

일축압축시험 및 회기분석을 통한 아스팔트 유제의 최적 적용량 평가

Evaluation of Optimized Application Rate of Emulsified Asphalt using Uniaxial Compression Test and Regression Analysis

김도완 Dowan Kim
문성호 Sungho Mun

정회원 · (주)건화 도로공항부 대리 (E-mail : kimdw@kunhwaeng.co.kr)
정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Emulsified asphalt is critical for road construction. The objective of applying asphalt emulsion as an adhesive is to prevent the phenomenon of debonding between the upper and lower layers. The quantity and variety of bituminous material can be varied according to the type of pavement and site conditions. The objective of this study is to reveal the optimum application rates of the emulsified asphalt materials by types of tack-coats using Interface Shear Strength(ISS).

METHODS : In the research, emulsified asphalt was paved on the surface of the divided mixture. The specimens of paving asphalt emulsion were utilized to evaluate the bond strength of tack-coat materials. In the evaluation process, NCHRP Report 712 was utilized to investigate the Interface Shear Strength, which reflects the bond capacity of asphalt emulsion. Then, the optimum residual application rates by tack-coat types were determined using regression analysis.

RESULTS : As a consequence of squared R values investigated from 0.7 to 1 as part of the regression analysis, the tendency of predicted ISS values was compared with the results. The optimum residual application rates of AP-3, RS(C)-4, QRS-4, and BD-Coat were determined to be 0.78 ℓ/m², 0.51 ℓ/m², 0.53 ℓ/m², and 0.73 ℓ/m², respectively, utilizing 4th regression analysis.

CONCLUSIONS : Based on the result of this study, it was not feasible to conclude whether higher residual application of tack-coat material leads to improved bond capacity. Rather, the shearing strength varies depending on the type of pavement.

Keywords

Interface Shear Strength, Tack-coat, emulsified asphalt, Residual Application Rate, Uniaxial Compression Test

Corresponding Author : Sungho Mun, Associate Professor
The Road Pavement Research Division, No.43, Seoul National
University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu,
Seoul, 01811, Korea
Tel : +82.2.970.9014
E-mail : smun@seoultech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 13, 2017 Revised Mar. 29, 2017 Accepted Mar. 29, 2017

1. 서론

역청재는 포장면 사이에서 두 층의 접착역할을 하여 두 층간의 분리역할을 방지하기 위해 도로 건설공사 시 필수적으로 사용되는 재료이다. 이 중 프라임코트는 보조기층이나 입도조정층과 같은 분리성 재료로 구성된

층과 아스팔트 표층, 중간층, 기층 및 콘크리트 층과 같은 포장층 사이의 방수성을 높여 하부층의 재료분리현상을 방지함과 동시에 상부층과의 부착성을 증진시키기 위해 사용된다. 이 뿐만 아니라, 택코트는 도로 건설공사 시 아스팔트 또는 콘크리트 포장의 층간 접착성을 높

여 거동을 일체화시키는 역할을 한다.

역청제의 포설은 크게 포장층의 종류와 특성에 따라 다르게 적용되지만, 국내에서 일반적으로 적용되는 프라이밍 코트와 택코트는 대부분 RS(C)-3와 RS(C)-4이다. 역청재료의 종류 역시 포장의 형식과 다양한 환경조건에 따라 달라지지만, 포설량은 일반적으로 국토교통부에서 제시한 양인 $1\sim 2\text{l/m}^2$ (RS(C)-3) 및 $0.3\sim 0.6\text{l/m}^2$ (RS(C)-4)를 적용한다. 이러한 아스팔트 유제의 적용량은 대부분 감독관 및 현장 관리자의 결정에 준하게 되며, 각기 다른 형식의 포장공사 시방에서는 정해진 양 내에서 역청제를 적용하도록 명시되어 있다. 특히, 저소음배수성 포장과 같이 특수한 포장에서는 고무계열의 첨가제를 사용한 개질 유화 아스팔트를 사용하는 경우가 있으며, 시방서 내에서는 택코트의 살포량을 일반 RS(C)-4의 적용량과 다른 양을 포장의 특성에 따라 적용해야 한다.

이와 관련하여 본 연구에서는 다양한 유화 아스팔트의 부착성을 평가하기 위해 경사전단시험을 수행했다. 이는 택코트의 부착능력을 파악하여 각 유화 아스팔트 종류별 최적의 택코팅 포설량을 파악하기 위함이다.

2. 아스팔트 유제의 설계 및 현장 포설

아스팔트 포장 공사에서 아스팔트 유제를 포설한 후 휘발성분을 건조시키기 위해 역청제의 포설량에 따라 각기 다른 양생시간을 적용해야 하며, 그 살포량 역시 공극률에 따라 달라질 수밖에 없다. 그러나, 아스팔트 포장 공사에서 아스팔트 유제의 포설량이 많을수록 두 층간의 접착능이 개선될 것으로 판단하여 최대 포설량을 적용하는 경우나 현장 조건에 입각한 것이 아닌 설계 산출량에 따라 역청제를 포설하는 경우가 발생한다. 이 뿐만 아니라, 역청제 포설 당시 온도는 휘발성분의 건조시간과 연관되며, 유제의 점성과도 관련되기 때문에 포설 및 양생 온도는 택코팅 성능에 영향을 줄 수 있다. 현장 포설과는 다르게 설계 시 적용되는 아스팔트 유제는 포장공사의 시방서에서 제시하는 역청제를 선택하여 적용한다. 그러나, 대부분의 시방서에서 역청재료의 종류는 정확하게 명시되지만, 일반적으로 포설량은 일정범위 구간에서 감독관이나 현장 관리자의 권한에 따라 적용토록 되어 있다. 따라서, 포설 시 현장의 조건을 잘 파악하여 역청제를 적용하는 것이 아니라, 설계자의 판단 하에 산출근거를 작성하거나 일반적인 품셈으로 산출된 양을 적용한다. 결국, 아스팔트 유제의 종류 및 포설량은 두 층의 포장 특성 및 환경조건에 따라 가

변적이라 할 수 있다. 아래 Fig. 1은 아스팔트 포장의 공극률과 유제의 적용 시 단면을 예시로 나타낸 것이다. 이는 공극률이 큰 경우 혹은 이물질로 인해 두 층간의 접착이 제대로 이루어지지 않는 경우가 현장에서 발생할 수 있다는 것을 나타낸 것이다.

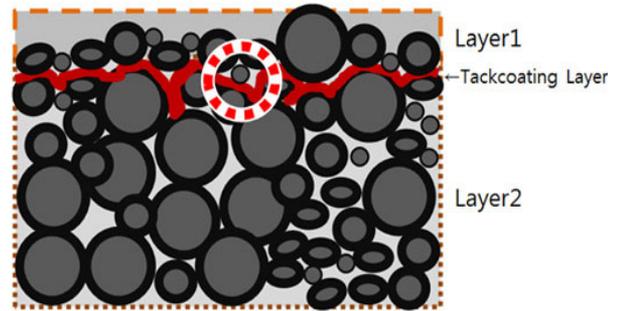


Fig. 1 Section Example of Application of Tack-Coat

이와 관련하여 본 연구에서는 국토교통부에서 발간한 국도건설공사 전문시방서(2015)를 기초로 제안된 RS(C)-4를 기준으로하기 위해, 밀입도 가열 아스팔트 혼합물을 제작했다. 또한 포설량 역시, RS(C)-4를 기준으로 하지만 아스팔트 유제의 종류에 따라 최적의 사용량이 다를 수 있기 때문에, 이에 대한 상한 값을 달리 하여 택코팅 성능을 평가했다.

3. 접착성능 시험

본 연구에서는 아스팔트 유제의 부착성능을 평가하기 위해 4가지(RS(C)-4, AP-3, BD-Coat, QRS-4) 종류의 역청제를 사용했다. 또한, NCHRP Report 712의 연구 결과를 바탕으로 최적의 역청제 포설량을 평가하기 위해 회귀방정식을 활용했다. 시험에 사용된 아스팔트 혼합물은 높이 15cm로 제작되어, 공시체의 중간부분을 중심으로 상하방향 45°로 절단시킨 표면에 유화아스팔트를 적용토록 했다.

3.1 유화 아스팔트 적용 공시체 제작

아스팔트 유제는 $0.3\text{l/m}^2\sim 0.8\text{l/m}^2$ 의 각 0.1l/m^2 단위로 적용하여 압축시험을 통해 최대 전단력을 파악하는 것을 목적으로 각 Case마다 3구씩을 제작해, 총 72개의 공시체를 제작했다. 공시체의 제작은 선화다짐을 이용하여 제작되었으며, 높이 15cm, 직경 10cm 제원을 갖는다. 본 연구에서는 일반 가열 아스팔트 포장을 기준으로 택코팅의 성능을 평가하는 것에 그 목적을 두고 있

기 때문에, 공시체의 배합설계 및 혼합물 제작은 일반 가열 아스팔트 혼합물 제작과 동등한 조건으로 제작되었다. 아래 Table 1은 본 연구에서 적용한 아스팔트 유제의 종류 및 포설량을 나타낸다.

Table 1. Tack Coat Application Rate(ℓ/m^3)

Case	Emulsified asphalt type	Application rate(case)					
		-1	-2	-3	-4	-5	-6
1	AP-3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
2	RS(C)-4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
3	QRS-4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
4	BD-Coat	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8

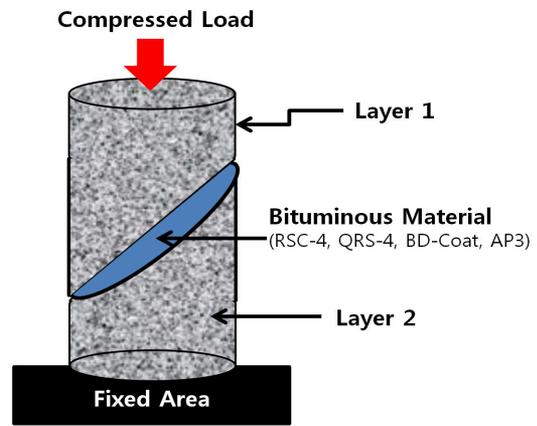
제작된 공시체에 아스팔트 유제를 포설하기 위해 경사면을 갖는 A단면으로 혼합물을 절단했으며, 이물질의 영향을 최소화하기 위해 절단면을 청결하게 유지했다. 그 후 절단된 하부층 단면에 아스팔트 유제를 각각의 조건에 따라 포설했다. 이후, 본 연구에서는 포설된 역청제의 휘발성을 제거하고, 역청제의 24시간 양생 시 역청제가 고체화되는 것을 방지하기 위해 6시간 양생시킨 뒤 절단된 상부 층을 접착시켰다. 아래 Fig. 2는 본 연구에서 제작한 공시체이다.



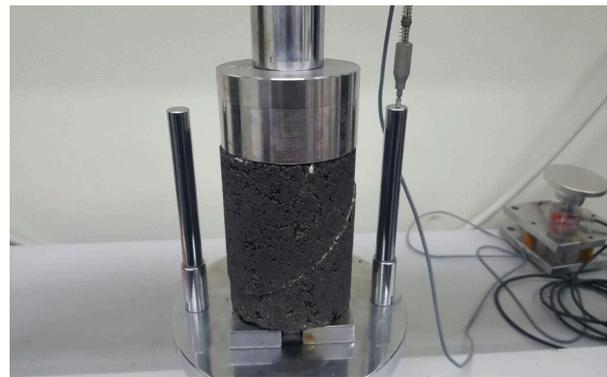
Fig. 2 Specimens for Shear Testing

3.2. 일축압축시험

본 연구에서는 공시체의 사(斜)로 절단된 면에 유화 아스팔트를 포설하여 두 층간의 접착능력을 평가하기 위해 일축압축시험을 이용한 전단시험을 실시했다. 이 시험은 두 층간의 슬라이딩효과로 인한 접착능력을 평가하는 시험으로 혼합물에 일축압축력을 가해 두 면이 분리되는 시점에 최대 전단력을 구함으로써, 역청제의 부착능력을 파악할 수 있다. Fig. 3은 본 연구에서 수행한 일축압축에 의한 부착능력 평가 시험을 나타낸다.



(a) Schematic of Shear Test



(b) Shear Testing Set-Up

Fig. 3 Shear Test using Compression Test

NCHRP Report 712에서는 도로의 횡단을 구현시킨 아스팔트 혼합물을 제작한 뒤, 두 층 사이에 역청제를 포설했다. 그 후, 수직으로 두 층 사이를 절단시켜 이 과정에서 발생하는 최대 하중 값을 이용해 접착면 전단강도 (ISS, Interface Shear Strength)를 평가했다. 이와 관련하여 본 연구에서는 NCHRP Report 712에서 제시한 접착면 전단강도를 평가하는 함수를 활용하여 ISS를 평가했다. 아래 Eq. (1)은 ISS를 평가하기 위한 함수이다.

$$ISS = P_{ult} / A \quad (1)$$

여기서, ISS는 역청제의 접착면 전단 강도를 나타내며, P_{ult} 는 전단파괴 시 공시체에 작용하는 최대 극한 하중 값을 나타내고, A는 역청제가 포설된 면의 면적을 나타낸다.

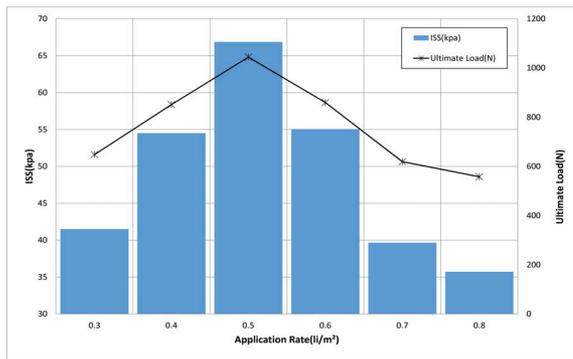
기존 연구에서는 너비 10cm의 혼합물을 횡단방향으로 절단하여 전단 시험에 대한 면적이 $0.007854m^2$ 이지만, 본 연구의 기본 절단면적은 사(斜)로 절단되어 $0.0156m^2$ 으로 다르다는 차이를 갖는다.

4. 전단시험 결과 및 최적 포설량 결정

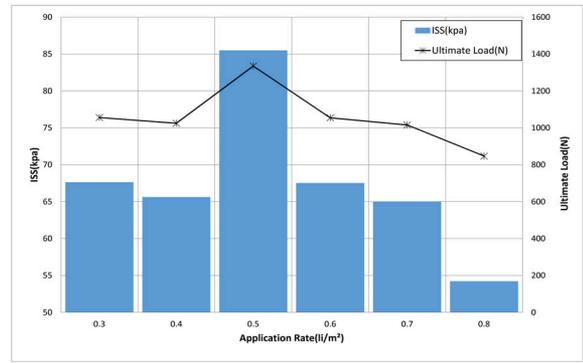
일축압축시험기로 하중을 주어 아스팔트 혼합물 두 층 사이의 아스팔트 유제가 접착력을 잃고 파괴되는 시점에서 최대하중을 파악한 뒤, Eq. (1)을 이용해 접착면 부착 강도를 구했다. 이 접착력 부착 강도는 두 아스팔트 층 사이의 슬라이딩 효과에 의한 접착강도를 나타내기 때문에 이는 순수한 유화 아스팔트의 택코팅 성능이라 할 수 있다. 본 연구에서 도출한 최대 극한 하중 및 접착면 부착 강도는 아래 Table 2 및 Fig. 4와 같다.

Table 2. Shear Test Results for ISS

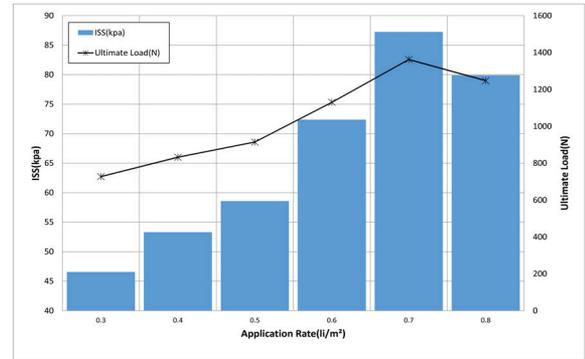
Type	Residual application rate(l/m^2)	Ultimate load (N)	ISS (kpa)
AP-3	0.3	648	41.5
	0.4	851	54.5
	0.5	1044	66.8
	0.6	859.7	55.1
	0.7	619	39.6
	0.8	557.7	35.7
RS(C)-4	0.3	1056	67.6
	0.4	1024.7	65.6
	0.5	1335	85.5
	0.6	1054.3	67.5
	0.7	1015.3	65.0
	0.8	846.7	54.2
QRS-4	0.3	727	46.6
	0.4	832.3	53.3
	0.5	914.7	58.6
	0.6	1130	72.4
	0.7	1362.3	87.2
	0.8	1247.7	79.9
BD-Coat	0.3	751	48.1
	0.4	831	53.2
	0.5	854.3	54.7
	0.6	987	63.2
	0.7	1157	74.1
	0.8	1243.7	79.7



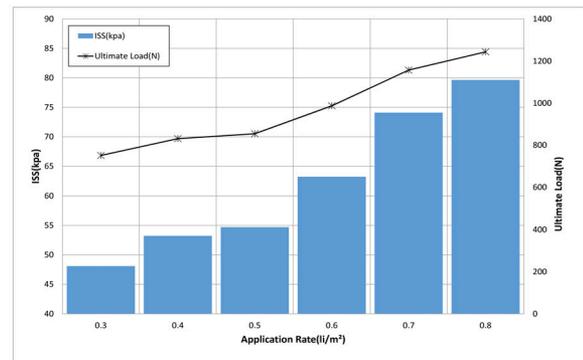
(a) AP-3



(b) RS(C)-4



(c) QRS-4



(d) BD-Coat

Fig 4. Ultimate Load and ISS Results

본 연구에서 도출한 유화 아스팔트 적용률에 대한 접착면 부착 강도는 $0.1l/m^2$ 단위의 적용률로 시험되어 명확한 최적 포설량을 파악하기 어렵다. 또한, 역청제 포설량에 따른 접착면 부착 강도는 최적 적용률에서 극한 강도를 갖으며, 그 이상의 적용률에서는 오히려 강도가 하락할 가능성을 갖는다. 이와 관련하여 본 장에서는 회귀분석을 이용해 아스팔트 유제의 최적 적용률을 찾는 것에 그 목적을 두고 있다.

본 연구에서 사용한 회귀방정식은 Eq. (2)와 같이, 역청제 적용률에 따른 부착강도의 가변성 및 추세를 고려해 4차항 방정식을 사용했다. 결과의 활용은 한 혼합물 경우에 대한 평균데이터를 사용했다.

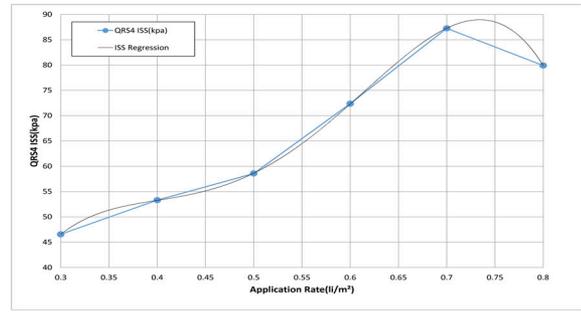
$$ISS_i = a \times APR^4 + b \times APR^3 + c \times APR^2 + d \times APR + e \quad (2)$$

여기서, a, b, c, d 및 e는 회귀방정식에서 사용되는 미지수를 의미하며, APR 및 i는 유화 아스팔트의 적용률(Application Rate)과 종류를 의미한다.

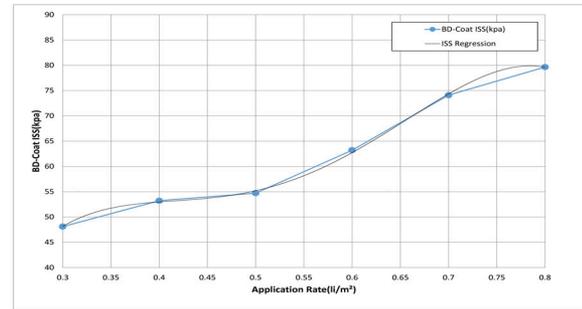
Table 3 및 Fig. 5는 다항 회귀방정식을 이용한 회귀분석 결과이다.

Table. 3 Regression Analysis Result

Type	Coefficients	Value	R ²	RMSE (kpa)
AP-3	a	8045.4	0.9862	1.047
	b	-16567		
	c	11838		
	d	-3423.1		
	e	384.92		
RS(C)-4	a	7489.5	0.7185	4.052
	b	-16393		
	c	12709		
	d	-4116		
	e	539.86		
QRS-4	a	-6938	0.9999	0.181
	b	14097		
	c	-10253		
	d	3242.8		
	e	-327.89		
BD-Coat	a	-3824.8	0.9993	0.258
	b	8207.4		
	c	-6269.8		
	d	2069.8		
	e	-199.13		



(c) QRS-4



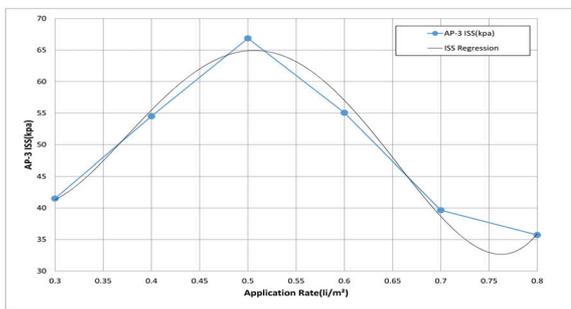
(d) BD-Coat

Fig. 5 Predicted ISS using Regression Analysis

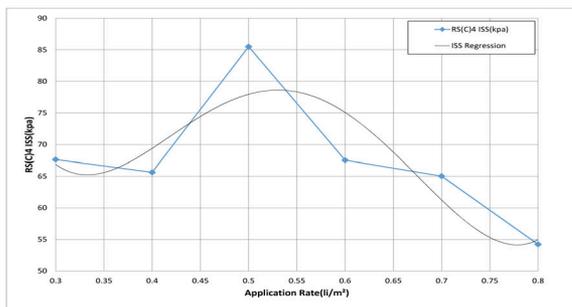
5. 결론

본 연구에서는 두 층간의 접착력을 증진시키기 위한 목적으로 도로건설공사에서 사용되는 아스팔트 유제의 최적 적용률을 도출하기 위해 전단시험을 실시했으며, 전단 시험 결과를 이용해 각 아스팔트 유제의 적용량에 따른 접착면 부착 강도를 파악했다. 그 과정에서 ISS에 대한 4차 회귀 분석을 통해 최적 역청제 포설량을 도출했다. 본 연구에서 파악한 결론은 다음과 같다.

1. 회귀 분석결과 추세에 대한 R값이 최소 0.7에서 최대 1로, 본 연구에서 시험한 값과 매우 일치하는 경향을 보였다.
2. 회귀방정식으로 최적 역청제 포설량을 구한 결과, AP-3, RS(C)-4, QRS-4 및 BD-Coat는 각각 0.78, 0.51, 0.53, 0.73 l/m²인 것으로 조사되었다.
3. 회귀분석에 의하면 QRS-4를 0.7~0.8 l/m² 적용한 구간 사이에서 최대 접착력 부착강도를 나타내고 있으나, 실제 시험 결과 QRS-4를 0.7 l/m² 적용한 경우에서 가장 높은 부착강도를 가지며 그 이상을 적용하는 경우 오히려 하락하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.
4. 본 연구 결과에 기초했을 때, 역청재료의 포설량이



(a) AP-3



(b) RS(C)-4

많을수록 접착면 부착강도가 개선되는 것은 아니며, 이에 따른 전단강도는 포장의 형식에 따라 가변적인 성향을 갖는다. 따라서, 추후 연구에서는 다양한 포장 형식에 따른 역청제의 최적 포설량을 파악하고자 하며, 이와 더불어 경제성 분석을 통한 최적 적용률을 도출하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was conducted under research project (Development of Eco-Friendly Pavements to Minimize Greenhouse Gas Emissions) funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) and the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA). The authors would like to thank the members of research team, MOLIT and KAIA for their guidances and supports throughout the project.

REFERENCES

- Dowan Kim, Sangyum Lee, Sungho Mun, (2016) "A Study of Evaluation for Optimum Content and Bond Strength Properties of Bituminous Materials applied for preventing Separation of Asphalt Pavement Layers", *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 18(6), pp. 137-143.
- Dowan Kim, Sungho Mun. (2015) "A Study for Evaluation of Hot Mixed Asphalt Mixtures with Tack-Coat Regarding High-Frequency Dynamic Resistance Performance and Bonding Property", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp. 35-47.
- Kim, Dong Kyu, Hwang, Hyun Sik, Jabonero Christopher, Ryu, Sung Woo, Cho, Yoon Ho, (2016) "Evaluation of Bond Performance for AC overlay on PCC Pavement", *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 18(5), pp. 1-9.
- Kim, Yeong Min, Im, Jeong Hyuk, Hwang, Sung Do, (2015) "Development and Evaluation of Polymer-Modified Asphalt Emulsions Used for Tack Coats", *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 17(2), pp. 39-46.
- Korea Expressway Corporation. (2012) "Expressway Construction Guide Specification".
- Im, Jeong Hyuk, Kim, Y. Richard, Yang, Sung Lin, (2014) "Bond Strength Evaluation of Asphalt Emulsions used in Asphalt Surface Treatments", *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 16(5), pp. 1-8.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2009) "Asphalt Mixture Production & Construction Guide".
- Mohammad, L.N., A.E. Mostafa, A. Bae, N. Patel, J. Button, J.A. Scherocman, (2012) "Optimization of Tack Coat for HMA Placement" NCHRP Report 712, Transportation Research Board.