

토목섬유보강 아스팔트 포장의 소성변형 특성에 관한 연구

A Permanent Deformation Behavior of Glassgrid-Reinforced Asphalt Pavement

김남호* · 조삼덕** · 이대영*** · 한상기****

1. 서 론

국내 아스팔트 포장의 주요 파손형태 중, 가장 문제시 되고 있는 소성변형은 포장이 설계수명에 도달하기 이전에 주로 발생하며 이로 인한 도로포장의 유지관리에 막대한 국가예산이 낭비되고 있는 실정이다. 일반적으로 아스팔트 포장층 내에 설치된 토목섬유는 균열억제 효과뿐만 아니라 소성변형 억제에도 효과가 있으며, 부수적으로 토목섬유 보강층의 공학적 특성으로 인하여 수밀성이 증대되어 도로균열로 인한 침투수를 차단하는 등의 여러 장점들이 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 국내에서는 아직 토목섬유 보강재를 사용한 아스팔트 포장체의 사용이, 일반화되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 아스팔트 표층과 기층 사이에 유리섬유계열의 보강재를 추가하여 보강한 아스팔트 포장체의 소성 변형 거동특성을 실험을 통하여 얻은 결과를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 시험재료 및 시험방법

본 연구에 사용된 재료는 다음과 같다. 골재는 표층 및 기층용으로 각각 최대골재치수 19 및 25mm의 화강암 쇄석을 사용하였으며, 자연 모래 및 석회 석분을 사용하였으며, 아스팔트는 국내 ○○사의 AP-5 아스팔트를 사용하였다. 사용된 골재 및 아스팔트 공허 제반 품질규정을 만족하였다. 본 연구에는 두 종류의 유리섬유가 사용되었는데, 하나는 독일 ○○사의 유리섬유 그리드 제품으로 고강도 유리섬유 그리드와 그리드의 빈 공간에 배열된 유리섬유사(역청코팅됨)로 구성되어있다. 다른 하나는 일본 ○○사의 유리섬유시트가 사용되었는데, 이 제품은 유리섬유사를 직선상으로 간격없이 배열하고 폴리프로필렌 수지(PP resin)로 결속한 얇은 막을 직교하도록 적층시킨 후 아스팔트로 도포하여 제조한 시트형 복합 토목섬유이다.

* 공학박사, 조교수, 한국기술교육대학교

** 공학박사, 수석연구원, 한국건설기술연구원

*** 연구원, 한국건설기술연구원

**** 연구원, 한국건설기술연구원



본 연구에서는 토목섬유 보강재의 사용여부, 보강재의 위치 및 각 포장체의 두께에 따른 포장 파손형태를 파악하기 위하여 그림 1과 같이 3종류의 포장단면에 대한 실험을 실시하였다. 공시체는 무단변속 다짐기를 사용하여 슬래브 형태로 제작하였으며, 현장의 시공성을 모사하기 위하여 각 실험단면에 대하여 각각 50mm 또는 40mm 두께인 공시체를 제작한 후, 상단부의 층과는 택코팅 및 추가 다짐을 실시하여 접착시켰다.

완성된 공시체에 대하여 휠트래킹 실험을 실시하였다. 실험 공시체는 24시간 동안 상온에서 양생시킨 후 실험을 실시하였으며, 실험에 사용된 장비는 같은 일본 TANIFUJI사에서 제작된 휠트래킹 장비를 사용하였다. 휠트래킹 시험 후, 공시체를 시험 바퀴의 주행방향으로 절단하여 모형별 포장체의 거동 특성을 파악하였다. 그림 2는 이렇게 절단한 공시체의 단면모습이다. 시험에 사용된 실험인자별 기호는 표 1과 같다.

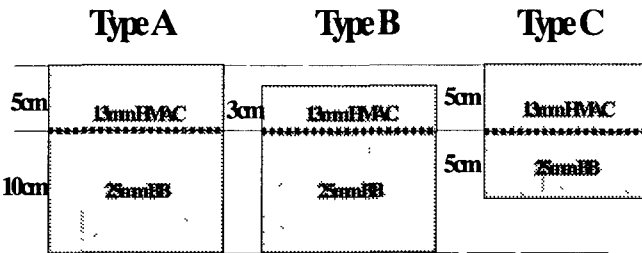


그림 1. 실험에 사용된 포장형식

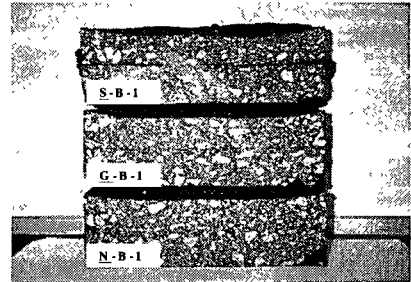


그림 2. 보강재에 따른 공시체의 단면

표 1. 실험인자별 분석기호

보강재 사용여부	단면형태	반복 횟수	명칭
N (비보강)	A	1, 2, 3	N-A-(1, 2, 3)
	B	1, 2, 3	N-B-(1, 2, 3)
	C	1, 2, 3	N-C-(1, 2, 3)
G (유리섬유 그리드)	A	1, 2, 3	G-A-(1, 2, 3)
	B	1, 2, 3	G-B-(1, 2, 3)
	C	1, 2, 3	G-C-(1, 2, 3)
S (유리섬유 시트)	A	1, 2, 3	S-A-(1, 2, 3)
	B	1, 2, 3	S-B-(1, 2, 3)
	C	1, 2, 3	S-C-(1, 2, 3)

3. 토목섬유 아스팔트 혼합물 복합체의 소성변형 거동특성

일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 두 종류의 유리섬유계 토목섬유 복합체의 휠트래킹 시험 결과 다음과 같은 거동이 관찰되었다.



- 토목섬유 아스팔트 복합체 공시체의 휠트래킹 시험에 의한 침하량은 표층 및 기층 두께의 조합에 크게 좌우되어, 소성변형의 크기는 A모형(표층 5cm+기층 10cm), B모형(표층 5cm+기층 5cm), C모형(표층 3cm+기층 10cm) 순으로 크게 나타났다.
- 토목섬유 아스팔트 복합체 공시체의 휠트래킹 시험에 의한 침하량은 토목섬유 추가여부는 비교적 적게 영향을 미쳐 표층 및 기층 두께의 조합에 따라 비슷한 양으로 나타났다.
- 토목섬유를 사용하지 않은 휠트래킹 공시체에 발생된 소성변형은 약 50%가 표층에서 그리고 나머지 50%가 기층에서 발생되었다.
- 반면 토목섬유 아스팔트 혼합물 복합체에서 발생된 소성변형의 약 90% 정도가 표층에서 발생된 것으로 나타났다.

본 분석에서 사용된 토목섬유 아스팔트 복합체에 대한 휠트래킹 시험 결과를 정리하여 표 2에 나타내었다. 초기 소성변형량 (D0), 동적 안정도(DS), 및 변형율(RD)은 토목섬유의 종류 및 사용유무에 따라 약간의 차이는 있었으나 대체로 단면 형식에 따라 각각의 물성들이 변화하는 것으로 나타났다. 휠트래킹 하중횟수에 증가에 따른 소성변형 발생량은 각 단면 형식별로 토목섬유의 유무에 별 영향 없이 비슷한 크기로 나타났다.

표 2 휠트래킹 시험 결과

구분	NA	GA	SA	NB	GB	SB	NC	GC	SC
D0 (mm)	2.31	2.30	2.47	0.72	0.46	0.59	0.69	1.54	2.11
DS (T./mm)	489.5	496.6	437.5	449.7	417.9	368.6	910.3	1,067.8	954.5
RD (mm/min)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.12	0.05	0.04	0.03
표층소성변형 발생비율 (%)	52	26	13	46	8	-7	69	50	9

* 표층소성변형발생 비율: (표층에서 발생한 소성변형량 ÷ 기층에서 발생한 소성변형량) × 100

이상과 같이 휠트래킹 시험에 발생된 소성변형을 자세히 분석하기 위하여 휠트래킹 시험 완료 후 공시체의 소성변형 발생 부위를 차륜 이동방향(종방향)으로 절단하여 표층과 기층 경계면의 위치를 측정하여 기층에서 발생한 소성변형량을 측정하였다. 그 결과를 표 2에 정리하였으며 그 전형적인 결과를 그림 3~그림 5에 나타내었다.

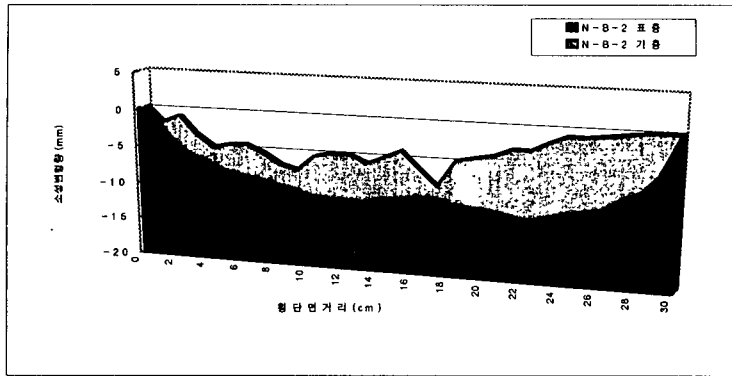


그림 3. 표층과 기층에서의 소성변형 contour (N-B-2)

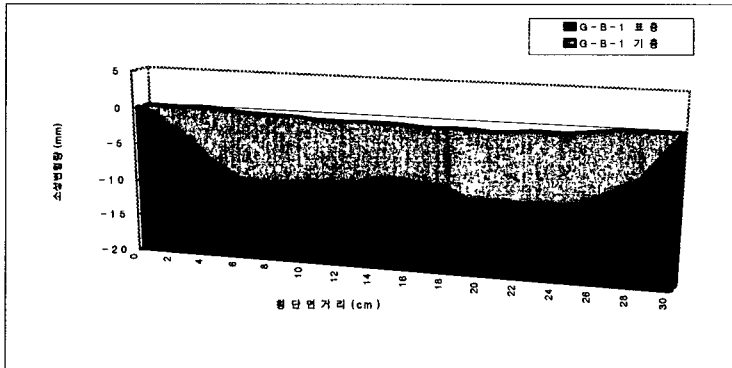


그림 4. 표층과 기층에서의 소성변형 contour (G-B-1)

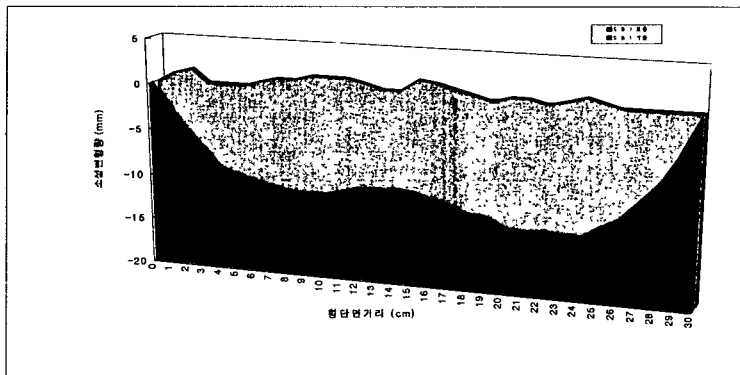


그림 5. 표층과 기층에서의 소성변형 contour (S-B-1)



표 2에 나타난 바와 같이, 토목섬유를 사용하지 않은 공시체의 경우에는 측정된 소성변형의 약 50%정도가 기층에서 발생하는 것으로 나타났는데 반하여 기층에서 발생하는 소성변형의 전체에 대한 비율은 기층의 두께가 클수록 다소 증가하여 N-A(기층 10cm)와 N-B(기층 5cm), N-C(기층 10cm)가 각각 52%, 46%, 69%로 나타났다. 이는 최대골재치수 25mm의 가열아스팔트 안정처리기층에서도 실제로 많은 양의 소성변형이 발생할 수 있음을 나타내는 흥미로운 결과라 여겨진다.

그러나 이러한 기층에서의 소성변형 현상은 토목섬유를 사용한 공시체의 경우에는 현저히 줄어드는 것으로 나타났다. 각각의 경우마다 다소의 차이는 있었지만 공시체 중앙부 20cm 부근에서 발생한 소성변형 중 기층에서 발생한 소성변형의 비율은 전체의 약 10%정도로 나타나, 기층 경계면에서 거의 소성변형이 발생하지 않은 것으로 보여진다. 따라서 본 연구에 사용된 유리섬유 계열의 토목섬유는 아스팔트 기층에서의 소성변형 방지에 매우 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단되어, 소성변형의 메커니즘을 이해하는데 중요한 단서가 될 것으로 판단된다. 이러한 분석 및 관찰 사항들을 기초로 하여, 소성변형에 대한 토목섬유의 보강효과를 설명이 시도되었는데, 이는 다음과 같다.

유리섬유계열의 토목섬유가 없는 경우

- 휠트래킹 시험의 운하중에 의해 표층 하단부의 골재가 횡방향으로 이동하며 경계면에 인장 변형을 유발시킨다.
- 경계면에서 표층하부로부터의 인장변형이 그대로 기층 상단부의 골재에 유도된다.
- 기층 상단부의 골재가 횡방향으로 이동하며 소성변형이 기층으로도 전달된다.

유리섬유계열의 토목섬유가 있는 경우

- 휠트래킹 시험의 운하중에 의해 표층 하단부의 골재가 횡방향으로 이동하며 경계면에 인장 변형을 유발시킨다.
- 경계면에서 표층하부로부터의 인장응력이 그대로 토목섬유에 유도된다.
- 유리섬유 그리드 및 유리섬유 시트의 tensile failure limit이 아스팔트 혼합물보다 크기 때문에, 유도된 인장응력은 변형을 유발시키지 않은 채 토목섬유층에 흡수된다.
- 토목섬유층은 표층에서의 인장에 의한 골재의 횡방향이동이 기층상부에 전달되는 것을 차단한다. 이러한 토목섬유층의 역할로 인하여 기층상부의 골재는 표층 하단부의 골재가 횡방향으로 이동하는 것과 상관없이 원 상태를 유지한다.
- 표층 하부에서 횡방향으로 이동하려는 골재와 토목섬유사이에 응력집중현상이 발생하여 표층에서의 골재이동현상이 가속되어, 토목섬유가 없는 경우보다 더 많은 소성변형이 표층에서 발생한다.

위에서 밝힌 소성변형의 메커니즘은 일반적으로 이해되고 있는 소성변형의 메커니즘인 골재와 골재 사이의 전단파괴거동 등과는 약간 시각을 달리하여, 골재 사이의 인장거동에 초점을 맞추어 토목섬유 아스팔트 혼합물 복합체의 소성변형 거동을 설명하고자 시도된 것으로 앞으로 더 많은 분석을 통한 검증이 있어야 할 부분이라 판단된다.



4. 결 론

이상과 같은 토목섬유 보강 아스팔트 포장 시스템의 거동 특성을 토대로 하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 아스팔트 포장의 표층과 기층경계면에 설치된 토목섬유는 아스팔트 포장의 내유동 거동에 지대한 영향을 미칠 수 있으며, 이는 토목섬유의 인장보강효과에 기인한 듯 하다
- 2) 유리섬유 그리드 및 유리섬유 시트는 아스팔트 포장의 소성변형 거동에 큰 영향을 미쳐, 기층에서 발생하는 소성변형의 대부분을 막아준다. 따라서 특화된 표층 혼합물을 사용함으로써 아스팔트 포장의 소성변형 방지에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국도로포장공학회 (1999), 아스팔트 포장공학 원론, 한국도로포장공학회 편저
2. 한국도로공사 (1999), 포장균열 및 노면반사균열 억제방안 연구(III), 1999년도 연구보고서, 216 pp.
3. Brown, S.F., Brunton, J.M., Hughes, D.A.B. and Broderick, B.V. (1985 a), "Polymer Grid Reinforcement of Asphalt," Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Texas, pp. 18~44.