

KAERI/AR-662/2003

배관 유동장에서의 유량 및 압력 측정
방법론에 대한 기술 현황 분석

The state-of-the-art report for flow and pressure
measurement techniques in the piping system

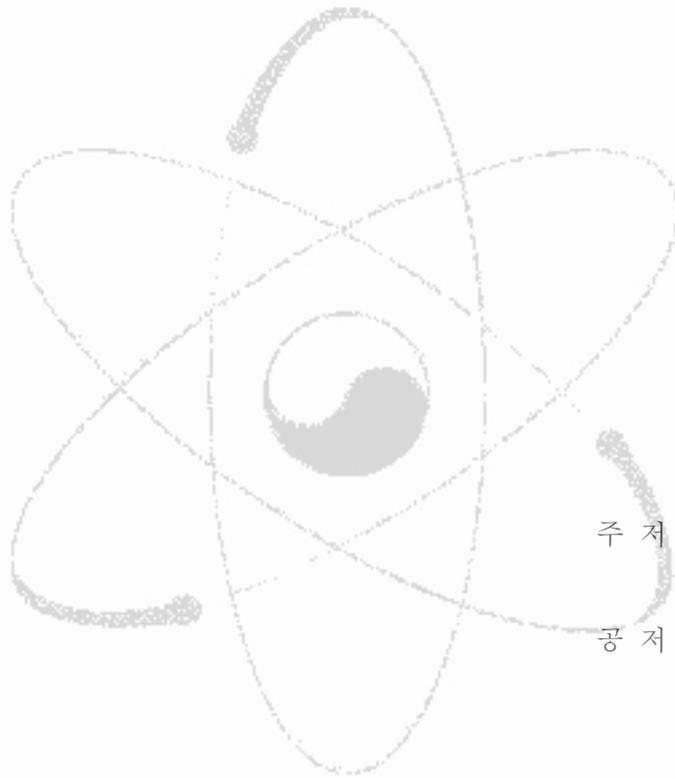
KAERI

한국원자력연구소

제 출 문

한국원자력연구소 귀하

본 보고서를 “소듐기술개발”과제의 기술현황분석보고서로 제출합니다.



2002. 12

주 저 자 : 박 진 호

공 저 자 : 이 정 한

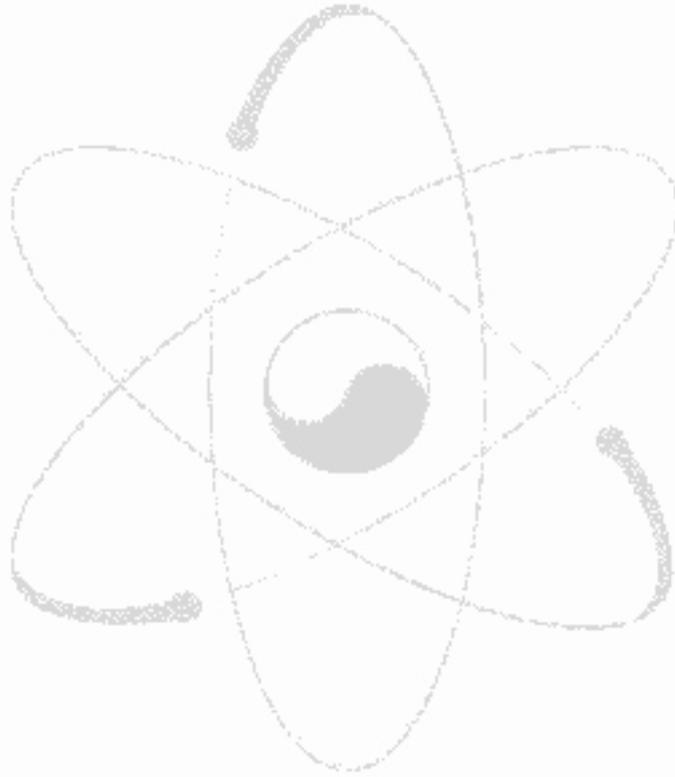
김 봉 수

김 종 만

최 종 현

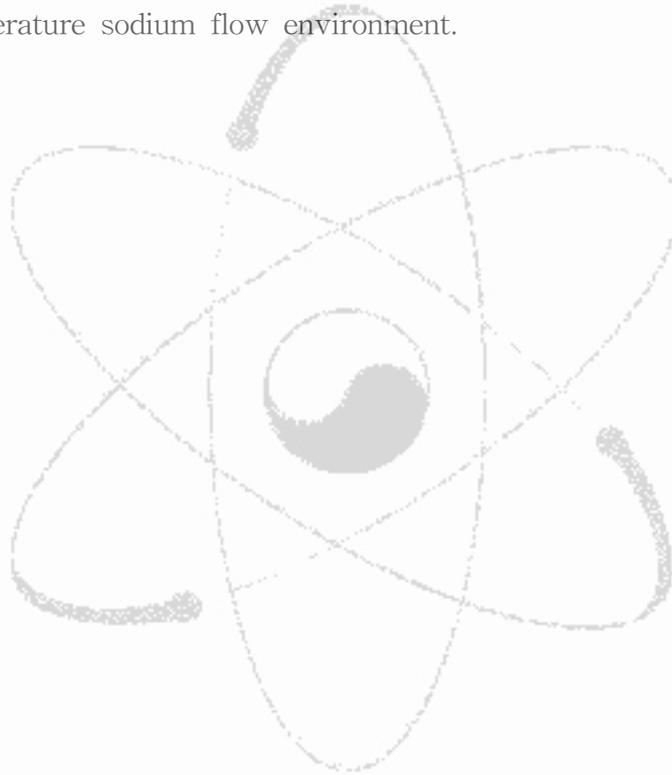
요 약 문

액체금속 냉각재는 열전달 특성이 좋고, 금속 재료와 공존성이 좋으며, 비등점이 높아 원자로의 운전 온도에서도 대기압에서 액체 상태로 유지 할 수 있고, 화합물과같이 분해되지 않기 때문에 열적 성질이 급변하는 일이 없으며, 핵적으로 중성자의 흡수가 적기 때문에 현재 대체 냉각재로 검토되고 있다. 본 보고서에서는 현재까지 사용되고 있는 국내·외의 유량 및 압력 측정 기법 및 장치 현황을 조사하여, 기존의 개념들을 바탕으로 액체금속로 냉각재 유동장에서 사용할 수 있는 유량 및 압력 측정 장치 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.



SUMMARY

The Sodium is widely used as one of the coolants in the liquid metal reactor system since it has important safety features such as a long thermal response time, a large margin to coolant boiling, and operating in near atmospheric pressure, etc. The state-of-the-art on the flow & pressure measurement techniques in the piping system worldwide is investigated and reviewed to utilize it as a basis for developing a new technique applying for the high temperature sodium flow environment.



CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Fluid	2
Section 1 Characteristics of fluid	2
Section 2 Characteristics of Sodium	5
Chapter 3 Methods of flow measurement	7
Section 1 Introduction	7
Section 2 Methods	8
Chapter 4 Methods of pressure measurement	23
Section 1 Introduction	23
Section 2 Methods	25
Chapter 5 Conclusion	41
Section 1 Flow measurement	41
Section 2 Pressurement	42
Chapter 6 References	43

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 유체의 개요	2
제 1 절 일반유체의 특성	2
제 2 절 소담의 특성	5
제 3 장 국내·외 유량 측정 방법 현황	7
제 1 절 유량 측정의 개요	7
제 2 절 국내·외 유량 측정 방법 및 종류	8
제 4 장 국내·외 압력 측정 방법 현황	23
제 1 절 압력 측정의 개요	23
제 2 절 국내·외 압력 측정 방법 및 종류	25
제 5 장 현황분석 결과	41
제 1 절 유량측정 현황분석 결과	41
제 2 절 압력측정 현황분석 결과	42
제 6 장 참고 문헌.....	43

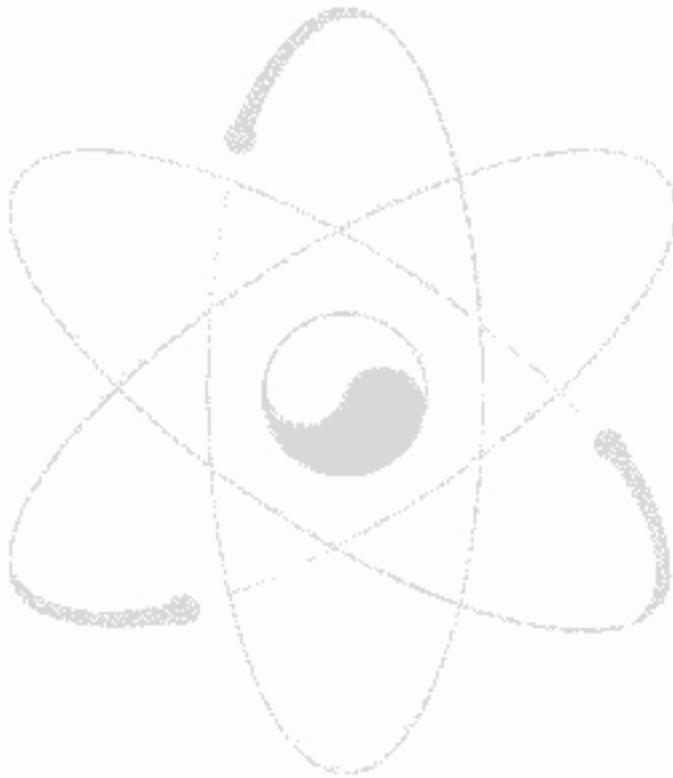
그림 목차

그림 2-1. 관로내 유동의 유속 분포	4
그림 3-1. 유량계의 이용현황	10
그림 3-2. 기본적인 차압 유량계의 단면	11
그림 3-3. Flow nozzles의 단면	12
그림 3-4. Orifice meter의 단면	13
그림 3-5. Venturi meter의 단면	13
그림 3-6. 전자 유량계의 원리 및 개략도	14
그림 3-7. 와류 유량계의 원리도 및 Shedder 모양	15
그림 3-8. 면적 유량계의 원리도 및 적용 제품	16
그림 3-9. 터빈 유량계의 원리도	17
그림 3-10. 용적식 유량계의 원리 및 종류	18
그림 3-11. 열식 질량 유량계의 측정 원리도	19
그림 3-12. Coriolis 유량계의 측정 원리도 및 적용 제품	20
그림 3-13. 초음파 유량계의 측정 원리도	21
그림 3-14. 타겟 유량계의 측정 원리도	22
그림 4-1. 유체내의 임의의 단면에서의 압력 분포	23
그림 4-2. 기준치에 따른 압력 관계	24
그림 4-3. U 자관형 압력계 원리도	26

그림 4-4. 단관형 압력계 원리도	27
그림 4-5. 경사관형 압력계 원리도	27
그림 4-6. Bourdon tube type 압력계의 구조 및 종류	29
그림 4-7. Diaphragm type 압력계의 구조 및 종류	30
그림 4-8. Bellows type 압력계의 구조	31
그림 4-9. 격막식 압력계의 구조 및 종류	32
그림 4-10. Strain gauge의 일반적 구조	34
그림 4-11. Potentio-meter type 압력계의 구조	35
그림 4-12. 반도체 Piezo 저항형 압력계의 구조	36
그림 4-13. 차동 변압기형 압력계의 구조	37
그림 4-14. Piezo 전압형 압력계의 구조	38
그림 4-15. 정전용량 변화형 압력계의 구조	39
그림 4-16. 분동식 압력계의 구조	40
그림 5-1. 압력측정장치 개발 방향 흐름	42

표 목 차

표 2-1. G/E 부식 데이터(mills/year)	5
표 2-2. 소듐의 온도에 따른 물리적 성질	6
표 4-1. 압력계의 구분	25



제 1 장 서론

액체금속로는 원자로의 1차 냉각계통에 쓰이는 물 대신 액체금속(소듐 : Na)을 냉각재로 사용하는 원자로를 말한다. 물을 대신하여 액체금속을 사용하는 것은 열전달 특성(물의 100배)이 좋고, 금속 재료와 공존성이 좋으며, 비등점이 높아 원자로의 운전 온도에서도 대기압에서 액체 상태로 유지 할 수 있고, 화합물과같이 분해되지 않기 때문에 열적 성질이 급변하는 일이 없으며, 핵적으로 중성자의 흡수가 적기 때문에 액체금속로의 주요 냉각재로 사용되고 있다. 이러한 액체금속 냉각재로는 소듐뿐만아니라 NaK, Hg, Bi, Pb등이 있는데, Hg, Bi, Pb는 높은 밀도로 인해 매우 큰 Pumping power를 요구하기 때문에 아직까지 냉각재로 사용하지 않고 있으며, NaK은 낮은 용융온도 때문에 초기에는 냉각재로 사용되었으나, K의 강한 중성자 흡수 특성 때문에 최근에는 사용하지 않고 있다.

소듐은 용융상태로 루프내에서 운전(운전 온도 : 200℃ ~ 600℃)하게 되는데, 유동중인 소듐이 고온이고, 물과 공기, CO₂ 등의 물질과 반응성이 크기 때문에 상온의 타 냉각재에 비해 유량 및 압력 측정 방법이나, 이에 대한 측정 장치의 연구 개발에 있어서 물리적, 화학적 특성을 고려하여 개발해야 하며, 소듐은 항상 밀폐된 스테인레스강 용기내에서 이송 및 저장해야 한다.

이러한 원자로 내에서 냉각재의 유동 상태를 파악하는데 있어서 유량 및 압력이 중요한 인자 중에 하나인데, 특히 액체금속로의 소듐 냉각재는 타 냉각재(물)와 물리적, 화학적 특성이 다르기 때문에 보다 정확하고, 안정적인 유량·압력 측정 및 측정 장치 개발이 중요하다고 할 수 있다. 또한 현재 프랑스, 러시아 등 원자력 선진국에서는 소듐용 유량계 및 차압계에 대한 많은 기술을 보유하고 있으며 상용화되어 있다. 그러나 국내에서는 소듐용 유량계 및 차압계에 대한 기술 개발이 거의 없는 실정이며 이는 수요가 없었기 때문이라고 판단된다. 액체금속로는 국제적인 관심이 높기 때문에 정책 결정이나 사업 추진 등에 제약이 수반되지만 이러한 고온 상태의 소듐의 유량 및 차압 측정 장치 개발은 실험을 위한 소듐 루프나 액체 금속로의 열유동 및 전자기 유동장 측정에 있어 필수적인 요소이며 안전성 확보 차원에서도 매우 중요한 분야라고 할 수 있다.

본 보고서는 이러한 액체금속로에 사용할 수 있는 유량 및 압력 측정 장치 개발에 앞서 지금까지 사용하고 있는 국내·외의 유량 및 압력 측정 장치의 구조 및 원리 등의 현황을 살펴보고 차후 측정 장치 개발에 기존 개념들을 바탕으로 좀더 향상된 기능 및 신개념의 측정 장치 개발에 기초자료로서 활용하고자 한다.

제 2 장 유체의 개요

제 1 절 일반유체의 특성

유량의 측정이나 압력의 측정을 위해서 일반적으로 유체의 기본적인 특성을 살펴 봐야 하는데, 그 특성으로 점성(Viscosity), 밀도(Density), 압축성(Compressibility), 비중(Specific gravity), 온도(Temperature), 압력(Pressure), 유동형태(Flow type) 등이 있다.

1. 점성(Viscosity)

점성이란 전단력 또는 변형력에 저항하려는 유체의 경향에 대한 정량적인 값이다. 점도는 온도에 크게 영향을 받으며, 압력에는 거의 영향을 받지 않는다. 일반적으로 온도가 올라갈수록 Liquid는 점도가 낮아지고, Gas는 점도가 높아진다.

- 점성 (Absolute viscosity)

$$\mu [cP] : 20^{\circ}C (68. F) \text{ 의 물의 경우 } 1.0 \text{ cP}$$

- 동점성 (Kinematic viscosity)

$$\nu [cSt] = \mu [cP] / \rho : \rho \text{ : 밀도}$$

2. 밀도 (Density)

밀도는 크게 Liquid density와 Gas density로 구분하는데, Liquid density는 압력에 거의 영향을 받지 않는 비압축성 성질을 가지고 있으나, 고압일 경우는 압축성을 고려해야 한다. Gas density는 온도와 압력에 따라 밀도 변화 심하므로 Mass flow의 측정과 같은 경우 매우 중요한 인자가 된다.

$$\rho = \frac{m(\text{질량})}{V(\text{부피})}$$

3. 압축성(Compressibility)

압축성은 Liquid의 경우 매우 높은 압력 범위에서만 영향을 주므로 일반적으로 유량 등을 측정할 때 고려하지 않는다. 하지만 Gas의 경우 매우 중요한 인자로써 반드시 고려해야 한다. 압축성 인자는 분자량과 온도, 압력의 함수로 나타낸다.

4. 비중(Specific gravity)

비중은 Liquid와 Gas로 나누어 볼 때 Liquid의 경우 4°C 또는 60. F 의 물을 기준으로 한 밀도 비를 말하며, Gas의 경우 60. F (15°C) 온도의 1 기압의 공기를 기준으로 한 분자량의 비로 나타낸다.

$$Sp. Gr (specificgravity) = \frac{\rho \text{ (측정액체또는기체의밀도)}}{\rho' \text{ (표준상태의물또는공기의밀도)}}$$

5. 온도 (Temperature)

온도는 유체뿐만 아니라 대부분의 고체, 액체, 기체의 상태를 결정하는 인자이다.

$$[^{\circ}C] = ([^{\circ}F] - 32) \times (5/9)$$

$$[K] = [^{\circ}C] + 273.15$$

6. 압력(Pressure)

압력은 압축성 유체와 비압축성 유체에 따라 차이가 있으나 고압일 경우 모두 측정시 모두 고려를 해야 한다. 압력은 절대압과 게이지압이 있는데, 절대압은 게이지압과 대기압을 합한 값이다.

$$P \text{ (압력)} = \frac{F \text{ (힘)}}{A \text{ (면적)}}$$

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 14.7 \text{ psi} = 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O}$$

7. 유동의 형태(Flow type)

유동의 형태는 크게 개수로 유동과 폐수로 유동 즉 관로 유동으로 구분하는데, 공학적으로 관심이 있는 장치들의 유동 형태는 폐수로 유동인 관로유동이다. 이러한 관로 유동의 경우도 세부적으로 3가지의 유동형태가 존재하는데, 먼저 유동하는 유체의 흐름이 임의의 단면에서 층류를 이루는 층류 유동(Laminar flow) 상태가 있고, 다음으로 난류 유동(Turbulent flow)의 상태가 있으며, 이 두가지 형태의 중간단계인 중간류 유동(Transition zone) 상태가 있다. 이러한 유동의 물리적인 형태를 수학적으로 구분하는 인자가 있는데, 이것인 Reynolds number이다.

Reynolds number는 다음과 같이 관성력과 점성력의 비로써 나타낸다.

$$\text{Reynolds number} = \frac{\text{Inertia Force}}{\text{Viscous Force}} = \frac{DV\rho}{\mu}$$

여기에서, D : Pipe 직경

V : 평균 유속

μ : 점도

ρ : 밀도

- 층류(Laminar flow) : Reynolds number < 2,100
- 난류(Turbulent flow) : Reynolds number > 4,000
- 중간류(Transition zone) : 2,100 < Reynolds number < 4,000

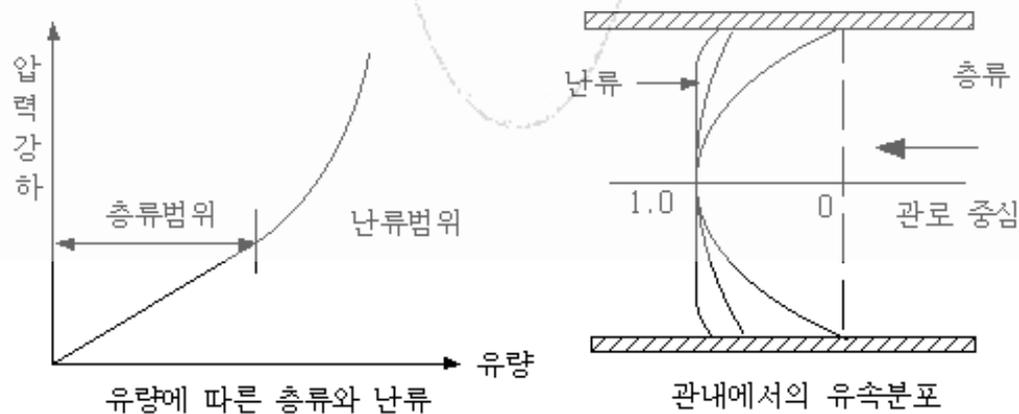


그림 2-1 관로내 유동의 유속 분포

제 2 절 소듐의 특성

1. 소듐의 물리적 성질 및 화학적 성질

소듐은 공기중의 산소 및 수분과 반응하여 산화나트륨 및 수산화나트륨을 생성한다. 이러한 화합물은 보호피막을 형성하여 급속한 산화작용을 막아주는 것이지만 시간이 지나감에 따라 확산되기 때문에 소듐을 공기 중에서 방치해서는 안된다. 또 소듐은 물과 격렬히 반응하여 수산화나트륨을 생성하며 이 과정에서 수소가 발생하기 때문에 공기에 혼입될 경우 반응열에 의해 수소폭발이 같이 일어날 수 있다.

2. 소듐에 의한 금속의 부식

금속의 부식은 소듐중의 불순물과 온도 등에도 영향을 받게되나 가장 큰 요인은 소듐중의 산소농도이다. 산화나트륨은 철과 반응하여 산화철을 생성시키며 생성된 산화철은 다시 나트륨에 용융된 채, 이동되어 저온부에 침전되는 재료의 질량이동 현상을 일으키게 된다. 이같은 부식은 표 2-1과 같이 나트륨의 온도가 높을수록 그리고 산소의 농도가 높을수록 커지게 된다.

이 밖에 여러 가지 실험 데이터에 의하면 스테인레스강의 경우 Cr과 Ni이 선택적으로 저온부로 이동된다. 그러나 스테인레스강에 Cr 및 Ni의 용출은 초기에는 크게 일어나지만 용출후에는 스테인레스강에 ferrite 층이 형성되기 때문에 그 이후의 부식은 천천히 진행된다.

표 2-1. G/E 부식 데이터(Mils/year)

온도	산소농도 10~15 ppm		산소농도 45~50ppm	
	평균 부식	최대 부식	평균 부식	최대 부식
538℃	0.05	0.25	0.25	1.25
593℃	0.15	0.75	0.75	3.75
649℃	0.39	1.95	1.90	9.50
704℃	0.95	4.95	4.70	23.50

표 2-2. 소듐의 온도에 따른 물리적 성질

물 성	온도 (°C)	물성 값
융점 (°C)	-	97.83 °C
비등점 (°C)	-	882.9 °C
증기압	97.81	8.65×10^{-8} mmHg
	300	1.37×10^{-2} mmHg
	400	3.54×10^{-1} mmHg
	500	3.91 mmHg
	600	24.4 mmHg
밀도	20	0.9684(s) g/cm ³
	97.81	0.9514(s) g/cm ³
	97.81	0.9270 g/cm ³
	100	0.9265 g/cm ³
	300	0.8805 g/cm ³
	500	0.8331 g/cm ³
점도	600	0.8089 g/cm ³
	100	0.682 cP
	300	0.340 cP
	500	0.239 cP
비열	600	0.212 cP
	25	0.2920(s) cal/g °C
	97.8	0.3258(s) cal/g °C
	100	0.3305 cal/g °C
	300	0.3116 cal/g °C
	500	0.3015 cal/g °C
열전도도	600	0.2998 cal/g °C
	100	0.205 cal/cm.sec. °C
	300	0.182 cal/cm.sec. °C
	500	0.159 cal/cm.sec. °C
	600	0.147 cal/cm.sec. °C

제 3 장 국내 · 외 유량 측정 방법 현황

제 1 절 유량측정의 개요

1. 유량의 개념

유량(Flow rate)이란 유체의 흐름중 임의의 면적의 단면을 통과하는 유체의 체적, 질량(중량)의 시간에 대한 비율로 표현한 것을 말한다. 또한 유량은 용적유량과 질량유량, 적산유량으로 구분하는데, 체적유량은 유체의 체적을 시간에 대한 비율로 표시한 유량을 말하며, 질량유량은 유체의 질량을 시간에 대한 비율로 나타내는 유량이고, 용적유량은 유체가 일정시간 동안 흐르는 양을 나타내는 유량이다.

- 체적유량 : 유체의 체적의 시간에 대한 비율

$$Q = A \cdot V [\text{m}^3/\text{s}]$$

여기서, Q :유량, A :단면적, V :단면평균유속

- 질량유량 : 유체의 질량의 시간에 대한 비율

$$M = Q \cdot \rho = A \cdot V \cdot \rho [\text{Kg/s}]$$

여기서, Q :유량, A :단면적, V :단면평균유속, ρ :유체밀도

- 적산유량 : 유체를 일정시간 동안 흐르는 양을 표시한 유량

$$G = \int Q \cdot \rho dt$$

여기서, Q :유량, ρ :유체밀도

2. 유체의 분류

유체의 종류에는 여러 가지가 있으며 그 분류는 측정하는 상과 흐름, 온도, 압력, 점도, 유량에 따라 분류하고 있다. 먼저, 측정하는 상(Sample phase)에 따라 기체(Gas phase), 액체(Liquid phase), 증기(Vapor phase), 각각의 상의 동시에

존재하는 혼합 상이 있다. 흐름에 따라서는 크게 층류(Laminar)와 난류(Turbulent), 맥동류로 분류하고, 온도에 따라서는 고온 유체, 저온 유체, 극저온 유체로 분류한다. 압력에 따라서도 고압 유체와 저압 유체로 분류하고, 점도에 따라서는 고점도 유체, 저점도 유체로 분류하며, 유량에 따라서는 대유량 유체, 저유량 유체, 극소유량 유체로 분류하고 있다.

3. 유량의 측정

유량의 측정은 관로 상태에 따라 크게 개수로 유량측정과 폐수로(관로) 유량측정으로 구분하여 측정하는데, 폐수로 즉 관로 유동의 경우 유동 형태에 따라 층류(Laminar flow)와 난류(Turbulent flow), 중간류(Transition zone)로 구분하고 있다. 측정방식에 따라서는 직접 측정 방식과 간접 측정 방식으로 구분하는데, 직접 측정 방식이란 임의의 시간동안 흐르는 체적량을 계량하여 측정하는 방식이고, 간접 측정 방식이란 임의의 단면적을 통과하는 유량의 상관관계를 이용한 유속, 전기적인 양 등의 변화를 검출하여 유량을 측정하는 방식이다.

제 2 절 국내·외 유량 측정 방법 및 종류

1. 국내·외 유량 측정계의 분류

가. 측정 방법에 따른 구분

(1) Inferential type의 측정법

Inferential type의 유량측정방법은 유체의 흐름과 관련된 특정한 현상으로부터 유량을 유추하여 유량을 측정하는 방법이다. 이러한 방법에 대한 종류로 다음과 같은 것이 있다.

- Head type : 장애물 양단의 Differential pressure를 측정하여 유량을 유추하는 방법
- Variable area type(Rotameter) : Flow velocity force와 Weight force의 균형에 따른 위치 변화로 유량을 유추하는 방법
- Electro-magnetic meter : Faraday's law의 전자기 유도를 이용하여 유량을 유추하는 방법
- Turbine meter : Turbine의 회전에 따른 Velocity proportionality factor에 의

한 유량을 유추하는 방법

- Target meter : 저항체에 의한 유체의 저항력을 측정하여 유량을 유추하는 방법
- Thermal flowmeter : 열전도 효과를 이용하여 유량을 유추하는 방법
- Ultra-sonic flowmeter : Noise level과 Doppler shift 효과를 이용하여 유량을 유추하는 방법
- Vortex shedding flowmeter : 저항체에 의한 와류현상을 이용하여 유량을 유추하는 방법

(2) Discrete quantity type의 측정법

Discrete quantity type은 Operation의 각 Cycle마다 유체의 일정한 체적이 Meter나 Pump등을 통하여 이동하는 방식으로 유량을 측정하는 방법이다. 이러한 방법에 대한 종류로 다음과 같은 것이 있다.

- Positive displacement meter
- Positive displacement metering pump

(3) Mass measurement type의 측정법

Mass measurement type의 측정법은 Mass flow device의 가격이 높으며, 다른 방법으로 측정이 가능하므로 현재 많이 사용되지 않고 있는 방법이다. 이러한 방법에 대한 종류로 다음과 같은 것이 있다.

- Coriolis type
- Impeller turbine and Twin-turbine type

나. 측정계의 구조에 따른 구분

(1) Moving part를 포함하는 유량측정

- Positive displacement meter
- Turbine meter
- Variable area flowmeter (Rotameter)

(2) Moving part를 포함하지 않는 유량측정

이 방법은 Pipe내에 저항체를 포함하는 유량측정 방법이다.

- Differential pressure type : Orifice meter, Venturi meter, Flow nozzles)

- Vortex shedding flowmeter
- Thermal flowmeter

(3) Moving part를 포함하지 않는 유량측정

이 방법은 Pipe내에 저항체를 포함하지 않는 유량측정 방법이다.

- Coriolis flowmeter
- Electro-magnetic flowmeter
- Ultra-sonic flowmeter

다. 사용 현황

산업계에서 사용하고 있는 유량측정방법 및 유량계로는 Orifice plate를 이용한 방법이 가장 많이 쓰이고 있으며, 다음으로 Thermal mass방법, Turbine을 이용한 방법, Electromagnetic을 이용한 방법등을 주로 사용하고 있다.

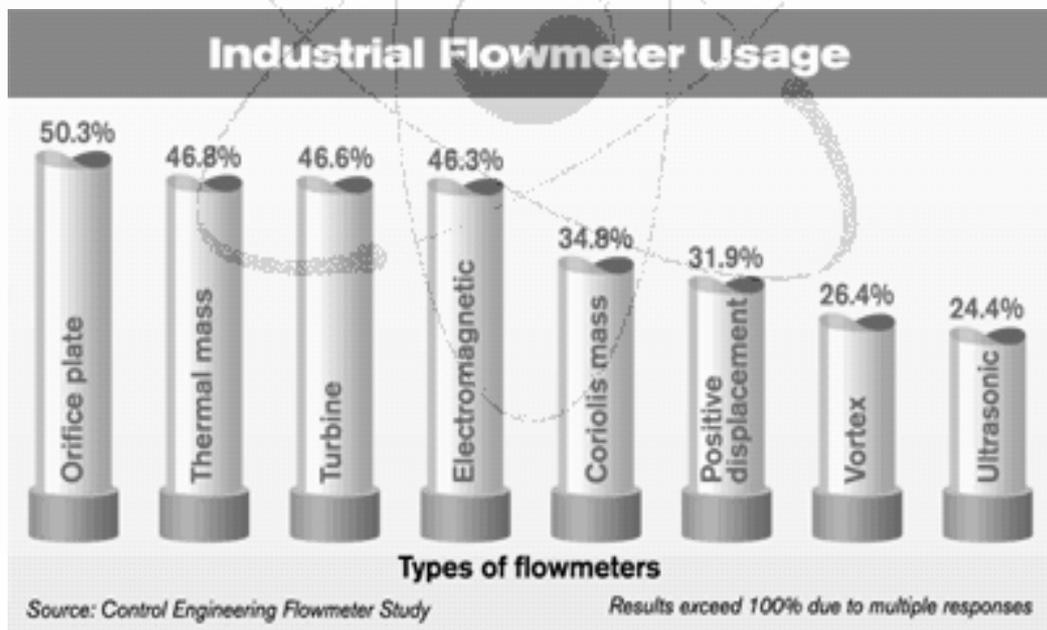


그림 3-1. 유량계의 이용현황

2. 국내·외 유량계에 따른 측정원리 및 특징

가. 차압 유량계

차압유량계는 유량을 측정하는 방법중 가장 일반적인 방법이며, Orifices나 Venturies, nozzles 등과 같은 Restriction element를 이용하는 방법으로 이들을 이용하여 차압 또는 수두를 읽어 유체방정식인 베르누이 방정식에 적용하여 유속을 구한뒤 유량을 간접적으로 유추하는 방법이다.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\overline{U_1}^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\overline{U_2}^2}{2g} + H_{L_{1-2}}, \text{ Bernoulli equation}$$

$$\overline{U_1} = \overline{U_2} \cdot \frac{A_2}{A_1}, \text{ Continues equation}$$

두 식의 관계에서 다음과 같이 유량을 구할 수 있다.

$$Q_1 = Q_2 = \overline{U_2} \cdot A_2 = \frac{A_2}{[1 - (A_2/A_1)^2]^{\frac{1}{2}}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} - 2gH_{L_{1-2}}}$$

여기에서, P_1, P_2 : 단면1, 2에서의 압력

$\overline{U_1}, \overline{U_2}$: 단면1, 2에서의 평균유속

ρ, g, γ : 각각 밀도, 중력가속도, 비중량

A_1, A_2 : 단면1, 2에서의 면적

Q_1, Q_2 : 단면1, 2에서의 유량

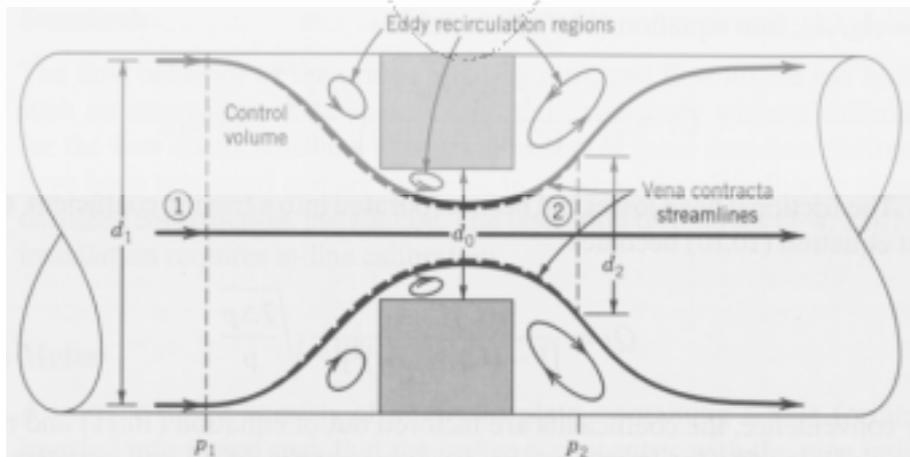


그림 3-2. 기본적인 차압유량계의 단면

차압유량계의 경우 검출요소는 차압이며, 측정신호와 유량의 관계는 차압의 제곱근에 비례하고, 측정 정확도는 대략 $\pm 2\%$ 정도이다. 주요 측정 유체로는 액체, 기체, 증기 모두 측정가능하다. 사용온도는 -40°C 에서 650°C 정도이며, 사용압력이 보통 40MPa 정도로 사용하고 있다. 이 측정방식은 압력손실이 크고, 상류의 경우 직경의 10에서 62배의 직관부가 필요하며, 하류는 5에서 7배의 직관부가 필요하다. 하지만 다른 측정방법에 비해 저렴한 가격으로 유량을 측정 할 수 있다.

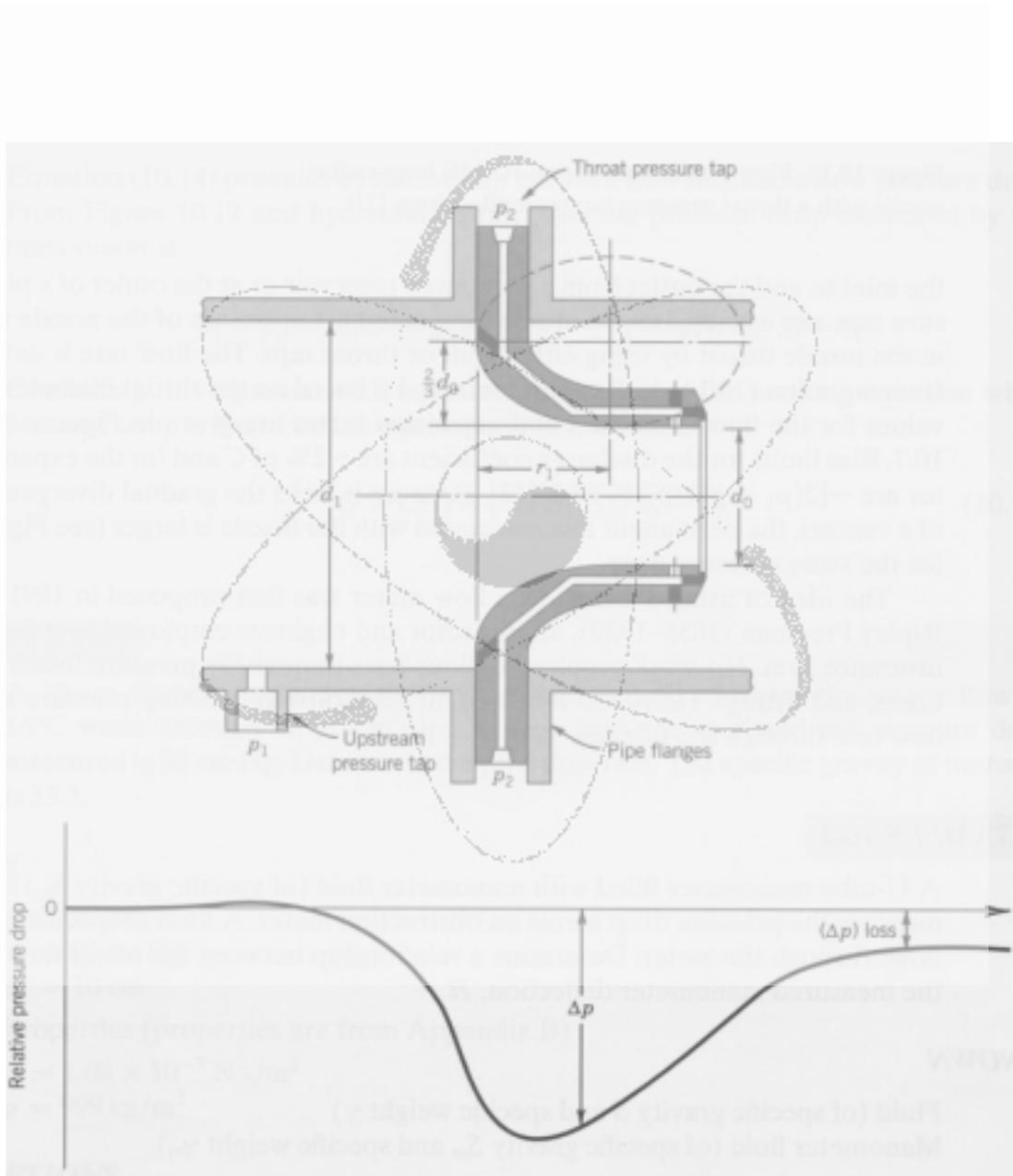


그림 3-3. Flow nozzles의 단면

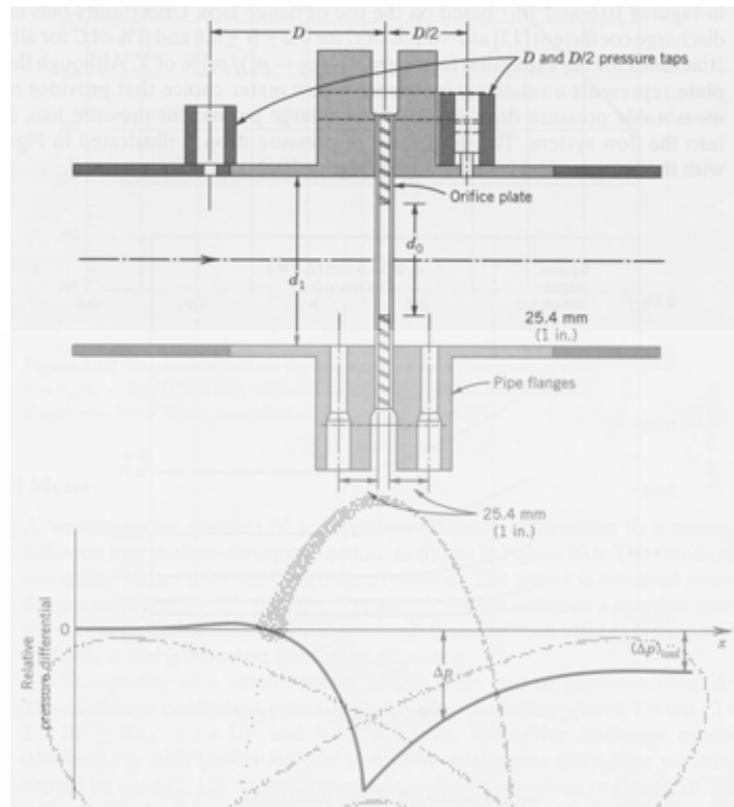


그림 3-4. Orifice meter의 단면

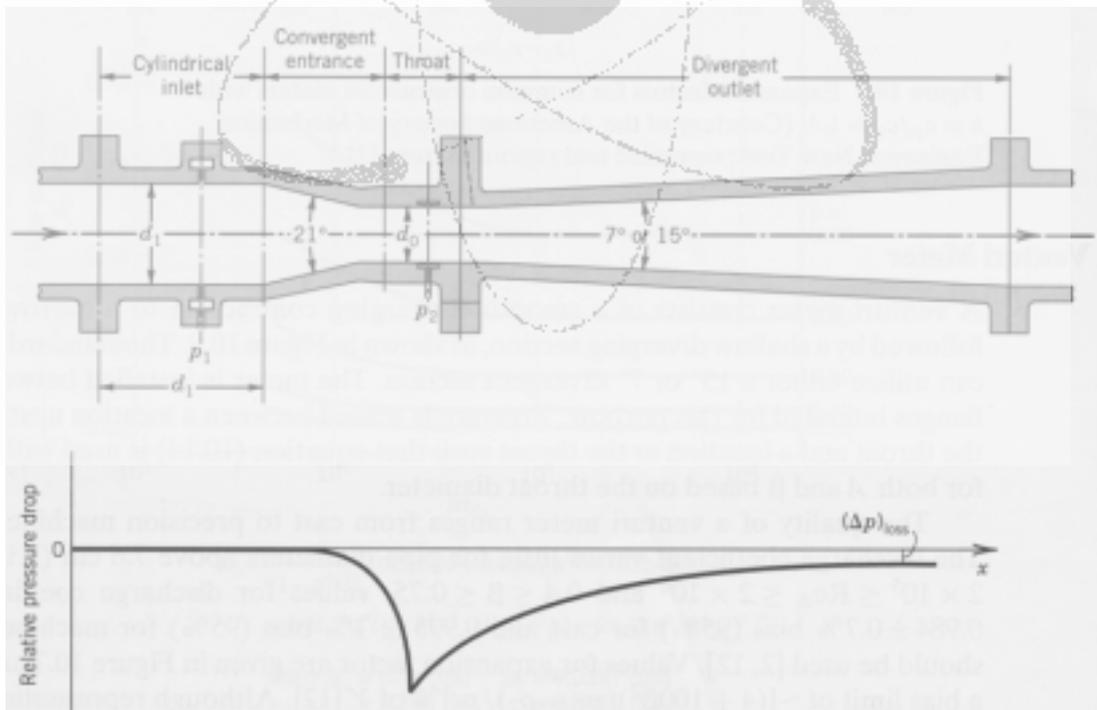


그림 3-5. Venturi meter의 단면

나. 전자 유량계(Electro-magnetic type)

전자 유량계의 측정원리는 Faraday의 법칙에서 전도성 유체가 임의의 속도를 가지고 흐를 경우 코일 주위에 기전력을 발생하는데 이러한 발생정도를 계측하여 유량을 유추하는 방법이다.

$$E = U \times B \cdot D$$

$$Q = U \times A = \frac{E}{BD} \cdot A = \frac{A}{BD} \cdot E$$

여기에서, Q = Flow rate

E = Induced voltage

B = Strength of the magnetic field

D = Conductor width(Diameter)

U = Velocity of the conductor

A = 면적

전자 유량계의 검출요소는 기전력이고, 측정신호와 유량의 관계는 유량에 비례하며, 일반적으로 측정 정확도는 대략 $\pm 0.5\%$ 에서 $\pm 1\%$ 정도이다. 주요 측정 유체로는 전도성 액체를 측정할 수 있고, 일반적으로 사용하는 온도는 -10°C 에서 180°C 정도이나 사용하는 재질에 따라 고온에서도 사용가능하다. 사용압력은 약 40MPa 정도이며, 측정상의 압력손실은 거의 없다. 하지만 측정기 전·후에 있어서 상류에 직경의 5배정도, 하류에 직경의 3배정도의 직관부가 필요하며, 상대적으로 고가에 제작 가능하다.

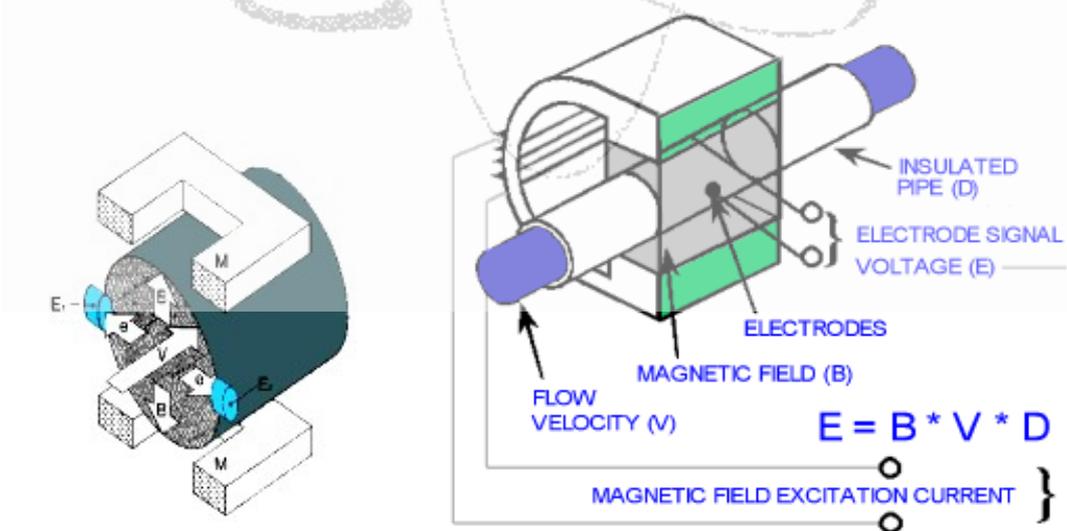


그림 3-6. 전자 유량계의 원리 개략도

다. 와류 유량계(Vortex shedding type)

와류 유량계의 측정원리는 유체가 흐르는 관로 중앙에 Shedder에 따른 Shedder를 두어 Shedder끝에서 발생하는 유체의 와류로 인한 Shedder의 진동수를 측정하여 유량을 유추하는 방법이다.

$$St = \frac{\omega d}{U}$$

$$Q = K_1 \omega$$

여기에서, $K_1 = \frac{\pi d^3}{4(St)}$

St : Strouhal number

ω : Shedding 주파수

Q : Flow rate

\bar{U} : 평균유속

d : Shedder의 교차 단면 길이

와류 유량계의 검출요소는 소용돌이 발생에 따른 Shedder의 진동수이고, 측정 신호와 유량과의 관계는 유량에 비례한다. 일반적으로 측정 정확도는 $\pm 1\%$ 에서 $\pm 3\%$ 정도이고 주요 측정 유체는 액체, 기체, 증기를 측정할 수 있다. 일반적인 사용온도는 -200°C 에서 420°C 정도이고, 사용압력은 대략 20MPa 정도이며, 압력 손실이 비교적 적다. 또한 Shedder를 전·후로 상류에 직경의 10배, 하류에 직경의 5배 정도의 직관부가 필요하며, 제작가격은 상대적으로 보통정도이다.

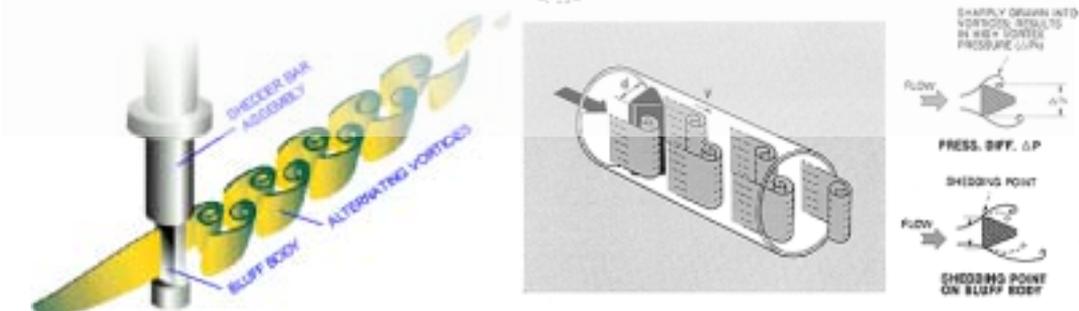


그림 3-7. 와류유량계의 원리도 및 Shedder 모양

라. 면적 유량계(Rotameter, Variable area type)

면적 유량계의 측정 원리는 삼각기둥 모양의 투명한 관속에 그림과 같은 삼각 추가 있어 유체의 흐름에 따른 Velocity force와 추의 Weight force의 균형을 이루는 위치를 정량화하여 유량을 유추하는 방법이다.

$$\sum F_y = -F_D + W - F_B = 0$$

$$\frac{1}{2} C_D \rho \bar{U}^2 A_X = g(\rho_b - \rho)V_b$$

$$Q = \bar{U}A_a(y) = |C_D K_1|^{1/2} A_a(y)$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho \bar{U}^2 A_X$$

$$W = \rho_b V_b, \quad F_B = \rho V_b$$

여기에서, ρ_b : Density of float

ρ : Density of fluid

C_D : Drag coef. of the float ($C_D = f(Re)$)

A_X : Tube cross-sectional area

\bar{U} : Average velocity past the float

V_b : Volume of float

면적 유량계의 검출요소는 플로트의 위치가 되며, 측정신호와 유량과의 관계는 유량에 비례한다. 일반적으로 측정 정확도는 $\pm 1\%$ 에서 $\pm 2\%$ 정도이고, 주요 측정 유체로는 액체, 기체, 증기를 측정할 수 있다. 일반적인 사용온도는 -200°C 에서 450°C 정도이고, 사용압력은 대략 60MPa 정도이며, 압력손실이 비교적 적다. 또한 다른 측정방법에 비해 직관부가 필요없으며 상대적으로 저가형이다.

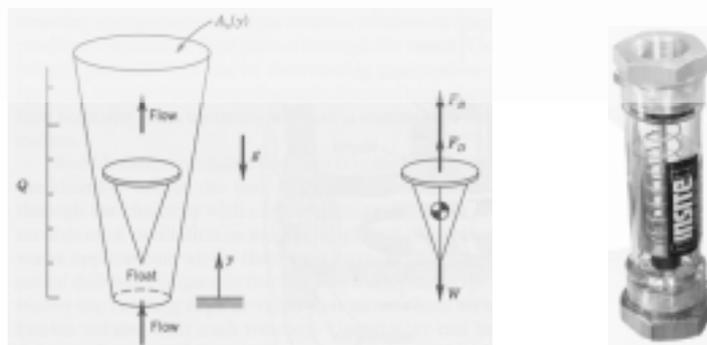


그림 3-8. 면적 유량계의 원리도 및 적용 제품

마. 터빈 유량계 (Turbine meter)

터빈 유량계의 측정원리는 유동관내의 중심부에 Magnet에 의해 자화가 된 Rotor가 유체의 흐름에 따라 회전하면 Pickup coil부에서 회전에 따른 펄스를 감지하여 이를 다시 전기적 신호로 변환하여 유량을 유추하는 방법이다.

$$\frac{Q}{\eta D^3} = f\left(\frac{\eta D^2}{\nu}\right)$$

여기에서, Q : Flow rate

η : Rotor angular velocity

ν : Fluid viscosity

etc : Dimensionless analysis of parameters

터빈 유량계의 검출요소는 Rotor의 회전수이며, 측정신호와 유량과의 관계는 유량에 비례한다. 일반적인 측정 정확도는 $\pm 0.2\%$ 에서 $\pm 0.5\%$ 정도이고, 주요 측정 유체는 액체와 기체이다. 사용온도는 일반적으로 -250°C 에서 500°C 정도이며, 사용압력은 대략 10MPa 정도이다. 중심부의 Rotor의 회전저항에 따라 압력손실은 크며, 측정 부의 상류에 관직경의 10에서 62배 정도의 직관부가 필요하고, 하류에 5배에서 7배 정도의 직관부가 필요하며, 제작시 소요되는 비용은 다른 방법에 비해 보통정도이다.

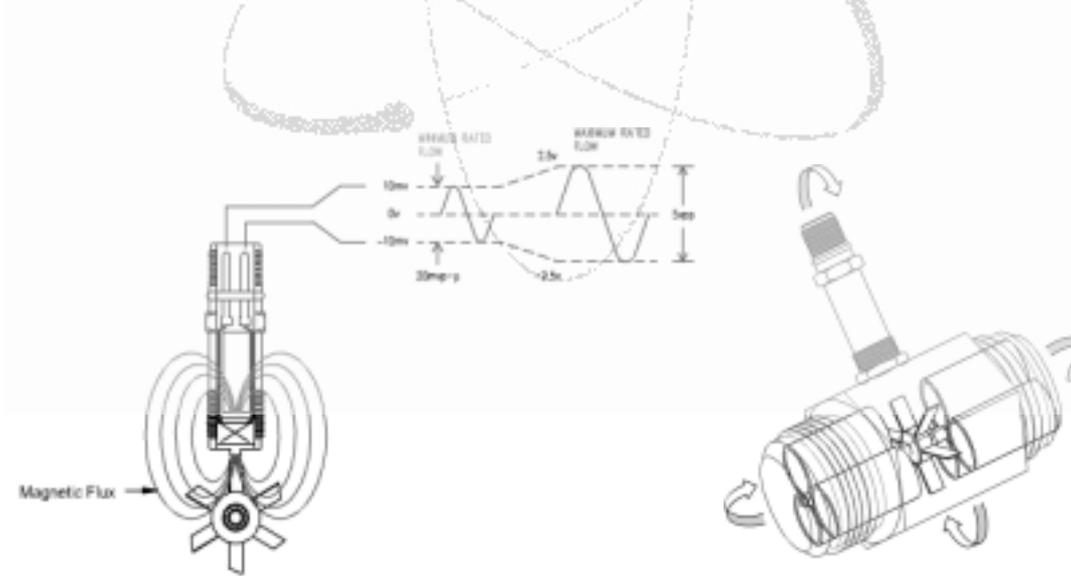


그림 3-9. 터빈 유량계의 원리도

바. 용적식 유량계 (Positive displacement meter)

용적식 유량계의 측정원리는 유체를 일정한 양으로 분리할 수 있는 정해진 용적을 갖는 Banes, Gears, Pistons, Diaphragms 등의 기계요소들이 작동할 때 요소들로부터 운반되는 유체의 체적이 일정하게 정해지므로 이러한 요소들의 일정시간내에서 반복하는 횟수를 Counting하여 유량을 측정하는 방법이다.

이러한 용적형 유량계의 검출요소는 여러 가지 기계요소들의 일정 용적과 출력의 수가 되며, 측정신호와 유량과의 관계는 유량에 비례한다. 일반적으로 측정 정확도는 $\pm 0.2\%$ 에서 $\pm 0.5\%$ 정도이고, 주요 측정 유체는 액체와 기체가 된다. 사용온도는 보통 -30°C 에서 300°C 정도이고, 사용 압력은 대략 10MPa 정도이다. 유체의 유동에 따른 에너지의 일부가 기계요소의 회전 또는 왕복에너지로 소실되어 압력손실이 크나, 측정부분에 직관이 필요하지 않고, 제작비용이 비교적 많이 든다.

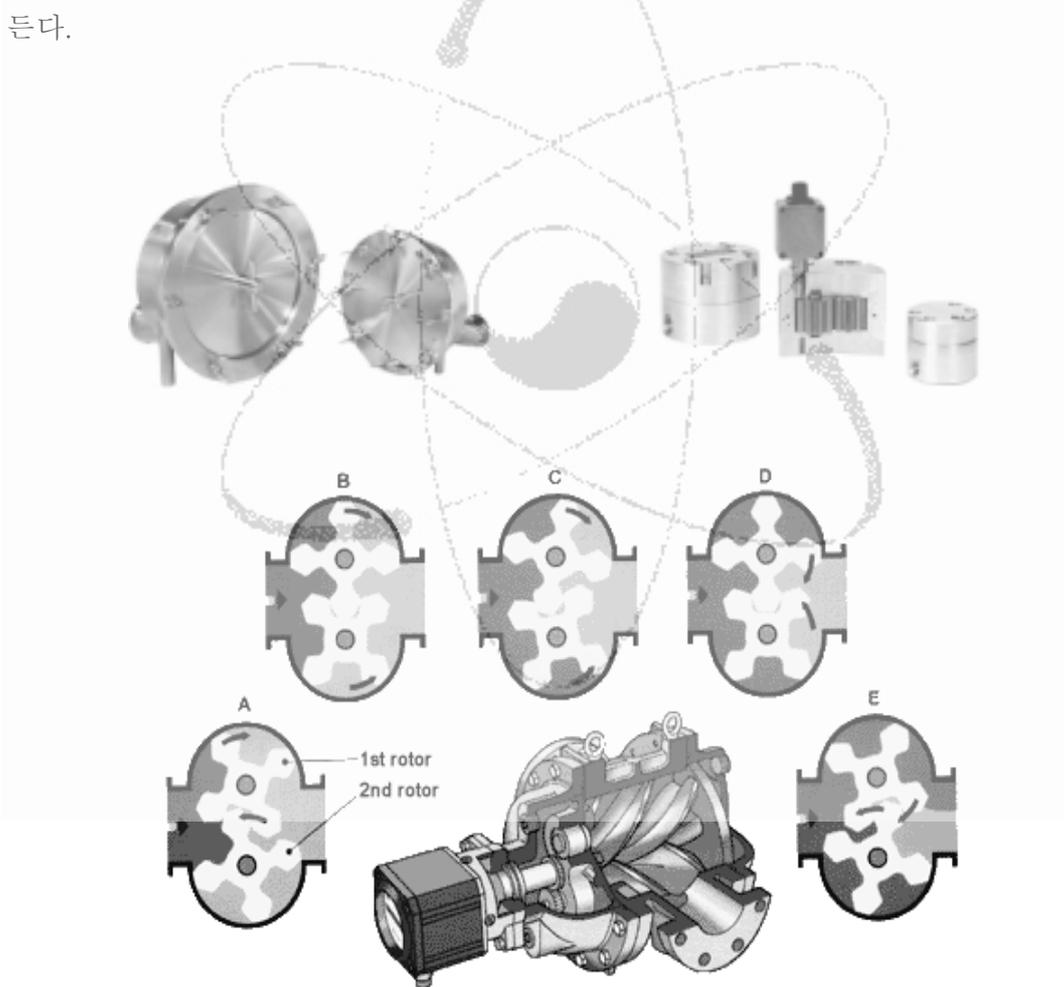


그림 3-10. 용적식 유량계의 원리 및 종류

사. 열식 질량 유량계 (Thermal mass flowmeter)

열식 질량 유량계의 측정원리는 흐르는 유체의 열전도 효과를 이용하여 열교환이 일어나는 양단의 온도를 측정하여 공급된 열량과 발열된 열량이 등가가 됨을 이용하여 유량을 측정하는 방법이다.

$$\dot{E} = \dot{m} C_p \Delta T$$

여기에서, \dot{E} : 공급된 열량률

\dot{m} : 유체의 질량 유량

C_p : 유체의 비열

ΔT : 양단의 온도차

열식 질량 유량계의 검출 요소는 양단의 온도차와 공급 열량이다. 측정신호와 유량과의 관계는 유량에 비례하며, 일반적인 측정 정확도는 $\pm 0.5\%$ 에서 $\pm 5\%$ 정도이다. 주요 측정 유체는 깨끗한 기체를 주로 사용하며, 사용온도는 350°C 정도이고, 사용압력은 대략 40MPa 정도이다. 압력손실은 다른 유량계 방식과 비교해 중간정도이고, 필요 직관부는 상류에 스톱트 폭의 10배 정도이며, 상대적인 제작 가격은 보통이다.

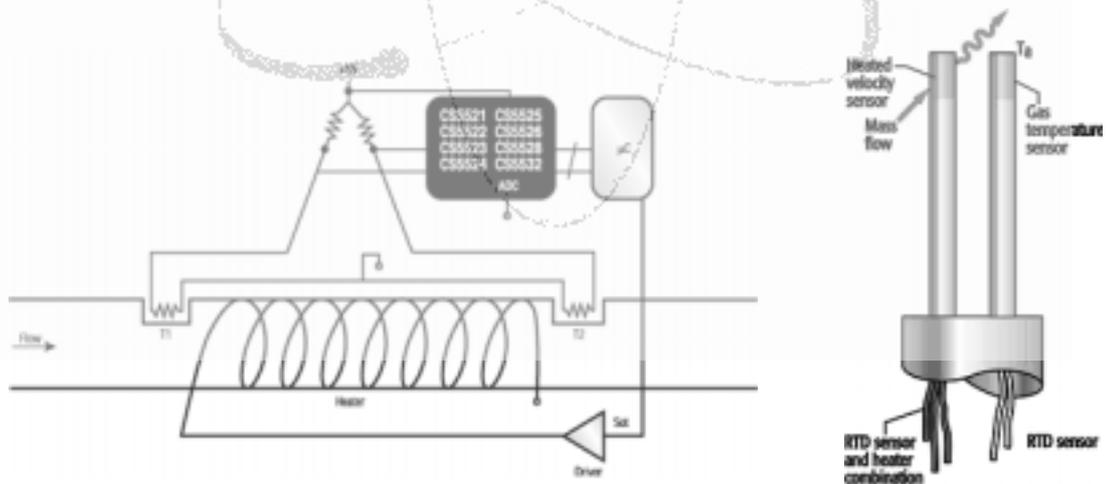


그림 3-11. 열식 질량 유량계의 측정 원리도

아. 코리올리스 유량계 (Coriolis flowmeter)

코리올리스 유량계의 측정원리는 Coriolis 효과를 이용하기 위해 곡관을 가진 할 수 있는 Driver exciting tubes를 두고 곡관에 유체를 흐르게 하면 Coriolis 효과로 인해 그림처럼 유동방향과 직각인 방향으로 Coriolis force가 작용하여 Tube가 진동을 하게 되는데 이때 움직임을 전자기 장치를 통해서 변위를 검출하여 유량을 유추할 수 있도록 하는 방법이다.

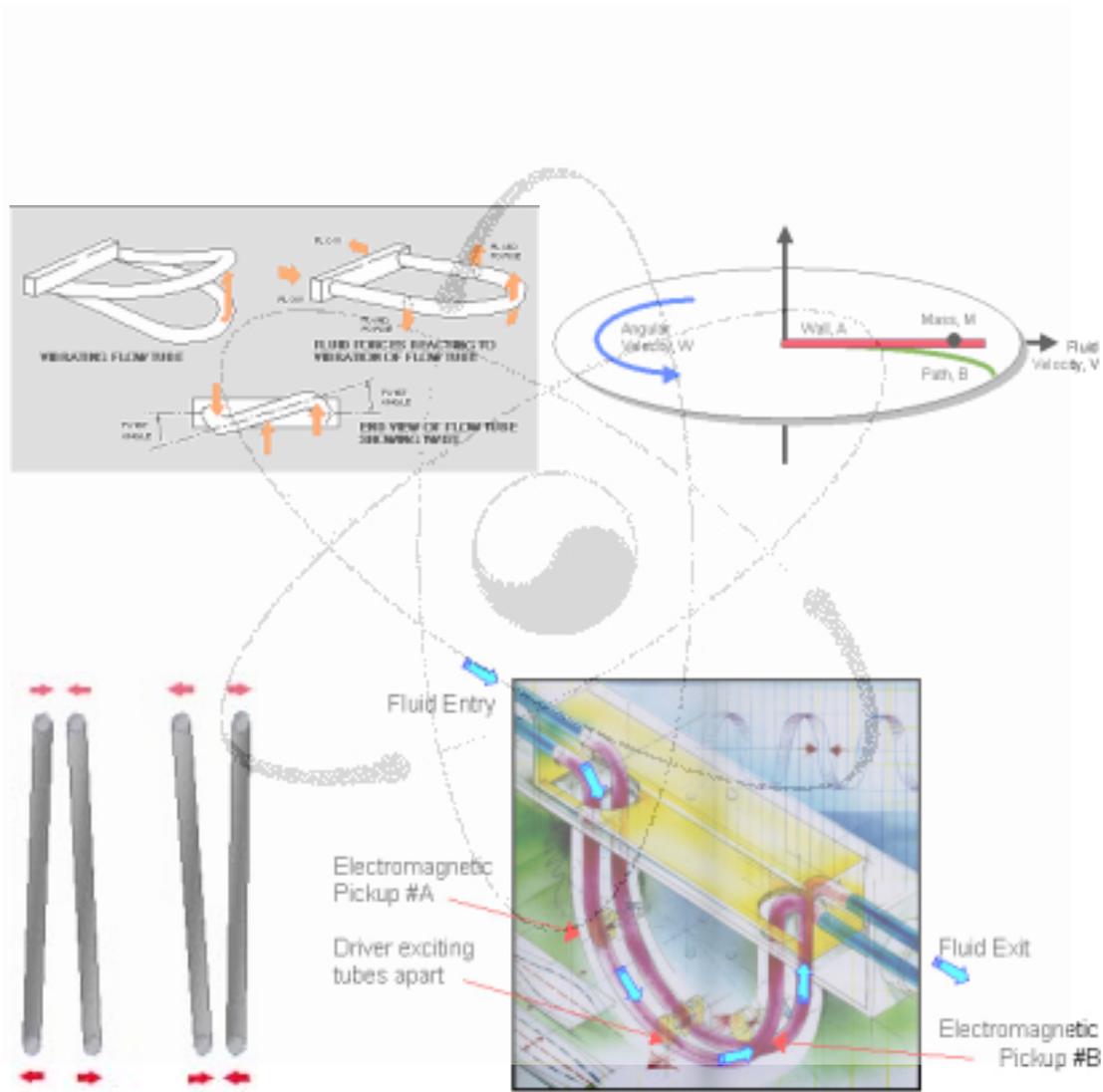


그림 3-12. Coriolis 유량계의 측정원리도 및 적용 제품

자. 초음파 유량계 (Ultrasonic flowmeter)

초음파 유량계의 측정원리는 흐르는 유체의 단면 방향에 초음파 장치를 설치하고 초음파 신호를 발생하여 다시 되돌아오는 신호를 감지하는 과정에서 Doppler 효과를 이용해 유체의 속도를 측정하여 유량을 유추하는 방법이다.

초음파 유량계의 검출요소는 초음파의 전파 속도 변화이고, 측정신호와 유량과의 관계는 유량에 비례한다. 일반적인 측정 정확도는 $\pm 1\%$ 에서 $\pm 1.5\%$ 정도이고, 주요 측정 유체는 액체, 기체, 증기를 측정할 수 있다. 사용온도는 보통 -30°C 에서 180°C 정도이며, 사용압력은 대략 2MPa 정도이지만 재질에 따라 확대할 수 있다. 유체의 유동을 방해하는 부분이 없어서 압력손실은 거의 없으나, 상류 및 하류에 각각 관 직경의 10배에서 15배와 5배의 직관부가 필요하며, 제작비용이 상대적으로 많이 든다.

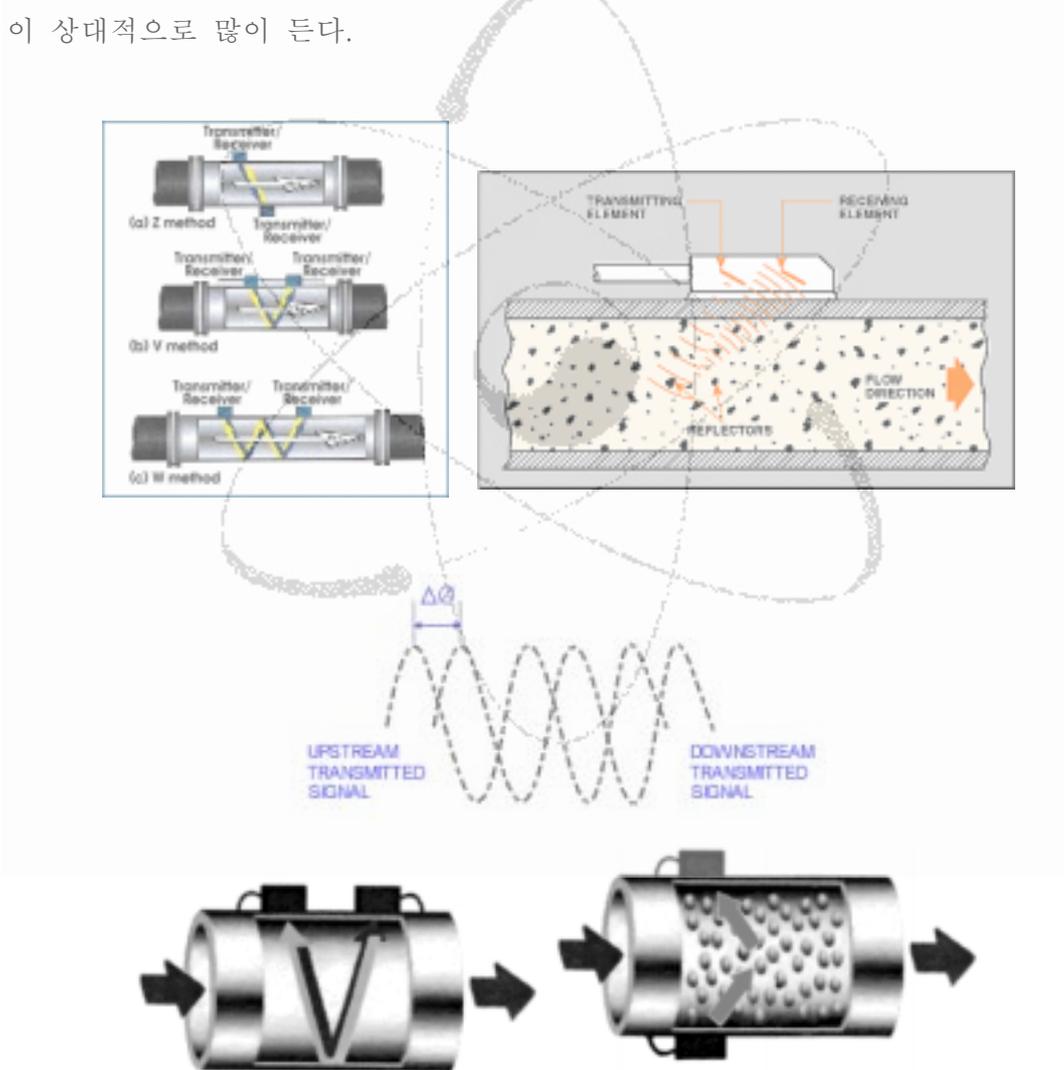


그림 3-13. 초음파 유량계의 측정원리도

차. 타겟 유량계 (Target flowmeter)

타겟 유량계의 측정원리는 유체가 흐르는 관로의 중간에 저항체를 두고 유체가 흐를 때 저항체의 형상에 따라 작용하는 저항력을 전기적 측정 장치 등을 이용하여 그 변위를 검출하여 유속을 얻은 후 유량을 추정하는 방식이다. 변위 검출의 경우 스트레인게이지등을 이용하여 저항체 끝 부분에 부착하여 굽힘 변형량을 측정하여 저항력으로 환산하여 저항력에 따른 유속을 결정한다.

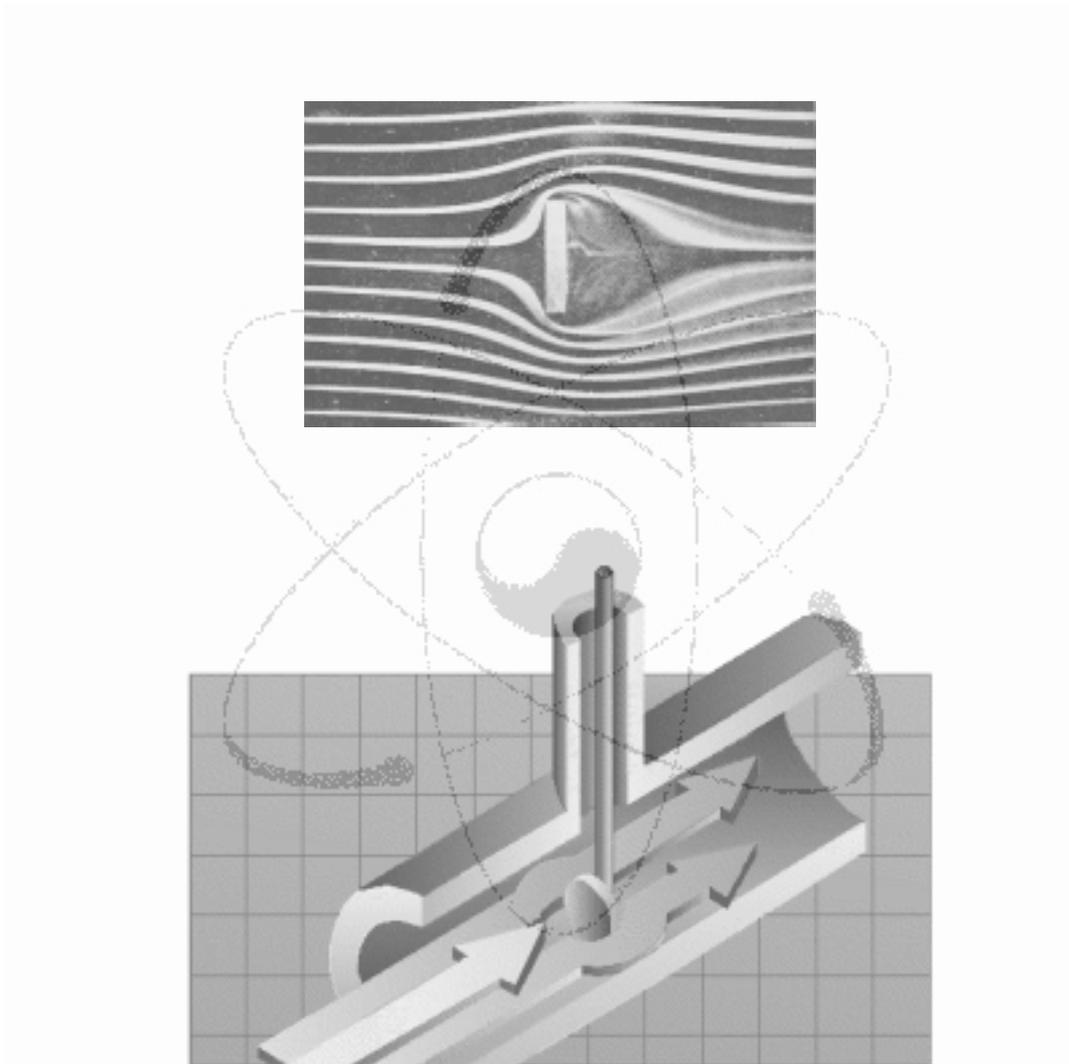


그림 3-14. 타겟 유량계의 측정원리도

제 4 장 국내 · 외 압력 측정 방법 현황

제 1 절 압력측정의 개요

1. 압력의 개념

압력은 고체, 액체, 기체와 같은 물체의 임의의 현상면에서 단위 면적당 작용하는 법선 방향의 무 방향성의 스칼라량적인 힘을 말한다.

그림 4-1은 밀도가 일정한 정지된 유체내의 임의의 위치 P_1 과 P_2 에서의 압력 관계를 나타내고 있다.

$$P_2 - P_1 = \rho g h$$

여기에서, P_1, P_2 : 임의의 위치 1, 2에서의 압력

ρ : 유체의 밀도

g : 중력가속도

$$g = 9.806160 \times (1 - 0.0026373 \cos 2\phi) - 0.0003086 H \quad [m/s^2]$$

H : 해발고도 (m)

ϕ : 현 지점의 위도

h : 1, 2의 두 지점 사이의 높이의 차

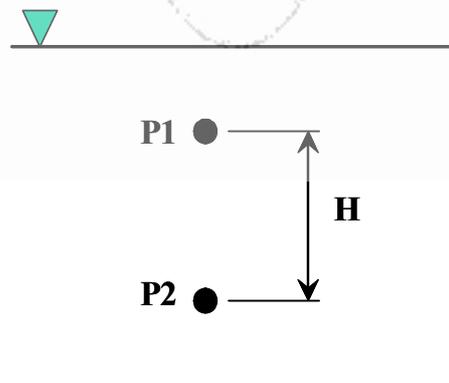


그림 4-1. 유체내의 임의의 단면에서의 압력 분포

2. 압력의 분류

압력은 시간의 변화와 기준치에 따라서 세부적으로 구분되어진다.

가. 시간적 변화에 따른 압력의 분류(정압, 변동압, 맥동압)

시간적 변화에 따라 변화가 없는 압력이나 초당 최대압력의 1% 또는 분당 최대압력의 5%를 넘지 않는 변동압력을 정압 이라고 하고, 정압의 변동압력을 벗어난 비 주기성을 갖는 불연속적인 변동압력을 변동압 이라고 한다. 또한 정압의 한계를 벗어나고, 최대압력의 1%에서 10%사이에서 변동하는 주기성 압력을 맥동압 이라고 한다.

나. 기준치에 따른 압력(절대압, 게이지압, 차압)

지구 위도 45도 해면상에서 온도 0°C를 기준으로 수은주 0mmHg에 해당하는 압력인 절대압이 있고, 표준 대기압을 기준점으로 하여 측정되는 압력인 상대압이 있는데, 이러한 상대압을 게이지압 이라고 한다. 또한 임의의 서로 다른 두 압력의 차이에 따른 압력인 차압이 있다.

그림 4-2는 기준치에 따른 압력의 관계를 보여주고 있다.

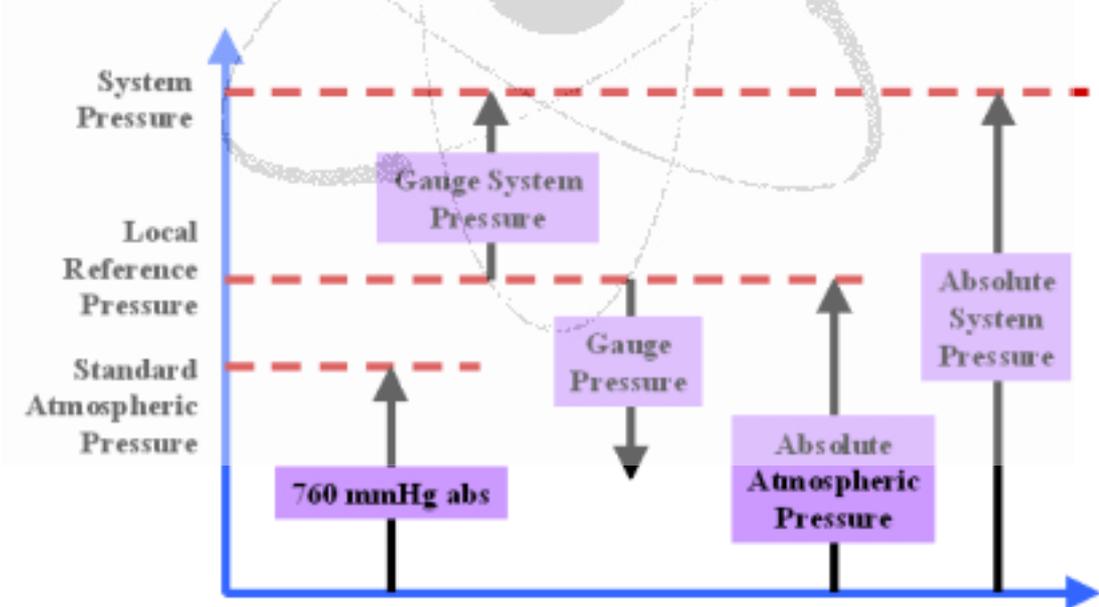


그림 4-2. 기준치에 따른 압력관계

제 2 절 국내·외 압력 측정 방법 및 종류

1. 국내·외 압력 측정계의 분류

일반적으로 압력계란 주로 유체의 압력을 측정하는데 사용되어지는 계기의 총칭으로 사용되며, 특히 대기의 압력을 측정하는 것을 기압계라 한다.

압력계의 종류로는 액체 압력계가 있고, 탄성을 이용한 탄성압력계, 분동식 압력계, 고압용 기체 압력계, 전기저항 압력계, 진공도를 측정하는 진공계, 두 지점의 차압을 측정하는 차압계, 미소 압력을 측정하는 미압계등이 있다.

초기의 압력계로는 U자 모양의 관 속에 액체를 넣어 그 높이 차를 계측하여 압력을 나타내는 U자관형 압력계가 주로 쓰였으며, U자관형 압력계를 액주형 압력계라고도 하며, 쓰이는 액체가 주로 수을 사용하여 수은주형 압력계라고도 한다. 압력계의 형태에 따른 종류로는 액주형 마노메타와 분동식 압력계, 탄성형 압력계로 구분하며, 압력 검출 소자에 따라서는 크게 역학적 압력 변환 요소를 갖는 압력계와 전기적 압력 변환 요소를 갖는 압력계로 구분한다. 역학적 압력 변환요소를 갖는 압력계 방식으로는 부르돈관형 압력계, 다이아프램형 압력계, 벨로우즈형 압력계가 있으며, 전기적 압력 변환 요소를 갖는 압력계 방식으로는 스트레인게이지형 압력계, 전기 용량형 압력계, 압전형 압력계, 인덕턴스형 압력계, 전위차계형 압력계등이 있다.

표 4-1. 압력계의 구분

압력계	형태에 따른 압력계	액주형 마노메타	
		분동식 압력계	
		탄성식 압력계	
	압력 검출 소자에 따른 압력계	역학적 압력 변환 요소	부르돈관형 압력계
			다이아프램형 압력계
			벨로우즈형 압력계
		전기적 압력 변환 요소	스트레인게이지형 압력계
			전기용량형 압력계
			압전형 압력계
			인덕턴스형 압력계
전위차계형 압력계			

2. 국내·외 압력계에 따른 측정원리 및 특징

가. 액주식 압력계

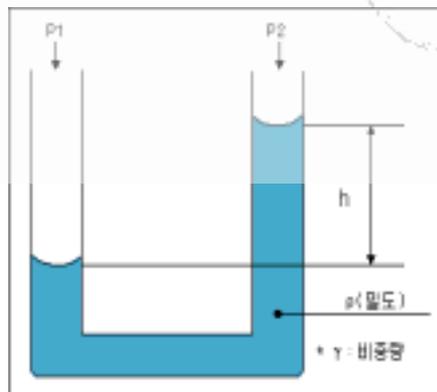
액주식 압력계에 의한 측정은 오래 전부터 사용되어온 방법으로서 관 내부에 액체를 충전시키고 미지의 압력이 가해질 때 측정하고자 하는 압력에 의해 발생하는 힘과 액주의 무게가 평형을 이루는 액체의 위치를 계측하여 액주의 높이로부터 압력을 계산하는 방식이다.

이러한 액주식 압력계의 장점으로서는 구조가 비교적 간단하고, 구조가 간단하여 구조적인 오차의 발생이 적으며, 고장이 적다. 또한 정확성이 높아 1차 표준기로 사용하고 있다. 반면 단점으로 온도 영향에 민감하고, 액체와 관벽의 오염에 따른 오차가 발생하며, 측정범위에 제약이 있다. 액주형에 쓰이는 봉입액의 조건은 온도에 따른 밀도의 변화가 작으며, 모세관 현상 및 표면장력이 작아야 하며, 점성이 낮아야 하고, 화학적으로 안정하며, 휘발성이 작아야 한다.

사용상의 주의점으로는 측정시 수평 및 수직을 잘 맞추어 측정해야 하며, 모세관 내부는 항상 청결하도록 한다. 또한 봉입액은 고순도의 깨끗한 것을 사용하며, 액주의 진동을 방지해야 한다. 액주의 보정은 온도에 따른 보정과 중력에 따른 보정, 모세관 현상에 따른 보정을 해야 한다.

(1) U자관형 압력계(U-Tube manometer)

U자관형 압력계는 상대압, 차압, 진공도 등을 측정하거나 지시할 때 사용된다. 사용범위는 대략 5 ~ 2,000 mmH₂O(or Hg)에서 사용되며, 정확도는 ±0.1 mmH₂O(or Hg)가 된다.



$$P_1 - P_2 = \rho gh = \gamma h$$

P_1, P_2 : 1, 2 압력

ρ : 유체 밀도

g : 중력가속도

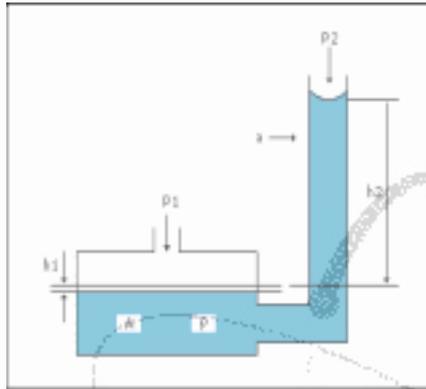
γ : 유체의 비중량

h : 높이차

그림 4-3. U자관형 압력계 원리도

(2) 단관형 압력계(Cistern manometer)

단관형 압력계는 상대압, 차압, 진공도 등을 측정하거나 지시할 때 사용된다. 사용범위는 대략 5 ~ 2,000 mmH₂O(or Hg)에서 사용되며, 정확도는 ±0.1 mmH₂O(or Hg)가 된다.



$$P_1 - P_2 = \rho g (h_1 + h_2)$$

P_1, P_2 : 1, 2 압력

ρ : 유체 밀도

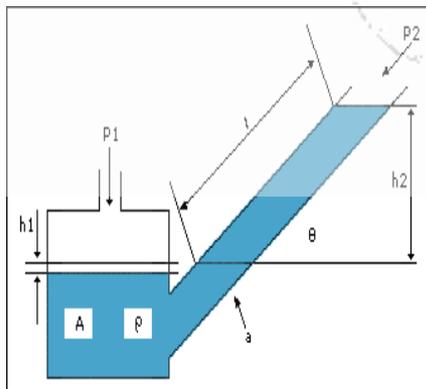
g : 중력가속도

h_1, h_2 : 1, 2의 높이

그림 4-4. 단관형 압력계 원리도

(3) 경사관형 압력계(Inclined manometer)

경사관형 압력계는 상대압, Draft 압력, 미압 등을 측정하거나 지시할 때 사용된다. 사용범위는 대략 1 ~ 500 mmH₂O(or Hg)에서 사용되며, 정확도는 ±0.1 mmH₂O(or Hg)가 된다.



$$P_1 - P_2 = \rho g (h_1 + h_2)$$

P_1, P_2 : 1, 2 압력

ρ : 유체 밀도

g : 중력가속도

h_1, h_2 : 1, 2의 높이

그림 4-5. 경사관형 압력계 원리도

나. 탄성형 압력계

탄성형 압력계의 측정원리는 외력에 비례하는 변위를 발생하는 탄성법칙을 이용하여 외압에 대해 수압부를 탄성소자로 하여 압력이 가해질 때 탄성범위에서 단위 압력당의 변형량을 아는 상태에서 대응되는 변형량만을 측정함으로써 압력의 크기를 알 수 있는 방법이다. 탄성형 방식의 압력계는 취급이 간단하여 산업용으로 많이 쓰이고 있으나, 일반적인 압력 측정에 사용되는 2차 압력계로 정기적인 계기의 교정이 필요하며, 탄성영역에서 외력에 대해 정비례하는 수압소자를 얻기가 어렵다.

탄성형 압력계의 종류로는 Bourdon tube type 압력계와 Diaphragm type 압력계, Bellows type 압력계, 격막식 압력계등이 있다.

탄성형 압력계의 장점 및 단점을 살펴보면 다음과 같다.

● 탄성형 압력계의 장점

- 구조가 간단하다.
- 광범위한 압력측정 범위를 갖는다.
- 가격이 저렴하다.
- 압력스위치로 사용가능하다.
- 전기적인 시스템으로 사용가능하다.

● 탄성형 압력계의 단점

- 설치공간에 대한 제약이 있다.
- 기계적 마찰에 의한 오차가 발생한다.
- 응답속도가 느리다.
- Hysteresis 오차가 발생한다.
- Creep에 대한 문제가 발생한다.
- 재현성에 문제가 있다.
- 경년변화가 심하다.
- 온도변화에 따른 탄성계수의 오차가 발생한다.

(1) Bourdon tube type 압력계

Bourdon tube type 압력계의 측정원리는 압력계 링크 구조의 선형 변위가 동축으로 연결된 지점의 위치를 변위시켜 눈금판 상의 지시치를 판독하는 방식이다.

이 압력계는 단면 형상에 따라 C형 압력계, Spiral형 압력계, Helical형 압력계, Torque tube형 압력계 등으로 구분된다.

압력계의 장단점을 살펴보면, 먼저 장점으로 구조가 간단하고, 광범위한 압력 측정 범위를 가지며, 가격이 저렴하고, 압력 스위치로 사용 가능하며, 전기적인 시스템으로 사용 가능하다. 반면 단점으로는 설치공간에 대한 제약이 따르고, 기계적 마찰에 의한 오차가 발생하며, 응답속도가 느린편이고, Hysteresis 오차가 발생한다.

용도로는 상대압과 진공도, 절대압등의 측정 및 지시에 사용되며, 압력 스위치류로 사용된다.

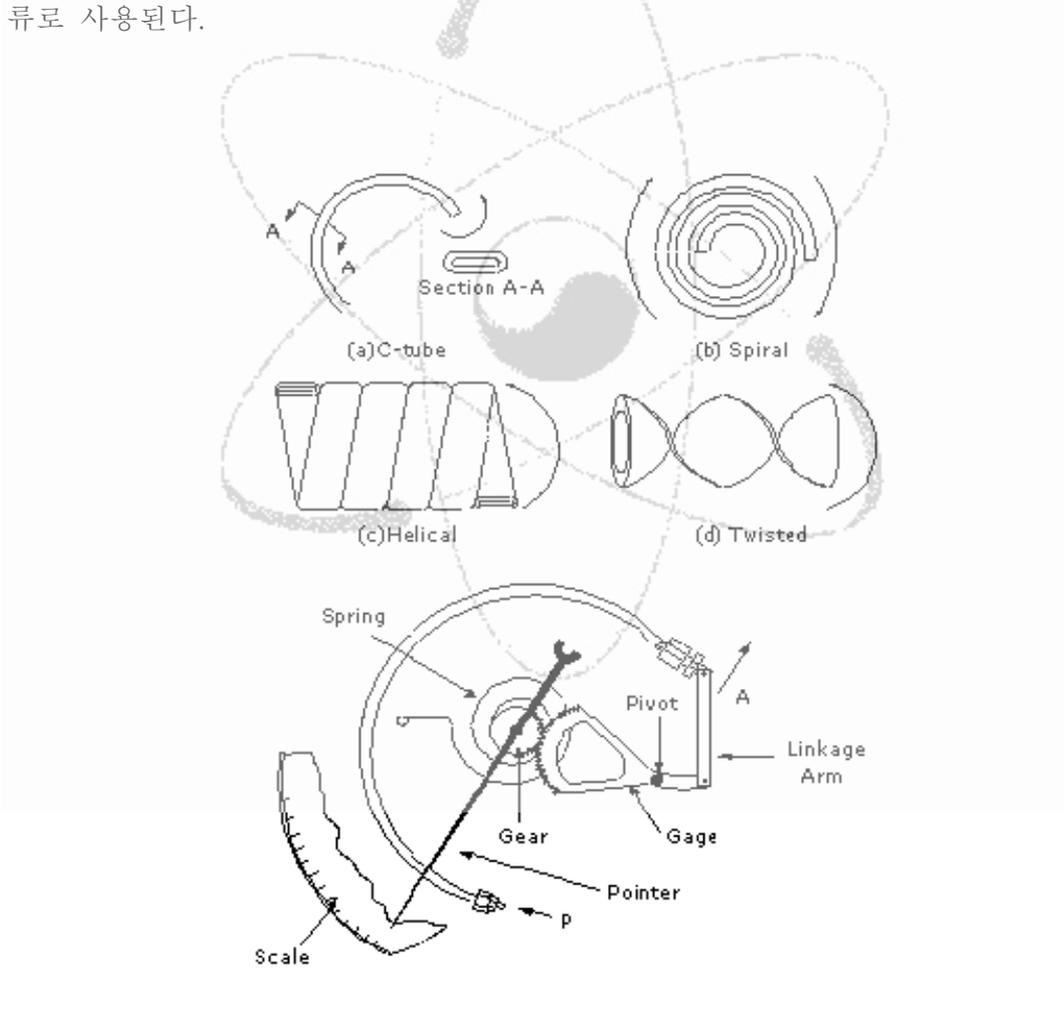


그림 4-6. Bourdon tube type 압력계의 구조 및 종류

(2) Diaphragm type 압력계

Diaphragm type의 측정원리는 환산형 주위단과 동일 평면을 이루고 있는 얇은 막의 형태에 압력이 가해지면 수직방향으로 팽창 수축하는데 이를 지시계로 판독하는 방식이다.

이와 같은 방식으로는 Flat type 압력계와 Corrugated type 압력계, Capsule type 압력계 등이 있다.

장단점으로는 먼저 장점으로 수압부가 넓어 감도가 높아 저압측정이 용이하는 것이고, 가압부의 크기 조정이 용이하며, 고점도 액체 및 고형물질을 함유한 압력측정에 용이하고, 막이 비금속 재질일 경우 내식성 재질선택이 용이하며, 금속 재질일 경우 코팅과 같은 내식 표면 처리가 용이하다. 막의 고유진동수가 높아 응답이 빠르고, 상이한 액체사이 격막 역할 및 소자 기능과 전기적 변환부를 사용하여 전기적 출력이 가능하다. 반면에 단점으로는 타 소자에 비해 변위가 작아 확대기구 필요하고, 히스테리시스 및 Creep 현상이 크다.

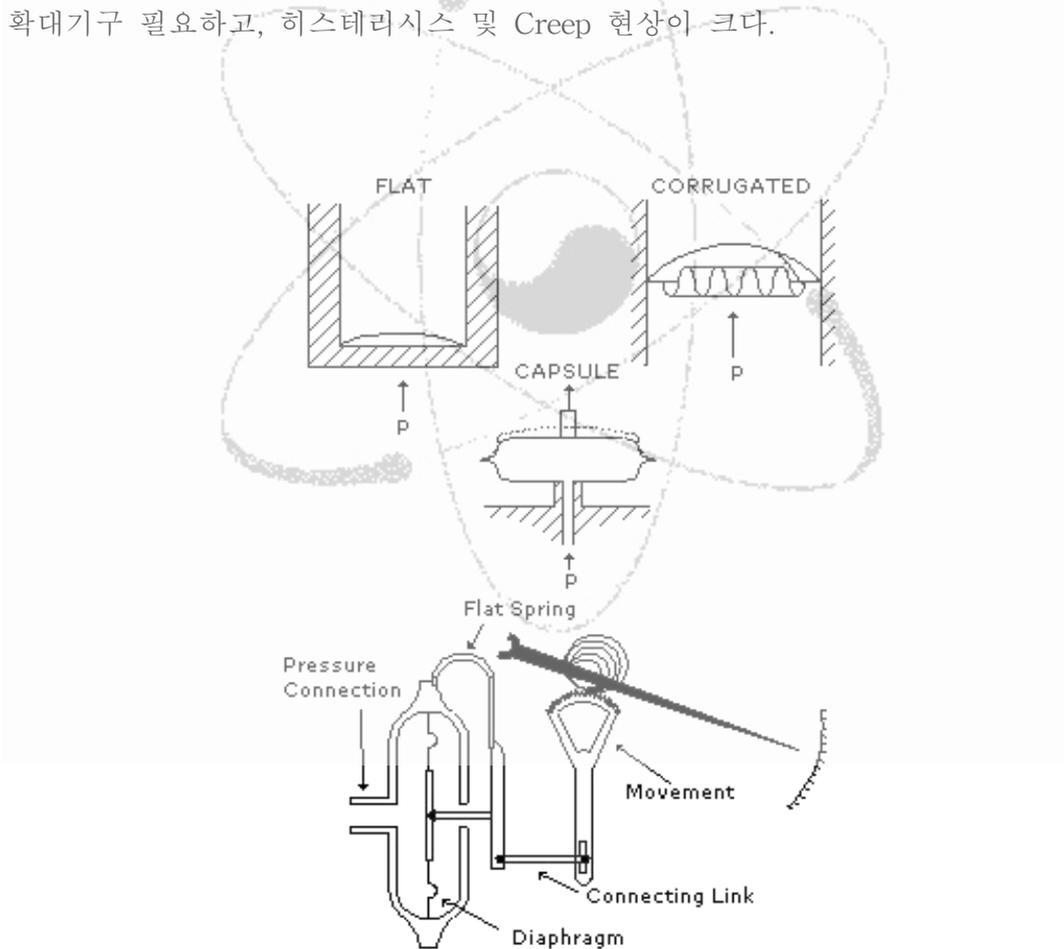


그림 4-7. Diaphragm type 압력계 구조 및 종류

(3) Bellows type 압력계

Bellows type 압력계의 측정원리는 주름 상자형의 주름을 갖고 있는 금속 박판 원통상으로 그 내외부에 압력을 받으면 중심 축 방향으로 팽창 및 수축의 변위가 발생하는데, 이값을 판독하여 압력을 나타내는 방식이다.

Bellows의 재질로는 황동과 인청동, 벨릴륨동, 스테인레스 스틸, 모넬, 니켈 등이 있으며, 내·외경 비는 1.3 ~ 1.5가 된다.

Bellows type 압력계는 주름과 깊이, 끝 모양등에 따라 S-type과 C-type의 고압용과 U-type의 저압용으로 구분된다.

장단점으로는 먼저 장점으로 구조상 동일한 압력에서 타소자에 비해 변위가 커서 저압측정에 아주 용이하다는 것이고, 반면 Bellows의 벽 두께가 클 경우 강성도는 증가하나 선형성이 저하되는 단점을 가지고 있다.

이 방식의 압력계의 사용 용도로는 미소압력측정, 차압 측정, 절대압측정, 대기압측정에 사용되고, 압력변환기와 공기식 계기의 회로 소자등으로 사용된다.

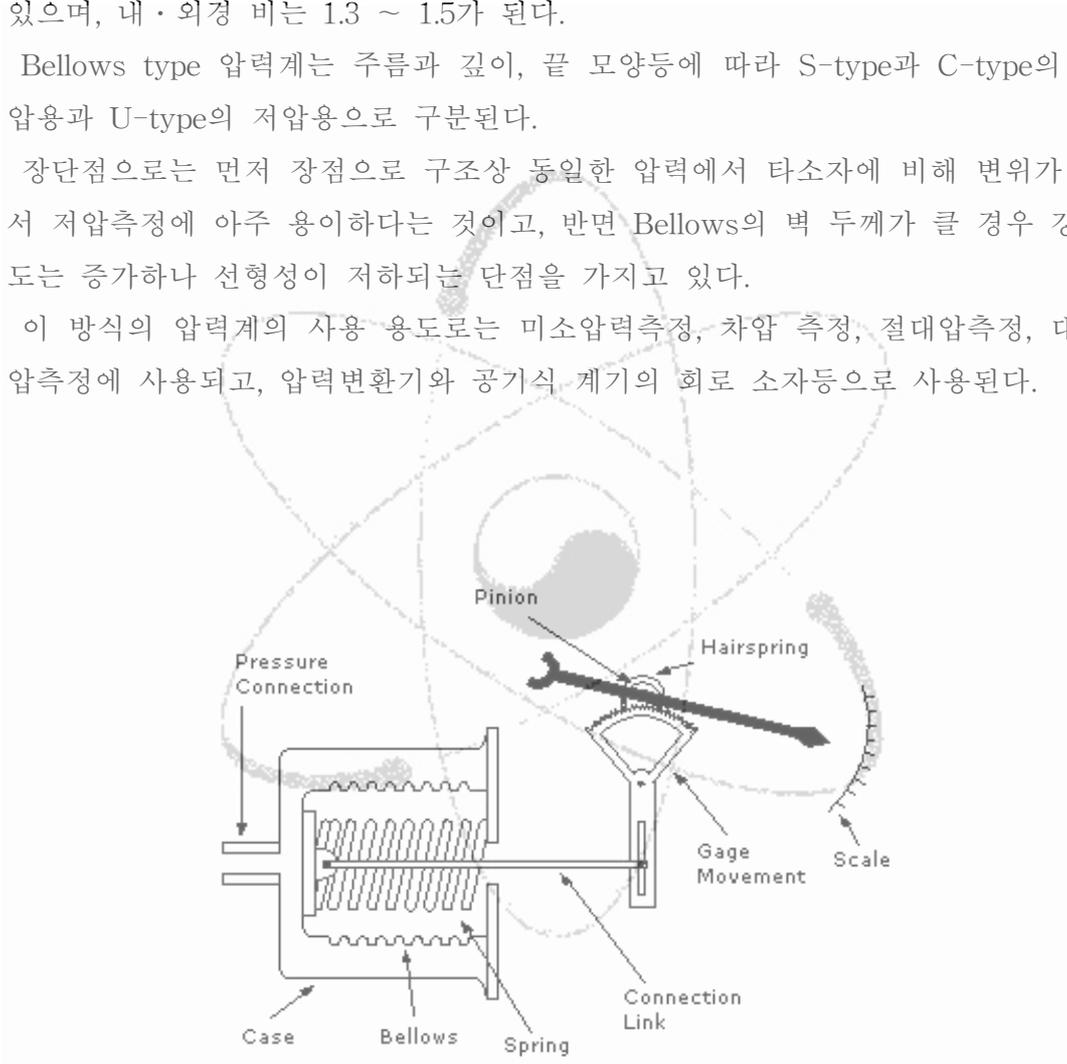


그림 4-8. Bellows type 압력계의 구조

(4) 격막식 압력계

격막식 압력계의 측정원리는 그림 4-9와 같이 측정치의 지시계와 측정하고자 하는 유체사이에 격막을 두어 측정 유체의 압력 변동이 막의 변위를 일으키고, 다시 지시계의 사이의 기름 또는 수은등의 매질에 압력을 가하여 지시할 수 있도록 하여 압력을 측정하는 방식이다.

이 같은 방식은 피 측정물이 부식성이 강한 유체일 경우 사용가능하고, 피 측정물이 고온 및 고점도일 경우 사용하며, Slurry 등을 포함하는 유체의 압력 측정 시에도 사용한다. 또한 응고하기 쉬운 유체일 경우도 사용한다.

격막식 압력계는 크게 매질을 액체로 사용하는 습식 방식의 격막식 압력계와 매질을 액체가 아닌 유체로 사용하는 건식 방식의 격막식 압력계로 구분한다.

또한 습식 방식의 격막식 압력계의 경우 반드시 수두보정을 실시하여 사용해야 한다.

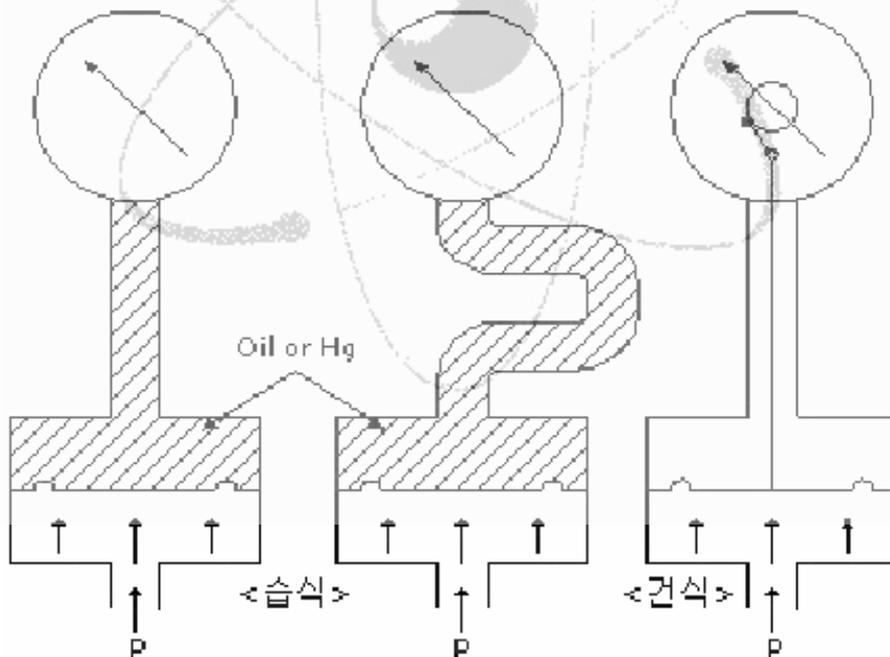


그림 4-9. 격막식 압력계의 구조 및 종류

다. 전기식 압력계

전기식 압력계의 측정원리는 측정하고자 하는 압력을 1차적으로 수압소자, 즉 Bellows, Diaphragm 등의 수압소자를 이용하여 기계적인 변위나 힘 등으로 변환한 다음 전기적 측정 방법으로 그 변위나 힘등을 다시 계측하여 압력을 측정하는 방식이다.

전기식 압력계의 특징으로 다음과 같은 것이 있다.

- 연속적인 압력 데이터를 수집 가능하다.
- 원격 측정 및 지시가 가능하고 기록이 용이하다.
- 집적화에 따라 소형 및 경량화가 가능하다.
- 데이터의 디지털화가 용이하다.
- 공정 자동화에 응용이 용이하다.
- PC와의 Interface에 의한 계측 및 제어가 가능하다.

또한 전기식 압력계를 분류하면 다음과 같이 분류된다.

- 저항 변화형

Strain gauge type 압력계

Potential meter type 압력계

반도체 Piezo 저항 type 압력계

- 전압 변화형

차동 변압기형 압력계(LVDT, RVDT)

Piezo 전압형

정전용량 변화형

(1) Strain gauge type 압력계

Strain gauge type 압력계의 측정원리는 기계적 압력소자에 부착된 도선이 탄성적으로 늘어나면 그 길이와 직경 변하여 도선 전체의 전기 저항 값이 변하고, 이 저항 변화로 인하여 휘스톤브리지 회로의 전기적 평형이 상실되어 전위 차가 발생하게 되는데 이때 발생된 전위 차 값을 압력으로 환산하여 측정하는 방식이다.

Strain gauge type은 크게 접착식과 비 접착식으로 구분할 수 있으며, 이 방식의 장단점은 다음과 같다.

- 장점
 - 정도가 높고, 온도 변화에 대한 영향이 적다.
 - 정압 측정 및 동압 측정에 사용이 가능하다.
 - 직류 및 교류 회로에 사용이 가능하다.
 - 진동 및 외부의 충격에 비교적 강하다.
 - 연속 측정이 가능하고, 출력치의 연산이 가능하다.
 - 주파수 응답 특성이 양호하다.
- 단점
 - 습기에 의해 오차가 발생한다.
 - 변환되는 신호가 작으므로 증폭부가 필요하다.

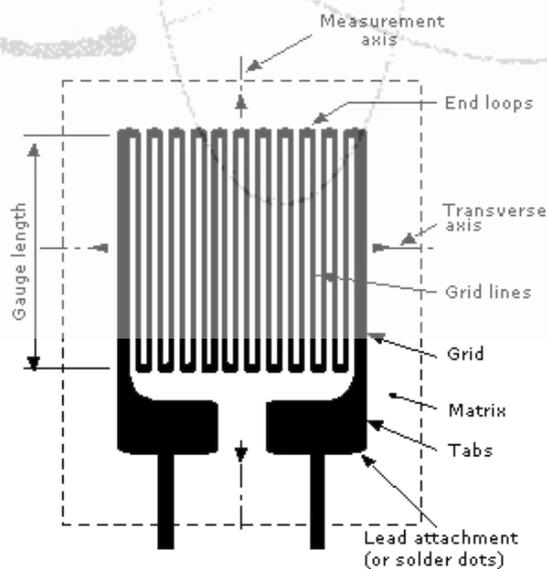


그림 4-10. Strain gauge의 일반적 구조

(2) Potentio meter type 압력계

Potentio meter type의 측정원리는 Bourdon압력계와 동일한 구조를 가지고 있으나, 기계적 지시계 대신 변환 전기저항을 사용하여 그 저항 값의 변화를 압력 변화로 환산하여 측정하는 방식이다.

Potentio meter type의 장점 및 단점으로는 다음과 같다.

- 장점
 - 출력이 크고 가격이 저렴하다.
 - 직류 및 교류 회로를 사용 가능하다.
 - 증폭회로가 불 필요하다.
 - 온도 보정이 용이하다.
- 단점
 - 기계적 마찰이 크다.
 - 분해능에 제약이 있다.
 - 진동에 약하고, 수명이 짧다.
 - 변위가 커야 측정이 용이하다.
 - 응답속도에 한계가 있다.

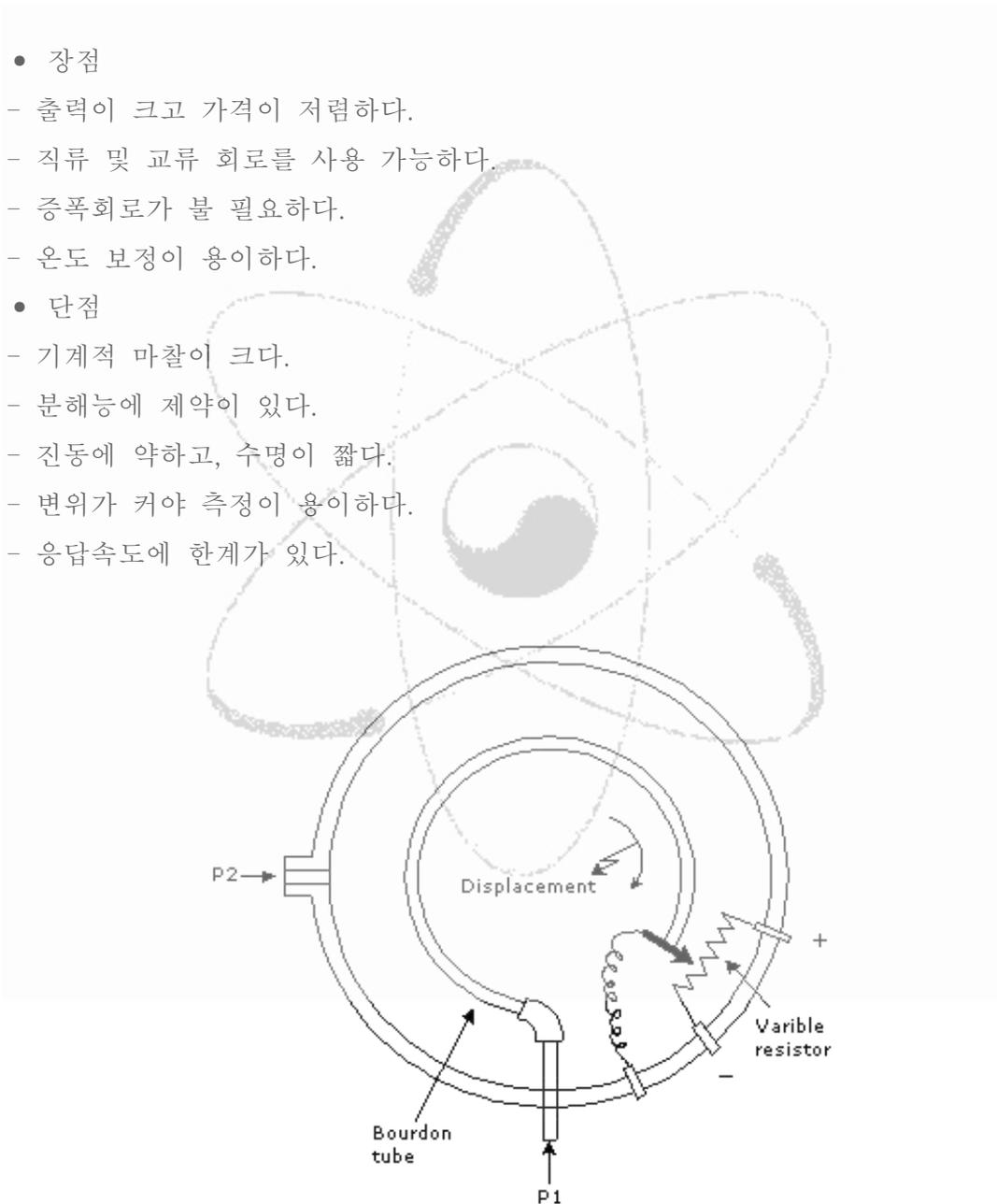


그림 4-11. Potentio meter type 압력계의 구조

(3) 반도체 Piezo 저항형 압력계

반도체 Piezo 저항형 압력계의 측정원리는 스트레인게이지 형 압력계의 측정원리와 동일하다.

이 압력계의 종류로는 게르마늄 및 실리콘 반도체의 Piezo 저항효과를 이용한 벌크 게이지와 실리콘 임의의 내열성 베이스에 박막상으로 진공 증착시킨 게이지가 있으며, 장점 및 단점은 다음과 같다.

- 장점

- Strain gauge를 직접 Si-Diaphragm 위에 확산시켜 제작하므로 접착할 필요가 없어 소형화가 가능하다.
- Hysteresis가 거의 없다.
- 온도 보정 회로 및 신호제어 회로를 감압 Diaphragm 위에 직접 형성하는 것이 가능하다.
- 제품의 규격화가 용이하다.

- 단점

- 온도 변화에 민감하여 보상회로가 필수적이다.
- 사용온도의 범위가 좁다.
- 고압용으로 제작이 어렵다.

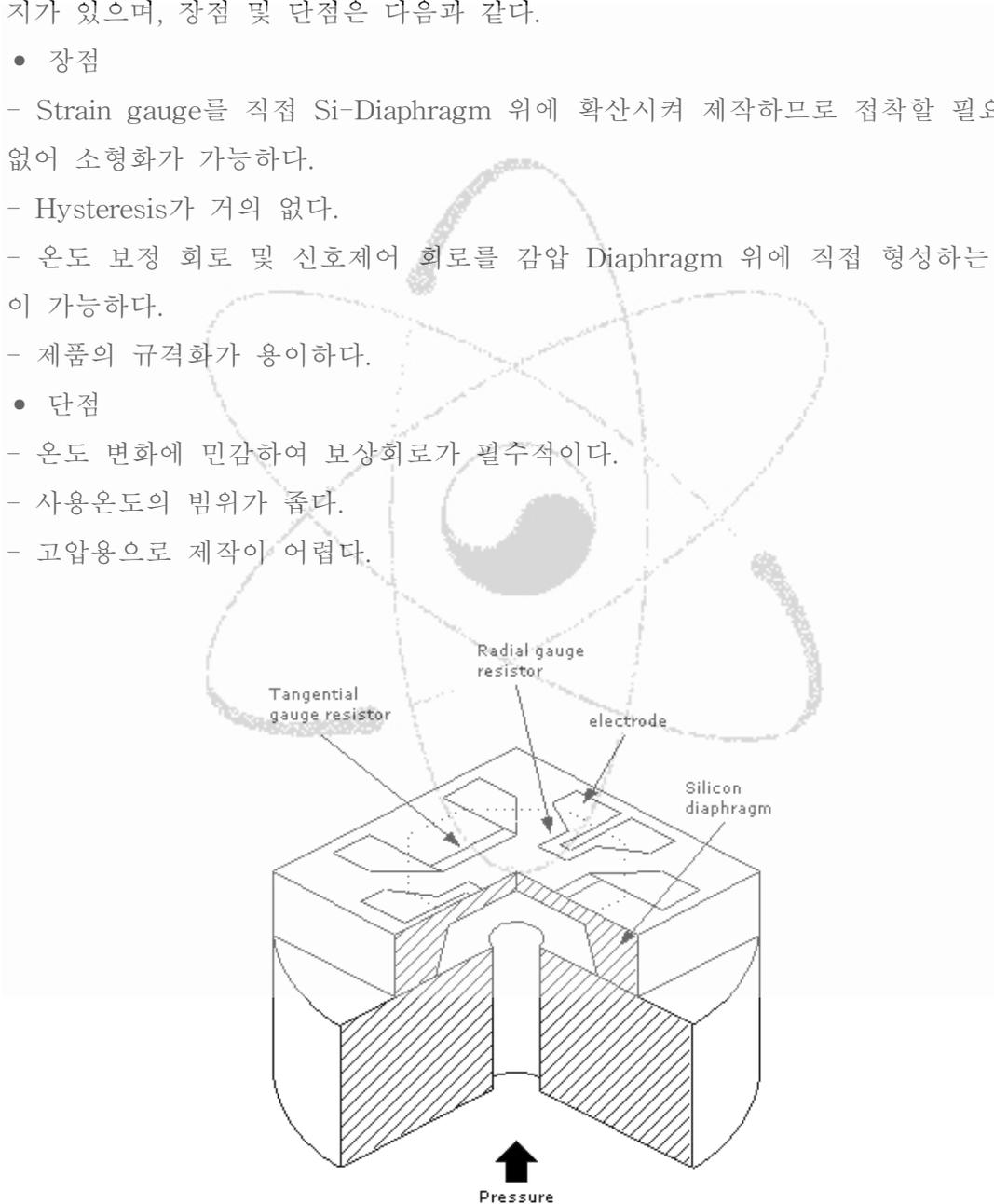


그림 4-12. 반도체 Piezo 저항형 압력계의 구조

(4) 차동변압기형 압력계 (LVDT, RVDT)

차동변압기형 압력계의 측정원리는 Bellows 압력계에서 기계식 지시계 대신 그 변위를 차동 변압 원리를 적용한 LVDT 등을 이용하여 변위를 압력으로 환산하여 변동압력을 측정한다.

차동변압기형 압력계의 장점 및 단점은 다음과 같다.

- 장점
 - 감도 및 안정도가 좋다.
 - 신호도가 좋다.
 - 여러 측정변수에 응용이 용이하다.
 - 온도 변화에 의한 영향이 비교적 적다.
- 단점
 - 비교적 장치의 부피가 크다.

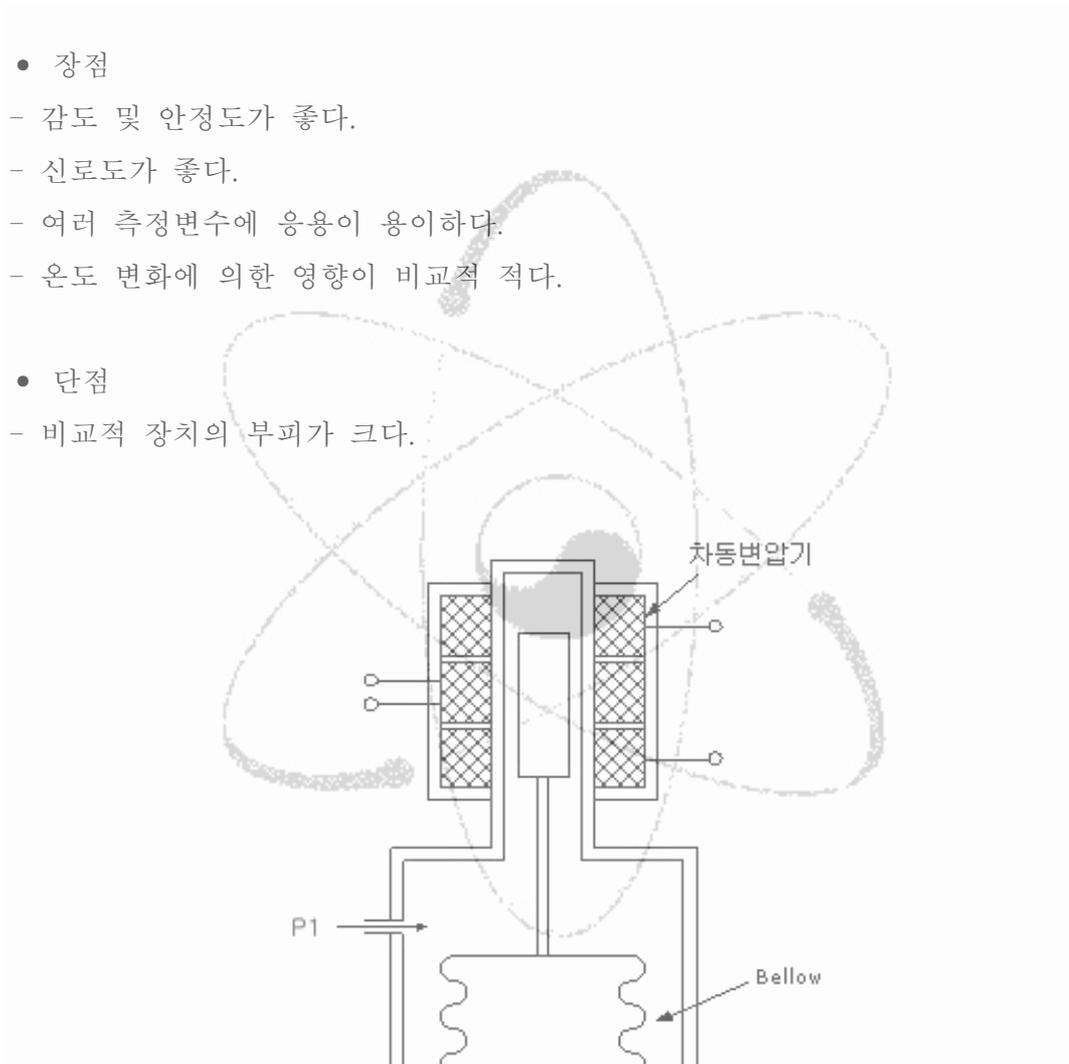


그림 4-13. 차동변압기형 압력계의 구조

(5) Piezo 전압형 압력계

Piezo 전압형 압력계의 측정원리는 수정 및 로셀등의 압전소자의 압전효과를 이용하여 입력 압력에 대응된 전기적 출력을 얻어서 이를 압력으로 환산하여 변동 압력을 측정하는 방식이다.

여기에서 압전효과는 압전소자가 특정한 방향으로 압력을 받으면 소자 자체내에 전압이 유기되는 성질을 말한다.

이 방식의 장점 및 단점을 살펴보면 다음과 같다.

- 장점
 - 직선성이 양호하다.
 - 동압 및 폭발적인 압력측정이 용이하다.
 - 고주파 응답 특성이 양호하다.
 - 구조가 견고하다.
 - 크기가 작다.
 - 출력이 크다.
- 단점
 - 정압 측정이 어렵다.
 - 온도 변화에 민감하다.

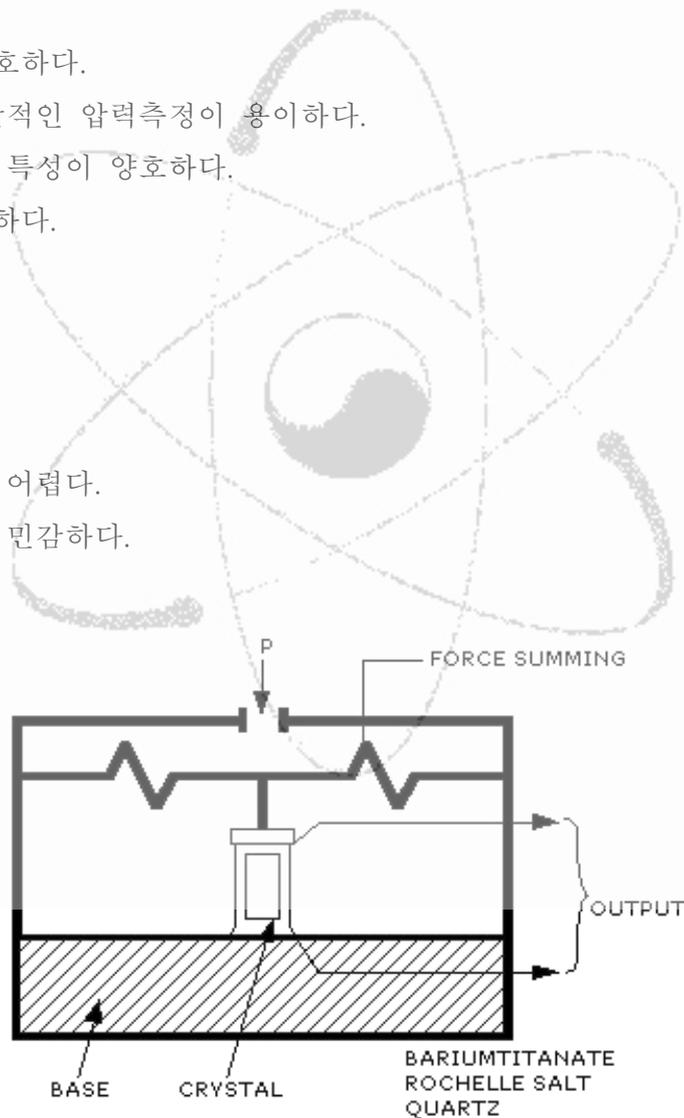


그림 4-14. Piezo 전압형 압력계의 구조

(6) 정전용량 변화형 압력계

정전용량 변화형 압력계의 측정원리는 Diaphragm이 압력을 받으면 이에 상응하는 변위가 발생하고 이로 인해 전기용량의 변화가 발생하는데 이를 압력의 변화로 환산하여 측정하는 방식이다.

이 방식의 장점 및 단점은 다음과 같다.

- 장점
 - 가볍고 견고하다.
 - 감도 조절이 용이하다.
 - 제작이 비교적 용이하다.
 - 고 분해능 가능하다.
- 단점
 - 온도 변화에 민감하다.
 - 측정회로가 비교적 복잡하다.
 - 정전차폐를 반드시 실시해야 한다.

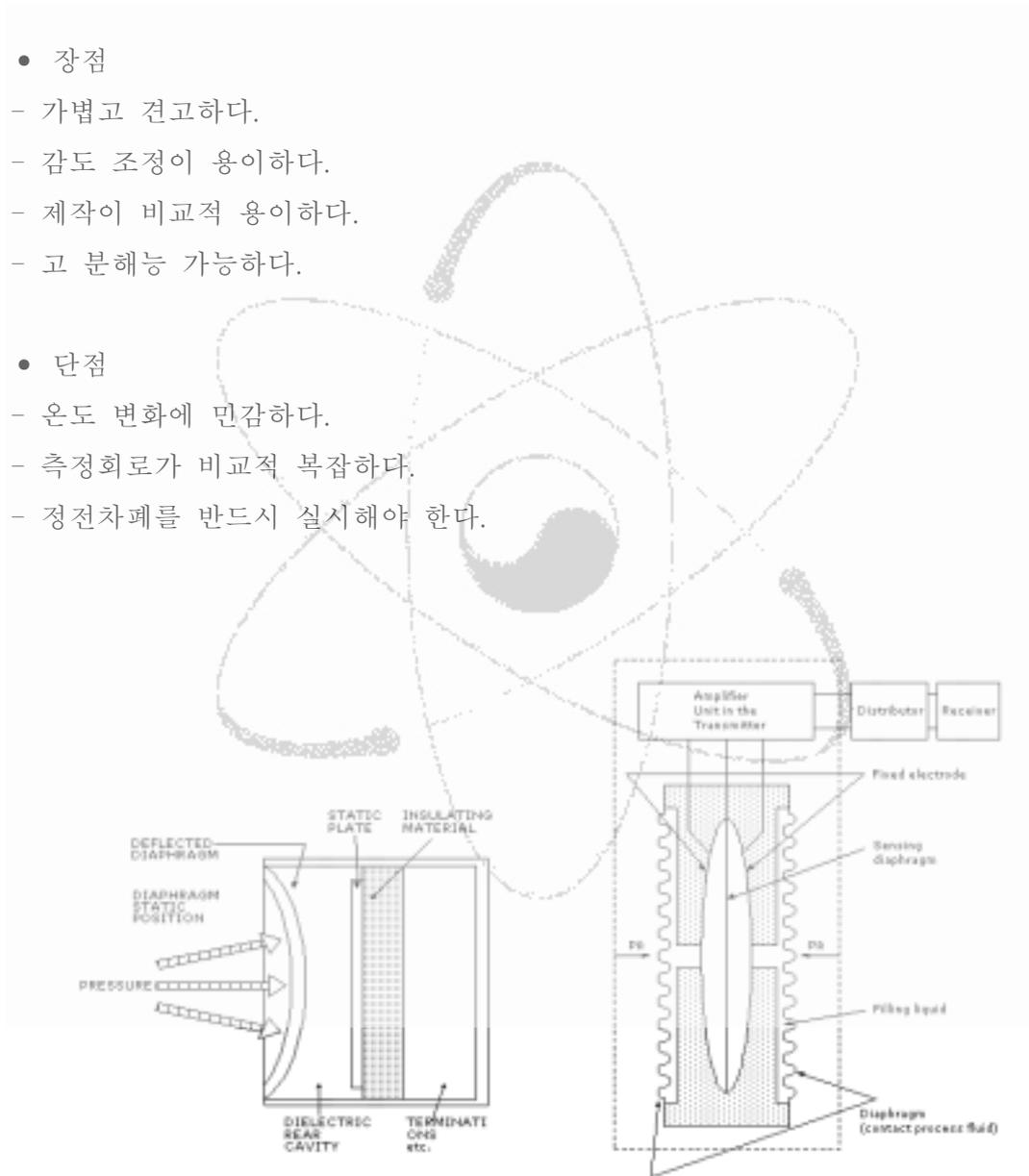


그림 4-15. 정전용량 변화형 압력계의 구조

라. 분동식 압력계(Dead weight tester)

분동식 압력계의 측정원리는 압력이 단위면적에 작용하는 수직력의 크기에 비례하므로 임의의 하중으로 표준압력을 발생시킨 후 압력의 변화를 판독하는 방식이다.

이 방식의 사용상 주의 사항은 다음과 같다.

- Ram과 Cylinder가 오염 및 손상되지 않도록 주의한다.
- 분동의 무게에 변화가 발생하지 않도록 주의 관리한다.
- 측정시 항상 수평과 수직을 정확히 맞춘다.
- 규정 압력 이상의 과도압력을 가하지 않도록 한다.
- 배관부에 무리한 힘을 가하지 않도록 한다.
- 유압식의 경우 적절한 점도의 유압유를 사용한다.
- 측정시 최대압력 측정치의 약 10% 이상의 범위에서 정확한 측정이 가능하다.

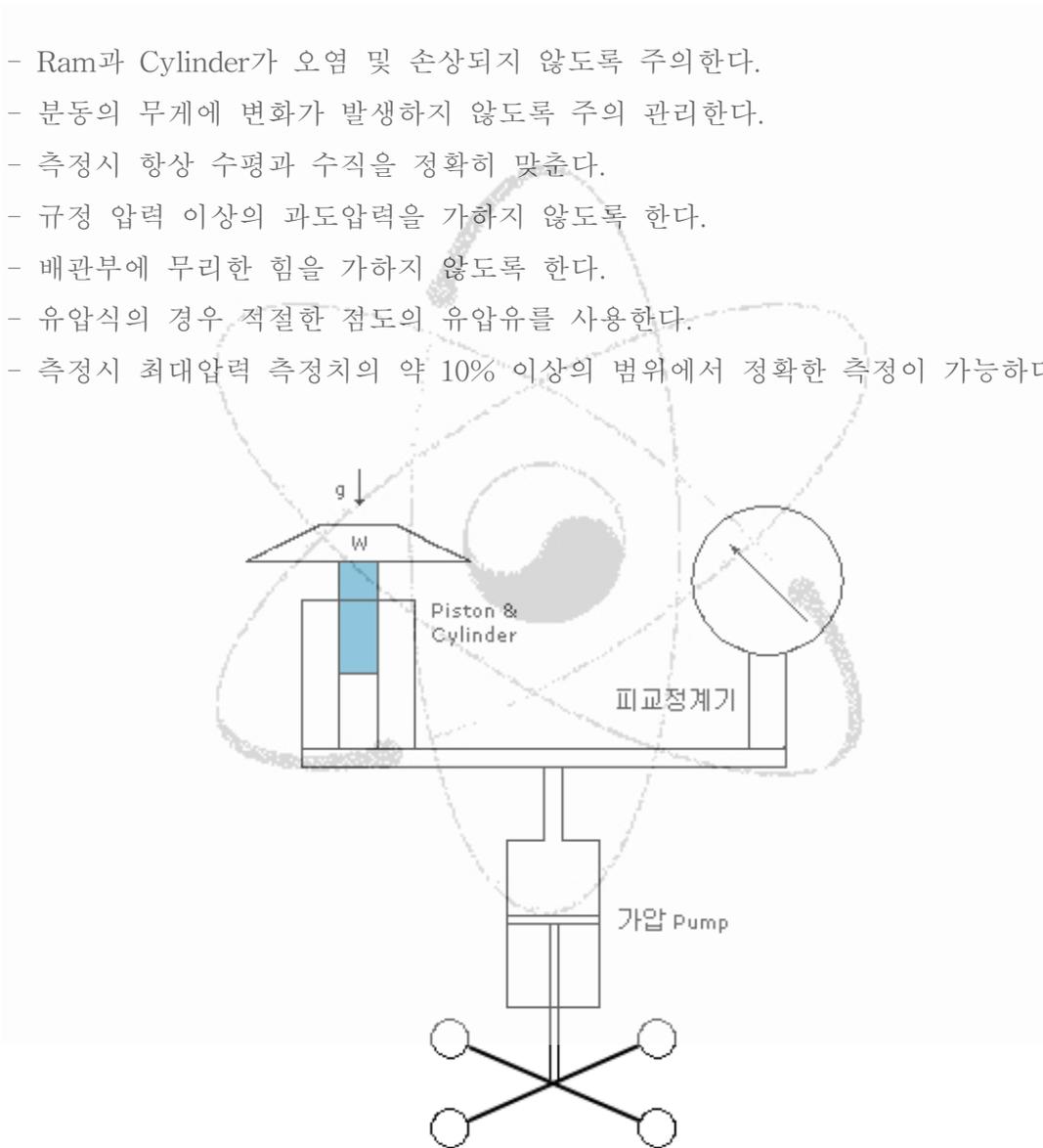


그림 4-16. 분동식 압력계의 구조

제 5 장 현황분석 결과

제 1 절 유량측정 현황분석 결과

이상과 같이 국내·외의 유량 측정 장치의 측정 방법 및 구조 등의 현황을 살펴보았다. 본 유량 측정 장치의 연구 개발은 기본적으로 액체 금속로에 사용할 수 있는 유량계를 개발하는데 있으며, 일반 유체 즉, 물이나 증기와 같은 매질의 유량 측정에 사용되는 유량계의 개발 방향과 큰 차이는 없으리라고 본다. 다만 액체 금속인 소듐 환경에서의 화학적 안정성과 고온·고압에 견딜수 있는 유량계를 개발하는 것이 차이가 있다고 할 수 있다.

일반 유체와 공통적으로 유량계를 개발할 때 고려할 사항으로 측정하고자 하는 관로의 형상과 유체 흐름의 상태, 유체의 종류, 유체의 조건, 유체의 상(Phase), 유량의 측정 범위, 배관의 직관부, 허용 손실 압력등을 고려할 필요가 있으며, 측정 정밀도 및 정확성과 지시계의 위치(현장지시방식, 원격지시방식 및 혼합 방식), 사용의 편리성과 유지보수의 편의성 측면, 설치의 용이성, 제작 설치 및 유지 단가 등을 고려할 필요가 있다.

추가적으로 소듐환경에서의 안정성과 고온 및 고압에서의 안정성을 1차적인 조건으로 하고, 추후 내 방사선 측면의 안정성 및 수명등을 고려한 개발이 이루어져야 할 것으로 본다.

위와 같은 조건들을 만족하고, 최대한 간단하며 비용이 저렴하고, 장치의 건전성 확보와 측정장치의 파괴와 같은 최악의 경우에도 액체 금속로의 운전에 따른 기타 장치의 연쇄적인 결함 발생을 방지할 수 있는 보완적 안전장치 등을 고려하여 개발 할 수 있도록 한다.

이러한 점들을 볼 때 앞서 알아본 국내·외의 유량계의 원리 및 종류들 중에서 전자식 유량계(Electro-magnetic type)와 초음파 유량계(Ultrasonic flowmeter)의 원리를 적용하는 것이 유리할 듯 하나, 와류식 유량계의 원리등도 개발에 고려해 보는 것도 좋을 듯 싶다.

제 2 절 압력측정 현황분석 결과

유량 측정 장치와 더불어 현재 국내·외에 사용하고 있는 압력 측정 장치의 기본원리 및 여러 가지 측정방법 등에 대한 현황을 살펴보았다.

압력계는 크게 압력 단위의 정의에 따라 직접 계기의 눈금을 판독할 수 있도록 되어 있어 실험실 등에서 현장에 쓰이는 압력계를 교정하는 표준급 1차 압력계와 일반적인 현장용 2차 압력계로 구분하고 있는데, 본 연구 개발과제의 압력측정장치는 현장용 2차 압력 측정장치에 속함을 알 수 있다. 또한 압력 측정 장치 개발에 있어 다음과 같이 사항을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

먼저 측정 압력의 종류인데, 현재 차압을 목적으로 하고 있으나, 가능하면 정압, 동압, 맥동압 등도 측정 가능하도록 개발하고, 본 연구개발과제의 압력 측정 장치 또한 액체 금속로용 압력 측정 장치에 사용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있기 때문에, 측정 유체가 소뚱이므로 온도와 점도, 농도 등의 물리적 성질과 부식성, 독성, 폭발성 등의 화학적 성질 등도 개발시에 고려해야 할 것이다. 그리고 측정치의 지시는 현장지시용 보다는 원격 전송 및 기록이 가능하도록 해야 할 것이며, 측정 위치 및 주위 조건(내 방사선) 등에 만족하도록 하고, 측정정도도 고려해야 하며, 측정시간 및 응답속도, 지연시간 등을 고려해야 한다. 일반적으로 측정 범위가 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 고압인 경우 사용 압력의 2배로 안전율을 고려하고, 그 이하인 경우는 1.5배를 고려하는데, 사용압이 맥동압이나 변동압인 경우 2배의 안전율을 고려하고, 정압인 경우는 1.5배를 고려하고 있는데, 본 연구 개발과제의 경우 측정 상태가 고온 고압이고, 동압을 측정하므로 안전율을 최소한 2배 이상을 고려하여 개발해야 할 것으로 본다.

제 6 장 참고 문헌

1. 김종만, “오일을 이용한 액체금속 및 고온 액체의 차압측정장치 및 측정기술 개발”, KAERI/TR-1877/2001.
2. Richard S. Figliola, Donald E. Beasley, " Theory and Design for Mechanical Measurements, Third Edition", John Wiley & Sons, Inc, 2000.
3. Fluid Meters, " Theory and Applications, 6th ed.", ASME, New York, 1971.
4. Shercliff, J. A., " Theory of Electromagnetic Flow Measurement", Cambridge University Press, New York, 1962
5. Mattingly, G., " Fluid measurements : standards, calibrations and traceabilities", Proc. ASME/AIChE National Heat Conference, Philadelphia, PA, 1989.
6. "Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle and Venturi, ASME Standard MFC-3M-1985", ASME, New York, 1985.
7. Sweeney, R. J., " Measurement Techniques in Mechanical Engineering", Wiley, New York, 1953.
8. Streeter, V. L., and Wylie, E. B., " Fluid Mechanics, 7th ed.", McGraw-Hill, New York, 1979.
9. Doebelin, E. O., " Measurement Systems : Application and Design, 2d ed.", McGraw-Hill, New York, 1975.
10. Goldstein, R. J., ed., " Fluid Mechanics Measurements ", Hemisphere, New York, 1983.

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관 보고서번호	표준 보고서번호	INIS주제 코드
KAERI/AR-662/2003			
제목/부제	배관 유동장에서의 유량 및 압력 측정 방법론에 대한 기술 현황 분석		
연구책임자 및 부서명 (AR, TR의 경우 주저자)	박 진 호		
연구자 및 부서명	이정환, 김봉수, 김종만, 최종현(유체공학연구부)		
발 행 지	대 전	발행기관	한국원자력연구소
발 행 일	2002. 12 .		
페 이 지	45 페이지	도표	유(0), 무()
크 기			26 Cm
참고사항			
비밀여부	공개(0), 대외비(1), _ _ _급비밀	보고서종류	기술현황보고서
연구위탁기관		계약번호	
초록(300단어 내외)	<p>액체금속 냉각재는 열전달 특성이 좋고, 금속 재료와 공존성이 좋으며, 비등점이 높아 원자로의 운전 온도에서도 대기압에서 액체 상태로 유지할 수 있고, 화합물과같이 분해되지 않기 때문에 열적 성질이 급변하는 일이 없으며, 핵적으로 중성자의 흡수가 적기 때문에 현재 대체 냉각재로 검토되고 있다. 본 보고서에서는 현재까지 사용되고 있는 국내·외의 유량 및 압력 측정 기법 및 장치 현황을 조사하여, 기존의 개념들을 바탕으로 액체금속로 냉각재 유동장에서 사용할 수 있는 유량 및 압력 측정 장치 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.</p>		
주제명 키워드(10단어 내외)	압력 측정, 유량 측정, 액체금속, 소듐		

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/AR-662/2003			
Title/Subtitle	The state-of-the-art report for flow and pressure measurement techniques in the piping system		
Project Manager and Dept.	Jin-Ho Park		
Researcher and Dept.	Jeong-Han Lee, Bong-Soo Kim, Jong-Man Kim, Jong-Hyun Choi(Fluid Engineering Department)		
Pub. Place	Daejeon	Pub. Org.	KAERI
Page	45 P.	Ill. and Tab.	Yes(0), No()
Note			
Classified	Open(0), Outside(), _ _Class	Report Type	AR
Sponsoring Org.			Contract No.
Abstract(About 300 words)	<p>The Sodium is widely used as one of the coolants in the liquid metal reactor system since it has important safety features such as a long thermal response time, a large margin to coolant boiling, and operating in near atmospheric pressure, etc. The state-of-the-art on the flow & pressure measurement techniques in the piping system worldwide is investigated and reviewed to utilize it as a basis for developing a new technique applying for the high temperature sodium flow environment.</p>		
Subject Keywords (About 10 words)	<p style="text-align: center;">Pressure measurement, Flow measurement, Liquid metal, Sodium</p>		