아스팔트 프리캐스트 포트홀 보수재료의 선정과 현장 적용성에 관한 연구

A Study for Selection and Field Applicability of Asphalt Precast Pothole Repair Materials

김진철 Kim, Jincheol
배성호 Bae, Sungho
이진호 Lee, Jinho
양재봉 Yang, Jaebong
김지원 Kim, Jiwon

정회원 · 한국석유공업(주)기술연구소 대리 (E-mail: jckim@hansuk.co.kr)
정회원 · (주)토탈페이브시스템 차장 (E-mail: shbae5781@daum.net)
한국석유공업(주) 기술연구소 과장 · 교신저자 (E-mail: jhlee1@hansuk.co.kr)
한국석유공업(주) 기술연구소 차장 (E-mail: jbyang@hansuk.co.kr)
정회원 · (주)토탈페이브시스템 대표이사 (E-mail: aircraft1@paran.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study was to break away from the workforce method using cold-mix asphalt mixtures and has a constant quality and has develop repair materials of pre-production asphalt-precaster types.

METHODS : The selection of the repair material was determined as the results obtained through physical properties of materials and the field applicability. In case of repair materials, values obtained through Marshall stability test & the dynamic stability test & retained stability test as well as the site conditions was considered. In case of adhesive, test results were obtained through examination of the bond strength(tensile, shear) and the field applicability of the adhesive was examined through combined specimens to simulate field applications.

RESULTS : According to the results of laboratory tests, in the case of repair materials, Marshall stability and dynamic stability, retained stability of cold-mix reaction type asphalt mixture is the highest. In the case of adhesive, two-component epoxy-urea has a very high bonding strength(tensile, shear) was most excellent. According to the results of field tests, when epoxy-urea was excellent workability. Also, the repair body through actual mock-up test did not occur large deformation and fracture after 12 months.

CONCLUSIONS : A suitable repair material is cold-mix reaction type mixture of asphalt-precaster, a suitable adhesive is a two-component epoxy-urea.

Keywords

pothole, asphalt-precaster, repair materials, adhesive

Corresponding Author : Jinho Lee, Researcher
Korea Petroleum Ind. Co. Ltd. R&D Center, 1936, Nambuk-daero,
Yangseong-myeon, Anseong-si, Gyeonggi-do, 456-931, Korea
Tel : +82-31-671-9511~4 Fax : +82-31-671-9515
E-mail : jhlee1@hansuk.co.kr

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

Received Apr. 23, 2014 Revised Apr. 24, 2014 Accepted Jul. 25, 2014

1. 서론

1.1. 연구배경

국내의 총 도로 길이는 105,700km이며 매년 도로의 연장은 증가하고 노후도는 점점 높아지는 실정이다. 2002년도에 96,000km이던 총 도로 길이가 2012년에는 105,700km로 증가하였고 그에 따라 고속도로와 일반국도의 노후화도 크게 가속화 할 것으로 보인다. 고속도로는 2012년에 20년 이상된 노후 포장인 400km에서 2022년도에 3,322km로 8배 이상 증가할 것으로 보이고 일반국도의 경우는 4,703km에서 8,660km로 약 1.8배 이상 증가할 것으로 추정된다. 이러한 노후 포장들을 신·구 포장으로 재시공하기 위해서는 상당한 국가 예산이 소요되므로 적절한 유지·보수를 통해 공용주기를 늘리어 도로에 들어가는 막대한 예산을 절감할 필요가 있다. 이에 올바른 유지·보수를 위해서 도로가 파손되는 원인을 정확히 파악해야 한다. 도로의 파손은 소성변형, 균열, 포트홀 등으로 대표할 수 있다. 그중 포트홀로 인한 파손이 66%로 다른 파손(소성변형 10%, 균열 24%)보다 큰 비중을 차지하는 것으로 확인되었으며 포트홀은 주로 장마철과 혹한기에 크게 발생하는 것으로 조사되었다. 이에 서울시 및 지방자치단체, 관련 공공기관에서는 포트홀에 대한 대비책을 마련하기 위하여 고심하고 있다. 하지만 아스콘의 플랜트 및 시공현장 품질관리 미흡 및 품질관리자의 전문성이 부족하여 품질관리가 어렵고 포장된 도로의 유지·보수도 응급소파보수의 반복으로 인하여 근본적인 대책이 마련되지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 사회적 요구에 맞추어 품질관리가 되며 유지·보수가 용이하고 시공 후 공용성이 확보되는 보수재료를 개발하기 위하여 기존 도로 포장재료 및 유지관리에 사용되는 보수재료의 조사 및 검토 후, 선정된 재료의 물성 및 선정조건을 반영하여 일정수준 이상의 공용성을 만족하는 아스팔트 프리캐스트 포트홀 보수재료를 개발하기로 하였다.

1.2. 국내·외 포트홀 보수재료의 현황

아스팔트 프리캐스트 보수재료를 개발하기 위해서 우선 국내외에서 사용 중인 포트홀 보수재료의 현황을 조사하였다. 국내외에서 사용되는 포트홀 보수재료는 큰 차이를 보이지 않았다. 사용되는 보수재료는 가열 아스팔트(Hot Mixed Asphalt) 혼합물과 상온 유화 아스팔트 혼합물로 나눌 수 있으며 그 중 상온에서 사용이 가능한 상온 유화 아스팔트가 대부분을 차지하였다. 또한,

현장에서 사용하기 쉽도록 포대 혹은 캔으로 포장되어 관리되고 있었다. 우수 등의 물이 고여 있어도 시공이 가능하며 대부분 인력을 통하여 간단한 시공장비로 시공이 되고 있다.

국외의 경우, 신규 도로 외에도 유지·보수에 큰 비용이 투입되고 있다. 1981년 이후, 미국은 도로 유지·보수 비용이 기존에 비해 두배가 넘는 것으로 조사되었고, 캐나다 역시 비슷한 실정으로 조사되었다. 각 국가 정부와 연구기관은 도로포장의 조기파손을 예방할 수 있는 유지·보수공법 개발 및 보수재료 개발로 현장 공용성 기간을 증가시키는데 노력하고 있다(국토교통부, 2005).

미국의 경우, 대표적으로 여러 주에 걸쳐 범용으로 사용되는 EZ Street(Premium Cold Asphalt)는 폴리머 개질 상온 아스팔트로서 포트홀, 일반 덧씌우기 및 기타 보수재료 범용성이 우수하고 포대형식으로 만들어져 판매되고 있다. 모든 날씨에서도 가능하고 물이 있는 상태에서도 시공이 된다하며 파손부위에 적용 시믹싱 작업이 필요치 않으며 따로 다짐장비를 챙길 필요 없이 주변에 있는 자동차를 이용하여 손쉽게 다짐을 할 수 있다고 한다. 그리고 미국에서 현재 상용 중인 또 다른 제품인 INSTANT Load Repair은 내구성이 강하고 어떠한 날씨에서도 빠른 경화시간을 확보하는 제품으로 대략 4~60℃에서 안정적이며 믹싱과 가열을 하지 않는 것이 장점이며 날씨에 구애받지 않고 사용이 가능하다. 캘리포니아, 미시간, 노스캐롤라이나, 텍사스, 유타, 워싱턴, 사우스캐롤라이나, 콜로라도, 플로리다, 일리노이, 뉴저지 등에서 제품의 성능을 인정받아 사용 중이고 제품의 적용분야는 도시, 공항, 학교, 시험용, 경주용 트랙 등 이외에도 상당한 분야에서 활발히 이용되고 있다. 시공순서는 다른 제품과 마찬가지로 청소→포설→다짐의 3단계로 진행되고 포설 시 포장 표면의 지면보다 다소 높게 펼쳐주고 다짐은 간이용 다짐기를 사용하지 않고 차량을 이용하여 전압을 주는 것이 특징이다.

영국의 경우, Tamworth사의 UltraCrete 상온 포트홀 보수재료는 쉽게 사용되도록 만들어졌으며 시공시간이 상당히 짧다. 플라스틱 용기에 담겨져 상당히 수월하게 옮길 수 있으며 골재와 바인더가 함께 혼합된 상태로 비닐 포장을 하였다. 건조 혹은 물이 있어도 사용이 가능하도록 설계되었으며 간이용 햄머를 통해 초기 다짐을 한다. Fig. 1은 국외에서 개발되어 널리 사용되는 포트홀 보수재료이다.

Fig. 1 Pothole Repair Materials (Overseas)

국내의 경우, 포트홀 보수재료의 시장규모는 약 60억 이상으로 추정되며, 상온형 아스팔트 혼합물의 생산업체는 3개사(소규모 업체 제외)로, 이 중 2개사의 전체 시장 점유율이 96%를 차지하고 있다. 최근 포트홀 보수재료의 일관된 품질관리와 정확한 공용성 평가의 필요성이 대두되어 도로용 보수재료를 평가하는 기준을 정립하고 있으며 개선하고 있다. 이에 내구성과 부착력이 우수하고 공용성이 검증된 포트홀 보수재료의 개발이 시급한 실정이다(국토교통부, 2005).

국내에서 생산되고 있는 상온 유화 아스팔트 혼합물은 크게 경화형, 전압형, 반응형 3가지로 구분된다. 경화형은 개질 아스팔트를 가지고 상온 아스팔트 혼합물을 제작하여 Stiffness 향상을 목적으로 한 제품이고, 차량 및 다짐장비에 의한 압력을 통해 강도 발현을 꾀하는 전압형은 특수 고분자 바인더를 이용하여 제작된 제품이다. 또한, 반응형은 에폭시, 우레탄 등의 복합재료를 이용하여 재료의 반응조건충족 및 경화제 등을 통해 강도 증진의 특징을 지닌 제품이다. 국내에서 생산되고 있는 포트홀 보수재료 제품을 살펴보면 경화형에는 A사에서 생산되고 있는 A 제품이 있고, B사의 B 제품이 전압형 방식의 대표적 사례이다. 그리고 C사에서 수경성 우레탄계 바인더를 적용하여 반응을 통해 강도증진을 시킨 C 제품이 있다.

경화형인 A 제품은 아스팔트 도로, 아파트 단지, 주차장 등 다양한 아스팔트 노면파손, 균열, 크랙 봉합보수재이고 누구나 간단하게 시공 가능함과 동시에 시공 후 즉시 교통개방이 가능하다는 장점을 지닌다. 제품의 보존기간은 대략 1년 이상으로 접착력 및 내구성이 뛰어나다. 제품시공은 품질관리 및 작업성을 고려하여 준비, 포설, 평탄화, 다짐의 단계로 간소화 되어 있다. 전압형인 B 제품의 상온 아스팔트 혼합물은 아스팔트 콘크리트 포장의 노면의 포트홀, 턴이음새, 조인트 이음새, 인도포장, 맨홀주의 파손부분 등 그밖의 도로보수가 요구되는 부위에 적용이 가능한 혼합물이다. 본 제품은 보수가 필요한 부분에 가열하지 않으며 -25℃의 혹독한 기상조건에서도 간단한 방법으로 직접 전천후로 시

공이 가능하다. 특수 고분자형 바인더로 제조되어 빗속에서도 시공이 가능한 전천후 상온 보수재로서 시공 시 프라이머, 접착제, 다짐장비등을 사용하지 않고 도로에 보수 후 즉시 개통하여 통과차량의 전압을 통해 결합경화강도를 증가시켜 보수가 완료된다. 또한 포장된 상태에서 최대 2년간 보관이 가능하며 포장지 개봉상태에서도 6개월 이상 장기보관이 가능하게 하여 재료낭비를 최소화 할 수 있다. C 제품은 물에 의해서 경화가 되는 수경화성 도로응급보수재료 우천 중에도 시공이 가능하며 30분 이내에 경화가 발생되어 교통개방이 조속히 이루어질 수 있다. 교통개방 시 타이어에 묻어나지 않으며 콘크리트 노면 또는 박층에 적용 시 프라이머를 살포한 후 C 제품을 포설하면 더욱 큰 효과를 얻을 수 있다. 하지만 타 제품 대비 가격이 비싼 단점이 있으며 보수적용 후에도 인접부위의 추가파손이 발생하여 C 제품 보수재가 통째로 블록아웃되는 현상이 발생할 수 있다. 또한 공기 중에 포함되어 있는 소량의 수분과도 반응하여 굳기 때문에 보관성이 매우 취약하다. 이런 단점을 보완하고자 내부에 알루미늄을 이용한 1차 포장을 실시하고 일반적인 포대포장이 아닌 플라스틱 용기에 2차 포장으로 마무리를 하였으나, 고가의 포장재료를 적용함으로써 단가상승의 요인으로 작용할 수밖에 없는 실정이다. Fig. 2는 국내 업체에서 개발하여 시판 중인 포트홀 보수재료이다.

Fig. 2 Pothole Repair Materials (Domestic)

1.3. 연구개발 목표

본 연구는 기존의 아스팔트 포트홀 보수방법인 상온 아스팔트 보수재를 이용한 인력보수방법과 소파보수방법에서 탈피하여 실내에서 미리 제작된 아스팔트 프리캐스트(Precast) 형태의 보수재를 개발하는데 목적이 있다. 본 논문에서 검토한 프리캐스트 보수재료는 상온 아스팔트 보수재보다 높은 내구성 및 수분안정성을 확보하고 중·장기 보관성 및 품질의 변화를 최소화 할 수 있는 사전제작 형태의 보수재료의 개발을 위해 기존에 사용되고 있는 다양한 아스팔트 포장 재료들을 대상으로 하였다. 보수재는 일정수준 이상의 공용성을 만족해야 하기 때문에 여러 가지의 아스팔트 포장 재료의 특징

및 성능 등을 평가하여 보수재료의 적용성을 확인하였다. 또한 프리캐스트 보수재와 기존 포장면과의 부착을 위해 사용되는 접착제에 대한 조사 및 접착강도 시험도 함께 진행하였다. 또한 보수재와 접착제의 결합된 물성 확인 및 현장적용성 등을 검토하고자 한다. 위의 본 연구의 개발목표는 다음과 같이 정리하였다.

- 포트홀 보수용 아스팔트 프리캐스트 보수재 개발
- 신·구재료 접착을 위한 접착제 선정

Table 1은 본 연구를 통해 개발하고자 하는 아스팔트 프리캐스트 보수재 및 접착제를 이용하여 포트홀을 보수하는 시공과정을 나타낸 것이다.

Table 1. Key Map of Asphalt-precaster Repair Method

Procedure	System
The Occurrence of Pothole
Crushing the Road
Insert Adhesive
Insert Repair Body
Curing of the Adhesive

2. 보수재료의 검토

2.1. 아스팔트 프리캐스트 보수재 재료 검토

아스팔트 프리캐스트 보수재료로써 적합한 혼합물을 개발하기 위해서는 기존의 상온 아스팔트 보수재와 차별화된 특성을 가지고 있어야 한다. 상온 아스팔트 보수재는 포트홀이 발생한 즉시 응급보수차원으로 적용되는

재료로, 오랜 시간 강우가 지속될 경우 장시간을 버티지 못할 정도로 내구성이 취약하다. 또한 응급보수라는 시공여건에 따라 경화 및 다짐이 제대로 이루어지지 않은 상태에서 교통개방을 하면 포트홀 파손이 보수된 주변의 포장체까지 확대되어 또 다른 교통사고의 원인이 되기도 한다. 그리고 동절기에는 저온으로 인해 보수재 내에 결빙이 되어 올바른 다짐이 이루어지지 않고 제설작업으로 인한 취약한 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서 개발하고자 하는 아스팔트 프리캐스트 보수재의 특성은 다음의 항목들을 만족하여야 한다.

- 수분민감성이 낮은 혼합물 : 강우, 강설에 의한 포트홀 파손에 견디는 재료
- 내구성(마모성)이 높은 혼합물 : 보수 후 통행차량의 하중을 견딜 수 있는 강도 확보가 가능한 재료
- 생산성 및 현장에서 작업성이 우수한 재료

Table 2. Comparison of Characteristic of Paving Materials

Paving Materials	Characteristic
SMA	<ul style="list-style-type: none"> • Improved Resistance of Rutting • Minimize Cracking and Elimination • Improved durability
PMA	<ul style="list-style-type: none"> • Improved Resistance of Rutting • Delamination Resistance • Skid Resistance
Guss asphalt	<ul style="list-style-type: none"> • Impervious • Unnecessary Compaction • Adhesion and Water Resistance • Improved Durability
Cold-mix Reaction Asphalt	<ul style="list-style-type: none"> • High Strength • Compaction at Room Temperature • Materials by Reaction with Water • Good Durability

Table 2는 보수재의 재료선정을 위하여 각 포장 재료의 특성을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 강도가 우수한 개질 아스팔트 혼합물인 SMA와 PMA 및 생산 시 다짐이 필요 없는 Guss 아스팔트 혼합물을 우선 검토하였다. SMA(Stone Mastic Asphalt) 혼합물은 이미 국내에서도 기술수준이 높은 포장형식으로 고속도로 및 국도에서 널리 사용되고 있는 재료이다. SMA 혼합물은 소성변형뿐만 아니라 각종 내구성 향상 측면에서 우수한 효과가 있는 것으로 확인되었으며, 골재 및 자재의 수급이 원활한 것으로 판단되었다. 두 번째로 선정한 재

료는 PMA(Polymer Modified Asphalt)이다. PMA 역시 국내에서 SMA와 함께 가장 널리 사용되고 있는 개질 아스팔트 혼합물로 가격대비 품질수준이 높은 것으로 조사되었다. 세 번째로 선정된 재료는 Guss 아스팔트로 높은 온도에서 생산하는 것이 다소 단점이긴 하지만, 아스팔트 바인더 함량이 높고 첨가제 및 개질제가 다량 함유되어 흐름성이 좋아 별도의 다짐 없이 포설이 가능한 재료이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 형태로 생산이 가장 용이한 재료로 판단되어 추가로 후보에 선정하였다.

마지막으로 고분자형 개질 아스팔트 혼합물로 가열 없이 반응으로 경화가 일어나는 반응형 상온 아스팔트 혼합물을 추가 검토하였다. 수반응형 개질 아스팔트는 일반적인 아스팔트 혼합물과는 다르게 다짐에 의한 강도발현이 아닌 물과 반응하여 강도를 발현하는 재료이다. 강도 및 내구성이 확보된다면 별도로 가열하지 않고 다짐이 필요 없기 때문에 생산성 및 보관성 등이 우수할 것으로 판단된다.

2.2. 접착제 재료의 검토

아스팔트 프리캐스트 보수재를 이용한 보수방법을 개발하기 위하여 선정될 접착제의 기본적인 특성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 우천 중, 응급보수에 따른 수분민감성 최소화 : 포트홀 파손이 우천 시에 주로 발생하므로 우천 중에 응급보수를 실시해야 하며, 이럴 경우 노면의 우수가 남아있는 상태에서 적용이 가능하여야 함.
- 최대 1시간 이내 양생완료 : 아스팔트 프리캐스트 보수재와 포장면과의 부착을 위해 보수작업시간을 고려하여 최대 1시간 이내에 접착제의 강도발현이 완료되어야 함.
- 사용편리성 확보 : 전용 시공장비에 접착제를 적재하여 사용장치를 제작하여야 하므로, 접착제의 배합이 복잡하거나 경화속도가 빨라 작업성 확보가 어려운 재료는 배제
- 차량하중에 대한 접착 및 내구성 확보 : 보수 후 차량하중에 의한 파손의 최소화를 위해 기본적인 내구성 확보가 가능한 재료

위에서 제시하는 접착제의 특성을 고려하여 Table 3과 같이 다양한 재료들을 선정하여 검토하였다. 현장에

서 간단하게 물과 혼합하여 사용할 수 있는 초속경 시멘트 그라우트제와 접착 및 내구성능이 높은 2액형 타입의 접착재료(에폭시, 우레탄, 에폭시 우레아)를 포함시켰다. 또한 프리캐스트 보수재와 포장면의 재료적인 특성을 고려하여 동질재료인 Guss 아스팔트 바인더를 선정하였으며 각종 조인트 및 보수용으로 사용되는 실리콘 실런트도 포함하였다.

Table 3. Comparison of Characteristic of Adhesive Materials

Adhesive		Characteristic
Very-Early-Strength Grout		<ul style="list-style-type: none"> • Fully Cured Within 2 Hours(About 30MPa Strength) • Non-shrink & Early-strength • Excellent Flowability • Applied for Repair of Damaged Roads
Guss Binder		<ul style="list-style-type: none"> • Water Resistance • Unnecessary Compaction • Excellent Impact Resistance • Excellent Adhesion with Other Materials
Silicone Sealant		<ul style="list-style-type: none"> • One Type Sealant • Excellent Adhesion in the water • Excellent Weather Resistance • Available Interior & Exterior • Odorless & Excellent Resistance to Chemicals
Two-component Epoxy		<ul style="list-style-type: none"> • Good Durability • Excellent Adhesion • Excellent Resistance to Chemicals
Two-component Urethane		<ul style="list-style-type: none"> • Very-Early-Strength • Multi-purpose Primer Coating & Excellent Self-durability • Available at Low Temperatures
Two-component Epoxy-urea		<ul style="list-style-type: none"> • Excellent Flowability & Good Adhesion • Good Self-leveling • Good Durability • Available at Low Temperatures (-40℃) • Excellent Resistance to Chemicals

3. 재료 선정을 위한 시험

후보로 선정된 보수재의 경우 논문 및 보고서를 통한 측정값이 많아서 기존 자료들로도 비교가 가능하지만 본 연구에서는 동일한 골재원 및 재료를 적용하여 정확히 비교하기 위하여 자체적으로 배합설계 및 성능시험

을 실시하였다. 보수재의 물성 및 강도성능을 평가하기 위하여 각각의 포장 재료의 배합설계를 KS F 2337;『마살 시험기를 사용한 역청혼합물의 소성 흐름에 대한 저항력 시험방법』과 Guss 아스팔트에 배합설계 방법인 류엘 유동성 & 관입량(일본 아스팔트 포장 요강과 일본 본주사국연락교공단 기준안)을 수행하여 최적 아스팔트 함량을 얻은 후, 이를 토대로 마살 안정도 시험(KS F 2337)과 휠트래킹 시험(KS F 2374)을 실시하였다. 또한, 포트홀 보수재료로서 주요한 평가요인인 수분에 대한 저항성을 알아보기 위하여 수침잔류안정도(KS F 2369에 의거)를 실시하였다. 그리고 각 재료의 생산성과 현장적용성을 각 보수재의 생산과정과 결과를 통해 분석하였다.

접착제의 경우는 기존 포장과 신규 보수재간의 부착성능을 평가하기 위해 KS F 4931 『교면용 시트 방수재』에서 제시하는 방법을 토대로 시험을 실시하였는데 이는 기존에 없던 파쇄 후 보수재 안착방식에 재료를 평가하기 위하여 가장 유사하게 평가할 수 있는 방법으로 사료된다. 본 연구에서는 접착제를 이용하여 기존 구 도로포장에 접착제를 도포 후, 프리캐스트 보수체를 삽입함으로 부착된 보수단면의 성능을 평가하기에 적절한 것으로 생각되어진다. 접착강도의 경우, 인장과 전단을 통해 측정을 하였으며 시험법에서 제시한 기준을 통해 평가되었다. 그 외 접착강도시험을 위한 재료에 부착 과정을 통해 1시간 이내의 양생시간을 확인할 수 있었으며 접착제의 혼합방식 및 재료보관의 용이성을 통해 접착제의 용이성을 확인할 수 있었다. 또한 접착제가 신·구 포장 재료사이에서 내구성이 얼마나 발휘되는지를 슬래브 공시체에 코어를 뚫어 소형의 아스팔트 프리캐스트 보수체를 접착제를 이용하여 삽입 후 경화를 시켰고 동적 안정도 시험을 실시하여 변형 및 파괴정도를 확인하였다. 이를 가지고 현장적용을 모사하기 위하여 실제 아스팔트 포장면에 보수체 크기의 구멍을 뚫고 시공을 하여 1년간의 추적조사를 실시하였다.

3.1. 보수재

3.1.1. 마살 안정도 시험(Mashall Stability Test)

본 연구에서는 각 혼합물재료의 기본적인 물성 및 강도를 측정하기 위하여 배합설계로 얻어진 최적 아스팔트 함량을 가지고 마살 공시체(직경≒100mm 원주형)를 제작하여 상온에서 양생한 후 물성을 측정한다. 24시간 이후 60℃의 수조에서 30분 동안 수침 후 표면에 물기를 신속히 제거한 후 Fig. 3과 같이 재하속도 50mm/min으

로 하중을 가한 후 변형에 대한 저항력인 마살 안정도를 구하였다.

Fig. 3 Marshall Stability Measures

3.1.2. 동적 안정도 시험(Dynamic Stability Test)

본 연구는 보수재료의 내구성을 평가하기 위하여 KS F 2374; 『아스팔트 혼합물의 휠 트래킹 시험방법』을 실시하였다. 롤러 압축 다짐기로 305×305×50mm의 슬래브 공시체를 제작한 후 24시간 이상 양생 한 후, 슬래브 공시체를 60℃에서 6시간 보관하여 Fig. 4과 같이 재하하중을 686kN(70kg), 통과횟수 42회/min로 60분 동안 2,520회 반복주행을 주어 시간과 통과횟수에 따른 침하량을 측정하는 것으로 다음 Eq. (1)과 같이 계산된다.

$$\text{Dynamic Stability } DS = 42 \times \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times c \quad (1)$$

여기서 DS =dynamic stability, $d_1 = t_1$ (45분)에서의 변형량(mm), $d_2 = t_2$ (60분)에서의 변형량(mm), c =보정계수로서 1.0이다.

Fig. 4 Mimetic Diagram of Dynamic Stability Test

3.1.3. 수침잔류 안정도 시험(Retained Stability Test)

보수재료의 수분민감성을 평가하기 위하여 KS F 2369: 『도로 보수용 상온 아스팔트 혼합물』의 시험방법인 수침잔류 안정도를 이용하여 측정하였다. 측정하는 온도를 $25\pm1^{\circ}\text{C}$ 로 하여 30분 수침 후 마샬 안정도와 48시간 수침 후 마샬 안정도의 값을 비교하여 나타낸 것으로 다음과 같이 Eq. (2)에 의해 계산이 되었다.

Retained Stability(%)

$$= \frac{\text{Mashall Stability after 48Hours at } 25^{\circ}\text{C}}{\text{Mashall Stability after 30Minutes at } 25^{\circ}\text{C}} \times 100 \quad (2)$$

3.2. 접착제

3.2.1. 접착강도(인장, 전단) 시험(Bond Strength (Tensile, Shear) Test)

접착제에 경우는 보수재가 선정된 후, 구 도로 포장과의 부착성능을 평가하기 위하여 인장접착강도와 전단 접착강도의 시험을 실시하였다. 전단접착강도는 시험에 사용될 시편 $305\times305\times50\text{mm}$ 의 슬래브 공시체를 제작한 후 $100\times100\times50\text{mm}$ 로 절단하여 중앙부분의 것을 사용하였으며 구 도로 포장을 나타내는 일반 포장체

의 상부를 실제 보수재료 삽입 시 포트홀을 파쇄 절삭 처리하므로 그라인딩 작업을 하여 골재가 노출이 되도록 하여 시험을 실시하였다. 일반 포장 상부에 접착제를 균일하게 도포한 후 아스팔트 프리캐스트 보수체를 부착하여 양생을 시킨다. 인장접착강도는 마샬 공시체를 높이 50mm로 제작하여 전단시험에 시편과 같이 그라인딩 작업을 한 일반 포장체면에 접착제 도포 후 보수체를 부착하여 양생을 시킨다. 시험 시편의 양생은 도로 보수시간을 고려하여 1시간 경과 후로 하였고 시험의 측정은 3차례 이상 실시하여 평균값을 측정하여 구하였다. Table 4와 같이 시험체를 만든 후 만능재료시험기를 사용하여 20°C 에서 전단시험은 1mm/min , 인장시험은 0.1N/mm^2 의 속도에서 동일한 조건으로 시험을 실시하였다.

3.2.2. 양생시간 및 사용편리성 평가

실제 도로에서 접착제가 신·구재료의 거동을 최소화 하기 위하여 최소 1시간 이내로 양생을 목표로 하였고 양생 및 경화시간의 측정은 접착강도의 시편을 제작할 때에 여러번 측정하여 평균값을 얻었다. 사용 편리성을 평가하기 위하여 재료의 혼합방식(1액형, 2액형, 타재료 첨가)과 작업성을 비교하여 분석하였다.

3.2.3. 수분반응성 평가

우천 중에 발생한 포트홀의 경우 우수로 인하여 표면에 물이 존재하고 비가 계속하여 내릴 경우를 대비하여 접착제의 수분과의 반응성을 검토하였다. Fig. 5처럼 물이 담겨있는 용기에 믹싱된 접착제를 담가 두어 수분으로 인하여 생기는 재료의 변화를 육안으로 확인하였다.

Fig. 5 Evaluation of Water-reaction of Adhesives

3.2.4. 접착제의 내구성 평가

접착제가 신·구 포장 재료사이에서 내구성이 얼마나 발휘되는지를 Fig. 6에서처럼 일반표층용 혼합물을 이용하여 슬래브 공시체를 만들고 코어를 뚫어 소형의 아

Classification	Specification (kg/cm ²)
<p>Shear Bond Strength</p>	Over 1.53
<p>Tensile Bond Strength</p>	Over 6.12

스팔트 프리캐스트 보수체를 접착제를 이용하여 삽입 후 경화를 시켰고 동적 안정도 시험을 실시하여 변형 및 파괴정도를 확인하였다.

Fig. 6 Combined Specimens to Evaluate durability

4. 시험결과

4.1. 보수재의 시험결과 분석

Fig. 7~8은 각 포장재료의 마샬 안정도 시험과 동적 안정도 시험의 결과를 그래프로 나타낸 것이고, Table 5와 Fig. 9는 수침잔류 안정도의 시험결과 및 그래프를 보여준다. Guss 아스팔트는 수침잔류 안정도를 제외하고는 다른 보수재료에 비해 결과값이 매우 낮았다. 마샬 안정도의 경우 PMA, 상온 반응형 아스팔트가 매우 높았으며 동적 안정도의 경우는 상온 반응형 아스팔트가 매우 높았다. 수침잔류 안정도 시험의 경우는 상온에서 시험을 실시하여 모두 높은 수치를 나타냈다. 특히, 상온 반응형 아스팔트의 경우 동적 안정도가 소성변형이 거의 일어나지 않을 정도로 매우 높은 값을 나타냈으며, 수침잔류 안정도 시험의 경우 수침 전보다 측정된 결과 값이 높아서 100% 이상의 값을 나타냈다.

Fig. 7 Result of Marshall Stability Test (Graph)

Fig. 8 Result of Dynamic Stability Test (Graph)

Table 5. Result of Retained Stability Test

Mixture Classification	SMA	PMA	Guss Asphalt	Cold-mix Reaction Asphalt
(1) Mashall Stability (30minutes in Water),(kgf, 25°C)	1,129	1983	912	2,204
(2) Mashall Stability (48hours in Water), (kgf, 25°C)	1,016	1,884	857	2,391
Ratio ; (2)/(1)×100	90	95	94	108.5

Fig. 9 Result of Retained Stability Test (Graph)

생산성 및 현장 작업성은 혼합물 생산 시 각 재료별 생산온도를 비교하여 나타내었다. 고온혼합물(SMA, PMA)의 경우, 실제 플랜트에서 생산이 없을 경우는 필요한 혼합물을 대량으로 얻을 수 없는 단점이 있었으며 생산 즉시 고온의 혼합물을 작업하여 보수체를 만들어야 함으로 혼합물의 온도가 낮아지면 제대로 다짐이 되지 않는 문제점이 있었다. 그리고 Guss 아스팔트 혼합물의 경우에는 다짐을 주지 않는 이점은 있었으나 매우 높은 고온에서 제작을 해야 하고 점성이 매우 높아 보수체를 만들기 위한 작업성이 떨어졌으며 생산에 필요한 특수장치인 쿨러가 없을 경우에는 제작에 어려움이 있

었다. 반면에 반응형 상온 아스팔트 혼합물의 경우는 상온에서 혼합물을 제작하여 핸들링하기에 어려움이 없었으며 항타로 다짐을 하지 않고 간단한 전압을 통하여 다져진 혼합물에 물을 부어 반응이 일어난 후 얼마 지나지 않아 경화가 되었다.

Table 6. Compare Properties of HMA and Repair Materials

Mixture Classification		SMA	PMA	Guss Asphalt	Cold-mix Reaction Asphalt
Properties	Production Temperature (°C)	160~180	160~180	220	25
	The Number of Compaction	75	75	—	—
	OAC (%)	6.9	5.6	8.7	6.0
	Air Void (%)	2.91	3.30	—	6.15
	Marshall Stability (kgf, 60°C)	773	1,465	400	1,550
Durability	Dynamic Stability (pass/mm, 60°C)	7,058	6,049	368	10,899
	Retained Stability (25°C, %)	90	95	94	108.5
Work Efficiency		Bad	Bad	Bad	Good
Productivity		Bad	Bad	Normal	Good

Table 6은 각 혼합물의 배합설계를 통해 얻어진 물성과 보수재로서의 강도 및 여러 선정요인을 비교하였다. 이를 종합하여 분석한 결과, 반응형 상온 아스팔트 혼합물이 아스팔트 프리캐스트 보수재로 적합함을 알 수 있었다.

4.2. 접착제의 시험결과 분석

접착제의 부착성능을 평가하기 위하여 초속경 그라우트, Guss 바인더, 실리콘 실런트와 2액형 타입(에폭시, 우레탄, 에폭시 우레아)을 이용하여 시험을 실시하였다. 우선적으로 목표로 하는 접착재료의 양생이 1시간 이내로 되는지 확인하였다. 실제로 접착강도시험 직전 재료들의 초기거동을 하지 않은 경화시간을 측정하였다. Fig. 10은 각 접착제를 접착강도 시험을 제작하며 1시간이 경과하였을 때의 양생된 정도를 확인한 것이다. Fig. 10(b)와 같이 실리콘 실런트의 경우 60분 이내에 양생이 완료가 되지 않았고 측정을 시도하였으나 시험이 불가능하였다.

반면, 2액형 타입 접착제나 Guss 아스팔트 바인더는 허용응력 이상의 외력을 받으면 접착강도는 저하되지만 끈끈하게 붙잡고 있는 상태는 일정수준 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 실제 도로에 프리캐스트 보수체와 접착제를 이용하여 시공할 시 차량하중에 의해 접합면이 탈락되었을 경우, 프리캐스트 보수체가 한번에 떨어지는 것보다 재료자체의 접착력으로 유지시켜 주는

(a) Very-Early-Strength Grout

(b) Silicone Sealant

(c) Guss Asphalt Binder

(d) Two-component Epoxy

(e) Two-component Urethane

(f) Two-component Epoxy-urea

Fig. 10 Cure Time Test

것이 훨씬 효과적인 것으로 판단할 수 있었다. 이에 실리콘 실런트를 제외한 5가지 재료를 가지고 접착강도 시험을 실시하였다. 그리고 실리콘 실런트와 Guss 아스팔트 바인더는 재료 자체만을 이용하지만 실리콘 실런트는 시간 내 양생이 되지 않았으며 구스 아스팔트의 경우는 200℃ 이상에서 유동성을 가지므로 상온에서 작업성이 좋지 않았다. 초속경 그라우트는 물을 첨가하여 믹싱을 하였고 2액형 타입의 접착제(에폭시, 우레탄, 에폭시 우레아)는 주제(A)와 경화제(B)의 믹싱 후 반응을 이용하여 작업이 가능하였다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 인장 접착강도 시험결과는 2액형 우레탄 타입과 2액형 에폭시 우레아가 목표값을 초과하였으며 시험 중 양생상태는 2액형 우레탄의 경우 다소 양생시간이 늦은 반면, 2액형 에폭시 우레아의

Fig. 11 Result of Bond Strength Test (60minutes)

경우는 7분 내에 초결이 완료되는 것으로 확인이 되었다. 전단 접착강도 시험결과는 2액형 에폭시와 2액형 우레탄 타입, 2액형 에폭시 우레아가 목표값을 초과하였다. 그 중, 시멘트 계열의 초속경 그라우트제는 취성재료로 일정수준 이상의 하중을 받으면 접착면 전체가 한번에 떨어져 나가는 현상이 시험을 통해 확인이 되었고 2액형 에폭시의 경우도 강도발현 60분 이내에 완료되어 전단강도는 높게 측정되었으나 한계응력 이상이 되면 취성 파괴되는 경향을 보였다. 포트홀 파쇄면과 보수재료 간의 접착성능을 유지하기 위해서는 강한 취성의 재료를 사용하지 않는 것이 효과적일 것으로 판단되었다.

인장과 전단의 접착강도에서 기준 이상의 값을 모두 얻은 것은 2액형 우레탄과 2액형 에폭시 우레아이다. 이것 중에 2액형 에폭시 우레아가 인장 접착강도에서 가장 높은 값을 나타냈으며 전단 접착강도에서는 3~4배정도 높은 수치를 나타내었고 양생속도도 상당히 빨랐다.

그리고 접착제를 현장에서 혼합하여 작업할 때 우수가 존재할 수 있으므로 물을 담아 놓은 용기에 접착제를 혼합한 후 일정량을 투입하여 Fig. 12와 같이 경화가 진행되는 상태를 확인하여 보았다. Fig. 12(a)와 같이 초속경 그라우트의 경우 시멘트 계열로 물과 함께 혼합 후에 경화가 이루어지는데 물이 추가적으로 존재할 시 강도가 약해지는 경향을 확인하였다. 그리고 Fig. 12(c)와 같이 Guss 아스팔트 바인더의 경우 매우 고온에서 유동성을 가지므로 물과 반응하여 급결현상

Fig. 12 Water Reaction Test

을 보이며 핸들링하기가 어려웠다. 그 외 재료들은 육안으로 관찰 시 접시에 담아 놓은 그대로 변화 없이 양생이 되었다.

아스팔트 프리캐스트의 접착제로 선정하기 위하여 우선적으로 시행된 시험에서 양생시간, 접착강도 값, 그리고 물과에 반응 상태를 확인하였다. 접착재료 중 기준을 모두 만족한 것은 2액형 우레탄과 2액형 에폭시 우레아였다. 이를 가지고 포트홀이 발생하여 실제 현장 시공 시 접착제의 내구성능이 얼마나 발휘되는지를 모의하기 위해 Fig. 13과 같이 제작된 슬래브 공시체에 동적안정도 시험을 실시하였다. 이는 동적 안정도 수치뿐만 아니라 접착제와 보수체가 일반 밀입도 시험모체의 소성변형을 통하여 시험측정 후 부착면의 상태를 확인하기 위함이다. 시험모체의 변형이 상대적으로 크게 발생하여 육안으로 높이차를 확인할 수 있었으며 이는 보수재와 시험모체간의 강도차이 및 채움재의 강도차이로 인해 발생하는 현상임을 알 수 있었다.

Table 7에서 보는 바와 같이, 접착제별 시험체의 동적 안정도 및 시험결과를 통해 2액형 에폭시 우레아의 동적 안정도 값이 높은 것을 확인하였다. 접착부분에서도 2액형 우레탄은 파괴가 된 반면 2액형 에폭시 우레아는 시험모체와 보수체를 잡아주어 견디고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Table 7. WT Test Result of Adhesives

Classification	Two-component Urethane	Two-component Epoxy-urea
Dynamic Stability (pass/mm, 60°C)	991	3,191
Deformation State

Table 8은 접착제의 강도시험 및 선정조건을 평가하여 정리한 것이다. 접착성능 및 내구성능뿐만 아니라 물과 반응시 영향을 받지 않는 2액형 에폭시 우레아가 본

연구에서 개발하고자 하는 접착제의 기본적인 물성을 가장 잘 확보하고 있음을 확인하였다.

Table 8. Comparison of Property of Adhesives

Mixture Classification	Very-Early-Strength Grout	Silicone Sealant	Guss Asphalt Binder	Two-component Epoxy	Two-component Urethane	Two-component Epoxy-urea
Curing Time(Min)	30	60°C	15	21	25	7
Tensile Bond Strength (kgf/cm ²)	2.76	Not Cured.	4.22	5.64	6.16	7.53
Shear Bond Strength (kgf/cm ²)	0.98	Not Cured.	0.53	3.67	1.74	6.00
Water Reaction	Bad	Good	Bad	Good	Good	Good
Work Efficiency	Good	Bad	Bad	Good	Good	Good
Durability					Bad	Good

5. 현장적용성 검토(Mock-up Test)

실내 시험과 선정기준에 부합한 반응형 상온 아스팔트와 2액형 에폭시 우레아를 사용하여 현장적용성을 평가하기 위하여 연구소 공장부지 내에 Fig. 13과 같은 아스팔트 프리캐스트 보수체를 절삭된 코어에 접착제를 채워 현장시공을 실시하였다. 시공장소는 골재 및 아스콘을 적재한 중차량이 지나다니는 경로이고 Table 9는 시공 직후와 시공 6개월, 12개월이 경과한 보수체의 상태를 나타낸 것이다. 시공 직후 기준도로와 보수체간의 색상이 차이를 보였지만 시공 6개월이 경과한 후 육안으로 확인하였을 때 큰 차이를 보이지 않았다. No. 2의 시험체에 경우 균열이 가는 부분에 시공을 하여 추적조사 시 변화를 확인하려 하였다. 시공 직후 큰 균열이 아

Fig. 13 Field Work Using Asphalt-precast Repair Body

Table 9. Appearance of the Repair Body after Construction

Classification No.	Immediately	After 6 Months	After 12 Months
1
2
3

니었지만 12개월 경과 후에는 보수체 주위로 균열이 확연히 들어나 있었다. 하지만 보수체의 경우 큰 변화없이 보존되어 있었다. 이를 통해 사용된 보수재료가 주변에 균열이나 변화로 인해 영향을 받지 않음을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 포트홀 발생 시 인력을 이용한 소파보수 개념을 넘어 일정한 품질관리가 된 사전제작 형태의 아스팔트 프리캐스트 보수재를 개발하기 위하여 장기적인 유지·보수가 가능한 보수재 및 접착제를 연구하여 선정하는데 있다. 이를 위하여 보수재와 접착제에 각종 성능 시험 및 선정조건을 검증하였고 현장 적용을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보수재의 선정에 대한 물리적 성능시험(마찰 안정도, 동적 안정도, 수침잔류 안정도) 결과 SMA, PMA, 반응형 상온 아스팔트가 높은 값을 나타냈다. 반면, Guss 아스팔트의 경우는 상온에서 실시한 수침잔류

안정도를 제외하고는 매우 낮은 결과 값을 나타냈다.

2. 혼합물의 동적 안정도와 수침잔류 안정도 시험의 경우, SMA와 반응형 상온 아스팔트가 기준에 비해 높은 수치를 나타냈으며 특히 반응형 상온 아스팔트의 경우 소성변형이 거의 발생하지 않고 수침잔류 안정도가 수침 후 강도가 더 늘어난 108.5%로 측정되어 내구성과 수분저항성이 가장 우수함을 알 수 있었다.
3. 반응형 상온 아스팔트는 상온에서 물과 반응하여 경화가 됨으로 작업이 편리하며 경화시간이 다른 혼합물에 비해 상대적으로 빨라 생산성을 확보할 수 있었다. 강도시험 및 여러 현장 적용성을 검토하여 볼 때, 반응형 상온 아스팔트가 아스팔트 프리캐스트 보수재로 가장 적합한 것으로 나타났다.
4. 접착재료의 접착강도 시험결과, 2액형 타입(에폭시, 우레탄, 에폭시 우레아)의 접착제가 Guss 바인더 및 초속경 그라우트, 실리콘 실런트에 비해 높은 접착강도를 발현하였다. 초속경 그라우트와 2액형 에폭시는 재료의 취성으로 인해 허용하중 이상에서 쉽게 탈락되는 현상이 발생하였다.
5. 인장 및 전단 접착강도 시험결과, 2액형 우레탄과 2

액형 에폭시 우레아가 기준을 만족하였다. 그 중에서도 2액형 에폭시 우레아가 가장 높은 강도를 발현하였으며, 전단의 경우는 약 4배 정도의 높은 값을 확인할 수 있었다.

6. 양생시간을 측정한 결과 실리콘 실런트를 제외하고는 60분 이내에 양생이 다 되었으며 그 중 2액형 에폭시 우레아가 가장 빠른 양생시간(7분)을 기록하였다.
7. 우천 시 물(수분)로 인한 영향을 확인한 결과, 실리콘 실런트와 2액형 타입 접착제가 경화 시 영향을 받지 않았으며 초속경 그라우트는 믹싱 시 물이 필요하므로 추가적인 물로 인해 강도가 저하됨을 알 수 있었고, Guss 바인더의 경우는 200℃ 이상에서 좋은 유동성을 가지므로 상온의 물에 투입 시 급결되어 작업성이 확보되지 않음을 알 수 있었다.
8. 접착제의 경우, 접착성능 및 실내 시험을 비교한 결과 2액형 우레탄과 2액형 에폭시 우레아가 우수함을 알 수 있었다. 선별된 두 재료를 가지고 신·구재료 사이에 사용하여 내구성능을 동적안정도로 평가한 결과, 2액형 우레탄은 시험모체에서 부착이 떨어지면서 변형 및 파괴가 되었지만 2액형 에폭시 우레아의 경우는 부착을 유지하고 있었으며 시험모체에 소성변형 외에는 큰 변형이 없었음을 확인하였고 동적안정도 수치도 2액형 에폭시 우레아가 약 3배 이상 높았다.
9. 2액형 에폭시 우레아는 빠른 양생을 통해 매우 높은 접착강도(인장, 전단)를 발현했으며 물로 인해 강도 및 반응성이 저하되지 않음을 확인하였다. 그리고 주재와 경화제만을 이용하여 간단한 믹싱을 통하여 혼합 후 자체반응을 통하여 경화가 이루어짐으로 현장 작업성이 매우 우수하였다. 보수재와의 결합을 통한 내구성 시험에서도 큰 변형 및 파괴가 일어나지 않았다. 접착강도 시험 및 여러 평가사항을 검토하여 볼 때, 2액형 에폭시 우레아가 아스팔트 프리캐스트 접착제로 가장 적합한 것으로 나타났다.
10. 반응형 상온 아스팔트 혼합물과 2액형 에폭시 우레아를 사용하여 현장 시공된 아스팔트 프리캐스트 보수체는 현장 시공 후 장기간(6개월, 12개월)이 지난 후에도 시공된 보수체는 크게 변형이 되지 않고 원형을 유지하고 있어 우수한 내구성능 및 현장 적용성을 나타내었다.

향후 선정된 아스팔트 프리캐스트 보수재료(보수재, 접착제)의 개선을 위하여 추가적인 재료선정 첨가 및 시험을 실시하고 여러 형태 및 크기로 현장 시공을 실시해 볼 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행하고 있는 ‘아스팔트 프리캐스트 포트홀 음극보수 시스템 개발(11기술혁신A02)’ 연구로 진행되었습니다.

References

- Baek, S. H., Kim, J. C., Doh, Y. S. and Kim, K. W. (2009), "Optimum loading speed for deformation strength test of bitumen mixtures", Proceedings, 7th RILEM Symposium ACTBM09, Rodos, Greece.
- Cho, M. J., (2013), "Investigation into Bonding Characteristics of Tack Coat Materials for Asphalt Overlay on Concrete Pavement", Journal of the Korean Society Road Engineers, Vol.15, No.4, pp.85-94.
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(2012), "Integrated Pot-Hole Repair System" 1st Research Reports
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(2013), "Precast Pot-Hole Repair System" 2nd Research Reports
- Korea Expressway Corporation Research Institute, (2005), "A Study on Moisture Susceptibility Characteristics of Asphalt Mixtures"
- KS F 4931, 2007, Waterproofing Sheets for Concrete Deck of Bridge, Korean Agency for Technology and Standards.
- La, I. H. Ryu, M. Y., Kim, H. H. Ahn, K. A., Doh, Y. S. and Kim, K. W. (2009), "Fundamental property evaluation of styrene monomer modified warm-mix asphalt concrete", Proceedings, 7th RILEM Symposium ACTBM09, Rodos, Greece.
- Lee, K. H., Lee K. H. (2000), "Laboratory Investigation into Mix Design Procedure and Criteria of Guss Asphalt", Journal of the Korean Society Road Engineers, Vol.2, No.2, pp.69-73.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2005), "Improvement of Design & Construction Technologies for Perpetuating Pavement(3Years): Development of Materials & Construction Technologies for Preventing from Pothole on Asphalt Pavement"
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2009), Asphalt Pavement Production and Construction Guidelines.
- Seoul Metropolitan Government(2014), "Road Management Agency Workshop of the Metropolitan Area for Pothole Reduction"