



지하 매설 교차 관망 내 강·연성관의 상호작용에 관한 연구

*김미승 · 원종화 · 김문겸 · 김정수

연세대학교 토목공학과

(2009년 2월 3일 접수, 2009년 4월 3일 수정, 2009년 4월 3일 채택)

Study for Rigid and Flexible Pipe Interaction at the Crossing Point of Underground Pipeline Network

*Mi Seung Kim · Jong Hwa Won · Moon Kyum Kim · Jeong Soo Kim

Dept. of Civil Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

(Received 3. Febuary. 2009, Revised 3. April. 2009, Accepted 3. April. 2009)

요 약

본 연구는 지중에서 배관이 교차할 때 상부 강성관이 하부 연성관에 영향을 미치는 유효 깊이와 유효 길이에 대한 개념을 이용하여 두 매설 배관의 교차 정도와 배관 사이의 거리에 따른 하부 매설 배관의 영향범위를 파악 하고자한다. 이를 위하여 상부 배관과 하부 배관을 각각 원심력철근콘크리트관과 가스 수송용 강관으로 구현하였다. 이때 1.0m에 매설된 상부 배관으로부터 하부 배관은 각각 0.5m에서 5m의 매설심도를 가지며 두 배관의 교차각을 0, 30, 60, 90°로 변화하여 연구를 진행하였다. 그 결과 유효깊이는 두 매설 배관의 교차각이 증가함에 따라 증가하며, 두 매설관 사이의 거리가 증가함에 따라 감소하다 일정 값으로 수렴하게 된다. 또한 두 교차 배관의 교차 각 증가에 따른 유효깊이와 휨응력 합외 관계를 정리하였다.

Abstract - The result of this research explains an interactive behavior of buried steel pipe located below hume pipe using concept of effective depth and effective length against their inter-section angle and burial distance. The cover depth of upper rigid (hume) pipe is 1.0m and depth range of flexible (steel) pipe is 0.5m to 5m from beneath bottom of hume pipe. And one more variable is their intersection angle in this study, it was considered from 0° to 90°. From the results of this study, the effective depth is proportionally increasing with its intersection angle and decreasing with distance increment between two pipes. Finally, the relationship between effective length and summation of occurred bending stress is defined.

Key words : buried gas pipe, intersection angle, distance between buried pipes, effective depth, effective length

1. 서 론

우리나라와 같이 국토가 좁은 지역이나 라이프 라인(Life-line) 시설의 수요가 많은 곳에서는 여러 종류의 매설관이 서로 교차하여 시공되는 경우가 빈번하게 발생한다. 일반적으로 하부 매설 배관의 거동이 상부에 위치한 배관의 영향을 받는다.

국내의 연구들은 주로 상호작용에 따른 배관의 거동을 관찰하기보다 환경 조건에 따른 매설관의 영향을 주로 연구해 왔으며, 현재 매설관 관련 기관들의 매설관 설치 규정 또한 상호 관망에 따른 배관의 영향이나 거동은 간과하고 있는 실정이다. 반면 국외의 경우 배관 교차에 따른 영향과 관망 시스템의 상호작용 연구가 국내보다 다양하게 진행되어 왔다. 그러나 이러한 연구 역시 단일 층에서 연결된 배관이 교차하는 구간에 대한 연구가

*주저자:mi-seounglove@yonsei.ac.kr

대부분이며, 각기 다른 층에 위치한 배관에 대한 상호작용에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 교차 관망에서 상부 배관에 따른 하부 매설 배관의 영향과 이에 관련된 연구가 필요할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 강성관이 상부에 위치한 강관을 모사함으로써 매설 조건이 가장 좋지않은 경우에 대하여 연구를 진행하였다.

이러한 사실로 비추어 볼 때 상부 배관에 의한 하부 배관의 영향 정도를 파악하는 일은 매우 중요하며, 이에 본 연구에서는 하부 배관의 영향 정도를 유효깊이와 유효깊이를 통해 그 영향을 분석하였다. 상부 및 하부 매설관은 각각 하수관거와 가스관으로 설정하고 적정 매설깊이에 대하여 수치해석을 실시하였다. 본 연구의 수치해석은 지반전용유한요소 프로그램인 Midas/GTS ver. 2.5.0을 사용하였다.

II. 연구내용 및 범위

교차 관망 내 하부 매설 배관의 영향범위와 영향 정도를 파악하기 위하여 유효깊이와 유효깊이의 개념을 정의하였다. 또한 이를 두 배관 사이의 거리 및 교차각과 연관 지어 분석함으로써, 가중치를 도입하여 상부 배관에 의한 하부 배관의 유효깊이를 계산할 수 있도록 식을 제안하였으며, 교차 정도에 따라 두 배관의 유효깊이와 휨응력(Bending Stress)에 대한 합의 관계를 정리하였다.

2.1 해석 대상 선정

본 연구를 위한 해석 대상 배관으로 상부에는 흙관(KS F 4403)을 하수관거로 사용하였으며, 하부에는 한국가스공사 주 사용 배관인 직경 30inch (0.762m)의 API 5L X65를 가스관으로 사용하였다 [1][2]. 해석 대상 배관의 물성과 매설 깊이 및 지반의 물성 값은 Table 1에 정리하였으며, 가스관에는 도시가스 배관 내의 사용 압력인 4MPa을 작용시켜 이에 따른 변형만을 고려함으로써 지반과 배관

의 상호작용으로부터 변형 된 배관의 모형을 초기의 형태로 가정하였다[3][4]. 유한요소 해석을 위한 지반 규격은 Fig. 1.과 같이 가로, 세로를 각각 15m로 한다.

본 연구를 위한 해석 모델에서는 상부 배관을 매설하기 위하여 지반을 굴착할 경우에 발생하는 지반교란을 고려하여 지반 안정 해석을 실시하지 않았으며, 본 논문에서 주로 고려된 인자는 Poisson 효과를 제외한 휨응력(Bending stress)의 증가분이므로, 안정화과정에서 소산되는 원주방향 응력(Circumferential stress)의 영향을 배제하였다.

2.2 두 매설 배관의 교차각과 거리

본 연구의 연구 범위는 두 매설관이 각각 0, 30, 60, 90°의 각을 이루고 교차하는 경우와 두 배관 사이의 거리가 각각 0.5, 1.0, 3.0, 5.0m인 경우로 한정하며, 이때 상부의 하수관거와 하부의 가스관은 Fig. 2와 같이 θ 의 각과 D의 거리를 가지고 매설되어 있다.

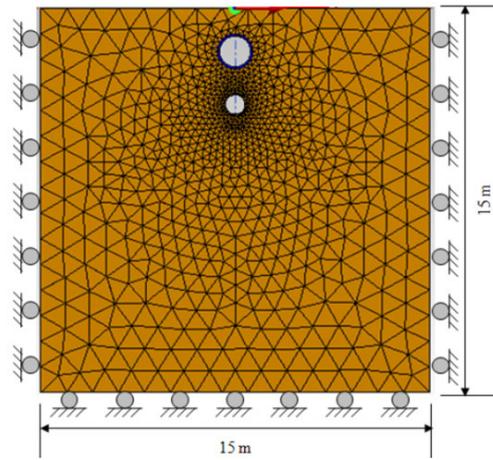


Fig. 1. Soil model.

Table 1. Material property.

	E (N/m ²)	γ (N/m ³)	ν	D (m)	t (mm)	Cover depth	Remarks
Hume pipe	2.0×1010	2.5×104	0.2	1.39	95	1.0 m	-
API 5L X65	2.1×1011	7.86×104	0.3	0.76	17.5	3.39 m	1.0m below the hume pipe
Residual soil	5.0×107	2.0×104	0.35		-	-	-

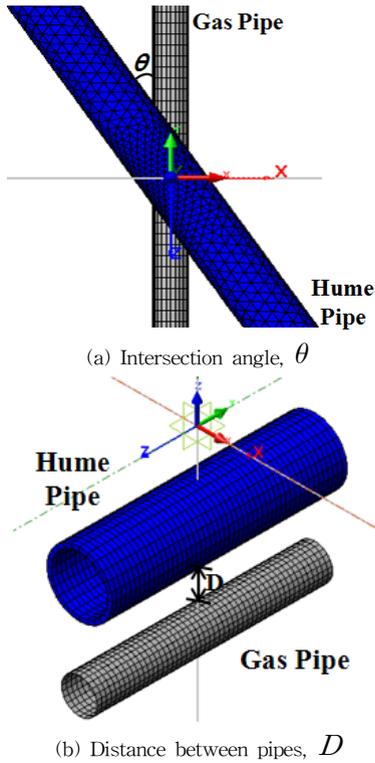


Fig. 2. Intersection angle and distance between two pipes.

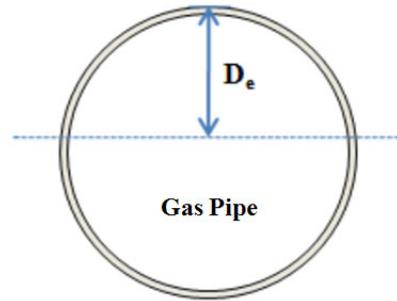


Fig. 3. Effective depth of the gas pipe.

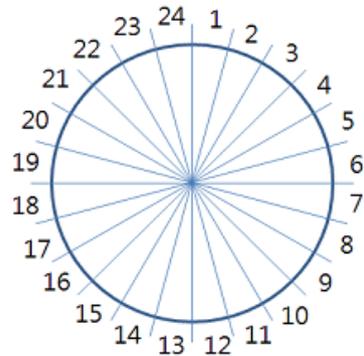


Fig. 4. Ring section number. (R_n)

Table 2. Stress of the gas pipe for intersection angle 0° and distance 1m in two pipes.

R_n	1	2	3	4	5	6
σ_h (MPa)	95.1718	92.3380	87.4175	81.7649	76.8197	73.8008
$\nu\sigma_h$ (MPa)	28.5515	27.7014	26.2252	24.5295	23.0459	22.1402
σ_a (MPa)	28.5532	27.6963	26.2172	24.5218	23.0404	22.1377
$\sigma_a - \nu\sigma_h$ (MPa)	0.0017	-0.0051	-0.0080	-0.0077	-0.0055	-0.0026
$(\sigma_a - \nu\sigma_h)2 - (\sigma_a - \nu\sigma_h)1$ (MPa)		-0.0067	-0.0029	0.0003	0.0022	0.0029

2.3 유효깊이

유효깊이는 상부 배관으로부터 영향을 받는 하부 가스관의 영향 깊이를 말한다. 다시 말해 상부에 위치한 배관과 이루는 하부 연성관의 각도와 거리에 따라 발생하는 하부 배관의 영향을 수치화하여 하부 배관에 미치는 영향 정도를 배관 깊이로

나타낸 것이다. 본 연구에서는 유효깊이를 D_e 로 정의하며, Fig. 3에 유효깊이를 나타내었다.

Table 2는 두 배관이 0° 의 교차각을 이루고 있을 때, 1m의 간격을 두고 매설된 경우 하부 가스 배관 응력을 나타낸 표이다. 여기서, R_n 은 Ring Section Number를 말하며, σ_h 는 원주방향 응력, ν 는 Poisson

비, σ_a 는 축방향 응력을 의미한다. 이때 R_n 은 Fig 4와 같이 Ring 단면을 요소화하여 배관 상부, 측부 및 하부를 각각 1, 6, 12로 번호화한 것을 의미한다.

관망 내 두 배관이 나란하게 매설된 경우, 두 배관 사이의 거리를 1m로 하여 유효깊이 D_e 를 구하는 과정은 다음과 같다. Table 2는 각 Ring Section Number, R_n 에 발생하는 응력으로부터 Poisson 효과를 제외한 축방향 응력의 증분($\sigma_a - \nu\sigma_h$)을 도출하고 있으며 표 하단의 $(\sigma_a - \nu\sigma_h)_2 - (\sigma_a - \nu\sigma_h)_1$ 는 앞단계 R_n 과 현단계 R_n 의 축방향 응력의 차이를 나타낸다. 이를 통하여 배관 교차에 의하여 발생하는 휨응력의 영향이 크게 작용하는 범위를 구할 수 있으며 Table 2.에서는 부터 하부 가스 배관의 축방향 응력 차가 양의 값을 갖는 R_n 이 3임을 알 수 있으며, 따라서 가스관의 직경 $B=0.762m$ 를 고려하면 $R_n=3$ ($\theta=45^\circ$)인 경우의 유효깊이 $D_e=0.1116m$ 임을 알 수 있다.

유효깊이는 축방향 응력을 이용하여 휨응력으로부터 계산되어지며, 계산 결과의 경향이 어긋나기 시작하는 전 지점까지를 유효깊이로 볼 수 있다. 이때 휨응력은 축방향 응력과 원주방향 응력에 Poisson 비를 곱한 값의 차이로 나타낼 수 있으며 이는 식 (1)과 같다.

$$\Delta\sigma_a = \sigma_a - \nu\sigma_h \quad (1)$$

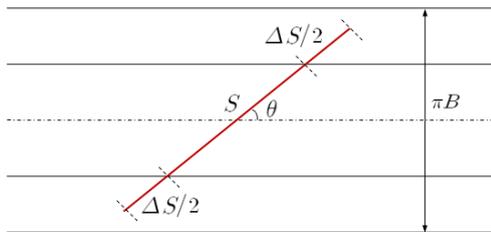


Fig. 5. Effective length of the gas pipe.

Table 3. D_e and F according to intersection angle of two pipes(distance 1m).

Intersection angle ($^\circ$)	0	30	60	90
D_e (m)	0.1116	0.1905	0.2824	0.3810
F	0.1464	0.2500	0.3706	0.5000

여기서, $\Delta\sigma_a$ 는 휨응력, σ_a 는 축방향 응력, σ_h 는 원주방향 응력이며, ν 는 Poisson 비를 의미한다.

유효깊이 D_e 의 최대값이 가스관의 직경 B 와 같기 때문에 유효깊이를 무차원량으로 나타낼 수 있으며, 이는 상대 유효깊이 F ($F=D_e/B$)라는 기호를 도입하여 나타낸다.

2.4 유효깊이

유효깊이란 두 배관이 이루는 각 θ 에 따라 가스관에 영향을 미치는 길이로 유효깊이를 고려한 값이며, θ 에 대한 함수로 표현이 가능하다. 본 연구에서는 이후의 유효깊이를 S' 로 정의하며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S'(\theta) = S + \Delta S \quad (2)$$

$$= \frac{\pi B/2}{\sin\theta} + \Delta S$$

여기서, θ 는 관망 내 두 배관이 이루는 각이며, B 는 가스관의 직경, S 는 배관 상부의, 그리고 ΔS 는 배관 하부의 증가한 영향거리를 의미한다. Fig. 5는 배관 하단을 절개하여 펼친그림으로 유효깊이를 설명한 그림이다.

III. 하부 배관의 영향범위 분석

교차 관망 내 하부 배관의 영향범위를 분석하기 위하여 상부 배관의 영향에 의한 하부 가스 배관의 유효깊이와 유효깊이를 계산한다.

3.1 유효깊이에 따른 해석사항

두 배관 교차정도에 따른 하부 배관의 유효깊이를 알아보기 위하여 두 매설관의 교차각을 0, 30, 60, 90 $^\circ$ 로 변화시켜 관찰하였으며, 이때 두 매설관 사이의 거리는 1m로 고정하였다. Table 3은 두 매설 배관의 교차각에 따른 유효깊이 D_e 와 F 값을 나타낸 표이며 Table 4.는 두 배관이 나란히 매설된

Table 4. D_e and F according to distance of two pipes(intersection angle 0 $^\circ$).

Distance (m)	0.5	1.0	3.0	5.0
D_e (m)	0.4308	0.1116	0.0608	0.0420
F	0.5654	0.1464	0.0798	0.0552



Fig. 6. F according to intersection angle of two pipes ($D=1m$).

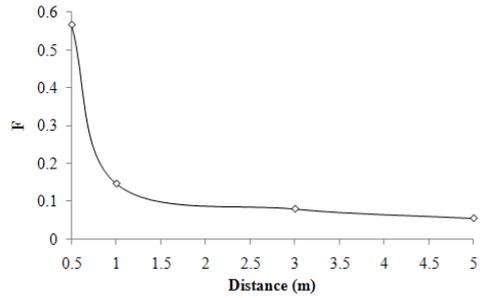


Fig. 7. F according to of interval between two pipes ($\theta = 0^\circ$).



Fig. 8. S' according to intersection angle of two pipes.

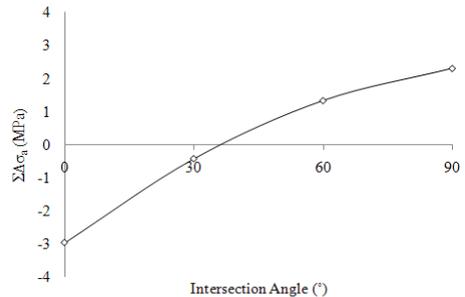


Fig. 9. $\Sigma\Delta\sigma_a$ according to intersection angle of two pipes.

Table 5. S' and $\Sigma\Delta\sigma_a$ according to intersection angle of two pipes.

Intersection angle ($^\circ$)	0	30	60	90
S' (m)	∞	4.8338	2.3272	0.7620
$\Sigma\Delta\sigma_a$ (MPa)	-2.9589	-0.4216	1.3335	2.3061

경우 두 배관 사이의 거리에 따른 D_e 와 F 값을 나타낸 표이다.

Fig. 6과 Fig. 7은 Table 3과 Table 4를 각각 도시한 그림이다. 이로부터 F 는 두 배관이 이루는 교차각과 비례 관계에 있으며, 매설관 사이의 거리와는 반비례 관계에 있음을 알 수 있다. 이는 교차각이 커짐에 따라 두 배관의 교차 범위가 줄어들면서 더 많은 영향을 견뎌야 하기 때문에 두 매설관이 교차하는 각이 0° 일 때 보다 90° 일 때 더 깊은 유효 깊이를 갖게 된다. 반면 두 배관 사이의 거리가 멀어질수록 상부 배관의 영향이 점차 줄어들게 되

며, 어느 일정 범위에서부터는 더 이상 상부 배관의 영향을 받지 않는다.

3.2 유효깊이에 따른 해석사항

D_e 는 θ 와 D 에 따른 함수로 표현 가능하며, 유효 깊이 S' 또한 두 배관 사이의 거리 및 교차각과 밀접한 관계가 있으므로 Fig. 6과 Fig. 7에 도시되어 있는 값을 이용하여 유효깊이 식을 제안하고자 한다. 제안식은 지반 및 배관의 탄성 거동을 가정하여 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$S'_i = \frac{F_i}{F_j} S'_j \quad (3)$$

여기서 i, j 는 두 배관 사이의 이격거리를 의미하며, 각 F 값은 Fig. 6과 Fig. 7를 바탕으로 산정한다. 예를 들어 두 배관 사이의 거리가 $1m$ 이고 교차각이 0° 인 경우, $S' = 1$ 이라면 두 배관 사이의 거리가 $3m$ 일 때의 S' 값은 식 (4)로부터 계산 가능하다.

$$S'_{3m} = \frac{F_{3m}}{F_{1m}} S'_{1m} \quad (4)$$

여기서, F_{1m} 와 F_{3m} 는 각각 두 배관이 1m와 3m의 이격거리를 갖고 있을 때의 상대 유효깊이 값이며, S'_{1m} 와 S'_{3m} 는 두 배관 사이의 거리가 각각 1m와 3m일 때의 유효깊이를 의미한다.

3.3 유효깊이와 $\sum \Delta \sigma_a$ 의 관계

Table 5는 두 매설관 교차각에 따른 S' 와 $\sum \Delta \sigma_a$ 를 나타낸 표이다. 여기서 $\sum \Delta \sigma_a$ 는 상부 배관으로부터 받는 영향의 이동 변화를 나타낸 선, 즉 영향선 위의 휨응력을 유효깊이까지 합한 값을 의미한다. Fig. 8은 두 매설관 교차각에 따른 S' 를 도시한 그림이며 Fig. 9와 같이 두 매설관이 이루는 각에 따른 $\sum \Delta \sigma_a$ 값을 도시한 그림이다. Fig. 8과 Fig. 9로부터 두 배관이 이루는 교차각이 커질수록 유효깊이는 줄어들며, 휨응력의 합은 증가하는 경향을 보였다. 따라서 S' 와 $\sum \Delta \sigma_a$ 는 서로 반비례 관계에 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

두 배관 사이의 거리 및 두 배관이 이루는 각을 변수로 하여 수치해석을 실시하였으며, 이로부터 가스관의 영향범위를 분석하였다. 또한 교차 관망에서 상부 배관이 하부 배관에 미치는 영향범위를 유효깊이와 유효깊이를 통해 분석하였다. 이로부터 유효깊이 식을 제안하고 유효깊이와 $\sum \Delta \sigma_a$ 의 관계를 분석하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 상부 배관에 의한 하부 배관의 유효깊이는 두 매설관의 교차각이 증가할수록 증가하며, 두 매설관 사이의 거리가 증가할수록 감소한다. 이는 두

배관의 교차각이 커짐에 따라 두 배관의 교차 범위가 줄어들면서 더 많은 영향을 견뎌야 하기 때문에 두 매설관이 교차하는 각이 커질수록 더 깊은 유효깊이를 갖게 된다. 반면 두 배관 사이에 따른 유효깊이는 배관 사이의 거리가 멀어질수록 상부 배관의 영향이 점차 줄어들어 어느 일정거리 부터는 더 이상 상부 배관의 영향을 받지 않게 된다.

2. 상부 배관이 하부 배관에 미치는 영향은 두 배관의 교차정도에 따라 각기 다르다. 본 연구에서 유효깊이는 두 배관의 교차각과 반비례 관계에 있음을 확인하였다. 또한 두 배관 사이의 거리와 두 배관의 교차각에 따른 유효깊이를 고려하여 가중치 개념으로부터 배관에 발생하는 유효깊이 식을 제안하였다. 이로부터 두 배관 사이의 거리가 다른 경우에도 제안식을 이용하여 해당 거리에서의 유효깊이를 구할 수 있다.

3. 유효깊이는 두 배관 사이의 거리 및 두 배관이 이루는 각에 대하여 반비례 관계에 있다. 따라서 두 배관의 교차각이 증가할수록 유효깊이는 짧아지며, 유효깊이와 유효깊이까지의 휨응력의 합은 커진다. 결론적으로 유효깊이와 휨응력의 합은 반비례 관계에 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 한국 상하수도협회, “상하수도시설기준”, (2004)
- [2] 한국가스공사 연구개발원, “GSM-2101 배관자재 규격”, (1997)
- [3] 한국토지공사, “과형강관을 이용한 하수관의 설계 및 시공법 연구”, (2004)
- [4] 한국가스공사, “한국가스공사 표준 주배관 매설 심도 설계기준”, (2003)
- [5] Reynold King Watkins and Loren Runar Anderson, “Structural mechanics of buried pipes”, CRC Press, (2000)