

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “노후도로 표면 보수 사업화 - 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 파손 보수 재료 및 공법 개발에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 7 .

주관연구기관명 : (주)에이알앤씨

주관연구책임자 : 윤 승 우

연 구 원 : 김 장 섭

” : 박 성 곤

” : 권 칠 범

위탁연구기관명 : (주)도화엔지니어링

위탁연구책임자 : 조 명 환

연 구 원 : 홍 성 원

연 구 원 : 김 지 선

연 구 원 : 박 형 순

보고서 요약서

과제고유번호	12기축-사업화-14	해 당 단 계 연구 기 간	2012. 08. 31~ 2014. 07. 31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연구 사업 명	국토교통기술사업화지원사업				
연구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	노후도로 표면보수 사업화			
	단위과제명	노후도로 표면보수 사업화-우레탄 개질 아스팔트 바인더를 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 파손 보수 재료 및 공법 개발			
연구 책임 자	윤 승 우	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 8 명 외부 : 0 명	총연구비	정부 :360,000천원 기업 :240,000천원 계 : 600,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)에이알앤씨		참여기업명	(주)에이알앤씨	
국제공동연구	상대국명 : - 상대국연구기관명 : -				
요약				보고서면수	
본 연구는 고강도 우레탄 개질아스팔트를 1, 2, 3차년도의 연구 기간 동안 개발된 장비 및 시방서를 체계화함으로써 사업화를 위한 최적의 시스템을 구축하여 사업화의 마무리 단계에 진입하는 것을 목표로 함. 휴대용 균열 보수용 2way건 개발은 누구나 쉽게 보수가 가능한 편의성과 기존의 보수 시공 가격이 m당 12,000원 인 것에 비해 본 연구는 m당 5,000원에 시공이 가능하여 기존 방식보다 월등한 시공비용 절감 효과를 가지고 있음. 본 연구의 바인더 스프레이 및 골재 살포기 장비, 골재 혼합기는 간편한 자동화 시스템으로 장비가 구축되어져 있어 불필요한 인력 없이 조작원 1~2명만으로도 간단한 시공이 이루어 짐. 또한 도로의 교통 흐름에 맞춰 개방시간을 자유자재로 조절할 수 있으며 최소한의 두께 포장의 장점을 가지고 있어 교통량이 빈번하고 복잡한 노후도로 보수 시 빠른 시공과 개방이 가능함에 따라 그 활용도가 클 것으로 기대됨. 본 연구를 더욱더 구체적으로 체계화하고 공용성 추적 및 많은 시험시공을 통하여 제품의 안정성을 확보하여 효율적이고 실용적인 보수 방안을 마련함으로써 일반 개인시장과 소규모 아파트 단지 도로는 물론 기존 노후도로 보수 시장에도 획기적인 변화를 가져올 것으로 기대됨.					
색 인 어	한 글	유지보수, 우레탄, 개질 아스팔트, 아스팔트 포장, 균열보수			
	영 어	Maintenance, Urethane, Modified Asphalt, Asphalt Pavement, Cracking Maintenance			

요 약 문

I. 제 목

노후도로 표면 보수 사업화 - 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 파손 보수 재료 및 공법 개발

II. 연구개발과제 개요

1. 연구 개발 목적

- 우레탄 개질 아스팔트 활용 공법 개발 및 타당성 평가
- 2액형 우레탄 개질 아스팔트 시공 장비 개발 및 개선
- 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 응용 기술 검토
- 현장 적용성 개선

2. 연구 개발 필요성

- 노후 도로의 보수 또는 재포장 시기가 점점 단축되고 있음 : 최근 국내 도로는 교통량 및 중차량의 증가로 반복되는 교통하중과 급격한 기후변화 조건에 직접 노출되어 파손이 빈번해지고 있음
- 도로 보수에 대한 예산 감소로 효율적인 예산 사용이 필요함 : 도로의 보수시기가 신규 포장 후 5년 정도로 매년 총 포장도로의 10%인 8,183Km를 보수해야 하는 문제를 가지고 있으며, 지자체 및 국토해양부에서는 SOC 예산의 부족으로 임시방편으로 사고 위험이 높고 매우 파손이 심한 도로만 부분 메꾸기(뿔질) 등으로 보수하고 있는 실정임
- 균열에 대한 응급 보수 재료 개발 필요 : 도로에 발생한 균열은 포장체의 수분 유입이 가능하게 하고, 온도변화에 따른 수축과 팽창 작용으로 피로 균열과 pot hole 등의 파손을 가속시킬 수 있으며, 도로 보수재의 주원료를 수입에 의존하고 있어 효과적인 보수방안 및 시공 장비의 개발이 필요함
- 국내 환경에 적합한 유지보수 재료 개발이 필요함 : 국내산 개질아스팔트 Emulsion은 연화점이 낮고 물성이 약하며 건조 후 끈적임이 많이 남는 관계로 blown asphalt와 고분자 결합상태의 Emulsion을 개발되고 있지만 우레탄 아스팔트 바인더는 균열부위의 상태와 모형에 맞게 보수가 가능하며 시공할 지역의 교통량 및 주변 환경 특성에 맞게 경화시간을 조절할 수 있어 원하는 교통 개방시간이 가능함

III. 연구개발 수행내용 및 결과

1. 국내 도로 현황

- 고속국도와 일반국도는 각각 38개 노선과 51개 노선이 있으며, 고속국도의 연장은 2010년 기준으로 4,765.6km이고 일반국도의 연장은 2005년을 기준으로 14,224km임
- 도로 보수 예산은 10년 동안 약 5.5% 증가하였으며, 연평균 0.5% 증가율로 도로 보수 예산 변동이 거의 없는 것으로 나타남

2. 국내 도로 보수 관련 특허 조사 결과

- 기존의 특허는 컷 백 아스팔트, 유화제 및 산 첨가, 폴리에틸렌, 유화아스팔트를 적용한 재료를 통해 유지보수를 제안하고 있음
- 기존의 특허는 산화된 블론 아스팔트와 연화제 및 반응첨가제, 산화반응을 거친 블론 아스팔트와 Rubber 첨가를 통한 개질 혼합물을 제안하고 있음
- 고무계 및 에폭시계 혼합물, 폴리에스테르, 폴리올 수지, MMA, EVA(에틸렌비닐아세테이트), 아스팔트 및 칼라용 무색 바인더와 유화제, 고분자 플라스틱을 교반한 재료, 아스팔트 바인더에 스티렌-부타디엔, 페타이어, 페스티로폼을 첨가한 재료, 에폭시 수지와 이소시아네이트 수지를 적용하고 있음
- 본 연구는 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물 개발을 목표로 하고 있어 재료의 차별화가 가능함

3. 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 저장 안정성 검토 결과

- 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 적정 점도를 유지하기 위한 프로세스 오일의 양은 아스팔트 바인더 혼합물 중량의 30% 이상 필요한 것으로 나타남
- 아로마계의 경우 다른 프로세스 오일에 비하여 성능 개선 효과가 낮은 것으로 나타남
- TDI를 첨가한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재는 국내 및 미국의 유화 아스팔트 점도 기준을 모두 만족하지만 MDI의 경우 프로세스 오일 A에 대해서만 일부 만족하는 것으로 나타나 TDI를 첨가하여 주재를 생산하는 것이 점도 기준을 만족시키고 적정 작업성을 유지하는데 유리한 것으로 나타남
- 생산된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 경우 최소 6개월의 저장 안전성을 보일 것으로 사료됨

4. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험 생산 결과

- 증설된 생산 설비의 검증을 위하여 3회 시험 생산을 수행하였으며, 시험 생산은 1.5톤을 생산하였으며, 주재와 경화제 생산비는 0.5 : 1.0으로써 주재 0.5톤과 경화제 1.0톤을 생산하였음. 물성개선을 통하여 주재 경화제의 1:1 생산 실시.
- 설비 효율 검토 결과 원료 투입 공정이 인력으로 진행되어 다소 생산 소요 시간이 증가하였으며, 추후 대량으로 생산이 이루어질 경우를 대비 자동라인 설비 증축이 필요한 것으로 나타남
- 생산 제품에 대한 검토 결과 생산 시 손실율은 1% 미만이며, 생산품 품질 확

인 결과 기준 품질 동일한 물성으로 나타남

5. 소규모 균열 보수 실링 재료 및 장비 개발 결과

- 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용하여 중규모 및 소규모 균열 실링을 수행할 수 있도록 선행연구 및 기획연구에서 개발된 균열 실링 장비에 대한 개선을 수행하였음
- 자동화 균열 실링 장비에 대하여 이송 펌프 개선을 통해 효율 및 안전성 개선이 이루어졌으며, 휴대용 균열 실링 장비의 경우 Head Mixer의 형태를 격자형 그물 구조로 변경하여 Head Mixer 길이를 50% 감소하였음

6. 포트홀 보수용 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 개발 결과

- 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재와 비교 혼합물에 대한 5회 동결융해 반복 시험 후 25℃의 간접인장강도 시험 결과 비교 대상인 상온 포트홀 보수재는 우레탄 개질 포트홀 보수재과 비교하여 각각 36%와 12%의 성능밖에 보이지 않음.
- 개발된 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물은 목표 공극률에 따라 A/B/C Type이 있으며, 세 가지 혼합물 모두 포트홀 보수재에 대한 서울시의 마샬기준을 만족하는 것으로 나타남

7. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 실링 시험 시공 결과

- 총 3회에 걸쳐 4개소에 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 소규모 균열 실링장비를 통한 시험 시공을 수행하였음
- 2개소에 대하여 시험 시공 7개월 공용 후 현장 점검 결과 일부 균열 실링 보수 부위에서 균열이 발생한 것으로 나타남
- 이는 개발된 아스팔트 바인더의 강도가 너무 높아 주변의 균열이 발생되어 강도를 낮추는 실험을 실시, 개선하였음.

8. 칩실 및 슬러리실 혼합물과 시공 장비 개발 결과

- 우레탄 개질 아스팔트 바인더와 혼합물을 적용할 수 있는 칩실 및 슬러리실 시공 장비를 제작하였음
- 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물에 대하여 실내시험을 수행하였으며, 칸타블로 손실율은 MMA 혼합물이나 유화 아스팔트 혼합물보다 우수한 것으로 나타났으며, 미끄럼저항성능은 일반 아스팔트 콘크리트 포장에 적용할 수 있는 것으로 나타남

9. 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시험 시공 및 현장 평가결과

- LFWD 시험 결과 칩실 공법 적용시 기존 포장에 비해 처짐량이 약 50 μ m 감소하는 것으로 나타났으며 이에 따라 탄성계수가 약 20MPa 정도 높은 값을 나타남
- 미끄럼저항성을 측정한 결과 칩실 포장 적용 후 BPN이 51에서 69가 측정되어 미끄럼저항성이 개선된 것을 확인 할 수 있었음

10. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공 및 현장 평가결과

- LFWD 시험 결과 콘크리트 포장은 4 μ m의 치짐을 보이며 탄성계수는 6,650, 7,212MPa로 측정되었으며, 슬러리 실 시공 후 1.5 cm를 시공한 얇은 두께로 인해 콘크리트 포장과의 치짐 차이는 크지 않았으며, 2.5cm를 시공한 경우 최소 7 μ m에서 최대 22 μ m의 값을 보여주었음
- 미끄럼저항성을 측정한 결과 시공 전 콘크리트 포장의 BPN은 81을 보여주었으나 시공 후 슬러리 실의 미끄럼저항성 측정결과 BPN값이 74이 측정되어 우수한 미끄럼저항성을 가지는 것으로 나타남

IV. 최종 연구 성과 및 달성도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		연차 성과검증 기준			
					질적 목표(측정방법)	목표	달성	달성도
1차년도	1	우레탄 개질 아스팔트 재료활용 재료개발	1-1	국내 학술대회 논문발표	발표 논문건수	1건	2건	200%
			1-2	사업화/제품화 (우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물)	2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 혼합서	1건	2건	200%
			1-3	특허출원(국내)	특허출원사실 증명원	1건	2건	200%
	2	우레탄 개질 아스팔트 바인더 실링 장비	2-1	시제품 제작	휴대용 균열 실링 장비	1건	1건	100%
			2-2	시제품제작	자동화 균열 실링 장비 시제품	1건	1건	100%
	3	장비설계	3-1	바인더 살포기 및 골재 살포기 설계	설계도면	2건	2건	100%
2차년도	1	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시공 장비	1-1	바인더 살포기 시제품	바인더 살포 성능 (도포두께 1mm 이상)	1건	1건	100%
			1-2	골재 살포기 시제품	골재 살포 성능 (살포두께 3mm 이상)	1건	1건	100%
			1-3	장비설계	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 혼합장비 설계	1건	1건	100%
	2	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 현장 적용	2-1	현장시험시공	포장 균열부	1건	3건	300%
					포장 포트홀파손부	1건	0건	0%
					침실 공법	1건	1건	100%
					현장시험	1건	1건	100%
			2-2	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시방서	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 침실 공법 시방서	1건	1건	100%
				국내 학술대회 논문발표	발표 논문건수	0건	1건	-
3차년도	1	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시공 장비	1-1	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 혼합장비 시제품	혼합량 : 200kg/1회	1건	1건	100%
				특허등록(국내)	특허등록증	0건	2건	-
	2	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 현장 적용	2-1	현장시험시공 및 시방서	포트홀 파손부	2건	2건	100%
					슬러리실 공법	2건	2건	100%
					현장시험	2건	2건	100%
					우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 슬러리 공법 시방서	1건	1건	100%
					홍보 브로슈어	1건	1건	100%
					국내 학술대회 논문발표	0건	2건	-

V. 연구수행 결과 기대 효과

1. 공공적 기대 효과

- 안정되고 공용성이 확보된 제품을 바탕으로 도로의 수명이 증가됨에 따라 국민(도로 이용자)들에게 반복된 도로 보수로 인한 교통체증, 안정성에 대한 불안감을 해결할 수 있을 것으로 기대됨
- 포트홀 파손의 빠르고 공용성이 확보된 재료 적용을 통한 주행 안전성을 제공할 수 있을 것으로 기대됨
- 상온 표면 보수를 통한 온실가스 발생량이 감소할 수 있을 것으로 기대됨

2. 기술적 기대 효과

- 우레탄 아스팔트를 이용한 노후도로 보수 공법은 우레탄의 특성인 인장, 인열, 탄성과 아스팔트의 점착성능이 조화롭게 이루어져 있어 소성변형이나 균열에 따른 도로의 파손에 대한 저항성이 우수하여 유사기술의 개발 표본이 될 수 있을 것으로 사료됨
- 노후도로 표면 공법의 시스템을 구축하여 국내 표면 유지보수 규격을 제정하는데 참고할 수 있을 것으로 기대됨

3. 경제적 기대 효과

- 소파보수 두께의 절감 균열보수 장비를 없앴으로써 그에 따른 부대비용이나 생산, 인력 비용이 감소할 수 있을 것으로 기대됨
- 국내 보수재료의 품질의 강화로 해외 제품의 수입 의존을 대체할 수 있는 효과를 가져 올 수 있을 것으로 기대됨

VI. 연구 성과 활용계획

1. 연구개발결과에 대한 활용가능성

- 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 우수한 성능을 가지고 있으며, 상온에서 시공이 가능하기 때문에 특수 장비를 사용하지 않으므로 도로 균열 보수를 비숙련자도 손쉽게 수행 할 수 있음
- 본 연구에서 사업화를 목표로 하고 있는 휴대용 실링 장비를 통해 단지 관리자가 쉽게 단지내 도로 보수를 수행할 수 있으며, 물에 의한 도로의 파손을 사전에 막을 수 있어 아스팔트 콘크리트 포장의 예방적 유지보수 공법으로 적용할 수 있음

2. 사업화 계획 및 판매 전략

- 주관연구기관은 개질 아스팔트 및 도로 보수재 전문기업으로 그 기술력을 인정받고 있으며, 미국 Hudson Asphalt Group의 투자유치를 받아 설립된 당사는 지속적인 연구개발과 연구개발제품의 상용화를 진행하고 있음
- 개발 제품의 Bottom Up 방식과 Top Down 방식의 병행을 통해 제품 홍보 및 지속적인 마케팅을 통해 제품의 사업화를 추진할 예정임

SUMMARY

REPORT SUMMARY					
Project identification number	priority 12-task-14	Project period	2012. 08. 31~ 2014. 07. 31	Stage classification	(current stage)/ (total stage)
Project title	Supporting research for land & transport technology				
Research task title	Main task title	Maintenance of aged pavement surface			
	Detailed task title	Maintenance of aged pavement surface- Development of the material and method for the maintenance of asphalt concrete pavement using urethane-modified asphalt binder			
Chief researcher	Yoon, Seung Woo	Number of total researchers throughout the research period	Total : 8 Within the company : 8 Outside the company : 0	Total research cost	Government :KRW 360,000,000 Industry :KRW 240,000,000 Total : KRW 600,000,000
Research institute and department name	AR&C Co., Ltd.		Participating company name	AR&C Co., Ltd.	
International consortium	Countries : -		Research institute name of the participating country : -		
Abstract				Number of pages of the report	
This research aims at entering the final stage of building the optimum system for the high strength urethane-modified asphalt by systemizing its equipments and specifications, which have been developed through the first, second, and third research period. Portable 2-way gun crack maintenance possesses its convenience advantage. While the existing maintenance cost is KRW 12,000/m, it is only KRW 5,000/m based on this research. The binder sprayer, aggregate sprayer, and aggregate mixer have been developed into a simplified automatic system in this system, allowing only 1~2 people to carry out the task. Additionally, the traffic opening time can be adjusted at will in consideration of the traffic flow. It is also advantageous from the perspective minimum required thickness of the pavement. Thus, its applicability is expected to be greatly enhanced owing to its rapid construction and convenient opening for traffic, especially for the maintenance of aged road of frequent and heavy traffic. The research result is to be systemized in more detail to ensure its product safety through performance tracking and a great deal of test constructions. This will result in acquiring the efficient and practical maintenance method to bring about an innovative change not only in ordinary private pavement market and small apartment-complex pavement market but also in existing aged pavement maintenance market.					
Key words	Korean	유지보수, 우레탄, 개질 아스팔트, 아스팔트 포장, 균열보수			
	English	Maintenance, Urethane, Modified Asphalt, Asphalt Pavement, Cracking Maintenance			

RESEARCH SUMMARY

I. Title

Maintenance of aged pavement surface - Development of the material and method for the maintenance of asphalt concrete pavement using urethane-modified asphalt binder

II. Overview of the Research and Development Task

1. Purpose of the research & development

- Development of the method of using urethane-modified asphalt and evaluation of its applicability
- Development and improvement on 2-components system urethane-modified asphalt construction
- Examination of the technique for applying urethane-modified asphalt binder
- Improvement on the field applicability

2. Necessity for the research & development

- Current trend of shortening the period necessary for the maintenance of aged pavement or its re-pavement: Domestic road pavements are directly exposed to repetitive heavy traffic volume and sudden weather change due to the increase in the number of vehicles and heavier vehicles, and they are frequently damaged.
- Effective use of the budget is necessary due to the reduction in the pavement maintenance budget: The maintenance period for new pavement is 5 years and possesses inherent problem of having to repair or maintain 10% of total road pavements, i.e. 8,183 Km, annually. It is also current situation that local governments and the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport are concentrating temporary measure of partial repairing (filling the potholes) high-risk and severely damaged pavement only due to insufficient SOC budget.
- Necessity for the development of emergency maintenance material against cracking: Cracking of the pavement makes it possible the infiltration of moisture into the pavement and accelerates such damages as pot holes and fatigue cracking due to the contraction and expansion of the pavement in response to the weather change. However, the main material for the pavement maintenance depends on import, and the development of effective maintenance method and the pavement equipment is necessary.
- The necessity for the development of maintenance material appropriate for

domestic environment: Domestic modified asphalt emulsion has low softening point and weak physical properties, and it is not used widely due to its stickiness after drying. Nonetheless, urethane asphalt binder allows various maintenance methods depending on the condition and pattern of the cracks as well as the adjustment of the hardening time appropriate for the traffic volume of the maintenance area and the characteristics of the surrounding environment, enabling the opening of the road pavement for traffic as desired.

III. Contents and Results of the Research & Development Performance

1. Status of domestic road pavement

- There are 38 Expressways and 51 national roads, and they stretch 4,765.6 km as of 2010 and 14,224 km as of 2005, respectively.
- Road pavement maintenance budget has increased to about 5.5% during 10 years, and the budget has been increasing by 0.5% annually without a noticeable change.

2. Result of investigating patent related to domestic pavement maintenance

- Existing patents suggest such pavement maintenance methods as cut-back asphalt, addition of emulsifier and acid as well as emulsified asphalt and materials with polyethylene.
- Existing patents suggest modified mixture with rubber, oxidized blown asphalt, and blown asphalt with softener and reaction additive as well as oxidation.
- Materials using such a variety of admixture with rubber and epoxy, poly-ester, polyol resin, MMA, EVA(Ethylene Vinyl Acetate), colorless binder for asphalt and coloring, emulsifier, agitated polymer plastic, asphalt binder with styrene-butadiene, waste tire, and waste styrofoam, epoxy resin, and isocyanate resin are being applied.
- This research aims at developing admixture and urethane-modified asphalt binder and makes it possible to differentiate each material.

3. Result of examining the storage safety of urethane-modified asphalt binder

- The quantity of process oil to maintain the optimum viscosity of urethane-modified asphalt binder is found to be more than 30% of the mass of the asphalt binder admixture.
- Aroma oil exhibited inferior performance improvement effect in comparison to other process oils.
- Although the main material for urethane-modified asphalt binder with TDI

surpassed the emulsified asphalt viscosity standard of Korea and USA, that with MDI passed the standard only for a certain process oil A. Thus, adding TDI to produce the main binder material is more advantageous in satisfying the viscosity standard and maintaining the optimum workability.

- It is deemed that the urethane-modified asphalt binder so produced can manifest storage safety for 6 months at the least,

4. Result of test production of urethane-modified asphalt binder

- Three test productions were carried out to verify the productivity of the extension of the production facility. The test productions produced 1.5 ton composed of 0.5 ton of main material and 1.0 ton of softner with the ratio of the main material to softener to be 0.5:1.0. The production started to make the ratio of main material to softner to be 1:1 through improvement on physical properties.
- Examining the efficiency of the facility revealed a little increased production time because of the manual process of adding raw materials. Thus, an automatic production line is necessary in preparation of mass production in the future.
- Examination of the product revealed less than 1% loss ratio of the material, and the quality inspection revealed the same quality as the standard.

5. Result of the development of the material and method of maintenance sealing against small-scale cracking

- Improvement activity to enhance the anti-crack sealing equipment, which was developed in preliminary research and target research, was carried out in order to investigate the sealing performance of the developed urethane-modified asphalt binder against mid-scale and small-scale cracking.
- Improvement on the efficiency and safety of the automated crack sealing equipment was achieved through the improvement on transfer pump, and the head mixer form of the portable crack sealing euipment was changed into a lattice net structure to reduce the length of the head mixer by 50%.

6. Result of the development of urethane-modified asphalt admixture for pothole maintenance

- After 5 repetitive freeze-thaw tests of urethane-modified asphalt pothole maintenance material in comparison to other admixture wererecarried out, indirect tensile strength test was performed at 25°C. The conventional pothole maintenance materials kept at room temperature exhibited only 36% and 12%, respectively, of the strength performance of urethane-modified pothole maintenance material.
- There are three types (A/B/C) of the developed urethane-modified asphalt

pothole maintenance admixture by the target air void ratio, and they all satisfied the Marshall test standard for pothole maintenance materials of Seoul city.

7. Result of test construction of the urethane-modified asphalt binder for its crack sealing performance

- A total of three test constructions of the small-scale crack sealing equipment with urethane-modified asphalt binder were carried out at four places.
- After 7 months of the test construction and service performance, cracking was observed at two places around some crack sealing maintenance area during field inspection.
- This was reasoned that the strength of the developed asphalt binder is too high to result in cracking around it. Thus, a test to reduce the strength was carried out and resulted in performance improvement.

8. Result of developing chip seal and slurry seal admixtures and the construction equipment

- Fabrication of chip seal and slurry seal construction equipment for the application of urethane-modified asphalt binder and admixture
- A laboratory test was performed with urethane-modified asphalt slurry seal admixture, and its Cantabro loss ratio was superior to MMA admixture or emulsified asphalt admixture. Its skid resistance was adequate to be applied to ordinary asphalt concrete pavement.

9. Test construction of urethane-modified asphalt chip seal and its field performance result

- LFWD test showed that application of chip seal method resulted in decreased deflection by about 50 μm in comparison to existing pavement, and the elasticity coefficient was about 20 MPa higher.
- Skid resistance test showed improved skid resistance after the application of chip seal pavement based on the increased BPN from 51 to 69.

10. Second test construction of urethane-modified asphalt slurry seal and its field application result

- LFWD test showed 4 μm deflection of the concrete pavement, and its elasticity coefficient was measured at 6,650, 7,212 MPa. After the construction of slurry seal, it did not exhibit any noticeable difference in deflection with concrete pavement due to the thin 1.5 cm thickness. When the thickness was increased to 2.5 cm, the deflection was measured at the minimum of 7 μm and the maximum of 22 μm .

- Skid resistance measurement showed that BPN of the concrete pavement prior to the construction of slurry seal was 81, but it was reduced to 74 after slurry seal construction, attesting for the excellent skid resistance of slurry seal construction.

IV. Final Achievement and Percentage of Completion of the Research

	Core achievement (level 1)		Unit achievement (level 2)		Annual performance evaluation standard			
					Quality target (measuring method)	Target	Achieved	Achievement ratio
1 st year	1	Development of urethane-modified asphalt material and its application	1-1	Proceeding presentation at domestic academic conference	Target number of presentation papers	1	2	200%
			1-2	Manufacturing/commercialization (urethane-modified asphalt binder and admixture)	Mixing specification for the production 2-components system urethane-modified asphalt binder	1	2	200%
			1-3	Patent registration (Korea)	Patent registration certificate	1	2	200%
	2	Sealing equipment with urethane-modified asphalt binder	2-1	Prototype preparation	Portable crack sealing equipment	1	1	100%
			2-2	Prototype preparation	Automated crack sealing equipment prototype	1	1	100%
	3	Equipment design	3-1	Binder sprayer and aggregate sprayer design	Design drawing	2	2	100%
2 nd year	1	Preparation of urethane-modified asphalt admixture construction equipment	1-1	Binder sprayer prototype	Binder spraying performance (1mm or thicker spraying)	1	1	100%
			1-2	Aggregate sprayer prototype	Aggregate spraying performance (3mm or thicker spraying)	1	1	100%
			1-3	Equipment design	Design of mixing equipment for urethane-modified asphalt admixture	1	1	100%
	2	Field application of urethane-modified asphalt admixture	2-1	Field test construction	Pavement crack area	1	3	300%
					Pothole on the pavement	1	0	0%
					Chip sealing method	1	1	100%
					Field test	1	1	100%
			2-2	Specification for urethane-modified asphalt admixture	Specification for chip sealing method with urethane-modified asphalt admixture	1	1	100%
				Proceeding presentation at domestic academic conference	Number of presented papers	0	1	-

3 rd year	1	Urethane-modified asphalt admixture construction equipment	1-1	Preparation of urethane-modified asphalt admixture mixing equipment prototype	Mix quantity : 200kg/1 mixing	1	1	100%
				Patent registration (Korea)	Patent registration certificate	0	2	-
	2	Field application of urethane-modified asphalt admixture	2-1	Field test construction and preparation of specification for slurry sealing method with urethane-modified asphalt admixture	Pothole damage area	2	2	100%
					Slurry sealing method	2	2	100%
					Field test	2	2	100%
					Specification for slurry sealing method with urethane-modified asphalt admixture	1	1	100%
				Public relation brochure	Preparation of public relation brochure	1	1	100%
				Proceeding presentation at domestic academic conference	Number of presented papers	0	2	-

V. Expectation Effects of the Research

1. Effect of public expectation

- It is expected that the safe and performance-secured product developed in this research will increase the service life of the road pavements to resolve the discomfort of the road users caused by traffic congestion due to repetitive pavement maintenance and the complaint on safety.
- It is anticipated that the application of the material with rapid pothole maintenance capability and safe performance will contribute greatly to the improvement on traffic safety.
- The quantity of greenhouse gas emission through pavement surface maintenance at room temperature is expected to be reduced.

2. Effect of technical expectation

- The aged pavement maintenance method with urethane asphalt takes the advantage of harmonious combination of such characteristics of urethane as tension, internal tearing, and elasticity with the adhesive performance of the asphalt. Its resistance to pavement failure due to plastic deformation or cracking is excellent to be a model for the development of similar methods.
- Building of the maintenance system for aged pavement surface is expected to contribute to the establishment of maintenance specification for domestic pavement surface.

3. Effect of economic expectation

- This research found a way to reduce the thickness of small-scale pavement maintenance and to eliminate the need for crack maintenance equipment, resulting in the reduction of accessorial expense, labor cost, and production cost.
- The findings of this research is expected to bring about the effect of replacing imported pavement maintenance materials through the enhancement of domestic pavement maintenance materials.

VI. Plan for the Use of the Research Achievement

1. Applicability based on the research & development result

- Urethane-modified asphalt possesses excellent performance capability and can be placed at room temperature without the need for special equipments, permitting crack maintenance work of the pavement easily by inexperienced workers.
- Maintenance workers of an architectural complex can easily perform the pavement maintenance of the complex with a portable sealing equipment,

which is to be commercialized as a purpose of this research, and this equipment can prevent the pavement damage by rainfall to be used as a preventive maintenance method for asphalt concrete pavement.

2. Plan for commercialization and marketing strategy

- The main research institute specializes in modified asphalt and pavement maintenance material, and its technical excellence has been well acknowledged. The company was founded with the investment of Hudson Asphalt Group of the USA. It continues research and development endeavors and is pursuing commercialization of the product developed by its R&D.
- The developed product is to be commercialized through simultaneously use of Bottom Up and Top Down methods for public relation and continuous marketing.

TABLE of CONTENTS (English)

Chapter 1 Overview of the research & development task 1

Section 1 Purpose and necessity of the research & development	1
1. Purpose of the research and development	1
2. Necessity for the research and development	2
Section 2 Definition, scope and characteristics of the research and development	5
1. Definition of the research and development	5
2. Scope of the research and development	6
3. Characteristics of the research and development	7
Section 3 Status of domestic and overseas development of the technology in related field	8
1. Domestic status	8
a. Domestic pavement status	8
b. Comparison of the materials and their price for pavement surface treatment methods	9
2. Review of technical trend	9
a. Examination of patents related to domestic pavement maintenance	9
b. Examination of the trend for domestic national research projects	14
3. Trend of overseas research	16

Chapter 2 Contents and Result of the Research and Development Performance 18

Section 1 Strategy and method of the research	18
1. Research strategy	18
2. Research method	18
Section 2 Procedure and contents of the research	20
1. Long-term storage test of urethane-modified asphalt binder	20
a. Asphalt binder admixture	20
b. Main material of asphalt binder	21
c. Long-term storage test of hardener and main material of UMAB	22
2. Hardening of urethane-modified asphalt binder and its safety test on a living human body	23
a. Hardeing test of urethane-modified asphalt binder	23

b. Safety test of urethane-modified asphalt binder on a living human body	24
3. Development of urethane-modified asphalt admixture for pothole maintenance	25
a. Preliminary mix design for urethane-modified asphalt admixture for pothole maintenance	25
b. Marshall mix design for urethane-modified asphalt admixture for pothole maintenance	26
c. Indirect tensile strength test	29
d. Freeze-thaw test	30
e. Wheel tracking test	31
4. Development of construction equipment for chip sealing	32
a. Design of aggregate hopper and transfer equipment	32
b. Design of chip sealing construction with UMAB	33
c. Fabrication and improvement on chip sealing construction with UMAB	33
5. Development of construction equipment with slurry seal admixture	36
a. Grain-size of slurry seal	36
b. Laboratory test of slurry seal admixture	36
c. Design and fabrication of mixer for the production of urethane-modified asphalt admixture for slurry sealing	39
d. Examination and improvement on the performance of urethane-modified asphalt admixture for slurry sealing	40
6. Research on the improvement of the crack sealing equipment performance	41
a. Improvement on the performance of automated crack sealing equipment : mid-scale cracking	41
b. Improvement on the performance of portable crack sealing equipment : small-scale cracking	41
Section 3 Result and verification of the research	43
1. Research result	43
a. Result of examining storage safety of urethane-modified asphalt binder	43
b. Result of the development of urethane-modified asphalt admixture for pothole maintenance	43
c. Result of the development of the admixture construction equipment for chip sealing and slurry sealing	44
2. Verification of the research result	44
a. Test construction of urethane-modified asphalt for chip sealing and its field performance evaluation	44
(1) Selection of test construction zone	44
(2) Test construction	45
(3) Result of test construction	47
(4) Result of LFWD test	49

(5) Result of skid resistance test	52
(6) Result of roughness test	53
b. Second test construction of urethane-modified asphalt for slurry sealing and its field performance evaluation	58
(1) Selection of test construction zone	58
(2) Test construction and the result	60
(3) Result of LFWD test	61
(4) Result of skid resistance test	63
(5) Result of roughness test	64
c. Third test construction of urethane-modified asphalt for slurry sealing and its field performance evaluation	66
(1) Selection of test construction zone	66
(2) Test construction and the result	67
(3) Result of LFWD test	68
(4) Result of skid resistance test	70
(5) Result of roughness test	71
d. Test construction of urethane-modified asphalt binder for crack sealing	73
(1) First test construction	73
(2) Second test construction	75
(3) Third test construction	76
e. Test construction of urethane-modified asphalt admixture for pothole maintenance	77
(1) First test construction	77
(2) Second test construction	77
f. Test production of urethane-modified asphalt binder	78

Chapter 3 Final Research Achievement and Actual Result of Its Application 80

Section 1 Categorized research achievement and actual result of its application	80
1. Annual research achievement	80
a. Contents of annual research objectives	80
b. First-year research achievement	80
c. Second-year research achievement	81
d. Third-year research achievement	82
2. Achievements by the core technology	82
a. Classification of the core technology	82
b. Major research achievements by the core technology	83
(1) Crack sealing material with urethane-modified asphalt binder	83
(2) Pothole maintenance material with urethane-modified asphalt admixture	83
(3) Chip sealing material with urethane-modified asphalt binder and aggregate	

.....	84
(4) Slurry sealing material with urethane-modified asphalt binder and aggregate	84
Section 2 Achievement in technology development	85
1. Technology application and the case study	85
2. Domestic and overseas pavement maintenance market prospect of the achievement in technology development	86
a. Domestic pavement maintenance market	86
b. Pavement maintenance market prospect of urethane-modified asphalt	86
Chapter 4 Accomplishment of the Research Objectives and Its Effect	88
Section 1 Percentage completion of the final objective of the research and development	88
1. Final objective of the research and development	88
2. Achievement objective and achievement index	89
3. Objectives and contents of annual research and development	90
4. Percentage completion of annual achievement index	91
Section 2 Analysis of the technological effect of the achievement in research and development	92
1. Securing of the technology for the production of urethane-modified asphalt binder	92
a. Polyurethane	92
b. Urethane-modified asphalt binder	92
c. Urethane-modified asphalt binder mix	93
2. Securing of small-scale crack sealing material and the technology for asphalt concrete pavement	94
a. Securing of the technology for the production of crack maintenance material with urethane-modified asphalt binder with the capability of coloring	94
b. Securing of the technology for the production of crack maintenance material with urethane-modified asphalt binder, which can be used at room temperature	94
3. Securing of preventive maintenance technology capable of applying urethane-modified asphalt admixture	94
Section 3 Analysis of economical effect of the achievement in the research & development	96
1. Domestic pavement maintenance performance and comparison of the	

maintenance cost	96
2. Effect of reducing construction waste through the maintenance of urethane-modified asphalt surface	97
3. Effect of prolonging the remaining service life of the pavement through its surface maintenance treatment	98
4. Effect of proactive maintenance against small-scale cracking	99

Chapter 5 Application of the Research Achievement and the Necessity for Future Research 100

Section 1 Plan for future application of the research achievement	100
1. Plan for the technology implementation	100
2. Sales plan and the plan for the pursuit of commercialization	100
a. Production characteristics of the developed technology	100
b. Plan for the utilization of existing resources	100
c. Sales plan and strategy	101
3. Application for the patent registration of new technology, plan for reflection of government policy, and examination of the relationship with other research findings	102
Section 2 Necessity for additional research... ..	103

References 104

Appendix 106

1. Qualitative achievements and quantitative achievements such as number of published research papers and patents	107
(1) Patent registration	107
(2) Publishing and presentation of proceeding papers at academic conferences ...	107
(3) Prototype fabrication	108
(4) Field test	108
2. Collection of raw data from LFWD measurement	109

목 차

제1장 연구개발과제 개요	1
1절 연구개발의 목적 및 필요성	1
1. 연구개발의 목적	1
2. 연구개발의 필요성	2
2절 연구개발의 정의, 범위, 특징	5
1. 연구개발의 정의	5
2. 연구개발의 범위	6
3. 연구개발의 특징	7
3절 관련 분야의 국내외 기술개발 현황	8
1. 국내 현황 분석	8
가. 국내 도로 현황	8
나. 도로의 표면처리 공법용 재료 및 가격 비교	9
2. 기술동향 조사	9
가. 국내 도로 보수 관련 특허 조사	9
나. 국내 국가 연구과제 동향 조사	14
3. 해외 연구 동향	16
제2장 연구개발 수행 내용 및 결과	18
1절 연구수행 전략 및 방법	18
1. 연구수행 전략	18
2. 연구수행 방법	18
2절 연구수행 과정 및 내용	20
1. 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 장기 저장성 시험	20
가. 아스팔트 바인더 혼합물	20
나. 아스팔트 바인더 주재	21
다. UMAB 주재 및 경화재의 장기저장성 시험	22
2. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 경화 및 인체 안전성 시험	23
가. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 경화시험	23
나. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 인체 안전성 시험	24
3. 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수 혼합물 개발	25
가. 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물 예비 배합설계	25
나. 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물의 마찰 배합 설계	26
다. 간접인장강도시험	29

라. 동결융해시험	30
마. 휠트래킹시험	31
4. 칩실용 시공 장비 개발	32
가. 골재 호퍼 및 이송장치 설계	32
나. UMAB 칩실 시공 장비 설계	33
다. UMAB 칩실 시공 장비 제작 및 개선	33
5. 슬러리실 혼합물 및 시공 장비 개발	36
가. 슬러리실 입도	36
나. 슬러리실 혼합물의 실내시험	36
다. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물 생산 혼합기 설계 및 제작	39
라. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합기 성능 점검 및 개선	40
6. 균열 실링 장비 성능 개선 연구	41
가. 자동화 균열 실링 장비 성능 개선 : 중규모	41
나. 휴대용 균열 실링 장비 성능 개선 : 소규모	41
3절 연구수행 결과 및 검증	43
1. 연구수행 결과	43
가. 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 저장 안정성 검토 결과	43
나. 포트홀 보수용 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 개발 결과	43
다. 칩실 및 슬러리실 혼합물 시공 장비 개발 결과	44
2. 연구수행 결과 검증	44
가. 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시험 시공 및 현장평가	44
(1) 시험시공 구간 선정	44
(2) 시험시공	45
(3) 시험시공 결과	47
(4) LFWD 시험 결과	49
(5) 미끄럼 저항시험 결과	52
(6) 평탄성 시험결과	53
나. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험시공 및 현장평가	58
(1) 시험시공 구간 선정	58
(2) 시험시공 및 시공결과	60
(3) LFWD 시험결과	61
(4) 미끄럼저항시험 결과	63
(5) 평탄성 시험결과	64
다. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험시공 및 현장평가	66
(1) 시험시공 구간 선정	66
(2) 시험시공 및 시공결과	67
(3) LFWD 시험결과	68
(4) 미끄럼저항시험 결과	70
(5) 평탄성 시험결과	71

라. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 실링 시험시공	73
(가) 1차 시험시공	73
(나) 2차 시험시공	75
(다) 3차 시험시공	76
마. 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 포트홀 유지보수 시험 시공	77
(가) 1차 시험시공	77
(나) 2차 시험시공	77
바. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험 생산	78

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 80

1절 개별연구 성과 및 적용실적	80
1. 연차별 연구 성과	80
가. 연차별 연구 목표 내용	80
나. 1차년도 연구 성과	80
다. 2차년도 연구 성과	81
라. 3차년도 연구 성과	82
2. 핵심요소기술별(Critical Technology Element) 성과물	82
가. 핵심요소기술 구분	82
나. 핵심요소기술별 주요 연구 성과	83
(1) 우레탄 개질 아스팔트 바인더 적용 균열 실링재료	83
(2) 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 적용 포트홀 보수재료	83
(3) 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 골재 적용 칩실 공법재료	84
(4) 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 골재 적용 슬러리 실 공법재료	84
2절 기술개발성과	85
1. 기술실시 및 적용사례	85
2. 기술개발성과의 국내외 시장전망	86
가. 국내 유지보수 시장	86
나. 우레탄 개질 아스팔트 보수 시장 전망	86

제4장 연구목표 달성 및 효과 88

1절 연구개발 최종목표 달성도	88
1. 연구개발 최종 목표	88
2. 성과목표 및 성과지표	89
3. 연차별 연구 목표 및 내용	90
4. 연차별 성과지표 달성도	91
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석	92
1. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 제조 기술 확보	92

가. 폴리우레탄	92
나. 우레탄 개질 아스팔트 바인더	92
다. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 배합	93
2. 아스팔트 콘크리트 포장 균열의 소규모 균열 실링 재료 및 기술 확보	94
가. 색상조절이 가능한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 보수재 생산 기술	94
나. 상온 시공이 가능한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 보수재 생산 기술	94
3. 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 적용 가능한 예방적 유지보수 기술 확보	94
3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석	96
1. 국내 도로 유지보수 실적 및 보수비용 비교	96
2. 우레탄 개질 아스팔트 표면 유지보수를 통한 공사폐기물 감소 효과	97
3. 표면처리 유지보수를 통한 잔존 수명 연장 효과	98
4. 소규모 균열의 사전적 유지보수 효과	99
제5장 연구 성과의 활용 및 추가연구 필요성	100
1절 연구 성과 향후 활용방안	100
1. 기술실시 계획	100
2. 판매계획 및 사업화 추진 계획	100
가. 개발기술의 생산특성	100
나. 기존 자원 활용계획	100
다. 판매계획 및 전략	101
3. 신기술 신청, 정책반영 계획 및 타 연구와의 연계	102
2절 추가연구 필요성 등	103
참고문헌	104
부록	106
부록 1. 논문, 특허 등 정량적 성과와 정성적 성과	107
(가) 특허등록	107
(나) 학술대회논문 게재	107
(다) 시제품제작	108
(라) 현장시험	108
부록 2. LFWD 측정 Raw data	109

제1장 연구개발과제 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

국가 물류의 90%를 처리하고 있는 도로를 지속적으로 건설하고 있지만, 급증하는 교통량과 중차량의 증가로 도로의 포장파손이 많이 발생하여 유지보수비용이 매년 과다하게 증가하고 있다. 이에 반하여 국민 의식과 삶의 질 향상으로 도로 공용성을 일정한 상태로 유지하지 못할 경우 많은 민원이 발생하고 있으며, 발생한 포장 파손 구간에 대한 보수가 이루어지지 못할 경우 교통사고의 원인으로 작용할 수 있기 때문에 적절한 시점에서 도로 유지보수를 실시하여 일정한 공용성을 확보하는 것이 중요하다.

아스팔트 콘크리트 도로의 표면에 발생한 소성변형 및 피로균열과 국부적으로 발생하는 포트홀 파손에 대한 유지보수를 위한 전통적인 아스팔트 바인더 또는 혼합물의 경우 가열이 필요하거나 컷백 아스팔트를 첨가하여 잠재적 환경 문제를 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 우레탄을 스트레이트 아스팔트 바인더에 개질재로 사용하여 상온에서 시공이 가능하고 기존 아스팔트 콘크리트 혼합물보다 우수한 강도를 발현할 수 있는 바인더 및 혼합물을 개발하고 적용할 수 있는 공법을 정립하고 사업화 기반을 마련하고자 한다.

표 1.1. 노후도로 표면 유지보수 사업화 과제 최종 목표

최 종 목 표	최 종 성 과 목 표
노후도로 표면 보수공법 사업화	○ 우레탄 개질 아스팔트 활용 공법 개발 및 타당성 평가
	○ 2액형 우레탄 개질 아스팔트 시공 장비 개발 및 개선
	○ 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 응용 기술 검토
	○ 현장 적용성 개선

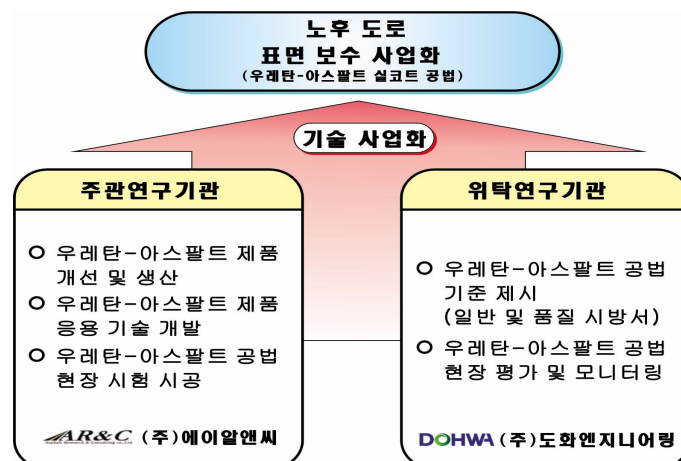


그림 1.1. 노후도로 표면 유지보수 사업화 과제 최종 목표

2. 연구개발의 필요성

최근 국내 도로는 교통량 및 중차량의 증가로 반복되는 교통하중과 급격한 기후변화 조건에 직접 노출되어 파손이 빈번해짐에 따라 보수 또는 재포장 시기가 점점 단축되고 있다. 또한 신규도로의 경우 공용 후 7년경과 시 포장의 유지보수 수행을 목표로 하고 있으나 교통량의 증가 및 사계절 온도변화에(온도차 87℃) 따라 평균수명이 5년으로 단축되고 있다. 따라서 도로 보수에 대한 예산 감소로 효율적인 예산 사용이 필요하지만 도로의 보수시기가 신규 포장 후 5년 정도로 매년 총 포장도로의 10%인 8,183Km를 보수해야 하는 문제를 가지고 있으며, 지자체 및 국토해양부에서는 SOC 예산의 부족으로 임시방편으로 사고 위험이 높은 매우 파손이 심한 도로만 부분 메꾸기(땜질) 등으로 보수하고 있는 실정이다.

2009년 말 현재 국내 도로 및 보수 현황을 살펴보면 고속국도는 38개 노선, 4,765.6km (2010. 1. 1 기준)의 보수 구간과 일반국도는 51개 노선(1-88번), 14,224km (2005. 12 현재)의 보수구간이 있다. 이러한 포장도로의 보수로 800억에서 1,300억이 소요되고 있으나, 포장 보수를 위한 예산은 지속적으로 감소하고 있는 추세이다.

표 1.2 국내 도로 현황 (2009년 말 기준)

구 분	연장(km)	포장율(%)	관리청	도로성격
고속국도	3,776	100.0	국토부(도공)	이동성
국 도 (시관내)	13,819 (2,402)	97.4	국토부(시장)	이동성
지방도 등	87,388	75.5	지자체	접근성

표 1.3 도로 보수 예산

(단위: 억원)

구분	2007년	2008년	2009년	2010년
도로보수	4,501	4,237	5,177	4,540
제주 국도유지관리	95	101	141	156

표 1.4 도로 보수 예산중 주요 항목별 예산 배정액

(단위: 백만원)

구분	2007년	2008년	2009년	2010년
도로포장정비	133,627	118,910	126,000	85,520
낙석/산사태 위험지구 정비	120,724	105,240	127,488	117,400
배수시설 정비	12,435	9,010	9,500	8,600
교량 내진보강	13,743	20,800	25,600	10,000
교량 및 터널보수	37,871	49,630	69,030	62,200

현재 국내에서의 노후도로 및 일반도로의 유지보수공법은 크게 응급보수와 전면보수로 구분할 수 있다. 응급 보수는 단순한 파손된 부위만을 메우는 경우에 적용되고 있으며, 전면 보수는 1개 차로 이상을 보수하는 경우로 구분 할 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 보수 공법 중 응급보수 및 소파보수의 경우 도로 미관 훼손과 평탄성 확보가 어렵기 때문에 자동차 운행의 안정성 및 소음의 증가에 따른 지속적인 민원 발생으로 인하여 포장 파손의 정도에 상관없이 막대한 비용의 발생하는 절삭 후 덧씌우기 또는 덧씌우기 공법을 적용하고 있다.

표 1.5 도로 보수 형태 및 보수 공법

보수 형태	보수 공법
응급 보수	균열실링, 균열충진, 균열처리공법, 패칭
전면 보수	절삭 후 덧씌우기, 덧씌우기, 소파보수

균열에 대한 응급 보수 재료로는 도로에 발생한 균열은 포장체의 수분 유입이 가능하게 하고, 온도변화에 따른 수축과 팽창 작용으로 피로 균열과 포트홀(pothole) 등의 파손을 가속시킬 수 있다. 현재 국내 도로보수 재료는 Crack Sealant, Patching 재료로 한정되어 있으며, 그마저 도로의 파손이 많이 진행 된 후 보수를 하여 보수의 효과가 떨어지며 임시방편의 보수에 그치고 있다. 따라서 단순한 도로유지 보수공법(균열실링, 균열충진, 균열처리공법 등)으로 인하여 도로의 미관의 훼손과 굴곡에 의한 차량의 안정성이 문제시 되고 있으며, 도로 보수재의 주원료를 수입에 의존하고 있어 효과적인 보수방안 및 시공 장비의 개발이 필요하다.

미국에서는 상온용 균열보수재로 Coal tar Emulsion이 사용되고 있다. Coal tar Emulsion은 미국 및 독일의 환경 조건을 대상으로 개발되었으며, 중차량 및 교통량이 많고 계절적 기후차가 큰($\pm 87^{\circ}\text{C}$) 국내의 적용에는 제한적이기 때문에 국내 환경조건에 맞는 제품개발이 매우 필요하다. 슬러리 공법이나 박층포장 공법의 보수재로서 유화 아스팔트(Emulsion asphalt)가 사용되고 있으며, 유화아스팔트를 이용한 슬러리실 공법은 작업시간의 제약과 교통소통의 지장 등으로 도심지의 야간작업의 대응 곤란 등, 적용성 문제와 기존 포장의 소성변형 및 평탄성 불량 등의 문제를 해결하는데 한계가 발생할 수 있다. 또한 아스팔트 유화 아스팔트 등은 국내에서 생산되고 있으나 연화점이 낮고 일반 아스팔트 보다 물성이 떨어지며 tacky가 많아 seal coat로 사용되기 어려운 문제점을 가지고 있어 사용되지 못하는 실정이다.



그림 1.2 실링에 의한 포장 균열 보수

따라서 국내 환경에 적합한 유지보수를 위하여 국내에서 생산되고 있는 개질아스팔트 Emulsion의 낮은 연화점과 좋지 않은 재료의 물성 및 건조 후 끈적임이 많이 남는 문제를 해결하기 위하여 blown asphalt와 고분자 결합상태의 Emulsion을 개발할 필요가 있다. 본 연구의 선행연구를 통하여 아크릴 아스팔트 Emulsion 2009년 5월 태백시 공설운동장 주차장에 시험시공 되었으며, 시험 시공 및 사후 평가 결과 Emulsion 상태가 아닌 반응형의 제품이 국내 현실에 맞을 것으로 나타났다. 또한 균열 보수를 위하여 2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시제품을 개발하였으며, 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 균열부위의 상태와 모형에 맞게 보수가 가능하다. 또한 시공되는 지역의 교통량 및 주변 환경 특성에 맞게 경화시간을 조절할 수 있어 원하는 교통 개방시간이 가능하지만 개발된 2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 균열 보수 및 노후도로 표면 보수(텍코트 또는 실코트 적용)를 위한 응용 기술 개발 및 현장 적용성 평가 연구가 필요하다.

2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

우레탄 개질 아스팔트 바인더의 사업화를 위하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 혼합물 및 이를 시공할 수 있는 장비를 제작하고 현장 적용을 통한 성능 및 현장 적용성을 평가하고 이를 기반으로 사업화를 목적으로 하고 있다. 본 사업화를 위해 주관연구기관에서 보유하고 있는 우레탄 아스팔트 바인더는 현재 특허등록이 완료된 기술로서 노후도로 보수 공법에 맞게 적용할 수 있는 장비를 개발하여 도로의 수명과 공용성이 확보된 노후도로 표면 보수공법을 사업화하는 것을 목표로 하고 있다.

우레탄과 아스팔트 바인더는 서로 혼합될 수 없는 불상용성의 물질이다. 현재 상용성을 확보하기 위해 우레탄 단량체와 아스팔트를 섞어 수분과 경화시키는 습기 경화형 우레탄 등이 개발되어 있다. 그러나 습기경화형 우레탄 아스팔트는 습도에 따라 경화시간이 변하며 제조 운반 시 습기에 의해 경화되어 제품 불량률이 되는 경우가 발생할 수 있으며, 단량체를 사용함으로써 탄성이 부족한 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 1.3과 같이 프로세스 오일을 사용하여 습기경화형의 탄성을 보완하고, 건조 상태에서 사용되는 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 개발하고자 한다.

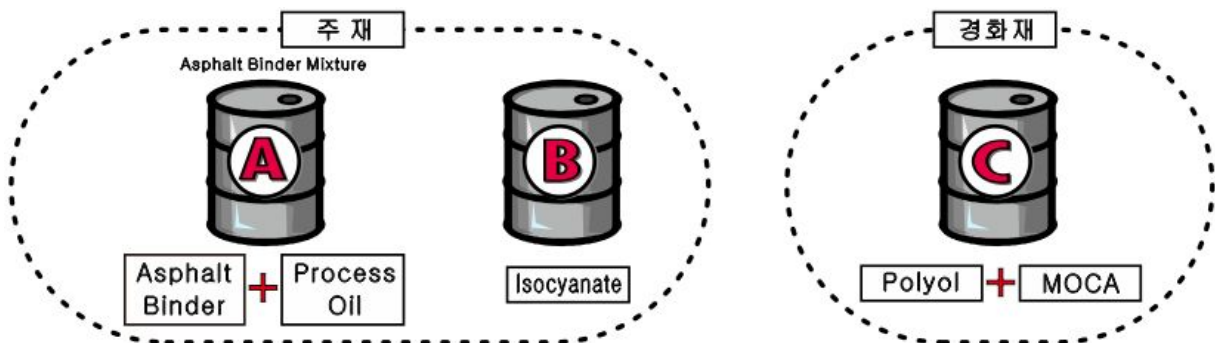


그림 1.3 우레탄 개질 아스팔트 바인더 구성

본 연구를 통해 개발할 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 그림 1과 같이 주재와 경화제로 구성되며, 주재는 AC 80-100 등급의 아스팔트 바인더, 프로세스 오일 및 이소시아네이트(isocyanate)로 구성된다. 그림 3에서 프로세스 오일은 아스팔트 바인더의 유동성 확보 및 작업성 등을 좋게 하기 위해 첨가하는 광유를 의미하며, 석유의 고비점 유분에서 얻게 되는 파라핀계, 나프텐계, 아로마계 및 방향족계가 일반적으로 사용된다. 이소시아네이트도 표 3과 같이 여러 가지 종류가 있으며, 방향족 TDI(Toluene Diisocyanate)와 MDI(Diphenyl methane Diisocyanate)가 일반적으로 사용되고 있다. 경화제는 폴리올과 MOCA로 구성되며, 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 주재와 경화제의 우레탄과 우레아 반응을 통해 생성된다.

2. 연구개발의 범위

본 연구는 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 성능을 개선하고 이를 응용한 혼합물과 이를 시공할 수 있는 장비 개발을 통한 공법의 완성을 목표로 하고 있다. 1차 년도에는 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 개선하고 2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용하여 균열 보수를 수행할 수 있는 균열 보수용 소형 시공 장비 개선 연구를 통해 균열 보수용 소형 시공 장비를 개발하였다. 또한 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 실코트 재료에 대한 실내 물성 시험과 2차년도 칩실 공법 적용을 위한 장비 설계 연구를 수행하였다.

2차 년도에는 아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 파손에 대한 유지보수 혼합물을 개발 및 평가 연구를 수행하고 1차년도 칩실 공법 적용을 위해 설계된 칩실 시공 장비의 검증 및 제작을 통해 시험 시공을 수행하고, 시험 시공 구간에 대한 현장 평가 연구를 수행하였다. 현장 평가 수행 항목은 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)를 이용한 구조적 평가와 평탄성 시험을 수행하였다. 또한 3차년도에 수행할 슬러리실 시공을 위한 시공 장비 설계를 수행하였다.

3차 년도에는 2차 년도에 수행된 우레탄 개질 아스팔트 바인더용 슬러리실 시공 장비인 혼합물 혼합기 설계에 대한 검증 및 제작을 수행하고 현장 적용을 위한 슬러리실 혼합물의 현장 적용성 현장 배합과 현장 시험 시공 및 시험 시공 구간에 대한 현장 평가를 수행하였다. 현장 평가 항목은 2차년도와 동일한 LFWD 지지력 시험과 평탄성 시험을 수행하였다.

표 1.6 연차별 연구 목표 및 연구 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1 차 년도	▪ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험생산	▪ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 및 공정개선 ▪ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험생산 ▪ 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 배합설계
	▪ 균열 실링용 장비 개선	▪ 중규모 자동화 장비의 이동성 및 효율 개선 ▪ 중규모 자동화 장비의 안전성 점검 ▪ 소규모 휴대용 장비 효율성 개선
	▪ 시공 장비 시제품 설계	▪ 바인더 및 골재 살포기 설계
2 차 년도	▪ 시공 장비 시제품 제작	▪ 바인더 살포기 검증 및 제작 ▪ 골재 살포기 검증 및 제작 ▪ 우레탄 개질 아스팔트 혼합기 설계
	▪ 현장 시험 시공	▪ 현장시험시공 장소선정 ▪ 현장시험시공 1회
	▪ 시방서 작성	▪ 국내외 시방서 조사 ▪ 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 칩실 시공을 위한 시방서(안) 작성
3 차 년도	▪ 시공 장비 시제품 제작	▪ 우레탄 개질 아스팔트 혼합기 검증 및 제작
	▪ 현장 시험 시공	▪ 현장시험시공 장소선정 ▪ 현장시험시공 4회(일반보수 2회, 응급 보수 2회)
	▪ 시방서 작성	▪ 국내외 시방서 조사 ▪ 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 슬러리실 시공을 위한 시방서(안)

3. 연구개발의 특징

생산형태(완제품, 반제품, 부품 중) 및 최종제품에 사용이 예상되는 핵심원재료는 주재(프리폴리머 + 아스팔트 바인더 혼합물-스트레이트 아스팔트와 프로세스 오일)와 경화재(폴리올 + 아민계 혼합물)로 구분되며, 아래와 그림 1.4와 같이 주재와 경화재의 혼합에 따른 우레탄, 우레아 반응으로부터 우레탄 개질 아스팔트 바인더가 생산된다.

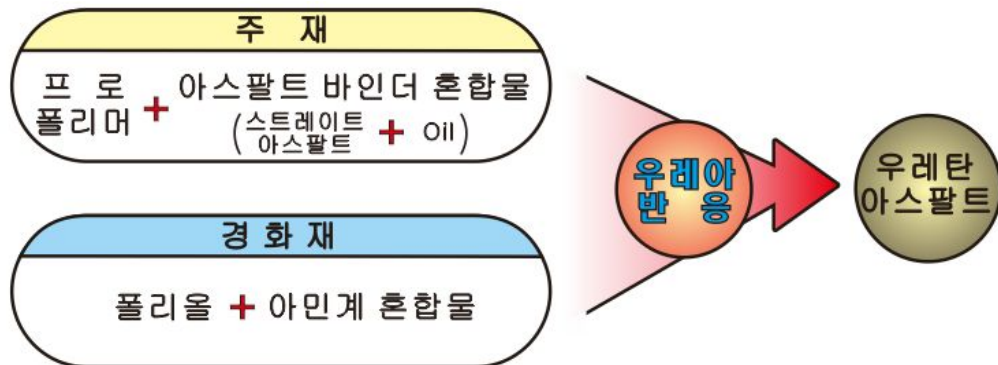


그림 1.4 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 우레아 반응 개략도

우레탄 개질 아스팔트 바인더는 우레탄으로 개질함으로써 탄성 및 인장력이 증가하고 인열 저항성이 우수하지만 우레탄의 원가가 비싸다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 스트레이트 아스팔트를 개질함으로써 가격 경쟁력 확보와 골재와의 부착력 향상을 수행하였다. 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 상온에서 작업성 점도를 유지할 수 있기 때문에 대기온도가 영상 5℃ 이상을 유지하면 시공이 가능한 특징이 있다. 이러한 상온 시공이 가능한 혼합물로 최근 아스팔트 콘크리트 포장의 대표적 파손 현상으로 나타나고 있는 포트홀 보수재로 응용이 가능하며 균열에 대한 손쉬운 사용으로 유지보수에 적용함으로써 빠른 유지보수가 가능하다. 또한 노후 표면에 대하여 상온 시공이 가능하며, 특히 칩실과 슬러리실 공법의 상온 시공을 가능하게 하고 기존 유화 아스팔트 바인더보다 큰 강도를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.



그림 1.5 우레탄 개질 아스팔트 바인더 특징

3절 관련 분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 현황 분석

가. 국내 도로 현황

국내 도로 현황은 표 1.7과 같이 고속국도와 일반국도는 각각 38개 노선과 51개 노선이 있으며, 고속국도의 연장은 2010년 기준으로 4,765.6km이고 일반국도의 연장은 2005년을 기준으로 14,224km이다.

표 1.7 국내 도로 현황

구 분	연장(km)	포장율(%)	관리청	도로성격
고속국도	3,776	100.0	국토부(도공)	이동성
국도(시관내)	13,819 (2,402)	97.4	국토부(시장)	이동성
지방도 등	87,388	75.5	지자체	접근성

도로 예산 및 유지보수 비용을 살펴보면, 도로 보수 예산은 10년 동안 약 5.5% 증가하였으며, 연평균 0.5% 증가율로 도로 보수 예산 변동이 거의 없는 것을 그림 1.6의 그래프를 통하여 확인할 수 있다. 또한 도로 응급 보수 예산도 2005년 이후 평균 500억 원 투입되고 있으며, 도로보수예산과 마찬가지로 응급 보수 예산도 횡보하고 있다. 2005년 이후 집중호우 등의 영향으로 포트홀 피해가 증가하고 있는 추세임을 감안할 때, 예산의 효율적인 집행이 필요하다.

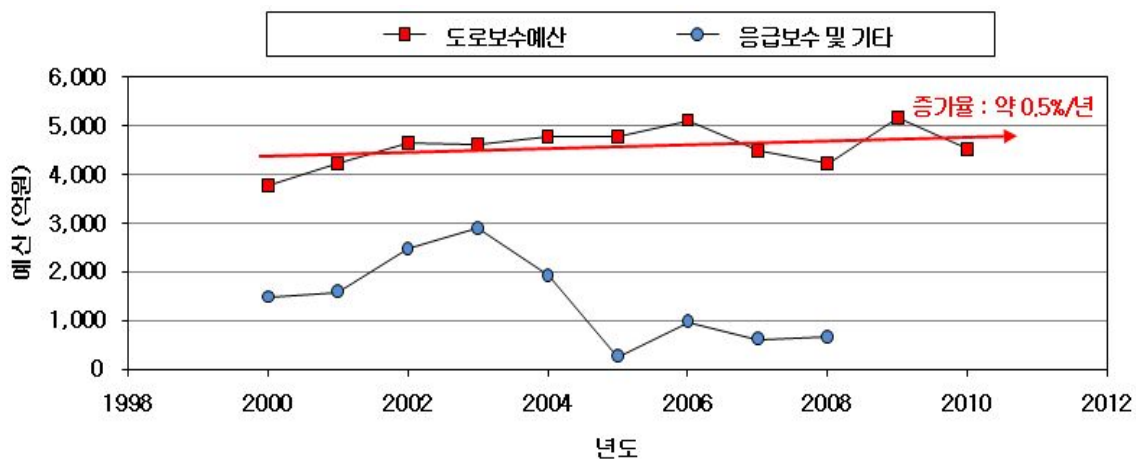


그림 1.6 국내 도로보수예산 변화

나. 도로의 표면처리 공법용 재료 및 가격 비교

국내에서 시공되고 있는 실코트 등 표면처리 공법의 주요 재료인 바인더의 경우 대체로 수입에 의존하고 있으며, 주요 제품 생산 업체는 다음 표 1.8과 같다.

표 1.8 대표 도로 표면 처리 재료 및 가격

경쟁사명	제품명	판매가격 (천원)
① Carbonyte Systems	Sealcoat	500/Drum
② Seal Master	SealMaster LV	450/Drum
③ Chemko(다국적기업)	ASFALCHEM NEGRA	450/Drum

우레탄 개질 아스팔트 실코트 공법에 사용되는 바인더는 주관연구기관인 (주)에이엔알씨에서 자체개발한 순수 국내 제품으로 제안하는 연구를 통하여 품질을 확보할 수 있다면 충분히 기존제품을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 기술 동향 조사

가. 국내 도로 보수 관련 특허 조사

도로 유지보수와 관련된 18건의 특허가 표 1.9와 같이 조사되었으며, 각 특허가 청구하고 있는 청구내용과 본 사업화를 통해 개발하고자 하는 기술의 차별성을 검토하였으며, 검토 결과는 다음과 같다.

- ① 기존의 특허는 컷 백 아스팔트, 유화제 및 산 첨가, 폴리에틸렌, 유화아스팔트를 적용한 재료를 통해 유지보수를 제안하고 있어 본 연구에서 제안하는 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 통한 차별화가 가능함
- ② 산화된 블론 아스팔트와 연화제 및 반응첨가제, 산화반응을 거친 블론 아스팔트와 Rubber 첨가를 통한 개질 혼합물로 우레탄 개질 방법을 통한 차별화가 가능함
- ③ 고무계 및 에폭시계 혼합물, 폴리에스테르 폴리올 수지, MMA, EVA(에틸렌비닐아세테이트), 아스팔트 및 칼라용 무색 바인더와 유화제, 고분자 플라스틱을 교반한 재료, 아스팔트 바인더에 스티렌-부타디엔, 페타이어, 페스티로폼을 첨가한 재료, 에폭시 수지와 이소시아네이트 수지를 적용한 재료로 우레탄 개질 아스팔트 혼합물과 차이가 있어 차별화가 가능함

표 1.9 도로 유지보수 관련 특허 조사 결과

구분	기존기술명 (지적재산권명)	개발자 (또는 지적 재산권자)	기술내용	공법의 원리, 특징 및 기능(관련 도면 첨부)	보유기술의 차별성
1	긴급도로보수용 재료 (URGENT ROAD REPAIRING MATERIAL)	김현준	컷 백 아스팔트, 도로포장용 타르, 아크릴계변성부타디엔 중합제, 염화칼륨, 염화암모늄을 혼합한 긴급도로보수용의 혼화제를 쇄석골재와 포오티렌드 시멘트에 설정비율로 혼합하여 도로포장부터 긴급보수용재	컷 백 아스팔트 1.55~54.68%, 도로포장용 타르 26.5~89.7%, 아크릴계변성부타디엔 중합제 0.1~26.1%, 염화암모늄 0.0024~11.24%를 혼합한 긴급도로보수용의 혼화제를, 쇄석골재와 포오티렌드 시멘트에 혼합하여 제조한 긴급도로보수용재	컷 백 아스팔트 대신 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
2	상온에서 박층시공이 가능한 도로포장/균열 보수용 조성물과 그 제조방법 및 이를 이용한 시공방법	(주)오에이티 엠앤씨	상온에서 박층시공이 가능한 도로포장/균열보수용 조성물과 그 제조방법 및 이를 이용한 시공방법	아스팔트 60~70%, 유화제 0.1~1%, 산 0.1~1%, 천연라텍스 5~15%, 저장성 향상제 0.1~3%, 경화시간 조절용 첨가제 0.1~1.0% 및 나머지가 물로 이루어진 상온 박층시공 가능한 도로포장/균열보수용 조성물과 그 제조방법	유화제 및 산 첨가를 대신 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
3	프리-믹스 아스콘 (PRE- MIXED ASCON)	이지익	도로에 생긴 포트홀을 청소하여 버너로 가열한 후 상기 가열된 아스콘을 투입하고, 투입된 아스콘을 다짐기로 다진 후 재차 묻어나는 것을 방지한 프리-믹스 아스콘을 이용한 도로 긴급 복구방법	크기 6 mm 골재 80 중량 %, 침입도 90 의 아스팔트 7 중량 %, 석회석분 5 중량 %, 폴리에틸렌 3 중량 % 의 조성으로 170 ℃ 의 아스콘을 믹싱 제조하고, 고온의 아스콘을 80 ℃ 이하로 떨어지기 전에 상온으로 급냉시켜 소입자로 마련	폴리에틸렌을 대신하여 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
4	박층 도로 포장용 아스팔트 콘크리트 조성물	(주)한동 재생공사	표층 도로포장, 또는 노후도로의 유지보수를 위하여 도로의 표면에 박층으로 포설하는 도로포장용 아스팔트 콘크리트 조성물에 관한 것	유화아스팔트, 석분, 골재, 시멘트 황산 알루미늄 및 물을 정량 혼합 후 혼합기에 투입하여 생성되며, 상기 유화아스팔트는 물, 유화제, 산, 개질제, 아스팔트, 활성촉진제가 포함되는 박층 도로포장용 아스팔트 콘크리트 조성물	유화아스팔트를 대신하여 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음

5	상온 습기 경화형 폴리우레탄 바인더 조성물과 그를 이용한 도로보수용 아스팔트 보수재 및 그의 제조방법	한국건설기술 연구원, 인성산업(주)	도로 보수용 상온 습기 경화형 아스팔트 보수재의 제조에 관한 것	직경 8mm이하의 골재80 ~ 95 중량%에, 습기 경화형 아스팔트 바인더 5 ~ 20 중량%를 혼합하고, 여기에 점착 증진제 0.1 ~ 3중량%, 경화시간 조정제 0.1 ~ 2중량%를 더 첨가하여 골재 표면에 고르게 코팅하여 완성되는 것	상온에서 습기와의 반응을 유도한 아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
6	아스팔트 크랙보수 도장재 및 아스팔트 크랙보수 시공방법	우리개발(주)	아스팔트 크랙보수 도장재에 관한 것	아스팔트, EPDM/SBR 블렌드 고무계 개질제, SBS/Epoxy 블렌드 수지계 개질제, EVA/PU 블렌드 점착수지, 순환골재 미분말 및 탄산칼슘혼합 무기충진제, 스티렌모노머 용제, 가황제, 경화제, 유동화제를 포함는 아스팔트 크랙 보수 도장재	고무계 및 에폭시계 혼합물로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
7	상온 시공이 가능한 포장도로의 줄눈 크랙 보수재 조성물과 그 제조방법 및 이를 이용한 시공방법	오에이티엠엔씨	포장도로의 줄눈 크랙보수재 조성물과 그 제조방법 및 이를 이용한 시공방법에 관한 것	산화공정을 거친 블론 아스팔트 20~70%에 연화제 10~50%, 반응첨가제 5~20%를 순차적으로 첨가 하고, 이를 교반하여 혼합성분들을 균질 분산시켜 제 1성분 액을 생성 고형분으로 환산하여 20~70%함유되도록 유화반응시켜 제 2 성분액을 생성하여 제조	산화된 블론 아스팔트에 연화제 및 반응첨가제를 혼합한 균열 보수재로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
8	아스팔트 또는 콘크리트 포장도로 균열보수제	김경도	주제와 경화제가 2액형으로 분리 제조되는 보수제를 통한 아스팔트 및 콘크리트 포장의 균열 보수제	주제는 폴리에테르 폴리올 수지, 2개의 아민기를 가진 폴리에테르계 아민폴리올 수지, 3개의 아민기를 가진 폴리에테르계 아민폴리올 수지, 아민화합물, 가소제를 포함하여 이루어지고, 상기 경화제는 1,3-부탄디올, 이소시아네이트를 포함한 제품	폴리에테르 폴리올 수지를 주제로 하는 균열 보수재로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
9	MMA 수지계 도로 균열 보수용 봉합제 및 이를 이용한 도로 균열 보수 공법	장원석	MMA 수지계 도로 균열 보수용 봉합제 및 이를 이용한 도로 균열 보수 공법에 관한 것으로 가열장치 없이 상온에서 시공이 가능한 공법	MMA수지 40~60%, 실리카계의 골재 30~50%, 카본계 검정색안료 0.1~1.0%, 탄산칼슘 5~15%, 분산제 0.02~1.0%, 소포제 0.02~1.0% 안정제 0.1-0.5%가 혼합된 MMA 수지에 대하여 경화제가 혼합된 제품	MMA 주재로 하는 균열 보수재로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음

10	도로 포장의 줄눈, 크랙 보수재 및 이를 사용한 보수 방법	황익현	시멘트 콘크리트 및 아 스팔트 콘크리트의 줄눈, 크랙 보수재 및 이를 사 용한 도로포장 보수방법	EVA를 주원료로 하고, 접착력과 인장력 강화 및 신도 개선재, 강성강화재, 연화제, 충전 및 강도 보 강재, 결합력 향상제, 칼 라가 필요한 경우에는 안 료를 사용하는 재료	EVA(에틸렌비닐아세테 이트)를 주재료 하는 균 열 보수재로 우레탄- 아 스팔트 바인더를 적용하 여 차별화를 갖고 있음
11	아스콘 시공 이음부위 크랙방지용 실링재 조성물과 그제조방법 및 이를 이용한 시공방법	주식회사 오에이티엠앤씨	아스콘 시공 이음부위 크랙방지용 실링재 조성 물과 그 제조방법 및 이 를 이용한 시공방법에 관한 것	산화반응을 거친 고연화 점의 블론 아스팔트에 특 수 러버를 용해한 특수 러버가 분산 용해된 용액 에 특수광물질 5~15%, 충진재 5~15%를 투입하 고 교반하여 아스팔트, 특수 광물질, 충진재를 균질하게 분산시키는 분 산시킨 크랙방지용 실링 재 조성물을 생성	산화반응을 거친 블론 아 스팔트와 러버 조합에 의 한 균열 보수재로 우레 탄- 아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
12	에폭시 수지 조성물, 이를 이용한 도로 조성물 및 그제조방법	(주)디피아이	고강도 및 속경화 특성 을 가지고 있어, 크랙 발 생이 억제되고, 교통통제 시간을 최소화할 수 있 는 에폭시 수지 조성물, 이를 이용하는 도로 조성물과 그 제조방법	에폭시 수지 조성물, 이 를 이용하는 도로 조성물 제조를 위하여 지방산 및 유기산 0.3 내지 1.0 몰 부, 에피클로로히드린 0.5 내지 2 몰부 그리고, 비 스페놀 A형 에폭시 수지 1 내지 3 몰부를 포함하 는 내열충격성이 우수한 에폭시 수지 조성물	에폭시 수지 조성물에 의 한 도로로 우레탄- 아스 팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
13	도로의 가열식 박층 포장재 및 이를 사용한 도로의 박층 포장방법	황익현	가열식 박층 포장재 및 이를 사용한 도로의 가 열식 박층 포장방법	EVA를 주원료로 하고, 접착력과 인장력 강화 및 신도 개선재, 강성강화재, 연화제, 충전 및 강도 보 강재, 결합력 향상제, 칼 라가 필요한 경우에는 안 료를 사용하는 재료	EVA(에틸렌비닐아세테 이트)를 주재료 하는 균 열 보수재로 우레탄- 아 스팔트 바인더를 적용하 여 차별화를 갖고 있음
14	슬러리실 시공용 무색 유화아스팔트 및 칼라 슬러리실시공방 법	인성산업(주)	속성 슬러리실 개질 무 색 유화아스팔트에 관한 것으로 유화제와, 물과, 산 및 폴리머의 각 정량 을 혼합기에 투입하여 혼합하여 제조된 것을 특징으로 한다.	유화제와 활성촉진제, 아 스팔트에 글리세린 화합 물과 수지산을 배합하여 아스팔트 중량비의 1 ~ 7%를 배합하여 제조 한 다	유화제와 활성촉진제를 적용한 슬러리실 제조 및 시공법으로 우레탄- 아스 팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음

15	고분자가 함유된 도로 포장용 개질유제 조성물과 이를 슬래그 혼합 골재와 배합하여 시공하는 박층 포장 및 미끄럼방지 복합 공법	주식회사 오에이티엠앤씨 현대건설 인천선강 용마엔지니어링	고분자가 함유된 도로포장용 개질유제 조성물과 슬래그 혼합골재와 배합하여 시공하는 박층포장/미끄럼방지 복합공법에 관한 것	아스팔트 또는 칼라용 무색 바인더, 유화제, 산, 특수 고분자 플라스틱, 저장성 향상제, 경화시간 조절용 첨가제 및 물로 이루어진 아스팔트 또는 칼라용 무색 바인더유제를 교반기에 투입하고 물을 교반시킨 재료에 입도 0~3mm, 0~5mm, 0~8mm 슬래그 골재를 투입하면서 교반기에 의해 혼합하고 시멘트 또는 안료를 첨가한 재료	아스팔트 및 칼라용 무색 바인더와 유화제, 고분자 플라스틱을 교반한 재료를 사용하는 박층 포장 시공법으로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
16	아스팔트 조인트 및 실란트 조성물	유한회사 창영	포장도로, 건축물, 교량 또는 터널의 방수 및 접착 시공시 조인트및/또는 실란트로 사용되거나 상기 시설의 균열 및 누수 시에 보수 및 유지에 사용되는 아스팔트 조성물에 관한 것	아스팔트 조성물은 중량으로 아스팔트 100부에 대해 스티렌-공액디엔 블록 공중합체 6 내지 40부, 페타이어 고무분말 4 내지 40부, 페스티로폼 0.01 내지 50부, 가소제 또는 연화제 0 내지 100부, 점착성 부여제 0.02 내지 5부 내, 무기 충전제 4 내지 100부로 구성	아스팔트 바인더에 스티렌-공액디엔, 페타이어, 페스티로폼을 첨가한 재료로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
17	비가열 급속경화성 박층 도로 포장재 및 도로 포장방법	(주)한동알앤씨, 에스씨종합건설, 한국신기술산업	페아스콘을 이용한 상온형 비가열 박층 포장재에 관한 것으로 에폭시수지층, 마찰강화 에폭시수지층, 세라믹층으로 구성된다.	에폭시 수지층은 에폭시수지 100 중량부에 이소시아 네이트수지10-50 중량부, N-아크릴 우레아 5-20 중량부 혼합한 것이고, 상기 마찰강화에폭시수지층은 에폭시 수지 100 중량부에 마찰강화분말 10-20 중량부 혼합한 재료를 말한다.	에폭시 수지와 네이트 수지를 적용한 박층 도로 포장 공법으로 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 갖고 있음
18	Polymer modified asphalt emulsions for treatment of road surfaces	Koichi Takamura	반사크랙 등 크랙보수에 이용될 수 있는 제품	아스팔트 에멀전으로 물, 아스팔트, 양이온 유화제, 양이온 SBR 유화고무 등으로 이루어진 것으로, Scrub Seal, fog Seal, sand Seal로 사용될 수 있음	아스팔트 에멀전을 대신하여 우레탄-아스팔트 바인더를 적용하여 차별화를 가질 수 있음

나. 국내 국가 연구과제 동향 조사

국내의 도로 아스팔트 콘크리트 포장에 대한 유지보수 관련 국가 연구 과제를 조사하였으며, 조사결과 국토교통부 4개 과제 및 중소기업청 1개 과제가 표 1.10과 같이 조사되었다.

표 1.10 국내 국가 연구과제 동향

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	핵심기술명	예산	비 고
국토해양부	건설핵심기술 연구개발사업	프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 개발	프리캐스트	-	2011.
중소기업청	중소기업기술혁 신개발사업	노후도로 전면 보수용 초속건성 Seal Coat 소재 개발	초속건성 Seal Coat 소재	2.13	2010.06 - 2012.05
국토해양부	건설교통 RnD 정책인프라사업	MMA 수지를 이용한 보수 및 방수, 포장공법	MMA 수지	0.27	2008.07 - 2008.10
국토해양부	건설핵심기술 연구개발사업	아스팔트 포장의 콜드조인트(Cold Joint) 균열 방지 개선에 대한 연구	콜드 조인트	10.8	2003.12 - 2006.12
국토해양부	산학연 공동연구	도로포장 장수명화를 위한 설계시공 기술 고도화(아스팔트 포장의 포트홀 방지를 위한 재료 및 시공 기술 개발)	포트홀	7.41	2002.12 - 2005.12

조사된 국내 국가연구과제에 대한 차별화 방안을 표 1.11과 같이 마련하였으며, 각각의 차별화 방안을 정리하면 아래와 같다.

- ① 현장의 포트홀의 크기는 불규칙적이며, 본 연구에서 개발될 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 강성과 연성을 모두 보유하고 있어 기존의 포트홀 보수재료와 프리캐스트 공법의 단점과 장점을 모두 포함할 수 있음
- ② 전단면 보수공법의 경우 교면 포장 유지보수용 공법으로 본 연구 대상인 소규모 포트홀 보수용으로 적합하지 않음
- ③ 또한 균열의 실링, 실코트 등 표면처리 유지보수 공법의 경우 본 연구는 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 혼합물 및 공법을 대상으로 하고 있어 기존의 연구와 적용 재료가 상이하여 연구의 차별화가 가능함

표 1.11 국내 국가 연구과제와의 차별화 방안

1. 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 개발	
내 용	- 보수 재료를 프리캐스트 개념으로 사전 제작하여 내구성을 향상시키고자 함 - 재료적인 부분 이외에도 보수의 신속성을 향상시킬 수 있는 보수 관리 시스템, 그리고 보수가 이루어지는 과정에서 안전하고 신속하게 보수를 마칠 수 있는 장비 탑재 차량을 모두 연계하여 개발
검 토	- 현재 진행중인 과제로 시스템 개발은 본 연구의 연구 범위 결과를 활용 하여 운용할 수 있음 - 현장의 포트홀의 크기는 불규칙적이며, 본 연구에서 개발될 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 강성과 연성을 모두 보유하고 있어 기존의 포트홀 보수재료와 프리캐스트 공법의 단점과 장점을 모두 포함할 수 있음
2. 노후도로 전면 보수용 초속건성 Seal Coat 소재 개발	
내 용	- 노후도로 전면 보수용 초건속성 seal coat 소재의 개발 - 도로의 전면에 1-2cm 이하로 seal coating 하여 30분 이내의 경화가 가능하고, 상온경화 제품으로 시공 후 외관 복원이 가능한 seal coat 소재의 개발 - 3액형 분무 살포기 개발
검 토	- 전단면 보수공법임 - 교면 포장 유지보수용 공법으로 본 연구 대상인 소규모 포트홀 보수용으로 적합하지 않음
3. MMA 수지를 이용한 보수 및 방수, 포장공법	
내 용	- 고탄성 MMA 수지 몰탈과 배수 구조물을 이용 - 교면포장의 수명을 연장시키고 효율적인 포장 및 재포장 시공과 부분적인 보수로 교면포장의 기술력 향상을 도모 - 기존 포장 재료의 성능향상과 포설장비의 개발
검 토	- 전단면 보수공법임 - 교면 포장 유지보수용 공법으로 본 연구 대상인 소규모 포트홀 보수용으로 적합하지 않음
4. 아스팔트 포장의 콜드조인트(Cold Joint) 균열 방지 개선에 대한 연구	
내 용	- 아스팔트 포장의 시공 시 콜드조인트로 인해 발생하는 종방향균열을 억제 방안 수립 - 유지보수비용을 절감하고, 포장 내구성 증진 및 도로이용자의 안전성과 쾌적성을 확보하기 위한 공법(안) 및 시방서(안)을 제시
검 토	- 아스팔트 콘크리트 포장의 포설시 발생하는 콜드 조인트 개선 방안에 관련된 연구임 - 균열만을 대상으로 하고 있어 포트홀 등 아스팔트 포장 파손의 예방 차원의 연구를 대상으로 하고 있는 본 연구 대상과 상이한 연구 내용임
5. 도로포장 장수명화를 위한 설계시공 기술 고도화 (아스팔트 포장의 포트홀 방지를 위한 재료 및 시공 기술 개발)	
내 용	- 포장의 장수명화를 위해서는 고도의 신공법 및 신재료의 개발이 필요하며, 동시에 수명 연장을 위한 국가 기준의 정비와 친환경적인 보수 공법의 기술 개발이 중요한 과제로 대두 - 안전하고 쾌적한 신진국형 도로 시설에 대한 역할 변화의 요구가 증가
검 토	- 포트홀 방지를 위한 재료 및 시공 가이드라인을 제안하였으나 상용 첨가제에 대한 구조적 성능 검토로 한계성을 갖고 있음 - 본 연구에서는 기존의 재료 및 공법의 한계를 극복하기 위하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용하여 구조적 성능 개선도 확보할 수 있음

3. 해외 연구 동향

표면처리 유지보수에 대한 미국의 미시건 도로국(Michigan Department of Transportation)의 비용 효과에 대한 2013년도 보고서 “Cost Effectiveness of the MDOT Preventive Maintenance Program(Final Report)”에 따르면 미시건주는 1990년대 초반부터 예방적 유지보수 프로그램(CPM, Capital Preventive Maintenance Program)을 통하여 도로의 예방적 유지보수에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과 마이크로서피싱과 절삭 후 오버레이가 가장 좋은 서비스 수명을 증가시켜주는 것으로 나타났으며, 수명 연장 효과는 12년 이상인 것으로 나타났다. 균열 채움(sealing)의 경우 3년 이상의 수명 연장 효과가 있는 것으로 나타났으며, 기타 유지보수 공법별로 차이는 있지만 2년에서 8년의 수명 연장 효과가 있는 것으로 나타났다. 이 연구에서 포장 수명 연장 효과는 파손 지수(DI, Distress Index)를 사용해 예측된 값이다.

표 1.12 미국 MDOT CPM 연구결과 포장 수명 연장 효과

구분	수명 연장 기간(년)		
	구간 1	구간 2	전체
Single Chip Seal	2.7	6.6	4.3
Double Chip Seal			6.9
Double Microsurfacing	7.8	1.8	3.5
HMA Crack Seal	2.8	2.8	0.6
HMA 절삭 후 오버레이	7.8		7.9
HMA 오버레이	3.6		4.0

또한 초기 표면보수 연구를 살펴보면 미국의 아이오와 도로국(Iowa Department of Transportation)의 1999년 보고서 “Thin Maintenance Surface”에 따르면 도로의 표면보수는 공용 개시 후 7년에서 10년 사이에 시작되는 것으로 보고하고 있다. 또한 표면 보수 효과로 도로의 수명 연장 기간은 5년에서 10년으로 각각의 보수 공법에 대한 수명 연장 효과는 다음 표 1.13과 같다.

표 1.13 미국 IDOT TMS 연구결과 포장 수명 연장 효과

구분	보수시점 (년)	반복 주기 (년)	수명 연장 기간(년)
Crack Filling	5-6	2-4	2-4
Single Seal Coat	7-8	5-6	5-6
Multiple Seal Coat	7-8	5-6	5-6
Slurry Seal	5-10	5-6	5-6
Micro-Surfacing	9-10	5-6	5-6
Thin Lift Overlay	9-10	9-10	7-8

미국의 미시건 도로국과 아이오와 도로국의 연구결과를 바탕으로 본 연구에서 적용 대상으로 하고 있거나 유사한 공법인 칩실 공법과 마이크로서피싱 공법은 평균 3년에서 5년의 수명 연장효과가 있는 것으로 보고 있다. 2005년 Labi et al.의 “Analysis of Long-Term Effectiveness of Thin Hot-mix Asphaltic concrete Overlay Treatments” 논문에 따르면 칩실 공법을 시공한 미국의 인디애나 주의 경우 3년에서 4년의 수명 연장 효과가 있는 것으로 보고 하였다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 연구수행 전략 및 방법

1. 연구수행 전략

우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 노후도로 표면 보수 사업화를 위하여 주관연구기관인 에이알앤씨에서는 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 개선과 이를 적용한 균열 실링, 포트홀 보수용 혼합물, 칩실 및 슬러리실 혼합물에 대한 실내 물성시험과 최적 배합 설계를 수행하며, 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물을 현장에 적용할 수 있는 칩실 장비와 슬러리실 혼합물 혼합기를 설계 및 제작하였다. 위탁 연구기관에서는 칩실과 슬러리실 시방 기준(안)을 작성하고 주관연구기관과 함께 현장 시험 시공계획을 수립하고, 시공 결과를 평가하기 위하여 현장 시험을 진행, 연구 업무를 수행하였다

표 2.1 연구개발 추진 체계

구 분	주관연구기관	위탁연구기관
	(주)에이알앤씨	(주)도화엔지니어링
1차년도 (2012.8.- 2013.4.)	- 제품 생산 공정 개선 - 시공 장비 설계 및 검증 - 제품 시험 생산	- 시방서 작업
2차년도 (2013.5.- 2014.1.)	- 시공 장비 시제품 제작 [칩실 시공 장비] - 현장 시험 시공 - 공법 개선	- 시방서 작업 - 현장 평가 및 현장 모니터링
3차년도 (2014.2.- 2014.7.)	- 시공 장비 시제품 제작 [혼합물 혼합기] - 현장 시험 시공 - 홍보 브로슈어 제작	- 품질 시방서 작업 - 현장 평가 및 현장 모니터링

2. 연구수행 방법

우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물을 적용한 균열 실링, 포트홀 보수, 칩실 및 슬러리실 공법을 개발하기 위한 연차별 세부 연구 추진 결과 및 연구 방법은 표 2.2와 같다.

표 2.2 연차별 세부 연구 추진 계획

구분	연구개발 내용	세부 연구 추진 계획 및 연구수행 방법
1차년도	■ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물 배합	- 단계별 점도 시험 - 장기 저장성 시험 - 슬러리실 혼합물 미끄럼저항성 시험
	■ 제품 생산 공정 개선	- 아스팔트 공급을 위한 전용 라인 설비 증축 - 생산된 제품 포장을 위한 카트리지 전용 플런저 압입기 개발
	■ 균열 실링 자동화/휴대용 장비 개선	- 균열 실링 자동화 장비 개선 - 휴대용 장비 개선
	■ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험생산	- 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험 생산
	■ 골재 및 바인더 살포기 설계	- 우레탄 개질 아스팔트 바인더 살포기 설계 - 골재 살포기 설계
	■ 시방서 자료 조사	- 국내외 도로 유지보수 시방서 자료 조사
2차년도	■ UMAC 포트홀 보수재 배합설계	- 이론최대밀도 및 마찰안정도 시험 - 포트홀 보수재 배합설계
	■ UMAC 포트홀 보수재 실내물성시험	- 강도 시험 : 간접인장강도 시험 - 공용성 시험 : 동결융해 시험, 휠트래킹 시험 - 안전성 시험 : 음용수 시험
	■ 균열 실링재 시험시공	- 현장 시험 시공 : 2회 적용
	■ 칩실 시공 장비 제작	- 골재 스프레이 설계 검증 및 제작 - 바인더 스프레이 설계 검증 및 제작
	■ 칩실 시험 시공	- 칩실 시험 시공
	■ 현장 평가	- LFWD 시험, 평탄성 시험
	■ 시방서 작성	- 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 칩실 공법 시방서(안) 작성
3차년도	■ 혼합물 혼합 장비 제작	- 1회 생산량 200kg/회 혼합물 혼합기
	■ 현장 시험시공	- 포장 포트홀 파손부 : 2회 시험 시공 - 피로균열 파손부 : 슬러리실 2회 시험시공
	■ 현장 평가	- LFWD 시험, 평탄성 시험
	■ 시방서 작성	- 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 슬러리실 공법 시방서(안) 작성
	■ 홍보 브로슈어	- 우레탄 개질 아스팔트 홍보 브로슈어 작성

2절 연구수행 과정 및 내용

1. 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 장기 저장성 시험

가. 아스팔트 바인더 혼합물

우레탄 개질 아스팔트 바인더의 주재에 사용되는 아스팔트 바인더 혼합물을 개발하기 위하여 표 2.3과 같이 5종류의 프로세스 오일에 대한 재료 분리와 저장 안정성을 검토하였다. 아스팔트 바인더 혼합물은 AC 80-100 등급의 아스팔트 바인더와 각각의 프로세스 오일을 130℃-140℃의 교반온도에서 교반하였으며, 각각의 시료를 50g씩 유리 시료병 안쪽 면에 바른 후 약 1시간 동안 상온 저장 후 아스팔트 바인더와 프로세스 오일의 분리 유무를 확인하였다. 아스팔트 바인더 혼합물의 저장 안정성은 각각의 시료를 500ml 기준 알루미늄 시료통에 450g을 담은 후 150℃의 건조 오븐에서 7일간 보관 후 저장 안정성을 확인하였다.

표 2.3 아스팔트 바인더 혼합물 생성을 위한 프로세스 오일 구분

구 분	프로세스 오일
A	아로마계(Aroma)
B	나프탄계(Naphthane)
C	파라핀계(Paraffine)
D	DOP(di-octyl-phthalate)
E	프로세스 오일 A(N10)
F	프로세스 오일 B(N15)

표 2.4에 각각의 아스팔트 바인더와 프로세스 오일의 혼합에 따른 재료 분리 및 저장 안정성 확인 결과를 정리하였으며, 6가지 프로세스 오일로부터 제작된 아스팔트 바인더 혼합물 모두 문제가 없는 것으로 나타났다. 따라서 각각의 혼합물의 배합비 변화에 따른 점도 변화를 확인하기 위하여 아스팔트 바인더와 프로세스 오일의 비를 10%씩 변화시킨 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 및 5:5의 배합비에 대하여 브룩필드 점도 실험을 수행하였다. 표 2.5는 각각의 아스팔트 바인더 혼합물의 점도 실험결과이며, 프로세스 오일의 종류에 따라 차이는 있지만 적정 점도를 유지 위한 프로세스 오일의 양은 아스팔트 바인더 혼합물 중량의 30% 이상 필요한 것으로 나타났다. 6 종류의 프로세스 오일 중 아로마계는 다른 오일에 비하여 성능 개선 효과가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

표 2.4 아스팔트 바인더 혼합물의 재료 분리 및 저장 안정성

시료 구분		재료 분리	저장 안정성
아스팔트 바인더	프로세스 오일		
AC 80-100	A	없음	양호
	B	없음	양호
	C	없음	양호
	D	없음	양호
	E	없음	양호
	F	없음	양호

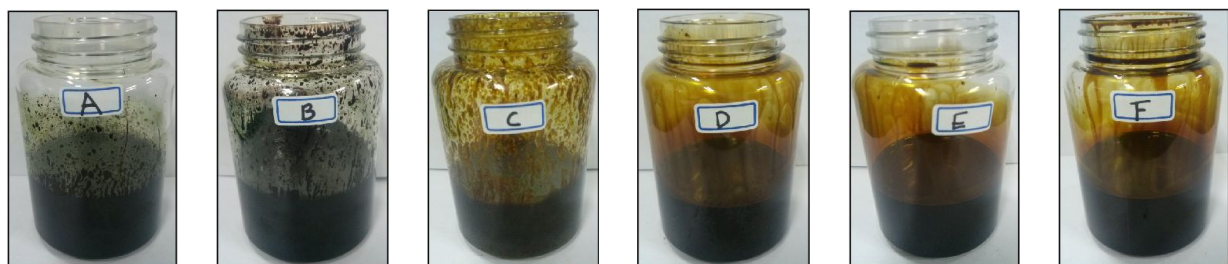
표 2.5 아스팔트 바인더 혼합물 점도 시험 결과

시료 구분		점 도(25℃, centipoise)				
아스팔트 바인더	프로세스 오일	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5
AC 80-100	A	측정불가	측정불가	측정불가	360,000	125,000
	B	측정불가	측정불가	125,000	24,500	7,000
	C	측정불가	250,000	20,000	4,063	806
	D	측정불가	290,000	45,500	10,650	3,225
	E	측정불가	30,500	1,950	410	78
	F	측정불가	330,000	57,500	9,850	2,750

나. 아스팔트 바인더 주재

우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재는 아스팔트 바인더 혼합물과 이소시아네이트를 혼합한 것을 말한다. 방향족 이소시아네이트인 TDI와 MDI의 혼합으로부터 생성된 주재에 대한 재료 분리 여부를 그림 2.1과 같이 검토하였다. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재는 표 2.5의 아스팔트 바인더(AC 80-10) 혼합물에 대하여 TDI와 MDI를 각각 50:50 혼합하였으며, 아스팔트 바인더 혼합물과 TDI의 분리 현상 검토 결과를 표 2.6에 나타내었다.

그림 2.1 TDI를 첨가한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재의 재료 분리 검토 결과



(a) AP3 + A (b) AP3 + B (c) AP3 + C (d) AP3 + D (e) AP3 + E (f) AP3 + F

표 2.6 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재의 재료 분리

시료 구분		TDI	MDI
아스팔트 바인더	프로세스 오일		
AC 80-100	A	분리	분리
	B	분리	분리
	C	분리	분리
	D	없음	없음
	E	없음	없음
	F	없음	없음

그림 2.1과 표 2.6을 살펴보면 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계의 프로세스 오일을 적용한 아스팔트 바인더 혼합물과 이소시아네이트를 혼합 할 경우 재료 분리가 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계 프로세스 오일은 우레탄 개질 아스팔트 바인더 개발에 적합하지 않을 것으로 사료된다. 따라서 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계를 제외한 세 가지 프로세스 오일에 대하여 25℃에서 세이볼트 퓨롤 점도 실험을 수행하였다.

점도 실험 결과는 세이볼트 퓨롤 초(Saybolt Furol Second, SFS)로 표현되며, KS M2203에 따라 SFS는 식 (1)을 통해 앵글러도(E)로 변환 할 수 있다. 실험 결과 및 변환 결과를 표 2.7에 나타내었으며, 점도 실험 결과 TDI의 경우 국내 및 미국의 유화 아스팔트 점도 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 MDI의 경우 프로세스 오일 A에 대해서만 일부 만족하는 것으로 나타났다.

$$E = 0.280 \times T_s' \quad (1)$$

여기서, E : 앵글러도(25℃)

T_s' : 세이볼트 퓨롤 초(SFS)

표 2.7 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재의 점도 시험 결과 (25℃)

구 분		AC 80-100 + D	AC 80-100 + E	AC 80-100 + F
TDI	SFS	17	13	16
	E	4.8	3.6	4.5
MDI	SFS	420	70	360
	E	117.6	19.6	100.8

다. UMAB 주재 및 경화제의 장기저장성 시험

우레탄 개질 아스팔트 바인더(UMAB) 주재와 경화제의 장기 저장할 경우 주재와 경화제의 재료간 분리가 발생하는지 확인하기 위하여 저장성 시험을 주재와 경화제 200ml에 대하여 각

각 수행하였다. 저장성 검토 주기는 2주(14일), 4주(28일), 8주(56일), 16주(112일), 32주(224일)이며 검토 결과는 표 2.8과 같다.

표 2.8 UMAB 주재 및 경화재의 장기저장성 시험 결과

주 재			
구분	점도(cP/25℃)	고형분	상분리
2주	925	92.7	없음
4주	920	91.0	없음
8주	924	91.8	없음
16주	920	93.1	없음
32주	923	92.1	없음
경 화 재			
구분	점도(cP/25℃)	고형분	상분리
2주	278	67.6	없음
4주	276	68.5	없음
8주	270	68.1	없음
16주	272	69.1	없음
32주	274	68.8	없음

2. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 경화 및 인체 안전성 시험

가. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 경화 시험

우레탄 개질 아스팔트 바인더는 우레아 반응을 통해 혼합물의 강도를 확보할 수 있다. 우레아 반응은 바인더의 경화시간 조절을 통해 최대 2시간까지 경화 지연시간을 확보할 수 있지만 현장 적용을 통해 원활한 작업과 시공성을 확보하기 위한 최적의 경화시간 확보가 필요하다. 따라서 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 경화시간 확보를 위하여 그림 2.2와 같이 시험용 시료를 제작하고 아래 사항에 대하여 검토하였다.

- ① 촉매 함유량 조절
- ② AP와 N15의 비율 조절
- ③ 이소시아네이트 당량비 조절

경화시간 조절 시험 결과 아민계 경화제 DETA를 이소시아네이트 원료를 대신하여 GEL Time을 조절을 검토하였으며, 아민계 경화제 DETA의 개선 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 경화시간 조절 검토 결과 선행연구를 통한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 개발 단계에서 확인된 최대 경화시간 2시간을 연장하여 최대 4시간까지 지연시킬 수 있는 것으로 나타났다.

지연을 위해 AP와 N15의 기존 혼합비율인 7:3을 5:5로 변경이 필요하며, B Part를 구성하는 TDI, MDI의 질량비를 변경할 필요가 있으며, 유기용매의 첨가가 필요한 것으로 나타났다. 때문에 혼합비를 5:5로 변경하면서 우레탄의 비율을 줄여 원가절감을 실시하였다.

그림 2.2 우레탄 개질 아스팔트 바인더 경화시간 조절 시험용 시료 준비



변경된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 배합비에 따라 생산된 바인더에 대한 점도 측정을 추가로 수행하였다. 점도측정 시험 결과 경시변화에 따른 점도 측정 결과 기존 바인더에 비해 Gel Time이 표 2.9와 같이 지연되는 것으로 나타났다. 표 2.9를 살펴보면 수정 전 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 경우 초기 반응속도가 빨라 10분 이후 점도 측정이 불가능 한 것으로 나타나고 있다. 그러나 변경 후 바인더에 대한 점도 시험 결과 초기 반응 속도의 지연으로 원활한 작업과 시공성이 확보되었다.

표 2.9 우레탄 개질 아스팔트 배합 변경에 따른 점도 시험 결과

구 분	수 정 전	수 정 후
5분	110,000	560
10분	측정 불가	1,200
20분	측정 불가	3,100
30분	측정 불가	5,500

나. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 인체 안전성 시험

강우나 강설 시 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물의 표면 및 공극을 통해 지하 및 하수 등으로 흘러가는 유수에 대한 인체 및 환경에 안정성 적합여부를 평가하기 위하여 음용수 시험을 실시하였다. 음용수 시험은 아스팔트우레탄 바인더로 제작된 마샬공시체(높이: 63.12mm, 무게:1160g)를 증류수 속에 3일간 침적 시킨 후 채수 된 시료수를 수질 검사 기관(중앙생명과학원)에 의뢰하여 먹는 물 관리법 제5조의 규정에 의한 먹는 물의 수질검사 방법(지하수 음용수)을 실시하였으며 시험 결과 인체에 무해한 것으로 나타났다. (시험성적서 별첨)

3. 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수 혼합물 개발

가. 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수 혼합물 예비 배합설계

해외에서 포트홀 보수를 위하여 적용되고 있는 보수 재료의 골재 입도를 기준으로 우레탄 개질 아스팔트 바인더에 적합한 골재 입도 선정을 위한 예비시험을 진행하였다. 또한 추가적으로 OGFC 골재 입도도 고려하여 일반 공극률에 적합한 포트홀 보수 재료 입도뿐만 아니라 배수성 포장에 적합한 포트홀 보수 재료의 입도도 선정하여 시험 공시체를 제작하였으며, 입도에 따른 공시체 구분 및 제작된 공시체는 표 2.10 및 그림 2.3과 같다.

포트홀 보수 혼합물을 상온 25℃에서 수침하지 않고 2시간 양생한 후 마찰시험을 수행하였다. 마찰시험은 아스팔트 콘크리트 배합과 현장품질 관리를 위하여 실시하는 시험으로 마찰 안정도는 차량 통행하중에 의한 아스팔트 콘크리트의 고온에서 유동과 파상의 변형을 일으키는 데 대한 저항성을 말하는 것으로 원통형 공시체(직경 100mm, 두께 약63cm) 측면을 2장의 재하용 헤드에 끼워 직경 방향에 하중을 가하여 공시체가 파괴 될 때까지 표시하는 최대하중(안정도)과 그에 대응하는 변형량(흐름치)을 측정하는 것이며, 시험 결과는 표 2.11과 같다. 예비배합설계 시험 결과 단입도의 경우 공극이 높아지고, 흐름치가 높아져 포트홀 혼합물의 기준을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다.

표 2.10 포트홀 보수 혼합물 개발을 위한 골재 수급 조사 결과

구분	5mm-1mm+Filler 1%	5mm 단입도	5mm 미만
적정 바인더 함량	5%-7%	5%-7%	11%-13%
골재수급	용이함	체가름 필요	체가름 필요
양생시간(min)	30-60	30-60	30-60
비 고	공극이 클 것으로 예상됨	공극이 클 것으로 예상됨	공극이 작아서 양생시 위 그림과 같이 부풀어 오를 수 있음

그림 2.3 예비 배합설계용 공시체



표 2.11 예비 배합설계 시료의 마찰시험 결과

구분	기준	5mm-1mm +Filler 1%		5mm 단입도		5mm 미만	
바인더 함량 (%)		5%	6%	5%	6%	12%	13%
공시체 높이	63.00	61.72	61.24	63.1	63.47	60.61	62.34
공시체 무게	1,200kgf	-	-	-	-	-	-
안정도(N)	2,500이상	13,695	15,680	14,660	14,060	47,950	45,595
흐름치	20-40	25.6	33.0	34.0	40.0	44.0	64.0
공극률(%)	3-15	-	-	-	-	-	-

나. 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물의 마찰 배합 설계

예비배합설계 결과를 바탕으로 마찰안정도 시험용 공시체는 그림 2.4 및 그림 2.5와 같이 제작하였으며, 다짐은 양면 50회 수행하였다. 또한 공시체 제작 시 제작온도 및 다짐온도를 확인하였으며, 각각 33.9℃와 32.9℃를 보여주었다.

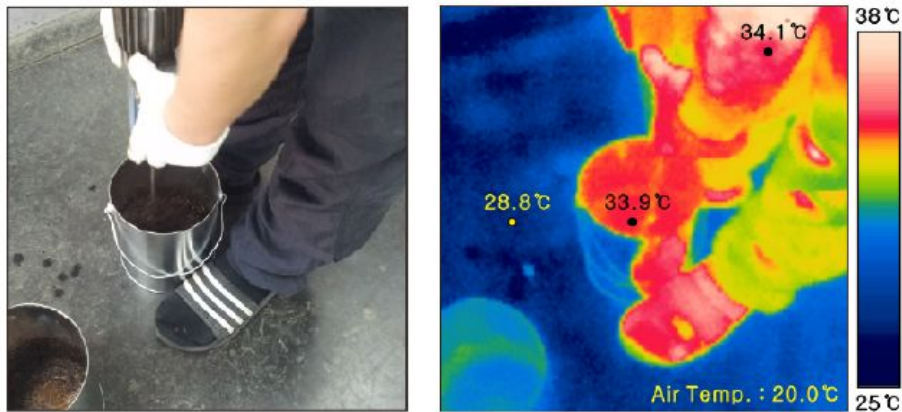


그림 2.4 마찰시험 공시체 혼합 전경

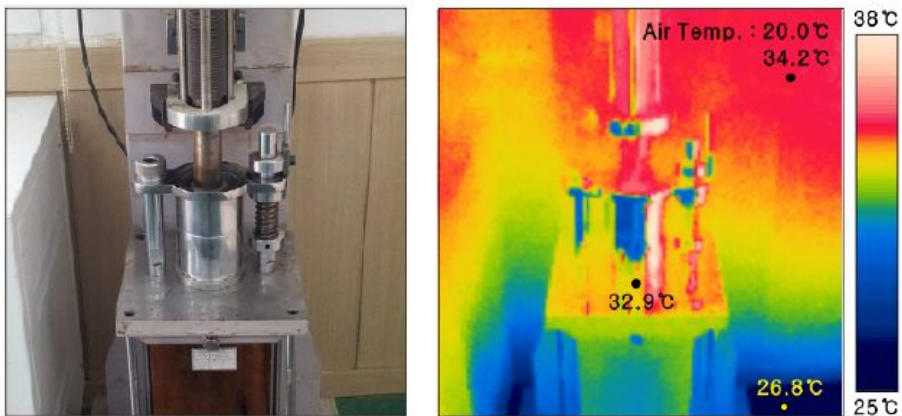


그림 2.5 마찰공시체 다짐 전경

아스팔트 콘크리트 포장에 발생한 포트홀 파손을 효율적으로 상온에서 보수할 수 있는 보수 재료에 대한 기본 물성 시험으로 마샬시험을 수행하였으며, 시험에 적용된 보수 재료는 밀입도 아스팔트 콘크리트 포장 보수용(공극률 4%, Type A)과 중간 단계의 공극(공극률 13-15%, Type B)을 갖고 있는 포장 보수용 및 배수성 포장 보수용(공극률 16%-18%, Type C)으로 구분하였다. 그림 2.6은 마샬시험을 위한 이론최대밀도시험과 마샬시험 전경을 나타낸 것이다.



이론최대밀도시험전경



마샬안정도시험전경

그림 2.6 마샬시험 전경

그림 2.7은 Type A의 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물에 대한 마샬시험 결과로 아스팔트 바인더 함량에 대한 공극률(%), 마샬안정도(kN), 흐름값(1/100mm)을 나타낸 것이다. Type A 혼합물의 경우 공극률이 3%-7% 사이의 값을 보여주었으며, 흐름값은 17-30 사이의 값을 보여주었다. 적정 아스팔트 바인더는 약 8.5%인 것으로 나타났으며, 마샬안정도는 마샬시험기의 측정치를 넘어서도 파괴가 나지 않아 측정하지 못하였다. 따라서 흐름값의 경우 측정된 값보다 증가할 수 있는 가능성은 존재하지만 사용성에는 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

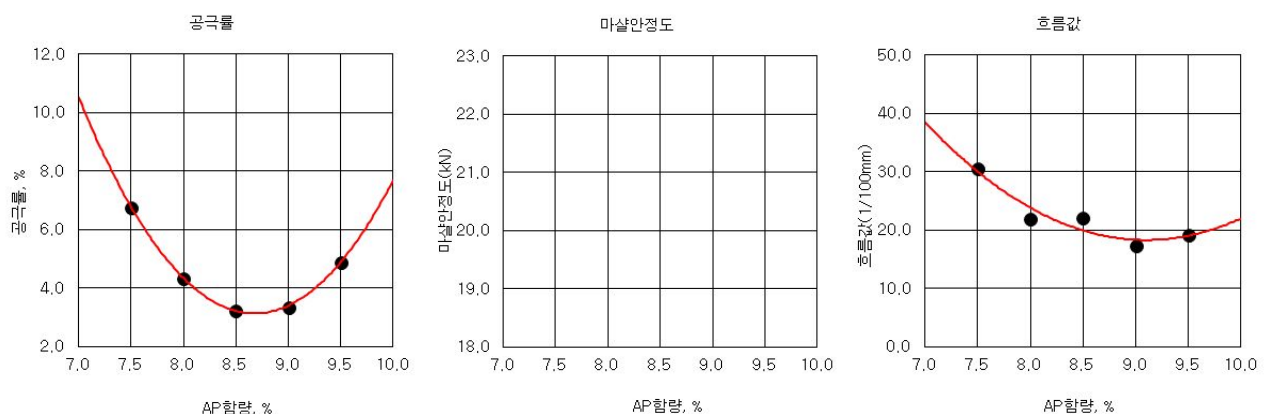


그림 2.7 A-Type 혼합물 마샬시험 결과

그림 2.8은 Type B의 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물에 대한 마샬시험 결과로 Type B 혼합물의 경우 공극률이 13%-15% 사이의 값을 보여주어 OGFC 수준의 공극률을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. Type B 혼합물의 마샬안정도는 약 16kN-21kN으로 개질 아스팔트

혼합물 수준으로 나타났으며, 서울시에서 요구하고 있는 강도값을 크게 상회하는 것으로 나타났다. 이때 흐름값은 18-22 사이의 값을 보여주었으며, 흐름치가 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

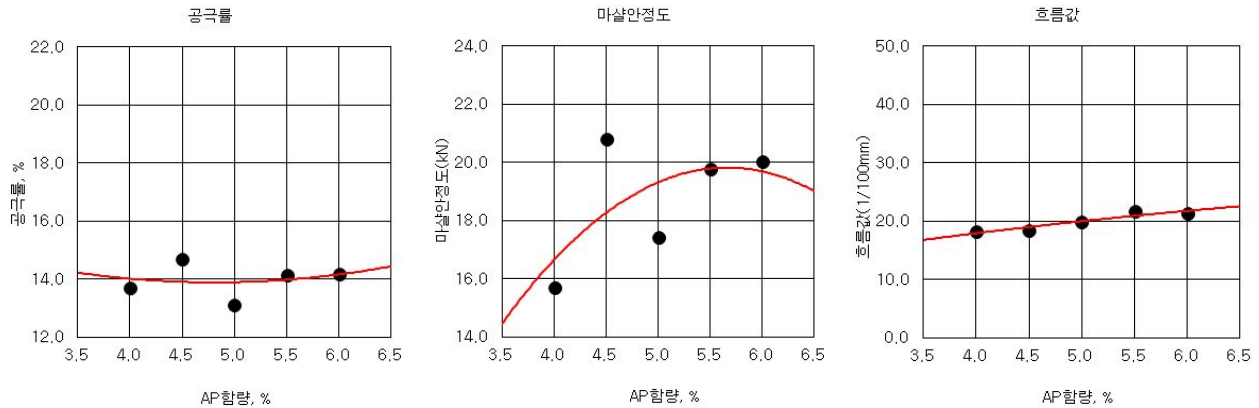


그림 2.8 B-Type 혼합물 마셜시험 결과

그림 2.9는 Type C의 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물에 대한 마셜시험 결과로 Type C 혼합물의 경우 공극률이 16%-18% 사이의 값을 보여주어 배수성 포장에서 요구하는 20%이상의 공극률을 확보하지는 못하였다. 그러나 공극률 15% 이상 확보함으로써 배수성 포장을 위한 보수에는 충분히 적용할 수 있을 것으로 사료된다. Type혼합물의 마셜안정도는 약 18kN-21kN으로 개질 아스팔트 혼합물 수준으로 나타났으며, 서울시에서 요구하고 있는 강도값을 크게 상회하는 것으로 나타났다. 이때 흐름값은 18-25 사이의 값을 보여주었으며, 흐름치가 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

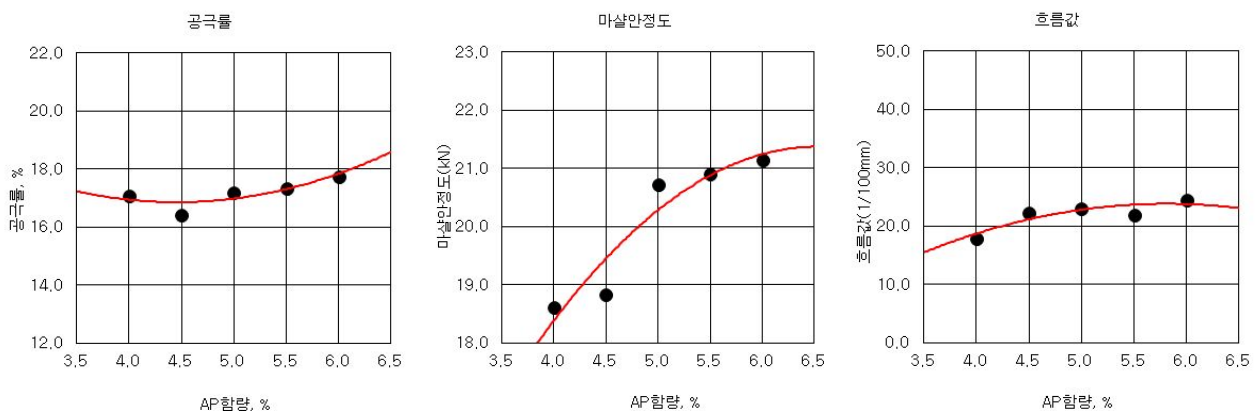


그림 2.9 C-Type 혼합물 마셜시험 결과

본 연구에서 검토된 세 가지 아스팔트 콘크리트 포장에 적용하기 위한 A/B/C Type의 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수 혼합물에 대한 마셜시험결과를 표 2.12에 정리하였다. 표 2.12를 살펴보면 시험결과 목표 공극률 4% 혼합물(Type A)의 경우 안정도가 시험 장비의 재하하중 범위를 넘어 측정할 수 없었지만 세 가지 혼합물 모두 마셜시험 결과 모두 서울시의 마셜 시험기준을 만족하는 것으로 나타났다.

표 2.12 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물 마찰시험결과

구 분	서울시 기준			시험 결과		
	공극률	흐름값	안정도	공극률	흐름값	안정도
Type A	3%-15%	20-40	2.5kN 이상	3%- 7%	17-30	-
Type B				13%-15%	18-22	16kN-21kN
Type C				16%-18%	18-25	18kN-21kN

다. 간접인장강도시험

간접인장강도시험(ITS, Indirect Tensile Strength Test)은 아스팔트 콘크리트 혼합물이 균질하고 등방성이며 탄성적이라는 가정하에서 혼합물의 물성을 평가하는데 적용되고 있다. 본 연구에서는 일반 밀입도 아스팔트 콘크리트 포장 포트홀 파손 보수용 혼합물(Type A)에 대하여 간접인장강도시험을 수행하였다. 이때 우레탄 개질 아스팔트 혼합물(UMAB)과 비교 대상으로 현재 국내에서 상온 포트홀 보수 재료로 많이 사용되고 있는 2가지 재료(HJM 및 HSM으로 구분)를 적용하였다.

각각의 포트홀 보수재는 양면 50회 다짐을 수행하여 공시체를 제작하였다. 시험 온도는 영하 5℃, 10℃ 및 25℃에서 수행하여 온도의 영향을 확인 할 수 있도록 진행하였으며 시험결과는 표 2.13 및 그림 2.11과 같다. 간접인장강도시험 결과를 살펴보면 모든 온도대에서 우레탄 개질 아스팔트를 적용하여 개발된 우레탄 개질 아스팔트 혼합물이 다른 두 혼합물보다 좋은 것으로 나타났다.



그림 2.10 간접인장강도시험 시험기 전경

표 2.13 간접인장강도시험 결과

구분		UMAB	HJM	HSM
온도	-5℃	2.8	1.3	0.7
	10℃	2.1	1.0	0.3
	25℃	1.6	0.3	0.1

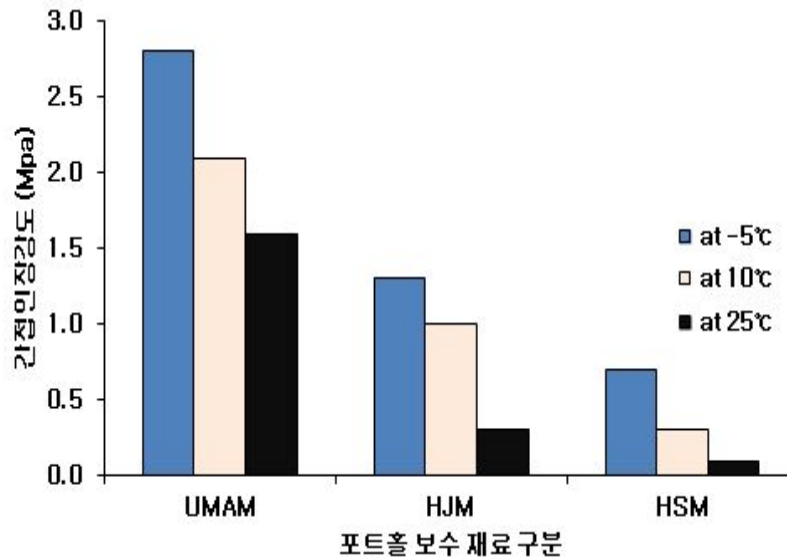


그림 2.11 간접인장강도시험 결과

라. 동결융해시험

개발되고 있는 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재에 대한 겨울철 동결융해에 대한 저항성을 평가하기 위하여 인장강도비(TSR, Tensile Strength Ratio)를 측정 시험을 수행하였다. TSR은 5회, 10회 및 15회 동결융해 후 간접인장강도시험을 수행하여 인장강도비(TSR, Tensile Strength Ratio)를 산정하였다. 동결융해 조건은 KS F 2398에 따라서 영하 18℃에서 16시간 방치한 후 60℃ 항온수조에서 24시간 담그는 것을 동결융해 1회로 보고 5회 반복한 후 간접인장강도시험을 수행하였다.

5회 동결융해 반복시험 결과를 나타낸 표 2.14 및 그림 2.12를 살펴보면 인장강도비가 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재의 경우 35%이며, 비교 대상 상온 포트홀 보수재는 각각 67%와 66%로 나타났다. 우레탄 개질 아스팔트 보수재의 인장강도비가 다른 두 혼합물보다 50%정도 인장강도비가 작은 것으로 나타났지만 5회 동결융해 반복 시험 후 간접인장강도는 2.7~8.3 배의 강도를 가지고 있는 것으로 나타났다.

표 2.14 동결융해시험결과

구 분		UMAB	HJM	HSM
5 cycle	%	0.35	0.67	0.66
	Mpa	0.56	0.20	0.07
10 cycle	%	0.20	0.71	0.79
	Mpa	0.32	0.21	0.08
15 cycle	%	0.27	0.91	0.91
	Mpa	0.43	0.27	0.09

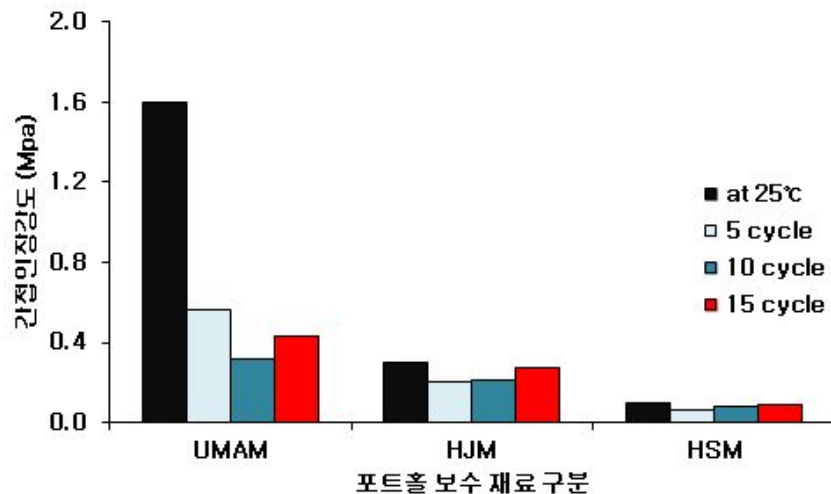


그림 2.12 동결융해시험결과

마. 휠트랙킹시험

아스팔트 콘크리트는 고온에서 혼합물의 점성 거동을 하게 되고 저온에서는 탄성거동을 하게 된다. 국내 아스팔트 콘크리트 도로 포장에서는 고온 시 점성 거동으로 인한 소성변형이 가장 심각한 문제점으로 지적되어 왔으며, 소성변형을 저감시키기 위한 다양한 노력들이 시도 되어 오고 있다. 이러한 아스팔트 콘크리트 혼합물의 소성 저항성을 검토하기 위하여 본 연구에서는 그림 2.14와 같이 휠트랙킹 시험을 수행하였다.



그림 2.14 휠트랙킹 시험 전경

본 연구에서 수행한 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 동적 안정도는 표 2.15와 같이 HJM 혼합물보다 매우 높은 것으로 나타났다.

표 2.15 휠트래킹 시험 결과

혼합물 종류	UMAB	HJM
동적안정도	22,750	1,068

4. 칩설용 시공 장비 개발

가. 골재 호퍼 및 이송 장치 설계

칩설 시공 장비는 바인더 스프레이와 골재 살포기로 구성되며, 골재 살포기에 골재를 공급하기 위한 골재 호퍼 및 골재 이송장치(골재 이송 컨베이어 벨트)를 아래 그림 2.15와 같이 설계하였다. 골재 호퍼는 1회 50m 시공이 가능하고, 바인더와 함께 1톤 소형 트럭에 상차가 가능하도록 설계되었다.

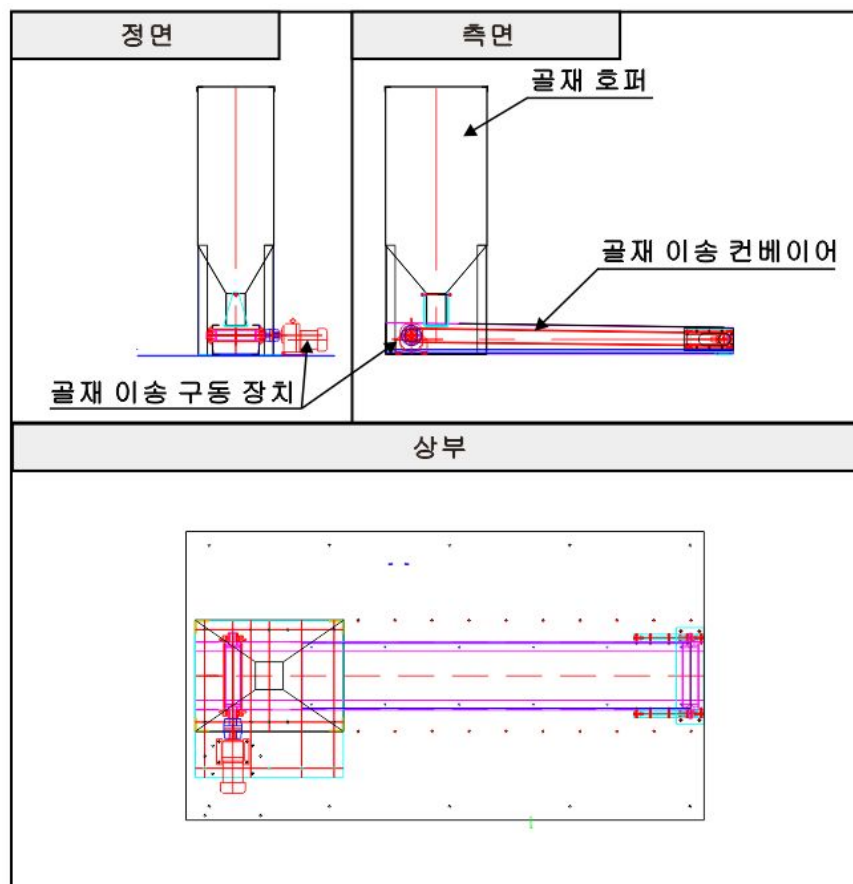


그림 2.15 골재 이송장치 설계 개념도

나. UMAB 칩설 시공 장비 설계

우레탄 개질 아스팔트 칩설 시공 장비는 바인더 스프레이와 골재 스프레이로 구성되어 있다. 초기 설계에서 바인더 스프레이와 골재 스프레이를 각각 제작하는 것으로 하였으나, 제작 협의 결과 각각의 모듈을 하나의 차량에 설치하는 것이 시공 용이성 및 장비 관리에 장점을 갖고 있어 각각의 모듈로 제작하여 하나의 차량에 설치하는 것으로 그림 2.16과 같이 설계 및 제작하였다. 또한 그림 2.17과 같이 이동과 작업 모드로 구분하고, 이동시 터널과 보도 육교 통과높이를 고려하여 최대높이가 2.9m가 되도록 설계하였다.

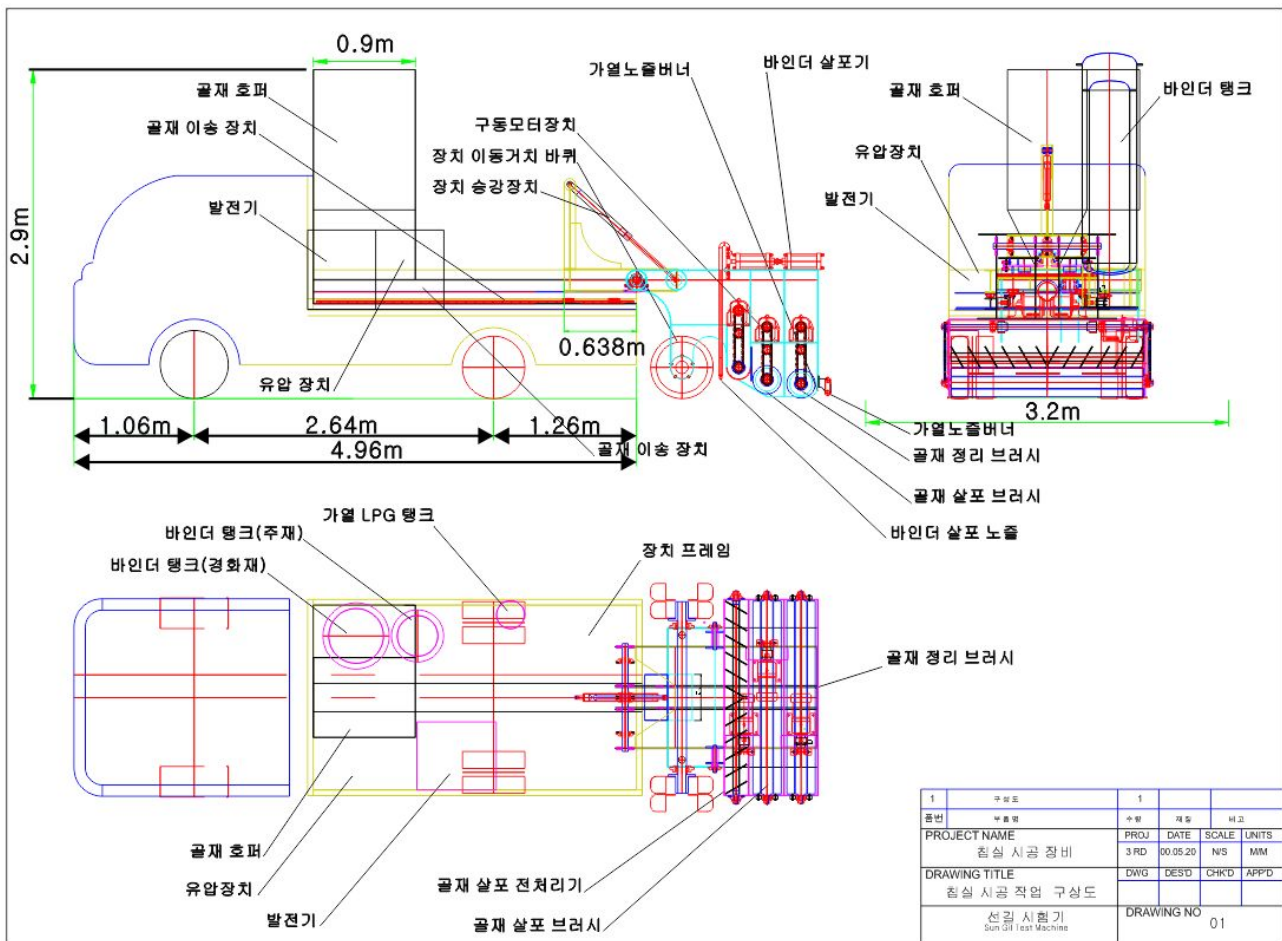
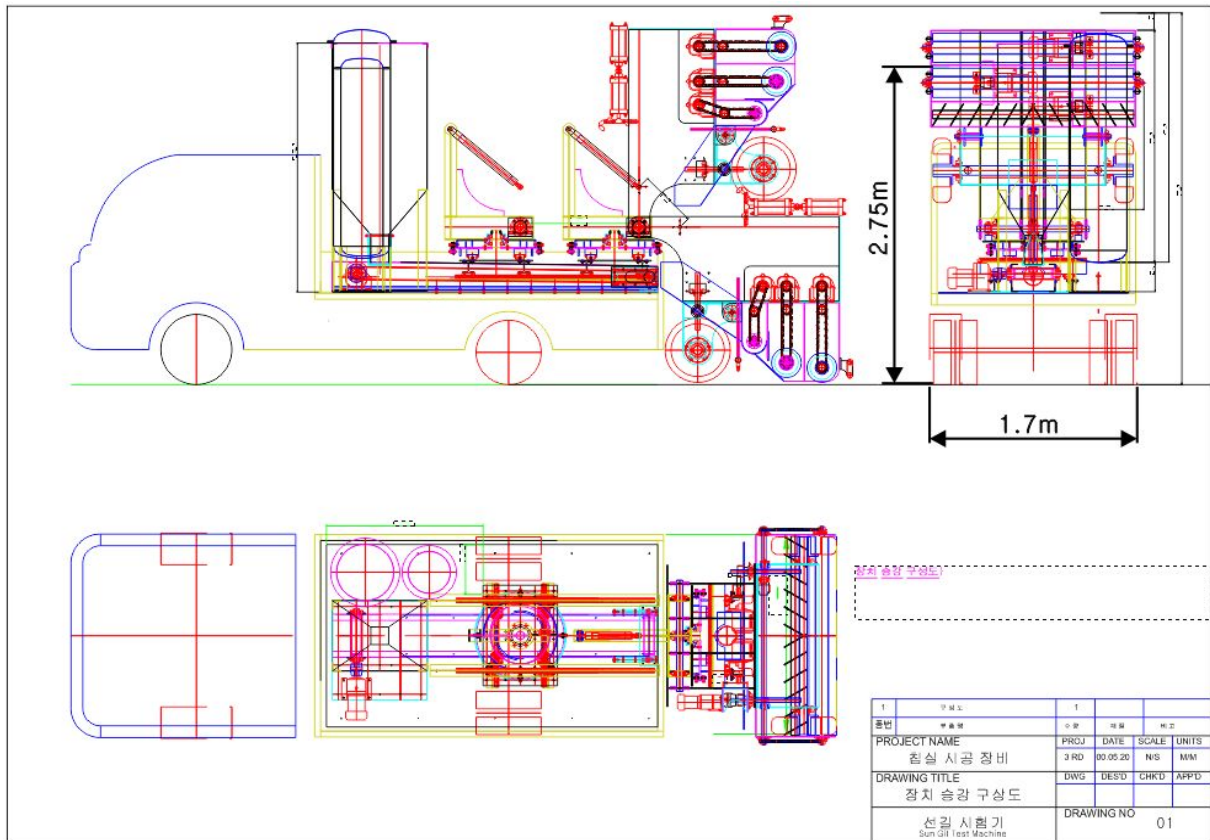


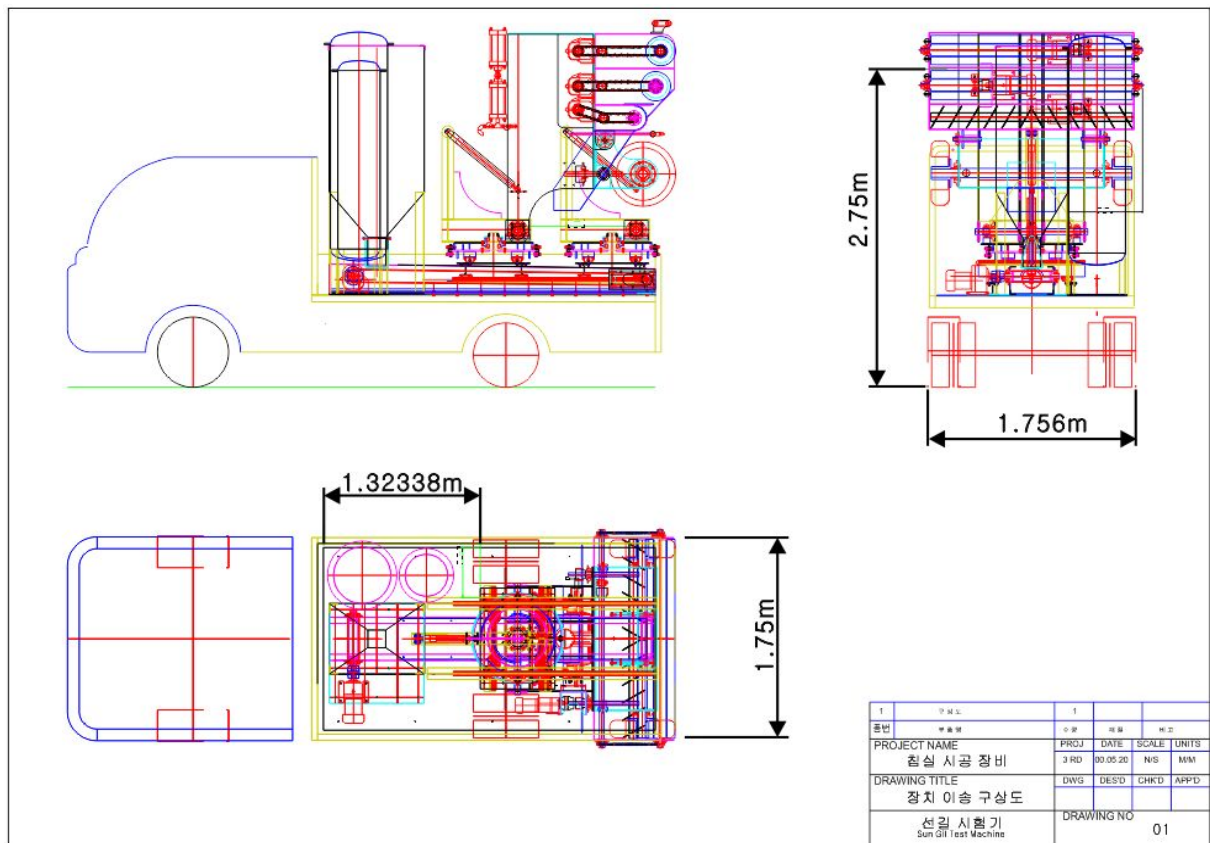
그림 2.16 칩설 시공 장비 구성도

다. UMAB 칩설 시공 장비 제작 및 개선

우레탄 개질 아스팔트 칩설 시공 장비는 설계와 같이 크게 바인더 스프레이와 골재 살포기 그리고 장치 이송장치로 구성되어 있으며, 아래 그림 2.18과 같이 이동 모드에서는 바인더 스프레이와 골재 살포기를 차량 위에 위치할 수 있도록 하였다.



(a) 침실 시공 장비 시공모드



(b) 침실 시공 장비 이동모드

그림 2.17 침실 시공 장비 설계도



UMAB 칩실 시공 장비 이동 모드



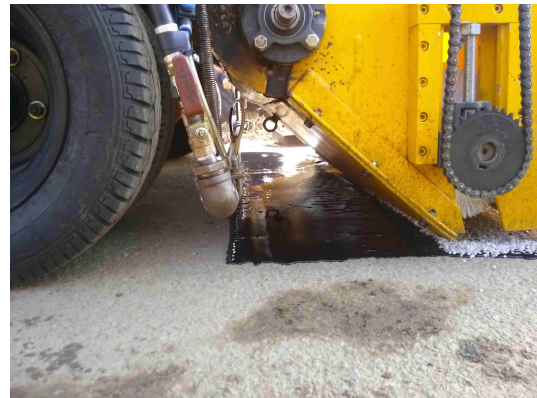
UMAB 칩실 시공 장비 시공 모드

그림 2.18 칩실 시공 현장 점검 전경

우레탄 개질 아스팔트 바인더 스프레이 장치는 2액형 특성을 반영하여 주재와 경화제 보관 탱크를 각각 제작하여 설치하였으며, 압축펌프를 통해 바인더 스프레이에 바인더를 공급하도록 하였다. 현재 개발된 칩실용 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 주재와 경화제의 혼합비율이 1:1이며, 초기 한 개의 압축펌프를 사용하여 바인더 스프레이에 공급하였으나 공급되는 바인더 혼합비율이 일정하지 않아서 압축펌프를 추가로 한 개 더 적용하여 목표한 혼합비율을 유지할 수 있도록 하였다. 또한 압축펌프 2개를 적용함으로써 향후 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 주재와 경화제 혼합비가 변경되더라도 실린더 속도를 조절함으로써 장비의 개선 없이 바인더 스프레이를 적용할 수 있도록 하였다.



물을 이용한 바인더 스프레이 테스트



골재 살포기 측면 전경

그림 2.19 칩실 시공 성능 점검 전경

골재 살포기는 그림 2.20과 같이 골재 이송 컨베이어 벨트로부터 수송된 골재를 살포된 우레탄 개질 아스팔트 바인더 위에 적절하게 흩어 뿌려주는 역할을 한다. 제작된 골재 살포기의 살포량은 50m/1회가 가능하도록 골재 호퍼를 제작하여 설치하였다. 또한 바인더 살포 속도 및 포설 속도에 따라 골재 살포량도 조절할 수 있는 변환 장치를 설치하였다.



(a) 골재 살포기 하부 전경



(b) 골재 살포기 측면 전경

그림 2.20 칩실 시공 장비의 골재 살포기 점검 전경

5. 슬러리실 혼합물 및 시공 장비 개발

가. 슬러리실 입도

아스팔트 콘크리트 노후 포장의 예방적 유지보수 공법 중 하나인 슬러리실 공법의 혼합물 입도는 표 2.16과 같다. 본 연구에서는 국제 슬러리실 입도 기준 III형을 기준으로 표 2.16과 같은 목표 입도를 선정하였다. 국제 슬러리실 입도의 경우 미국 및 호주에서 공용적으로 적용되고 있으며, 국내에도 이 입도를 기준으로 슬러리실 입도 지방 기준이 작성되어 있다.

표 2.16 슬러리실 입도 국제 기준 및 목표 입도

체크기	종 류	국제 Slurry Seal 입도 기준 III형	목표 입도
3/8in	9.5mm	100	100.0
No. 4	4.75mm	70-90	86.8
No. 8	2.36mm	45-70	55.6
No.16	1.18mm	28-50	36.2
No.30		19-34	24.6
No.50		12-25	15.6
No.100		7-18	9.2
No.200		5-15	5.4

나. 슬러리실 혼합물의 실내 시험

우레탄 개질 아스팔트 혼합물을 적용한 슬러리실 혼합물에 대하여 칸타블로시험, 간접인장 강도시험, 미끄럼저항(BPN) 및 휠트래킹 시험을 수행하였다. 그림 2.21은 슬러리실 혼합물 제작을 위한 골재 준비 전경이다. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물과 비교대상으로 MMA 수지 혼합물과 유화아스팔트 혼합물에 대하여 비교 평가를 수행하였다.

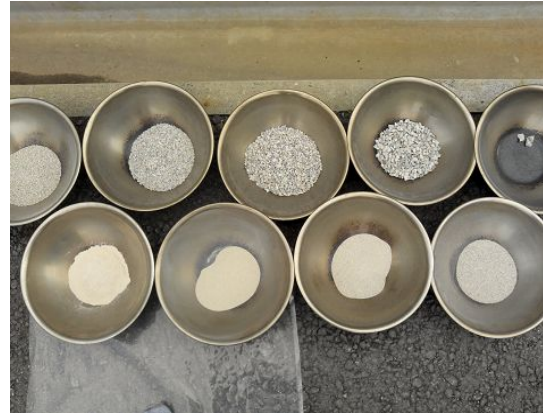


그림 2.21 슬러리실 혼합물 골재 준비 전경

슬러리실 혼합물에 대한 칸타블로 시험은 우레탄 개질 아스팔트 혼합물과 MMA 혼합물에 대하여 수행하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 칸타블로 손실율은 1.0%로 MMA 혼합물 5.0% 보다 매우 우수한 것으로 나타났다.

표 2.17 슬러리실 혼합물 칸타블로 시험 결과

구분	단위	우레탄 개질 아스팔트 혼합물	MMA 혼합물	유화 아스팔트 혼합물
칸타블로	%	1.0	5.0	-

슬러리실 혼합물에 대한 간접인접시험을 우레탄 개질 아스팔트 혼합물과 MMA 혼합물에 대하여 수행하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도는 1.6MPa으로 나왔으며, MMA 혼합물은 시험 장비의 허용응력을 넘어서 측정하지 못하였다.

표 2.18 슬러리실 혼합물 간접인장강도 시험 결과

구분	단위	우레탄 개질 아스팔트 혼합물	MMA 혼합물	유화 아스팔트 혼합물
간접인장강도	MPa	1.6	측정불가	-

슬러리실 혼합물에 대한 미끄럼저항시험을 우레탄 개질 아스팔트 혼합물, MMA 혼합물 및 유화 아스팔트 혼합물에 대하여 수행하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 미끄럼저항은 60 BPN으로 나타났다. MMA 혼합물과 유화 아스팔트 혼합물의 경우 각각 70 BPN과 55 BPN을 보여주어 MMA 혼합물이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 경우도 60 BPN을 보여 일반 아스팔트 혼합물의 미끄럼저항포장에 적용할 수 있는 미끄럼 저항값을 보여주고 있다. 국내 국토교통부의 도로안전시설 설치 및 관리지침에서 기준으로 하고 있는 미끄럼방지포장의 기준은 표 2.20과 같다.

표 2.19 슬러리실 혼합물 미끄럼저항 시험 결과

구분	단위	우레탄 개질 아스팔트 혼합물	MMA 혼합물	유화 아스팔트 혼합물
미끄럼저항	BPN	60	70	55

표 2.20 최소 마찰계수 기준표(도로안전시설 설치 및 관리 지침)

구 분	정 의	최소 요구 마찰계수			마찰 계수의 종류
		위험도 1	위험도 2	위험도 3	
S1 (마찰력 확보가 매우 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/시 이상인 도로의 교통 신호 또는 횡단보도 접근부	57	67	77	BPN
	2) 도시 지역도로의 교통신호, 횡단보도 또 는 비슷한 위험개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 경사에서 곡선 반경이 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규정”에 서 정한 값보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당하는 구 간	37	44	50	SN
S2 (마찰력 확보가 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/시 이상이 되는 도로로 서 곡선 반경이 “도로의 구조·시설 기준 에 관한 규정”에서 정한 값보다 작게 설 계된 곳	47	57	67	BPN
	2) 5% 이상의 내리막 경사가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반구간 4) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로 접근부	31	37	44	SN
S3 (평균 조건)	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음 에 해당되는 도로	32	47	57	BPN
	1) 주요 간선도로 또는 자동차 전용도로 2) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 일반도로	21	31	37	SN
S4 (마찰력이 중요하지 않은 구간)	교통량이 적은 도로의 일반 직선 구간	32	42	47	BPN
		21	27	31	SN

슬러리실 혼합물에 대한 동적안정도시험을 우레탄 개질 아스팔트 혼합물에 대하여 수행하였으며, 시험 결과는 표 2.21과 같다 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 동적안정도는 21,000 회/mm로 매우 우수한 것으로 나타났다.

표 2.21 슬러리실 혼합물 동적안정도 시험 결과

구분	단위	우레탄 개질 아스팔트 혼합물	MMA 혼합물	유화 아스팔트 혼합물
휠트래킹	회/mm	21,000	-	-

다. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물 생산 혼합기 설계 및 제작

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물의 혼합을 수행할 수 있는 혼합기를 2차 년도에 그림 2.22와 같이 설계하였다. 그림 2.22를 살펴보면 골재 투입구가 상단에 위치하고, 2개의 임펠러가 지면에 90도로 회전하며 혼합물을 혼합하고 하부로 혼합물을 투하하여 인력시공이 가능하도록 설계되어있는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 그림 2.22의 혼합물 혼합기의 경우 제작 단가가 비싸며, 골재 투입에 어려울 것으로 사료되어 그림 2.23과 같이 설계도면을 수정하고 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 공법용 혼합물 혼합기를 제작하였다.

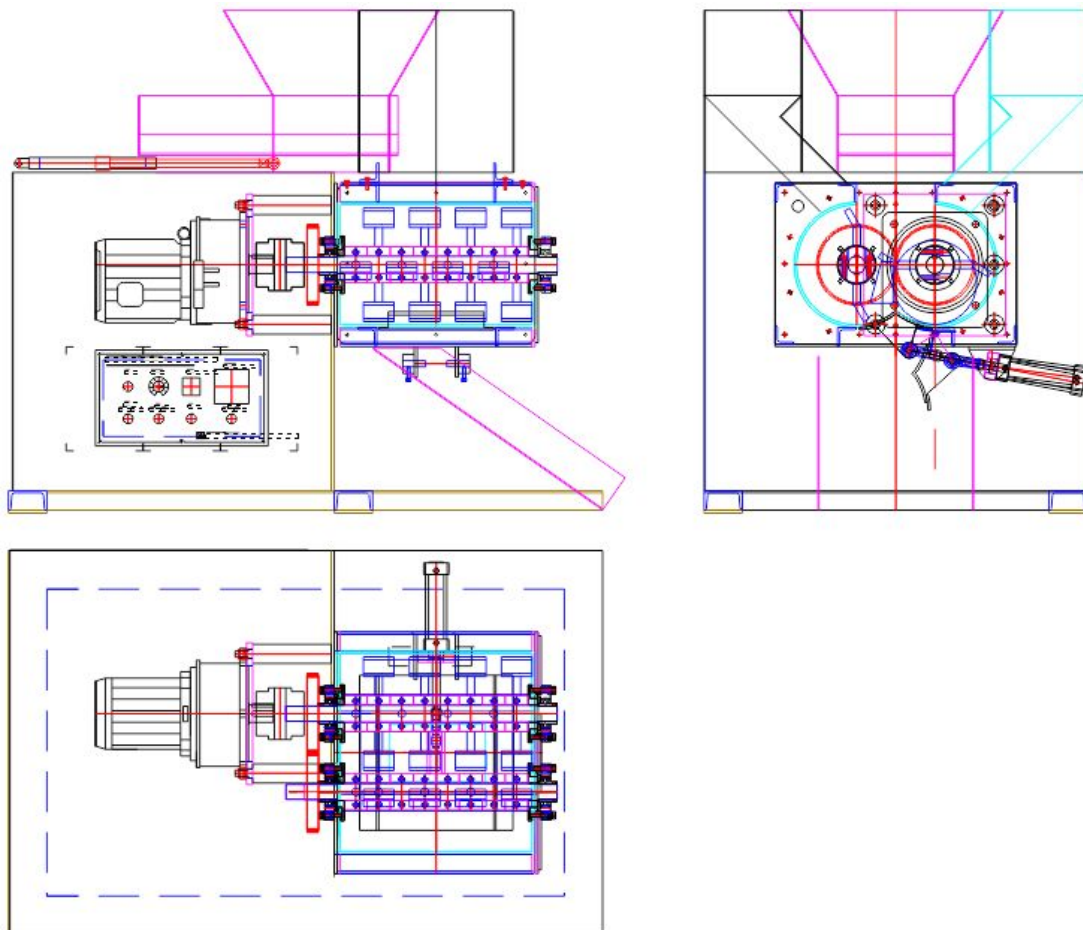


그림 2.22 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합기 : 수정 전

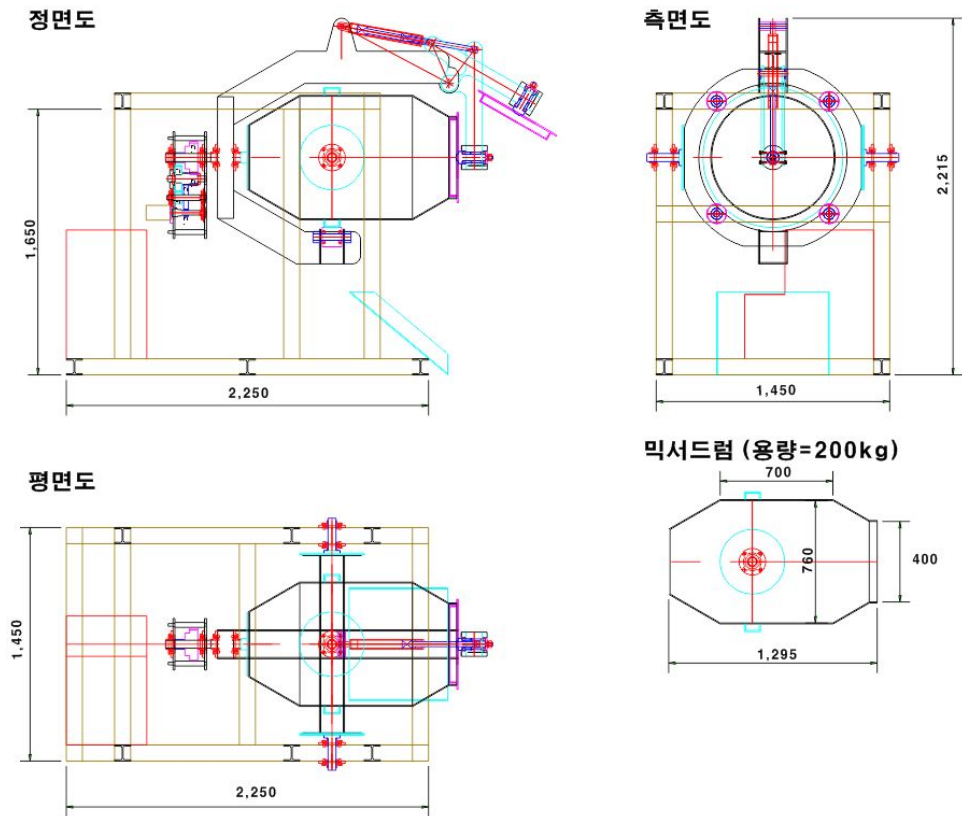


그림 2.23 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합기 : 수정 후

라. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합기 성능 점검 및 개선

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합기 제작 과정에서 성능 점검 및 개선사항 도출을 위하여 성능 시험을 그림 2.24와 같이 수행하였다.



그림 2.24 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합기 성능 점검 전경

6. 균열 실링 장비 성능 개선 연구

가. 자동화 균열 실링 장비 성능 개선 : 중규모

아스팔트 콘크리트 포장에 발생한 중규모 균열의 보수의 경우 자동화 장비를 통해 시공이 이루어져야 하며, 본 연구에서는 상온에서 가열 없이 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 자동화 균열 실링 장비를 그림 2.25와 같이 선행 연구로부터 제작된 장비를 개선하였다. 성능 개선 사항은 아래와 같다.

- ① 정확한 비율의 정량 이송을 위해 펌프 개선
- ② 교체형 Head Mixer로 Head 부분 개선

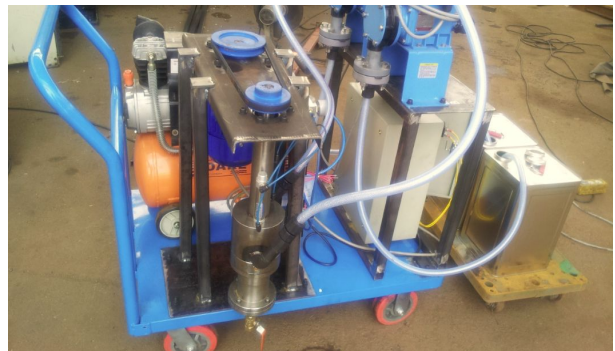


그림 2.25 우레탄 개질 아스팔트 바인더 자동화 균열 실링 장비 전경

우레탄 개질 아스팔트 바인더 자동화 균열 실링 장비의 정확한 비율의 정량 이송을 위해 펌프 개선사항은 경화제와 주재의 당량비 즉 정확한 비율 (1:1)의 토출을 위해 정량펌프로 개선하였다. 또한 교체형 Head Mixer로 Head 부분 개선 사항은 Head Gun 내부에서 2액형 물질이 혼합되던 기존 장비에서 교체가 가능한 Head Mixer로 개선하였으며, Head 부분(노즐) 경화에 따른 우레탄 개질 아스팔트 바인더 실링재료의 토출 문제점을 해결하였다. 또한 균열 보수 작업시 장비의 안전성을 확보하기 위하여 유압 펌프의 용량을 개선하였다. 개선 사항은 정확한 비율의 정량 토출을 위해 고정 속도와 일정한 압력으로 주재와 경화제의 원활한 공급이 이루어져야 하기 때문에 주재 및 경화제 유입 유압 펌프의 용량을 개선하였다.

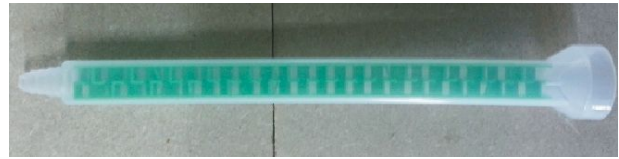
나. 휴대용 균열 실링 장비 성능 개선 : 소규모

휴대용 균열 실링 장비는 단지내 도로의 소규모 균열에 대하여 비숙련자도 손쉽게 균열 보수를 수행할 수 있도록 개발되었다. 본 연구의 기획연구에서 제작된 휴대용 균열 실링 장비의 경우 Screw 형태의 Head Mixer를 적용하여 주재 및 경화제의 혼합 효율에 문제가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 그림 2.26과 같이 격자형 그물구조의 Head Mixer로 구조를 변경하였다. Head Mixer의 변경 결과 격자형 그물구조의 Mixer로 전환하여 Screw 형태의 Head Mixer 보다 길이를 50% 감소시킬 수 있으며, 주재와 경화제의 혼합 효율에 개선이

있는 것으로 나타났다. 또한 그림 2.28과 같이 휴대용 카트리지 충전기를 자동 충전할 수 있는 장비도 개발하였다.



(a) 개선 전 : Screw 헤드 믹서[30cm]



(b) 개선 후 : 격자형 헤드 믹서[15cm]

그림 2.26 휴대용 균열 실링 장비 Head Mixer 비교



그림 2.27 휴대용 균열 실링 장비 현장 성능 점검



(a) 휴대용 실링장비 충전기



(b) 카트리지 충전기



(c) 카트리지 충전 성능시험

그림 2.28 휴대용 균열 실링장비 카트리지 충전기

3절 연구수행 결과 및 검증

1. 연구 수행 결과

가. 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 저장 안정성 검토 결과

우레탄으로 개질된 아스팔트 바인더 주재를 개발하기 위하여 저장 안정성 및 점도 실험을 수행하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 적정 점도를 유지하기 위한 프로세스 오일의 양은 아스팔트 바인더 혼합물 중량의 30% 이상 필요한 것으로 나타났으며, 아로마계의 경우 다른 프로세스 오일에 비하여 성능 개선 효과가 낮은 것으로 나타났다. 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계의 프로세스 오일을 적용한 아스팔트 바인더 혼합물과 이소시아네이트를 혼합 할 경우 재료 분리가 발생하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 사용된 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계 프로세스 오일은 우레탄 개질 아스팔트 바인더 개발에 적합하지 않을 것으로 사료된다.

점도 시험 결과 TDI를 첨가한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재는 국내 및 미국의 유화 아스팔트 점도 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 MDI의 경우 프로세스 오일 A[N10]에 대해서만 일부 만족하는 것으로 나타나 프로세스 오일[N15]이 적합하며 TDI를 첨가하여 주재를 생산하는 것이 MDI를 첨가하는 경우보다 점도 기준을 만족시키고 적정 작업성을 유지하는데 유리한 것으로 나타났다. 이렇게 생산된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 경우 최소 6개월의 저장 안전성을 보일 것으로 사료된다.

나. 포트홀 보수용 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 개발 결과

아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 파손 발생 메커니즘은 아스팔트 혼합물에 수분이 침투하고, 아스팔트 바인더와 골재의 점착력이 침투한 수분에 의하여 약화되어 발생한다. 본 연구에서는 아스팔트 콘크리트 포장에 발생한 포트홀 파손을 효율적으로 상온에서 보수할 수 있는 보수 재료에 대하여 25℃에서 간접인장강도시험을 수행하고, 5회 동결융해 반복 후 간접인장강도시험을 수행하여 인장강도비(TSR, Tensile Strength Ratio)를 산정하였다.

사용된 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재는 목표 공극률 4%대의 혼합물을 사용하였으며, 비교대상 상온 보수재는 사전 혼합된 형태로 사용되고 있는 기성 제품 2종류를 선정하였다. 각각의 포트홀 보수재는 양면 50회 다짐을 수행하여 공시체를 제작하였다. 동결융해 조건은 KS F 2398에 따라서 영하 18℃에서 16시간 방치한 후 60℃ 항온수조에서 24시간 담그는 것을 동결융해 1회로 보고 5회 반복한 후 간접인장강도시험을 수행하였다. 5회 동결융해 반복 시험 결과를 나타낸 표 2.14 및 그림 2.12를 살펴보면 인장강도비가 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재의 경우 35%이며, 비교 대상 상온 포트홀 보수재는 각각 67%와 66%로 나타났다. 우레탄 개질 아스팔트 보수재의 인장강도비가 다른 두 혼합물보다 50%정도 인장강도비가 작은 것으로 나타났지만 5회 동결융해 반복 시험 후 간접인장강도는 2.7~8.3 배의 강도를 가지고 있는 것으로 나타났다.

다. 칩실 및 슬러리실 혼합물 시공 장비 개발 결과

우레탄 개질 아스팔트 바인더와 혼합물을 적용할 수 있는 칩실 및 슬러리실 시공 장비를 2차년도와 3차 년도에 걸쳐 제작하였으며, 제작과정에서 현장 적용성능 평가를 수행하였다. 특히 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물에 대하여 실내시험을 수행하였으며, 칸타블로 손실율은 MMA 혼합물이나 유화 아스팔트 혼합물보다 우수한 것으로 나타났으며, 미끄럼저항성능은 일반 아스팔트 콘크리트 포장에 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용하여 중규모 및 소규모 균열 실링을 수행할 수 있도록 선행연구 및 기획연구에서 개발된 균열 실링 장비에 대한 개선을 수행하였다. 자동화 균열 실링 장비에 대하여 이송 펌프 개선을 통해 효율 및 안전성 개선을 이루었다.

2. 연구수행결과 검증

가. 우레탄 개질 아스팔트 칩 실 시험 시공 및 현장 평가

(1) 시험 시공 구간 선정

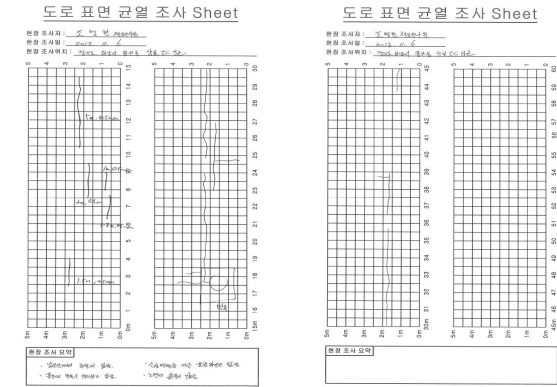
우레탄 개질 아스팔트 칩실 시험 시공 구간은 그림 2.29와 같이 경기도 하남시 풍산동으로 상일 IC 인근에 위치하고 있다. 시험 시공 구간의 전경은 그림 2.30과 같으며, 현장 조사 결과 시멘트 콘크리트 포장으로 균열 이외 소성변형 등 다른 포장 파손은 발생되어 있지는 않지만 우레탄 개질 아스팔트 칩 실 시공을 위해서 표면 청소에 주의를 요하는 것으로 나타났다.



그림 2.29 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시험 시공 구간 위성사진



(a) 현장 조사 위치 전경



(b) 50m 구간 표면 육안 조사 결과

그림 2.30 칩실 시험 시공 구간 전경 및 현장 조사 결과

(2) 시험 시공

시험 시공은 2013년 12월 18일, 표면 정리 후 칩실 시공 장비 및 표 2.22와 같은 인력 및 장비를 투입하여 시공 하였으며, 시공 절차는 그림 2.31과 같이 이루어졌다.

표 2.22 준비 장비 및 재료

품목		수량	단위	비고
인력	차량 작동	1	인	평산 건설
	칩실 장비 컨트롤러 작동	1	인	
	바인더 및 골재 사출상태 확인	1	인	
	청소	2	인	
	다짐	1	인	
	교통통제	4	인	
장비	Urethane Asphalt Binder 살포기	1	대	AR&C
	바브켓 청소솔	1	대	평산 건설
	1ton 다짐 roller	1	대	
	1ton 트럭	1	대	
	교통통제 싸인카	1	대	
재료	안전 경광봉	2	개[EA]	AR&C
	안전 조끼	2	개[EA]	
	빗자루	2	개[EA]	
	테이프(가드용)	100	M(miter)	
	용제(Toluene)	18	리터(ℓ)	
	Urethane Asphalt Binder	주재	120	
		경화재	240	
	골재		1500	



- 위치 : 경기도 하남시 풍산동 상일IC 인근
- 육안조사결과 : 일부 균열이 있으며, 소성변형 등 다른 포장 파손은 발생하지 않음. 노면에 흙이 많아 시공 전 청소가 필요함

(a) 칩실 시험시공구간 육안 조사



- 노면 1차 청소 : 바스켓 청소솔를 장착한 청소차량을 이용하여 충분히 노면을 청소
- 노면 2차 청소 : 인력 2인 투입을 통한 노면 2차 청소

(b) 시험시공구간 노면 청소



- 청소 후 칩실 시공을 위한 바인더 스프레이 및 골재 살포기 최종 점검

(c) 시험시공 전 장비최종점검



- 칩실 시공을 위한 바인더 및 골재 살포

(d) 시험시공구간 바인더 및 골재 살포



- 바인더 스프레이 살포량 확인 : 5mm 두께의 바인더 살포량 확인
- 골재 살포기의 살포량 확인 : 충분한 골재 살포량 확인
- 시간당 포설 속도 확인 : 목표속도 1m/min 포설속도 확인
- 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 경화 속도 확인

(e) 노즐상태 및 분사량 확인, 골재 분포 상태 확인



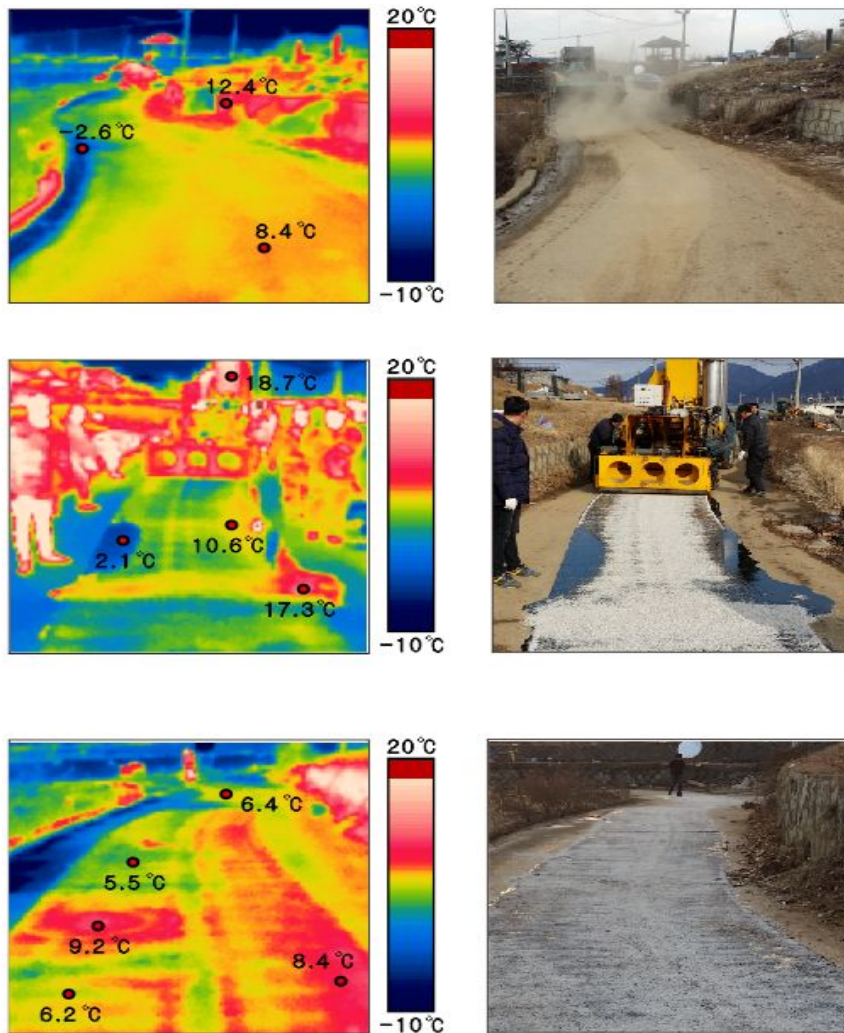
- 살포 종료 후 빗자루를 이용하여 골재 정리
- 골재 정리 후 골재가 우레탄 개질 아스팔트 바인더에 안정하게 위치할 수 있도록 소형 롤러로 다짐 실시

(f) 노즐상태 및 분사량 확인, 골재 분포 상태 확인

그림 2.31 칩실 시공 절차

(3) 시험 시공 결과

시험 시공은 폭 1.7m, 바인더 3mm 및 3mm 골재 포설을 목표로 수행하였으며, 처음 시험 시공으로 작업자의 숙련도 부족으로 바인더 포설 두께가 골고루 살포되지 않았으며 평균 5mm로 살포되었다. 또한 골재 살포가 부적절한 부분이 발생하였으나 2명의 작업자가 칩실 시공 장비를 뒤따르며 골재 정리를 통해 일정한 품질을 유지할 수 있도록 하였다. 칩실 시공 장비의 첫 시험 시공은 1m/min 시공 속도를 유지하였다. 또한 열화상 카메라를 이용하여 우레탄 개질 바인더의 혼합 성능 및 포설 온도를 그림 2.32와 같이 조사하였으며, 양호한 바인더 혼합 상태 및 경화를 확인하였다. 교통개방 시간은 30분 이내 가능한 것으로 조사되었으며 시공 시 노면 온도는 5~10℃로 나타났다.



(a) 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 온도 점검



(b) 시험 시공 후 시공 현장 전경
그림 2.32 칩실 시공 결과

(4) LFWD시험 결과

LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)는 FWD(Falling Weight Deflectometer)의 포터블 버전으로써 낙하하는 충격하중에 의해 포장체에 발생하는 변위를 측정하여 포장의 상태를 평가하는 비파괴 포장 검사 방법이다. LFWD은 그림 2.33과 같이 하중 재하부와 측정결과를 저장할 수 있는 무성장비로 구성되어 있으며, 포장층에 가한 하중에 의해 발생하는 탄성침하량을 측정하여 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 포장의 포장 상태 조사에 널리 사용되고 있으며, 미국의 포장유지관리 시스템(Pavement Management System, PMS)에서 포장 상태 추정에 활용되고 있다.



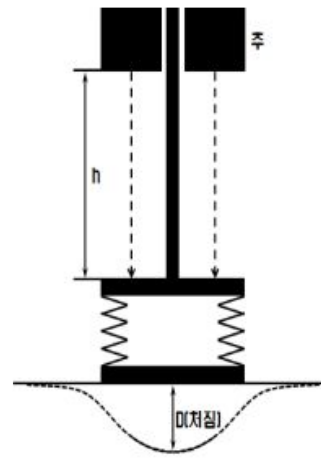
그림 2.33 LFWD 전경

LFWD의 측정부 상세 구조는 그림 2.34와 같으며 무게추가 고무 완충기(Buffer)로 자유낙하하면서 등분포에 가까운 하중을 가하게 된다. 무게 추를 10-15 kg 까지 다양하게 변화 시킬 수 있으며, 가해지는 충격 하중은 추의 무게와 낙하 높이의 변화를 통해 1-25 kN 범위로 가할 수 있다. 이때 가해진 충격력은 그림 2.34에 나타난 것과 같이 재하판(Plate)을 통해 표면에 전달되고, 표면에서 일어난 변형은 재하판 중앙에 위치한 변위계(Geophone)를 통하여 단말기(PDA)로 전송되게 된다. 재하판의 종류는 100, 150, 300 mm 세 종류가 있으며, 처짐 측정범위는 $0.1 \sim 2.0 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ 이다. LFWD 측정은 ASTM E2583-07 (Standard Test Method for Measuring Deflections with a light Weight Deflectometer)에 따라 실험을 수행하였다.

우레탄 개질 아스팔트 침실 시험 시공 구간에 대해서 2013년 12월 26일, 28일 LFWD를 활용하여 기존 포장층과 침실 공법 포장층의 구조적 상태를 측정 하였다. 측정지점은 그림 2.35와 같이 포장구간 내의 5개 지점을 정하여 각 지점마다 3-5회 측정을 실시하였다. LFWD에 의해 가해지는 하중은 약 7.0 kN이며, 재하판 Φ 300 mm를 사용하였다.



(a) LFWD 상세도



(b) LFWD 측정 원리

그림 2.34 LFWD 상세도 및 측정 원리



그림 2.35 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 구간 LFWD 측정 위치



(a) LFWD 상세도



(b) LFWD 측정 원리

그림 2.36 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 구간 LFWD 측정 모습

표 2.23과 표 2.24는 칩실 포장 공법 적용 전/후의 상태에서 LFWD 측정결과이다. 처짐량 (Def) 은 충격하중에 의해 포장표면에서 발생한 포장의 처짐 발생량이며, E0는 프로그램을 통해 계산된 탄성계수이다.

표 2.23 칩실 포장 전 LFWD 측정결과

구분	1회		2회		3회		4회		5회		평균	
	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0
단위	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa
B1	308	85	280	92	292	89	270	95	299	88	285	90
B2	325	80	293	91	295	90	-	-	-	-	304	87
B3	325	80	274	95	270	97	303	85	-	-	293	89
B4	334	78	305	85	290	88	285	92	-	-	304	86
B5	293	89	282	93	290	90	-	-	-	-	288	91
평 균											295	89

표 2.24 칩실 포장 후 LFWD 측정결과

구분	1회		2회		3회		4회		5회		평균	
	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0
단위	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa
B1	235	115	245	108	250	106	-	-	-	-	243	110
B2	266	11	253	105	255	108	241	112	252	106	253	106
B3	254	114	245	110	260	115	-	-	-	-	253	113
B4	260	103	238	110	235	110	-	-	-	-	244	108
B5	248	113	256	112	266	103	-	-	-	-	257	109
평 균											250	109

그림 2.37은 LFWD를 활용하여 측정된 결과로 기존 포장층과 칩실 포장층의 처짐량과 탄성 계수를 비교한 것이다. 칩실 공법 적용시 기존 포장에 비해 처짐량이 약 50 μm 감소하는 것으로 나타났으며 이에 따라 탄성계수가 약 20 MPa 정도 높은 값을 나타내었다. 그러나 그림 2.36(a)과 같이 기존 포장면의 청소상태가 양호하지 못하여 차량 통행에 따른 토사가 포장면 위에 존재하였기 때문에 다소간의 측정 오차가 발생할 수 있을 것으로 사료된다. 짧은 시험 포장 구간에 대한 실험 결과로 칩실 포장의 구조적 개선 효과를 검증하기에는 무리가 있다. 향후 추적 조사 및 추가적인 시험 포장 구간에 대한 추적 조사를 통해 칩실 포장의 구조적 역할을 분석 할 필요가 있다.

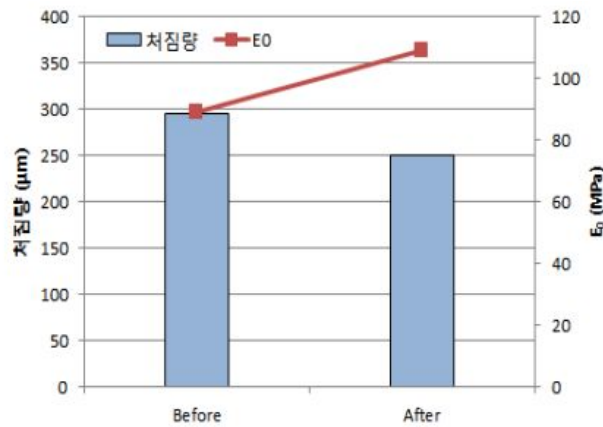


그림 2.37 칩실 공법 적용 전후 LFWD 측정결과

(5) 미끄럼저항시험 결과

포장 노면의 미끄럼저항성은 도로 이용자의 안전과 연관되어있기 때문에 이에 대한 평가가 이루어져야 한다. 그림 2.38과 같은 영국식 미끄럼저항성 시험기(British Pendulum Tester ; 이하 BPT)는 진자 원리를 이용하여 공시체 또는 도로 노면과 진자에 부착된 고무 슬라이더 사이의 마찰 저항을 측정하는 장비로 실내 실험 또는 현장에서 노면의 미끄럼저항성을 측정한다. 장비의 이동이 용이하여 원하는 장소에서 간편하게 측정할 수 있어 미끄럼저항성의 평가 기준으로 널리 사용되고 있는 실험 방법이다.



그림 2.38 미끄럼저항성 시험기(BPT)

전 절에서 살펴본 최소 마찰계수 기준을 나타낸 표 2.20은 국토교통부에서 발행한 ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침’에 따른 마찰계수 기준이다. 위험도의 구분은 관리자의 판단 및 사고발생(사망사고, 사고빈도 등) 상황들을 고려하여 정해지며 경험을 바탕으로 한 정석적 판단에 의해 결정된다.

본 연구에서는 기존 포장과 침실 공법 적용 포장에 대하여 각각 4개 지점을 무작위 선정하여 BPT를 이용하여 미끄럼저항성을 KS F 2375(노면의 미끄럼저항성 시험방법)에 따라 측정하였다. 시험 방법으로는 정치식과 이동식 측정 방법이 있으나 널리 사용되고 있는 BPT를 사용한 정치식 시험을 통해 미끄럼저항성을 평가하고자 한다. 먼저 노면 위에 물을 뿌려 표면을 충분히 적신다. 이는 노면 상태를 열악한 상태로 하여 시험을 진행하여야 하기 때문이다. 진자의 자유 낙하로 슬라이더가 노면에 접촉되면서 마찰에 의해 BPN 수치를 측정하게 된다. 슬라이더가 반대 방향으로 접촉하기 전에 진자를 잡아 정지 시키도록 하며, 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위해 측정값이 거의 일정하게 되었을 때까지 시험을 반복적으로 수행한다. 그림 2.39는 1차 침실 공법 적용 구간에 대해 미끄럼저항성 시험을 수행한 모습이다. LFWD 측정과 동일하게 차륜부를 기준으로 시험시공 시작점으로부터 8.0 m 마다 측정을 진행하였다.



(a) 침실 공법 적용 전



(b) 침실 공법 적용 후

그림 2.39 침실 공법 적용 전·후 미끄럼저항성 측정(1차 측정)

미끄럼저항성 측정은 한 지점 마다 5회씩 수행 하였다. 미끄럼저항성 측정 결과는 표 2.25와 같다. 침실 시공전 포장은 상당히 노후된 포장이며, 그림 2.39(a)와 같이 포장 표면에 이물질이 많이 있었다. 측정 전 물청소를 실시하였으나 미끄럼저항성 값인 BPN이 51로 다소 낮은 값이 측정되었다. 침실 포장 적용 후 그림 2.39(b)와 같이 미끄럼저항성을 측정한 결과 BPN이 69가 측정되어 미끄럼저항성이 개선된 것을 확인 할 수 있었다. BPN 69는 표 2.20의 S1(마찰력 확보가 매우 중요한 구간) 구간의 위험도 2를 만족하는 수준으로 매우 우수한 미끄럼저항성이라고 할 수 있다.

(6) 평탄성시험 결과

평탄성지수는 국가별, 용도별로 다양한 지수가 사용되고 있으며 그 활용방법도 다양하다. 본 연구에서는 비교적 간단하지만 객관적으로 도로의 평탄성을 평가할 수 있는 IRI를 이용하였다. IRI는 국외에서 뿐만 아니라 국내 포장 설계법에서도 채택하여 사용하고 있다. 그러나 국내시공현장에서 많이 사용되고 있는 PrI로도 변환하여 평탄성 기준에 적합한지 알아보하고자 한다.

표 2.25 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 구간 미끄럼저항성 측정결과

측정지점	1회	2회	3회	4회	5회	평 균
칩실 시공 전						
Center_1	54	50	50	45	54	51
Center_2	51	45	47	57	44	49
Center_3	57	54	49	57	55	54
Center_4	44	52	53	49	47	49
평 균						51
칩실 시공 후						
Center_1	76	75	75	64	68	72
Center_2	71	64	71	63	63	66
Center_3	73	71	65	70	66	69
Center_4	70	70	71	67	66	69
평 균						69

IRI에 관한 내용을 포장 표면 조건에 따라 운전자가 느끼는 승차감, 차량에 미치는 영향, 안전성, 차량 손실 비용 등을 종합적으로 고려하여 평탄성 지수로서 분류하였으며, 포장조건에 따라 분류된 사항은 다음 그림 2.40에 나타냈다. 표 2.26은 ‘고속도로공사 전문시방서(2009)’에 제시되어 있는 IRI 기준을 나타낸 것이다.

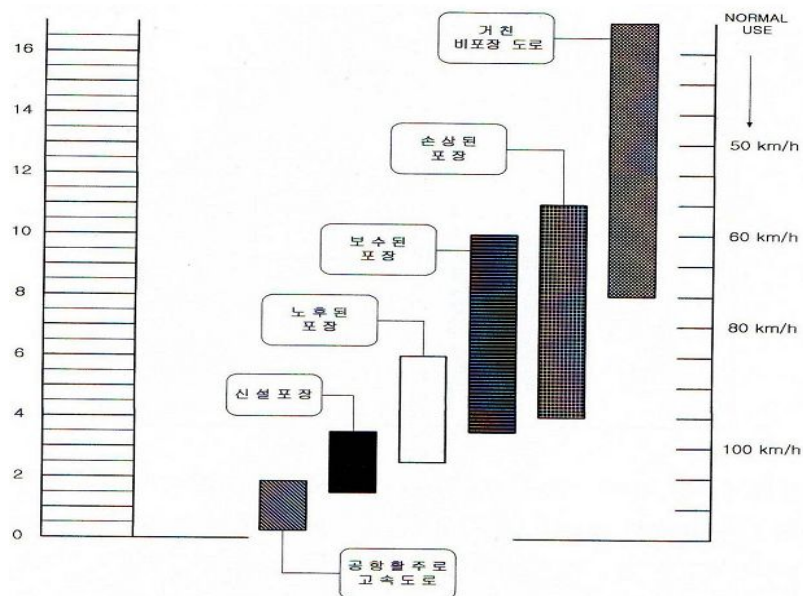


그림 2.40 국제평탄성 지수(IRI)와 포장상태와의 관계

표 2.26 고속도로공사 IRI 기준

구분	기 준 (IRI)	비 고
고속도로 및 공항	2.0m/km 이하	국제 도로 평탄성 시험 (IRRE)
일반국도	3.0m/km 이하	
고속도로	본선 구간	1.6m/km 이하 (PrI : 80mm/km)
	교량 (접속부포함), IC 및 JC 램프	

현재 국내 신설포장에 적용되고 있는 PrI 기준 값은 다음 ‘고속도로공사 전문시방서(2009)’ 및 ‘도로공사 표준시방서’에 제시된 바와 같이 표 2.27과 같으며, 교량구간·인터체인지·램프구간은 일반도로의 경우 24cm/km이하, 고속도로의 경우 16cm/km 이하여야 하며, 교량 접속부를 포함한 교량구간은 일반도로의 경우 20cm/km이하, 고속도로의 경우 16cm/km 이하여야 한다.

표 2.27 아스팔트 포장 PrI 기준

일반도로		고속도로	
일반도로 본선 토공부	10cm/km 이하	일반도로 본선 토공부	8cm/km 이하
교량접속부를 포함한 교량구간	20cm/km 이하	교량접속부를 포함한 교량구간	16cm/km 이하
확장 및 시가지도로	16cm/km 이하	IC 및 JC 구간	
교량구간, 인터체인지 램프구간	24cm/km 이하	단순편측확장 및 덧씌우기	

본 연구에 사용된 관성형 프로파일러는 광선을 이용한 평탄성 측정방법을 사용하며, 차량 탑재식 측정방법의 한 종류로서 차량에 설치된 광학 측정 시스템에 의한 백열광이나 레이저 광선의 반사 특성을 감지하여 노면요철을 측정하는 방법이다. 그림 2.41은 관성형 프로파일러의 외형을 나타낸 것이며, 그림 2.42는 주요 구성 부품을 나타낸 것이다.



- ▶ 저속 관성형 프로파일러
- ▶ 조사간격 5mm
- ▶ 최대 속도 20km/hr

그림 2.41 관성형 프로파일러 외형

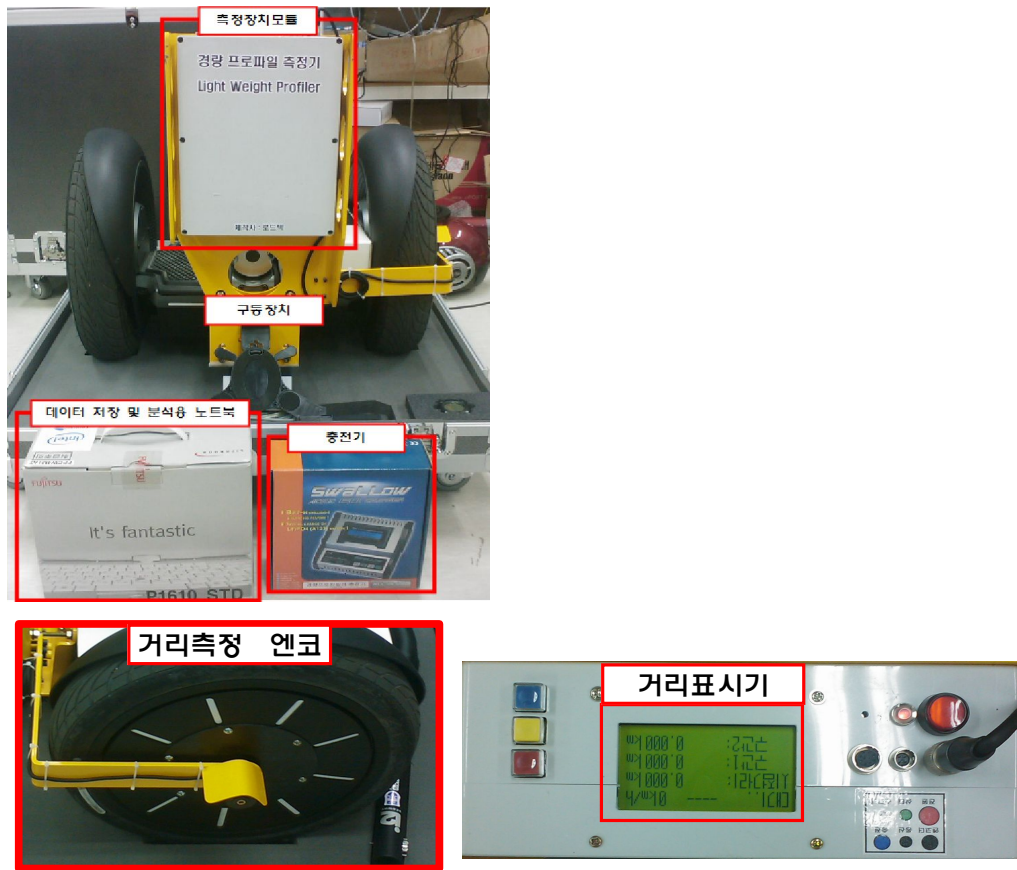


그림 2.42 관성형 프로파일러 주요 구성

경기 하남 상일IC 인근 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시험 포장도로의 평탄성 시험 조사구간은 표 2.28과 같다. 그림 2.43은 관성형 프로파일 측정기를 거치한 모습이다.

표 2.28 조사 위치 및 정보

조사거리	45m
시험속도	8km/hr-14km/hr
파일명	경기도 하남시 풍산동
조사 전 구간	10m



그림 2.43 시험포장위 관성형 프로파일 측정기 거치모습

관성형 프로파일미터를 이용한 평탄성 시험 절차는 아래와 같다.

- ① 관성형 프로파일러의 본체인 세그웨이를 가동시킨 후 세그웨이에 올라서서 수평을 유지
- ② 평탄성 조사 프로그램을 실행
- ③ 조사명, 구간명, 조사자 입력
- ④ 조사전 구간 및 조사 구간 값을 입력
- ⑤ [조사 시작] 버튼을 눌러 조사를 시작
- ⑥ 조사가 완료되면 [조사 종료] 버튼을 눌러 조사를 종료

그림 2.44는 IRI 시험장비를 이용하여 경기 하남 상일IC 인근도로의 IRI 그래프이며, 이를 이용하여 IRI값을 산출하였다. 표 2.29는 경기 하남 상일IC 시험포장도로의 평균 IRI값을 나타낸 것이다. 그림 2.45는 전체 구간에 대하여 측정된 IRI를 나타낸 그래프이다.

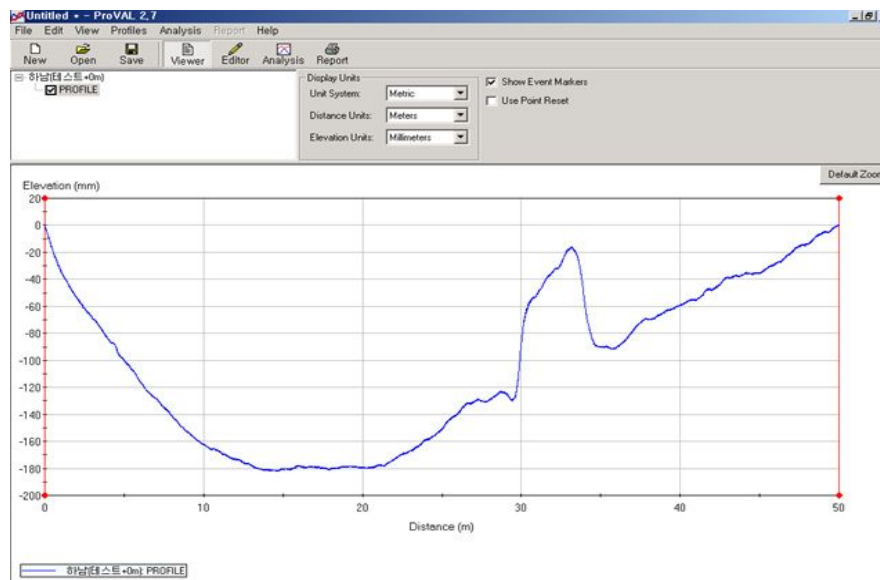


그림 2.44 ProVal 프로그램을 통한 측정 레이저센서 거칠기

표 2.29 경기 하남 상일IC 시험포장 평균 IRI 값

PROFILE	
Interval(m)	IRI(m/km)
0 - 43	4.46

표 2.30은 경기 하남 상일IC 시험 포장구간 평균 IRI값 및 참고용으로 분석한 변환된 PrI 값을 거리마다 나타낸 것이다.

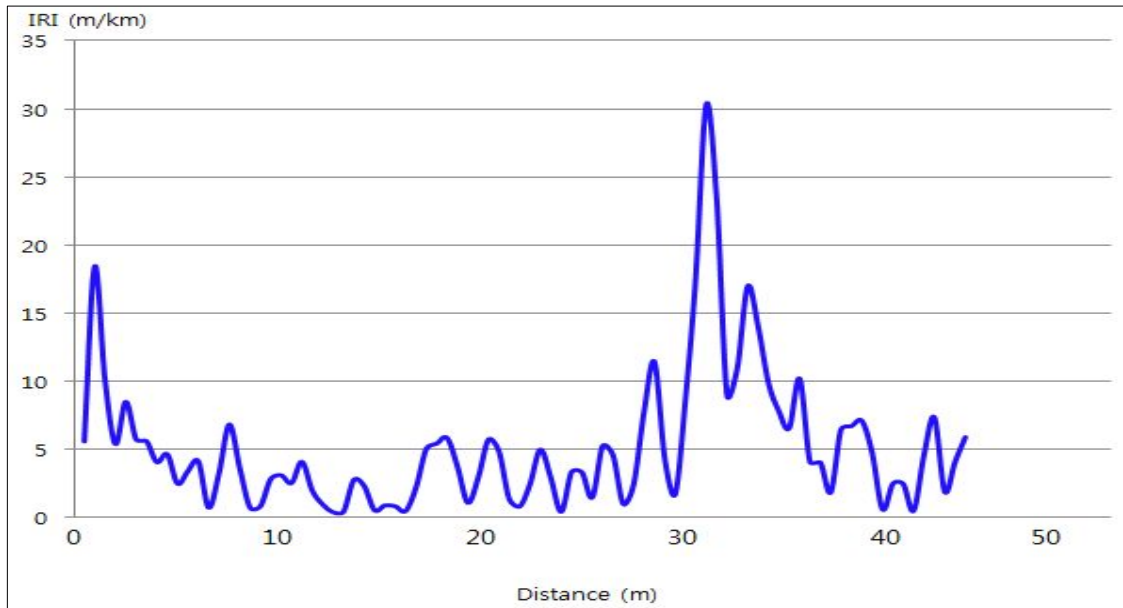


그림 2.45 IRI 분석그래프

평탄성 측정결과 IRI (m/Km)값은 4.46 으로 손상된 포장의 범위에 있음을 알 수 있었다. 또한 본 구간은 폐도에서 시험포장한 구간으로 신설구간 기준의 적용은 불가한 상황으로 판단 된다. 하지만 시험포장의 목적상 기존도로의 IRI를 유지하였거나 개선한 정도는 알 수 있을 것이다. 본 시험포장전 폐도의 IRI를 측정하지 않아서 유지되거나 개선한 정도는 알 수는 없었다.

나. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공 및 현장 평가

(1) 시험 시공 구간 선정

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공은 그림 2.46과 충청북도 영동군의 경부고속도로 폐도구간에 시공하였다. 적용 구간은 시멘트 콘크리트 포장 구간이며, 포장 표면의 파손은 발생하지 않은 구간이다.



그림 2.46 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공 구간

표 2.45 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공구간 IRI측정 결과

거리(m)	IRI값	거리(m)	IRI값
0.5-1	5.59	23-23.5	2.45
1-1.5	18.42	23.5-24	5
1.5-2	10.08	24-24.5	2.94
2-2.5	5.4	24.5-25	0.43
2.5-3	8.5	25-25.5	3.35
3-3.5	5.75	25.5-26	3.33
3.5-4	5.61	26-26.5	1.48
4-4.5	4.06	26.5-27	5.25
4.5-5	4.66	27-27.5	4.59
5-5.5	2.48	27.5-28	0.99
5.5-6	3.42	28-28.5	2.45
6-6.5	4.14	28.5-29	7.78
6.5-7	0.73	29-29.5	11.43
7-7.5	3.26	29.5-30	4.3
7.5-8	6.84	30-30.5	1.71
8-8.5	3.63	30.5-31	8.72
8.5-9	0.72	31.5-32	17.79
9-9.5	0.84	32-32.5	30.31
9.5-10	2.85	32.5-33	23.49
10-10.5	3.11	33-33.5	9.03
10.5-11	2.53	33.5-34	10.99
11-11.5	4.1	34-34.5	16.98
11.5-12	1.98	34.5-35	14.06
12-12.5	0.96	35-35.5	9.9
12.5-13	0.4	35.5-36	7.82
13.5-14	0.43	36-36.5	6.56
14.5-15	2.77	36.5-37	10.2
15-15.5	2.32	37-37.5	4.09
15.5-16	0.54	37.5-38	4.06
16-16.5	0.9	38-38.5	1.85
16.5-17	0.83	38.5-39	6.5
17-17.5	0.49	39-39.5	6.71
17.5-18	2.21	39.5-40	7.11
18-18.5	5.06	40-40.5	4.75
18.5-19	5.43	40.5-41	0.6
19-19.5	5.85	41-41.5	2.49
19.5-20	3.75	41.5-42	2.47
20-20.5	1.09	42-42.5	0.5
20.5-21	2.92	42.5-43	4.58
21-21.5	5.74	43-43.5	7.36
21.5-22	4.88	43.5-44	1.91
22-22.5	1.36	44-44.5	4.08
22.5-23	0.81	44.5-45	5.92

(2) 시험 시공 및 시공 결과

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물을 적용한 콘크리트 포장의 유지보수 성능을 평가하기 위하여 2014년 6월 24일에 시험시공을 수행하였다. 시험 시공은 그림 4.47과 같이 2개의 단면으로 시공하였으며, Section A는 두께 2.5cm 파쇄 후 슬러리실 시공을 하였다. Section B의 경우는 1.5cm 파쇄 후 슬러리실 시공을 수행하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공 절차 및 시공 결과는 그림 2.47과 같다. 그림 2.47을 살펴보면 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공은 인력 포설로 수행하였으며, 1회 혼합물 혼합량은 200kg으로 다짐 후 LFWD시험, 미끄럼저항시험 및 평탄성 시험을 수행하였다.

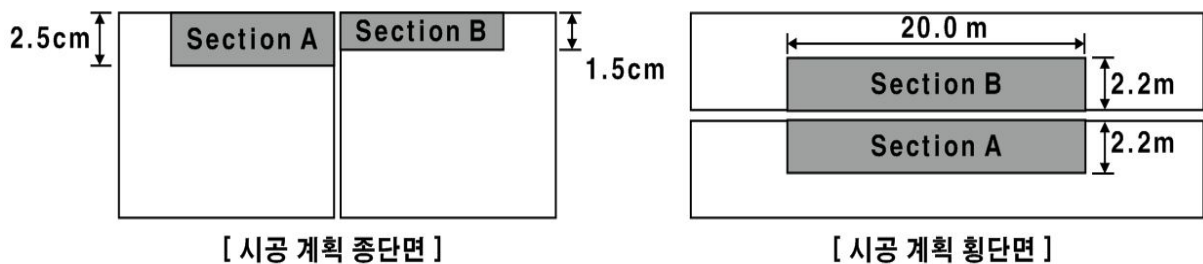


그림 2.47 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험시공계획



그림 2.48 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공 절차 및 결과

(3) LFWD시험 결과

콘크리트 노후 포장에 대하여 슬러리 실 아스팔트 콘크리트 보수 공법을 적용한 충청북도 영동군 경부고속도로 폐도구간에서 2차 LFWD 측정을 수행하였으며 측정(시험)조건은 1차 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 구간과 동일하다. 4지점을 선별하여 시험포장 전·후 동일지점에서 LFWD 측정을 수행하였다. 측정위치는 그림 2.50과 같다.



(a) 노후 콘크리트 포장



(b) 슬러리 실 포장 후

그림 2.49 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 LFWD 측정 모습

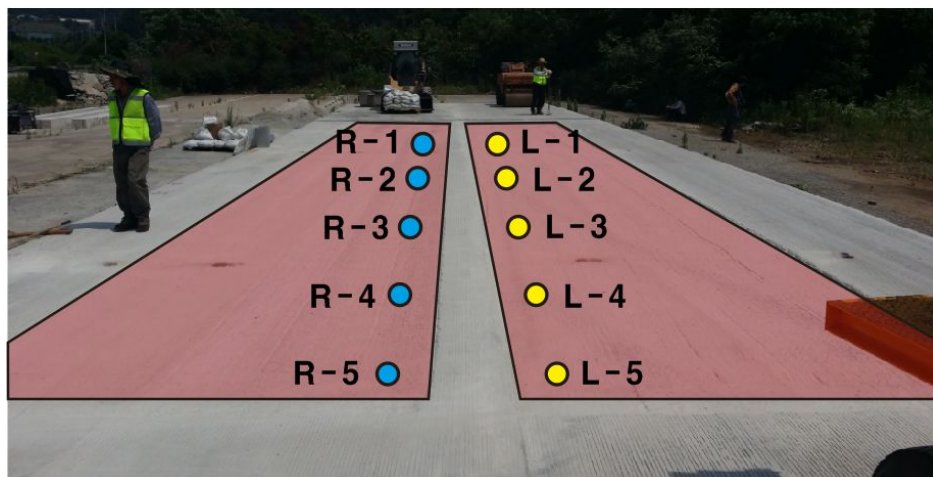


그림 2.50 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 LFWD 측정 위치

표 2.46은 2차 슬러리 실 보수 공법 적용 전 콘크리트 포장층에 대한 LFWD의 처짐을 측정한 결과이다. 콘크리트 포장이 아스팔트 콘크리트 포장에 비해 높은 강도를 나타내어 처짐에서 확연한 차이를 보이고 있다. 콘크리트 포장은 $4\mu\text{m}$ 의 처짐을 보이며 탄성계수는 6,650, 7,212 MPa로 측정되었다. 표 2.47은 우레탄 개질 아스팔트 슬러리 실 시험시공 후 아스팔트 포장 위에서의 처짐으로 $4\sim 22\mu\text{m}$ 의 다양한 결과를 나타냈다. 1.5cm를 시공한 우측(R) 포장의 경우 얇은 두께로 인해 콘크리트 포장과의 처짐 차이는 크지 않았으며, 2.5cm를 시공한 좌측(L) 포장에서는 최소 $7\mu\text{m}$ 에서 최대 $22\mu\text{m}$ 까지의 범위를 보였다. 좌측 포장의 경우 슬러리 실 포장두께가 2.5cm 포장되어 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 반응 시간의 차이로 인해 상이한 결과를 보인 것으로 판단된다.

표 2.46 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 LFWD 측정결과(시공 전)

구분	1회		2회		3회		4회		5회		평균	
항목	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0
단위	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa
L-1	5	5915	4	6440	5	5845					5	6067
L-2	4	6727	5	5905	5	5385	4	6359	5	5583	5	5992
L-3	4	6177	4	6766	4	6846	4	6544			4	6583
L-4	4	7171	4	7636	4	7940					4	7582
L-5	4	6331	5	5677	4	7558	3	8537			4	7026
평 균											4	6650
R-1	4	6993	5	5409	5	5958	4	6190			5	6138
R-2	4	6776	4	7342	4	7244	4	6808			4	7043
R-3	5	5720	4	7547	4	7431	4	6523			4	6805
R-4	4	7245	5	5684	4	7544	4	7642			4	7029
R-5	3	8603	3	8793	3	9384	3	9394			3	9044
평 균											4	7212

표 2.47 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 LFWD 측정결과(시공 후)

구분	1회		2회		3회		4회		5회		평균	
항목	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0
단위	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa
L-1	27	1028	22	1229	18	1500	19	1412	16	1683	20	1370
L-2	9	3103	8	3566	8	3322	8	3350	8	3393	8	3347
L-3	29	932	24	1160	20	1420	17	1634			22	1287
L-4	8	3405	7	3833	6	4453	8	3794	7	3977	7	3892
L-5	20	1399	19	1423	18	1480	19	1420			19	1431
평 균											15	2265
R-1	9	3105	9	3151	10	2659	9	3181	9	2979	9	3015
R-2	4	7804	4	6877	5	6078	4	6684	4	7352	4	6959
R-3	5	5628	4	6527	4	7584					4	6580
R-4	7	4025	6	4738	7	4254					7	4339
R-5	4	7201	4	6999	4	6820	4	7234			4	7064
평 균											6	5591

(4) 미끄럼저항시험 결과

충청북도 영동군 경부고속도로 폐도구간에서 슬러리 실 시공 전/후의 미끄럼저항성을 그림 2.51과 같이 측정하였다. 차륜부에 대해 측정하였으며 두께가 다른 슬러리 실 보수 공법 적용 구간을 나누어 측정지점을 선정하였다. 측정은 지점 당 5회씩 반복하여 실시하였다.



(a) 슬러리 실 공법 적용 전



(b) 슬러리 실 공법 적용 후

그림 2.51 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 전/후 미끄럼저항성 측정

측정결과는 표 2.49와 같으며 시험 시공을 실시하기 전의 기존 도로는 시멘트 콘크리트로 구성되어 BPN 81인 높은 미끄럼저항성이 측정되었다. 시험시공 후 슬러리 실의 미끄럼저항성 측정결과도 최소 마찰 계수 기준표의 S1(마찰력 확보가 매우 중요한 구간) 위험도 2 BPN을 상회하는 74이 측정되어 우수한 미끄럼저항성을 가지는 것으로 확인되었다.

표 2.49 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 미끄럼저항성 측정결과

측정지점	1회	2회	3회	4회	5회	평 균
적 용 전						
L_1	82	84	79	83	81	82
L_2	82	82	78	78	79	80
R_1	84	81	82	84	80	82
R_2	81	80	83	80	79	81
평 균						81
적 용 후						
L_1	73	76	72	72	79	74
L_2	76	74	72	74	73	74
R_1	75	73	75	77	75	75
R_2	72	72	72	72	77	73
평 균						74

(5) 평탄성시험 결과

충청북도 영동군 경부고속도로 폐도구간에서 슬러리 실 시공 전/후의 평탄성 시험을 그림 2.52와 같이 측정하였다. 그림 2.53 및 2.54는 IRI 시험 장비를 이용하여 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간의 IRI 그래프이며, 조사구간에 미리 영점구간을 둔 경우와 두지 않은 경우를 비교한 결과 2.54와 같이 차이가 남을 알 수 있었다. 분석 결과 표 2.51은 회포리 시험에서 조사구간 전 유무에 따른 평균 IRI값이다. 콘크리트 포장의 경우 영점구간 0m에 비해 영점구간 10m를 설정함으로서 평균 IRI값이 양호 하다는 걸 알 수 있다. 슬러리실 포장의 경우는 영점구간 10m를 설정하였을 때 평균 IRI값 9.41이 산출되었지만 이 같은 경우는 영점구간 10m 이후 IRI값이 측정될 때 콘크리트 포장에서 아스팔트 시험포장의 줄턱에 의한 현상으로 초반 1m IRI값을 제외하면 7.39로 영점구간을 설정하지 않은 것보다 안정된 것을 알 수 있다.



그림 2.52 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 평탄성 시험 전경

표 2.50 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 시험 개요

구분	콘크리트 포장		우레탄 개질 아스팔트와 콘크리트 포장 중간		우레탄 개질 아스팔트 시험포장		우레탄 개질 아스팔트 시험포장	
조사거리	22m		20m	20m	15m		10m	
시험속도	8km/hr-14km/hr		8km/hr-14km/hr		8km/hr-14km/hr		8km/hr-14km/hr	
파일명	충북 영동군 황간면 회포리		충북 영동군 황간면 회포리		충북 영동군 황간면 회포리		충북 영동군 황간면 회포리	
영점구간	10m	0m	10m	0m	10m	5m	10m	

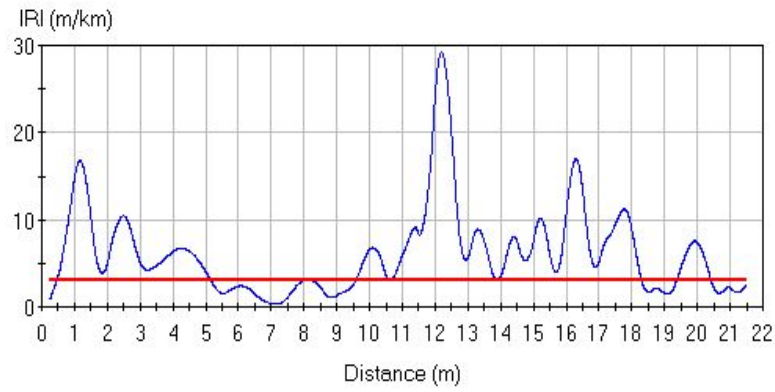
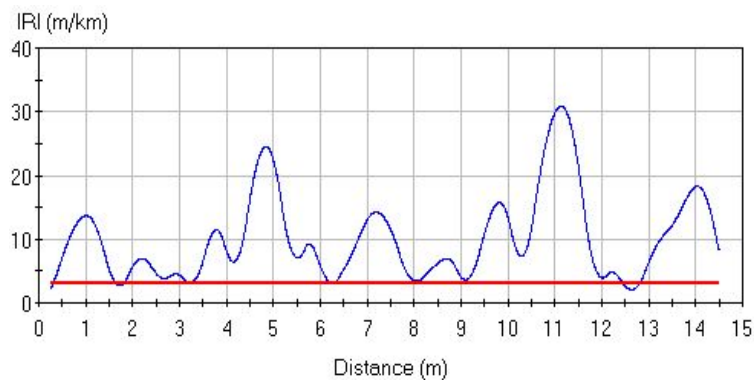
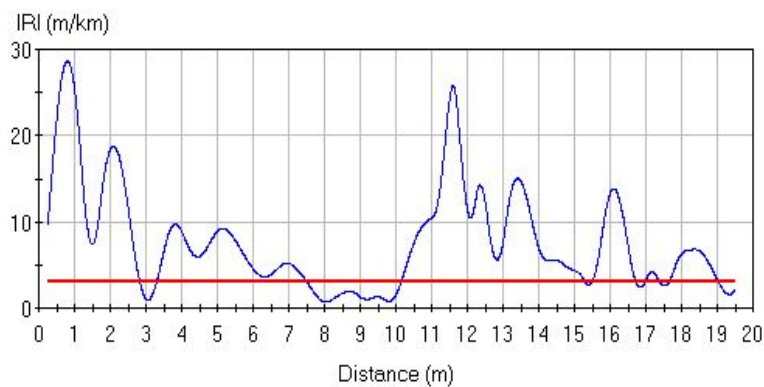


그림 2.53 콘크리트 포장 구간 IRI 그래프



(a) 총거리 20m에서 시험포장 영점구간 5m



(b) 총거리 20m에서 시험포장 영점구간 10m

그림 2.54 슬러리실 적용 포장 구간 IRI 그래프

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간의 영점구간 거리의 설정에 따른 분류는 표 2.51 및 2.52와 같이 시험포장 도로에서 영점구간 10m를 설정했을 때 조사구간 전 5m를 설정한 경우보다 평균 IRI값이 양호하다는 걸 알 수 있다. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간의 경우 슬러리실 시험포장의 경우 IRI 개선이 필요한 것으로 나타났다.

표 2.51 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 영점구간 유무에 따른 분류

콘크리트 포장		슬러리실 시험 포장 (0-20m)	
원 포장(콘크리트 포장) 0-22m 영점구간 (0m)	6.04	영점구간 (0m)	7.63
슬러리실 시험 포장 사이 콘크리트포장 0-20m 콘크리트 포장 영점구간 (10m)	2.90	콘크리트 포장 영점구간 (10m)	7.39

표 2.52 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 영점구간 거리에 따른 분류

영점구간(10m)		영점구간(5m)	
AP 시험포장(0-10m)	8.73	AP 시험포장(0-15m)	9.81

다. 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공 및 현장 평가

(1) 시험 시공 구간 선정

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공은 그림 2.55와 같이 경기도 의왕시 의왕역 앞 삼거리에 시공하였다. 적용 구간은 아스팔트 콘크리트 포장 구간이며, 그림 2.56과 같이 포장 표면에 종방향 균열과 피로균열이 발생한 구간이다. 또한 그림 2.56을 살펴보면 일부 소파 보수가 수행되어 있는 것을 확인 할 수 있다.



그림 2.55 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공 구간



그림 2.56 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공 구간 현장 조사

(2) 시험 시공 및 시공 결과

우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 혼합물을 적용한 콘크리트 포장의 유지보수 성능을 평가하기 위하여 2014년 7월 15일에 시험시공을 수행하였다. 시험 시공은 그림 2.57과 같이 시공하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공 절차 및 시공 결과는 그림 2.58과 같다. 그림 2.58을 살펴보면 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시험 시공은 인력 포설로 수행하였으며, 1회 혼합물 혼합량은 200kg으로 다짐 후 LFWD시험, 미끄럼저항시험 및 평탄성 시험을 수행하였다.

전철 1호선 의왕역

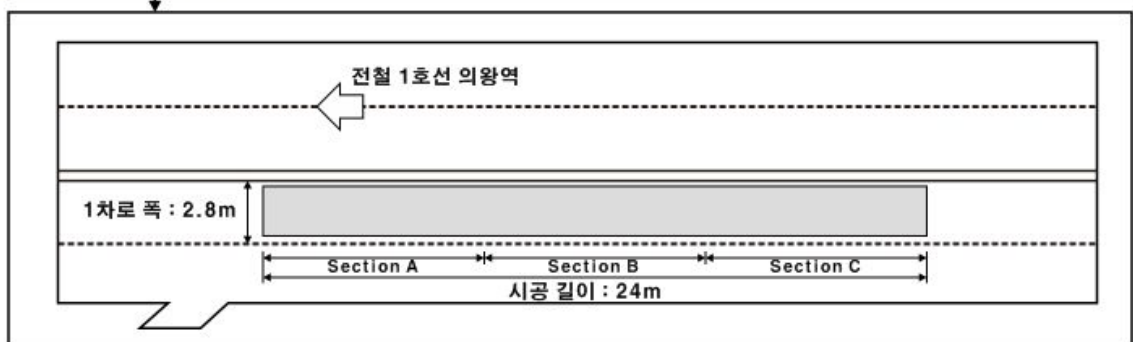


그림 2.57 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험시공계획



그림 2.58 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공 절차 및 결과

(3) LFWD시험 결과

그림 2.59는 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험시공 구간의 LFWD 측정 모습을 나타낸 것이다. 본 구간은 현재 교통이 개방된 구간으로 교통통제가 되지 않은 상황이었고 기상악화 인해 노면이 젖은 상태에서 측정을 수행하였다. 측정은 그림 2.60과 같이 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 보수공법이 적용된 시험구간과 시공이 이루어지지 않은 구간으로 나누어서 각 3회를 측정하였다.



(a) 슬러리 실 공법 적용 전



(b) 슬러리 실 공법 적용 후

그림 2.59 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 2차 시험 시공구간 LFWD 측정 모습

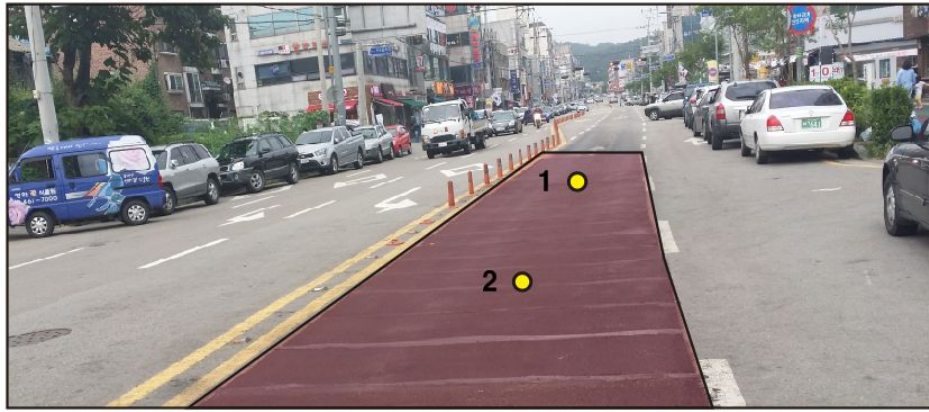


그림 2.60 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 LFWD 측정 위치

표 2.53과 표 2.54는 3차 슬러리 실 보수공법 적용 전/후의 LFWD 시험 결과를 나타낸 것이다. 표 2.53에서 보수공법의 적용 전의 도로를 측정된 결과 피로균열이 주로 나타난 지점에서는 평균 $56\mu\text{m}$ 의 처짐과 490MPa 의 탄성계수를 보였고, 육안 상 파손흔적이 보이지 않는 2 지점에서는 평균 $29\mu\text{m}$ 의 처짐과 951MPa 의 탄성계수를 보이며, 피로균열 지점 > 육안 상 정상 지점 순으로 처짐 발생을 보였다. 슬러리 실 보수공법을 적용한 도로는 1 지점에서 평균 $122\mu\text{m}$ 의 처짐과 224MPa 의 탄성계수를 보였고, 2 지점은 평균 $129\mu\text{m}$ 의 처짐과 213MPa 의 탄성계수를 보였다.

표 2.53 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 LFWD 측정결과(시공 전)

구분	1회		2회		3회		평균	
항목	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0
단위	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa
1	55	495	56	487	56	490	56	490
2	29	924	29	927	29	940	29	951
평 균							43	721

표 2.54 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 LFWD 측정결과(시공 후)

구분	1회		2회		3회		평균	
항목	Def	E0	Def	E0	Def	E0	Def	E0
단위	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa	μm	MPa
1	132	203	117	234	116	234	122	224
2	130	212	129	216	128	212	129	213
평 균							126	219

(4) 미끄럼저항시험 결과

경기도 의왕시 의왕역전 도로에서 슬러리 실 보수공법 시공 전/후의 미끄럼저항성 측정을 실시하였다. 측정 지역은 현재 교통이 개방되어 있는 도시 지역도로로 횡단보도에 인접해있다. 미끄럼저항성 시험 측정은 지점당 5회씩 반복하여 실시하였다.



(a) 슬러리 실 공법 적용 전



(b) 슬러리 실 공법 적용 후

그림 2.62 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 전/후 미끄럼저항성 측정

측정결과는 표 2.55와 같으며 시험 시공을 실시하기 전의 기존 도로는 BPN 76으로 미끄럼저항성이 측정되었다. 시험시공 후 슬러리 실의 미끄럼저항성 측정결과도 최소 마찰 계수 기준 표의 S1(마찰력 확보가 매우 중요한 구간) 위험도 3 BPN을 상회하는 89가 측정되어 우수한 미끄럼저항성을 가지는 것으로 확인되었다.

표 2.55 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 미끄럼저항성 측정결과

측정지점	1회	2회	3회	4회	5회	평 균
적 용 전						
C_1	75	76	77	76	77	76
C_2	75	73	78	72	75	75
평 균						76
적 용 후						
C_1	90	95	85	88	90	90
C_2	88	85	87	83	90	87
평 균						89

(5) 평탄성 시험 결과

충청북도 영동군 경부고속도로 폐도구간에서 슬러리 실 시공 전/후의 평탄성 시험을 그림 2.63과 같이 측정하였다. 측정구간의 시험 개요는 표 2.56과 같다. 그림 2.64와 2.65는 IRI 시험 장비를 이용하여 측정된 IRI 값을 나타낸 그래프이다.

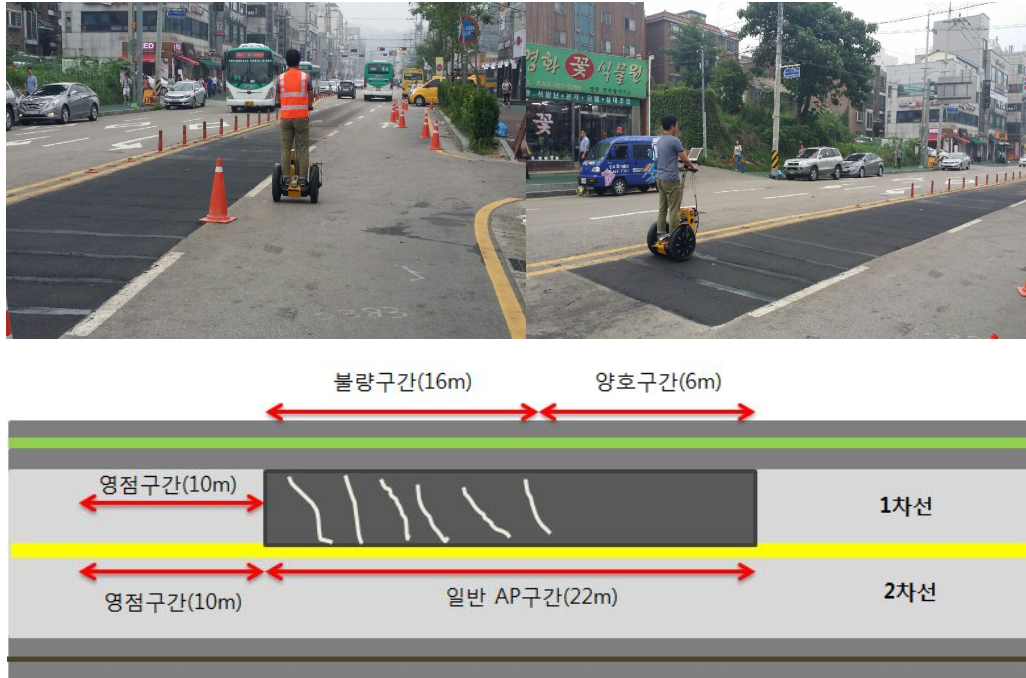
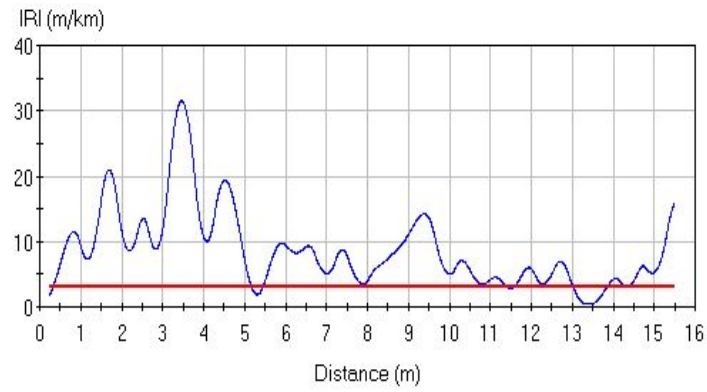


그림 2.63 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 평탄성 시험 전경

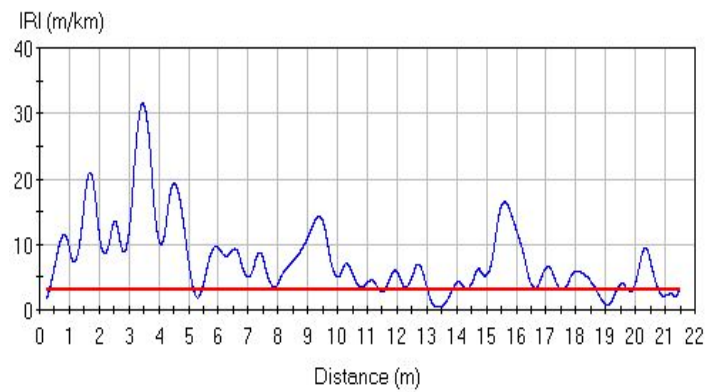
표 2.56 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 시험 개요

구분	1차선 시험포장 전체	1차선 시험포장 불량	1차선 시험포장 양호	1차선 일반AP포장 전체
조사거리	22m	16m	6m	22m
시험속도	8km/hr-14km/hr	8km/hr-14km/hr	8km/hr-14km/hr	8km/hr-14km/hr
파일명	의왕역 삼거리	의왕역 삼거리	의왕역 삼거리	의왕역 삼거리
영점구간	10m	10m	10m	10m

표 2.57의 경우는 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간의 시공 결과에 따라 불량구간과 양호구간으로 분류하였으며, 시험포장 불량구간에 비해 양호구간의 평균 IRI값이 안정됨을 알 수 있다. 슬러리실 유지보수 구간과 유지보수 하지 않은 구간으로 구분하여 비교한 표 2.58의 경우 시험 포장에 비해 시험 시공하지 않은 포장의 평균 IRI값이 양호하게 나왔다. 시공하지 않은 경우보다 시험 포장 구간의 IRI가 나쁘게 나온 이유는 시험포장 중 시공 불량구간의 IRI값의 영향인 것으로 사료된다. 그러나 시험 포장 구간 중 포장이 양호한 구간은 인력포설에도 불구하고 평균 IRI값이 3.31로 개선된 것을 볼 수 있었다. 다만 일반 국도 IRI 기준인 3.0임을 감안할 때 본 시험 포장의 사업화를 위하여 인력포설방법에 개선이 필요한 것으로 사료된다.



(a) 노후 도로 표면 시험 구간



(b) 시험 포장 구간

그림 2.64 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 평탄성 시험 결과

표 2.57 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 평탄성 시험 결과

1차선 시험포장 불량(0-16m)		1차선 시험포장 양호(16-22m)	
영점구간(10m)	8.62	영점구간(10m)	3.31

표 2.58 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 3차 시험 시공구간 포장 전/후 비교

1차선 시험포장 구간		2차선 일반포장	
전체(0-22m)영점구간(10m)	7.57	전체(0-22m)영점구간(10m)	3.77

라. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 실링 시험 시공

(가) 1차 시험 시공 : 경기도 수원시 경기대학교, 서울시 서울과학기술대학교 구내도로

균열 보수는 경기도 수원(그림 2.65)과 서울(그림 2.66)에 각 1개소씩 2개소에 대하여 2013년 4월에 시공하였으며, 7개월 공용 후 현장 점검 결과 그림 2.67과 같이 일부 균열 실링 보수 부위에서 균열이 발생한 것을 확인 할 수 있었다. 현장에서 관찰된 실링 보수 재료의 균열은 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 건조 수축보다 동절기 아스팔트 콘크리트 포장 표층의 수축에 의한 것으로 사료되며, 향후 온도 변화에 따른 수축 팽창에 관련된 성능 개선 및 현장 시공을 통해 추적조사를 수행 할 계획이다.



(a) 균열 조사 및 청소



(b) 균열 실링

그림 2.65 경기도 수원시 경기대학교 구내도로 시험 시공 전경



(a) 균열 조사 및 청소



(b) 균열 실링

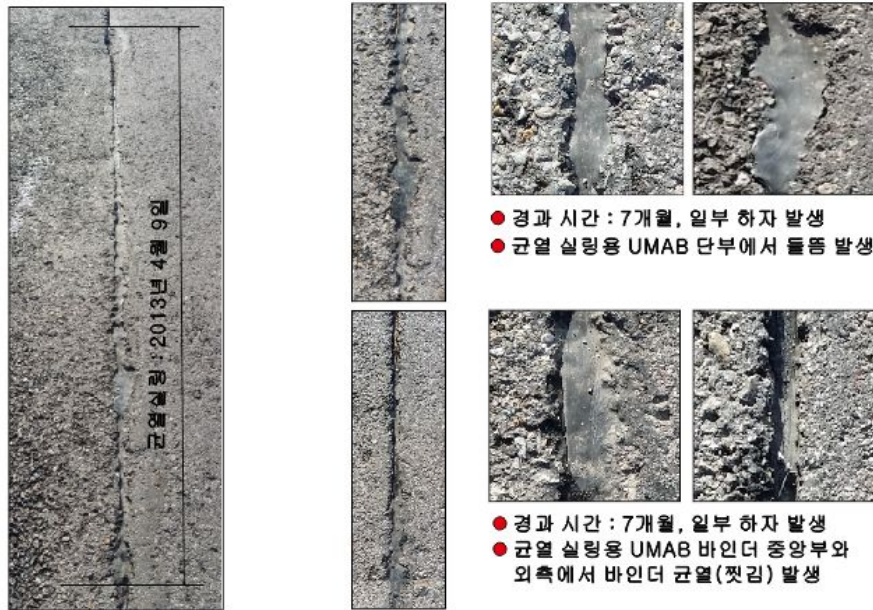


(a) 균열 조사 및 청소

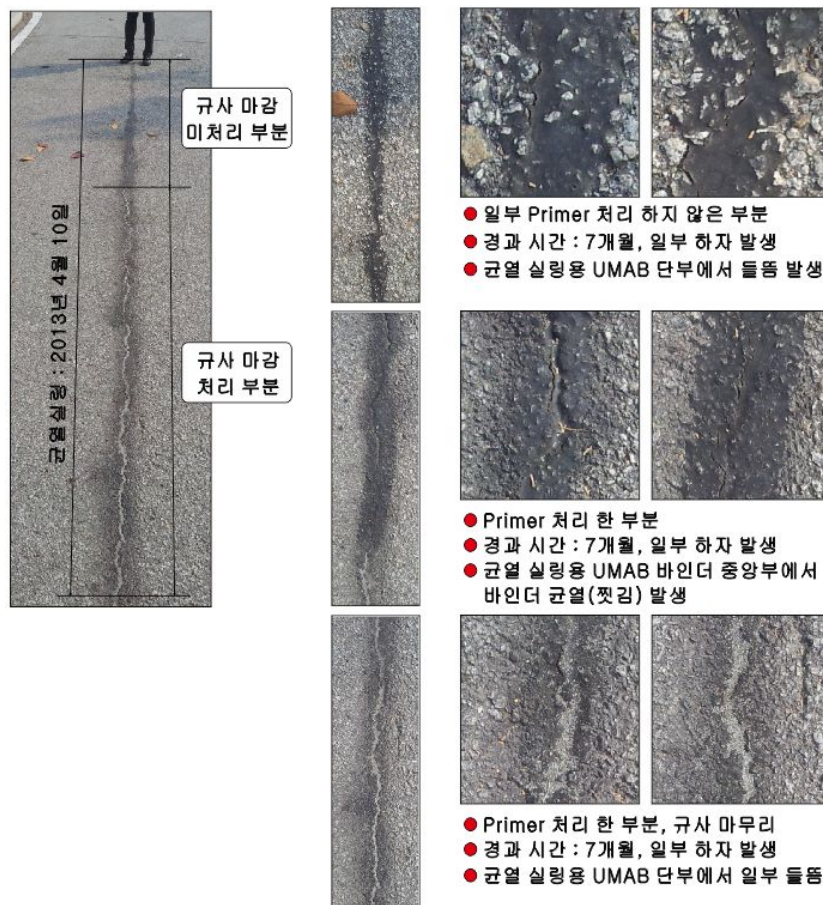


(b) 균열 실링

그림 2.66 서울시 서울과학기술대학교 구내도로 시험 시공 전경



(a) 경기도 수원시 균열 보수 시험 시공 구간



(b) 서울시 균열 보수 시험 시공 구간

그림 2.67 1차 균열 시험 시공 구간 추적 조사 결과

(나) 2차 시험 시공 : 강원도 춘천, 더존 캠퍼스내 구내도로

우레탄 개질 아스팔트 균열 실링재의 현장 적용성을 검토하기 위하여 강원도 춘천시 남산면 수동리 749번지 더존 강촌캠퍼스내의 시공 줄눈에서 발생한 종방향 균열에 대하여 시험 시공을 수행하였다. 시공한 균열은 균열 폭 : 3cm-4cm, 균열 깊이 : 2cm-3cm, 종단 경사 : 약 15도이고, 시험 시공은 약 1,500cm에 대하여 수행하였다.



(a) 프라이머 도포



(b) 균열 실링재 주입



(c) 시공 결과

그림 2.68 2차 균열 실링 시험 시공 전경

시공 결과 개발된 우레탄-개질 아스팔트 바인더 균열 실링재의 경우 경사지에서 낮은 점도로 인하여 상부에 주입된 실링재가 하부로 흘러 하부에서 균열 폭 또는 깊이 변화구간에서 균열을 범위를 넘어서는 결과를 아래 그림과 같이 보여주었다. 따라서 경사도에 따른 경화속도 조절이 필요하며, 휴대용 장비의 경우 경사도에 따른 경화속도를 조절한 2 type이 필요할 듯 하며, 자동화의 경우 경화속도를 조절할 수 있는 경화재를 추가로 제공할 필요가 있을 것으로 사료된다.



그림 2.69 2차 시공이음 균열부 균열 실링 시공 결과

더존 강촌캠퍼스 내 맨홀 주변으로 발생한 균열에 대한 보수 시공을 실시하였다. 균열 폭은 맨홀을 중심으로 반경 약 3-4cm가량이며 시공결과 상기 그림과 같이 우레탄 개질 아스팔트 바인더로 표면 처리된 보수 구간은 약30-40분 만에 완전경화가 이루어졌으며 제품 물성에서도 만족할만한 강도를 나타내었다.



(a) 테이프 마킹 후 바인더 주입



(b) 시공 결과

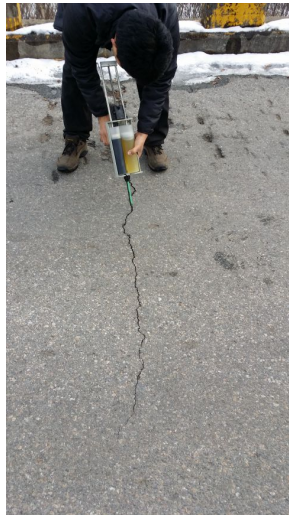
그림 2.70 맨홀부 균열부 실링 시공 결과

(다) 3차 시험 시공 : 경기도 의왕시 시청앞 도로

의왕시청 입구 사거리(청백리로)의 시공 줄눈에서 발생한 종방향 균열에 대하여 시험 시공을 수행하였다. 시공한 균열은 균열 폭 : 0.5cm~1.5cm, 균열 깊이 : 파악 안 됨, 종단 경사 : 약 5°이고, 시험 시공은 약 2m, 2개소에 대하여 수행하였다. 시공은 균열 확인 및 청소, 균열 실링재 주입, 규사처리 및 교통개방의 순서로 진행하였다.



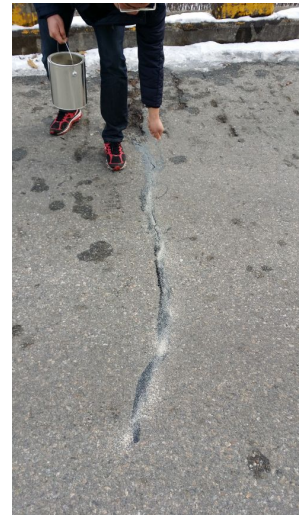
(a) 도로 횡방향 균열



(b) 균열 실링재 주입



(c) 실링재 주입 종료



(d) 규사 처리 및 교통개방

그림 2.71 3차 균열 시험 시공 전경

마. 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 포트홀 유지보수 시험 시공

(가) 1차 시험 시공 : 경기도 의왕시

우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물에 대한 1차 시험 시공을 그림 2.72와 같이 2014년 7월에 경기도 의왕시 도로에 시공하였다. 시공은 포트홀 파손부의 절삭 후 청소를 수행하고, 텍코팅 후 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재 A-type을 투입한 후 다짐을 수행하였다.



(a) 파손부 커팅 (b) 텍코팅 (c) 혼합물 투입 (d) 다짐

그림 2.72 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수 1차 시험 시공

(나) 2차 시험 시공 : 경기도 의왕시

우레탄 개질 아스팔트 포트홀 혼합물에 대한 2차 시험 시공을 2014년 7월에 경기도 의왕시 주차장 진입 도로에 시공하였다. 시공은 1차 포트홀 시험 시공과 동일하게 진행하였다.



(a) 혼합물 투입 (b) 다짐 준비 (c) 다짐 (d) 다짐 완료

그림 2.73 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수 2차 시험 시공

바. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험 생산

본 연구를 통해서 1차 년도에 우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 설비를 증설하였다. 생산 설비 증설 항목은 아래와 같다.

- ① A파트를 제조할 1t 탱크, B파트를 제조할 0.5t 탱크 제작
- ② Road Cell(저울), AP 배관 등 설비 증축

증설된 생산 설비의 검증을 위하여 3회 시험 생산을 수행하였으며, 시험 생산 1, 2차는 각 회당 1.5톤을 생산하였으며, 주재와 경화제 생산비는 0.5 : 1.0으로써 주재 0.5톤과 경화제 1.0톤을 생산하였으며 3차 생산은 경화제 1:1 비율로 2톤을 생산하였다. 또한 시험 생산은 초기 생산시 발생될 수 있는 여러 가지 변수를 감안하여 1회씩 나눠 생산하였으며, 설비 효율 검토 결과 원료 투입 공정이 인력으로 진행되어 다소 생산 소요 시간이 증가하였으며, 추후 대량으로 생산이 이루어질 경우를 대비 자동라인 설비 증축이 필요한 것으로 나타났다. 생산 제품에 대한 검토 결과 생산시 손실율은 1% 미만이며, 생산품 품질 확인 결과 기준 품질 동일 한 물성 확인되었다. 물성개선을 통하여 주재 경화제의 1:1 생산 실시하였다.

표 2.59 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험 생산

구분		생산량	생산일
1차 생산	경화제	1.0 ton	2013년 3월 7일
	주 재	0.5 ton	
2차 생산	경화제	1.0 ton	2013년 3월 8일-9일
	주 재	0.5 ton	
3차 생산	경화제	1.0 ton	2014년 6월 9일
	주 재	1.0 ton	

시험 생산된 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 경화제의 경우 18L 용기에 보관하고 있으며, 주재의 경우 6L의 사각 용기에 포장하여 보관하고 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 활용한 균열 보수, 포트홀 보수 및 표면 보수 시험 시공에 활용하였다.



그림 2.74 원자재 보관 및 생산품 보관 창고

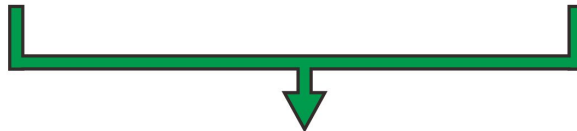
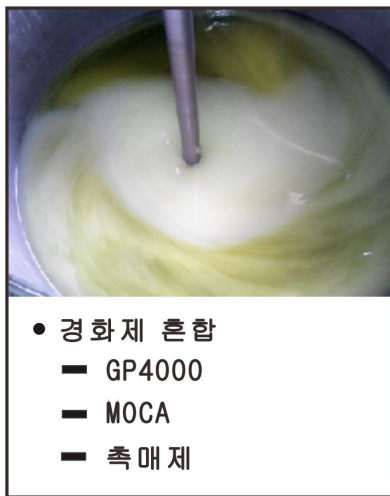


그림 2.75 우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 공정

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1절. 개별 연구 성과 및 적용실적

1. 연차별 연구 성과

가. 연차별 연구 목표 및 내용

본 연구는 선행 연구에서 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 사업화를 위하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 성능 개선과 균열 보수, 포트홀 보수(응급보수) 및 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 칩실 및 슬러리실 적용 장비를 개발하여 사업화를 목적으로 하고 있다. 표 3.1은 연차별 목표 및 연구 내용을 나타낸 것이다.

표 3.1 연차별 목표 및 연구 내용

구분	연차별 목표	연구 내용
1차 년도	우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험생산	- 우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 공정 개선 - 우레탄 개질 아스팔트 바인더 혼합물 배합설계
	균열 실링용 장비 개선	- 중규모 자동화 장비의 이동성 및 효율성 개선 - 소규모 휴대용 장비 효율성 개선
	시공 장비 시제품 설계 (칩실 시공)	- 바인더 살포기 설계 - 골재 살포기 설계
2차 년도	시공 장비 시제품 제작 (칩실 시공)	- 바인더 및 골재 살포기 검증 및 제작 - 우레탄 개질 아스팔트 혼합기 설계
	현장 시험 시공	- 현장 시험 시공 장소 선정 - 현장 시험 시공 1회 및 현장 추적조사
	시방서(안) 작성	- 국내외 시방 기준 조사 - 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 시방서(안) 작성
3차 년도	시공 장비 시제품 제작 (슬러리실 시공)	- 우레탄 개질 아스팔트 혼합기 설계 및 제작
	현장 시험 시공	- 현장 시험 시공 장소 선정 - 현장 시험 시공 1회 및 현장 추적조사
	시방서 작성	- 국내외 품질 시방 기준 조사 - 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공 시방서(안) 작성

나. 1차년도 연구 성과

1차 년도는 우레탄 개질 아스팔트 바인더 성능 개선 및 시험생산과 선행연구와 기획연구를 통하여 개발된 균열 실링 장비의 개선 및 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공법을 개발하기 위한 장비 개발연구를 수행하였으며, 1차년도의 연구 성과 및 달성도는 표 3.2와 같다. 1차 년도에는

우레탄 개질 아스팔트 바인더 성능 개선 및 검증 관련 논문 2편을 발표하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 바인더 1.5톤(주재 1.0톤, 경화제 0.5톤)을 각각 3회 시험 생산하였다. 또한 특허 2건을 국내 출원하였으며, 균열 실링 장비에 대한 개선을 완료하였다. 또한 2차년도 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공법 개발을 위한 시공 장비(바인더 스프레이 및 골재 살포기)에 대한 설계를 완료하였다.

표 3.2 1차년도 연구 성과 및 달성도

성과 지표	측정방법	달성도		
		목표	달성	달성도(%)
학술대회 논문 발표(국내)	학술대회 논문 발표 건수	1	2	200
사업화/제품화	우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 혼합서	1	2	200
특허 출원(국내)	특허출원 증명원 및 명세서	1	2	100
시제품 제작	장비 개선	2	2	100
	설계도	2	2	100

다. 2차년도 연구 성과

2차 년도는 우레탄 개질 아스팔트 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공법을 개발하기 위한 장비를 제작하고 제작된 장비를 활용한 시험시공을 수행하였다. 또한 시험 시공 구간에 대하여 현장 평가를 LFWD 시험, 미끄럼저항성시험(BPN 시험) 및 평탄성 시험을 통해 수행하였다. 또한 우레탄 개질 아스팔트 칩실 장비 개발 및 시험 시공 경험을 토대로 우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공(안)을 작성하였으며, 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 포트홀 보수를 위한 재료 개발 연구 결과를 토대로 학술 대회 논문 발표를 1건 수행하였다. 또한 3차 년도에 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 공법 적용을 위한 혼합물 혼합기에 대한 설계도면을 2차 년도에 작성하였다.

표 3.3 2차년도 연구 성과 및 달성도

성과 지표	측정방법	달성도		
		목표	달성	달성도(%)
학술대회 논문 발표(국내)	학술대회 논문 발표 건수	0	1	-
현장 시험 시공	균열 실링 시험 시공	1	2	200
	칩실 시험 시공	1	1	
	칩실 시공구간 현장 시험	1	1	
시방서	우레탄 개질 아스팔트 칩실 시공 시방서(안)	1	1	100
시제품 제작	장비 제작	2	2	100
	설계도	1	1	100

라. 3차년도 연구 성과

3차년도는 우레탄 개질 아스팔트 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공법을 개발하기 위한 장비를 제작하고 제작된 장비를 활용한 시험시공을 2회 수행하였다. 또한 시험 시공 구간에 대하여 현장 평가를 LFWD 시험, 미끄럼저항성시험(BPN 시험) 및 평탄성 시험을 통해 수행하였다. 또한 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 장비 개발 및 시험 시공 경험을 토대로 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공(안)을 작성하였으며, 2차 년도에 배합설계를 완료한 우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재에 대한 시험 시공을 2회 수행하였다. 또한 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 포트홀 보수 재료와 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 보수 결과에 대한 추적조사연구내용을 바탕으로 학술대회 논문발표 2회 추가 수행하였다. 또한 1차년도 특허 출원 2건에 대한 특허 등록을 완료하였다.

표 3.4 3차년도 연구 성과 및 달성도

성과 지표	측정방법	달성도		
		목표	달성	달성도(%)
학술대회 논문 발표(국내)	학술대회 논문 발표 건수	0	2	-
현장 시험 시공	포트홀 파손부 시험 시공	2	2	100
	칩실 시험 시공	2	2	100
	칩실 시공구간 현장 시험	2	2	100
시방서	우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공 시방서(안)	1	1	100
시제품 제작	장비 제작	1	1	100
특허 등록	특허 등록증명서	0	2	-

2. 핵심요소기술(Critical Technology Element)별 성과물

가. 핵심요소기술 구분

본 연구는 선행 연구에서 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 사업화를 위하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 성능 개선과 균열 보수, 포트홀 보수(응급보수) 및 우레탄 개질 아스팔트 혼합물의 칩실 및 슬러리실 적용 장비를 개발하여 사업화를 목적으로 하고 있다. 따라서 표 3.5와 같이 핵심 요소 구분을 개발 내용에 따라 구분할 수 있다.

표 3.5 핵심요소기술 구분

요소기술명	우레탄 개질 아스팔트 바인더 적용 균열 실링 재료(소규모)
요소기술명	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 적용 포트홀 보수 재료
요소기술명	우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 골재 적용 칩 실 공법 재료
요소기술명	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 적용슬러리 실 공법 재료

나. 핵심요소기술별 주요 연구 성과

(1) 우레탄 개질 아스팔트 바인더 적용 균열 실링 재료

(가) 학술대회논문 게재

No.	논문명	학술대회명	주저자명	게재 일자
1	아스팔트 콘크리트 포장의 표면 보수를 위한 우레탄-아스팔트 보수재료 개발 연구	대한토목학회	조명환	2012. 10
2	우레탄 개질 아스팔트 바인더(UMAB) 주제의 저장 안전성 및 점성에 대한 연구	한국방재학회	조명환	2013. 2
3	아스팔트 콘크리트 포장의 종방향 균열 실링 보수재 개발 기초 연구	한국방재학회	조명환	2014. 2

(나) 시제품 제작

시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
바인더 충전기	2013. 04.	(주)마리노	경기도 화성 공장	균열 보수

(다) 현장시험

현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
시험시공	2013. 4. 9.	경기 수원시	균열 보수
시험시공	2013. 10. 12.	강원 춘천시	균열 보수
시험시공	2014. 1. 10.	경기 의왕시	균열 보수

(2) 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 적용 포트홀 보수재료

(가) 특허 등록

특허명칭	등록번호	등록일	출원인
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 소규모 노후 도로 표면의 보수방법	10-1284756	2013. 7. 4.	(주)에이알앤씨
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 노후 도로 표면의 보수방법	10-1316901	2013. 10. 2.	(주)에이알앤씨

(나) 학술대회논문 게재

No.	논문명	학술대회명	주저자명	게재 일자
1	아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 보수를 위한 보수 재료의 기본물성 시험 연구	한국도로학회	조명환	2013. 9
2	우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재의 동결 용해 기초 특성 평가	한국도로학회	조명환	2014. 2

(다) 현장시험

현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
시험시공	2014. 7.	경기 의왕시	포트홀 보수
시험시공	2014. 7.	경기 의왕시	포트홀 보수

(3) 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 골재 적용 칩 실 공법 재료

(가) 특허등록

특허명칭	등록번호	등록일	출원인
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 노후 도로 표면의 보수 공법	10-1316901	2013. 3. 27	(주)에이알앤씨

(나) 시제품 제작

시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
바인더 살포기	2013. 09	선길 시험기	경기도 화성 공장	균열 보수
골재 살포기	2013. 09	선길 시험기	경기도 화성 공장	균열 보수

(다) 현장시험

현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
시험시공	2013. 12. 18.	하남시 이면도로	칩실 공법 시험시공

(4) 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 골재 적용 슬러리 실 공법 재료

(가) 시제품 제작

시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치장소	이용분야
혼합물 혼합기	2014. 06	선길 시험기	경기도 화성 공장	균열 보수

(나) 현장시험

현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
시험시공	2014. 6. 24.	충북 영동군 폐도	슬러리실 공법 시험시공
시험시공	2014. 7. 15.	경기 의왕시	슬러리실 공법 시험시공

2절 기술개발성과

1. 기술실시 및 적용사례

시험일	시험장소	주요내용
2013. 4. 9.	경기 수원시	균열 보수
2013. 10. 12.	경기 춘천시	균열 보수
2014. 1. 10.	강원 의왕시	균열 보수
2014. 7.	경기 의왕시	포트홀 보수
2014. 7.	경기 의왕시	포트홀 보수
2013. 12. 18.	하남시 이면도로	침실 공법 시험시공
2014. 6. 24.	충북 영동군 폐도	슬러리실 공법 시험시공
2014. 7. 15.	경기 의왕시	슬러리실 공법 시험시공

표 3.6 현장시험을 통한 기술적용

본 연구에서는 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물을 균열, 포트홀, 침실, 슬러리 실 공법에 적용하여 현장시험을 진행하였으며 본 기술을 바탕으로 우레탄 아스팔트 바인더를 제품화하여 판매, 업체에서 자체 검증 및 사용 중에 있음.

사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액(천원)	매출발생년도
2액형 바인더와 골재set 판매	평산건설	138-81-07632	4,500	2013
2액형 바인더 판매-크랙 보수용	탄탄 주식회사	215-87-71113	5,000	2014
2액형 바인더 판매-크랙 보수용	중원 아스팔트	124-46-40489	5,000	2014

표 3.7 우레탄 개질 아스팔트 기술 적용에 따른 판매실적

2. 기술개발성과의 국내외 시장 전망

가. 국내 유지보수 시장

도로 예산 및 유지보수 비용을 살펴보면, 도로 보수 예산은 10년 동안 약 5.5% 증가하였으며, 연평균 0.5% 증가율로 도로 보수 예산 변동이 거의 없는 것을 그림 1.6의 그래프를 통하여 확인할 수 있다. 또한 도로 응급 보수 예산도 2005년 이후 평균 500억 원 투입되고 있으며, 도로보수예산과 마찬가지로 응급 보수 예산도 횡보하고 있다. 2005년 이후 집중호우 등의 영향으로 포트홀 피해가 증가하고 있는 추세임을 감안할 때, 예산의 효율적인 집행이 필요하다.

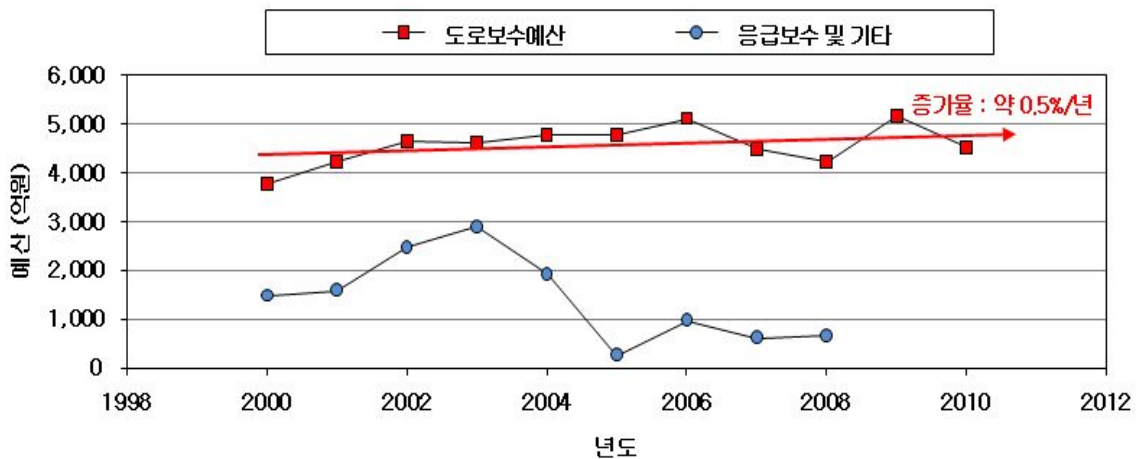


그림 1.6 국내 도로보수예산 변화

나. 우레탄 개질 아스팔트 보수 시장 전망

우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 실코트 공법은 도로 포장의 유지보수를 수행하는 공법으로 도로 유지보수 시장 진입을 목표로 하고 있다. 우레탄 개질 아스팔트 혼합물을 이용한 도로 표면 보수 사업화 대상은 노후 도로 표면 보수가 필요한 도로이며 예상 수요처는 다음 표와 같다.

표 3.8 도로 표면 보수 사업화 대상

판매(활용) 예상처	사용용도
① 한국도로공사	고속도로 유지보수
② 지방자치단체	도로 유지보수
③ 각 지방 국토관리청	국도 유지보수
④ 사급시장	아파트단지 노면 보수 등

도로 포장의 유지보수 시장의 예상 규모를 Construction Materials 2009년 자료와 국토해양부 2008년도 도로보수실적을 바탕으로 아래와 같이 세계시장과 국내 시장으로 구분하여 다음 표에 정리하였다.

표 3.9 도로 포장의 유지보수 시장 예상

(단위 : 억원)

구 분	현재의 시장규모(2008년)	예상 시장규모(2015년)
세계 시장규모	500,000	594,342
국내 시장규모	3,415	4,059
산출 근거	* 세계시장규모 추정근거 : “Construction Materials” DATA MONITOR 2009 자료 중 도로보수분야 10%만 산정 * 국내시장규모 추정근거 : “국토해양부 2008 도로보수 실적” 중 포장 도로 보수액만 산정 * 예상 시장규모는 세계시장 및 국내시장의 경우 2015년까지 매년 평균 경제성장률 2.5%로 보수적으로 가정하여 산정하였음	

제4장 연구목표 달성 및 효과

1절. 연구개발 최종목표 달성도

1. 연구개발 최종 목표

본 연구에서는 우레탄을 스트레이트 아스팔트 바인더에 개질재로 사용하여 상온에서 시공이 가능하고 기존 아스팔트 콘크리트 혼합물보다 우수한 강도를 발현할 수 있는 바인더 및 혼합물을 개발하고 적용할 수 있는 공법을 정립하고 사업화 기반을 마련하는 것을 목표로 하고 있다.

최 종 목 표	최 종 성 과 목 표
노후도로 표면 보수공법 사업화	○ 우레탄 개질 아스팔트 활용 공법 개발 및 타당성 평가
	○ 2액형 우레탄 개질 아스팔트 시공 장비 개발 및 개선
	○ 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 응용 기술 검토
	○ 현장 적용성 개선

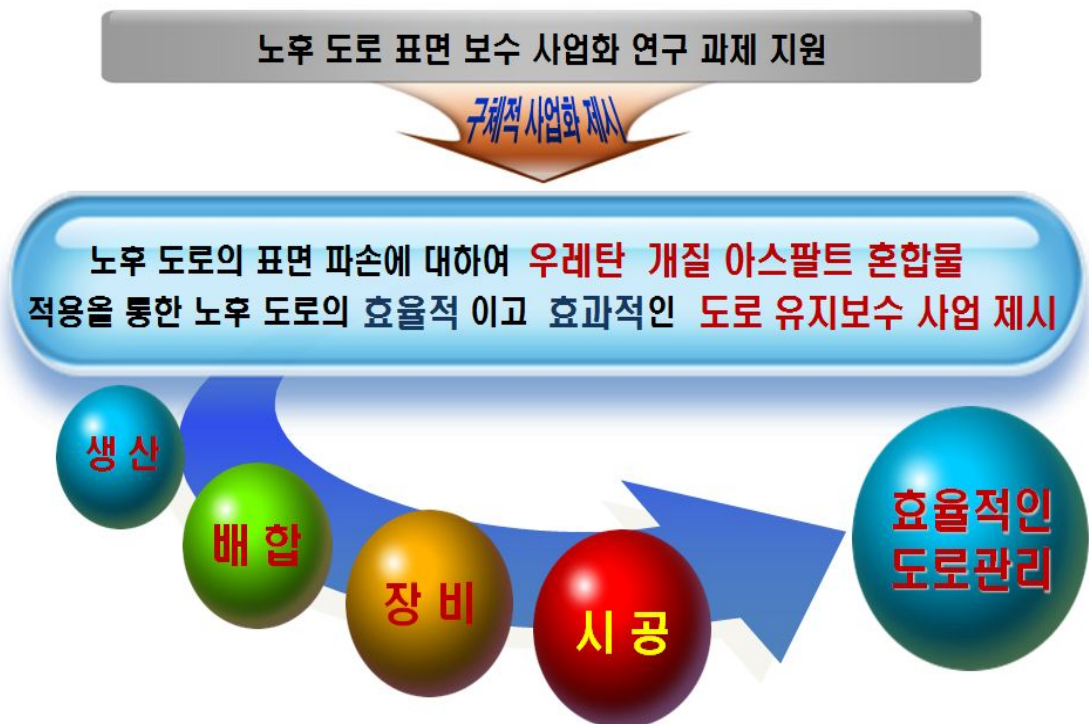


그림 4.1 노후도로 표면 보수공법 사업화 연구 목표

2. 성과목표 및 성과지표

핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		최종 성과목표			해당 기관	정량목표	
				질적목표(측정방법)	목표치	검증방법			
1	2액형 우레탄 개질 아스팔트 활용 재료	1-1	2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더 개선	①	주재 점도	15E 이하	점도	(주)에이 알앤씨	논문 : 1 건
				②	장기 저장성	6개월	점도 및 육안관측		
		1-2	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 물성 검증	①	동적안정도	5,000이상	휠트랙킹 시험	(주)에이 알앤씨	특허 출원 : 1 건
				②	미끄럼 저항성	50BPN	BPN 시험		
				③	칸타블로	5%미만	칸타블로		
		1-3	바인더 시험 생산	①	생산량	3ton	시험 생산	(주)에이 알앤씨	시제품 : 1 건
2	2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 균열 실링 장비	2-1	자동화 균열 실링 장비 개선 및 시제품	①	주재 및 경화재 당량비 조절 개선	당량비	토출량	(주)에이 알앤씨	시제품 : 1 건
				②	교체형 Head Mixer 개선	Head Mixer	시제품		
		2-2	휴대용 균열 실링 장비 시제품	①	Head Mixer 성능 개선	30%	시제품	(주)에이 알앤씨	시제품 : 1 건
		2-3	휴대용 균열 실링 장비 카트리지 충진기 시제품 제작	①	카트리지 충진 속도	2set/min	시험 생산	(주)에이 알앤씨	시제품 : 1 건
				②	카트리지 정량 충진	300ml, 600ml	시험 생산		
		3	2액형 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시공 장비	3-1	골재 살포기 시제품	①	골재 살포 능력	3mm 이상	골재 살포기
3-2	바인더 살포기 시제품			①	바인더 도포 두께	1mm 이상	바인더 살포기	(주)에이 알앤씨	시제품 : 1 건
3-3	혼합물 혼합기			①	1회 생산량	200kg/회	혼합물 혼합기	(주)에이 알앤씨	시제품 : 1 건
4	2액형 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 현장 적용	4-1	현장시험시공	①	포장 균열부	2회	시험 시공	(주)에이 알앤씨 (주)도화엔 지니어링	시험 시공 : 7 건 현장 시험 : 3 회
				②	포장 포트홀 파손부	2회	시험 시공		
				③	피로 균열 파손부	3회	시험 시공		
				④	현장 시험	3회	시험 성적서		
		4-2	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 시방서	①	칩실 시공 시방서	1set	시방서	(주)도화엔 지니어링	시방서 : 2 건
				②	슬러리실 시방서	1set	시방서		
5	개발 기술의 사업화	5-1	홍보 브로슈어	①	홍보 브로슈어 작성	1회	홍보 브로슈어	(주)에이 알앤씨	브로슈어 : 1 건
계									특허 출원 : 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 7 건 시방서 : 2 건 시험 시공 : 7 건 현장 시험 : 3 건 브로슈어 : 1 건

3. 연차별 연구 목표 및 내용

구분	연구개발 내용	세부 연구 추진 계획 및 연구수행 방법
1차년도	■ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물 배합	- 단계별 점도 시험 - 장기 저장성 시험 - 슬러리실 혼합물 미끄럼저항성 시험
	■ 제품 생산 공정 개선	- 아스팔트 공급을 위한 전용 라인 설비 증축 - 생산된 제품 포장을 위한 카트리지 전용 플런저 압입기 개발
	■ 균열 실링 자동화/휴대용 장비 개선	- 균열 실링 자동화 장비 개선 - 휴대용 장비 개선
	■ 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험생산	- 우레탄 개질 아스팔트 바인더 시험 생산
	■ 골재 및 바인더 살포기 설계	- 우레탄 개질 아스팔트 바인더 살포기 설계 - 골재 살포기 설계
	■ 시방서 자료 조사	- 국내외 도로 유지보수 시방서 자료 조사
2차년도	■ UMAC 포트홀 보수재 배합설계	- 이론최대밀도 및 마찰안정도 시험 - 포트홀 보수재 배합설계
	■ UMAC 포트홀 보수재 실내물성시험	- 강도 시험 : 간접인장강도 시험 - 공용성 시험 : 동결융해 시험, 휠트래킹 시험 - 안전성 시험 : 음용수 시험
	■ 균열 실링재 시험시공	- 현장 시험 시공 : 2회 적용
	■ 칩실 시공 장비 제작	- 골재 스프레이 설계 검증 및 제작 - 바인더 스프레이 설계 검증 및 제작
	■ 칩실 시험 시공	- 칩실 시험 시공
	■ 현장 평가	- LFWD 시험, 평탄성 시험
	■ 시방서 작성	- 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 칩실 공법 시방서(안) 작성
3차년도	■ 혼합물 혼합 장비 제작	- 1회 생산량 200kg/회 혼합물 혼합기
	■ 현장 시험시공	- 포장 포트홀 파손부 : 2회 시험 시공 - 피로균열 파손부 : 슬러리실 2회 시험시공
	■ 현장 평가	- LFWD 시험, 평탄성 시험
	■ 시방서 작성	- 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 슬러리실 공법 시방서(안) 작성
	■ 홍보 브로슈어	- 우레탄 개질 아스팔트 홍보 브로슈어 작성

4. 연차별 성과지표 달성도

구분 년 분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		연차 성과검증 기준			
					질적 목표(측정방법)	목표	달성	달성도
1 차 년 도	1	우레탄 개질 아스팔트 재료활용 재료개발	1-1	학술대회 논문발표(국내)	국내 학술대회 발표 논문건수	1건	2건	200%
			1-2	사업화/제품화 (우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물)	2액형 우레탄 개질 아스팔트 바인더 생산 혼합서	1건	2건	200%
			1-3	특허출원(국내)	특허출원사실 증명원 및 명세서	1건	2건	200%
	2	우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열실링 장비개선(2 액형)	2-1	시제품 제작	휴대용 균열 실링 장비 시제품	1건	1건	100%
			2-2	시제품제작	자동화 균열 실링 장비 시제품	1건	1건	100%
	3	우레탄 개질 아스팔트 장비설계	3-1	바인더 살포기 및 골재 살포기 설계	설계도면	2건	2건	100%
2 차 년 도	1	2액형 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시공 장비	1-1	바인더 살포기 시제품	바인더 살포 성능 (도포두께 1mm 이상)	1건	1건	100%
			1-2	골재 살포기 시제품	골재 살포 성능 (살포두께 3mm 이상)	1건	1건	100%
			1-3	우레탄 개질 아스팔트 혼합 장비설계	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 혼합장비 설계(200kg/회)	1건	1건	100%
	2	2액형 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 현장 적용	2-1	현장시험시공	포장 균열부	1건	3건	300%
					포장 포트홀파손부	1건	0건	0%
					피로균열 파손부(칩실)	1건	1건	100%
					현장시험 (LFWD, 평탄성 시험)	1건	1건	100%
			2-2	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시방서	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 칩실 공법 시방서	1건	1건	100%
						학술대회 논문 발표[국내]	-	0건
3 차 년 도	1	2액형 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 시공 장비	1-1	우레탄 개질 아스팔트 혼합물 혼합장비 시제품	혼합량 : 200kg/1회	1건	1건	100%
				특허등록(국내)	특허등록증	0건	2건	-
	2	2액형 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 현장 적용	2-1	현장시험시공 및 시방서	포트홀 파손부	2건	2건	100%
					피로균열 파손부(슬러리실)	2건	2건	100%
					현장시험 (LFWD, 평탄성 시험)	2건	2건	100%
					우레탄 개질 아스팔트 혼합물 활용 슬러리 공법 시방서	1건	1건	100%
				학술대회 논문 발표[국내]	-	0건	2건	-

2절. 연구개발 성과의 기술적 효과분석

1. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 제조 기술 확보

가. 폴리우레탄

폴리우레탄(polyurethane, PU)은 1930년 말 독일의 Otto Bayer에 의해 합성되었으며, 그 후 소재의 다양성과 풍부한 반응성의 이점으로 다양한 구조의 수지들이 개발되었다. 폴리우레탄의 주요 성분 중 하나인 폴리올은 소프트 세그먼트(soft segment, SS)로 작용하여 함량과 구조에 따라서 물성이 매우 다양하다. 폴리올은 분자량에 따라 물리적 특성에 영향을 미치며, 저분자량의 경우 연성이 떨어진다. 고분자량의 경우에는 사슬이 길어져 연성을 유지하게 된다. 일반적으로 분자량이 커질수록 경도, 탄성 및 인장강도가 저하되고, 신장률이 증가하며, 대표적으로 폴리에스테르형과 폴리에테르형이 사용된다. 우레탄기(-NHCOO-)는 이소시아네이트기(-N=C=O)와 수산기(-OH), 또는 아미노기(-NH₂)와 같은 활성수소를 갖는 작용기와 반응으로 생성된다. 그리고 이소시아네이트기와 수산기를 2개 이상 가진 화합물을 반응시키는 경우 폴리우레탄이 생성된다. 이소시아네이트는 폴리올과 함께 경성인자(hardness factor)이며, 폴리우레탄의 물성에 영향을 미친다.

나. 우레탄 개질 아스팔트 바인더

우레탄과 아스팔트 바인더는 서로 혼합될 수 없는 불상용성의 물질이다. 현재 상용성을 확보하기 위해 우레탄 단량체와 아스팔트를 섞어 수분과 경화시키는 습기 경화형 우레탄 등이 개발되어 있다. 그러나 습기경화형 우레탄 아스팔트는 습도에 따라 경화시간이 변하며 제조 운반시 습기에 의해 경화되어 제품 불량인 경우가 발생할 수 있으며, 단량체를 사용함으로써 탄성이 부족한 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 프로세스 오일을 사용하여 습기경화형의 탄성을 보완하고, 건조 상태에서 사용되는 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 개발하였다.

본 연구를 통해 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 그림 4.2와 같이 주재와 경화제로 구성되며, 주재는 AC 80-100 등급의 아스팔트 바인더, 프로세스 오일 및 이소시아네이트(isocyanate)로 구성된다. 그림 4.2에서 프로세스 오일은 아스팔트 바인더의 유동성 확보 및 작업성 등을 좋게 하기 위해 첨가하는 광유를 의미하며, 석유의 고비점 유분에서 얻게 되는 파라핀계, 나프텐계, 아로마계 및 방향족계가 일반적으로 사용된다. 이소시아네이트도 표 4.1과 같이 여러 가지 종류가 있으며, 방향족 TDI(Toluene Diisocyanate)와 MDI(Diphenyl methane Diisocyanate)가 일반적으로 사용되고 있다(김홍태, 2003). 경화제는 폴리올과 MOCA로 구성되며, 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 주재와 경화제의 우레탄, 우레아 반응을 통해 생성된다.

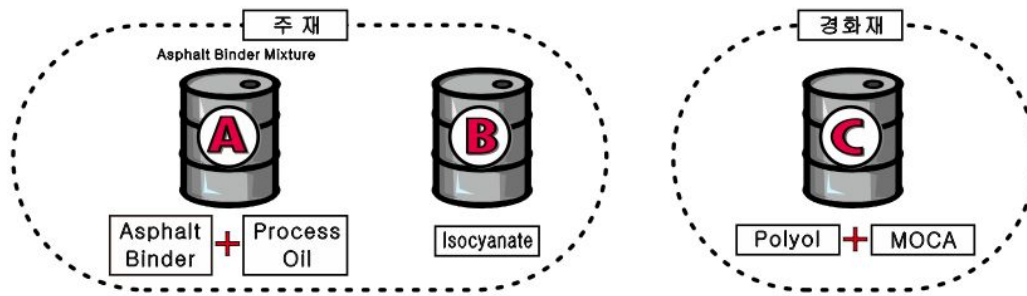


그림 4.2. 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 구성

표 4.1 여러 가지 이소시아네이트의 화학구조

구 분	종 류	화학구조
방향족	Toluene Diisocyanate (TDI)	
	Diphenyl methane Diisocyanate (MDI)	
	4,4'-methylene-bis(ortho-chloroaniline) (Moca)	
지방족	Hexamethylene Diisocyanate (HDI)	
	Isophoron Diisocyanate (IPDI)	
	4,4-dicyclohexylmethane Diisocyanate (H12-MDI)	

다. 우레탄 개질 아스팔트 바인더 배합

우레탄 개질 아스팔트 바인더의 적정 점도를 유지하기 위한 프로세스 오일의 양은 아스팔트 바인더 혼합물 중량의 30% 이상 필요한 것으로 나타났으며, 아로마계의 경우 다른 프로세스 오일에 비하여 성능 개선 효과가 낮은 것으로 나타났다. 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계의 프로세스 오일을 적용한 아스팔트 바인더 혼합물과 이소시아네이트를 혼합 할 경우 재료 분리가 발생하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 사용된 아로마계, 나프탄계 및 파라핀계 프로세스 오일은 우레탄 개질 아스팔트 바인더 개발에 적합하지 않을 것으로 사료된다. 점도 시험 결과 TDI를 첨가한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 주재는 국내 및 미국의 유화 아스팔트 점도 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 MDI의 경우 프로세스 오일 A[N10]에 대해서만 일부 만족하는 것으로 나타나 프로세스 오일[N15]이 적합하며 TDI를 첨가하여 주재를 생산하는 것이 MDI를 첨가하는 경우보다 점도 기준을 만족시키고 적정 작업성을 유지하는데 유리한 것으로 나타났다.

표 4.2우레탄 개질 아스팔트 바인더 배합비

구 분	기존 2:1	현 1:1
우레탄 재료 함유량	75~80%	50%
아스팔트 및 기타	20~25%	50%

2. 아스팔트 콘크리트 포장 균열의 소규모 균열 실링 재료 및 기술 확보

가. 색상 조절이 가능한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 보수재 생산 기술 확보

우레탄 개질 아스팔트 균열 보수재는 3액형 제품의 경우 제품의 색상을 조절할 수 있어 기존 균열 실링재의 단점인 운전자 및 사용자의 색상차에 의한 나쁜 인식에 변화를 가져올 수 있을 것으로 기대된다. 또한 칼라 아스팔트의 균열, 도색면의 균열 등에 동일 색상의 균열 보수재로 사용이 가능하다.

나. 상온 시공이 가능한 우레탄 개질 아스팔트 바인더 균열 보수재 생산 기술 확보

아스팔트 콘크리트 포장의 균열 유지보수의 경우 아스팔트 바인더를 가열하여 균열에 주입하는 방식이 일반적이며, 최근에는 에폭시 아스팔트를 적용하는 경우도 있다. 그러나 일반 아스팔트 바인더의 경우 120도 이상, 에폭시 아스팔트의 경우 150도 이상 가열이 필요하며, 소규모 균열의 경우 장비 이동 및 최소 인력 투입이 필요하다. 그러나 본 연구를 통하여 개발된 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 소규모 균열 실링 장비의 경우 폭 1cm 균열의 경우 5m에서 6m 시공이 가능하며 시공을 위한 장비 및 추가 인력이 필요 없어 소규모 균열 유지보수의 경우 기존 공법에 비하여 효율이 높을 것으로 기대된다.



(a) 가열식 균열 보수 장비



(b) 비가열식 휴대용 보수 장비

그림 4.3 아스팔트 콘크리트 포장 균열 유지보수 장비 비교

3. 우레탄 개질 아스팔트 혼합물 적용 가능한 예방적 유지보수 기술 확보

우레탄 개질 아스팔트 혼합물을 이용한 표면 보수 공법을 적용할 경우 우레탄 개질 아스팔트 바인더 혼합물을 통한 예방적 유지보수로 기존 도로의 5-7년의 유지보수 주기를 평균 8년 이상으로 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 제시하고 있는 우레탄 개질 아스팔트 칩실 공법이나 슬러리실 공법은 절삭을 하지 않거나 1cm-2.5cm로 최소 절삭만 수행하는

것을 목표로 하고 있다. 따라서 일반적인 절삭 오버레이와 같은 전통적인 유지보수 공법보다 폐아스콘 및 탄소 발생량을 저감시킬 수 있는 친환경 유지보수 공법이다. 또한 우레탄 개질 아스팔트 바인더는 상온 시공 혼합물로 탄소 발생량이 일반 아스팔트 혼합물에 비하여 상대적으로 매우 적을 것으로 사료된다.

3절. 연구개발 성과의 경제적 효과분석

1. 국내 도로 유지보수 실적 및 보수비용 비교

현재 국내의 포장 파손에 대한 보수실적은 국토교통부에서 매년 도로보수현황을 통해서 발표하고 있다. 2011년도 도로보수현황을 살펴보면 포장도 보수는 표면처리, 소파보수, 덧씌우기 및 재포장으로 구분하여 보수물량과 보수비를 구분하고 있으며, 추가로 도로보수에 대한 응급복구 및 기타로 구분하여 보수물량과 보수비를 아래와 같이 발표하고 있다. 아래 표에서 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 칩실과 슬러리실 공법은 표면처리 유지보수에 해당하며, 최근 3년 평균 197,726백만 원의 시장이 국내에 형성되어 있는 것으로 나타났다.

표 4.3 국내 포장 유지보수 실적

구 분	포장도 보수 (백만원)				응급보수 및 기타
	표면처리	소파보수	덧씌우기	재포장	
2009년	31,204	93,634	224,646	84,283	131,774
2010년	10,467	86,848	241,409	81,945	131,774
2011년	17,506	83,032	173,647	126,611	143,175
평 균	19,726	87,838	213,234	97,613	135,574

표 4.4는 2009년도 도로 포장유지보수 비용을 대한건설정보의 “건설공사 2009 표준적산과 일위대가”를 바탕으로 정리한 것이다. 2009년도 도로 포장유지보수 비용을 살펴보면 슬러리실의 단위 시공량에 대한 시공비용이 타 공법보다 재료비에서 약 2배에서 9배까지 차이가나는 것으로 나타나 다른 유지보수공법에 비하여 경제성이 충분한 것으로 나타났다.

표 4.4 2009년도 도로 포장유지보수 비용 비교

유지보수공법	시공량 (m2)	보수비 (원)	재료비 (원)	$\frac{\text{타공법 재료비}}{\text{슬러리실 재료비}}$
절삭 후 아스팔트 덧씌우기 (연속구간)	5,000	7,681,452	1,898,872	9.12
절삭 후 아스팔트 덧씌우기 (불연속구간)	5,000	5,187,460	1,236,624	5.94
아스팔트 덧씌우기	5,000	2,626,846	574,376	2.76
슬러리실	5,000	1,242,696	208,176	1.00

유지보수 공법 적용시 보수비에 대한 재료비는 약 20%정도 차지하는 것으로 나타나 표 4.4를 바탕으로 표면처리에 대한 재료비 시장은 약 39,451백만 원 정도인 것으로 사료된다. 본 연

구에서 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 이용하여 균열실링, 포트홀 보수용 혼합물, 칩실 표면 보수 및 슬러리실 표면보수 혼합물 및 장비를 개발하고 있다. 개발되는 각각의 혼합물 및 공법은 시장진입을 위하여 혼합물의 공학적 물성과 장기 공용성이 검증되어야 하며, 본 연구에서는 요구되는 공용년 수가 짧은 제품부터 시장진입을 목표로 하고 있다.

따라서 시장 진입 제품은 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 이용한 균열 실링과 포트홀 혼합물을 2014년도 주력 시장 진입을 통한 사업화를 목표로 하고 있다. 이후 2013년 및 2014년 시험공이 이루어지는 칩실과 슬러리실 혼합물 및 공법에 대한 장기 공용성 추적조사를 통하여 2016년부터 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 이용한 표면 유지보수 시장 진입을 목표로 하고 있다. 본 연구에서 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 적용한 칩실과 슬러리실 표면처리 공법을 개발하고 있지만 아직 국내에서는 칩실과 슬러리실에 대한 보수비용이 정리된 보고서를 찾기 힘들다. 미국 아이오와 도로국에서 1999년도에 발표한 “Thin Maintenance Surface”에서 조사된 노후도로의 표면처리공법에 대한 보수비용을 보면 표면보수가 절삭 재포장에 비해 경제적인 것을 알 수 있다.

표 4.5 아이오와 주의 평균 표면유지보수 단가

구분		1996년 단가/m ²	1996년 단가/m ²	실코트 대비
마이크로 서피싱	USD	1.08	1.24	1.82
	원	1,186	1,361	
포그실	USD	0.09	0.09	0.13
	원	101	101	
실코트	USD	0.59	0.68	1.00
	원	653	745	
슬러리실	USD	0.77	0.77	1.14
	원	846	846	
아스팔트 2.5cm	USD	1.90	2.09	3.09
	원	2,088	2,299	
아스팔트 5.0cm	USD	2.97	3.27	4.82
	원	3,265	3,596	

2. 우레탄 개질 아스팔트 표면 유지보수를 통한 공사폐기물 감소 효과

본 연구를 통하여 개발된 우레탄 개질 아스팔트 혼합물을 이용한 노후도로 보수공법은 비 절삭 공법에 의한 공기의 단축과 공사비용 및 폐아스콘 발생량 감소할 것으로 기대된다. 기존의 5cm 절삭이 아닌 전면 2cm 정도 포장하는 것으로 공사시간단축 및 공사비용 절감이 가능하며, 절삭에 따른 폐아스콘의 발생에 따라 환경오염의 유발과 처리 비용의 발생을 방지할 수 있어 친환경적 보수공법이 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 상온 시공을 통한 지구온난화 가스인 이산화탄소(CO₂) 배출량이 감소하며, 우레탄 계열의 아스팔트 화합물(혼합물)을 사용함으로써 에너지 절감효과와 함께 도로보수분야의 신성장동력 산업으로 발전이 가능할 것으로

기대된다. 그리고 전량 수입에 의존하는 도로 표면 보수 재료(원재료)의 국산화로 선진국가인 미국, 일본, 독일 등에서만 보유한 기술을 순수 국산 기술로 기술 대체 가능하며, 향후 중국, 동남아 및 CIS 국가에 원재료 및 기술 수출을 기대할 수 있다.

3. 표면처리 유지보수를 통한 잔존 수명 연장 효과

표면처리 유지보수에 대한 미국의 미시건 도로국(Michigan Department of Transportation)의 비용 효과에 대한 2013년도 보고서 “Cost Effectiveness of the MDOT Preventive Maintenance Program(Final Report)”에 따르면 미시건주는 1990년대 초반부터 가장 좋은 예방적 유지보수 프로그램(CPM, Capital Preventive Maintenance Program)을 통하여 도로의 예방적 유지보수에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과 절삭 후 오버레이가 가장 좋은 서비스 수명을 증가시켜주는 것으로 나타났으며, 수명 연장 효과는 12년 이상인 것으로 나타났다. 균열 채움(sealing)의 경우 3년 이상의 수명 연장 효과가 있는 것으로 나타났으며, 기타 유지보수 공법 별로 차이는 있지만 2년에서 8년의 수명 연장 효과가 있는 것으로 나타났다.

표 4.6미국 MDOT CPM 연구결과 포장 수명 연장 효과

구분	수명 연장 기간(년)		
	구간 1	구간 2	전체
Single Chip Seal	2.7	6.6	4.3
Double Chip Seal			6.9
Double Microsurfacing	7.8	1.8	3.5
HMA Cack Seal	2.8	2.8	0.6
HMA 절삭 후 오버레이	7.8		7.9
HMA 오버레이	3.6		4.0

또한 초기 표면보수 연구를 살펴보면 미국의 아이오와 도로국(Iowa Department of Transportation)의 1999년 보고서 “Thin Maintenance Surface”에 따르면 도로의 표면보수는 공용 개시 후 7년에서 10년 사이에 시작되는 것으로 보고하고 있다. 또한 표면 보수 효과로 도로의 수명 연장 기간은 5년에서 10년으로 각각의 보수 공법에 대한 수명 연장 효과는 표 4.5와 같다. 미국의 미시건 도로국과 아이오와 도로국의 연구결과를 바탕으로 본 연구에서 적용 대상으로 하고 있거나 유사한 공법인 칩실 공법과 마이크로서피싱 공법은 평균 3년에서 5년의 수명 연장효과가 있는 것으로 나타났다.

2005년 Labi et al.의 “Analysis of Long-Term Effectiveness of Thin Hot-mix Asphaltic concrete Overlay Treatments” 논문에 따르면 칩실 공법을 시공한 미국의 인디애나 주의 경우 3년에서 4년의 수명 연장 효과가 있는 것으로 보고하였다. 이상의 문헌 조사결과를 바탕으로 국내의 10년 유지보수 기간과 미국의 수명연장 사례를 보수적으로 적용하면 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 표면 처리공법을 적용하여 약 30%의 수명 연장 효과를 기대할 수 있을 것으로

기대된다.

표 4.7 미국 IDOT TMS 연구결과 포장 수명 연장 효과

구분	보수시점 (년)	반복 주기 (년)	수명 연장 기간(년)
Crack Filling	5-6	2-4	2-4
Single Seal Coat	7-8	5-6	5-6
Multiple Seal Coat	7-8	5-6	5-6
Slurry Seal	5-10	5-6	5-6
Micro-Surfacing	9-10	5-6	5-6
Thin Lift Overlay	9-10	9-10	7-8

4. 소규모 균열의 사전적 유지보수 효과

본 연구를 통하여 개발된 휴대용 균열 보수 장비의 경우 비숙련자도 쉽게 균열부위를 보수할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 대규모 균열의 경우 자동화 장비를 통해 빠르고 정확하게 일반 기술자들도 도로의 유지보수 재료 및 공법으로 쉽게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절. 연구성과 향후 활용 방안

1. 기술실시계획

본 연구를 통하여 얻어진 연구결과 및 제품에 대해서 기술 실시를 자체적으로 수행할 예정이며, 연구 기간 동안 획득된 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물의 물성 시험 결과와 시험 시공 실적을 바탕으로 제품 판매 및 지속적인 마케팅을 수행할 예정이다. 연구 기간 동안 일본의 미쓰비시 플라스틱 마케팅 회의 진행을 진행하였으며, 가인인터네셔널과 균열 실링 재료, 포트홀 보수 재료의 수입품 대체 가능성 및 제품 판매를 논의 하였다. 또한 현재 의왕시청 관내 기업 제품 구매를 위한 준비를 위하여 조달청 제품 등록 후 3자 단가 계약 추진할 예정이다.

2. 판매 계획 및 사업화 추진계획

가. 개발기술의 생산특성

생산형태(완제품, 반제품, 부품 중) 및 최종제품에 사용이 예상되는 핵심원재료는 주재(프리폴리머 + 아스팔트 바인더 혼합물-스트레이트 아스팔트과 프로세스 오일)와 경화제(폴리올 + 아민계 혼합물)로 구분되며, 주재와 경화제의 혼합에 따른 우레탄, 우레아 반응으로부터 우레탄 개질 아스팔트 바인더가 생산된다. 본 연구를 수행하고 있는 주관연구기관인 (주)에이알앤씨의 우레탄 개질 아스팔트 바인더 및 방수재의 생산량은 3 ton / day이다. 그러나 본 연구를 통한 공정개선을 통하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더의 생산을 수행할 계획이며, 기존 생산 설비를 100% 활용하여 생산량을 3 ton / day 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

나. 기존 자원 활용 계획

본 연구를 수행한 주관연구기관인 (주)에이알앤씨는 아스팔트 관련제품을 연구 개발 및 생산하는 회사로 제안하는 「노후 도로 표면 보수공법 사업화」를 통해 우레탄 개질 아스팔트 칩실 및 실코트 공법 개발과 높은 상관관계를 갖고 있다. 따라서 현재 주관연구기관은 아스팔트 바인더 개질재 및 방수재를 생산하고 있으며, 공정개선을 통하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 기존 생산 설비의 100% 활용을 통하여 우레탄 개질 아스팔트 바인더를 3 ton / day 생산할 수 있는 설비로 1차년도 연구를 통하여 개선하였으며, 본 연구를 통하여 국내 현장 특성 및 경화시간 조절 등을 통해 경쟁 제품이 갖지 못한 현지화 특성을 잘 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

다. 판매계획 및 전략

본 연구를 수행한 주관연구기관인 (주)에이알앤씨는 개질 아스팔트 및 도로 보수제 전문기업으로 그 기술력을 인정받고 있으며, 미국 Hudson Asphalt Group의 투자유치를 받아 설립된 당사는 지속적인 연구개발과 상용화를 진행하고 있다. 또한 다양한 네트워크를 통하여 본 기술 개발에 따른 제품 판매를 준비하고 있다. 연구 개발 중인 제품은 기존 거래처를 통한 홍보 및 마케팅 전략을 구사하여 주관연구기관과 전략적 제휴 및 기존 제품 거래처를 통한 Bottom Up 방식을 통한 판매처 확보하고, Top Down 방식의 병행을 통한 홍보 및 마케팅 진행 및 Agent 화 진행하고자 한다.

표 5.1 주관연구기관의 주요 거래처 및 마케팅 전략

제휴 및 거래처	당사와의 관계	마케팅 및 판매 전략
Hudson Asphalt Group	기술개발 및 제품 공급 계약	미국 및 글로벌 마케팅
(주)S-oil	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 및 해외 마케팅 진행
(주)Oil-Bank	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 및 해외 마케팅 진행
(주)코오롱건설	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 및 해외 마케팅 진행
(주)세아건설	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)한국투수개발	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)영중산업	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)발해건설	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)성국ENG	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)수지로드텍	개질 아스팔트 독점 공급계약	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)알에스테크	미끄럼 방지제, 아스팔트 첨가제품 공급	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)무량기술	기술개발 전략적 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행
(주)삼우LMC	기술개발 및 판매 제휴 기업	국내 마케팅 및 판매 진행

본 연구를 통하여 개발된 제품은 국내외 노후 도로 포장의 보수 시장을 예측하여 최소한의 보수적으로 판매한다고 가정하고 판매 실적을 표 5.2와 같이 예측하였다. 표 5.2에 적용된 국내 시장 규모 추정 근거는 “국토해양부 2008 도로보수실적” 중 포장도로 보수액만 산정하였으며, 예상 시장규모는 세계시장 및 국내시장의 경우 2015년까지 매년 평균 경제성장률 2.5%로 보수적으로 가정하여 산정하였다. 또한 주관연구기관의 사업화 연도별 투자 및 판매계획은 표 5.3과 같다.

표 5.2 우레탄 개질 아스팔트 바인더 예상 판매 실적

판매처	국가	단가 (천원)	연간 판매	예상 판매 기간(년)	총판매금 (천원)
한국도로공사	한국	2/L	80,000	10	800,000
지방자치단체	한국	2/L	2.5	10	25
국도관리청	한국	2/L	120	10	1,200
조달청	한국	2/L	1,700	10	117,000
건설업체	한국	2/L	1,000	10	10,000
사급시장	한국	2/L	33	10	330

표 5.3 사업화 연도별 투자 및 판매 계획

(단위 : 백만원)

구 분		사업화 연도		
		2014 년 (개발종료 해당년)	2015 년 (개발종료 후 1년)	2016 년 (개발종료 후 2년)
사업화 제품		포트홀 보수, 칩실 및 슬러리실	포트홀 보수, 칩실 및 슬러리실	포트홀 보수, 칩실 및 슬러리실
투자계획		500	1,000	1,500
판 매 계 획	내 수	3,000	10,000	20,000
	수 출	0	0	0
	계	3,000	10,000	20,000
수입대체효과		2,000	7,500	15,000
고용 창출 (명)		6	12	20

3. 신기술 신청, 정책반영 계획 및 타 연구와의 연계

본 연구 결과 및 연구 종료 후 추가 연구를 통하여 신기술 신청을 계획하고 있으며, 친환경 및 탄소저감 정책에 맞추어 제품 및 공법을 지속적으로 진행할 예정이다.

2절. 추가연구 필요성 등

우레탄 개질 아스팔트 혼합물에 대한 3회 시험 시공 결과 우레탄 개질 아스팔트 슬러리실 시공 구간의 미끄럼저항성 측정 결과 미끄럼저항성이 개선되는 효과를 확인 할 수 있었다. 또한 슬러리실 시공 후 일부 평탄성이 개선되는 효과도 얻을 수 있었다. 그러나 일반 국도 IRI 기준인 3.0임을 감안할 때 본 시험 포장의 사업화를 위하여 인력포설방법에 개선이 필요한 것으로 사료되며 이에 대한 추가 연구가 필요하며, 이러한 추가 연구를 통해 신기술 신청 등의 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Federal Aviation Administration(2011), "Use of nondestructive testing in the evaluation of airport Pavements"
2. Paul, R.F., Matthew, W.F., John, P.L.(2007), "A review of the lightweight deflectometer for routine insitu assessment of pavement material stiffness" , TRB 2007 Annual Meeting
3. Veni, V.N.(2012), "Comparison of measured and predicted response of six mnroad asphalt test sections", The university of Texas at Arlington 2012
4. Cuelho, E., Mokwa, R., and Akin, M.(2006), Preventive maintenance treatments of Flexible pavements: A Synthesis of Highway Practice (final report), Report No FHWA/MT-06-009/ 8117-26, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
5. Hepbum, C.(1992), "Polyurethane elastomers, 2nd ed", Elsevier Science, New York.
6. Szycher, M.(1999), "Szycher's Handbok of Polyurethane", CRC Press LLC, New York.
7. Thmas, P.(1999), "Waterborne and Solvent Based Surface Coating Resins and Their Applications Polyurethanes", SITA Technology Limited, London.
8. 국토해양부, 도로공사 표준시방서(2009), 국토해양부
9. 한국도로공사, 고속도로공사 전문시방서 토목편(2009), 한국도로공사
10. 김국한 외 3명, 평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 관한 연구, 한국도로학회
11. 성능중심의 건설기준 표준화 연구단, 지불규정 시행 지침서(2010.12), 성능중심의 건설기준 표준화 연구단
12. 국토해양부(2009), 도로공사표준시방서.
13. 김낙석, 조명환, 임정순(2003), 상온재생공법활용 회수 아스팔트 혼합물의 실험적 공용특성, 한국도시방재학회논문집 제3권 1호, 한국도시방재학회.
14. 류주열(2002), 폴리머 슬러리실 혼합물의 실내 공용특성 분석 및 회귀분석에 의한 슬러리실 공용년수 예측, 석사학위논문, 경기대학교.
15. 국토교통부(2012) "도로안전시설 설치 및 관리 지침"
16. 권순섭(2008), "LFWD를 이용한 궤도의 동특성 및 상태 평가에 관한 연구", 서울산업대학교, 박사학위 논문
17. 김형석(2010), "배수성 포장을 위한 개질 아스팔트 개발 연구", 세종대학교 대학원, 석사학위논문
18. 배재훈(2010), "응력상태를 고려한 기존 다짐품질관리 시험법과 LFWD 시험법의 상관성 연구", 한양대학교 대학원, 석사학위 논문
19. 김홍태(2003), "폴리우레탄-아크릴 에멀전 수지 제조 및 물성에 관한 연구", 석사학위논문, 동국대학교.
20. 임기영(2005), "수용성폴리우레탄의 합성과 미케니칼특성", 석사학위논문, 대진대학교.
21. 아스팔트 포장공학회(1999), "아스팔트 포장공학원론".

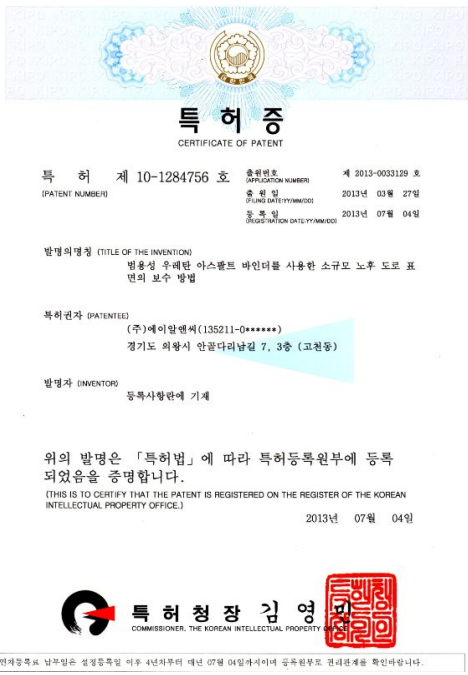
- 22.. 아스팔트 포장공학회(1998), “가열아스팔트 혼합물의 배합설계 지침”.
23. 한국건설기술연구원(2003), “도로포장 장수명화를 위한 설계시공 기술 고도화”, 연구보고서, 한국건설교통기술평가원.

[부 록]

[부록 1] 논문, 특허 등 정량적 성과와 정성적 성과

(가) 특허 등록

특허명칭	등록번호	등록일	출원인
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 소규모 노후 도로 표면의 보수방법	10-1284756	2013. 3. 27	(주)에이알앤씨
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 노후 도로 표면의 보수 공법	10-1316901	2013. 3. 27	(주)에이알앤씨



특 허 증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1284756 호
(PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2013-0033129 호
출 원 일 (FILING DATE) 2013년 03월 27일
등록일 (REGISTRATION DATE) 2013년 07월 04일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 소규모 노후 도로 표면의 보수 방법

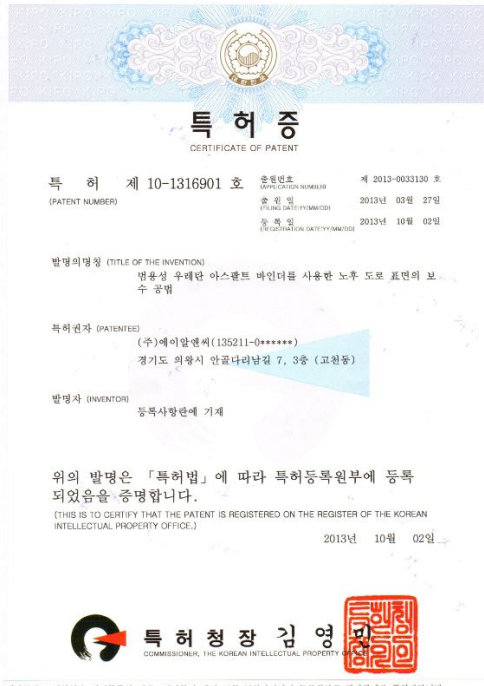
특허권자 (PATENTEE)
(주)에이알앤씨(135211-0*****)
경기도 의왕시 안골다리남길 7, 3층 (고천동)

발명자 (INVENTOR)
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
[THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.]
2013년 07월 04일

특허청장 김 영
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

전자등록료 납부일은 출원등록일 이후 4년자부터 매년 07월 04일까지이며 등록원부도 관리관계를 확인하십시오.



특 허 증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1316901 호
(PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2013-0033130 호
출 원 일 (FILING DATE) 2013년 03월 27일
등록일 (REGISTRATION DATE) 2013년 10월 02일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)
범용성 우레탄 아스팔트 바인더를 사용한 노후 도로 표면의 보수 공법

특허권자 (PATENTEE)
(주)에이알앤씨(135211-0*****)
경기도 의왕시 안골다리남길 7, 3층 (고천동)

발명자 (INVENTOR)
등록사항관에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
[THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.]
2013년 10월 02일

특허청장 김 영
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

전자등록료 납부일은 출원등록일 이후 4년자부터 매년 10월 02일까지이며 등록원부도 관리관계를 확인하십시오.

(나) 학술대회논문 게재

No.	논문명	학술대회명	주저자명	게재 일자
1	아스팔트 콘크리트 포장의 표면 보수를 위한 우레탄-아스팔트 보수재료 개발 연구	대한토목학회	조명환	2012. 10
2	우레탄 개질 아스팔트 바인더(UMAB) 주재의 저장 안전성 및 점성에 대한 연구	한국방재학회	조명환	2013. 2
3	아스팔트 콘크리트 포장의 종방향 균열 실링 보수재 개발 기초 연구	한국방재학회	조명환	2014. 2
1	아스팔트 콘크리트 포장의 포트홀 보수를 위한 보수 재료의 기본물성 시험 연구	한국도로학회	조명환	2013. 9
2	우레탄 개질 아스팔트 포트홀 보수재의 동결 용해 기초 특성 평가	한국도로학회	조명환	2014. 2

(다) 시제품 제작

시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
바인더 충전기	2013. 04.	(주)마리노	경기도 화성 공장	균열 보수
바인더 살포기	2013. 09.	선길 시험기	경기도 화성 공장	균열 보수
골재 살포기	2013. 09.	선길 시험기	경기도 화성 공장	균열 보수
혼합물 혼합기	2014. 06.	선길 시험기	경기도 화성 공장	균열 보수

(라) 현장시험

현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
시험시공	2014. 7.	경기 의왕시	포트홀 보수
시험시공	2014. 7.	경기 의왕시	포트홀 보수
시험시공	2013. 4. 9.	경기 수원시	균열 보수
시험시공	2014. 1 10.	경기 의왕시	균열 보수
시험시공	2013. 10. 12.	강원 춘천시	균열 보수
시험시공	2013. 12. 18.	하남시 이면도로	침실 공법 시험시공
시험시공	2014. 6. 24.	충북 영동군 폐도	슬러리실 공법 시험시공
시험시공	2014. 7. 15.	경기 의왕시	슬러리실 공법 시험시공

[부록 2] LFWD 측정 Raw data

※ 기존 포장의 LFWD Raw data(1차 측정 데이터 - 2013.12.26.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File : normal_1_R		Date :		26. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.2	102	308	85
		2	150	7.1	102	280	92
		3	150	7.1	101	292	89
		4	150	7.1	101	270	95
		5	150	7.1	101	299	88
File : normal_1_L		Date :		26. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.2	101	325	80
		2	150	7.2	101	293	91
		3	150	7.1	101	295	90
File : normal_2		Date :		26. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.3	102	325	80
		2	150	7.2	102	274	95
		3	150	7.3	102	270	97
		4	150	7.1	101	303	85
File : normal_3		Date :		26. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.1	101	334	78
		2	150	7.1	101	305	85
		3	150	7.1	101	290	88
		4	150	7.1	101	285	92
File : normal_4		Date :		26. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.1	101	293	89
		2	150	7.0	100	282	93
		3	150	7.1	101	290	90

※ 칩실 포장의 LFWD Raw data(1차 측정 데이터 - 2013.12.28.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File :	chip_1_R		Date :	28. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.3	103	235	115
		2	150	7.3	102	245	108
		3	150	7.2	102	250	106
File :	chip_1_L		Date :	28. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.0	100	266	101
		2	150	7.1	101	253	105
		3	150	7.0	100	255	108
		4	150	7.0	101	241	112
		5	150	7.0	101	252	106
File :	chip_2		Date :	28. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.2	102	254	114
		2	150	7.2	102	245	110
		3	150	7.2	101	260	115
File :	chip_3		Date :	28. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.1	101	260	103
		2	150	7.2	102	238	110
		3	150	7.2	102	235	110
File :	chip_4		Date :	28. December 2013			
1	Location 1	1	150	7.2	102	248	113
		2	150	7.2	101	256	112
		3	150	7.1	101	266	103

※ 기존 포장의 LFWD Raw data(2차 측정 데이터 - 2014.06.24.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File : YD_L_01		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.5	106	5	5915
		2	150	7.4	105	4	6640
		3	150	7.5	106	5	5845
File : YD_L_02		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.3	104	4	6727
		2	150	7.3	104	5	5905
		3	150	7.4	104	5	5385
		4	150	7.4	104	4	6359
		5	150	7.4	104	5	5583
File : YD_L_03		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.4	104	4	6177
		2	150	7.4	105	4	6766
		3	150	7.4	105	5	6846
		4	150	7.4	105	4	6544
File : YD_L_04		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.6	107	4	7171
		2	150	7.6	107	4	7636
		3	150	7.5	106	4	7940
File : YD_L_05		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.5	106	4	6331
		2	150	7.6	108	5	5677
		3	150	7.7	108	4	7558
		4	150	7.6	107	3	8537

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File :	YD_R_01		Date :	24. June 2014			
1	Location 1	1	150	7.3	103	4	6993
		2	150	7.4	105	5	5409
		3	150	7.3	103	5	5958
		4	150	7.3	104	4	6190
File :	YD_R_02		Date :	24. June 2014			
1	Location 1	1	150	7.5	106	4	6776
		2	150	7.6	107	4	7342
		3	150	7.6	107	4	7244
		4	150	7.6	108	4	6808
File :	YD_R_03		Date :	24. June 2014			
1	Location 1	1	150	7.6	107	5	5720
		2	150	7.5	106	4	7547
		3	150	7.5	107	4	7431
		4	150	7.5	107	4	6523
File :	YD_R_04		Date :	24. June 2014			
1	Location 1	1	150	7.5	106	4	7245
		2	150	7.6	107	5	5684
		3	150	7.5	106	4	7544
		4	150	7.5	106	4	7642
File :	YD_R_05		Date :	24. June 2014			
1	Location 1	1	150	7.7	108	3	8603
		2	150	7.7	108	3	8793
		3	150	7.6	108	3	9384
		4	150	7.6	108	3	9394

※ 슬러리 실 포장의 LFWD Raw data(2차 측정 데이터 - 2014.06.24.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection(Micron)	E0 (MPa)
File : YD_A_A_L_01		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.3	104	27	1028
		2	150	7.3	103	22	1229
		3	150	7.3	103	18	1500
		4	150	7.2	102	19	1412
		5	150	7.3	103	16	1683
File : YD_A_A_L_02		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.4	105	9	3103
		2	150	7.4	105	8	3566
		3	150	7.4	104	8	3322
		4	150	7.4	105	8	3350
		5	150	7.5	105	8	3393
File : YD_A_A_L_03		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.4	104	29	932
		2	150	7.5	106	24	1160
		3	150	7.5	105	20	1420
		4	150	7.4	105	17	1634
File : YD_A_A_L_04		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.6	107	8	3405
		2	150	7.6	108	7	3833
		3	150	7.7	109	6	4453
		4	150	7.7	108	8	3794
		5	150	7.6	108	7	3977
File : YD_A_A_L_05		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.4	104	8	1399
		2	150	7.4	105	8	1423
		3	150	7.4	105	8	1480
		4	150	7.4	105	8	1420

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File : YD_A_A_R_01		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.3	103	9	3105
		2	150	7.3	104	9	3151
		3	150	7.4	104	10	2659
		4	150	7.4	105	9	3181
		5	150	7.4	104	9	2979
File : YD_A_A_R_02		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.5	106	4	7804
		2	150	7.5	105	4	6877
		3	150	7.4	105	5	6078
		4	150	7.4	104	4	6684
		5	150	7.4	105	4	7352
File : YD_A_A_R_03		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.3	104	5	5628
		2	150	7.4	104	4	6527
		3	150	7.3	104	4	7584
File : YD_A_A_R_04		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.6	107	7	4025
		2	150	7.5	106	6	4738
		3	150	7.6	107	7	4254
File : YD_A_A_R_05		Date : 24. June 2014					
1	Location 1	1	150	7.5	106	4	7201
		2	150	7.5	105	4	6999
		3	150	7.4	105	4	6820
		4	150	7.5	106	4	7234

※ 기존 포장의 LFWD Raw data(3차 측정 데이터 - 2014.07.09.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File :	UW_1_1		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.3	104	314	87
		2	150	7.6	107	248	114
		3	150	7.5	107	242	116
		4	150	7.4	105	258	107
File :	UW_1_2		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.3	104	451	61
		2	150	7.4	105	393	70
		3	150	7.4	104	500	55
		4	150	7.4	105	377	73
File :	UW_1_3		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.3	103	372	73
		2	150	7.4	105	328	84
		3	150	7.4	105	322	86
		4	150	7.4	104	325	84
File :	UW_1_4		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.2	102	377	71
		2	150	7.2	102	340	79
		3	150	7.2	102	337	79
		4	150	7.2	102	332	81

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File :	UW_2_1		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.4	105	501	55
		2	150	7.4	105	433	64
		3	150	7.4	105	425	65
		4	150	7.5	106	424	66
File :	UW_2_2		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.0	99	1119	23
		2	150	7.2	102	932	29
		3	150	7.2	102	948	28
		4	150	7.3	103	950	28
File :	UW_2_3		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	6.8	97	976	26
		2	150	7.2	102	732	37
		3	150	7.2	102	750	36
		4	150	7.1	101	690	38
File :	UW_2_4		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.5	106	302	92
		2	150	7.4	105	279	99
		3	150	7.4	105	268	103

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File :	UW_3_1		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.4	105	125	221
		2	150	7.4	105	118	236
		3	150	7.4	105	121	229
File :	UW_3_2		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.5	106	120	233
		2	150	7.5	105	114	244
		3	150	7.4	105	114	242
File :	UW_3_3		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.6	108	76	373
		2	150	7.6	108	73	388
		3	150	7.6	108	81	352
File :	UW_3_4		Date :	09. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.6	107	36	787
		2	150	7.7	109	34	851
		3	150	7.6	107	38	741
		4	150	7.6	108	35	815
		5	150	7.5	107	33	856

※ 기존 포장의 LFWD Raw data(4차 측정 데이터 - 2014.07.19.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File :	UW_Bigyo_1		Date :	19. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.4	104	55	495
		2	150	7.3	103	56	487
		3	150	7.3	103	56	490
File :	UW_Bigyo_2		Date :	19. July 2014			
1	Location 1	1	150	7.3	103	29	924
		2	150	7.3	103	29	927
		3	150	7.3	104	29	940

※ 슬러리 실 포장의 LFWD Raw data(4차 측정 데이터 - 2014.07.19.)

Point No.	Location	Drop	Radius (mm)	Load (kN)	Stress (kPa)	Deflection (Micron)	E ₀ (MPa)
File : UW_Uretan_1		Date : 19. July 2014					
1	Location 1	1	150	7.2	102	132	203
		2	150	7.3	104	117	234
		3	150	7.3	103	116	234
File : UW_Uretan_2		Date : 19. July 2014					
1	Location 1	1	150	7.4	105	130	212
		2	150	7.5	106	129	216
		3	150	7.3	103	128	212

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.