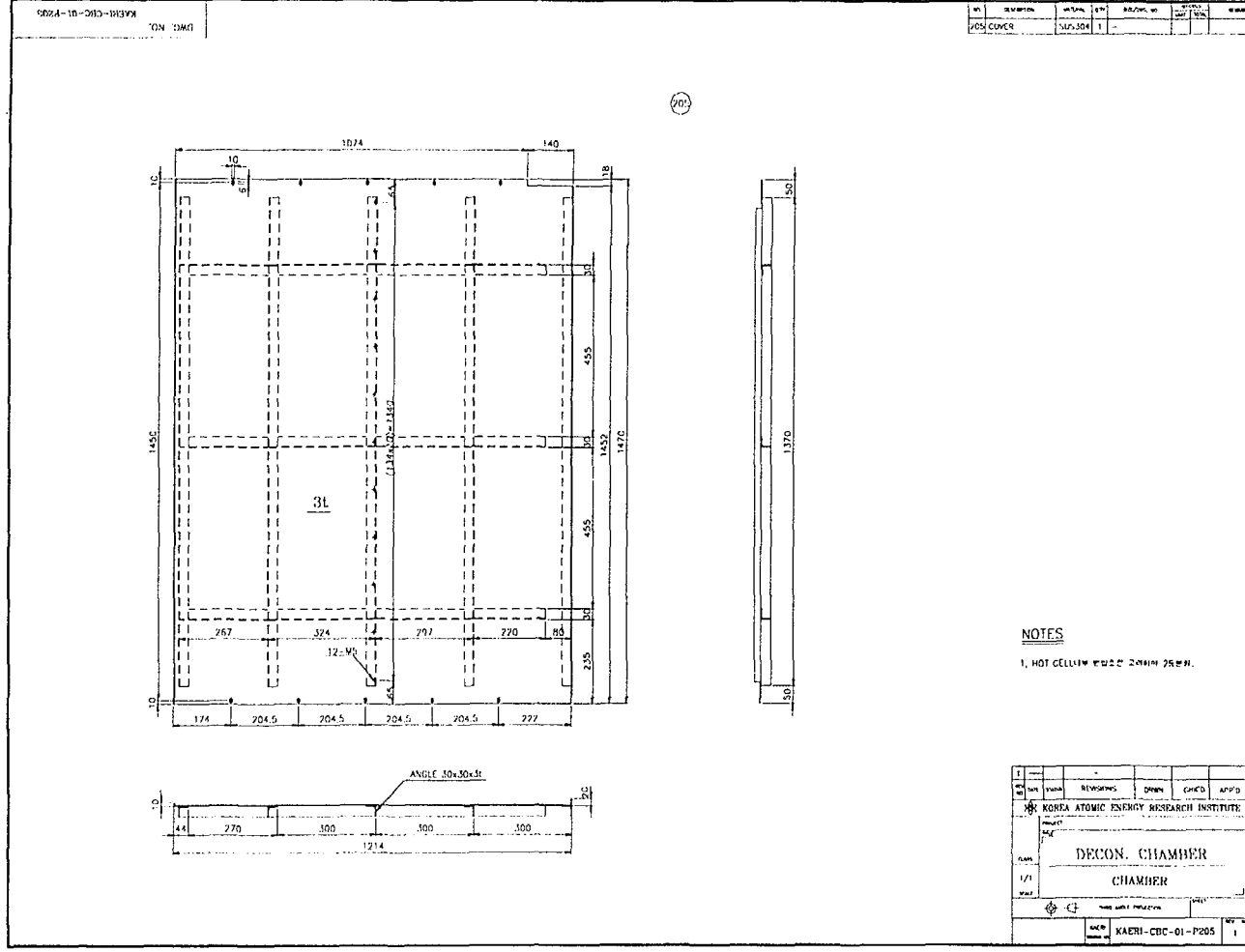
NOTES
1. PAV. CELLUM ERSEI 21MM 282#

DATE	1/1	SCALE	1:1
PROJECT	DECON. CHAMBER		
CLIENT	KORAEA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE		
DESIGNER	YUNJUN	CHECKER	YUNJUN
DATE	2023.04.11	SCALE	1:1
PROJECT	KARIH-CIP-01-1202		

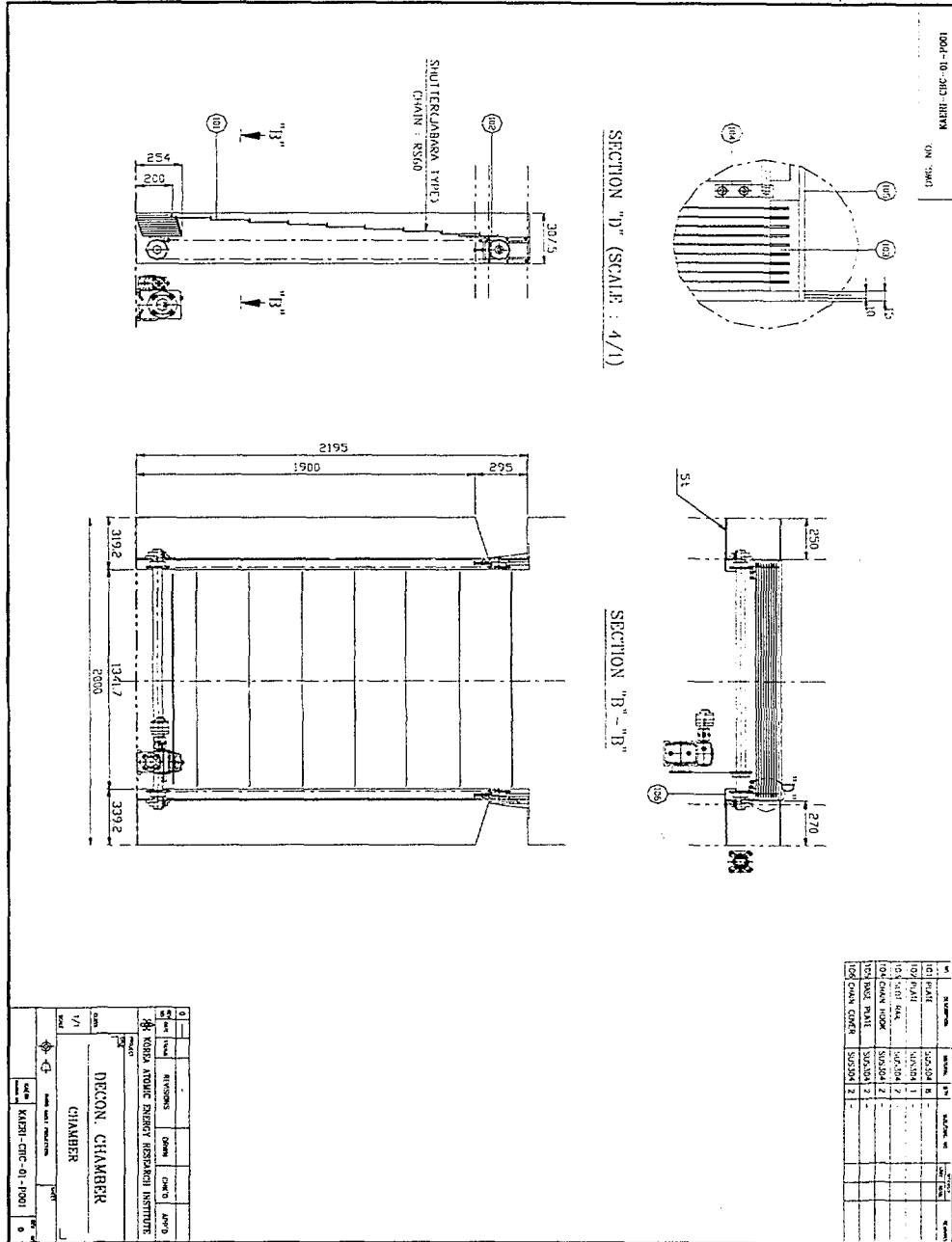
A-2-2. 제염챔버 수평개폐모듈 부품도(계속)



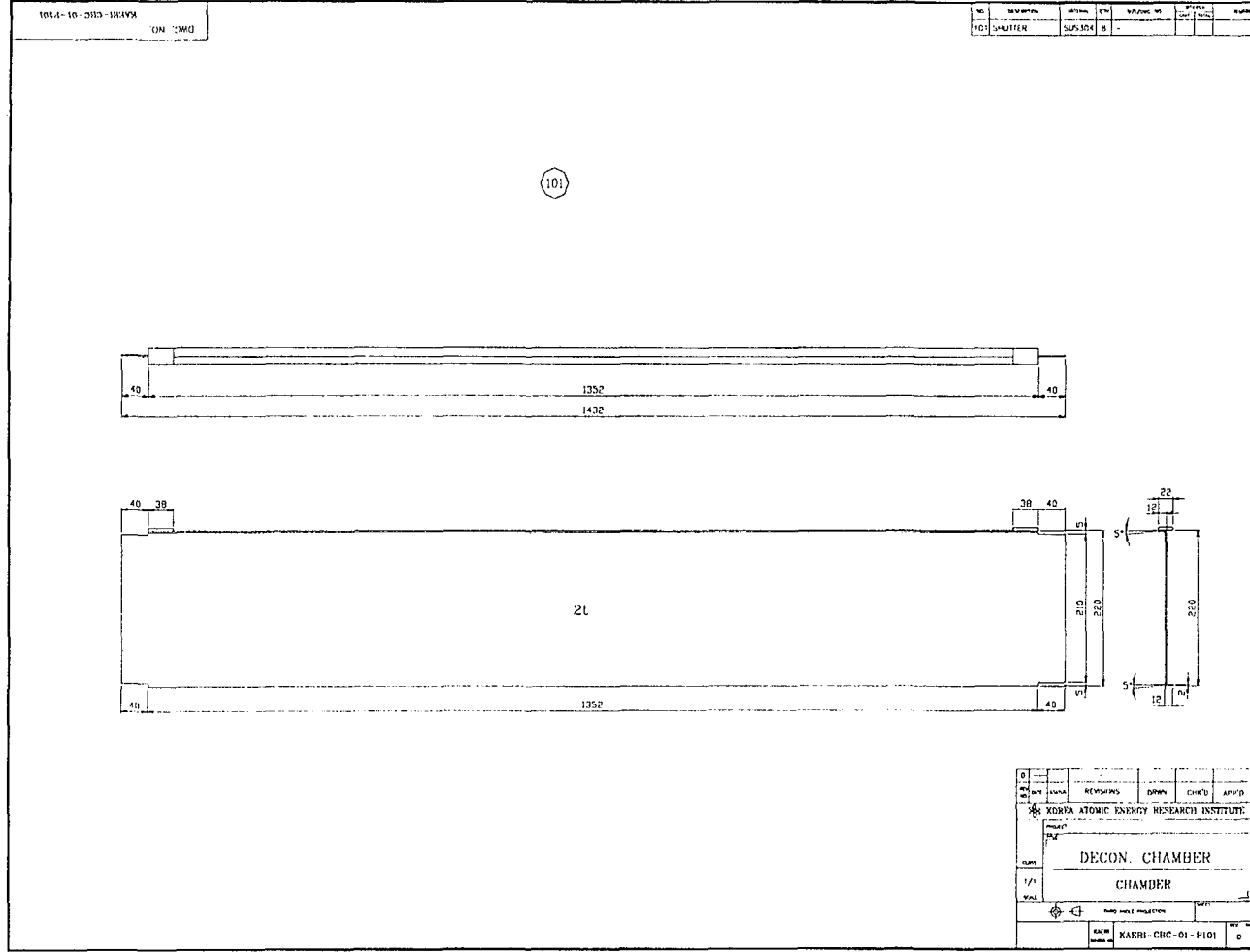
A-2-2. 제염체임버 수평개폐모듈 부품도(계속)



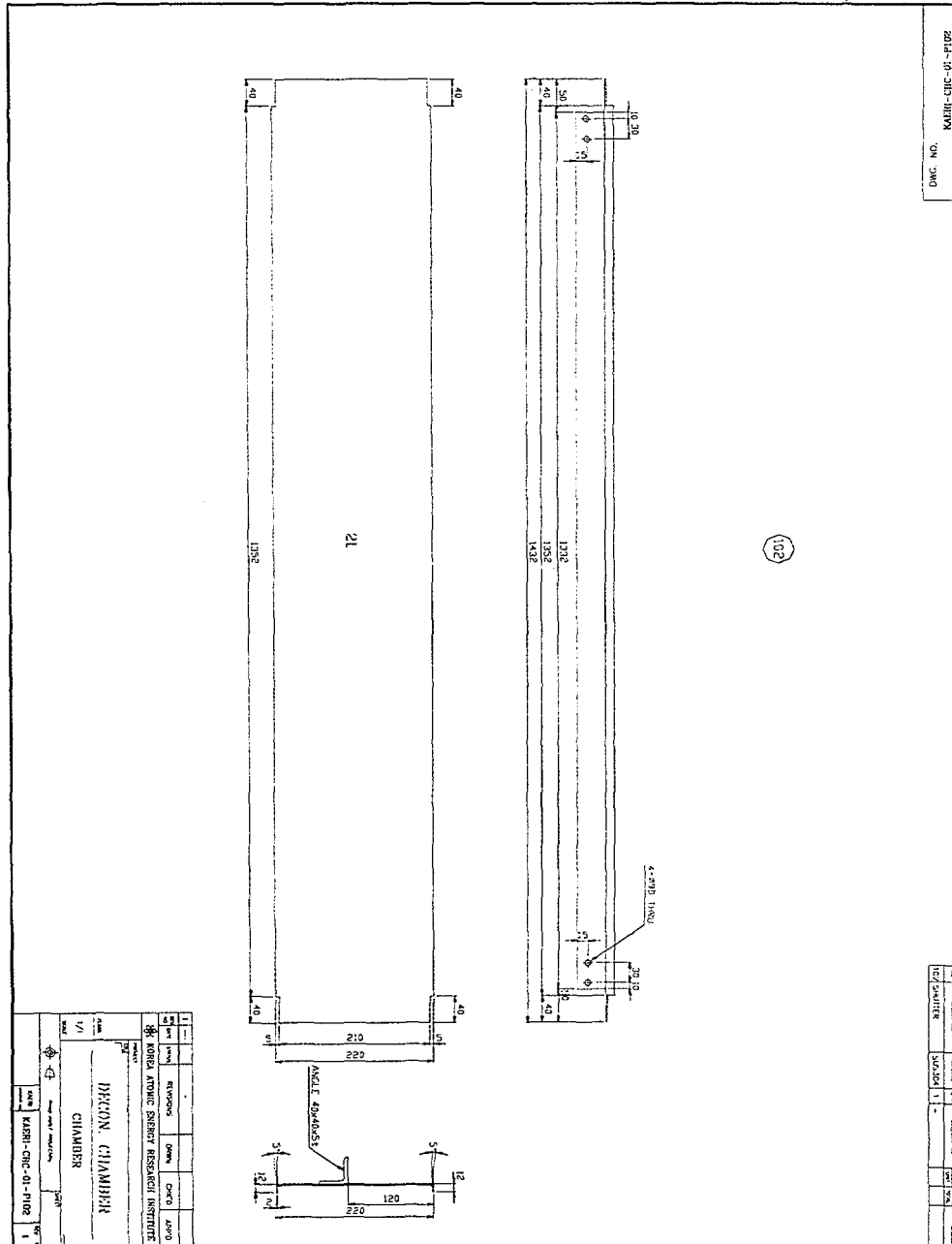
A-3-1. 제염챔버 수직개폐모듈 외형도



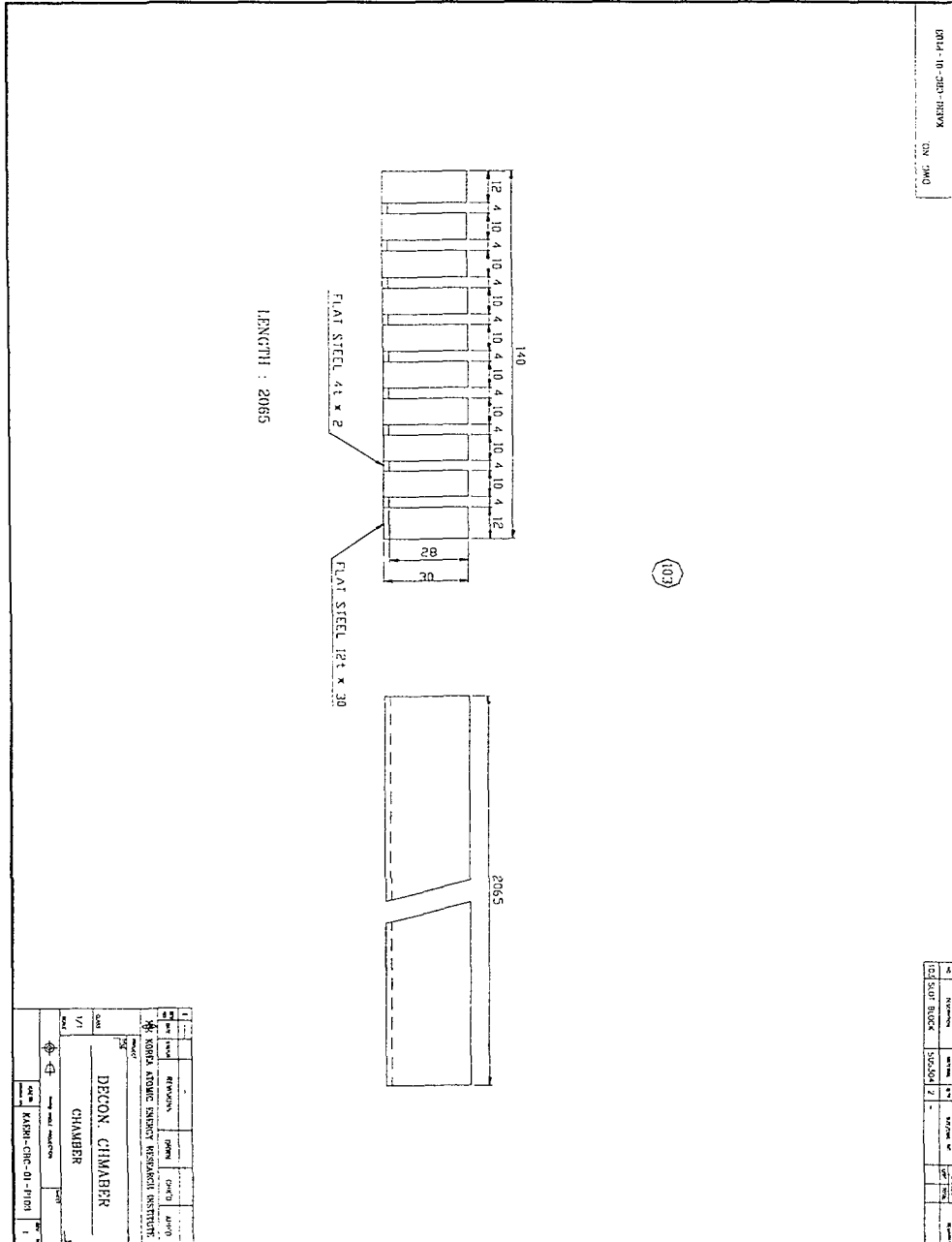
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도



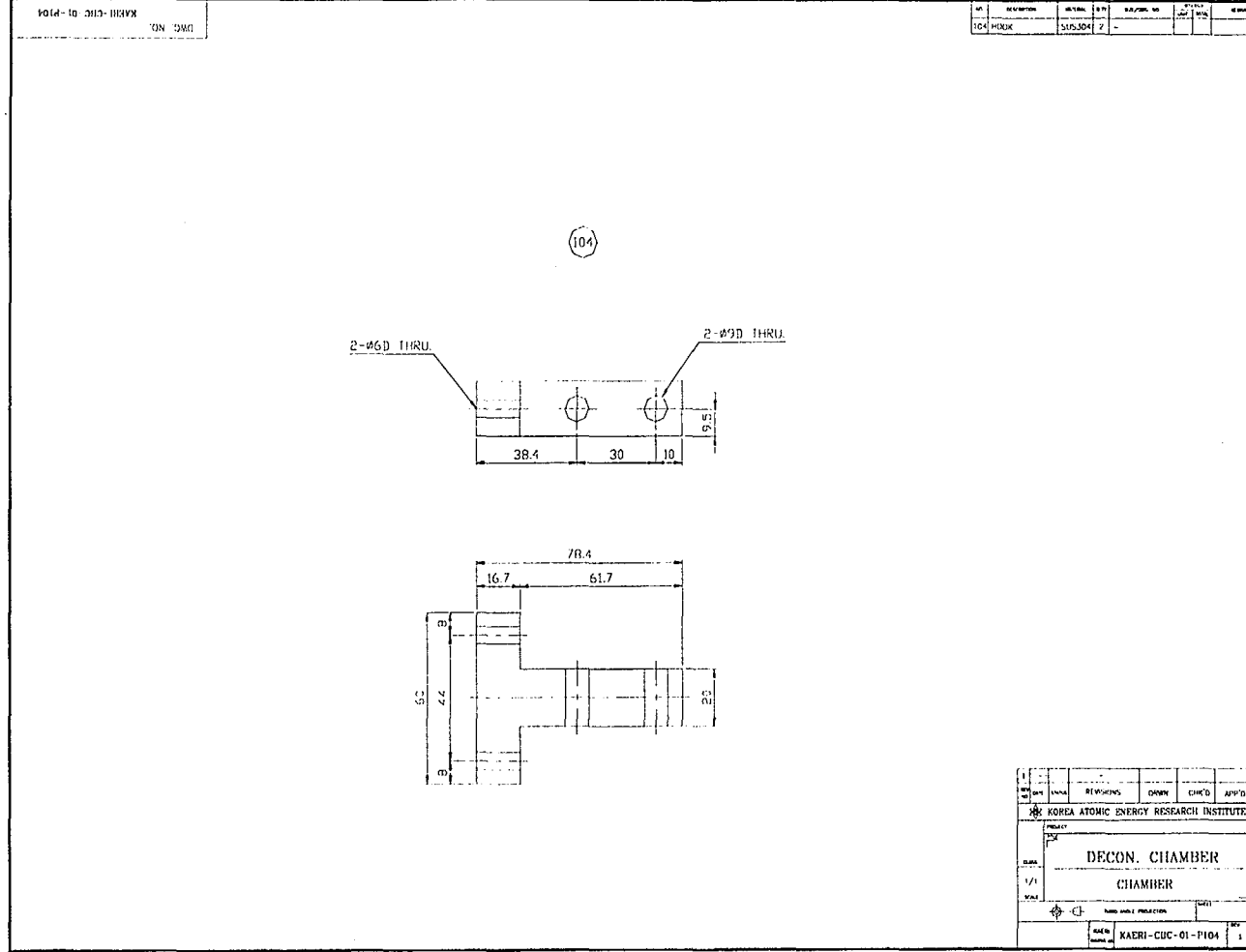
A-3-2. 제염챔버 수직개폐모듈 부품도(계속)



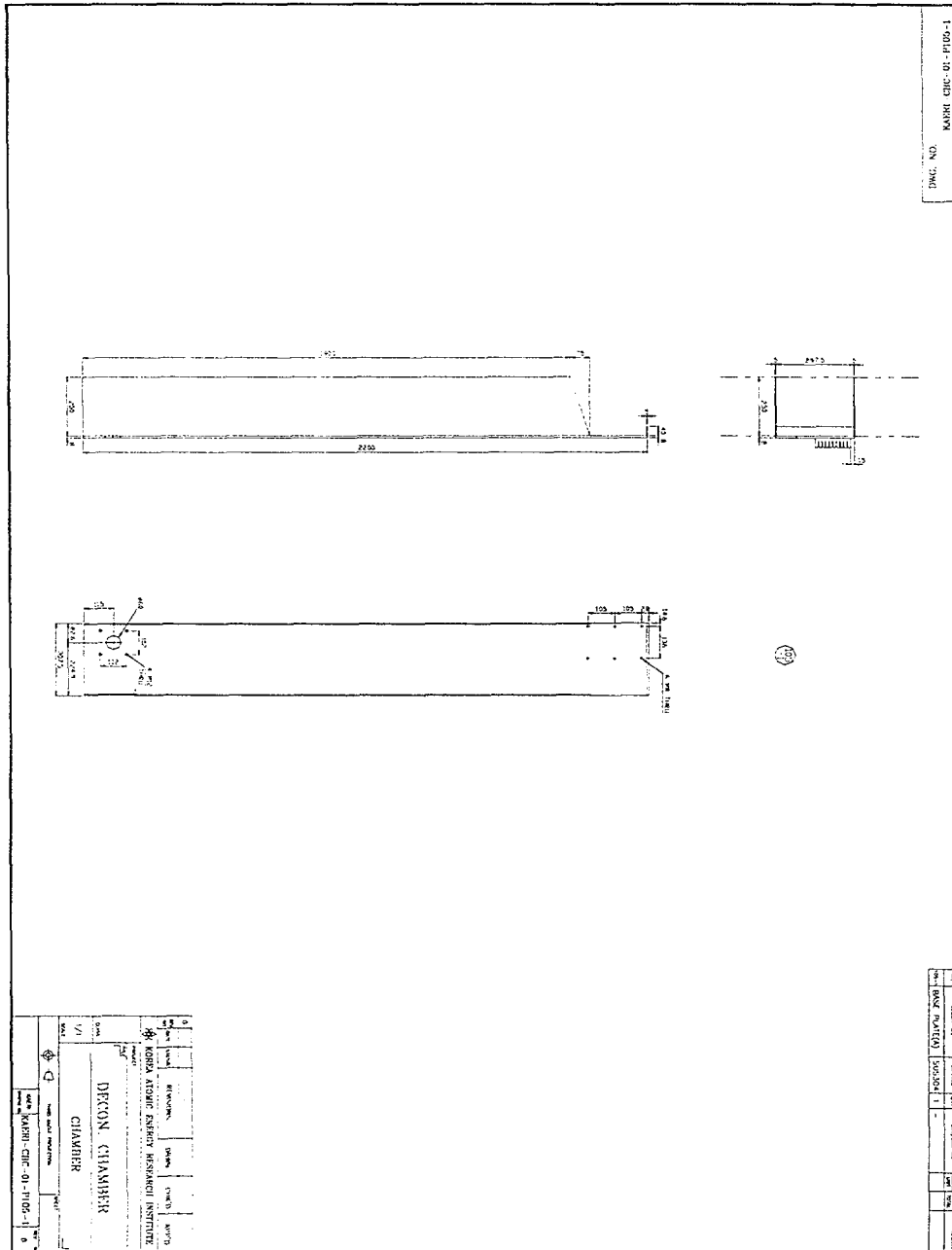
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



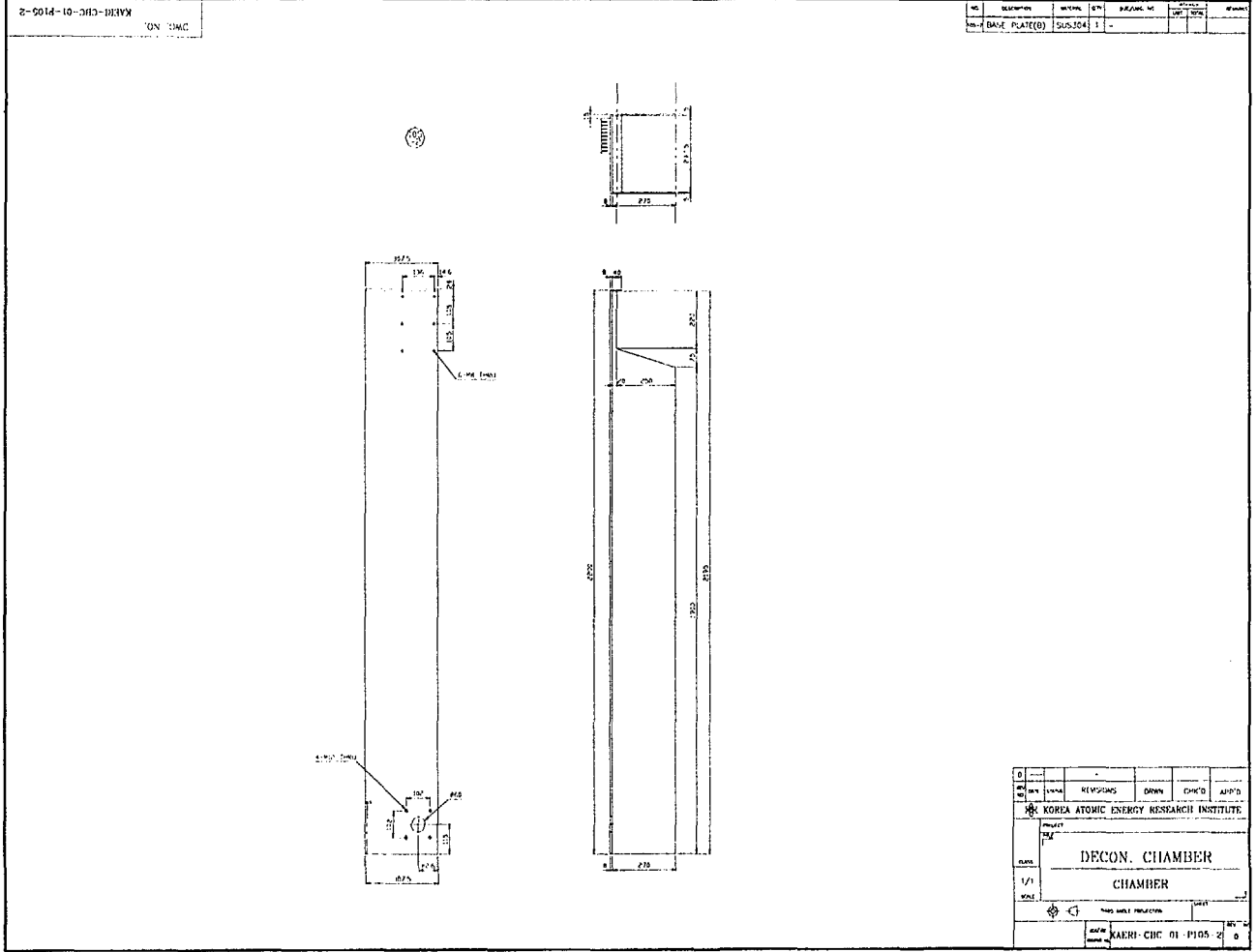
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



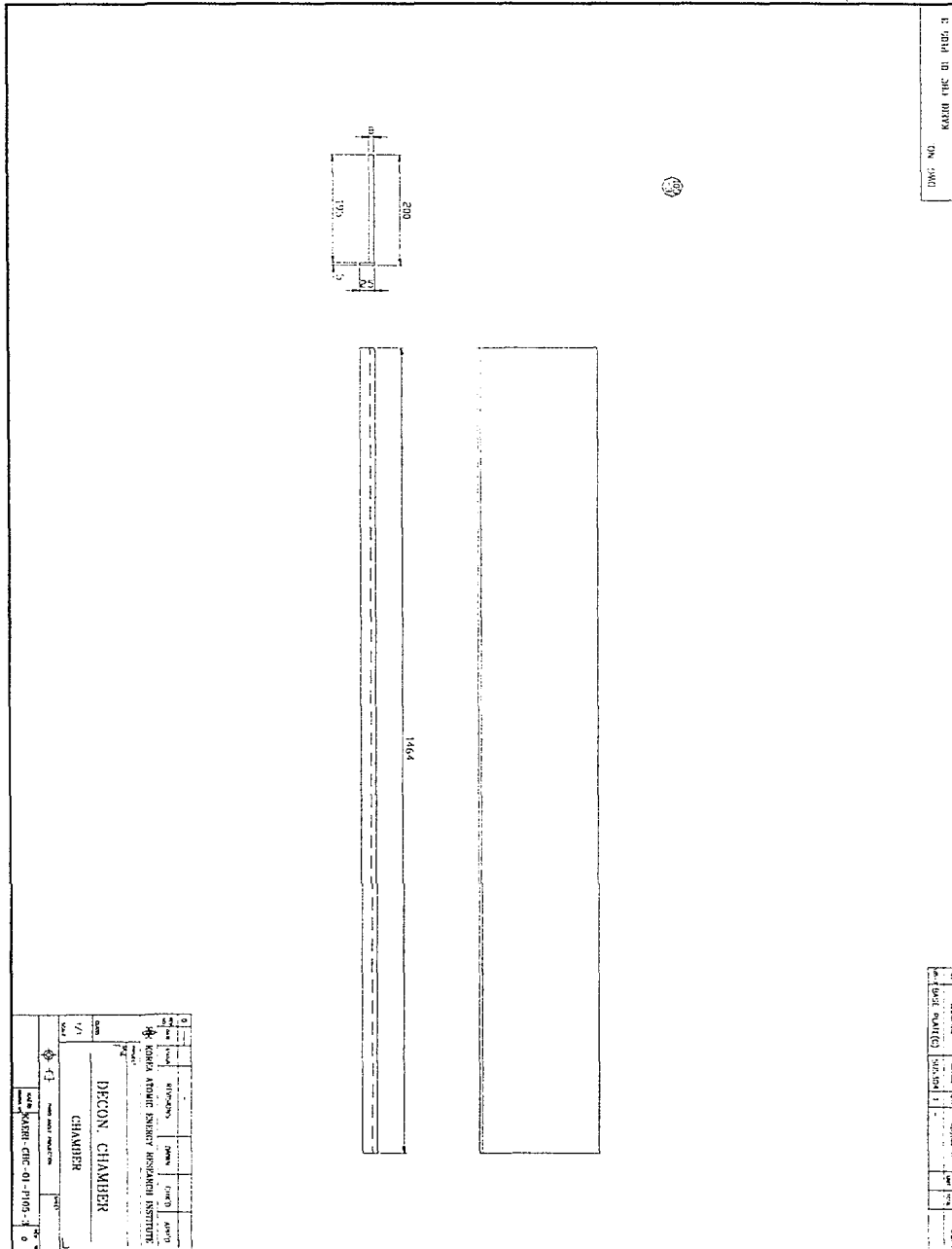
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



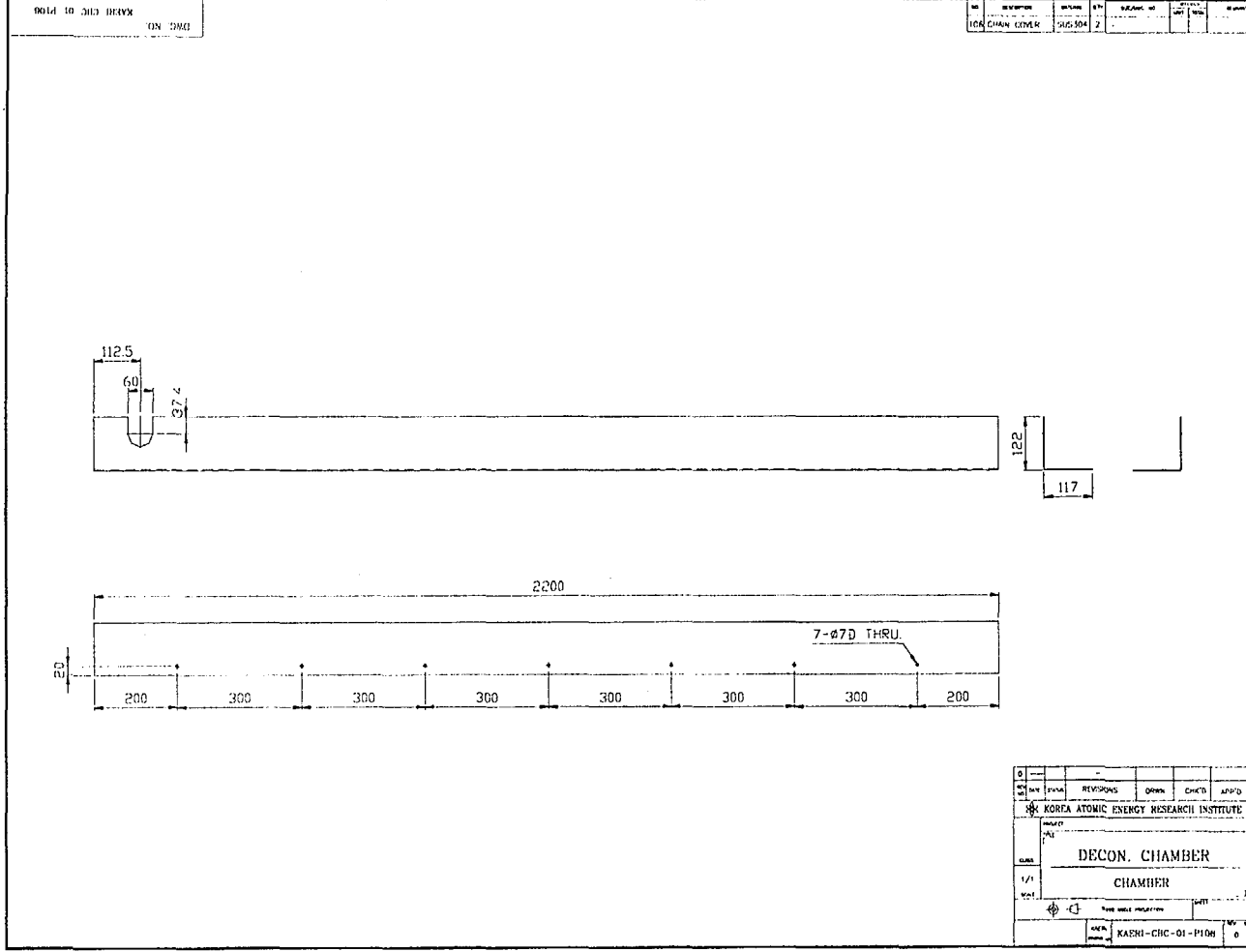
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



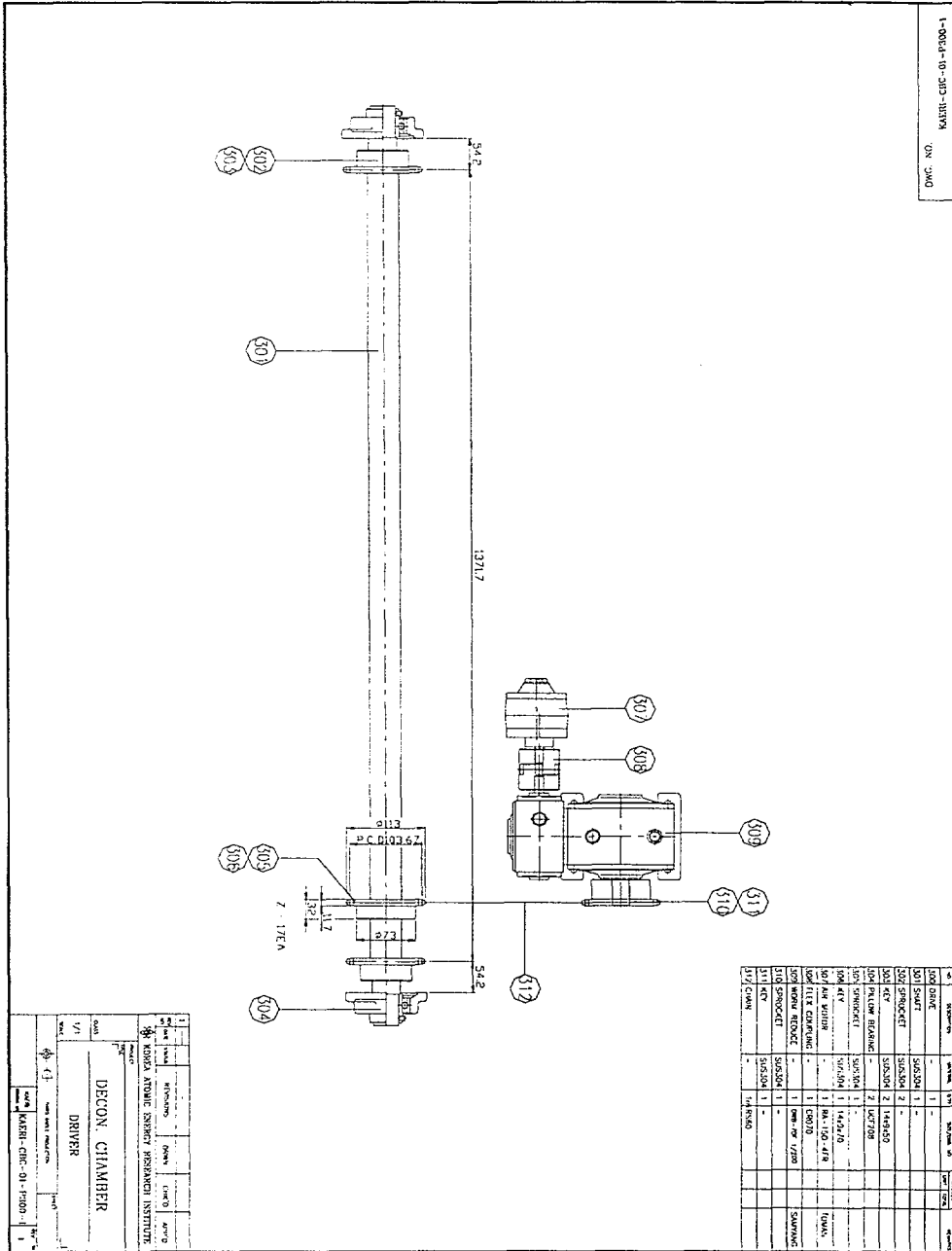
A-3-2. 제염채임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



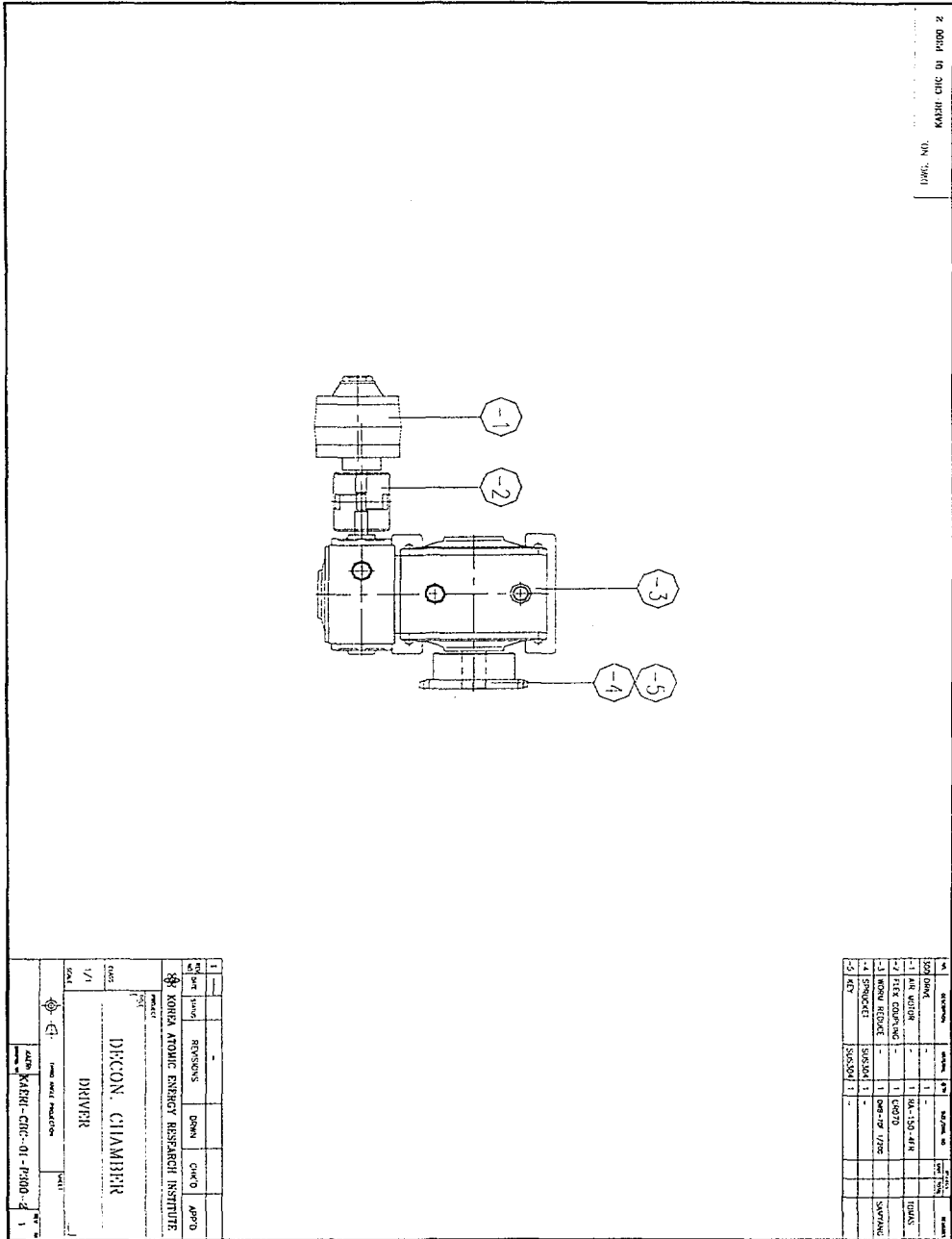
A-3-2. 제염제임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



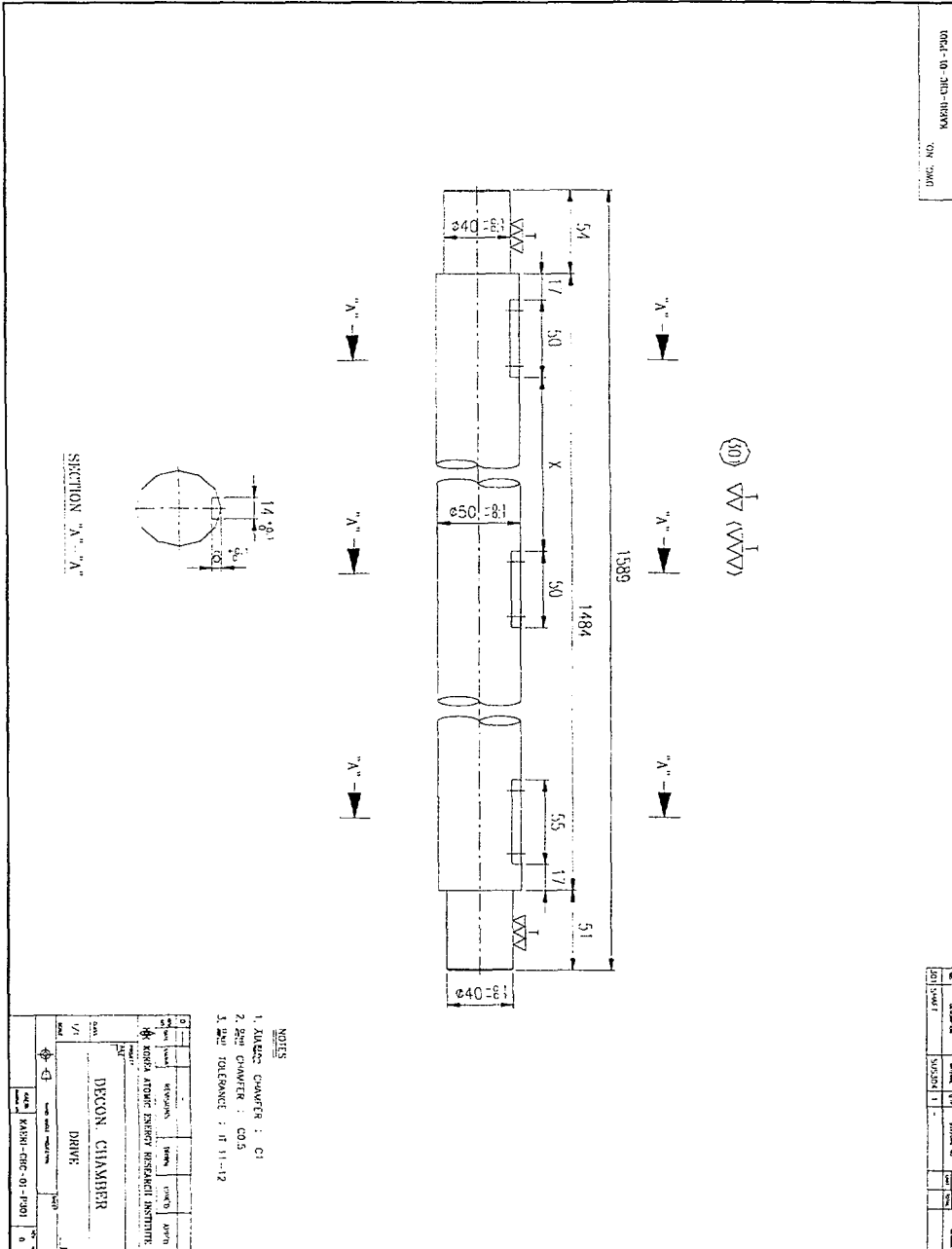
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



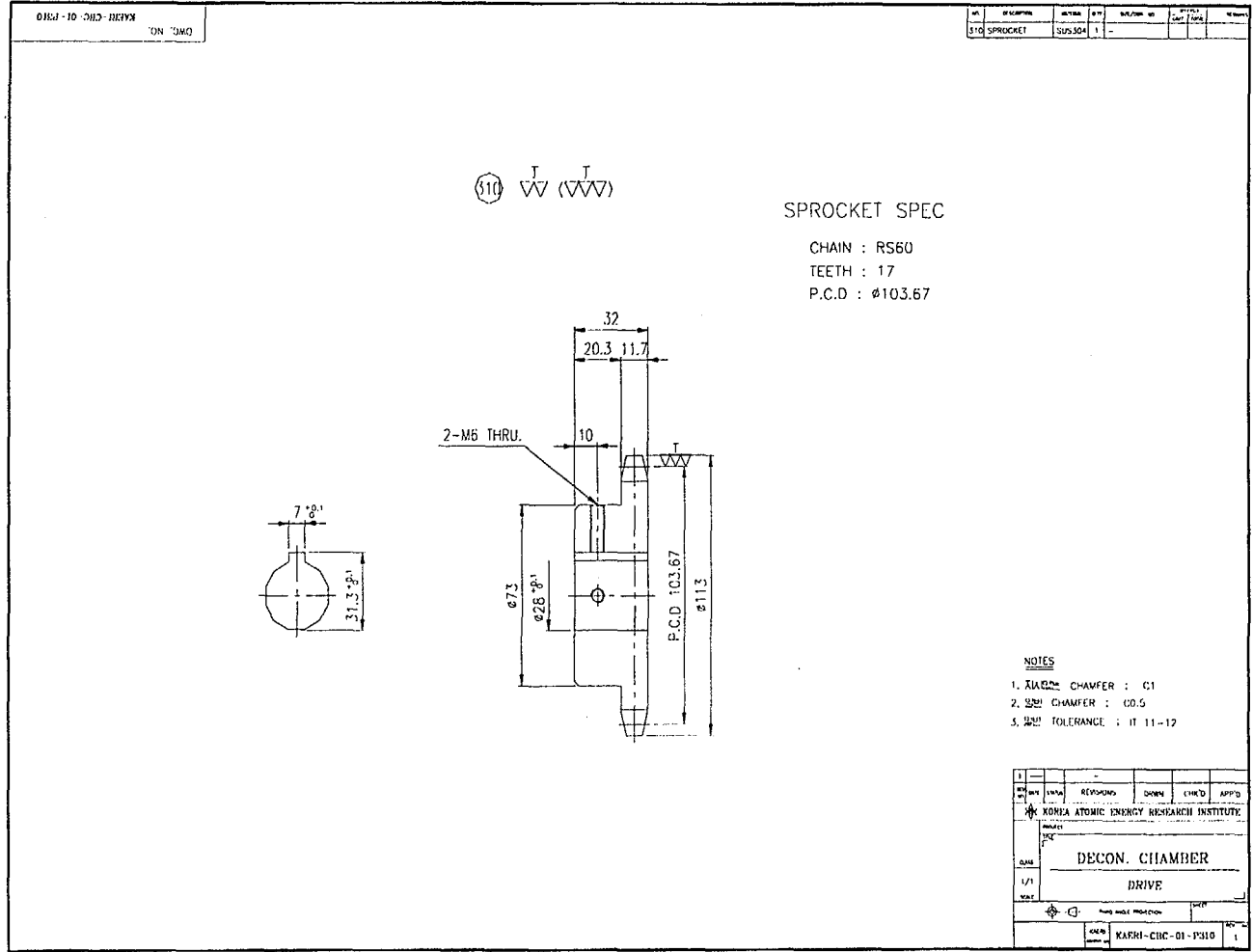
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



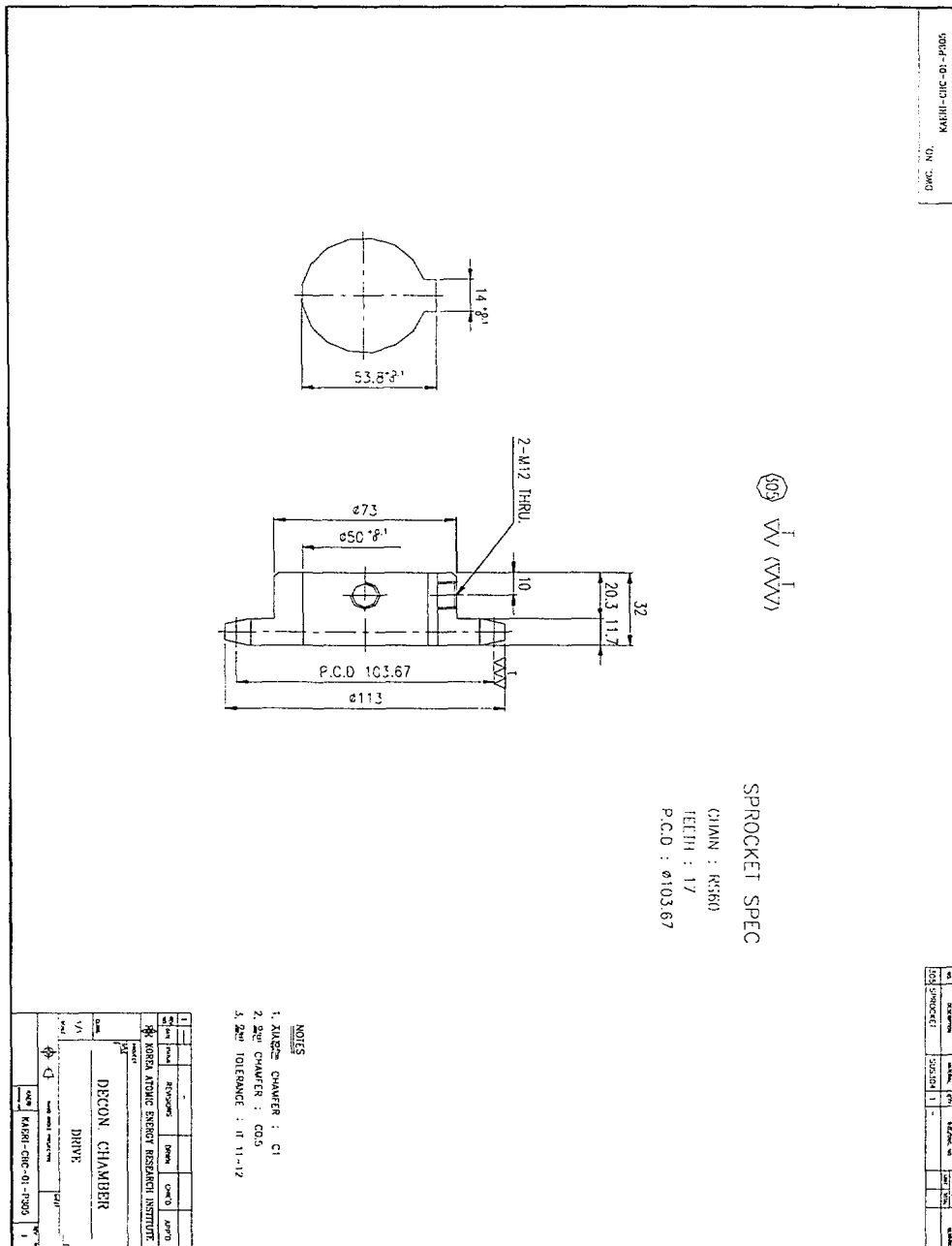
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



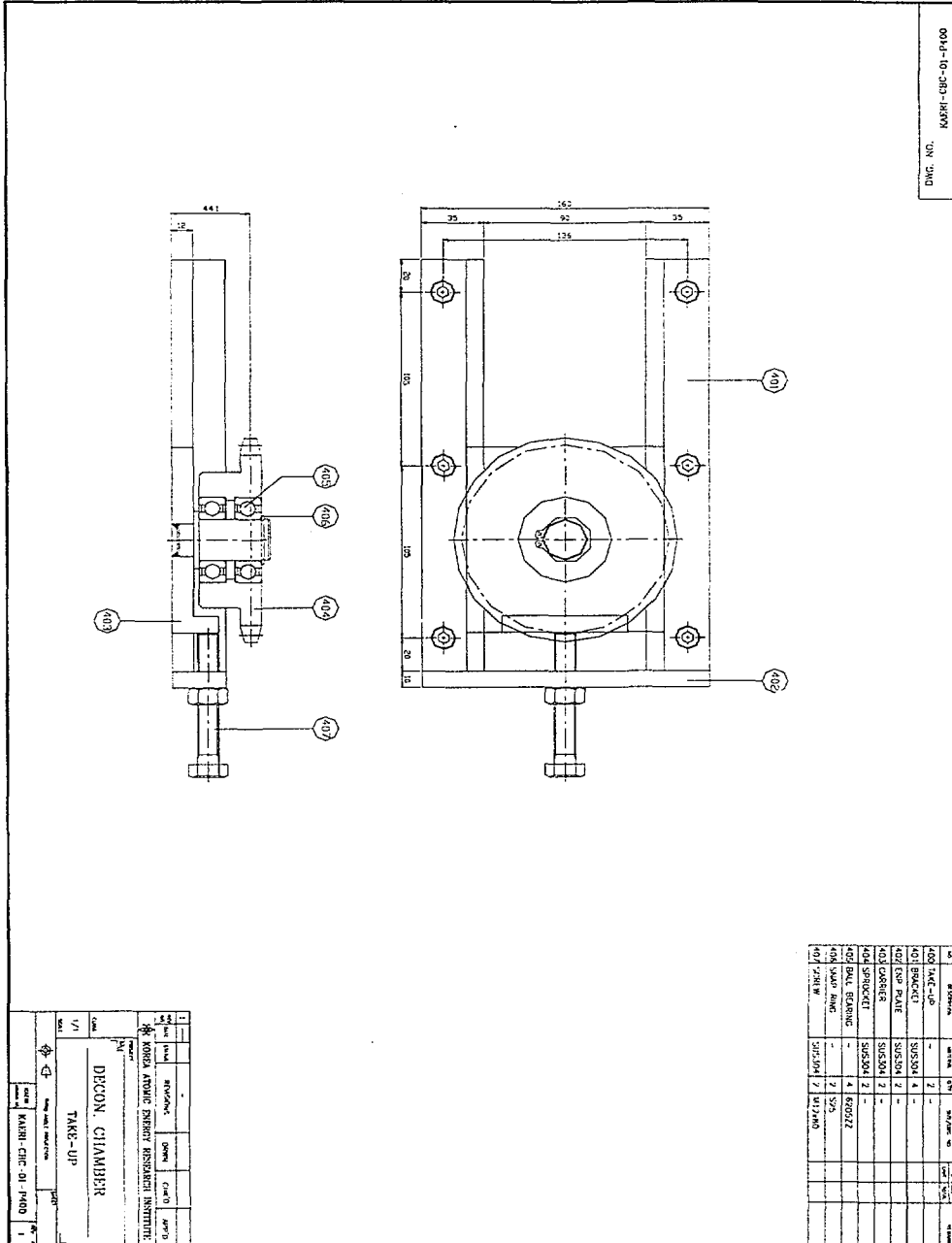
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



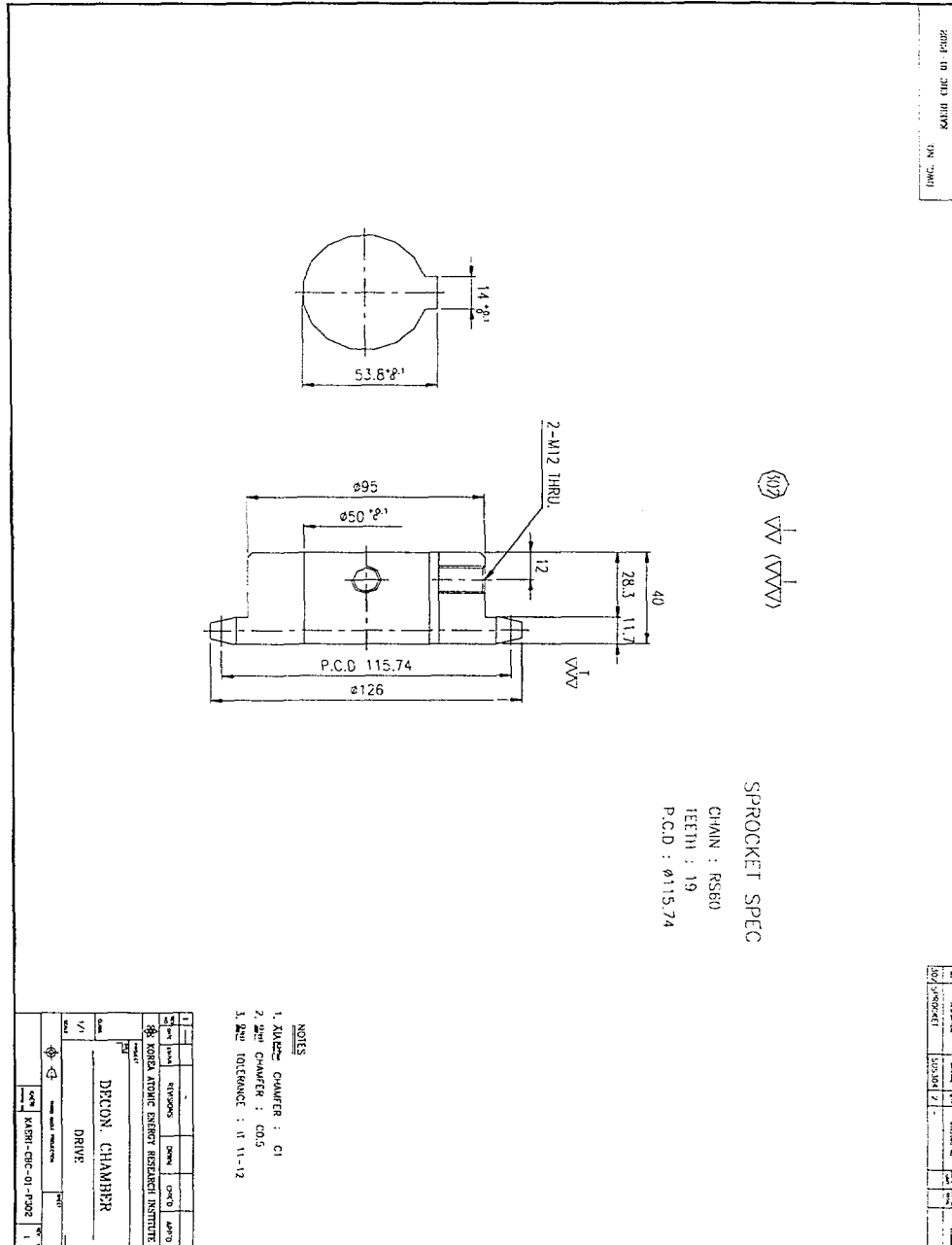
A-3-2. 제염채임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



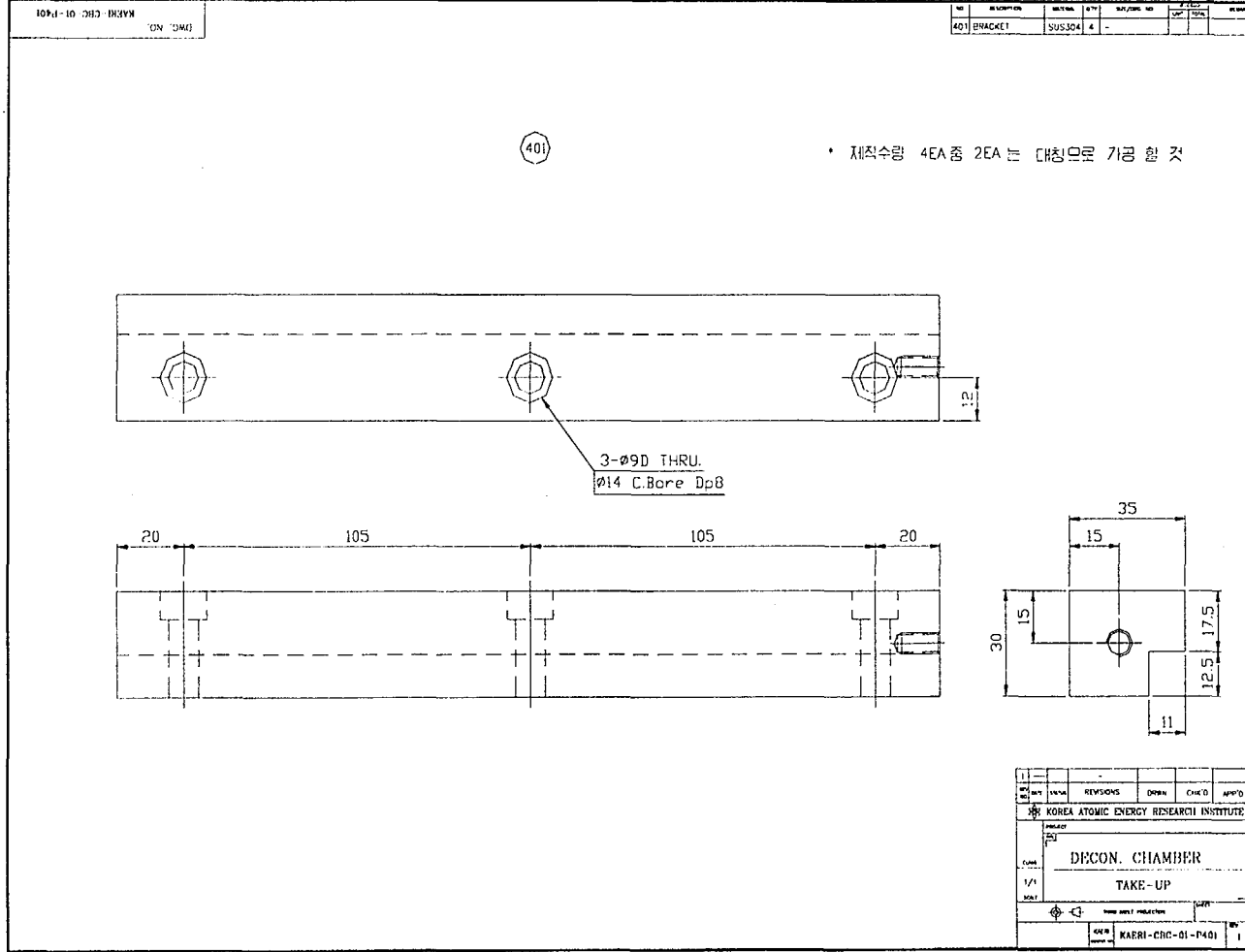
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



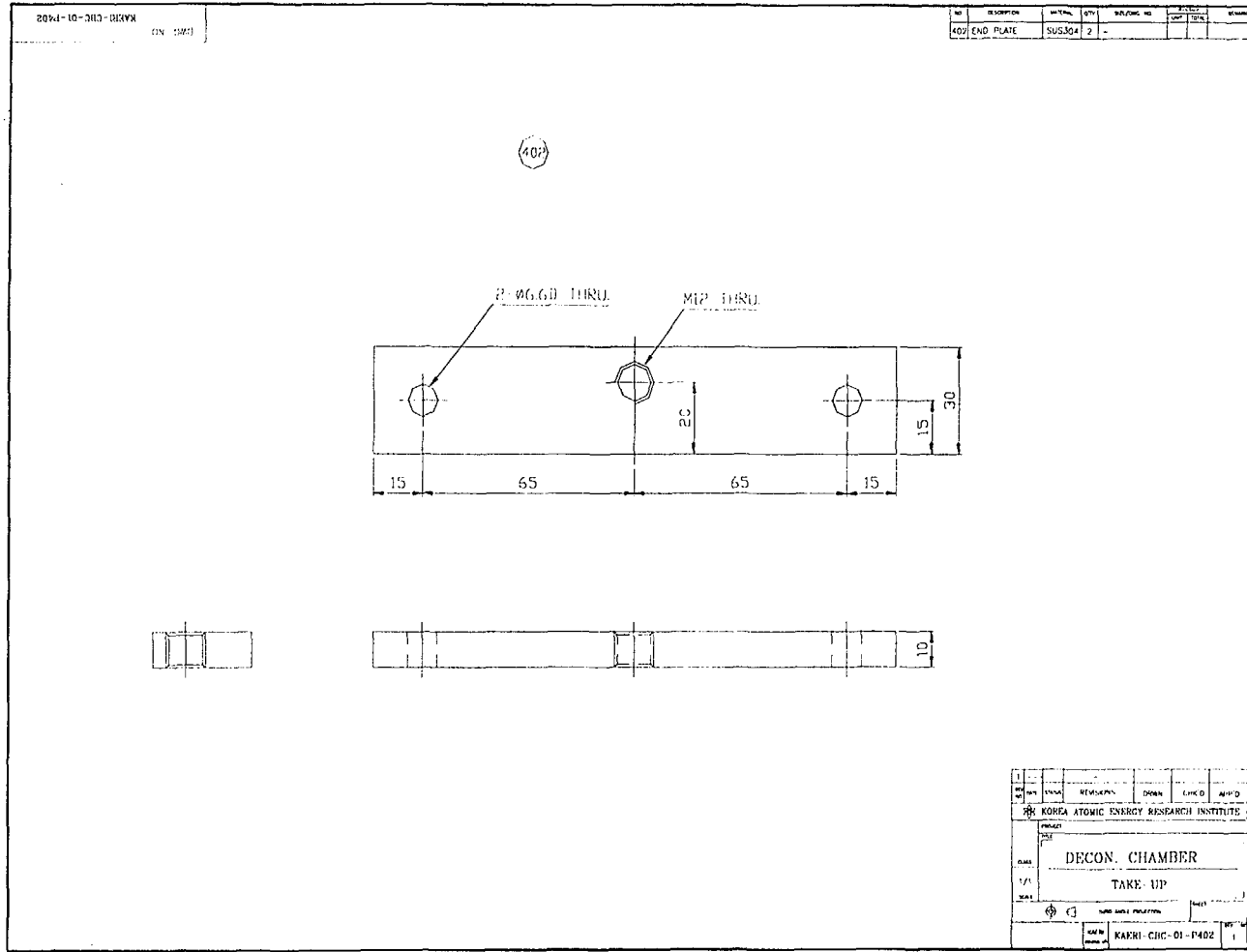
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



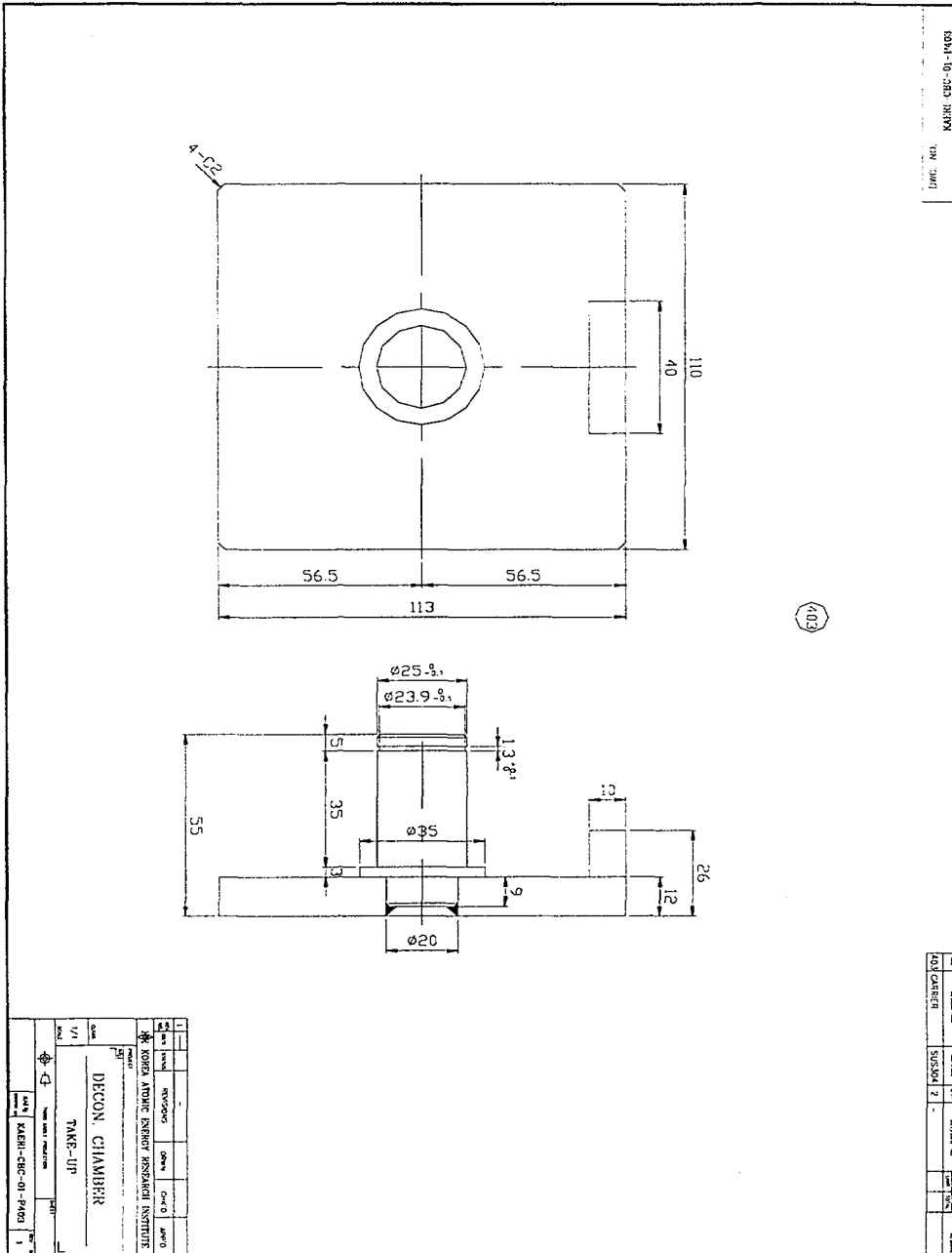
A-3-2. 제염체임버 수직개폐모듈 부품도(계속)



A-3-2. 제염챔버 수직개폐모듈 부품도(계속)



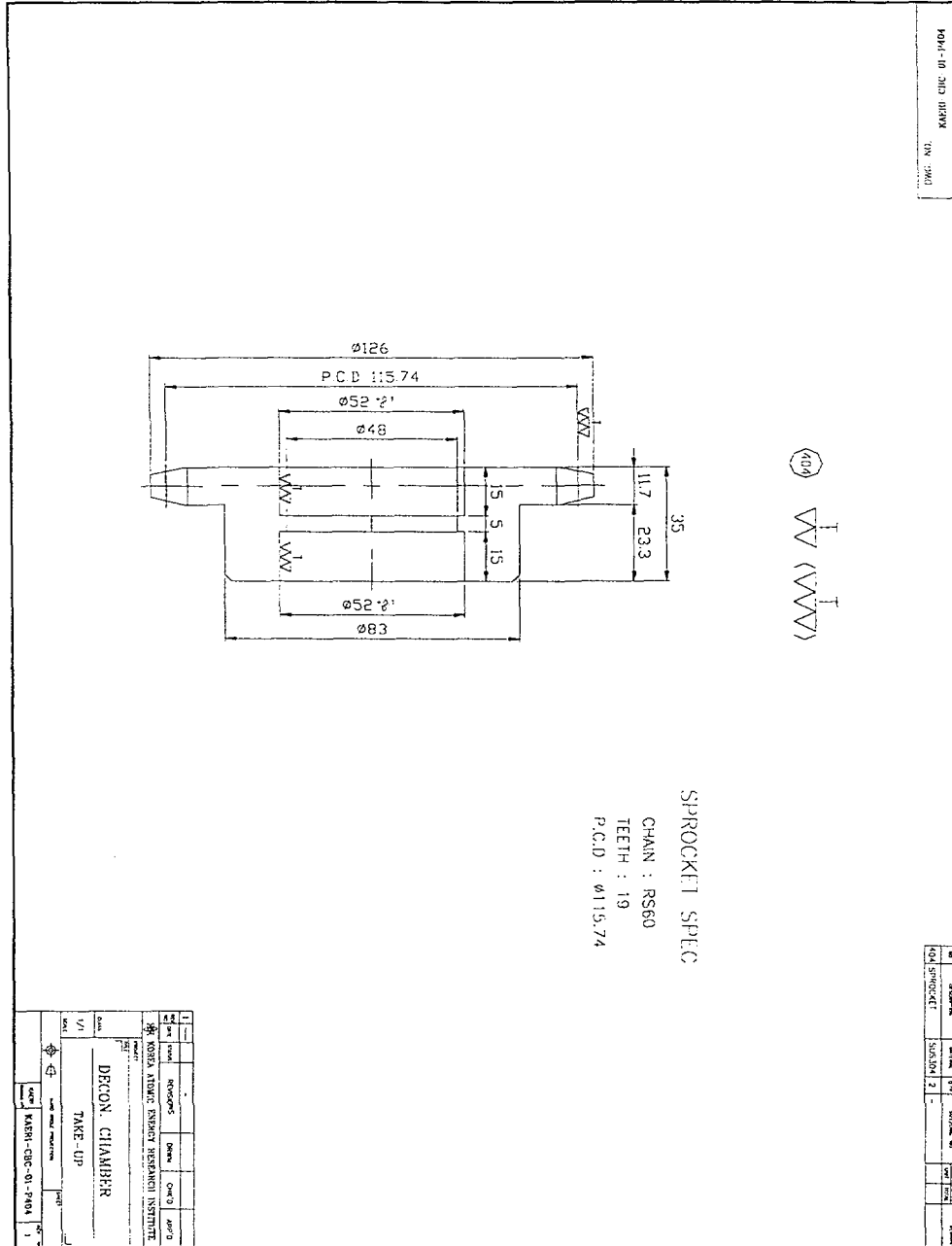
A-3-2. 제염챔버 수직개폐모듈 부품도(계속)



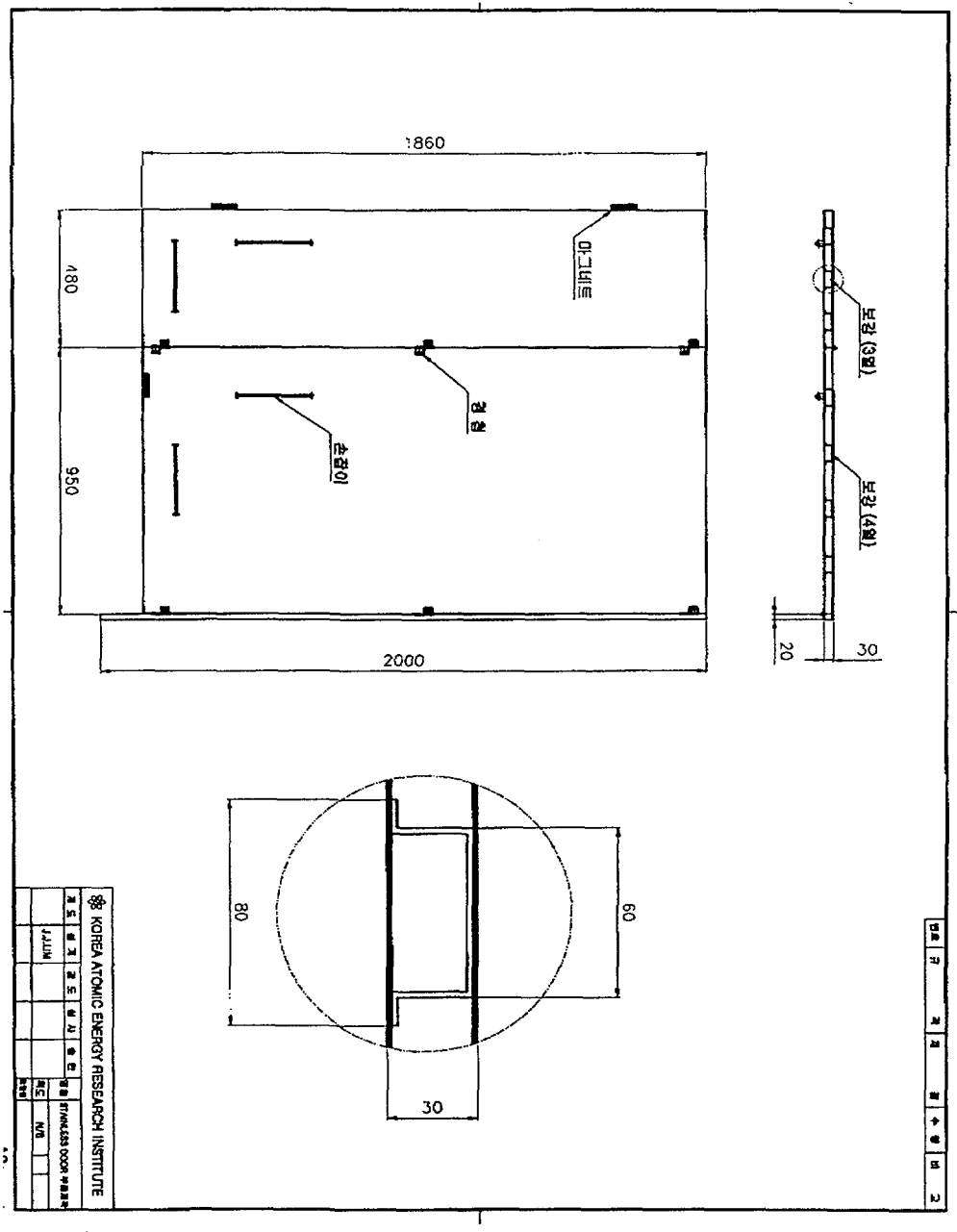
DWG. NO. KARI-CBC-01-1403

REV	DESCRIPTION	DATE	BY
1	REVISED		

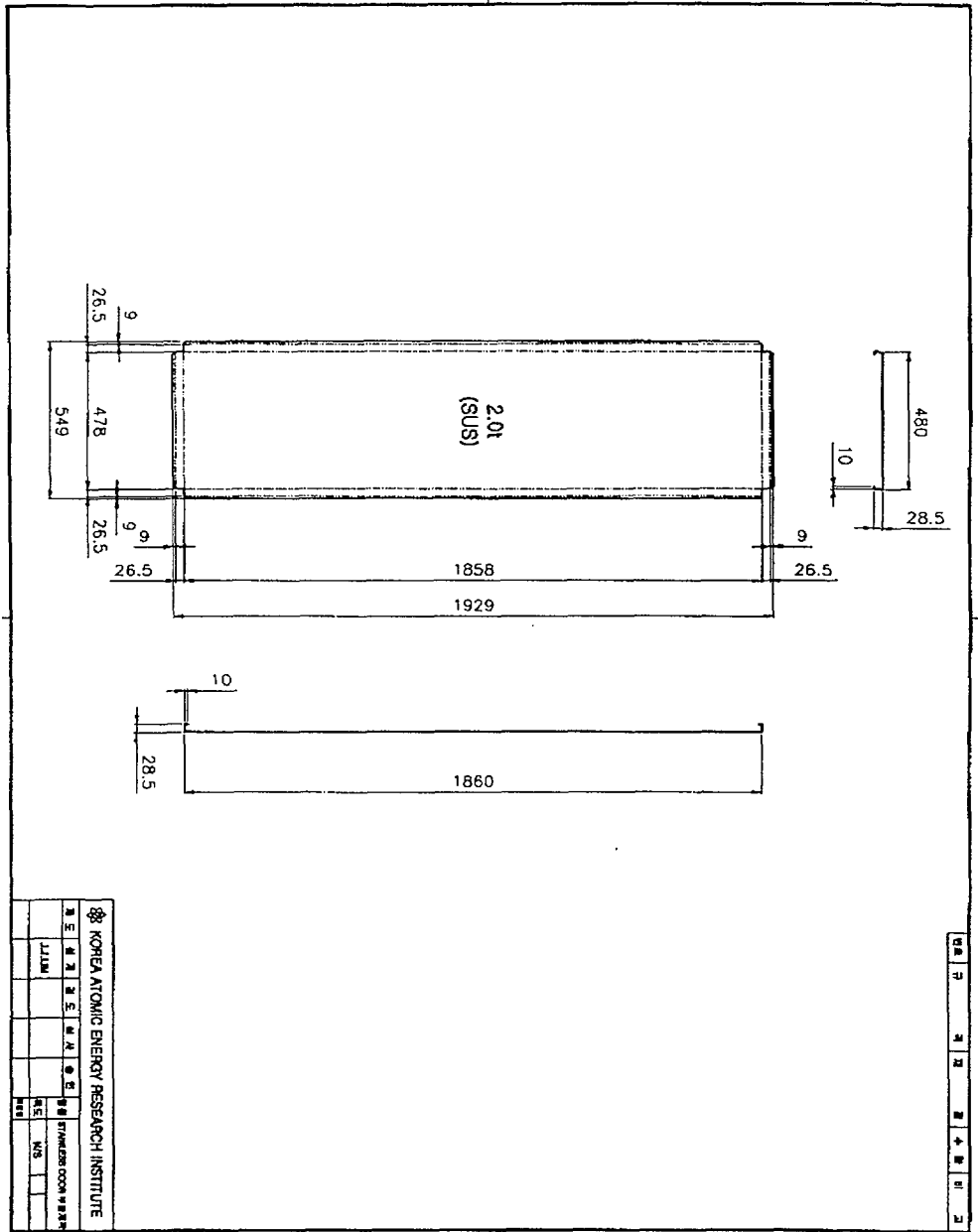
A-3-2. 제염챔버 수직개폐모듈 부품도(계속)



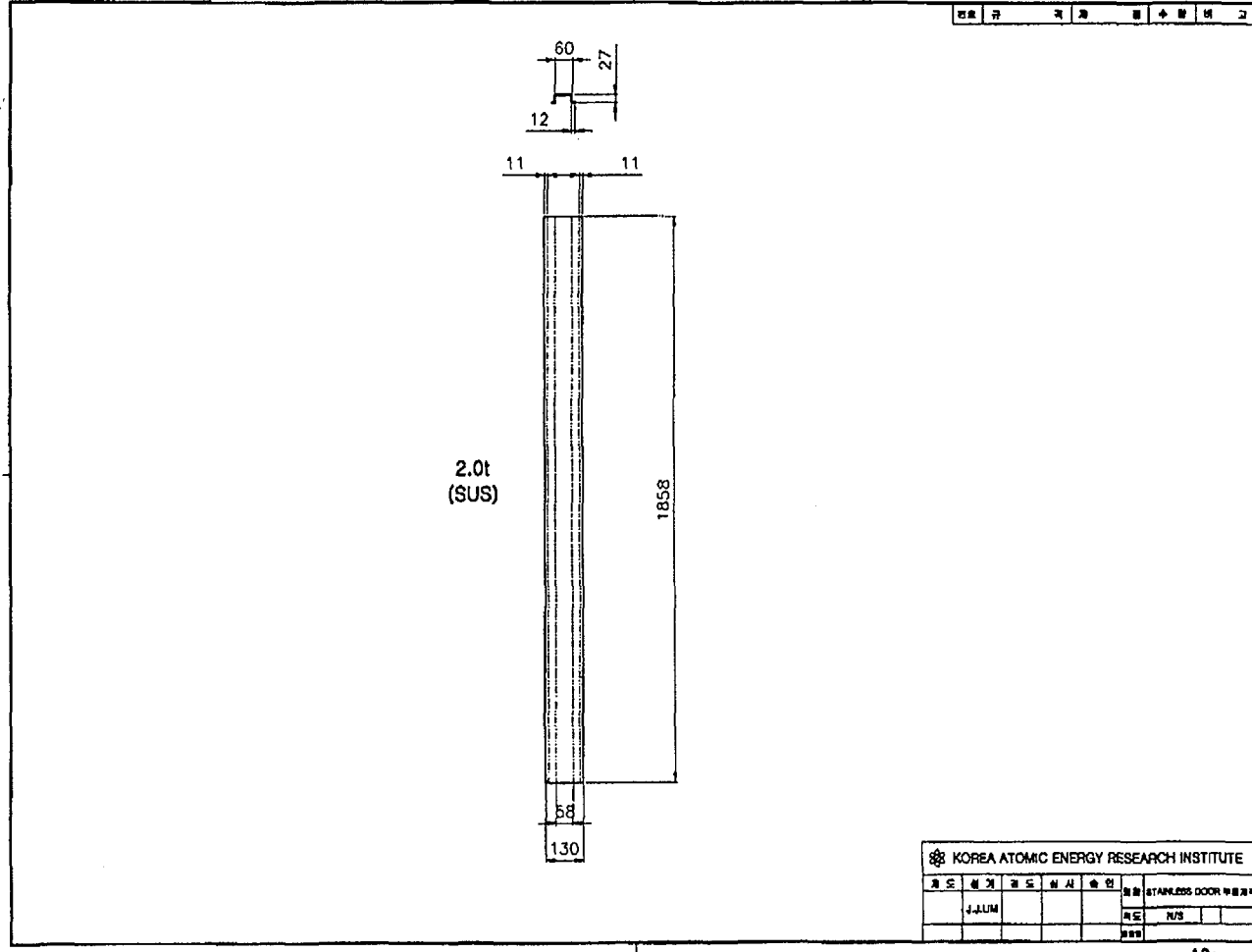
A-4-1. 제염체임버 보조도어모듈 외형도



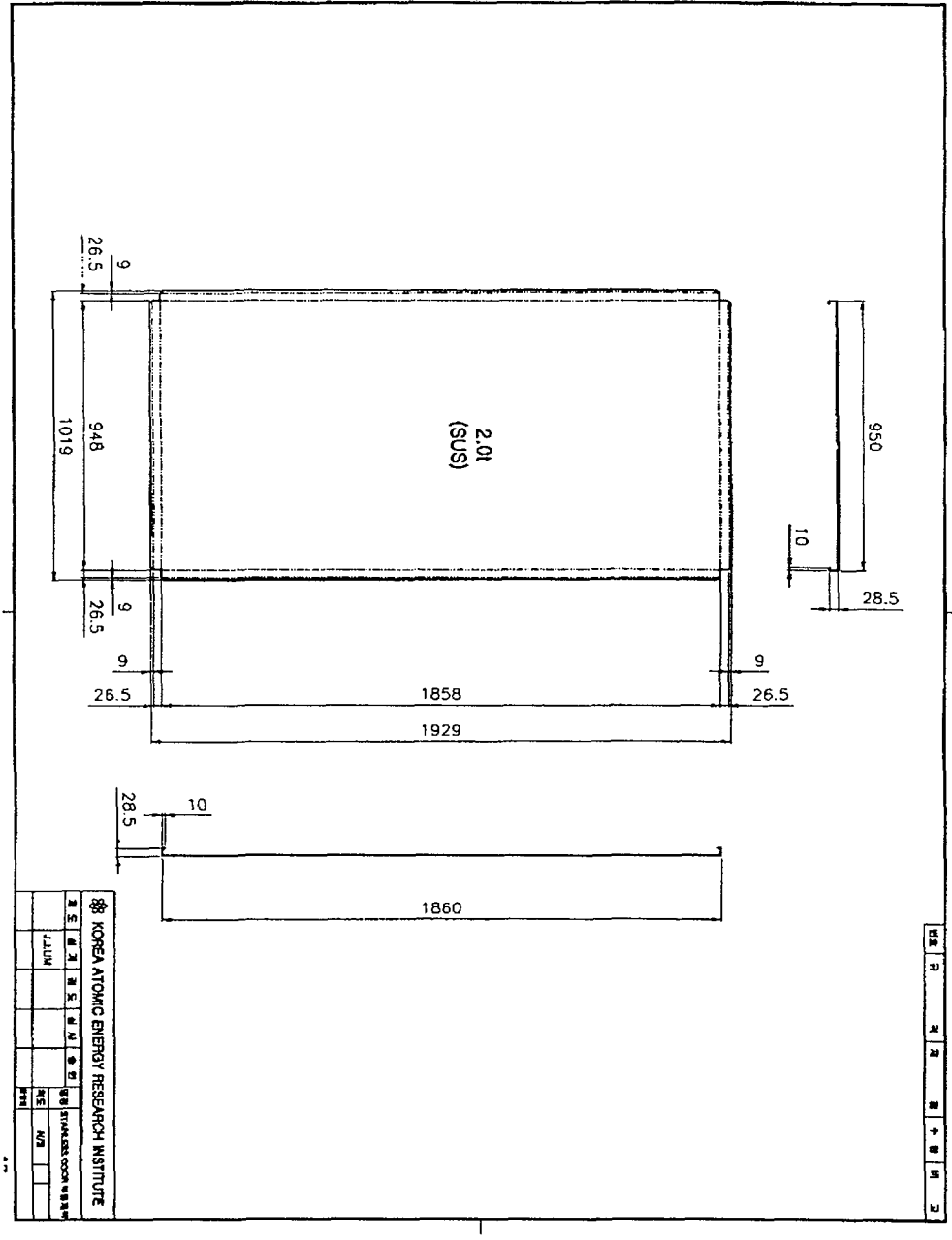
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도



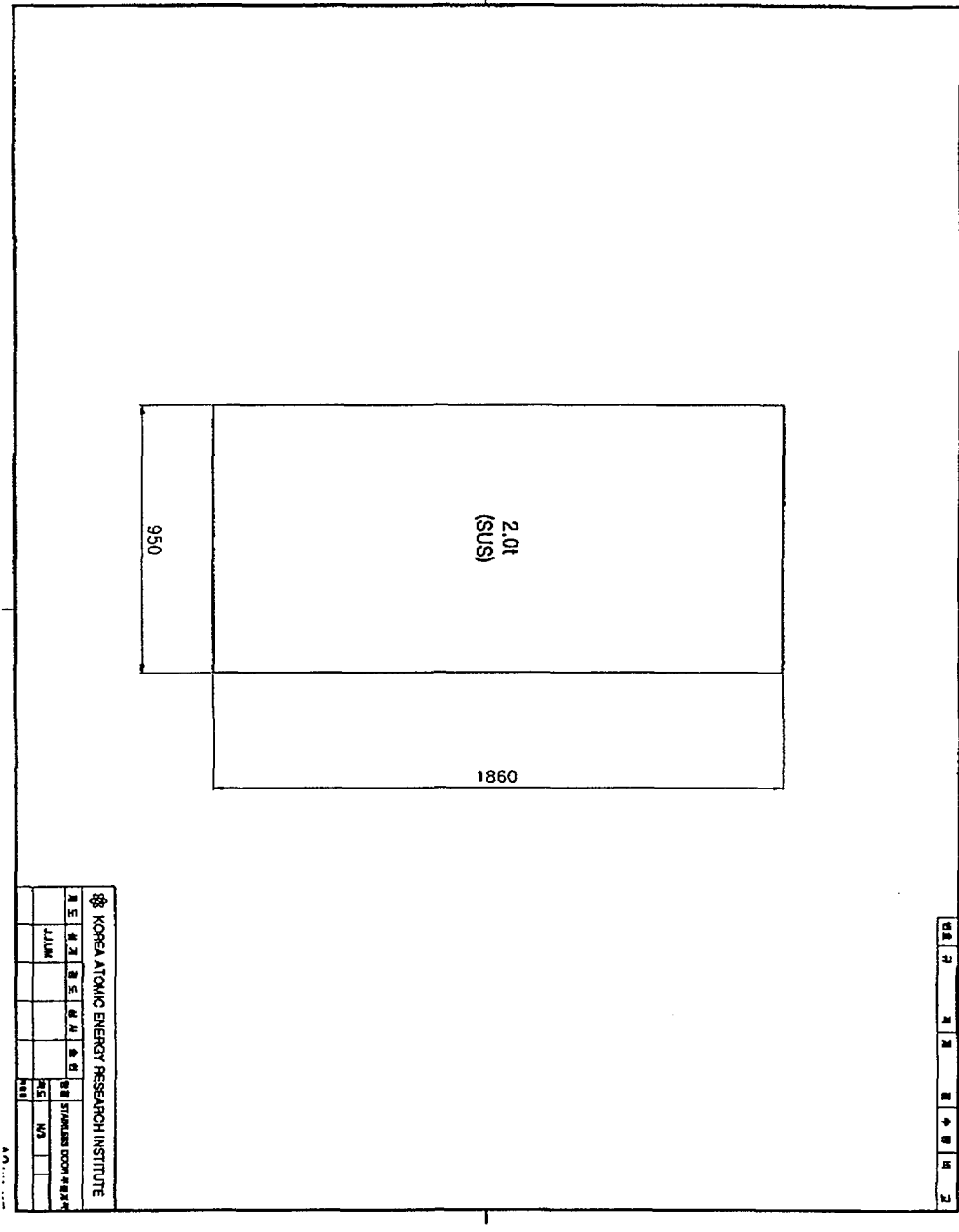
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



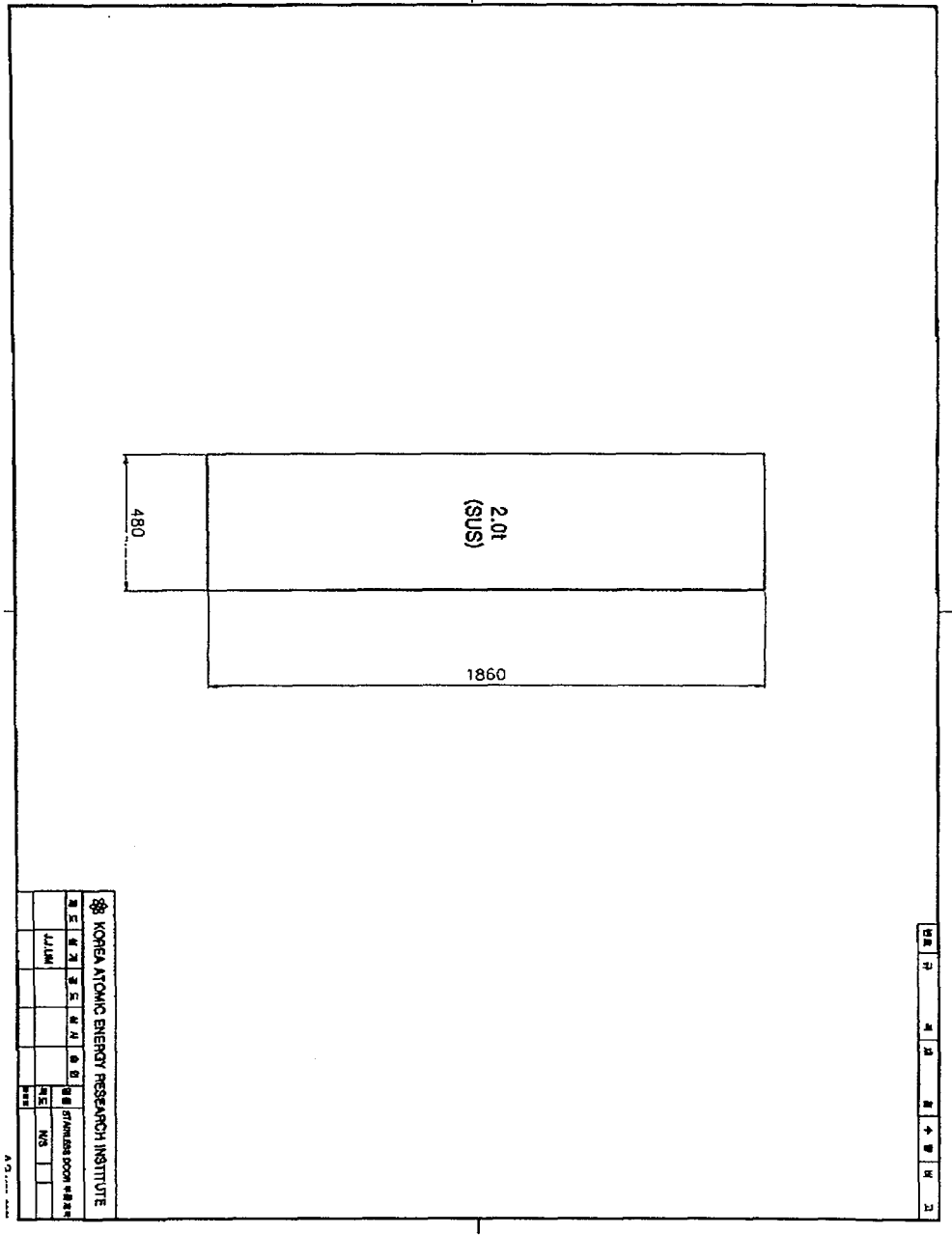
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



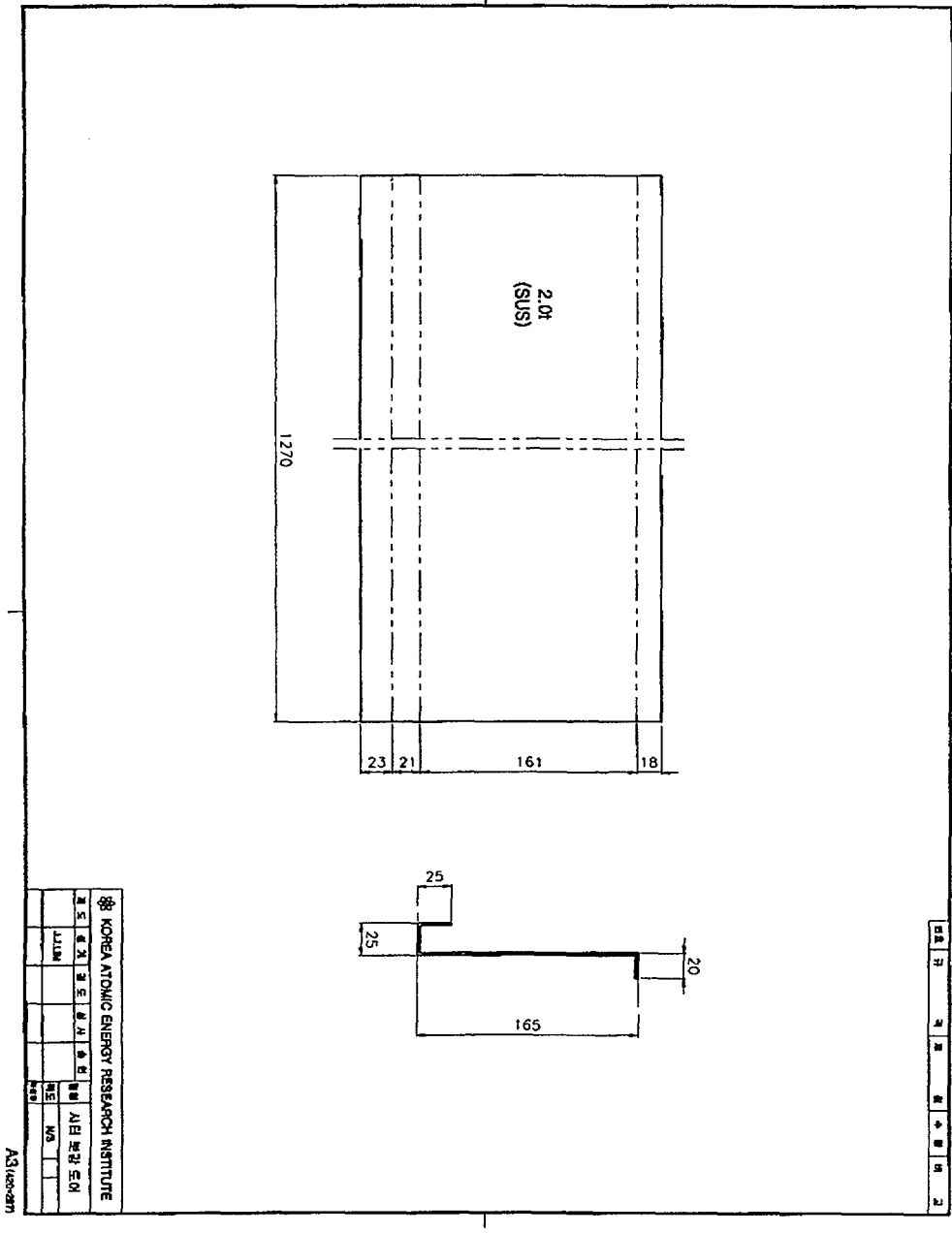
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



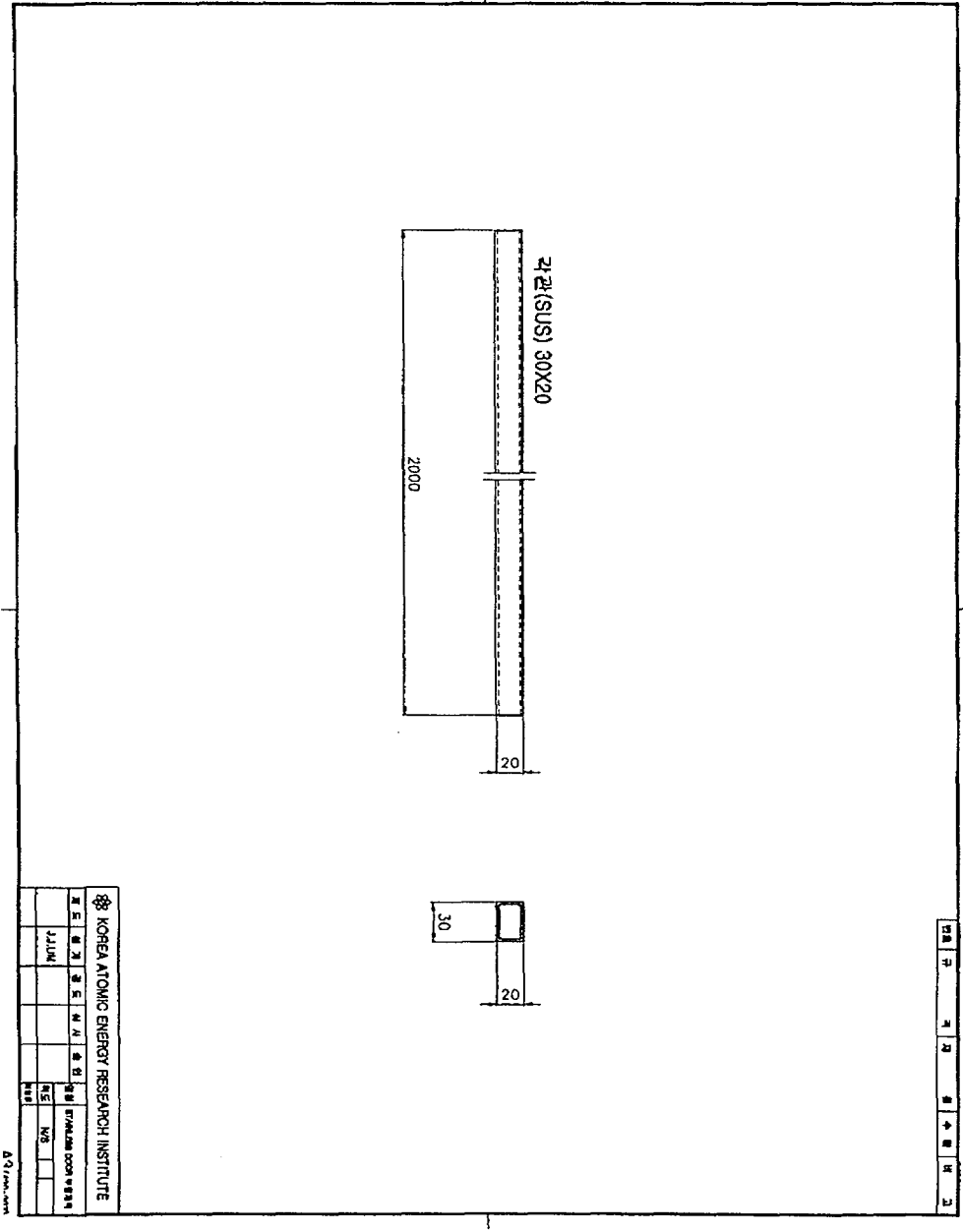
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



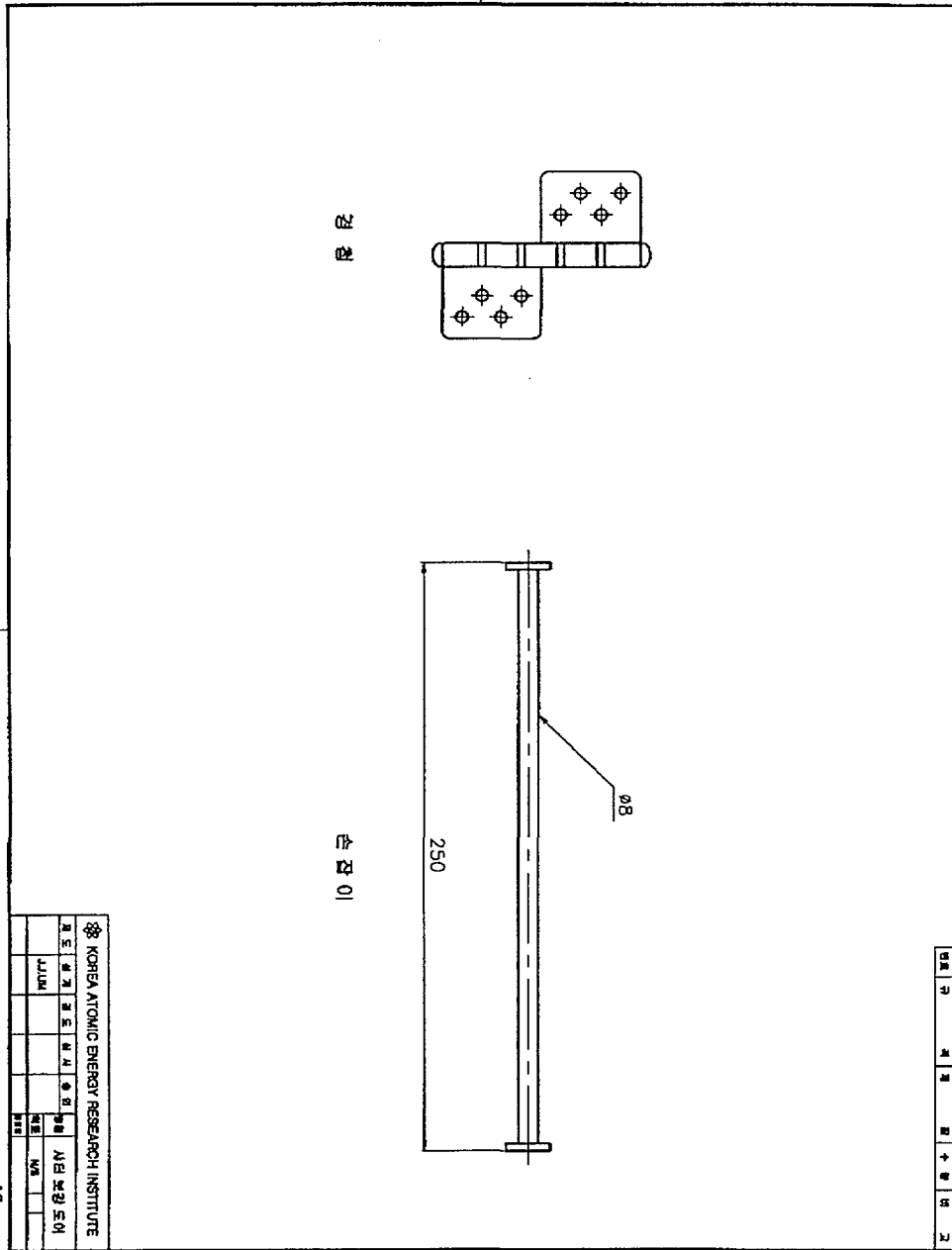
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



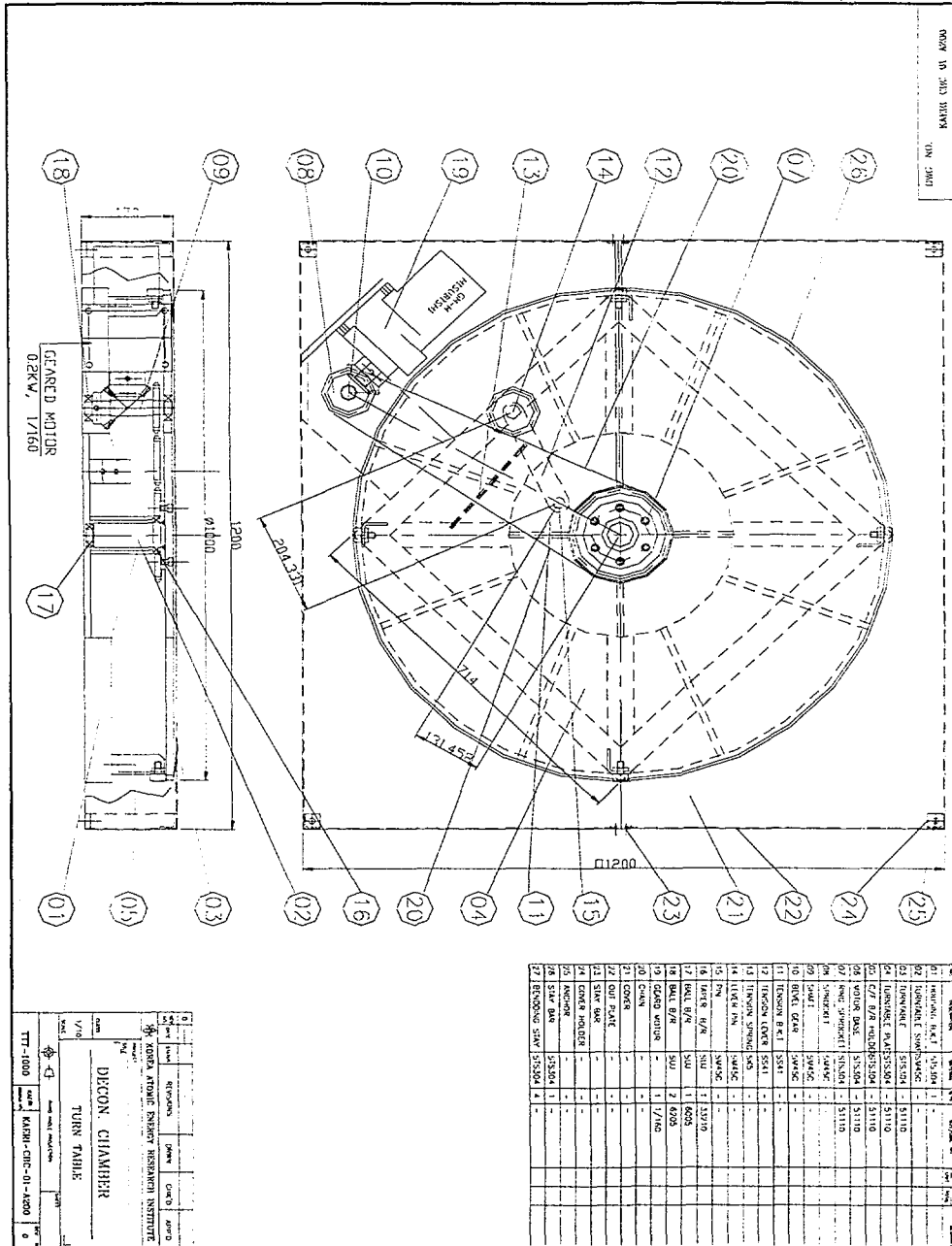
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



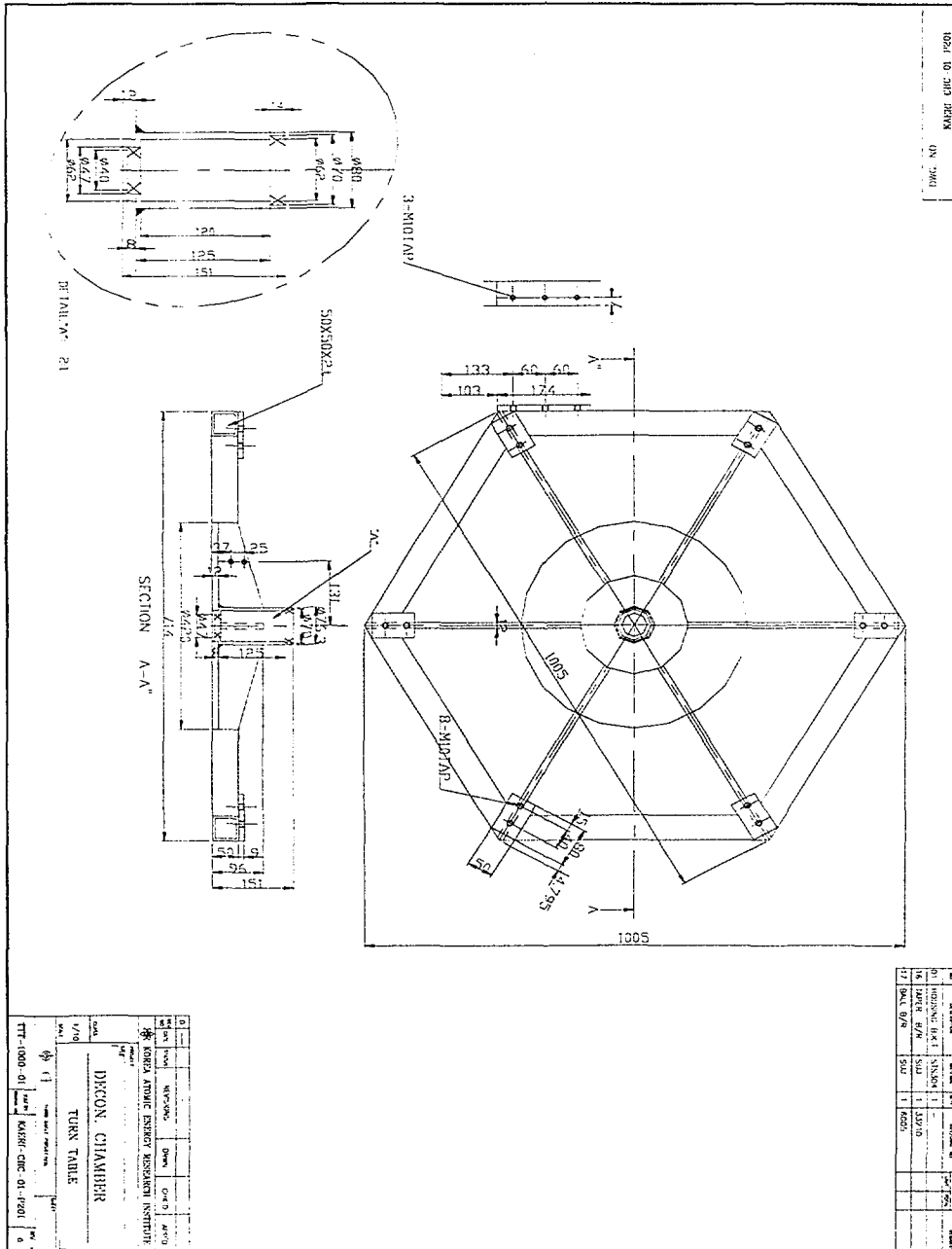
A-4-2. 제염체임버 보조도어모듈 부품도(계속)



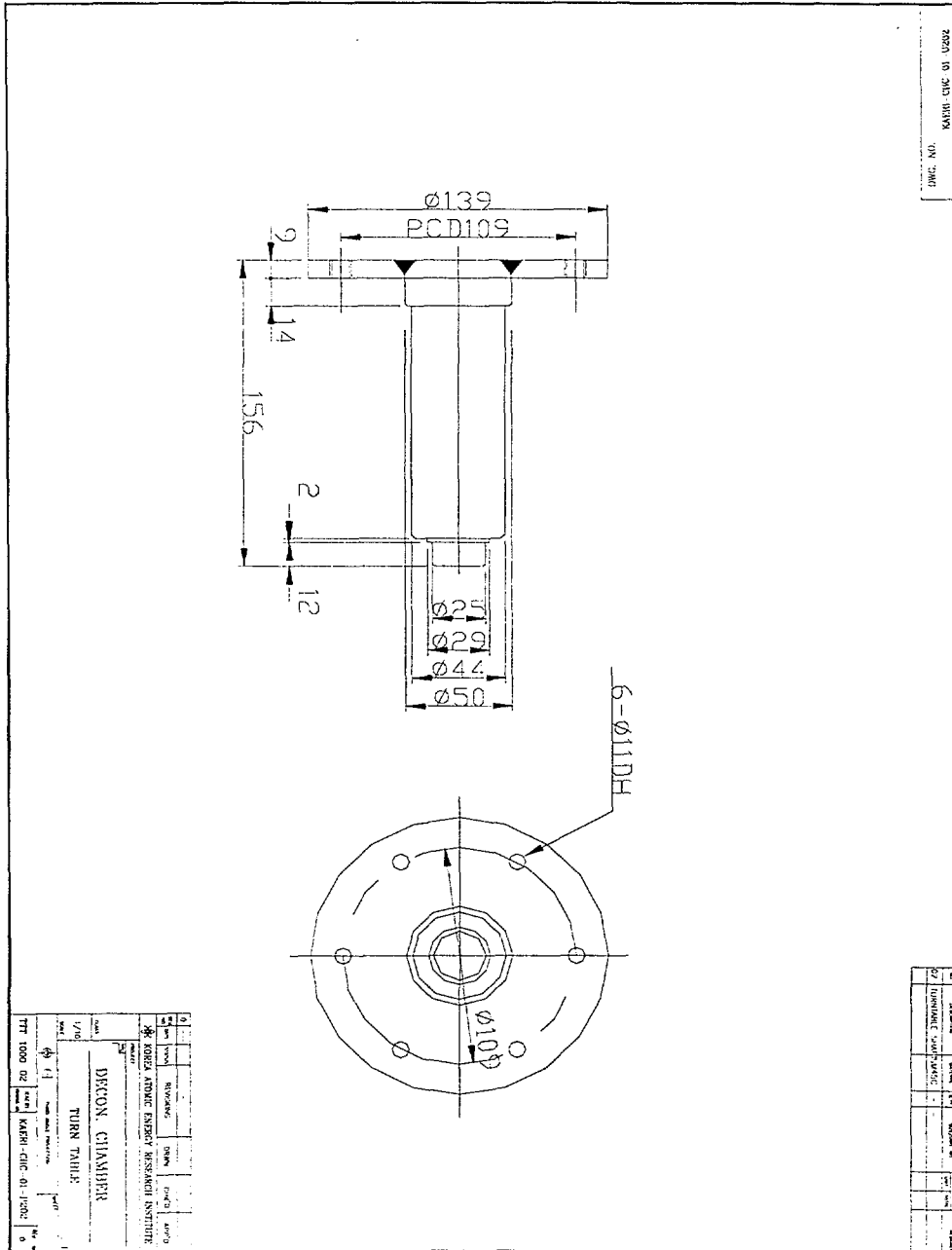
A-5-1. 제염체임버 회전모델 외형도



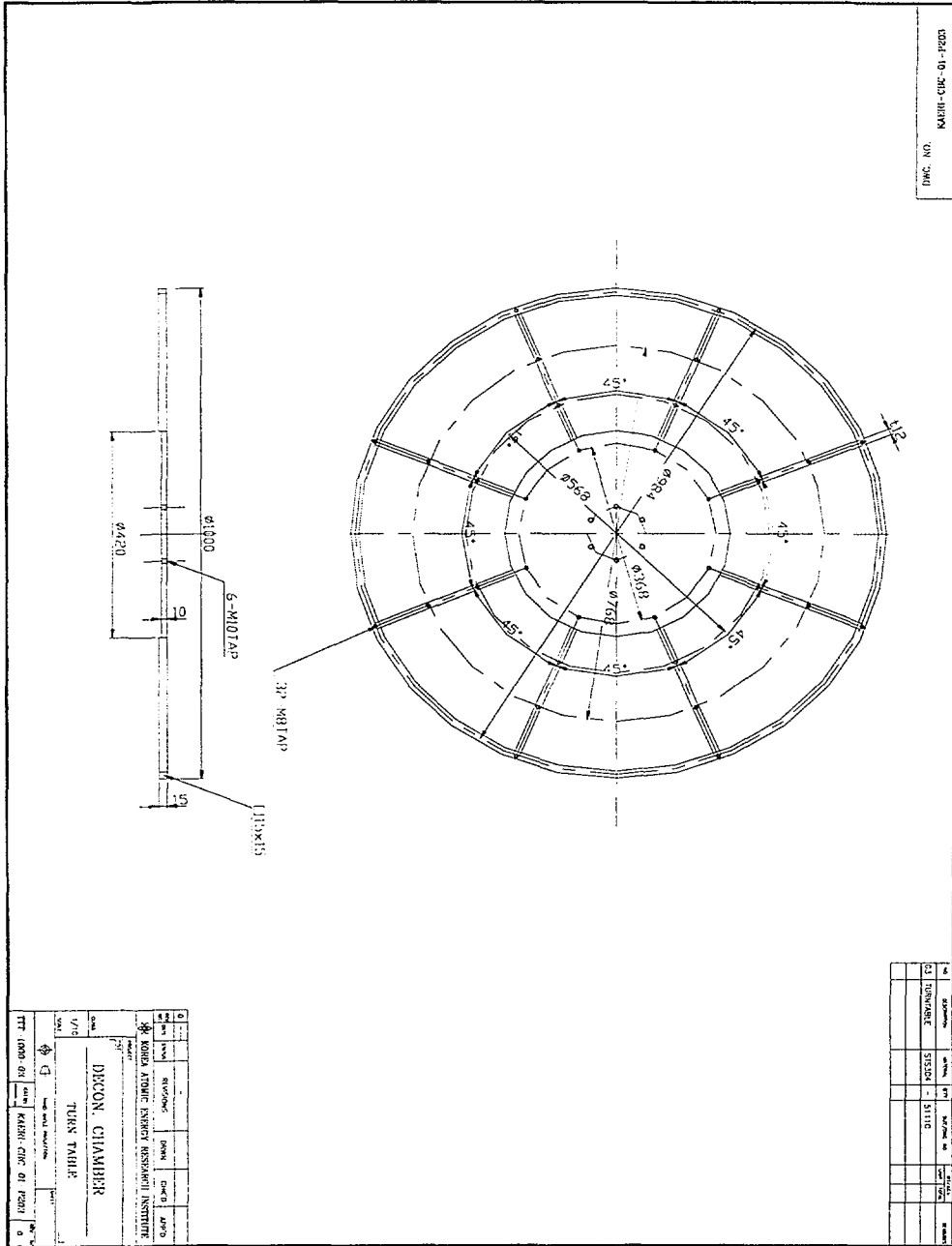
A-5-2. 제염채임버 회전모듈 부품도



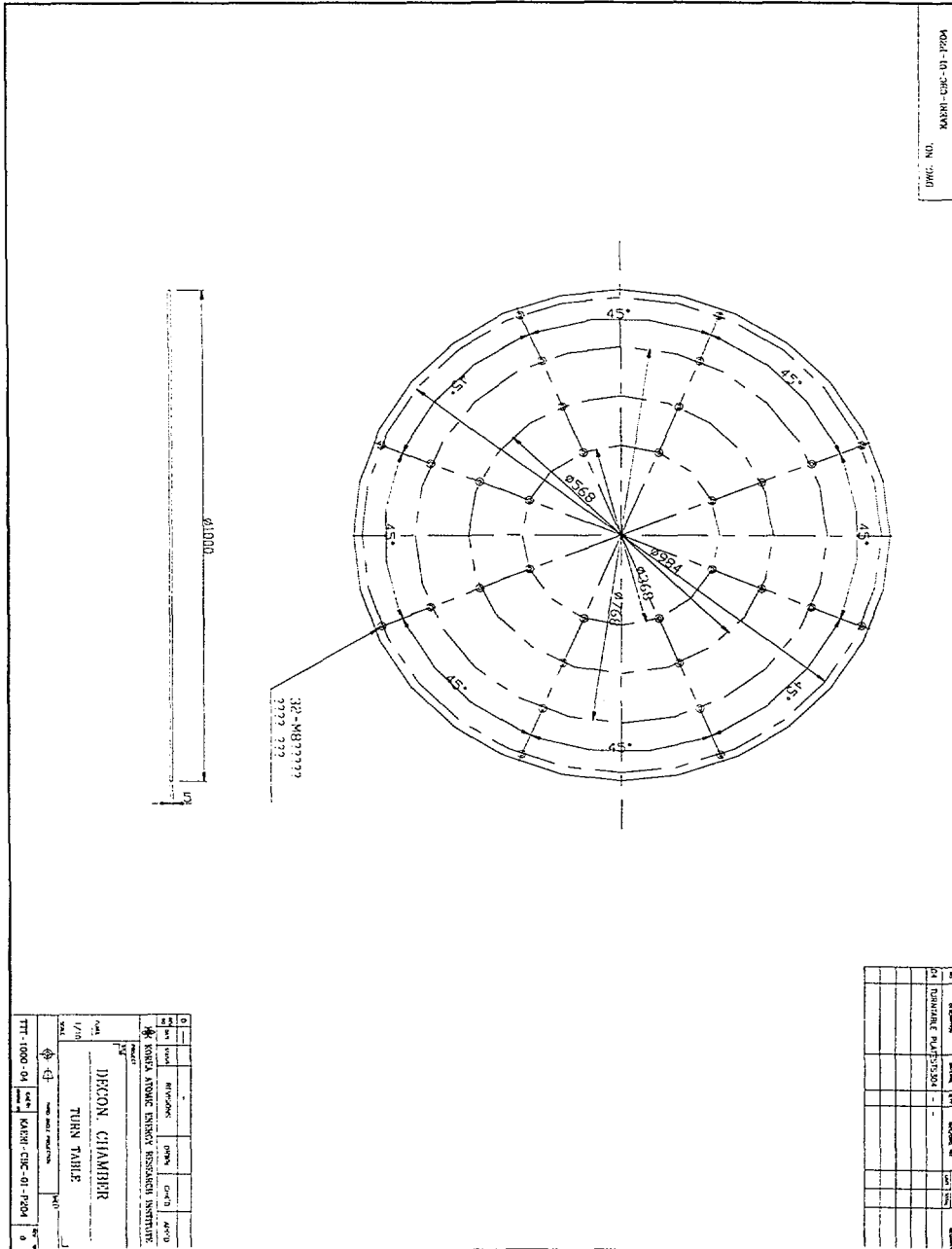
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



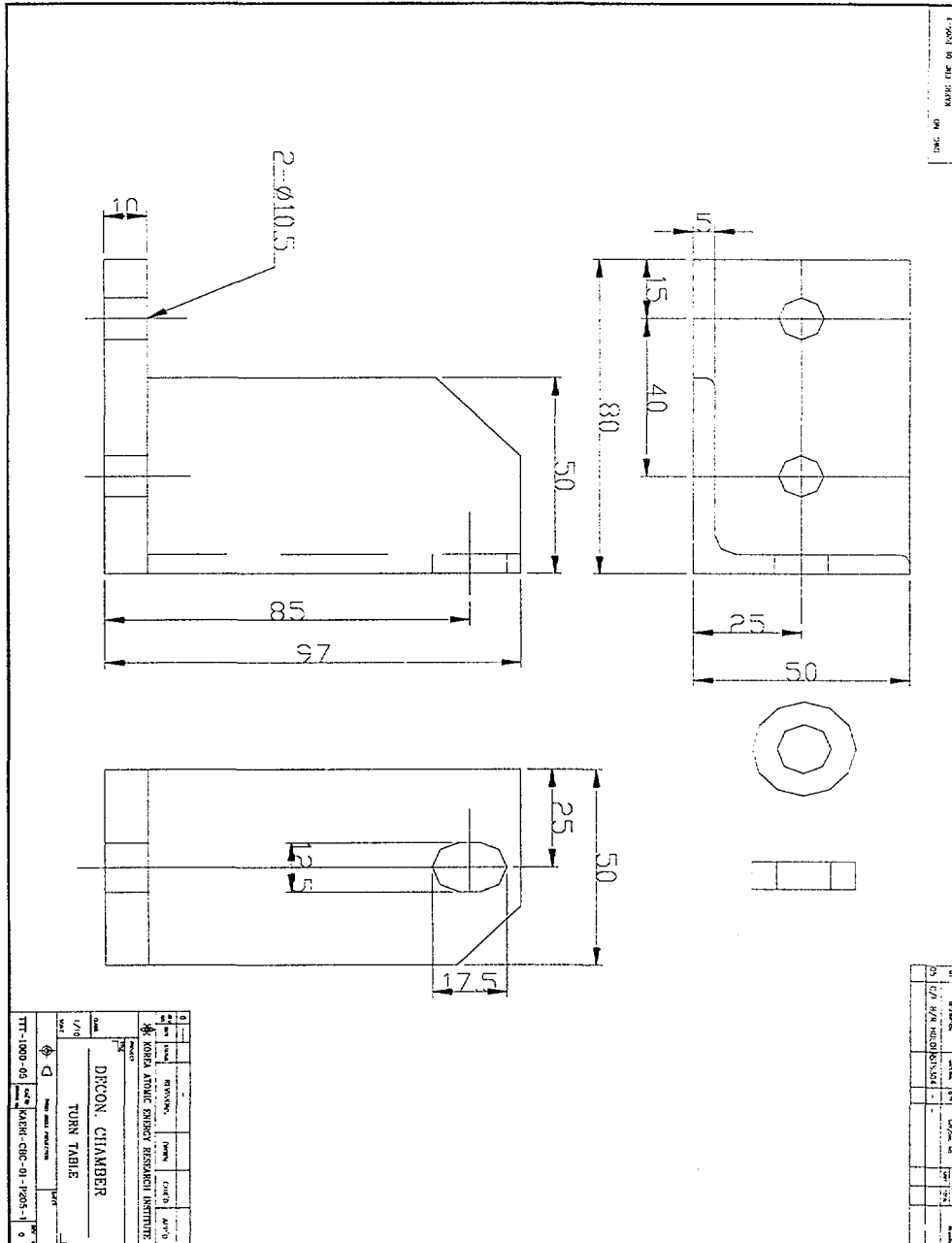
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



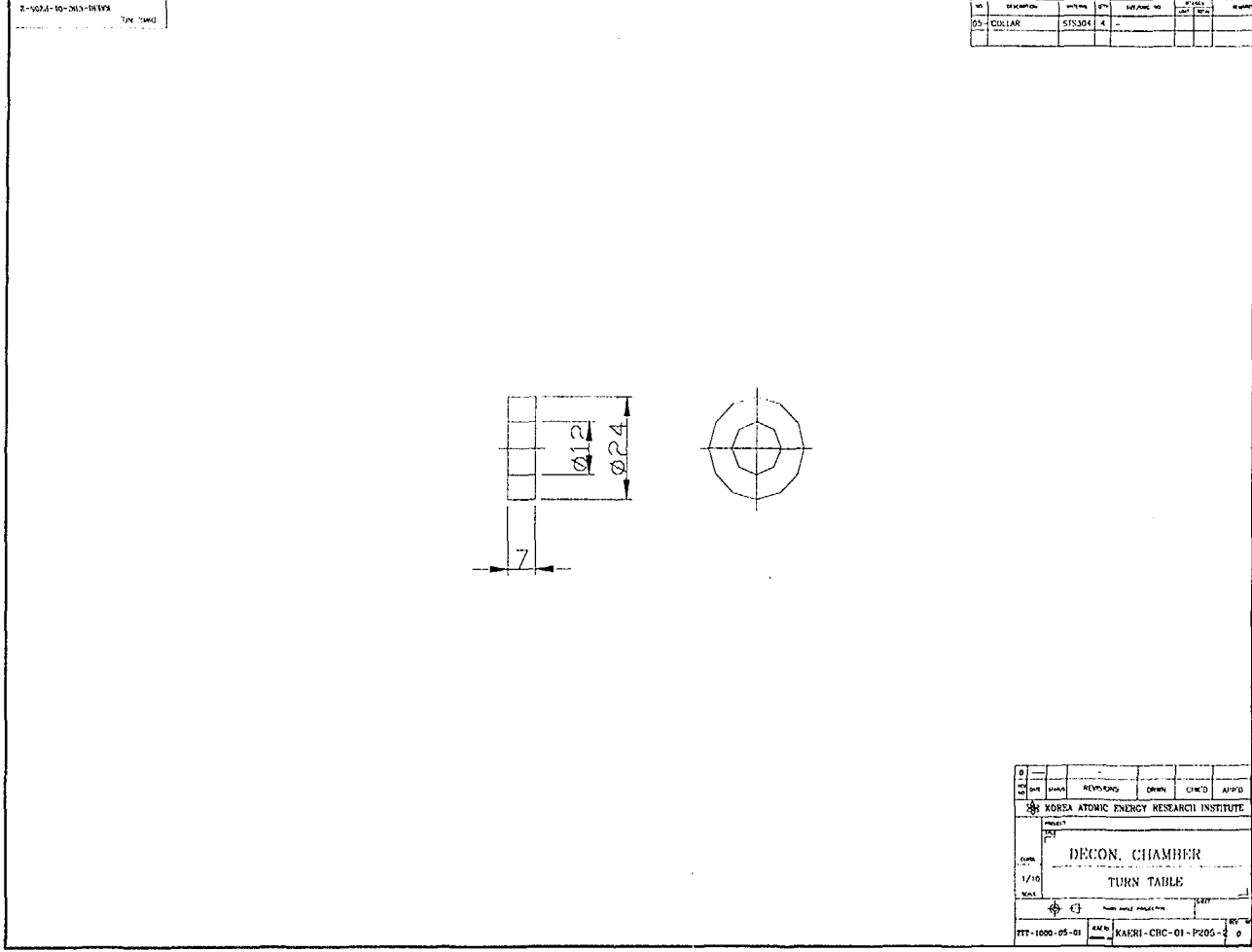
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



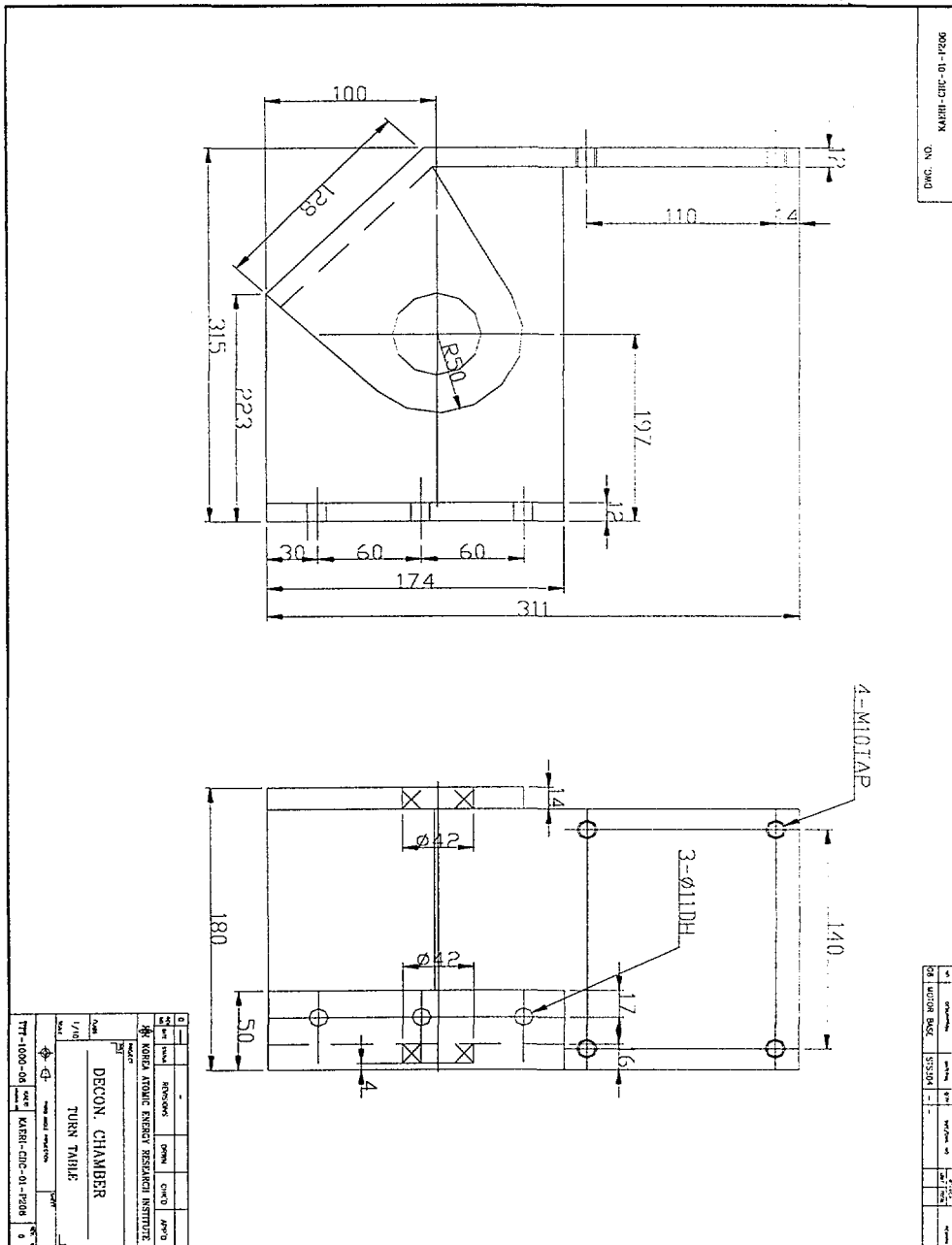
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



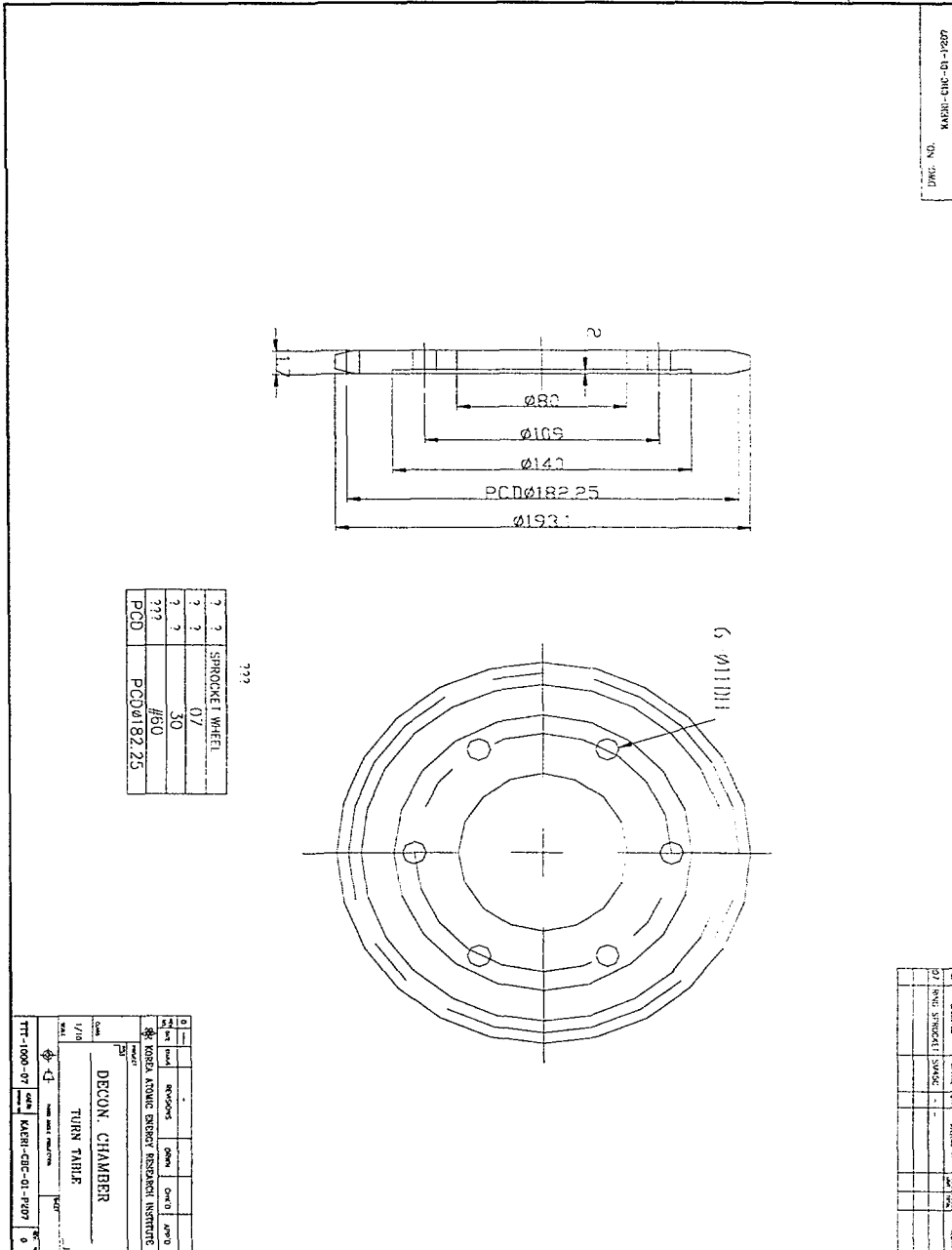
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



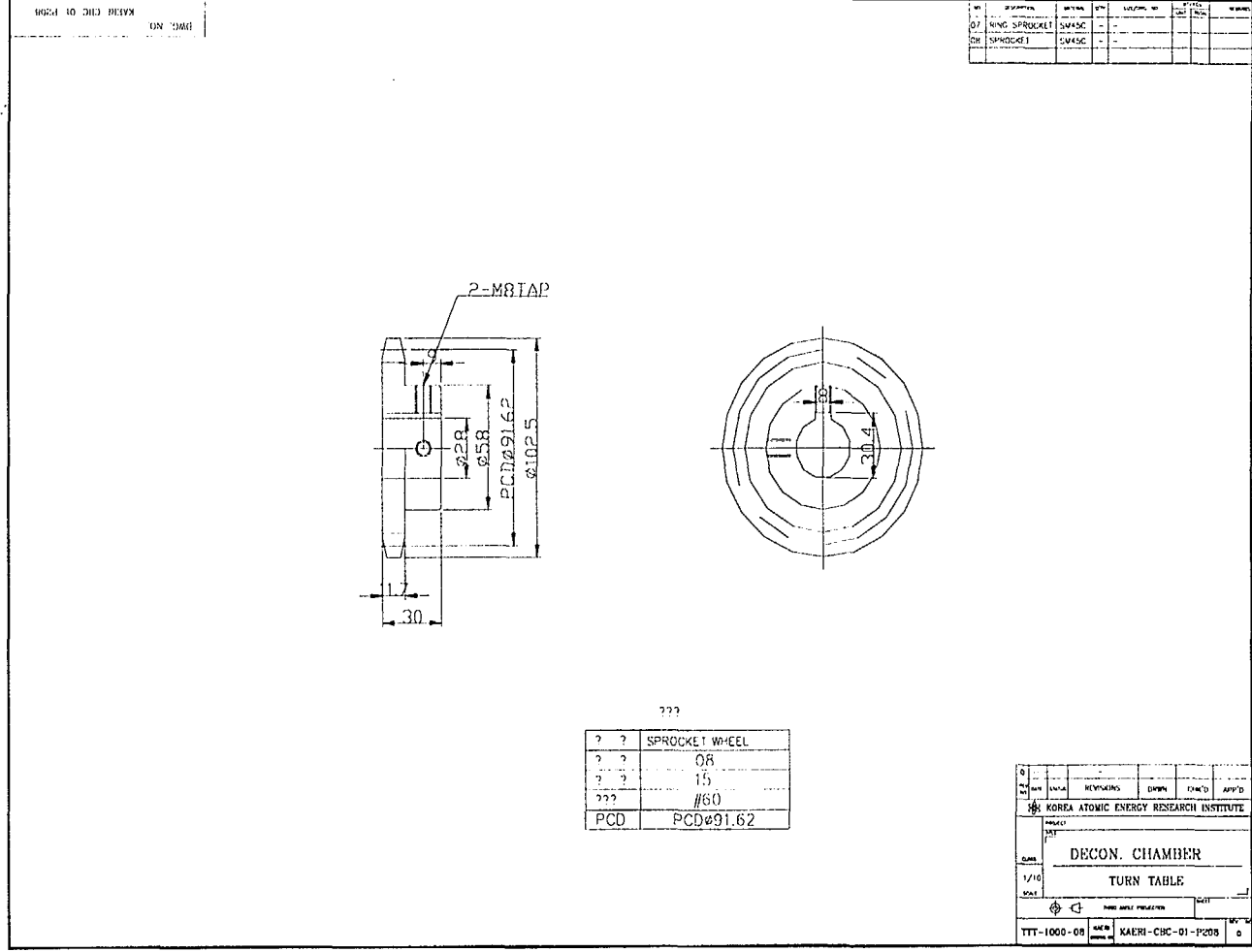
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



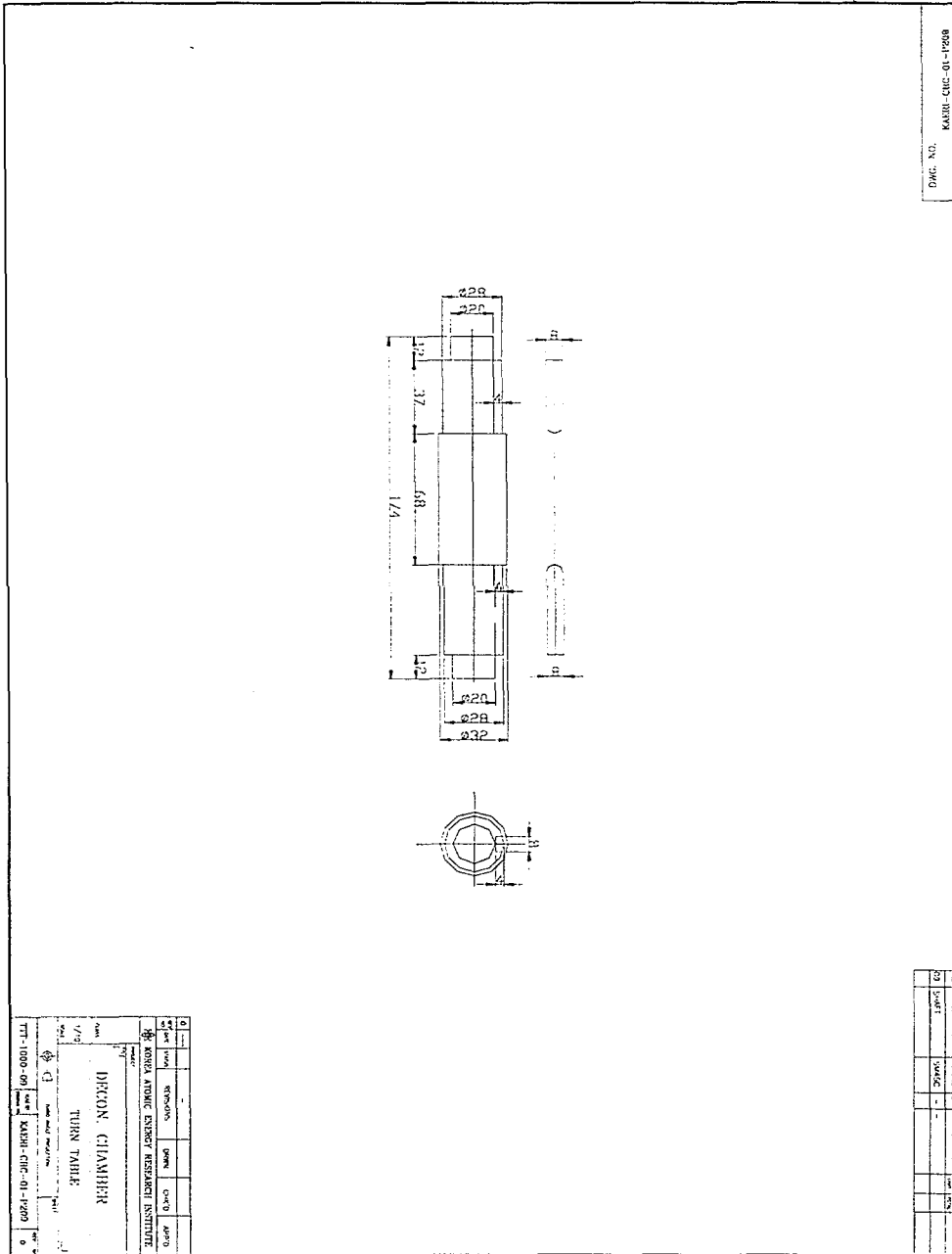
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



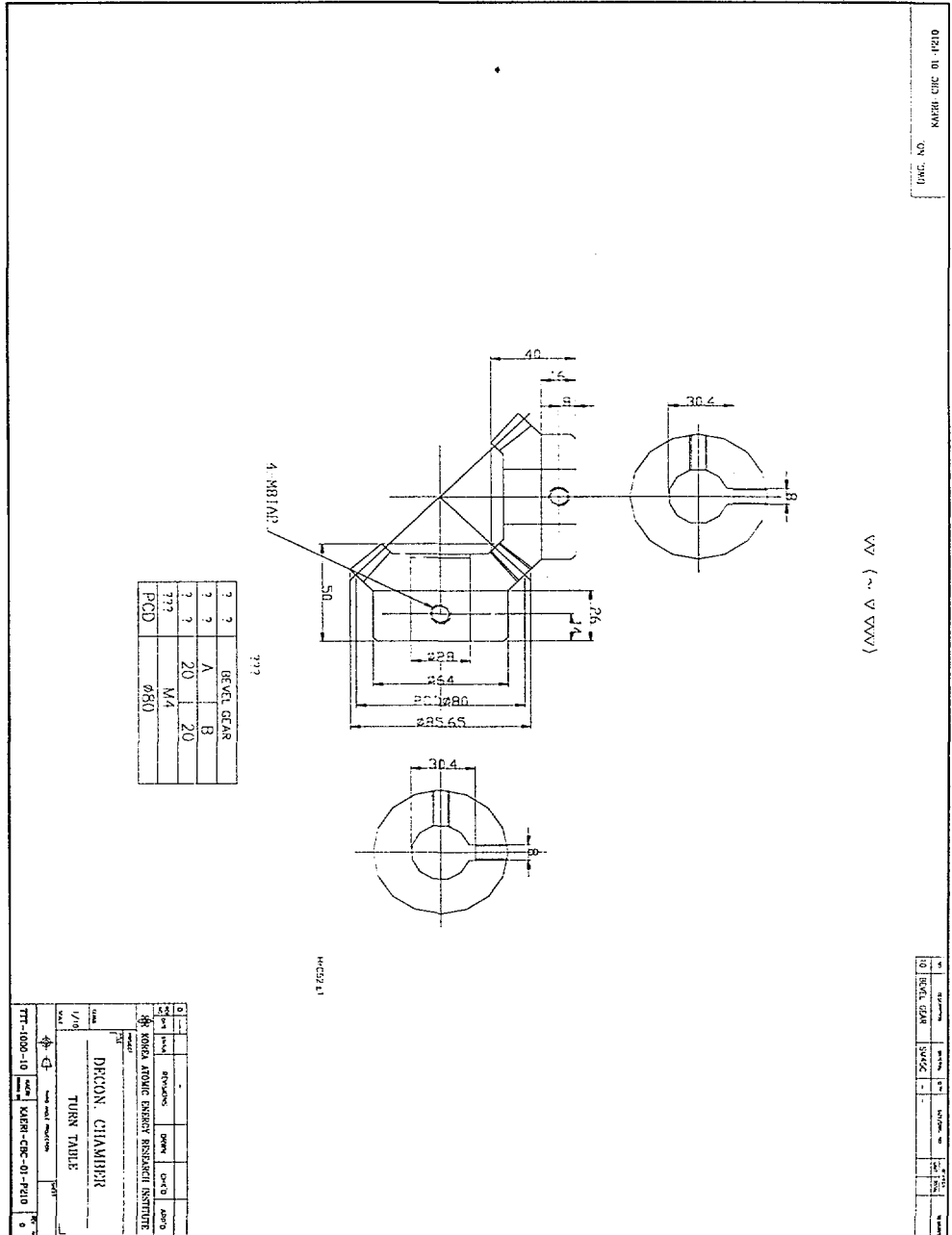
A-5-2. 제염체임버 회전모달 부품도(계속)



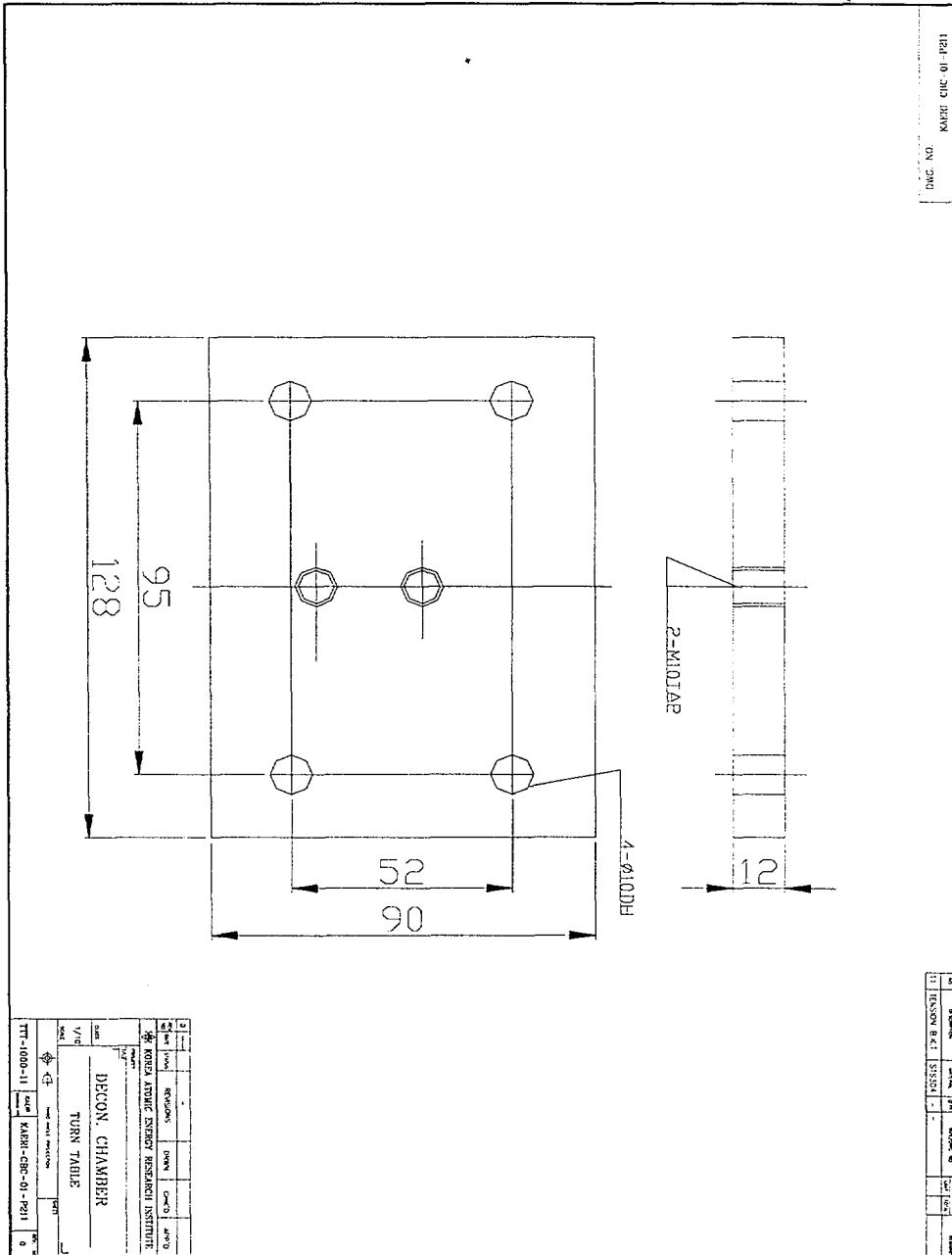
A-5-2. 제염채임버 회전모델 부품도(계속)



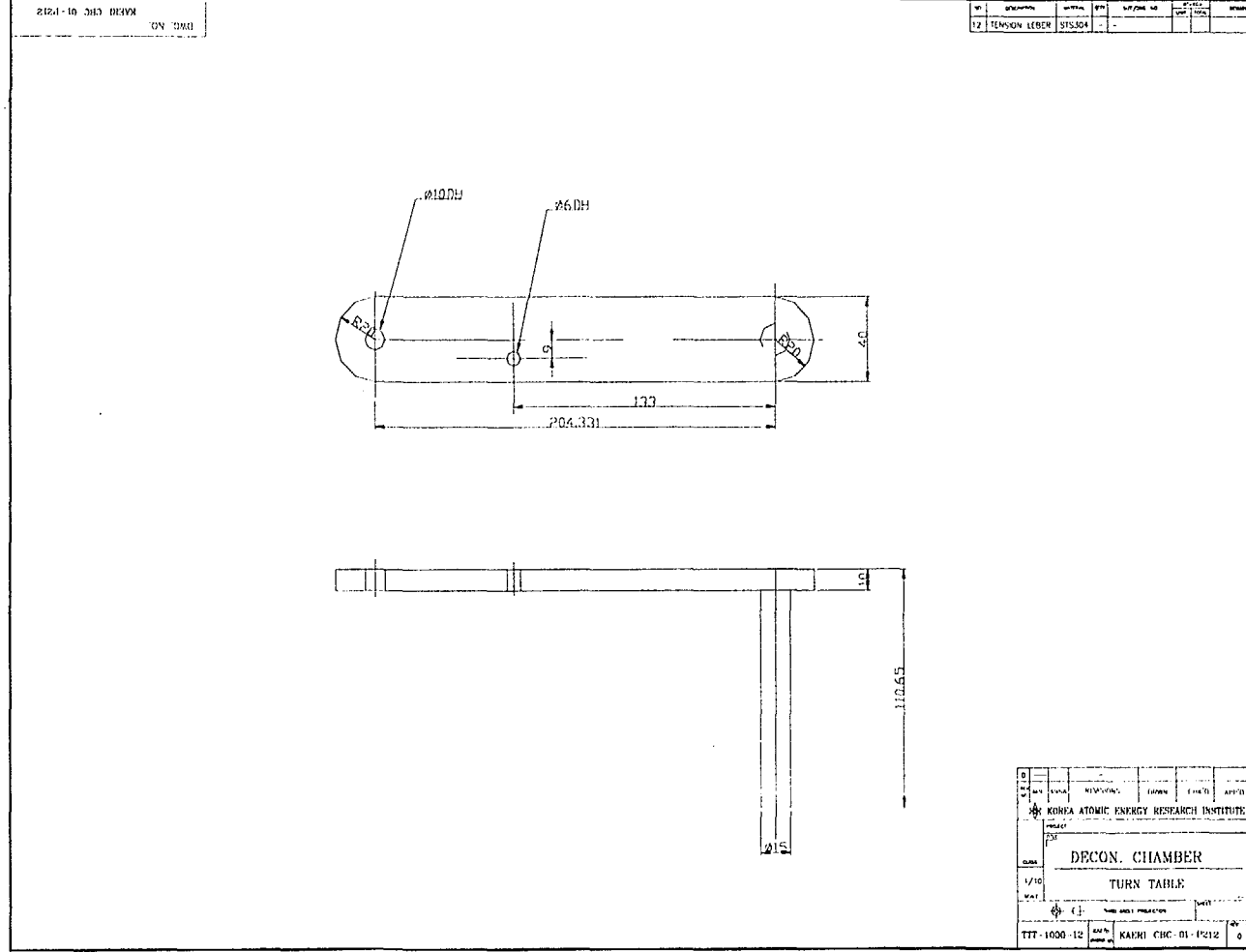
A-5-2. 제염체임버 회전모듈 부품도(계속)



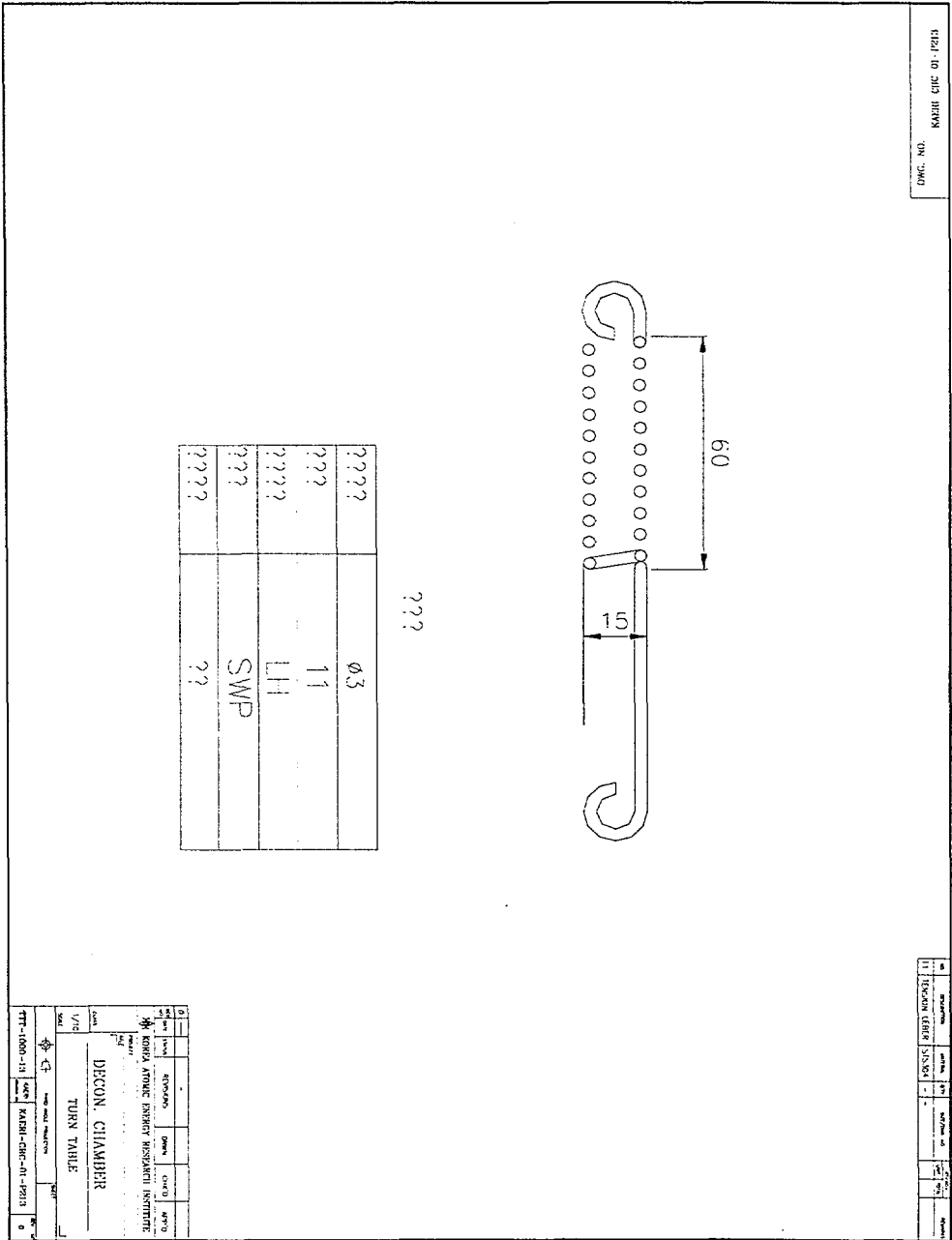
A-5-2. 제염채임버 회전모듈 부품도(계속)



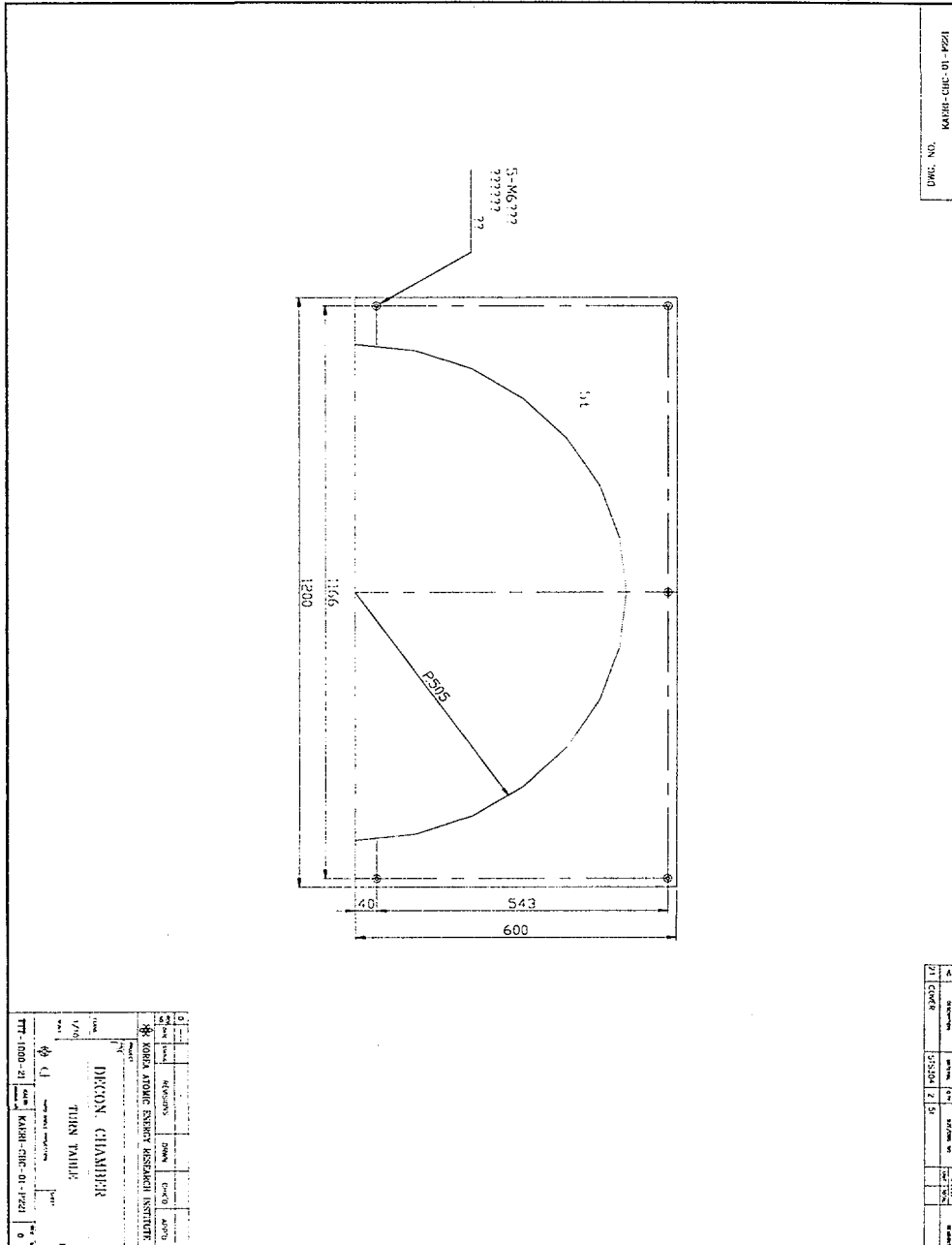
A-5-2. 제염챔버 회전모듈 부품도(계속)



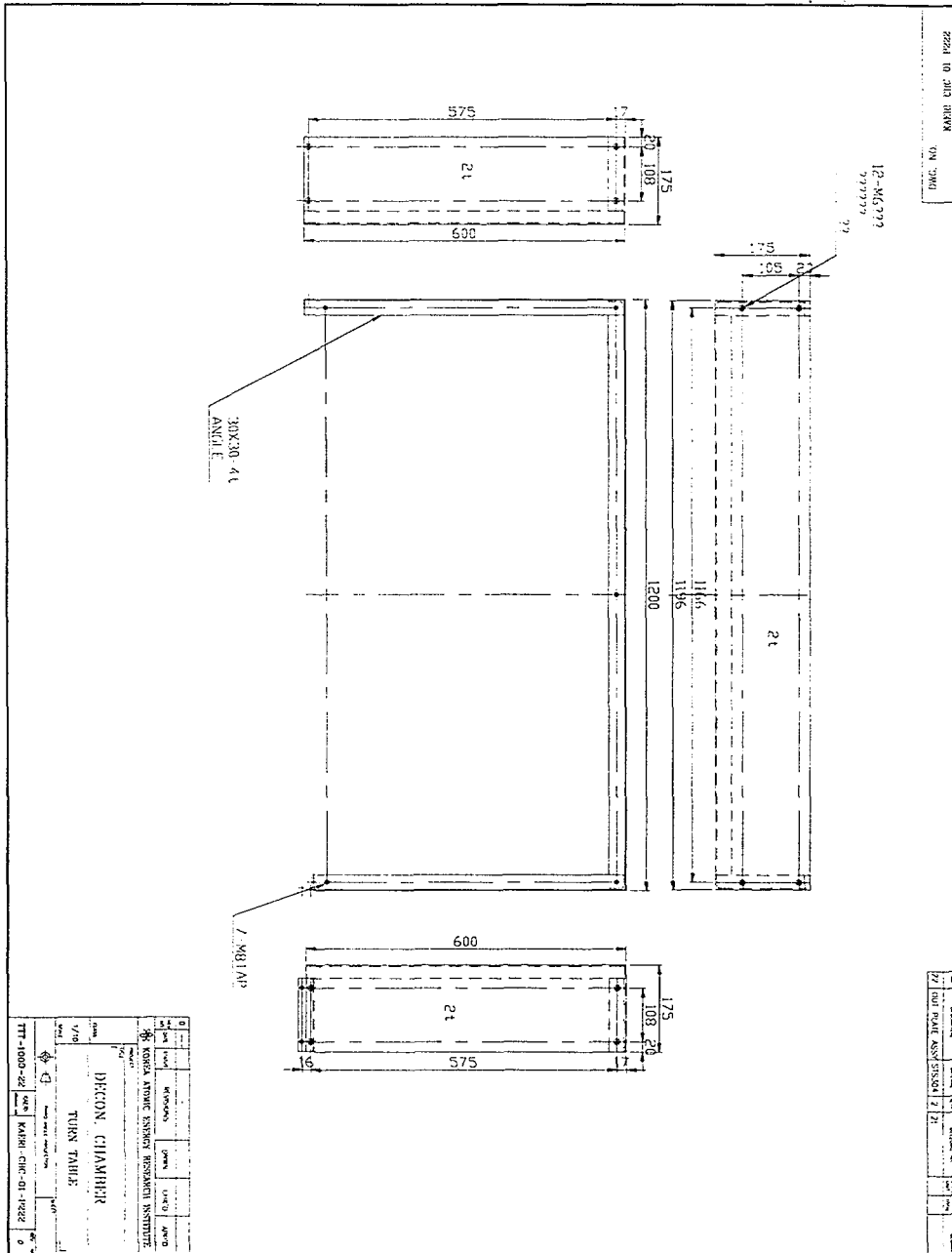
A-5-2. 제염채임버 회전모듈 부품도(계속)



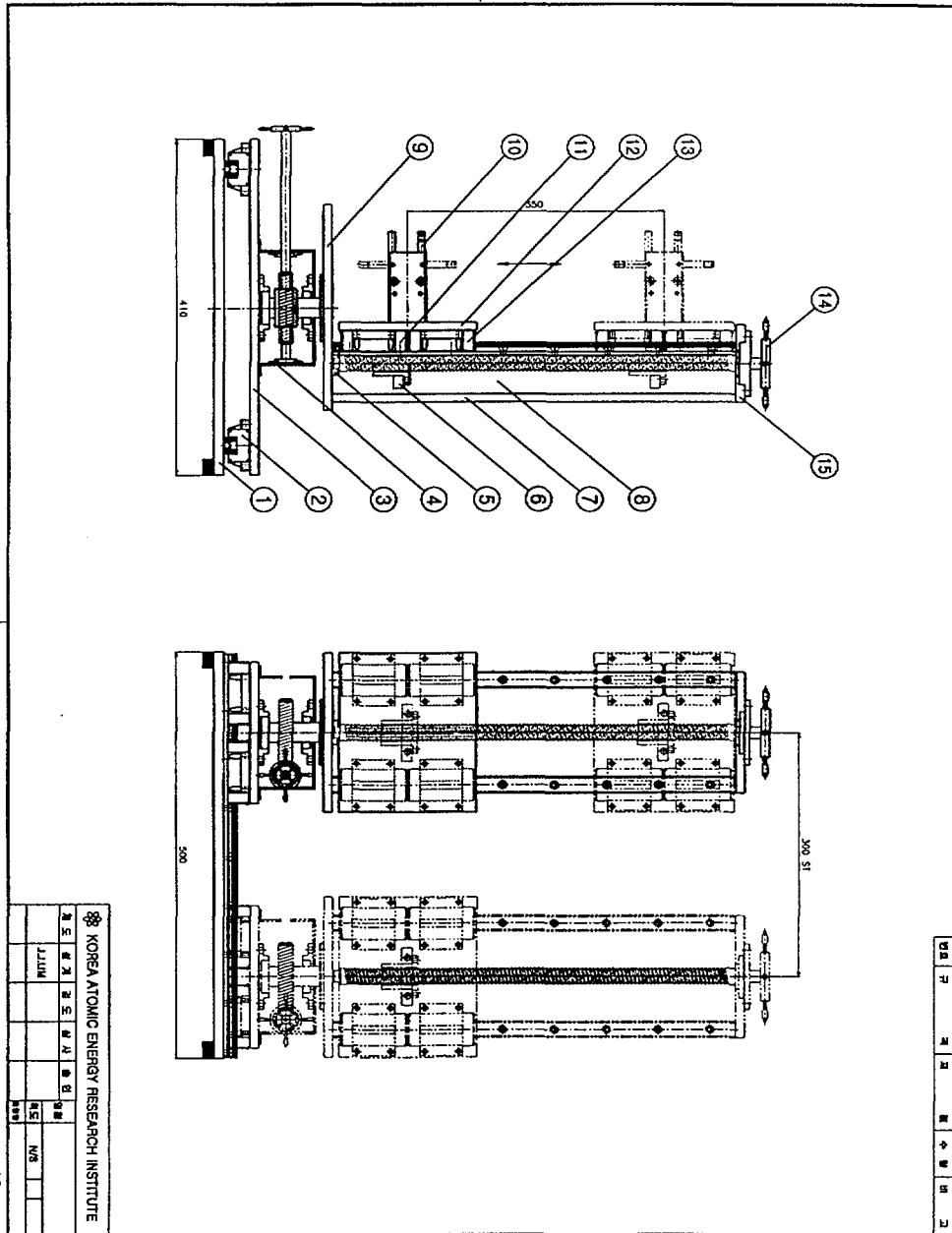
A-5-2. 제염제임버 회전모듈 부품도(계속)



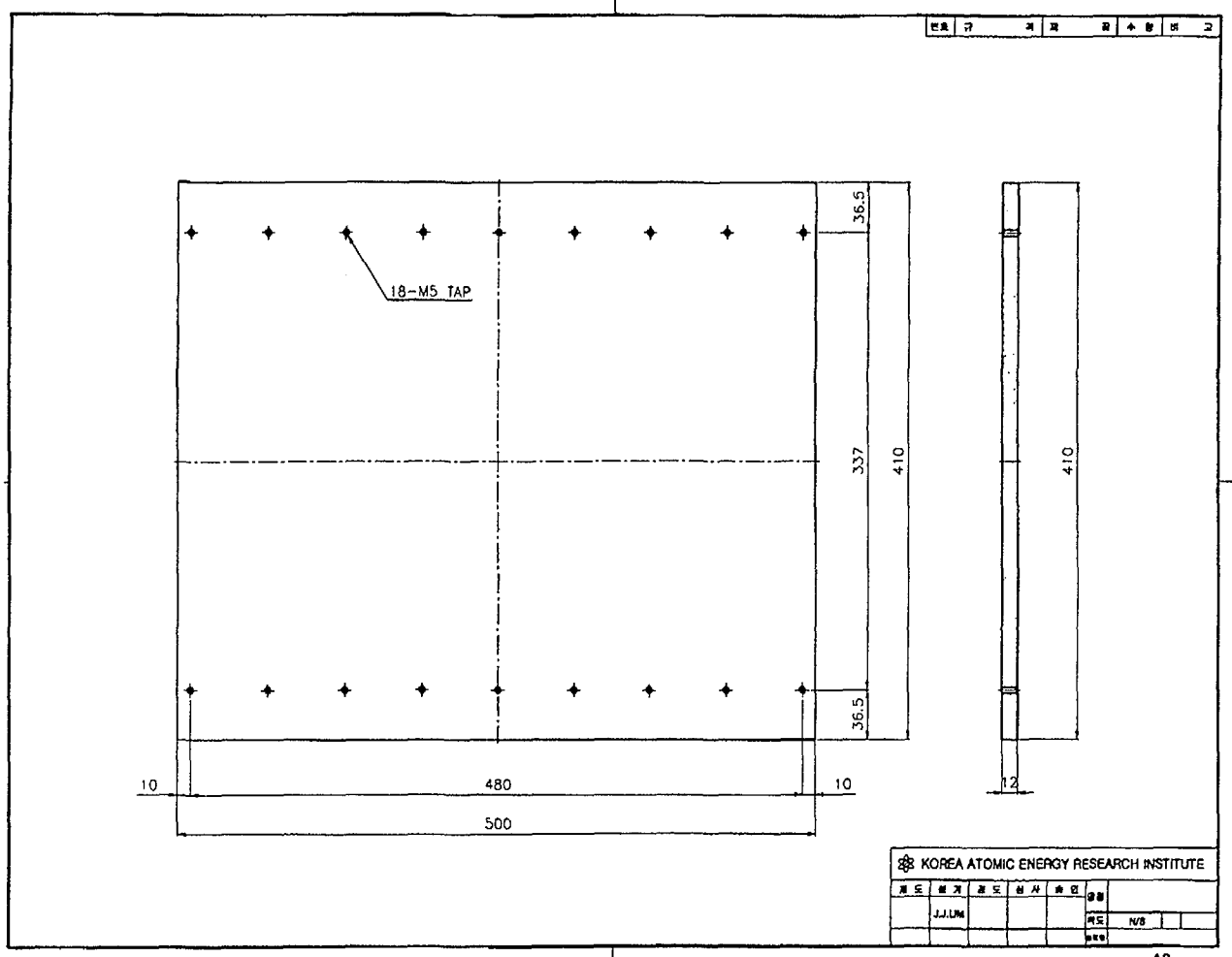
A-5-2. 제염채임버 회전모듈 부품도(계속)



A-6-1. 제염체임버 파지모듈 외형도

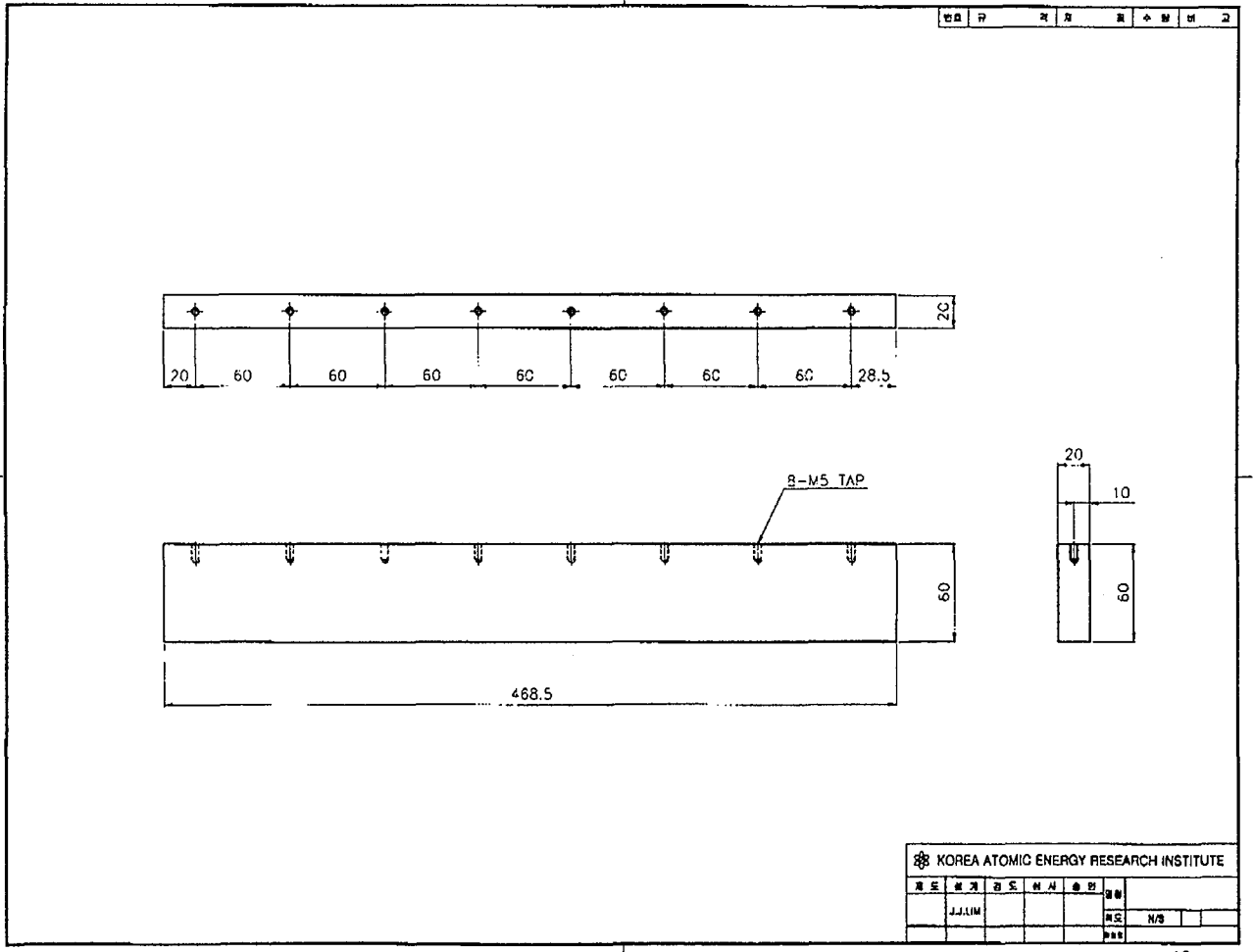


A-6-2. 제염체임버 파지모들 부품도



KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE										
연도	월	일	제	도	부	과	실	장	직	위

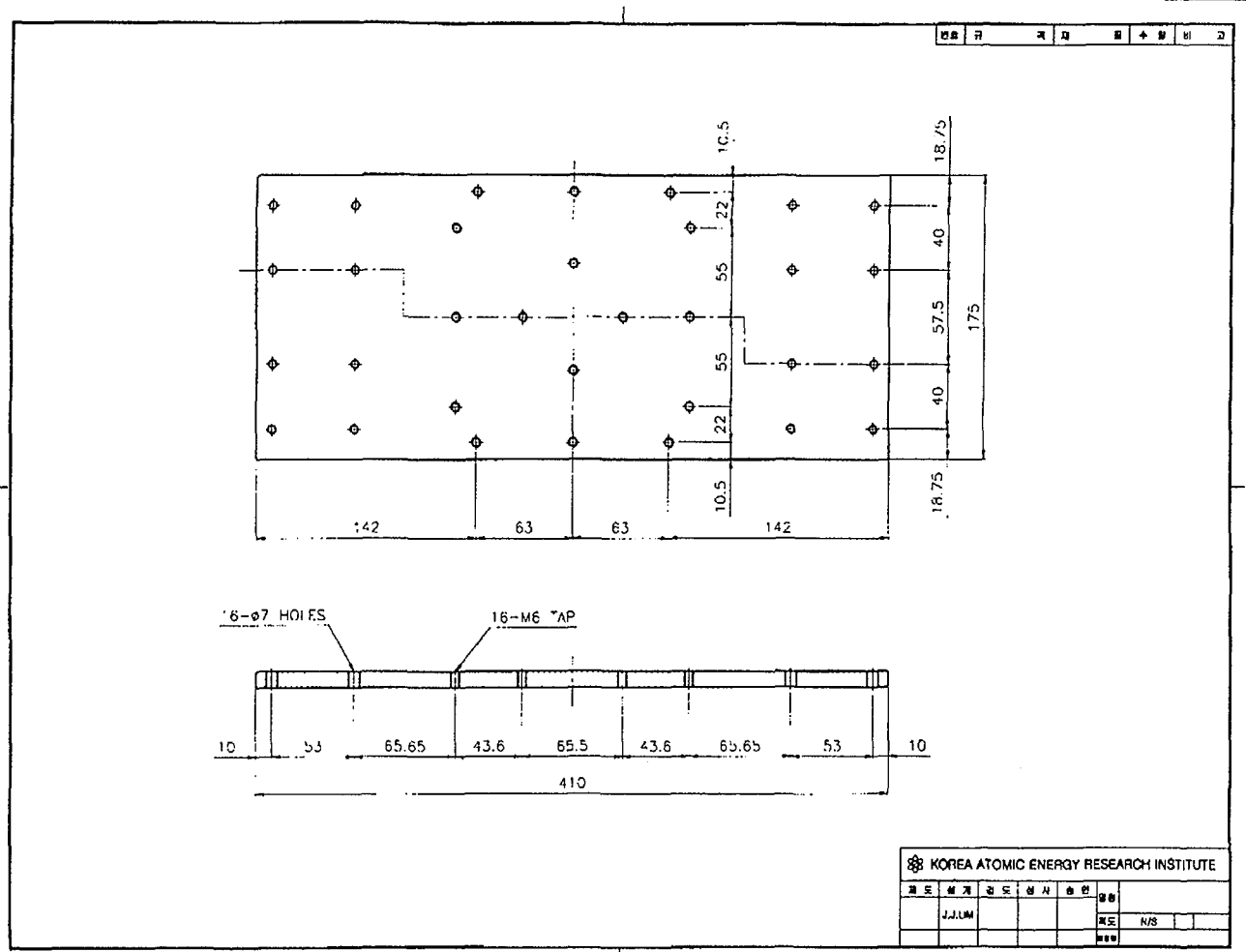
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



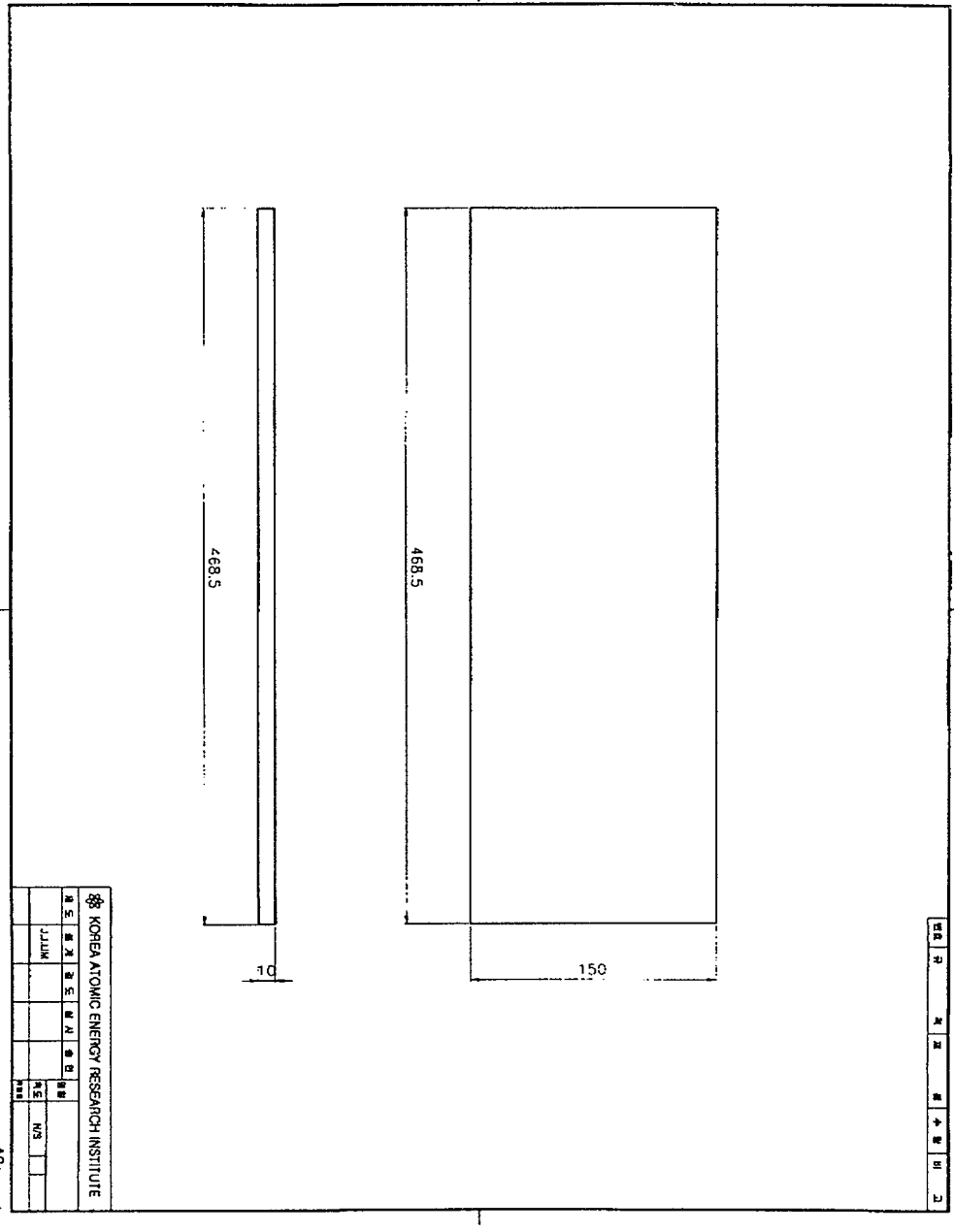
번호	구	역	차	제	수	장	번	고
----	---	---	---	---	---	---	---	---

KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE							
제	도	번	기	검	도	회	차
JJ.LIM							
						N/S	

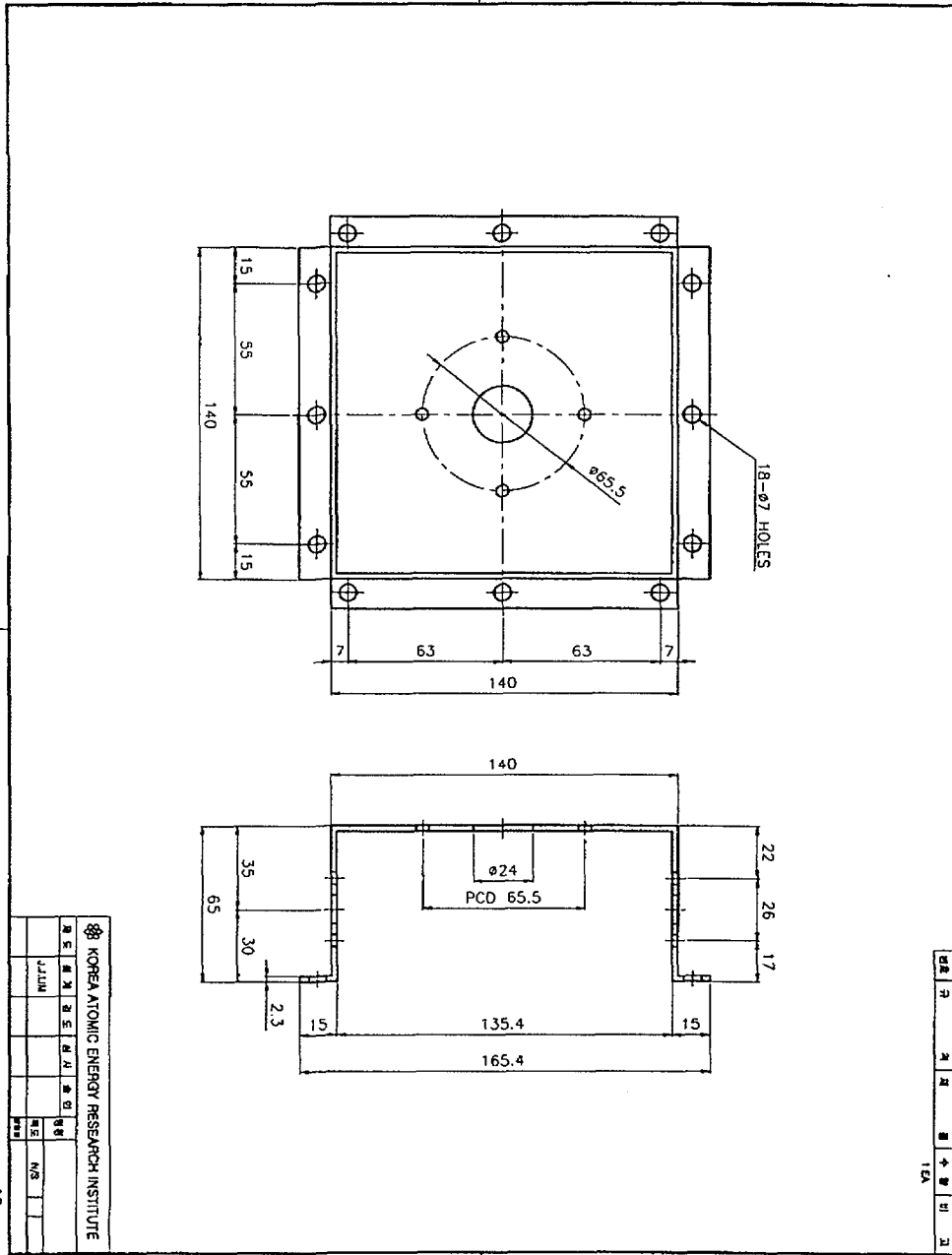
A-6-2. 제염체임버 파지모들 부품도(계속)



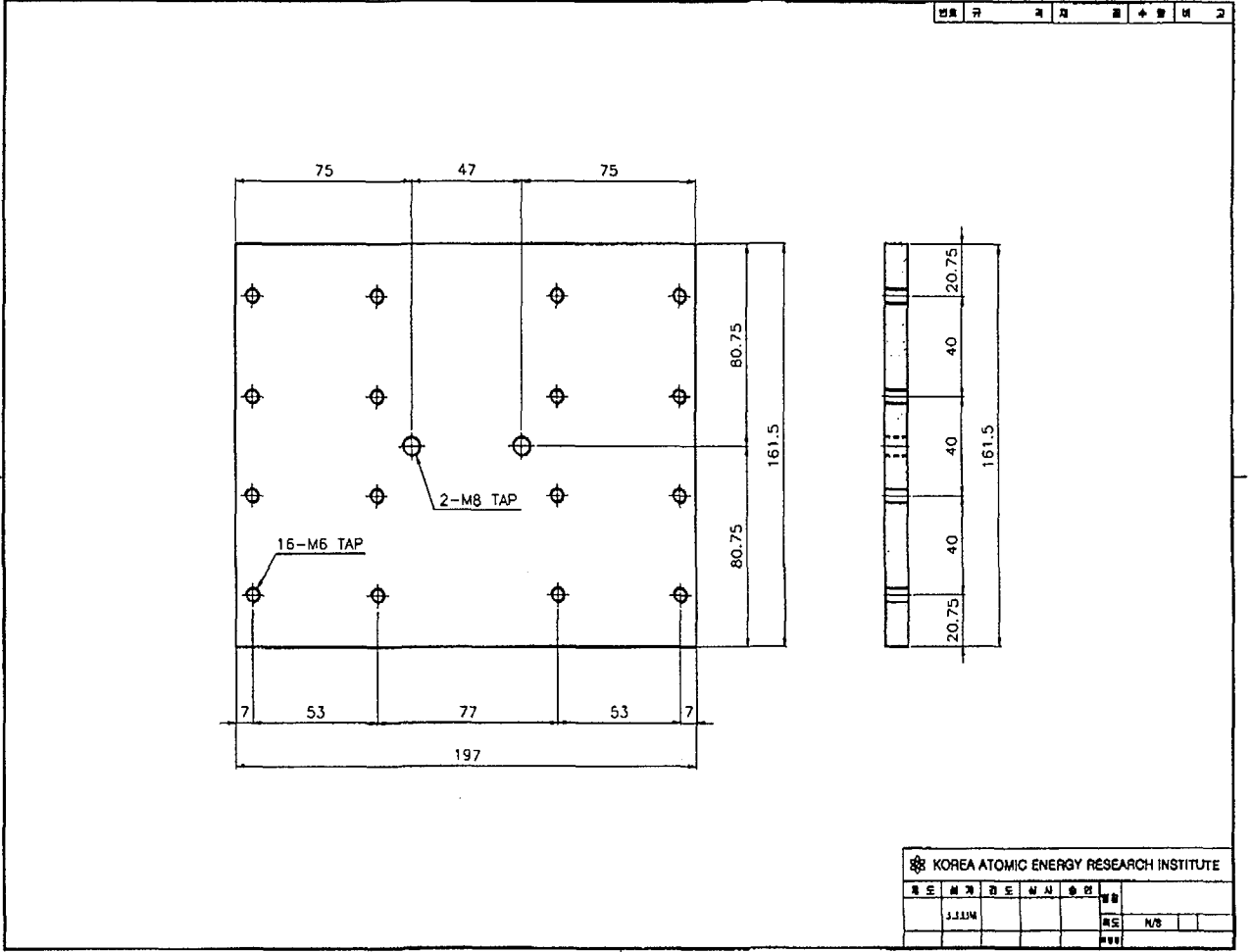
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



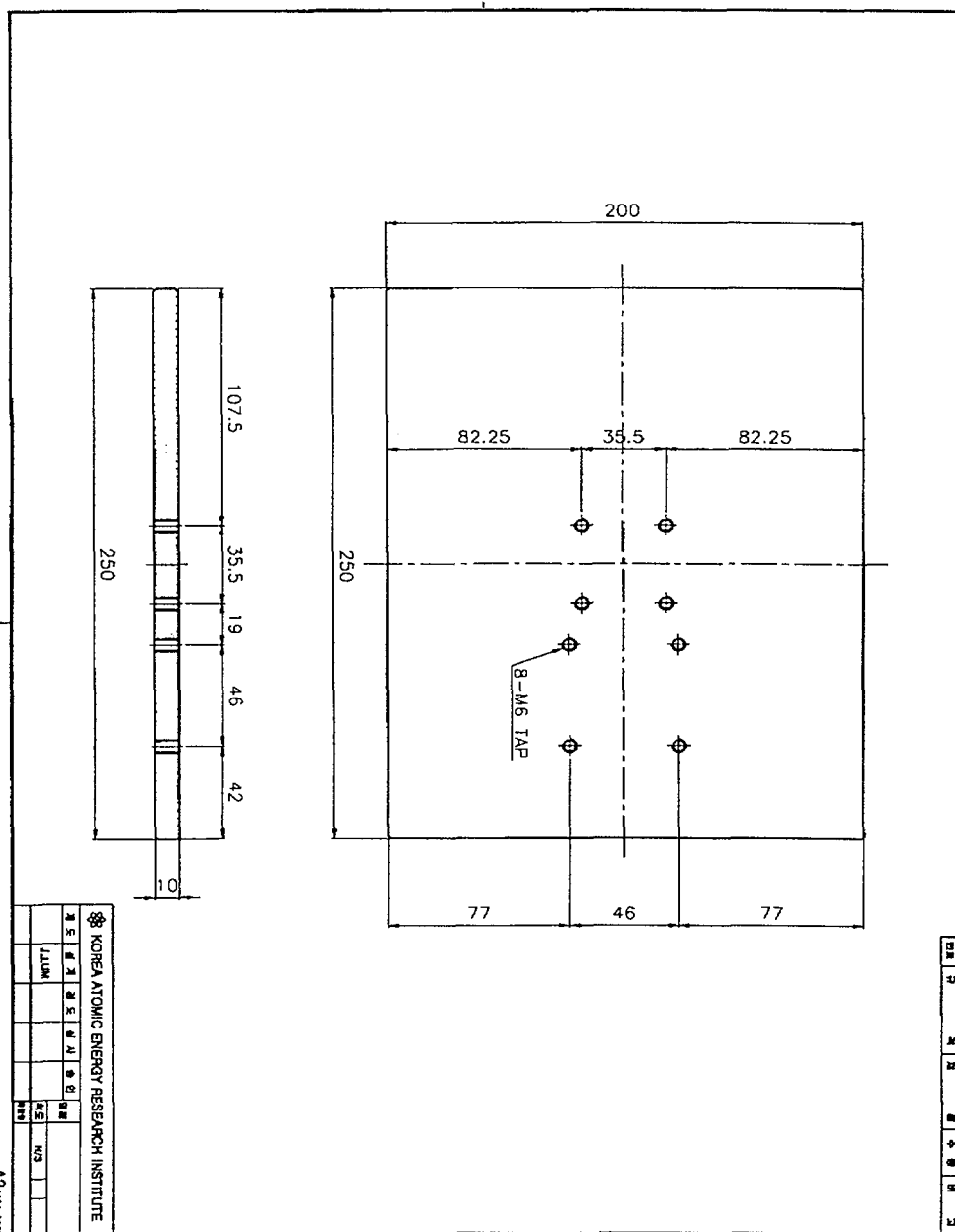
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



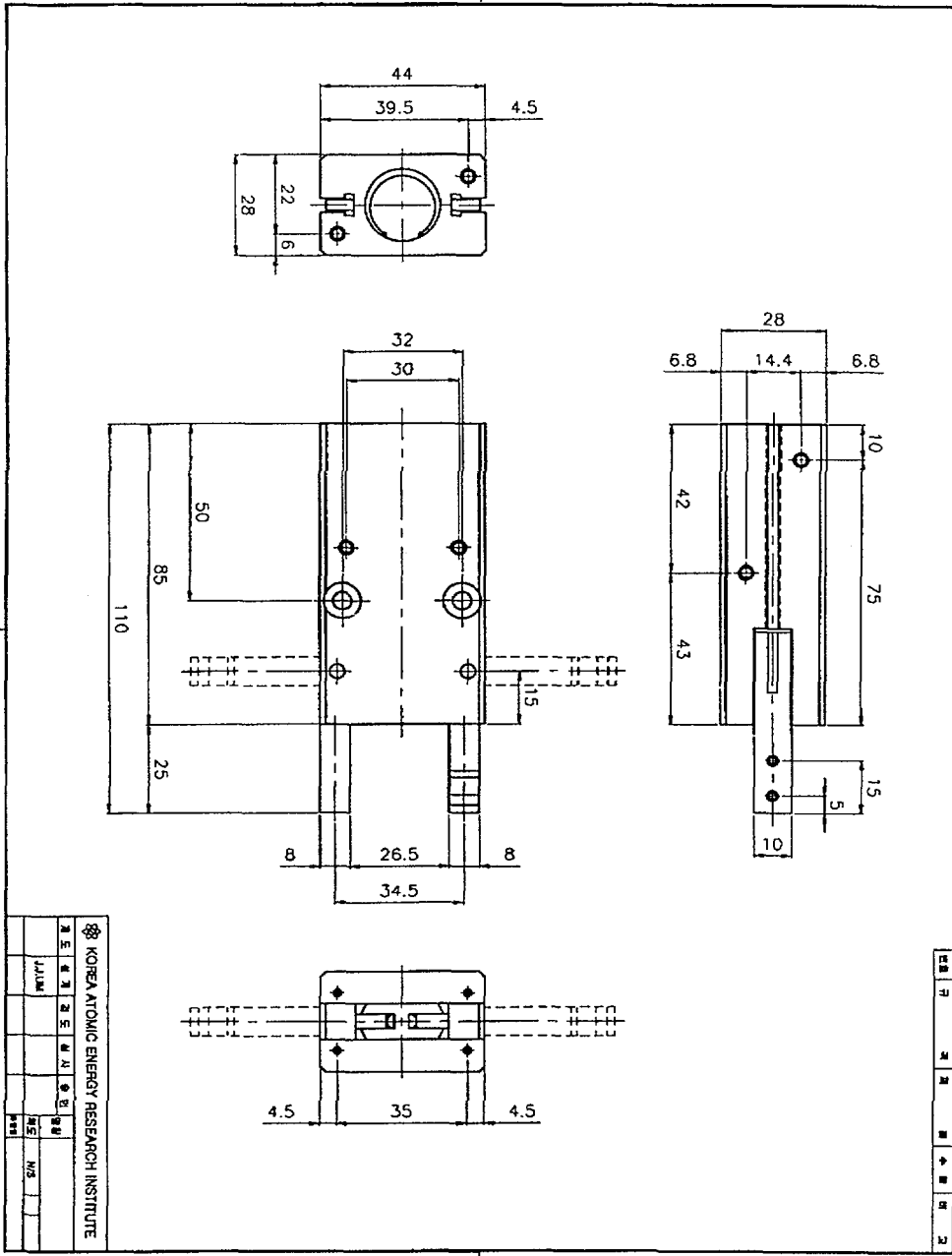
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



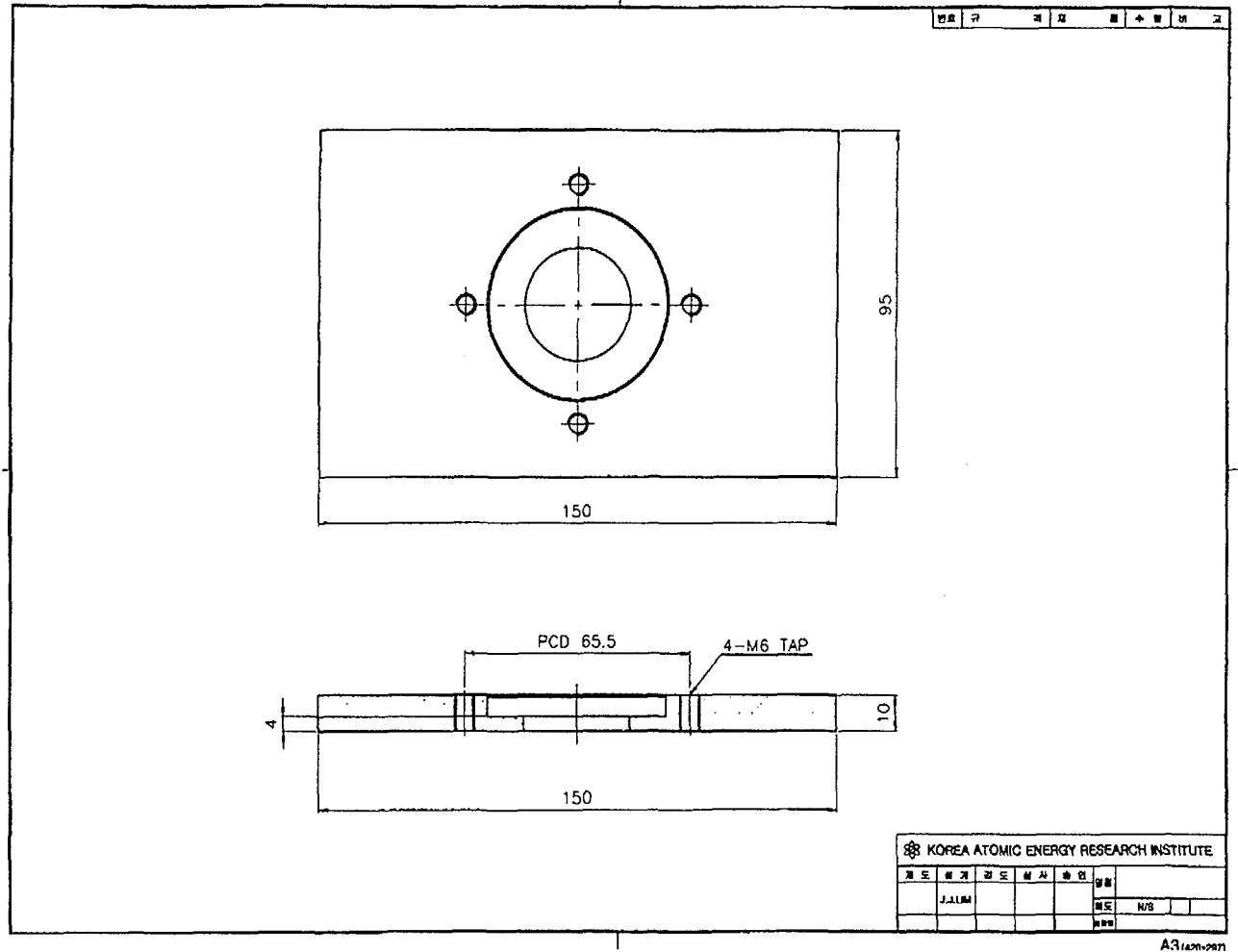
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



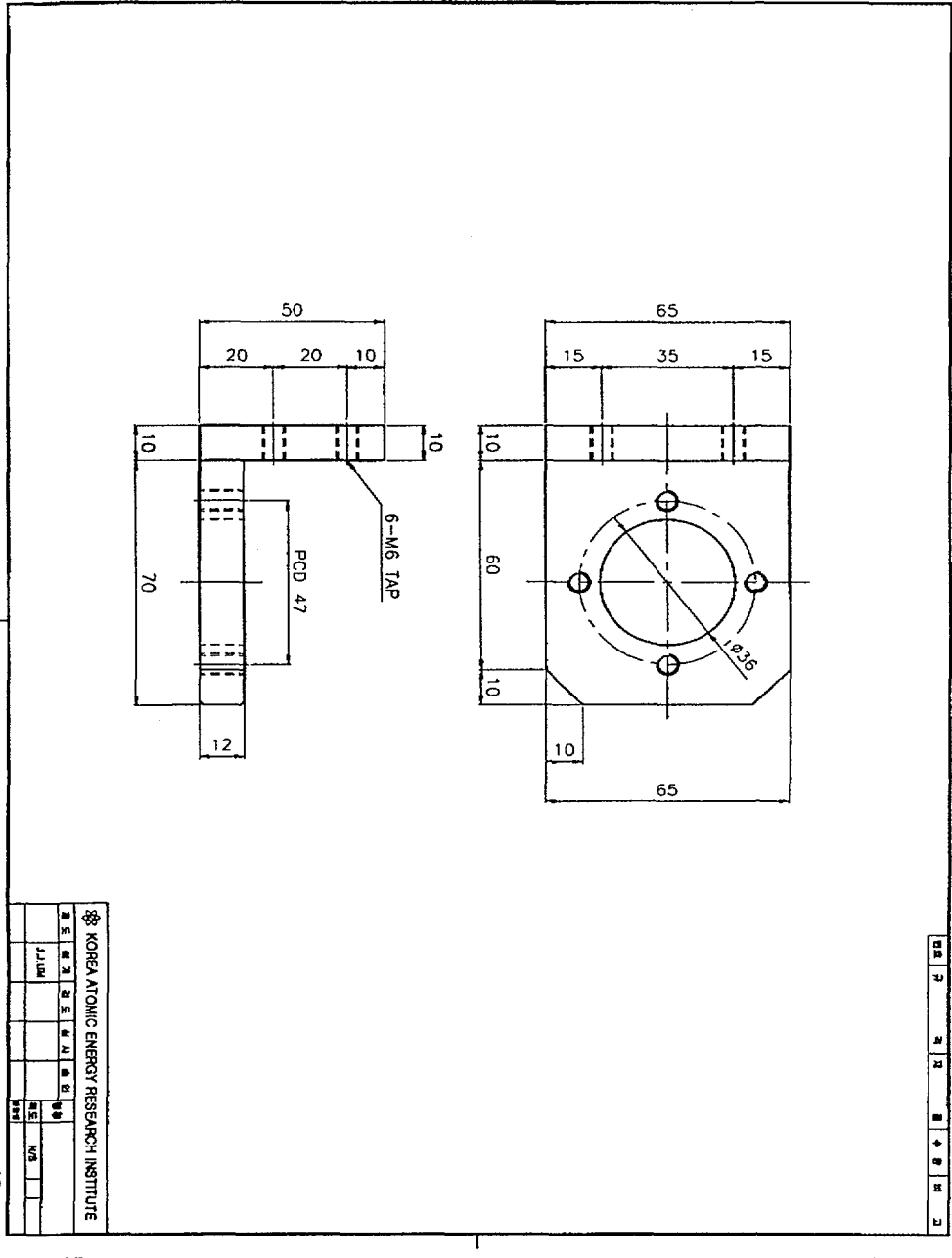
KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE	
제염체임버 파지모듈	부품도
11/11/11	11/11/11
11/11/11	11/11/11
11/11/11	11/11/11

11/11/11	11/11/11	11/11/11	11/11/11	11/11/11	11/11/11	11/11/11	11/11/11
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

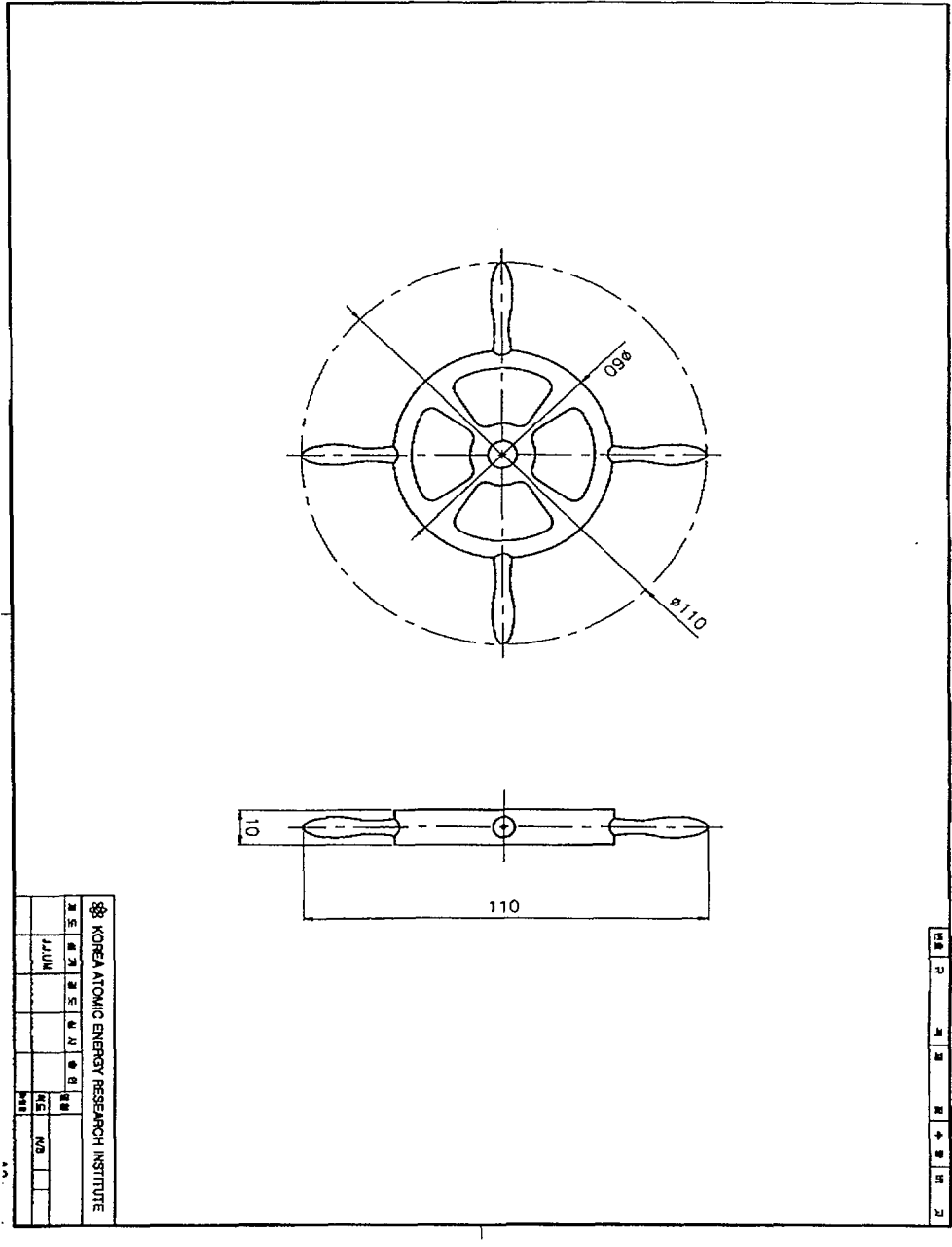
A-6-2. 제염체임버 파지모플 부품도(계속)



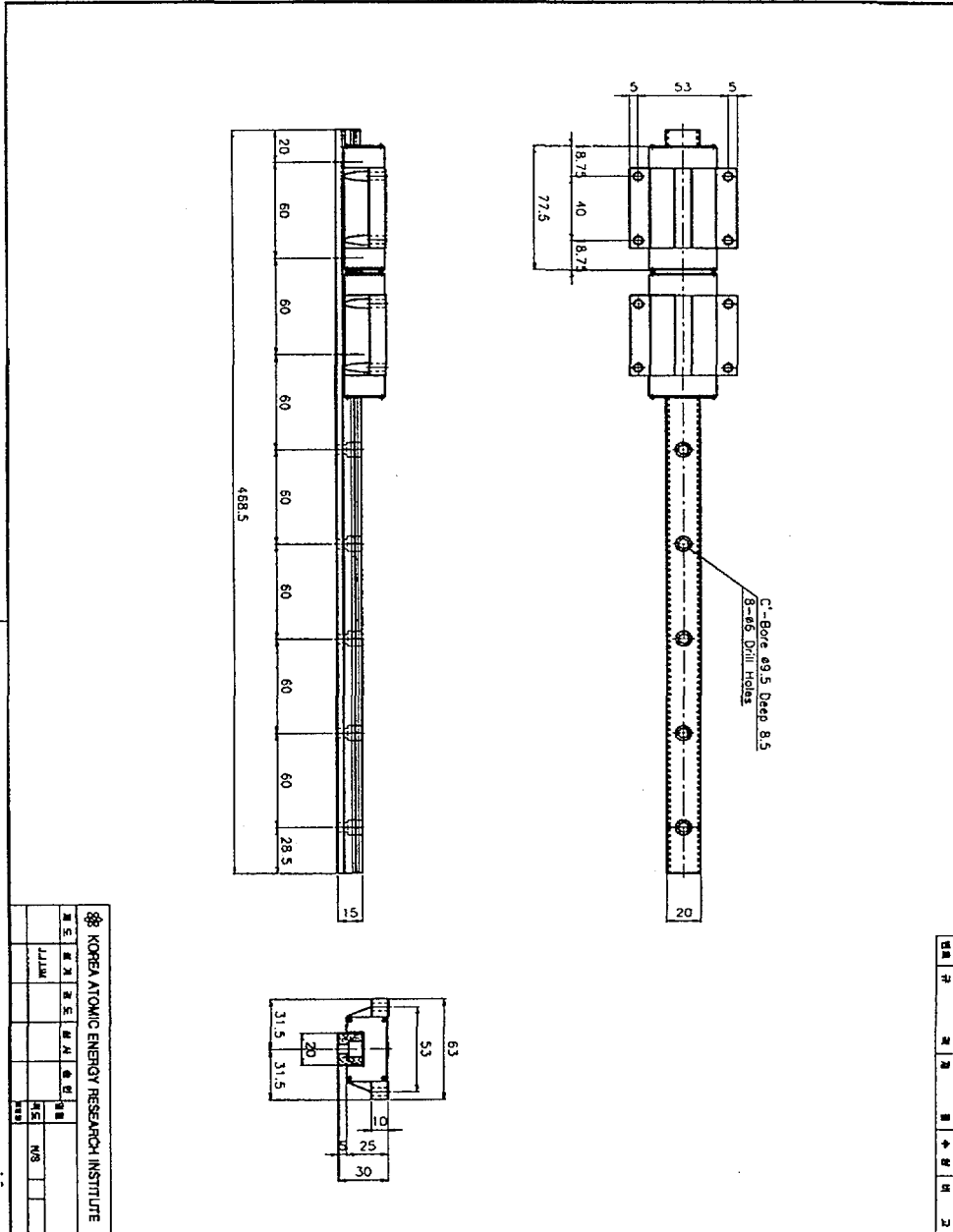
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



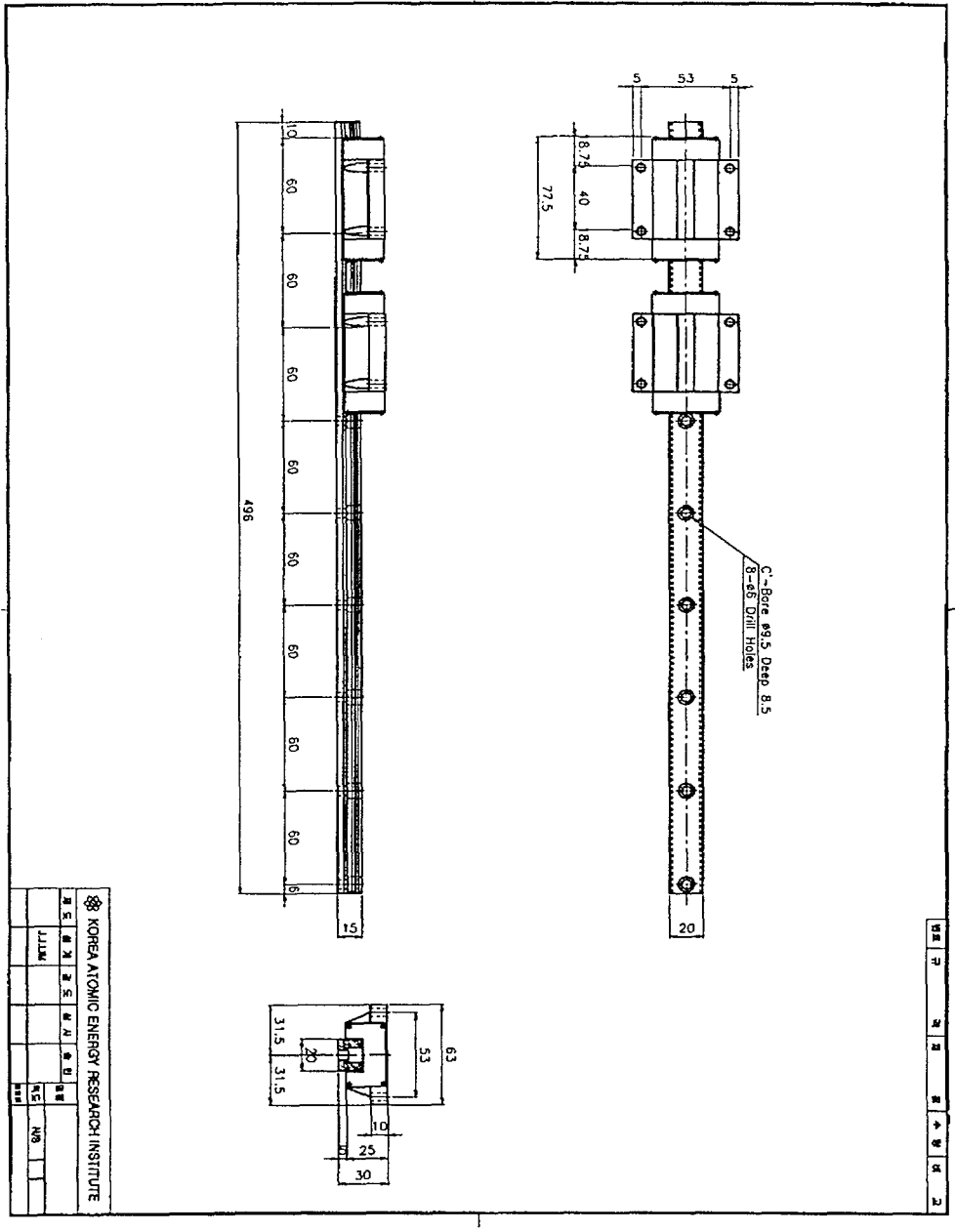
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



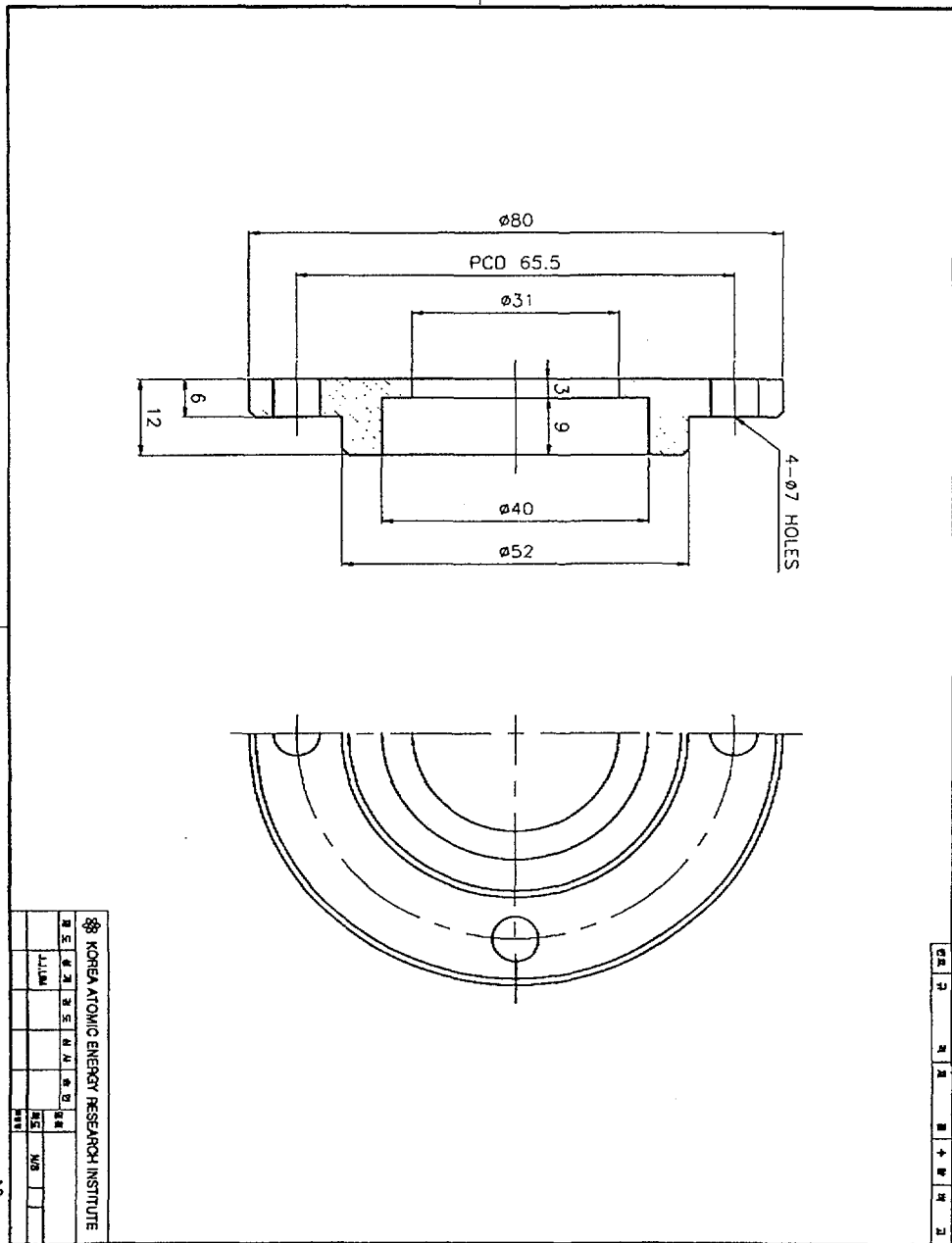
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



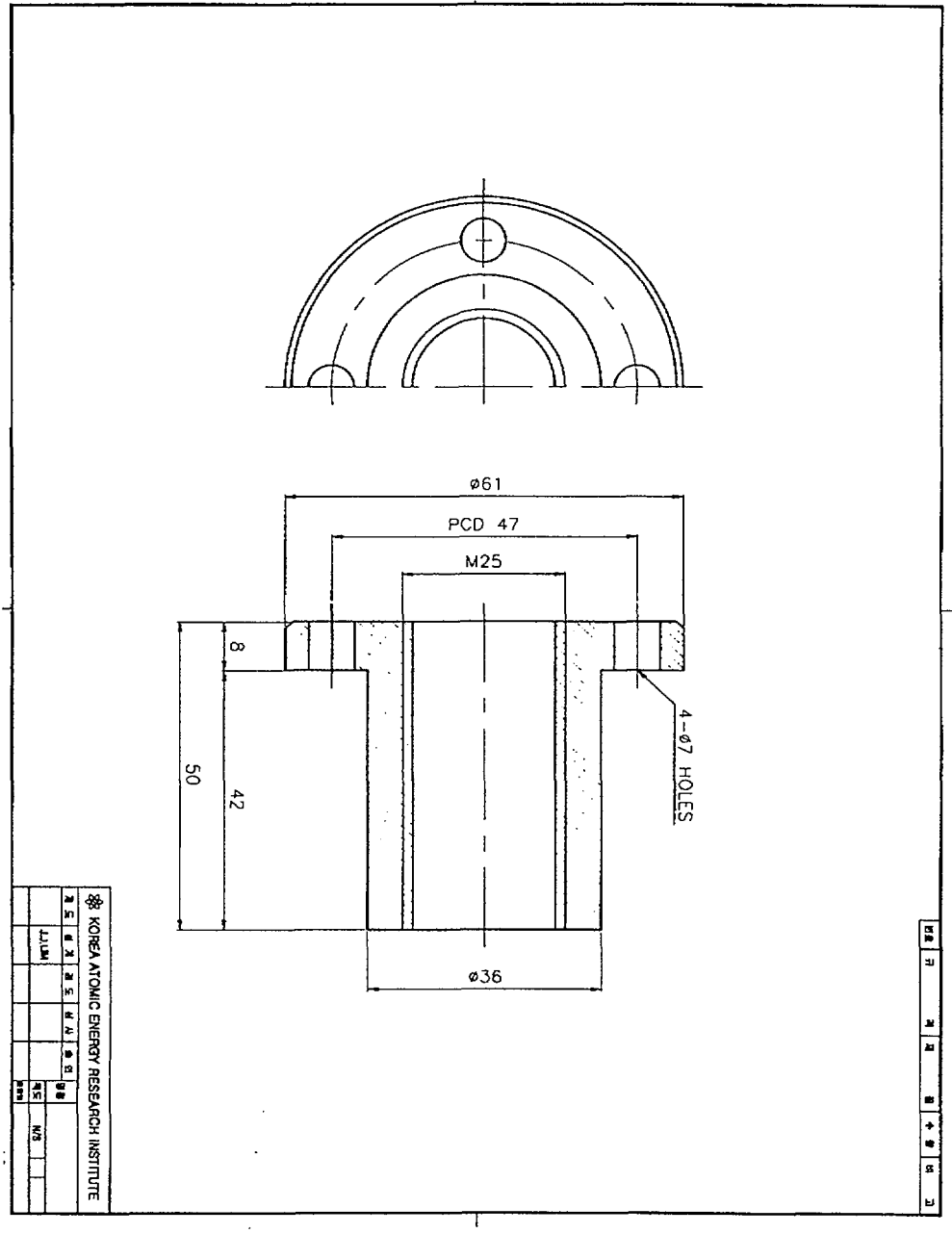
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



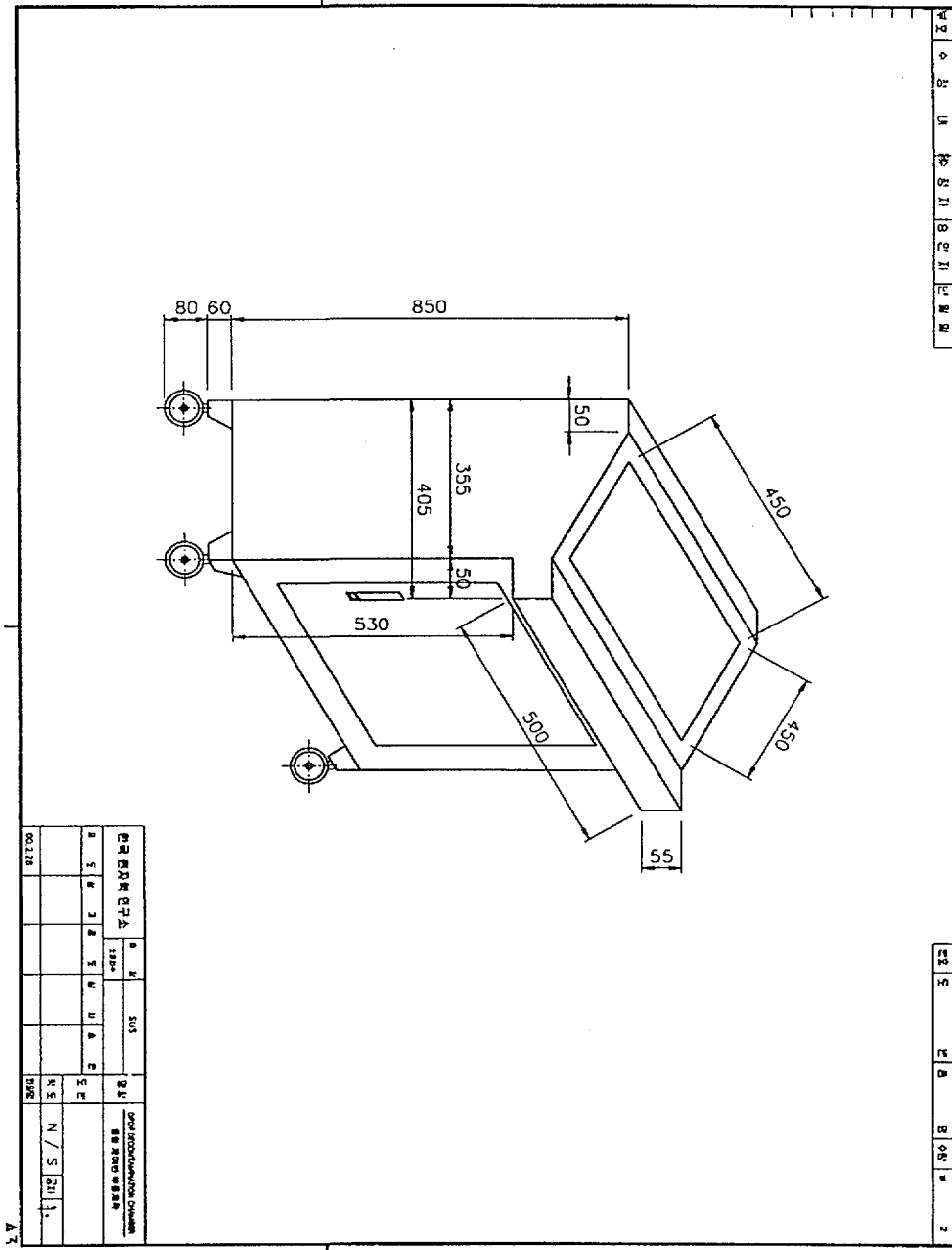
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



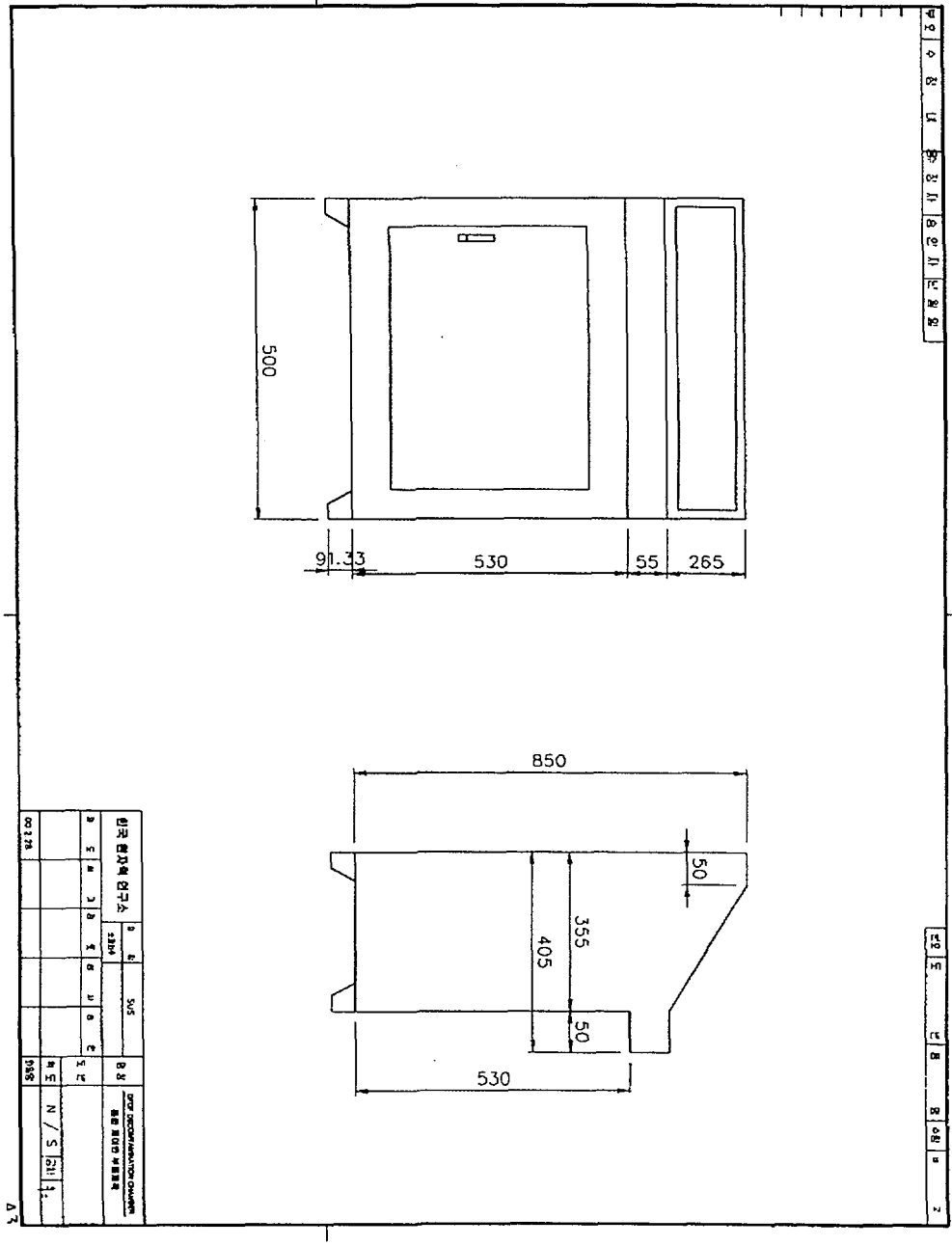
A-6-2. 제염체임버 파지모듈 부품도(계속)



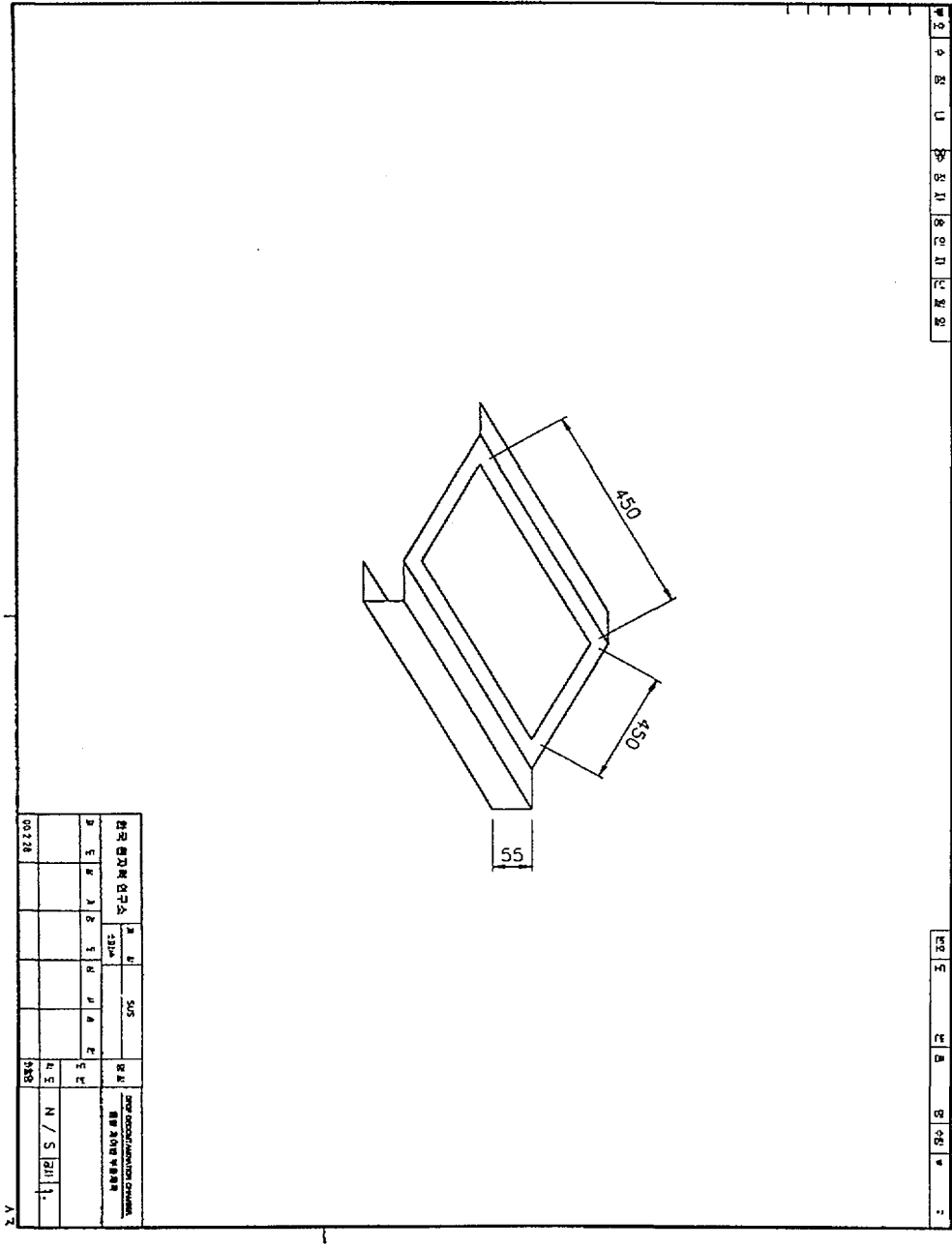
A-7-1. 제염체임버 통합제어반 외형도



A-7-2. 제염제염버 통합제어반 부품도

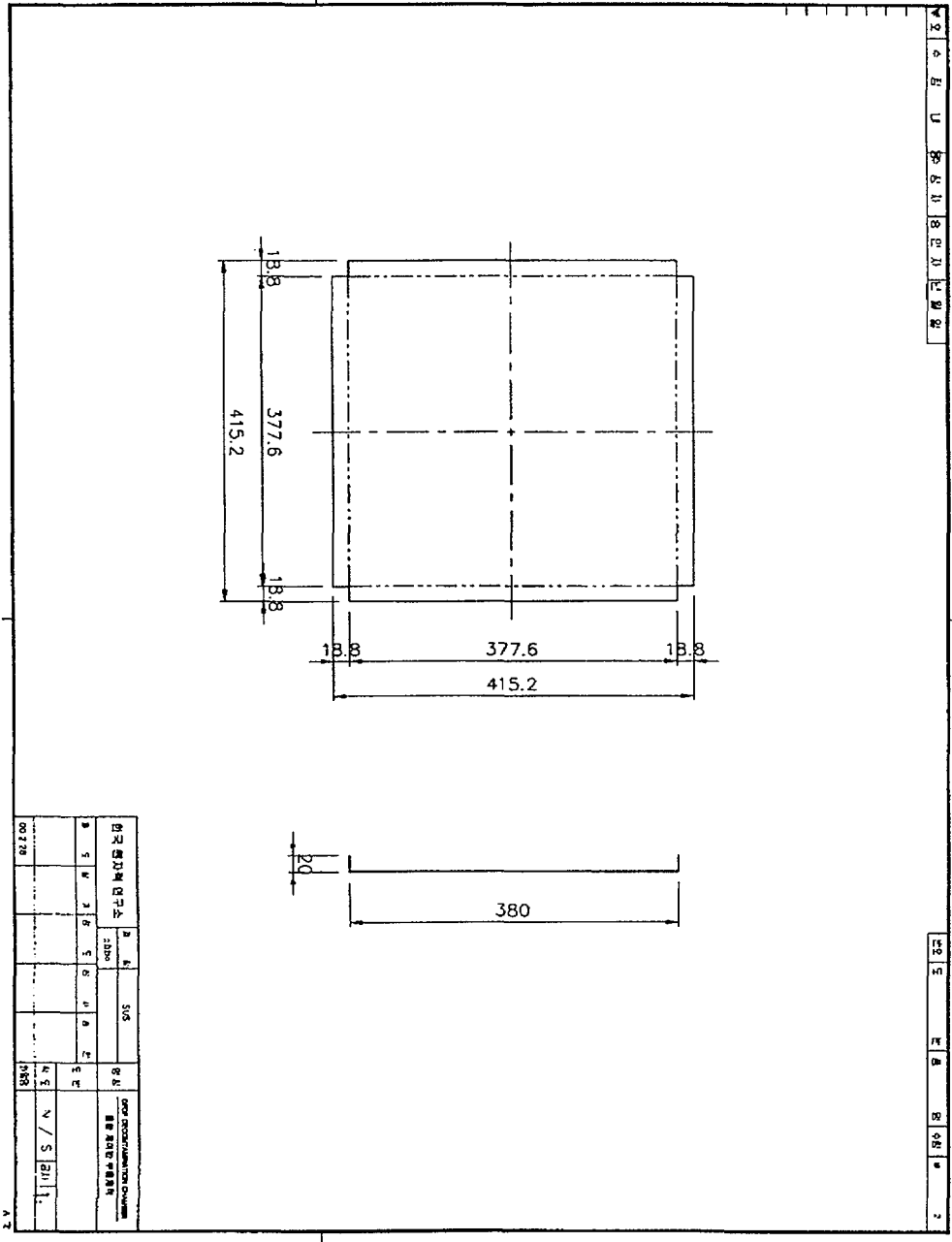


A-7-2. 제염제임버 통합제어반 부품도(계속)

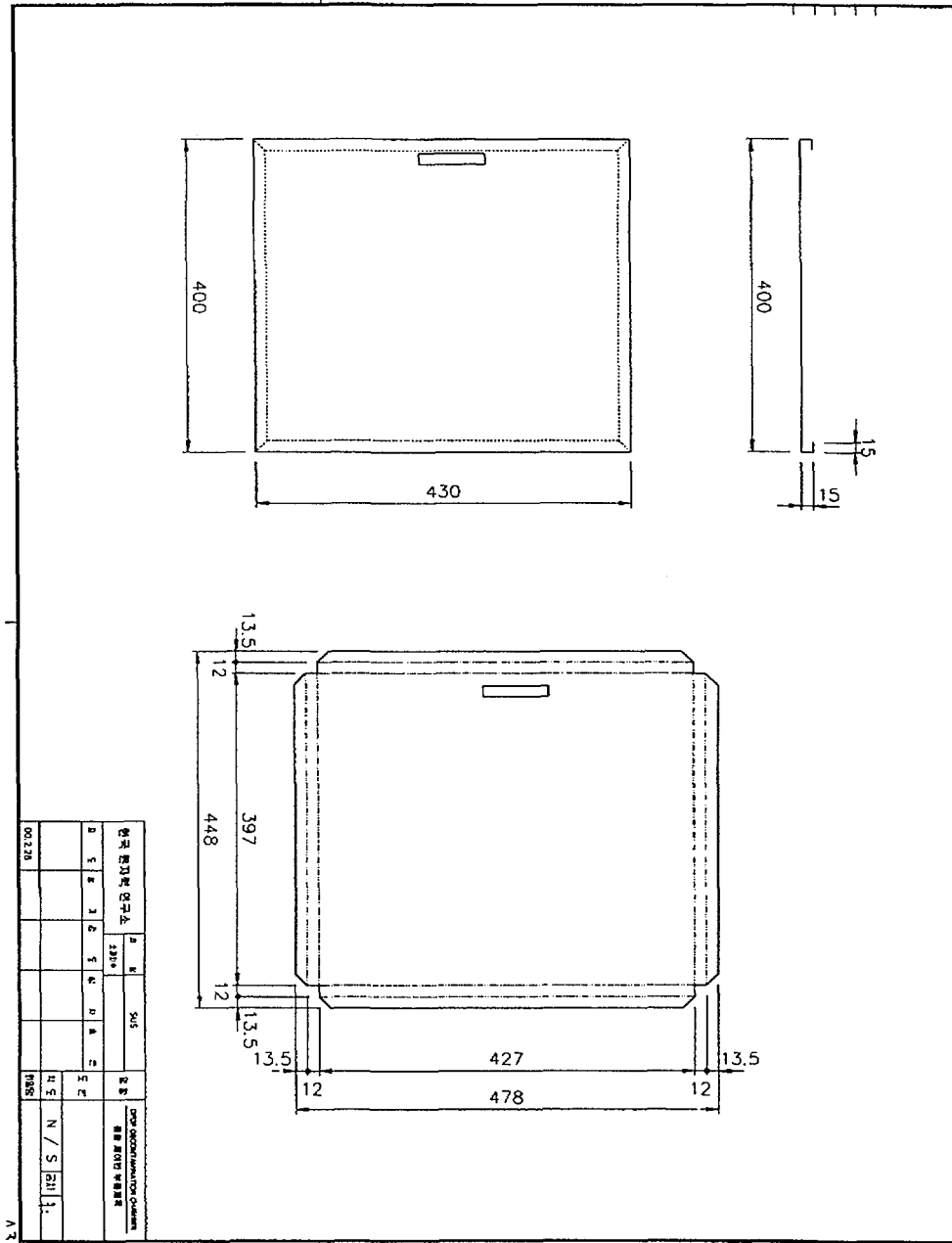


제염제임버 통합제어반		SUS		제염제임버 통합제어반	
00728		N / S III 1		제염제임버 통합제어반	

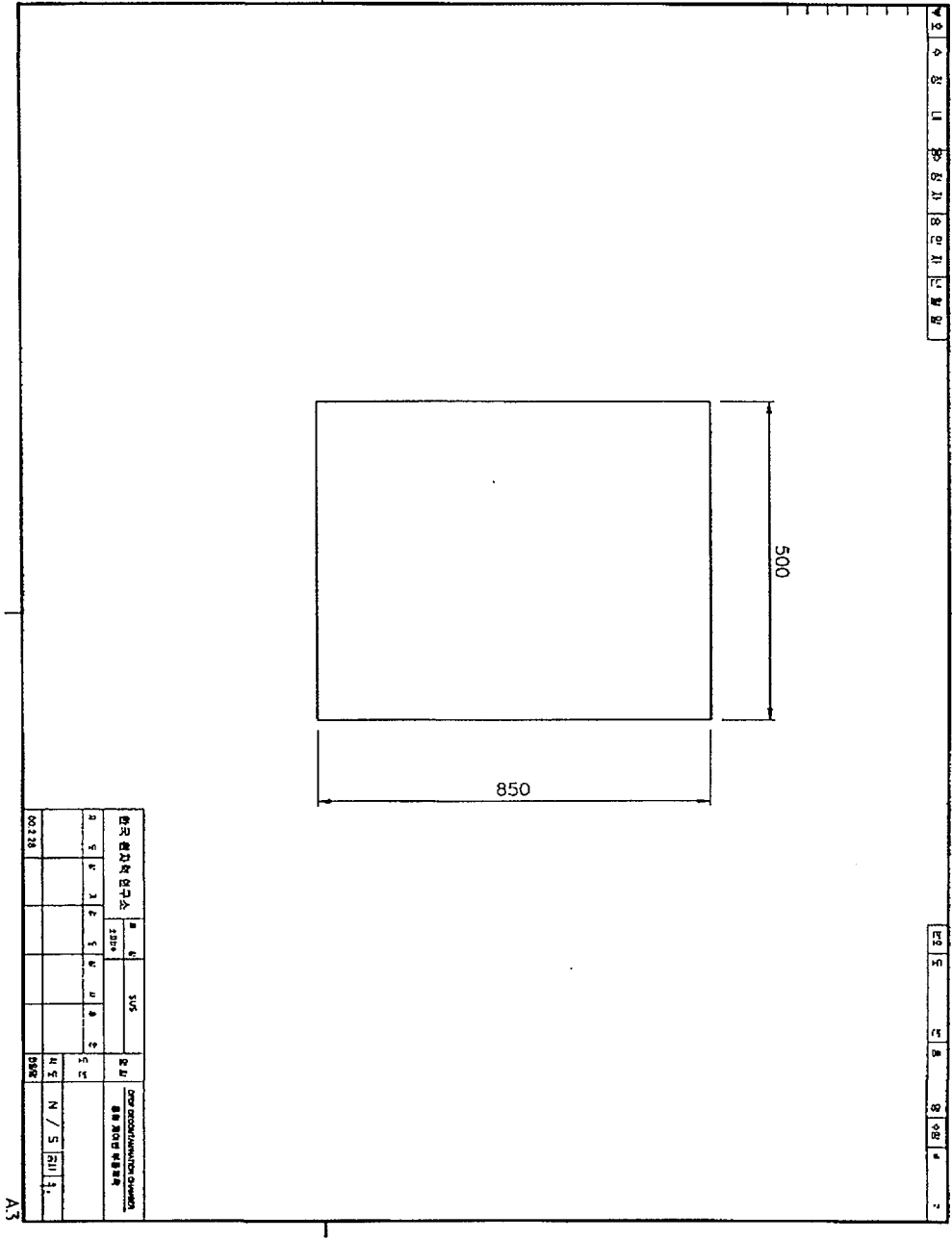
A-7-2. 제염체임버 통합제어반 부품도(계속)



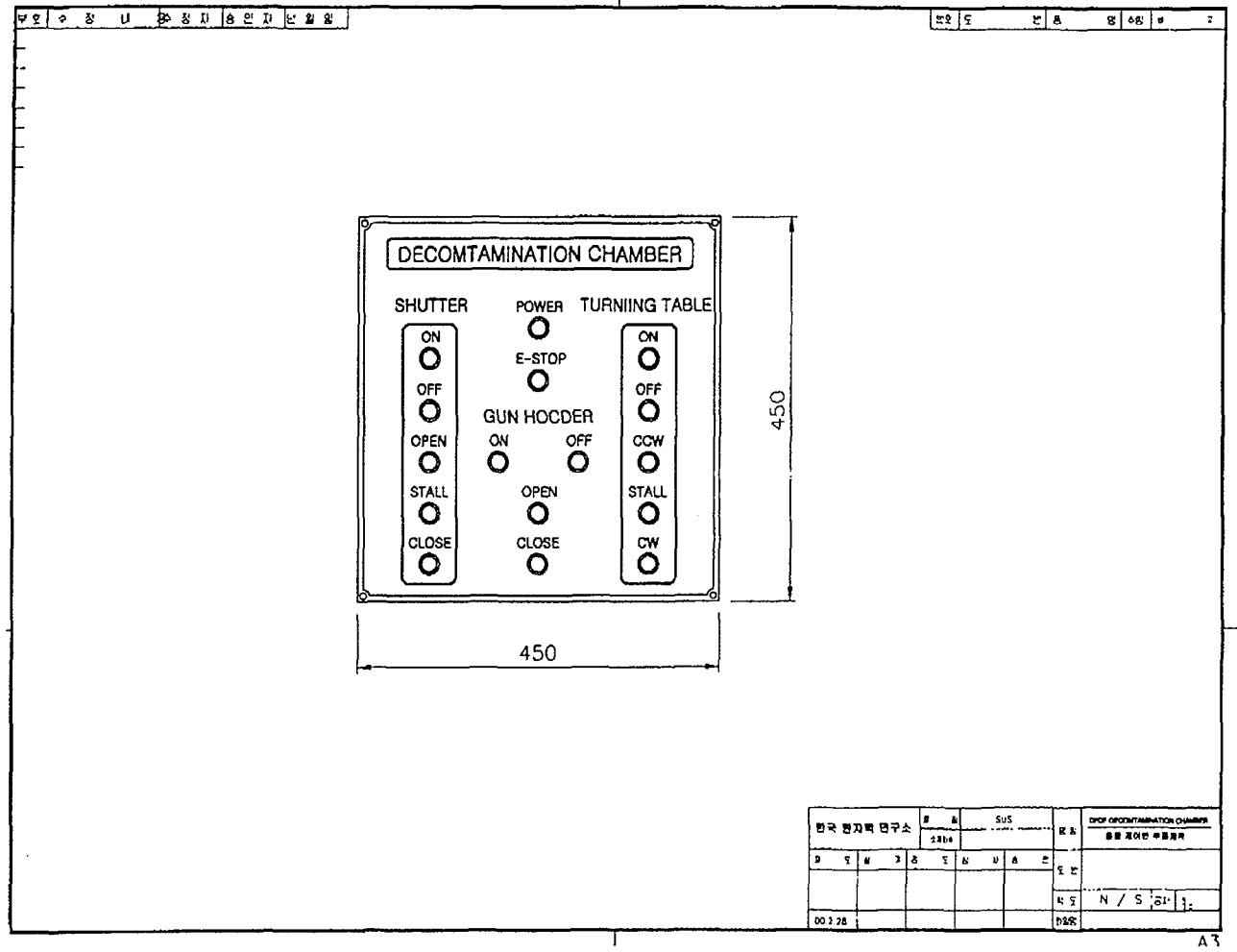
A-7-2. 제염체임버 통합제어반 부품도(계속)



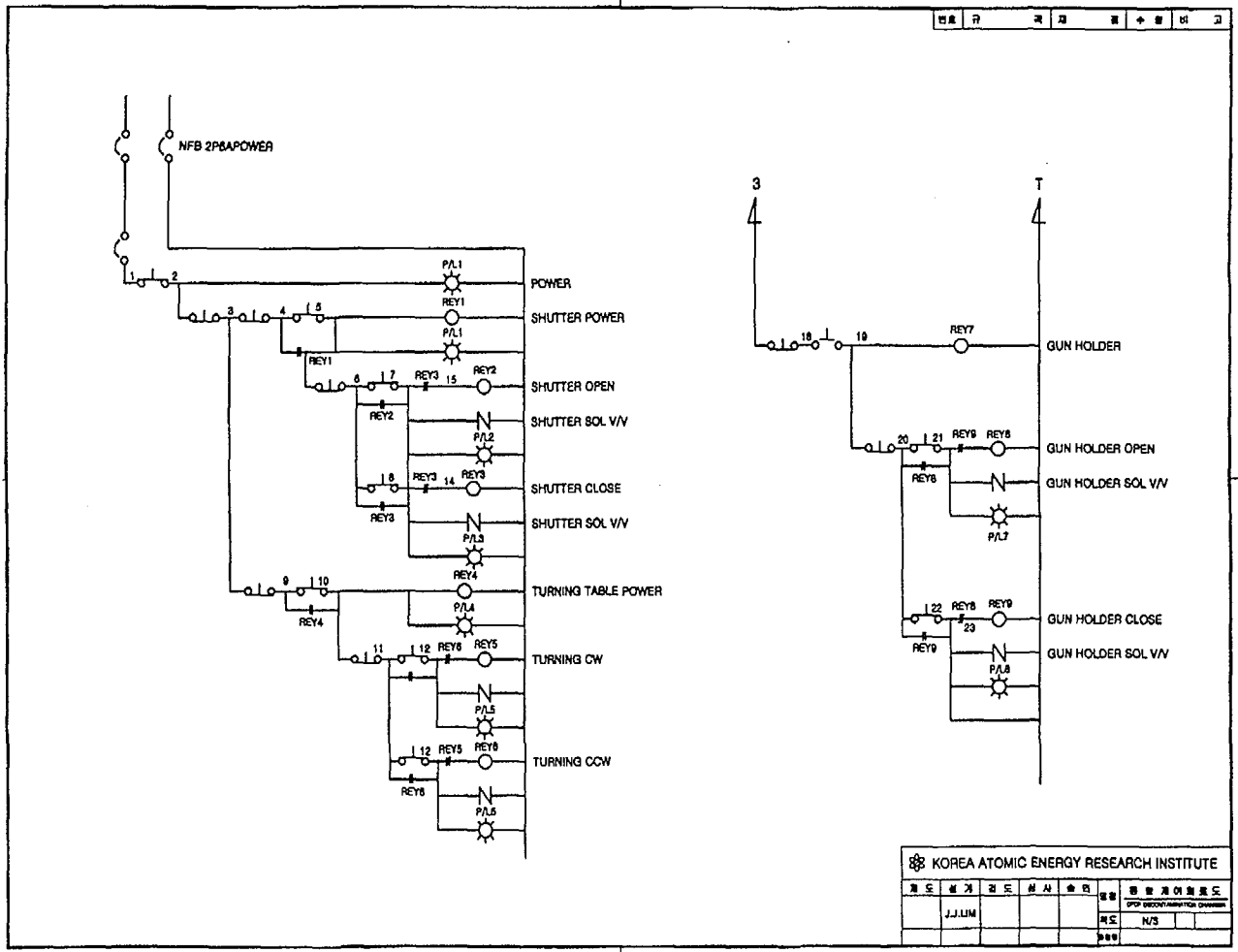
A-7-2. 제염제임버 통합제어반 부품도(계속)



A-7-2. 제염제임버 통합제어반 부품도(계속)



A-7-2. 제염체임버 통합제어반 부품도(계속)



KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE									
제 도	설 계	검 도	승 사	승 인	검 정	용 량			
J.J.LIM						OFD DECONTAMINATION CHAMBER			
						비 고	N/S		

AR(201)2071

서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식							
수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서번호		INIS 주제코드	
KAERI/TR-1658/2000							
제목 / 부제		경·중수로연계 (DUPIC) 핵연료 제조·공정장비 유지보수를 위한 제염체임버					
주저자		김기호(사용후핵연료 기술개발팀)					
연구자 및 부서명		박장진(사용후핵연료시설기술개발팀), 양명승(“), 이호희(“), 신진명(“)					
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년도	2000. 10		
페이지	140 p.	도표	있음(o), 없음()	크기	255 Cm.		
참고사항							
비밀여부	공개(o), 대외비(), _ 급비밀			보고서종류	연구보고서		
연구위탁기관				계약번호			
초록 (15-20줄내외)		<p>본 보고서에서는 DUPIC 핵연료 제조 및 공정에 사용되어 오염된 장비 및 취급공구 등을 제염 및 유지보수할 수 있는 제염체임버에 관한 내용을 기술하였다. 제염체임버는 유지보수가 요구되는 오염된 장비 및 장치 등을 핫셀 공간에서 격리하고 제염하고 수리할 수 있는 밀폐된 공간으로서 제염시 핫셀내 오염확산을 방지할 수 있는 시스템이며, 유지보수 작업이 끝난 후에는 핫셀의 한 공간으로 활용할 수 있다. 개발된 제염체임버는 수평개폐모듈, 수직개폐모듈, 보조도어모듈, 회전모듈 및 파지모듈 등 5개의 모듈로 구성되어 있으며, 당 연구소의 조사재시험시설 M6핫셀에 설치되어있다.</p> <p>본 보고서에서는 제염체임버를 구성하는 각 모듈의 기계적 설계 개념 및 고려사항, 핫셀 기 시설물과의 조화, 개발된 제염체임버의 원격 제어 및 운용 등에 관한 내용을 상세하게 기술하였다.</p>					
주제명키워드 (10단어내외)		핫셀, 사용후핵연료 및 분진, 오염, 고방사성물질, 제염, 제염체임버					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET							
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/TR-1658/2000							
Title / Subtitle		Decontamination Chamber for the Maintenance of DUPIC Nuclear Fuel Fabrication and Process Equipment					
Project Manager and Department		K. H. Kim(Spent Fuel Technology Development Team)					
Researcher and Department		J. J. Park(Spent Fuel Technology Development Team), M. S. Yang(""), H. H. Lee(""), J. M. Shin("")					
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI		Publication Date	Oct. 2000	
Page	140 p.	Ill.& Tab.	Yes(0), No ()		Size	255 Cm.	
Note							
Classified	Open(0), Restricted(), ___ Class Document		Report Type	Research Report			
Sponsoring Org.			Contract No.				
Abstract(15-20 Lines)		<p>This report presents the decontamination chamber of being capable of decontaminating and maintaining DUPIC nuclear fuel fabrication equipment contaminated in use. The decontamination chamber is a closed room in which contaminated equipment can be isolated from a hot-cell, be decontaminated and be repaired. This chamber can prevent contamination from spreading over the hot-cell, and it can also be utilized as a part of the hot-cell after maintenance work.</p> <p>The developed decontamination chamber has mainly five sub-modules - a horizontal module for opening and closing a ceil of the chamber, a vertical module for opening and closing a side of the chamber, a subsidiary door module for enforcing the vertical opening/closing module, a rotary module for rotating contaminated equipment, and a grasping module for holding a decontamination device. Such sub-modules were integrated and installed in the M6 hot-cell of the IMEF at the KAERI. The mechanical design considerations of each modules and the arrangement with hot-cell facility, remote operation and manipulation of the decontamination chamber are also described.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		hot-cell, spent nuclear fuel and particle, contamination, high radioactive material, decontamination, decontamination chamber					