



얇은 콘크리트 덧씌우기 포장의 거동 평가

Behavior Analysis of Ultra-Thin Whitetopping in Field

강 장 환* · 장 진 연** · 구 한 모*** · 조 윤 호****
Kang, Jang-Hwan · Jang, Jin-Yen · Koo, Han-Mo · Cho, Yoon-Ho

Abstract

The total length of paved roads in Korea is 67,265 Km, and among these roads, about 40% of the national highways and 98% of local roads are paved with asphalt concrete. The major distress to asphalt pavement is rutting and fatigue crack. The permanent deformation including rutting accounts for about 75% of this distress. UTW(Ultra-Thin Whitetopping), which is known for its high-quality performance in asphalt pavement with rutting and cracking, seems to reduce maintenance costs significantly if it is used as the maintenance/repair method for domestic asphalt pavement.

In the research, static load test was conducted to establish a behavior of Whitetopping under traffic and environmental condition. It showed that the effect of the thickness of the concrete layer and the temperature change was significant. In addition, the tensile strain as the wheel load position was close to interior and edge of concrete slab were increased up to 75% of maximum tensile strain. It showed that joint spacing must be considered in UTW design procedure.

Keywords : rehabilitation of asphalt pavement, UTW(Ultra-Thin Whitetopping), static load test, temperature

요 지

국내 고속국도 및 일반국도의 약 40%, 98%가 아스팔트 포장으로 구성되어 있으며 아스팔트 포장의 주요 파손 형태는 러팅(rutting) 및 균열이다. 파손이 심한 아스팔트 포장에 공용성이 좋은 것으로 알려져 있는 UTW(Ultra-Thin Whitetopping, 이하 중·신·콘)가 국내 도로의 유지보수 공법으로 적용될 수 있는가를 판단하였다. 본 논문은 경기도 폐도에 시험 시공된 중·신·콘 포장에서의 정적하중재하실험을 통하여 교통하중 및 환경하중 조건에 따른 중·신·콘의 거동 분석 결과이다. 콘크리트 두께를 50, 100, 150mm로 하여 두께에 따른 거동을 분석한 결과, 콘크리트 두께가 50mm일 때 콘크리트 하부에서 발생하는 인장 변형률이 급격하게 증가한다는 것을 알 수 있었다. 또한

* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정
** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정
*** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사
**** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수 공학박사



계절별 실험을 통해 포장 온도가 중·신·콘 거동에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다. 하중재하위치에 따른 거동 분석 결과에서는 슬래브 중앙부와 줄눈부에서 약 25cm 떨어진 지점부터 하중이 재하될 때 중앙부와 줄눈부에 영향을 미치기 시작하였고 이 때, 최대 인장 변형률의 75%까지 변형률이 발생함에 따라 줄눈간격 결정에 주의를 요해야 할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 아스팔트 포장 유지보수, UTW(Ultra-Thin Whitetopping:중·신·콘), 정적하중재하실험 온도

1. 서론

국내 도로 포장은 고속국도의 약 40%, 일반국도의 약 98%가 아스팔트로 포장되어 있다.¹⁾ 아스팔트 포장의 주요 파손 원인인 러팅(rutting)과 피로균열 등으로 전체 파손의 약 75%가 영구변형(permanent deformation) 형태로 되어 있다.²⁾ 매년 막대한 비용이 아스팔트 포장 유지보수에 사용됨에 따라, 대안으로 UTW(Ultra-Thin Whitetopping)를 국내에 도입하는 기초연구가 다양하게 진행되어 왔다.³⁾

Whitetopping이란 기존 아스팔트 포장층 위에 콘크리트 덧씌우기를 시행하는 것을 통칭하는데 1980년대에 들어서면서 100~200mm 사이의 Thin Whitetopping과 100mm 이하의 UTW로 분류되어 발전해오고 있다. 구조적 거동 측면에서 UTW는 콘크리트와 아스팔트 부착에 따라 중립축이 하강하여 콘크리트의 인장 응력이 감소되며, 아스팔트 표층이 기층역할을 담당하므로써 보다 덧씌우기 두께를 감소시킬 수 있다는 이론에 근거하고 있다.^{4) 5)}

최초의 UTW 프로젝트는 1991년 9월 켄터키의 루시벨에서 진행되었는데, 콘크리트 슬래브는 51mm와 89mm 두께로 시공되었으며 줄눈간격은 0.6, 1.8m였다. 시공 구간 전반적으로 공용성이 우수하였으며 예상보다 많은 중차량 교통하중에도 문제가 없는 것으로 보고되었다.⁶⁾ 켄사스 리우드의 119번가 도로에서는 1995년 4월과 5월에 UTW포장을 시험 시공하였는데 두께는 51mm, 줄눈간격은 0.9에서 1.2m로 하였다. 화이버(Fiber)로 보강한 콘크리트를 사용하였으며 5년동안 이 구간을 모니터링하여

우수한 공용성을 보인 것으로 조사되었다.⁶⁾ 미네소타주 Mn ROAD의 주간 고속도로인 I-95 인근 도로에서 1995년에 10개구간을 UTW를 시공하였는데, 1년 후인 1996년에 PCI(Pavement Condition Index)를 측정 한 결과 9개 구간이 86을 넘어 공용성이 매우 우수하다고 보고되었다.⁴⁾ 미시피시 주 볼톤의 I-20 인근 도로에 1996년 두께 102mm, 152mm, 203mm의 UTW를 시공하였다. 이후 1999년 4월에 모니터링 결과 두께 102mm 구간에서는 균열과 스폐링이 발생하였지만 그 이상의 두께에서는 좋은 공용성을 평가받았다.⁷⁾ 이외에도 여러 주에서 많은 연구가 진행되었는데, 1991년부터 1996년까지 미국에서는 70여개의 UTW 프로젝트가 수행되었으며 초기 공용성 평가 결과 우수한 공용성을 보였다.

이상에서 살펴보았듯이 1990년대부터 기존 아스팔트포장의 효과적인 유지보수 대안으로 재료개발 및 시공법 개발 위주의 연구가 수행되어왔다. 그러나, 많은 시험시공에도 불구하고 이러한 신형식의 포장 구조 검토에 대한 연구보고는 많지 않다.

오하이오 주립대학에서는 1997년 포장 가속시험기를 이용하여 두께 150mm인 시험구간에 스트레인 계측기를 매설하여 환경과 하중에 따른 공용성을 평가하였다. 하중 4.536ton 조건에서, 대기 온도가 10℃, 21℃, 32℃으로 증가함에 따라 변형률은 18, 40, 78micron으로 선형적 증가를 보였다. 또한, 하중재하에 의한 영향권을 분석한 결과 재하지점으로부터 약 25.4cm가 지남에 따라 인장 변형률이 60~80%까지 급격히 감소함을 알 수 있었다.⁶⁾

St. Louis 공항내에서 UTW 설계 지침을 제시하



기 위한 목적으로 콘크리트 두께 89~254mm, 줄눈간격 1.3m로 시공하여 교통하중 및 환경하중 조건에 따른 UTW 거동을 분석한 결과, 슬래브 중앙부(5월 오후:17micron)와 줄눈부(5월 오후:16micron)에서 유사한 변형률이 발생하는 것으로 보고되었으며, 이는 1998년 Wu의 연구 결과와도 일치하는 것이다.⁹⁾

국내의 경우 이재훈(2001년), 윤태영(2001년) 등은 ABAQUS를 이용하여 중·신·콘을 모형화하였고, 다양한 하중 조건에서의 거동을 살펴보았으나, 선형탄성이론을 적용하기에는 제한적인 단점을 지니고 있어 설계 적용상 제약이 따른다.¹⁰⁾¹¹⁾

본 연구는 현장시험구간을 바탕으로 다양한 영향인자에 대한 중·신·콘* 포장의 거동 분석을 진행함으로써 UTW 설계법 개발의 기초 자료를 제공하고자 한다. 또한 교통하중 하에서 콘크리트 슬래브에 응력의 최대치가 발생하는 지점을 찾아내고, 콘크리트 슬래브 두께에 따른 거동 변화 그리고 여름철(8월) 및 겨울철(11월) 두 차례에 걸친 정적하중재하 실험으로부터 포장 온도가 중·신·콘 거동에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험 계획

콘크리트 슬래브 두께, 교통하중 크기 및 온도 변화에 따른 중·신·콘 거동을 평가하기 위한 공용성 평가 실험을 진행하였다. 단면은 그림 1과 같이 폭 3.6m, 각 구간의 길이는 30m로 시공되었으며 줄눈

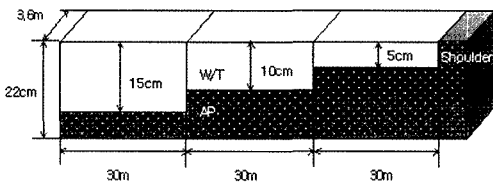


그림 1. 현장 시험 시공 단면

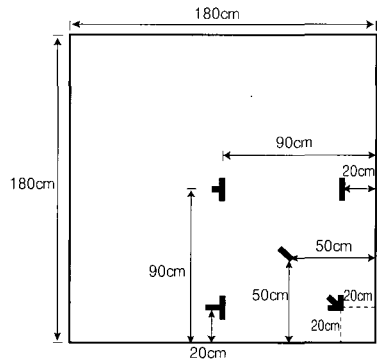
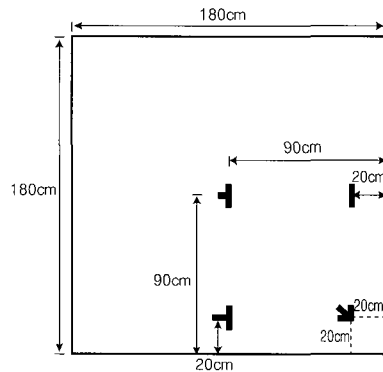
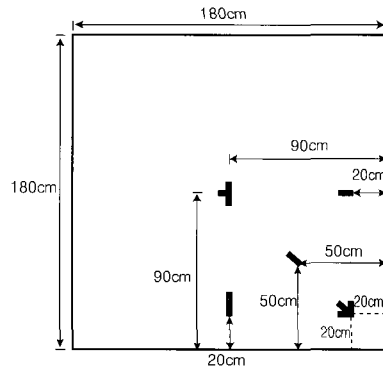


그림 2. 두께 50mm구간 계측기 매립 위치

간격은 1.8×1.8m로 하였다. 기존 아스팔트 포장 단면은 보조기층 300mm, 아스팔트 기층 150mm, 아스



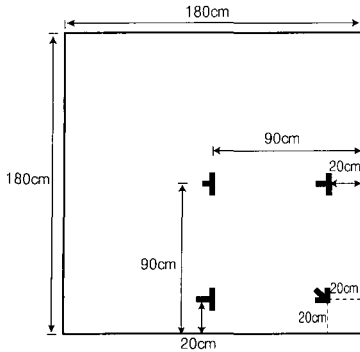
(a) 콘크리트 하부



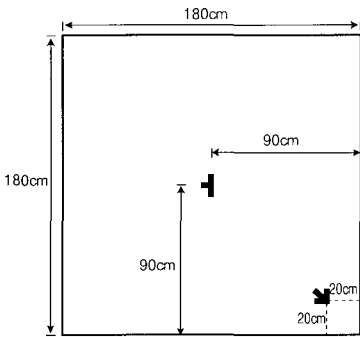
(b) 콘크리트 상부

그림 3. 두께 100mm구간 계측기 매립 위치

* 중하중 신속 교통 개방 콘크리트 덧씌우기 포장을 간략하게 중신콘이라 지칭함.



(a) 콘크리트 하부



(b) 콘크리트 상부

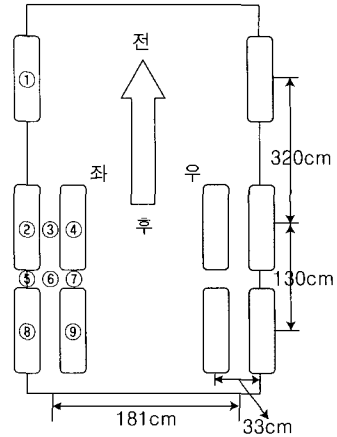
그림 4. 두께 150mm구간 계측기 매립 위치

팔트 표층 220mm로 구성되었다.

콘크리트 덧씌우기 층은 50, 100, 150mm 두께로 각각 시공되었다. 콘크리트 하부와 상부에서 발생하는 변형률을 측정하여 중·신·콘의 거동을 분석하였다. 변형률 계측기는 Kyowa 제품의 PMFL-60-2LT 콘크리트 매립용 계측기를 사용하였다. 시공 후 약 40 시간 그리고 3개월이 지난 시점에 정적하중재하실험을 진행하였다. 계측기는 그림 2~그림 4와 같이 설치하였으며, 50mm구간에서는 콘크리트 두께가 얇은 관계로 콘크리트 상부의 계측기를 묻는데 어려움이 있어 콘크리트 하부에만 계측기를 설치하였다.

3. 하중재하 실험

3.1 차량에 의한 정적하중 실험



바퀴 위치	하 중(t)	
	8월	11월
앞 (①)	2.65t	2.65t
뒤전(②+④)	5.4t	3.6t
뒤후(⑧+⑨)	3.64t	3.9t

그림 5. 하중재하바퀴 위치

정적하중재하 실험은 레미콘 차량의 적재 수량(水量)을 이용하여 하중 크기를 조절하며 진행하였다. 첫째, 콘크리트 두께에 따른 중·신·콘 거동은 그림 5의 ①번 바퀴의 정적하중을 이용하여 각각의 콘크리트 슬래브 두께 구간에서 진행하였다. 타이어 형식별 거동을 비교하기 위해 바퀴 ②, ③, ④로 각 계측기 지점에 하중을 재하여 그때의 변형률을 비교, 평

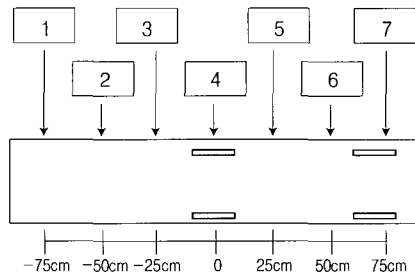


그림 6. 하중재하위치에 따른 거동 분석

가하였다. 포장 온도에 따른 중·신·콘의 거동분석을 위해 포장온도가 최고 25~27℃, 최저 23℃인 8월과 최고온도 9~10℃, 최저온도 -4~-5℃인 11월 두 차례에 걸쳐 실험이 진행되었다.

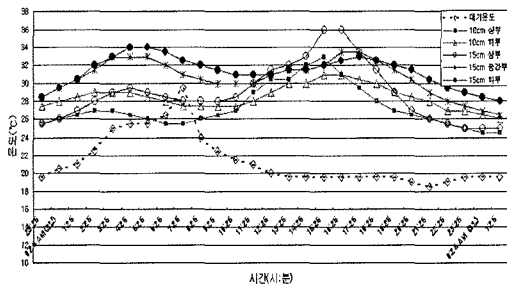
둘째, 슬래브 중앙부를 중심으로 25cm 간격으로 앞바퀴(①) 하중을 재하하여 하중재하위치에 따른 거동 분석을 위하여 그림 6과 같은 순서로 실험을 진행하였다.

3.2 온도분포

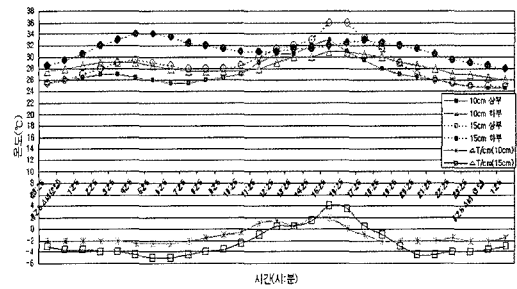
덧씌우기 포장의 대기온도 영향을 살펴보기 위하여 폐도구간에 두께 10cm 구간의 슬래브 상·하부와 15cm 구간의 슬래브 상·중·하부에 각각 i-button 매립하고, 2003년 하절기(8월)과 동절기(11월) 두 차례에 걸쳐 슬래브 상·하부와 대기 온도

를 1시간 간격으로 측정하였다. 그림 7은 8월과 11월 24시간동안 대기 온도와 포장온도 분포를 보여주고 있다.

계절별 대기온도에 따른 슬래브 상·하부의 온도 변화를 살펴보면, 하절기에는 낮시간 최고 온도경사(ΔT)가 오후 2시~5시, 최저는 새벽 3시~6시경이며, 동절기에는 각각 정오~오후 1시, 새벽 3시~6시경으로 나타났다. 전반적으로 대기온도에 슬래브 온도가 1~2시간 늦게 상승·감소함을 알 수 있다. 본 시험에서 계절별 최고 ΔT 는 하절기에 슬래브 두께가 10cm인 구간에서 2.5℃, 15cm 구간에서는 4℃, 동절기에 각각 3℃, 5℃로 겨울철이 여름철보다 약 23% 이상 높게 나타났다. 두께에 따라 10cm보다 15cm에서 ΔT 가 0.5℃~1℃이상 더 크게 나타났다. 이러한 경향은 1996년 콜로라도 실험결과 보고서와도 일치되는 것을 알 수 있었다.¹²⁾



(a) 여름철(8월)



(b) 겨울철(11월)

그림 7. 대기온도 및 포장온도 변화



4. 정적하중재하실험 결과

4.1 타이어 형식에 따른 변형률

본격적인 정적하중 재하실험에 앞서 후륜의 복측을 사용하여 재하위치 별 변형률 특성을 살펴보았다. 하중재하 조건은 다음 그림 8과 같이 듀얼 타이어의 좌외측 앞부분 재하(좌-전), 듀얼 타이어의 중심부 재하(좌-중), 듀얼 타이어의 우외측(좌-우)이다. 바퀴 재하 위치간 변형률을 알아보기 위하여 후륜의 앞 듀얼 타이어의 위치(그림 5-②,③,④)에 따른 변형률

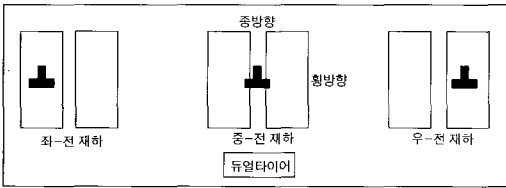
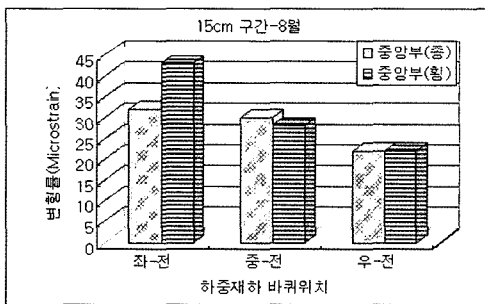
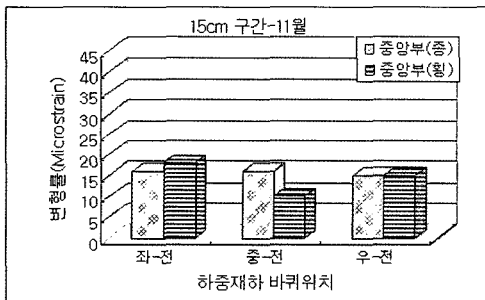


그림 8. 정적재하 시험에 사용된 타이어의 재하 위치



(a) 여름철-5.4ton



(b) 겨울철-3.6ton

그림 9. 타이어 위치에 따른 변형률

을 비교하였다. 그림 9는 두께 150mm 구간에서 바퀴 위치를 변화시키며 실험한 결과로서 하중 재하 위치가 좌→중→우로 바뀔수록 중앙부 중·횡방향에서 발생하는 인장변형률이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 축하중 바로 아래와 타이어 사이에서 많은 변형률 차이를 보여주었는데 특히 여름철에 이러한 경향은 분명하게 목격되었다. 이는 곧 포장 설계 시 차량 축하중 분포(Wandering)를 반드시 고려해야 함을 보여주는 좋은 자료이다.

4.2 변형률 분포를 통한 부착 특성

중·신·콘 포장에서의 부착상태에 따른 변형률 거동 특성은 그림 10과 같이 완전부착일 경우 아스팔트 혼합물과 콘크리트포장과의 복합거동으로 중립축이 하향되어 콘크리트포장에서 발생하는 응력이 저감된다는 점이다. 따라서, 중·신·콘의 이론적 장점을 효과적으로 발휘하기 위해서는 아스팔트 층과 콘크리트 층간의 완벽한 부착을 통해 일체거동을 해야 한다. 또한, 시공시 콘크리트 두께의 12~15배 정도로 줄눈간격을 두어 콘크리트 하부에 작은 수평 힘 응력이 발생하도록 유도해야 한다.

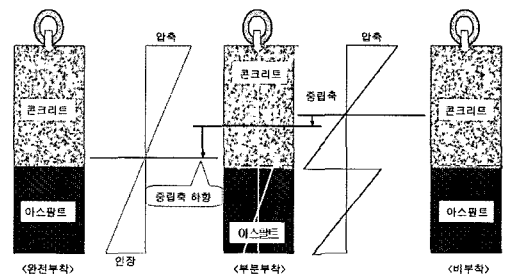


그림 10. 부착력에 따른 거동 특성

두께에 따른 변형률 실측을 위해 차량 하중 2.65ton 단축을 두께 50mm, 100mm, 150mm 구간에서 각각 재하하여 슬래브 내부에 매설된 스트레인 계측기를 이용하여 상·하부의 변형률을 측정하였다.

그림 11과 그림 12를 정리하면 콘크리트 두께가

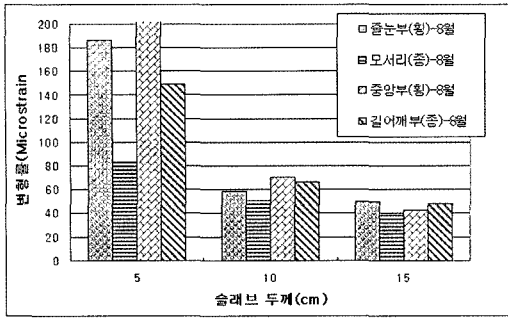


그림 11. 콘크리트 슬래브 두께에 따른 인장 변형률(8월)

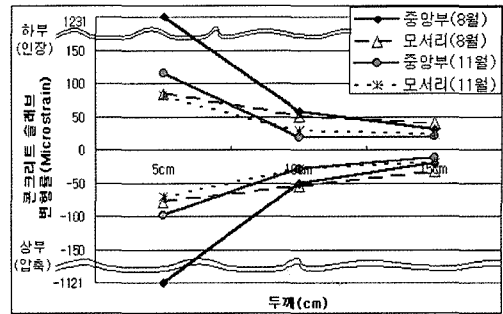


그림 13. 슬래브 상·하부 변형률

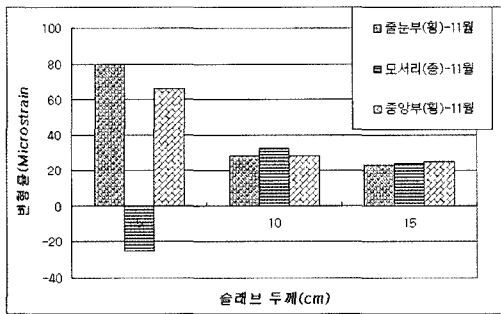


그림 12. 콘크리트 슬래브 두께에 따른 인장 변형률(11월)

100mm에서 50mm로 감소하면 150mm에서 100mm로 감소할 때에 비해 슬래브 하부에서 발생하는 인장 변형률이 상대적으로 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 두께 150mm 슬래브에서 100mm 보다 평균 30% 이상의 인장 변형률 감소를 나타냈으나 콘크리트 두께가 얇을 경우에는 비선형적으로 변형이 급격하게 일어나는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 유한요소 해석을 이용한 거동 분석결과와 약 8cm를 정점으로 두께 변화에 따라 변형률이 감소하는 연구결과(13)와 상이한 것으로 환경하중을 고려한 반영한 해석모형의 필요성을 보여준다.

중눈부와 중앙부의 동일 지점에서 계절에 따른 하부 인장 변형률을 살펴보면 온도가 높은 여름철이 겨울철보다 약 35% 이상의 하부인장 변형률을 나타낸다. 특히 50mm 구간에서 이러한 경향은 심하게 나타나 실내 실험에서 목격한 현상이 실제 현장에서도 동일하게 나타남을 보여주고 있다. 따라서 얇은 두

께의 콘크리트 덧씌우기는 그 사용에 많은 주의가 요구된다.

그림 13은 하중 재하 위치와 계절에 관계없이 슬래브 상부의 압축 변형률과 하부의 인장 변형률이 대칭적으로 유사한 값이 나왔음을 보여주고 있다. 슬래브 두께에 관계없이 하단에 인장 변형률이 발생하고 있어 이론적인 값과는 큰 차이를 보이고 있다. 코아를 이용하여 본 구간의 부착상태를 살펴본 결과 22.2%가 분리되어 부착 정도가 불량한 것을 알 수 있다. 시공 당시 밀링 장비를 매끈한 것으로 하였는데 장비 선정의 문제로 판단되고 한다. 또한, 비부착 상태라고 가정할 때는 포장의 두께가 얇고, 중앙부, 겨울철보다는 여름철에 그리고 모서리보다는 중앙부에 과대한 하부 인장응력을 유발하여 포장 파손에 더 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 한편으로 슬래브 상부에 압축과 인장이 발생하는 것은 HWLS를 이용한 실내 실험 결과와 유사하여 단순히 부착력의 문제로 결론을 내리기에는 무리가 있어 보인다. 지속적인 향후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4.3 최대 변형률 발생 위치 결정

실험구간에서의 한계 변형률의 위치를 찾기 위하여 차량의 전륜 단축으로 정적하중재하 실험을 하였다. 실험 시기는 중·신·콘 포장에서 변형률이 가장 민감하게 반응하는 여름에 실시하였다. 50mm, 100mm 그리고 150mm의 세 구간에서 중·신·콘 두께별로 3

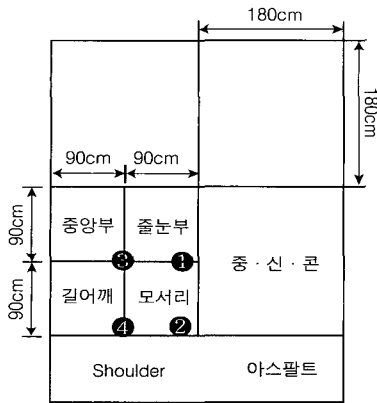


그림 14. 정적하중재하 위치

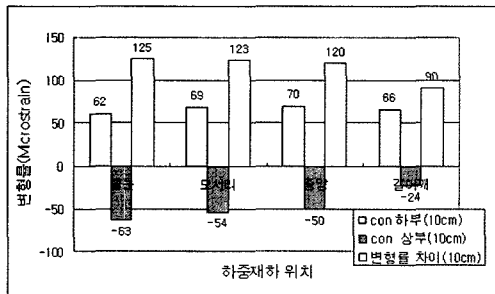


그림 15. 재하위치에 따른 변형을 분포

번씩 측정하였으며, 가장 측정오차가 적게 나타난 100mm구간의 데이터를 가지고 최대 변형률 위치를 결정하였다. 그림 14은 정적하중재하 위치를 나타내고 있다.

그림 15는 각 위치에서의 변형률 측정 결과이다. 두께가 100mm 슬래브의 상부에서 최대 압축 변형률 (-방향)은 줄눈부(①지점)가 최대 63 $\mu\epsilon$ 이고 최대 인장 변형률(+방향)은 중앙부(③지점)에서 70 $\mu\epsilon$ 를 보였다. 줄눈부에 하중재하시 지지하는 포장은 높은 수직응력과 전단응력을 동시에 받게 되어 상대적으로 다른 지점의 변형률보다 크게 나타나게 된다. 상·하부의 변형률 차이는 좁은 줄눈을 유지하는 중·신·콘 포장에 있어 환경에 의한 커링영향과 마찬가지로 포장의 거동에 중요한 영향을 미친다. 두께가 10cm인 슬래브의 상·하부 변형률 차이는 줄눈부, 모서리, 중앙부 그리고 길어깨부 순으로 나타났으나 전반

적으로 정적하중을 재하하였을 때 슬래브의 중앙부, 줄눈부, 모서리에서 유사한 변형률을 볼 수 있었다. 이것은 미주리주의 세인트루이스 공항 UTW포장에서의 실험결과와도 유사하다.⁹⁾

4.4 하중재하 위치에 따른 변형 특성

하중재하 위치에 따른 거동을 살펴보기 위해 여름철(8월)에 슬래브 중앙부를 중심으로 좌, 우로 25cm 간격으로 그림 6에 보인 것과 같이 단축(2.65ton)의 하중을 재하했다. 이때 한계변형률이 발생하는 중앙부 및 줄눈부에서 하중재하위치가 슬래브 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 그림 16은 두께 50mm 구간으로 하중 재하지점으로부터 50cm 이상 떨어진 구간에는 중·횡방향과 무관하게 영향이 거의 없음을 보여주고 있다. 그러나 25cm 지점의 경우 압축 변형률이 발생하였는데, 이는 중앙부에서 위로 볼록한 형태로 슬래브의 변형이 생겨 콘크리트 슬래브 하부에서 압축이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

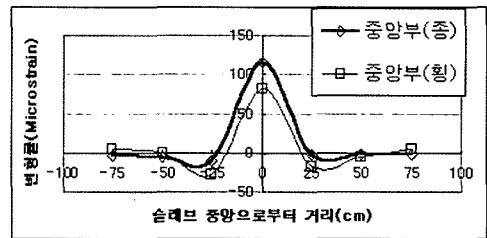
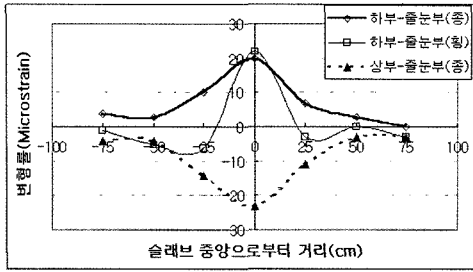
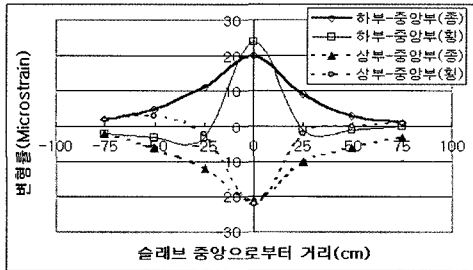


그림 16. 하중재하위치에 따른 거동(50mm-중앙부)

그림 17은 두께 100mm 구간의 거동으로 (a)는 줄눈부에서의 거동을 나타내고 있는데 슬래브 하부에서 발생하는 인장변형률이 종방향으로 25cm 지점에 발생하고 횡방향으로는 압축 변형률이 생기는 것을 볼 수 있다. 또한, 슬래브 상부의 줄눈부에서는 하부와 대칭이 되는 형태의 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 줄눈부에서는 슬래브 중앙으로부터 -25cm 떨어진 지점에서 줄눈부에 하중을 재하한 경우의

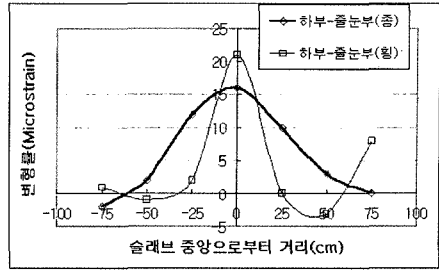


(a) 줄눈부

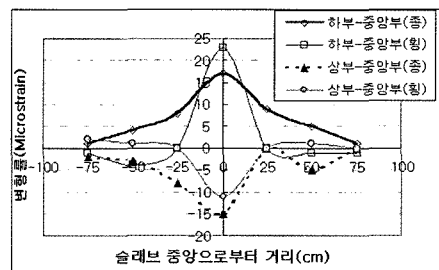


(b) 중앙부

그림 17. 하중재하위치에 따른 거동(100m)



(a) 줄눈부



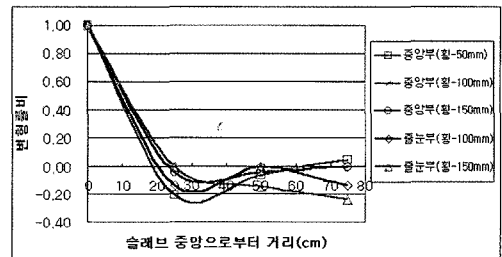
(b) 중앙부

그림 18. 하중재하위치에 따른 거동(150mm)

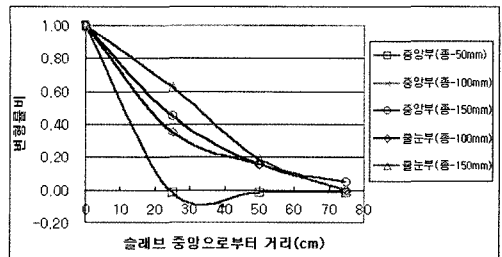
50%, +25cm 지점에서는 35%의 변형이 발생하였으며 -75cm 지점에서는 20%, 75cm 지점에서는 0%의 변형률이 슬래브 줄눈부 중앙에서 발생하였다. (b)는 슬래브 중앙부에서 발생하는 변형률을 보여주고 있는데 (a)줄눈부와 유사한 형태의 그래프를 보인다. 또한, 종방향과 횡방향 모두 대칭의 거동을 보이는 것을 알 수 있다. 중앙부에서도 슬래브 중앙으로부터 (-)방향으로 25, 50, 75cm 떨어진 지점에 하중을 재하했을 때 슬래브 중앙부에 하중을 재하했을 때 발생하는 인장 변형률의 55, 25, 10% 변형이 발생하였고, (+)방향으로는 45, 15, 5%의 변형이 발생하였다. 따라서 재하 위치(줄눈부, 중앙부)와 관계없이 종방향의 경우 75cm, 횡방향의 경우에는 50cm일 때 하중 영향이 거의 없음을 알 수 있었다.

150mm 구간에서는 그림 18과 같은 거동을 보여주었다. 150mm 구간에서도 100mm 구간과 유사한 거동을 나타냈으며 (a)줄눈부에서는 슬래브 중앙으로부터 (-)방향으로 25, 50, 75cm 지점에서 줄눈부에 하중이 재하되었을 때 발생하는 인장 변형률의 75,

12.5, 0%가 발생하였으며, (+)방향으로는 62.5, 18.75, 0%의 변형이 발생하였다. (b)중앙부에서는

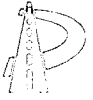


(a) 슬래브 중앙부, 줄눈부의 횡방향 변형률 비



(b) 슬래브 중앙부, 줄눈부의 종방향 변형률 비

그림 19. 하중재하위치에 따른 변형률 비의 변화



(-)방향으로 47.05, 23.53, 5.88%, (+)방향으로
는 52.94, 29.41, 5.88%의 변형이 발생하였다.

150mm 두께구간에서는 횡방향의 경우 50cm, 종
방향의 경우 75cm지점부터 하중 영향이 거의 미치
지 않았다.

그림 19는 각 두께와 위치에 따라 슬래브 중앙으
로부터의 변형률을 최대변형률로 나눈 결과(변형율
비)를 보여주고 있다. 슬래브 중앙부와 슬래브 줄눈
부에 발생하는 횡 방향 인장 변형률이 슬래브 중앙으
로부터 25cm 지점에 재하될 때 종방향의 경우 약
75cm이상 떨어졌을 때 몇 구간의 지점을 제외하고
대부분의 지점에서 변형률비 0에 가까움을 알 수 있
다. 이상을 요약하면 UTW포장의 경우 두께에 상관
없이 하중 영향권이 그리 넓지 않음을 알 수 있다. 급
격한 응력 감소가 일어나는 즉 하중이 놓였을 때 곡
률이 큰 구조물임을 알 수 있어 줄눈부등 취약한 불
연속면 주위에서는 응력 집중이 심각한 문제를 일으
킬 수 있다. 그러나 하중에 따른 영향권이 상대적으
로 좁게 나타내므로 차량의 축 하중이 놓이는 곳으로
부터 적어도 50cm이상 떨어진 곳에 줄눈부를 설치한
다면 악 영향을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 20~그림 21은 줄눈부를 따라 하중재하위치
를 변화시키며 모서리에서 발생하는 거동을 비교한
결과로써 두께 100mm 구간에서는 모서리로부터
25cm 떨어진 지점에 하중을 재하하였을 때 최대 변
형률의 90.9%에 해당하는 인장 변형률이 발생하는
것을 알 수 있다. 또한 그림 21의 150mm 구간에서는
최대변형률의 71.4%~92%가 콘크리트 슬래브 하

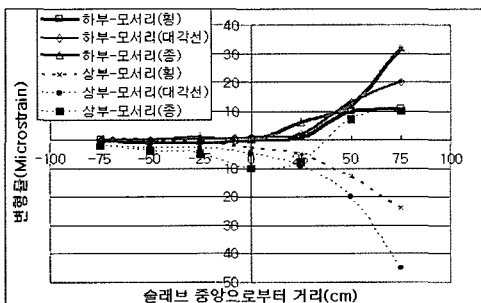


그림 20. 하중 재하 이격 거리에 따른 거동(100mm)

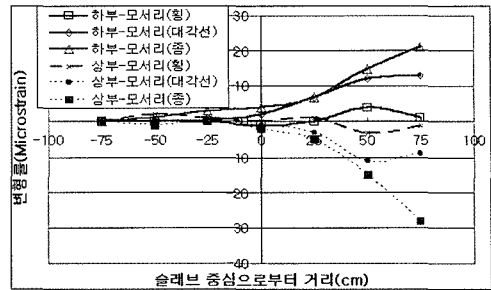


그림 21. 하중 재하 이격 거리에 따른 거동(150mm)

부에서 발생하는 것을 알 수 있다. 이 결과로 슬래브
중앙으로부터 25cm 떨어진 지점에 하중이 재하될
때 슬래브 중앙에서 최대 인장변형률의 47~75%에
해당하는 결과와 비교하여 상대적으로 큰 인장변형
률이 발생한다는 것을 알 수 있다. 슬래브 중앙에서
보다 모서리에 바퀴 주행 경로가 위치할 경우 슬래브
전체 거동에 미치는 영향이 더 크다는 것을 알 수 있
다. 이 결과는 미국 미네소타 주의 공용성 평가 결과
공용중인 도로에서 발생한 균열 중 82%가 모서리
균열이었다는 연구결과와 일치한다. 따라서, 중·
신·콘 포장에서의 줄눈 간격 설정시 차량 주행경로
를 고려하여 설계에 반영되어야 할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 기존의 FEM 해석 결과와 HWLS를 이
용한 실내실험 결과를 토대로 현장에서 콘크리트 두
께와 포장 온도 및 하중재하위치에 따른 중·신·콘
거동을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수
있었다.

1. 정적하중재하실험 결과 미소한 차이이지만 슬래
브의 줄눈부 횡방향과 중앙부 횡방향이 최대 변
형률 발생 지점으로 나타났으나, 줄눈부 횡방향,
중앙부 횡방향, 길어깨부 종방향에서도 유사한
인장 변형률이 발생하였다. 따라서, 중·신·콘



포장 설계시 중앙부와 모서리부의 거동을 설계에 반영해야 한다.

2. 콘크리트 두께가 50mm인 경우, 정적하중재하실험 결과 콘크리트 하부에서 발생하는 인장 변형률이 100, 150mm에 비해 급격하게 증가하므로, 중차량 교통량이 많거나 기존 아스팔트 포장에 약하다고 판단될 때에는 10cm이상의 콘크리트 두께가 필요할 것으로 판단된다.
3. 포장온도가 25~27℃인 8월과 9~10℃인 11월의 정적하중재하실험 결과 35~55%에 해당하는 인장변형률이 감소하였다. 온도가 하강함에 따라 아스팔트 강성이 증가하여 중·신·콘을 지지하는 능력이 향상되기 때문인 것으로 판단된다.
4. 하중재하위치에 따른 중·신·콘 거동 분석 결과 슬래브 중앙부와 줄눈부에서 약 25cm 떨어진 지점에 최대 인장변형률의 47~75%에 해당하는 변형이 발생하는 것으로 나타났으며 줄눈부 모서리에서는 최대 92%의 인장 변형률이 발생하였다. 그러나 75cm 떨어진 곳에서는 하중에 따른 변형률이 영에 가깝게 떨어져 그 영향이 매우 적음을 보여주었다.

7. 참고문헌

1. 김진춘·권순민, "콘크리트 덧씌우기 공법", 도로포장공학회지 제 3권 2호, pp20~27, 2001.6
2. 백우현, "HWLS 및 관련 실험법 개발에 관한 연구", 석사논문, 중앙대학교, 2001.12.
3. 중앙대학교, "중하중 교통 도로의 신속개방형 대보수 및 덧씌우기용 고성능 강성 포장재료의 설계 및 시공 기술 개발", 건설교통부, 2002.7.
4. James W. Mack., Lon D. Hawbaker., Lawrence W. Cole., 1998, Ultra-Thin Whitetopping(UTW): *The State-of-the-Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt*, Transportation Research Board

Meeting.

5. *Report on the Thin bonded Whitetopping Techniques*, 일본시멘트협회, 2001.12
6. William F. Edwards and Sargand, S.M., 1999, Response of an Ultra-Thin Whitetopping Pavement to Moving Wheel Loads, *Accelerated Pavement Testing 1999 International Conference*
7. Wu. C. L., and Shiraz Tayabji, 2000, *Repair of Ultra-Thin Whitetopping Pavement*, Transportation Research Board Meeting
8. Julie M. Vandenbossche, P.E., Aaron J. Fagerness., 2002, *Performance and Repair of Ultra-Thin Whitetopping: The Minnesota Experience*, Transportation Research Board Meeting.
9. Wu. C. L., and Sheehan. M. J., 2001, *Testing and Performance Evaluation of UTW Pavements at the Spirit of St. Louis Airport*, Transportation Research Board Meeting.
10. 이재훈, "유한요소모형을 이용한 화이트토픽 해석", 석사논문, 중앙대학교, 2001.12.
11. 윤태영·이재훈·조윤희, "화이트토픽 포장의 유한요소 모형의 해석(Suggestion of Finite Element Model for Whitetopping Pavement)", 대한토목학회 2001 학술발표회 논문집.
12. Minkarah. I., Cook J. P., McDonough. J. F., and Jaghoory. S., *Effect of Different Variables on Horizontal Movement on Concrete Pavement*. ACI SP-70, p784-806, 1982.
13. 조윤희 외, 중하중 교통 도로의 신속개방형 대보수 및 덧씌우기용 고성능 강성 포장 재료의 설계 및 시공기술 개발, 3차년도 평가보고서, 건설교통부, 2003



14. Nakanishi Hiromitsu, Takei Shin-ichi, Maeda Hidekazu, “계면부착을 고려한 박층 콘크리트 덧씌우기 설계법의 제안”, 2000.7.
15. Yang H. HUANG, *Pavement Analysis and Design*
16. 엄태선 외, “고유동성을 갖는 초조강콘크리트의 품질설계와 실용화를 위한 적용 연구”, 제 30회 시멘트 심포지움, 2003.10.
17. Edwards. W. F., and Sargand. S. M., 1999, Response of an Ultra-Thin Whitetopping Pavement to moving Wheel Loads, *Accelerated Pavement Testing 1999 International Conference*.
18. Cho. Y.H., Lee. G. H., and Baik. W. H., 2002, Introduction of HEART Wheel Load Simulator HWLS to Characterize the Performance of Asphalt Pavement, *ICPT*
19. Julie M. Vandenbossche, 2001, The Measured Response of Ultra-Thin and Thin Whitetopping to Enviromental Loads, *7th International Conference on Concrete*
20. 구한모, “교통하중 및 환경하중 조건에 따른 Whitetopping 거동 분석”, 석사논문, 중앙대학교, 2002.12.

〈접수 : 2004. 1. 15〉