

동절기 수압시험을 대체하는 공기압시험의 적정압력 비교분석에 관한 연구

권영희* · 황동환* · 김태길* · 강경식**

*명지대학교 산업경영공학과 · **명지대학교 산업경영공학과 교수

Winter to replace the hydraulic test and pneumatic test comparative analysis of study on the optimal pressure

Young-Hee Kwoun* · Dong-hwan Hwang* · Tae-gil Kim* · Kyung-Sik Kang**

*Department of Industrial Engineering, Graduate School, University of Myongji

**Department of Industrial Management Engineering, Myongji University

Abstract

Using a high-rise building water piping after hydrostatic test of the reliability of the leak to be completed if the pressure is maintained until the leak is not commercially available considered. Due to the nature of high-rise buildings and the construction period will take several years from the lower levels of use of the water supply and fire fighting water pipe construction is in progress, the order of which I do most of the first pipe to the construction and more than three years. So kind of riser pipe is complete, install the valve in the basement by installing an automatic pump to maintain a constant pressure after hydrostatic test and after each floor plumbing piping is complete, the progress of the hydrostatic test without undergoing a separate branch pipe the valve is opened automatically when the number of the pressing pressure of the structure. I kind of do and keep working pressure of pipe until the completion of the construction work to keep the damage to human error when it is intended to prepare. In winter, the frost protection and an alternative to drainage water pipe is damaged or deformed, even if unaware of the finishing work to the building, the use of the damage caused by a leak in a after construction of finish work to be expected. Alternative to reduce this damage if the pressure test without fear of freezing to help maintain long-term commercial pressures may be considered.

Keyworld : Hydrostatic test, Pneumatic test, Temperature compensation of pressure

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근의 건설공사는 계절에 상관없이 진행되고 있으며 공사기간 또한 아파트의 경우는 약 3년여의 공사기

간이 필요하고 고층 건축물 등 일부 공사는 수년에 걸쳐 진행되고 있으며 건축설비공사나 소방공사에 있어서 수압시험은 물을 이용하는 모든 기계장치와 배관에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다. 기계장치나 배관의 누수를 사전에 차단하기 위하여 사용 유체가 물이라면 당연히 물을 충전하고 압력을 가하여 수압시험을 하여야 한다.

† Corresponding Author : Dong-hwan Hwang, Department of Industrial and Management Engineering
College of Engineering Myong Ji University, San 38-2, Nam-Dong, Cheoin-Gu, Yongin Gyeonggi
-Do, S.Korea 449-728 M · P : 010-6306-9808, E-mail : h4299@hanmai.net

Received April 20, 2014; Revision Received June 18, 2014; Accepted June 19, 2014.

수압시험이 완료된 후라도 건축 타 공종의 작업시 파손을 우려하여 파손되면 즉시 알 수 있도록 상용압력에 해당하는 압력을 유지하는 것이 일반적이다. 동절기로 접어들면 개방공간이나 비 난방구간에는 동파의 위험이 있으므로 배수 시키고 있으나 굴곡진 부분은 물이 고여 있게 되어 결국 동파되어 건축물의 마감공사 후에 누수되는 일이 빈번히 일어나고 있다. 이러한 배관은 콘크리트에 매립되거나 반자 내부에 은폐되어 파손이 되었다라도 미처 발견되지 않으므로 하자 발생의 주요 원인이 되고 있다.

따라서 이를 방지하기 위해서는 공기를 충전하여 적정압력을 유지하는 것이 필요하다. 또한 일정 압력을 유지한 상태에서 주위의 온도 변화에 따라 파이프 내부의 압력도 변동되어 결국 일정압력을 유지할 수 없게 된다. 즉 주간에는 온도의 상승에 따라 공기가 팽창되면 압력은 상승되고 반대로 야간에는 온도가 낮아지면 압력이 하강하는 현상이 발생된다.

이러한 배관내부의 일정 압력을 유지하기 위해서는 과압배출과 급기를 할 수 있도록 하여야 한다. 그러나 물과 공기는 특성이 각각 다르므로 누수조건에 알맞은 동질성의 압력으로 변환하여야 하고 이때 가압된 공기의 압력도 외기 온도 변화에 따라서 공기의 압력을 해당 온도에 적합하도록 보상할 필요가 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건축설비배관과 소방설비배관에서 펌프의 양정은 수두압력과 마찰손실수두 및 기구에서의 필요압력을 구한 합계 공사에서 초고층 건축물은 통상 50층 이상으로서 높이는 200M이상, 준 초고층 건축물은 30층 이상 50층 미만으로서 높이는 120m 이상 200m 이하의 건축물이며 의 건축물을 말한다.

<Table 1> Classification of high rise and low rise buildings

| 구분 | 층수 | 높이 | 수두압 |
|---------|------------------|-----------|--|
| 일반건축물 | 30층이하 | 120m 이하 | 12Kg/cm ² 이하 |
| 준초고층건축물 | 30층 이상 50층 미만 | 120m~200m | 12Kg/cm ² ~20Kg/cm ² |
| 초고층건축물 | 50층이상 | 200m 이상 | 20Kg/cm ² 이상 |

건축물에서 물을 사용하는 설비로는 급수시설, 급탕시설, 소화설비의 옥내소화전, 스프링클러시설등 다양하다고 할 수 있다. 그중 대부분의 급수설비는 스테인레스 강관을 사용하나 배관재료의 다양화와 시공방법이 달리 적용되고 있다.

따라서 본 연구의 범위는 적정한 시험 압력에 대하여 소방공사 배관에서 사용되는 백강관을 사용하는 것으로 가정하고 수압시험 대체하는 공기압시험은 ASME-CODE (Part UG-100), (Part UG-101)에 의해 공기압시험을 수행한다.

2. 초고층 건축물의 소방배관 수압시험 압력

초고층 건축물은 이러한 건축물은 최상층부에서 최하층부로 전달되는 수두압을 고려하여 저층부와 고층부로 구분하여 설비의 시스템을 구성하고 있다 따라서 수압시험 압력도 상용압력에 적합하게 하여야 한다. 건축설비 배관에서는 사용압력이 밸브류 등 부속품의 사용최대 압력으로 주철제품은 10Kg/cm², 주강제품은 20Kg/cm² 으로 구분되고 있으며 소방에서 사용되는 알람밸브나 프리액션밸브 또한 10Kg/cm²이 최대 사용압력으로 되어있다. 이는 가장 멀리 있는 가지관의 말단의 방수압력이 1Kg/cm² 이상 12Kg/cm² 이하로 제한 되어있으므로 이는 관련 규정(스프링클러설비의 화재안전기준 제5조의 9)에 충족되는 것으로 보여진다. 또한 배관의 사용압력이 12Kg/cm² 이하에서는 일반 아연도금강관(KSD 3507)을 사용토록 하고 그 이상이 되면 압력배관용 강관(KSD 3562)을 사용한다.

따라서 실제 사용압력은 최종 말단의 방수 압력에 구간별 마찰손실과 높이를 감안하여 양정(H)을 구한 다음 상용압력을 정하고 수압시험(소방시설 성능시험조사표 스프링클러설비 및 옥내소화전설비)은 상용압력에 140%를 시험하도록 되어있다. 수압시험은 1.4Mpa (0.1 MPa는 1Kg/cm²로 계산됨)의 압력으로 2시간 이상 시험하고자 하는 장치의 가장 낮은 부분에서 가압하되, 배관과 배관·배관부속류·밸브류·각종장치 및 기구의 접속부분에서 누수현상이 없어야 한다. 이 경우 상용수압이 1.05Mpa이상인 부분에 있어서의 압력은 그 상용수압에 0.35Mpa을 더한 값으로 한다.

스프링클러의 양정은 다음과 같다.

$$H = h_1 + h_2 + 10m \dots\dots\dots(1)$$

또한 하나의 방호 대상물에 2이상의 소방 시설이 있는 경우는 시스템별 각각의 시험을 수행한다.

3. 수압 대체 공기압시험

3.1 개념

수압시험에서 건디는 압력은 수압이나, 공기압은 동일한 힘을 가지고 파이프나 부속의 관벽에 작용한다. 공기는 압축성물질이고 물은 비 압축성 물질이라고 할 수 있다. 그렇다고 물이 전혀 압축되지 않는 것이 아니고 다소의 압축으로 변화가 적을 뿐이다.

다만, 틈새로 누설되는 것은 유체의 밀도와 점성, 표면장력이 공기와 물이 각각 다르고 온도에 따라 또 다른 특성을 가지게 되므로 실험식에 의해 계산하는 것이 편리하며 다음과 같이 이상기체 상태방정식을 이용하여 해석할 수 있다.

$$PV = \frac{W}{M}RT, \quad PV = nRT \quad \dots\dots\dots(2)$$

여기서, P : 압력(atm), V : 체적(ℓ), M : 분자량(mol), W : 무게(g), R : 기체상수(atm/k.mol), T : 절대온도($^{\circ}K$)

위 이상기체 방정식을 이용하여 해석하면 가스의 밀도는 계산에 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{MP}{RT} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\rho = \frac{W}{V} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$PV = nRT = \frac{W}{M} \times RT \quad \dots\dots\dots(5)$$

0 $^{\circ}C$ 에서의 공기의 밀도는 식(3)으로 구한다.

$$= \frac{1 \times 28.84}{0.082 \times 273} = 1.292 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

<Table 2> The density of the water and air temperatures compared

| 온도(T= $^{\circ}C$) | 공기의 밀도(Kg/m 3) | 물의 밀도(Kg/m 3) | 온도(T= $^{\circ}C$) | 공기의 밀도(Kg/m 3) | 물의 밀도(Kg/m 3) |
|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| -100 | 2.032 | - | 6 | 1.260 | 999.97 |
| -50 | 1.577 | - | 7 | 1.256 | 999.93 |
| -20 | 1.390 | - | 8 | 1.251 | 999.88 |
| -10 | 1.337 | 998.15 | 9 | 1.247 | 999.81 |
| -9 | 1.332 | 998.43 | 10 | 1.242 | 999.73 |
| -8 | 1.327 | 998.69 | 11 | 1.238 | 999.63 |
| -7 | 1.322 | 998.91 | 12 | 1.234 | 999.52 |
| -6 | 1.317 | 999.12 | 13 | 1.229 | 999.40 |
| -5 | 1.312 | 999.30 | 14 | 1.225 | 999.27 |
| -4 | 1.307 | 999.45 | 15 | 1.221 | 999.13 |
| -3 | 1.302 | 999.58 | 16 | 1.216 | 998.97 |
| -2 | 1.297 | 999.70 | 17 | 1.212 | 998.80 |
| -1 | 1.293 | 999.79 | 18 | 1.208 | 998.62 |
| 0 | 1.292 | 999.87 | 19 | 1.204 | 998.43 |
| 1 | 1.283 | 999.93 | 20 | 1.200 | 998.23 |
| 2 | 1.278 | 999.70 | 21 | 1.196 | 998.02 |
| 3 | 1.274 | 999.99 | 22 | 1.192 | 997.80 |
| 4 | 1.269 | 1000.00 | 23 | 1.188 | 997.57 |
| 5 | 1.265 | 999.99 | 24 | 1.184 | 997.33 |

- 1) 기체상수는 0.082로 계산함
- 2) 공기 1mol의 분자량 M= 28.84g으로 가정함

3.2 계산 예

다음과 같이 특정 현장으로 가정하며 계산식은 ASME-CODE (Part UG-100), (Part UG-101)에 의해 공기압시험(Pneumatic Test)을 수행한다.

계산조건 : 수압 15Kg/cm²(1500KPa)
백강관 : 25mm~100mm, 271m,
외기온도 : 17℃
ASME CODE에 의한 계산식(SI units)

$$P = 0.5H \frac{S_U}{S_U + 34,285} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, P : 시험 공기압력(KPa)
H : 수압시험압력(KPa)
S_U : 철의 인장강도(17℃에서 70,000Psi)
(480 MPa) → 480,000KPa

위의 식에 대입하여 계산하면

$$P = 0.5 \times 1500KPa \times \frac{480,000KPa}{480,000KPa + 34,285} = 700KPa \approx 7kg/cm^2$$

따라서 고층부의 공기압 시험은 7kg/cm²이 적정하다.

3.3 공기압 시험 지속시간

최소 1.3시간(1시간20분), 최대 4시간이므로 약간 낮은 압력에서 누설부분을 현장조사하고 규정압력으로 누설시험하는 것이 바람직하다.

3.4 압력강하 허용오차

온도의 변화가 없는 한 압력이 강하되어서는 아니 된다.

3.5 온도에 따른 압력 변화

온도에 따른 압력 변화율을 계산하면 식 (5)에서 $PV = \frac{W}{M}RT$ 에서 $\frac{W}{M}$ 는 무시하고 압력을 계산하면

$$P = \frac{RT}{V} \text{ 가 되므로 } 17^\circ\text{C를 표준온도로 계산하면 } P(Kg/cm^2) = \frac{R(0.082) \times T(\text{절대온도 } K)}{V(\text{체적 } m^3)}$$

로 숫자를 대입하면

$$\frac{0.082 \times (17 + 273)^\circ K}{0.38333 m^3} = 62.035$$

식(5)에서 17℃에서의 압력은 7kg/cm²이므로 온도를 보정하기 위해서는 62.035/7 = 8.862 즉, 8.862의 상수를 얻을 수 있다.

따라서 온도별 공기압 시험 압력을 구하면

- 1) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 32℃에 해당하는 공기압의 계산 $\frac{0.082 \times 305}{0.383359} / 8.862 = 7.361 Kg/cm^2$
∴ 7.36kg/cm²
- 2) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 17℃에 해당하는 공기압의 계산 $\frac{0.082 \times 290}{0.383359} / 8.862 = 6.999 Kg/cm^2$ ∴ 7.00kg/cm²

<Table 3> Pipe volume table

| 종류 | 규격 | 단위 | 길이 | 내용적(m ³) | 비고 |
|-----|------|----|-----|----------------------|--------------|
| 백강관 | 25A | M | 132 | 0.07836 | |
| 백강관 | 32A | M | 8 | 0.00822 | |
| 백강관 | 40A | M | 13 | 0.01808 | |
| 백강관 | 50A | M | 9 | 0.01582 | |
| 백강관 | 65A | M | 85 | 0.19382 | |
| 백강관 | 80A | M | 18 | 0.04818 | |
| 백강관 | 100A | M | 6 | 0.02082 | |
| 계 | | | | 0.38333 | ∴383.3359Lit |

3) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 10℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 283}{0.383359} / 8.862 = 6.831 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 6.83 \text{kg/cm}^2$$

4) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 0℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 273}{0.383359} / 8.862 = 6.589 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 6.59 \text{kg/cm}^2$$

5) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 -5℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 273}{0.383359} / 8.862 = 6.468 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 6.47 \text{kg/cm}^2$$

6) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 -10℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 263}{0.383359} / 8.862 = 6.348 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 6.35 \text{kg/cm}^2$$

7) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 -15℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 258}{0.383359} / 8.862 = 6.227 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 6.23 \text{kg/cm}^2$$

8) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 -20℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 253}{0.383359} / 8.862 = 6.106 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 6.11 \text{kg/cm}^2$$

9) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 -25℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 248}{0.383359} / 8.862 = 5.985 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 5.98 \text{kg/cm}^2$$

10) 수압시험 15kg/cm², 외기온도 -30℃에 해당하는 공기압의 계산

$$\frac{0.082 \times 243}{0.383359} / 8.862 = 5.865 \text{Kg/cm}^2 \quad \therefore 5.86 \text{kg/cm}^2$$

4. 결론

우리나라는 계절에 따라 하절기에는 약 32℃가 되고 동절기에는 약 -30℃까지 하강하여 온도 편차는 무려 $\Delta T = 62^\circ\text{C}$ 에 달한다. 고층건축물의 공사기간은 대부분 3년이 넘는데 건축설비공사의 급수, 급탕배관공사, 소방공사를 저층부 부터 고층부로 완료한 후 수압검사를 하고 상용압력에 해당하는 압력으로 충수하여 완공 때까지 유지하고 있으나 동절기에는 배수시키더라도 배관의 낮은 부분은 배수가 되지 않고 동파가 되므로 건축의 마감공사가 완료된 후에는 누수부분을 재시공 하더라도 많은 비용이 발생된다.

따라서 이의 대안으로 공기압시험을 하여 배관 내부에 공기가 충전된 상태로 유지 한다면 동파의 우려도 없고

누수로 인한 타 공정의 피해도 없을 것으로 사료된다.

따라서 수압시험을 대체하는 공기압시험은 물과의 특성이 상이함을 알 수 있다. 공기압 시험에서 계산 “예”와 같이 하절기에는 수압시험 15kg/cm²에 적합한 공기압 시험은 7.36kg/cm²인데 동절기에는 수압시험 15kg/cm²에 적합한 공기압시험은 5.86kg/cm²으로 1.50kg/cm²의 편차가 있음을 알 수 있었다. 압력변동을 최소화 하기 위하여 상기와 같이 공기압력을 온도의 변화에 따라 적정 압력이 유지 되도록 하여야 한다.

5. References

- [1] Publisher of CYBER (2009), Combustion and fire dynamics 1-3pp, 10-96pp
- [2] ASME UG-99, Standard Hydrostatic TEST, 2001 SECTION VIII-DIVISION 1-80pp
- [3] ASME UG-100, PNEUMATIC TEST, 2001 PART UG - GENERAL REQUIREMENT, 81pp
- [4] ASME UG-101, PROOF TEST TO ESTABLISH MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE, 2001 SECTION VIII-DIVISION 1-82pp
- [5] Byung-chil Oh, Young-jea Lee, Jong-ill Park, Sang-ki Back, Gi-won Seo, Bong-jea Hong(2012), Laws in relation to the facility for construction equipment Commentary, 41pp

저자 소개

권영희



방송대학교 보건위생학과 학사 취득. 경희대학교 보건행정학과 석사 취득 후 현재 명지대학교 산업경영공학과 박사과정 중. 관심분야 : 소방방재, 응급의료, 화재감식 등

주소 : 경기도 용인시 처인구 명지로 116, 명지대학교 산업경영공학과

김태길



한남대학교 경영산업대학원 공학 석사를 취득하였으며 명지대학교 산업경영공학과 박사과정 중에 있다. 현재 한국철도공사 안전본부 안전지도부장으로 재직하고 있다. 관심분야는 철도안전관리, 안전경영 등이다.

주소 : 대전시 서구 청사로 65, 103-405(월평동, 황실타운 아파트)

황동환



명지대학교 산업경영공학과 박사과정 중
현 (주) 동부기술단이사로 재직, 소방기술사, 수원과학대학교 건축설비소방학과 겸임교수

주소 : 서울시 강동구 양재대로 103길(성내동) 51-3

강경식



인하대학교 산업공학과에서 학사·석사·박사와 연세대학교·경희대학교에서 경영학 석사·박사 취득. North Dakota State Univ. 에서 Post-Doc과 Adjunct Professor 역임. 현재 명지대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중. 주요 관심분야는 생산관리, 물류관리, 안전경영 등이다.

주소 : 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과