

섬유보강 아스팔트 덧씌우기 포장 초기 공용성 평가

Evaluation of Early Stage Performance of Geogrid-reinforced Asphalt Overlay Pavements

여현동* · 정성원** 김광덕*** · 권수안**** · 정진훈*****

Yeo, Hyun Dong · Jeong, Sung Won · Kim, Gwang Duk · Kwon, Soo Ahn · Jeong, Jin Hoon

1. 서 론

1990년대 이후 폭발적인 교통량 증가와 더불어 차량하중의 증량화, 환경적 영향 등의 복합적인 요인들로 인하여 도로포장의 파손이 전국적으로 광범위하게 발생되고 있는 실정이다. 이로 인해 도로포장은 설계수명에 도달하기 이전에 유지보수가 실시되어야 하는 경우가 많다(한국도로공사, 1999). 섬유보강 아스팔트 공법은 신설 포장을 비롯하여 유지보수를 위한 덧씌우기 포장에도 적용 가능한 공법이다. 섬유보강재를 아스팔트 층 사이에 설치하여 하부에 이미 발생한 균열을 정지시키거나 지연시키고 러팅을 저감할 수 있는 공법으로 균열 및 러팅이 예상되는 위치에 활용 가능하다(안태봉 외, 2001). 섬유보강재는 아스팔트 포장의 러팅을 감소시키고 피로수명을 증가시키며, 특히 동적안정도는 10배, 균열의 진전시간은 8배 가량 증가시키는 효과가 있다고 발표되었다(Brown 외, 1985, Gilchrist 외, 1994). 이 외에도 여러 연구를 통하여 섬유보강재는 피로균열이나 반사균열의 억제 효과와 함께 러팅에 대한 저항성이 커서 아스팔트 포장의 보강 재료로서 우수한 공학적 특성을 갖는다고 알려졌다(한국건설기술연구원, 1999).

본 연구는 일반 아스팔트 포장 층 사이에 섬유보강재를 설치하여 시험 시공된 섬유보강 아스팔트 덧씌우기 포장과 일반 또는 개질 아스팔트 덧씌우기 포장의 공용성을 비교하는데 목적이 있다. 일정 공용기간이 지난 섬유보강 아스팔트 시험시공구간과 인근 일반 아스팔트 또는 개질 아스팔트 비교구간의 균열률, 러팅, 종단평탄성, 처짐을 비교분석하여 섬유보강 아스팔트 덧씌우기 포장의 효과에 대한 연구를 실시한다.

2. 시험시공구간 현장 조사

모든 시험시공구간은 2차로와 4차로 도로를 대상으로 양방향 차로 또는 한 방향 차로에 섬유보강 아스팔트 덧씌우기 포장이 시공되었다. 섬유보강 아스팔트 구간과 공용성을 비교하기 위한 일반 아스팔트 구간 또는 개질 아스팔트 구간은 시험시공구간 인근에 동일 차로 또는 반대 차로로 선정되었다.

1차, 2차 조사에 걸쳐 총 13구간에 대해서 조사가 실시되었으나 시험시공구간과 비교구간 간의 위치적 차이(신호대기구간, 교량구간, 터널구간 등)와 시간적 차이(공용기간 10년 이상 차이 등)로 인해서 비교에 제약이 있는 구간을 제외한 서야삼거리 구간, 신도안교 구간, 하구둑 사거리 구간에 대해서 연구를 실시하였다.

서야삼거리 구간 조사는 2009년 8월에 실시되었으며 신도안교 구간, 하구둑 사거리 구간 조사는 2009년 11월에 실시되었다. 시험시공구간과 비교구간은 각각 “T”와 “C”의 기호로 표시하고 균열률, 러팅, 종단평탄성, 처짐을 조사하였다. 전체 구간을 10m 단위로 나누어 조사하였는데, 예를 들면 전체 길이가 2,000m인 서야삼거리 구간(T1, C1)은 10m 단위로 조사하여 200개의 자료를 획득하는 방식이다. 자동조사장비를 사용하여 10m 단위로 측정된 자료는 균열률, 러팅, 종단평탄성(IRI)이며, 처짐은 포장 지지력 측정 장비(Heavy Weight

* 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · 032-873-5332(E-mail:yhd19831@naver.com)

** 학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · 032-873-5332(E-mail:beast38@daum.net)

*** 정회원 · 국토해양부 +감사 담당관실 시설사무관 · 02-2110-8027 (E-mail:gdkim@korea.kr)

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 · 공학박사 · 031-910-0174 (E-mail:sakwon@kict.re.kr)

***** 정회원 · 교신저자 · 인하대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · 032-860-7574 (E-mail:jhj@inha.ac.kr)

Deflectometer ; HWD)를 사용하여 전체 구간 내에서 약 5개 지점을 측정하였다.

3. 비교 분석

3.1 비교 분석 방법

서야 삼거리 구간, 신도안교 구간, 하구둑 사거리 구간의 시험시공구간과 비교구간에서 조사된 자료를 정규분포화하여 통계적으로 분석하였다. 예로서 시험시공구간인 서야 삼거리 구간 T1에 발생된 러팅의 통계적인 분석 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 시험시공구간을 10m 분석구간 단위로 구분한다.
- 2) 분석구간 10m에 대한 러팅을 측정하고 데이터를 수집한다.
- 3) 러팅 범위 내에서 10m 분석구간의 개수가 몇 %씩 분포하는지를 그림 1과 같이 나타낸다.
- 4) 전체 분석구간에서의 러팅의 평균값 μ 와 표준편차 σ 를 구한 후 그림 2와 같이 표준 정규분포화하고 상위 50, 90, 95%의 확률을 갖는 러팅을 결정한다.

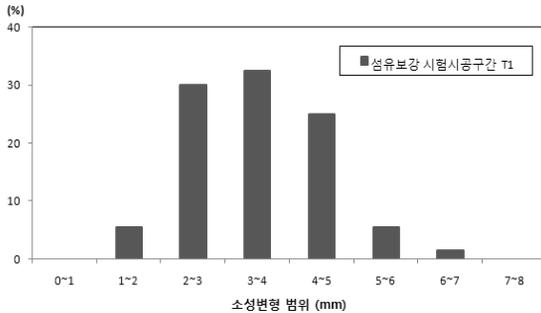


그림 1. 측정된 러팅 크기의 분포 예

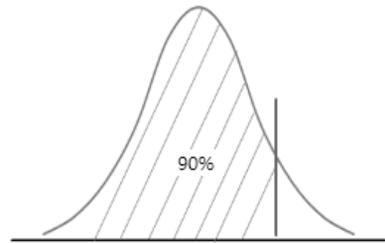


그림 2. 러팅 크기의 표준 정규분포화 예

3.2 섬유보강 아스팔트 구간과 일반 아스팔트 구간 비교

(1) 일반현황

서야 삼거리 구간의 시험시공구간은 양방향에 걸쳐 시공되었으며 각 방향마다 일반 아스팔트 비교구간을 설정하였다. 서야 삼거리 구간은 시험시공구간과 비교구간의 공용기간 차이가 6년이지만 다른 분석구간에 비하여 연장이 길고 구간 내에 특이사항이 없어 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

신도안교 구간은 한 방향에 시험 시공이 실시되었으며 동일 방향에 일반 아스팔트 비교구간을 설정하였다. 조사구간이 210m로 다소 짧지만 공용연수가 3년으로 비교에 적절하며 시험시공구간과 비교구간과의 공용기간에 차이가 없어 가장 이상적인 비교분석 구간으로 볼 수 있다.

표 1. 서야 삼거리 및 신도안교 구간 일반현황

번호	구간	위치	차로수	시점	연장(m)	시공연도	공용연수
T1	서야 삼거리	충남 예산군	2	구양교 A1+1.480	2,000	2007	2
C1		합덕읍		구양교 A1-0.420	1,900	2001	8
T2	신도안교	충남 계룡시	2	신도안교 A1+3.130	210	2006	3
C2		신도안면		신도안교 A1+2.870	210	2006	3

(2) 분석 결과

① 균열률

섬유보강 아스팔트 시험시공구간 T1, T2 구간과 일반 아스팔트 비교구간 C1, C2 구간 모두 균열률 0%로 공용기간 동안 균열이 발생하지 않았다.

② 러팅

통계적인 분석 결과를 살펴보면 서야 삼거리 T1, C1 구간은 90% 확률인 경우 표 2와 같이 러팅은 시험시공구간은 4.58mm이고 비교구간은 4.78mm로 시험시공구간에서 0.2mm 더 작은 값이 나타났다. 이는 비교구간에서 발생한 러팅이 전반적으로 시험시공구간보다 커서 비교구간의 러팅 평균값이 시험시공구간에 발생한 러팅의 평균값에 보다 크게 조사되었기 때문이다. 이로 인해 시험시공구간이 더 우수하게 나타났다.

신도안교 T2, C2 구간은 90% 확률인 경우 표 2와 같이 러팅은 시험시공구간은 1.83mm이고 비교구간은 6.00mm로 시험시공구간에서 4.17mm 더 작은 값이 나타났다. 이는 전체 구간에 발생한 러팅 평균값과 표준편차 모두 시험시공구간이 비교구간 보다 더 작게 나타났기 때문이다. 즉, 비교구간의 러팅 분포가 시험시공구간 분포에 비하여 크고 넓은 분포로 나타났다. 이로 인해 시험시공구간이 더 우수하게 나타났다.

표 2. 서야 삼거리 및 신도안교 구간 러팅 비교

번호	구간	평균(mm)	표준편차	50%(mm)	90%(mm)	95%(mm)
T1	서야	3.25	1.04	3.25	4.58	4.96
C1	삼거리	3.42	1.06	3.42	4.78	5.17
T2	신도안교	1.19	0.50	1.19	1.83	2.01
C2		3.10	2.27	3.10	6.00	6.82

③ 종단평탄성 (IRI)

분석 결과를 살펴보면 서야 삼거리 T1, C1 구간은 90% 확률인 경우 표 3과 같이 종단평탄성은 시험시공구간에서 2.79m/km이고 비교구간은 3.62m/km로 시험시공구간에서 0.84m/km 더 작은 값이 나타났다. 이는 시험시공구간과 비교구간 간의 평균값의 차이보다는 데이터의 퍼진 정도를 나타내는 표준 편차의 차이에 의해서 발생한다. 비교구간의 종단평탄성 데이터가 시험시공구간과 비교하여 상대적으로 넓은 분포를 가지고 있어 표준편차 값이 크게 나타났으며, 이로 인해 비교구간의 표준편차가 커짐에 따라 시험시공구간에서 90%, 95% 확률에 해당하는 종단평탄성이 더 우수하게 나타났다.

신도안교 T2, C2 구간은 90% 확률인 경우 표 3과 같이 종단평탄성은 시험시공구간에서 4.46m/km이고 비교구간은 5.36m/km로 시험시공구간에서 0.9m/km 더 작은 값이 나타났다. 이는 시험시공구간에 조사된 종단평탄성의 평균값과 표준편차 모두 비교구간보다 더 작게 나타났기 때문이다. 즉, 비교구간의 러팅 분포가 시험시공구간 분포에 비해 크고 넓은 분포로 조사되었기 때문에 시험시공구간이 더 우수하게 나타났다.

표 3. 서야 삼거리 및 신도안교 구간 IRI 비교

번호	구간	평균(mm)	표준편차	50%(mm)	90%(mm)	95%(mm)
T1	서야	1.97	0.87	1.97	2.79	3.10
C1	삼거리	1.91	1.34	1.91	3.62	4.11
T2	신도안교	3.11	1.05	3.11	4.46	4.84
C2		3.43	1.50	3.43	5.36	5.91

④ 처짐

시험시공구간 T1 구간과 비교구간 C1 구간 모두 덧씌우기 직전인 2000년보다 처짐이 절반 이하로 감소되어 덧씌우기에 의한 효과가 큰 것으로 나타났다. 그림 3과 같이 시험시공구간과 비교구간 간의 처짐의 차이는 0.012mm로서 유사하여 거의 차이가 없었다.

섬유보강 아스팔트 시험시공구간 T2에서는 처짐을 측정했던 5지점 중 1지점에서 매우 큰 오차가 발생하여 이를 제거하고 분석하였다. 그림 4와 같이 시험시공구간과 비교구간의 처짐은 거의 동일했으며 덧씌우기 전보다는 훨씬 작게 측정되어 덧씌우기에 의한 효과가 있었던 것으로 나타났다.

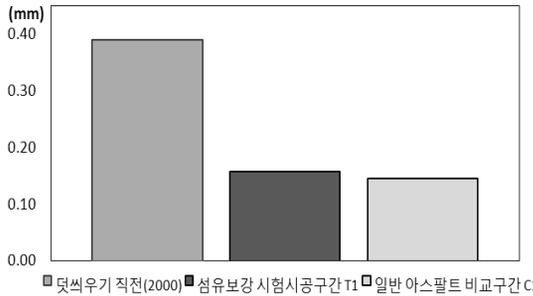


그림 3. 서야 삼거리 구간 평균 처짐 비교

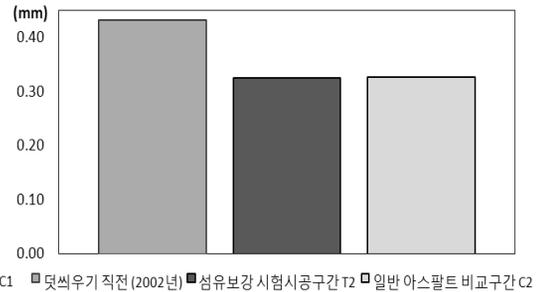


그림 4. 신도안교 구간 평균 처짐 비교

3.4 섬유보강 아스팔트 구간과 개질아스팔트 구간 비교

(1) 일반현황

하구독 사거리 구간에서는 섬유보강 아스팔트 시험시공구간 T3 구간과 일반 아스팔트보다 성능이 우수하다고 알려진 개질 아스팔트 비교구간 C3 구간을 조사하고 비교하였다. 공용연수는 1년으로 짧았지만 섬유보강 아스팔트와 개질 아스팔트를 비교적 동일한 조건에서 비교분석했다는 점에서 의미가 있다.

표 4. 하구독 사거리 구간 일반현황

번호	구간	위치	차로수	시점	연장(m)	시공연도	공용연수
T3	하구독	충남 서천군	4	하구독 사거리+0.000	200	2008	1
C3	사거리	마서면		하구독 사거리+0.200	200	2008	1

(2) 분석 결과

① 균열률

섬유보강 아스팔트 시험시공구간 T3 구간과 개질 아스팔트 비교구간 C12구간 모두 균열률 0%로 균열이 발생하지 않았다.

② 러팅

통계적인 분석 결과를 살펴보면 90% 확률인 경우 러팅은 시험시공구간은 4.14mm이고 비교구간은 6.22mm로 시험시공구간에서 2.08mm 더 작은 값이 나타났다. 이는 전체 구간에 발생한 러팅 평균값과 표준편차 모두 시험시공구간이 비교구간 보다 더 작게 나타났기 때문이다. 즉, 비교구간의 러팅 분포가 시험시공구간 분포에 비하여 크고 넓은 분포로 나타났다. 이로 인해 시험시공구간이 비교구간에 비하여 더 우수하게 나타났다.

표 5. 하구독 사거리 구간 러팅 비교

번호	구간	평균(mm)	표준편차	50%(mm)	90%(mm)	95%(mm)
T3	하구독	2.53	1.26	2.53	4.14	4.60
C3	사거리	3.90	1.81	3.90	6.22	6.88

③ 종단평탄성 (IRI)

통계분석 결과, 확률 90%인 경우 종단평탄성은 시험시공구간에서 2.14m/km이고 비교구간은 2.32m/km로 시험시공구간에서 0.18m/km 더 작은 값이 나타났다. 이는 시험시공구간에 조사된 종단평탄성의 표준편차가 비교구간보다 더 작게 나타났기 때문에 시험시공구간의 종단평탄성이 더 작게 나타났다. 즉, 비교구간의 종단평탄성 분포가 시험시공구간 분포에 비하여 넓은 분포로 나타났다.

표 6. 하구둑 사거리 구간 IRI 비교

번호	구간	평균(m/km)	표준편차	50%(m/km)	90%(m/km)	95%(m/km)
T3	하구둑	1.49	0.51	1.49	2.14	2.32
C3	사거리	1.47	0.66	1.47	2.32	2.56

④ 처짐

섬유보강 아스팔트 시험시공구간 T3 구간과 개질 아스팔트 비교구간 C3 구간의 처짐을 비교한 결과 그림 13과 같이 덧씌우기 직전인 2007년에는 두 구간의 처짐이 비슷하였으나 덧씌우고 난 후인 2009년에는 섬유보강 아스팔트 포장 구간에서 0.12mm가 감소되어 0.08mm만 감소한 개질 아스팔트 포장에 비하여 처짐에 대한 저항이 큰 것으로 나타났다.

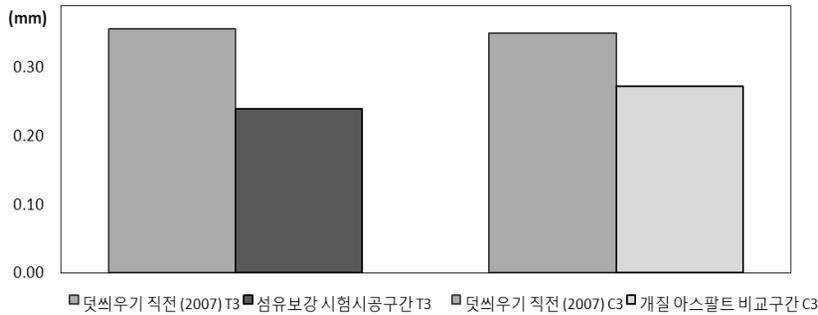


그림 5. 하구둑 사거리 구간 (T3, C3) 처짐 비교

4. 분석 결과 정리

도명식 외(2007)에 의해서 제안된 일반국도의 최적 유지보수 기준인 러팅 25mm 및 IRI 3.5m/km의 각 5%에 해당되는 러팅 1.25mm와 IRI 0.175m/km의 차이가 시험시공구간과 비교구간 간에 발생하는지의 여부로 공용성의 우열을 비교하였다. FWD(Falling Weight Deflectometer)에 의한 포장의 처짐과 러팅 간의 관계로서 일반국도 유지보수 기준인 러팅 25mm와 포장 상태 4등급일 때의 최소 처짐인 0.5mm의 5%에 해당하는 0.025mm의 차이가 발생하는지의 여부도 비교하였다(박성완 외 2006). 여기서, 균열율은 전 구간에서 0%로 측정되어 시험시공구간 공용성 비교에서 제외하였다.

표 7. 공용성 비교 결과

구간 번호	러팅(mm) 비교			IRI(m/km) 비교			처짐(mm) 비교	
	평균	90%	-	평균	90%	-	평균	-
T1	3.25	4.58	시험구간 우수	1.67	2.79	시험구간 우수	0.157	유사
C1	3.42	4.78		1.91	3.62		0.145	
T2	1.19	1.83	시험구간 우수	3.11	4.46	시험구간 우수	0.325	유사
C2	3.10	6.00		3.43	5.36		0.326	
T3	2.53	4.14	시험구간 우수	1.49	2.14	평균 : 유사 90% : 시험구간 우수	0.240	시험구간 우수
C3 (개질ASP)	3.90	6.22		1.47	2.32		0.272	

* T : 섬유보강 아스팔트 시험시공구간

** C : 일반 또는 개질 아스팔트 비교구간

표 7과 같이 시험시공구간과 비교구간의 러팅과 종단평탄성을 비교한 결과 시험시공구간의 러팅 저항성, 종단평탄성이 더 우수한 것으로 나타났다. 정규 분포를 통하여 90% 확률로 분석한 결과, 시험시공구간에서 비교구간보다 러팅과 종단평탄성이 더 우수하게 나타났다. 이는 비교구간의 러팅, 종단평탄성 데이터가 시험시공구간과 비교하여 상대적으로 크고 넓은 분포 가지고 있어 시험시공구간보다 표준편차 값이 크게 나타났기 때문이다. 이러한 표준편차 차이로 인해 시험시공구간의 90% 확률에 해당하는 러팅과 종단평탄성이 비교구간보다 더 우수하게 나타났다.

조사된 구간의 공용기간이 전반적으로 짧아 거의 모든 구간에서 균열이 발생하지 않았으므로 균열에 대한 저항 효과를 제대로 파악할 수 없었지만 일정 공용기간이 경과한 후 균열률을 제조사한다면 섬유보강 아스팔트 포장의 가장 큰 장점인 균열 저항성을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 섬유보강 아스팔트 시험시공구간과 인근의 일반 또는 개질 아스팔트 비교구간에 대해 일정 공용기간이 경과한 후에 균열률, 러팅, 종단평탄성, 그리고 처짐을 측정하고 비교분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 정규분포를 통한 통계적인 분석으로 90% 확률에서 시험시공구간과 비교구간의 러팅과 종단평탄성을 비교한 결과, 비교구간은 시험시공구간에 비하여 상대적으로 크고 넓은 분포를 가지고 있어 표준편차 값이 크게 나타났다. 이러한 표준편차 차이로 인해 시험시공구간의 90% 확률에 해당하는 러팅과 종단평탄성이 비교구간보다 더 우수하게 나타났다.
- (2) 서야 삼거리 구간(T1, C1)과 신도안교 구간(T2, C2)에 대해서 러팅과 종단평탄성의 분포를 분석한 결과, 시험시공구간의 러팅과 종단평탄성이 일반 아스팔트 비교구간에 비하여 더 양호한 것으로 나타났다.
- (3) 하구둑 사거리 구간(T3, C3)에 대해 덧씌우기 직전과 덧씌우기 후의 공용성을 비교한 결과 시험시공구간의 러팅과 처짐에 대한 저항성이 개질 아스팔트 포장보다 크게 향상된 것으로 나타났다.
- (4) 조사구간의 공용기간이 짧아 균열에 대한 저항 효과는 제대로 파악할 수 없었다. 일정 기간 후 균열률을 제조사한다면 섬유보강 아스팔트 포장의 가장 큰 장점인 균열 저항성을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 진행하면서 섬유보강 아스팔트 시험시공구간과 일반 아스팔트 비교구간을 동일한 조건에서 비교분석 할 수 있는 구간의 수가 부족하였다. 따라서 향후 연구에서는 동일한 시기에 동일한 조건으로 시공된 최소 300m 이상의 구간을 조사하여 보다 신뢰성 높은 결과를 도출할 계획이다.

참고 문헌

1. Brown, S.F., Brunton, J.M., Hughes, D.A.B., and Broderick, B.V.(1985), "Polymer grid reinforcement of asphalt" *Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Texas, pp. 18~44
2. Gilchrist, A.J.T. (1989), "Control of reflection cracking in pavements by the installation of polymer geogrids," *Proceedings of the Conference on Reflective Cracking in Pavements*, Liege, Belgium, pp. 350~357
3. 한국도로공사(1999), "포장균열 및 노면반사균열 억제방안 연구(III)", **연구보고서**
4. 한국건설기술연구원(1999) "토목섬유를 이용한 아스팔트포장 내구성 증진 연구" **최종보고서**
5. 안태봉, 양성철, 조삼덕, 김남호(2001) "토목섬유로 보강된 아스팔트포장의 응력-변형 거동특성" **한국도로학회논문집**, 제 3권, 제 1호, pp. 151-163
6. 박성완, 황규영(2006) "서울시 도로의 포장 공용성 상태 평가" **서울도시연구**, 제 7권, 제 2호, pp. 25-39
7. 도명식, 한대석, 이종달, 이영욱(2007) "HDM을 활용한국도 포장 유지보수 공법에 대한 경제성 평가" **대한토목학회논문집**, 제 27권, 제 3D호, pp. 311-323