Land Infrastructure and Transport R&D Report

발 간 등 록 번 호
11-1613000-001992-01

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )
국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D / 16CTAP-C078029-03

아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발 최종보고서

2017. 8. 30.

주관연구기관 / 한국산업기술시험원
공동연구기관 / (주)화인코왁
강원대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘국토교통개발기술연구사업’(연구개발 기간 : 2014. 7. 18. ~ 2017. 7. 17.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 8. 30.

주관연구기관명 : 한국산업기술시험원 (대표자) (인)

참여기관명 : ㈜화인코왁 (대표자) (인)

강원대학교 (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 고강훈
참여기관책임자: 정운규
김광우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP -C078029-03	해당 단계 연구 기간	2014.07.18. ~ 2017.07.17	단계구분	(1)/(1)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발			
	세부과제명	-			
연구책임자	고강훈	총 연구기간 참여 연구원 수	총: 46명 내부: 46명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:900,000천원 기업:300,000천원 정부 외: 0 천원 계:1,200,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국산업기술시험원 기계안전기술센터			참여기업(기관)명 ㈜화인코왁 강원대학교 산학협력단	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
위탁연구	연구기관명: -			연구책임자: -	
요약				보고서 면수 : 102	

○ 아스팔트 포장도로 포트홀의 신속한 소파보수(패칭)로 시공품질을 향상시킬 수 있는 효율적인 장비 개발
- 저비용, 고효율의 유지보수 작업을 위한 적외선 방출 하향식 가스 히터장비개발로 신속 복구 가능
- 아스팔트 품질관리를 위한 온도/운반관리 보온박스 개발로 장시간 이동 후에도 시공품질 만족
- 보수공사에 필요한 다양한 장비를 단순화한 차량일체형 장비로 최소 작업인원 투입으로 보수공사 원가 절감

○ 석유화학분야에서 조달하는 아스팔트의 사용 회전율을 제고하여 고가의 아스팔트를 재활용함으로써 신재 아스콘 생산대비 이산화탄소 배출량 감소
- 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침 부합
- 노화방지제인 소석회의 최적의 배합비 선정 및 시공함으로 절삭 후 재포장 등의 주기를 늘려 빈번한 공사에 따른 에너지 사용량 절감

○ IR히터 및 보온박스의 시험기준 및 절차서 개발
- 동일 유사 장비 개발 시험평가 및 검증 활용

〈 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	○ 본 연구는 아스팔트 포장도로상의 포트홀을 빠른 시간 내에 복구할 수 있는 적외선 가열장비와 공법을 개발하고 검증하는 것을 기본 목표로 하며, 신규 개발 장비를 이용하여 복구된 도로의 품질보증을 위한 성능지표 확립과 표준화된 공법기준을 제시함. ○ 연구개발 최종목표 1) 아스팔트 포장도로에 발생된 직경 50㎝의 포트홀을 30분 이내에 신속 복구할 수 있으며 4분할 가열 작동이 가능하고 1회당 최대가열면적 4㎡의 적외선 가열 하향식 가스히터 장비 및 보수용 아스팔트 품질을 유지하기 위한 보온박스를 개발 2) 파손된 아스팔트 부위 복구 후 복구부위의 재료(골재, 아스팔트 등)의 구성성분, 물리적 성질(강도, 다짐도, 내구성 등)을 확보 할 수 있는 성능지표의 수립과 가열면적대비 복구면적 설정, 재생제 및 첨가제 투입량 표준화를 위한 최적 공법 개발 3) 개발된 장비의 신뢰성을 검증하여 표준화된 공법의 실용화 운영에 목표
연구개발성과	○ 아스팔트 포장도로 내 포트홀의 신속한 소파보수(패칭)로 시공품질을 향상시킬 수 있는 효율적인 장비로써 적외선을 이용하여 아스팔트를 재 가열하여 폐아스콘을 재활용함으로써 폐기물 발생을 최소화 하고 신속한 복구가 가능하여 기존 보수기법 대비 저비용, 고효율의 유지보수로 다음과 같은 장점이 있음. 1) 아스팔트 도로 소파보수 - 포장도로의 파손에 따른 도로교통사고 및 기타 문제점 등을 긴급보수로 사전에 예방 2) 도로의 수명연장 - 파손 및 파손진행 상태의 도로를 초기 포장상태와 동등 이상의 물성으로 회복시켜 아스팔트 포장도로의 수명을 연장 3) 환경정책 및 에너지 정책 대응 - 고가의 아스팔트를 재활용함으로써 석유화학분야에서 조달하는 아스팔트의 사용 회전율을 제고 - 절삭 후 재포장 등의 주기를 늘려 빈번한 공사에 따른 에너지 사용량 절감 - 신재 아스콘 생산대비 이산화탄소 배출량 감소 4) 소파보수 공사의 간편화 - 보수공사에 필요한 다양한 장비를 단순화하여 간편한 유지보수 지원 - 최소 작업인원 투입으로 보수공사 원가 절감
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 본 연구의 최종성과물은 적외선을 방출하여 포장도로를 가열하여 복구하는 보수장비, 보수용 아스콘을 보관하는 보온장비로 구성 됨 ○ 기존의 전통적인 보수방법에 비해 자동차 1대에 보수에 필요한 모든 장비가 구비되므로 신속한 복구가 가능 함 ○ 선행과제의 경험을 활용하여 본 과제를 통해 충분한 시험 방법 및 보수공법이 완성된다면 국토해양부 산하 국도유지관리사무소(17개소), 한국도로공사의 지방지사(60개소) 등 도로관리기관 및 각 지방자치단체의 포장도로 보수 작업반, 포장도로 유지 보수사업 업체에 보급하여 신기술에 의한 보수 방법을 유도하면 충분한 가치를 인정받을 수 있음 ○ 또한 국내에서 완성된 기술을 저개발 국가 및 포트홀 발생이 빈번한 동남아시아 국가와 중국 등으로 수출하기 위한 마케팅 활용 1) 포트홀 적외선 가열 복구 시범 작업 및 국내보급 확산과 해외 영업 활동용 시연 장비로 활용, 해외시장 진출 2) 신기술을 활용한 파손 복구 매뉴얼 교육용 자료로 활용

핵심어 (5개 이내)	아스팔트	포트홀	적외선	가스히터	패칭

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ This study presents a development of IR heater and novel repairing method for pothole. In order to assuring quality of repaired pothole by developed equipment, performance index and standard pothole repairing method would be suggested. ○ Final objective of this project 1) Development of IR heater which has maximum heating area of 4m^2 consisting of four individual heating parts. (It can repair 50-cm pothole in 30 minutes.) Development of hotbox for keeping quality of repairing asphalt. 2) Determination of performance index of composition of repairing materials and mechanical properties. Setting-up repairing area to heating area. Development of Optimized procedures for standardization of inputs of recycled asphalt and additives. 3) Practical operation of standard procedure with reliability assessment of developed equipments
Results	○ This is an efficient equipment which is available for quick patching, resulting high-quality output. It heats the asphalt roads with infrared rays for recycling and minimizing waste asphalt. Standard procedures with this equipment are the low-cost and high-efficient method than conventional methods for repairing pothole. 1) Asphalt road repairing - Traffic accident due to pothole would be reduced. 2) Increasing life time of road - Damaged road would be repaired as initial status. 3) Environmental policy - Asphalt repairing - Energy consumption will be reduced - Emission of Carbon dioxide will be reduced 4) Convenient repairing - Compact and minimized repairing equipments. - Minimized workers (Repairing cost will be reduced)
Expected Contribution	○ The results of this study consists of IR heater and hotbox, which are equipped one vehicle, so that in case of emergency situation it makes quick road repairing service. ○ This method needs only one vehicle consisting IR heater and hotbox, so that it can give high-quality results for repairing asphalt road in quick-time in comparison with conventional methods. ○ Experience of advance research test procedure and repairing method will be prepared. And due to the use of national and local government the worth of this results will be recognized. ○ And the development of this study can be exported to other south east asia nations or China. 1) Using demonstration equipment for national and international business 2) The developed method and procedure can be used for education for demage recovery of asphalt

Keywords	Asphalt	Pothole	Infrared	Gas heater	Patching

〈 Contents 〉

1. Introduction of this project ····· 7

2. Report of technical developments ····· 15

3. Results of this project ····· 24

4. Achievements of objectives and their contribution ····· 81

5. Application plan for results ····· 85

6. Information of international scientific technology ····· 89

7. Security level of results ····· 98

8. Current status of research equipments on NITS ····· 98

9. Managements of laboratory security ····· 98

10. Representative research achievements ····· 99

11. Remarks ····· 99

12. References ····· 100

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 7

2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 15

3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 24

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 81

5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 85

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 89

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 98

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ···· 98

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·· 98

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 99

11. 기타 사항 ····· 99

12. 참고 문헌 ····· 100

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

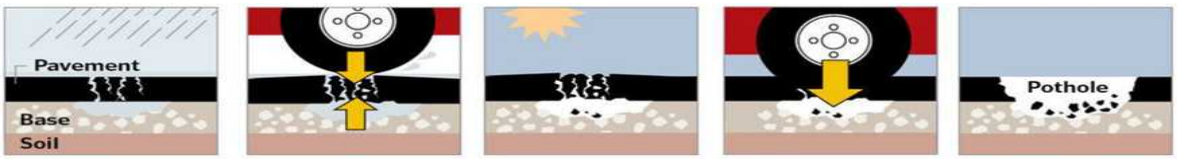
본 연구는 해마다 여름철과 겨울철에 집중되어 상습적으로 발생하는 포트홀(Pot Hole)을 신속히 복구할 뿐만 아니라 포장 초기 상태에 근접하는 원상으로 복구할 수 있는 장비개발과 시공 공법에 대한 분석 연구를 목적으로 한다.

적외선을 이용하여 소파된 도로표면을 200~300℃의 온도로 10~20분간 가열하여 기존 포장도로의 파손부위를 녹인 후 아스팔트 유제 및 신재 아스콘을 투입하여 고른 후, 다짐장비로 다짐하여 신속하고 간단한 방법으로 포장도로의 소파 훼손 부분을 초기 포장과 동등한 상태로 복구 할 수 있다. 또한 개발된 장비와 보수공법에 대한 신뢰성을 입증하기 위한 시험기준을 제시하고 성능을 검증하여 신뢰성을 확보하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

아스팔트 포장도로의 포트홀은 지구온난화 등의 영향으로 급변하는 기후와 강수량의 증가로 수분에 취약한 아스팔트 포장에는 불리한 기후 조건으로 변화하고 있으며, 공용연수가 10년을 초과한 아스팔트 포장 비율도 25% 이상으로 향후 포트홀이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 도로 주행시 갑작스런 도로파손은 교통사고와 인명피해로 이어지기 때문에 도로의 유지·관리는 매우 중요한 문제이고 이를 예방하기 위해서는 사후 보수뿐만이 아니라 사전 예방적 유지보수가 필요로 하는 시점에 이르렀으나 각 도로관리 기관별로 많은 대책을 수립하고 있지만 근본적인 문제를 해결하지 못하고 있다.

포트홀의 발생원인은 <그림 1>과 같이 골재나 아스팔트 혼합물의 품질과 시공시 온도 및 다짐 등의 시공관리가 불량한 경우, 침투수에 의해 아스팔트가 골재에서 떨어져 나가는 박리현상에 의해 포트홀이 발생한다. 여름철과 겨울철에 주로 발생하는 이유는 여름철의 집중되는 강우기간에 아스팔트의 포장의 포화상태에서 차량통행시 간극수압이 발생하여 포토홀이 발생하며, 겨울철에는 폭설과 장기간 한파로 인한 반복적 동결융해로 골재와 아스팔트 결합력이 저하된 상태에서 차량하중을 버티지 못하여 발생하며 특히, 잦은 폭설에 따른 제설제의 사용으로 포장에 녹은 물이 지속적으로 아스팔트 포장내로 침투되어 장기간 포화상태로 유지되어 포트홀이 증가하게 된다.



도로 표면에 하중 반복 표면 균열로 비 침투

도로 표면에 차량하중이 반복되면서 균열이 불규칙하게 생성되며 확대

햇볕으로 도로가 건조해져 기층부가 표면과 격리되어 떠 있는 상태

차량의 하중이 반복되어 기층과 분리 진행

포트홀 발생

<그림 1> 포트홀의 발생원인

포트홀 (흑한 및 혹서기 다량발생)

균열

변형(굴곡, 밀림 등)

시설물 부위 파손, 함몰

<그림 2> 도로파손 유형

가. 연구개발과제의 설명

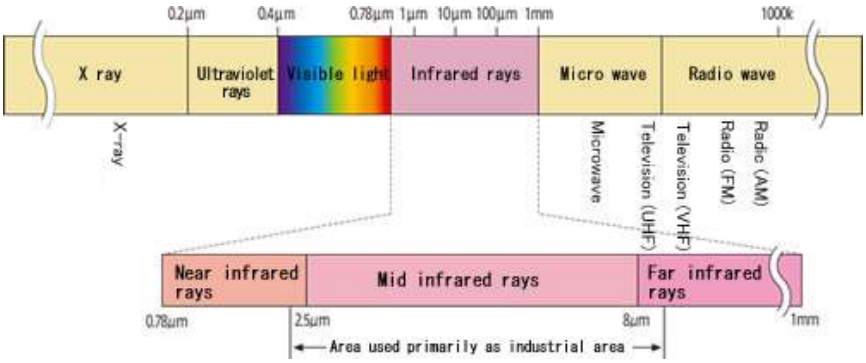
본 과제에 선행하여 공동연구기업인 (주)화인코왁에서는 2008년 서울시설관리공단으로부터 적외선 가열 포트홀 패칭장비 개발의뢰를 받고 개발기간 2년 만에 국내 최초로 적외선 가열방식의 포트홀 패칭장비를 시험개발에 성공하였다. 그러나 장비의 높은 가격과 표준화된 운용공정이 개발되지 않아 상용화 운영에 적용하지 못하였으나 국외에서는 다양한 장비가 연구개발 되고 있다.

이에 본 과제를 통하여 다양한 파손 형태의 도로를 복구할 수 있는 정량화 된 장비를 실용화 개발하고 체계적인 시험을 통해 포트홀의 복구 시공법을 연구하여 보수공법 및 시방서를 완성하고자 한다.

개발기술은 적외선을 이용하여 파손된 도로표면을 200~300℃ 의 온도로 15~20분간 가열하여 기존 포장 도로의 파손 부위를 170℃ 정도로 녹인 후 아스팔트 유제 및 신재 아스콘을 투입하여 고르게 혼합하고 다짐장비로 다짐 후 교통을 개방하여 30분 내외로 신속하고 간단한 방법으로 포장도로의 훼손 부분을 초기 포장 상태로 원상복구 할 수 있는 포장도로 훼손 부분 재시공 기술이다.

– 적외선 방출 이동식 하향 연소 히터 개발

적외선이란 가시광선보다 파장이 긴 붉은색 스펙트럼 옆에 있는 것으로 눈에 보이지 않지만 강력한 열이 감지되기 때문에 열선이라고도 한다. 적외선은 파장이 커서 산란효과가 없고 방사를 통해 높은 열을 전달할 수 있기 때문에 아스팔트 표면을 태우지 않고 높은 열을 깊숙이 전달 할 수 있는 가열방식으로 본 기술에 활용하였다.



<그림 3> 적외선 파장 대역

또한 장비의 실용화에 따라 현장에 적용되면 다음과 같은 장점을 가질 수 있다.

(1) 아스팔트 도로 부분파손부위 보수

– 포장도로의 파손에 따른 도로교통사고 및 기타 문제점 등을 긴급 보수하여 사고를 사전에 예방

(2) 도로의 수명연장

– 파손 도로를 초기 포장상태와 동등 이상의 물성을 회복하므로 아스팔트 포장도로의 수명을 연장

(3) 환경정책 및 에너지 정책 대응

– 고가의 아스팔트를 재활용 함으로써 석유화학분야에서 조달하는 아스팔트의 사용 회전율을 제고
– 절삭 후 재포장 등의 주기를 늘려 빈번한 공사에 따른 에너지 사용량 절감
– 신재 아스콘 생산대비 이산화탄소 배출량 감소

(4) 보수 공사의 간편화

– 보수공사에 필요한 다양한 장비를 일체화하여 간편한 유지보수 지원
– 최소 작업인원 투입으로 보수공사 원가 절감

나. 연구개발의 중요성

매년 끊이지 않고 발생하는 포트홀로 인해 사회적으로 발생하는 피해는 계속 증가하고 있는 것이 현실이나 전통적 포장보수 방법으로는 한계가 있다. 본 개발 장비의 장점은 파손된 포트홀의 원형복원 뿐만 아니라 파손 발생이 예견되는 거북등 균열 등의 부위에 미리 시공하여 파손부위가 확대 되는 것을 사전에 방지하는 표준보수 공법과 비용 절약이 가능한 효율적인 장비를 제작하는 것이 연구개발의 중요사항이다.

또한 도로관리기관들은 제한된 예산범위내에서 시민의 편의와 안전확보를 위하여 파손 상태가 가장 심각한 도로를 먼저 보수하던 사후보수중심에서 기존의 도로망을 보존하고 유지하는 예방적 원상복구 보수방안으로의 인식전환이 필요한 시점이다.

<그림 4> 언론 보도

현재 일반국도의 경우 포트홀이 '09년도 이후 1.5배 이상 증가('09년 25,231건 → '12년 38,382건, 152%증가) 하면서 유지보수 관련 예산이 지속적으로 증가하고 있고, 관련 소송도 점점 늘어나고 있는 추세이다.

<표 1> 일반국도 포트홀 보수 및 소송현황

(단위:개소/건)

'09		'10		'11		'12	
포트홀	소송	포트홀	소송	포트홀	소송	포트홀	소송
25,231	10	44,378	28	42,424	57	38,382	50

<표 2> 관리도로의 포트홀에 의한 사고발생 및 보상현황

(금액 단위 : 백만 원)

구분	국도		고속도로		지방도		계	
	사고발생	보상금액	사고발생	보상금액	사고발생	보상금액	사고발생	보상금액
‘08년도	4	9.1	36	27	169	313.1	209	349.2
‘09년도	15	42	66	77.5	299	670.3	380	752
‘10년도	56	48.7	249	204.2	557	627.3	862	880.2
‘11년도	92	43.1	332	292.4	628	422.4	1052	757.9
‘12년도	85	41.3	162	120.4	442	290.5	669	452.2
‘13년7월말	22	9.3	143	102.1	886	316.2	1051	427.5
계	274	193.5	988	823.6	2,981	2,639.8	4,223	3,619

<표 3> 관리도로의 포트홀 발생 및 보수비 지출현황

(금액 단위 : 백만 원)

구분	국도		고속도로		지방도		계	
	발생	보상금액	발생	보상금액	발생	보상금액	발생	보상금액
‘08년도	20,020.0	3,267.9	10,726.0	1,700.0	67,829.0	2,205.3	98,575.0	7,173.2
‘09년도	27,739.0	4,480.7	12,622.0	1,812.0	65,180.0	2,778.1	105,541.0	9,070.8
‘10년도	49,735.0	69,750.0	16,410.0	2,036.0	137,073.0	3,375.6	203,218.0	75,161.6
‘11년도	48,214.0	90,274.1	20,797.0	2,769.0	106,399.0	3,316.8	175,410.0	96,359.9
‘12년도	44,537.0	85,325.2	23,678.0	3,286.0	101,534.0	5,003.2	169,749.0	93,614.4
‘13년7월말	46,058.0	119,705.4	12,181.0	1,883,0	126,951.0	9,231.2	205,160.0	130,819.6
계	236,303.0	372,803.3	96,414.0	13,486.0	604,966.0	25,910.2	957,653.0	412,199.5

※(고속도로) 고속국도의 도로표면 파손 중 포트홀이 66%차지

※(서울시) ‘09년 약 3만여건 발생 → ’ 10년 약 7만8천 건으로 2.6배 증가

자료출처 : 국토부 도로정책관실(간선도로과) ‘13년 [아스팔트 포장의 포트홀 저감 종합대책] 자료임.

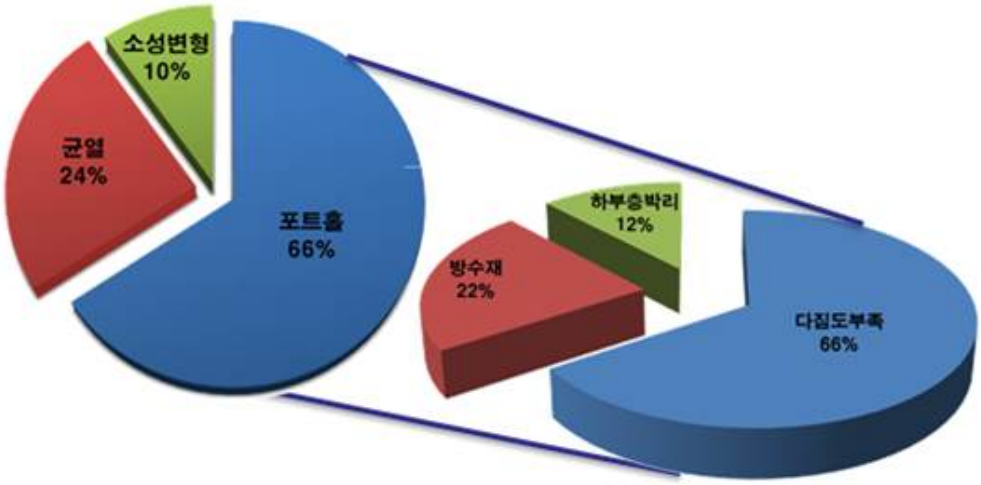
<표 4> 대중교통 아스팔트 포장도로의 동절기 파손 상태(임의 조사대상 도로 구간)

구분	2008년	2009년	2010년(8개월)
동절기강설량(12~2:3개월)	26.8cm	11.6cm	42.7cm
동절기평균기온(12~1:2개월)	0.5℃	0.4℃	-1.6℃
도로파손현황	4,692개소	5,300개소	12,710개소

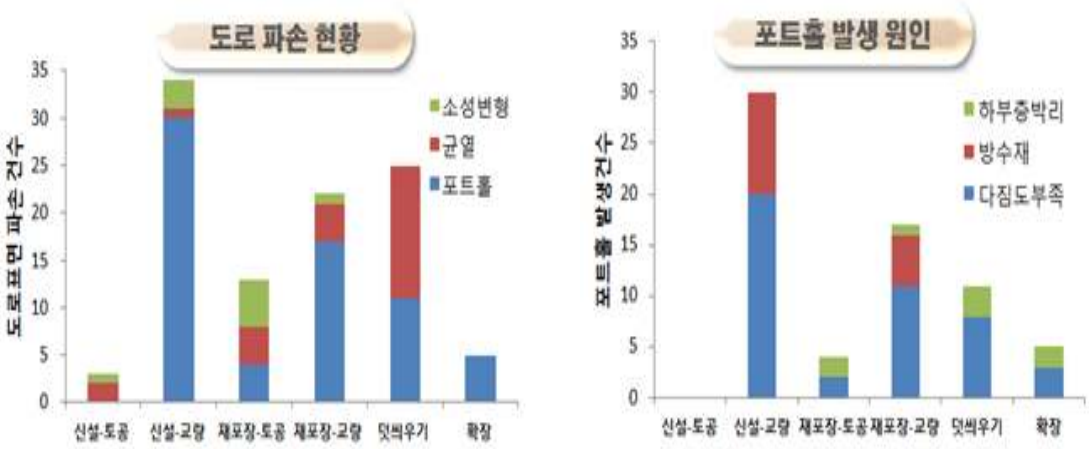
※(자료출처) 도로교통 2010 가을호, 한국건설기술연구원

위의 보고서에 의하면 매년 30~240% 가까운 파손 증가율을 볼 수 있다. 이는 최초 공사시의 관리이력이 없어 정확한 원인을 파악하기는 쉽지 않지만 기존에 시행하던 전통적인 공법으로는 보수 후 단기간에 같은 파손이 발생하고 교통사고 2차 피해 발생 같은 사회적 비용의 증가 억제, 도로유지 보수 예산의 저감 등의 실질적인 효과를 얻기가 어렵다는 것을 알 수 있다.

고속국도와 관련한 '98 ~ '09년도 분석 자료를 살펴보면, <그림 5>와 같이 파손의 66%는 포트홀이 원인이며 그 중에서 다짐도 부족 66%, 방수제 22%, 하층부 박리 12%의 원인이 된다.



<그림 5> 고속국도의 파손 유형 및 주요인 분석 도해



<그림 6> 포장상태별 파손 유형 및 주요인 분석 도해

본 연구개발로 만들어진 장비의 최고의 장점은 포트홀 발생부분을 적외선 가열수단을 이용하여 재 가열 후 신재를 투입하여 다짐하므로 포트홀 발생시 기존의 방법에 비해 폐기물 발생을 최소화 한다는 것이다. 또한 신속하고 안전하게 도로를 복구하므로 최소의 인원과 공사비용의 절감이 가능하며 포트홀 발생으로 인한 민원발생도 줄일 수 있다.

사회적으로 매년 이슈가 되는 포트홀의 예방정비 및 복구를 통하여 차량파손 및 제2의 사고원인을 초기에 예방하는 것이 필요하나 이러한 장비를 일반 중소기업의 자본을 투입하여 개발한다는 것은 어려운 게 현실이므로 창의도전 연구를 통해 본 연구가 꼭 진행되어야 할 필요가 있다.

재난을 사전에 예방하는 것이 안전한 사회를 위해 필요하므로 본 개발기술 장비를 소파보수에 이용할 경우 예방 보수를 통해 여름철과 겨울철에 집중으로 발생하는 소파 훼손의 감소와 예산 비용절감을 획기적으로 가능하게 할 것이며, 국민복지와 안전 측면에서도 본 과제를 성공으로 수행하여 포트홀 보수 장비를 각 지방에 보급하도록 하여 매년 포트홀로 인하여 발생하는 물적 인적 손해를 줄여야 할 것이다.

다. 연구개발 단계(TRL에 근거하여 기술)

본 개발기술의 연구개발단계는 평균 TRL8에 해당하고, 개발기술은 크게 ① 적외선 가열장치, ② 아스콘 보온박스, ③ 차량탑재형 포트홀 보수 전용장비이다.

<표 5> TRL 단계 구분

구분		표기	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	□	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	□	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	□	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	□	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	■	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	TRL 9 현장적용/사업화 단계

이를 구분하여 TRL단계로 구분하면 다음과 같다.

① 적외선 가열장치 : 개발 기술이 실제 현장에서 구현될 수 있도록 발전시키는 단계로 장비/장치의 프로토 타입 모델은 실제 환경에 요구되는 모든 기능을 수행할 수 있는 상태이며 적합한 신뢰도를 갖추고 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증을 실시하는 단계로 해당 장비/장치에 대한 특허 출원이 이루어진 상태임.(TRL8)

② 아스콘 보온박스 : 해당 기술이 완제품의 형태로서 판매되고 있는 상황이나 소형 파손에 적합한 장비가 아니며 장시간 사용에 제한이 따르고 작업완료 후 남는 아스콘은 폐기처리 해야 하는 등은 단점이 있다. 이를 소량, 장시간 적정온도 유지에 적합하도록 개선 개발을 거치면 실용화가 즉시 가능한 수준임. (TRL8)

③ 차량탑재형 포트홀 보수 전용장비 : 상기 1, 2의 적외선 가열장치 및 아스콘 보온박스를 차량탑재형 포트홀 보수 전용장비로 최종설계가 거의 완성되는 단계로 실제현장에서 시제품의 시연이 이루어 질 수 있는 단계이며 유사환경과 실험실 환경 테스트 결과를 통해 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하고, 시험결과 및 최종 결과물에 대한 분석이 요구 됨. (TRL8)

라. 타 산업 연계 및 국제협력 가능성

도로 하부에는 통신, 전기, 상수도 등 다양한 시설물이 매설되어 있다. 이러한 시설의 유지보수를 위한 공사나 노후 된 포장을 유지보수 할 때 폐아스콘이 발생한다. 폐아스콘은 기존에 단순 매립 처리하였으나 최근 재생아스콘을 사용하는 경우가 많아지고 있다. 포트홀 공사시 신재 아스콘이 아닌 폐아스콘을 사용하여도 성능의 차이가 비슷한 것으로 나타났다. 특히, 원유에서 생산된 고급의 아스팔트 재료를 다시 재활용한다는 측면에서 고부가가치의 친환경 기술이라고 할 수 있다. <국토교통부, 폐아스콘을 재활용한 재생 아스콘 포장기술 09.12.24>

경기도는 폐아스콘 재생처리를 활성화 한다. 2014년 4월 29일 기존 2개업체에서 7개 업체로 확대하여 협약을 체결하였고 이를 통해 연간 3억원 이상의 예산절감을 기대하고 있다. 더불어 폐아스콘을 재생처리하는 것은 친환경 활동으로 환경보호에서도 기여할 것으로 예상된다. <경기도, 폐아스콘 재생처리 활성화 14.05.01 수원일보>

위와 같이 지구 온난화 문제와 천연자원 부족현상은 이미 세계의 공통관심사 이다. 본 장비는 폐아스콘을 발생시키지 않고 보수 할 수 있는 신기술 장비이며 포트 홀 보수시 재생 아스콘을 사용하여 복구할 수 있는 친환경적인 장비라 할 수 있으며, 향후 중국을 비롯 동남아시아, 더 나아가 전 세계적으로 도로포장과 관련된 업무 협력을 통해 해외진출 할 수 있도록 마케팅 전략을 수립 추진하고자 한다.

3. 연구개발 범위

가. 장치 신뢰성 검증체계 개발

- 구성품 기능, 품질, 신뢰성 검증 기준 및 절차서
- 각 시험에 대한 계획 및 보고서
- 개발 시스템 시험성적서
- 현장 운용시험

나. 적외선 가열 하향식 가스히터 개발

- 운용이 간편한 무게 400Kg이내의 적외선 히터개발
- 가열면적 $4m^2$
- 표면 연소온도 800~1,000℃
- 적외선 방출 열량 20,000 kcal 이상
- 이동 및 운용이 편리한 운반도구 개발

다. 복구작업 표준화를 위한 부수장비(아스콘 보관용 보온박스 외) 개발

- 12시간 이상 보온이 가능한 열 챔버 구조
- 아스콘 투입(신재 보급) 및 정량 배출이 편리한 구조
- 적외선 가열 방식의 버너
- 차량 1대에 보수 장비 구성(다짐장비, 전원장치, 유압장치, 리프팅장치, 교통 통제 및 안전 유도장치 등)

라. 성능지표 및 보수 공법 표준화

- 포장 가속 시험 장소에서 인위적으로 포트홀을 생성 및 보수 시험
- 여름철, 겨울철 환경의 2계절 적용을 위한 검사 및 성능평가(반복적 하중)
- 아스팔트 포장 도로의 상태별, 경과기간별로 재생제, 첨가제 사용량과 가열 시간별 연관관계 비교 시험
- KS F 2349 아스팔트 혼합물 인장강도비 시험(TSR)기준 (표층용 0.75이상)
- 시험 결과에 따른 보수공법 및 운용 시방서 표준화

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가 연구개발사업 유사연구 사례 조사

(1) 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr)를 통해 유사과제 검색 결과 기 수행 과제 없음

유사과제 검색결과

검색조건	기본조건	
검색일시	2014.05.09	
유 사 도	60	
검색현황	등록과제 수	유사과제 수
	1 건	0 건

세 부 검 색 결 과

순번	과 제 명	연구 책임자	유사과제여부		제재 여부
			기수행과제	타인등록과제	
1	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	이동희	×	×	×

주1) 기본조건 : 기수행과제 및 타인등록과제 전체, 유사도 60
주2) 기수행과제 : 타부처 및 기관에서 기 수행된 과제(조사분석 수집과제)
주3) 타인등록과제 : 타사용자가 등록한 과제

상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

<그림 7> 유사과제 검색결과(2014년)

- 2017년 기준, 검색 결과 다음과 같은 유사과제가 검색되었으나 개발 장비 및 공법과 상관관계가 없음

과제명	아스팔트 포장 포트홀 방지용 액상 Anti stripping Agent 개발
총 연구기간	2014-07-15 ~ 2015-07-14
과제 수행기관	주식회사 웰그로우
연구관리전문기관	중소기업기술정보진흥원
기술수명주기	성장기
연구목표	현재 사용하고 있는 수입 박리방지제 및 석회석을 대체할 수 있는 고성능의 박리방지제를 개발한다. 지금까지 액상 박리방지제는 주로 아민계 박리방지제이나 본 연구에서는 아민 화합물 이외에 골제와의 접착력을 향상시키는 접착 프라이머를 접목하여 세계적으로 아스팔트 골재와의 수분민감성 문제를 해결하는 최상의 기술혁신적인 제품을 개발하여 국내 신기술 지정, 국내 판매는 물론 해외에 제품을 수출할 수 있도록 품질 경쟁력 확보를 최우선 해결과제로 독창적인 연구를 수행하고자 한다.
검토의견	본 연구와는 현격한 차이점이 있음 - 혼합물의 장기 수분 민감 저항성을 증진시킬 수 있는 박리 방지제 개발

과제명	아스팔트 포장도로의 포트홀(Pothole) 및 맨홀(Manhole)의 효율적 유지관리를 위한 도로보수장비 및 공법 개발
총 연구기간	2015-09-30 ~ 2017-09-29
과제 수행기관	태평림건설 주식회사
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
기술수명주기	도입기
연구목표	아스팔트 포장도로의 포트홀(Pothole)과 맨홀(Manhole)주변도로의 파손 및 포장 덧씌우기로 인한 맨홀 단차의 도로보수등을 One-stop service로 제공할 수 있는 신속하면서도 경제성 확보가 가능한 도로보수 전용장비 및 공법개발이 최종목표임 2차년도 과제에서는 1) 포터블 아스팔트 혼합플랜트개발 2)도로보수 전용차량 개발을 연구목표로 하고 있음. 1차년도 연구개발 성과를 기반으로 2차년도 도로보수장비 및 소형 아스팔트 혼합플랜트의 제작 및 시스템 통합을 통해 아스팔트 포장도로의 포트홀(Pothole) 및 맨홀(Manhole)의 효율적 유지관리를 위한 도로보수장비 및 공법 개발을 완료할 예정임
검토의견	본 연구와는 현격한 차이점이 있으며, 해당 사업평가 시 본사업과 중복성 검토 실시 하였음 - 포터블 아스팔트 혼합 플랜트의 개발 중심

- 본 과제와 차이점

○ 본 연구는 아스팔트 포장도로상의 포트홀을 빠른 시간 내에 기존아스팔트 품질 수준으로 복구할 수 있는 적외선 가열장비와 공법을 개발하고 검증하는 것을 기본 목표로 하며, 신규 개발 장비를 이용하여 복구된 도로의 품질보증을 위한 성능지표 확립과 표준화된 공법기준을 제시함

○ 연구개발 최종목표

1) 아스팔트 포장도로에 발생된 직경 50㎝의 포트홀을 30분 이내에 신속 복구할 수 있는 적외선 가열 하향식 가스히터 장비와 보수용 아스팔트 품질을 장시간 최적의 온도로 유지하기 위한 보온박스 개발, 보수장비 일체화된 차량 제작
2) 파손된 아스팔트 부위 복구 후 복구부위의 재료(골재, 아스팔트 등)의 구성성분, 물리적 성질(강도, 다짐도, 내구성 등)을 확보 할 수 있는 성능지표의 수립과 가열면적대비 복구면적 설정, 재생제 및 첨가제 투입량을 표준화 하기 위한 최적 공법 개발
3) 개발된 장비의 신뢰성을 검증 및 표준화된 공법의 품질 입증

(2) 연구개발과제의 차별화 방안

본 과제의 성공적인 수행을 위하여 분야의 전문성 갖춘 산, 학, 연과 수요처가 공동으로 과제를 수행하고자 한다.

<표 6> 연구개발 수행체계 현황

구 분	기관명	전문성
주관기관(연)	한국산업기술시험원	시험평가 및 표준화
공동연구기업(산)	(주)화인코왁	장비개발(특허기술보유)
공동연구기관(학)	강원대학교 석재복합건설신소재연구소	아스팔트 특성 및 표준공정 연구

나. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

국내에 알려진 포트홀 파손의 유지보수 방법은 다음과 같다.

(1) Throw-and-Roll 공법

일반적인 포트홀의 긴급 보수방법으로 포트홀 발생부위에 물이나 이탈된 골재 잔 해물에 구애받지 않고, <그림 8>과 같이 보수재를 파손부위에 메운 후 트럭으로 다짐한 후 다음 보수 지점으로 이동한다.

<그림 8> Throw-and-Roll 공법

(2) 반영구적 보수공법 (Semi-permanent method)

반영구적 보수공법은 보수 부위를 깨끗이 정리한 후 포장의 안정된 수직면이 나올 때까지 절단한 후 보수재를 포설하고 <그림 9>와 같이 가급적 보수부위보다 작은 휴대용 다짐기 등으로 다짐을 하고 다음 보수지점으로 이동하면 된다.

<그림 9> 휴대용 다짐장비를 이용한 다짐

(3) 분사-주입공법(Spray injection method)

포트홀에 있는 수분과 잔 조각들을 공기를 불어 제거한 후 포트홀의 바닥면과 측면에 바인더를 분사해 택코팅한다. 아스팔트 바인더와 골재를 포트홀에 투입한 후 골재층으로 덧씌우기 면을 덮는다. 이때 보수재료는 <그림 10>와 같이 인력 및 자동분사차량을 이용하여 적용한다.

<그림 10> 포트홀 보수재료 스프레이 장비

(4) Edge Seal 공법

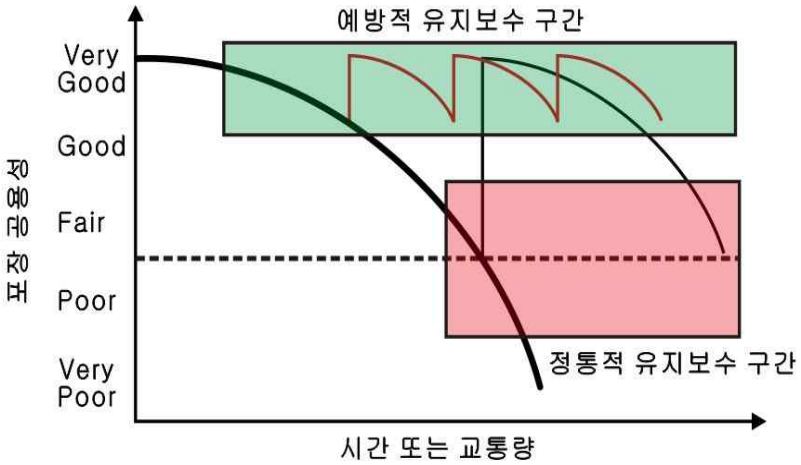
Edge Seal 공법은 수분 또는 잔골재(포장 파손에서 발생된 조각들)가 포트홀이 발생한 포트홀에 재료를 포설하며, 이후 트럭 타이어를 이용해 덧씌우기 면을 다지고 다진 덧씌우기 높이가 3mm~6mm 이내인지 확인한 후 다음 포트홀 발생위치로 이동한다. Edge Seal 공법은 보수영역을 2회에 걸쳐 작업인원이 물을 제거하고 택코팅을 적용하기 전에 수분을 건조시켜야 한다. 비록 Edge Seal 공법은 다른 공법에 비하여 생산성은 낮지만 택코팅 재료를 적용함으로써 보수구간의 단부를 통해 수분이 유입되는 것을 방지하고 주변 포장에 고착시켜 덧씌우기에 대한 지지력을 개선시켜 준다.

(5) 기타공법

도로 포장에 대한 예방적 유지보수공법 중 균열 및 표면처리공법 외에도 절삭, 플러쉬 대책 및 타이어체인에 의한 마모의 보수공법을 들 수 있다.

국내의 도로포장 유지보수 실무편람(1999 건설교통부)중 아스팔트 포장파손의 유형으로 크게 균열(거북등균열, 타부균열, 차로와 길어깨 줄눈 균열, 시공균열, 가로반사균열, 밀림균열, 세로방향균열) 변형(러팅, 코루케이션과 쇼빙, 함몰, 공공시설물 설치부 균열) 탈리(포트홀, 라벨링) 미끄럼 저항감소(블리딩, 골재마모) 등 종류가 15가지에 이른다. 이를 보수 하는 방법도 균열의 종류마다 다르나 대부분 덧씌우기, 실링보수, 절삭 및 소파보수로 되어있다. 이러한 보수 방법은 임시방편이 될 수 밖에 없으며 또한 아스팔트 보수 장비에 관한 국내의 연구는 찾아 볼 수 없다. 따라서 아스팔트 도로의 수명을 확장하고 안전한 운영을 위하여는 포트홀과 같은 파손부 원상복구 개념의 보수장비 개발과 예방적 유지보수 개념의 도입이 필요하다.

예방적 유지보수 또는 유지관리는 AASHTO의 정의에 의하면 “예방적 유지관리란 기존의 도로를 실제적으로 구조적 능력을 증가시키지 않으면서 도로에서 추후 발생할 파손을 지연시키고, 도로의 기능을 유지 또는 향상시키며, 도로를 보존하는데 따르는 비용을 효과적으로 처리하는 방법들의 준비된 전략”으로 정의하고 있다. 1991년에 건설부에서 발간한 도로포장설계시공 지침에서는 “포장이 아직 파손되지는 않았으나 표면이 마모되어 우수의 침투로 균열 발생이 예상되거나 약간의 균열이 발생된 상태에서 그것이 커다란 파손으로 발전되지 않도록 시행하는 유지보수” 로 정의하고 있다.



<그림 11> 예방적 보수적 유지관리

<그림 11>은 예방적 유지관리와 일반적(또는 정통적) 유지관리의 차이점 을 포장상태에 대한 유지보수 적용시기를 통해 설명해 주고 있다. 예방적 유지보수는 포장에 발생할 수 있는 여러 종류의 포장 파손이 발생 초기단계에서 유지보수를 수행하여 발생 가능성이 있는 포장 파손의 발생을 지연시키는 것을 목적으로 크게 균열처리공법과 표면처리공법으로 구분할 수 있다.

예방적 유지보수공법을 적용하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

① 공법 적용의 명확한 목적: 공법의 적용목적이 명확하여야 한다. 즉, 어느 정도 손상이 발생된 상태에서 더 이상의 손상 진전을 방지하기 위함인지, 손상의 사전적 방지를 위함인지 등에 관한 판단이 이루어져야 한다.
② 적용성: 적절한 공법의 선정은 현재의 포장상태와 교통조건, 환경조건 등을 종합적으로 검토하여 이루어져야 한다.
③ 시공성: 각 지역별 특성 때문에 공법이나 재료를 적용하기 힘들거나, 적용하더라도 시공비가 많이 소모되는 경우 등에 대한 검토가 이루어져야 한다.
④ 기대수명과 비용: 비용대비 기대수명 및 공용성이 만족할만한 지에 대한 검토가 이루어져야 한다. 이는 다양한 적용 가능공법들에 대한 상대적인 비교를 통해 최적의 대안을 선정함을 의미하며, 이를 위해서는 과거의 보수실적이나 전문가의 판단 등을 토대로 공법별 기대수명 및 공용특성에 대한 자료가 축적되어야만 한다.
⑤ 사용자 만족: 도로를 이용하는 사용자들의 안전성 및 쾌적성에 대한 요구사항으로 소음저감, 승차감 개선, 안전성 증대, 도로 보수에 따른 지정체 최소화 등을 들 수 있으며, 공법선정 시에 이러한 요소들을 감안하는 것이 필요하다.

2. 국내외 관련 기술 특허 동향

신청과제의 아스팔트 보수에 관한 특허를 분석한 결과 국내에서는 공개 등록된 특허는 2건과 실용신안 1건으로 검색되었다. 그중 공동연구기업인 (주)화인코왁에서 2011년 특허 제10-1031053호 [이동식 포장도로 훼손 부분 재시공 장치]와 실용신안 제20-0454948호 [가열기 탑재형 이동식 도로 복구장치]의 특허를 가지고 있다. 다른 1건의 특허[적외선 가열장치를 이용한 아스팔트포장 균열보수방법 및 그 장치]는 아스팔트의 실금(크렉)을 실런트를 녹여 삽입하는 방법으로 본 연구개발과제와는 성격이 다르다.

또한 국외 특허 검색결과 가장 비슷한 [Asphalt reclamation unit with discharge feed and improved hot air flow]가 있었으나 가열 보수 방법이 아닌 보온방법에 관한 특허였으며 출원일이 20년이나 지난 것으로 조사되었다.

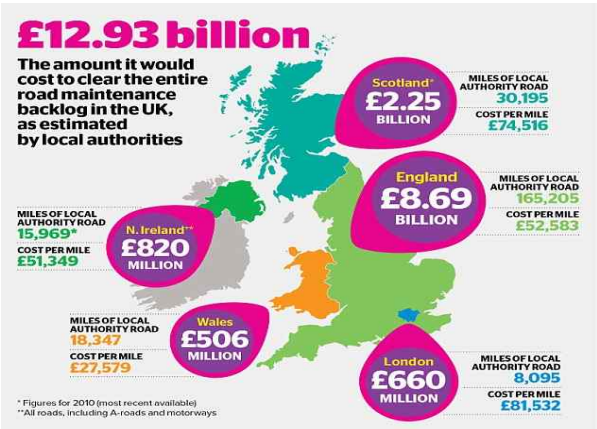
<표 7> 포트홀 보수 관련 국내·외 주요 특허

제 목(특허번호)	요 지
현장가열 아스팔트 도로보수 시공방법 (101254956) 등록일 2013.04.10	적외선 발열부, 적외선 발열부 작동장치부, 신재 아스팔트혼합물 보관부, 가스통 보관부, 제어장치부 및 적재함부가 설치되며, 상기 적외선 발열부 작동장치부에 유압을 공급하고, 이동을 위한 차량부로 구성되는 상기 아스팔트 도로 보수장비로 현장에서 바로 가열과 신재 아스팔트혼합물의 보충 및 다짐을 일괄 공정으로 처리하는 현장 가열 아스팔트 도로 보수 시공방법에 관한 것이다.
적외선 가열장치를 이용한 아스팔트포장 균열보수방법 및 그 장치 (101217148) 등록일 2012.12.24	가열할 바닥면으로 부터 이격되게 설치되고 아스팔트의 균열홈을 따라 이동되는 베이스에 설치되는 덕트의 저면에 설치되고 아스팔트의 균열홈을 가열하는 베이스에 설치되고 덕트에 연결되어서 덕트 하부의 가열판을 가열하는 베이스의 상부 일측에 설치되고 베이스를 이송시키는 핸들 베이스에 설치되고 투입된 실런트가 용융되도록 가열부에 연결되며, 베이스가 균열홈을 따라 이동될 시 균열홈에 실런트를 주입하는 실런트주입부를 포함하여 이루어진다.

3. 국내외 시장분석 및 산업동향

신청기술 분야의 아스팔트 재시공은 해외에서 2008년부터 본격적인 시장이 형성되어 왔다. 지구온난화에 따른 탄소배출 억제와 더불어 신재생에너지에 대한 세계 각국의 경쟁이 시작된 시점이기도 하다. 이와 함께 재활용 분야에 대한 관심이 집중되고 있다. 폐아스콘의 재활용도 이와 맥락을 같이 한다.

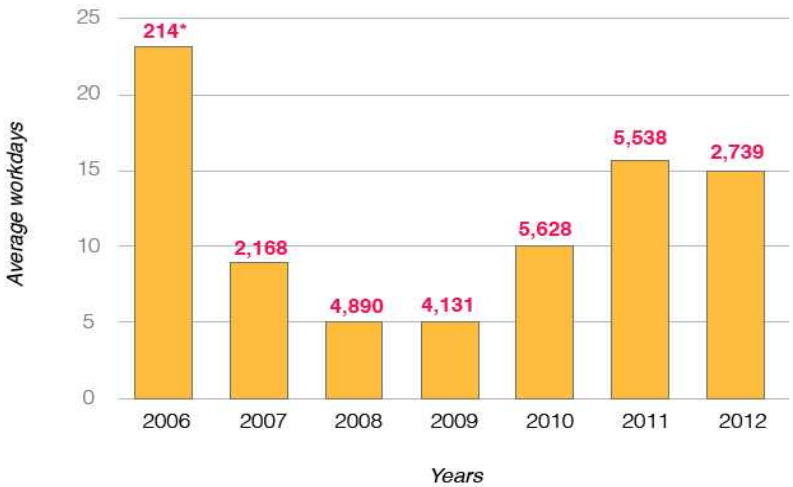
<그림 12>은 영국에서 2010년 한 해 동안 도로보수 비용으로 약 2조 이상의 예산이 투입된 것을 보여 준다.



<그림 12> 영국의 도로보수 비용

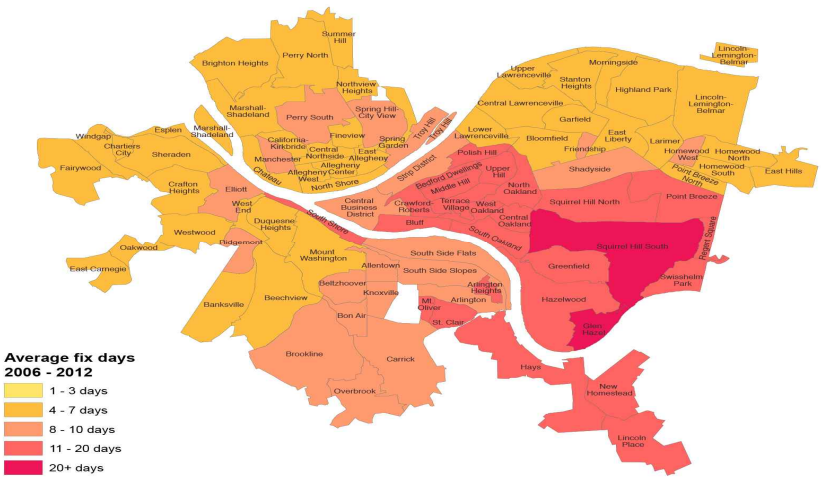
<그림 13> Los Angeles 연간 포트홀 발생량

위의 그래프는 로스앤젤레스의 연간 포트홀 발생량으로 2011년 29만7천건, 2012년 30만1천건, 2013년 35만4천 건에 이른다. 이를 포트홀 1㎡당 국내 보수비용으로 계산하면 354,125 x 12만원=4백2십억원 가량 계산된다.



<그림 14> Pittsburgh시 연간 포트홀 발생량

위의 그래프는 미국 피츠버그시의 연간 포트홀 발생 신고건수 대비 보수일을 나타낸 것으로 포트홀 보수가 신고일로부터 평균 12일이 걸리는 것으로 나타났다.



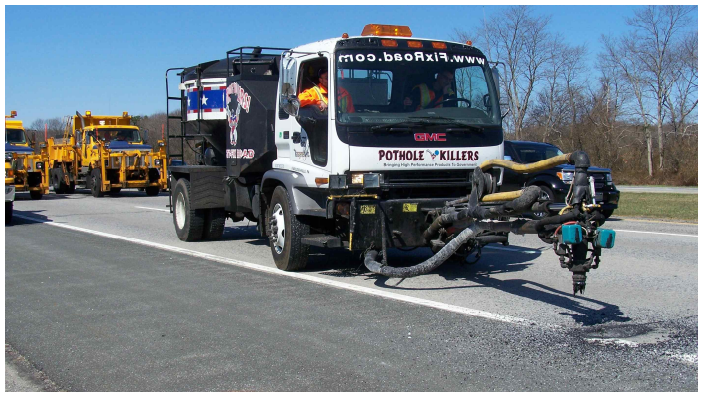
<그림 15> Pittsburgh시의 도심과 외곽의 도로보수 처리일수

또한 시내에서 멀리 떨어진 곳일수록 보수일이 크게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 도시가 있는 곳이면 길이 있고 대부분의 포장도로는 아스팔트로 되어있다. 즉, 소규모 포트홀의 발생은 어쩔 수 없는 상황이다. 국내 2008년 전국 도로보수 비용이 4천2백억원 규모를 감안하면 전 세계 포장도로 보수 유지비용은 과히 천문학적인 숫자일 것이다.

미국의 경우 각 시 마다 포트홀 장비를 대여하거나 보수하는 업체가 있으며 전용 장비를 생산하는 업체는 1983년에 설립된 KM International 이 가장 오래된 회사이다. 현재는 영국, 캐나다 등 세계 각국에 판매처를 두고 있다. 이 밖에도 1988년에 설립된 PTIC(Pavement Technologies International Corporation)는 미국에서 가장규모가 큰 회사이며 5~6개의 보수장비 전문 회사가 있다. 최근에는 중국에서도 도로보수 전문장비 업체가 등장했는데 REED ROAD INC 같은 회사는 도로보수에 관련한 20여 가지 장비를 생산하고 있다.

본 연구개발은 대형장비가 아닌 한국지형에 맞는 포트홀 보수장비 개발에 연구 역점을 두어 실용화를 목표로 하며 추후 해외시장의 수출 및 외산장비의 수입에 대한 국산화 방어로 대응하고자 한다.

<그림 16> KM International의 소형 소파보수 장비



<그림 17> Patch management의 PK2000 대형 장비

<그림 18> Python

4. 종합결론

본 과제를 통하여 개발되는 장비 및 기술은 외산 장비의 현장 적용보다 뒤져 있으나 적외선 가열장비를 지속적으로 개발하고 성능을 개선시키고 고기능화를 꾸준히 진행한다면 포트홀 및 도로의 사전 예방 보수의 진일보한 사례가 될 것이다.

또한 개발장비는 지속적으로 증가하고 있는 포트홀에 대한 보수 방안으로 향후 수요가 증대 될 것으로 판단되며, 포트홀 시공 및 공법 적용은 보다 활성화 될 것으로 전망된다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 적외선 가열 하향식 가스히터 및 보수공법 개발

가. 기초자료 조사

- 국내, 외 시장에 출시되고 있는 장비의 로드히터 장비의 제원 및 가격 등에 관한 기초조사를 실시하고 국내 여건과 사용의 용이성 등을 고려하여 벤치마킹 대상 선정함

회사명		ARS	KM International	KM International	HDE	E-Sun
모델명		Portable Heater	LB2-16	KM4-40	P200	CLYJ-LA 4x4
국가명		미국	미국	미국	캐나다	중국
가격		$5,995	$7,450	$16,900	$11,434.50 CAD	$5,730
제원 (Cm)		178x165x99(조립시)	129.5x129.5x127	254x198(이동시)	157.5x113x87.6	166x116x120
중량		90KG(연료탱크제외)	124.7Kg	367.4Kg(연료탱크포함)	136Kg	78Kg
구조	연료시스템	LPG / 자동차단기능	LPG	LPG	LPG	LPG
		연료공기자동혼합(Venturi Type	12V Blower	12V Blower	Venturi Type	
	제어시스템	12V 충전식	12V battery	12V Battery 충전식		
	가열방식	적외선 (Radiant Blue-frame)	적외선	적외선	적외선	적외선
	이동방식	회전식바퀴 3개	고정식 바퀴 2개	회전식바퀴 4개, 4.80-8" 2개	회전식 바퀴 5개	회전식바퀴 1개, 고정식바퀴 2개
	재질	Stainless Steel			Stainless Steel	Stainless Steel
	표면처리	x			Orange powder coating	
	분할방식	2 Split	2 Split	4 Split (2-2'x4', 2-3'x4')	2 Split	2 Split
성능	소모열량	92,000BTU/hr		700,000	200,000 BTU	
	연료사용시간	3시간/10kg.tank	약 5.5Kg/h	약 11Kg/h	약 4.8Kg/h	
	가열면적	1.4㎡	1.5㎡	3.7㎡	1.11㎡	1.35㎡
특징	점화방식	자동점화	자동점화	자동점화		
	타이머	5분				8~10분
	기타	착탈식 바퀴와 손잡이	접이식 이동형	트레일러방식		
사진1						
사진2						

<그림 19> 국내, 외 로드히터 장비 비교 분석

○ 벤치마킹 분석결과 본 제품 개발 반영 사항

- 기본설계
  - 최소인원(1인)으로 조작 가능하도록 설계
  - 복수대를 연결 할 수 있는 체인 구조를 적용
  - 적외선 가열방식 : 기존 세라믹 섬유에서 작업환경에 있어서 내구성이 우수한 메탈화이버 적용

- 제어부분
  - 해외제품 중 가열성능이 우수한 연료(LPG) 및 제어시스템 반영(벤추리 타입, 12V 등)
    ※ 벤추리 타입 : 공기와 가스를 섞어 사용하여 방출 열량을 증가
  - 단순한 수동타이머 방식으로 보다 가열효과를 높일 수 있는 간헐가열 할 수 있도록 전자식 타이머 적용

- 가열성능
  - 국내외 제품의 방출 열량은 20,000 kcal/h 이상임
  - 본 과제에서 열량 시뮬레이션 및 실제 아스팔트 도로의 시공 조건을 고려하였을 때, 약 20,000 kcal/h 이상이 되도록 제작 반영함

○ 벤치마킹을 위해 구매한 제품과의 사양 비교

– 개발품의 경우, 캐나다 제품과 비교하여 동등이상의 성능으로 평가됨(비교시험 자료 참조)

주요항목		미국	캐나다	개발품	비고
IR히터	소모열량	23,184kcal/hr	50,400kcal/hr	23,202kcal/hr	1 x 1 (m^2) 기준
	작동온도	400~800℃	400~800℃	400~800℃	
	판매가격	$5,995	$11,434 CAD	$10,000	$9,228(캐나다–미국)
	추가기능	–	–	간헐적 가열(전자식)	

※ 미국제품의 경우, 필드 테스트한 결과 가격대비 제품 품질이 낮음

○ 비교시험

– 선진 기술 자료의 정량적 수치 없음

– 한국생산기술연구원 입회하에 제품 3종에 대한 비교시험 실시

- 시험일자 : 2017년 7월 13일
- 시험대상 : 그림1 (자사품), 그림2 (미국), 그림3 (캐나다)
- 시험장소 : 경기도 용신시 처인구 마평동 266–19 폐도로

<그림 1> 제품1

<그림 2> 제품2

<그림 3> 제품3

- 비교시험결과 표면온도, 침투깊이, 연료사용량의 차이 등 전체적으로 우수함

– 시험평가 결과 : 재원 및 비교시험 검토 결과 동등 또는 이상임

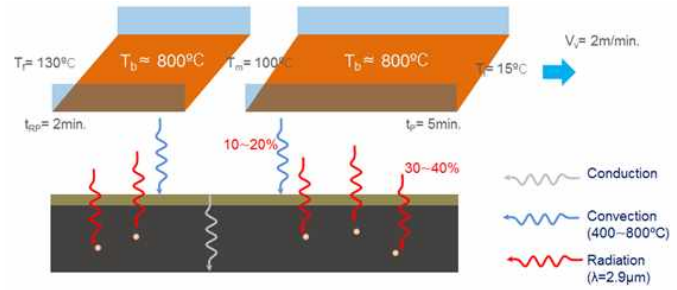
No.	시험항목	단위	시험결과				비고
			1회	2회	평균	편차	
1	제품 중량	kg	149	–	–	–	–
2	표면 온도	℃	45.6	48.0	46.80	2.4	시작 전 측정
3	연료사용량	kg	0.8	0.8	0.80	0.0	시작 전후 측정
4	화염온도	℃	740.6	745.2	742.90	4.6	작동시간 600초 이내 최대치 기준
5	1–0	℃	419.9	346.7	383.30	73.2	
6	1–3	℃	119.3	117.2	118.25	2.1	
7	1–5	℃	66.1	74.2	70.15	8.1	
8	2–0	℃	558.2	432.0	495.10	126.2	
9	2–3	℃	133.9	122.8	128.35	11.1	
10	2–5	℃	71.6	71.7	71.65	0.1	
11	3–0	℃	428.5	429.1	428.80	0.6	
12	3–3	℃	128.8	157.9	143.35	29.1	
13	3–5	℃	89.0	114.4	101.70	25.4	

※ 숫자 뒤의 0, 3, 5는 측정 깊이(cm) 임

나. 기초설계 및 시작품 제작

– 버너 열량설계

- 열전달 메커니즘 및 열전달의 유형에 대한 종합적 분석을 통한 버너 필요열량 산정



<그림 20> 아스팔트 열전달 유형

열량산출 기본 값 도출

계산에 고려된 변수(Preheater)	값
아스팔트 체적, V [m^3]	2.0
아스팔트 밀도, ρ [kg/m^3]	2,405
아스팔트 비열, c_a [kcal/(kg℃)]	0.2749
아스팔트 승온 차, ΔT_a [℃] (대기온도 15~100℃)	85
물의 비열, c_a [kcal/(kg℃)]	1.0
ε_ω	0.02
ΔT_w	85
물의 잠열, H_{latent} [kcal/kg]	539
가열 효율(η)	0.2

필요열량 산정

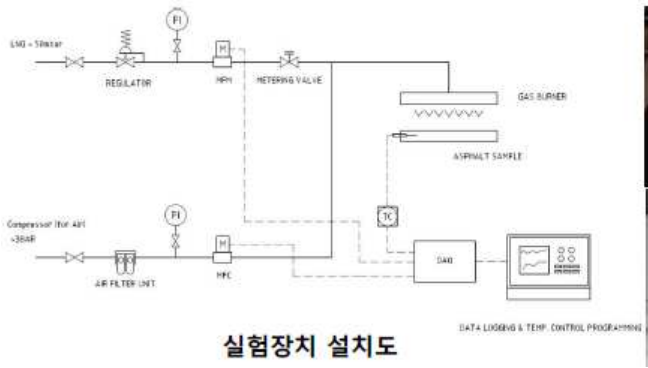
필요열량 산정	히터에서 미리 가열된 아스팔트에 추가로 열을 가하여 평균적으로 약 130℃가량 가열하는 것을 목표로 하고 있다. 히터와 동일한 방법으로 필요열량을 계산한다. 밀도를 고려하여 전체적인 질량을 산출하고 비열과 온도차를 이용하여 목표온도로 가열하는데 필요한 열량(Q_a , kcal)을 계산하고, 히터와 동일한 단위면적당 열량을 확보하기 위한 추가 보정열량(Q_{cor} , kcal)을 더하여 총열량(Q_{total} , kcal)을 산정한다. 그리고, 버너가 공급해야 하는 열량(Q_{burner} , kcal)은 가열효율(η)을 고려하여 계산한다.

$$Q_{total} = Q_a + Q_{cor}$$
$$Q_a = c_a V \rho \Delta T_a$$
$$Q_{burner} = Q_{total}/\eta$$

계산에 고려된 변수(Recycler)	값
아스팔트 체적, V [m^3]	0.8
아스팔트 밀도, ρ [kg/m^3]	2,405
아스팔트 비열, c_a[kcal/(kg°C)]	0.2749
아스팔트 승온 차, ΔT_a [°C] (100°C에서 130°C까지)	30
가열 효율(η)	0.5

– 발열체 기본구조 설계 및 해석

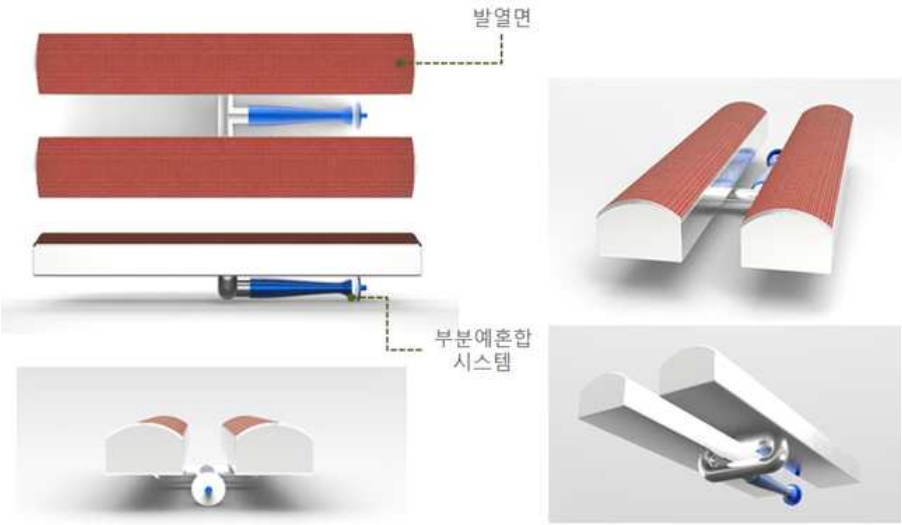
- 발열부의 소재는 메탈화이버임. 메탈화이버를 이용한 버너는 표면 연소형 버너로도 불리며, 단위면적당 고부하 특성을 가지면서, 높은 복사열전달 효율을 가지고 있음
- 아스팔트를 가열하는 공정의 경우, 고온의 버너 화염이 직접 아스팔트에 닿으면 아스팔트가 산화하여 휘발분의 증발로 인해 연기가 발생하고, 물성치 변화 및 내구성 하락으로 재활용하기 곤란한 상태가 되는 경우가 있어, 최대한 배기가스를 배제하고 복사열전달을 할 수 있는 발열체로 버너를 구성해야 함
- 공시체 가열시험을 통한 설계된 제품의 기본성능 검토



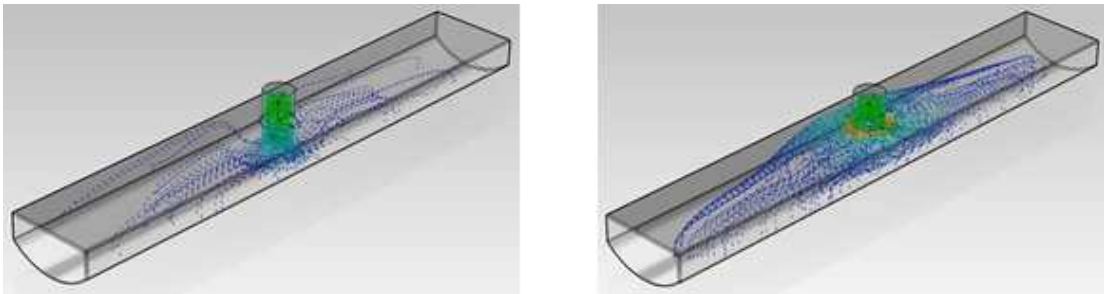
실험장치 설치도

발열체 및 아스팔트 설치

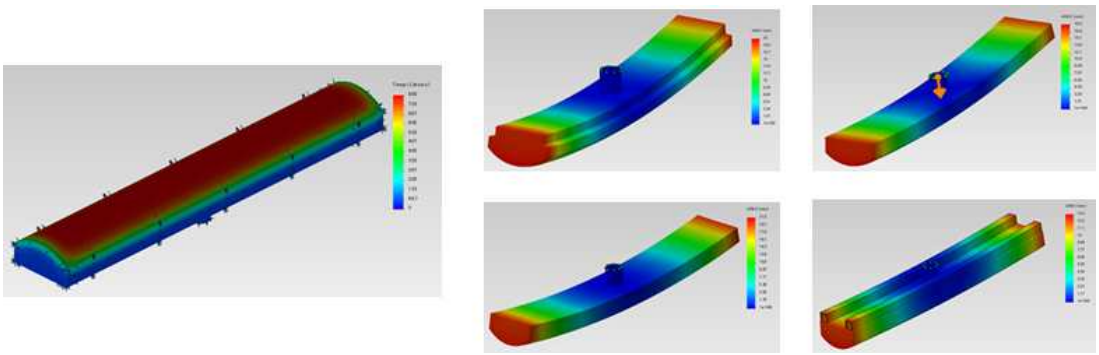
- 유동해석 결과 분석을 통해 발열부의 전 영역에서 균일하게 유동할 수 있도록 설계
- 열적 구조해석 결과 분석을 통해 버너 발열부가 고온이 되더라도 변형 발생 최소화 되도록 설계
- 발열부는 직사각형 모양이며, 가로 방향으로 길도록 설계
- 일반적으로 연소에 필요한 공기와 가스의 혼합기는 배관을 통해 중심부로 공급되기 때문에 발열부 전면으로 화염이 균일하게 나오도록 하기 위해서 내부유로를 최적화함



<그림 21> 발열체 기본구조 설계 결과



<그림 22> 발열체 내부 유동해석 결과

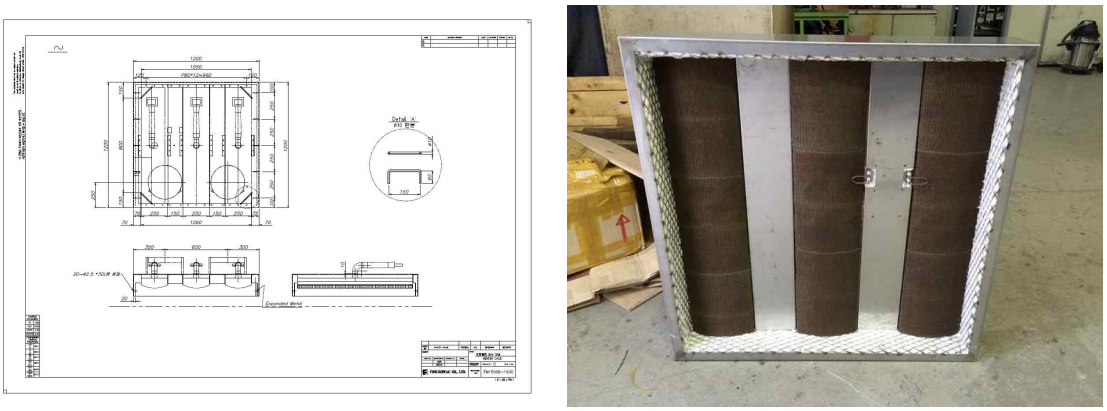


<그림 23> 발열체 열적 구조해석

- 적외선 가열 하향식 가스히터 기본제원 확정
  - ► 표면 연소온도 : 800~1,000℃ (메탈 화이버 적용)
  - ► 방출 열량 : 20,000 kcal 이상 (가스 연소를 통해 발생되는 열량)
  - ► 기타 : 이동 및 운용이 편리한 운반도구 포함

– 시작품 제작

- 상기 과정에서 도출된 설계 기초자료 및 설계조건을 고려하여 기초설계 수행
- 도면작성 및 시작품 제작

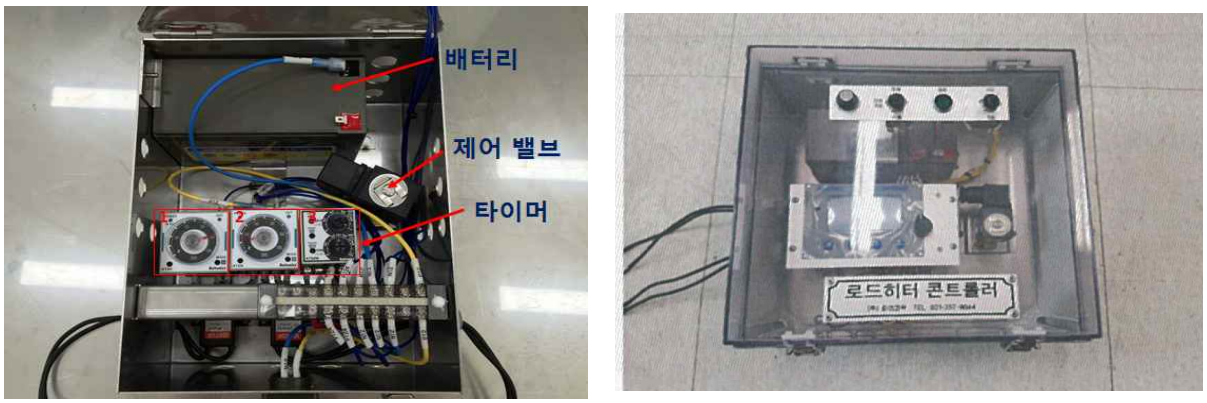


<그림 24> 적외선 히터 시작품 설계 및 제작

– 시작품 수정 보완

- 메탈 화이버의 폭 수량을 달리한 시작품 제작생산
- 자체 시험평가 결과 폭이 넓은 제품의 성능이 우수한 것으로 평가 (폭 : 150 mm)
- 기계식 제어시스템 전자식으로 변경, 분진 및 강우에 견딜 수 있도록 외함 및 밀봉상태 개선

<그림 25> 메탈화이버 수정 보완 (좌 폭 : 80mm, 우 폭 : 150mm)



<그림 26> 제어시스템 수정보완 (좌 : 기계식, 우 : 전자식)

다. 보수공법 개발

– 적외선 패칭공법 개발

- 개발 보수공법은 가스히터 장비를 이용하여 적용되는 공법은 가열 이후 녹은 아스팔트에 신규 아스팔트 혼합물 및 유제를 혼합하여 시공부위를 재포장한 후 다지는 공법임
- 기존 공법인 절삭공법의 모서리 부분이 기존의 도로면과 단속적인 데에 비해 완전 접합되므로 도로 수명 연장에 보다 효율적임
- 또한 기존의 도로면을 재가열 후 사용함으로써 폐아스콘 발생이 제한적이므로 보다 환경적인 측면에서 기존 공법보다 우수하다고 볼 수 있음
- 개발된 보수공법은 아래의 그림과 같이 총 6단계로 이루어짐

<표 8> 보수공법 비교 (절삭공법, 적외선 가열공법)

구 분		기존방식	신 기술적용 방식
경제성	소요장비	절삭기, 천공기, 다짐기, 차량 2대 이상 필요	**차량 1대 (모든 장비 설치)**
	작업인원	최소 6명	**최소 2명**
	작업시간	1시간 이상	**30분 이내**
	보수비용	**20만원 이상 / ㎡**	**15만원 이내 / ㎡**
환경	폐기물발생	폐 아스콘 발생	**없음**
품질	수 명	6개월 이내	**2년 이상**

<그림 27> 적외선 패칭공법

2. 아스콘 보관용 보온박스 개발

가. 기초자료 조사

- 국내, 외 시장에 출시되고 있는 장비의 로드히터 장비의 제원 및 가격 등에 관한 기초조사를 실시하고 국내 여건과 사용의 용이성 등을 고려하여 벤치마킹 대상 선정함

회사명		KM International	HDE	Falcon	KM International	HDE	Falcon
모델명		KM4000SXPX	2T Skidmount	2 Ton Truck mounted Slip-in	KM4000TEPX	HDE 2THBR-T	2-Ton Trailer
국가명		미국	미국	미국	미국	캐나다	미국
가격		$9,550	$32,506.65 CAD		$14,400	$50,612.50 CAD	
제원 (Cm)		183x138x112	107x183x107		396x244x178	422x244x183	427~547x211x178
중량		372Kg	816.5Kg		989Kg / 3,175Kg(G.W)	1,270Kg / 3,175Kg(G.W	3,175Kg(G.W)
구조	적재용량	1.8 Tons	2 Tons (1.3㎥)	1.8 Tons	1.8 Tons	2.3 Tons	
	연료시스템	LPG	LPG	LPG/경유	LPG	LPG	
	제어시스템	전자식 제어 안전차단장치 적용	전자식 제어 안전차단장치 적용		전자식제어 안전차단장치 적용	전자식제어 안전차단장치 적용	
	이동방식	트럭 적재형	트럭 적재형	트럭 적재형	트레일러형	트레일러형	트레일러형
성능	소모열량(BTU)	58,000 (LPG)	50,000		50,000	40,000~70,000	105,000
	단열재 두께	5 – 7.5 Cm	5 Cm			5 Cm	
	작동온도	38~178 ℃	148℃ 유지(PID 컨트롤러)			148℃ 유지(PID 컨트롤러)	
도어 개폐	Loading	수동식	수동식		수동식	수동식	수동식
	Unloading	수동식	수동식	수동식	수동식	수동식 2개	수동식
기타		삽으로 퍼내는방식	삼중벽구조		틸팅가능	24" x 24" 컴팩터 플랫폼, 진동플러등 옵션선택가능	
사진1							
사진2							

<그림 28> 국내, 외 보온박스 비교 분석

○ 벤치마킹 분석결과 본 제품 개발 반영 사항

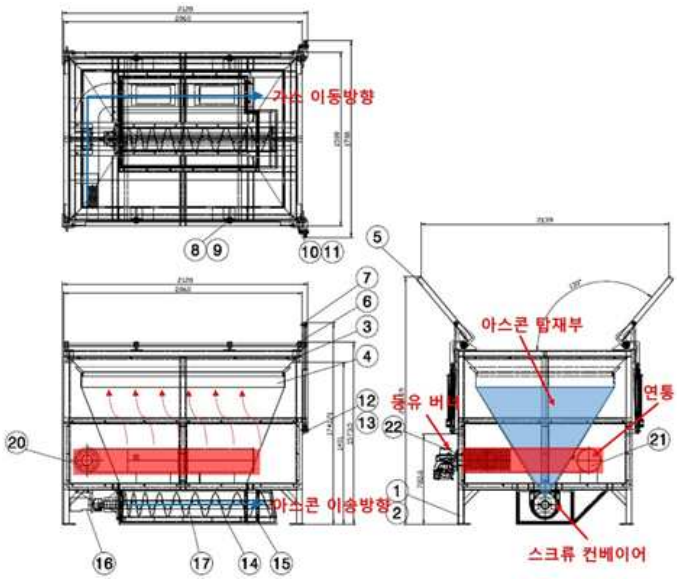
- 기본설계
  - 적재용량 2 ton 내외로, 실제 사용현장에 요구되는 수준인 2 ton으로 설계함
    ※ 보수 후 남는 아스콘은 노후화로 인해 사용 불가로 폐기물 발생됨으로 적정용량 선정 필수
  - 트레일러 형태보다 국내 실정에 맞는 차량 탑재형 기준으로 설계함
  - 보온 성능을 높일 수 있는 챔버 타입 적용
  - 해외 제품의 경우 삽으로 퍼내는 방식이 많음. 공법 적용을 위한 아스콘 투입(신재 보급) 및 정량 배출이 편리한 구조로 설계함으로써 사용자의 편의성을 높임

- 제어부분
  - 해외 제품과 동등한 성능을 가질 수 있도록 12시간 보온시 온도 저하를 막기 위한 전자식 온도 제어장치 반영
  - 기존 제품이 수동방식임에 비해, 국내 아스콘 생산 공장에서 상단에서 신재 투입이 용이하도록 유압식 개폐장치 적용
  - 인력 절감과 사용자 편의를 위하여 독자적으로 스크류 컨베이어 방식의 아스콘 토출구를 개발하였고, 순방향 및 역방향 이송이 모두 구현하여 끼임 방지 등의 기능을 가능하게 함

- 보온성능
  - 12시간 보관시 온도 저하가 거의 없도록 신재를 보온 할 수 있음

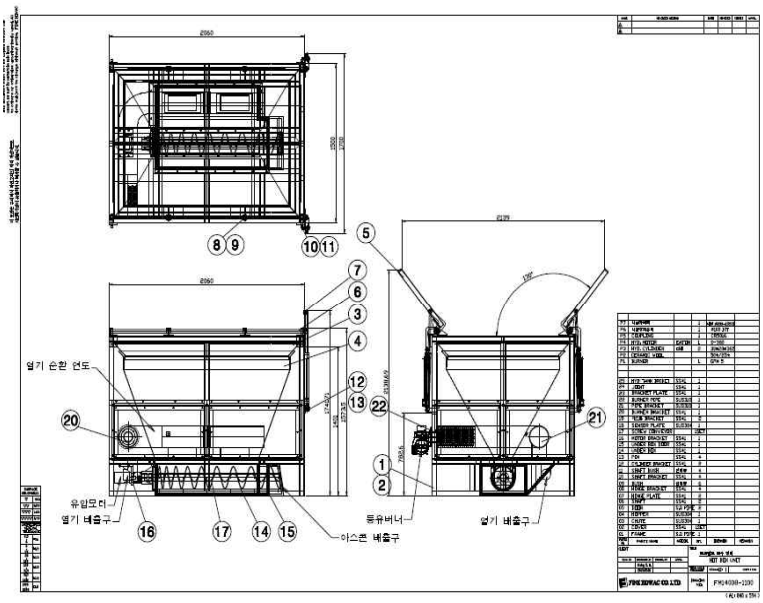
나. 기초 설계 및 시작품 제작

- 보온박스 설계
  - 아스콘의 생산 온도는 170 ℃에 이르므로 이를 생산현장에서부터 시공현장까지 일정온도 이상으로 유지할 수 있어야 하므로 버너의 동작을 제어하여 보온박스 내부의 온도가 일정하게 유지될 수 있도록 설계
  - 혼합물 아스콘 보온 박스 제원 확정
    - ► 보온유지 시간 : 최소 12시간
    - ► 아스콘 투입(보관)용량 : 최대 2 톤
    - ► 온도제어 방식 : 자동 ON/OFF (등유버너)
    - ► 기타 : 아스팔트 토출을 위한 스크류 컨베이어 장착, 유압식 아스콘 투입구 장착



<그림 29> 보온박스 설계

- 시작품 제작
  - 설계안을 바탕으로 도면작성 및 시작품 제작



<그림 30> 보온박스 시작품 설계 및 제작

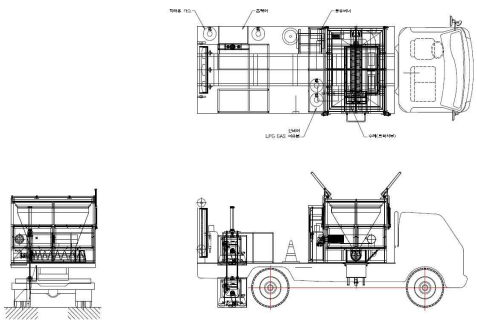
<표 9> 보온박스 비교 (선진사 제품 대비)

구 분	기존방식				개발기술
길이(㎜)	2,800	3,400	4,600	5,700	1,855
너비(㎜)	1,700	2,000	2,400	2,400	1,296
높이(㎜)	1,300	1,500	1,650	1,850	892
용적(ton)	1.8	3	5	10	2ton
적용차량	3.5ton	5ton	8.5ton	16ton	3.5ton

3. 차량일체형 포트홀 보수 전용장비 개발

- 1대의 차량에 적외선 히터 및 보온박스를 탑재하여 최소의 작업시간과 비용으로 본 연구개발과제에서 제안하는 공법을 달성할 수 있는 전용장비를 개발

- 해당 장비는 적외선 히터, 보온박스 뿐안 아니라 도로통제를 위한 장비, 다짐기 및 기타 공구를 동시에 탑재하므로 적외선 가열공법에 최적화 될 수 있도록 설계, 제작됨 해당 장비는 **국내특허 출원 및 등록완료**



<그림 31> 차량일체형 포트홀 보수 전용장비 시작품

<그림 32> 최종 수정 보완된 차량일체형 장비

<그림 33> 차량일체형 장비 상표등록(PROPHALT) 및 특허등록

4. 장치 신뢰성 검증체계 개발

가. 시험평가 계획 및 절차 수립

(1) 장비의 성능과 안전을 평가할 수 있는 기본방안 수립

- 시험대상
  - 적외선히터 및 보온박스 성능에 큰 영향을 미치는 구성품인 버너 및 제어시스템 일체
- 환경시험 설계
  - 6단계로 진행하여 요구되는 환경시험과 시험조건 결정

1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
수명주기 중 예상경로 파악	주요 환경인자 선정	조건 범위 조사	시험 항목 결정	시험 조건 결정	합격판정기준 결정

① 1 단계 : 수명주기 중 예상경로 파악

버너 및 컨트롤러 제작	물류 (보관, 이동)	장비조립	차량탑재 (Life Cycle)

구성물품의 제조, 물류, 보관에 관련된 경로 및 환경을 파악하는 단계이다. 정확한 환경시험 구현을 위해서는 버너 및 컨트롤러를 구성하는 구성품과 관련한 사항 또한 고려되어야 하지만 해당 환경시험 대상인 버너와 컨트롤러의 경우 아래와 같은 경로를 통하는 것으로 고려한다.

② 2 단계 : 주요 환경인자 선정

구성품의 운송, 저장, 사용과 관련된 환경인자를 선정하고 고려하는 단계이다. 아래와 같이 고려될 수 있다. 해당 환경시험 대상 제품인 버너와 컨트롤러의 경우 운송과정에서는 국내 생산 제품으로 자동차로 인해 발생되는 환경을 고려하여 적용한다. 그리고 저장 환경의 경우 실내에 저장되는 것으로 고려하고, 사용과 관련된 환경은 차량 일체형 장비에 설치되어 사용되므로 실외(자동차) 환경에서 사용하는 것으로 볼 수 있다.

운송		
운송 수단	**유도된 환경**	**자연적 환경**
자동차	**도로 진동 등**	**고온, 분진 등**
기차	레일 진동 등	고온, 강우 등

저장	
환경	**자연적 환경**
실내	**고온, 저온, 등**
실외	고온, 저온, 강우, 분진 등

사용		
사용환경	**유도된 환경**	**자연적 환경**
실내	취급 중 충격, 전자파 등	고온, 열충격 등
실외(자동차)	**엔진 진동, 전자파 등**	**고온, 일사 등**

③ 3, 4 단계 : 환경조건 범위 조사 및 시험 항목 결정

2단계 주요 환경인자 선정에서 운송, 저장, 사용환경을 선정한 결과 자동차로 운송되므로 도로 진동, 고온 및 분진환경에 노출되는 것으로 볼 수 있음 그리고 저장 환경에서는 실내에서 보관됨으로 고온 및 저온 환경에 노출되는 것으로 볼 수 있으며, 마지막으로 사용환경 측면에서는 실외(자동차) 환경에 적용되므로 엔진 진동, 전자파, 고온 및 일사 환경에 노출될 수 있는 것으로 볼 수 있다.

따라서 일사, 진동, 전자파, 방진/방수시험 고온 저온 및 습도시험 수행 필요하나 해당 제품은 단순 ON/OFF 기능을 수행하는 기기로 일사와 전자파로 인한 영향을 민감하게 받을 정도의 민감한 기기가 아닐 뿐만 아니라 성능에 치명적인 영향이 발생되더라도 안전에 대한 문제는 발생되지 않을 것으로 판단되므로 시험 항목에서 제외한다.

아울러 보온박스 핵심부품의 경우 별도의 케비넷에 설치되어 사용되므로 강우 강수의 영향을 받지 않을 것으로 판단되고, 로드히터 컨트롤러의 경우 강우 발생시에 해당 작업이 이루어지지 않는 점을 고려하여 방진/방수 시험을 항목에서 제외한다.

환경조건	노출인자	적용시험
기후환경	온도, 습도, 압력, 태양방사	저온시험, 고온시험, 습도, 강우시험
운송환경	도로 진동, 고온, 분진	진동시험, 고온시험, 분진시험
저장환경	고온, 저온	고온시험, 저온시험, 습도
사용환경	엔진진동, 전자파, 고온, 태양방사	진동시험, 고온시험, 강우시험

④ 5, 6 단계 : 환경조건 및 합격기준 결정

► 온도시험 환경 결정

일반적으로 적용되는 저온, 고온시험에 대한 조건은 아래와 같다. 버너의 경우 원래의 사용 목적이 열을 발생시키며 고온 환경에 사용되므로 환경시험을 생략한다. 하지만 컨트롤러의 경우 고온 저온 환경에 따라 작동에 문제가 발생될 소지가 있으므로 이에 대한 영향을 고려하여 시험한다. 시험 온도 조건은 실제 장비가 운용되는 환경에서의 온도를 기준으로 한다. 따라서 운용환경 상에서의 온도를 미리 조사한 후 아래의 규격을 참조하여 수행한다. IEC 60068에 따른 적용환경은 다음과 같다.

기호	시험명	IEC 60068	파라미터	엄격도	비고
A	저온시험 (Cold)	2-1	온도 [℃]	-65, -55, -40, -25, -10, -5, 5	전 제품 -25 ℃ 적용
			시험시간[h]	2, 16, 72, 96	전 제품 72 h 적용
B	고온시험 (Dry Heat)	2-2	온도 [℃]	200, 175, 155, 125, 100, 85, 70, 55, 40, 30	전 제품 70 ℃ 적용
			시험시간[h]	2, 16, 72, 96	전 제품 72 h 적용

* 온도 조건은 대한민국 1971년 ~ 현재까지의 일평균 기온(극값) 데이터 근거로 산출 (저온 : -21.3 ℃, 고온 33.2 ℃)
* 로드히터 컨트롤러 및 보온박스 컨트롤러 사용온도 조사결과 최대 66 ℃ 정도로 조사 (기기 사양 상 최대 70 ℃ 운용가능)
* 시험시간의 선정의 경우 비교적 보수적으로 볼 수 있는 72시간으로 고려

► 고온고습 시험 환경 결정

습도시험은 습한 환경에서 취약한 전기전자 제품의 내구성을 평가하기 위한 시험 절차로 장비가 운용 및 보관되는 환경보다 보다 가혹한 조건의 습도 환경을 고려하여 시험 기준 KS C IEC 60068-2-78 의 가장 높은 가혹도를 적용한다.

시험명	파라미터	엄격도
습도시험	온도 [℃]	40±2
	습도 [%]	93±3
	시험시간 [h]	72

* 시험시간의 선정의 경우 저온, 고온시험과 동일하게 설정

► 진동시험 환경 결정

진동시험의 경우 KS C IEC 60068-2-6에서 명시하고 있는 기기에 적용되는 가혹도를 고려하여 적용한다. 부품에 적용되는 가혹도는 아래의 표와 같다. 시험 대상 제품은 아래의 표의

세 번째 그룹에 해당하는 것으로 고려할 수 있으므로 10~150Hz 주파수 범위의 시험을 적용한다.

	각 축 방향의 스위프 사이클 수			적용 보기
진폭 [m/s²] / 주파수 범위 [Hz]	5	10	15	
10~150	–	20	20	선박, 철도 및 육상 차량에 부착 또는 수송되는 기기

► 방수, 방진시험(IP Test) 환경 결정

방수, 방진 시험은 운용, 운송되는 과정에서 먼지와 수분의 침투를 얼마나 잘 막을 수 있는지 결정하기 위해 수행된다. 개발된 시제품의 경우 차량 외부에 탑재되어 분진환경과 강우환경에 노출되므로 IP 55에 해당하는 시험항목을 수행한다. 해당 시험의 보호등급에 따른 성능은 아래와 같다.

IP 등급	성능 (고체보호)	물질크기
5	유해 먼지로부터 부분보호	N/A

IP 등급	성능 (습기보호)	시험시간	적용
5	모든 방향에서 직경 6.3mm의 낮은 압력의 물줄기로부터 보호	3m 거리에서 3분	비, 튀는 물

► 합격기준 결정

각 시험의 합격기준은 시험품 외관 및 내부의 육안점검 결과 시험 전, 후 부품의 이탈 또는 파손이 없어야 하고, 설계된 기능시험 항목을 만족하여야 한다.

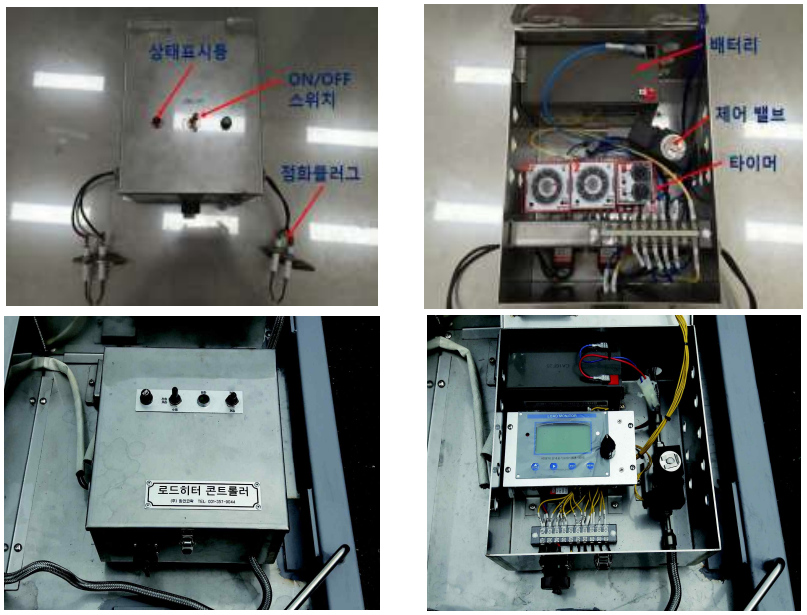
– 기능시험 설계

① 적외선히터 기능시험

시험대상은 적외선히터의 버너 제어장치로 사용조건에 따라 점화와 소화 시간을 설정 제어하는 컨트롤러로 다음과 같이 구성된다.

→ ON/OFF 스위치: 컨트롤러에 전원인가 및 작동시킨다.
→ 상태표시등: 컨트롤러의 전원이 인가될 시 점등된다.
→ 점화플러그: 가스 연소를 위해 스파크를 발생시킨다.
→ 배터리: 컨트롤러에 전원을 공급한다.
→ 제어밸브: 가스를 공급 또는 차단한다.
→ 타이머 1: 버너의 총 작동시간을 설정한다.
→ 타이머 2: 버너의 총 작동시간 중 초기 작동시간을 설정한다.
→ 타이머 3: 초기 작동 이후 ON/OFF 시간 간격을 설정한다.

* 적외선 히터 제어시스템은 기계식과 전자식 시험방식 동일
(타이머 설정 방법만 상이)



<그림 34> 적외선 히터 제어시스템 (상 : 기계식, 하: 전자식)

② 보온박스 컨트롤러 및 버너 기능시험

- 전원 전압: 220±10 V
- 설정온도 100℃ 이상/이하가 될 경우 버너의 작동이 OFF/ON 되는지 확인
  표시온도 100℃ 이상: 버너 OFF
  표시온도 100℃ 이하: 버너 ON
  (버너와 연동하여 연소동작 작동하는지 확인)
- 챔버를 통해 온도센서 가열하여 정상 온도 표시여부 확인

<그림 35> 보온박스 제어시스템 및 버너

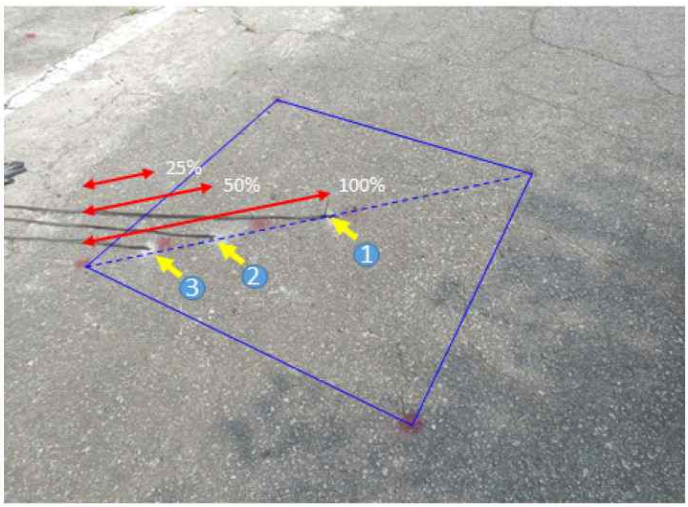
- 성능시험 설계

① 로드히터 성능시험

로드히터의 성능을 평가하기 위해 해외 선진사 제품 2종과 비교성능 시험을 수행한다.

→ 각 제품의 중량을 측정 기록한다.
→ 시험 전 LPG 가스통 중량을 측정 기록한다.
→ 로드히터의 중심에서 대각선 방향을 3분할한 각 지점에 온도 센서를 설치한다.
→ 10분 동안 로드 히터를 작동시킨다.
→ 이 때, 3분할한 각 지점에서는 표면, 3 cm 심부 및 5 cm 심부 온도를 측정 기록하고 로드 버너의 중심에서는 10 cm 표면 상부 온도를 호염온도로 측정 기록한다.
→ 로드 버너를 작동 종료시키고 추가 3분 동안 잔류 온도를 측정 기록한다.
(총 10 지점의 온도는 1초 간격으로 총 13분 동안 측정 기록된다.)
→ 시험 후 LPG 가스통 중량을 측정 기록한다.
→ 시험 전, 후 LPG 가스통 중량 차이를 계산하여 연료소모량으로 기록한다.

<그림 36> 시험대상 로드히터 3종 (좌측 : 개발품, 우측 2종 : 선진사 제품)



CH1	표기	지시
CH1	1-0 (℃)	1번 표면
CH2	1-3 (℃)	1번 3cm
CH3	1-5 (℃)	1번 5cm
CH4	1-화염 (℃)	화염온도
CH5	2-0 (℃)	2번 표면
CH6	2-3 (℃)	2번 3cm
CH7	2-5 (℃)	2번 5cm
CH8	3-0 (℃)	3번 표면
CH9	3-3 (℃)	3번 3cm
CH10	3-5 (℃)	3번 5cm

한국생산기술연구원 경북 경산시 하양읍 대학리 288-1 건설기계기술센터 (Tel: 053-580-0352, Fax: 053-580-0310)	성적서 번호: C17N900248-1 페이지 (3)/(총 3)	KITECH 한국생산기술연구원

5. 시험 결과

5.1 표면온도 측정결과 (최대값 기준)

온도 (℃)				
1	2	3	4	평균
830	822	813	825	822.5

<그림 2> 발열체온도 측정결과

5.2 복사에너지 계산결과

$R = \rho \times \sigma \times T^4$

$\rho = 0.7$ (메탈화이버의 방사율)

$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} [W/m^2/K^4]$ (Stefan-Boltzmann 상수)

$T = 822.5 + 273 = 1095.5 [K]$ (열원의 표면온도 평균값의 켈빈온도)

$R = 0.7 \times 5.669 \times 10^{-8} \times 1095.5^4 = 57.155 [W/m^2]$

아스팔트 로드 버너 발열체의 총 면적 $= 0.6 m^2$

∴ 단위시간당 방출되는 복사에너지의 총 양 $= 34.3 kW = 29.498 kcal/h$

* $1 kW = 860 kcal/h$

<그림 37> 온도센서 설치위치 및 발열체 온도 측정결과

② 보온박스 성능시험

→ 보온박스 제어반의 설정온도를 기록한다.

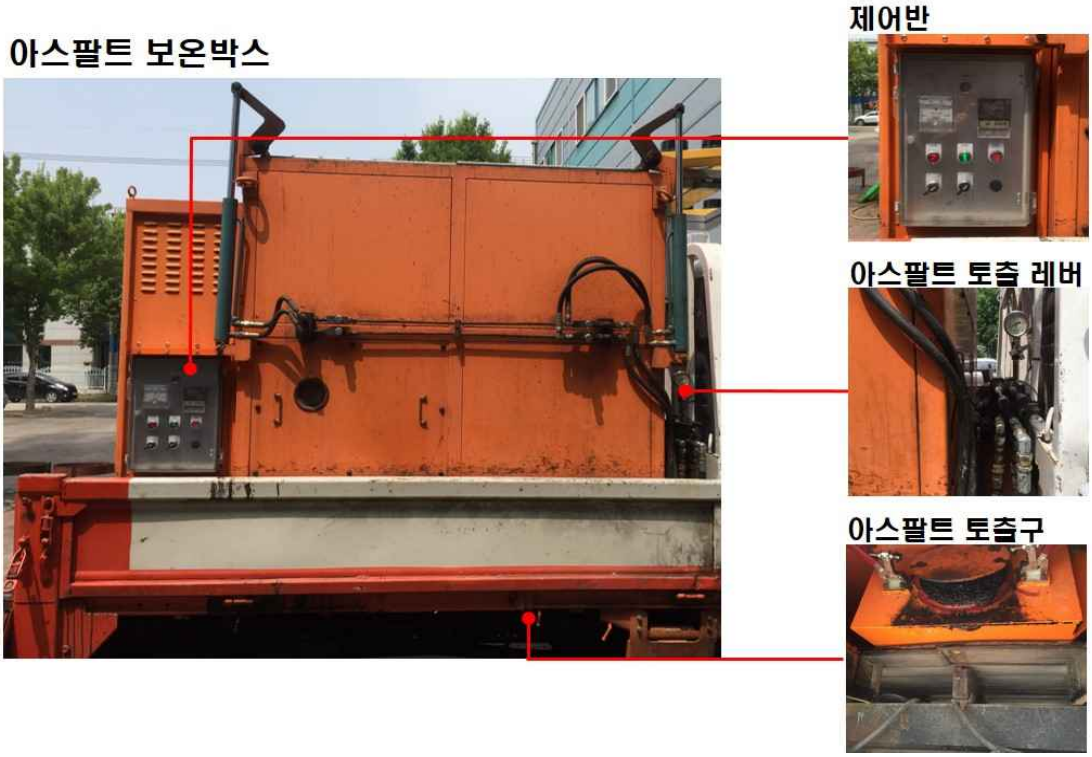
→ 아스팔트 플랜트에서 보온박스로 공급된 아스팔트의 온도를 측정한다.

→ 1시간 간격으로 제어반에 표시되는 보온박스 온도를 기록하고 아스팔트를 토출한다.

→ 토출된 아스팔트의 임의의 3지점을 비접촉식 온도계로 측정하고 기록한다.

→ 측정된 아스팔트 온도의 평균값을 구하고 제어반 표시 온도와 비교한다.

→ 총 12시간 동안 상기 과정을 반복 수행한다.



<그림 38> 아스팔트 보온박스 구조

<그림 39> 아스팔트 온도측정 방법

– 상기의 시험설계 절차를 통해 시험항목과 내용은 아래의 표와 같다.

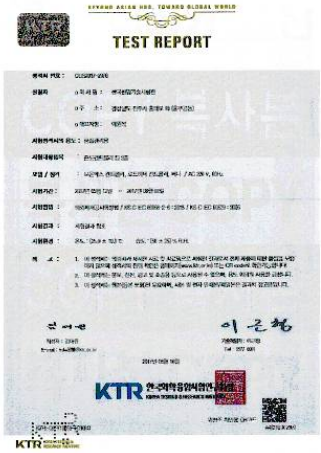
<표 10> 개발장비 시험 항목 및 결과

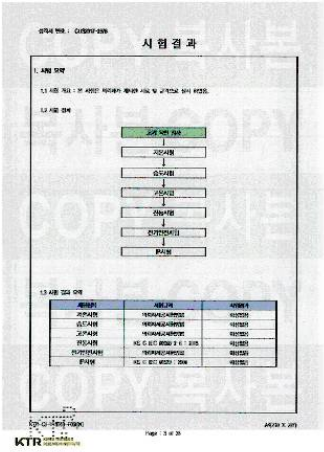
구분	시험항목	내용	시험결과
성능 시험	적외선 히터 성능 시험	– 선진사 제품과의 비교성능 시험 수행 ● 가열 전, 후 지면온도 측정 ● 연료소비량 측정 비교 평가	선진사 제품과 동등 또는 우수
	보온박스 성능 시험	– 아스팔트 보온성능평가 수행 ● 공급 아스팔트 온도 측정 ● 아스팔트 토출 온도 측정 ● 총 12시간 동안 진행	고온 아스팔트 12시간 보온가능
주요(핵심) 부품 시험	저온시험	– 영하 25 ℃ 저온시험 수행 (72 시간) – 완료 후 육안검사, 기능시험 수행	이상없음
	습도시험	– 93 % R.H. 습도시험 수행 (72 시간) – 완료 후 육안검사, 기능시험 수행	이상없음
	고온시험	– 영상 70 ℃ 고온시험 수행 (72 시간) – 완료 후 육안검사, 기능시험 수행	이상없음
	진동시험	– IEC 60068-2-6 : 2015 규격시험 수행 – 완료 후 육안검사, 기능시험 수행	이상없음
	전기안전시험	– 절연저항, 내전압, 누설전류 시험	이상없음
	IP(방진, 방수 시험)	– IEC 60529 : 2006 규격시험 수행 – 완료 후 육안검사, 기능시험 수행	이상없음

* 각각의 컨트롤러에 대한 내전압 및 절연저항 측정 시험을 수행한다
일반적으로 사용되는 방법인 입력단자와 외함간에 사용전압의 10배를 인가하여 시험
: 보온박스 컨트롤러의 경우 2,500 VAC 인가 후 누설전류 및 절연파괴 영향 평가 수행
: 로드히터 컨트롤러의 경우 500 VDC인가 후 누설전류 및 절연파괴 영향 평가 수행

나. 시험수행 및 공인시험성적서 발급

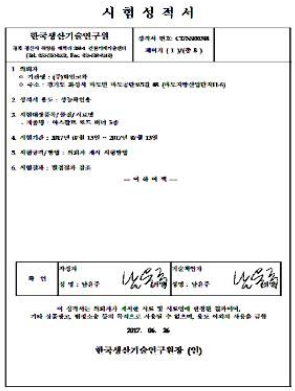
- 수립된 시험 기본계획을 기본으로 공인시험인증기관을 통한 시험평가 수행
- 공인시험성적서 발급 (환경시험, 보온박스 및 적외선 히터 성능시험)

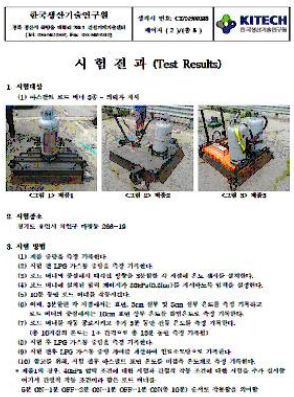




주요부품 환경 시험 성적서

보온박스 보온성능 시험 성적서





적외선 히터 가열성능 시험 성적서

<그림 40> 개발장비 관련 공인시험성적서

5. 표준배합차트 및 보수공사 매뉴얼 개발

가. 포트홀에서 수집한 아스콘(RFP)의 노화특성 분석

(1) 2곳의 포트홀 발생 현장에서 아래와 같은 조건의 RAP 채취 후 노화특성 분석 진행

<표 11> 포트홀 RAP 샘플링 및 조건

Location	Condition					
Area A Area S	Pothole RAP	Heating 5min	Heating 15min	Pothole RAP + New Mix	New Mix (STA 2H)	New Mix (STA 10H)

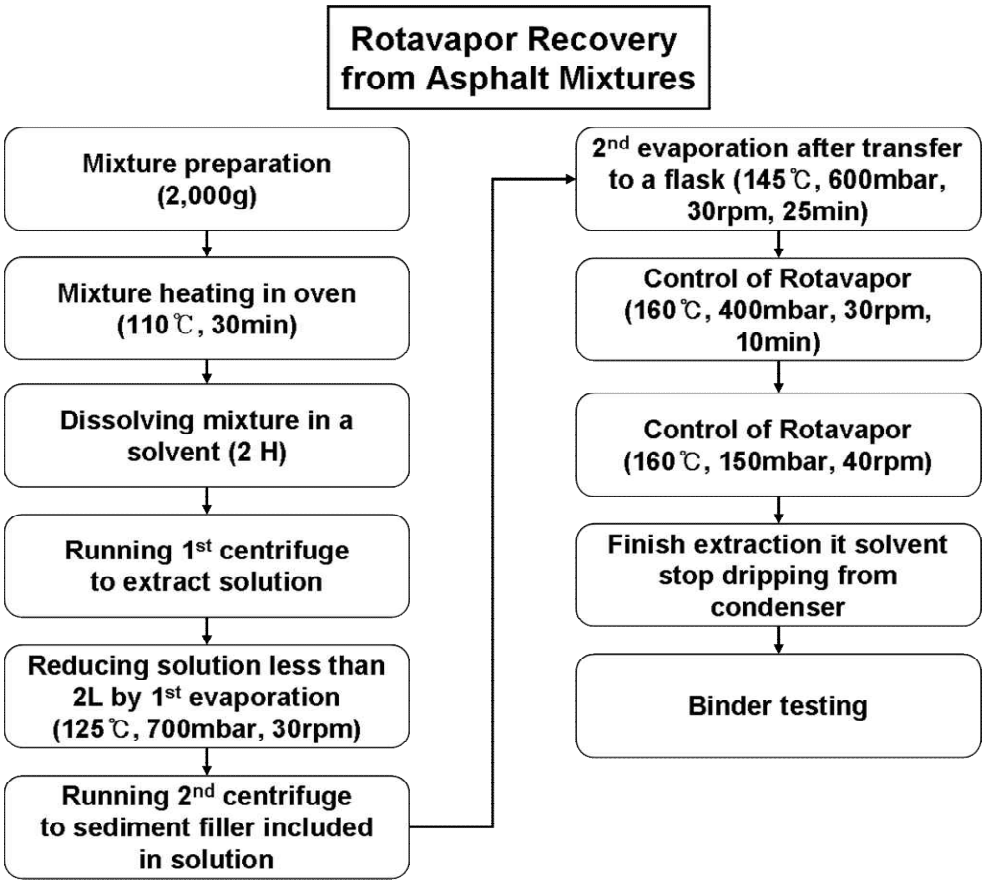
<그림 41> 현장에서 채취된 RAP

<그림 42> RAP 별 조건 분류

► 노화특성 분석 시험방법

① 포트홀 RAP 추출 회수

Pothole RAP에 포함된 바인더의 함량 및 특성을 분석하기 위해서 Rotavapor 장비를 이용하여 추출회수 실험을 수행한다. Rotavapor를 사용한 아스팔트의 추출 회수 방법은 Abson 방법과 유사한 과정을 거친다. 회수과정에서 온도, 진공압력, 회전수, 시간 등의 변수를 정량적으로 결정할 수 있어 객관적이므로 실험자에 의한 오차를 최소화 할 수 있게 하였다.



<그림 43> Rotavapor recovery 장비를 이용한 추출 회수 절차

<그림 44> Rotavapor recovery 장비

② 절대점도 시험

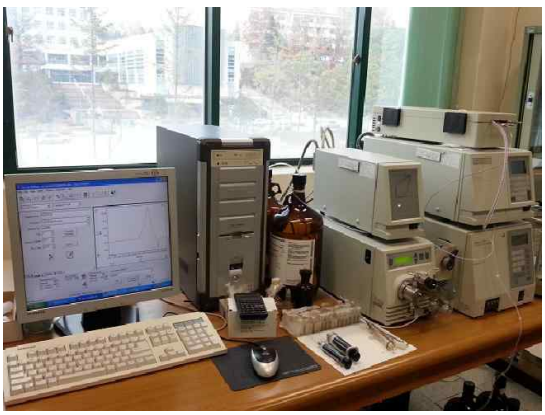
Pothole RAP에서 회수한 바인더를 60℃에서 절대점도 시험을 수행하여 고온에서 바인더 점성을 평가하고 일반 straight asphalt 2종, 포설 직 후 일반 혼합물 추출회수 바인더, 현장에서 10년 이상 공용된 포장의 코어공시체 회수 바인더 점도와 비교하여 노화정도를 판단하였다.

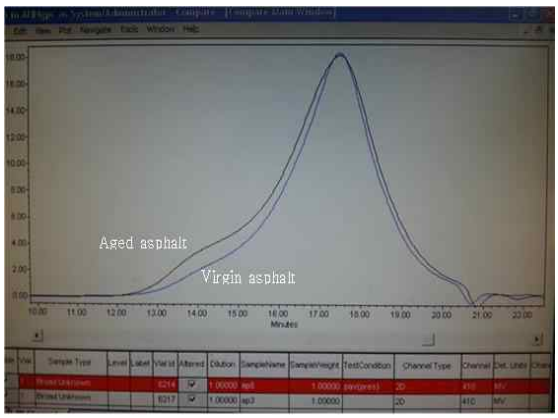
절대점도는 60℃에서 0.4기압 (40±0.06kPa)의 흐름에 대한 액체의 저항성을 나타내는 재료의 물리적 성질이다 (KS M 2247, ASTM D 2171). 여름철 아스팔트 포장의 최고 온도인 60℃에서 아스팔트 흐름에 대한 저항 특성을 나타내기 위한 실험으로서 ASTM D 2171에 규정된 아스팔트협회 진공점도계를 이용한 점도측정 방법을 이용하였다.

<그림 45> 절대점도 시험장비

③ GPC(Gep-Permeation Test)

일반적인 GPC 시험용 샘플은 혼합물로부터 추출·회수된 바인더를 사용한다. 그러나 본 연구에서 사용한 GPC 시험의 주된 이점은 앱슨 방법에 의하여 바인더를 추출회수 하지 않고도 혼합물 시료로부터 직접 LMS(%)를 측정하여 절대점도 (AV)를 추정할 수 있다는 점이다. 김광우 등 (Kim et al. 2006)이 바인더 회수 과정 없이 혼합물로부터 GPC를 직접 수행 할 수 있는 방법을 개발한 후 많은 연구에서 이 기법을 성공적으로 활용하였다 (Doh et al. 2007, Jung et al. 2007, Kim et al. 2007, Lee et al. 2008). 본 연구에서는 추출 회수 바인더와 혼합물로부터 직접 측정한 LMS(%)를 분석에 활용하였다.





<그림 46> GPC 시험장비(좌), 신규바인더와 노화 아스팔트의 절대점도 차이(우)

④ DSR 시험

동적 전단 유동 시험기 (Dynamic Shear Rheometer : DSR)는 바인더의 점탄성 거동특성을 분석하기 위한 시험 장치이다. DSR 시험은 바인더의 복합전단계수 (complex shear modulus : G*) 및 위상각(Phase angle : δ)을 측정함으로써 바인더의 점성 및 탄성거동 특성을 분석한다.

복합전단계수는 지속적으로 전단작용을 받는 조건하에서 재료가 가지고 있는 변형에 대한 전단 저항력으로 탄성 (회복)과 점성 (비 회복)의 두 부분으로 구성되어 있다. 위상각은 탄성 및 점성 변형의 상대변위를 나타낸다. G*/sinδ 값은 G*와 δ의 두 가지 특성으로 구성된 특성치로써 탄성이 강한 바인더는 G*/sinδ의 값이 높고, 점성이 강한 바인더는 낮은 값을 갖는다. G*/sinδ는 포장의 고용온도에서 바인더의 Stiffness를 나타내므로 rutting factor로 불리며 아스팔트 바인더의 공용성 등급을 평가하는데 사용된다.

<그림 47> DGR System

⑤ Penetration Test (침입도 시험)

Pothole RAP에서 회수한 바인더를 25℃에서 침입도 시험을 수행하여 경도를 측정하였다.

⑥ Asphalt contents and sieve analysis

Pothole RAP 내의 구재 아스팔트 함량을 측정하기 위하여 연소식이 아닌 용매를 이용하여 아스팔트를 모두 녹여내고 잔류골재의 중량을 측정하여 손실량을 계산한 후 구재 아스팔트 함량을 계산하였다. 이때 2차 원심분리 후 잔류한 미분말을 완전 건조 후 전체 중량에 포함시켜 미분말 손실로 인하여 아스팔트 함량이 높게 측정되는 것을 방지하고자 하였다.

또한, 잔류골재를 체가름하여 입도분석을 수행하였고, 국토 교통부 표층용 기준에 적합한지 여부를 판단하여 향후 추가되는 신규혼합물 제조 시에 입도분석에 참고자료로 활용하고자 하였다.

► 시험결과

① 포트홀 RAP 회수 바인더 물리적 특성

Pothole RAP의 노화정도를 비교하기 위하여 일반 straight asphalt 2종, 일반 아스팔트 혼합물 포설 직 후 채취한 시료의 회수 바인더, 포장 보수공사에서 발생한 폐아스콘 (reclaimed asphalt pavement: RAP)을 지역 (P 지역, H 지역)에 따라 2종, 현장에서 10년 이상 공용된 포장 (밀입도 일반 혼합물) 코어의 회수 바인더의 특성을 참고하였다.

절대점도

Pothole RAP과 각 시공 과정에서 채취한 시료로부터 회수한 바인더 및 비교군으로 선정한 바인더를 60℃에서 절대점도 시험을 수행하여 고온 점성을 측정하였다. A 지역의 경우 오랜 공용기간 동안 노화가 심각하게 진행된 것을 알 수 있고, S 지역의 경우는 포설 후 비교적 이른 시기에 발생한 포트홀인 것으로 판단되었다. 하지만 그 노화정도는 다른 비교군의 점도 특성치와 비교하여 심각한 것으로 나타났다.

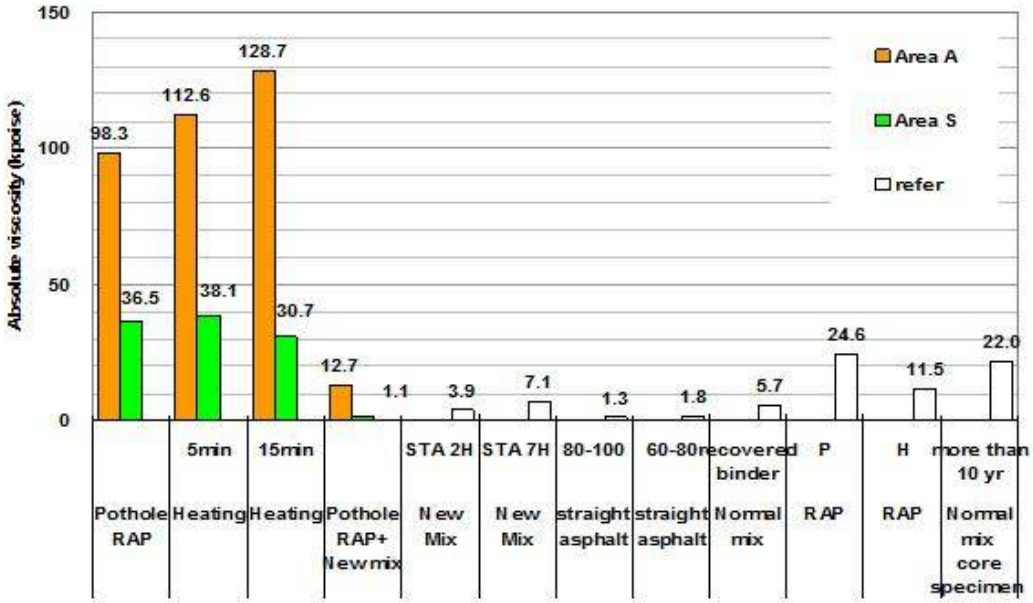
포트홀이 발생한 부분의 점도는 A 지역이 98.3 kilo poise (kp), S 지역이 36.5 kp로 나타났다. 일반 straight asphalt의 점도가 1.8 kp, 혼합물 포설 직 후 5.7 kp에 비하여 매우 높은 값을 나타낸다. 또한, 고속도로 현장에서 10년 이상 공용된 코어 공시체의 점도는 22 kp, 덧씌우기 공사로 노후 포장을 걷어낸 RAP의 경우 24.6, 11.5 kp로 나타나 포트홀이 발생한 부분의 혼합물은 매우 심한 노화정도를 보이고 있다. 또한 포트홀이 발생한 부분을 보수하기 위하여 적외선 가열장치로 5분, 15분을 가열하고 시료를 채취하여 점도를 측정한 결과 A 지역의 경우 가열하기 전에 비하여 5분, 15분 가열하는 동안 점도의 증가가 있는 것을 알 수 있다. 하지만 S 지역의 포트홀인 경우 증가정도가 없거나 크지 않았다. 따라서 적외선 가열장치로 가열하는 동안 노화가 심한 포트홀의 경우 가열로 인한 노화가 발생하는 것을 알 수 있었다.

포트홀을 보수하기 위한 재료로 포트홀 발생부, 포트홀 주변부와 신규 혼합물을 사용하여 보수용 재생혼합물을 현장에서 혼합하여 사용하게 된다 ($1m^2$). 이 상태의 혼합물로 실제 보수되고 보수 부분 혼합물의 성능은 유지보수 품질과 관계된다. 따라서 이 혼합물의 상태를 일반과 동등한 조건으로 제조하는 것이 중요하다 할 수 있다.

본 연구에서 채취한 보수용 혼합물의 점도는 지역에 따라 큰 차이가 발생하였는데 A 구간인 경우 12.7 kpoise, S 구간은 1.1 kpoise로 측정되어 보수부분의 혼합물 노화 정도 즉, Pothole RAP의 노화 정도가 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 이를 일반 혼합물 수준인 5.7 kpoise 수준으로 낮추기 위해서는 재생첨가제 (rejuvinator)의 사용을 고려해야할 것으로 판단된다.

<표 12> 포트홀 RAP 절대점도 비교

Site	Pothole RAP	Heating (5min)	Heating (15min)	Pothole RAP+ New mix	New Mix (STA 2H)	New Mix (STA 7H)	Straight asphalt (80-100) (PG58-22)	Straight asphalt (60-80) (PG64-22)	Normal mix recovered binder	RAP (P)	RAP (H)	Normal mix core over 10-yrs. old
Area A	98.3	112.6	128.7	12.73	3.95	7.05	1.32	1.81	5.71	24.57	11.45	22.0
Area S	36.5	38.1	30.7	1.14								



<그림 48> 포트홀 RAP 절대점도 비교결과 그래프

DSR 시험 후 Stiffness와 P/F 온도

DSR 시험 결과 G*/sinδ는 바인더의 고온에서의 강성 (stiffness)을 나타내는 지표가 된다. G*/sinδ 값이 높은 경우 강성이 매우 크다는 것을 의미하고, 이는 바인더가 노화로 인하여 초기의 연성을 상실하고 강성이 증가하여 취성을 띄며 충격과 균열에 취약해짐을 의미한다.

공용성 고온 등급을 결정하는 강성지수를 만족하는 최고온도를 Pass/Fail 온도로 규정하고, 바인더의 노화가 심하여 강성지수가 커 고온등급이 높은 경우 당연히 P/F 온도도 높게 나타난다. 따라서 P/F 온도도 강성지수와 마찬가지로 바인더의 노화정도를 판단하는 근거로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 일반 아스팔트 및 일반 아스팔트 혼합물을 비교 대상으로 하였고, 공용성 고온등급 기준 온도인 64℃에서 강성지수 및 P/F 온도를 측정하여 상호 비교하였다. 이를 <표 13, 14>, <그림. 49, 50>에 나타내었다.

포트홀이 발생한 A, B 구간의 고온 강성지수는 31.1, 16.1 kPa로 나타나 일반 바인더, 포설 직 후 포장의 강성지수 (1.4, 2.7 kPa)에 비하여 매우 높은 강성을 나타내었다. 게다가 10년 정도 노화된 도로의 코어공시체 회수바인더의 강성지수 10.6 kPa에 비하여 A 지역의 경우 3배 이상 노화된 것을 알 수 있다. 포트홀 보수용 혼합물 (Pothole RAP +신재)의 강성지수는 6.0~6.3 kPa로 나타나 일반 혼합물 포설 직 후 2.7 kPa에 비하여 2배 정도의 강성지수를 나타나 여전히 노화가 심하여 이 상태를 일반 혼합물 상태로 회생시키는 것이 필요하다. A 지역의 Pothole RAP은 S 지역에 비하여 매우 심하게 노화가 진행되었으나, 보수 시 혼합물은 S 지역의 그것과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 점도 특성에서는 A, S 지역에서 보수 혼합물의 점도 차이가 훨씬 크게 나타났으나, 강성지수 특성은 큰 차이를 보이지 않아 DSR 시험의 변동성이 큰 것으로 판단되었다. 다만, 지역에 따른 pothole RAP과 신규 혼합물의 사용비율이 명확하지 않아 차후 추가적인 샘플링을 수행하여 추가분석할 필요가 있다.

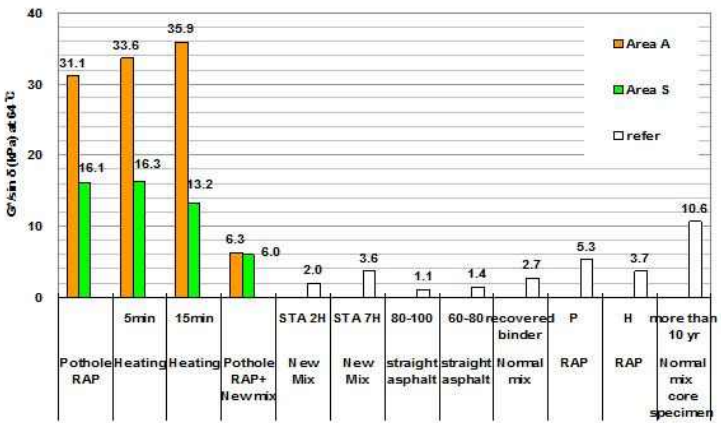
P/F 온도 역시 점도와 강성지수와 유사한 경향을 보였다. P/F 온도는 A 구간의 pothole RAP이 S 구간에 비하여 매우 높은 것을 알 수 있다. 다만 그 정도의 차이가 점도, 강성지수에 비하여 훨씬 낮은 것으로 나타났다. 현장에서 10년 공용된 포장 코어회수 바인더의 P/F 온도인 81.6℃에 비하여 A 구간은 8℃, S 구간은 2℃ 높은데 비해, 강상지수는 A 구간이 약 3배, 점도는 A 구간이 4.5배, S 구간이 1.5배 정도 높은 값을 나타냈다.

<표 13> 포트홀 RAP의 G*/sin δ (stiffness, kPa) 비교 (@ 64℃)

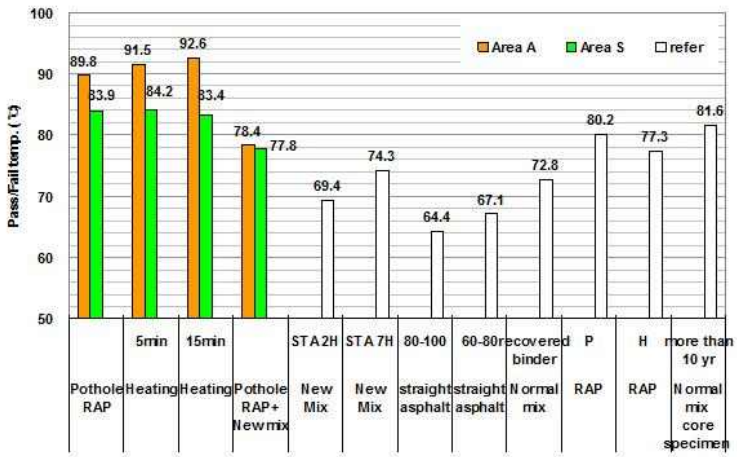
Site	Pothole RAP	Heating (5min)	Heating (15min)	Pothole RAP + New mix	New Mix (STA 2H)	New Mix (STA 7H)	Straight asphalt (pen. 80-100) (PG58-22)	Straight asphalt (pen. 60-80) (PG64-22)	Normal mixtures recovered binder	RAP (P)	RAP (H)	Normal mix core over 10-yrs. old
Area A	31.14	33.60	35.91	6.25	1.99	3.64	1.06	1.38	2.71	5.30	3.65	10.62
Area S	16.08	16.32	13.20	5.98								

<표 14> 포트홀 RAP의 P/F 온도 (℃) 비교

Site	Pothole RAP	Heating (5min)	Heating (15min)	Pothole RAP + New mix	New Mix (STA 2H)	New Mix (STA 7H)	Straight asphalt (pen. 80-100) (PG58-22)	Straight asphalt (pen. 60-80) (PG64-22)	Normal mixtures recovered binder	RAP (P)	RAP (H)	Normal mix core over 10-yrs. old
Area A	89.8	91.5	92.6	78.4	69.4	74.3	64.4	67.1	72.8	80.2	77.3	81.6
Area S	83.9	54.2	83.4	77.8								



<그림 49> 포트홀 RAP의 G*/sin δ (stiffness, kPa) 비교 (@ 64℃) 결과 그래프



<그림 50> 포트홀 RAP의 P/F 온도 (℃) 비교 결과 그래프

회수바인더 LMS(%)

GPC 시험 후 측정된 대형분자량은 아래 표와 같다. 점도 및 G*/sinδ, P/F temp.와 유사한 경향을 보였으며, 노화가 심화되어 점도와 강성지수, 고온등급 결정온도가 높은 혼합물일수록 대형분자비율도 높게 측정되었다. 특히 점도와 유사하게 pothole RAP을 15분 가열하는 동안 A 지역과 B 지역의 샘플은 LMS(%) 증가율이 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 노화가 심한 혼합물은 가열시 더 심각한 노화가 발생함을 알 수 있다.

<표 15> LMS 비율

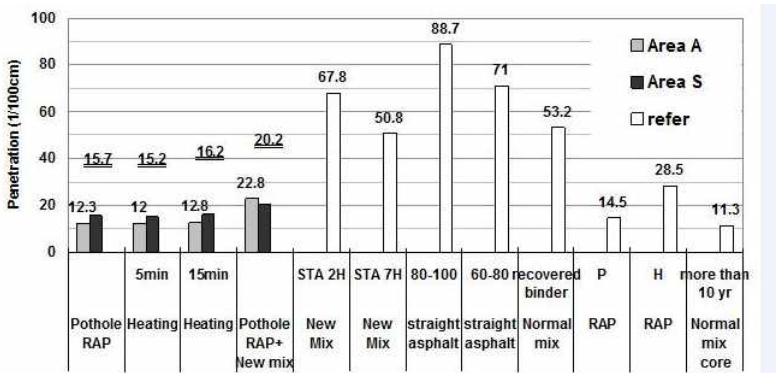
Site	Pothole RAP	Heating (5min)	Heating (15min)	Pothole RAP + New mix	New Mix (STA 2H)	New Mix (STA 7H)	Straight asphalt (pen. 80-100) (PG58-22)	Straight asphalt (pen. 60-80) (PG64-22)	Normal mixtures recovered binder	RAP (P)	RAP (H)	Normal mix core over 10 -yrs. old
Area A	23.040	24.970	29.310	20.810	20.700	21.700	16.917	18.113	21.117	24.790	23.120	25.810
	22.940	25.150	25.560	20.340		22.300						
Area S	19.330	19.830	21.380	18.520	21.097					–	22.910	
	19.750	20.060	20.500	20.130								
	LMS(%) from mixtures											
	LMS(%) from binder											

침입도시험

Pothole RAP과 각 시공 과정에서 채취한 시료로부터 회수한 바인더 및 비교군으로 선정한 바인더의 침입도 시험결과는 아래 표와 같다. Pothole 현장에서 채취한 시료의 침입도는 일반 fresh binder에 비하여 매우 낮은 수준이고, 일반 혼합물 포설 직 후 (53.2)와 비교해도 매우 심한 노화가 진행되었음을 알 수 있다. A 지역은 오랜 시간 동안 공용된 도로에서 발생한 포트홀 이고, S 지역은 A 지역에 비하여 비교적 이른 시간에 발생한 포트 홀 구간의 시료이다. 침입도는 점도, 강성지수, P/F 온도와는 반대의 경향을 보이며, 노화가 심하여 강성 증가에 따라서 침입도가 감소하는 경향을 보였다.

<표 16> 침입도시험 결과

Site	Pothole RAP	Heating (5min)	Heating (15min)	Pothole RAP+ New mix	New Mix (STA 2H)	New Mix (STA 7H)	Straight asphalt (80-100) (PG58-22)	Straight asphalt (60-80) (PG64-22)	Normal mix recovered binder	RAP (P)	RAP (H)	Normal mix core over 10 -yrs. old
Area A	12.3	12	12.8	22.8	67.8	50.8	88.7	71.0	53.2	14.5	28.5	11.3
Area S	15.7	15.2	16.2	20.2								

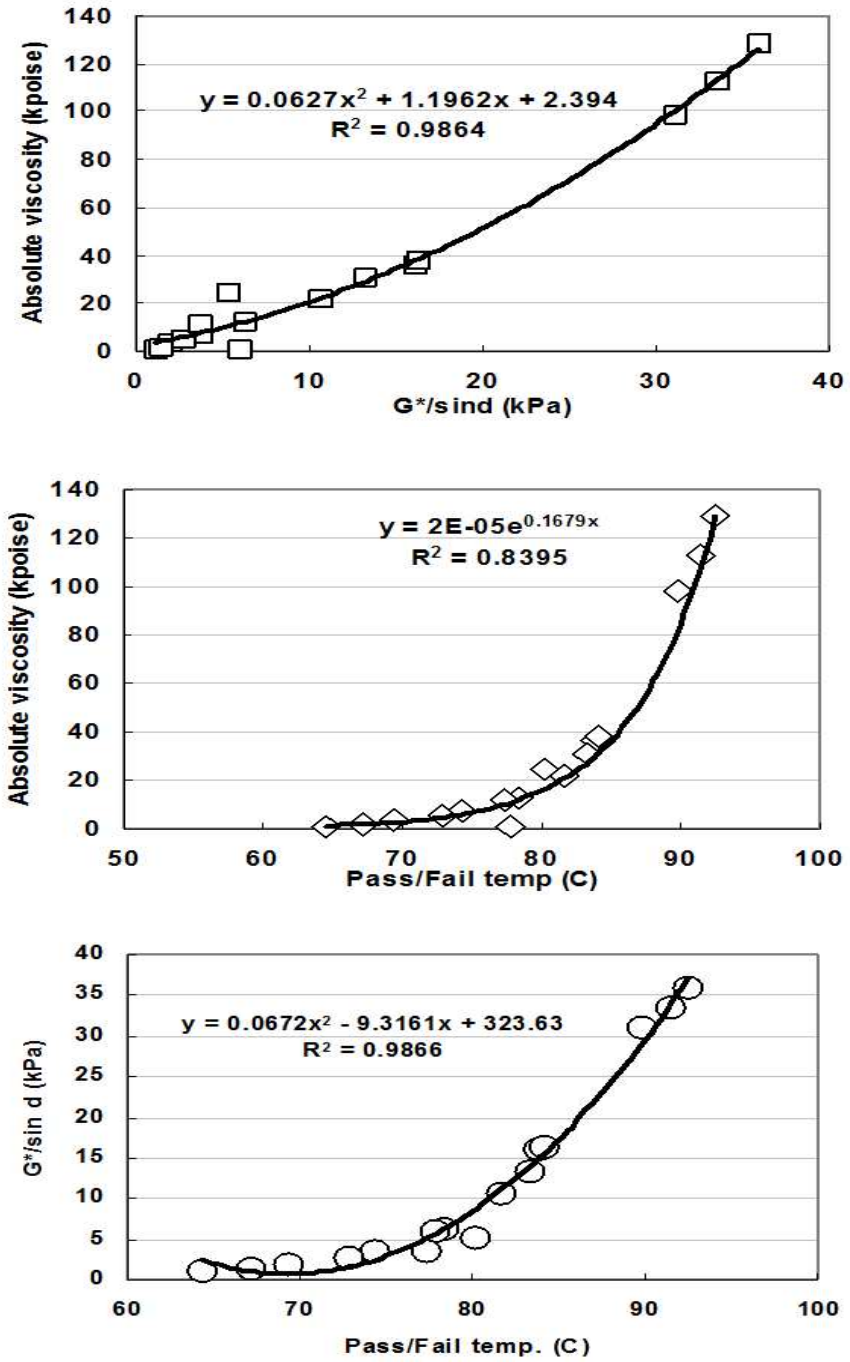


<그림 51> 침입도시험 결과 그래프

점도와 강성지수 및 P/F 온도의 상관성

Pothole RAP과 같이 바인더가 어떤 요인에 의하여 노화가 발생하면 점도, 강성지수, P/F 온도는 증가하고 침입도는 감소한다. 이는 바인더 내의 구성성분이 외부의 요인에 의하여 변화를 일으켜 연성이 감소하고, 강성이 증가하여 취성이 강해지기 때문이다. 이는 혼합물의 강도 증가로 나타나기도 한다. 본 연구에서 측정한 pothole RAP과 다양한 조건의 바인더에 대하여 점도-강성지수, 점도-P/F 온도, 강성지수-P/F 온도 간의 상관성을 분석하였다. 이는 차후에 RAP의 점도, 강성지수, P/F 온도의 한 가지 특성을 알 수 있다면 다른 특성도 미루어 예측이 가능하여 pothole RAP의 노화정도를 보다 다양한 특성치로 평가할 수 있고, 신규혼합물 설계에 기초자료로 활용할 수 있다.

점도와 G*/sinδ, 점도와 P/F 온도, G*/sinδ와 P/F 온도는 각각 결정계수가 0.986, 0.840, 0.986으로 매우 높은 상관성을 보였다.



<그림 52> 절대점도, 강성지수, P/F온도의 상호관계 그래프

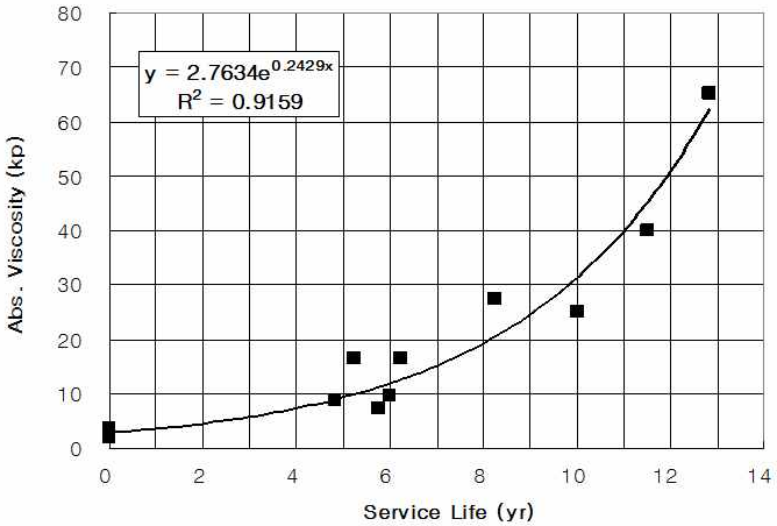
포트홀 RAP의 노화도 평가

다양한 조건으로 샘플링한 Pothole RAP의 노화도를 평가하기 위하여 본 연구실에서 다년간에 걸쳐 축적된 자료를 활용하여 절대점도와 공용수명 사이의 상관분석을 통하여 식 (1)을 도출하였고, 이 식을 이용하여 pothole RAP의 노화정도를 공용수명 단축 (service life reduction)으로 몇 년 간 공용된 상태임으로 나타내고자 하였다.

$$x = \ln(y/2.7634)/0.2429 \quad -----(1)$$

여기서, x는 공용수명 (연)이고 y는 AV (kp) 이다. 절대점도로 추정한 공용수명은 현장에서 x(연) 동안 공용되면서 노화되었음을 의미한다. 가열 전의 pothole RAP은 A 지역이 약 14.7년 간 공용된 수준의 노화를 보이고 있어 매우 심각한 상태임을 알 수 있다. 또한 B 지역은 10년 정도의 노화 상태를 나태내고 있다. 실제 B 현장은 5년 이내에 포설된 현장임을 감안할 때 포트홀이 발생된 부분의 노화는 여러 가지 요인으로 인하여 심각한 것을 알 수 있다. 그리고 보수 시공을 위하여 파손부를 가열하는 동안 점도가 증가하는 것으로 나타나, 공용기간이 1년 이상 증가하는 (실제로는 1년 이상 단축) 것으로 나타났다.

보수용 혼합물은 신규 혼합물과 혼합되었음에도 불구하고 A 구간은 약 6년, B 구간은 약 4년의 공용수명 단축을 나타내고 있어 보수용 혼합물을 제조 시 재생첨가제, 개질재의 사용 등과 같은 노화 방지 대책이 필요하다고 판단된다. 특히, 신규 혼합물의 경우 7시간 보관된 혼합물은 약 3.8년의 공용수명이 단축되는 것으로 나타나 보수용 신규 혼합물의 보관에 단기노화 방지 대책이 필요할 것으로 보인다.



<그림 53> 공용수명과 절대점도와의 상관관계

<표 17> 포트홀 RAP의 공용수명 단축 예측

Site	LMS (%)		AVS (kp)		Predicted reduction of service life (yrs)	
	AREA A	AREA B	AREA A	AREA B	AREA A	AREA B
Pothole RAP	22.94	19.75	98.3	36.5	14.7	10.63
Heating (5min)	25.15	20.06	112.6	38.1	15.26	10.80
Heating (15min)	25.56	20.50	128.7	30.7	15.81	9.91
Pothole RAP + New mix	20.34	20.13	12.73	1.14	6.29	-
New Mix (STA 2H)	20.70	21.097	3.95		1.47	
New Mix (STA 7H)	22.30	22.30	7.05		3.86	

(2) 노화특성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하고 표준배합차트 개발 기초자료로 활용

1. pothole RAP의 점도는 일반 아스팔트에 혼합물 포설 직후에 비하여 A 구간은 약 20배, S 구간은 약 5배 높은 값을 보였고, 강성지수는 각각 10배, 5배 높은 수준을 나타내었고, P/F 온도도 각각 1등급, 2등급의 차이를 나타내 심각한 노화가 진행되었음을 알 수 있었다.

2. 두 구간 pothole RAP의 노화는 10년 이상 현장에서 공용된 밀입도 혼합물 도로에 비하여 보다 더 심한 것으로 나타났다.

3. 포트홀 발생 부분을 보수하기 위하여 적외선 히터로 5분, 15분 가열하는 동안 점도와 강성지수가 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 노화가 심한 구간은 증가정도가 큰 반면 노화가 비교적 덜 된 구간은 증가 정도가 미미하거나 증가되지 않는 것으로 나타났다.

4. 포트홀을 보수하기 위하여 pothole RAP과 신규혼합물을 혼합한 보수혼합물은 pothole RAP 상태에 비하여 노화상태가 크게 개선되는 것으로 나타났으나, 일반 혼합물 포설 초기상태에는 미치지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 재생첨가제를 사용하여 보수혼합물의 점도와 강성지수를 낮출 필요가 있는 것으로 판단되었다.

5. 포트홀이 발생한 구간의 아스팔트 함량은 포설 시 혼합물의 아스팔트 함량을 정확히 알 수 없어 판단하기 어렵지만 일반적으로 WC-1 입도 혼합물의 아스팔트 함량을 고려해 보면 노화가 심하게 빈행된 구간은 약 1%의 아스팔트 함량이 부족한 것으로 판단된다.

6. pothole RAP의 노화 정도를 공용수명 단축으로 나타내면 A, B 구간은 각각 15년, 10년, 보수용 혼합물은 6년, 4년의 공용된 정도의 노화가 발생했음을 알 수 있고, 노화에 따른 혼합물의 성능을 회생시키기 위해서 재생첨가제를 사용해야한다.

7. 보수 공사에 사용되는 신규 혼합물을 7시간 동안 보관 후 사용 시 공용수명 단축은 약 3.8년이 발생하는 것으로 나타나 혼합물의 단기노화 방지 대책이 필요하다.

8. 포트홀이 발생한 구간의 입도는 10mm 이상의 굵은 골재와 2.5mm 이하의 잔골재 부분 통과율이 입도기준을 크게 벗어나 보수용 신규 혼합물 제조 시 입도조정에 반영해야 할 것으로 판단된다.

나. 표준배합차트 및 보수공법 운용지침(시방서) 개발

(1) 표준배합차트 개발

- 포트홀 보수의 문제점 도출

국내는 물론 외국에서도 매년 많은 곳의 아스팔트포장에 포트홀이 발생하고 이를 보수하고 있다. 포트홀 발생의 주된 원인은 아스팔트 포장 층으로 침투되거나 하부로부터 올라온 수분에 의한 혼합물의 박리와 불량 혼합물 시공 때문이라고 할 수 있다. 포장 표면으로부터의 수분침투 루트는 과다한 공극이나 공용 중 발생한 균열이다. 과다 공극률의 원인은 불량 다짐 또는 아스팔트 함량 부족 등이다. 하지만 일반적인 수분 침투는 아스팔트의 노화로 인해 발생하거나 피로나 저온에 의해 발생한 균열의 존재 때문이다.

과거의 포트홀은 상당수가 공용초기 다짐불량이나 불량 혼합물 등으로 인해 발생하였으나 근래에는 공용기간이 상당히 지난 노후 포장에서 발생한다. 이는 본 연구를 위해 포트홀에서

수집한 혼합물 대부분의 노화상태가 심한 것이 이를 입증한다. 포트홀서 채취한 본 포장 혼합물은 포트홀에 재활용 되므로 "Reclaimed asphalt pavement (RAP) from pothole: RFP"라 명명 하였으며 포트홀을 제대로 보수하려면 RFP의 상태를 파악해야한다. 그리고 이에 적합한 재료를 첨가하여 적정 보수혼합물(Repaired asphalt mix: RAM)이 포설되도록 해야 한다. 또한 사용되는 신규 아스팔트 혼합물(New asphalt mix: NAM)은 노화가 되지 않은 새로운 것이어야 하나 장시간 보온박스 운반으로 노화도가 높은 것이 사용될 소지가 크나 이에 대한 실태 조사도 전무한 실정이다. 그리고 포트홀 사전 가열은 혼합물에 불꽃이 닿지 않는 충분한 높이로 히터를 가동하면서도 RFP 내부가 충분한 온도(130~150℃)가 되도록 해야 한다. 하지만 현장에서의 실정은 그렇지 못하므로 문제가 되는 점들을 요약해 정리해 보면 다음과 같다.

1) **포트홀 발생지의 포장 혼합물 사전 정보 및 발생원인 파악의 어려움**
2) **RFP의 노화상태 파악이 용이치 않음**
3) **신규재료 운반 시간에 따른 노화도 조사가 미흡**
4) **사전가열시의 표면 추가노화 문제점에 대한 미확인**
5) **혼합 후 포설한 보수혼합물(RAM)의 품질 불확실성 존재.**

실제 현장에서는 이런 점들을 파악하기에는 차량통제 시간 및 공사기간 등의 제약으로 어려움이 있다. 따라서 신속한 보수와 교통개방을 위해 RFP 상태는 물론 RAM도 파악하지 못하고 끝난다. 이에 본 연구에서는 이러한 상황을 적절히 대처하면서도 신속한 시공을 위하여 표준화된 메뉴식 공법을 제안해야 할 것이다. 그리고 본 보고서에 사용된 용어들을 정리하면 다음과 같다.

RFP: Reclaimed asphalt pavement (RAP) from pothole로 포트홀 본 포장 혼합물.
NAM: New asphalt mixture로 보수용 신규 아스팔트 혼합물
RAM: Repaired asphalt mixture로 포트홀에 보수된 혼합물로 현장재생 혼합물임.

– 포드홀 보수 표준화 방안 수립

이를 위해서는 우선 현장 상황을 몇 가지로 구분해야 한다. 첫째는 포트홀 상태의 구분이다. 포트홀이 발생 직후 보수하는 경우 포장 혼합물(RFP)의 손실이 적은 편이나 시간이 좀 지나면 혼합물이 파여 나가 공동이 커지게 된다. 즉 <그림 54>(a), (b) 같이 포트홀에 따라 공동 차이가 커서 사용되는 재료의 비율에 차이가 크다. 즉, RAM은 일종의 현장 재생혼합물이며, (a)는 RFP가 많고 NAM가 적게 들어가므로 재생비율이 높은(70–80%) 재생혼합물이고, 반대로 (b)는 NAM이 많이 사용되어 재생비율이 낮은(20–30%) 재생혼합물이 사용된다고 볼 수 있다. 또 한 가지는 (c)와 같이 긴급 보수한 상온혼합물이 그대로 포트홀 내에 존재하는 것이다. 기 보수 재료는 주로 상온 혼합물이어서 제대로 녹여도 사용이 어려워 결국 어느 정도 녹으면 제거를 하고 NAM을 추가해야 한다. 따라서 그림 54(c)는 공정상 기보수재료 제거 과정을 제외하고 RAM은 (b)와 유사한 것으로 취급한다.

즉, 소형 포트홀(<그림 54>(a))의 경우는 사전 가열된 보수 범위 내에 본 포장 혼합물(RFP)이 많아 신제의 사용량이 20~30%도 안 되므로 노화된 RFP를 잘 회생시키는 것이 관건이다. 이런 경우는 RFP의 회생을 위해 신규바인더(AP3, 유제, 또는 컷백아스팔트)에 의한 회생이 중요하다. 반면에 대형 포트홀(<그림 54>(b))은 60–70% 이상의 신규 아스팔트 혼합물(NAM)을 넣어서 RFP와 혼합하므로 NAM 자제의 품질(노화도)이 중요하다. <그림 54>(c)의 기 보수 형은 NAM이 대형포트홀 정도로 들어가므로 (b)와 같이 신규바인더가 중요한 역할을 해야 할 것이다.

이와 같은 포트홀의 보수작업 표준화를 위해서는 다음과 같은 가정을 하였다.

1) 포트홀은 표층에서 발생하며 발생 포장 표층의 혼합물(RFP) 종류는 국내에서 가장 많이 사용되는 13mm 밀입도 혼합물로 본다(국도, 지방도, 시가지 도로).

2) 사전 간접가열은 RFP의 내부온도를 130~150℃ 정도까지 올리며, 표면부 혼합물은 다소 노화영향을 받으나 전체 RFP의 노화에는 매우 미미한 영향을 미친다 (적정 가열시간과 히터 높이 사전 결정).

3) 신규 아스콘(NAM)은 표층용 13mm 혼합물이며 RFP와 혼합되어 보수되는 재생혼합물 (RAM)도 NAM과 유사한 입도의 혼합물인 것으로 본다.

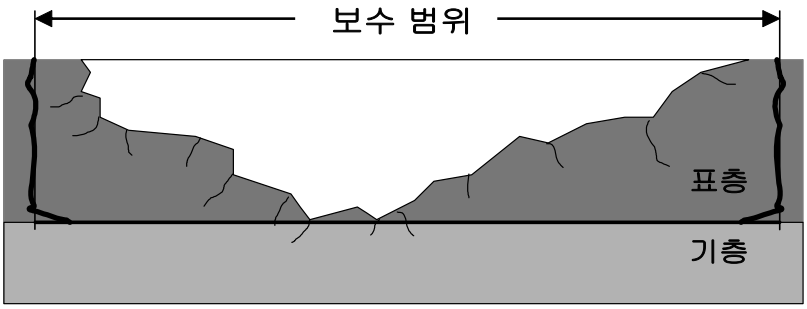
4) RAM은 NAM과 신규바인더에 의해 회생되어 노화정도가 RFP보다 낮게 중간정도 회생되도록 시공한다(너무 완전 회생시키면 기존 표층 재료와 경계면에서 탄성계수 차이로 이질적으로 거동).

5) RFP는 노화와 미분의 상실로, NAM은 드레인 다운으로 인하여 유효한 아스팔트 함량이 5%인 것으로 가정한다.

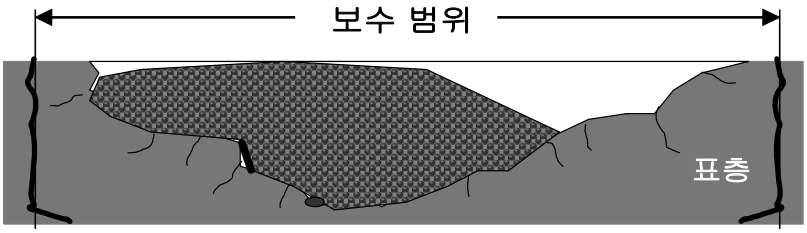
6) RAM에 노화억제제로 소석회를 첨가하여 공용중 노화가 억제되는 것으로 본다.

7) 포트홀은 크게 3가지(상기의 소형, 대형, 기 보수 형)으로 분류되나 기 보수재료는 폐기하고 RAM 재료는 두 가지로 구분하여 표준화 한다.

(a) 소형 포트홀



(b) 대형 포트홀



(c) 기 보수형 포트홀

<그림 54> 포트홀의 구분

- 아스팔트 혼합물의 노화에 따른 바인더 특성 변화 분석

포트 홀 보수를 위해 작업차량에 싣고 다니는 신규혼합물(NAM)은 이른 아침에 아스콘 플랜트에서 받아서 하루 종일 고온상태로 유지하고 다닌다. 따라서 NAM은 시간이 지남에 따라 노화되며, 심하게 노화된 NAM이 포트홀 보수에 사용되면 보수된 아스콘 품질이 크게 저하되나 노화도에 대한 정보가 없으므로 이를 분석할 필요가 있다.

이에 NAM의 노화에 따른 바인더의 특성변화를 보기 위하여 일반아스팔트 혼합물의 인공 단기노화(short-term aging: STA)를 통한 대형분자(large molecular size: LMS)와 점도를 측정하였다. 일반적으로 STA는 고온의 아스팔트 혼합물을 덤프트럭에 싣고 운반 및 대기하는 시간과 온도에 따른 상태 변화를 분석하기 위하여 인공적으로 혼합물을 비빈 후 시료 팬에 담아 해당 시간동안 해당온도의 오븐에 보관하는 것이다.

실제로 포트홀 보수용 NAM은 덤프트럭에 실린 아스콘 보다 더 장시간 싣고 다니므로 저녁에 사용되는 NAM의 노화도는 덤프트럭에서의 단기노화보다 더 노화가 심할 것이다. 따라서 STA 온도와 시간에 따른 노화도 분석은 반드시 필요한 실험이다. 일반적으로 트럭에는 4시간 정도를 최장으로 보나 본 연구에서는 8시간까지 STA를 시켰다.

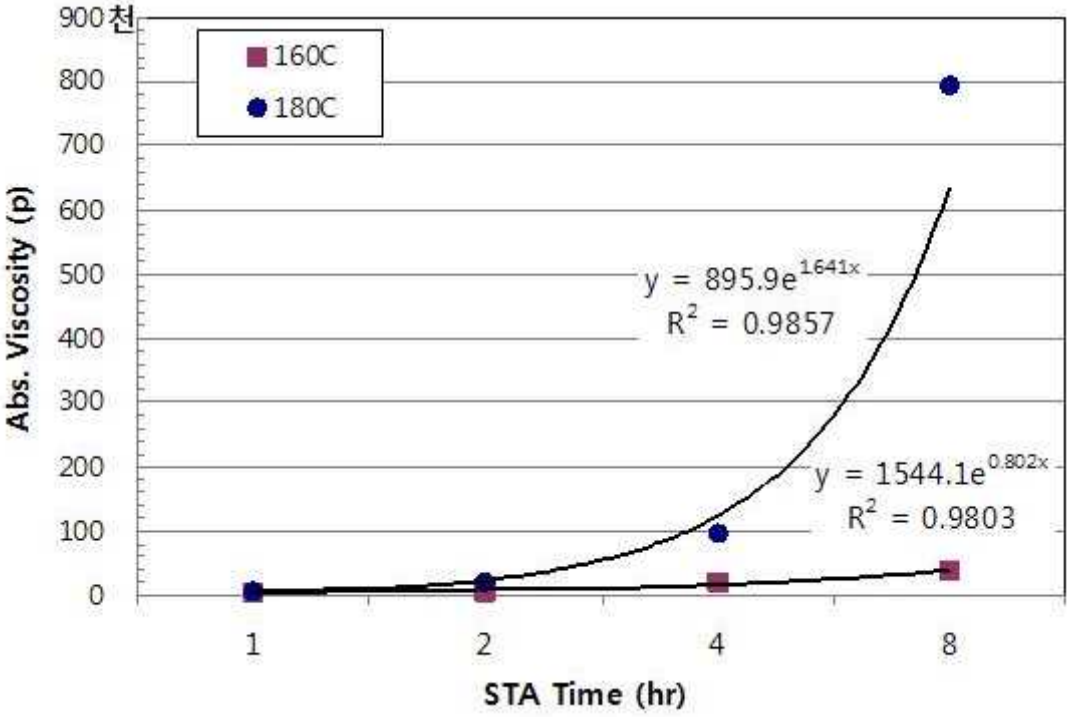
<표 18> 아스팔트 혼합물의 노화시간과 온도에 따른 LMS와 절대점도의 변화

STA	at 160℃				at 180℃	
	LMS (%)	Abs. viscosity (p)	P/F temp. (℃)	DSR stiffness (at 64℃)	LMS (%)	Abs. viscosity (p)
1 h	20.51	3,802	68.70	1.825	21.08	5,734
2 h	21.55	6,254	69.38	2.095	26.03	19,437
4 h	24.67	12,739	77.60	5.575	30.34	97,200
8 h	27.67	37,918	88.88	12.65	36.67	500,789

상기 표에서 보듯이 STA 160℃에서 1시간 노화의 경우 약 4,000p 가까운 절대점도가 얻어졌다. (참고로 사용된 신규바인더의 절대점도는 1,836p인 PG64-22등급의 바인더이었다). 그림에서는 시간의 증가에 따라 같은 온도에서 오래 보관 시 점도가 크게 증가되며 그 형태는 지수함수 모델을 따른다는 것을 보여준다. 그리고 결정계수(R^2)는 두 온도 모두 0.98 이상으로 매우 높게 나타나 같은 온도에서 오래 보관되면 현장혼합물도 크게 노화될 수 있을 것임을 예견 할 수 있게 해준다.

특히 180℃의 경우 시간의 증가에 따라 급속한 증가를 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 처음 온도가 높은 혼합물을 받아오는 것 보다는 160℃ 정도의 혼합물을 받아와 그 온도로 보온을 하며 사용하는 것이 노화를 적게 할 것임을 알 수 있었다. 그리고 두 가지 온도를 사용한 이유는 NAM의 노화상태가 어느 정도의 온도에서 노화되는 것과 유사한지를 추정하는데 사용하기 위해서이다.

표의 data에서 LMS는 GPC를 이용하여 신속히 (약 2시간 내외) 측정할 수 있는 데이터인데 비해 점도나 DSR을 측정하려면 아스콘으로부터 바인더를 추출·회수 하여야 하고 그 다음에 물성시험을 측정할 수 있다. 이 경우 물리적 특성 측정까지 최소한 하루 이상의 시간이 걸리므로 향후 노화도 분석에 LMS를 사용하기 위해 두 특성간의 회귀분석을 통해 상관관계를 구하였다. 이를 위해 상기 데이터 외에 기존 연구에서 사용된 데이터에 더하여 회귀분석을 하고 이 회귀모델 (식 1)을 이용하여 점도를 추정하였다.



<그림 55> STA 시간에 다른 점도의 증가 추세

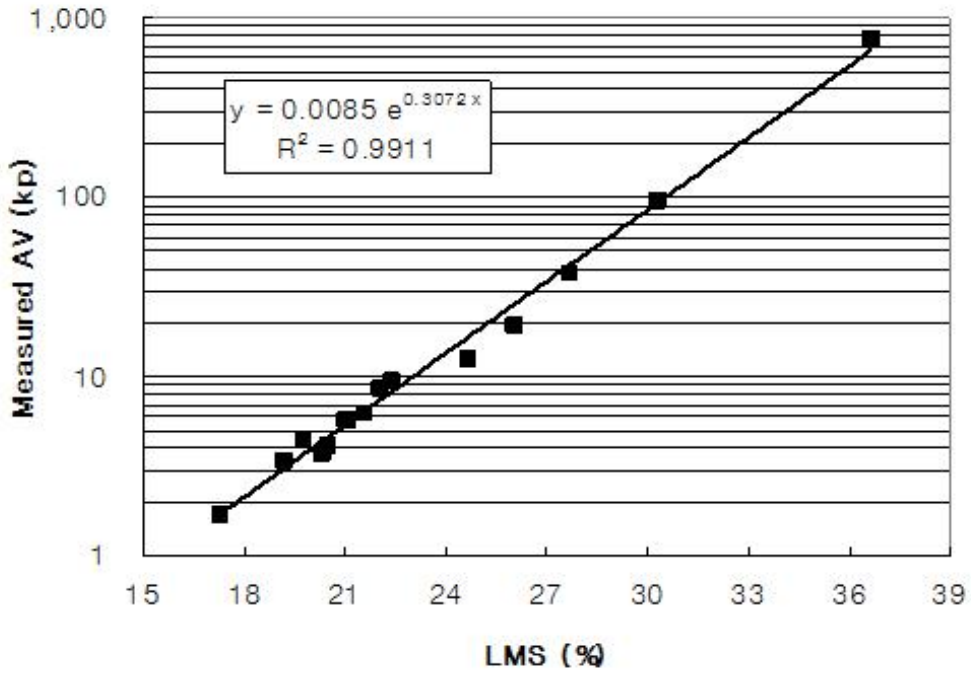
아래 표의 데이터는 본 연구와 같이 기본 바인더로 PG64-22를 사용한 13mm 밀입도 혼합물로부터 얻은 것이므로 본 연구의 데이터와 homogeneous한 것이다. <그림 56>에서 보듯이 절대 점도와 LMS는 매우 밀접한 상관관계(R^2=0.99)를 보인다. 이 식을 이용하여 추정한 점도 (Estimated AV: EAV)와 측정 점도간의 상관관계를 <그림 56>에서 보여주듯이 두 값은 거의 일치하므로 LMS로 추정한 점도는 매우 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

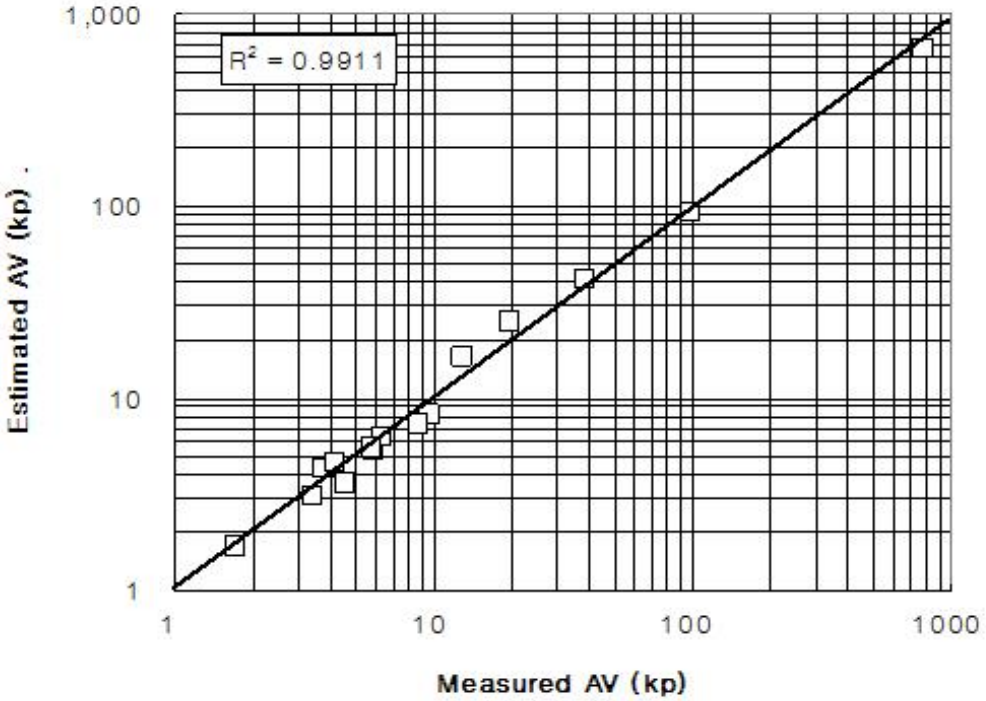
$$y = 8.5e^{0.3072x} \quad (1)$$

여기서 y는 추정 절대점도 (poise: p)이고 x= LMS (%)이다.

<표 19> LMS 비율과 절대점도

Binder	Sample form	Aging	AO	Content (%)	LMS avg. (%)	Measured AV (p)
PG64-22	Binder	Orig.	None	0	17.29	1,688.0
		RTFO	None	0	19.76	4,466.5
		PAV	None	0	22.39	9,477.5
	DGA mix	SA	None	0	20.31	3,734.4
			KL	1.0	19.20	3,378.4
		LA	None	0	22.03	8,552.0
			HL	1.5	21.02	5,782.5





<그림 56> LMS 와 절대점도(측정치, 추정치)와의 상관관계

– 현장재료 특성 분석

포트홀 보수 방법의 표준화를 위해서 현장에 사용되는 재료를 수집하고 이를 실내에서 시험을 통해 분석하였다. 이를 위해 수행하여야 할 실험 항목은 RFP, NAM, RAM 혼합물의 노화특성 분석과 사전가열에 따른 표면 노화도 분석이다. 이를 좀 더 구체적으로 보면 다음과 같다.

1) 포트홀 현장에서 가열에 의해 재활용될 혼합물(RFP)의 노화특성

2) 신규혼합물의 보관시간에 따른 단기노화도의 변화

3) 적외선 Heating 시간(5, 10, 15분 등)에 따른 표면 혼합물 노화 특성

4) 보수 포설된 혼합물(RAM)의 노화도 및 회생 특성

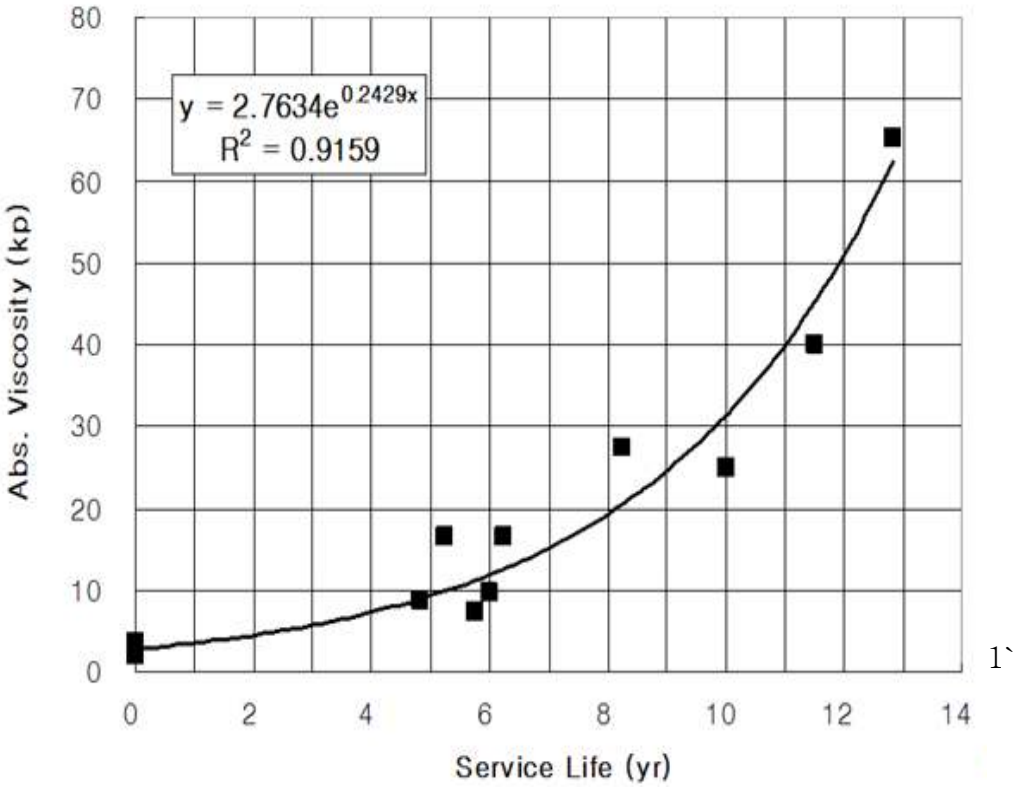
무작위로 샘플을 수집하고 이를 근거로 RAM의 목표 절대점도(AV)를 만족시킬 방안을 연구하였다. <그림 57>은 국내 도로현장에서 채취한 혼합물의 연도에 따른 점도 차이를 나타내 것이다 (Kim et al. 2014, Kim et al. 2016). 일반적으로 AP-5(64-22) 아스팔트 밀입도 혼합물 기준으로 신규 포설 현장의 혼합물 점도는 약 3,000~5,000p, 노화 4-7년은 10,000~ 18,000p, 노화 10-13년은 25,000~65,000p 정도이다.

이를 근거로 현장에서 채취한 대표적인 혼합물들의 노화도 및 회생정도를 역으로 분석한 내역을 3샘플의 평균으로 <표 20>에 나타내었다. 포트홀 현장 혼합물의 정확한 공용연도는 자료가 없어 알 수가 없었으나 <그림 57>의 회귀식 $y = 2.7634e^{0.2429x}$을 사용하여 추정 할 수 있다. 이로부터 유도한 공용연추 추정 식은 아래와 같다.

$$x = \frac{\ln(y/2.7643)}{0.2429} \quad \text{----------} \quad (2)$$

여기서 y=절대점도(kp)이고 x=공용년도이다. 즉, 이 식의 y에 표의 AV를 넣어 얻어진 RFP의 추정년도는 <표 20>에서 보듯이 1년 이내부터 약 11년까지로 나타났다.

이를 구분해보면 ID 2 수원 포트홀 현장은 RFP의 점도가 3,220p로 거의 노화되지 않아 추정연수도 1년 미만이었다. 이는 노화로 인한 포트홀이 아니라 부실시공(재료불량 또는 다짐불량) 때문인 것으로 추정 할 수 있다. 반면 ID 4 안산과 ID 6 고양의 경우는 10년 정도 된 지역으로 추정되었다. 이곳의 포트홀은 노화가 원인으로 상당히 오래된 포장지역에서 발생된 것이다. ID 1 안산과 ID 3 안산 및 ID 5의 고양은 추정공용기간 4-7년으로 박리가 서서히 진행되면서 발생된 것으로 추정된다.



<그림 57> 도로현장에서 채취한 코어 혼합물의 연도별 점도 변화

<표 20> 지역별 Mix type별 포트홀 보수재료의 절대점도

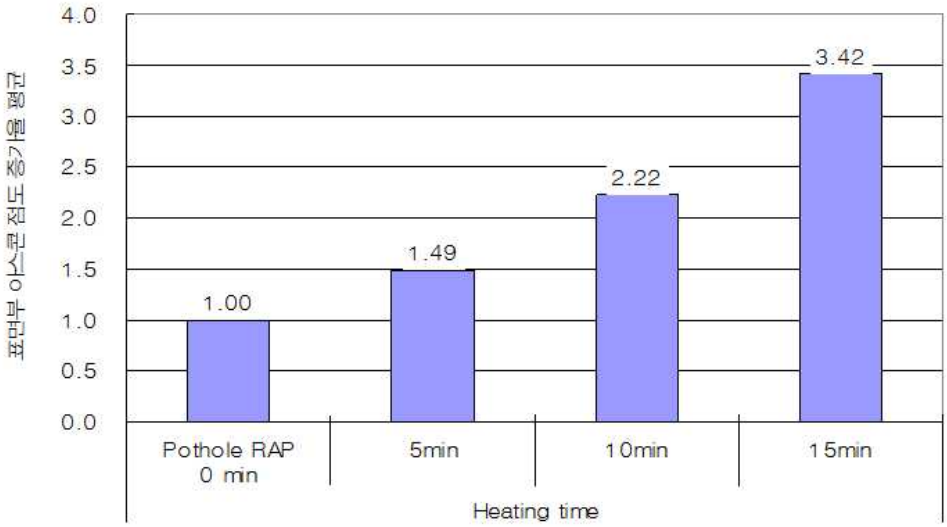
City	ID	Location	Mix type	SA	Heating (min)	LMS (%)	AV(kp)	추정 공용연도
안산	1	공중	RFP		0	23.05	10.10	5.3년
			Surface		5	24.97	18.25	
			NAM	2h		21.32	5.93	
			RAM			20.81	5.07	
수원	2	중공	RFP		0	19.33	3.22	0.6년
			Surface		5	19.85	3.78	
			NAM	1h		–		
			RAM			18.70	2.66	
안산	3	복래동399-3	RFP		0	24.05	13.74	6.6년
			Surface		15	27.64	41.36	
			NAM	1h		20.76	5.32	
			RAM			21.97	7.26	
안산	4	복래동399-3	RFP		0	26.98	33.80	10.3년
			Surface		15	29.14	65.64	
			NAM	2h		21.67	6.82	
			RAM			24.67	16.63	
고양	5	종합운동장	RFP		0	21.93	7.16	3.9년
			Surface		10	30.99	115.9	
			NAM	4h		25.67	22.58	
			RAM			26.31	27.49	
	6	일산킨텍스로	RFP		0	26.40	28.29	9.5년
			Surface		10	29.00	62.87	
			NAM	8h		28.31	50.81	
			RAM			26.78	31.74	`

– 사전 가열에 따른 표면 아스콘의 특성 변화 분석

아래표의 자료 중 표면혼합물 (Surface: 표피로부터 1 cm 이내의 혼합물) 바인더의 노화도는 가열시간에 따라 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 이를 보다 명확히 구명하기 위하여 가열시간에 따른 점도 증가율을 분석하였다. <표 21>은 가열시간에 따른 점도 및 점도 증가율을 보여주며 각 비율은 가열 시간별로 RFP 점도로부터 증가된 비율을 나타낸다(<그림 58>). 단계별 증가율은 매 시간 증가별로 얼마나 증가되는 지를 보여준다. 단, 여기서 ID 5의 7,160p이던 RFP가 노화된 점도(Surface 10분 가열 115,867p)는 너무 과다한 실험에러로 판단되어 분석에서 제외하였다.

<표 21> 표면 가열시간에 따른 표변부 혼합물의 점도 증가 비율 변화

Location	Heating								비고
	0 min (RFP)		5 min		10 min		15 min		
	AV	ratio	AV	ratio	AV	ratio	AV	ratio	
안산 복래	13,740	1					41,360	3.010	
//	33,800	1					65,640	1.942	
안산 공중	10,100	1	18,250	1.807			69,225	6.854	
수원 중공	3,220	1	3,780	1.174			6,064	1.883	
고양 일산	28,290	1			62,870	2.222			
고양 종합	7,160	1			115,867				제외
평균 증가비율		1		1.490		2.222		3.422	
시간별 증가율		1		1.490		1.491		1.540	



<그림 58> 표면 가열에 따른 표면부 (2 cm 이내) 아스팔트 혼합물의 절대점도 증가비율

이로부터 표면 가열이 비록 직화는 아니라도 표면부 혼합물은 노화 된다는 것을 알 수 있었다. 그리고 가열 시간 증가에 따라 노화가 심화되고, 5, 10, 15분 단위로 보았을 때, 시간이 5분씩 증가에 따라 "시간별 증가율" 에서 보듯이 점도의 증가도 시간 단위로 유사한 비율로 증가되는 것을 알 수 있었다. 따라서 향후 적정 가열시간과 가열 히터와 표면의 높이 및 가열방법 등과 표면 노화와 내부 온도 상승에 대하여 연구를 수행 할 필요가 있음을 확인하였다.

이를 위하여 폐도로 아스팔트 포장에서 열판의 높이와 시간 그리고 히팅패널의 종류를 달리하며 현장 실험을 수행하였다. 장소는 경기도 연천군 구미리이며, 히팅에 따른 표면 아스콘의 노화도를 본바닥 아스팔트 혼합물에 비교하여 표에 나타내었다.

본바닥 아스콘의 점도는 약 13,000p로 일반적으로 국내에서 발생하는 RAP 수준의 노화정도인 것으로 나타났으며 이를 식 (2)로 추정하면 약 7년 가까이 공용된 것으로 나타났다. 그리고 히팅 방법 중 노화가 가장 적게 일어나는 것은 공법 7-2로 히터를 표면으로부터 70mm 높이에서 6분간 초기 가열하고 0.5분 간격으로 "껐다/켰다" 를 18회 반복하여 총 15분 가열한 방법으로 나타났다. 이는 가열로 본바닥 아스콘보다 약 1.14배 점도를 높이는 것으로 나타나 가장 점도 증가비율(Increment ratio)이 낮았고 그 다음은 3-2와 4-2 순으로 나타났다.

<표 22> 히터 가동시간, 표면으로부터 히터의 수직 높이 및 히터 사이즈에 따른 점도변화

Tech. ID	Vertical heating distance (mm)	Initial heating (min)	No. of 0.5-min interval heating	Total heating time (min)	Heater size (mm)	ㄴLMS	Estimated AV (p)	Increment Ratio
-	RFP	0	0	0	0	23.94	13,286	1.00
2-2	40	10	0	10	80	28.35	51,492	3.88
3-2	40	6	4	8	150	25.59	22,055	1.66
4-2	70	6	4	8	80	25.86	23,963	1.80
5-2	100	10	0	10	80	26.35	27,856	2.10
7-2	70	6	18	15	80	24.37	15,162	1.14
8-2	70	4	9	8.5	80	27.5	39,659	2.99

- 신규 아스팔트 혼합물의 노화특성 변화 분석

포트홀에 사용될 신규아스팔트 혼합물(NAM)은 플랜트에서 출하되어 초기 약 1~2시간은 바인더의 점도가 약 5,000~7,000 정도로 비교적 양호한 편이다. 하지만 시간이 경과되어 4, 8시간이 되면서 22,000과 50,000p로 심하게 노화되는 것으로 나타났다. 이는 혼합물이 고온에 오래보관 되며 노화가 촉진되기 때문이다. 또한 장시간 운반과정에서 진동 등에 의해 미세한 바인더의 침강도 노화를 촉진시킬 수 있다.

STA는 아스팔트 혼합물이 플랜트에서 덤프트럭에 실려 운반 및 대기하는 동안 고열상태로 유지되면서 포설되기 전 단기간에 노화되는 과정을 인공적으로 실험실에서 모사하는 것이다. STA 온도는 160℃ 및 고온인 180℃로 1, 2, 4, 8 시간동안 수행한 것을 비교 대상으로 하여 보간법으로 계산하였다.

두 실험실 온도에서 단기노화 시킨 혼합물과 비교해보면 현장혼합물은 초기에는 온도가 176℃로 높았던 것으로 추정되나 그 이후부터는 160℃를 약간 상회하는 것으로 나타났다. 그리고 4시간 이상 된 현장 혼합물은 점도가 이미 20,000p가 넘어 상당히 노화된 것을 알 수 있어 이에 대해 노화방지 대책이 필요한 것으로 나타났다.

- 신규 아스팔트 혼합물의 노화저감 방안 수립

현장에서 장시간 혼합물을 보온박스(heating box)에 보관하며 사용 시 점도가 크게 높아지는 것을 알 수 있었고, 현재의 공법상으로 이는 피할 수 없는 현실이므로 NAM의 노화저감 대책은 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 아스팔트의 노화억제에 탁월한 효과가 있는 것으로 알려진 소석회(hydrated lime: HL)를 혼합물 양에 1.5%넣어 노화저지 효과를 실험실에서 확인 하고 이를 현장혼합물에 적용할 경우 그 효과를 추정 하였다.

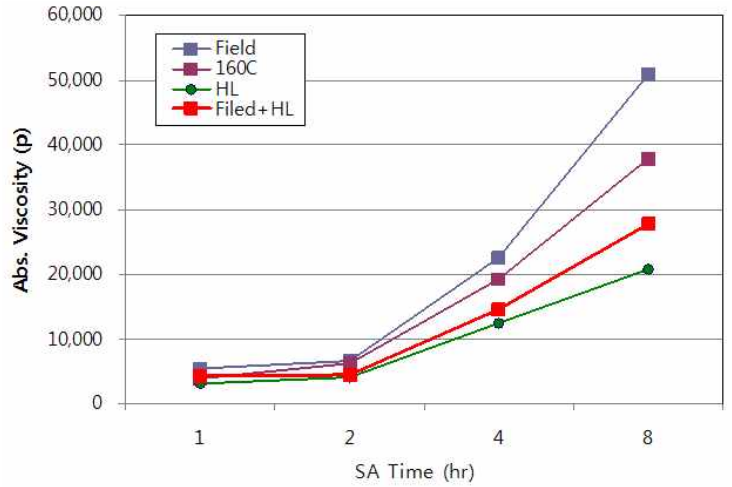
즉, 실험실에서 소석회의 사용으로 점도가 낮아지는 적정비율을 구하여 그 비율을 현장혼합물에 곱하여 현장혼합물의 점도를 추정한 결과 노화시간이 긴 4, 8시간일 때에 노화저지 효과가 더 크게 나타났다. 즉, 8시간 시 현장 혼합물의 점도가 50,000p가 넘던 것이 HL의 사용으로 거의 반 가까니 낮아지는 것으로 추정되었다. 따라서 포트홀 보수용 신규 혼합물에는 반드시 소석회를 넣고 제조를 해야 할 것임을 알 수 있었고 이를 그림에 도식적으로 나타내었다.

<표 23> 현장 혼합물의 시간별 추정온도

Aging (hr)	Abs. viscosity (AV, p)			현장 혼합물 추정온도 (℃)
	NAM aging in heating box	Lab. STA at 160℃	Lab. STA at 180℃	
1	5,346	3,802	5,734	176
2	6,375	6,254	19,437	160
4	22,580	19,169	97,200	161
8	50,811	37,918	500,789	161
Mean				164

<표 24> 소석회 사용에 따른 점도 저하율을 현장혼합물에 적용시 낮출 수 있는 추정 점도

NAM SA (hr)	Abs. viscosity (AV, p)			Field	Est. AV by using HL2)
	Lab 160	HL1)	HL/Lab Ratio		
1	3,802	3,025	0.796	5,346	4,253
2	6,254	4,140	0.662	6,375	4,379
4	19,169	12,445	0.649	22,580	14,660
8	37,918	20,710	0.546	50,811	27,752



<그림 59> 소석회 사용에 따른 아스팔트 혼합물의 절대점도 변화 예측

- 보수혼합물(Repaired Asphalt Mix : RAM)의 품질분석

보수혼합물의 노화 특성을 아래 그림에 나타내었다. 그림에서 보듯이 왼편의 4개 포트홀은 RFP보다 포설된 RAM의 점도가 낮아진 것을 알 수 있고, 우측의 2개는 오히려 점도가 높아진 것을 알 수 있다. 이러한 원인을 분석해보면 다음과 같다.

RAM의 점도 저하 요인:

1) 신규바인더(유제)와 신재 혼합물(NAM)의 혼합으로 노화된 RFP의 점도가 회생

2) 따라서 NAM는 점도가 낮아야 하나 장시간 운반도중 노화되어 5천이던 NM의 점도가 4,8시간 만에 22,600과 51,000p가 되어 RFP보다 더 높은 상태가 되므로 문제가 심각

3) NAM의 노화로 인해 점도가 높은 경우나 노화도가 심한 RFP의 경우는 유제보다는 회생기능이 크고 작업성이 좋은 커트백 아스팔트를 적정비율 추가하여야 함

4) <그림 60>의 왼편 4가지 경우 신재의 점도가 낮으므로 RAM 점도 크게 개선됨 (2의 경우는 너무 낮아 더 이상 내려갈 수 없음).

5) 5번째의 경우 프리히팅 노화정도가 너무 심하고 NAM 점도도 높아 RAM이 RFP보다 더 심하게 노화됨

6) 6번째의 경우는 NAM이 8시간 이상 노화되어 RAM이 RFP보다 더 심하게 노화된 것으로 판단됨

<그림 60> RFP, 가열시간, NAM의 점도에 따른 보수포장 혼합물의 점도 변화

- 표준 배합 방법 개발

보수용 혼합물(RAM)의 점도는 NAM과 신규바인더에 의해 회생되어 노화정도가 NAM과 RFP와의 중간정로 회생되도록 시공한다. 너무 완전 회생시키면 어느정도 노화된 기존 표층 재료와 경계면에서 탄성계수 차이로 이질적으로 거동할 수 있다. 그리고 NAM과 PFR에 노화억제제를 첨가하여 공용중 노화가 억제될 것으로 가정하였다.

소형 포트홀은 RFP가 많고 NAM가 적게 들어가므로 재생비율이 높은(70~80%로 70%로 가정) 재생혼합물이 보수(포설)되는 것이고, 반대로 대형포트홀은 NAM이 많이 사용되어 재생비율이 낮은(20-30%로 30%로 가정) 재생혼합물이 포설된다고 볼 수 있다. 그리고 노화 단계를 3단계 (4년 이내, 4-8년, 8년 이상)으로 구분하였다. 그리고 사용되는 신규혼합물(NAM)이 매우 중요하므로 이의 노화 단계를 5가지로 구분하고, 신규바인더(cut-back 아스팔트)를 추가 사용하여 다음과 같은 표준 배합 표(안) 개발하였다.

일반적으로 저점도 아스팔트 첨가에 따른 노화아스팔트의 회생 정도는 그림과 같이 나타낸다. 여기서 노화바인더의 점도가 약 40,000p이고 신규바인더의 점도가 100p인 경우 약 2.4를 더 첨가하면 점도가 약 3,000p 정도가 될 것임을 보여준다. 따라서 이를 수식으로 나타내면

$$y = a\,e^{-bx} \quad \text{----------} \quad (3)$$

a= RAM의 총량점도로 {(RFP량x점도)+(NAM량 x 점도)}으로 단위는 (kg.p)이고 지수 b= 신규아스팔트의 점도로 평균 100p을 취하며, x=신규아스팔트 중량비율(소수)이다.

예를 들어 어떤 포트홀에 점도 6,000p의 RFP 70kg, 점도 10,000p의 NAM 30kg이 혼합되고 이때 아스팔트 함량이 5%라 가정 한다면 점도 총량은 $(6{,}000\times70+10{,}000\times30)\times0.05=36{,}000$ (p.kg) 이며 여기에 1.7%의 신규바인더가 추가로 첨가된다면, RAM의 점도는 $y=\ 36{,}000e^{-100(0.017)}=6{,}577$p가 될 것으로 추정할 수 있다. 이와 같은 개념으로 제시된 표준배합챠트는 아래 표와 같다.

<표 25> 본바닥 포장공용연도, 신규아스콘 운반시간 및 포트홀 크기별 컷백아스팔트 및 소석회 사용량 표준 배합표[1] (%)

신규 아스콘 보관시간 (h)	포트홀 크기	포트홀 발생 아스팔트 본포장의 공용연도별 컷백 아스팔트 사용량[1] (%)										
		2년	3년	4년	5년	6년	7년	8년	9년	10년	11년	12년
1	소	0.50	0.50	0.65	0.82	0.95	1.17	1.25	1.40	1.58	1.77	1.97
	중	0.50	0.50	0.50	0.58	0.70	0.87	0.97	1.13	1.30	1.44	1.63
	대	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.59	0.71	0.85	1.00	1.17
2	소	0.57	0.63	0.73	0.87	0.96	1.13	1.22	1.36	1.54	1.73	1.92
	중	0.65	0.64	0.67	0.74	0.79	0.91	0.99	1.13	1.26	1.43	1.61
	대	0.74	0.65	0.60	0.59	0.60	0.65	0.70	0.80	0.91	1.04	1.17
3	소	0.63	0.68	0.76	0.89	0.96	1.12	1.20	1.34	1.51	1.69	1.88
	중	0.84	0.81	0.82	0.87	0.88	0.98	1.03	1.16	1.27	1.43	1.60
	대	1.03	0.94	0.88	0.85	0.80	0.83	0.84	0.91	1.00	1.09	1.21
4	소	0.70	0.76	0.79	0.88	0.99	1.13	1.20	1.33	1.49	1.67	1.85
	중	0.98	0.94	0.94	0.96	1.00	1.08	1.10	1.18	1.31	1.45	1.59
	대	1.21	1.13	1.07	1.03	1.02	1.02	0.99	1.04	1.09	1.18	1.28
5	소	0.83	0.84	0.88	0.95	0.98	1.17	1.22	1.34	1.49	1.66	1.82
	중	1.19	1.14	1.12	1.12	1.07	1.20	1.19	1.26	1.36	1.49	1.61
	대	1.47	1.38	1.32	1.27	1.16	1.24	1.17	1.17	1.22	1.29	1.36
6	소	0.92	0.92	0.94	0.99	1.06	1.13	1.24	1.36	1.51	1.67	1.80
	중	1.29	1.25	1.22	1.21	1.22	1.23	1.28	1.35	1.44	1.55	1.64
	대	1.58	1.51	1.45	1.37	1.34	1.32	1.32	1.34	1.37	1.42	1.46
7	소	1.07	1.06	1.07	1.10	1.13	1.20	1.30	1.41	1.54	1.68	1.80
	중	1.49	1.41	1.38	1.36	1.36	1.37	1.41	1.46	1.54	1.62	1.69

	대	1.76	1.69	1.63	1.58	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.56	1.57
8	소	1.23	1.20	1.21	1.21	1.24	1.30	1.38	1.47	1.58	1.68	1.80
	중	1.65	1.59	1.56	1.54	1.53	1.53	1.56	1.59	1.64	1.70	1.75
	대	1.97	1.89	1.84	1.80	1.75	1.73	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70

신규아스콘 보관 시간(h)	포트홀 규모	RFP (kg)	포트홀 발생 아스팔트 본포장의 공용연도별 소석회 시공시 사용량[2] (kg)										
			2년	3년	4년	5년	6년	7년	8년	9년	10년	11년	12년
1	소	70	0.7	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40
	중	50	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
	대	30	0.3	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60
2	소	70	0.7	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40
	중	50	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
	대	30	0.3	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60
3	소	70	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47
	중	50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05
	대	30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63
4	소	70	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47
	중	50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05
	대	30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63
5	소	70	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47	1.54
	중	50	0.6	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
	대	30	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66
6	소	70	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47	1.54
	중	50	0.6	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
	대	30	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66
7	소	70	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47	1.54	1.61
	중	50	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15
	대	30	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69
8	소	70	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47	1.54	1.61
	중	50	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15
	대	30	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69

주1)Asp(%)는 대각선 위아래 것을 합한 %를 혼합물의 추정 중량에 곱하여 사용한다.
주1)HL(%)는 소석회를 혼합물에 비비기전에 투여하는 중량 비이다.

상기의 방법을 이용하여 보수혼합물(RAM)의 추정 점도를 <표 26, 27>에서 포트홀의 크기별로 보여준다. <표 26>의 대형 포트홀에서 보듯이 RFP의 공용연도가 8년 이하이고 NAM의 노화시간이 4시간 이내인 경우 RAM의 점도는 5,000~7600p로 보수됨을 알 수 있고, 8년 이상인 RFP와 NAM의 노화시간이 8시간 이상인 경우 RAM의 점도는 약 20,000p로 보수됨을 알 수 있다. 이는 8년 이상인 RFP의 점도 34,202p에 72,077p의 NAM이 사용되지만 신규바인더를 혼합물 중량의 2.7% (b=b1+b2=0.013+0.014=0.027) 더 추가함으로써 얻어진 것이다.

즉, 식 (3)에 a=0.05 (34,202×30+72,077×70)=303,573와 b=0.027을 대입하면

$y = 303,573e^{-100(0.027)}$ = 20,402p가 얻어진 것이다.

대형포트홀은 추가되는 NAM양이 70%로 많아 NAM의 회생이 중요하므로 b1의 비율이 0.006~0.014로 소형포트홀의 0.005~0.009보다 크다. 반면 소형포트홀은 RFP의 양이 많고 RFP의 회생이 중요하므로 b2의 비율이 0.011~0.015로 대형포트홀의 0.011~0.013보다 크게 설정되어야 함을 알 수 있다.

<표 26> 대형 포트홀의 RFP 공용연수와 NAM의 노화시간에 따른 RAM 점도의 컴퓨터 시뮬레이션

구분	RFP \ NAM		Estimated viscosity (p) of RAM					
			yr.	<2	2~4	4~6	6~8	>8
			AV	5,168	9,987	19,301	37,298	72,077
	yr.	AV	b_2 \ b_1	0.006	0.008	0.01	0.012	0.014
Large	<4	6,052	0.0110	4,963	6,586	9,384	13,998	21,453
	4~8	14,259	0.0120	6,525	7,625	9,855	13,783	20,325
	>8	34,202	0.0130	10,379	10,563	11,916	14,927	20,402

<표 27> 소형 포트홀의 RFP 공용연수와 NAM의 노화시간에 따른 RAM 점도의 컴퓨터 시뮬레이션

구분	RFP \ NAM		Estimated viscosity (p) of RAM					
			yr.	<2	2~4	4~6	6~8	>8
			AV	5,168	9,987	19,301	37,298	72,077
	yr.	AV	b_2 \ b_1	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
Small	<4	0.011	6,052	5,842	6,606	8,287	11,536	17,498
	4~8	0.013	14,259	9,531	9,705	10,672	12,962	17,509
	>8	0.015	34,202	17,250	16,494	16,472	17,611	20,668

(2) 표준공법 개발

– 현장상황 분석

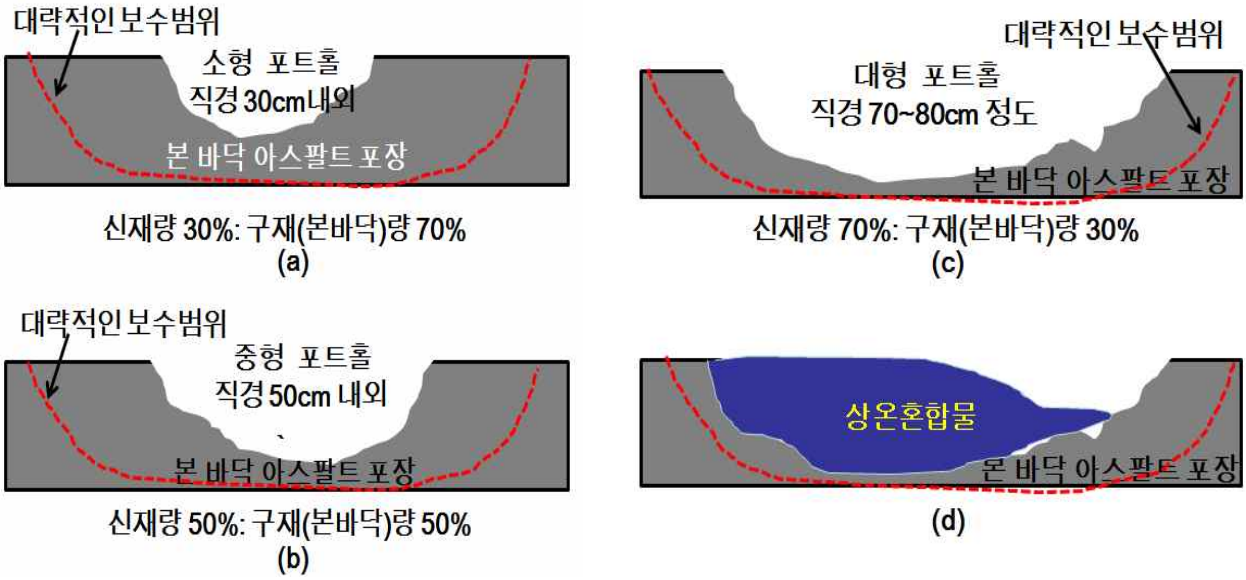
포트홀 보수는 현장에서 주먹구구식으로 수행되는 경우가 많다. 하지만 이는 불량보수가 되게 하는 경우가 많아 좀 더 과학적이고 체계적인 방법에 의해 표준화가 필요하다. 이를 위해서는 우선 현장 상황을 몇 가지로 구분해야 한다.

포트홀이 발생 후 조기에 보수되는 경우 본 포장체(RFP)의 손실이 적은 편이나 시간이 좀 지나면 RFP가 파여 나가 공동이 커지게 된다. 즉 아래 <그림 61>(a), (b), (c)와 같이 포트 홀에 따라 공동 차이가 커서 사용되는 재료의 비율에 차이가 크다. 즉, 포트홀에 채워질 보수포장(RAM)은 일종의 현장재생혼합물이며, (a)는 본바닥 구재인 RFP가 많고 신재(NAM)가 적게 들어가므로 재생비율이 높은 (70%로 가정) 재생혼합물이다. 반대로 (C)는 파여 나간 재료가 많아 채워 넣어야할 신규아스콘이 많이 필요하므로 상대적으로 본바닥 구재(RFP) 비율이 낮은(30% 가정) 재생혼합물이다. 당연히 중형 포트홀은 신구재 비율이 50%: 50%라 할 수 있다.

또 한 가지는 (d)와 같이 콜드믹스로 응급 보수한 상온혼합물이 그대로 포트홀 내에 존재하는 것이다. 기 보수 재료는 주로 상온혼합물(cold mix)이어서 가열을 해도 사용이 어려워 결국 어느 정도 녹으면 제거를 하고 그 양만큼 NAM을 추가해야 한다. 따라서 대형포트홀인 (d)는 공정상 기 보수재료(콜드믹스) 제거 과정을 제외하고 RAM은 (c)와 유사한 것으로 취급한다.

소형 포트홀 (a)의 경우는 사전 가열된 보수 범위 내에 본 바닥 포장재료(RFP)가 많고 신재 사용량이 30%로 적은 것으로 가정하므로 노화된 RFP를 잘 회생시키는 것이 관건이다. 이러한 포트홀은 노화된 RFP의 회생을 위해 신규바인더 (CBA) 첨가량이 중요하며 혼합시 소석회의 사용으로 향후 노화를 억제하는 것도 중요하다.

반면에 대형 포트홀 (c) 는 70% 정도의 신규 아스팔트 혼합물(NAM)을 넣어서 RFP와 혼합하므로 NAM 자제의 품질(노화도)이 중요하다. 따라서 신규아스콘 제조시 플렌트에서 반드시 소석회를 1.5 wt%를 첨가해야한다. 한편 (d)의 기 보수 형은 NAM이 그 자리로 채워져야 하는 양이므로 (c)와 같이 적정 신규바인더의 사용이 중요 할 것이다.



<그림 61> 포트홀의 구분

이와 같은 포트홀의 보수작업 표준화를 위해서는 다음과 같은 가정을 하였다.

1) 포트홀은 표층에서 주로 발생하며 발생 포장 표층의 혼합물(RFP) 종류는 국내에서 가장 많이 사용되는 13㎜ 밀입도 혼합물로 본다(국도, 지방도, 시가지 도로).
2) 사전 간접가열은 RFP의 내부온도를 120~140℃ 정도까지 올리며, 표면부 혼합물은 다소 노화영향을 받으나 전체 RFP의 노화에는 매우 미미한 영향을 미친다(히터 높이와 가열방법, 적정 가열시간 사전 결정).
3) 신규 아스콘(NAM)은 표층용 13㎜ 혼합물이며 RFP와 혼합되어 보수되는 재생혼합물(RAM)도 NAM과 유사한 입도의 표층용 혼합물인 것으로 가정한다.
4) RAM은 NAM과 신규바인더에 의해 회생되어 노화정도가 RFP보다 낮게 회생되도록시공하나 신재와 같이 완전 회생시키면 기존 표층 재료와 경계면에서 탄성계수 차이로 이질적으로 거동으로 균열 유발 우려가 있다.
5) RFP는 노화와 미분의 상실로, NAM은 드레인 다운으로 인하여 유효 아스팔트 함량이 5% 이내인 것으로 가정한다.
6) NAM에 노화억제제로 소석회를 첨가하여 보관·운반 중 노화를 억제하여 저녁때 까지도 노화가 어느 정도 억제된다.
7) 포트홀은 크게 3가지(상기의 소형, 중형, 대형)으로 분류되며, 기 보수재료(콜드믹스)는 폐기하고 난 포트홀 크기에 따라 구분하여 표준화 한다.
8) 적외선 가열기로 포트홀 표면을 가열 후 바로 소석회를 일정량 표면에 살포(또는 미리 살포 후 가열)하고 파내면서 소석회가 RFP와 섞이도록 하여 향후 공용중에 노화가 억제되도록 한다.

- 신규 아스콘의 노화에 따른 바인더 특성 변화 분석

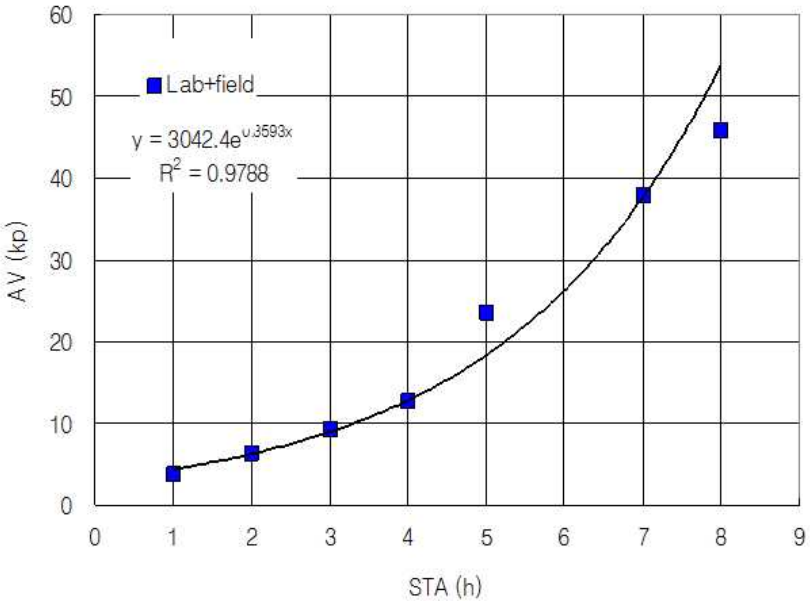
포트홀 보수를 위해 작업차량에 싣고 다니는 신규아스콘 혼합물(NAM)은 이른 아침에 아스콘 플랜트에서 받아서 하루 종일 챔버에서 고온상태로 유지된다. 따라서 NAM은 시간이 지남에 따라 노화되며, 심하게 노화된 NAM이 포트홀 보수에 사용되면 보수된 아스콘 품질이 크게 저하되나 노화도에 대한 정보가 없으므로 이를 분석할 필요가 있다.

인공 단기노화(short-term aging: STA)후 점도를 측정하였다. 일반적으로 STA는 고온의 아스팔트 혼합물을 덤프트럭에 싣고 운반 및 대기하는 시간과 온도에 따른 상태 변화를 분석하기 위하여 인공적으로 혼합물을 비빈 후 시료 팬에 담아 해당 시간동안 해당온도의 오븐에

보관한 것이다. 실제로 포트홀 보수용 NAM은 덤프트럭에 실린 아스콘 보다 더 장시간 싣고 다니므로 저녁에 사용되는 NAM의 노화도는 덤프트럭에서의 STA보다 더 노화가 심할 것이다. 일반적으로 트럭에는 3~4시간 정도를 최장으로 보나 보수용 운반은 8시간 까지 인 것으로 가정하였으며 그 결과를 표에서 보여준다. 2차년도까지는 실험실(표에서 Lab)만을 가지고 분석하였으니 3차년도는 현장 데이터를 수집하여 표에 넣고 두 가지를 조합하여 시간에 따른 추정점도(Estimated AV: EAV)를 계산하여 표에 나타내고 이를 그림에서 보여준다.

<표 28> 신규아스콘(NAM)의 노화 시간과 온도에 따른 점도 변화

STA at 160C (h)	Abs. viscosity (p)			Estimated service life reduction (SLR: yr)
	Lab	Field	EAV	
1	3,802	3,793	4,358	1.0
2	6,254		6,242	3.4
3		9,312	8,940	4.8
4	12,739		12,805	6.3
5		23,606	18,341	7.8
6			26,271	9.3
7	37,918		37,628	10.7
8		45,868	53,895	12.2



<그림 62> 160 ℃에서 단기노화(STA) 시간에 따른 점도변화 추세

표에서 보듯이 STA 160℃에서 1시간 노화의 경우 약 4,000p 정도의 AV가 얻어졌다. 참고로 사용된 신규바인더의 절대점도는 평균 2,000p인 AP-5(PG64-22등급 바인더이었다. 그러나 160℃ 4시간 후에는 12,800p, 8시간 후에는 54,000p 까지 높아졌다. <그림 62>는 시간의 증가에 따라 같은 온도에서 오래 보관 시 점도가 크게 증가되며 그 형태는 지수함수 모델을 따른다는 것을 보여준다. 그리고 결정계수 (R^2)는 약 0.98로 매우 높게 나타나 같은 온도에서 오래 보관되면 현장혼합물도 크게 노화될 수 있을 것임을 예견 할 수 있게 해준다.

앞서 제시된 그림은 국내도로포장에서 채취한 코어 혼합물의 공용연도에 따른 점도변화를 보여준 것이다(Kim et al. 2016). 이 자료를 근거로 <표 29>의 STA 혼합물들의 노화도를 앞서나온 <그림 62>의 회귀식 $y = 2.7634e^{0.2429x}$의 역 식인 식 (5)를 이용하여 분석하면 심각한 노화정도를 알 수 있고 이를 <표 29>에 나타내었다. 여기서 계산된 연도 수치는 이미 그만큼 오래되었음(늙음)을 나타내므로 이는 그만큼 수명이 단축되었음을 나타내므로 service life reduction (SLR) 이라 할 수 있다.

즉, 이 식의 y에 표의 AV를 kp로 넣어 얻어진 추정년도는 <표 29>에서 보듯이 약 1년부터 약 12년 이내까지로 공용수명이 지난 것으로 나타났다. 이 분석은 실제 보관·운반되는 온도인 160℃에서 이와 같이 심각한 노화 상태임을 보여준다.

그러므로 노화가 심한 혼합물로 보수를 하면 그 아스콘은 이내 파손될 것이다. 더구나 본바닥도 포장도 노화된 상태이므로 신제와 혼합되어 회생이 되는 것이 아니라 이 경우는 오하려 더 노화된 혼합물이 보수에 사용되는 형태가 된다. 따라서 신규혼합물의 노화를 저지하는 조치를 취하여 최대한 노화를 억제시키는 것이 반드시 필요한 조치이다. 본 연구에서는 아스팔트의 노화억제에 탁월한 효과가 있는 소석회(hydrated lime: HL)를 혼합물 양의 1.5%를 넣어 노화저지 효과를 실험을 통해 확인 하고 이를 현장혼합물에 적용 하였다.

- 노화량(AQ) 모델링

본 연구에서는 그간 수집된 실험실 및 현장 혼합물을 포함한 데이터를 가지고 보편적으로 점도 증가를 추정하기 위하여 개발된 노화량(Aging quantity: AQ) 모델식을 적용한다. 이 모델은 정승호 등(2017)에 의하여 HMA 혼합물 내 바인더가 노화를 나타내는 절대점도를 지표로 할 때 단기노화 온도와 시간에 따라 지수함수 형태로 증가함을 착안하여 개발된 것이다. 그러므로 수평(X)축의 값들을 온도 (T)와 시간의 길이 (length of time: Lt)의 함수로 양적으로 정량화하여 노화정도를 평가하는 것이다. 따라서 단기노화 온도는 섭씨(℃)를 사용하고, 단기노화 시간은 분(minute: min)을 사용하여 노화정도를 정량화할 수 있는 AQ 계산식을 모델링 하였다. 개발된 AQ 모델은 식 (8)이며 이 식에 의해 계산된 노화량과 절대점도 값과의 사이에 가장 높은 R2에 근거하여 결정된 것이다.

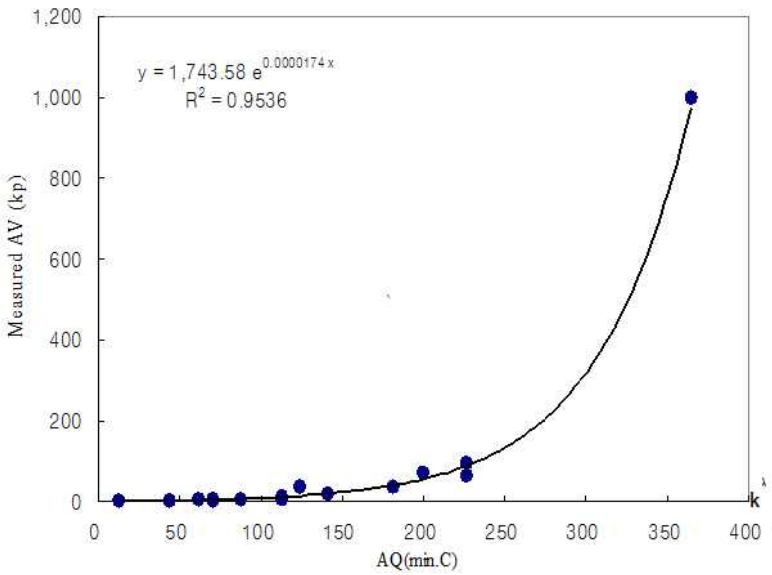
$$AQ = 10\ Lt^{0.6848}.e^{0.03486T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (8)$$

여기서, AQ = 노화량 (min.oC), Lt = 단기노화 시간 (min), T = 단기노화 온도 (℃)

표는 각 단기노화 조건에 따라 실험실과 현장에서 측정된 절대점도 값과 노화조건에 따라 계산된 AQ를 나타낸 것이다. 이 계산된 AQ를 측정된 절대점도(Measured AV)와 회귀분석을 수행한 결과 아래 그림과 같이 매우 높은 상관관계(R^2 > 0.95)가 있어 회귀분석에서 얻어진 식 (9)로 추정절대점도(estimated AV: EAV)를 계산했다.

$$EAV = 1{,}743.58\ e^{0.0000174(AQ)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (9)$$

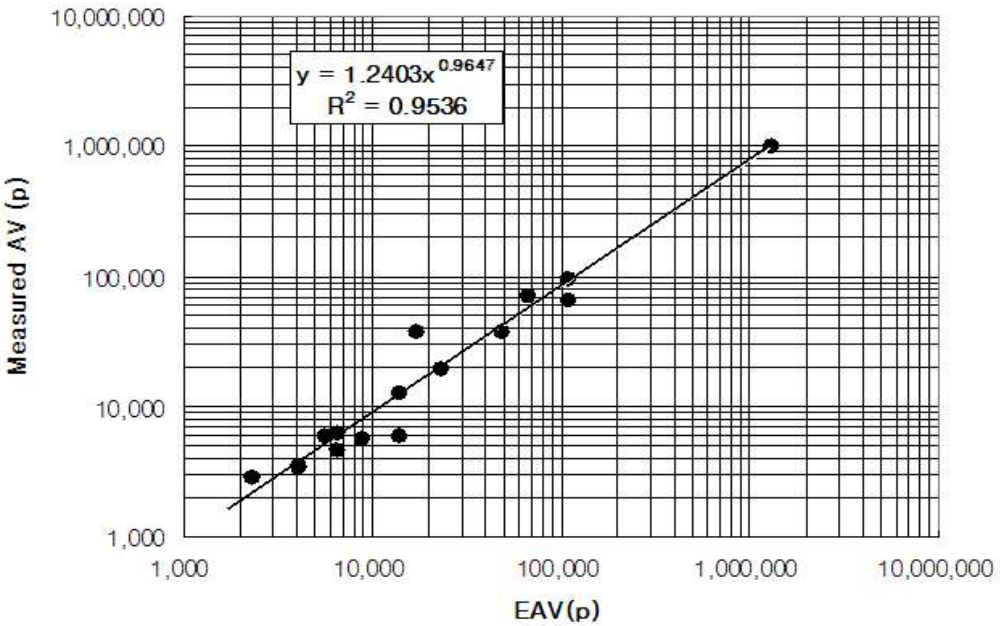
여기서, EAV = 추정절대점도 (p), AQ = 노화량 (min℃)



<그림 63> 노화량(AQ)와 절대점도의 관계

<표 29> 혼합물의 절대점도 데이터

Mix type	Temp (℃)	Lt (min)	AQ (min.℃)	EAV (p)	Measured AV (p)
Field Mix	160	10	12,797	2,307	2,878
	160	60	43,651	4,021	3,483
	160	120	70,169	6,480	4,638
	160	240	112,795	13,957	6,021
	170	60	61,858	5,580	5,966
	180	240	226,506	108,071	66,637
	190	60	124,218	17,143	38,078
	190	120	199,678	66,678	71,660
Lab Mix	160	60	43,651	4,021	3,490
	160	120	70,169	6,480	6,254
	160	240	112,795	13,957	12,740
	160	480	181,315	47,912	37,918
	180	60	87,657	8,877	5,734
	180	120	140,908	23,151	19,437
	180	240	226,506	108,071	97,200
	180	480	364,104	1,286,328	1,000,001



<그림 64> 측정된 AV와 예측된 AV와의 관계

- 표준공법(시방서) 개발

상기 모든 연구결과를 바탕으로 표준배합 차트를 포함하는 **“아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 시방서”** 개발

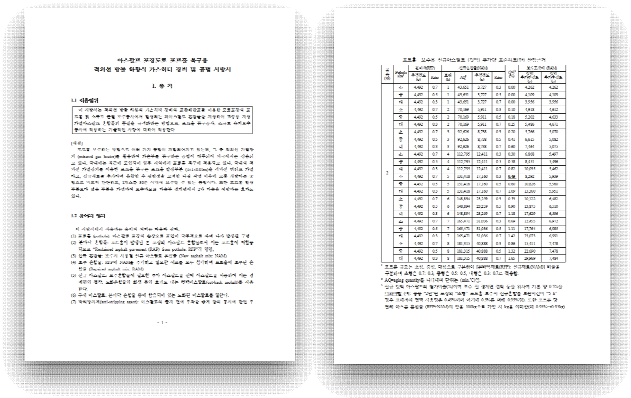
① 보수용 신재 혼합물에 소석회 1.5% 첨가 의무화

② 적외선 가열시 표면인화되지 않도록 방열판의 표면으로 부터의 높이 제공

- 동절기 250mm, 봄-가을-여름 280mm

③ 표면 인화방지 및 효율적인 열전달을 위한 간헐운전

- 동절기 초기가열 6분, 0.5분 가열-5분 후 휴지 0.5분 가열 4회(4분) 총 10분 가열 적합
- 봄-가을-여름 초기가열 6분, 1.4분 휴지 후, 0.6분 가열 4회(8분) 총 14분 가열 적합



<그림 65> 아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 시방서

6. 포트홀 보수 혼합물의 성능 및 작업현장 검증(모니터링)

가. 포트홀 보수 혼합물의 성능 검증

(1) 강원대학교 자체 시험현장 및 기 시공된 현장의 코어 채취 및 분석

포트홀 보수 현장 코어 샘플들은 경기 남부의 고양 지역, 강원대학교 교내 현장 두 지역에서 시공한 코어를 채취하여 분석에 사용하였다. 특히 주안을 둔 것은 표준챠트의 적용여부와 콤팩터로의 다짐 시간이다.

(2) 변형강도 시험

변형강도(deformation strength: SD)는 공용고온인 60℃에서 아스팔트 혼합물 공시체에 하중을 가하여 얻어진 하중-변형 곡선에서 최대 하중(P)과 표면으로부터 눌려 들어간 수직변형(υ)으로부터 계산하는 소성변형저항성 특성치이다. 이 시험법은 Kim Test라 하며 하중봉의 직경을 40㎜, 절삭 반경은 10㎜이며 식 (1)을 이용하여 구한다.

$$S_D = \frac{0.32P}{(10+\sqrt{20\upsilon-\upsilon^2}} \text{----------} \quad (1)$$

여기서, S_D = 변형강도(MPa)
P = 최대하중(N)
υ = 최대하중에서의 수직변형(mm)

공시체를 60℃ 항온 수조에서 30분간 수침 후에 꺼내어 신속히 Kim Test 어셈블리에 넣고 재하속도 30㎜/min로 하중을 가한다. 이때 최대하중(P)과 수직변위(υ)를 곡선으로부터 얻으며, 한 혼합물 당 3개 SD 시험의 평균값을 분석에 사용한다. 아래 그림은 S_D 시험 모습을 보여준다.

<그림 66> Kim Test에 의한 변형강도(S_D) 측정

(3) 간접 인장강도 시험

간접인장강도(Indirect tensile strength: ITS)는 아스팔트 콘크리트의 균열에 대한 저항성을 나타내는 지표로써 이 값이 크면 균열에 대한 저항성이 큰 것으로 판단한다. 따라서 공시체를 국내 표준시험온도인 25℃ 온도에서 24시간 안정화 시킨 후 50㎜/min 속도로 하중을 가하여 얻어진 최대 하중과 공시체 치수를 식 (2)에 대입하여 구한다.

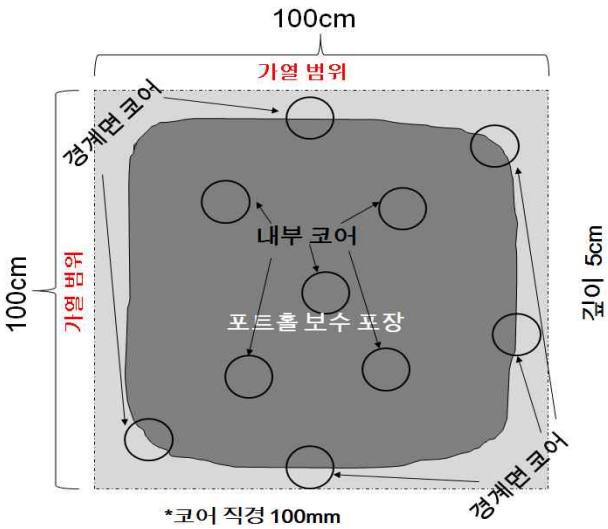
$$ITS = \frac{2P}{\pi Dt} \quad \text{----------} \quad (2)$$

여기서, ITS = 간접인장강도 (MPa), P= 최대하중(N), D = 공시체 직경 (㎜), t=공시체 두께 (㎜) 이다.

<그림 67> 간접인장강도(ITS) 시험

(4) 경계면 강도 시험

S_D와 마찬가지로 ITS도 공시체의 강도가 충분하게 발휘되면 포장에서의 기능을 잘 발휘할 수 있으므로 각각의 기준을 만족하는지 여부가 중요하다. 일반적인 코어 공시체는 같은 재질로 일체화로 제조된 부분에서 채취된 것이다. 하지만 아래 그림과 같이 경계면에서 채취한 코어 공시체는 경계면의 이질감과 접착여부를 확인해야 향후 그 부분이 균열이나 파손에 대한 저항성이 충분한지 알 수 있다.



<그림 68> 포수포장에서의 내부와 경계면 코어 채취 모식도

따라서 차륜의 수직하중에 의해 포장체 하단에 발생하는 주 인장응력 평면(principal tensile stress plain)이 경계면과 일치할 경우에 유발되는 인장응력 (tensile stress)을 충분히 견디어야 한다. 또한 보수포장의 경계면이 사면이므로 차륜이 지나가며 경사면을 따라 유발하는 전단응력(shear stress)에 대해 안전한지 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 6에서 보듯이 전단응력의 확인을 위해서는 변형강도(SD) 시험이 적절하고, 인장강도 시험시 경계면을 수직으로 세워놓고 시험을 하면 ITS 시험으로 인강강도 평가가 가능함을 보여준다.

그리고 그 기준은 변형강도의 경우 국토부 일반도로 아스팔트 포장용 아스팔트 콘크리트에 적용하는 $S_D \geq 3.2\,PMa$과 간접인장강도는 KS 일반도로 아스팔트 포장용 아스팔트 콘크리트에 적용하는 $ITS \geq 0.8\,MPa$을 적용하였다.

(5) 동적안정도 시험

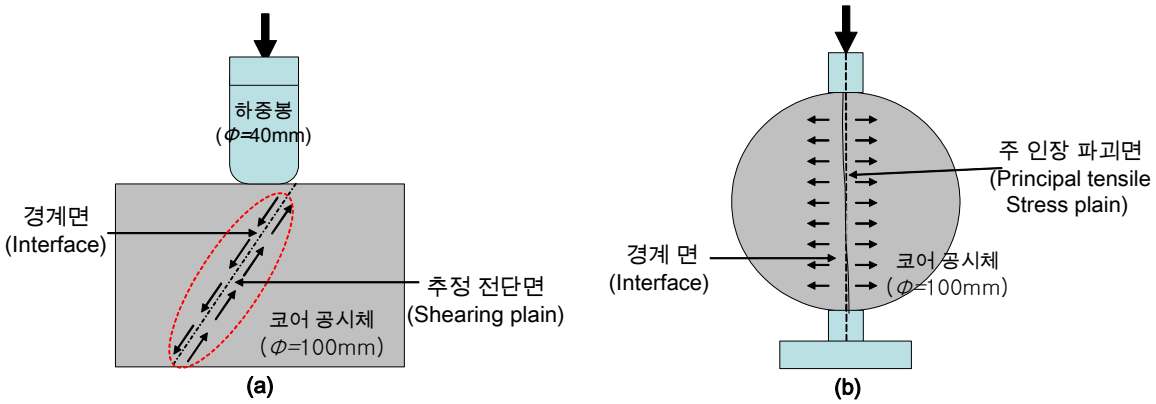
포트홀 보수포장이 소성변형(rutting)에 대한 저항성이 충분한지를 보기위해서는 반복주행(wheel tracking: WT) 시험을 통한 동적안정도의 평가가 필요하다. WT 시험을 수행하기 위하여 305×305×50㎜의 슬래브 공시체를 채취하여야 한다. 하지만 현장에 포설된 포트홀 보수 포장에서 4각형의 slab 시험체를 채취하는 것은 용이치 않으며 또한 그 부분을 다시 보수해야 하는 등 어려움이 따른다. 그러므로 본 연구에서는 포트홀 보수시 최종 보수혼합물(RAM)의 샘플로 채취한 것을 모아 실험실에서 슬래브 공시체를 제조하여 시험하였다.

슬래브 공시체는 60℃에 6시간 보관후 시험에 사용된다. 시험은 60℃에서 수행되고, 재하 윤하중은 686kN (70kg), 통과횟수 42회/min로 60분 동안 2,520회 반복주행 (시간과 통과횟수)에 따른 침하량을 측정한다. 바퀴의 재질은 강재, 직경 200㎜, 폭 50㎜이고 1회 왕복거리(stroke)는 230㎜이다 (KS F 2374).

동적안정도 (dynamic stability: DS)는 공시체의 변형이 1㎜ 발생하는데 필요한 바퀴통과횟수로 나타내며, 변형 속도는 분당 발생하는 변형량으로 나타낸다. 동적안정도와 변형속도를 식 (3), (4)와 같이 구한다.

$$DS = 42 \times \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times c \text{----------} \quad (3)$$

여기서, DS: dynamic stability, d1: t1=45분에서의 변형량 (㎜), d2: t2=60분에서의 변형량 (㎜), c: 보정계수로서 1.0이다.



<그림 69> (a) 변형강도 측정시 전단응렬 유발 평면이 경계면과 거의 일치
(b) 간접인장강도 시험시 경계면이 주 인장평면과 거의 일치

(6) 인장강도 비 (Tensile Strength Ration: TSR) 시험

간접인장강도 시험방법으로 인장강도 비 (Tensile Strength Ratio: TSR)를 구하여 수분 취약성을 평가하는 방법을 사용한다(국토 교통부, 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침 2015). TSR 값은 수분에 의한 취약성 평가, 아스팔트 혼합물에 발생하는 박리 현상의 예측, 박리방지제의 사용여부에 따른 혼합물의 비교 평가 등 내구성 평가에 효과적인 시험방법이다.

공극률 7±0.5%인 공시체를 6개 제조하여 사용하나 본 과제에서는 샘플체취한 공시체 3개는 국내 표준시험온도인 25℃ 온도에서 24시간 안정화 시킨 후 Dry상태에서 ITS를 측정하고, 나머지 3개는 전처리 (부분적 포화 및 수분처리) 후에 항온수조 60±1℃ 수조에서 24시간 동안 수침한 후 25±0.5℃의 항온수조에 2시간 동안 넣은 뒤 ITS를 측정한다. 그 후 얻어진 두 인장강도의 값을 통해 인장강도 비를 구하고 계산식은 (4)와 같다.

$$TSR(\%) = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{Dry}} \times 100 \text{----------} \quad (4)$$

여기서, TSR = 인장강도 비 (%), ITSwet = 24시간 수침처리 후 간접인장강도 (MPa), ITS_{Dry} = 건조 공시체 간접인장강도 (MPa) 이다.

<그림 70> Wheel Tracking 시험

<표 30> 포트홀 보수 혼합물의 성능시험 기준 및 결과

평가항목	단위	국내기준	시험결과	평가방법
변형강도 (deformation strength: S_D)	MPa	3.2 이상	3.53 (중앙) 3.35 (경계)	국토교통부 기준
간접인장강도 (indirect tensile strength)	MPa	0.8 이상	1.19 (Dry) 1.08 (Wet)	KS
동적안정도 (dynamic stability)	pass/mm	2,000 이상	2,267	KS
인장강도비 (tensile strength ratio: TSR)	%	0.75 이상	0.91	KS

※ 한국건설생활환경시험연구원 시험성적서

나. 작업현장 검증 (시공현장 모니터링)

(1) 모니터링 내역 1

► 확인날짜 : 2015년 동절기 경과 후 (2016. 5. 16)

► 시공내역 : 교량접속부 포장 균열

► 시공위치 ; 충남 서산시 동문 1동 장흥교 서산 IC방향 1차선(서해로)

► 모니터링 특이사항

: 시공 10개월 경과 후 보수 상태 양호하며, 시험시공 시 대조군인 바로옆 파손 부위는 상당히 큰 규모로 확대되어 수회에 걸쳐 임시복구 함. 현재는 도로 전체 개, 보수 관계로 상태확인 불가

<그림 71> 장흥교 시공현장 (상), 시공 10개월 경과 (하)

(2) 모니터링 내역 2

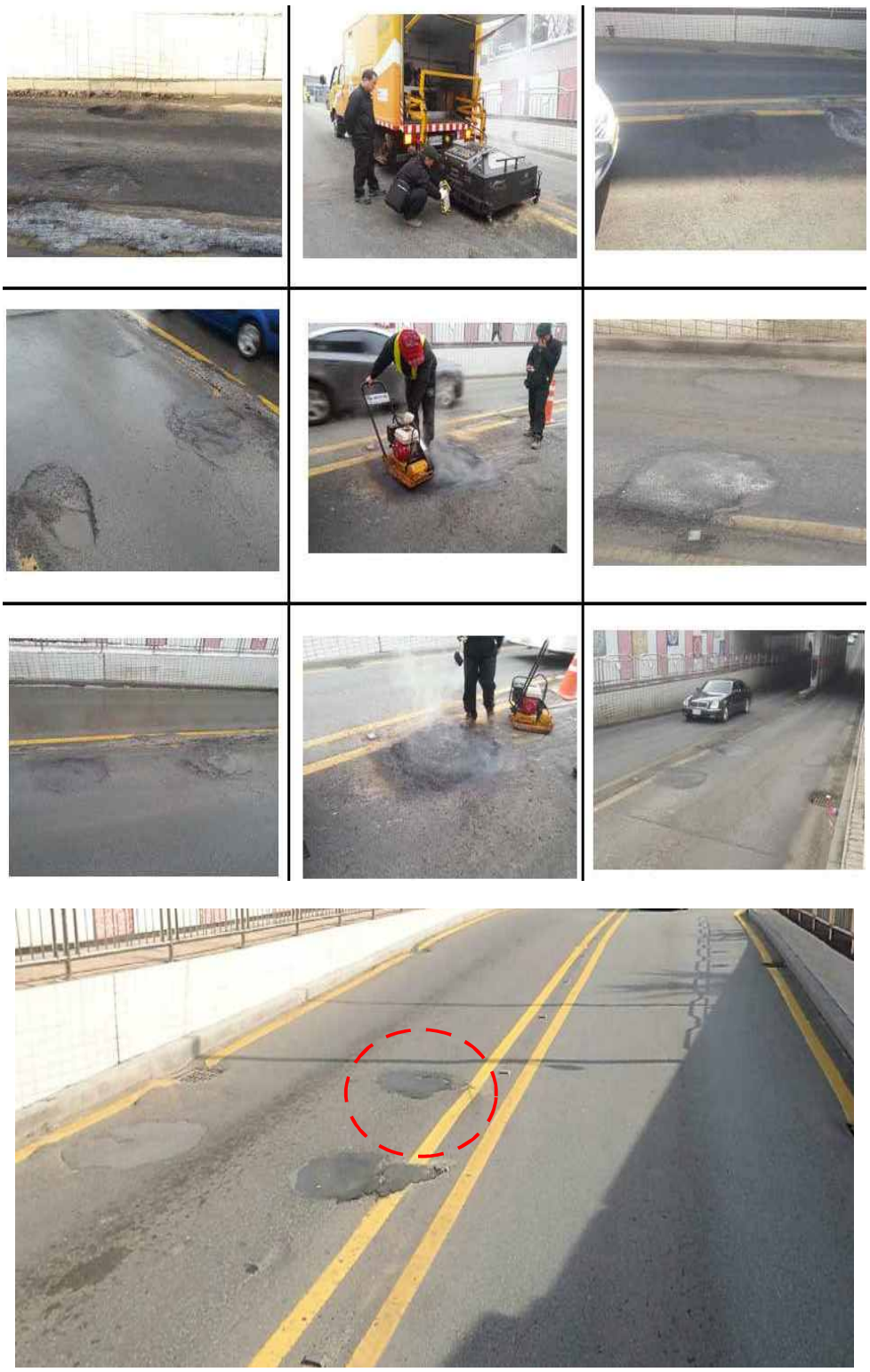
► 확인날짜 : 2015년 동절기 경과 후 (2016. 5. 20)

► 시공내역 : 지하차도 포장 균열

► 시공위치 : 경기도 오산시 신장동 오산로 오산대방향 1차선(경부철도 궐동 지하차도)

► 모니터링 특이사항

: 시공 5개월 후 모니터링 시 상태 양호하였으나 이후 모니터링 시 차도 전체 개, 보수 관계로 상태확인 불가함



<그림 72> 경부철도 궐동 지하차도 시공현장 (상), 시공 5개월 경과 상태 (하)

(3) 모니터링 내역 3

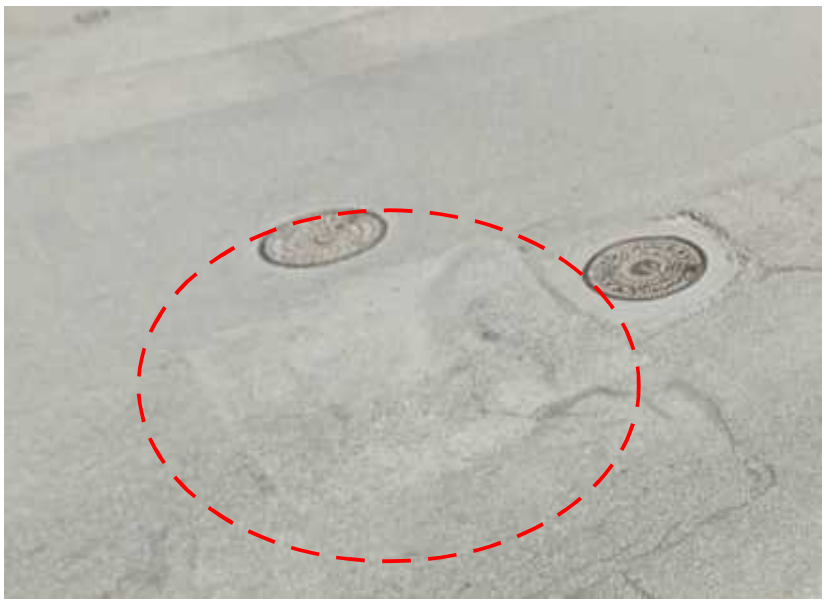
► 확인날짜 : 2015년 하절기 경과 후 (2015. 9. 4)

► 시공내역 : 시내도로 포장파손

► 시공위치 : 강원도 원주시 무실도 한지공원길 원주시청방향 1차선

► 모니터링 특이사항

: 시공 12개월 후, 22개월 후 모니터링 시 모두 상태 양호



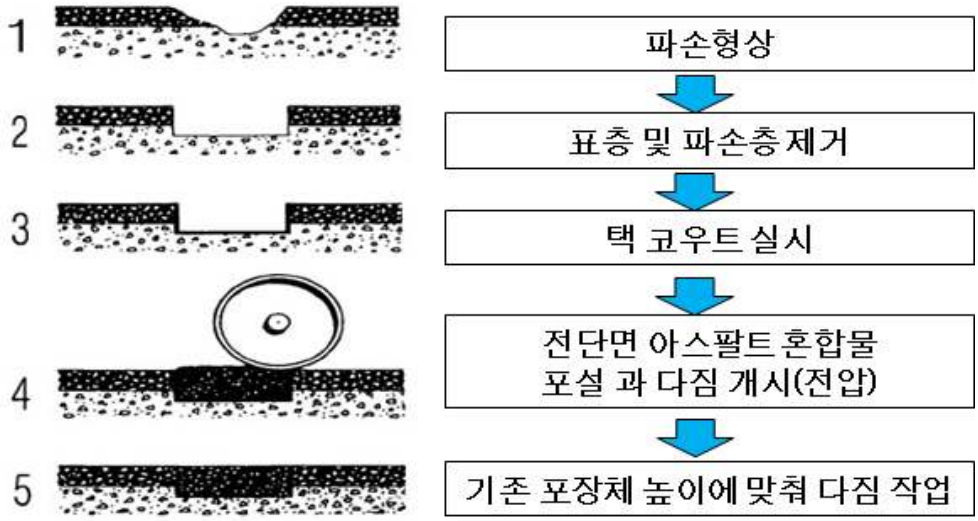
<그림 73> 원주시 시공현장(상), 시공 12 개월 경과 상태 (중), 시공 20 개월 경과 상태 (하)

7. 개발 장비를 활용한 신공법과 기존 공법 비교

가. 기존 절삭 보수방법과 적외선가열보수공법의 차이점

(1) 기존 전통적 절삭 보수공법

- 기존 절삭공법의 경우 복구시간이 길고 많은 장비와 인력이 소요되어 증가되는 포트홀에 비례하여 비용이 증가됨. 또한 폐기물 발생 증가 및 순환골재 사용시 복잡한 절차를 거쳐야만 함. 긴급보수 방법인 상온아스콘(록하드)을 이용한 응급복구시 짧은 수명과 지속적으로 파손이 발생되는 악순환을 반복하게 됨



- 기존 기술의 문제점

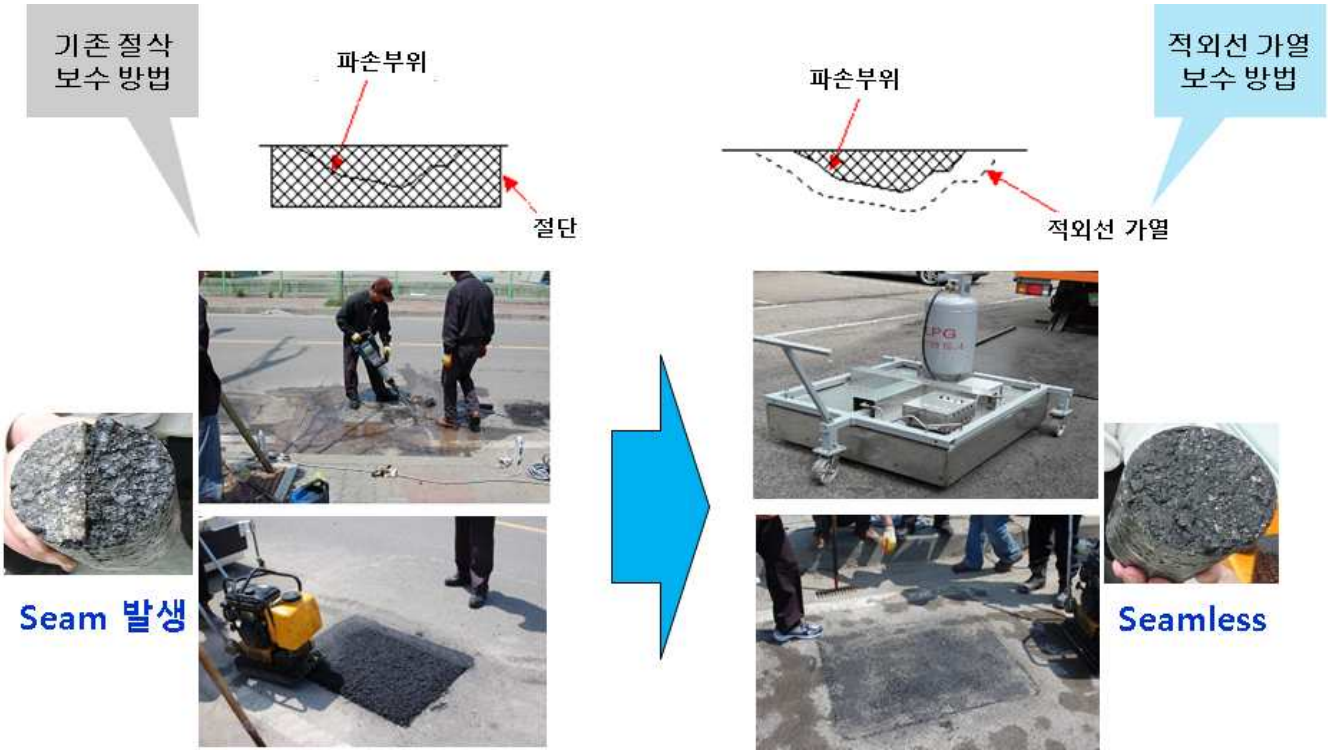
❶ 장시간 복구시간(1시간)
❷ 상온아스콘(록하드)을 이용한 응급복구의 경우 수명이 짧음
❸ 지속적 파손의 악순환 반복으로 빈번한 재시공으로 인해 이중비용이 발생함
❹ 절삭면의 Seam이 발생함
❺ 신재 운반시 장시간 이동 할 경우 온도저하로 인해 품질 저하됨
❻ 품질 저하된 신재의 폐기로 탄소배출 증가 및 자원 낭비

파손부 제거	표층 및 파손층 제거	텍 코우트 작업
신재 아스콘 포설	다짐 작업	

(2) 본 과제의 개발기술(적외선 가열 보수 공법)

- 적외선을 이용하여 파손된 도로표면을 200~300℃의 온도로 10~20분간 가열하여 기존 포장도로의 파손 부위를 녹인 후 아스팔트 유제 및 신재 아스콘을 투입하여 고른 뒤 다짐 장비로 다짐하여 신속하고 간단한 방법으로 포장도로의 훼손 부분을 초기 포장과 동등한 상태로 복구 할 수 있는 보수 장비임

- 기존의 절삭 공법과 적외선 가열 보수 공법 적용 비교



- 투입 장비 비교

기존 절삭 보수방법 장비 (6종 이상)	본 개발공법 장비 (차량 한 대)

- 경제적 효과 비교
  - 기존 절삭 공법 대비 30 % 이상 비용 절감
  - 매년 1,000개소 신규 보수 발생 및 수명 연한이 도래한 도로의 재보수 : 3년간 약 11억원의 절감 효과(기존 공법 대비 50% 절감 예상)
  - 도로 년수에 따라 적합한 보수 공법을 적용, 포장수명 연장 및 재생 첨가제를 사용하지 않아 보수의 소요비용 절감
  - 생애주기 비용으로 고려시 경제성 높음

  ※포트홀 발생 30% 저감시 도로 유지보수 감소로 연간 약 250억원 예산 절감(아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 저감 종합대책, 2013, 도로정책관실 자료 참조)

<table>
<tr><th>구분</th><th>기존절삭보수방법</th><th>적외선 가열 보수 방법</th></tr>
<tr><td rowspan="7">투자
비용</td><td>2.5톤 트럭</td><td rowspan="6">개발장비 (All in One)
(가열면적 1㎡ 기준)</td></tr>
<tr><td>휠 로더</td></tr>
<tr><td>핸드롤러</td></tr>
<tr><td>절단기</td></tr>
<tr><td>핸드브레이커</td></tr>
<tr><td>아스팔트 보온차량(8톤)</td></tr>
<tr><td>5억 이상(6종 장비 소요)</td><td>4.5억원(1종 장비 소요)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보수
비용</td><td colspan="2">1m x 1m 균열 / 도로보수 1회당 기준</td></tr>
<tr><td>인원 6명 / 1시간 소요</td><td>인원 3명 / 30분 소요</td></tr>
<tr><td>211,200원(S시 기준)</td><td>150,000원
(기존대비 30% 절감)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">절감
효과
(3년간)</td><td colspan="2">매년 1,000개소 신규보수 발생
+ 수명 연한이 도래하여 재보수 발생
(매 3년 전면 재포장 전제로 3년간 보수비용 산출)</td></tr>
<tr><td>11,000㎡ 보수</td><td>8,000㎡보수</td></tr>
<tr><td>약 23억원</td><td>약 12억원</td></tr>
</table>

(3) 본 공법의 특 장점

❶ 탄소 배출량 85% 이상 절감
❷ 폐아스콘 재활용으로 폐기물 발생 최소화
❸ 이음매 없는 시공 공법으로 보수된 아스팔트의 장수명 고신뢰성 확보
❹ 인력 절감 등으로 기존대비 공사비 30% 절감
❺ 총 보수비용 절감으로 전체적인 도로의 유지보수 비용 감소
❻ 신속한 보수로 교통 혼잡 최소화

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 1차년도

(1) 주관연구기관 : 한국산업기술시험원

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2014. 7.18 ~ 2015. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	국내외 기술현황 조사	1. 국내외 보수관련 기술조사 2. 국내외 장비개발 관련 동향 조사 - 국외 연구 보고서 조사,분석 - 국외 관련 전시회 참관	달성
		적용시공법 적합성 관련 자료 조사		
		시험 기본계획 수립	1. 개발장비 성능평가 기본계획 수립 - 국내 외 관련규격 조사 - 요구되는 성능 분석 - 성능시험 기본계획 수립	달성

(2) 공동연구기관 : ㈜화인코왁

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2014. 7.18 ~ 2015. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	적외선 히터 요소 기술 조사	1. 원적외선 특성 2. 연소 기술 3. 히터 구성 재료 및 소요 부품	달성
		국내외 제품 조사	1. 국내외 히터 제조 업체 벤치 마킹 - KM International(미), ARS(미), HDE(캐), E-Sun(중) 2. 국내외 보온 박스 제조 업체 벤치 마킹 - KM International(미), Falcon(미), HDE(캐)	달성
		적외선 방사량 산출	1. 혼아스팔트 가열 단위 면적당 최적 열량 및 방사량 산출 2. 이론적 최적 열량 산출 3. 적정 방사율을 갖는 최적 발열체 선정	달성
		개념설계	1. 히터 설계 2. 보온박스 설계 3. 차량 일체형 보수장비 설계	달성
		Pilot 장비제작	1. 히터 제작 2. 보온박스 제작 3. 차량 일체형 보수장비 제작	달성

(3) 공동연구기관 : 강원대학교

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2014. 7.18 ~ 2015. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	열량 및 적외선 방사량에 따른 아스팔트 콘크리트 특성평가	1. 혼합물 특성평가 2. 추출회수 바인더 특성평가 3. 노화특성 평가 4. 학술논문 게재	달성

나. 2차년도

(1) 주관연구기관 : 한국산업기술시험원

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2015. 7.18 ~ 2016. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	히터 및 보온박스 성능평가	1. 히터 현장 적용시험 수행 - 결과 분석을 통한 최적 계절별 최적 가열시간 도출 2. 개발제품 핵심부품 분석 - 핵심부품 내환경시험 수행 - 요구되는 시험평가 항목 및 규격 설정	달성
		혼합물 테스트 및 시공시료 검사	1.히터 현장시험 결과분석 - 시공 후 시료 분석 - 분석 결과를 통한 최적 가열시간 도출 (강원대학교와 공동수행)	달성
		현장 검증 시험절차 수립	1.검증 시험 절차 수립 - 절차 수립 및 개정	달성

(2) 공동연구기관 : ㈜화인코왁

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2015. 7.18 ~ 2016. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	Pilot 개선장비 시제품 제작	1. 히터제작 2. 보온박스 제작 3. 차량설치	달성
		계절별 시험계획 수립	1. 우기, 동절기 시험	달성
		적외선 투과 깊이 시험	1. 적외선 투과 시험	달성

(3) 공동연구기관 : 강원대학교

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2015. 7.18 ~ 2016. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	포장 파손부 아스팔트 콘크리트 특성평가	1. 혼합물 특성평가 2. 추출회수 특성평가 3. 노화 특성평가 4. 표준배합차트 개발	달성

다. 3차년도

(1) 주관연구기관 : 한국산업기술시험원

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2016. 7.18 ~ 2017. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	현장운용 시험	1. 테스트베드 적용시험 수행 - 강원대학교 내 적용시험 - 접합면 코어 강도분석 수행 (전 참여기관 공동수행) 2. 폐도 적용시험 수행 - 선진사 장비와 비교성능 시험 - 가열성능 분석 수행	달성
			1. 각 장비별 핵심부품에 대한 성능시험 등에 대한 공인시험 성적서 발급 2. 현장 적용시험에 대한 공인시험 성적서 발급	달성

(2) 공동연구기관 : ㈜화인코왁

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2016. 7.18 ~ 2017. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	개발 시제품 보완	1. 개발품 보완 2. 부수장비 보완 3. 장비성능 시험평가 보완	달성

(3) 공동연구기관 : 강원대학교

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2016. 7.18 ~ 2017. 7.17)	아스팔트 포장도로 포트홀 복구용 적외선 방출 하향식 가스히터 장비 및 공법 개발	적외선 가역장치를 이용한 도로 보수용 아스팔트 혼합물 평가	1. 변형강도 평가 2. 간접인장강도 평가 3. 동적안정도 평가 4. 인장강도비 평가 * 공인 시험성적서 발급	달성
		보수공법 운용지침서 개발	1. 보수공법 운용지침서 개발 : 시공대상 포트홀의 조건에 따른 시공방법 기술	달성

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적 측면

- 포트홀을 적외선 가열하여 복구하는 보수방법은 기존의 방법에 비해 자동차 1대에 복구에 필요한 모든 장비를 구성할 수 있는 장점이 있으므로 신속하게 복구 가능
- 또한 도로의 사용년수 및 포트홀의 사이즈에 따른 첨가제 및 신제 투입비율을 최적화하여 적용할 수 있는 공법을 개발 및 제안함으로써 향후 적외선 패칭 공법을 통해 보수되는 도로의 보수품질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대
- 국토해양부 산하 국도유지관리사무소(17개소), 한국도로공사의 지방지사(60개소) 등 도로관리기관 및 각 지방자치단체의 포장도로 보수 작업반, 포장도로 유지 보수사업 업체에 보급하여 신기술에 의한 보수 방법을 유도
- 현재 개발된 제품에 대한 NEP 및 성능인증을 추진하고 있고, 개발된 공법 및 표준 작업 시방은 국토교통부 소파 보수 관련 지침에 신규로 채택 될 수 있도록 추진 중에 있음
- 해외 제조사에 의해서만 제조되는 장비의 국산화를 개발을 통한 기술력 확보
- 신기술을 활용한 파손 보구 매뉴얼 교육 자료로 활용 가능

나. 경제적 · 산업적 측면

- 기존의 보수공법에 비해 인적, 물적 소요가 적으므로 경제적으로 포트홀 복구 가능
- 본 연구개발 과제를 통해 개발되기 이전의 적외선 패칭 공법 적용에 필요한 장비인 적외선 히터, 보온박스 등의 대부분의 경우 외산 장비임
- 개발된 장비 및 공법을 국내에 보급함으로써 관련 매출 증대에 기여할 수 있을 것으로 기대
- 또한 완성된 기술을 저개발 국가 및 포트홀 발생이 빈번한 동남아 중국 등의 국가로 보급함으로써 장비 수출 요구가 발생할 것으로 기대

다. 사회적 측면

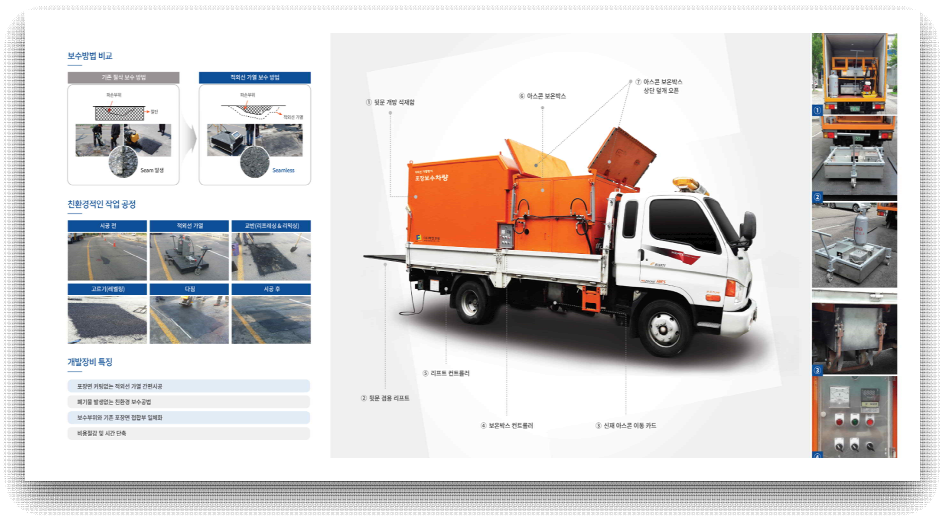
- 발생된 포트홀의 신속한 복구를 통해 이로 인해 발생하는 사고를 미연에 방지하므로 사회적 비용 절감을 달성할 수 있음
- 또한 복구된 도로는 초기 포장상태와 동등 또는 이상의 물성회복이 가능하므로 아스팔트 포장도로의 수명연장이 달성 가능하므로 불필요한 비용 절감 가능
- 아스팔트 사용 회전율 제고를 통한 에너지 사용량 절감으로 정부의 환경정책 및 에너지 정책에 또한 부합될 것으로 기대

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구결과의 활용계획

본 연구의 목적은 적외선 보수공법 패칭공법 적용을 위한 장비 및 공법 개발로 최종성과물은 장비인 가스 하향식 적외선히터 및 보온박스를 포함하는 차량 일체형 장비와 아스팔트 표준배합차트를 포함하는 시공 표준시방서이다. 개발된 포트홀 장비의 경우 성능시험, 내환경시험을 통해 성능과 내구성이 검증되었고, 지속적인 시범시공 실제 시공에 투입되어 현장 검증이 이루어졌다. 또한 개발된 표준 시공 시방서를 적용하여 시공함으로써 보수품질 향상의 실험적 검증이 입증되었으므로 향후 도로관리청, 도로공사, 지방자치단체의 도로포장 보수 작업반에게 보급하는데 유리할 것으로 기대된다. 또한 이로한 보급을 통하여 장비와 공법의 검증이 지속적으로 이루어질 경우 여러 유관 단체 및 기업으로 영업망을 더욱 활대할 수 있을 것이다.

현재 브로셔 제작, 배포와 같은 영업활동이 이루어지고 있으므로 머지않아 매출실적을 이루어 낼 수 있을 것으로 기대된다. 국내에서의 보급이 어느정도 이루어지면서 성능, 사용자 편의사양 등의 개선이 이루어진다면 해외시장 진출이 가능할 것으로 기대된다. 특히 포트홀 발생이 빈번한 동남아, 중국 시장을 우선적으로 개척하여 수출이 이루어지면서 아시아 시장의 점유율이 확대 된다면 또다른 큰 시장으로 평가되는 북중미 시장 개척 또한 가능할 것으로 기대된다.



<그림 74> 제품홍보 브로셔

2. 연구 성과의 양산 및 실용화를 위한 사업화 전략

가. 생산계획

구분		(2018 년) 개발 종료 후 1년	(2019 년) 개발 종료 후 2년	(2020 년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	1	3	5
	판매량(단위:대)	5	10	15
	판매 단가(원)	450,000,000	450,000,000	450,000,000
	국내 매출액(백만원)	2,250	4,500	6,750
해외	시장점유율(%)	-		
	판매량(단위:대)	-	3	5
	판매 단가(달러)	-	$400,000	$400,000
	해외 매출액(백만달러)	-	$1,200,000	$2,000,000
당사 생산 능력		5	13	20

나. 사업화 전략

구분	구체적인 내용
형태/규모	o 상용화 형태 : NEP, NET등록후, 조달품목지정, 차량일체형 복구장비 o 수요처 : 지자체, 도로공사 o 예상 단가 : 시스템 전체 4.5억
상용화 능력 및 자원 보유	o 기존인력 활용 및 신규인력 투입
상용화 계획 및 일정	o 2018년을 시작으로 단계적 진행

다. 사업화 모형

매년 끊이지 않고 발생하는 포트홀로 인해 사회적으로 발생하는 피해는 계속 증가하고 있는 것이 현실이나 전통적 포장보수 방법으로는 한계가 있다. 본 개발 장비의 장점은 파손된 포트홀의 원형복원 뿐만 아니라 파손 발생이 예견되는 거북등 균열 등의 부위에 미리 시공하여 파손부위가 확대 되는 것을 사전에 방지하는 표준보수 공법과 비용 절약이 가능 하도록 효율적인 장비를 제작하는 것이 연구개발의 중요사항이다.

또한 도로관리기관들은 제한된 예산범위내에서 시민의 편의와 안전확보를 위하여 파손 상태가 가장 심각한 도로를 먼저 보수하던 사후보수중심에서 기존의 도로망을 보존하고 유지하는 예방적 원상복구 보수방안으로의 인식전환이 필요한 시점이다.

라. 수익확보 전략

1) 주요 고객군

서울시설관리공단에서 사용되었던 경험을 활용하여 본 과제를 통해 충분한 시험 방법 및 보수공법이 완성된다면 국토해양부 산하 국도유지관리사무소(17개소), 한국도로공사의 지방지사(60개소) 등 도로관리기관 및 각 지방자치단체의 포장도로 보수 작업반, 포장도로 유지 보수사업 업체에 보급하여 신기술에 의한 보수 방법을 유도하면 충분히 가치를 인정받을 수 있다. 또한 국내에서 완성된 기술을 저개발 국가 및 포트홀 발생이 빈번한 동남아시아 국가와 중국 등에 수출이 가능하다.

2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

본 연구개발로 만들어진 장비의 최고의 장점은 포트홀 발생부분을 적외선 가열수단을 이용하여 재 가열 후 신재를 투입하여 다짐을 하므로 포트홀 발생시 기존의 방법에 비해 폐기물 발생을 최소화한다는 것이다. 또한 신속하고 안전하게 도로를 복구 하므로 최소의 인원과 공사비용의 절감이 가능하며 포트홀 발생으로 인한 민원발생도 줄일 수 있다.

사회적으로 매년 이슈가 되는 포트홀의 예방정비 및 복구를 통하여 차량파손 및 제2의 사고원인을 초기에 예방하는 것이 필요하나 이러한 장비를 일반 중소기업의 자본을 투입하여 개발한다는 것은 어려운 게 현실이므로 창의도전 연구를 통해 본 연구가 꼭 진행되어야 할 필요가 있다.

재난을 사전에 예방하는 것이 안전한 사회를 위해 필요하므로 본 개발기술 장비를 소파보수에 이용할 경우 예방 보수를 통해 여름철과 겨울철에 집중으로 발생하는 소파 훼손의 감소와 예산 비용절감을 획기적으로 가능하게 할 것이며, 국민복지와 안전 측면에서도 본 과제를 성공으로 수행하여 포트홀 보수장비를 각 지방에 보급 하도록 하여 매년 포트홀로 인하여 발생하는 물적 인적 손해를 줄여야 할 것이다.

개발된 포트홀 장비의 성능시험, 내 환경시험을 통해 성능 및 내구성을 검증하였고 각 지자체등에 시범시공을 계속하여 진행하고 있으며, 양산을 위한 진행사항으로 내부에서는 최종 e-Bom을 비롯한 품질관련 서류구비와 기술개발제품 우선 구매제도를 활용하려 중소벤처기업부에 성능인증신청서와 규격설명서를 작성하여 제출한 상태이다.

향후 도로관리청, 도로공사, 지방자치단체의 포장도로 관리사업소 등 유관 단체 및 기업으로 영업망을 확대와 국토교통과학기술진흥원에서 실시하는 해외기술로드쇼에 참가하여 동남아시아 등에 파트너쉽을 모집하여 보급할 계획에 있다.

3. 기대성과 및 파급효과

본 연구개발을 통해서 개발된 장비와 공법으로 기대할 수 있는 성과는 신속하고 경제적인 소파보수 복구이다. 아래의 표를 통해 알 수 있듯이 기존 절삭공법 대비 30 % 이상 비용 절감이 가능할 뿐만 아니라 인원과 시간 또한 50 % 이상 절감 가능하다. 이를 매년 1,000개소 신규보수 발생 및 수명 연한이 도래한 도로의 재보수 건과 합산하게 될 경우 3년간 약 11억원의 절감 효과가 있을 것으로 기대된다. 이러한 비용 절감은 각 도로를 관리하는 주체(특히 지방도를 관리하는 지자체)의 포트홀 보수로 소요되는 예산을 절감할 수 있으므로 예산문제로 발생된 포트홀에 대한 대응이 보다 적극적으로 이루어질 수 있을 것이고, 이는 나아가 포트홀로 인해 발생되는 사고예방의 효과를 얻을 수 있다. 따라서 현재 불필요하게 발생되고 있는 포트홀로 인한 사고배상과 같은 불필요한 사회적 비용 또한 일부 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

<표 31> 절삭공법과 적외선가열보수방법의 비교

구분	기존절삭보수방법	적외선가열보수방법
투자비용	2.5톤 트럭	개발장비 (All in One) (가열면적 1㎡ 기준)
	휠 로더	
	핸드롤러	
	절단기	
	핸드브레이커	
	아스팔트 보온차량(8톤)	
	5억 이상(6종 장비 소요)	4.5억원(1종 장비 소요)
보수비용	1m x 1m 균열 / 도로보수 1회당 기준 (일위대가 기준)	
	인원 6명 / 1시간 소요	인원 3명 / 30분 소요
	211,200원(S시 기준)	150,000원 (기존대비 30% 61,200원 비용절감)
절감효과 (3년간)	매년 1,000개소 신규보수 발생 + 수명 연한 도래한 재 보수 발생 (매 3년 전면 재포장 전제로 3년간 보수비용 산출)	
	11,000㎡ 보수	8,000㎡보수
	약 23억원	약 12억원

<그림 75> 본 연구과제의 결과에 대한 기대효과

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 해외 보수공법 기술동향

가. 예방적 유지보수 공법

예방적 유지보수 실제적으로 구조적 능력을 증가시키지 않으면서 도로에서 발생될 파손을 지연시키는 데에 그 목적이 있다. 즉 포장이 파손되지는 않았으나 표면의 마모 및 우수침투로 인한 균열 발생이 예상되거나 약간의 균열이 발생된 상태에서 이것이 더 큰 파손으로 발전되지 않도록 시행하는 유지보수로 균열처리 공법과 표면처리공법으로 구분할 수 있다.

(1) 균열처리공법

균열처리공법으로는 균열실링(sealing), 균열충진(filling), 균열전면처리(full-depth crack repair) 공법이 있고, 일반적으로 폭이 2cm 보다 적은 경우에 적용되며 포장체 균열을 원하는 보수형태로 잘라내고 균열 틈을 깨끗이 청소한 후 특수한 재료로 채우는 보수 공법이다. 수분저항성, 열 팽창성 등 충진재의 환경에 변화에 관계없이 일정한 밀봉 성능이 매우 중요하므로 폴리머와 같은 고분자 화합물을 적용한 충진재에 대한 연구 등이 활발하게 진행되고 있다.

<표 32> 충진재료 및 특징

재료	특징
Low-modulus rubberize asphalt	Rout-and-seal, Saw-and-seal 공법에 적합 : 충진량 증가를 위해 크랙 확장 후 충진
Rubberized asphalt	Blow-and-go(Clean-and-seal) 공법에 적합 : 크랙 청소 후 바로 충진
Crumb rubber	Clean-and-seal 공법에 적합 : 봄, 가을에 적합한 공법으로 겨울에 크렉이 재 발생 되더라도 기온이 따뜻해지면 다시 복구되는 것이 특징
Asphalt emulsion	크렉 충진용 아스팔트로 시공이 쉬운 장점이 있으나, 수분 함량이 많아 건조되는 동안 수축하게 되는 문제가 있음
Asphalt cement	air-blown 아스팔트 충진재로 겨울철에 잘 부서지는 특징이 있으나, 기온이 따뜻해지면 다시 복구되는 특징이 있음
Cutback asphalt	에멀젼 형태의 충진재로 손쉽게 즉시 사용할 수 있는 것이 특징으로 겨울철 시공에 적합하다.

<그림 76> 균열처리공법

(2) 표면처리공법

표면처리공법은 아스팔트 포장이 표면에 부분적인 균열, 변형, 마모 및 붕괴와 같은 파손이 발생하는 경우에 기존 포장에 2.5cm이상의 얇은 층으로 실링층을 시공하는 공법으로 우기 또는 한냉기 전에 표면처리공법을 공유중인 포장면에 적용하면 양호한 상태로 포장을 유지할 수 있으므로 예방적인 조치로서 매우 효과적이다. 기존포장에 표면처리를 실시한 경우 요철이 발생하는 것을 예방할 수 있으며, 발생한 균열 등의 보수를 통하여 일정 수준 이상의 평탄성을 확보할 수 있음

① Fog seal 공법

골재를 포함되지 않은 희석된 아스팔트 에멀젼을 도로에 포장하는 공법으로 발생된 작은 크렉을 밀봉하거나 도로의 소파를 방지하는 데에 효과가 있음 시공비용은 사용되는 재료에 따라 1제곱야드 당 0.1~0.2달러 정도로 매우 저렴한 편이다. 포장면의 마찰력이 저감되는 문제가 발생되나 모래를 뿌려줌으로 이러한 문제를 일부 극복할 수 있다. 하지만 교통량이 많은 도로에 적용하는 것에는 적합하지 않고, 수명이 1~2년 밖에 되지 않는다는 것이 단점이다.

<그림 77> Fog Seal 공법

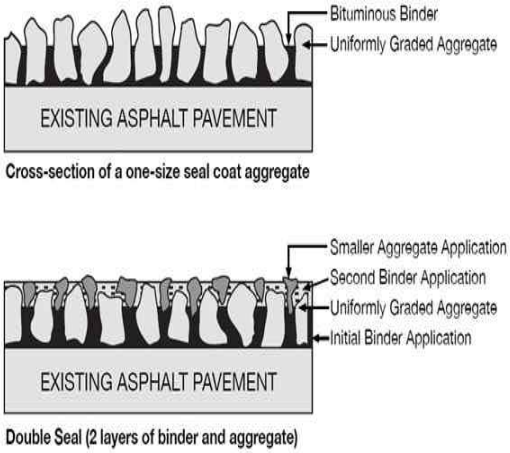
② Seal coat 공법

Rapid-setting 아스팔트 에멀젼을 도로에 뿌린 후 바로 골재를 뿌려 도로를 포장하는 공법으로 방수와 표면에 발생된 미세 크렉을 보수할 수 있는 공법이다. 아스팔트 도로는 공기와 물 그리고 햇빛에 노출됨으로 인해 노화가 발생되는데 Seal coat 공법의 경우 도로의 방수성능을 증가시킴으로 수분으로 인한 노화를 방지한다. 그리고 적용되는 골재의 양과 종류를 변경을 통하여 도로의 마찰력 또한 조절할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

<그림 78> Seal Coat 공법

③ Double chip seal

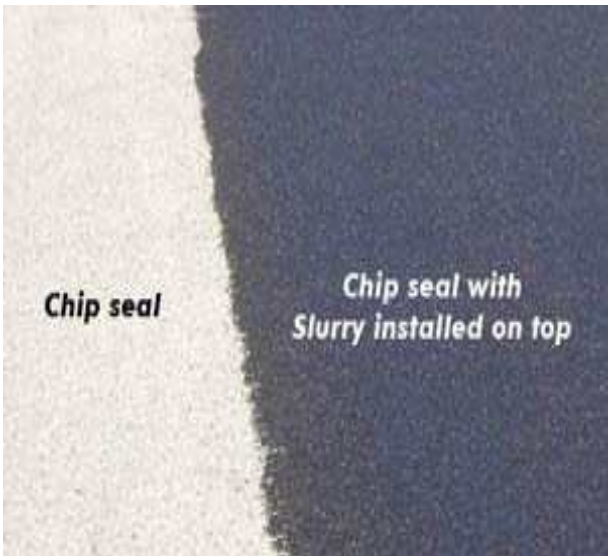
두 가지의 코트(Coat)를 포함하는 공법으로 주번째 코트는 첫 번째 코트를 시 한 즉시 두 번째 코트가 시공된다. 첫 번째 코트는 전체의 약 60%의 아스팔트 혼합물과 큰 골재로 구성되고, 두 번째 코트는 나머지 40%의 아스팔트 혼합물과 첫 번째 코트 시공에 사용된 골재보다 절반 정도 크기의 골재가 사용된다. 주로 중형 크기의 균열이 발생된 곳에 적용되고 도로 표면의 마찰력을 증가시킬 수 있고, 첫 번째 코트가 박리되어도 두 번째 코트가 남아 있으므로 균열실링, 포그 실 등의 공법보다 포장 품질이 우수한 것이 특징이다.



<그림 79> Seal Coat 공법

④ Slurry seal

슬러리실은 고른 골재와 아스팔트, 물 그리고 미네랄 필러의 혼합물로 미네랄 필러는 주로 포틀랜드 시멘트가 사용된다. 슬러리 실은 남아있는 아스팔트 노면을 사용하게 되고, 작은 균열 발생부나 표면 마찰력 향상에 적용된다. 이를 적용하기 위해서는 아스팔트 표면의 가열이 필요하다.



<그림 80> Slurry Seal 공법

⑤ Micro Surfacing

폴리머 슬러리 실의 일종으로 슬러리 실과 칩 실과의 다른 점은 시공 이후의 양생을 열을 이용하는 것이 아닌 화학적 반응을 이용한다는 점이다. 1970년대에 유럽에서 바퀴자국을 정비하는 데에 이용하기 위해 개발되었고, 1980년에 미국에 처음으로 소개된 이후 많은 주에서 도로 표면 및 바퀴자국을 정비하는데 사용되고 있다. 보존적인 방법으로 도로의 수명을 증가시키는 데에 효과적인 공법이다.

<그림 81> Micro Surfacing

⑥ Thin Hot-Mix Overlays

아스팔트와 골제를 혼합하여 표면에 포장하는 공법으로 입도에 따라 크게 세가지 타입이 아스팔트 도로의 기능향상을 위해 적용되고 있다. 포장 두께는 dir 3/4~1-2/1 인치 수준으로 혼합물에 폴리머를 추가할 시 도로의 수명과 성능을 비약적으로 향상시킬 수 있다. 큰 규모의 도록에 적합한 공법으로 저소음 특성이 필요한 도로에 적용되고, 어떤 기후에서도 시공이 가능하다는 특징을 가지고 있다.

<그림 82> Thin Hot-Mix Overlays

나. 포트홀 패칭 공법

포트홀의 패칭 및 보수와 관련하여 많은 연구들이 보고되고 있다. 재료의 타입, 시공 기술, 장비, 시공 환경 및 기후 조건에 따른 연구들이 다수 수행되고 있고, 각각의 공법 중 도로의 수명과 소요 비용측면에서 가장 효과적인 방법을 찾기 위해 평가 또한 활발히 이루어지고 있다. 패칭은 도로 균열, 포트홀, 도로 침하, 시설물 매설을 위한 도로 절개 등으로 인해 발생되는 도로의 손상을 보수하는 방법으로 매우 효과적이다.

① Throw-and-roll

가장 일반적인 포트홀의 긴급 보수방법으로 물이나 이탈된 골재 및 잔해물에 구애 받지 않고, 보수재를 파손부위에 매운 후 트럭으로 다짐한다.

<그림 83> Throw and role 공법

② Spray Injection

포트홀에 잔류하고 있는 수분과 잔 조각들을 고압의 공기고 불어 제거한 후 포트홀의 바닥면과 측면에 바인더를 분사하여 택코팅을 한다. 이후 아스팔트 바인더와 골재를 포트홀에 투입한 후 골재층으로 덧씌우기 면을 덮는 공법으로 그림과 같이 전용장비 및 인력을 필요로 하는 공법이다.

<그림 84> Spray Injection 공법

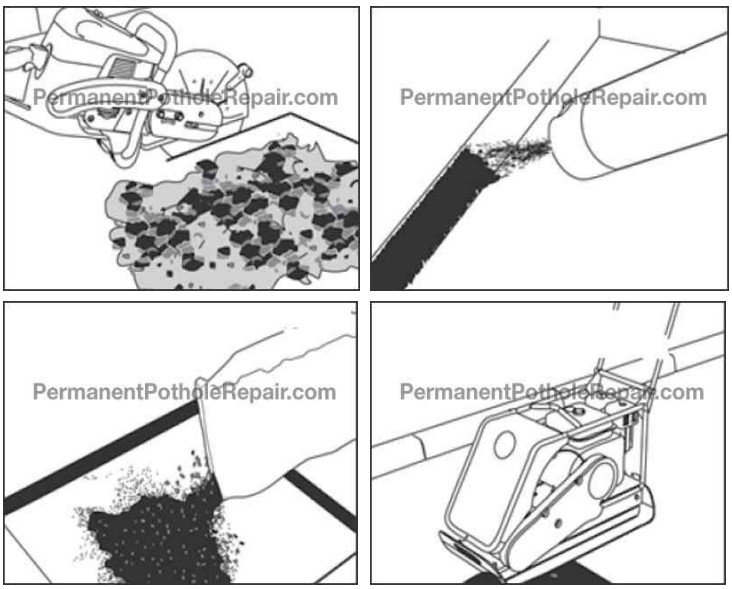
③ Semi-permanent

보수 부위를 깨끗이 정리한 후 포장의 안정된 수직면이 나올 때까지 절단한 후 보수재를 포설한 뒤 다짐기를 이용하여 다지는 공법이다. 보수부위의 절단 및 절단된 도로면의 제거가 인력을 통해 이루어지므로 시간과 비용이 많이 소요되나 보수 품질 측면 에서는 우수하다.

<그림 85> Semi-Permanent 공법

④ Edge seal

Edge Seal 공법은 수분 또는 잔골재(포장 파손에서 발생된 조각들)가 포트홀이 발생한 포트홀에 재료를 포설하며, 이후 트럭 타이어를 이용해 덧씌우기 면을 다지고 다진 덧씌우기 높이가 3mm~6mm 이내인지 확인한 후 다음 포트홀 발생위치로 이동한다. Edge Seal 공법은 보수영역을 2회에 걸쳐 작업인원이 물을 제거하고 택코팅을 적용하기 전에 수분을 건조 시켜야 한다. 비록 Edge Seal 공법은 다른 공법에 비하여 생산성은 낮지만 택코팅 재료를 적용함으로써 보수구간의 단부를 통해 수분이 유입되는 것을 방지하고 주변 포장에 고착 시켜 덧씌우기에 대한 지지력을 개선시켜 준다.



<그림 86> Edge Seal 공법

2. 해외 관련 시장동향

가. 보수재료

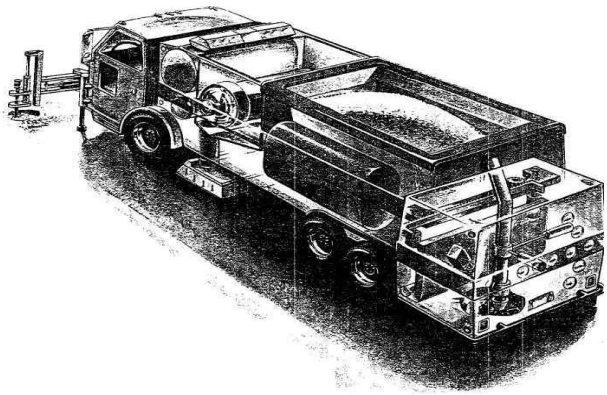
해외에서 사용되고 있는 아스팔트 포장의 응급보수 재료는 국내기술과 큰 차이가 없다. 아스팔트 포장의 보수용으로 사용되고 있는 보수재는 상온 아스팔트(Cold Mixed Asphalt)와 가열 아스팔트(Hot Mixed Asphalt) 혼합물로 나눌 수 있으며, 국내와 마찬가지로 상온 아스팔트 혼합물은 주로 응급보수용으로 사용되고 있으며 신속한 보수를 위해 포대 단위로 판매되고 있다. 이들 중 미국 각 주별 DOT(Department of Transportation)에서 가장 범용으로 사용하고 있는 제품이 EZ Street사에서 생산되어 판매되고 있는 'EZ Street'이라는 제품이다. 폴리머 개질 아스팔트를 이용하여 상온에서 사용할 수 있도록 생산된 제품으로 주문자의 요청에 따라 25kg용 포대 또는 1ton의 Bulk Bag으로도 판매가 되고 있다. 국내에서 사용되고 있는 한국석유공업의 '바로바로'라는 제품과 마찬가지로 전압형 타입이며, 수분이 존재하여도 파손부에 채워서 다짐하는 방법으로 시공되는 점 또한 유사하다.

해외에서 사용되고 있는 또 다른 제품 중에는 사용자가 현장에서 필요한 만큼 골재와 섞어서 사용할 수 있도록 하는 개질 유화 아스팔트 제품이 있다. LAFARGE사에서 생산되어 판매되고 있는 'QPR'이라는 제품으로 Modified Bituminous Liquid Blend 타입이다.

<그림 87> 해외 시판중인 아스팔트 보수재료

나. 보수장비

아래의 그림은 미국 연방도로청(FHWA) 주관으로 수행한 SHRP (StrategicHighway Research Program)-H-674에서 제안된 장비이다. 장비의 구성은 포트홀 발생 구간의 잔재물 제거를 위한 컷팅(Pavement Cutting Module) 및 진공 등을 이용한 청소(Vacuum System Module), 가열 아스팔트 혼합물의 보관 및 포트홀 보수 구간의 수분 증발을 위한 가열 시스템(Heating System Module), 가열 아스팔트 혼합물 채움(Filling System Module) 등으로 이루어지며, 다짐 및 시공 마무리는 인력으로 수행하게 된다.



<그림 88> SHRP-H-674에서 제시한 포트홀 보수장비 개요도

해외 시공장비 업체에서 자주식의 차량 탑재형과 견인식 장비 등의 다양한 장비 조합이 제작되고 있다. 자주식의 차량 탑재형은 아스팔트 혼합물을 적재할 수 있는 호퍼의 용량(5~15 ton)이 일반 견인식 장비(1~4 ton)에 비해 월등히 높다. 그리고 자주식 장비에는 상온 아스팔트 보수재를 시공하기 전에 접착제 용도로 살포하는 유화 아스팔트 살포장치가 대부분 장착되어 있으나 견인식 장비는 별도의 장치가 필요하다. 견인식 장비는 구체적으로 살펴보면 보수장비 보다는 아스팔트 보온장치가 더 적절한 표현이다. 가열 아스팔트 혼합물을 소량 수급하여 현장으로 이동 및 시공하기 위해 온도를 유지시켜주는 역할만을 주로 하며, 파손부 제거 및 청소, 배출 등은 모두 인력으로 진행된다.

<그림 89> 해외 자주식, 견인식 보수 장비

Pyton 5000은 차량에 설치된 로봇팔을 이용해 도로면에 발생한 포트홀을 빠르게 원상복구할 수 있는 차량으로 최대 5톤의 아스팔트를 탑재할 수 있고 4가지의 다양한 아스팔트를 목적에 맞게 사용할 수 있다. 또한 기상 조건과 상관없이 항공기식 조정간을 통해 탑승자는 안전한 차량 내에서 로봇팔을 조정할 수 있고, 로봇팔에는 포트홀 내의 이물질이나 결합력이 약해진 부분을 크리닝할 수 있는 초강력 에어건과 가스팔트 유제 분사 노즐, 아스콘 토출구, 롤러 등이 탑재되어 있다. 이외에도 다양한 첨단 센서를 이용해 차량의 모든 운전 환경을 모니터링이 가능하다. 현재 국내에 도입되어 운용 중에 있는 것으로 보고되고 있다.

<그림 90> Pyton 5000

SR 800/1501 은 Spray-injection 공법을 적용하기 위한 장비로 공기와 유제 및 골재를 분사할 수 있는 장비가 장착되어 있다. 차량의 크기나 새시를 변경시켜서 제작 가능하고 동시에 최대 1,700 L의 유제와 6m^3 이상의 골재를 운반할 수 있는 탱크 및 적재함을 가지고 있다. 이와 비슷하게 Spray-injection 공법 적용을 위한 장비로는 BERGKAMP 사의 SP 시리즈와 Total Patcher 사의 T-7500 등이 있다.

<그림 91> SR 800/1501

아래의 그림은 적외선 가열공법을 적용을 위한 장비로 HEATWURX 사의 'HWX-30' 과 ASPHALT PROCESSOR 이다. 가열을 위한 히터와 가열면 평탄화 및 다짐을 위한 장비로 구성된다. 각각의 장비는 독립적으로 적용되며 아래의 그림과 같이 소형 건설기계에 부착되어 사용된다. 주목할 점은 미국의 여러 주와 계약을 체결하고 있고, 2011년도에는 AASHTO TIG (Technology Implementation Group)에 Nomination 되면서 기술력과 유용성을 입증받고 있다.

<그림 92> HEATWURX 사 장비

제7장. 연구개발성과의 보안등급

일반과제이므로 해당사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

1. 기술적 위험요소 분석 및 대응방안

기술적 위험요소	위험 등급 (上中下)	내용	대응책
특허 및 지적재산권	上	- 해외 선진 벤더들의 특허 공세 및 지적재산권 행사를 통한 시장진출 문제	- 선진 특허 상세조사 - 기술적 회피방안 마련 - 새로운 특허기술 확보
시스템 운용 중 장애 발생	中	- 운용 중 장애 발생	- 충분한 Test Bed 시험 진행 - Check List 활용을 통한 시험 이력관리 - 현재 운용중인 시스템에 대한 철저한 분석이 필요함
시스템 운용 중 사고 발생	上	- 이용객의 부주의 또는 제품의 결함에 의한 사고 발생 - 기계장치 파손 및 작동에 의한 사고 발생 - 파손 또는 사고의 원인은 다양하게 발생할 수 있음	- FMEA를 통한 고장예상 및 대응책 설계반영 - PL (제조물책임)에 대한 처리 보상안 마련 (PL 보험등) - 충분한 위험을 알리는 경고 문구 부착 및 알람기능 적용 (사전고지 의무 이행)

* FMEA (Failure Mode Effects Analysis), PL(Prodct Liability)

2. 안전관리대책

가. 각 공동연구기관의 연구실별 안전관리담당자의 지정 및 그 책임과 권한의 부여
나. 주간단위 안전점검표 작성
다. 기계 및 전자장치 개발 연구실의 주기적 안전교육 실시
라. 연구실 안전표식 설치 또는 부착
마. 연구실사고 발생시 긴급대처방안과 행동요령
바. 안전장비 및 비상구는 항상 사용가능한 상태로 유지 및 관리

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	기타	도로복구작업용 이동식 적외선가열기등 19건	㈜화인코왁	상표권자	대한민국	-	2015.06.15	-	-
2	특허	파손 아스팔트 복구의 시공성 향상을 위한 가열장치의 상차구조	㈜화인코왁	특허권자	대한민국	-	2017.03.27.	-	-
3	논문	아스팔트 포장도로에서 포트홀 발생부분 혼합물의 물리적 특성	강원대학교	교신저자	대한민국	-	2014	중복	-
4	논문	GPC를 이용한 아스팔트 혼합물의 단기노화 조건에 따른 노화도 분석	강원대학교	교신저자	대한민국	-	2016.06.01	중복	
5	논문	Evaluation of Age Retardation Effect of Antioxidants in Dense-Graded Asphalt (DGA) Mixture Using Large Molecular Size	강원대학교	교신저자	미국	-	2017.05.08	중복	SCI(E)

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

1. 손종철, (2013), “ 포트홀 저감을 위한 도로포장의 품질관리 강화 대책,” 한국도로학회 기술기사, 15(4)

2. 최준성, 전정훈, 노성환, (2014), “포트홀 저감 개선방법에 대한 국내기준에 대한 고찰” 한국도로학회 기술기사, 16(64)

3. 조명환, 윤승우, 이윤환, (2013), “아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 유지보수 방안,” 한국도로학회 기술기사, 15(2)

4. 한국건설기술연구원, (2013), “이상기후를 대비한 도로포장의 시공품질관리 기준 개선 및 유지보수 지침 등 개발”

5. ㈜토탈페이브시스템, 한국석유공업(주), 동우인더스(주), (2014), “아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 개발”

6. Ann Johnson, P.E., Proffessional Engineerinf Services, Ltd. (2000), “Asphalt pavement maintenance”

7. Phil Paige-Green, Amrita Maharaj, Julius Komba, (2010), “POTHOLE:A technical guide to their causes, identification and rapair”

8. Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation, (1999), “ Materials and procedures for repair of potholes in asphalt-surfaced pavements”

9. Mumir D. Nazzal, Sanf-Soo Kim, (2014), “Evaluation fo winter pothole patching methods”

10. T. Paul Teng, P. E., (2000), “Materials and procedures for repair of potholes in asphalt-surfaced pavements-manual of practice”

11. T. Paul Teng, P. E., (2000), “Materials and procedures for repair of potholes in asphalt-surfaced pavements-manual of practice”

12. IEC 60068-2-1,(2007), “Environmental testing - Part 2-1: Tests-testA: Cold”

13. IEC 60068-2-2,(2007), “Environmental testing - Part 2-2: Tests-testB: Dry Heat”

14. IEC 60068-2-6,(2007), “Environmental testing - Part 2-6: TestFc: Vibration”

15. IEC 60529, (2006), “Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)”

16. 김성운, 이동희, 이승택, 김영삼, 김광우 (2015), “Pothole 발생부 아스팔트 혼합물의 노화도 평가,” 한국아스팔트학회 논문집 5(1), 18-26

17. 김영삼, 윤지현, 정승호, 김광우 (2016), “GPC를. 이용한 아스팔트. 혼합물의 단기노화 조건에 따른 노화도 분석”, 한국도로학회논문집, 18(3), 1-9.

18. 김영삼, 윤지현, 한중연, 안경애, 김광우 (2015), “아스팔트 혼합물의 노화저감연구 -절대점도 기준,” 한국 아스팔트학회 논문집 5(2), 55-61.

19. 안경애, 김영삼, 윤지현, 김광우 (2015), “아스팔트 혼합물 노화저감재로 소석회의 적용성 연구,” 석재연 논문집, 20(1), 1-10.

20. 이성진, 한중연, 김영삼, 김성운, 김광우(2014), “고온아스팔트혼합물의 단기노화 심각성,” 석재연 논문집, 19(1), 11-20.

21. 정승호, 고강훈, 김영삼, 이성진, 동배선, 김광우 (2017), “아스팔트 혼합물의 단기노화 양적 모델링 연구,” 한국아스팔트학회 학술대회 초록집, 강원대학교 석재복합 건설신소재 연구소, 4. 20.

22. Bagampadde, U., Isacsson, U. and Kiggundu, B. M. (2004), “Classical and contemporary aspects of stripping in bituminous mixes,” Road Materials Pavement Design, 5, 7-43

23. British Lime Association (2017) (BLA) part of the Mineral Products Association (MPA).htm 2017.

24. Curtis, C. W., Ensley, K. and Epps, J. (1993), “Fundamental properties of asphalt-aggregate interactions including adhesion and absorption,” SHRP Report No. A-341, Washington, DC: National Research Council. Retrieved from http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-341.pdf

25. Huang, S. C., Robertson, R. E., Branthaver, J. F. and Petersen, J. C. (2005), “Impact of lime modification of asphalt and freeze-thaw cycling on the asphalt-aggregate interaction and moisture resistance to moisture damage,” Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 17(6), 711-718.

26. Jeong, S., Kim, Y., Dong, B. and Kim, K. W. (2017), “Quantifying model for short-term aging of hot-mix asphlt mixture,” Proceedings in USB, 10th International Conference on Road and Air field Pavement Technology, (10th ICPT 2017), Hong Kong, 8-10 Aug.

27. Jeong, S., Kim, Y., Lee, S., Kim, K. W. (2016), "Aging quantity modeling based on short-term aging length and temperature for dense-graded hot-mix asphalt mixture" The manuscript submitted to Journal of Testing and Evaluation, manuscript ID: JTE-2016-0663.

28. Jeong, S., Xiao, F., Kim, Y., and Kim, K. W. (2017), "Evaluation of age retardation effect of antioxidants in dense- graded asphalt (DGA) mixture using large molecular size," Construction and Builing Materials 149, 459-466.

29. Jones, G. M., (1997), “The effect of hydrated lime on asphalt in bitumen pavements,” NLA Meeting, Utha DOT, Salt Lake City, UT 84114, May 22.

30. Kim, S., Lee, S. H., Kwon, O., Han, J. Y., Kim, Y. S. and Kim, K. W. (2016), "Estimation of service life reduction of asphalt pavement due to short-term ageing measured by GPC from of asphalt mixture,” 17(1), Road Materials and Pavement Design, March, 153-167

31. Kim, S., Shen, J., Kim, Y. and Kim, K. W. (2017), “Examination of physical property degradation due to severe short-term aging and effect of hydrated lime as antioxidant in asphalt mixture,” The manuscript submitted to RMPD, Jan., manuscript ID: RMPD-17-01-18.

32. Kim, Y. S., Kwon, O., Kim, S., Han, J. Y., Yun, J, and Kim, K. W. (2015), “Reliable Estimation of Binder Properties Using Large Molecular Size (%) from Asphalt mixtures,” New Frontiers in Road and Airport Engineering, ASCE, Oct., 152-161

33. Lesueur, D. (2010), “Hydrated lime: A proven additive for durable asphalt pavements - Critical literature review,” Brussels: European Lime Association (EuLA. Retrieved from http://www.eula.eu)

34. Lesueur, D., Petit, J. and Ritter, H.-J. (2012), “Increasing the durability of asphalt mixtures by hydrated lime addition: What evidence?” European Roads Review, 20: 48-55.

35. Lesueur, D., Petit, J. and Ritter, H. J. (2013), “The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: a state-of-the-art review,” Road Materials and Pavement Design, 14(1), Jan., 1-16.

36. Little, D. N. and Epps, J. A. (2001) updated by Sebaaly, P. E. (2006), “The benefit of hydrated lime in hot-mix asphalt,” National Lime Association, April.

37. Little, D. N. and Petersen, J. C. (2005), “Unique effects of hydrated lime filler on the performance-related properties of asphalt cements: Physical and chemical interactions revisited,” Journal of Materials in Civil Engineering, 17(2), 207-218.

38. “Method of test for volume of voids (Rigden voids) in compacted filler or fines,” (2006), Laboratory Testing Manual, Test Method LS-628, Rev. No. 23, Ministry of Transportation, Ontario, Feb. 1, 1-7.

39. Petersen, J. C., Plancher, H. and Harnsberger, P. M. (1987), “Lime treatment of asphalt to reduce age hardening and improve flow properties,” Proceedings of the Association Asphalt Paving Technologists, Vol. 56, 1987, 632-653.

40. Plancher, H., Green, E. L. and Petersen, J. C. (1976), “Reduction of oxidative hardening of asphalts by treatment with hydrated lime - a mechanistic study,” Proceedings of the Association Asphalt Paving Technologists, Vol. 45, 1-24.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

9 791196 222109
ISBN : 979-11-962221-0-9