수도용 강관의 온도변화에 따른 물리적 특성에 대한 연구 Study on the Physical Characteristics of Water Supply Steel Pipe according to Temperature Change

김우영 · 장암*[†]

Woo-young Kim · Am Jang*[†]

한국수자원공사 · *성균관대학교 건설환경시스템공학과

K-water · *Department of Environmental Engineering, Sungkyunkwan University

(Received November 20, 2017; Revised December 12, 2017; Accepted December 26, 2017)

Abstract : ‘The facilities standards of water supply’ issued by the Ministry of Environment in 2004 indicates that expansion joints cannot be used in welding water supply steel pipes. However, their reason is not clear and it is difficult to confirm the stability of the steel pipe for a water supply pipeline. The purpose of this study is to determine whether or not an expansion joint is necessary to improve the stability of water supply in steel pipe through a displacement analysis of the pipework. The test results are as follows. Firstly, it was found that expansion and contraction of the water supply steel pipe (D 2,400 mm) occur repeatedly in 4 cycles per year, and the maximum expansion and contraction amount of the pipe is 13.03 mm in 1.24 km pipelines. Secondly, the thermal stress caused by expansion and contraction of the steel pipe is 13.7~36.1 kgf/cm² according to the burial depth (0~4 m). The main comparison factors to determine the stability of the steel pipe (STWW 400) were the allowable tensile strength and the fatigue limit, which were computed to be 4,100 kgf/cm² and 1,840 kgf/cm², respectively. Finally, the thermal stress of the steel pipe is very small compared to the allowable tensile stress and fatigue stress. Therefore, thermal stress does not affect the stability of the steel pipe, although the expansion and contraction of the steel pipe occurs by temperature changes. In conclusion, the study demonstrated that expansion joints are not required in water supply steel pipelines.

Key Words : Thermal Stress, Expansion Joint, Expansion Chamber, Stability of the Water Supply Steel Pipe

요약 : 환경부에서 수립한 「상수도 시설기준(2004)」은 관로 신축이음관 설치기준에 있어서는 용접이음 강관에는 설치하지 않는 것으로 규정하고 있으며, 이에 대한 근거가 명확하지 않고 관로 안정성이 충분히 확보되었는지 확인하기가 어렵다. 금번 연구에서는 강관의 거동 분석을 통한 관로 안정성을 연구하여 신축이음관의 필요여부를 검증하는 것을 목적으로 하였다. 검토결과는 아래와 같다. 첫째, 아스팔트 도복장강관(D2,400 mm)은 온도변화에 따라 4-cycle로 관로 신·수축이 반복되며, 연장 1.24 km에 있어 최대 13.03 mm의 변위를 나타내었다. 둘째, 수도용 강관의 신·수축으로 발생하는 온도응력은 매설깊이(최대 4 m)에 따라 13.7~36.1 kgf/cm²로 발생되며, 강관(STWW 400)의 안정성에 큰 영향을 미치는 주요 비교인자인 허용 인장강도와 피로한도는 4,100 kgf/cm²와 1,840 kgf/cm²로 산출되었다. 마지막으로, 수도용 강관의 온도응력은 허용 인장강도와 피로한도와 비교시 매우 작음에 따라, 온도변화에 의한 관로의 신·수축이 발생하여도 관로 안정성에는 영향을 끼치지 못함을 알 수 있었다. 결론적으로 금번 연구를 통하여 수도용 강관의 관로부에는 신축이음관을 설치할 필요가 없는 것으로 증명되었다.

주제어 : 온도응력, 신축이음관, 신축관실, 관로안정성

1. 서론

물의 중요성 및 국민적 요구수준 증대로 “중단없는 수도 물 공급”은 시대적 과제가 되었고, 상수도 사고발생시 주민생활 및 산업경제에 막대한 영향을 끼침에 따라, 국내 대표적인 물전문기관인 K-water는 “단수 ZERO化”를 위하여 수도 전(全) 사업장을 대상으로 관로 교체, 관로 복선화, 시설 이중화 등의 시설 확충 및 노후 시설 안정화를 통하여 사고 발생율을 낮추고, 사고 발생시에도 예비 시설을 통한 안정적인 물공급을 도모하는 수도시설 안정화 사업¹⁾을 추진 중에 있다. 하지만 수도시설 안정화 사업은 수도사고 발생 원인을 주로 시설 노후 및 하자로 규명하고 있으며, 자연현상에 기인한 어떠한 현상도 규명하고 있지 않고 있다. 자연현상으로 인하여 관로에 영향을 미치는 경우는 지질 및 온

도변화가 대표적이라고 할 수 있다. 지질변화는 자연재해의 성격을 띠며, 내진설계 등으로 피해를 최소화할 수는 있지만, 예방하기는 어려운 것이 사실이다. 하지만 온도변화의 경우, 관로에 미치는 영향을 사전에 파악하고 이에 대비한다면, 발생하는 피해의 예방은 가능할 것으로 판단된다.

과거 온도변화에 따른 관로의 신·수축에 대비하기 위하여 용접이음방식의 강관은 신축이음관을 2~3 km간격으로 설치하였으나, 지금은 「상수도 시설기준(2004)」 수립 이후부터는 설치되지 않고 있다. 하지만 이에 대한 근거가 명확하지 않으며, 관로 안정성이 충분히 확보되었는지 확인하기가 어렵다. 따라서, 온도변화에 따른 관로의 신·수축 정도를 파악하여, 관로사고를 미연에 방지할 수 있는 방안을 도출하며, 이를 토대로 안정적인 용수 공급의 토대를 마련하기 위한 연구가 필요하다고 할 수 있겠다.

[†] Corresponding author E-mail: amjang@skku.edu Tel: 031-290-7535 Fax: 031-290-7549

금번 연구에서는 SP (steel pipe), DCIP (ductile cast iron pipe), PE (polyethylene pipe), SS (stainless pipe), PVC (polyvinyl chloride pipe), GRP (glass fiber reinforced plastic pipe) 등의 전(全) 상수관종의 특성 및 이음방법의 고찰을 통한 온도변화에 취약한 관종 선정을 위하여 문헌조사부터 시행하였다. 현장 실험(수도권 광역상수도 SP $\phi 2,400$ mm)에서는 온도변화에 따른 관로 신·수축의 영향인자를 파악하고, 각 영향인자별 데이터 수집을 위하여 K-water 팔당권관리단의 협조를 얻어 필요한 센서를 설치하고, 주기적 관찰을 통하여 1년 이상의 장기간 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 분석하고 관로의 주변환경(마찰력, 피로한도 등) 및 강관 재질의 내구 특성 등을 비교·검토하여 관로 안정성을 판단하였다.

1.1. 관로 열팽창 특성

모든 물질에 열을 가할 경우, 그 물질은 길이 또는 부피가 증가되는 현상을 보여준다. 이는 물질내부의 원자가 가해진 열에 의해 빠르게 흔들리는 변화가 발생하며, 열을 더욱 가할수록 증폭되는 원자의 진동에 의해 원자들 사이의 거리가 증가하여 발생되며 이를 물질의 열팽창이라고 한다. 열팽창은 다음의 식을 사용한다(식 (1)).

$$\epsilon T = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

where ; ϵ : Strain (mm/mm)

T : Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

α : Coefficient of thermal expansion

1.2. 관로 열팽창시 고려사항

1.2.1. 관로 재질

관로는 속이 빈 형태(판을 말아놓은 형태)로 관 두께(t) 대비 종단과 횡단방향의 연장(L)이 매우 길어, 부피팽창은 종·횡단 방향의 길이 팽창으로 나타낼 수 있음에 따라, 상수관으로 적용되는 관종²⁾의 재질에 따른 열팽창에 있어서는 Table 1에 따른 선팅창 계수가 주요지표가 된다.

1.2.2. 온도

지중(매설심도 1.0 m 이상)에 부설되는 상수관로는 내·외부의 접촉되는 매질이 달라 감안하여야 하는 온도에 대한 검토가 필요하다. 외부는 지중온도에 영향을 받으며, 내부는 압력관으로 내부면이 모두 윤변에 해당되어 수온에 영향을 받는다. 지중온도와 수온은 기온 변화에 연동됨에 따라

Table 1. Linear expansion coefficient according to the types of water supply pipes³⁾

Category	SP	DCIP	SS	PE	PVC	GRP
Linear expansion coefficient [K^{-1}]	1.1×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.7×10^{-5}	1.1×10^{-4}	7.0×10^{-5}	1.1×10^{-5}

금번 실험에서 정확한 계측이 필요하다.

1.2.3. 주변토압(마찰력)

상수관로는 대부분 지중(심도 1.0~4.0 m)에 부설된다. 원형의 형태에 내부에는 비압축성인 물로 충전되어 있어, 깊은 심도의 토압과 상부에서 발생하는 이동(운)하중에도 물리적인 손상없이 그 형태를 유지할 수 있다. 매설심도가 깊어질수록 토양과 관로사이의 마찰력은 증가⁴⁾하며, 관로의 신·수축시 토양과 관로표면에서 발생하는 마찰력은 부(-) 마찰력으로 작용됨에 따라 어느 정도 영향을 미치는지 반드시 확인하여야 할 것이다.

1.2.4. 관로 피복 및 라이닝

도로 계통의 피복 및 라이닝은 시공두께가 0.4~0.6 mm 정도로 원관 두께 대비 매우 얇으며, 이중간의 결합에 의한 피복 및 라이닝의 경우에도 피복두께가 3~6 mm 정도로 원관 두께 대비 30% 정도이며, PE 피복은 연신율 350% 이상으로 연성도가 매우 높아 강관의 강도에 끼치는 영향은 매우 적을 것으로 판단된다.

1.2.5. 피로한도

우리나라 기후는 여름과 겨울이 매년 반복해서 나타난다. 이에 따라, 지하에 매설된 상수관로 역시 온도변화에 따른 신축과 수축을 반복한다고 할 수 있다. 관로의 신·수축은 내부 응력으로 발생되며, 반복 응력 발생으로 내구강도가 저하되어 관로의 강도보다 훨씬 작은 강도에서 파괴되는 현상이 나타날 수 있다. 이에 따라, 강관의 S-N Curve (S: Strength, N: Number of cyclic loads)를 통해 도출된 피로한도와 반복되는 관로의 온도응력을 비교·분석하여 관로의 안정성을 검토하여야 한다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료 및 장치

2.1.1. 변위계

변위계는 ‘Strain’, 즉 물체에 외력이 작용하여 물체의 변형이 일어나는 효과를 이용하여 재료의 응력 및 변형정도를 확인하는 센서로 변형도 또는 변형률을 측정하는 장치이며, 어느 물체가 인장 또는 압축을 받을 때 원래의 길이에 대하여 늘어나거나 줄어든 길이를 비율로 값을 표시한다. 산출된 값은 단위를 갖지 않으며, 굳이 단위를 표시하려면 cm/cm, mm/mm 등으로 표시할 수 있다.

변위계를 통하여 측정하는 대상의 변형을 직접 측정할 수 있으며, 이를 전기적인 신호로 바꾸어 우리가 얻고자 하는 변형율이나 응력변화를 알 수가 있다. 여기서 측정할 변형량은 거의 대부분이 재질의 탄성 영역 부분에서 측정이 이루어지고 있다. 금번 실험에서는 전기식 스트레인게이지를 적용하였으며, 변형의 측정방향은 수직 변형과 전단 변형

Fig. 1. Schematic diagram of installing the strain gauge.

중 관로 종단방향의 신·수축의 정도를 확인하기 위하여 수직변형을 측정하였다.

2.1.2. 온도계

앞서 검토한 내용과 같이 금번 실험의 주요 영향인자는 온도이며, 측정이 필요한 온도는 관로내 수온과 관로를 둘러싸고 있는 지중온도이다. 실험관로는 한국수자원공사에서 관리하고 있는 도수관로이며, 신축관실내 관 수온과 지중 온도를 실험할 수 있도록 환경을 조성해 놓았다. 관 수온은 분기된 관로에서 물을 채집하여 측정하며, 지중 온도는 밸브실 밖(지중)에 센서를 설치하여 측정한다.

2.2. 실험방법

금번 연구는 현실성을 높이기 위하여, 별도의 연구시설을 제작하지 않고, 실제로 운영중인 상수관로를 1년 단위로 실제 거동을 측정하였다. 최초 실험은 2009년에 한국수자원공사의 협조를 받아, 수도권광역상수도 1개 지점에 실험장비를 설치하여 매일 동시간대 관로변위와 지중온도를 측정하였다. 하지만 알 수 없는 원인에 의하여 2009년 7~8월 동안의 데이터에 오류가 발생하였다. 이를 보완 및 검증하기 위하여, 2015년도 2차 시험을 시행하였으며, 1,2차 데이터의 비교를 통해 신뢰도를 확인하며, 오류가 발생하지 않은 2차 시험 데이터를 기준으로 실험 결과를 도출하였다. 금번 실험결과와 주요 영향인자 중 계측 데이터는 ① 관 수온, ② 지중온도와 ③ 관로변위로 신축관실내 관로에 설치하였다.

Table 2. Experiment overview

Period	Primary : 2009. 1. 1. ~ 12. 31. Secondary : 2015. 1. 1. ~ 12. 31.
Place	Expansion chamber (No.171+15.64) on the pipe for raw water from Paldang 1-water intake station 2-Step (Incheon Line)
Steel pipe data	<ul style="list-style-type: none"> Diameter = 2,400 mm Installation year : 1981 weld joint Length per unit : 6 m
Measure-ment method	① Check the state of the experimental equipment on Saturday of the second week of every month ② Receive the data from the terminal

실험개요는 Table 2에 나타내었다.

정확한 실험결과 도출을 위하여 주요 영향인자인 관내 수온의 계절에 따른 확연한 변화가 필요함에 따라, 취수원에서 정수장으로 용수를 공급하는 도수관로를 대상으로 실험을 진행하였다. 설치지점에 변위계, 지중온도계, 수온계를 설치하였으며, 데이터 수신 단말기를 연결하여 실시간 데이터를

Fig. 3. Standard installation of measurement instruments.

Fig. 2. Installation place of the experiment instruments.

수집하였다. 계측설비의 표준설치도는 Fig. 3에 나타내었다.

계측된 데이터는 시간대별 데이터를 상호 비교·검토하여, 일부 오류데이터를 보정하고, 1차(2009년)와 2차(2015년)의 데이터 비교를 통하여 일년 동안의 신뢰성 높은 계측 데이터를 생성하였다. 단, 실험결과를 2차 시험 데이터를 기준으로 산출하였다. 이를 활용하여, 기온, 관 수온, 지중온도 등의 상관관계를 조사하고, 이를 토대로 관로 변위와 주요 원인인자간 비교·분석을 통하여, 관로에 미치는 영향을 검토하였다. 아울러, 실험은 신축관실 내에서 시행되었으며, 실험 대상 관로의 연장은 실험 신축관실 전·후의 신축밸브실간 거리의 1/2을 적용하였고, 관주위 토사에 의해 발생하는 마찰력을 감안한 온도변화에 따른 실제 관 거동을 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험 데이터

3.1.1. 계측온도별 상관관계

온도 계측자료는 실험지점에서의 관 수온, 지중온도와 실험지역(하남시)의 기온으로 실험기간(2015년) 동안의 시간대별로 측정하고, 측정치의 일평균 데이터로 비교·분석하여 보았다. 변화 추세를 확인하기 위하여 그래프로 도식하였으며, 결과는 Fig. 4~6에 나타내었다.

각 인자간 변화 추세를 파악하기 위해 대기 온도, 관 수온, 지중 온도를 통합하여 그래프로 도식한 결과, 대기 온도 변화에 의거 원수와 지중 온도가 결정되며, 인자별 변화 추세는 매우 흡사함을 알 수 있다.

Fig. 4. Underground temperature in 2015.

Fig. 5. Water temperature of the test pipe in 2015.

Fig. 6. Temperature of the test area in 2015.

Fig. 7. Temperature graph of pipe water, air and ground.

Fig. 8. Length change of test pipe in 2015.

3.1.2. 관 수온과 관 변위와의 상관관계

2015년 주변 온도변화에 따른 관로의 변위의 계측결과를 Fig. 8에 나타내었다.

계측자료 중 관 변위 주요 원인인자 중 하나는 관내 수

온이다. 관내 수온의 변화가 내접하고 있는 강관의 온도변화를 일으키며, 이로 인해 관로가 신·수축하게 되고, 관 주변 토압으로 인한 마찰력이 발생된다고 할 수 있다.

분석의 정확도를 높이기 위하여 일평균 데이터를 기준으

Fig. 9. The analysis graph between pipe extension and water temperature.

Fig. 10. The analysis graph between pipe extension and underground temperature.

로 아래와 같이 분석하였으며, 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 데이터의 추세선 작도시 크게 온도 상승구간(관 수축)과 온도 하강구간(관 신축)으로 나뉘며, 두 구간의 전환단계를 포함하여 총 4단계의 일정한 사이클 패턴을 보여주고 있다. 그래프 수치 분석결과, 관 변위는 관내 수온 2.80℃ (2월21일) ~ 28.73℃(8월19일)의 범위에서 -4.25 mm ~ 8.78 mm의 관로 신·수축량을 나타내어 최대 관 변위량은 13.03 mm이다. 온도 상승·하강구간(II, IV Step)의 추세선 기울기는 0.64와 0.63으로 거의 동일하여, 단위 온도당 관로 변위량은 온도의 상승과 하강에 관계없이 일정함을 알 수 있다.

3.1.3. 지중온도와 관 변위와의 상관관계

강관과 외접하고 있는 지중온도 역시 관로의 온도변화를 일으키며, 관내 수온과 같이 관로의 신·수축을 유발하게 된다. 분석결과는 Fig. 10에 나타내었다.

데이터의 추세선 작도시 크게 온도 상승구간(관 수축)과 온도 하강구간(관 신축)으로 나눌 수 있으며, 두 구간의 전환단계를 포함하여 총 4단계의 일정한 사이클 패턴을 보여주고 있어 「관 수온-관 변위 분석결과」와 매우 유사한 형태를 나타내고 있다. 그래프 수치 분석결과, 관(SP D2,400 mm) 변위는 지중온도 4.74℃(2월 21일) ~ 29.43℃(8월 19일)의 범위에서 -4.25 mm ~ 8.78 mm의 관로 신·수축량을 보여주고 있어 최대 관변위량은 13.03 mm이다. 온도 상승·하강구간(II, IV Step)의 추세선 기울기는 0.64와 0.63으로 거의 동일하여, 단위 온도당 관로 변위량은 온도의 상승과 하강에 관계없이 일정함을 알 수 있다. 이는 「관 수온-관 변위 분석결과」와 매우 흡사함을 보여준다.

3.1.4. 관로 신·수축에 따른 관내 발생응력 검토

실험관로는 전·후 신축관실(#1, #3) 있으며, 신축관실 사이에 제수밸브실, 공기밸브실 등과 같이 관로의 고정단 역

할을 하는 지장물 없이 연속적인 관로로 설치되어 있음에 따라, 실험 계측기에 영향을 주는 관로연장은 신축관실 #1과 #2사이 관로연장의 1/2 ($L=0.75$ km)과 신축관실 #2와 #3사이 관로연장의 1/2 ($L=0.49$ km)의 합이라고 할 수 있다.

이에 따라 금번 실험의 유효 관로연장은 1.24 km이며, 유효 관로연장 전체에 걸쳐 최대 13.03 mm의 변위를 보이고 있어, m당 최대 1.05×10^{-5} 의 변형률(ϵ)을 가지는 것으로 확인되었다.

이를 바탕으로, 관내 수온 변화에 따른 최대 발생응력을 산출하기 위하여 실험결과를 식 (2)로 통해 구할 수 있다.

$$f = E \times \epsilon \quad (2)$$

where; f : Stress (kgf/cm²)

E : Modulus of elasticity (kN/mm²)

ϵ : Strain (mm/mm)

강관 종탄성계수(2.1×10^6 kgf/cm²)와 변형률(0.0000105) 적용시 관로내 수온변화로 강관에 발생하는 응력은 최대 22.1 kgf/cm²임을 알 수 있다. 매설 깊이는 2.5 m로 발생하는 마찰력은 14.0 kgf/cm²이며, 관로 신·수축시 부마찰력(-)으로 작용한다는 점을 고려시, 온도변화로 발생하는 재질에 따른 인장응력은 36.1 kgf/cm²임을 알 수 있다.

온도 응력 = 재질에 따른 인장응력 + 토양과 관로사이의 마찰응력

※ 관로표면 마찰력 검토⁶⁾

<검토조건>

- 강관 부설 및 관로아래 지하수위 위치
- 토양과 강관간 최대정지마찰계수(μ_k)⁷⁾ = 0.3

Fig. 11. Plane view of pipeline.

Fig. 12. S-N Curve of steel.

(Kishida and Uesugi의 금속-모래간 마찰계수)

- 물로 충수되어 있으며, 관횡단 전방향에서 동일한 토압 발생
- 상부토사의 단위중량(r) = 1.86 t/m³

<마찰응력 검토>

- $f_p = \mu_k kN = \mu_k rH = 0.3 \times (0.186 \text{ kgf/cm}^2 \times H \text{ m}) = 5.6 \cdot H \text{ kgf/cm}^2$

3.1.5. 반복응력 발생에 따른 피로한도 검토

상수강관의 재질[STWW 400]의 탄소함유량은 Table 3과 같이 0.20% 이하로 탄소함유량에 의거 작성된 Fig. 12의 S-N곡선⁸⁾을 통하여 상수강관의 피로한도를 유추해 볼 수 있다.

Table 3. KS standard of STWW400⁵⁾

Category	Carbon	Phosphorus	Sulphur	Tensile strength	Elongation	Yield point
Standard	0.20% or less	0.04% or less	0.04% or less	4,100 kgf/cm ² or more	18% or more	2,260 kgf/cm ² or more

탄소함유율별 탄소강의 피로한도를 비례법에 의거 산출시 상수관로의 항복강도는 1,840 kgf/cm² 이하라고 할 수 있으며, 극한 조건의 안정성 검토를 위하여 탄소함유율 0.2%의 항복강도를 기준으로 검토하였다.

3.1.6. 관로 신·수축에 따른 안정성 검토

관종별로 재질에 따른 허용 인장응력이 존재한다. 이는 외부에서 인장 하중 발생시 재질의 변형없이 견딜 수 있는 최대 인장응력으로 강관은 강성이 매우 커 허용 인장응력 역시 4,100 kgf/cm²로 매우 높다. 허용 인장응력과 관 변위(가)가 최대일 때 발생하는 온도응력과의 비교를 통하여, 우리나라 계절별 발생하는 온도차이에서 강관의 안정성을 판단할 수 있다. 또한, 계절의 반복에 따른 피로한도 역시 감안되어야 한다. 수년이 지날 경우, 관로의 인장강도는 반복응력에 따

라 저하되기 때문이다. 따라서, 상수관로 재질(STWW 400)에 대한 허용 인장응력, 검토된 피로강도와 매설된 관로에서 발생하는 응력을 비교하여 안정성을 검토해 본 결과,

Allowable tensile stress	Fatigue limit	Thermal stress of steel pipe
(4,100 kgf/cm ²)	(1,840 kgf/cm ²)	(13.7 ~ 36.1 kgf/cm ²)

검토 인자 대비 매설관로의 온도응력이 매우 적음을 알 수 있으며, 강관에 있어서 주변 온도변화에 따른 관로의 신·수축은 발생하나, 파괴 등의 안정성에 있어 거의 영향을 끼치지 않는다고 판단할 수 있다.

4. 결론

금번 연구는 주변온도 변화에 따른 매설 상수관로의 신·수축 정도를 파악하고, 재질의 인장강도, 피로한도 등 여러 인자들과의 비교 분석을 통하여 관로의 안정성을 파악하기 위하여 시작되었다. 국내의 신축이음관 설치사례를 살펴볼 때 과거에는 강관을 부설할 경우, 2~3 km마다 신축이음관을 설치하는 것이 보편화된 방식이었으나, 2004년 환경부에서 ‘상수도 시설기준’을 편찬한 이후에는 매설되는 수도용 강관의 관로부에는 별도의 신축이음관을 설치하지 않았다. 상수도 시설기준⁹⁾은 모든 상수도 공사 설계나 공공기관 및 지자체별 설계기준 수립시 기초 자료가 되었으며, 수도용 강관은 온도응력에 대하여 강도가 크고, 용접으로 접합하여 연결 관로간 일체감을 갖게 되며, 흙에 의한 구속력이 있으므로 신축이음관을 설치하지 않는 것으로 제시하고 있기 때문이다. 하지만, 상수도 시설기준에 제시된 내용은 지점과 대략적인 해설만 나와 있을 뿐, 정확한 사유는 제시되어 있지 않았다. 이에 따라, 수도용 강관의 온도변화에 따른 신·수축 정도와 주요 인자들을 계측하고 데이터를 비교 분석하여 해당 기준의 타당성을 검증하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 2015년 365일간 아스팔트 도복장강관(SP D2,400

mm)을 대상으로 관 주변 온도 및 관의 신·수축 정도를 계측하였으며, 이를 분석한 결과, 온도변화에 따라 4-cycle로 연장 1.24 km에 있어 최대 13.03 mm 신·수축을 반복함을 알 수 있었다.

둘째, 수도용 강관의 신·수축으로 발생하는 온도응력은 매설깊이(최대 4 m)에 따라 $13.7 \sim 36.1 \text{ kgf/cm}^2$ 로 발생되며, 주요 비교인자인 허용 인장강도(관 재질 STWW 400)는 $4,100 \text{ kgf/cm}^2$, 반복응력에 의한 피로한도는 $1,840 \text{ kgf/cm}^2$ 로 산출되었다.

셋째, 수도용 강관의 온도응력은 허용 인장강도와 피로한도와 비교시 매우 작음에 따라, 주변 온도변화에 의한 관의 신·수축이 발생하여도 관의 온도응력에 대한 강도가 매우 높아 관로 안정성에는 영향을 끼치지 못함을 알 수 있었다.

결론적으로 금번 연구를 통하여 상수도 시설기준과 같이 수도용 강관의 관로부에는 신축이음관의 불필요성을 검증하였다. 하지만 아쉬운 점은 상수도 시설기준도 그렇듯 관로부에 있어 타(他) 관종에 대한 신축이음부 설치기준은 제시되지 못하고 있다. 타 관종의 경우, PE관, PVC관 등은 관 재질 자체의 연성이 높아서 온도응력에 대한 자체 완충력을 지니며, DCIP, SS관, GRP관 등은 타이튼(tighten joint), 메커니컬(machanical joint), KP메커니컬(KPmachanical joint), 프레스(press joint), 칼라(collar joint) 등의 접합방식으로 고무링에 의해 수밀성을 가지며, 이음부에서 완충력을 어느 정도 지남에 따라, 별도의 신축이음관은 필요하지 않을 것이라 추론될 뿐이다. 향후, 상수관로의 안정성 향상을 위해서는 타 관종에 대하여 주변 온도에 따른 신·수축 정도를 파악하고, 재질별 물성치에 의거 신축이음관의 설치 필요성을 추가 연구해야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 플랜트연구개발사업의 연구비지원(과제번호 17IFIP-B088091-04)에 의해 수행되었습니다.

KSEE

References

1. K-water, Establishment of a plan for the stabilization project for the metropolitan and industrial water supply(2011).
2. Piping materials for drinking water from electric gazette of Republic of Korea (Announcement of the Ministry of Constructon, 1993-350), <http://theme.archives.go.kr/next/gazette/viewGazetteDetail.do?gazetteEventId=0028297939&actionType=keyword>, September(1993).
3. Yang, H. G., Measurement and Evaluation of Thermal Expansion Coefficient for Warpage analysis of Package Substrate, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A38(10), pp. 1049~1056(2014).
4. Braja, M. D., Principles of Geotechnical Engineering, Fourth Edition, pp. 250~257(1998).
5. Korean Agency for Technology and Standards, Wrapped Steel Pipe for water supply KS D 3565, pp. 2~3(2014).
6. Lee, M. H., The friction force of surroundings of stake and computing of the friction coefficient, Korean society of civil engineers, pp. 428~431(1988).
7. Kishida, H. and Uesugi, M., Geotechnique, Tests of the interface between sand and steel in simple shear apparatus, 37(1), 45~52(1987).
8. Seo, S. G., "S-N curve introducing probabilistic measure of tiredness," *The Korean Soc. Mechanical Eng. J. KSME.*, 49(12), 49~53(2009).
9. Korea water and wastewater works association, The standard of water supply installation, pp. 200~201(2004).