

폴리우레탄 개질 아스팔트 바인더를 사용한 포트홀 응급 보수재의 성능평가

Evaluation of Emergency Pothole Repair Materials using Polyurethane-Modified Asphalt Binder

김영민 Kim, Yeong Min | 정희원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail : choozang@kict.re.kr)
임정혁 Im, Jeong Hyuk | 정희원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : jhim@kict.re.kr)
황성도 Hwang, Sung Do | 정희원 · 한국건설기술연구원 연구위원 · 공학박사 (E-mail : sdhwang@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to develop new pothole repair materials using polyurethane-modified asphalt binder, and to evaluate them relative to current pothole repair materials in order to improve the performance of repaired asphalt pavement.

METHODS : In the laboratory, polyurethane-modified asphalt binder is developed, and then asphalt binder is added to produce pothole repair materials. In order to evaluate the properties of this new pothole repair material, both an indirect tension strength test and a direct tension strength test are performed to measure the material strength and bond strength, respectively. Additionally, the basic material properties are evaluated using the asphalt cold mix manual. The strength characteristics based on curing times are evaluated using a total of 7 types of materials (3 types of current materials, 2 types of new materials, and 2 types of moisture conditioned new materials). The indirect tension strength tests are conducted at 1, 2, 4, 8, 16, and 32 days of curing time. The bond strength between current HMA(Hot Mix Asphalt) and the new materials is evaluated by the direct tension strength test.

RESULTS AND CONCLUSIONS : Overall, the new materials show better properties than current materials. Based on the test results, the new materials demonstrate less susceptibility to moisture, faster curing times, and an improved bond strength between HMA and the new materials. Therefore, the use of the new materials reported in this study may lead to enhanced performance of repairs made to asphalt pavement potholes.

Keywords

pothole repair materials, polyurethane-modified asphalt binder, bond strength

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 Dec. 5, 2014 Revised Dec. 8, 2014 Accepted Dec. 15, 2014

1. 서론

최근 전 세계적으로 기후변화로 인한 사회기반시설물의 파손에 대한 관심이 늘어나는 추세이며, 우리나라의 경우 여름철 기후변화로 인하여 집중호우의 빈도 및 강

우량 또한 과거에 비해 상당히 증가하여 이에 대한 대책이 필요한 실정이다. 특히, 도로포장의 경우 집중호우가 야기하는 장기간의 침수로 인한 포장 파손이 빈번하게 발생하고 있으며, 교통량의 증가 및 공용차량의 대형화

로 인해 도로포장의 영구변형, 균열 및 포트홀 등의 파손이 발생되고 있다. 이러한 국부적인 포장 파손에 대한 보수비용의 증가는 한정된 국가예산의 효율적인 집행을 저해하고 있으며, 때문에 도로포장의 심각한 파손 이전에 예방적 유지보수 차원에서 파손된 도로의 유지보수를 위한 시공기술 및 재료개발의 필요성이 대두되고 있다.

응급보수를 필요로 하는 국부적인 포장 파손 중 대표적인 형태인 포트홀은 일반적으로 수분, 동결-융해작용, 교통량, 연약지반 지지력, 그리고 이러한 인자들의 복합작용으로 인해 발생한다(Eaton et al., 1989 and Berlin M. and H. Elizabeth, 2001). 도로 이용자의 안전성과 포장 주행성을 확보하기 위해 포트홀 응급보수가 필요하며, 보수되지 않는 포트홀 파손구간에서 발생할 수 있는 잠재적인 문제점(안정성, 주행성 등)은 포트홀 보수의 수행 여부를 결정할 때 경제적인 문제와 함께 고려되어야 한다. 그러나 발생된 포트홀 파손이 도로의 안정성과 주행성에 심각한 영향을 미친다고 판단되면 즉각적인 응급보수를 수행하여야 한다. 그러므로 포트홀의 응급보수를 통하여 도로 포장의 충분한 공용성을 확보하기 위해 포장의 내구성을 확보할 수 있는 응급보수재료의 개발과 사용이 필요하다.

본 연구에서는 수분에 의해 발생될 수 있는 도로 파손에 대한 잠재적인 안정성과 주행성을 유지하기 위해 충분한 공용성을 확보할 수 있는 즉, 내구성이 증진된 응급보수재를 개발하고 기존보수재와 비교, 평가를 통해 개발된 재료의 특성을 평가하고자 한다.

2. 포트홀 응급보수재

2.1. 포트홀 보수재

포트홀 응급보수재료는 일반적으로 이미 완제품화 되어있는 Pre-mixed 아스팔트 혼합물을 사용하며 그 종류는 다음의 3가지로 구분된다.

- Cold Pre-mixed Type : 플랜트 믹싱 상온 아스콘으로 공장에서 재료를 일정 배합비로 계량한 후 유화아스팔트 또는 컷백 아스팔트와 믹싱한 후 포대에 담아 생산하는 제품으로 현장에서 가열할 필요 없이 사용할 수 있는 아스팔트 혼합물
- Hot Pre-Mixed Type : 플랜트 믹싱 가열 아스팔트 혼합물로 플랜트에서 생산된 가열 아스팔트 혼합물을 포대에 담아 생산하며, 소규모 보수공사 현장에서 다시 가열하여 시공하는 아스팔트 혼합물

- Hot In-place Type : 현장 가열 아스팔트 혼합물로 시공현장에서 재료를 일정 배합비로 계량한 후 가열하여 혼합 후 시공하는 아스팔트 혼합물. 주로 교량 조인트 공사 시 사용함

위 세 가지 형태 중 상온 혼합물인 Cold Pre-mixed 아스팔트 혼합물은 특별한 가열과정이 필요 없고, 시공이 간편하며 작업이 용이한 장점을 보이기 때문에, 현재 주로 사용되는 형태이다. 그러나 가열 아스팔트 혼합물에 비해 내구성이 떨어지는 단점이 있다. 상온 혼합물에 사용되는 아스팔트 바인더는 컷백 아스팔트와 유화아스팔트의 두 종류로 나뉜다.

컷백 아스팔트는 양생속도에 따라 급속경화(rapid-curing, RC), 중속경화형(medium-curing, MC), 완속경화형(slow-curing, SC)의 세 가지로 구분된다. 일반적으로 보수재에 사용되는 종류는 중속경화형이며, 완속경화형도 일부 사용되지만 국내에서 생산되는 보수재는 대부분 중속경화형을 사용한다.

또한 유화아스팔트가 상온 혼합보수재에 사용되며, 유화아스팔트는 유화제, 안정제가 함유된 물속에 아스팔트를 미립자로 분산시켜 제작된 액상상태의 재료이며, 양생속도에 따라 급속(rapid-setting), 중속(medium-setting), 완속(slow-setting)으로 구분된다(Im et. al., 2014).

혼합물을 완제품으로 생산했을 경우 제품의 저장성 문제를 고려하면 유화아스팔트보다는 컷백 아스팔트가 유리하기 때문에, 대부분의 포트홀 보수용 상온 혼합물은 유화아스팔트보다는 컷백 아스팔트를 사용하여 제작된다.

국내의 경우, 현재 포트홀 보수재료에 대한 품질기준이 미비하고, 공용성 평가를 거치지 않은 상온 혼합물재료의 사용으로 파손된 포장의 보수 후 포트홀의 재발생 우려가 많다. 따라서 내구성과 부착력이 우수하고, 공용성이 검증된 포트홀 보수재료 개발이 필요한 실정이다.

2.2. 국외 포트홀 보수재 현황

국외의 경우 신설되는 도로 외에 공용 중인 도로 포장의 유지보수에 상당한 비용이 투자되고 있다. 특히, 미국의 경우 1981년 이후 도로 유지보수비용이 기존에 비해 두 배 이상 증가되었고, 캐나다 역시 미국과 비슷한 경향을 보인다.

Berlin and Elizabeth(2001)의 연구에 따르면 오레건

주 교통국(ODOT, Oregon Department of Transportation)은 24개월 동안 미국에서 현재 사용되고 있는 포트홀 패칭 재료(PPM, Pothole Patching Material) 9종류를 사용하여 실내시험과 현장공용성 평가를 실시하였다. 실내시험을 위해 입도, 워커빌리티, 접착성, 아스팔트 코팅률 등의 시험을 수행하였고, 오래 건 주 고속도로 현장에 9종의 보수재를 사용하여 포트홀 패칭을 실시한 후 2년 동안 현장 모니터링을 통해 현장공용성 평가를 하였다. 오레건 주 교통국은 연구를 통해 포트홀 패칭 재료의 잠정적인 기준을 수립하였고, QPL(Qualified Products List)를 적용하여 관리자(생산평가위원회)는 각 재료들의 평가와 유지관리를 하게 되고 포트홀 패칭 재료의 성능은 다음의 기준을 만족해야 한다고 제시하였다.

- 입도 : No. 200체 통과율 5% 이하
- 워커빌리티 : AASHTO TP43-94의 수치 (4 이하)
- 코팅률 : AASHTO TP40-94의 수치 (90% 이상)
- 현장적용 : 수분이 있더라도 작업이 가능해야 하며, 최소 12개월 동안 교통하중에 견딜 수 있어야 함
- 저장 : 최소 1년
- 내구성 : 영구적인 사용 가능

3. 재료 및 방법

3.1. 폴리우레탄(Polyurethane)

폴리우레탄은 구성성분이 다양하고 반응성이 우수하여 현재 산업계 여러 분야에 사용되어지고 있으며, 분자의 화학구조상 우레탄그룹(-NHCOO)를 가지는 모든 고분자물질의 통칭이다. 우레탄그룹은 기본적으로 활성수산기(-OH)를 포함하는 polyol과 isocyanate기(-NCO)를 포함한 화합물의 다양한 반응에 의해 형성된다(Jin and Cho 2014).

현재 산업계 여러 분야에 걸쳐서 폴리우레탄의 접착성능, 저온특성, 유연성, 경화속도 변화 등의 특성으로 인해 접착제로 사용되고 있다. 응용되고 있는 분야는 단열재용(냉장고, 건축 판넬, 냉동 컨테이너, 결로방지용 등)으로 사용되는 경질 폼(Rigid Foam) 분야, 쿠션이 있는 내장재용(스펀지, 자동차, 사무용 가구 등)으로 사용되는 연질폼(Flexible Foam) 분야, 경질과 연질의 중간 특성을 보이는 반경질(Semi Rigid Foam) 분야, 그리고 일정한 형태를 지니고 있지 않는 CASE(Coating, Adhesion, Sealant, Elastomer) 분야로 나뉜다.

본 연구에서는 습기경화형 접착제로서 폴리우레탄의 CASE 영역에 속하는 접착제를 사용했다. 습기경화반응은 수분접촉 시 반응이 주로 진행되며, 습기경화형 접착제는 제품관리 및 사용 시에 많은 주의가 요구되는 단점이 있지만 습기를 이용하여 경화시킬 수 있는 경제적인 장점이 있다.

3.2. 폴리우레탄 접착제 특성

폴리우레탄 접착제의 접착력과 유연성, 저온물성 등의 특징 때문에 50여년 전 Otto Bayer가 개발한 후 지속적인 발전을 해왔으며, 다양한 형태로 개발되어 현재까지 여러 산업분야에 쓰이고 있다(Dombrow 1957).

폴리우레탄 접착제는 성분 수(1액형, 2액형), 매질(용재, 물), 경화여부(열가소성, 열경화성), 접착제의 형태(액체, 필름, 분말) 등에 따라 분류된다. 또한, 접착제는 보통 경화라고 불리는 가교반응을 통해 더 강한 접착력과 내열성, 내화학성, 치수안정성 등을 가져올 수 있다. 이런 가교반응은 가열, 가교반응제, 공기 중의 수분 등에 의해 진행되며 이러한 가교반응을 일으키는 방법의 차이와 반응물의 조제형태에 따라 분류될 수 있다.

Table 1은 폴리우레탄 접착제의 장·단점을 보여준다.

Table 1. Advantage and Disadvantage of Polyurethane Glue

Advantage	Disadvantage
<ul style="list-style-type: none"> • Good adhesive property • Great strength and flexibility • Quick hardening • Good low temperature susceptibility • Possibility to produce various forms • Economic efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> • Limited thermostability • Temperature and moisture sensitivity • Possibility to use primer

3.3. 상온 응급보수재

기존 포트홀 상온 응급보수재의 경우 대부분 컷백 아스팔트를 사용하였지만, 본 연구에서 개발된 보수재의 경우 폴리우레탄을 첨가하여 새로운 아스팔트 바인더를 개발하여 적용하였다. 개발에 사용된 폴리우레탄 바인더는 이소시아네이트(-NCO)를 가지고 있으며 점도가 100~220cps/25℃인 폴리머릭(polymeric) MID 30~47%(중량대비)와 말단에 프로필렌 옥사이드(PO) 또는 에틸렌 옥사이드(EO) 중 선택된 하나가 부가되며,

분자량이 1800~3300인 이가 폴리에테르 폴리올 20~35%(중량대비) 및 말단에 프로필렌 옥사이드(PO) 또는 에틸렌 옥사이드(EO)가 부가되며, 분자량이 3000~4500인 삼가 폴리에테르 폴리올을 소정온도에서 반응시켜 제조하였다. 제조된 폴리우레탄 바인더와 일반 스트레이트 바인더를 적정의 혼합비율로 교반시켜 새로운 상온 아스팔트 바인더를 개발하였다. Fig. 1은 폴리우레탄 바인더의 제조과정을 보여준다.

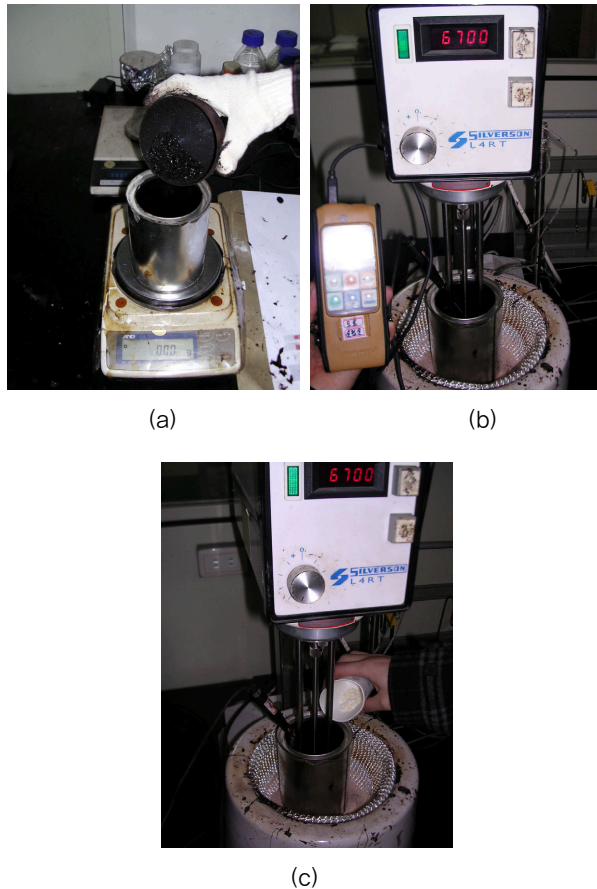


Fig. 1 Producing Process of Polyurethane Binder

3.4. 골재

폴리우레탄 바인더의 경우 수경화성 재료이므로 골재와 혼합 전 충분한 골재의 건조가 필요하며, 100℃ 이상의 온도에서 최소 5시간 이상 건조과정을 거쳐 사용하였다.

본 연구에서는 다양한 입도조절을 통한 시행착오를 바탕으로 조립도 형태CASE 1(coarse type)과 세립도 형태CASE 2(fine type)의 두 가지 형태의 골재입도를 최종입도로 선정하여 최적 아스팔트 함량 및 배합비를 구하였다. Fig. 2는 CASE 1과 CASE 2 두 종의 골재입

도를 보여준다.

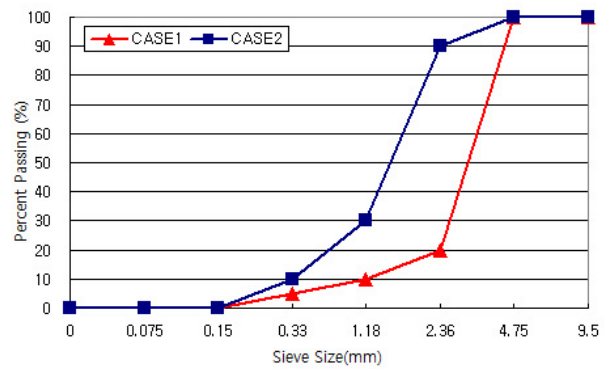


Fig. 2 Aggregate Gradations

4. 혼합물의 강도 시험

윤하중은 포장층 하단에 인장응력을 유발하기 때문에 아스팔트 혼합물에 대한 인장강도 값은 아스팔트 혼합물의 강도를 파악하는데 가장 중요한 요소 중의 하나라고 할 수 있다. 이러한 인장강도 값은 간접인장강도 시험으로 측정될 수 있으며, 이 시험을 통하여 구한 간접인장강도는 포장의 균열저항성을 평가하는데 중요한 물성 중의 하나로 사용된다. 보수재의 양생시간에 따른 강도특성을 알아보기 위하여 선정된 입도 2종(CASE 1, CASE 2)과 CASE 1에 수분을 주어 양생시킨 CASE 1m(moisture), CASE 2에 수분을 주어 양생시킨 CASE 2m(moisture)의 총 4종의 마샬 공시체 제작 후 1, 2, 4, 8, 16, 32일에 간접인장강도 시험을 실시하였다. Fig. 3(a)는 마샬다짐기를 이용한 시편 다짐과정을 보여주며, (b)는 다져진 시편에 수분을 공급하며 양생하는 과정을 보여준다.

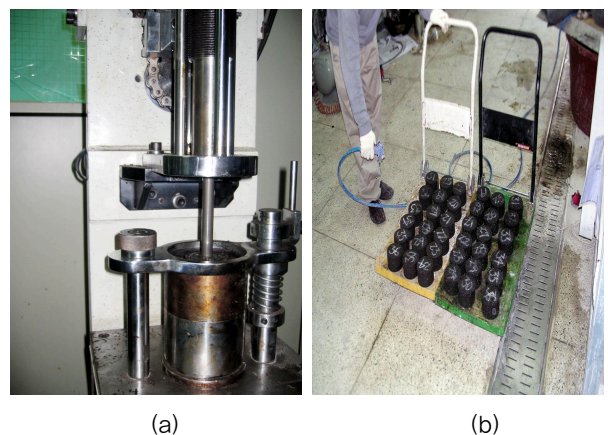


Fig. 3 (a) Compaction by Marshall Compactor and (b) Moisture Curing Process

4.1. 보수재의 부착력 시험

부착강도는 보수 후의 조기파손 혹은 재료분리로 이어지지 않도록 하는 중요한 변수 중의 하나이다. 부착력 (Adhesion) 시험을 위한 평가방법으로 다짐된 보수재와 기존 포장의 부착강도에 대한 실험을 실시하였다. 부착강도 시험을 위한 공시체는 HMA(일반 20mm 밀입도)와 포트홀 보수재를 선회 다짐기로 다짐하여 제작한 후 인장(인발) 시험으로 부착강도를 측정하였다. 부착강도 시험(일축인장 시험)은 표면보수와 덧씌우기 재료의 파괴인장강도를 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 보수재료의 특성을 고려하여 일축인장 방법을 선택하였으며, 부착경계부분의 부착강도는 시험 공시체의 인장강도에 의해서 실제적으로 측정된다. 일축인장시험은 상온 보수재와 기존 포장층과의 접합부분 중 가장 취약한 부분의 위치를 찾아낼 수 있는 장점이 있다. Fig. 4(a)는 부착강도 시험 Set-Up 전경이며, (b)는 부착강도 시험 수행 후 파괴된 공시체를 보여주고 있다.



Fig. 4 (a) Bond Strength Test Set-Up and (b) Specimen After Testing

5. 실험결과 및 분석

5.1. 기본물성 결과

개발된 보수재의 공시체는 혼합물 종류별로 1200g씩 추출하여 마샬 시험용 다짐봉으로 75회 다짐을 시행하였

Table 2. Asphalt Cold Mix Specification

Test	Criteria
Stability (25°C), kg	over 250
Flow, 1/100cm	20~40
Air Void, %	3~15
Water-Immersion Stability, %	over75

다. 공시체의 제작방법 및 시험방법은 Asphalt Institute Manual Series No.14의 Asphalt Cold Mix Manual의 규정으로 수행하였다.

Table 2는 KS F 2369 도로보수용 상온 역청혼합물의 품질기준이다.

개발된 보수재의 성능을 검증하기 위해 기존에 국내 및 국외에서 생산되는 제품 3종을 선정하여 그 결과를 비교하였다. A와 B는 국내에서 생산되는 응급 보수재이고, C는 국외 제품이며 개발된 응급보수재는 입도에 따라 CASE 1과 CASE 2로 구분하였다. Table 3은 기본물성 시험결과를 나타내며, Fig. 5는 보수재의 안정도 값과 수침안정도 값을 비교하여 나타내었다.

Table 3. Basic Material Properties

Test	A	B	C	CASE 1	CASE 2
Stability (25°C), kg	518	556	250	467	584
Air void, %	10.28	15.98	15.44	10.85	15.80
Water-immersion stability, %	99	98	84	598	528
Asphalt contents, %	7.5	7.1	7.3	9.5	9.5

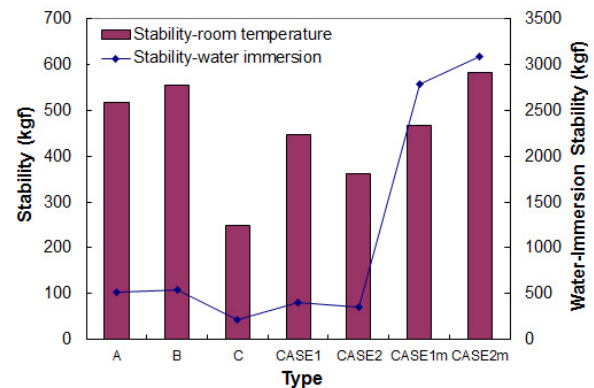


Fig. 5 Stability Comparison between Room Condition and Water Immersion

Table 3과 Fig. 5의 결과로부터 개발보수재의 경우 수침 잔류안정도가 기존보수재에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다. 이는 수분에 의해 경화가 촉진되어 수침 시에도 양생이 충분히 이뤄진다는 것을 나타낸다. 또한, 안정도 값을 비교할 때, 수분처리 양생과정을 거친 개발 보수재의 결과가 수분처리를 거치지 않은 보수재의 안정도보다 상당히 증가하는 것으로 나타났다.

5.2. 양생시간에 따른 강도특성

양생시간에 따른 강도 및 수분양생에 따른 강도를 비교하여 개발보수재의 수분에 의한 영향을 알아볼 수 있다. Fig. 6은 보수재의 양생시간에 따른 인장강도를 나타내고 있다.

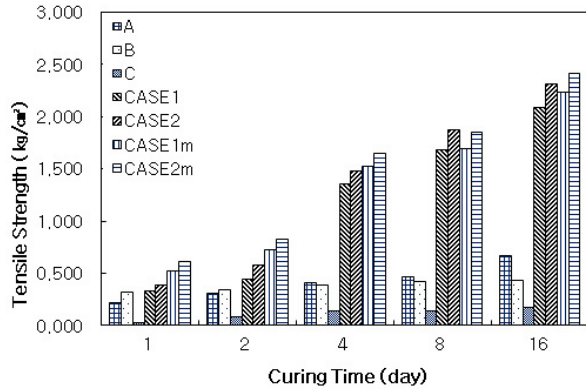


Fig. 6 Tensile Strength based on Curing Time

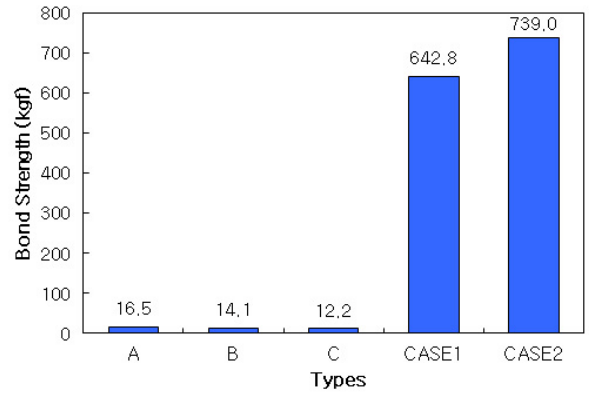
Fig. 6에서 나타내는 것과 같이 초기강도뿐만 아니라 양생시간에 따른 강도 값이 기존의 보수재와의 성능비교 평가결과 매우 우수한 성능을 나타낸다. 양생시간에 따른 인장강도 시험결과 중 가장 낮은 결과 값을 나타내는 재료 C의 경우 16일 양생기간을 거친 시험에서 가장 높은 강도를 보인 CASE 2m 인장강도의 7.3%, 32일 양생기간 후에 해당되는 인장강도 결과 값은 12%로 나타났다. CAES 1과 CASE 2를 각각 수분양생시킨 CASE 1m과 CASE 2m은 수분양생시키지 않은 시편보다 보다 더 빠른 양생특성을 가진다는 것을 양생시간에 따른 강도 값 결과로 알 수 있다.

5.3. 보수재의 부착특성

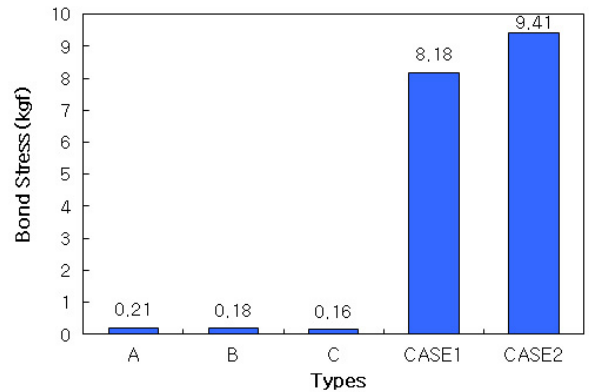
개발된 보수재의 부착특성을 평가하기 위해 다짐된 보수재와 기존 포장의 부착 강도에 대한 실험을 실시하였다. Table 4와 Fig. 7은 부착시험 결과 값을 보여 준다.

Table 4. Bond Strength Results

Type	Diameter, cm	Bond strength, kgf	Bond stress, kg/cm ²
A	10.1	16.49	0.2099
B	10.1	14.12	0.1797
C	10.1	12.19	0.1552
Case 1	10.1	642.77	8.1840
Case 2	10.1	738.98	9.4089



(a)



(b)

Fig. 7 (a) Bond Strength and (b) Bond Stress

Fig. 7과 Table 4의 결과에 따르면, 개발된 보수재의 부착강도는 기존보수재의 부착강도에 비해 40~50배의 부착력 향상이 있는 것으로 나타났다. 개발된 보수재의 경우 AP 함량이 9.5%로 같은 첨가량이 사용되었지만 No.4체 골재가 80%의 중량을 차지하는 CASE 1보다 No.8체 골재의 중량이 높은 CASE 2가 더 높은 부착강도를 나타냈다. 이는 부착면에서 No.4체 골재가 80%를 차지하는 CASE 1보다 No. 8체 골재의 중량이 높은 CASE 2의 표면적이 크기 때문에 궁극적으로 접촉면적을 넓이는 효과를 야기하는 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서 기존의 아스팔트 바인더에 폴리우레탄을 첨가하여 새로운 바인더를 개발하여 폴리우레탄 개질 보수재를 개발하여 사용하였다. 보수재의 강도 및 부착특성을 평가하기 위해 수행한 실내실험을 수행하였고, 개발된 보수재는 폴리우레탄 특성 중 하나인 수분에 의한 경화로 인해 수침 잔류안정도에서 기존보수재보다

높은 안정도 값을 보였다. 포트홀 및 박리현상에 주요인은 수분에 의한 손상이다. 그러나 본 연구에서 개발된 보수재는 모든 박리현상에 주요인으로 작용되는 수분을 이용함으로써 현재 국내에서 상용되는 기존보수재 보다 수분에 대한 안정성을 고려하였다.

성능시험 평가에서 개발된 보수재는 기존보수재와 비교할 때 초기강도는 근소한 차이를 보였지만, 16일 양생의 경우 상용되는 기존보수재보다 최소 4배 이상 높은 인장강도를 보였다. 또한 32일 양생의 경우 최대 8배 이상의 높은 인장강도를 나타냈다. 이는 기존보수재보다 양생시간이 비교적 빠르게 진행되고 수분의 영향에도 불구하고 골재와 아스팔트 사이의 점착력이 증가하는 것으로 판단된다. 또한 부착강도에서는 타 보수재의 부착강도에 비해 40~50배의 현격한 차이를 나타내어 타 혼합물과의 부착력이 매우 우수하고 실제 현장에서 기존 포장과의 부착력을 증진시킬 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 서울특별시 공공수탁 용역과제인 “기후변화 적응형 도로보강기법 적용방안” 연구지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

BIBLIOGRAPHY

- Asphalt Institute (1989), Asphalt Cold Mix. Asphalt Cold Mix Manual, Manual Series No. 14 (MS-14) Third Edition, Kentucky.
- Berlin, M. and H. Elizabeth (2001), Asphalt Concrete Patching Material Evaluation Interim Report. Contract No. SR 548, Oregon Department of Transportation Research Group, Oregon.
- Dombrow, B.A. (1957), Polyurethanes, Reinhold Publishing, New York.
- Eaton, R.A., R.H. Joubert, and E.A. Wright (1989), Pothole Primer- A Public Administrator's Guide to Understanding and Managing the Pothole Problem. Special Report 81-21, U.S. Army Corps of Engineers-Cold Regions Research & Engineering Laboratory. pp. 34.
- 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.
- Jin, K.H. and U.R. Cho (2014), A Study on Structure Analysis and Synthesis of Polyester Polyol & Polyurethane. Elastomers and Composites, Vol. 49, No. 1. pp. 31-36.