

## 지역 난방 시스템(V) District Heating System(V)

오 후 규  
H. K. Oh  
부산수산대학교 냉동공학과

### 3.5 지역 열공급 배관의 건설방법

#### 3.5.1 부설방식

지역배관 부설시에는 기능적 조건을 만족해야하고 또한 주택지역이나 지형 등에 의한 경관도 고려되어야만 한다. 열매를 공급하는 배관 피복의 종류나 방법, 그 처리에 관한 배려도 중요하다. 건설방법은 이와 같은 사항을 모두 고려하여 결정해야 한다. 지역 열공급 배관은 다음 3가지의 subsystem으로 되어 있다.

##### 1. 열매 공급배관

배관의 주요부분은 현장에서 용접배관을 하여 만드는 것이 일반적이다.

##### 2. 단열재 구성

단열재는 배관에서의 열손실을 최소화하고 외부부식을 방지하는 데에 도움이 되어야 한다.

##### 3. 지지구조

이 구조는 배관의 질량, 토양의 질량, 교통기관 등의 하중에 의해 발생하는 힘이나 모멘트에 견딜 수 있어야만 한다. 지역난방이 운전될 때를 고려해서 정적상태, 동적상태에서 견딜 수 있도록 해야만 한다.

최근의 지역 열공급배관은 다음의 요구를 만족할 필요가 있다.

1. 설치부품을 포함해서 배관의 기계적강도와 밀도, 수밀성을 보존하고 있을 것.
2. 지역난방운전때의 단열재는 고도의 열저항, 전기저항을 가지고 있을 것. 특히 단열재의 통기성이 작지않고 흡습율이 낮은 것이 요구된다.
3. 모든 기본요소가 공장생산에 적합하게 되어 있고 콤팩트화 되어 있을 것.
4. 건설이나 조립과정에 있어서 기계화가 가능할 것.

기본적으로 지하매설배관과 지상배관은 서로 다르다.

그림 3.18은 배관부설기술 개요를 나타낸 것이다. 지상부설 배관은 건설비가 비교적 싸기 때문에 토지이용이 허용되는 장소에서는 자주하고 있다. 특히 가공배관은 자연적, 인공적인 토지경계 예를 들면 하천, 산의 중턱이나 제방의 기슭이 완만한 들판, 철도선로제방, 도로, 일반토지 경계에 부설하는 데에 적합하다.

태좌(台座: 물건을 얹어놓는 대)가 있는 지역난방배관 부설에 있어서는 지표면과 지역 난방배관 하단의 간격은 1.8m이하로 한다. 높이가 높을 때는 주각(柱脚)을 이용한 부설방법쪽이 적합하다. 지상에 부설된 지역난방배관의

지지재료로 철근콘크리트 태좌(台座), 강제, 철근콘크리트, 제주각(柱脚), 파이프로 해머나 보오링 기계를 사용하여 건설할 수 있는 철근 콘크리트제 각주(脚柱) 등이 사용된다.

철근 콘크리트 태좌(台座)가 파이프로 해머

등으로 직접 건설될 때는 현장을 치는 콘크리트나 두꺼운 기초를 필요로 한다. 파이프로 해머 등으로 각주를 치는 방법은 좋지 않는 장소나 지하 수위가 높은 장소에 적합하다. 시공예를 그림 3.19와 3.20에 나타내었다.

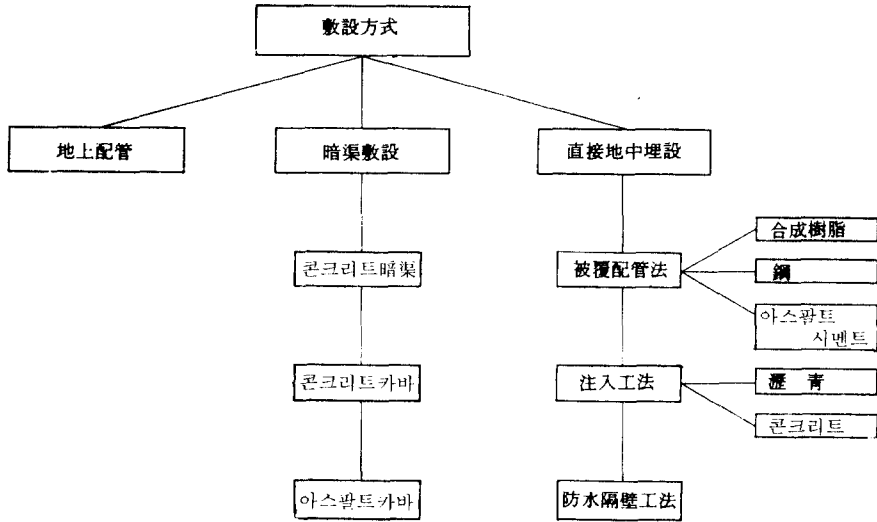
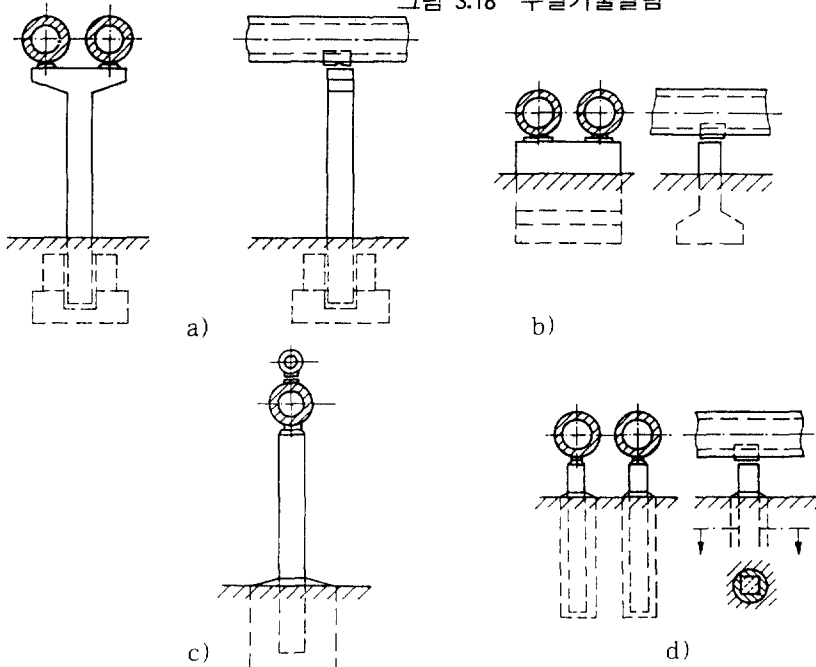


그림 3.18 부설기술일람



a) 칼집형 기초부착식 주각식배관      b) 태좌(台座)식 배관  
 c) 현장치기 콘크리트 기초부착 주각식 배관      d) 박아넣은 말뚝 부착 태좌(台座)식 배관

그림 3.19 지상부설 지역난방배관(가공배관)

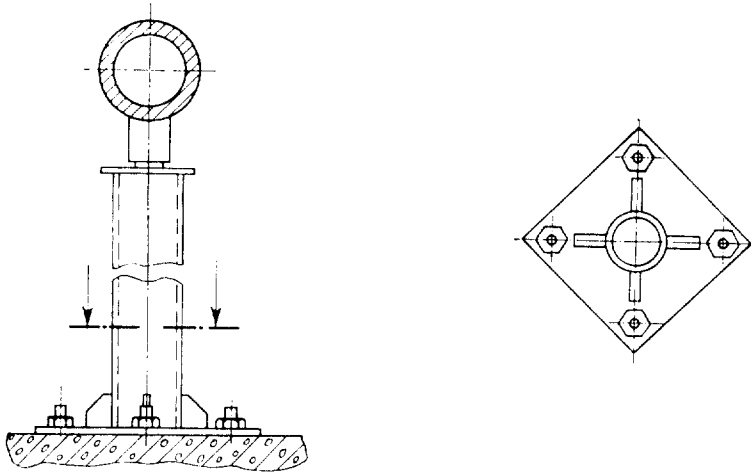


그림 3.20 배관 스탠션(stanchion)

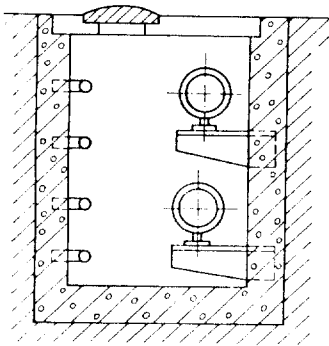
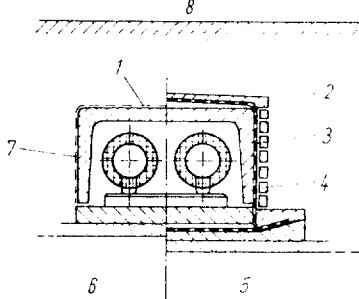


그림 3.21 배관 터널(사람통행이 가능)



1. 지하수 침입에 대한 수밀 결합부
2. 보호층
3. 압력수에 대한 기밀을 보호하는 방수층
4. 암거(暗渠)의 외장재
5. 지하수에 압력이 있을 경우
6. 지하수에 압력이 없을 경우
7. 방수층 표면
8. 지반 표면

그림 3.22 暗渠매설에서의 피복

지역난방배관의 지하부설방법에는 암거에 부설하는 방법, 직접 지중에 매설하는 방법 등이 있다. 암거에도 배관 터널이나 배관 트랜치, 그 위에 다수의 배관을 부설하는 것 등이 있다. 배관터널(그림 3.21 참조)은 비용도 많이 들므로 특히 안전성을 요구하는 경우에 이용할 수 있다.

독일(동독)에서는 배관 트랜치와 보호피복을 이용한 프레카스트 콘크리트(그림 3.22 참조)가 지역난방 배관망으로 사용되고 있다. 암거는 지하수나 압력수에 대해 수밀(水密)이 보호되어야만 한다. 상부에 공기를 통하게 하여 상대습도를 60%이하로 유지해야만 한다. 수송배관 및 반송(돌아오는)배관 그리고 직경이 같은 고온수 배관에 대한 암거의 길이 등을 표 3.7에 나타내었다. 또한 수증기 배관에 대한 응축수 배관의 관경을 표 3.8에 나타내었다.

배관의 열팽창에 대응하는 롤러(roller)는 지대(持台)위의 양카에 따라 설치할 수 있다. 암거로 부분의 고정점은 토지에 타설(打設)된 장소에 박은 콘크리트 기초로써 이것에는 여러종류의 큰 것이 있다.

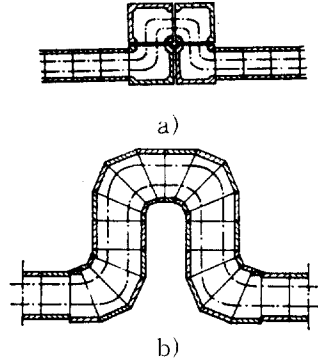
문어형 밴드는 마찬가지로 공장생산품을 설치할 수 있다(그림 3.23참조). 배관 트랜치는 그림 3.24에 나타난 것처럼 지반 침하에 대한

안정성이나 기계응력에 견딜 수 있도록 상자형 등의 콘크리트 일체형 공장생산품이 지반이 좋지 않는 장소에 사용될 수 있다.

표 3.7 고온수 배관에 대한 暗渠 단면과 배관경

| 暗渠 단면      |             | 고온수 배관 호칭경 (mm) | 최대 단면 두께    |             |
|------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| 내법 폭 b(mm) | 내법 높이 h(mm) |                 | 수 → 관 V(mm) | 만 → 관 R(mm) |
| 600        | 400         | 2×50            | 60          | 50          |
| 800        | 400         | 2×80            | 80          | 60          |
| 800        | 400         | 2×100           | 80          | 60          |
| 1000       | 500         | 2×150           | 100         | 60          |
| 1200       | 700         | 2×200           | 120         | 80          |
| 1200       | 700         | 2×250           | 120         | 60          |
| 1400       | 800         | 2×300           | 140         | 80          |
| 1400       | 800         | 2×350           | 100         | 50          |
| 1600       | 900         | 2×350           | 140         | 80          |
| 1600       | 900         | 2×400           | 140         | 60          |
| 1800       | 1000        | 2×500           | 140         | 80          |
| 2000       | 1100        | 2×600           | 140         | 80          |
| 2400       | 1200        | 2×700           | 140         | 100         |

크기, 형상 이용상태에 대해서 배관경, 배관 시공을 고려해서 결정한다.<sup>(3.13)</sup> 직접지중매설(暗渠 無)은 피복층의 수가 작다.



a) 각형 공장생산품 b)凹자형 공장생산품

그림 3.23 공장생산품에 의한 팽창밴드

표 3.8 증기배관에 대한 暗渠 단면과 배관경

| 暗渠 단면      |             | 배관        |         |
|------------|-------------|-----------|---------|
| 내법 폭 b(mm) | 내법 높이 h(mm) | 증기호칭경(mm) | 응축수(mm) |
| 600        | 400         | 50        | 25      |
| 600        | 400         | 80        | 40      |
| 800        | 400         | 100       | 50      |
| 800        | 500         | 150       | 65      |
| 1000       | 700         | 200       | 65      |
| 1000       | 700         | 250       | 80      |
| 1400       | 800         | 300       | 100     |
| 1400       | 800         | 350       | 150     |
| 1400       | 1000        | 400       | 150     |
| 1400       | 1000        | 500       | 150     |
| 1600       | 1100        | 600       | 200     |
| 1800       | 1200        | 700       | 200     |
| 2000       | 1350        | 800       | 250     |

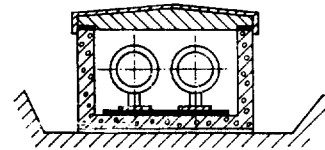
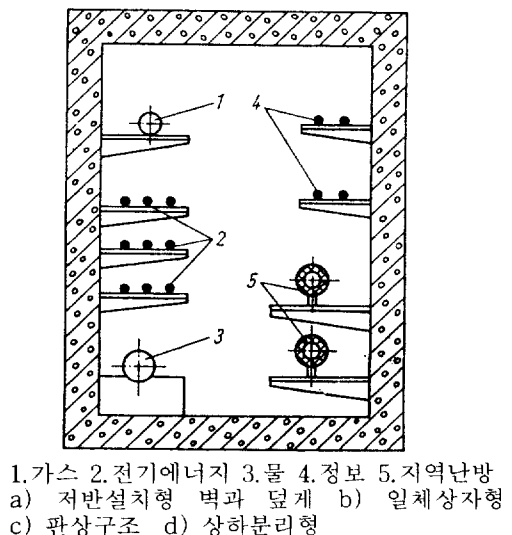
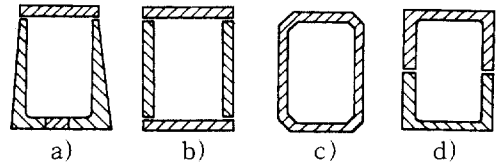


그림 3.24 暗渠 부설 근처의 보호 case 단면



1. 가스 2. 전기에너지 3. 물 4. 정보 5. 지역난방  
a) 저반설치형 벽과 덮개 b) 일체상자형  
c) 판상구조 d) 상하분리형

그림 3.25 공동구(溝)의 그림과 구조

또 이러한 공장생산품은 공급을 안정하게 할 수 있는 특성이 있다. 이와 같은 상자형 콘크리트 성형품(成形成品)은 공동구(共同溝)에도 이용할 수 있다. 공동구(共同溝) 방식은 지중공간을 유효하게 이용하기 위한 것이다. 배관의 부설에 있어서는 배관 상호 열적인 영향이 없도록 배려를 적절히 하도록 한다.(그림 3.25 참조) 수도배관이나 고압전선은 공동구(共同溝)내에서 지방난방배관과는 가능한 반대측에 부설하도록 한다.

暗渠 내배관 설비에서는 지중지역난방배관에 요구되는 기술기준을 만족시키는 것만이 아니고 수도밸브, 급배기, 배수, 스트레이너, 온도나 압력 등 측정장치에 설치될 수 있도록 하는 배려도 필요하다. 暗渠 내배관 설비의

프리페이브(Prefab)화에 의해 작업시간을 단축할 수 있고, 동시에 暗渠 부설부근 건설비의 저감화를 가져올 수 있다. 경제적이라고 하는 것은 충분한 안정성과 오랜수명을 전제로 한다. 배관의 구조에는 많은 종류가 있고 지중의 덮개를 설치한 배관부설, 단열재 주입식 배관공법 등이 있다. 덮개를 설치하는 배관부설공법에서는 최근에 합성수지 단열재를 사용하여 좋은 결과를 얻고 있다. Pan-Isovit 지역난방배관 공법의 사용도 허가되고 있다. 이것은 수밀성의 繼目(이음매)이 없는 복합단열재인 경질 발포우레탄을 사용하여, 繼目이 없는 폴리에틸렌 피복을 사용하고 있다. 평균 부피비중은 1m<sup>3</sup>당 85kg이다.

열전도율은 50℃에서 0.025W/mK이다. 판관에서 사용하고 있는 구조(그림 3.26 참조)는 2본의 배관이 동시에 덮개가 있는 관안에 들어갈 수 있고 열매가 흐르는 배관자체는 자유로이 움직이도록 되어 있다. 그 외공법은 강재(鋼製) 덮개관을 이용할 수 있다. 그리고 공간을 광물성 섬유로 단열되어 있고, 그 효과를 높이기 위하여 진공으로 되어 있다. 러시아에서는 기포콘크리트와 아스베스토스 시멘트에 의한 보호관의 이용이 좋은 결과를 얻고 있다.(그림 3.27 참조)

기포 콘크리트층은 공장에서 강관위에 주입(注入)함으로써 특별한 형태로 형성된다. 기포콘크리트가 경화한 후 오토크레이브에 의해 증기가 배출되고, 그 위에 표면층의 건조가 일어난다.

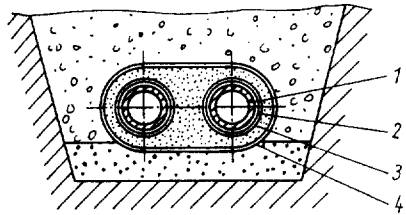
그리고 브리즐이나 아스팔트와 고무의 혼합물으로써 수증기나 공기의 유입방지를 위하여 보호층을 설치할 수 있다. 수송시에 외표면층이 손상하는 것을 방지하기 위하여 아스베스토스 시멘트 몰타르가 가장 외측에 사용될 수 있다. 오토크레이프으로써 기포콘크리트를 단열

재로 양성하는 특징으로서는

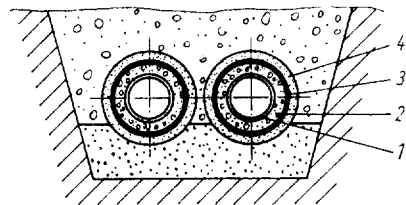
- i) 높은 알칼리성(PH > 8.5)을 유지하는 강재의 부식방지에 도움이 된다.
- ii) 배관이 고온으로 되어 단열재의 흡습능력이 높게 될 때에도 단열층을 건조한 상태에서 보전할 수 있다.
- iii) 전기저항이 큰 10<sup>6</sup>~10<sup>8</sup> Ω/cm(기포 콘크리트의 밀도 ρ가 400kg/m<sup>3</sup>, 관계속도 10~15%의 경우)이다.

暗渠를 사용하지 않는 기포 콘크리트로 일체화해서 피복을 하는 지역난방 배관에서는 강재배관의 단열층으로 보호를 하고 이것이 강도를 주는 역할을 한다.

강과 기포콘크리트는 열팽창계수가 거의 같으므로 열매의 온도변화가 있어도 파괴가 일어나지 않는다. 만약 지역난방배관의 강관과 단열재 사이에 운전중 틈새가 생기면 습기와 공기가 침투해 강관 표면에 부식을 일으키지만 기포 콘크리트에 의한 단열재는 이와 같은 사고는 일어나지 않는다. 강재배관이 열변형을 일으키는 경우에는 기포콘크리트의 피복도 동시에 거동하는 것에 주의해야만 한다. 기본적으로 강관에서 일어나는 축력이나 장력은 暗渠에 부설된 지역난방배관보다 크게 된다.(3,12)



1. 열매가 흐르는 배관 2. glass 섬유배관  
3. 경질발포 폴리우레탄 4. 폴리에틸렌 피복관  
그림 3.26 합성섬유재료를 이용한 덮개가 있는 관을 설치하는 배관방법



1. 열매가 흐르는 배관 2. 철근이 포함된 기포콘크리트  
3. 단열방수층 4. 아스베스토스 시멘트

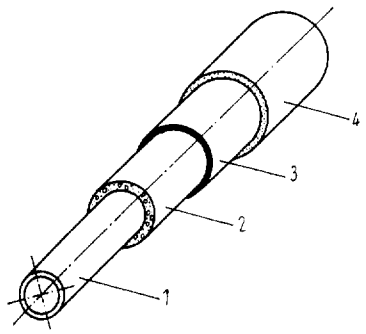


그림 3.27 철근이 포함된 기포콘크리트에서 일체화해서 피복한 배관

표 3.9 배관시스템

| 도시/국 | 배관시스템 <sup>1)</sup> | 수송, 반송온도(°C) | 열매 <sup>2)</sup> | 부설방법 <sup>3)</sup> | 배관연장(km) | 신축계수 <sup>4)</sup> | 호칭경     |
|------|---------------------|--------------|------------------|--------------------|----------|--------------------|---------|
|      | 2-                  | 150/80       | HD               | 93% HK             | 46.6     | U-B                | 80~800  |
|      | 3-LS                |              |                  | 7% FL              |          |                    |         |
|      | 3-LS                | 180~350      | D/K              | 93% HK             | 3.1      | U-B                | 80~400  |
|      |                     |              |                  | 7% HL              |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 150/80       | HW               | HK                 | 3.0      | U-B                | 500     |
|      | 2-, 3-              | 160/80       | HW               | 66% HK             | 23.0     | U-B                | 80~600  |
|      | 4-LS                |              |                  | 34% FL             |          |                    |         |
|      | 1-LS                | 260~300      | D                | FL                 | 0.7      | U-B                | 200     |
|      | 2-                  | 140/70       | HW               | FL                 | 2.0      | U-B                | 800     |
|      | 4-LS                |              |                  |                    |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 150/70       | HW               | HW                 | 6.5      | U-B                | 500~800 |
|      | 2-LS                | 160/80       | HW               | HW                 | 0.2      | KD                 | 350     |
|      | 2-LS                | 180/70       | HW               | HW                 | 4.0      | U-B                | 500~700 |
|      | 2-                  | 160/80       | HW               | 98% HK             | 41.8     | U-B                | 100~600 |
|      | 3-LS                |              |                  | 2% HK              |          |                    |         |
|      | 2-                  | 180/290      | D/K              | 87% HK             | 6.4      | U-B                | 50~300  |
|      | 3-LS                |              |                  | 13% HK             |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 210          | D/K              | FL                 | 1.4      | U-B                | 200~700 |
|      | 2-LS                | 270          | D/K              | HK                 | 1.5      | U-B                | 200~400 |
|      | 2-LS                | 160/80       | HW               | HK                 | 0.5      |                    | 500     |
|      | 3-LS                | 150/80       | HW               | FL                 | 3.4      | U-B                | 200~500 |
|      | 2-LS                | 180/70       | HW               | 70% HK             | 4.0      | U-B                | 800     |
|      |                     |              |                  | 30% HK             |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 180/70       | HW               | 60% HK             | 14.1     | U-B                | 50~800  |
|      |                     |              |                  | 40% FL             |          |                    |         |
|      | 2-                  | 250/310      | D/K              | 83% HK             | 13.0     | U-B                | 50~350  |
|      | 3-LS                |              |                  | 17% FL             |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 250~300      | D/K              | FL                 | 6.5      | U-B                | 400     |
|      | 2-LS                | 220          | D/K              | HK                 | 22.0     | U-B                | 80~700  |
|      | 2-LS                | 200          | D/K              | HK                 | 3.0      | U-B                | 200~700 |
|      | 2-LS                | 180/80       | HW               | FL                 | 8.0      | U-B                | 600     |
|      | 2-LS                | 160/70       | HW               | HK                 | 700      | U-B                | 1200    |
|      | 2-LS                | 160/70       | HW               | KL                 | 25       |                    | 500     |
|      | 2-                  | 150/70       | HW               | FL                 | 240      | U-B                | 100~700 |
|      | 3-LS                |              |                  | HK                 |          |                    |         |
|      | 2-                  | 210/300      | D                | FL                 | 60       | U-B                | 100~400 |
|      | 3-LS                |              | K                | FK                 |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 150/70       | HW               | FL                 | 5        | U-B                | 700     |
|      |                     |              |                  | HK                 |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 150          | HW               | FK                 | 15000    | U-B                | 1400    |
|      |                     | 180/55       |                  |                    |          |                    |         |
|      |                     | ca. 200      | D/K              | z. t. KL           |          |                    |         |
|      |                     | 300          |                  |                    |          |                    |         |
|      | 2-                  | -            | HW               | FL(台座)             | 300      | U-B                | 1200    |
|      | 3-LS                |              | D/K              | HK                 |          |                    |         |
|      | 2-                  |              | HW               | HK                 | 500      | U-B                | 800     |
|      | 3-LS                |              | D/K              | KL                 |          |                    |         |
|      | 2-LS                | 120/70       | HW               | HK                 | 100      |                    | 100~500 |
|      | 2-LS                | 130/70       | HW               | HK                 | 13       | U-B                | 200~500 |
|      | 2-LS                | 130/70       | HW               | HK                 | 8        |                    | 200~450 |
|      | 2-LS                | 120/35       | HW               |                    | 4        | U-B                | 300     |
|      | 2-LS                | 110/70       | HW               | HK                 | 15       | U-B                | 200~600 |
|      | 2-LS                | 140/70       | HW               | HW                 |          | U-B                |         |
|      | 2-LS                | 130/50       | HW               | HW                 | 10       | U-B                | 600     |
|      | 2-LS                | 130/70       | HW               | HW                 | 36       | U-B                | 100~700 |

(1970 기준)

1) LS : 배관 시스템

2) HW : 고온수, D : 수증기, K : 응축수,  
D/K : 수증기/응축수

3) HK : 暗渠, KL : 暗渠無, FL : 地上配管

4) U-B : U자형 벤드관, KD : 신축계수無,

WA : 벨로우즈형 신축계수,

AA : 매끄러운 신축계수

주입공법에는 지중구(溝)에 부설된 배관에 유동성과 재료가 흘러 들어간다. 이때 기포콘크리트나 아스팔트 포장재료를 사용하는 것도 있다. 간단한 공법의 경우에는 「단열재의 외부가 가시모양의 단열재」를 사용하는 것도 있다.

러시아에서는 가시모양의 단열재를 아스팔트를 기반으로 한 재료에 혼입해서 사용하기도 한다. 이 경우 배관중의 열매온도가 150℃ 정도로 되면 용해를 일으킬 가능성도 있다. 갈탄재나 석탄재도 단열이나 방습 보호층을 형성한다.

열공급조건, 경제적 조건에 따라 배관을 일관식으로 할 것인가 복수관 방식으로 할 것인가를 결정한다. 일관식 배관은 말단을 급수배관에 이용하면 유리하다. 또 급수와 동시에 열을 공급할 경우에도 유리하다.<sup>(3,14)</sup> 표 3.9에 독일(동독) 국내외에서 실시한 배관시스템의 일람표를 나타내었다. 경제성 평가에는 다음 식이 건설비에 대하여 이용할 수 있다.

$$\Delta x = ad \text{ 또는 } x = ad + 1$$

여기에서

$$\Delta x = \frac{K_d - K_{100}}{K_{100}} \quad x = \frac{K_d}{K_{100}}$$

표 3.10 건설비 정수 a

| 부설방법 | 지하수 성분으로 되는 누수 |      | 지하수  |        |
|------|----------------|------|------|--------|
|      | 모래질            | 점토질  | 모래질  | 입(粒)토질 |
| 압 거  | 0.48           | 0.48 | 0.46 | 0.46   |
| 태 좌  | 0.73           | 0.78 | 0.68 | 0.72   |
| 주 각  | 0.66           | 0.66 | 0.65 | 0.65   |

여기서,  $K_D$  : 호칭경 800에서 1000까지의 건설비,  $K_{100}$  : 호칭경 100에 대한 건설비,

d : 호칭경(mm), a : 정수

표 3.10에 2관식 배관에 사용할 수 있는 정수 a의 값을 나타내었지만, 이때의 정도는 10~20%이다.

### 3.5.2 배관요소의 정적계산과 형태

#### (1) 내압에 의한 용역

지역난방 배관은 여러가지 응력에 견디어야만 한다. 즉 토성(土盛)에 의한 하중, 교통에 의한 하중, 내압, 열응력, 태좌(台座)나 각주방식의 경우는 배관의 자중(自重) 등이 가장 문제가 된다.

배관에 작용하는 응력에는 관벽에서 길이방향의 응력(축응력  $\sigma_x$ ), 주변응력(접선응력  $\sigma_t$ ), 방사상의 응력(방사상 응력  $\sigma_r$ )이 있다. 그림 3.28에 배관요소에서 내압에 의해 발생하는 응력을 나타내었다. 주변응력  $\sigma_t$ 는 접선방향을 고려하고

관벽이 얇을 경우는

$$\sigma_t = \frac{pd_i}{2s}$$

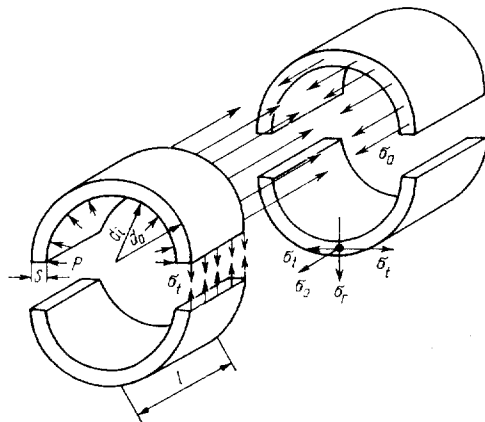


그림 3.28 배관요소 방향의 응력

같은 조건에서 다른 3차원 응력상태가 산정

$$F_t = p \frac{d_i}{2} l \int_0^\pi \sin a \, da = pdl$$

될 수 있다. 방사상 응력에서 배관 내표면은 운전압력은 같고 외표면은 0이 된다. 계산에서는 평균치

$$\sigma_r = -\frac{p}{2}$$

가 사용된다. 길이방향의 응력은 다음과 같다.

$$\sigma_a = \frac{pd_i^2}{4s(d_i + s)}$$

또는

$$\sigma_a \doteq \frac{pd_i}{4s} = \frac{\sigma_t}{2}$$

그림 3.29에 배관 관벽에서의 탄성응력을 나타내었다. 축응력과 접선응력을 비교하면 축응력은 관벽두께의 계산에서는 무시될 수 있지만 전체에서 발생하는 응력(예를 들면 길이방향의 열응력) 계산에는 고려해야만 된다는 것을 알 수 있다.

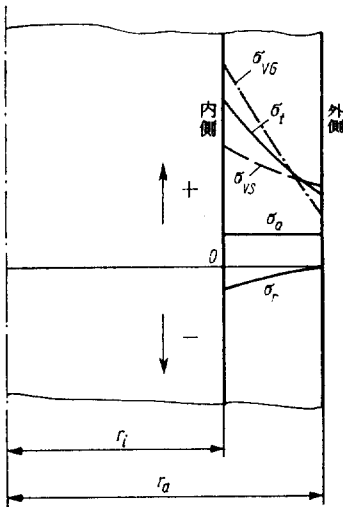


그림 3.29 배관관벽에서 발생하는 응력분포<sup>(3.4)</sup>

연구의 결과 배관의 큰 변형 또는 파괴강도 계산에 배관재료의 탄성범위만 하는 것이 아니고, 소성도 고려해야 된다는 것이 판명되었다. 이것은 단지 탄성범위만 고려할 경우 보다 실제응력상태를 보다 정확하게 계산할 수 있고, 재료소비를 경감시킬 수 있다.

3가지의 주요응력을 고려하므로써 강도의 가정을 성립시킬 수 있고 허용응력(완전한 소성상태)을 계산할 수 있다. 배관시공에서는 주로 합성응력의 산정에 형태변형 에너지 가정과 전단응력 가정이 응용된다.

형태변형 에너지 가정

$$\sigma_{NG} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_t - \sigma_a)^2 + (\sigma_a - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2}$$

전단응력 가정

$$\sigma_{NS} = \sigma_{max} - \sigma_{min} = \sigma_t - \sigma_r$$

형태변형 에너지 가정은 실제현상과 잘 일치하지만 안정성을 고려해서 전단응력 가정을 이용한다. 비교응력으로부터 관벽두께를 산정할 수 있다. 문헌<sup>(3, 15)</sup>에 나타난 방법으로 배관의 호칭관벽 두께를 구할 수 있다.

$$S \geq S_0 + C_1 + C_2$$

여기서 이론적으로 구할 수 있는 최저관벽 두께는

$$S_0 = \frac{pd_a}{Cv_{res}\sigma_{zul} + P}$$

내압이 높게 변동하는 경우에는 이것을 보충하여

$$S_0 = \frac{\Delta pd_a}{2\eta_{dyn}\sigma_{zul;N} + \Delta p}$$

로 계산한다. 이 높게 변동하는 내압은 최대압력과 최소압력의 차와 같다.

$$\Delta p = p_{max} - p_{min}$$

관벽두께 결정에 있어서는 S<sub>0</sub>의 최대치를 이용한다. 강도감소의 V 또는 η<sub>dyn</sub>에 대해서는 다음의 값이 사용된다.

a) 정지내압

이음매없는 배관에서는 용접효율 v와 l로써 계산을 한다. 용접배관은 표 3.11의 값을 사용하여 계산한다.



표 3.11 용접배관의 용접효율

| 문헌 <sup>(3.16)</sup> 에 의한 길이 방향 용접, 스파이럴 용접의 시공등급 | 비과괴 용접시험 |                       | 용접 繼埋等價値 $v_N$ | 배관의 약화계수 $v$ |          |
|---|----------|-----------------------|----------------|--------------|----------|
|   | 범위 %     | 최소치 <sup>(3.17)</sup> |                | 길이방향 용접      | 스파이럴상 용접 |
| IB(I2)  | 100      | 2                     | 1.0            | 1.0          | 1.0      |
| IIA100(I3)  | 100      | 3                     | 0.9            | 0.9          | 1.0      |
| IIA(II3)  | 10       | 3                     | 0.8            | 0.8          | 1.0      |
| IIB(II4)  | 10       | 4                     | 0.8            | 0.8          | 0.8      |
| III   | -        | -                     | -              | -            | -        |

1) 길이방향에 대한 이음매 각도는 40도 이상

b) 맥동내압

용접효율  $\eta_{dyn}$ 은 繼目없는 강관과 전봉(電纜)고주파용접강관( $v_{N=1}$ )으로  $\eta_{dyn}=1$ 로써 계산한다. 단접(鍛接) 강관(gas관)은  $\eta_{dyn}=0.6$ 으로 계산한다.

정수값  $C_1$ 과  $C_2$ 는 허용오차와 부식에 대한 관벽두께의 할증값이다. 繼目없는 배관에서 허용오차 할증값은 호칭관벽 두께에 대해 허용하한값으로부터 구할 수 있다.(표 3.12 참조)

표 3.12 허용오차 할증값  $C_1$

| 호칭관벽 두께에 대한 허용하한값 (%) | 5           | 8           | 10          | 12.5        | 15          | 18          |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 허용오차 $C_1$            | 0.053 $S_0$ | 0.087 $S_0$ | 0.111 $S_0$ | 0.143 $S_0$ | 0.177 $S_0$ | 0.220 $S_0$ |

표 3.13 허용응력값  $\sigma_{zul}$  ( $N/mm^2$ )

| 강재명칭     | 온도 ( $^{\circ}C$ ) |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | $\leq 50$          | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| St 35b   | 137                | 130 | 127 | 124 | 111 | 91  | -   | -   |
| St 35-5  | 156                | 130 | 127 | 124 | 111 | 91  | 78  | 72  |
| St 38b 2 | 157                | 124 | 115 | 105 | 98  | 78  | -   | -   |
| Mb 16    | 170                | 159 | 148 | 137 | 124 | 105 | 91  | 78  |
| St 52-3  | 228                | 196 | 186 | 176 | 164 | 150 | 137 | 118 |

특히, 활성이 없는 매체인 물이나 수증기의 경우 부식에 대한 할증값  $C_2$ 는 1mm를 이용한다. 중요한 강관에 대해서는 낮은 안정된 값의 내압에 대한 허용응력치  $\sigma_{zul}$ 을 표 3.13에 나타내었다. 높게 변동하는 내압의 관벽두께를 계산할 경우에는 그림 3.30에서 허용응력치  $\sigma_{zul,N}$ 을 구한다. 표 3.14, 표 3.15, 표 3.16에 강재명칭, 배관치수, 온도에 대한 허용응력(최대압력)을 나타내었다. 이 경우 부식할증 값  $C_2$ 는 0.5mm 繼目없는 강관과 스파이럴상으로 용접된 배관에서는 용접효율  $v=1.0$ , 길이방향에서 용접된 배관에서는  $v=0.8$ 이 이용되고 있다.

배관망의 경우 상당용접 효율  $v_{res}$ 는 직관의 용접효율  $v$ 과 분기배관부의  $v_A$ , 곡관부의 용접효율  $v_B$ 로부터 구할 수 있다.

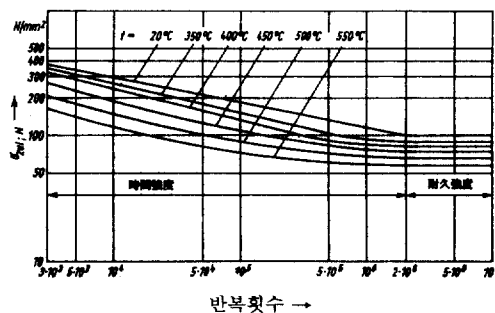


그림 3.30 탄소강의 피로강도치  $\sigma_{zul,N}$ 에 대한 허용응력도

표 3.14 S<sub>1</sub> 35-5, 繼目없는 허용내압(10<sup>5</sup>Pa)

| 배관길이     | 온도 (°C) |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | ≤50     | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 31.8×2.6 | 187     | 157 | 153 | 149 | 133 | 110 | 94  | 87  |
| 38×2.6   | 155     | 130 | 126 | 123 | 110 | 91  | 78  | 71  |
| 44.5×2.6 | 131     | 110 | 108 | 105 | 93  | 77  | 66  | 60  |
| 57×2.9   | 114     | 95  | 93  | 91  | 81  | 66  | 57  | 52  |
| 76×2.9   | 84      | 70  | 69  | 67  | 60  | 49  | 42  | 39  |
| 89×4     | 109     | 91  | 89  | 87  | 77  | 64  | 55  | 50  |
| 108×4    | 89      | 74  | 73  | 71  | 63  | 52  | 45  | 41  |
| 133×4    | 72      | 60  | 59  | 57  | 51  | 42  | 36  | 33  |
| 159×4.5  | 68      | 57  | 56  | 54  | 49  | 40  | 34  | 31  |

표 3.15 스파이럴상으로 용접된 S<sub>1</sub> 38b-2 강관에 대한 허용내압(10<sup>5</sup>Pa)

| 배관호칭길이  | 온도 (°C) |     |     |     |     |     |
|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | ≤50     | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| 219×5   | 36      | 44  | 40  | 37  | 35  | 28  |
| 219×5   | 48      | 55  | 50  | 46  | 43  | 34  |
| 273×5   | 29      | 35  | 32  | 30  | 28  | 22  |
| 273×6   | 39      | 44  | 40  | 37  | 34  | 27  |
| 325×5   | 48      | 30  | 27  | 25  | 23  | 19  |
| 325×6   | 24      | 37  | 34  | 31  | 29  | 23  |
| 325×8   | 32      | 51  | 47  | 43  | 40  | 32  |
| 377×5   | 40      | 25  | 23  | 21  | 20  | 16  |
| 377×6   | 21      | 32  | 29  | 27  | 25  | 20  |
| 377×8   | 28      | 44  | 40  | 37  | 34  | 28  |
| 426×5   | 34      | 22  | 21  | 19  | 18  | 14  |
| 426×6   | 24      | 28  | 26  | 23  | 22  | 18  |
| 426×8   | 30      | 39  | 36  | 33  | 30  | 24  |
| 426×10  | 42      | 51  | 47  | 43  | 40  | 32  |
| 530×6   | 55      | 22  | 21  | 19  | 18  | 14  |
| 530×8   | 20      | 31  | 29  | 26  | 24  | 20  |
| 530×10  | 24      | 41  | 37  | 34  | 32  | 26  |
| 620×8   | 34      | 26  | 24  | 22  | 21  | 17  |
| 620×10  | 44      | 35  | 32  | 29  | 27  | 22  |
| 720×8   | 21      | 23  | 21  | 19  | 18  | 14  |
| 720×10  | 29      | 30  | 27  | 25  | 23  | 19  |
| 820×8   | 38      | 20  | 18  | 17  | 16  | 13  |
| 820×10  | 47      | 26  | 24  | 22  | 21  | 16  |
| 1020×8  | 25      | 16  | 15  | 14  | 13  | 10  |
| 1020×10 | 32      | 21  | 19  | 18  | 16  | 13  |
| 1020×12 | 40      | 26  | 24  | 22  | 20  | 16  |

표 3.16 길이방향에 용접된 Mb16 강관에 대한 허용내압(10<sup>5</sup>Pa)

| 배관호칭길이  | 온도 (°C) |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | ≤50     | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 219×4   | 36      | 34  | 32  | 29  | 27  | 23  | 20  | 17  |
| 219×5   | 48      | 45  | 42  | 39  | 35  | 30  | 16  | 22  |
| 273×4   | 29      | 27  | 25  | 24  | 21  | 18  | 16  | 13  |
| 273×5   | 39      | 37  | 34  | 32  | 29  | 24  | 21  | 18  |
| 273×6   | 48      | 45  | 42  | 39  | 35  | 30  | 26  | 22  |
| 325×4   | 24      | 23  | 21  | 20  | 18  | 15  | 13  | 11  |
| 325×5   | 32      | 30  | 28  | 26  | 24  | 20  | 17  | 15  |
| 325×6   | 40      | 37  | 35  | 32  | 29  | 25  | 21  | 18  |
| 377×4   | 21      | 20  | 18  | 17  | 15  | 13  | 11  | 10  |
| 377×5   | 28      | 26  | 24  | 22  | 20  | 17  | 15  | 13  |
| 377×6   | 34      | 32  | 30  | 28  | 25  | 21  | 18  | 16  |
| 426×5   | 24      | 23  | 21  | 20  | 18  | 15  | 13  | 11  |
| 426×6   | 30      | 28  | 26  | 25  | 22  | 19  | 16  | 14  |
| 426×8   | 42      | 39  | 37  | 34  | 31  | 26  | 23  | 19  |
| 426×10  | 55      | 52  | 48  | 45  | 40  | 34  | 30  | 26  |
| 530×5   | 20      | 18  | 17  | 16  | 14  | 12  | 11  | 9   |
| 530×6   | 24      | 23  | 21  | 20  | 18  | 15  | 13  | 11  |
| 530×8   | 34      | 32  | 29  | 27  | 25  | 21  | 18  | 16  |
| 530×10  | 44      | 41  | 39  | 36  | 32  | 27  | 23  | 20  |
| 620×6   | 21      | 19  | 18  | 17  | 15  | 13  | 11  | 10  |
| 620×8   | 29      | 27  | 25  | 23  | 21  | 18  | 15  | 13  |
| 620×10  | 38      | 35  | 33  | 31  | 28  | 23  | 20  | 17  |
| 620×12  | 47      | 44  | 41  | 38  | 34  | 29  | 25  | 22  |
| 720×8   | 25      | 23  | 22  | 20  | 18  | 15  | 13  | 11  |
| 720×10  | 32      | 30  | 28  | 26  | 24  | 20  | 17  | 15  |
| 720×12  | 40      | 38  | 35  | 33  | 30  | 25  | 22  | 19  |
| 820×8   | 22      | 20  | 19  | 18  | 16  | 13  | 12  | 10  |
| 820×10  | 28      | 27  | 25  | 23  | 21  | 18  | 15  | 13  |
| 820×12  | 35      | 33  | 31  | 29  | 26  | 22  | 19  | 16  |
| 1020×8  | 17      | 16  | 15  | 14  | 13  | 11  | 9   | 8   |
| 1020×10 | 23      | 21  | 20  | 18  | 17  | 14  | 12  | 11  |
| 1020×12 | 28      | 26  | 25  | 23  | 21  | 17  | 15  | 13  |

규격화되지 않은 곡관부의 용접효율  $v_b$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$v_b = \frac{R/d_o}{0.4+R/d_o}$$

여기서, R은 곡관부의 반경이다. 규격화된 부재(部材)에 대한 값은 문헌<sup>(3.18)</sup>에 나타나 있다.

(2) 열매온도에 의한 응력

지역난방 배관에서는 공사시와 운전시의 온

도차가 크므로 큰 온도응력이 발생한다. 그러나 이 응력은 배관이 방해를 받지 않고 팽창하는 경우에는 발생하지 않는다. 지중매설배관에서는 이 길이방향 응력을 방지하도록 해야만 한다. 배관의 관경방향 열팽창은 무시할 수 있을 정도로 작다. 응력이 있는 배관의 이상적인 가정하에서는 선형응력상태를 사용할 수 있다.

응력이 발생하는 경우 hook의 법칙이 적용된다.

$$\sigma = \epsilon E$$

온도에 따른 길이방향의 연장은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta l = \alpha \Delta t l$$

여기서,  $\alpha$ : 온도팽창계수,  $\Delta t$ : 온도차(온도변화),  $l, \Delta l$ : 길이, 길이의 변화,  $\epsilon = \Delta l / l_0$ ,  $E$ : 탄성계수

이와 같이 온도변화  $\Delta t$ 에 의해 발생하는 길이방향의 팽창이 방해받을 수 있는 경우에 발생하는 응력은

$$\sigma = \alpha \Delta t E$$

로 된다.

(3) 외부하중에 의한 응력

지중에 직접 매설된 배관에서는 복토(覆土)나 그의 지표면에서 발생하는 하중(교통하중 등) 등을 고려해야만 한다.

1. 복토(覆土)에 의한 하중

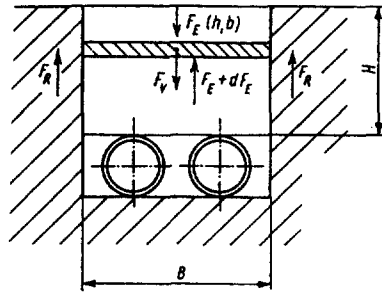
지중배관은 흙의 매몰방법, 함습율, 밀도, 내부조도 등 토양의 특성, 배관의 종류나 매설방법에 의해 받는 하중이 다르다. 배관에 성토(盛土)를 해서 보호하는 방법에는 2종류가 있다.

1. 지중이 좁은 구(溝)중에 배관을 부설하고, 흙으로 묻는 방법(직접 매설 지역난방 배관)
2. 지표면에 배관을 부설하고 흙을 덮어서 보호하는 방법(폐식공법(덤식공법)), 도로나 철도를 따라 부설하는 경우도 있다.

지표에 제품화된 콘크리트 구(溝)를 설치해서 여기에 구축하는 경우도 있다. 대부분의 경우 이 제품화된 콘크리트 구(溝)의 폭은 협소하다.

배관의 종류에는 견고해서 곡부가 없는 배관, 조금 견고한 배관, 곡부배관이 있다. 곡부배관은 단면형상이 3% 이상 변형하는 것도 있다. 이 배관은 문제될 염려가 있다. 이 경우 배관의 수직방향으로의 하중을 고려하는 방법은 다음과 같다.<sup>(3.19)</sup>

1. 매몰하는데 사용할 수 있는 흙은 점착력이 없는 것으로 간주한다. 이것 때문에 여분으로 크게 잡은 배관의 하중은 안전계수로 볼 수 있다.
2. 흙이 많아짐에 따라 하중은 증대해간다. 이것은 시간에 의존한다.
3. 콘크리트 구(溝)에 부설된 배관에서 매설배관의 수직방향 하중은 구(溝)의 콘크리트 벽에서의 마찰력을 고려한다. 배관천단(天端)보다 위의 흙하중이다. 또 지표면에 배관을 부설해서 흙을 덮어 보호하는 방식에서 매설배관의 수직방향의 하중은 배관 양면에서 발생하는 접선방향의 전단력을 고려한 배관천단(天端)보다 위의 흙하중이다.



$F_R$ : 마찰력  $F_E$ : 토압(土壓)에 의해 발생하는 수직력  
 $F_V$ : 용량에 의해 발생하는 하중

그림 3.31 직접 매설 지역난방관

직접 매설 지역난방 배관에서, 배관방향의 하중은 구(溝)콘크리트 벽판과 묻은 흙사이의 마찰력을 제외한 배관천단(天端) 위의 흙하중이다.

이 힘은 매몰한 토양이 오랜 시간동안 단단

하게 굳어 고정되어 강화된 구(溝)의 벽판재료에 의해 발생된다. 설치방향으로 마찰력이 생기고 그 외 나머지 부분만 배관에 걸리는 복토(覆土) 하중을 경감하는 데에 도움이 된다. 그림 3.31에 직접 매설 지역난방 배관의 매설단면도와 하중평형(Balance)을 나타내었다. 이것에 의해 地中溝의 단위 길이당에 대

한 수직방향 흠하중을 구할 수 있다.

$$F_E = C\rho_{EG}B^2$$

또는 토압의

$$P_E = C\rho_{EG}B$$

$$C = \frac{1 - e^{-2k\mu' H/B}}{2k\mu'}$$

표 3.17 문헌(3,4)에 의한 토양의 특성치

| 토양의 종류                         | $\rho_E$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\rho'$ (도) | $k\mu'$ |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------|---------|
| A. 단단히 굳기전의 입상(粒狀), 점착력이 없는 매물 | 1700                          | 25~35       | 0.192   |
| B. 모래, 자갈상의 흙                  | 1900                          | 28~30       | 0.165   |
| C. 습윤(濕潤)한 점토상 흙               | 2000                          | 15~20       | 0.150   |
| D. 점토, 화산재인 적갈색의 토(土)          | 2100                          | 15~20       | 0.130   |
| E. 물을 함유한 점토 또는 화산재인 적갈색의 토(土) | 2200                          | 10~20       | 0.110   |

여기서, k : Rankine의 토양계수,  $\mu' = \tan\rho'$  : 매물한 토양과 하수구 벽판 사이의 마찰계수,  $\rho'$  : 마찰각도,  $\rho_E$  : 복토(覆土)의 밀도, g : 중력가속도, H, B : 지중 구(溝)의 높이와 폭

각종 토양의 종류에 대한 계산값은 표 3.17에 나타내었다.

폐식(덤식)배관 방식은 기본적으로 다른 하중조건하에 있다. 최초 지반면위에 댐을 할 수 있고, 그 중간에 배관이 부설되기 때문에 배관에 수직으로 접하는 2본의 평행선에 대해서 토압(土壓)이 걸리는 상태가 된다.

배관방향의 복토(覆土)는 하향방향의 힘이 되고 하중을 증가시킨다. 배관방향의 측압은 하중을 경감시킨다. 곡부배관을 어느 정도 높게 사용한 지역난방 배관을 계산할 수 있다.

수직방향 흠힘은

$$F_E = \rho_{EG}Hd_s$$

특히 폭이 넓은 구(溝) 또는 깊이가 얇은 구(溝)의 배관에서는 직접매설 배관법 또는 폐식(덤식) 배관법을 적용할 수 있지만 확인할 필요가 있다.

표 3.18 중량차량(SLW)과 트럭(LKW)에 대한 차륜하중  $F_v$ (3.19)

| 심볼(symbol) | 다리의 등급 | 전하중(Mp) | 차륜하중(Mp) |
|------------|--------|---------|----------|
| 중량하중       | 60     | 60      | 10       |
|            | 30     | 30      | 5        |
| 트럭         | 15     | 15      | 전륜 후륜    |
|            |        |         | 2.5 5.0  |

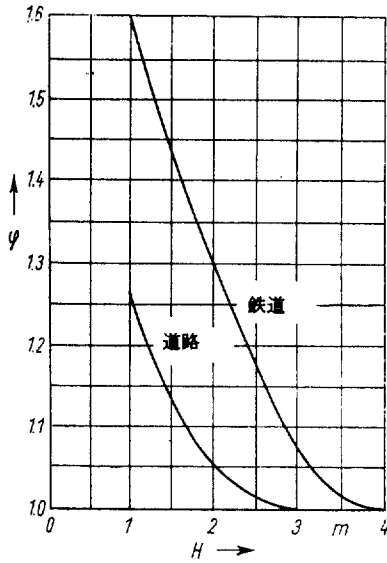
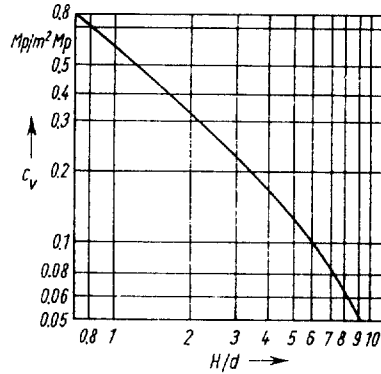
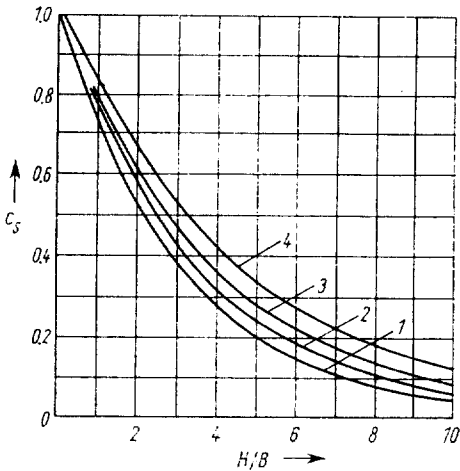


그림 3.32 교통하중에 대한 충격계수



(역주) P는 파운드로 발음하고  $\text{kg/cm}^2$ ,  
MP는  $\text{kg/cm}^2 = 1000\text{t/cm}^2$

그림 3.33 교통하중에 대한 감소계수<sup>(3.4)</sup>



1. 모래 및 습한 토(土)
2. 함수(含水)한 토(土)
3. 습한 황색 화산재인 적갈색 토(土)
4. 함수(含水)한 황색의 화산재인 적갈색 토(土)

그림 3.34 평면하중에 걸리는 경우의 하중계산계수<sup>(3.4)</sup>

이 계산에 이용할 수 있는 경계조건은 Marston이 연구하였다. 이것의 상세한 것에 대해서는 문헌(3.20)에 설명되어 있다.

### 2. 교통에 의한 하중

교통하중은 단독하중으로 발생한다. 충격력 계수를  $\psi$ 라 하면 증대하는 성토(盛土)높이에 의한 교통하중의 감소계수  $C_v$ 에 의해 배관방향의 토압(土壓)은 다음과 같다.

$$P_v = F_v \psi C_v$$

도로나 철도의 충격계수는 그림 3.32에 나타내었다. 감소계수  $C_v$ 는 그림 3.33에서 구할 수 있다. 표 3.18은 중량차량과 트럭차량 하중을 나타낸 것이 있다.

### 3. 평면하중

건축재료나 건물, 기계가 설치되어 있는 곳에서는 평면하중이 발생한다. Marston에 따를 것 같으면 흙내식(수채식) 배관법에서 균일한 면부하  $f_F$ 에 대한 면하중(面荷重)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_F = f_F C_s B$$

배관천단(天端)에 걸리는 수직방향의 하중에 대한 하중계산계수  $C_s$ 는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$C_s = e^{-2k(H/B)}$$

이 하중계산계수  $C_s$ 는 그림 3.34에서 구할 수 있다.

표 3.19 대지의 습기통과성

| 토질의 종류                                  | 모래            | 거친모래 | 가는모래  | 실토         | 점토         |
|---|---------------|------|-------|------------|------------|
| 입경(mm)                                  | 10            | 1    | 0.1   | 0.01       | 0.001      |
| 통과성 $\frac{k}{\eta} \rho g \frac{m}{S}$ |               |      | 0.001 | 0.00001    | ~0         |
| 습기                                      | 1             |      |       |            |            |
| 지중매설                                    | 지중을 흐를<br>가 능 |      |       | 함 유<br>불가능 | 함 유<br>불가능 |

(4) 지중에서의 습분(濕分)이동과 배관의 단열

직접지중에 매설하는 배관에서 열매가 흐르는 관을 습분으로부터 보호하는 것은 대단히 중요한 일이다. 이 경우 토양의 특성은 큰 영향력을 가진다. 물이 솟아나오는 속도는 Darcy 법칙으로 계산할 수 있다.

$$v = \frac{k}{\eta} \rho g \frac{h}{l}$$

여기서, k: 흡통과계수, η: 물의 동점도, ρ: 물의 밀도, g: 중력가속도, h/l: 구배

각종 토양에 대한 통과계수는 표 3.19에서 구할 수 있다.<sup>(3,21)</sup> 물의 동점도는 온도의 영향을 받는다. 150℃ 물의 동점도는 0℃ 물 1/8 정도로 내려간다. 따라서 단열이 좋지 않은 배관이나 단열재가 손상을 받는 배관은 지중에서 온도가 높은 방향으로 습분이동이 일어날 위험성이 있다.

모세관 현상이 일어나는 단열재에 침입하는 물의 속도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$v = \frac{r^2}{8\eta l} \left( \frac{2\sigma}{r} + \rho g l \cos \alpha \right)$$

여기서, r: 모세관 반경, l: 도로길이, σ: 표면장력, α: 수직에 대한 모세관의 경사속도

송수온수온도 또는 반송온수온도가 높을 경우 침입한 물은 표면에서 증발하기 때문에 운전중에는 부분적으로 수분침입을 방지할 수

있다.

(5) 신축흡수

열매의 온도변화에 의해 길이방향으로 신축이 일어날 수 있기 때문에 배관의 구조 형태에 주의해야만 한다. 온도팽창을 흡수하는 가장 간단한 합리적인 방법은 배관시스템의 자연탄성을 사용하는 것이다. 탄성을 구하기 위해서는 배관방법, 사용재료(관성모멘트, younger 수)가 필요하다. 배관경로를 정하기 위해서는 고정점을 결정하고 신장 흡수 하중을 산정할 수 필요가 있다. 신장력은 고정점 사이에서 접합선 방향으로 움직인다. 그러므로 곡부 배관이나 Z형 배관은 유리하다. 그림 3.35에 Z형 배관을 나타내었다. 고정점에서 움직이는 점 2로부터 점 2' 방향으로 신장을 저지하는 힘은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

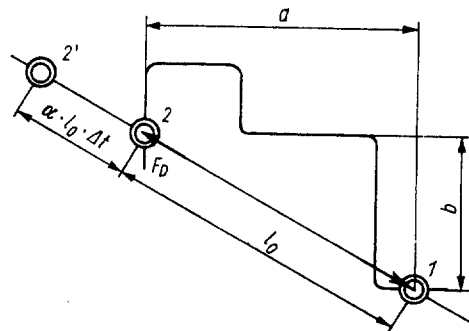


그림 3.35 배관의 우각(隅角) 시공에

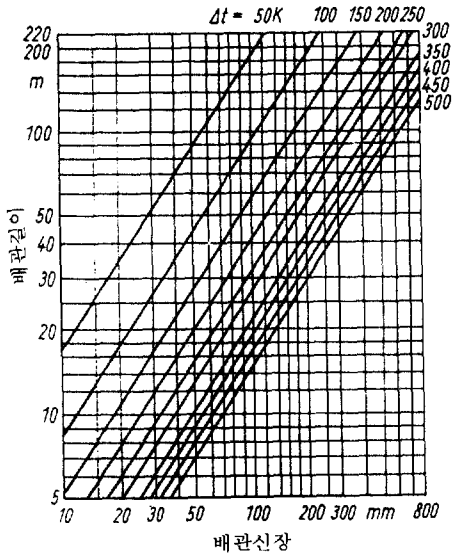


그림 3.36 불순물을 함유하지 않는 또는 불순물이 적은 강재의 온도팽창선도 ( $\alpha \approx 0.012 \text{ mm / mk}$ )

$$F_D = \frac{\Delta l}{l_0} EA \text{ 또는 } F_D = \alpha \Delta t EA$$

여기서,  $l_0$ : 초기유효길이  $l_0 = \sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $\Delta l$ : 길이변화,  $\Delta t$ : 온도변화,  $A$ : 배관단면,  $E$ : younger 계수,  $\alpha$ : 열팽창계수

일반적으로 지역난방 배관은 길이가 확대되기 때문에 자연 신장 흡수에 기대하는 것은 한계가 있다. 그러므로 신축계수를 설계할 필요가 있다. 설계에서 적절한 신축계수의 수는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$z = \frac{\Delta l}{\Delta l_D}$$

여기서,  $\Delta l_D$ 은 각 신축계수의 신축흡수,  $\Delta l$ 은 2점간의 최대신장을 표시한다. 그림 3.36에 배관의 신축을 나타내었다.

(1) U벤드(bend) 신축계수

U벤드 신축계수는 지역난방배관에서 자주 사용된다. 이 신축계수는 유지보수비가 들지 않으므로(maintenance free) 팽창의 흡수도 대단히 크다. 표 3.20에서 고정점 간격을 구할 수 있다. U벤드 신축계수의 결점은 배관의 곡간부분이 4개소로 증가하고, 배관길이도 증가하며 압력손실도 증대한다. 동시에 설치장소

에 여분이 필요하고 횡방향으로 하중을 유발하기 위한 트렌치(trench) 폭이 확대되므로 건설비가 증대한다.

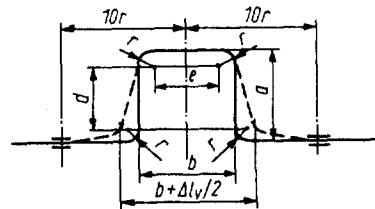
U벤드 신축계수의 치수는 배관의 신장흡수로부터 결정될 수 있다. 지중부설 배관의 치수 결정에서는 Prefab의 암거(暗渠)에 맞게 되도록 고려해야만 한다. 벤드 설치에서는, U벤드 정상부 길이는 직관부분의 신축을 흡수하도록 배려할 필요가 있다.

표 3.20 U벤드 신축계수의 고정점 간격

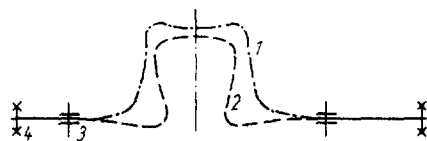
| 배관호칭경(mm) | 고정점 간격(m) |
|-----------|-----------|
| 50~80     | 100       |
| 100~150   | 140       |
| 200~250   | 160       |
| 300~350   | 180       |
| = 400     | 200       |

표 3.21 U벤드 신축계수를 미리 준 인장력

| 운전온도(℃) | 미리 준 길이(%) |
|---------|------------|
| ≤ 150   | 50         |
| 150~250 | 55         |
| > 250   | 60         |



$d \geq 2 \times$  호칭경  $e \geq 2 \times$  호칭경  $r = 3 \times$  호칭경  
그림 3.37 U벤드 신축계수



1. prestress를 준 경우
2. 운전상태
3. guide 부착지 지점
4. 고정점

그림 3.38 U벤드 신축계수의 신장

이 U밴드 정상부길이는 배관호칭경의 2배에 100mm를 첨가시킨 길이로 한다. 부득이한 경우에는 U밴드다리(leg)를 짧게 할 수 있지만 배관의 신장이 있을 경우 직관의 끝부분이 서로 근접하게 된다.

U밴드 신축계수의 개념 그림과 치수법을 그림 3.37에 나타내었다. 곡관부 사이에 있는 배관 d나 ρ에서는 용접접합을 하지 않도록 한다. 신축계수 중앙에서 10r의 거리에 있는 배관과단을 방지하도록 보호(guide)부지지점을 설치한다. 적어도 U밴드의 정점, 또는 2점의 지지점 사이에 전반적인 신장을 허용할 수 있는 로러(roller)상의 지지점을 설치한다. U밴드 신축계수 계산에는 필요한 신축량의 산정도 포함되어 있다. U밴드 길이 변화의 계산에서 신축계수 부분은 전체 신장 변화량의 50~60%를 사전에 인장력에 첨가시킨 상태로 하는 것을 고려해 볼 필요가 있다. 즉, U밴드는

조립 부근에 상호압력이 가해진 상태다. 이것으로 인해 신축계수는 차가운 상태 및 운전 상태에도 거의 같은 힘을 받게 된다.(그림 3.38 참조) 60%까지는 즉 길이변화의 절반까지는 prestress로써 흡수될 수 있다. 이것은 차가운 상태에서의 재료 강도는 운전 상태보다도 강하다는 것에 따른 것이다. 사전 인장력을 준 값은 표 3.21에 나타내었다.

신축계수 신장  $\Delta l_D$ 의 계산은 다음 식을 사용한다.

$$\Delta l_D = \alpha \Delta t_{max} l \frac{100 - V}{100}$$

prestress량은 다음의 식으로 산정할 수 있다.

$$\Delta l_v = \alpha l \left( \Delta t_{max} \frac{V}{100} - t_{Mon} \right)$$

또는

$$\Delta l_v = \alpha l \left( \Delta t_{max} \frac{V}{100} - t_{Mon} + t_{min} \right)$$

표 3.22 U밴드 신축계수의 허용열팽창

| 호칭경<br>(mm) | U밴드(m)을 이용한 경우의 허용열팽창 $\Delta l_{zul}$ (mm) |     |     |     |     |     |     |     |     |          |
|-------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|             | 1.0   | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 10  | 12       |
| 50          | 40  | 105 | 210 | 330 |     |     |     |     |     | Seamless |
| 80          | 30  | 90  | 150 | 240 | 340 |     |     |     |     | 관 밴드     |
| 100         | 30  | 80  | 140 | 210 | 290 | 390 | 490 |     |     |          |
| 150         |   | 70  | 120 | 180 | 250 | 330 | 410 | 480 |     |          |
| 200         |   | 60  | 110 | 170 | 220 | 280 | 350 | 420 | 570 |          |
| 250         |   | 60  | 105 | 160 | 210 | 265 | 330 | 400 | 530 |          |
| 300         |   |     | 100 | 150 | 200 | 250 | 320 | 380 | 500 |          |
| 250         | 주름밴드  | 50  | 90  | 130 | 170 | 210 | 260 | 310 | 400 |          |
| 300         | "   |     | 90  | 120 | 160 | 200 | 250 | 300 | 400 |          |
| 350         | "   |     | 80  | 120 | 160 | 200 | 240 | 290 | 400 |          |
| 400         | "   |     |     | 110 | 150 | 190 | 230 | 280 | 380 |          |
| 500         | "   |     |     | 110 | 150 | 190 | 230 | 270 | 380 |          |
| 600         | "   |     |     |     | 150 | 190 | 230 | 270 | 380 |          |
| 700         | "   |     |     |     |     | 180 | 220 | 260 | 350 | 440      |
| 800         |   |     |     |     |     |     | 220 | 260 | 350 | 450      |
| 900         |   |     |     |     |     |     |     | 260 | 350 | 450      |
| 1000        |   |     |     |     |     |     |     | 250 | 350 | 450      |



| 장 재      | 온도에 대한 보정계수 $k_1$ |       |       |       |       |
|----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|          | 150 ℃             | 200 ℃ | 250 ℃ | 300 ℃ | 350 ℃ |
| St 38b-2 | 1.00              | 0.93  | 0.90  | 0.70  | -     |
| St 35-5  | 1.11              | 1.11  | 0.99  | 0.85  | 0.75  |
| Mb 16    | 1.29              | 1.22  | 1.14  | 0.99  | 0.88  |

여기서,  $\Delta \theta_D$ : 신축계수의 계산에 의한 유효열팽창,  $\Delta l_v$ : prestress 량,  $V$ : prestress 비율(%),  
 1: 유효배관길이,  $\Delta t_{max}$ : 차가운 상태와 운전에서의 온도차,  $t_{min}$ : 차가운 상태에서의 최저 온도,  $t_{mon}$ : 조립시 온도,  $\Delta t_{mon}$ : 조립시 온도와 최저온도의 차

prestress에 관해서는 주위 온도를 고려해 둘 필요가 있다. 최고온도를 기초로 한 prestress 응력은 차가운 상태의 조립에서 온도에 의해 발생하는 팽창보다 감소될 수 있다.

prestress가 50%를 초과하면 차가운 상태 쪽이 운전상태보다 더 큰 응력이 걸린다는 것에 주의해야만 한다. 표 3.21에 나타난 운전 온도에 대응해서 결정될 수 있는 prestress 응력 이상의 응력을 주면 차가울 때는 허용 응력 이상의 힘이 걸리게 된다. U밴드 신축계수의 간단한 사양은 TGL22 160107에서 구할 수 있다. 여기서는 U밴드 신축계수에 밀 주었던 치수와 계산온도의 허용열팽창량을 산정할 수 있다. 표 3.22에 배관경과 U밴드 신축계수에 의한 허용열팽창량을 나타내었다. (재료 St 38b-2, 설계온도 150℃)<sup>(3, 22)</sup>이 경우에는 배관내압의 영향도 고려하고 있다. 배관 내압이 낮을 경우에는 허용열팽창량은 1.25배가 된다. 표의 값은 seamless관(용접 이음새 없는 관) 밴드의 호칭경 50~300mm, 주름 부착밴드에서는 250~1000 대해 유효하다. 표에 나타난 이외의 것을 사용할 경우, 온도가 다를 경우에는 다음 식을 사용하여 표의 값을 수정한다.

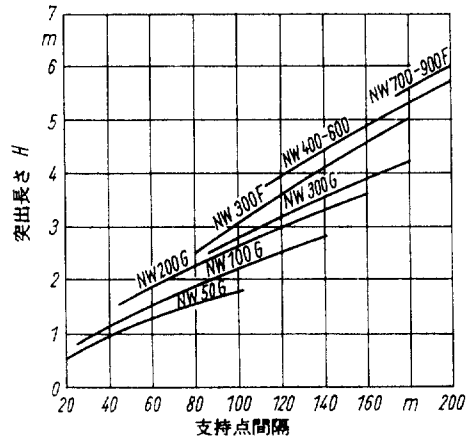
$$\Delta l_{zul, k} = \Delta l_{zul, k}$$

여기서,  $\Delta l_{zul, k}$ : 보정된 허용열팽창량,

$\Delta l_{zul}$ : 표에 의한 열팽창량,

$k_1$ : 보정표에 의한 보정계수

그림 3.39에 U밴드 신축계수의 고정점 간격에 따른 필요한 張出(달아낸 부분)의 길이를 나타내었다. 이 경우 prestress 응력으로서 50%를 고려하였다. 그림 3.40에 배관 밴드의 종류를 나타내었다.

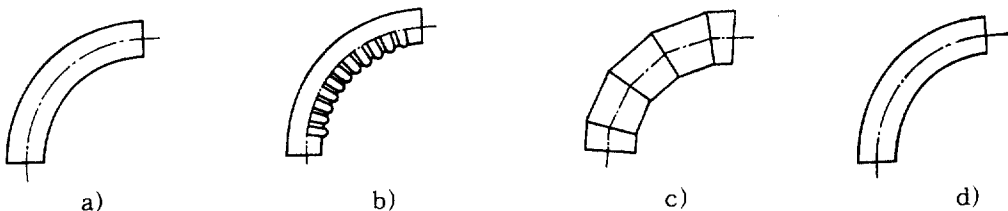


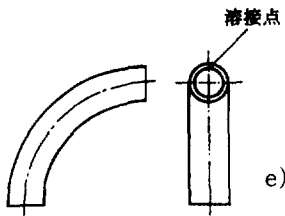
NW: 호칭경                      둘출길이

G: seamless관 밴드

F: bellosws형 밴드

그림 3.39 U밴드 신축계수의 둘출길이





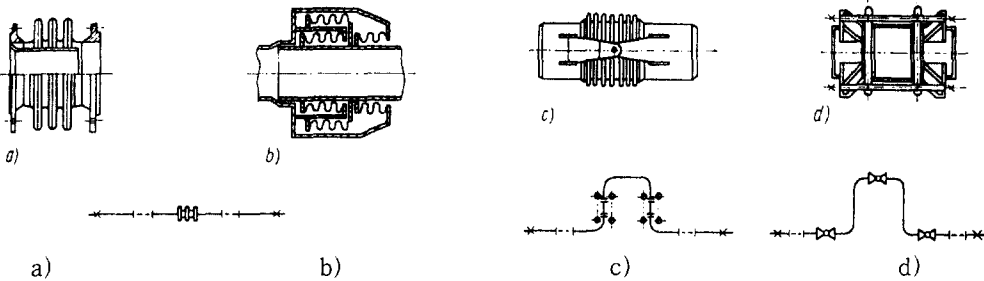
- a) seamless관 엘보우
- b) bellows형 벤드
- c) 주름곡관 벤드(mic 벤드)
- d) 단접관 벤드(도사이)
- e) 1점 용접관 엘보우

그림 3.40 배관벤드의 종류

벤드 적용장소를 표 3.23에 나타내었다.

표 3.23 배관벤드의 적용범위

| 특징                         | 배관종류                  | 호칭경(mm)  | 벽압        | 강재/품질종류                                 | 곡부반경             |
|----------------------------|-----------------------|----------|-----------|---|------------------|
| seamless관 엘보우<br>기계냉간 뒷마감  | 繼目없는 강관               | 200~300  | 보통        | St 35-5<br>St 45-5<br>15 Mo3            | 3×배관외경           |
|                            |                       | 20~80    |           | 13CrMo 4.4<br>10CrMo 9.10               |                  |
| seamless관 엘보우<br>냉간·온도 뒷마감 | 繼目없는 강관               | 20~500   | 전체        | 전체강관                                    | 4(5)×배관외경        |
| 벨로우즈형 벤드                   | 용접 繼手 강관              | 200~700  | 보통        | St 38u-2<br>St 38b-2<br>Mb 16<br>15 Mo3 | 1.5 호칭경          |
| 단접관 벤드                     | 繼目없는 강관               | 50~300   | 보통 St 35b |   | 특별               |
|                            |                       | 50~800   | 보통 및 강화   | 전부 강관                                   |                  |
| 주름곡관 벤드                    | 용접 繼手강관 <sup>1)</sup> | 200~3000 | 보통 및 강화   | St 38u-2<br>St 38b-2<br>Mb 16<br>15 Mo3 | 1 호칭경<br>1.5 호칭경 |
| 1점 용접관 벤드                  | 아연강관                  | 20~150   | 보통        | St 38u-2                                | 1.25 호칭경         |



- a) 하중이 걸리는 벨로우즈형 신축계수
- b) 하중이 걸리지 않는 벨로우즈형 신축계수
- c) 경첩볼트를 부착한 벨로우즈형 신축계수
- d) 길이방향으로 prestress를 준 벨로우즈형 신축계수

그림 3.41 벨로우즈형 신축계수

※ 본 원고는 한국지역난방공사의 지원으로 본학회에서 주관하여 오후규 교수의 번역으로 이루어진 것임을 밝히며 한국지역난방공사 관계자 여러분께 감사의 뜻을 전합니다.