얇은 콘크리트 덧씌우기 포장의 공용성 평가

Whitetopping of Performance Evaluation

문준범[1)*] · 구한모[2)**] · 엄주용[3)***] · 엄태선[4)****] · 조윤호[5)*****]
Mun, Jun-Beom · Koo, Han-Mo · Um, Ju-Yong, Um, Tai-Sun · Cho, Yoon-Ho

1. 서론

국내에서 시행되고 있는 대부분의 포장 덧씌우기 공법은 교통개방시간과 시공이 용이한 아스팔트 덧씌우기이다. 그러나 중차량 교통의 증가로 강성이 약한 아스팔트 덧씌우기는 러팅과 피로균열에 효율적으로 저항하지 못해 지속적인 유지관리 비용이 소요되고 있는 실정이다. 이러한 아스팔트 포장의 반복적인 러팅과 피로균열 발생을 예방하기 위해 얇은 콘크리트 덧씌우기 포장(Ultra Thin Whitetopping)이 미국을 중심으로 활발히 연구되고 있으며 1991년부터 1999년까지 약 180여건의 시공 사례에서 좋은 공용성을 보인다고 발표되고있다. 그러나 국내에서는 Ultra Thin Whitetopping(UTW)에 관한 연구 성과가 전무한 실정이다. 본 연구에서는 외국의 UTW 시공사례를 바탕으로 시험 시공 계획을 수립하고 국내 환경에 맞는 최적의 시공법을 선정하고자 두 차례에 걸쳐 인력식과 기계식 시공을 진행하였다. 시험 시공 후에는 육안조사, 코어링, 정적하중재하실험, FWD 측정 등을 실시하여 UTW의 초기 공용성을 평가하였다.

2. 시험시공 사례조사

Whitetopping 이란 기존의 아스팔트 층위에 직접 시공하는, 일반적으로 그 두께가 100㎜ 또는 그 이상인 콘크리트포장 덧씌우기를 말한다. 1913년 미국에서 기존 콘크리트 층에 덧씌우기가 시작된 이래 강성포장 덧씌우기는 기존 층이 아스팔트 포장인 경우에도 사용할 수 있도록 확대되었다. UTW는 기존의 아스팔트 포장층 위에 좁은 줄 눈 간격을 갖는 50㎜~100㎜ 두께의 콘크리트를 접착시킨 덧씌우기를 말한다. 현재 국내의 콘크리트 덧씌우기의 시공현황은 1995년을 전·후로 콘크리트 포장 위에 시공된 시험 구간을 제외하고는 전무한 실정이다. 따라서, 외국의 시공사례를 조사하여 이들의 단면 특성 및 초기거동을 조사하였다.

Iowa에서는 1991년(Road R16 Project)과 1994년(Road R21 Project) 두 차례에 걸쳐 콘크리트 덧씌우기에 대한 포장 공용성 평가를 실시하였다. 부착보조제 사용여부, 평탄성, 기존 아스팔트층 처리방법, 시멘트 종류를 변수로 하여 시험 시공을 진행하였으며 콘크리트 덧씌우기 두께가 두꺼울수록 균열이 적게 발생한다는 결과를 얻었다. 밀링을 제외한 아스팔트 표면 처리 방법은 층간 부착에 미치는 영향이 없는 것으로 나타났다. Kansas에서는 1991년에 기존 아스팔트 층 위해 5cm와 9cm를 슬래브 두께로하는 UTW 보수방법을 적용하였으며 1994년 도심도로에 줄눈간격, 합성섬유와 줄눈 채움재 사용여부를 변수로 한 시험 시공을 진행하였다. 줄눈 간격이 좁은 구간이 공용성이 좋은 것으로 나타났고 합성섬유와 줄눈채움재가 포장 파손에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다. Tennessee주의 Chattanooga에서는 1992년 콘크리트 덧씌우기 두께 76㎜, 줄눈간격 1.1m×1.3m, 연장 40m, 폭 4.6m의 시험시공을 진행하였다. 이 구간의 공용성 평가를 위한 육안조사 결과 3년 후 18%가 새로운 슬래브로 교체되었으며, 61%는 파손이 심각했으며(shattered) 7% 구간에서는 큰 균열이 발생하였다. 그 원인은

* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 · 석사과정 · 02-816-0251 · 9204083@hanmail.net
** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 · 석사과정 · 02-816-0251 · dansunwang@hanmail.net
*** 정회원 · 한국도로공사 콘크리트 포장연구실 · 책임연구원 · 02-2230-4856 · eumjy@freeway.co.kr
**** 정회원 · 쌍용중앙연구소 콘크리트 연구실 · 책임연구원 · 042-865-1715 · taisunum@hanmail.net
***** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 · 조교수 · 02-820-5336 · yhcho@cau.ac.kr

아스팔트 층과 콘크리트 덧씌우기 층의 부착력에 문제가 있기 때문인 것으로 나타났다. Mississippi의 시험시공 구간은 1967년도에 아스팔트로 시공되어 4번의 덧씌우기가 진행되었던 구간으로 1993년에는 12mm 마이크로 서페이싱(micro-surfacing)을 실시하였다. 총 구간 길이는 1218m로서, 604m는 두께 20cm, 줄눈간격 3.65m의 무근 콘크리트와 15cm두께, 줄눈간격 1.82m의 섬유 보강 콘크리트(Fibrillated fiber concrete)가 시공되었다. 교통개시 75일 후, 무근 콘크리트와 합성섬유 화이버 콘크리트의 줄눈부위에서 초기 스폴링(spalling)이 발생하였다. 약 6개월 후 합성섬유 화이버 콘크리트구간에서 14개의 우각부 균열이 발견되었다. Colorado 시험구간은 1996년 덴버와 롱몬트에 두 지역에서 시공되었으며, 1997년에는 래머에서 세 번째 시험구간이 시공되었다. 첫 번째 시험구간은 새롭게 포설한 12.5cm의 아스팔트 층위에 10cm 콘크리트 덧씌우기를 한 구간과 기존 10cm 아스팔트 층 위에 12.5cm 콘크리트 덧씌우기를 실시한 구간으로 나누었다. 덧씌우기 전 아스팔트 층에 대한 표면 처리는 하지 않았으며, 줄눈간격은 동일하게 1.5m×1.5m로 두었으며, 덧씌우기 두께의 1/3깊이로 컷팅 하였다. 래머 시험구간에서는 초기에 콘크리트 건조수축에 의한 균열이 많이 발생하였다. 이는 덧씌우기 시공 당시 기존 아스팔트 온도가 높아 콘크리트 건조수축이 촉진되어 발생된 것으로 판단되었다.

3. 현장 시험시공

현장 시험 시공은 경기도 이천시 덕평리 영동고속도로 신갈방향 29.5km 지점 폐도 내에서 2001년 10월 인력식 시공과 2002년 8월 기계식 시공으로 동일구간에 두 차례 나누어 실시하였다. 시험시공 구간 길이는 각각 200m씩이고, 직선과 곡선이 혼합되어 있는 2곳이다.

3.1 시공 계획

1차 시험 시공의 Whitetopping 슬래브 단면계획은 두께와 줄눈간격을 주 요인으로 실험을 계획하였고, 2차 시험 시공에서는 슬래브 두께와 재료의 슬럼프를 변수로 하여 설계하였다. 1차 시험 시공에서 두께는 55mm, 110mm로, 줄눈간격은 두께의 최소 15배에서 최대 29배까지 설정하였다. 따라서, 슬래브 두께가 55mm인 구간에서는 줄눈간격이 0.8m~1.6m이고, 110mm두께 구간에서는 0.8m~2.4m로 결정되었다. 기존문헌조사에서는 줄눈간격을 슬래브 두께의 12배~15배를 적용하였지만, 본 연구에서는 시공성과 경제성 등을 고려하여 줄눈간격을 확대 적용하였다. 표 1은 1차 시험 시공의 단면 계획을 나타내고 있다. 2차 시험 시공 구간에서는 슬래브의 두께를 50, 100, 150mm로 줄눈은 동일하게 1.8m×1.8m로 절삭하였으며 재료의 슬럼프를 8~12cm와 3~5cm로 하여 각각 시공하였다. 시험시공에 사용된 재료는 자체 연구를 통하여 개발된 것으로 양생 후 24시간 이내에 교통개방이 가능하다.

표 1 시험시공 실험 계획(1차 시험 시공)

줄눈간격		0.8m	1.2m	1.6m	2.4m	1.6m(재료)
두께	55mm	Y(①) (15배,R1)	Y(②) (22배,R2)	Y(③) (29배,R3)		Y(④) (29배,R4)
	110mm			Y(⑤) (15배,R5)	Y(⑥) (22배,R6)	Y(⑦) (15배,R7)

3.2 시공

Whitetopping공법은 밀링, 아스팔트 표면청소, 콘크리트 타설, 표면처리, 양생제 살포, 줄눈절삭 순으로 진행되어진다. 밀링 장비를 이용하여 콘크리트 덧씌우기 공간을 확보하고 부착력을 향상시키기 위해 밀링 후 아스팔트 표면을 에어 콤프레셔를 이용하여 청소하였다. Whitetopping 재료 운반은 재료 특성을 감안하여 덤프트럭

과 믹서트럭을 이용하여 운반하였다. 1차 시공에서는 슬럼프 18cm정도의 재료를 믹서트럭으로 운반하여 스크리드 장비로 포설하였으며, 2차 시공에서는 재료의 슬럼프를 달리하여 믹서트럭에서는 슬럼프 8-12cm, 덤프트럭에서는 슬럼프 3-5cm 재료를 운반하였으며 페이버를 이용하여 포설하였다. 1차 인력식 시공에서는 밀링 후 아스팔트 포장층이 거푸짚 역할을 하여 18cm의 슬럼프에서도 시공이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 또한, 기계식 시험 시공 결과 8-10cm 슬럼프 재료를 믹서트럭으로 운반한 경우 양호한 시공성을 보였으며 덤프트럭으로 운반된 3-5cm 슬럼프 재료는 좀더 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되었다.

4. 공용성 평가

시험 시공 후 단기 공용성을 평가하기 위하여 육안 조사, 코어링 채취, 정적하중재하실험 및 FWD 실험을 진행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.1 육안조사

시험 시공이 끝난 후 표면 상태를 조사하기 위하여 육안 조사를 실시한 결과, 1차 시험 시공에서는 양생제를 0.95 ℓ/㎡ 살포하여 균열이 발생하지 않고 양호한 상태를 유지하였다. 2차 시험 시공에서는 양생제에 따른 균열 정도를 보기 위하여 두께별 양생제 살포 여부를 실험 변수로 하였으며 그 결과 두께별 양생제 첨가 여부에 따른 균열의 차이를 확연하게 볼 수 있었다. 그림 1은 2차 시험 시공에서 양생제를 살포하지 않은 구간에서 시간이 경과함에 따라 발생하는 누적 균열량을 나타낸 것이다. 양생제를 살포하지 않은 R1구간 중 두께 5㎝구간에서는 초기 6시간까지 적은 균열을 보이다가 1일 경과 후부터는 급속히 균열 증가를 보이는 반면, 두께 10㎝구간에서는 초기 6시간동안 높은 균열을 보이다가 시간이 경과할수록 낮은 증가량을 나타내었다. 이는 상대적으로 10cm 구간의 콘크리트량이 많기 때문에 건조수축에 미치는 영향이 커지기 때문인 것으로 판단된다.

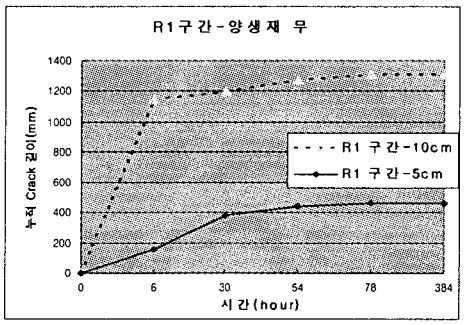

그림 1 R1구간 (양생제 무)

4.2 코어채취

코어채취는 2차례에 걸쳐 시행하였다. Whitetopping 타설 2일 후에 대표구간 3구간(R2, R4, R7)을 선정하여 각 단면에서 3개씩 총 9개의 코어를 채취하였다. 2차 코어링은 시공 후 3개월 경과된 시점에서 진행하였는데 1차 코이링에서 줄눈유도가 제대로 이루어지지 않았기 때문에 이에 대한 검증차원에서 실시하였다. 1차 코어링 결과 9개구간 중 2개구간에서 debonding이 발생하였으며 특히 청소 미비 구간인 R7구간에서 집중적으로 발생하였다. 이는 현장 표면 마무리의 중요성을 보여주는 좋은 예라고 판단된다. 2차코어링은 R2구간과 R7구간에서 채취하였으며, 그림 2, 3과 같이 두께 55㎜, 줄눈 간격 1.2m×1.2m인 R2구간에서는 줄눈유도가 일어나지 않았으

며, 두께 110㎜, 줄눈간격 2.4m×2.4m인 R7구간에서는 줄눈유도가 발생한 것을 알 수 있다. 이는 양생제 살포 유무에 따른 균열 측정 결과와 같이 두께가 두꺼워질수록 건조수축이 많이 일어나기 때문인 것으로 판단된다.

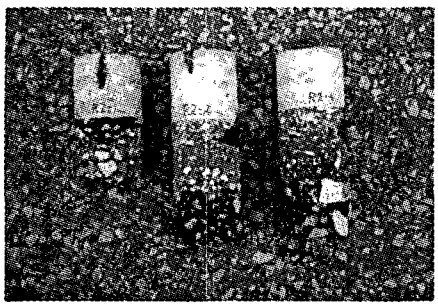

그림 6 R2구간 코어 채취(1차코어링)

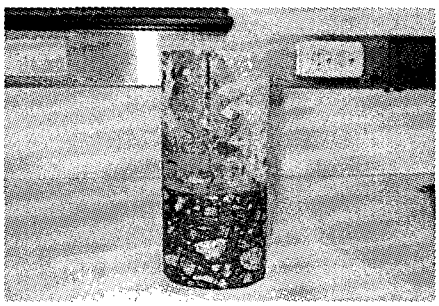

그림 7 R7구간 줄눈 전이(2차코어링)

4.3 정적하중 재하 실험

정적하중재하 실험에 사용된 차량은 축하중 2.65t인 단축 앞바퀴와 축하중이 각각 4.54t, 3.64t인 뒷바퀴가 복축인 레미콘 트럭이다. 하중 재하 실험은 뒷바퀴가 길어깨부와 줄눈부에서 걸치는 점을 감안하여 단축 앞바퀴를 사용하였다. 하중의 크기를 달리하기 위하여 레미콘 트럭에 물을 채워 실험을 진행한 후 물을 빼고 다시 실험을 진행하였는데 앞바퀴는 축하중이 2.45t으로 감소하였다. 게이지는 슬래브 두께가 100, 150mm인 경우에는 슬래브 상부와 하부에 게이지를 매립하였으며 5cm의 경우에는 슬래브 두께가 너무 얇은 관계로 하부에만 게이지를 묻었으며 대표적인 게이지 매립은 그림 4, 5와 같다. 하중은 슬래브의 중앙부, 우각부 및 줄눈부와 길어깨쪽의 모서리에 재하되었다. 또한 하중이 미치는 영역을 알아보기 위하여 각 하중 재하 위치의 중앙에 하중을 재하하였다.

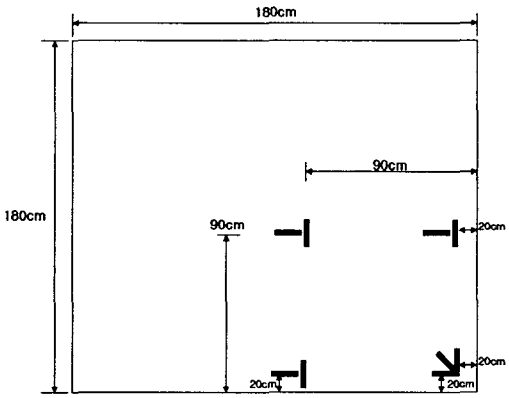

그림 8 게이지 매립 위치(슬래브 하부)

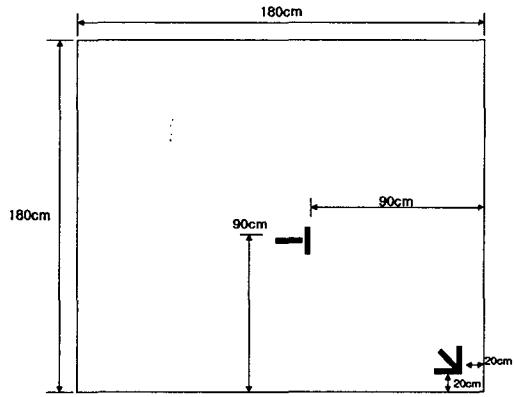

그림 9 게이지 매립 위치(슬래브 상부)

정적하중재하 실험 결과 물을 포함한 상태에서 5cm 구간에서는 우각부 종방향에서 최소 83 microstrain, 최대 변형률은 중앙부와 길어깨쪽 모서리에서 각각 1231, 1262 microstrain이 발생하였으며 10cm 구간에서는 최소 우각부 종방향에서 51 microstrain, 최대 중앙부 횡방향 70 microstrain이 발생하였다. 15cm 구간에서는

우각부 횡방향에서 최소인 14 microstrain, 길어깨 및 줄눈부 모서리에서 48, 50 microstrain의 변형이 발생하였다. 이러한 실험 결과는 물을 뺀 후 실시한 실험 결과에서도 유사하게 나타나는 것을 표 2 로부터 알 수 있다. 화이트타핑 두께가 10cm에서 15cm로 증가함에 따라 슬래브 하부에서 최소 9에서 최대 55 microstrain의 인장 변형률 차이를 보였으며 두께가 5cm인 경우에는 10cm와 비교한 경우 127~1209 microstrain의 인장 변형률 차이를 보였다. 슬래브 두께가 5~10cm, 10~15cm 사이에 약 14~21배 정도의 인장 변형률 증가가 있는 것을 알 수 있다. 5cm 덧씌우기 구간에서는 하중 재하 위치에 따라 결과값이 상당히 민감하게 반응하여 절대값으로 판단하기는 어려우나 동일한 두께와 조건의 아스팔트 층에서 실험이 진행되었다고 가정한다면 화이트타핑 두께를 결정하는데 있어 중차량 교통이 많은 도로에 5cm 덧씌우기는 피해야 할 것으로 판단된다. 실험 결과는 HWLS(Heart Wheel Load Simulator)를 이용한 실내 실험 결과 제시한 화이트타핑의 최소 두께와 일치하는 것이다.

표 2 정적하중재하 실험 결과

하중재하위치	게이지 방향	슬래브 두께(cm)	변형률(microstrain)			
			하부		상부	
			+물	-물	+물	-물
줄눈부 모서리	종	5				
		10	62	44	-63	-58
		15	26	25		
	횡	5	186	89		
		10	59	59		
		15	50	40		
우각부	종	5	83	174		
		10	51	41	-54	-47
		15	40	36	-39	-39
	대각선	5	88	75		
		10	62	21	-39	-24
		15	29	24	-19	-18
	횡	5	209	114		
		10	69	29	-44	-21
		15	14	14	-7	-6
중앙부	종	5	1231	533		
		10	58	41	-38	-29
		15	30	26	-22	-23
	횡	5	543	629		
		10	70	56	-50	-43
		15	43	40	-21	-22
길어깨 모서리	종	5	149	178		
		10	66	66	-24	-24
		15	48	40		
	횡	5	1262	852		
		10	53	46		
		15	20	17		

4.4 FWD측정

Whitetopping 포설 후 계절별 변화에 따른 거동 특성을 분석하고자 겨울(11월)과 여름(7월)에 2차례로 나눠 실험을 진행하였다. FWD 측정장비는 Dynatest를 사용하였으며 여름철에 31.6KN~65.2KN, 겨울철에 41.8KN~65.2KN의 하중을 재하하였다. 그림 6와 그림 7은 각각 여름철과 겨울철의 FWD 실험 결과로써 콘크리트 덧씌우기를 하거나, 덧씌우기층의 두께가 두꺼울수록 처짐량이 적게 발생하는 경향을 나타내고 있다. 52KN이 재하된 110mm두께인 R6구간에서는 166 micron, 55mm두께인 R2 구간에서는 182 micron의 처짐이 발생하였으며, 아스팔트 포장구간에서는 47.7KN의 하중에 대하여 241 micron의 처짐이 발생하였다. 이러한 결과는 여름철

실험 결과와 같은 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 실험결과 콘크리트 덧씌우기를 하고 덧씌우기 두께를 두껍게 할수록 안정적인 포장층을 형성한다는 것을 알 수 있다.

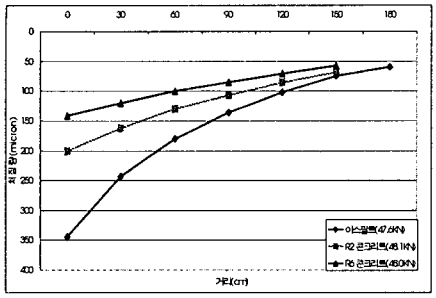

그림 6 FWD 처짐량-여름

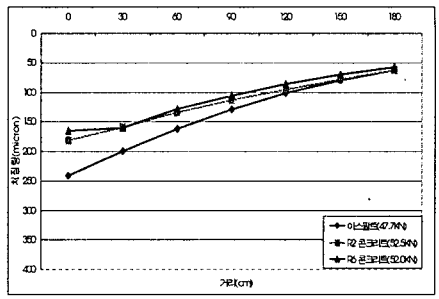

그림 7 FWD 처짐량-겨울

5. 결론

(1) 기존의 시공 사례를 바탕으로 하여 시험 시공을 실시한 결과 인력식 및 기계식 시공의 시공성을 검증할 수 있었으며 실제 도로상에서의 시공에도 우수한 시공성을 보일 것으로 판단된다.

(2) 2차에 걸친 시공 결과 인력식 시공에서 약 18㎝ 슬럼프의 재료는 스크리드를 사용할 수 있었다. 페이버를 이용한 기계식 시공에서는 슬럼프 8㎝~10㎝정도 재료를 믹스트럭으로 운반한 것이 시공이 양호한 것으로 나타났다.

(3) 시험포장 결과 양생제를 살포한 곳과 살포하지 않은 구간에서 균열 발생정도가 큰 차이를 나타냈다. 그러므로, Whitetopping 포설시 0.95ℓ/㎡의 양생제를 살포해야 할 것으로 판단된다.

(4) 정적하중 재하실험 결과 화이트타핑 두께 5cm에서 10, 15cm 구간에서보다 상대적으로 큰 인장변형률이 발생하였으며 이는 기존의 HWLS를 이용한 실내 실험의 결과와 일치하는 것으로 화이트 타핑을 적용하는데 있어 슬래브 두께가 10cm 이상이 되어야 한다고 판단된다.

(5) 시험포장 후 겨울과 여름에 FWD로부터 처짐을 측정한 결과 겨울철보다 여름철에 처짐이 크게 발생하였으며 이는 온도가 상대적으로 높은 여름철에 아스팔트의 강도가 작아져 아스팔트층의 지지력이 감소하였기 때문인 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Crawley. A. B. 1998, Application of fiber reinforced concrete for thin and ultra-thin whitetopping on I-20 in Mississippi. Interim Report. Report No. FHWA/MDOT-RD-PTP- 97(001)

2. Wu. C. L., Tayabji. S., Sheeham. M., and Sherwood J., 2001, Performance and repair of UTW pavements. 7th International Conference on Concrete pavements., Orlando, Florida

3. Wu, Tarr. Ardani and Sheehan, "Instrumentation and Field Testing of Ultrathin Whitetopping Pavement", TRB 1998

4. Yoon-Ho Cho, Han-Mo Koo, Tae-Young Yoon., "A behavior of whitetopping with respect to thickness of existing pavement," Transportation Research Board, Washington DC, 2003. 1.(게재 예정)