

KAERI/TR-2393/2003

## 소듐 실험장치의 구성 및 제작

Component and Manufacture of Sodium Test Facility

*KAERI*  
2003. 2

한 국 원 자 력 연 구 소

# 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 "액체금속로 설계기술개발" 과제중 "소듐기술 개발" 과제의 【소듐 실험장치의 구성 및 제작에 대한 기술보고서로 제출합니다.

2003. 2.

주저자 : 김 종 만

공저자 : 최 병 해

정 지 영

최 종 현

## 요 약 문

본 보고서에서는 소듐 실험시설의 설계 및 건조시 필요한 기본적인 요건들을 검토하고 실험의 정확성과 효율성을 높이기 위해 시설 운용시 필요한 개념들을 기술하였으며, 몇 가지 계통 구성물과 재료에 대한 상세사항도 정리하였다.

본 보고서에 기술된 내용을 통해 작업자들이 소듐 취급기술에 대한 기본적인 지식을 얻었으면 한다.



### SUMMARY

This report reviews the basic requirements of the design and construction of sodium test facility. And it delineates the concepts necessary to operate facilities for the high accuracy and the efficiency of the test. It also provides details on some system components and materials.

Through the contents described in this report, it is hoped that workers will have a basis for sodium technology.

# 목 차

제 1 장	서론	1
제 2 장	장치 설계의 일반	2
2-1	장치 설계의 일반적 사항	2
2-2	소뚝 실험장치의 설계	2
제 3 장	소뚝 실험 장치의 구성 및 제작	6
3-1	소뚝 실험장치 구성시 고려사항	6
3-2	배관 일반	12
3-3	배관 시방시 주의사항	16
3-4	제어 장치의 구성	29

# 표 목 차

1. 소듐 실험장치와 물 실험장치의 구성상 특성비교 .....	6
2. 파이프의 규격 .....	12
3. 피팅류의 종류 .....	13
4. 배관의 접속 방법 .....	13
5. 파이프의 규격 .....	14
6. 배관 지지장치의 구분 .....	15
7. 비파괴 검사의 방법 및 종류 .....	18
8. 열전대의 종류 .....	24
9. 보온재의 물성치 비교표 .....	27
10. 보온외장재 및 보조재 .....	28
11. 계장용 신호 .....	32

# 그림목차

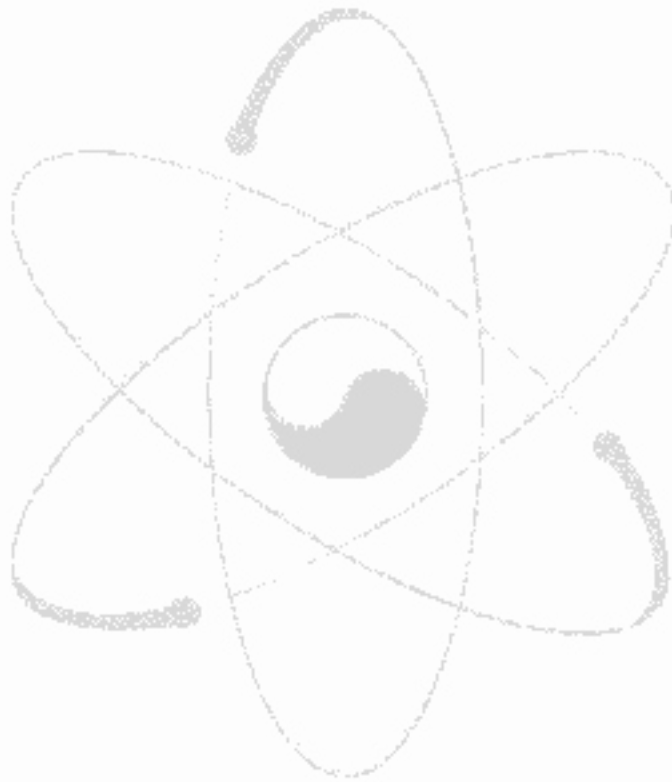
1. 탱크의 용량 .....	7
2. 저장탱크의 구성 예 .....	9
3. 불순물정화기의 구조 .....	10
4. 가스필터의 구조 .....	11
5. 일반적인 행거와 서포트의 형식 .....	15
6. 수평배관의 비교 예 .....	16
7. 히터의 종류 .....	19
8. 누출감지기 및 예열선의 구성 .....	22
9. 열전대의 구조 .....	23
10. Thermowell의 종류 및 설치 예 .....	25
11. 패널의 형태 .....	29
12. 패널의 종류 .....	31
13. 경보기와 부저 .....	33

## 제 1 장 서 론

소듐은 열전달 및 핵적 특성이 우수하여 활용도는 높지만 화학적 특성 때문에 취급에 상당한 주의를 기울여야 한다.

소듐을 이용한 실험이나 장치의 설계 및 구성에 있어서도 이러한 특성이 충분히 고려되어야 한다.

본 보고서는 소듐을 이용한 실험장치를 설계와 구성 및 제작에 있어서 필수적이며 충분히 고려되어야 할 사항들을 장치 운용자 중심으로 정리하였다.



## 제 2 장 장치 설계의 일반

### 2-1 장치 설계의 일반사항

일반적으로 장치를 제작하고자 할 때 장치의 사용목적, 성능, 크기, 수량 등이 제시된다. 이것을 일반적으로 제작설명서(시방서)라고 하며, 설계는 제작설명서에 의해 행하여진다. 설계자는 이 제작설명서에 의하여 그 목적을 달성할 수 있게 가장 우수한 설계를 행하도록 노력하고 설계에 있어서는 아래와 같은 일반적인 요건을 만족시킬 수 있어야 한다.

- 1) 제품의 사용목적에 만족시킬 수 있는 기구나 기계를 선정할 것.
- 2) 제품의 각부에 작용하는 힘을 충분히 고려하여 각부에 적합하고 또한 경제적인 재료를 선정하여 그 크기를 정할 것.
- 3) 제품 전체에 대하여 새로운 구상하에 형상이나 색채의 조화를 기할 것.
- 4) 제작, 조립, 취급, 유지보수가 용이한 구조로 할 것.
- 5) 부품의 표준화 및 생산비의 저하를 꾀할 것.
- 6) 정확하고 알기 쉬운 도면으로 할 것.

이들 요소 중에서 가장 중요한 것은 장치의 사용목적, 적합한 강도, 재료, 크기 등이 설계시 우선적으로 고려되어야 할 사항들이다.

현실적으로 장치를 설계하기 위해서는 폭넓은 지식과 경험이 필요하다. 제작에서 조립까지의 가공공정과 각부의 구조, 작용, 형상, 크기 등을 잘 이해하고 기계요소의 종류, KS 규격 등에 관해서도 충분한 지식을 지녀야 하며 이를 바탕으로 개선과 새로운 것을 고안하는 노력이 요구된다.

이러한 설계는 도면을 완료하기까지의 일련의 과정이라고 할 수 있다. 도면은 설계자의 의사를 표현하는 것이므로 설계자는 설계와 가공에 관한 충분한 지식을 확보하는 것이 필요하다.

#### 1. 기능설계와 생산설계

설계는 작업내용에 따라 기능설계와 생산설계로 나눌 수 있다. 기능설계는 그 목적에 따라서 그 제품의 기능에 관해서 계획하는 것이며, 기기의 성능을 중점적으로 취급한다. 기능설계는 설계 변경이나 설계 미스로 인한 손실이 없도록 추진해야하며, 제품(장치)에 대한 기본 구상을 명확히 해야 하고 경험, 자료 및 새로운 기술을 충분히 도입해야 한다.



생산설계는 기본설계에 의해 상세설계를 행하는 것으로 값싸고 낭비가 없으며 효율적인 생산이 문제가 된다.

## 2. 재료의 강도

제품에 대한 구상이 완료되면 각부에 작용하는 외력(하중)에 대하여 충분히 견딜 수 있도록 그 형상이나 크기를 결정해야한다. 설계에 있어서 재료의 강도를 고려해야 한다.

## 3. 허용응력과 안전율

기계나 구조물이 안전하게 사용되고 그 목적을 달성하기 위해서는 재료의 종류, 하중의 종류, 사용목적에 따라 허용응력과 안전율의 선정이 중요하다.

## 4. 부식과 마모

제품의 특성에 맞게 부식과 마모에 대한 대책을 강구해야 한다.

### 1) 부식

일반적으로 습기가 많을수록 또, 고온일수록 심하며 일반적인 방지법은 다음과 같다.

가) 재료의 표면을 가능한 한 매끄럽게 가공한다.

나) 도료를 바르거나 도금을 한다.

다) 상이한 금속의 조합을 가급적 피한다.

라) 균일한 재질의 재료를 선택한다.

마) 가공, 열처리 등에 의한 잔류응력을 제거한다.

### 2) 마모

단단한 재료일수록 마모는 적으며 방지법은 다음과 같다.

가) 마찰 부분에 내마찰성이 큰 재료를 사용하거나 조합한다.

나) 접촉면의 다듬질을 정밀하게 한다.

다) 윤활제를 공급하여 마찰을 적게 한다.

라) 접촉 압력이 과대하지 않게 한다.

## 5. 재료의 선택

재료는 각기 다른 특성을 가지고 있다. 인장하중에 강한 재료, 압축하중에 강한 재료, 충격에 강한 재료, 고온에 견딜 수 있는 고온 재료, 고강도 경량재료 등 여러 가지 특성이 있으므로 충분한 지식을 가지고 재료 선택을 하는 것이 중요하다.

## 6. 설계의 절차

설계의 절차란 설계에 필요한 작업 요소를 고려하여 순서 있게 배열하는 것이다. 설계에 관한 절차는 다음 사항을 고려하여 진행된다.

### 1) 제작설명서(시방서)의 검토

제작설명서는 설계의 기본조건이 되는 것이며, 소요동력, 출력, 성능, 구조, 작동방식, 형식, 재료, 공작법, 형상, 치수, 중량, 부속품 등 여러 가지 사항이 포함되어 있다.

### 2) 유사장치의 조사

설계조건이 정해지면 장치 전체 또는 부분에 대해 유사품을 조사할 필요가 있다. 조사는 실물이나 설계자료에 관해서 행해진다.

### 3) 구상

주어진 조건이나 조사자료에 의해 전체 또는 부분을 구상한다.

### 4) 재료의 선정

사용목적이나 제작법에 따라서 적당한 재료를 선정해야 한다. 원가계산을 하고 재료비와 가공비의 관계를 조사한 뒤 재료를 선정하는 것도 중요하다.

### 5) 형상과 치수의 결정

장치의 기본 구상이 끝나면 각 부분의 형상과 치수가 결정된다.

### 6) 제작법의 결정

설계 의도는 설계도에 확실하게 제시되어야 한다. 공작법, 다듬질정도, 열처리여부 등에 대한 충분한 검토가 필요하다.

### 7) 중량 계산

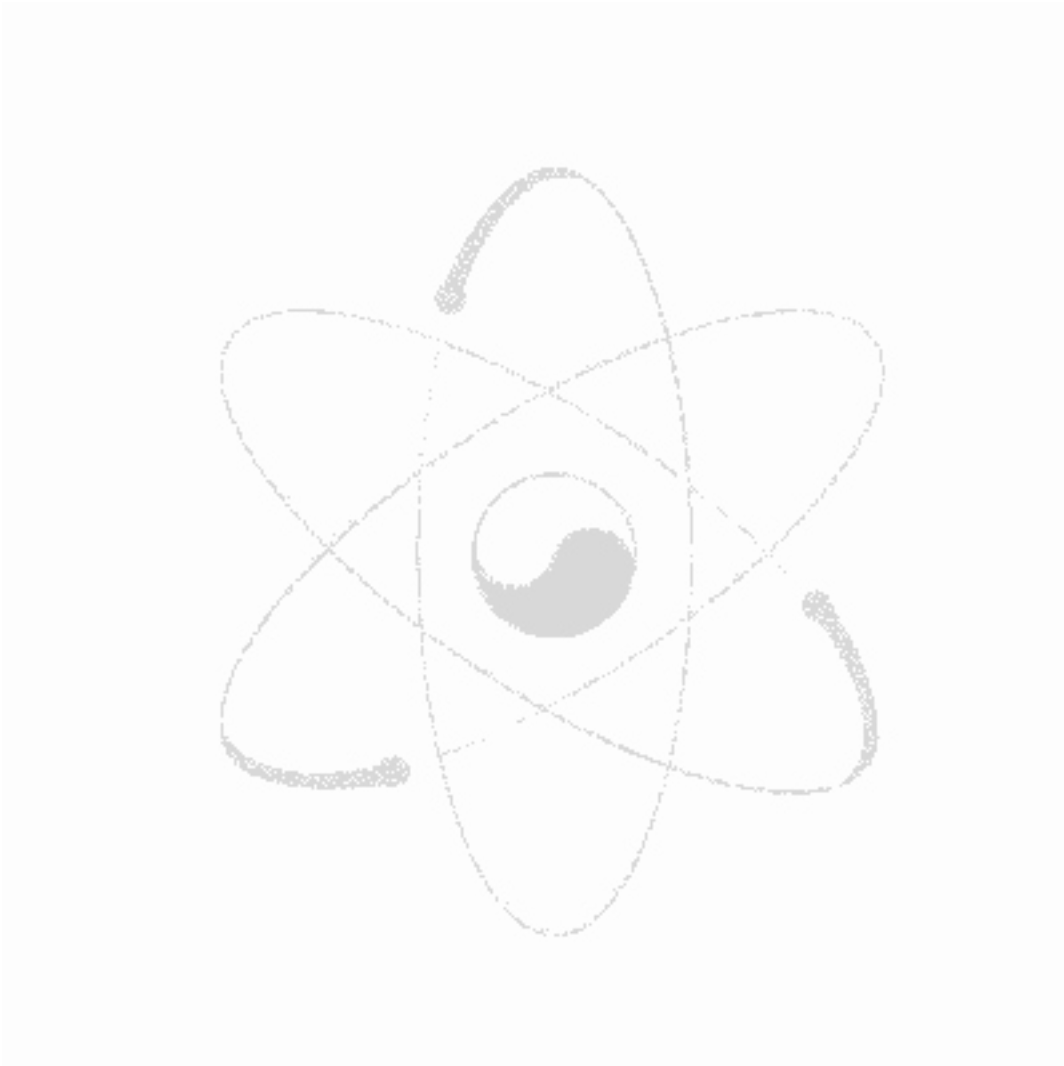
재료, 형상, 치수가 결정되면 부품마다 중량을 계산한다. 중량 계산은 부품의 체적을 구한 뒤 재질의 비중을 곱하는데 복잡한 형상의 부품은 가계산 후 수정하여 결정한다.

### 8) 제작도의 작성과 도면의 검토

설계된 장치는 부품도, 부분조립도, 조립도 등으로 제도한다. 설계자는 설계 의도가 충분히 반영되었는지를 상세히 검토하여야 한다.

## 7. 설계와 공작법의 관계

동일한 기능을 지닌 부품이라도 설계 방식에 따라 여러 가지로 변할 수 있다. 가공에 있어서도 용이하고 합리적인 가공이 되도록 주의를 기울여야하며 조립이나 점검이 용이하도록 하여야 한다.



## 제 3 장 소듐 실험장치의 구성 및 제작

### 3-1 소듐 실험장치의 구성시 고려사항

일반적인 소듐 실험장치의 주요 구성부를 살펴보면 실험부, 장치내의 소듐을 저장할 수 있는 저장탱크, 소듐의 이송(Pumping)에 필요한 전자펌프, 소듐의 이송 유로인 배관 및 압력 배관, 그리고 각종 밸브와 센서, 소듐의 용융에 필요한 히터, 운전중 발생하는 소듐의 산화물을 정제하는 불순물정화기(Coldtrap), 가스필터 등을 포함한 루프(Loop) 형태로 구성된다. 이러한 소듐 루프를 설계 및 제작하기 위해서는 소듐의 특성을 충분히 인식한 후 설계와 제작에 임해야 한다.

소듐은 밀폐된 스테인레스강 용기내에서 저장하고 이송하는데 스테인레스강을 사용하는 이유는 스테인레스강이 소듐과의 반응성이 낮고 안정적이기 때문이다. 또한 소듐의 특성상 실험 온도가 고온이기 때문에 모든 계통들의 예열과 보온 작업이 필수적이다. 이러한 이유와 소듐 특성에 맞는 기기들의 특수 제작 등이 이루어지기 때문에 같은 조건의 물 실험에 비하면 그 소요 비용이 상당히 고가이다.

소듐 실험장치와 물 실험장치 구성에 대한 일반적인 사항을 중심으로 대략적인 차이나 특성을 비교해 보면 표 1과 같다.

표 1 소듐 실험장치와 물 실험장치의 구성상 특성비교

항 목	배관용접	보온	히터 및 예열	누출감시	재료	온도조절
소듐 실험장치	소켓용접 권장	필수	필수	필수	스테인레스강	필수
물 실험장치	맞대기 용접	조건별 선택	조건별 선택	불필요	선택	선택

이러한 특성을 중심으로 소듐 실험장치를 구성하고 있는 주요 구성부별 설계와 제작에 따른 사항에 대해 살펴본다.

## 1. 저장탱크

저장탱크는 운전 및 정지시 소듐을 저장하며, 운전시 소듐을 루프에 충전하고, 비상시에는 배관 내부의 배출 소듐을 저장하는 탱크로서 실험시 용융 소듐과 실험 종료시 고체 상태로 저장되는 특성상 열에 의한 팽창과 수축이 가장 심한 구성부이다. 이러한 특성을 감안하여 설계를 하고 제작시 용접부의 파손이 없고 수축과 팽창을 흡수할 수 있도록 세심한 주의가 요구되는 부분이다. 저장탱크는 총 용적의 1/3 정도의 커버가스 공간이 확보되도록 설계하여야 하며 루프내의 고온 소듐의 배출시 급격한 열충격을 방지하기 위하여 저장탱크내에는 항상 1/3 정도의 소듐이 남아있도록 하는 것이 좋다.

저장탱크 외부에는 저장 소듐의 용융에 적합한 용량의 히터를 설치하는데 탱크의 외부에는 예열선을 설치하고 예열선의 용량을 고려하여 필요시 내부에 장입식 히터를 설치한다. 이러한 탱크의 용량은 다음과 같이 정의된다.

탱크의 용량은 상시 출입이 가능한 용량이다. 탱크의 배출 노즐하부에 있는 소듐은 상시 운전에는 불출할 수가 없다. 실제로 저장할 수 있는 최대 용량이라 함은 상시 출입할 수 있는 양과 노즐 밑의 불출할 수 없는 양의 합계이다. 또 저장할 수 있는 최대저유량의 상부에는 법규로 정해진 공간이 필요하다. 그러므로 탱크용량을 각각 작업용량, 저장용량 및 공칭용량으로 다음과 같이 정의한다. 그림 1에 탱크의 용량을 도시하였다.

- 공칭용량(Nominal Capacity)은 이론적으로 들어갈 수 있는 용량
- 저장용량(Storage Capacity)은 기술적으로 들어갈 수 있는 용량
- 작업용량(Working Capacity)은 기술적으로 취급할 수 있는 용량

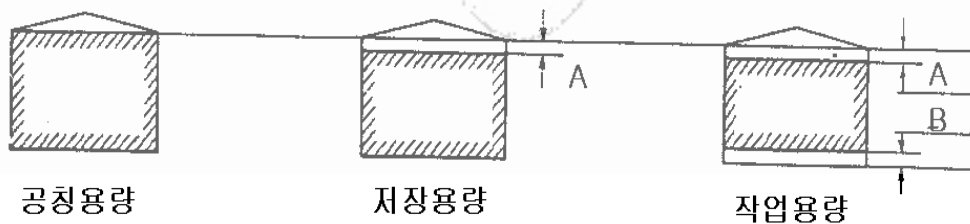


그림 1 탱크의 용량

## 1) 저장탱크의 구성 예

### 가) 설계 순서

#### ① 루프의 용적 및 소듐량 계산

우선 배관의 내경과 길이를 기준으로 하여 이송시 유동하는 소듐의 최대량을 구한다. -----(1)

#### ② 불순물정화기의 용적 및 소듐량 계산 -----(2)

불순물정화기의 용적중 소듐이 채워지는 실제의 용량을 계산한다. 불순물정화기내의 소듐은 드레인을 시키지 않는 한 내부에 항상 남아있게 되므로 소듐량 계산시 고려해야 한다.

#### ③ 실험부의 용적 및 보조탱크(Reserve tank)의 소듐 용량 계산 -----(3)

(1)~(3) 까지의 계산결과가 실제 필요한 소듐의 양이 된다. 소듐의 실제 필요량을 기준으로 하여 아래 ④번의 저장탱크 잔량을 계산하게 된다.

#### ④ 저장탱크 잔량은 탱크 부피의 1/3을 고려하여 계산

$[(1)+(2)+(3)=A] + (A \times 1/3)$  의 방법으로 저장탱크에 항상 남아있을 잔량을 계산한다. -----(4)

⑤ (1)~(4)의 방법으로 소듐의 총진 총량이 결정되면 저장탱크의 크기를 잠정 결정하고 상세 계산후 필요시 수정한다.

#### ⑥ 커버가스 공간 계산

소듐 총진량의 1/3을 확보하여 커버가스의 공간을 결정한다.

#### ⑦ 탱크 크기 결정

저장탱크의 최종 크기를 결정하되 일반적으로 아래와 같은 방식에 의해 탱크를 계산한다.

### 가) 탱크의 두께 결정

탱크의 두께 결정은 일반식에 의하여 아래와 같이 구해진다.

$$T = \frac{P \cdot DI}{2000 \sigma_a \cdot \eta - 1.2P} + a$$

P = 최고사용 압력(kg/cm<sup>2</sup>)

DI = 부식여유를 제외한 동체의 내경(mm)

σ<sub>a</sub> = 허용 인장 응력(kg/cm<sup>2</sup>)

η = 길이 이음 효율 1

a = 부식여유 1

나) 경판의 결정

경판은 접시형으로 하되 동판 두께의 10%를 가산한 두께

$$T1 = T \times 1.10 (mm)$$

경판의 구석 둥글기의 부식 여유를 제외한 안쪽반지름

$$R \leq 1.0D$$

다) 저장탱크의 총 용적

저장탱크의 용적 결정은 장치에 사용할 소듐의 용량이 계산된 이후에 커버가스 공간을 고려하여 결정하며 일반식은 아래와 같다.

$$V = \frac{\pi}{4} D \times L \quad \text{-----} \text{①}$$

라) 저장탱크의 높이 계산

충전된 소듐의 용적(Vc)

$$Vc = \frac{Vs(\text{소듐충진량})}{0.951(\text{용융시소듐의비중})} \quad \text{-----} \text{②}$$

마) 저장탱크내 커버가스 용적(Gc)

$$Gc = \text{①} - \text{②} \quad \text{-----} \text{③}$$

저장탱크의 구성에 관한 예를 그림 2에 나타내었다.

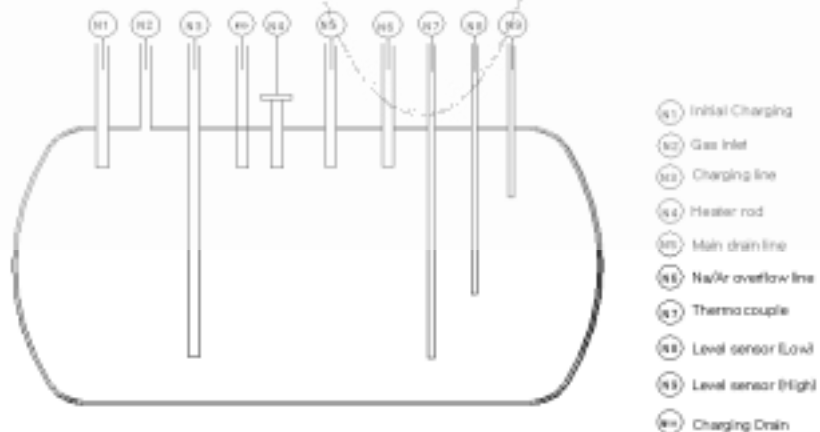


그림 2 저장탱크의 구성 예

## 2) 불순물정화기의 구성

불순물의 정화는 일반적으로 Cold Trapping 방법을 주로 이용한다. Cold Trapping 방법은 소듐산화물과 같은 비금속 불순물은 온도가 낮아지면 소듐내 용해도가 감소하여 응고하는 특성을 이용하는 방법으로 소듐의 온도를 낮추면 불순물들이 과포화되어 결정이 석출되므로 소듐의 정제가 가능하다. 정화기로 유입되는 소듐은 전체 소듐 유량의 약 1/10정도가 적당하다.

정화기의 설계는 저장탱크 설계와 같은 방법으로 하되 정화기의 기능을 고려하여 탱크내부에 정화시스템을 장착하여야한다. 정화시스템 구성은 용기 내부의 상하에 스테인레스강으로 만든 타공판을 설치하고 그 중간층에 스테인레스강으로 만든 철망(Wire mesh)을 뿔뿔이 채워넣고 용기의 상부에서 유입된 소듐이 스테인레스 철망을 통하여 하부로 이동하여 저장탱크로 이동되도록 하며 불순물들이 철망에 의해 응착되도록 구성한다.

정화기는 고온으로 가열하면 철망에 응착된 불순물들이 용융되어 저장탱크를 통하여 루프내로 이송되기 때문에 150℃ 정도로 유지를 하여 걸러진 불순물들이 항상 정화기 철망에 흡착되도록 유지하는 것이 중요하다. 정화기의 일정한 온도 유지를 위해 정화기 외벽에는 히터와 방열핀을 설치하고 냉각에 필요한 블로어 및 온도센서의 설치도 필수적이다. 그림 3은 정화기의 구조를 나타내고 있다.

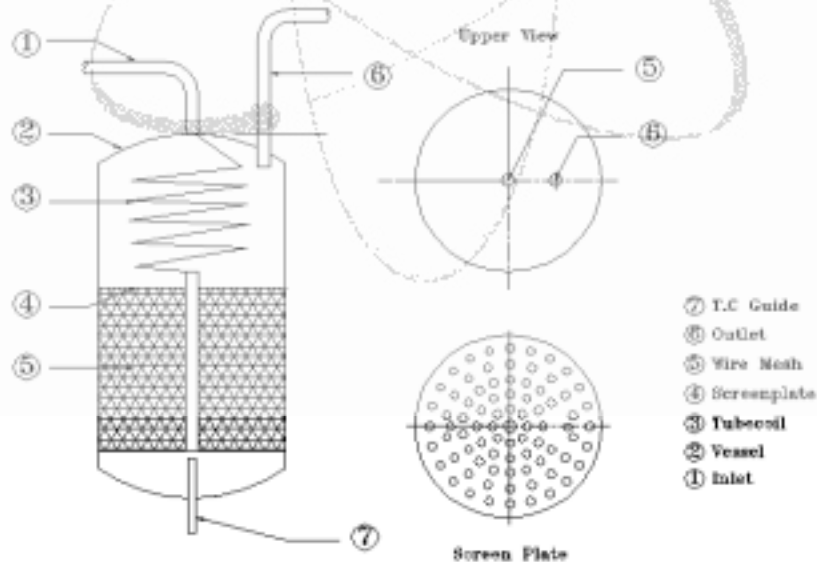


그림 3 불순물정화기의 구조



### 3) 가스필터

가스필터는 Vapor Trap에서 나온 커버가스를 최종 여과하여 소듐 증기를 여과하고 아르곤 가스만 대기로 방출시키기 위한 장치이다. 가스필터의 상부는 플랜지로 연결되어 있으며, 가스 인입관을 통하여 내부로 이송된 가스는 스텐레스스틸망(wire mesh)에 의해 1차 여과되고 여과포에 의해 2차 여과된 후 대기 중으로 방출된다. 또한 배출관은 체크밸브를 설치하여 외부 공기의 역유입이 없도록 한다. 그림 4에 가스 필터의 구조를 나타내었다.

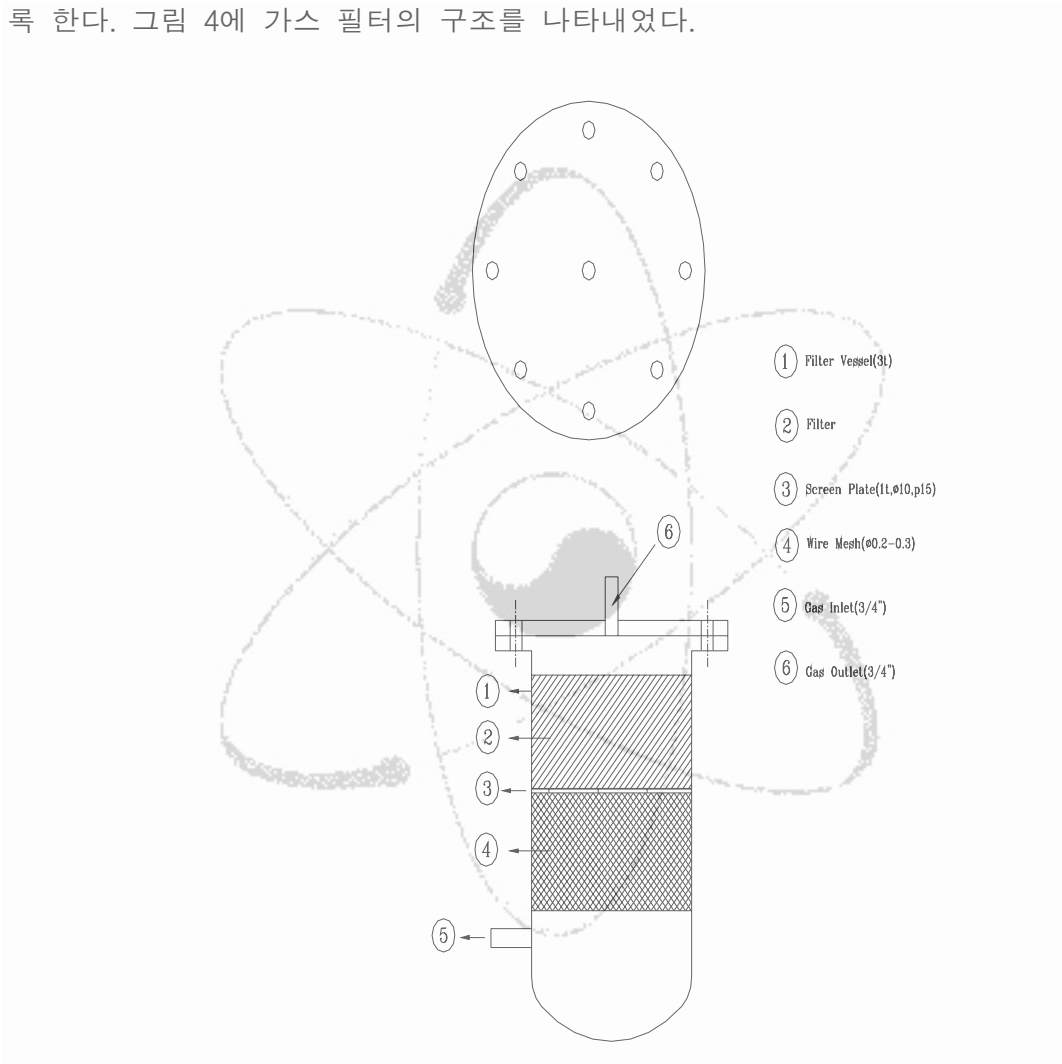


그림 4 가스필터의 구조

### 3-2 배관의 일반적 시방

#### 1 배관 재료의 선정 및 용접

배관 재료는 여러 가지가 있으나 파이프와 피팅(Fitting)류를 중심으로 살펴본다.

##### 1) 파이프

파이프의 규격은 JIS, ANS, DIN(독일), BS(영국) 등이 있다. 이중 가장 일반적으로 쓰이는 규격은 JIS와 ANS이다. 이는 보편적으로 파이프와 치수 체계를 기준으로 구분하여 분류한다.

장치가 복잡하고 대형화 됨에 따라 적당한 파이프의 살 두께를 정하는 작업은 상당히 번잡해지고 있다. 살 두께는 일반적으로 스케줄 방식을 사용하고 있다. 스케줄 번호는 기계적인 부담과 경제적 효율성을 고려하여 계산식에 의해 정해진다. 이 스케줄 번호는 사용압력과 허용응력의 비를 살 두께의 비로 표시하는 방식으로 현재는 스케줄 번호가 10-160이 규정되어 있고 널리 쓰이고 있다.

$$t = \frac{PD}{175S} + 2.54$$

$$\text{스케줄 번호(SCH)} = 10 \times \frac{P}{S}$$

t : 관의 두께(mm), P : 사용압력(kg/cm<sup>2</sup>), S : 상용에서 재료의 허용응력(kg/cm<sup>2</sup>), D : 관의 외경(mm)

파이프는 제조 방식에 따라 전기저항용접관, 아아크용접관, 시임레스관 등이 있다.

##### 2) 피팅(Fitting)

현재 장치 배관에 널리 쓰이고 있는 피팅재의 종류를 형상에 따라 분류하면 표 2와 같다.

표 2 피팅류의 종류

엘보우(Elbow)	커플링(coupling)	크로스(Cross)
레듀서(Reducer)	유니온(Union)	플러그(Plug)
티이(Tees)	보스(Boss)	부싱(Bushing)
캡(Cap)	니플(Nipple)	

3) 배관의 시방

가) 배관의 시방시 일반적인 주의사항은 아래와 같다.

- ① 경제적인 것.
- ② 안전성을 만족시킬 것.
- ③ 호환성이 있을 것.
- ④ 유체의 특성에 부합할 것.
- ⑤ 가공성이 좋을 것

대표적인 배관의 접속방법을 표 3에 정리하였다.

표 3 배관의 접속방법

맞대기 용접형(Butt weld type)	파이프와 동재질 2인치 이상
플랜지형(Flange type)	주조품 등
나사형(Screw type)	주조물, 1 1/2인치 이하
끼워 넣기 용접형(Socket weld type)	단조품, 1 1/2인치 이하

나) 파이프의 결정

파이프의 결정은 표 4를 이용하여 잠정 결정 후 여러 가지 조건을 고려하여 최종 결정한다.

표 4 파이프의 규격

파이프의 치수	체 계	예
호칭경	밀리미터계	100A, 150A, 200A
	인치계	4B, 6B, 8B
외경	JIS계(가스관외경)	114.3(4B), 216.3(8B), 318.5(12B)
	ANS계(US 외경)	114.3(4B), 219.1(8B), 323.9(12B)

다) 배관번호의 부착

배관번호는 배관의 이름과 같은 것으로 배관의 기능에 따라 프로세스 라인과 유틸리티 라인으로 구분하며, 프로세스 라인은 그 유체의 흐름 순서에 따라 부착하고 배관에 설치된 압력계, 온도계, 유량계 등은 기기마다 각각 라인번호를 붙이는 것이 좋다.

라) 배관의 설계압력 및 온도 결정

배관의 설계압력 및 온도는 배관 시방상 가장 중요한 요소이다. 배관의 압력과 온도는 유체가 도달할 수 있는 최고의 압력과 온도를 기준으로 결정하는 것이 바람직하며 아래 사항을 고려하여 결정한다.

- 배관에 설치된 기기의 설계압력 및 설계온도
- 배관에 설치된 밸브의 세팅 압력
- 작동시 펌프의 최대 압력

마) 파이핑 레이아웃(Piping layout)

파이핑 레이아웃은 일반적으로 다음 사항이 고려되어야 한다.

- ① 충분한 안전성이 확보되어야 한다.
- ② 장치의 운전이 쉬운 구조여야 한다.
- ③ 유지보수가 용이한 구조여야 한다.
- ④ 장치 전체의 미관도 고려되어야 한다.
- ⑤ 경제성도 고려한다.
- ⑥ 배관은 가급적 그룹화 되도록 구성한다. 이것은 운전의 용이성, 미관, 경제성과도 연계된 중요한 사항이다.
- ⑦ 배관의 길이는 가급적 짧게 하고 불필요한 굴곡을 적게 함으로써 에어포켓 등의 발생을 억제한다.

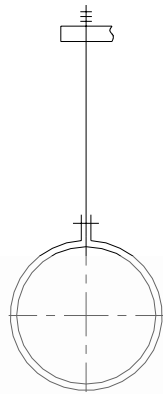
바) 배관의 지지 장치

배관의 지지 장치는 장치의 구조, 유체 및 유체의 온도 등 사용조건에 따라 여러 가지 형태가 있다. 배관의 중량을 지지하거나 열팽창에 의한 배관의 자유로운 움직임을 구속하거나 제한하기 위한 장치로서 행거(Hanger) 또는 서포트(Support)라고 한다. 이러한 배관의 지지 장치를 정리하면 표 5와 같다.

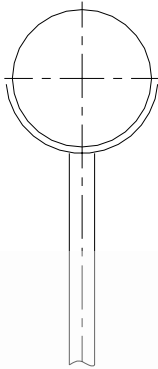
일반적으로 소뚝 장치에서는 배관의 지지나 열팽창에 의한 팽창을 구속하거나 제한하기 위하여 리지드행거(Rigid hanger)나 서포트(Support) 방식을 주로 이용하며 대표적인 예를 도시하면 그림 5와 같다.

표 5 배관 지지 장치의 구분

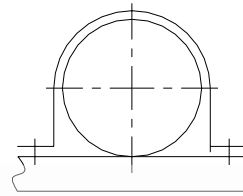
명 칭	용 도	비고
서포트(Support) 또는 행거(Hanger)	배관의 중량을 지지하기 위한 장치로서 위에서 지지하는 경우를 행거, 아래서 받히고 있는 경우를 서포트라고 한다.	
레스트레인트 (Restraint)	열팽창에 의한 배관의 팽창을 구속하거나 제한할 경우에 적용	
브레이스(Brace)	열팽창 등 이외의 외력(진동, 워터헤머 등)을 제한할 경우에 적용	



Pipe Hanger

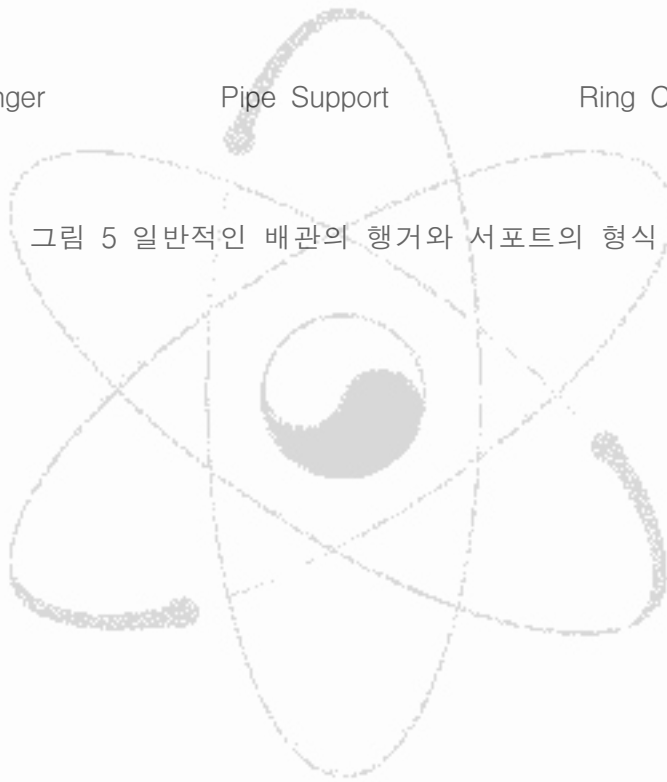


Pipe Support



Ring Clamp

그림 5 일반적인 배관의 행거와 서포트의 형식



### 3-3 소듐 배관 시방시 주의사항

소듐 배관은 일반적인 배관방법과 유사하지만 소듐의 물리적, 화학적 특성상 주의를 요한다.

#### 1. 배관재료의 선정

소듐 배관은 소듐과 배관재와의 반응성을 고려하여 반응성이 낮은 재료를 선정하여야 한다. 소듐은 화학적 반응성이 높아 장기적으로 재료를 부식시키고 이에 따라 소듐의 누출로 인한 금속화재로 이어질 수 있다. 이러한 이유 때문에 소듐의 배관재는 일반적으로 스테인레스강을 주로 사용한다. 이는 고온의 소듐을 이송하거나 장기 보관시 소듐과 재료의 화학적 반응에 의한 재료의 부식을 방지하고, 운전 중 생기는 소듐의 산화물을 최소화하며 궁극적으로는 부식에 따른 소듐의 누출을 예방하여야 하기 때문이다. 특히, 고온 고압의 소듐 이송은 용접부위의 파괴나 부식을 야기할 가능성이 있으므로 용접부위를 최소화하고 용접형파이프(Welded type)보다는 시임레스(Seamless) 파이프가 주로 사용되고 있다.

#### 2. 배관의 예

소듐 배관은 운전 종료시 드레인이나 운전 중 예기치 못한 돌발 상황 전개시 소듐을 최단시간 내에 저장탱크로 드레인을 해서 문제를 최소화 해야하는 특수성이 있다. 이러한 특수성을 고려하여 모든 배관 작업은 펌프 정지시 소듐의 중력에 의해 자연스럽게 저장탱크로 완전 회수가 가능하도록 유체 흐름의 역방향으로(저장탱크 방향) 약간의 경사(약 5°내외)를 두고 배관을 하는 것이 좋으며 용접 부위를 최소화하고 파이프를 밴딩(bending)하여 배관을 하는 것이 좋다. 그림 6은 수평 배관시 일반배관과 소듐 배관의 차이점을 도시하였다.



일반배관 예

소듐배관 예

그림 6 수평배관의 비교 예

### 3. 용접방법

배관의 용접은 단면간의 접합으로서 완전한 용접부를 얻는 것이므로 재질과 용접부의 특성을 고려하여 적합한 용접방법을 선택하여야 한다. 특히, 소듐 실험 장치는 일반적인 나사이음보다는 용접이음을 하는 것이 좋는데, 그 이유는 소듐의 특성(반응성)과 용융 소듐이 고온임을 고려할 때 소듐과 재료와의 반응에 의한 재료 부식과 그에 의한 체결부위의 소듐 누출위험을 고려할 때 용접이음이 필수적이라 해도 무방할 정도로 용접이음이 이용되고 있다. 이러한 용접은 장단점을 잘 살펴서 적용방법, 적용범위 등을 확실하게 정하는 것이 좋다.

스테인레스강의 용접에는 피복 아아크 용접이 가장 일반적이며 용접봉은 모재와 동일한 재질의 것을 사용하고 불활성 가스 용접(TIG 또는 MIG)도 많이 이용된다.

#### 1) 용접의 장점

- ① 절삭 칩(Chip)이 거의 없으므로 재료의 손실이 적다.
- ② 이음의 형상을 자유롭게 선택할 수가 있으며, 구조를 간단하게 하고 재료의 두께에 제한이 없다.
- ③ 기밀성과 수밀성이 우수하다.
- ④ 이음 효율이 대단히 높다.
- ⑤ 주물과 같은 주형 제작이 필요하지 않으므로 소량이라도 제작에 있어 능률적이다.
- ⑥ 용접 준비와 작업 과정이 비교적 간단하며, 자동화가 용이하다.

#### 2) 용접의 단점

- ① 용접시 금속의 열변형으로 취성이 높아진다.
- ② 열 영향에 의해 용접 재료의 내부 응력이 생겨 균열의 위험이 발생하게 된다.
- ③ 균열 발생시 전체적으로 영향을 미칠 가능성이 있으므로 균열 전파에 대한 대비도 필요하다.
- ④ 용접기술에 의해 결합부의 강도가 좌우되므로 숙련된 기술이 필요하다.
- ⑤ 기공(blow hole), 균열 등의 용접 결함이 생기기 쉽다.

#### 3) 용접부위 시험 및 검사

용접은 용접열에 의한 모재의 변질, 변형과 수축, 잔류응력의 발생 등에 의해 용접부 내부의 조직 변화를 가져오게 되기 때문에 용접부의 안전성과 신뢰성을 조사하는데 조사방법은 크게 나누어 작업검사와 완성검사로 나눌 수 있다.

작업검사는 좋은 용접 결과를 얻기 위하여 용접 전이나 용접 도중에 또는 용접 후에 하는 검사로서 주로 용접기술, 용접재료, 용접설비, 시공상황, 용접 후 열처리 등의 적부를 검사한다. 완성검사는 용접 후 제품이 요구조건을 만족하였는가를 검사하는 것으로, 완성 검사의 방법에는 파괴시험과 비파괴시험으로 대별된다. 파괴시험법은 용접부위를 굽힘, 인장, 소성변형을 가하여 시험하는 방법이고, 비파괴 시험법은 용접부를 파괴하지 않고 검사하는 방법이다.

소듐 실험장치의 용접 작업은 대부분 파이프 용접임을 고려할 때, 본격적인 작업에 착수하기 전 샘플 검사(파괴 또는 비파괴 시험)를 통하여 용접의 신뢰성과 안전성을 사전에 확인한 후 작업에 임하는 것이 좋으며, 장치 구성후에는 파괴 시험을 하기가 어려우므로 비파괴시험이 주로 이용된다. 용접 작업중 및 작업 후에 주로 이루어질 비파괴 검사의 종류와 방법을 표 6에 정리하였다.

표 6 비파괴 검사의 방법 및 종류

종 류	목 적	방 법
외관 검사	① 작은 치수 결함 ② 수치의 적부 검사	렌즈, 반사경, 현미경, 게이지 검사
누출 검사	기밀, 수밀 검사	정수압, 공기압에 의한 방법
침투 검사	작은 균열과 작은 구멍의 흠집 검사	① 형광 침투 검사 ② 염료 침투 검사
초음파 검사	내부의 결함 또는 불균형 의 검사	진동에 의한 ① 투과법 ② 펄스 반사법 ③ 공진법
자기 검사	자성체의 결함 검사	자화 전류 500-5000A 사용
와류 검사	금속의 표면이나 표면 근처의 내부 결함 검사	금속내 와류 전류의 작용
방사선 투과 검사	내부 결함 검사	① X선 투과 검사 ② γ선 투과 검사



소듐 루프의 검사는 용접부의 누출검사와 결함검사를 통하여 실험시의 누출에 대한 안전성과 신뢰성이 검증되어야 한다. 일반적으로 용접부의 균열과 내부 검사를 마친 후 공기나 가스 등을 이용하여 압력에 의한 누출검사방법을 많이 이용하고 있다.

압력에 의한 누출검사는 장치내 압력을 가한 후 충분히 방치한 이후에 압력계의 압력이 완전히 안정화되면 게이지 값을 읽고 수시로 압력계의 값을 기록하며 측정한다. 검사는 충분한 시간을 가지고 서서히 하고 검사 완료 전까지는 보온 작업 등 다른 작업을 진행해서는 않된다. 만일 압력이 최초 압력보다 줄어들어 장치의 어느 부분에서 누출이 되고 있음이 확인되면 재검사를 하되 가능하면 장치에 설치된 밸브 등을 이용하여 장치를 구간별로 나누어서 같은 방법으로 검사한 후 누출 부위를 찾아내어 재시공하고 장치 전체에 대한 누출검사를 재 실시하여 완성한다.

#### 4. 히터의 설치

히터(Heater)의 종류는 매우 다양하므로 사용 목적이나 장치의 용량, 구성, 주변의 환경 등을 고려하여 적당한 히터를 선정하는 것이 중요하다.

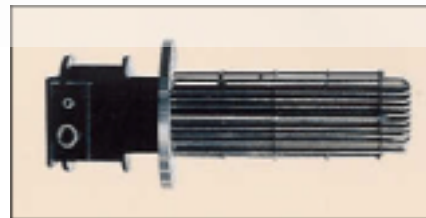
소듐 실험장치는 장치 외부에 보온작업이 필수적이므로 보온작업을 해도 기능이나 성능에 문제가 없는 히터를 사용하여야 한다. 이러한 특성을 고려하여 장치의 외부에 설치하는 히터는 주로 케이블 히터를 사용하고 탱크 내부에는 투입형 히터(카트리지히터 또는 플랜지이머전히터)를 일반적으로 사용한다. 그림 7은 소듐실험장치에 사용되는 주요 히터를 보여주고 있다.



케이블 히터



카트리지 히터



플랜지이머전히터

그림 7 히터의 종류

소듐의 일반적 용융방법은 저장탱크 외부에 예열선(Cable heater) 또는 리본 히터(Ribbon heater)를 설치한다. 그런데, 리본 히터는 히터 외부에 보온작업을 해야 하기 때문에 배관이나 탱크에 설치하는 것은 부적절하고 일반적으로 케이블 히터를 주로 사용한다. 케이블 히터의 설치시 코일을 감듯이 히터 간격을 균일하게 하여 용기 외부에 감는 방법과 길이 방향으로 설치하는 방법이 있다. 이는 장치의 구조나 현장 사정에 따라 선택적으로 작업할 수 있다. 히터의 설치시 드럼이나 배관 외부에 완전히 밀착시키고, 스폿 용접이나 스텐레스 크램프를 이용하여 흔들림 없이 견고하게 고정하여야 한다. 또한, 배관의 길이나 특성에 따라 히팅 구역(Heating zone)을 구분하여 온도와 전기용량을 조절할 필요가 있으므로 배관번호와 함께 히터의 번호를 부착하여 온도 조절은 물론 유지보수나 점검시 문제가 없도록 설치하는 것이 필요하다. 특히, 히터의 용량, 히팅온도, 유량, 히터의 결선 방법 등을 적절히 선택하여야 한다.

일반적으로 Heating Cable의 물량 산출은 다음과 같은 요소를 중심으로 결정되어야 한다.

- 1) 유지온도(  $T_1$  )결정
- 2) 가능성 있는 가장 낮은 주위온도(  $T_2$  ) 산출
- 3) 파이프의 크기 결정
- 4) 보온재의 종류 및 두께 결정
- 5) 밸브, 플랜지 등의 수량 파악
- 6) 파이프 길이

산출의 예

- 1) 유지온도(  $T_1$ . 소듐의 운전온도) = 200℃
- 2) 가능성 있는 가장 낮은 주위온도(  $T_2$  . 정확기 기준) = 20℃
- 3) 파이프의 크기 = 2inch (50mm)
- 4) 보온재 = Glass wool
- 5) 게이트 밸브 = 3ea
- 6) 파이프 길이 = 140m

## 7) 보온두께 50mm

Step 1. 최대온도차  $\Delta T$ 를 계산한다.

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 200 - 20 = 180^\circ\text{C}$$

Step 2.  $\Delta T$ , 파이프크기, 보온두께를 이용해 필요한 열량을 산출한다.

케이블 히터(5m)의 산출 열량을 28W/m으로 가정하면,

$$Q = 28\text{W/m}$$

Step 3. 보온재의 보온계수를 곱한다.(Galss wool의 경우 1)

$$Q = 28\text{W/m} \times 1 = 28\text{W/m}$$

Step 4. 필요한 히터 길이; 배관의 길이  $\times$  배관이 필요한 열량  $\div$ 히터의 열량

$$140 \times 28 \div 15 \approx 261\text{m}$$

Step 5. 게이트밸브의 히터 길이를 곱한다.

$$3 \times 1.3 = 3.9\text{m}$$

Step 6. 총물량 261 + 3.9 = 264.9m

### 5. 누출감지기의 설치

누출감지기(Leakage detector)는 파이프의 용접부위와 탱크의 용접부위에서의 누출 가능성에 대비하여 소듐 실험장치에서는 필수적으로 설치가 되어야 하는 센서이다. 특히 고온의 소듐이 누출되면 분사형 화재가 발생할 수 있으며, 단열재 내부에 소량씩 누출되어도 장치가 부식하는 매우 위험한 상황이 될 수 있으므로 누출에 의한 위험을 사전에 감지하여 즉각 조치하여야 한다. 특히, 고온 하에서의 용융 소듐은 장치 외부로 누출시 대형 금속 화재로 이어지며 그럴 경우 장치와 작업자의 안전에 치명적인 사고로 작용할 가능성이 크므로 작동 에러가 없어야 하며 정확하게 누출을 탐지할 수 있는 구조와 기능을 갖추고 있어야 한다.

누출감지기의 설치는 용기나 파이프의 하부 측에 설치를 한다. 소듐이 누출시 중력에 의해 상부에서 하부로 배관이나 용기 외벽을 타고 흐르며 누출 소듐은 용기와 보온재의 사이에 고이게 되므로 소듐이 쉽게 고일 것으로 예상되는 부위에 설치를 하는 것이 좋다.

소듐의 누출 감지방법은 관이나 장치의 하부에 2개의 스텐레스와이어를 병렬로 연결하고 두선은 애자로 절연한다. 애자는 타원형과 원형으로 2개의 구멍이

있어서 구멍에 스텐레스와이어를 끼워서 제작하여 사용하는데 장치의 특성에 맞게 설치하고 작동시 오류가 없도록 주의해야한다. 특히 누출감지기의 설치시 보온작업이나 장치 운전시 위치가 이탈되거나 흔들림이 없도록 견고히 고정하기 위하여 스폿용접이나 스텐레스크램프를 이용하여 견고히 고정한다. 그림 9는 히터의 설치 및 누출감지기의 구성과 설치방법을 도시하였다.

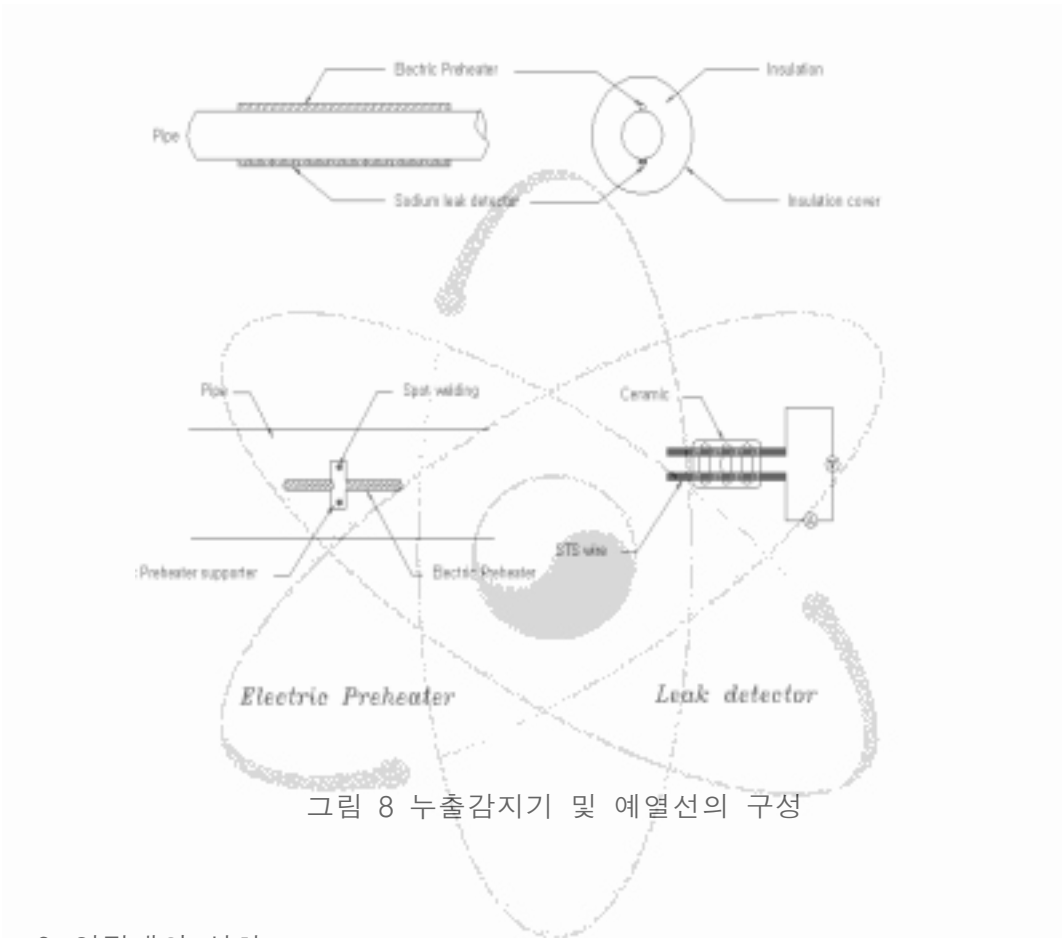


그림 8 누출감지기 및 예열선의 구성

## 6. 열전대의 설치

열전대는 설치된 히터나 누출감지기의 위치와 설치 상태를 확인한 후 적당한 위치에 설치하여야 한다. 장치에 설치되는 열전대(Thermocouple)는 설치 위치에 따라 온도 차이가 발생하여 온도 조절시 어려움이 발생 할 가능성이 있으므로 설치 위치 선정에 주의를 요한다. 열전대가 히터에 너무 근접하게 설치되면 기준온도(세팅온도)보다 높아질 가능성이 크고, 너무 멀리 떨어지게 설치하면 기준온도보다 낮아질 가능성이 크기 때문에 정확한 기준에 의해 위치를 선정하여야 하며 보온 작업이나 기타 외력에 의해 흔들림이 없이 견고히 설치를 해야 한다.

열전대는 실험온도와 사용 목적에 따라 선정해야 한다. 특히, 유체의 온도 및 열전대의 유형에 따라 달라질 가능성이 많기 때문에 유체의 최저온도와 최고 온도 및 상용온도를 고려하여 열전대를 선정하여야 한다.

열전대는 구조가 간단하고 저가이며 견고성과 정확성을 갖추고 있기 때문에 광범위하게 사용되고 있다. 또한 빠른 응답성을 가지고 있으며 소자의 보호, 교환이나 교정을 편리하게 하기 위해 보호관을 사용하는 경우도 있으나 이럴 경우 응답성이 다소 떨어질 수 있다. 열전대는 그림 9에서 보듯이 서로 다른 금속을 접합시켜 두 접합점간의 온도 차이에 따라 기전력이 발생하게 되면 기전력에 따라 직선 전압이 생기고 이것으로 측정 접합점의 온도를 읽는 방식이다.

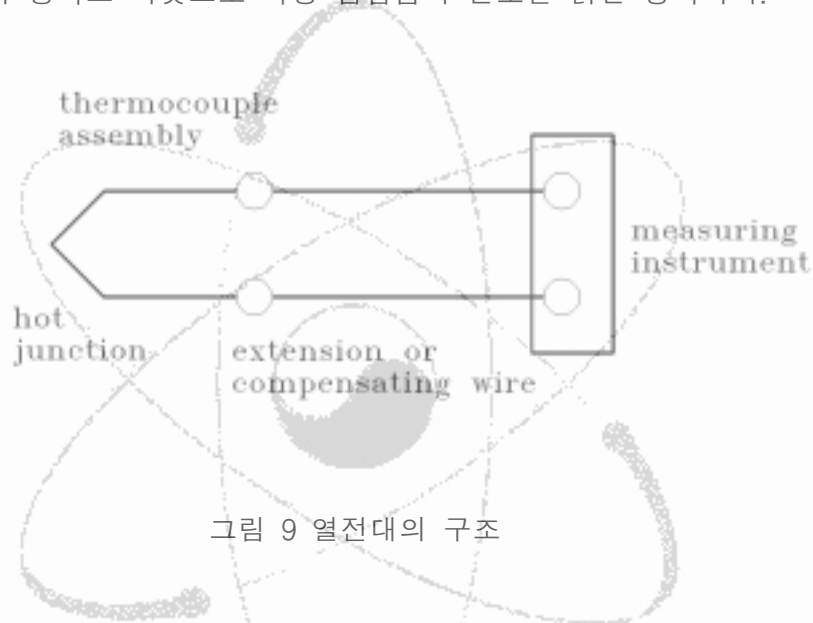


그림 9 열전대의 구조

#### 1) 열전대의 종류

열전대는 대략 12종 이상의 금속을 일반적으로 사용하고 있는데 주로 쓰이고 있는 것은 7종류 정도이다. 또한 열전대를 기능적으로 분류하면 일반형(base metal), 고급형(noble metal), 고온형(refractory metal)이 있는데 일반형은 1000℃ 이하에 주로 사용되며 철/콘스탄탄(J형), 구리/콘스탄탄(T형), 크로멜/알루미늄(K형), 크로멜/콘스탄탄(E형)이 있으며 그 밖에 구리, 철, 크롬, 망간, 알루미늄 합금의 재질도 사용하고 있다. 고급형은 2000℃까지 사용하며 텅스텐/레늄(rhenium) 합금이나 탄탈, 몰리브덴 합금 소재를 사용한다. 각각의 재질이나 특성을 사전에 인지하고 적절한 열전대를 선택하여야 한다. 일반적인 열전대의 종류를 표 7에 나타내었다.

표 7 열전대의 종류

기호	구성 성분	적 요
K	[+] CHROMEL- [-] ALUMEL	(+)측에 Chromel(Ni-Cr 합금) 도선과 (-)측에 Alumel(Al-Mn 합금) 도선을 조합한 것으로 신뢰성이 높아 산업용으로 가장 널리 쓰인다. 내열, 내부식성이 우수하고 1260℃까지 사용이 가능하다.
E	[+] CHROMEL- [-] CONSTANTAN	K 열전대의 (+)측과 (-)측을 조합한 형태로서 발전소등에서 많이 사용한다. 750℃까지 측정이 가능하며 현재 사용되는 열전대중 전기저항이 가장 높기 때문에 산성에는 주의를 해야 한다.
J	[+] IRON- [-] CONSTANTAN	(+)측에 순철(Fe)과 (-)측에 Constantan(Cu-Ni) 도선을 조합한 열전대로서 E형에 이어 기전력이 높다. 환원성 분위기에 강하고 염화수소에 안정적이다. 산화성 분위기는 철의 산화로 부적합하나, 가격이 저렴하므로 중간 온도용으로 많이 사용한다.
T	[+] CUPPER- [-] CONSTANTAN	(+)측에 순동(Cu)을 (-)측에 Constantan(Cu-Ni) 도선을 연결한 열전대로서 비교적 저온(-200℃ ~ +300℃)용이며 약산성 환원성 분위기에 적합하다. 특히 기전력이 우수하고 정밀하므로 실험용으로 많이 사용된다.
B	[+] Pt Rh 13% [-] Pt Rh 6%	(+)측에 백금(Pt) 70%, 로듐(Rh) 30%로 조합한 도선과(-)측에 백금(Pt) 94%, 로듐(Rh) 6%로 조합한 도선을 조합시킨 열전대로서 산화성, 중화성 분위기에서 연속 사용이 가능하고 고온에서의 정밀측정과 내구성이 요구되는 경우에 주로 사용된다.
R	[+] CUPPER- [-] CONSTANTAN	(+)측에 백금(Pt) 87%, 로듐(Rh) 13%로 조합한 도선과(-)측에 고순도 백금도선을 조합한 열전대로서 오차가 적다.
S	[+] CUPPER- [-] CONSTANTAN	(+)측에 백금(Pt) 90%, 로듐(Rh) 10%로 조합한 도선과(-)측에 고순도 백금도선을 조합한 열전대로서 R형과 비슷하다

2) Thermowell

열전대는 유체와 직접 접촉하여 온도를 측정하기도 하지만 소듐과 같은 특수 유체의 경우에는 Thermowell을 사용하여 유체의 흐름으로 인한 열전대의 손상을 방지하고 있다.

Thermowell은 아래와 같은 사항이 특히 고려되어야 한다.

- 가) 고온에 의한 강도 약화나 고압하에서의 기계적 특성 변화가 없어야 한다.
- 나) 온도 변화와 급작스런 변화에 따른 열 충격으로 재료의 손상이 없어야 한다.
- 다) 유체에 대한 내부식성이 있어야 한다.
- 라) 침식작용이 없어야 한다.
- 마) 기밀성이 유지되어야 한다.

설치장소는 진동이 적고, 가능한 한 깨끗한 장소여야 하며 보수점검을 용이하게 할 수 있고, 보호관의 교환을 간단히 할 수 있는 여유 공간이 확보되어야 한다. 보호관의 삽입길이는 정적오차를 적게하기 위하여 일반적으로 아래와 같은 기준에 의하여 삽입 길이를 결정하며 조건에 따라 변동 수정, 적용한다.

- (가) 유동하고 있는 경우 ; 삽입길이  $\ell$  은 15d 이상
- (나) 정지 유체의 경우 ; 삽입길이  $\ell$  은 20d 이상
- (다) 정지 기체의 경우 ; 삽입길이  $\ell$  은 25d 이상

그림 12는 Thermowell의 종류 및 설치 예를 보여주고 있다.

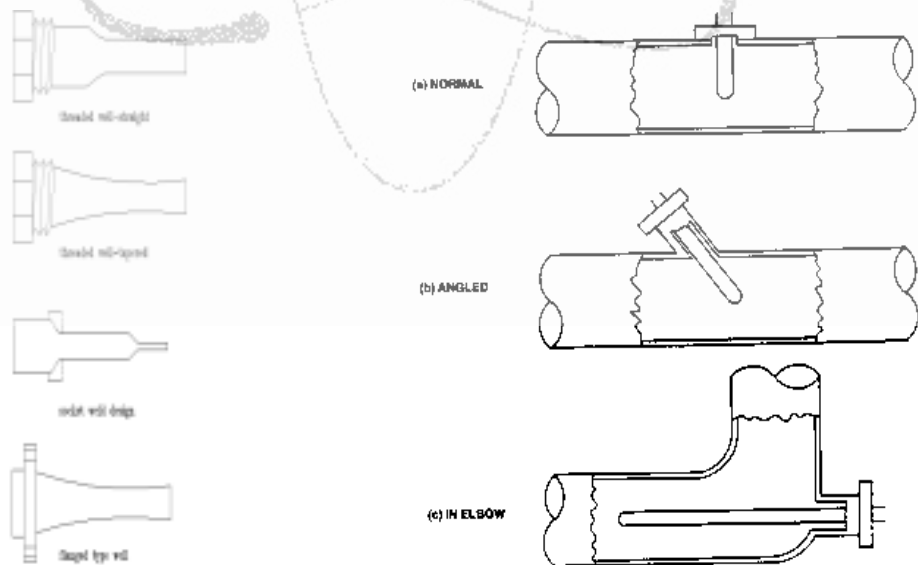


그림 10 Thermowell의 종류 및 설치 예

## 7. 보온작업

보온(Heat Insulate)작업의 목적은 열의 외부 유출을 막는 일이다. 보온을 위해 사용하며 열을 잘 전달하지 않는 재료를 보온재 또는 단열재라고 한다. 특히, 소듐은 그 특성상 열전도도가 뛰어나므로 장치 운전 중에도 열에 의한 영향을 많이 받게 된다. 소듐의 안정적인 유동과 온도 유지, 소듐의 냉각에 의해 장치가 막히는 것을 방지하기 위하여 보온작업은 필수적이라고 할 수 있다. 일반적으로 보온재가 갖추어야 할 조건은 다음과 같다.

- (1) 열전도율이 작을 것(보온능력이 클 것)
- (2) 장시간 사용해도 사용온도에 견디며 변질되지 않을 것
- (3) 가벼울 것(비중이 작을 것)
- (4) 취급이 용이할 것.

보온재는 재질에 따라 여러 가지가 있으며 일반적인 방법에 따라 크게 구분하면 표 8과 같다.

표 8 보온재의 종류

계열	보온재의 종류	특징
Open Cell 보온재	유리솜(Glass wool), 암면(Rock wool)	단열, 보온, 흡음효과가 뛰어나며, 다량의 공기를 포함하고 있어 시멘트 콘크리트의 40배, 흙벽의 12배 정도의 보온 단열효과를 유지
Closed Cell 보온재	실리카(Silica), 펄라이트(Pearlite), 폴리에틸렌(Polyethylene), 경질우레탄(Polyurethane), 발포 고무(NBR) 보온재	Open Cell 보온재에 비해 투습, 흡습성이 떨어지나 다양한 밀도에 의해 단열재의 성능이 좌우된다.

Open cell 보온재는 Close cell 보온재에 비해 흡수 및 흡습성이 대단히 높은 것이 특징이다. 재질별 대표적인 보온재의 물성치를 비교하면 표 9와 같다.

보온재의 선택과 시공은 사용유체, 온도(운전 및 최고온도), 주변 여건 등을 고려하여 적정 보온재 및 보온두께가 결정되며 소듐 실험의 특성상 Closed cell 보온재보다는 경제적이며, 풍화나 열화작용이 전혀 없고 보온 효과가 우수한 Open cell 계열의 보온재를 많이 사용한다. 표 9는 보온재별 물성치를 나타내었다.



보온재의 두께를 결정하기 위해 일반적으로 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 보온재 열전도율 및 열 저항
- (2) 배관의 단위 길이 열전도율
- (3) 유체의 사용온도 및 최고온도
- (4) 보온재 표면 및 주변 공기 온도
- (5) 배관의 내경

일반적으로 보온재의 두께를 증가시키면 단위 면적당 열손실은 줄어들지만 외부의 표면적이 커지므로 외부 표면에서의 대류, 복사 열손실은 증가하고 경제성이 적어지므로 보온두께를 적정하게 설치해야 한다.

표 9 보온재별 물성치 비교표

구분	섬유재질(Open cell)		발포재질(Closed cell)		
	유리솜 (Glass wool)	암면류 (Rock wool)	아티론(P.E)	발포고무류	시리카
밀도	24(kg/m <sup>3</sup> )	100(kg/m <sup>3</sup> )	0.034(g/cm <sup>3</sup> )	0.065(g/cm <sup>3</sup> )	
열전도율	0.031 (Kcal/mh <sup>°C</sup> )	0.039 (Kcal/mh <sup>°C</sup> )	0.030 (Kcal/mh <sup>°C</sup> )	0.030 (Kcal/mh <sup>°C</sup> )	0.047 (Kcal/mh <sup>°C</sup> )
연소성	불연	불연	난연	난연	
환경성	산업폐기물	산업폐기물	코팅제 등 부분적 산업폐기물	일반폐기물	
가스유해성	유해가스생성	유해가스생성	무해	무해	
적용온도	300 <sup>°C</sup>	600 <sup>°C</sup>	80 <sup>°C</sup>	-40~105 <sup>°C</sup>	650 <sup>°C</sup>
특성	다량의 섬유를 집면시켜 많은 공기층을 포함 하여 보온단열 효과 우수. 유 연, 경량구조로 취급이 용이하 며 압축, 복원력 우수	사용 범위와 최고 안전 사용 온도가 가장 높아 건축용, 산업용 등으로 활용. 흡음성 이 탁월하며 부패, 변질 등 이 없어 반영 구적이다.	열에 약하기 때문에 적용온 도 이상을 초 과하면 녹거나 변형 위험이 있다. 외부의 화기에도 주의 를 요한다.	화학약품에 강하고 풍화 작용이 없으 며 열화현상 이 없고 위생 적이다.	안정한 결정 구조로 내열 성이 우수하 고 시공은 용 이하다.

8. 외장재 및 보조재의 설치

보온 작업은 보온재 설치 후 외장재로 마감함으로써 완료된다. 이에 필요한 마감재는 여러 가지 종류가 있으나 소뚝배관에 주로 사용되는 것을 정리하면 표 10과 같다.

마감재는 보온재를 보호하고 미관상 수려하게 설치를 하되 대부분 금속판임을 고려하여 마감 부분의 모서리 등을 안전하게 처리하고 필요시 마감재 외부에 배관번호 등을 부여한다.

표 10 보온 외장재 및 보조재

종류	재료명	규격 및 적요	
외장재	금속판	아연철판	용융아연도금 강판으로 250mm 이하의 관, 밸브 등은 0.3mm, 기타는 0.4mm 정도를 사용한다.
		칼라아연철판	도장 용융아연도금 강판으로 250mm 이하의 관, 밸브 등은 0.27m, 기타는 0.35mm 정도를 사용한다.
		알루미늄판	알루미늄 및 알루미늄 합금으로 250mm 이하의 관, 밸브 등은 0.4m, 250mm를 초과하는 경우는 0.6mm 이상을 사용한다.
		스테인레스강판	140-250mm 정도의 것은 0.15mm, 기타는 0.2mm 정도를 사용한다.
보조재	부착재	비닐접착테이프	포장용 폴리염화비닐 접착테이프로서 0.2mm 정도이다
		알루미늄 유리직물 접착테이프	알루미늄 유리직물면에 접착재를 도포하고 박리지를 부착한 형태로 되어있다
		알루미늄 박판 접착테이프	알루미늄 박판에 접착재를 도포하고 박리지를 부착한 형태로 되어있다

### 3-4 제어 장치의 구성

#### 1. 제어반의 기능

복잡한 기계 장치로 구성된 프로세스는 컴퓨터를 사용하거나 수많은 계기가 설치된 제어반을 사용하여 운전하게 된다. 제어반의 경우 통상적으로 공조 설비를 갖춘 제어실에 설치되며 운전 감시에 필요한 계기나 기기는 제어반의 전면에 설치되고 이에 필요한 각종 전선이나 신호선은 뒷면에 설치된다.

제어반의 구성시 가장 중요한 것은 운전자의 눈높이에 맞추어 주요한 운전 계기들을 배치하는 것이다. 그 다음으로 고려되는 기준은 앞은키, 팔의 운동반경, 지시계의 높이, 각종 스위치의 높이 등이 있다.

프로세스에 사용되는 제어계통은 대부분 원격 조정되는 시스템이다. 제어반의 설계시 계기들의 기능과 목적에 따라 그룹을 지어 구분 배치하는 것이 중요하다. 공정의 흐름에 맞추어 배치하는 것이 무난하며, 계기의 배치에 있어서 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 사용 빈도
- (2) 조작 순서
- (3) 중요도
- (4) 수행 기능

제어 규모의 다분화에 따라 공정에 따른 흐름을 그래픽 패널(graphic panel)을 이용하기도 하며, 그래픽 패널은 완전 그래픽(full graphic)과 반 그래픽(semi graphic)이 있다. 그림 11은 패널의 형태를 보여주고 있다.

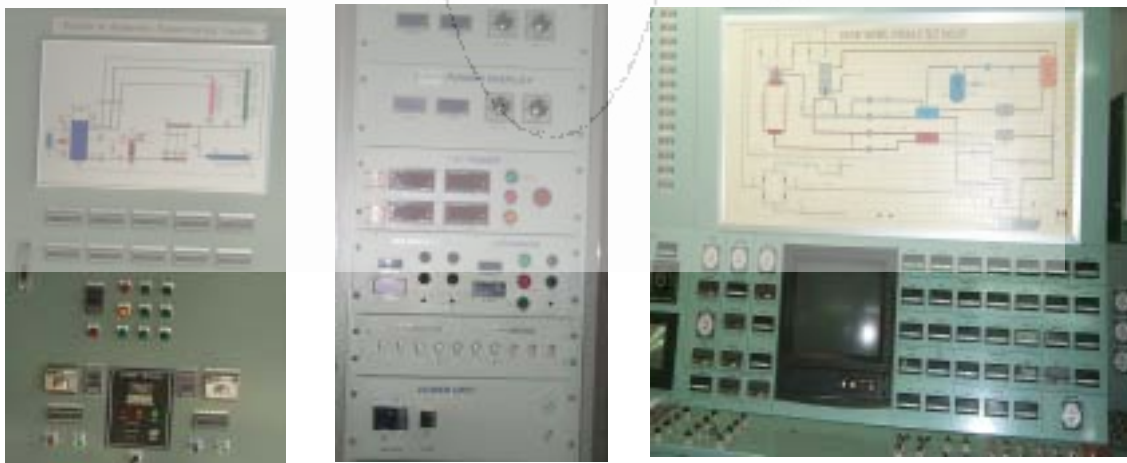


그림 11 패널의 형태

## 2. 제어반 설계시 고려사항

제어계의 효율성은 계기나 기기를 제외하면 운전자의 업무 능력에 따라 크게 달라지지만 일반적으로 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

- (1) 주요 운전 제어장치에 대한 운전자의 접근성과 그룹화
- (2) 운전자의 신속한 조치 및 반복 운전
- (3) 제어계의 증설 및 변경에 대비한 여유
- (4) 계기의 설치 및 보수의 편리성
- (5) 미관
- (6) 경보기

제어반의 구성은 계기나 기기들의 성능 향상으로 고밀도 추세이다. 따라서 유사한 계기나 기기들의 설치에 따른 운전자의 혼란을 피하고 정확한 상황 판단이 절실히 요구된다고 할 수 있다.

## 3. 제어반의 형식에 따른 종류

일반적으로 사용되는 제어반의 형식을 보면 다음과 같다.

- (1) 직립형 패널(vertical flat panel : 일반형) : 가장 일반적인 형태로 널리 쓰인다. 구조가 단순하며 계기나 조작 스위치의 유지보수가 용이하며 경제적이다.
- (2) 경사진 상부(slant top section : 변형 제어반) : 일반형의 상부를 약 15° 정도 앞으로 기울여 놓아 그래픽 표시기나 경보기 등을 여기에 설치한다.
- (3) 콘솔형(standing console) : 일반형을 변형한 형태로 콘솔형으로 구성할 경우에는 유효활용면적이 증대되는 효과를 기대할 수 있다.
- (4) 탁상형 콘솔(desk console) : 콘솔위에 눈높이 정도의 수직 제어반이 설치된 형태로서 주요 공정에 대한 중점 관리가 요구되는 경우에 활용되며, 탁상 부분은 사무 공간으로 활용할 수도 있다.
- (5) 변형 제어반(breakfront panel) : 일반형 제어반 전면의 상부와 하부를 기능과 미관을 고려하여 변형한 형태로서 고가이다. 주로 정유, 석유화학, 발전소 등의 대형 제어시스템에 활용된다. 그림 13은 제어반의 종류를 보여주고 있다.

## 4. 제어반의 배선

제어반의 후면 공간은 전선의 인입, 배선, 배선용 덕트, 단자 및 기타의 결선 등의 용도와 공간이 확보되어 있다. 제어반의 설계나 배선시 고려되어야 할 사항은 계기나 기기류의 그룹화와 추후의 유지 보수가 용이하도록 여유 공간이 확보되어야 한다. 또한 내부의 계기나 기기의 설치 정도와 열원 등을 고려하여 환기가 용이하도록 환기시설이 배치되어야 한다.

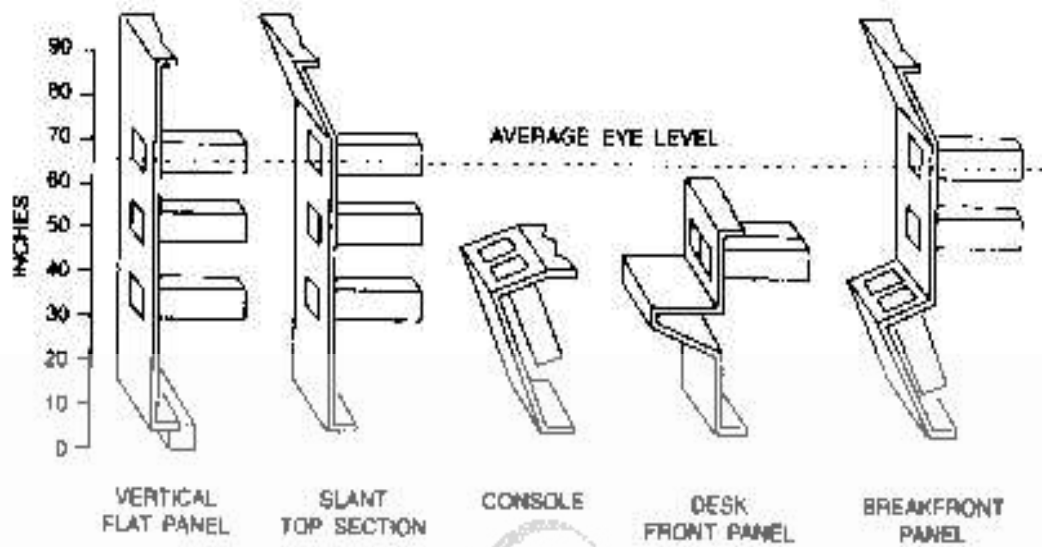


그림 12 제어반의 종류

## 6. 계장 작업

계장이란 계기장치의 약자로서 설비 즉, 플랜트 운전에 있어서 설비의 운전 상태를 판정하고 조정해 주는 것을 계장이라 한다. 여기서 운전상태라 하면 온도, 유량, 압력, 액위, 성분, 폭, 두께, 무게 등을 말한다.

### 1) 계장의 목적

계장을 하기 위한 계측제어 기기는 여러 가지 검출원리를 응용하여 계기 장비 및 플랜트를 합리적으로 운전하는데 있다. 즉,

- (1) 합리적인 플랜트 실현
- (2) 경제적인 운전의 실현
- (3) 생산성 유지 및 향상
- (4) 제품 품질의 유지
- (5) 수작업이 곤란한 조건하에서의 운전실시 등을 들 수 있다.

### 2) 계장용 신호

계측제어를 하기 위해서 검출해야 할 양으로서는 온도, 유량, 압력, 액위 성분 등이 있다. 이들의 양은 그대로는 목표치와 비교하거나 멀리 떨어진 장소로 전송하는데는 적합하지 않다. 따라서 검출부는 이들 양을 보다 취급하기 쉬운 신호로 변환하는데 이것을 계장용 신호라 부른다. 계측제어에서 신호로 사용되는 것은 공기압, 전압, 전류, 디지털, 광신호 등이 있다.

물리량 변환의 과정을 두 가지로 나누어 생각하면, 1차 변환에서는 계측 제어 대상인 물리량을 힘, 변위, 전압, 전기저항으로 변환되고, 2차변환 과정에서는 1차 변환의 출력 신호에 보조 에너지를 가하여 공기압 또는 전압, 전류신호 등으로 얻어진다. 즉, 2차변환에 의해 보다 취급하기 쉽고 통일된 신호가 얻어진다.

1차 변환을 하는 것을 검출기라 하고, 2차 변환을 하는 것을 전송기라 한다. 또한, 하나의 장치에서 검출기와 전송기 기능을 모두 하는 것을 검출전송기 또는, 간단히 전송기, 발신기 또는 변환기라고 하는 경우가 많다. 계장용 신호를 정리하면 아래 표 11과 같다.

표 11 계장용 신호

구분	신호 레인지				
	0%	25%	50%	75%	100%
공기압신호	0.2kg/cm <sup>2</sup>	0.4kg/cm <sup>2</sup>	0.6kg/cm <sup>2</sup>	0.8kg/cm <sup>2</sup>	1.0kg/cm <sup>2</sup>
	1VDC	2VDC	3VDC	4VDC	5VDC
전압신호	4mADC	8mADC	12mADC	16mADC	20mADC
전류신호					

1) 공기압 신호

압력은 배관을 사용하면 적은 오차로서 신호 및 동력 전송이 가능하다. 이때 사용되는 매체로서 기름, 물, 공기가 주로 사용되는데 액체는 매체의 높이 차가 있으면 오차가 발생된다. 따라서 동력의 전송에는 많이 사용되고 있으나 신호의 전송에는 공기압이 사용된다. 일반적으로 신호 레벨은 0.2~1.0 kgf/cm<sup>2</sup> 이다. 공기압 전송은 이전에는 공업량 계측에 전반적으로 사용되었었다. 그러나 최근 일렉트로닉스 기술의 발달에 따라 전기식이 대부분이나 다음과 같은 특징이 있으므로 아직도 많이 사용한다.

① 전기식 전송은 전기적 환경이 나쁜 곳에서는 노이즈 영향이 크다. 반면 공기식은 노이즈 영향이 없다.

② 전기식은 폭발성 가스가 있는 곳에서는 폭발을 야기할 수 있으나 공기식의 경우는 전혀 그 우려가 없다.

③ 단순히 신호뿐만 아니라 파워를 전달하는데 겸용할 수 있다. 단점으로 전송거리가 길면 신호전달 지연이 생긴다. 따라서 공기압 신호의 전달 거리는 통상 100m~150m 정도이다.

## 2) 전압신호

센서자체가 전압출력을 내는 원리로 브리지회로, 스트레인게이지, 자계와 홀 발전기 등이 있으며, 전압신호의 경우 전압이 높음과 동시에 신호원의 내부 저항이 낮아야 하고, 부하의 내부 저항은 대단히 커야 한다. 그러지 아니하면 신호원의 기전력이 부하에 정확히 전달되지 않는다. 따라서 이 때 신호원 다음에 증폭기를 사용하면 전압을 높일 수 있을 뿐만 아니라 내부 저항을 크게 할 수 있다. 계장용 신호로 사용되는 전압레벨은 1~5V이며, 계기반내 근거리 전송시 사용한다. 단점으로는 노이즈가 많은 장소에 신호 전송오차가 크다. 한편 미약 전압은 특수 케이블을 사용하는 일이 많으며, 보상도선을 이용하는 열전대 기전력 전송, 전자유량계 검출부와 변환기간 신호 전송, 로드셀에서 변환기까지의 신호전송에 이용되며 사용 신호레벨은 0 mV~10 V이다.

## 3) 전류신호

전기식 전송의 경우 신호전송에 전류를 쓰이는 예가 많다. 전류신호는 전압신호에 비해 노이즈에 강하다. 그 이유는 유도잡음은 정전 유도잡음과 전자 유도잡음은 전압으로 되어 신호 케이블에 유도된다. 이 때문에 전압신호에는 잡음 전압이 중첩되기 때문에 노이즈에 약하지만 전류신호는 송신회로 입력 임피던스가 높기 때문에 잡음 전압이 수 볼트 유기되어도 잡음 전류는 적게 된다. 송신측에서 이용되는 파워가 작으므로 보통 신호 레벨이 4mA 정도라면 전송측의 각종 전원에 이용할 수 있다.

## 5. 경보기 설치

제어반에는 제어나 계기류 외에도 비정상 운전시 경보를 위한 장치가 설치된다. 소뚝을 운용하는 장치에 있어서의 경보장치는 필수적이고 소뚝의 위험성을 고려할 때, 그 중요성은 더욱 커질 수밖에 없다. 이러한 경보장치는 여러 가지가 있으나 주로 경보기(alarm annunciator)를 주로 사용하고 있다. 경보기는 사각형의 상자에 여러 개의 램프가 내장된 여러 개의 플라스틱 창으로 구성되어 있다.

경보기는 비정상 운전시 경고등이 작동하여 운전자에게 경보를 발하게 된다. 이러한 경보장치는 시각에만 의존하는 alarm annunciator의 램프 작동과 함께 부저(buzzer)를 사용하여 경고음이 울리도록 하여 시각과 청각을 동시에 활용하는

방식을 연동하여 많이 활용하고 있다. 그림 13은 경보기와 alram annunciator 및 buzzer를 보여주고 있다.

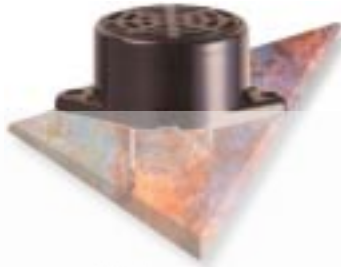
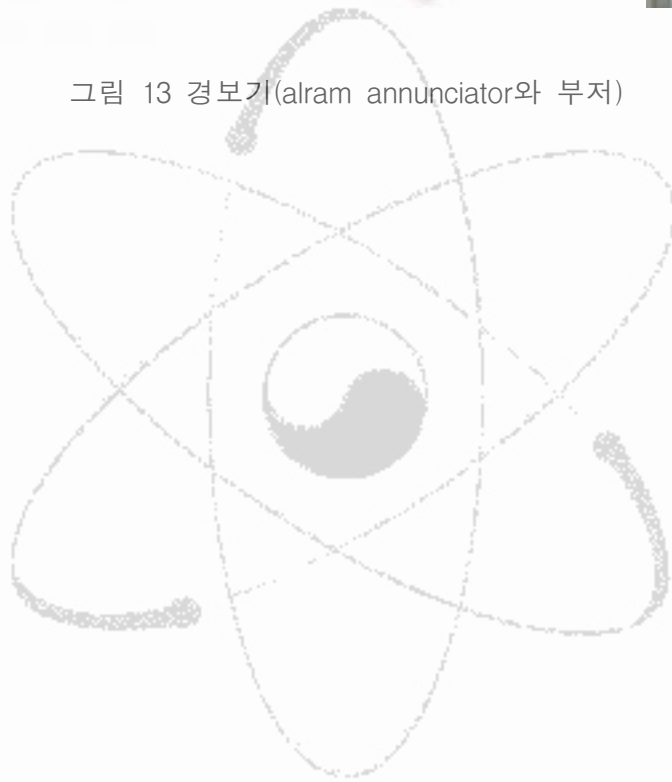


그림 13 경보기(alram annunciator와 부저)





## 제 6 장 참고문헌

1. 김영철, “액체금속로 요소기술개발,” KAERI/RR-1528/94.
2. 이희용, “고속증식로,” 한국전력공사 원자력연수원, 1991.
3. 조 만, “액체금속로 개발방향설정 연구,” KAERI/RR-1397/93, 1994.
4. 한국원자력연구소 액체금속로 개발 분야 내부 보고자료, “자유액면 물실험장치,” LMR/ST211-TF-01 Rev.0/98.
5. 한국원자력연구소 액체금속로 개발 분야 내부 보고자료, “자유액면 물실험 자료,” LMR/ST211-TD-01/99.
6. 한국원자력연구소 액체금속로 개발 분야 내부 보고자료, “자유액면 물실험 자료 분석,” LMR/ST211-TD-02 Rev.1/99.
7. 한국원자력연구소 칼리머기술개발팀 기술보고서 “소듐 취급시의 안전 대책” KAERI/TR-1910-2001



서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관 보고서번호	표준 보고서번호	INIS주제 코드
KAERI/TR-2393/2003			
제목/부제	소듐 실험장치의 구성 및 제작		
연구책임자 및 부서명	최종현(유체공학연구부)		
연구자 및 부서명	김종만, 최병해, 정지영, 최종현		
발행지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	34 페이지	도표	유(0), 무( )
발행일	2003. 2.		
크기	27 Cm		
참고사항			
비밀여부	공개(0), 대외비( ), _ _ _급비밀	보고서종류	기술보고서
연구위탁기관			계약번호
초록(300단어 내외)	<p style="text-align: center;">본 보고서는 소듐 실험시설의 설계 및 건조 시 필요한 기본적인 요건들을 살펴보고 실험의 정확성과 효율성을 높이기 위해 시설 운용 시 필요한 개념들을 기술하였으며, 몇 가지 계통 구성물과 재료에 대한 상세사항도 정리하였다</p>		
주제명 키워드(10단어 내외)	<p style="text-align: center;">소듐, 히터, 배관, 제어반, 보온재, 누출감지기</p>		

## BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-2393/2003			
Title/Subtitle			
Project Manager and Dept.			
J. H. Choi(Fluid Engineering Division)			
Researcher and Dept.			
J.M. Kim, B.H. Choi, J.Y, Jung, J.H, Choi			
Pub.Place	Daejeon	Pub.Org.	KAERI
Page	34 P.	Ill.and Tab.	Yes(0), No( )
Pub.Date	2003. 2.	Size	27 Cm
Note			
Classified	Open(0), Outside( ), _ _Class	Report Type	T.R
Sponsoring Org.		Contract No.	
Abstract(About 300 words)			
<p>This report reviews the basic requirements for the sodium test facility design and construction. And it delineates the concepts necessary to operate facilities for high accuracy and efficiency of the test. It also provides details on some system components and materials.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)			
<p>SODIUM, HEATER, PIPING, CONTROL PANEL, INSULATION, LEAKAGE DETECTOR</p>			