한국도로포장공학회 논문집
第5券2號 2003年 6月
pp. 25 ~ 35

유동성 채움재를 이용한 지하 매설관의 변형특성 연구

Deformation Behavior Underground Pipe with CLSM

박 재 헌* · 이 관 호** · 조 재 윤*** · 성 상 규****
Park, Jae-Hun · Lee, Kwan-Ho · Jo, Jae-Yun · Sung, Sang-Kyu

Abstract

During construction of circular lifeline pipe, the non-proper compaction along the pipe and the decrease of compaction efficiency are the main problems to induce the failure of underground pipe. The use of CLSM(controlled low strength materials) is one of the applications to overcome those problems. In this research, the numerical analysis by PENTAGON FEM program was carried out for 20 cases with the couple of combinations on bedding materials, backfill materials, and pipes.

From the FEM analysis, the use of CLSM as backfill materials reduced the settlement of ground surface and the deformation of pipe employed. In case of the vertical deformation on the pipe, common soil backfill for flexible pipes showed 2 times for rigid pipes, but CLSM backfill case did less deformation than the soil backfill for rigid pipes. CLSM backfills for rigid pipes showed the similar results. Judging from the FEM analysis, the use of CLSM increases the structure capacity of the underground pipes.

Key words : underground structure, CLSM, bedding materials, backfill materials, rigid pipe, flexible pipe

요 지

원형지하매설관의 경우 관의 하단부의 다짐이 매우 어렵고, 또한 다짐효율이 떨어져서 지하매설물의 안정성을 저감시키고, 이로 인해 각종 파손이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 하나의 대안으로 저강도 콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여 만들어진 CLSM을 이용하는 것이다. 본 연구에서는 지금까지의 CLSM 실내실험결과를 이용하여 현장적용성 시험을 하기 위한 중간단계로서 베딩재, 뒤채움재, 관의 종류를 변화시킨 20가지 사례에 대한 PENTAGON 유한요소 프로그램을 이용하여 수치해석을 실시하였다.

수치해석을 실시한 결과 뒤채움재로 CLSM을 사용하는 경우에 토사나 일반모래를 사용한 경우보다 지표면 및 관의 침하를 현저히 감소시키는 것으로 해석되었다. 관의 연직변위를 놓고 볼 때 토사 뒤채움을 사용한 경우에 연성관의 변위량이 강성관의 2배정도에 달했으나 CLSM으로 대체한 경우에는 오히려 토사 뒤채움에 강성관을 사용한 경우보다 변위가 줄어 들었다. CLSM 뒤채움에 강성관을 사용한 경우도 유사하게 나타났고, CLSM이 구조적인 지지역할을 확실히 함을 보여준다.

핵심용어 : 지하매설물, CLSM, 베딩재, 뒤채움재, 강성관, 연성관

* 정회원 · 경성대학교 토목공학과 석사과정
** 정회원 · 경성대학교 건설 · 환경공학부 부교수
*** 정회원 · 동의공업대학 토목공학과 교수
**** 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 박사과정

1. 연구배경 및 목적

도로하부 지하매설물은 주로 정부에서 관리하는 중요한 토목구조물로서, 상하수도관, 각종통신선로, 도시가스관 등이 있고, 이외에도 고속도로변의 배수관거 등이 있다. 이러한 지하매설물의 설치과정은 기존의 도로 또는 지반을 굴착한 후 굴착면을 정리하고, 콘크리트 또는 모래를 이용하여 베딩재(Bedding)를 설치하고, 이 위에 지하매설물을 설치한다. 지하매설물 설치가 끝나면 굴착된 나머지 부분에 모래 또는 토사를 이용하여 뒤채움을 실시한다. 이러한 시공과정에서 베딩면과 뒤채움재의 적절한 다짐정도가 필요하고, 이것이 지하매설물의 안정성에 있어서 절대적인 역할을 한다. 그러나 기존에 시공법의 경우 특히 원형 지하 매설관의 경우 관의 하단부의 다짐이 매우 어렵고, 또한 다짐효율이 떨어져서 지하매설물의 안정성을 저감시키고, 이로 인해 각종 파손이 발생한다. 그림 1은 다짐불량으로 인한 관의 파손형상을 보여준다.

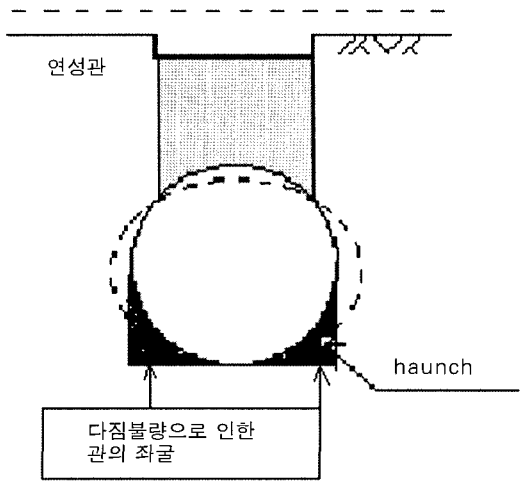

그림 1. 다짐불량으로 인한 관의 파손형상
(Young & Trott, 1984)

지하매설물의 파손은 그 특성상 공공의 이익을 해치는 것으로, 특히 시민의 기본생활을 침해할 수 있으므로 이의 시공 및 유지관리에 많은 관심을 가져야 할 필요가 있다. 이러한 지하매설물의 시공 및 유지관리상에서 발생하는 많은 문제점을 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 CLSM(controlled low strength materials, 저강도 유동성재료)을 이용하는 것이다. CLSM은 저강도 콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여 만들어진 것으로, 비수축 채움재(unshrinakge 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, 시공 후 재 굴착이 용이, 시공단계를 줄여 시공비 절감이 가능하다는 것이다. 그림 2는 기존 다짐재료로 사용하던 모래를

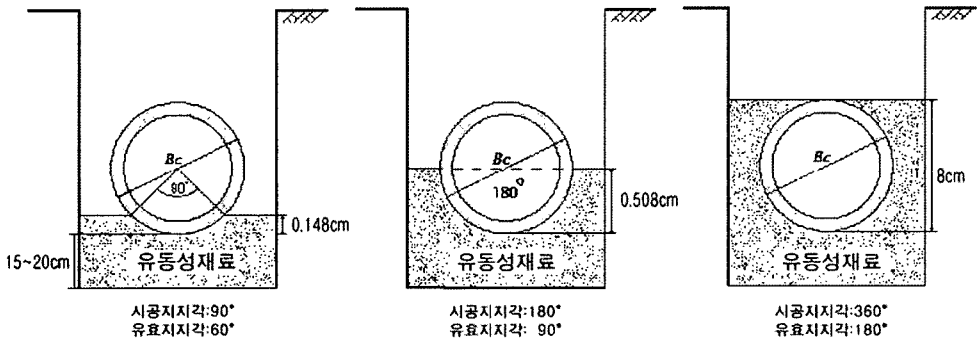

그림 2. 기존 다짐재료의 대체 효과(모래 → 유동성재료 사용)

가격이 저렴하고 친환경적인 유동성재료를 사용할 사례를 보여준다.

이에 본 연구에서는 유한요소 프로그램인 PENTAGON을 사용하여 도로하부 지하매설물용 CLSM을 적용한 지하매설물의 수치해석을 실시하여 베딩재, 뒤채움재, 관의 종류에 따른 관의 응력-변형 관계특성평가, 유동성 뒤채움재에 따른 지표면의 변위 및 관의 천단 · 하부에서의 변위를 비교 검토하였다. 향후에는 유한요소해석결과를 기초로 가장 좋은 결과를 보여준 2가지 사례를 이용한 대규모 현장시험을 계획 중이다. 현장시험시공에 의한 계측 결과값과 기존 이론 및 유한요소에 의해서 얻어진 예측값의 상호비교를 통해 사용된 재료에 따른 기존의 이론의 타당성을 검증하고, 특히 CLSM 재료 이용시 도로하부 지하매설물용 뒤채움재 및 매설관의 거동특성을 규명할 수 있는 이론을 정립하는 것이 향후 연구의 최종목적이다.

2. 국내 · 외 연구활동

2.1 국내동향

국내의 경우 기존의 토사 뒤채움재를 사용하는 경우에 매립된 관의 거동에 대한 연구는 있었으나 유동성 뒤채움재와 관련된 기 수행된 연구는 전무한 상태이다. 최근 조재윤 등(2000), 이관호 등(2001, 2002), Lee 등(2001)의 관련연구가 진행되었고, 이들의 연구결과로는 첫째, 혼합재료의 강도를 약 100kPa에서부터 1030kPa정도까지 인위적으로 조절이 가능하고, 둘째, 투수계수가 모래질 흙과 점토질흙의 중간정도인 실트질 흙과 비슷한 10^{-5}cm/sec의 크기를 가진다. 셋째, 기존의 저강도콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여, 시간에 따른 강도증진효과가 있기는 하지만, 사용되는 시멘트량이 전체 재료의 약 5% 미만으로 재료의 특징이 콘크리트와는 상당히 다른 성질을 보여준다. 넷째, 혼합재료의 성질이 건조 및 포화가 반복되어도 크게 차이가 나지 않는다. 다섯째, 혼합재료의 특성이 초기에는 많은 유동성을 보이고, 시간이 지나면서 강도가 증진되므로, 각종 도로/지반구조물 시공시 시공방법을 단순화 할 수 있다. 이외에 국내연구진이 외국에서 수행한 연구결과로는 정진호(1998)의 금속-폴리에틸렌 복합관의 뒤채움재 연구가 있고, 조성민(2002) 등이 수행한 현장시험결과가 있다.

2.2 국외동향

국외의 경우 Bulson(1985)는 FEM를 사용하여 강성매설관 둘레의 응력분포에 대한 연구를 발표하였다. 이 연구의 결과로는 관의 측면부(springing)와 천단부(crown)는 주 응력방향으로 접선방향응력이 0임을 알 수 있으며 천단부의 압축응력이 상재하중(overburden pressure, 9.8 N/m^2)보다 커서 (-)의 아칭효과(arching effect)가 발생함을 알 수 있었고, 베딩재가 모래인 경우에는 응력의 분포가 연속적으로 나타나나 암인 경우에는 베딩재가 시작되는 부분에서 불연속적인 양상(응력이 집중)을 보임을 알 수 있었다.

Rogers(1988)는 뒤채움 흙의 종류에 따른 연성매설관의 변형양상에 대한 연구로써 트랜치(trench) 내부에 채워진 흙의 강성도에 따라 연성관의 어떠한 변형양상을 보이는지를 파악하였다. 그 연구결과로써 뒤채움 흙의 강성도가 작은 경우에는 관은 일반적으로 타원모양의 변형양상을 보이나 보다 단단한 흙에서는 조금의 편차가 발생함을 밝히고 있다.

Peindl 등(1992)에 의해 수행된 유동성 재료(fly-ash + concrete mixture)의 매설관 뒤채움재 적용에 관한 연구는 연속적인 교통하중을 받는 환경에서 플라이애쉬와 콘크리트 혼합체(해당논문에서는 ashcrete로 명칭)의 뒤채움재로서의 편리성과 안정성을 증명하기 위해 대규모 현장시험을 실시하여 자료 및 결과를 정리하였다.

3. CLSM의 특징

CLSM은 유동성 뒤채움재, 강도조절 채움재, 유동성 모르타르, 흙-시멘트 슬러리(soil-cement slurry) 등으로 불리고, 이의 대표적인 특성은 자기수평능력, 자기다짐, 유동성, 인위적인 강도조절, 시공 후 재굴착이 용이하다는 것이다. 이러한 다양한 특성을 가진 CLSM은 기존의 뒤채움재 사용시 발생하는 부적절한 다짐(과다짐 또는 빈다짐)으로 인해 발생하는 문제를 아래와 같은 문제점들을 해결할 수 있다.

- 되메우기 다짐시 관의 손상을 가져올 수 있으며, 다짐불량으로 도로의 함몰이 발생할 수 있다.
- 일반적인 토사를 되메우기 재료로 사용하는 경우에는 다짐이 느슨하게 되었거나 매설 깊이가 충분하지 않은 상태에서 윤하중이 작용하면 매설관이 파괴될 가능성이 매우 크다.
- 지하매설물의 시공과정에서 bedding면과 뒤채움재의 적절한 다짐이 필요하고 이것이 지하매설물의 안정에 절대적인 역할을 하나 기존의 시공법의 경우 특히 원형지하매설관의 경우는 관의 하단부 다짐이 매우 어렵고 다짐효율이 떨어져서 지하매설물의 안정성을 저감시키고 이로 인해 각종 파손이 발생한다.
- 다짐이 균등하게 이루어지지 않는 경우에는 상대적으로 다짐도가 큰 부분에 아칭효과에 의한 응력집중이 발생하고 이로 인해 이 부분과 접촉한 관의 일부에 상부하중이 과다하게 집중 전달되어 관의 파손을 가져 올 수 있다.

4. 지중매설관에 작용하는 토압에 대한 이론

4.1 매설관 재질에 따른 분류

4.1.1 강성관(Rigid Pipe)

강성관은 흙에 비해서 큰 강성을 가지며 부(-)의 아칭효과가 정돌출형 매설관인 경우에 주로 발생하게 된다. 그리고 강성관의 주요한 파괴양상은 관 표면의 균열과 파쇄가 원인이 된다. 그림 3은 관변형을 보여준다.

4.1.2 연성관(Flexible Pipe)

연성관은 흙에 비해서 작은 강성을 가지면 매설관에 작용하는 연직응력이 토피압력보다 작기 때문에 positive arching효과가 나타나게 된다. 그리고 연성관의 주요한 파괴양상은 과다한 관의 변형에 의해서 발생된다. 또한 수평방향의 변형은 흙의 수동저항을 유발하여 뒤채움재가 잘 다져진 경우에는 상부연직응력과 수평저항응력이 같아진다.

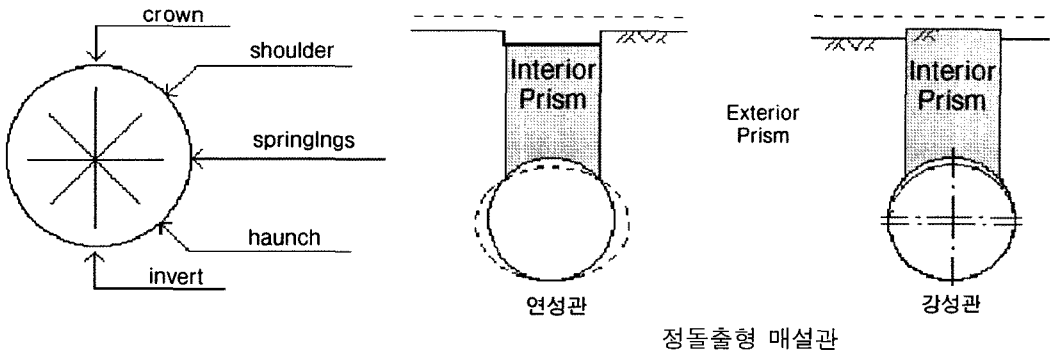

그림 3. 관의 각 부분의 정의와 강성관 및 연성관의 변형양상

4.2 Marston - Spangler 토압이론

그림 4와 같은 단위길이의 도랑형 매설관의 한 단면에서 굴착면에서 지표면하 깊이 h에 위치한 두께 dh의 뒷채움재 수평요소의 상하 방향 힘의 평형을 고려하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$ {}_qB_d + dq\,B_d + 2\mu K q\,dh = {}_qB_d + \gamma B_d dh \qquad (4.1)$$

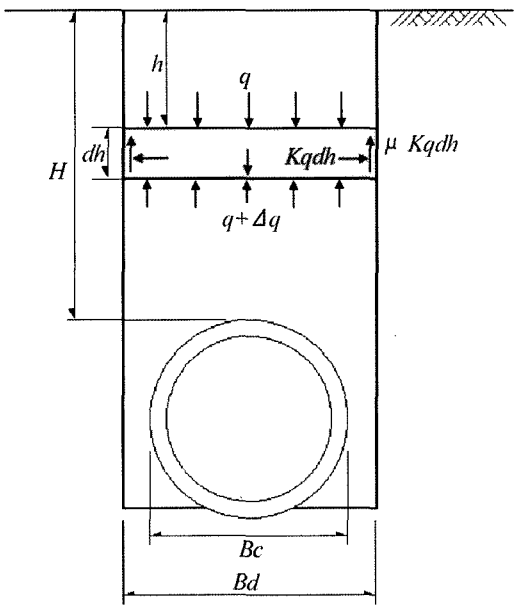

그림 4. 매설관에 작용하는 토압(Spangler, 1951)

여기서,

- ${}_qB_d$: 요소의 상부에 작용하는 하향 연직력
- ${}_qB_d + dq\,B_d$: 요소의 저면에 작용하는 상향 연직력
- $\gamma B_d dh$: 요소의 중량(하향)
- $K\,q\,dh$: 요소의 각 측면에 작용하는 수평력
- $\mu K\,q\,dh$: 요소의 각 측면에 작용하는 마찰력(상향)

⇒ arching effect

$$ dq\,B_d + 2\mu\,K\,q\,dh = \gamma B_d dh \qquad (4.2)$$

양변을 B_d 와 dh 로 나누면 다음과 같은 선형미분 방정식을 구한다.

$$ \frac{dq}{dh} + \frac{2K\mu}{B_d} q = \gamma \qquad (4.3)$$

한편, $y' + f(x)y = r(x)$ 의 해는

$y = e^{-k}\left[\int e^{k} r dx + c\right]$ 이고, $k = \int f(x)dx$ 이므로

$$ k = \int \frac{2K\mu}{B_d} dh = \frac{2K\mu}{B_d} h \qquad (4.4)$$

$$ \therefore q = e^{-\frac{2K\mu}{B_d}h}\left[\int e^{\frac{2K\mu}{B_d}h} r dh + C\right]$$

$$ = e^{-\frac{2K\mu}{B_d}h}\left[\frac{B_d}{2K\mu}\cdot e^{\frac{2K\mu}{B_d}h}\cdot\gamma + C\right] \qquad (4.5)$$

경계조건에 의해, h=0일 때 q=0이므로

$$ 0 = \frac{B_d}{2K\mu}\gamma + C \Rightarrow C = -\frac{\gamma B_d}{2K\mu} \qquad (4.6)$$

$$ \therefore q = e^{-\frac{2K\mu}{B_d}h}\left[\frac{\gamma B_d}{2K\mu} e^{\frac{2K\mu}{B_d}h} - \frac{\gamma B_d}{2K\mu}\right]$$

$$ = \frac{\gamma B_d}{2K\mu} e^{0} - \frac{\gamma B_d}{2K\mu} e^{-\frac{2K\mu}{B_d}h}$$

$$ = \frac{\gamma B_d}{2K\mu}\left[1 - e^{-\frac{2K\mu h}{B_d}}\right] \qquad (4.7)$$

이때, 매설관의 천단부 맞닿은 수평면 위의 연직 응력은 (4.7)식의 h를 H로 대체하면 된다.

$$ q = C_d \gamma B_d \qquad (4.8)$$

여기서, $C_d = \dfrac{1 - e^{\frac{2K\mu}{B_d}H}}{2K\mu} \Rightarrow$ 하중계수

따라서, 연직력은

$$ W_c = C_d \gamma B_d^2 \qquad (4.9)$$

5. 유한요소프로그램(PENTAGON)을 이용한 각 Case별 거동비교

5.1 해석조건

본 연구에서의 표 1에 나타난 것과 같이, 수치해석은 고려해 볼 수 있는 여러 가변조건 중 bedding재의 종류와 뒤채움재의 종류 및 관의 재질을 변화시키는 20가지 Case에 대해서 유한요소프로그램인 PENTAGON을 이용하여 해석을 수행하였다. 그림 5는 수치해석에 사용된 유한요소망이다. 본 연구의 수치해석에서는 원지반과 토사 뒤채움재는 탄소성모델을 적용하였고, 나머지는 선형탄성모델을 적용하였다. 해석에 이용된 각종 입력값(표 2)은 실내실험을 통해 결정된 값이고(Lee et al, 2001, 이관호 등, 2001, 이관호 등 2002), 그림 6은 수치해석단면의 물성치 분포도를 나타낸다.

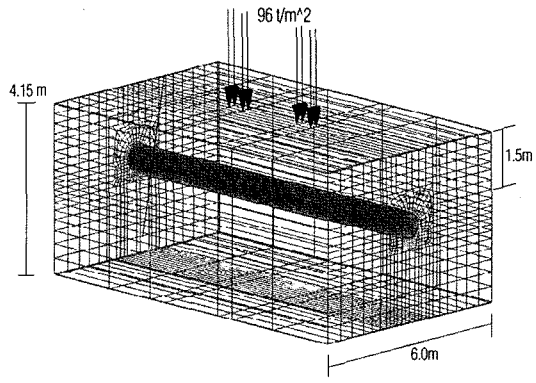

그림 5. 수치해석에 사용된 유한요소망

표 1. 수치해석단면의 조건(20가지 case)

Case	Bedding재	관 종 류	Backfill재
1	토 사	강 성 관	토 사
2			일반모래
3			생 형 사
4			후 란 사
5			방 식 사
6	일 반 모 래	강 성 관	토 사
7			일반모래
8			생 형 사
9			후 란 사
10			방 식 사
11	토 사	연 성 관	토 사
12			일반모래
13			생 형 사
14			후 란 사
15			방 식 사
16	일 반 모 래	연 성 관	토 사
17			일반모래
18			생 형 사
19			후 란 사
20			방 식 사

표 2. 수치해석단면의 설계정수

Description		γ_t (t/m³)	c (t/m²)	ϕ (°)	E (t/m²)	Ko	ν	비 고
원지반		1.9	1.5	35	7000	0.43	0.3	
토사		1.8	0.5	28	1000	0.5	0.3	베딩재
일반모래		2.0	-	35	4500	0.43	0.3	
토사		1.8	0.5	28	1000	0.5	0.3	뒤채움재
일반모래		2.0	-	35	4500	0.43	0.3	
생형사CLSM	1일	1.9	3.4	11.8	3590	0.043	0.3	
	7일	1.7	3.6	51.6	8279	0.001	0.3	
	28일	1.5	3.6	54.8	11620	0.000	0.3	
후란사CLSM	1일	1.9	3.5	0.7	2313	0.050	0.3	
	7일	1.8	3.9	29.5	6453	0.021	0.3	
	28일	1.7	4.3	49.3	9403	0.000	0.3	
방식사CLSM	1일	1.8	3.4	5.7	525	0.062	0.3	
	7일	1.8	3.8	42	4068	0.026	0.3	
	28일	1.6	4.3	56	7467	0.000	0.3	
강성관		2.3	-	-	2e6	-	0.167	t = 5cm
연성관		7.9	-	-	2e7	-	0.3	t = 2mm

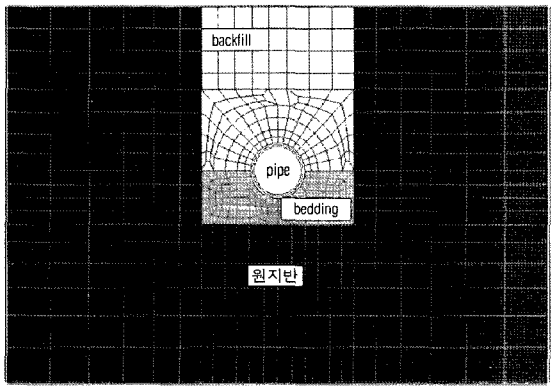

그림 6. 수치해석단면의 물성치 분포도

5.2 해석결과

PENTAGON 유한요소프로그램을 이용하여 해석한 해석사례별 지표면 변위 및 관변위는 표 3에 나타난 것과 같다.

해석에서 현재 보편적으로 시공되고 있는 기준이 되는 사례는 case 6으로, 베딩재로서 일반모래를 이용하고, 뒤채움재로 현장에서 발생한 토사를 이용한 것이다. 이 경우 지표면의 변위는 약 9.99mm이고, 관의 변위는 1.02mm이다. 같은 경우의 연성관(case 16)의 경우 지표면의 변위는 10.1mm이고, 관변위는 1.80mm이다. 결과에서처럼, 관의 종류에 따른 지표면의 변위의 차이는 비교적 작은 편이나, 관변형은 관의 종류에 따라 약 1.5에서 2.0배정도 차이가 남을 알 수 있다.

case 6과 같은 조건에서 단지 뒤채움재를 CLSM(생형사, 후란사 및 방식사)종류를 달리 이용한 경우 지표면의 변위는 case 6번의 경우의 약 10~20%정도 수준으로 나타났고, 관변형도 80%정도 수준인 것으로 나타났다. 이는 강성관시공시 CLSM을 뒤채움재 이용하면 CLSM의 자기강도 발현특성으로 인해 지표면의 변형을 억제하는 효과가 매우 큰 것을 의미한다.

같은 조건에서 연성관을 이용한 경우(case

표 3. 해석사례별 지표면변위 및 관변위

Case	베딩재	관종류	뒤채움재	지표면변위(mm)	관변위(mm)	비고
1	토사	강성관	토사	10.2	1.65	
2			일반모래	3.18	1.53	
3			생형사	1.59	1.23	
4			후란사	1.87	1.33	
5			방식사	2.11	1.32	
6	일반모래	강성관	토사	9.99	1.02	기준사례
7			일반모래	2.96	1.05	
8			생형사	1.43	0.89	
9			후란사	1.69	0.95	
10			방식사	1.94	0.93	
11	토사	연성관	토사	10.5	2.68	
12			일반모래	3.29	1.92	
13			생형사	1.64	1.40	
14			후란사	1.94	1.54	
15			방식사	2.19	1.56	
16	일반모래	연성관	토사	10.1	1.80	
17			일반모래	3.03	1.34	
18			생형사	1.47	1.02	
19			후란사	1.74	1.11	
20			방식사	1.99	1.11	

16~20), 지표면의 변위감소 효과는 강성관의 경우와 거의 비슷한 수준을 나타냈고, 다만, 관변형의 경우 일반토사 뒤채움재 이용시의 약 50~60%수준을 나타냈다. 관변형의 절대값의 크기 역시 CLSM뒤채움재 이용시 강성관과 연성관의 차이가 거의 없어지는 것으로 나타났다. 이는 CLSM재료의 특징중 자기강도발현 특성에 의해, 양생이 됨에 따라 연성관주변의 CLSM재료가 굳어 강성화되고, 이것이 연성관과의 일체화를 통한, 연성관의 단면강도를 증진시켜준 효과로 해석할 수 있다. 사용된 CLSM의 종류중에서는 생형사를 이용한 CLSM 뒤채움재료의 특성이 지표면변위 및 관변형을 최소화할 수 있는 것으로 나타났다.

표 4는 해석사례별 관자체의 주요부위에서의 변형량을 나타낸 것이다. 강성관의 경우 천단부와 저부에서의 발생 변형량의 차이가 약 0.1mm 정도인 것으로 나타났고, 연성관의 경우 0.3mm~0.9mm 정도로 나타났다. 이는 관의 강성특성이 반영된 결과이다.

뒤채움재의 종류에 따른 관의 주요부위에서의 변형특성은 사용한 CLSM의 종류 및 CLSM의 강도특성과 상당한 관계가 있는 것으로 나타났다. 즉, 시간에 따른 양생과정을 거치면서 뒤채움재의 강도가 발현되고, 강도가 발현된 CLSM이 하나의 록매스(rock mass)와 같은 거동특성을 나타내는 것을 의미한다.

그림 7은 case 1의 경우로, 베딩재로서 토사, 강성관, 토사뒤채움재를 이용한 경우의 관의 길이방향

표 4. 해석사례별 관자제의 주요부위에서의 변형량(mm)

Case	Crown	Shoulder	Springings	Haunch	Invert
1	1.24	1.20	1.18	1.16	1.12
2	1.16	1.12	1.10	1.08	1.04
3	0.91	0.88	0.87	0.85	0.83
4	0.97	0.94	0.92	0.91	0.88
5	0.99	0.96	0.94	0.93	0.90
6	0.71	0.68	0.66	0.64	0.61
7	0.76	0.72	0.70	0.68	0.65
8	0.62	0.59	0.58	0.57	0.54
9	0.65	0.62	0.60	0.59	0.56
10	0.67	0.64	0.63	0.61	0.58
11	1.64	1.25	1.10	0.96	0.70
12	1.31	1.11	1.02	0.93	0.69
13	0.97	0.83	0.79	0.74	0.57
14	1.05	0.90	0.84	0.78	0.60
15	1.07	0.92	0.86	0.80	0.62
16	1.02	0.68	0.61	0.55	0.47
17	0.87	0.70	0.65	0.61	0.52
18	0.66	0.56	0.54	0.51	0.45
19	0.71	0.59	0.56	0.53	0.46
20	0.73	0.61	0.58	0.55	0.48

으로의 변형양상을 보여주고 있다. 변형량의 절대값이 매우 작은편이라, 실제 변형량의 2000배 확대한 그림이다. 그림 8은 같은 조건에서의 관자체의 변형특성을 관의 전단면에 표시한 그림이다.

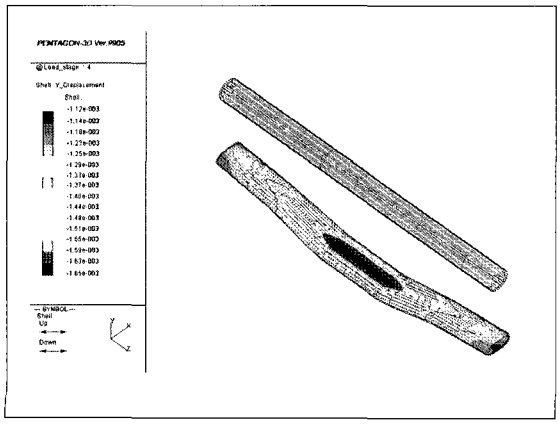

그림 7. 관의 길이방향 변형량(Case 1)

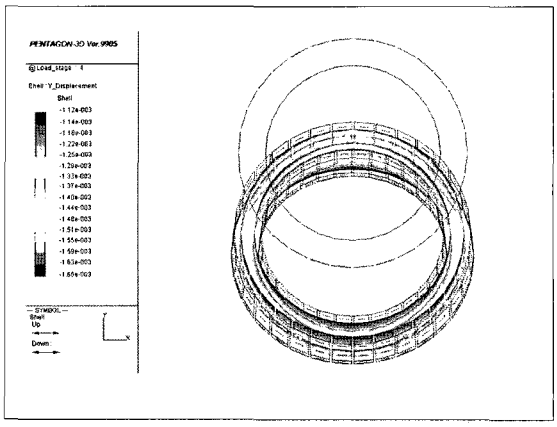

그림 8. 관자체의 변형특성(Case 1)

6. 결론 및 향후연구과제

본 논문은 도로하부 지하매설물용 CLSM을 적용한 지하매설물의 거동을 파악하기 위하여 유한요소 프로그램인 PENTAGON을 사용하여 베딩재(토사, 일반모래), 뒤채움재(토사, 일반모래, 생형사, 방식사, 후란사), 관의재질(강성관, 연성관)를 변화시킨 20가지 case에 대하여 지표면 변위, 관의 변위, 관의 주요절점에 대한 변위를 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- bedding재로 일반모래를 사용한 경우에 토사를 사용한 경우보다 지표면 및 관의 침하가 작게 일어남을 알 수 있었다.
- 뒤채움재로 CLSM을 사용하는 경우에 토사나 일반모래를 사용한 경우보다 지표면 및 관의 침하를 현저히 감소시키는 것으로 해석되었다. 이는 CLSM의 재료적 특성에 의한 것으로 시간에 따른 양생효과가 뒤채움된 영역의 강도증진효과로 나타난 것을 의미한다. 또한, 관의 침하문제의 경우 CLSM의 이용시 양생 및 고화특성이 관자체의 침하량을 상당히 줄여주는 역할을 하였다. 이는 관의 구조적 강성특성을 증진시켜주는 효과를 의미한다.
- 관의 주요절점에 대한 변위를 비교 검토하여 본 결과 관의 천단부에서 가장 큰 변위값이 나타났으며, 관의 저부로 내려갈수록 변위값이 작아짐을 알 수 있었다. 그리고 뒤채움재로 CLSM을 사용한 경우가 토사와 일반모래를 사용한 경우보다 주요절점의 변위값이 작게 나왔다.
- 관의 연직변위를 놓고 볼 때 토사 뒤채움을 사용한 경우에 연성관의 변위량이 강성관의 2배정도에 달했으나, CLSM으로 대체한 경우에는 오히려 토사 뒤채움에 강성관을 사용한 경우보다 변위가 줄어들었으며 CLSM 뒤채움에 강성관을 사용한 경우와도 유사하게 나타나 CLSM이 구조적인 지지역할을 확실히 함을 보여준다. 따라서. CLSM을 뒤채움재로 사용하는 경우에는 경제적인 연성관을 매설관으로 사용하는 데 큰 문제가 없는 것으로 해석되었다.

본 연구에 이어 현재 현장시험을 위한 기본준비가 진행중에 있고, 실내실험결과를 이용한 유한요소해석결과를 기초로 2가지 사례를 선정하여 현장적용성 시험을 계획중이다. 현장시험을 통해 얻어진 각종 실측값을 기존의 이론을 이용한 값과 유한요소해석결과와의 상호비교를 통해 설계에 필요한 설계입력변수를 결정하고, 이를 통한 적정한 설계법을 제시할 것이다. 또한, 상재하중을 차량하중을 적용하여 동하중에 의한 영향을 평가할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2003년 경성대학교 공학기술연구소 특별연구비 지원으로 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이관호, 조재윤, 신현무, 김남호 (2001), "폐주물사 및 방식사를 이용한 유동성 채움재의 최적배합설계 다짐특성연구", **폐기물학회지** 18권 4호, pp. 389-396
2. 이관호, 조재윤, 조윤호 (2002), "폐주물사를 이용한 유동성채움재의 절토구간 옹벽 뒤채움시 사일로토압 및 토압경감효과 연구", **한국도로포장공학회논문집**, 제 4권 2호, 통권12호, pp. 19-32
3. 정진호(1998), "금속-폴리에틸렌 복합관의 뒤채움하중에 관한 연구(1)", **대한토목학회지** 제 18권 제 Ⅲ-5호, pp609-624
4. 조성민, 이종구, 김명모(2002), "실규모 현장시험을 통한 원형 지중강판 구조물의 거동 분석", **대한토목학회논문집** 제23권 제1C호 pp47-58
5. 조재윤, 이관호, 이인모(2000), "유동특성을 이

용한 폐주물사 혼합물의 옹벽뒷채움재 연구", 한국지반공학회, Vol. 16, No. 4, pp17-30
6. Bulson, P.S. (1985), *Buried Structures (Static and Dynamic Strength)*, Chapman and Hall
7. Lee, K., Cho, J., Rodrigo, S. & Lee, I (2001), "Retaining Wall Model Test with Wast Foundry Sand Mixture Backfill", *ASTM Geotechnical Testing Journal*, Vol. 24, No. 4, pp. 401-408
8. Peindl, R. D., Janardhanam, R., and Burns, F (1992), "Evaluation of Flowable Fly Ash Backfill. Part I: Static loading", *Journal of Geotech. Engrg., ASCE*, Vol. 118, No. 3, pp. 449-463
9. Peindl, R. D., Janardhanam, R., and Burns, F (1992), "Evaluation of Flowable Fly Ash Backfill. Part II: Dynamic loading", *Journal of Geotech. Engrg., ASCE*, Vol 118, No. 3, pp. 464-474
10. Young, O.C. & J.J. Trott (1984), *Buried Rigid Pipes*, Elsevier Applied Science Publishers

〈접수 2003. 4. 14〉