

Chapter 19. Continuous Pressure Measurement

Contents

1 Chapter 19 전체 흐름	3
2 용어 정리	3
2.1 Pressure	3
2.2 Manometer	3
2.2.1 Gauge Pressure	4
2.2.2 Differential Pressure	4
2.2.3 Absolute Pressure	4
2.2.4 Well-type Manometer	4
2.2.5 Inclined Manometer	4
2.3 Mechanical Pressure Elements	5
2.4 Electrical Pressure Elements	5
2.4.1 Piezoresistive / Strain-gauge Sensor	5
2.4.2 Differential Capacitance Sensor	6
2.4.3 Isolating Diaphragm과 Fill Fluid	6
2.5 Resonant Element Sensor	7
2.6 Force-Balance Pressure Transmitter	8
2.6.1 Force Balance를 어떻게 검출하는가?	8
2.6.2 Pneumatic Force-Balance	8
2.6.3 Electronic Force-Balance	9
2.6.4 Force-Balance의 장점	9
2.6.5 Force-Balance의 단점	9
2.7 Differential Pressure Transmitter	9
2.8 Inferential Measurement	10
2.8.1 Liquid Level	10
2.8.2 Fluid Flow	10
3 Pressure Sensor Accessories	11
3.1 Valve Manifold	11

3.1.1	Normal Operation	12
3.1.2	Normal → Removed from Service	12
3.1.3	Removed from Service → Normal	13
3.1.4	Manifold 조작 순서 기억	14
3.2	Bleed / Vent Fitting	15
3.2.1	Zero-Energy State	15
3.2.2	Bleed Fitting의 설치 위치	15
3.2.3	Stinger	15
3.2.4	DP Transmitter Pressure Test 상태	16
3.3	Pressure Pulsation Damping	16
3.4	Isolating Diaphragm / Process Isolation	17
4	용어 간 관계	17
4.1	압력을 무엇으로 바꾸는가?	18
4.2	직접 측정에서 간접 측정으로	18
4.3	Sensor에서 Measurement System으로	18
5	기억을 위한 스토리	19
5.1	Step 1. 압력을 가장 단순하게 측정한다	19
5.2	Step 2. 액주 대신 기계 구조물을 사용한다	19
5.3	Step 3. 기계적 변화를 전기신호로 바꾼다	19
5.4	Step 4. Sensor가 많이 움직이지 않게 한다	20
5.5	Step 5. 두 지점의 압력차를 측정한다	20
5.6	Step 6. 실제 현장에 설치한다	20
5.7	Step 7. 유지보수를 위해 안전하게 분리한다	21
6	Chapter 19 핵심 기억 문장	21
7	최종 암기 구조	22

1 Chapter 19 전체 흐름

Chapter 19의 중심 질문은 다음과 같다.

공정의 압력을 어떻게 감지하고, 측정 가능한 물리량으로 변환하며, 전기 또는 공압 신호로 전달하고, 실제 현장에서 정확하게 측정할 것인가?

전체 흐름은 다음과 같다.

Pressure → Liquid Height / Mechanical Force → Electrical Quantity → Pressure Transmitter → Differential Pressure → Inferential Measurement → Field Accessories

즉, 압력의 기본 측정에서 시작하여 센서 원리, transmitter, 차압 측정, 간접측정, 실제 설치와 유지보수 문제로 확장된다.

2 용어 정리

2.1 Pressure

압력은 단위 면적에 작용하는 힘이다.

$$P = \frac{F}{A}$$

따라서 일정한 면적을 가진 sensing element에 압력이 작용하면 힘으로 변환할 수 있다.

$$F = PA$$

압력은 그 자체로 중요한 process variable이지만, 다른 공정변수를 간접적으로 측정하는 데도 사용한다. 대표적인 관계는 다음과 같다.

$$P = \rho gh$$

$$Q \propto \sqrt{\Delta P}$$

따라서 압력을 이용하여 liquid level 또는 fluid flow를 추정할 수 있다.

2.2 Manometer

Manometer는 압력을 액주의 높이로 변환하여 측정한다.

$$P = \rho gh$$

Pressure → Liquid Column Height

2.2.1 Gauge Pressure

한쪽 pressure port를 대기에 개방한다.

따라서 process pressure와 atmospheric pressure의 차이를 측정한다.

$$P_g = P_{\text{process}} - P_{\text{atm}}$$

즉,

$$\text{Gauge Pressure} = \text{Atmospheric Pressure 기준}$$

이다.

2.2.2 Differential Pressure

두 pressure port를 모두 사용한다.

$$\Delta P = P_H - P_L$$

따라서 두 지점의 압력차를 직접 측정한다.

2.2.3 Absolute Pressure

한쪽 pressure port를 밀폐된 vacuum chamber에 연결한다.

따라서 process pressure를 vacuum과 비교한다.

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{process}} - P_{\text{vacuum}}$$

이 원리를 이용한 대표적인 장치가 mercury barometer이다.

$$\text{Absolute Pressure} = \text{Vacuum 기준}$$

2.2.4 Well-type Manometer

Well의 단면적을 투명한 manometer tube보다 매우 크게 만든다.

따라서 well 내부 액면의 높이 변화는 매우 작다.

그 결과 두 액주의 높이차를 모두 읽지 않고 한쪽 액주의 높이만 읽을 수 있다.

$$\text{Single-point Reading}$$

Well의 액면 변화가 무시할 수 없을 경우에는 scale division을 보정하여 오차를 보상한다.

2.2.5 Inclined Manometer

Manometer tube를 기울이면 동일한 수직 높이 변화에 대해 액체가 tube를 따라 더 긴 거리를 이동한다.

따라서 작은 압력 변화가 더 큰 길이 변화로 나타난다.

Inclination $\rightarrow$ Travel Distance 증가 $\rightarrow$ Sensitivity 증가

2.3 Mechanical Pressure Elements

압력을 기계적 힘 또는 변형으로 바꾸어 측정한다.

대표적인 element는 다음과 같다.

- Bourdon tube
- Diaphragm
- Bellows

기본 관계는

$$F = PA$$

이다.

따라서

Pressure $\rightarrow$ Force $\rightarrow$ Mechanical Deformation

으로 이해할 수 있다.

Mechanical pressure element는 오랫동안 산업현장에서 사용된 견고하고 검증된 측정 방식이다.

2.4 Electrical Pressure Elements

압력에 의해 발생한 기계적 변화를 전기적으로 측정 가능한 값으로 변환한다.

Chapter 19에서는 대표적으로 다음 방식을 다룬다.

Sensor	압력이 변화시키는 것	최종 측정량
Piezoresistive / Strain Gauge	Mechanical strain	Resistance R
Differential Capacitance	Diaphragm position	Capacitance C
Resonant Element	Tension / Mechanical state	Resonant frequency f

따라서 다음과 같이 기억한다.

Pressure $\rightarrow R, C, f$

2.4.1 Piezoresistive / Strain-gauge Sensor

압력이 diaphragm 등에 작용하면 기계적 strain이 발생한다.

이 strain에 의해 sensor의 electrical resistance가 변화한다.

Pressure → Mechanical Strain → Resistance Change → Electrical Signal

금속 또는 semiconductor 재료를 사용할 수 있다.

Semiconductor는 작은 변형에도 상대적으로 큰 저항 변화를 얻을 수 있다.

2.4.2 Differential Capacitance Sensor

두 압력의 차이가 sensing diaphragm에 힘을 가한다.

$$F = (P_H - P_L)A$$

Diaphragm이 한쪽으로 이동하면 양쪽 capacitance가 서로 반대 방향으로 변한다.

Capacitance의 기본 관계는

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

이다.

따라서

$$d_1 \downarrow \Rightarrow C_1 \uparrow$$

$$d_2 \uparrow \Rightarrow C_2 \downarrow$$

이다.

센서 회로는 high-frequency AC excitation을 이용하여 두 capacitance의 차이를 검출한다.

그 차이를 DC signal로 변환하여 최종 pressure signal을 만든다.

2.4.3 Isolating Diaphragm과 Fill Fluid

Process fluid의 압력이 sensing diaphragm에 직접 전달되지 않고 다음 경로를 통해 전달될 수 있다.

Process Pressure → Isolating Diaphragm → Fill Fluid → Sensing Diaphragm

이 구조의 중요한 목적은 **측정 기능과 과압 보호 기능을 분리하는 것**이다.

- Sensing diaphragm: capacitance 측정
- Isolating diaphragm: process pressure 전달
- Fill fluid: diaphragm 사이 압력 전달
- Solid frame: isolating diaphragm의 과도한 이동 제한

Capacitance sensing diaphragm은 정상 측정을 위해 conductive frame과 접촉하지 않아야 한다.

그러나 overpressure protection을 위해서는 diaphragm의 이동을 제한할 solid backstop이 필요하다.

따라서 하나의 diaphragm에 두 기능을 모두 부여하지 않고 기능을 분리한다.

과압이 발생하면 isolating diaphragm이 solid frame에 밀착되어 더 이상 움직이지 않는다.
그 결과 추가 process pressure가 가해져도 sensing diaphragm에 과도한 힘을 전달하지 않는다.

Measurement $\neq$ Overpressure Protection

두 기능을 서로 다른 diaphragm이 담당한다.

2.5 Resonant Element Sensor

줄이나 resonant element의 장력이 증가하면 natural frequency가 증가한다.

줄의 기본 공진주파수는

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

이다.

여기서

- f : fundamental resonant frequency
- L : string length
- F_T : string tension
- μ : unit mass

이다.

압력이 diaphragm 또는 bellows에 작용하면 힘이 발생하고, 이 힘이 resonant element의 tension을 변화시킨다.

Pressure $\rightarrow$ Force $\rightarrow$ Tension $\rightarrow$ Resonant Frequency

Oscillator circuit은 resonant element를 계속 진동시키고, detector는 그 resonant frequency를 측정한다.

중요한 점은

$$f \propto \sqrt{F_T}$$

이므로 force와 frequency 관계가 선형이 아니라는 것이다.

따라서 transmitter 내부에서 electronic characterizing function을 이용하여 측정값을 linearize해야 한다.

Frequency Measurement $\rightarrow$ Linearization $\rightarrow$ Pressure

2.6 Force-Balance Pressure Transmitter

Force-balance 방식은 process pressure가 만든 힘을 다른 조절 가능한 힘으로 상쇄한다.
기본 원리는 self-balancing system이다.

$$F_{\text{sensed}} = F_{\text{balance}}$$

압력이 sensing diaphragm에 작용하면

$$F_{\text{sensed}} = \Delta P A$$

의 힘이 발생한다.

이 힘 때문에 force bar가 기준 위치에서 벗어나면 반대 방향의 balancing force를 증가시킨다.
균형이 회복되는 순간

$$F_{\text{sensed}} = F_{\text{balance}}$$

가 된다.

균형을 만들기 위해 필요한 balancing quantity가 process pressure를 나타낸다.

2.6.1 Force Balance를 어떻게 검출하는가?

Force를 직접 비교하는 것이 아니다.

두 힘이 다르면 force bar가 기준 위치에서 약간 움직인다.

따라서 시스템은

Force 자체가 아니라 Position Error를 검출한다

고 이해하면 된다.

Position error가 0으로 돌아오면 두 force가 balance되었다고 판단한다.

2.6.2 Pneumatic Force-Balance

Pneumatic transmitter에서는 baffle-nozzle이 force bar의 미세한 위치 변화를 검출한다.

Force Bar Displacement → Baffle-Nozzle → Relay → Bellows Pressure → Counter Force

Baffle-nozzle은 절대 위치를 측정하는 별도의 위치센서라기보다

Balance Position에서 벗어났는가?

를 감지하는 null detector 역할을 한다.

균형 상태에서 bellows의 pneumatic pressure가 process pressure의 선형적인 표현이 된다.

2.6.3 Electronic Force-Balance

전자식에서는 balance sensor가 force bar의 위치 편차를 검출한다.

Force Bar → Balance Sensor → Amplifier → Force Coil → Counter Force

Force coil이 발생시키는 힘은 전류와 관련된다.

$$F_{\text{balance}} \propto I$$

따라서 equilibrium에서 force coil에 흐르는 current가 pressure를 나타낸다.

2.6.4 Force-Balance의 장점

- 높은 선형성
- Sensing element의 motion이 매우 작음
- Spring characteristic 변화의 영향이 작음
- Metal fatigue에 의한 측정오차의 영향을 줄일 수 있음

Force-balance 방식에서는 diaphragm의 spring force로 balance시키는 것이 아니라 외부의 pneumatic pressure 또는 electric force로 balance한다.

2.6.5 Force-Balance의 단점

- 구조가 크고 복잡함
- External vibration에 민감함
- Vibration이 inertial force가 되어 output noise 발생
- Electronic force-balance는 balancing force 생성에 비교적 큰 power 필요
- Intrinsic safety 구현에 불리할 수 있음

2.7 Differential Pressure Transmitter

DP transmitter는 두 압력의 차이를 측정한다.

$$\Delta P = P_H - P_L$$

- H: High-pressure side
- L: Low-pressure side

핵심은 양쪽에 공통으로 존재하는 pressure보다 두 pressure의 차이에 반응하는 것이다.

전기회로의 differential amplifier와 유사하게 생각할 수 있다.

$$V_{\text{out}} = A(V_1 - V_2)$$

즉,

Common Component보다 Difference를 측정

하는 구조이다.

2.8 Inferential Measurement

Pressure 또는 differential pressure를 직접 측정한 뒤 물리적 관계식을 이용하여 다른 process variable을 계산할 수 있다.

이를 inferential measurement라고 한다.

2.8.1 Liquid Level

정수압 관계는

$$P = \rho gh$$

이다.

따라서 density가 알려져 있으면

$$h = \frac{P}{\rho g}$$

로 liquid level을 계산할 수 있다.

Pressure → Liquid Level

2.8.2 Fluid Flow

Differential-pressure flow element에서는

$$Q \propto \sqrt{\Delta P}$$

관계를 이용한다.

따라서

Differential Pressure → Fluid Flow

로 변환할 수 있다.

결국

Pressure → Differential Pressure → Inferential Measurement

로 측정 범위가 확장된다.

3 Pressure Sensor Accessories

실제 산업현장에서는 pressure transmitter 자체만 정확하다고 해서 전체 측정이 정확한 것은 아니다. 다음과 같은 현장 문제가 존재한다.

- Pulsation
- Residual pressure
- Trapped gas
- Condensed liquid
- High temperature
- Corrosion
- Plugging
- Vibration
- Freezing

따라서 pressure accessories의 목적은

Pressure Sensor가 정상적으로 측정할 수 있는 환경을 만드는 것

이다.

3.1 Valve Manifold

DP transmitter의 H와 L pressure port를 process impulse line에 연결하고, transmitter를 process에서 격리하며, H와 L pressure를 equalize하기 위해 사용한다.

Standard 3-valve manifold는 다음 세 valve로 구성된다.

- High-side block valve
- Low-side block valve
- Equalizing valve

중요한 점은 **standard 3-valve manifold 자체에는 bleed valve가 포함되지 않는다는 것**이다.

H와 L bleed fitting은 transmitter flange에 별도로 설치될 수 있다.

따라서 여기에서는 다음 5개의 조작 대상을 구분한다.

1. High-side block valve
2. Low-side block valve
3. Equalizing valve
4. High-side bleed fitting
5. Low-side bleed fitting

3.1.1 Normal Operation

정상 운전 상태는 다음과 같다.

Valve / Fitting	상태
High-side block	Open
Low-side block	Open
Equalizing	Closed
High-side bleed	Closed
Low-side bleed	Closed

따라서 H와 L의 pressure가 각각 transmitter에 전달된다.

$$\Delta P = P_H - P_L$$

3.1.2 Normal → Removed from Service

정상 운전 중인 DP transmitter를 process에서 안전하게 분리할 때의 순서는 다음과 같다.

Step 1. High-side block valve Close

$$H : Open \rightarrow Closed$$

H측 process pressure를 차단한다.

Step 2. Equalizing valve Open

$$E : Closed \rightarrow Open$$

H와 L chamber를 연결하여 transmitter 양단의 differential pressure를 제거한다.

$$P_H \approx P_L$$

따라서

$$\Delta P \approx 0$$

이 된다.

Step 3. Low-side block valve Close

$$L : Open \rightarrow Closed$$

이제 H측과 L측 모두 process로부터 격리된다.

Step 4. High / Low Bleed Open

$$B_H : Closed \rightarrow Open$$

$$B_L : Closed \rightarrow Open$$

내부에 남아 있는 pressure를 배출한다.

최종 Removed 상태는 다음과 같다.

Valve / Fitting	상태
High-side block	Closed
Low-side block	Closed
Equalizing	Open
High-side bleed	Open
Low-side bleed	Open

따라서 순서는

$$H_C \rightarrow E_O \rightarrow L_C \rightarrow B_O$$

이다.

여기서

- C : Close
- O : Open
- B : High/Low Bleed

이다.

3.1.3 Removed from Service $\rightarrow$ Normal

정상 운전 복귀는 위 과정의 역순이다.

Step 1. High / Low Bleed Close

$$B_H : Open \rightarrow Closed$$

$$B_L : Open \rightarrow Closed$$

대기로 열린 경로를 먼저 차단한다.

Step 2. Low-side block valve Open

$$L : Closed \rightarrow Open$$

L측 process pressure를 transmitter에 전달한다.

Equalizing valve는 아직 열려 있기 때문에 H와 L chamber에 큰 differential pressure가 발생하지 않는다.

Step 3. Equalizing valve Close

$$E : Open \rightarrow Closed$$

H와 L chamber를 서로 분리한다.

Step 4. High-side block valve Open

$$H : Closed \rightarrow Open$$

H측 pressure가 transmitter에 전달되면서 정상적인 differential pressure 측정을 시작한다.

최종 Normal 상태는 다음과 같다.

Valve / Fitting	상태
High-side block	Open
Low-side block	Open
Equalizing	Closed
High-side bleed	Closed
Low-side bleed	Closed

따라서 복귀 순서는

$$B_C \rightarrow L_O \rightarrow E_C \rightarrow H_O$$

이다.

3.1.4 Manifold 조작 순서 기억

전환	조작 순서
Normal → Removed	H Close → Equalize Open → L Close → H/L Bleed Open
Removed → Normal	H/L Bleed Close → L Open → Equalize Close → H Open

최종 상태만 외우지 말고 조작 순서까지 기억해야 한다.

$$\text{Normal} \rightarrow H_C \rightarrow E_O \rightarrow L_C \rightarrow B_O \rightarrow \text{Removed}$$

$$\text{Removed} \rightarrow B_C \rightarrow L_O \rightarrow E_C \rightarrow H_O \rightarrow \text{Normal}$$

3.2 Bleed / Vent Fitting

Bleed fitting은 transmitter 또는 pressure chamber 내부의 압력을 대기로 방출하기 위해 사용한다. 주요 목적은 다음과 같다.

1. 유지보수 전 residual pressure 제거
2. Zero-energy state 형성
3. Liquid process 내부의 trapped gas 제거
4. Gas process 내부의 condensed liquid 제거
5. Test pressure connection 제공

3.2.1 Zero-Energy State

Live service 중인 pressure transmitter를 제거하기 전에 내부에 축적된 fluid pressure를 atmosphere로 vent해야 한다.

즉,

$\text{Isolation} + \text{Bleeding} \rightarrow \text{Zero-Energy State}$

이다.

3.2.2 Bleed Fitting의 설치 위치

Liquid process에서 air bubble을 제거하려면 기체가 위쪽에 모이므로 bleed fitting을 위쪽에 설치하는 것이 유리하다.

$\text{LiquidProcess} \rightarrow \text{GasVent} \rightarrow \text{UpperPosition}$

Gas process에서 condensed liquid를 제거하려면 액체가 아래쪽에 모이므로 bleed fitting을 아래쪽에 설치하는 것이 유리하다.

$\text{GasProcess} \rightarrow \text{LiquidDrain} \rightarrow \text{LowerPosition}$

3.2.3 Stinger

Bleed plug를 완전히 제거하면 bleed port를 시험압력 연결용 port로 사용할 수 있다.

이때 사용하는

- Bleed port adapter
- DP transmitter calibration fitting

을 현장에서 흔히 **stinger**라고 한다.

Stinger를 사용하면 manifold bolt, impulse tube fitting 등을 분해하지 않고 test pressure를 transmitter에 가할 수 있다.

$\text{Hand Pump} \rightarrow \text{Test Gauge} \rightarrow \text{Stinger} \rightarrow \text{DP Transmitter}$

3.2.4 DP Transmitter Pressure Test 상태

Pressure test 상태에서는 process와 transmitter를 격리한다.

Block valve 상태는

$$H = \text{Closed}$$

$$L = \text{Closed}$$

이다.

Differential pressure를 형성해야 하므로

$$\text{Equalizing} = \text{Closed}$$

이다.

H와 L bleed port는 시험 연결 및 vent를 위해 open 상태로 둔다.

Valve / Fitting	Under Test
High-side block	Closed
Low-side block	Closed
Equalizing	Closed
High-side bleed	Open
Low-side bleed	Open

H측에는 hand pump와 test gauge를 연결한다.

L측은 vent되어 reference pressure를 형성한다.

Equalizing valve를 열어 두면

$$P_H = P_L$$

가 되어

$$\Delta P = 0$$

이므로 DP pressure test를 수행할 수 없다.

3.3 Pressure Pulsation Damping

Pump, compressor 등에서는 pressure가 짧은 주기로 반복 변동할 수 있다.

이를 pressure pulsation이라고 한다.

Pulsation은 다음 문제를 발생시킨다.

- Gauge pointer vibration

- Measurement fluctuation
- Mechanical sensing element fatigue
- Instrument life 감소

Snubber 또는 damper는 유체의 이동에 restriction을 주어 빠른 pressure 변화가 instrument까지 그대로 전달되지 않게 한다.

Rapid Pressure Pulsation → Restriction → Smoothed Pressure

Signal 관점에서는

Low-Pass Filter와 유사

하게 이해할 수 있다.

단, damping이 지나치게 크면 실제 process pressure 변화까지 느리게 전달된다.
따라서

Pulsation Reduction ↔ Response Speed

사이에 trade-off가 있다.

3.4 Isolating Diaphragm / Process Isolation

오염성 또는 부식성 process fluid가 pressure sensor 내부에 직접 접촉하는 것을 피해야 할 수 있다.
이 경우 isolating diaphragm과 fill fluid를 이용하여 pressure만 전달하고 process fluid는 격리할 수 있다.

Process Fluid → Isolating Diaphragm → Fill Fluid → Pressure Sensor

즉,

Process Fluid는 차단 Pressure는 전달

하는 구조이다.

4 용어 간 관계

Chapter 19는 개별 sensor를 따로 암기하는 것보다 변환 관계를 중심으로 이해하는 것이 중요하다.

4.1 압력을 무엇으로 바꾸는가?

장치	변환 관계
Manometer	Pressure $\rightarrow$ Liquid Height
Mechanical Element	Pressure $\rightarrow$ Force / Displacement
Strain Gauge	Pressure $\rightarrow$ Strain $\rightarrow$ Resistance
Capacitance Sensor	Pressure $\rightarrow$ Diaphragm Position $\rightarrow$ Capacitance
Resonant Sensor	Pressure $\rightarrow$ Force $\rightarrow$ Frequency
Force Balance	Pressure $\rightarrow$ Force $\rightarrow$ Counter Force
DP Transmitter	$P_H, P_L \rightarrow \Delta P$

4.2 직접 측정에서 간접 측정으로

처음에는 pressure 자체를 측정한다.

$$P$$

다음 단계에서는 두 pressure의 차이를 측정한다.

$$\Delta P = P_H - P_L$$

마지막으로 물리 관계식을 이용한다.

$$\Delta P \rightarrow Level, Flow$$

따라서

$$Pressure \rightarrow Differential Pressure \rightarrow Inferential Measurement$$

이라는 흐름으로 발전한다.

4.3 Sensor에서 Measurement System으로

정확한 pressure measurement는 sensor 단독의 문제가 아니다.

$$Sensor + Process Connection + Accessories + Operating Procedure = Reliable Measurement$$

이다.

각 accessory의 역할은 다음과 같다.

장치	역할
Manifold	Process 연결, isolation, equalization
Bleed / Vent	Residual pressure 및 trapped fluid 제거
Stinger	Field test pressure 연결
Damper / Snubber	Pressure pulsation 완화
Isolating Diaphragm	Process fluid와 sensing element 격리

5 기억을 위한 스토리

5.1 Step 1. 압력을 가장 단순하게 측정한다

Tank에 pressure가 존재한다.

가장 단순한 방법은 액주를 연결하는 것이다.

$$P = \rho gh$$

Pressure가 커지면 liquid height가 변한다.

이것이 manometer이다.

여기서 gauge, differential, absolute pressure의 기준 차이를 이해한다.

5.2 Step 2. 액주 대신 기계 구조물을 사용한다

산업현장에서 액주를 항상 사용할 수는 없다.

따라서

- Bourdon tube
- Diaphragm
- Bellows

등을 사용한다.

$$P \rightarrow F \rightarrow \text{Mechanical Deformation}$$

으로 변환한다.

5.3 Step 3. 기계적 변화를 전기신호로 바꾼다

Control room까지 측정값을 전달하기 위해 electrical sensor가 필요하다.

$$\text{Strain} \rightarrow R$$

$$\text{Diaphragm Position} \rightarrow C$$

$$\text{Tension} \rightarrow f$$

즉, 하나의 pressure를 서로 다른 electrical quantity로 변환할 수 있다.

5.4 Step 4. Sensor가 많이 움직이지 않게 한다

Mechanical displacement가 많으면 spring characteristic 또는 fatigue가 측정에 영향을 줄 수 있다. 따라서 pressure가 만든 힘을 반대 힘으로 즉시 상쇄한다.

$$F_{\text{sensed}} = F_{\text{balance}}$$

Force bar의 position error가 0이 되면 balance가 이루어진 것이다.

이때 필요한

- Pneumatic pressure
- Electric current

가 pressure의 크기를 나타낸다.

이것이 force-balance transmitter이다.

5.5 Step 5. 두 지점의 압력차를 측정한다

공정에서는 단일 pressure보다 두 지점의 압력차가 필요한 경우가 많다.

$$\Delta P = P_H - P_L$$

DP transmitter로 차압을 측정한다.

그 후 물리 관계식을 이용한다.

$$P = \rho gh \Rightarrow h = \frac{P}{\rho g}$$

$$Q \propto \sqrt{\Delta P}$$

따라서 pressure measurement가 level과 flow measurement로 확장된다.

5.6 Step 6. 실제 현장에 설치한다

실제 process에는

- Pulsation
- Vibration
- Trapped gas
- Condensed liquid

- Residual pressure
- Corrosive fluid
- Contamination

이 존재한다.

따라서 transmitter만 설치해서는 충분하지 않다.

Process → Manifold / Bleed / Damper / Isolation → Pressure Transmitter → Signal → Control System

5.7 Step 7. 유지보수를 위해 안전하게 분리한다

DP transmitter를 분리할 때는 단순히 두 block valve를 동시에 닫는 것으로 끝나지 않는다.

정확한 순서는

$H_C \rightarrow E_O \rightarrow L_C \rightarrow B_O$

이다.

정상 복귀는 역순이다.

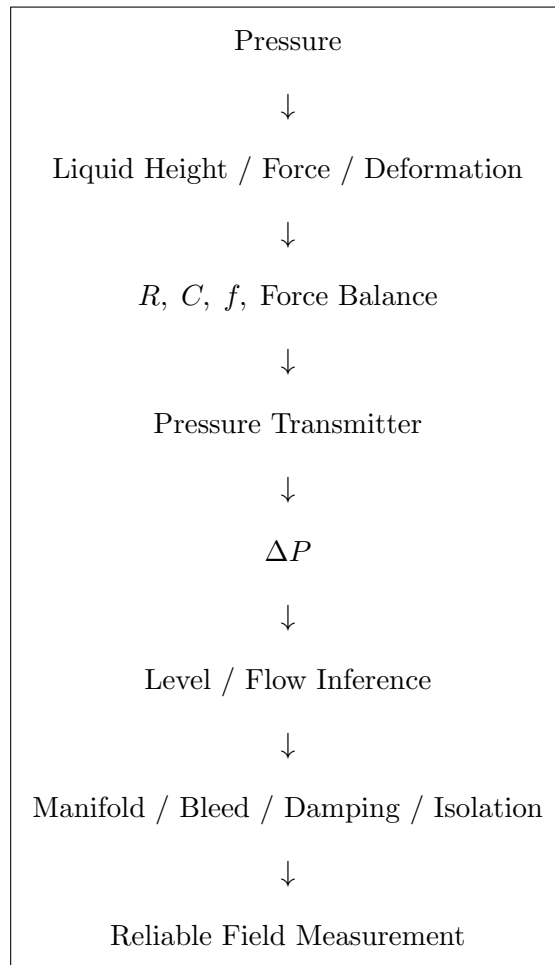
$B_C \rightarrow L_O \rightarrow E_C \rightarrow H_O$

이 순서를 통해 transmitter를 process로부터 격리하고, differential pressure와 residual pressure를 제거한다.

6 Chapter 19 핵심 기억 문장

1. Pressure는 힘과 변형을 만들고, sensor는 이를 R , C , f 또는 balancing force로 변환한다.
2. DP transmitter는 $P_H - P_L$ 를 측정하며, 차압을 이용하여 level과 flow 등을 간접 측정할 수 있다.
3. Force-balance는 힘 자체를 직접 측정하는 것이 아니라, 불균형으로 발생한 position error를 0으로 만드는 데 필요한 counter-force를 측정한다.
4. 정확한 pressure measurement는 transmitter만의 문제가 아니라, manifold, bleed, damping, isolation과 올바른 valve operating sequence를 포함한 전체 시스템의 문제이다.

7 최종 압기 구조



Chapter 19 전체를 한 문장으로 정리하면 다음과 같다.

압력을 액주, 기계적 변형, 저항, 정전용량, 공진주파수 또는 force balance로 측정하고, 차압을 이용하여 다른 공정변수까지 추정하며, 현장에서는 manifold와 각종 accessory를 이용하여 안전하고 신뢰성 있는 pressure measurement system을 구성한다.