

# ABS Test를 이용한 아스팔트 혼합물의 수분에 의한 점착특성 평가

## Evaluation of Bond Strength Characteristic of Moisture Induced Asphalt Mixtures using ABS Test

손정탄	Son, Jeong Tan	한국건설기술연구원 도로연구소 연구원 (E-mail : jts@kict.re.kr)
양성린	Yang, Sung Lin	정회원 · 한국건설기술연구원 미래융합연구소 연구원 · 공학석사 (E-mail : siyang@kict.re.kr)
신오철	Shin, O-Cheol	정회원 · 한진중공업 토목사업본부 본부장 · 공학박사 (E-mail : ocshin@hanjinsc.com)
이석근	Rhee, Suk Keun	정회원 · 경희대학교 사회기반시스템공학부 교수 · 공학박사 (E-mail : skrhee@khu.ac.kr)
임정혁	Im, Jeong Hyuk	정회원 · 경기도 건설국 도로관리과 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : jhim@gg.go.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** The objectives of this study are to evaluate moisture sensitivity of various asphalt mixtures and to suggest an alternate method for the dynamic immersion test, which is used to determine the application of anti-stripping agent, by analyzing bond strength.

**METHODS :** The bond strength of various asphalt mixtures such as hot mix asphalt, warm mix asphalt, and polymer-modified asphalt was evaluated by the ABS test. In order to characterize moisture sensitivity at different temperatures of the mixtures, the ABS test was conducted at -10°C, 5°C, 20°C, 40°C, and 54°C under both dry and wet conditions. The concept of the bond strength ratio was applied for objective moisture sensitivity analysis. Moreover, the bond strength characteristic was compared to the dynamic immersion test to suggest an alternate method to determine the application of anti-stripping agent.

**RESULTS AND CONCLUSIONS :** Overall, the polymer-modified asphalt demonstrates the highest bond strength characteristic regardless of moisture condition and temperature. The bond strength characteristic displays a highly reliable linear relationship from 5°C to 40°C, and the relationship could be used to predict bond strength at any intermediate temperature. Based on the analysis of bond strength and retained asphalt ratio, the bond strength value of 1254 kPa could be applied as a criterion for anti-stripping agent.

### Keywords

*Bond strength, moisture sensitivity, ABS test, dynamic immersion test*

Corresponding Author : Im, Jeong Hyuk, Ph.D.  
Road Management Division, Gyeonggi Provincial Government 1,  
Cheongsu-ro, Uijeongbu-si, Gyeonggi-do, 11780, Korea  
Tel : 82.31.8030.3954 Fax : 82.31.8030.3939  
E-mail : jhim@gg.go.kr

International Journal of Highway Engineering  
<http://www.ksre.or.kr/>  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Mar. 03, 2017 Revised Mar. 09, 2017 Accepted Mar. 21, 2017

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경

지속적인 산업화에 따른 경제 발전과 삶의 질 향상은 국내 아스팔트 포장의 공용 환경에 큰 변화를 야기하고 있다. 1990년대 이후 산업 물동량의 증가는 차량하중의

중량화 및 대형화 등의 직접적인 영향을 야기하였고, 기후변화로 인해 여름철 이상 고온과 집중호우, 겨울철 폭설 등의 간접적인 영향에 의해 다양한 형태의 포장 파손이 가속화하고 있다. 또한 개인의 삶의 질 향상은 평탄성, 저소음, 미끄럼 저항 등의 도로포장 기능성 측면의

향상을 요구하고 있다. 도로포장의 파손 및 기능성 저감은 포장의 공용수명 단축과 교통사고 유발로 인한 안전성 문제를 야기한다. 이를 예방하기 위해 수행되는 도로포장의 유지보수 수요는 점차 증가하는 추세이다.

우리나라의 도로·교통분야 기술 수준은 해외 선진국 대비 도로포장기술 66%, 도로설계기술 68%, 도로운영관리 기술 73% 수준으로 미흡한 실정이다(EveryNews 2014). 게다가 세계적인 기상이변으로 인한 강우량 및 강설량의 증가와 국지성 호우 등의 강우 패턴 변화는 최근 몇 년 사이에 수분에 의한 아스팔트 포장 파손을 급격하게 증가시켜 이로 인해 야기되는 안전과 비용 문제는 심각한 사회적 관심이 되고 있다.

수분은 강우 및 강설, 지표수위 상승 등으로 인해 도로포장에 침투하고, 침투한 수분은 교통하중과 환경하중에 의해 포장 파손을 유발하게 된다. 아스팔트 포장의 수분손상은 발생한 수분에 의해 아스팔트 혼합물의 강도와 내구성이 감소하는 것으로 정의될 수 있으며, 아스팔트 혼합물을 구성하는 골재와 아스팔트 바인더 및 매스틱(Mastic) 사이의 점착력 감소에 의한 파손(Adhesive Failure)과 아스팔트 바인더 및 매스틱 자체의 점착력 감소에 의한 파손(Cohesive Failure)에 의한 파손으로 구분할 수 있다(Little and Jones IV, 2003). 즉, 아스팔트 혼합물의 점착력 특성 평가를 통해 수분에 의한 아스팔트 포장의 거동특성을 파악할 수 있다.

실제 아스팔트 포장의 수분손상은 박리(Stripping) 형태로 나타나며, 박리는 아스팔트 혼합물 내에서 골재 표면과 아스팔트 바인더의 파손 현상으로 정의된다(박은용 외, 2004; Asphalt Institute, 1981; Jo et al., 2013). 기존의 연구에서는 박리 발생 원인을 1) Detachment (분리), 2) Displacement (Film Rupture, 변형, 피막 파열) 3) Spontaneous Emulsification (자연 유화), 4) Pore Pressure (간극수압), 5) Hydraulic Scour (수압 작용), 6) pH Instability (pH 불안정) 등의 6가지로 구분하고 있다(Taylor and Khosla, 1983; Kiggundu and Roberts, 1988; Terrel and Al-Swailmi, 1994). 그러나 정확한 박리 발생 원인은 아스팔트 혼합물의 종류, 아스팔트 바인더 및 골재 특성, 교통 및 환경조건, 시공 특성 등의 가능한 모든 변수를 종합적으로 고려하여 판단하여야 한다(Highway Research Board, 1967).

국내의 아스팔트 혼합물 수분민감성 평가는 인장강도비가 주로 사용되는 반면에, 국외에서는 골재와 아스팔트 바인더 사이의 점착특성 비교를 통한 수분민감성

평가 연구들이 활발히 수행되고 있다. 특히 최근에는 ABS Test(Asphalt Bond Strength)와 표면에너지(Surface Energy) 평가 등의 방법이 사용되고 있다. 점착력에 의한 수분손상 연구에서는 파괴 모드에 대한 이해에서 출발하며, 점착력 파괴 모드는 다음의 두 가지로 나눌 수 있다. Adhesion 파괴는 아스팔트 바인더와 골재 사이의 파괴로 정의되며, Cohesion 파괴는 아스팔트 바인더 내에서의 파괴를 의미한다. Fig. 1은 두 가지 파괴모드를 보여준다. 상기의 두 가지 파괴 모드에 대한 연구는 미국 Texas A&M 대학에서 수행하는 표면에너지 접근법과 미국 UW-Madison과 NCSU 대학에서 수행하는 DSR/ABS 시험법을 적용한 연구가 수행되고 있다(Asphalt Research Consortium, 2008).

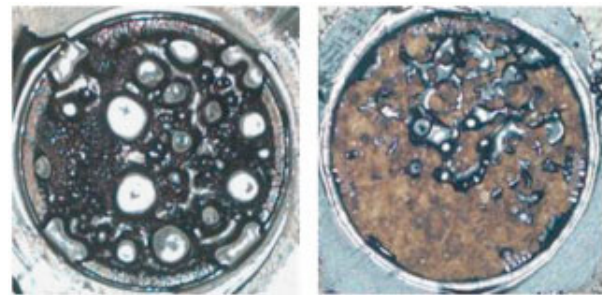


Fig. 1 Failure Modes (Cohesion/Adhesion) (Zhang et al., 2015)

국내에서는 전반적인 아스팔트 포장의 품질관리를 국토교통부에서 발행한 「아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침 (2015)」에 의하여 수행하며, 특히 박리 등의 수분손상에 대한 품질관리는 아스팔트 혼합물에 대해 인장강도비 0.8 이상의 기준을 적용하고, 골재의 품질기준으로 동적수침시험(Dynamic Immersion Test, DIT)의 피복잔유율이 50% 이하일 경우 박리방지제의 사용을 규정하고 있다. 동적수침시험은 배합설계 전 일정 크기의 골재와 아스팔트 바인더를 사용하여 재료 자체의 수분저항성을 평가할 수 있는 간편한 방법이지만, 피복잔유율은 육안평가로 수행되기 때문에 검사자의 숙련도와 시료의 상태에 따라서 결과의 객관성 및 신뢰도가 저감될 수 있다.

## 1.2. 연구목적

본 연구에서는 수분이 야기하는 아스팔트 혼합물의 점착력 특성 분석을 통해 재료별 수분민감성을 평가하고자 한다. 또한 점착력 특성과 피복잔유율의 비교를 통해 국내의 박리방지제 사용에 대한 품질기준 시험법인 동적수침시험의 대체 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 연구에서는 국내 아스팔트 혼합물에 일반적으로 사용되는 재료를 고려하여, 화강암 골재 1종과 일반 아스팔트(PG 64-22, 이하 HMA)와 중온 아스팔트(Warm Asphalt, 이하 WMA), 고점도 개질 첨가제를 이용한 개질 아스팔트(Polymer-Modified Asphalt, 이하 PMA) 등의 아스팔트 바인더 3종을 사용하였다. 실험결과와 신뢰성 확보를 위해 본 연구에 사용된 골재는 모두 동일한 골재원에서 수급하여 사용하였다. ABS Test용 골재는 골재원에서 수급한 덩어리 암석을 실험에 적합하게 절단 및 표면처리하여 사용하였고, 동적수침 시험용 골재는 13mm 혼합물 합성입도 골재 중 11.2mm~8mm 크기의 골재를 선별하여 사용하였다. Table 1과 Table 2는 연구에 사용된 골재와 아스팔트 바인더의 품질시험 결과를 나타낸다.

Table 1. Aggregate Properties

Test	Criteria	Result
Density	≥ 2.5	2.72
Absorption(%)	≤ 3.0	0.52
Abrasion(%)	≤ 35	13.8
Flat or elongated particles(%)	≤ 20	9.4

Table 2. Asphalt Binder Properties

Test	HMA	WMA	PMA
Penetration, 0.1mm	71	69	44
Flash point, °C	338	331	344
Softening point, °C	44	45	62
RV, cP	465	399	1,248
G*/sinδ (kPa)	1.218 (64°C)	1.147 (64°C)	1.516 (76°C)
RTFO, DSR, G*/sinδ (kPa)	2.411 (64°C)	2.361 (64°C)	2.764 (76°C)
PAV, Stiffness, MPa	186.47 (-12°C)	174.16 (-12°C)	148.29 (-12°C)
PAV, M-value	0.32 (-12°C)	0.33 (-12°C)	0.32 (-12°C)
PG	64-22	64-22	76-22

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. ABS Test

ABS Test(혹은, BBS Test)는 AASHTO TP-91: *Method of Test for Determining Asphalt Binder*

*Bond Strength by Means of the Asphalt Bond Strength(ABS) Test*에 규정되어 있으며, 페인트 업계에서 페인트의 점도 측정을 위해 사용하던 PATTI (Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument) 장비를 이용하여 아스팔트 바인더(혹은 유화아스팔트)와 골재 사이의 점착력을 측정하는 시험 방법이다. 스테인레스 스틸 재질의 Pull-Out Stub을 이용하여 골재와 아스팔트 바인더를 접착시키고 일정 양생시간 후 고정된 Pull-Out Stub을 100psi/s의 하중으로 인장하여 최대 점착력을 측정한다. Fig. 2는 ABS Test 구성 장비를 보여준다.

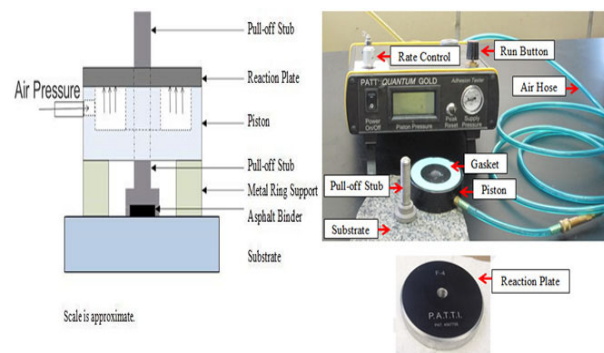


Fig. 2 ABS Test Set-up (Im et al., 2014)

각 시료별 점착력 시험 결과의 신뢰성을 위해서는 실험 조건이 동일하여야 하며, 시료 면적 및 실험 온도는 각각 규격화된 Pull-Out Stub과 온도 챔버의 사용을 통해 동일 조건을 확보할 수 있다. 또한 시료 접촉면 골재의 거칠기는 점착력에 상당한 영향을 미치며, 본 연구에서는 화강암 원석을 지름 100mm, 두께 15mm의 원형 형태로 절단한 후 280호 규격의 다이아몬드 플레이트를 이용하여 표면을 연마하였다.

재료별 아스팔트 혼합물의 혼합조건 모사를 위해 Pull-Out Stub과 골재 시료는 각 아스팔트 혼합물의 혼합온도(HA: 135±3°C, WA: 115±3°C, MA: 155±3



Fig. 3 ABS Test Specimens in Environmental Chamber

℃)까지 가열한 후 실험 시편을 제작하였다. Fig. 3은 항온항습 챔버안에 거치된 시험 시편을 보여준다.

본 연구에서는 아스팔트 바인더 종류별 점착특성 평가를 위해 다양한 온도(-10℃, 5℃, 20℃, 40℃, 54℃)에서 시험을 수행하였고, 수분손상 평가를 위해 수분처리 전·후의 점착력을 비교하였다.

AASHTO TP-91에서는 40℃를 수침 온도로 규정하고 있으며, 수침 시간은 시험 재료 및 조건에 따라 사전 결정 후 적용하도록 규정하고 있다. 따라서 국내의 대표적인 아스팔트 바인더 3종(AP-3, AP-5, PMA)과 화강암 골재를 사용하여 수침 시간 선정을 위한 사전시험을 수행하였다. Fig. 4는 사전시험 결과를 보여준다.

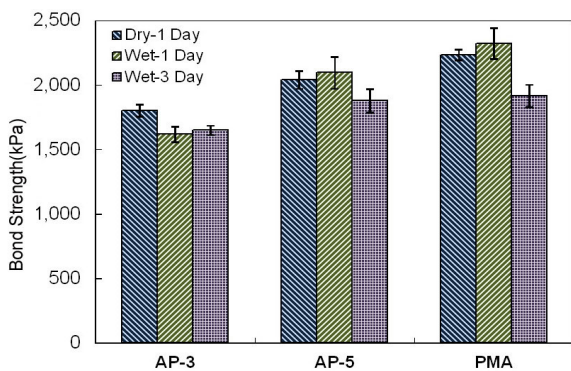


Fig. 4 ABS Depending on Moisture Conditioning Period

Fig. 4에서 1일 수침 후 점착력은 AP-3는 감소하였으나 AP-5와 PMA는 오히려 증가하였다. 이는 40℃의 수침조건에서 아스팔트 바인더가 골재의 미세 공극을 채워 궁극적으로 점착 면적 증가로 인한 점착력의 상승이 수분처리에 의한 점착력의 감소를 감쇄하는 것으로 판단된다. 수침 3일의 조건에서는 모든 재료의 점착력이 건조 조건보다 감소하여 모든 재료의 수분 손상을 모사할 수 있다고 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 40℃, 3일의 수침 조건을 수분처리 조건으로 결정하여 적용하였다.

### 2.2.2. 동적수침시험(Dynamic Immersion Test)

동적수침시험은 유럽의 EN 12697-11: *Test Methods for Hot Mix Asphalt. Determination of the Affinity between Aggregate and Bitumen* 기준을 적용한 것으로 아스팔트 혼합물의 비다짐 시료 (Loose Mix)를 사용하여 물속에서 골재의 아스팔트 피막이 벗겨지는 비율을 측정하는 시험이다. 8mm~11.2mm 골재를 사용한 비다짐 시료를 규정된 유리병에

증류수와 함께 투입한 후 25℃ 조건에서 24시간 60rpm으로 회전시켜 막대로 인하여 박리되는 아스팔트 바인더 양으로 혼합물의 수분민감성을 평가하는 방법으로, 50% 피복잔유율을 기준으로 박리방지제의 사용을 결정한다(아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침, 2015). Fig. 5는 동적수침시험 전경을 보여준다.



Fig. 5 DIT Test Set-up

피복잔유율 평가는 실험 후 건조된 시료를 사용하며, 흰색 배경의 평가용 용기에 옮긴 후 피복율 평가 규정에 따라 평가자 2명 이상이 3개의 시료에 대해 평가한 후 결과를 평균하여 계산한다. Fig. 6은 육안평가 기준을 보여준다.

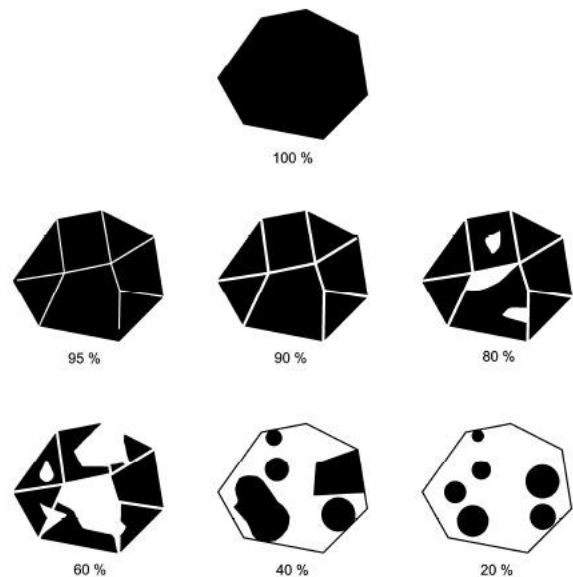


Fig. 6 Visual Inspection Standard (Guideline for Production and Construction of Asphalt Mixture, 2015)

## 3. 실험결과 및 분석

수분손상에 의한 아스팔트 혼합물의 점착특성 변화를 평가하기 위하여, 최근 국내·외에서 아스팔트 바인더의 골재별 점착특성 평가에 많이 사용되는 ABS Test와 국내 박리방지제 사용의 기준시험인 동적수침시험을 수행하여 비교하였다.

### 3.1. 아스팔트 종류에 따른 점착특성 변화

ABS Test는 AASHTO TP 91에 규정되어 있으며, 건조 및 수분처리 조건과 시험방법 등은 규정되어 있으나 수분민감성 분석은 규정되어 있지 않다. 따라서 객관적인 수분민감성 특성 평가를 위해 아스팔트 혼합물의 수분민감특성을 표현하는 인장강도비(TSR) 개념을 도입하여 점착력비(BSR, Bond Strength Ratio) 개념을 정립하여 적용하였다.

$$BSR = \frac{BBS_{Wet}}{BBS_{Dry}} \times 100 \quad (1)$$

where,

$BBS$  : 점착력비(Bond Strength Ratio)

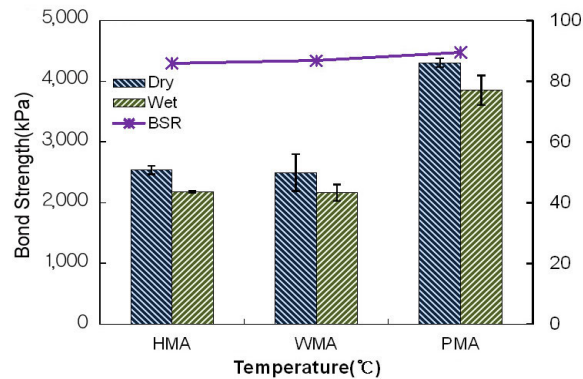
$BBS_{Wet}$  : 수분처리 후 점착력

$BBS_{Dry}$  : 건조상태의 점착력

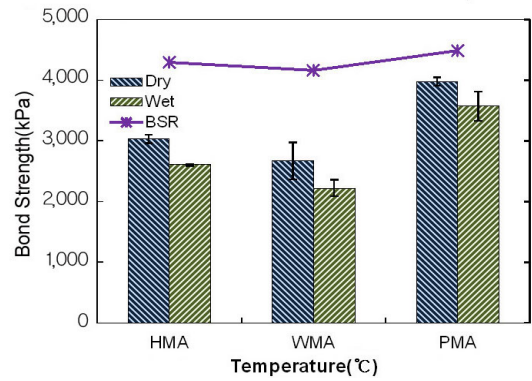
결과의 신뢰성 확보를 위해 ABS Test는 동일 조건에서 최소 3개 이상의 시편을 사용하여 평균값을 적용하였다. Fig. 7은 재료별 건조 및 수분처리 조건의 점착력과 BSR 결과를 보여주며, Table 3은 모든 조건의 점착력과 BSR을 보여준다.

Fig. 7과 Table 3에서 재료별 점착력 경향은 건조조건 점착력이 수분처리보다 우수하였고, 개질 재료(PMA)의 점착력이 가장 우수한 경향을 나타내었다. 비개질 재료의 비교에서 HMA는 WMA보다 우수한 점착력을 나타내었으나 그 차이는 크지 않다.

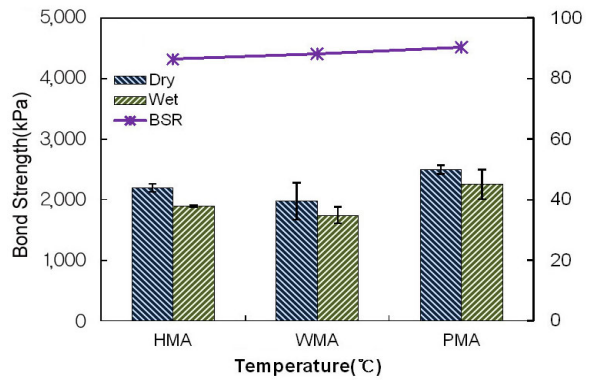
수분민감특성인 BSR 비교에서는 PMA가 가장 우수한 특성을 나타내었고, HMA와 WMA는 유사한 특성을 나타내었다. 흥미로운 결과는 고온에서 WMA의 수분민감특성이 HMA에 비해 나쁘게 나타났으며, 특히 54°C에서는 그 차이가 다소 크게 나타났다.



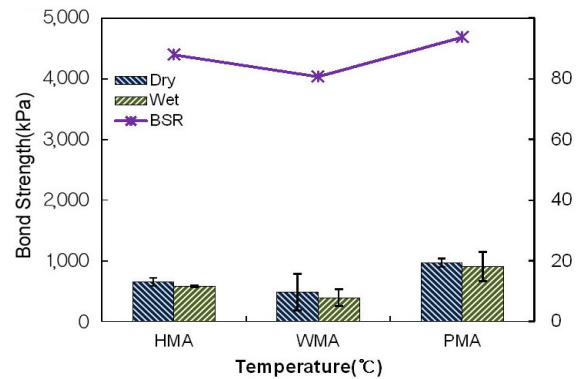
(a) -10°C,



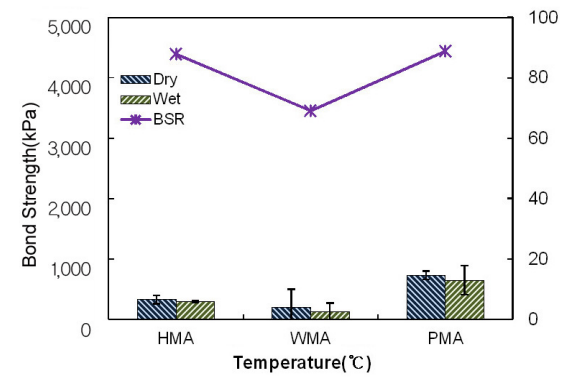
(b) 5°C



(c) 20°C



(d) 40°C

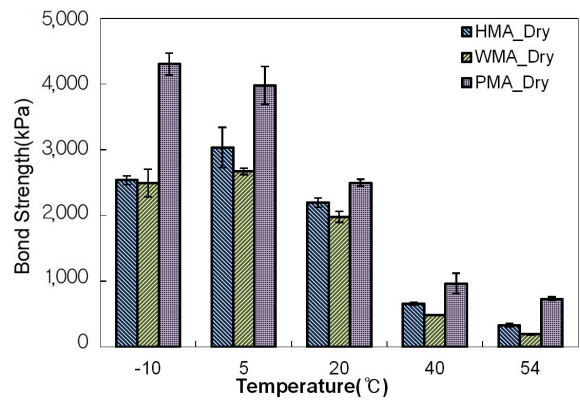


(e) 54°C

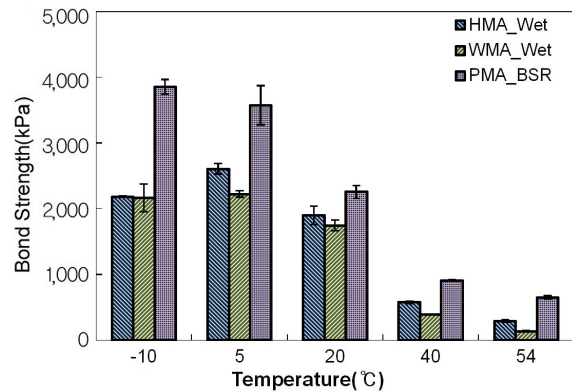
Fig. 7 Bond Strength and BSR

Table 3. Bond Strength Pre- and Post- Moisture Conditioning

Materials	Pre-conditioning, kPa	Post-conditioning, kPa	BSR, %	
HMA	-10°C	2538.5	2179.1	85.8
	5°C	3032.5	2605.8	85.9
	20°C	2197.0	1897.6	86.4
	40°C	655.9	577.2	88.0
	54°C	331.1	290.9	87.9
	Average	-	-	86.8
WMA	-10°C	2494.3	2164.3	86.8
	5°C	2672.4	2224.0	83.2
	20°C	1980.2	1746.3	88.2
	40°C	484.2	391.0	80.7
	54°C	194.3	134.1	69.1
	Average	-	-	81.6
PMA	-10°C	4303.8	3852.8	89.5
	5°C	3978.6	3572.1	89.8
	20°C	2498.7	2256.6	90.3
	40°C	968.0	907.5	93.7
	54°C	731.8	650.3	88.9
	Average	-	-	90.5



(a) dry



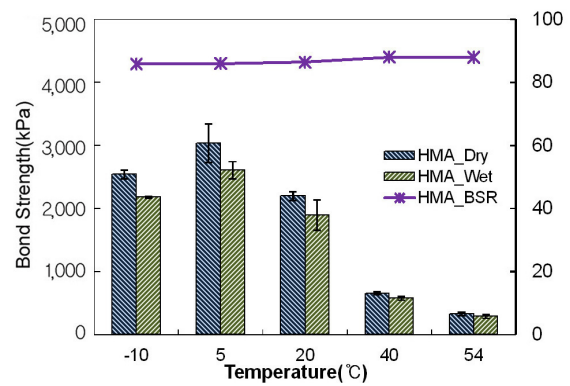
(b) wet

Fig. 8 Bond Strength

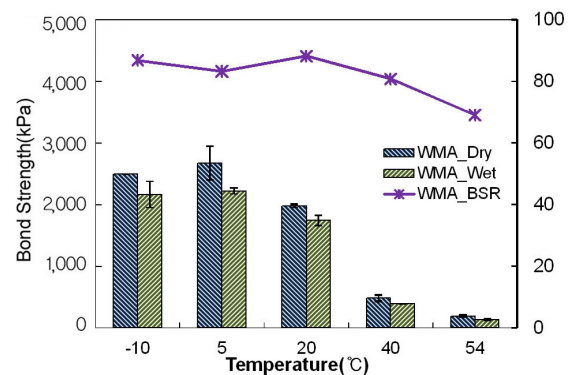
### 3.2. 온도에 따른 점착특성 변화

아스팔트 바인더의 온도에 따른 점성 변화는 점착력의 차이로 나타나며, 따라서 아스팔트 혼합물의 수분민감도 평가는 온도에 따른 점착특성 비교가 필수적이다. 본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 시험 온도(-10°C, 5°C, 20°C, 40°C, 54°C)에서 ABS Test를 수행하여 온도별 점착력 특성을 비교하였다. 실험 결과의 신뢰성을 위해 동일한 조건에서 최소 3개 이상의 시편을 사용하여 각각의 평균값을 결과 값으로 사용하였다. 또한 실험 온도 안정화를 위해 동일한 항온항습 챔버를 사용하여 1시간의 시편 온도 안정화 과정을 거친 후 실험을 수행하였다. Fig. 8은 온도별 점착력 결과를 수분처리 전·후로 구분하여 보여주며, Fig. 9은 온도별로 각 재료의 점착력 결과를 보여준다.

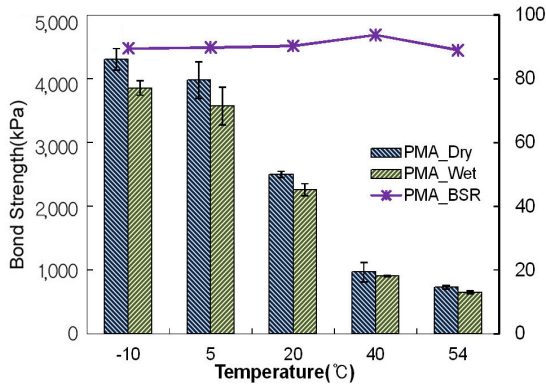
Fig. 8과 Fig. 9에서 HMA는 -10°C를 제외하고 온도가 증가할수록 점착력은 감소하는 경향을 나타내었으며, 20°C와 40°C 사이의 점착력 감소가 가장 큰 것으로 측정되었다. 점착력 감소는 40°C 이후 안정화되는 경향을 보인다. WMA는 HMA와 동일한 경향을 보이며, 세 종류의 시료 중 가장 안 좋은 점착특성을 보이지만, HMA와 거의 유사하다. PMA 또한 유사한 점착특성 경향을 보이며, 모든 온도에서 가장 우수한 점착특성을 나타내었다.



(a) HMA



(b) WMA



(c) PMA

Fig. 9 Bond Strength and BSR

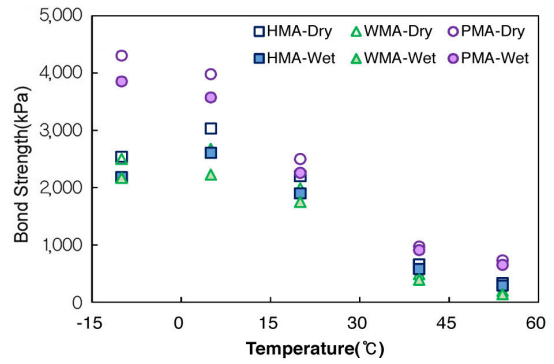
-10°C 조건에서 재료별 특성, 즉 폴리머 개질 효과가 발견되었다. 폴리머 개질 시료(PMA)의 경우 다른 실험 온도에서와 유사한 점착력 파괴 현상이 관찰되었으며, 나머지 비 개질 시료(HMA, WMA)의 경우 저온에서 상당히 경화(Brittle)된 파괴 현상이 관찰되었다. 그러나 이러한 파괴 현상의 차이는 육안으로 판별이 어렵고, 숙련된 실험자의 판단에 의해 결정되어 객관적 결과 도출이 불가능하기 때문에 향후 분석에서는 제외하였다. 또한 54°C 조건은 상당히 고온의 실험 조건으로 ABS Test의 Raw Data 분석을 통한 점착력 측정범위 분석 결과 신뢰성이 떨어진다고 판단되어 향후 결과 분석에서는 제외하였다.

Table 3과 Fig. 9에서 온도 변화에 따른 BSR 변화 경향은 HMA와 PMA는 유사하며, WMA는 고온에서 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. PMA의 수분저항성이 가장 우수(BSR 값이 가장 높음)하였으며, 전체 평균 BSR 값은 PMA, HMA, WMA 순으로 각각 90.5, 86.8, 81.6으로 측정되었다.

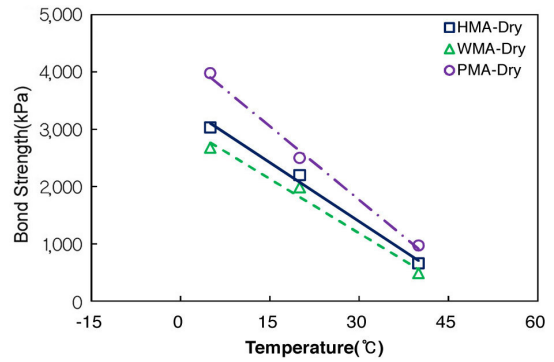
온도 변화에 따른 재료별 점착특성 변화의 평가를 위해 재료와 수분처리 유·무에 대한 점착력 변화를 Table 4와 Fig. 10에 나타내었고, 분석결과의 신뢰성을 위해 저온(-10°C)과 고온(54°C)의 결과를 제외하였다.

Table 4. ABS Relationship

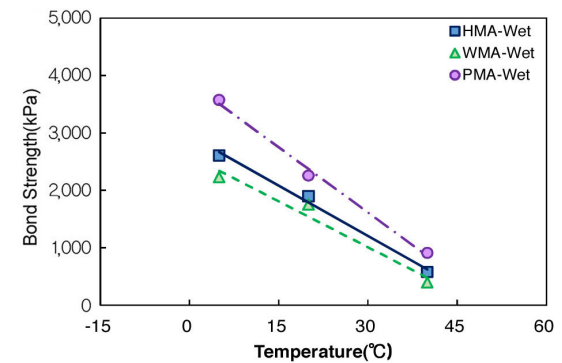
Materials		Linear relationship	Slope	R <sup>2</sup>
HMA	Dry	y=-68.4x+3443.8	-68.4	0.99
	Wet	y=-58.4x+2958.8	-58.4	0.99
WMA	Dry	y=-63.2x+3081.2	-63.2	0.98
	Wet	y=-53.2x+2606.5	-53.2	0.97
PMA	Dry	y=-85.5x+4334.4	-85.5	0.99
	Wet	y=-75.7x+3884.8	-75.7	0.99



(a) Total



(b) Dry



(c) Wet

Fig. 10 ABS Relationship

Table 4의 관계식은 Eq. (2)로 표현되며, 재료, 수분처리, 온도 등의 조건에 따른 점착력을 예측할 수 있다.

$$ABS = -68.4\alpha x + 3444\beta \quad (2)$$

where,

$ABS$  : 점착력(Asphalt Bond Strength), kPa

$\alpha, \beta$  : 계수(재료, 수분처리 조건, Table 5)

$x$  : 온도, °C

앞의 Table 4와 Fig. 10에서 점착력의 온도에 따른 특성은 5°C~40°C 구간(최저, 최고 온도 제외)에서 상당히 높은 신뢰성의 선형관계를 나타내었다. 점착력은 온

도 증가와 반비례 관계를 나타내어 모든 관계식은 음의 기울기를 보인다. 재료별 비교에서 HMA와 WMA는 유사한 기울기를 보이며, PMA는 가장 작은 기울기를 나타낸다. 즉, 수분처리에 관계없이 고온에서의 개질 효과는 저온 및 상온에서 보다 작은 것으로 판단된다. 그러나 모든 온도에서 개질 재료의 점착력 향상 효과는 발현되는 것으로 평가되었다.

Table 5. Coefficient for Conditions

Materials	Moisture conditioning	$\alpha$	$\beta$
HMA	Dry	1	1
	Wet	0.8538	0.8592
WMA	Dry	0.9240	0.8947
	Wet	0.7778	0.7569
PMA	Dry	1.2500	1.2586
	Wet	1.1067	1.1281

### 3.3. 아스팔트 종류에 따른 DIT 특성 변화

동적수침시험은 「아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침 (2015)」에 규정된 아스팔트 혼합물 품질평가 항목 중 한 가지로, 피복잔유율이 50% 미만이면 아스팔트 혼합물의 수분민감성 향상을 위해 박리방지 재료를 사용하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 육안평가 이외에 객관적인 평가를 위해 시험 전·후의 무게비를 이용하여 피복잔유율을 비교하였다. Fig. 11은 동적수침시험 결과를 보여준다.

Fig. 11에서 육안조사와 무게비 결과 모두 개질 아스팔트(PMA)의 피복잔유율이 가장 우수하게 나타났다. 일반 아스팔트와 중온 아스팔트의 비교에서는 큰 차이는 없지만 중온 아스팔트의 피복잔유율이 가장 나쁜 결과를 보였다. 육안조사와 무게비 평가의 비교는 PMA에

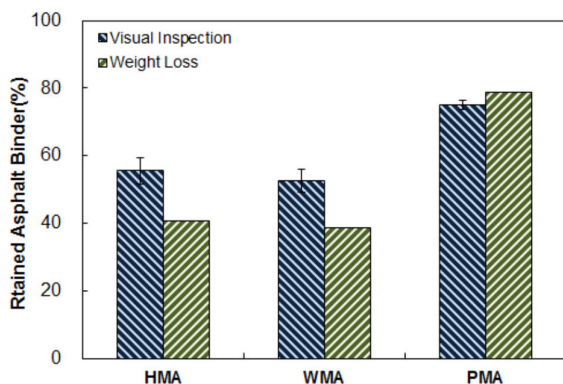


Fig. 11 DIT Results

서는 큰 차이가 없었으나 HMA, WMA 시료에서 육안 조사 결과가 다소 높은 피복잔유율을 나타내었다. 무게비 평가는 객관적인 평가 결과를 제시하는 반면에 시험 중 유리병 회전이 야기하는 골재 파손과 파손된 입자의 무게가 피복잔유율에 포함되어 계산되는 오류가 발생하여 결과의 신뢰성이 떨어진다고 판단된다.

보다 객관적인 피복잔유율 평가를 위해 점착력과 비교하였다. 동일한 조건(온도 25℃)의 결과 비교를 위해 점착력은 제안된 Eq. (2)를 이용하여 25℃ 점착력으로 변환하였다. Table 6은 피복잔유율 결과와 점착력 결과를 나타낸다. 피복잔유율과 점착력의 직접적인 비교를 위해 각 재료에 따른 관계를 Fig. 12에 나타내었다.

Table 6. Retained Asphalt (%) and ABS

Materials	DIT by visual inspection	DIT by weight loss	ABS (kPa)
HMA	55.6	40.6	1499.1
WMA	52.5	38.7	1276.7
PMA	75.0	78.9	1992.7

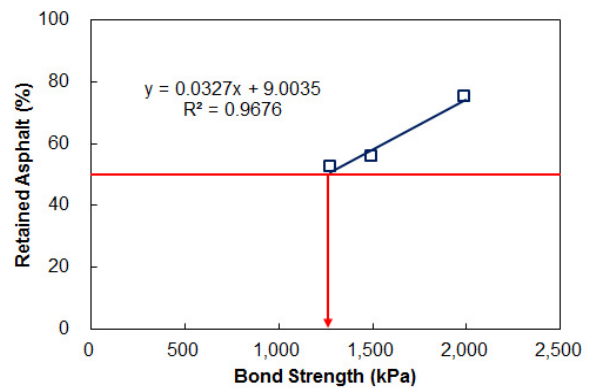


Fig. 12 Correlation between Retained Asphalt and ABS

Fig. 12에서는 점착력이 증가함에 따라 피복잔유율이 증가하는 선형 관계식을 도출하였다. 피복잔유율 기준 50%를 적용할 때 점착력은 1,254kPa로 계산되며, 이때의 점착력은 수분처리 후 측정된 점착력으로 동적수침시험을 대신하여 아스팔트 혼합물의 박리방지제 사용 여부를 결정하는 기준으로 적용될 수 있다고 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 수분이 야기하는 아스팔트 혼합물의 점착력 특성 분석을 통해 재료별 수분민감성을 평가하였다. 또한 점착력 특성과 피복잔유율의 비교를 통해 국



내의 박리방지제 사용에 대한 품질기준 시험법인 동적 수침시험의 대체 방안을 제시하였다. 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 재료별 점착력은 수분처리 후 감소하였으며, 폴리머 개질 재료(PMA)가 가장 우수한 점착력을 나타내었다. 비 개질 재료의 비교에서는 HMA가 WMA보다 우수한 점착특성을 나타내었으나, 그 차이는 크지 않았다.
2. BSR 분석에서 PMA가 가장 우수한 수분민감성을 나타내었고, HMA와 WMA는 유사한 특성을 나타내었다. 또한 고온에서 WMA의 수분민감성이 다소 떨어지는 것으로 평가되었다.
3. 온도가 증가할수록 점착력은 감소하는 경향을 나타내었으며, 20℃와 40℃ 사이의 점착력 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났으며, 40℃ 이후 점착력 감소는 안정화되는 경향을 보인다.
4. 온도에 따른 점착특성은 WMA와 HMA가 유사한 경향을 보이며, PMA는 모든 온도에서 가장 우수한 점착특성을 나타내었다.
5. 온도 변화에 따른 BSR 변화 경향은 HMA와 PMA는 유사하며, WMA는 고온에서 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.
6. 온도에 따른 점착력 특성은 5℃~40℃ 구간(최저, 최고 온도 제외)에서 상당히 높은 신뢰성의 선형관계를 나타내었다. 분석결과 수분처리에 관계없이 고온에서의 개질 효과는 저온 및 상온에서 보다 작은 것으로 평가되었다.
7. 피복잔유율과 점착력의 직접 비교를 통해 수분처리 후의 점착력 1,254kPa를 기준으로 박리방지제 사용을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 교통물류 연구사업 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 도로포장 기술 개발” 연구지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

## REFERENCES

American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO) (2011). Standard Test Method of Test for Determining Asphalt Binder Strength by Means of the Asphalt Bond Strength (ABS) Test. AASHTO TP: 91-11.

Asphalt Institute (1981). Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements, Educational Series, No. 10, Asphalt Institute, College Park, MD.

Asphalt Research Consortium(ARC) (2008). Moisture Damage, Work Elements M2c-M1a Modified PATTI Test & DSR-Preliminary Results, Presentation, The University Wisconsin Madison.

Everynews (2014). Technology Level of Road & Transportation is the lowest comparing of Advanced Countries. March 4th 2014.

European Standard(2003). Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt: Part 11 Determination of the Affinity between Aggregate and Bitumen, European Standard, Final Draft, No. prEN 12697-11.

Highway Research Board (1967). Results for the Questionnaire on Effects of Water and Moisture on Bituminous Mixes. HRIS Selection 3P31 203837 and Highway Research Circular No. 67.

Im, J.H., Y.R. Kim, and S.L. Yang (2014). Bond Strength Evaluation of Asphalt Emulsions Used in Asphalt Surface Treatments. International Journal of Highway Engineering, Vol. 16, No. 5, pp. 1-8.

Jo, M.H., S.U. Yun, and Y.H. Lee (2013). “Asphalt Concrete Pavement Pothole: Repair Method.” Journal of Korea Society of Road Engineers, vol. 15, no. 2, pp. 43-51.

Kiggundu, B.M. and F.L. Roberts (1988). The Success/Failure of Methods Used to Predict the Stripping Potential in the Performance of Bituminous Pavement Mixtures. Submitted to TRB.

Little, D.N. and D.R. Jones IV (2003). Chemical and mechanical mechanisms of moisture damage in hot mix asphalt pavements. National Seminar in Moisture Sensitivity, San Diego, California.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015). Guideline for Production and Construction of Asphalt Mixture.

Park, E.Y., J.H. Im, S.H. Chun, and J.H. Ahn (2004). A Study on Moisture-Induced Property Changes of Asphalt Mixture. 2004 Spring Conference of Korean Society of Road Engineers.

Taylor, M.A. and N.P. Khosla (1983). Stripping of Asphalt Pavement: State of the Art, TRB, Journal of Transportation Research Record 911.

Terrel, R. L. and S. Al-Swailmi (1994). Water Sensitivity of Asphalt?Aggregate Mixes: Test Selection. SHRP Report A-403. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.

Zhang, J., A.K. Apeagyei, G.D. Airey, and J.R.A. Grenfell (2015). Influence of Aggregate Mineralogical Composition on Water Resistance of Aggregate-Bitumen Adhesion, International Journal of Adhesion & Adhesives, 62, pp.45-54.