

Overlay Tester를 이용한 그리드 보강 아스팔트 포장의 반사균열 저항성 평가

Evaluation of Reflection Cracking Resistance of Grid-Reinforced Asphalt Pavement Using Overlay Tester

유 병 수	Yoo, Byung Soo	정회원 · 군산대학교 토목환경공학부 석사과정 (E-mail : ybs113@kunsan.ac.kr)
서 우 진	Seo, Woo Jin	정회원 · 군산대학교 토목환경공학부 석사과정 (E-mail : seowoojin@kunsan.ac.kr)
김 조 순	Kim, Jo Soon	정회원 · 에스엔건설 대표이사 (E-mail : sn9404@hanmail.net)
박 대 옥	Park, Dae Wook	정회원 · 군산대학교 토목공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : dpark@kunsan.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Reflection cracking has been one of the major causes of distress when asphalt pavement is laid on top of concrete pavement. This study evaluated the reflection cracking resistance of asphalt mixtures reinforced with asphalt embedded glass fiber and carbon fiber using a Texas Transportation Institute (TTI) overlay tester.

METHODS : Different asphalt mixtures such as polymer-modified mastic asphalt (PSMA) and a dense graded asphalt mixture were reinforced with asphalt-embedded carbon fiber and glass fiber. For comparison purposes, two PSMA asphalt mixtures and one dense graded asphalt mixture were evaluated without fiber reinforcement. Two different overlay test modes, the repeated overlay test (R-OT) and monotonic overlay test (M-OT), were used to evaluate the reflection cracking resistance of asphalt mixtures at 0 °C. In the R-OT test, the number of repeated load when the specimen failed was obtained. In the M-OT test, the tensile strength at the peak load and tensile strain were obtained.

RESULTS : As expected, the fiber-reinforced asphalt mixture showed a higher reflection cracking resistance than the conventional non-reinforced asphalt mixtures based on the R-OT test and M-OT test. The dense graded asphalt mixture showed the least reflection cracking resistance and less resistance than the PSMA.

CONCLUSIONS : The TTI overlay tester could be used to differentiate the reflection cracking resistance values of asphalt mixtures. Based on the R-OT and M-OT results, the carbon-fiber-reinforced asphalt mixture showed the highest reflection cracking resistance among the non-reinforced asphalt mixtures and glass-fiber-reinforced asphalt mixture.

Keywords

overlay tester, reflection cracking of asphalt mixture, carbon fiber, glass fiber

Corresponding Author : Park, Dae-Wook, Professor
558 Daehak ro, Department of Civil Engineering, Kunsan National
University, Gunsan, 54150, Korea
Tel : +82.63.469.4876 Fax : +82.63.469.7434
E-mail : dpark@kunsan.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Nov. 17, 2015 Revised Nov. 19, 2015 Accepted Jan. 19, 2016

1. 서론

1.1. 연구배경

최근 우리나라에서 콘크리트 포장 위에 아스팔트 혼합

물을 덧씌우기 포장할 경우 발생하는 바람직하지 못한 구조적 결함으로서 유지보수관련기관이 매년 많은 예산을 반사균열 방지에 투입하고 있다. 반사균열(reflection

cracking)의 발생의 주된 원인을 알아보면 차량바퀴에 의한 윤하중, 온도, 습도와 같은 환경하중 등 다양한 원인이 존재한다. 반사균열 방지를 위하여 다양한 방법의 유지보수 방법이 사용되고 있으며, 아스팔트 함량이 많은 매스틱 아스팔트 혼합물, PSMA(polymer modified stone mastic asphalt)와 Paving grids, Paving mat, Paving fabrics와 같은 지오그리드 계열을 많이 사용하고 있다(Cleveland et al., 2002, Ali et al., 2011, Walubita et al., 2015). 국내에서도 다양한 섬유그리드 제품을 사용하고 있으며, 아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유 및 탄소섬유가 그 대표적인 예이다(Yeo et al., 2010).

현재 폴리에스터(P.P), 폴리프로필렌(PET) 등 많은 종류의 그리드와 섬유제품이 덧씌우기 포장에 많이 사용되고 있으며, 아스팔트 포장의 유지보수에 널리 사용되고 있다(Mostafa et al., 2011, Walubita et al., 2015).

본 연구에서는 TTI(Texas Transportation Institute) Overlay Tester를 이용하여 아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유와 탄소섬유를 아스팔트 포장에 보강하여 다양한 조건에서의 아스팔트 포장의 반사균열 저항성을 평가 비교하고자 하였다.

1.2. 연구내용

본 연구에서는 다양한 종류의 아스팔트 포장의 반사균열을 평가하고자 유리섬유 및 탄소섬유 두 종류의 아스팔트 컴파운드로 함침된 섬유그리드를 사용하였다. 두 종류의 그리드를 PSMA와 일반 밀입도 아스팔트 혼합물층 중간에 삽입하여 반사균열 저항성을 평가하였고 그리드 보강 없이 PSMA와 밀입도 아스팔트 혼합물에 대한 반사균열 저항성을 평가하였다.

반사균열 저항성은 전언한 바와 같이 Overlay Tester를 이용하였으며, 두 종류의 시험방법에 의하여 수행하였다. 반복하중을 주는 동적반복시험(dynamic repeated cycle; R-OT)과 단순 인장하중(monotonic loading test: M-OT)을 적용하는 시험이며, R-OT에서는 파손되기까지의 하중 재하횟수로 나타내고 M-OT에서는 파괴특성으로 나타낸다.

2. 연구방법

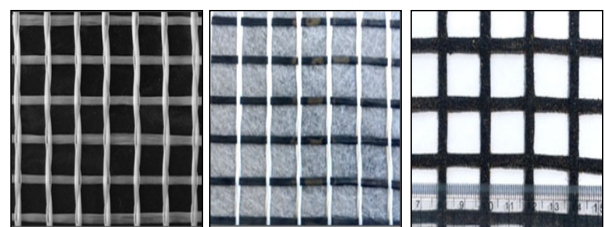
2.1. 반사균열 시험계획 및 공시체 제작

반사균열 저항성 평가를 위한 그리드 종류와 아스팔트

혼합물의 종류 및 두께 조건을 Fig. 1에 나타내었다. 각각의 혼합물 종류 및 두께 조건[#1(100mm PSMA), #2(80mm PSMA), #3(80mm 밀입도 20mm), #4(50mm PSMA+30mm 밀입도 사이에 아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유), #5(80mm 밀입도 사이에 아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유), #6(50mm PSMA+ 30mm 밀입도 사이에 아스팔트 컴파운드로 함침된 탄소섬유), #7(80mm 밀입도 사이에 아스팔트 컴파운드로 함침된 탄소섬유)]을 비교 분석하기 위하여 무보강 밀입도 아스팔트 혼합물(#3)을 사용하였으며, PSMA도 10cm(#1)와 8cm(#2)로 변화하여 각각 평가하였다. Fig. 2와 같이 아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유 및 탄소섬유 그리드를 이용하여 상층부 두께를 8cm(#4~#7)로 하였으며 상·하부층의 접착을 위해 무보강 아스팔트는 일반 택코트, 섬유그리드가 보강된 공시체는 BD코트를 사용하여 제작한다.

	#1 (t = 100mm)	#2 (t = 80mm)	#3 (t = 80mm)
Non-interlayered	PSMA (t=5cm) PSMA (t=5cm) SLAB SLAB	PSMA (t=5cm) PSMA (t=3cm) SLAB SLAB	Dense(20mm) (t=5cm) Dense(13mm) (t=3cm) SLAB SLAB
		#4, 6 (t = 80mm)	#5, 7 (t = 80mm)
Grid interlayered	- Dense Asphalt, PSMA Asphalt were made samples by using AP5 - Reinforcing Fiber Types = glass fiber, carbon fiber - 6,7 just use carbon fiber instead of 4 and 5 which are used glass fiber		
		PSMA (t=5cm) fiber reinforcement Dense(13mm) (t=3cm) SLAB SLAB	Dense(20mm) (t=5cm) fiber reinforcement Dense(13mm) (t=3cm) SLAB SLAB

Fig. 1 Specimen Types for OT Testing



(a) Glass Fiber (b) Carbon Fiber (c) Fiber Grid

Fig. 2 Fiber Reinforcement Type

반사균열 저항성 평가를 위한 공시체 제작은 슈퍼패이브 선회다짐기(Superpave Gyrotory Compactor)를 이용하여 제작하였다. Fig. 3과 같이 하부층을 먼저 다진 후 24시간 상온 건조시켰다. 반사균열 저항성 시험을 위하여 공시체를 Overlay Tester Plate에 밀실하게 고정키는 것이 매우 중요하다. 따라서 Fig. 3과 같이 공시체의 하층부 두께를 증가시켜 제작하였으며, Fig. 4와 같이 시험하기 전 하단부 2cm를 절단하였다.

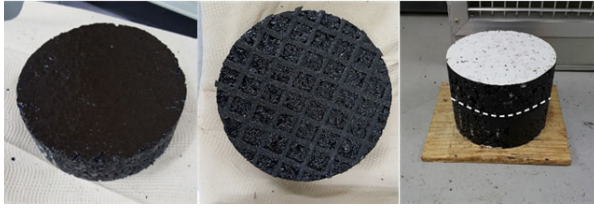


Fig. 3 Specimen Products



Fig. 4 HMA Samples, Marked Directions of Cutting, and Cut Specimens

2.2. 아스팔트 혼합물 공시체의 노칭 및 접착

노칭(notching)은 기존 포장에서 생긴 균열 혹은 줄눈을 모사하기 위하여 공시체에 길이 12.5mm 폭 3.125mm로 넣은 것이다. 그리드로부터 하단부까지의 길이가 30mm로 짧아 그리드 파손을 방지하기 위하여 Fig. 5와 같이 깊이를 12.5mm로 하였다. Fig. 5에서 보듯이 에폭시를 이용하여 플레이트에 공시체를 접착하였으며, Fig. 6에서 보듯이 최소 12시간동안 4.5kg의 무게를 놓아 확실한 접합을 유도하였다(TxDOT, 2014).

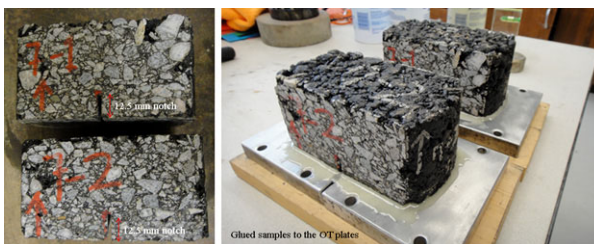


Fig. 5 Final Cut OT Specimens with Interlayer Material



Fig. 6 Glued Samples with 4.5kg Curing Weights

3. 반사균열 저항성 평가

3.1. 시험조건

본 시험에서 아스팔트 혼합물의 반사균열 저항성을 평가하기 위하여 R-OT(Repeated Overlay Tester)와 M-OT(Monotonic Overlay Tester)시험 방법을 이용하였다. Table 1에 하중재하 형태와 공시체 시험을 각각 나타내었다.

Table 1. OT Test Parameters and Loading Configuration

Item	R-OT	M-OT
Loading mode	Repeated tension	Monotonic tension
Test parameters	Frequency = 10 sec/cycle (0.1Hz) Loading rate=0.625mm displacement	Loading rate = 3.375mm/min
Temperature	0°C(≥12hrs sample conditioning time)	0°C(≥12hrs sample conditioning time)
Test time	≤180minutes(3hrs)	≤10minutes
Test termination	93% reduction in the peak load	99% reduction in the peak load
Output data	Load cycles to crack failure	Material tensile strength&failure strain

아스팔트 혼합물의 온도 균질성을 확보하기 위하여 Thermocouple을 공시체 내부에 삽입하여 온도변화를 관찰하였다. 시험을 수행하기 전에 공시체에 10분동안 스트레스 완화(relaxation) 시간을 주는데 이는 공시체를 고정시킬 때 발생할 수 있는 응력을 완화하기 위한 것이다. R-OT시험과 M-OT시험 모두 시험데이터를 얻기 위하여 0.04초당 한 개의 데이터를 기록하였다.

3.2. 시험해석

R-OT와 M-OT 결과로 각각 하중재하횟수 그래프(Load cycle:L-C) 및 하중-변위간(Load-displacement:L-D) 그래프를 Fig. 7에 나타냈다. 그래프로부터 반사균열로 인한 파손 시 하중재하횟수, 인장강도, 파손변형률, 파괴강도 등 아스팔트 혼합물의 균열 저항성 및 파괴

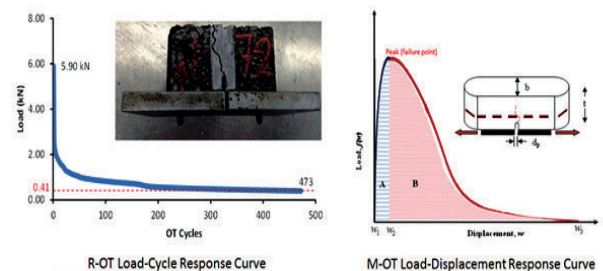


Fig. 7 OT L-C and L-D Response Curves

특성을 나타내는 특성들을 계산하였다.

3.2.1. R-OT 시험(반복하중재하시험)

R-OT 시험에서 얻을 수 있는 매개변수는 OT 시험으로 인한 파괴 시까지의 하중재하횟수를 얻을 수 있으며, 아스팔트 혼합물의 반사균열 저항성을 나타낸다. 텍사스교통부의 시험지침 Tex-248-F에 의하면, Fig. 7에서 보는 바와 같이 R-OT 시험에서의 균열에 의한 파괴는 초기 최대하중의 93% 감소되었을 때라고 규정하고 있다(TxDOT, 2014). 일반적으로 파괴 시까지의 하중재하횟수가 클수록 반사균열에 대한 저항성이 큰 아스팔트 혼합물임을 알 수 있다. 본 반사균열 저항성 평가에서는 일반 아스팔트 혼합물 기준으로 텍사스 교통부에서 규정하는 300회를 이용하였다(TxDOT, 2014).

3.2.2. M-OT 시험(단순인장시험)

M-OT 반사균열 시험의 주요 결과 성과는 Fig. 7에서 보듯이 하중-변형 반응 곡선이다. 이 하중-변형 곡선을 이용하여 다양한 파괴매개변수를 산정하는 것이다. 이론적으로 인장강도가 클수록 균열 저항성이 큰 것을 의미하며, 본 연구에서는 인장강도 1000kPa을 임의적으로 한계 인장강도로 설정하였다. 파괴인장변형율(failure tensile strain)은 인장파괴 전에 아스팔트 혼합물의 신도(ductility)와 연신율(elongation)으로 정의된다. 따라서 인장 변형율이 클수록 신도와 연신율 측면에서 좋다고 할 수 있다. 본 연구에서는 1.45E-01 mm/mm를 임의적으로 한계점으로 지정하였다. 정규화된 인장강도(normalized tensile strength: S_n)는 새로이 개발된 파괴 매개변수이며, 인장강도가 최대파괴하중에서의 인장변형율에 정규화된 것이다. 이 매개변수는 인장강도와 신도/연신율과 관계된 복합 파괴 매개변수이다. S_n 은 최대하중에서의 인장강도와 인장변형율의 곱으로 정의된다. 본 연구에서는 150kPa을 한계값으로 지정하였다. 이론적으로 S_n 이 클수록 보다 큰 파손 및 균열에 대한 저항성을 가지게 된다.

4. 반사균열 시험결과 및 분석

4.1. 시험결과

Fig 8~9에서 보듯이 섬유그리드 보강 유무에 상관없이 R-OT 시험과 M-OT 시험 모두 균열이 발생하였다

이러한 결과들은 Overlay Tester가 그리드 또는 섬유로 보강된 아스팔트 혼합물의 반사균열 저항성을 비교적 우수하게 평가할 수 있는 것으로 판단된다.

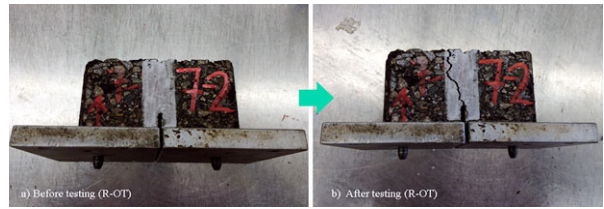


Fig. 8 HMA Sample Crack Failure Mode (R-OT Testing)

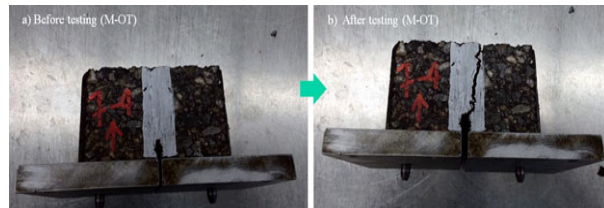


Fig. 9 HMA Sample Crack Failure Mode (M-OT Testing)

4.2. R-OT 시험결과 분석

R-OT 시험의 공분산은 30% 이하가 되도록 시험을 수행하였으며, Fig. 10은 OT 하중재하횟수의 공분산 결과를 나타내었다.

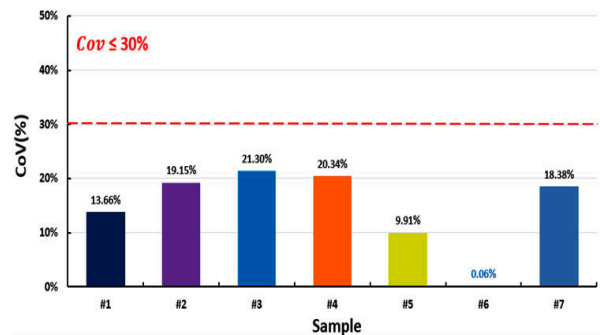


Fig. 10 Results of the Test Cov R-OT

Fig. 10에서 보듯이 각 공시체당 3개의 시험을 수행하였으며, 모두 공분산이 30% 이내인 것으로 나타나 시험의 반복성이 매우 우수한 것으로 판단되었다.

R-OT 시험으로부터 얻은 하중재하횟수를 Fig. 11에 각각 나타내었다.

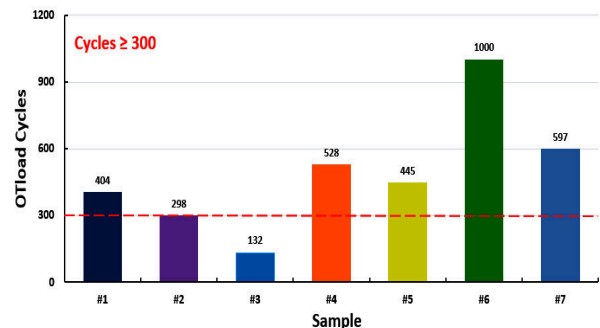


Fig. 11 Comparison of the OT Load Cycle Results (R-OT Test)

아스팔트 컴파운드로 함침된 탄소섬유로 보강한 PSMA 아스팔트 혼합물(#6)이 1000회로 반사균열 저항성이 가장 우수하게 나타났으며 그리드 무보강 일반 밀입도 아스팔트 혼합물(#3)이 132회로 가장 작은 하중 횟수를 나타내었다.

아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유 및 탄소섬유 보강 아스팔트 혼합물의 하중횟수는 미국 텍사스 TTI 시험 기준인 300회를 넘는 것으로 나타났으며, 이러한 결과들은 그리드를 사용하여 반사균열 저항성을 크게 향상 시키는 것으로 판단된다. 또한 PSMA 10cm(#1)와 8cm(#2) 결과를 볼 때, 동일한 조건이라면 두께가 증가할수록 반사균열 저항성이 증가하는 것으로 나타났다.

4.3. M-OT 시험결과 분석

M-OT 시험으로부터 얻는 주요 결과는 인장강도(σ_t), 파괴 변형율(ϵ_t), 정규화 인장강도(S_n)이며, Eq. (1)과 같다(Faruk et al., 2014, Walubita et al., 2015).

$$S_n = \sigma_t \times \epsilon_t \quad (1)$$

where S_n = Normalized tensile strength

σ_t = Tensile strength

ϵ_t = Failure strain

이들 결과를 Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14에 각각 나타내었다. 이때 정규화 인장강도는 Eq. (1)을 이용하여 산출하였다.

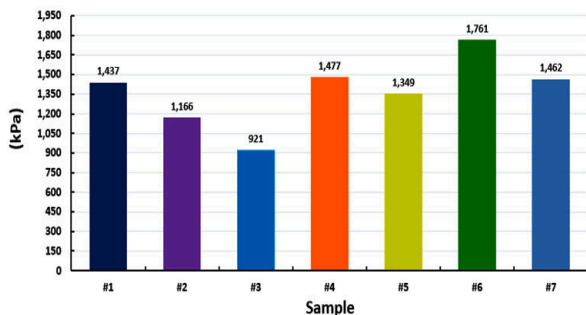


Fig. 12 Results of the Test Tensile Strength

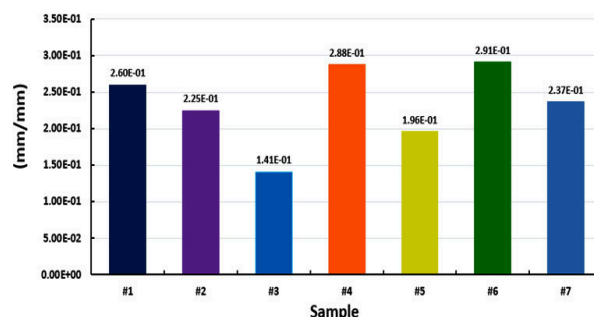


Fig. 13 Results of the Test Failure Strain

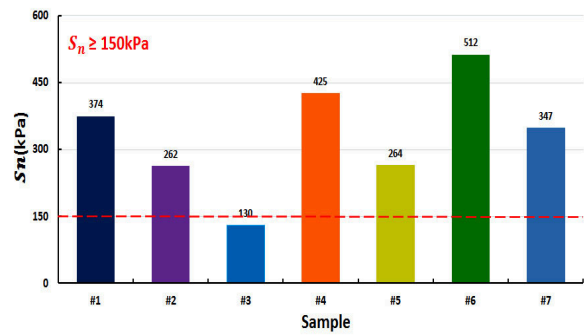


Fig. 14 Results of the Test

아스팔트 함침 탄소섬유로 보강한 PSMA 아스팔트 혼합물(#6)이 인장강도, 인장변형율, 정규화인장강도 측면에서 다른 아스팔트 혼합물과 비교하여 매우 우수한 것으로 나타났으며 그리드가 보강 안 된 일반 아스팔트 혼합물(#3)은 다른 아스팔트 혼합물과 비교하여 가장 작은 성능을 나타냈다. R-OT 결과와 유사하게 M-OT 결과값도 아스팔트 혼합물 형태와 두께의 영향을 잘 반영할 수 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 TTI Overlay Tester를 이용하여 섬유보강과 무보강 아스팔트 혼합물의 반사균열 저항성을 평가하였다.

아스팔트 컴파운드로 함침된 탄소섬유 보강 아스팔트 혼합물이 아스팔트 컴파운드로 함침된 유리섬유 보강 아스팔트 혼합물과 비교하여 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 반사균열 저항성 측면에서 약 30% 이상 증가하는 것으로 판단된다.

아스팔트 혼합물 종류에 의한 반사균열 저항성 평가에서 PSMA 아스팔트 혼합물이 밀입도 일반 아스팔트 혼합물과 비교하여 반사균열 저항성과 파괴특성지수 측면에서 매우 우수한 것으로 판단된다.

아스팔트 포장 두께 측면에서 매우 일관적인 결과를 얻을 수 있었는데, 1% 두께를 증가시킬 때 R-OT 성능은 1.42% 증가하였으며, M-OT 성능은 1.37% 증가하는 것으로 판단된다.

무보강 밀입도 일반 아스팔트 혼합물이 가장 성능이 좋지 못한 것으로 나타났으며, 기준에 만족하지 못하였다.

본 연구에서는 아스팔트 함침 탄소섬유와 유리섬유가 아스팔트 혼합물이 반사균열 및 파손을 지연시키는데 효과가 있는 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Ali Khodaii, Shahab Fallah, and Fereidoon Moghadas Nejad (2009). Effects of geosynthetics on reduction of reflection cracking in asphalt overlays. *Elsevier Journal of Geotextiles and Geomembranes*. Vol. 27 (1), pp. 1-8.
- Cleveland, G.S., Button, J.W., and Lytton, R.L (2002). Geosynthetics in Flexible and Rigid Pavement Overlay Systems to Reduce Reflection Cracking. Research Report# FHWA/TX-02/1777. pp. 1-297. Texas Department of Transportation (TxDOT) - Research and Technology Implementation Office, TX, USA.
- Faruk, ANM., Hu, X., Lopez, Y., & Walubita, LF (2014). Using the Fracture Energy Index Concept to Characterize the HMA Cracking Resistance Potential under Monotonic Crack Testing. *International Journal of Pavement Research & Technology (IJPRT)*. Vol. 7, Issue# 1, pp. 40-48.
- Mostafa Elseifi and Rakesh Bandaru (2011). Cost Effective Prevention of Reflective Cracking of Composite Pavement. Research Report FHWA/LA.11/478. Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA.
- TxDOT (2014). TxDOT-. Texas Department of Transportation. Online Manuals: The Overlay Test. Tex-248-F. Austin, TX, USA. Accessed March 2014.
- Walubita et al. (2015). Characterizing the cracking and fracture properties of geosynthetic interlayer reinforced HMA samples using the Overlay Tester (OT). *Journal of Construction and Building Materials*, Volume 93, pp. 695-702.
- Yeo, D.H., Kim, G. D., Kwon, S. A., Jeong, J. H. (2010), Evaluation of Early Age Performance of Geogrid Reinforced Asphalt Pavements, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 12, No. 4, pp. 53-60.