



간섭 거동에 따른 지하 가스 배관의 영향선 분석

*김미승 · 원종화 · 김문겸 · 김태민 · 최선영

연세대학교 토목공학과

(2008년 11월 12일 접수, 2009년 3월 25일 수정, 2009년 3월 25일 채택)

Analysis of the Critical Path of Underground Gas Pipe According to Interference Behavior

*Mi Seung Kim · Jong Hwa Won · Moon Kyum Kim · Tae Min Kim · Sun Young Choi

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

(Received 12. November. 2008, Revised 25. March. 2009, Accepted 25. March. 2009)

요 약

관망 내 배관의 간섭 거동에 따른 지하 매설 배관의 영향선 분석을 위하여 실제 환경에 부합하도록 지하의 상부와 하부에 각각 하수관거와 가스관을 매설하여 유한요소모델을 구현하였으며, 두 배관의 교차 정도에 따라 하부 가스 배관의 영향선을 분석하였다. 하수관거와 가스관은 각각 1.0m와 3.39m의 매설심도를 가지며, 두 배관이 이루는 교차각은 0~90°에 대하여 해석을 실시하였다. 본 연구에서는 Ring Deflection과 Bending Stress의 결과로부터, 교차각에 따른 영향선을 분석하였으며, 그 결과 두 배관이 이루는 교차각과 하부 배관의 영향선은 일치함을 알 수 있었다. 따라서 배관의 간섭 거동에 따른 하부 배관의 영향선은 두 배관의 교차각과 깊은 관계가 있다고 판단된다.

Abstract - In order to make the critical path analysis of gas pipeline located under rigid pipes for interference behavior, FE analysis is performed considering real buried conditions of a drain and a gas pipe according to intersection angle of two pipes. A drain pipe and gas pipe have cover depth respectively 1.0m and 3.39m and this study considers a interference angle in the range of 0~90°. In this paper, the critical path is analyzed from the result of Ring Deflection and bending stress according to intersection angle. In the event intersection angle of two pipes equal to the critical path of lower pipe. The analysis results show that the critical path of lower gas pipe according to interference behavior has relation to intersection angle of two pipes.

Key words : buried gas pipe, intersection angle, ring deflection, bending stress, critical path

1. 서 론

최근 급속한 도시의 팽창과 신도시 건설 및 산업의 발전으로 lifeline 시설은 꾸준히 확대되고 있는 실정이다. 만약, 이러한 배관들이 위협에 노출된다면 시설 파손으로 인하여 수요자가 불편을 겪을 수 있으며, 경우에 따라 심각한 인명 피해도 발생할 수 있기 때문에 배관 설치와 관리는 매우 중요

하다. 이에 각각의 지하 매설물은 각 관할 기관에 의하여 관리 및 유지되고 있으나 좁은 지역에 여러 종류의 매설관이 교차하여 시공되고 있는 실정을 고려한다면 매설관 각각에 대한 안전성 검토를 넘어 두 매설 배관의 간섭 거동에 따른 배관의 안전성에 보다 신중을 기해야 할 필요성이 있다. 이에 관망 내 간섭 거동에 따라 하부 배관의 영향을 관찰하고자 하며 실제 상황에 부합하기 위하여 상부와 하부 매설관을 각각 하수관거와 가스관으로 설정하여 실제 시공되고 있는 적정 매설깊이에 대하여 검토

*주저자:mi-seounglove@yonsei.ac.kr

하였다. 이를 위하여 수치해석을 수행하여 간섭 거동에 따른 하부 배관의 영향선을 분석하였으며 수치해석은 지반 전용 유한요소 프로그램인 Midas/GTS ver.2.5.0을 사용하였다.

II. 연구동향

배관은 일찍부터 사용되어져 왔으며 이에 따라 배관에 대한 연구가 많이 진행되어왔다. 지반에는 하수관거, 가스관, 상수관 등 여러 종류의 관들이 매설되어 있으며, 매설관의 형태는 대부분 원형관으로써 이러한 원형관은 매설도와 관의 구조적 상관관계가 매우 난해하여 그 해석에 반경험적인 방법이나 수치 해석적 방법이 대부분 이용되어 왔다. 국내의 진행된 연구들은 주로 외부 하중이 작용하는 경우 매설 배관에 발생하는 응력으로부터 배관의 영향을 판단하거나 강도를 평가하는 연구들이며, 혹은 지반 침하에 따른 배관의 거동을 분석하는 연구와 같이 관망의 상호작용을 고려하기보다 하나의 매설관에 미치는 영향 등이 주 연구대상이었다. 반면 국외의 경우, 배관 교차에 따른 영향 및 그와 관련된 연구, 관망 시스템 내의 상호작용 분석과 관련된 주요 인자 분석에 관한 연구 및 서로 다른 두 개의 관에 대한 진동과 안정성 분석에 관련된 연구 등 관망의 상호작용에 관한 연구가 국내보다 다양하게 진행되었다. 한편 국내 매설관 규정에 의하면, 각 기관마다 해당 배관에 매설관이 근접하게 시공되는 경우에 대하여 최소 매설 거리를 규정하고 있으나 간섭 거동에 따른 매설 거리나 교차각에 대한 규정이 없는 실정이다. 따라서 관망 내 간섭 거동에 따른 연구가 필요할 것으로 판단된다.

III. 연구내용 및 범위

간섭 거동에 따른 하부 가스 배관의 영향선을 분석하기 위하여 본 연구는 먼저 Ring Deflection과 Bending Stress로부터 하부 매설 가스관의 위험 단

면을 분석하고 여기서 얻은 위험 단면으로부터 하부 가스관의 영향선을 분석하였다.

3.1 해석 대상 선정

본 연구를 위한 해석 대상 배관으로 상부의 하수관거는 원심력 철근 콘크리트관(흙관, KS F 4403), D=1.39m, 두께 t=95mm의 배관을 사용하였으며, 하부의 가스 배관은 한국가스공사 주 사용배관인 API 5L X65, D=0.762m (30 inch), 두께 t=17.5mm 배관을 사용하였다. 또한 도시가스 배관 내의 사용 압력인 4 MPa을 연성관에 작용시켜 이에 따른 변형만을 고려하였기 때문에 지반과 배관의 강성으로부터 변형된 모형을 초기의 형태로 가정한다. 해석 대상 배관 및 지반의 물성 값은 Table 1.에 정의하였으며 흙관의 경우, 정성교(1989)의 논문에 의거하여 철근콘크리트의 물성을 참고하였다 [1]. 유한요소 해석을 위한 지반 규격은 Fig. 1.과 같이 가로, 세로를 각각 15m로 하고 폭 또한 두 교차 매설관의 영향 범위를 고려하여 15m로 한다. 한편 해석 대상 배관의 매설 깊이는 하수관거와 가스관 매설 규정에 따라 Table 2.와 같이 정하였다[2][3].

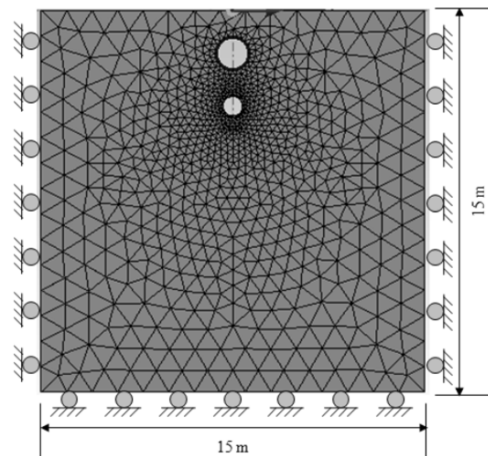


Fig. 1. Midas/GTS Soil Model.

Table 1. Properties of Pipes and Soil.

	E (N/m ²)	γ (ton/m ³)	ν
Hume	2.0×10 ¹⁰	2.5×10 ⁴	0.2
API 5L X65	2.1×10 ¹¹	7.86×10 ⁴	0.3
Residual Soil	5.0×10 ⁷	2.0×10 ⁴	0.35

Table 2. Cover Depth of Pipes.

	Cover Depth	Reference
Hume Pipe	1.0 m	-
API 5L X65	3.39 m	1.0 m below the Hume Pipe

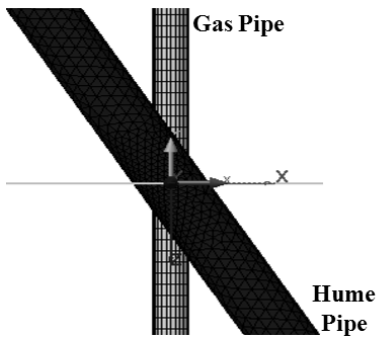


Fig. 2. Intersection Angle of Two Pipes.

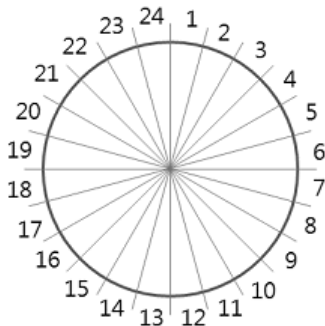


Fig. 3. Ring Section.

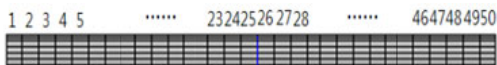


Fig. 4. Longitudinal Section.

3.2 간섭 거동에 의한 해석사항

관망 내 간섭 거동에 따른 본 연구의 범위는 두 매설관이 각각 0, 30, 60, 90°의 각을 이루고 교차하는 경우로 제한하며, 이때 상부 흙관과 하부 가스관은 Fig. 2와 같이 θ 의 각을 가지고 교차하고 있다. 배관 교차에 의한 하부 매설관의 관찰을 위하여 배관 단면을 ring 단면 요소와 배관 축방향 요소로 나누어 Fig. 3. 및 Fig. 4.와 같이 나타내고, Ring Section Number와 Longitudinal Section Number를 각각 R_n 과 L_n 으로 정의한다. Fig. 3.에서와 같이 배관 상부, 측부 및 하부를 각각 1, 6, 12로 번호화 하였으며, 길이방향으로는 배관을 50개의 구간으로 나누어 $L_n=25$ 가 배관의 중심 단면이 되도록 하였다.

IV. 매설 교차각에 따른 영향선 분석

상부 배관에 의한 하부 배관의 변형을 알아보기 위하여 두 매설관의 교차각을 0, 30, 60, 90°로 변화시켜 관찰한 $L_n=25$ 배관 상부, 측부, 하부의 응력을 Table 3.에 나타내었다.

4.1 Ring Deflection에 의한 분석

Table 3.을 이용하여 새로운 반경과 단면의 좌표를 계산해 본 결과 하부 가스관의 변형이 타원의 형상을 가지고 일정한 형태로 변형하기 때문에 식 (1)로부터 Ring Deflection을 구할 수 있으며, 교차각이 각각 0°와 30°일 때의 값을 Table 4.와 Table 5.에 나타내었다[4]. Ring Deflection 값을 위한 Δ 값은 수치해석 결과를 바탕으로 산정하였으며, 일반적으로 교차각에 따라 국부변형이 크게 발생하지 않기 때문에 교차각에 따른 변형 역시 본 연구 결과에서 Ring Deflection 값으로 나타내었다. 그

Table 3. Stress of Hume Pipe according to Intersection Angle ($L_n=25$).

Intersection Angle	0°	30°	60°	90°
Hoop Stress (MPa)				
Crown (상부)	95.1718	95.3785	95.3631	95.3075
Springing (측부)	73.8008	73.5891	73.5020	73.4921
Invert (하부)	95.4319	95.6127	95.7202	95.7329
Axial Stress (MPa)				
Crown (상부)	28.5532	28.5128	28.9617	29.2234
Springing (측부)	22.1377	22.1656	22.1492	22.1205
Invert (하부)	28.6237	28.5007	27.9514	27.6888

Table 4. Ring Deflection for Angle 0° (%).

L_n	Δ	d	L_n	Δ	d
26	0.1881	9.4	36	0.1879	9.4
27	0.1881	9.4	37	0.1880	9.4
28	0.1881	9.4	38	0.1881	9.4
29	0.1880	9.4	39	0.1881	9.4
30	0.1880	9.4	40	0.1881	9.4
31	0.1880	9.4	41	0.1881	9.4
32	0.1879	9.4	42	0.1881	9.4
33	0.1878	9.4	43	0.1880	9.4
34	0.1878	9.4	44	0.1880	9.4
35	0.1879	9.4	45	0.1879	9.4

Table 5. Ring Deflection for Angle 30° (%).

L_n	Δ	d	L_n	Δ	d
26	0.1881	9.4	36	0.1879	9.4
27	0.1881	9.4	37	0.1880	9.4
28	0.1881	9.4	38	0.1881	9.4
29	0.1880	9.4	39	0.1881	9.4
30	0.1880	9.4	40	0.1881	9.4
31	0.1880	9.4	41	0.1881	9.4
32	0.1879	9.4	42	0.1881	9.4
33	0.1878	9.4	43	0.1880	9.4
34	0.1878	9.4	44	0.1880	9.4
35	0.1879	9.4	45	0.1879	9.4

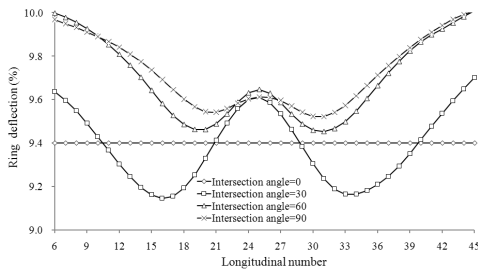


Fig. 5. Ring Deflection of Each Section according to Intersection Angle.

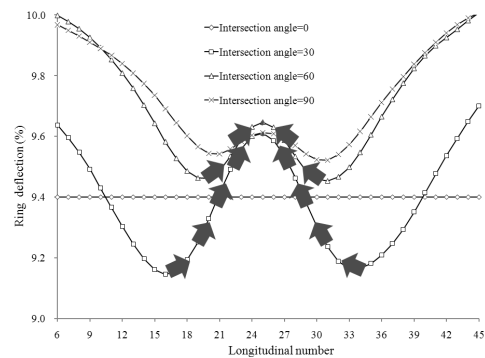


Fig. 6. Analysis of the Danger Section by Ring Deflection.

결과, 변형 형상이 $L_n=25$ 를 중심으로 d 값이 대칭으로 나타났기에 배관의 중심에서부터 한 방향의 값만을 정리하였다.

$$d = \Delta / D \quad (1)$$

여기서, d 는 Ring Deflection, D 는 원 배관의 직경, Δ 는 직경의 변화량을 의미한다[4]. 교차각이 0°인 경우 두 배관이 나란히 매설되어 길이 방향으로 배관 단면의 변형이 일정하게 나타났으며 30, 60, 90°의 경우는 길이 방향 배관 중심인 $L_n=25$ 에서 가장 큰 변형이 발생하였다. 또한 중심에서부터 멀어짐에 따라 변형은 감소하는 경향을 갖는다. 이때, 두 매설관의 교차각이 클수록 배관의 변형은 커진다. 이는 교차각이 커질수록 상부 배관의 영향을 받아주는 하부 배관의 영향 범위가 줄어들어

작은 면적에 많은 영향을 받기 때문이다. 그러나 변형은 일정 지점까지 감소하다 다시 증가하여 중심보다 더 많은 변형을 일으킨다. 이러한 부분은 하부 배관 상부에 상부 배관이 위치하고 있지 않아 상부 토압을 모두 하부 가스관이 직접적으로 받고 있기 때문이며, 이로부터 흠관이 토압의 영향을 어느 정도 부담하고 있음을 알 수 있다. Fig. 5로부터 두 매설관이 이루는 교차 정도에 따라 배관 변형이 감소하는 지점이 다름을 관찰 할 수 있다. 이는 앞서 언급한바와 같이 상부 배관과 하부 배관의 영향 범위와 밀접한 관계를 가지고 있다. 해석 결과를 분석한 결과 교차각이 30°인 경우 상부 배관은 가스관의 $L_n=33$ 까지 영향을 미치고 있으며 단면

변형은 이로부터 0.3m 뒤인 $L_n=34$ 까지 보였다. 이는 다른 교차각에 비하여 가스관 상부에 분포하고 있는 흠관과의 교차 범위가 넓기 때문이다. 따라서 중심 단면 $L_n=25$ 에서부터 $L_n=34$ 까지 배관 단면의 변형이 줄어든다. 교차각이 60° 인 경우와 90° 인 경우 또한 같은 양상을 보이며 다만 영향 범위가 각각 다르기 때문에 변형 감소 지점이 다르게 나타난다. 두 배관의 교차각이 60° 일 때와 90° 일 때를 비교해보면 60° 의 경우가 90° 의 경우보다 상부 배관과의 공유 범위가 많아 작은 변형을 보였다. Fig. 6.은 Fig. 5.의 그래프에 배관의 위험 단면을 표시한 그림이다. Fig. 6.에 표시한 화살표는 배관 변형이 작은 지점에서부터 큰 지점에서의 이동 방향을 나타내고 있으며, 이는 상부 배관 영향에 의한 위험 단면으로 해석할 수 있다. 그러나 교차각에 따라 발생하는 위험 단면의 시작점은 Ring Deflection이 최소가 되는 지점으로 두 매설관이 이루는 각에 따라 달라진다.

4.2 Bending Stress에 의한 분석

배관의 길이 방향 변위를 관찰하고자 식 (2)를 이용하여 Bending Stress를 구하였다. 식 (2)는 수치해석 결과 얻을 수 있는 축방향 응력에서 Poisson's Effect를 제외한 힘에 의하여 발생하는 배관의 Bending Stress로서 축방향 응력과 원주방향 응력에 Poisson's ratio를 곱한 값의 차이로 나타낼 수 있다.

$$\Delta\sigma_a = \sigma_a - \nu\sigma_h \quad (2)$$

여기서, $\Delta\sigma_a$ 는 Bending Stress, σ_a 는 축방향 응력, σ_h 는 원주방향 응력이며, ν 는 Poisson's ratio을 의미한다. Table 6.은 두 배관이 30° 의 교차각을 이루고 매설되어 있을 때의 Bending Stress 값이다. 각 교차각에 대한 Bending Stress 값을 구하고 이를 그래프에 도시하면 Fig. 7.과 같다. Fig. 7.에서와 같이 교차각이 0° 인 경우, $R_n=1\sim 12$ 단면 모두 Bending Stress값이 0에 가깝고, 30° 인 경우 길이 방향 중심부 $L_n=25$ 에서 Bending Stress가 감소하며 감소 지점은 단면 R_n 의 변화와 함께 중심부에서 멀어지는 특징을 갖는다. 이는 가스관과 상부 흠관이 각을 이루고 위치하고 있기 때문에 $R_n=1$ 일 때 길이 방향 중심 $L_n=25$ 에서, $R_n=5$ 일 때 $L_n=23$ 으로 Bending Stress 그래프의 최소값이 이동하기 때문이다. 이렇게 R_n 에 따라 영향을 받는 L_n 의 Bending Stress를 구하고 전 L_n 지점과의 차이를 분석하여 경향이 달라지는 부분을 찾아 선으로 연결하면, 두 매설관이 이루는 각과 일치함을 확인 할 수 있다. 60° 의 교차각에서도 비슷한 경향을 보이나 30° 의 경우보다 더 큰 값들을 가지며 60° 의 경우 역시 선을 연결하면 60° 와 일치하는 선을 찾게 된다. Fig. 7.은 단면의 반쪽을 도시한 그림이며, $R_n=13\sim 24$ 인 경우는 Fig. 7.과 대칭을 이룬다. Fig. 8.은 앞서 언급한 Bending Stress로부터 배관의 길이 방향 위험 단면을 나타낸 그림이다. 배관의 길이 방향에 대하여 위험 단면을 점으로 표시하여 선으로 연결하였으며, 점선으로 나타낸 부분은 배관 뒷면을 도시한

Table 6. Bending Stress of Lower Gas Pipeline over the Intersection Angle 30° (MPa).

Rn	Ln							
	6	7	..	25	26	..	44	45
1	-0.1589	-0.1233	..	-0.1177	-0.1008	..	-0.1683	-0.2153
2	-0.0881	-0.0504	..	-0.1010	-0.0555	..	-0.2015	-0.2389
3	-0.0645	0.0288	..	-0.0549	0.0058	..	-0.2103	-0.2352
4	0.0769	0.1038	..	0.0013	0.0609	..	-0.1956	-0.2082
5	0.1527	0.1658	..	0.0466	0.0914	..	-0.1617	-0.1646
6	0.2134	0.2092	..	0.0660	0.0889	..	-0.1153	-0.1111
7	0.2548	0.2328	..	0.0546	0.0554	..	-0.0636	-0.0537
8	0.2756	0.2387	..	0.0165	0.0005	..	-0.0126	0.0030
9	0.2781	0.2309	..	-0.0380	-0.0625	..	0.0341	0.0559
10	0.2663	0.2141	..	-0.0960	-0.1206	..	0.0745	0.1034
11	0.2444	0.1920	..	-0.1455	-0.1632	..	0.1087	0.1451
12	0.2157	0.1668	..	-0.1768	-0.1831	..	0.1375	0.1811

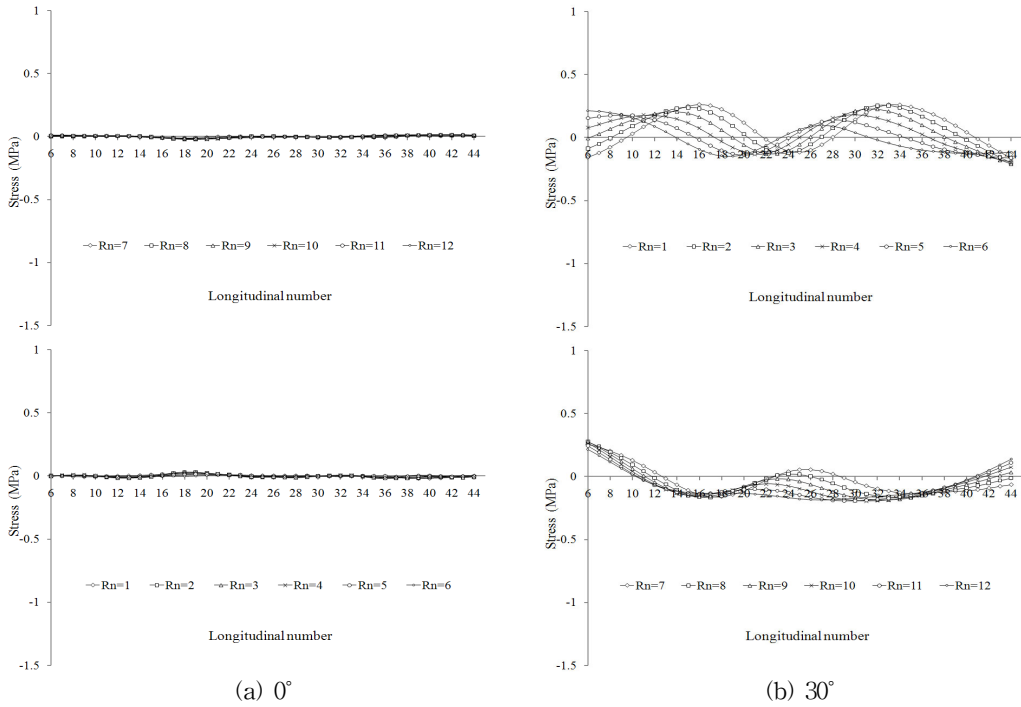


Fig. 7-1. Bending Stress of Lower Gas Pipeline on 0° and 30° in Intersection Angle (continue).

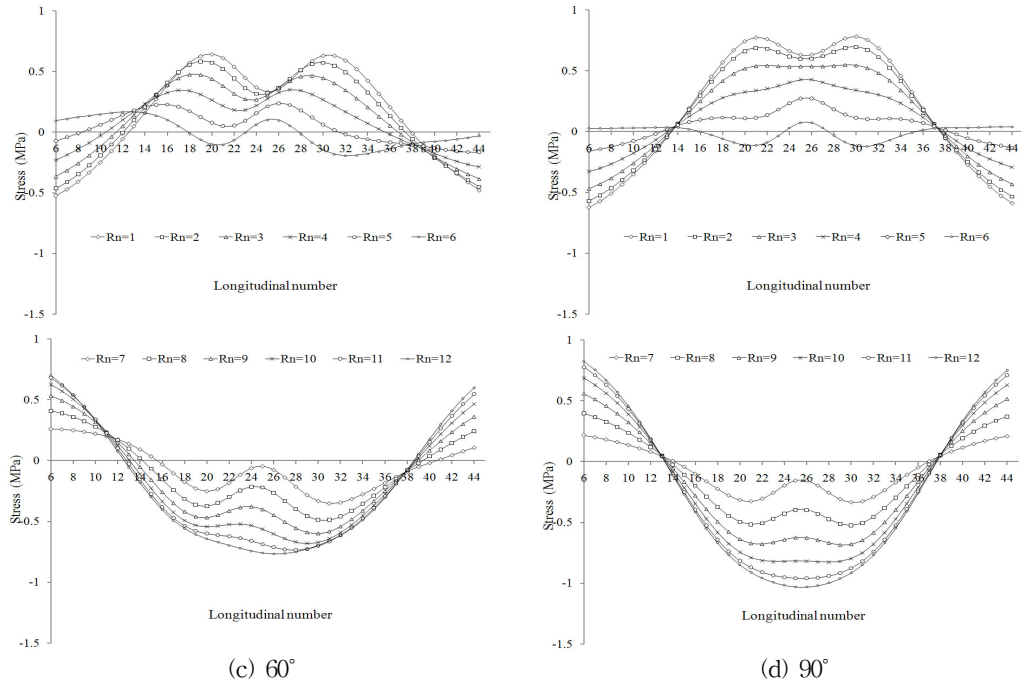


Fig. 7-2. Bending Stress of Lower Gas Pipeline on 60° and 90° in Intersection Angle.

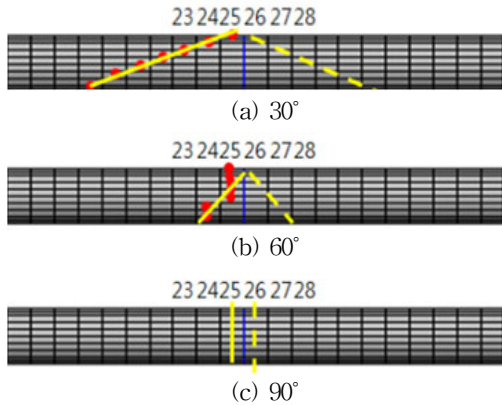


Fig. 8. Analysis of the Danger Section by Bending Stress.

것이다. 또한 배관 위의 숫자는 L_n 을 의미한다. 이미 설명했듯이 두 배관이 30° 의 교차각을 이루고 있을 때, 배관의 위험 단면은 30° 정도의 각을 가지고 발생하며, 60° 및 90° 의 경우도 마찬가지로 60° 와 90° 의 각을 가지고 위험 단면이 발생한다.

4.3 간섭 거동에 따른 Critical Path 분석

Ring Deflection과 Bending Stress로부터 가스관의 위험 단면을 결정 할 수 있으며, 결정된 위험 단면으로부터 배관의 간섭 거동에 따른 하부 가스관의 영향선을 분석할 수 있었다. 예를 들어 두 배관이 서로 30° 의 각을 가지고 교차하여 매설되어 있다면 하부 가스관의 영향선은 Fig. 9와 같이 나타난다.

Fig. 9.에서 배관에 나타난 화살표의 진행 방식이 두 매설관이 이루는 교차각 30° 와 일치함을 알 수 있다. 따라서 두 매설관의 교차 정도에 따라 하부 매설 배관의 영향선을 예상 할 수 있다.

V. 결 론

관망 내 간섭 거동에 따른 지하매설 가스관의 영향선을 검토하기 위하여 두 매설관의 교차각을 $0\sim 90^\circ$ 로 변화시키며 그 영향을 고찰하였다. 본 연구를 통하여 지중 배관의 교차에 의한 지중 가스관의 거동을 영향선 개념을 도입하여 분석한 결과, 지중 여타 강성관에 의하여 현재 매설된 가스관에 발생하는 영향이 매우 적음을 확인할 수 있었다.



Fig. 9. Critical Path of the Intersection Angle 30° .

그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. Ring Deflection 그래프 상에 배관 변형이 작은 지점에서 큰 지점으로의 이동 방향을 표시하면, 상부 배관 영향에 의한 하부 배관의 위험 단면을 파악할 수 있으며, 이때 위험 단면의 시작점은 Ring Deflection이 최소가 되는 지점으로 두 매설관이 이루는 각에 따라 다르다.

2. Bending Stress로부터 하부 가스관의 길이 방향에 대한 위험 단면을 분석한 결과 위험 단면은 두 매설 배관이 이루는 교차각과 같은 각을 가지고 발생하며, 따라서 상부 배관에 의한 하부 배관의 위험 단면은 두 배관이 이루는 교차각과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

3. 관망 내 간섭 거동에 의한 하부 배관의 영향선 위치와 진행 방향을 파악하기 위하여 Ring Deflection과 Bending Stress를 이용하였으며 이로 부터 하부 가스관의 영향선을 분석한 결과, 하부 배관의 영향선은 두 배관이 교차하여 시공된 교차각과 같은 각을 이루며 발생하고, 배관 바깥쪽에서 중심을 향하여 양쪽으로 진행하는 경향을 갖는다.

참고문헌

- [1] 정성교, 옥치남, 장기태, “매설흡관의 설계하중 결정에 관한 연구”, 대한토질공학회지, 제 5권, 제 2호, 1989년 1월, (1989)
- [2] 한국토지공사, “파형강관을 이용한 하수관거의 설계 및 시공법 연구”, (2004)
- [3] 한국가스공사, “한국가스공사 표준 주배관 매설 심도 설계기준”, (2003)
- [4] Reynold King Watkins and Loren Runar Anderson, “Structural mechanics of buried pipes”, CRC Press, (2000)