

고속도로 교대 뒤채움부 침하관리 방안

Management and Reduction of Backfill Settlement for Bridge Abutments

최영철¹⁾, Young-Chul Choi, 임성윤²⁾, Seong-Yoon Lim

¹⁾ 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, Chief Researcher, Korea Expressway Corporation

²⁾ 한국도로공사 도로교통연구원 연구원, Researcher, Korea Expressway Corporation

SYNOPSIS : To provide more safe road and better travelling service for Expressway customer, we minimize settlement of bridge backfill and properly repair the occurred settlement.

So, we divide this study to two parts one is construction part and the other is management part, in construction part we remove settlement occurring elements and in management part we grasp proper repair time, and then we produce general settlement management program.

In construction part, for the purpose of developing construction method of reducing settlement, we developed construction method models and they are composed of abutment back section alteration and backfill material alteration by literature reviews and site investigation of backfill settlement. And then, we carried out laboratory model test and full size field test of some developed models.

Keywords : abutment, backfill material, settlement, approach slab

1. 서 론

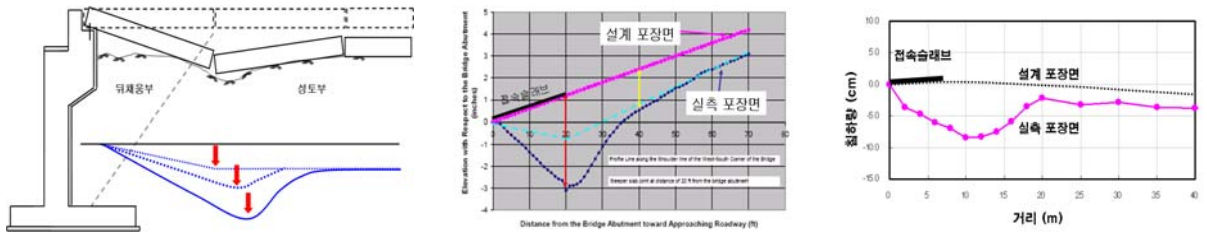
교량 뒤채움부의 침하는 도로의 평탄성을 불량하게 만들고 주행성을 떨어뜨려 결국 고속도로 이용자들의 불만을 야기 시킨다. 오래전부터 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내뿐만 아니라 외국에서도 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 뒤채움부의 다짐을 철저히 하는 것 이상의 현실적인 침하경감 방안이 뚜렷하게 제시되지 않고 있다. 이는 교대 뒤채움부의 침하가 설계나 시공법에 기인하기 보다는 성토체의 압축 등과 같이 피할 수 없는 다른 원인에 의한 영향을 크게 받기 때문으로 판단된다. 원지반의 침하, 강우 특성, 높은 성토고 등과 같은 지역적인 특수성도 원인의 하나이다. 따라서 교대 뒤채움부의 침하를 저하시키기 위해서는 침하의 원인을 구체적으로 분석하여 원인에 적합한 별도의 방안이 필요함을 의미한다.

본 연구에서는 40년 동안 고속도로를 유지·관리하면서 얻은 경험과 국내·외 문헌조사를 바탕으로 국내 고속도로에서의 교대 뒤채움부의 침하 원인을 분석하고 침하를 줄일 수 있는 별도의 시공법 및 사용재료를 개발하고자 하였다. 또한 교대 뒤채움부의 침하를 효율적으로 관리하여 공용중인 고속도로의 평탄성을 확보할 수 있는 방안을 수립하고자 하였다.

2. 교대 뒤채움부 침하 원인

교대 뒤채움부 침하라고 함은 그림 1과 같이 교량과 접속슬라브 사이에 단차가 발생하여 도로의 쾌적한 주행을 방해하는 상태를 말한다. 도로의 쾌적한 주행을 방해하는 기준으로 교량과 접속슬라브의 부등침하량, 노선의 경사 또는 IRI(International Roughness Index)를 이용한다. Walkinshaw(1987)는 2.5인치 이상의 수직 부등침하는 나쁜 승차감을 초래한다고 보고하였으며, Bozozuk(1978)는 허용 침하는 수

직으로는 3.9인치이며 수평으로는 2인치로 결론지었다. Long 외(1988)와 Wahls(1990)는 구배 1/200이 보수를 시작하는 기준으로 제안했다. Das 외(1999)는 침하나 구배 대신에 IRI를 사용하였으며, IRI이 10 이상이면 승차감이 저하된다고 하였다.



(a) 교대 뒤채움부 침하 모식도 (b) 침하량 측정결과(미국) (c) 침하량 측정결과(대한민국)
 그림 1. 교대 뒤채움부 침하 모식도 및 침하량 측정 결과(국내외)

교대 뒤채움부의 침하를 일으키는 요인들은 일반적으로 (1) 계절에 따른 온도 변화 (2) 침식에 의한 성토체의 손실 (3) 부적당한 시공방법 (4) 기초지반의 침하 (5) 과도한 차량하중 등으로 나눌 수 있다. 이 가운데 교량의 횡방향 변위 및 성토체의 침하가 교대 뒤채움부의 부등침하를 일으키는 가장 큰 요인으로 작용한다(Schaefer and Koch 1992; Laguros 1990; Wahls 1990). 성토부 침하는 기초 지반의 침하, 뒤채움재의 다짐 불량, 배수 불량, 침식으로 인한 채움재 소실에 의해 발생한다(Wahls 1990; Holts 1982). 기초지반과 교대 성토부의 시간 의존적인 압축, 교대 주변의 배수 불량과 토양 침식, 교대에 인접한 제방 성토의 압밀에 기인한다(Ardoni 1987). Stewart(1985)에 의하면 교대 뒤채움부 침하를 일으키는 대부분 중요한 요소들은 성토체의 압축과 기초지반의 침하이다. 그림 2에서는 이러한 교대 뒤채움부의 침하의 발생 원인을 잘 보여주고 있으며, 표 1에서는 주요 원인에 대한 순위를 보여주고 있다.

표 1. 뒤채움부 침하발생원인 (국외)

Ranking	Contributing Factor
1	Fill on Compressible Foundation
2	Approach Slab Too Short
3	Poor Fill Material
4	Compressible Fill
5	High Deep Embankment (>10m)
6	Bad Drainage
7	Severe Erosion
8	Poor Joint Design & maintenance

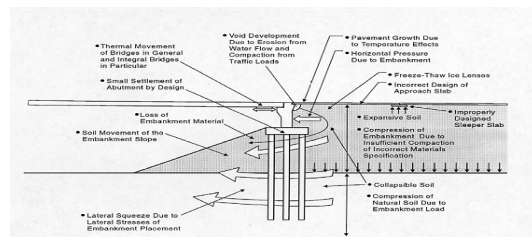


그림 2. 교대 뒤채움부 침하의 원인 모식도

3. 교대 뒤채움부 침하 경감 방안

3.1 다짐 취약부의 최소화 방법

3.1.1 콘크리트 뒤채움

본 방안은 교량 접속부 포장을 페이퍼를 이용한 콘크리트 포장 기계화타설 방법을 도입하여 일반부 포장과 접속부 포장을 연속하여 시공하여 평탄성을 향상시키며, 기계타설이 되지 않는 일부는 아스팔트로 시공하여 접속부 전반의 포장 평탄성을 개선시키는 방법이다. 또한 하부는 침하를 억제하기 위하여 콘크리트 등의 강성재료를 사용하여 침하를 최소화한다. 이 방안으로 뒤채움부 침하 및 포장 기계포설에 의한 평탄성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

3.1.2 Flowing 소일 콘크리트

본 방안은 교대 기초 상단에 최대입경 30cm의 암성토를 4단 시공한 후 Flowing 소일 콘크리트를 이용하여 고결시킨다. 그 후 포장층 하부까지 계속적으로 시공한다. 그리고 암성토를 실시하기 때문에 교대 벽체에 EPS(10cm)를 설치하여 교대의 손상을 줄인다. 또한 뒤채움부를 고결화 하기 때문에 성토체에 맹암거를 설치하여 뒤채움부의 배수를 제어하는 방안이다. 이 방안으로 인하여 뒤채움부 강성증가로 침하 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 뒤채움 재료 개선

3.2.1 노상토의 적용 가능성

교대 뒤채움부 재질개선 및 교대설계단면 최적화 및 지중구조물 뒤채움 시공기준에 따르면, 국내에서는 노상토 재료의 품질에 대한 요구조건을 지방서에서 규정하고 있기 때문에 대체적으로 매우 우수한 재료가 적용되고 있다. 뒤채움 재료의 품질과 다짐시험 판정에 대한 지방기준 고찰 결과, 노상토는 대체로 입상의 보조기층 또는 선택층 재료에 준하는 품질기준과 다짐기준을 적용하고 있고 공학적으로 우수한 재료로서 보조기층재와 노상토의 응력-변형을 및 탄성계수-변형을 관계를 통한 검증을 바탕으로 뒤채움재료로서의 높은 가능성이 확인되어 암거 및 지중라멘교의 뒤채움 재료로 적용하고 있다.

3.2.2 암재료의 적용 가능성

암성토 다짐 적정기준(한국도로공사, 2005)에 따르면 암재료는 재료 자체의 조건에서 강성, 배수 및 동상방지 등의 뒤채움재의 일반요건을 충족하며, 암성토체의 품질시험에서도 만족스러운 입도분포와 재하시험 값을 보이는 것으로 나타나 뒤채움재를 크기 30cm의 암으로 적용하는 방안이 가능함을 제시하였다.

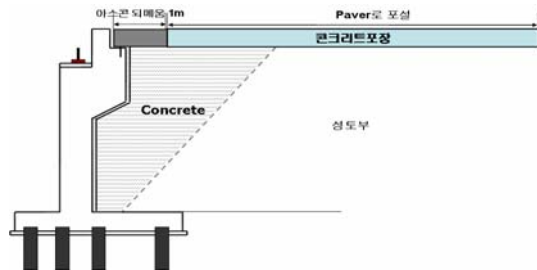


그림 3. 콘크리트 뒤채움

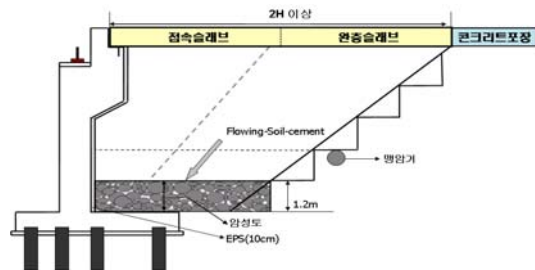


그림 4. Flowing 소일 콘크리트

3.3 뒤채움부 전달 응력 분포 완화 방법

3.3.1 접속슬래브부 구조계 변경

본 방안은 기존의 접속슬래브와 완충슬래브를 접속슬래브+완충슬래브를 일체화하여 시공함으로써 침하 및 침하도 경감시키는 것을 목적으로 한다. 받침슬래브 및 지지말뚝은 단부의 침하량을 성토부와 동일화시켜 평탄성을 향상시킬 것으로 판단된다.

3.3.2 이중 보강슬래브

본 방안은 기존의 접속슬래브와 같은 재료를 가진 강성보강층으로 설치하여, 교통하중을 접속슬래브

하나로 집중되었던 상부하중을 강성보강층이 분담하는 내용이다. 또한 강성보강층설치로 인하여 뒤채움부의 강성증가와 하중분산에 의한 침하 완화할 수 있을 것으로 판단된다.

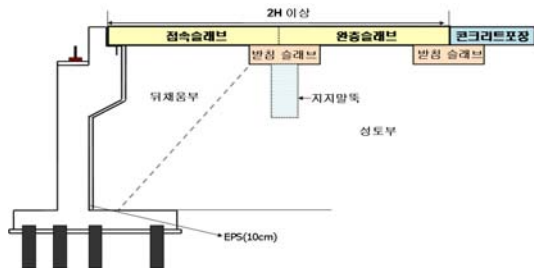


그림 5. 접속슬래브부 구조계 변경

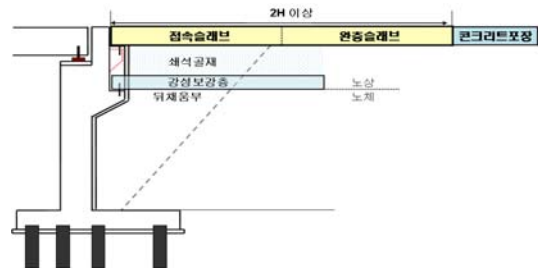


그림 6. 이중 보강슬래브

4. 현장적용성 평가

4.1 현장 적용성 평가 시험시공 개요

교대 뒤채움부의 침하를 근본적으로 경감시킬 수 있는 공법에 대한 요구를 충족시킬 방법으로 뒤채움 재료 변화 및 교대 단면 변화를 검토하고, 검토 결과 선정된 시공법의 침하 경감 효과 판정, 현장에서의 적용성 파악 및 경제성 검토를 위하여 실제 교대구조물 뒤채움부에서의 현장 시험시공을 실시하였다.

4.2 시험시공 교량 선정

시험시공 교량은 변경하고자 하는 적정 뒤채움 재료의 수급이 용이하며, 교대의 단면 변경이 가능한 교량으로, 뒤채움 다짐을 위한 장비는 사용빈도가 높은 10 ton 진동롤러를 이용하였다. 표 3.은 시험시공을 실시한 교량 및 각 시험시공 교량에서 적용한 시험 내용을 나타내었다.

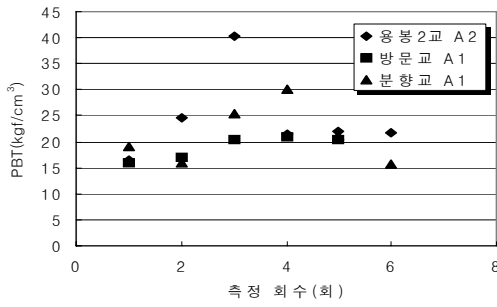
표 2. 교대 구간 시험시공지 총괄

교량명	시험시공 적용 내용	계측 내용	목적
수덕사 IC교	A1 : SB-1 뒤채움 A2 : 충격완화재 없이 양질의 토사 뒤채움	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 토압계	기존 교대 노상적용성 평가
용봉2교	A2 : 교대 배면 단순화, 충격완화재, 강성보강층 양질의 토사 뒤채움,	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 침하량, 토압계, 침하봉	다짐 취약부 개선 후 뒤채움 재료별 적용성 평가
방문교	A1 : 교대 배면 단순화, 충격완화재, 양질의 토사 뒤채움	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 토압계	
방문1교	A2 : 교대 배면 단순화, 충격완화재, 암재료 뒤채움	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 토압계	
분향교	A1 : 교대 배면 단순화 적용, 강성보강층, SB-1 뒤채움	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 침하량, 토압계, LVDT, 경사계, 침하봉	소형다짐장비 효율성 평가
서남원 IC 5교	A2 : SB-1, 모래, 양질의 토사, 논흙의 구간으로 나누어 각재료별 소형장비 운행시 토압 측정	정동적 토압, 토압계	
서남원 IC교	A2 : 교대 배면 단순화, 충격 완화재, 강성보강층 양질의 토사 뒤채움, A1: A2의 시험에 지오그리드 보강	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 토압계	다짐 취약부 개선 후 뒤채움 재료별 적용성 평가
동산육교	A1, A2 : 교대 배면 단순화, 충격완화재, 암재료 뒤채움	다짐도, 지지력, 침하봉 10개, 현장 주관	
서광산 IC 육교	A1, A2 : 교대 배면 단순화, 충격완화재, 강성보강층 양질의 토사 뒤채움	정동적 토압, 다짐도, 지지력, 토압계	

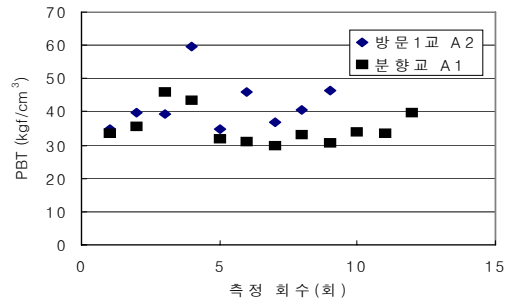
4.3 평판재하시험

그림 7.에서 볼 수 있드시 토사 뒤채움의 경우 강성 포장시의 노상의 지지력 계수 관리 기준치인 15 kgf/cm^3 을 모두 상회하며, SB-1 및 암재료 뒤채움의 경우 지지력 계수 관리 기준치인 30 kgf/cm^3 을 모

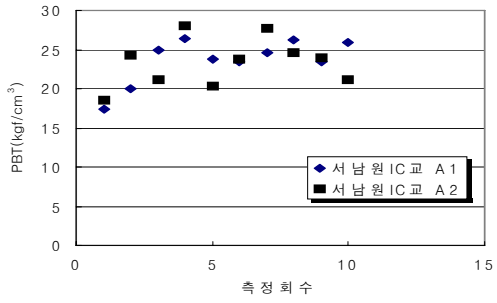
두 상회하여 관리 기준을 만족하였다.



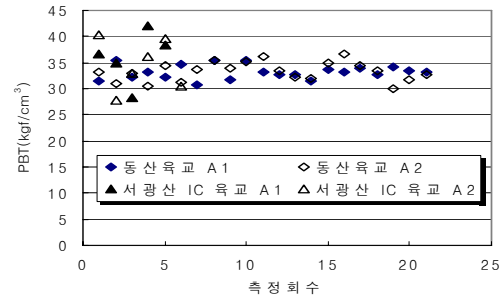
(a) 평판재하시험결과 (토사)



(b) 평판재하시험결과 (암재료)



(c) 평판재하시험결과 (토사)



(d) 평판재하시험결과(암재료)

그림 7. 뒤펀재재료별 평판재하시험결과

4.4 현장 시험 결과 및 분석

4.4.1 기존 교대에서 노상 적용성 평가

(1) 수덕사IC교

A1측 교대에는 뒤펀재재료로 화강풍화토를 사용하였고, A2측 교대에는 뒤펀재재료로 입상의 재료 (SB-1)을 사용하였으며, 교대에서의 이격거리를 0.5m, 1.0m와 2.0m로 하여 다짐롤러를 진입시켜 시험을 실시하였다. 또한 교대 기초바닥면에 수직 및 수평토압계를 설치하였으며, 교대 기초 바닥면으로부터 높이 2m, 6m에 수평토압계를 설치하였다. 그림 8과 9는 뒤펀재료가 SB-1인 경우, 그림 10과 11은 뒤펀재료가 토사인 경우에 수덕사IC교에 대하여 수평응력성분 및 수직응력성분을 성토높이에 대응하여 나타내었다. 수평토압은 기존의 하부에 설치된 토압계와 상부 1개소의 측정치이고, 수직토압은 상부수평토압과 연계하여 4단 성토시의 측정값이다.

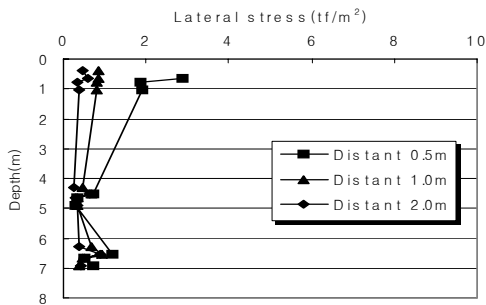


그림 8. 평균최대수평응력(SB-1)

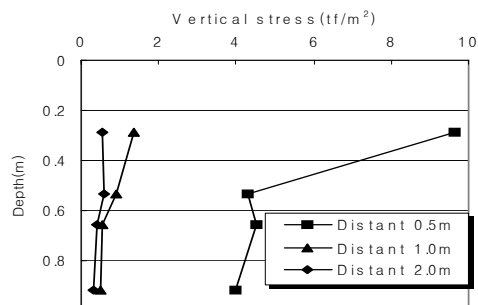


그림 9. 평균최대수직응력(SB-1)

교대에 근접시, 수평 및 수직토압은 SB-1 사용시 2배 이상 큰 것으로 나타났으며, 응력비는 0.2~0.3 사이에 있는 것으로 나타났다.

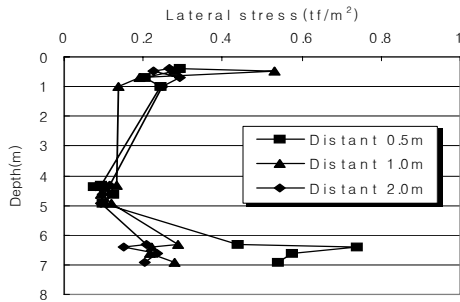


그림 10. 평균최대수평응력(Soil)

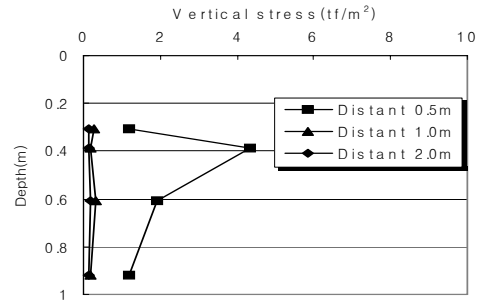


그림 11. 평균최대수직응력(Soil)

4.4.2 다짐 취약부 개선 후 뒤채움재료별 적용성 평가

(1) 용봉2교

뒤채움재료로 노상토급의 토사를 사용하였다. 다짐취약부가 개선되지 않은 경우와 비교하여, 수직 및 수평토압의 차이는 존재하나, 경향은 유사한 것으로 나타났다.

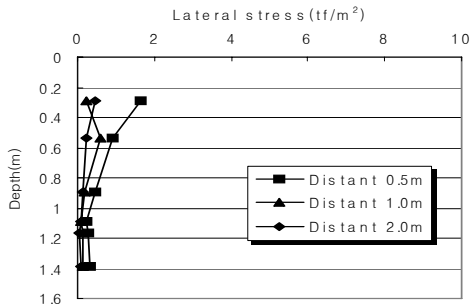


그림 12. 평균최대수평응력

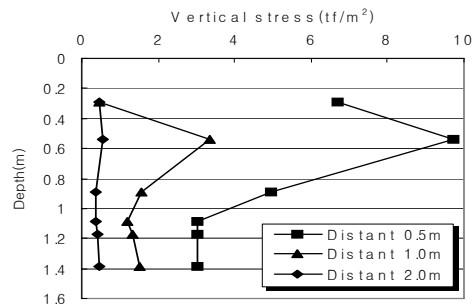


그림 13. 평균최대수직응력

(2) 방문1교

뒤채움재료로 암을 사용하였으며, 다짐두께 30cm, 암 최대치수 30cm이하로 하여 시험시공을 실시하였다. 수직토압은 이격거리 50cm에서 $20tf/m^3$ 정도이며, 수평토압은 $2tf/m^3$ 미만으로 측정되었다. 기존의 입상재료(SB-1)와 노상재료를 사용한 경우에 비해 응력비가 현저히 작은 것을 알 수 있다.

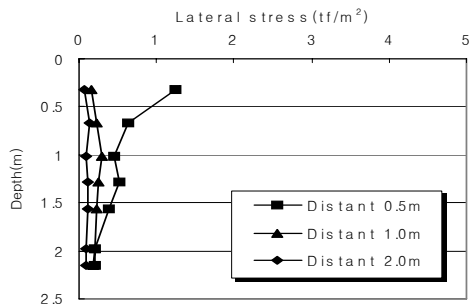


그림 14. 평균최대수평응력

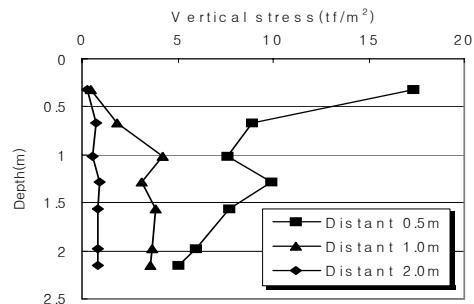


그림 15. 평균최대수직응력

(3) 분향교

뒤채움재료로 입상재료(SB-1)를 사용하였다. 중간에 강성보강층(철근콘크리트 슬라브)를 두께 40cm로 시공하였다.

토피고가 낮은 경우, 진동다짐하중이 강성보강층 상부에 설치된 수직토압계에 직접적으로 작용하게 되어 $60tf/m^3$ 이상의 과하중이 작용한 것으로 나타났다. 강성보강층 하부에 설치된 수직토압계의 토압의 경우, 기존의 측정값보다 매우 작은 것으로 나타났다.

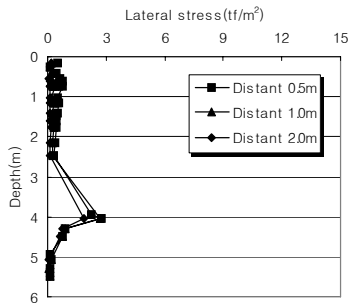


그림 16. 평균최대수평응력

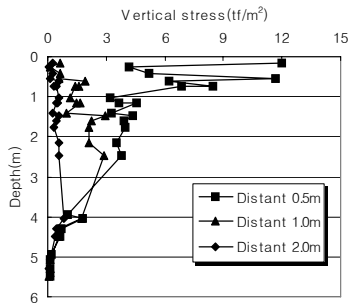


그림 17. 평균최대수직응력

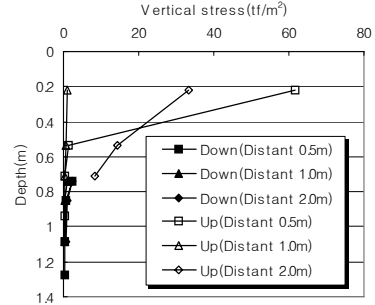


그림 18. 지중수직응력

4.5 받침슬라브 연장에 관한 시험시공

본 방안은 기존의 접속슬라브와 완충슬라브를 접속슬라브+완충슬라브를 일체화하여 시공함으로써 침하 및 침하도 경감시키는 것을 목적으로 한다. 받침슬라브 및 지지말뚝은 단부의 침하량을 성토부와 동일화 시켜 평탄성을 향상시킬 것으로 판단된다.

본 시험시공은 2008년 7월~10월 (3개월간)에 걸쳐 수행하였으며, 접속슬라브의 길이에 따른 침하량과 받침슬라브 설치에 따른 침하량을 측정하기 위하여 A1과 A2에 대하여 각각 접속슬라브의 길이와 받침슬라브의 설치를 달리 하였다. 표는 각 교대에 대하여 시험시공의 개요를 요약한 것이다.

A1에서는 접속슬라브를 교대 높이의 H, 2H로 하여 각각의 접속슬라브와 받침슬라브를 설치하였다. 접속슬라브가 8H인 경우에는 완충슬라브를 설치하였으며 16m인 경우에는 완충슬라브를 설치하지 않고 받침슬라브를 설치한 후 접속슬라브를 타설하였다. A2에서는 접속슬라브를 교대 높이의 H, 2H로 하였으며 접속슬라브가 H인 경우에는 받침슬라브를 설치하지 않고 2H인 경우에만 받침슬라브를 설치하여 접속슬라브를 타설하였다.

4.5.1 노면평탄성 측정결과

시험시공 완료후 장비를 이용하여 노면의 평탄성을 조사하였으며, 측정결과 PrI(cm/km)값이 기준치인 24이하, IRI(m/km)는 1.5(매우 우수)이하로 평탄성은 매우 우수한 것으로 나타났다.

표 3. 노면평탄성 측정결과

구분		PrI(cm/km)		IRI(m/km)		비고
		기준	측정값	기준	측정값	
안성	1차로	24	6.23	1.5이하 (매우우수)	1.41	노출
	2차로		7.78		1.32	
음성	1차로		12.0		1.11	LMC
	2차로		9.60			

5. 결 론

본 연구는 크게 시공과 유지관리 분야로 나뉘, 시공분야에서는 뒤채움부의 침하량을 획기적으로 절감시키는 새로운 시공법을 개발하고 유지관리 분야에서는 공용중인 고속도로 교대 뒤채움부의 침하를 관리하는 방안을 마련하고자 수행하였다.

1. 현장시험시공결과, 접속슬라브 및 완충슬라브의 타설은 인력타설시 보다 기계타설의 경우, 평탄성이 우수하였으며, 향후에는 일반 콘크리트 포장시 포장 paver를 이용하여 교량접속부와 일반 포장부를 동시에 시공하는 방안이 포장 평탄성 향상 및 경제성이 있을 것으로 판단된다.
2. 외국 문헌고찰 및 현장시험결과, 현행의 접속슬라브의 연장은 침하 접속율에 불리하므로, 접속슬라브와 완충슬라브의 철근을 분리하지 않고 연속적으로 시공하여 일체화하는 것이 바람직하며, 또한, 접속슬라브와 완충슬라브사이 및 완충슬라브와 일반포장구간사이에 반침슬라브를 설치하는 것이 침하 접속율을 높여 포장 평탄성능을 장기간 유지할 수 있고, 유지관리시에 유리할 것으로 판단된다.
3. 현행의 뒤채움부와 성토부의 침하는 장기간에 걸쳐 발생하며, 뒤채움부의 침하를 성토부의 침하보다 상대적으로 감소시켜 침하 접속율을 높일 필요가 있다. 현행의 입상재료의 경우 적용부가 작아 충분한 침하감소효과가 없으므로, 뒤채움부의 폭을 연장하거나 혹은 암성토와 소일시멘트 등을 사용하여 교대 높이의 2H이상 확대 시공하는 것이 뒤채움부의 부등침하를 경감할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 이중 접속슬라브의 설치는 뒤채움부의 강성을 높이는 방법으로 침하가 경감되는 효과를 확인하였으며, 적절한 공정상에서 시공이 이루어 진다면 경제성 및 평탄성 확보에 매우 효과적일 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, '도로공사 표준시방서', 1996.
2. 건설교통부, '도로설계편람', 2000.
3. 한국도로공사, '노상토 및 보조기층 재료의 대체 MR 시험법 개발에 관한 연구', 1997.
4. 한국도로공사, '고속도로공사 전문시방서', 2004.
5. AASHTO, 'Resilient Modulus of Unbounded Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils-SHRP Protocol P-46 AASHTO, T-294-921', Washington D.C., 1992.
6. Bellin, J. (1993), "Bridge Deck Joints," Oregon Department of Transportation, Bridge Section, Salem, p. 9.
7. Hopkins, T. C. (1985), "Long-Term Movements of Highway Bridge Approach Embankments and Pavements" Research Report UKTRP-85-12, Kentucky Transportation Research Program, p. 149.
8. IOWA DOT Project "Identification of the best practices for design, construction, and repair of bridge approaches"
9. Kentucky Transportation Center "Movement and Settlement of Highway Bridge Approach"
10. NCHRP Project 24-12(01). "Controlled Low-Strength Material For Backfill, Utility Bedding, Void Fill, and Bridge Approaches."