

활하중이 작용하는 해안도로 하부 연성지중구조물의 거동 분석

조성민* · 장용채**

*한국도로공사 도로연구소 책임연구원, **목포해양대학교 해양시스템공학부 조교수

Structural Behavior of the Buried flexible Conduits in Coastal Roads Under the Live Load

Sung-Min Cho* · Yong-Chai Chang**

*Geotechnical Research Group, Korea Highway Corporation, Seongnam 461-380, Korea

**Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요약 : 강판벽체와 뒷채움 지반의 상호작용에 의해 외력을 지지하는 지중강판구조물은 도로 제방의 하부 통·수로 구조물로 널리 사용되고 있다. 해안도로로 사용되는 성토체 내에 통로용 횡단구조물로 설치한 직경 6.25m의 원형단면 지중강판구조물에 대하여 상부 도로의 차량 통행에 의한 활하중 작용시 강판 벽체의 축력과 모멘트 변화를 평가하고, 토목섬유에 의한 강판구조물 상부 지반의 보강효과를 검증하였다. 이를 위하여 실제 구조물을 대상으로 정적 및 동적 차량재하시험을 실시하고, 구조물 내에 발생하는 축력과 모멘트, 그리고 구조물에 작용하는 토압을 계측하였으며 그 결과를 각각 분석하였다. 또한 지오그리드를 이용한 토피부 보강 효과에 대해서도 검증하였다. 차량하중 작용시 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. 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 차량주행시에는 차량하중에 대한 추가적인 보강 효과는 없어짐을 관찰하였다. 동적재하시험을 통해 산정한 충격계수(DLA)는 토피두께가 0.9m에서 1.5m까지 증가함에 따라 반비례하여 감소하였는데, 그 크기는 CHBDC 방법으로 예측한 값보다 1.2-1.4배 정도 크게 나타났다.

핵심용어 : 연성지중구조물, 지중강판구조물, 파형강판, 활하중, 도로, 지오그리드, 충격계수

Abstract : Soil-steel structures have been used for the underpass, or drainage systems in the road embankment. This type of structures sustain external load using the correlations with the steel wall and engineered backfill materials. Buried flexible conduits made of corrugated steel plates for the coastal road was tested under vehicle loading to investigate the effects of live load. Testing conduits was a circular structure with a diameter of 6.25m. Live-load tests were conducted on two sections, one of which an attempt was made to reinforce the soil cover with the two layers of geo-grid. Hoop fiber strains of corrugated plate, normal earth pressures exerted outside the structure, and deformations of structure were instrumented during the tests. This paper describes the measured static and dynamic load responses of the structure. Wall thrust by vehicle loads increased mainly at the crown of the steel structure and maximum value of it was measured at the crown and shoulder part of the conduit. However additional bending moment by vehicle loads was neglectable. The effectiveness of geogrid-reinforced soil cover on reducing hoop thrust is also discussed based on the measurements in two sections of the structure. The maximum thrusts at the section with geogrid-reinforced soil cover was 85-92% of those with un-reinforced soil cover in the static load tests of the circular structure; this confirms the beneficial effect of soil cover reinforcement on reducing the hoop thrust. However, it was revealed that the two layers of geogrid had no effect on reducing the overburden pressure at the crown level of structure. The obtained values of DLA decrease approximately in proportion to the increase in soil cover from 0.9m to 1.5m. These values are about 1.2-1.4 times higher than those specified in CHBDC.

Key words : buried flexible conduits, soil-steel structures, corrugated steel plates, live load, road, geo-grid, DLA

1. 서론

최근 들어 파형강판 벽체와 뒷채움 지반의 상호작용을 이용하여 상부 하중을 지지하는 지중강판구조물(buried soil-steel

structures)이 널리 보급되고 있다. 지중강판구조물의 기본 거동 원리는 압축링 이론(ring compression theory)으로서, 충분한 지지력을 가진 주변 채움재에 구속된 강판 벽체는 축력지배 구조가 되며, 자체 강성으로 외력을 지지하는 콘크리트 구조물과 달리 연성거동을 나타내게 된다.

Fig. 1에서 두께가 매우 얇아 스스로의 강성만으로는 하중 P_1 을 지지할 수 없으나, 뒷채움 지반 내에서 일정량의 변형이

* chosmin@freeway.co.kr, 02)2230-4657
** 정희원, geo@mmu.ac.kr, 061)240-7218

허용되면서 충분히 구속되어 순수압축 상태가 유지되는 조건에서는 훨씬 큰 하중인 P_2 를 지지할 수 있게 된다(Abdel-Sayed, 1993). 이러한 점 때문에 연성구조물은 통상적인 구조해석 기법보다는 구조물과 지반을 함께 모델링하는 방법을 이용하여 해석, 설계하여야 한다(조성민, 2000).

본 논문에서는 해안도로로 사용되는 성토체 내에 통로용 횡단구조물로 설치한 지중강관구조물에 대하여 상부 도로의 차량 통행에 의한 활하중 작용시 강관 벽체의 축력과 모멘트 변화를 평가하고, 토목섬유에 의한 강관구조물 상부 지반의 보강효과를 검증하였다. 이를 위하여 실제 구조물을 대상으로 정적 및 동적 차량재하시험을 실시하고, 구조물 내에 발생하는 축력과 모멘트, 그리고 구조물에 작용하는 토압을 계측하였으며 그 결과를 각각 분석하였다.

2. 계측 및 재하시험

2.1 대상 구조물 및 계측 현황

재하시험 대상 구조물은 서남해안에 인접한 도로에 시공한 직경 6.3m의 원형 구조물로서, 두께가 5mm, 골 사이 간격(pitch)이 150mm, 골 깊이(depth)가 50mm인 파형강판이다. 단면 형상은 Fig. 2와 같다. 구조물 하부지반은 실트와 점토로 구성된 연약지반으로, 지반개량 후 구조물 하부 1.0m 두께를 양질의 흙으로 치환한 후 베딩을 형성하고 그 위에서 강관을 조립하였다.

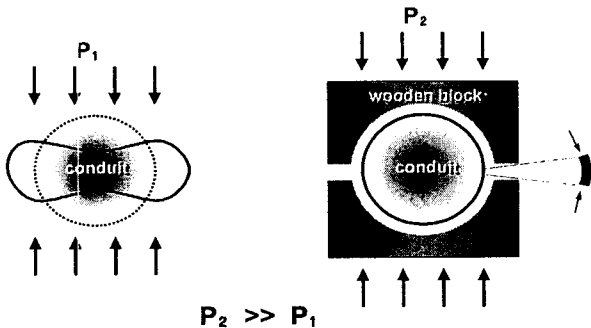


Fig. 1 Principles of behavior in flexible conduits

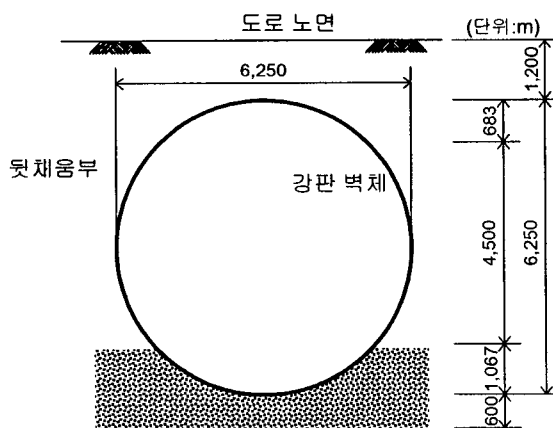


Fig. 2 Cross-section of the structure

토피부를 포함한 뒷채움 부위는 모래와 보조기층용 골재인 SB-1급 재료를 사용하였고, 다짐두께 20cm에 상대다짐도 95% 이상이 되도록 충당짐을 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(Fig. 3).

구조물 내부에는 강관 부재의 축력과 모멘트를 측정하기 위하여 7개 지점에 전기저항식 변형률게이지를 설치하였으며, 외부에는 상부 및 측면 토압을 측정하기 위하여 전기저항식 토압계를 부착하였다(Fig. 4). 단면의 내공변위를 관측하기 위해 낙추 및 장력보정 줄자를 사용하였다.

변형률게이지는 강관의 파형을 고려하여 봉우리, 골 그리고, 중간지점에 설치하였다. 장력보정 줄자는 양쪽 끝에 부착된 고리를 이용하여 줄자의 양끝을 고정시키고 줄자에 장력을 가하여 줄자를 팽팽하게 만든 다음 줄자에 표시된 눈금과 다이얼 게이지 값을 이용하여 두 지점간의 상대변위를 측정할 수 있다. 낙추식 줄자는 상부아치의 일정한 지점에 강선을 묶어 놓고 그 끝단에 추를 달아서 상부아치의 수직변위를 측정하는 장치이

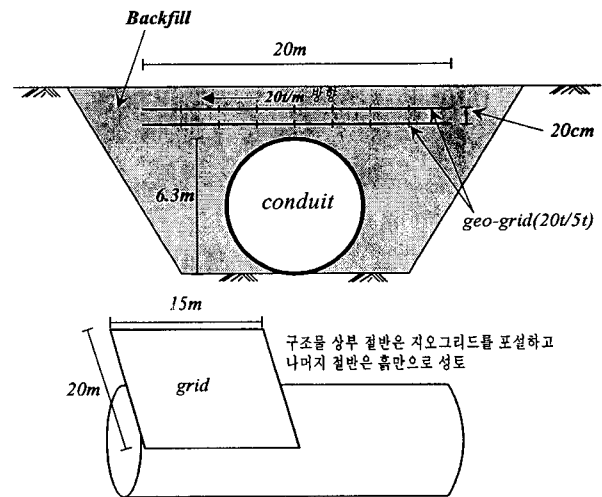


Fig. 3 Geogrid reinforcement in the soil cover

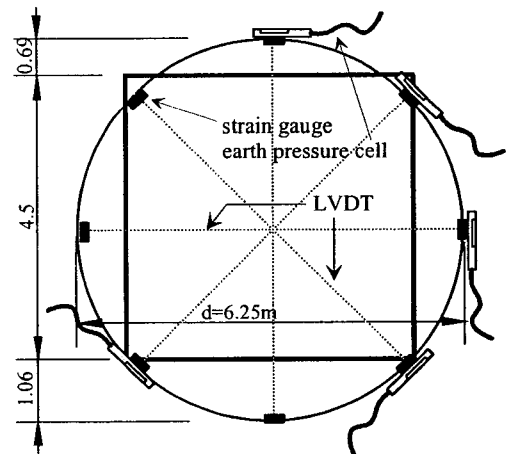


Fig. 4 Instrumented section

다. 토압계는 반력판과 함께 부착하였고 입경이 큰 자갈이 직접적으로 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 토압계 주변에는 입도가 고운 사질토를 이용하여 다짐하였다.

2.2 재하시험

재하시험을 위하여 토사를 만재한 3축 트럭 차량을 준비하였다. 차량의 총 하중은 28ton이며, 두 개의 뒷축하중은 각각 11.3ton이다(Fig. 5). 재하시험은 차량을 구조물 상부에 정지시킨 채로 계측을 하는 정적재하시험과 차량을 일정 속도로 주행시키며 계측을 진행한 동적재하시험으로 구분하였다.

정적재하시험시에는 구조물 토피 상단에 Fig. 6과 같은 격자를 그린 후 뒷축하중의 중심을 격자 위로 이동시키면서 강관 벽체의 정적인 변형률과 토압 변화량을 계측하였고, 동적재하시험시에는 차량을 그림에서 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣, ㉤, ㉥로 표시된 축선을 따라 5, 30, 50km/h의 속도로 주행시키면서 강관 벽체의 변형률과 토압 변화량을 측정하였다.

3. 시험결과 분석

3.1 정적재하시험 결과

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

포도를 Fig. 7과 8에 나타내었다. 각 단면의 축력과 모멘트 분포를 비교해 보면 도관상부 사하중에 대한 지오그리드 보강효과를 확인할 수 있다.

Fig. 9, 10, 11, 12는 차량하중의 위치 변화에 따라 강관에 발생하는 축력(kN/m) 및 모멘트(kN·m/m) 증가량 분포도(실선은 토피에 지오그리드를 포설한 단면 A, 점선은 보강재를 사용하지 않은 단면 B에서 계측한 결과)이다.

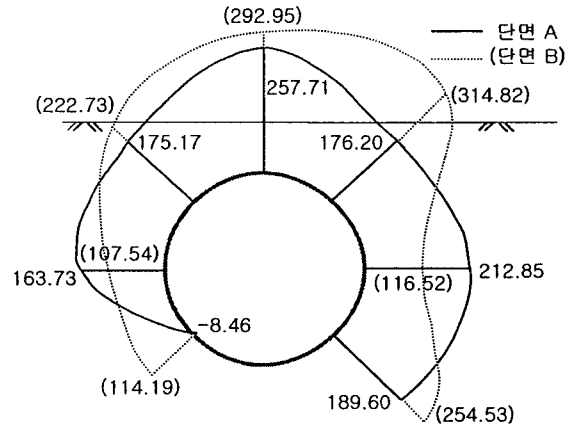


Fig. 7 Thrust in the wall before the loading

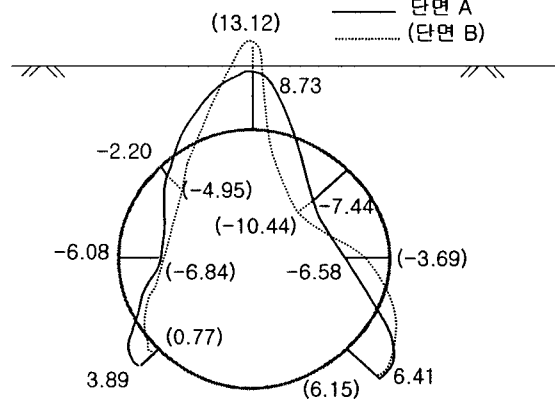


Fig. 8 Moment in the wall before the loading

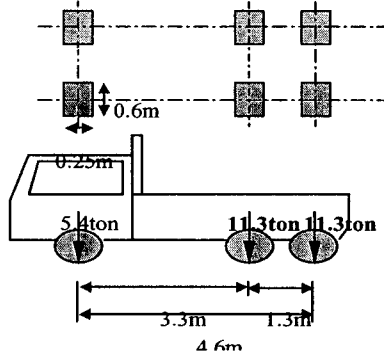


Fig. 5 Loading truck

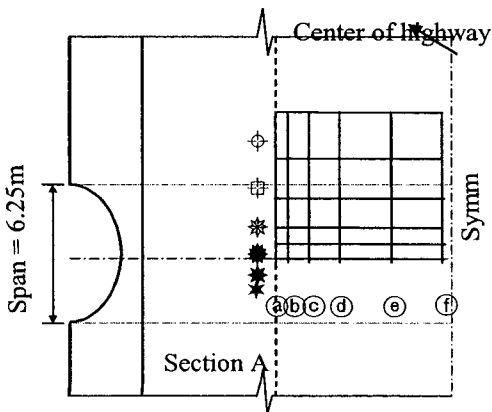


Fig. 6 Loading points in plane view

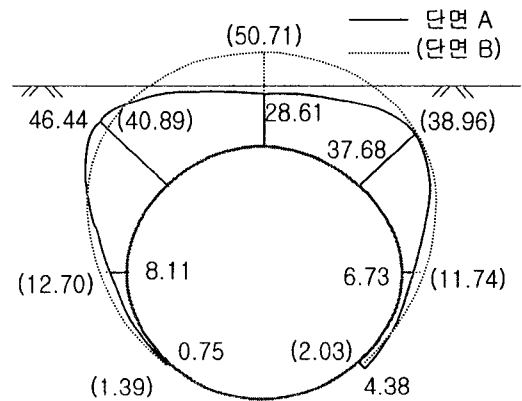


Fig. 9 Thrust increment due to loading 1

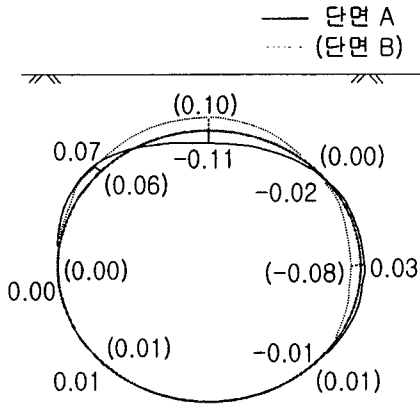


Fig. 10 Moment increment due to loading 1

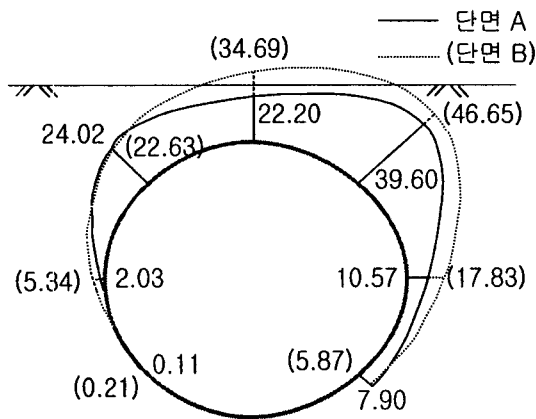


Fig. 11 Thrust increment due to loading 2 (distance of 1.3m from the center line)

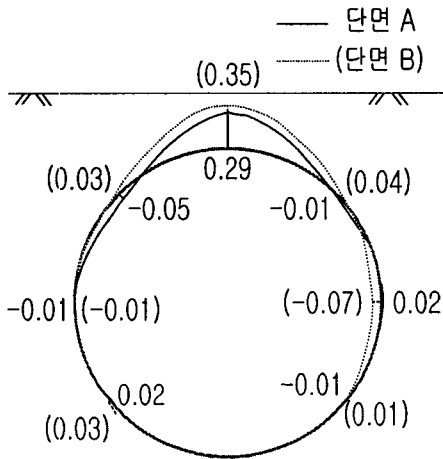


Fig. 12 Moment increment due to loading 2 (distance of 1.3m from the center line)

Fig. 9, 10은 차량 하중(뒷축하중 기준)의 중심이 강판의 중심부 상단에 위치한 경우이며, Fig. 11, 12는 하중의 중심이 강판 중심부에서 우측으로 1.3m 이격된 경우이다.

이 그림들에서 차량하중에 의한 축력 증가는 주로 하중이 직접 전달되는 상부 아치에서 두드러지게 나타나 최대축력이 구

조물 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 차량하중의 중심이 강판 중심부에 위치할 때와 강판 중심부에서 1.3m 이격되었을 때에 각각 92%와 85%에 머물러 토피부를 지오그리드로 보강한 경우의 차량하중에 대한 축력 감소 효과를 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.

Fig. 13은 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.

3.2 동적재하시험 결과

Fig. 14에서 차량의 주행속도가 증가함에 따라 지오그리드 보강 유무에 관계없이 강판 내 최대축력이 증가하는 사실을 알 수 있다. 또한 지오그리드로 보강한 단면(A)과 보강하지 않은 단면(B)의 최대축력 증가량을 비교해보면 정적하중하(그림 14에서 주행속도가 0인 경우)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. Fig. 15에서는 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 이상에서

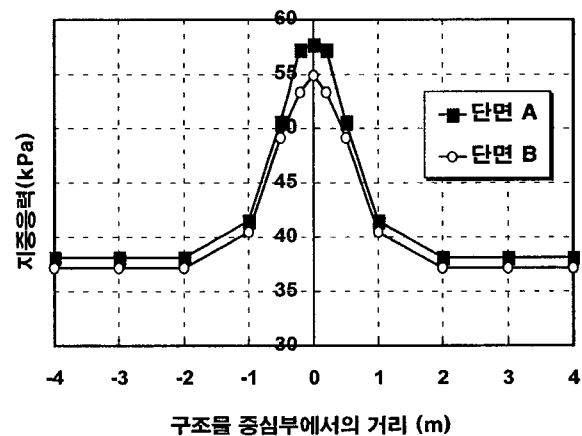


Fig. 13 Vertical soil pressure in the soil cover

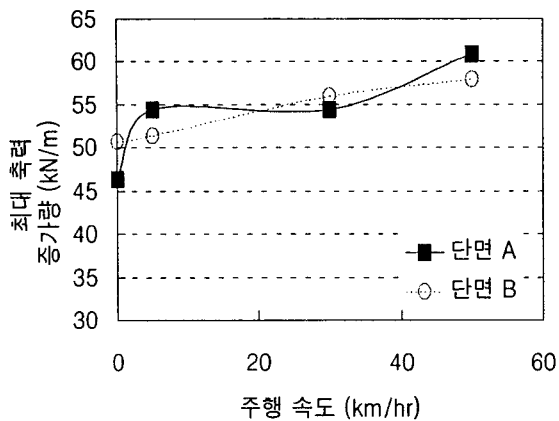


Fig. 14 Max. thrust according to the truck velocity

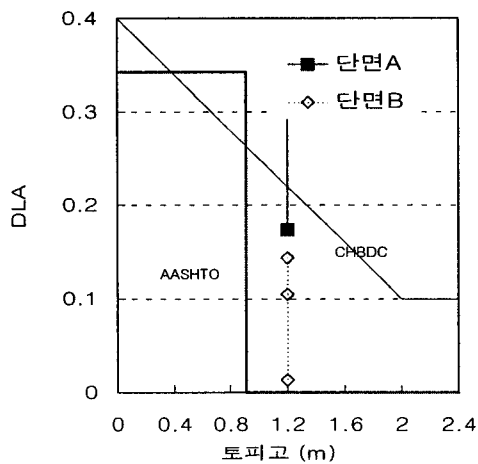


Fig. 15 Comparison of the DLA

도 충격계수가 0보다 큰 것으로 나타났으며 지중강관구조물 설계에 널리 활용되는 캐나다도로교시방서(CHBDC, 2001) 기준이 본 연구 결과의 A 단면 시험 결과와 잘 부합하였다. 그러나, 이에 대한 보다 구체적인 결론은 토피고를 변화시켜 추가적인 시험을 수행한 후에 도출 가능할 것이다.

4. 결 론

파형강관을 이용한 해안도로 하부 지중횡단구조물에 대하여 차량재하시험을 수행하고 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 차량하중 작용시 강관 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 효과외에 추가적인 축력감소 효과를 확인할 수 있었으나 차량주행시에는 차량하중에 대한 추가적인 보강 효과는 없어짐을 관찰하였다. 또한 지중응력분포에서도 지오그리드에 의한 보강효과를 관찰할 수 없었다.
- (3) 동적재하시험을 통해 차량의 주행 속도 증가에 따라 강관에 작용하는 최대축력이 증가함을 알 수 있었으며, 동적 하중상태에서 측정된 최대축력은 정적 하중상태에 비하여 평균 15% 정도 증가하였다.

참 고 문 헌

- [1] AASHTO(1996), Standard Specifications for Highway Bridges, Section 12.
- [2] Abdel-Sayed, G., Bakht, B., and Leslie, G.J.(1993), Soil-Steel Bridges : Design and Construction, McGraw-Hill, Inc, New York
- [3] AISI(2002), Handbook of Steel Drainage and Highway Construction
- [4] Bakht, B.(1981), "Soil-Steel Structure Response to Live Loads", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 107, No. 3, pp. 779-798.
- [5] Canadian Standards Association(2001), Canadian Highway Bridge Design Code(CHBDC), Section 7.
- [6] Duncan, J. M. (1979), Behavior and Design of Long-Span Metal Culverts, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 105, No. 3, pp. 399-417.
- [7] 조성민, 김홍중, 김경석(2000), "파형강관을 이용한 고속도로 횡단구조물의 시공", 대한토목학회 2000년 학술발표회 논문집(II), pp.137-140

원고접수일 : 2002년 07월 25일
 원고채택일 : 2002년 08월 13일