

차량하중에 대한 파형강판 지중구조물의 거동 분석

Behavior of Soil-Steel Bridges under Vehicle Loads

이종구¹⁾, 정민규²⁾, 조성민³⁾, 김경석⁴⁾, 이종화⁵⁾, 김병모⁶⁾

Lee, Jong-Ku · Chung, Min-Gyu · Cho, Sung-Min · Kim, Kyung-Suk · Rhee, Jong-Hwa · Kim, Myoung-Mo

1. 서 론

파형강판 지중구조물은 아연도금한 강판을 주름성형하여 휨강성과 단면적을 증가시킨 파형강판 (corrugated steel plate)을 볼트로 조립하여 지중에 설치한 구조물로서 1997년 국내 최초로 중앙고속도로의 통로암거로 건설된 이후 현재까지 고속도로 및 국도 하부의 횡단 통·수로 구조물로 이용되고 있으며 그 이용 실적이 꾸준히 증가하고 있다.

본 연구에서는 차량하중하에서의 파형강판 구조물의 거동을 평가하고 토목섬유에 의한 강판 상부 지반의 보강효과를 검증하기 위하여 정적 및 동적 차량재하시험을 실시하고, 구조물 내에 발생하는 축력과 모멘트, 그리고 구조물에 작용하는 토압을 계측하였으며 그 결과를 각각 분석하였다.

2. 차량재하시험

2.1 대상 구조물 및 계측 현황

재하시험 대상 구조물은 서해안고속도로에 시공한 직경 6.3m의 원형 구조물로서, 5mm 두께의 파형강판을 사용하였다(그림 1). 구조물 하부지반은 실트와 점토로 구성된 연약지반으로, 지반개량 후 구조물 하부 1.0m 두께를 양질의 흙으로 치환한 후 베딩을 형성하고 그 위에서 강판을 조립하였다.

토피부를 포함한 뒷채움 부위는 모래와 보조기층용 골재인 SB-1급 재료를 사용하였고, 다짐두께 20cm에 상대다짐도 95% 이상이 되도록 층다짐을 실시하였다. 토피부 보강효과를 평가하기 위하여 시험단면을 단면 A(하행선)와 단면 B(상행선)로 구분하여 단면 A의 토피부에는 강도 20tf/m의 지오그리드 2매를 20cm 간격으로 포설(폭 20m)하였다.

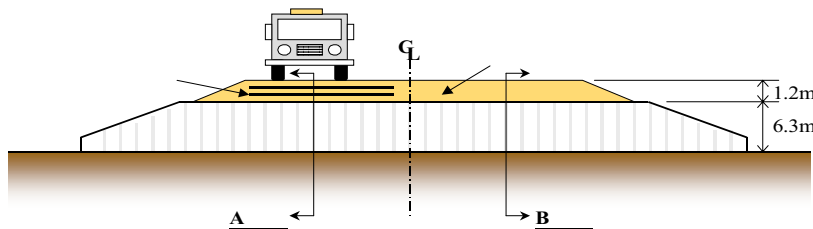


그림 1. 시험대상 구조물 개략 단면도

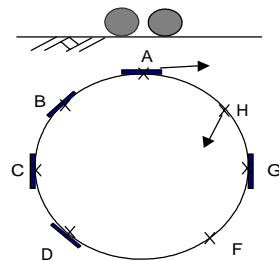


그림 2. 계측 지점

- 1) 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 · 공학석사 · 02-880-7354 (E-mail: jake72@netsgo.com)
- 2) 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 · 공학사 · 02-880-8730 (E-mail: chhung@snu.ac.kr)
- 3) 정회원 · 한국도로공사 기술본부 연구개발실 책임연구원 · 공학박사 · 02-2230-4657 (E-mail: chosmin@freeway.co.kr)
- 4) 정회원 · 한국도로공사 기술본부 연구개발실 연구원 · 공학석사 · 02-2230-4957 (E-mail: kskim@freeway.co.kr)
- 5) 평산SI(주) 대표이사 · 02-804-7897 (E-mail: jongrhee@pyungsan.co.kr)
- 6) 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 · 공학박사 · 02-880-7354 (E-mail: geotech@gong.snu.ac.kr)

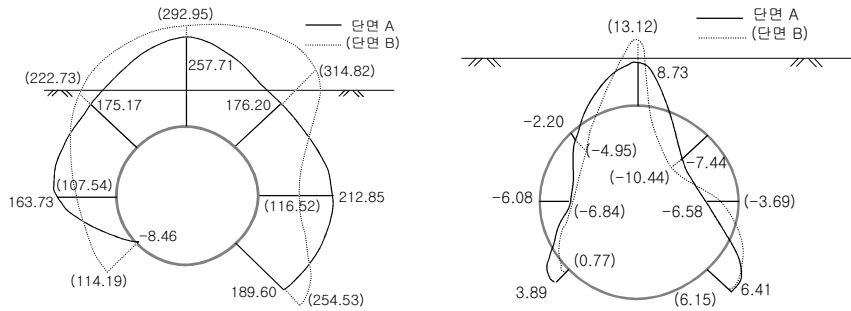


그림 3. 차량하중 재하 이전의 축력과 모멘트 분포도

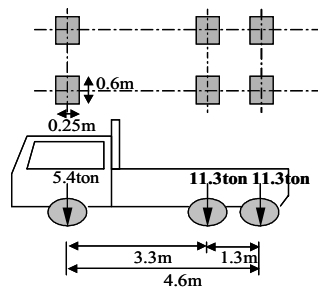


그림 4. 재하시험용 트럭 하중

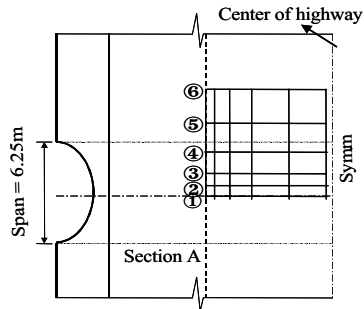


그림 5. 트럭하중 재하 위치

구조물 내부에는 강관 부재의 축력과 모멘트를 측정하기 위하여 7개 지점에 전기저항식 변형률게이지를 설치하였으며, 외부에는 상부 및 측면 토압을 측정하기 위하여 전기저항식 토압계를 부착하였다(그림 2). 단면의 내공변위를 관측하기 위해 낙추 및 장력보정 줄자를 사용하였다.

차량 하중을 재하하기 이전에 강관 상부의 토피하중에 의하여 구조물 내부에 발생한 축력(kN/m)과 모멘트(kN·m/m) 분포도가 그림3에 나타나 있다. 각 단면의 축력과 모멘트 분포를 비교해 보면 도관상부 사하중에 대한 지오그리드 보강효과를 확인할 수 있다.

2.2 차량재하시험

재하시험에 이용한 차량은 총 하중이 28ton인 3축 트럭으로 두 개의 뒷축하중은 각각 11.3ton이다(그림 4). 재하시험은 정적재하시험과 동적재하시험으로 구분하여 수행하였다. 정적재하시험시에는 구조물 토피 상단에 그림 5와 같은 격자를 그린 후 뒷축하중의 중심을 격자 위로 이동시키면서 강관 벽체의 정적인 변형률과 토압 변화량을 계측하였고, 동적재하시험시에는 차량을 그림에서 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥로 표시된 축선을 따라 5, 30, 50km/h의 속도로 주행시키면서 강관 벽체의 변형률과 토압 변화량을 측정하였다.

3. 시험결과 분석

3.1 정적재하시험 결과

그림 6은 차량하중의 위치 변화에 따라 강관에 발생하는 축력(kN/m) 및 모멘트(kN·m/m) 증가량 분포도(실선은 토피에 지오그리드를 포설한 단면 A에서 측정된 결과이며, 점선은 보강재를 사용하지 않은 단면 B에서 계측한 결과)이다.

이 그림에서 보면 차량하중에 의한 축력 증가는 주로 하중이 직접 전달되는 상부 아치에서 두드러지게 나타나 최대축력이 구조물 정점부, 또는 어깨부분에서 발생하였으며 그 값은 사하중(상부 토피하중)에 의한 최대 축력의 15%(단면 B)~18%(단면 A) 정도이다. 단면 A에서 발생한 최대축력의 단면 B에서의 값에 대한 비율은 차량하중이 ① 지점과 ③ 지점에 재하되었을 경우에 각각 92%와 85%에 머물러 토피부를 지오그리드

로 보강한 경우의 차량하중에 대한 축력 감소효과를 어느 정도 확인할 수 있다. 차량하중에 의한 구조물 내 모멘트 역시 주로 상부 아치에서 유발되었는데, 전체적으로 그 크기가 사하중에 의한 모멘트 값의 3% 이하로 매우 작으며, 단면 A, B간의 차이 또한 거의 구분하기 어렵다. 이 결과는 원형 단면의 파형강판 구조물의 경우 차량하중에 의한 모멘트 증가는 무시할 수 있을 정도로 작다고 한 Bakht(1981) 연구 결과와도 일치한다.

그림 7은 구조물 상부의 차량하중 재하시의 강판 구조물 상부의 지중응력(수직 방향) 분포로서, A 단면과 B 단면에서의 분포 형태와 크기가 유사하여 본 시험 조건에서는 토피부 지오그리드 보강에 의한 차량하중 분산 효과는 나타나지 않았다.

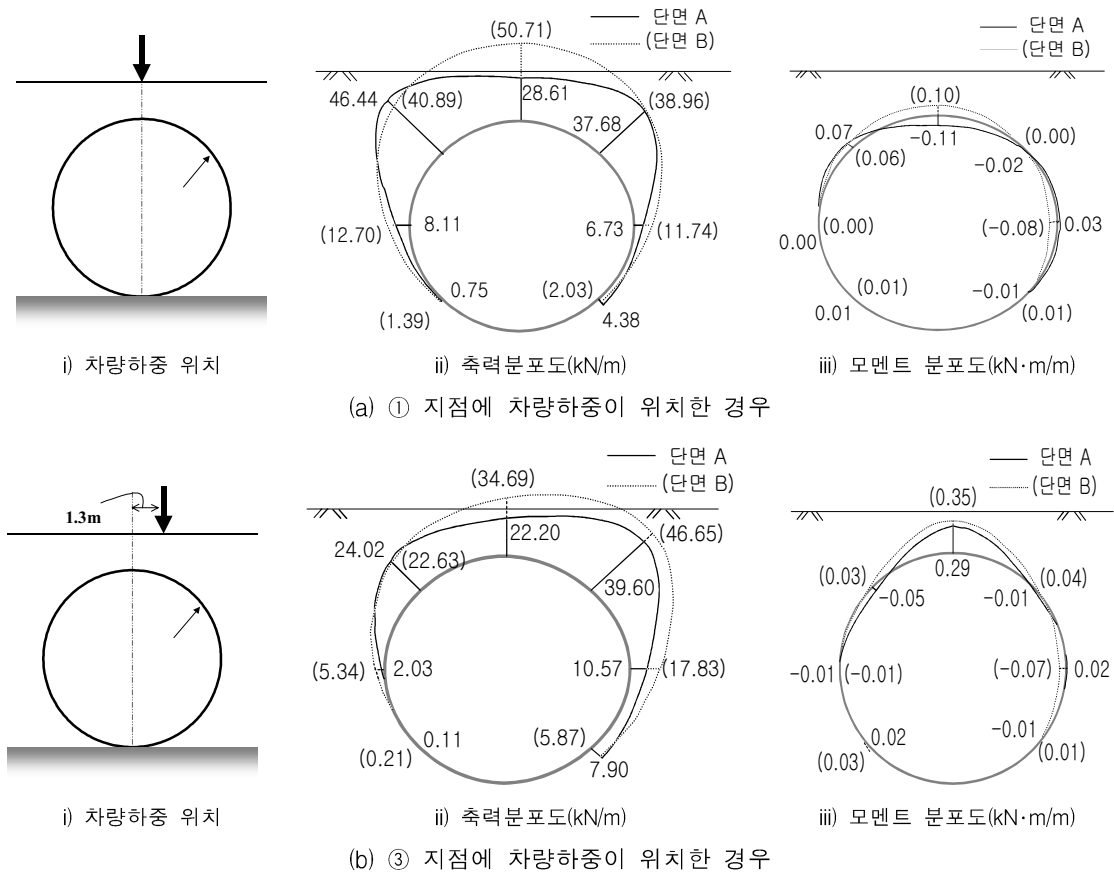


그림 6. 차량하중의 위치변화에 따른 축력 및 모멘트 증가량 분포도

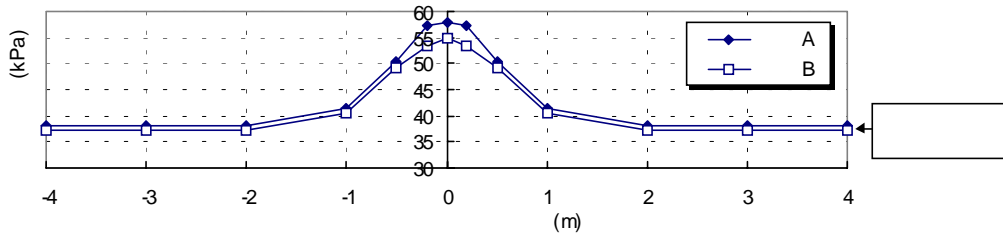


그림 7. 차량 하중 재하시 구조물 정점부에서의 지중응력(수직 방향) 분포도

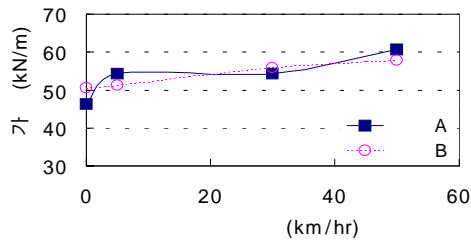


그림 8. 주행속도에 대한 최대축력의 변화

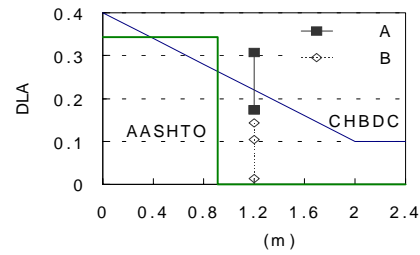


그림 9. 충격계수(DLA)의 비교

3.2 동적제하시험 결과

그림 8에서 차량의 주행속도가 증가함에 따라 지오그리드 보강 유무에 관계없이 강판 내 최대축력이 증가하는 사실을 알 수 있다. 또한 지오그리드 보강 단면과 무보강 단면에서의 최대축력 증가량을 비교해보면 정적하중하(그림에서 주행속도 0)에서는 보강단면 구조물의 축력이 8%가량 작으나 주행시에는 차량하중에 대한 추가적인 지오그리드 보강효과는 없어지는 것으로 보인다.

구조물 설계시에는 정적인 상태의 차량 하중에 대한 응력에 충격계수(DLA, dynamic load allowance)를 곱하여 차량 주행에 의한 증가량을 평가한다. 그림 9에서는 본 시험 결과에 근거하여 충격계수를 평가하고 그 값을 기존 설계지침에 제시된 값과 비교하였다. 토피 두께가 1.2m인 본 현장에서 산정한 충격계수는 A 단면에서 평균 0.22, B 단면에서 평균 0.09로서 AASHTO(1996) 기준과 비교할 때 임계토피고 0.9m 이상에서도 충격계수가 0보다 큰 것으로 나타났으며 CHBDC(2001) 기준은 본 연구 결과의 A 단면 시험 결과와 잘 부합한다. 그러나, 이에 대한 결론은 토피고를 변화시켜 추가적인 시험을 수행한 후에 도출 가능할 것이다.

4. 결론 및 향후과제

파형강판을 이용한 원형 지중횡단 구조물에 대하여 차량제하시험을 수행하고 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 차량하중 작용시 강판 부재의 축력은 주로 상부 아치부에서 증가하였으며, 그 최대값은 구조물 정점 부 또는 도관 어깨부에서 발생하였다. 모멘트도 상부 아치부를 중심으로 증가하는 형태를 보였으나, 그 크기는 무시할 수 있을 만큼 작았다.
- (2) 정적차량하중이 가해질 때 토피부에 지오그리드를 포설한 단면에서 측정된 최대축력 증가량은 지오그리드가 설치되지 않은 단면에서 측정된 값의 85~92%를 나타내어 사하중에 대한 효과외에 추가적인 축력감소 효과를 확인할 수 있었으나 차량주행시에는 차량하중에 대한 추가적인 보강 효과는 없어짐을 관찰하였다. 또한 지중응력분포에서도 지오그리드에 의한 보강효과를 관찰할 수 없었다.
- (3) 동적제하시험을 통해 차량의 주행 속도 증가에 따라 강판에 작용하는 최대축력이 증가함을 알 수 있었으며, 동적 하중상태에서 측정된 최대축력은 정적 하중상태에 비하여 평균 15% 가량 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사에서 주관한 “파형강재 지중구조물 실용화” 과제의 일환으로 평산SI(주)의 지원 아래 수행되었으며, 평산SI(주)와 지오그리드를 협찬한 (주)삼양사에 감사드립니다.

참고문헌

1. AASHTO(1996), *Standard Specifications for Highway Bridges*, Section 12.
2. Bakht, B.(1981), "Soil-Steel Structure Response to Live Loads", *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 107, No. 3, pp. 779-798.
3. Canadian Standards Association(2001), *Canadian Highway Bridge Design Code(CHBDC)*, Section 7.