

지역난방용 매설배관의 열응력 흡수에 관한 연구

공재항*, 신병국⁺

(논문접수일 2004. 11. 26, 심사완료일 2004. 12. 27)

A Study on the Absorption of Thermal Stress on the Underground piping for the District heating

Jae Hyang Kong*, Byung Kug Sin⁺

Abstract

There have been many studies on generation equipment and plant piping, but there is no significant study result on the heat transportation pipe. As such, this study established basic theory on the compensated method among buried pipe for regional heating, and further obtained the following results by applying the conditions of AGFW and NCHPP respectively in calculation of friction and maximum installation distance for the buried pipe. Friction coefficient according to the types and physical properties of soil, friction and maximum installation distance were compared to set the application value of friction coefficient according to the location of works. Calculation formula of clay load to be applied for calculation of friction was introduced to the formula of AGFW and the formula of NCHPP that has been used in Nowon district since 1997 to determine the difference and applicability. 120°C and 95°C were applied in temperature difference for expansion volume to compare the arm length at the curve pipe so that it can be reflected in the design in the future. Maximum installation distance according to thickness of pipe was compared to present the necessity of unified specification so that same kinds of pipe materials can be used for same kinds of works.

Key Words : plant pipe(플랜트배관), buried pipe for regional heating(지역열병합배관), friction coefficient(마찰계수), AGFW(독일지역난방협의회), NCHPP(노원열병합발전소), Mass Energy(집단에너지), stress indices(응력계수), central heating(중앙난방)

1. 서론

열병합 발전을 이용한 지역난방은 1896년 독일의 함부

르크시에서 최초로 시작되어 북유럽 여러 나라에 보급되었으며, 우리나라는 1983년 목동 신도시가 개발되면서 최초로 도입되었다. 1983년 목동 신시가지에서의 배관 방식은 공

* 서울지방중소기업청 기술지원과 (gongja@smba.go.kr)
주소: 427-723 경기도 과천시 중앙동 2번지
⁺ SH 공사 집단에너지사업단

동구에 설치하는 노출방식으로 일반 플랜트 배관의 설치 방법과 동일하게 적용되었다. 그 후 여의도지역에 지역 난방이 공급되면서 매설방식이 처음으로 시행되었는데 이는 시공전이나 시공시 일정한 크기의 반대방향의 응력을 발생시킨 후 열공급 정지시 일정한 온도 이하로 내려가지 않게 함으로써 열응력의 범위를 작게 하는 무보상 방법(이하 Non-Com방법)을 사용하였다.

또 열 팽창에 의한 변위를 허용함으로써 신축흡수계수에 서 팽창량을 흡수토록 하고 고정점(Anchor)등을 설치하여 열팽창의 방향성을 통제하는 열팽창을 허용하는 방법(이하 Com방법)을 사용하기 시작한 것은 1991년 강서지역 지역 난방이 시행되면서부터이다. 그 후 1993년 노원지구 및 방화, 등촌지구, 1994년 대전 3,4공단, 등에 이 방법이 사용되었으며 지금까지 노원지구 및 강서지구 등에서 이 방법이 사용되어지고 있다.

지하에 매설된 열수송관은 관이 축방향으로 작용하는 운동에 의하여 외관과 토양사이에서 마찰력을 일으킨다. 이 마찰력은 노출배관의 경우에는 구속 없이 자유로운 움직임을 가질 수 있으나 매설배관의 경우 토양에 의한 마찰력으로 인하여 자유로운 운동을 할 수 없으며 길이방향의 신축에 장애를 주게 되므로 배관 내에는 압축응력이 작용되고 길이가 길어질 경우 파손에까지 이르게 될 수 있으므로 마찰력에 대한 고려는 아주 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 열팽창을 허용하는 방법에서 독일지역난방협회(이하 AGFW)와 노원열병합발전소(이하 NCHPP)에서 적용되고있는 열응력 흡수방법에 대한 기초이론을 고찰하고 그 차이점 및 문제점을 알아내어 토양의 조건 및 성상에 따른 마찰계수 값과 배관에 적용되는 각종 계수 값을 현실에 맞도록 설정함으로써 그에 따른 마찰력 및 최대설치 거리를 고찰하는데 목적이 있으며 궁극적으로는 배관의 안전성 및 공사비 관계를 검토하는데 그 목적이 있다.

이번 연구과정에서 발전설비나 플랜트 배관에 대한 연구는 많이 찾아볼 수 있었지만 아파트 뿐 아니라 공업단지 열공급에도 이용되고있는 지역난방 매설배관에 대해서는 연구결과가 미미하여 앞으로 많은 연구가 필요하다고 생각되어진다.

2. 이론적 해석 및 고찰

2.1 마찰계수

마찰계수는 이중보온관의 외피와 이중보온관을 둘러싸고

있는 토양이 서로 접촉하면서 표면 상태의 거칠기에 따라 결정되는 상수 값으로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu = t \delta \tag{1}$$

또 관이 늘어나면 토양이 압축되므로 토양 역학적으로 “토양저항문제”로 보고 벽면 마찰각을 토양의 내면마찰각과 같다고 보아 강철벽의 경우 $\delta = \Phi$ 를 적용하지만 경질 PE관의 경우 강철관 보다 표면이 더 매끄러운 관계로 벽면 마찰각 $\delta = 0.8\Phi$ 를 적용한다. Table 1은 DIN1055에 의해 산출된 마찰각을 나타내고 있다.

2.2 매설배관에 작용하는 각종 힘

열 배관 설치 후 온수가 관내에 유입되어 배관이 신장하면 흡과 마찰력을 일으키며 운동을 하게 된다. 이때 발생하는 운동마찰은 통상 정지마찰의 80~90%를 적용하나 지역난방의 경우 대부분 가온 속도가 느리고 길이변화가 완만하므로 정지마찰로 전제한다. 마찰력은 지중에 매설된 배관에서 운동방향의 반대방향으로 발생하며 이중보온관 둘레에 작용하는 마찰력은 상부 수직력(방사상 압축력)과 마찰계수에 비례한다. Fig. 1은 매설배관에 작용하는 각종 힘에 대해 표시하였다.

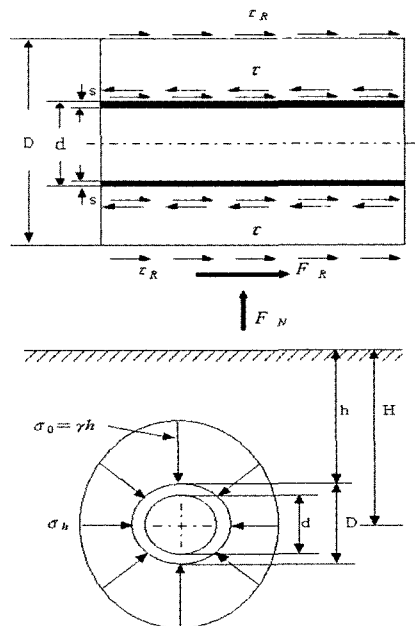


Fig. 1 The force which operates to the PI-PIPE

Table 1 The weight due to DIN1055 and angle of friction production ground

토양종류	성층	산출중량 습한토양	마찰각		
			ϕ	PE-포피관 벽면 마찰각 δ , 마찰계수 μ	$\mu=ti$
약간 流砂 좁은간격 모래 자갈모래	경조	17.0	30	24	0.45
	보통	18.0	32.5	26	0.49
	조밀	19.0	35	28	0.53
넓은간격 모래 자갈모래, 자갈 또는 간헐적 $U < 15$	경조	18.0	30	24	0.45
	보통	19.0	32.5	26	0.49
	조밀	20.0	35	28	0.53
모래, 자갈모래, 자갈, 약 유력(流蹠) 또는 간헐적 $U > 15$	경조	18.0	30	24	0.45
	보통	20.0	32.5	26	0.49
	조밀	22.0	35	28	0.53
무기질 점토 약 소성(適性) $W_L = 35\%$	경조	20.0	27.5	22	0.40
	보통	20.5	27.5	22	0.40
	조밀	21.0	27.5	22	0.40
무기질 점토 약 소성(適性) $35\% < W_L < 50\%$	경조	19.0	22.5	18	0.33
	보통	19.5	22.5	18	0.33
	조밀	20.5	22.5	18	0.33

2.3 이중보온관에 작용하는 마찰력

이중보온관과 토양간의 마찰응력은 Coulomb의 마찰법에 의해 식 (2)와 같으며 실질적으로 외관의 외부와 내부의 방사상 응력은 같으므로 이중보온관 둘레에 작용하는 수직력 σ_n 은 보온재 외부의 방사상 응력과 동일하다. 또 이중보온관에 작용하는 교통하중은 짧은 시간에 작용되므로 마찰계산시 무시할 수 있으며 장시간 작용하는 복토 하중만 고려하여 마찰력을 계산한다.

$$\tau_r = \mu \cdot \sigma_n \tag{2}$$

또한 배관의 측면에는 식 (3) 및 식 (4)와 같은 압력이 작용하며 일반적으로 압축이 충분치 못한 경우에 대비 정압계수물 $\phi = 32.5$ 를 적용하면 토양압축율 $K_d = 1-s \cdot \phi = 0.46$ 이 되며 일반적인 건설조건에서 0.3~0.5의 값을 가진다.

$$\sigma_h \approx K_d \cdot \sigma_v \tag{3}$$

$$\sigma_k \approx \gamma \cdot H \tag{4}$$

2.4 최대 설치거리

배관의 온도변화에 따른 길이방향의 변형을 및 변위는 열신축에 의한 변형과 탄성력, 마찰력, 내압에 의한 변형의 합

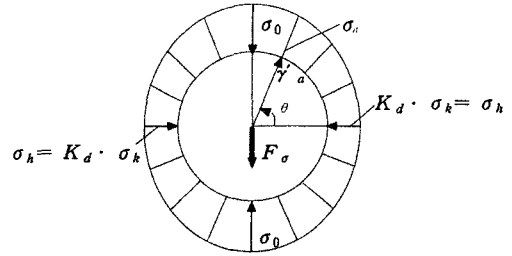


Fig. 2 The normal stress distribution

으로 나타낼 수 있으며 관 한편에 엘보가 접합된 이중보온관에서 내관, 보온재, 외관의 길이변화의 차이는 적으므로 길이변화의 차이를 무시하면 온도 상승치를 고려한 신장응력 식 (5)과 같다.

$$\epsilon_{(x)} = \epsilon_t + \epsilon_{el} = \alpha_t \cdot \Delta T + \frac{N_x}{E_s \cdot A_s} \tag{5}$$

관 한편에 엘보가 접합된 이중보온관의 수직력 N_x 는 힘의 평형관계로 다음과 같다.

$$N_x = F_P - F_{el} - F_R(l_0 - x) \tag{6}$$

식 (5)을 고려하여 식 (6)을 정리하면

$$\epsilon = \alpha_t \cdot \Delta T + \frac{F_P - F_{el} - F_R(l_0 - x)}{E_s \cdot A_s} \tag{7}$$

즉 배관의 변형율은 배관길이와 선형적 관계에 있으며 온도상승과 내부압력은 양성적 신장(종축 팽창)을, 탄성반력과 마찰력은 음성적 신장(압축)을 초래한다. 이로 인하여 양성적 신장과 음성적 신장이 상쇄되는 길이 L_0 가 형성되는

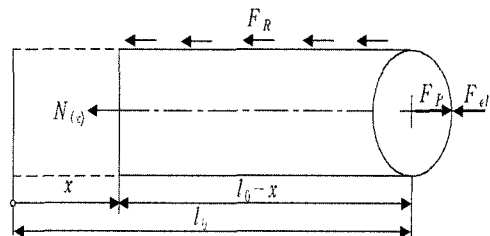


Fig. 3 The force which operates to the piping where the elbow is united on tube one side

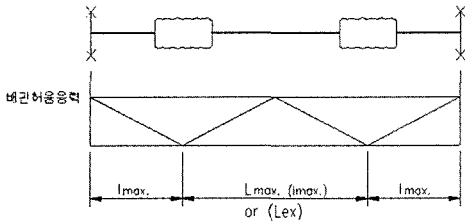


Fig. 4 Comparison of maximum friction length, maximum set length and allowable stress

데 이것은 곳 $\epsilon = 0$ 를 의미하며 지중에서 관의 신축작용은 전혀 일어나지 않는다(중축 방향으로 고정), 소위 말하는 이 재료길이는 운동영역의 길이를 나타내며 이 길이의 발단을 좌표의 $x = 0$ 로 하며 식 (7)을 이용하면 다음과 같다.

$$\epsilon = 0 = \alpha_t \cdot \Delta T + \frac{F_P - F_{el} - F_R \cdot l_0}{E_s \cdot A_s} \tag{8}$$

열 수송관에 발생하는 마찰력은 배관의 설치길이에 따라 선형적으로 비례하므로 배관의 설치길이가 길수록 선형적으로 증가한다. 이 마찰력이 이중보온관의 내관에 전달되므로 어떤 배관 설치 길이 이상에서는 마찰력이 배관재의 허용응력 보다 커진다. 따라서 마찰력이 배관재의 허용 응력과 같아지는 배관 설치길이를 최대설치길이라고 하면 관의 축응력 σ_x 는 다음과 같다.

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A_s} = \frac{-F_R(l_0 - x) + F_P - F_{el}}{A_s} \tag{9}$$

그러므로 열팽창의 해소방안으로 최대설치길이 이전에 팽창 흡수장치를 설치하여야 하며 허용응력에 따른 최대설치길이(고정점-고정점 또는 Expansion Joint-Expansion Joint, 변곡점-변곡점)는 식 (10)이 된다.

$$L_m = 2l_m \tag{10}$$

3. 연구 및 실험방법

3.1 마찰계수

본 연구에서는 토양의 종류 및 성상이 배관의 자유로운 신축을 억압하는 요소임을 고려하여 마찰계수 μ 의 값을 0.45, 0.5, 0.53으로 분류 적용하여 토양의 종류 및 성상에 따른 마찰

력 및 최대 설치거리를 산출하였다. 또 매설 깊이 및 관경에 따른 마찰력 및 최대설치거리를 산출하여 그 변화를 알아보고 그에 따른 차이를 비교 검토해 봄으로써 매설배관에 발생하는 열응력으로부터 보다 안전한 배관을 설계할 수 있도록 하였다.

3.2 마찰력

이번 연구에서는 복토하중에서 수식 산출의 근거가 명확하지 않은 NCHPP 수정식 $F_N = D_0 \cdot \gamma \cdot \pi \left(\frac{D_0}{2} + H \right)$ 을 배제하고 근거가 분명한 AGFW 적용식 $F_N = 2 \cdot r_a \cdot \gamma \cdot [2h + K_d \cdot H(\alpha - 2)]$ 을 적용하여 보다 정확한 데이터를 산출하고자 노력하였으며 또 AGFW 적용식에만 집착하지 않고 NCHPP 수정식도 적용하여 그 결과를 비교해 봄으로서 차이에 대해 알아보았다. 또 자중의 산출에서는 외관과 보온재의 무게를 감안한 것과 외관과 보온재의 무게를 배제한 것을 각각 적용하여 외관과 보온재의 적용여부에 따라 마찰력 및 최대 설치거리가 어떻게 변하는지도 검토해 보았다.

3.3 배관 두께

배관의 두께에서는 지역난방의 최초 시행지인 독일의 AGFW 적용치와 국내의 노원지구, 강서지구 및 한국지역난방공사의 실정을 비교 검토하여 국내의 실정에 맞는 데이터를 산출하는 것에 목적을 두었으며 배관의 두께는 Table 3에서 알 수 있듯이 국내에서도 노원지구는 강서지구나 한국지역난방공사와 차이를 보이고 있었는데 이번 연구에서는 Table 3의 배관재중 국내에서 가장 많이 사용하는 강서지구(한남)의 배관을 기준으로 하였으며 강관의 비중량은 한국공업규격의 7,850kg/m³을, 흙의 비중량은 1,800kg/m³을 적용하여 데이터를 산출하였다. 또 AGFW, 강서지구 및

Table 2 Piping thickness it compares

관경(A)	두께(mm)	
	노원지구	강서지구(한남)
65	5.2	4.5
80	5.5	4.5
100	6.0	4.9
125	6.6	5.1
150	7.1	5.5
200~400	6.4	6.4
450	7.1	6.4
500	7.9	6.4
550~650	8.7	8.7
700~750	9.5	8.7

노원지구에서 사용하는 배관의 두께별로 데이터를 산출하여 마찰력 및 최대설치거리를 비교 해 보았다.

3.4 설계조건

설계조건에서는 최고사용온도가 최초 설계당시 120℃로 설계되어있었으나 2002년 4월 개정된 “집단에너지공급사업 열공급규정”에는 115℃로 변경됨에 따라 규정에 맞도록 115℃를 적용하여 데이터를 산출하였다. 또 팽창량 산출을 위한 온도변화 ΔT를 당초에는 최고사용온도인 120℃를 적용하여 계산하였으나, 매설 배관의 경우 동절기 공사와 온수 공급의 중단이 있다 하더라도 지하에 매설되고 우레탄 폼으로 보온되어있으므로 최악의 조건까지 떨어지는 경우는 드물다는 가정하에 최저온도를 상온인 20℃로 하여 ΔT = 95 centigrade(115℃-20℃)를 적용, 당초설계와 차이를 검토를 해 봄으로써 향후 설계시 참고자료로 활용할 수 있도록 하였다.

3.5 내압에 의한 응력 및 두께

지역난방용 열수송관은 수용가의 기체실까지 고온·고압의 온수를 공급하는 배관으로 온도에 의한 축방향의 변형 외에도 내압에 의한 원주방향의 응력이 발생된다. 또 열수송관은 최대 16kg/cm²의 내압을 받는 관으로 발생 응력은 $\sigma_a = \frac{P \cdot D}{2000 t \cdot \eta}$ 와 같이 내압을 받는 얇은 파이프의 응력 계산식을 이용하며 산업자원부 고시 제2001-45호 집단에너지시설의 기술기준”에는 매설하지 않은 배관이나, 매설하는 열수송관으로 외압을 받을 우려가 없는 배관의 경우는 배관의 두께를 $t = \frac{P \cdot d_i}{2000 \sigma_a \cdot \eta - 1.2 P}$ (t/di ≤ 0.25일 경우)로 산출하여 발생응력에 대응하도록 명시하고 있다. 여기에서 η는 용접이음효율로 이음매 있는 압력 배관용 탄소 강관은 85%를 이음매 없는 고압배관용 탄소 강관은 100%를 적용하며, 부식이나 가공 등의 부가 여유치를 주어 계산하지만 본 연구에서는 온도변화에 의한 축방향의 변형에 대해서 검토하고 원주방향의 변형은 기존의 이론을 준용하기로 하여 본 연구에서 제외하였다.

4. 연구 결과 고찰

4.1 적용조건별 마찰력

4.1.1 마찰력 적용공식에 따른 검토

Fig. 5은 Table 3의 조건에 따른 마찰력 및 최대설치거리의 변화를 알아보기 위한 그래프로 적용조건에 따른 데이터 분석치를 요약하면, 매설깊이 1.2m, 마찰계수 μ=0.5일 때

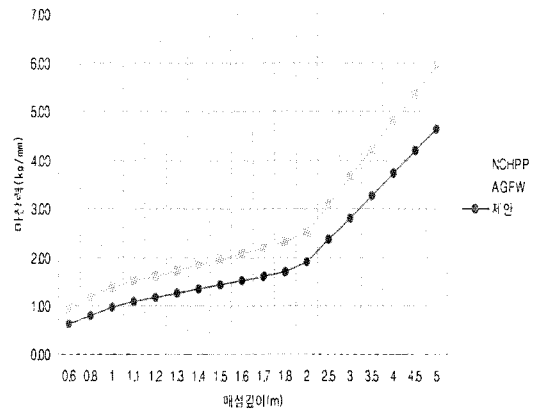


Fig. 5 Friction force of application conditional(250A)

Table 3 Application condition

구분	NCHPP 수정	AGFW 적용	제안
배관경(mm)	250		
마찰계수	0.5		
자중(kg/mm)	$\pi[\gamma_b \frac{d^2 - d_i^2}{4} + \gamma_w \frac{d_i^2}{4}]$		
두께(mm)	6.4	5	6.4
외경(mm)	267.4	273	267.4
파이프의 비중량 (kg/m ²)	7,800	7,850	7,850
토양의 비중량 (kg/m ³)	1,800	1,938	1,800

Table 4 The friction force which it follows in depth and the maximum installation distance

적용조건	구분	마찰력(kg/mm)	최대설치거리 (m)
매설깊이 1.2m, μ=0.5	NCHPP	1.63	91.8
	AGFW	1.26	126.2
	제안	1.18	126.7

마찰력 및 최대설치거리가 Table 4와 같이 나타나고 있다. 이 Table 4를 분석해보면 마찰력에서는 NCHPP의 경우 1.63 kg/mm으로 AGFW의 1.26kg/mm이나 제안의 1.18kg/mm보다 크게 나타났는데 이는 마찰력 적용공식의 복토하중 적용식에서 '97년 노원지구 열수송관 설치공사부터 적용되어온 NCHPP 수정식 $F_N = D_0 \cdot \gamma \cdot \pi \left(\frac{D_0}{2} + H \right)$ 이 배관에 작용하는 토양의 무게만을 적용하도록 AGFW 적용식 $F_N = 2 \cdot r_a \cdot \gamma \cdot [2h + K_{d \cdot H} (\pi - 2)]$ 를 간략화하는 과정에서 발생된 오차로 본 연구에서는 AGFW 적용식을 사용하기로 하였다.

또 최대 설치거리에서는 NCHPP의 경우 91.8m로 AGFW의 126.2m, 제안의 126.7m보다 짧게 나타났는데 이는 마찰력 적용공식의 복토하중 적용식에서 97년부터 적용된 NCHPP 수정식에 영향이 있지만 제안이 126.7m로 AGFW의 126.2m보다 크게 나타난 것은 제안의 배관 두께가 6.4mm로 AGFW의 5mm보다 두껍고 토양의 비중량에서는 제안이 1,800kg/m³으로 AGFW의 1,938kg/m³보다 적은 결과이므로 배관의 두께 및 토양의 비중량에 따라 분리하여 검토해 보았다.

4.1.2 배관 두께에 따른 검토

배관 두께에서는 배관경 250mm에서 AGFW가 5mm로 NCHPP의 6.4mm와 차이가 있었지만 국내에서 사용하는 배관에서도 Table 2와 같이 노원지구와 강서지구(한남)의 두께가 차이를 보임에 따라 모든 조건을 동일하게 두고 관경 150mm, 매설깊이 1.2m를 적용하여 배관의 두께에 따른 차이를 비교하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5를 분석하면 마찰력에서는 배관의 두께에 관계없이 0.72kg/mm로 동일하게 나타났는데 이는 배관 두께에 영향을 받는 F_G 의 수치만 미세하게 변함으로서 마찰력이 배관의 무게와 물의 무게에 의한 자중에는 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 또 최대설치거리에서는 노원지구가 139.6m로 강서지구(한남)의 109.2m보다 월등히 길게 나타났다.

이는 배관의 두께 증가에 따라 배관의 단면적 A_s 가 증가하여 식 (10)에 영향을 받음으로 배관의 두께는 최대설치거

Table 5 The investigation which it follows in thickness

구분	배관두께 (mm)	마찰력 (kg/mm)	최대설치거리 (m)
노원지구	7.1	0.72	139.6
강서지구(한남)	5.5	0.72	109.2

리에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

하지만 본 연구를 통하여 동종의 공사에 사용되는 배관의 두께가 사용처에 따라 달리 적용됨으로써 고정점(ANCHOR)설치, 신축흡수장치 선정, 곡관부의 팔길이 계산 등 설계계산서도 이원화 되어있어 향후 국내 지역난방의 건전한 발전을 위하여 일원화의 필요성을 느꼈다.

4.1.3 토양의 비중량에 따른 검토

토양의 비중량 적용에서 AGFW와 NCHPP의 적용수치가 차이를 나타냄에 따라 모든 조건을 동일하게 두고 관경 250mm, 매설깊이 1.2m를 적용하여 토양의 비중량에 따른 차이를 비교하여 Table 6에 나타내었다.

그 결과 비중량은 복토하중에 직접적으로 영향을 미치는 인자이므로 마찰력에서는 비중량을 크게 적용한 AGFW가 1.26kg/mm로 NCHPP의 1.18kg/mm보다 크게 나타났고 최대설치거리는 마찰력에 반비례하여 AGFW가 118.7m로서 NCHPP의 126.7m 보다 감소함을 알 수 있었다. 여기서 알 수 있는 것은 마찰력은 배관과 직접 접촉하는 모래의 성상도 중요하지만 배관을 둘러싸고 있는 흙의 성상 및 비중량도 배관에 작용하는 마찰력에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

Table 6 The investigation which it follows in specific weight of the soil

구분	비중량(kg/mm ³)	마찰력(kg/mm)	최대설치거리(m)
NCHPP	1,800	1.18	126.7
AGFW	1,938	1.26	118.7

4.2 관경별 매설 깊이에 따른 마찰력

4.2.1 매설 깊이 및 마찰계수에 따른 마찰력

Fig. 6은 마찰계수 μ 를 0.45로 대입하여 관경별 매설깊이에 따른 마찰력을 표시하였으며, Table 7은 그래프를 해석하기 위하여 관경 250mm에 대한 매설 깊이 및 마찰계수에 따른 변화를 요약하여 나타내고 있다. 이 도표를 분석한 결과 관경 250mm, 매설깊이 1.2m의 경우 마찰력은 마찰계수 μ 의 값이 0.45일 때 1.06kg/mm에서 0.50일 때 1.18kg/mm, 0.53일 때 1.25kg/mm로 커지고, 매설깊이 2m의 경우 마찰력은 마찰계수 μ 의 값이 0.45일 때 1.71kg/mm에서 0.50일 때 1.90kg/mm, 0.53일 때 2.02kg/mm로 커짐을 알 수 있었다. 이는 마찰력은 마찰계수에 비례하여 증가하였으며 깊이가 깊을수록 마찰력이 커짐을 알 수 있었다. 매설 깊이가 깊을수록 H 및 h의 수치가 증가하여 배관에 작용하는 토양의 수량과

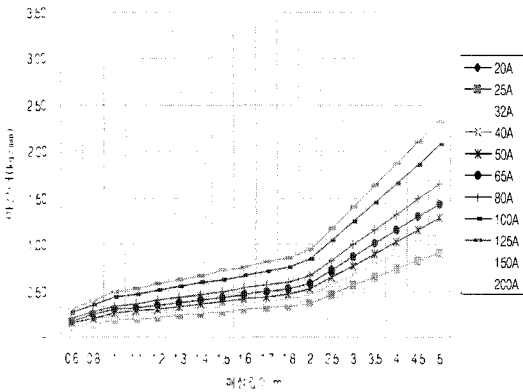


Fig. 6 The friction force which it follows in laying depth ($\mu=0.45$, 20A ~ 200A)

Table 7 The friction force which it follows in laying depth and coefficient of friction

적용조건		마찰계수		
관경(mm)	매설깊이(m)	0.45	0.50	0.53
250	0.6	0.57	0.63	0.67
	1.2	1.06	1.18	1.25
	2	1.71	1.90	2.02

부계가 증가하고 그에 따라 마찰력이 증가하였음을 알 수 있었다.

4.2.2 관경 및 마찰계수에 따른 마찰력

Table 8에서는 매설깊이 1.2m에 대한 마찰계수 및 관경별 마찰력을 비교해보았다. 그 결과 배관경이 커질수록 마찰력이 커지는 것을 알 수 있었다. 관경이 커질수록 r_a 가 커져 배관에 작용하는 복토히중이 커진 결과이며 마찰계수가 클수록 마찰력도 증가하였다.

역시 토양의 종류 및 성상에 따른 마찰계수의 영향도 무시할 수 없었는데 배관주변에 포설하는 모래의 경우 경조한

Table 8 The friction force which it follows in around coefficient of friction and the tube

적용조건		관경(mm)		
매설깊이(m)	마찰계수	100	250	500
1.2	0.45	0.51	1.06	1.98
	0.50	0.57	1.18	2.19
	0.53	0.60	1.25	2.33

모래($\mu = 0.45$)가 조밀한 모래($\mu = 0.53$)보다 마찰력이 떨어져 배관에 발생하는 압축응력을 감소하는 측면에서는 우수해 보이나 경조한 경우 배관의 처짐이나 진동에 대해 취약하고 지반 침하 등의 또 다른 문제점을 발생시킬 수 있음으로 주의가 필요하다.

4.3 관경별 매설 깊이에 따른 최대 설치거리

4.3.1 매설 깊이 및 마찰계수에 따른 최대설치거리

Fig. 7는 마찰계수 μ 를 0.45로 각각 대입하여 관경별 매설깊이에 따른 최대설치거리를 표시하였으며 Table 9는 그 그래프를 해석하기 위해 관경 250mm에 대한 매설 깊이 및 마찰계수에 따른 최대설치거리의 변화를 비교 검토하였는데 그 결과 μ 의 값이 커질수록 F_R 값이 커지고 최대설치거리 L_m 는 F_R 값에 반비례하여 감소하게 됨을 알 수 있었다. 매설 깊이가 깊어질 수 록 H 및 h의 증가로 F_N 과 F_R 이 증가하면서 최대설치거리 L_m 는 F_R 값에 반비례하여 감소하게

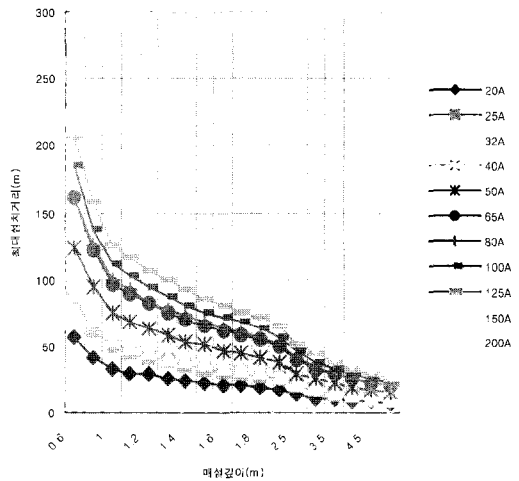


Fig. 7 The maximum installation distance which it follows in laying depth($\mu=0.45$, 20A ~ 200A)

Table 9 The maximum installation distance which it follows in laying depth and coefficient of friction

적용조건		마찰계수		
관경(mm)	매설깊이(m)	0.45	0.50	0.53
250	0.6	237.4	223.2	148.0
	1.2	126.7	119.6	86.4
	2	78.7	74.0	55.6

됨을 알 수 있었다.

4.3.2 관경 및 마찰계수에 따른 최대설치거리

Table 10에서는 매설깊이 1.2m에 대한 마찰계수 및 관경 별 최대설치거리를 비교해보았는데 이는 관경의 증가에 따라 r_a 가 증가하여 $F_N F_R$ 및 이 증가하고, 그에 따라 L_m 는 반비례하여 감소하였다. 마찰계수 μ 의 증가에 따라 마찰력 F_R 이 증가하고 이에 반비례하여 최대설치거리 L_m 는 감소함을 알 수 있었다.

Table 10 The maximum installation distance which it follows in around coefficient of friction and the tube

적용조건		관경(mm)		
매설깊이(m)	마찰계수	100	250	500
1.2	0.45	94.1	126.7	145.1
	0.50	84.2	119.6	131.2
	0.53	79.9	86.4	123.3

5. 결론

이상의 연구로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 배관을 둘러싸고 있는 토양은 배관에 마찰력을 발생시켜 배관의 자유로운 신장을 억제하고 배관내에 압축응력을 발생시키므로 토양의 종류 및 성상에 따른 적절한 마찰계수를 적용, 마찰력 및 최대설치거리를 산출하여 설계에 반영하여야 한다.
- (2) 팽창량 산출에 이용되는 $\Delta T = 120 \text{ centigrade}$ 는 최악의 조건에 근거를 둔 것으로 안전성에서는 우수하나 팔 길이의 증가에 따라 공사비가 증가하고 관로가 도심을 통과하는 경우 공사에 지장을 줄 수 있으므로 $\Delta T = 95 \text{ centigrade}$ 를 적용함으로써 팔 길이를 줄여 공사비를 절감하고 도심에서의 공사를 원활히 할 수 있다.
- (3) '97년 이후 노원지구 열수송관 공사에 사용되어온 복토 하중 산출식 $F_G = D_0 \cdot \gamma \cdot \pi \left(\frac{D_0}{2} + H \right)$ 은 산출 근거가 명확하지 않음으로 사용을 자제하고 AGFW식 $F_G = 2 \cdot r_a \cdot \gamma \cdot [2h + K_d \cdot H(\pi - 2)]$ 을 사용하

여 마찰력 및 최대 설치거리를 산출, 정확한 데이터를 설계에 반영하여야 한다.

- (4) 배관의 두께를 증가시키면 허용하중의 증가로 최대설치거리가 증가하지만, 최대설치거리를 증가시키기 위해 배관의 두께를 증가시키는 것은 공사비 증가의 원인이 되므로 적절한 두께가 설계에 반영되어야 하며 동종의 공사에 동종의 배관재가 사용될 수 있도록 배관의 두께를 통일할 필요가 있다.

참고 문헌

- (1) Seoul Metropolitan Development Corporation, 2002, *Mass Energy Management*, pp. 4~10.
- (2) Chung, C. K., 1994, "A study on the temperature of District Heating System related to Energy Consumption of Combined Heat & Power," *The Korea Society for Energy Engineering*, 3(2), pp. 179~186.
- (3) Kashiwaga, T., and Akisawa, A., 2004, "Research and Development of the Triple Effect Absorption Chiller-Heater Technology in Japan," *The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers*, 33(3), pp. 43-49.
- (4) Shon, J. Y., Kim, H. S., and Jung, K. S., 1991, "Development of an optimal heating system and improvement of indoor air and thermal environment in apartment house," *Hanyang University*.
- (5) Kim, J. M., Eom, S. Y., and Park, J. S., 1996, "Development of stress indices for trunnion pipe support," *Computational Structural Engineering*, 9(3), pp. 115-123.
- (6) Moon, H. K., Kim, J. J., and Kim, D. J., 1999, "Development of Structural Integrity Measurement Technology," *Korea Research Institute of Standards and Science*, KRIS/IR--2000-014.
- (7) Nam, S. I., 1999, "A study on improvement of reverse return multi-zone system of central heating system," *Yonsei University*.