

아스팔트 콘크리트 포장용 균열실링재의 부착특성 평가

Evaluation of Adhesion Characteristics of Crack Sealants Used in Asphalt Concrete Pavement

이 재 준	Lee, Jae-Jun	정회원 · 전북대학교 토목공학과 방재연구센터 조교수 (E-mail : lee2012@jbnu.ac.kr)
김 승 훈	Kim, Seung-Hoon	정회원 · 전북대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : kshqkqhekd@naver.com)
백 종 은	Baek, Jong-Eun	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : jbaek@kict.re.kr)
임 재 규	Lim, Jae-Kyu	한국건설기술연구원 도로연구소 전임연구원 (E-mail : jklim@kict.re.kr)
김 용 주	Kim, Yong-Joo	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : yongjook@kict.re.kr)

ABSTRACT

Cracking is an inevitable fact of asphalt concrete pavements and plays a major role in pavement deterioration. Pavement cracking is one of the main factors determining the frequency and method of repair. Cracks can be treated with a number of preventative maintenance actions, including overlay surface treatments such as slurry sealing, crack sealing, or crack filling. Pavement cracks can show up as one or all of the following types: transverse, longitudinal, fatigue, block, reflective, edge, and slippage. Crack sealing is a frequently used pavement maintenance treatment because it significantly extends the pavement service life. However, crack sealant often fails prematurely due to a loss of adhesion. Because current test methods are mostly empirical and only provide a qualitative measure of the bond strength, they cannot accurately predict the adhesive failure of the sealant. This study introduces a laboratory test aimed at assessing the bonding of hot-poured crack sealant to the walls of pavement cracks. A pneumatic adhesion tensile testing instrument (PATTI) was adopted to measure the bonding strength of the hot-poured crack sealant as a function of the curing time and temperature. Based on a limited number of test results, the hot-poured crack sealants have very different bonding performances. Therefore, this test method can be proposed as part of a newly developed performance-based standard specification for hot-poured crack sealants for use in the future.

PURPOSES : The purpose of this study was to evaluate both the adhesion and failure performance of a crack sealant as a function of its curing time and curing temperature.

METHODS : A pneumatic adhesion tensile testing instrument (PATTI) was adopted to measure the adhesion performance of a crack sealant as a function of the curing time and curing temperature.

RESULTS : With changes in the curing time, curing temperature, and sealant type, the bond strengths were found to be significantly different. Also, higher bond strengths were measured at lower temperatures. Different sealant types produced completely different bond strengths and failure behaviors.

CONCLUSIONS : The bonding strength of an evaluated crack sealant was shown to differ depending on various factors. Two sealant types, which were composed of different raw materials, were shown to perform differently. The newly proposed test offers the possibility of evaluating and differentiating between different crack sealants. Based on a limited number of test results, this test method can be proposed as part of a newly developed performance-based standard specification for crack sealants or as part of a guideline for the selection of hot-poured crack sealant in the future.

Keywords

crack sealant, bond strength, adhesion, cohesion

Corresponding Author : Kim, Yong-Joo, Senior Researcher
Highway Research Division, Korea Institute of Civil Engineering
and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu,
Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0248 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : yongjook@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan. 29, 2015 Revised Jan. 30, 2015 Accepted Feb. 12, 2015

1. 서론

국가의 대동맥인 도로는 교통 및 물류수송을 전담하는 국가의 기간시설이다. 도로포장은 교통하중 및 환경 조건에 의하여 시간의 경과에 따라서 열화가 발생하게 된다. 도로포장에서 발생하는 열화는 기온변화, 습도변화, 교통량, 포장체 하부의 이동 등 다양한 원인들로 인하여 발생하게 된다. 도로포장에 균열이 발생한 경우 신속하고 빠르게 보수를 진행하지 않으면 균열의 파손 진행속도가 빠르게 진행되며 더 많은 유지보수가 필요하게 된다. 특히 교통량이 많은 구간의 도로포장 파손은 유지보수 시기의 중요성이 더욱 더 크다. 아스팔트 포장에서 발생하는 피로균열, 저온균열, 종방향 균열 및 시공이음 균열 등 다양하게 구분할 수 있다. 이러한 균열을 통하여 포장층 내부로 물 또는 이물질이 유입되면서 포트홀과 같은 추가적인 2차 포장 파손이 발생하게 된다. Fig. 1은 아스팔트 포장에 균열을 발생시키는 요소들과 상호작용은 설명한 것이다. Fig. 1에서 설명되고 있는 것과 같이 교통하중, 환경하중, 시공관리, 유지관리 및 포장구조간에 상호작용으로 균열이 발생하게 된다(Tighe et al. 2003).

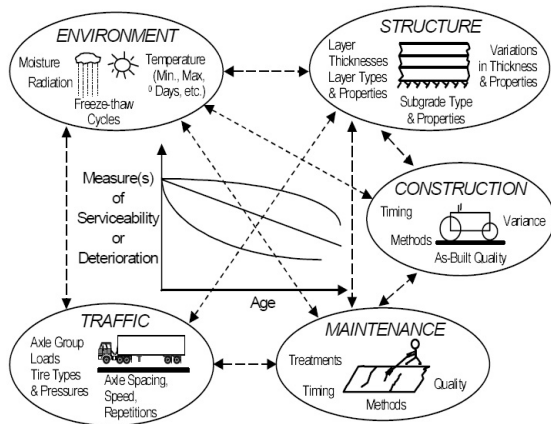


Fig. 1 Factors and Interactions, Which Can Affect Pavement Performance (Tighe et al, 2003)

균열은 포트홀과 같은 도로포장의 2차 파손으로 연결되기 때문에 미네소타 교통국(MnDOT)에서는 아스팔트 포장에서 발생하는 균열을 억제하기 위하여 많은 연구와 노력을 진행하고 있으며, 균열 억제를 위하여 새로운 폴리머 개질 아스팔트 혼합물을 사용하여 균열을 억제하는 연구를 진행하였다(Fournier, 2011).

도로에 발생한 균열을 초기에 잡기 위하여 균열실링을 적절한 시기에 하는 것도 중요하지만 균열의 거동특성을 이해하고 균열실링을 하는 것도 중요하다. 미국에

서는 균열폭과 균열 끝부분의 열화상태를 파악한 후 그 상황을 고려하여 routing 처리를 하는 균열실링과 라우팅 처리를 하지 않는 균열실링공법으로 나뉘어서 적용하고 있으며 관련된 Table 1과 Table 2와 같다. Table 1에서는 균열실링 종류와 균열의 수평이동 등을 고려하여 균열특성에 따른 균열실링공법의 적용 가이드라인을 제시하고 있으며, Table 2는 캘리포니아 교통국에서 사용하고 있는 균열실링과 균열채움재의 기준, 가격 그리

Table 1. Recommendations for Crack Sealing (Yildirim, Y. et al. 2006)

Crack characteristics	Crack treatment method	
	Crack sealing w/routing	Crack sealing
Width (in.)	0.2 to 0.75	0.2 to 1.0
Edge deterioration	Minimal to none ≤ 25% of crack length	Moderate to none ≤ 50% of crack length
Annual horizontal movement (in.)	≥ 0.1	< 0.1
Type of crack	Transverse Thermal Transverse Reflective Longitudinal Reflective Longitudinal Cold-Joint	Longitudinal Reflective Longitudinal Cold-Joint Longitudinal Edge Distantly Spaced Block

Table 2. Crack Sealer and Filler Specifications (CALTRANS, 2003)

Material	Specifications (CT/AASHTO)	Application type	Approx. costs (\$/kg)	Approx. life (years)
Asphalt emulsion	CT section 94/ M140,M208	Filling	0.15~0.30	2~4
Asphalt cements	CT section 94/M20, M226	Filling	0.03~0.15	2~4
Fiber Modified asphalt	No specification	Filling	0.35~0.60	6~8
Polymer modified emulsion (PME)	CT section 94/M20, M226	Filling (minor sealing)	0.80~1.20	3~5
Asphalt rubber(AR)	CT SSP 37-400	Sealing	0.45~0.60	6~8
Specialty AR low modulus	CT SSP 37-400	Sealing	0.75~1.40	5~9
Silicone	CT SSP 41-200, SSP51-740	Sealing	5.76~6.75	4~6

CT: Caltrans specification

고 예측 수명을 정리하여 나타내고 있다. 이와 같이 미국에서는 균열실링 활성화를 위하여 균열실링 가이드와 시방기준 등을 제시하고 제품에 따른 기대수명이 정리되어 있는 상황이다. 하지만 국내에서는 아직 균열실링에 대한 기준이 확립되어 있지 않은 실정이다.

Al-Qadi et al.(2009)은 포장 균열과 조인트에 사용되는 가열 히팅 실링재를 적절하게 선택하기 위한 시스템 개발하기 위하여 관련된 연구결과를 정리하였다. 균열 실링재를 평가하기 위해서 점탄성 테스트, 단기노화시험 그리고 직접인장 시험 등 다양한 시험을 통하여 균열 실링재의 성능을 평가하였으며, 직접인장 시험이 균열 실링재의 성능을 평가하는 가장 적합한 시험법으로 평가되었으며 실질적인 성능 가이드라인 개발에 적합하다고 평가하였다. 최소 50N의 하중으로 다양한 테스트 온도에서 균열 실링재의 점성이 현장 성능을 평가할 수 있다고 보고하였으며 균열 실링재의 등급과 적용 기준 및 성능을 예측할 수 있는 다양한 방법을 제시하였다.

국내의 경우, 아스팔트 포장도로의 균열보수에 사용되는 아스팔트 실런트(Sealant)를 제조하기 위하여 폐윤활유를 활용하는 연구가 진행되었으며, 균열보수재의 제조에 필요한 재료로는 일반적으로 널리 사용되는 AP-5 아스팔트와 SBS 삼블록 공중합체(triblock copolymer), 점착제(석유수지), 폐윤활유 및 산화방지제 등이 있다. 균열보수재의 성능을 평가하기 위하여 콘 침입도, 연화점, 신도, 흐름성, 인장 점착신율 및 원상회복률을 측정 한 결과 아스팔트 실런트의 콘 침입도가 폐윤활유 함량이 증가함에 따라 증가하였고 연화점, 신도 및 원상회복률은 감소하는 결과를 나타내었다. 폐윤활유를 포함하는 아스팔트 실런트에서 탈크의 함량이 증가할수록 연화점 및 원상회복률은 증가하고 콘 침입도, 신도 및 인장 점착신율이 감소하는 경향도 발견되었다. 또한, 석유수지 함량을 줄임으로써 ASTM 규격에 적합하면서도 가장 경제적인 균열보수용 아스팔트 실런트 개발 연구를 수행하였다(Kim, S. and Ko, Y. 2009).

2. 재료 및 시험방법

국내에서 사용되고 있는 아스팔트 콘크리트 포장용 균열 보수재료에 대하여 부착강도 특성을 평가하였다. 국내의 균열실링재의 온도별 특성을 분석하기 위하여 인장접착강도시험(PATTI Test)와 피로시험을 실시하였다.

2.1. 재료

본 연구에 사용된 아스팔트계 실런트는 국내에서 R회사에서 제조하여 시판되고 있는 제품으로 스티렌-부타디엔-스티렌 블록공중합체(SBS triblock copolymer, 이하 SBS)와 페타이어 고무 분말(crumb rubber, 이하 CR)을 첨가한 폴리머 개질 아스팔트 바인더 특성을 가진 제품으로, 사용된 SBS 블록공중합체는 고무탄성 성질과 열가소성의 성질을 함께 가지고 있어 기존의 도로 포장용 혼합물의 반사균열 및 취성파괴의 억제효과가 있는 아스팔트 포장용 균열 실링재이다. Table 3은 본 연구에 사용된 2종류의 아스팔트계 실런트의 물성표를 나타내고 있다. Table 3에서 설명하고 있는 것과 같이 국내에서 많이 사용되고 있는 AP-5(PG 64-22) 아스팔트 바인더에 SBS와 페타이어 고무분말 등을 혼합하여 아스팔트계 실런트를 제조하였으며, 라텍스 첨가에 따른 저온 성능 개선을 위하여 10% 라텍스를 추가한 제품(Sealant_Latex)에 대해서도 성능을 비교·평가하였다.

Table 3. Material Component

Component	Sealant	Sealant-Latex
Asphalt binder	50	45
Thermoplastic elastomer	8	8
Foral	1	1
Latex	-	10
Tacifier	1	1
Plasticizer	5	5
Crumb rubber	5	5
Additive	10	15
Adhesion promotor	20	10
Total	100	100

2.2. 시험방법

2.2.1. Bitumen Bond Strength(BBS) TEST

골재표면과 아스팔트 실런트의 부착특성을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 National Institute of Standards and Technology사의 인장접착강도(PATTI, Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument)장비가 최근 사용되기 시작하였다. 인장접착강도시험은 최근 AASHTO-TP 91에 등록된 아스팔트 접착력 시험방법으로 아스팔트 접착력 시험(Bitumen Bond Strength(BBS) Test)으로 사용되고 있다(Im, et al., 2014, Lee, et al., 2014).

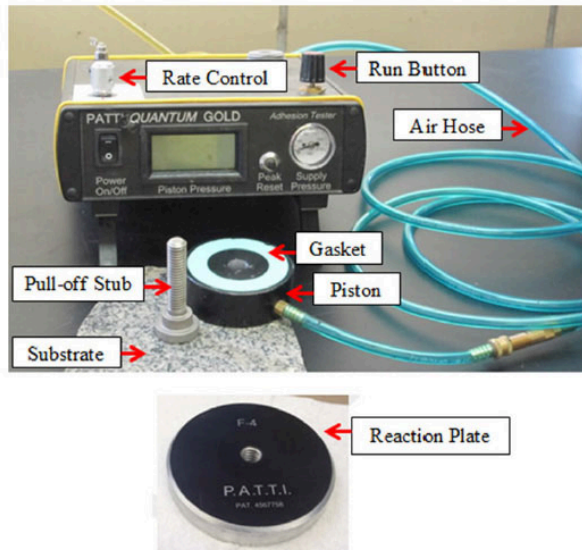


Fig. 2 PATTI Test Set Up (Im, et al. 2014)

본 연구에서는 양생온도와 양생시간에 따라 국내에서 사용하고 있는 아스팔트 실링재의 부착 특성을 평가하고자 한다. 일반적으로 국내에서 사용되고 있는 가열형 아스팔트 균열 실링재를 180℃에서 가열을 하여 대리석 위에 놓은 후 일정시간 동안 양생을 실시한 후 가열된 스티드를 양생된 샘플 위에 부착 후 60분 후에 부착강도를 측정하였다. Fig. 3은 BBS 테스트의 시험절차를 요약한 것이다. 아스팔트 접착력 시험에서 3가지 조건에 양생온도(5℃, 25℃, 35℃)와 5가지(30분, 1시간, 2시간, 4시간, 24시간) 조건에 양생시간 변화에 따른 아스팔트 균열실링재의 부착강도를 측정하였다. 본 연구에서 대리석을 사용한 이유는 표면의 거칠기를 동일하게 하기 위함이다.

1. Sealant setting : 180 ± 2°C
2. Pour the sealant on substrate
3. Curing the sample for planning curing time
4. Adhere the heating(180 ± 2°C) pull stub on sealant
5. Curing for 1hr to adhere
6. Experiment

Fig. 3 BBS Test Procedure

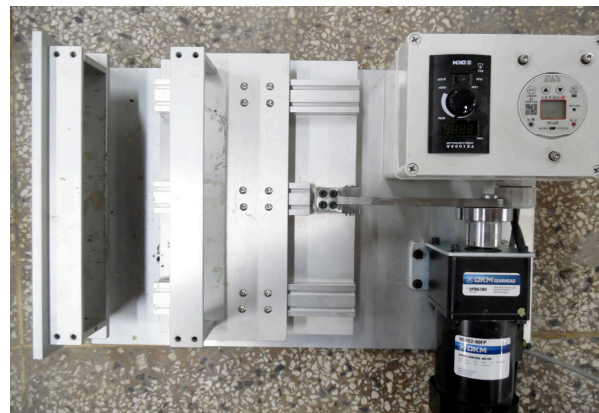
2.2.2. BBS 시험 샘플 제작

본 테스트의 목적은 유화아스팔트와 골재표면사이의 최대접착력을 측정하는 것으로, 화강석으로 만든 판위

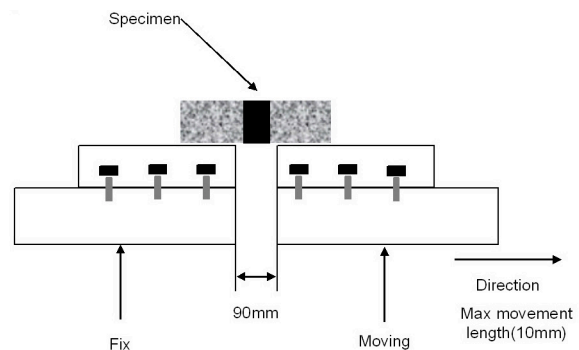
에 유화아스팔트를 떨어뜨려서 시편을 제작하였다. 골재의 표면거칠기, 유화아스팔트의 두께 등이 변화할 경우 실험결과에 크게 영향을 미칠 수 있기 때문에 동일한 실험조건에서 본 실험을 실시하기 위하여 샘플의 일정한 접촉면적과 두께를 유지하기 위하여 실리콘 재질의 몰드(지름 20mm의 구멍이 있는 400mm×400mm 사각형 모양)와 규격화된 크기의 pull-out stub을 사용하였다. 화강석 시편위에 일정량의 유화아스팔트를 떨어뜨린 후에 챔버에 넣고 3가지의 다른 온도에서 1시간씩 양생을 시킨 후, pull-out stub을 붙였다(Im, et al. 2014). Fig. 9는 양생된 시편위에 pull-out stub를 붙인 전경을 보여주고 있다.

2.2.3. 인장피로시험기

균열실링재의 성능을 알아보기 위하여 균열부에 충전된 실링재에 팽창·수축거동에 따른 거동을 알아보기 위하여 본 실험을 실시하였다. Fig. 4는 본 실험에 사용된 피로시험장치와 개념도를 나타낸다. 아스팔트 시편사이에 균열 실링재를 채운 시편을 1축 피로시험기에



(a) Tension Tester



(b) Diagram of Specimen

Fig. 4 Tension Tester and Schematic Diagram for Testing Setup

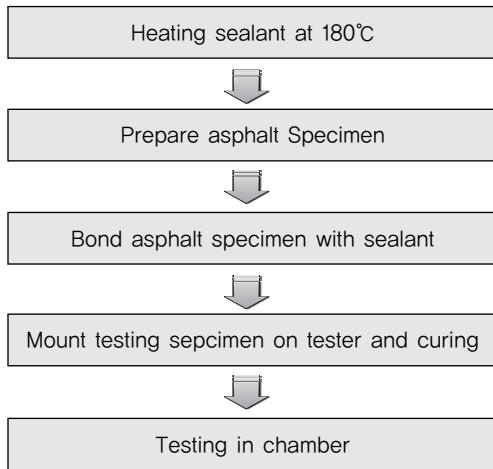


Fig. 5 Fatigue Testing Procedure

고정 시켜서 1cm 유격에 따른 실링재 성능평가를 실시하였다. Fig. 5는 실험순서를 설명하고 있다. Fig. 5에서 설명하고 있는 것과 같이 실린트를 가열해서 Fig. 4(b)와 같이 아스팔트 혼합물 사이에 균열 실링재를 채운 후 정해진 시간과 온도에서 양생을 시킨 후 실험을 실시하였다.

3. 시험결과

3.1. 양생온도 및 양생시간에 부착특성

본 연구에서는 동일조건 하에 세 가지 종류의 균열실링재의 양생특성을 평가하였다. BBS test의 양생온도는 5°C, 25°C, 35°C와 양생온도를 양생시간(0.5시간, 1시간, 2시간, 4시간, 24시간)에 따른 거동을 조사하였다. Fig. 6~Fig. 8은 각각의 양생온도에서의 양생시간에 따른 부착강도 변화를 나타내고 있다. Fig. 6에서 설명하고 있는 것과 같이, 5°C 양생온도에는 라텍스가 들어가지 않은 실린트의 경우 1시간까지의 부착강도의 변화가 없었으나, 1시간 이후에 부착강도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 4시간 이후 부착강도의 증가율이 완화됨을 나타내고 있다.

Fig. 7은 양생온도 25°C에서 두 실린트의 거동이 상이함을 나타내고 있다. Latex가 첨가된 실린트는 양생시간 변화에 따른 부착강도의 변화가 미비하였으나, Latex가 첨가되지 않은 실린트의 경우 양생시간이 증가할수록 부착강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 8은 양생온도 35°C 양생시간의 변화에 따른 실린트의 거동을 나타내고 있다. 35°C에서는 부착강도의 차이가 있었으나, 두 실린트의 거동은 비슷한 경향을 나타내고 있다. Fig. 7에서 나타낸 25°C때의 거동

과는 상이한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 35°C 양생온도에서는 균열 실링재 종류에 상관없이 4시간 이후 부착특성이 크게 변화를 하지 않는 경향을 나타내고 있다. 이는 4시간 양생 이후에 균열 실링재가 완전히 양생되었기 때문에 부착특성의 변화가 없는 것으로 판단된다.

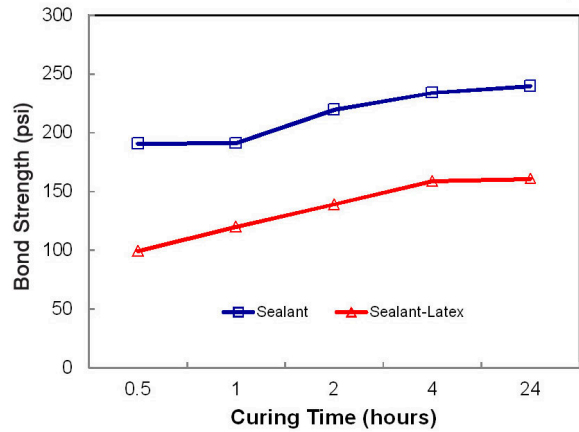


Fig. 6 Adhesion Test Result at 5°C

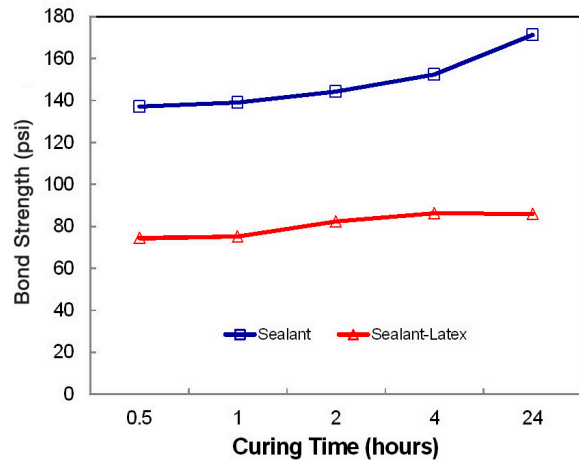


Fig. 7 Adhesion Test Result at 25°C

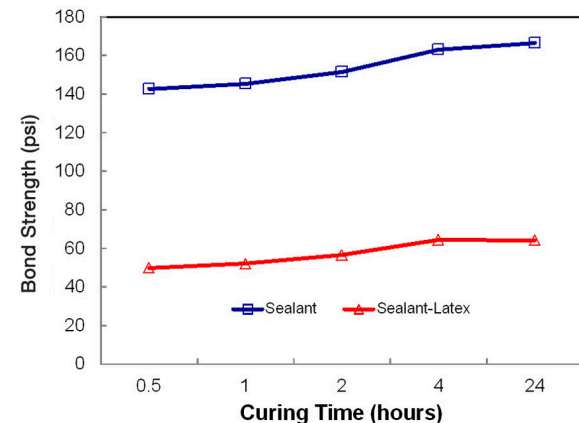


Fig. 8 Adhesion Test Result at 35°C

3.2. 시편 종류에 따른 부착강도 특성

실제 아스팔트 커팅면에서 균열실린트의 부착성을 평가하기 위해 대리석과 아스팔트 혼합물을 커팅한 소형 시편을 이용하여 부착강도를 측정하였다. Fig. 9는 본 실험에서 사용한 대리석과 아스팔트 혼합물 시편 위에 스티드를 올려놓은 장면을 나타낸 것이다. 동일한 조건에서 두 종류에 실린트를 놓은 후 35℃의 양생온도에서, 0.5시간, 1시간, 2시간, 4시간의 양생시간에 따른 부착강도를 측정하였다. Fig. 10은 대리석 위에서 측정한 부착강도 결과를 나타내었으며 Fig. 11은 아스팔트 혼합물 시편위에서 측정한 부착강도 결과를 나타낸 것이다. Fig. 10과 Fig. 11에서 알 수 있듯이 두 종류의 실린트는 시편에 따라 부착강도가 차이가 있는 것으로 평가되었다. Fig. 12는 대리석 시편과 아스팔트 혼합물 시편에서 측정한 부착강도 비를 계산한 값을 나타내었다. 부착강도비는 Eq. (1)에 따라 계산하였다.

$$\text{부착강도비} = \frac{\text{아스팔트 시편에서 측정한 부착강도}}{\text{대리석 시편에서 측정한 부착강도}} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 12에서 나타내고 있는 것처럼 아스팔트 혼합물 공시체에서 측정한 부착강도가 대리석에서 측정한 부착강도보다 양생시간에 상관없이 약 1.5배 이상 강하게 측정됨을 알 수 있었다. 이는 대리석 표면이 아스팔트 혼합물 커팅면보다 부드럽기 때문이라 판단된다. 즉, 실제 현장에서 발생하는 부착력은 Fig. 6~Fig. 8에서 측정된 값보다 1.5배 이상 더 강하게 발현됨을 암시하는 것이다.

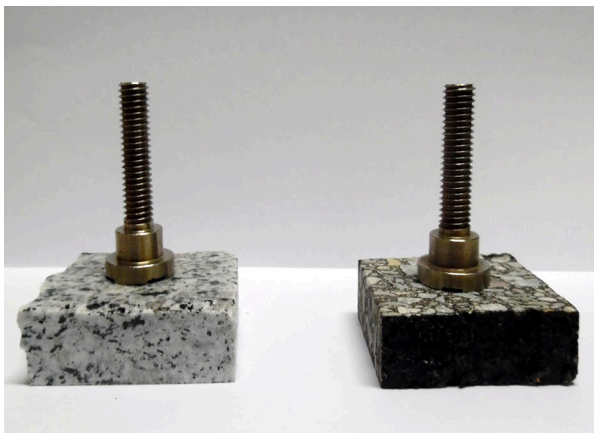


Fig. 9 Testing Samples of Marble and Asphalt Mixture

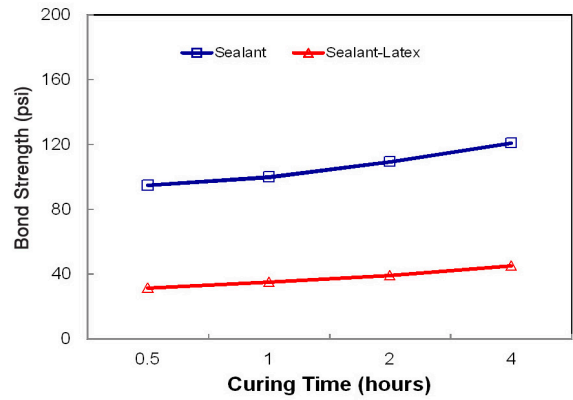


Fig. 10 Adhesion Test Result Using Marble Test Bed

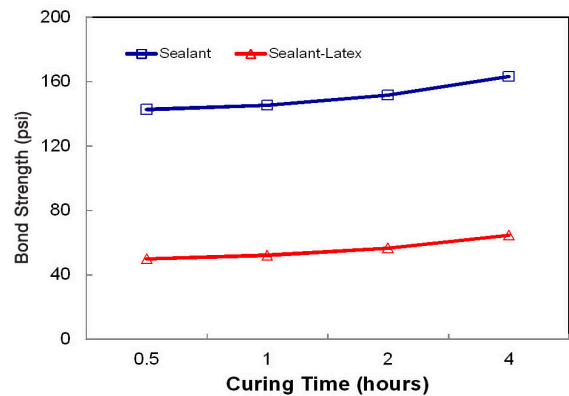


Fig. 11 Adhesion Test Result Using Asphalt Mixture Test Bed

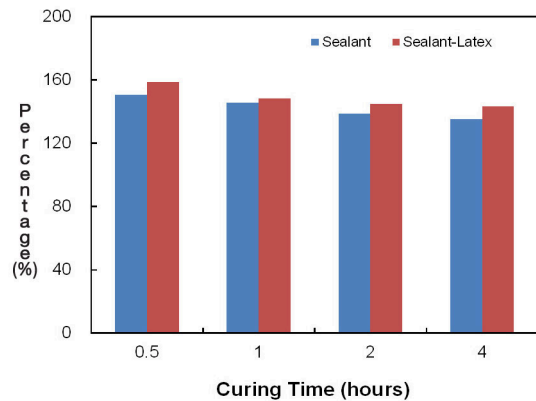


Fig. 12 Comparison of Bonding Strengths from Marble and Asphalt Mixture Test Beds

3.3. 피로인장시험 결과

실험에서는 동일조건 하에 두 종류의 실링재의 인장피로 저항성에 대한 저항성을 평가하기 위하여 두 가지 실링재에 대한 피로시험을 실시하였다. 인장피로 시험은 동일한 양생시간(60분)과 양생온도(15℃) 및 싸이클(90w, 5Hz)에서 진행되었다. 실험을 진행하는데 있어, 동일한 온도

와 습도를 유지하기 위하여 실험은 항온항습조 내부에 Fig. 2와 같은 1축 피로시험기를 위치시켜 실시했다.



Fig. 13 Adhesion Failure



Fig. 14 Cohesion Failure

모든 실험은 100 사이클 미만에서 파괴가 진행되었으며 아스팔트 시편과 실린트의 1축 인장피로시험을 통해 2종류의 파괴거동을 확인할 수 있었다. Fig. 13은 실린트와 아스팔트 커팅면에서 분리가 발생하는 adhesion 파괴가 발생하였다. Latex가 첨가된 실린트의 경우에는 Fig. 14와 같이 실린트의 내부에서 균열이 발생하여 떨어지는 현상을 발견할 수 있었다. 이는 Latex 함유에 따른 표면과의 접착력 개선효과에 따른 결과로 판단된다. 동일 실험조건에서 재료의 성분변화에 따라서 실린트의 파괴형상이 분명하게 다르게 발생됨을 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 균열실링재의 부착특성과 파괴거동을 제한된 실내실험 결과를 바탕으로 균열실링재의 특성을 분석하였다.

부착강도 측정결과 균열실린트 종류에 따라서 명확하게 다른 거동을 나타내고 있음을 알 수 있었다. Latex를 첨가한 제품의 경우 다소 부착강도가 저하됨을 알 수

있었다.

균열실링재의 재료와 상관없이 양생온도가 증가할수록 부착력이 증가하였으며, 이는 첨가제가 안정화되었기 때문으로 판단된다.

제품별 양생시간에 따른 부착강도 특성이 달랐다. 실린트의 부착강도의 영향을 최소화하기 위해서는 4시간 이상 양생을 시켜야하는 결과가 도출되었다.

대리석 시편에서 측정된 결과보다 아스팔트 시편에서 측정된 결과를 비교한 결과 아스팔트 시편에서 측정된 부착력이 우수하였다. 이는 부착면의 거칠기와 부착력과의 연관성이 있기 때문으로 판단되며 향후 표면조도계를 통한 표면거칠기에 따른 부착력 특성을 파악할 필요가 있다고 판단된다.

인장 파괴시험 결과로부터 실린트 종류에 따라 adhesion 파괴와 cohesion 파괴가 발생함을 알 수 있었다. 이는 제품별 첨가된 재료에 따라서 재료의 거동이 변화하기 때문이라 판단된다.

국내에는 미국과 달리 아직 균열실링재의 기준이 세분화되어 있지 않다. 본 연구에서 알 수 있듯이 제품별 특성이 다르기 때문에 균열실링재의 재료 구성별 적용조건(교통량 등)에 따른 균열실링 기준 및 적용공법 가이드라인이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원에서 수행하고 있는 정부수탁과제인 “2015년 도로포장관리시스템 운영업무”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

BIBLIOGRAPHY

- Al-Qadi, I. L., Masson, J.-F., Fini, E., Yang, S.-H., and McGhee, K., (2009) Development of performance-Based Guidelines for selection of Bituminous-Based Hot-Poured Pavement Crack Sealant: An Executive summary report, Illinois Center for Transportation University of Illinois at Urbana-Champaign
- CALTRANS, Chapter 3 Crack sealing, crack filling & Joint sealing of flexible & rigid pavements, Caltrans Flexible Pavement Materials Program
- Cho, M., Lee, Y., Yoon, S., and Kim, N. (2014) A Fundamental Study of Longitudinal Crack Sealing Material Development For Asphalt Concrete Pavement, Proceeding of Korean Society of Hazard Mitigation
- Fournier, P. (2011) MnDOT Trial seeks to reduce pavement cracks, Western builder East edition, Vol. 101.
- Im, J., Kim, Y. R., Yang, S. (2014) Bond Strength Evaluation of Asphalt Emulsions used in Asphalt Surface Treatments, International Journal of Highway Engineering, Vol. 16, No. 5, pp 1-8.

- Im, J. and Kim, Y.R., (2013) Methods for Fog Seal Field Test with Polymer-Modified Emulsions Development and Performance, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2361, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 88-97.
- Kim, S. and Ko, K. (2009) Asphalt sealant containing the Waste Lubricant Oil, *Elastomers and Composites*, Vol. 44, No. 1 pp.69-75
- Lee, J., Kim, S., Lim, J., Han, J. and Lee, K. (2014) Evaluation of Domestic Tack-coating Material's Properties for Asphalt Concrete Pavement, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 16, No. 6, pp 121-128.
- Tighe, S., Haas, R., Ponniah, J. (2003) Life cycle cost analysis of mitigating pavement rehabilitation reflection cracking, 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board January 2003, Washington, D.C. USA
- Yildirim, Y., Qatan, A. and Jorge Prozzi J. (2006) Field Manual for Crack sealing in asphalt pavements, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin