한국지반환경공학회 논문집
제12권 제10호 2011년 10월 pp. 83~90

다짐도에 따른 지중파형강판의 거동에 대한 원심모형실험

Centrifugal Model Test on Behavior of Underground Corrugated Steel Plate with Compaction Degree

허 열[1] · 권 선 욱[2] · 김 홍 종[3] · 배 우 석[†]
Heo, Yol · Kwon, Seonuk · Kim, Hongjong · Bae, Wooseok

ABSTRACT : A series of centrifugal model test was conducted to investigate the distribution of vertical earth pressure on circular ductile underground corrugated steel plate waterway culvert with considering the compaction degree of the backfill in the high landfilled embankment section. The compaction degree of backfill was varied to 80, 85, 90, and 95% at the 53g-level gravity considering the similarity of the site. As a result of this test, the load reduction factor by the arching effect of the top of corrugated steel plate showing ductile behavior nearly agreed with the load reduction factor according to the compaction degree of backfill specified in the AISI(2002) design method. The vertical earth pressure measured at the top of the corrugated steel plate was linearly decreased as the compaction degree increased. The greater the compaction degree of backfill was, the greater the reduction of surface loading on the top of the corrugated steel plate by arching effect. The load decreased by arching effect on top of the corrugated steel plate was transferred to the side backfill of the corrugated steel plate(EP 1) and the outside of backfill(EP 3).

Keywords : Centrifugal model test, Corrugated steel plate, High landfill, Vertical earth pressure, Load factor

요 지 : 본 연구에서는 고성토 구간 파형강판 수로암거의 대표단면을 대상으로 뒤채움부의 다짐도에 따른 원형 연성지중 암거에 작용되는 수직토압 분포를 파악하기 위해 원심모형실험을 실시하였다. 모형실험은 뒤채움부의 다짐도를 80, 85, 90, 95%로 변화시키면서 현장의 상사성을 고려하여 53g-level의 중력수준에서 수행하였다. 실험결과, 연성거동을 하는 파형강판 상부의 아칭효과에 의한 하중감소계수는 AISI(2002) 설계법에서 규정한 뒤채움 다짐도에 따른 하중감소계수와 거의 일치하였다. 파형강판 상부에서 측정된 수직토압은 다짐도가 증가함에 따라 선형적으로 감소하였으며, 뒤채움부의 다짐도가 클수록 아칭효과에 의한 파형강판 상부의 상재하중 감소가 크게 발휘된다는 것을 확인할 수 있었다. 파형강판 상부에서 발생한 아칭효과에 의해 감소한 하중이 파형강판 측면 뒤채움부(EP 1)와 뒤채움부 외부(EP 3)로 전이되는 것으로 나타났다.

주요어 : 원심모형실험, 파형강판, 고성토, 수직토압, 하중계수

1. 서 론

국내에서 연성지중암거(파형강판 지중 구조물)는 1990년대 후반에 처녀 시공된 이후 2000년대 설계 및 시공기준이 정립되어 고속도로뿐만 아니라 국도 등 대형 건설 사업에서 적용이 증가하고 있다. 또한 산악지를 통과하는 고속도로의 경우 고성토 구간이 발생함에 따라 고속도로를 횡단하는 지중암거를 설치하는 경우가 늘어나는 추세이다.

매설관거에 대한 연구는 Marston이 매설관거에 작용하는 외적하중에 대한 초기이론(Marston 등, 1913; Marston, 1930)을 발표하였고, Spangler는 정적 및 동적 하중에 의한 매설관거의 변형 및 침하비 특성(Spangler, 1950) 연구를 통한 관 주변의 아칭효과를 규명하였다. 파형강판을 이용한 매설 구조물은 도입초기에 구조물 주변의 토압분포를 경험적으로 가정하였으나 1923년 미국 철도국(AREA)은 현장계측 실험으로부터 지반과 구조물이 외부하중에 대해 동시에 저항하는 합성구조계임을 밝혀낸 바 있다(최동호 등, 2001). 그 후 Spangler(1941)는 수동토압의 개념을 적용하여 구조물의 변형을 예측할 수 있는 Iowa식을 제안하였으며, 이러한 개념을 확장하여 White와 Layer(1960)는 파형강판 구조의 해석모델로서 압축링(Compression Ring)모델을 제안하였고, 이를 통해 합리적인 설계기준이 정립되는 계기가 되어 미국과 일본에서 현행 설계기준으로 적용되어 왔다. Spangler(1973)는 강성관과 연성관 사이의 토압분포 특성 차이를 연성관의 변형에 따른 아칭효과에 의한 주변 지반과 관체 사이의 하중분담효과로 규명하였으며, 연구결과에 의

1) 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
2) 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정
3) 비회원, 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
† 정회원, (주)나노지오이엔씨 기술연구소장(old1007@hanmail.net)

하면 연성관의 하중에 대한 저항 메카니즘은 성토하중이나 교통하중과 같은 외력이 작용했을 때 관의 수직 및 수평방향의 변형이 발생하고 변형의 발생에 따라 주변 토체에 수동저항을 유발시켜 외적인 하중을 아칭효과에 의해 주변 흙으로 전가시키는 형태임을 밝혀냈다. 과거의 파형강판 구조물은 실험적인 결과에 의존하여 설계되었으나 지속적인 파형강판 구조물 연구의 증가로 Duncan 등(1985)은 지간이 2.7m～7.7m인 알루미늄 박스구조물에 대한 설계식을 제안하였고, 최동호 등(2006)은 지간이 12m까지 확장된 설계식을 제안한 바도 있다.

파형강판 구조물의 대표적인 설계법으로는 AISI(American Iron and Steel Institute, 2002), AASHTO Standard Code (2002), CHBDC(Canadian Highway Bridge Design Code, 2001) 설계법이 있으며, 국내 파형강판 구조물의 설계방법에 대한 규정은 “지중강판구조물의 설계 및 시공지침(한국도로공사, 2002)”과 “고속도로 건설공사 지중강판 합성형 암거 표준도(한국도로공사, 2003)”가 있다(표 1, 2 참조). 상기의 국내 두 기준은 대부분 동일하나 표 2에 나타낸 것과 같이 파형강판 구조물 뒤채움부의 다짐도, 파형강판과 이음부의 설계 안전율은 동일하지만 설계에 적용하는 파형강판 상부 상재하중(계획고 기준 구조물 상부 토피고가 구조물의 크기 이상일 때)에 대한 설계압(암거 토피부 연직하중)이 서로 상이하게 규정되어 있는 상태이다. 연성지중구조물의 상재하중에 대한 흙의 아칭효과에 따른 토압계수(설계압)를 정량적으로 평가하여 설계 시에 고려하는 것이 경제성뿐만 아니라 안정성 검토에서도 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 고성토 구간 파형강판 수로암거의 대표단면을 대상으로 뒤채움부의 다짐도에 따른 원형 연성 지중암거에 작용되는 수직토압 분포를 파악하기 위해 원심모형실험을 실시하여 뒤채움부 다짐도 변화에 따른 수직토압 분포를 평가하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 대상시료의 물리적 특성

본 연구에서 모형실험 시 지반형성 재료로는 국내 전역에 걸쳐 가장 많이 분포하고 있는 화강풍화토를 사용하였으며, 표 3은 실험에 사용된 대상 시료에 대한 물성시험결과를 나타낸 것이다.

2.2 실험장치

2.2.1 원심모형실험기

그림 1은 본 연구에서 사용한 원심모형실험기로 최대원심가속도는 200g이며 최대용량은 25g·tonf이고 중심축에서 힌지까지의 거리가 920mm, 스윙바스켓 저면까지의 거리는 1,280mm로 제작되었다. 원심모형실험기는 shaft와 boom, 2개의 swing basket, slip ring으로 이루어져 있으며, 주요 장치로 구동장치, 자료 획득장치, 속도제어장치, 모니터링 장

표 1. 국외의 대표적인 파형강판 지중구조물 설계법 비교

설계법	AISI(2002) - 허용응력설계법	AASHTO Standard Code(2002) - 허용응력설계법	CHBDC(2001) - 강도설계법
설계압	설계압 = K × (활하중 + 사하중) ※ K = 하중계수	설계압 = 활하중 + 사하중	설계압 = (αDL × 활하중) + (αLL × 사하중) ※ αDL = 1.70, αLL = 1.25
다짐도	다짐도 = 구조물의 크기와 중요도에 따라 다름, 보통 85% 범위 적용	다짐도 = 90% 이상	다짐도 = 90% 이상
강판·이음부 안전율	FS = 2.0(강판 및 이음부)	FS = 3.0(강판 및 이음부)	재료저항계수 Φt = 0.80(압축강도), Φj = 0.67(이음부)

표 2. 국내의 파형강판 지중구조물 설계법 비교

설계법	지중강판구조물의 설계 및 시공지침(KEC-2002)	지중강판 합성형 암거 표준도(KEC-2003)
설계압	설계압 = 활하중+사하중	설계압 = K × (활하중 + 사하중) ※ K = 하중계수(95% 다짐 시 0.65사용)
다짐도	다짐도 = 95% 이상	다짐도 = 95% 이상
안전율	FS = 2.0(강판), FS = 3.0(이음부)	FS = 2.0(강판), FS = 3.0(이음부)

표 3. 실험에 사용된 화강풍화토의 물성치

비중	자연함수비 (%)	#200체통과율 (%)	균등계수	곡률계수	USCS	최대건조단위중량 (kN/m^3)	최적함수비 (%)
2.67	8.5	7.99	10.0	1.15	SW-SM	20.1	10.2

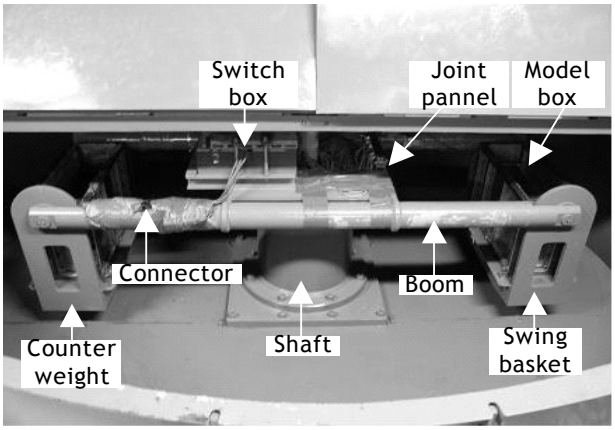

그림 1. 원심모형실험기 내부

치로 구성되어 있다. 양쪽의 boom은 shaft를 중심으로 회전하며, boom 끝에 swing basket이 힌지로 연결되어 있다. Swing basket의 한쪽은 모형토조를 설치하며, 그 반대쪽은 모형토조와 평형을 맞추기 위한 평형추를 설치한다. 모형토조에 설치되어 있는 계측기로부터의 전기적 신호는 slip ring을 통하여 자료획득장치에 기록된다. 삼상모터는 원심모형실험기를 가동시키며, 속도제어장치로 시험기의 회전수를 조절하여 g-level을 조정할 수 있다.

원심모형실험은 실내에서 축소모형을 인위적으로 가속시켜 현장상태의 응력을 재현하여 경제적으로 실험을 수행할 수 있는 효율적인 실험기법으로 원심모형실험의 원리, 지반공학적 활용 및 문제점 등에 대해서는 Atkinson(2007), Taylor(1995), 이처근(2001)의 연구결과에 자세히 설명되어 있다.

2.2.2 모형상자 및 계측장치

2차원 평면변형률 조건을 모사하기 위한 모형토조는 3면과 밑면이 2mm 두께의 스테인레스로 제작되었고, 충분한 내구성을 가질 수 있도록 각관을 이용하여 보강하였다. 실험 후 횡방향 변위의 관찰이 가능하도록 모형토조의 전면은 20mm 두께의 투명아크릴 판으로 제작하였으며, 토조의 내부 크기는 가로 52cm, 세로 17cm, 높이 35cm이다.

본 실험에서는 그림 2와 같이 파형강판의 수직변위와 지표면 침하량을 측정하기 위하여 Potentiometer 를 사용하였으며, 최대 측정용량은 10mm와 50mm이고, 0.01mm까지 측정이 가능하다. 뒤채움 및 노체성토하중에 의한 수직토압을 측정하기 위하여 3개의 토압계를 사용하였으며, 측정용량은 0.5, 0.7MPa(5, 7kgf/cm^2)인 제품을 사용하였다. 계측기로 취득된 자료는 slip ring 을 통하여 UPC 보드나 data logger(TDS 601)에 기록되고 계측기의 확장을 위하여 시험기 내부에는 switching box(ASW-20B) 가 내장되어 있다.

2.3 실험내용 및 방법

원심모형실험의 모델은 파형강판 구조물 뒤채움부 다짐도에 따른 아칭효과(상재토압 저감효과)를 평가하기 위해 표 4에 나타낸 바와 같이 뒤채움부의 다짐도를 95%, 90%, 85%, 80% 4가지로 변경하여 실시하였고, 성토부의 경우는 노체다짐도 기준인 90%로 총 4회를 실시하였다. 중력수준은 현장조건과의 상사성을 고려하여 53g-level을 적용하였다. 또한, 원심모형실험에서 파형강판 모형두께는 현장에서 사용하는 파형강판의 휨강성을 고려하여 1.8mm 두께의 알루미늄으로 성형하여 사용하였다.

그림 2, 3는 고성토구간 원형 파형강판 암거 모델링 지반 단면을 나타낸 것이고, 표 5와 표 6은 원심모형실험에서 사

표 4. 원심모형실험 조건표

실 험 Case	뒤채움부 다짐도(%)	노체성토 다짐도(%)	중력수준 (g-level)	강판모형 두께(mm)
Case 1	95	90	53	1.8
Case 2	90	90	53	1.8
Case 3	85	90	53	1.8
Case 4	80	90	53	1.8

표 5. 수직토압계 설치위치

구 분	수평방향 위치 (토압계 중심)(cm)	수직방향 위치 (토압계 상단)(cm)
EP1	파형강판 중심기준 右방향 6.0	파형강판 중심기준 上방향 0.0
EP2	파형강판 중심기준 右방향 0.0	파형강판 중심기준 上방향 5.0
EP3	파형강판 중심기준 右방향 8.0	파형강판 중심기준 上방향 5.0

표 6. 변위계 설치위치

구 분	수평방향 위치(cm)	수직방향 위치(cm)
Pot 1	파형강판 중심기준 右방향 0.0	파형강판 중심기준 下방향 3.7
Pot 2	파형강판 중심기준 右방향 0.0	파형강판 중심기준 上방향 28.4
Pot 3	파형강판 중심기준 右방향 13.5	파형강판 중심기준 上방향 28.4

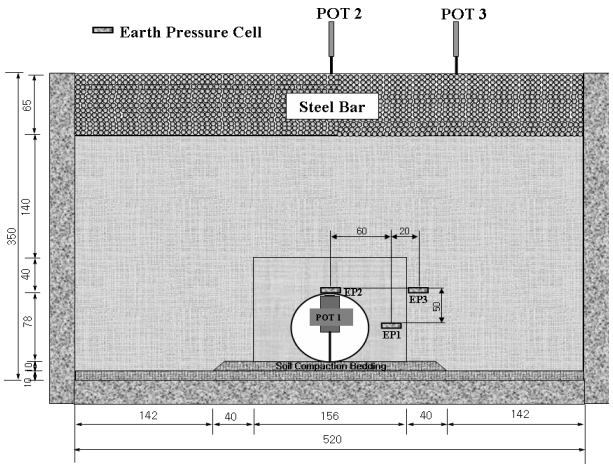

그림 2. 파형강판 암거 모델링 지반 개념도

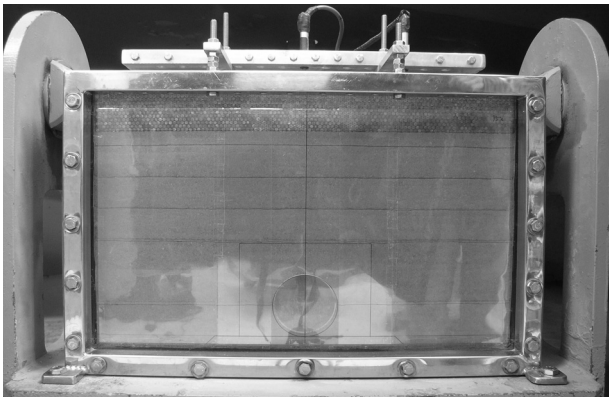

그림 3. 스윙바스켓에 설치된 파형강판 암거 모형

용한 토압계와 변위계의 설치위치를 나타낸 것이다.

모형실험은 다음과 같은 과정, 즉, ① 기초지반 모형 및 베딩형성, ② 파형강판 1/2 높이까지 뒤채움부 및 노상 형성, ③ 파형강판 설치부 굴착 및 파형강판 설치(변위계 및 토압계 설치), ④ 추가 모형지반 형성(토압계 설치), ⑤ 모형토조 스윙바스켓에 설치 및 변위계설치, ④ 계측기 점검 및 연결, ⑤ 53g-level까지 원심가속 후 모형지반에 충분한 지중응력이 분포할 수 있는 시간인 360분 동안 시간경과에 따른 변위와 토압을 측정하였다. 그림 3은 모든 실험준비가 완료된 후 원심모형실험기 스윙바스켓에 설치된 파형강판 암거 모형전경을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 분석

고속도로에 건설 계획된 원형 파형강판 암거의 대표단면에 대해 현장 지반구조물을 실내에서 가장 잘 모사할 수 있는 원심모형실험을 실시하여 고성토부 파형강판 암거의 적정 토압계수를 평가하는데 필요한 기초자료를 획득하고, 연성거동을 보이는 파형강판 암거 상재하중의 아칭효과를 평가하기 위해 원형 파형강판 암거의 뒤채움부 다짐도에 따른 파형강판 상부 및 뒤채움부에 작용하는 수직토압과 파형강판의 변위를 측정하였다.

3.1 파형강판의 수직변위

그림 4는 중력수준에 따른 파형강판 암거의 변위를 나타낸 것으로 전체적으로 중력수준이 증가함에 따라 변위가 증가하고, 파형강판 뒤채움부의 다짐도가 증가할수록 변위가 감소하는 경향을 보이고 있다. 파형강판 뒤채움부의 다짐도가 80%인 경우 53g-level에 도달한 직후의 변위는 1.0mm 발생하였으며, 뒤채움부의 다짐도가 95%인 경우의 변위는 0.27mm로 뒤채움부의 다짐도가 80%인 경우에 비하여 73%

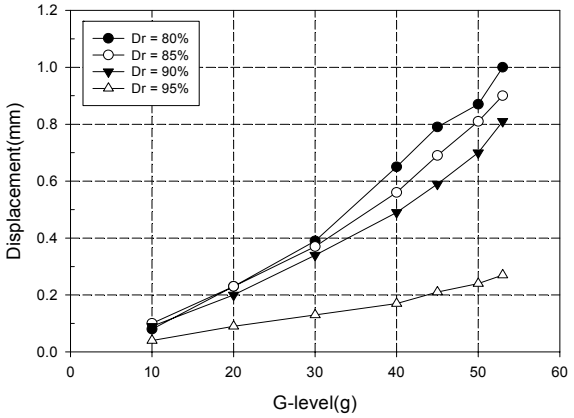

그림 4. 중력수준에 따른 파형강판 암거의 변위

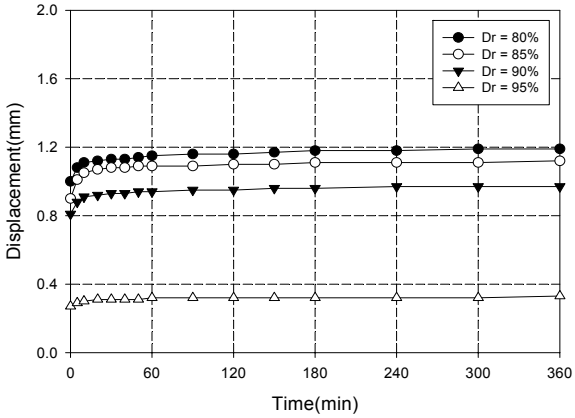

그림 5. 시간경과에 따른 파형강판암거의 변위

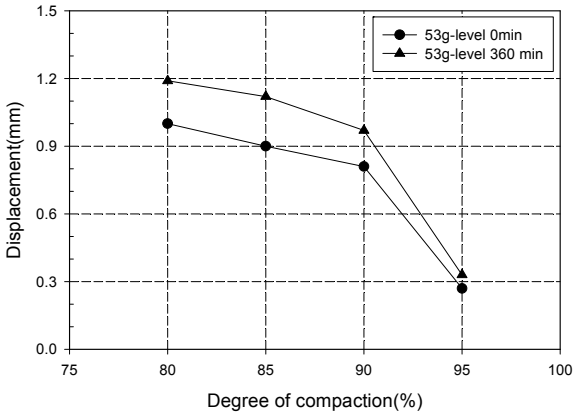

그림 6. 다짐도에 따른 파형강판의 수직변위

정도 변위가 감소하였다.

그림 5는 53g-level의 중력수준에서 시간경과에 따라 측정된 파형강판구조물의 수직변위를 나타낸 것이다. 이로부터 초기에는 시간경과에 따라 변위가 약간 증가하는 경향을 나타내지만, 일정 시간 이후에는 시간경과에 따라 일정한 경향을 보이고 있다. 뒤채움부의 다짐도 80, 85, 90, 95%에서 최종 단계에서의 수직변위는 각각 1.19, 1.12, 0.97, 0.33mm로 다짐도가 증가할수록 감소하였다.

그림 6은 뒤채움부의 다짐도에 따른 파형강판의 수직변위를 비교하여 나타낸 것으로 다짐도가 90%까지는 거의 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 95%에서 변위가 급격하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 파형강판 상부에서 측정된 다짐도에 따른 수직토압 측정결과 나타난 아칭효과 때문인 것으로 판단된다. 다짐도가 95%인 경우 측정된 수직변위는 0.33mm 정도로 다짐도 90%인 경우에 비하여 66% 정도 감소하였다. 다짐도 90% 이하에서 측정된 수직변위를 현장조건으로 환산하면 50mm 이상으로 일반적인 허용변위기준(25mm)을 만족하지 않으며, 다짐도가 95%인 경우 현장조건으로 환산한 수직변위는 17.5mm로 허용변위기준을 만족하는 것으로 평가되었다.

3.2 수직토압

3.2.1 중력수준에 따른 수직토압

본 실험에서 파형강판구조물 뒤채움부의 다짐도에 따른 위치별 수직토압의 변화로부터 상재토압 저감효과를 평가하기 위하여 그림 2와 같이 3개의 토압계(EP 1 : 파형강판 구조물 높이의 중간, EP 2 : 파형강판 상부, EP 3 : 파형강판 뒤채움부 외부)로부터 수직토압을 측정하였다.

그림 7~9는 토압계 EP 1, EP 2, EP 3에서 측정된 중력수준에 따른 수직토압을 나타낸 것으로 다짐도와 위치에 따른 토압의 크기는 다르지만 전체적으로 중력수준이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가한다는 것을 확인할 수 있다. 파형강판 상부에 설치한 EP 2에서 53g-level에서 측정된 수직토압은 뒤채움부의 다짐도 80, 85, 90, 95%에서 363.9, 307.0, 287.6, 227.5kN/m^{2}으로 다짐도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다(그림 8). 반면, 파형강판 구조물 높이의 중간인 EP 1(그림 7)과 파형강판 구조물 뒤채움부 외부에 설치한 EP 3(그림 9)에서 측정된 수직토압은 뒤채움부의 다짐도가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

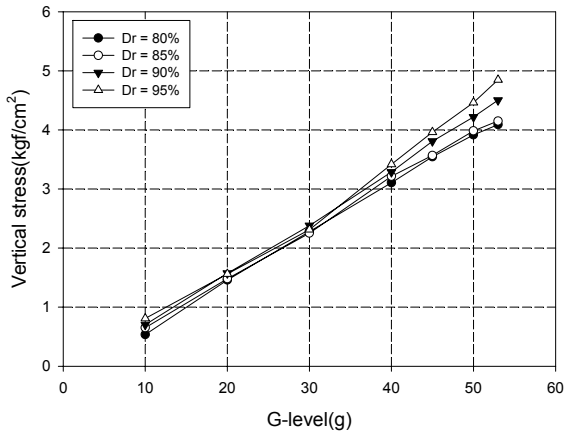

그림 7. 중력수준에 따른 수직토압(EP 1)

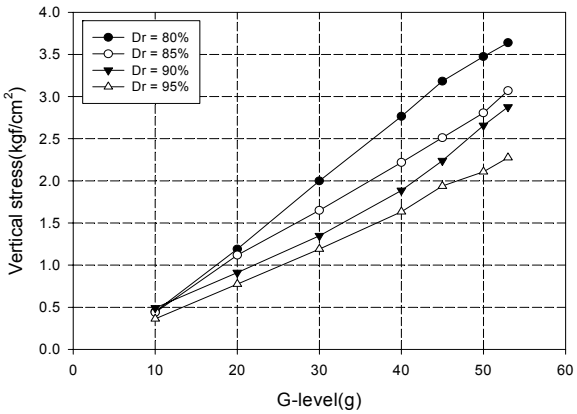

그림 8. 중력수준에 따른 수직토압(EP 2)

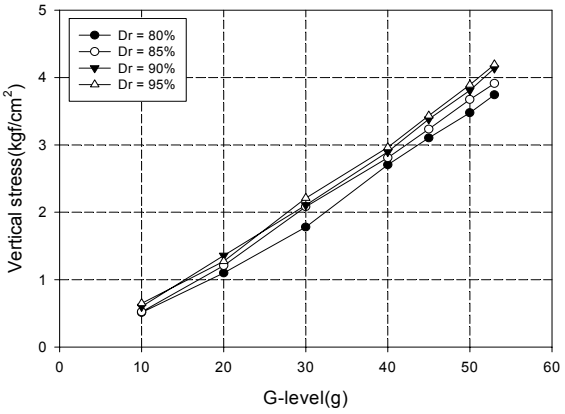

그림 9. 중력수준에 따른 수직토압(EP 3)

3.2.2 다짐도에 따른 수직토압

그림 10은 파형강판 구조물 높이의 중간지점(EP 1)에서 측정된 다짐도에 따른 수직토압을 이론수직토압과 비교하여 나타낸 것이다. 이로부터 뒤채움부 다짐도 85% 이하에서 측정된 수직토압이 이론 수직토압보다 약간 작게 나타났다. 한편, 다짐도 90% 이상에서는 이론토압보다 7.4~16.6% 정도 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이와 같이 다짐도가 90% 이상에서 이론토압보다 크게 측정된 이유는 파형강판 상부에서 발생한 아칭효과에 의해 감소한 하중이 측면 뒤채움부로 전이가 되었기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 상대적으로 뒤채움부 다짐도가 높음에 따라 아칭효과가 클수록 측면 수직토압은 더 크게 나타남을 보여주고 있다.

그림 11은 파형강판 상부(EP 2)에서 측정된 다짐도에 따른 수직토압을 이론 수직토압과 비교하여 나타내었다. 이로부터 최종단계에서 측정된 수직토압은 뒤채움부의 다짐도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 뒤채움부의 다짐도가 80%인 경우 측정된 수직토압은 이론수직토압보다 4.4% 정도 작게 나타났으며, 다짐도가

95%인 경우에는 36.3% 정도 작게 나타나 뒤채움부의 다짐도가 클수록 아칭효과에 의한 파형강판 상부의 상재하중 감소가 크게 발휘된다는 것을 확인할 수 있다. 파형강판 상부에서 아칭현상에 의해 감소된 상재하중은 파형강판 측면 뒤채움부(EP 1)와 뒤채움부 외부(EP 3)로 전이되어 이론 수직토압보다 크게 발생하고 있다.

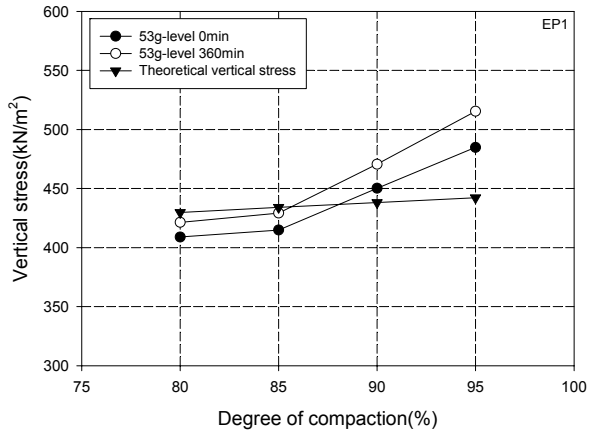

그림 10. 파형강판 구조물 높이의 중간지점에서 다짐도에 따른 수직토압(EP 1)

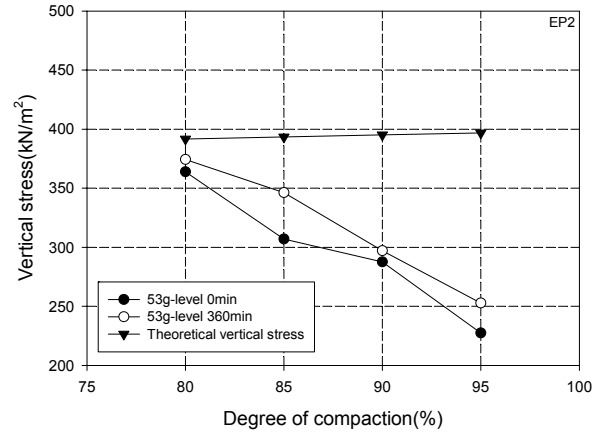

그림 11. 파형강판 상부지점에서 다짐도에 따른 수직토압(EP 2)

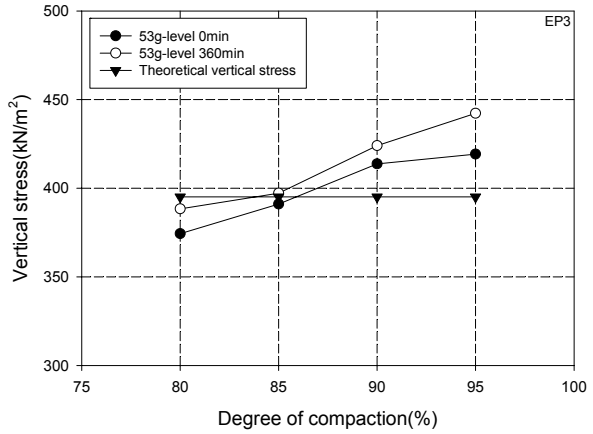

그림 12. 파형강판 뒤채움부 외부지점에서 다짐도에 따른 수직토압(EP 3)

그림 12는 파형강판 구조물 뒤채움부 외부지점(EP 3)에서 측정된 다짐도에 따른 수직토압을 이론수직토압과 비교하여 나타낸 것으로 뒤채움부의 다짐도가 클수록 수직토압이 크게 측정되었다. 뒤채움부의 다짐도가 80%와 85%에서는 측정된 수직토압은 이론 수직토압과 큰 차이가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 반면, 다짐도 90%와 95%에서는 측정된 수직토압이 이론토압보다 7~12% 정도 크게 발생하였다.

3.3 하중계수

현장 조건과 동일한 고성토 조건에서 원형 파형강판 수로암거에 대하여 원심모형실험을 실시하고 뒤채움부 다짐도에 따른 파형강판 상부 및 뒤채움부에 작용하는 수직토압을 측정한 결과로부터 하중계수를 산정하였다. 하중계수는 AISI(American Iron and Steel Institute, 2002) 설계법에서 규정한 것으로 파형강판 상부에서 하중감소계수로서 측정된 토압을 파형강판 상부의 상재하중으로 나눈 값이다. 뒤채움부의 다짐도가 95%인 경우 하중계수는 0.65를 적용한다.

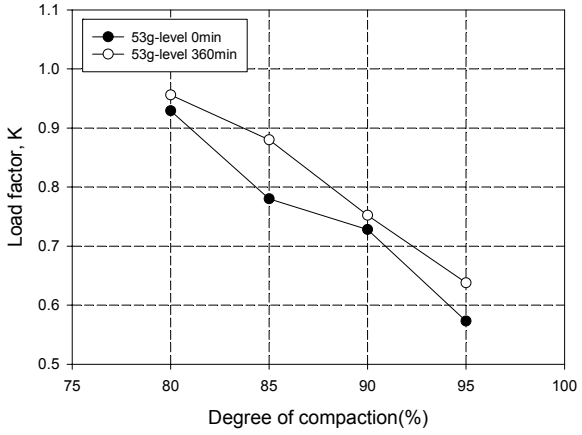

그림 13. 다짐도에 따른 파형강판 상부 하중계수

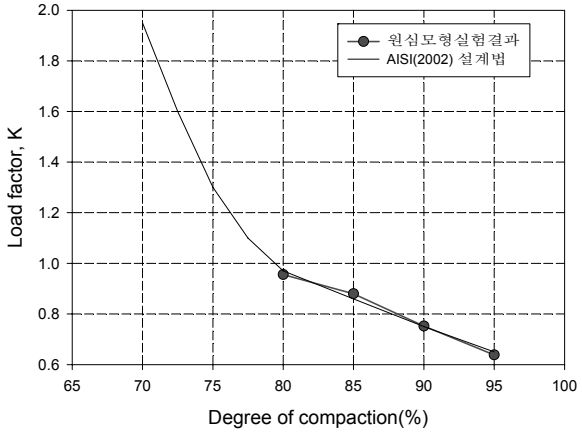

그림 14. 다짐도에 따른 파형강판 상부 하중계수 비교

본 원심모형실험결과 파형강판 상부에서 측정된 수직토압을 파형강판 상부의 상재하중(이론 수직토압)으로 나누어 하중계수를 산정하였으며, 그 결과를 그림 13에 나타내었다. 이로부터 최종 단계에서 하중계수는 뒤채움 다짐도가 증가함에 따라 감소하였다. 뒤채움부 다짐도가 80%인 경우 하중계수는 0.956로 다짐도가 작은 경우에는 상부 성토하중의 대부분이 파형강판에 작용한다는 것을 확인할 수 있다. 한편, 다짐도가 95%인 경우 하중계수는 0.638 정도로 이론 수직토압의 36% 정도가 감소되어 파형강판 상부에 작용하는 것으로 나타났다.

그림 14는 원심모형실험에서 산정된 하중계수를 AISI(2002) 설계법에서 규정한 뒤채움 다짐도에 따른 하중감소계수와 비교하여 나타내었다. 그림 14에 나타낸 것과 같이 연성거동을 하는 파형강판 상부의 아칭효과에 의한 하중감소는 AISI(2002) 설계법에서 규정한 뒤채움 다짐도에 따른 하중감소계수와 거의 일치하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 고성토 구간 파형강판 수로암거의 대표단면을 대상으로 뒤채움부의 다짐도에 따른 원형 연성지중암거에 작용되는 수직토압 분포를 파악하기 위해 원심모형실험을 실시하여 뒤채움부 다짐도 변화에 따른 파형강판의 수직변위와 수직토압 분포를 평가하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 현장 조건과 동일한 고성토 조건에서 원형 파형강판 수로암거에 대한 원심모형실험결과, 연성거동을 하는 파형강판 상부의 아칭효과에 의한 하중감소계수는 AISI (2002) 설계법에서 규정한 뒤채움 다짐도에 따른 하중감소계수와 거의 일치하였다.

(2) 파형강판 상부에서 측정된 수직토압은 다짐도가 증가함에 따라 선형적으로 감소하였으며, 다짐도가 95%인 경우 상부의 성토하중보다 36.3% 정도 작게 나타나 뒤채움부의 다짐도가 클수록 아칭효과에 의한 파형강판 상부의 상재하중 감소가 크게 발휘된다는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 파형강판 암거 측면에서 측정된 수직토압은 파형강판 상부에서 발생한 아칭효과에 의해 감소한 하중이 파형강판 측면 뒤채움부(EP 1)와 뒤채움부 외부(EP 3)로 전이가 되어 실제 상재하중보다 큰 수직토압이 발생하는 것으로 나타났다.

(4) 파형강판의 수직변위 분석결과 다짐도가 90%까지는 거의 선형적으로 감소하였으며, 95%에서 변위가 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 90% 이하의 다짐도에서는 일반적인 허용변위기준을 만족하지 못하는 반면 다짐도 95%에서는 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2011).

참 고 문 헌

1. 이처근(2001), *원심 및 수치모델링에 의한 화강토 지반상 Diaphragm Wall의 거동*, 박사학위논문, 충북대학교, pp. 70～90.
2. 최동호, 김원철, 김기남(2001), 파형강판 암거의 근사해석, *한국지반환경공학회 논문집*, Vol. 2, No. 4, pp. 15～27.
3. 최동호, 이승재, 김남기(2006), 장지간 지중강판 박스컬버트의 휨모멘트 식, *한국지반환경공학회 논문집*, Vol. 7, No. 3, pp. 55～68.
4. 한국도로공사(2001), *지중강판구조물 설계 및 시공 지침*, pp. 1～50.
5. 한국도로공사(2003), *고속도로 건설공사 지중강판 합성형 암거 표준도*, 도면번호 2.
6. American Association of State Highway and Transportation Officials(2002), *Standard Specifications for Highway Bridges*, 17edition, Washington, DC, pp. 1～1028.
7. American Iron and Steel Institute(2002), *Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products*, Washington DC, pp. 1～466.
8. Atkinson, J.(2007), *An Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations,* Taylor & Francis, New york, pp. 316～323.
9. Canadian Standards Association(2001), *Canadian Highway Bridge Design Code*, CAN/CSA-S6-00, Rexdale, Ontario, pp. 1～800.
10. Duncan, J. M., Seed, R. B. and Drawsky, R. H.(1985), *Design of Corrugated Metal Box Culverts*, Transportation Research Record 1008, Washington, DC, pp. 33～41.
11. Marston, A.(1930), The Theory of External Loads on Closed Conduits in the Light of the Latest Experiments, *Iowa State University Engineering Experiment Station*, Bulletin 96, Ames, Iowa, pp. 1～36.
12. Marston, A. and A. O. Anderson(1913), The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe, *Iowa State University Engineering Experiment Station*, Bulletin 31, Ames, Iowa, pp. 1～181.
13. Spangler, M. G.(1941), The Structural Design of Flexible Pipe Culverts, *Iowa State University Engineering Experiment Station*, Bulletin 153, Ames, Iowa, pp. 1～155.
14. Spangler, M. G.(1950), A Theory of Loads on Negative

Projecting Conduits, *Proceeding of Highway Research Board*, 30, Washington, DC, pp. 153～161.
15. Spangler, M. G. and Handy, R. L.(1950), *Soil Engineering*, The Harper & Row, New york, pp. 1～748.
16. Taylor, R. N.(1995), *Geotechnical Centrifuge Technology*, Chapman & Hall, London, pp. 115.
17. White, H. A. and Layer, J. P.(1960), The Corrugated Metal Conduit as a Compression Ring, Highway Research Board, *Proceedings of the Annual Meeting*, 39, pp. 389～397.

(접수일: 2011. 8. 11 심사일: 2011. 8. 19 심사완료일: 2011. 9. 1)