

지하매설관의 파손저감을 위한 신개념 유동성 뒤채움재(CLSM)



이 관 호 >>

공주대학교 건설환경공학부 부교수

1. 서 론

도로하부 지하매설물은 주로 정부에서 관리하는 중요한 토목구조물로서, 주로 상하수도관, 각종통신선로, 도시가스관등이 있고, 이외에도 고속도로변의 배수관거 등이 있다. 이러한 지하매설물의 설치과정은 기존의 도로 또는 지반의 굴착과 굴착면을 정리 후 콘크리트 또는 모래를 이용하여 베딩재를 설치하고, 이 위에 지하매설물을 설치한다. 지하매설물 설치가 끝나면 굴착된 나머지부분에 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 지하매설관의 경우 관의 하단부의 다짐이 매우 어렵고, 또한 다짐효율이 떨어져서

지하매설물의 안정성을 저감시키고, 이로 인해 파손이 발생한다. 이러한 지하매설물의 시공 및 유지관리상에서 발생하는 많은 문제점을 해결할 수 있는 방법중의 하나가 유동성 뒤채움재(Controlled Low Strength Materials, CLSM)를 이용하는 것이다. 유동성 뒤채움재는 저강도 콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여 만들어진 것으로, 비수축 채움재(unshrinkage 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.

이에 본 글에서는 지하매설물 설계에 적용되고 있는 기존의 토압 및 변형이론과 같은 조건에서 뒤채움재의 종류를 변화시킨 실내 모형실험을 실시하여 계측 결과값을 도출하고 상용 유한요소해석 프로그램인 PENTAGON-3D를 이용한 사례별 수치해석 결과값을 상호 비교 검토하였다. 이를 통하여 유동성 채움재(CLSM)를 대체 뒤채움재로 적용하기 위한 도로하부 지하매설물용 뒤채움재 및 매설관의 변형거동특성을 평가하였다.

2. 지하매설관의 시공

2.1 지하매설관의 종류

매설관의 종류는 분류방법에 따라 다양하지만 일반적으로 매설관 본체의 강성도, 매설방법, 사용재료 및 구조형식, 사용목적 등에 따라 분류할 수 있으며, 강성도에 따라 분류할 경우, 강성관과 연성관으로 매설 방법에 따라 분류할 경우 골랑형 매설관, 돌출형 매설관으로 분류된다. 관의 매설 방법에 따라서 분류하면 (그림 1)과 같다.

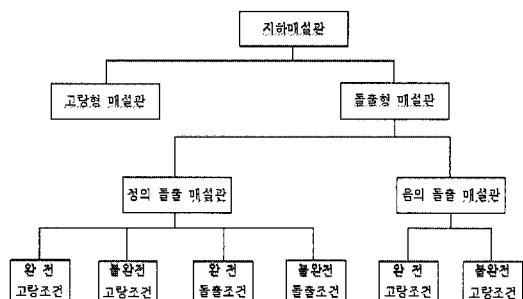


그림 1. 매설 방법에 따른 관의 분류

고랑형 매설관은 비교적 좁은 도량에 설치된 관으로서 뒤채운재를 관위에 채우는 형식이다. 이런 종류의 관은 하수관, 배수관, 가스관 등이 있다. 완전 돌출 매설관은 원지반 표면 위에 관을 설치한 후 관 상단부를 되메움하는 형식의 관이다.

2.2 지하매설관의 시공순서

지하매설관의 시공은 일반적으로 터파기, 배딩재 조성, 관의 설치, 단계별 성토 · 다짐하는 순으로 중간 층 및 상부층 조성, 하중재하 순으로 실시한다. 이때 관 주변을 다짐할 경우 소형 컴팩터를 사용하고, 관의 상부층을 조성하는 경우에는 다짐 롤러를 사용한다. (그림 2)는 시공현장의 단계별 시공순서를 보여준다.



1. 터파기 상태



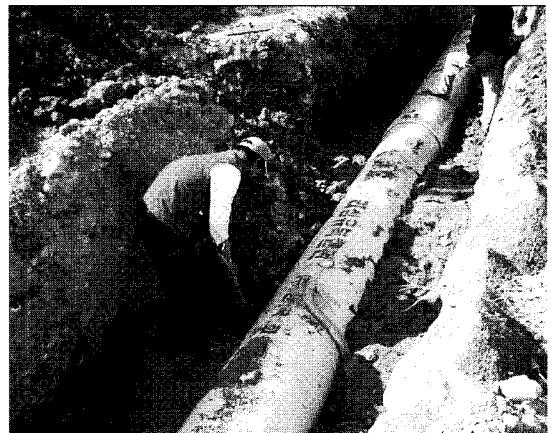
2. 배딩재 조성



3. 배딩재 다짐 과정



4. 베딩재 다짐완료 상태



7. 뒤채움재 성토



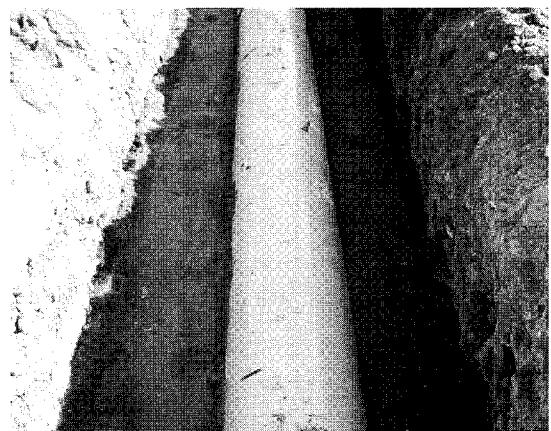
5. 유리섬유복합관 설치



8. 뒤채움재 다짐

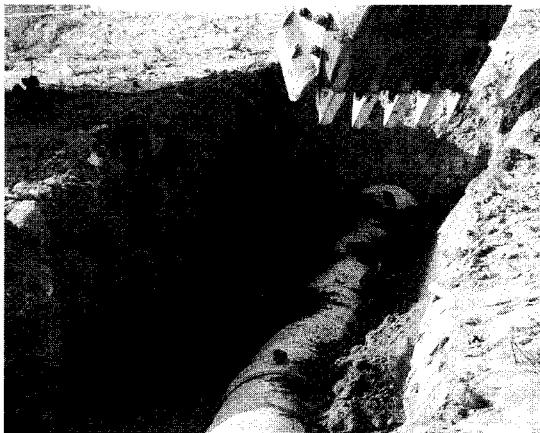


6. 관의 설치완료 상태



9. 관 주변 다짐완료 상태

지하매설관의 파손저감을 위한 신개념 유동성 뒤채움재(CLSM)



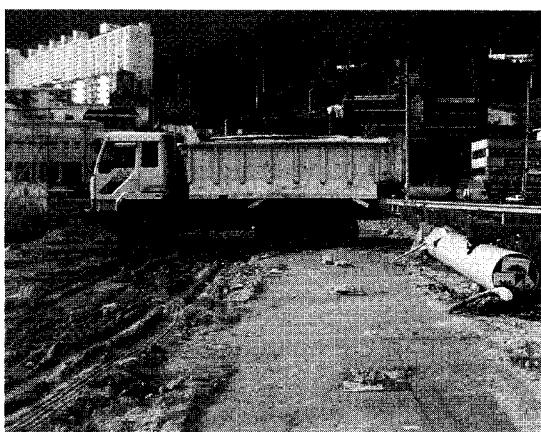
10. 단계별 성토



13. 단계별 성토 완료



11. 단계별 성토 다짐①



14. 차량하중 재하



12. 단계별 성토 다짐②

그림 2. 시공현장의 단계별 시공순서

2.3 되메우기 시공

2.3.1 일반 되메우기용 재료

표 1. 포장 하부 되메우기용 재료

항 목	기준값
최대치수	10mm 이하
4.75mm 통과량	25~100%
75μm체 통과량	15% 이하
소성지수	10 이하
수침CBR	10% 이상

(1) 포장지역

포장 하부 구조물의 되메우기용 재료는 유기질토, 동토, 빙설, 초목, 다량의 부식물을 포함한 흙이 섞이지 않아야 하며, 다음의 규정에 적합한 것이어야 한다.

(2) 기타지역

포장지역을 제외한 기타 지역의 되메우기용 재료는 흙깎기 또는 터파기한 흙 중에서 양질의 토사를 선별하여 사용하되, 사용 전에 감독자의 승인을 받아야 한다.

2.3.2 기초 되메우기용 재료

각종 관로 및 외부방수 처리된 구조물의 기초 되메우기용 재료는 2.3.1 항의 규정을 따르되, 최대 치수 항목을 50mm로 하고, 부식방지를 위하여 피복된 파이프나 외부방수 처리된 구조물의 기초 되메우기용 재료는 최대치수를 25mm이하로 한다. 또한 기초 되메우기용 재료는 관이나 피복재, 방수층을 손상시킬 수 있는 날카로운 모서리를 갖지 않아야 한다.

2.3.3 되메우기 – 뒤채우기

(1) 되메우기는 불순물, 유기물 등이 함유되지 않은 양질의 토사를 최적함수비에 가까운 함수비로 다짐완료 후의 두께가 20cm이내가 되도록 퍼서, 전압기 또는 래머 등으로 규정된 밀도로 충분히 다져야 한다.

(2) 되메우기의 다짐도는 시험실 최대건조밀도에 대한 현장 다짐밀도가 다음 기준 이상 이어야 한다.

(3) 되메우기는 지하구조물의 방수층 또는 관로에 손상을 주지 않도록 주의해서 시공해야 하며, 외부방수 처리된 구조물의 경우에는 구조물의 상부 슬래브나 외벽으로부터 1m까지, 관로의 경우에는 관상단 까지 기초 되메우기용 재료를 사용하여 조심스럽게 되메우기 하여야 한다.

(4) 관로, 하수암거, 공동구 등의 구조물은 양쪽을 동시에 되메우기 하여 편압이 발생치 않도록 해야하며, 되메우기용 중장비는 기초나 용벽으로부터 최소한 뒤채움 높이 만큼 떨어져서 작업을 해야한다.

표 2. 되메우기의 다짐도 기준

구 분	기준값	
	점성토	비점성토
포장하부	90	95
보도 및 기타지역	85	90

(5) 되메우기는 강도 발휘시간이나 모르터의 경화 시간을 고려하여 콘크리트 및 방수공사 시공 후, 적어도 7일 이상 경과 후에 시행하되, 모든 검사·시험이 끝나고 감독관의 승인이 날 때까지 되메우기를 시행하여서는 아니된다.

(6) 되메울 부분에 물이 고여 있을 경우에는 되메우기 전에 완전히 제거하고, 건축물에서 바깥쪽으로 2% 정도 구배를 두어 건물피트 내로 우수가 침입하지 못하도록 하여야 한다.

(7) 되메우기는 젖은 지반이나 스폰지지반, 동결지반에 시공해서는 안되며, 젖거나 덩어리지거나 동결된 재료를 되메우기 재료로 사용해서도 안된다.

(8) 되메우기 장소는 작업을 시작하기 전에 거푸집, 가설물 등의 잔여재를 깨끗이 제거한 다음 시공하여야 한다.

2.4 지하매설관 시공의 문제점

강성관은 흙에 비해서 큰 강성을 가지며 부(-)의 아침효과가 정돌출형 매설관 인 경우에 주로 발생하게 된다. 그리고 강성관의 주요한 파괴양상은 관 표면의 균열과 파쇄가 원인이 된다. 그럼 3은 관의 각 부분의 정의와 강성관 및 연성관의 변형양상을 보여준다.

연성관은 흙에 비해서 작은 강성을 가지며 매설관에 작용하는 연직응력이 토피압력보다 작기 때문에 정(+)의 아침효과가 나타나게 된다. 그리고 연성관의 주요한 파괴양상은 과다한 관의 변형에 의해서 발생된다. 또한 수평방향의 변형은 흙의 수동저항을 유발하여 뒤채움재가 잘 다져 진 경우에는 상부 연직응력과 수평 저항응력이 같아진다.

또한, 기존의 뒤채움재 사용 시 부적절한 다짐(과

다짐 또는 빈다짐)으로 인해 아래와 같은 문제점들이 발생할 수 있다.

(1) 되메우기 다짐 시 관의 손상을 가져올 수 있으며, 다짐불량으로 도로의 함몰이 발생할 수 있다.

(2) 일반적인 토사를 되메우기 재료로 사용하는 경우에는 다짐이 느슨하게 되었거나 매설깊이가 충분하지 않은 상태에서 윤하중이 작용하면 매설관이 파괴될 가능성이 매우 크다.

(3) 지하매설물의 시공과정에서 베딩면과 뒷채움재의 적절한 다짐이 필요하고 이것이 지하매설물의 안정에 절대적인 역할을 하나 기존의 시공법의 경우 특히 원형 지하매설관의 경우는 관의 하단부 다짐이 매우 어렵고 다짐효율이 떨어져서 지하매설물의 안정성을 저감시키고 이로 인해 각종 파손이 발생한다.

(4) 다짐이 균등하게 이루어지지 않는 경우에는 상대적으로 다짐도가 큰 부분에 아칭효과에 의한 응력 집중이 발생하고 이로 인해 이 부분과 접촉한 관의 일부에 상부하중이 과다하게 집중 전달되어 관의 파손을 가져올 수 있다.

3. 유동성 뒤채움재 (CLSM)

유동성 뒤채움재(CLSM)는 저강도 콘크리트 개념을 지반공학에 적용하여 만들어진 것으로, 유동성 뒤채움재, 비수축 채움재(unshrinkage fill), 강도조절 채움재(controlled strength fill), 유동성 모르타르 (flowable mortar), 흙-시멘트 슬러리(soil-cement slurry), K-Krete 등으로 불린다. 이의 대

표적인 특성은 자기수평능력(self-leveling), 자기다짐(self-compacting), 유동성(flowability), 인위적인 강도조절, 시공 후 재 굴착이 용이, 시공단계를 줄여 시공비 절감이 가능하다는 것이다.

국내의 경우 기존의 토사 뒤채움재를 사용하는 경우에 매립된 관의 거동에 대한 연구는 있었으나 유동성 채움재와 관련된 기 수행된 연구는 초기단계이다. 최근 조재윤 등(2000), 이관호 등(1999, 2001, 2002), Lee et al.(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.

국외의 경우, Bulson(1985)는 유한요소법을 사용하여 강성매설관 둘레의 응력분포에 대한 연구를 발표하였다. 이 연구의 결과로는 관의 측면부(springings)와 천단부(crown)는 주 응력방향으로 접선방향응력이 0임을 알 수 있으며 천단부의 압축응력이 상재하중(overburden pressure, $9.8N/m^2$)보다 커서(-)의 아칭효과(arching effect)가 발생함을 알 수 있었고, 베딩재가 모래인 경우 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.

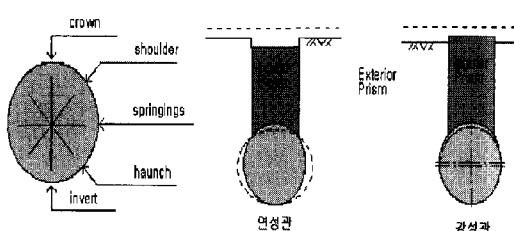


그림 3. 관의 각 부분의 정의와 강성관 및 연성관의 변형양상

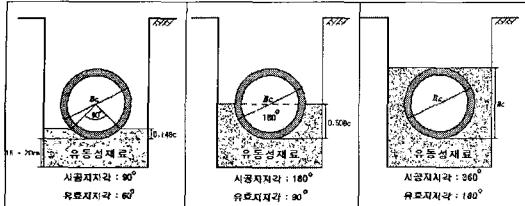


그림 4. 기존 다짐재료의 대체 효과
(일반모래 → 유동성재료 사용)

그 연구결과로써 뒤채움 흙의 강성도가 작은 경우에는 관은 일반적으로 타원모양의 변형양상을 보이나 보다 단단한 흙에서는 조금의 편차가 발생함을 밝히고 있다.

Peindl 등(1992-a,b)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. 그 연구결과로써 일반적인 토사 성토와 플라이애쉬에 의한 성토 후 차량하중을 정적, 동적으로 가했을 때, 성토 중에 매설한 파이프의 변위를 측정·비교함으로써 플라이애쉬가 일반 토사보다 성토재로서 우수함을 증명하였다.

4. CLSM을 이용한 모형관 실험

4.1 실험재료의 물성

4.1.1 시료

(1) 일반모래

본 실험에 사용된 일반모래의 기본특성은 최소건조단위중량(γ_{dmn}) 1.33 t/m^3 , 최대건조단위중량(γ_{dmax}) 1.47 t/m^3 , 조립률 2.88, 균등계수(Cu) 2.37, 곡률계수(Cg) 0.78, 비중 2.556으로 통일분류법상 입도분포가 나쁜모래 또는 자갈질의 모래인 SP 판명되었다. 아래에 나타난 (그림 5)는 일반모래의 입도분



일반모래 입도분포곡선

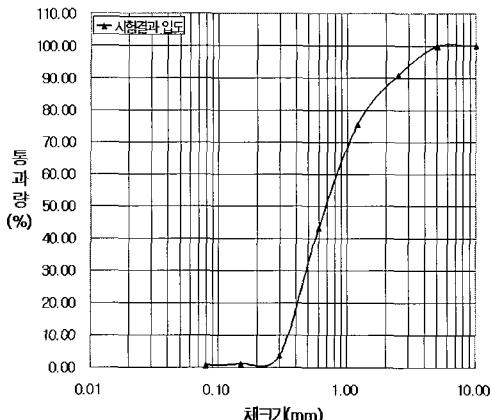


그림 5. 일반모래 입도분포곡선

포곡선이다.

(2) 현장발생토사

뒤채움재로 사용한 현장발생토사는 한국토지공사 “양산·물금지구 택지개발사업”현장에 넓게 분포되어있는 시료로 기본특성은 현장 자연함수비 14.06%, 조립률 2.84, 균등계수(Cu) 7.29, 곡률계수(Cg) 1.70, 비중 2.565로 통일분류법상 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래인 SW로 판명되었다. 아래에 나타난 (그림 6)은 현장발생토사의 입도분포곡선이다.

4.1.2 베딩재

베딩재로는 일반모래를 사용하였으며, 모형토조 바닥면에서 15cm 성토하였다.

4.1.3 뒤채움재

본 연구에 사용된 뒤채움재로는 일반모래와 유동성채움재(CLSM)를 사용하였다. 일반모래 뒤채움재의 경우는 베딩재와 기본특성이 동일한 시료를 사용하였으며, 유동성 채움재(CLSM)의 뒤채움인 경우는 (표 1)에 나타난 실험재료의 배합비와 같이 방식사와 현장발생토사에 플라이애쉬와 물, 1.5~3.24%정도

지하매설관의 파손저감을 위한 신개념 유동성 뒤채움재(CLSM)

현장발생토사 입도분포곡선

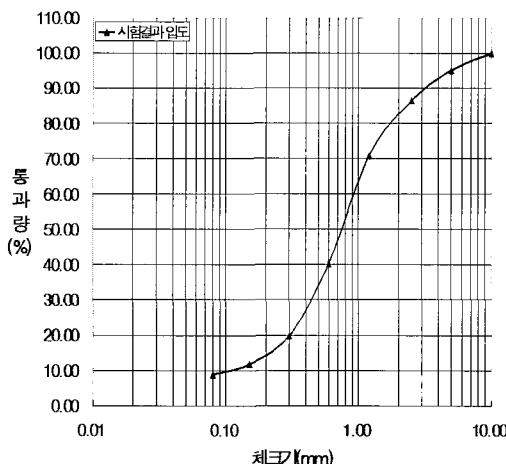


그림 6. 현장발생토사 입도분포곡선

소량의 시멘트를 혼합하여 사용하였다. 아래에 나타난 (표 2)와 (표 3)은 유동성채움재(CLSM)의 양생일(1, 7일)별 일축압축강도와 기본물성치(C , ϕ)를 나타내고 있다.

표 1. 실험재료의 배합비(%)

재료별	시료	플라이애쉬	물	시멘트
방식사 CLSM	45.71	28.97	23.81	1.50
현장발생토사 CLSM	54.02	19.89	22.84	3.24

표 2. 실험재료의 일축압축강도 (kgf/cm²)

재료별	양생시간	1일양생	7일양생
방식사 CLSM		1.78	4.33
현장발생토사 CLSM		1.24	2.43

표 3. 실험재료의 기본물성치(C , ϕ)

재료별	양생시간	1일양생		7일양생	
		C (kgf/cm ²)	ϕ (°)	C (kgf/cm ²)	ϕ (°)
방식사 CLSM		0.25	13.97	0.73	27.33
현장발생토사 CLSM		0.50	11.61	0.95	12.61

표 4. 파형강관 구조의 단면제원 (원형IS형)

기호	치수		
	파의피치(P)	파의깊이(H)	파의 굽힘 반지름(r)
SGHC	68mm	13mm	17.5mm



그림 7. 파형강관 구조 단면형상

4.1.4 파형강관의 물성

본 연구에 사용된 파형강관은 원형 1S형의 직경 300mm, 두께 2.0mm를 선택하였으며, 단면의 구체적인 제원은 (표 4)에 나타내었다. 파형강관의 탄성계수는 2.1×10^7 tonf/m³, 단위중량은 7.85tonf/m³이다. (그림 7)은 파형강관 구조 단면형상을 나타내고 있다.

4.2 실험장치

4.2.1 모형토조 및 재하장치

(1) 모형토조

실내모형 실험에 사용된 모형토조의 크기는 가로 140cm, 세로 60cm, 높이 90cm의 강재로 제작하였으며, 관의 직경을 변화시켜 실험할 수 있도록 제작되었다. 실험조건을 단순화하기 위해 벽면마찰의 영향을 최소화할 수 있도록 모형 토조 표면에 패인트를 설치하여 매끈하게 하였다. (그림 8)은 실내모형 실험장치를 나타내고 있다.

(2) 하중 재하장치

모형토조 상부에 직경 30cm의 원형판을 중앙부에 설치하고, (그림 9)에 보이는 로드쉘 과 하중 재하장치를 이용하여 정하중을 재하 하였다.

4.2.2 계측센서 및 계측장비

관의 내공변위(수직·수평변위)측정을 위하여 변

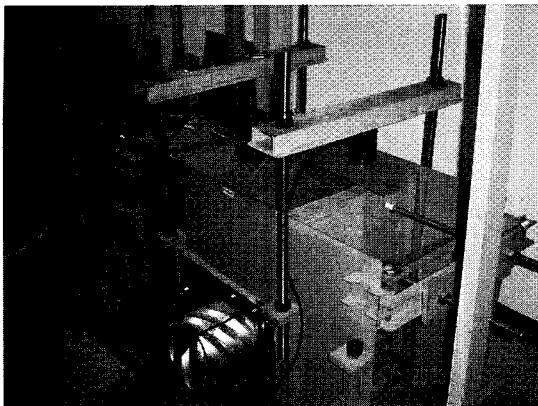


그림 8. 파형강관 구조 단면형상

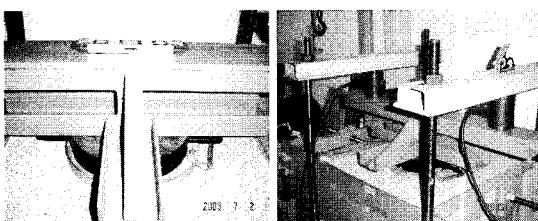


그림 9. 하중 재하장치

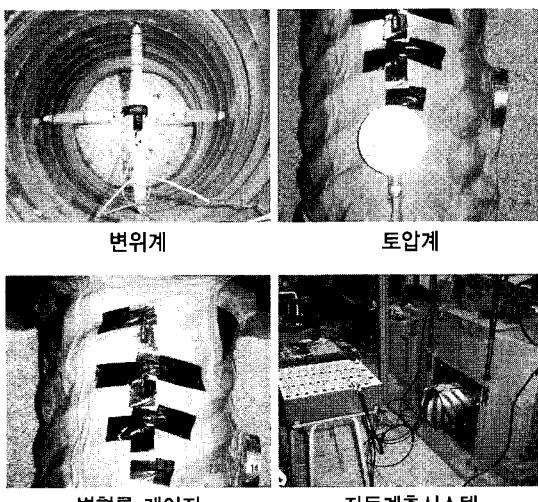


그림 10. 설치된 계측센서 및 자동계측장비

위계를 사용하였으며, 이 변위계는 PI-5-100 이었다. 관의 수직·수평에 걸리는 토압을 측정하기 위하여 KDC-200KPA 토압계를 사용하였다. 관의 횡단·종단방향의 변형특성을 알기 위하여 스틸용(WFLA-3-11-1L) 변형률 게이지를 사용하였다. 또

한, 하중재하를 위하여 CCDM-30000 제품을 사용하였다. 위에서 언급한 계측기를 이용한 측정을 위해 정적변형시스템(Static data logger)을 사용하였으며, 이는 TDS-302, 스위치박스로 각각 10개와 50개의 채널로 구성되었다.

4.3 실내모형 실험단면의 조건

실험은 (표 5)에 나타난 것과 같이, 실내모형 실험에서 고려해 볼 수 있는 여러 가변 조건중 뒤채움재의 종류를 변화시키는 3가지 사례에 대해서 제작된 모형토조를 이용하여 실내모형 실험을 실시하였다.

표 5. 실내모형 실험단면의 조건(3가지 사례)

Case	배당재	관종류	뒤채움재
1	일반모래	파형강관	일반모래
2	일반모래	파형강관	방식사
3	일반모래	파형강관	현장발생토사

4.4 실험절차

(1) 초기상태

실험조건을 단순화하기 위해 벽면마찰의 영향을 최소화할 수 있도록 모형토조 표면에 페인트를 칠하고, 매끈하게 아스테이지를 부착하였다.

(2) 배당재 조성

배당재를 조성하기 위하여 1층에 일반모래 25kg를 채운 후 자체 제작된 다짐롤러를 이용하여 100회 다짐을 3층 실시하였다.

(3) 파형강관의 설치

배당재위에 파형강관을 설치하고, 수직·수평 변위계와 횡단·종단방향 변형률 게이지를 관의 내·외부에 부착하였다.

(4) 중간층 조성 및 계측기 세팅

중간층을 조성하기 위하여 일반모래를 15cm 채운 후 몸무게 80kg인 사람을 기준으로 50회 발다짐을 2층 실시하였다. 발다짐을 1층 실시 후 변위계, 토압계

및 변형률 측정기를 TDS-302와 스위치박스에 연결하였다.

(5) 상부층 조성

상부층을 조성하기 위하여 1층에 일반모래 60kg를 채운 후 자체 제작된 다짐롤러를 이용하여 60회 다짐을 4층 실시하였다.

(6) 하중재하

하중재하는 뒤채움재의 종류에 따라 다르게 적용하였다. 일반모래의 경우 타설직 후, 유동성 채움재(CLSM)는 타설 후 7일 양생기간을 거친 후에 하중재하 와 하중제하 과정을 2회 반복 실시하였다.

하중재하 과정은 300, 600, 900kgf 씩으로 하중을 증가시킨 후 1분 정도의 안정화를 실시하고, 재하가 가능한 최고치까지 하중재하 후 2분 정도의 안정화를 실시하였다. 그리고 하중제하 과정은 최고치 하중의 반을 재하 후 1분 정도의 안정화 실시하고, 하중을 완전하게 제거 후 2분간의 안정화를 실시하였다.

4.5 실험 결과 및 수치해석 분석

본 연구에서 적용시킨 3차원 유한요소 해석 프로그램인 Pentagon-3D에서 해석하였으며 적용시킨 시공과정에 따른 모델링은 (그림 11)과 같다.

유한요소프로그램을 이용하여 해석한 해석사례별 관변위 및 지표면변위는 (표 6)에 나타난 것과 같다. 사용한 유동성 채움재(CLSM)의 종류중에서는 방식사와 현장발생토사를 비교검토해 본 결과 방식사를 이용한 유동성 채움재(CLSM) 재료의 특성이 지표면의 변위 및 관변형을 최소화할 수 있는 것으로 나타났다.

(표 7)은 해석사례별 관자체의 주요부위에서의 변형량을 나타낸 것이다. 뒤채움재의 종류에 따른 관의 주요부위에서의 변형특성은 사용한 유동성 채움재(CLSM)의 종류 및 유동성 채움재(CLSM)의 강도특성과 상당한 관계가 있는 것으로 나타났다.

즉, 시간에 따른 양생과정을 거치면서 뒤채움재의 강도가 발현되고, 강도가 발현된 유동성 채움재

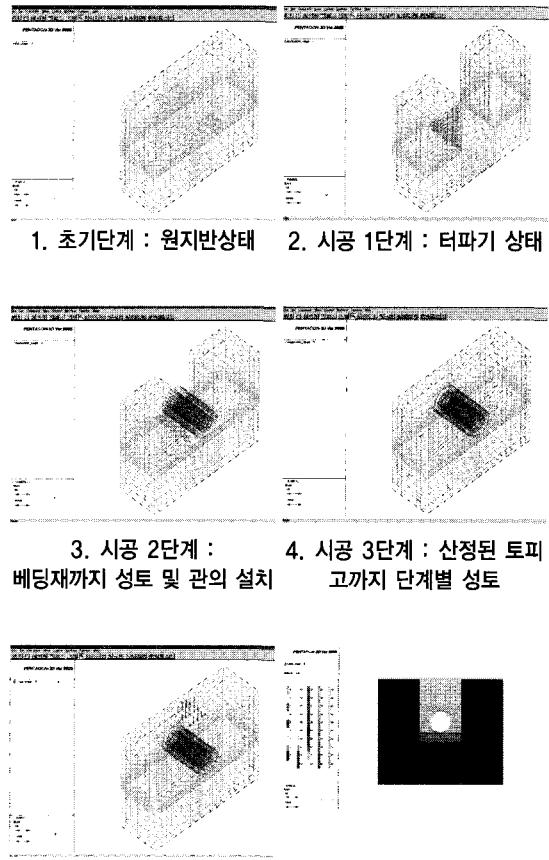


그림 11. 파형강관 모델의 유한요소 해석상 적용된 시공과정 모델화

(CLSM)가 하나의 암반(Rock Mass)과 같은 거동특성을 나타내는 것을 의미한다.

도로하부 지하매설물용 유동성 채움재(CLSM)를 적용한 지하매설물의 거동을 파악하기 위하여 원형지하매설관에 대한 실내모형실험을 수행하였다. 같은 조건에서 뒤채움재의 종류에 따른 관의 수직·수평변위, 횡단·종단변형률, 관의 수직·수평토압의 비교검토로부터 유동성 채움재(CLSM)를 이용한 지하매설관의 변형특성을 연구하였다. 그리고 상용 유한요소해석 프로그램인 PENTAGON-3D를 사용하여 도로하부 지하매설물용 유동성 채움재(CLSM)를 적용한 지하매설물의 수치해석을 수행하여 실내모형실험

표 6. 해석사례별 지표면변위 및 관변위

사례	베딩재	관종류	뒤채움재	관변위(mm)	지표면변위(mm)	비고
1	일반모래	파형강관	일반모래	0.21	0.21	차량하중 재하 전
2	일반모래	파형강관	방식사	0.21	0.21	
3	일반모래	파형강관	현장발생토사	0.22	0.22	
1	일반모래	파형강관	일반모래	0.90	7.16	차량하중 재하 후
2	일반모래	파형강관	방식사	0.72	2.71	
3	일반모래	파형강관	현장발생토사	0.81	4.37	

표 7. 해석사례별 관자체의 주요부위에서의 변형량(mm)

사례	Crown	Shoulder	Springings	Haunch	Invert	비고
1	0.21	0.20	0.19	0.18	0.15	차량하중 재하 전
2	0.21	0.19	0.18	0.17	0.15	
3	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	
1	0.90	0.77	0.71	0.65	0.54	차량하중 재하 후
2	0.72	0.63	0.58	0.54	0.46	
3	0.81	0.70	0.64	0.59	0.50	

에서 확인된 뒤채움재에 따른 관의 변위, 지표면의 변위 및 관의 천단·하부에서의 변위와 주요 절점 변위를 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 차량하중 재하 후 하중에 따른 수평토압은 실험 값의 경우 유동성 채움재(CLSM)를 뒤채움재로 사용하였을 때 일반모래를 사용한 경우의 12~15%정도의 수준으로 나타났고, 이론값에 비해 실험값은 3~50%정도 수준이었다. 이는 유동성 채움재(CLSM)의 재료적인 특성인 일정시간 양생이 진행되는 과정에서 자기강도가 발현된 유동성 채움재(CLSM)가 암반과 같은 거동특성으로 인한 것과 유동성 채움재(CLSM)의 배합·타설 후 물과 다른재료와의 결합상태 불량으로 시간에 따른 양생이 진행됨에 따라 기존에 가지고 있던 유동성 채움재(CLSM)의 고유의 단위증량이 배합된 재료가 물에 의해서 배출됨에 따른 감소로 해석할 수 있다.

- PENTAGON-3D를 이용한 수치해석결과는 사례 1과 같은 조건에서 단지 뒤채움재를 유동성

채움재(CLSM)종류를 달리 이용한 경우 차량하중을 재하 하기 전의 관변위와 지표면변위는 사례 1의 경우와 같은 수준으로 나타났고, 차량하중을 재하한 경우 지표면의 변위는 사례 1경우의 사례 2는 38%, 사례 3은 61%정도 수준으로 나타났고, 관변형은 사례 2는 80%, 사례 3은 90%정도의 수준인 것으로 나타났다. 이는 지하매설관 시공시 유동성 채움재(CLSM)를 뒤채움재로 이용하면 유동성 채움재(CLSM)재료의 특징중 자기강도 발현특성에 의해, 양생이 됨에 따라 관주변의 유동성 채움재(CLSM)재료가 굳어 강성화되고, 이것이 파형강관과의 일체화를 통한, 파형강관의 단면강도를 증진시켜준 효과로 해석할 수 있다. 사용한 유동성 채움재(CLSM)의 종류중에서는 방식사와 현장발생토사를 비교검토해 본 결과 방식사를 이용한 유동성 채움재(CLSM)재료의 특성이 지표면의 변위 및 관변형을 최소화할 수 있는 것으로 나타났다.

- 관의 주요절점에 대한 변위를 비교 검토하여 본 결과 관의 천단부에서 가장 큰 변위값이 나타났

으며, 관의 저부로 내려갈수록 변위값이 작아짐을 알 수 있었다. 그리고 뒤채움재로 유동성 채움재(CLSM)를 사용한 경우가 일반모래를 사용한 경우보다 주요절점의 변위값이 작게 나왔다.

5. 결 론

라이프라인은 인간에게 필요한 각종 생활편익을 제공하고 있지만 지하매설물의 파손은 그 특성상 공공의 이익을 해치는 것으로, 특히 시민의 기본생활을

침해할 수 있으므로 이의 시공 및 유지관리에 많은 관심을 가져야할 필요가 있다.

앞서 언급된 바와 같이 현재 사용하고 있는 지하매설물 뒤채움재와 지하매설관 파괴의 상관관계 조명이 시급히 이루어져야 하며 각 현장에 맞는 적재적소의 뒤채움재 선택과 시공방법이 지하매설관 파손 저감에 대안이 될 수 있다. 또한 본 연구에 이어 실내실험결과 유한요소해석결과를 기초로 CLSM경우에 대해서 중차량하중을 이용한 대규모 현장적용성 시험이 이루어져 기존의 이론을 유동성 채움재(CLSM)와 차량하중등을 반영할 수 있도록 해야 할 것이다.