

12. 진동

한 개의 점이 시간의 경과와 함께 또는 특정상태를 반복하는 것을 진동이라한다.

12.1 진동의 정의

(1)조화진동(단현진동)

변위 x 가 시간 t 에 대한 정현 또는 여현 관계의 상태로 변화하는 것이므로 다음식으로 나타내어진다.

$$x = A_m \cos(\omega t + \phi)$$

$$x = A_m \sin(\omega t + \phi)$$

A_m : 진동 (변위최대치)

ω : 각속도

ϕ : 초기위상

변위 x 가 $2\pi/\omega$ 에 대해서 동일한 상태로 되돌아가므로 주기 $T = 2\pi/\omega$ (S)가 된다.

(2)진폭(변위)

진폭 A_m 은 변위의 최대치를 표시한다. 진폭의 크기는 $2A_m$ 이고, 이 것을 전진폭(혹은 “peak to peak”)이라 한다. 전진폭에 대하여 A_m 은 편진폭을 말하며, 단위는 $\mu m = 1/1000m$ 로 표시한다.

(3)진동속도 (V)

단위시간당 변화량을 표시한다. 단위는 cm/s혹은 mm/s로 표시한다.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{d}{dt} \{A_m \sin(\omega t + \phi)\} \\ &= A_m \cdot \omega \cos(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

진동속도의 최대치(피크치) V 는, $V = A_m \cdot \omega$ 이다.

(4)진동가속도

단위시간당 속도변화량 표시

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= \frac{d}{dt} \{A_m \cdot \omega \cos(\omega t + \phi)\} \\ &= -A_m \cdot \omega^2 \sin(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

진동가속도의 최대치 (피크치) A 는, $A = A_m \cdot \omega^2$ 이다. 진폭, 진동속도, 진동가속도의 관계는 진폭이 최대일 때 진동속도는 0이다.(그림12·1)또한 진폭이 주파수와 관련 일정하면 진동속도는 주파수에 비례하여 증가하고, 진동가속도는 주파수의 2승에 비례하여 증가한다.

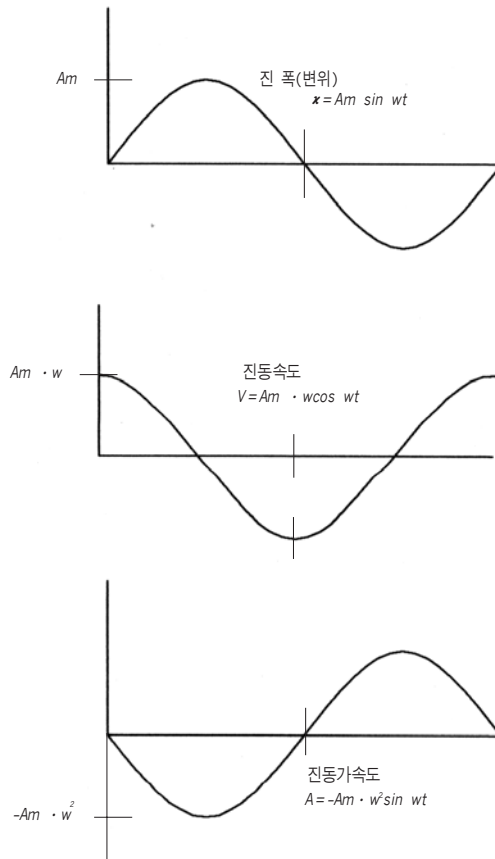


그림 12·1 진폭 · 속도 · 진동가속도의 관계

(5) 진동가속도 레벨 (VAL)

진동가속도의 크기를 나타내며, 다음과 같이 표시한다.

$$VAL = 20 \log_{10} A_{rms} / A_0 \text{ (dB)}$$

A_{rms} : 진동가속도의 실효치

$$A_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} A_m \omega^2 \text{ (단진동의 경우)}$$

A_0 : 기준진동가속도(10-5%)

(6) 진동레벨 V_L (dB)

진동가속도 레벨에 인간의 감각보정을 더한것이다.

$$V_L = VAL + \Delta$$

Δ : 감각보정량

진동레벨의 주파수 범위는 1~90Hz이고 진동규제법에 규제되는 공해진동레벨은 지면에 수직인 방향의 진동레벨을 말한다.

12.2 펌프의 진동원인 추정 방법 및 대책

진동의 발생원은 하기와 같은 여러가지가 있으나, 주기성이 있는 진동에 관해서는, 설계 단계에서 건축·토목 구조물이나 기기의 고유 진동수와 공진하지 않도록 고려해 둘 필요가 있다. 입축 사류 펌프등에서 마루 아래치수가 긴 것은, 바닥 아래 부분의 고유 진동수에서도 충분히 주의하고, 공진하지 않도록 한다.

1) 펌프에 의한 진동

① 회전체의 부조합

펌프만이 아니라 감속기나 유체이음등 회전체는, 부조합에 의한 진동을 필히 동반한다.

② 압력맥동

펌프의 회전수: N , 배인매수: Z 라 하면, ZN 의 주파수로 압력 맥동 발생이 그것에 의해 진동한다.

이 경우에 펌프 자체는 물론, 그것에 연결된 배관에서도 공진하는 경우가 있고, 특히 강관으로 배관하는 경우에는 주의를 요한다.

2) 디젤기관에 의한 진동

① 주로 하기의 주파수의 진동이 발생하나, 대형 펌프 구동용으로 사용하는 중저속의 기관에서는 $1/2$ 차와 1 차가 마루와 공진할 가능성이 높다.

$1/2$ 차 ($N/2/60$ Hz)

1 차 ($N/60$ Hz)

3 차 ($3N/60$ Hz): 6기관

4 차 ($4N/60$ Hz): 8기관

여기서 N 은 기관 회전수 (min^{-1})

바닥이 상기 주파수에서 공진하지 않도록 설계하나, 수천 PS의 대형기관을 사용하는 경우에는 기관의 바로 아래에 토목구조의 기초까지 연속한 벽이나 기둥을 배치, 강성을 높여야 한다.

또, 중소형의 경우에는 방진 마루 반상에 기관을 설치해 바닥에 대한 진동을 경감하고, 또 공진 주파수를 변화시키는 방식을 채용하는 것도 유효하다.

12.2.1 진동수가 회전수와 일치하는 경우

이 경우 주된 원인은 직결 불완전, 설치부연락, 회전체의 불평형, 공진현상, 축수불량을 들 수 있다.

(1) 직결불완전에 의한 진동(표 12·1)

(2) 설치부 연락에 의한 진동(표 12·2)

(3) 회전체의 불평형에 의한 진동(표 12·3)

(4) 공진현상(입축펌프에 발생)(표 12·4)

(5) 축수 불량에 의한 진동(표 12·5)

(6) 그외 원인에 의한 진동(표 12·6)

표12·1 직결불완전에 의한 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 직결불량 취부불량	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축이음부에서 축심 확인을 한다. 2. 건물이나 펌프의 기초 콘크리트 등에 균열이 없는지 조사한다. 3. 취부지반부 등 침하, 지진 충격등에 의한 불안이 없는지 조사한다. 	축심의 재조정
B. 정지시는 직결이 양호하지만, 운전하면 축심이 틀림	<ol style="list-style-type: none"> 1. 펌프 토출측에 신축이음 등이 있어 펌프를 운전하면 그곳이 크게 움직이는 것은 없는가? 2. 토출관을 지지하는 콘크리트에 틈이 생기지는 않는가? 3. 펌프를 운전하면 상반이 움직이지는 않는가? 4. 펌프를 운전하면 그랜드에서 다량의 물이 분출하지 않는가? 또는 반대로 공기를 흡입하지 않는가? 5. 펌프 정지직후에 축심 틀림은 없는가? (고온액의 경우) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축이음 구조 변경 2. 신축이음 등 움직이는 이음에 스테이 볼트 등을 달아 움직임이 펌프가 축에 영향을 주지 않도록 한다. 3. 주배관을 콘크리트로 돌려싸서 움직이지 않게 한다.
C. 플랜지형 플렉시블축이음 고무에서의 불균일 또는 고무에서의 과도한 접촉압력	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축이음 볼트의 고무 외경이 균일한지 조사한다. 2. 축이음 볼트 고무 부분이 너무 두꺼워서 축단수에 삽입이 어렵다. 3. 축이음의 볼트고무가 너무길어 축단수에 삽입후 너트를 잠그면 고무가 압축해서 그 삽입상태가 불완전하게 된다. 	축이음의 고무 치수가 적절한 것을 사용한다.

표12·2 취부부 연약에 의한 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 기초연약에 의한 공진	<ol style="list-style-type: none"> 1. 진폭은 축수 등 축주위보다 작지만, 기초상에 상당한 진동이 전해져 그것이 기둥이나, 들보부근에서 급격히 감소된다. 2. 기초에도 펌프 회전수와 일치한 주파수 진동이 있다. 3. 펌프를 정지하고 있어도 주위의 펌프류를 운전하면 정지하고 있는 펌프에 상당한 진동이 전해진다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기초보강 2. 펌프회전균형을 한층 더 좋게 한다.
B. 상반이 약하기 때문에 생기는 진동	<ol style="list-style-type: none"> 1. 진폭은 축수 등 축 주위보다 작지만 상반에 상당한 진동이 전해진다. 2. 상반 진동 주파수가 펌프의 회전속도와 일치한다. 3. 기초 진동은 많지 않다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상반보강 2. 상반 내부에 몰타르를 채운다. 3. 펌프회전 균형을 한층 더 좋게한다.
C. 기초볼트가 느슨해져 있다. 또, 기초볼트가 유효하게 고정하지 못한다.	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축수부 등의 축주위보다 작지만 상반에도 상당한 진동이 전해진다. 2. 기초볼트 부근의 기초 균열이 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기초볼트를 좀 더 조은다. 2. 기초콘크리트 보강 3. 기초볼트 추가

표12·3 회전체의 불균형에 의한 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 축의 굴곡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축이음 볼트 위치의 조합을 하나씩 비켜 놓으면 진폭치가 천천히 줄어가고, 장소에 따라 진동치가 큰 쪽으로 저하한다. 2. 고정축이음의 경우 이음 조합면에 얇은 라이너를 넣어 직결하면 진폭치가 변하며 삽입하는 장소에 따라, 진폭치가 큰 쪽으로 저하한다. 	1. 상기조작에 의해 진동의 가장 작은 상태를 찾아 이것이 허용치 이내이면 그 상태에서 고정한다.
B. 회전체 불균형 중량	<ol style="list-style-type: none"> 1. 진동이 취부당초에 발생한다. 또는 회전체 부품(주로 임펠러) 교환기에 발생했다. 2. 축이음 볼트 일부에 추를 달면 진폭치가 변해가고, 부착한 장소에 의한 진폭치가 큰 쪽으로 저하한다. (마모의 경우) 	회전체 균형의 재조정을 한다.
C. 주로 임펠러의 마모 또는 파손에 의한 불균형 발생	<ol style="list-style-type: none"> 1. 진동이 서서히 크게 된다.(마모) 또는 갑자기 크게 된다.(파손) 2. 상기 B2와 같은 모양의 현상이 발생한다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 임펠러 균형의 재조정(마모) 2. 임펠러의 교체 (파손)
D. 임펠러에 이물이 막힘에 의한 불균형 발생	<ol style="list-style-type: none"> 1. 펌프진동이 갑자기 크게 되는 경우, 또는 펌프내부에서 소음이 발생한다. 2. 토출한 압력이 저하하고, 호출한 수량이 감소한다. 3. 전류계, 전력계의 지침이 이상하게 흔들린다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상부케이싱 또는 맨홀에서 내부를 점검한다. 2. 이물을 제거하다. 3. 임펠러의 파손 여부를 조사한
E. 축수의 이상 마모에 의해 축 편심운동 (특히 입축수중 축수의 경우)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 윤활수가 청정한지 조사한다. 2. 윤활수량이 정상인지 조사한다. 3. 축이음 볼트를 빼어 연결을 끊고 전동기만을 운전할 때는 진동이 발생하지 않는다. 4. 펌프를 정지하는 도중에 상당히 회전수가 저하할때 진동이 발생한다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 펌프를 분해할때 축수를 교환한다. 2. 축수마모의 원인을 조사한다.

표12·4 공진 현상에 의한 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 펌프고정부(케이싱그, 상반 등을 포함한것)의 고유진동수와 회전수의 공진현상	<ol style="list-style-type: none"> 1. 타격법에 의해 고유진동수를 측정하면 그것이 회전수와 일치한다. 2. 전동기만을 운전해도 펌프쪽에 진동이 발생한다. 3. 전동기만을 운전하고 그것을 정지하는 경우 전원을 끄고 나서부터 조금 지났을 때 급격히 진동이 감소한다. 4. 기초볼트 또는 전동기 부착 볼트등을 조금 느슨하게 하면 진폭이 감소하는 경우가 많다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전동기대를 보강 또는 연약하게 하고 펌프고정부의 고유진동수를 변하게 한다. 2. 기초가 약한 경우는 기초를 보강한다. 3. 펌프와 기초와의 사이에 방진고무 등을 넣어 고유진동수를 변하게 한다. 4. 기초볼트나 전동기 부착 볼트등의 개수를 증가하고, 고유진동수를 증가시킨다.
B. 전동기 점검대 손잡이나 제자등의 공진현상	<ol style="list-style-type: none"> 1. 손잡이나 제자등을 제거하면 진동이 멈춘다. 2. 제자가 걸려있는 방향과 진동의 크기 등에서 방향성을 검토한다. 3. 손잡이가 움직이지 않도록 손잡이에 목편등을 설치하면 진동이 멈춘다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 손잡이와 전동기 점검대와의 사이에 흡진 고무판 등을 삽입한다. 2. 제자와 펌프와의 연결은 끊고, 제자만을 자립형으로 한다.
C. 회전수가 회전체의 위험속도에 가깝다.	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수중 축수가 부분적으로 이상마모한 경우에 발생 (일반적으로 이것을 피해서 설계하기 때문에 이런 사태는 거의 발생하지 않는다.) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수중축수를 교환한다. 2. 축을 두껍게 한다. 3. 회전체 균형을 좋게 한다. (회전수가 위험속도에 가까운 경우에는 균형을 취하는 것은 거의 효과가 나타나지 않는다.)

표12·5 축수 불량에 의한 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 축수 발청 등에 의한 손상발생	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축수내 기름 또는 그리스 상태가 변화하지 않았는지 조사한다. 2. 종래보다 운전시 발열이 많다. 3. 기름 또는 그리스 중에 찌꺼기, 스케일 등이 섞여 있다. 4. 축수부에 이상음이 발생한다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 축수교환 2. 기름 또는 그리스 교환 3. 물이나 찌꺼기 침입을 방지하는 구조물 채용

12. 진동

표12·6 그외 원인에 의한 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 원동기에서 전해지는 진동 때문에 펌프도 진동한다.	1. 원동기 진동이 펌프진동보다도 크다. 2. 원동기 축수온도가 비정상적으로 높다.	원동기 점검 · 보수
B. 펌프 축수내부의 섭동부 일부분에 닫는다. (축이다소 휘어져 있는 경우에 발생한다.)	1. 펌프를 손으로 돌리면 일회전에 한번씩 뻑뻑하게 된다. 2. 소형펌프에서는 전류계 지침이 이상하게 흔들린다.	축수내부를 점검하고 그 점 축부를 제거한다.
C. 라이너링과 임펠러 섭동부와 간극이 불균일	1. 섭동부가 2면이상 있는경우 일어나기 쉽다.	1. 섭동부 간극을 균일하게 한다. 2. 섭동부 구조를 일면으로 한다.

12.2.2 진동수가 회전수×R (R은 정수)과 일치되는 경우의 진동 (표 12·7)

표12·7 진동수가 회전수 정수배와 일치하는 경우의 진동

원 인	발견법 · 발생조건 · 특징 등	대 책
A. 압력맥동에 의한 진동	1. 송수관 또는 펌프케이싱이 ZN(Z와 바퀴개수 N은 회전수)의 주파수에서 진동한다. 2. 펌프케이싱의 허부와 임펠러 외경과의 간격이 비교적 작다. 3. 고속회전 펌프에서는 소음에 동반되는 일이 많다. 4. 안내깃 개수가 임펠러의 베인개수와 동수인지 또는 그 양자에 공약수가 있을 때 {후자의 경우는 Z' 시 (Z' 임펠러 깃의 개수와 안내깃 개수의 최소공배수)의 주파수에서 진동한다.} 단, 이런것은 실험적인 것으로 실제 제품은 아니다. 5. 다만 펌프에서 각단 임펠러의 깃과 허부분의 관계 위치가 모든단에서 동일	1. 허부분을 잘라내어 임펠러와의 간극을 크게한다. 2. 케이싱 또는 송수관을 보강한다. 3. 안내깃의 내경을 그라인딩하여 간극을 크게한다.
B. 구르는 축수, 발청 등에 의한 손상의 발생	1. 펌프가 PN(P와 구름베어링의 볼 또는 롤러의 수, N은 회전수)와 일치한 주파수로 진동한다. 2. 구름 축수에 발청한다. 3. 운전시에 축수부의 발열이 많다. 4. 축수내의 기름 또는 그리스가 열화되었다. 5. 축수부에서 이상음이 발생하는 경우가 많다.	1. 축수교환 2. 기름 또는 그리스의 교환 3. 물이나 찌꺼기 침입을 방지하는 구조를 채용

12.2.3 그외의 규칙성이 있는 진동 (표12·8)

표12·8 그외 규칙성이 있는 진동

원 인	발견법·발생조건·특징 등	대 책
A. 축 진동 (특히 디젤기관 구동의 경 우 또는 장축펌프)	1. 축계 비틀림진동수를 측정한 구동기의 토크 변동 주 파수 회전수 또는 회전수×R(R은 2,3,4등의 정수)와 일치하는 경우 2. 기어 커플링이 어떤 회전수에서 이상음을 발생하나 조금 회전속도가 증가하면 소리가 없어진다.	1. 축의 두께를 바꾸거나 길이를 바꾼다. 2. 축계에 비틀림 진동의 완
B. 스라스트 축수에 스라스 트가 움직이지 않는다.	1. 횡축 양흡입 볼류트 펌프에 보여진다. 2. 일반적으로 소음이 따르고, 진동보다 오히려 소음이 심하다. 3. 저속도로 돌리면 “펄떡펄떡”하는 규칙적인 소리가 난다. 4. 축수 구조가 예하중이 작용하지 않은 구조로 되어있다. 5. 스라스트 축수의 간극이 크다.	1. 축의 두께를 바꾸든지 길이를 바꾼다. 2. 축계에 뒤틀림 진동의 완 충제를 삽입한다
C. 카르만 소용돌이에 의한 진동이 관의 고유진동수 와 일치해서 진동한다.	1. 펌프 흡입관 주위에 물의 흐름이 있다. 2. 펌프 흡입관이 비교적 길다. 3. 흡입 피트형태, 흡입관 위치가 적절하지 않다. 4. 카르만 소용돌이에 의한 진동수(Hz)의 기준 $f = K \frac{V}{D}$ 여기서 K = 계수 0.15~0.2 D = 흐름에 직교하는 방해물의 폭 (m, 일반적으로 원통관에서는 직경) V = 유속(m/s)	1. 카르만 소용돌이와의 공 진을 피한다. 2. 파이프 서포트를 견고히 한다 3. 파이프 고유진동수를 바 꾼다.
D. 서징에 의한 소음 진동	1. 일반적으로 규칙적 소음을 동반한 진동 2. 토출측 압력계의 지침이 크게 움직인다. 3. 펌프성능이 산형특성이 되어있고, 토출측 송수관에 공기의 모임이 있는 경우 잘 발생한다 (특성 곡선과 비교할 필요가 있다)	서징이 발생하지 않는 펌프 계로 한다.
E. 오일 휘프에 의한 진동	1. 일반적으로는 회전수가 3,000min ⁻¹ 이상에서 발생한다. 2. 진동수가 회전수/2이거나, 그 근방이다. 3. 특히 축수부에서 진동이 그외 부분에 비교해 상당히 심하다.	축수구조를 바꾸는 등의 대 책을 필요로 한다.

12.2.4 진동수가 불규칙한 진동 (표 12·9)

표12·9 진동수가 불규칙한 진동

원 인	발견법·발생조건·특징 등	대 책
A. 부분 유량 운전에 의한 진동	<ol style="list-style-type: none"> 1. 흡입측 및 토출측압력을 측정하고 거기에서 구한 운전수량이 어느정도인지 조사한다. 규정 수량의 반이하에서는 상당히 진동이 크게된다. 이 현상은 대형펌프중에서 회전수가 높은 펌프에 현저하다. 2. 양흡입 볼류트 펌프의 규정수량의 반이하에서 현저하게 축이 axial방향으로 운동할 경우, 그 결과 베어링 등의 진동이 증대한다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 펌프의 토출한 수량을 증가시키는 장치를 바꾼다. 2. 토출하는 측 밸브류가 전개해 있는지 조사한다. 3. 바이패스 장치를 설치하고 토출한 수량 일부를
B. 케비테이션에 의한 진동	<ol style="list-style-type: none"> 1. 흡입측 및 토출측 압력을 측정하고 이것에서 구한 운전수량에서 케비테이션이 발생하는지 어떤지를 검사한다. 2. 흡입측 진공도가 이상하게 높지 않은지를 조사한다. 3. 일반적으로 상당한 소음을 동반하지만 흡입측 압력이 대기압이하일때는 케이싱코크로부터 소량 공기를 흡입 하면 소음이 감소한다. 4. 토출측 밸브를 잠궤보면 소음이 급격히 감소하고 진폭도 작게된다. 5. 토출측 압력계의 지침이 이상하게 흔들린다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 토출측 밸브를 잠그고 운전한다. 2. 흡입핏트 수위를 높게한다. 3. 흡입배관을 두껍게 한다. (흡입관로가 긴 경우)
C. 토출측 밸브류의 진동	<ol style="list-style-type: none"> 1. 토출측 밸브가 전개되어 있는지 조사(밸브가 반개일 경우 여기서 진동이 발생하고, 관로를 통하여 펌프에 진동이 전해지는 경우가 있다. 2. 토출측 밸브를 전개하면 진동이 준다. 3. 토출측 밸브에 다리가 있는 경우 그 설치 상태가 좋은지 조사한다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 밸브의 반개운전이 필요한 경우는 밸브를 콘크리트로 감든지, 밸브진동이 펌프에 전해지지 않도록 한다. 2. 대구경 밸브에서는 진동이 발생하지 않도록 구조 밸브를 고른다.
D. 펌프의 내부에 고정부분과 회전부의 접촉 또는 내부 섭동부의 파손	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전류계의 지침이 이상하게 흔들린다. 2. 금속음을 동반하는 진동이 있다. 3. 축수에 발열이 있는 경우가 많다. 4. 고온액용 펌프의 기동시 발생할 가능성이 높다. 	분해 및 정비
E. 그랜드 패킹의 과다 조임에 의한 진동	<ol style="list-style-type: none"> 1. 소형 펌프에서 발생한다. 2. 그랜드부에 발열이 있다. 	그랜드 볼트를 느슨하게 한다.
F. 공기흡입에 의한진동		<ol style="list-style-type: none"> 1. 에어를 뺀다. 2. 에어고임을 만들지 않는 배관계로 한다.