

# 차량하중에 대한 지중강판구조물의 거동분석

조 성 민

한국도로공사 도로연구소 지반연구그룹 책임연구원

김 홍 중

한국도로공사 도로연구소 지반연구그룹 책임연구원

김 경 석

한국도로공사 도로연구소 지반연구그룹 연구원

정 종 홍

한국도로공사 도로연구소 지반연구그룹 연구원

## 1. 서론

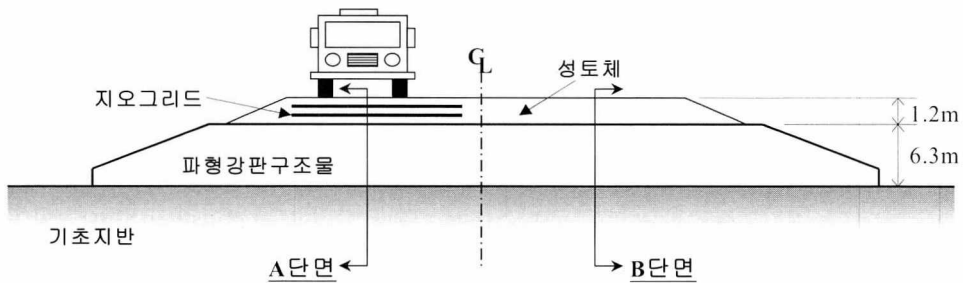
지중강판구조물은 아연도금 후 주름성형하여 휨강성과 단면적을 증가시킨 파형강판(corrugated steel plate)을 볼트로 조립하여 지중에 설치한 구조물로서 1997년 국내 최초로 중앙고속도로의 통로암거로 건설된 이후 현재까지 고속도로 및 국도 하부의 횡단 통·수로 구조물로 이용되고 있으며 그 이용 실적이 꾸준히 증가하고 있다. 본 연구에서는 차량하중을 받는 지중강판구조물의 거동을 평가하고 토목섬유에 의한 강판 상부 지반의 보강효과를 검증하기

위하여 정적 및 동적 차량재하시험을 실시하고, 구조물 내에 발생하는 축력과 모멘트, 그리고 구조물에 작용하는 토압을 계측하였으며 그 결과를 각각 분석하였다.

## 2. 차량재하시험

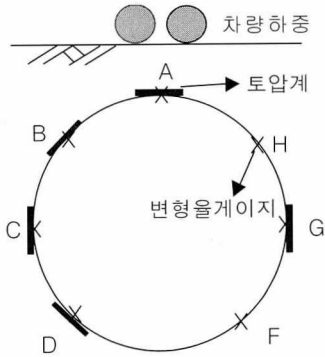
### 2.1 대상 구조물 및 계측 현황

재하시험 대상 구조물은 서해안고속도로에 시공한 직경 6.3m의 원형 구조물로서, 5mm 두께의 파형강판을 사용하였다(그림 1). 구조물

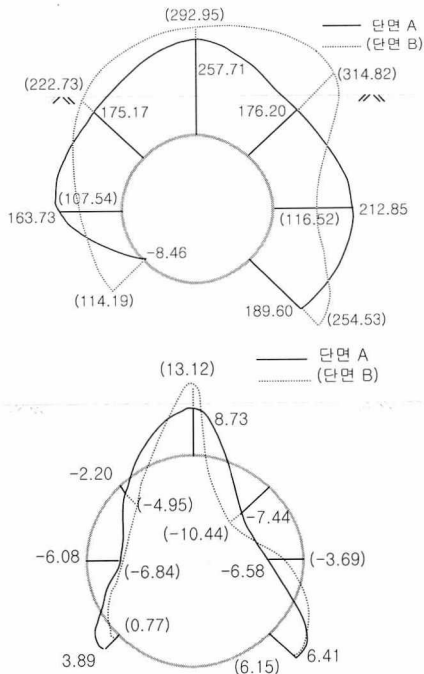


[그림 1] 시험대상 구조물 개략 단면도

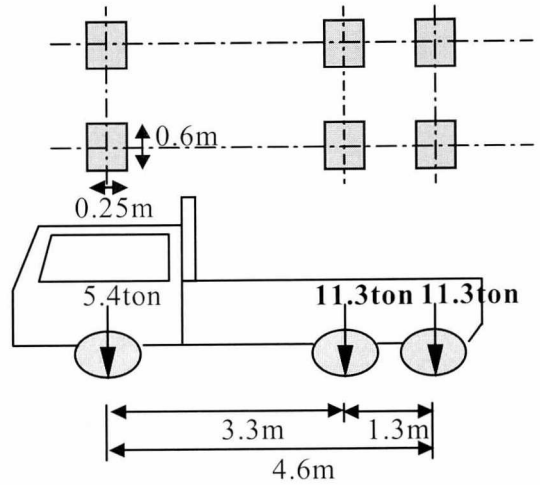
하부지반은 실트와 점토로 구성된 연약지반으로, 지반개량 후 구조물 하부 1.0m 두께를 양질의 흙으로 치환한 후 베딩을 형성하고 그 위에서 강관을 조립하였다.



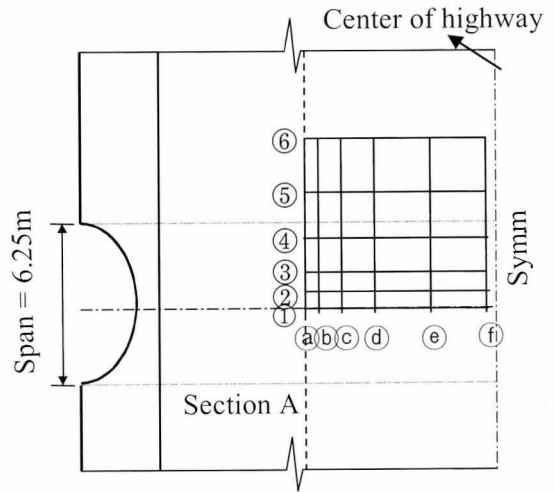
[그림 2] 계측 지점



[그림 3] 차량하중 재하 이전의 축력과 모멘트 분포도



[그림 4] 재하시험용 트럭 하중



[그림 5] 트럭하중 재하 위치

토퍼부를 포함한 뒷채움 부위는 모래와 보조기층용 골재인 SB-1급 재료를 사용하였고, 다짐두께 20cm에 상대다짐도 95%이상이 되도록 층다짐을 실시하였다. 토퍼부 보강효과를 평가하기 위하여 시험단면을 단면 A(하행선)와 단면 B(상행선)로 구분하여 단면 A의 토퍼부

에는 강도 20tf/m의 지오그리드 2매를 20cm 간격으로 포설(폭 20m)하였다.

구조물 내부에는 강판 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 강판 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 강판 벽체의 정적인 변형률과 토압 변화량을 계측하였고, 동적재하시험시에는 차량을 그림에서 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥로 표시된 축선을 따라 5, 30, 50km/h의 속도로 주행시키면서 강판 벽체의 변형률과 토압 변화량을 측정하였다.

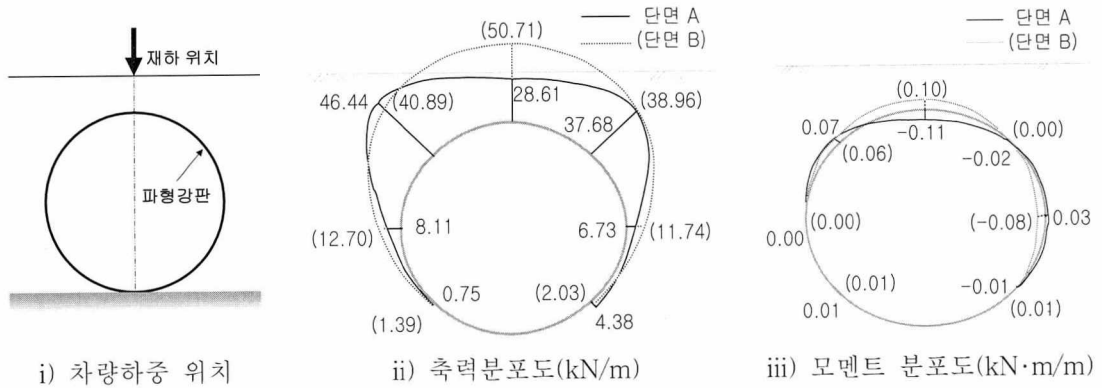
## 3. 시험결과 분석

### 3.1 정적재하시험 결과

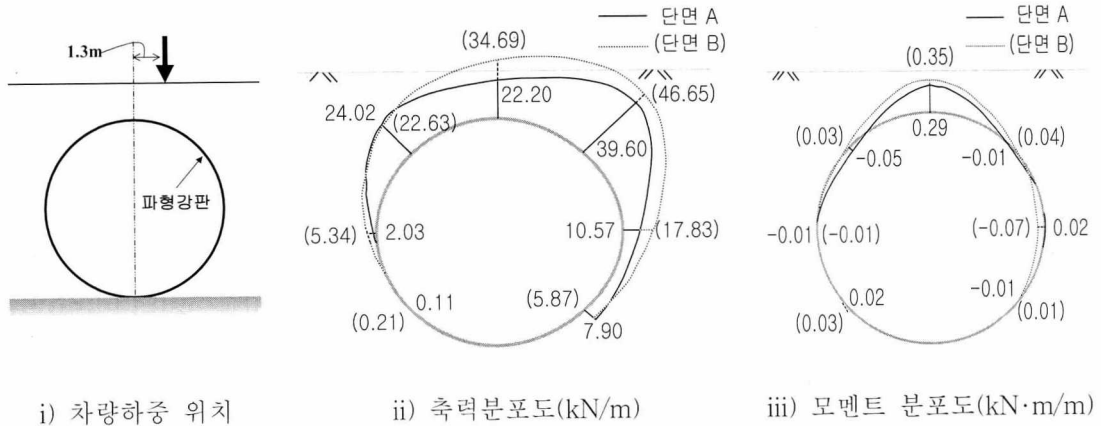
그림 6은 차량하중의 위치 변화에 따라 강판에 발생하는 축력(kN/m) 및 모멘트(kN·m/m) 증가량 분포도(실선은 토피에 지오그리드를 포설한 단면 A에서 측정한 결과이며, 점선은 보강재를 사용하지 않은 단면 B에서 계측한 결과)이다.

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 지오그리드로 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 크

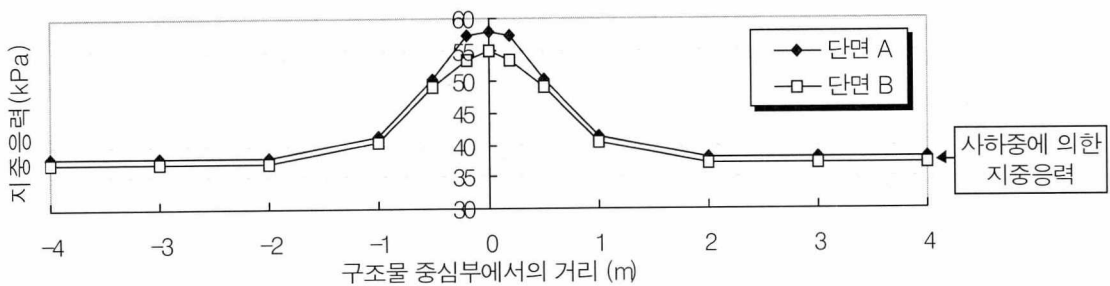


(a) ① 지점에 차량하중이 위치한 경우

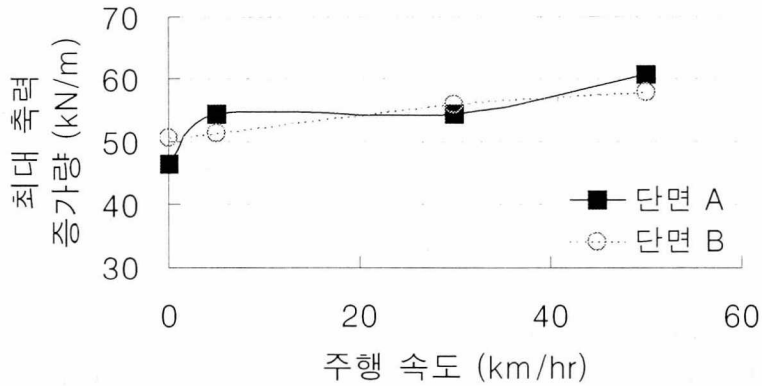


(b) ③ 지점에 차량하중이 위치한 경우

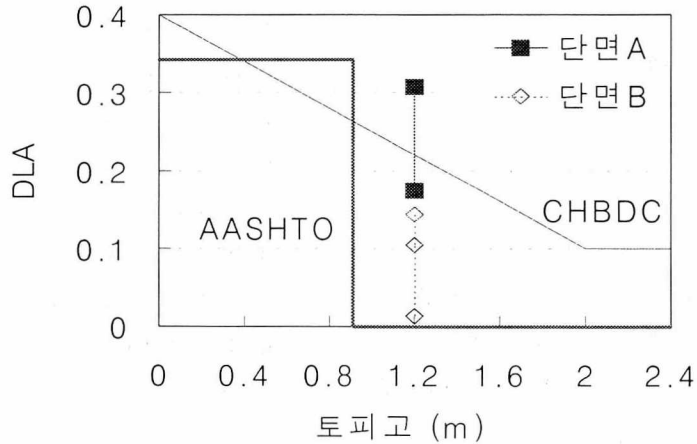
[그림 6] 차량하중의 위치변화에 따른 축력 및 모멘트 증가량 분포도



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



[그림 8] 주행속도에 대한 최대축력의 변화



[그림 9] 충격계수(DLA)의 비교

기가 유사하여 본 시험 조건에서는 토피부 지오그리드 보강에 의한 차량하중 분산 효과는 나타나지 않았다.

### 3.2 동적재하시험 결과

그림 8에서 차량의 주행속도가 증가함에 따라 지오그리드 보강 유무에 관계없이 강관 내 최대축력이 증가하는 사실을 알 수 있다. 또한

지오그리드 보강 단면과 무보강 단면에서의 최대축력 증가량을 비교해보면 정적하중(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 증가량

을 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 차량재하시험을 수행하고 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 차량하중 작용 시 강판 부재의 축력은 주로 상부 아치부에서 증가하였으며, 그 최대값은 구조물 정점부 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 계측된 최대축력 증가량은 지오그리드가 설치되지 않은 단면에서 계측된 값의 85~92%를 나타내어 사하중에 대한 효과 외에 추가적인 축력감소 효과를 확인할 수 있었으나 차량 주행 시에는 차량하중에 대한 추가적인 보강 효과는 없어짐을 관찰하였다. 또한 지중응력분포에서도 지오그리드에 의한

보강효과를 관찰할 수 없었다.

- (3) 동적재하시험을 통해 차량의 주행 속도 증가에 따라 강판에 작용하는 최대축력이 증가함을 알 수 있었으며, 동적 하중 상태에서 측정된 최대축력은 정적 하중 상태에 비하여 평균 15% 가량 증가하였다.

#### 참 고 문 헌

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.