



섬유보강 아스팔트 포장의 점탄성 거동연구

Viscoelastic Behaviors of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Pavements

인 식 연* 김 형 배** 안 성 순*** 서 영 찬****
 In, Sik Youn Kim, Hyung Bae Ann, Sung Sun Suh, Young Chan

Abstract

The asphalt concrete pavement takes various advantages of better riding quality, serviceability and easier maintenance. At the same time, it addresses a weak point of the premature failures due to rapid increasement of traffic volume, heavy vehicles and high temperature in summer. It increases the expenditure of maintenance and repair. In order to improve the performance of asphalt pavement avoiding this premature failure, the use reinforcements with geosynthetics have been considered.

Geosynthetics are known as an effective reinforcement to restrain fatigue and reflective cracks in asphalt pavements. In this study, a comprehensive parametric study is conducted to capture the efficiency of geosynthetic-reinforcements using viscoelastic properties of the asphalt concrete(AC) layer. The investigated parameters were reinforcement location, AC layer thickness, temperature distribution across the AC layer and modulus of AC and base layer.

As a result of observations, that reinforced asphalt concrete could be used effectively for improving resistance against fatigue cracks and permanent deformation. Especially, when a geogrid was placed at the interface between the asphaltic base and the subbase, tensile stress in the horizontal direction was significantly reduced.

Keywords : flexible pavement, viscoelasticity, geosynthetics, reinforcements

요 지

아스팔트 포장은 주행의 쾌적성, 안전성 그리고 시공 및 보수의 용이성으로 인하여 세계적으로 많은 도로에 널리 이

* 한국도로공사 도로교통기술원 연구원
 ** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
 *** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원장
 **** 정회원 · 한양대학교 교통공학과 부교수



용되고 있다. 그러나 우리나라의 경우 고도의 경제성장으로 인한 교통량 증가와 차량의 중량화로 야기된 상습적인 지체와 여름철 고온현상으로 아스팔트 포장의 파손정도가 심화되고 포장수명이 단축됨으로서 유지보수비용이 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다. 이에 국내외에서 아스팔트 포장에 대한 파손 방지대책 및 내구성 증진에 관한 연구들이 진행되고 있으며 그 한 방법으로 토목섬유와 같은 보강재를 포장체에 삽입하고 있다.

본 연구에서는 아스팔트 포장 표층의 거동을 점탄성으로 분석하였으며 포장체에 삽입된 지오그리드의 설치 위치, 포장단면의 두께를 조합하여 지오그리드의 최적 설치 위치를 알아보고 포장단면의 물성에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

연구결과, 지오그리드를 기층과 보조기층 사이에 보강하였을 경우, 기층아래에서 발생하는 횡방향 인장응력을 무보강 아스팔트 포장에 비해 29~56%정도 감소시켜 균열 발생을 상당히 억제 할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 노상에서의 수직 변형률과 최대 전단변형률을 살펴보았을 때 지오그리드를 포장체에 삽입하여 소성변형에 대한 억제 효과도 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 아스팔트 포장, 점탄성, 토목섬유, 보강재

1. 서론

국내의 아스팔트 콘크리트 포장(이하 아스팔트 포장)은 1960년대 이후 경제성장의 중추적인 역할을 담당한 국도 및 고속도로 포장건설을 통해 발전하여 왔다. 하지만 1990년대에 들면서 경제의 고도성장에 따른 교통량 증가와 차량의 중량화로 인하여 상습적인 지체가 유발되고 여름철의 고온현상과 맞물려 아스팔트 포장의 파손정도가 심화되고 포장수명이 단축됨으로서 유지보수비용이 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다. 따라서 아스팔트 포장에 대한 파손 방지대책 및 내구성 증진에 관한 연구가 시급한 실정이다.

그중 내구성 증진의 일환으로 토목섬유를 아스팔트 포장에 이용하는 연구는 외국에서 활발히 연구가 진행되어 왔으며, 토목섬유를 이용한 아스팔트 포장은 초기강도를 증진시키고, 균열발생 및 소성변형에 대한 억제효과가 있어 유지보수비를 줄일 수 있다고 보고되고 있다(Brown, 1999; Dondi, 1998; Koerner, 1997).

국내에서는 “포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구”(한국도로공사, 2000)를 통해 토목섬유를 이

용한 반사균열 억제 연구를 수행하였으나 아직 토목섬유를 보강한 아스팔트 포장의 연구 및 사용실적은 부족하고, 이미 발표된 연구들도 아스팔트 콘크리트의 물성으로 특정지워지는 점탄성(viscoelasticity)이 아닌 다른 일반 건설재료와 같은 탄성(elasticity)으로 분석하여 하중의 정도 및 하중이 가해지는 시간에 민감한 아스팔트의 물성을 대변하고 있지 못하고 있다.

이에 본 연구는 아스팔트 포장 표층의 거동을 점탄성으로 분석하였으며 포장체에 삽입된 지오그리드의 설치위치와 포장단면의 두께를 조합하여 지오그리드의 최적 설치위치를 알아보고 포장단면의 물성에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

2. 유한요소해석에 의한 포장구조해석

2.1 유한요소모형의 선택

지오그리드로 보강된 아스팔트 포장의 거동을 유한요소해석(Finite Element Analysis) 프로그램인

ABAQUS를 사용하여 분석하였다. 유한요소 해석에서는 유한요소모형의 선택이 무엇보다도 중요하다. 원칙적으로 3차원적인 포장구조물을 해석하기 위해서는 3차원 유한요소모형을 이용하여 모델링하여야 한다. 그러나 3차원 공간을 모사하기 위해서는 필요한 엘리먼트(element)의 개수가 많아져서 이에 따른 해석크기(problem size)가 커지고 해석시간이 많이 소요된다. 또한, 기존에 이루어진 연구에서 2차원 축대칭 유한요소해석과 3차원 유한요소해석을 비교하여 거의 유사한 결과를 얻었다고 보고하고 있다(이희구, 2002).

따라서 본 연구에서는 포장체를 2차원 축대칭(axisymmetry) 유한요소모형으로 모델링하여 지오그리드 보강재의 위치에 따른 영향과 포장단면의 탄성계수 변화에 따른 효과를 구조적으로 판단하였다. 이때 분석에 영향을 미치거나 문제를 일으킬 수 있는 균열을 내포하고 있는 불연속적인 포장은 분석에서 제외시켰다.

2.2 아스팔트 층의 점탄성 물성

응력-변형곡선의 측정 도중에 신장을 멈추면 시료가 가해진 변형 하에서 평형(equilibrium) 또는 준평형(quasi-equilibrium)에 접근함에 따라 힘 또는 응력은 시간과 함께 감소한다. 응력완화 거동이 변형과 시간의 독립함수로 분리 할 수 있어 여러 온도에서 행한 실험 데이터를 그래프로 나타내면 시간에 의존하는 탄성률 $E(t)$ 로 표현할 수 있다. 시간-온도 등가성에 의하여 이 데이터를 기준온도에 수평 이동시키면 하나의 마스터곡선(master curve)이 만들어진다. 마스터곡선으로부터 이동인자 a_T 에 의하여 온도에 의존하고 있는 시간을 경과한 후에는 어떤 특정한 탄성률을 예측할 수 있다. a_T 는 재료의 온도를 기준온도로 표현함으로써 식(1)과 같이 정의된다(Ferry, 1980).

$$h(T) = -\log a_T = \frac{c_1(T - T_r)}{c_2 + (T - T_r)} \quad (1)$$

여기서 $h(T)$ 는 시간 전이함수(time shift function)
 C_1, C_2 는 상수
 T_r 은 기준온도(a reference temperature)

본 연구에서는 표층에만 점탄성 물성을 적용하였으며, 나머지 포장단면 기층, 보조기층, 노상의 물성은 선형 탄성, 등방성 그리고 균질하다고 가정하였다. 유한요소해석에 사용되어진 아스팔트 혼합물의 a_T 와 마스터 완화탄성계수(relaxation modulus)는 그림 1과 같으며 이 값들은 기존에 발표된 자료를 이용하였다(Kim et al., 1996).

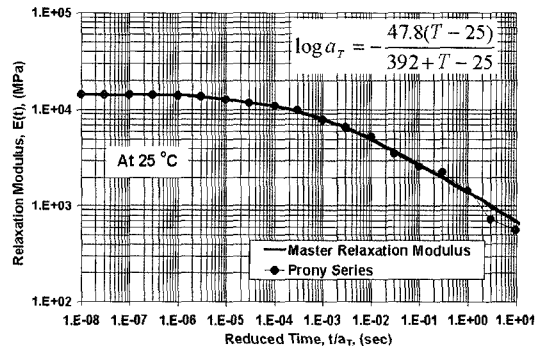


그림 1. 분석에 사용되어진 아스팔트 혼합물의 master relaxation modulus와 shift factor(Kim et al., 1996)

2.3 포장단면 및 물성치

축대칭 모형을 이용하여 아스팔트 포장을 모사하였기 때문에 도로에 가해지는 하중을 아스팔트 포장의 중앙에 받게 하고, 중심이 되는 축은 롤러지지(roller support)로 하여 x축을 변위가 없다고 하였다. 바닥에서는 힌지지지(hinge support)로 하여 x, y축 모두 변위가 없는 것으로 가정하여 분석하였다. 유한요소해석은 엘리먼트 크기와 개수에 따라 많은 영향을 받기 때문에 하중을 직접적으로 받게 되는 표층에 크기가 작은 엘리먼트를 촘촘히 사용하였고 깊이가 증가할수록 점차적으로 크기가 큰 엘리먼트를 사용하였다. 또한, 하중의 영향범위를 고려하여 하중

의 영향이 미치는 범위 내에서는 가로, 세로 1cm 크 기인 4절점의 정사각형 엘리먼트를 사용하였으며, 해석단면의 크기(가로 4m, 세로 4.3~5.0m)를 충 분히 크게 하였다. 그리고 하중 재하시간이 30millisec로 매우 짧아 포아슨비(poisson's ratio) 의 변화가 미세하므로 시간에 관계없이 일정한 포아 슨비의 값을 사용했다. 본 연구에서 유한요소해석을 수행하기 위하여 사용된 포장단면 및 2차원 축대칭 유한요소망을 그림 2와 그림 3에 나타내었고, 포장 단면 물성치는 표 1과 같다.

표 1. 포장단면 물성값(안태봉 외, 2001)

| 재 료 | 구성모델 | 탄성계수 E(kPa) | 포아슨비 (ν) | 층두께 (cm) |
|---------------|------|------------------------|----------------|----------|
| 표 층 | 점탄성 | 689,494 | 0.4 | 3, 5, 10 |
| | | 2,068,482 3,447,470 | | |
| 아스팔트 안정처리 기 층 | 탄 성 | 689,494 | 0.4 | 10 |
| | | 1,378,988 2,068,482 | | |
| 보조기층 | 탄 성 | 241,000 | 0.35 | 30 |
| 노 상 | 탄 성 | 69,000 | 0.3 | 400 |
| 섬유보강재 (지오그리드) | 탄 성 | 28,972,450 | 0.35 | 0.2 |

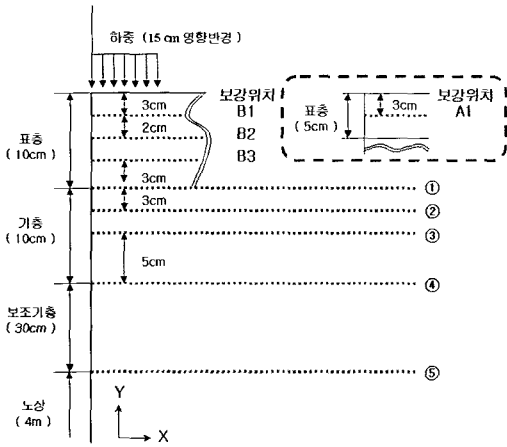


그림 2. 보강 아스팔트 단면도

2.4 지오그리드 보강위치

토목섬유를 아스팔트 포장에 사용한 과거의 연구 들은 토목섬유가 보조기층 또는 노상의 사질토를 보 강한 효과에 관한 것이 대부분이었다. 또한, 아스팔 트층 내에 설치된 섬유보강재가 포장체에 미치는 영

표 2. 지오그리드 보강위치

| | | 아스팔트 표층의 두께 | | |
|-------------|------------------------|---------------------|----------------|----------------|
| | | 3cm | 5cm | 10cm |
| 보 강 재 의 위 치 | A1 | | 표층안 (표면아래 3cm) | |
| | B1 | | | 표층안 (표면아래 3cm) |
| | B2 | | | 표층안 (표면아래 5cm) |
| | B3 | | 표층안 (표면아래 7cm) | |
| | ① | 표층과 기층사이 (표면아래 3cm) | 표면아래 5cm | 표면아래 10cm |
| ② | 표층아래 3cm (표면아래 6cm) | 표면아래 8cm | 표면아래 13cm | |
| ③ | 표층아래 5cm (표면아래 8cm) | 표면아래 10cm | 표면아래 15cm | |
| ④ | 기층과 보조기층사이 (표면아래 13cm) | 표면아래 15cm | 표면아래 20cm | |
| ⑤ | 보조기층과 노상사이 (표면아래 43cm) | 표면아래 45cm | 표면아래 50cm | |

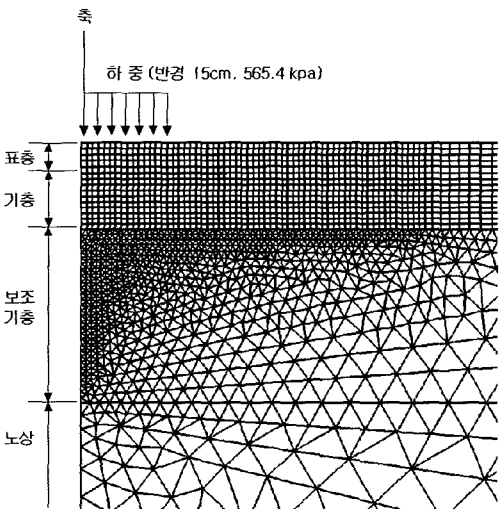


그림 3. 2차원 축대칭 유한요소망

향에 관한 연구는 드물었다. 이에 지오그리드의 설치 위치를 표층뿐만 아니라 기층, 보조기층 등에 보강하여 위치에 따른 영향을 분석하였다. 그리고 표층의 두께 및 그에 따른 포장단면의 탄성계수를 조합하여 민감도 분석을 수행하였으며 그 결과로 종합적인 지오그리드의 최적 설치위치에 대해 판단하였다.

유한요소해석에서 지오그리드는 선형 탄성 쉘요소(shell element)를 사용하였으며 아스팔트 포장과 지오그리드는 완전 접착된(perfect bond)상태로 가정하였다. 지오그리드 보강위치는 표 2에서 보여주고 있다.

2.5 하중조건

아스팔트 포장에 가해지는 동적하중을 모사하기 위해 30millisec 동안의 Falling Weighted Deflectometer(FWD)하중을 여러 단계(step)로 나누어서 적용하였다. 또한, FWD pulse는 기존에 발표된 자료를 이용하였다(Uddin, 1998). 하중의 크기는 각 단계에서 Δt 시간 동안의 하중을 선형적으로 증감시켰다. 재하하중은 타이어 압력으로 최고점에서 565.4kPa(82psi)이고 영향반경은 15cm이다. 그림 4는 시간에 대한 FWD 하중을 보여주고 있다.

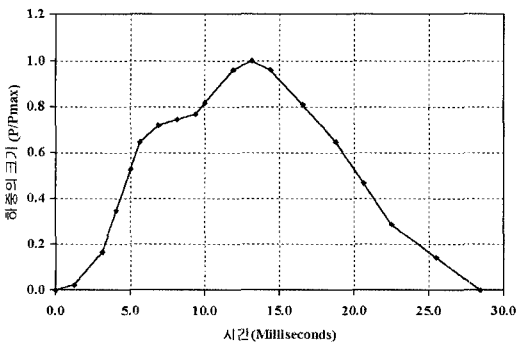


그림 4. FWD 하중(Uddin, 1998)

2.6 온도조건

점탄성 해석시 아스팔트 표층의 온도분포를 고려

하였다. 아스팔트 표층의 깊이에 대한 온도분포를 모사하기 위하여 각 절점(node)에 온도 값을 정의한다. 각 절점에 정의된 온도는 깊이에 따른 변화만 고려하고 시간의 간격이 짧기 때문에 시간에 따른 변화는 고려하지 않았다. 아스팔트 표층에 정의된 온도분포는 현장에서 얻어진 데이터를 이용하였다(Park, 2000).

온도분포에 따른 영향을 분석하기 위해서 세 가지의 온도분포를 사용하였는데 유한요소해석에 사용되어진 표층의 온도분포는 그림 5와 같다.

- 낮시간 (표층 표면의 온도가 바닥보다 높은 경우)
- 밤시간 (표층 바닥의 온도가 표면보다 높은 경우)
- 표층이 25℃로 균일한 온도

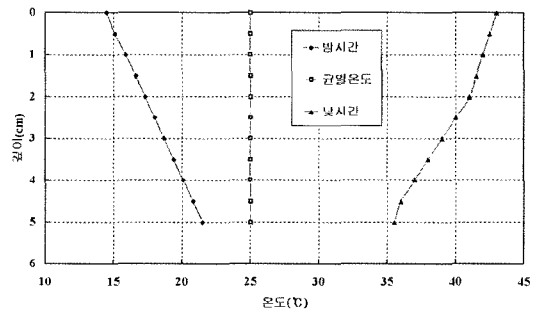


그림 5. 표층의 온도분포(Park, 2000)

2.7 포장단면 물성에 따른 민감도 분석

유한요소해석에서 탄성계수 값은 구조물을 해석하는데 있어 매우 중요한 입력요소 중의 하나이다. 기존의 연구들에서는 일정한 탄성계수 값을 포장단면에 일률적으로 적용하였다. 하지만 실제적으로 탄성계수 값은 하루의 낮과 밤 또는 일년 중 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절에 따른 포장체 내의 온도와 습도의 변화로 인하여 어느 정도의 범위를 가지게 된다. 또한 시공조건에 따라라도 탄성계수 값이 달라질 수 있는 가능성을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 인천 국제공항 시험포장 종합보고서(신공항건설공단,



1998)를 참고로 하여 탄성계수 범위를 설정하였고, 이 탄성계수는 Multi-Depth Deflectometer(MDD)로부터 측정된 깊이별 처짐을 이용하여 역산 추정된 값이다. 설정된 탄성계수 범위를 가지고 발생 가능한 경우의 수(case)들로 조합하여 포장단면의 탄성계수 값 변화에 따른 민감도 분석을 수행하였다. 표층두께 및 표층과 아스팔트 안정처리 기층의 탄성계수 범위를 가지고서 조합된 Case는 표 3과 같다.

표 3. 민감도 분석을 위해 조합된 경우의 수(case)들

| 표 층 탄성계수 kPa (ksi) | 기 층 탄성계수 kPa (ksi) | 표층두께 (cm) | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|----|----|
| | | 3 | 5 | 10 |
| 689,494 (100) | 689,494 (100) | 1 | 10 | 19 |
| | 1,378,988 (200) | 2 | 11 | 20 |
| | 2,068,482 (300) | 3 | 12 | 21 |
| 2,068,482 (300) | 689,494 (100) | 4 | 13 | 22 |
| | 1,378,988 (200) | 5 | 14 | 23 |
| | 2,068,482 (300) | 6 | 15 | 24 |
| 3,447,470 (500) | 689,494 (100) | 7 | 16 | 25 |
| | 1,378,988 (200) | 8 | 17 | 26 |
| | 2,068,482 (300) | 9 | 18 | 27 |

3. 지오그리드 보강 아스팔트의 거동분석

아스팔트 포장에 지오그리드를 보강하고 포장의 기하구조 및 운하중을 축대칭으로 가정하여 분석을 실시하였다. 지오그리드 보강 아스팔트에 다음과 같은 요소들을 적용하였다.

- 표층두께(3, 5, 10cm)와 층별 탄성계수 값의 변화에 따른 영향
- 표층 온도분포 영향(점탄성 모델: 낮시간, 밤시간, 25℃ 균일 온도)
- 보강재 위치에 따른 영향(표층, 기층, 보조기층 및

노상: 5~8개 위치)

일반적으로 아스팔트 안정처리 기층(black base) 아래에서 발생하는 횡방향의 인장응력/변형률이 균열을 발생시키는 요인중의 하나이다. 또한 표층과 기층에서 발생하는 수직방향의 압축응력/변형률과 전단응력/변형률이 소성변형(rutting)과 연관된다. 이에 지오그리드를 보강했을 때에 포장체에 발생하는 응력/변형률에 대해 중점적으로 분석하였다.

3.1 횡방향 응력/ 변형률

기층 아래에서의 횡방향 인장응력을 살펴본 결과 지오그리드를 기층과 보조기층 사이(보강위치 ④)에 설치했을 때, 인장응력을 낮시간, 밤시간, 25℃ 균일 온도에서 각각 34~42%, 27%~38%, 29~39%씩 감소시켰다. 또한, 각기 다른 표층두께에서도 보강위치 ④에 설치했을 때 가장 큰 보강효과를 보였다. 이는 보강위치 ④가 온도분포와 표층두께에 상관없이 인장 보강재로서 가장 큰 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이를 그림 6에서 확인해보면 보강된 3cm 및 5cm 표층두께에서의 인장응력이 무보강 10cm와 상응함을 알 수 있다. 이러한 결과는 민감도 분석을 통해 정리된 그림 7에서 보듯이 모든 Case에서 동일하게 발생하였다. 이는 조합된 탄성계수 값에 상관없이 지오그리드의 보강으로 균열 발생 가능성을 상당히 억제시키고 있음을 시사하고 있다.

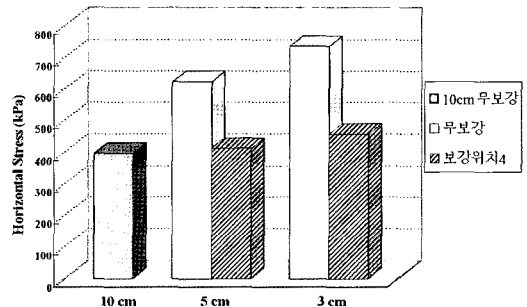


그림 6. 표층 두께에 따른 횡방향 인장응력 비교(밤시간 온도분포)

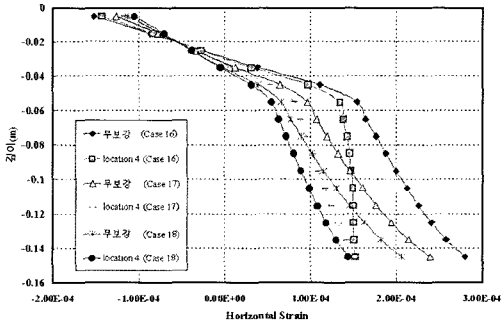
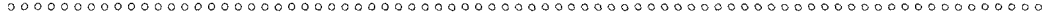


그림 7. Case에 따른 횡방향 변형을 분포(밤시간 온도분포)

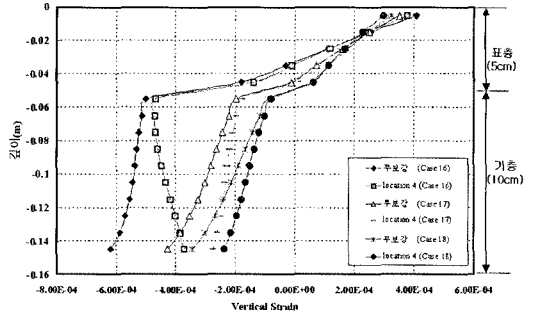


그림 10. Case에 따른 수직 변형을 분포(낮시간 온도분포)

3.2 수직응력/ 변형률

보강위치 ④에서 깊이에 따른 수직응력을 5%감소시켰으나, 그림 8의 수직변형률은 26~32%의 보강효과를 얻었다. 표층의 온도분포는 지오그리드의 보

강효과에 크게 영향을 미치지 못하였고, 그림 9에서 처럼 보강위치 ④에서 31~33%정도의 수직변형률 감소효과가 있었다. 민감도 분석을 통해 나온 그림 10에서 보강위치 ④가 공히 가장 효과적이었고, 보강효과는 28~41%정도이었다.

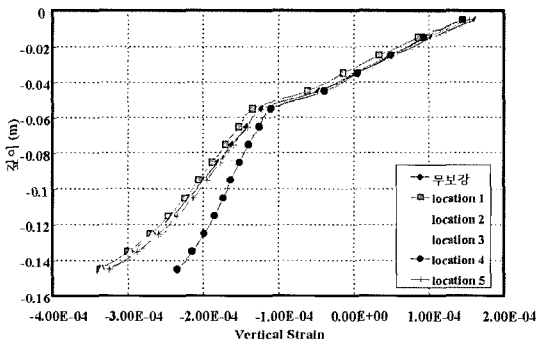


그림 8. 지오그리드 위치에 따른 수직변형률 분포(표층두께 5cm)

3.3 전단응력/ 변형률

보강위치에 따른 전단변형률의 분포를 그림 11에서 살펴보면 보강위치 ④에서 최대 전단변형률을 무보강에 비해 5%정도 감소시켰다. 온도분포에 따른 최대 전단변형률을 그림 12에서 살펴보면 낮시간 온도분포를 적용했을 때가 밤시간 온도분포를 적용했을 때보다 훨씬 컸다. 지오그리드 보강으로 인한 최대 전단변형률의 감소폭은 낮시간 11~14%, 밤시간 11~13%정도이었으며, 민감도 분석에서 최대 전단변형률은 대체

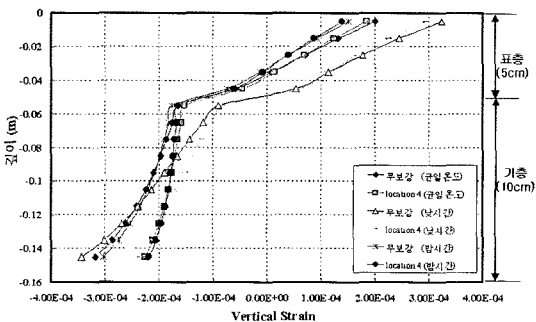


그림 9. 온도분포 적용에 따른 수직변형률 분포(표층두께 5cm)

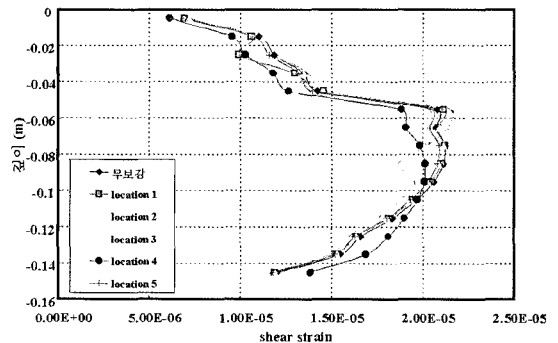
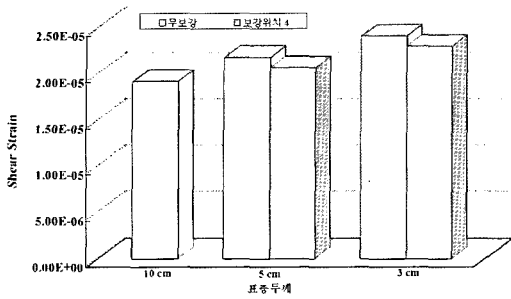
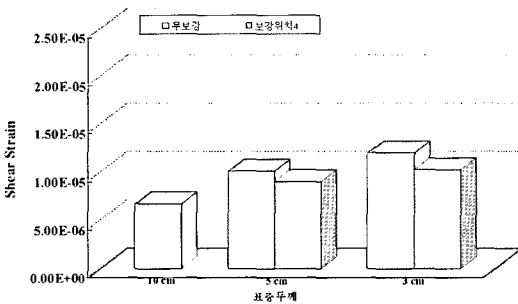


그림 11. 지오그리드 위치에 따른 전단 변형률 분포(표층두께 5cm)



(a) 낮시간 온도분포 적용시 최대 전단변형률 비교



(b) 밤시간 온도분포 적용시 최대 전단변형률 비교

그림 12. 온도분포 적용에 따른 최대 전단변형률 비교

표 4. Case에 따른 최대전단변형률 발생깊이(표층두께 5cm)

| 표층탄성계수 (ksi) | 100 | | | 300 | | | 500 | | |
|--------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 기층탄성계수 (ksi) | 100 | 200 | 300 | 100 | 200 | 300 | 100 | 200 | 300 |
| 지오그리드 보강위치 | 표층두께 5cm 일 때 최대전단변형률 발생 깊이 (cm) | | | | | | | | |
| 무보강 | 100 | 50 | 50 | 80 | 80 | 90 | 60 | 60 | 80 |
| A1 | 100 | 50 | 50 | 60 | 80 | 80 | 60 | 60 | 80 |
| ① | 100 | 90 | 50 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| ② | 70 | 50 | 50 | 60 | 70 | 70 | 60 | 60 | 60 |
| ③ | 90 | 50 | 50 | 90 | 90 | 90 | 80 | 80 | 80 |
| ④ | 120 | 110 | 50 | 100 | 100 | 100 | 90 | 90 | 90 |
| ⑤ | 100 | 50 | 50 | 80 | 90 | 90 | 60 | 60 | 80 |

표 5. Case에 따른 최대전단변형률(표층두께 5cm)

| 표층탄성계수 (ksi) | 100 | | | 300 | | | 500 | | |
|--------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 기층탄성계수 (ksi) | 100 | 200 | 300 | 100 | 200 | 300 | 100 | 200 | 300 |
| 지오그리드 보강위치 | 표층두께 5cm 일 때 최대전단변형률 ($\times 10^{-5}$) | | | | | | | | |
| 무보강 | 4.48 | 3.19 | 3.01 | 4.43 | 2.83 | 2.19 | 4.50 | 2.82 | 2.12 |
| A1 | 4.41 | 3.72 | 3.60 | 4.48 | 2.83 | 2.16 | 4.52 | 2.85 | 2.12 |
| ① | 4.32 | 2.94 | 2.45 | 4.15 | 2.81 | 2.18 | 3.98 | 2.72 | 2.11 |
| ② | 4.35 | 3.32 | 3.07 | 4.90 | 2.85 | 2.13 | 5.04 | 2.98 | 2.15 |
| ③ | 4.84 | 3.24 | 3.04 | 4.89 | 2.98 | 2.26 | 4.77 | 2.94 | 2.19 |
| ④ | 4.64 | 2.93 | 2.65 | 4.41 | 2.74 | 2.08 | 4.24 | 2.65 | 2.01 |
| ⑤ | 4.40 | 3.13 | 2.95 | 4.36 | 2.79 | 2.15 | 4.43 | 2.77 | 2.09 |

적으로 표층표면에서 50~120cm 깊이에서 발생했다(표 4). 그리고 표 5에서 보듯이 표층과 기층사이(보강위치 ①)와 보강위치 ④에 지오그리드를 설치했을 때 최대 전단변형률을 4~19%까지 감소시켰다.

3.5 요약

포장단면의 표층두께와 표층과 기층의 탄성계수 범위를 가지고서 경우의 수(case)들을 조합하여 민감도 분석을 수행한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

지오그리드를 기층과 보조기층사이(보강위치 ④)에 설치했을 때, 기층아래에서 발생하는 횡방향 인장응력을 가장 크게 감소시켜 균열발생을 억제하고 있으며, 소성변형과 관계되는 수직변형률과 최대 전단변형률을 살펴볼 때 소성변형 억제 효과도 있는 것으로 판단된다. 다만 표층의 두께와 탄성계수 값의 조합에 따른 최대 전단변형률의 보강효과가 민감하게 변화하여 소성변형 저항성에 대한 최적 설치위치를 단정할 수 없었으며, 표층과 기층사이(보강위치 ①) 또는 보강위치 ④에 지오그리드를 보강했을 때 어느 정도의 소성변형 저항성을 확보할 수 있으리라 기대된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 토목섬유의 일종인 지오그리드로 보강된 아스팔트 포장체를 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 해석하였다. 보강재의 설치위치, 단면의 두께, 표층의 온도분포 그리고 층별 탄성계수 값을 변화시켜 아스팔트의 응력변화 및 거동을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 지오그리드를 기층과 보조기층 사이(보강위치 ④)에 설치할 때 아스팔트 안정처리 기층 아래에서 발생하는 횡방향 인장응력을 큰 폭으로 감소시켜 아스팔트 포장 하부에서의 균열 발생을 상당히 억제하는 것으로 분석되었다.
2. 지오그리드를 기층과 보조기층 사이에 설치함으로써 기존의 표층두께보다 얇은 표층으로 같은 정도의 균열 저항성을 확보하는 것으로 분석되었다.
3. 온도분포에 대한 영향을 분석하기 위해 아스팔트 표층에 낮시간, 밤시간, 25℃균일한 온도조건을 적용하여 분석한 결과, 지오그리드의 최적 설치 위치를 판단하는데 뚜렷한 영향이 없었다. 다만, 표층 온도분포의 변화로 인한 아스팔트의 점탄성적인 거동을 확인할 수 있었다.
4. 일반적으로 아스팔트 층에서의 최대 전단변형률과 노상에서의 수직변형률로 소성변형 발생 가능성을 예측하게 된다. 본 연구에서 표층의 두께 및 층별 탄성계수를 조합하여 민감도 분석을 수행한 결과 Case에 따라 보강효과가 민감하게 변하여 단정할 순 없지만, 최대 전단변형률과 수직변형률에 대한 감소율을 볼 때 기층과 보조기층 사이(보강위치 ④)가 가장 효과적인 것으로 분석된다.
5. 본 연구에서는 아스팔트 표층에만 점탄성 물성을 적용하였지만 기층에 대한 점탄성 물성의 적용이 필요하고, 향후 시험포장이나 포장가속시험기(APT: Accelerated Pavement Tester)를 이용하여 아스팔트 포장에 삽입된 토목섬유의 효과를 검증하는 단계가 필요하다.

참고문헌

1. 신공항건설공단(1998) 인천국제공항 포장시험시 공용역 종합보고서, EZ41-C476-005, pp. 216-232.
2. 안태봉, 양성철, 조삼덕, 김남호(2001) 토목섬유로 보강된 아스팔트포장의 응력-변형 거동특성. 한국도로포장공학회지, 제 3권, 제 1호, pp. 151-163.
3. 이희구(2002) 토목섬유 보강아스팔트에 복하중이 미치는 영향 연구. 석사학위논문, 한양대학교. 한국도로공사(2000) 포장균열 및 노면반사균열 억제방안 연구. 연구보고서.
4. Brown, S. F., Brodrick, B. V.(1999) 25 Years' experience with the pilot-scale Nottingham Pavement test facility. *International Conference on Accelerated Pavement testing Reno, Nevada.*
5. Dondi, G.(1998) Effectiveness of synthetic interlayers in bituminous pavements. *Proc. of 6th International Conference on Geosynthetics*, pp. 977-984.
6. Ferry J.D.(1980) *Viscoelastic Properties of Polymers*. John Wiley & Sons.
7. Koerner, R.M.(1997) *Designing with Geosynthetics*. Prentice Hall Co., Fourth Edition.
8. Park, D.Y.(2000) *Effect of Temperature and Loading Time on the Stiffness Properties of HMAC in Flexible Pavements*, Ph. D. dissertation, Michigan state University.
9. Uddin, W.(1998) A Micromechanical Model for Prediction of Prediction of Creep Compliance and Viscoelastic Analysis of Asphalt Pavements. *TRB, National Research Council*, Washington, D.C.

〈접수 : 2004. 3. 18〉