

토목섬유로 보강된 아스팔트포장의 보강효과에 관한 유한요소해석

Finite Element Analysis of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids

안태봉* · 양성철** · 조삼덕***

1. 서 론

아스팔트포장을 유한요소해석법으로 해석한 사례는 보조기층의 사질토 보강효과에 관한 연구가 대부분이었다(Harichandran and Yeh, 1988; Duncan et al., 1968; Wathugala et al., 1996). 또한 사용한 토목섬유도 보조기층의 필터용 지오텍스타일, 보조기층 보강용의 지오그리드 등이었으며 아직 토목섬유 보강재가 아스팔트층내에 설치되었을 때 아스팔트에 어떤 영향을 미치는지에 대한 해석 결과는 거의 없는 실정이며 이에 대한 시도도 이루어지고 있지 않다. 최근 Kutuk (1998)은 아스팔트층내에 Glass grid를 넣어 보강재의 탄성계수를 20배 정도를 변화시켰지만 영향이 없는 것으로 보고하였다. 한편, 반사균열해석에 관해서는 Beam 시편이나 보강재의 유무에 따른 균열저항특성에 대한 연구가 일부 수행되었으나 (Scarpes et al., 1996; Lytton and Shanmugham, 1983), 보강재의 위치변화 등에 관한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 보강그리드가 아스팔트 보강체내에 설치되었을 때 아스팔트층 위의 차량하중으로 인하여 보강그리드 설치위치, 보강그리드의 탄성계수변화, 아스팔트층의 두께 등에 따라서 응력-변형 특성 및 균열저항 특성을 고찰하였다.

2. 토목섬유 아스팔트포장의 유한요소 수치해석

보강재로 보강된 아스팔트층의 응력-변형 및 균열저항 특성을 해석하기 위하여 다음과 같은 이상적인 아스팔트포장체를 구상하여 보강효과를 평가하였다(그림 1).

* 우송대학교 토목환경공학과 조교수

** 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

*** 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원

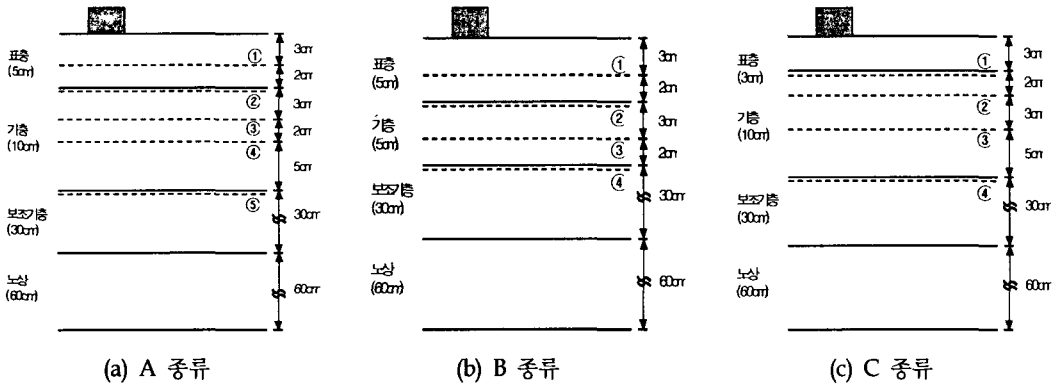


그림 1. 유한요소해석을 위한 보강아스팔트 구조체의 단면도

아스팔트구조체는 아스팔트층 중앙표면에 차량하중을 받고 바닥과 좌우측 경계면은 모두 x 방향으로 변위가 없는 것으로 고정하였고 아래 경계면은 y 방향으로 변위가 없는 것으로 하였다 (그림 2a). 반사균열해석을 위해 그림 2(b)와 (c)와 같이 균열선단의 위치를 변화시켜 균열길이별 해석을 실시하였고, 균열선단 주변에서는 그림 3과 같이 세밀한 유한요소망을 구성하였다. 사용된 물성치와 구성모델은 표 1과 같다.

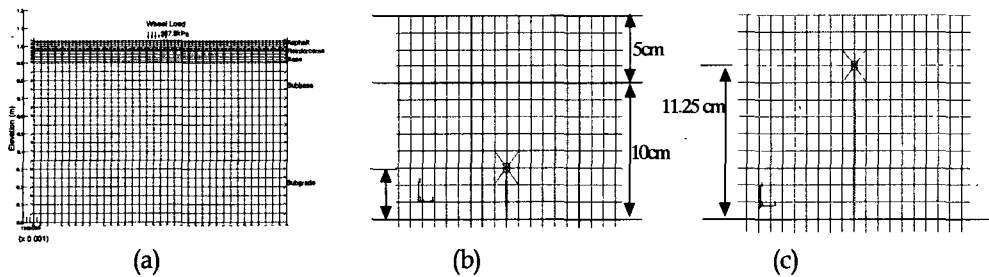


그림 2. 보강아스팔트 포장체의 유한요소망 (a) 전체, (b) 균열선단 주위(균열길이=3.75cm), (c) 균열선단 주위(균열길이=11.25cm)

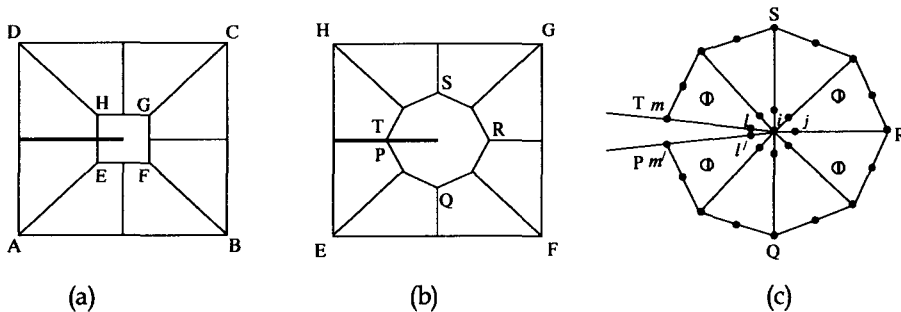


그림 3. 균열선단 주위의 세부 유한요소망 (a) ABCD 구역의 regular and singular 요소망 (b) EF GH 구역의 요소망, (c) 균열선단 PQRST 구역의 singular 요소망



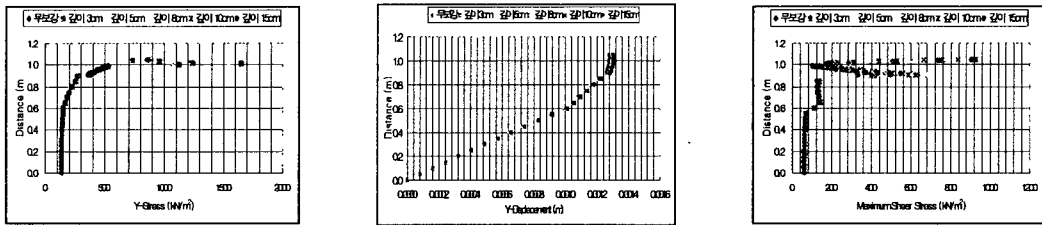
표 1. 그리드로 보강된 아스팔트포장구조체의 유한요소해석 입력자료

재료	구성모델	요소	탄성계수, E (kN/m ²)	포아송비, ν	단위중량 γ (t/m ³)	층두께 (cm)
표층	선형탄성	8절점 사각형 요소	3,445,000	0.4	2.32	5, 5, 3
기층	선형탄성	8절점 사각형 요소	2,067,000	0.4	2.32	10, 5, 10
보조기층	선형탄성	8절점 사각형 요소	241,000	0.35	2.16	30
노상	선형탄성	8절점 사각형 요소	69,000	0.35	1.92	60
보강그리드	선형탄성	보요소*	3,900,000 28,972,450	0.35	0.54	0.09
Glass grid	선형탄성	보요소	1,700,000 28,972,450	0.35	1.232	0.2

3. 응력-변형해석 결과

3.1 토목섬유의 설치 위치에 따른 보강 효과

보강재의 효과는 비보강시와 비교할 때 거의 무시할 만하다. 수직변위를 감소시키기 위해서는 표층보다는 기층에 설치하는 것이 좋으며 최대전단응력을 감소시키기 위해서는 표층내에 표면 가까이 설치하여야 효과가 있음을 알 수 있다 (그림 4).



(a) 수직응력 (b) 수직변위 (c) 최대전단응력

그림 4. A 형태의 설치깊이별 응력-변형해석 결과, 28,972,450kN/m²의 Glass grid 사용시

3.2 토목섬유의 강성에 따른 보강 효과

4가지의 보강재 종류에 따라 그 효과를 평가하였는데 Grid No.1(3,900,000kN/m²), Grid No.2(1,700,000kN/m²), Glass grid No. 1(28,972,450kN/m²), Glass grid No. 2(1,700,000kN/m²)의 효과를 평가하였으며 표층내 3cm의 깊이에 설치한 것으로 비교하였다. 설치깊이가 다르더라도 강성에 따른 효과의 경향은 변하지 않는 것으로 나타났다.

(1) A 종류

무보강과 Grid No. 1은 거의 같은 값을 보이고 다른 곳들은 거의 비슷한 값을 보인다. 수직변위와



최대전단응력에 대하여 Glass grid No. 1이 가장 효과가 있는 것을 알 수 있다. 전체적으로 수직응력과 수직변위에는 영향이 매우 작고 전단변형에 Glass grid No. 1, Grid No. 2의 차례로 효과가 좋은 것으로 나타나 강성도가 클수록 전단응력을 감소시키는 것으로 나타났다(그림 5).

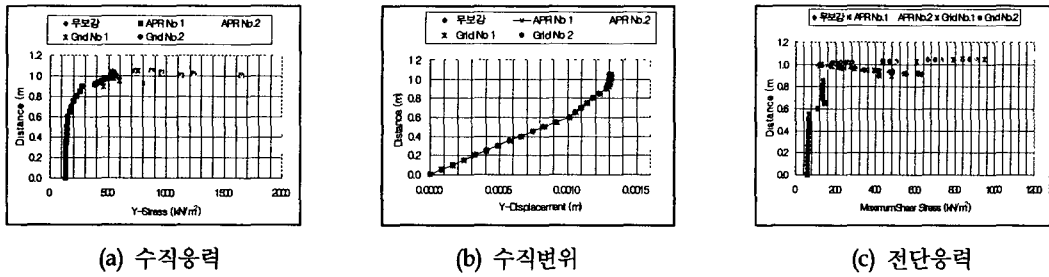


그림 5. 보강재에 따른 유한요소해석결과 비교, A 종류, 깊이 3cm 설치시

(2) C 종류

그림 6에서 보는 바와 같이 최대전단응력에 대하여 Glass grid No. 1이 다른 보강재보다 월등히 효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 보강재는 Glass grid No. 1이 최대전단응력을 줄이는데 효과가 가장 큰 것을 알 수 있다. 수직응력과 수직변위는 감소시키지 못하지만 최대전단응력을 감소시킴으로써 포장층의 안정성에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

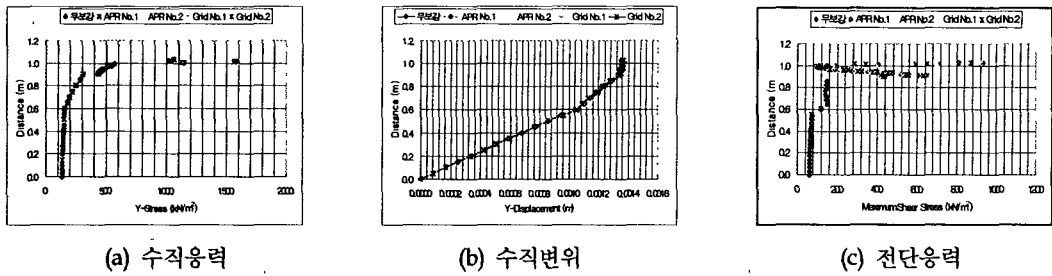
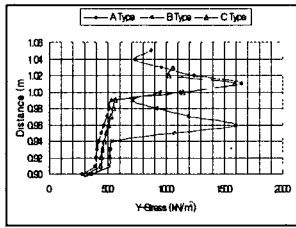


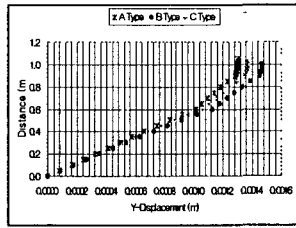
그림 6. 보강재에 따른 유한요소해석결과 비교, C 종류, 깊이 3cm 설치시

3.3 토목섬유 보강에 의한 포장층 두께 감소효과

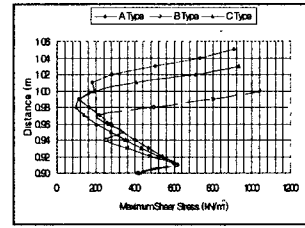
최대수직응력은 B유형이 작은 값을 보이지만 보조기층에서는, A, C가 작은 수직응력값을 나타내고 수직변위는 B, C, A순으로 커서 포장층 두께가 클수록 수직변위는 작다. 최대전단응력은 B, C, A순으로 크다(그림 7).



(a) 수직응력



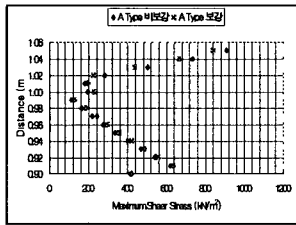
(b) 수직변위



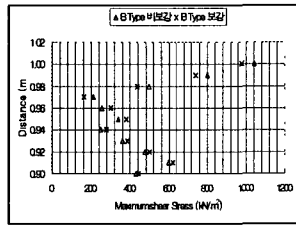
(c) 최대전단응력

그림 7. 포장유형별로 본 포장층 두께 감소가 미치는 영향

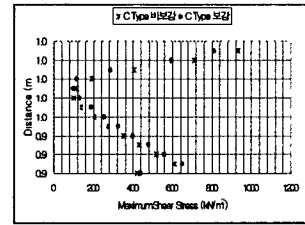
그림 8에서는 각기 다른 포장층별로 보강시와 비보강시를 최대전단응력 감소효과를 비교한 것으로 감소효과는 C 유형에서 가장 좋은 것으로 나타났다.



(a) A 종류



(b) B 종류



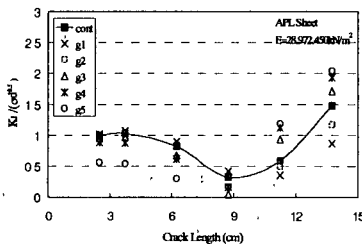
(c) C 종류

그림 8. 포장두께별 보강재가 최대전단응력에 미치는 효과

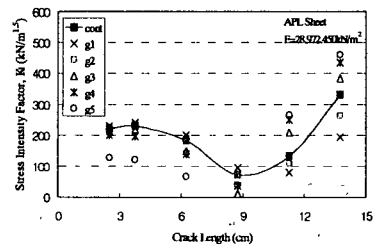
4. 반사균열 해석결과

4.1 토목섬유의 설치 위치에 따른 보강효과(종류 A)

균열길이별 및 Glass grid의 위치별 응력확대계수 및 무차원 계수로 도식하면 그림 9(a) 및 그림 9(b)와 같다. Glass grid가 상부에서 5cm에 위치하는 경우에 응력확대계수가 control과 비교하여 균열 길이 13.75cm에서는 25.9%까지 감소함을 보여주어 종류 A의 단면에서는 기층과 표층사이에 설치할 경우 균열에 대한 저항성이 가장 좋음을 알 수 있다.



(a) 균열길이별 응력확대계수



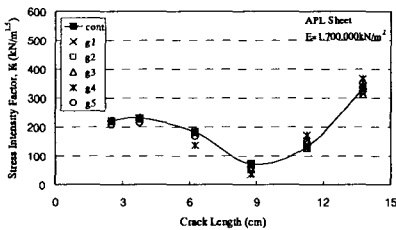
(b) 균열길이별 무차원 응력확대계수

그림 9. 토목섬유의 위치에 따른 보강효과

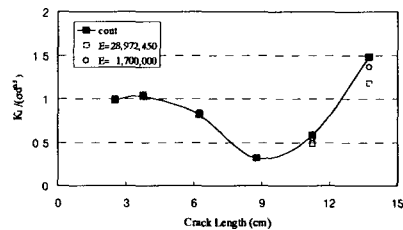


4.2 토목섬유의 강성에 따른 보강 효과

Glass grid의 탄성계수를 $E=1,700,000\text{kN/m}^2$ 와 $E=28,972,450\text{kN/m}^2$ 인 경우로 나누어 실시된 균열해석의 결과를 그림 10에 정리하였다. 여기에서는 Grid의 강성이 $28,972,450\text{kN/m}^2$ 에서 $1,700,000\text{kN/m}^2$ 으로 0.059배 감소함에 따라 모든 경우에 대해 균열길이와 control에 비해 거의 효과가 없음을 보여준다. 그림 10에는 grid의 위치가 포장체 상부로부터 5cm 위치한 경우의 균열길이별 $K_I / (\sigma \times d_{0.5})$ 의 값이 grid의 탄성계수가 증가함에 따라 감소함을 보여주어, grid의 강성이 균열저항에 영향을 미침을 보여준다.



(a) 균열길이별 응력확대계수

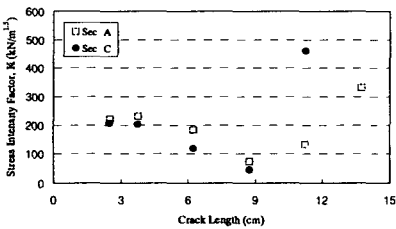


(b) 균열길이별 무차원 응력확대계수

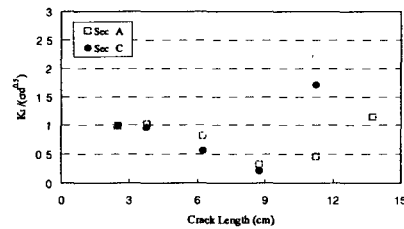
그림 10. 토목섬유의 강성에 따른 보강효과

4.3 표층 두께변화에 따른 균열저항 특성

종류 A단면과 종류 C단면에서의 균열저항특성을 살펴보기 위해 보강이 되지 않은 control section에 대해 수치해석을 실시하면 그림 11과 같다. 기층으로부터의 균열길이가 8.75cm까지는 오히려 단면 C의 응력확대계수가 작게 나타났으나, 균열길이가 11.25cm로 증가하였을 때는 단면 A에 비해 약 3.5배나 크게 나타났다.



(a) 균열길이별 응력확대계수



(b) 균열길이별 무차원 응력확대계수

그림 11. 표층 두께변화에 따른 균열 저항 특성

5. 결론

표층, 기층, 보조기층, 노상층내의 응력-변형 특성을 표층과 기층에서의 보강재를 Geogrid와 Glass grid, 두 가지에 각각 탄성계수를 변화시키며 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 유한요소해석 결과 수직응력과 수직변위에는 보강재를 사용한 경우가 보강재 종류나 탄성계수를 변화시켜도 무보강시에 비하여 현저한 효과는 나타내지 않는다. 그러나 최대전단응력에 있



어서는 비교적 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 최대전단응력은 표층에서 보강재 설치 깊이가 클수록 효과가 감소하고 표층의 최대전단응력은 설치깊이가 얇을수록 효과가 큼을 알 수 있다.

- (2) 강성도에 따른 보강효과를 평가한 결과는 28,972,450kN/m²의 Glass grid가 가장 효과가 있음을 알 수 있으며 특히 최대전단응력 감소효과가 약 15~20% 정도 효과가 있음을 알 수 있었다. 이것은 A 유형에서는 3cm 깊이보다는 5cm 깊이에서 효과가 있었고 C 유형에서는 5cm 보다 3cm에 효과가 큰 것으로 표층과 기층사이에 강성도가 큰 보강재를 설치하는 것이 가장 이상적이다.
- (3) 수직변위에 대한 효과는 보강재를 깊은 곳에 설치하여야 효과가 크고 전단응력은 얇은 곳에 설치하여야 큼을 알 수 있다. 보강재는 탄성계수가 큰 Glass grid가 효과적이다.
- (4) 포장재의 종류, 즉 A, B, C종류별로는 A 유형이 가장 수직변위도 작고 최대전단응력의 크기도 작았다. 따라서 보강재를 사용시에는 강성도가 큰 것을 A의 표층아래에 설치하는 것이 가장 효과적이다.
- (5) 반사균열에 대한 평가는 기층과 표층 사이에 토목섬유를 설치할 경우 균열에 대한 저항성이 가장 좋게 나타났다.
- (6) 종류 A 단면과 종류 C 단면에서의 균열저항특성을 살펴보기 위해 보강이 되지 않은 control section에 대해 비교한 결과 기층으로부터의 균열길이가 11.25cm로 증가하였을 때는 단면 A에 비해 약 3.5배나 크게 나타났다

참고문헌

- 1) Duncan J. M., Monismith, C. L., Wilson, E. L., "Finite Element Analysis of pavement", Transportation Research Record 228, TRB, national Research Council, Washington, D. C., 1968, pp. 18-33..
- 2) Harichandran, R. S. and Yeh, M. S., "Flexible Boundary in Finite Element Analysis of Pavement", Transportation Research Record 1207, TRB, national Research Council, Washington, D. C., 1988, pp. 50-60.
- 3) Hutuk, B. "Performance of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids", Ph.D Dissertation, West Virginia University.
- 4) Wathugala , G. W., Huang, B., and Pal, S. "Numerical Simulation of Geosynthetic Reinforced Flexible Pavements", Transportation Research Record 1534, Transportation research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 58-65.
- 5) A. Scarpas, A.H. De Bondt, and G. Gaarkeunken, "Reflective cracking control via reinforcing systems: FE modelling of reinforced overlays," Proceedings of the Third Int. Conference on Reflective Cracking in Pavements, pp. 344-353, 1996.
- 6) R.L. Lytton and U. Shanmugham, "Fabric reinforced overlays to retard reflection cracking," Report RF-3424-5, Texas A&M Research Foundation, Feb. 1983.