



토목섬유로 보강된 아스팔트포장의 응력-변형 거동특성

Stress-Strain Behavior of Flexible Pavement Reinforced with Geosynthetics

안 태 봉* · 양 성 철** · 조 삼 덕*** · 김 남 호****

Ahn, Tae Bong · Yang, Sung Chul · Cho, Sam Deok · Kim, Nam Ho

Abstract

Very few studies have been attempted to understand the stress-strain behavior of flexible pavements reinforced with geosynthetics in the middle of asphalt layer. In this study, the flexible asphalt layer was analyzed with finite element method to understand stress-strain behavior. The asphalt layer was reinforced with glass grid and geogrid. The reinforcement was applied in the asphalt layer to prevent its excessive deformation and shear failure. The location of installation and stiffness of the geosynthetics were varied to obtain optimum depth of reinforcement and proper modulus. The results indicate that geosynthetics are more effective for reducing maximum shear stress than those of vertical stress and vertical displacement. Maximum shear stress decreased 15~20%, and glass grid with high value of modulus was the most effective. Also, in order to prevent failure of asphalt layer, reinforcement should be installed in the 3cm~5cm depth.

Keywords : Asphalt, Reinforcement, Finite element

요 지

아스팔트포장층내에 보강용 토목섬유를 설치하여 포장층의 응력-거동특성을 연구한 예는 매우 드물다. 본 연구에서는 유한요소법을 사용하여 지오그리드와 유리섬유로 보강한 층의 응력-변형 특성을 연구하였다. 유리섬유와 지오그리드의 강성이 다른 두가지 종류를 사용하고 설치위치, 포장단면층의 두께 변화를 주어 아스팔트포장층에 미치는 영향을 분석하였다. 포장층내에 발생하는 수직응력, 수직변위, 최대전단응력을 분석한 결과 수직응력, 수직변위 보다 최대전단응력을 크게 감소시키는 경향이 나타났다. 최대전단응력 감소효과가 약 15~20% 정도 있음을 알 수 있었다. 보강재의 탄성계수가 큰 유리섬유가 가장 효과가 좋으며 깊이 3cm~5cm에 설치하는 것이 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 아스팔트, 보강재, 유한요소해석

* 정회원 · 우송대학교 토목환경공학과 조교수

** 정회원 · 홍익대학교 건축공학과 조교수

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원

**** 정회원 · 한국기술교육대학교 건축공학과 조교수



1. 서론

아스팔트포장을 유한요소해석법으로 해석한 사례는 과거에 여러 연구자가 시도하였다 [Duncan et al. (1968), Jayawickrama and Lytton (1987), Wathugala et al. (1996)]. 그러나 그들은 아스팔트층과 저층, 보조기층, 노상의 구조적 해석에 그 해석 목적이 있어서 토목섬유를 사용하지 않는 아스팔트포장구조체에 대한 응력-변형을 해석하였으며 토목섬유를 사용하더라도 과거의 연구는 토목섬유가 보조기층 또는 노상의 사질토를 보강한 효과에 관한 연구가 대부분이었다 (Harichandran and Yeh, 1988). 사용하였던 토목섬유도 필터용 지오텍스타일, 보조기층 보강용의 지오그리드였다. 그러나 아직 토목섬유 보강재가 아스팔트층내에 설치되었을 때 아스팔트에 어떤 영향을 미치는지에 대한 해석 결과는 거의 없는 실정이다. 현재 보강그리드가 상업적으로 아스팔트층 보강에 많이 사용되고 있지는 않지만 몇 개의 회사(독일의 Husker사)에서 상업화에 성공한 상태이다. 최근 미국의 West Virginia 대학에서 아스팔트층내에 glass grid를 넣어 탄성계수와 grid의 두께를 변화시키며 응력-변형을 분석한 것이 유일하다 (1998, Kutuk). Kutuk (1998)은 보강재의

탄성계수를 20배 정도를 변화 시켜 수직응력과 수직변위의 변화를 분석하여 영향이 거의 없는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 수직응력과 수직변위와 더불어 아스팔트 혼합물의 파괴를 일으키는 전단응력을 분석하였으며 보강재의 설치위치, 보강재의 탄성계수변화, 아스팔트층의 두께변화로 인한 아스팔트포장체의 응력-변형 거동특성을 고찰하였다.

2. 유한요소해석

아스팔트구조체는 아스팔트층 중앙표면에 차량 하중(윤하중)을 받고 바닥과 좌우측 경계면은 x, y 방향 모두 변위가 없는 것으로 고정하였고 아래 경계면은 y 방향으로 변위가 없는 것으로 하였다. 기층과 보조기층보다 아스팔트층(표층)과 기층의 해석을 정밀하게 하도록 위해 두께 1cm의 작은 크기의 유한요소로 만들었고 보조기층은 보다 큰 요소를 사용하였다. 보강재는 아스팔트층내에서 그 위치를 변화시키며 보요소로 하였다. 봉요소(Bar element)는 축방향으로만 저항력을 갖고 있고 경계요소(Interface element)는 아스팔트층과 보강그리드가 완전부착되었다고 보기 때문에 본 모델링에 적합하지 않다. 본 해석에서는 보

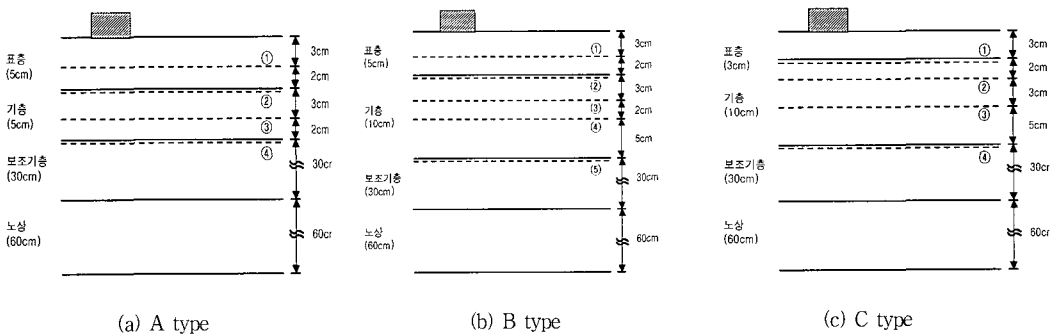


그림 1. 유한요소해석을 위한 보강아스팔트 구조체의 단면도



강그리드를 보요소(Beam Element)로 하고 아스팔트층과 보조기층, 기층은 8절점의 등변환사각형 요소(Isoparametric quadrilateral element)로 설정하였다. 아스팔트 구조체의 크기는 수평으로 3m 수직으로 1.0m, 1.03m, 1.05m의 3가지 형태를 갖고 그 하였다. 해석단면체의 종류는 그림 1과 같다.

아스팔트구조체는 아스팔트층 중앙표면에 차량하중(윤하중)을 받고 바닥과 좌우측 경계면은 x 방향으로 변위가 없는 것으로 고정하였고 아래

경계면은 y 방향으로 변위가 없는 것으로 하였다(그림 2). 본 연구에서 유한요소해석을 수행하기 위하여 사용된 물성치와 구성모델은 표 1과 같다. 윤하중은 타이어압력으로 567.8kN/m^2 이며 사용한 토목섬유는 현재 외국에서 사용하고 있는 제품의 특성을 이용한 것이다. 유한요소해석을 위하여 사용한 프로그램은 지반분야 구조해석에 널리사용하는 범용해석프로그램인 SIGMA/W를 사용하였다.

3. 유한요소해석결과

아스팔트포장체에 차량하중을 가하여 포장층내에 유발되는 수직응력, 수직변위, 최대전단응력을 분석하였다. 이것을 토목섬유의 설치위치, 강성도, 포장층 두께별 감소효과에 따라 보강재의 효과를 분석하였다.

3.1 토목섬유의 설치 위치에 따른 보강 효과

3.1.2. 포장유형 A

- (1) $3,900,000\text{kN/m}^2$ 의 지오그리드 보강재 A 형태의 포장유형에 $3,900,000\text{kN/m}^2$ 의 지오그

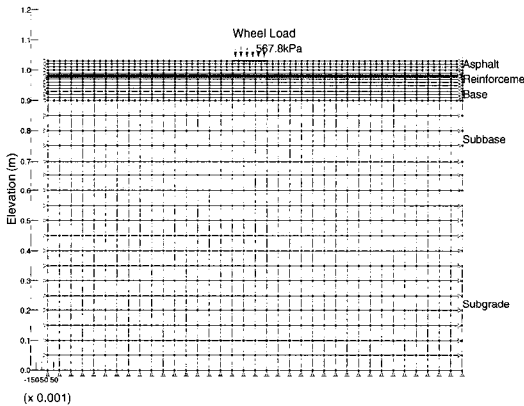


그림 2. 해석에 사용된 유한요소망

표 1. 그리드로 보강된 아스팔트포장구조체의 유한요소해석 입력자료

재료	구성모델	요소	탄성계수, E (kN/m^2)	포아손비, ν	단위중량, $\gamma(\text{t/m}^3)$	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
지오그리드	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



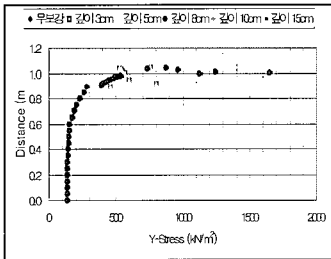
리드 보강재를 사용하여 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시한 결과 수직응력은 깊이 8cm, 10cm, 15cm에 설치시 표면에서 5cm 다른 지점보다 큰 수직응력을 보이는 경향이 있으며 설치위치에 따른 수직응력의 차이는 무시할 정도이다 (그림 3(a)). 수직변위는 최대 0.0013m 값을 보이며 보강재 설치깊이가 깊을수록 미세하게(1.0e-04m) 수직변위가 감소함을 알 수 있으나 거의 무시할 만한 양이다. 최대전단응력은 0.9~1.0m지점에서 크게 증가하며 깊이 3cm, 5cm 설치시 보다 깊은 깊이에 설치하였을 때 최대전단응력을 표층 가까이서 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

(2) 28,972,450kN/m²의 지오그리드 보강재

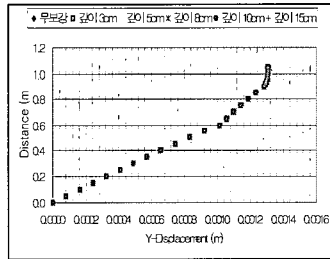
A 형태의 포장유형에 28,972,450kN/m²의 지오그리드 보강재를 사용하여 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시한 결과 그림 4에서 보는 바와 같이 보강재의 탄성계수가 앞의 3,900,000N/m²보다 10배 가까이 증가하였지만 해석결과는 그림 3과 큰 차이가 없다. 이 경우에도 수직응력과 수직변위보다는 최대전단응력감소에 보강재의 효과가 나타남을 알 수 있다. 탄성계수는 앞의 경우보다 크게 증가하였지만 감소효과에는 탄성계수의 크기가 영향을 미치지 않는다 (그림 4).

(3) 1,700,000kN/m²의 Glass grid

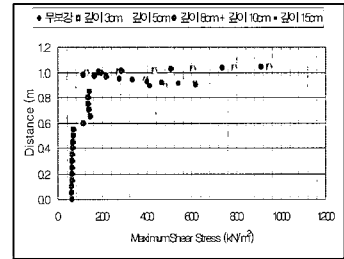
A 형태의 포장유형에 1,700,000kN/m²의 Glass



(a) 수직응력

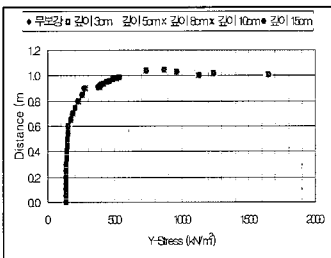


(b) 수직변위

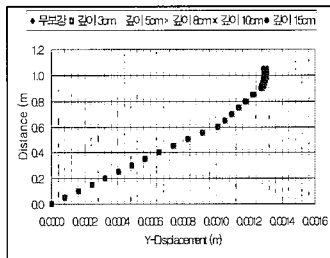


(c) 최대전단응력

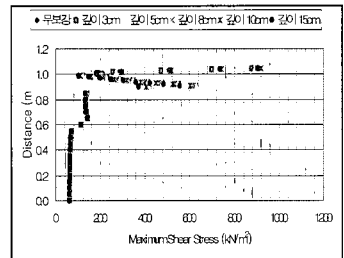
그림 3. A 형태의 유한요소해석결과, 지오그리드 보강재, E = 3,900,000kN/m²



(a) 수직응력

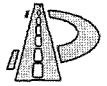


(b) 수직변위



(c) 최대전단응력

그림 4. A 형태의 유한요소해석결과, 지오그리드 보강재, E = 28,972,450kN/m²



grid 보강재를 사용하여 수직응력, 수직변위, 최대 전단응력의 변화를 도시한 결과는 그림 5와 같다. 보강재의 효과는 위의 경우와 마찬가지로 무보강 시와 비교할 때 거의 무시 할만하다. 최대전단응력은 보강재설치 깊이가 클수록 표층에서는 미세하게 크고 표층 아래에서는 미세하게 최대전단응력이 작은 것을 알 수 있다. 따라서 표층에 작용하는 전단응력을 감소시키기 위해서는 표층에 보강재를 설치하여야지 표층아래에 설치하는 것은 효과가 없다. 그러나 1,700,000kN/m²의 Glass grid 탄성계수가 앞의 두 보강재보다 탄성계수가 작아서 최대전단응력 감소효과는 거의 없다 (그림 5).

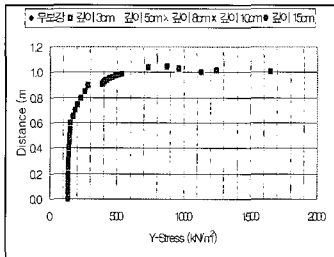
A 형태의 포장유형에 28,972,450kN/m²의 Glass grid 보강재를 사용하며 수직응력, 수직변위, 최대 전단응력의 변화를 도시한 결과는 그림 6과 같다.

3.1.2. 포장유형 B

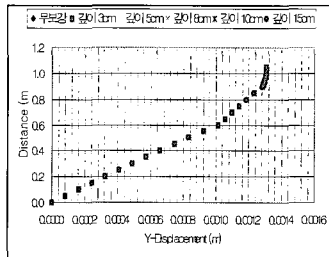
(1) 3,900,000kN/m²의 지오그리드 보강재

B 형태의 포장유형에 3,900,000kN/m²의 지오그리드 보강재를 사용하여 수직응력, 수직변위, 최대 전단응력의 변화를 도시한 결과, 그림 7에서 보는 바와 같이 수직응력, 수직변위, 전단응력 추이는 A와 같다. 보강재의 효과는 설치깊이별로 거의 차이를 보이지 않으며 보강효과는 탄성계수가 3,900,000kN/m²의 경우에는 보강효과가 없다. 포

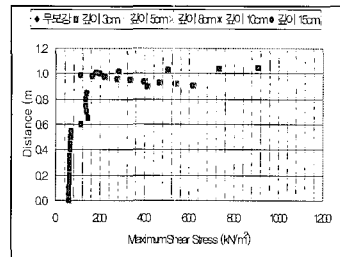
(4) 28,972,450kN/m²의 Glass grid



(a) 수직응력

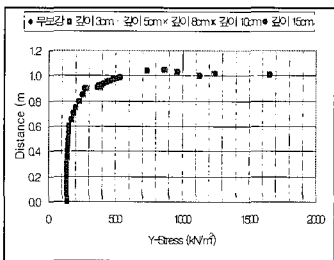


(b) 수직변위

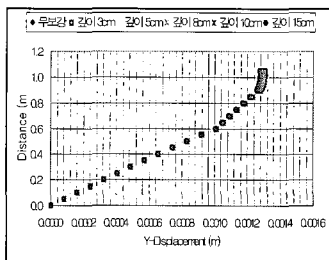


(c) 최대전단응력

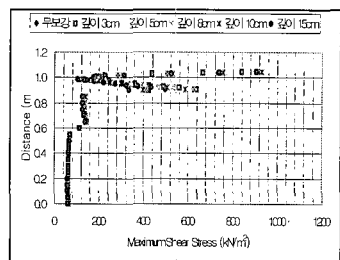
그림 5. A 형태의 유한요소해석결과, 1,700,000kN/m²의 Glass grid



(a) 수직응력



(b) 수직변위



(c) 최대전단응력

그림 6. A 형태의 유한요소해석결과, 28,972,450kN/m²의 Glass grid



장유형 B는 A와 비교할 때 수직응력은 약간 감소하고 수직변위는 약간 (11~12%) 증가하며 최대전단응력은 약 10%정도 증가한다. 이것은 보강재와는 관계가 없는 것이고 포장단면과 관계가 있는 것이다.

(2) 28,972,450kN/m²의 지오그리드 보강재

28,972,450kN/m²의 지오그리드를 설치하였을 때의 수직응력과 수직변위는 큰 차이가 없다. 최대전단응력은 깊이 위에서는 전단응력을 감소시키는 효과가 있음을 알 수 있다. 그림 8(c)에서는 설치깊이 위에서는 최대전단응력이 크게 감소하고 설치깊이 아래에서는 비보강시보다 약간의 전

단응력이 증가한다는 것을 알 수 있다. 전단응력은 깊이에 따라서 급격하게 감소하기 때문에 표층의 안정을 위해서는 표층에 가까울수록 효과가 큰 것으로 사료된다.

(3) 1,700,000kN/m²의 Glass grid

B 형태의 모델에 1,700,000kN/m²의 Glass grid 보강재를 사용하며 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시한 결과는 그림 9과 같다. 수직응력은 표면에서 크고 깊이가 커질수록 작아지지만 보강재의 효과는 위의 경우와 마찬가지로 비보강시와 비교할 때 거의 무시할만하다. 이것은 탄성계수가 앞의 경우보다 작으므로 비보강시와

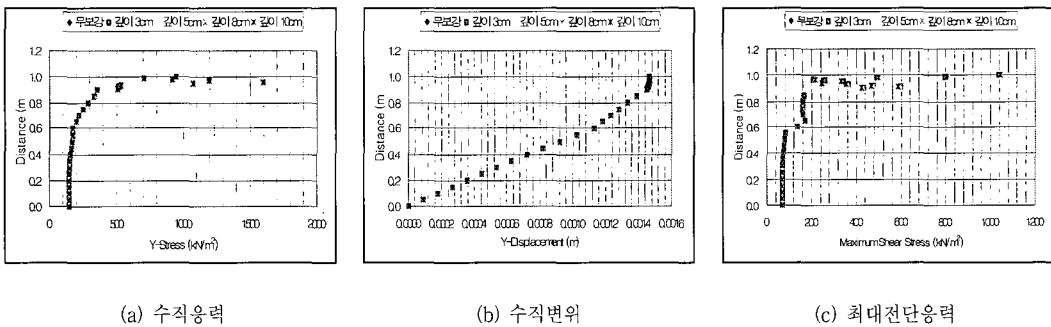


그림 7. B 형태의 유한요소해석결과, 지오그리드 보강재, E = 3,900,000kN/m²

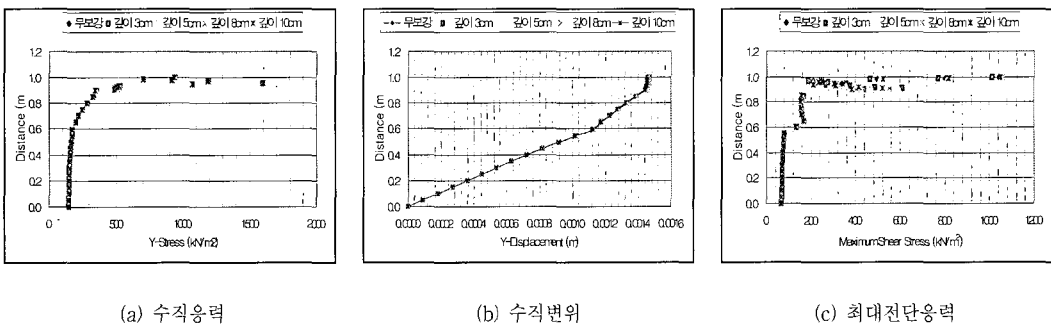


그림 8. B 형태의 유한요소해석결과, 지오그리드 보강재, E = 28,972,450kN/m²



차이가 더 작다. 최대전단응력에 대한 효과도 가장 작으며 설치위치는 앞의 경우와 같이 설치깊이 위에서는 전단응력이 감소하고 각각의 설치깊이 아래서는 오히려 약간 증가한다. 그러나 이 경우에는 실용적으로 볼 때 보강재의 설치효과가 매우 미미하다.

(4) 28,972,450kN/m²의 Glass grid

B 형태의 모델에 28,972,450kN/m²의 Glass grid 보강재를 사용하며 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시한 결과는 그림 10과 같다. 수직응력은 표면에서 크고 깊이가 커질수록 작아 지지만 보강재의 효과는 위의 경우와 마찬가지로

무보강시와 비교할 때 거의 무시 할만하다. 최대 전단응력에 있어서는 비교적 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 그림 10(c)에서는 표층에서 최대전단응력은 보강재 설치깊이가 클수록 감소하고 표층의 최대전단응력은 설치깊이가 얇을수록 효과가 큼을 알 수 있다. 따라서 28,972,450kN/m²의 Glass grid가 가장 효과가 있음을 알 수 있으며 수직변위를 감소시키기 위해서는 기층이나 보조 기층에 설치하는 것이 좋으며 최대전단응력을 감소시키기 위해서는 표층내에 설치하여야 효과가 있음을 알 수 있다. 28,972,450kN/m²의 Glass grid가 최대전단응력을 감소시킨다는 것은 전단파괴에 대한 안정성을 높일 수 있는 효과가 있으므로

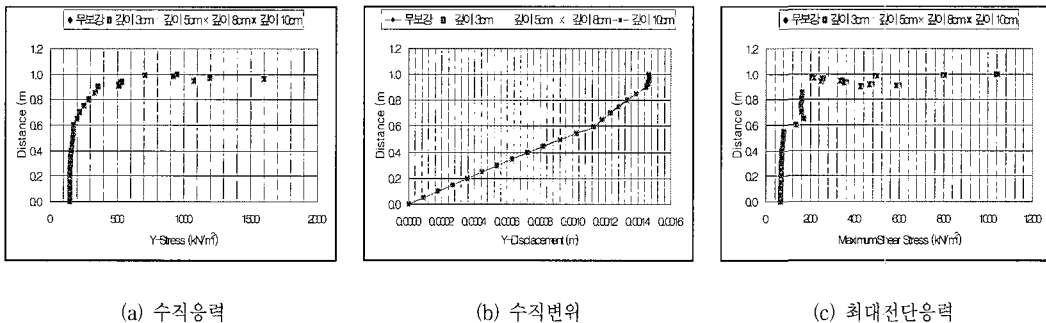


그림 9. B 형태의 유한요소해석결과, 1,700,000kN/m²의 Glass grid

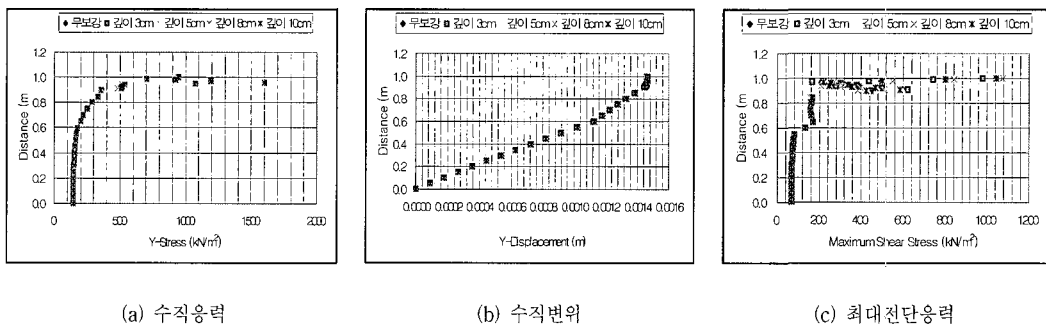


그림 10. B 형태의 유한요소해석결과, 28,972,450kN/m²의 Glass grid



표층의 파괴에 대한 안정성을 높일 수 있는 방법 임을 보여준다.

3.1.3. 포장유형 C

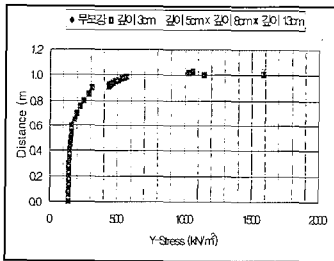
(1) 3,900,000kN/m²의 지오그리드 보강재

C 형태의 포장유형에 3,900,000kN/m²의 지오그리드보강재를 사용하며 수직응력, 수직변위, 최대 전단응력의 변화를 도시한 결과 수직응력 및 수직변위의 변화는 A의 경향과 같고 보강재의 효과는 설치깊이별로 거의 차이를 보이지 않는다. 최대전단응력은 깊이 3cm에 설치하였을 때는 표층에서 효과가 있지만 깊이 설치하였을 때는 오히려 최대전단응력이 약간 증가함을 알 수 있다. 따

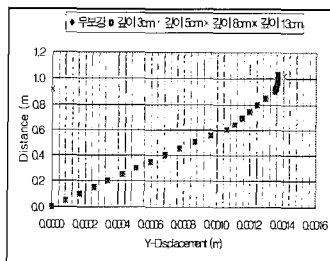
라서 표층(아스팔트층)의 안정을 위해서는 표층에 보강재를 설치하여야 효과가 있으며 깊은곳(기층이나 보조기층)에 설치하였을 때는 오히려 전단응력이 증가함을 알 수 있다. 포장유형 C는 표층의 최대전단응력감소 효과에 있어서 최대값이 약 700kN/m²으로서 A와 B형 보다 월등히 우수함을 알 수 있다 (그림 11).

(2) 28,972,450kN/m²의 지오그리드보강재

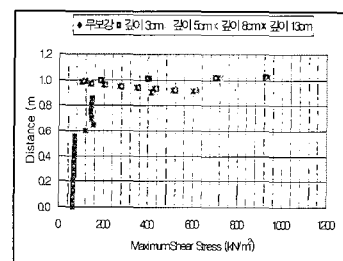
그림 12에서 보는 바와 같이 수직응력은 효과가 매우 미미하며 최대전단응력은 설치깊이 위에서 효과가 뚜렷하다. 수직변위는 효과가 없으며 효과를 얻기 위해서는 보조기층이나 노상층 등의 흙 층에 설치하여야 효과를 얻을 수 있다. (1)에



(a) 수직응력

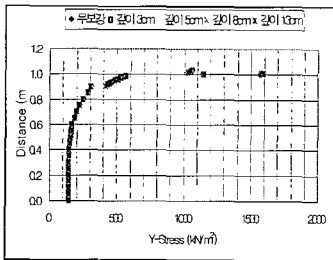


(b) 수직변위

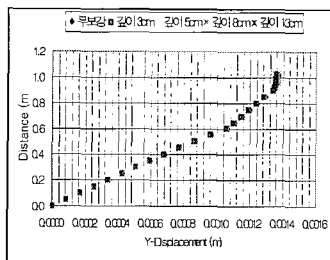


(c) 최대전단응력

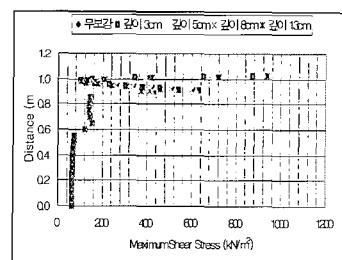
그림 11. C 형태의 유한요소해석결과, 지오그리드 보강재, E = 3,900,000kN/m²



(a) 수직응력



(b) 수직변위



(c) 최대전단응력

그림 12. C 형태의 유한요소해석결과, 지오그리드 보강재, E = 28,972,450kN/m²



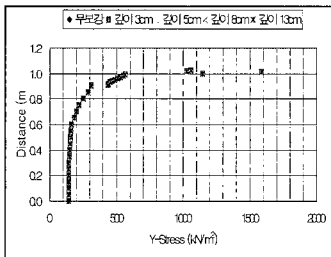
서보다 탄성계수가 큰 경우에 최대전단응력에 효과가 있음을 알 수 있다.

(3) C 형태의 모델에 1,700,000kN/m²의 Glass grid

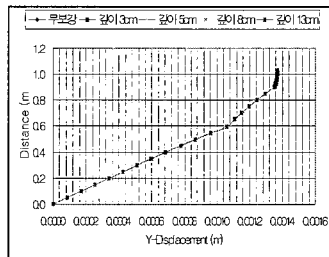
C 형태의 모델에 1,700,000kN/m²의 Glass grid 보강재를 사용하며 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시한 결과는 그림 13과 같다. 보강재의 효과는 위의 경우와 마찬가지로 무보강시와 비교할 때 거의 무시 할만하며 설치깊이에 따라 그 영향이 매우 미미하다. 실용적으로 볼 때 보강재의 설치효과는 Glass grid나 Glassgrid의 탄성계수가 작은 경우에는 효과가 없음을 알 수 있다.

(4) 28,972,450kN/m²의 Glass grid

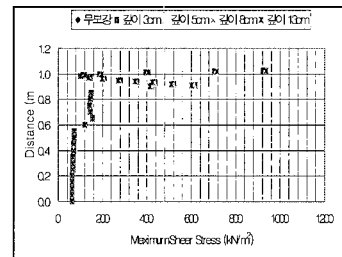
C 형태의 모델에 28,972,450kN/m²의 Glass grid 보강재를 사용하며 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시한 결과는 그림 14와 같다. 수직응력은 표면에서 크고 깊이가 커질수록 작아지지만 보강재의 효과는 위의 경우와 마찬가지로 무보강시와 비교할 때 거의 무시 할만하다. 수직변위와 최대전단응력에 있어서는 비교적 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 그림 14(b)에서는 표층에서 수직변위가 감소함을 알 수 있고 최대전단응력은 보강재 설치 깊이가 클수록 감소하고 표층의 최대전단응력은 설치깊이가 얕을수록 효과가 크음을 알 수 있다. 따라서 28,972,450kN/m²의 Glass



(a) 수직응력

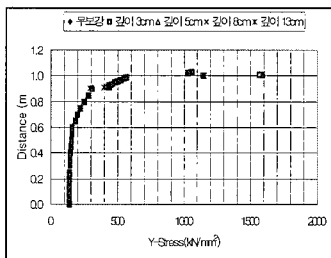


(b) 수직변위

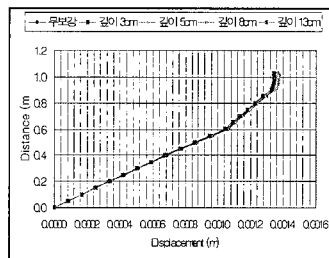


(c) 최대전단응력

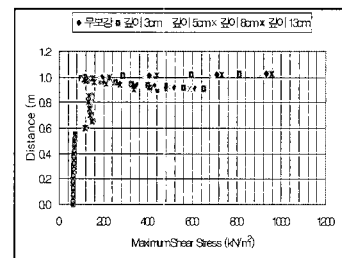
그림 13. B 형태의 유한요소해석결과, 1,700,000kN/m²의 Glass grid



(a) 수직응력



(b) 수직변위



(c) 최대전단응력

그림 14. C 형태의 유한요소해석결과, 28,972,450kN/m²의 Glass grid



grid가 가장 효과가 있음을 알 수 있으며 최대전단응력을 감소시키기 위해서는 표층내에 설치하여야 효과가 있음을 알 수 있다. 최대전단응력은 표층에서 15~20% 정도 감소함을 알 수 있다.

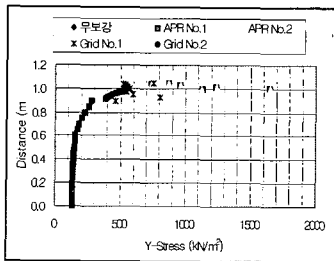
3cm의 깊이의 같은 깊이에 설치 한 것으로 비교하였는데 설치깊이가 다르더라도 강성에 따른 효과의 경향은 변하지 않는다. 여기서 Glass grid는 APR로 표기되었다.

3.2 토목섬유의 강성에 따른 보강 효과

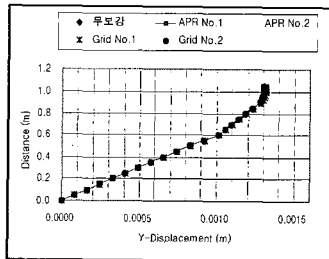
토목섬유의 강성에 따른 보강효과를 고찰하기 위하여 위에서 사용하였던 4가지의 보강재 종류에 따라 그 효과를 평가하였는데 지오그리드 No.1 (3,900,000kN/m²), 지오그리드 No.2 (28,972,450kN/m²), Glass grid No. 1 (28,972,450kN/m²), Glass grid No. 2(1,700,000kN/m²)의 네 가지에 대하여 그 효과를 평가하였다. 여기서는 표층내

3.2.1. A 종류

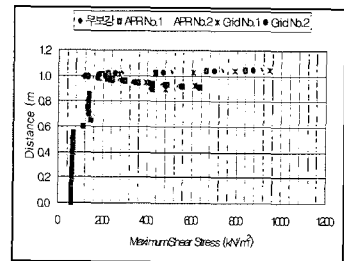
그림 15에서는 A 종류의 포장구조체에 보강재 종류별 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 변화를 도시하였다. 무보강과 Grid No.1 (3,900,000kN/m²)은 거의 같은 값을 보이고 다른 곳들은 거의 비슷한 값을 보인다. 따라서 Grid보다는 Glass grid가 탄성계수가 큰 것이 미세하나마 효과가 있는 것을 알 수 있다. 수직변위와 최



(a) 수직응력

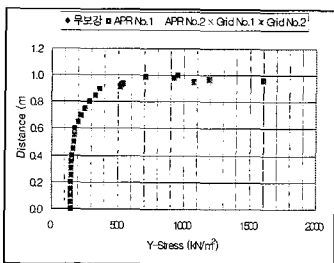


(b) 수직변위

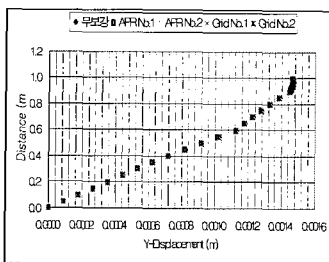


(c) 전단응력

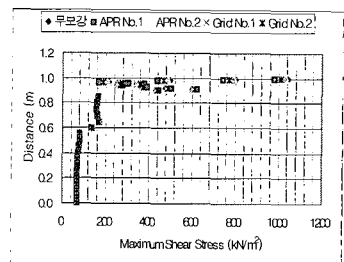
그림 15. 보강재에 따른 유한요소해석결과 비교, A 종류, 깊이 3cm 설치시



(a) 수직응력



(b) 수직변위



(c) 전단응력

그림 16. 보강재에 따른 유한요소해석결과 비교, B 종류, 깊이 3cm 설치시



대전단응력에 대하여 Glass grid No. 1 (28,972.450kN/m²)이 가장 효과가 있는 것을 알 수 있다 (그림 15). 전체적으로 수직응력과 수직변위에는 영향이 매우 작고 전단변형에 Glass grid No. 1(28,972.450kN/m²), Grid No.2가 차례로 효과가 좋은 것으로 나타나 강성도가 클수록 전단응력을 감소시키는 것으로 나타났다.

3.2.2. B 종류

그림 16에서 보는 바와 같이 수직응력, 수직변위는 보강재별로 차이가 없음을 알 수 있으나, 최대전단응력은 APR No.1 (i. e, Glass grid No. 1, 28,972.450kN/m²)이 다른 것보다 월등히 효과가

있음을 알 수 있다.

3.2.3. C 종류

그림 17에서 보는 바와 같이 수직응력, 수직변위는 보강재별로 차이가 없음을 알 수 있으나, 최대전단응력에 대하여 APR No. 1(i. e. Glass grid No.1, 28,972.450kN/m²)이 다른 보강재보다 월등히 효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 보강재는 APR No. 1(28,972.450kN/m²)이 최대전단응력을 줄이는데 효과가 가장 큰 것을 알 수 있다. 따라서 수직응력과 수직변위는 감소시키지 못하지만 최대전단응력을 감소시킴으로써 포장층의 안정성에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

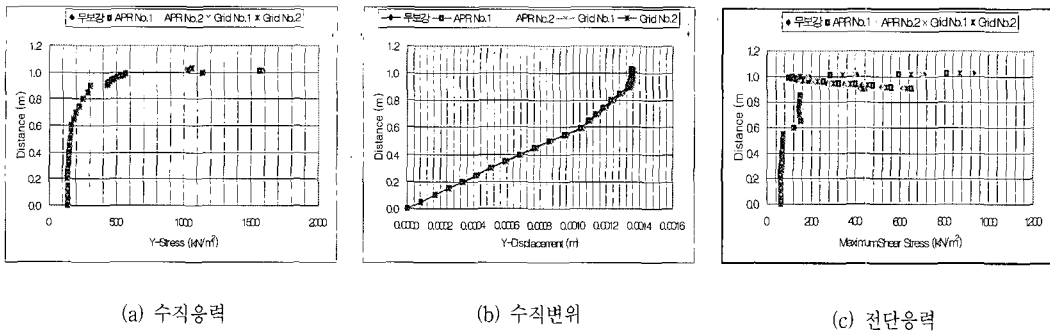


그림 17. 보강재에 따른 유한요소해석결과 비교, C 종류, 깊이 3cm 설치시

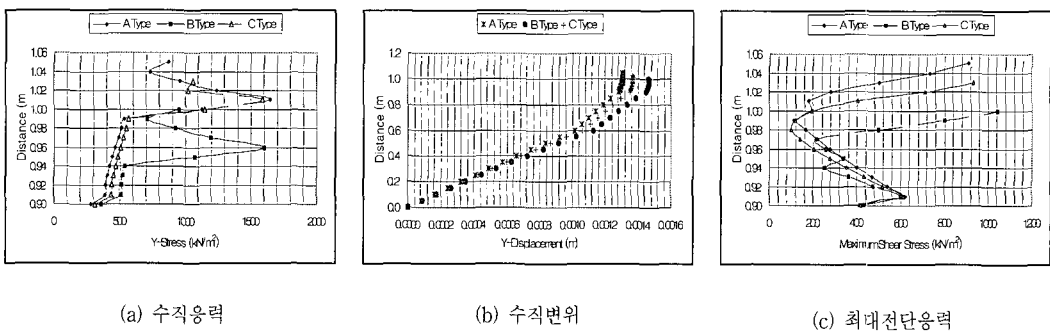
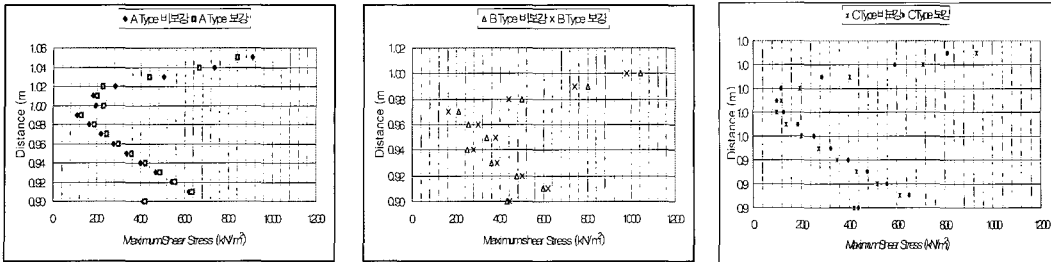


그림 18. 포장유형별로본 포장층 두께 감소가 미치는 영향



(a) A type

(b) B type

(c) C type

그림 19. 포장두께별 보강재가 최대전단응력에 미치는 효과

3.3 토목섬유 보강에 의한 포장층 두께 감소효과

그림 15, 16, 17에서 보는 바와 같이 포장층 두께에 따라 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 크기는 각기 다른 것을 알 수 있다. 보강재를 사용하지 않은 경우에도 그 크기의 변화를 알 수 있는데 수직응력과 수직변위는 최대전단응력의 크기에 비하여 크게 변하지 않는다. 이것을 포장층의 표층과 기층에 대하여서 비보강시에 포장층의 두께 변화 효과를 그림 18에 나타내었다. 최대 수직응력은 B유형이 작은 값을 보이지만 보조기층에서는 A, C가 작은 수직응력값을 나타내고 수직변위는 B, C, A순으로 커서 포장층 두께가 클수록 수직변위는 작다. 최대전단응력은 B, C, A순서로 크다. 따라서 포장층 유형별로는 A가 비보강상태에서는 가장 좋은 것으로 나타났다.

그림 19에서는 각기 다른 포장 층별로 보강시와 비보강시를 최대전단응력 감소효과를 비교한 것으로 감소효과는 C 유형에서 가장 좋은 것으로 나타났다.

4. 결론

아스팔트포장체의 응력-변형 거동 특성을 분석

하기 위하여 유한요소법을 사용하여 구조체내의 수직응력, 수직변위, 최대전단응력의 분포특성을 분석하였다. 표층, 기층, 보조기층, 노상층내의 응력-변형 특성을 표층과 기층에서의 보강재를 지오그리드와 Glass grid, 두가지에 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 있어서는 비교적 큰 효과가 있음을 알 수 있다. C 형태에 $28,972,450\text{kN/m}^2$ 의 Glass grid를 사용할 경우에 표층에서 약간 수직변위가 감소함을 알 수 있고 최대전단응력은 표층에서 보강재 설치깊이가 클수록 효과가 감소하고 표층의 최대전단응력은 설치깊이가 얕을수록 효과가 큼을 알 수 있다.

(2) 강성도에 따른 보강효과를 평가한 결과 $28,972,450\text{kN/m}^2$ 의 Glass grid가 가장 효과가 있음을 알 수 있으며 특히 최대전단응력감소효과가 약 15~20% 정도 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 최대전단응력이 설치깊이 아래에서는 약간 상승되나 아래에서는 전반적인 최대전단응력이



작기 때문에 이의 상승은 무시해도 좋다. 따라서 표층의 안정을 위해 최대전단응력을 감소시키기 위해서는 표층내에 설치하여야 효과가 있음을 알 수 있다. 이것은 A 유형에서는 3cm 깊이보다는 5cm 깊이에서 효과가 있었고 C 유형에서는 5cm 보다 3cm에 효과가 큰 것으로보아 표층과 기층사이에 강성도가 큰 보강재를 설치하는 것이 가장 이상적이다.

(3) 수직변위에 대한 효과는 보강재를 깊은 곳에 설치하여야 효과가 크고 전단응력은 얇은 곳에 설치하여야 크을 알 수 있다. 전단파괴에는 보강재를 표층에 설치하면 효과가 있을 것으로 사료된다. 단 보강재는 탄성계수가 큰 Glass grid가 효과적이다.

(4) 포장체의 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. 참고문헌

1. Dondi, G "Three Dimensional Finite Element Analysis of a Reinforced Paved Road", 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and related Products, pp. 95-100.
2. 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.
3. 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.
4. Hutuk, B. "Performance of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids", Ph. D. Dissertation, West Virginia University, 1998.
5. Jayawickrama, P. W. and Lytton, R. L. "Methodology for Predicting Asphalt Concrete Overlay Life Against reflection Cracking. Proceedings of the sixth International Conference on Structural Design of pavements, Ann Arbor, 1987, pp. 912-924.
6. SIGMA/W User's Manual, Geo-Slope International, Ver. 4, Calgary, Alberta, Canada.
7. 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.

(접수 : 2000. 10. 27.)