JOURNAL of the Korean Asphalt Institute Vol. 10, No. 1, 75-82, 2020
https://doi.org/10.22702/jkai.2020.10.1.007

pISSN: 2234-0785
eISSN: 2635-9553

Scientific Paper

MSCR 실험법을 이용한 배수성 포장 아스팔트 바인더의 회복률 평가

이성진[1] · 이종섭[2]*
[1]한국도로공사 도로교통연구원 포장연구실 박사후연구원, [2]한국도로공사 도로교통연구원 포장연구실 책임연구원

Evaluation of recovery rate of porous asphalt binder using MSCR test method

Sung Jin Lee[1] and Jong Sub Lee[2]*
[1]Post-doctoral Researcher (Ph.D.), Korea Expressway Corporation, Pavement R&D Division
[2]Senior Researcher (Ph.D.), Korea Expressway Corporation, Pavement R&D Division

***Corresponding author:** Tel. +82-31-8098-6283, E-mail. jlee@ex.co.kr

Received: June 1, 2020; **Revised:** June 15, 2020; **Accepted:** June 23, 2020

ABSTRACT

The object of this study is to evaluate the rutting resistance and recovery rate characteristics of a high-performance modified asphalt binder with the MSCR test method, which is known to be able to check the properties of the asphalt binder in detail. A study was conducted on eight types of asphalt binders of PG82-22, PG82-28, and PG82-34 grades used in porous pavement in Korea. The rutting resistance of the modified asphalt binders currently in use has a non-recovery creep coefficient (Jnr) of 0.3 or less, which meets criterion used in AI. The range of elastic recovery (%Recovery) was evaluated to have more than 60% for PG82-22 and more than 85% for PG82-28 and PG82-34. Thus, it was found that the parameter of elastic recovery can be used as an QC/QA of polymer modified performance graded binders in production.

Keywords: MSCR, Recovery rate, Rutting resistance, Elastic recovery

1. 서 론

최근 국내에서 낮은 소음 및 강우 시 안전한 주행을 원하는 국민들의 수요가 증가함에 따라 보다 우수한 성능을 지닌 고성능 저소음·배수성 혼합물의 사용이 증가되고 있다. 저소음·배수성 포장은 구조적인 특성상 혼합물 내부의 공극이 매우 크기 때문에 높은 성능을 발휘하는 아스팔트 바인더의 사용이 요구된다. 따라서 기존의 포장에 사용되던 개질 아스팔트 보다 더 높은 등급의 아스팔트 바인더의 사용이 요구되며 국내에서는 PG 82-22등급 이상

© 2020 by Korean Asphalt Institute. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 바인더를 사용하여 저소음 배수성 혼합물을 생산하도록 하고 있다. 현재 아스팔트 바인더는 슈퍼페이브 PG등급 시험을 통해 성능을 확인하고 있지만 1990년대 초반에 개발된 이 시험방법만으로는 바인더의 성능을 보다 자세히 나타내기 힘들다. 이러한 이유로 미연방도로국은 Multiple Stress Creep Recovery(MSCR)시험법을 제정하여 기존의 슈퍼페이브 PG시험에서 측정되는 소성변형 저항성을 보다 자세히 평가하고 추가로 바인더의 회복률을 확인할 수 있도록 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 저소음 배수성 혼합물에 사용되고 있는 고등급 고성능 개질 아스팔트 바인더들의 MSCR 특성을 확인 및 분석하여 회복성능을 평가하는 것을 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

본 연구에서는 저소음・배수성 포장에서 주로 사용되는 바인더인 고온등급 PG82등급의 바인더를 대상으로 연구를 수행하였고 아스팔트 바인더의 개질제로 가장 널리 사용되고 있는 합성고무 개질제인 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene) 2종, SBS와 같은 고무 개질제인 SIS(Styrene-Isoprene-Styrene) 1종을 사용하여 개질아스팔트 바인더 8종에 대하여 연구를 진행하였다. 사용된 바인더는 다음의 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Polymer modified asphalt used in this study

Binder	Type
A	PG 82-22, PG 82-28, PG 82-34
B	PG 82-22, PG 82-34
C	PG 82-22, PG 82-28, PG 82-34

2.2 Multiple Stress Creep Recovery (MSCR)

일반 아스팔트 바인더의 경우 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 선형 점탄성 특성을 갖는다. 이는 응력의 크기와 바인

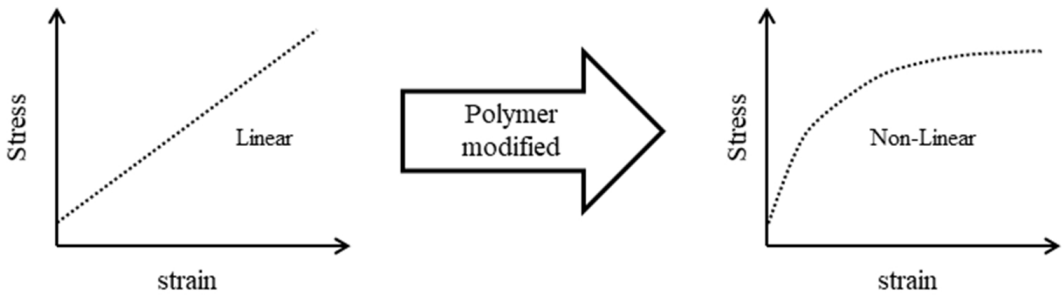

Fig. 1. Viscoelastic properties of asphalt binder

더의 변형률의 비례하는 특성을 갖기 때문에 낮은 응력을 통해 측정한 값이 바인더의 특성을 대표할 수 있지만 개질 아스팔트 바인더는 응력의 증가에 따라 바인더 내부의 고분자 사슬의 변형이 발생하면서 점탄성이 변하는 비선형 특성을 가지기 때문에 PG등급 시험만으로 적절하게 바인더를 평가할 수 없다. 이러한 이유로 미연방도로국(FHWA)은 2011년 아스팔트 바인더의 고온 탄성 회복력을 평가하기 위한 시험법으로 다중하중 크리프-리커버리(MSCR)시험법을 AASHTO TP 70으로 제정하여 발표하였다.

동적전단시험기를 이용한 기존의 슈퍼페이브 PG 등급 시험에서는 G*/sin δ를 기준(1.0 kPa)으로 하여 바인더의 작은 변형을 통해 포장체의 소성변형을 예측해 왔지만 실제 포장에서는 이보다 큰 하중을 통해 변형이 생기므로 정확하게 반영할 수 없다. 그러나 MSCR은 상대적으로 큰 변형률 범위(3.2 kPa)에서 재료의 특성을 고려하기 때문에 실제 하중에 의해 혼합물이 받는 응력조건을 모사하는 방법이라고 할 수 있다. 또한 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 실제 포장을 모사한 포장가속 시험 결과와 MSCR 시험 결과치인 Jnr과 상관성이 높게 나타나 바인더 시험을 통해 혼합물의 소성변형 저항성 예측이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

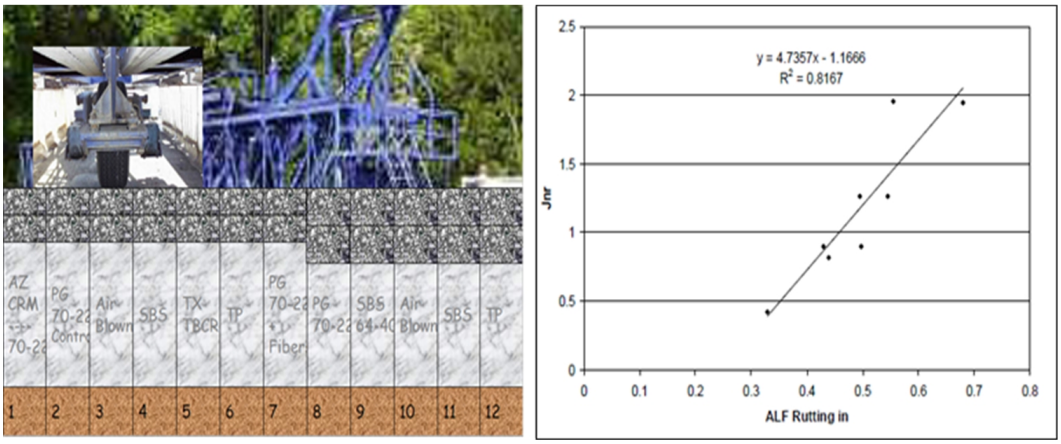

Fig. 2. Correlation between ALF test results and MSCR test (FHWA, 2011)

Fig. 3에 전형적인 MSCR 시험결과를 나타내었다. 그림에 나타낸 것과 같이 MSCR은 1초의 Creep 하중을 가하고 9초의 휴지기를 부여하는 시험방법으로 Jnr(Non-Recoverable Compliance)을 바인더의 평가 기준으로 적용한다. Jnr은 회복되지 않은 소성변형과 재하 시킨 전단하중 크기의 비로, 일반적으로 하중의 크기가 커질수록 값이 커지며, 동일한 하중에서는 바인더의 소성변형 저항성이 작을수록 커지는 경향을 나타내며 다음의 식 (1)을 통해 계산한다. 또한 Jnr에서 정의된 회복변형률과 비회복변형률을 이용하여 회복률(Recovery)을 결정할 수 있으며 다음의 식 (2)를 통하여 계산한다. 이는 같은 하중에 대하여 동일한 최대 변형률이 발생하는 두 가지 다른 바인더의 탄성회복 특성을 구분하는데 효과적인 방법으로 Jnr과 함께 바인더의 소성변형 저항성을 평가하는 기준으로 활용된다.

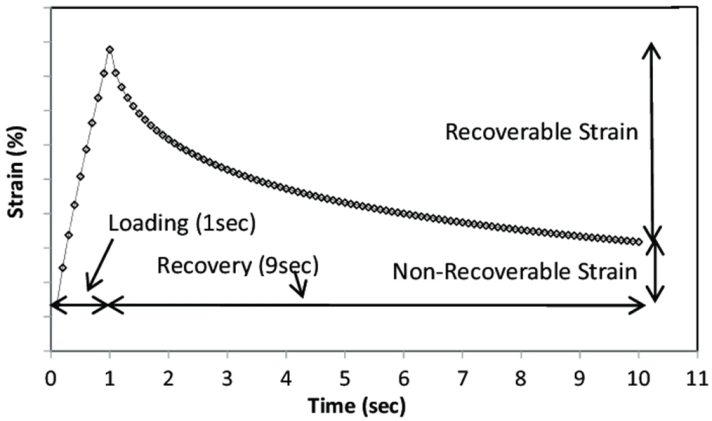

Fig. 3. Typical MSCR test results (Singh and Sawant, 2016)

$$J_{nr} = \frac{Unrecovered\,Shear\,Stress}{Applied\,Shear\,Stress} \tag{1}$$

$$\%\,Recovery = \frac{Recovered\,Strain}{Peak\,Strain} \tag{2}$$

MSCR 시험은 기존 슈퍼페이브 동적전단 시험장비를 동일하게 사용하며 0.1 kPa, 3.2 kPa 두 가지 조건에서 크리프-회복(Creep & Recovery) 시험을 수행한다. 이는 낮은 응력과 높은 응력 조건에서 모두 바인더의 성능을 확인하기 위함이며 본 연구에서는 PG82등급 이상의 고성능 바인더를 재료로 하기 때문에 3.2 kPa에서의 바인더 특성을 평가 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PG등급 시험결과

MSCR 시험에 앞서 연구에 사용된 개질 아스팔트 바인더의 실제 PG등급을 확인하기 위해 슈퍼페이브 PG등급 시험을 수행하였다. Table 2에 나타난 것과 같이 시중에 사용되고 있는 아스팔트 바인더들은 모두 각각의 등급을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 단, 135°C 점도는 모든 바인더가 기준치에 만족하지 못하고 크게 상회하는 결과를 보였으며 기준에 비하여 측정값이 약 8배가량 높은 바인더도 확인할 수 있다. 이 같은 문제는 추후 여러 연구를 통해 적절한 기준의 재설정이 필요할 것으로 판단된다.

Table 2. PG grade test results

Test item	Unit	Criteria	A		B		C		
			82-28	82-34	82-22	82-34	82-22	82-28	82-34
Flash point	°C	≥230	342	336	316	322	334	318	326
Viscosity (135°C)	Pa·s	≤ 3	9.15	23.0	3.32	5.69	3.10	4.54	5.28
Orig. DSR (82°C)	kPa	≥1.0	7.63	17.05	2.40	2.26	2.80	1.99	1.89
RTFO mass loss	%	≤1.0	-0.08	-0.09	-0.08	-0.10	-0.08	-0.08	-0.08
RTFO DSR (82°C)	kPa	≥2.2	7.77	15.76	3.66	2.58	4.28	2.43	2.47
PAV DSR (28°C)	kPa	≤5,000	131	82	794	547	1,987	179	269
PAV stiffness	MPa	≤300	202.7 (-18°C)	145.0 (-24°C)	156.5 (-12°C)	177.8 (-24°C)	163.8 (-12°C)	44.9 (-18°C)	78.3 (-24°C)
PAV m-value	-	≥0.3	0.30 (-18°C)	0.31 (-24°C)	0.30 (-12°C)	0.31 (-24°C)	0.33 (-12°C)	0.30 (-18°C)	0.30 (-24°C)
PG Grade	-		**PG82-28**	**PG82-34**	**PG82-22**	**PG82-34**	**PG82-22**	**PG82-28**	**PG82-34**

3.2 MSCR 시험결과

Table 3에 바인더 각각의 MSCR 시험결과를 나타내었다. 각 바인더의 측정된 $Jnr_{3.2}$을 보면 모든 종류 바인더의 $Jnr_{3.2}$가 0.5이하로 현재 미국에서 적용되고 있는 기준에서 소성변형 저항성은 최고등급에 속함을 알 수 있다.

또한 PG 저온등급이 −22에서 −34로 개질제의 함량이 늘어나 고점성화 되며 Jnr 값이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 개질제의 함량이 증가하여 고등급 바인더가 될수록 소성변형 저항성이 커지는 기존의 슈퍼페이브 PG등급의 정의와 Jnr의 크기로 바인더의 소성변형 저항성을 판단하는 MSCR 시험결과가 같은 경향을 나타나는 것을 확인할 수 있다.

%Recovery는 대체로 고성능 바인더로 변화함에 따라 크게 나타나 개질제의 함량이 높아질수록 바인더의 회복성능이 향상된다는 것을 알 수 있다. 다만 C바인더의 경우는 PG82-28의 회복력이 PG82-34보다 높게 나타났지만 두 바인더 모두 응력을 받았을 때 발생된 초기 변형에서 90%이상 다시 회복이 되기 때문에 큰 성능차이를 나타낼 것이라고 판단하기 힘들다. 저온 −22등급의 바인더는 C를 제외하고 60% 초반의 회복력을 보였고 저온 −28등급 이상의 바인더는 모두 약 85% 이상의 회복력을 나타내었다.

Table 3. MSCR test result

Additive type	PG grade	$Jnr_{3.2}$		$\%Recovery_{3.2}$	
		(kPa^{-1})	Avg.	(%)	Avg.
A	82-22	0.2099	0.2118	63.30	61.41
		0.2188		60.02	
		0.2068		60.93	
	82-28	0.0133	0.0130	83.67	84.77
		0.0134		83.99	
		0.0123		86.67	
	82-34	0.0032	0.0027	92.76	93.23
		0.0027		93.53	
		0.0024		93.39	
B	82-22	0.2039	0.2232	63.65	63.50
		0.2413		62.73	
		0.2244		64.11	
	82-34	0.0599	0.0753	90.08	88.32
		0.0648		89.77	
		0.1014		85.11	
C	82-22	0.2496	0.2584	85.63	85.29
		0.2556		85.39	
		0.2701		84.84	
	82-28	0.0185	0.0186	97.18	95.90
		0.0184		97.21	
		0.0189		93.30	
	82-34	0.0313	0.0300	92.49	92.52
		0.0293		92.59	
		0.0294		92.47	

또한, MSCR의 탄성회복를 시험결과 3가지 타입의 개질제 모두 저온 PG등급이 82-22에서 82-34로 강화 될수록, 탄성회복률이 모두 증가되는 것을 보였다. 이는 개질 아스팔트 바인더에 포함되어 있는 개질제의 함량이 증가함에 따라 탄성회복률이 증가하는 것으로 판단되며, 탄성회복률이 개질 아스팔트 생산 중 적정 개질제의 함량을 평가하는 중요한 QA/QC의 품질관리 시험법으로 사용될 수 있다는 것을 의미한다.

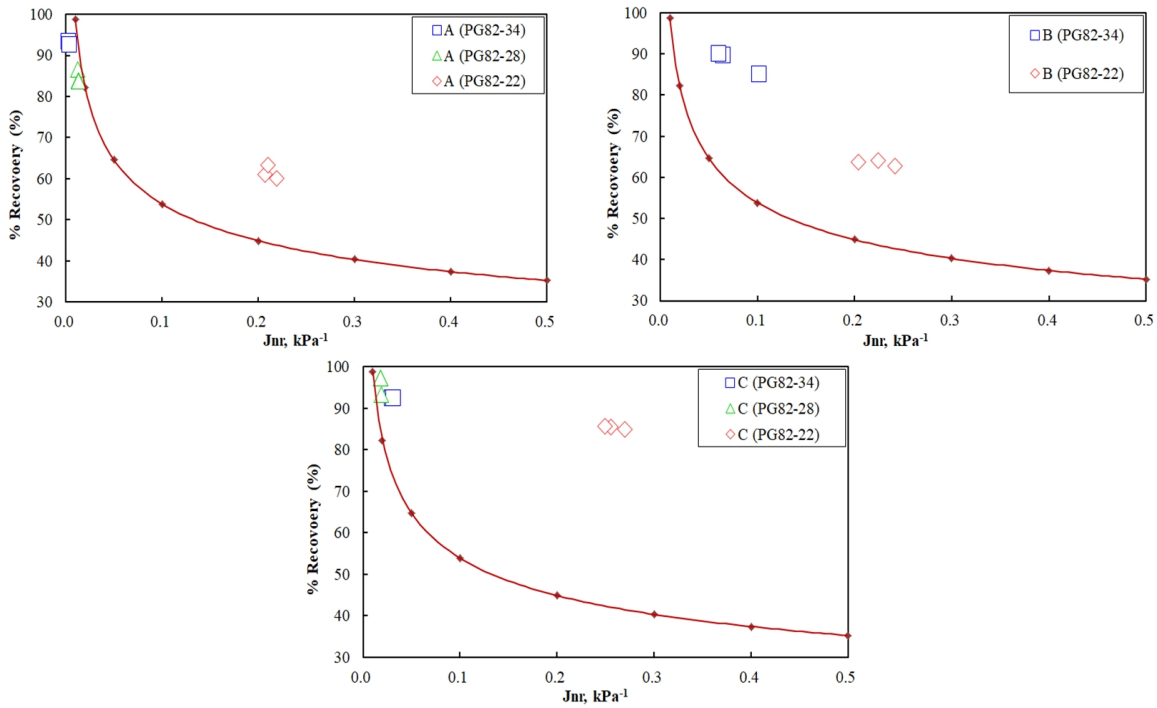

Fig. 4. MSCR test results by additive

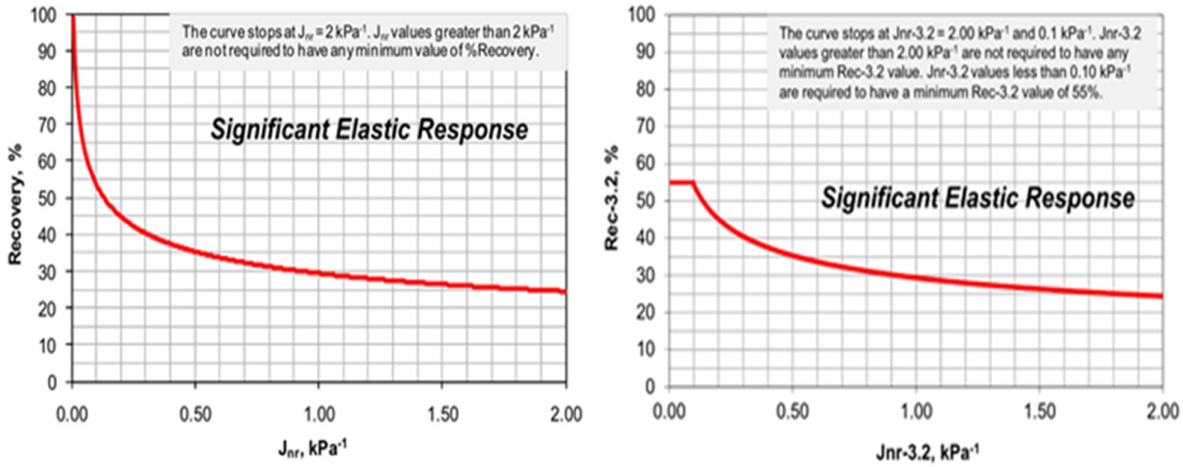

Fig. 5. validate polymer modification (Anderson, 2014)

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 국내에서 배수성 아스팔트 포장에 실제로 사용되고 있는 아스팔트 바인더들의 소성변형저항성 및 회복력을 MSCR 시험방법을 통하여 확인하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. PG 82-22 등급의 아스팔트 바인더의 소성변형률(Jnr)은 0.5이하 , PG 82-28 및 PG 82-34 등급 아스팔트 바인더의 Jnr은 0.2이하 로 평가되었으며, 모든 바인더가 미국의 AI의 기준에 적합한 것으로 나타났다.
2. 국내의 저소음·배수성 포장용 개질 아스팔트 바인더 MSCR 시험결과, 탄성회복력(% Recovery) 범위는 PG82-22의 경우 55%이상 PG82-28 및 PG82-34의 경우 80% 이상을 가지는 것으로 평가 되었다.
3. 고온 82 등급의 PG 중 저온 등급이 강화될수록 탄성회복률이 증가하는 상관성을 파악하였고, 개질 아스팔트 생산 중 적정 PG등급 생산 여부를 탄성회복률을 통해 품질관리 할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 본 연구에서 사용한 MSCR 시험법은 개질 아스팔트 바인더의 소성변형률과 탄성회복률을 평가하는 것으로, 개질 아스팔트의 최종 성능은 개질 아스팔트 혼합물의 동적안장도, 저온 칸타브로 시험 등의 내구성 평가 통해 종합적으로 판단해야한다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 “공용성 시험을 이용한 개질 아스팔트 혼합물의 배합설계 및 품질관리법 개발” 연구사업 예산으로 수행되었습니다.

참고문헌

AASHTO (2016). M 332-14 ; Performance-graded asphalt binder using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test, American Association of State Highway and Transportation Officials.

AASHTO (2016). T 350-14 ; Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test of asphalt binder using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), American Association of State Highway and Transportation Officials.

Anderson, M. (2014). “Introduction to the Multiple-Stress Creep-Recovery (MSCR) test and its use in the PG binder specification”, 54th Annual Idaho Asphalt Conference, Moscow, Idaho.

ASTM D7405-20 (2020), Standard test method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of asphalt binder using a dynamic shear rheometer, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Cha, S.M. (2018). “MSCR new binder specification advantages and comparative analysis with PG binder specifications”, Journal of Korean Society of Road Engineers, 20(4), pp. 43-51

FHWA (2011). FHWA-HIF-11-038: The Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) procedure, TechBrief.

Lee, S.J., Kwon, O.S. and Lee, J.S. (2019). “Evaluation of plastic deformation and elastic recovery rate of modified asphalt binder using MSCR test”, Conference, Korean Society of Road Engineers, pp. 5

Singh, D. and Sawant, D. (2016). “Understanding effects of RAP on rheological performance and chemical composition of SBS modified binder using series of laboratory tests”, International Journal of Pavement Research and Technology, 9(3), pp. 178-189.