



공학석사 학위논문

상재하중의 재하위치에 따른 지중 매설관의 구조적 거동에 관한 연구



김 영 빈

공학석사 학위논문

상재하중의 재하위치에 따른 지중 매설관의 구조적 거동에 관한 연구

지도교수 류 연 선



김영빈의 공학석사 학위논문을 인준함.

2014년 12월 19일



List of Figuresiii	
List of Tablesiv	
List of Symbols	
ABSTRACTvi	
1. 서론 ···································	
1.1 연구배경 및 목적	
1.2 연구내용 및 범위	
INTIONA/	
2. 매설관의 구조 이론과 지반 모델	
2.1 매설관의 구조 이론	
2.1.1 매설관의 작용하중	
2.1.2 매설관의 종류	
2.2 지반 모델- Mohr-Coulomb model	
3. 수치해석	
3.1 수치해석 프로그램	
3.2 지반해석	
3.2.1 해석 단면11	
3.2.2 해석 결과	
3.3 지반과 매설관의 수치해석15	
3.3.1 해석 조건	

목 차



	3.3.2 유한요소모델1	7
4.	수치 해석 결과	1
	4.1 재하위치와 매설깊이의 영향2	1
	4.2 재하위치와 매설관의 직경의 영향	2
5.	결론4	1
참	고문헌	2





List of Figures

Figure	1.1	Schematic view of the analysis model	2
Figure	2.1	Materials behavior of Mohr-Coulomb model	8
Figure	2.2	Mohr-Coulomb failure envelope(Drained/Undrained)	9
Figure	2.3	Conceptual diagram of cohesion increment	10
Figure	3.1	Analysis model of soil	12
Figure	3.2	Displacement contour of soil	13
Figure	3.3	Stress contour of soil	14
Figure	3.4	Analysis model of buried pipe	15
Figure	3.5	Boundary condition	17
Figure	3.6	Mesh of numerical analysis model	18
Figure	3.7	Contact condition of steel pipe and soil	19
Figure	3.8	Load condition of numerical analysis model	20
Figure	4.1	Displacement contour of buried depth(e_w =0m, h=609.6mm)	21
Figure	4.2	Maximum displacement of pipe(D=609.6.5mm, h=609.6mm)	22
Figure	4.3	Stress contour of buried depth(e_w =0m, h=609.6mm)	23
Figure	4.4	Maximum stress of pipe(D=609.6.5mm, h=609.6mm)	24
Figure	4.5	Maximum displacement according to loading location	26
Figure	4.6	Maximum displacement according to buried depth	27
Figure	4.7	Maximum stress according to loading location	29
Figure	4.8	Maximum stress according to buried depth	31
Figure	4.9	Displacement contour(D=318.5mm, h=609.6mm) ·····	32
Figure	4.10	Maximum displacement of pipe(D=318.5mm, h=609.6mm)	33
Figure	4.11	Stress contour of diameter(D=318.5mm, h=609.6mm)	34
Figure	4.12	Maximum stress of pipe(D=318.5mm, h=609.6mm)	35
Figure	4.13	Maximum displacement according to diameter	37
Figure	4.14	Maximum stress according to diameter	39

- iii -



List of Tables

Table 1	Material properties of soil	12
Table 2	Parameter of numerical analysis	16
Table 3	Material properties soil and steel pipe	17
Table 4	Maximum displacement according to load location	25
Table 5	Maximum stress according to load location	28
Table 6	Maximum displacement according to load location	36
Table 7	Maximum stress according to load location	38





List of Symbols

INIL.

ot u

- B Width of soil
- C Adhesion
- Cinc Incremental amount in accordance with the depth of the adhesion
- C_{ref} Entered adhesion
- C_s Load Factor
- D The outer diameter of the pipe
- d_w The distance between the center pipe and surcharge load
- e_w Distance from the resultant force to the center of the pipe
- F' Impact factor
- *h* Distance from the top of the pipe to the surface.
- H Depth of soil
- *L* Effective length of the conduit, pipe
- l_w The width of the surcharge load
- M Distributed load is applied to the length
- *p* The strength of the distributed load
- W_{sc} Load per unit length
- w Distributed load
- y_{ref} Measured depth of C_{ref}
- r_t A unit volume weight of the soil
- e^e Elastic strain
- e^p Plastic strain
- μ Coefficient of friction of the soil
- v Poission's ratio
- σ Normal stress
- φ Internal friction angle of the soil

- v -



Structural Analysis of Buried Pipes due to Surcharged Load

Young-bin Kim

Department of Ocean Engineering, The Graduate School, Pu-kyong National University

ABSTRACT

The purpose of this study, loading location of surcharged load for buried pipe, performed numerical analysis in order to investigate the structural behavior of buried pipes due to the change of the buried depth.

The results of numerical analysis, the maximum displacement to occur as loading location of the surcharged load away from the center of the buried pipe is reduced. The maximum displacement is reduced to occur as buried depth becomes deeper. The loading location of the surcharged load is positioned within the diameter of the pipe, the maximum stress generated is increased, and the loading location is positioned beyond the diameter range of the pipe, the maximum stress generated is reduced. Buried depth is hardly affected by the loading location of the surcharged load when the buried depth deeper than the width of the surcharged load.

- vi -



1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

오늘날 기술의 발달로 인하여 지중 매설관의 사용범위가 다양해 졌으며, 여러 분야에 걸쳐 사용 되고 있다. 과거에는 주로 농업 용수관, 상하수도관등이 대부 분이었으나, 현재에는 통신관, 전력관, 가스관, 지하 운송수단을 위한 지하 매설 물 등 그 사용 범위가 확대 되었다. 이에 따라 매설관의 크기와 규모가 커지게 되었고, 커짐에 따라서 매설 깊이가 증가하고 매설관의 크기가 증가 하게 되었 다. 이에 지중 매설관의 설계에 있어서도 정확성이 요구된다. 지중 매설관은 지 하구조물의 특성상 시공이 이루어지고 난 후 손상여부를 알기 어려우므로 유지 관리에 어려움이 있으며 손상여부를 알게 되더라도 보수, 보강이 쉽지 않은 특 성을 가지고 있다(김동률, 2007). 지중 매설관은 시공 후 상부에 지속적으로 상 재하중이 가해지며 이러한 상재하중이 매설관에 미치는 영향은 상재하중의 재하 위치와 매설깊이에 따라 변화 하게된다. 지중 매설관에 상재하중에 대한 연구는 수행된 바 있으나(김동률, 2007; 박준범 등, 1998) 주로 매설깊이의 변화에 대한 연구가 이루어져있다. 상재하중의 재하위치에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이 다. 이에 본 연구에서는 상재하중의 재하위치와 매설깊이의 상호적 관계가 지중 매설관의 구조거동에 미치는 영향을 해석하려 한다.

- 1 -



1.2 연구내용 및 범위

본 연구에서는 지중 매설관에 대하여 상재하중의 재하위치, 매설 깊이의 변화에 따른 지중 매설관의 구조거동을 알아보기 위하여 수치 해석을 수행하였다. 상재 하중의 재하위치(e_w)는 상재분포하중의 합력의 작용점과 매설관 중심사이의 거 리를 재하위치로 정의 한다. 재하위치는 매설깊이(h=0.6096m)의 변수로[0h, 0.5h, 1h, 1.5h, 2h, 2.5h, 3h, 5h, 7h] 9가지 경우에 대해 수치모델을 구성하였다. 매설깊 이는 관의직경(D=609.6mm)의 변수로[0.5D, 1D, 1.5D, 2D, 2.5D, 3D, 5D, 7D, 10D] 9가지의 경우에 대해 수치모델을 구성하였다. 수치 해석에서는 유한요소프로그 램인 MIDAS GTS-NX를 사용 하였고, 해석결과로 변위와 응력을 산정하여 분 석하였다.



Figure 1.1 Schematic view of the analysis model

- 2 -



2. 매설관의 구조 이론과 지반 모델

2.1 매설관의 구조 이론

2.1.1 매설관에 작용하는 외부하중

매설관에 작용하는 외부하중의 종류는 토압, 길이방향 하중, 차량하중, 흙의 함 몰, 온도 상승에 기인한 하중, 지진하중, Frost loading, 팽창성 흙에 기인한 하 중, Flotation 등이 있다.

NAT

1) 토압

흙에 매설된 관에 작용하는 하중은 배관 구조와 배관을 둘러싸고 있는 흙의 강성도 특성에 의해 결정된다. 구조물에 작용하는 토압은 처짐을 발생시키고, 역으로 처짐은 토압을 발생시키는 정역학적으로 쉽게 결정할 수 없는 문제가 된다. 강성배관을 설계할 때 통상적으로 배관은 주로 흙 및 차량으로 발생되는 연직 압력에 의해 주로 영향을 받고 수평으로 작용하는 압력은 존재하지 않거나 무시할 수 있다고 가정한다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 연성 배관의 경우, 연직 하중은 배관의 처짐을 초래 하고 다음에는 수평 지지 토압을 야기 한다. 만일 수평 토압과 연직 토압이 거의 유사 하게 되면 배관 둘레의 하중은 정수압 하중에 근접 하게 된다. 따라서 배관 벽에서의 응력은 주로 주면 방향 압축 응력들이고, 따라서 깊게 매설된 배관에서는 좌굴이 발생한다.

2) 길이방향하중

- 3 -



길이방향하중은 수년간에 걸쳐 관찰한 결과 이상적인 조건 하에서 오직 연직 흙 하중으로 인해 특정 형식의 배관파손이 발생한다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 어떠한 방법으로든 배관 내에서 축방향 휨 응력을 발생시키는 다른 힘들 이 존재한다. 이러한 힘들은 클 수도, 변화가 클 수도, 국한될 수도, 그리고 임의 신뢰성을 갖고 정략적 해석이 안 될 수도 있다. 관로 내에서 빔 작용 또는 축방 향 휨의 주된 원인들 중 일부는 불 균일 베딩 지지, 부동 침하, 지진 또는 동결 융기와 같은 외부 힘으로 인한 지반 이동이 있다.

3) 차량하중

차량하중은 Boussinesq solution으로 설명할 수 있다(A.P Moser & S. Folkma n, 2008). 여기에서 활하중은 정적 또는 유사-정적표면 하중을 의미한다. 매설관 은 지상 수송 차량으로 발생된 표면 하중을 받게 된다. 프랑스 수학자 Boussine sq는 반무한 탄성체 내에서 이 표면에 작용하는 접 하중에 의한 응력 분포를 계산 하였다. 이 계산에서 실제와는 확실히 다르지만 흙을 탄성체의 균질, 등방 성인 것으로 가정 하였다. 그러나 실험결과 Boussinesq의 표준공식을 적합하게 적용하면 흙에서도 충분히 양호한 결과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. Hal l과 Newmark(A.P Moser & S. Folkman, 2008)는 하중계수 *C*_s를 얻기 위해 Bo ussinesq 공식을 적분 하였으며, 이 공식으로부터 트럭바퀴와 같은 집중하중을 계산하기 위해 다음 형태의 공식을 유도하였다.

$$W_{sc} = \frac{C_s PF'}{L} \tag{2-8}$$

여기서 W_{sc} 는 매설관에 작용하는 단위길이당 하중(N/m), P는 집중하중(N), F'는 충격계수, L은 관거의 유효길이, C_s 는 $D/2h \mathfrak{l} L/2h$ 의 함수인 하중계수, h는 매설깊이로 매설관 상단으로부터 지반표면까지의 높이(m), D는 배관 직경이다. C_s 를 구하기 위해 Newmark가 전개한 적분을 사용하여 분포된 하중을 다음 식

- 4 -

$$W_{sc} = C_s p F' D \tag{2-9}$$

위 식에서 p는 분포 하중을 나타내며 단위는 N/m^2 이다. 하중 계수 C_s 는 D/2h 와 L/2h의 함수이다.

4) 흙의 함몰

일반적으로 매설배관은 양호한 지반을 따라 다짐된 트렌치 내에 설치된다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 이러한 예방 대책으로 인해 흙은 변형되지 않은 것이고, 따라서 설계 시 흙의 변형을 고려하지 않아도 된다. 그러나 자연 지반 에서는 실제로 함몰이 발생할 가능성이 존재 하거나, 함몰이 발생한 적이 있으 면 매설 관로 노선의 무결성을 평가하기 위해 분석이 필요하다. 지반 변위는 흙 스프링으로 또는 지층 형상을 따라 하나의 빔으로서 배관을 직접 변형시켜 매설 배관에 작용시키면 이때 응력 또는 변형률을 계산 할 수 있다.

5) 온도상승에 기인한 하중

매설 관로는 주변 흙의 온도와 상당한 차이가 발생하지 않는 조건에서 운영된 다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 이 경우 배관과 흙 사이에 부등 팽창이나 수축은 거의 발생하지 않고, 따라서 열역학 을 고려한 설계해석은 필요하지 않 다.

6) 지진 하중

- 5 -



특정 위험 지역에서는 지진으로 인한 대규모 지반 변위로 관로를 황폐화시킬 수 있다. 이러한 위험 지역들은 단층대나 흙 전단면과 같이 큰 변위차가 발생하 는 영역, 또는 배관이 구조물로 유입되는 변이지역들이다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 또한 특정 흙은 지진 시 진동으로 액상 화되어 매설 관로가 상 승하거나 부상하는 경향이 있다. 대부분의 매설 연성 관로는 지진에서도 생존할 수 있다.

7) Frost loading

수 시간 동안 대기 동결조건이 지속되면 얇은 흙속의 수분이 결빙되면서 얼음 층 또는 얼음 렌즈가 형성된다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 결빙이 아랫방 향으로 침투하면 추가적으로 모세관을 통해 주변 흙의 물을 결빙시켜 주변 흙을 건조하게 만든다. 이로 인해서 모세관 작용으로 동상층 이하로부터 수분이 적은 지하수가 유입된다. 또한 이물은 결빙층에 도달하면서 결빙되고, 이러한 과정은 평형에 도달할 때까지 계속된다. 현존하는 얼음층 아래에서 얼음의 결빙으로 얼 음이 성장하여 팽창하기 때문에 압력이 형성된다. 이 팽창압력은 매설배관에 작 용하는 수직 하중을 상당히 증가시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

8) 팽창성 흙에 기인한 하중

주로 벤토나이트 점토와 같은 특정 흙은 함수비의 함수로서 심각하게 팽창 및 수축한다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 결빙이 토압을 증가시킬 수 있는 것 과 같이 흙의 팽창은 토압을 증가 시킬 수 있다.

9) Flotation

- 6 -



매설배관 및 매설 탱크 들은 지하수면 이하에 빈번하게 위치한다. 토피 두께가 크면 부양을 방지할 수 있지만 토피 두께가 얇은 경우에는 배관 부양을 방지하 기 위해 구속물, 중량물 등이 필요하다. 배관 상부의 보강 콘크리트 포장은 부양 에 대한 저항에 도움을 준다(Moser A.P & Folkman S, 2008).

2.1.2 매설관의 종류

매설 관의 종류에는 강성배관과 연성배관이 있다. 강성배관에는 주로 석면-시 멘트 배관, 점토 배관, 콘크리트 배관 등이 있다. 석면-시멘트 배관은 중력및 압 릭 배관 모두에 유용하다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 석면 취급과 관련된 건강 위험 때문에 미국 내에서 AC 배관의 생산은 완전히 중단되었으나 일부 국 가에서는 아직도 생산되고 있으며, 미국 일부에서도 사용하고 있다(A.P Moser & S. Folkman, 2008). 점토 배관은 화학적으로 불활성인 점토와 혈암으로 제작 된다. 콘크리트 배관에는 프리스트레스트 콘크리트 실린더 배관, 보강 콘크리트 실린더 배관, 보강 콘크리트 비 실린더 배관, 프리텐션 콘크리트 실린더 배관 등 이 있다.

연성배관에는 강관과 덕타일 주철관이었다. 강관은 다양한 직경, 형상, 그리고 벽 형상의 강관이 제작되어 다양한 용도로 사용되고 있다. 강관은 주로 파형 강 관이 사용된다. 덕타일주철관은 이름이 내포하는 것과 같이 회주철보다 더욱 연 성을 갖지만 다소 취성 특성을 갖는다. 물 시스템을 보수 및 유지 • 관리하는 사 람들 사이에서 많이 쓰인다. 이 배관은 취급 및 보수 운영동안 잘못된 사용에도 견딜 수 있는 배관이다(A.P Moser & S. Folkman, 2008).

2.2 지반모델- Mohr-Coulomb model

- 7 -



Mohr-Coulomb 모델은 아래의 Figure 2.1과 같이 탄성-소성거동으로 정의 되어 있다(MIDAS IT, 2014). 이러한 거동적 가정은 일반적인 영역의 지반 비선형 해석에 대해 충분히 신뢰성 있는 결과를 보여주며, 대부분의 지반을 모사하는데 널리 사용되고 있다.



Figure 2.1은 Mohr-Coulomb model에서의 재료적 거동을 나타낸 그림이다(MI DAS IT, 2014). 여기서 &는 탄성 변형률이고, &는 소성 변형률이다. 이 기준은 일반적인 구속압의 범위에서 상당히 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있고 사용이 간편하기 때문에 가장 많이 사용되는 파괴 모델이다. Mohr-Coulomb 파괴 기준 은 지반 재료에 사용하는데 있어서 두 가지 결점을 가지고 있다. 첫 번째는 중 간주응력이 파괴에 영향을 미치지 않는다는 것으로써, 실제 토질시험의 결과와 상반되는 가정이다. 두 번째 결점은 Mohr-Circle 의 자오선과 파괴포락선이 직 선으로 강도파라미터(마찰각)가 구속압(또는 정수압)에 따라 변하지 않는다는



것이다. 이 기준은 구속압의 제한된 범위 내에서는 정확하나 구속압의 범위가 확대됨에 따라, 즉, 실제 구속압의 범위가 아주 작거나 큰 경우 정확도가 떨어지 게 된다.

토질은 그 종류에 따라 접착력과 내부 마찰각이 다르며, 전단강도식에 그 값이 적용 된다. 토질은 다른 토목 재료와 달리 인장에는 거의 저항하지 못하고 대부 분의 경우 전단파괴가 발생한다. 즉, 자중이나 외력이 작용하면 지반 내부에는 전단응력이 발생하여 이 응력의 증가에 따라 변형도 증가 되며 이것이 진전되면 어느 면을 따라 활동을 하게 되는데 이러한 파괴를 전단파괴라 한다. 전단응력 은 전단저항을 유발하고 전단저항의 한계치를 전단강도라 한다. 흙의 전단에 대 한 저항은 2개의 성분으로 되어 있으며, 점착력과 마찰각이 된다. Coulomb에 의 하면 흙의 전단강도(τ)는 다음과 같은 직선 식 (2-10) 으로 표시 한다(MIDAS I T. 2014).

$\tau = C + \sigma \tan \varphi$

(2-10)

여기서 C는 점착력, σ 전단면에 작용하는 수직응력, φ 는 내부마찰각이다. 점착 력은 파괴 기준에 의해 내부 마찰각이 0일 때, 전단장도로 나타낼 수 있으며, 보 통 비배수상태의 점성토의 전단강도로 정의 한다. 반대로 점착력이 거의 없는 사질토와 같은 경우 C=0로 정의하지만, 해석상의 오류를 방지하기 위해 최소 0. 2(*kN/m*²)이상의 값으로 정의 한다.

ot u

- 9 -





Figure 2.2 Mohr-Coulomb Failure envelope (Drained/Undrained)

Figure 2.2 은 Mohr-Coulomb 의 파괴포락선(배수/비배수)을 나타낸다. 일반적 으로 지반은 같은 재질의 층이라 해도 깊이에 따라 구속압이 커지는 만큼 강도 특성 또한 변하는 특성이 있다. 예를 들어, 수심 m 깊이의 지층을 하나의 강도 파라미터로 정의 하는 것은 지반 거동을 보다 상세히 모사하는데 제한사항이 될 수 있다. 지층을 보다 세분화 하여 모델링 할 수도 있지만, 이와 같은 특징을 높 이에 따른 점착력의 변화로 대체할 수 있다. 높이에 따른 점착력의 증가량이 0 이면 점착력은 일정한 값으로 사용되고 0 이 아니면 기준 높이에 대해 다음 식 (2-11)에 의해 구해진다.

$$C = C_{ref} + (y_{ref} - y)C_{Inc} \quad (y \le y_{ref})$$

$$C = C_{ref} \qquad (2-11)$$

여기서 C_{ref} 는 입력된 점착력 값, C_{Ine} 는 점착력의 깊이에 따른 증분량, y_{ref} 는 C_{ref} 값을 측정한 깊이다. 위의 식(2-11)에서 y는 현재 유한요소법에서 계산이 진 행되는 요소의 적분 점 위치를 나타낸다. 만약 적분 점의 위치가 y_{ref} 보다 높은 곳에 위치하는 경우는 위치에 따라 점착력이 0보다 작아지는 경우가 발생하므로 이를 방지하기위해 점착력 값을 더 이상 줄이지 않고 C_{ref} 값을 사용한다.

- 10 -





Figure 2.3 Conceptual diagram of cohesion increment

Figure 2.3은 점착력 증분에 개한 개념도이다. 팽창 각은 전단변형에 대한 부피 증가율이라고 볼 수 있다. 일종의 거칠기에 해당하는 강도정수로 일반적으로 팽 창각은 내부마찰각-30°로 정의하기도 한다. 즉 내부마찰각이 30°보다 작은 경 우 팽창 각은 0에 가깝다고 볼 수 있다(MIDAS IT, 2014).



3. 수치해석

3.1 수치해석 프로그램

본 연구에서는 지중 매설관에 대하여 상재 하중의 재하 위치, 지중 매설관의 매설 깊이, 지중 매설관의 직경에 따른 지중 매설관의 응력 분포와 변형을 알아 보기 위하여 유한 요소 프로그램을 이용하여 수치 해석을 실시하였다.

범용유한요소해석 프로그램인 MIDAS GTS-NX를 사용하였다. MIDAS GTS-NX 는 지반 및 지반/구조물 상호거동에 대한 상세해석을 위해 개발된 프로그램 으로 유한요소 해석법(Finite Element Method)에 기반을 두고 있다. 본 연구에 서는 상재하중의 재하 위치에 따른 지중 매설관의 구조적 거동에 대한 수치 해 석에서 사용하였다.

3.2 지반 해석

3.2.1 해석 단면

상재 하중에 의한 지중 매설관의 구조적 거동에 대한 수치 해석을 수행하기 전에 수치모델을 결정하기위하여 지반에 관한 수치해석을 우선적으로 수행하였 다.





Figure 3.1 Analysis model of soil

Figure 3.1은 지반의 수치해석에 사용된 해석 모델이다. 여기서 H는 지반의 깊 이, B는 지반의 폭, w는 상재하중이다. 상재하중은 1차선 차량하중에 상응하는 값으로 20KN/m로 결정하였다. 지반모델은 앞서 2장에서 설명한 Mohr-Coulom b 모델을 사용하였다. 지반의 깊이와 지반의 폭의 값을 결정하기 위하여 우선적 으로 지반의 깊이를 상재하중의 폭에 6배 이상으로 결정하였으며, 지반의 폭은 15배 이상으로 결정하였다. 또한 상재하중을 0h, 7h 두 가지 경우로 재하하여 그 영향을 평가하였다.

Table 1. Material properties of soil

Mechanical parameters	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)	Cohesion (MPa)	Angle of internal friction (degree)
soil	6	0.35	1920	0.15	24

Table 1은 지반 수치해석에 사용된 지반의 물성치이다.

Collection @ pknu

- 13 -

3.2.2 해석 결과

상재 하중의 재하위치에 따른 지반의 구조적 거동에 관하여 수치해석을 수행하였다.



(b) Displacement contour of soil, e_w =7h Figure 3.2 Displacement contour of soil

- 14 -



Figure 3.2는 상재하중의 재하위치가 0h, 7h인 경우에 나타나는 지반의 변위 형상이다.



(b) Stress contour of soil, e_w =7h Figure 3.3 Stress contour of soil

Figure 3.3은 상재하중의 재하위치가 0h, 7h인 경우에 나타나는 응력의 형상이

- 15 -



다. Figure 3.2와 Figure 3.3의 결과를 통하여 응력과 변위의 영향이 충분히 미 치지 않는 범위의 지반의 폭B와 깊이H를 산정 하였으며, 그 결과 지반의 폭 B 는 -x축으로 15m, +x축으로 10m, 총 35m의 폭으로 결정하였으며, 지반의 깊이 H는 -y축으로 20m로 결정 하였다.

3.3 지반과 매설관의 수치해석

3.3.1 해석 조건

상재하중의 재하위치에 의한 지중 매설관의 변위와 응력에 관하여 수치해석을 수행 하였다.



Figure 3.4 Analysis model of buried pipe

- 16 -



Figure 3.4는 지중매설관의 수치해석에 사용된 모델이다. 여기서 e_w 는 상재하 중의 합력의 위치와 매설관의 중심부까지 거리이다. d_w 는 상재하중과 매설관의 중심부까지 거리이다. l_w 는 상재하중의 폭이다. 지반의 폭과 지반의 깊이는 앞서 수행한 수치해석의 결과를 통하여 35m, 20m로 각각 지정하였다. 상재하중의 폭 은 1차선 도로폭에 상응하는 3m로 지정 하였다. 상재하중의 크기는 1차선 도로 하중에 상응하는 20KN/m로 분포하중으로 재하하였다.

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9
P	0h	0.5h	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	5h	7h
e_w	0m	0.3m	0.6m	0.9m	1.2m	1.5m	1.8m	3m	4.2m
d_w	-1.5m	-1.2m	-0.9m	-0.6m	-0.3m	0m	0.3m	1.5m	2.7m
h	0.5D	1D	1.5D	2D	2.5D	3D	5D	7D	10D
11	0.3048 m	0.6096 m	0.9144 m	1.2192 m	1.5240 m	1.8288 m	3.0480 m	4.2672 m	6.0960 m
D	0.6096 m	0.5088 m	0.4064 m	0.3085 m				IS	

Table 2. Parameter of numerical analysis

Table 2는 수치해석에 사용된 변수를 표로 나타낸 값이다. e_w는 매설깊이(h=0. 609.6m)에 관한 함수로 아홉 가지 경우로 해석을 수행하였으며, h는 관의 직경 (D=0.6096m)에 관한 함수로써 아홉 가지 경우로 해석을 수행하였다. D는 KS D 3631 (연료가스 배관용 탄소 강관)에 표기되어있는 네 가지의 직경을 수치해석 에 사용하였다. 연료가스 배관용 탄소 강관에서는 내압이 고려되어야 하지만 본 연구에서는 상재하중에 의한 지중매설관의 구조적 거동해석에 중점을 두고 있으 므로 내압은 고려하지 않았다.

- 17 -



Mechanical parameters	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)	Cohesion (MPa)	Angle of internal friction (degree)
Soil	6	0.35	1920	0.15	24
Steel pipe	210,000	0.3	7850		

Table 3. Material properties soil and steel pipe

Table 3은 수치해석에 사용된 지반과 매설관의 물성치를 나타낸 표이다(Yaping Wu, 2010).

3.3.2 유한요소모델

수치해석에서 사용된 유한요소모델의 요소는 4절점, 2차원 평면요소로써, 3개의 자유도(U_x, U_y, U_z)를 가진다. 또한 해석종류는 정적해석이며, 지반모델은 Mohr-Coulomb model을 사용하였다.



Figure 3.5 Boundary condition

- 18 -



Figure 3.5는 수치해석에 사용된 경계조건을 나타내는 그림이다. 지반의 양측면 은 U_x, U_z 두가지의 자유도를 구속하였으며, 바닥면은 고정 지점으로 경계조건 을 주었다.



Figure 3.6 Mesh of numerical analysis model

Figure 3.6은 해석에 사용된 요소망의 형상이다. 지반의 요소망은 0.1m의 크기 로 지정하였으며, 매설관은 0.01m의 크기로 요소망을 지정 하였다.





Figure 3.7 Contact condition of steel pipe and soil

Figure 3.7 은 지반과 강관의 접착 조건을 나타낸 그림이다. 수치해석에서 지반 과 강관의 경계 조건으로써는 접착 접촉 기능을 사용하였으며, 접착접촉은 해석 초기에 두 물체가 접착되어 해석이 진행되는 조건이다.

- 20 -





(b) e_w =7h Figure 3.8 Load condition of numerical analysis model

- 21 -



Figure 3.8은 유한요소모델에 사용된 하중을 나타낸 그림이다. 3.3.1절에서 설명 한바와 같이 상재하중의 재하위치의 변화를 주어 수치해석을 수행하였다.

4. 수치 해석 결과

4.1 재하위치와 매설깊이의 영향

상재하중의 재하위치와 매설깊이의 영향에 따른 지중 매설관의 최대 변위와 최대 응 력을 구하였다.



Figure 4.1 Displacement contour of buried depth (e_w =0m, h=609.6mm)

- 22 -



Figure 4.1은 상재하중의 재하위치가 0m, 매설깊이가 609.6mm 인 경우에 나타 나는 변위 분포이다. 그림에서 보는 바와 같이 매설깊이가 깊어질수록 변위의 값이 감소함을 알 수 있다.



Figure 4.2 Maximum displacement of pipe (D=609.6.5mm, h=609.6mm)

Fgure 4.2는 매설깊이가 609.6mm인 경우 매설관에서 최대변위가 발생하는 위치 를 나타낸 그림이다.

- 23 -





Figure 4.3 Stress contour of buried depth (e_w =0m, h=609.6mm)

Figure 4.3는 상재하중의 재하위치가 0m, 매설깊이가 609.6mm인 경우에 나타나는 응 력 분포이다. 최대변위의 분포와는 달리 최대응력의 분포는 매설깊이가 증가할수록 응 력이 증가 한 후 일정깊이가 지나는 경우, 최대응력이 감소함을 알 수 있다.





Figure 4.4는 매설관의직경 609.6mm 매설깊이가 609.6mm인 경우 매설관에서 최대응력이 발생하는 위치를 나타낸 그림이다.



e_w h	0m	0.3m	0.6m	0.9m	1.2m	1.5m	1.8m	3m	4.2m
0.3048m	15.0	15.0	14.9	14.5	13.8	12.8	11.6	7.8	5.7
0.6096m	14.6	14.5	14.2	13.8	13.1	12.3	11.3	7.8	5.6
0.9144m	13.9	13.8	13.6	13.2	12.6	11.9	11.0	7.8	5.7
1.2192m	13.3	13.2	13.0	12.6	12.1	11.5	10.7	7.8	5.7
1.5240m	12.7	12.6	12.4	12.0	11.6	11.0	10.4	7.8	5.7
1.8288m	12.1	12.04	11.86	11.55	11.15	10.66	10.11	7.76	5.78
3.0480m	10.04	9.99	9.89	9.71	9.47	9.19	8.86	7.31	5.76
4.2672m	8.42	8.39	8.32	8.22	8.07	7.89	7.66	6.64	5.49
6.0960m	6.56	6.55	6.54	6.45	6.38	6.28	6.17	5.56	4.85

Table 4. Maximum displacement according to load location

Table 4는 상재하중의 재하위치와 매설깊이에 관계에 따른 지중 매설관의 최대변위를 나타내고 있다. 표에서 볼 수 있듯이 매설깊이가 증가 할수록 발생하는 매설관의 최대 변위는 감소함을 알 수 있다. 또한 상재하중의 재하위치가 멀어 질수록 발생하는 최대 변위가 감소함을 나타내고 있다.

- 26 -





Figure 4.5 Maximum displacement according to loading location

Figure 4.5는 상재하중의 재하위치의 변화에 따른 지중매설관의 변위를 나타낸 그래프 이다. 전반적으로 재하위치가 증가할수록 발생하는 변위가 감소함을 나타내고 있다. 재하위치가 0.6m까지 증가하는 동안에는 발생하는 최대변위가 거의 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. 상재하중의 재하위치가 3m를 넘어서는 위치부터는 최대변위의 감소 율이 다소 크지 않는 것으로 나타난다. 이는 상재하중과 지중 매설관의 중심부까지의

- 27 -



거리인 d_w 가 1.5m를 넘어서는 경우이다. 또한 상재하중의 재하폭인 l_w 의 절반의 값이다. 상재하중의 재하위치가 매설관의 범위 내에서 변하는 경우, 발생하는 최대변위의 변화율이 약 40% 정도이다. 반면에 상재하중의 재하위치가 매설관의 범위를 벗어나는 경우, 발생하는 최대변위의 변화율이 약 20%정도이다.



Figure 4.6 Maximum displacement according to buried depth

Figure 4.6은 매설깊이에 따른 지중 매설관의 최대변위를 나타내는 그래프이다.

- 28 -

그림에서 보는 바와 같이 매설깊이가 깊어질수록 발생하는 최대 변위가 감소한 다. 상재하중의 재하위치가 0m~1.8m까지의 경우 매설깊이가 증가할수록 거의 선형적으로 최대 변위가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이와 달리 상재하중의 재 하위치가 3m~4.2m까지의 경우는 매설깊이가 증가 할수록 최대변위가 감소는 하 나 그 변화율이 작다는 것을 알 수 있다. 이는 상재하중의 재하위치가 상재하중 의 폭 범위를 벗어나는 경우에는 매설깊이의 변화가 매설관의 변위에 거의 영향 을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

e_w h	0m	0.3m	0.6m	0.9m	1.2m	1.5m	1.8m	3m	4.2m
0.3048m	1.35	1.39	1.49	1.63	1.70	1.63	1.51	0.34	0.10
0.6096m	1.67	1.76	1.85	1.90	1.79	1.59	1.55	0.47	0.19
0.9144m	1.83	1.92	1.98.	1.95	1.79	1.52	1.49	0.67	0.27
1.2192m	1.86	1.94	1.98	1.92	1.95	1.49	1.39	0.79	0.35
1.5240m	1.81	1.89	1.92	1.85	1.70	1.45	1.30	0.86	0.44
1.8288m	1.74	1.80	1.82	1.77	1.64	1.43	1.28	0.89	0.50
3.0480m	1.36	1.40	1.42	1.40	1.35	1.26	1.15	0.82	0.62
4.2672m	1.07	1.09	1.12	1.11	1.09	1.05	1.00	0.76	0.58
6.0960m	0.79	0.80	0.81	0.82	0.81	0.80	0.78	0.66	0.54

Table 5. Maximum stress according to load location

Table 5는 상재하중과 매설깊이의 관계에 따른 매설관의 최대 응력을 나타내 는 표이다. Figure 4.3에서 나타나는 분포에서 보는 바와 같이, 매설깊이가 0.304 8m~1.2192m 까지 증가 할수록 발생하는 최대 응력도 증가함을 알 수 있다. 하

- 29 -



지만 매설깊이가 1.5240m인 경우부터는 발생하는 최대 응력이 감소한다.



Figure 4.7 Maximum stress according to loading location

Figure 4.7은 상재하중의 재하위치의 변화에 따른 최대응력을 나타낸 그래프이

- 30 -



다. 그래프에서 나타난 바와 같이 재하위치가 증가함에 따라 발생하는 최대응력 이 증가하였다가 감소함을 알 수 있다. 상재하중의 재하위치가 매설관의 범위에 서 변화하는 경우에는 발생하는 최대응력이 증가하였다가, 상재하중의 재하위치 가 매설관의 범위에서 벗어나는 경우에는 발생하는 최대응력이 감속하는 경향을 보인다. 여기서, 매설깊이가 0.3048m~1.8288m까지의 경우에는 최대응력이 발생 하는 상재하중의 재하위치가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이와 반대로, 매설깊 이가 1.8288m보다 깊을 경우에는 최대응력이 발생하는 상재하중의 재하위치가 증가한다는 것을 알 수 있다. 매설깊이가 3m를 넘어 서는 경우에는 상재하중의 재하 위치가 발생하는 최대응력에 큰 영향을 미치지 않는다.







Figure 4.8는 상재하중의 재하위치와 매설 깊이의 관계에 따른 최대응력을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 나타난 바와 같이 매설깊이가 증가 할수록 발생하는 최대응 력이 증가하였다가 감소하는 것을 나타낸다. 상재하중의 재하위치가 0m~1.2m인 경우에 는 최대응력이 발생하는 매설 깊이의 깊이가 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 매설깊 이가 약3m까지의 경우에는 상재하중의 재하위치가 발생하는 최대응력에 영향을 미치

- 32 -



나 매설깊이가 3m를 넘어설 경우에는 큰 영향을 미치지 않는다.

4.2 재하위치와 매설관의 직경의 영향

상재하중의 재하위치와 매설관의 직경에 따른 지중 매설관의 최대 응력과 최대 변위 를 구하였다.



Figure 4.9 Displacement contour (D=318.5mm, h=609.6mm)

Figure 4.9은 관의 직경이 318.5mm이며 매설깊이가 609.6mm인 경우에 나타나는 변위 의 분포이다. 관의 직경이 609.6mm인 경우보다 큰값을 나타내고 있다.

- 33 -





Figure 4.10은 수치해석결과 매설관의 직경이318.5mm이고, 매설깊이 609.6mm인 경 우에 발생하는 매설관의 최대변위의 위치를 나타내는 그림이다.





Figure 4.11 Stress contour of diameter (D=318.5mm, h=609.6mm)

Figure 4.11은 관의 직경이 318.5mm이며 매설깊이가 609.6mm인 경우에 나타나는 응 릭 의 분포이다. 관의 직경이 609.6mm인 경우보다 발생하는 응력의 크기가 감소하였 다.

- 35 -





(a)e_w=Oh

(b) e_w =2h=1.2m



Figure 4.12 Maximum stress of pipe (D=318.5mm, h=609.6mm)

Figure 4.12는 매설관의직경 318.5mm 매설깊이가 609.6mm인 경우 매설관에서 최대응력이 발생하는 위치를 나타낸 그림이다.

- 36 -



e_w D	0m	0.3m	0.6m	0.9m	1.2m	1.5m	1.8m	3m	4.2m
609.6mm	14.6	14.5	14.2	13.8	13.1	12.3	11.3	7.8	5.6
508.8mm	14.7	14.6	14.3	13.9	13.2	12.3	11.2	7.7	5.6
406.4mm	14.8	14.7	14.4	13.9	13.2	12.3	11.1	7.6	5.5
318.5mm	14.9	14.8	14.5	14.0	13.2	12.2	11.0	7.5	5.5

Table 6. Maximum displacement according to load location

Table. 6은 상재하중의 재하위치와 관의 직경의 관계에 따른 지중 매설관의 최대 변위 를 나타낸 표이다. 표에서 볼 수 있듯이 관의 직경이 증가할수록 발생하는 최대 변위가 증가함을 알 수 있다. 상재하중의 재하위치가 멀어질수록 발생하는 최대변위는 감소함 을 나타내고 있다. 상재하중의 재하위치와 매설깊이의 관계에서 나타 난 결과와 달리 상재하중의 재하위치와 매설관의 직경의 관계에서 나타나는 변위는 매설관의 직경이 변화함에 따라 거의 비슷한 값을 나타남을 알 수 있다.







Figure 4.13 Maximum displacement according to diameter

Figure 4.13은 상재하중의 재하위치와 지중매설관의 직경의 크기의 관계에 따라 발생하는 최대 변위를 나타내는 그림이다 직경의 크기가 감소할수록 발생하는 최대변위가 감 소하지만 그 차이는 미비하다. 각각의 경우 상재하중의 재하위치가 0.3m인 경우와 상재 하중의 재하위치가 4.2m인 경우 그 값의 크기는 약 2.5배 정도 차이가 난다

- 38 -



e_w D	0m	0.3m	0.6m	0.9m	1.2m	1.5m	1.8m	3m	4.2m
609.6mm	1.67	1.76	1.85	1.90	1.79	1.59	1.55	0.47	0.19
508.8mm	1.56	1.60	1.68	1.70	1.69	1.78	1.54	0.47	0.18
406.4mm	1.74	1.77	1.80	1.78	1.74	1.58	1.47	0.51	0.17
318.5mm	0.51	0.54	0.77	1.08	1.50	1.71	1.57	0.37	0.12

Table 7 Maximum stress according to load location

Table 7은 상재하중과 매설관의 직경의 크기의 관계에 따른 매설관의 최대 응 력을 나타내는 표이다. 표에서 볼 수 있듯이 직경의 크기가 609.9mm인 경우는 상재하중의 재하위치가 0m~0.9m까지는 발생하는 최대응력이 증가함을 보이고 그 후 부터는 감소함을 보인다. 직경의 크기가 508.8mm인 경우는 상재하중의 재하위치가 0m~0.9m까지는 발생하는 최대응력이 증가함을 보이다. 1.2m인 경우 는 감소를 하고 1.5m인 경우 다시 증가를 한 후 1.8m부터는 감소함을 보인다. 관의 직경이 406.4mm인 경우는 상재하중의 재하거리가 0m~0.6m까지는 발생하 는 최대응력이 증가함을 보이다. 0.9m인 경우부터 감소함을 나타낸다. 관의 직 경이 318.5mm인 경우는 상재하중의 재하위치가 0m~1.5m까지 발생하는 최대응 력이 증가함을 나타내고 1.8m인 경우부터 감소함을 나타내고 있다.

CH OL W

- 39 -





Figure 4.14 Maximum stress according to diameter

Figure 4.14은 상재하중의 재하위치와 관의 직경의 크기의 관계에 따라 발생하는 최대응력을 그래프로 나타낸 것이다. 관의 직경이 609.6mm인 경우는 상재하중의 재하위치가 0.9m인 경우와 4.2m인 경우 발생하는 최대응력의 값이 약 9배 정도 차이가 난다. 관의 직경이 508.8mm인 경우는 상재하중의 재하위치가 1.2m 인 경우와 4.2m인 경우 발생하는 최대응력의 값이 약9배 정도 차이가 난다. 관 의 직경이 406.6mm인 경우는 상재하중의 재하위치가 0.6m인 경우와 4.2m인 경

- 40 -



우 발생하는 최대 응력의 값이 약 8.5배 정도 차이가 난다. 관의 직경이 318.5m m인 경우는 상재하중의 재하위치가 1.8m인 경우와 4.2m인 경우 발생하는 최대 응력의 값이 약 8.5배 정도 차이가 나타난다. 관의 직경이 작아질수록 발생하는 최대응력이 나타나는 상재하중의 재하위치가 증가 한다. 또한 재하위치의 거리 가 2m를 넘어서는 지점부터는 발생하는 최대응력이 관의 직경에 큰 영향을 받 지 않는다. 상재하중의 재하위치가 0m~1.8m 인 경우에는 발생하는 최대응력이 증가한다는 것을 알 수 있다. 상재하중의 재하위치가 관의 범위 내에 있으면 발 생하는 최대응력이 증가함을 보인다. 같은 경우로 d_w 가 0m 보다 커질 경우에는 발생하는 최대응력이 감소한다는 것을 나타낸다.





5. 결론

본 연구에서는 지중 매설 관을 대상으로 상재하중의 재하위치, 매설관의 깊이, 매설관의 직경의 변화를 주어 지중매설관의 구조적 거동에 미치는 영향에 대해 수치해석을 실시하였다.

- 상재하중의 재하위치가 매설관의 직경 범위를 벗어난 경우, 상재하중의 재하 위치가 매설관의 중심부인 경우보다 발생하는 최대 변위가 약 62% 감소하였 다.
- 매설관의 깊이가 깊어질수록 발생하는 최대변위가 선형적으로 감소하였다.
 상재하중의 재하위치가 상재하중의 폭 범위를 벗어나는 경우에는 매설깊이의 변화가 매설관의 최대 변위에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.
- 3) 매설관의 직경의 크기는 발생하는 최대변위에 거의 영향을 미치지 않는다.
- 4) 상재 하중의 재하위치가 관의 직경 범위 내에서 위치 한 경우, 발생하는 최대 응력이 약 12% 증가 하였으나, 관의 직경 범위를 벗어 날 경우, 발생하 는 최대응력이 감소한다.
- 5) 매설관의 깊이가 증가함에 따라 발생하는 최대응력은 약 28%증가하다 감소 한다. 매설깊이가 상재하중의 폭보다 깊어지면 상재하중의 재하위치에 영향 을 거의 받지 않는다.

- 42 -



6) 관의 직경이 작아질수록 발생하는 최대응력이 나타나는 상재하중의 위치는 매설관의 중심부에서 멀어 진다.





참고문헌

김동률, 2007, 외부 하중에 의한 지중 매설관의 변형 거동 특성에 관한 연구, 공 학석사 학위논문, 한양대학교

도로교 설계기준, 2001, 건설교통부

- 박준범, 정충기, 권호진, 최명진, 김준섭, 1998, 풍화토에 매설된 관의 지표 상재 하중으로 인한 변형 거동, 대한토목공학회 논문집, 제 18권 3호, 391-402
- 반호기, 박성완, 김용락, 2013, 교통하중하의 지하 매설관의 거동 평가, 한국지반 공학회논문집, 29권 12호, 69-75
- 박재헌, 김현오, 이관호, 조재윤, 2003, 유한요소 해석을 이용한 지하매설관의 변형 특성, 대한토목학회 정기 학술대회, 2003, 110, 3784-3789

MIDAS IT, MIDAS GTS-NX user manual, 2014 3

Moser A.P & Folkman S, 2010, Buried Pipe Design, 홍릉과학출판사

Yaping Wu, Yu Sheng, Young Wang, Huijun Jin, Wu Chen, 2010, Stresses and defromation in a buried oil pipeline subject to differential frost heave in permafrost regions, Cold Resions Science and Technology 64, 256–261

- 44 -

