

하천통과배관 설치 시 콘크리트 보호공과 매설 심도가 배관에 미치는 영향에 대한 연구

원종화, 김문겸, 김영표*, 김형식*

연세대학교, *한국가스공사연구개발원

Research on the effect of concrete encasement and earth cover depth on the gas pipeline

Won Jong Hwa, Kim Moon Kyum, Kim, Young Pyo*, Kim Hyoung Sik*

Yonsei University, *Korea Gas Corporation R&D Division

1. 서 론

현대 인간 활동에 가장 근간이 되는 통신, 전력, 에너지, 상·하수, 운송 및 교통망 등 선형의 구성을 갖는 사회 기반 시설을 통칭하는 Lifeline은 사회의 대평화를 촉진시켰으며, 자원 및 국토의 효율성을 증대 시켰다. 하지만 이러한 시스템에 부분적인 손상이 발생할 경우 손상에 의한 직접적인 피해보다 2차적으로 발생하는 사회·경제적인 피해가 더 크게 되며 최종적으로 연계된 전체사회에 영향을 미치게 된다. 국토를 혈관처럼 감싸고 있는 가스매설 배관은 에너지원의 특성상 입지조건이 만족스러운 곳에서만 이루어질 수 없다. 따라서 한국 가스공사에서는 가스안전관리기준에 의해 충분한 안전성을 확보하도록 설계·시공되고 있으며 특히, 하천을 통과하는 배관에 대해서는 콘크리트 보호공을 설치하여 상재도압 및 수압, 예상치 못한 수중 충돌물로부터 배관을 보호하도록 관리하고 있다. 본 연구에서는 콘크리트 보호공과 그에 따른 매설 심도가 하천통과배관에 미치는 영향에 대한 고찰을 통해 배관의 거동특성을 파악하고 적정 최소심도를 도출하고자 한다.

2. 연구내용 및 범위

2.1 해석 대상 및 유한요소 모형화

한국가스공사의 주 사용배관인 API 5L X65를 재료로한 배관을 해석대상으로 선정하였으며 설계압력인 80kgf/cm^2 의 내압을 고려하였다. 직경은 매설지역 가, 나에 대해 각각 30", 26"의 배관이 사용되며 지역별, 직경별 각각 다른 두께의 배관을 사용하게 된다. 해석을 위해 유한요소법을 사용하였으며 지반 및 보호공, 보호공을 설치할 때 배관 외면을 감싸는 네오플렌 sheet, 배관 등을 유한 요소화 하여 적절한 경계조건 및 하중재하를 통해 배관에 작용하는 응력을 검토하도록 하였다. 지반은 그림 2.1과 같이 배관을 중심으로 배관으로 인한 공극에서 발생하는 응력이 지반에 영향을 미치지 않는 최소범위인 약 5배에 해당하는 4m씩 좌우 및 하부로 확장하여 요소화 하였다. 또한 상당 높이의 매설심도를 확보하였을 경우 포화된 지반에 대해서도 지반은 충분히 다져져 있으며, 지반에 비해 배관 및 콘크리트 보호공의 강도가 매우 크기 때문에 지반은 선형 탄성체로 가정하였으며 등방, 균일한 재료로 이상화 하였다. 배관 및 콘크리트 보호공, 기초의 물성치는 한국가스공사 GSM-2101 배관자재규격 및 GSD-2107 주배관 매설심도설계기준을 참조하였으며 지반의 경우 공항철도 시공에 앞서 실시되었던 불광천 지반의 물성치를 인용하였다. 배관에 대해 10m의 고정수위에 대해 매설 심도를 변화 시키면서 매설심도를 변화시키며 응력에 대한 검토를 실시하였다. 배관과 네오플렌 sheet, 네오플렌 sheet와 콘크리트 보호공은 완전부착을 가정하였다. 한국가스공사에서 규정하고 있는 하천통과배관에 대한 콘크리트 보호공의 규격은 그림 2.2와 같다. 해석에는 지반전용 해석 프로그램인 MIDAS/GTS를 사용하였다.

표 2.1 해석대상배관의 물성치 및 각 매설 지역별 배관 두께

API 5L X65				thickness		
탄성계수	포아송비	인장강도	항복강도	구분	가	나
207 (GPa)	0.3	530 (MPa)	448 (MPa)	30"	17.5mm	15.9mm
				26"	14.3mm	11.9mm

표 2.2 해석 대상 지반, 네오플렌 sheet, 콘크리트 보호공 및 기초 물성치

구분	단위중량 (ton/m ³)	탄성계수 (ton/m ²)	포아송비	점착력 (ton/m ²)	마찰각 (deg)	항복응력 (kgf/m ²)
지반	2.0	4000	0.3	3.0	33	-
네오플렌 Sheet	1.64	4.2 × 10 ⁵	0.3	-	-	-
보호공 및 기초	2.5	2.0 × 10 ⁸	0.3	-	-	180.0

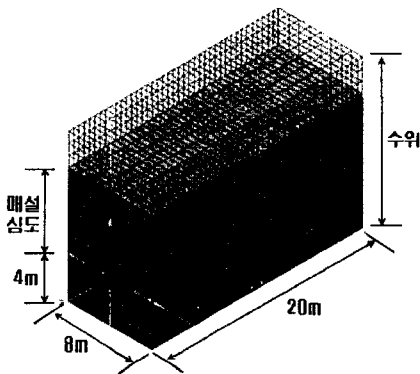


그림 2.1 유한요소해석 모형

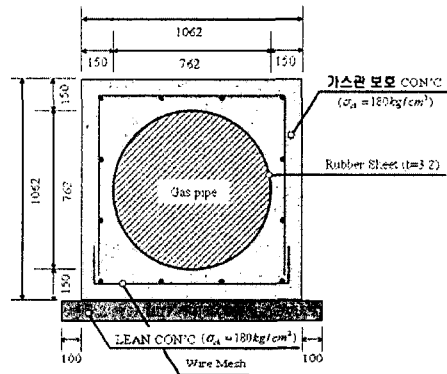


그림 2.2 콘크리트 보호공 규격

2.2 내압에 의해 배관에 작용하는 응력

가스 수송배관에 작용하는 응력은 대부분 내압에 관련하여 발생하는 응력이며 본 연구에서는 원주방향응력(hoop stress, σ_h), 축방향응력(axial stress, σ_a), 유효응력(effective stress, Von Mises stress, σ_e)에 대해 검토하였으며 Von Mises Failure Criterion을 따르기로 한다. 각 응력에 대한 식은 표 2.3과 같다.

표 2.3 각 응력에 대한 해석식

구분	해석식	구분	해석식
hoop stress	$\sigma_h = \frac{P(D-t)}{2t}$	axial stress	$\sigma_h = \frac{P(D-t)}{4t}$
구분		해석식	
effective stress			

여기서, P는 내부압력, D는 배관의 직경, t는 배관의 두께이며 $\sigma_i (i=1, 2, 3)$ 는 각 축방향에 대한 주응력이다.

2.3 상재 토압 및 정수압에 의해 작용하는 응력

상재토압에 의해 배관에 작용하는 응력은 trench 형식의 배관에 적용되는 Marston 방식과 배관 상단의 토압에 대해서만 배관이 부담하게 하는 Prism방식이 있다. Marston 방식은 배관 매설 후 trench를 다시 매웠을 때 굴착한 trench 면과 성토의 마찰각에 의해 다소 감소하는 성질을 이용한 수식이다.

표 2.4 배관에 대한 상재토압의 산정

구분	Marston Loads	Prism Loads
schematic diagram		
해석식	$W = C_d \gamma B_c B_d$	$W = \gamma HD$

여기서, C_d 는 하중계수, γ 는 단위하중, B_c 는 배관의 외경, B_d 는 trench의 폭이며 H 는 배관의 중심에서 표토까지의 거리, D 는 배관의 외경이다. 일반적으로 유한요소해석을 통해 도출된 해석값은 Marston 방식에 의한 하중 값과 근접하며 일반적으로 Marston 방식과 Prism 방식의 중간정도의 압력이 발생하는 것으로 실험을 통해 알려졌다.

정수압에 대한 응력은 물의 단위 중량인 1.0ton/m^2 을 지반 및 보호공 표면에 재하하였으며 하천 하부의 지반은 모두 포화상태이므로 매설된 배관에 대해서도 부력을 적용하였다. 부력은 수중에 위치한 구조물의 부피만큼 연직 상향으로 재하하였다.

3. 해석결과

3.1 내압에 대한 배관 응력 해석

보호공을 설치하지 않은 배관의 경우 표 2.3에 나타난 해석식을 바탕으로 각 응력에 해당하는 값을 찾아낼 수 있으나 콘크리트 보호공을 설치한 배관에 대해 해석식을 통해 응력값을 산정하기는 다소 무리가 있다. 나(裸)관에 대해 외부압력이 가해지지 않았을 경우를 먼저 해석한 후 표 2.3을 바탕으로 하여 산정한 응력 값을 비교·검토한 결과 거의 일치하는 값을 얻을 수 있었으며, 표 3.1은 내압만을 고려한 보호공 설치배관에서 발생하는 응력 해석값이다. 대부분의 응력 값은 보호공 설치 배관에 비해 50~60%수준에 머무르며 이는 보호공 설치로 인해 원주방향응력은 보호공이 분담하며, 축 방향응력의 감소는 보호공의 강도에 의한 것으로 판단된다. 보호공 설치 배관의 응력은 최고 $0.28\sigma_Y$ 에 머물러 보호공 자체로는 매우 안정한 것으로 나타났다.

표 3.1 내압 만을 고려한 보호공 설치 배관의 응력분포

지역	관경	두께	hoof stress (MPa)	axial stress (MPa)	effective stress (MPa)
가	30"	17.5mm	113.0	22.7	104.0
	26"	15.9mm	107.0	21.5	98.5
나	30"	14.3mm	107.0	21.5	98.5
	26"	11.9mm	128.0	25.5	117.0

3.2 고정수위 10m, 매설 심도 변화에 따른 배관 응력해석

배관이 지하수위 하부에 위치한 경우에 대해 배관의 거동을 살펴보기 위해 그림 2.1과 같이 고정수위 10m, 각 매설심도에 대해 가·나 지역, 30" 및 26"의 배관에 대해 해석을 실시하였다. 일반적으로 보호공은 같은 규격에 관경만 바뀌게 되므로 30"배관은 26"배관에 비해 보호공이 차지하는 비가 적으며 응력을 부담할 수 있는 부분이 줄어들게 된다. 따라서 '가' 지역의 배관에 비해 '나'지역의 배관 응력이 다소 크게 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 보호공을 설치한 30" 및 26" 배관에 대해 매설 심도에 상관없이 매우 안정적인 분포를 나타내었

으며, 이는 항복응력에 대해 21-24%에 해당하는 응력으로써 보호공이 충분히 배관을 보호하고 있는 것으로 판단할 수 있다. 수렴응력은 '가'지역 106MPa, '나'지역 95.1MPa이며 심도가 증가하여도 응력이 더 이상 증가하지 않는 수렴 응력 값이라는 점에서 의의가 있다.

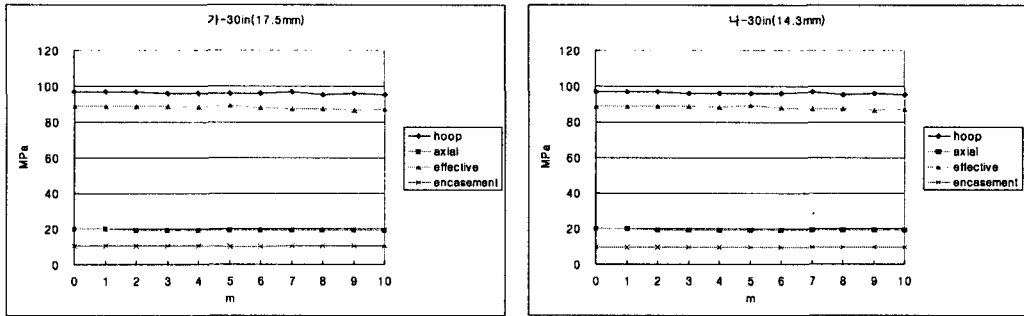


그림 3.1 직경 30" 배관의 매설심도에 따른 응력 변화

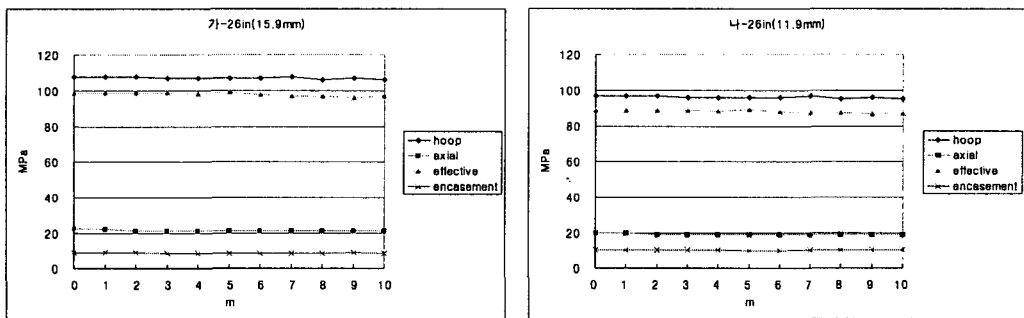


그림 3.2 직경 26" 배관의 매설심도에 따른 응력 변화

4. 결론

보호공을 설치하였을 경우 내압에 의해 발생하는 축 방향응력에 대해 보호공과 배관이 분담하게 되므로 외부상태에 상관없이 주로 $0.3\sigma_y$ 에 해당하는 응력이 발생하게 된다. 또한 하천 통과 배관의 경우 보호공이 배관의 내압을 분담하여 약 $0.22\sigma_y$ 의 응력 분포를 보이며, 이는 정적하중에 대해 콘크리트 보호공이 배관을 충분히 보호하고 있음을 나타낸다. 따라서 하천 통과배관을 설치하는 경우에 상재토압 및 정수압에 대한 해석 및 검토는 불필요한 것으로 판단되며 나아가 심도에 따른 수중 충돌물에 의한 충격하중에 대한 영향 평가가 이루어져야 할 것이다.

5. 참고문헌

- 1 Ansel C. Ugural; K. Fenster. Advanced Strength and Applied Elasticity, 1994, 155-156,474.
2. F. Tong. Classical and Computational Solid Mechanics, 2001, 150-156
3. R.K. Watkins; L.R. Anderson. Structural Mechanics of Buried Pipes, 2000, 110-116