

유한요소해석을 통한 되메움재 종류에 따른 지하매설관의 변형 특성 연구

A Study on the Deformation Characteristics on Underground Pipe to Backfill Material Types Using Finite Element Method

변 요 셉¹⁾ · 안 병 제¹⁾ · 강 병 주²⁾ · 천 병 식[†]

Byun, Yoseph · Ahn, Byungje · Kwang, Byeongjoo · Chun, Byungsik

ABSTRACT : When underground pipe is installed, backfill materials need proper compaction. But in case of circular underground pipe, compaction of backfill material is difficult and compaction efficiency is poor at below the pipe. It caused the stability of underground pipe is reduced and various damages occurred. One of the solutions to solve this problem for underground pipe is to use controlled low strength material (CLSM). CLSM is made by concept of low strength concrete, which is applied to geotechnical engineering field. The representative characteristics of CLSM are self-leveling, self-compacting and flowability. In addition, its strength can be controlled and its construction method is simple. The behavior of underground pipe was investigated by finite element analysis for various backfill materials under same condition. As a result, in case of using the CLSM as backfill material, surface settlement and displacement of pipe are reduced comparing with those in case of using field soil or sand.

Keywords : Underground pipe, Backfill material, Controlled low Strength material, Self-strength

요 지 : 지하매설관 설치시 매설관 아래의 베딩면 상부 되메움재는 적절한 다짐이 필요하다. 그러나 원형매설관 설치시 기존 시공법의 경우는 관 하부의 다짐이 어렵고, 또한 다짐효율이 떨어져서 지하매설관의 안정성을 저감시키며, 이로 인하여 매설관의 파손이 발생한다. 이러한 지하매설관 되메움시 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 유동성 채움재(CLSM)를 이용하는 것이다. 유동성 채움재는 저강도 콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여 만들어진 것이다. 이의 대표적인 특성은 자기수평화(self-leveling), 자기다짐(self-compacting), 유동성(flowability), 인위적인 강도조절, 시공단계를 줄여 시공비 절감이 가능하다는 것이다. 따라서, 본 논문에서는 유한요소해석을 수행하여 동일한 조건에서 현장발생토, 일반모래, 유동성채움재를 되메움재로 사용하였을 경우의 거동을 비교·분석하였다. 그 결과 되메움재로 유동성채움재를 사용하는 경우가 현장발생토사나 일반모래를 사용한 경우보다 지표침하 및 매설관의 변위를 감소시키는 것으로 나타났다.

주요어 : 매설관, 되메움재, 유동성채움재, 자기강도

1. 서 론

문명이 발달함에 따라 지하에 매설된 매설관은 그 사용 범위가 다양해졌으며, 사용빈도 역시 높아지고 있는 추세이다. 과거에는 주로 농업용수관, 상·하수도관 등이 고착이었으나, 현재에는 통신관, 가스관, 송유관 등으로 그 사용범위가 확대되고 있다. 1996년 서울시정개발연구원의 발표에 의하면 행정적으로 지하매설물 관리기관에서 도로관리청에 굴착계획을 신청하는 건수가 연평균 17,000여건에 이를 정도로 지하매설물 승인요청이 증가하고 있어, 그 시설풍충이 요구되어 지고 있다(이제형, 2003). 근래에 들어 매설관의 크기와 규모가 커짐에 따라 굴착깊이 및 폭이 증가하기 때문에 이들 지하매설관은 설치 후 변형이 발생하지 않도록 매설관의 설계에 있어서 정확성이 요구되고 있다. 따라서

매설구조물을 설계함에 있어서, 되메움에 의해 매설구조물에 작용하는 연직하중과 지표하중에 대한 영향을 정확히 산출하는 것이 무엇보다 중요한 문제이다(Spangler 등, 1982).

또한, 매설관은 대부분 도심지에서 시공이 이루어지기 때문에 좁은 공간에서의 되메움으로 인한 연직토압의 산정 및 주변 구조물에 따른 지표 상재하중은 매설관의 안정성에 있어서 문제로 부각되고 있는 실정이다. 한편, 좁은 공간을 되메움하는 경우 발생하는 연직토압에 관한 연구는 1895년 Janssen이 토압이론식을 유도한 이래로 Marston, Spangler, Handy 등에 의하여 연구되었다(이상덕, 2000).

한편, 지하매설관은 기존의 도로 또는 지반을 굴착한 후 굴착면을 정리하고, 콘크리트 또는 모래를 이용하여 베딩재를 부설하고, 그 위에 설치한다. 지하매설관 설치가 완료되면 굴착된 나머지 부분에 모래 또는 토사를 이용하여 되메

1) 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

2) 정희원, 한일건설주식회사 차장

† 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

음을 실시한다. 이는 시공과정에서 베딩면과 되메움재 사이에 적절한 다짐정도가 필요하고, 이것이 지하매설관의 안정성에 있어서 절대적인 역할을 한다. 그러나 원형 지하 매설관의 경우 관의 하단부의 다짐이 매우 어렵고, 또한 다짐효율이 떨어져서 지하매설관의 안정성을 저감시키고, 이로 인하여 각종 파손이 발생한다. 이러한 지하매설관에 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 유동성채움재(Controlled Low Strength Material, CLSM)를 이용하는 것이다. 유동성 채움재(CLSM)는 저강도 콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여 만들어진 것으로, 비수축 채움재(unshrinkable fill), 강도조절 채움재(controlled strength fill), 유동성 모르타르(flowable mortar), K-Krete 등으로 불린다. 이의 대표적인 특성은 자기수평능력(self-leveling), 자기다짐(self-compacting), 유동성(flowability), 인위적인 강도조절, 시공단계를 줄여 시공비 절감이 가능하다는 것이다(박재현, 2003). 유동성채움재와 관련하여 국내에서 기존의 토사 되메움재를 사용하는 경우에 매립된 관의 거동에 대한 연구는 있었으나 유동성채움재와 관련된 연구는 초기단계이며 최근 조재윤 등(2000), 이관호 등(1999, 2001, 2002)의 관련 연구가 진행되었고, 정진호(1998)의 매설된 금속폴리에틸렌 복합관에 대해 유한요소법을 이용하여 기존의 설계방법에는 고려하지 않고 있는 흙-되메움재 관련 연구가 있다. 국외의 경우 Naik와 Singh(1997)는 플라이애쉬가 대부분을 차지하는 유동성슬러리와 플라이애쉬의 85%정도를 폐주물사로 대체한 재료의 강도시험을 하여 비교하였다.

이에 본 논문에서는 유한요소해석을 이용하여 동일한 조건에서 되메움재의 종류를 변화시켜가며 해석 결과를 비교·분석하여 지하매설관의 거동을 파악하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 매설관의 종류에 따른 변형 특성

강성관은 흙에 비해 큰 강성을 가지며 정돌출형 매설관

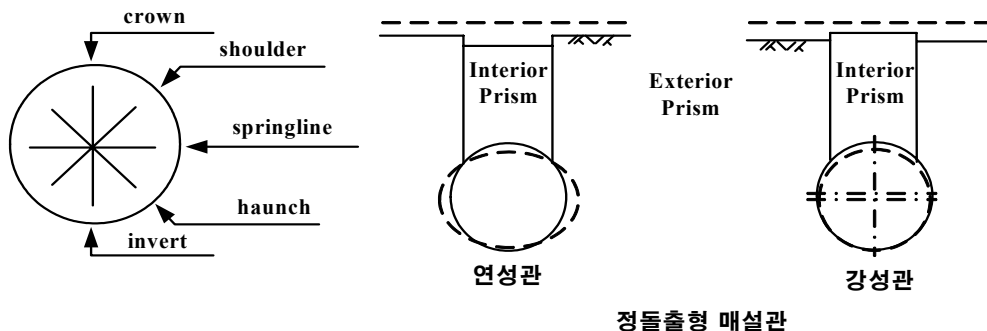


그림 1. 관의 각 부분의 정의와 강성관 및 연성관의 변형양상(박재현, 2003)

인 경우에는 부(-)의 아칭효과가 발생하게 된다. 강성관의 파괴양상은 관 표면의 균열과 파쇄가 원인이 된다. 한편, 연성관은 흙에 비해 작은 강성을 가지며 매설관에 작용하는 연직응력이 토피압력보다 작기 때문에 정(+)의 아칭효과가 발생하게 된다. 연성관의 파괴양상은 관의 과다한 변형에 의해서 발생하게 된다. 그림 1은 관의 각 부분의 정의와 강성관 및 연성관의 변형양상을 보여주고 있다(박재현, 2003).

2.2 매설관에 작용하는 토압이론

2.2.1 개요

매설관에 작용하는 토압의 산출방법은 매설유형 및 상재 하중의 전달방식에 따라 여러 가지 식이 제안되고 있으며 그 크기도 상당한 차가 있다. 즉, Janssen, Spangler, Marston, Anson, Frühling 등의 제안식이 있으나, 이 중에 Marston-Spangler식이 가장 많이 쓰이고 있다(천병식, 1998). 현재 매설관 설계에 많이 사용되고 있는 Marston-Spangler의 연직토압은 흙채움으로 인한 침하와 트렌치 양벽면에 마찰저항이 매설관에 전달되는 가정하에 미소요소에 작용하는 수직력의 평형(상향으로 연직력+측면전단력=하향으로의 연직력+요소중량)을 이용하여 계산하고 있다.

한편, Handy의 이론식은 되메움 지반에서 매설관에 작용하는 연직토압산정 시 기존 이론식들 중, 흙의 아칭현상을 적절하게 적용되어 가장 합리적이라 할 수 있겠다(박상원, 2005).

2.2.2 Marston-Spangler 이론

Spangler(1982)는 Marston이론을 확장하여 박스 암거, 상하수관, 가스관 등의 매설 시공조건, 매설물의 강성 및 되메움 또는 성토지반의 침하 등의 조건에 따라 달라지는 응력의 상태를 정리하였다. Spangler는 관의 매설형식을 도랑형 매설관, 정돌출형 매설관, 부돌출형 매설관, 불완전 도랑형 매설관 등의 형태로 분류하였으며, 이 중 가장 일반적인 도랑형 매설관의 경우에 관이 받는 토압을 관의 외경, 굴착폭

과 매설깊이, 흙의 단위체적중량, 토압계수 등에 따라 유도하였다(박상원, 2005). 이때 식 (3)은 그림 2와 같은 단위길이의 도랑형 매설관에서 깊이 h 에 위치한 두께 dh 의 되메움재의 수평요소의 힘의 평형을 고려하여 유도한 식이다.

$$qB_d + dqB_d + 2\mu Kqdh = qB_d + \gamma B_d dh \quad (1)$$

여기서, qB_d : 요소의 상부에 작용하는 하향 연직력

$qB_d + dqB_d$: 요소의 저면에 작용하는 상향 연직력

$\gamma B_d dh$: 요소의 중량(하향)

$Kqdh$: 요소의 각 측면에 작용하는 수평력

$\mu Kqdh$: 요소의 각 측면에 작용하는 마찰력(상향)

양변을 B_d 와 dh 로 나누어 식 (2)와 같은 선형미분방정식을 구한다.

$$\frac{dq}{dh} + \frac{2K\mu}{B_d}q = \gamma \quad (2)$$

한편, $y' = f(x)y = r(x)$ 의 해는 $y = e^{-k}[\int e^{kx}r(x)dx + c]$ 와 $k = \int f(x)dx$ 이므로,

$$k = \int \frac{2K\mu}{B_d} dh = \frac{2K\mu}{B_d}h \quad (3)$$

$$q = e^{-\frac{2K\mu}{B_d}h} \left[\frac{B_d}{2K\mu} e^{\frac{2K\mu}{B_d}h} \gamma + C \right] \quad (4)$$

경계조건에 의해 $h=0$ 일 때 $q=0$ 이므로

$$q = \frac{\gamma B_d}{2K\mu} [1 - e^{-\frac{2K\mu}{B_d}h}] \quad (5)$$

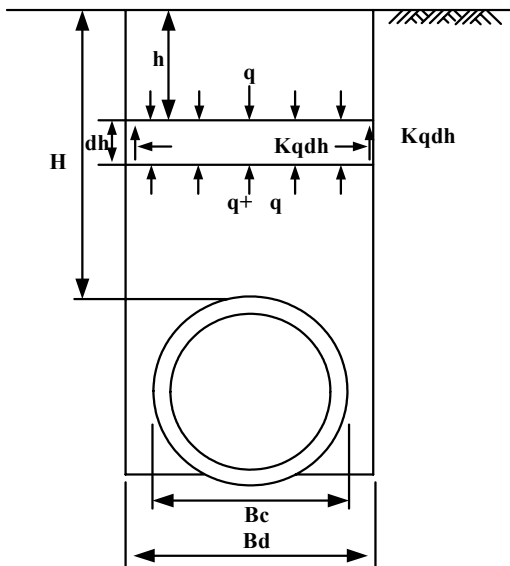


그림 2. 매설관에 작용하는 토압(Spangler, 1951)

매설관 위의 연직응력은 식 (5)의 h 를 H 로 대체하면, 식 (6)과 같다.

$$q = C_d r B_d \quad (6)$$

이때, C_d 는 $\frac{1 - e^{-\frac{2K\mu}{B_d}H}}{2K\mu}$ 이다.

따라서 연직력은 식 (7)과 같다.

$$W_c = C_d r B_d^2 \quad (7)$$

여기서, W_c 는 매설관 단위길이당 상부의 전체 사하중이고, C_d 는 흙의 마찰각, 고랑폭에 대한 깊이의 비, 고랑 측부 경사각, 베딩상태 등에 영향을 받는 하중 전달계수이다. 또한 r 는 매설관 상부에 위치한 흙의 단위중량이며, B_d 는 매설관 상부에서의 고랑폭이 된다.

2.2.3 Handy 이론

Handy는 고랑형태의 좁게 굴착된 공간에서의 되메움 토압에 관한 연구에서 되메움 흙이 함몰되어 보이는 평면아치 형태에 주목하여 최소주응력의 궤적을 연결하는 최소주응력 아치로서 밝힌 바 있으며 기존의 Marston(1913), Spangler 등(1948)등이 채택한 Rankine의 토압계수 K_a 의 이론적 오류를 지적하고 수정을 가하여 식 (8)과 같이 새롭게 제안하였고, 평균연직응력을 사용할 것을 주장하여 평면 아칭효과에 의한 수평응력 평균연직응력비를 $K_w = \frac{\sigma_h}{\sigma_{av}}$ 로서 사용할 것을 제안하였다.

$$W_c = \frac{\gamma B_d^2}{2K_w \mu} (1 - e^{-2K_w \mu \frac{h}{B_d}}) \quad (8)$$

여기서, K_w 는 $\frac{\sigma_h}{\sigma_{av}} = 1.06(\cos^2\theta + K_a \cdot \sin^2\theta)$ 이다.

2.3 토압에 의한 관의 변형 이론

매설관에 작용하는 하중에 의하여 관은 변형을 일으킨다. 관의 변형은 관 상부의 하중과 관의 탄성계수와와의 비로서 구할 수 있으나 관의 탄성계수는 관과 흙에 상호 복합적으로 하중이 작용하므로 흙의 강성과 관의 강성을 같이 고려해야 한다(송창섭, 2005). 관의 수평변형은 Lova의 변형공식 식 (9)에 의해서 구한다.

$$\Delta X = \frac{r_B r_T W_c R^4}{EI + 0.061kR^3} \quad (9)$$

여기서, ΔX : 압거의 수평방향 변위 혹은 압거 직경의 변화 (cm)

r_B : 베딩계수(일반적으로 연성압거의 경우, 설치 시 베딩계수($r_B = 0.1$))

r_T : 시간에 따른 흙의 체적변화를 반영한 체짐지 체계수($r_T = 1.5$)

W_c : 단위 길이당 압거 하중(kgf/cm)

R : 압거 평균 반경(cm)

E : 압거 재료의 탄성계수(kgf/cm)

I : 압거의 관성모멘트(cm³)

k : 압거양단의 수동저항계수(kgf/cm³)

2.4 유동성채움재(controlled low strength material; CLSM)의 특징

유동성 채움재의 특징은 자기수평능력을 가지게 되고 뒤 채움 공간을 간극없이 채울 수 있으며, 자기다짐의 성질을 갖는다. 이러한 특징은 유동성채움재가 다짐장비의 이용과 다짐 특성에 대한 많은 시험을 필요로 하는 일반적인 토사 되메움재에 비교할 때 중요한 장점 중의 하나이다. 또한 유동성채움재는 잘 다져진 흙의 허용지지력과 동등한 지지력을 갖는데, 이러한 일축압축강도 범위는 상부 하중을 지지할 수 있는 충분한 지지력과 향후 재굴착이 필요할 경우 인력이나 기존의 굴착장비로 쉽게 굴착이 가능한 정도의 강도로 양생시간은 초기의 액체상태에서 사람의 하중을 충분히 지지할 수 있을 때까지의 시간으로 정의한다.

한편, 재굴착이 가능한 유동성채움재의 투수성은 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ m/sec 범위의 값을 갖는데, 이는 플라이에쉬나 시멘트의 양이 적을수록, 모래나 토사의 양이 많을수록 증가한다.

3. 수치해석

3.1 해석모델링

3.1.1 사용프로그램

해석에서는 범용 유한요소해석 패키지인 ABAQUS 6.5를

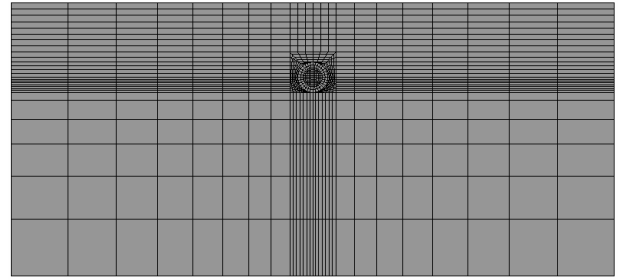


그림 3. 유한요소망

사용했다. ABAQUS는 토목 및 기계 등 다양한 분야에 적용되고 있으며, 특히, 지반공학분야에서 다양한 흙의 구성모델을 제공하고, 소성거동 모사에 대한 알고리즘이 효율적이어서 지반구조물의 항복 후 거동평가에 효율적이라는 장점이 있다.

3.1.2 대상구간의 모형화

해석영역의 모델링에 있어서 매설관 중심으로부터 약 7D (D=관직경)의 거리에 측면경계면을 위치시켜 수평방향으로의 변위를 구속하고, 매설관 바닥으로부터 약 5D 하부에 하부경계를 위치시키고 롤러를 설치하여 연직방향의 변위를 구속하였다. 그림 3은 해석에 사용된 유한요소망을 보여주고 있다.

재료모델링에 있어 원지반은 Mohr-Coulomb의 파괴규준과 비관련 유동법칙(non-associated flow rule)을 따르는 탄소성 재료로 모델링하였으며, 팽창각(dilatancy angle) ψ 는 Bolton (1986)이 제안한 바와 같이 내부마찰각 ϕ 와 한계상태 마찰각 $\phi_{cv} = 33^\circ$ 간에 다음과 같은 관계가 있는 것으로 가정하였다.

$$\phi = \phi_{cv} + 0.8\psi \quad (10)$$

한편, 매설관은 허용응력 범위내에서 선형탄성적 거동을 가정하여, 본 해석에서는 ABAQUS에서 제공하는 여러 가지 구성모델 중 선형 탄성모델을 선택·적용하였다.

3.1.3 시공단계의 모델링

현장 시공시 원지반에 Trench 굴착 후 매설관 주변에 모래를 포설하는 과정으로 수행되어지는데, 본 논문에서는 그림 4와 같이 Trench 굴착이 된 상태의 원지반에 매설관 설

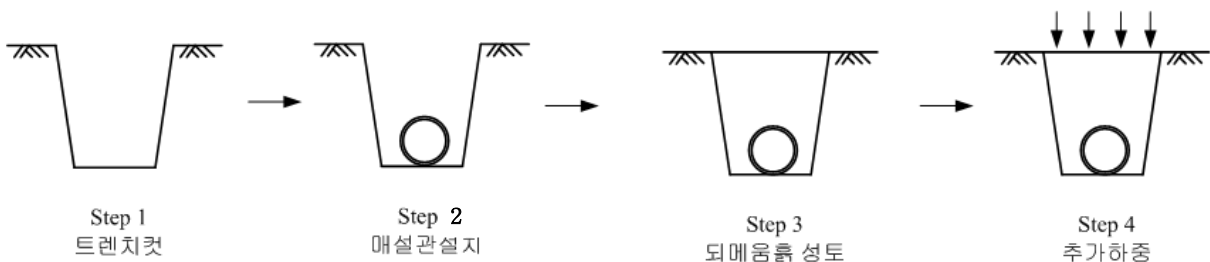


그림 4. 시공단계의 모델링

치, 되메움, 하중재하까지 순차적으로 시공되는 과정을 세부적으로 모델링하였다.

3.2 해석조건

균질한 지반에 매설관이 포설되는 경우, 원지반 및 되메움지반이 모래로 이루어진 경우에 대한 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 물성치는 최남훈(2004)의 논문을 참고하여 산정하였으며, 되메움재로 사용한 유동성 재료(CLSM)의 배합비는 표 1에서 나타낸 바와 같이 현장발생토사에 플라이애쉬와 물, 3.24%정도 소량의 시멘트를 혼합하여 사용한 결과이다. 아래에 나타난 표 2와 표 3은 유동성재료(CLSM)의 양생일(1, 7일)별 일축압축강도와 강도 정수(c, ϕ)를 나타내고 있다. 표 4는 유한요소해석에 사용된 원지반, 매설관, 되메움지반의 물성치를 보여주고 있다. 매설관의 경우 일반적으로 적용되는 물성을 참조하여 범위를 선정하였으며, 되메움지반의 경우 해석에 사용된 물성치는 송창섭

표 1. 실험재료의 배합비(%)(최남훈, 2004)

재료	시료	플라이애쉬	물	시멘트
현장발생토사 CLSM	54.02	19.89	22.84	3.24

표 2. 실험재료의 일축압축강도(kN/m^2)(최남훈, 2004)

재료별	양생시간	1일 양생	7일 양생
	현장발생토사 CLSM		124

표 3. 실험재료의 기본 물성치(c, ϕ)(최남훈, 2004)

재료별	양생시간	1일 양생		7일 양생	
		c (kN/m^2)	ϕ (degree)	c (kN/m^2)	ϕ (degree)
현장발생토사 CLSM		50	11.61	95	12.61

표 4. 유한요소해석에 사용된 물성치

구분	탄성계수 E (kN/m^2)	내부마찰각 ϕ (degree)	점착력 c (kN/m^2)	단위중량 γ (kN/m^3)	포아송비 ν	두께 t (mm)	
원지반	35400	33	12	19	0.33	-	
매설관	18000000000	-	-	23	0.2	3	
되메움재	(일반모래)	10000	30	-	15	0.3	-
	(현장발생토사)	49000	33	10.5	18	0.3	-
	(유동성채움재)	17370	13	95	18	0.3	-

표 5. 지하매설관에 작용하는 연직토압(kN/m^2)

구분	되메움재	연직토압	비고
CASE I	일반모래	26.8	추가하중 재하 전
CASE II	현장발생토사	28.4	
CASE III	유동성채움재(CLSM)	25.5	
CASE I	일반모래	39.8	추가하중 재하 후
CASE II	현장발생토사	41.0	
CASE III	유동성채움재(CLSM)	38.4	

(2005)의 논문을 참고하여 선정하였다.

4. 결과 및 분석

유한요소 해석결과 지하매설관에 작용하는 토압, 매설관 주요부분의 변위 및 지표면 변위는 다음과 같이 나타났다. 또한, 지하매설관 상부에 토목구조물로 인한 하중을 받는 조건에 대한 평가를 위하여 정하중 270kN을 재하하여 추가적으로 분석을 실시하였다.

4.1 유한요소해석결과와 이론식의 비교

되메움 지반에서 매설관에 작용하는 연직토압산정 시 기존 이론식들 중, 가장 합리적으로 판단되는 흙의 아칭현상을 적절하게 적용된 Handy의 이론식에 의한 값(박상원, 2005)은 26.24kN/m^2 로 유한요소해석결과 26.8kN/m^2 와 유사한 값을 나타냈다.

4.2 지하매설관에 작용하는 토압

유한요소해석결과, 표 5와 그림 5에서 보는 바와 같이 CASE I는 추가하중 재하 전의 경우 연직토압이 26.8kN/m^2 이고, 추가하중 재하 후 39.8kN/m^2 로 나타났으며, CASE II는 추가하중 재하 전의 경우 28.4kN/m^2 이고, 추가하중 재하 후 41.0kN/m^2 로 나타났다. CASE III은 연직토압이 25.5kN/m^2 로 나타났으나 추가하중 재하 후 연직토압은 38.4kN/m^2 로 나타났다. 한편, 되메움재의 종류를 유동성채움재(CLSM)를 사용하였을 경우, 추가하중 재하 전·후 모두 일반모래나 현장발생토사를 사용하였을 경우보다 매설관에 작용하는

연직토압이 작게 나타남을 알 수 있었는데, 이는 유동성채움재(CLSM)가 양생됨에 따라서 뒤채움재의 강도가 발현되고, 이를 통해 유동성뒤채움재(CLSM)가 강성구조물과 같은 거동특성을 보여 토압이 현저히 감소한 것으로 판단된다.

4.3 지표침하

지표침하는 표 6과 그림 6에서 보는 바와 같이 상재하중을 추가적으로 재하전이나 재하후, 두가지 경우 모두 되메움재의 종류를 유동성채움재(CLSM)를 사용하였을 경우 일반모래나 현장발생토사를 사용하였을 경우보다 작게 나타남을 알 수 있었으며, 지표침하가 가장 크게 나타난 현장발생토사 사용의 경우보다 지표침하가 최대 1/10수준으로 감소한것을 알 수 있었다. 이는 매설관 시공시 유동성채움재(CLSM)를 되메움재로 사용하면 유동성채움재(CLSM)가 시간에 따른 양생이 진행되면서 자기강도 발현특징에 의해 매설관과 일체화되어 단면강도를 증진시켜준 효과로 판단된다.

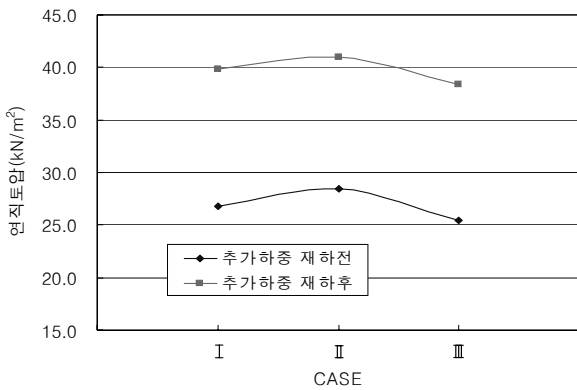


그림 5. 지하매설관에 작용하는 연직토압

4.4 지하매설관 주요부위에서의 변위

지하매설관 주요부위에서의 변위는 표 7과 그림 7(a)에서 보는 바와 같이 추가하중 재하 전의 경우, 매설관의 천단부와 저부에서 발생하는 변위의 차이가 0.272mm~0.337mm 정도 인 것으로 나타났고, 추가하중 재하 후의 경우는 그림 7(b)에서 보는 바와 같이 0.746mm~0.849mm 정도의 차이를 보였다. 한편, 관 주요부위에 대한 변위를 비교 검토해본 결과, 관의 천단부에서 가장 많은 변위가 발생하였고, 관의 저부로 내려갈수록 변위가 작아짐을 알 수 있었다. 또한, 되메움재의 종류를 유동성채움재(CLSM)를 사용한 경우, 일반모래 및 현장발생토사를 사용한 경우보다 관의 주요부위에서 변위가 작게 나타나고 있음을 알 수 있었는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 유동성채움재(CLSM)의 특징 중, 자기강도 발현 특징에 의해 매설관 주변의 되메움재가 굳어져 강성화되어 이러한 효과를 나타낸 것으로 판단된다.

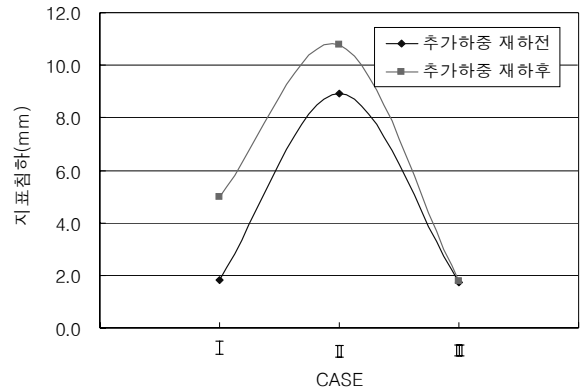


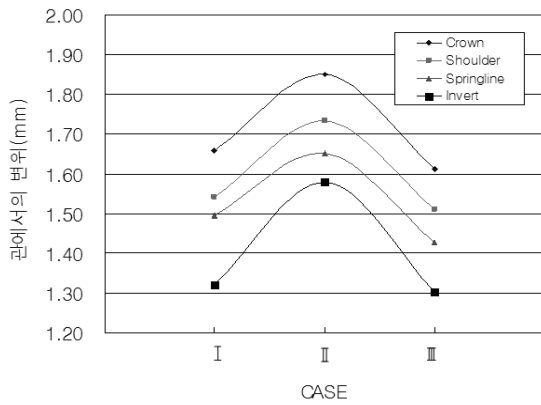
그림 6. 지표침하

표 6. 지표침하(mm)

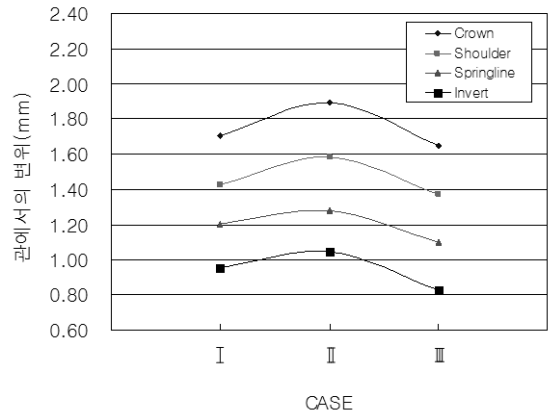
구분	되메움재	지표침하	비고
CASE I	일반모래	1.803	추가하중 재하전
CASE II	현장발생토사	8.927	
CASE III	유동성채움재	1.745	
CASE I	일반모래	4.981	추가하중 재하후
CASE II	현장발생토사	10.78	
CASE III	유동성채움재	1.784	

표 7. 지하매설관 주요부위에서의 변위(mm)

구분	종류	Crown	Shoulder	Springline	Invert	비고
CASE I	일반모래	1.658	1.542	1.495	1.321	추가하중 재하전
CASE II	현장발생토사	1.851	1.734	1.651	1.579	
CASE III	유동성채움재	1.613	1.510	1.428	1.303	
CASE I	일반모래	1.702	1.425	1.204	0.956	추가하중 재하후
CASE II	현장발생토사	1.896	1.584	1.280	1.047	
CASE III	유동성채움재	1.651	1.372	1.101	0.828	



(a) 추가하중 재하 전



(b) 추가하중 재하 후

그림 7. 지하매설관 주요부위에서의 변위

5. 결 론

본 논문에서는 지하매설관 시공시 되메움재의 종류에 따른 지하매설관의 거동을 파악하기 위하여 원형의 지하매설관에 대한 수치해석을 수행하였다. 동일한 조건에서 되메움재의 종류에 따른 관의 주요 부분의 변위, 지표침하, 연직토압을 비교·검토하여 지하매설관의 변형특성을 연구하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 기준 CASE에 대하여 Handy의 이론식 결과와 유한요소 해석 결과를 비교·검토한 결과, 유사한 값을 나타내었다.
- (2) 되메움재에 따른 연직토압은 현장 발생토사, 일반모래, 유동성채움재(CLSM)의 순서로 감소하였고, 현장 발생토사에 비하여 유동성채움재(CLSM)가 하중저감효과를 나타낸다. 이는 유동성채움재(CLSM)가 양생됨에 따라 뒤채움재의 강도가 발현되고, 이를 통해 유동성뒤채움재(CLSM)가 강성구조물과 같은 거동특성을 보여 토압이 현저히 감소한 것으로 판단된다.
- (3) 관 주요부위에 대한 변위를 비교, 검토해본 결과, 관의 천단부에서 가장 많은 변위가 발생하였고, 관의 저부로 내려갈수록 변위가 작아진다. 또한 되메움재의 종류를 유동성채움재(CLSM)를 사용한 경우, 일반모래 및 현장발생토사를 사용한 경우보다 관의 주요부위에서 변위가 감소한다.
- (4) 동일한 조건에서 유동성채움재(CLSM)를 이용한 경우, 현장발생토사를 사용한 경우에 비하여 지표침하가 최대 1/10수준으로 감소한다.
- (5) 유동성채움재(CLSM)를 사용하는 경우에 현장발생토사나 일반모래를 사용한 경우보다 지표침하 및 관의 변위를 감소시키는 결과를 보였는데, 유동성채움재(CLSM) 자기강도 발현특징에 의하여 시간에 따른 양생이 진행

되어 유동성채움재가 굳어져 강성화되고, 관 주변 지반이 매설관과 일체화가 되어 단면강도를 증진시켜준 효과로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박상원 (2005), *되메움 지반에서 매설관에 작용하는 연직토압에 관한 연구*, 석사학위 논문, 한양대학교, pp. 43.
2. 박재현, 이관호, 조재운, 성상규 (2003), 유동성 채움재를 이용한 지하 매설관의 변형특성 연구, *한국도로포장공학회 논문집*, 제5권 2호, pp. 25~35.
3. 송창섭 (2005), *현장발생토사 CLSM을 이용한 유리섬유 복합관의 거동특성에 관한 연구*, 석사학위 논문, 경성대학교, pp. 58.
4. 이관호, 이인모, 조재운, 윤여준 (1999), 유동성 뒤채움재로 사용하기 위한 플라이애쉬-폐주물사 혼합재료의 특성 연구, *한국지반공학회 정기 학술발표회 논문집*, pp. 489~496.
5. 이관호, 조재운, 신현무, 김남호 (2001), 폐주물사 및 방식사를 이용한 유동성 채움재의 최적배합설계 다짐특성연구, *폐기물학회지*, 18권 4호, pp. 389~396.
6. 이관호, 조재운, 조윤희 (2002), 폐주물사를 이용한 유동성채움재의 절토구간 옹벽 뒤채움시 사일로토압 및 토압경감효과 연구, *한국도로포장공학회 논문집*, 제4권 2호, 통권12호, pp. 19~32.
7. 이상덕 (2000), 지중 박스 구조물에 작용하는 토압, *한국지반공학회논문집*, Vol. 16-1, No. 2, pp. 243~250.
8. 이제형 (2003), *좁게 되메움된 공간에서의 매설관에 미치는 연직토압에 관한 연구*, 공학대학원 석사학위 논문, 삼척대학교, pp. 1.
9. 정진호 (1998), 금속-폴리에틸렌 복합관의 뒤채움하중에 관한 연구(1), *대한토목학회지*, 제 18권, 제 III-5호, pp. 609~624.
10. 조재운, 이관호, 이인모 (2000), 유동특성을 이용한 폐주물사 혼합물의 옹벽뒤채움재 연구, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 16, No. 4, pp. 17~30.
11. 최남훈 (2004), *현장발생토사 CLSM을 이용한 지하매설관의 거동특성 분석*, 공학대학원 석사학위 논문, 한양대학교, pp. 30~37.
12. Bolton, M.D. (1986), *The strength and diatancy of sands*,

Geotechnique, Vol. 36, No. 1, pp. 65~78.

13. Janssen, H.A. (1895), Versuche uber Getreidruck in Silozeuen, Z. Ver. Deut Ingr. Vol. 39, pp. 1045 (partial English Translation in Proceeding of the Institute of Civil Engineers, London, England, pp. 553).
14. Marston, A. and Anderson, A.D. (1913), The Theory of Loads on pipes in ditches and test of cement and clay drain tile and sewer pipe, *Iowa Engineering. Experiment Station Bull.*, Iowa State College Ames. Iowa, No. 31, pp. 181.
15. Naik, T.R. and Singh, S.S. (1997), Permeability of Flowable Slurry Materials Containing Foundry Sand and Fly Ash, *ASCE*, Vol. 123, No. 5, pp. 446~452.
16. Spangler, M.G. (1948), Underground conduits - An Appraisal of modern Research, *Transactions of ASCE*. Paper, Vol. 113, No. 2337, pp. 316~345.
17. Spangler, M.G. and Handy, R.L. (1982), Soil Engineering, 4th Ed., *Harper and Row Publishing, Inc.*, New York, NY. pp. 819.

(접수일: 2008. 12. 29 심사일: 2009. 1. 30 심사완료일: 2009. 7. 13)