Int. J. Highw. Eng. Vol. 16 No. 6 : 39-50 December 2014
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2014.16.6.039

아스팔트 도로포장 유지보수(표면처리)용 유화아스팔트의 양생 및 점착거동특성 평가

Evaluation of Asphalt Emulsions Curing and Adhesive Behavior used in Asphalt Pavement Preservation (Surface Treatments)

임 정 혁 Im, Jeong Hyuk | 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : jhim@kict.re.kr)
김 영 수 Kim, Y. Richard | 정회원 · 노스캐롤라이나 주립대학교 토목공학과 공학박사 · 석좌교수 (E-mail : kim@ncsu.edu)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the curing and adhesive behavior of asphalt emulsions including polymer-modified emulsions for chip seals and fog seals.

METHODS : For the laboratory testing, the evaporation test, the bitumen bond strength (BBS) test, and the Vialit test are used. Also, the rolling ball test and the damping test are employed to evaluate the curing properties of the fog seal emulsions. In order to conduct all the tests in controled condition, all test procedures are performed in the environmental chamber. The CRS-2L and the SBS CRS-2P emulsions are used as a polymer-modified emulsion, and then unmodified emulsion, the CRS-2, is compared for the evaluation of chip seal performance. For the fog seal performance evaluation, two types of polymer-modified emulsions (FPME-1 and FPME-2) and one of unmodified emulsion, the CSS-1H, are employed. All the tests are performed at different curing times and temperatures.

RESULTS AND CONCLUSIONS : Overall, PMEs show better curing and adhesive behavior than non-PMEs regardless of treatments types. Especially, the curing and adhesive behavior of PMEs is much better than non-PMEs before 120 minutes of curing time. Since all the test results indicate that after 120 minutes of curing time the curing adhesive behavior of emulsions, the early curing time, i.e., 120 minutes, plays an important role in the performance of chip seals and fog seals.

Keywords
asphalt emulsion, polymer-modified emulsion, curing and adhesive behavior, curing time, curing temperature

Corresponding Author : Im, Jeong Hyuk, Senior Researcher
Highway Pavement Research Division, SOC Research Institute,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,
283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.995.0894 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : jhim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Oct. 7, 2014 Revised Oct. 14, 2014 Accepted Nov. 18, 2014

1. 서론

1.1. 연구 배경

현재 아스팔트 도로포장의 신규 건설수요가 감소되는 추세이며, 점차 기존에 건설된 도로의 안전한 운영과 도로 이용자의 불편을 최소화하기 위한 도로 포장의 유지보수에 관련한 관심이 증대되는 실정이다. 기존 공용중인 아스팔트 도로의 유지보수방법은 크게 절삭 후 재포장과 표면처리공법(Surface Treatments)으로 나뉠 수가 있다. 일반적으로 절삭 후 재포장공법은 기존 포장이 심각한 파손을 보여줄 때 적용할 수 있으며, 신규 포장

과 같은 포장 공용성을 유지할 수 있다. 반면에 표면처리공법은 심각한 파손이 발생하기 전 초기 혹은 중간 파손단계에 적용하여 기존 도로의 수명을 늘릴 수 있다 (NCDOT 2012). 또한, 표면처리공법의 적용은 절삭 후 재포장공법에 비하여 경제적이며 (Gransberg 2006), 기존 아스팔트 포장의 절삭 및 재포설을 위한 가열 아스팔트 혼합장비 및 절차가 필요하지 않기 때문에 환경적인 관심이 증대되는 현실에 적합한 공법이라고 사료된다.

현재 미국 주 교통국에서 적용하는 대표적인 표면처리공법으로는 칩실과 포그실, 또는 칩실과 포그실의 혼합처리 등이 있다. 유지보수공법으로서 칩실의 적용은 도로포장의 미끄럼 저항성을 향상시킬 수 있으며 신속한 시공을 통한 도로 이용자의 불편함을 최소화 할 수 있다. 때문에 미국 각 주 교통국의 칩실 등의 표면처리공법의 적용이 예전에 비하여 증가하고 있는 실정이다. 또한 폴리머 개질 유화아스팔트의 재료의 성능향상은 칩실 공법의 중교통량 도로 적용을 가능하게 하였고, 그 적용이 증가하는 추세이다

칩실 등의 표면처리공법에 사용되는 유화아스팔트는 일반적으로 40~75%의 아스팔트, 25~60%의 물, 0.1~2.5%의 유화제와 극소량의 기타 성분으로 구성이 된다. 때문에 시공 후 충분한 공용성능 즉, 골재와의 점착력을 발현하기 위해서 적절한 양생시간이 필요하다. 하지만, 충분한 공용성능을 위하여 표면처리공법의 시공 후 과도한 양생시간을 적용하는 것은 시공된 도로의 교통 개방을 지연시켜 도로 이용자의 불편을 초래하게 된다. 그럼으로, 각 재료별 적절한 양생시간을 파악하는 것이 중요하며, 이를 위하여 본 연구에서는 유화아스팔트의 양생 및 점착거동특성을 평가하고자 한다.

1.2. 연구목적

본 연구에서는 아스팔트 도로포장의 유지보수공법으로 사용되는 칩실과 포그실 및 칩실 포그실 혼합처리공법의 양생 및 점착거동특성을 평가하기 위하여 현재 미국 노스캐롤라이나 주에서 대표적으로 사용되는 유화아스팔트와 골재를 선정하였으며 양생시간 및 온도 변화에 따라 유화아스팔트 증발시험, 아스팔트 점착력 시험과 Vialit Test를 수행하였다. Rolling Ball Test와 Damping Test는 포그실 유화아스팔트 분석에 사용되었다.

2. 문헌고찰

2.1. 유화아스팔트 특성

유화아스팔트는 물에 아스팔트가 분산되어있는 형태를 말하며, 1900년대 초에 개발되어 낮은 점성으로 인한 현장 시공편리성, 다양한 개질제 첨가를 통한 자체 성능향상의 용이성, 및 친환경 재료 등의 장점으로 인하여 그 사용이 증대되고 있다. 유화아스팔트는 일반적으로 40~75%의 아스팔트, 25~60%의 물, 0.1~2.5%의 유화제와 극소량의 기타 성분으로 구성되며 물 혹은 아스팔트의 구성비율의 조절과 사용되는 기본 아스팔트의 종류 변화를 통하여 자체 성능을 조절하여 여러 시공방법에 적합한 재품으로 생산되어 적용할 수 있다. 다양한 유화아스팔트의 성능 특성은 자체의 이름에서 파악할 수 있다(Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA) 2004). 대표적인 폴리머 개질 아스팔트인 CRS-2L 유화아스팔트는 양이온 전하의 특성(C)과 빠른 세팅(rapid set) 시간특성(RS)을 지닌 고점도(2) 라텍스(L) 개질 유화아스팔트라고 정의된다.

2.2. 폴리머 개질 유화아스팔트 특성

유화아스팔트에 사용되는 개질 첨가제는 소성중합체(plastomer)와 탄성중합체(elastomer)로 나뉜다. 소성중합체는 하중재하 상태에서 빠른 초기강도를 보이지만, 취성파괴 없이는 변형을 나타내지는 않는 특성을 갖고 있다. 소성중합체는 저밀도 폴리에틸렌(polyethylene)(LDPE)와 에틸렌 비닐 초산염(EVA)를 포함한다 (Stroup-Gardner and Newcomb 1995). 탄성중합체는 고무와 같은 특성을 가지므로 영구변형 저항성이 있으며, 재하된 하중이 사라지면 늘어났다가 다시 원래의 강도로 회복되는 특성을 보인다. 일반적인 탄성중합체로는 SBR(synthetic rubber)와 SBS(thermoplastic rubber) 등이 있다.

칩실 시스템에서 유화아스팔트와 골재 사이의 점착력은 공용성 및 사용수명과 밀접한 관련이 있다. Wood et al. (2006)의 연구는 유화아스팔트의 특정한 성질이 폴리머 개질에 의해서 향상될 수 있다고 설명한다. 일반적으로 폴리머 개질 유화아스팔트에 천연라텍스(latex), 합성라텍스, SBR(styrene butadiene rubber), SBS(styrene butadiene styrene)의 4가지 종류의 폴리머가 첨가되어 사용된다. 폴리머는 일반적으로 전체 무게의 2.5%~3%가 첨가되며, 초기 골재부착력(aggregate retention) 증가 등의 특성을 보인다.

Takamura(2003)는 연구를 통하여 SBR 라텍스 개

질 유화아스팔트의 특성을 평가했다. SBR 라텍스는 아스팔트 개질을 위해 설계되었으며, 응고물 없이 잔존 수분의 겉에 폴리머 막을 생성하기 때문에 조기강도 발현을 증진한다. SBR 라텍스 폴리머는 물과 같은 상태를 유지하다가 자연적으로 아스팔트의 작은 방울을 감싸는 벌집 구조로 변화한다. 폴리머 구조가 미세할수록 아스팔트의 유변성은 더욱 완벽해진다. 유화아스팔트 속의 라텍스 입자는 점차 연속적인 폴리머 막으로 변화하며, 폴리머 막은 유화아스팔트의 수분증발 후 아스팔트 입자를 감싸게 된다(Fig. 1). 비개질 잔존 아스팔트는 아스팔트 방울 경계를 따라서 균열(틈)이 발생하지만, SBR 라텍스 막은 매우 높은 가용성 특성 때문에 영구변형을 야기하지 않고 탄성변형 특성을 보여준다. 이러한 미세한 폴리머 메커니즘은 유화아스팔트 잔존물의 피로저항성을 상당히 향상시킨다.

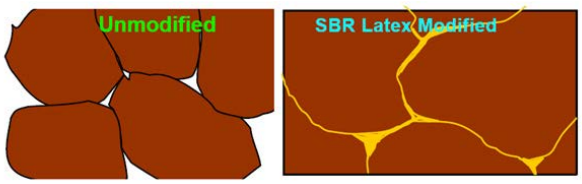


Fig. 1 Schematic Diagram of Fully Cured Unmodified Asphalt and SBR Latex Polymer-modified Asphalt (Takamura, 2003)

2.3. 유화아스팔트의 양생 및 점착거동특성

유화아스팔트의 적절한 양생시간을 판단하기 위해서 유화아스팔트의 양생과정을 이해하는 것이 선행되어야 한다. 일반적으로 유화아스팔트의 양생과정은 두 가지 단계를 거친다. 첫째, 브레이킹(breaking) 단계는 유화아스팔트가 분산된 형태에서 아스팔트의 형태로 변화되는 단계를 말한다. 두 번째 단계인 양생(curing)은 유화아스팔트로부터 물이 증발하는 과정이다. 아래 Fig. 2는 유화아스팔트의 양생단계를 보여준다.

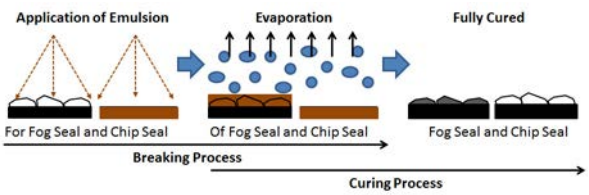


Fig. 2 Emulsion Curing Procedure

적절한 양생과 점착력은 칩실 및 포그실의 공용성 발현에 필수적인 요소이다. 양생시간은 공사로 야기되는 교통 흐름이 차단되는 시간을 결정하기 때문에 특히, 중교통량 도로에서는 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 유화아스팔트와 골재 사이의 점착력 거동은 칩실 및 포그실의 공용성에 중요한 역할을 한다. 충분한 공용성을 발현하기 위하여 점착력에 악영향을 미치는 요소들은 시공 전에 충분히 고려되어야 한다. 예를 들면, 미립분이 골재와 유화아스팔트 사이의 점착력 발현에 영향을 미치기 때문에 과다한 더스트를 함유한 골재의 사용은 지양되어야 한다.

표면처리공법의 점착력 강도를 향상시키는 방법 중 한 가지는 시공된 칩실 표면에 포그실을 시공하는 것이다. 포그실의 시공은 탈리된 골재로 인하여 야기되는 피해 즉, 주행차량의 전면 부 유리창 파손 혹은 그로부터 발생될 수 있는 2차 교통사고 등의 피해를 방지할 수 있다. 포그실 적용으로 인하여 향상되는 점착력 강도는 결국 골재의 탈리를 방지하기 때문에 California Chip Seal Association(CCSA, 2005)의 연구는 중교통량의 도로에 시공된 칩실 표면에 포그실을 적용하는 것을 추천하고 있다.

3. 실험재료 및 방법

3.1. 실험재료

미국 노스캐롤라이나 주에서 칩실용 유화아스팔트로 주로 사용되는 일반 유화아스팔트 CRS-2와 라텍스 개질 유화아스팔트 CRS-2L 2종의 유화아스팔트가 선택되어 사용되었고, 폴리머 첨가제 간의 특성을 비교하기 위하여 SBS 폴리머 개질 유화아스팔트 CRS-2P가 선택되었다.

일반적으로 노스캐롤라이나 주에서 생산되는 골재는 음이온 전하를 띄는 화강암 골재이며, 동일한 조건을 유지하기 위하여 노스캐롤라이나 주 교통국에서 현장 시공을 위해 보유하고 있는 골재 중 한 종류만을 사용하였다. 유화아스팔트 점착력 시험을 위해서 동일한 골재원의 화강암 원석을 확보하여 적절한 크기로 절단하고 표면을 가공하여 사용하였다.

포그실은 칩실의 표면, 즉 골재의 표면에 살포되므로 포그실 공법의 충분한 공용성 발현의 중요한 요소는 칩실 표면의 골재 간의 공극 사이로 유화아스팔트의 충분한 침투이다. 이를 위하여 포그실용 유화아스팔트의 점성은 일반 칩실용 유화아스팔트 보다 낮아야 하며, Maintenance Technical Advisory Guide(TAG)는 일반 유화아스팔트의 경우 물과 50%(1:1)의 비율로 희석하여 사용하기를 권고한다(California DOT 2003).

본 연구에서는 미국 노스캐롤라이나 주에서 주로 사용되는 CSS-1H 일반 유화아스팔트와 2종의 폴리머 개질 유화아스팔트가 사용되었다. 2종의 개질 유화아스팔트의 경우 포그실 적용을 위하여 특별히 개발된 것으로 시공 전 희석과정이 불필요하다. 본 연구에서는 제품의 이름을 직접 언급하는 대신에 FPME-1과 FPME-2로 지정하여 사용하였다.

3.2. 실험방법

3.2.1. 유화아스팔트 증발시험(Evaporation Test)

유화아스팔트에 포함된 물의 손실률을 계산함으로 인하여 유화아스팔트의 양생시간을 파악할 수 있으며, 양생시간이라고 결정되는 시간은 물의 손실이 더 이상 발생하지 않는 순간, 또는 손실률이 매우 미비한 순간이라고 할 수 있다. 본 연구에 사용된 유화아스팔트의 양생거동 특성은 증발시험을 통하여 결정된 양생시간에 의하여 직접적으로 비교될 수 있다. 유화아스팔트 증발시험은 매우 간단한 시험으로 일정한 양생온도 하에서 유화아스팔트에 포함된 물의 증발률을 측정하는 시험이다. 본 연구에서는 지름 90mm의 용기에 일정한 양의

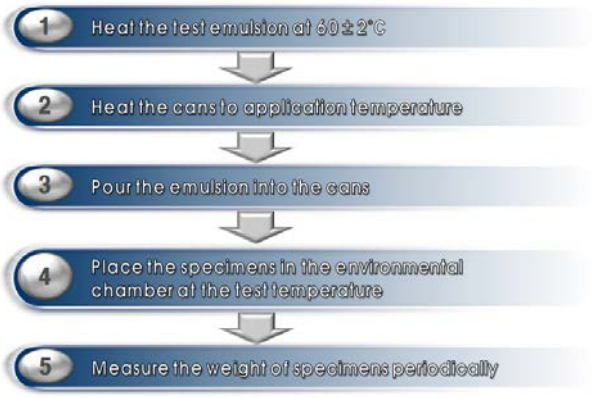


Fig. 3 Evaporation Test Procedure

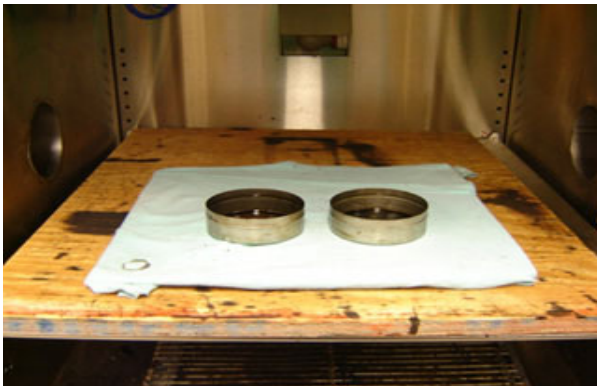
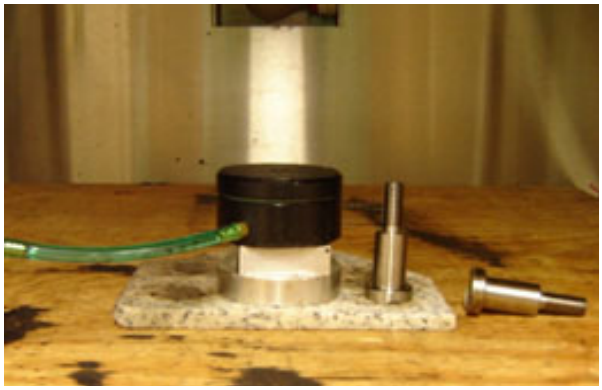


Fig. 4 Evaporation Test Samples in Environmental Chamber

유화아스팔트를 넣은 후 온도와 습도가 제어되는 챔버를 사용하여 온도별 양생시간을 측정하여 비교하였다. 보다 자세한 시험 절차와 사진은 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

3.2.2. 유화아스팔트 점착력 시험(Bitumen Bond Strength(BBS) Test)

점착력 시험은 AASHTO TP-91에 규정되어 있으며, PATTI(Pneumatic Adhesion tensile Testing Instrument) 장비를 사용하여 아스팔트 바인더 또는 유화아스팔트와 골재표면의 점착력을 측정하는 시험이다. 본 연구에서는 유화아스팔트의 양생시간에 따라 점착력 변화를 측정하여 각 유화아스팔트의 양생시간에 따른 점착력 거동특성을 평가하였다. 모든 실험은 동일한 조건을 부여하기 위하여 온도와 습도가 제어되는 챔버 안에서 수행되었다. Fig. 5는 실제 챔버 안에서 진행되는 BBS 시험의 모습을 보여준다. 보다 자세한 실험조건 및 절차는 Fig. 6에서 확인할 수 있다.



(a) Chip seal (Kim and Im, 2014)

(b) Fog seal (Kim and Im, 2012)

Fig. 5 BBS Test Simples in Environmental Chamber

본 연구에서는 양생온도와 시간에 민감한 유화아스팔트의 양생거동특성을 평가하기 위하여 AASHTO TP-

91 시험절차를 수정하여 적용하였다. 즉, 실내 실험실 조건에서 실험을 수행하는 대신에 모든 시험은 온도와 습도를 조절할 수 있는 챔버 안에서 진행되었으며, 유화아스팔트 샘플에 pull-out stub 부착 후 필요한 1시간의 양생시간을 10분으로 감소하여 적용하였다.

Fig. 6 BBS Test Procedure

3.2.3. Vialit Test

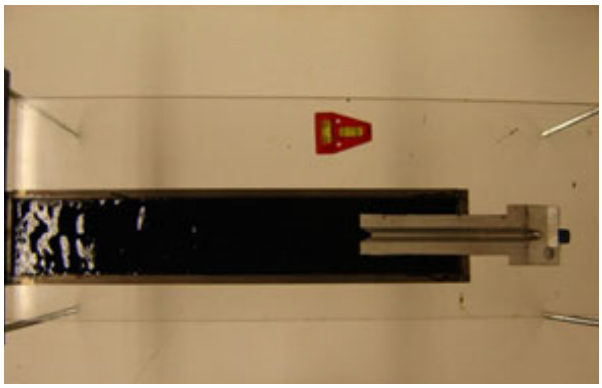
Vialit test는 the French Public Works Research Group에서 개발하였고, BS EN 12272-3에 규정되어 있다. 본 시험법은 칩실에 사용되는 골재의 부착력 특성을 평가하기 위하여 사용되며, 17.8cm×17.8cm(7inches ×7inches) 스틸 몰드에 제작된 칩실 시편을 Vialit 장비에 거꾸로 거치시킨 후, 스테인레스 스틸 공을 50cm(19.7 inches) 높이에서 자유낙하 시켜서 발생한 골재의 탈리를 측정한다(Fig. 7). 칩실 시편의 양생거동 및 골재부착력 특성을 양생시간에 따라 평가하기 위하여, 제작된 시편을 온도와 습도가 제어되는 챔버에서 일정한 온도로 양생 시킨 후 주기적으로 실험을 실시하여 양생 시간에 따른 골재의 부착력 특성을 평가하였다.

Fig. 7 Vialit Test Apparatus

3.2.4. Rolling Ball Test

Rolling Ball Test는 ASTM D 3121에 규정되어있는 시험법으로, 포그실의 현장 시험(교통개방시간판단)을 위하여 개량되었고, 본 연구에서는 유화아스팔트의 양생거동특성 평가를 위하여 사용되었다. 스틸 공을 일정한 속도(일정한 각도의 받침대를 사용하여)로 유화아스팔트 샘플 표면에 굴린 후 볼이 이동한 거리를 양생시간별로 측정하여 양생거동을 평가하는 시험이다. 포그실 유화아스팔트의 적용을 위하여 사전 시험을 실시하였고, 볼 받침대의 높이를 15mm로 조절하였고, 유화아스팔트 샘플 몰드는 320mm×50mm 크기로 제작하여 사용하였다. Fig. 8은 Rolling Ball Test 시험장비와 유화아스팔트 샘플을 보여준다. 또한, 시험절차 및 방법은 Fig. 9에 설명하였다.

(a) Side view



(b) Plane view

Fig. 8 Rolling Ball Test (Im and Kim, 2013)

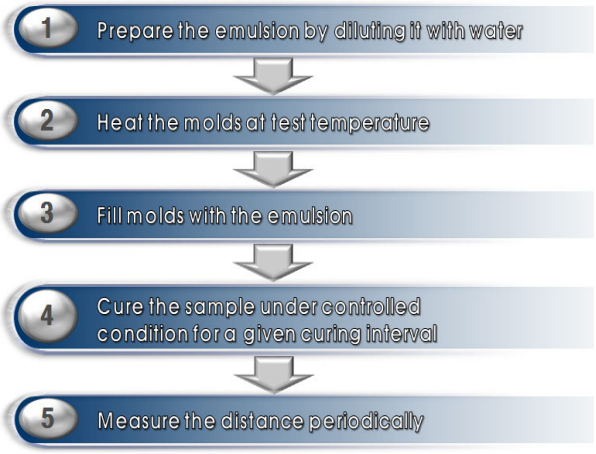
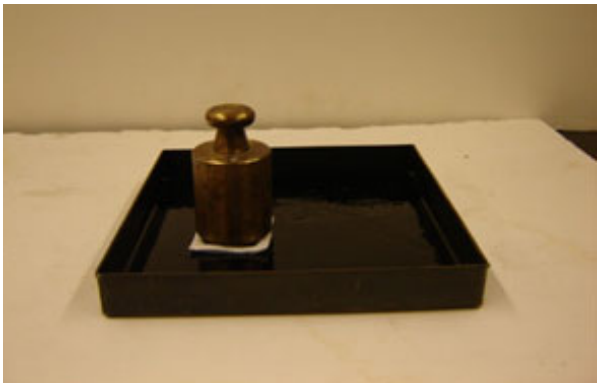


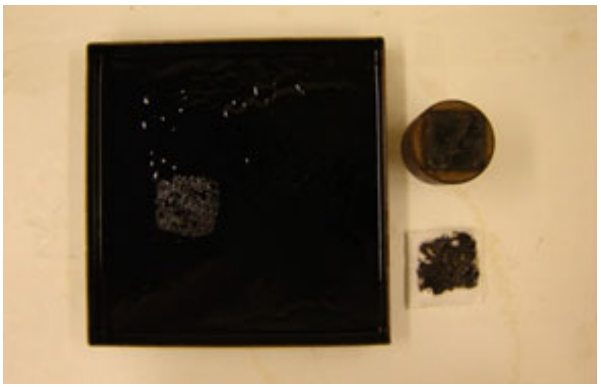
Fig. 9 Rolling Ball Test Procedure

3.2.5. Damping Test

Damping Test 역시 포그실의 현장 시험(교통개방 시간 판단)을 위하여 개발되었으며, 본 연구에서는 유화아스팔트의 양생거동특성 평가를 위하여 사용되었다. 유화아스팔트 샘플 표면에 특정한 규격의 오일 흡수 패드를 거치한 후 1kg의 하중을 15초 동안 재하한 후 패드가 흡수한 유화아스팔트의 면적을 측정하는 시험이다. 디지털 이미지 처리(DIP) 기술을 사용하여 흡수된 면적을 객관적으로 계산하였다. 오일 흡수 패드는 100% 폴리프로필랜 재질이며 장당 0.18 갤런의 흡수율을 가지며 한 장의 크기는 38.1cm×48.3cm이다. Fig. 10은 Damping Test 시험장비와 시험 후 샘플을 보여준다. 또한, Fig. 11에서 시험절차 및 방법을 설명하였다.



(a) Applied dead weight



(b) After Testing

Fig. 10 Damping Test (Im and Kim, 2013)

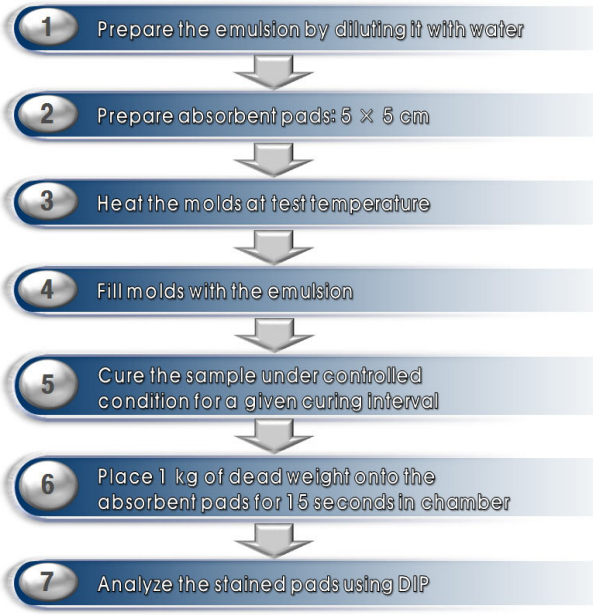


Fig. 11 Damping Test Procedure

시험 후 유화아스팔트를 흡수한 오일 흡수 패드의 표면은 스캐너(HP Scanjet 4850)를 사용하여 200dpi 해상도의 컬러 BMP 형식으로 스캔되었고, 흡수된 면적 계산을 위하여 디지털 이미지를 8비트 흑백 형식으로 전환하였다. 이때 각 픽셀의 흑백의 정도는 0부터 225의 흑백 세기 값(grayscale intensity values, GIVs)으로 표현한다. 흑백 형식의 디지털 이미지는 정확하고 일관된 이미지 분석을 위하여 276×276 픽셀의 크기로 자른 후 분석한다. 오일 흡수 패드에 묻어난 유화아스팔트의 면적을 분석하기 위하여 Kim and Lee(2005)의 연구에서 개발하여 칩실 블리딩 분석에 사용된 디지털 이미지 분석(digital image processing, DIP)을 사용하였고, 사전 분석을 통하여 190을 GIV의 경계값으로 지정하였다. 즉, GIV 190을 기준으로 흑과 백(1 혹은 0)의 값으로 각 픽셀의 흑백 값은 변환되고 결국, 전체 면적에 대한 흡수된 유화아스팔트의 면적은 픽셀 수로 계산된다.

4. 유화아스팔트 양생거동특성

4.1. 칩실용 유화아스팔트

4.1.1. 증발시험

유화아스팔트의 양생거동특성을 직접적으로 비교하기 위하여 증발시험을 수행하였다. 본 실험에서 양생시간은 유화아스팔트가 함유한 수분의 손실이 더 이상 발생하지 않는 시간으로 가정되었고, 실험결과는 양생시간에 따른 유화아스팔트의 수분함량비로 나타내었다(Fig. 12). 3종의 칩실 유화아스팔트 샘플은 모두 동일한 조건, 양생온도 35℃와 유화아스팔트 포설률 1.13 L/m^2(0.25gal/yd^2)의 조건에서 실험되었다.

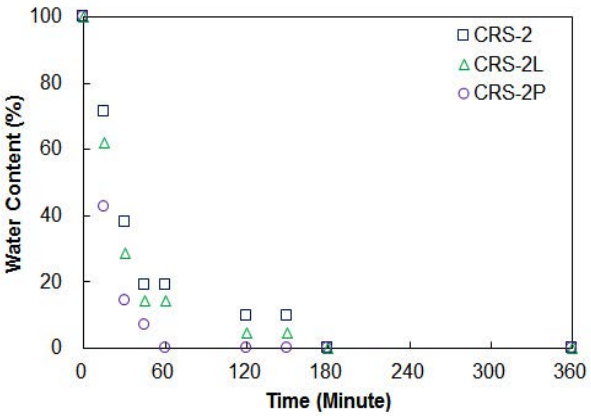


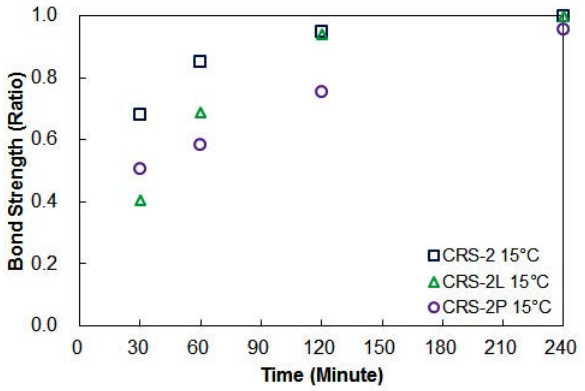
Fig. 12 Comparison of Water Contents for Different Emulsions

Fig. 12로부터 다음과 같은 유화아스팔트의 양생거동특성을 볼 수 있다. CRS-2P 유화아스팔트는 가장 빠른 양생거동을 보여주며, 1시간 이내에 모든 수분이 증발됨을 나타낸다. 반면에 CRS-2와 CRS-2L 유화아스팔트는 3시간의 양생시간을 나타내지만, 3시간 이전의 양생시간 동안 CRS-2L 유화아스팔트가 일반 유화아스팔트 CRS-2에 비하여 낮은 수분함량을 보여준다.

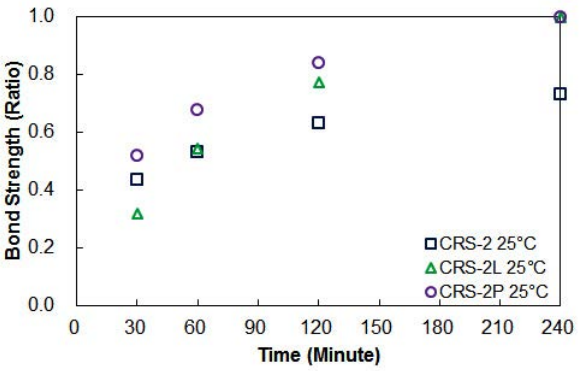
4.1.2. 점착력(BBS) 시험

3종의 유화아스팔트의 양생거동특성을 평가하기 위하여 30분, 60분, 120분, 240분의 양생시간, 15℃, 25℃, 35℃의 양생온도 조건이 적용되었다. 각 실험에서 동일한 양생조건 구현을 위해 온·습도 조절기능의 챔버를 사용하였다.

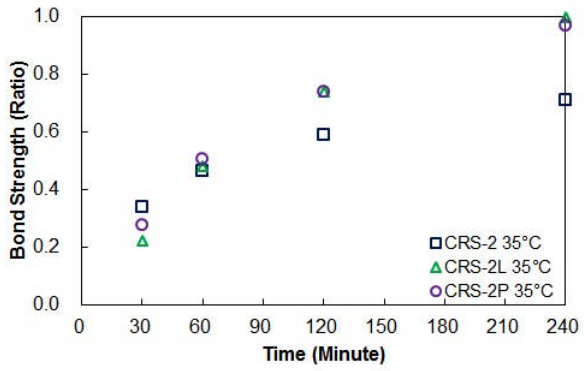
Fig. 13은 칩실 유화아스팔트를 사용한 점착력 시험결과로, 양생시간에 따른 온도별 점착력 변화를 나타낸다. 양생시간에 따른 각 유화아스팔트 종류별 양생거동특성을 평가하기 위하여, 현재 노스캐롤라이나 주에서 가장 대표적으로 사용되는 CRS-2L 유화아스팔트의 4시간 양생 후 점착력을 기준으로 점착력의 비율을 계산하여 분석하였다.



(a) 15℃



(b) 25℃



(c) 35℃

Fig. 13 Comparison of Bone Strengths at Different Curing Times

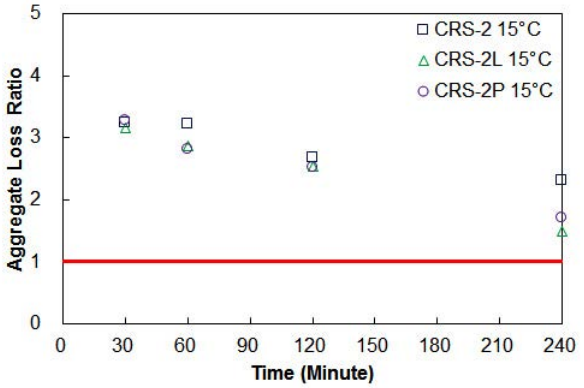
Fig. 13에서 폴리머 개질 유화아스팔트(polymer-modified emulsion, PME)는 개질되지 않은 유화아스팔트(CRS-2) 보다 우수한 점착력 특성을 보여준다. 저온(15℃)에서 CRS-2 유화아스팔트는 양생초기에 가장 우수한 점착력을 나타내지만 4시간 양생 후 모든 유화아

스팔트는 거의 같은 점착력 특성을 보인다. 이러한 양생 초기 거동은 일반 유화아스팔트의 점성이 개질 유화아스팔트의 점성보다 낮은 특성에서 기인하며 보다 신뢰도 높은 유화아스팔트의 저온거동특성을 위한 추후 연구가 필요하다고 판단된다. 일반적인 실내온도(25℃)와 현장 시공온도(35℃) 결과는 폴리머 개질 유화아스팔트의 우수한 점착력 특성을 보여주며, 특히 초기양생시간에 일반 유화아스팔트의 4시간 양생 후 결과와 상응하는 점착력 특성을 나타낸다. 예를 들면 25℃에서 60분 양생 후 CRS-2P 유화아스팔트의 점착력은 4시간 후 일반 유화아스팔트의 점착력 보다 우수한 값을 보여준다. 2 종류 폴리머 개질 유화아스팔트 사이의 점착력 차이는 크지 않으나 25℃와 35℃ 양생온도에서 CRS-2P 유화아스팔트가 약간 우수한 점착력 특성을 보인다. 전체적으로 모든 종류의 유화아스팔트의 점착력 증가는 120분까지 대부분 이루어지며, 120분 후에는 증가율이 줄어든다. 그러므로 칩실 시공 후 120분 이내의 초기양생시간이 칩실의 공용성에 중요한 역할을 한다고 사료된다.

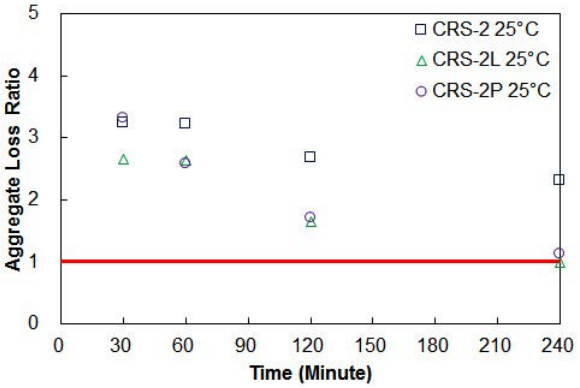
4.1.3. Vialit Test

3종의 유화아스팔트의 양생거동특성을 평가하기 위하여 30분, 60분, 120분, 240분의 양생시간, 15℃, 25℃, 35℃의 양생온도 조건이 적용되었다. 각 실험에서 동일한 양생 조건 구현을 위해 온·습도 조절기능의 챔버를 사용하였다.

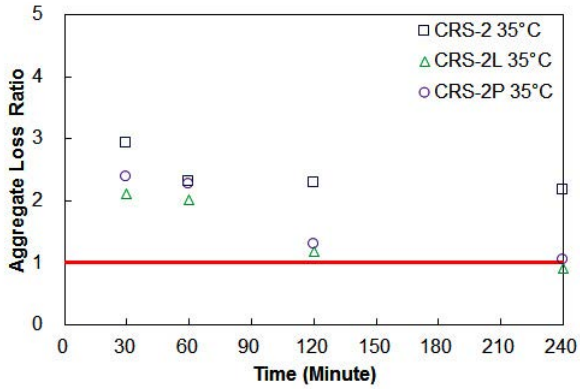
Fig. 14는 칩실 유화아스팔트를 사용한 골재 부착력 시험 결과로, 양생시간에 따른 온도별 골재 부착력 변화를 나타낸다. 일반적으로 칩실의 공용성 판단을 위하여 알래스카 주 교통국의 10% 골재 탈리기준을 사용하며, 본 연구에서는 10% 골재 탈리를 기준(골재 탈리 비율 1)으로 하여 골재 부착력 분석을 하였다.



(a) 15℃



(b) 25℃



(c) 35℃

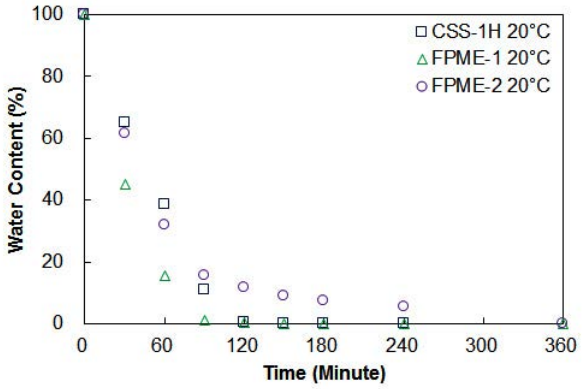
Fig. 14 Adhesive Behavior at Different Curing Times and Temperatures

Fig. 14에서 폴리머 개질 유화아스팔트(polymer-modified emulsion, PME)는 개질되지 않은 유화아스팔트(CRS-2) 보다 우수한 골재 부착력 특성을 보여준다. 전체적으로 모든 종류의 유화아스팔트의 골재 탈리율은 15℃에서 4시간 후까지 지속적으로 증가하며, 25℃와 35℃에서는 120분까지 증가한 후 골재 탈리 증가율이 줄어든다. 또한, 양생온도가 높아짐에 따라 골재 부착력은 증가(골재 탈리율 감소)하며, 높은 양생온도에서 우수한 초기 골재 부착력 특성을 나타낸다.

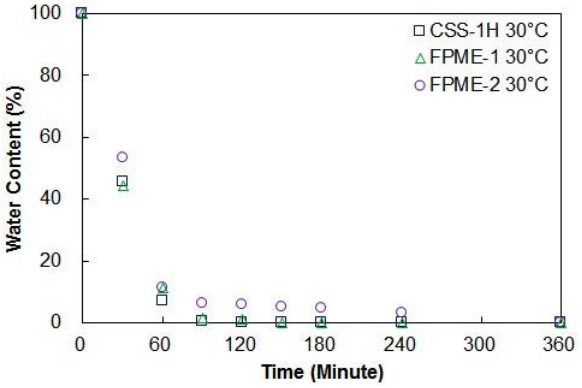
4.2. 포그실용 유화아스팔트

4.2.1. 증발시험

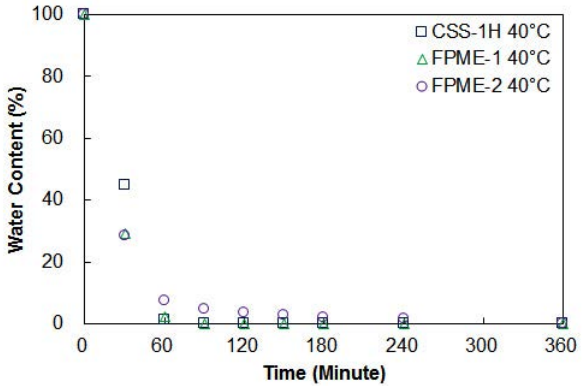
포그실 유화아스팔트 3종의 양생거동특성을 평가하기 위하여 증발시험은 0.86 L/m^2(0.19gal/yd^2)의 적용율을 사용하여 20℃, 30℃, 40℃의 양생온도에서 진행되었다. Fig. 15는 양생시간에 따른 유화아스팔트의 수분함량비의 결과를 보여준다.



(a) 20℃



(b) 30℃



(c) 40℃

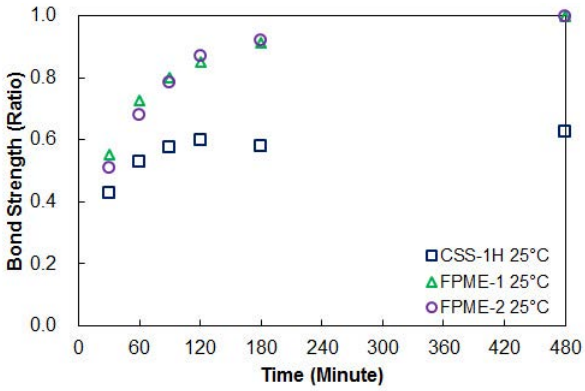
Fig. 15 Comparison of Water Contents for Different Emulsions

Fig. 15로부터 다음과 같은 유화아스팔트의 양생거동 특성을 볼 수 있다. FPME-1 유화아스팔트는 가장 빠른 양생거동을 보여주며, 1 시간 이내에 모든 수분이 증발됨을 나타낸다. 다만 20℃에서는 90분 정도의 양생시간이 필요함을 알 수 있다. 전체적으로 CSS-1H 일반 유화아스팔트는 가장 늦은 양생거동특성(많은 수분함량)을 나타내며, 개질 유화아스팔트 비교 시, FPME-1 유화아스팔트가 보다 빠른 양생거동을 보여주지만 그 차이는 크지 않다.

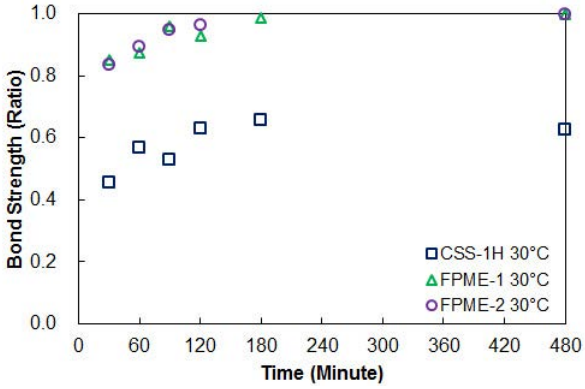
4.2.2. 점착력(BBS) 시험

포그실 유화아스팔트의 양생거동특성을 평가하기 위하여 30분, 60분, 90분, 120분, 180분, 480분의 양생시간, 25℃, 30℃, 35℃의 양생온도 조건이 적용되었다. 각 실험에서 동일한 양생조건 구현을 위해 온·습도 조절기능의 챔버를 사용하였다.

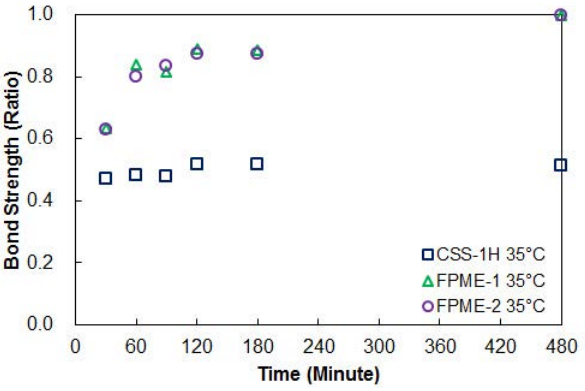
Fig. 16은 포그실 유화아스팔트를 사용한 점착력 시험 결과로, 양생시간에 따른 온도별 점착력 변화를 나타낸다. 양생시간에 따른 각 유화아스팔트 종류별 양생거



(a) 25℃



(b) 30℃



(c) 35℃

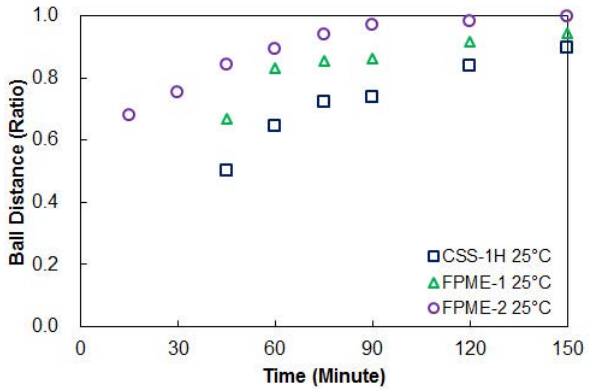
Fig. 16 Comparison of Bond Strengths at Different Curing Times

동특성을 평가하기 위하여, FPME-1 유화아스팔트의 8시간 양생 후 점착력을 기준으로 각 유화아스팔트의 점착력의 변화를 분석하였다.

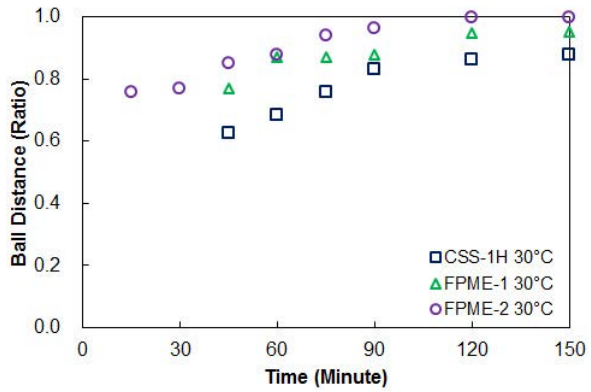
Fig. 16에서 폴리머 개질 유화아스팔트(polymer-modified emulsion, PME)는 개질되지 않은 유화아스팔트(CSS-1H) 보다 우수한 점착력 특성을 보여준다. 전체적으로 120분 경과 후 점착력의 증가가 거의 일어나지 않으므로, 대략적으로 120분의 양생시간은 포그실 유화아스팔트의 점착강도 발현을 위한 최소시간이라고 판단된다. 그러므로 포그실 시공 후 120분 이내의 초기 양생시간이 포그실의 공용성에 중요한 역할을 한다고 사료된다. 또한, 본 실험을 통하여 포그실 개질 유화아스팔트의 뛰어난 점착강도 특성을 확인할 수 있으며, 일반 유화아스팔트는 개질 유화아스팔트에 비하여 약 0.6% 정도의 점착강도를 발현함을 확인하였다.

4.2.3. Rolling Ball Test

포그실 유화아스팔트의 양생거동특성을 평가하기위하여 Damping Test는 다양한 양생시간(15분, 30분, 45분, 60분, 75분, 90분, 120분, 150분)에서 0.86 L/m²(0.19gal/yd²)의 적용율을 사용하여 25℃, 30℃, 의 양생온도(30℃)에서 수행되었다. Fig. 17은 Rolling Ball Test의 결과를 보여주며, 최대 볼 거리(30cm)를 기준으로 각 조건별 거리를 비율로 나타내었다.



(a) 25℃



(b) 35℃

Fig. 17 Comparison of Ball Distance at Different Curing Times

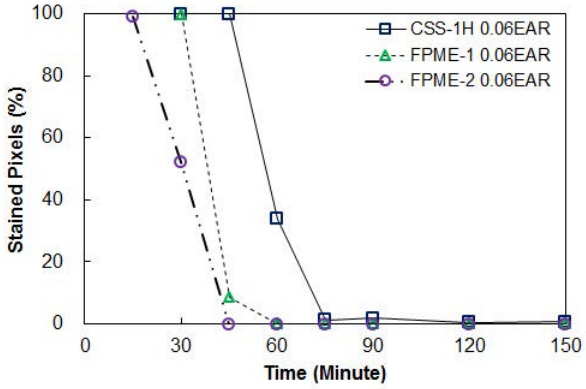
Fig. 17에서 폴리머 개질 유화아스팔트(polymer-modified emulsion, PME)는 개질되지 않은 유화아스팔트(CSS-1H) 보다 우수한 양생 특성, 즉 보다 큰 볼 이동거리 결과를 보여준다. 볼 이동거리는 유화아스팔트 샘플의 점성과 양생정도(수분함량)에 의하여 달라지기 때문에 거리가 멀수록 샘플의 양생정도가 빠르다고 판단할 수 있다. 전체적으로 90분 이후에 볼 이동거리의 증가율은 감소하며 120분 이후에는 증가율이 수렴함을 확인할 수 있다. 그러므로 포그실 시공 후 120분 이내의 초기 양생시간이 포그실의 공용성에 중요한 역할을 한다고 판단된다. 또한, 포그실 개질 유화아스팔트는 초기 양생시간동안 일반 유화아스팔트에 비하여 빠른 양생거동특성을 나타낸다. 즉, 볼의 굴러간 거리가 일반 유화아스팔트에 비하여 크다.

4.2.4. Damping Test

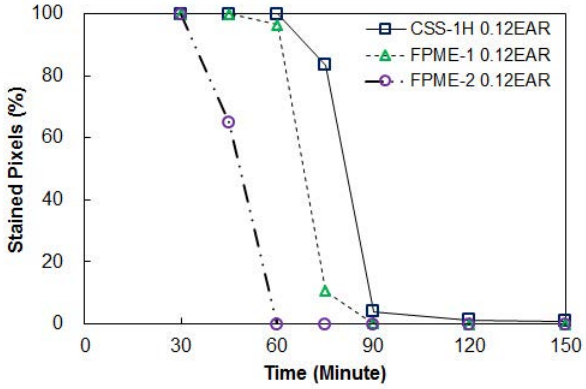
포그실 유화아스팔트의 양생거동특성을 평가하기위하여 Damping Test는 다양한 양생시간(15분, 30분, 45분, 60분, 75분, 90분, 120분, 150분), 유화아스팔트 적용률(0.27, 0.54, 0.86L/m²(0.06, 0.12, 0.19 gal/yd²)), 양생온도(30℃)에서 수행되었다. Fig. 18은 Damping Test 결과를 보여주며, 유화아스팔트 적용률은 EAR(emulsion application rate)로 표기되었다.

Fig. 18에서 포그실용 폴리머 개질 유화아스팔트(fog seal polymer-modified emulsion, FPME)는 개질되지 않은 유화아스팔트(CSS-1H) 보다 우수한 양생 특성, 즉 적은 유화아스팔트 흡수율을 보여준다. 유화아스팔트가 양생됨에 따라 흡수율은 작아지며 결국 완전히 양생된 유화아스팔트 샘플은 0%의 흡수율을 나타낸다. 본 실험결과를 통하여 유화아스팔트 적용률(EAR)이 클수록 샘플 양생을 위한 시간이 더욱 많이 소요됨을 알 수 있다. 이전의 Rolling Ball Test와 같은 적용률 (0.86L/m² (0.19gal/yd²))의 결과를 비교하면, FPME-2 유화아스팔트가 가장 빠른 양생거동특성(90분)을 보이며, FPME-1과 CSS-1H 유화아스팔트는 120분의 양생시간을 나타낸다. 하지만, FPME-1 유화아스팔트의 초기 양생거동은 CSS-1H보다 약간 빠름을 확인할 수 있다. 그러므로 일반 유화아스팔트(CSS-1H)가 가장

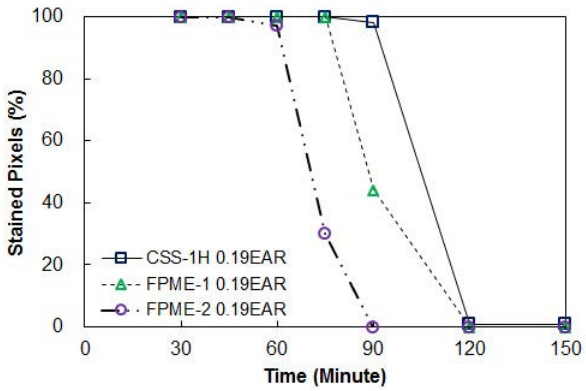
느린 양생거동특성을 보인다고 할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 포그실 시공 후 120분 이내의 초기 양생시간이 포그실의 공용성에 중요한 역할을 한다는 이전 실험의 결과와 같은 결론을 도출할 수 있다.



(a) 0.06 EAR



(b) 0.12 EAR



(c) 0.19 EAR

Fig. 18 Damping Test Results at Different Curing Times

5. 결론

본 연구에서는 동일한 조건 하에서 다양한 유화아스팔트의 양생 및 거동특성을 평가하기 위하여 3 가지 칩실 유화아스팔트(CRS-2, CRS-2L, CRS-2P)와 3가지 포그실 유화아스팔트(CSS-1H, FPME-1, FPME-2)를 선택하여 적용하였다. 평가를 위하여 시험은 다양한 양생시간과 양생온도에서 수행되었다. 양생조건을 일정하게 유지하기 위하여 시편의 양생과 실험 전 과정은 온도와 습도 조절이 가능한 챔버 안에서 수행되었다.

본 연구로부터 다음과 같은 결론은 도출하였다.

1. 동일한 조건 하에서 폴리머 개질 유화아스팔트는 일반 유화아스팔트에 비해 우수한 양생 및 점착력 거동특성을 나타낸다. 즉, 우수한 점착력, 골재 부착력, 볼의 거리 및 흡수율 등을 보여준다.
2. 특히, 초기(120분 양생) 양생 및 점착력 거동은 일반 유화아스팔트에 비하여 상당히 우수함을 확인하였다.
3. 따라서, 폴리머 개질 유화아스팔트의 우수한 양생 및 점착력 거동특성으로 인하여 칩실의 경우 골재 탈리 방지 및 조기 교통개방의 이익을 가져올 수 있으며, 포그실의 경우 조기 교통개방의 특성을 보인다.
4. 또한 동일한 조건 하에서 폴리머 개질 유화아스팔트 간의 특성은 거의 동일한 것을 확인할 수 있었다.
5. 모든 실험에서 공통적으로 120분 이후의 양생 및 점착력 거동이 안정화됨을 나타내며, 때문에 초기 120분의 양생시간이 칩실 및 포그실의 공용성에 중요한 역할을 한다고 판단된다.
6. 120분의 양생시간은 도로 이용자의 불편을 초래하는 현장 교통통제상황을 고려할 때, 짧지만은 않은 시간이며, 몇몇의 실험결과, 특히 폴리머 개질 유화아스팔트 결과는 120분 이전에 충분한 양생 및 점착력 거동을 보였으므로 추후 연구를 통하여 좀더 감소된 양생시간을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 NCDOT의 연구과제인 "Extending the Use of Chip Seals to High Volume Roads by Polymer-Modified Emulsions and Optimized Construction Procedures (HWY-2011-03)"과 한국건설기술연구원 주요사업 "탄소섬유복합재를 활용한 고기능성 도로포장시스템 개발"의 연구지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO). Standard Test Method of Test for

Dertermining Asphalt Binder Strength by Means of the Asphalt Bond Strength (ABS) Test. AASHTO TP:91-11.

Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA). Asphalt Emulsion. AEMA Brochure.

California Chip Seal Association. (2005). 6 Steps To a Better Chip Seal: Design, Construction, and Application.

California Department of Transportation. (2003). Maintenance Technical Advisory Guide (TAG). In Caltrans Division of Maintenance.

Gransberg, D. D. Correlating. (2006). Chip Seal Performance and Construction Methods. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1958, pp. 54-58.

Kim, Y. R. and J. H. Im. (2014). Extending the Use of Chip Seals to High Volume Roads by Using Polymer-Modified Emulsions and Optimized Construction Procedures. Final Report, Report No. HWY-2011-03, North Carolina Department of Transportation, Raleigh, NC.

Kim, Y. R. and J. H. Im. (2012). Fog Seal Effectiveness for Bituminous Surface Treatments. Final Report, Report No. HWY-2010-02, North Carolina Department of Transportation, Raleigh, NC.

Im, J. H. and Y. R. Kim. (2013). Methods for Fog Seal Field Test with Polymer-Modified Emulsions: Development and Performance Evaluation. Journal of the Transportation Research Board, No. 2361, pp. 88-97.

Kim, Y. R. and J. S. Lee. (2005). Optimizing Gradations for Surface Treatments. Final Report, Report No. FHWA/NC/2005-15, North Carolina Department of Transportation, Raleigh, NC.

NCDOT (North Carolina Department of Transportation). (2012). Pavement Condition Survey Manual 2012.

Stroup-Gardiner, M. and D. Newcomb. (1995). An Evaluation of Rheological Measurements for Unmodified and Modified Asphalt Cements. Transportation Research Record, No. 1488.

Takamura, Koichi. (2003). Improved Fatigue Resistance of Asphalt Emulsion Residue Modified with SBR Latex. AEMA Annual Meeting in Nashville, TN.

Wood, T. J., D. W. Janisch, and F. S. Gaillard. (2006). Minnesota Seal Coat Handbook 2006. Minnesota Department of Transportation, Office of Minnesota Road Research.