



현장발생토사 재활용 유동성채움재를 이용한 지하매설관의 거동평가

Performance Evaluation of Underground Pipe with In-Situ Recycled Controlled Low Strength Materials

이 관 호* 송 창 섭**

Lee, Kwan Ho Song, Chang Seob

Abstract

An existing Steel pipe, Cast iron pipe and Concrete pipe is can not escaped from aging, specially Metal tube is causing many problems that the quality of water worse is concerned about many rust and make efficient use of preservation of water. The use of Glassfiber Reinforced Plastic Pipe(GRP PIPE) should be one of the possible scheme to get over these problems. The GRP PIPE has an excellent resistance power and the life is lasting from 50 to 100 years roughly. It's to be useful as a result of high durability and a good construction work also it is a light weight therefore can be expected to short the time of construction and man power. In this research, to executed the small-scaled model test, in-situ model test using CLSM of in-situ soil and to evaluated the stress - strain of the pipe also try to estimated how useful is. From the model test in laboratory, the vertical and horizontal deformation of the GRP PIPE measured in six instance using 200mm and 300mm in diameters. The value of experimentation, theory, analysis got the same results of the test, but the vertical and horizontal deformation gauged in small and the earth pressure was almost zero using CLSM of in-situ soil.

Keywords : *underground structure, CLSM, bedding materials, backfill materials, rigid pipe, flexible pipe*

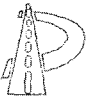
요 지

기존의 강관이나 주철관 그리고 시멘트 관은 시간의 경과에 따르는 노화현상을 피할 수 없으며, 특히 금속관은 부식으로 인한 수질 악화문제가 크고 누수에 따른 부족한 수자원 보존과 활용에 있어 예기치 않은 문제를 발생시켜 왔다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 지하매설용 유리섬유복합관을 사용하는 것이다. 유리섬유복합관은 충격에 대한 저항성이 우수하고 수명이 50년~100년 정도로 반영구적이다. 특히 뛰어난 내구성과 시공성이 탁월하여 신소재로 각광받고 있다. 그리고 중량이 가벼워서(강관의 1/4, 시멘트 관의 1/10) 운반 및 설치가 용이하고 공기단축 및 인력절감을 기대할 수 있다. 또한 잦은 관로 보수 및 교체공사에 따른 사회적·경제적 손실을 최소화 할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 유리섬유복합관을 이용하여 실내모형실험을 수행하여 관의 응력-변형특성을 평가하였다. 실내모형실험의 경우 관경 200mm와 관경 300mm를 사용하여 하중재하 전과 후의 수직·수평변위, 수직·수평토압을 6가지 사례에 대해서 측정하였다. 측정결과 실험값과 이론값 모두 비슷하게 측정되었다. 하지만, 현장발생토사를 이용한 유동성 뒤채움재를 사용한 경우, 수직·수평변위는 매우 작게 측정되었고, 토압은 거의 0에 가까운 값으로 계측되었다.

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

* 정회원 · 경성대학교 건설·환경공학부 · 부교수

** 정회원 · 경성대학교 토목공학과 · 석사



1. 연구배경 및 목적

도로하부 지하매설물은 주로 정부에서 관리하는 중요한 토목구조물로서, 상하수도관, 각종 통신선로, 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.

라이프라인은 인간에게 필요한 각종 생활편의를 제공하고 있지만 지중에 매설되는 각종 관들은 그 위험성이 쉽게 노출되면서 피해가 엄청나게 발생할 수 있고 집중강우강도, 빗물의 적절한 배수로 미확보, 관로의 파손, 연결부의 결함 등으로 인한 피해사태가 발생하고 있는 실정이다. 특히 오늘날에는 배수량이나 배수망의 엄청난 확장과 장거리 수송, 고지대, 고층건물의 송수 등으로 배수관이 보다 가혹한 조건하에서 유지되어야 하므로 기존의 타 관의 기술적으로나 경제적인 측면에서 제반여건을 충족하기에는 한계에 도달하게 되었다. 더욱이 기존의 주철관, 강관, 콘크리트관 등은 노화현상과 잦은 관로 보수 및 교체 공사로 우리 사회에 많은 경제적 부담을 안기고 있으며, 국내 상하수도관의 총 연장 238,634km(상수관:122,493km, 하수관:116,141km)에 따른 수선 유지비용이 약 2조 8천억 원에 달한다고 한다(환경부, 2003). 그러므로 관의 부식과 파손이 최소화된 보다 효과적인 관로 시스템의 사용은 사회적, 경제적 측면에서만뿐만 아니라 환경 보전적인 면에서도 매우

중요하다고 할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 유리섬유복합관을 이용하는 것이다.

유리섬유복합관은 일반적으로 기존의 관에 비해 두께가 얇고, 비교적 가벼우므로 지중에 매설할 경우 시공과정이 비교적 단순해진다. 특히, 최근의 대단위 택지개발 현장이 주로 연약지반 등과 같이 토질조건이 비교적 열악한 지역에서 이루어지는 경우 침하문제 등에 있어서 기존의 관로에 비해 상대적으로 침하에 대한 문제가 작은 것으로 보고되고 있다. 이에 본 논문에서는 유리섬유복합관을 이용한 우수관의 하중에 대한 변형특성 및 침하특성을 평가하고자 한다.

2. 국내·외 연구활동 및 연구방향

현재까지 국내에서 유리섬유복합관을 이용한 학문적인 연구는 초기단계에 불과하며, 이와 관련해서 1970년대부터 시작되어 1980년대에 들어와 독일 호바스 타입의 유리섬유복합관 적용을 위한 타당성 연구가 일부 기업과 연구기관을 중심으로 진행되었지만, 당시 국내 철강산업 육성정책과 가격 경쟁력의 결여로 인하여 사업화는 추진되지 못하였다. 그 후 1990년대 중반부터 유리섬유복합관에 대한 인식이 널리 퍼지기 시작하면서 산업자원부 산하 기술표준원에서 1998년부터 유리섬유복합관 표준화 사업을 펼쳐 2001년에 WTO협정에 따라 국제 규격인 ISO 규격을 근간으로 “물 공급용 유리섬유 강화 플라스틱 압력관 및 이음관(KS M 3370)”을 제정하였다. 미국에서는 1971년에 유리섬유 복합관을 개발하여 상하수도 관로에 대대적으로 적용하고 있으며, 독일의 경우, 송유관 이송에 필요한 관을 개발하던 중 유리섬유복합관이 최적임을 인식하고 1970년대부터는 하수도에, 1980년대부터는 상수도에 적용하여 사용되고 있다. 일본은 PVC 관 생산 전문 회사가 미국으로부터 1970년대에 새 공법을 받아들여 일본에 맞는 유리섬유복합관 개발에 박차를 가하여 1980년대부



터 적용하고 있다.

3. 연구내용 및 방향

본 연구에서는 일반모래, 현장발생토사 그리고 현장발생토사 재활용 유동성채움재(Controlled Low Strength Materials, CLSM)를 이용한 유리섬유복합관의 거동특성을 평가하기 위해 다음의 4가지에 해당하는 연구를 실시하였다. 이중 뒤채움재의 기본 물성평가 및 실내모형챔버 시험결과를 본 논문에서 정리하였고, 현장시험 및 유한요소해석결과를 별도로 정리할 예정이다.

(1) 뒤채움재의 기본물성평가

라이프라인의 뒤채움재로서 현장발생토사를 이용하기 위하여 기본적인 물성평가시험을 수행하였다. 특히, 뒤채움재료에 대한 기본물성평가시험(입도, 비중) 등을 수행하였다.

(2) 실내모형챔버 실험

대규모의 현장실험을 위한 기본 자료획득을 위하여 먼저 실내에서 작은 모형챔버를 이용하여 실험을 수행하였다. 실내모형실험에서는 뒤채움재 시공으로 인하여 관에 작용하는 수직 및 수평토압을 결정하였다. 또한, 뒤채움재 타설 과정부터 하중 재하시 까지 계측을 실시하여 시공과정에서 발생하는 변형특성을 평가하였다. 도로위의 차량하중을 구현한 하중재하 실험을 이용하여 재하하중에 의해 발생하는 관의 변형을 결정하고 지표면 변위를 측정하였다.

4. 지중매설관에 작용하는 토압 및 변형

4.1 관주변 토압결정법

강성관은 자체의 강도 때문에 외부하중에 의한 변

형이 작다. 따라서 수평방향의 팽창정도가 적으므로 수평방향의 수동토압 유발은 거의 없다. 또한, 지반의 아칭효과 등에 의해 관에 작용하는 수평토압이 미소할 뿐 만 아니라 관내의 유체 중량을 고려하여 일반 구조검토에서는 수평방향 토압을 고려하지 않으나 엄밀히 하면 그림 1에서와 같이 관의 상부에 작용하는 연직토압과 기초에 의한 연직반력 그리고 수평토압을 고려한다. 그림에서 α 는 유효지지각으로 기초의 반력이 발현될 수 있는 폭을 정의한다. 일반적으로 콘크리트 기초인 경우에는 실제 시공지지각을 유효지지각과 동일하게 간주하고 있으나 모래 및 원지반 기초인 경우에는 유효지지각을 시공지지각 보다 작게 고려한다(이관호 등, 2001, 이관호 등 2002).

연성관에 작용한 응력분포를 Spangler는 그림 2와 같이 가정하였다.

- ①연직토압 : 관에 작용하는 연직토압은 관의 폭에 걸쳐 균등하게 분포한다.
- ②연직반력 : 관의 상부에 작용하는 연직토압과 거의 같으며, 기초 폭에 걸쳐 거의 균등하게 분포한다.
- ③수평토압 : 관의 중간부분에서 100° 에 걸쳐서 포물선 모양으로 분포한다. 최대 응력은 관의 수평단에서 발생하며 뒤채움한 흙의 수동저항계수에 수평 변형량의 1/2를 곱한 값과 같다.

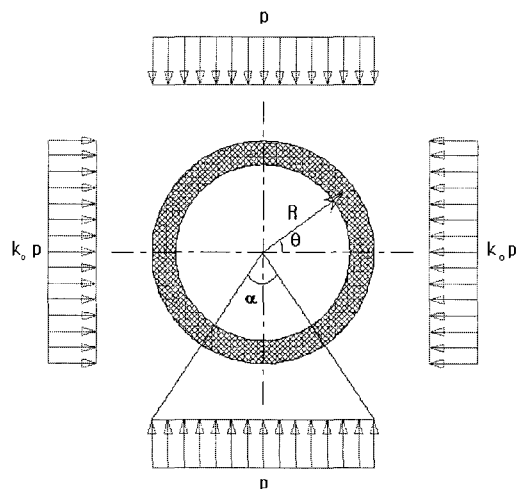


그림 1. 강성관 주변의 토압분포(Bulson, 1985)

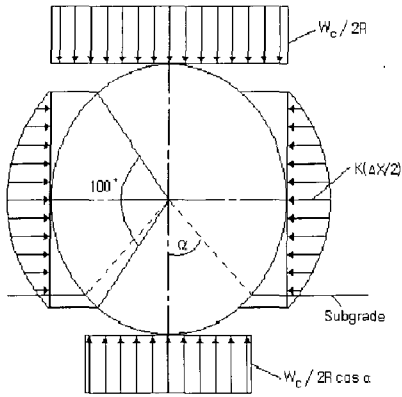
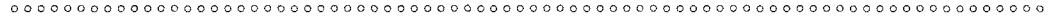


그림 2. 연성관 주변의 토압분포(Spangler, 1951)

4.2 차량운하중에 의한 지중응력 분포

매설관 위를 통과하는 차량에 의한 운압은 관의 매설깊이, 관의 크기, 타이어의 접지면적 및 하중분포각, 토질의 종류와 다짐 정도 등에 따라서 상당한 차이가 있다. 운압에 대한 제안 식에는 Marston방법 및 2:1 분포법 등이 있다.

(1) Marston의 방법

Marston은 운하중을 집중하중으로 보아 관의 매설깊이, 관의 길이와 폭, 충격계수 등에 의하여 다음과 같이 구하였다. W_i 는 관에 작용하는 운압(t/m^2), A 는 관의 길이, I_c 는 충격계수, C_i 는 하중계수(매설깊이, 관의 길이 폭에 따라 정해짐), P 는 충격하중($t/tire$)이다.

$$W_i = \frac{1}{A} I_c C_i P$$

(2) 2:1 분포법

Bowles는 지중에서의 개략적인 응력분포상태를 알 수 있는 방법으로서 깊이 2에 대하여 폭 1의 비율로 하중이 분포한다고 보았다. W_i 는 관에 작용하는 운압(t/m^2), P 는 집중하중(ton), L_1 및 L_2 는 재하관(tire)의 폭(m) 및 길이(m), H 는 깊이를 의미한다.

$$W_i = \frac{P}{(L_1 + H)(L_2 + H)}$$

4.3 토압에 따른 관 변형

매설관에 작용하는 총 하중에 의하여 관(연성관)은 변형을 일으킨다. 관의 변형은 관 상부의 하중과 관의 탄성계수와와의 비로써 구할 수 있다. 그러나 관의 탄성계수는 관과 흙에 상호 복합적으로 하중이 작용하므로 흙의 강성과 관의 강성을 같이 고려해야 한다. 연성관의 수평 변형량은 Spangler 공식에 의하여 산출된다.

$$\Delta X = \frac{\gamma_B \gamma_T W_C r^3}{EI + 0.061e_i r^4}$$

여기서,

- ΔX : 관의 수평 변형량(cm)
- γ_B : 베딩계수(통상 0.1 적용)
- γ_T : 변형지연계수(통상 1.5 적용)
- W_C : 관의 단위길이 당 연직하중(kgf/cm^2)
- r : 관의 반경(cm)
- E : 관 재료의 탄성계수(kgf/cm^2)
- I : 관의 단면 2차 모멘트(cm^4/cm)
- e_i : 관 양단의 수동저항계수(kgf/cm^2)

위의 식에서 베딩각의 변화에 따른 베딩계수의 값은 표 1과 같고, 관 양단의 수동저항계수 e_i 는 표 2와 같다.

표 1. 베딩각에 따른 베딩계수

기초지지각 (2θ)	0°	30°	60°	90°
베딩계수	0.11	0.102	0.09	0.083

표 2. e_i 의 전형적인 값(한국건설기술연구원, 2000)

e_c , 점토(kgf/cm^2)	e_s , 모래(kgf/cm^2)	
굳은 상태	35.2~70.4	느슨한 상태 0.042~0.111
매우굳은 상태	70.4~140.8	다짐된 상태 0.111~0.332
딱딱한 상태	> 140.8	충출한 상태 > 0.332



5. 실험재료

본 연구에 이용된 실험재료는 크게 뒤채움재와 지하매설용 유리섬유복합관으로 구분된다. 유리섬유복합관의 시공성능개선을 위하여 실내모형실험과 현장 시험시공을 병행하여 실시하였으며, 실험에 이용된 실험재료의 지반 및 도로공학적 기본물성치는 다음과 같다.

5.1 뒤채움재 특성

베딩재로 사용된 일반모래의 기본특성은 최소건조단위중량(γ_{dmin}) 1.33t/m³, 최대건조단위중량(γ_{dmin}) 1.47t/m³, 조립률 2.88, 균등계수(Cu) 2.37, 곡률계수(Cg) 0.78, 비중 2.56으로 통일분류법상 입도분포가 나쁜 모래 또는 자갈질의 모래인 SP 판명되었다.

실내모형실험 뒤채움재로 사용된 현장발생토사는 한국토지공사 '양산·물금지구 택지개발사업' 현장에 넓게 분포되어 있는 시료로 기본특성은 현장 자연함수비 14.06%, 조립률 2.84, 균등계수(Cu) 7.29, 곡률계수(Cg) 1.70, 비중 2.56으로 통일분류법상 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래인 SW로 판명되었다.

실내모형실험 뒤채움재로 사용한 현장발생토사 재활용 유동성채움재는 현장발생토사(54%)에 플라이애쉬(19.9%), 물(22.8%), 그리고 소량의 시멘트(3.2%)를 혼합하여 사용하였다. 아래에 나타난 표 3은 뒤채움재의 배합비, 양생일(1일, 7일)에 따른 일축압축강도, 실험재료의 기본물성치(C, ϕ)이다.

표 3. 현장발생토사 재활용 유동성채움재 기본물성치

양생 시간	1일 양생			7일 양생		
	압축강도 (kg/cm ²)	점착력 (kg/cm ²)	내부마찰각 (도)	압축강도 (kg/cm ²)	점착력 (kg/cm ²)	내부마찰각 (도)
측정값	1.24	0.50	11.61	2.43	0.95	12.61

5.2 유리섬유복합관

OO사에서 국내 최초로 연속 필라멘트 와인딩 공법으로 유리섬유, 수지 및 모래를 이용하여 내부식성이 뛰어난 하수종 유리섬유복합관을 개발하였고, 이의 주요 장점은 다음과 같다.

- ① 철에서 발생하는 부식이 없어 수명이 반영구적이다.
- ② 유리섬유로 내압성능 및 외압성능이 강화되었다.
- ③ 철에 비해 무게가 1/3~1/4 정도로 가벼워 시공성이 용이하다.
- ④ 고탄성 플라스틱계 고무를 이용한 이음관으로 장기적인 우수한 수밀성을 가진다.
- ⑤ 접합부의 각변형이 허용되므로 지진 및 부등침하에 대한 대응력이 높다.
- ⑥ 강성이 높아 상재하중으로부터 안정하며, 매설심도의 영향이 적다.
- ⑦ 다양한 적용(Various Applications): 상수도, 하수도, 일반 공업용수, 공업폐수, 농업용수, 배수구, 화학공정 라인, 관개수로, 냉각수라인 등

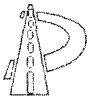
본 연구에 사용된 유리섬유복합관은 실내모형실험에서는 관경 200mm와 관경 300mm를 사용하였고 이들의 두께는 각각 7.5mm 및 8.0mm 구체적인 사양은 표 4와 같다.

표 4. 유리섬유복합관의 하수종 사양

관경 (mm)	두께 (mm)	단위중량 (kgf/m)	포와스비	탄성계수 (kgf/m ²)	조도계수 (n)
200	7.5	11.6	0.3	10243.75	0.010
300	8.0	18.4	0.3	11833.16	0.010

6. 실내모형실험

본 연구에서는 자체 제작된 지하매설물용 모형 챔버와 길이 90cm의 유리섬유복합관을 사용하였고 모형 챔버는 모형도조, 하중재하 장치, 계측기 및 계측



센서로 구성하였다.

6.1 모형토조 및 하중재하 장치

그림 3에 나타난 실내모형실험장치는 가로 140cm, 세로 60cm, 높이 90cm의 강재로 제작되었으며, 관 직경을 변화시켜 실험할 수 있도록 제작되었다. 벽면마찰의 영향을 최소화하여 실험조건을 단순화 시킬 수 있도록 모형토조 표면에 페인트를 이용하여 표면처리를 하였고 실험재료의 이탈을 방지하기 위해 표면안쪽에 아스테이지를 부착하였다.

모형토조 상부에 직경 30cm의 원형 판을 중앙부에 설치하고, 그림 4에 보이는 로드셀과 하중재하 장치를 이용하여 정하중을 재하하였다. 로드셀은 좌우에 각 1개씩, 총 2개를 설치하였고, 각각의 로드셀은 5tonf까지 계측이 가능하므로, 재하 가능한 총 하중은 약 10tonf 정도이다. 하중재하는 수동으로 이루어지는데, 그림 4의 양쪽 모서리에 세워져있는 4개

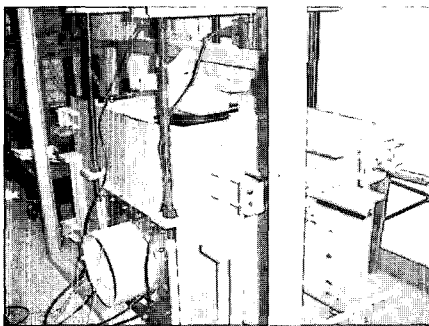


그림 3. 실내모형실험장치

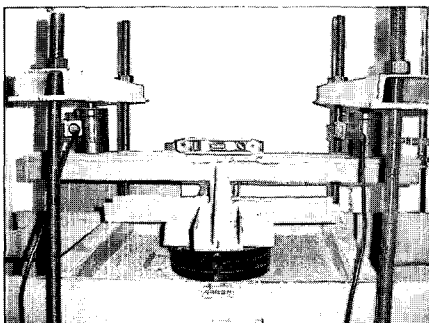
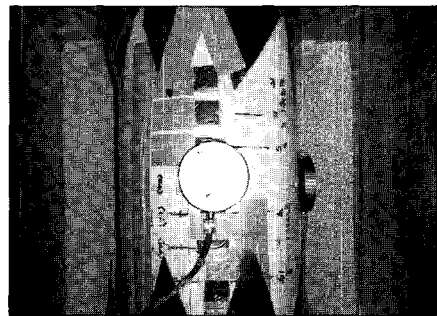


그림 4. 하중재하 장치

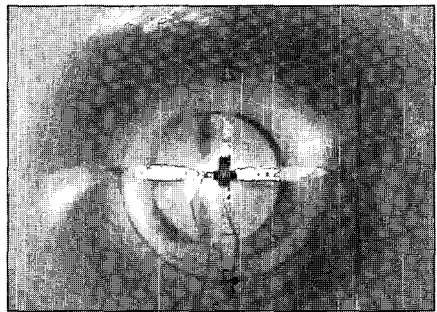
의 하중봉(볼트 및 너트)을 이용하여 하중을 재하하였다.

6.2 계측기 및 계측센서

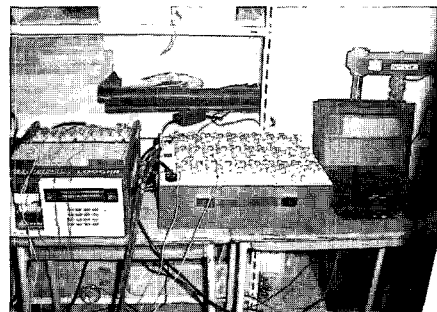
계측기의 종류는 총 3가지로써 관의 수직·수평에 걸리는 토압을 측정하기 위한 토압계, 관의 수직·수평변위를 측정하기 위한 변위계를 사용하였다. 그리고 하중재하를 위하여 로드셀을 이용하였다. 위의 계



(a) 토압계



(b) 변위계



(c) 자동계측시스템

그림 5. 계측센서 및 자동계측장비



측기를 이용한 측정을 위해 정적변형시스템(static data logger)을 사용하였으며, 이는 TDS-302, 스위치박스로 각각 10개와 50개의 채널로 구성되어있다. 그림 5는 실내모형실험에 사용된 계측센서 및 자동계측장비의 사진이며, 그림 6은 본 연구에 사용된 계측기의 설치단면을 나타내고 있다.

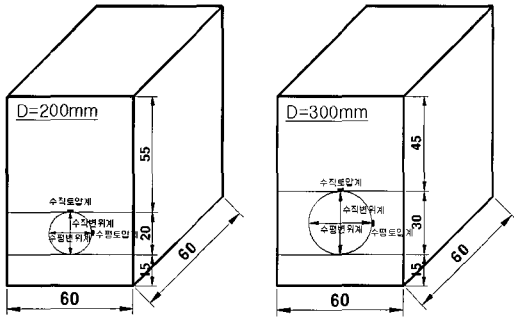


그림 6. 변위계 및 토압계 설치단면(관경 200mm 및 300mm)

6.3 실내모형실험 단면의 조건

실내모형실험은 뒤채움재의 종류를 변화시키는 방법과 관의 직경을 변화시키는 방법으로 총 6가지 사례에 대하여 자체 제작된 모형토조 장치를 이용하여

표 5. 실내모형실험 단면의 조건

사례	배딩재	관 종류	뒤채움재
1	일반모래	유리섬유복합관, D=200mm	일반모래
2	일반모래	유리섬유복합관, D=200mm	현장발생토사
3	일반모래	유리섬유복합관, D=200mm	현장발생토사 재활용 유동성채움재
4	일반모래	유리섬유복합관, D=300mm	일반모래
5	일반모래	유리섬유복합관, D=300mm	현장발생토사
6	일반모래	유리섬유복합관, D=300mm	현장발생토사 재활용 유동성채움재

실험을 실시하였다. 실험단면의 조건은 표 5와 같다.

6.4 실험순서

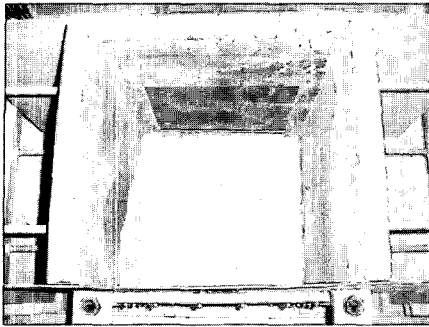
구조물의 하부 지반은 설치진행 방향과 수직방향으로 가해지는 하중에 대해 균등한 지지력을 갖추어야 한다. 굴착 바닥면이 불균질할 경우 접촉면에 응력 집중현상(hard-point effect)이 발생하는데 이를 방지하기 위해 일반모래 82kg을 성토한 후 발다짐(몸무게 70kg)을 실시하여 높이 15cm를 맞추었다.

수직 및 수평 변위계를 관의 내부에, 수직 및 수평 토압계를 관의 외부에 부착한 뒤 배딩재 위에 유리섬유복합관을 설치하였다.

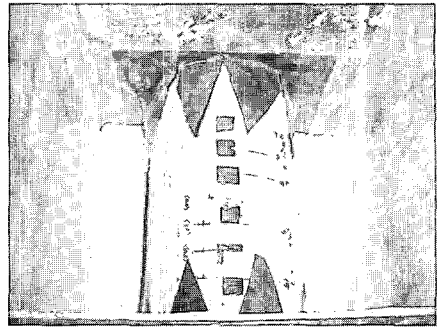
변위계, 토압계를 TDS-302와 스위치박스에 연결한 다음 중간층을 조성하기 위하여 관의 좌우로 각각 20kg씩 뒤채움재를 성토한 후 몸무게 70kg인 사람을 기준으로 100회 발다짐을 같은 프로세서로 2회 실시하였다.

상부층을 조성하기 위하여 60kg의 뒤채움재를 성토한 후 몸무게 70kg인 사람을 기준으로 100회 발다짐을 같은 프로세서로 3회 실시하였고, 끝으로 40kg을 성토한 후 같은 조건으로 100회 발다짐을 실시하였다.

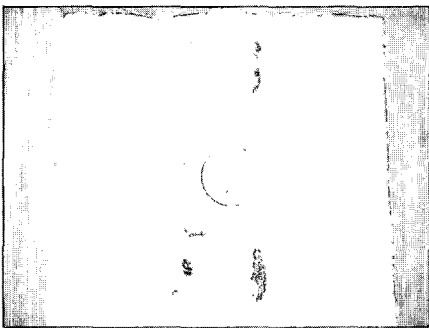
하중재하는 일반 뒤채움재와 현장발생토사 재활용 유동성채움재에 따라서 다르게 적용하였다. 일반모래 또는 현장발생토의 경우, 성토직후 하중재하와 하중제거 과정을 2회 반복 실시하였고 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 경우, 타설 후 7일 간의 양생기간을 거친 뒤 하중재하와 하중제거 과정을 2회 반복 실시하였다. 하중재하 과정은 200, 400, 600, 800kgf 식으로 하중을 점진적으로 증가시킨 후 각 단계별로 1분 정도의 안정화를 실시하고, 재하가 가능한 최고치까지 하중을 재하한 뒤 3분 정도의 안정화를 실시하였다. 그리고 하중제거 과정은 안전상의 문제점을 고려하여 하중재하와 같은 방법으로 50%만큼의 하중을 점차적으로 제거하였다. 그림 7은 실내모형실험의 전체적인 과정을 보여주고 있다.



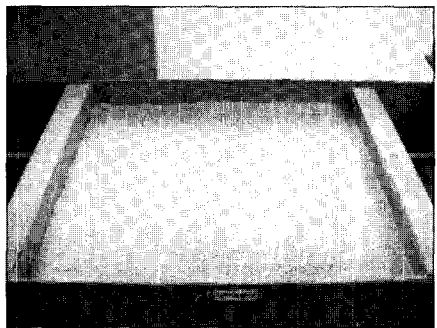
① 초기상태



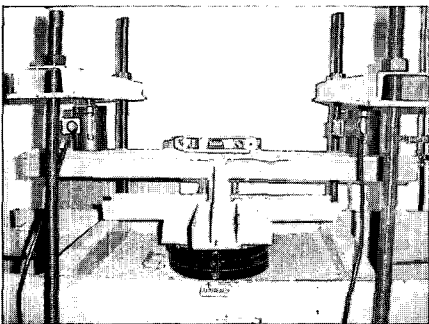
② 베딩재 조성 및 관 설치



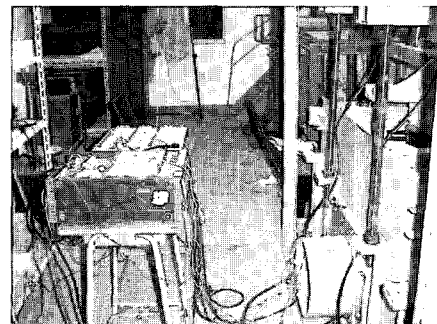
③ 계측기 세팅 및 중간층 조성



④ 상부층 조성



⑤ 하중재하



⑥ 계측실시

그림 7. 실내모형실험 과정

7. 실험결과 및 분석

7.1 재하하중에 의한 변위특성 평가

(1) 수직변위

표 6은 하중에 따른 관의 수직변위를 차량하중 재하 전과 차량하중 재하 후로 구분하여 실험값

을 정리하였다. 먼저, 관경 200mm를 사용한 사례 1, 2, 3의 경우, 차량하중 재하 전 실험값은 0.139mm~0.218mm 값을 보였고, 하중 재하 후 수직변위 값은 0.1~2.8mm 정도로 관경 300mm를 사용한 사례 4, 5, 6에 비해서 실험값과 모두 유리섬유 복합관의 허용오차(관 길이의 1%)를 만족하였고, 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 사례 3



표 6. 하중에 따른 수직변위 (단위:mm)

사 례	1	2	3	4	5	6
하중재하 전	0.218	0.139	0.202	0.226	0.276	0.238
하중재하 후	1.961	2.866	0.137	8.656	4.420	0.230

과 6의 경우, 일반모래와 현장발생토사를 사용한 사례의 경우보다 실험값이 최소 14배에서 최대 37배 정도의 작은 값을 보였다. 이는 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 특징 중 유동성으로 인한 관 아래부분의 적절한 자기다짐과 7일간의 양생과정을 거쳐 증진된 강도가 가해진 하중아래에서 허용치 이상의 변형을 일으키지 않은 것에서 비롯된 결과로 생각된다.

(2) 수평변위

표 7은 하중에 따른 관의 수평변위를 Marston 도압이론값 및 모형챔버실험값을 이용하여 비교·검토하였다. 수평변위의 경우, 차량하중 재하 전 이론값은 0.018~0.17mm, 실험값은 0.113~0.262mm 정도로 나타났다.

관경 200mm와 관경 300mm로 나누어볼 때 각각 측정된 값들이 비슷한 경향을 보였다. 하지만 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 사례 3과 6의

표 7. 하중에 따른 수직변위 (단위:mm)

사 례	1	2	3	4	5	6
하중재하 전	0.218	0.139	0.202	0.226	0.276	0.238
하중재하 후	1.961	2.866	0.137	8.656	4.420	0.230

표 8. 하중에 따른 수평변위 (단위:mm)

사례	구분	1	2	3	4	5	6
하중 재하 전	계산	0.108	0.144	0.018	0.139	0.170	0.018
	측정	0.113	0.184	0.109	0.155	0.262	0.255
	차이값	0.005	0.040	0.091	0.016	0.088	0.137
하중 재하 후	계산	4.745	4.728	0.757	5.142	5.111	0.667
	측정	2.297	2.954	0.087	2.726	4.889	0.103
	차이값	2.448	1.774	0.670	2.416	0.222	0.564

경우에는 이론값에서 0.12mm정도의 작은 값 차이를 보였는데 이것은 관의 반경(γ) 차이에 의한 결과로 보여진다.

차량하중을 재하한 관경 200mm의 경우, 이론값이 실험값에 비해 2배 정도의 큰 값 차이를 보였지만, 유리섬유복합관의 허용오차범위 6mm를 모두 만족하였다. 관경 300mm의 경우에는 이론값이 5mm정도, 실험값이 3~5mm정도로 모두 비슷한 값을 보였다.

현장발생토사가 일반모래의 수직·수평변위는 비슷한 결과 값을 보였지만, 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 경우에는 7배 정도의 작은 변위값을 얻을 수 있었다. 이로써 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 우수성과 유리섬유복합관의 변위양상을 알 수 있었다.

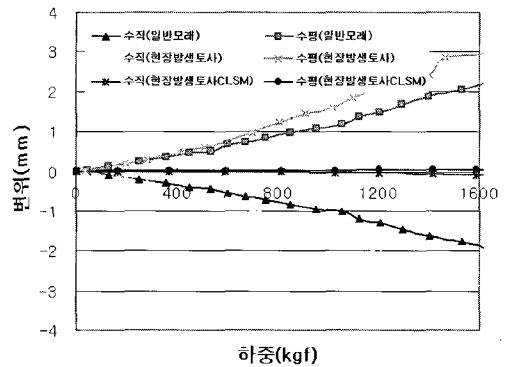


그림 8. 재하하중에 따른 수직·수평변위(사례 1, 2, 3)

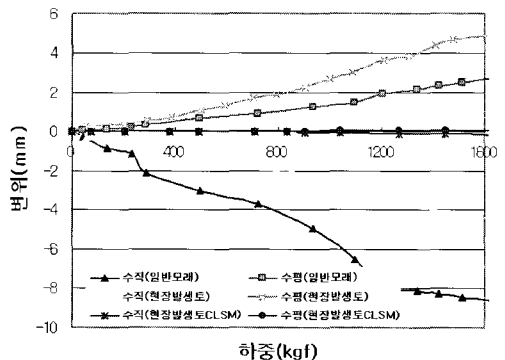
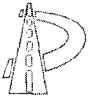


그림 9. 재하하중에 따른 수직·수평변위(사례 4, 5, 6)



7.2 재하하중에 의한 토압특성 평가

(1) 수직토압

표 9는 Marston토압이론과 실험값을 차량하중 재하 전과 차량하중 재하 후로 구분하여 비교·검토하였다. 먼저 차량하중 재하 전 관경 200mm를 사용한 경우, 이론값과 실험값이 0.006~0.008kgf/cm²으로 거의 같은 값을 보였고, 관경 300mm의 경우에도 0.007~0.012kgf/cm² 정도로 예측되었다. 단, 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 경우에는 실험값이 0.0008 kgf/cm²로 이론값에 비해 상당히 작은 값을 보였는데, 이것은 유동성채움재(CLSM)의 강도특성과 관계된 것으로 7일간의 양생과정을 거치면서 강도가 발현되고 뒤채움재가 일체거동을 함으로써 토압계에 작용하는 하중이 매우 작음을 확인할 수 있었다.

차량하중 재하 후 이론값은 0.26~0.42kgf/cm², 실험값은 0.17~0.25kgf/cm²로 이론값에 비해 59~65% 정도로 나타났고, 표 9에서 볼 수 있듯이 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 경우에는 수직토압이 거의 0에 가까운 값을 얻을 수 있었다.

표 9. 하중에 따른 수직토압 (단위:kgf/cm²)

사례	구분	1	2	3	4	5	6
하중 재하 전	계산	0.006	0.008	0.008	0.009	0.011	0.011
	측정	0.007	0.008	0.001	0.007	0.012	0.001
	차이값	0.001	0	0.007	0.002	0.001	0.010
하중 재하 후	계산	0.264	0.263	0.334	0.333	0.331	0.429
	측정	0.173	0.181	0.000	0.240	0.251	0.002
	차이값	0.091	0.082	0.334	0.097	0.080	0.0427

(2) 수평토압

수평토압의 경우, 표 10에 나타난 것과 같이 차량하중 재하 전 이론값은 모든 사례에 대해서 0.003~0.005kgf/cm² 정도이고, 실험값은 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 제외한 모든 사례에 대

해서 이론값과 비슷한 값을 보였다. 차량하중 재하 후 수평토압은 0.113~0.184kgf/cm², 실험값은 0.014~0.056kgf/cm² 정도로 이론값에 비해서 약 12~30% 정도로 예측되었다.

표 10. 하중에 따른 수평토압 (단위:kgf/cm²)

사례	구분	1	2	3	4	5	6
하중 재하 전	계산	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005
	측정	0.008	0.005	0.003	0.008	0.010	0.001
	차이값	0.005	0.002	0	0.004	0.005	0.004
하중 재하 후	계산	0.113	0.113	0.144	0.143	0.142	0.184
	측정	0.024	0.014	0.005	0.056	0.039	0.002
	차이값	0.089	0.109	0.138	0.087	0.103	0.182

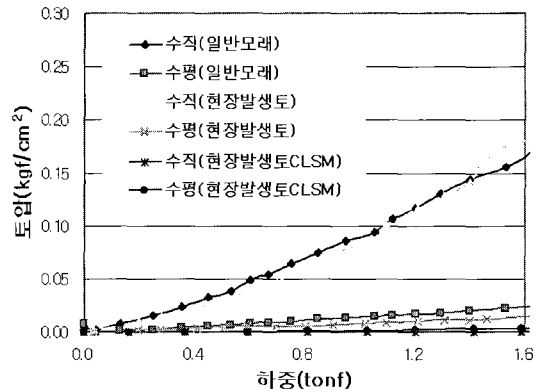


그림 10. 재하하중에 따른 수직·수평토압(사례 1, 2, 3)

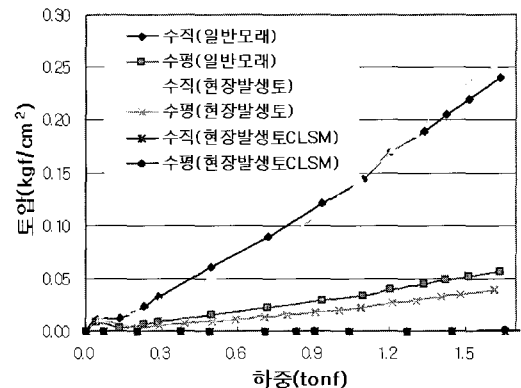


그림 11. 재하하중에 따른 수직·수평토압(사례 4, 5, 6)



현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 사례 3과 사례 6의 경우에는 수직토압과 같이 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 일체거동으로 인해 수평토압이 거의 0에 가까운 값으로 계측되었다.

8. 결론 및 향후연구과제

재하하중에 의한 유리섬유복합관의 변위 및 토압 특성을 평가하기 위해 실내모형실험을 실시하였고, 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- ① 실내모형실험에서는 관경 200mm와 관경 300mm를 사용하여 하중재하 전과 후의 수직변위와 수평변위를 뒤채움재를 달리한 총 6가지 사례에 대해서 측정하였다. 먼저 관경 200mm를 사용한 사례 1, 2, 3의 경우, 차량하중 재하 후 수직변위 값이 0.137~2.866mm 정도로 관경 300mm를 사용한 사례 4, 5, 6에 비해 실험값과 유한요소 해석값 모두 1.6~3배 정도의 작은 값을 보였지만 모두 관의 허용오차(관 길이의 1%)를 만족하였다.
- ② 실내모형실험에서의 수평변위는 Marston 토압이론값과 실험값을 비교하였다. 먼저 현장발생토사 뒤채움재를 사용한 경우 일반모래 뒤채움재를 사용한 경우에 비해 큰 변위를 보였고, 차량하중 재하 후 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 사례 3의 경우 이론값은 0.757mm, 실험값은 0.087mm로 측정되었다. 사례 6의 경우에는 이론값이 0.667mm, 실험값이 0.103mm으로 실험값이 이론값에 비해 작게 측정되었지만, 최대변형률을 고려한다면 실험값과 이론값 모두 1mm 안팎의 변형으로 측정되었다. 차량하중 재하 전 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 제외한 모든 사례에 대해서 이론값과 실험값이 거의 비슷하게 측정되었고, 차량하중 재하 후 관경 200mm의 경우에는 이론값이 실험값에 비해 2배 정도의 값

차이를 보였다.

- ③ 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 사례 3과 6의 경우, 일반모래와 현장발생토사를 사용한 경우보다 수직변위와 수평변위에 있어 매우 작은 값으로 측정되었다. 이것은 현장발생토사 재활용 유동성채움재의 특징 중 유동성으로 인한 관 아랫부분의 적절한 자기다짐과 7일간의 양생 과정을 거치면서 강도가 발현되고 뒤채움재가 일체거동을 함으로써 초기 허용치 이상의 변형을 일으키지 않은 것에서 비롯된 결과로 판단된다.
- ④ 실내모형실험에서 차량하중 재하 전 단계에서 측정된 수직 및 수평토압은 약 0.008kgf/cm²와 0.004kgf/cm²로 측정되었고, 차량하중 재하 후 수직토압은 0.263~0.334kgf/cm²로 토압이론값과 실험값이 거의 비슷하게 측정되었다. 단, 현장발생토사 재활용 유동성채움재를 사용한 사례 3과 6의 경우에는 수직 및 수평토압이 거의 0에 가까운 값으로 계측되었다.

감사의 글

본 연구는 2004년 경성대학교 교내학술연구비 지원사업으로 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이관호, 조재운, 신현무, 김남호 (2001), "폐주물사 및 방식사를 이용한 유동성 채움재의 최적배합설계 및 다짐특성연구", 폐기물학회지 18권 4호, pp. 389-396
2. 이관호, 조재운, 조운호 (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 지중강관 구조물의 거동 분석", 대한토목학회논문집 제23권 제1C호 pp47-58
5. 조재윤, 이관호, 이인모(2000), "유동특성을 이용한 폐주물사 혼합물의 응력뒤틀채움재 연구". 한국지반공학회지, 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 Waste 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 : 2005. 8. 23〉