



KR9800536

KAERI/RR-1790/97

원전 가압기 전기히터 유지 보수 로봇 개발

Development of the Robot
for Pressurizer Electric Heater
Inspection and Repairing

L 29-41 한국원자력연구소

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 “원전 가압기 전기히터 유지보수 로봇 개발”과제의 최종
보고서로 제출합니다.

1998 년 1월 15일

연구실명 : 원자력 로봇 Lab.

과제책임자 : 정 승 호

연 구 원 : 김 승 호

서 용 칠

감수위원 : 김 재 희

요 약 문

I. 제 목

원전 가압기 전기히터 유지보수 로봇 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

원자로, 증기발생기, 원자로 냉각재 펌프 및 가압기 등으로 이루어진 원자력발전소의 1차 계통은 원자력발전소의 핵심 계통으로 고온고압의 증기를 발생시켜 터빈에 공급해 주는 역할을 한다. 원자로 1차 계통 기기 중 가압기(pressurizer)는 정상운전 중에 원자로 냉각재의 압력을 적당하게 유지하여 부하 변동 등의 과도 상태에서 압력변동을 제어하는 역할을 하는 것으로 그 내부는 전열관(electric heater)과 분무기(spray) 등으로 이루어져 있다. 즉, 가압기는 원자로 1차 계통의 압력을 전열관과 분무기를 이용하여 2,235psig의 일정압력으로 유지해주는 안전성과 관련된 중요한 기기로서 정기적으로 이상 유무를 검사하여야 한다. 그러나 원자로 1차 계통은 방사능 오염 지역이므로 작업자가 가압기 내부를 검사하기가 용이하지 않다. 뿐만 아니라 가압기 구성부품의 이상 발생 등으로 인한 부품 교체 시에 작업자가 가압기 내부에서 작업을 수행하여야 하기 때문에 방사능 피폭을 피할 수가 없게 된다.

이와 같은 상황에서 인간을 대신하여 가압기 유지 보수 작업을 수행할 수 있는 로봇의 개발은 원자력 발전소의 안전성을 향상시키고, 병행하여 보수작업자의 방사선 피폭량을 감소시킴으로써 보수 작업의 효율성 및 경

제성을 향상시킬 수 있다.

본 연구의 목적은 원전 가압기의 점검 보수 작업을 수행할 수 있으며, 특히 가압기 내의 전열관 이상 발생 시 전열관의 교체 작업을 수행할 수 있는 로봇의 개발에 그 목적이 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 가압기 보수용 로봇의 상세 설계
2. 강선을 이용한 이동 가능한 파지부의 개발
3. 작업의 원활성 및 충돌 여부의 파악을 위한 3차원 그래픽 모의실험
4. 구조적 안전성 파악을 위한 유한요소법을 이용한 응력 해석
5. 가압기 점검 보수용 로봇의 제작

IV. 연구 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 결과

가. 설계 단계에서 3차원 그래픽 모의실험을 통해 로봇의 제작 후 일어날 수 있는 제반 문제 즉, 로봇의 장/탈착 및 보수 작업의 원활성, 그리고 가압기와의 충돌 여부 등을 미리 파악함으로써 로봇의 개발 시간 및 비용을 절감할 수 있었다.

나. 가압기 내부 전열관들의 지름이 동일하다는 점에 착안하여, 파손된 전열관의 제거를 위해 불과 스프링 만으로 구성된 파지부를 개발하였다. 개발된 파지부는 구조가 간단하며 동력의 사용이 불필요하므로 고장 발생율이 매우 적다.

다. ANSYS Code를 이용하여 개발된 로봇의 구조적 안전성을 밝혔다.

라. 원전 가압기 점검 및 보수에 로봇을 사용함으로써 작업자의 방사능 피폭량을 감소시킬 수 있다.

2. 활용에 대한 건의

원전 가압기 점검 및 보수 작업 시 개발된 로봇을 활용할 수 있을 것으로 기대됨.

Summary

I. Project Title

Development of the Robot for Pressurizer Electric Heater
Inspection and Repairing

II. Objectives and Importances of the Project

The reactor coolant system in nuclear power plants that consist of reactor, steam generator, coolant pump, and pressurizer play a role to supply steam to turbines. The pressurizer that controls the pressure variation of coolant consists of a vessel, electric heaters and a spray, which is one of the safety related equipments in nuclear power plants. Sometimes, even though not frequently, the electric rod heaters at bottom of the pressurizer are damaged by overheat. Therefore it is necessary to periodically inspect and maintain them. Because the inside of pressurizer is contaminated by radioactivity, when inspecting and repairing it, the radiation exposure of workers is inevitable.

In such case the use of robot in inspecting and maintaining pressurizer reduces the radiation exposure of workers, so that it can improve the performance of repairing and the economical

efficiency.

The objectives of this study is to develop the robot system for inspection and maintenance of the pressurizer.

III. Scope and Contents of the Project

1. Design of the robot system for inspection and maintenance of the pressurizer.
2. Development of the movable gripping system.
3. Graphic simulation of designed robot for
4. Stress analysis of the robot base frame for structural stability.
5. Manufacturing of the robot system for inspection and maintenance of the pressurizer.

IV. Results and Proposal for Applications

1. Results

- (1) Since the robot was simulated by 3 dimensional graphic software in design stage, some problems that might occur after manufacturing could be minimized in advance, by

which we have been able to save the robot developing time and money.

- (2) Because the gripper adopts the simple self-locking passive mechanism that is made up three balls and springs, the electric power is not necessary and its reliability is enhanced.
- (3) The FEA results show that the maximum stress intensity of the base frame is less than the allowable value, that is, it is mechanically safe.
- (4) The use of a robot in inspection and maintenance of pressurizer can reduce the radiation exposure of workers.

2. Proposal for Applications

The developed robot system can be used to inspect and maintain pressurizers in nuclear power plants.

목 차

요 약 문	i
Summary	iv
목 차	vii
그림 목차	ix
표 목차	x
사진 목차	xi
제 1 장 서 론	1
제 2 장 본 론	5
제 1 절 점검 및 보수 로봇의 설계조건과 구성	5
1. 로봇 설계 조건	5
2. 로봇의 구성	8
제 2 절 로봇 요소 설계	11
1. 로봇 링크의 설계	11
2. 볼을 이용한 파지부 설계	16
3. 권선부 요소선정	20
4. 로봇의 기구학적 시뮬레이션	22
5. 로봇 제어부	24
제 3 절 로봇기본 프레임의 구조해석	26

제 3 장 결 론 및 건의 사항	33
제 1 절 결 론	33
1. 연구결과	33
2. 기대 성과	34
제 2 절 건의 사항	35
References	36
부 록 A. ANSYS Code 프로그램	38
부 록 B. 가압기 유지 보수 로봇 도면	44

그림 목차

그림 1. 원자력발전소의 1차 계통.

그림 2. 가압기 구조.

그림 3. 가압기 내 로봇의 3차원 그래픽.

그림 4. 가압기 내의 로봇 배치도.

그림 5. 로봇의 개략도.

그림 6. 파지부에 작용하는 힘들.

그림 7. 로봇 장착 모의 실험.

그림 8. 로봇 제어부의 회로도.

그림 9. 로봇 기본 프레임을 ANSYS Code로 모델링.

그림 10. 로봇 기본프레임에 작용하는 힘, 모우멘트와 경계조건.

그림 11. 계산된 집중응력의 분포.

그림 12. 세부 모델.

그림 13. 세부 모델의 응력 집중 분포.

표 목차

표 1. 로봇의 기계적 제원.

표 2. 각 관절의 토크와 동력.

표 3. 각 관절에 사용한 모터 및 드럼 구동용 모터의 제원.

표 4. 하모닉 드라이브 기어의 제원.

표 5. 알루미늄합금에 대한 물성치.

사진 목차

사진 1. 로봇 링크부.

사진 2. 로봇 제어부.

제 1 장 서 론

원자로, 증기발생기, 원자로 냉각재 펌프 및 가압기 등으로 이루어진 원자력발전소의 1차 계통은 원자력발전소의 핵심 계통으로 고온고압의 증기를 발생시켜 터빈에 공급해 주는 역할을 한다. 그림 1은 원자력발전소의 1차 계통의 개략도를 보여주고 있다. 1차 계통 기기 중 가압기 (pressurizer)는 정상운전 중에 원자로 냉각재의 압력을 적당하게 유지하여 부하 변동 등의 과도 상태에서 압력변동을 제어하는 역할을 하는 것으로 그림 2에서 보는 바와 같이 그 내부는 전열관(electric heater)과 분무기(spray) 등으로 이루어져 있다. 즉, 가압기는 원자로 1차 계통의 압력을 전열관과 분무기를 이용하여 2,235psig의 일정압력으로 유지해주는 안전성과 관련된 중요한 기기로서 정기적으로 이상 유무를 검사하여야 한다. 그러나 원자로 1차 계통은 방사능 오염 지역이므로 작업자가 가압기 내부를 검사하기가 용이하지 않다. 뿐만 아니라 가압기 구성부품의 이상 발생 등으로 인한 부품 교체 시에 작업자가 가압기 내부에서 작업을 수행하여야 하기 때문에 방사능 피폭을 피할 수가 없게 된다.

본 논문에서는 가압기의 점검 보수시 작업자의 방사능 피폭량을 감소시키기 위해 가압기 내부의 이상상태를 조기에 점검하고, 보수할 수 있는 로봇 시스템 개발하였다. 가압기의 점검 보수용 로봇의 작업은 가압기 내에서 수행되어야 하므로 여러 가지 제한조건을 고려하여 설계되어야 한다. 특히 로봇을 부착할 수 있는 가압기 상부의 맨홀로부터 가압기내의 하부에 위치한 전열관까지의 거리가 약 9m나 된다는 점을 고려하여 본

REACTOR COOLANT SYSTEM GENERAL ARRANGEMENT

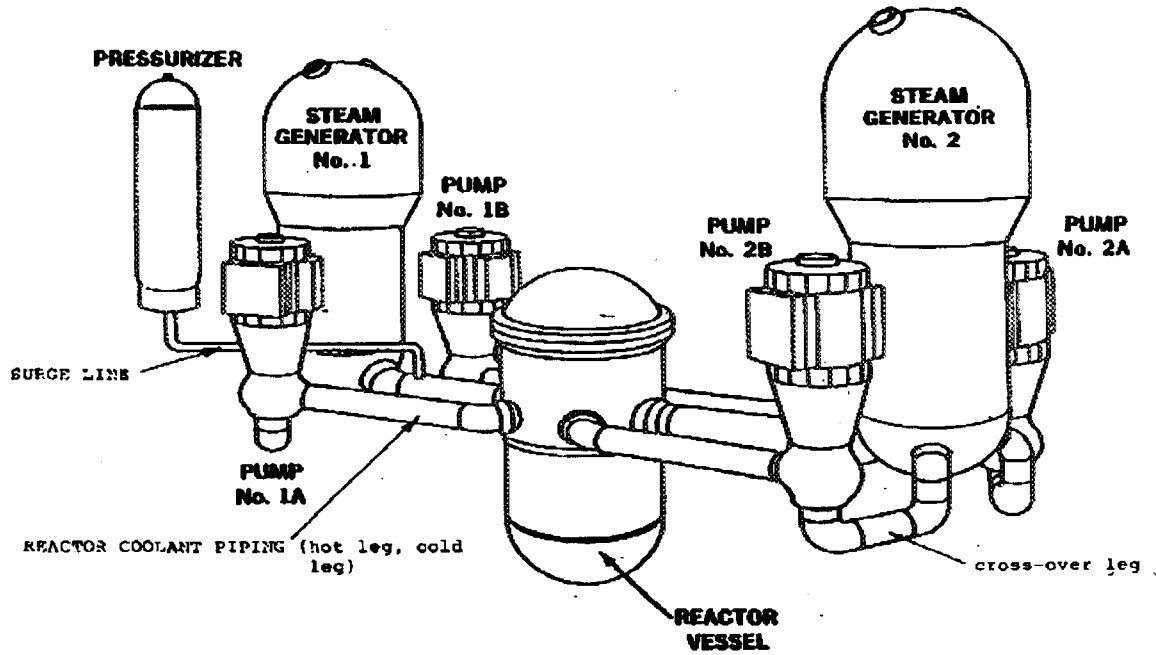


그림 1. 원자력발전소의 1차 계통

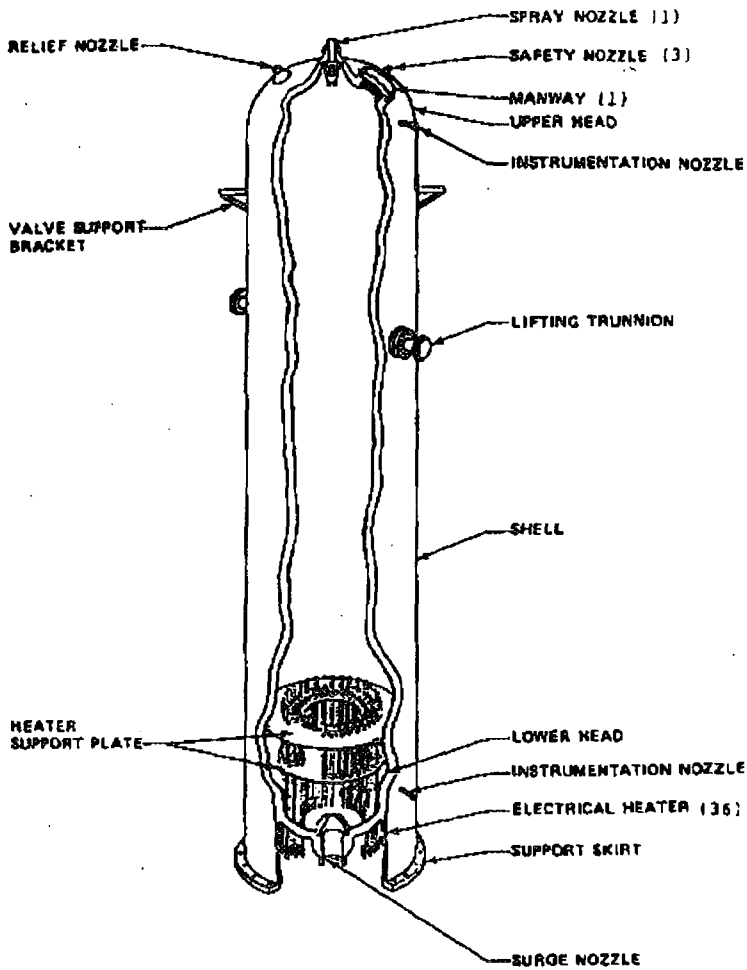


그림 2. 가압기 구조

논문에서 개발한 로봇시스템은 2 자유도를 갖는 링크부, 강선을 이용한 이동가능한 파지부, 로봇을 부착하는 기본 프레임, 그리고 로봇 제어부로 구성하였다.

각 구성부는 작업 공간의 제한성 등을 고려하여 설계되었으며, 로봇 제작에 앞서 3차원 그래픽 시뮬레이션 프로그램인 ROBCAD를 이용하여 작업의 원활성 및 가압기와 로봇의 충돌여부, 로봇의 장/탈착의 원활성 등을 그래픽 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한 가압기 내부의 손상된 전열관 인출 시에 큰 하중이 요구되므로 ANSYS Code를 이용하여 로봇의 구조적 안정성을 평가하였다.

제 2 장 본 론

제 1 절 로봇의 설계조건과 구성

1. 로봇의 설계조건

로봇이 고방사선 환경인 가압기 내부라는 제한된 작업공간 내에서 주어진 작업을 수행할 수 있도록 하기 위해서는 다음과 같은 조건들을 만족하도록 설계되어야 한다.

- 가압기의 내부는 지름이 2.8m, 길이 13m의 원통구조이며, 상부통에는 분무 노즐이 설치되어있다. 따라서 로봇의 장/탈착 및 로봇 작업 시 협소한 구역에서 충돌이 일어나지 않도록 설계되어야 한다.
- 가압기 내부는 고방사선에 의한 오염이 심각하므로 내방사선을 고려하여야 하며, 사용 후에 제염이 가능하도록 하여야 한다.
- 가압기 맨홀의 직경이 40cm로서 로봇이 장착과 삽입이 가능하도록 로봇의 장착부와 몸체의 크기가 결정되어야 한다.
- 가압기 맨홀로부터 9m 아래에 위치한 전열관을 파지할 수 있어야 한다.

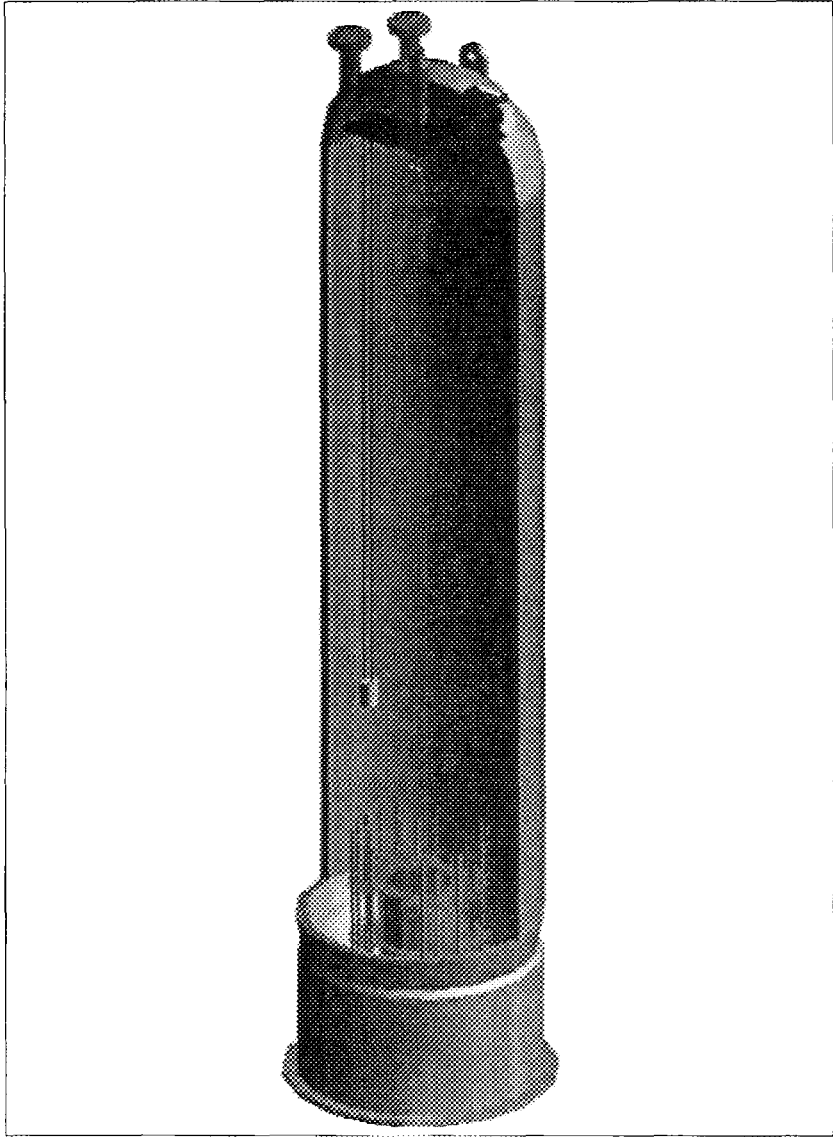


그림 3. 가압기 내 로봇의 3차원 그래픽

작업 현장이 협소하므로 로봇의 장/탈착 및 작업의 용이성을 위해

로봇의 경량화가 이루어져야 하며, 작동이 단순해야 한다.

이상의 설계조건을 만족하도록 본 연구에서 개발된 로봇은 2자유도를 갖는 링크부, 강선을 이용한 이동 가능한 파지부, 제어부의 4부분으로 설계되었다. 그림 3은 가압기 내에 부착된 로봇을 3차원 그래픽을 이용하여 보여 주고 있으며, 그림 4는 가압기 내의 로봇 배치도이다.

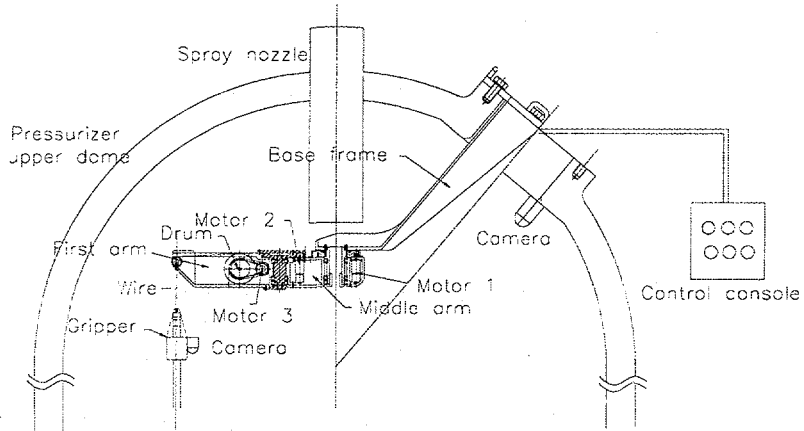


그림 4. 가압기 내의 로봇 배치도

2. 로봇의 구성

가. 권선부 및 첫 번째 링크

권선부 부분은 가압기 내에 있는 전열관을 제거 및 점검할 수 있는 파지부 및 기타 점검장비를 상, 하로 움직이게 하는 역할을 한다. 그림 3에 서와 같이 첫 번째 링크는 강선을 감아 올릴 수 있는 드럼과 드럼을 구동시키는 모터, 드럼과 모터를 고정하는 구조물 세 부분으로 나눌 수 있다. 모터를 구동하면, 모터와 연결된 하모닉 드라이브 기어(Harmonic Drive Gear)에서 1/120으로 감속되어 드럼의 토크를 증대시키고, 드럼이 구동하면서 드럼 위에 강선을 감아 올리게 되어있다.

나. 중간 링크

가압기 내부의 전열관은 등 간격의 원주 방향으로 두 열로 배치되어 있기 때문에 이 위치에 접근하기 위하여 로봇의 중간 링크는 첫 번째 링크를 회전시키는 기능을 한다. 구성은 그림 3에서 보는 바와 같이 모터 부분과 구조물 부분으로 된다. 사진 1은 수평 2관절 로봇 링크를 보여준다.

다. 기본 프레임

기본프레임은 첫 번째 링크, 중간 링크를 고정시키는 부분이다. 기본프레임은 가압기내부에 들어갈 수 있는 맨홀 입구에 설치하므로 전열관 제거 작업공간과 첫 번째 링크, 중간 링크를 지탱해야한다. 따라서 로봇의 첫 번째 링크, 중간 링크 보다 많은 힘을 받는 부분이다. 그러므로 안전성이 요구되어 ANSYS Code를 이용하여 구조해석함으로써 안전성을 평가

하였다.

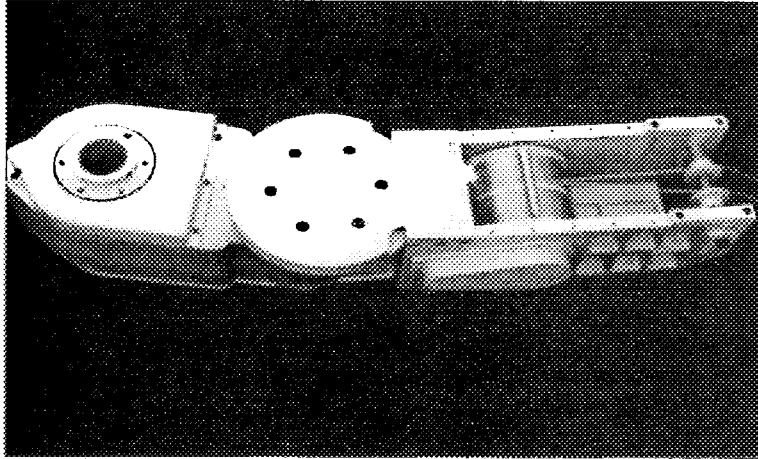


사진 1. 로봇 링크부

라. 파지부 및 점검 장비

파지부는 가압기내에 있는 전열관을 제거하는데 사용된다. 모터를 이용한 능동 강제 파지 방법은 인출중에 능동소자의 고장이 발생하면 작업자가 가압기 내부로 들어가 수리하기 때문에 이를 방지하기 위해서는 자율 파지 장치가 필요하다. 본 논문에서는 전열관 각각의 지름이 동일하다는 점에 착안하여, 볼을 이용한 자율 파지 방법을 고안하였다. 고안된 파지장치는 볼과 스프링으로만 구성되므로 구조가 매우 간단하고, 동력 사용이 불필요하므로 고장 발생율이 매우 적다. 또한, 파지부에 무선 카메라를 설치하여 가압기 내부의 이상유무를 육안으로 점검할 수 있도록 하였다.

마. 제어부

로봇 링크의 제어는 원격시스템으로 제어방식은 개루프방식을 이용하였다. 카메라로 위치를 파악한 후, 제어장치의 스위치를 조절하여, 로봇 링크를 필요한 위치에 이동시킨다. 사진 2는 로봇 제어부를 보여준다.

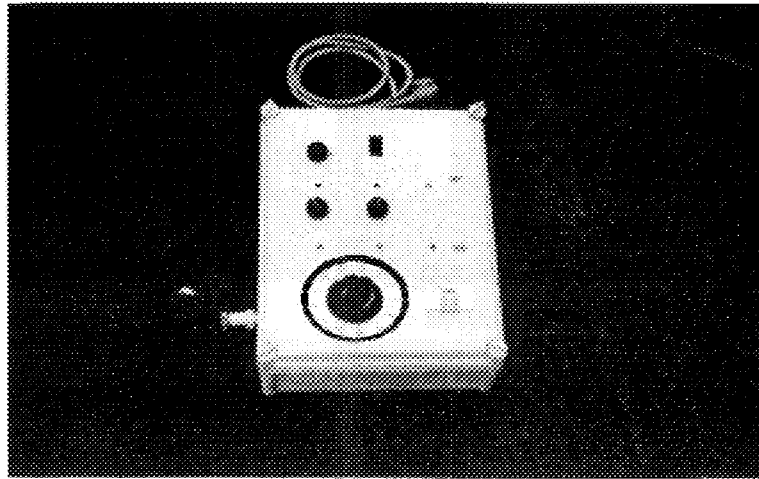


사진 2. 로봇 제어부

제 2 절 로봇의 요소 설계

1. 로봇 링크부의 설계

가. 로봇 링크의 길이 결정

가압기 내부공간과 전열관 위치를 고려하여 로봇 링크의 길이를 다음과 같이 결정한다. 그림 5는 설계된 로봇 링크의 개략도 이다.

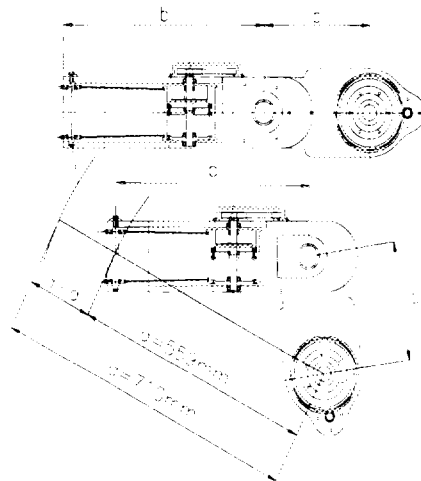


그림 5. 로봇의 개략도

로봇 링크의 길이를 결정하기 위해 다음과 같은 조건 식을 얻는다.

$$d \leq b + c \quad (\text{단, } b > c) \quad (1)$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha_1 \quad (2)$$

$$\alpha_1 \geq 90^\circ \quad (3)$$

위 조건 식을 만족하는 로봇 링크의 길이를 결정한다. 식(1), (2), (3)에서 a 는 가압기 중심선에서 안쪽 전열관까지의 거리 $559mm$, d 는 가압기 중심선에서 바깥쪽 전열관까지의 거리 $710mm$, b 는 로봇 첫 번째 링크의 길이이고, c 는 로봇 중간 링크의 길이이다.

우선, $\alpha_1 = 90^\circ$ 일 때 c 를 구하면, 식(1), (2)로부터, $c = 181.17mm$, $528.83mm$ 를 구할 수 있다. 식(3)을 만족하는 $\alpha_1 > 90^\circ$ 을 얻기 위해, $181mm < c < 320mm$ 구간의 값을 선택해야 한다. 중간링크에 들어가는 모터 및 기어의 크기를 고려하여, $c = 255mm$ 로 가정하며, 식(1)에 의해 $b = 455mm$ 가 되고, 식(2)에 의해 $\alpha_1 = 100^\circ$ 가 된다. 로봇 링크 길이 $b = 455mm$, $c = 255mm$ 는 식(1), (2), (3)을 만족함으로써 로봇 링크 길이로 결정한다. 표 1에서는 상세 설계된 로봇 링크의 각각에 대한 크기와 무게에 대하여 나타나 있다.

표 4. 로봇의 기계적 제원

항 목	첫번째 링크	중간링크	기본프레임	파지부
무게(kgr)	10	15	20	6
길이×폭×높이(cm)	40×16×17	43×18×17	100×60×80	φ10×13

나. 로봇의 모터선정

로봇 링크의 운동방정식을 유도하는 방법은 크게 Newton-Euler방법과 Lagrangian 방법으로 나누어진다. 본 논문에서는 Newton-Euler 운동방정식을 이용하여, 토크와 동력을 구하였다. 식(4)는 Newton-Euler 운동방정식을 보여주고 있다.

$$\begin{aligned}
 {}^{i+1}\omega_{i+1} &= {}^i R^{i+1} \omega_i + \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \\
 {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} &= {}^i R^{i+1} \dot{\omega}_i + {}^i R^{i+1} \dot{\omega}_i \times \theta_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} + \ddot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \\
 {}^{i+1}\dot{v}_{i+1} &= {}^i R^{i+1} ({}^i \dot{\omega}_i \times {}^i P_{i+1} + {}^i \omega_i \times ({}^i \omega_i \times {}^i P_{i+1}) + {}^i \dot{v}_i) \\
 {}^{i+1}\dot{v}_{c_{i+1}} &= {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} \times {}^{i+1} P_{c_{i+1}} + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times ({}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{i+1} P_{c_{i+1}}) + {}^{i+1}\dot{v}_{i+1} \\
 {}^{i+1}F_{i+1} &= m_{i+1} {}^{i+1}\dot{v}_{c_{i+1}} \\
 {}^{i+1}N_{i+1} &= {}^{C_{i+1}}I_{i+1} {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{C_{i+1}}I_{i+1} {}^{i+1}\omega_{i+1} \\
 {}^i f_i &= {}^i R^{i+1} f_{i+1} + {}^i F_i \\
 {}^i n_i &= {}^i N_i + {}^i R^{i+1} n_{i+1} + {}^i P_{c_i} \times {}^i F_i + {}^i P_{i+1} \times {}^i R^{i+1} f_{i+1} \\
 \tau_i &= {}^i n_i^T {}^i \hat{Z}_i
 \end{aligned} \tag{4}$$

이다. 표 2에는 계산된 각 관절의 토크와 동력을 보여준다.

모터 및 감속기의 선정은 표 2와 Matlab을 이용한 프로그램을 실행시켜 관절에 필요한 토크와 모터 제원을 비교하여 관절에 맞는 모터 및 감속기를 선정하였다. 관절 1은 360°, 관절 2는 180° 회전한다.

표 5. 각 관절의 토크와 동력

항 목	관절 1	관절 2	드럼
토크(kgf m)	24	13	15
동력(W)	25	22	128
구동속도(m/min)	0.82	0.51	3.1

모터 1과 모터 2의 감속비는 592 : 1로 하였다. 표 3은 각 관절에 사용한 모터 및 드럼 구동용 모터의 제원을 나타낸다.

표 6. 각 관절에 사용한 모터 및 드럼 구동용 모터의 제원

항 목		모터 1	모터 2	모터 3
종 류		직류모터	직류모터	직류모터
볼트(V)		24	24	32
정격소비동력(W)		15	9	100
회전속도(RPM)		4,800	5,900	3,000
전류(A)		0.09	0.055	4.5
감속기		592:1	592:1	1 : 1
토크 (kgf m)	Stall	1,174	552	1,840
	Friction	378	204	325

다. 하모닉 드라이브 기어(harmonic drive gear) 선정

로봇을 이용하여 전열관을 제거할 때, 드럼의 구동에 의해 전열관을 제거하게 된다. 이때 드럼 속에서 모터와 드럼을 연결해주며, 전열관을 들어

올릴 힘을 전달해주는 부분이 하모닉 드라이브기어이다. 하모닉 드라이브 기어 선정은 표 2에서와 같이 드럼에 작용하는 토크가 15kgf m 이고, 표 4에서 하모닉 드라이브 기어의 허용모멘트가 16kgf m 인 CSF-25형 하모닉 드라이브 기어를 선정하였다.

표 7. 하모닉 드라이브 기어의 제원

형 번	기본정격하중(kgf)		허용모우멘트 (kgf m)
	동정격하중	정정격하중	
CSF-25	980	1,540	16

2. 불을 이용한 파지부 설계

가. 파지부의 역학해석

파지부의 전열관을 들어올릴 경우, 파지부에 작용하는 힘들을 그림 6에 나타내었다. 여기서, μP 는 파지부와 파지하고자하는 물체사이의 파지력이 된다. 그림 6에서 작용하는 힘들의 관계를 평형방정식에 의해

$\Sigma F_x = 0$ 일 때,

$$F \cos \alpha + R_B (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) - P - \mu R_A = 0 \quad (5)$$

이고,

$\Sigma F_y = 0$ 일 때,

$$-F \sin \alpha + R_B (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) + R_A + \mu P = 0 \quad (6)$$

이며,

$\Sigma M_{all} = 0$ 일 때,

$$-P + R_B + R_A = 0 \quad (7)$$

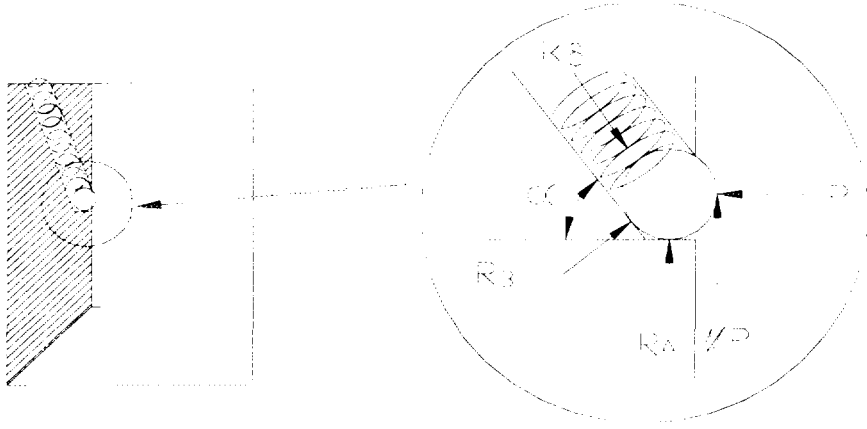


그림 6. 파지부에 작용하는 힘들

이 된다. 식(5-7)의 연립방정식을 풀면, P 는

$$P = \frac{k\delta(\mu \sin \alpha - \cos \alpha + 1)}{(\mu + 1)\{(\mu + 1)(\sin \alpha + 1) + (\mu - 1)\cos \alpha\}} \quad (8)$$

이 된다. 여기서 $k\delta$ 는 스프링 작용력, R_A 는 수직면과의 반력, R_B 은 경사면과의 반력, P 는 파지물체와의 반력, W 는 파지물체의 무게, μ 는 마찰계수이다. 파지부에는 3개의 볼(ball)을 이용하였으므로

$$3\mu P = W \quad (9)$$

이다. 식(9)의 관계가 성립하면, 파지부는 물체를 파지할 수 있다.

나. 파지부 와이어선정

로봇을 이용하여 가압기 하부에 위치한 전열관을 제거하기 위하여, 로봇 파지부와 로봇을 연결하는 방법으로 와이어를 사용하였다. 와이어의 선정은 사용하고자하는 와이어의 최저전단하중이 허용전단하중 F_1 보다 크거나 같은 값을 갖는 와이어를 선정한다. 허용전단하중 F_1 은 감아올릴 하중에 안전율을 곱한 값이다.

$$P_S = Q + T \quad (10)$$

$$F_1 = P_S \cdot S \quad (11)$$

윗 식(10-11)에서 T 는 로봇의 파지부 및 전열관무게로서 $21kg$ 이고, Q 는 전체하중으로 $80kg$, P_S 는 전단하중으로 $101kg$, S 는 안전율로서 2 이고, F_1 은 허용전단하중이다. 식(10), (11)에 위의 각각의 값을 대입하면, $F_1 = 202kg$ 값에 가까운 값을 갖는 와이어를 선택한다. 그러므로, 최저전단하중은 $244kg$, 스텐레스강 케이블은 NO 2050 : 1.19mm 7×19로 선정하였다.

또한, 일반적으로 강도 파단력은 와이어의 체결방법, 예를 들면 합금고

정, 스플라이스고정, 클립고정, 썬기고정 등에 따라 다르게 작용된다. 본 논문에서는 스플라이스 고정을 선택하여, 와이어 허용전단하중 보다 스플라이스 체결비를 최저 전단하중에 곱한 파단력의 값 ($0.9 \times 244 = 219.6kg$)이 와이어 허용전단하중 $202kg$ 을 견딜 수 있게 선정하였다.

3. 권선부 요소선정

가. 드럼설계

드럼은 경고한 구조로 하여 와이어의 압력에 견딜 수 있는 플랜지 붙임의 원주형으로 하고, 드럼의 직경은 와이어의 굵기에 따라 결정되므로, 드럼에 감은 와이어의 중심에서 드럼의 직경을 측정하였고, 본 논문에서는 일반적인 설계관계에서 널리 사용되고 있는 드럼의 직경 D 의 선정 식

$$D = (400 \sim 500) d_d \quad (12)$$

에 근거하여 D 의 값을 120mm 로 선정하였다. 여기서, d_d 는 와이어 소선의 직경(mm)이다.

드럼은 하중에 의해 상당히 심한 작용을 받으므로 강도 계산에는 정밀도가 요구되며, 일반적으로 사용되는 강도계산에는 (i) 드럼의 휨 (ii) 드럼의 엇갈림 (iii) 와이어의 감기에 의한 원주방향의 압축 등의 세종류에 근거하여 강도를 계산하여 드럼의 두께 t 를 $t = 10\text{mm}$ 로 선정하였다.

나. 드럼 축의 선정

축이 회전과 비틀림을 동시에 받으면서 동력을 전달하는 경우와 주행 차축처럼 횡하중에 의한 휨작용을 받는 것, 휨과 비틀림의 합성력 및 축력 등을 동시에 받게 되는 경우의 여러 가지 조건 중 어느것을 주응력으로 정할 것인가를 결정해야 한다. 로봇의 드럼축은 휨과 비틀림을 동시에

받는 경우로서 참고문헌[4]에 나타난 설계 기준에 맞추어 축지름 d_s 를 $d_s = 10mm$ 로 선정하였다.

다. 베어링 선정

베어링 선정에서 고려해야 할 점은 베어링 수명이 설계 목적기간 중 보장되고, 그 사이에 확실하게 운전되어 그 기능을 발휘하는 일이다. 따라서 본 논문에서는 베어링의 계산수명, 베어링 하중, 기본 부하용량 등을 고려하여 선정하였다.(참고문헌 [4] 참조)

4. 로봇의 기구학적 시뮬레이션

로봇은 가압기 내부에서 작업을 해야한다. 작업 시 로봇은 가압기 맨홀을 통하여 가압기내부에 들어가며, 로봇의 기본프레임은 가압기 맨홀 입구에 장착되어진다. 로봇이 가압기 내부로 삽입 시 가압기 맨홀입구에 로봇이 간섭받는 지, 가압기 내부 중앙에 위치한 분무노즐과의 간섭을 받는지, 가압기에 장착되어 작업을 수행 시 가압기 내부 벽과의 간섭을 받는지를 알아보기 위해 ROBCAD를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 그림 7은 로봇이 가압기 입구로 삽입되어지는 그림이다. 그림 7-a은 로봇이 가압기 맨홀 입구에 장착되어지는 그림이다. 그림 7-b에서 보는 바와 같이 로봇은 가압기 맨홀 입구에 간섭받지 않고 통과되고 있다. 그림 7-c은 로봇이 가압기 중앙에 위치한 분무노즐에 간섭을 받지 않고 설치되어지는 그림이다. 그림 7-d는 로봇이 가압기 맨홀 입구에 장착되어지고, 작업을 수행하여도 가압기 내부 벽과의 간섭받지 않음을 보여준다.

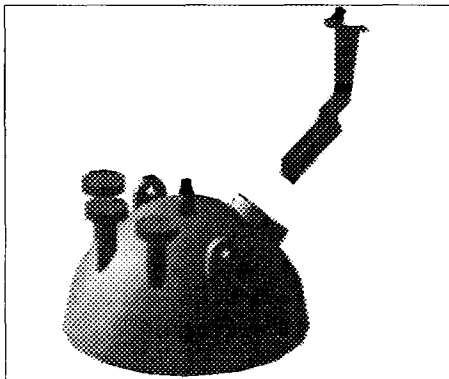


그림 7-a

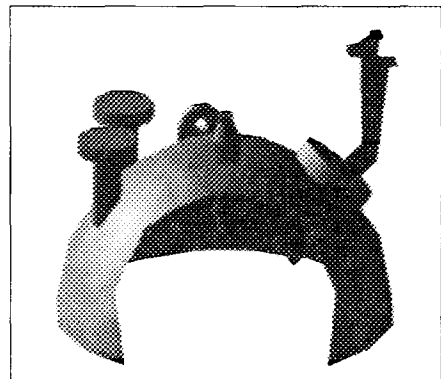


그림 7-b

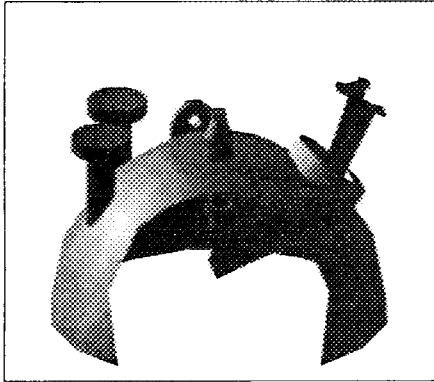


그림 7-c

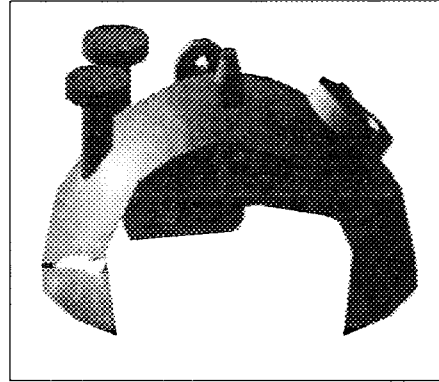


그림 7-d

그림 7. 로봇 장착 모의실험

5. 로봇 제어부

본 논문에서는 로봇 링크의 제어부는 카메라를 통해 육안으로 로봇 링크와 파지부의 위치를 파악하면서, 조작자에 의해 조작되어, 로봇 링크를 원하는 위치에 위치하도록 한다. 로봇 링크의 속도는 전압의 차를 이용하여 제어된다. 로봇 제어부에 사용된 전압차를 발생시키는 장치로는 고정 변압기(transformer)와 가변 변압기(variable transformer)를 사용한다. 로봇 링크의 제어방법으로 세 가지 방법이 사용된다. 첫 번째는 고정변압기를 사용하는 방법이다. 고정변압기는 6V, 12V, 18V, 24V를 발생시키므로 전압 차에 의해 로봇 링크의 속도를 제어한다. 두 번째는 가변 변압기를 이용하는 방법이다. 가변 변압기는 고정변압기와는 다르게 0 - 32V까지 전압차를 얻을 수 있으므로 원하는 속도를 얻을 수 있어 로봇 링크를 제어하는데 매우 용이하다. 세 번째 방법은 예비 전원을 이용하여 모터를 제어하는 방법이다. 이 방법은 위에서 기술한 두 가지 방법이 사용되지 못하는 경우로써, 전원이 들어오지 않는 비상시나 내부 다이오드 이상에 의해 로봇을 제어할 수 없을 때 사용하게 된다. 제어부의 회로는 2가지 안전을 고려하여 구성되었다. 제어부의 안전을 고려한 첫 번째 방법으로 회로에서 다이오드를 사용한 방법이다. 회로에서 다이오드의 역할은 평상시 정류된 전압을 축전지에 공급하여 충전역할을 하고, 주 전원에 문제가 생기면, 다이오드가 통전 상태가 되어도 축전지에서 공급되는 전원을 차단시킨다. 이와 같은 동적 차단회로(dynamic breaking circuit)를 이용하여 안전성을 높였다. 두 번째 방법으로는 모터에 작용하는 전압의 방향을 이용하여 모터의 안전을 고려했다. 또한, 모터의 전압 V 는

$$V = L_i \frac{di}{dt} + RI_i + E_g \quad (13)$$

이다.

여기서, L_i 는 인덕턴스(Inductance), R 는 저항, I_i 는 전류, E_g 는 내부전압이다. 식(13)을 정리하면, 내부전압 E_g 는

$$E_g = K_E \theta \quad (14)$$

가 된다. 전압계수는 K_E , 각속도는 θ 이다. 그러므로 모터는 역전기현상이 되어 모터의 정회전 방향에 반대로 전압이 전가되므로 모터가 정지된다. 그림 8은 로봇 제어부의 회로도를 보여준다.

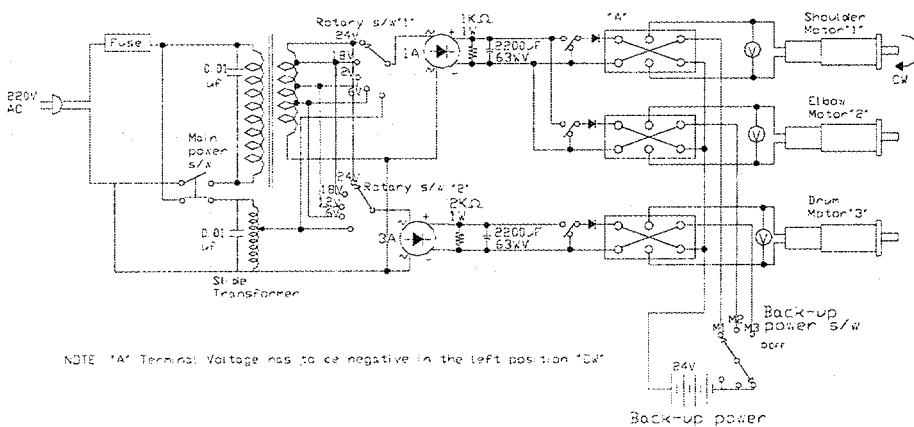


그림 8. 로봇 제어부의 회로도

제 3 절 로봇 기본 프레임의 구조해석

로봇 시스템의 구조적 안전성을 평가하기 위해 ANSYS Code를 이용하여 기본 프레임에 대한 구조해석을 하였다. 로봇은 알루미늄 합금으로 하였고, 표 5은 로봇에 사용한 알루미늄합금에 대한 물성치이다.

표 8. 알루미늄합금에 대한 물성치

특성 재질	비중 KN/m ³	밀도 kg/m ³	탄성계수 GPa	전단탄성 계수 GPa	프아송비 (ν)	항복 응력 (σ_y) MPa	극한 응력 (σ_t) MPa
7075-T6	28	2,800	72	27	0.33	480	550

가. 로봇 기본 프레임 모델링

로봇 기본 프레임을 ANSYS Code로 모델링하면 그림 9와 같다. 모델링에서 사용된 ANSYS 요소종류로는 Shell 63을 사용하였다. 기본 프레임에 형성된 요소 수는 2,883요소이다. 로봇 기본프레임 밑면과 가압기 멘홀 입구에 고정되는 부분은 두께가 2.5cm이고, 리브(lib)와 원통형의 구조물은 두께가 2cm이다. 부록 A에서 ANSYS Code에 사용한 프로그램을 보여준다.

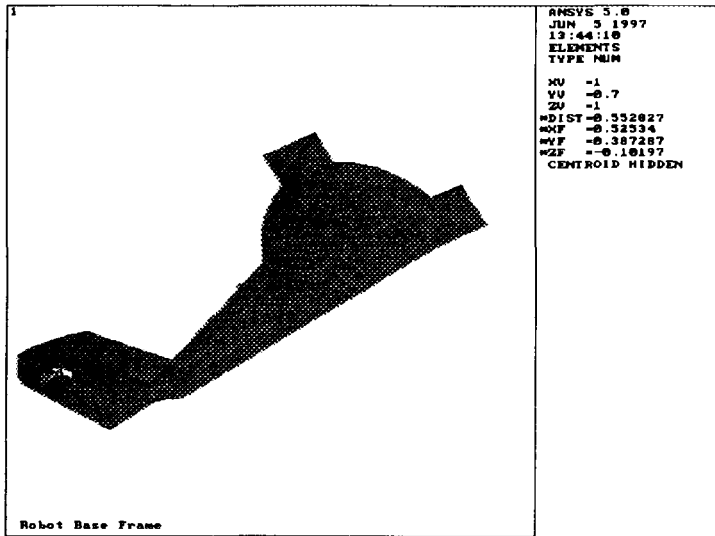


그림 9. 로봇 기본 프레임을 ANSYS Code로 모델링

나. 로봇 기본 프레임에 작용하는 힘과 경계조건

로봇의 관절 1 중심에서 첫 번째 팔 끝단까지 거리는 730mm 이고, 전열관을 들어올리는 힘 (P_F)은 $1,200\text{N}$, 로봇의 팔 자중 (W_R)은 400N 이다. 로봇 기본 프레임 밑면 원의 중심에서 y 축 아래방향으로 힘(F_F)이 작용한다. 이때,

$$F_F = P_F + W_R = 1,600\text{N} \quad (15)$$

이다. 밑면 원을 중심으로 x 축 시계방향으로 모우멘트(M_x)가 작용한다.

M_x 는

$$M_x = P_F \times d + W_R \times \frac{d}{2} = 1,022 \text{ Nm} \quad (16)$$

이다. 로봇 기본 프레임의 경계조건으로 기본 프레임의 상단이 가압기 맨홀에 4개의 볼트로 고정된다. 그림 10은 로봇 기본프레임에 작용하는 힘, 모우멘트와 경계조건을 보여준다.

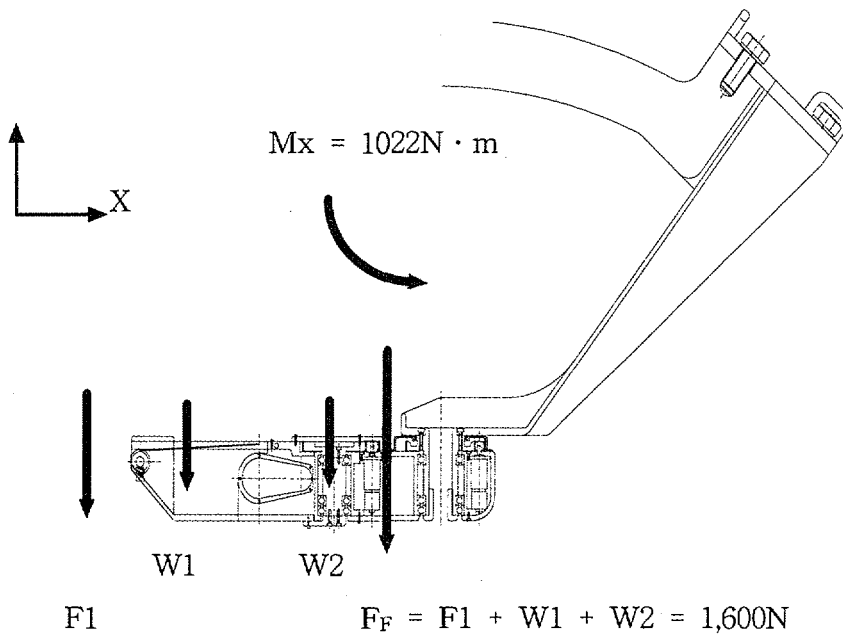


그림 10. 로봇 기본프레임에 작용하는 힘, 모우멘트와 경계조건

다. 로봇 기본 프레임 설계분석 및 응력 해석

ANSYS Code에 의해 로봇 구조해석 결과를 얻는다. 그림 11에서 로봇 팔의 요소에 따른 응력집중도(stress intensity factor)를 나타내고 있다. ANSYS Code에서 최대 집중응력(σ_i)은 다음과 같이 계산된다. 최대 집중응력(σ_i)은

$$\sigma_i = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (17)$$

이다. 여기서 최대응력은 σ_{\max} 이고, 최소응력은 σ_{\min} 이다. 식(17)에 의해 ANSYS Code에서 최대 집중응력(σ_i)은 계산된다. 로봇팔의 응력집중을 그림 11에서 보면, 관절 1과 연결되어지는 부분에서 많은 응력이 발생함을 알 수 있다.

연강 구조물의 좌굴이론에는 Tresca이론과 Von Mises이론이 있다. 연강 구조물 설계에 많이 이용되는 이론은 최대 전단응력 이론이다. 본 논문에서도 최대 전단응력 이론을 이용하여 평가하였다. 즉,

$$F_S \times \sigma_i < \sigma_y \quad (18)$$

이 성립되어야 한다. 여기서, F_S 는 안전계수, σ_i 는 최대 집중응력이고, σ_y 는 재료의 항복응력이다. ANSYS Code에 의해 계산된 최대 집중응력(σ_i)은 $301MPa$ 이고, 알루미늄합금의 항복응력(σ_y)은 $480MPa$ 이므로, 안전계

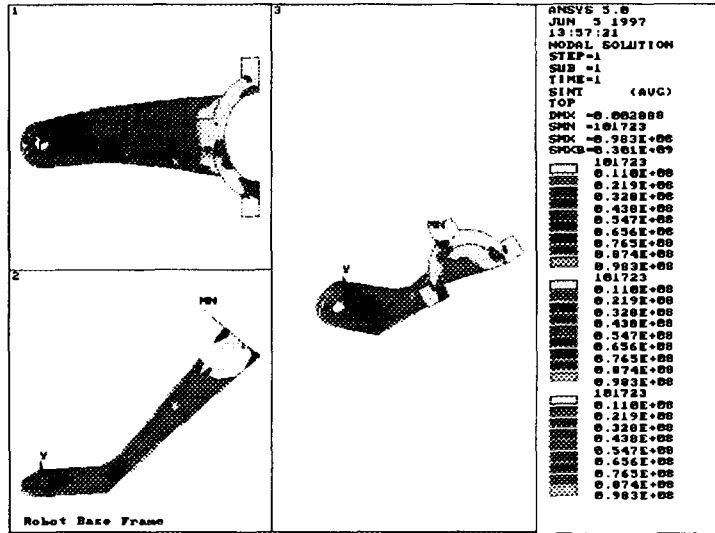


그림 11 계산된 집중응력의 분포

수를 1.5로 했을 때, 식(18)에 의해

$$1.5 \times 301MPa < 480MPa \quad (19)$$

이 된다. 그러므로, 로봇 기본 프레임은 식(19)에 의해 로봇팔에 작용하는 하중과 모우멘트에 의해 로봇 기본 프레임이 안전함을 알 수 있다.

라. 로봇 기본 프레임 응력 해석 검증

ANSYS Code에서 응력 해석의 검증방법으로는 세 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 결과를 실험결과나 해석적인 방법에 의한 결과와 비교하

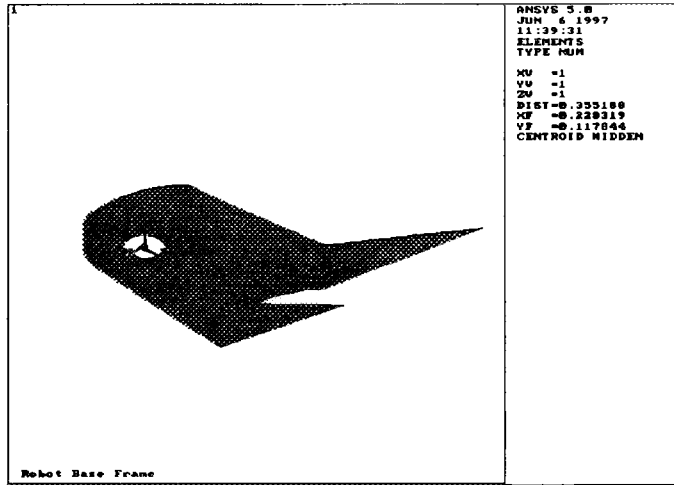


그림 12 세부 모델

는 방법이고, 두 번째는 요소 수를 2배로 늘여서 다시 해석하는 방법, 마지막 방법은 중요한 부위를 확대하여 세부 모델링하는 방법이 있다. 본 논문에서는 세 번째 방법을 사용하여 검증하였다. 그림 12는 로봇 기본프레임 밑면을 세부 모델링한 그림이다. 그림 13은 ANSYS Code에 의해 응력 해석한 결과이다. 이때, 작용력과 경계조건은 전체 응력 해석과 같게 하였다. 그림 11과 그림 13을 비교하면 응력 집중선도가 같은 형상으로 이루어짐을 알 수 있다. 그러므로, 전체 응력 해석한 결과와 세부 응력 해석 결과가 같음이 검증된다.

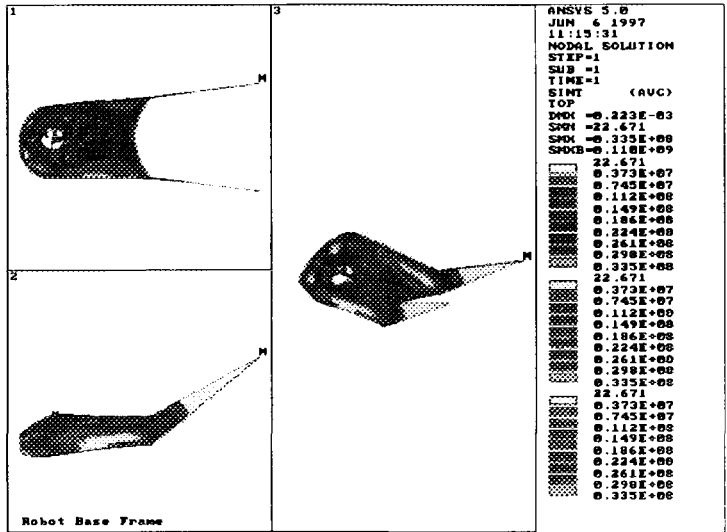


그림 13 세부 모델의 응력 집중 분포

제 3 장 결 론 및 건 의 사 항

제 1 절 결 론

1. 연구 결과

본 논문에서는 원자력발전소 1차 계통에 속하는 가압기내부에 있는 전열관을 제거하고, 가압기내부를 점검할 수 있는 로봇을 설계 및 제작하였다. 로봇의 설계는 각 부재의 요소설계와 전체 시스템의 응력해석을 통하여 이루어 졌다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 설계 단계에서 3차원 그래픽 모의실험을 통해 로봇의 제작 후 일어날 수 있는 제반 문제 즉, 로봇의 장/탈착 및 보수 작업의 원활성, 그리고 가압기와의 충돌 여부 등을 미리 파악함으로써 로봇의 개발 시간 및 비용을 절감할 수 있었다.
- (2) 가압기 내부 전열관들의 지름이 동일하다는 점에 착안하여, 파손된 전열관의 제거를 위해 불과 스프링만으로 구성된 파지부를 개발하였다. 개발된 파지부는 구조가 간단하며 동력의 사용이 불필요하므로 고장 발생율이 매우 적다.
- (3) ANSYS Code를 이용하여 개발된 로봇의 구조적 안전성을 밝혔다.

- (4) 원전 가압기 점검 및 보수에 로봇을 사용함으로써 작업자의 방사능 피폭량을 감소시킬 수 있다.

2. 기대 성과

본 연구의 기대성과는 다음과 같다.

- 원전 가압기 점검 및 보수에 로봇을 사용함으로써 작업자의 방사능 피폭량을 감소시킬 수 있다.
- 원전 가압기 점검 및 보수에 로봇을 사용함으로써 보수 작업의 시간 단축이 가능하다.

제 2 절 건의 사항

본 연구의 목적은 서론에서 밝힌 바와 같이 원전 가압기의 유지 및 보수를 위한 로봇 시스템의 개발에 있다. 본 연구는 국내에서 처음으로 시도되는 것으로 당해년도에 pilot type의 로봇을 제작하였다. 그러나 1년의 기간에 적은 액수의 연구비로 완벽하고 신뢰성 있는 로봇을 개발하기엔 미흡하다. 따라서 현장에서 쓸 수 있는 신뢰성 있는 완벽한 로봇 시스템을 제작하기 위해서는 좀 더 많은 시간과 투자가 이루어져야 한다고 생각된다.

References

1. ANSYS User's Manual, Vol. I-IV, Swanson Analysis System, Int, 1992
2. Benjamin C.Kuo, Jacob Tal, DC Motor and Control Systems, SRL, Illinois, 1978
3. John J. Craig, Introduction to Robotics, Addison-Wesley, Massachsetts, 1989
4. Harrold A. Rothbart, Mechanical Design Handbook, McGraw-Hill, New York, 1996
5. Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Standard Handbook of Mechine Design, McGraw-Hill, New York, 1996
6. Arora J. S, Introduction to Optimum Design, MaGraw-Hill, New York, 1989
7. 김태룡, 박진석, 정승호, 김승호, 로봇트 최적화 설계 기술개발, 과학기술처 보고서, 1995
8. 손장원, 이종수, "TMS320c30을 이용한 직접 구동형 로봇 매니플레이터의 설계," KACC 논문집, Vol.1, pp.520-522, 1996.
9. 이영우, 안태영, 권구빈, 손신국, 민정동, "고성능 SCARA ROBOT 개

발,” KACC 논문집, Vol.1, pp.1-4, 1986.

10. 조선휘, 문흥기, “로봇 매니플레이터의 치수 최적화”, 대한기계학회논문집, Vol.12, No.4, pp.730-737, 1988.

11. William M. Silver, “On the Equivalence of Lagrangian and Newton-Euler Dynamics for Manipulators,” The Int. Journal of Robotics Research, Vol.1, No.2, pp.60-70.

부 록 A. ANSYS Code 프로그램

```
/Batch  
/show,  
/filnam,t  
/title, Robot Base Frame  
/units,si  
/prep7
```

```
antype,static  
et,1,63
```

```
! Thickness  
r,1,0.02  
r,2,0.025  
!r,3,0.02
```

```
! modelling  
k,1  
k,200,,0.07  
circle,1,0.03,200,,360  
circle,1,0.087,200,,270  
k,15,-0.087,0.03  
k,16,,0.07,-0.087  
k,17,,0.07,0.087  
k,18,0.2,-0.087  
k,19,0.2,0.087  
k,20,0.26  
k,21,0.26,, -0.106  
k,22,0.26,0.08,-0.106  
k,23,0.26,,0.106  
k,24,0.26,0.08,0.106  
k,30,0.225  
k,31,0.087,, -0.095  
k,32,0.087,0.07,-0.095  
k,33,0.087,,0.095  
k,34,0.087,0.07,0.095
```

```
K,300,  
K,301,1.0  
K,302,, -0.2
```

K,303,1.0,,-0.2

K,304,,0.2

K,305,1.0,,0.2

local,11,,0.935,0.56,,50

csys,11

k,100

k,101,-0.5

k,102,-1.0

circle,100,0.190,101,,270

circle,100,0.2667,101,,270

circle,101,0.190,102,,270

circle,102,0.190,101,,270

ldel,5

ldel,8

ldel,11

ldel,14

ldel,17

a,3,7,8,4

a,4,8,9,5

a,7,3,2,6,31

a,5,9,33,6,2

a,33,23,20,6

a,6,20,21,31

A,300,301,303,302

A,300,304,305,301

a,39,40,29,35

a,39,35,36,38

a,35,29,11,12

a,35,12,13,36

asba,9,8

asba,10,7

adel,14,,1

adel,9,,1

asba,5,13

asba,6,8

adel,9,10,1,1

nummrg,all

a,29,101,35
a,38,11,12,41
a,101,36,35
a,41,12,13,39

asba,8,6
asba,10,9
adel,11,12,1,1

a,25,11,12,26 ! 9
a,26,12,13,27 ! 10

a,21,22,39
a,39,22,32,31
a,31,32,16,7
a,9,17,34,33
a,33,34,24,38
a,38,24,20

csys,0
circle,200,0.087,1,,270
k,350,-0.087,0.03,-0.087
k,351,-0.087,0.03,0.087

ldel,47,,1

nummrg,all

a,7,16,36,8
a,8,36,17,9
a,200,16,350,15
a,15,351,17,200

asba,19,21
asba,20,22
adel,19,,1
adel,24,,1

local,11,,0.935,0.56,,50
csys,11

k,398,,0.2667

k,399,,0.331
k,400,,0.25,0.0775
k,401,,0.331,0.0775
k,402,,0.331,-0.0775
k,403,,0.25,-0.0775
k,404,,,0.25
k,405,,,0.334
k,406,,0.1,0.334
k,407,,0.1,0.25
k,408,,, -0.25
k,409,,, -0.334
k,410,,0.1,-0.334
k,411,,0.1,-0.25

a,398,399,401,400
a,398,399,402,403
a,404,405,406,407
a,408,409,410,411

aadd,22,9
aadd,25,19
aadd,20,10
aadd,19,24

nummrg,all

eshape,0

real,1

esize,0.015
amesh,11
amesh,18
amesh,9,10,1

real,2
esize,,11
amesh,1,5,1
amesh,7
amesh,6
amesh,8
amesh,12,17,1
amesh,21

amesh,23

SAVE
FINISH

/solu

antype,static

! Material Properties

mp,ex,1,72e9
mp,dens,1,2800
mp,nuxy,1,0.33

! Boundary Conditions

d,643,all
d,645,all
d,656,all
d,641,all

d,614,all
d,609,all
d,607,all
d,657,all

d,405,all
d,403,all
d,384,all
d,385,all

d,399,all
d,401,all
d,424,all
d,422,all

! Applied Forces (1,200 + 400 = 1,600N)

f,732,fy,-267
f,779,fy,-267
f,1183,fy,-267
f,993,fy,-267
f,1345,fy,-267

f,913,fy,-267

! Applied Moment ($1,200*0.73 + 400*0.365 = 1022\text{Nm}$)

f,732,mx, 170

f,779,mx, 170

f,1183,mx, 170

f,993,mx, 170

f,1345,mx, 170

f,913,mx, 170

solve

finish

/post1

set,1,1

/wind,1,ltop

/wind,2,lbot

/wind,3,,1,-1,1

/view,1,,1

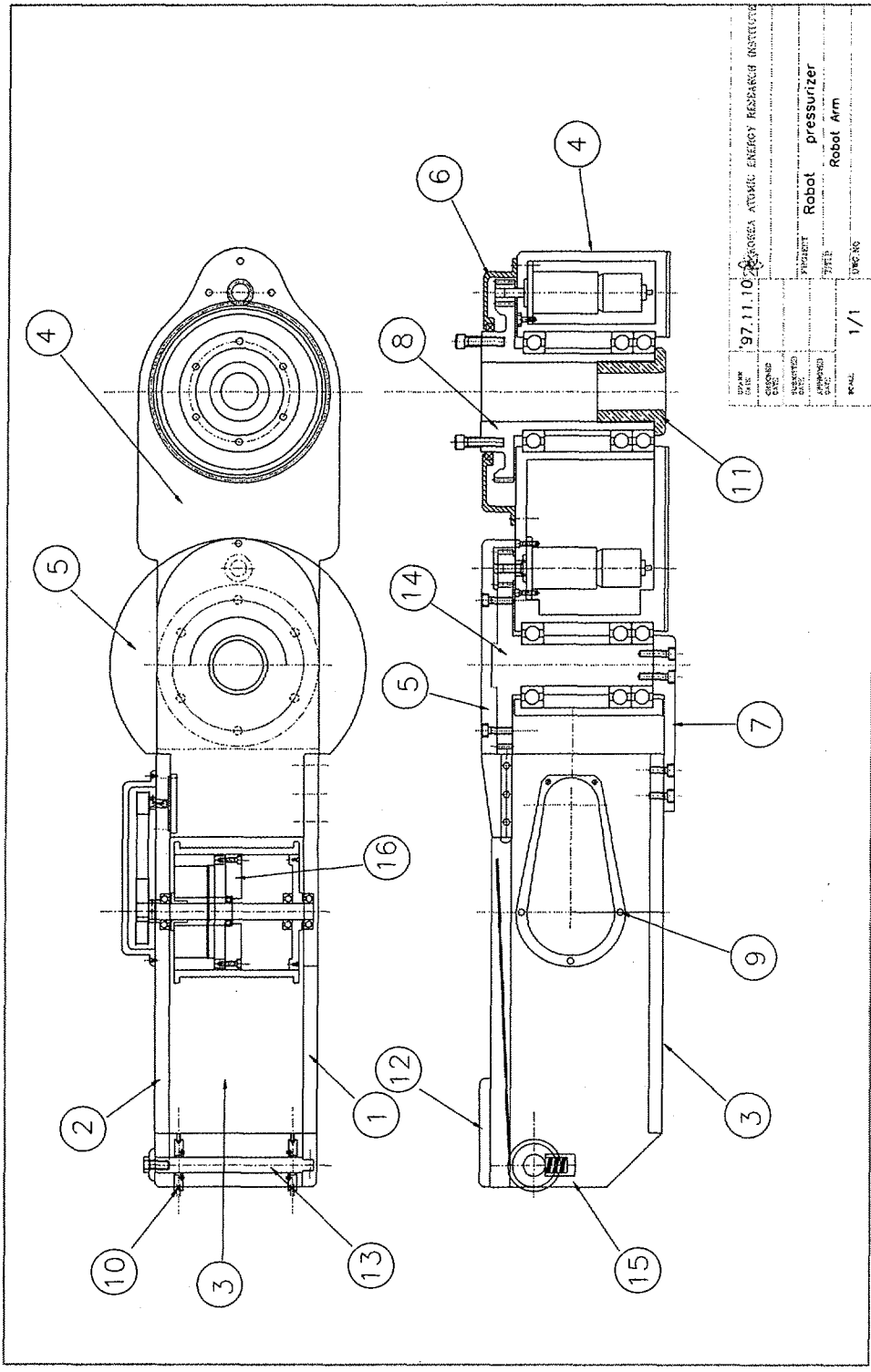
/view,2,,,1

/view,3,1,1,1

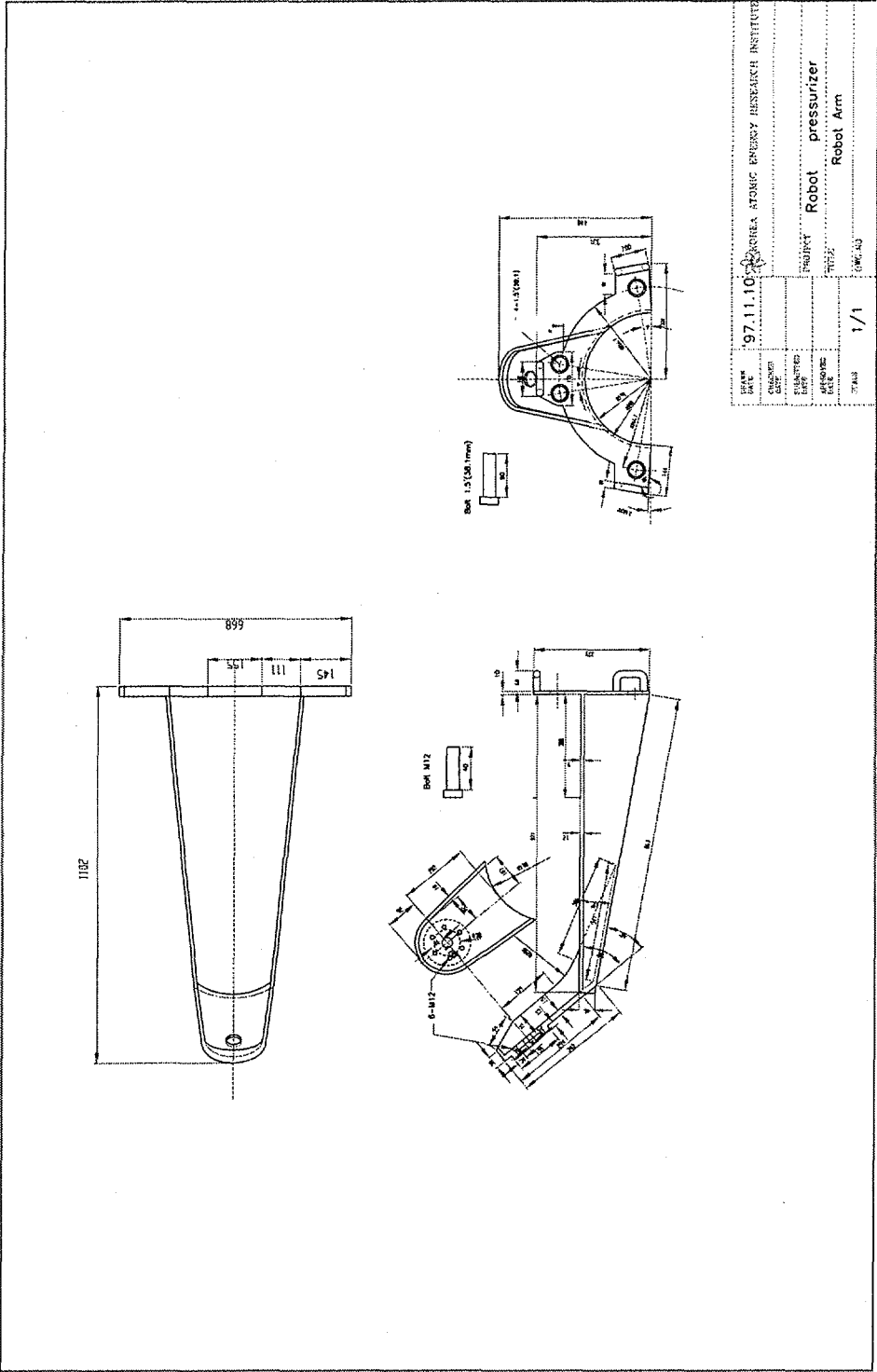
/edge,1,1

/edge,2,1

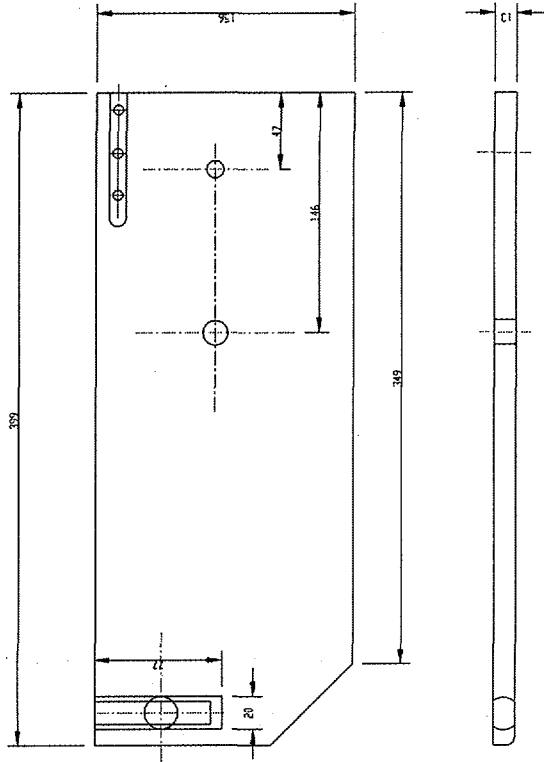
/edge,3,1



DATE	97.11.10	ROKKA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE
CHECKED		
DESIGNED		
APPROVED		
SCALE	1/1	DRG. NO.
SUBJECT		Robot pressurizer
TITLE		Robot Arm

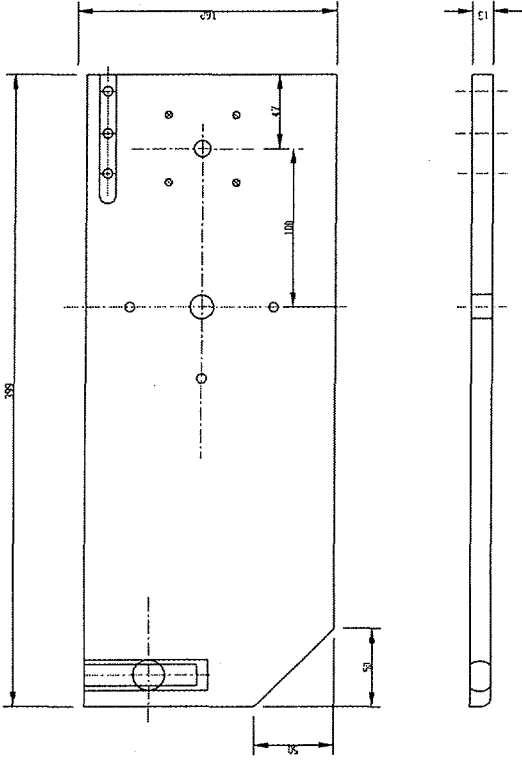


ITEM NO	9711110	ORGANIZATION	ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE
DESIGN NO		PROJECT	Robot pressurizer
REVISED		DATE	Robot Arm
ISSUED		DATE	
SCALE	1/1	DATE	



1

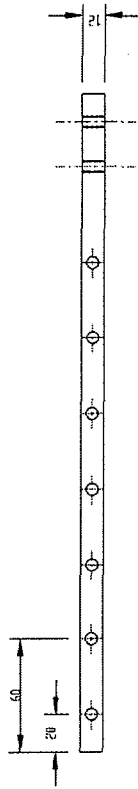
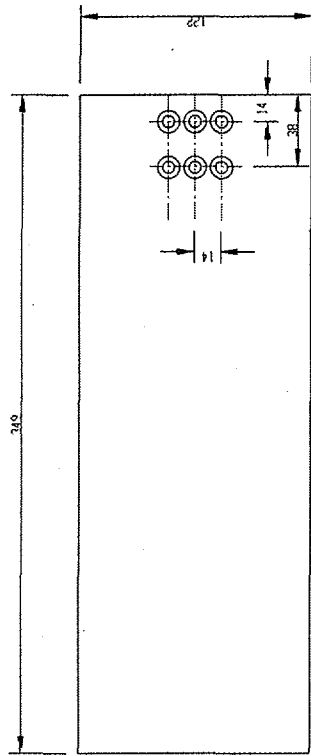
DATE	97 11 10	DESIGNER	PEREIRA	ENGINEER	RESEARCH	INSTITUTE
SCALE	1/1	PROJECT	Robot	pressurizer	Robot Arm	
		ITEM				
		SCALE				



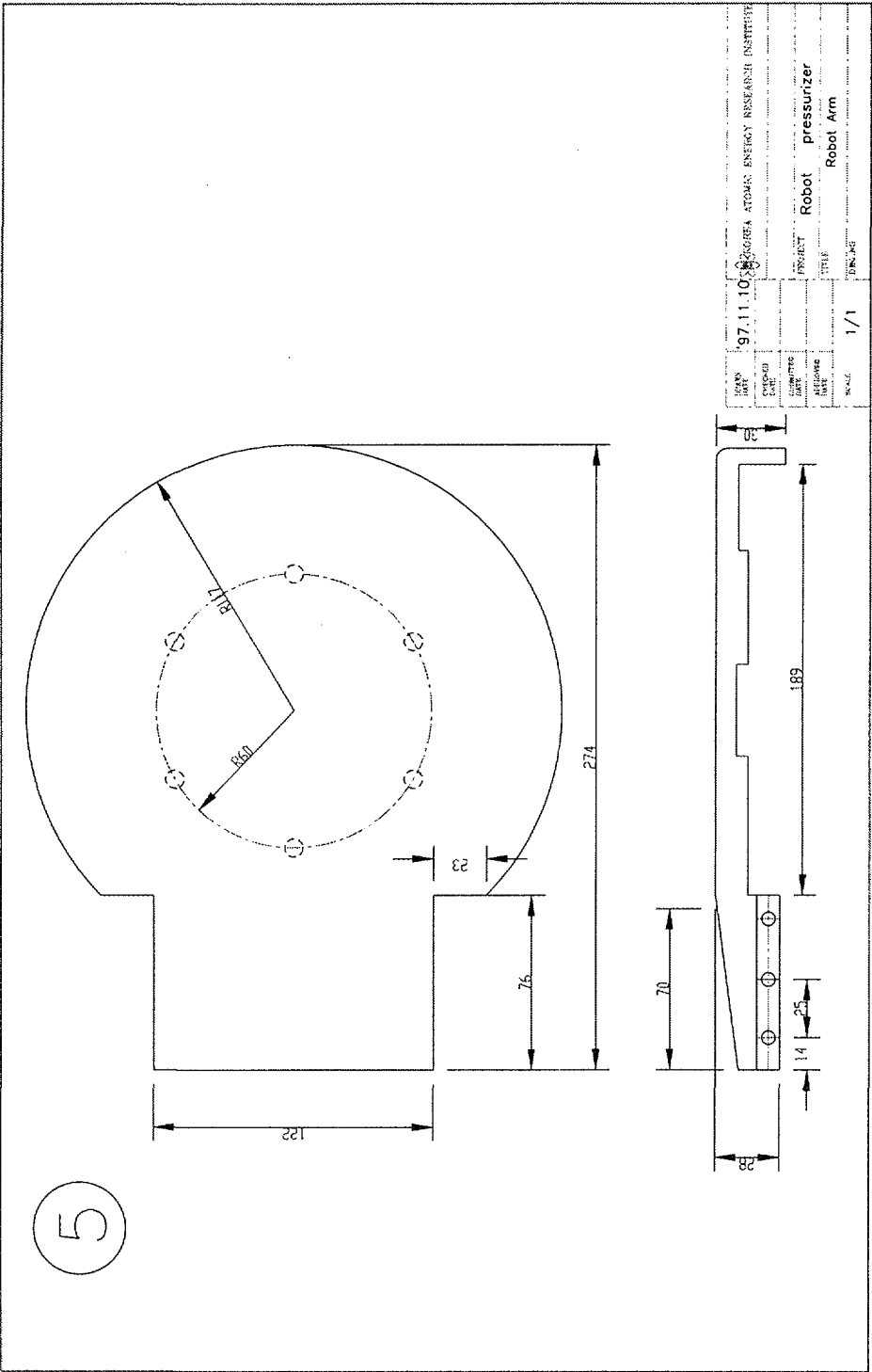
2

DATE	97.11.10	INSTITUTE	ROSNEFTENERGOATOM
DESIGNER		PROJECT	Robot pressurizer
CHECKER		SCALE	1/1
APPROVER		DATE	9/6/95
		TITLE	Robot Arm

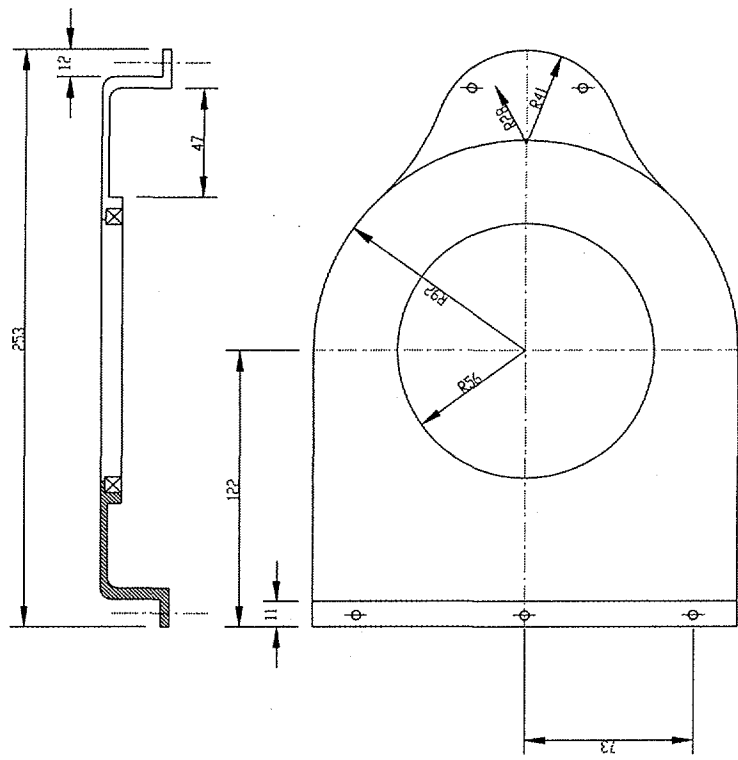
3



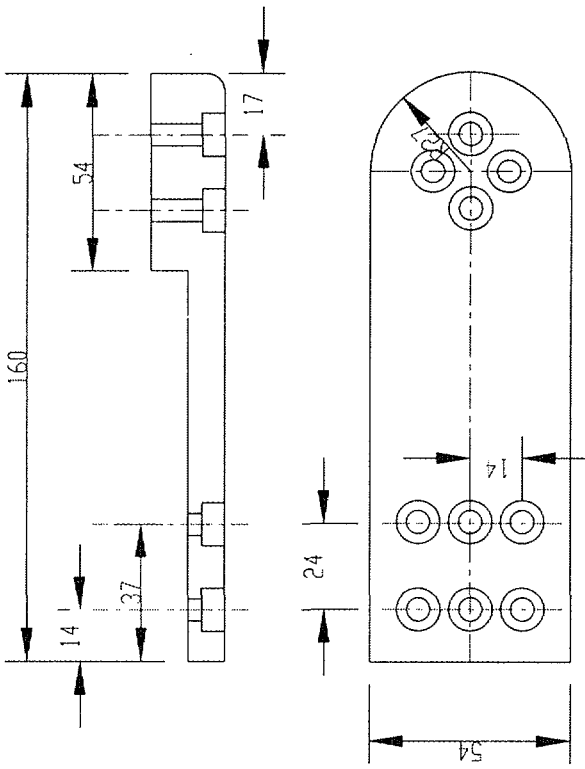
DATE	97.11.10	ORGANIZATION	ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE
PROJECT		PRODUCT	Robot
APPVNS		ITEM	pressurizer
FIG. NO.	1/1	ITEM NO.	Robot Arm



6

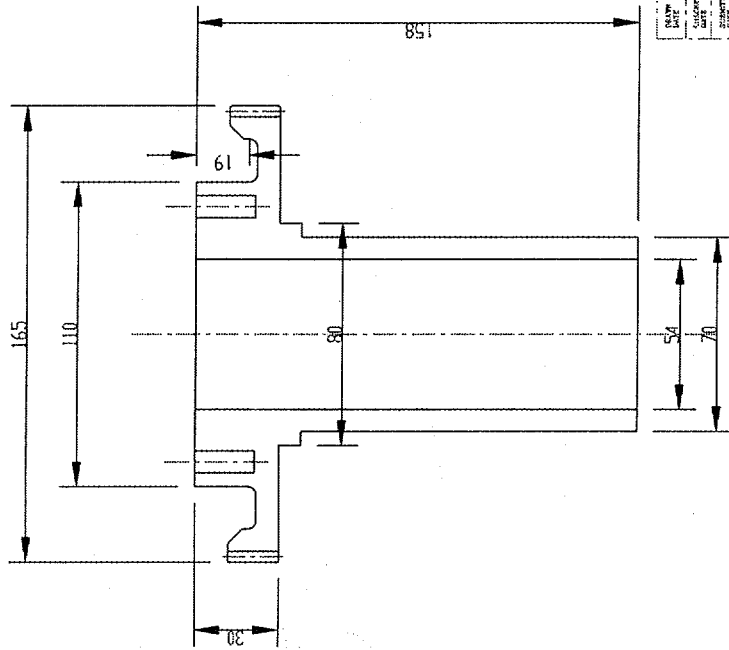


DATE	97.11.10	PROJECT	Robot Arm
DESIGNER		PROJECT	Robot pressunzer
REVIEWER		SCALE	1/1
DATE		TYPE NO.	Robot Arm
#	1/1		



7

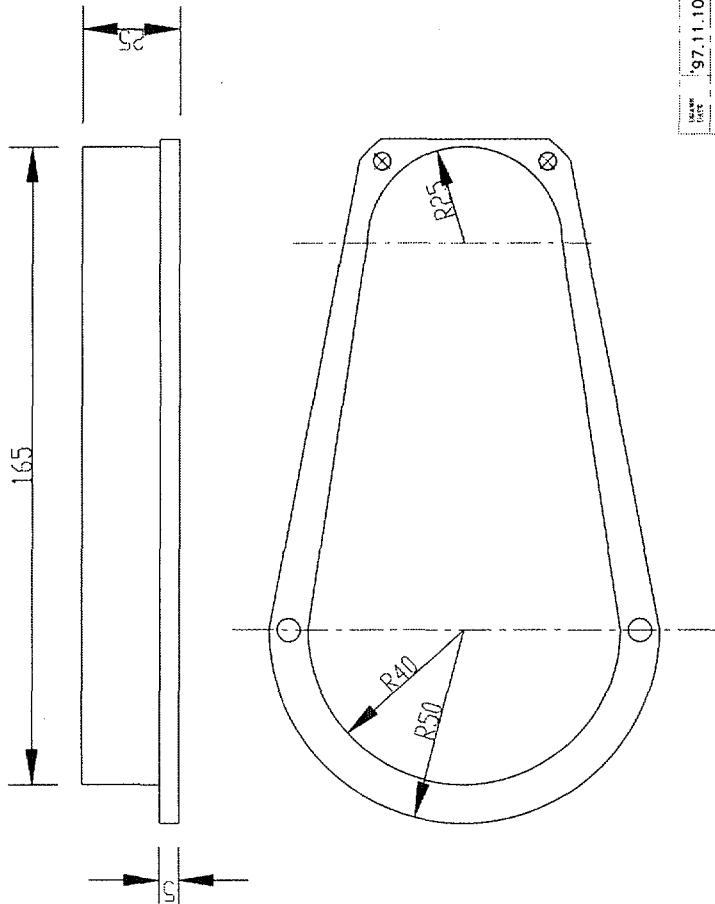
REF	97.11.10	ROULEA ATOME ENERGY RESEARCH INSTITUTE
DATE		
DESIGNER		
PROJECT	Robot	pressurizer
ITEM		Robot Arm
REV	1/1	



8

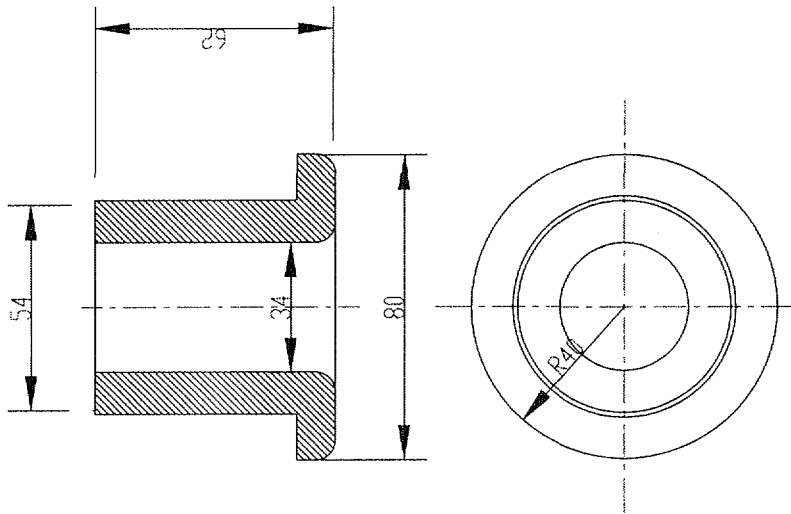
DATE	197.11.10	KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE	
DESIGNER		PROJECT	Robot pressurizer
CHECKER		ITEM	Robot Arm
APPROVER		SCALE	1/1
DATE			

9



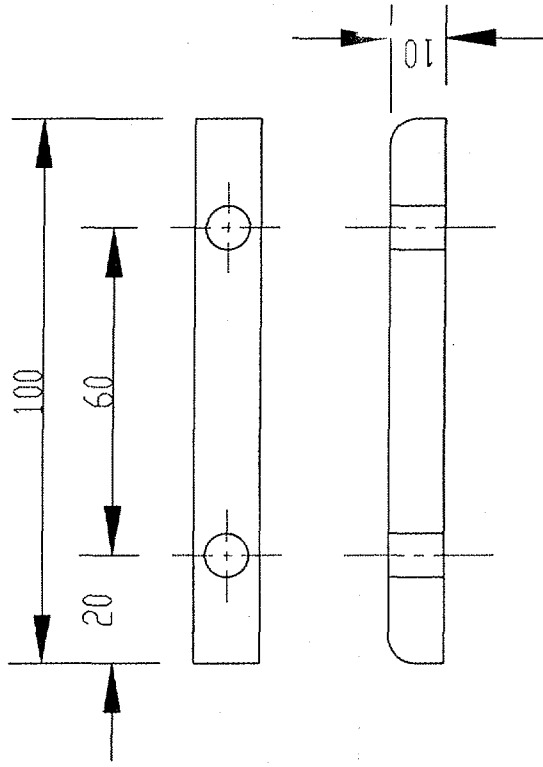
DATE	97.11.10	ORGANIZATION	EUROPEAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTES
DESIGNED		PROJECT	Robot pressurizer
DRAWN		TITLE	Robot Arm
SCALE	1/1	REV. NO	

11



DATE	97.11.10	KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE	
DESIGN NO.		PROJECT	Robot Arm
EXPERTS		PROJECT	Robot pressurizer
DESIGNER		REV.	
DRWING	1/1	REV. NO.	

12

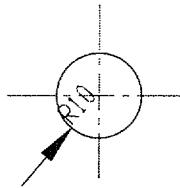
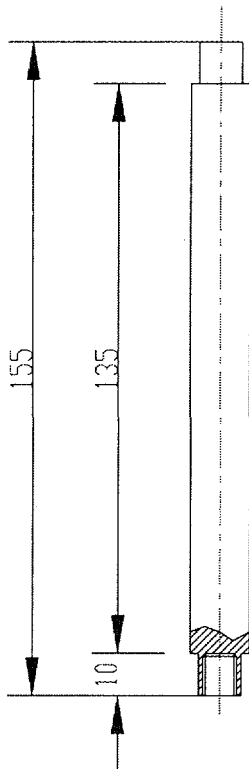


DATE	97.11.10	PROJECT	ROBOT
DESIGNER		TITLE	Robot Arm
CHECKED		SCALE	1/1
DATE			
APPROVED			
DATE			
NAME			

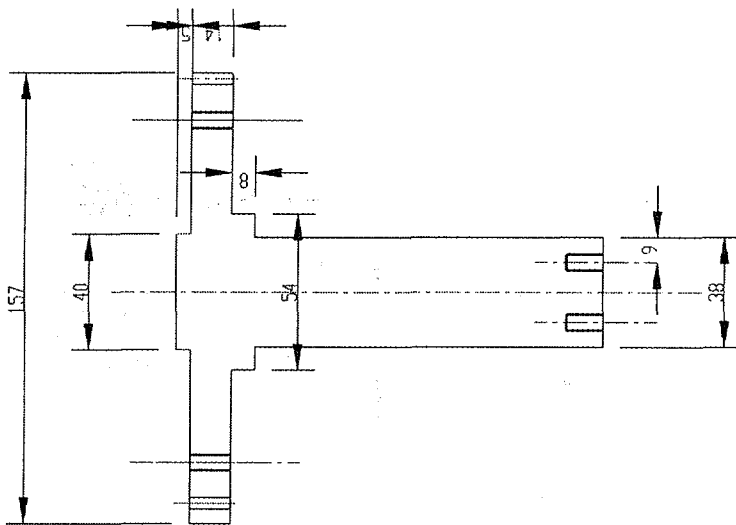
KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE

Robot
pressurizer
Robot Arm

13



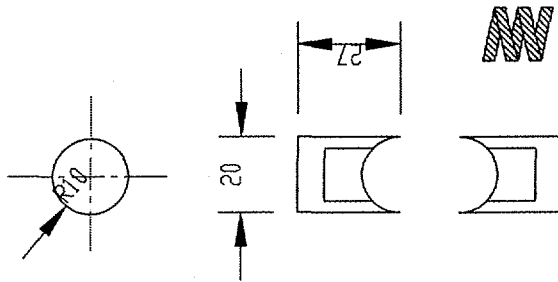
DATE	97.11.10	AREA	ENERG. ENERGY RESEARCH INST/ETZ
PROJECT		PROJECT	Robot
DESCRIPTION		PROJECT	Robot
APPROVAL		PROJECT	Robot Arm
NO.	1/1	DATE	



14

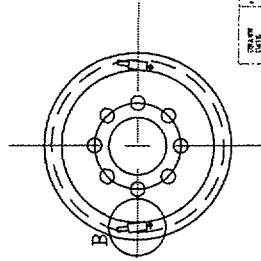
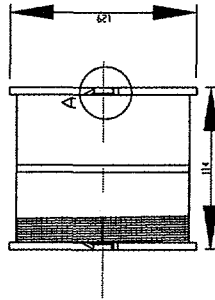
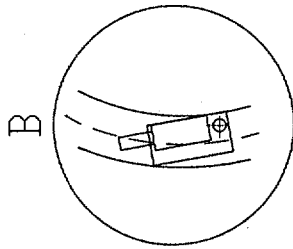
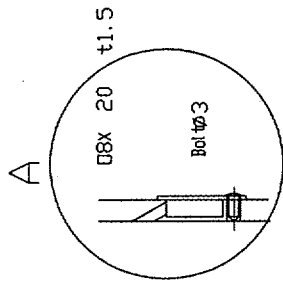
DATE	97.11.10	ORGANIZATION	ORNL
DESIGNER		PROJECT	Robot pressurizer
CHECKER		DATE	1/1
APPROVED		WORK NO.	Robot Arm

15



DATE	97.11.10	INSTITUTION	RUSSIA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE
DESIGNER		PROJECT	Robot pressurizer
DATE		TITLE	Robot Arm
SCALE	1/1	FIG. NO.	

16



DATE	97.11.10	ORGANIZATION	ROKONDA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE
TYPE		PROJECT	Robot pressurizer
REVISION		TYPE	Robot Arm
QUANTITY		DRAWING NO.	
SCALE	1/1	TITLE NO.	

서지 정보 양식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAE2I/R2-11790/91					
제목/부제	원전 가압기 전기히터 유지보수 로봇 개발				
연구책임자 및 부서명	정승호				
연구자 및 부서명	김승호, 서용철 (원자력 로봇 Lab)				
발행지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행일	1998. 1. 15.
페이지	61	도표	유(v), 무()	크기	26 cm
참고사항	'97 기관고유사업				
비밀여부	공개(v), 대외비(), _급비밀	보고서종류	연구보고서		
연구위탁기관		계약번호	524009		
초록(300단어 내외)	<p>전열관(electric heater)과 분무기(spray) 등으로 이루어진 원전 가압기(pressurizer)는 원자로 1차 계통의 압력을 일정 압력으로 유지해주는 안전성과 관련된 중요한 기기로서 정기적으로 이상 유무를 검사하여야 한다. 그러나 원자로 1차 계통은 방사능 오염 지역이므로 작업자가 가압기 내부를 검사하기가 용이하지 않다. 뿐만 아니라 가압기 구성부품의 이상 발생 등으로 인한 부품 교체 시에 작업자가 가압기 내부에서 작업을 수행하여야 하기 때문에 방사능 피폭을 피할 수가 없게 된다. 본 논문에서는 가압기의 점검 보수시 작업자의 방사능 피폭량을 감소시키기 위해 가압기 내부의 이상상태를 조기에 점검하고, 보수할 수 있는 로봇 시스템 개발하였다. 개발된 로봇시스템은 2 자유도를 갖는 링크부, 강선을 이용한 이동가능한 파지부, 로봇을 부착하는 기본 프레임, 그리고 로봇 제어부로 구성되었다.</p> <p>각 구성부는 작업 공간의 제한성 등을 고려하여 설계되었으며, 로봇 제작에 앞서 3차원 그래픽 시뮬레이션 프로그램인 ROBCAD를 이용하여 작업의 원활성 및 가압기와 로봇의 충돌여부, 로봇의 장/탈착의 원활성 등을 그래픽 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한 가압기 내부의 손상된 전열관 인출 시에 큰 하중이 요구되므로 ANSYS Code를 이용하여 로봇의 구조적 안정성을 평가하였다.</p>				
주제명 키워드(10단어 내외)	원전 가압기, 결합진단, 로봇, 전열관, 자율 파지 장치				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code		
KAERI RR-1199/91					
Title/Subtitle	Development of the Robot for Pressurizer Electric Heater Inspection and Repairing				
Project Manager and Dept.	SeungHo Jung				
Researcher and Dept.	SeungHo Kim, YongChil Su				
Pub. Place	Daejeon	Pub. Org.	KAERI	Pub. Date	1998. 1. 15.
Page	61	Ill. and Tab	Yes(v), No()	Size	26 cm
Note					
Classified	Open(v),Outside(),_Class		Report Type	Research Report	
Sponsoring Org.			Contract No	524009	
Abstract(about 300 words)					
<p>In this study a robot system has been developed for inspection and maintenance of the pressurizer and the rod heaters. The developed robot system consists of four parts: two links, a support frame, a movable gripper, and a controller box. The robot is attached on the support frame, which is attached at the man-way flange of the pressurizer such that the robot is positioned inside pressurizer. To access arbitrary heater, at first two links horizontally rotate, and then the gripper suspended by two steel wires moves up and down by turing wire drum because the rod heaters are located about 8 meters under the robot and are arranged in two circular rows.</p> <p>The robot must be designed under several constraints such as its weight and collsion with presurizer wall or spray nozzle because the robot is positioned and moves inside the presurizer. To verify that the designed robot is free from collision during installation procedure and it can access any desired rod heater, it is simulated by 3-dimensional graphic software(RobCAD). For evaluating stress of the support frame finite element analysis is performed by using the ANSYS code.</p> <p>For gripping the rod heater the passive self-locking mechanism is adopted, which is made up three balls and springs. Because the mechanism is very simple, it is very hardly defected than that adopted motor</p>					
Subject Keywords(about 10 words)			Pressurizer, Diagnosis, Robot		
Electric Heater, Self Locking Mechanism					

원전 가압기 전기히터
유지 보수 로봇 개발

1998年 1月 10日 印刷

1998年 1月 14日 發行

發行人 金 聖 年

發行處 韓國 原子力 研究所

大田廣域市 儒城區 德津洞 150

印刷所 大田. 忠南 印刷工業協同組合

믿는마음 지킨약속 다져지는 신뢰사회