

박리방지제에 따른 아스팔트 혼합물의 박리방지 특성 연구

The effect of anti-stripping on asphalt mixtures depending on the types of anti-stripping agents

김원재	Kim, Won Jae	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 공학박사 (E-mail : mniwjk@naver.com)
트란 반 폭	Tran Van Phuc	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : vanphuctran053@gmail.com)
두 탄 충	Do Thanh Chung	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : thanhchungdocb@gmail.com)
박 창 규	Park, Chang Kyu	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : zepyros123@naver.com)
이 현 중	Lee, Hyun Jong	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the effect of anti-stripping on asphalt mixtures constituting anti-stripping agents.

METHODS : Based on the literature review, asphalt mixture added with anti-stripping agents was prepared, and these asphalt mixtures were evaluated for anti-stripping properties for each anti-stripping agent through various lab tests, namely, tensile strength ratio (TSR), dynamic immersion test, uniaxial compression test, and indirect tensile strength test (IDT). The liquid anti-stripping agents used in the lab test were pre-mixed with each asphalt binder (PG 64-22, PG 76-22) before being mixed with the aggregate.

RESULTS : The result of the TSR test revealed that the effect of anti-stripping was highest when hydrated lime and liquid anti-stripping agent W were added. The correlation coefficient R^2 between the TSR result and cohesion ratio is 0.99, which indicates that the sensitivity of the TSR to moisture damage is reliable from the mechanical point of view. The covering ratio of the asphalt binder to the liquid anti-stripping agent W was determined to be higher than that to the other liquid anti-stripping agents.

CONCLUSIONS : It is considered that the improved moisture resistance of asphalt mixture as a result of the use of anti-stripping agents can reduce the incidence of various pavement damages such as potholes caused by stripping, and the performance life of the asphalt road pavement can be prolonged.

Keywords

Anti-stripping, hydrated lime, liquid anti-stripping agents, TSR, Dynamic immersion test

Corresponding Author : Lee, Hyun Jong, Professor
Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University,
209 Neungdong-ro, GwangJin-gu, Seoul, 05006, Korea
Tel : +82.2.3408.3332 Fax : +82.2.3408.3332
E-mail : hlee@sejong.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 15, 2017 Revised Mar. 31, 2017 Accepted Mar. 31, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

1960년대 경제 개발 5개년 계획이 수립된 이후부터 우리나라의 산업은 눈부신 성장을 거듭하게 되었고, 고속

도로가 건설되면서 도로건설은 개화기와 성장기를 동시에 맞이하게 되었다. 현재 도로는 단순한 수송 시스템이 아닌 현대 사회에서 경제적, 문화적인 중추 역할을 하는 국가의 기반 시설 중 없어서는 안 될 가장 중요한 시설이

다. 2015년 말 기준으로 전국의 도로는 총 107,527km이며 국토면적당 도로연장은 1.07km/km²로 일본(3.20), 독일(1.80), 영국(1.72)에 비하여 낮은 수준이다. 우리나라 도로연장은 1990년 56,715km에서 2015년 107,527km로 약 1.9배 증가하였지만 자동차는 1990년 339만대에서 2016년 2,180만대로 6.43배 증가하여 도로의 상황은 더욱 열악해지고 있다.

국민 소득 수준의 증대와 주 5일 근무제의 정착으로 인한 각종 사회활동, 레저, 쇼핑 등 개인 활동을 위한 교통수요가 증가하여 지역 간 신속한 이동성을 제공할 수 있는 도로 기능과 보다 안전하고 쾌적한 선진국형 도로 시설에 대한 역할 변화의 요구가 증가하고 있으며, 국민의 생활수준 향상으로 도로의 안전과 환경에 민감하게 반응하고 안정성을 높이기 위한 다양한 포장 공법들이 제시되고 있다. 따라서 도로포장의 기능이 단순히 평탄한 노면의 제공뿐만 아니라 여러 가지 안전과 환경문제에 관련된다는 인식의 전환이 필요한 시점이며, 도로포장의 선진화와 장수명화를 위한 기술 개발이 필요한 실정이다.

우리나라의 아스팔트 포장은 1990년대 이후 물동량의 급증과 차량하중의 증량화 및 대형화, 기후변화로 인한 여름철 고온과 집중호우 등으로 소성변형과 균열, 포트홀 등 다양한 형태의 도로 파손이 급격히 증가하고 있다. 이러한 도로 파손으로 교통사고 유발은 물론 유지보수로 인한 막대한 비용 손실을 초래하고 있다.

특히 포트홀은 최근 사회적 관심이 크게 증가하는 추세이며, 2000년대 이후 기후변화로 인한 집중호우의 강도와 빈도가 증가하면서 포트홀 발생이 급격히 증가하고 있다. 우리나라는 7월부터 9월까지 약 3개월 동안의 강수량이 1년 강수량의 약 50% 이상에 이르고 있다. 이 기간 동안 집중호우로 인해 침수 피해를 입는 도로 포장이 증가하여 막대한 유지보수 비용이 발생하고 있다. 또한, 물동량의 증가, 차량의 대형화, 차량 간의 충돌 사고로 인해 도로상에 외부 물질이 유입됨으로써 아스팔트 포장의 박리현상 발생, 이로 인한 포트홀 발생 등 다양한 포장 파손이 증가하고 있다. 포트홀이 발생하게 되면 차량의 주행 안정성과 운전자의 쾌적성을 저해하며, 대형사고로도 이어질 수 있는 위험성을 가지게 된다. 포트홀은 강우 또는 강설 시 포장체 내부로 우수가 침투하여 아스팔트 혼합물을 약화시키고 통과차량 하중의 재하시 발생하는 침투수의 압력으로 인하여 발생된다. 2015년도 포트홀 보수 현황은 고속도로에서 약 2.8만개소, 일반국도 약 3만개소, 특별·광역시도 약 7.4만

개소 등 전국적으로 약 28만개소를 보수하였다(2015년 도로 보수 실적 세부 총괄).



Fig. 1 Pothole

도로포장의 장수명화를 위해서는 아스팔트 포트홀 방지를 위한 개선 기술의 마련이 시급한 실정이다. 포트홀 발생을 저감하기 위해서는 골재 및 아스팔트의 수분민감성을 평가하고 개선하려는 노력이 필요하며, 수분민감성이 취약한 골재는 박리방지제를 사용하여 개선하여야 한다. 지금까지는 수분민감성에 대한 품질관리 기준이 없어서 이에 대한 관리가 사실상 어려워 사후 긴급 보수에만 의존하고 있는 실정이다. 미국과 유럽 대부분의 국가에서는 수분손상에 대한 시방기준을 마련하여 포트홀 문제에 대처하고 있으며, 시방기준을 만족하지 못하는 경우 박리방지제를 사용하도록 의무화하고 있다.

아스팔트 혼합물의 박리는 골재와 아스팔트가 분리됨으로써 아스팔트 혼합물의 결합력을 약화시켜 혼합물의 안정성과 내구성을 저하시킨다. 특히 장기 공용된 아스팔트 포장의 박리현상은 포장의 하부 기층에서 발생하여 표층 절삭 덧씌우기를 하여도 지속적인 파손이 발생된다. 따라서 아스팔트 포장의 장수명화를 위해서는 하부 기층의 내구성이 증진되어야 하며, 아스팔트 혼합물의 박리에 대한 저항성 개선이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 다양한 박리방지 첨가제를 적용한 아스팔트 혼합물에 대한 실내시험을 통하여 효과 및 특성을 분석하였다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 박리방지제에 따른 아스팔트 혼합물의 박리방지 특성을 분석하기 위한 문헌조사를 실시하였다. 국내외에서 적용하고 있는 박리방지제의 특성을 분석하는 시험법에 대해 조사하였으며, 다양한 박리방지제 사용 목적 및 적용사례에 대한 조사를 하였다.

실내시험은 국내에서 생산되는 2종의 골재(화강암, 석회암)와 4종의 박리방지제(소석회, 액상 박리방지제 W, N, S), 2종의 골재입도(SMA, BB-4), 2종의 아스팔트 바인더(PG64-22, PG76-22)를 사용하였으며 이를 사용하여 국내외 수분저항성 및 박리방지 시험방법을 참고하여 박리방지제가 첨가된 아스팔트 바인더를 사용하여 제작한 아스팔트 혼합물의 수분저항성 및 박리방지 특성을 분석하였다.

2. 문헌고찰

Kennedy and Ping(1991)은 소석회와 액상 박리방지제의 박리 저항성과 소성변형 저항성을 실내시험 및 플랜트에서 제공받은 혼합물을 사용하여 제작한 시편과 현장 코어 시편을 채취하여 Lottom Test와 Boiling Test 등을 수행하였다. 액상 박리방지제의 경우 조골재 함량이 높은 혼합물에, 소석회의 경우 모든 혼합물에 대해 효과적인 것으로 발표하였다. Bari and Witzak(2005)는 소석회의 첨가 유무에 대한 혼합물의 동탄성계수를 비교·분석하였다. 미국 전역의 실제 현장에서 생산된 17개(소석회 첨가 11개, 소석회 미 첨가 6개)의 혼합물에 대해 동탄성계수 시험을 수행하였으며 소석회가 첨가된 혼합물의 동탄성계수가 미 첨가된 혼합물에 비해 17%~50% 증가되어 소석회를 첨가할 경우 미 첨가된 혼합물보다 우수한 공학적 특성을 보이는 것으로 발표하였다. CTR 연구보고서 441-1과 441-2F(1991)는 TSR 시험과 Boiling 시험을 통해 예방적 수분손상에서 박리방지제와 소석회의 효과를 평가할 수 있는 현장 연구 결과를 발표하였다. TSR의 경우 박리방지제를 첨가하였을 때 70% 이상의 결과를 보이며 일부 시험결과는 100% 이상의 값이 나타났다. Boiling 시험의 경우 대부분의 결과에서 70% 이상의 값을 보여 박리방지 특성이 향상됨을 보였다.

최근 우리나라에서도 도로포장의 박리현상이 주된 문제가 되어 박리와 포트홀이 확산·증가되고 있는 실정이다. 그러므로 수분의 침투에 따른 아스팔트와 골재의 박리를 저감시키기 위해 박리방지제의 사용을 적극적으로 검토할 필요가 있다. 하지만 박리방지제에 대한 국가 품질 기준의 미비로 인하여 적용기준이 불분명하고, 국가 시방지침에 규정되어 있지 않아 아스팔트 포장에 광범위하게 적용하기에는 무리가 있다. 국외의 경우 소석회와 액상 박리방지제를 적용하고 있으며 Table 1은 각 국가에서 적용하는 박리방지제의 종류를 나타낸 것이다.

Table 1. Application Example of Anti-stripping Agents

Country	Hydrated lime	Liquid anti-stripping agent
USA	Arkansas, Colorado, Georgia, Mississippi, Missouri, Nevada, New Mexico, North Dakota, South Carolina, South Dakota, Utah, Wyoming	Alaska, Arizona, Idaho, Illinois, Indiana, Iowa, Kansas, Kentucky, Louisiana, Maryland, Michigan, Minnesota, Nebraska, New York, Oklahoma, Pennsylvania, Rhode Island, Tennessee, Vermont, Virginia, Washington
	Alabama, California, Florida, Montana, North Carolina, Oregon, Texas, Washington DC, Wisconsin	
EU	Austria, Denmark, France, The Netherlands, Sweden, Switzerland	No database
Australia	Uses both	
Canada	Uses both	

2.1. 소석회

미국에서 일반적으로 소석회를 사용하는 비율은 골재 중량 대비 최소 0.7%, 최대 2.5% 정도를 사용하는 것으로 나타났다. 사용방법은 각 주들의 기후와 환경에 따라 다양하게 적용하고 있으며 미국 각 주의 소석회 사용량 및 사용방법 동향은 Table 2와 같다.

Table 2. Hydrated Lime Application and Usage Trends in USA (EuLA, 2011)

States	Usage ratio (Aggregate weight ratio, %)	Using method			
		only	with dry aggregate	with wet aggregate	Lime slurry to aggregate
Arizona	1.0			○	
California	0.7-1.2				○
Colorado	1.0			○	○
Georgia	1.0	○	○		○
Mississippi	1.0			○	
Montana	1.4	○			
Nevada	1.0-2.5			○	
Oregon	1.0			○	
South Carolina	1.0			○	
Texas	1.0-1.5	○		○	○
Utah	1.0-1.5				○
Wyoming	1.0-1.5			○	

유럽의 일반적인 소석회 사용량은 Table 3과 같으며 골재중량 대비 최소 1.0%에서 최대 3.5%로 미국보다 약 1% 내외로 더 사용하는 것으로 나타났다. 사용량 차

이는 혼합 방법의 차이로 발생하였지만 적용 효과는 동일하게 유효한 것으로 발표했다.

Table 3. Hydrated Lime Application and Usage Trends in EU (EuLA, 2011)

Country	Usage ratio (Aggregate weight ratio, %)	Using method	
		only	with filler
Austria	1.5-3.5	○	
Belgium	1.5		○
Czech	1.5	○	
Denmark	1.0-1.5	○	
Finland	1.0-2.0	○	○
France	1.0-1.5	○	○
Germany	1.0-3.0	○	○
Hungary	2.0	-	-
Ireland	2.0	○	
Italy	1.0-2.0		○
Netherlands	2.0		○
Poland	1.0-3.0		○
Portugal	1.0-2.0	○	
Sweden	1.5	○	
Switzerland	1.5	○	
Romania	2.0		○
Spain	1.0-2.0	○	
Slovakia	2.0	○	○
UK	1.0-2.0	○	

미국 및 유럽의 각 국가에서 소석회를 사용하는 목적을 조사한 결과(Hicks and Scholz, 2003)에 따르면, 모든 국가 및 주에서는 아스팔트 혼합물의 박리방지를 위해 사용하는 것으로 나타났다. Table 4와 Table 5는 미국 및 유럽에서의 소석회 사용 목적을 정리한 것이다.

Table 4. Purpose of Using Hydrated Lime in USA (Hicks and Scholz, 2003)

States	Purpose of use				
	Anti-stripping	Anti-aging	Increasing binder stiffness	Anti-cracking	Material properties of stones
Arizona	1	3	2	3	2
California	1	2	3	3	3
Colorado	1	3	3	3	1
(FHWA)	1	2	3	2	3
Georgia	1	3	3	3	3
Mississippi	1	1	2	-	3
Nevada	1	3	3	2	1
Oregon	1	2	3	3	3
South Carolina	1	2	2	2	2
Texas	1	3	2	3	2
Utah	1	2	2	2	2

* importance : 1- very important, 2- moderately important, 3 - less important

Table 5. Purpose of Using Lime in EU (Hicks and Scholz, 2003)

Country	Time	Purpose
Austria	2003	Anti-stripping, Rutting
Belgium	1980	Anti-stripping
Czech Republic	1996	Anti-stripping, Rutting
Denmark	1990	Anti-stripping
Finland	-	Anti-stripping and aging ect
France	after 1945	Anti-stripping and aging ect
Germany	2000	Anti-stripping and aging
Hungary	2009	Anti-stripping, Rutting
Ireland	2001	Anti-stripping, Rutting
Italy	1990	Anti-stripping
Netherlands	1990	Anti-stripping and aging, durability
Poland	1998	Anti-stripping
Portugal	2000	Anti-stripping
Sweden	1998	Anti-stripping and aging
Switzerland	2006	Anti-stripping and aging, durability
Romania	2007	Anti-stripping, Rutting
Spain	2004	Anti-stripping
Slovakia	2009	Anti-stripping
UK	2000	Anti-stripping

2.2. 액상 박리방지제

일반적으로 액상 박리방지제는 아스팔트 바인더와 혼합하였을 때 표면장력을 줄여줌으로써 골재와 아스팔트 바인더 사이의 부착력을 증진시키는 작용을 하는 표면 활성 촉진제(표면활성제)이다. 최근 사용되고 있는 대부분의 액상 박리방지제는 아민(Amine)계열을 함유한 화합물이며, 열에 안정적이어야 하고 개질된 아스팔트 바인더가 장기간 높은 온도에서 저장될 때 효능을 상실해서는 안 된다.

액상 박리방지제의 경우 첨가량이 무엇보다 중요하다. 첨가량이 너무 적을 경우 박리방지제로서의 효과가 나타나지 않을 수 있으며, 반대로 첨가량이 너무 과량일 경우 아스팔트 혼합물에 유해할 수도 있다. 액상 박리방지제를 적용한 아스팔트 포장의 공용수명기간 동안의 효과는 완전하게 규명되지는 않았지만 포트홀 방지를 위하여 내구성을 강화시키는 측면이 있어 유지보수 기간 연장과 유지보수 비용 절감이 기대된다.

골재와 아스팔트 바인더의 종류 및 특성에 따라 사용되는 박리방지제의 종류 및 효과가 달라지기 때문에 사용

전에 적절한 제품을 선택하고 수분저항성 시험을 통하여 첨가량을 결정하는 것이 중요하다. Mathews(1964)는 박리방지제의 양이온 성분이 혼합물에서 박리현상을 방지하는데 효능이 있다고 하였고, Dybalski(1982)는 박리방지제에 사용되는 계면 활성제의 성분 및 기능에 대해 연구하였으며, 혼합물을 제조하기 전에 활성화제를 아스팔트 바인더에 용해시켜 사용하면 접착력이 향상된다는 결론을 내렸다.

미국 Missouri DOT의 경우 Table 6에서 보는 바와 같이 다양한 액상 박리방지제 적용을 위하여 액상 박리방지 효과 분석 시험기준은 아스팔트 바인더와 물리적으로 혼합되어 사용되는 아민(Amine)계와 골재에 직접 적용되어 사용되는 라텍스(Latex)계로 분류하여 평가하고 있다.

Table 6. Types and Usage of Liquid Anti-atripping Agent in Missouri DOT

Amine		Latex	
Specific gravity at 25° F	AASHTO T228	Weight per Gallon at 77° F	ASTM D1475
Brookfield viscosity, 25° F using an RVT viscometer1	ASTM D 2196	Brookfield viscosity, 77° F using an RVT viscometer1	ASTM D2196
Pensky-Martens Closed cup flash point or Cleveland open Cup flash poin	ASTM D 93	pH	Appropriate method
	AASHTO T 48	Percent solids	ASTM D1664 Method A
Infrared spectrum (neat material)	Appropriate method	Infrared spectrum (latex portion)	Appropriate method

3. 시험방법

앞서 조사한 바와 같이 국내의 포트홀 발생 빈도가 증가하고 있으며 대부분의 해외 국가에서도 수분저항성에 대한 방지책으로 박리방지제를 적용하고 있어 본 연구에서는 소석회와 액상 박리방지제를 첨가한 아스팔트 혼합물의 박리방지 특성을 분석하기 위해 다음과 같은 실내시험을 진행하였다.

3.1. 아스팔트 혼합물의 수분 저항성 시험

아스팔트 혼합물의 수분저항성 시험은 KS F 2398(아스팔트 혼합물의 수분 저항성 시험 방법), AASHTO T 283(Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced

Damage)에 따라 시험을 진행하였다. 수분저항성 시험은 실험실에서 다짐을 통해 제작된 시편을 사용하여, 실제 포장체의 상태 모사가 가능하기 때문에 가장 합리적으로 혼합물에 대한 수분 저항성을 측정할 수 있을 것으로 판단하여 본 연구에 적용하였다. Table 7은 수분 저항성 시험에 사용된 아스팔트 혼합물의 종류를 보여준다.

Table 7. Types of Mixture Used in TSR Test

Mix	Asphalt binder	Type of anti-stripping agent				
		None	lime	Liquid W	Liquid N	Liquid S
SMA (13 mm)	PG76-22	S76	S76 HL	S76 W	S76 N	S76 S
SMA (13 mm)	PG64-22	S64	S64 HL	S64 W	S64 N	S64 S
BB-4 (Granite)	PG64-22	BBG	BBG HL	BBG W	BBG N	BBG S
BB-4 (Limestone)	PG64-22	BBL	BBL HL	BB W	BBL N	BBL S

3.2. 간접인장강도 시험 및 일축압축강도시험

아스팔트 혼합물의 수분 저항성은 골재와 아스팔트 바인더의 점착력 c 에 좌우되며, 이러한 수분손상 전·후 (c_{dry} , c_{wet})의 점착력을 평가하여 수분손상에 대한 저항성을 평가할 수 있다. 즉, TSR과 유사하게 c_{wet}/c_{dry} 를 이용하여 수분손상에 대한 저항성 평가를 수행하였다.

기존에는 아스팔트 혼합물의 점착력을 측정하기 위해서는 삼축압축강도시험(Triaxial Compressive Strength Test, TCS)을 수행하여야 하지만 TCS 시험을 실시하기 위해서는 고가의 시험장비와 많은 시험시간이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 간접인장강도시험(Indirect Tensile Strength Test, IDT)과 일축압축강도시험(Uniaxial Compressive Strength Test, UCS)으로부터 혼합물의 점착력을 평가할 수 있는 방법(Christensen and Bonaquist, 2002)을 적용하여 TSR 시험 결과에 대한 신뢰성을 평가하였으며, 기층용 혼합물 BB-4(화강암)를 사용하였다.

3.3. 동적 수침시험

동적 수침시험은 물속에서 골재와 아스팔트 사이의 피막이 벗겨지는 비율을 측정하는 시험이며 유럽 EN-12697-11 기준을 적용하였다. 동적 수침시험은 Fig. 2와 같이 동적 수침시험용 유리병을 회전시키는 시험기를 이용한다. Table 8은 동적 수침시험에 사용된 혼합

물의 종류를 보여준다. BBG의 경우 BBL과 유사한 배합설계 결과를 보이기 때문에 시험에서 제외시켰다.

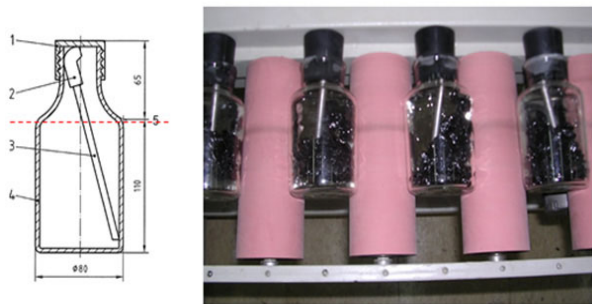


Fig. 2 Dynamic Immersion Tester and Bottles

Table 8. Type of Mixture Used in Dynamic Immersion Test

Mix	Asphalt binder	Type of anti-stripping agent				
		None	lime	Liquid W	Liquid N	Liquid S
SMA (13mm)	PG76-22	S76	S76 HL	S76 W	S76 N	S76 S
SMA (13mm)	PG64-22	S64	S64 HL	S64 W	S64 N	S64 S
BB-4 (Limestone)	PG64-22	BBL	BBL HL	BBL W	BBL N	BBL S

4. 시험결과

4.1. 아스팔트 혼합물의 수분 저항성 시험

S76, S64, BBG, BBL 네 종류의 아스팔트 혼합물에 소석회와 3종류의 액상 박리방지제(W, N, S)를 첨가하여 TSR 값을 비교한 결과는 Fig. 3~Fig. 4와 Table 9와 같다.

Fig. 3에서 S76 혼합물은 첨가제를 사용하지 않은 무첨가를 제외한 혼합물에서 모든 TSR 값이 100% 이상 보였다. 이 중에서 S76 혼합물은 액상첨가제 W를 사용하였을 경우 TSR이 141%로 가장 크게 나타났으며, S64 혼합물의 경우 소석회를 사용하였을 때 144%로 가장 크게 나타났다.

BBG 혼합물은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 무첨가와 BBG S 혼합물을 제외한 혼합물에서 100% 이상의 값을 보였다. 이 중에서 BBG 혼합물은 소석회를 사용하였을 경우 TSR이 153%로 가장 크게 나타났으며, BBL 혼합물의 경우 액상 박리방지제 W를 사용하였을 때 131%로 가장 크게 나타났다. 소석회와 액상 박리방지제를 첨가 시 대부분의 TSR값은 무첨가보다 높은 값이 나타났지만 적용하는 박리방지제와 암종, 아스팔트 바인더에 따

른 경향은 나타나지 않았다.

무첨가 혼합물을 기준으로 박리방지제를 첨가한 혼합물의 Normalized TSR 값은 Table 9와 같으며, 분석 결과 소석회와 액상 박리방지제 W의 수분 저항성이 무첨가 대비 약 20~100% 향상된 것으로 나타났다.

대부분의 TSR 결과가 100% 이상의 결과를 보이고 있으며 이는 아스팔트 바인더와 적용된 박리방지제의 화학 반응에 의해 아스팔트 바인더와 골재의 점착력이 증가하여 발생한 결과로 판단된다. 또한 앞서 언급한 CTR 연구 보고서 441-1과 441-2F(1991) 및 해외 다른 연구 결과에서도 TSR 결과가 100% 이상의 결과를 보인 사례가 있다.

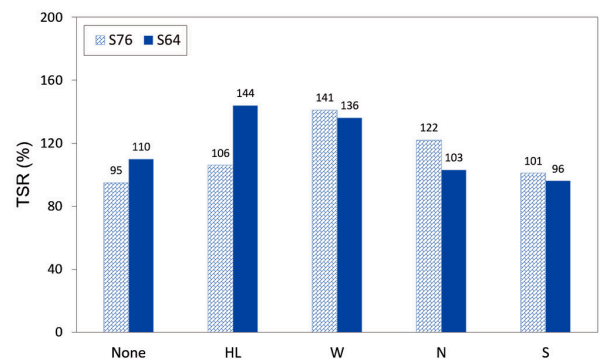


Fig. 3 TSR Results of S76 and S64

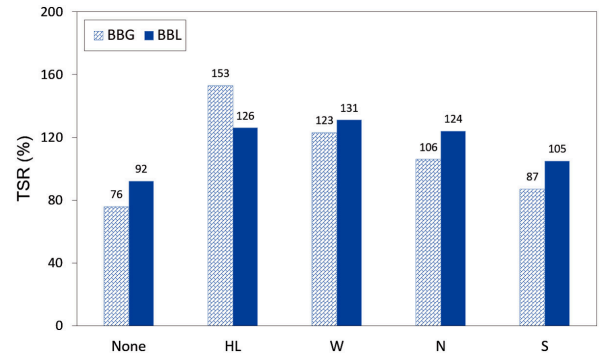


Fig. 4 TSR Results of BBG and BBL

Table 9. Normalized TSR Result

Mix	TSR (%)				
	None	lime	Liquid W	Liquid N	Liquid S
S76	100	122	148	128	106
S64	100	131	124	94	87
BBG	100	201	162	139	114
BBL	100	137	142	135	114

4.2. 간접인장강도 및 일축압축강도시험

아스팔트 혼합물의 거동은 Mohr-Coulomb의 파괴

이론으로 분석할 수 있고, 강도는 점착력과 내부마찰각에 따라 달라진다. 파괴되는 시점의 전단력(τ)은 점착력(c)과 가해진 응력(σ), 마찰력($\tan\phi$)에 대한 함수이며 이를 식으로 정리하면 Eq. (1)과 같다.

$$\tau_{\max} = c + \sigma \tan\phi \quad (1)$$

Mohr-Coulomb의 파괴포락선은 증가하는 구속응력에 따른 응력상태를 나타낸 Mohr원들에 접선을 그려도표로 나타낼 수 있다. 이 파괴포락선으로 점착력과 내부마찰각이 결정되고, IDT와 UCS시험을 통하여 점착력과 내부마찰각을 구할 수 있다. Fig. 5는 IDT와 UCS시험을 통해 시편이 파괴되는 시점에서의 응력상태를 보여주고, 그 응력상태에 대한 Mohr원의 접선인 파괴포락선을 나타낸다.

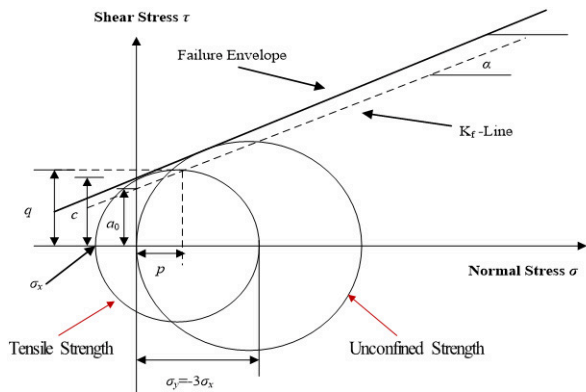


Fig. 5 Mohr-Coulomb Fracture Envelope

Fig. 5로부터 Eq. (2)~Eq. (4)를 도출할 수 있다.

$$\tan\alpha = \frac{|\sigma_{UCS}| - 4|\sigma_{IDT}|}{|\sigma_{UCS}| - 2|\sigma_{IDT}|} \quad (2)$$

$$\phi = \sin^{-1}(\tan\alpha) \quad (3)$$

$$c = \left(\frac{2 - \tan\alpha}{\cos\phi} \right) \sigma_{IDT} \quad (4)$$

점착력과 내부마찰각을 계산한 다음 C_{wet}/C_{dry} 를 산정하고 TSR 결과와 비교 분석하였다. 본 시험에서는 BBG에 박리방지제를 적용한 총 5종의 아스팔트 혼합물을 사용하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 TSR과 C_{wet}/C_{dry} 의 결과가 매우 유사한 것으로 나타났다.

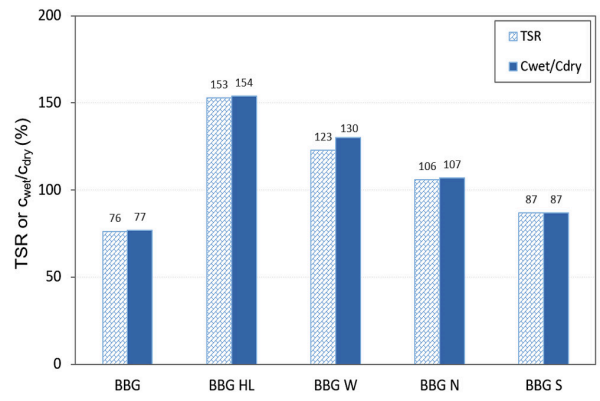


Fig. 6 Comparison of TSR and C_{wet}/C_{dry} of BBG

또한 점착력과 TSR 결과값에 대한 상관관계를 분석한 결과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 R^2 값이 0.99로 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 TSR을 사용한 아스팔트 혼합물의 수분 저항성 평가는 어느 정도 신뢰성이 확보된 것으로 판단된다.

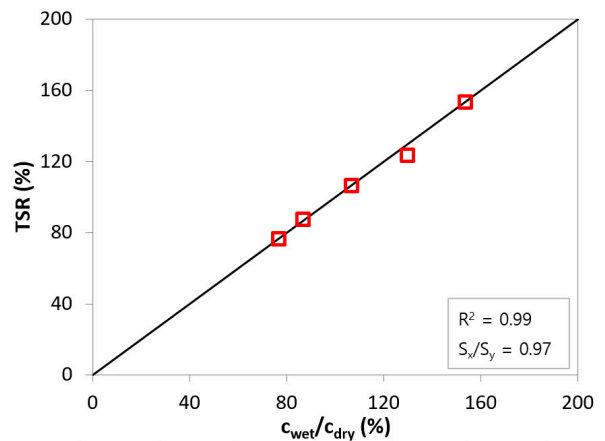


Fig. 7 Relationship between TSR and C_{wet}/C_{dry}

4.3. 동적 수침시험

‘European Standard EN 12697-11’에서 제시하는 동적 수침시험 후 피복률은 100%, 95%, 90%, 80%, 60%, 40%, 20%로 구분되어 있지만 기준 폭이 좁아 측정자들의 의견이 엇갈리는 경향이 있다. 본 시험에서는 2명의 육안조사자가 피복률을 100%, 90%, 80%, 60%, 20%로 구분하여 시험 시작 후 6, 24, 48시간마다 피복률을 측정하였다.

4.3.1. SMA(PG76-22)

Fig. 8에서처럼 무침가의 피복률은 시험시간이 경과할수록 급격하게 낮아지고 있으며 48시간 후에는 피복

률이 13.6%로 나타났다. 무첨가 혼합물과 가장 우수한 시험결과인 액상 박리방지제 W와 S를 첨가한 혼합물의 시험 결과를 비교하면 48시간 후의 피복률은 약 60%의 차이를 보였다.

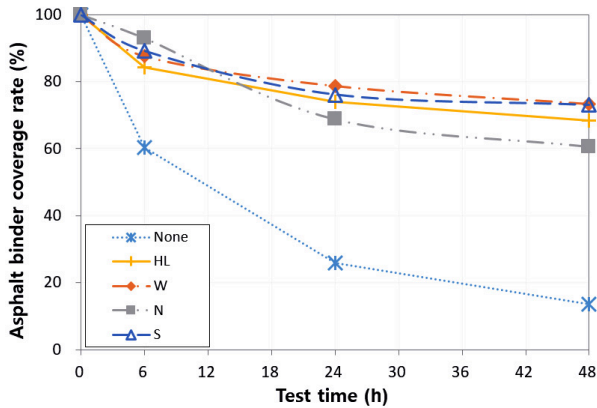


Fig. 8 S76 Decrease of Coverage Rate

4.3.2. SMA(PG64-22)

Fig. 9와 같이 무첨가일 때 가장 낮은 피복률이 나타났으며 액상 박리방지제 S를 첨가한 혼합물의 피복률도 시간이 경과할수록 S76에 적용한 것보다 낮게 나타났다. S64에서도 액상 박리방지제 W의 48시간 후 피복률이 67.7%로 가장 높게 나타났다.

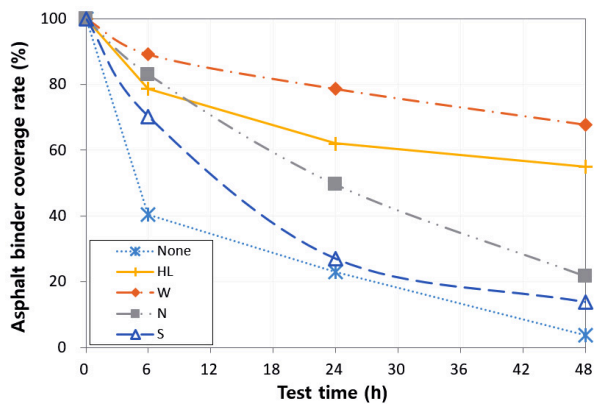


Fig. 9 S64 Decrease of Coverage Rate

4.3.3. BB-4(석회암)

BBL의 경우 Fig. 10에서 보는 바와 같이 6시간까지는 액상 박리방지제 N이 가장 우수하게 나타났지만 24시간 이후부터 액상 박리방지제 W의 피복률이 높게 나타났다. 소석회의 경우 초기에는 우수한 성능이 나타나지 않았지만 48시간 후에는 액상 박리방지제 W와 유사한 결과가 나타났다.

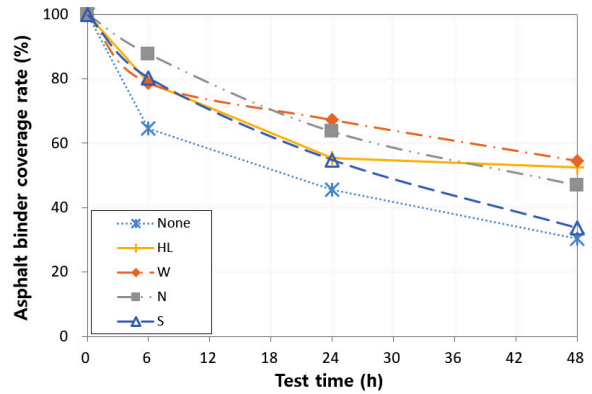


Fig. 10 BBL Decrease of Coverage Rate

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 생산되는 2종의 골재(화강암, 석회암)와 4종의 박리방지제(소석회, 액상 박리방지제 W, N, S 제품), 2종의 골재 입도(SMA, BB-4), 2종의 아스팔트 바인더(PG64-22, PG76-22)를 사용하여 총 20종의 아스팔트 혼합물에 대한 수분민감성 평가를 위한 실내시험을 진행하였다. 수분민감성 평가를 위해 총 4종류의 실내시험(TSR 시험, 간접인장강도 시험, 일축압축강도 시험, 동적 수침시험)을 수행하였으며, 이를 통해 아스팔트 혼합물의 박리방지 특성 연구를 진행하였다.

TSR 시험결과, 시험에 사용된 모든 혼합물에서 박리방지제를 첨가하였을 때 무첨가한 혼합물에 비해 우수한 수분저항성을 보였다. 기존의 아스팔트 혼합물의 다져진 공시체에 대한 수분 손상을 평가하는 방법 중 가장 일반적으로 적용하는 TSR 기준에 대한 신뢰성을 평가하기 위하여 간접인장강도 시험과 일축압축강도 시험을 통해 산정된 점착력 비를 사용하여 TSR 값과 비교·분석하였다. 분석 결과, TSR과 점착력 비의 상관관계 지수 R^2 가 0.99로 나타났으며, 이는 TSR을 사용한 수분 손상에 대한 저항성 평가는 역학적 측면에서 어느 정도 신뢰성이 확보된 것으로 판단된다.

동적 수침시험 결과, 박리방지제를 첨가한 아스팔트 혼합물이 첨가하지 않은 아스팔트 혼합물에 비해 수분 손상에 대한 저항성이 높은 것으로 나타났고 혼합물에 대한 TSR 시험 결과 또한, 동적 수침결과와 전반적으로 유사한 것으로 나타나 본 연구에서 사용된 박리방지제의 효과는 신뢰할 수 있는 수준으로 판단된다.

본 연구의 시험결과와 같이 각 아스팔트 혼합물에 적합한 박리방지제를 사용하면 현재의 도로포장보다 수분

손상에 대한 저항성이 우수한 아스팔트 혼합물의 생산이 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 16TLRP-B079261-03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 연구비지원(아스팔트 혼합물의バリ방지 특성 연구)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- AASHTO (2011), "T 283-07 ; Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage". American Association of State and Highway Transportation Officials. 8pp.
- Bari J. and Witzcak, M.W., "Evaluation of the Effect of Lime Modification on the Dynamic Modulus Stiffness of Hot-Mix Asphalt Use with the New Mechanistic- Empirical Pavement Design Guide," Transportation Research Record No. 1929, pp. 10-19, 2005.
- Christensen, D.W., and R. Bonaquist (2002). "Use of Strength Tests for Evaluating the Rut Resistance of Asphalt Concrete" . Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume71, pp.692-711.
- Dybalski, J. N. (1982). "Cationic surfactants in asphalt adhesion" , In Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings (Vol. 51).
- EN 12697-11 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt, Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen.
- European Lime Association (EuLA), (2011), "Hydrated Lime: A Proven Additive for Durable Asphalt Pavements - A Critical Review" . 80pp. www.eula.eu.
- Hicks, R.G. and Scholz, T.V. (2003), "Life Cycle Costs For Lime in Hot Mix Asphalt," Final Report Volumes 1, 2,and 3, National Lime Association, Arlington VA, <http://www.lime.org/publications.html#asphalt>.
- Kennedy, T. W. and Ping, W. V., "Evaluation of Effectiveness of Antistripping Additives in Protecting Asphalt Mixtures from Moisture Damage," Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, from the Proceedings of Technical Sessions, Volume 60, Seattle, WA, March 1991.
- Mathews, D. H. (1964). "The effect of cationic surface-active agents in the adhesion of bituminous binders to roadstones", In (paper to) International Congress on Surface Activity, 4th, Brussels, Belgium (No. LN583).
- Ming-jen Liu, Thomas W. Kennedy (1991), "Field Evaluation of Stripping and Moisture Damage in Asphalt Pavements Treated with Lime and Anti-stripping Agents", Center for Transportation Research, Research Report Number 441-2F.
- Missouri Standard Specifications for Highway Construction (2011), "Section 1071: Asphalt Release Agents, Fiber Additives and Liquid Anti-Strip Additives", Missouri Department of Transportation (MoDOT). <http://www.modot.org>.
- Rsis(2015), "Road Statistics and Maintenance Information System", <http://www.rsis.kr>.
- W.Virgil Ping, Thomas W. Kennedy (1991), "Evaluation of Stripping and Moisture Damage in Asphalt Pavements Treated with Lime and Anti-stripping Agents", Center for Transportation Research, Research Report Number 441-1.
- Yang, Sung Lin., Hwang, S.D., Kim, Y.M., Jeong, K.D. (2008), "Evaluation of Moisture Susceptibility on Mixtures mixing Anti-Stripping Agent" . Journal of the Korean Society of Road Engineers. vol. 10, No. 4, pp. 41-52.