제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 개발" 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2014. 7

주관연구기관명 : ㈜토탈페이브시스템
주관연구책임자 : 김지원
연 구 원 : 이동현
" : 배성호
" : 정원석
" : 민지선

공동연구기관명 :한국석유공업(주)
공동연구책임자 : 양재봉
연 구 원 : 이진호
" : 이광호
" : 김진철
" : 나일호

공동연구기관명 : 동우인더스(주)
공동연구책임자 : 최호진
연 구 원 : 박천호
" : 이경규
" : 권기현
" : 윤여찬
" : 안미경

위탁연구기관명 : 한국도로공사 도로교통연구원
위탁연구책임자 : 손덕수
연 구 원 : 권순민
" : 이재훈
" : 박준영

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술혁신
A02</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2013.03.29.
~ 2014.07.28</td><td>단 계 구
분</td><td>3단계/3단계</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>김지원</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 45명
내부 : 36명
외부 : 9명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
966,000천원
기업 :
402,690천원
계 :
1,368,690천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td>㈜토탈페이브시스템
한국석유공업㈜
동우인더스(주)</td><td colspan="2">참여기업명</td><td colspan="2">㈜토탈페이브시스템
한국석유공업㈜
동우인더스(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>406</td></tr>
</table>

▣ 관리시스템 개발
- 서버용 S/W 개발 및 GIS 연계(계속)
- 보수 작업원용 어플 개발(계속)
- S/W 성능평가 및 기능보완
- S/W 보급

▣ 보수재료 개발
- 프리캐스트 보수재료 배합 개선
- 채움재 자재 개선
- 채움재 및 보수재료 내구성 평가(추가)
  · 부착강도/열팽창계수 등
  · 반복주행시험
- 프리캐스트 생산 방법 및 설비 개발
- 프리캐스트 시험 생산 설비 보완
- 프리캐스트 시험 생산
- 채움재 보관 및 살포방법 개발

▣ 장비개발
- 진공흡입 및 청소장비개발

- 파손부 제거장치 보완
- 리프팅 크레인 선정
- 장비 및 시스템 통합(계속)
- 장비 시험 평가 및 보완

▣ 시험시공
- 포장가속시험
  · 장기 내구성 및 공용성 평가
- 현장 시험시공

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	프리캐스트, 포트홀, 응급보수, 보수장비, 신고용 어플리케이션
	영 어	Precast, Pot hole, Emergency Repair, Repair Equipment, Reporting Application

요 약 문

Ⅰ . 제 목

“ 아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 개발 ”

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 기상이변 등에 따라 국지성 집중호우가 자주 발생되면서 아스팔트 포장 표면으로 우수 등이 침투함에 따라 골재들이 탈리되어 포트홀 파손이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 포트홀 파손을 신속히 복구할 수 있는 재료와 장비 그리고 이를 통합 운영할 수 있는 포트홀 보수관리시스템을 함께 개발하고자 한다. 현재까지의 포트홀 보수는 대부분 상온유화아스팔트 재료의 내구성 향상과 관련된 부분에 치우쳐 연구가 이루어져왔으며 아스팔트 혼합물의 초기 시공단계에서 다짐이 균질하게 이루어지도록 하는 품질관리에 연구의 초점을 맞춰왔다. 본 연구에서는 이러한 기존 연구의 패러다임을 변화시켜 보수 재료를 프리캐스트 개념으로 사전 제작하여 내구성을 향상시키고자 한다. 또한 재료적인 부분 이외에도 포트홀 보수에서 가장 중요한 요소인 보수의 신속성을 향상시킬 수 있는 보수 관리시스템, 그리고 보수가 이루어지는 과정에서 신속하고 안전하면서 내구성을 확보할 수 있도록 전용 시공장비를 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 포트홀 응급보수를 위한 고내구성 프리캐스트 보수재료 개발과 이를 시공할 수 있는 전용 시공장비의 개발, 그리고 포트홀 발생 신고 및 보수현황 등을 실시간으로 관리하도록 하는 관리시스템 개발부분으로 나눌 수 있다.

각 년도별 연구개발 수행내용 및 방법은 다음과 같다.

⑴ 1차년도 연구개발 내용

- 보수재료 개발 부분
  - 응급보수용 재료 조사
  - 폴리머 개질재 조사

- 바인더 개질 및 배합 시험
- 그라우팅 재료 및 제품조사
- 프리캐스트 형상 설계
- 프리캐스트 기초 물성시험

- 보수장비 개발 부분
- 보수장비 기본 개념 설계

- 관리시스템 개발 부분
- 소프트웨어 기능 규정
- 포트홀 신고용 어플개발
- 서버용 DB 및 구조설계

⑵ 2차년도 연구개발 내용

- 보수재료 개발 부분
- 프리캐스트용 바인더 개질 및 배합결정
- 프리캐스트용 혼합물 입도 및 물성시험
- 최종 배합비 선정 및 보수재 성형 확인
- 성형 제품의 물리적 성능 테스트
- 채움재 배합 및 제품 개발

- 보수장비 개발 부분
- 파손부 제거장치 설계 및 시험평가
- 파손부 제거장치 및 지지대 개발
- 파손부 제거장치 보완
- 포장면 그라인딩 장치 개발
- 장비 및 시스템 통합

- 관리시스템 개발 부분
- 서버용 DB 및 구조설계
- 서버용 S/W 개발 및 GIS 연계
- 보수 작업원용 어플리케이션 개발

⑶ 3차년도 연구개발 내용

- 보수재료 개발 부분
  · 프리캐스트 생산방법 및 설비개발
  · 채움재 보관 및 살포방법 개발
  · 채움재 자재 개선 및 보완
  · 프리캐스트 보수재료 배합 개선
  · 프리캐스트 제품 시험생산
  · 프리캐스트 생산설비 보완

- 보수장비 개발 부분
  · 진공흡입 및 청소장비 개발
  · 리프팅 크레인 선정
  · 파손부 제거장치 보완
  · 장비 및 시스템 통합
  · 장비 시험시공 및 평가
  · 장비 보완

- 관리시스템 개발 부분
  · 서버용 S/W 개발 및 GIS 연계
  · 보수 작업원용 어플리케이션 개발
  · 서버용 S/W 성능평가 및 기능보완
  · 소프트웨어 보급 및 홍보

Ⅳ. 연구개발결과

본 연구는 총 3차년으로 구성되어 있으며 연구개발 결과는 다음과 같다.

▣ 포트홀 보수의 지능화를 위한 포트홀 신고 및 보수 이력 관리 시스템 개발
- 도로관리자 및 일반시민이 포트홀 발생을 신고할 수 있는 스마트폰용 어플리케이션을 개발
- 도로관리자와 일반시민이 신고한 포트홀을 도로관리주체별로 배분하여 보수할 수 있도록 위치정보 및 사진을 전송하고 보수가 완료된 이후에 이력을 관리할 수 있는 서버용 포트홀 관리시스템 개발
- 포트홀 보수 담당자가 서버로부터 포트홀 위치를 통보받고 보수 이후에 이력을 자동 보고할 수 있는 태블릿 PC 기반의 포트홀 보수 어플리케이션 개발

- 포트홀 보수 정보를 기존 포장유지관리 시스템과 연계하거나, 기존 유지관리 시스템에 정보를 전달하여 포장 보수 공법 및 시기 결정을 할 수 있는 인터페이스 개발

▣ 포트홀의 응급복구에 사용할 사전 제작된 보수재료 개발 및 그에 대한 규격과 품질관리 기준 개발
- 공장에서 사전에 제작한 보수재료로서 아스팔트 계열의 혼합물을 기초로 개발
- 원판형으로 제작하되 크기 측면에서 4가지 이내, 두께 측면에서 2가지 정도의 규격을 제작
- 프리캐스트 보수재와 기존 포장면의 공간을 채울 채움재로서 내구성과 접착성능을 가지는 재료의 개발

▣ 포장가속시험 및 시험시공을 통한 응급복구용 보수재료 성능 평가
- 포장가속시험 장비에 인위적으로 포트홀을 생성하고 이를 보수한 이후에 반복적인 하중 재하를 통하여 보수재료의 성능을 평가
- 현장 시험시공을 통하여 재료의 내구성을 평가하고 보수 장비의 현장 적용성을 동시에 평가

▣ 코어, 진공흡입, 표면절삭 장비를 갖추고 보수재료를 적재하여 포트홀의 응급복구를 가능하게 하는 시공 장비 및 장비 제조 규격
- 사전 제작한 보수재료의 규격에 맞추어 포트홀 발생부위를 정리할 수 있는 코어 또는 절삭 장비 시제품 제작
- 포트홀 및 인접 파손 부위에서 제거된 아스팔트 혼합물을 수거할 수 있는 청소 및 진공흡입 장비 시제품 제작
- 보수재가 포장면에 돌출될 경우 표면을 얇게 절삭 가능한 그라인딩 장비 시제품 제작
- 모든 요소 장비를 탑재하여 일괄 운영이 가능한 보수 차량
- 모든 개별 장비의 제조 규격 및 보수 차량의 제조 규격

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 연구의 최종성과물은 프리캐스트 개념의 포트홀 보수재료, 포트홀 보수에 필요한 자동화 장비, 포트홀 보수 관리 시스템의 세 가지로 구분할 수 있다. 포트홀 보수재료 및 장비는 포장가속시험과 시험시공을 통하여 성능이 검증된 이후 도로관리청 및 지방자치단체의 포장보수 작업반에게 보급이 가능하다. 보급은 먼저 국토해양부 산하 17개 국도유지관리사무소 또는 한국도로공사의 60여개 지사 중에서 2개소 정도를 선택하여 시험 적용할 수 있다. 이를 통하여 성능의 검증이 실제 업무 수준에서 이루어질 경우 추후 모든 도로관리청에 보급이 가능할 것으로 판단된다. 이와 같은 보급 및 확산을 통하여 보수재료의 성능에 대한 추가적인 검증과 성능 개선이 이루어진 이후에는 포트홀 발생이 빈번한 동남아시아 국가와 중국에 수출 가능성이 열린다고 판단 수 있다.

포트홀 보수 관리 시스템의 경우에는 보수재료 및 장비와는 별도로 적용할 수 있으며 도로관리청 및 지방자치단체에 사전 보급이 가능할 것으로 판단된다. 포트홀 보수에 가장 필수적인 포트홀 발생 여부 확인이 관리시스템을 통할 경우 도로보수 작업반이 인지하는 것보다 훨씬 빨리 이루어질 수 있다. 또한 이력관리를 수행할 경우 포장의 보수 의사결정을 내리는 분야에서도 도움이 될 수 있다.

SUMMARY

The asphalt pavement failure due to pot hole has been a significant problem recently in Korea. The pot hole is caused by the heavy rainfall due to climatic change from warm temperature climate to subtropical one. Repairing pot holes costs numerous maintenance crews and repair material. The cold asphalt made with asphalt emersion is the commonly used for pot hole repair but it is not as good as hot mix asphalt in terms of durability and moisture susceptibility. The emergency repair under rainfall causes the safety issue for maintenance crews.

In order to resolve durability and safety issues, this research focuses on three items. The first is the development of high durability precast repair material manufactured from factory. The second is the development of repair equipment minimizing the demand of maintenance crews during emergency repair. The third is the development of pot hole repair management system that organizes pot hole identification, repair, and history management. Detailed research issues are followed.

- Precast repair material: high durability asphalt material made from manufacturing facility with fixed sizes.
- Repair equipment: removal of pot hole damaged asphalt pavement and set up precast repair material on road.
- Repair management system: tablet PC application for road patrol and maintenance crews and center server system with history database.

This research will change pot hole repair methodology from two phase repair(emergency repair with cold asphalt and permanent repair with hot mix asphalt after rainfall) to one precast repair. This will save traffic delay cost, improve road condition, and provide better driver satisfaction. This research will also incorporate tradition road repair with new IT technology and it will change maintenance paradigm with technology fusion.

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 필요성 ····· 1
제 1 절 연구개발 개요 및 중요성 ····· 1
1. 연구개발 개요 ····· 1
2. 연구개발의 중요성 ····· 6
제 2 절 연구개발 목표 ····· 9
1. 연구개발 목표 ····· 9
2. 최종목표의 성격 및 설정 근거 ····· 11
3. 년도별 연구목표 및 내용 ····· 12
4. 정량적 성과 목표 ····· 13

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 17
제 1 절 기술현황 개요 ····· 17
1. 지금까지의 연구개발 실적 ····· 17
2. 국내외 기술 및 산업 동향 ····· 20
가. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 20
나. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 26
다. 특허 동향 ····· 31

제 3 장 연구개발수행 내용 ····· 34
제 1 절 연구개발수행 내용 ····· 34
1. 연구개발내용 요약 ····· 34
2. 연구개발 주요 내용 ····· 37
가. 프리캐스트 응급 보수재료 개발 ····· 37
나. 보수장비 개발 ····· 208
다. 포트홀 신고 및 보수이력 관리시스템 개발 ····· 294
라. 포장가속시험기를 활용한 내구성 검토 ····· 366
마. 경제성 평가 ····· 382
바. 사업화 방안 ····· 389

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 395
제 1 절 주요 연구목표 달성도 ····· 395
1. 연구개발 수행 진도율 ····· 395
2. 연구개발 수행 달성도 ····· 398

제 2 절 관련분야 기여도 ····· 403
1. 기술적 측면 ····· 403
2. 사회·경제적 측면 ····· 404

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획 ····· 405
제 1 절 연구결과의 활용계획 ····· 405
제 2 절 기대성과 및 파급효과 ····· 406

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 408

제 7 장 참고문헌 ····· 409

제 8 장 부 록(아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 시방서) ····· 413

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 필요성

제 1 절 연구개발 개요 및 중요성

1. 연구개발 개요

최근 우리나라의 기후가 온대에서 아열대 기후 쪽으로 변화하면서 연평균 강우량의 증가 추세가 확연히 나타나고 있다. 강우량의 증가는 수분에 대하여 취약한 아스팔트 포장의 내구성을 약화시키는 경향이 있다. 일반적인 강우 현상은 지속시간이 짧고 도로의 노면 배수를 통하여 물이 흘러나간 이후에는 아스팔트 포장의 내부로 수분이 깊게 침투하지는 못하여 내구성에 큰 영향을 미치지는 않는다. 그러나 장마와 같이 장시간 강우가 지속되는 경우에는 수분이 아스팔트 포장 내부로 깊게 침투하고 이로 인하여 아스팔트 포장이 원형으로 탈리되며 파손되는 포트홀이 발생한다. 기름 성분에서 추출되어 골재 사이에서 접착제 역할을 하는 아스팔트 바인더가 물과 어울리지 않기 때문이다. 심각한 경우에는 일주일 이내에 1km 당 100개 이상의 포트홀이 발생하여 도로의 주행 자체가 어려운 상태로 이어지기도 한다. <그림 1.2>에 사례로 제시된 포트홀은 분당-수서간 고속화도로의 사례로 2003년 8월 17일부터 27일까지 발생한 장기간의 강우로 수백개의 포트홀이 동시에 발생한 사례이다. 조선일보의 보도에 의하면 금년 장마철에도 6월말에서 7월초 2주일간에만 서울시에서 포트홀이 16,000개가 발생하여 다양한 교통안전의 문제를 야기했다.

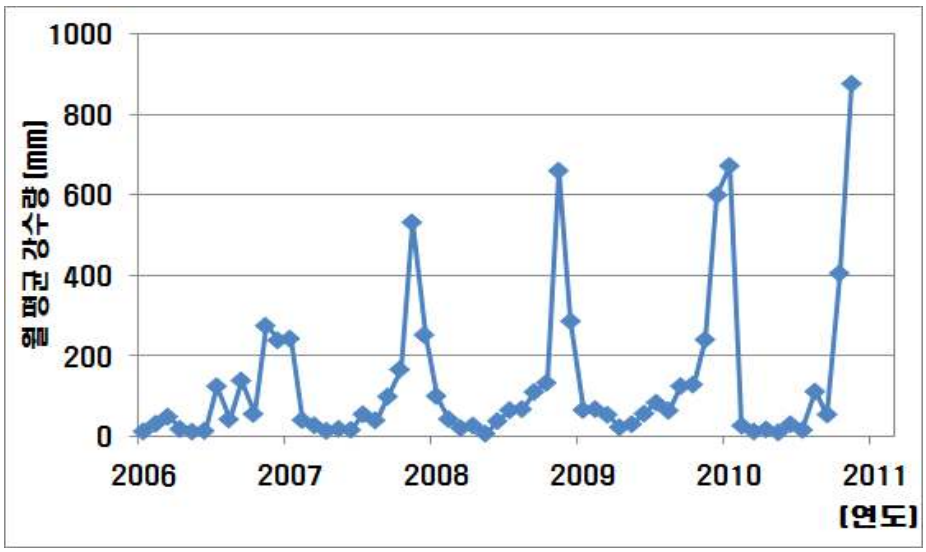


그림 1.1 연평균 강우량 증가 추이 그래프 삽입



그림 1.2 포트홀 발생 사진

다음 <그림 1.3>의 좌측 사진은 2011년 7월에서 8월에 걸쳐 발생한 지속적인 강우로 발생한 포트홀을 반복적으로 보수한 사례를 보여주는 사진이다. 보수재료는 상온응급보수용 아스콘을 사용한 사례와 가열아스팔트 혼합물을 사용한 사례 등으로 구분할 수 있는데, 사진에서 보여지는 상이한 색상으로 미루어 최소 3회 이상의 보수가 이루어진 사례이다. <그림 1.3>의 우측 사진은 수차례 보수를 한 이후에 비가 그친 사이에 포트홀이 심각한 50m 구간을 절삭하고 덧씌우기한 사진이다. 성남시 분당구 서현동 인근의 교차로에서 촬영한 사진들이다.



그림 1.3 포트홀 보수 사진

포트홀은 초기에는 종방향 시공 조인트와 같이 다짐이 취약한 부위에서 발생하지만 강우가 지속되면 도로 포장면 전체에서 발생한다. 특히 교면포장 부분에서 많이 발생한다. 포트홀은 단순히 포장의 파손 현상으로 그치는 것이 아니라 도로 표면에 단차를 유발하여 타이어의 펑크나 차량의 주행 궤도 이탈에 의한 교통사고를 이차적으로 유발하는 문

제가 있다. 이와 같은 교통사고는 도로사용자의 민원제기와 인명의 손상으로 이어진다. 현재 서울시의 경우에는 매년 수백건의 보험사 구상권 청구가 발생하여 시정 운영의 걸림돌로 작용하고 있다. 고속도로를 관리하는 한국도로공사의 경우에도 2006년 서울경제의 보도에 의하면 매년 140건 이상의 구상권 청구가 발생하고 있는데, 고속도로는 유료도로이기 때문에 민원 및 구상권 청구의 강도가 상대적으로 더 강하다.

본 연구에서는 이와 같은 포트홀을 신속히 복구할 수 있는 재료와 장비 그리고 이를 통합 운영할 수 있는 포트홀 보수관리시스템을 함께 개발하고자 한다. 현재까지의 포트홀 보수는 대부분 상온유화아스팔트 재료의 내구성 향상과 관련된 부분에 치우쳐 연구가 이루어져왔다. 이외에는 아스팔트 혼합물의 초기 시공단계에서 다짐이 균질하게 이루어지도록 하는 품질관리에 연구의 초점을 맞춰왔다. 본 연구에서는 이러한 기존 연구의 방향을 변경하여 패러다임을 바꿀 수 있도록 보수 재료를 프리캐스트 개념으로 사전 제작하여 내구성을 향상시키고자 한다. 또한 재료적인 부분 이외에도 포트홀 보수에서 가장 중요한 요소인 보수의 신속성을 향상시킬 수 있는 보수관리시스템, 그리고 보수가 이루어지는 과정에서 안전하고 신속하게 보수를 마칠 수 있는 장비 탑재 차량을 모두 연계하여 개발하고자 한다.

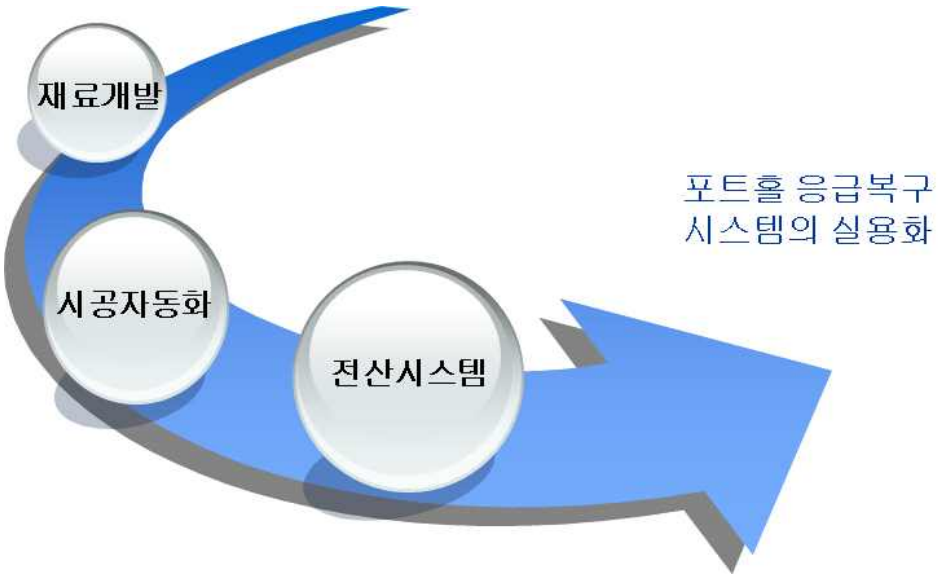


그림 1.4 재료, 장비, 포트홀 보수관리시스템의 연계도

재료적인 측면에서는 기존에 사용되는 상온유화아스팔트혼합물 계열의 응급보수재에서 탈피하여 프리캐스트 개념으로 사전 제작이 가능한 보수 재료를 개발하고자 한다. 현행 유화아스팔트 계열의 응급보수재는 현재 다양한 제품군이 존재하며 대량으로 사용되고

있지만 강우가 지속될 경우 24시간을 버티지 못할 만큼 내구성이 취약하다. 내구성이 취약한 이유는 현장에서 강우 중에 보수가 이루어져 물이 주변에 많이 존재하여 유화아스팔트의 경화를 지연시키고, 현장 응급복구로는 내구성을 충족할 수준의 다짐도를 만들어 내기가 어렵기 때문이다.

수분이 있어도 경화가 이루어지는 응급보수재도 시장에 한 가지가 존재하고 있다. 이 보수재는 수경성 우레탄을 결합재로 사용하여 포트홀 주변의 수분을 이용하여 경화되는 특징을 가지고 있어 포트홀 발생 시 내구성이 높은 보수를 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 우레탄 계열의 응급보수재의 경우 보수 후 자체의 상태는 양호하게 유지되지만 보수 당시 포트홀 주변 포장체가 이미 손상을 입은 상태이고, 이로 인하여 다른 문제를 유발한다. 현재와 같이 주변의 손상된 포장체를 제거하지 않고 보수를 할 경우 강우가 지속되면 보수 부위 주변의 포장체가 다시 손상되며 응급 보수재와 같이 한꺼번에 탈락되기도 한다. 이러한 경우 응급보수재가 덩어리째 탈락되어 도로에 방치되므로 2차 교통사고를 유발하기도 한다. 가격 또한 상온 유화 아스팔트 혼합물 계열에 비하여 2배 이상 비싼 단점이 있다.

이와 같은 기존의 응급복구 재료는 겨울철에 저온으로 인하여 부분적인 경화가 이루어져 동절기에 제설작업 중 발생하는 포트홀의 보수과정에서 재료의 분산 및 다짐을 어렵게 한다. 프리캐스트 개념으로 사전에 보수재료를 제작할 경우 경화 지연 및 다짐도에 따른 문제는 충분히 극복이 가능하며 강우 중에 보수하는 과정에서도 내구성에 문제가 없이 보수가 이루어질 수 있다. 다만 사전에 제작된 보수재는 크기가 규격화될 수밖에 없어 임의의 크기로 발생하는 포트홀에 대한 대응력은 저하된다. 이를 극복하기 위하여 포트홀과 주변의 손상부위를 동시에 제거하여 보수재의 규격에 맞출 경우 2차 파손의 문제를 저감할 수 있는 장점도 있다.



로크하드



바로바로



에스에스콘



워터콘(우레탄계)

그림 1.5 상온 유화아스팔트 응급 보수재

본 연구에서 개발할 장비는 규격화된 보수재에 맞추어 파손이 발생한 포트홀을 보수할 수 있도록 개발된다. 보수재는 원판 모양으로 제작할 계획이며 이 보수재를 설치하기 위하여 포트홀 및 주변에 손상된 아스팔트 재료를 포함하여 원형으로 코어링하여 제거한다. 제거된 아스팔트 혼합물 잔재는 진공청소기의 개념을 적용하여 흡입하고, 빈 공간에 보수재를 삽입하여 보수를 마무리한다. 사전 제작된 보수재의 규격으로 인하여 보수재의 높이가 주변 아스팔트 포장보다 높을 경우 이를 그라인딩 장비로 절삭하여 평탄성을 유지할 수 있도록 마지막 보수 공정을 추가하여 장비를 개발하고자 한다. 이와 같이 개별 보수 장비는 단일 트럭에 탑재하여 운영의 효율성을 높이도록 개발하고자 한다.

포트홀이 가장 많이 발생하는 시기는 장마철과 태풍이 불어오는 초가을이다. 최근에는 강설량의 증가로 1, 2월의 포트홀 발생도 크게 늘고 있다. 포트홀의 특성상 강우량이 많고 배수가 잘 이루어지지 않는 시기에 발생한다. 포트홀은 일단 발생하면 계속 확장되며 커지는 경향이 있고, 일단 발생하면 주변에도 연속적으로 발생하는 경향이 있다. 앞에서

도 언급한바와 같이 포트홀은 일단 발생하면 차량의 타이어 파손 및 진로 방해 등으로 2차 교통사고를 유발하는 경향이 크다. 그러므로 포트홀의 발생여부를 최대한 빨리 인지하고 신속한 응급복구에 착수하는 것이 중요하다. 포트홀 보수관리시스템은 스마트폰, 태블릿PC, 서버로 구성되며 포트홀의 신고, 보수작업원에게 발생 위치 전달, 보수 이후 이력관리가 동시에 이루어질 수 있는 S/W 체계이다. 도로 순찰원 또는 버스 및 택시 운전자와 같이 도로를 주행하는 시간이 많은 사람들에게 앱(App: Application)이 장착된 스마트폰을 활용하여 포트홀의 발생을 신고하도록 유도할 수 있다. 스마트폰은 모두 GPS가 내장되어 있어 발생 지점의 위치정보를 전송할 수 있다. 센터의 서버는 이를 취합하여 도로 보수작업반에 주기적으로 포트홀 발생정보를 자동 전송해주고, 작업반은 태블릿PC를 통하여 보수 위치 정보를 전달 받은 다음에 보수를 완료하고 보수 완료 정보를 다시 서버로 전달할 수 있다. 서버에서는 이 정보를 취합하여 향후 포장유지관리시스템이 절삭 덧씌우기 등 보수 의사결정을 내릴 때 참고 자료로 활용될 수 있다.



그림 1.6 스마트폰을 이용한 보수관리시스템

2. 연구개발의 중요성

우리나라는 2000년대 중반에 도로의 총연장이 100,000km를 넘어서며 도로의 건설보다 유지관리의 필요성이 증가하는 시기를 맞이한다. 경제발전과 더불어 차량의 댓수도 폭발적으로 증가하여 도로의 교통량이 증가하며, 고품질 도로에 대한 사용자의 요구가 증가하고 있다. 사용자 측면에서 도로를 사용하며 느끼는 불만은 다양하지만 대체적으로 소

성변형과 포트홀에 대한 불만이 많은 편이다. 강우가 지속되면 소성변형은 휠패스에 물이 고여 수막현상을 유발하고, 포트홀의 경우에는 타이어 파손, 차량 주행 방해, 2차 교통사고 유발 등 다양한 안전 문제를 야기한다. 최근에는 포트홀에 의한 도로파손이 유발한 교통사고에 대하여 보험사에서 도로관리기관에 구상권 청구를 하는 사례가 급증하고 있다. 서울시의 경우 포트홀에 의한 교통사고 구상권 청구건수가 2008년 125건, 2009년 241건, 2010년 444건으로 급격히 증가하고 있는데, 이를 보면 포트홀이 유발하는 교통사고의 비중이 상당히 높다는 것을 알 수 있다. 구상권 청구건수의 월별 분포를 보면 포트홀이 주로 발생하는 겨울철 강설시기와 여름철 장마시기에 집중되어 있다. 이와 같은 구상권 청구건수와 금액은 향후 계속 증가할 것으로 판단된다.

본 연구는 이와 같은 포트홀의 문제점을 해결하기 위한 연구로서, 다음 <표 1.1>과 같이 기존에 포트홀을 보수하는 3단계 작업을 2단계로 단축할 수 있도록 개선한다. 기존 보수 방법의 1단계와 2단계는 강우량이 적을 때는 1단계를 생략하고 2단계부터 적용할 수 있지만, 장마와 태풍과 같이 24시간 이상 강우가 지속되는 경우에는 1단계 응급복구에 대한 필요성이 높아진다. 이와 같은 응급복구는 교통사고의 위험성은 저감하지만 보수 작업원의 안전사고는 증가한다. 그러므로 보수 공정의 상당 부분을 본 연구개발을 통하여 자동화할 수 있다면 보수 효율의 증대는 물론 작업원의 안전도 향상이 가능하다.

표 1.1 포트홀 보수 방법 비교

구 분	기존 포트홀 보수 방법	본 연구 개발 이후 개선된 방법
1 단계	• 포트홀이 발생할 경우 강우 중에도 포대형 상온아스콘을 사용하여 응급복구 시행 • 강우 중 간이 교통차단 후 작업을 시행하여 안전사고 발생 우려	• 포트홀이 발생할 경우 프리캐스트형 보수재를 사용하여 보수 • 일반 포트홀은 원형 보수재를 적용하고, 종방향 시공조인트의 포트홀은 직사각형 보수재 적용 • 주요 보수작업은 차량안에서 이루어지므로 안전사고 우려 저감
2 단계	• 강우 종료 이후에 가열아스팔트 혼합물을 사용하여 포트홀 보수 • 소파보수의 개념으로 포장 포트홀 이외의 파손부도 같이 보수	
3 단계	• 보수된 포트홀이 많은 구간은 절삭 후 덧씌우기 수행	• 좌동

보수의 첫 번째 단계인 응급복구에서는 기존에 사용하는 유화아스팔트를 적용할 경우 강우강도가 높은 상황에서는 보수 수명이 24시간 이하인 경우가 빈번하게 발생한다. 즉 포트홀이 동일한 위치에 다시 발생하는 것이다. 응급복구재의 강도가 발현되기 위해서는 보수재 내부의 수분이 증발하고 유화 상태가 깨지며 아스팔트 바인더가 접착제의 역할을 해야 하나, 강우로 인하여 수분의 증발이 어려워지기 때문이다. 또한 겨울에는 기존 보수재료가 부분 경화가 이루어져 포트홀이 제설 작업 과정에서 발생했을 경우에 보수재료를 포트홀에 채워 넣고 다짐을 실시하는 것이 어렵다. 그러나 본 연구개발의 성과로 도출된 프리캐스트형 보수재료는 이미 강도발현이 이루어진 재료를 응급복구에 사용하기 때문에 강도가 저하되어 보수의 수명이 짧아질 우려가 없다. 그러므로 응급복구를 수행하고 다시 2단계 소파보수를 수행할 필요가 없어진다. 본 연구과제로 개발할 프리캐스트형 보수재의 경우 3단계 개념의 절삭 덧씌우기 적용 때까지만 견뎌주면 수명은 충분하므로 내구성 측면에서 3개월의 목표수명을 가지고 재료를 개발하면 충분할 것으로 판단된다.

포트홀 보수관리시스템은 포트홀의 발생에서부터 응급보수, 그리고 이후의 덧씌우기 판단까지 수행할 수 있도록 도로관리청의 업무에 도움을 줄 수 있다. 최근 대규모로 보급되는 스마트폰의 GPS와 통신 기능을 활용한 어플을 개발할 경우 포트홀의 발생 여부를 더 신속하게 파악할 수 있다. 고속도로의 경우 고속버스 운전자에게 보급하거나, 하이패스 단말기에 포트홀 신고 기능을 부여할 수 있다. 서울시 같은 경우에는 교통정보 수집용으로 보급된 택시용 단말기에 신고 기능을 부여할 수 있다. 이와 같은 신고를 포트홀 보수관리시스템에서 취합하여 보수작업원이 휴대하는 태블릿PC를 통하여 작업지시를 내릴 경우 신속한 복구 작업이 가능하다. 또한 보수가 이루어진 이후에는 신고자에게 문자메시지를 통하여 보수완료 여부를 통보함으로서 도로 사용자의 신뢰도 상승에도 기여할 수 있다. 이와 같은 자동화된 관리시스템을 적용할 경우 포트홀 보수업무의 효율성 향상이 가능하다.

보수관리시스템의 정보는 포장도로의 유지관리에서 필요로 하는 보수 이력 정보로 추가적인 활용이 가능하다. 고속도로, 국도 및 서울시와 같이 포장유지관리시스템을 적용하고 있는 기관에서는 포트홀 보수관리시스템에 기록된 포트홀 응급복구 및 소파보수 이력을 활용하여 포트홀이 빈번하게 발생하는 구간에 절삭 덧씌우기의 적용 시기를 결정하여 합리적인 유지보수를 할 수 있다.

이와 같은 본연구의 성과는 최근 강우량이 증가하며 지속적으로 증가하고 있는 포장 보수비용 중 소파보수 예산을 획기적으로 저감할 수 있다. 다음 <그림 1.5>는 최근 증가 추이를 보여주고 있는 소파보수 예산을 총액과 고속도로, 국도, 지방도를 구분하여 제시한다. 소파보수 예산은 강우량 증가에 부합하여 현재 지속적인 증가추이를 보이고 있다.

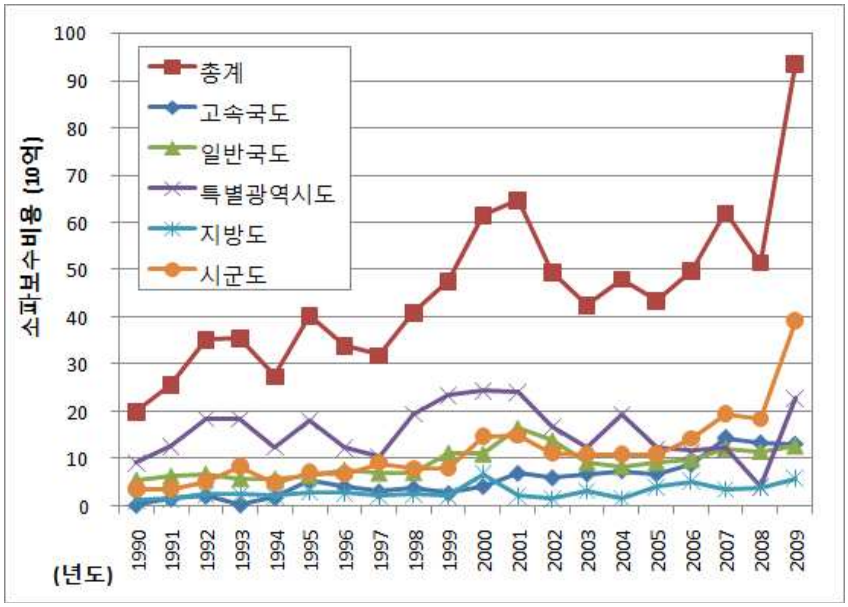


그림 1.7 소파보수 비용 증가 추이

제 2 절 연구개발 목표

1. 연구개발 목표

본 연구를 통하여 달성하고자 하는 최종 목표는 다음과 같다

▣ 포트홀 보수의 지능화를 위한 포트홀 신고 및 보수 이력 관리 시스템 개발

- 도로관리자 및 일반시민이 포트홀 발생을 신고할 수 있는 스마트폰용 어플리케이션을 개발
- 도로관리자와 일반시민이 신고한 포트홀을 도로관리주체별로 배분하여 보수할 수 있도록 위치정보 및 사진을 전송하고 보수가 완료된 이후에 이력을 관리할 수 있는 서버용 포트홀 관리시스템 개발
- 포트홀 보수 담당자가 서버로부터 포트홀 위치를 통보받고 보수 이후에 이력을 자동

보고할 수 있는 태블릿 PC 기반의 포트홀 보수 어플리케이션 개발

- 포트홀 보수 정보를 기존 포장유지관리 시스템과 연계하거나, 기존 유지관리 시스템에 정보를 전달하여 포장 보수 공법 및 시기 결정을 할 수 있는 인터페이스 개발

▣ 포트홀의 응급복구에 사용할 사전 제작된 보수재료 개발 및 그에 대한 규격과 품질관리 기준 개발

- 공장에서 사전에 제작한 보수재료로서 아스팔트 계열의 혼합물을 기초로 개발
- 원판형 또는 직사각형으로 제작하되 크기 측면에서 4가지 이내, 두께 측면에서 2가지 정도의 규격을 포트홀 발생 형태를 조사한 이후에 결정
- 보수재료의 내구성을 위하여 토목섬유를 삽입하고 포장층에 고정을 위하여 앵커볼트 고정부를 설치
- 프리캐스트 보수재와 기존 포장면의 공간을 채울 채움재로서 수경성 폴리머 또는 시멘트 계열의 재료

▣ 포장가속시험 및 시험시공을 통한 응급복구 용 보수재료 성능 평가

- 포장가속시험 장비에 인위적으로 포트홀을 생성하고 이를 보수한 이후에 반복적인 하중 재하를 통하여 보수재료의 성능을 평가
- 현장 시험시공을 통하여 재료의 내구성을 평가하고 보수 장비의 현장 적용성을 동시에 평가

▣ 코어, 진공흡입, 표면절삭 장비를 갖추고 보수재료를 적재하여 포트홀의 응급복구를 가능하게 하는 시공 장비 및 장비 제조 규격

- 사전 제작한 보수재료의 규격에 맞추어 포트홀 발생부위를 정리할 수 있는 코어 또는 절삭 장비 시제품 제작
- 포트홀 및 인접 파손 부위에서 제거된 아스팔트 혼합물을 수거할 수 있는 청소 및 진공흡입 장비 시제품 제작
- 보수재가 포장면에 돌출될 경우 표면을 얇게 절삭 가능한 그라인딩 장비 시제품 제작
- 보수장비의 운반 및 보수차량 탑재가 용이한 랙 및 리프팅 크레인 시제품 제작
- 모든 요소 장비를 탑재하여 일괄 운영이 가능한 보수 차량
- 모든 개별 장비의 제조 규격 및 보수 차량의 제조 규격

▣ 포트홀의 응급보수 방법론에 대한 제시 및 보수 시방서

- 본 연구를 통하여 개발되는 재료와 장비를 통합하여 운영하는 보수 방법론 및 시방서
- 도로관리청 및 지방자치단체 보수작업원을 위한 교육 자료

2. 최종목표의 성격 및 설정 근거

최종목표로 제시된 프리캐스트 개념의 보수재료의 개발은 제품 개발로 간주할 수 있다. 현 시점에서 보편화된 상온유화아스팔트가 아닌 프리캐스트 개념으로 적용할 경우 재료적인 측면에서는 기존 가열아스팔트혼합물의 제조에 적용하는 기술을 사용할 수 있다. 여기에 프리캐스트 재료의 크기, 보강재 삽입 방법 등에 대하여 다양한 시험을 통하여 형상 설계가 필요하다. 그리고 프리캐스트 용 몰드 설계, 다짐 방법 등 실물 재료를 생산하는 과정을 규정하고 시험생산 설비를 갖춰야한다. 마지막으로 실내시험 및 현장 시험시공을 통하여 내구성을 평가해야한다. 이러한 일련의 과정은 현재 국내 기술로 충분히 극복할 수 있으리라 판단된다.

보수장비의 개발은 시작품 개발로 판단이 가능하다. 최초 개발 단계에서는 개별 기능을 구현할 파트의 구입 및 개조에 많은 연구비가 소요될 것으로 판단된다. 차량에 보수에 필요한 다양한 기능을 구현할 수 있도록 소형 장비들을 탑재하는 것이고, 탑재된 장비들이 차량의 주행에 영향을 미치지 않아야 하기 때문에 작업시와 이동시 장비의 위치가 달라져야 한다. 또한 가급적 보수작업원은 운전석과 조수석에서 작업의 대부분을 통제할 수 있도록 설비가 이루어져야 한다. 이에 대한 연구 개발은 단순한 장비 개발을 뛰어넘어 시스템 통합의 차원에서 접근해야 한다.

포트홀 보수이력 관리시스템은 전산 소프트웨어로서 서버와 스마트폰 그리고 태블릿 PC에 탑재하여 상호간 통신에 의하여 정보를 전달하고 관리자가 화면을 통하여 보수 이력, 현황, 포트홀 발생 위치 등을 확인할 수 있다. 이에 필요한 기술은 현재 타 분야에서는 이미 실용화 단계에 들어가 있기 때문에 기술적인 문제는 없는 것으로 판단된다.

포트홀 보수 방법론 및 보수 시방서는 공정개발로 구분할 수 있다. 본 연구를 통하여 재료와 장비 개발의 흐름이 결정되면 이에 적합하도록 시방서를 작성하면 된다. 시방서의 정확성은 시험시공을 통하여 검증할 수 있다.

3. 년도별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 관리시스템 개발	▪ SW 기능 규정 ▪ 포트홀 신고용 어플 개발 ▪ 서버용 S/W DB 및 구조설계
	▪ 보수재료개발	▪ 보수&(응급보수)용 재료 조사 ▪ 폴리머 개질제 조사 ▪ 바인더 개질 및 배합 시험 ▪ 그라우팅 재료 및 제품 조사 ▪ 프리캐스트 형상 설계 ▪ 프리캐스트용 자재 성형 및 기초물성시험
	▪ 장비개발	▪ 보수장비 기본 개념 설계
2차년도	▪ 관리시스템 개발	▪ 서버용 S/W DB 및 구조설계(계속) ▪ 서버용 S/W 개발 및 GIS 연계 ▪ 보수 작업원용 어플 개발
	▪ 보수재료개발	▪ 프리캐스팅용 바인더 개질 및 배합결정 ▪ 프래캐스팅용 혼합물 입도 및 물성시험 ▪ 최종 배합비 선정 및 보수재 성형 확인 ▪ 성형 재품의 물리적 성능 TEST ▪ 채움재 배합 개발
	▪ 장비개발	▪ 파손부 제거장치 설계 및 시험평가 ▪ 파손부 제거장치 및 지지대 개발 ▪ 파손부 제거장치 보완 ▪ 포장면 그라인딩 장치 개발 ▪ 장비 및 시스템 통합
3차년도	▪ 관리시스템 개발	▪ S/W 성능평가 및 기능보완 ▪ S/W 보급
	▪ 보수재료개발	▪ 프리캐스트 보수재료 배합 개선 ▪ 채움재 자재 개선 ▪ 프리캐스트 생산 방법 및 설비 개발 ▪ 프리캐스트 시험 생산 설비 보완 ▪ 프리캐스트 시험 생산 ▪ 채움재 보관 및 살포방법 개발
	▪ 장비개발	▪ 파손부 제거장치 보완 ▪ 진공흡입 및 청소장비개발 ▪ 리프팅 크레인 선정 ▪ 장비 및 시스템 통합(계속) ▪ 장비 시험 평가 및 보완
	▪ 시험시공	▪ 포장가속시험 ▪ 현장 시험시공

4. 정량적 성과 목표

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	포트홀 신고용 어플리캐이션 개발	포트홀 신고용 어플리캐이션 개발	프로그램 등록 여부	1건	30%
		어플리케이션 가용성	현장실험 (어플리케이션 실행 후 성공률)	80%이상 (실험횟수 100건 이상)	10%
		통신 성공률	현장실험 (어플리케이션 실행 후 정보 전송 성공률 측정)	90%이상 (실험횟수 100건 이상)	10%
		주요 도로주행 제한속도에 따른 오차범위 측정(동일 포트홀 인식 알고리즘 개발을 위함)	현장실험(자동차 주행중 정보전송 시 GPS 좌표정보의 오차범위 측정)	90%이상 (100, 80, 60, 40km/h, 100m 이내)	10%
		타 응용프로그램에의 적용을 위한 메시지 전송 규격서	규격서에 따른 타 OS 기반 응용프로그램 시범 구현	1건	10%
	응급보수를 위한 재료 개발	재료선정을 위한 시험횟수 (프리캐스트 재료, 채움재)	인장접착강도시험	50회 이상	15%
		채움재 적용 후 부착강도	전단접착강도시험	12회 이상	15%
	소 계				100%
	사업지표	특허출원 및 등록 건수	특허출원 건수	2건	50%
	기타지표	S/W 등록건수	SW 등록건수	1건	25%
		시작품 제작 건수	시작품 제작 건수	1건	25%
	소 계				100%

2차년도	서버용 소프트웨어 개발	서버용 S/W 개발 프로그램 개발	프로그램 등록 여부	1건	15%
		서버 가용성	현장실험 (서버 접속 성공률)	90%이상 (실험횟수 100건 이상)	5%
		정보 수신 성공률	현장실험 (신고용 소프트웨어에서 전송된 정보수신 성공률)	95%이상 (실험횟수 100건 이상)	5%
		정보 처리 성공률	현장실험 (전송된 정보에 따른 부속 프로그램 구동 성공률, 관리자 알람/보수작업팀 단말기에 전송 등)	95%이상 (실험횟수 100건 이상)	5%
		동일 포트홀 인식 정확도	현장실험 (포트홀이 유관으로 식별되는 여러 주행속도와 위치에서 신고용 프로그램에서 전송된 포트홀의 동일성 여부 판단)	100m 이상 이격 70% 이상	5%
		서버용 S/W 규격서	작성 여부	1건	10%
	응급보수를 위한 재료 개발	채움재 선정	부착강도 시험 등 성능시험	1건	15%
		채움재 적용 후 부착강도	전단접착강도시험	20℃, 0.15 N/㎟ 이상	5%
		강도발현시간 구현	부착강도 시험	60분 이내	5%
		응급보수 재료 강도	마샬안정도 시험	마샬안정도 750kgf 이상	5%
		채움재 적용 후 부착강도	직접전단시험	20℃: 0.6kg/cm2	5%

				이상	
	응급보수 장비 개발	코어장비	치수측정	절삭폭 300㎜ 이상	10%
		채움재 저장탱크	용적계산	용량 0.2㎥ 이상	10%
	소 계				100%
	사업지표	특허출원 및 등록건수	특허 출원 건수	1건	30%
	기타지표	SW 등록건수	SW 등록 건수	1건	20%
		국내 학술회의 발표 건수	학술발표회 논문	1건	20%
		시작품 제작 건수	시작품 제작	2건	30%
	소 계				100%
3차년도	포트홀 신고 및 보수 이력 관리시스템 개발	시스템 매뉴얼	학술발표회 논문 발표 여부	1건	10%
		기술시연	기술시연 여부	1건	5%
	응급보수를 위한 재료 개발	응급보수단가	보수단가 산정	㎡당 단가 52,860원 이하	10%
		시방서 작성	시방서 작성 여부	1건	10%
		프리캐스트재 변형강도	Kim's Test	2.0㎫ 이상	5%
		프리캐스트재 시작품 제작	응급보수 재료 시작품 제작	3건 이상	10%
		보수재 목표 수명	포장가속시험 또는 시험시공	보수 후 3개월 교통량	5%
	응급보수 장비 개발	진공흡입장치	용적계산	슬러지탱크용량	10%

				1㎥ 이상	
		리프팅 크레인	중량측정	상차능력 100kg	10%
		절삭장비	작업폭 및 작업범위 측정	작업폭 300㎜ 작업범위 1m 이상	10%
		장비성능평가	평가 항목별 공인기관 시험	1건	5%
		장비양산단가	연 10대 생산기준 3억 이하	3억 이하	10%
	소 계				100%
	사업지표	특허출원 및 등록 건수	특허 등록 건수	2건	20%
		국내외 학술지 게재 논문 건수	비SCI급 논문 게재 건수	2건	20%
		기술실시계약	계약 건수	1건	10%
		현장적용에 따른 비용절감 건수	절감 건수	1건	10%
		사업화·제품화	사업화·제품화 건수	2건	20%
	기타지표	시작품 제작 건수	건수	3건	10%
		국내 학술회의 발표 건수	학술발표회 논문	1건	10%
	소 계				100%

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 기술현황 개요

1. 지금까지의 연구개발 실적

본 연구에서 제안하고자 하는 것은 크게 응급 보수재료, 시공 장비, 보수 관리시스템으로 구분할 수 있다. 먼저 연구개발 현황 중 재료 분야를 보면 현재 포트홀의 보수재료로 사용되는 제품은 상온유화아스팔트 바인더를 사용한 포대아스콘 형태인 홍진산업의 록하드와 한국석유의 바로바로가 대표적이다. 최근 인성산업에서는 수경성 우레탄계 바인더를 적용한 워터콘을 출시하였다. 제품 각각의 특징은 다음 <표 2.1>과 같다. 공통적인 특징은 우천시에도 사용이 가능하며 간단한 다짐장비만 보유하면 시공의 전처리 과정 없이 진행이 가능하다는 특징이 있다. 그러나 유화아스팔트 계열은 내구성이 취약하여 수명이 짧다는 단점이 있고 우레탄계 바인더를 적용한 제품은 수경성이어서 내구성은 높지만 가격이 고가라는 단점이 있다. 현재 개발된 재료들은 현장에서 포대를 개봉하여 사용하는 응급보수재로 본 연구에서 추진하고자 하는 프리캐스트 보수재의 개념과는 다르다.

표 2.1 국내에서 사용되는 응급보수 재료 현황

제품명	특 징	비고
록크하드	- 상온에서 사용가능 - 전천후형으로 영하 및 우천시에도 사용 가능 - 시공 즉시 차량통행 가능	
바로바로	- 프라이머, 접착제, 다짐장비가 필요없고 시공성이 좋음 - 보수후 즉시 개통 가능 - 전천후형으로 빗속 또는 -15℃의 기상조건에서도 사용 가능	
에스에스 아스콘	- 전처리 과정 생략가능하며 포장개봉 후 즉시사용 - 습한곳에서도 접착력이 강하며 경화가 빠름 - 우천시 사용 가능	
워터콘	- 단독 재료 적용으로 빠른 시간에 보수 완료 가능 - 물에 의해서 경화되는 수경성 응급보수재로 우천중 사용 가능 - 어떠한 수분에도 반응(우수, 바닷물, 증류수 등) - 30분 이내 경화 발생	

현재 상용화된 재료 중 본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트형 응급보수 재료의 후보로는 매스틱(Mastic)아스팔트, 개질아스팔트가 있다. 이들은 기존의 유화아스팔트 계열 응급보수 재료보다 가격적으로는 더 비싸지만 내구성이 우수하기 때문에 프리캐스트 개념으로 제작할 경우 기존 보수재 대비 수명도 길어질 것으로 기대된다.

장비 부분에서는 국내에서 포트홀 및 소파보수를 위한 도로보수장치가 개발되었다. 본 과업에 참여하는 이텍산업에서 제작하여 판매하고 있는 장비로서 포트홀이 발생할 경우 강우가 종료된 이후에 사용할 수 있도록 개발되었다. 장비에는 도로 파손의 유지보수를 위해 가열아스팔트혼합물의 저장 탱크, 혼합물 적재용 호퍼, 혼합물 포설이 가능한 스크류식 오우거, 다짐용 진동 로울러 등이 장착되어 있다. 본 장비를 이용한 시공 순서는 다음과 같다.

① 가열아스팔트혼합물 생산 및 장비 상차(아스콘 공장 방문)
② 포트홀 및 포장 파손구간의 잔재물에 대한 인력 제거 및 청소
③ 택코팅용 유제 살포 및 아스콘 혼합물 포설(장비 이용)
④ 인력 포설 마무리 및 다짐 실시(장비에 장착된 로울러 이용)
⑤ 양생 후 교통개방

본 장비를 이용하여 보수시공을 하게 되면 포장파손구간 제거 및 혼합물 포설, 다짐 등의 인력시공이 포함되어야 하며, 보수자재도 아스팔트 생산 공장을 방문하여 미리 저장해 두어야 하는 단점이 있다. 아래의 그림은 본 장치의 전경을 나타낸 것이며, 표는 장비 항목별 특징을 나타내었다.



그림 2.1 도로보수장치(이텍산업)차량 전경

표 2.2 도로보수장치(이텍산업) 항목별 특징

항 목	내 용
아스콘 저장용 호퍼	- 최대 용량 : 약 3.0㎥ - 아스콘의 온도 보호를 위해 30㎜ 이상의 보온재 사용 - 온도 및 장기사용에 변형이 없는 구조로 제작
이송 스크류	- 아스콘 호퍼 하부에 설치된 스크류를 이용하여 토출 - 오거 스크류식 장치로 유압모터 이용 - 배출구 아래에 스윙 슈트 설치
아스팔트 탱크	- 택코팅용 유화 아스팔트 저장 탱크 - 약 100ℓ 저장용량 확보 - 콕크벨브를 이용하여 자재배출 - 자체 가열을 위한 버너 장착
진동 로울러	- 소형 진동 로울러 거치대 장착 - 차량 하부에 거치하여 현장에서 탈부착 하도록 제작 - 인력 사용 후 장비에 재 거치 및 보관
호퍼 세척 장치	- 작업 완료 후 장비 표면에 붙어있는 아스콘 세척을 위한 장치 - 경유 살포 및 세정펌프 부착

국내에서 포트홀 및 아스팔트 포장의 보수장치는 앞에서 언급한 장비 이외에 일부 도로관리주체 및 포장 유지보수 업체에서 보유하고 있는 아스팔트 혼합물 보온장치 차량이 있다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이, 앞에서 언급한 도로보수장치와 유사한 특성과 성능을 가지고 있으며 보수구간에 대한 파손부 제거, 아스콘 포설 및 다짐, 마무리 등은 인력으로 시공하여야 한다.



그림 2.2 아스콘 보온장치 차량

2. 국내외 기술 및 산업 동향

가. 국내 기술 및 산업 동향

현재 국내에서 본 연구과제를 수행하는 과정에 있어서 필요한 기술 또는 연관 기술을 보유하고 있는 업체는 다음 <표 2.3>에 기재된 바와 같다. 유화아스팔트 계열의 응급 보수재는 홍진산업의 록크하드가 가장 대표적이며 시장점유율은 약 90%에 육박한다.

본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 개념의 보수재료는 일반 가열아스팔트 혼합물을 기반으로 생산하고자 하며, 이에 필요한 아스팔트 바인더를 생산하는 업체들은 한국석유공업, 금호석유화학, SK에너지 등이다. 현재는 고점도에 수분저항성이 높은 바인더 재료를 사용하여 본 연구에서 필요한 프리캐스트 재료를 개발해야 한다. 재료의 다짐 및 생산 방법에 따라 사용할 바인더는 달라질 수 있지만, 국내에서 생산하는 바인더 기술로 충분히 대응이 가능할 것으로 판단된다.

표 2.3 국내 연관 기술 보유업체 현황

구분	업체명	제품명	중점 업무분야
재료	한국석유공업	바로바로	아스팔트,건축자재,석유화학 기초원료, 아스콘생산
	흥진산업	록크하드	신규포장 관리, 보수용 재료 연구 개발
	에스에스콘	상온아스콘	아스팔트를 기본으로하는 건축 및 토목섬유 전문개발 제조
아스팔트	한국석유공업	아스팔트 생산	아스팔트,건축자재,석유화학 기초원료, 아스콘생산
	금호석유화학	아스팔트 생산	합성수지, 정밀화학, 건자재
	SK에너지	아스팔트 생산	석유사업전분야
장비	이텍산업	도로 유지보수차량	제설차량, 도로 유지보수에 필요한 장비를 집약한 특장차 생산, 도로 청소차량 생산
	신정개발	노면청소차 및 특장차	다목적 특장차량 및 차륜장갑차 등 제작 및 생산
	아진산업개발	흡입세정차 및 노면청소차	흡입세정장치가 탑재된 특장차 제작 및 생산
	힐티	코어기	건설전문 공구류 제품과 케미칼 소모품 제품 개발 및 제작
	건우기술	워터젯 로봇	구조물 해체 및 보수업체
	두산인프라코어	밥캣	건설기계, 공작기계, 엔진소재 등 제품 개발 및 생산

본 연구에서 제작하고자 하는 포트홀 시공 장비는 대형 트럭 등에 탑재되어야 하기 때문에 국내 특장차 제작에 대한 기술부분도 검토가 필요하다. 현재 국내에 있는 특장차 업체들 중 대부분은 트럭용 윙바디 및 트럭크레인 장착업체 등이며 특수차량 제작업체는 많지 않다. 본 연구진이 조사한 바에 따르면, 국내에서 제작되고 있는 특장차 중에 가장 유사한 기술을 이용하여 제작된 장비가 흡입 세정차와 노면청소차 등이었다. 흡입 세정차는 도심의 주택가 및 소로 등의 하수구를 준설하기 위한 장치로, 세정작업과 흡입작업을 동시에 할 수 있도록 제작되었다. 고성능 진공펌프와 워터젯 펌프가 탑재되어 복잡한 구조의 하수관을 준설할 수 있게 고안되었으며, 그 세부적인 제원은 다음의 표와 같다.

표 2.4 준설용 흡입 세정차 제원

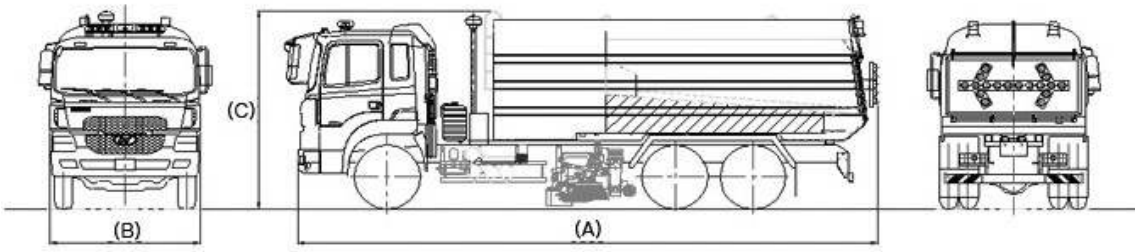
구 분		제 원
차량	형식	5톤 트럭
	최대출력	225ps / 2,500rpm
	최대토크	65kg / 1,900rpm
	축간거리	4,260m
진공펌프	모델	PR250, 형식:베인타입, 진공효율:98%
	최대 흡입량	1550㎥/h, 최대압력:1bar
세척용 펌프	토출량	200bar, 182ℓ/mm±2%
	재질	세라믹 코팅된 스테인레스
탱크	타입	원통형 슬러지 탱크 + 하단에 스테인레스 철판 부착
	후부개폐문	상부 힌지식, 유압실린더 작동형식
	탱크용량	세척수 : 1500ℓ, 오수 및 오물 : 2500ℓ
	밸브	배출 :Ø100mm, 흡입 :Ø100mm
	유량확인창	후부에 Ø120mm 2개소 설치
호스 박스	용도	호스 및 각종 공구를 적재
호스릴	세척호스	3/4“×80M



그림 2.3 준설용 흡입 세정차

흡입 세정차와 더불어 본 연구에서 유사한 기술을 보유하고 있는 장치가 노면청소차이다. 노면청소차는 이미 한국도로공사, 서울시 등 각 지자체 도로관리팀에서 자체적으로 구매 또는 제작하여 사용하고 있으며 주로 포장의 노면청소용으로 사용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 노면청소에 해당하는 공정을 포트홀 파손부 제거 후 청소 공정으로 적용하여야 하기 때문에 현재 노면청소차의 기술부분을 확인해 볼 필요가 있다

국내에서 노면청소차에 대해서는 여러 업체에서 제작된 사례가 있으며, 세부적인 기술의 차이는 있지만 성능이나 기능은 비슷한 수준이었다. 현재 고속도로, 국도, 지방자치단체를 망라한 모든 기관에서 사용할 만큼 보편적으로 보급되었다.



구분		내용	구분		내용
차제제원 (Dimension, mm)	전장 (Overall Length)-(A)	9,635	보조엔진 (Aux. Engine)	사용연료 (Fuel)	경유(Diesel)
	전폭 (Overall Width)-(B)	2,495		총배기량 (Displacement)	4,500cc
	전고 (Over Height)-(C)	3,350		최대출력 (Max. Output)	128ps/2,300rpm
차량총중량 (Gross Vehicle Weight, kg)		22,530	최대청소폭 (Max. Sweeping Width, mm)		2,400
최대적재량 (Payload, kg)		5,400	작업속도 (Working Speed, km/h)		5~10
적재용량 (Air Volume Capacity, m³)		10	물탱크용량 (Water Tank Capacity, ℓ)		4,000
샤시종류 (Chassis)		16톤 Diesel	연료탱크용량 (Fuel Tank Capacity, ℓ)		400
덤핑각도 (Dumping Angle, °)		60	블로워임펠러 (Blower Impeller)		스테인레스

그림 2.4 노면청소차 제원



그림 2.5 노면청소차 전경

노면청소차의 주된 기능은 브러쉬 장비를 이용한 Sweeping, 분진 및 잔재물 등을 노면에 남기지 않도록 회수할 수 있는 흡입장치, 쓰레기 및 이물질을 저장할 수 있는 저장탱크 등으로 구성되며, 사인보드, 후방감시카메라, 세차펌프 등 부수적인 장치들이 조합되어 있다.

포트홀 파손 구간을 제거하기 위해서는 기존의 코어날 팁를 이용하여 제거 경계를 결정하고 연마 및 절삭팁 등을 이용하여 내부 파손부분을 제거하여야 한다. 현재 국내에서 가장 대중적으로 사용되고 있는 연마날은 다이아몬드 표면처리를 적용한 공구가 일반적이다. 다이아몬드 공구는 화학적/물리적으로 보석인 다이아몬드와 동일한 구조를 가지는 공업용 다이아몬드를 공장에서 제조하여 메탈파우더 등과 혼합한 뒤 연마날이나 팁의 표면에 고정시킨 제품을 말한다. 이러한 다이아몬드 공구는 경도가 매우 높고 고속가공이 가능하기 때문에 파쇄나 연마에 있어서 가장 우수한 제품군으로 평가받고 있다. 다음 그림은 현재 국내에서 다양하게 사용되고 있는 연마날의 형태를 나타낸 것이다.



그림 2.6 연마를 위한 다이아몬드 공구

본 연구진이 구축하고자 하는 포트홀 보수관리시스템은 현장에서 발생한 포트홀의 위치 및 개소, 발생이력 등을 실시간으로 단말기 등을 통해 서버로 전송할 수 있으며 수집된 정보를 현장의 작업반이 보유한 단말기로 다시 재 송부하여 신속한 포트홀 보수를 적용할 수 있도록 하는 게 주된 목적이다. 이러한 용도로 사용되고 있는 솔루션 중에 가장 일반적으로 적용되고 있는 분야가 위치 기반 서비스(LBS, Location Based Service)이다. 위치 기반 서비스는 이동 중인 사용자의 위치정보를 타 정보와 결합하여 사용자가 요청 혹은 필요로 하는 부가적인 응용서비스를 제공하는 서비스이며 차세대 기술 분야 중 하나로 국내에서는 세계 최고수준의 IT인프라를 기반으로 다양한 응용서비스가 개발되어 새로운 어플리케이션으로 부각되고 있다.

실시간으로 포트홀의 발생 위치정보와 보수 완료 상황 등을 전송 및 저장하고, 서버에서 정보를 통계처리하며, 보수 작업원에게 재송부하는 등의 과정을 자동화할 수 있다. 국내에서는 일반 택배 회사에서 사용하고 있는 '택배 · 물류 시스템'이 가장 대표적인 유사기술이다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이 스마트폰이나 PDA 단말기, 태블릿PC 등 위치정보를 송수신할 수 있는 단말기를 이용하여 실시간으로 무선데이터망을 통해 위치관제시스템으로 물류의 흐름을 송신함으로써 개인 사용자 및 물류담당 기관 등에서 실시간 조회 등을 할 수 있도록 구성되어 있다.



그림 2.7 위치정보 기반의 택배물류 시스템

이외에도 본 기술의 활용가능 분야는 매우 다양하며, 차량의 네비게이션 뿐 만 아니라 택시 및 응급 구조차량의 배차, 어린이나 치매 노인의 위치 추적 등에 적용되고 있다. 이는 주변의 정보를 동시에 제공함으로써 이동 위치 및 경로 등을 추적하여 사고를 예방할 수 있으며 교통 및 통신비 등을 절감할 수 있어 다양한 산업기술과 접목할 수 있는 장점이 있다.

표 2.5 위치정보 기반 시스템 활용분야/기대효과

활용분야	기대효과
현재 위치 주변의 정보 제공	주변의 정보를 제공함으로써 서비스 제공
어린이나 치매 노인의 위치 추적	미아 방지, 사고 예방
택시호출, 응급구조차량 배치, 경찰보안이나 차량 관리	고객, 환자에 대한 신속 대응/범죄 예방, 범죄자 추적
차량 네비게이션	차량의 이동 경로 파악
택배 등 화물의 위치 정보 제공	유류, 통신비, 교통비 절감

나. 국외 기술 및 산업 동향

해외에서 사용되고 있는 아스팔트 포장의 응급보수 재료는 국내기술과 큰 차이가 없다. 아스팔트 포장의 보수용으로 사용되고 있는 보수재는 상온 아스팔트(Cold Mixed Asphalt)와 가열 아스팔트(Hot Mixed Asphalt) 혼합물로 나눌 수 있으며, 국내와 마찬가지로 상온 아스팔트 혼합물은 주로 응급보수용으로 사용되고 있으며 신속한 보수를 위해 포대 단위로 판매되고 있다.



그림 2.8 상온 아스팔트 보수재(해외)

이들 중 미국 각 주별 DOT(Department of Transportation)에서 가장 범용으로 사용하고 있는 제품이 EZ Street사에서 생산되어 판매되고 있는 'EZ Street'이라는 제품이다. 폴리머 개질 아스팔트를 이용하여 상온에서 사용할 수 있도록 생산된 제품으로 주문자의 요청에 따라 25kg용 포대 또는 1ton의 Bulk Bag으로도 판매가 되고 있다. 국내에서 사용되고 있는 한국석유공업의 '바로바로' 라는 제품과 마찬가지로 전압형 타입이며, 수분이 존재하여도 파손부에 채워서 다짐하는 방법으로 시공되는 점 또한 유사하다.

해외에서 사용되고 있는 또 다른 제품 중에는 사용자가 현장에서 필요한 만큼 골재와 섞어서 사용할 수 있도록 하는 개질 유화 아스팔트 제품이 있다. LAFARGE사에서 생산되어 판매되고 있는 'QPR'이라는 제품으로 Modified Bituminous Liquid Blend 타입이다. 해외에서는 상온 보수재도 다양하게 존재하지만 소파보수나 국부적인 큰 패칭 등에 사용할 수 있도록 내구성이 높은 개질 유화 아스팔트를 제품화하여 생산하고 있으며 아스팔트 플랜트나 소형의 피그밀 등을 보유하고 있는 공장 등에서 쉽게 생산이 가능하다.

장비 부분에서는, 미국 연방도로청(FHWA) 주관으로 수행한 SHRP(Strategic Highway Research Program)-H-674 보고서'Fabrication and Testing of Automated Pothole Patching Machine, 1993' 에 따르면 포트홀 보수를 위해 자동화 장비를 고안하여 제작하였으며, 장비의 구성 및 세부기술에 대한 내용이 보고서에 수록되어 있다. 아래에 보는 그림은 상기 보고서에서 포트홀 시공 장비의 제작을 위해 세부적인 시공순서 및 장비의 흐름도를 나타낸 것이다.

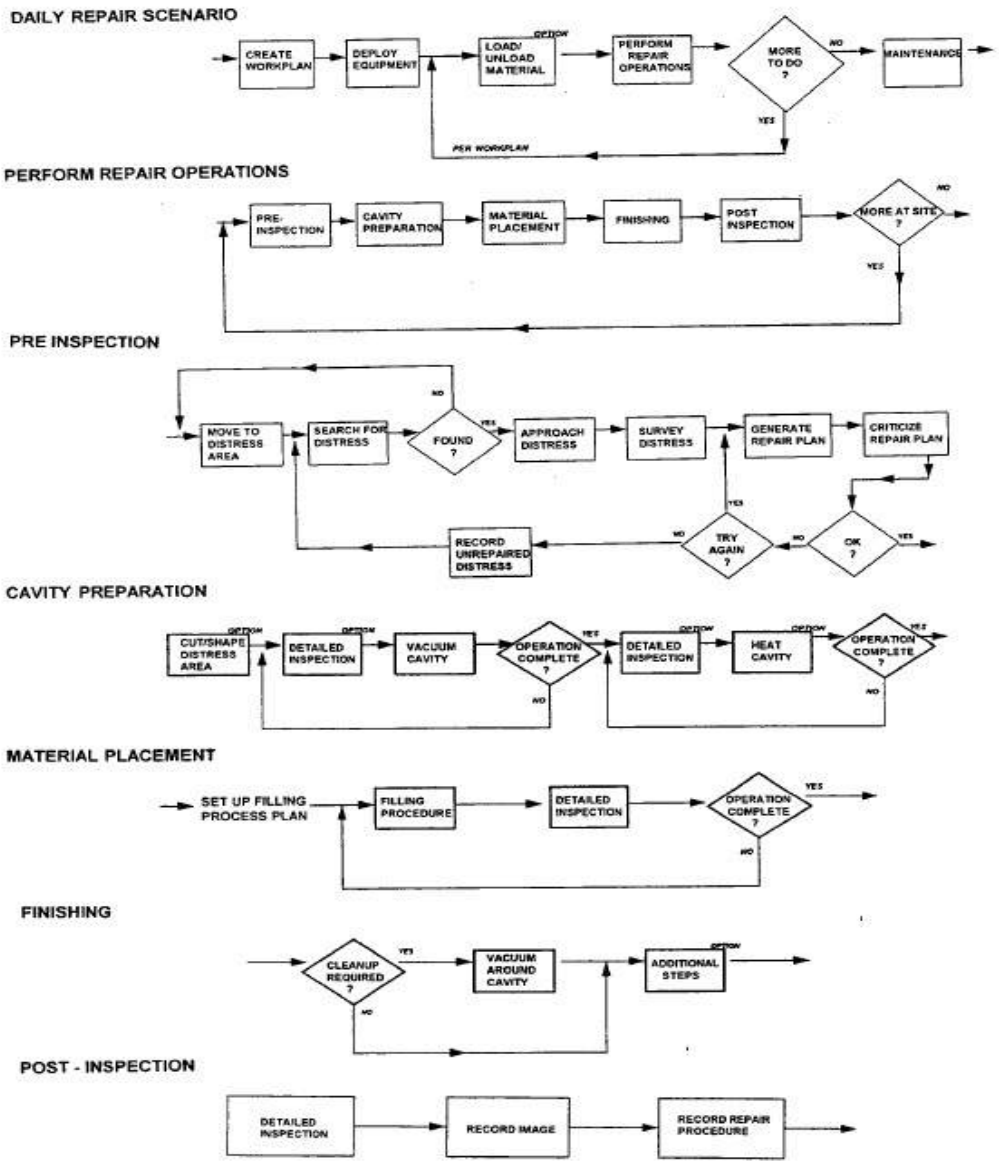


그림 2.9 포트홀 보수 장치의 흐름도(Flow Chart)

장비의 구성은 포트홀 발생 구간의 잔재물 제거를 위한 컷팅(Pavement Cutting Module) 및 진공 등을 이용한 청소(Vacuum System Module), 가열 아스팔트 혼합물의 보관 및 포트홀 보수 구간의 수분 증발을 위한 가열 시스템(Heating System Module), 가열 아스팔트 혼합물 채움(Filling System Module) 등으로 이루어지며, 다짐 및 시공 마무리는 인력으로 수행하게 된다. 이러한 세부적인 기술에 대한 검증을 토대로 다음의 그림과 같이 포트홀 보수장비의 개요도를 제안하였다.

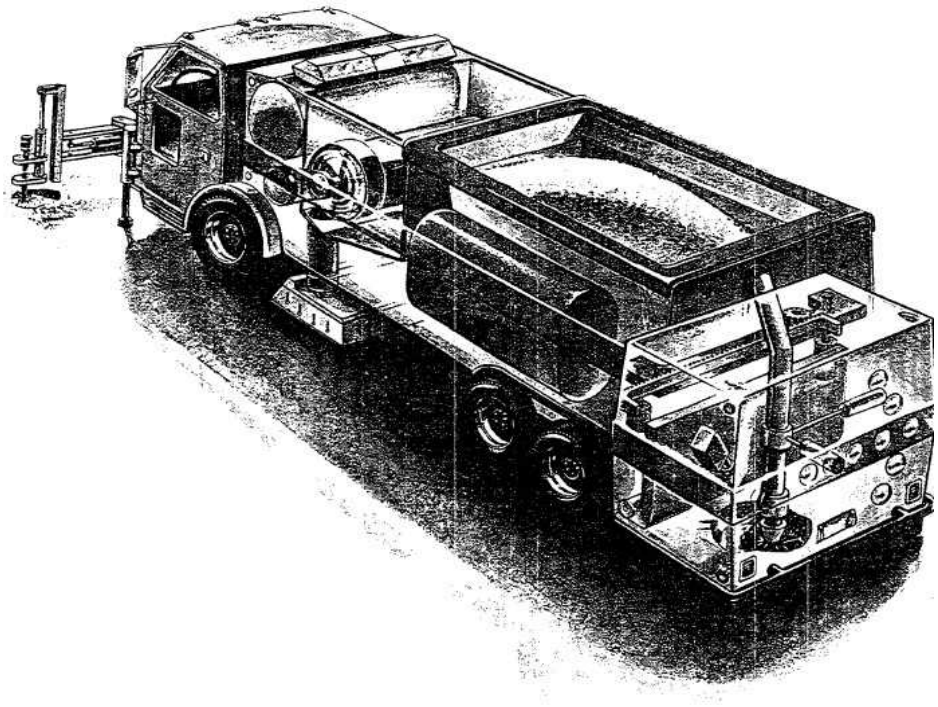


그림 2.10 SHRP-H-674에서 제시한 포트홀 보수장비 개요도

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



(a) 자주식



(b) 견인식

그림 2.11 해외 포트홀 보수 장비

해외에서 사용되고 있는 또 다른 방식의 포트홀 보수 장비 중에는 적외선을 이용하여 파손부위를 녹여서 재포장하도록 제작된 장비가 있다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이, 적외선 가열 장치를 이용하여 파손부위를 녹인 후 신규 아스콘을 추가하여 다짐을 실시하여 포트홀 보수를 완료하는 방법이다. 이는 기존의 아스팔트 혼합물을 신규 혼합물과 재혼합하여 사용하기 때문에 폐기물 발생이 거의 없고 재활용 측면에서 우수한 방법이긴 하나, 긴급 보수용으로 사용하기에는 한계가 있다. 우선 파손된 혼합물을 가열하여 시공할 수 있는 온도 수준(100~120℃)으로 맞춰야 하는데 우천 시에는 현실적으로 불가능하다. 또한 신규 아스팔트 혼합물과 재혼합하여 사용함에 있어 현장에서 인력으로 혼합하기 때문에 보수재료 품질의 균질성을 기대하기가 어렵다. 그러나 강우가 종료된 이후에 수행하는 소파보수에는 효과적으로 적용할 수 있으며, 국내에서도 연구개발이 진행된 사례가 있다.



(a) 적외선 가열



(b) 가열면 교란



(c) 아스콘 채우기



(d) 다짐 및 완료

그림 2.12 적외선 가열장치를 이용한 소파보수 공정

이외에도 절삭기와 그라인딩 장비 등에서 밥캣에 부착하는 부가장비 생산업체들이 있다. 부가장비 생산업체에서 생산한 장비는 현재 국내에서도 밥캣의 대리점을 통하여 구입이 가능하다. 개조 가능성을 확인해보고 본 연구에서 개발할 장비로의 적용성을 검토하고자 벤치마킹할 필요성이 있다. 다음 그림은 밥캣에 장착된 소형 그라인딩용 부가장비의 사진을 보여 준다



그림 2.13 소형절삭 장비

위치기반 서비스를 이용하여 각종 정보들을 데이터베이스화 하여 실시간 정보를 송수

신 할 수 있는 시스템 기반은 전 산업분야에 걸쳐 이용되고 있다. 최근 미국의 도로상에 도로기상정보 시스템을 설치하여 강설량, 포장체 온도, 상태 등을 실시간으로 측정하여 적설량 등을 확인한 후 제설제를 고체 및 액체상태의 살포방법 등을 결정하도록 매뉴얼화 되어 있는 '도로기상정보 시스템'이 실용화되어 사용되고 있다. 적설량이 많은 지역의 경우, 현장에 설치된 기상정보 측정장치들의 수치를 실시간으로 모니터링하고 위치정보를 통해 지역별 적설량에 맞게 제설방법 등을 결정해 주고 인근 제설작업자들에게 전달해 주는 방식의 시스템으로, 아래에 보는 그림은 도로기상정보 시스템의 위치 기반 도로기상정보 및 교통차단 여부를 나타내는 프로그램의 모습이다.



그림 2.14 도로기상정보 시스템

다. 특허 동향

국내에서 등록된 특허동향 조사결과 포장의 긴급보수재로 사용되는 상온유화아스팔트 재료에 대한 특허가 대부분이다. 본 연구에서 개발하고자 의도하는 포트홀에 대한 프리캐스트형 아스팔트 보수공법에 대한 특허는 전무하다. 다만 응급보수용 재료에 활용할 수 있는 수분 경화형 바인더의 경우 습기가 상시 내포된 포트홀 내부와 프리캐스트 디스크간의 부착과 채움의 역할이 가능할 것으로 판단하여 본 연구에서 필요한 채움재로의 활용방안은 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 스마트폰을 이용한 유지관리 시스템과 관련하여 (주)토탈페이브시스템에서 보유하고 있는 특허가 있다. 다음 <표 2.6>에 연관특허의 조사결과를 수록하였다.

표 2.6 국내 연관 특허 검토 결과

등록번호	특허권자	특허명	내용	비고
10-0719853	한국건설기술연구원, 인성산업 주식회사	상온 습기 경화형 폴리우레탄 바인더 조성물과 그를 이용한 도로보수용 아스팔트 보수재 및 그의 제조방법	도로보수용 상온 습기 경화형 아스팔트 보수재의 제조에 관한 것으로서 일정 입도를 가진 골재에 습기 경화형 아스팔트를 적정 점도와 두께로 코팅하여 도로보수에 적용하는 보수재와 그 제조방법에 관한것임	
10-0210163	한국건자재시험연구원	도로보수용 상온아스콘 포장재료 및 그의 제조방법	상온에서 시공할 수 있는 도로보수용 상온 아스콘 포장재료 및 그의 제조방법에 관한 것이며, 악천후에도 긴급보수할 수 있고 시공 즉시 교통을 개방할 수 있는 상온 아스콘을 제조하는데 있음	
10-0637841	삼서공업 주식회사	상온아스콘과 그 제조방법 및 장치	상온아스콘과 그 제조방법 및 장치에 관한 것으로, 상온아스콘의 재료 배합을 일부 달리하여 강도가 향상되면서도 주 재료인 골재의 결합력이 향상되도록 함과 생산과정에서의 작업성 및 생산성, 경제성을 위해 생산설비의 시스템화	
10-0708346	이석근, (주)에이알앤씨	습기경화형 상온 아스팔트 바인더	일반 아스팔트 바인더에 습기와 반응경화할 수 있는 반응형 고분자, 아스팔트 점조 조절제, 경화시간 조절제, 점착 부여제 등을 각각 일정량 투입하여 습기경화형 상온 아스팔트 바인더를 제조	

등록번호	특허권자	특허명	내용	비고
10-0844207	(주)토탈페이브시스템 김지원 김정희	측위 시스템을 이용한 도로상의 상황정보 취합 방법	사용자 차량에 측위 시스템 및 지리정보 시스템과 데이터전송 시스템을 장착하고 도로의 이상상태 및 도로상의 사고에 대한 상황정보를 사용자가 입력 가능한 프로그램을 조작하여 사용자가 도로의 파손, 도로상이나 도로변의 장애물 존재, 사면붕괴, 교통사고, 도로의 결빙, 도로의 배수상태 불량 등과 같은 상황정보를 입력. 측위 시스템과 상기 지리정보 시스템을 통해 산출된 상황정보의 발생 지점에 대한 위치정보가 상황정보와 함께 취합서버로 전송되어 도로의 보수 등과 같은 조치를 위해 활용	
10-0655198	(주)토탈페이브시스템 김지원 정승오	자동화된 사회기반시설 관리 방법 및 사회기반시설 자동화관리 시스템	도로와 같은 사회기반시설을 관리하는 방법 및 시스템. 중앙관리 시스템은 현장순찰요원이 수집용 이통단말기로부터 전송된 현장상황정보를 수신하여 DB화하며, 수신된 현장상황정보를 보수작업원의 보수용 이통단말기와 경찰청에 마련된 교통관리 시스템으로 전송. 보수작업원은 보수용 이통단말기를 이용하여 보수작업 상황정보를 중앙관리 시스템으로 전송하며, 중앙관리 시스템은 이를 수신하여 DB화함 지속적인 관리를 요하는 사회의 기반시설에 대해서 유지보수를 요하는 상황 발생시 이에 대해서 자동화된 관리를 함으로써 신속하고 체계적인 유지보수가 가능	

제 3 장 연구개발수행 내용

제 1 절 연구개발수행 내용

1. 연구개발내용 요약

연 차	연구 내용		연구 결과
1차년도	관리시스템 개발	신고용 소프트웨어 항목별 기능 규정	- 신고용 S/W 는 정지 시 지도를 통한 포트홀 위치 신고와 이동 시 단말기 위치 정보 전송을 통한 포트홀 위치 신고로 2가지로 구분하여 기능을 정의함
		휴대용 단말기를 이용한 어플리케이션 개발	- 휴대용 단말기를 이용한 어플리케이션을 개발하고 이동 중 위치 정보의 오차범위를 분석하였음 - 휴대용 단말기를 이용한 어플리케이션은 공공 신고자용, 포트홀 점검자용, 오차범위 측정을 위한 개발자용의 3개로 구분하여 개발됨
		서버용 소프트웨어 데이터베이스 및 구조설계	- 휴대용 단말기를 통해 보내지는 메시지를 데이터베이스에 저장 및 관리하기 위한 테이블 구성요소를 설계하였음
	보수재료 개발	보수용 재료 문헌조사	- 해외에서는 다양한 종류의 상온보수재를 사용해오고 있으며 제품의 산화방지 및 사용처에 맞게 다양한 포장형태로 판매하고 있음 - 국내의 포트홀 보수재료는 유화 아스팔트, 개질 아스팔트 바인더, 반응경화형 바인더를 이용하여 파손부위를 보수하고 있음
		폴리머 개질제 문헌조사	- 폴리머 개질제는 사전 배합 방식과 현장 배합방식으로 분류되며 개질제의 종류로는 고분자개질제, 화학적개질제, 산화개질 및 천연 아스팔트 개질제 등이 있음
		바인더 개질 및 배합시험	- 바인더 개질재인 열가소성 탄성 중합체의 경우 바인더의 PG를 높여 소성 변형 저항성능향상을 확인함

연 차	연구 내용		연구 결과
			- 천연(인공) 섬유계열을 이용한 개질제는 바인더에 분산되어 제품의 내구성능 및 전단력의 저항성을 높여줌 - 천연 아스팥트와 Elastomer를 이용한 개질제는 바인더의 유동성과 안정성을 개선시켜줌
		그라우팅 제품 및 재료조사	- 채움재용 시멘트 계열 그라우트제는 초속경 시멘트 계열의 제품이 국내에서 널리 사용되고 있음 - 2액형 에폭시는 반응형으로 짧은 시간내에 강도발현이 가능하고 수분에 의해 다소 발포하는 성향이 있음 - 구스 아스팔트 바인더는 보수재 및 아스팔트 포장과 동질재료로 부착성능이 좋고 점착력이 높으나 고온에서 가열하여 사용하는 단점이 있음 - 다양한 채움재를 이용하여 접착인장강도를 시험한 결과, 2액형 에폭시와 구스 아스팔트 바인더가 가장 높은 것으로 나타났음 - 전단 접착 강도는 2액형 에폭시가 가장 높았으나 일정 수준 이상 하중 재하 시 파단되는 단점이 있는 반면에 구스 아스팔트 바인더는 아스팔트 특유의 점착력으로 유지되는 것을 알수 있었음
		프리캐스트 형상설계	- 파손 형태별로 분석한 결과, 아스팔트 포장재료의 박리에 의한 포트홀 파손은 주로 국부적으로 단독으로 진행되며 보수재의 형상은 제거 및 설치가 편리한 원형으로 적용 - 거북등 균열 등에 의한 포트홀 파손은 일정한 형태가 없으며 넓은 면적으로 발생하기 때문에 사각형의 프리캐스트 형상으로 보수가 이루어져야 함 - 불연속 구간(콜드조인트 등)에서의 포트홀 파손은 종방향으로 길게 발생하며 이는 일정한 폭을 가지는 사각형 형상으로 보수되어야 함
		프리캐스트	- SMA 혼합물을 이용한 프리캐스트 혼합물

연 차	연구 내용		연구 결과
		기초물성시험	의 경우, 기존 아스팔트 혼합물 대비 마샬안정도와 동적안정도가 높아 포장 재료로의 공용성능 유지에 큰 장점을 가짐 - PMA 혼합물의 경우 개질바인더를 통한 높은 마샬안정도를 가지며 이는 보수재료의 내구성과 균열 저항성능의 장점을 가짐 - 구스 아스팔트 혼합물은 첨가제를 통한 유동성능과 불투수성을 가져 보수재료의 사용시 우수한 작업성과 안정성을 가짐
	장비개발	보수장비 기본 설계	- 보수장비는 특장차로 제작되므로 제작 후 도로교통법에 의거하여 인,허가를 취득하고 법적 보호를 받을 수 있는 장치물을 장착하여야 함 - 모든 단계의 보수공정은 차량 후부에서 진행되며 그에 따른 각종 장치들의 조합이 탑내에서 장착 및 교체가 가능하도록 설계하였음 - 차량 타이어 및 현가장치 등으로 인해 차체가 움직이면서 작업하는 것은 비효율적이며 아웃트리거를 이용하여 차량을 고정시킨 후 단계별 보수작업을 수행 - 파손부 제거를 위한 파쇄비트는 원형 및 사각형 형태로 제거할 수 있도록 구성하였으며 그라인드 비트로 교체하여 단차제거에도 사용하도록 하였음 - 각종 탱크의 용량 및 동력 등은 차년도 연구에서 부분별 시험테스트를 거쳐 결정할 예정임

2. 연구개발 주요 내용

가. 프리캐스트 응급 보수재료 개발

(1) 국내외 응급 보수재료 현황

프리캐스트 보수재료를 개발하기 위해서 우선 국내외에서 공용중인 응급 보수재료의 현황을 조사하였다. 응급 보수재는 대부분 상온 유화 아스팔트 혼합물로 구성되어 있으며, 현장에서 사용하기 쉽도록 포대 및 캔으로 포장되어 있다. 우수 등의 물이 고여 있어도 시공이 가능하며 대부분 인력시공으로 진행되기 때문에 공용성은 상당히 낮은 편이다.

본 연구진은 프리캐스트 형태의 보수재료의 개발을 위해 기존에 사용되고 있는 다양한 아스팔트 포장 재료들을 검토하였다. 프리캐스트 보수재는 수분저항성 등의 내구성을 확보하고 일정수준 이상의 공용성을 만족해야 하기 때문에 다양한 폴리머 개질제들의 특징 및 성능 등을 평가하여 보수재료의 적용성을 확인하였다. 또한 프리캐스트 보수재와 기존 포장면과의 부착을 위해 사용되는 채움재에 대한 문헌조사 및 부착시험 등도 함께 진행되었다.

(가) 국외 응급 보수재료

① North America-QPR 상온 보수재료

North America에서 사용하고 있는 포트홀 응급 보수재인 QPR사에서 제조된 QPR Quality Pavement Repair은 날씨에 관계없이 시공이 가능하며 물이 존재하는 곳에서도 사용 가능한 제품이다. -5°F(-20.6℃)에서 105°F(40.6℃)의 온도에서도 충분한 작업성을 가질 수 있으며, 50여개국에서 공인되어 사용되고 교통하중에 상당히 높은 안정도를 가지고 있는 것으로 평가된다.



그림 3.1 QPR 상온보수재료

QPR 상온 보수재료의 시공은 우선 파손된 포장 부분에 있을 물과 먼지를 최대한 제거하고 주변에 2차 파손이 우려가 되는 곳도 더불어 정리하여 준다. 이후 준비된 상온 보수재를 정리된 포트홀에 적당량을 부어 준다. 이때 보수재의 양은 기존 포장면보다 대략 2인치 정도 높게 포설 한다. 포설후에는 소형 다짐기를 이용하여 간단하게 다지면 포트홀에 대한 보수가 완료된다. 아래의 그림은 포트홀 시공 순서를 간략하게 보여주고 있다.



Ⅰ. 포트홀 파손부위 청소



Ⅱ. 상온 보수재료 포설



Ⅲ. 지표보다 2inch 높게 포설 후 다짐

그림 3.2 QPR 상온 보수재료 시공방법

② 영국 Tamworth(탬워스)-Ultra Crete 상온 보수재료

영국 잉글랜드 Staffordshire 남동부의 도시에서 생산되어 사용되고 있는 Ultra Crete 상온 포트홀 보수재료는 쉽게 사용되도록 만들어 졌으며 시공시간이 상당히 짧은 것이 특징이다. 다음 그림과 같이 프라스틱 용기에 담겨져 상당히 수월하게 옮길 수 있으며

골재와 바인더가 함께 혼합된 상태로 개당 25kg씩 내부에 비닐 포장을 하였다. 본 제품 한 개 당 적용 범위는 1㎡ X 15㎜이고 건조 혹은 물이 있어도 사용 가능하도록 설계되었으며 간이용 햄머를 통해 초기 다짐을 한다.



그림 3.3 Ultra Crete 상온 보수재료 및 시공방법

Ultra Crete의 시공 방법은 위의 그림과 같이 파손된 포트홀 부분을 솔을 이용하여 깨끗이 청소하고 2차 파손이 발생 우려가 있는 부분도 손질하여 준다. 그리고 청소된 포트홀 바닥면과 보수재료와의 접착력 강화를 위해 스프레이용 접착제를 사용하여 바닥면에 적당히 살포하고 이후 준비된 Ultra Crete 상온 보수재료는 플라스틱 내부에 비닐 포장된 것을 벗겨내고 포트홀 면적만큼 부으며 간이 햄머를 이용하여 다짐을 한 후 즉시 교통개방을 한다.

③ 미국 클리블랜드-UPM

Unique Paving Materials Corporation사에서 개발 된 UPM® PERMANENT PAVEMENT REPAIR MATERIAL은 석회암 91-97%, 기본아스팔트 2-8%, 솔벤트 1-3%, 첨가제 1%미만의 배합비를 이용하여 생산되는 제품이며 상온에서도 충분한 작업성을 지님과 동시에 교통하중에 강하게 설계되었다. 또한 솔벤트를 이용한 배합으로 화재에 대한 검토를 실시하였고 그 결과 인화점이 200°F(93.3℃)이고 폭발의 가능성 및 가연성면에서 전혀 이상이 없는 것으로 확인되었다.

시공은 다른 제품들과 마찬가지로 3단계로 구분하여 포설한다. 그에 대한 작업으로 우선 하지면의 청소 후 UPM을 면적만큼 부어주며 시공 레벨보다 2인치정도 높게 하여 삽으로 고르게 펼쳐 간이 다짐기로 간단하게 다짐하여 개방한다.

표 3.1 UPM 상온 보수재료의 배합비

Ingredients	GAS Number	% By Weight
Limestone	1317-65-3	91-97
Petroleum Asphalt Base	8052-42-4	2-8
Petroleum Solvent	68476-30-2	1-3
Additives		<1.0



그림 3.4 UPM 상온 보수재의 시공 방법

④ 미국-INSTANT LOAD REPAIR

미국에서 현재 상용 중에 있는 INSTANT Load Repair은 내구성이 강하고 어떠한 날씨에서도 빠른 경화시간을 확보하는 제품이다. 대략 40~140°F에서 안정적이며 믹싱과 가열을 하지 않는 것이 장점이다. 또한 사용 시 온도 범위는 -40°F~168°F까지이므로 날씨에 구애받지 않고 사용 가능하다. 캔으로 포장되어 25kg의 양을 담을 수 있고 용기에 담아서 판매하기 때문에 빠른 출하가 가능하며, 캘리포니아, 미시간, 노스캐롤라이나, 텍사스, 유타, 워싱턴, 사우스캐롤라이나, 콜로라도, 플로리다, 일리노이, 뉴저지 등에서 제품의 성능을 인정받아 사용 중이다. 판매되고 있는 제품은 다음 그림과 같은 형태이다. 또한 본 제품의 적용분야는 도시, 공항, 학교, 시험용, 경주용 트랙 등 이외에도 상당한 분

야에서 활발히 이용되고 있다.

시공순서는 다른 제품과 마찬가지로 청소→포설→다짐의 3단계로 진행되고 포설시 포장 표면의 지면보다 다소 높게 펼쳐주고 다짐은 간이용 다짐기를 사용하지 않고 차량을 이용하여 밟아 주는 것이 특징이다.



- 50파운드 플라스틱 양동이
- 포장의 간편화
- 빠른 도로수리 가능
- 모든 기상조건에서 사용가능
- 빠른 경화
- 각 지역의 교통기관에서 성능인정 및 채택
  캘리포니아, 미시간, 노스 캐롤라이나, 텍사스, 유타, 워싱턴, 사우스캐롤라이나, 콜로라도, 플로리다, 일리노이, 뉴저지 등

그림 3.5 INSTANT 상온 보수재료 및 특징

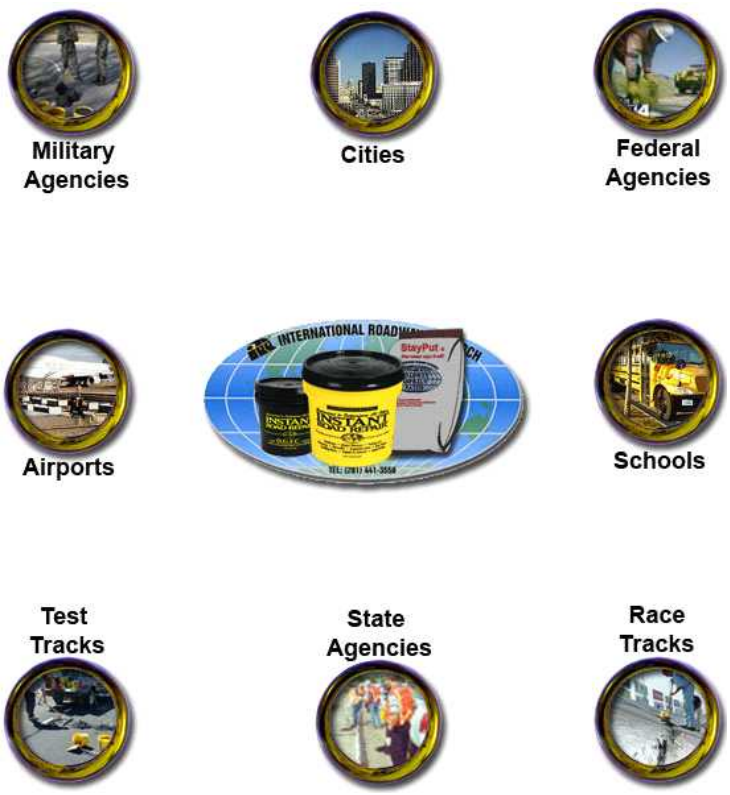


그림 3.6 INSTANT 상온 보수재의 적용분야

⑤ 미국 Florida주 Miami-EZ Street Premium Cold Asphalt

EZ Street는 폴리머 개질 상온 아스팔트로서 포트홀, 일반 덧씌우기 및 기타 보수재로 범용성이 우수하고 포대 형식으로 만들어져 판매되고 있다. 본 제품의 장점은 모든 날씨에서도 가능하고 물이 있는 상태에서도 시공이 된다는 특징을 가진다. 그리고 파손부위에 적용 시 믹싱 작업이 필요치 않으며 간단하게 시공한다. 따로 다짐 장비를 챙길 필요 없이 주변에 있는 자동차를 이용하여 손쉽게 다짐한다.



- 영구 보장
- 모든 날씨에서 사용가능
- 물이 있는 상태에서도 사용가능
- 포트홀, 절단면, 오버레이 등에 사용
- 실내실험 및 시험포장을 통해 검증
- 믹싱작업 불필요
- 포대 포장을 이용한 효율성 극대화
- 즉시 교통개방 가능

그림 3.7 EZ Street Premium Cold Asphalt 재료 및 성능

제품의 포장은 다음 그림과 같이 35lb/15kg Bags, 50lb/22kg Bags, Bulk Sacks, Loose Bulk, Introducing Hybrid TechnologyTM 등 여러 가지 종류로 가능하며 적용 환경에 맞게 포장하여 운반 가능하도록 되어 있다.

35lb/15kg Bags	50lb/22kg Bags	Bulk Sacks	Loose Bulk	Introducing Hybrid TechnologyTM
				

그림 3.8 운반 형식별 포장 종류

⑥ 미국 Maryland주-Perma-Patch

Perma-Patch Premium Asphalt Products사에서 개발 된 Perma-Patch 제품은 아스팔트 포장 표면의 파손에 사용 가능하며 주로 포트홀 파손의 보수용으로 사용된다. 모든 날씨에서 시공이 가능하도록 설계 되어 있으며 수많은 나라들로부터 인정을 받아 범용으로 사용 중이며, 포대형식으로 포장되어 판매중이다. 시공 후 포장의 내구 년수는 2년 정도이며 타사와 비교하여 좋은 평가를 받았다.

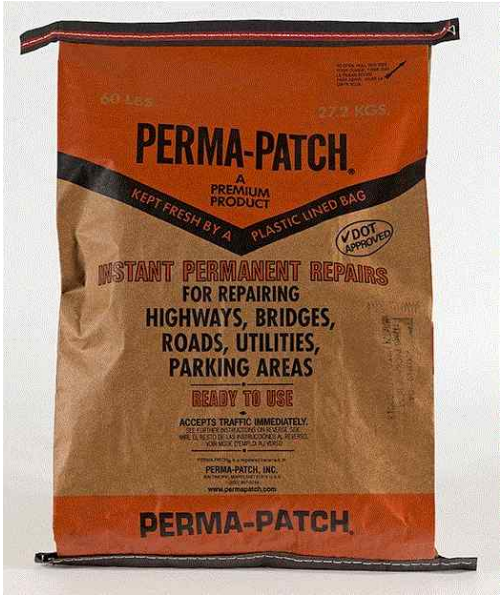


그림 3.9 Perma-Patch

미국 내에서 판매중인 제품들을 이용하여 시공하고 18개월 후 와 4.65년 후의 내구성을 평가해본 결과 18개월 후의 파손율에서 PERMA-PATCH가 18%로 가장 낮은 것으로 보고된바 있으며 4.65년 이후에도 가장 낮은 파손을 나타내고 있다.

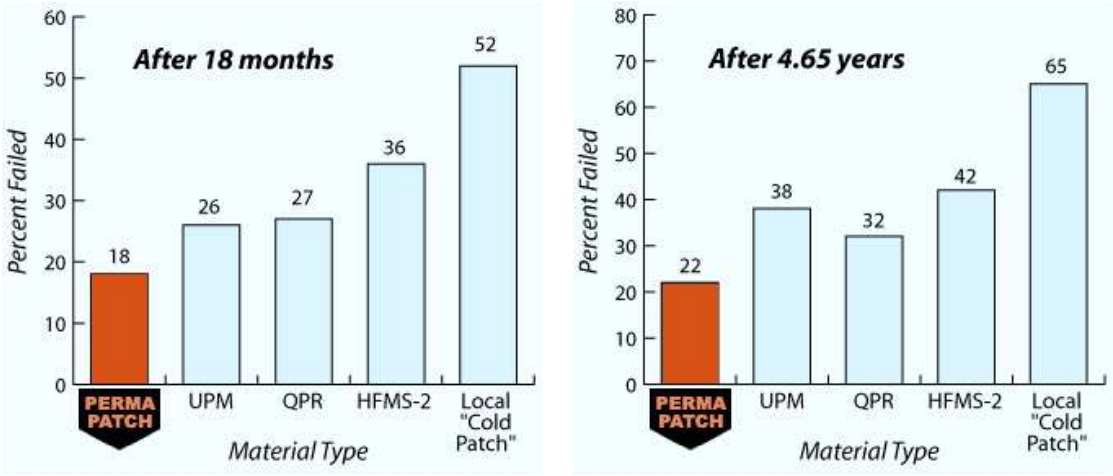


그림 3.10 포트홀 보수재료별 파손율
(Strategic Highway Research Program, 1993)

(나) 국내 응급 보수재료

국내에서 생산되고 있는 상온유화 아스팔트 혼합물은 크게 경화형, 전압형, 반응형 3가지로 구분된다. 경화형은 개질 아스팔트를 가지고 상온 아스팔트 혼합물을 제작하여 Stiffness 향상을 목적으로 한 제품이다. 차량 및 다짐장비에 의한 압력을 통해 강도 발현을 꾀하는 전압형은 특수 고분자 바인더를 이용하여 제작된 제품이며 반응형은 에폭시, 우레탄 등의 복합재료를 이용하여 재료의 반응조건 충족 및 경화제등을 통해 강도 증진의 특징을 보이게 된다. 국내에서 생산되고 있는 포트홀 보수 재료 제품을 살펴보면 경화형에는 흥진산업에서 생산되고 있는 록하드가 있고, 한국석유의 바로바로가 전압형 방식의 대표적 사례이다. 최근 인성산업에서 반응을 통해 강도 증진을 시킨 수경성 우레탄계 바인더를 적용한 워터콘을 출시하였다.

① 록크하드

아스팔트 도로 균열 및 파손 보수재중 경화형인 록하드 제품은 아스팔트 도로, 아파트 단지, 주차장 등 다양한 아스팔트 노면 파손, 균열, 크랙 봉합보수재이고 누구나 간단하게 시공 가능함과 동시에 시공 후 즉시교통개방이 가능하다는 장점을 지닌다. 제품의 보존기간은 대략 1년 이상으로 접착력 및 내구성이 뛰어나다. 현재 본 제품은 칼라 상온보수재도 생산함에 따라 국내 칼라아스팔트 콘크리트 적용현장에 대응할 수 있도록 설계되어 있다.



그림 3.11 상온유화 아스팔트 혼합물(록크하드)

제품시공은 품질관리 및 작업성을 고려하여 준비, 포설, 평탄화, 다짐의 단계로 간소화되어 있다. 1포대당 25kg으로 구성되어 가로 50cm, 세로 50cm, 깊이 5cm의 크기에 사용하는 것을 권장하고 있다.



그림 3.12 록크하드 시공방법

② 바로바로

바로바로 상온 아스팔트 혼합물은 아스팔트 콘크리트 포장의 노면의 포트홀, 턱이음새, 조인트 이음새, 인도포장, 맨홀주의 파손부분 등 그밖의 도로보수가 요구되는 부위에 적용 가능한 혼합물이다. 본 제품은 보수가 필요한 부분에 가열하지 않으며 -25℃의 혹독한 기상조건에서도 간단한 방법으로 직접 전천후로 시공이 가능하다. 특수 고분자형 바인더로 제조되어 빗속에서도 시공이 가능한 전천후 상온 보수재로서 시공시 프라이머, 접착제, 다짐장비등을 사용하지 않고 도로에 보수 후 즉시 개통하여 통과차량의 전압을 통해 결합 경화 강도를 증가시켜 보수가 완료된다. 또한 포장된 상태에서 최대 2년간 보관이 가능하며 포장지 개봉상태에서도 6개월 이상 장기 보관이 가능하게 하여 재료 낭비를 최소화 할 수 있다.



그림 3.13 상온유화 아스팔트
혼합물(바로바로)

본 제품의 시공 방법은 크게 4단계로 구분할 수 있다. 우선 보수할 부위의 흙먼지나 이물질을 제거하여야 하며 이는 흙먼지에 의한 접착력 부족을 줄이기 위함이다. 청소가 완료된 후 준비된 제품을 개봉하여 보수부위에 고르게 투입하며 보통 도로면에 10~15% 정도 경사를 가질 수 있도록 보록하게 분포시킨다. 포설까지 완료 된 상태에서 다짐은 통과차량에 의한 전압을 통해 시행됨에 따라 포설 후 특별한 다짐 작업이 필요 없이 즉시 교통개방이 가능하다. 또한, 차량의 전압으로 다짐작업을 실시함으로 인해 차량에 아스팔트 바인더가 묻어나지 않도록 설계 되어 있는 것이 특징이다.

①		☞ 파손단부 청소 및 잡물 제거 ☞ 수분 제거 필요 없음(우천 시 적용)
②		☞ 바로바로 재료 포설 ☞ 별도의 코팅 및 프라이머 도포 필요 없음 ☞ 포장면 높이보다 조금 높게 포설
③		☞ 장비다짐 없이 삽 등으로 눌러줌 ☞ 타이어에 묻어나지 않아, 모래포설 필요 없음
④		☞ 교통개방 ☞ 차량 하중에 의한 전압식 다짐

그림 3.14 바로바로 시공 방법

③ 워터콘

포트홀 발생은 보통 우천중에 발생되며, 아스팔트와 물이 상극임에 따라 물에 의해 경화에 많은 시간이 소요된다. 그러나 워터콘은 물에 의해서 경화가 되는 수경화성 도로응급보수재로 우천중에도 시공이 가능하며 30분 이내에 경화가 발생되어 교통개방이 조속히 이루어질 수 있다. 교통 개방 시 타이어에 묻어나지 않으며 콘크리트 노면 또는 박층에 적용 시 프라이머를 살포한 후 워터콘을 포설하면 더욱 큰 효과를 얻을 수 있다. 하지만 타 제품 대비 가격이 비싼 단점이 있으며 보수 적용 후에도 인접 부위의 추가 파손이 발생하여 워터콘 보수재가 통째로 블록아웃되는 현상이 발생할 수 있다. 또한 공기중에 포함되어 있는 소량의 수분과도 반응하여 굳기 때문에 보관성이 매우 취약하다. 이런 단점을 보완하고자 내부에 알루미늄을 이용한 1차 포장을 실시하고 일반적인 포대 포장이 아닌 플라스틱 용기로 2차 포장으로 마무리를 하였으나, 고가의 포장 재료를 적용함으로써 단가 상승의 요인으로 작용할 수 밖에 없는 실정이다. 다음 그림은 수경화형 워터콘의 완제품을 보여준다.



그림 3.15 상온유화아스팔트 혼합물(워터콘)

본 제품도 타 제품과 마찬가지로 우선 시행되어야 하는 것이 보수재의 접착력 증대를 위한 파손부의의 청소이다. 청소가 완료 되면 준비된 워터콘을 파손부위에 적당히 포설하고 다짐을 하기전 물을 뿌려 반응을 촉진시켜준다. 이후 인력을 통해 다짐을 실시하고 교통개방을 하면 시공이 완료 된다.



그림 3.16 워터콘 시공방법

④ 재료 및 성능 비교

상기의 내용에서 설명하고 있는 내용을 바탕으로 하여 간략하게 다음의 표에서 재료별 성능을 비교 하였다. 사용재료는 설계특성별로 특수 고분자 바인더, 개질 아스팔트, 우레탄 등으로 구분되며 바로바로와 록하드는 25kg의 포대형식으로 판매가 되고 있는 반면 워터콘의 경우 이보다 5kg이 적은 20kg으로 프라스틱 용기에 판매되고 있다. 다짐의 경우 워터콘에서는 물을 살포하고 다짐을 하는 것이 다른 제품들에 비해 차별성을 가지고 있고 수분과의 접촉을 통해 경화를 시키는 제품임에 따라 고가의 에폭시 및 우레탄계의 사용으로 제품의 가격이 상대적으로 높은 단점이 있다.

표 3.2 국내 보수재료별 성능 및 특성 비교

항목	바로바로	록크하드	워터콘
재료	• 특수 고분자 바인더를 이용한 상온 아스팔트 재료	• 개질 아스팔트를 이용한 상온 아스팔트 재료	• 에폭시, 우레탄 등의 복합재료
제원	25kg / 포	25kg / 포	20kg / 포
시공성	- 시공이 간편하여 신속히 적용가능 - 수분이 있는 구간에도 적용이 가능하여 긴급 보수용으로 적합 - 코팅, 다짐, 모래포설 등의 부가적인 공정이 없음 - 단독 재료 적용으로 빠른 시간에 보수 완료 가능 - 아스팔트 및 콘크리트 포장에 적용 가능	- 단일 재료 적용으로 포설이 간편함 - 수분이 있는 경우는 적용이 어려워 노면이 마를 때 까지 기다리거나 별도의 히터를 이용함 - 코팅제를 포설하기 전에 도포 - 플레이트 다짐 등 장비가 투입되어야 함 - 다짐 후 타이어에 붙기 때문에 별도의 모래포설이 필요함 - 아스팔트 및 콘크리트 포장에 적용 가능	- 복합 재료 사용으로 현장에서 혼합 및 배합이 필요함 - 시공시 물을 사용하여야 강도 발현이 됨.(수경화성임에 따라 수분 살포시 강도발현) - 물 살포 후 다짐 - 가격이 매우 높고 보관성이 취약함 - 보수 주위 파손으로 보수재가 블록아웃되어 떨어질 수 있음
경제성	11,000원 / 포	10,500원 / 포	25,000원 / 포

(2) 프리캐스트 보수재 개발

(가) 폴리머 개질제 및 포장형식 검토

① 개질재의 적용 및 분류

본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 보수재는 아스팔트 생산 공장에서 미리 대량으로 제작되어 보관되어야 하기 때문에 상온 보관성이 좋고 기존 아스팔트 상온 보수재보다 내구성능이나 강도가 우수하도록 개발되어야 한다. 일반적으로 아스팔트 재료의 성능을 개선하고 내구성능을 향상시키기 위한 목적으로 검토되는 재료가 개질재이다. 개질

재는 포장용 아스팔트를 주로 소성변형이나 균열 저항성 향상 등의 효과를 얻을 목적으로 사용되는 제품으로서 아스팔트 바인더에 개질재를 혼합하여 제조된 제품(사전배합방식)과 가열아스팔트 혼합물 생산 시 현장에서 투입하는 형태(현장배합방식)로 구분된다. 사전 배합 방식은 공장에서 개질재를 혼합, 개질화된 아스팔트 바인더를 생산 공급하는 형태이며 대표 개질재로는 SBS(Styrene - Butadiene - Styrene Block Copolymer), PE(Poly-Ethylene), EVA(Etyl- Vinyl-Acetate) 등이 있다. 현장배합방식은 플랜트에서 아스팔트와 골재의 혼합시 개질재를 투입하는 방식으로 대표적인 개질재로는 SBR(styrene-butadiene rubber) Latex, Gilsonite, Cellulose Fiber, 금속촉매제, 열경화성 고무 등이 있고 최근 국내에서는 SBS, SBR등이 대표적인 개질아스팔트로 사용되고 있다.

개질재의 분류 기준은 학문적, 기술적으로 명시된 바가 없으나 보통 혼합방식 및 결합방식에 따라 분류되고 있다. 개질 아스팔트의 분류 기준에 대해서 국내, 미국, 일본 등 나라별로 조사한 내용은 다음의 표와 같다. 또한 국내에서 주로 사용되고 있는 개질재 제품에 대해서도 포장공법, 개질재 종류, 제품명, 제조방법 등으로 분류하여 정리하였다.

표 3.3 개질 아스팔트 별 분류기준

기준	분류
도로포장 설계/시공지침 (건설부,1990)	① 고무 및 열가소성수지 혼입 아스팔트 : 고무계고분자재료 • 개질아스팔트 I형 : 고무계고분자재료 • 개질아스팔트 II형 : 열가소성수지와 고무병용 또는 열가소성 수지만 사용 ② Semi-blown 아스팔트 : bliwing조작으로 감온성 개선 ③ 촉매제이용 개질아스팔트
미국 ASTM	① TypeI • 기후목적에 따라 I-A, B, C, D로 구분 • 대표적인 개질재 : SBS, SB ② TypeII • 기후목적에 따라 II-A, B, C, D로 구분 • 대표적인 개질재 : SBR ③ TypeIII • 기후목적에 따라 III-A, B, C, D로 구분 • 대표적인 개질재 : EVA ④ TypeIV • 기후목적에 따라 IV-A, B, C, D로 구분 • 대표적인 개질재 : SBS계열
일본 도로협회	① I형(고무계열) ② II형(수지, 고무수지계열) ③ 고점도 개질아스팔트 ④ 부착력을 향상시킨 개질아스팔트 ⑤ 중교통용 개질 아스팔트

표 3.4 국내 개질 아스팔트 종류

개질 포장공법	개질제 종류	제조방법	비고
SBS PMA	SBS	Pre-mix	
SMA	-	Plant-mix	Cellulose Fiber 첨가
CRM	CR(폐타이어 분말)	현장Pre-mix	
에코팔트	DAMA	Plant-mix	
PBSC	PBS		Cellulose Fiber 첨가
SBR	SBR Latex		
SRA	SRA		
Gilsonite	Gilsonite		천연아스팔트
캠크리트	캠프리트		기층포장용

아스팔트 바인더의 개량 효과는 침입도 60-80등급의 바인더에 개질재를 첨가하여 물리화학적 성능개선과 저장성을 개량한 고분자 개질아스팔트, 금속촉매를 이용하여 바인더를 화학적으로 산화시켜 경도를 증가시킨 화학적 개질 아스팔트, 바인더를 고온에서 산소와 접촉시켜 강제 산화시켜 침입도를 감소시키고 소성변형 저항성을 향상시킨 산화 개질 아스팔트, 천연 아스팔트를 첨가하여 물리적으로 혼합 생산한 천연 아스팔트 혼합에 의한 개질재 등으로 분류할 수 있다. 다음 표는 개질재 성상에 따른 분류와 개질 효과에 대해 설명하고 있다.

표 3.5 개질재 성상에 따른 분류 및 개량 효과(건설기술정보, 2000)

개질재 종류		제품의 분류	개질재 효과				
			러팅	피로균열	저온균열	습윤손상	산화
Filler 계열		석분	○				
		석회가루(Lime)	○				○
		포틀랜트시멘트	○				
		플라이애쉬	○				
		카본블랙	○				○
		유황	○				
Extender 계열		유황 Lignin	○	○	○	○	
폴리머계열	고무계열	천연고무					
		SBR(Styrene-Butadiene-Rubber)	○		○		
		SBS(Styrene-Butadiene-Styrene)	○	○	○		
		CRM(폐타이어 재생)	○	○	○		
	합성제품 계열	고무계열과 플라스틱계열의 혼합물					
섬유계열	자연제품	Rocl Wool	○				
	인공제품	폴리프로필렌	○	○	○		
		폴리에스터	○		○		
		유리섬유	○				
탄화수소 계열		아스팔트 재생재	○	○	○		
		천연아스팔트(TLA)		○	○	○	
		길소나이트	○			○	

② 특수 아스팔트 포장형식

㉮ 쇄석 매트릭스 아스팔트

쇄석 매트릭스 아스팔트(Stone Matrix Asphalt; SMA)는 1991년부터 미국에서 사용되고 있으며 5개주에서 그해 SMA 공사를 시행하여 이후 사용량이 증가하고 있다. 처음 개발되었을 때 SMA는 유럽에서 스터디드 타이어의 영향을 최소화하기 위하여 사용되었으며 각 나라들은 SMA 포장을 사용을 권장하였다. 오늘날 SMA 혼합물을 사용하는 기

본적인 이유는 소성변형에 대한 저항성과 내구성 때문이다. 또한 혼합물의 표면조직 역시 밀입도 혼합물의 조직에 비하여 표면 배수 성능이 향상되고, 젖은 노면에서 마찰력을 증가시키는 것으로 나타났다.

일반 아스팔트 혼합물의 경우 차량의 바퀴에 의해 가해지는 수직의 압축력과 전단력에 저항하는 힘은 아스팔트의 접착력과 골재 사이의 표면 접촉에 의한 마찰력, 그리고 골재간의 맞물림(Interlocking)에 의해서 발생된다. 골재의 접촉에 의한 마찰력은 골재의 고유한 파쇄 특성이기 때문에 이것을 증가시키는 것은 쉽지 않은 일이다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 SMA 혼합물은 굵은 골재의 함량을 대폭 증가시켜 골재의 맞물림 특성을 통해 가장 양호한 전단 변형 특성을 확보토록 하였다.

SMA 혼합물은 굵은 골재량이 대략 70%~80%로 많고, 아스팔트 함량이 대략 6%이상으로 많다. 또한 채움재의 양도 대략 10%정도로 많이 사용되고 있다. 전형적으로 밀입도 혼합물에서는 잔골재가 하중을 지지하는데 비하여 SMA 혼합물에서는 굵은 골재가 하중을 지지한다. 굵은 골재가 잔골재에 비하여 더 큰 전단강도(Shear Strength)를 발휘하므로 SMA 혼합물이 소성변형에 대한 저항성이 크다.

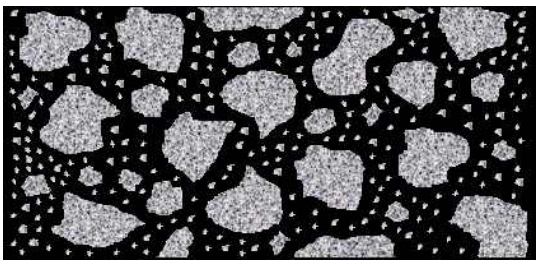
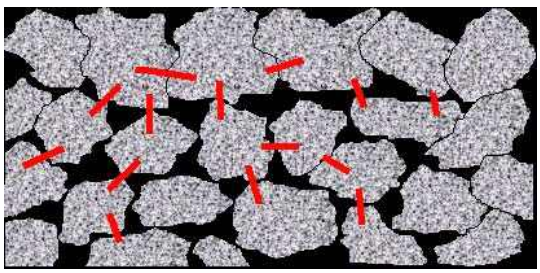
밀입도 혼합물	SMA 혼합물
	
아스팔트와 골재 사이의 접착력 및 마찰력에 의해 저항 아스팔트의 점성에 의존	골재의 맞물림 효과에 의하여 하중분산이 이루어지므로 내유동성이 극대화됨

그림 3.17 일반 밀입도와 SMA 입도와의 차이점

㉯ SBS PMA(Polymer Modified Asphalt)

SBS PMA는 고무계열의 열가소성 탄성 중합체인 SBS(Styrene Butadiene Styrene)를 첨가한 고분자 개질 아스팔트(Polymer Modified Asphalt ; SBS PMA)로 분류 된다. SBS PMA는 고분자와 일반 아스팔트를 단순히 물리적으로 합한 타 개질 아스팔트와는 달리 SBS 고분자와 첨가제를 물리적 · 화학적으로 배합하여 고분자와 아스팔트 사이의

안정적이고 강력한 결합을 유지시킴으로써 아스팔트 도로의 소성변형 및 균열을 방지하고 제품의 저장 안정성을 향상시킨 제품이다. SBS PMA는 아스팔트 생산 공장에서 개질재와 배합을 완료하고 아스팔트 혼합물에 공급하는 Pre-Mix 방식으로 생산된다. 즉 SBS PMA는 일반 아스팔트에 SBS와 재료분리를 방지하기 위한 첨가제를 첨가한 후, 이들을 고속 전단 믹서(High Shear Mixer)로 혼합하여 제조된다.

SBS PMA는 97년부터 미국에서 적용되고 있는 PG 규격(AASHTO MP-1)을 기준 규격으로 사용하고 있으며, 현재 국내에서는 일반도로에 사용하는 SBS PMA 76-22와 공항 및 교통량이 많은 도로에 사용하는 SBS PMA 82-22가 생산되고 있다. 이는 일반 아스팔트 혼합물보다 하절기 고온에서 탄성을 증가시켜 소성변형을 감소시키고, 복원성이 우수, 저온에서 유연성을 증가시켜 균열발생 감소, 재료분리 현상 감소로 저장 안정성 향상, 골재와의 접착력 향상으로 박리현상 감소 등의 효과를 가져 올 수 있다.

㉰ 고무 아스팔트(CRM)

CRM(Crumb Rubber Modifier) 아스팔트 폐타이어를 분쇄한 고무분말을 일반 아스팔트 (AP-3, AP-5)와 고온에서 혼합, 교반하여 아스팔트의 물성을 개선 도로수명을 연장시키고 고온에서의 소성변형 및 저온에서의 균열 방지등 성능을 증대시킨 고무계열 아스팔트 포장재이다.

고무계열 아스팔트 바인더는 210±10℃ 이상으로 가열한 아스팔트 시멘트와 #10이하의 폐타이어 고무분말(CRM) 15~25%를 혼합 반응기에 의해 장동으로 배합하고 고무분말이 팽창(Swelling)하여 아스팔트와 상호 물리적 반응이 일어날 때까지 숙성기에서 175±10℃로 30분~1시간 동안 숙성시켜서 제조된다. 반응 과정에서 폐타이어 고무는 아스팔트 시멘트의 성분 중 Aromatic Oil을 흡수하여 고점도가 되며, 반응결과 고무 아스팔트는 겔(Gel) 상태가 된다

고무(CRM)아스팔트는 일종의 폴리머 개질 아스팔트로서 아스팔트와 26가지의 복합 폴리머인 폐타이어 고무분말을 특수한 혼합 장비에 의해 혼합, 반응시킴으로써 일반 아스팔트에 비해 높은 비용 효율성과 긴 수명을 제공한다. 아스팔트와 고무분말의 혼합은 보다 향상된 점착성 바인더의 특성을 나타내며 폐타이어 고무분말을 높은 비율(15~25%)로 혼합하면 산화 즉 노화를 방지하는 성질이 탁월하고 질긴 바인더가 되는데 이는 타이어에 포함되어 있는 내산화 물질과 자외선 차단물질 등의 성분이 있기 때문이다. 이 물질은 심한 온도 차이에도 고무 아스팔트(CRM)의 표면을 따라 움직이고 과도한 하중에도 연질이 되어 균열 또는 도로 표면과 분리가 되지 않도록 해준다(한국형 포장설계법

개발, 2003).

㉱ PBS(Phoenix Bituminous Stabilizer)

PBS는 덴마크 Phoenix사와 독일의 고분자 공급사가 공동으로 개발한 아스팔트 개선제로 결합제의 온도와 점성과의 상관관계를 변화시킴으로써 온도의 변화에 관계없이 안정적인 결합을 유지시켜 성능을 향상시킨 개질 아스팔트이다.

PBS는 폴리머 변형 개질 아스팔트로써 결합제의 온도와 점성과의 상관관계를 변화시켜 소성변형 저항성 증가, 정지하중과 뒤틀림 방지, 접착성 및 방수성 증가 등의 효과를 가질 수 있으며 생산의 간편화, 온도 및 혼합시간, 골재입도의 변화 가능, 취급용이, 작업성 양호, 환경 친화적이라는 작업의 편리성도 함께 갖추고 있다.

㉲ 에코팔트(Ecophalt)

배수성 포장 공법 중의 하나인 에코팔트는 국내에서 개발한 개질 아스팔트 이며, 고점도 아스팔트 개질 첨가제(DAMA ; Darin Asphalt Modified Additive)와 폐타이어 분말(CRM)을 첨가한 고분자 개질 아스팔트(Polymer Modified Asphalt : SBS PMA)로 분류된다. 에코팔트 포장공법은 기존 아스팔트 포장의 문제점인 하절기 고온에서의 소성변형과 동절기 저온에서의 취성 파괴를 개선시킬 수 있는 고점도 아스팔트 개질 첨가재를 사용하는 신기술 포장 공법으로서 다양한 기능을 가진 아스팔트 포장공법이다. 아스팔트 혼합물의 입도구성이 다공성의 갭입도(Gap Grade)를 가지는 기능성 포장으로 교통소음 감소, 빗길 수막현상 제거, 미끄럼 저항성 증대등의 특성이 있다.

㉳ 길소나이트(Gilsonite)

길소나이트는 아스팔텐과 질소기의 혼합물이 많이 포함된 천연의 탄화수소지이며 흑갈색을 띈 고체성상의 분말로서, 아스팔텐이 70%정도 포함되어 있으며 나머지는 주로 말텐으로 기름과 수지성분이며, 3%정도의 질소와 20%이상의 이온화 질소가 함유되어 있는 물질이다. 길소나이트는 오일이나 수지 등 아스팔트 고유성분을 화학적으로 변화시키지 않고 아스팔트 시멘트의 재료 특성을 개선시킨 물질이다. 길소나이트 공법의 특성을 살펴보면 아스팔트 혼합물의 안정성을 증가시키고, 질소의 고농축으로 골재와 아스팔트 사이에 강한 부착력을 부여하며, 물에 강한 저항성을 갖게된다. 또 아스팔트와 완벽하게

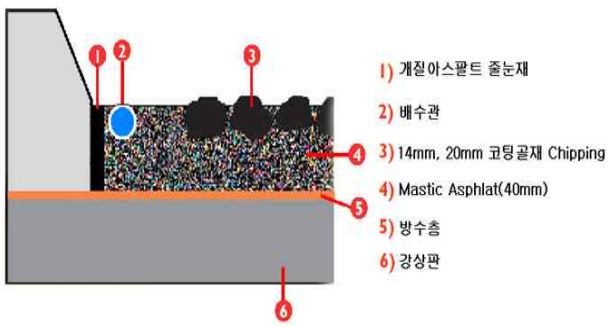
혼합되며 패임과 밀림등과 같은 소성변형에 대한 저항성이 높다.

㉮ 구스 아스팔트(Guss Asphalt)

구스 아스팔트는 크게 두 가지 종류로 분류되며 사용되는 아스팔트와 첨가제에 사용에 따라 명칭을 구분하고 있다. 하나는 1997년 처음 도입된 이래 현재까지 국내에 강상판 교량에 적용되고 있으며 경질 석유계 Asphalt와 천연 Asphalt (Trinidad Lake Asphalt)를 혼합한 구스 아스팔트 포장 공법이 있으며 다른 하나는 국외에서 콘크리트 포장 덧씌우기, 강상판 교량, 일반 토공부 구간에 적용 되고 있는 일반 Asphalt를 개질한 Mastic Asphalt 공법으로 나눌 수 있다. 두 공법의 물성차이는 존재하지만 모두 동일한 혼합물 배합설계 기준을 가지고 있으며 시공, 공정도 동일하다.

구스 아스팔트 포장은 일반 아스팔트를 개질 하여 내구성능을 증대시킨 아스팔트 바인더 7~10%를 사용하고, 유동성확보를 위해 첨가제와 채움재를 총 골재 중량의 20~30%로 첨가하여 공극이 거의 없는 불투수성 혼합물이다. 휨에 대한 적응성이 높기 때문에 일반적으로 강상판 포장 등의 교면포장에 쓰이고 있으며 Plant에서 혼합 후에 시공이 가능한 작업성과 안정성이 얻어지도록 Cooker내부에서 고온 교반, 혼합시킨 것이다.

220~240℃의 고온에서 재료를 생산/시공하고 혼합물 특성을 제어함으로써, 혼합물의 흐름성이 우수하여 일반적인 아스팔트 재료와 달리 시공 시 다짐이 필요없는 특징을 가지고 있다. 더불어 교량 강상판, 콘크리트 포장을 비롯한 다른 재료와의 접착력이 매우 우수하여 접착불량으로 인한 포장파손의 우려가 거의 없다.



- 불투수성
- 다짐이 불필요
- 내구성 확보
- 휨 추종성 및 내 충격성 확보
- 접착성 확보

그림 3.18 구스 아스팔트 상세도 및 특징

③ 개질 아스팔트 비교 및 검토

앞에서 다양한 아스팔트 개질재 및 이를 이용한 개질 아스팔트 혼합물의 종류 및 특징들을 확인하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 보수재료는 다음과 같은 특징을 가져야 한다.

- 내구성 및 수분저항성 등이 우수
- 자재 생산 및 이송, 운반 고려
- 프리캐스트 형태로 제작이 용이한 재료
- 제작 후 장비 보관성 확보
- 기존 응급보수 및 소파보수 대비 가격 경쟁력 확보

위의 특징들 중에 가장 중요한 사항이 프리캐스트 형태로 제작이 쉬운 재료의 선정일 것이다. 일반적인 아스팔트 포장은 포설과 다짐의 두 가지 공정으로 시공된다. 현장에서는 페이버를 이용하여 혼합물을 포설하고 로드롤러를 이용하여 다짐을 하지만, 프리캐스트로 제작할 경우에는 실내에서 일정 크기 이상으로 포설하고 다짐이 되어야 하기 때문에 별도의 설비가 제작되지 않으면 생산이 어려울 수 있다.

또한 일정 크기 이상의 성형된 제품이므로 생산 후 이송 및 운반이 용이하여야 하며 생산 후 보관 시 재료의 변성 등이 거의 없는 재료를 선정하여야 한다. 생산성과 품질 등을 고려하여 선정하다 보면 자칫 경제성 부분을 간과할 수 있는데, 프리캐스트 재료는 현재 적용되고 있는 응급보수 및 소파보수의 재료비보다 저렴하도록 개발되어야 한다.

아래 표는 국내 특수 아스팔트 포장 공법을 비교한 것이다. 앞에서 언급한 프리캐스트 보수재료의 특징들을 고려하여 국내에서 사용 중인 7가지의 혼합물들을 비교 검토하였다.

표 3.6 포장 형식별 특성 비교

포장 형식	특성
SMA	• 소성변형 탁월 • 균열 및 탈리현상 최소화 • 내구성 향상
PMA	• 소성변형 저항성 향상 • 박리현상 감소 • 미끄럼 저항성
CRM	• 손상된 포장체의 구조적 강도강화 • 소음이 적고 미끄럼 저항 표장표면 제공가능
PBS	• 소성변형 저항성 향상 • 뒤틀림방지 효과 • 접착성 및 방수성 증가
에코팔트	• 우천시 미끄럼 감소 • 우천시 수막현상 저감 • 소음저감
길소나이트	• 소성변형 저항성 향상 • 내구성 향상
구스 아스팔트	• 불투수성 • 다짐 불필요 • 접착성 및 방수성 뛰어남 • 내구성 향상

1차년도 연구에서 프리캐스트 제작용 혼합물 재료로 3가지를 선정하였으며, 첫 번째로 국내에서 가장 널리 적용되고 있는 SMA 혼합물을 선택하였다. SMA 혼합물은 이미 국내에서도 기술수준이 높은 포장형식으로 고속도로 및 국도에서 널리 사용되고 있는 재료이다. SMA 혼합물은 소성변형 뿐만 아니라 각종 내구성 향상 측면에서 우수한 효과가 있는 것으로 확인되었으며, 골재 및 자재의 수급이 원활한 것으로 판단되었다.

두 번째로 선정한 재료는 PMA이다. PMA 역시 국내에서 SMA와 함께 가장 널리 사용되고 있는 개질 아스팔트 혼합물로 가격대비 품질수준이 높은 것으로 조사되었다. 세 번째로 선정한 재료는 구스 아스팔트이다. 구스 아스팔트는 높은 온도에서 생산하는 것이 다소 단점이긴 하지만, 아스팔트 바인더 함량이 높고 첨가재 및 개질제가 다량 함유되어 흐름성이 좋아 별도의 다짐 없이 포설이 가능한 재료이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 형태로 생산이 가장 용이한 재료로 판단되어 최종적으로 선정하였다. 2

차년도 연구에서 추가로 프리캐스트 보수재료로 검토한 재료는 수반응형 개질 아스팔트이다. 수반응형 개질 아스팔트는 일반적인 아스팔트 혼합물과는 다른 강도 발현 매커니즘을 가지는 것으로, 다짐에 의한 강도발현이 아닌 물과 반응하여 강도를 발현하는 재료이다. 이는 종래의 포트홀 응급보수를 위해 개발 중인 재료로, 포장의 수분과 반응하여 경화하도록 만들어진 재료이다. 일반적으로 상온형으로 제작되어 별도의 가열이 필요 없는 장점이 있으며, 본 연구에서는 기존 상온 보수재의 한계를 탈피하여 프리캐스트용으로 미리 제작하는 용도의 보수재료를 개발하는데 주안점을 두었다. 프리캐스트 개념으로 사전에 보수재를 만들 경우 경화가 지연되거나 다짐도에 따른 현장 시공시의 단점이 충분히 극복이 가능하며 생산 시에도 상온에서 제작이 가능하므로 생산 작업성이 우수할 것으로 판단된다. 본 연구에서 프리캐스트 보수재료로 검토할 최종 대상군은 다음과 같다.

- 쇄석 매스틱 아스팔트 (SMA, Stone Mastic Asphalt)
- 개질 아스팔트 (PMA, Polymer Modified Asphalt)
- 구스 아스팔트 (Guss Asphalt)
- 수반응형 개질 아스팔트

(나) 프리캐스트 보수재 혼합물 물성시험

프리캐스트 보수재의 검토 대상으로 선정된 SMA, PMA, 구스 아스팔트 및 수반응형 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물에 대한 기초 물성평가를 실시하였다. SMA와 PMA는 생산방법과 사용처가 유사하기 때문에 직접적인 비교가 가능하지만 구스 아스팔트의 경우, 기초 물성 및 생산방법, 사용처가 제한적이어서 타 혼합물과의 직접적인 비교에는 다소 어려운 점이 있었다. 또한 수반응형 개질 아스팔트의 경우, 타 재료와는 다르게 상온에서 취급되는 장점이 있어 생산 및 보관성 등에서 효과가 있을 것으로 판단된다.

① 쇄석 매스틱 아스팔트(SMA, Stone Mastic Asphalt)

SMA 혼합물에 대한 평가를 위해 아스팔트 바인더에 대한 기초 물성실험을 진행하였다. 최근 국토해양부에서 발행한 'SMA 포장 생산 및 시공 지침(2011. 04)'에서는 SMA 혼합물용으로 사용하는 아스팔트 바인더에 대한 품질기준을 두 가지 규격으로 제시하고 있다.

- KS M 2201 : 스트레이트 아스팔트의 침입도 규격
- KS F 2389 : 아스팔트 공용성 규격(PG : Performance Grade)

KS M 2201은 국내에서 처음 제정된 아스팔트 바인더의 규격으로 현재까지 적용되고 있는 기준이며, KS F 2389는 보다 정확한 아스팔트 바인더의 품질 규정을 위해 2004년에 추가로 제정되었다. 하지만 일부 정유사에서 공용성 규격을 사용하지 않고 있기 때문에 스트레이트 아스팔트의 경우는 침입도와 공용성 규격을 병용하도록 하고 있다. 스트레이트 아스팔트에 개질재를 첨가하여 공급하는 개질 아스팔트의 경우는 침입도만으로 개질 아스팔트의 물성 개선 효과를 확인하기 어렵다. 그래서 개질 아스팔트를 사용하는 경우에는 반드시 KS F 2389(공용성 규격)에서 규정한 시험을 통하여 공급하는 개질 아스팔트의 공용성 등급을 제출받아 사용하도록 되어 있다.

본 연구에서 검토한 SMA 혼합물용 바인더는 일반 스트레이트 아스팔트 바인더가 아닌 SBS(Styrene Butadiene Styrene Black Co-Polymer) 개질 바인더를 사용하였다. 개질 바인더는 일반 스트레이트 아스팔트 바인더에 비해 내구성 및 공용성능이 우수하다. 그리고 SMA 혼합물에 사용되는 골재는 일반밀입도 골재처럼 굵은 골재부터 필러까지 다양한 입도분포를 가지지 않고, 굵은 골재 위주로 구성되기 때문에 바인더와 골재 혼합 시, 골재 표면에서 바인더가 정착하지 못하고 굳기 전에 흘러내리는 문제 등이 발생한다. 그러므로 SMA 혼합물용 바인더는 대부분 흐름 방지 및 내구성 향상을 위해 개질바인더를 사용하는 것이 일반적이다.

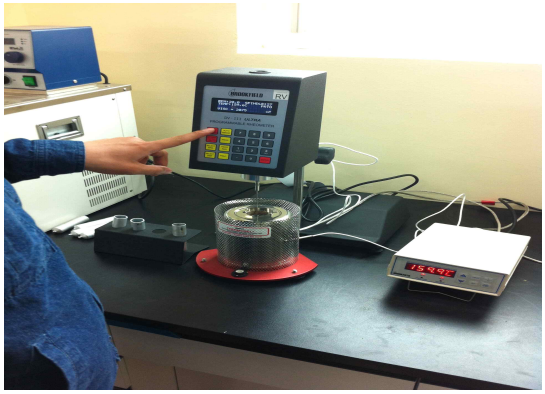
㉮ SMA 개질 아스팔트 바인더

일반 스트레이트 아스팔트 바인더는 국토해양부에서 공식적으로 지정한 품질기준이 존재하지만, 개질 아스팔트 바인더는 그 특성이 개질되는 형태에 따라 다르기 때문에 특별한 품질기준이 정립되어 있지 않다. 그래서 본 연구에 사용되는 개질 아스팔트 바인더의 평가는 국내에서 개질 아스팔트 바인더를 가장 많이 생산하고 판매하는 S정유회사의 자체 품질기준을 참고하여 비교평가를 실시하였다. 다음의 표는 S정유회사에서 사용하고 있는 개질 아스팔트 바인더의 품질기준을 나타낸 표이다.

표 3.7 개질 아스팔트 바인더 품질기준(S정유회사 기준)

시험항목			단위	기준
질량변화율			%	1.00 이하
비중(25/25℃)			-	1.02~1.03
인화점(COC)			℃	230 이상
저장안정성(48hr, 163℃)			℃	2 이하
점도(135℃)			cP	3,000 이하
PG 등급	PG(Performance Grade) 등급		-	PG 76-22
	$G^*/\sin\delta$(76℃)	Original	kPa	1.00 이상
		RTFO 노화 후	kPa	2.2 이상
	G^* X $\sin\delta$(31℃)	PAV 노화 후	kPa	5,000 이하
	C.S(Creep Stiffness, -12℃)		MPa	300 이하
	m-value(-12℃)		-	0.3 이상

개질재를 이용한 아스팔트의 유변학적 거동을 평가하는데 대표적인 실험은 아래 보이는 그림과 같이 동점도와 DSR(Dynamic Shear Rheometer)실험이다. 동점도 시험은 아스팔트의 점도를 측정하여 혼합물에서 골재와의 결합력을 평가하는데 활용되고 있으며 시험은 바인더의 점도 측정이 용이한 135℃에서 수행되는 것이 일반적이다. 또한, DSR 시험은 아스팔트 바인더의 고온등급 측정을 목적으로 하고 있으며, 이와 더불어 BBR시험을 통해 저온등급 측정 후 최종적으로 PG 등급을 선정하게 된다. PG등급은 보통 고온등급을 먼저 표기하고 저온등급 순으로 표기하게 되며 일반 스트레이트 아스팔트의 고온등급은 PG64-22이다.



(a) 동점도 시험



(b) DSR(Dynamic Shear Rheometer) 시험

그림 3.19 개질 아스팔트 바인더 물성시험

바인더는 개질 여부에 따라 상온에서의 경도차이가 나타나고 이런 경도를 측정하기위해 손쉽게 사용되는 것이 침입도 시험이다. 침입도 시험에 대한 개질아스팔트의 별도 기준은 정해진 바는 없으나 앞서 언급된 KS M 2201 침입도 규격에 따라 값을 등급화 하고 있다. 결과에서 보여주고 있는 69는 25℃의 온도에서 100g의 추를 5초 동안 낙하하여 바늘이 늘어간 깊이를 측정한 값으로 단위는 0.1㎜이다. 다음으로 행해진 실험은 연화점 시험이다. 본 시험은 아스팔트 바인더의 품질을 조사하고 회수 아스팔트의 노화 정도를 판정을 목적으로 주로 실험실에서 사용하고 있으며 SMA 혼합물에 사용된 개질 바인더에서의 연화점은 71.8℃인 것으로 나타났다. 이는 일반 스트레이트 아스팔트인 AC 60-80 바인더 44~52의 연화점 규격치 보다 다소 높은 값을 보였다. 이밖에도 질량변화율, 비중, 인화점, 저장안정성, 점도 등 모두 바인더 평가를 위한 실험을 진행한 결과 아래와 같은 결과를 얻었고 PG등급에서는 76-22의 값을 보임으로 일반 아스팔트에 비해 고온등급이 높게 나타났다. 이는 점도 및 강도 향상에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

표 3.8 배합용 개질 아스팔트 바인더 시험 결과

시험항목			단위	시험결과
침입도(25℃, 100g, 5초)			0.1mm	69
연화점			℃	71.8
질량변화율			%	0.3
비중(25/25℃)			-	1.028
인화점(COC)			℃	362.0
저장안정성(48hr, 163℃)			℃	0.5
점도(135℃)			cP	1,580
PG 등급	PG(Performance Grade) 등급		-	PG 76-22
	$G^*/\sin\delta$(76℃)	Original	kPa	2.98
		RTFO 노화 후	kPa	2.96
	G^* X $\sin\delta$(31℃)	PAV 노화 후	kPa	762
	C.S(Creep Stiffness, -12℃)		MPa	90
	m-value(-12℃)		-	0.394

㈏ 골 재

SMA 혼합물은 골재와 골재간의 맞물림을 극대화하여 소성변형 저항성을 향상시키고자 하는 특수 아스팔트 혼합물이며, 굵은 골재의 양이 다량으로 들어가게 되는 조립도 형식으로 설계되고 있다. SMA 혼합물별 적용기준은 아래의 표와 같이 국토해양부에서 발행된 'SMA 포장 생산 및 시공지침'에 따랐다. 현재 국내에서 SMA 포장에 주로 사용되는 입도는 13㎜, 10㎜ 및 8㎜가 사용된다. 표층에는 13㎜와 10㎜ SMA 골재가 사용되고 있으며, 경제성에서 큰 차이를 보이지 않는 범위에서는 10㎜ 골재가 13㎜ 골재에 비해 소음 감소 측면에서 우수하므로 본 연구의 앞서 평가되었던 SBS 개질 바인더를 이용하여 SMA 혼합물을 평가하고자 굵은 골재 최대치수는 10㎜로 선정하였다. 또한, 굵은 골재, 잔골재 및 채움재를 혼합할 경우 SMA 혼합물의 골재 합성입도는 아래의 표를 만족해야 한다.

표 3.9 SMA 혼합물 종류별 적용기준(국토해양부, 2011)

SMA 종류	사용장소	비 고
20mm	중간층, 기층	
13mm	표층, 중간층	
10mm	표층, 교면포장 상부 및 하부층	시멘트 콘크리트 바닥판 상·하부층 및 강바닥판 상부층
8mm	표층, 교면포장 상부 및 하부층	시멘트 콘크리트 바닥판 하부층 및 강바닥판 하부층
5mm	볼트식 강바닥판 교면포장의 하부층	입형이 좋은 골재 선별 사용

표 3.10 SMA 혼합물 합성입도 기준(국토해양부, 2011)

체크기 \ SMA 혼합물 종류		20mm	13mm	10mm	8mm	5mm
통과질량백분율(%)	20mm	100	-	-	-	-
	20mm	93~100	100	-	-	-
	13mm	30~50	93~100	100	-	-
	10mm	20~35	40~55	90~100	100	100
	5mm	15~25	16~30	25~45	30~60	95~100
	2.5mm	12~22	12~23	15~30	15~30	25~45
	0.60mm	10~18	10~18	11~20	12~20	13~21
	0.30mm	8~15	8~15	10~16	10~16	11~17
	0.15mm	7~13	7~14	9~15	9~15	10~16
	0.08mm	6~12	7~12	8~13	8~13	9~14

SMA 혼합물을 제작하기 위해 우선 기준에 적합한 굵은 골재, 잔골재, Filler의 혼합비율을 찾고자 아래의 그림과 같이 체가름시험을 실시하였다. 체가름 시험은 각체의 통과백분율을 이용하고 입도 변화 확인이 용이하도록 그래프로 표현하였다. 아래 그림은 골재와의 맞물림 현상을 극대화 하기위한 SMA 혼합물의 합성입도 기준과 실제 사용골재의 합성 입도 그래프를 나타내고 있다.



그림 3.20 골재 체가름 시험

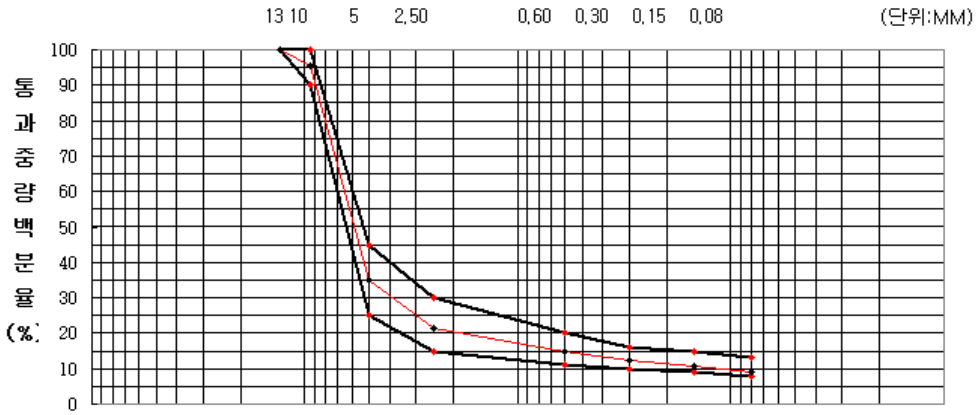


그림 3.21 SMA 배합 시험용 입도 분포곡선

㉰ 마샬 배합설계

배합설계를 위한 SMA 혼합물의 품질은 위의 지침에서 제시하는 기준을 근거로 하였다. 아래의 표에 제시한 기준은 SMA 포장 표층에 적용되는 것으로, 교면포장에 적용할 경우에는 상부층에 적용할 것인지 하부층에 적용할 것인지에 따라 설계 기준이 다르다. 본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 보수재는 토공부 및 교량부 모두 적용을 목표로 하고, 최근 이상기후에 의한 강수량 및 중차량 증가에 의해 포트홀과 같은 결함발생의 가능성이 높아진 점을 고려하여 가능한 PG 76-22 이상을 적용하는 품질 기준을 고려하였다. 혼합물 배합 시, SMA 입도 특성상 굵은 골재가 많은 반면에 잔골재가 적기 때문에 배합 믹서에서 분산이 잘 이루어질 수 있도록 식물성 섬유인 셀룰로오스 화이버 재

료를 건식방법으로 투입하였으며, 마샬 다짐횟수는 중차량을 고려하여 75회로 선정하여 공시체를 제작하였다. 다음 표는 본 연구에서 고려한 SBS 개질 SMA 10㎜ 혼합물의 배합설계 기준이다.

표 3.11 SMA 혼합물의 배합설계 기준(국토해양부, 2011)

항목		10mm
아스팔트 함량(%)		6.6 이상
공극률(%)		2.0~4.0
골재간극률(%)	공극률 2~3% 미만	18 이상
	공극률 3~4% 미만	19 이상
포화도(%)		75 이상
드레인다운 시험값(%)		0.3 이하
동적안정도(회/mm)		2000 이상
배합설계 다짐방법		마샬 다짐 75회

최적 아스팔트 함량을 결정하고자 AP함량을 5.5%~7.5% 범위에서 0.5%씩 증가시켜 슈퍼배합설계와 마샬 배합설계 중 마샬 배합설계 방법을 채택하여 연구를 수행하였고 160~180℃의 온도에서 포트홀 보수재료의 강도적 측면을 고려하여 중교통량 적용 양면 75회로 다짐으로 공시체를 제작하였다. 또한 공극률 측정을 위해 아스팔트 혼합물을 진공상태로 만들어 완전 포화상태일 때의 이론 최대 밀도를 구하고 이를 이용하여 공극률을 계산하였다.



그림 3.22 마샬 다짐기를 이용한 다짐작업

제작된 공시체는 공극률, 골재간극률, 포화도 등의 물성치를 측정하고 바인더 함량이 일반 아스팔트 혼합물에 비해 다소 많은 양을 사용한다. 굵은 골재가 잔골재에 비해 많은 부분을 차지하여 바인더의 흡수율도 일반혼합물에 비해 떨어진다. 이에 미처 흡수 되지 않은 아스팔트 바인더는 중력방향으로 흐르게 되며 이를 보완하기 위해 앞서 언급한 대로 셀룰로오스 화이버를 사용하게 된다. SMA 혼합물에 대해서는 이와 같은 이유로 흐름성에 대한 검토가 이루어져야 하며 본 연구에서는 드레인 다운을 실시하였다. 그리고 혼합물의 소성변형 저항성을 평가하기 위해 국내에서 많이 시행되고 있는 휠트랙킹 시험을 진행하여 동적안정도의 값을 얻고자 하였다. 아래의 그림은 배합설계 결과 데이터를 보여주고 있다.

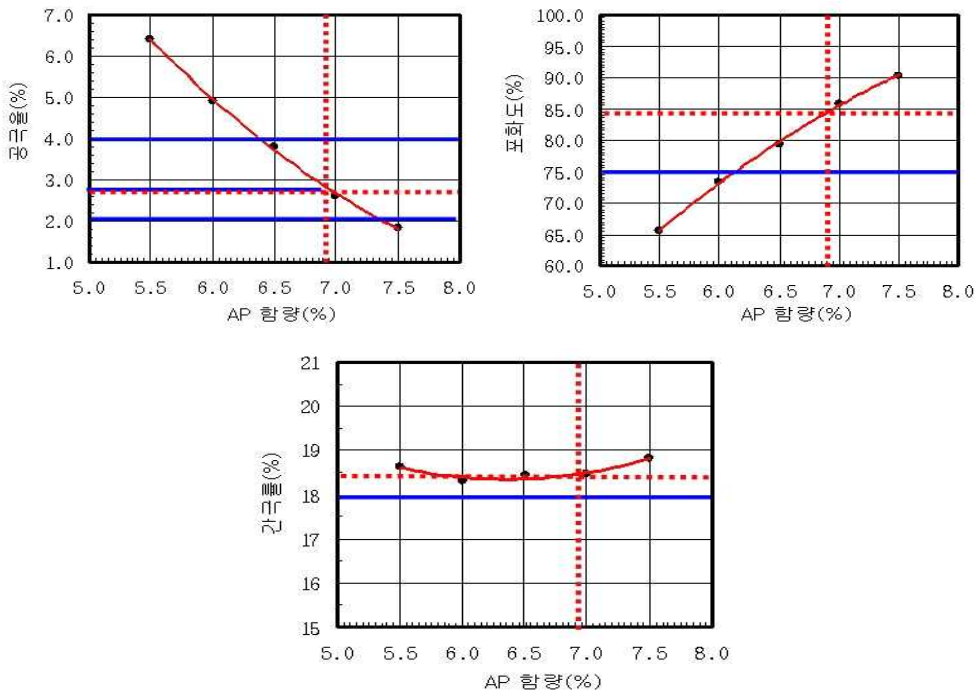


그림 3.23 배합설계 결과

㉮ 최적 아스팔트 함량을 이용한 혼합물 시험결과

제작된 SMA 혼합물 시험 결과, 아래의 표에서 나타난 바와 같이 모든 항목들이 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 특히 동적안정도의 경우 품질기준보다 약 3.5배 높게 나타났으며, 이는 혼합물 자체의 굳기가 단단하여 변형에 대한 저항성이 상당히 높다는

것을 나타낸다. 포트홀 파손의 발생이 휠패스 주위에서 발생하는 것을 고려하면 소성변형에 대한 저항성이 높은 프리캐스트 재료를 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

표 3.12 SMA 혼합물 시험 결과

시험 항목	단위	시험 결과
아스팔트 함량	%	6.9
드레인 다운	%	0.21
안정도	N	7,577
흐름값	1/100cm	31
공극률	%	2.6
포화도	%	85.8
골재 간극률	%	18.1
동적안정도	회/mm	7,058

② 폴리머 개질 아스팔트 (PMA, Polymer Modified Asphalt)

SBS개질 아스팔트 콘크리트를 평가하기 위해 혼합물에 대한 기초 물성평가를 실시하였다. 바인더의 기초 물성 평가는 앞서 언급한 SMA 혼합물과 같은 바인더를 사용하였기 때문에 본 혼합물에서는 생략한다. 혼합물의 평가는 국토해양부에서 발행한 '아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침'의 품질기준을 바탕으로 혼합물의 주 구성물인 골재, 혼합물로 구분하여 평가하고자 한다.

㉮ 골재 기준

골재의 품질은 모암의 암종에 따라 아스팔트와의 피복 특성이 다르게 나타나므로 포장의 박리 현상이 우려되어 골재와 아스팔트 바인더 사이의 부착성이 양호한 골재를 선정하여 사용하였다. 이를 평가하기 위해 굵은 골재와 잔골재로 구분하여 골재 실험을 진행하였으며 굵은 골재는 밀도, 흡수율, 마모감량, 안정성, 피막박리 등에 대해 시험 방법은 아래에서 보여주고 있는 규격을 준용하였다.

- KS F 2503 : 조골재의 비중 및 흡수량 시험방법
- KS F 2508 : Los Angels 시험기에 의한 조골재의 마모감량 시험방법

- KS F 2507 : 황산 나트륨에 의한 안정성 시험방법
- KS F 2355 : 역청골재 혼합물의 피막박리 시험방법

표 3.13 굵은골재 시험기준

항 목	밀 도	흡 수 율	마모감량	안정성	피막박리
	(g/㎤)	(%)	(%)	(Na2So4)	(%)
기 준	2.50 이상	2.0 이하	35 이하	12 이하	95%이상

잔골재는 밀도, 흡수율, 안정성에 대한 평가를 실시하였다. 이를 통해 잔골재의 경도, 강도 및 내구성 등의 성질을 확인하여 아스팔트 혼합물의 배합설계를 실시하고자 함이며, 안정성 시험은 동결융해에 대한 내구성을 판정하고자 하였다. 각 기준 및 시험방법에 대한 규격은 아래의 내용을 준용한다.

- KS F 2504 : 세골재의 비중 및 흡수량 시험방법
- KS F 2507 : 황산나트륨에 의한 안정성 시험방법

표 3.14 잔골재 시험기준

항 목	밀 도	흡 수 율	안정성
	(g/㎤)	(%)	(Na2So4)
기 준	2.50 이상	3.0 이하	15 이하

국토해양부 지침상에는 WC-1부터 WC-6까지 용도에 따라 혼합물의 입도를 구분하여 제시하고 있다. WC-1, WC-3의 경우 밀입도 아스팔트 콘크리트로 13㎜와 19㎜로 구분되며 일반적인 포장의 표층에 사용하고 있다. 본 입도의 특징은 비교적 내유동성과 미끄럼 저항상이 좋으며 특히, 최대입경 19mm의 아스팔트 혼합물의 경우 내유동성이 좋은 것으로 평가되고 있다. WC-2, WC-4는 밀입도 아스팔트 혼합물로 세립화된 골재의 함유율이 높고 중교통량 이하 일반적인 포장의 내마모용 표층에 사용되며 내마모성이 우수하고 내유동성이 비교적 낮은 것이 특징이다. WC-6, WC-5도 마찬가지로 13㎜와 19㎜ 골재로 구분된 내유동성 아스팔트 콘크리트로서 대형차 교통량이 많은 경우에 표층으로 사용하고 있다. 이는 내구성과 내유동성이 우수하고 소성변형 발생가능성이 높은 지역에 사용하는 것이 효과적이다.

골재의 크기에 따라 혼합물의 특성이 변화하게 되며 일반적으로 골재 크기가 클수록 생산과 포설 시에 아스팔트 혼합물의 재료 분리 가능성이 높아지고 승차감이 조금 감소하게 된다. 본 연구진은 프리캐스트용 혼합물로 재료분리에 대한 가능성을 최소화 하고자 골재 최대치수를 13㎜로 정하였으며 마찰에 의한 내마모성을 고려 최종적으로 WC-2 입도를 선정하였다. 선정된 입도를 분석하기 위해 체가름 시험을 진행하여야 하며 시험은 KS F 2502의 방법을 준하여 진행되었다.

표 2.15 표층용 가열 아스팔트 혼합물의 표준배합

아스팔트 혼합물의 종 류 / 체의 호칭크기		WC-1	WC-2	WC-3	WC-4	WC-5	WC-6
		밀입도	밀입도	밀입도	밀입도	내유동성	내유동성
		13	13F	20	20F	20R	13R
통과질량백분율(%)	25㎜	-	-	100	100	100	-
	20㎜	100	100	90~100	95~100	90~100	100
	13㎜	90~100	95~100	72~90	75~90	69~84	90~100
	10㎜	76~90	84~92	56~80	67~84	56~74	73~90
	5㎜	44~74	55~70	35~65	45~65	35~55	40~60
	2.5㎜	28~58	35~50	23~49	35~50	23~38	25~40
	0.60㎜	11~32	18~30	10~28	18~30	10~23	11~22
	0.30㎜	5~21	10~21	5~19	10~21	5~16	7~16
	0.15㎜	3~15	6~16	3~13	6~16	3~12	4~12
	0.08㎜	2~10	4~8	2~8	4~8	2~10	3~9

㈏ 배합설계 기준

지침에서는 배합설계 시 변형강도와 마샬 안정도의 기준을 제시하고 있으며 시험의 메카니즘이 서로 상이함에 따라 그 기준도 각각 표기되어 있다. 그러나 보수재료 평가를 위한 배합설계로는 현장에서 가장 많이 사용하고 있는 마샬 배합설계를 적용하고자 하였으며 평가 방법으로는 마샬 안정도를 선택하였다. 마샬 다짐 횟수는 대형차 교통량이 1일 한방향 1,000대 이상, 또는 20년 설계 ESAL >107인 경우 중교통 도로포장에서는 마샬 다짐 양면 각 75회를 사용한다. 그 이하의 교통량에서는 마샬 다짐 양면 각 50회를 선택하게 되는데 본 연구에서는 양면 75회를 선정하였다. 골재 간극률은 최대골재크기와 설계공극률에 의해 기준이 명시됨에 따라 본 연구에서는 다음 표에서 제시된 것과 같이

13㎜ 골재 최대치수와 설계 공극률을 3.5%로 정하였으므로 골재간극률 기준을 보간법에 따라 13.5% 이상이 되어야 한다.

표 3.16 표층용 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 기준(국토해양부, 2009)

특성치		아스팔트 혼합물의 종류
		WC-1 ~ 4
① 변형강도 적용시	변형강도(MPa) (직경 100㎜ 또는 101.6㎜, 재하속도 30㎜/분)	4.25 이상 (3.2 이상)
	공극률 (%)	3~6
	포화도 (%)	65~80
	골재간극률 (%)	<표 3.4> 참조
	다짐횟수	선회다짐 : 100 (75) 마샬다짐 : 양면 75 (50)
② 마샬 안정도 적용시	마샬 안정도(N)	7500 이상 (5000 이상)
	흐름값(1/100cm)	20~40
	공극률 (%)	3~6
	포화도 (%)	65~80
	골재간극률 (%)	<표 3.4> 참조
	선회다짐횟수	선회다짐 : 100 (75) 마샬다짐 : 양면 각 75 (50)

표 3.17 최소 골재간극률(VMA) 기준

골재최대크기 (㎜)	설계 공극률 (%)			
	3.0	4.0	5.0	6.0
13	13.0 이상	14.0 이상	15.0 이상	16.0 이상
20	12.0 이상	13.0 이상	14.0 이상	15.0 이상
25	11.0 이상	12.0 이상	13.0 이상	14.0 이상
30	10.5 이상	11.5 이상	12.5 이상	13.5 이상
40	10.0 이상	11.0 이상	12.0 이상	13.0 이상

㈐ 골재 시험 결과

혼합물을 제작하기 전 골재에 대한 물리적 성질을 분석하고자 골재 실험을 우선 진행하였으며 굵은 골재의 경우 밀도, 흡수율, 마모감량, 안정성, 피막박리 등 5가지 항목을 실시하고 잔골재의 경우에는 밀도, 흡수율, 안정성 3가지 항목에 한하여 진행되었다. 모든 시험 결과는 다음의 표들에서 보여 지는 바와 같이 기준을 만족하고 있음에 따라 안정적인 아스팔트 혼합물 배합설계가 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

표 3.18 굵은 골재 시험 결과

항 목	밀 도	흡 수 율	마모감량	안정성	피막박리
	(g/㎤)	(%)	(%)	(Na2So4)	(%)
기 준	2.50 이상	2.0 이하	35 이하	12 이하	95%이상
굵은골재	2.68	0.90	24.2	4.6	95 이상

표 3.19 잔골재 시험 결과

항 목	밀 도	흡 수 율	안정성
	(g/㎤)	(%)	(Na2So4)
기 준	2.50 이상	3.0 이하	15 이하
잔골재	2.67	1.22	4.3

골재의 합성입도는 표층용 가열아스팔트 혼합물의 입도중 WC-2를 선정하여 아래 그림과 같이 합성입도 그래프를 나타내었다. WC-2의 배합은 13㎜골재를 사용하고 있으며 세립분이 많아서 내유동성이 비교적 낮은 특징을 가짐에 따라 중차량 이하 일반적인 포장의 내마모용 표층에 사용 되고 있다. 아래의 그림은 골재의 입도 분포곡선을 나타내고 있으며 검정색 상·하한선은 앞에서 언급한 기준을 표시한 것으로 상·하한선의 가운데가 실제 체가름시험의 결과를 가지고 최종 선정된 입도이다. 입도는 최대한 배합설계 시 공극률의 분포가 함량에 따라 일정하게 나타날 수 있도록 적정 간격을 유지토록 하였다.

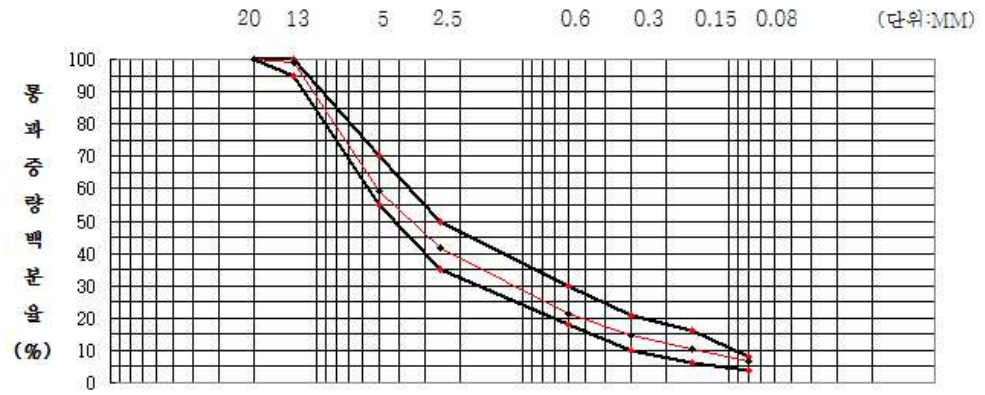


그림 3.24 PMA 배합 시험용 입도 분포곡선

㉮ 마샬 배합설계

합성입도에 의해 얻어진 골재의 비율과 SBS 개질 바인더를 활용하여 아스팔트 혼합물의 배합설계를 진행하였다. 배합설계는 4.5%~6.0%까지 0.5%단위로 바인더의 함량을 조절하고 혼합물 온도는 160℃~180℃에서 유지하였다. 앞에서 언급한 배합설계의 기준을 모두 부합하는 것을 최적 아스팔트 함량으로 선정하고 공극률 계산을 위해 혼합물 1.2kg를 이용하여 이론밀도를 측정하고 측정결과 최대이론밀도가 2.470g/㎤이며 실측 밀도와의 비를 이용하여 공극률을 계산하였다. 다짐은 실험실에서 주로 사용하고 있는 마샬 다짐기를 사용하고 중교통을 고려한 양면 75회 다짐을 실시하였다.



그림 3.25 마샬 안정도 시험

그 결과 함량의 증가에 따라 밀도, 포화도, 흐름값, 간극률은 증가하는 경향을 보이고

있는 반면 공극률과 안정도는 감소하는 경향을 보였다. 본 연구에서는 설계 공극률을 3.5%로 선정함에 따라 공극률 3.5%의 아스팔트 함량을 살펴본 결과 5.6%가 최적일 것으로 판단되며 밀도, 포화도, 안정도, 흐름값, 간극률 모두 기준치를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 이에 5.6%의 최적 아스팔트 함량에서 6가지의 기준을 실제로 만족하는지 확인하기 위해 공시체 3개를 제작 · 검토를 수행한 결과 배합설계에서 예측한 결과와 다르지 않음을 보였다.

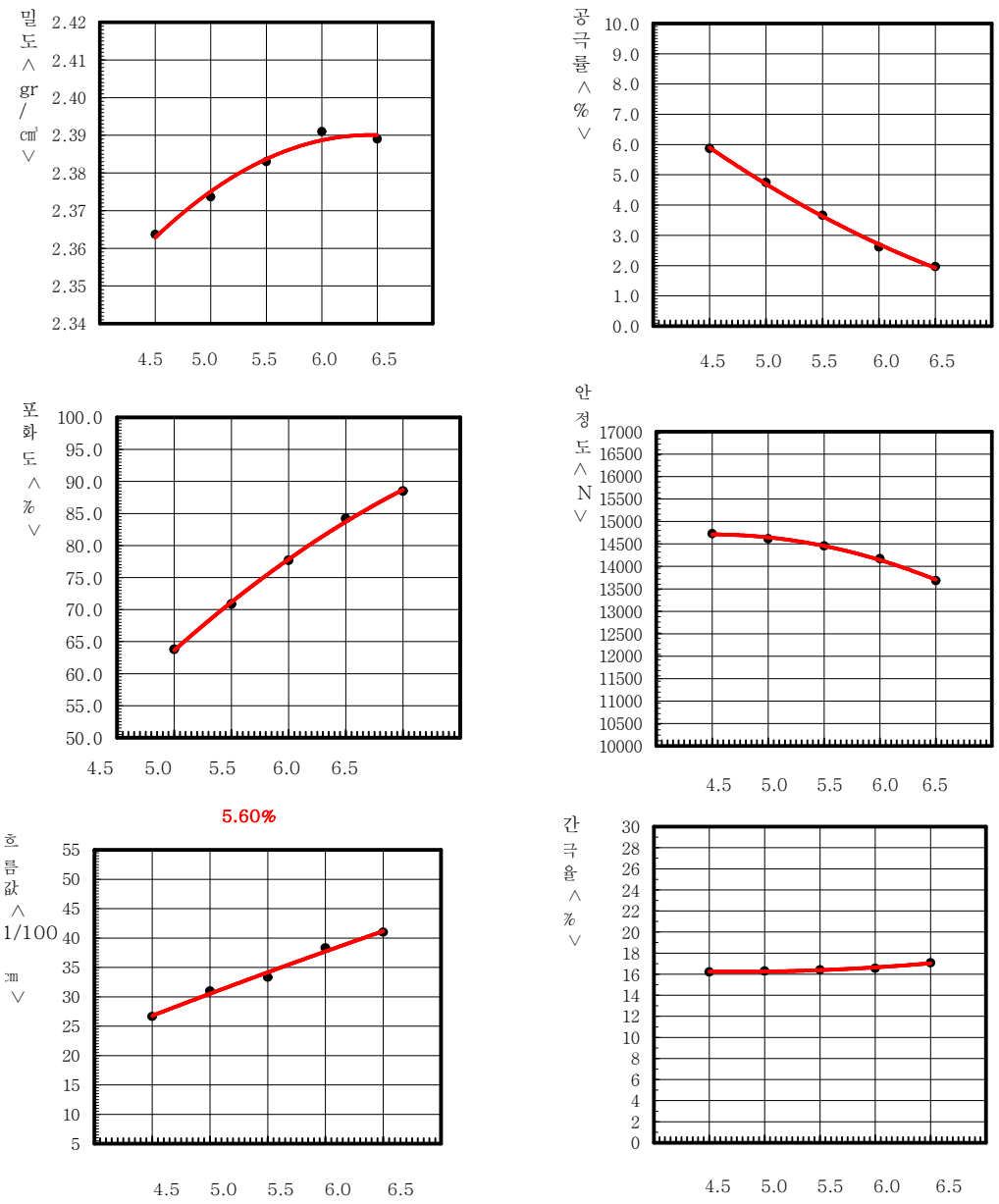


그림 3.26 PMA 배합 시험 결과 그래프

표 3.20 PMA 밀입도 혼합물 시험결과

시험 항목	단위	시험 결과
아스팔트 함량	%	5.6
안정도	N	14360
흐름값	1/100cm	33
공극률	%	3.3
포화도	%	79.6
골재 간극률	%	16.3

최적 아스팔트 바인더 함량에서 마샬 안정도가 기준치인 7500N 이상의 값보다 약 2배의 값을 나타냄에 따라 소성변형 저항성에 상당한 효과가 있을 것으로 판단이 되며 이에 따라 프리캐스트형 보수재료의 장기 공용성 측면에서 우수한 재료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

③ 구스 아스팔트 재료 시험

㉮ 바인더 기준

구스 아스팔트의 기준이 앞서 언급한 바와 같이 명확히 제시되지 않아 국내에서는 일본의 규격을 사용하고 있으며, 본 연구에서도 일본도로협회의 제시한 기준을 따랐다. 아스팔트 바인더는 시공성의 개선과 고온시의 내유동성 등을 고려하여 일반적으로 석유 아스팔트(통상 침입도 20~40)에 트리니다드 레이크 아스팔트를 가한 것을 사용하고 일반적으로 전 아스팔트의 약 20~30% 첨가한다. 혼합후 아스팔트의 연화점은 60℃이상이 바람직하며, 침입도 20-40의 석유아스팔트 및 트리니다드 레이크 아스팔트의 표준적 성상을 다음의 표에서 보여준다.

표 3.21 아스팔트의 표준적 성상

종류 / 항목	석유아스팔트 20~40	트리니닷드 레이크 아스팔트
침입도(25℃) 1/10mm	20~40	1~4
연화점 ℃	55~65	93~98
신도(25℃) cm	50이하	-
증발질량변화율 %	0.3이하	-
삼염화 에탄 가용분 %	99 이상	52.5~55.5
인화점 ℃	260 이상	240이상
밀도 (25℃) g/㎤	1.0이상	1.38~1.42

㈏ 골재 기준

구스 아스팔트 포장을 위한 골재에 대한 기준은 따로 명시된 바가 없어서 국내에서 KS 규격에 맞추어 생산되는 골재를 사용하였으며 합성입도 범위는 일본도로협회에서 제시된 기준을 적용하였다. 아래 표는 체의 규격별 골재의 통과 질량 백분율을 나타낸 것이다.

표 3.22 구스 아스팔트 골재의 입도 분포

체의 규격	통과질량 백분율(%)
19mm	100
13.2mm	95-100
4.75mm	65-85
2.36mm	45-62
600㎛	35-50
300㎛	28-42
150㎛	25-34
75㎛	20-27
아스팔트양(%)	7-10

㉰ 배합설계 기준

국내에서 구스 아스팔트는 현재 내구성 및 접착성, 방수성이 좋다는 장점을 가지고 있다. 특히, 유동성 확보를 위한 첨가제와 채움재를 총 골재중량의 20~30%로 첨가하여 공극이 거의 없는 혼합물을 생산함에 따라 방수가 가능하기 때문에 현재 국내에서는 물이 스며들어 내구성을 약화시키는 교량에 다수 적용 하고 있는 실정이다. 그러나 아직까지 국내의 기준이 정립되지 않은 상황에서 해외의 기준을 준용하고 있는 것이 현실이며, 본 연구에서도 독일과 일본의 기준을 적용하여 재료평가를 진행하고자 하였다. 이에 독일과 일본의 기준이 동일함에 따라 아래 표와 같이 일본 아스팔트 포장 요강과 일본본주사국연락교공단 기준안을 제시한다. 본 혼합물은 생산 및 시공방법이 일반 가열아스팔트 혼합물과 접근 방법이 다르기 때문에 류엘 유동성시험 및 관입량 시험등 다소 생소한 항목들을 포함하고 있다.

표 3.23 구스 아스팔트 바인더 함량 기준

항목	기준	
	I*	II**
유동성시험 : 류엘유동성시험(240℃) sec	3~20	20 이하
관입량시험 : 관입량(40℃, 52.5kg/5㎠), 30분 mm	1~4	1~4
휠트랙킹시험 : 동적안정도(60℃, 6.4kg/㎠) 회/mm	-	350 이상
휨시험 : 파단변형(-10℃, 50mm/min)	-	8.0 X 10^{-3} 이상

* I : 일본 아스팔트 포장요강

** II : 일본 본주사국연락교공단 교면포장 기준안

㉱ 재료별 시험 결과

- 바인더

구스 아스팔트의 바인더는 경질 석유아스팔트를 사용하였으며 시공개선과 고온 시 내유동성 등을 고려하여 트리니다드 레이크 아스팔트를 사용하였다. 경질 석유 아스팔트의 경우 상당히 안정적으로 기준을 만족시키는 것을 확인할 수 있었다. 또한 구스 아스팔트에 사용되는 트리니다드 레이크 아스팔트 또한 기준을 만족함으로써 안정적인 구스 아스

팔트 혼합물 제작이 가능 할 것으로 평가 된다. 그리고 구스 아스팔트 바인더를 석유아스팔트와 트리니다드 레이크 아스팔트로 세분하여 실험을 실시한 이유는 각기 함량에 따라 혼합물의 물성을 변화시켜 적정 배합을 선정하고 필요에 따라 함량을 조절하고자 하는 차원에서 분리하고자 한 것이다.

표 3.24 구스 아스팔트 바인더 함량 기준

종류 / 항목	석유아스팔트 20~40	트리니다드 레이크 아스팔트
침입도(25℃) 1/10mm	29	1
연화점 ℃	58	95.3
신도(25℃) cm	62	-
증발질량변화율 %	0.19	-
삼염화 에탄 가용분 %	99.8	54.55
인화점 ℃	285	264
밀도 (25℃) g/㎤	1.02	1.401

- 골재

골재는 앞서 언급되었던 SMA 골재를 활용하였고, 앞서 설명된 기준의 체 크기를 순서대로 정렬 후 합성입도를 구하고자 체가름시험을 진행하였다. 시험방법은 국내 기준인 KS F 2505에 따랐으며 아래의 그림은 체가름 시험을 위한 골재 개량과 체가름 시험 장비를 이용한 골재 체가름을 보여준다. 체가름 결과를 토대로 아래 그림과 같이 그래프로 나타내어 합성입도의 형상을 손쉽게 검토하고자 하며 검정색으로 된 상하한선이 구스 아스팔트 혼합물의 골재 입도 기준이 되겠다. 보는 바와 같이 중간선이 사용골재의 입도로서 안정적으로 골재의 입도 기준을 만족 시켜주고 배합설계 시 안정적인 데이터 수집을 위해 상·하한선과 일정한 간격을 유지하여 고르게 분포시켰다.



그림 3.27 골재 체가름 시험

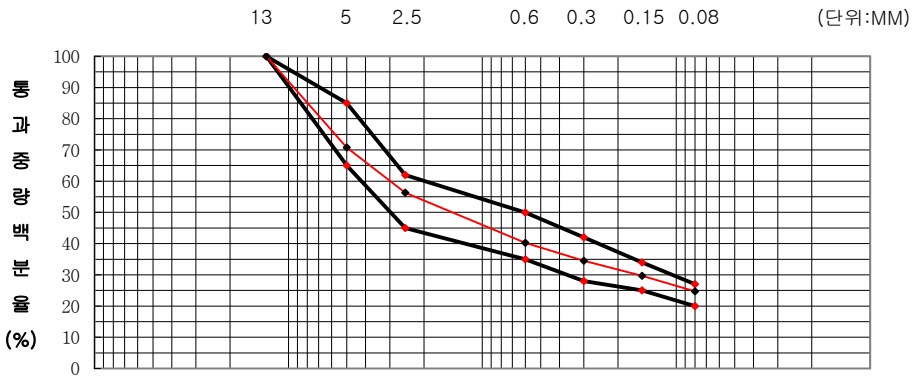


그림 3.28 골재의 합성입도 그래프

- 배합설계

바인더와 골재의 검토 결과를 토대로 하여 구스 아스팔트의 배합설계를 진행하였고, 배합설계하기 위하여 골재 및 바인더의 온도를 220℃로 유지시켰다. 혼합물의 생산온도가 160~180℃에서 생산되는 일반 아스팔트 혼합물에 비해 상당히 높은 온도를 보임으로 유동성과 관입량에 대한 평가를 중점적으로 검토하여야 할 것으로 보이며 이에 따라 배합설계에서도 류엘 유동성과 관입량의 수치를 이용하여 최적아스팔트 함량을 선정하였다. 아래 그림은 류엘 유동성 실험과 시험 시 온도를 측정한 것으로 일정량의 구스 아스팔트를 20리터 용기에 담아 측정봉이 5cm 관입되었을 때의 시간이 20초를 초과하지 않아야 한다.



그림 3.29 류엘 유동성 시험 전경

배합설계는 아스팔트 바인더의 함량을 8.3%~8.9%까지 0.3%씩 증가시켜 류엘 유동성과 관입량을 측정하였다. 측정결과 아래 그림과 같은 관계를 얻었으며, 두 가지의 시험을 모두 만족시키는 범위에서 최적 아스팔트 함량을 선정하고자 한다. 이에, 검토 결과 구스 아스팔트의 최적 아스팔트 함량은 류엘 유동성이 12일 때로 결정하였으며, 이것은 범위 내에서 안정적이라고 판단되는 값을 연구진이 임의로 정한 것이다. 아래의 그림은 최적 아스팔트 선정에 대한 내용을 보여 주고 있는 그림으로 붉은선이 제시된 기준을 표현한 것이며 아스팔트 함량 8.7%에서 안정적임을 나타내고 있다.

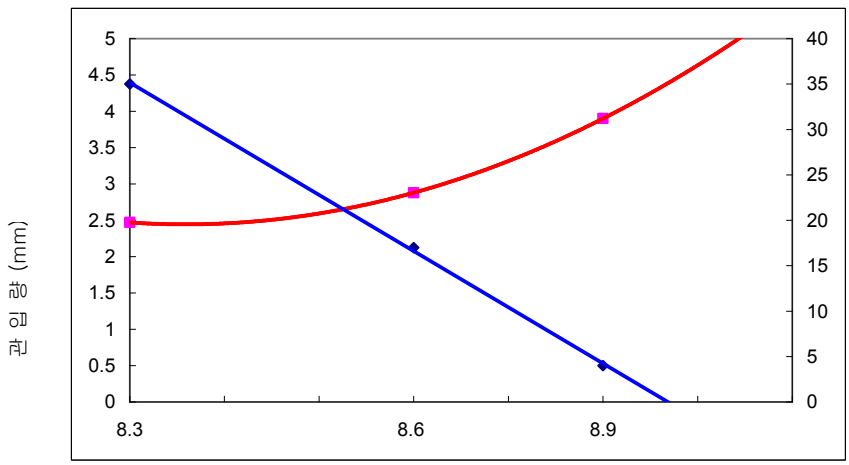


그림 3.30 구스 아스팔트 최적 아스팔트 함량 결정

앞에서 선정된 최적 아스팔트 함량 8.7%를 가지고 실제 배합설계에서 예측된 값이 나타나는지 확인하고자 아스팔트 함량 8.7%를 가지는 구스 아스팔트 혼합물을 생산해 보

았다. 그 결과 류엘 유동성 시험에서는 10의 값을 보였고 기준치인 20이하의 기준에 정확히 부합함 나타내었다. 또한 관입량에서도 기준치 1~4의 범위인 1.43을 보임으로 최적 아스팔트 함량의 구스 아스팔트 혼합물은 안정적인 구조임을 확인하였다. 또한, 동적안정도 값을 얻고자 휠트랙킹 시험을 실시하였고 실험결과 368로 기준치를 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 프리캐스트용 혼합물로 적용시 수분 저항성능 및 시공성과 급결 보수재로 요구되는 방수성 및 접착성능에 대한 우수한 성능을 보인다.

표 3.25 구스 아스팔트 혼합물의 시험 결과

항목	시험결과
유동성시험 : 류엘유동성시험(240℃) sec	10
관입량시험 : 관입량(40℃, 52.5kg/5㎠), 30분 mm	1.43
휠트랙킹시험 : 동적안정도(60℃, 6.4kg/㎠) 회/mm	368
휨시험 : 파단변형(-10℃, 50mm/min)	0.0088

③ 수반응형 개질 아스팔트 혼합물

㉮ 수반응형 바인더

수경성 개질 아스팔트 바인더는 고분자 수지를 바인더 총량의 70~75%를 넣고 개질 처리한 아스팔트 25~30%를 사용한다. 고분자 수지의 한 종류인 폴리우레탄 바인더를 사용하였는데 바인더는 폴리올 수지와 디페닐메탄 디이소시아네이트(MDI)를 혼입하여 사용하였다. 그리고 개질 처리된 아스팔트는 프로세스 오일 & 폴리머 개질제를 처리한 후 가공하여 AP-5와 혼합하여 만들었다. 다음의 표는 개질 처리된 아스팔트에 사용된 기본 바인더의 시험결과이고 그 아래의 표는 수경성 개질 바인더의 온도에 따른 점도를 나타낸다.

표 3.26 아스팔트의 바인더(AP-5, 60-80) 시험 결과

시험항목	단위	AP-5(Original)
연화점	℃	47
침입도	25℃, 1/10mm	62

표 3.27 수경성 개질 아스팔트의 바인더 시험 결과(20RPM, #27)

시험항목	온 도	점 도
동점도 (cPs)	30℃	1388
	40℃	625
	50℃	375
	60℃	213
	70℃	50

㈏ 골재

골재의 입도를 잡는 기준은 일반 표층용 아스팔트 혼합물을 기준으로 하였으며 다양한 크기의 골재를 사용하기 보다는 비교적 균일한 크기의 골재를 사용하기로 하였다. 이는 골재의 크기가 크며 공극율이 높아지는데 over reaction의 발생 혹은 최소한의 반응성을 확보하는데 필요한 공극(반응인자)의 확보가 균일한 반응성능을 유지하는데 있어 필요한 입도를 맞추기 위한 것이다. 따라서 표층용 골재보다는 작은 크기의 골재를 사용하기로 하였다. 이는 공극이 높아 반 골재는 입경 5mm 골재를 사용하고 채움재를 사용하였다. 골재는 입경 5mm 골재를 총량에 65~75%를 넣고 채움재를 25~35%를 넣어 합성 입도를 잡기로 하였고 실험 결과 5mm 골재를 70%, 석분을 30%로 결정하였다. 아래의 표와 그림은 프리캐스트용 골제의 체가름 결과와 합성입도 곡선이다.

표 3.28 프리캐스트용 골재의 체가름 시험 결과

체크기(mm) (No.)	10	5 (No.4)	2.5 (No.8)	0.6 (No.30)	0.3 (No.50)	0.15 (No.100)	0.08 (No.200)
합성입도	100.0	94.1	24.4	10.8	5.9	2.7	0.8

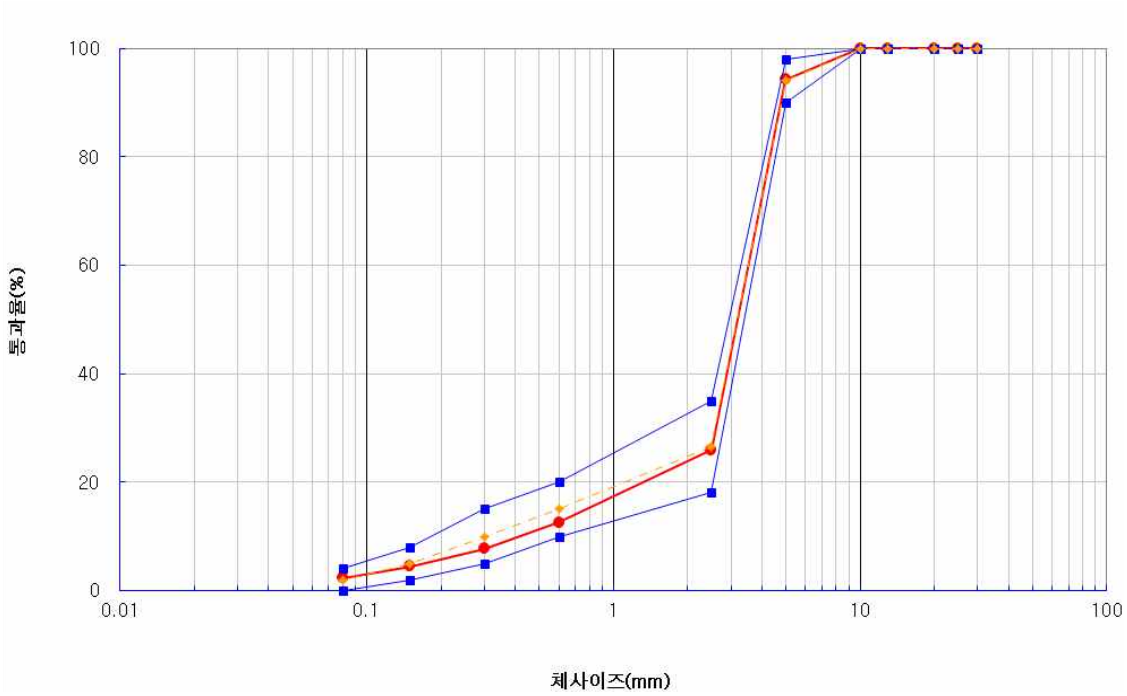


그림 3.31 프리캐스트용 골재의 합성입도 곡선

㈐ 혼합물의 배합설계

아스팔트 콘크리트의 최적 아스팔트 함량(Optimum Asphalt Content : OAC)을 결정하는 방법으로 국내외에서 많아 사용되고 있는 마샬 배합설계를 이용하여 바인더 함량을 0.5%씩 증가시켜 6.0%부터 8.0%까지 공시체를 제작하여 공극율과 흐름치, 마샬 안정도 값을 고려하여 OAC를 결정하였다. 이때, 공극율은 일반 밀입도 혼합물의 공극보다는 높게 하여 수반응을 하기에 수월하게 하였다. 이에 공극율의 범위는 4.0~8.0%이고 목표 공극율은 6.0%가 되도록 하였고 그 외 기준은 흐름치는 20~40이고 마샬 안정도는 750kgf 이상을 만족하면 되었다. 시험은 일반적인 HMA와는 다르게 25℃에서 바인더와 골재를 혼합한 후 마샬 다짐기를 이용하여 양면 75회 다짐을 주어 마샬 공시체를 제작하였다. 아래의 표는 프리캐스트용 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 배합설계 결과이고 그림0.0은 OAC 결정을 위한 그래프를 나타낸 것이다. 기준에 부합하는 공통 범위가 바인더 함량 6.2%~8.0%이므로 공극율이 6.0%인 바인더 함량이 7.0%를 OAC로 결정하였다. 이로부터 검증된 OAC의 결과가 그 다음 표에 나타나 있다.

표 3.29 프리캐스트용 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 배합설계 결과

AC (%)	No	두께 (mm)	중량(g)			공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도 (kgf)		흐름값 (0.01cm)
			공기중	수중	SSD				실측치	보정치	
6.0	1	64.6	1143.2	626.3	1150.0	9.53	22.35	57.34	1,200	1,128	28
	2	65.3	1150.2	630.2	1148.2	7.98	21.02	62.03	1,140	1,049	23
	3	65.4	1151.4	632.7	1154.5	8.55	21.51	60.23	989	910	27
	평균	65.1	1148.3	629.7	1150.9	8.69	21.62	59.82	1,110	1,029	26
6.5	1	64.5	1155.9	645.0	1157.0	6.21	20.56	69.82	1,585	1,490	32
	2	65.5	1159.7	646.6	1160.8	6.30	20.64	69.48	1,458	1,341	30
	3	65.5	1161.2	646.7	1162.5	6.47	20.79	68.88	1,369	1,259	27
	평균	65.2	1158.9	646.1	1160.1	6.33	20.67	69.39	1,471	1,364	30
7.0	1	64.8	1154.6	638.9	1152.2	6.32	21.72	70.93	1,865	1,734	32
	2	64.3	1148.3	643.6	1150.8	5.71	21.21	73.10	1,874	1,780	31
	3	63.9	1142.6	636.7	1142.6	5.93	21.40	72.28	1,754	1,684	36
	평균	64.3	1148.5	639.7	1148.5	5.98	21.45	72.09	1,831	1,733	33
7.5	1	64.2	1154.1	639.7	1151.7	5.88	22.42	73.77	1,483	1,409	34
	2	63.8	1147.8	643.6	1150.3	5.42	22.04	75.42	1,387	1,332	36
	3	63.2	1143.8	637.1	1142.9	5.58	22.17	74.84	1,521	1,521	37
	평균	63.7	1148.6	640.1	1148.3	5.63	22.21	74.67	1,464	1,420	36
8.0	1	64.1	1152.9	640.1	1150.9	5.52	23.19	76.18	1,172	1,113	38
	2	63.7	1145.7	645.6	1148.1	4.56	22.41	79.64	1,042	1,001	40
	3	63.2	1142.3	639.5	1144.4	5.30	23.01	76.97	1,178	1,178	41
	평균	63.7	1147.0	641.7	1147.8	5.13	22.87	77.58	1,131	1,098	40

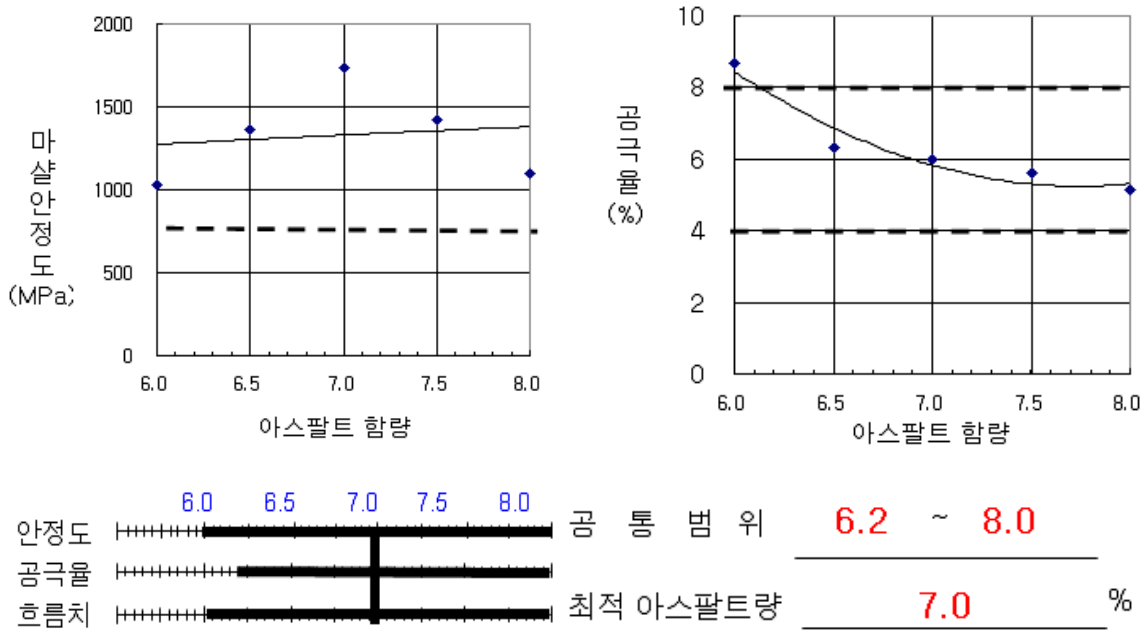


그림 3.32 프리캐스트용 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 OAC 결정

표 3.30 프리캐스트용 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 OAC 결과

AC (%)	No	두께 (mm)	중량(g)			공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도 (kgf)		흐름값 (0.01cm)
			공기중	수중	SSD				실측치	보정치	
7.0	1	64.8	1155.2	638.5	1153.4	6.56	21.92	70.09	1,700	1,581	35
	2	64.1	1149.7	643.7	1151.9	5.78	21.27	72.84	1,616	1,536	32
	3	63.7	1143.4	636.5	1143.8	6.13	21.56	71.59	1,597	1,534	34
	평균	64.2	1149.4	639.6	1149.7	6.15	21.59	71.49	1,638	1,550	34

㈑ 물성 시험 결과

위의 표에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 얻어진 프리캐스트용 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 물성 결과는 HMA기준에 부합하며 보수재로 만든 공시체의 마샬 안정도가 기준치보다 높았다. 고온에서 제작된 HMA의 강도보다도 우수한 것으로 파손부위에 부분포장이나 절삭 덧씌우기를 하기 전에 단기간동안 사용되는 도로 보수재의 한계를 넘어선 새로운 포장이 되기 전까지 사용될 수 있는 프리캐스트 보수재로서의 가능성을 볼 수 있었다.

표 3.31 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 품질 기준 및 시험결과(고속도로 보수용 상온형 아스팔트 혼합물 긴급보수재 품질기준)

시험항목	시험방법	단 위	품질기준	시험결과
다짐횟수	KS F 2337	-	양면 75 회	
마샬 안정도(25℃)	KS F 2337	kgf	750이상	1,550
흐름치	KS F 2337	1/100cm	20~40	34
공극률	KS F 2364	%	3~10	6.15

(다) 프리캐스트 보수재료 최종 선정

프리캐스트 보수재료를 선정하기 위한 물성시험 및 검증을 실시하였으며 추후 대량생산 및 보관성 등을 고려하여 다양한 측면에서 제품군을 비교하였다. 본 연구진이 프리캐스트 보수재료의 선정에 필요한 요구사항을 정의한 내용은 다음과 같다.

- 보수 후 차량하중에 의한 변형이 없어야 함
- 일정 수준 이상의 강도가 발현되어야 함
- 대량 생산을 고려하여 생산성이 우수하여야 함
- 보관 시, 변형 및 물성변화가 거의 없어야 함

차량하중에 의한 변형의 검증은 동적안정도 시험을 통해 검증하였으며 강도의 발현 여부는 마샬안정도를 측정하였다. 또한 대량 생산에 따른 생산성을 판단하기 위해서는 혼합물의 취급 조건 및 다짐 등에 의한 공정의 편리성 등을 고려하였다. 보관 시의 변형의 최소화를 위해서는 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 유동성 등의 특징을 살펴보는 것이 바람직하다. 이러한 인자들을 비교하기 위해서 일반적으로 사용되는 가열 아스팔트 혼합물(HMA, Hot Mixed Asphalt)의 물성치를 아래의 표에 삽입하여 상대적인 비교를 실시하였다.

표 3.32 프리캐스트용 보수재료와 일반 아스팔트 혼합물(HMA)의 비교

혼합물	생산온도 (℃)	마샬 안정도(kgf)	동적안정도	다짐	특징
HMA	160~180	750이상	3,000 이상	75회	-
SMA	160~180	773	7,058	75회	강 도
PMA	160~180	1,465	6,049	75회	강 도
구스 아스팔트	220	-	368	불필요	접착성, 작업성, 생산성
수반응형 개질 아스팔트	25	1,550	10,899	불필요 (전압)	강 도, 작업성, 생산성

위의 표에서 보는 바와 같이, 일반적인 가열 아스팔트 혼합물과 비교하여 볼 때, 강도 측면에서는 구스 아스팔트를 제외하고 SMA나 PMA, 수반응형 개질 아스팔트 등이 우수한 것으로 나타났으며 특히 PMA와 수반응형 아스팔트는 높은 강도를 나타내어 내구성 측면에서 우수한 것으로 나타났다. 차량 하중 등에 의한 변형의 최소화를 확인할 수 있는 동적 안정도 측면에서는 수반응형 개질 아스팔트 혼합물이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 생산성을 고려하여 혼합물의 취급 온도도 수반응형 개질 아스팔트가 상온에서 제작이 가능하기 때문에 가장 효과적인 것으로 확인되었다. 임의의 형태로 제작하기 위한 혼합물의 다짐에는 SMA와 PMA는 일반 밀입도와 마찬가지로 마샬 충격 다짐이 필요하지만 구스 아스팔트 및 수반응형 개질 아스팔트는 별도의 충격 다짐이 필요없고 수반응형 개질 아스팔트는 일정 수준의 전압에 의한 다짐만 요구되는 것으로 확인되었다.

표 3.33 프리캐스트 보수재료 선정 평가

	SMA	PMA	구스 아스팔트	수반응형 개질아스팔트
내구성	○	◎	△	◎
강도	○	◎	△	◎
생산성	△	△	○	◎
보관성	○	○	△	○

◎ : 아주좋음 ○ : 좋음 △ : 보통 × : 나쁨

다양한 평가를 실시한 결과, 위의 표에서 보는바와 같이 내구성, 강도, 생산성 측면에서 가장 좋은 평가를 나타낸 수반응형 개질 아스팔트를 최종적으로 프리캐스트 보수재료로 선정하였다. 강도와 내구성 측면에서는 시험결과에서 보는바와 같이 타 혼합물에 비해 매우 우수한 것으로 나타났으며 생산성 측면에서도 상온에서 취급되기 때문에 별도의 가열 장치 등이 불필요하여 효율측면에서 우수한 것으로 나타났다. 또한 강도발현을 위한 다짐에 있어서도 일반적인 가열 아스팔트 혼합물과는 달리, 물과 반응하여 경화되기 때문에 일정 수준의 전압에 의한 다짐만 진행되면 제작 시 공급되는 물과 반응하여 충분히 강도발현이 가능한 장점이 있다.

(라) 프리캐스트 보수재 시험 제작

프리캐스트용 보수재의 크기 및 두께를 결정하기 위하여 경기도 및 충청남북도 지역의 국도 및 지방도 등의 현장조사를 실시하였다. 주로 교통량이 많은 일반국도 및 국가지원 지방도 등을 조사하였으며, 포트홀 파손의 특성 상 우천 직후 조사를 실시하였다.

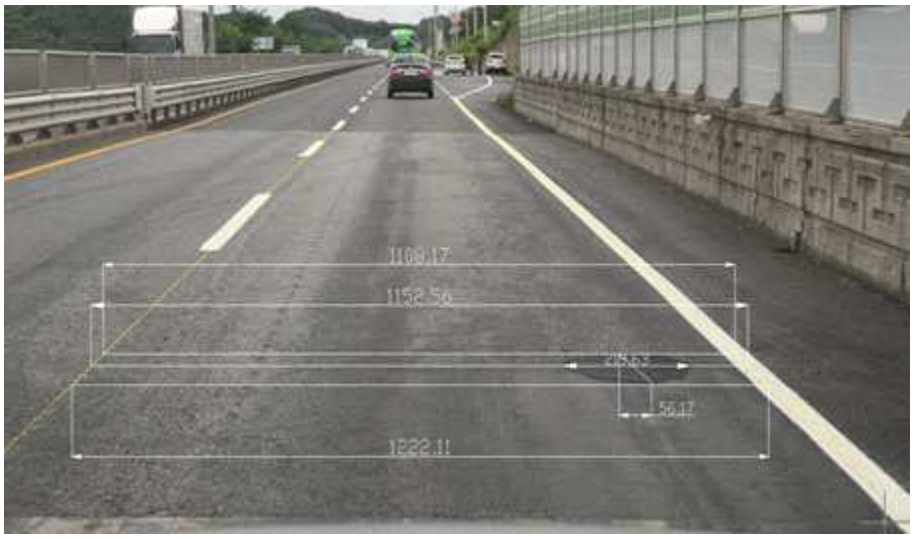


그림 3.33 포트홀 파손 조사 방법



그림 3.34 포트홀 파손 현장조사 사진

연구진이 포트홀 파손구간에 대한 조사를 실시한 결과, 위의 사진에서 보는바와 같이 대부분 긴급보수를 마친 구간들이 대부분이었다. 포트홀 파손의 특성상 우천 시 포트홀이 발생하면 응급보수를 반드시 해야하는 상황이기 때문에, 본 연구진이 최초 포트홀이 발생한 크기나 제원을 현장에서 직접 확인하기가 거의 불가능한 상황이었다. 궁여지책으

로 서울시나 한국도로공사 등의 유관기관에 협조를 요청하여 자체적인 포트홀 발생에 따른 현장조사 데이터 등을 확인하였으나, 이 역시 존재하지 않음을 확인할 수 있었다.

그리하여 본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 보수재의 크기를 결정하기 위해서는 일정 수준의 크기로 제한하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다. 포트홀 파손은 발생 직후 응급보수를 실시하기 때문에 그 크기가 초기에는 작다. 포트홀 발생 이후 응급보수를 실시하지 않고 방치할 경우에는 크기가 증가하지만 본 연구에서 추구하는 목표는 포트홀 발생 직후 보수를 원칙으로 하기 때문에 일정 수준의 크기로 제시하는 것이 바람직하다. 물론 보수재의 크기가 클수록 다양한 파손에 대한 보수가 가능하므로 효과적이긴 하겠지만 보수재의 제작이나 시공장비의 제원 등을 고려하였을 때 크기가 커질수록 많은 제약이 따르는 것이 사실이다. 그러므로 본 연구진은 포트홀 파손의 정의에 입각하여 지름을 최대 50㎝ 이내로 제한하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다.

본 연구진은 우선 위에서 결정된 프리캐스트 보수재료인 수반응형 개질 아스팔트 재료를 이용하여 원형의 프리캐스트 시편을 시험 제작하였다. 연구진이 제시한 최대 크기에 맞추어 다음의 그림에서 보는바와 같이 50㎝, 40㎝, 30㎝의 지름을 가지는 원형의 몰드를 성형하여 제작하였다. 또한 프리캐스트 보수재의 두께는 일반적인 포장의 표층 두께인 5㎝와 아스팔트 교면포장의 두께인 8㎝를 고려하여 2가지 타입으로 제작하였다.



그림 3.35 프리캐스트 보수재 시험시편 제작 몰드

몰드를 이용하여 수반응형 개질 아스팔트 혼합물을 채우고 인력다짐을 이용하여 전압으로 다짐을 실시한 후 가수를 실시하여 최종 시험시편 제작을 마무리하였다.



그림 3.36 프리캐스트 보수재 시험시편 제작



그림 3.37 프리캐스트 보수재 시험시편 제작 완료

(3) 채움재 개발

본 연구에서 개발하고자 하는 프리캐스트 보수재의 기본적인 개념은 미리 성형된 일정 크기의 보수재료를 그 크기에 맞도록 제거된 파손부에 삽입하여 고정, 설치하는 것으로, 보수재를 삽입 후 고정하기 위해서는 접착제 역할을 할 수 있는 채움재를 사용해야 한다. 시공 초기 채움재의 양생 및 강도발현시간 확보를 위해 프리캐스트 채움재 중앙에 앵커볼트 등을 장착할 수 있도록 구상하고 있지만, 부착뿐만 아니라 프리캐스트 보수재와 기존 아스팔트 포장면 사이로 우수 및 이물질 등의 침투를 억제시키기 위해서도 채움재는 반드시 적용되어야 한다.

채움재를 선정하기에 앞서, 우선 본 연구에서 요구하는 채움재의 특징 및 조건 등은 다음과 같다.

- 응급보수 적용에 따른 속경성 재료
- 우수 등의 수분 민감도 최소화
- 아스팔트 혼합물과의 부착성 우수
- 가격 경쟁력 확보

채움재는 응급 보수에 사용되기 때문에 반드시 속경성 재료이어야 하며 포트홀 파손부를 제거한 단면이 완전 건조 상태가 아니기 때문에 표면에 남아있는 수분 등에 대해서 품질의 변화가 없어야 한다. 또한 보수재료와 기존 아스팔트 포장면과의 부착성이 우수하여 차량 하중 등에 의한 탈락을 최소화 할 수 있는 재료를 선정해야 하며 보수재료의 경제성을 고려하여 가격 경쟁력을 확보할 수 있어야 한다. 이러한 채움재의 특징 및 요구조건 등을 고려하여 다음과 같이 다양한 재료에 대한 문헌조사를 실시하였다.

(가) 채움재용 재료 검토

① 초속경 시멘트 그라우트

시멘트 그라우트제는 시멘트와 잔골재 및 혼화재 등을 미리 혼합하여 현장에서 물과 혼합하여 바로 사용할 수 있도록 만들어진 제품으로, 주로 연약지반이나 옹벽, 터널 등의 보강용으로 사용된다. 여기에 사용되는 시멘트의 종류 및 혼화재 등을 토대로 일반 그라우트제 및 초속경 그라우트제 등으로 나누어 현장에 맞도록 사용한다. 본 연구에서 적용

하고자 하는 채움재 용도는 도로 포장의 응급보수용으로, 절단면의 모체 아스팔트와 프리캐스트 아스팔트 보수재 사이를 안정적으로 부착시키는 동시에 빠른 경화속도를 발휘할 수 있어야 한다. 초속경 그라우트제의 일반적인 특성은 다음과 같다.

- 2시간 이내 완전 경화(약 30㎫ 강도 발현)
- 무수축 및 속경성 강도
- 유동성 우수
- 기존 콘크리트상의 보수 및 도로 보수용으로 적용



그림 3.38 초속경 시멘트 그라우트제

표 3.34 초속경 시멘트 그라우트제 물리적 특성(응결 및 강도 특성)

구 분	응결시간(분)			압축강도(N/㎟)				
	표준수량(%)	초 결	종 결	2H	1일	3일	7일	28일
초속경 그라우트	15	15	20	30	45	50	55	60

초속경 그라우트제는 시멘트의 수화반응을 통해 응결되는 취성재료로, 연성재료인 아스팔트 포장 재료와는 그 성질이 다소 차이가 있다. 초속경 그라우트제가 응결되어 있는 상태에서 차량 하중 등에 의한 외적 하중이 내부 응력 이상 작용하게 되면 프리캐스트 보수재와 아스팔트 단면 사이에서 파괴가 일어나 보수재료 전체가 탈리되는 현상이 발생할 수 있다. 그러므로 재료의 선정을 위해서 부착강도 시험 등을 수행하여 적용성을 검토하여야 할 것으로 판단된다.

② 2액형 타입의 경화제

에폭시나 우레탄 타입의 경화제는 2액형(주제 및 반응제)의 화학적 반응에 의해 도막이 망상구조로 결합되어 여러 가지의 내구성이 높은 물성을 나타내는 재료이다. 일반적으로 사용되는 1액형 본드는 단순히 수분이나 공기 중에 노출되어 건조되면서 도막이 단일구조로 형성되는 것을 말한다. 반면에 2액형 타입의 경화제는 안정화 되는 상태 및 시점 등을 조절할 수 있기 때문에 2성분형인 에폭시나 우레탄이 기본적인 물성이 우수하다고 할 수 있다.

2액형 타입의 우레탄계 접착재는 폴리올계 성분의 주제와 MDI계 성분의 경화제로 구성되며 건식에서는 순수 고강도우레탄 고결체를 형성하고 습식에서는 일부 발포고결체를 형성하는 재료이다. 콘크리트보다 우수한 기계적 물성을 지니고 있어 대형 콘크리트 구조물의 건식 및 습식 균열 보수용으로 사용이 가능하며 강도발현 시간을 조절할 수 있는 장점이 있다. 2액형 우레탄 접착제는 다양한 용도로 사용할 수 있는 재료로 우레탄 재료를 변성하여 목재, 플라스틱, 유리 등의 건축자재 뿐 만 아니라 금속, 철판 등의 철도 및 자동차용으로도 사용되고 있다. 2액형 우레탄 접착제의 기본적인 물성은 다음과 같다.



- 점도 : 200±30 mpa.s
- 혼합비 : 100:100
- 압축강도 : 700 kg/㎠
- 굽힘강도 : 700 kg/㎠
- 인장강도 : 400 kg/㎠
- 인장전단접착강도 : 100 kg/㎠
- 경화시간 : 3 ~ 300 min

그림 3.39 2액형 우레탄 접착재

2액형 에폭시는 접착성과 내화학성이 우수하여 국내 뿐 만 아니라 해외에서도 널리 사용되는 건설재료 중 하나이다. 건설 분야에서 에폭시의 용도는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째로는 콘크리트 구조물이나 강구조물의 표면 강화와 부식을 방지하기 위한 도장재료의 일종으로 사용되며, 둘째로는 콘크리트 구조물에서 균열 및 박리 현상이 발

생하였을 경우 더 이상의 열화현상 진전을 방지하기 위한 보수재료로 사용된다. 셋째로는 탄소섬유나 폴리섬유류를 이용한 구조물 보강재의 접착제로 사용된다. 에폭시 접착제에 사용되는 에폭시 수지의 일반적인 특징은 다음과 같다.

- 경화에 있어 수축반응이 매우 작고 휘발물이 발생하지 않는다.
- 경화수지의 전기적 성질이 매우 우수하다.
- 기계적 성질이 매우 우수할 뿐만 아니라 형상 안정성이 매우 좋다.
- 기계 가공성이 좋은 것을 만들 수 있다.
- 내수성, 내약품성이 우수하며 화학 저항력이 높은 것을 만들 수 있다.
- 가소성이 우수한 성질을 부여할 수 있다.
- 내마모성이 우수한 성질을 부여할 수 있다.
- 각종의 충전재, 예를 들면 무기, 유기, 금속분, 모래 등을 다양하게 첨가할 수 있다.
- 금속, 목재, 시멘트, 유리, 플라스틱 등 거의 모든 것에 접착시킬 수가 있고 또한 금속과 시멘트 등, 이질 물질간의 접착제로 사용할 수 있다.
- 저장 안정성이 높고 경화제를 첨가하지 않으면 기후, 온도에 관계없이 장기간 보존이 가능하다.

도로 및 교량건설에 있어서 콘크리트 보강재로 에폭시 수지가 사용되어 노면의 미끄럼 저항을 높이고 콘크리트의 동결융해 작용에 대한 보호재 및 제설재의 화학적 침해를 방지하는 보호용으로도 응용되고 있다. 또한 건설 분야의 표면 강화용으로 사용되는 에폭시의 구성을 조절하면 균열이나 패인 부분의 콘크리트 보수용으로 사용이 가능하다. 본 연구에서 요구하는 바와 같이 콘크리트 및 아스팔트, 콘크리트와 골재와의 접합용 접착제 등으로 활용될 수 있으며, 이는 경화된 콘크리트 및 아스팔트와 접촉하여 결합강도를 우수하게 할 수 있는 에폭시 수지 배합물의 가공법에 따라 조절이 가능하다. 2액형 에폭시 접착제의 기본적인 물성은 다음의 표와 같다.

표 3.35 2액형 에폭시 접착제 제원표

항 목	내 용
계열(Base Chemistry)	Epoxy Accel, Amine
배합비(주제:경화제)	1 : 1~1.5
점도(CPs)	20 ~ 25
작업시간(min)	5 ~ 60
경화시간(min)	20 ~ 300

③ 실리콘계 실런트(Sealant)

일반적으로 실런트라고 하면 토목, 건축, 자동차, 선박 등 다양한 산업계에서 사용되고 있는 용어로, 부재 상호간의 접합부, 빈틈에 사용되어 기밀, 수밀의 기능을 담당하고 부재 상호간의 신축, 진동, 변형을 흡수, 완화하기 위한 고무상의 물질 또는 연질의 액상 고무 조성물을 나타내는 말이다. 도로 포장에서는 주로 균열이나 시공 및 접합부 조인트 충진용으로 많이 사용하고 있다. 이런 실런트 재료로 가장 많이 사용하고 있는 것이 실리콘 실런트이다. 실리콘(Silicone)은 규소를 원료로 하여 합성한 규소 수지이며 중합의 정도에 따라 유상체, 고무모양, 수지 모양 등으로 만들어진다. 섬유제품에 많이 이용되고 있는 것은 기름과 같은 모양의 실리콘으로 온도에 따라 변화하는 특성을 가지고 있다. 건축 및 내장용으로 사용되는 일반적인 실리콘 실런트는 초산타입으로 접착두께와 양, 씰링 면적 등에 의해 양생시간이나 발현 물성치에 다소 차이가 있으며 적용하는 표면에 수분이 존재하면 정착이 어려운 단점이 있다.

하지만 건설용으로 특수 제작된 실리콘계 실런트의 경우는 비용이 다소 높긴 하지만 기능성을 부가하여 사용자들의 선택의 폭을 넓혔다. 그중에서도 물에 대한 저항성이 높고 수분이 존재해도 정착에 큰 문제가 없으며 1액형 타입으로 속경성을 나타내는 실리콘 실런트도 다양하게 존재한다. 다음은 건설용으로 사용되는 하이브리드계 실런트의 특징 및 물성치를 나타내었다.

- 1액형 실런트 및 접착제 타입
- 물과 닿는 부분에도 강력한 접착력 확보
- UV, 기후변화 및 변질에 강함
- 내, 외장재로 모두 사용 가능

- 두껍게 도포하여도 접착력이 좋고 빠른 경화 가능
- 냄새가 거의 없고 화학제품에 대한 저항력 우수

표 3.36 하이브리드계 실리콘 실런트 제원표

항 목	내 용
온도 내성	-40 ~ 90℃
취급온도	5 ~ 40℃
밀도	1.39 g/㎤
무브먼트 허용치	10%
경도	약 55
최대인장력	35 kg/㎠
권장 보호기간	9개월

④ 구스 아스팔트 바인더

구스 아스팔트 혼합물은 석유 Asphalt에 트리니다드 레이크 아스팔트 또는 열 가소성 Elastomer 등의 개질재를 혼합한 바인더로 고온에서 유동상의 아스팔트 혼합물로 도로(특히 교면)의 방수와 내구성 포장을 동시에 해결하는 포장용 바인더 재료이다. 본 바이더의 가장 우수한 장점은 혼합물의 공극이 거의 존재하지 않기 때문에 방식·방수성이 우수하고, 우천시 하부구조로 수분의 침투가 거의 이루어지지 못함으로써 하부구조의 연약화로 인한 포장층의 파손을 예방할 수 있는 큰 장점이 있다.



그림 3.40 구스 아스팔트와 포장층과의 접착 단면

- 불투수성

일반 아스팔트를 개질하여 내구성능을 증대시킨 아스팔트 바인더 수분에 의한 침투가 없는 불투성 재료로서 내식성 및 내방수성이 매우 우수하다.

- 다짐 불필요

고온에서 재료를 배합하기 때문에 유동성이 좋아 완벽한 충진 및 시공성이 우수하다.

- 휨 추종성 및 내충격성

우수한 물리적 특성으로 인하여 차량 하중에 따른 모체의 거동에 대하여 우 수한 휨 추종성 및 내충격성을 가지고 있다.

- 접착성

교량 강상판 혹은 다른 재료와의 접착력이 매우 우수하여 접착불량으로 인한 포장파손의 우려가 거의 없다(부착강도 20㎏/㎠이상).

표 3.37 구스 아스팔트의 표준 물성표

종 류 / 항 목	구스 아스팔트 바인더
침입도(25℃), 1/10mm	15-30
연화점, ℃	58-68
신도(25℃), cm	10이상
증발질량변화율, %	0.5이하
삼염화에틸렌가용분, %	86-91
인화점, ℃	240이상
밀도, g/㎤	1.07-1.13

(나) 채움재료 추가 검토

1차년도에 여러 차례의 시험을 통해 채움재로 가장 적합한 것으로 선정된 재료는 구스 아스팔트 바인더와 2액형 에폭시였다. 앞에서 언급한 바와 같이 직접인장강도는 2액형

에폭시가 우수한 것으로 나타났지만 접착력의 유지를 판단할 수 있는 전단접착강도 측면에서는 구스 아스팔트 바인더가 더 우수한 것으로 나타났다.

2차년도에는 채움재로 효과를 발휘할 수 있는 추가적인 제품군을 개발하는데 주력하였다. 앞에서 제시한 바와 같이 프리캐스트 보수 시스템에 적용하고자 하는 채움재의 특징 및 조건을 반영하기 위한 가장 중요한 요소가 빠른 경화시간이다. 포트홀 보수에 있어 작업시간 및 교통개방시간을 고려하면 채움재의 경화시간이 단축될수록 보수에 필요한 소요되는 시간이 줄어들기 때문이다. 하지만 1차년도에 진행되었던 채움재료를 이용하여 경화시간을 확인한 결과, 60분 이내에서는 충분히 경화되는 것으로 나타났지만 시간을 줄이기 위해 30분 기준으로 측정한 결과, 경화가 되지 않아 접착강도 시험이 진행되지 못하는 문제가 발생하였다. 그리하여 본 연구진은 기본적인 물성을 발현하면서 초속경으로 강도발현이 가능한 2가지 타입의 재료를 추가로 선정하여 검토하였다.

① 2액형 우레탄

2액형 타입의 우레탄계 채움재는 폴리올계 성분의 주재와 MDI계 성분의 경화제로 구성되며 건식에서는 순수한 고강도 우레탄 고결체를 형성하고 습식에서는 일부 발포 고결체를 형성하는 재료이다. 콘크리트보다 우수한 기계적 물성을 지니고 있어 대형 콘크리트 구조물의 건식 및 습식 균열 보수용으로 사용이 가능하며 강도발현 시간을 조절할 수 있는 장점이 있다. 2액형 우레탄 채움재는 다양한 용도로 사용할 수 있는 재료로 우레탄 재료를 변성하여 목재, 플라스틱, 유리 등의 건축자재 뿐 만 아니라 금속, 철판 등의 철도 및 자동차용으로도 사용되고 있다. 다음의 표는 2액형 우레탄의 물성과 강도를 나타낸 것이다.

표 3.38 2액형 우레탄의 물성

	밀도 (23℃)	점도 (cPs),23℃
주재(A)	1.02	50.0
경화재(B)	1.19	
○ 가 사 시 간 : 300초 ○ 표면경화시간: 390초 ○ 완전경화시간: 4시간		



그림 3.41 2액형 우레탄 접착재

② 2액형 에폭시 우레아

2액형 에폭시를 대신하여 여러 가지 타입의 채움재를 검토항여 경화시간을 크게 단축시킬 수 있는 재료로 에폭시에 우레아 수지를 첨가한 2액형 에폭시 우레아를 검토하였다.

우레아 수지는 우레아와 포름 알데하이드를 반응시켜서 얻어지는 무색투명의 열경화성 수지로서 그 역사는 오래되었으며 1920년경에 이미 공업적인 응용연구가 상당히 이루어졌다. 현재는 접착재, 성형재료, 섬유 및 종이 가공용 등에 다량으로 이용되고 있으며 접착강도가 크고 또한 경화가 빠르기 때문에 생산량의 대부분(80% 이상)은 합판용 접착재로 사용되고 있다. 성형품으로서는 내아크성에 뛰어나기 때문에 여러 가지의 전기부품에 착색이 자유롭고 많은 종류에 일용 잡화용품에 사용되고 있다. 2액형 에폭시 우레아는 초속경화형으로 다목적 프라이머 코팅과 신속한 보수·보강을 위한 접착재이며 저온에서도 사용이 가능하다.

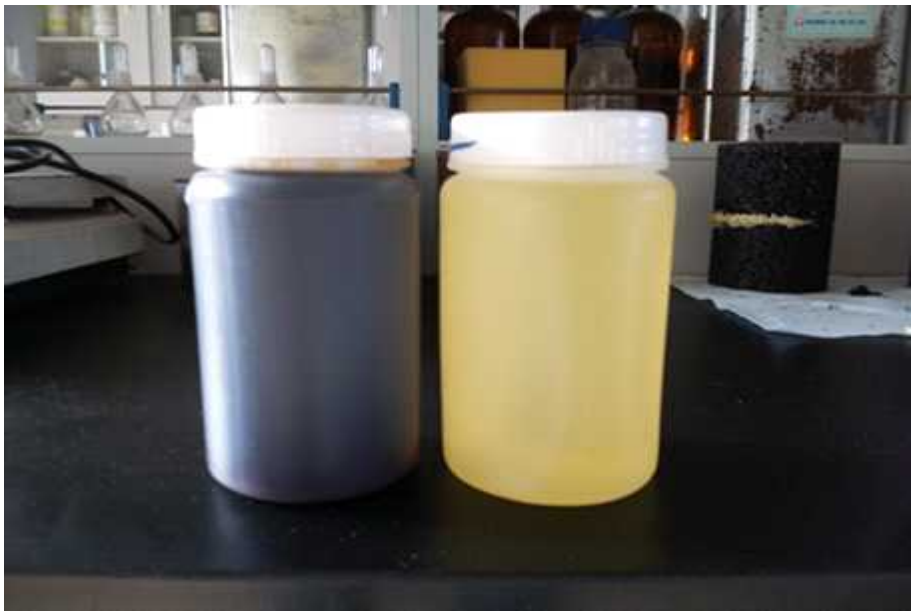


그림 3.42 2액형 에폭시 우레아의 주재(A)와 경화재(B)

다음의 표는 2액형 에폭시 우레아의 물성과 강도를 나타낸 것이다.

표 3.39 2액형 에폭시 우레아의 물성

	밀도 (25℃)	점도 (cPs)
주재(A)	1.118	17.76
경화재(B)	0.973	14.4
○ 가 사 시 간 : 2분 ○ 지촉건조시간: 4분30초 ○ 완전경화시간: 20분		

표 3.40 2액형 에폭시 우레아의 강도

	인장강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	휨강도 (MPa)	부착강도 (MPa)	신장율
1시간	23.36	26.4	17.7	8	50%이내
3시간	27.78	29.3	19		
1일	31	34.3	20		
7일	32	36.2	20		

③ 채움재 적용성 검토

본 연구에서 검토한 2액형 우레탄은 NCO함량에 따른 타입이 세가지로 타입Ⅰ, 타입Ⅱ, 타입Ⅲ로 나타낼 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 채움재의 초기 경화속도를 줄이기 위해 다음의 그림에서 보는바와 같이 각각의 타입에 따라 경화시간을 육안으로 측정하였다.

2액형 우레탄의 타입Ⅰ의 경우 반응이 30분 안에 완전경화가 이루어지지 않았고 타입Ⅱ, 타입Ⅲ에 경우에도 30분 안에 완전경화는 이루어지나 연질을 띄었다. 그리하여 2액형 우레탄에는 촉매를 0.3%~1.5%를 투입하여 경화시간을 조절해 보았으며, 최종적으로 0.5%가 채움재 총 중량 외에 사용하였다. 촉매는 사용량에 따라 초기 경화 시간에는 영향을 주나 완전 경화시간은 단축시키지는 못하였다.

2액형 에폭시 우레아의 경우는 초속경화형의 물질로 같은 조건하에서 2액형 우레탄보다 경화가 빠르게 일어났다. 주재에 경화재를 투입 후 10분이 지났을 때 유동성이 거의 없었으며 30분이 지나면 완전 경화가 일어났고 2액형 우레탄에 비해 경질을 띄었다. 2액형 에폭시 우레아의 경우는 자체적으로 경화가 빨리 이루어져 촉매를 사용하지 않았다. 채움재 선정에서 우선적으로 생각해야 하는 경화속도 측정에서 2액형 우레탄 타입Ⅰ은 제외하였다. 최종적으로 채움재를 선택함에 있어서 2액형 우레탄 타입Ⅱ, 타입Ⅲ와 2액형 에폭시 우레아를 검토하기로 하였다.

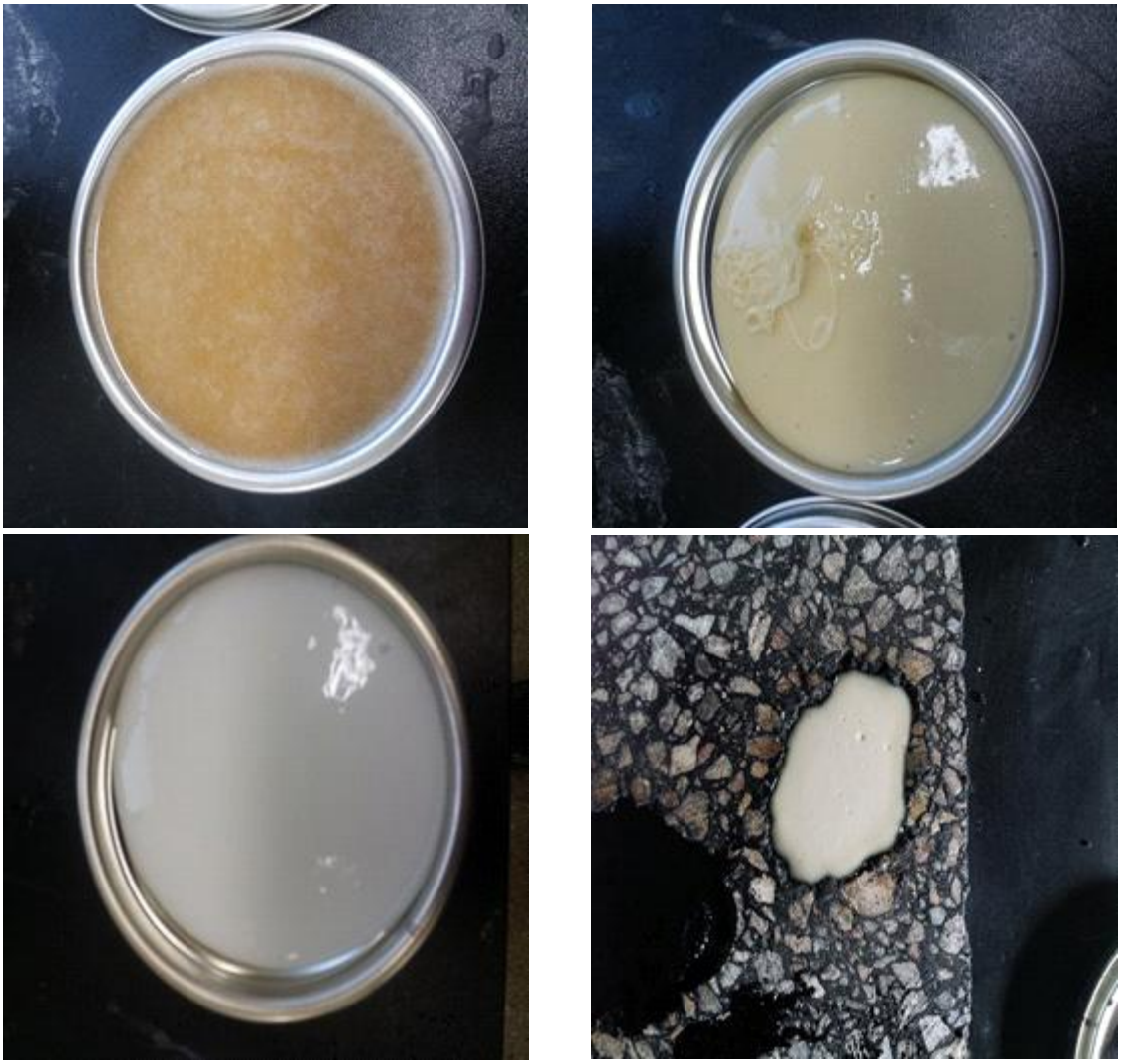


그림 3.43 2액형 우레탄과 2액형 에폭시 우레아의 경화 모습
(좌측상단부터 2액형 우레탄 타입Ⅰ, 타입Ⅱ, 타입Ⅲ, 2액형 에폭시 우레아)

채움재의 특성상 프리캐스트 보수재와 기존 포장면과의 접합면을 채워주는 역할을 하므로 점성이 낮거나 별도의 필러가 첨가되지 않으면 투입되는 양이 많아져 경제적인 측면에서 불리하다. 이런 단점을 보완하기 위하여 각각의 채움재에 필러를 첨가하는 것을 검토하였다. 시멘트 또는 석회는 프리폴리머 반응시에 이산화탄소의 발생으로 인한 발포를 억제하는 효과가 있으며 실리카의 경우는 특히 석회석 등 비금속 광물에 비해 경도와 순도가 높고 결정질 구조를 갖고 있기 때문에 기계적인 강도 보강과 내화학성 등의 목적으로 사용된다.

채움재에 첨가하는 필러로 시멘트 및 실리카(Silica)를 우선적으로 검토하였는데 시멘트는 일반적인 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 실리카는 호주산 규사를 적용하였다. 실리카의 주 용도로는 각종 유리, 도자기 소지 및 유약, 주물사, 몰탈, 고강도 시멘트, 고무나 플라스틱의 충전제, 분체도료, 도료표지용 도료, 에폭시 컴파운드 등에 사용된다. 다음

의 표에서 나타난 바와 같이 필러도 종류에 따라 입자 크기와 비중 및 유분 흡수성 등에 따라 차이가 있는데 선정된 채움재와의 비중을 생각하여 1.0~1.5사이의 필러를 선택하였고 경제성 및 분산성 등을 비교 검토하여 S-SIL30을 선택하였다. 필러의 성분은 대부분이 SiO2로 99% 이상이 들어가며 그 외에는 여러 첨가물이 들어간다.

표 3.41 필러의 물리적 성질

화학성분 (%)	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	비 고
WET SAND	99.5	0.08	0.015	0.02	0.02		수분:5.0%↓
DRY SAND	99.5	0.08	0.015	0.02	0.02		수분:0.1%↓
S - SIL	99.3~99.8	0.06~0.5	0.01~0.07	< 0.02	< 0.02	< 0.01	

표 3.42 필러의 화학적 성질

입자 사이즈	종 류	Median Particle Size	Oil Absorption (g/100g)	pH	bulk density (g/㎤)	
					(Tapped)	(Untapped)
silica sand	Wet Sand	60mesh	-	-	-	-
	Dry Sand	60mesh	-	-	-	-
silica flour	S - SIL 40	26.6 ㎛	17	7.2	1.47	1.15
	S - SIL 30	14.1 ㎛	19.0	7.0	1.35	0.95
	S - SIL 20	12.4㎛	20.0	7.1	1.21	0.91
	S - SIL 10	4.2 ㎛	24.0	7.1	0.91	0.73
	S - SIL 5	2.2㎛	28.0	6.5	0.77	0.56
	S - SIL 3	2.0㎛	29.0	6.5	0.72	0.50

(다) 채움재를 위한 시험

① 인장 접착 강도 시험

채움재는 프리캐스트 보수재와 기존 아스팔트 포장과의 부착을 향상시키고 신재와 구재 사이를 충진하여 우수 등의 수분 침투를 억제하는 역할을 한다. 따라서 다양한 채움재들을 검토하여 인장 접착 강도 시험을 통해 적용 가능성을 평가하였다.

② 시험계획

인장 접착 강도를 측정하기 위해서 본 연구진은 'KS F 4931 교면용 시트 방수제' 및 'KS F 4932 교면용 도막 방수제'에서 제시하는 시험 기준을 근거로 계획을 수립하였다. 위의 기준에 따르면 시험용 시편은 100㎜ × 100㎜ 크기의 사각형 형태로 제작하여야 하며, 상부 및 하부 인장용 지그를 접착제로 접착하여 충분히 경화시켜 시험을 실시하여야 한다.

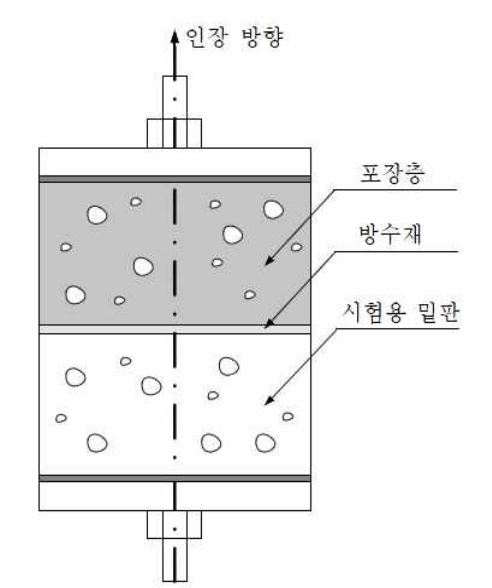


그림 3.44 인장 접착 강도 시험법
(KS F 4931, 4932)

본 연구에서는 프리캐스트 형태를 고려하여 시편을 원형으로 제작하여 시험하였으며 아스팔트 마샬 안정도 시험을 위한 시편용 크기(직경 4inch)를 기준으로 제작하였다. 프

리캐스트 보수재는 일반 아스팔트 혼합물을 사용하였으며, 하부 아스팔트는 아래의 그림과 같은 표면처리 종류를 나누어 시험하였다.

아스팔트 바인더는 원유 정제과정에서 생성되는 부산물로 열이 가해지지 않으면 타 재료와의 부착 등이 쉽지 않다. 그러므로 포트홀 발생 구간을 제거할 때 표면처리를 어떤 방법으로 적용하는 것이 부착강도 측면에서 효과적인지를 확인하기 위해 세 가지 형태로 나누었다. 와이어 브러쉬를 적용한 단면은 골재의 텍스쳐는 그대로 유지한 상태에서 골재를 둘러싸고 있는 바인더만 제거한 상태이고 그라인딩을 적용한 단면은 골재의 단면을 노출시켜 표면이 매끈하도록 제작하였다.



그림 3.45 하부 아스팔트 표면처리 및 시편제작

시험용으로 선정한 채움재는 앞에서 조사한 채움재 중 속경성이고 접착강도가 높은 재료들 위주로 선정하였다. 시멘트 계열 중에서는 가장 강도발현이 빠르고 범용으로 사용되는 초속경 그라우트제를 선정하였으며 2액형 타입의 경화제 중에서는 양생속도대비 강도발현율이 높은 2액형 우레탄계 접착제를 사용하였다. 다소 양생속도는 느리지만 1액형 타입으로 사용이 쉽고 간편한 초속경 실리콘 실런트도 시험용으로 포함시켰으며 보수재료와 기존 포장면이 아스팔트인 점을 감안하여 동종 재료인 구스 아스팔트용 바인더를 접착제로 사용해 보았다. 본 시험에서 진행하고자 하는 변수들은 다음의 표에 나타난 바와 같다.

표 3.43 인장 접착 강도 시험을 위한 변수 설정

항 목	변수 내용
프리캐스트 보수재	일반 밀입도 혼합물 (추후 보수재료별 평가)
바닥 아스팔트 표면처리	아스팔트 표면 / 브러쉬 처리 / 그라인딩
채움재 종류	- 초속경 그라우트제 - 2액형 타입의 경화제 - 초속경 실리콘 - 구스 아스팔트 바인더

③ 1차 시험

인장 접착 강도 시험을 위해 아래의 그림에 나타나있는 'Hounsfield 社의 H50K'라는 만능시험기(UTM)를 이용하였다. 장비의 제원은 다음 표에 나타나 있으며, 아스팔트 방수 자재 시험용으로 사용되는 장비이기 때문에 허용 하중용량은 크지 않다. 하지만 기본적인 인장 접착 강도 시험을 수행하기에는 큰 어려움은 없었다.



그림 3.46 인장 접착 강도용 만능 시험기

표 3.44 인장 접착 강도 시험장비 제원표

항 목	내 용
하중 용량(Capacity)	50 kN (5 ton)
시험속도(Min/Max)	0.01 / 500
분해능(㎜)	0.001
정확도(㎜)	0.01
속도 정확도(% of full speed)	± 0.5

본 연구진은 인장 접착 강도 시험법에 의거하여 초속경 그라우트제와 2액형 우레탄 접착제, 구스 아스팔트 바인더 등을 이용하여 초기 시험을 실시하였으며, 3가지 표면처리 시편을 적용하였다. 먼저 상부(프리캐스트 보수재)와 하부(기존 아스팔트 포장)에 인장용 디스크를 장착하였으며, 디스크 장착부의 양생이 완료된 후 다음의 그림에서 보는 바와 같이 채움재 재료를 도포하여 부착시켰다. 채움재 부착 후 상온에서 1시간 양생을 실시하여 각 재료별로 인장시험을 실시하였다.



그림 3.47 인장 접착 강도 시험용 시편제작 (1차시험)

시험을 진행하면서 한 가지 문제가 발생하였다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이 양쪽 시편에 디스크를 미리 설치한 후 채움재를 부착시켜 인장 시험기에 거치를 하다 보니, 채움재 접착 시 접착면과 수직한 방향으로 인장 시험을 위한 중심축에 디스크 축이 어긋나 버리면 인장시험 수행이 어려운 문제가 발생한 것이다.

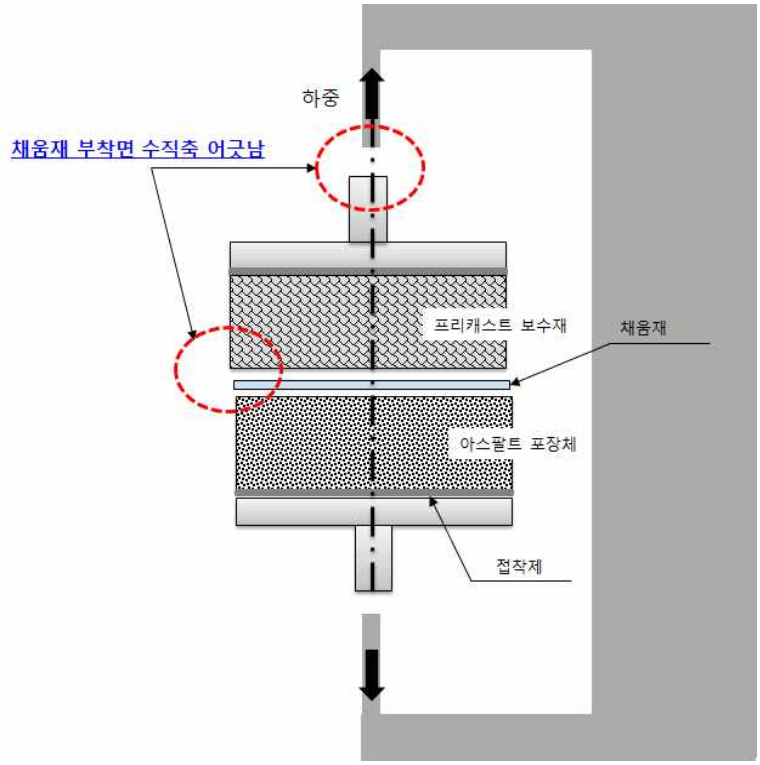


그림 3.48 인장 접착 시험 불량 사례

이러한 문제로 인해 시편 27개에 대한 시험을 수행한 결과, 축이 어긋나게 접착된 시편들이 절반 이상을 차지하였고 실제 시험이 가능한 시편들 중에서도 양생이 불량하여 시험 데이터로 사용하기 어려운 경우가 많이 발생하였다. 또한 시험 변수는 많은데, 인장용 접착 디스크가 한정적이어서 다량의 인장 접착 시험을 수행하는데 어려움이 있었다.



그림 3.49 축 어긋남에 따른 시험 제약 및 채움재 양생 불량사례

본 연구진은 1차 시험 실패의 원인을 분석하고 2차 시험에서 이를 극복하기 위한 방법으로 다음과 같이 시험방법을 수정하였다.

- 채움재 부착에 따른 수직축 어긋남 현상 : 디스크 연결부와 만능시험기 연결부 사이에 긴 체인을 연결하여 축이 어긋난 부분을 체인이 상쇄시키도록 함
- 양쪽으로 디스크를 접착하여 시험하기에는 디스크의 수가 제한적이며 디스크 접착 후 별도로 양생이 필요하기 때문에 하부 아스팔트를 고정할 수 있는 고정용 지그를 별도로 제작하여 운영
- 일부 채움재의 양생이 미달한 점을 감안하여 양생조건을 채움재 적용 후 1시간으로 통일하고 25℃ 건식 항온조에서 양생하도록 조정

④ 2차 시험

1차 시험에서 발생한 문제점들을 보완하여 2차 시험을 수행하였다. 우선 디스크 연결부와 시험기 연결부 사이에 축 어긋남 문제를 해결하기 위해 다음의 그림에서 보는바와 같이 긴 체인을 연결하였다. 그리고 항온조를 이용하여 채움재별 양생 조건을 동일하게 적용하였으며 온도는 25℃로 설정하였다.



그림 3.50 연결부 체인 체결 및 항온조 양생

또한 많은 변수의 시험들을 수행할 수 있도록 하부 아스팔트 고정용 지그를 제작하여 사용하였다. 고정용 지그의 원리는 아래의 그림에서 보는바와 같이, 밴드 형태의 고정단에 볼트를 체결하면 고정단이 내려가면서 측면에 있는 조임용 밴드가 하부 아스팔트 시편을 조여 고정시키게 된다. 볼트를 연결하는 고정단과 조임용 밴드는 접합부가 경사면으로 되어 있어 볼트 조임에 의한 수직력을 수평력으로 전달하도록 고안되었다.



그림 3.51 하부 아스팔트 고정용 지그 제작

이렇게 제작된 지그를 이용하여 1차 시험에서 수행하지 못했던 변수들에 대한 2차 시험을 수행한 결과, 다음의 표와 같은 결과를 얻었다. 하부 아스팔트에 표면처리를 하지 않은 경우, 구스 아스팔트 바인더가 가장 높은 인장 접착 강도값을 나타내었으며 초속경 그라우트제가 가장 낮은 값을 나타내었다. 브러쉬를 이용한 표면처리 시편에서도 구스 아스팔트 바인더가 가장 높은 값을 나타내고 있었다. 하지만 그라인딩 표면처리 시편에서는 초속경 그라우트제가 가장 높은 강도를 나타냈으며 2액형 에폭시와 구스 아스팔트 바인더는 다소 낮은 값을 나타내었다. 이는 아스팔트 표면과 바인더만 제거한 표면처리 시편의 경우 같은 계열의 아스팔트 재료인 구스 아스팔트 바인더를 사용할 때 가장 높은 인장 접착 강도를 발현하는 것을 확인할 수 있었으며, 골재면을 노출시킨 그라인딩 표면처리는 시멘트 계열의 그라우트제가 골재 표면과의 부착이 더 우수한 것을 알 수 있었다.

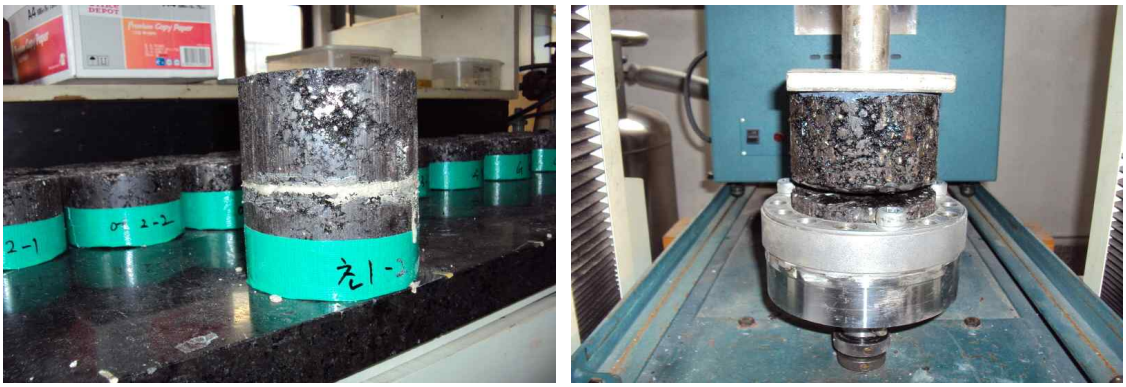


그림 3.52 인장 접착 강도 시험(2차)

표 3.45 인장 접착 강도 시험 결과(2차)

표면처리	채움재종류	시편번호	하중(kgf)	인장 접착 강도(kgf/㎠)
아스팔트 표면	초속경 그라우트	1-1	187	2.38
		1-2	43.8	0.56
		1-3	82.4	1.05
	2액형 에폭시	1-4	279	3.55
		1-5	276	3.52
		1-6	-	-
	구스 아스팔트 바인더	1-7	338	4.31
		1-8	-	-
		1-9	416	5.30
브러쉬 (바인더제거)	초속경 그라우트	2-1	-	-
		2-2	8.82	0.11
		2-3	12.9	0.16
	2액형 에폭시	2-4	60.5	0.77
		2-5	70.4	0.90
		2-6	85.9	1.09
	구스 아스팔트 바인더	2-7	326	4.15
		2-8	253	3.22
		2-9	-	-
그라인딩 (골재노출)	초속경 그라우트	3-1	261	3.32
		3-2	152.5	1.94
		3-3	236.3	3.01
	2액형 에폭시	3-4	23.3	0.30
		3-5	-	-
		3-6	115.4	1.47
	구스 아스팔트 바인더	3-7	64.5	0.82
		2-8	170.7	2.17
		2-9	-	-

연구진이 시험을 수행하면서 채움재별로 표면이 탈락되는 양상을 비교해 보니, 아래의 그림에서 보는바와 같이 시멘트 계열의 초속경 그라우트제는 취성재료이기 때문에 일정 수준 이상의 하중을 받으면 접촉면 전체가 한번에 떨어져 나가는 반면, 2액형 에폭시나 구스 아스팔트 바인더는 허용응력 이상의 외력을 받으면 접착 강도는 저하되지만 끈끈하게 붙잡고 있는 상태는 일정수준 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 실제 도로에 프리캐스트 재료와 채움재를 이용하여 보수한다는 가정 하에, 차량하중에 의해 채움재의 접합면이 탈락되었을 경우, 프리캐스트 보수재가 한번에 떨어지는 것 보다 재료 자체의 접착력으로 유지시켜 주는게 훨씬 효과적인 것으로 판단할 수 있었다. 그러므로 추후 시험에서는 취성재료인 초속경 그라우제는 검토대상에서 제외하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다.



그림 3.53 탈락 양상 비교(좌는 초속경 그라우트/우는 2액형에폭시)

⑤ 3차 시험

2차 시험 결과에서 나타난 바와 같이, 채움재로 사용되는 물질의 특징은 취성보다는 연성의 재료를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었으며 이에 따라 초속경 그라우트제는 3차 시험에서 제외하였다. 또한 각 채움재별 단위 면적당 적용량에 대한 기준을 제시해 주기 위해 채움재 적용 두께를 변수로 추가하였고 초속경 실리콘 실런트를 추가하여 시험을 진행하였다. 그리고 아스팔트 표면처리에 있어 아스팔트 표면과 와이어 브러쉬 표면은 접착강도 차이가 상대적으로 적어 동일한 조건으로 간주하여 브러쉬 표면처리를 제외하였다. 아울러 두께 및 재료의 범위가 좁혀지면 'KS F 4931, 4932'에서 규정하는 전단 접착 시험도 추가로 수행하여 결과 값을 확인하기로 하였다.



그림 3.54 인장 접착 강도 시험(3차)

시험 결과, 초속경 실리콘은 25℃ 항온조에 건조시켰음에도 불구하고 60분 이내에 양생이 완료되지 못해 시험이 불가능하였다.



	하중(kgf)	부착강도 (kgf/㎠)	비고
초속경 실리콘(1)	5.97	0.076	양생안됨
초속경 실리콘(2)	N.G.	-	양생안됨

그림 3.55 초속경 실리콘 실런트 시험

초속경 실리콘 실런트를 제외하고 구스 아스팔트 바인더와 2액형 에폭시에 대한 두께별 인장 접착 시험 결과는 다음의 표와 같다.

표 3.46 인장 접착 강도 시험 결과(3차)

표면처리	채움재	채움재함량(g) (두께, ㎜)	시편번호	하중(kgf)	인장 접착 강도 (kgf/㎠)	특이사항
아스팔트 (표면 원면)	구스 아스팔트 바인더	8.79 (1)	1-1-1	143.2	1.824	ok
			1-1-2	51.5	0.656	ok
			1-1-3	151.3	1.927	ok
		26.38 (3)	1-1-4	142.9	1.820	ok
			1-1-5	211.8	2.698	ok
			1-1-6	248.6	3.167	ok
		43.96 (5)	1-1-7	233.8	2.978	ok
			1-1-8	250.6	3.192	ok
			1-1-9	250.1	3.186	ok
	2액형 에폭시	10.79 (1)	1-2-1	174.8	2.227	ok
			1-2-2	125.0	1.592	ok
			1-2-3	56.3	0.717	ok
		32.38 (3)	1-2-4	220.3	2.806	ok
			1-2-5	89.1	1.135	ok
			1-2-6	180.9	2.304	ok
		53.97 (5)	1-2-7	18.7	0.238	ok
			1-2-8	227.1	2.893	ok
			1-2-9	253.1	3.224	ok
그라인딩 (골재노출)	구스 아스팔트 바인더	8.79 (1)	2-1-1	138.1	1.759	ok
			2-1-2	127.0	1.618	ok
			2-1-3	117.4	1.496	ok
		26.38 (3)	2-1-4	213.9	2.725	ok
			2-1-5	122.0	1.554	ok
			2-1-6	128.3	1.634	ok
		43.96 (5)	2-1-7	11.6	0.148	ok
			2-1-8	141.6	1.804	ok
			2-1-9	156.6	1.995	ok
	2액형 에폭시	10.79 (1)	2-2-1	193.0	2.459	ok
			2-2-2	132.2	1.684	ok
			2-2-3	175.4	2.234	ok
		32.38 (3)	2-2-4	198.6	2.530	ok
			2-2-5	253.1	3.224	ok
			2-2-6	168.7	2.149	ok
		53.97 (5)	2-2-7	286.7	3.652	ok
			2-2-8	156.4	1.992	ok
			2-2-9	39.3	0.501	ok

모든 채움재에서 양을 적게 적용(두께 1㎜)한 시편이 상대적으로 많이 적용한 시편(3, 5㎜)보다 인장 접착 강도는 낮은 것을 확인할 수 있었다. 구스 아스팔트 바인더를 적용한 시편에서는 아스팔트 표면에서 3㎜보다 5㎜두께로 적용한 시편의 강도가 높은 것으로 나타났으나 그라인딩 표면에서는 차이를 보이지 않았다. 2액형 에폭시는 표면처리에 상관없이 3㎜, 5㎜두께에서 높은 강도를 나타내고 있었다.

위의 결과를 살펴보면, 채움재의 두께는 많이 사용할수록 강도는 증가하지만 비용적인 측면을 고려할 경우 3㎜ 두께에서 채움재 투입량(가격) 대비 강도가 가장 효과적인 것으로 판단되었으며, 초속경 실리콘 실런트는 재료의 개선이 필요한 것으로 확인되었다.

위의 결과를 토대로 2액형 에폭시와 구스 아스팔트 바인더 3㎜ 두께를 기준으로 표면처리별 전단 접착 강도 시험을 실시하여 그 결과를 확인하였다. 전단 접착 강도의 시험은 앞에서 언급한 'KS F 4931, 4932' 기준에 의거하여 시험을 수행하였으며 시험법은 다음의 그림에서 보는바와 같이 접착면을 중심으로 밑판을 고정한 후 포장면에 전단하중을 가하여 그 강도를 측정한다.

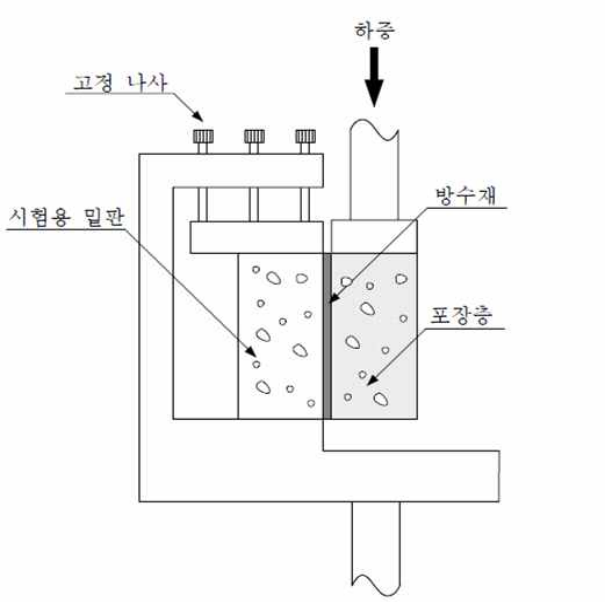


그림 3.56 전단 접착 강도 시험법(KS F 4931, 4932)

시험 결과, 아래의 표에 나타난 바와 같이 아스팔트 표면과 그라인딩 표면 모두 2액형 에폭시가 구스 아스팔트 바인더에 비해 전단 접착 강도 값이 6~8배 정도 높은 것을 확인하였다. 2액형 에폭시는 강도발현 거의 완료되어 전단 저항력은 높으나 일정수준 이상이 되면 파괴되는 경향을 보였으며, 구스 아스팔트 바인더는 아스팔트 바인더 특유의 점착력을 유지하여 강도는 낮아도 파괴되지 않고 점착력을 일정 수준 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

표 3.47 전단 접착 강도 시험 결과

표면처리	채움재	시편번호	하중(kgf)	전단 접착 강도 (kgf/㎠)	특이사항
아스팔트 (표면 원면)	구스 아스팔트 바인더	1-1	68.1	0.68	ok
		1-2	48.1	0.48	ok
		1-3	58.7	0.59	ok
	2액형에폭시	1-4	457.3	4.57	ok
		1-5	473.7	4.74	ok
		1-6	525.0	5.25	ok
그라인딩 (골재노출)	구스 아스팔트 바인더	2-1	53.4	0.53	ok
		2-2	54.4	0.54	ok
		2-3	53.5	0.53	ok
	2액형에폭시	2-4	339.8	3.40	ok
		2-5	430.8	4.31	ok
		2-6	329.2	3.29	ok



그림 3.57 전단 접착 강도 시험 사진

⑥ 4차 시험

1차년도에 선정된 채움재 2종과 우선적으로 2액형 우레탄을 비교하기 위해 아래의 그림과 같이 직접인장강도 시험을 실시하였다. 구스 아스팔트 바인더와 2액형 에폭시, 그리고 2액형 우레탄을 이용하여 60분간 양생 후 직접인장강도를 측정하는 방식으로 진행하였으며, 다음의 그림과 같이 1차년도와 동일한 방법으로 시험을 수행하였다.



그림 3.58 채움재 선정을 위한 직접인장시험

시험결과, 2액형 우레탄과 2액형 에폭시가 인장접착강도의 목표치인 6.12kgf/㎠(0.60N/㎟) 이상으로 나타났다.

표 3.48 채움재 선정을 위한 인장접착강도 시험 결과 (경화시간 60분)

번호	채움재 종류	최대하중(kgf)	인장접착강도(kgf/㎠)
1	구스 아스팔트 바인더	325.0	4.18
2		356.9	4.29
3		329.0	4.18
평 균			4.22
1	2액형 에폭시	483.2	5.52
2		498.3	5.69
3		500.1	5.72
평 균			5.64
1	2액형 우레탄	600.8	6.87
2		682.5	7.80
3		636.7	7.28
평 균			7.32

⑦ 5차 시험

5차 시험에서는 2차년도 채움재료로 선정된 2액형 우레탄 2종(타입 Ⅱ/타입 Ⅲ)과 2액형 에폭시 우레아를 이용하여 직접인장시험을 실시하였다. 양생시간은 4차 시험결과와 비교하기 위해서 60분으로 동일하게 측정하였으며, 타 시험조건 및 방법 또한 4차시험과 동일하게 설정하였다.

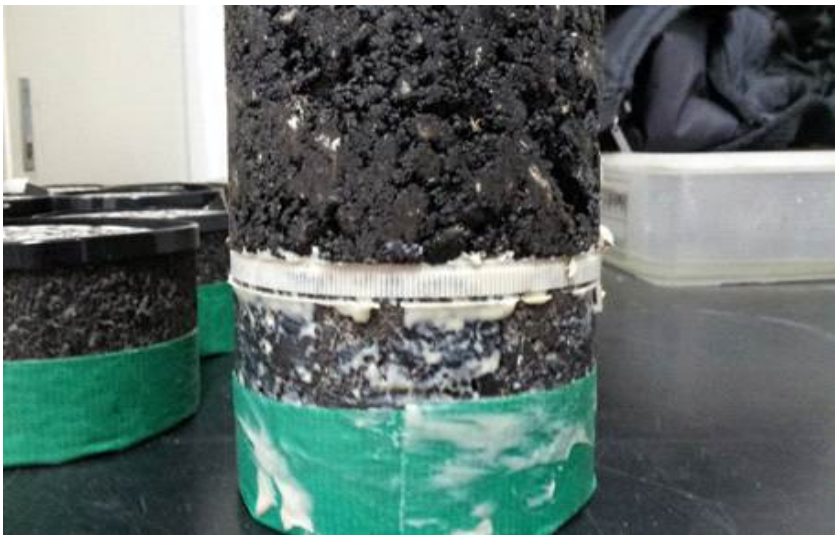


그림 3.59 인장 접착강도 시험 시편(2액형 에폭시 우레아)



그림 3.60 인장 접착강도 시험후의 파단된 모습

표 3.49 프리캐스트용 채움재의 인장접착강도 시험 결과(경화시간 60분)

번호	채움재 종류	최대하중(kgf)	인장접착강도(kgf/㎠)
1	2액형 우레탄타입Ⅱ	549.7	6.28
2		565.2	6.46
3		510.8	5.84
4		531.4	6.07
평균			6.16
1	2액형 우레탄타입Ⅲ	531.1	6.07
2		509.9	5.83
3		504.5	5.77
4		505.6	5.78
평균			5.86
1	2액형 에폭시 우레아	631.2	7.21
2		655.1	7.49
3		678.9	7.76
4		670.4	7.66
평균			7.53

시험 결과, 모든 채움 재료에서 직접인장강도의 목표치인 6.12kgf/㎠(0.60N/㎟) 이상으로 나타났으며 그 중에서 2액형 에폭시 우레아가 가장 높은 값을 나타내었다. 그리고 시험 중 양생상태를 확인한 결과, 2액형 에폭시 우레아는 재료의 특성상 20분 안에 초결이 완료되는 것을 확인할 수 있었으나, 2액형 우레탄은 다소 양생시간이 늦은 것을 알 수 있었다.

⑧ 6차 시험

2차년도에 선정된 2액형 우레탄 및 2액형 에폭시 우레아에 대한 전단접착강도 시험을 실시하였다. 직접인장강도 시험과 동일하게 60분이 지난 후 측정을 하였으며, 1차년도 시험방법과 동일한 기준으로 적용하였다.



그림 3.61 시험 측정전 전단 접착강도 몰드 거치 모습

시험 결과, 아래의 표에서 나타난 바와 같이 모든 재료의 전단접착강도가 성과 목표 기준인 1.53㎏f/㎠(0.15N/㎟) 이상 강도 발현이 되었다. 결과는 2액형 우레탄 타입Ⅱ와 타입Ⅲ도 목표강도 이상의 값을 가지지만 2액형 에폭시 우레아가 가장 높은 값을 보였다. 이는 2액형 우레탄 타입보다 약 3~5배정도 높은 수치였다. 양생속도 또한 앞에서 언급한 바와 같이 2액형 우레탄에 비해 빠른 경화를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

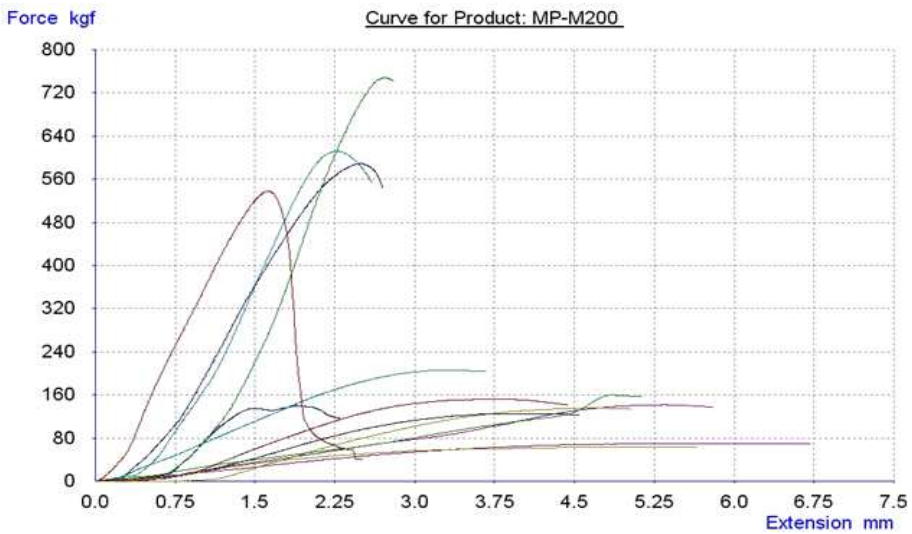


그림 3.62 프리캐스트용 채움재의 전단접착강도 그래프

표 3.50 프리캐스트용 채움재의 전단접착강도 시험 (경화시간 60분)

번호	채움재 종류	최대하중(kgf)	전단접착강도(kgf/㎠)
1	2액형 우레탄타입Ⅱ	141.8	1.62
2		136.0	1.55
3		125.3	1.43
4		206.2	2.36
평균			1.74
1	2액형 우레탄타입Ⅲ	160.7	1.84
2		152.3	1.74
3		70.4	0.80
4		63.0	0.72
평균			1.28
1	2액형 에폭시 우레아	140.1	1.60
2		748.0	8.55
3		612.0	6.99
4		538.0	6.15
5		589.0	6.73
평균			6.00

(라) 소형 현장 시험

① 1차 시험

본 연구진은 1차년도와 앞에서 수행한 바와 같은 실내에서의 직접인장강도 시험 이외에 채움재의 적용성을 검증할 수 있는 시험 방법을 모색하였다. 그 결과, 실제 현장에서 적용하는 방법과 유사하게 소형화하여 시험할 수 있도록 아래의 그림과 같은 아스팔트 포장에 마샬 공시체(Φ 101.6mm≒100mm)보다 약간 큰 코어를 뚫었다. 이는 실제 본 연구에서 개발 중인 장비를 이용하여 포트홀을 제거한 형태를 모사한 것으로, 1차년도에 장비의 기본 테스트를 위해 제작된 코어용 장치를 이용하였다.



그림 3.63 소형 현장 시험을 위한 파손부 제거

프리캐스트 보수재료로 선정된 수반응형 개질 아스팔트 혼합물을 이용하여 소형 시험에 사용될 프리캐스트 보수재를 미리 제작하여 사용하였다. 위의 제거장치의 시공폭을 고려하여 크기에 맞도록 제작하였으며, 일반적인 아스팔트 마샬 공시체보다 약간 크게 제작되었다.



그림 3.64 소형 프리캐스트 보수재

제작된 프리캐스트 보수재를 이용하여 1차년도에 검증한 구스 아스팔트 바인더 및 2액형 에폭시를 채움재로 적용하였다. 아래의 그림에서 보는바와 같이, 기 산정된 일정량의 채움재료를 우선 투입하고 그 위에 프리캐스트 보수재를 안착시켜 고정하는 형태로 진행하였으며, 계산오차로 인해 다소 채움재가 넘치는 것을 확인할 수 있었다. 연구진의 판단에 따라 채움재는 프리캐스트 보수재 안착 후 넘치도록 적용하는 것으로 하였다. 왜냐하면 프리캐스트 보수재 시공 후 채움재 양이 적게 사용되어 공간이 발생할 경우, 우수 및 수분이 머물 수 있는 공간을 제공하게 되므로 보수 후에도 추가적인 파손을 발생시킬 수 있는 원인을 제공할 수 있기 때문이다.



그림 3.65 채움재 적용 및 소형 프리캐스트 보수재 안착
(왼쪽 : 구스 아스팔트 바인더 / 오른쪽 : 2액형 에폭시)



그림 3.66 채움재 양생 완료
(왼쪽 : 구스 아스팔트 바인더 / 오른쪽 : 2액형 에폭시)

위의 그림에서처럼 양생 완료 후 돌출된 부위의 제거를 위해 인력으로 그라인딩을 실시하였다. 아래의 그림에서 나타난 바와 같이 2액형 에폭시를 적용한 구간은 깔끔하게 제거가 되는 것으로 나타났으나, 구스 바인더를 적용한 구간은 그라인딩 적용 시 표면의 열이 발생하여 구스 바인더를 녹여 표면을 오염시킬 뿐만 아니라 그라인딩 날에 바인더가 부착되어 장비를 오염시키는 것을 확인할 수 있었다. 본 시험을 통해 채움재로서 구스 아스팔트 바인더는 적용성이 낮음을 확인하였으며, 이후의 시험군에서 제외하도록 하였다.



그림 3.67 양생 후 그라인딩 적용 면
(왼쪽 : 구스 아스팔트 바인더 / 오른쪽 : 2액형 에폭시)

② 2차 시험

1차 시험에서 구스 아스팔트 바인더와 2액형 에폭시를 적용하여 소형 현장시험을 실시하였다. 그러나 그라인딩 적용에 있어 구스 아스팔트 바인더는 표면을 오염시킬 뿐만 아니라 그라인딩 장비의 표면도 오염시키는 현상이 발생하여 채움재 검토 대상에서 제외하였다.

2차 시험에는 추가로 선정한 2액형 우레탄과 2액형 에폭시 우레아를 이용하여 적용성을 검토하였다. 1차 시험과 동일한 방법으로 시험을 실시하였으며, 채움재의 종류만 변화시켜 적용하였다. 먼저 2액형 우레탄 타입Ⅱ와 타입Ⅲ에 시멘트와 실리카를 사용하여 시험을 실시하였다.



그림 3.68 2액형 우레탄의 부풀음 현상(시멘트 첨가)

위의 그림에서와 같이 시멘트가 첨가된 채움재의 경우 기포가 발생하며 부풀어 오르는 현상이 발생하였다. 또한 표면에 그라인딩 처리를 실시한 후 아래의 그림에서처럼 타는 냄새와 함께 분쇄된 가루가 다량 발생하여 추가적인 문제점이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.



그림 3.69 2액형 우레탄 그라인딩면의 기포발생 및 탄 부분(시멘트 첨가)

2액형 에폭시 우레아의 경우는 2액형 우레탄과 마찬가지로 시멘트를 제외하고 실리카만을 필러로 사용하였고 투입량을 점차 늘려 점도를 측정하였다. 아래의 그림은 점도를 측정하는데 사용된 Brookfield 점도계이다. 경화재의 첨가 시의 경화가 일어나 점도를 측정하지 못하므로 주재와 필러의 혼합으로만 점도를 측정하였다. 다음 표는 은 필러 투입

량별 점도를 측정한 결과이다. 측정은 20℃와 25℃에서 측정을 하였는데 점성이 적당히 있고 핸들링하기에 좋은 필러 투입량은 30%였다.



그림 3.70 Brookfield 점도계

표 3.51 투입량에 따른 2액형 에폭시 우레아의 점도 변화

성분	투입량(%) **※ 경화재와 필러 투입량 50%를 제외**					
주재	40.0	33.3	28.6	25.0	22.2	20.0
필러	10.0	16.7	21.4	25.0	27.8	30.0
온도	점도(cPs)					
20℃	37.5	100.0	250.0	675.0	1650.0	2892.0
25℃	33.3	91.7	233.3	608.3	1308.0	2467.0

다음의 그림은 채움재 투입량에 따른 현장 시공시의 흐름성을 측정하였다. 이를 통해 2액형 에폭시 우레아의 투입량의 경우는 접착재 40%와 필러 60%로 결정하였다. 아래의 표는 각 프리캐스트용 채움재의 혼합비율을 나타낸 것이다.



그림 3.71 채움재 투입량에 따른 현장 시공시의 흐름성 측정

표 3.52 프리캐스트용 채움재의 투입비율

종 류 / 첨가물	2액형 우레탄		2액형 에폭시 우레아
	타 입Ⅱ	타 입Ⅲ	
수 지 (주재:경화재=1:1)	66.7%	66.7%	40.0%
필 러	33.3%	33.3%	60.0%
촉 매	채움재 함량의 0.5%	채움재 함량의 0.5%	-

아래의 그림은 선정된 투입량에 따른 2액형 에폭시 우레아의 채움재 충진 모습으로 프리캐스트 시험체 삽입 후 점도가 낮아 채움재가 흐르거나 점도가 높아 균일하게 충진되는 것을 확인할 수 있었으며, 그라인딩 면을 확인한 결과, 이물질 및 기타 불순물이 발생하지 않았다.



그림 3.72 선정된 투입량에 따른 2액형 에폭시 우레아의 채움재 충진 모습

시험 결과 2액형 에폭시 우레아를 이용한 채움재 성능이 대체적으로 우수한 것으로 판단되었다. 하지만 채움재의 색상이 밝은 편이라 현장에 시공이 될 경우 색상에 이질감이 발생한다. 이에 검은색을 낼 수 있는 Carbon Black을 투입하여 아스콘 색상을 발현하기로 하였다. 아래의 그림은 Carbon Black의 투입량에 따른 채움재의 색상차를 보여준다. 그림에서 좌측이 1.5%이고 우측이 3.0%인데 투입양의 따라 검은색의 약간의 명도차는 있었지만 전체 채움재 함량의 1.5%를 첨가하기로 하였다.

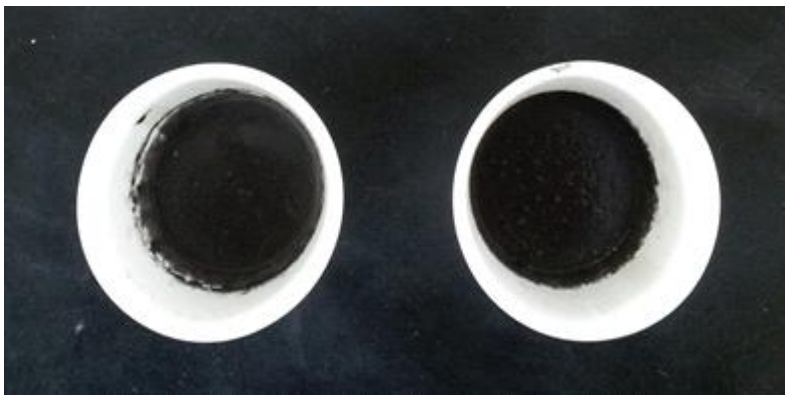


그림 3.73 Carbon Black의 투입량에 따른 채움재의
색상(좌측부터 1.5%, 3.0%)

아래의 그림은 Carbon Black 1.5%를 첨가한 2액형 에폭시 우레아를 이용하여 소형 시험을 실시한 모습이다.



그림 3.74 Carbon Black의 투입후의 현장 적용

(마) 채움재 결정

실내시험과 현장 소형 시험 등을 거쳐 다양한 채움재료를 검증하고 비교 분석하였다. 1차년도에 선정된 구스 아스팔트 바인더 및 2액형 에폭시, 당해 연도에 선정한 2액형 우레탄, 2액형 에폭시 우레아를 이용하여 앞에서 수행한 실내외 시험들에 대한 검토를 실시하였다.

아래의 표에 나타난 바와 같이 실내시험으로 수행한 직접인장강도와 전단접착강도는 대부분 만족하는 것으로 나타났지만, 그중에서도 2액형 에폭시 우레아가 우수한 것을 알 수 있다. 또한 2액형 에폭시 우레아는 경화속도가 타 재료와는 차이가 있어 채움재료로 가장 근접한 물성 및 특성을 발현하는 것으로 나타났다.

표 3.53 채움재 실내시험 결과 및 결정

	직접인장강도(kgf/㎠)	전단접착강도(kgf/㎠)
구스 아스팔트 바인더	4.22	0.53
2액형 에폭시	5.64	3.67
2액형 우레탄	7.32	1.74
2액형 에폭시 우레아	7.53	6.00

실외 소형 시험 결과, 구스 아스팔트 바인더와 2액형 우레탄은 그라인딩 작업을 적용하면 노면과 그라인딩 장비를 오염시키는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 2액형 에폭시와 2액형 에폭시 우레아는 양생 후 그라인딩을 실시해도 장비의 오염이 없고 노면이 깨끗하게 정리되는 것을 확인할 수 있었다. 다만 양생시간의 차이가 다소 발생하는 것으로 파악되었다.

그리하여 실내시험 및 소형 현장시험 결과를 토대로 본 연구의 가장 최적인 채움재료로 2액형 에폭시 우레아를 선정하였다.

(4) 프리캐스트용 보수재와 채움재의 성능

(가) 물리적 성질 및 강도 시험

① 채움재의 물성 시험

당해 연도 최종적으로 정해진 프리캐스트용 채움재는 2액형 에폭시 우레아이다. 이 채움재의 재료를 공인 인증기관에 맡겨 물리적 성질을 측정하였고 채움재 선정 시의 기존의 가지고 있던 2액형 에폭시 우레아의 물리적 성질과 비교하였다. 시험의 의뢰는 한국건설생활환경시험연구원 에너지효율관리팀에 의뢰하였고 시험방법은 KS M 3705:2006에 의거하여 물성을 측정하였다. 다음의 표는 프리캐스트용 채움재의 물성 시험 결과이다.

표 3.54 프리캐스트용 채움재의 물성 시험 결과

시험항목	주재 (A)	경화재 (B)
밀도 (g/cm^3)	1.12	0.97
pH (23℃)	5.7	11.4
점도(cPs) (SP No. 4, 23℃, 50rpm)	35	30
점도변화율(%) (50℃, 20시간)	8.6	13

② 채움재의 인장접착강도 시험(공인시험)

채움재의 인장접착강도 시험은 한국에스지에스(주)건설시험연구원에 의뢰하였으며 KS F 4932의 시험방법으로 측정하였다. 채움재의 적용 및 양생조건은 본 연구진이 수행한 방법과 동일하게 처리하였으며, 그 결과는 다음의 표와 같이 연구진이 설정한 기준 이상으로 나타나는 것을 확인하였다.

표 3.55 프리캐스트용 채움재의 인장접착강도 시험결과(공인성적)

시료번호	인장접착강도(20℃)			
	최대하중(kgf)	단면적(cm^2)	강도(kg/cm^2)	강도(N/mm^2)
1	592.6	78.5	7.5	0.7
2	665.2	78.5	8.5	0.8
3	684.4	78.5	8.7	0.9
평 균			8.2	0.8



그림 3.75 프리캐스트용 채움재의 인장접착강도 시험체



그림 3.76 프리캐스트용 채움재의 인장접착강도 시험장치

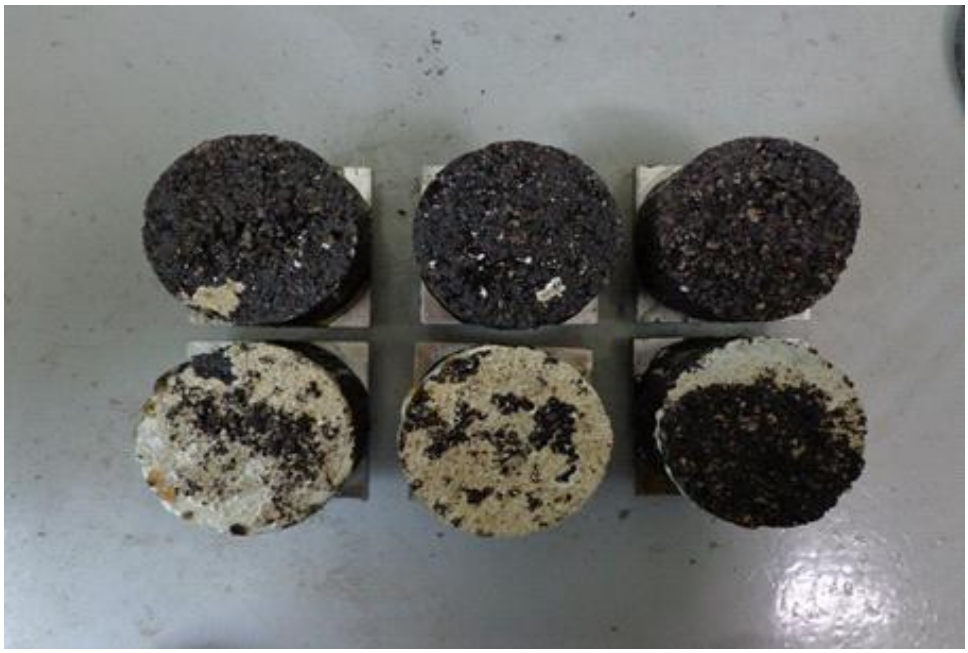


그림 3.77 프리캐스트용 채움재의 인장접착강도 시험결과(분리된 형상)

㉰ 채움재의 전단접착강도 시험(공인시험)

채움재의 전단접착강도 시험 또한 마찬가지로 한국에스지에스(주)건설시험연구원에 의뢰하였으며 KS F 4932의 시험방법으로 측정하였다. 채움재의 적용 및 양생조건은 본 연구진이 수행한 방법과 동일하게 처리하였으며, 그 결과는 다음의 표와 같이 연구진이 설정한 기준 이상보다 훨씬 높은 값을 나타나는 것을 확인하였다.

표 3.56 프리캐스트용 채움재의 전단접착강도 시험결과(공인성적)

시료번호	전단접착강도(20℃)			
	최대하중(kgf)	단면적(cm^2)	강도(kg/cm^2)	강도(N/mm^2)
1	1286.5	100	12.9	1.26
2	1693.5	100	16.9	1.66
3	1334.5	100	13.3	1.30
평 균			14.4	1.41



그림 3.78 프리캐스트용 채움재의 전단접착강도 시험체



그림 3.79 프리캐스트용 채움재의 전단접착강도 시험



그림 3.80 프리캐스트용 채움재의 전단접착강도 시험결과(파단 상태)

(나) 프리캐스트 결합체의 내구 성능 시험

① 반복주행 시험(Wheel tracking test)

채움재의 선정과 보수재의 선정을 통해 실제 포트홀이 발생하였을 때 보수재 및 채움재의 성능이 얼마나 발휘되는지를 측정하기 위해 실내에서 측정할 수 있는 반복주행 시험을 실시하였다. 결합체의 반복주행 시험은 강원대학교 석재복합건설신소재연구소에 의뢰하였으며 KS F 2374의 시험방법으로 측정하였다.

이를 측정하는 장비가 Wheel tracking tester이며 시험의 원리는 회전하는 차륜에 의해 재하되는 포장체 내의 응력상태는 매우 복잡하며 실내 시험에서 아스팔트 콘크리트 혼합물의 현장 거동에 대한 모사는 거의 불가능하다. 따라서 아스팔트 혼합물에 대한 반복 주행 시험은 주로 재료에 대한 상대적 비교를 통하여 포장체의 응력상태를 추정해 볼 수 있다.

본 연구에서는 반복주행 시험을 수행하기 위하여 아래의 그림에서 나타난 Cooper사의 롤러 압축 다짐기(roller press compactor)로 305×305×50㎜의 슬래브 공시체를 제작한 후 24시간 이상 양생 후 슬래브 공시체의 중앙에 코어를 뚫어 제작된 실험용 모체의 마샬 공시체를 삽입한 후 2액형 에폭시 우레아를 필러와 혼합하여 채움재로 사용하였다. 그 후 고르지 못한 면을 그라인딩 처리한 후 제작된 결합체의 결과를 측정하기 위하여 6시간동안 60℃에서 안정화시킨 후, 시험 측정을 60℃에서 실시하였다.

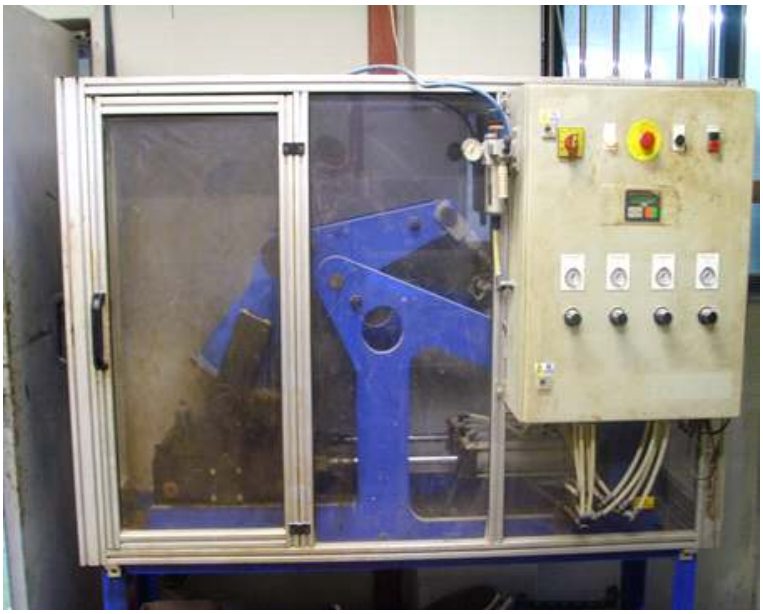


그림 3.81 롤러 압축 다짐기

아래의 그림은 프리캐스트 결합체의 제작 및 시험 측정의 순서를 나타낸 것이다. 재하윤하중은 686kN (70kg), 통과횟수 42회/min로 60분 동안 2,520회 반복주행 (시간과 통과횟수)에 따른 침하량을 측정하였다. 바퀴의 재질은 강재, 직경 200㎜, 폭 50㎜이고 1회 왕복거리(stroke)는 230㎜이다(KS F 2374).

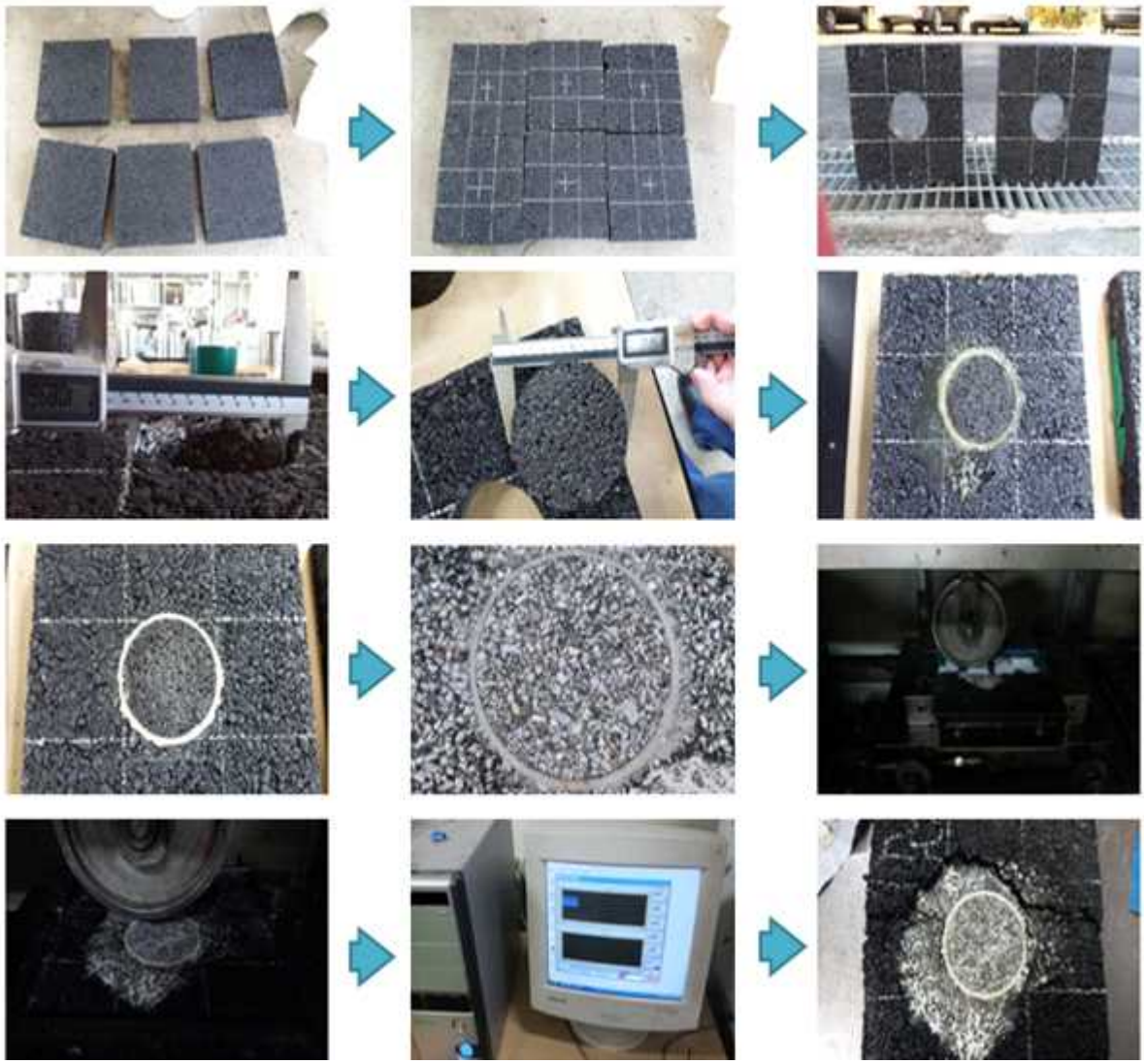


그림 3.82 시편제작 및 시험용 결합체의 반복주행 시험 순서

동적안정도는 공시체의 변형이 1㎜ 발생하는데 통과하는 횟수로 나타내며, 동적안정도(DS)와 변형속도(RD)를 다음의 식(1)과 식(2)로 구하였다.

동적안정도 $$DS = 42 \times \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times c$$ ---------- 식 (1)

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

변형속도 $$RD = \frac{d_{60} - d_{45}}{15}$$ ---------- 식 (2)

여기서, RD = 변형속도, d60= 60분에서의 변형량(㎜), d45= 45분에서의 변형량(㎜)이다. 다음 그림은 시험용 결합체의 동적안정도를 산정하기 위하여 슬래브 공시체를 거치

한 Wheel tracking 시험 장치를 보여준다.

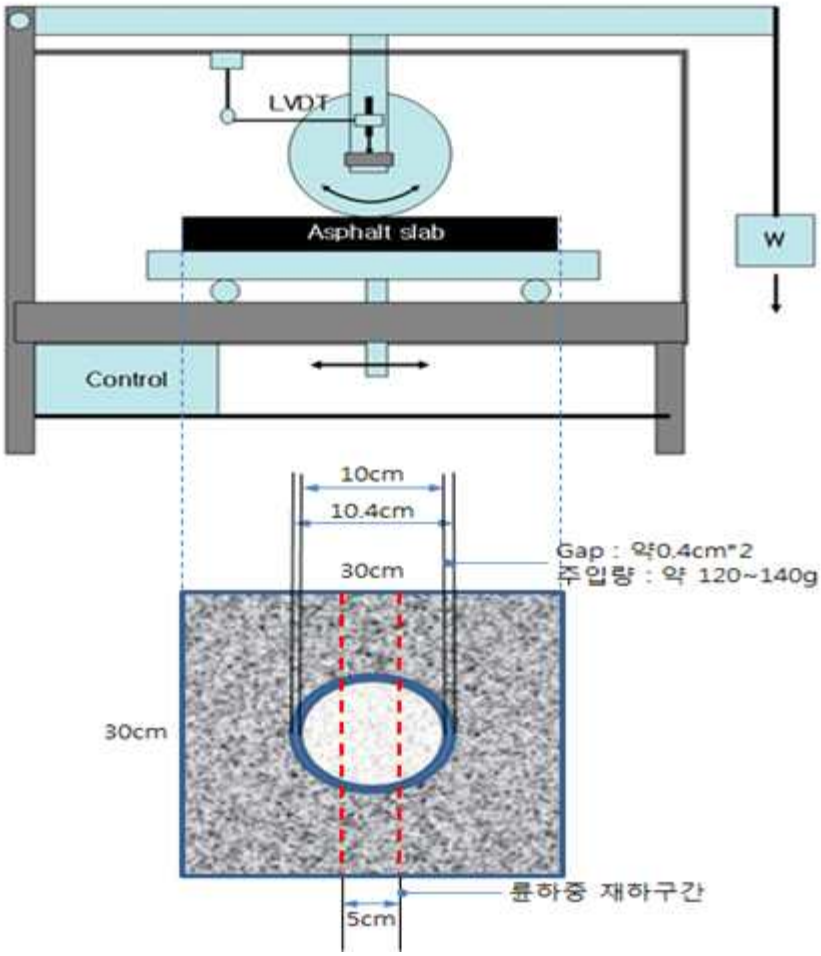


그림 3.83 시험용 결합체의 Wheel tracking 시험

반복주행 시험 결과를 분석하여 아래의 그림에서처럼 각 혼합물의 DS와 최종 침하량을 구하였다. 반복주행시험 중 침하량은 LVDT로 읽어 자동 기록되었고 초기 일정횟수가 지난 후 반복재하에 따른 누적 침하율 중 45분과 60분 (최종)의 변형량을 구하여 동적안정도, 변형속도, 최종침하깊이를 계산하였다.

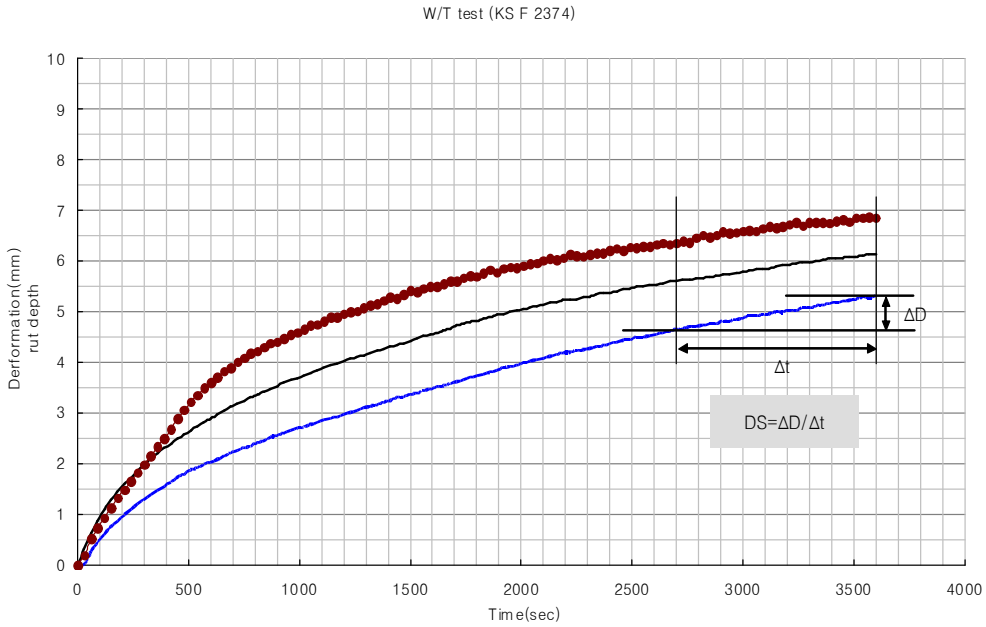


그림 3.84 반복주행 시험에 의해 측정된 동적안정도(DS)곡선의 예

② 반복주행 시험(Wheel tracking test) 결과

반복주행시험을 실시하고 이에 대한 결과를 비교하기 위해서 우선 프리캐스트 보수재로 선정된 수반응형 개질 아스팔트 혼합물 시편만을 단독으로 적용한 시험체를 이용하여 시험을 실시하였다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이 단독으로 적용한 경우 일정횟수 이상에는 거의 변형이 없는 것을 알 수 있었다. 이는 앞에서 보수재료 선정 시 고려된 내용으로 동적안정도의 값이 작음으로서 차량하중 등에 대한 변형이 거의 없는 것을 확인할 수 있다.

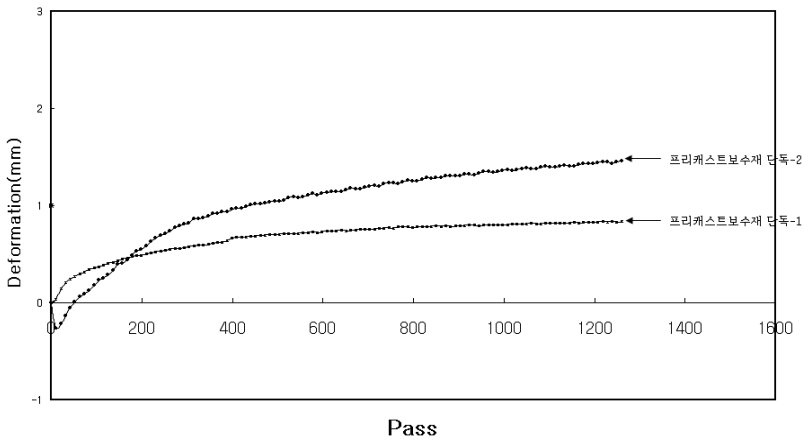


그림 3.85 수반응형 개질 아스팔트를 이용한 프리캐스트 단독 보수재의 침하-pass 곡선

표 3.57 수반응형 개질 아스팔트를 이용한 프리캐스트 단독 보수재의 동적안정도 및 시험결과

구분	45분 변형량 (mm)	60분 변형량 (mm)	변형속도 (mm/min)	동적안정도 (pass/mm)
프리캐스트 단독 보수재	0.7969	0.8342	0.0025	16,875
	1.3338	1.4618	0.0085	4,922



그림 3.86 수반응형 개질 아스팔트를 이용한 프리캐스트 단독 보수재의 시험 후 변형

아래의 그림은 최종 채움재로 선정된 2액형 에폭시 우레아를 이용한 시편과 비교군으로 2액형 우레탄 타입Ⅱ, 타입Ⅲ을 적용한 시편에 대한 반복 주행 시험에서의 침하-pass 곡선이다. 일반적으로 아스팔트 혼합물은 시험 초기에 큰 침하가 발생하고 cycle이 반복될수록 서서히 침하되는 특성을 보이지만 본 시험 결과에서는 대부분이 지속적인 침하가 발생하였다.

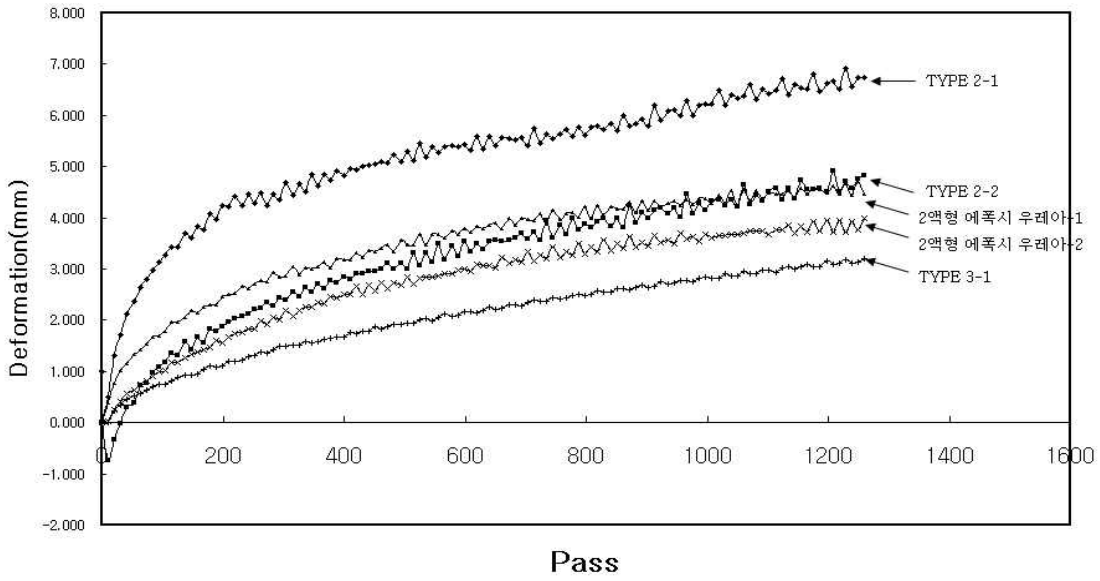


그림 3.87 채움재별 프리캐스트 결합체의 침하-pass 곡선

이는 보수재 자체의 변형으로 보기 보다는 시험 측정후의 밀입도 혼합물인 시험 모체의 변형이 상대적으로 크게 발생하여 곡선이 매끄럽지 않은 값을 보이는 것으로 판단된다. 이는 보수재와 시험 모체간의 강도 차이 및 채움재의 강도 차이로 인해 발생하는 현상으로 결과적으로 보수재 및 채움재의 강도가 일반 도로의 혼합물보다 높다는 것을 나타내는 것이다.

아래의 표에서 보는바와 같이, 채움재별 프리캐스트 결합체의 동적안정도 및 시험결과, 2액형 에폭시 우레아의 동적안정도 값이 가장 높은 것을 확인할 수 있었으며, 2액형 우레탄의 시편은 시험도중 파손이 생기기도 하였다.

표 3.58 채움재별 프리캐스트 결합체의 동적안정도 및 시험결과

구분	45분 변형량 (mm)	60분 변형량 (mm)	변형속도 (mm/min)	동적안정도 (pass/mm)
2액형 우레탄 타입Ⅱ	6.1160	6.7484	0.0422	996
	4.1786	4.8271	0.0426	985
2액형 우레탄 타입Ⅲ	2.7299	3.1888	0.0313	1,344
	측정전 공시체 파손			
2액형 에폭시 우레아	4.3303	4.4537	0.0082	5,108
	3.4916	3.9861	0.0330	1.274



◎ 2액형 우레탄 타입 Ⅱ



◎ 2액형 우레탄 타입 Ⅲ



◎ 2액형 에폭시 우레아

그림 3.88 채움재별 프리캐스트 결합체의 시험 후 변형

(5) 아스팔트 프리캐스트 보수재료 개선

(가) 골재 입도 개선

2차년도에 아스팔트 프리캐스트 보수재료로 선정된 반응형 상온 아스팔트의 입도 기준을 일반 표층용 아스팔트 혼합물에 근거하였다. 3차년도에는 새로운 골재를 통한 배합설계를 의해 수반응형 바인더의 반응성을 향상시키며 내구성을 증진하기 위하여 골재의 크기가 상대적으로 균일한 골재를 수집하였다. 그리하여 새로운 골재로 체가름 시험을 실시하였으며, 신규 골재의 체가름 결과는 표 3.59와 같다. 신규 골재는 2차년도와 마찬가지로 5mm 골재와 잔골재를 사용하였다. 그리고 석분을 사용하여 공극량을 조절하는 시험을 하기 위하여 체가름 시험을 실시하였다. 표 3.60은 2차년도에 사용된 골재의 체가름 시험 결과이다.

표 3.59 2차년도 골재의 체가름 시험 결과(골재별 가적통과율)

체크기(mm) (No.)	10	5 (No.4)	2.5 (No.8)	0.6 (No.30)	0.3 (No.50)	0.15 (No.100)	0.08 (No.200)
5mm	100.0	93.4	2.7	1.5	1.3	1.2	0.5
잔골재	100.0	95.7	75.1	32.5	16.5	6.2	1.4

표 3.60 신규 골재의 체가름 시험 결과(골재별 가적통과율)

체크기(mm) (No.)	10	5 (No.4)	2.5 (No.8)	0.6 (No.30)	0.3 (No.50)	0.15 (No.100)	0.08 (No.200)
5mm	100.0	90.0	8.5	2.3	2.0	0.9	0.2
잔골재	100.0	93.1	69.4	31.4	15.1	3.6	0.7
석분(Filler)	100.0	100.0	100.0	98.7	93.2	79.3	0.0

체가름 시험 결과를 가지고 입도 범위를 한정하지 않고 굵은 골재와 잔골재의 비율을 조절하여 합성 입도를 구하였다. 석분에 경우는 선정된 합성 입도에 잔골재에 일정 비율을 넣어 공극량이 조절되는지를 시험 하였다. 표 3.61은 골재 비율에 따른 신규 골재의 합성 입도 표이며, 그림 3.89은 골재의 비율에 따른 합성 입도 그래프이다. 표 3.62는 2차년도의 사용된 골재의 합성 입도로 3차년도에 같은 골재 배합비와 비교해 보면 3차년도에 합성입도가 굵은 골재의 함량이 높음을 확인할 수 있다.

표 3.61 2차년도 골재의 합성입도

체크기(mm) (No.)		10	5 (No.4)	2.5 (No.8)	0.6 (No.30)	0.3 (No.50)	0.15 (No.100)	0.08 (No.200)
굵은골재:잔골재	7:3	100.0	94.1	24.4	10.8	5.9	2.7	0.8

표 3.62 신규 골재의 비율에 따른 합성입도

체크기(mm) (No.)		10	5 (No.4)	2.5 (No.8)	0.6 (No.30)	0.3 (No.50)	0.15 (No.100)	0.08 (No.200)
굵은골재:잔골재	7:3	100.0	90.9	26.8	11.0	5.9	1.7	0.3
	6.4	100.0	91.3	32.9	13.9	7.3	2.0	0.4
	5:5	100.0	91.6	39.0	16.8	8.6	2.3	0.4

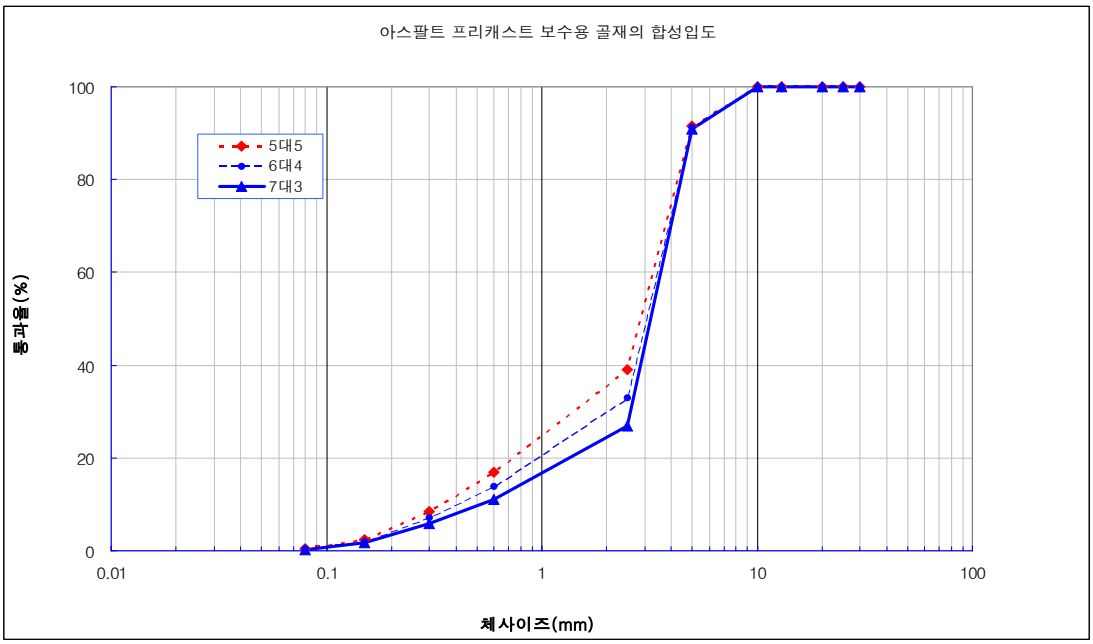


그림 3.89 신규 골재의 비율에 따른 합성입도 그래프

또한, 균일한 골재를 사용하므로 골재간의 결속력이 결여될수 있을 것으로 보았다. 그래서 골재를 다음의 그림 3.90과 같이 아스팔트(AP-5)를 골재 총 중량의 1.5%를 투입하여 피복을 하였다. 이는 개선된 골재의 탈리를 방지하고 강도를 증진하기 위함뿐만 아니라 대량으로 혼합물 제작시 분진이 발생하는 것을 방지하는데 목적이 있다. 이에 대한 확인은 배합설계 및 강도 시험을 통행 확인하려 한다.



그림 3.90 아스팔트로 피복된 아스팔트 프리캐스트 골재

(나) 배합설계

2차년도에 실행된 배합설계에 의하면 목표 공극률이 6.0%로 하여 최적 아스팔트 함량(Optimum Asphalt Content : OAC)을 7.0%로 선정하였다. 하지만 항타 방식의 마샬 다짐을 한 후 가수를 함으로 공극이 작은 공시체가 우레탄의 반응의 의하여 그림 3.91과 같이 부풀어 오르는 듯한 현상이 자주 발생하였다. 이를 개선하기 위하여 입평이 개선된 골재를 시험에 사용하였다. 표 3.63과 같이 양면 75회 마샬 다짐하여 배합설계를 실시하였다. 표 3.64는 신규 골재를 이용하여 기존 OAC를 적용하여 제작된 혼합물의 시험 결과이다. 시험의 결과를 통해 AP 1.5% 피복을 함으로 전체적으로 마샬안정도가 상승하였고 가장 높은 마샬 안정도 값은 7.0%에서 나타났고 공극은 약 8.5%였다. 이를 가지고 확인 배합 설계를 한 결과는 표 0.0과 같다.



그림 3.91 공극량이 적을 경우 발생하는 공시체의 부풀음 현상

표 3.63 개선된 골재가 사용된 수반응형 개질 아스팔트 배합설계 결과

AC (%)	No	두께 (mm)	중량(g)			공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도 (kgf)		흐름값 (0.01cm)
			공기중	수중	SSD				실측치	보정치	
6.0	1	64.1	1070.6	567.1	1075.6	10.63	22.99	53.76	1,250	1,188	27
	2	64.8	1068.6	566.4	1076.3	11.04	23.35	52.70	1,254	1,166	24
	3	64.9	1067.2	565.5	1075.4	11.16	23.45	52.41	1,223	1,137	26
	평균	64.6	1068.8	566.3	1075.8	10.94	23.26	52.95	1,242	1,164	26
6.5	1	63.8	1070.4	567.0	1074.9	9.93	23.33	57.45	1,458	1,400	31
	2	64.7	1069.8	566.9	1075.6	10.12	23.50	56.93	1,458	1,371	31
	3	64.3	1071.5	567.5	1076.9	10.10	23.48	56.98	1,469	1,396	28
	평균	64.3	1070.6	567.1	1075.8	10.05	23.44	57.12	1,462	1,389	30
7.0	1	63.7	1070.2	569.6	1078.2	9.46	23.87	60.38	1,956	1,878	33
	2	63.5	1071.5	576.0	1075.7	7.73	22.42	65.51	1,896	1,896	35
	3	63.5	1070.0	572.1	1075.6	8.56	23.11	62.98	1,906	1,906	32
	평균	63.6	1070.6	572.6	1076.5	8.58	23.13	62.90	1,919	1,893	33
7.5	1	63.9	1069.5	572.0	1074.1	7.73	23.36	66.92	1,845	1,771	36
	2	63.4	1069.4	572.1	1074.2	7.73	23.36	66.90	1,852	1,852	37
	3	63.3	1069.1	572.5	1073.5	7.56	23.22	67.45	1,821	1,821	36
	평균	63.5	1069.3	572.2	1073.9	7.67	23.31	67.09	1,839	1,815	36
8.0	1	63.1	1068.9	572.4	1074.0	7.07	23.75	70.24	1,795	1,813	39
	2	62.7	1070.1	572.9	1073.5	6.78	23.51	71.18	1,811	1,847	39
	3	62.5	1069.4	573.1	1073.1	6.73	23.47	71.34	1,784	1,820	41
	평균	62.8	1069.5	572.8	1073.5	6.86	23.58	70.92	1,797	1,827	40

표 3.64 개선된 골재가 사용된 수반응형 개질 아스팔트 혼합물의 시험 결과

AC (%)	No	두께 (mm)	중량(g)			공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도 (kgf)		흐름값 (0.01cm)
			공기중	수중	SSD				실측치	보정치	
7.0	1	63.4	1069.6	569.4	1077.9	9.49	23.90	60.29	2,007	2,007	34
	2	63.3	1071.3	575.7	1075.4	7.75	22.43	65.46	1,923	1,923	30
	3	63.9	1069.1	570.9	1074.2	8.60	23.15	62.86	1,597	1,534	31
	평균	63.5	1070.0	572.0	1075.8	8.61	23.16	62.81	1,842	1,821	32

재시험 결과에서처럼 새로운 골재로 제작된 공시체에 경우 공극이 8.61%로 2차년도에 배합 설계된 공시체(공극 6.15%)에 비해 공극이 다소 높게 측정이 되었다. 하지만 안정도에 경우도 2차년도(안정도 1,550kgf)에 비해 높게 측정이 되어 적정한 배수가 되며 안정도가 높은 혼합물을 얻을 수 있었다. 3차년도의 추가적인 혼합물의 개선 시험은 골재의 배합비와 바인더의 함량을 조절하였고 3차년도의 성과 지표인 변형강도를 측정하여 개선 시험을 실시하였다.

(다) 혼합물 반응성능 개선

혼합물을 생산하여 보수재를 대량으로 생산하기 위해서는 가수 후 혼합물의 적정한 경화 시간이 관건이다. 빠른 경화는 혼합물을 보수재로 성형하기 전에 경화가 오게 되므로 제대로 된 성형물을 얻는데 어려움이 있고, 늦은 경화는 보수재가 양생을 위해 오랜 시간 있게 되며 양생을 위한 파렛트가 대량으로 필요하게 되므로 적정한 경화시간이 중요하였다. 이를 위해 수반응형 바인더의 반응성능의 개선의 일환으로 우레탄 바인더의 개선을 실시하였다.

이소시아네이트와 하이드록실기를 가지는 물과 폴리올의 당량비를 NCO index라고 한다. NCO index 증가에 따른 영향은 다음과 같다. 첫째, index를 상승시킬 경우 가교도를 증가시키는 역할을 한다. 또한, 과잉의 이소시아네이트는 urethane과 urea와 반응하여 allophanate와 biuret을 형성하므로 가교도의 상승과 기계적 강도를 증가시키는 역할을 한다. 둘째, 이러한 가교도의 증가는 반응물의 점도를 상승시키고, 따라서 흐름성을 감소시킨다. 셋째, 상대적인 hard segment의 증가가 폼의 flexibility를 감소시키고, 동시에 friability를 증가시킨다. 따라서 적절한 NCO index를 선정하는 것은 매우 중요하다. NCO가 높을 경우 반응성이 좋아 경화가 신속하게 이루어 질 것으로 생각이 되었다. 현재 사용되는 우레탄 바인더는 NCO 함량이 16%의 것으로 제조사에 문의한 결과 16%

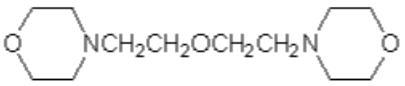
이상은 저장 안정성이 결여되고 불안정하며 제품이 균일하게 생산되지 않아 핸들링하기에 적정한 NCO 함량은 16%가 최대임을 알 수 있었다. 품질 관리를 위하여 NCO 함량을 높이는 것은 무리가 있으므로 반응성을 향상시키는 촉매(catalyst)를 알아보았다. 반응선 개선을 위해 NCO 함량을 고정하고 촉매 첨가 유무에 따른 반응을 알아보았다.

표 3.65와 같이 다양한 촉매가 있었고 촉매마다 반응성이 다양하여 조절이 가능하고 경제성이 있는 촉매 중 소량으로 반응성이 향상되는 촉매를 선정하였다. 선정된 촉매는 DMDEE (2,2-Dimorpholinodiethylether)로 아민과 같은 냄새가 나며 노란 액체로 투명하였고 물과 혼합하여 사용할 수 있었다. 표 3.66은 DMDEE의 설명을 나타낸 것이다.

표 3.65 우레탄 촉매의 종류

촉매 종류	설명
TEDA	폴리우레탄 Foam 생산에 사용되는 높은 순도의 결정성 촉매. 연질 slabstock, 연질 mould, 경질, 반경질, elastomer 등 우레탄 생산의 거의 모든 영역에 거쳐 사용됨.
NC-33D	33%의 triethylenediamine과 67%의 dipropyleneglycol로 구성된 액상 제품. 이 제품은 물에 완전히 용해되고 polyol, 불화탄소, tin 촉매에도 용해됨. 모든 formulation에 있어서 TEDA와 3대 1의 비율로 바꾸어 사용할 수 있음.
NC-25B	아민계 촉매로 25% TEDA Crystal catalyst; 75% 1.4 Butanediol로 구성됨.
NC-33E	강한 gel 촉매로, 33% TEDA Crystalline catalyst, 67% Ethylene glycol로 구성.
DMCHA	DMCHA(Dimethyl cyclohexyl amine)는 경질과 반경질 우레탄 foam에 광범위하게 사용되는 다용도의 강력한 아민 촉매. 이 제품은 물을 제외한 대부분의 polyol과 유기 용제에 빠르게 용해됨.
DMDEE	아민과 같은 냄새가 나며 노란 액체로 투명하였고 물과 혼합하여 사용할 수 있음.
T-12	폴리우레탄 foam, 코팅제, 접착제, 실란트의 생산에 사용되는 고효율의 촉매로써 high- boiling 액상 유기 화합물임. 순수 dibutyltin dilaurate는 실온에서 고체이기 때문에 T-12 촉매는 18℃ 이상에서 액체 상태를 유지할 수 있도록 특수하게 처리되어 취급이 용이한 제품.
A-1	현재 사용되고 있는 것 중에서 가장 강력한 발포 촉매. A-1은 계량의 용이성과 정확성을 위해 70%의 bis (2-dimethylamino ethyl) ether와 30%의 dipropyleneglycol로 구성됨.
DMEA	DMEA(dimethylethanolamine)는 암모니아 냄새를 지닌 무색 투명한 액체. 3급 아민과 OH기를 가진 제품으로 전형적인 아민과 알콜의 반응을 나타냄.

표 3.66 DMDEE (2,2-Dimorpholinodiethylether)의 명세

화학 구조식 (structural formula)	
화학식 (Formula)	$C_{12}H_{24}N_2O_3$
분자량 (Molecular Weight)	244
제품 ID (Product ID)	CY-204
아민 함량 (Amine content)	8.10~8.50meq/g (* meq = milliequivalent /밀리당량)
CAS 등록 번호 (CAS Registry No.)	6425-39-4
분석 (G.C.)	99 % 최소.
수분 함량 (Karl Fischer)	0.1 % 최대.
인화점 (Flash point)	146 ℃
녹는점 (Melting point)	-28 ℃
비등점 (Boiling point)	309 ℃
밀도 (Density)	$1.06/cm^3$
설명 (Description)	아민과 같은 냄새와 노란 액체로 투명하며 물과 혼합할 수 있음.
적용 (Applications)	특히 촉매로서는 일액형 경질 폴리 우레탄 폼 실란트 조직에 적합함.

촉매의 적정한 투입 권장량은 300ppm으로 우레탄 바인더 총 중량의 0.03%로 되어 있다. 하지만 투입량 조절에 따른 반응성을 알아보기 위하여 바인더에 우선 시험을 실시하였다. 표 3.67에 바인더 함량은 혼합물의 배합 설계시 사용된 배합비로 하여 실시를 하였고 촉매는 아스팔트 개질 바인더에 첨가하여 약간의 믹싱을 한 후 우레탄 바인더와 믹싱을 하여 반응을 관찰하였다. 또한 물이 첨가되는 양에 따라 반응성이 달라질 것으로 생각되어 물의 함량 또한 조절하였다. 표 3.68은 촉매 및 물 함량을 조절하여 관찰된 바인더의 반응 시작 시간 및 특징을 보여주며 그림 3.92는 촉매와 물 함량 조절에 따른 반응 특징을 보여준다.

표 3.67 시험에 사용된 우레탄 바인더와 아스팔트 개질 바인더의 배합량

구분		바인더 함량(%)	
바인더	우레탄 바인더	560g	392(70%)
	아스팔트 개질 바인더		168(30%)

표 3.68 촉매 및 물 함량에 따른 반응 시작 시간 및 특징

촉매량 (우레탄 바인더당 g, %)	물함량 (전체 바인더당 g, %)	반응 시작 시간	특징
0g, (0%)	22.4g, (4%)	7분후	용기안에서 천천히 반응. 15분째 응고된 물체 보임.
0.12g, (0.03%)	22.4g, (4%)	3분후	반응 후 용암처럼 넘침. 8분째 응고된 물체 보임.
0.08g, (0.02%)	22.4g, (4%)	3분후	반응 후 용암처럼 넘침. 8분째 응고된 물체 보임.
0.12g, (0.03%)	11.2g, (2%)	3분후	용기안에서 급속도로 반응. 7분째 응고된 물체 보임.



그림 3.92 촉매량과 물(水)량 조절에 따른 반응

예상대로 촉매를 사용하게 되면 반응 시작 시간이 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 물에 양이 많을수록 반응량이 커지는 것을 결과로 알 수 있었다. 반면에 촉매의 양을 조절하였지만 조절된 함량이 상당히 적은 양이므로 반응의 차이를 육안으로 확인하기는 어려웠다. 보수재 제작시 핸들링이 가능한 물의 함량을 결과대로 2%로 하며 촉매에 경우는 혼합물을 제작하여 시간 경과에 따라 강도 증가를 확인하였다.

혼합물을 제작한 후 양면 75회 마샬 다짐을 하였고 촉매 사용 유무에 따라 마샬 공시체를 제작한 후, 마샬 안정도를 30분, 1시간, 3시간, 6시간, 24시간, 24시간(60℃에서 30분

수침 후)를 측정하여 비교하였다. 다음의 표 3.69는 시간경과에 따른 마샬 안정도 값을 나타낸 것이다. 촉매제 사용으로 인해 초기 1시간 까지는 마샬 안정도에 차이가 다소 있었지만 3시간 경과부터는 크게 차이가 나지 않음을 확인할 수 있었다. 이로 인해 촉매의 사용으로 초기의 경화 반응이 일어나고 강도 발현이 촉매를 사용하지 않을 때보다 빠른 것으로 결과를 통해 알 수 있었다.

표 3.69 촉매 유무에 따른 마샬 안정도 측정 결과

경과시간 (시)	마샬 안정도(N)	
	촉매 사용 X	촉매 사용 O
0.5	7,884	9,457
1	15,773	17,262
	15,880	16,238
3	43,840	43,218
	47,466	47,681
6	53,179	53,841
	54,434	52,655
24	56,487	57,060
	53,233	55,742
24 (30분 수침,60℃)	46,927	48,343
	42,899	45,378

(라) 혼합물의 물리적인 성능 개선 / 변형강도 시험

3차년도에는 성과지표로 변형강도 (deformation strength: SD)값이 2MPa 이상을 목표로 하였다. 변형강도는 마샬 다짐의 항타식과는 다르게 그림 3.93과 같은 선회다짐기 (superpave gyratory compactor: SGC)를 사용하여 100회의 선회다짐을 하여 혼합물을 제작하였다.



그림 3.93 선회다짐기(Superpave Gyratory Compactor: SGC)

아스팔트 혼합물의 변형강도는 소성변형 특성과 높은 상관관계를 나타내는 특성치로서 배합설계의 중요 변수 중 하나이다 (R2=0.9 이상). 아스팔트 혼합물의 강도 특성치의 하나로 간주되어온 마샬 안정도는 현장에서의 소성변형 저항성과는 상관성이 작으므로 실제 도로에서는 아스팔트 포장의 다짐면 위에 차량의 윤하중이 작용하지만 마샬 안정도 시험에서는 측면에 하중을 가하여 저항값을 산출한다. 따라서 아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 저항성을 보다 객관적으로 평가하기 위한 시험법인 변형강도를 3차년도에는 적용하였다. 변형강도는 60oC 공시체에 하중을 가하여 얻은 하중-변형 곡선에서 최대 하중 (P)과 이때 표면으로부터 눌려 들어간 수직변형 (y)을 읽어 계산하는 것으로 시험법은 Kim Test라 하며 하중봉의 직경을 40㎜, 절삭 반경을 10㎜로 고정함으로써 다음의 식(3)을 사용하였다 (김광우 등, 2002).

$$S_D = \frac{0.32P}{(10+\sqrt{20y-y^2})^2} \text{----------(3)}$$

여기서,SD=변형강도(MPa), P=최대하중(N), y=최대 하중에서의 수직 변형(mm)이다. 마샬 안정도 측정과 마찬가지로 공시체를 60℃ 항온 수조에서 30분간 수침 후에 꺼내어 신속히 Kim Test 어셈블리에 넣고 재하속도 30mm/min로 하중을 가하였다. 이때 최대 하중 (P)과 수직변위 (y)를 곡선으로부터 얻으며, 한 혼합물 당 3개 SD 시험의 평균값을 분석에 사용하였다. 그림 3.94는 변형강도 시험 직전에 Kim Test 어셈블리에 공시체를 세팅한 모습이다. 그림 3.95는 변형강도 시험 에 의해 그려지는 하중-변위곡선을 나타냈다.

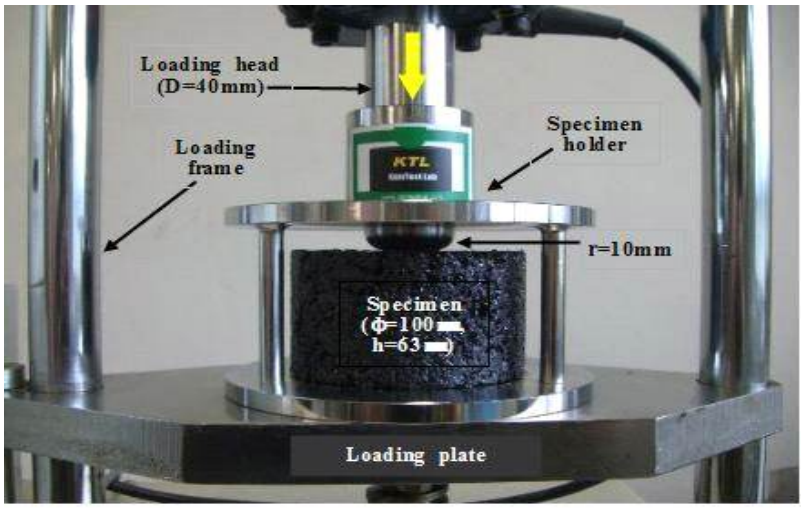


그림 3.94 변형강도 측정에 사용된 Kim Test의 공시체 거치

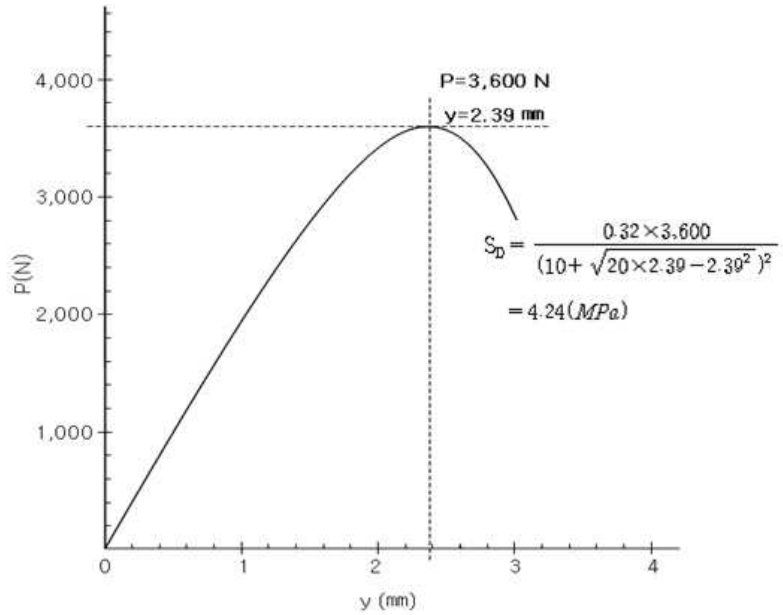


그림 3.95 변형강도 시험의 하중-변위 곡선 그래프

아래의 표 3.70은 프리캐스트용 수반응형 개질 아스팔트 혼합물을 선회 다짐 100회를 하여 제작된 공시체로 변형강도를 측정한 것이다. 바인더 함량이 증가함에 따라 공극이 늘어나는 경향이 있어 일반적인 아스팔트와는 다른 특성을 나타냈다. 이는 우레탄의 함량 증가가 반응성으로 이어진 것으로 바인더 함량 증가에 따라 공시체의 높이가 증가하였다. 또한, 목표로 한 2MPa보다 훨씬 상회하는 값을 나타냄으로 수반응형 아스팔트 혼합물의 우수한 강도를 확인할 수 있었다. 시험 결과를 통해 주어진 바인더 함량 내에서 변형강도에 큰 영향을 주지 않으므로 바인더 함량을 6.0%로 하고 골재의 배합비를 조절하여 시험을 진행하기로 하였다.

표 3.70 바인더 함량에 따른 선회 다짐 공시체의 변형강도 측정(굵은골재:잔골재=7:3)

AC (%)	No	두께 (mm)	중량(g)			밀도(g/cm^3)		공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	P(N)	y(mm)	S_D (MPa)
			공기중	수중	SSD	실측	이론						
6.0	1	60.9	1046.9	567.2	1048.9	2.173	2.427	10.43	23.19	55.02	17831	3.3	18.8
	2	61.5	1048.6	566.6	1052.2	2.159	2.427	11.01	23.69	53.52	14028	3.0	15.3
	3	61.5	1047.2	565.4	1058.6	2.123	2.427	12.50	24.96	49.94	14469	3.0	15.8
	평균	61.3	1047.6	566.4	1053.2	2.152	2.427	11.31	23.95	52.76	15443	3.1	16.6
7.0	1	62.7	1042.0	551.0	1045.8	2.106	2.392	11.96	24.32	50.83	16106	3.3	16.9
	2	62.8	1048.9	555.2	1052.7	2.108	2.392	11.86	24.24	51.07	14504	3.1	15.7
	3	62.8	1046.1	554.4	1050.5	2.109	2.392	11.85	24.23	51.10	13881	2.9	15.3
	평균	62.8	1045.7	553.5	1049.7	2.108	2.392	11.89	24.26	51.00	14830	3.1	16.0
8.0	1	64.5	1050.4	546.7	1054.4	2.069	2.358	12.28	24.42	49.73	15341	3.3	16.1
	2	64.3	1043.7	543.3	1049.3	2.063	2.358	12.54	24.65	49.12	17301	3.6	17.6
	3	64.9	1046.5	544.9	1052.2	2.063	2.358	12.53	24.64	49.14	15959	3.7	16.0
	평균	64.6	1046.9	545.0	1052.0	2.065	2.358	12.45	28.61	56.49	16200	3.5	16.6

바인더 함량을 6.0%로 고정을 한 후, 굵은 골재와 잔골재의 배합비를 달리하여 시험을 실시하였으며 표 3.71과 같은 시험 결과를 나타낸다. 잔골재의 함량이 늘어남에 따라 변형강도는 감소하는 경향을 보였지만 공극에 경우는 일정한 경향을 보이지 않았다.

표 3.71 골재비에 따른 선회 다짐 공시체의 변형강도 측정
(바인더 함량 6.0%, 골재비=굵은골재:잔골재)

골재비	No	두께 (mm)	중량(g)			밀도(g/cm^3)		공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	P(N)	y(mm)	S_D (MPa)
			공기중	수중	SSD	실측	이론						
5:5	1	63.6	1048.1	562.6	1049.3	2.153	2.366	8.98	23.73	62.15	10946	3.7	11.1
	2	63.9	1043.3	554.5	1044.6	2.129	2.366	10.03	24.61	59.25	9746	4.1	9.5
	3	63.6	1047.4	560.3	1048.4	2.146	2.366	9.30	24.00	61.24	9461	4.1	9.2
	평균	63.7	1046.3	559.1	1047.4	2.143	2.366	9.44	24.11	60.86	10051	3.9	9.9
6:4	1	63.2	1046.0	569.1	1047.0	2.189	2.375	7.84	22.83	65.65	10835	4.1	10.6
	2	63.5	1044.8	566.8	1045.9	2.181	2.375	8.18	23.12	64.62	10801	4.3	10.4
	3	63.5	1046.0	566.2	1047.0	2.176	2.375	8.40	23.30	63.95	13932	4.3	13.4
	평균	63.4	1045.6	567.4	1046.6	2.182	2.375	8.14	23.08	64.74	11856	4.2	11.5
7:3	1	62.7	1042.0	551.0	1045.8	2.106	2.392	11.96	24.32	50.83	16106	3.3	16.9
	2	62.8	1048.9	555.2	1052.7	2.108	2.392	11.86	24.24	51.07	14504	3.1	15.7
	3	62.8	1046.1	554.4	1050.5	2.109	2.392	11.85	24.23	51.10	13881	2.9	15.3
	평균	62.8	1045.7	553.5	1049.7	2.108	2.392	11.89	24.26	51.00	14830	3.1	16.0

골재의 배합비 외에 공극률을 조절하기 위하여 굵은 골재와 잔골재 외에 채움재(Filler)를 투입하여 시험을 실시하였다. 실시한 결과는 채움재를 투입하여도 공극이 감소하는 경향은 보이지 않았다. 하지만 채움재를 첨가함으로 강도가 높아짐을 확인하였다. 시험의 결과를 통해 수반응형 혼합물의 경우 우레탄이 물과 반응하여 경화가 되고 강도가 발현이 됨으로 일반적인 아스팔트 혼합물처럼 골재 혼합비와 채움재의 첨가로는 공극률이 경향성을 나타내지 않음을 확인하였다.

표 3.72 채움재 첨가 유무에 따른 선회 다짐 공시체의 변형강도 측정
(바인더 함량 6.0%, 골재비=굵은골재:잔골재:채움재)

골재비	No	두께 (mm)	중량(g)			밀도(g/cm^3)		공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	P(N)	y(mm)	S_D (MPa)
			공기중	수중	SSD	실측	이론						
5:5	1	64.6	1084.6	584.6	1091.1	2.141	2.366	9.49	22.07	56.97	10182	3.8	10.2
	2	64.8	1085.8	586.6	1092.3	2.147	2.366	9.25	21.86	57.67	9349	4.5	8.9
	3	65.0	1088.0	586.7	1096.3	2.135	2.366	9.76	22.30	56.21	10135	4.0	10.0
	평균	64.8	1086.1	586.0	1093.2	2.141	2.366	9.50	22.07	56.95	9889	4.1	9.7
5:4:1	1	63.2	1046.0	569.1	1047.0	2.189	2.412	11.07	23.79	53.48	11916	4.3	11.5
	2	63.5	1044.8	566.8	1045.9	2.181	2.412	11.02	23.75	53.61	12294	4.4	11.7
	3	63.5	1046.0	566.2	1047.0	2.176	2.412	9.37	22.34	58.04	11863	3.9	11.8
	평균	63.4	1045.6	567.4	1046.6	2.182	2.412	10.49	23.29	54.98	12024	4.2	11.7

(마) 혼합물의 물리적인 성능 개선 / 칸타블로 시험

3차년도에는 성과지표인 변형강도 외에 개선된 혼합물의 골재의 마모에 대한 저항성을 평가하기 위하여 LA 마모시험기(LA Abrasion Testing Machine)를 이용하였다. 시험 방법은 기존의 배수성 혼합물의 강도를 측정하는 방법인 칸타블로 시험을 통해 혼합물의 골재 탈리에 의한 손실률을 확인하였다. 강도 특성의 평가는 LA 마모 시험기에 마샬 다짐(양면 75회)으로 제작된 공시체를 철구를 넣지 않은 상태로 1개 넣고 30~33rpm의 회전 속도로 300회전한 후의 공시체의 전·후 질량을 측정하여 손실율을 계산하였다.



그림 3.96 LA 마모시험기(LA Abrasion Testing Machine)



(a) 상부 모습



(b) 측면 모습

그림 3.97 칸타블로 시험 전·후의 공시체의 모습 비교

표 3.73 골재 배합비에 따른 칸타블로 손실율(바인더 함량 6.0%, 골재비=굵은골재:잔골재)

골재비	No	공극율 (%)	질량(g)		손실율 (%)
			측정전	측정후	
5:5	1	8.95	1,084.1	1,029.1	5.1
	2	9.89	1,087.3	1,016.9	6.5
	3	9.50	1,086.6	997.8	8.2
	평균	9.45	1,086.0	1,014.6	6.6
6:4	1	10.12	1083.5	1,005.1	7.2
	2	9.59	1081.2	998.7	7.6
	3	9.89	1088.6	985.6	9.5
	평균	9.87	1,084.4	996.5	8.1
7:3	1	11.58	1,079.9	999.5	7.4
	2	11.75	1,084.2	981.2	9.5
	3	11.25	1,081.0	1,001.1	7.4
	평균	11.53	1,081.7	993.9	8.1

골재의 탈리에 의한 마모 정도를 확인하기 위하여 굵은 골재와 잔골재의 배합비를 달리하여 시험을 실시하였다. 실시한 결과는 5:5에서 가장 손실율이 작게 측정이 되었다. 이는 골재의 공극율과 골재의 배합비와도 관련이 있는 것으로 보인다. 배수성 혼합물의 경우는 마모감량의 기준이 20%로 단순 비교가 가능한 수치는 아니지만 본 연구에서 측정된 혼합물의 마모감량은 최소 6.6%에서 최대 8.1%로 탈리에 대한 저항성이 강한 것으로 생각된다.

(6) 아스팔트 프리캐스트 채움재료 개선

(가) 채움재의 경화 시간 단축 시험

2차년도에 선정된 채움재의 접착제로는 2액형 에폭시 우레아로 접착제만의 배합비는 주제와 경화제를 1:1로 배합을 하였다. 그리고 내구성 증진 및 경제성을 확보하기 위하여 필러의 한 종류인 실리카를 투입하여 접착제 혼합시 같이 사용하였다. 실리카의 적정한 투입량을 시험을 통해 얻어진 결과는 주제:경화제:필러=2:2:6으로 핸들링이 가능한 배합

비였다. 이 배합비로 혼합을 할 경우 믹싱이 가능한 상태인 가사시간이 2분이였고, 거동이 발생하지 않는 지촉건조시간 4분 30초로 측정이 되었다. 그리고 완전경화시간은 20분으로 확인이 되었다. 3차년도에는 지촉건조 시간을 단축하는 것에 중점을 두어 연구를 하였으며 추가적으로 물이 가해진 상태에서 채움재 혼합후의 상태를 확인하여 물로 인해 간섭이 되는지를 확인하였다.

① 접착제 배합비 조절

다음의 표 3.74과 표 3.75는 접착제의 주제와 경화제의 배합비를 달리하여 경화 특징을 알아 본 것이다. 시험 결과를 통해 경화제의 양이 60%까지 증가함에 따라 경화가 빠르게 일어나지만 그 이상은 지촉 건조가 늦어지고 완전 경화 후에도 경화제로 추정되는 액체가 남아 있었다.

표 3.74 주제와 첨가제 배합비에 따른 경화 시간 확인

번호	배합비		경화시간		특징
	A (주제)	B (경화제)	가사 시간	지촉건조 시간	
1	5	5	2분	4분15초	기존 배합비와 큰 차이가 없음.
2	4.5	5.5	1분 40초	3분 30초	가장 빠른 지촉 건조 시간을 나타냄.
3	4	6	1분 30초	3분 52초	가사시간이 빨라 핸들링이 어려움.
4	3.5	6.5	1분 30초	5분 이상	완전경화 후 액체 없어지나 표면이 매끄럽지 못함.
5	3	7	1분 30초	5분 이상	액체 남고 완전경화 후에도 액체 약간 남음.
6	2.5	7.5	1분 30초	5분 이상	액체 남고 완전경화 후에도 액체 약간 남음.

표 3.75 주제와 첨가제 배합비에 따른 경화 상태

접착제 상태						
번호	6	5	4	3	2	1

② 필러의 첨가

다음의 표 3.76와 표 3.77은 필러의 투입량을 고정하고 접착제의 주제와 경화제의 배합비를 달리하고 경화 특징을 알아 본 것이다. 시험 결과를 통해 필러가 투입된 경우는 3번 배합비에서 가장 빠른 지촉 건조 시간을 나타냈지만 액체가 남아 있었으며 반면에 2번 배합비에 경우는 액체가 남아 있지 않은 상태로 기존 배합비의 대한 지촉 건조가 30초 이상 단축이 되었다. 경화제 양이 늘어남에 따라 반응 후 경화제로 보이는 액체가 남았고 경화제가 매우 과량일 경우에는 지촉 건조가 늦어지는 현상이 있었다.

표 3.76 필러가 투입된 채움재의 주제와 첨가제 배합비에 따른 경화 시간 확인

번호	배합비			경화시간		특징
	A (주제)	B (경화제)	필러	가사 시간	지촉건조 시간	
1	2.0	2.0	6.0	1분 50초	4분30초	기존 배합비
2	1.8	2.2	6.0	1분 50초	4분	액체가 남지 않고 지촉건조 단축됨.
3	1.6	2.4	6.0	1분 40초	3분 50초	완전경화 후에도 액체가 소량 남음.
4	1.4	2.6	6.0	1분 40초	3분 40초	완전경화 후에도 액체가 소량 남음.
5	1.2	2.8	6.0	1분 40초	5분 이상	완전경화 후에도 액체가 다량 남음.
6	1.0	3.0	6.0	1분 40초	5분 이상	완전경화 후에도 액체가 다량 남음.

표 3.77 필러가 투입된 채움재의 주제와 첨가제 배합비에 따른 경화 상태

접착제 상태	
번호	6 5 4 3 2 1

③ 물의 간섭성 확인

이전 시험을 통해 지촉 건조 시간이 단축이 되고 반응 후 경화제가 남지 않은 2번 배합비에 가수를 하여 우천시에 채움재 혼합 후 물로 인해 경화가 영향을 받는지를 확인하였다. 표 3.78은 시험한 결과를 나타낸다. 접착제만을 믹싱할 경우는 가사시간 이후 물이 분리되는 현상을 보였다. 반면에 필러가 투입된 경우는 선가수에 경우 물이 채움재 내부에 존재할 경우 경화가 되면서 물이 빠져나오는 현상이 있었다. 채움재를 혼합한 후에 물을 가한 경우는 물과 분리되어 정상적인 경화가 이루어졌다. 이를 통해 보수 장비에 의해 만들어진 구멍에 우천으로 인핸 물이 존재하더라도 미리 믹싱된 채움재를 투입하면 물에 영향을 받지 않음을 간접적으로 확인이 가능하였다.

표 3.78 선정된 배합비에 물로 인한 경화 상태 확인

번호	배합비			가수 시기	지촉건조 시간	특징
	A (주제)	B (경화제)	필러			
2	1.8	2.2		선가수	3분30초	물과 같이 혼합되어 경화시 끓어오르는 현상 발생. 경화 후 물과 분리됨.
	1.8	2.2	6.0	선가수	5분이상	물과 함께 혼합되어 경화시 채움재 내부에 갇혀있는 물이 끓어 오르듯이 빠져나옴.
	1.8	2.2	6.0	후가수	4분 30초	혼합된 채움재에 물을 가함. 물과 혼입되지 않으므로 정상적으로 경화됨.

(나) 채움재의 색상 개선 시험

채움재의 재료 중에 접착제만의 색상은 연한 베이지색을 나타내며 필러를 투입할 경우 카키색을 나타낸다. 이는 아스팔트 혼합물의 색상인 검은색과 이명성을 띄어 도로상에서 확연한 차이를 보였다. 2차년도 후반기에 이명성을 줄이기 위해 연구소에서 자체적으로 가지고 있던 카본 블랙을 사용하여 색상에 변화를 시도하였고 가능성을 확인하였다. 3차년도에는 도로와의 색상 차이가 없도록 하기 위하여 새로운 카본 블랙을 찾기로 하였다.

카본 블랙(Carbon Black)은 천연가스, 타르, oil 등의 탄화수소 등을 불완전 연소시켜

생긴 그을음을 모으거나, 열분해에 의해서 탄소육원환의 형성이 행해지고 이어 탈수소축합 등의 과정에 의해 다환식방향족 화합물을 거쳐 탄소원자 6각 그물구조의 소위 카본블랙 결정자를 낳는데, 이 결정자의 집합체가 카본 블랙이다. 즉 오일 및 가스의 불완전 연소된 그을음으로 생각할 수 있다. 11%정도가 인쇄잉크를 비롯하여 흑색안료(黑色顔料)로 사용될 뿐이며 85%가 고무용으로 사용될 정도로 대표적인 고무 첨가제이다.

색상 개선을 위해 두가지의 카본블랙을 시험대상으로 삼았다. A-카본 블랙은 특수용 카본블랙으로 흑색착색제로서 산업용 페인트, 코팅, 플라스틱 및 섬유용 착색제, 각종 인쇄물 및 신문 인쇄용 잉크 등에 주로 사용되고 있으며, 또한 전자부품의 전도성 소재로서 산업부문 전반에 걸쳐 다양하게 사용되고 있다. B-카본블랙은 카본블랙 시장의 대부분을 차지하고 있으며, 자동차, 항공기 및 산업용 타이어 등 고무 관련 제품의 필수 보강제로서 사용되고 있다.

우선적으로 실내에서 함량별 색상을 육안으로 확인 후, 이명성이 최소화된 카본 블랙 함량을 가지고 외부에 노출시켜 시간 경과에 따른 색상 변화를 확인하기로 하였다.

첫 번째로 A-카본 블랙과 B-카본 블랙을 함량별로 첨가하여 색상을 확인하였다. 표 3.79와 그림 3.98은 A-카본 블랙의 시험 결과이고 표 3.80과 그림 3.99는 B-카본 블랙의 시험 결과이다. A-카본 블랙은 전체 배합량의 0.25%까지도 진한 검은 색을 나타냈고 B-카본 블랙에 경우는 배합량 3.0%에서 진한 검은색을 나타냈다. A-카본블랙이 B-카본 블랙보다 단가가 2배 정도 차이가 나지만 A-카본 블랙의 함량대비 효율이 매우 높아 A-카본 블랙을 현장에 적용하여 보기로 하였다.

표 3.79 A-카본 블랙의 색상 시험

번호	배합비				색상 및 특징
	A (주제)	B (경화제)	필러	카본블랙	
1	20	20	60	1.0	진한 검은색
2	20	20	60	0.5	진한 검은색
3	20	20	60	0.25	진한 검은색
4	20	20	60	0.1	옅은 검은색
5	20	20	60	0.05	옅은 검은색

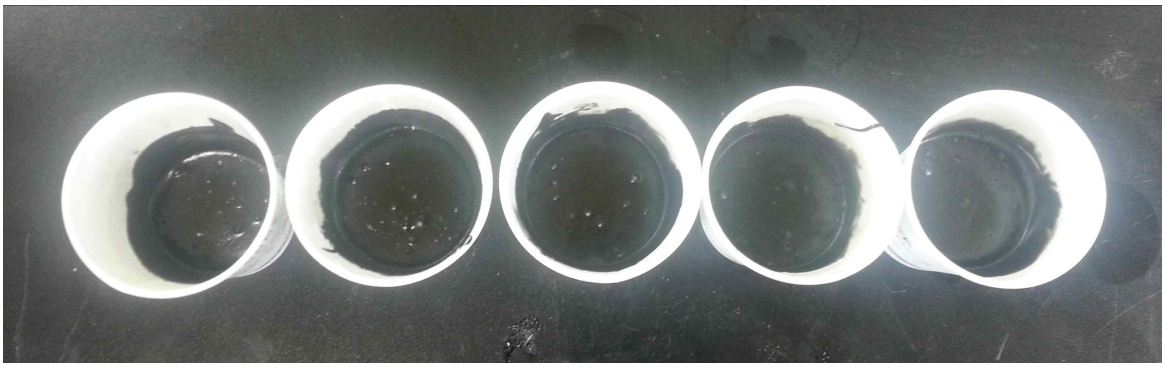


그림 3.98 A-카본블랙의 색상 확인(왼쪽부터 1.0%,0.5%,0.25%,0.1%, 0.05%)

표 3.80 B-카본 블랙의 색상 시험

번호	배합비				색상 및 특징
	A (주제)	B (경화제)	필러	카본블랙	
1	20	20	60	3.0	진한 검은색. 도로와의 이질감은 없음.
2	20	20	60	1.5	옅은 검은색. 도로와의 이질감은 없음.
3	20	20	60	1.0	진회색
4	20	20	60	0.5	회색

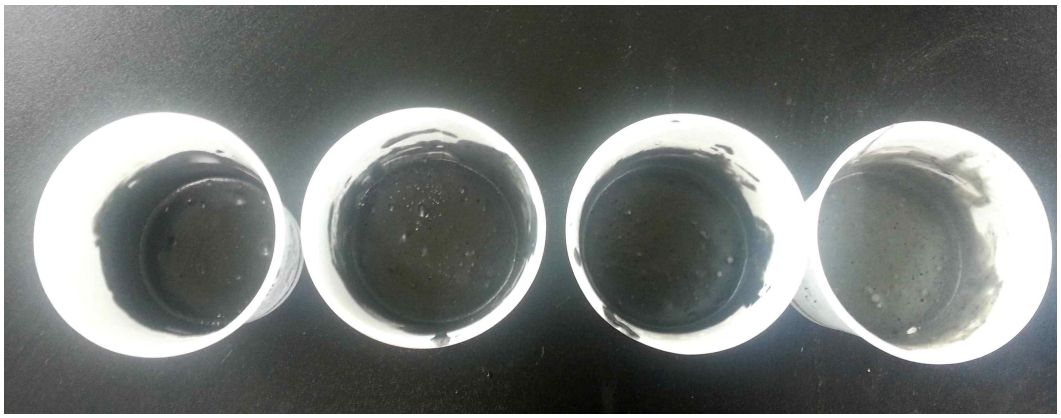


그림 3.99 B-카본블랙의 색상 확인(왼쪽부터 3.0%,1.5%,1.0%,0.5%)

선택된 A-카본 블랙의 배합비 중 2~5번을 가지고 실외에서 태양과 우수에 노출시켜 색상이 변화되는 것을 확인하려 하였다. 그림 3.100의 (a)~(d)로 시간 경과에 따른 색상 변화를 확인할 수 있었다. 3개월이 경과된 시점에 색상이 회색으로 변화되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 실제 도로에서 검은색이 회색빛으로 변하는 것을 생각했을 때 3개월

이후 변화된 색상이 도로와의 이명성이 감소시켜 줄 것으로 생각된다. 12개월 경과된 채움재의 색상은 3개월 경과와 유사하였음을 육안으로 확인할 수 있었다.



(a)1일 경과



(b)7일 경과



(c)3개월 경과



(d)12개월 경과

그림 3.100 A-카본블랙의 색상 확인(왼쪽부터 0.5%,0.25%,0.1%, 0.05%)

(다) 접착강도 시험

선정된 채움재의 배합비를 개선하여 경화시간을 단축하였으며 수반응형 혼합물의 배합비 개선을 통해 강도를 증가시켰다. 개선된 배합비는 채움재의 경우 주제:경화제:필러:카본블랙=20:20:60:0.25이고 수반응형 혼합물의 경우는 굵은골재:잔골재=50:50이고 골재를 아스팔트로 골재 총중량의 1.5%를 피복하였다. 또한 혼합물에 들어가는 바인더의 함량은 골재 총중량에 6%로 하였다. 3차년도에는 2차년도와 마찬가지로 우선하여 60분 경과 후 접착강도 시험을 실시하였고, 목표값을 초과할 경우 30분, 15분, 5분 경과 후의 각각의 접착강도 시험을 실시하였다.

① 전단 접착강도

첫 번째로 개선된 배합비를 가지고 60분 전단접착강도 시험을 실시하였다. 측정된 시험 결과는 표 3.81에서 나타낸 것처럼 채움재의 전단접착강도가 성과 목표에 설정된 60분 이내의 (0.15N/mm^2(1.53kgf/cm^2))이상의 강도 발현이 되었다. 목표값을 초과하였기에 30분의 접착강도 시험을 실시하였다. 30분 경과된 전단 접착강도 시험에 경우 60분에 비해 측정값은 낮아졌지만 성과목표 이상의 값을 나타냈다.

표 3.81 개선된 배합비로 측정된 전단접착강도 시험(KS F 4932) (경화시간 60분)

시료번호	전단접착강도(20℃)			
	최대하중(kgf)	단면적(cm^2)	강도(kg/cm^2)	강도(N/mm^2)
1	763	100	7.63	0.75
2	376.5	100	3.77	0.37
3	275.3	100	2.75	0.27
평 균			4.70	0.46

표 3.82 개선된 배합비로 측정된 전단접착강도 시험(KS F 4932) (경화시간 30분)

시료번호	전단접착강도(20℃)			
	최대하중(kgf)	단면적(cm^2)	강도(kg/cm^2)	강도(N/mm^2)
1	355.7	100	3.56	0.35
2	433.9	100	4.34	0.43
3	503.0	100	5.03	0.49
평 균			4.31	0.42

② 인장 접착강도

개선된 배합비를 가지고 60분 인장접착강도 시험을 실시하였다. 측정된 시험 결과는 표 3.83에서 나타낸 것처럼 채움재의 인장접착강도가 성과 목표에 설정된 60분 이내의 ($0.6N/mm^2$(6.12 kgf/cm^2))이상의 강도 발현이 되었다. 목표값을 초과하였기에 30분의 시험을 실시하여 목표에 부합하는 값을 얻었다.

표 3.83 개선된 배합비로 측정된 인장접착강도 시험(KS F 4932) (경화시간 60분)

시료번호	인장접착강도(20℃)			
	최대하중(kgf)	단면적(cm^2)	강도(kg/cm^2)	강도(N/mm^2)
1	652.7	78.5	8.31	0.85
2	646.5	78.5	8.24	0.84
3	654.9	78.5	8.34	0.85
평 균			8.30	0.85

표 3.84 개선된 배합비로 측정된 인장접착강도 시험(KS F 4932) (경화시간 30분)

시료번호	인장접착강도(20℃)			
	최대하중(kgf)	단면적(cm^2)	강도(kg/cm^2)	강도(N/mm^2)
1	562.3	78.5	7.16	0.73
2	566.3	78.5	7.21	0.74
3	554.1	78.5	7.06	0.72
평 균			7.14	0.73

이를 통해 개선된 재료를 이용하여 3차년도에 추가적으로 실행된 접착강도에 경우 전단 및 인장 모두에서 60분 경과에 해당하는 측정값이 부합하였다. 또한 추가적으로 시행된 30분 시험에 경우에도 모두 목표값을 초과하였다. 이를 통해 채움재의 완전 경화시간(20분)을 확인하였으며 현장 시공후의 조기 개방이 가능할 것으로 보인다.

(라) 채움재의 연성 시험

① 라텍스 첨가 시험

채움재의 취성을 보완하기 위하여 연성을 향상시키는 시험을 실시하였다. 2액형 에폭시 우레아가 가지는 단점인 취성을 보완하기 위하여 연성을 향상시키는 시험을 실시하였다. 2액형 에폭시 우레아의 경우 자체적인 강도가 매우 높으며 실리카를 첨가함으로 더 높은 내구성을 지니고 있다. 하지만 높은 강도를 가진 반면 강한 충격에 견딜 수 있도록 추가적인 재료를 첨가하여 실내 시험 후 선택된 배합비를 가지고 내구성을 측정하는 동적안정도 시험을 실시하였다.

표 3.85 라텍스의 배합비를 달리한 채움재의 변화 모습

<table>
<tr><td rowspan="2">번호</td><td colspan="5">배합비</td><td rowspan="2">특징</td></tr>
<tr><td>A
(주제)</td><td>B
(경화제)</td><td>실리카</td><td>라텍스</td><td>카본블랙</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>25</td><td>25</td><td>40</td><td>10</td><td>0.25</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="5">핸들링 어려움, 매우 딱딱함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>25</td><td>25</td><td>30</td><td>20</td><td>0.25</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="5">핸들링 어려움, 딱딱함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>20</td><td>20</td><td>40</td><td>20</td><td>0.25</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="5">핸들링 어려움, 상당히 부풀어 오름</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td>22.5</td><td>22.5</td><td>35</td><td>20</td><td>0.25</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="5">핸들링 가능하며, 부풀어 오름 현상 최소발생,
경화 후 약간의 연성 생김.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td>17.5</td><td>17.5</td><td>35</td><td>30</td><td>0.25</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="5">경화 후에도 물렁함.</td></tr>
</table>

아스팔트 혼합물에 들어가는 개질제 중에 하나인 라텍스를 이용하여 배합비를 달리하였고 그에 따른 물성 변화를 확인하였다. 목표한 물성은 핸들링이 가능한 점도를 얻고 일정 수준의 강도가 나오는 것을 선정하기 위하여 육안 조사시 연질이 아니며 라텍스양 감소시 부풀어 오름 현상이 가장 최소한으로 발생하는 배합비를 얻으려 하였다. 표 3.85에서 가장 이상적인 배합비인 A제:B제:실리카:라텍스=22.5:22.5:35:20을 선정하였다.

② 동적안정도 시험

이러한 개선을 통한 취성의 개선을 확인하기 위하여 소형 공시체를 이용하여 만든 프리캐스트 보수재를 삽입한 슬래브의 동적안정도 시험을 실시하였다. 비교군으로 기존 채움재 배합비로 제작된 슬래브 사용하였다. 시험 결과를 통해 동적안정도의 수치를 보지 않고 일반 포장체와 보수재간의 결합제인 채움재의 파괴 거동을 확인하려 하였다. 기존 채움재에 경우 그림 3.101과 같이 라텍스 첨가된 채움재에 비해 취성이 강하여 크게 변화가 없었다. 반면에 라텍스 첨가된 채움재에 경우 시험시 고무바퀴에 따라 약간에 눌림을 반영하여 변형이 된 것을 확인할 수 있었다.

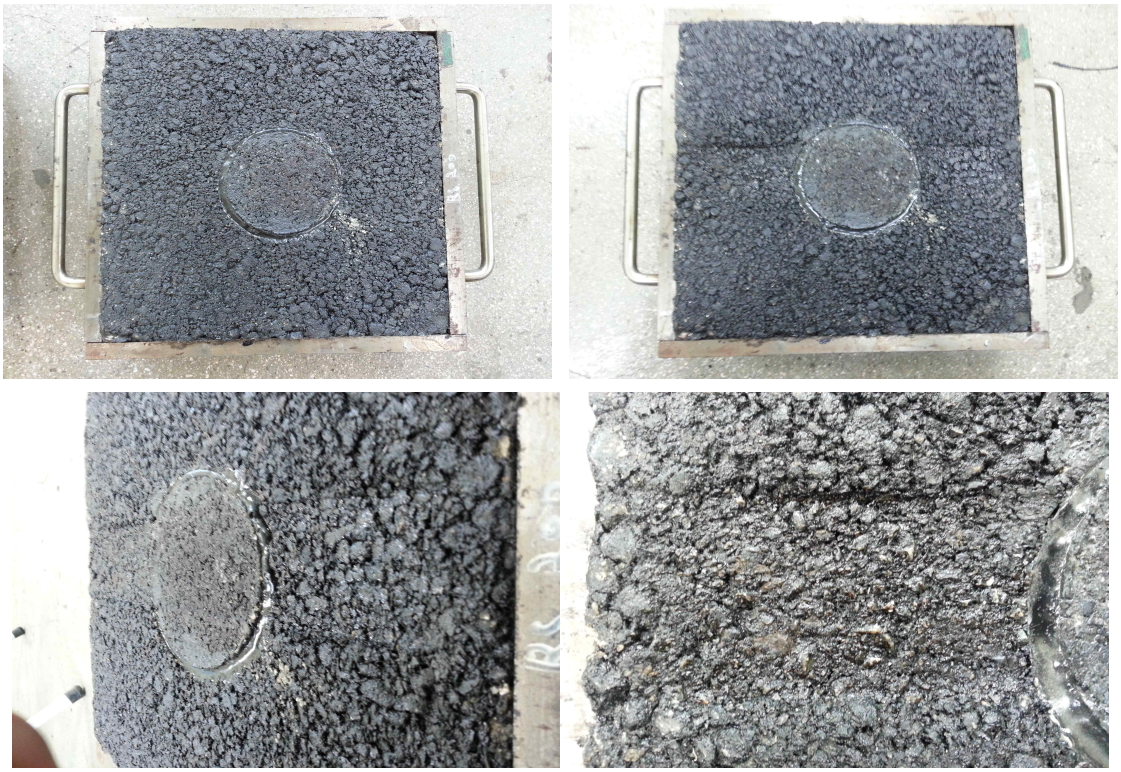


그림 3.101 기존 채움재의 배합비를 사용한 시험체의 동적 안정도 시험 후 모습



그림 3.102 라텍스 첨가된 채움재를 사용한 시험체의 동적 안정도 시험 후 모습

(마) 채움재 보관 및 살포 방법

접착제의 경우, 권장 보관 기간이 6개월 이하이며 물성의 변화가 없는 온도를 0~50℃로 정하고 있다. 또한, 필러(실리카)의 경우 습기에 약하고 직사광선이 들어오지 않는 서늘한 곳에서 보관을 하여야 하며 장기간 노출시 물성의 변화가 발생한다. 채움재의 보관이 용이하기 위해서는 온도 및 외부 노출 등에 대한 안정성을 지녔거나 안정된 환경을 조성해줘야 할 것이다.



그림 3.103 2액형 사출건

본 연구는 이러한 온도 및 외부 영향에 따른 영향을 확인하기 위함이다. 사용되는 채움재는 접착제(A제, B제)와 필러로 구성되어 있다. 접착제의 재료만을 사용할 경우, 접착제를 혼합하는 장비는 압력을 이용하는 사출건(GUN)이 대표적이다. 사출건의 경우 A제와 B제를 밀폐된 전용 용기에서 고압으로 밀어 동시에 나옴으로 두 재료가 나선형 노즐에서 섞이어 외부 노출이 되게 하는 장치이다. 그림 3.103은 본 연구에서 사용된 2액형 에폭시 우레아를 사출할 수 있는 장치로 이런 장비에 사용이 가능한 재료의 안정성을 확보하는 시험을 해보려 하였다.

2액형 에폭시 우레아의 경우 0~50℃에서 안정을 유지하므로 온도 변화에 따른 물성 변화를 확인하려 하였다. 그리고 이번 연구에서는 접착제와 필러를 혼합하여 사용하므로 필러를 투입하였을 경우 점도 변화를 확인하여 사출건에 적용가능한지의 여부를 확인하려 하였다. 그림 3.104의 Brookfield 점도계를 이용하여 재료의 배합비를 달리한 후, 온도 변화에 따른 점도 변화를 확인하려 하였다. 통상적으로 펌프에서 100cP이상이 되면 펌프의 성능에 영향이 있고 500cP가 되면 일반적인 나선형 펌프에 사용이 불가함을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 나선형 사출건의 사용될 재료의 점도를 500cP로 하고 그에 맞추어 시험을 실시하였다.



그림 3.104 Brookfield 점도계

접착제의 경우 A제와 B제를 혼합할 경우 경화가 진행되므로 점도 측정은 각각의 필러 투입량을 절반씩을 투입하여 점도 측정을 하였다. 표 3.86과 표 3.87은 그에 따른 결과를 나타낸 것이다. 기존의 선정된 배합비(A제:B제:필러=20:20:60)은 80~90℃에서 500cP대에

점도를 나타냈으므로 사출건 적용에 적정하지 않은 것으로 생각이 된다. 50℃에서 500cP 대의 점도를 가진 배합비를 찾으려 하였고 접착제:필러=25:25가 적정할 것으로 생각이 되었다.

표 3.86 주제(A)와 필러의 배합 후 온도에 따른 점도 변화

성분	투입량(%) ※ 경화재와 필러 투입량 50%를 제외				
주제(A)	30.0	27.5	25.0	22.5	20.0
필러	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
온도	점도(cPs)				
25℃	143.8	431.3	718.8	1493.5	4104
40℃	125	287.5	650	825	3250
50℃	112.5	250	550	600	2250
60℃	100	212.5	437.5	475	1875
70℃					1700
80℃					1275
90℃					1063
100℃					962.5
110℃					562.5
120℃					350(연기발생)

표 3.87 경화제(B)와 필러의 배합 후 온도에 따른 점도 변화

성분	투입량(%) ※ 주재와 필러 투입량 50%를 제외				
경화제(B)	30.0	27.5	25.0	22.5	20.0
필러	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
온도	점도(cPs)				
25℃	68.8	112.5	743.8	987.5	2119
40℃	67.7	87.5	687.5	800	1725
50℃	62.5	75	525	587.5	1200
60℃	50	62.5	400	437.5	925
70℃					700
80℃					575
90℃					500
100℃					450
110℃					425
120℃					387.5(연기발생)

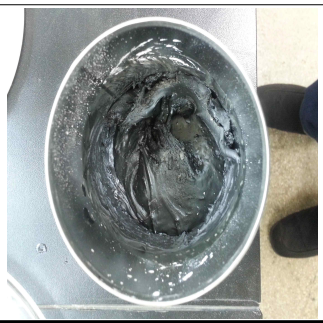
그림 3.105는 항온수조에서 밀폐된 상태에서 2시간 보관한 상태를 보여주는 것이고 표 3.88은 각 온도별 경화된 채움재의 모습이다. 40℃, 50℃, 60℃의 각각의 온도의 항온수조

에서 밀봉된 상태로 채움재료를 보관을 한 후 믹싱을 하였다. 채움재의 경화는 2액형 에폭시 우레아의 가사 시간인 2분보다 빠르게 진행되었고 급속도록 지촉건조 상태가 됨을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 점도 조절을 온도로 하여 조절하는 것은 어려울 것으로 생각되어 진다.



그림 3.105 밀폐된 상태에서 보관된 채움재료

표 3.88 온도에 따른 채움재의 경화 시간

온도(℃)	40℃	50℃	60℃
가사시간	1분 50초	1분 30초	1분 24초
지촉건조 시간	3분 30초	3분	2분45초
경화 상태			

온도 변화에 따른 시험 결과를 토대로 사출건의 사용은 점도가 낮은 재료를 사용을 하지만 상온에서 점도가 낮은 접착에 경우 접착제의 과다 투입으로 경제성이 없어지므로 본 연구의 취지가 맞지 않으므로 배제를 하였고 사출건의 적용을 하지 않기로 하였다.

그리하여 추후 협의를 통해 보수 차량에 밀폐된 상태에서 하단에 노즐로 투입량을 조

절할 수 있는 접착제 저장탱크(A제, B제)를 그림 3.106과 같이 장착하였고 이를 믹싱할 수 있는 그림 3.107의 간이 믹서를 충전용 핸드 드릴을 이용하여 임펠라가 탈부착이 가능하도록 설치하였다.



그림 3.106 보수차량에 장착된 접착제 탱크(A제, B제) 및 간이 믹서

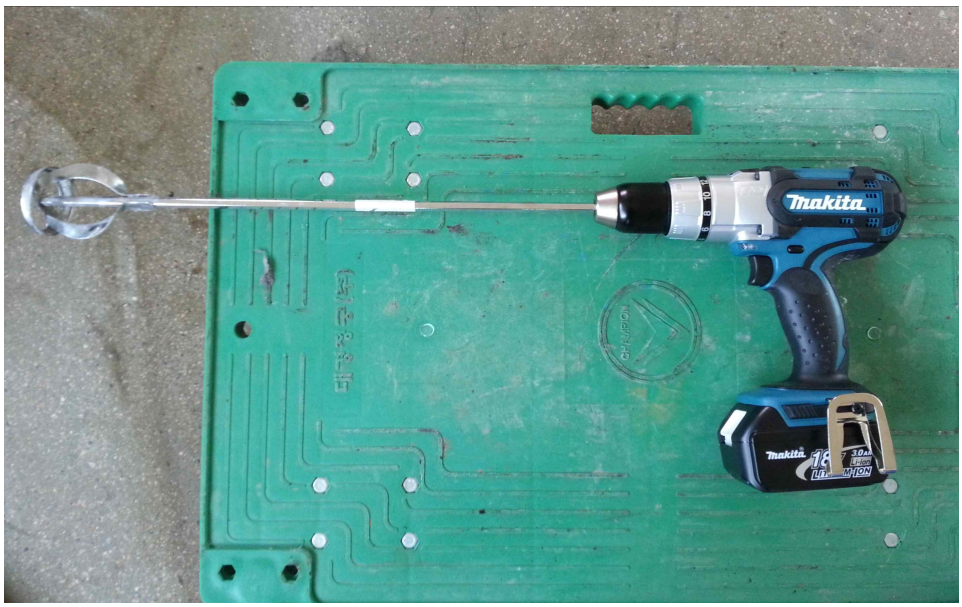


그림 3.107 간이 믹서로 사용된 핸드 드릴 (임펠라 장착)

(7) 아스팔트 프리캐스트 시험 생산 설비 개발

(가) 자동화 생산 설비 제작

본 연구에서 개발중인 아스팔트 프리캐스트 보수재는 국내외에서 처음으로 개발하여 대량 생산을 위한 장비는 전혀 연구가 되지 않은 상태였다. 2차년도에는 제작하려는 형태 및 크기의 몰드를 제작하여 몰드내에 수반응형 혼합물 넣어 그림 3.108과 같이 수동 해머를 가지고 다짐을 하여 제작을 하였다. 혼합물이 투입 후 수십 차례의 항타를 하여 다짐을 하므로 많은 시간이 소요되었고 그림 3.109와 같이 상부 표면이 고르고 평평하게 형성되지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 인력에 의한 방법으로 항타하는 방식이나 횟수에 따라 품질 관리가 되지 않고 대량 생산을 위한 방법으로 적절치 않으므로 자동화 생산 설비의 필요성이 절실하였다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 시험체의 제작을 공정화 시키고 신속한 제작 및 품질관리가 일정한 자동화 설비를 제작하려 한다. 또한, 생산 작업자의 안전을 확보하고 시험체의 규격 및 모양을 다양하게 할 수 있는 아스팔트 프리캐스트 자동화 생산 설비를 개발하고자 한다. 자동화 생산 설비는 개발중인 수반응형 혼합물의 특성들을 고려하여, 공정 단계별로 최적화하기 위하여 설비 제작 및 설비에 적합한 재료 개선을 동시에 수행하였다. 수 차례에 반복 시험을 통해 설비 보완을 실시하였고 대량 생산에 적합한 수반응형 혼합물의 배합비를 개선하였다.



그림 3.108 수동식 해머 항타로 시험체 제작 모습



그림 3.109 수동 제작된 아스팔트 프리캐스트 시험체

① 문헌 및 유사 장비 조사

본 연구에서 개발하고자 하는 자동화 생산 설비와 유사한 장비 선행조사를 실시하여 장비의 기초 설계 및 세부 기술부분에 적용이 가능한지 여부를 판단하였다.



그림 3.110 선회 다짐기(Gyratory Compactor)

우선적으로 검토된 것이 그림 3.110과 같은 선회다짐기(Gyratory Compactor)이다. 마샬 다짐기와 같은 충격다짐과는 다른 롤러의 전압 다짐 방법을 모사한 최초의 선회다짐기가 1939년 미국 텍사스주 교통국에서 개발되었고, 개발된 후, 여러 연구기관에서 수차례 개량하여 현재의 형태의 모델이 미 육군 공병단에 의해 개발되었다(Ortolani & Sandberh,

1952). 개발된 장비는 1957년 AAPT(Assoc-iation of Asphalt Paving Technologist)학술발표회에서 처음 소개되었다. 선회다짐기를 개발한 주요 이유는 다음과 같이 요약된다(Lee, 1996).

첫 번째로 연속된 교통하중 및 차량하중에 의한 밀도가 큰 시편을 제작하기 위함이고, 두 번째로 실제 포장체의 응력-변형조건을 실내실험에서 구현하기 위함이다. 또한, 세 번째로 아스팔트 포장의 파손에 필요한 차량주행반복횟수의 결정과 네 번째로 기존의 충격다짐방법의 한계를 극복할 수 있는 새로운 다짐방법의 필요하였기 때문이다. 미국의 전략적 도로연구사업(SHRP, Strategic Highway Research Program) 연구사업 중의 하나인 다짐방법의 개선연구에서는 기존의 미 육군 공병단에서 개발된 선회다짐기를 개량하여 시험시편만을 제작하는 용도의 선회다짐기를 개발하였다(SHRP, 1994, Butcher, 1997, Hinrichsen, 2000, Mallick, 2000). 일반적인 선회다짐기의 제원은 표 3.89와 같다. 다짐방법은 몰드안의 시료에 압축력과 전단력을 작용시켜 다짐을 수행한다. 다짐은 컨트롤 박스 혹은 컴퓨터로 작동 제어되며, 다짐중의 시편의 높이, 다짐횟수, 다짐압력, 다짐밀도 등이 실시간으로 표시된다.

표 3.89 일반적인 선회다짐기의 제원

항목	내용
속도	30 ± 0.5 rpm(2초당 1회전)
압력	보통 600kPa(최대 1,000kPa)
공시체 크기	100mm 혹은 150mm
회전각	0.02°~5°
공시체 탈형	사출기 이용하여 탈형(수동 혹은 자동)

두 번째로 검토된 것은 그림 3.111과 같은 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine; U.T.M.)로 제조를 하는데 사용되는 장비는 아니지만 압력을 통해 작동하므로 검토를 실시하였다. 만능 재료 시험기는 크게 기계식과 유압식으로 분류된다. 압력을 이용하여 콘크리트, 금속, 비금속 소재에 대한 응력을 측정하기 위한 장비로서 기본적인 움직임에 대한 기능 외에는 데이터 분석을 위한 컴퓨터를 장착하여 시험 데이터를 수집하고 분석하여 그 결과를 그래프 또는 데이트 저장 및 출력이 가능한 장비이다. 장비의 제원은 압력 크기 및 작동 방식에 따라 매우 다양하였다.



그림 3.111 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine; U.T.M.)

② 자동화 생산 설비의 설계

본 연구에서 개발하려는 자동화 생산 설비의 기본 목적은 설비에 생산된 혼합물 투입 후 일정한 압력을 가하여 원하는 형태 및 크기의 보수재를 제작하는 것이다. 따라서 설비 개발은 다양한 형태의 몰드가 장착 가능한 툴을 개발하고 간편한 버튼 조작으로 제품 제작이 가능한 장비를 구성하려 하였다. 우선 유사 장비의 제작 및 작동 흐름을 이해하고 이를 개발 설비에 접목시키는 것이 가장 중요한 사항이다. 자동화 생산 설비를 개발하기 위해 다음과 같은 사항을 필히 반영하였다.

- 여러 형태 및 크기의 몰드가 장착이 가능한 압형 툴
- 공정내 가수 및 정지(整地) 시스템 장착
- 자동식 몰드 탈형 장비 개발
- 시스템 수동 및 자동 조절 시스템 구축



그림 3.112 거치된 몰드에 압형 툴이 사용된 선회다짐기



그림 3.113 유압 펌프 및 유압 실린더가 장착된 만능 재료 시험기

연구 초기에는 장비에 대한 초창기 기본 구성은 아래의 그림 3.114에서 보는바와 같이 제작하도록 고안하였다. 기본적인 보수재의 형태는 원형을 유지하고 크기 및 두께는 Φ 300mm와 50mm로 하였고 만능재료 시험기의 유압 방식과 선회다짐기의 전압식 방식을 적용하였으며 제작된 보수재의 건조는 대형 건조대로 옮기도록 하였고 제작시 시험체 하

부판에서 양생이 되도록 하였다. 이를 바탕으로 제작된 초기 설비의 모습 및 기본 설비는 그림 3.117 ~ 3.117이다.

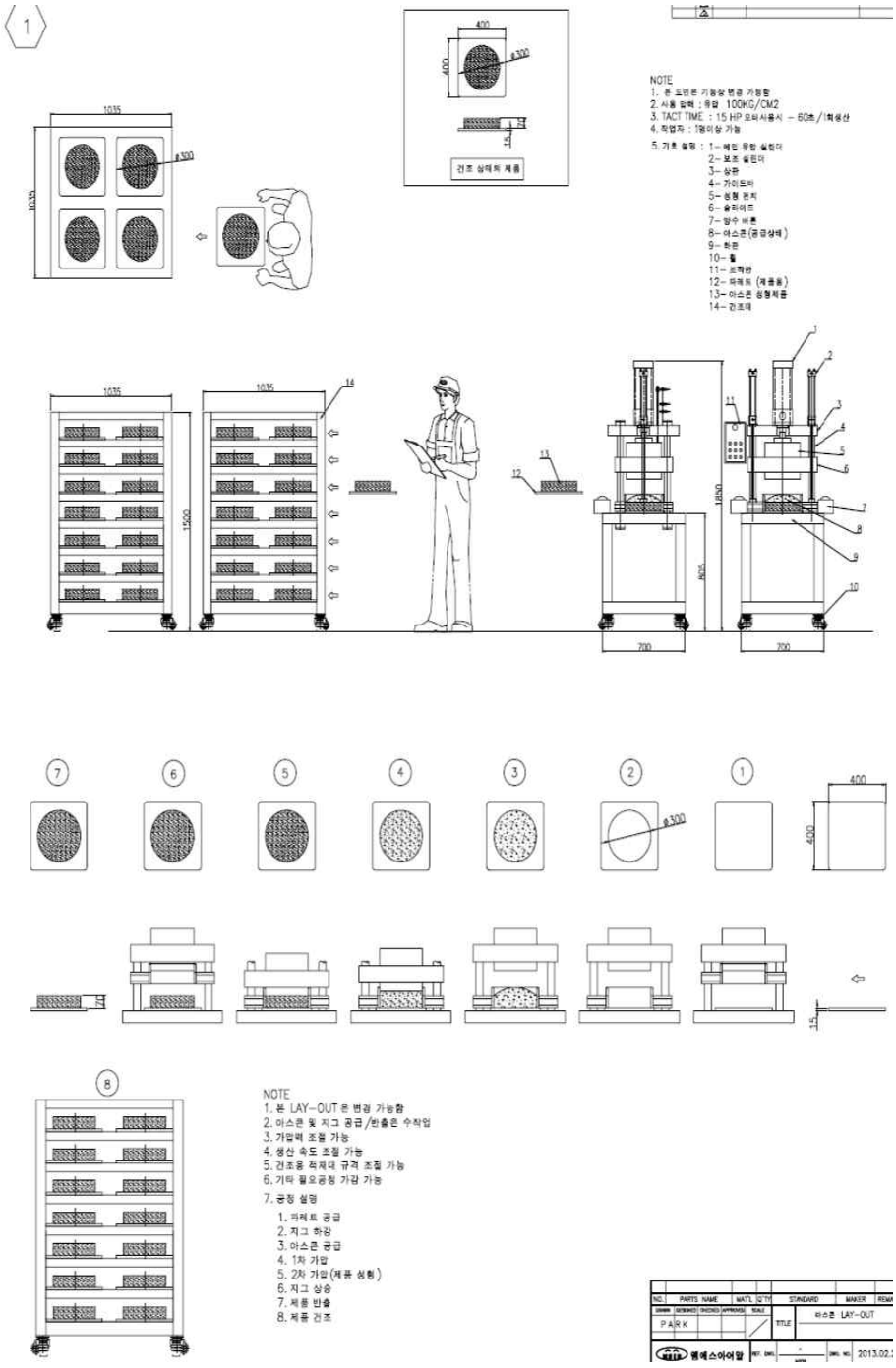


그림 3.114 연구단계 초기의 예상 설비 구성도



그림 3.115 초기 설비의 실제 제작 모습



그림 3.116 아스팔트 프리캐스트 보수재 전용 건조대



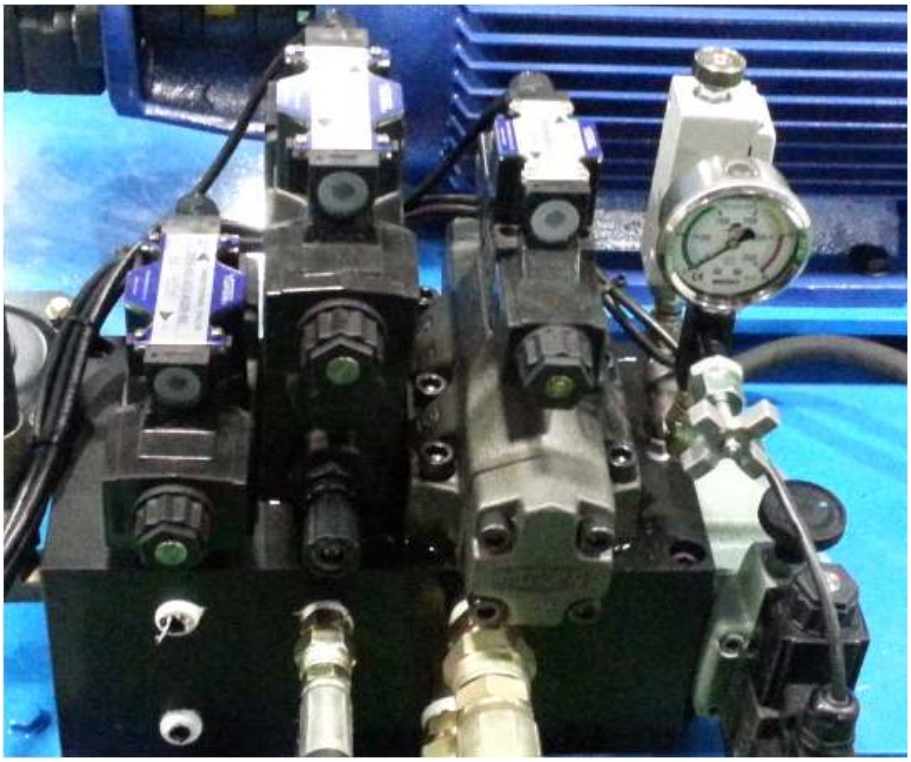
그림 3.117 압형 몰드 및 이송 받침대

(나) 자동화 생산 설비 보완

생산 설비의 작동은 설비를 제어하는 장치와 각 공정에 해당하는 장치로 구분된다. 생산 설비의 보완은 각 공정에 해당하는 장치의 개발 및 개선 사항을 정리하여 나타내었다. 개발된 생산 설비의 기본 공정을 크게 다음과 같이 4가지로 구분이 된다.

- 혼합물 투입 공정
- 가수 및 정지 공정
- 압형 및 탈형 공정
- 반출 및 기타 공정

우선적으로 공정을 작동 및 제어하기 위하여서는 압력 및 동력을 가해줄 수 있는 엔진 장치와 작동 방식(수동, 자동) 및 각 공정의 세부 사항을 조정할 수 있는 제어 장치가 필요하다. 압력과 동력은 그림 3.118에서처럼 크게 모터와 유압 펌프로 되어 있고 장비의 각 부분의 작동과 관계된 작동 부품이 설치되어 있다. 표 3.90은 엔진부의 기본적인 제원이다. 본 장비는 연구 및 대량 생산을 위해 제작된 설비임으로 크게는 작동 방식을 구분할 수 있고 각 공정을 제어하는 각각의 스위치와 수치를 확인할 수 있는 제어반이 있다. 다음의 그림 3.119는 제어반의 상세 설명이다. 그리고 엔진부와 제어부를 신호로 이어주는 메인반인 존재한다. 그림 3.120이 메인반이다.



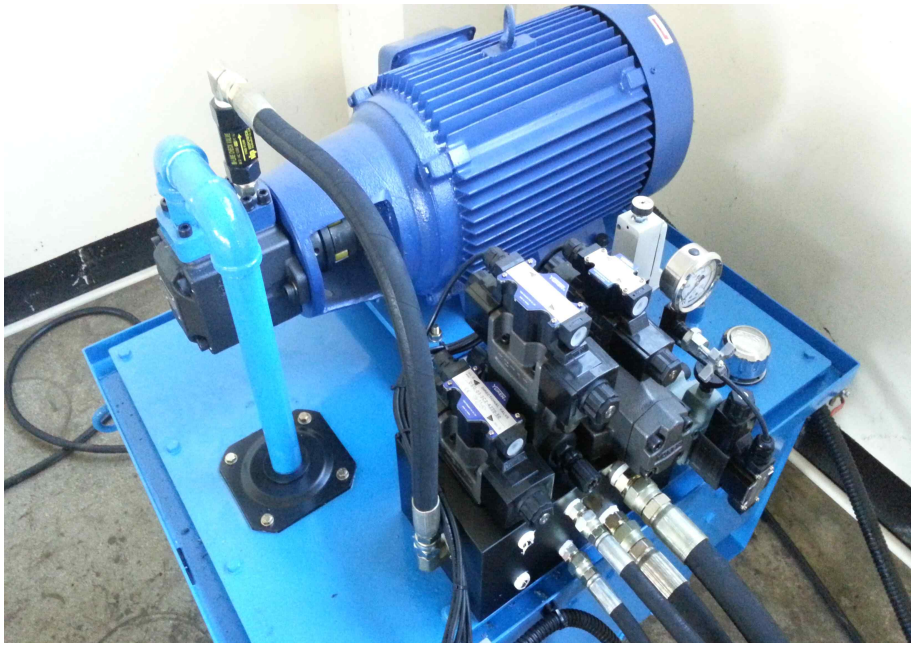


그림 3.118 엔진 장치(위: 작동 부품, 아래: 유압펌프 및 모터)

표 3.90 자동화 생산 설비의 제원

구분	내용
전원	380V X Φ3 - 유압모터 220V X Φ3 - 소형모터 / 센서
공기압	5~7Kg /㎠
유압	100Kg /㎠
상용 온도	18℃ 이상



1. 카운터 (생산수량)
2. 타이머 (노즐 회전시간)
3. 타이머 (노즐 열림시간)
4. 메인 상승/하강
5. 보조슬라이드 상승/하강
6. 컨베어 모터
7. 노즐 회전
8. 노즐 열림
9. 1차 파일롯 전진/후진
10. 지그 클램프 전진/후진
11. 2차 파일롯 전진/후진
12. 수동/자동 선택
13. 유압모터 기동
14. 자동운전 (1행정)
15. 원위치
16. 전원 (On/Off)
17. 유압정지
18. 알람해제
19. 비상
20. 작업등

그림 3.119 제어반의 상세 설명도

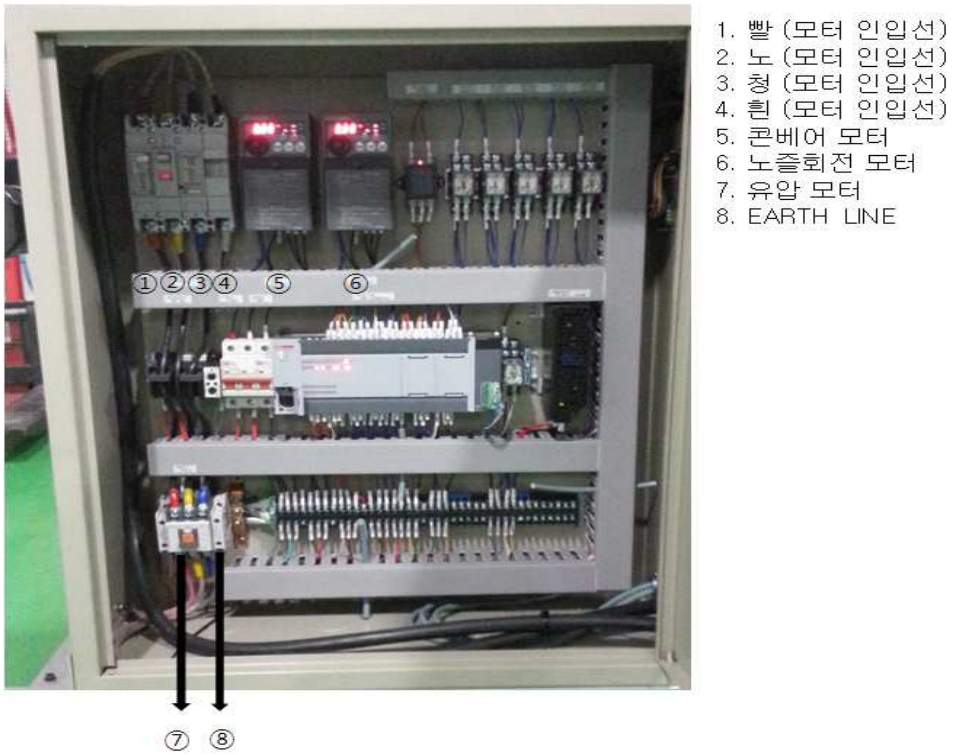


그림 3.120 메인반의 상세 설명도

그림 3.119는 보완이 다 된 상태에서 촬영된 제어반으로 전원 및 유압을 1차적으로 통제하고 생산자의 안전을 위한 장치가 장착되어 있으며 수동 및 자동을 선택하고 각 제작시 보수재의 제작 개수 카운터와 가수 및 정지 시간 타이머를 설정할 수 있도록 하였다. 또한 이송 및 반출을 조절하고 압형 및 탈형을 가능하게 하는 스위치를 설치하였으며 이들 스위치를 자동으로 하였을 경우에는 자동 운전 스위치를 공정별로 구분하여 간단히 조작 가능하게 하였다.

① 혼합물 투입 공정

㉮ 압형 몰드 및 이송 받침대

압형 몰드와 이송 받침대는 보수재 제작에 있어 가장 기초가 되는 장치로서 4가지 공정과 모두 연관된 장치이다. 그림 3.121과 같이 초기에 이송 받침대는 이송을 위한 평평한 금속판으로 압형 몰드를 고정하기 위한 고정부위를 4개를 설치하였고 압형 몰드도 이송받침대에 고정하기 위한 고정 홈이 4개가 설치되었으며 혼합물을 부어 넣을 수 있도록 지름 400mm와 높이 100mm의 원형 장치이다. 그림 3.122와 같이 시험체 제작시 이를 적용하였고 이를 통해 개선 사항을 반영하기로 하였다. 가수를 위한 물받이가 필요하였고

혼합물을 압형한 후, 반출 전 탈형을 위한 장치가 필요하였다. 또한, 반출시 바로 경화가 되지 않으므로 건조대에 이송 및 경화 및 건조시 받침대가 되는 건조 파렛트의 제작이 필요하였다. 그림 3.123과 같이 이송 받침대 테두리 부분에 높이 40mm의 금속벽을 세워 가수 작업시 물이 설비로 흘러나가는 것을 방지하였다. 그리고 그림 3.124와 같이 탈형을 위해 압형 몰드 4부분에 스프링이 장착된 접이식 다리를 설치하여 압형 틀에 클램프가 압형 몰드를 들어 올리며 접이식 다리가 펴지는 방식을 고안해 냈다. 건조 파렛트에 경우는 별도로 정리를 하였다.

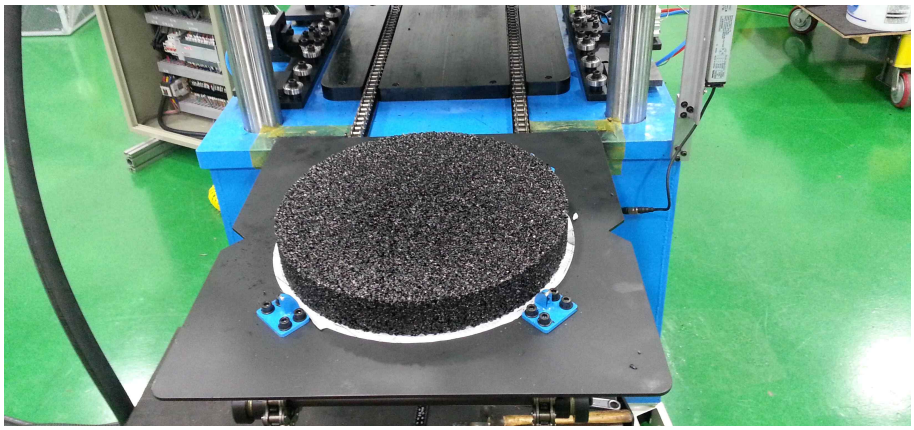


그림 3.121 처음 제작된 시험체

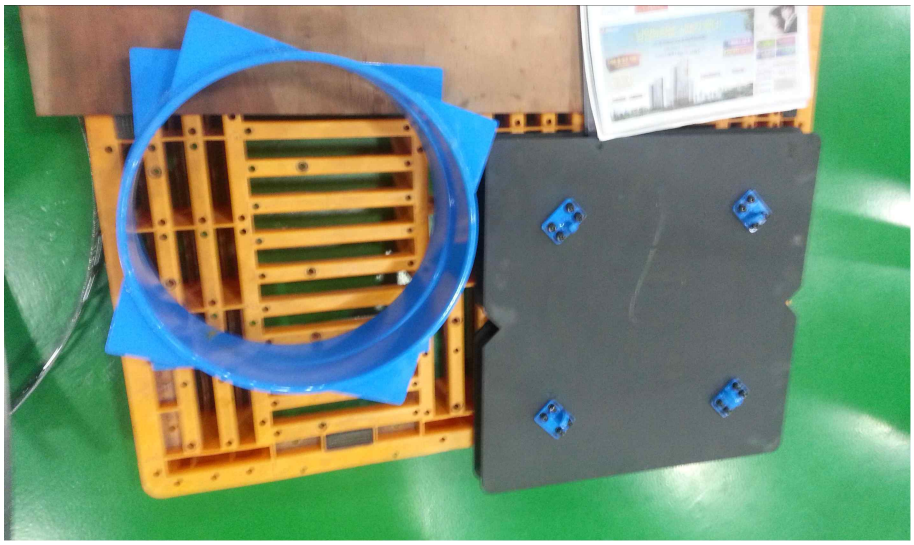


그림 3.122 초기 압형 몰드 및 이송 받침대

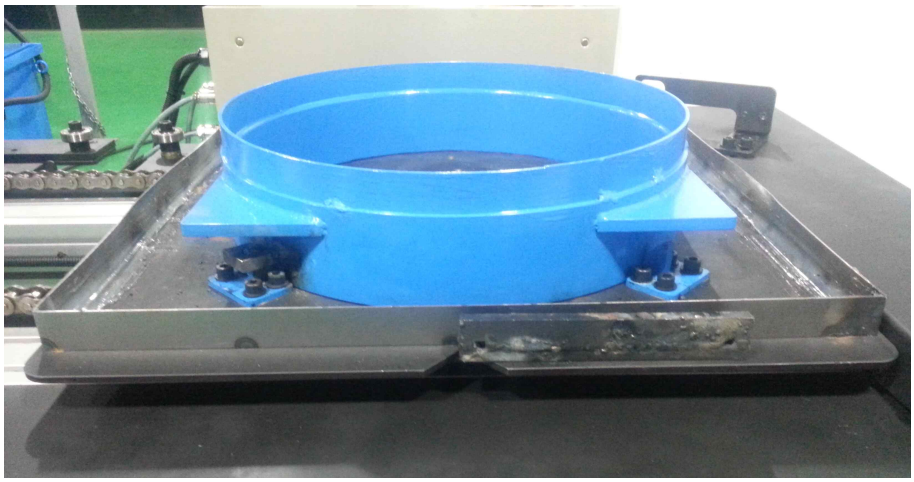
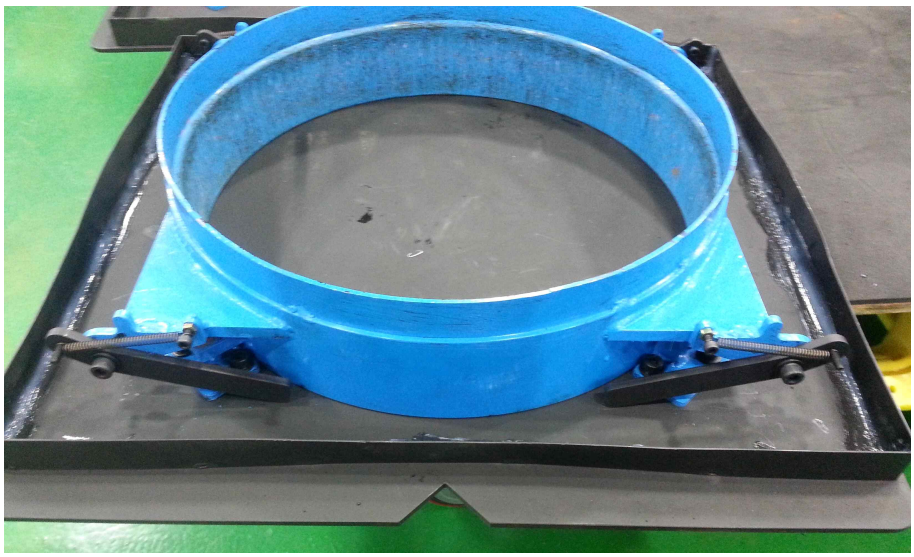


그림 3.123 물받이가 추가된 이송 받침대



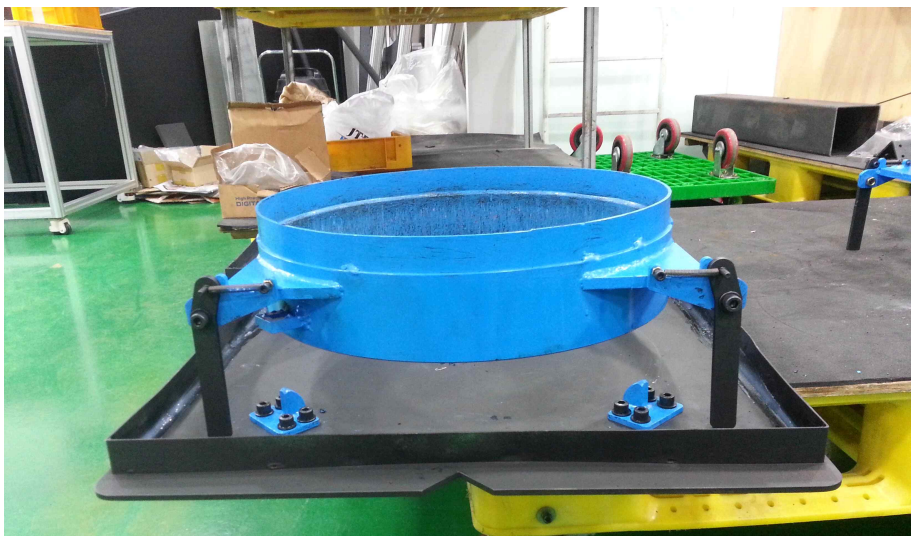


그림 3.124 스프링 접이식 다리가 추가된 압형 몰드(위:접힘, 아래: 펴짐)

또한, 3차년도 연구 과정 중 실대형 시험에 적용될 지름 300mm의 압형 몰드 제작이 필요하였고 추가적으로 그림 3.125의 제작 도면를 가지고 그림 3.126의 지름 300mm 압형 몰드를 제작하였다.

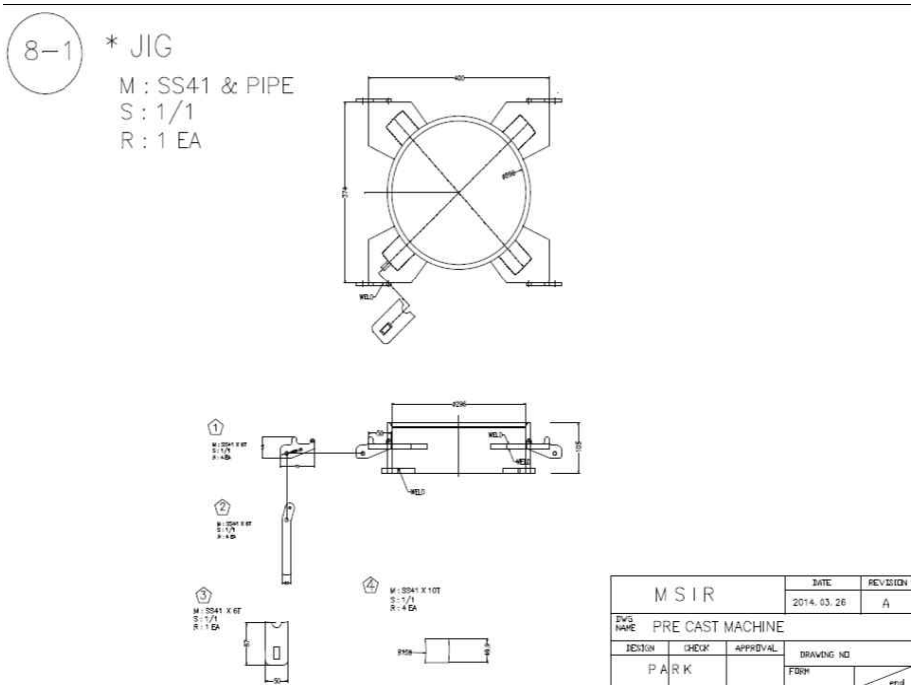


그림 3.125 지름 300mm 압형 몰드

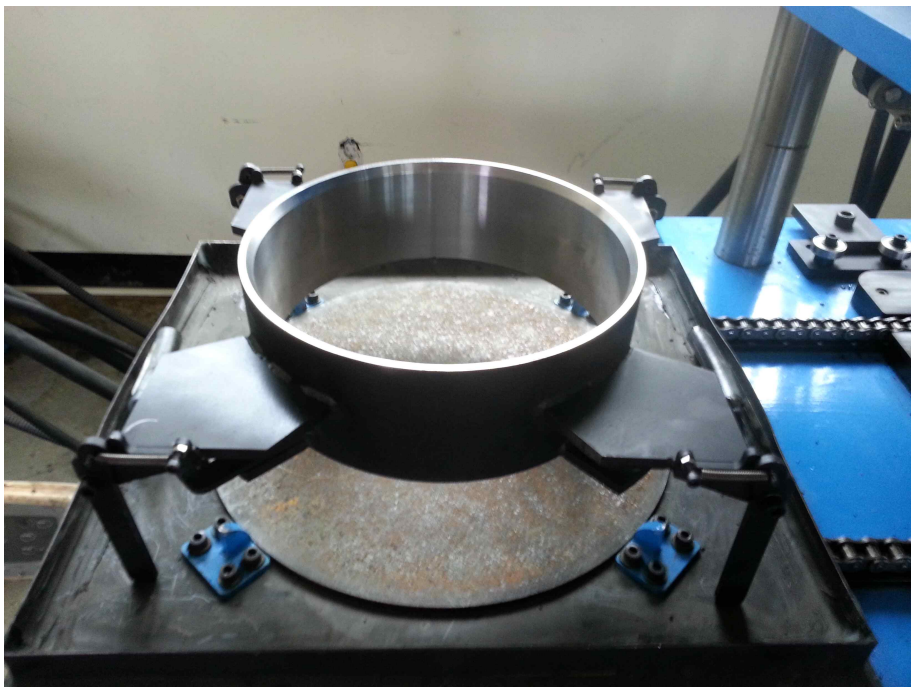


그림 3.126 실제 제작된 지름 300mm 압형 몰드

㈏ 건조 파렛트

건조 파렛트에 경우는 대량 생산시 빠른 반출과 보수재의 경화 및 건조시 받침대의 용도로 장기간 사용 가능한 금속 재질로 제작이 되었다. 그림 3.127은 건조 파렛트의 기본 도면이고 그림 3.128은 실제 제작된 건조 파렛트이다.

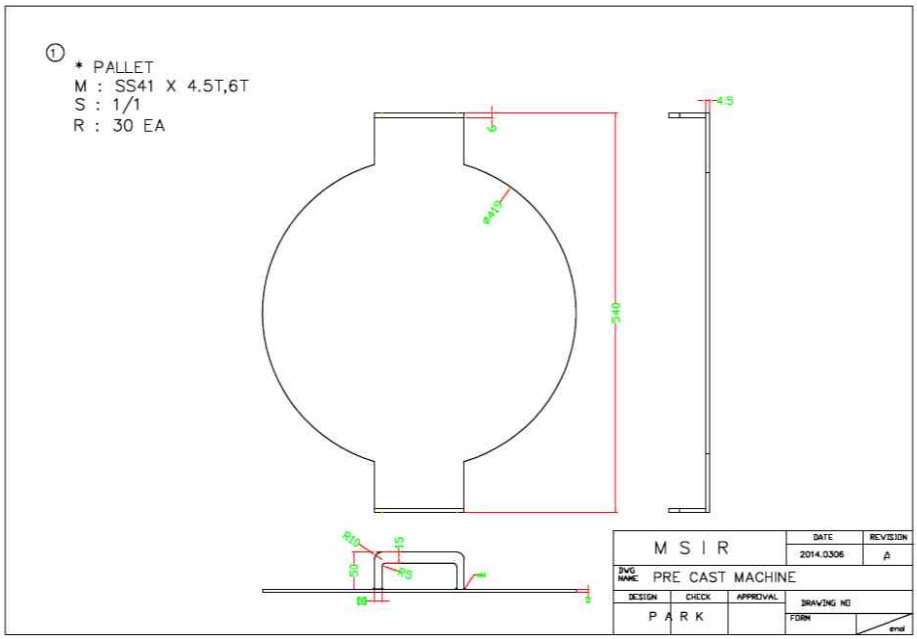


그림 3.127 건조 파렛트의 기본 도면

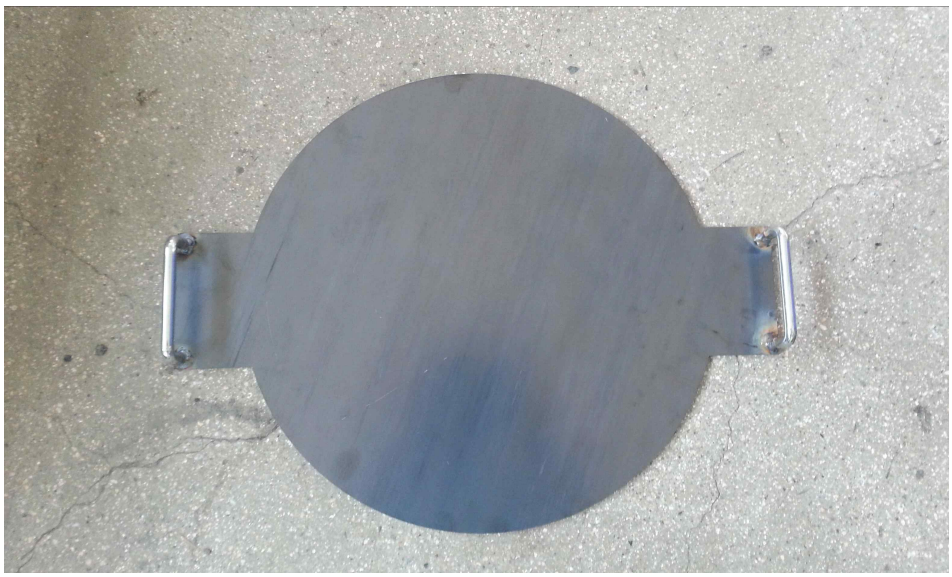


그림 3.128 실제 제작된 건조 파렛트

② 가수 및 정지 공정

처음에 설비를 제작할 시에는 가수 및 정지 장치가 설치가 되어 있지 않았다. 시험체를 제작하는 과정에서 가수의 방식(선가수, 후가수)을 결정하고 혼합물 투입 후 혼합물의 정리하는 방식을 결정하게 되면서 가수 및 정지 장치의 추가 및 개선이 이루어졌다.

㉮ 가수 장치

시험체 제작시 가수를 압형 전에 할 경우는 선가수로, 탈형 후에 할 경우는 후가수로 하였다. 수차례의 시험체 제작을 한 결과, 후가수에 경우는 보수재가 탈형이 된 상태이므로 가수를 할 경우 다량의 물을 천천히 붙도록 하여 시간이 지연이 되고 그에 따른 인력이 필요하게 되었다. 이에 선가수를 한 후, 압형이 가능함을 확인한 후 그림 3.129와 같이 가수 장치를 설치하였다. 초기의 가수 장치는 물을 용수 공급 장치에 끼워 홈을 통해 물을 흘려 보내주는 방식으로 물의 양을 조절하기 어렵고 균등하게 물이 전달되지 않아 보수재의 품질 관리에 어려움이 있었다. 그림 3.130에서처럼 이를 개선하여 장착된 분사식 노즐을 확인할 수 있다. 이뿐만 아니라 제어반의 가수 시간을 설정하는 장치를 설정하여 혼합물의 크기에 따라 물의 양을 조절할 수 있도록 설치를 하였다.

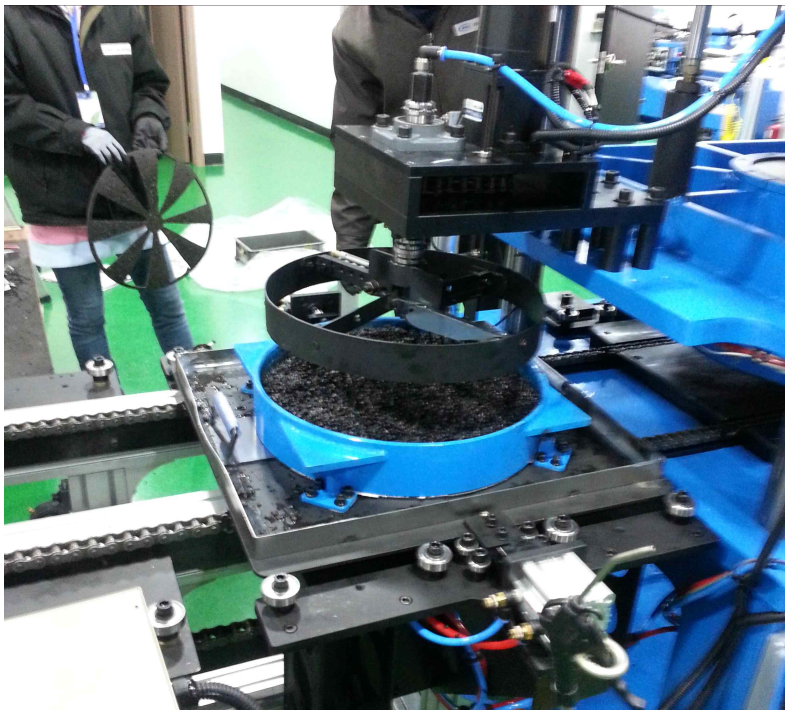


그림 3.129 초기 제작된 가수 장치의 노즐(자유 낙하식)



그림 3.130 개선된 가수 장치의 모습(고압 분사식)

개선된 가수 장치는 자유 낙하식 방식을 개선하여 물이 고압으로 고르게 스프레이식으로 분사되도록 고압분사식으로 변경을 하였으면 스프레이식 분사에 경우 수분이 날릴 수 있으므로 비닐 및 부직포 덮개를 장착하여 물이 사방으로 방사되는 것을 방지하였다. 그리고 노즐의 열림 시간을 조절할 수 있어 혼합물량 변화에 대처할 수 있도록 하였다.

㈏ 정지 장치

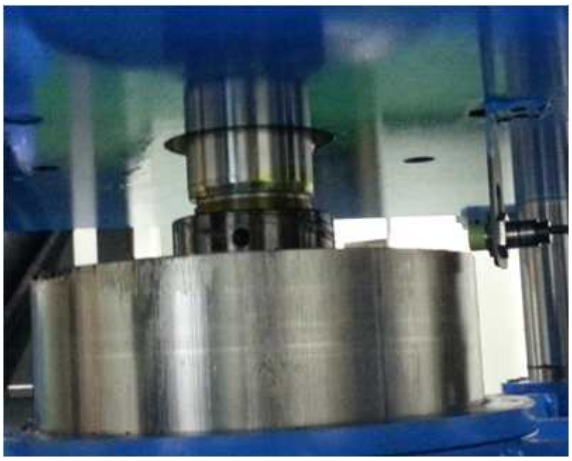
정지 장치는 가수 장치와 결합이 되어 고안된 것으로 혼합물 투입 후, 압형 몰드내에 일정치 않은 혼합물의 형태를 균일하게 분배 및 정리하고 평평하게 하는데 목적이 있다. 초기에는 그림 3.131과 같이 가수를 위한 회전 장치로서 압형 몰드와 마찬가지로 원기둥 형태 환의 형태로 제작이 되어 십자 형태로 부착된 바(bar)에 혼합물의 이동을 돕도록 하였다. 하지만 실제로 적용한 결과 가수를 위한 빠른 회전으로 혼합물이 밖으로 튀기고 하고 혼합물의 상부면이 평평하게 형성되지 않았다. 그리하여 그림 3.132와 같이 압형 몰드보다 작은 지름의 평평한 판을 만들어 가수 회전시 판 부분이 혼합물을 눌러주어 전체적으로 펼쳐지도록 하였다.



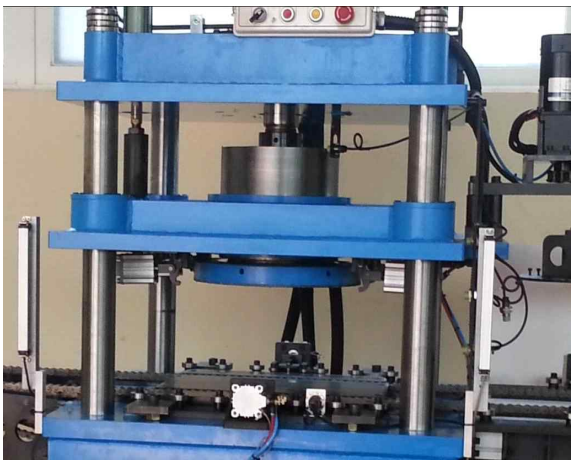
그림 3.131 개선된 정지 장치의 모습



(a) 유압실린더(메인, 보조) 및 유압 호스



(b) 램(RAM)



(c) 압형 펀치



(d) 작동 스위치

그림 3.132 압형 장치의 구성

③ 압형 및 탈형 공정

압형 및 탈형 공정은 생산 설비에서 가장 중요한 부분이다. 압형 장치에 경우 압력을 가하기 위한 엔진부로부터 힘을 전달 받는 실린더 장치와 직접 보수재의 압력을 가하는 압형 램(RAM)과 램에 탈부착이 가능한 압형 펀치로 이루어져 있다. 압형 장치중에 압형 펀치에 경우는 보수재의 형태 및 크기를 결정하는 중요한 부분이기 때문에 많은 보완 및 변경 개선이 이루어 졌다. 그리고 탈형 공정은 반출 직전에 탈형이 되어야 하고 탈형 후에 압형 몰드 및 보수재의 이동이 쉬어야 했다.

㉮ 압형 툴 장치

2차년도에는 지름 300mm 보수재를 인력으로 제작하여 사용하였고 연구 과정 중 실대형 시험을 위해 지름 300mm 보수재를 생산 설비를 이용하여 제작하였다. 또한, 보수차량을 이용한 현장 적용시 3차년도에는 지름 400mm 보수재를 제작하여 시험에 적용하였다. 이를 위해 압형 펀치에 경우 압형 램에 탈부착이 가능하게 하여 지름 300mm와 지름 400mm에 맞는 압형 펀치를 제작하였다. 그림 3.133과 그림 3.134는 각각의 압형 펀치의 제작 도면과 제작된 몰드이다. 도면에서도 확인 가능하듯이 압형 펀치 가운데 홈을 파내어 압형램에 회전하여 고정시켜 넣을 수 있도록 하였다. 추후 다른 형태의 보수재를 제작할 경우에도 압형 펀치의 형태만을 변형시켜 장착이 가능할 수 있도록 하였다.

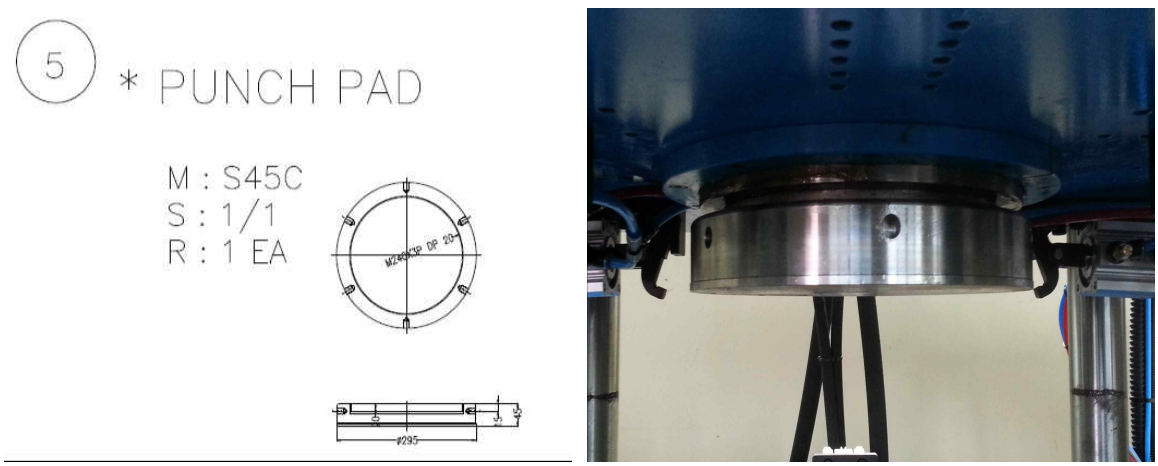


그림 3.133 지름 300mm 압형 펀치

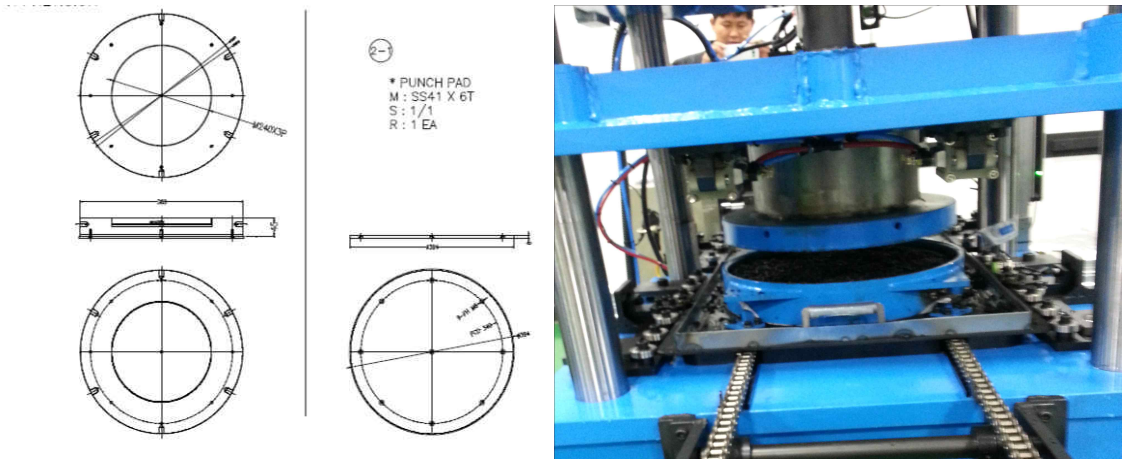


그림 3.134 지름 400mm 압형 펀치

㉯ 탈형 장치

탈형 장치에 경우는 압형 펀치에 장착된 스프링을 이용한 접이식 다리와 함께 고안이 된 것으로 유압 실린더에 경우 메인 실린더와 보조 실린더로 구성이 되어 있는데 이는 메인 실린더에 부착된 압형 펀치로 혼합물에 가압을 한 후, 보조 실린더가 하강을 하여 압형 몰드에 용접된 날개 부분에 그림 3.135와 같은 클램프를 구속이 되도록 물린다. 이후에 구속된 압형 펀치는 상승하여 접이식 다리가 펼쳐지게 되고 이후에 클램프에 구속이 풀리면 압형 펀치는 탈형이 된 상태로 보수재와 분리가 된다. 최종적으로 보수재를 누르고 있던 메인 실린더가 상승을 하게 되면 그림 3.136과 같은 상태로 탈형이 된다.

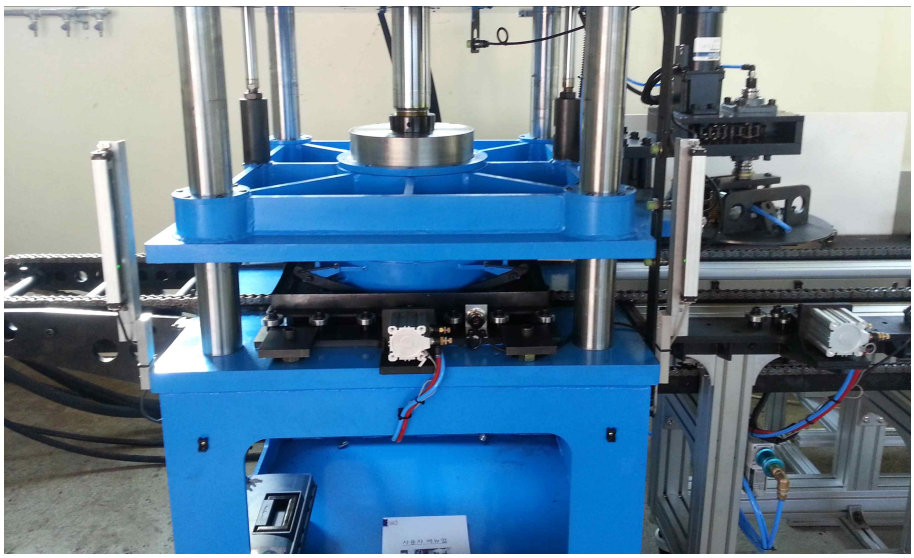


그림 3.135 클램프로 구속된 압형 펀치

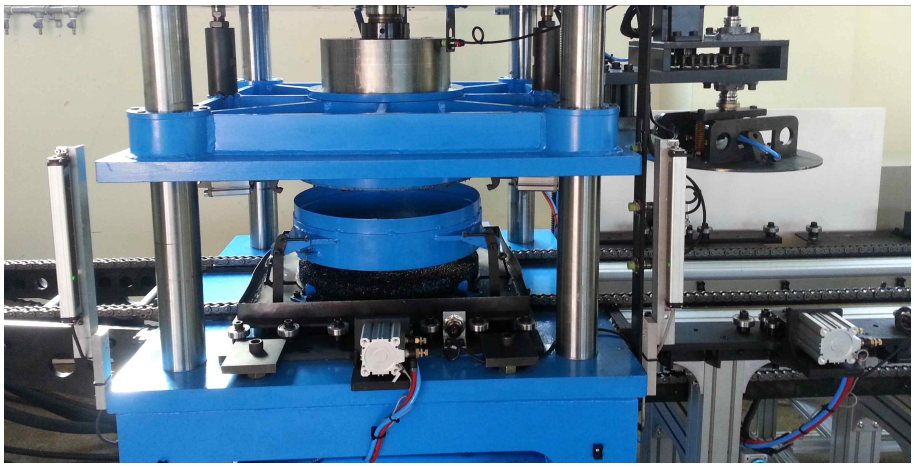


그림 3.136 탈형된 보수재와 압형 몰드

④ 반출 및 기타 공정

㉮ 이송 체인, 센서 및 파일롯 장치

이송 체인은 각 공정을 이어주는 것으로 생산을 위한 경로에 모두 설치가 되어 있다. 이와 더불어 파일롯 장치는 작업 공정을 실행하기 전에 공정별 위치를 정확히 하기 위해 이송 받침대 측면 가운데에 홈과 고정이 되도록 만들어 졌다. 또한 안전 센서는 압형 펀치로 인한 생산자의 안전을 위해 설치가 되었고 센서가 부착된 장치의 작동 범위를 정해주는 센서로 구분이 되어 있다. 그림 3.137에서 그림 3.139는 각 장치를 나타낸 것이다.

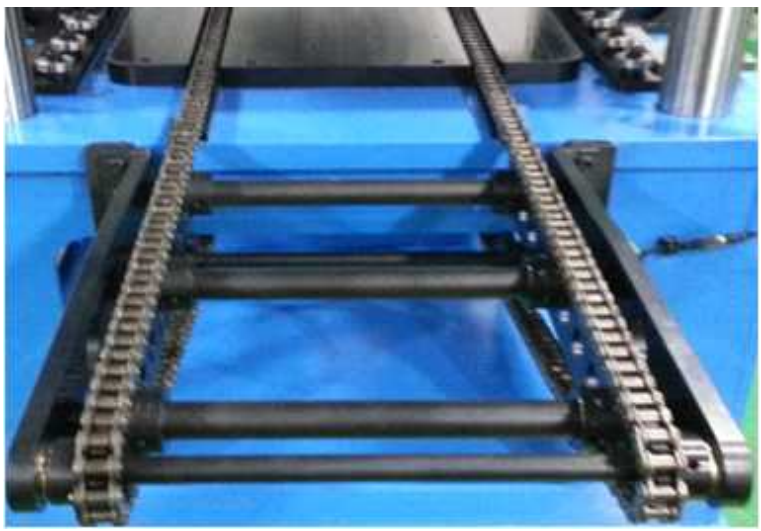


그림 3.137 이송 체인



그림 3.138 파일롯

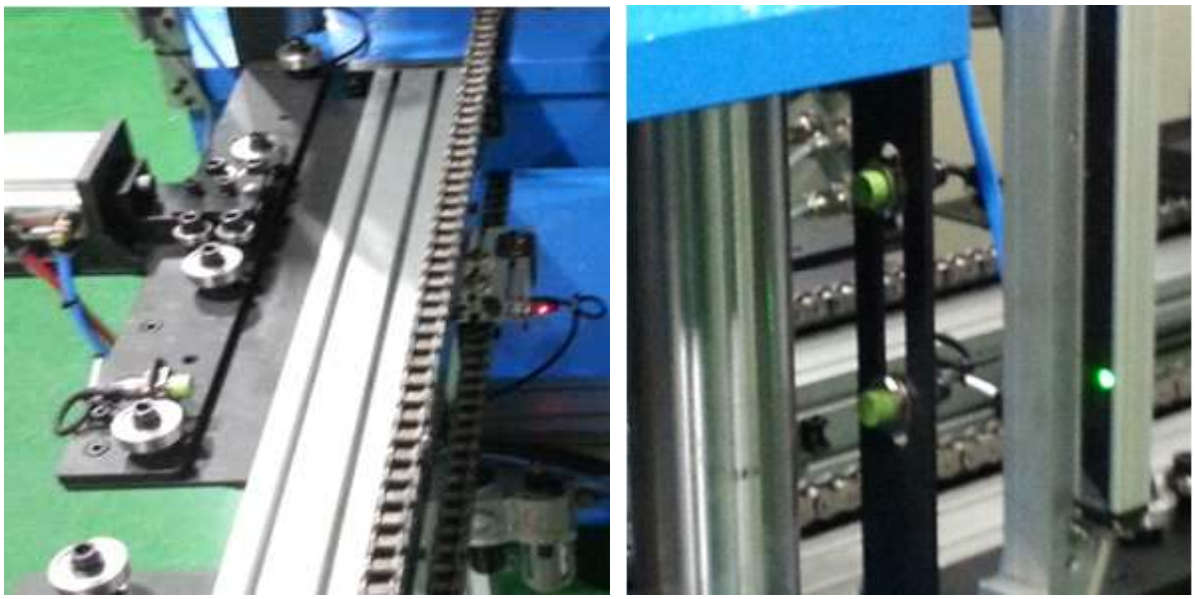


그림 3.139 센서(왼쪽: 위치 설정 센서, 오른쪽, 안전 센서)

(8) 아스팔트 프리캐스트 보수재 시험생산

(가) 보수재의 시험 생산

3차년도에 아스팔트 프리캐스트 보수재료의 개선을 위하여 다양한 배합비를 이용하여 시험을 실시하였다. 실내 시험을 통해 각 배합비별 물성 및 강도를 확인할 수 있었고 이를 가지고 자동화 생산 설비에 적용하여 최적화된 보수재에 생산을 위한 시험 생산을 실시하였다. 생산 설비의 적용을 통해 보수재를 대량으로 생산하며 우수한 품질의 제품을 만들기 위하여 반응성을 최대화 시키려 하였고 30분이내에 핸들링이 가능할 수 있는 보수재의 생산을 목표로 하였다.

① 1차 시험

우선적으로 반응성을 최대화하여 경화 시간을 단축하기 위하여 시험을 실시하였다. 보수재료의 개선 과정에서 전체 바인더의 함량에 따라 변형강도가 크게 차이나지 않음을 확인하였고 전체 바인더양 6%를 고정하고 우레탄 바인더와 아스팔트 개질 바인더의 함량비를 조정하여 그림 3.140과 같이 시험 생산을 하여 보았다. 시험 결과을 표 3.91에서와 같이 우레탄 바인더:아스팔트 개질 바인더=9:1에서 30분내에 가장 빠른 경화가 이루어 졌다. 또한, 마샬 공시체를 제작하여 강도시험을 한 결과 3가지의 배합비에서 우레탄 바인더 함량이 클수록 강도가 높음을 확인하였다.

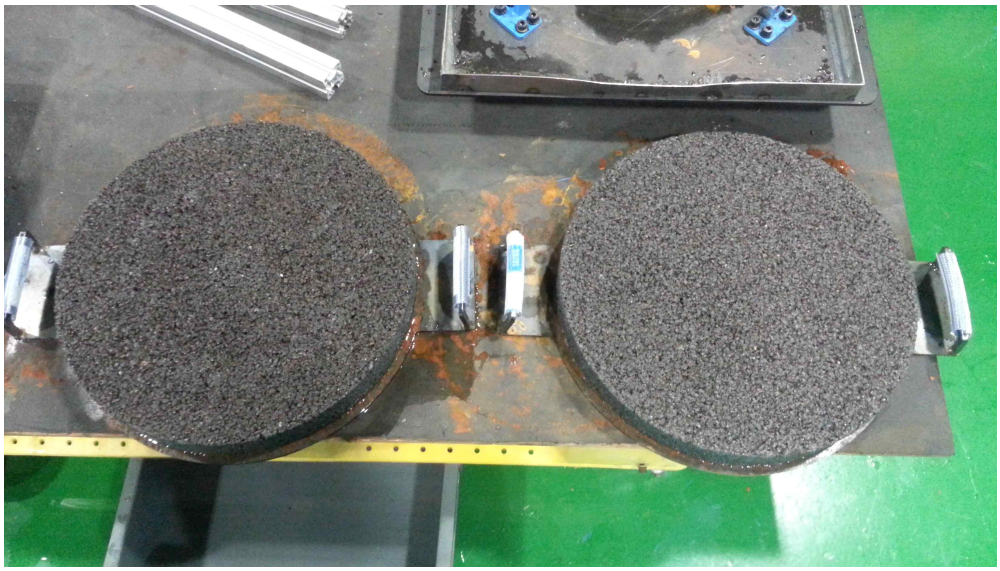


그림 3.140 자동화 생산 설비로 시험 생산된 아스팔트 프리캐스트 보수재

표 3.91 바인더의 함량비 조절에 따른 시험생산 결과 및 강도 시험 결과

바인더 함량비 (우레탄:아스팔트 개질)	핸들링 가능 시간(분)	마샬안정도(kgf)
6:4	49분	1,699
7:3	45분	1,754
8:2	39분	1,896
9:1	28분	1,953

② 2차 시험

1차 시험을 통행 선정된 바인더 함량 6%(우레탄:아스팔트 개질=9:1)을 가지고 골재의 배합비를 적용하였다. 생산 설비 개선시 몇 차례의 예비 시험을 통하여 선가수후 압형을 실시함으로 후가수를 하는 항타식의 마샬 다짐과는 공극 형성이 달라짐을 확인하였다. 이를 통해 골재의 배합비를 달리하여 시험을 실시하였다. 시험의 결과는 표 3.92에서 나오듯이 다져지지 않은 상태에 골재에 선가수를 함으로 물과 우레탄의 반응성이 향상이 되었다. 그러므로 마샬 다짐 후 가수를 한 공시체의 부풀음 현상이 발생하지 않았으며 골재의 공극 또한 육안으로도 확연히 줄었음을 확인할 수 있었고 공극률 시험을 통해 확인할 수 있었다.

표 3.92 골재 배합비 조절에 따른 시험생산 결과 및 물성 시험 결과

골재 배합비 (굵은골재:잔골재)	핸들링 가능 시간(분)	마샬안정도(kgf)	공극률(%)
5:5	29분	1,870	6.8
6:4	28분	1,842	7.5
7:3	26분	1,987	8.4
8:2	26분	2,025	10.2

③ 확인 시험

1차와 2차 시험 생산을 통해 결정된 보수재의 배합비는 다음과 같다. AP피복 1.5%, 굵은골재:잔골재=5:5, 우레탄 바인더:아스팔트 개질 바인더=9:1이다. 이를 가지고 건설생활환경시험연구원에 동적 안정도 시험을 의뢰하고 강원대학교의 석재복합건설신소재 연구소에 변형강도 시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 시험의 결과를 통행 시험 생산을 통행 얻어진 보수재의 배합비는 동적안정도 및 변형강도에서 매우 우수한 값을 나타내었다.

표 3.93 골재 배합비 조절에 따른 시험생산 결과 및 물성 시험 결과

시험명	온도	측정값
동적안정도	25℃	6,000 pass/mm 이상
변형강도	25℃	22.11 MPa
	60℃	12.16 MPa



그림 3.141 자동화 생산 설비의 최적 배합비로 생산된 보수재

(나) 보수재의 생산 과정

생산 과정은 다음과 같은 5가지 공정으로 정리된다.

1. 성형판 및 지그(몰드) 안착 → 2. 혼합물 공급 및 표면 정리 → 3. 가수 및 정지 → 4. 압형 및 탈형 → 5. 보수재 건조 의 순서로 진행된다.

① 성형판 및 지그(몰드) 안착

생산설비 오른 편에 성형판 및 지그를 제대로 안착한다. 이때, 지그에 부착된 다리를 접어주어 하단에 공간이 생기지 않도록 한다. 다리에 용도는 탈형시 지그가 바닥에 일정 공간 떠 있도록 하는 것이다.

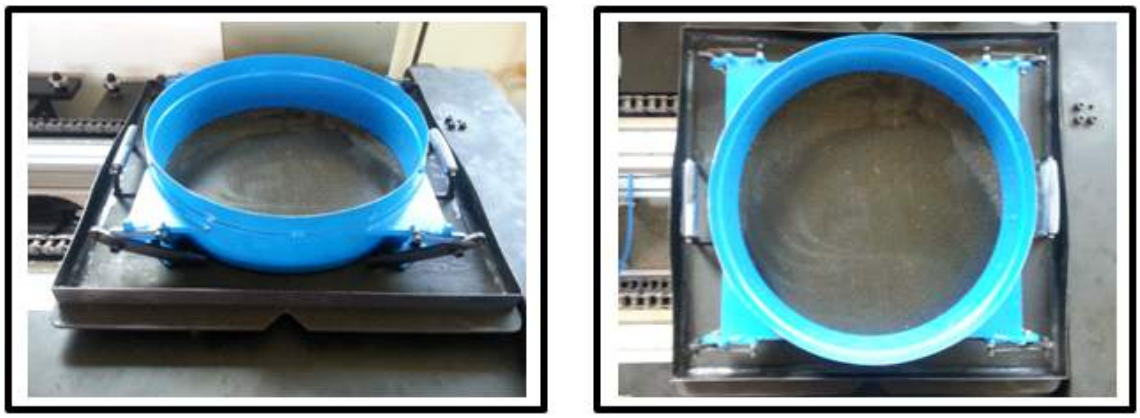


그림 3.142 성형판 및 지그(몰드) 안착 모습

② 혼합물 공급 및 표면 정리

생산하려는 보수재에 두께를 정하고 그에 맞는 수반응형 혼합물을 지그 안에 투입한 후, 혼합물이 한쪽으로 몰리지 않도록 골고루 지그 내에 펼쳐준다.



그림 3.143 혼합물 공급 및 표면 정리 모습

③ 가수(水) 및 정지

혼합물이 들어있는 성형판이 선로를 이동하여 가수 및 정지 장치가 있는 하단부에 위치한다. 그리고 혼합물 위에 일정 시간동안 물이 분사되며 가수판이 회전을 하고 이 판이 혼합물이 평평해 지는 역할을 하여 정지 작업을 해준다.



그림 3.144 가수 및 정지 모습

④ 압형 및 탈형

가수 및 정지가 된 혼합물이 들어있는 성형판이 선로를 이동하여 압형 장치가 있는 하단부에 위치하게 되고 압형 장치가 지그 내부로 들어와 압력을 가해준다. 그리고 탈형 장치가 내려와 지그를 잡아준다. 압형 펀치가 혼합물을 눌러준 상태를 유지하고 지그와 탈형장치는 상승하여 지그에 있는 접혀 있는 다리가 펴지게 된다. 그리고 압형 펀치가 상승한다.



그림 3.145 압형 및 탈형 모습

⑤ 보수재 건조

탈형된 지그 및 보수재가 선로를 이동하여 반출대에 위치한다. 보수재에 경우는 건조가 잘되는 곳에 보관하여 약 6~12시간 양생을 시킨다.



그림 3.146 보수재 반출 및 건조 모습

나. 보수장비 개발

포트홀 파손 보수용으로 개발 중인 프리캐스트 보수재료는 국내뿐만 아니라 해외에서도 적용한 사례가 없으며 시공하는 장비 또한 전무하다. 국내에서 응급보수는 대부분 인력시공으로 이루어지며 그에 따라 사용되는 시공 장비는 아래의 그림에서 보는바와 같이 소형 다짐기와 자재 이송용 트럭이 전부이다. 포트홀 파손은 우수 및 눈에 의해 발생하기 때문에 장마철 및 폭설기간에 집중적으로 발생한다. 도로 포장 보수팀은 응급보수를 위해서 비나 눈이 오는 상황에서 현장에 투입되기 때문에 인력시공으로 보수할 경우 작업자들은 교통사고 위험에 노출될 수밖에 없다. 그리고 응급 보수의 특성상, 장시간 교통차단이 어렵기 때문에 짧은 시간 내에 인력작업으로 보수하는 것은 보수구간의 내구성 측면에서도 불리할 수밖에 없다.



그림 3.147 현행 포트홀 보수방법

이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 작업자의 안전을 확보하고 보수구간의 내구성을 높이고자 새로 개발되는 프리캐스트 보수재료를 시공할 수 있는 전용 시공장비를 개발하고자 한다. 프리캐스트 응급보수 전용 시공장비는 현재 함께 개발 중인 프리캐스트 보수재료와 채움재 등의 특성들을 고려하여, 단계별로 재료와 연계한 시험테스트 및 실내외 시험 등을 수행하고 있으며 이를 통해 재료와 장비의 호환성을 극대화하여 시공 시에 발생할 수 있는 문제점을 최소화 할 예정이다.

(1) 장비의 기본 설계

(가) 문헌조사

본 연구에서 개발하고자 하는 장비와 유사한 사례에 대한 선행조사를 실시하여 장비의 기초 설계 및 세부 기술부분에 적용이 가능한지 여부를 판단하였다. 미국의 경우, 연방도로청(FHWA) 주관으로 수행한 SHRP(Strategic Highway Research Program)-H-674 보고서'Fabrication and Testing of Automated Pothole Patching Machine, 1993' 에 따르면 포트홀 보수를 위해 자동화 장비를 고안하여 제작하였으며, 장비의 구성 및 세부기술에 대한 내용이 보고서에 수록되어 있다. 장비의 구성은 포트홀 발생 구간의 잔재물 제거를 위한 컷팅(Pavement Cutting Module) 및 진공 등을 이용한 청소(Vacuum System Module), 가열 아스팔트 혼합물의 보관 및 포트홀 보수 구간의 수분 증발을 위한 가열 시스템(Heating System Module), 가열 아스팔트 혼합물 채움(Filling System Module) 등으로 이루어지며, 다짐 및 시공 마무리는 인력으로 수행하게 된다. 이러한 세부적인 기술에 대한 검증을 토대로 다음의 그림과 같이 포트홀 보수장비의 개요도를 제안하였다.

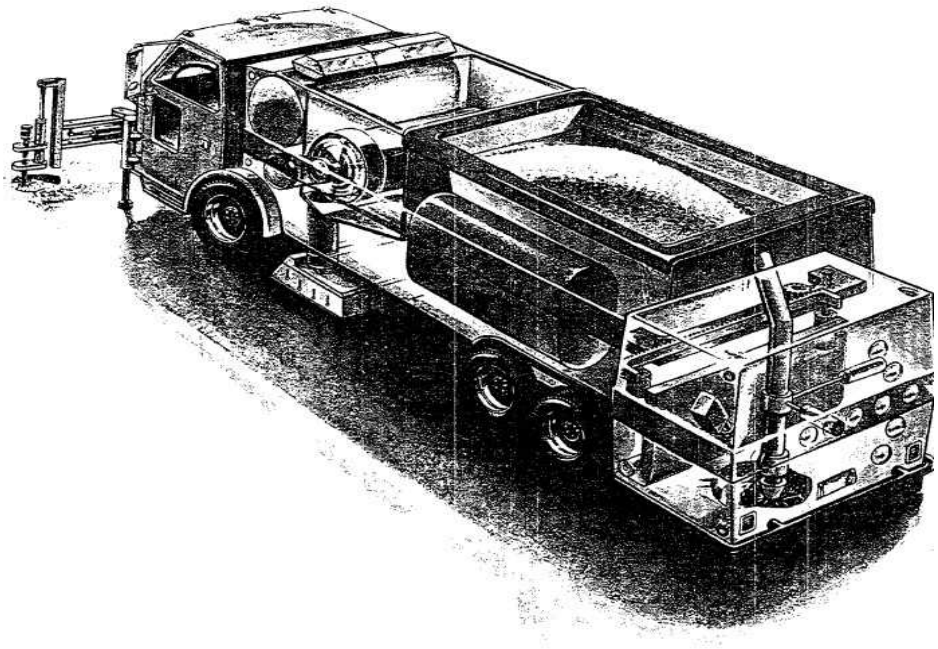


그림 3.148 SHRP-H-674에서 제시한 포트홀 보수장비 개요도

위의 보고서에서 제시한 바에 따르면 상기 그림에서 보는바와 같이 포트홀 제거 및 신규 아스팔트의 패칭 등 일반적인 내용이 포함되어 있다. 하지만 파손부 제거 및 시공방법 등에 대한 상세한 내용은 없으며 시공 장비의 기본적인 방향만을 제시한 것을 확인할 수 있었다.

최근 미국의 Python사에서 포트홀 보수장비를 제작하여 판매하고 있는 것을 확인하여 조사하였다. 아래의 그림에서 보는바와 같이 차량형으로 제작되어 있으며 장비의 공차 중량은 약 6ton이다. 하지만 이 장비는 포트홀 부를 제거할 수 있는 장치가 없으며, 가열 아스팔트 혼합물을 현장에서 직접 포설하는데만 사용하는 것으로 조사되었다. 포트홀 파손부를 제거하기 위해서는 별도의 인력들이 투입되어 작업이 진행되어야 하고, 파손부를 제거하고 청소까지 마무리하게 되면 이 장비가 투입되어 아스팔트 혼합물을 포설하게 되는데, 이것 또한 가열형의 Hot Mixed Asphalt 재료를 사용하기 때문에 재료의 보온성 및 시공의 효율이 떨어지는 것으로 확인되었다.



그림 3.149 Python사의 포트홀 보수장비

포트홀 보수장비로 해외의 시공장비 업체에서 대부분 제작하여 사용하고 있는 종류는 자주식과 견인식의 2가지 장비 타입이 있다. 자주식의 차량 탑재형은 아스팔트 혼합물을 적재할 수 있는 호퍼의 용량(5~15 ton)이 일반 견인식 장비(1~4 ton)에 비해 월등히 높다. 그리고 자주식 장비에는 상온 아스팔트 보수재를 시공하기 전에 접착제 용도로 살포하는 유화 아스팔트 살포장치가 대부분 장착되어 있으나 견인식 장비는 별도의 장치가 필요하다. 견인식 장비는 구체적으로 살펴보면 보수장비 보다는 아스팔트 보온장치가 더 적절한

표현이다. 가열 아스팔트 혼합물을 소량 수급하여 현장으로 이동 및 시공하기 위해 온도를 유지시켜주는 역할만을 주로 하며, 파손부 제거 및 청소, 배출 등은 모두 인력으로 진행된다.



그림 3.150 해외 견인식/자주식 포트홀 보수장비

(나) <2차년도> 연구개발 내용 및 기본설계

본 연구에서 개발하고자 하는 보수장비의 기본적인 목적은 아스팔트 포장에 불규칙적으로 발생하는 포트홀 파손을 규칙적인 홀로 제거한 후 프리캐스트 보수재를 삽입 가능토록 하는 것이다. 따라서 본 연구진은 아스팔트를 천공할 수 있는 툴 개발 및 시스템을 구축하고 그에 필요한 세부항목들을 선정하여 전체적인 장비의 구성을 결정하였다.

우선 장비 전체의 흐름을 확인하기 위해 실제 현장에서의 보수 진행방법을 이해하는게 가장 중요한 사항이다. 본 연구진이 포트홀 보수장치를 개발하기 위해 실제 현장에서의 작업 진행 공정을 구상한 내용은 다음과 같다.

① 현장 도착 및 포트홀 발생구간 위치 확인
② 포트홀 파손부 제거(파쇄툴 적용)

③ 파손부 제거 잔재물 흡입 및 청소

④ 채움재 교반 및 준비

⑤ 채움재 투입 및 프리캐스트 보수재 삽입

⑥ 양생 후 및 돌출부 그라인딩(필요 시)

⑦ 교통개방

연구 초기에 장비에 대한 기본 구성은 아래의 그림에서 보는바와 같이 작업 순서대로 단계적으로 이동하면서 제작하도록 고안하였다. 차량 전면부에 포트홀 파손부를 제거하는 장치 및 흡입, 청소 툴을 장착하고 제거가 완료되면 차량이 전진 이동하여 중간의 빈 공간을 이용하여 프리캐스트 보수재를 삽입하고, 양생이 완료되면 차량 후면부에 장착된 돌출부 제거용 그라인딩 장치를 적용하는 방식이었다.

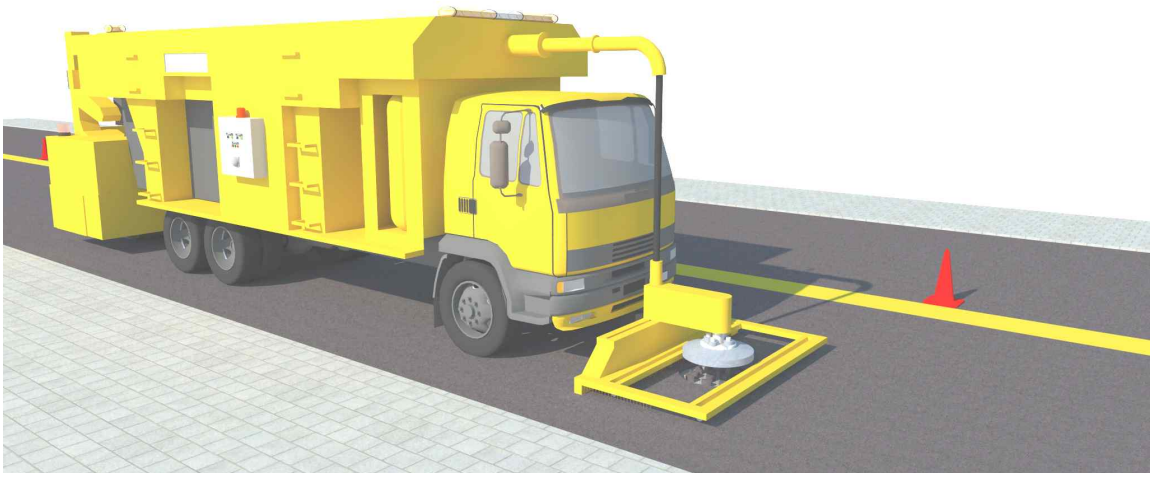


그림 3.151 연구단계 초기의 장비 전체 모사도

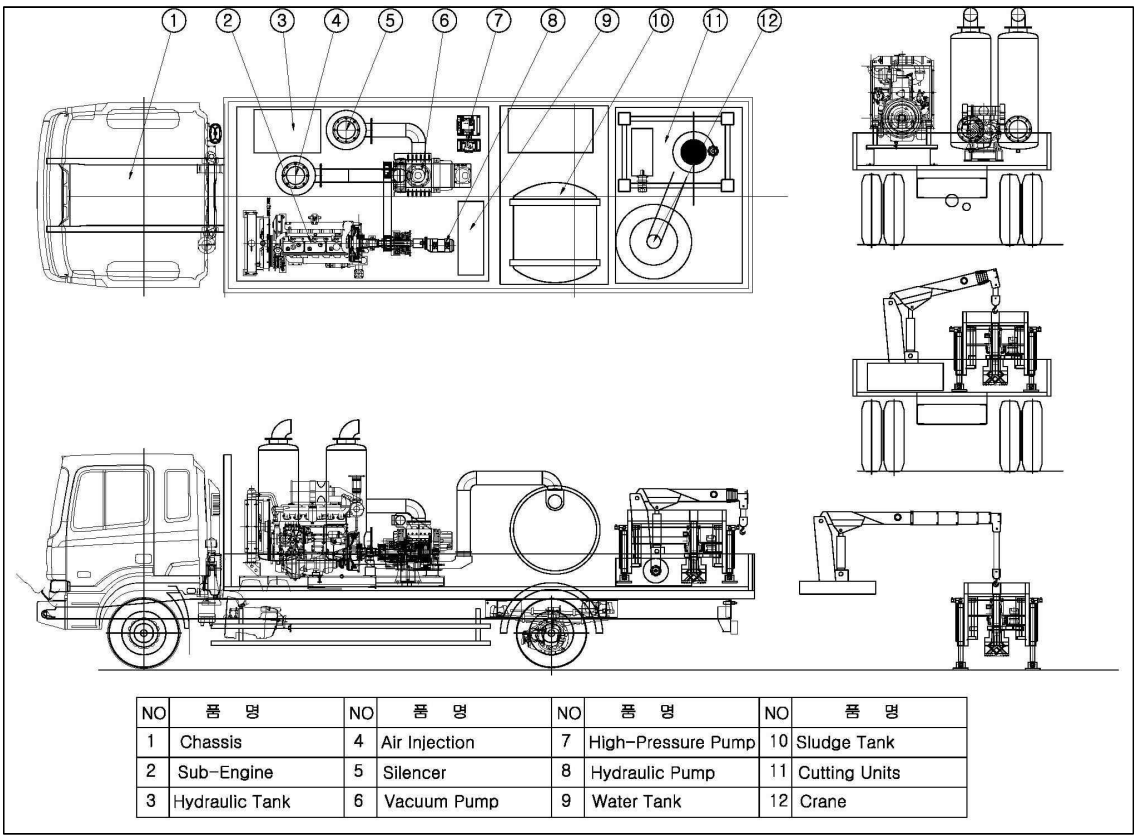
본 연구진이 기본 장비의 구성을 위해 각 세부 기술별 국내 업체들과 다양한 미팅을 진행하고 연구 초기에 고안된 기술수준 등을 검토한 결과, 다음과 같은 문제점들이 도출되었다.

- 포트홀 발생 구간에 대한 정확한 위치제어의 어려움
- 이동식으로 단계적으로 시공할 경우, 차량 높낮이(타이어 공기압 등)에 의한 시공 오차 발생
- 차량의 전면부 장비장착 어려움(운행 및 탈부착 문제)
- 국내 자동차 안전기준에 관한 규칙에 의거하여 구성

이러한 다양한 문제들을 해결하기 위해 본 연구진은 다음과 같은 해결책을 도출하였다.

- 장비의 기본 동력은 차량 내부에 탑재된 동력과 보조동력으로 구성
- 포트홀 파손부 제거 및 청소, 그라인딩 및 보수 전반에 사용될 장비 툴을 별도의 프레임을 제작하여 적용
- 파손부에 장비 툴을 위치시켜 파손부 제거 및 보수 전반의 공정을 수행
- 파손부 위치 제어를 위해 장비 툴 내부의 상세 위치제거 기능 추가
- 자재 및 흡입 등의 저장공간은 차량 내에 적재 및 반입출
- 차량 하단에 프레임 이송용 전용 크레인 설치

장비의 기본적인 구성은 앞에서 제시한 문제점 및 해결책을 반영하여 작업진행 흐름과 주요 수행 작업들을 고려하였으며, 크게 동력발생부, 제어부, 원형 툴 유닛으로 구성하였다. 또한 추후 차량에 탑재가 가능하도록 장비들의 구성품들을 소형화 및 최적화 하는데 중점을 두었다. 다음의 그림은 2차년도에 본 연구진이 개발하고자 하는 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템의 전용 시공장비의 전체 구성도면을 나타낸 것이다.



NO	품 명	NO	품 명	NO	품 명	NO	품 명
1	Chassis	4	Air Injection	7	High-Pressure Pump	10	Sludge Tank
2	Sub-Engine	5	Silencer	8	Hydraulic Pump	11	Cutting Units
3	Hydraulic Tank	6	Vacuum Pump	9	Water Tank	12	Crane

그림 3.152 2차년도 프리캐스트 포트홀 시공장비 전체 구성도

장비의 특성상 포장파손이 발생하면 우선 신속히 현장까지 이동하여 작업해야 하기 때문에 도로주행에 적합하도록 구성하는 것이 기본이 되어야 한다. 그러므로 자동차 안전기준에 관한 규칙 법규 내에서 전체적인 장비의 레이아웃을 구성하여 검토하였으며, 각 타이어 부하율 및 축중 한도와 하중 분포 등을 고려하여 적절한 배치가 되도록 구성하였다. 또한 조작자가 편리하게 작업을 진행 할 수 있도록 하는데 중점을 두었다.

장비 전체의 세부 구성품들의 전반적인 배치는 2차년도와 3차년도에 걸쳐 나누어 개발되어 탑재될 부분을 감안하여 최적의 위치에 배치하도록 구성하였으며, 2차년도 연구개발 내용인 파손부 제거 장치의 전체적인 작동흐름은 다음과 같다.

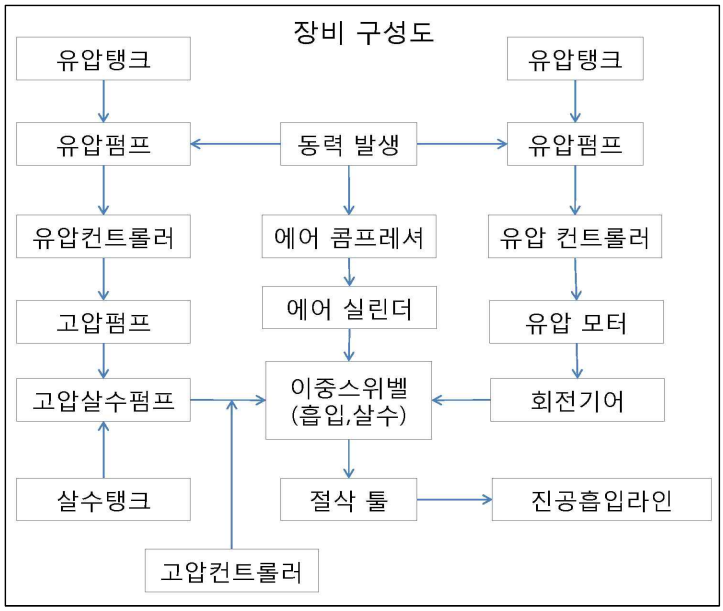


그림 3.153 <2차년도> 파손부 제거 장치 흐름도

2차년도에 설계한 장비는 기본적으로 장비에 탑재된 엔진에서 발생된 주동력을 사용하여 각종 액추에이터를 작동하도록 구성하였으며, 본 연구에 필요한 유압 및 에어와 살수 등을 적절히 분배하여 구성토록 설계하였다. 또한 각각의 동작은 개별적 또는 동시작동이 모두 가능하도록 하였으며, 필요에 따라서 각 공정별 장비의 운영속도를 조절할 수 있도록 고안하였다.

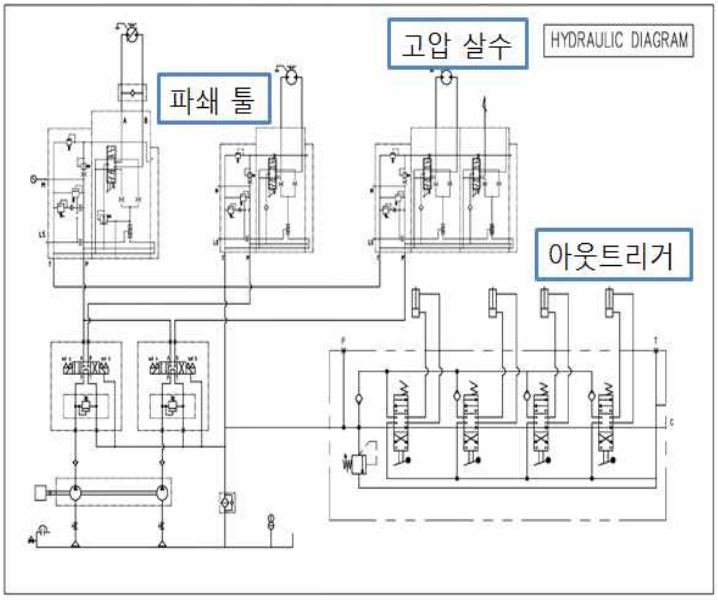


그림 3.154 <2차년도> 장비 전체의 동력(유압) 회로도

위의 회로도는 2차년도에 진행된 유압 액추에이터 작동을 위한 다이아 그램이며, 유압의 모든 액추에이터는 개별 작동 및 동시 작동이 가능한 구조로 구성하였다. 위의 공정에 사용될 유압 부품류 및 에어 부품류와 고압 살수 부분등은 추후에 장비구성이 차량에 탑재 되었을 때 안정된 구조를 가질 수 있으며, 시공장비의 운용 능력을 극대화 하도록 초기 설계를 진행하였다. 또한 향후 장비의 유지관리를 용이하게 하기 위해서 각각의 장비 구성 및 이동시 손쉽게 탈부착이 가능하도록 하는데 중점을 두고 설계하였다.

2차년도의 차량 설계안은 본 그림에서 나타나있듯이 리프팅 크레인을 이용하여 파쇄 툴박스 프레임을 작업 현장에 위치시키는 방법을 채택하였다. 하지만 작업시간과 작업자 편의사항, 또 작업할 주변 여건을 고려하여 당해연도인 3차년도에는 차량에 틸팅 실린더를 장착하여 수평이동이 가능한 파쇄 툴박스 프레임을 설계하고 제작하였다. 2차년도에 설계 제작한 리프팅 크레인에 비해 작업자가 스틱조작으로 파쇄 툴박스 프레임을 작업 위치에 이동시키기 때문에 피로도와 작업시간를 줄일 수 있으며 리프팅 크레인을 이용하면서 발생 할 수 있는 안전사고를 예방 할 수 있다.

(다) <3차년도> 연구개발 내용

당해연도 연구개발은 전년도에 진행되었던 장비의 제작이 연속적으로 진행되었으며, 세부항목들의 제작이 마무리되면서 조립 및 시험 테스트를 통하여 최종적으로 장비의 제

작이 완료되었다. 시험 시공 등을 통하여 새로운 시장개척을 위한 활동을 진행하였으며, 향후 사업화를 위한 다각도의 사업성을 검토하여, 다양한 개발업무가 진행되었다. 다음 표 3.94는 본 연구과제에서 진행한 당해연도 연구결과를 요약한 것이다.

표 3.94 3차년도 연구 내용 및 결과 요약

연차	연구 내용	연구 결과
3차년도	■ 장비 제작 계속 ■ 장비 조합 완료 및 장비 제작 ■ 시험 시공 및 결과 고찰 ■ 장비보완 및 완성 ■ 홍보 및 영업활동	■ 추가적인 장비 제작 계속진행 ■ 전체적인 장비제작 마무리 및 시험운행 ■ 장비 테스트 및 시험시공 실시 ■ 최종 시공장비 개발 완료 ■ 관리자 대상으로 홍보 진행

3차년도 과제 진행은 본 연구의 최종목표인 포트홀 응급보수를 가능하게 하는 시공장비의 제작 완료 및 보완작업을 실시하여, 향후 사업화를 위한 기반을 마련하는 데 주안점을 두고 진행하였다, 2차년도에 진행되었던 장비제작을 기반으로 포트홀 응급보수 장비의 전체적인 시스템 마무리를 실시하였으며, 장비의 시험운영을 실시하였다.

장비의 전체적인 구성에 필요한 품목들은 2차년도에 부분품으로 제작된 장비들을 이동이 가능한 Chassis에 장착하였으며, 장비의 원활한 구동을 위한 동력전달장치와 제어부를 구성하여 장비의 테스트를 실시하며, 구성품목 및 시스템의 보완을 실시하였다. 본 과업이 진행된 세부내용은 다음과 같다.

(라) <3차년도> 장비의 기본설계

본 연구는 프리캐스트를 이용하여 포트홀을 응급보수하는 장비를 개발하는 것이다. 따라서 본 연구진은 프리캐스트를 활용하여, 아스팔트에 생긴 포트홀을 응급 보수 할 수 있는 시스템을 구축하고, 이에 필요한 세부항목들을 결정하여, 신속히 이동이 가능한 Chassis를 이용한 장비의 구성을 결정하였으며, 장비의 구성은 도로작업여건 및 주요 수행 작업들을 고려하여 구성하였다.

장비는 크게 장비탑재용 차량과, 동력부, 제어부, 저장부, 이송부, 진공흡입부, 절삭부, 살수부 등으로 구성되어져 있으며, 장비의 전체적인 구성에 필요한 세부항목별 주요기능 및 기본적인 제작조건은 다음과 같다.

표 3.95 장비의 구성 및 기능

동 력 부	차 량	장비 동력에 필요한 동력 공급
	분배기	동력 분배기능
제 어 부		장비의 통합제어 및 조작기
저 장 부		보수중 발생한 슬러지 저장기능
이 송 부		코어절삭부 및 그라인딩부 이송기능
진공흡입부		보수중 발생한 슬러지 흡입기능
절 삭 부		포트홀 절삭 및 그라인딩 기능
살 수 부		절삭 및 그라인딩시 윤활기능

다음의 그림은 본 연구진이 3차년도에 개발한 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 전용 시공장비의 전체 구성도면을 나타낸 것이다.

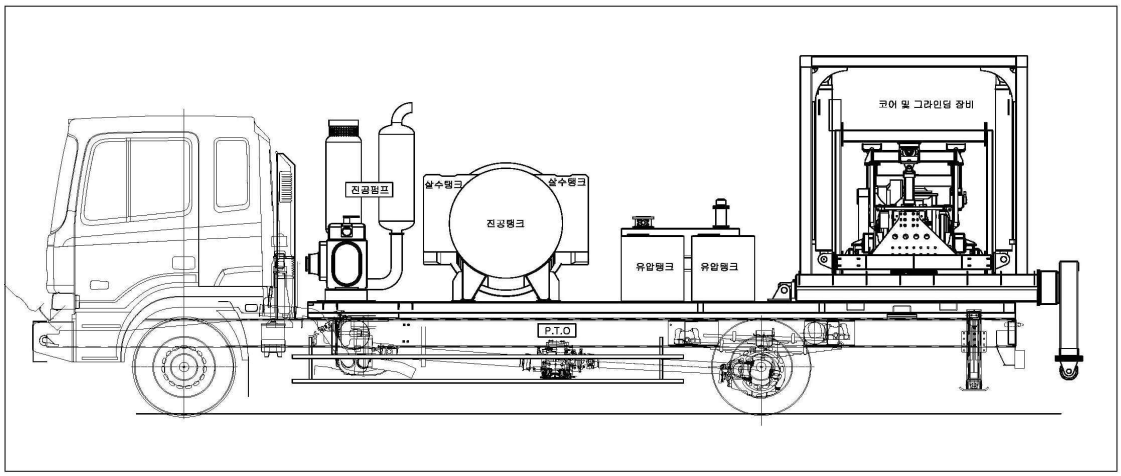


그림 3.155 3차년도 프리캐스트 포트홀 시공장비 전체 구성도



그림 3.156 3차년도 프리캐스트 포트홀 시공장비 전체 실사진

3차년도에 설계한 장비의 전반적인 배치는 본 장비에 사용되는 코어절삭 및 그라인딩이 동력이 많이 요구되는 것을 감안하여 차량의 메인엔진에서 동력을 인출하여 사용하였으며, 장비 시공시 최적의 조건을 고려하여 다음과 같이 구성하였다.

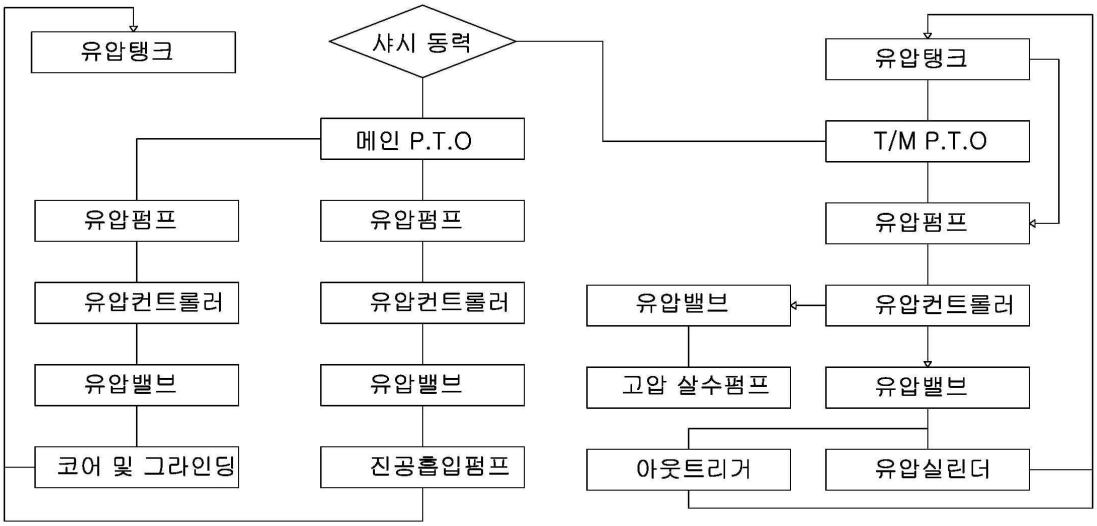


그림 3.157 <3차년도> 장비의 전체 구성도

위의 계통도를 기본으로 장비의 전체적인 형태를 구성하면 다음과 같다. 장비의 모든 구성품들은 차량에 탑재되어져 안정적인 구조를 갖추었으며, 또한 코어절삭 및 그라인딩 장비가 시공하기 편리하도록 차량 후부로 이동되어 하강하여, 차량시공 및 차량이동에 지장이 없도록 고안 및 설계하였다.

3차년도에 진행된 유압 액추에이터는 파쇄 툴박스 프레임을 이동시킬 틸딩 붐 실린더와 파쇄 잔재물을 진공 흡입할 진공 펌프의 유압 회로가 추가되었다. 앞서 언급하였듯이 주동력을 보조엔진에서 차량의 동력으로 대체하였으며, 주동력 이외에 차량에 부가적으로 설치된 T.M 동력인출장치(Transmission power take off (TM PTO))에서 추가적으로 동력을 나누워 인출하여 사용하도록 구성하였다. 그렇기 때문에 동력은 차량의 주엔진과 주동력을 나눠 인출하기 위해 보조적으로 설치된 T.M 두 곳에서 인출하며 이에 대한 유압 회로도는 다음과 같다.

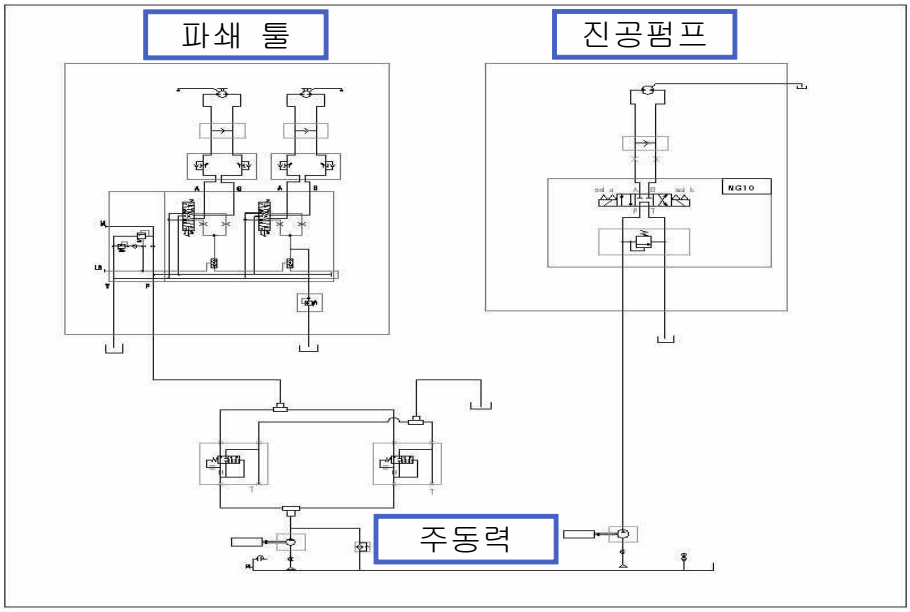


그림 3.158 <3차년도> 주 PTO의 (유압) 회로도

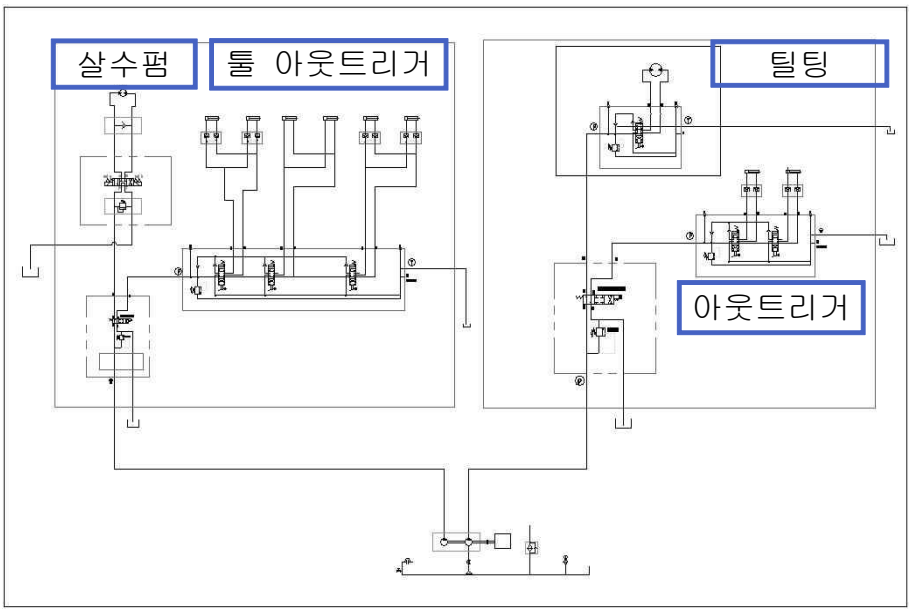


그림 3.159 <3차년도> T.M PTO의 (유압) 회로도

(2) 이동식 프레임 개발

2차년도 설계는 앞에서 언급한 바와 같이, 본 연구의 초기단계에서 구상한 장비의 문제점을 해결하기 위해 작업공정이 이루어지는 별도의 이동식 프레임을 제작하였다. 이 프레임에는 기본적인 보수공정에 필요한 모든 장치들이 탑재되어 운영될 예정이기 때문에 많은 시행착오를 거쳐야 할 것으로 판단되었다.

그리하여 2차년도에는 파손부 제거를 위한 파쇄 툴을 장착하여야 하므로 그에 맞도록 고안하여 기본 틀을 구성하였다.

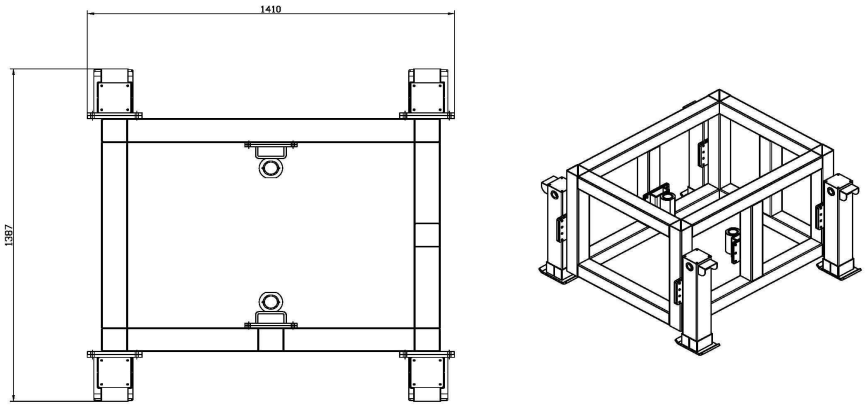


그림 3.160 <2차년도> 이동식 프레임 설계



그림 3.161 <2차년도> 이동식 프레임 전경

2차년도에 진행된 위 사진의 이동식 프레임은 리프팅 크레인 방식으로 장비를 이동 시켜야하기 때문에 제한된 하중으로 인해 프레임의 구조가 단순하고 하중이 작게 설계하였으나 3차년도에 설계한 틸팅 실린더 방식은 차량에서 유압 실린더로 이동하여야 하므로

더욱 견고하고 하중이 많이 나가는 구조로 설계를 하였다. 다음의 사진은 차량에 장착된 파쇄 툴박스 프레임과 틸팅 실린더의 모습이다.

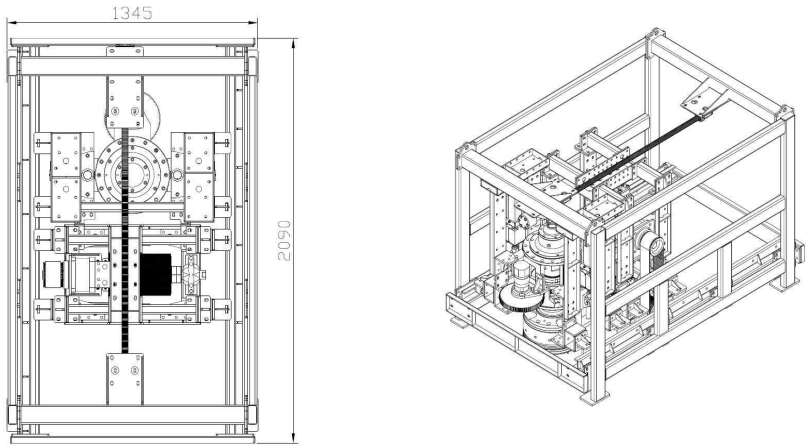


그림 3.162 <3차년도> 이동식 프레임 설계



그림 3.163 <3차년도> 이동식 프레임 전경

(가) 프레임 수동 제어부

본 연구를 통해 최종적으로 개발되는 장비는 운전자 또는 별도의 장비 조작인원이 메인판넬이나 제어판에서 간단한 버튼으로 조작하도록 구성할 예정이다. 하지만 모든 조작을 자동화로 해 두면 현장에서 작동 시, 메인판넬의 문제로 인해 다른 공정들을 수행할 수 없게 되는 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 기본적인 작동에 대한 수동 제어부는 반드시 부가적으로 장착되어야 할 것으로 본 연구진은 판단하였다.

그리하여 아래의 그림에서 보는바와 같이 프레임에 기본적으로 유압식 수동 레버를 장착하였다. 이 레버는 프레임 자체의 높이를 조절해주는 장치로 포트홀 보수 위치가 결정되면 외부의 레버에 의해 일정한 높이를 유지시켜 작업 중에도 별도의 흔들림 없이 작업이 원활이 진행될 수 있도록 도와주는 역할을 하게 된다.

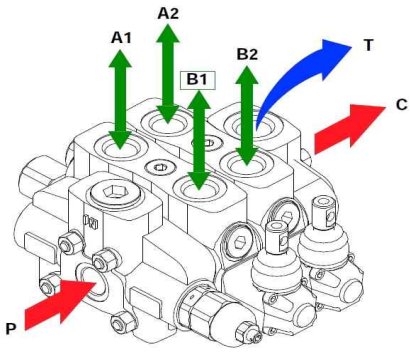




그림 3.164 <2차년도> 작업 프레임 외부 수동 조작레버

2차년도에 설계하였던 작업 프레임의 아웃트리거 방식은 리프팅크레인을 이용하여 파쇄 툴 프레임을 직접 작업위치에 위치시키는 방식 이였기 때문에 파쇄 툴 프레임을 작업위치에 안정적으로 안착시키기 위하여 프레임에 직접 아웃트리거를 장착하였으나 이는 앞서 언급하였듯이 틸팅 실린더를 이용하여 작업위치에 파쇄 툴 프레임을 이동시키는 방법으로 수정하였기에 아웃트리거 역시 차량의 후부에 설치하여 프레임이 안정적으로 작업위치에 안착할 수 있도록 설계하였다. 이에 차량에 고정적으로 설치된 아웃트리거 2개와 틸팅 실린더에 의해 유동적으로 이동하는 아웃트리거 2개로 각각 변경설치 하였으며 수동 조작레버 역시 각각 기능과 위치에 맞게 재수정하여 설치하였다. 다음은 변경된 아웃트리거 수동 조작레버의 모습이다.

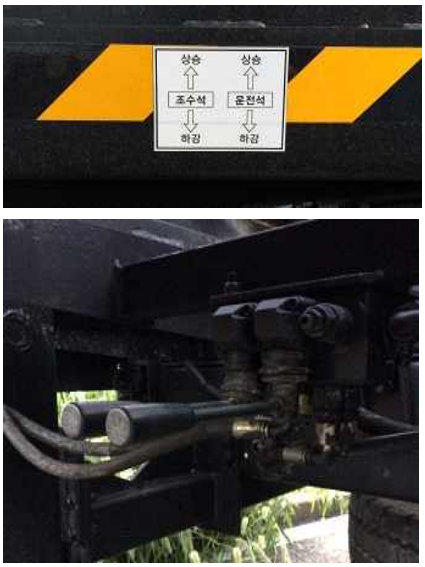


그림 3.165 차량 고정용 아웃트리거 외부 수동 조작레버

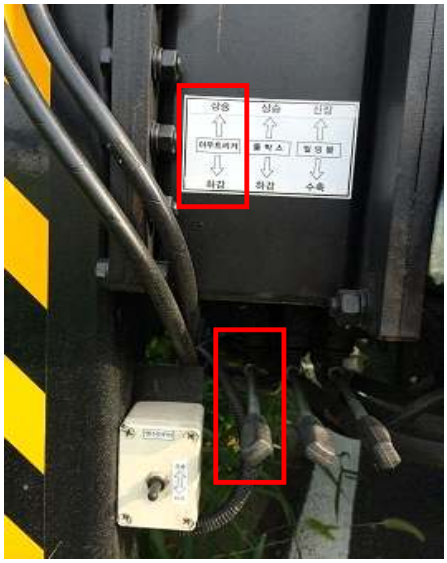


그림 3.166 틸팅 실린더 아웃트리거 외부 수동 조작레버

그림 3.165 에서 보이듯이 운전석과 조수석의 아웃트리거 역시 각각 조정을 할 수 있도록 하였다. 이는 작업할 곳의 도로 사정에 맞춰 안정된 작업을 위해 차량이 수평을 유지해야 하므로 작업자의 조작에 의해 조정을 할 수 있도록 한 것이다. 그림 3.166은 틸팅 실린더의 이동에 맞춰 유동적으로 움직이는 아웃트리거의 외부 수동 조작레버이다. 차량 고정용 아웃트리거와는 달리 운전석과 조수석 양쪽의 아웃트리거를 동시에 조작할 수 있도록 설계하였다. 이는 차량의 수평은 차량 고정용 아웃트리거로 조정을 하였기에 불필요한 조작을 줄이고 작업시간을 단축하기 위해 1스틱으로 조작할 수 있도록 설계하였다.

(나) 아웃트리거 장치

프레임이 포트홀 파손 구간에 정확히 위치하면 안전한 작업이 진행될 수 있도록 위의 제어부를 통해 프레임의 4면에 장착되어 있는 아웃트리거를 제어하게 된다. 아웃트리거란, 일반적으로 안전한 작업을 위해 장비의 하중을 분산시켜 장비를 안정적으로 지탱해 주는 장치를 말하는 것으로 흔히 크레인이나 무거운 짐을 옮길 때 사용하는 장비들을 고정할 때 사용하는 유압식의 실린더 형태를 말하는 것이다.

아웃트리거는 유압을 이용하여 작동하며 인출, 하강, 상승, 인입 등이 정상적으로 작동되어 하며 인출 상태에서는 안정된 작업을 위해 수평이 유지되어야 하며 지지점인 4군데 모두 정상적으로 돌출되어야 한다.

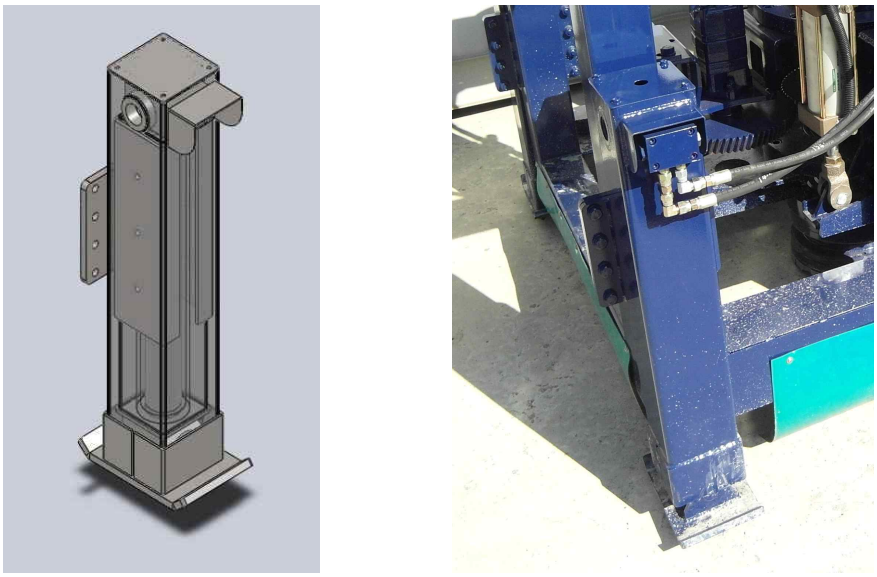


그림 3.167 <2차년도> 유압식 아웃트리거 모형 및 실물사진



그림 3.168 <3차년도> 유압식 아웃트리거 실물사진

본 연구에 적용한 아웃트리거 장치는 상승 시, 정확한 위치에서 정지하도록 하기 위해 더블 파일럿 작동형 체크 밸브를 적용하였다. 더블 파일럿 작동형 체크 밸브는 실린더의 정확한 정지를 위해 실린더 전,후진 포트 모두에 파일럿 작동형 체크밸브를 사용하는 것으로 파일럿 라인의 배관이 필요없게 되므로 유지관리에 상당한 편리성을 제공하는 장치이다.

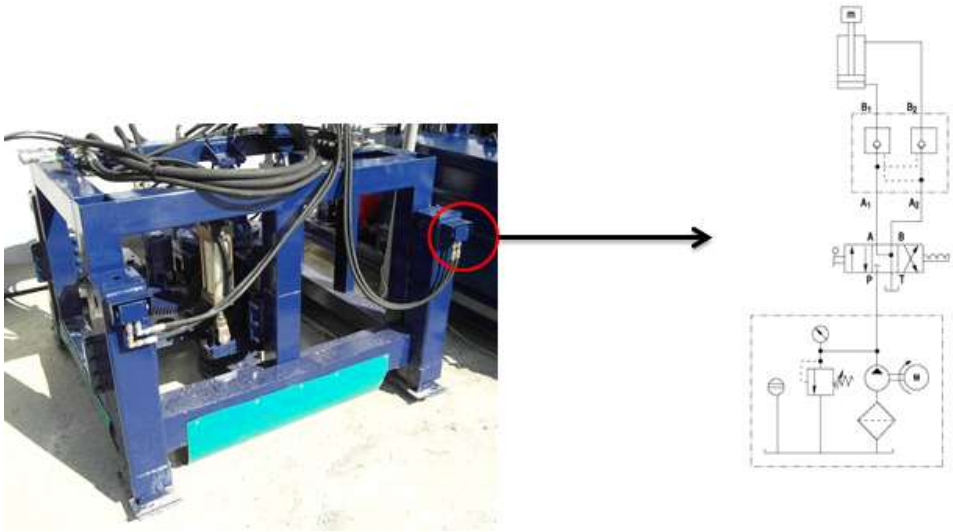


그림 3.169 <2차년도>에 장착된 더블 파일럿 작동형 체크 밸브



그림 3.170 <3차년도>에 장착된 더블 파일럿 작동형 체크 밸브

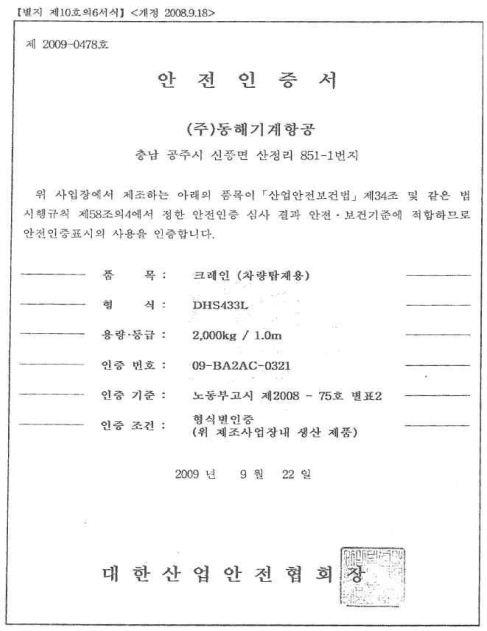
(다) 크레인 및 틸팅 실린더

① <2차년도>설계안 인양크레인

인양크레인은 국내에서 많은 크레인 업체에서 생산되고 있는 관계로 검증되고 시중에 판매되고 있는 크레인을 설치하여 시험테스트를 실시하였다.



그림 3.171 인양 크레인을 차량에 설치하여 테스트 하는 모습



【별지 제10호의6서식】 <개정 2008.9.18>

제 2009-0478호

안 전 인 증 서

(주)동해기계항공

충남 공주시 신풍면 산정리 851-1번지

위 사업장에서 제조하는 아래의 품목이 「산업안전보건법」 제34조 및 같은 법 시행규칙 제58조의4에서 정한 안전인증 심사 결과 안전·보건기준에 적합하므로 안전인증표시의 사용을 인증합니다.

품 목 :	크레인 (차량탑재용)
형 식 :	DHS433L
용량·등급 :	2,000kg / 1.0m
인증 번호 :	09-BA2AC-0321
인증 기준 :	노동부고시 제2008 - 75호 별표2
인증 조건 :	형식별인증 (위 제조사업장내 생산 제품)

2009 년 9 월 22 일

대 한 산 업 안 전 협 회 장

그림 3.172 인양 크레인 안전인증서

② <3차년도> 틸팅 실린더

차량 아웃트리거를 하강시켜 차량을 지상에 지지한 뒤 틸팅 실린더의 후방에 설치되어 있는 틸팅 실린더 아웃트리거를 지표면에 안착시킨 후 틸팅 실린더를 전진시켜 파쇄장치를 작업위치에 위치시킬 수 있다. 틸팅 실린더는 운전석, 조수석 양쪽에 장착되어 있으며 틸팅 실린더에 설치된 아웃트리거는 고하중용 바퀴를 부착하여 실린더가 수평으로 전진할 수 있도록 구성하였다. 다음의 사진은 틸팅 실린더의 전진 전(좌), 전진 후(우) 사진이다.



그림 3.173 틸팅 실린더 전진 전(좌), 전진 후(우)

(라) 툴박스

파손부 제거 툴이 장착되어 있는 프레임을 틸팅 실린더붐을 이용하여 작업위치에 이동 후 파쇄 툴박스 프레임에 수직으로 설치된 실린더를 이용하여 파쇄 툴을 하강시켜 작업위치에 안착 시킬 수 있다. 안전한 작업을 위해 파쇄 툴은 4면이 지표면에 모두 안착이 되어야 하며 수평을 유지하여야 한다.

다음 그림은 툴박스를 작업위치에 안착시키기 전(좌), 후(우) 사진이다.



그림 3.174 툴박스 안착 전(좌), 후(우

(마) 배관 및 밸브

프레임의 기본적인 작동을 위해 유압실린더 및 모터에 동력 및 유압 호스는 고압용을 적용하여 안전성 및 정확성을 실현하였다. 또한 동력장치와 파쇄 툴 장비의 연결부는 급속 해제식 퀵 커플러를 적용하여 정비성 및 작업성의 편리성을 도모하였으며, 커플러를 해제 하였을 시 유압유가 흐르지 않는 막힘식 퀵 커플러를 적용하여 제작하였다.

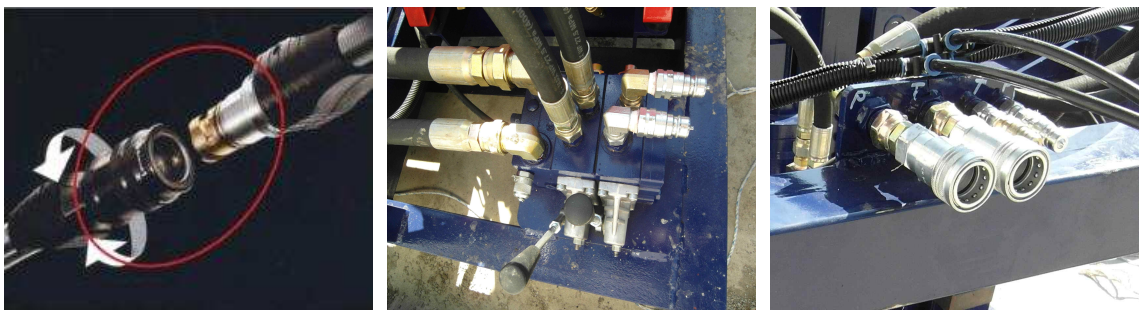


그림 3.175 배관용 커플러 및 밸브

위의 그림에 적용된 커플러는 유압호스가 스위벨 역할을 하도록 하여 작업 중이거나 장비 이동 중 유압호스의 꼬임을 방지하여 원활할 작업을 하도록 도와주는 역할을 한다.

(3) 파손부 제거장치 개발

(가) 파손부 제거를 위한 기초시험

시공 장비의 기본설계를 진행하면서 가장 우려되는 부분이 파손부 제거 장치였다. 일반적으로 포트홀 파손 표면은 불규칙하게 나타나기 때문에 원형으로 파쇄할 경우 편심에 의해 제거부의 크기가 변하거나 제거하면서 인접 아스팔트면을 파쇄할 우려가 있다. 파손부 제거를 위한 파쇄용 팁은 프리캐스트 보수재료의 크기와 연동되어 제작되기 때문에 크기가 변하게 되어 공간이 발생할 경우 채움재로 채워야 하기 때문에 보수비용이 증가할 수 있다. 이러한 문제점을 검증하기 위해 본 연구진은 일반 포장용 코어비트를 이용하여 실외 시험을 수행하였다.

포트홀 파손부를 제거하기 위해서는 기존의 코어비트로 적용이 어렵다. 일반적인 코어비트는 아래의 그림에서 보는바와 같이 원형의 비트만 존재하기 때문에 경계면만 절삭한다. 하지만 본 연구에서는 경계면 절삭과 동시에 내부의 파손부까지 완전히 제거를 해야하기 때문에 파쇄 비트 내에 추가로 팁을 설치하여 파손부 전체를 제거할 수 있도록 고안하였으며, 시험용으로 사용하기 위해 별도로 주문하여 시험 제작하였다.

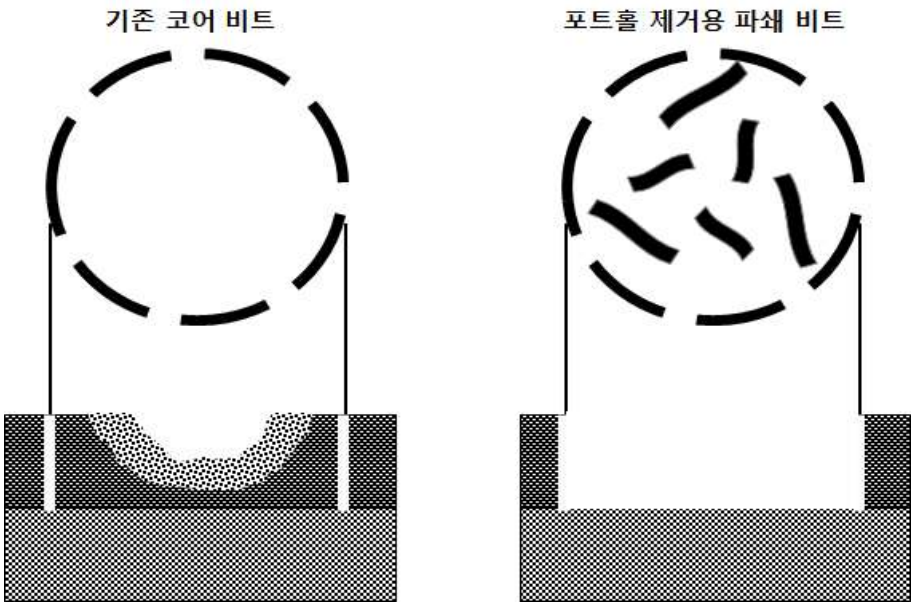


그림 3.176 기존 코어 비트와 파손부 제거용 비트와의 차이



그림 3.177 시험용으로 제작된 파손부 제거용 비트

제거 시험에는 일반적인 코어 장비를 사용하여 수행하였으며, 제거 깊이는 일반 토공부 포장을 고려한 5㎝ 두께와 아스팔트 교면포장 중 하부층까지의 파손을 가정한 8㎝ 두께로 수행하였다. 시험 대상으로 일반 아스팔트 혼합물을 이용하였으며 파손이 없는 깨끗한 단면과 포트홀 파손을 가정하여 미리 단부를 파 놓은 파손부 두 가지에 대하여 시험을 수행하였다.

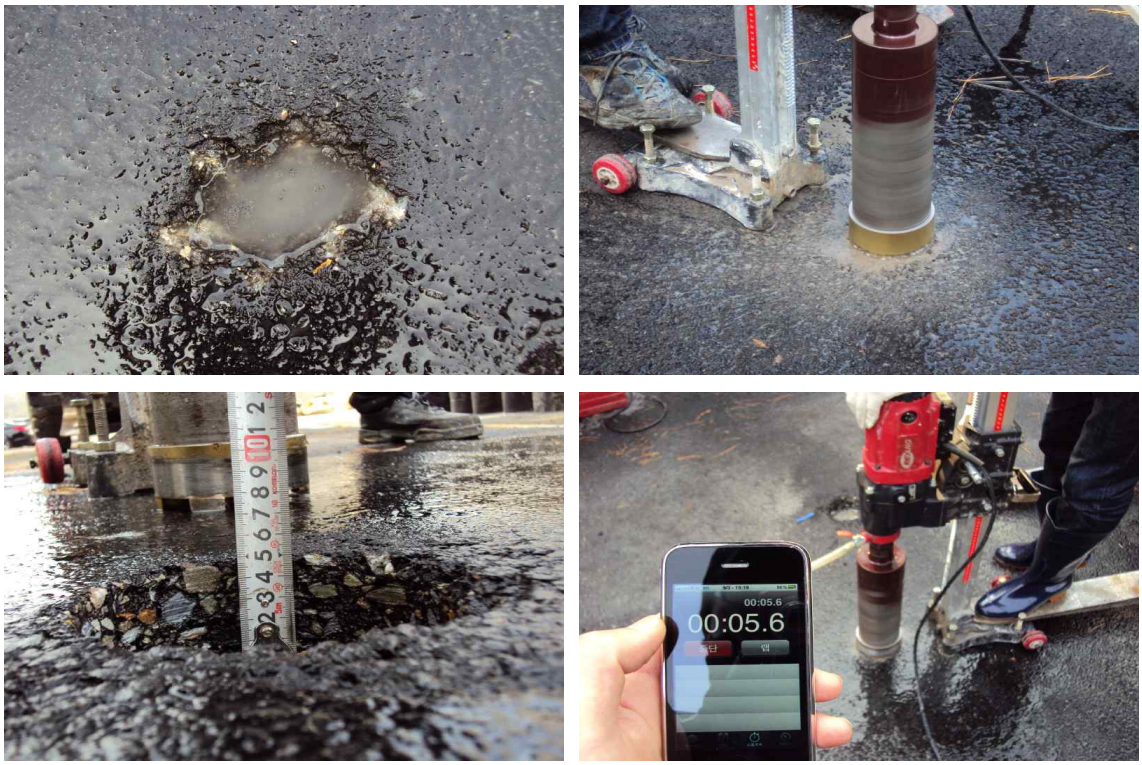


그림 3.178 파손부 제거를 위한 소형 시험

시험 결과, 포트홀이 발생한 구간의 경우 처음 파쇄 비트가 진입할 때 편심등의 문제로 심하게 흔들리는 경향을 보였으나 파쇄면 홈이 생성되면서 안정화되어 빠른 속도로 목표로 하는 두께만큼 제거되는 것을 확인할 수 있었다. 포트홀이 없는 일반 포장구간의 경우는 포트홀 발생구간만큼 심한 흔들림은 없었으나 파쇄면 홈이 생성되면서 제거는 쉽게 진행되었다. 5㎝를 기준으로 소요시간은 약 4~5분 정도였으며 8㎝ 깊이는 약 7~8분 정도로 깊이에 따라 제거 시간이 비례함을 알 수 있었다.

파쇄 비트의 초기 흔들림으로 인한 제거부의 크기 변화를 확인하기 위해 10여구 정도를 천공하고 그 크기를 재어 비교해본 결과, 다음의 표에서 보는바와 같이 약 6.8~8.6% 정도 단면의 직경이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제거 비트의 직경을 기준으로 제거부의 평균크기를 고려하면 아래의 사진에서 보는바와 같이 보수재료와 포장면과의 두께는 약 0.5㎝ 정도로 유지되는 것을 확인하였다. 본 시험 결과를 토대로 앞에서 언급한 채움재의 인장 접착 강도 시험 결과와 연계하여 채움재의 두께를 검토하면, 현장에서 시공되는 채움재 두께는 최소 0.3㎝ 이상 0.5㎝ 전후로 적용하는 것이 가장 적합할 것으로 판단되며, 향후 현장시험을 통해 추가로 검증이 필요할 것으로 판단된다.

표 3.96 파쇄비트의 흔들림으로 인한 제거부의 크기변화

항목	천공별 크기(cm)									평균 크기(cm)	제거비트 직경(cm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
파손부 제거	12.5	12.5	12.6	12.6	12.4	12.6	12.5	12.6	12.6	12.54	11.6



그림 3.179 파손부 제거 후 크기 조사

아울러 본 시험을 수행하면서 파손 제거 대상에 대해 추가적인 고찰이 필요한 사항을 확인하였다. 아래의 그림에서 보는바와 같이 파손부 제거 후 아스팔트 포장부 측단이 떨어져 나가는 현상이 발생하였다. 이는 파손부 제거 시 장비의 회전력에 의해 단부 손상으로 떨어져 나간 것으로 판단되었으며 좌측의 경우 일반 밀입도 아스팔트 혼합물이었다. 하지만 같은 시험을 진행한 우측의 경우는 개질 아스팔트 혼합물로 내구성이 일반 밀입도 혼합물에 비해 양호한 포장형식이었다. 포트홀 파손부 이외에 포장이 건전한 부분을 포함하여 제거할 경우 단부의 파손은 최소화 할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 추후 포장 형식별로 추가 제거 시험을 수행하여 포장 형식별로 입도 및 아스팔트 혼합물의 내구성 등과 비교하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



그림 3.180 제거 후 단부 파손(좌) 및 단부 양호(우)

(나) 코어부 설계 및 파손부 제거 툴 결정

포트홀 파손부를 제거하기 위해서 가장 중요한 부분이 파손 툴이다. 흔히 파쇄비트라고 하는 것으로 본 연구에서는 원형으로 포트홀 파손부를 전단면 파쇄 및 연마를 실시하여 흡입까지의 공정으로 진행된다. 이미 국내외에 다양한 파쇄형 비트가 존재하고 있으며 기본적인 원리는 경도가 가장 높은 다이아몬드(인공 다이아몬드)의 결정을 이용하는 것이 가장 일반적이다.

다이아몬드 비트는 일반적으로 크라운(crown)이라고도 하며 사용하는 다이아몬드의 종류에 따라 카본비트(carbon bit), 보츠비트(bortz bit)로 분류한다. 카본비트는 연강(軟鋼) 모서리의 한쪽 끝에 비교적 큰 브라질산 흙색 다이아몬드인 카르보나두(carbonado)를 4~8개 손으로 박아서 만든 것이며, 보츠비트는 비교적 작은 공업용 다이아몬드를 한 개의 비트에 40~70개(현재는 100~200개)를 손 또는 기계를 사용하여 박아서 만든 것이다. 따라서 비트는 다이아몬드의 구성방법에 따라 손으로 제작하는 핸드세트 비트(hand set bit)와 기계로 제작하는 메커니컬 세트 비트(mechanical set bit)로 분류된다.

또한 메커니컬 세트 비트는 베릴륨-구리계 합금의 바탕에 주입(鑄込)한 주입비트(cast bit)와 탄화 텅스텐(WC)에 코발트(Co)를 가한 경합금계의 바탕에 보츠를 세트해서 소결성형(燒結成形)한 소결비트(sintered bit)로 분류된다. 또한 보츠비트에는 그 표면에만 보츠를 박은 표면비트(surface bit)와 분말에 가까운 미분(微粉)의 다이아몬드를 바탕 속에 균일하게 분포시킨 주입비트(impregnated bit)가 있다. 비트는 코어(core) 채취의 유무에 따라 코어링 비트(coring bit)와 논코어링 비트(non coring bit)로 분류되며, 후자의 예로 파일럿 비트(pilot bit)가 있다. 현재 카본비트는 거의 사용되지 않고 있으며, 박는 방법도 기계로 박는 방법이 주로 사용되고 있다.

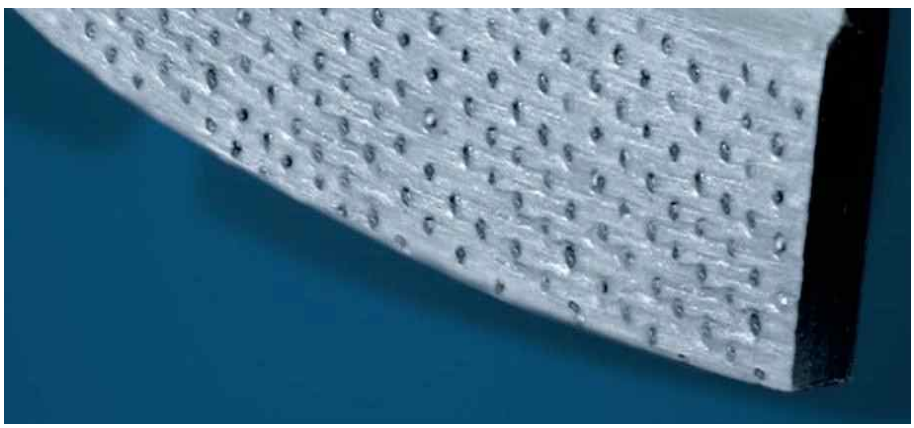


그림 3.181 메커니컬 세트 비트(예시)

국내에서 사용되고 있는 다이아몬드 비트의 종류는 아래의 그림에서 보는바와 같이 랜덤형 다이아몬드 툴과 패턴형 다이아몬드 툴이 있다. 랜덤형은 다이아몬드 입자를 연마날에 불규칙적으로 분포하게 적용한 것으로 제작비용이 저렴하면서 큰 정밀도를 요구하지 않는 현장에서 많이 사용하고 있다. 패턴형은 그림에서 보는바와 같이 다이아몬드 입자가 매우 규칙적으로 배열되어 있으며 연마강도가 증가되어 랜덤형에 비해 팁의 소모율이 약 30% 정도 향상 효과가 있다. 하지만 제작이 어렵고 비용이 고가인 것이 단점이다. 하지만 본 연구에서는 프리캐스트 보수재료의 크기와 포트홀 파쇄단면의 크기를 일치시키는게 중요한 기술인 만큼 패턴형 다이아몬드 툴을 적용하여 사용하도록 결정하였다.

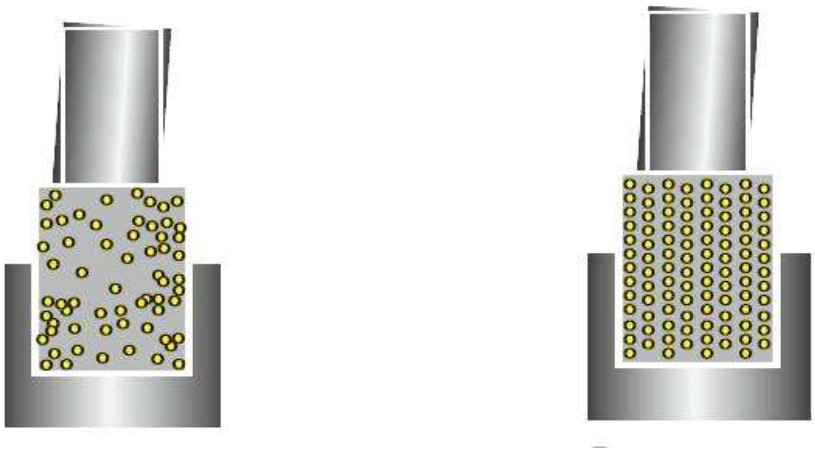


그림 3.182 아스팔트 절삭용 다이아몬드 비트 종류
(왼쪽 : 랜덤형 / 오른쪽 : 패턴형)

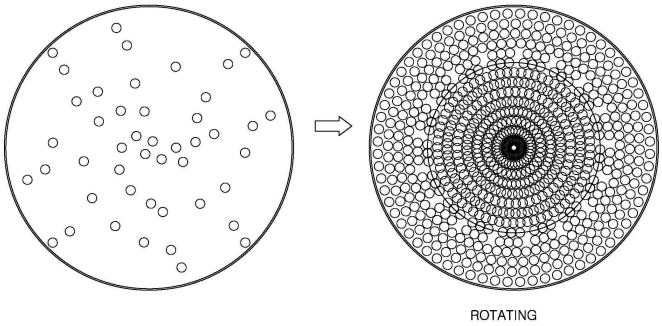
이와 비슷한 용도로 사용되는 파쇄형 비트들이 아래의 그림과 같이 다양하게 분포하고 있다. 비트가 초경으로 구성되어 있어 내구성이 강하고 마모가 적은 장점이 있으나, 주로 천공용으로 사용되는 비트이기 때문에 작업 시 항타기능이 추가되어야 굴착 및 파쇄가 가능하다. 하지만 본 연구에서는 항타기능을 추가하게 되면 아스팔트 포장의 인접부가 모두 파손되기 때문에 연구진이 요구하는 기술수준을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다.



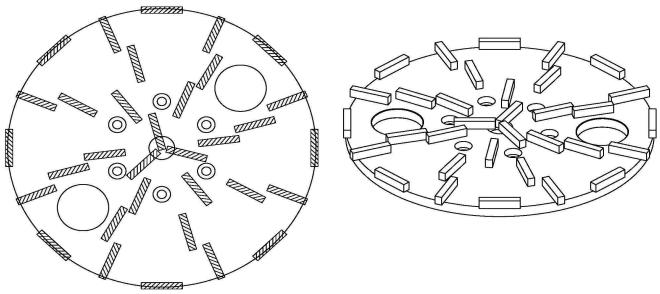
그림 3.183 천공용 파쇄 툴

(다) 파손부 제거 툴 제작

본 연구진이 적용하기로 결정한 패턴형 다이아몬드 비트를 이용해서 파쇄 툴을 제작하였다. 우선 파손부 툴의 크기는 30㎝ 지름을 기준으로 제작하였으며 연마 충격에 충분히 견딜 수 있는 두께로 고안하였다. 아래의 그림과 같이 원형의 모체판에 기 제작된 다이아몬드 비트를 일정한 간격 및 비대칭 간격으로 부착시키고, 모체판 내부에는 향후 파쇄 시 필요한 물 공급과 슬러지 흡입에 필요한 구멍 등을 적용하기 위해 천공하여 제작하였다.



㉠ 개발 초기 모형 - 1



㉡ 개발 초기 모형 - 2

그림 3.184 파손부 제거 툴 설계도

위의 도면에서 나타난 바와 같이 원형비트를 이용한 초경툴과 사각비트를 이용한 다이아몬드 툴 등 여러 가지 비트 가공툴을 모형화하여 제작하였다. 실제 제작에서 조금씩 변형된 툴이 제작되었으며, 아래 사진은 실제 제작공정과 제작된 툴에 대한 설명이다.

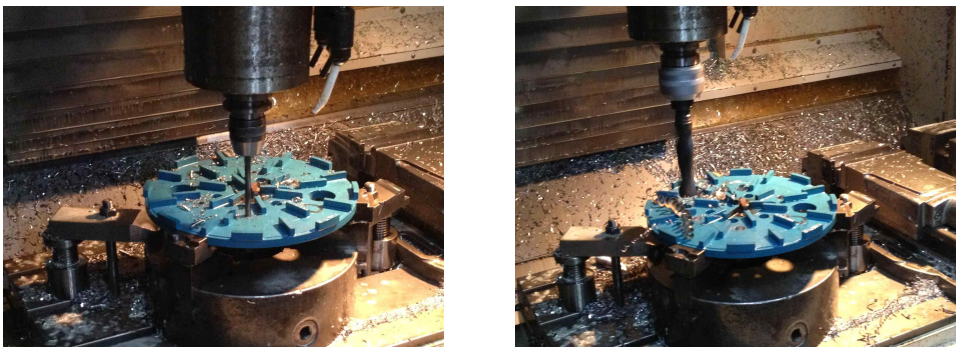


그림 3.185 <2차년도> 파쇄형 다이아몬드 비트 툴 제작

본 연구에 사용될 파쇄툴이 다음의 그림에서 보는바와 같이 다양한 도안에 의해 설계되어 제작되었다. 그림에서 보여지는 바와 같이 모체판 가운데 모여있는 작은 홀은 상부에서 공급되는 물이 중앙으로 공급될 수 있도록 하였는데, 그 이유는 회전력에 의하여 골고루 물이 퍼지게 하기 위해서이다. 또한 측면에 설치된 큰 홀 2개는 절삭하면서 생겨난 불순물(슬러지)와 물을 흡입라인으로 빨아 들이도록 측면부에 설치하였다.

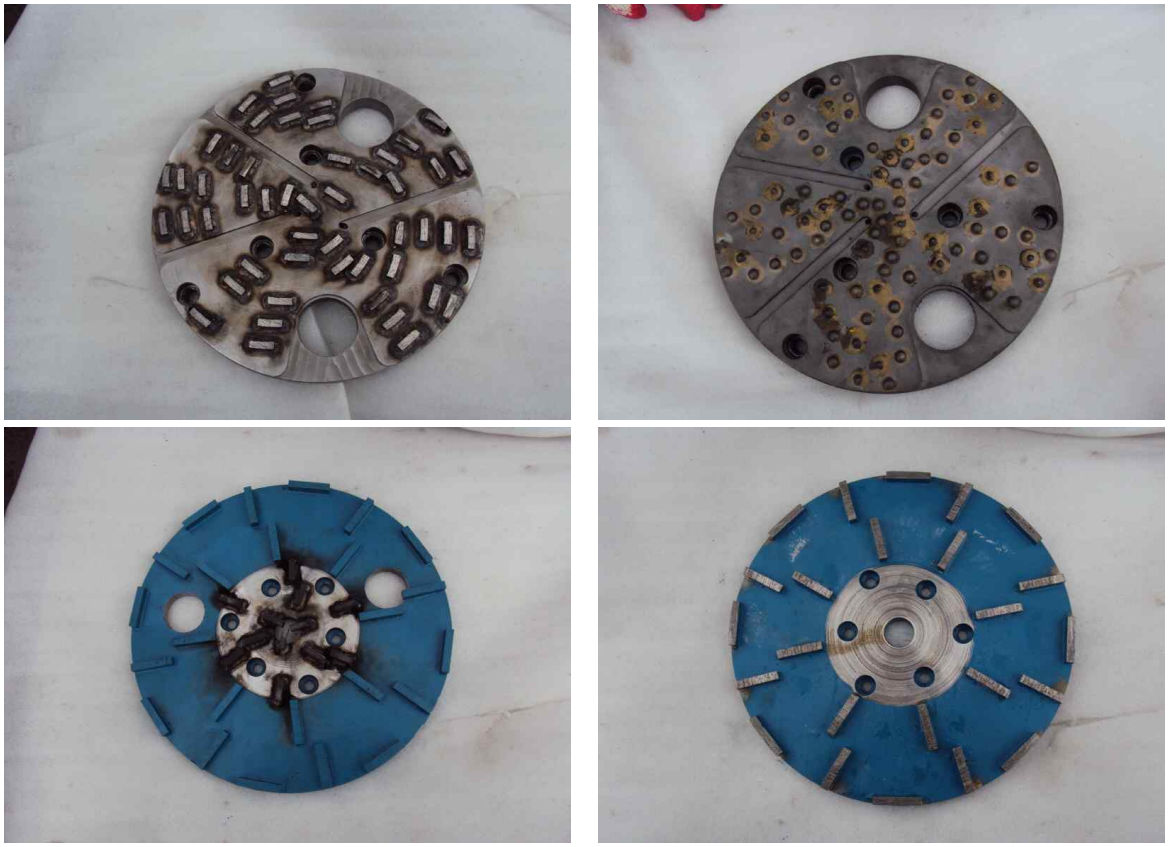


그림 3.186 <2차년도> 제작된 다이아몬드 파쇄 툴

3차년도에는 본 연구진이 2차년도에 적용하여 제작한 결정한 패턴형 다이아몬드 비트를 이용해서 파쇄 툴을 보완하여 제작하였으며,. 우선 파손부 툴의 크기는 40㎝ 지름을 기준으로 제작하였으며 파쇄 충격에 충분히 견딜 수 있는 구조로 고안하였다. 아래의 그림과 같이 원형의 모체판에 기 제작된 다이아몬드 비트를 일정한 간격 및 비대칭 간격으로 부착시켰으며, 2차년도에 비대칭 일자형으로 제작운용 하였으나, 슬러지의 원활한 외부 배출 및 회전시 절삭효과를 증대하기 위하여, 굴절형비트를 장착하여 추가로 제작하였다. 굴절형 비트로 제작 운용시 파쇄 효과는 일자형 비트와 같은 효과를 보이나, 슬러지 배출에서 좀 더 원활한 배출을 보였다.

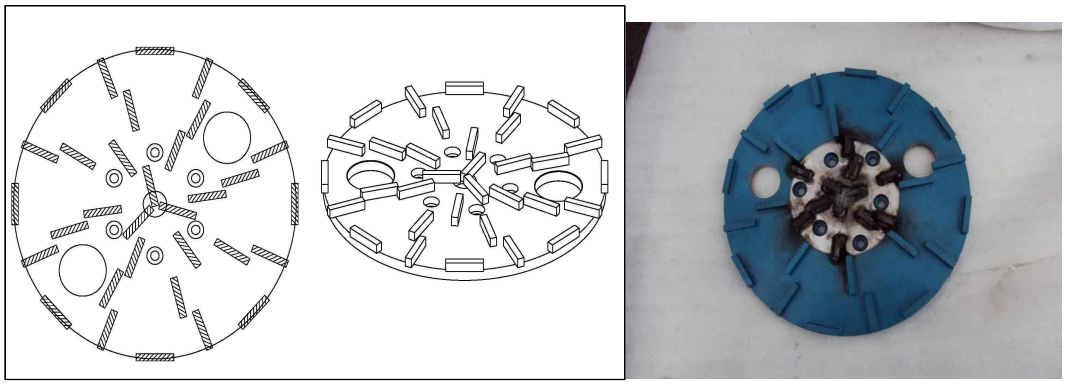
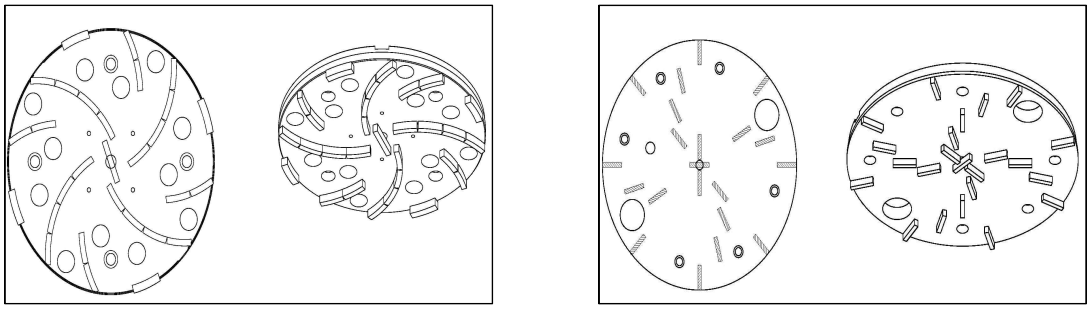


그림 3.187 <2차년도> 시험 제작운용한 파쇄툴 형태



- 굴절형 비트 -　　-일자형 비트 -

그림 3.188 <3차년도> 시험 제작 운용한 파쇄툴 형태



그림 3.189 <3차년도> 제작된 다이아몬드 파쇄 툴

따라서 연구진은 균질한 시공 및 시공의 용이함을 모두 만족시키는 코어비트는 분석한 결과 굴절형 비트가 적정하다고 판단하였다. 국내 및 해외에서는 실제 상기 형태의 코어가 생산 및 유통되지 않고 있기 때문에 2차년도에 시험 시공을 통한 테스트 실시를 경험을 바탕으로 3차년도에 본 공법에 적합한 코어비트를 채택하였다.

다음 표 3.97은 국내에서 유통되고 있는 각종 코어비트의 형태를 조사한 것이다.

표 3.97 국내에서 유통되고 있는 코어형식

비트 및 코어종류	형식 및 특징
	●돌출된 부위를 갈아내는 타입 ●표면 그라인딩용
	●암반등의 코어용 ●에어충격을 이용하여 천공하는 타입 ●충격으로 인한 주변 균열 발생
	●에어충격용 천공비트형상 ●충격으로 주변 균열 발생
	●회전용 코어비트 ●회전력을 이용하여 아스팔트등 코어기능수행 ●직경별로 규격생산, 판매 ●외경만을 위주로 코어하는 공구
	●암반등의 코어용 ●에어충격을 이용하여 천공하는 타입 ●충격으로 인한 주변 균열 발생

표 3.97에서 제시한 비트들은 대부분이 암반용 코어이거나 아스팔트 코어로 사용되는 제품들이다. 본 연구진은 상기 코어들을 비교 점검해 본 결과 2차년도에 이 장비에 적합한 코어는 생산되지 않으면, 이에 본 장비 전용 코어를 제작하기로 결정하여 테스트를 진행하였으며, 슬러지 처리문제와, 비트 사용시 회전력 등에 따른 소모성 문제 등을 고려하여, 최종적으로 강한 내구성을 구비하면서도 슬러지 배출이 용이하며, 시공하기가 용이한 코어를 개량하여 개발하였다. 다음의 사진은 파쇄툴의 제작에 대한 공정도이다.



파쇄툴 제작공정-1



파쇄툴 제작공정-2



파쇄툴 제작공정-3



파쇄툴 제작공정-4

그림 3.190 <2차년도> 제작된 다이아몬드 파쇄 툴

또한 시공 중에 슬러지가 도로 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 시공 중 발생하는 슬러지를 시공과 동시에 처리할 수 있는 슬러지 흡입 시스템을 추가로 고안하였다.

아스팔트 코어 시공 중에 발생한 슬러지는 물과 절삭된 아스팔트미세분진의 혼합물로써, 빠른 회수가 이루어지지 않을 경우 주변 도로에까지 영향을 미칠 수 있다.

① 슬러지 자동 흡입 처리부

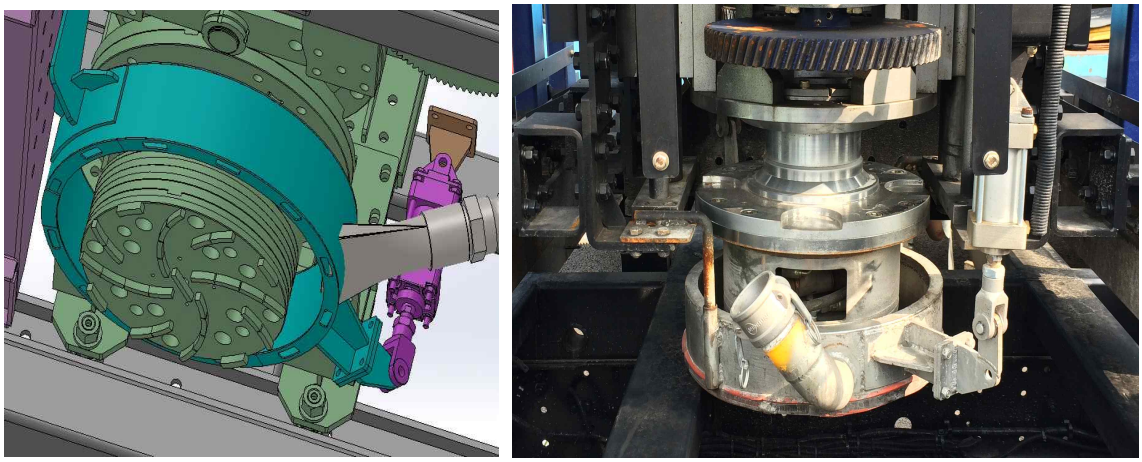


그림 3.191 <3차년도> 슬러지 자동흡입장치 설치안(좌) 및 실제 장비모습(우)

상기 슬러지 자동 흡입장치는 절삭장비가 작업을 진행하면서 발생하는 슬러지를 작업과 동시에 흡입 할 수 있도록 고안하여 설치하였다.

(라) 파손부 제거 장치

결정된 파쇄 툴을 이용하여 프레임에 장착될 파손부 제거 장치를 제작하였다. 2차년도에는 우선 파쇄 장치에 대한 충분한 검증이 진행되어야 했기 때문에 기본 프레임 또한 파쇄 공정에 가장 적합하도록 설계하여 제작하였다.

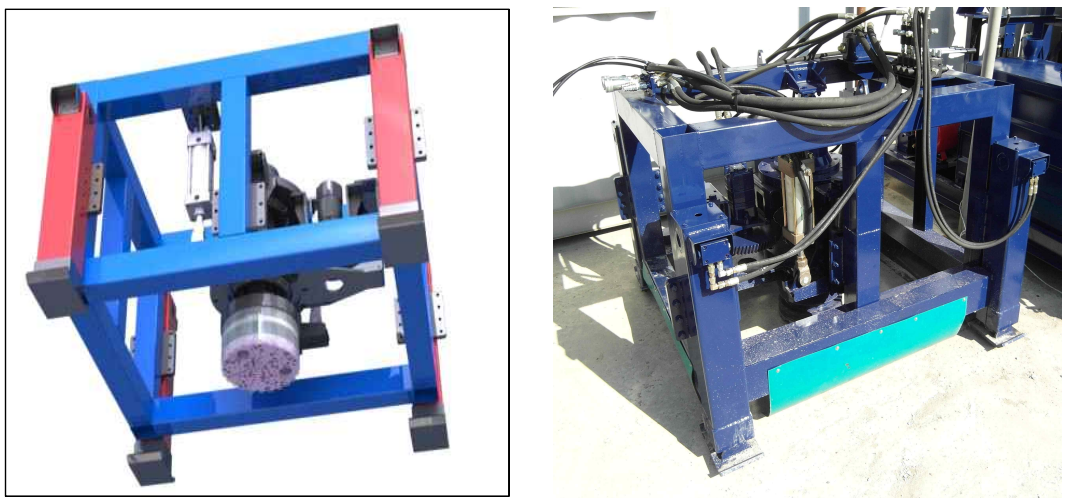


그림 3.192 <2차년도>에 진행한 프레임에 장착된 파손부 제거장치

3차년도에는 파쇄 공정에 적합할 뿐 아니라 차량에 탑재되어 파쇄 속도, 깊이 제어가 용이 하도록 설계하여 제작하였다. 파쇄툴과 그라인딩장치를 하나의 프레임에 설치하여 파쇄후 돌출된 부위를 바로 이동하여 처리할 수 있도록 하나의 시스템으로 구성하여 작업성을 높여 작업자 및 조작자의 피로도를 줄이는데 설계 및 설치에 주안점을 두었다. 파쇄속도는 엔진RPM으로 조절이 가능하며 파쇄 깊이는 파쇄 툴과 연결된 게이지 라벨을 통해 조절이 가능하다. 파쇄 깊이는 작업환경에 따라 발생할 수 있는 다양한 변수로 인해 절삭기 외부 조작 컨트롤 박스에서 수동으로 게이지를 확인하며 깊이를 조절 할 수 있도록 하였다.

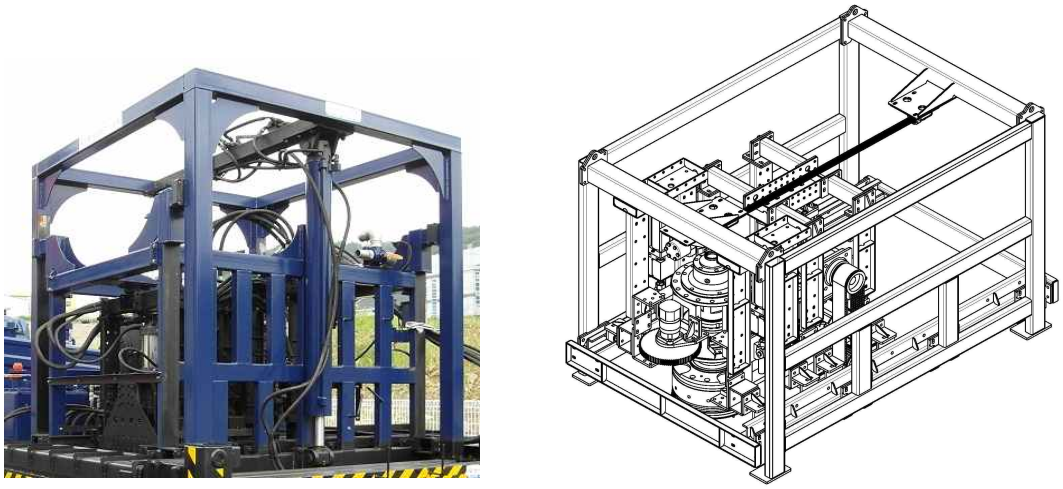


그림 3.193 <3차년도> 파쇄툴과 그라인딩툴이 조립된 골조모습

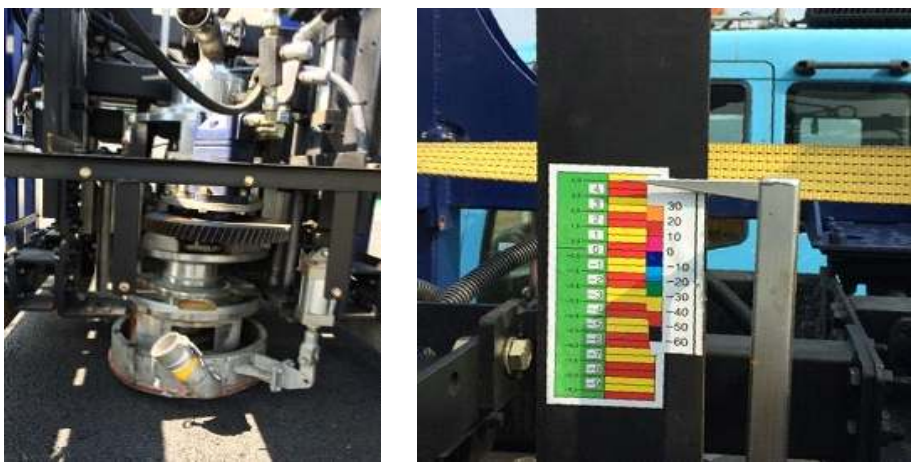


그림 3.194 <3차년도> 파쇄툴 프레임에 장착된 파손부 제거장치 및 높이 조절 라벨

① 파손 제거부 회전용 기어

국내에서 사용되고 있는 대부분의 장비의 기어 종류는 스퍼기어, 헬리컬기어, 베벨기어, 랙과피니언기어, 크라운기어, 워엄기어 등 그 종류도 많고 쓰임새도 여러 가지이다. 일반적인 기어 종류에 대한 개략적인 사항은 다음과 같다.

㉮ Spur Gear

일반적인 기어의 종류로 평기어와 내기어로 나뉜다.

- 평기어 : 원통기어로 기어의 이 줄기가 축과 평행하며 두 개의 기어가 서로 맞물린다.
- 내기어 : 평기어와 마찬가지로 두 축이 나란하게 놓이지만 한 개의 외기어와 하나의 내기어가 맞물린다.

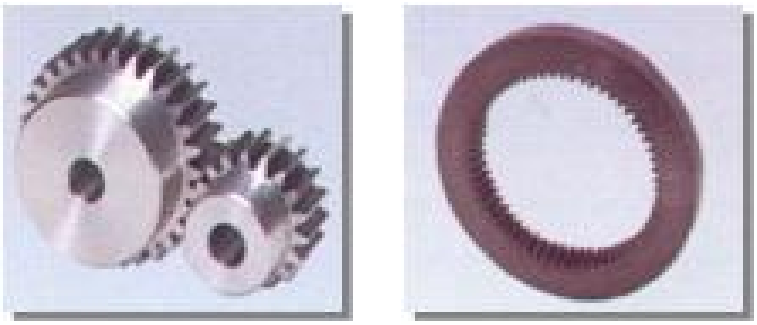


그림 3.195 SPUR 기어의 종류 (좌:평기어 / 우:내기어)

㉯ 헬리컬 기어

평기어의 이 줄기가 동시에 맞물리는 것을 방지하기 위해 이의 위치를 조금씩 이동시킨, 평기어의 모임이 단기어(Stepped gear)이다. 헬리컬 기어는 단기어의 단차를 무한히 엷게 하여, 이 줄기가 비틀어진 곡면으로 된 기어를 말한다. 이 줄기를 곡면으로 비틀어 놓으면, 평기어보다 기어의 이가 부드럽게 맞물리기 때문에 이물림이 원활하여 진동이나 소음이 줄고 또 평기어보다 접촉선의 길이가 길어지므로 큰 힘을 전달할 수 있다.



그림 3.196 기본적인 헬리컬 기어

㉰ 더블 헬리컬 기어

일반 헬리컬 기어에서 발생하는 추력을 없앨 목적으로 비틀림 방향이 다른 두 개의 헬리컬 기어을 조합한 기어이다. 이중에서 특히 가운데 홈이 없이 좌, 우 기어의 이가 중앙에서 만나는 기어를 헤링본 기어(Herringbone gear)라 부른다. 오른쪽 헬리컬 기어는 오른쪽 비틀림 헬리컬 기어와 맞물리며 왼쪽 비틀림 헬리컬 기어는 왼쪽 비틀림 헬리컬 기어와 맞물리게 해야 한다.

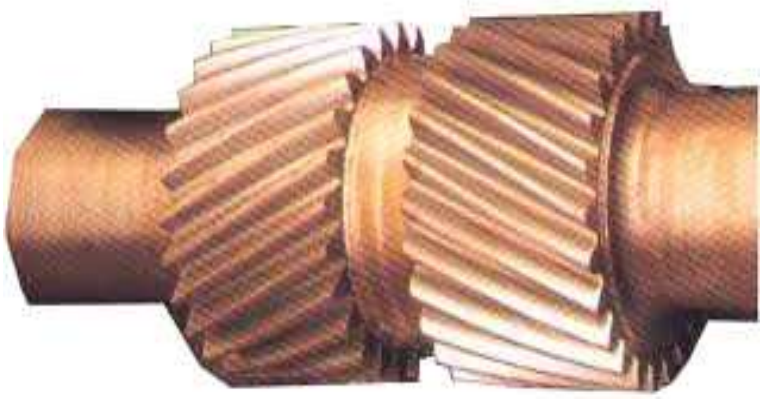


그림 3.197 더블 헬리컬 기어

㉱ 랙기어

원통기어의 잇수가 무한히 많아져 원통의 직경이 거의 무한대가 되어 직선으로 기어가 늘어선 형태를 랙이라 부른다. 스퍼 랙(Spur rack)과 헬리컬 랙(Helical rack)이 있다.

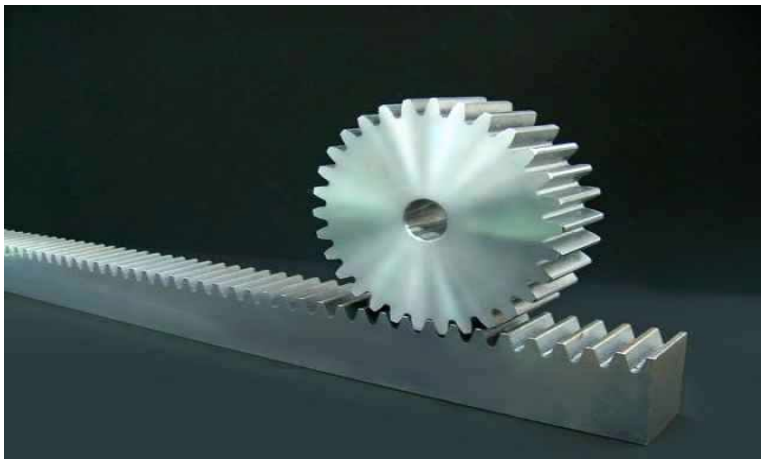


그림 3.198 랙기어

㈐ 베벨기어

두 축이 90도로 만나는 것을 직교 베벨기어 또는 베벨기어라고 부른다.

- 스트레이트 베벨기어

이 줄기가 피치 원추면에 일치하는 기어이다. 스트레이트 베벨기어는 서로 맞물릴 때 이의 위쪽에서 시작하여 이 뿌리 방향으로 물림이 진행된다. 베벨기어 중 가장 가공이 쉽고 간단하며 제작비가 적게 든다. 특히 베벨기어의 피니언과 기어의 잇수가 같은 기어를 마이터 기어(Miter gear)라 부른다.



그림 3.199 스트레이트 베벨기어

㉮ 페이스 기어

페이스 기어는 피니언이 일반적인 인볼루트 치형을 갖는 평기어와 같다. 기어는 피니언과 같은 모양을 가진 절삭 공구로 가공한다. 페이스 기어는 피니언의 중심축과 만나게 할 수도 있고 기어와 피니언의 중심축이 서로 엇갈리게 할 수도 있다. 피니언은 일반 평기어의 호브로 가공이 가능하고 피니언의 설치 위치가 중요한 문제가 되지 않으므로 설치가 쉽다.



그림 3.200 페이스 기어

㉯ 원통 웜기어

웜기어의 피니언은 일반 나사 모양과 비슷하다. 웜휠(Worm wheel)이라 부르는 웜기어의 기어는 피니언과 같은 모양을 가진 절삭 공구로 가공한다. 웜휠의 이는 약간 구부러진 곡선형태이며 이 끝이 이의 중간보다 두텁다. 웜기어는 헬리컬 기어에 비해 비교적 큰 감속비를 얻을 수 있으나 기어의 효율이 낮다는 단점을 가지고 있다. 웜기어는 주로 승강기나 주차 빌딩에 사용되는 기계와 각종 공작기계의 공작물을 회전시키기 위한 테이블에 사용된다.



그림 3.201 원통 웜 기어

이외에도 더블 엔벨로핑 웜기어(Double enveloping worm gear), 하이포이드 기어(Hypoid gear), 스피로이드 기어(Spiroid gear), 플라노이드 기어(Planoid gear), 헬리콘 기어(Helicon gear)등 많은 기어의 종류가 있다.

본 연구진은 두 축을 중심으로 회전력을 전달함에 있어서 전달력이 우수하고 소음이 상대적으로 적은 헬리컬 기어를 선택하였다. 헬리컬 기어는 단 기어의 단차를 무한히 얇게 하여 줄기가 비틀어진 곡면으로 된 기어를 말하는 것으로 각각의 곡면이 맞물리게 되면 진동이나 소음이 줄고 일반적인 평기어보다 접촉선의 길이가 길어져 큰 힘을 전달할 수 있는 장점이 있다. 하지만 헬리컬 기어는 평기어에 비해 중심축 방향으로 추력(推力, Thrust Load)이 발생하므로 장착이나 이중 설계 시, 특별한 주의가 필요하다. 아래의 그림은 일반적인 헬리컬 기어 모양과 본 장비에 장착된 사진을 나타낸 것이며, 표는 파손 제거부에 장착한 헬리컬 기어에 대한 기술적인 데이터를 나타낸 것이다.

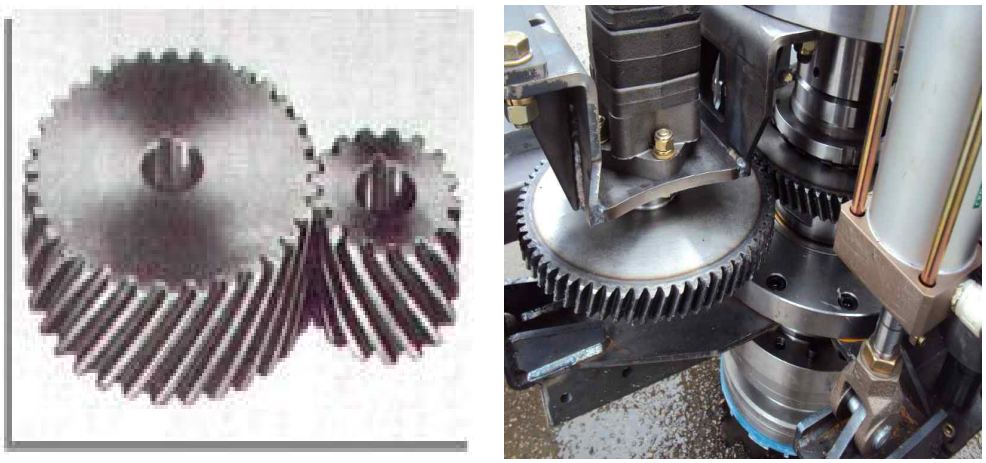


그림 3.202 헬리컬 기어 및 장비 장착

계 산 항 목		계 산 식 과 기 호		실제 계산	
		피 니 언	기 어	피니언	기어
1	기어 잇수	Z_1	Z_2	**68**	**68**
2	치직각모듈(mm)	m_n		**4**	
3	압력각(degree)	α_n		**20**	
4	틈새비율	C = 0.25 ~ 0.35		**0.25**	
5	비틀림각(degree)	β		**20**	
6	원하는 중심거리(mm)	a		**292.000**	
7	전위계수	x_1	x_2	**0.2000**	**0.4540**
8	정면압력각(degree)	$\alpha_s = \tan^{-1}(\tan\alpha_n / \cos\beta)$		21.173	
9	계산된 중심거리(mm)	$a_x = \{(Z_1 + Z_2) / (2\cos\beta)\} m_n$		289.456	
10	중심거리증가계수(mm)	$y = a/m_n - (Z_1 + Z_2) / (2\cos\beta)$		0.636	
11	정면물리기압력각	$\alpha_{bs} = \cos^{-1}[\cos\alpha_s / \{2y\cos\beta / (Z_1 + Z_2) + 1\}]$		22.426	
12	전체전위계수	$x_1+x_2 = (Z_1+Z_2)*(inv\alpha_{bs}-inv\alpha_s)/(2*\tan\alpha_n)$		**0.6540**	
13	축직각모듈(mm)	$m_s = m_n / \cos\beta$		4.257	
14	치말 높이(mm)	$h_{k1} = (1 + y - x_2) m_n$	$h_{k2} = (1 + y - x_1) m_n$	4.728	5.744
15	치원 높이(mm)	$h_{f1} = (1 - x_1 + C) * m_n$	$h_{f2} = (1 - x_2 + C) * m_n$	4.200	3.184
16	전치 높이(mm)	$h_1 = h_{k1} + h_{f1}$	$h_2 = h_{k2} + h_{f2}$	8.928	8.928
17	피치원지름(mm)	$d_{01} = m_n * Z_1 / \cos\beta$	$d_{02} = m_n * Z_2 / \cos\beta$	289.456	289.456
18	치선원지름(mm)	$d_{k1} = d_{01} + 2*h_{k1}$	$d_{k2} = d_{02} + 2*h_{k2}$	298.911	300.944
19	치저원지름(mm)	$d_{f1} = d_{01} - 2*h_{f1}$	$d_{f2} = d_{02} - 2*h_{f2}$	281.056	283.089
20	기초원지름(mm)	$d_{g1} = d_{01} * \cos\alpha_s$	$d_{g2} = d_{02} * \cos\alpha_s$	269.917	269.917
21	물리기피치원지름(mm)	$d_{b1} = d_{g1} / \cos\alpha_{bs}$	$d_{b2} = d_{g2} / \cos\alpha_{bs}$	292.000	292.000
22	원호치두께(mm)	$S_n = \pi/2 * m_n$		6.283	
23	리드(mm)	$P_{z1} = \pi Z_1 m_n / \sin\beta$	$P_{z2} = \pi Z_2 m_n / \sin\beta$	2498.429	2498.429
24	상당평치차잇수	$Z_{v1} = Z_1 / (\cos\beta)^3$	$Z_{v2} = Z_2 / (\cos\beta)^3$	81.950	81.950
25	걸치기 잇수	$Z_{m1}=(\alpha_0 Z_{v1}/180)+0.5$(or1.5)	$Z_{m2}=(\alpha_0 Z_{v2}/180)+0.5$(or 1.5)	11	11
26	걸치기 치두께(mm)	$S_{m1} = m_n\cos\alpha_0\{\pi(Z_{m1}-0.5) + Z_1 inv\alpha_s\} + 2x_1 m_n \sin\alpha_n$	$S_{m2} = m_n\cos\alpha_0\{\pi(Z_{m2}-0.5) + Z_2 inv\alpha_s\} + 2x_2 m_n \sin\alpha_n$	129.085	129.780
27	현치높이(mm)	$h_{j1} = m_n Z_{v1}\{1-\cos(\pi / (2Z_{v1}) + 2 x_1 \tan\alpha_n / Z_{v1}\} + h_{k1}$	$h_{j1} = m_n Z_{v2}\{1-\cos(\pi / (2Z_{v2}) + 2 x_2 \tan\alpha_n / Z_{v2}\} + h_{k2}$	4.763	5.788
28	현치두께(mm)	$s_{j1}=m_n Z_{v1} * \sin\{\pi / (2Z_{v1}) + 2 x_1 \tan\alpha_n / Z_{v1}\}$	$s_{j2} = m_n Z_{v2} * \sin\{\pi / (2Z_{v2}) + 2 x_2 \tan\alpha_n / Z_{v2}\}$	6.865	7.605

그림 3.203 헬리컬 기어 제원

② 깊이 조절부

포트홀 파손을 제거하기 위해서 일정 깊이만큼 제거하여야 프리캐스트 보수재를 삽입할 수 있다. 그래서 파손 제거 툴의 상하 작동부에 대한 여러 가지 방법론은 고안하였다. 유압실린더를 이용한 방법, 랙기어를 이용한 방법, LM베어링 방식 등을 고려하였으나, 상하 작동부위에 과도한 부하가 작동할 경우 파손 제거부 자체가 지지력을 상실할 수도 있다는 결과를 도출하여, 결과적으로 장착이 불가능 하였다. 그래서 적정한 압력과 힘을 분배할 수 있는 에어 실린더를 장착하기로 결정하였다. 에어 실린더는 파쇄 툴 및 기어의 중량을 감안하여 일정압력에서 상승하되, 프레임 자체는 지지력을 유지하도록 하였다.

아래의 그림에 표시된 상,하 작동 실린더는 공압의 압력을 조절하여 원하는 힘으로 작동하도록 구성된 장치이다. 또한 원활한 작동을 위하여 작동자가 손쉬운 스위치 조작만으로도 작동 가능하도록 하였다.

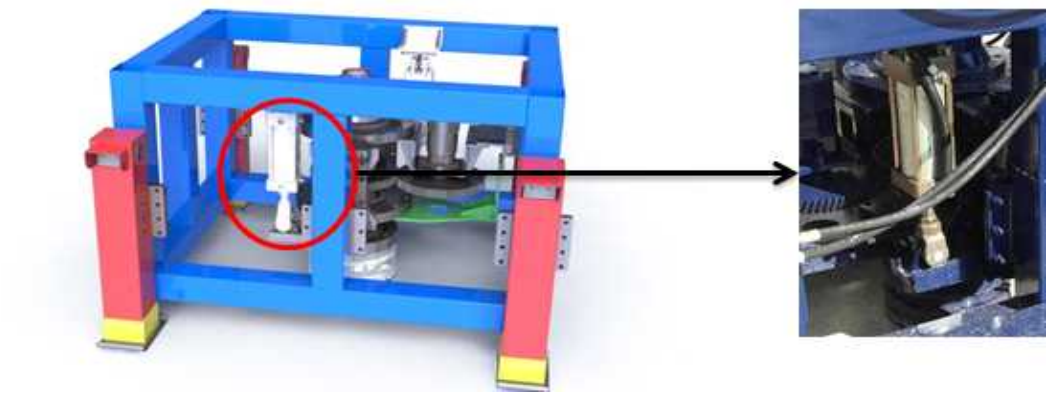


그림 3.204 포트홀 파쇄 툴 깊이조절 장치

③ 살수분사 및 진공흡입부

본 연구진이 개발한 살수분사 및 진공흡입장치는 하나의 몸체에 2가지의 기능이 동시에 수행 가능한 구조로써, 회전을 하는 장비에 고정된 부위를 통하여 물을 측면에서 공급하여 하단부 중앙으로 보내며, 동시에 하단부의 슬러지를 고정단 상단부의 중앙으로 흡입할 수 있도록 하는 장치이다. 이러한 구조는 국내에서 유통중인 단방향형 스위벨 조인트의 한계점을 극복한 것이라 할 수 있다. 기본적인 장치의 원리는 다음과 같다.

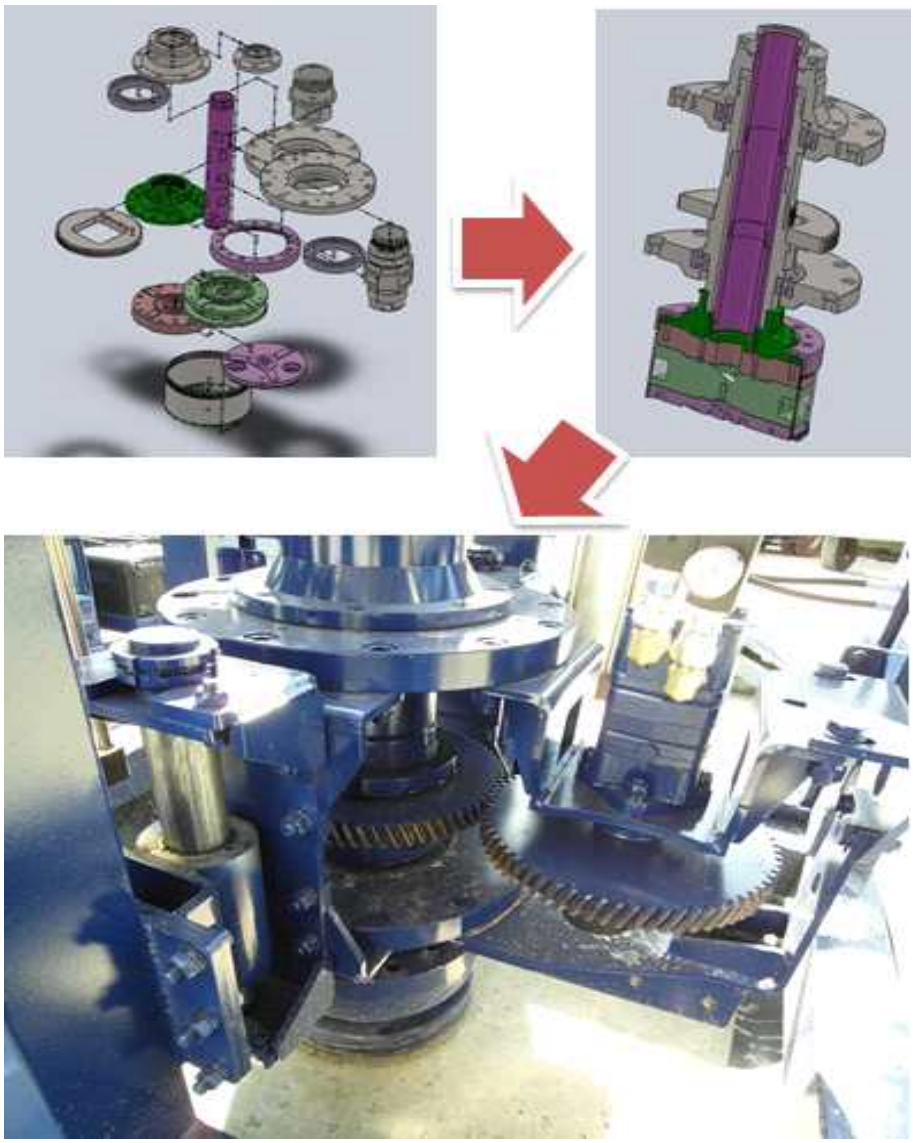


그림 3.205 살수 및 진공 흡입 장치

장치 내의 측면에서 공급된 물은 회전체 외곽을 통과하여 하단 파쇄 툴 중앙으로 물이 공급되며, 파쇄 툴의 작동으로 인하여 발생된 슬러지는 하단 파쇄 툴 외곽을 통하여 중앙 상단부를 통하여 외부로 유출되도록 하였다.

④ 파쇄 툴 회전속도 조절

본 연구에서 가장 중요한 것이 긴급보수에 따른 보수시간의 단축이다. 그러므로 장비 개발에 있어서도 실제 작업시간을 최소화 하기 위한 여러 가지 방법을 제안할 필요가 있다. 이를 반영하여 아래의 그림에서 보는바와 같이 파쇄 툴 회전속도를 조절하도록 제작하였으며, 엔진 rpm에 의한 조절, 유량조절밸브(체크타입)에 의한 조절 및 유압 조정레버 작동에 의한 조절 등의 3가지로 가능하도록 하였다.

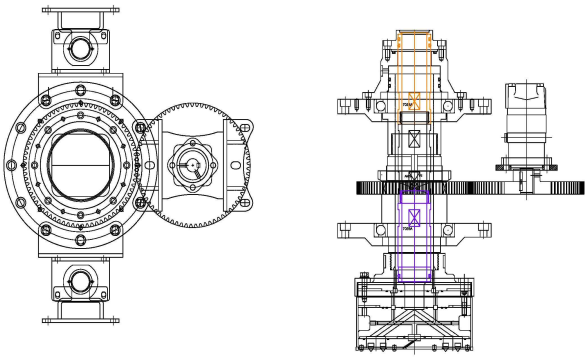


그림 3.206 파쇄 툴 도면

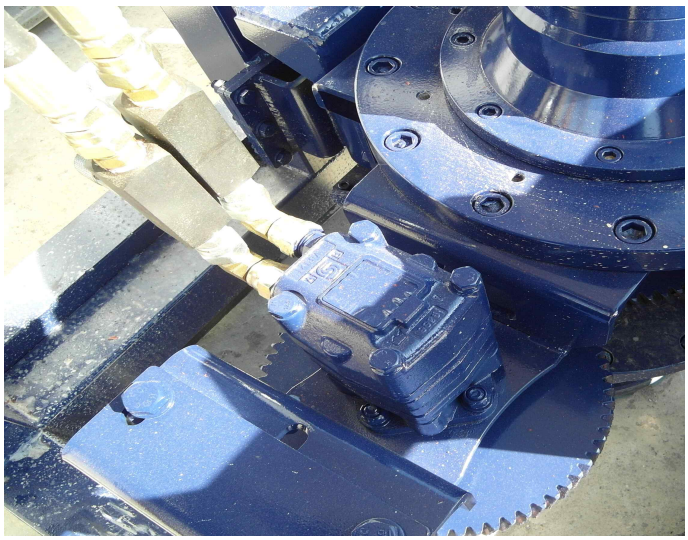


그림 3.207 헬리컬 기어의 속도조절장치

(4) 동력 장치 개발

(가) <2차년도> 동력장치

일반적으로 시공 장비의 원천적인 에너지를 발생시켜 제공하는 것이 동력부이다. 동력부는 장비의 구동에 필요한 동력을 공급하는 장치로써 동력엔진, 유압펌프 및 유압컨트롤러와 유압모터 순으로 구성된다. 본 연구에서 개발하고자 하는 장비의 메인 동력은 별도의 엔진을 구성하여 설계하였다. 장비 차량 자체엔진을 이용하기에는 동력의 크기가 적어 별도의 엔진을 구성하는게 바람직한 것으로 연구진은 판단했다.

엔진 및 유압펌프의 구성 및 설치는 구동에 필요한 유압펌프를 선정하여 적정한 엔진을 구성하였으며, 효과적인 유압분배를 위하여 유압컨트롤러를 제작 설치하였다. 세부적인 제작내용 및 구성은 다음과 같다.

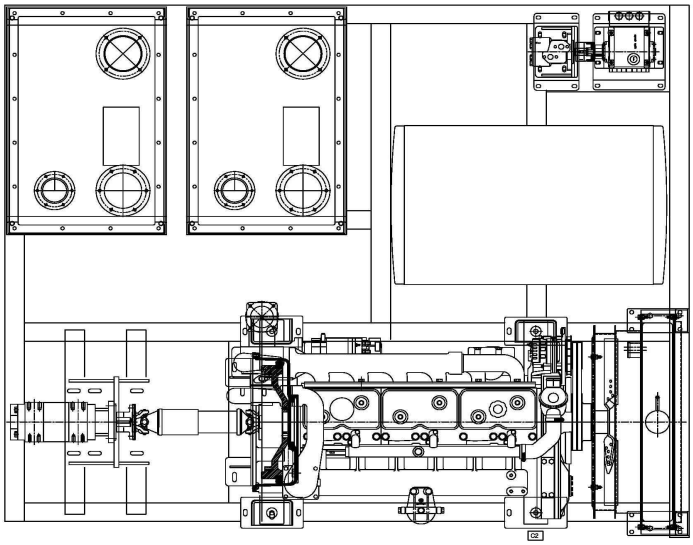


그림 3.208 <2차년도> 동력발생장치 구성도



그림 3.209 <2차년도> 동력 장치 전경

(나) <3차년도> 동력전달장치 설치 및 제작

동력부는 장비의 구동에 필요한 모든 동력을 지원하는 부분으로 본 장비를 구동하기 위하여서는 많은 동력이 필요하므로 차량의 메인엔진에서 동력을 인출하여 각 유압펌프를 구동하도록 하였으며, 유압펌프에서 발생된 유압동력을 컨트롤하는 유압컨트롤시스템으로 구성하였다.

엔진 및 유압펌프에서 엔진부는 2차년도에 차량의 동력지원을 받지 못하여 보조엔진을 사용하였으나, 3차년도에서는 차량의 동력지원을 받을 수 있으므로 차량의 동력을 사용하였다.

아래 그림은 샤시에 대한 기본적인 제원을 나타내었다.

1	제작자명(원제작자명)			현대자동차㈜			제작자등록번호		A08		
2	차명			메가트럭			6	종별	화물		
3	형식			HD7CT-14EGd-TP			7	유형	일반형		
4	차대·차체형상			ㄷ형프레임,캡오버형			8	구분	대형		
5	승차정원(명)			3 + 0 = 3			9	용도	일반화물수송(사업용/비사업용)		
10	차량중량(kg)			5,425 (5,435)			17	원동기	형식		D6GA
11	최대적재량(kg)			7,000 (-)					최고출력(ps/rpm)		260/2500
12	차량총중량(kg)			12,620 (12,630)					기통수/총배기량(cc)		6/5899
13	차체제원(mm)	길이		8,660 (-)					사용연료		경유
		너비		2,420 (-)			18	연료소비율(km/ℓ)			7.3 (60㎞/h 정속주행시)
		높이		2,660 (-)			19	축간거리(mm)			4895
14	하대내측치수(mm)	길이		6,250 (-)			20	윤간거리(mm)		전	1,870
		너비		2,280 (-)						후	1,800
		높이		400 (-)			21	하대옵셋트(mm)			745
15	공차시하중분포(kg)	전	전축	2,985 (2,995)			22	변속기종류(전진단수/후진단수)			수동변속기(6/1)
			후축	- (-)			23	타이어형식		전	245/70R19.5-18PR(S)(2725kg,8.79kg/㎠,125psi)
		후	전축	2,440 (2,440)						후	245/70R19.5-18PR(D)(2575kg,8.79kg/㎠,125psi)
			중축	- (-)			24	림형식		전	19.5x6.75
			후축	- (-)						후	19.5x6.75
16	적차시하중분포(kg)	전	전축	4,245 (4,255)			25	축별설계허용하중(kg)	전	전축	4,900
			후축	- (-)						후축	-
		후	전축	8,375 (8,375)					후	전축	9,500
			중축	- (-)						중축	-
			후축	- (-)						후축	-

그림 3.210 설치 장비 차량의 제원표

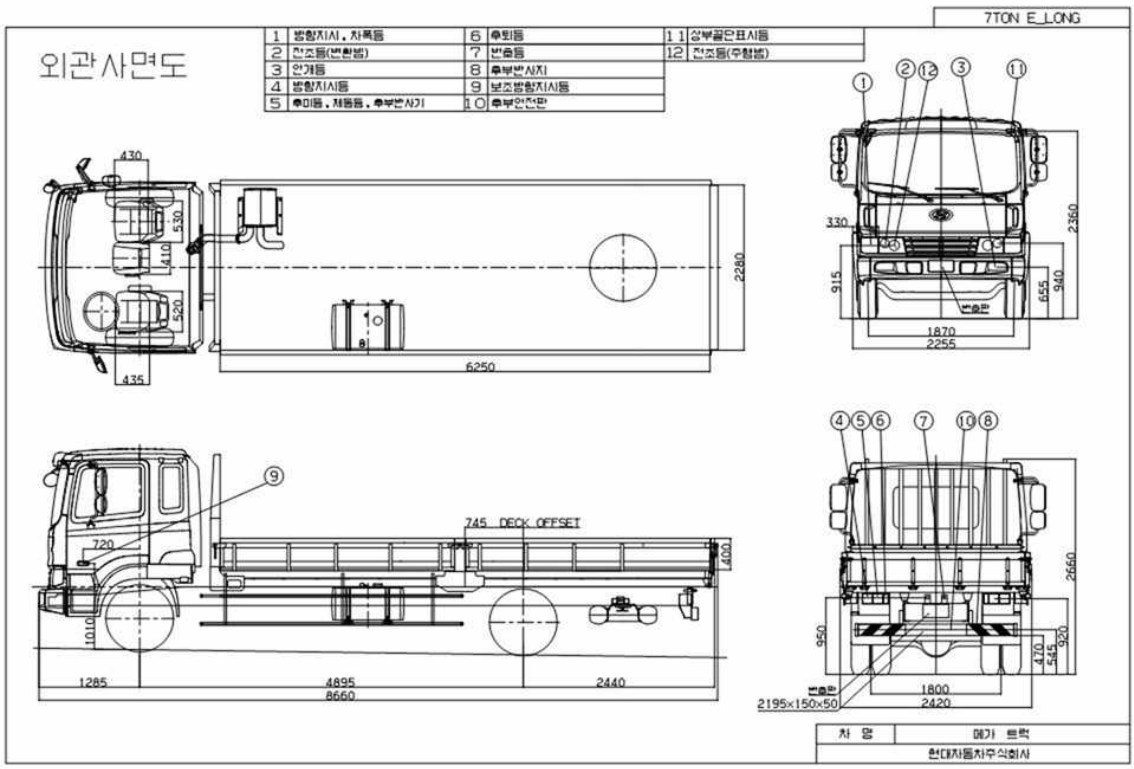


그림 3.211 장비 설치전 차량의 레이아웃

상기 샤시에 장착된 엔진은 최고출력 260ps의 출력을 내며, 총 배기량은 5,899cc이다.

우수한 출력을 이용하여, 다양한 유압펌프를 장착하여 구동으로 쓸 수 있도록 구성하였으며, 샤시의 안정된 동력지원을 받음으로써, 장비의 구성이 안정화 되었으며, 또한 도심 등에서의 작업시 보조엔진을 사용하면 환경문제와 소음문제 등을 발생시킬수 있으나, 샤시의 본 엔진을 이용하여 동력을 구성하므로써 샤시가 인정받은 EURO-5의 배출가스 기준을 만족시켜 도심의 환경문제 등으로도 자유로운 구성을 하였다.

① 엔진부

㉮ 엔진

엔진은 장비의 작동에 필요한 모든 동력을 공급하는 주된 공급원으로써 필요한 구동모터 등을 위하여 충분한 토크양이 요구되어진다. 따라서 본 연구진은 낮은 회전수에서도 높은 토크를 구현하는 디젤엔진을 검토하여 적용하였다. 디젤엔진이란 휘발성이 가솔린보다 낮은 경유를 연료로 사용하는 엔진으로서 경유는 휘발유보다 가격이 싸고 리터당 연비가 30% 정도 좋으며 힘도 휘발유 엔진보다 훨씬 강하다. 때문에 소형 4륜 구동차나 대형 화물차등에 주로 쓰인다. 따라서 디젤엔진을 사용함으로써 연료비의 부담이 적으며,

기동이 쉬운 장점을 가지고 있다. 또한 예전에 문제가 된 환경오염문제도 근래에는 기술의 발달로 많은 부분이 해소가 된 상태로써 산업용으로 가장 널리 사용되고 있다.

디젤엔진은 경유를 연료로 압축·점화에 따라 작동하는 왕복운동형 내연기관으로, 디젤기관·압축점화기관 이라고도 한다. 먼저 실린더 안에 공기를 흡입·압축해서 고온·고압으로 만든 다음 여기에 액체연료를 분사하여 자연 발화시켜 피스톤을 작동시킴으로써 동력을 얻는 내연기관이다.

2차년도 장비에 사용된 엔진은 국내기업에서 생산된 장비로 6기동 디젤엔진에 최대출력이 205ps이며, 최대 토크가 826N.m 의 동력생산이 가능하다.

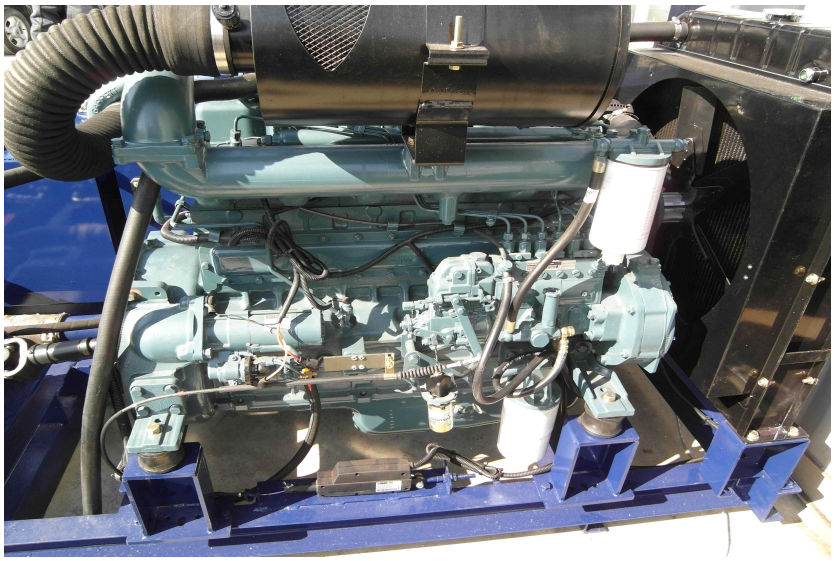


그림 3.212 <2차년도> 포트홀 보수장비의 메인 엔진

순	모델	구분	25%부하시		50%부하시		75%부하시		100%부하시	
			liter	kg	liter	kg	liter	kg	liter	kg
1	DB33 (16kwe)	상용출력	2.1	1.7	3.2	2.7	4.3	3.6	5.8	4.8
		비상출력	2.3	1.9	3.5	2.9	4.9	4.1	6.4	5.3
2	DB33 (24kwe)	상용출력	2.6	2.2	3.9	3.2	5.2	4.3	6.9	5.7
		비상출력	2.7	2.2	4.2	3.5	5.8	4.8	7.8	6.5
3	P034TI (41kwe)	상용출력	3.7	3.1	6.0	5.0	8.7	7.2	11.2	9.3
		비상출력	3.9	3.2	6.6	5.5	9.4	7.8	12.5	10.4
4	DB58 (50kwe)	상용출력	4.8	4.0	7.6	6.3	10.5	8.7	13.9	11.6
		비상출력	5.9	4.9	8.8	7.3	11.7	9.7	15.3	12.7
5	D1146 (75kwe)	상용출력	7.5	6.2	11.3	9.4	15.9	13.2	20.6	17.1
		비상출력	7.7	6.4	11.6	9.6	16.1	13.4	20.8	17.3
6	D1146T (104kwe)	상용출력	8.2	6.8	13.6	11.3	19.5	16.2	25.9	21.5
		비상출력	8.6	7.1	14.3	11.9	20.4	17.0	27.0	22.4
7	P086TI-1 (145kwe)	상용출력	10.7	8.9	19.0	15.8	28.5	23.7	38.8	32.2
		비상출력	11.4	9.5	21.3	17.7	32.0	26.6	43.6	36.2
8	DE12T (148kwe)	상용출력	12.0	10.0	20.5	17.0	29.0	24.1	38.2	31.7
		비상출력	15.7	13.0	27.3	22.7	39.8	33.1	41.0	34.1
9	P086TI (178kwe)	상용출력	11.3	9.4	21.1	17.5	31.7	26.3	43.1	35.8
		비상출력	12.7	10.6	23.7	19.7	35.5	29.5	48.4	40.2
10	P126TI-3 (227kwe)	상용출력	14.8	12.3	27.0	22.4	39.2	32.6	52.3	43.5
		비상출력	16.5	13.7	30.1	25.0	44.2	36.7	59.6	49.5
11	P126TI (249kwe)	상용출력	16.4	13.6	30.0	24.9	43.6	36.2	58.1	48.3
		비상출력	18.3	15.2	33.4	27.8	49.1	40.8	66.2	55.0
12	P126TI-II (266kwe)	상용출력	16.9	14.0	31.3	26.0	47.0	39.1	63.1	52.4
		비상출력	18.3	15.2	34.9	29.0	51.6	42.9	77.6	64.5
13	P158LE-2 (292kwe)	상용출력	19.4	16.1	36.0	29.9	53.4	44.4	73.2	60.8
		비상출력	21.7	18.0	40.7	33.8	61.3	50.9	84.4	70.1
14	P158LE-1 (329kwe)	상용출력	21.6	17.9	39.9	33.2	59.2	49.2	81.3	67.6
		비상출력	24.1	20.0	45.1	37.5	68.1	56.6	93.6	77.8
15	P158LE (378kwe)	상용출력	23.7	19.7	43.9	36.5	65.1	54.1	89.3	74.2
		비상출력	26.5	22.0	49.6	41.2	74.8	62.2	102.9	85.5
16	P158LE-S (397kwe)	상용출력	25.9	21.5	49.3	41.0	74.0	61.5	99.5	82.7
		비상출력	28.2	23.4	54.0	44.9	81.5	67.7	109.7	91.2

그림 3.213적용된 엔진 모델 및 제원

하지만 앞서 언급하였듯이 보조엔진의 과도한 하중과 크기로 인해 적재하기에는 적합하지 못하고 과한 소음과 매연으로 인해 작업자가 작업시 상당한 스트레스를 받을 수 있기 때문에 설계 차량의 동력을 이용하기로 하였다.

3차년도에 본 연구진이 검토하고 채택한 차량은 현대자동차(주)에서 생산한 7톤 메가트럭으로 6기동 디젤엔진에 최대출력이 260ps이며, 최대 토크 931N.m 의 동력생산이 가능하다.



그림 3.214 <3차년도> 포트홀 보수장비
차량의 메인 엔진

표 3.98 <3차년도> 적용된 엔진 모델 및 제원

구 분	모 델	최 고 출 력 (ps/rpm)	최 대 토 크 (kg.m/rpm)	기 통 수 / 총배기량(cc)	연료분사 시스템
제 원	G엔진(D6GA)	260/2,500	95/1,400	6기통/5,899	커먼레일

② 동력전달장치 (POWER TAKE OFF)

2차년에 적용하였던 동력장치인 디젤 엔진은 중량 및 크기가 차량에 탑재하기에는 부적합하여 동력장치를 별도의 디젤 엔진에서 차량의 자체동력으로 변경하여 사용하기로 하였다.

차량의 동력을 이용하기 위해서는 추가로 동력인출장치인 P.T.O(Power Take-Off)가 필요하다.

P.T.O(Power Take-Off)는 엔진에서 발생된 동력을 주목적인 도로주행 이외에 부가적인 용도로 이용하기 위해 사용되는 장치로 차량에서 인출한 동력으로 고압펌프 및 진공흡입펌프 등을 구동 시킬 수 있다. 보조엔진을 장착하여 구동하는 방식보다 친환경적이며 고효율적인 장치로 주로 견인차, 소방차, 믹서 트럭, 트랙터 등 특수 차량에 많이 쓰이고 있다.

2가지 방법이 이용되는데 변속기에서 직접 인출하는 방식과 트랜스퍼 케이스에서 인출하는 방식으로 나뉜다. 변속기에서 직접 인출하는 방식은 P.T.O가 변속기 옆면에 설치되어 벨트 또는 기어를 설치할 수 있게 부축 또는 기어 등이 나와 있는 방식이고 트랜스퍼 케이스에서 인출하는 방식은 2축 이상의 차축을 구동시키거나 또는 총륜구동(all wheel

drive) 방식에서 변속기로부터 전달받은 회전토크를 해당 차축에 분배하는 방식이다. 유성기어장치를 이용하여 구동토크를, 앞/뒤 차축에 차등 분배할 수 있고, 또 2단 트랜스퍼 케이스를 이용하면 변속범위를 확장시킬 수 있다. 본 연구진이 사용할 방법은 후자인 트랜스퍼 케이스 방식으로 차량의 전, 후방 차축사이에 P.T.O를 설치하고 도로 주행을 한 뒤 필요에 따라 동력을 진공펌프, 고압펌프, 파쇄툴 박스에 분배하여 사용할 수 있다.

동력전달장치는 샤시의 메인엔진(260ps)의 동력을 각각의 유압펌프로 전달하는 장치로써 국내 및 해외에서 생산되는 전달장치를 검토하였으며, 엔진의 동력을 외부에서 전달 및 차단이 가능하여야 장비의 구동에 원활한 작동을 이룰 수 있으므로 외부에서 조작이 되는 동력전달장치를 구성하였다.

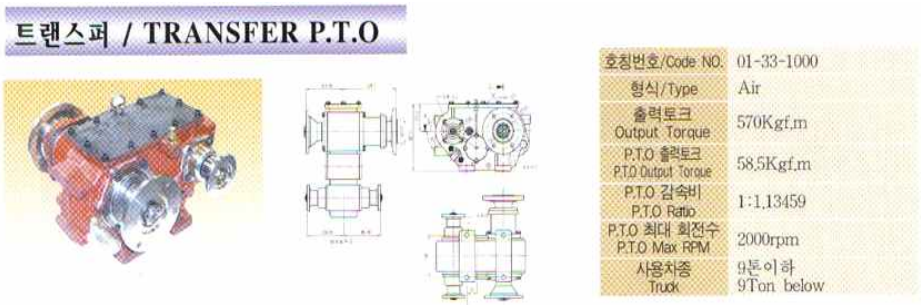


그림 3.215 국내산 동력전달장치

- 직결연결용으로 외부에서 동력을 전달 및 차단하는 기능이 없는 관계로 본 장비에 적용이 어려워 배제하였다.

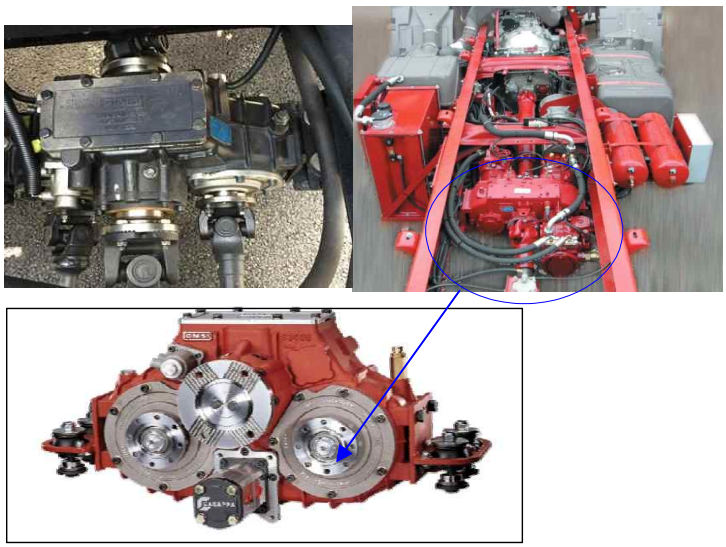


그림 3.216 수입산 동력전달장치 (Made In Italy)

유압클러치 내장방식으로 외부에서 동력을 전달 및 차단하는 기능을 가지고 있으며 동력전달능력 또한 우수하여 본 장비에 적합한 P.T.O로써 샤시의 동력을 100% 인출하여 사용가능한 장치로써 선정하였다.

동력 인출은 차량의 구동을 위한 메인 동력을 이용한 메인 P.T..O와 차량의 미션에서 차량의 구동 이외의 다른 목적을 위해 동력을 인출하는 보조 T.M P.T.O가 있다. 메인 동력과 보조 T.M 동력은 같은 엔진의 동력을 이용하지만 기어비가 달라 출력되는 RPM은 일정하게 비례하고 토르크는 다르다.

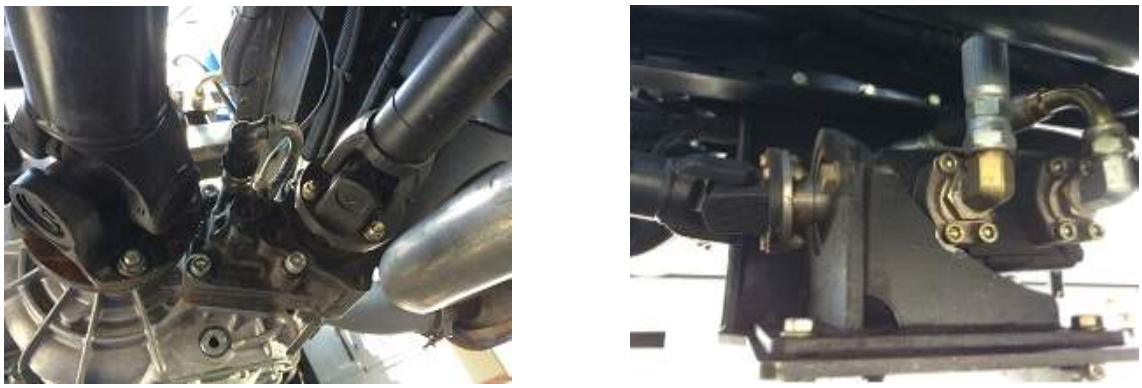


그림 3.217 <3차년도> 동력인출장치 설치 전경 및 유압펌프 설치 전경

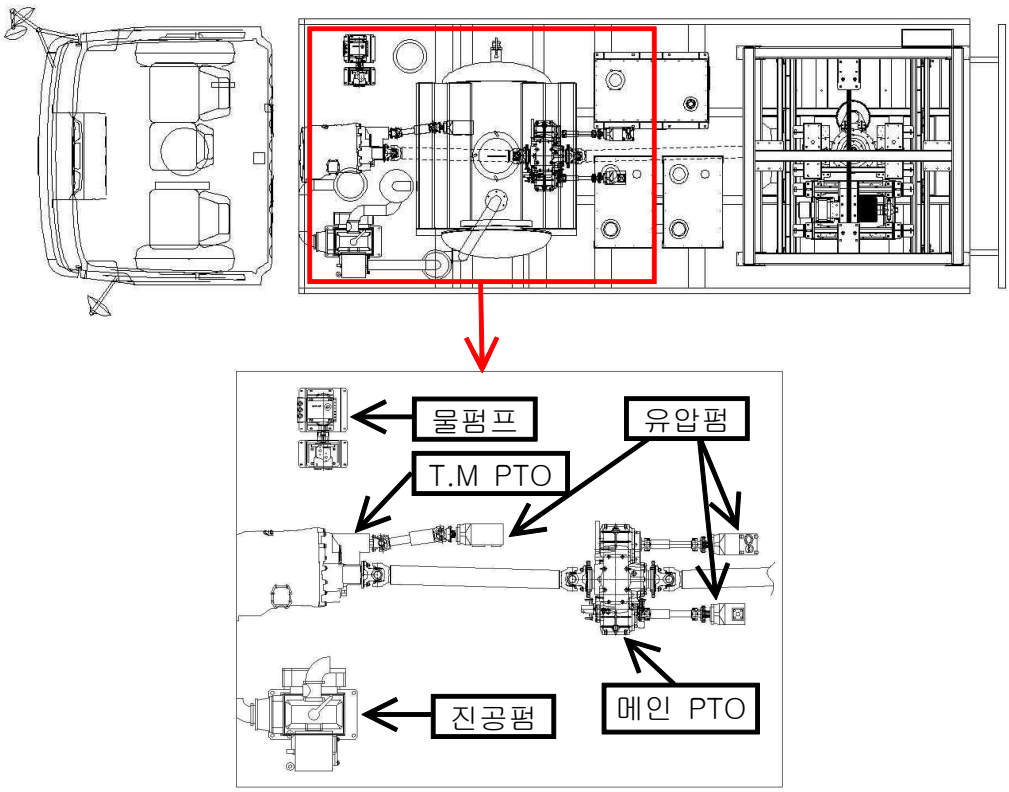


그림 3.218 <3차년도> 동력발생장치 구성도

② 유압 펌프

유압펌프는 엔진에서 발생한 기계적인 동력을 유압에너지로 전환해 주는 장치로써 유압펌프의 구성 및 설치는 차량의 출력과 장비의 제어에 적절한 유압펌프를 선정하였으며, 효과적인 유압분배를 위하여 유압컨트롤러를 제작 설치하였다. 세부적인 제작내용 및 구성은 표 3.99 및 표 3.100과 같다.

장비의 기본적인 움직임을 제어하기 위해서 다양한 방법으로 제어하지만 본 연구에서 개발하고자 하는 현장용 장치의 경우는 대부분 유압으로 제어하는 것이 큰 힘을 발휘하기에 가장 효과적이다. 유압장치를 사용하여 물체를 움직여서 일을 하기 위해서는 유압용 기름을 탱크에서 빨아들여 유압회로에 공급하는 유압펌프가 필요하다. 그러므로 유압장치에는 반드시 유압펌프의 설치가 필수적으로 필요하며, 본 장비에서는 구동을 위하여 총 3개의 유압펌프가 설치되었으며 이중 1개는 2연펌프로써 1개의펌프로 2개의 펌프를 설치한 효과를 발휘한다. 따라서 최종적으로 설치된 유압펌프는 총 4개라고 할 수 있다.

유압펌프의 종류는 많고 성능상으로는 정토출량형, 가변 토출량형으로 분류하지만 구조상으로는 피스톤펌프, 베인펌프, 기어펌프로 분류된다.

표 3.99 유압펌프의 구조상 분류

<table>
<tr><td rowspan="5">피스톤 펌프</td><td rowspan="2">액셜형 피스톤펌프</td><td>사축식</td></tr>
<tr><td>사판식</td></tr>
<tr><td rowspan="2">레이디얼형 피스톤펌프</td><td>회전실린더식</td></tr>
<tr><td>고정실린더식</td></tr>
<tr><td colspan="2">레시프로형 피스톤펌프</td></tr>
<tr><td rowspan="2">베인펌프</td><td colspan="2">평형형 베인펌프</td></tr>
<tr><td colspan="2">비형형형 베인펌프</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기어펌프</td><td colspan="2">외접형 기어펌프</td></tr>
<tr><td colspan="2">내접형 기어펌프</td></tr>
</table>

표 3.100 유압펌프 형식의 분류와 성능 비교

	피스톤 펌프			베인펌프		기어펌프	
	축형	레이디얼형	레시프로형	평형형	비평형형	외접형	내접형
배수량 (cc/rev)	1000	500	80	370	230	500	500
압력 (kgf/㎠)	420	250	500	210	140	250	300
회전수 (rpm)	5000	1800	1800	2500	1800	4000	3000
용적효율 (%)	98	98	98	95	90	95	95
전효율 (%)	95	90	95	90	70	85	90

위의 표에서 제시된 펌프들 중, 기어펌프가 구조가 간단하고 다른 펌프들에 비해 상대적으로 저렴한 가격이며, 고장률이 적은 관계로 현재 건설기계, 운반기계등에 널리 사용되고 있으며, 국내에서 수급도 원활하여 기어펌프 중 외접형 기어펌프를 선정하여 적용하기로 하였다. 본 장비에 장착된 기어펌프는 외접형 기어펌프로써 최대압력 250bar에 배수량이 108cc펌프를 장착하였다.

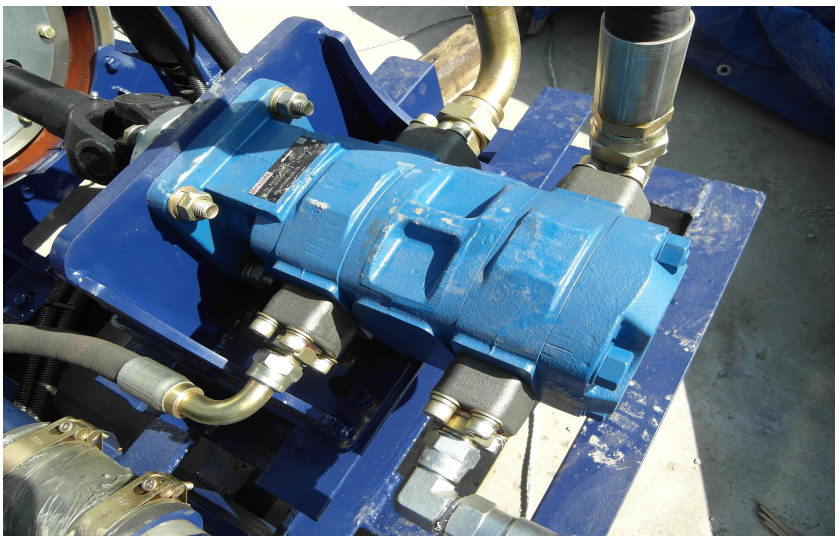


그림 3.219 <2차년도> 유압펌프 설치

유압시스템의 구성은 동력원부, 제어부, 구동부로 나눌수 있다.

표 3.101 유압시스템의 구성

동력원부	Power Unit	펌프 및 부속기기
제어부	Valve	압력제어밸브 유량제어밸브 방향제어밸브
구동부	Actuator	펌프 및 부속기기

▶ 유압시스템의 구성요소는 5가지 요소로 나눌수 있다.

- 작동기 (Actoator)
- 밸 브 (Valve)
- 유압펌프 (hydraulic Pump)
- 오일 탱크 (Oil Tank)
- 부속기기 (Accessory)

▶ 유압펌프의 종류에 따른 설명

- 기어펌프 (외접 기어펌프)
  · 케이싱내의 상호 물림을 하고 있는 기어의 회전에 의하여, 기어의 홈에 들어온 유압유를 토출하는 방식

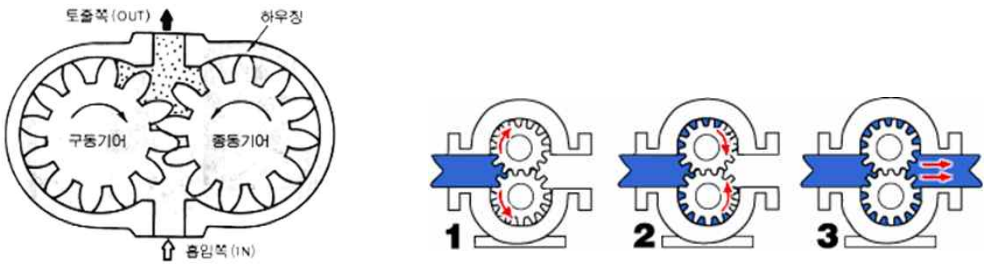


그림 3.220 내접기어펌프 형상 및 유압유 토출원리

- 기어펌프 (내접 기어펌프)
  · 외접식과 같은 원리이나 두개의 기어가 내접하면서 맞물리는 구조이며, 초승달 모양의 간막이 판이 달려있다.

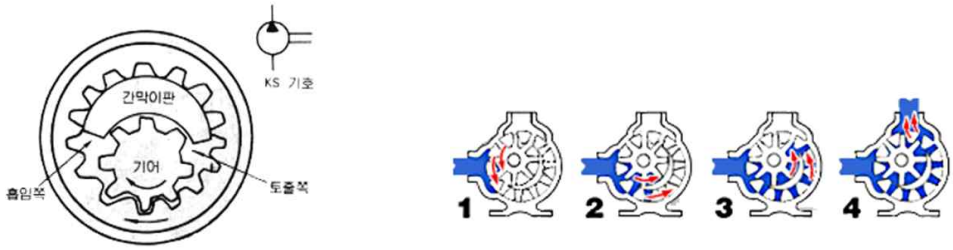


그림 3.221 외접기어펌프 형상 및 유압유 토출원리

- 베인펌프

· 캐이싱내의 로터이 회전으로 유압유를 토출하는 방식

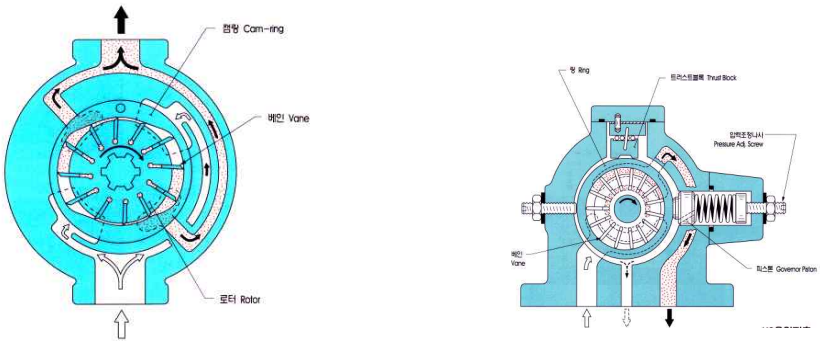


그림 3.222 정량형 베인펌프 및 가변형 베인펌프

- 피스톤 펌프

· 축방향으로 배치된 여러개의 피스톤을 이용하여유압유를 배출하는 방식



그림 3.223 엑시얼 타입 및 레디얼 타입

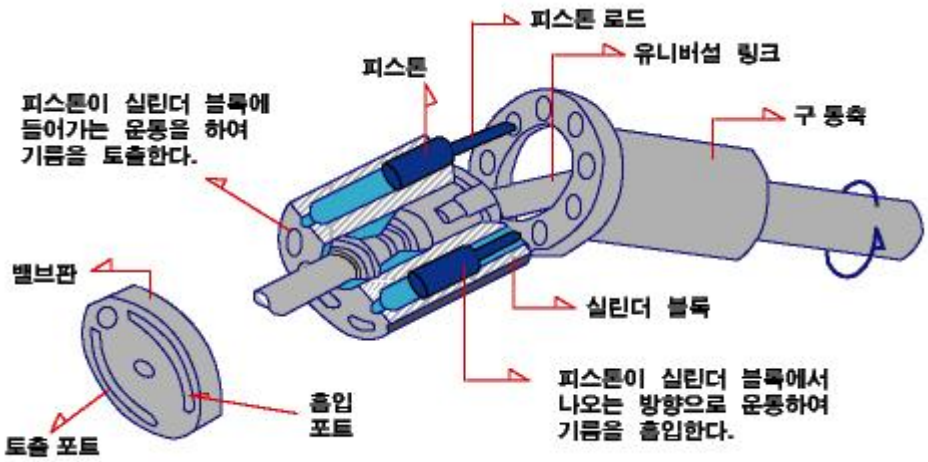


그림 3.224 엑시얼 피스톤 타입

본 장비에 사용된 유압펌프는 비교적 구조가 간단하고 다른 펌프들에 비해 상대적으로 저렴한 가격이며, 고장률이 적은 기어펌프와, 비교적 높은 압력의 출력이 가능하며, 작업 효율이 우수한 엑시얼 피스톤 펌프를 병행하여 사용하였다.

유압펌프에서 발생된 유압은 유압컨트롤러로 전달되어, 유압을 필요로 하는 엑추에이터가 장착된 장비로 전달하게 된다. 또한 유압펌프에서 발생된 유압은 컨트롤로에 장착된 압력센싱장치에 의해서 일정압력이 초과될 경우에 엑추에이터 보호를 위해서 자동으로 리턴되도록 구성하였다.

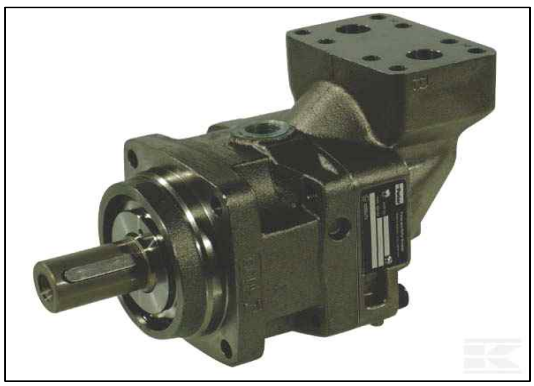
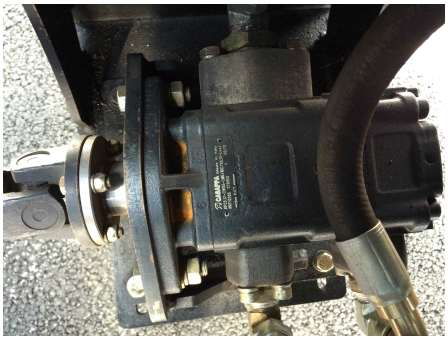
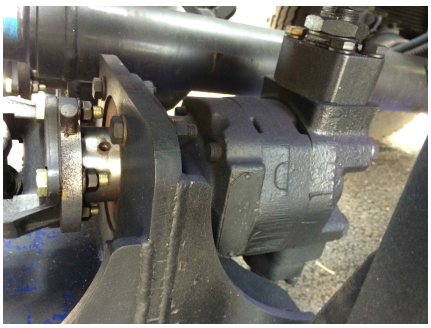


그림 3.225 장착된 피스톤타입 유압펌프



유압펌프-1

- 유압실린더 및 아웃트리거 구동용



유압펌프-2

- 살수펌프 및 진공펌프 구동용



유압펌프 -3

- 툴 회전 및 절삭용

그림 3.226 유압펌프 및 용도

상기 그림과 같이 본 장비에서는 각각 및 동시에 작동을 해야 하는 장비의 특성상 필요한 부분에 안정적으로 유압을 공급하기 위하여 별도의 유압펌프를 설치하여 장비의 원활한 구동이 가능하도록 하였다.

3차년도 장비는 진공펌프 및 틸팅 실린더의 필요 동력을 유압식으로 설계하였다. 그렇기 때문에 유압펌프 또한 총 3개로 개수를 늘렸으며 각각 차량의 동력을 이용하여 유압모터로 동력을 전달하도록 장착하였다.

다음의 사진은 순서대로 각각 T.M PTO , 메인 PTO 운전석 방향, 메인 PTO 조수석 방향에 설치된 유압펌프이다. 각각의 사양은 다음의 표 3.102와 같다.

표 3.102 유압펌프 종류별 사양

유압펌프 종류	축형	최대압력(bar)	배수량(cc/rev)
유압실린더 및 아웃트리거 구동용	외접형 기어펌프	200bar	31cc
살수펌프 및 진공펌프 구동용	외접형 기어펌프	200bar	60cc
툴 회전 및 절삭용	피스톤 펌프	350bar	110cc

③ 유압 컨트롤러

유압식 제어를 사용하게 되면 적절한 힘을 배분하고 조절하기 위한 컨트롤러가 필요하다. 본 연구개발에 적용한 유압 컨트롤러는 작동 유니트에서 일정압력이나 유량이 초과될 경우 자동으로 회수되도록 하는 유압컨트롤러를 구성하여 장착하였다. 유압 컨트롤러는 유압펌프로부터 토출된 일정량을 일의 크기를 결정하는 압력제어밸브와 일의 속도를 결정하는 유량조절밸브 및 일의 방향을 제어하는 방향제어밸브를 부착함으로써 유압을 필요로 하는 장치들에 적정유압이 공급 가능하도록 설계 제작되었다. 다음의 사진들은 본 장비에 설치된 유압컨트롤러들로써 장비 구동 시 필요한 유량 및 방향을 제어해 주는 역할을 수행하도록 되어있다.

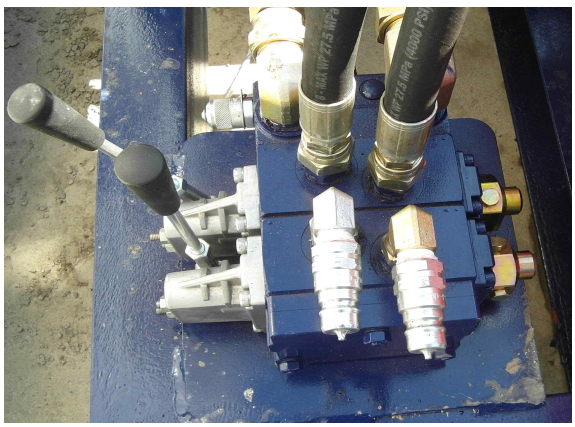




그림 3.227 <2차년도> 유압 컨트롤러

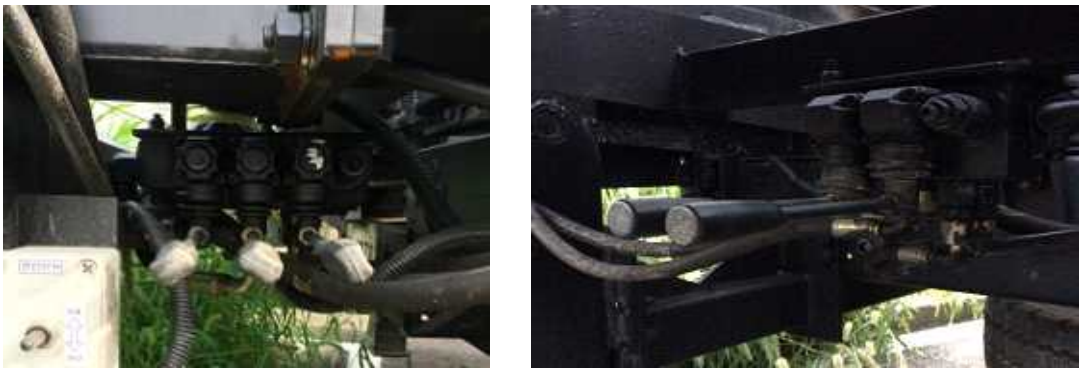


그림 3.228 <3차년도> 유압 컨트롤러

④ 저장부 및 살수펌프

㉮ 유압 탱크

유압식 제어에 사용되는 유압탱크는 장착된 유압펌프의 용량을 충분히 고려하여 설계 장착하였으며, 유압탱크로 되돌아오는 오일의 오염물, 이물질, 수분 공기의 함유를 효과적으로 정화하여 다시 유압펌프로 흡입되도록 하였다.

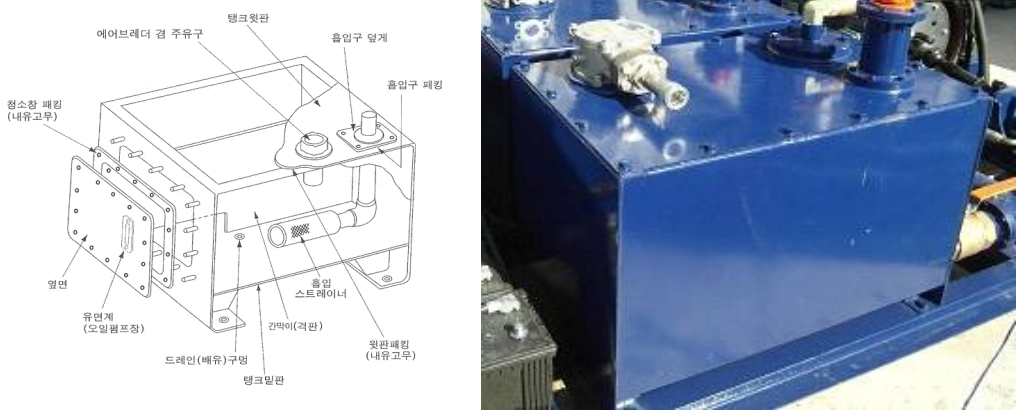


그림 3.229 <2차년도> 유압탱크의 설계 및 제작

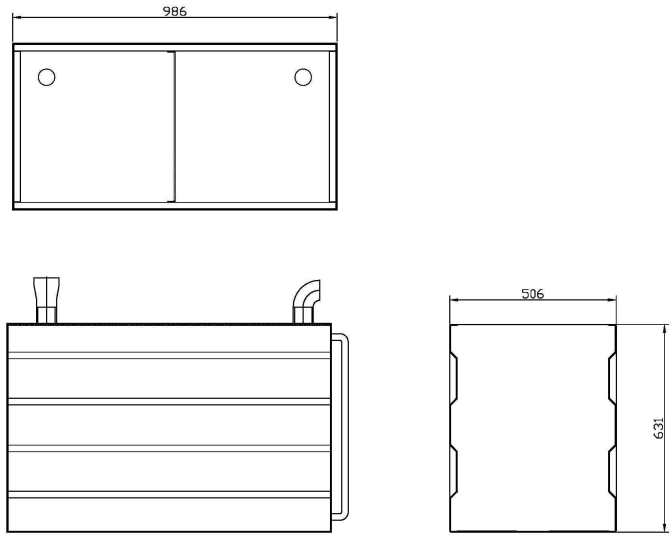


그림 3.230 제작된 유압 탱크 제원

3차년도에는 유압탱크의 하중과 크기를 고려하여 차량에 탑재하였으며 각 유압탱크는 유압펌프와 유압모터의 필요 유압유에 맞게 설계되었다.

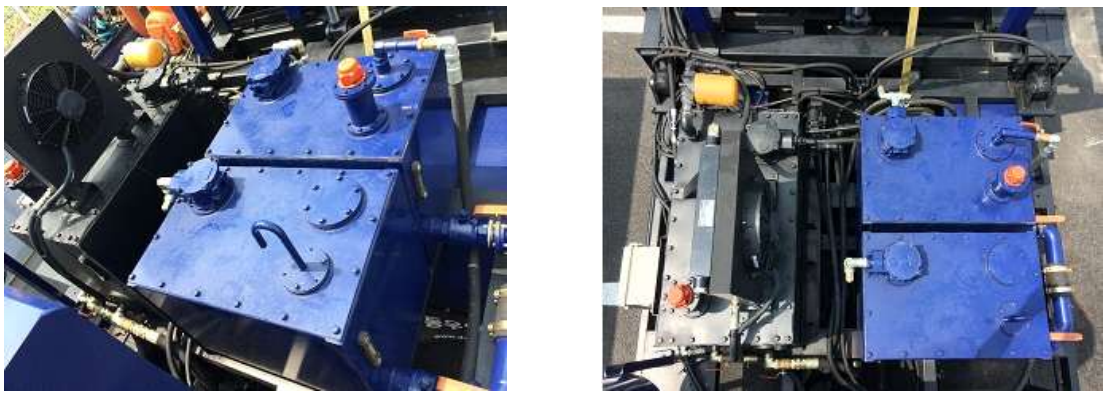


그림 3.231 <3차년도> 차량에 장착된 유압 탱크

㉯ 살수펌프

파쇄 작업시 파쇄비트의 내구성증대 및 작업효율을 위하여 습식작업이 이루어져야 한다. 이에 본 장비에서는 파쇄툴의 노즐에 필요한 물을 공급하면서도 내구성을 갖춘 세라믹 재질의 플런저를 선택하였으며 토출압은 약 210bar에 15L/min의 성능을 발휘한다.. 또한 물의 압력을 조절할수 있는 압력조절밸브를 설치하여 펌프의 압력을 조절하여 필요한 물과 압력만을 장비구동시 구현하도록 하였다. 아래의 그림은 물 흡입구 및 토출부, 리턴라인 및 압력조절밸브 등으로 구성되었다.

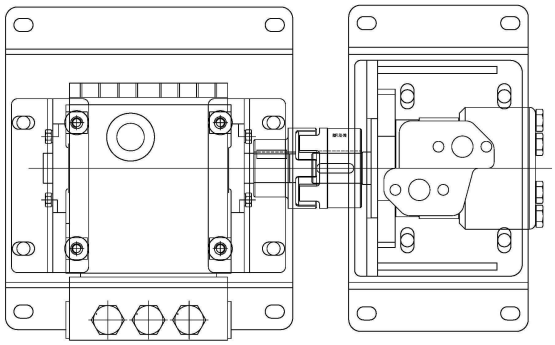


그림 3.232 유압 구동식 고압살수펌프 도면





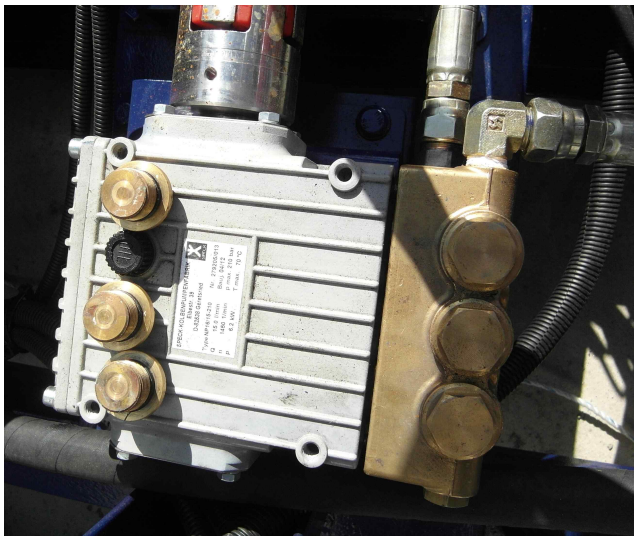


그림 3.233 <2차년도> 장비에 적용된 살수펌프 및 리턴라인

3차년도에는 2차년도와 구성은 같지만 차량에 직접 설치하여 구동하도록 설계하였다.



그림 3.234 <3차년도> 살수펌프 설치 전경및 살수펌프 설치모습

⑤ 진공펌프

본 장비의 개발은 프리캐스트를 이용한 포트홀 응급보수장비를 개발하는 것으로 프리캐스트 설치를 위한 절삭장비 이외에 주변청소를 위한 진공흡입장치 및 슬러지 흡입기능이 포함된 장비가 추가되어야 한다. 본 프리캐스트 포트홀 응급보수시스템은 장비를 이용하여 시공을 마친 후 주변 청소를 미비하게 할 경우에 주행하는 차량의 미끄럼등의 위험성을 내포하고 있어서 추가적으로 진공흡입장비가 장착되었으며, 진공펌프 및 진공탱크등 초기 설계 단계부터 적용하기 위하여 검토를 실시하였다.

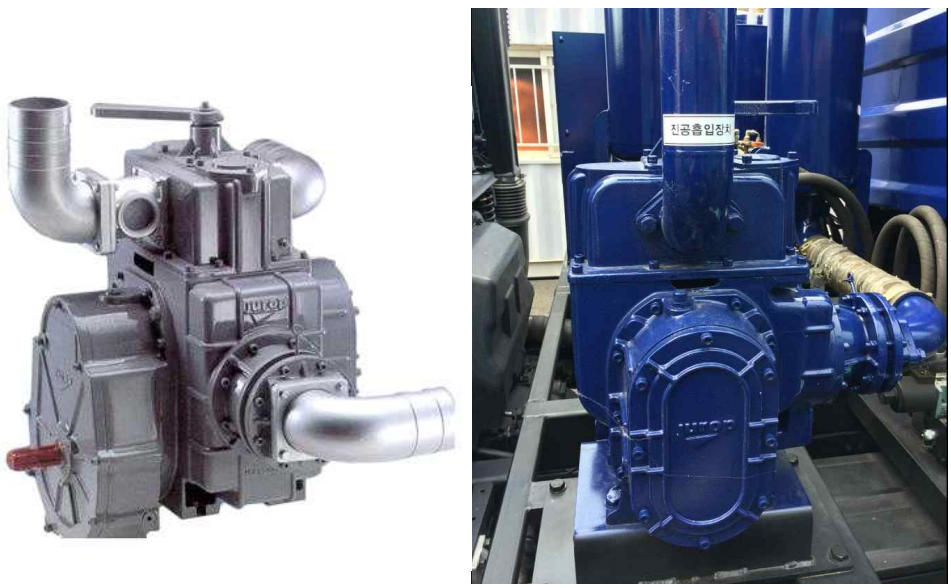


그림 3.235 본 장비에 적용된 진공펌프

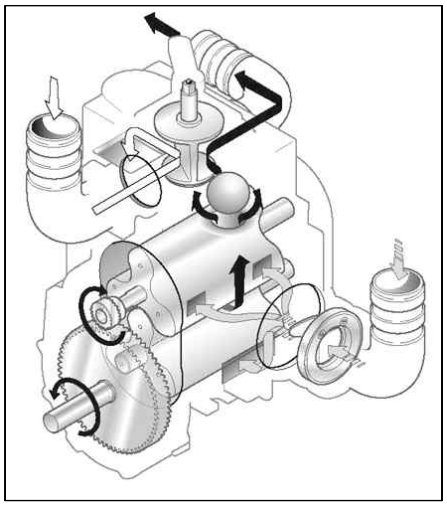


그림 3.236 진공흡입기능

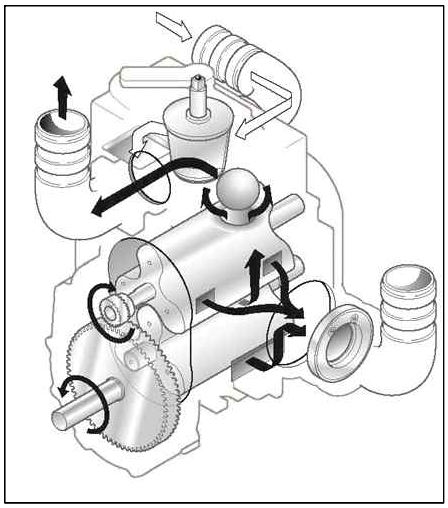


그림 3.237 가압 배출기능

상기 진공펌프는 간단한 ONE-TOUCH조작으로 진공흡입기능을 수행하기도 하며, 또한 흡입한 슬러지를 강제로 배출할 수 있기도 하다.

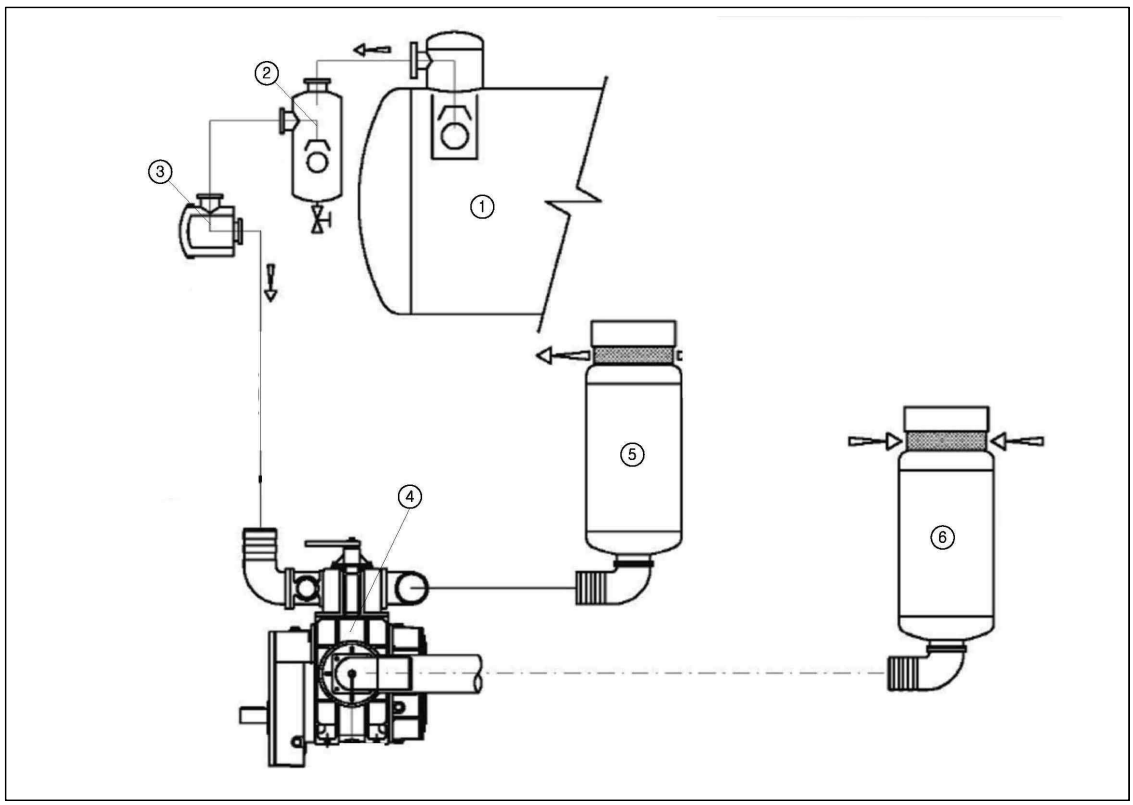


그림 3.238 진공흡입탱크 설치 구성도 및 기본원리

표 3.103 각 부분품들에 대한 명칭 및 설명

순번	품명	설명
1	진공탱크	원형구조물로 진공탱크 구성
2	사이클론	펌프 보호를 위해 설치
3	필터	펌프 보호를 위해 설치
4	진공펌프	흡입기능수행
5	배출사일런스	소음기
6	흡입사일런스	소음기

진공흡입장치는 진공상태를 유지시키는 구조물의 원형진공탱크와 진공탱크의 진공상태를 만들어 주는 진공펌프, 그리고 진공탱크와 진공펌프 사이의 공기흐름에서 진공펌프를 보호하기 위한 사이클론 장치와 미세필터장치로 구성되어져 있으며, 빠른 공기배출에 따른 펌프의 소음을 해소하기 위하여 2개의 사일런스가 장착되어져 있다.

본 연구장비에 장착된 진공펌프는 루츠 브로워타입으로써 최대 85%의 진공도를 유지할수 있으며, 압력배출시 최대 2bar의 압력을 발생시킬수 있다,
또한 진공펌프용량은 약 8,338ℓ/min으로써, 본 연구장비에 맞는 특징을 가지고 있다.

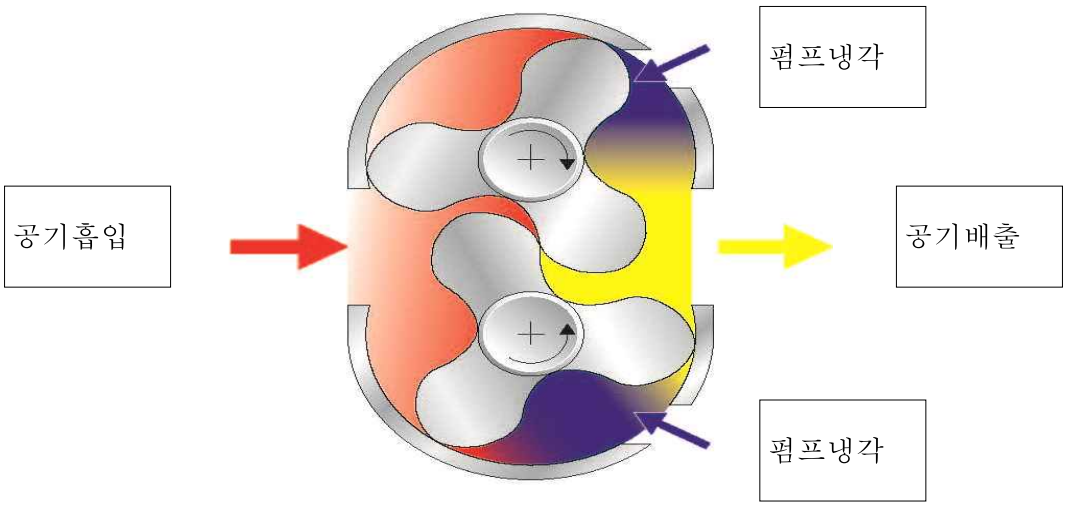


그림 3.239 본 장비에 장작된 진공펌프

아래의 분류는 현재 국내 및 세계적으로 사용되어지는 진공펌프로써 각각의 특장점을 기술한 것이다.

㉮ 진공 펌프의 분류

펌프의 종류는 사용 가능한 압력에 따라 저진공, 고진공, 초고진공 등으로 나눌 수 있으나, 어떤 펌프를 어떤 압력에서 사용한다는 명확한 경계가 없고, 제조회사나 사용방법에 따라 조금씩 차이가 난다. 또한 작동 원리에 따른 분류로는 크게 positive displacement 펌프와 entrapment 펌프로 나눌 수 있다.

- positive displacement 펌프: 기체를 진공 용기 외부로 제거하는 펌프로 로터리 펌프 (rotary vane pump), 터보 분자 펌프(turbo-molecular pump) 등 대부분의 기계적인 펌프가 이에 속한다.

- entrapment 펌프: 배기시킨 기체가 여전히 진공 용기나 펌프 속에 남아 있는 경우이다. '포획 펌프(capture pump)'라고도 부른다. 여하튼 진공 용기 내부의 공간으로부터 기체 분자 수를 제거하기만 하면 압력이 낮아지므로 이런 것들도 펌프라고 부를 수 있다. 흡착 펌프(sorption pump)나 냉온 펌프(cryopump), 이온 펌프(ion pump)가 이에 속한다.

㉯ Positive displacement 펌프

- 로터리 펌프(rotary vane pump)

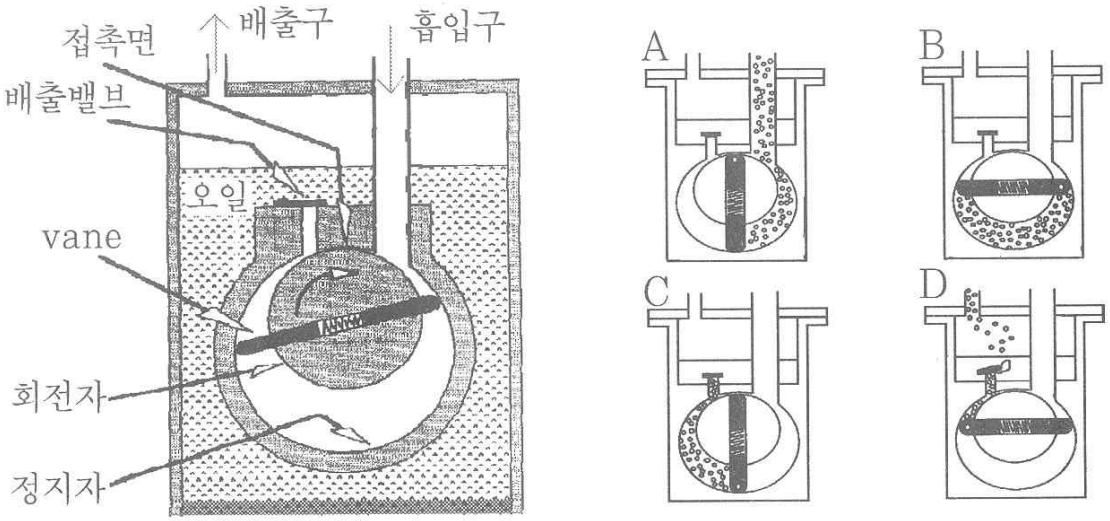


그림 3.240 로터리 펌프의 내부구조 및 작동순서

그림 3.240에 일반적으로 실험실에서 저진공 용도로 가장 많이 사용되는 로터리 펌프의 구조와 작동 순서를 나타내었다. 로터리 펌프는 정지자(stator), 회전자(rotator) 그리고 vane에 의해 흡입(A), 압축(B, C), 배기(D)의 과정을 거쳐 작동하게 된다. vane과 회전자에 의해 압축된 가스의 압력이 배출밸브를 열기에 충분할 정도로 높아지면, 밸브가 열리면서 가스가 배출되게 된다.

로터리 펌프는 윤활제의 역할뿐만 아니라 회전에 의한 마찰열의 감소와 정지자와 vane사이의 공간을 막아주기 위하여 오일을 사용하게 되는데, 사용하는 오일의 증기압이 낮아야 좀더 낮은 압력까지 낮출 수 있고, 역류(backstream)에 의한 진공용기의 오염을 방지할 수 있다.

* 역류(backstream)와 트랩(trap) - 역류는 펌프 오일이 주로 증기의 상태로 진공 용기 쪽으로 이동하는 현상인데 진공 용기오염의 원인이 된다. 실온에서는 증기압이 비교적 낮으나 마찰 등으로 인하여 온도가 오르면 증기압은 쉽게 수백 배 또는 그 이상 증가한다. 표면을 타고 올라오는 경우는 'creep'이라고 하며 장시간에 걸쳐 이루어지는데 표면을 냉각시키거나 또는 반대로 뜨겁게 하여 증발시킴으로써 방지할 수 있다. 또한 진공용기와 펌프사이에 트랩(trap)이나 역류 방지판(baffle) 등을 사용하여 이러한 현상을 상당히 줄일 수 있다.

* Dead volume - 로터리 펌프의 배기 과정 중 일부의 가스가 빠져나가면, 압력이 다시 감소하므로 가스가 완전히 빠져나가기 전에 배출밸브가 닫히게 되는데, 이때 빠져나가지 못하는 가스를 의미한다. dead volume은 오일의 증기와 함께 로터리 펌프가 작동할 수 있는 한계압력(ultimate or lowest pressure)을 한정짓는 원인이 된다.

* Gas ballast- 물과 같이 응축(condensation)이 쉽게 되는 증기류는 펌프 속에서 압축단계를 거치는 동안 응축되어 펌프 오일을 오염시킨다. 예를 들어 수증기를 배기할 경우, 응축된 뒤 기름에 섞여 돌아다니는 물분자는 기압이 낮은 흡입 단계에서 다시 기화하여 펌프 흡입구 쪽의 압력을 높인다. 따라서 펌프의 압축 주기에 외부에서 대기나 다른 가스(N2) 등을 일부러 주입시켜 충분한 방출 압력을 가짐으로 해서 물분자 등이 펌프 안에서 응축이 되는 것이 방치하는 장치이다. 배출과정에서 수증기의 응축은 배출밸브를 열 수 있는 압력을 낮추어 밸브작동을 어렵게 하고, 흡입과정에서의 기화로 최저도달 압력을 낮추는 악영향을 미친다.

- 루츠 펌프(Roots pump)

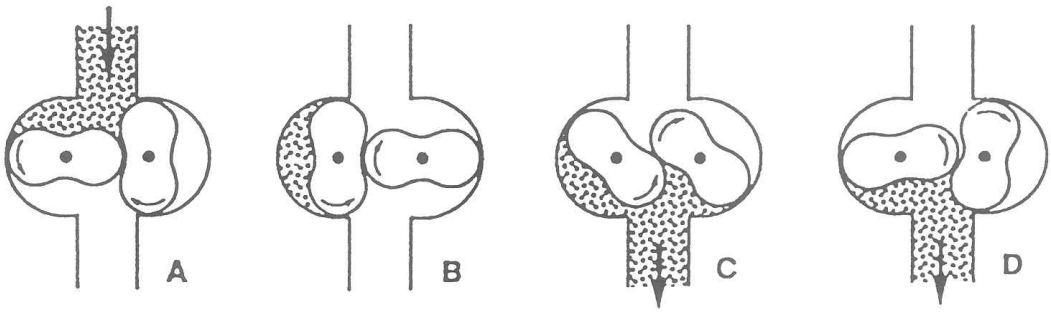
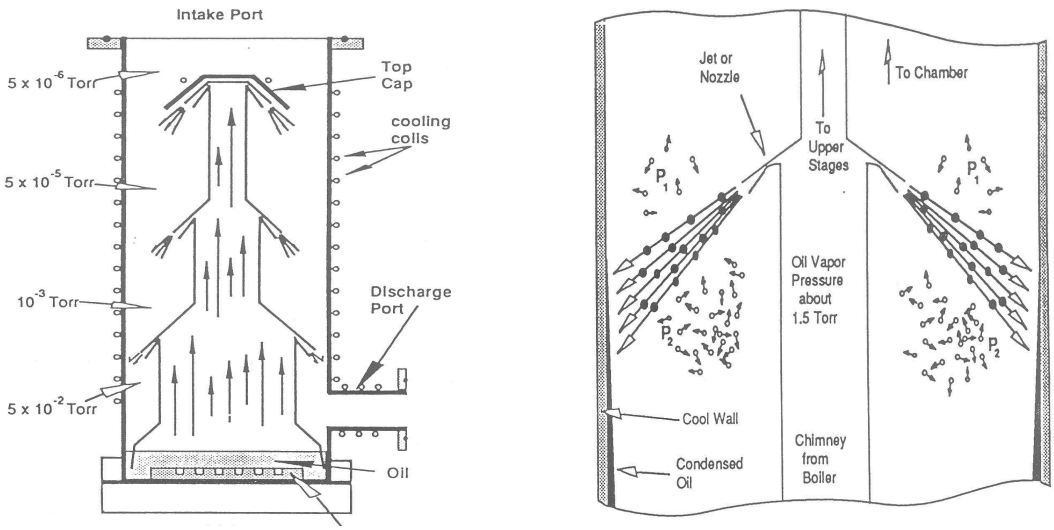


그림 3.241 Roots pump의 작동원리

그림 3.241에서 보듯이 평행한 축에 달린 '8'자 모양의 두 개의 회전자가 서로 반대 방향으로 돌면서 기체를 흡입 배출한다. 이때 두 회전자 사이의 간격은 약 0.2 mm 정도로 유지되고 회전은 동기화 되어 있기 때문에 서로 접촉을 하지 않는다. 또한 오일을 사용하지 않기 때문에 로터리 펌프보다 훨씬 빠른 속도로 회전할 수 있으나, 로터리 펌프로 보조 배기(backing)를 해줘야 한다. 로터리 펌프는 최저도달 압력근처(10-2~10-4)에서 배기 속도가 떨어지고 오일 역류 등의 문제를 일으키는데 이 경우 루츠펌프와 동시에 사용을 하면 이상적이라 하겠다.

- 오일 확산 펌프(Oil diffusion pump)



(A) (B)

그림 3.242 오일확산 펌프의 구조(A) 및 작동 원리(B)

그림 3.242에서 보듯이 그 구조는 크게 히터(heater)와 jet assembly로 구성되어 있다. 히터에서 끓어 형성된 오일 증기가 증기탑을 따라 상승하다가 아래쪽을 향한 노즐에서 초음속(약 300m/초)으로 분출되는 것이다. 이렇게 아래쪽을 향해 분사되면서 펌프주변으로 들어온 기체분자들을 함께 같은 방향으로 이동시켜 배기가 이루어진다.

이때 고분자 오일과 기체분자들의 충돌시 운동량 전달(momentum transfer)에 의해 기체분자가 아래쪽으로 향하게 되어 배기 된다.

오일 산화 등에 따른 역류를 방지하기 위하여 펌프에 사용되는 오일은 다음과 같은 성질을 만족하여야 한다.

* 오일의 조건
  - 휘발성이 없고 정제(purification)가 쉬워야 한다.
  - 배기하고자 하는 가스와 반응성이 없어야 한다.
  - momentum transfer를 용이하게 하기 위해 분자량 및 분자밀도가 높아야 한다.
  - 공기 중 산화, 진공 중 decomposition, 고온산화 등에 강해야 한다.
  - 유독성이 없어야 한다.

일반적으로 오일 확산 펌프는 오일의 산화 등을 방지하고, 배기 효율을 높이기 위하여 로터리 펌프를 이용하여 보조 배기를 해주면서 사용하게되는데, 이때 로터리 펌프의 용량은 오일확산펌프의 흡입구의 압력과 배출구의 압력, 그리고 오일 확산 펌프의 용량에 의해 결정되는데 이때의 관계식은 다음과 같다.

$$S_{MP}P_{MP} = S_{DP}P_{DP} = Q_{\max}$$

$$\therefore S_{MP} = \frac{S_{DP}P_{DP}}{P_{MP}} = \frac{Q_{\max}}{P_{MP}}$$

(S_{MP}: 로터리펌프 배기 속도, S_{DP}: 오일펌프 배기속도, P_{MP}: 배출구압력, P_{DP}: 흡입구압력)

- 터보 분자 펌프(turbo-molecular pump)

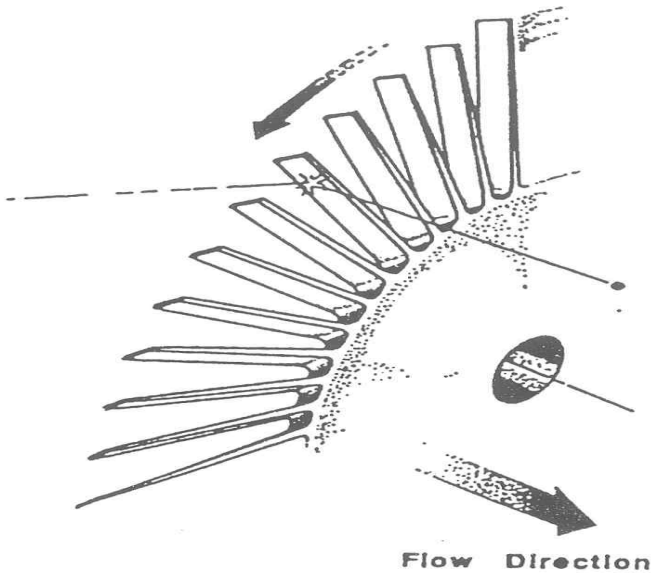


그림 3.245 터보분자 펌프의 배기 원리(pumping mechanism)

그림 3.245는 회전하는 블레이드에 부딪힌 분자가 튀겨나가는 모습을 나타낸 그림이다.

터보 분자 펌프는 블레이드의 회전에 의해 분자에 momentum transfer가 일어나고 이때 분자가 원하는 방향으로 튀어 나감으로써 배기가 이루어 진다는 간단한 원리를 가지고 있다.

그러나 실제 상황에서는 진공용기의 압력에 따라 다른 각도에서 이해를 하는 것이 필요할 것이다. 우선, 진공용기의 압력이 높은 경우, 기체분자의 량이 많기 때문에 기체 분자들은 독립적으로 움직이지 못하고 서로 영향을 받게 되는데, 이처럼 분자의 평균자유행로(mean free path)가 짧고 분자들 사이에 힘이 작용하는 경우를 viscous flow라고 한다. 이때 기체 분자는 완전 탄성구처럼 작용하여 충돌이 일어나면 그대로 다시 튀어나가게 되고 또한 압력 구배에 따른 자연스러운 흐림을 갖게되는 것으로 알려져 있다. 따라서 이 경우 역류(back stream)에 대한 우려가 없고, 그림에서처럼 블레이드에 부딪힌 분자는 자연스럽게 배기될 것이다.

그러나 용기내의 압력이 낮아지면, 기체는 분자들 사이에 서로 영향을 미치지 않고 독립적으로 운동하는 molecular state 바뀌게되는데, 이때 기체 분자가 표면에 부딪히게 되면 탄성충돌에 의해 바로 튀어나가지 않고 흡착(absorption), 대기(residence time), 탈착(desorption)의 과정을 거치는 것으로 알려져 있다.

따라서 이 경우 고정되어 있는 블레이드에는 양쪽 방향에서 균일한 충돌에 의해 분자

들이 흡착되고 또한 코사인 분포(cosine distribution)에 따라 균일한 방향으로 탈착이 진행되므로 블레이드의 각도만으로 원하는 방향으로 기체의 순흐름(net flow)을 바꾸기는 어렵다. 따라서 압력이 낮은 경우 위 그림의 오른쪽 경우처럼 블레이드를 충분히 고속으로 움직여서 위쪽으로 접근하는 분자들의 흡착을(absoption) 막게되면, 기체의 순흐름을 원하는 방향으로 바꿀 수 있을 것이다.

결국 이상과 같은 일련의 과정을 반복적으로 거치면서 분자의 순흐림이 유지되고 배기가 이루어지게 된다.

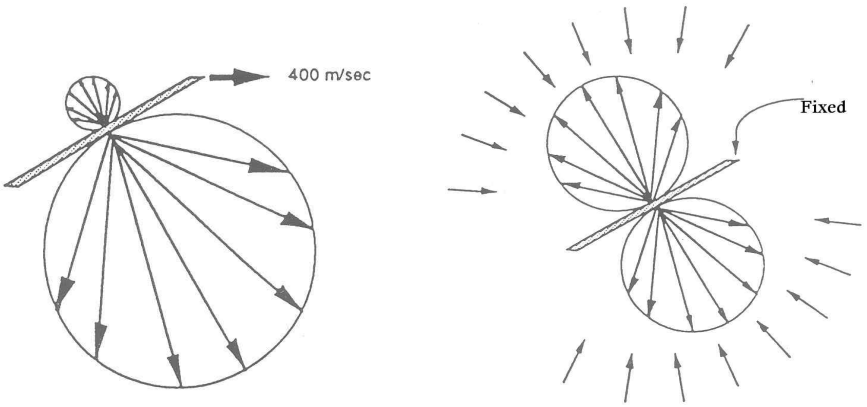


그림 3.246 블레이드 상태에 따른 충돌 후 분자 흐름의 변화

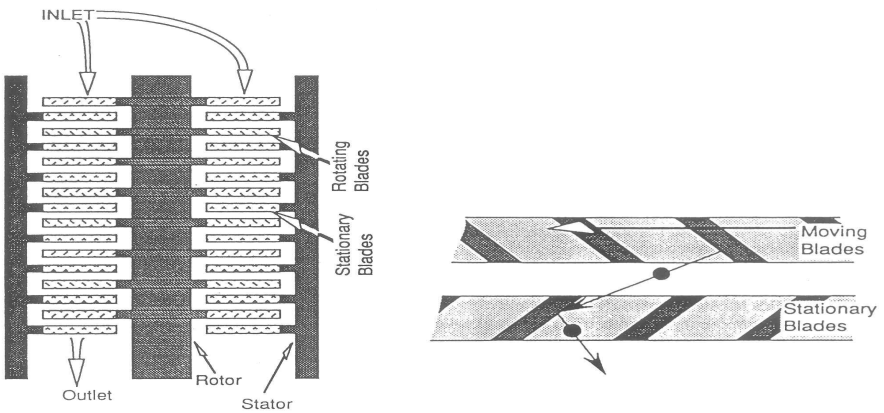


그림 3.247 일반적인 터보 분자 펌프의 구조 및 회전자(rotator)와 고정자(stator)의 작동에 따른 분자 경로의 변화

그림 3.247에 일반적인 터보 분자 펌프의 구조를 나타내었다. 날의 각은 배출구 쪽으로 갈수록 더 많이 기우는데 이는 흡입구에서는 진공용기와의 압력차가 크지 않고 또한 많은 기체를 받아들일 수 있도록 하기 위함이고 배출구 쪽에서는 압력차가 커지기 때문에 이를 유지하기 위함이다. 고정자는 역류를 방지하는 baffle의 역할과 함께 회전자에서 튀

어나온 분자를 아래쪽을 향하도록 각을 유지하고 있다. 터보 분자 펌프는 고속(10,000~100,000)으로 회전하는 날이 작은 입자나 부스러기에 의해 쉽게 손상을 입을 수 있고, 또 고속회전시 각 속도가 회전축으로 크게 걸려 작은 충격에도 망가질 수 있으므로 사용에 각별히 주의해야 한다.

㉰ Entrapment 펌프

- 이온 펌프(Ion pump)

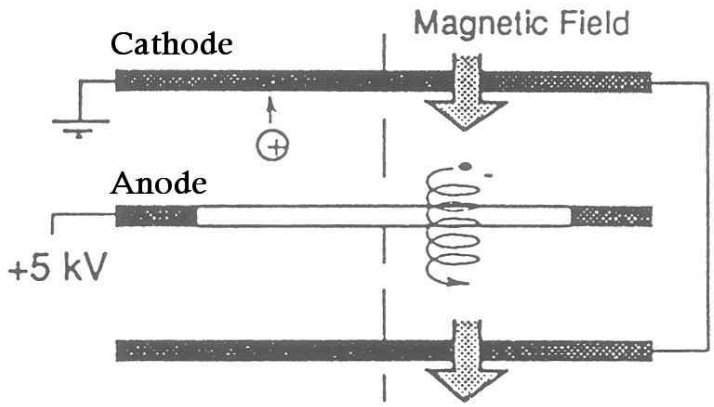


그림 3.248 Ion pump의 작동 원리

이름에서 짐작할 수 있듯이 기체를 이온화하여 표면과의 반응성을 높여 주어진 공간으로부터 기체분자를 제거하는 방법으로 그림 3.248에 그 원리를 나타내었다.

Cathode로부터 발생된 전자는 바깥에서 형성된 자기장의 영향으로 나선형으로 anode 쪽으로 운동을 한다. 전압은 약 5 kvolt 정도이고 자기장은 전자에 회전운동을 유도하여 곧바로 anode로 가는 것을 방지하고 기체분자와 충돌할 수 있는 확률을 높이게 된다. 전자는 나선형 운동 중에 기체 분자와 충돌하여 이온화시키고, 이온화된 기체는 cathode 쪽으로 급격히 가속되어 배기 과정이 이루어지게 된다. 이때 약하게 충돌한 이온은 cathode에 묻히게 되면서 제거되고, 강하게 충돌한 이온은 티타늄 cathode를 sputter하여 새로운 티타늄 표면을 형성하여 gettering으로 기체입자를 붙잡는다. (새로운 티타늄 표면은 기체입자와 화합물을 형성하거나 증가된 표면에너지를 줄이기 위해 분자결합을 함으로써 기체입자를 제거하게 된다.)

- Cryogenic pump

cryogenic 펌프는 '저온(cryo-)'을 이용한 것으로, 차가운 표면에 기체 분자들이 응축 또는 흡착되도록 하여 제거하는 원리를 이용한다. 냉매로는 액체질소나 압축된 헬륨을 이용한다.

냉각된 표면이 기체분자를 붙잡는데 있어서 냉온응축(cryo-condensation)과 냉온흡착(cryo-sorption)의 원리를 이용한다. 냉온응축의 경우는 증기를 차갑게 하여 액화시킨 다음 얼리는 방법을 말하는데 80K 단계에서 증기압이 낮은 물분자가 먼저 제거되고 다음이 N2, O2, Ar등이다. 다음 단계는 냉온흡착을 이용하는데 15K 영역에서 담당하며 He, H2, Ne 등 저온에서도 증기압이 높은 기체들의 운동에너지를 빼앗아 표면에서 움직이지 못하게 하는 것이다. 그림에서처럼 안쪽 표면에 activated charcoal (활성탄)이 발려 있음을 보는데, 이는 물분자와 같이 1단계에서 포획될 수 있는 기체들이 15K 영역에 달라붙게 되면 냉온흡착을 할 수 있는 표면적이 줄어들기 때문에 이를 방지하기 위한 목적이다.

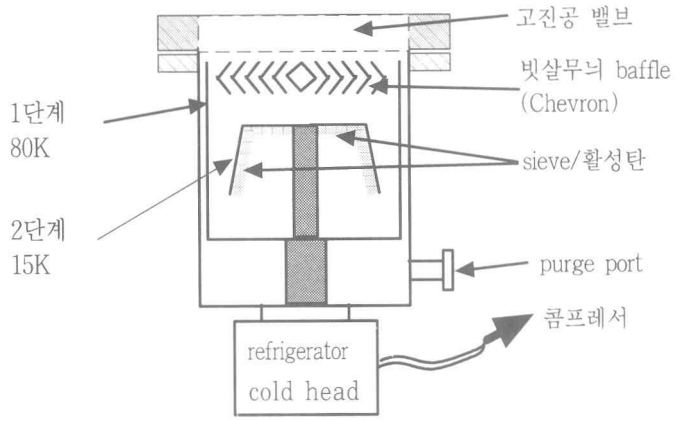


그림 3.249 Cryogenic pump의 개략도

- Getter pump

티타늄(Ti)과 같이 화합물 형성이 쉬운 물질을 필라멘트나 덩어리 형태로 가열하여 진공 펌프 벽에 증착하면, 펌프내로 들어온 가스와 hydride, oxide, nitride 등의 화합물을 형성하면서 기체 분자를 제거하게 되는데 이러한 원리에 의해 작동하는 펌프를 의미한다.

Getter 펌프에는 위와 같이 증착 막을 이용하는 경우와 재생이 가능한 zirconium - vanadium 또는 iron의 합금을 bulk 상태로 이용하는 경우가 있다.

- 그 밖의 펌프

Stream ejecter 펌프: 확산 펌프와 비슷한 원리로 기름대신에 고속의 수증기를 이용하고 수Torr까지 사용이 가능하다.

Water jet 펌프: 수압을 이용하여 간단한 진공 또는 흡입 장치로 사용하는데, 유속이 빠른 곳에서 압력이 낮아진다는 베르누이 정리를 이용한 방법이다.

⑥ 진공펌프의 적정성 선정

다음의 공식을 이용하여 진공펌프의 용량을 계산.

진공펌프용량(S) = 2.303V/TlogP1/P2

S:진공 펌프의 용량(l/min)

V:용기의 용량(l)

T:작업 진공도에 도달하기까지의 요구되는 시간(minute)

P1:작업 진공도(Torr)

P2:초기진공도(일반적으로 대기압= 760Torr)

본 연구과제에 설치를 위한 진공펌프 용량계산

배관 및 용기의 용적 = 1000L

작업 진공도 = 200Torr

작업진공도 도달시간 = 12초

진공 펌프용량 계산

S=2.303 (1000/0.0.2)log (760/200)

=6,676ℓ/min

장비에 설치가능한 진공펌프의 이론용량 = 6,676ℓ/min 이다.

여기서 유의해야 할 점은, 위의 계산식이 다음과 같은 변수를 고려하지 않았다는 점이다.

배관의 흐름 저항, 누기, 휠터 및 밸브의 저항계수, 윤활유의 점도, 흡입 공기의 온도 등의 변수 등이다. 모든 저항계수 및 변수를 고려하여 최적의 펌프를 선정하여야 하나 통상적으로 이론용량의 20% 정도를 손실계수로 보는 현장특성을 고려하여 펌프용량을 산정하였다.

$$\text{실제펌프용량} = \text{이론펌프용량} \times 1.2$$
$$= 6{,}676\ell/\text{min} \times 1.2$$
$$= 8{,}011\ell/\text{min}$$

따라서 장비에 설치된 진공펌프용량 약 $8{,}333\ell/\text{min}$ 은 본 연구장비에 맞는 특징을 가지고 있다.

(5) 그라인딩 장치 개발

프리캐스트 보수재를 시공한 후 교통개방하기 전에 보수면의 상태를 확인하여 그라인딩 작업의 적용여부를 결정한다. 본 연구에서는 일반적인 포장의 두께를 기준으로 보수 깊이를 결정하고 있으나, 현장에 따라서 달라질 수 있기 때문에 보수 후 발생한 단차를 제거하기 위한 방법으로 그라인딩 장치를 개발하고자 하였다. 아래의 그림과 같이 프리캐스트 보수재와 채움재를 적용한 후 교통개방하기 전에 발생한 단차를 제거하는 그라인딩 작업을 진행한다.

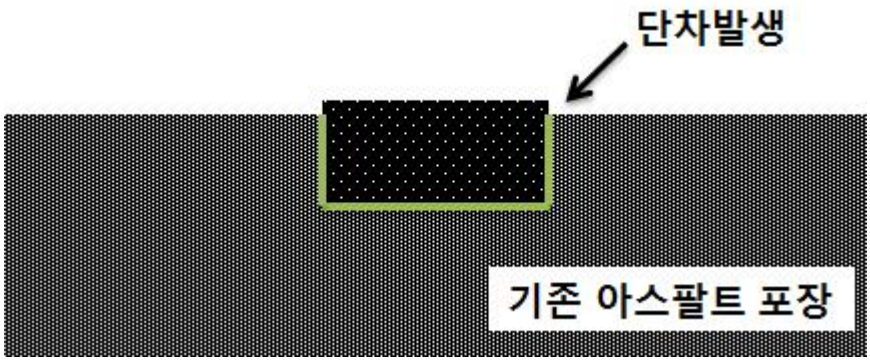


그림 3.250 프리캐스트 보수재 시공 후 단차 발생

일반적으로 산업용 그라인딩 비트는 다음의 그림에서 보는바와 같이 회전축에 따라 사용되는 비트가 달라진다. 회전축에 동일한 면을 연마하기 위해서는 면 단위로 접촉하여

야 하며 이럴 경우 면 전체의 과부하가 생길 수 있으므로 인력시공 및 소형 면갈이 등의 용도로 사용된다. 하지만 회전축에 수직인 면을 연마하는 비트는 여러겹을 겹쳐서 사용하기 때문에 저항이 적으며, 특히 도로쪽에 사용되는 다이아몬드 그라인딩 같은 고출력이 요구되는 현장에 적용하기에 효과적이라 할 수 있다.



그림 3.251 그라인딩 비트 종류

(가)장치 기본설계

그라인딩 장치는 포트홀을 파쇄한 후 프리캐스트를 설치하였을 때 노면에 발생할 수 있는 불규칙적인 부분을 고르게 절삭하여 차량 통행에 불편함이 없도록 하기 위함에 중점을 두었으며, 기본적으로 국내에서 사용되어지고 있는 노면 절삭장비를 소형화, 간편화 시키는데 중점을 두었다. 또한, 사용자의 편리성을 추구하기 위하여 조작의 간편성을 추구하였다.

아래의 그림에서 보는바와 같이, 본 연구진은 그라인딩 방법에 있어 두가지 측면에서 접근하였다. 일반적인 노면 그라인딩 방법과 동일하게 연마면을 회전축과 평행하게 하여 적용하는 방법이다. 이는 일반적인 도로공사의 면갈이 공법으로 적용되는 방법으로, 상대

적으로 적은 동력을 이용해서 넓은 면적을 연마하는데 효과적인 방법이다. 하지만 우측의 그림에서 보는바와 같이 연마면에 평행하게 자국이 생기는데, 이것은 그라인딩 날 여러장을 붙여서 사용하기 때문에 날 사이사이에 삽입되어 있는 스페이서의 공간 때문에 발생하는 것이다. 하지만 도로 노면에서는 이러한 표면이 미끄럼저항성 향상 측면에서 효과적이기 때문에 본 연구에서는 적극적으로 검토하였다.



그림 3.252 일반적인 노면 그라인딩 방법

또 다른 그라인딩 방법으로 검토한 것은 다음의 그림에서처럼 회전축과 직각인 면을 연마하기 위한 방법으로 원형의 연마비트를 이용하여 대상면 전체를 연마하는 방법이다. 이 방법은 연마 대상면적 전체를 한번에 적용하기 때문에 넓은 면적일 경우 마찰력이 커져서 장비 및 엔진에 과부하가 걸릴 우려가 있다. 그러므로 이런 방법은 일반적인 소형 인력작업 등에 널리 사용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 방법들을 충분히 검토하여 최종적으로 일반적인 노면 그라인딩 방법의 장비로 구성하기로 결정하였다.



그림 3.253 소형(인력) 그라인딩 방법

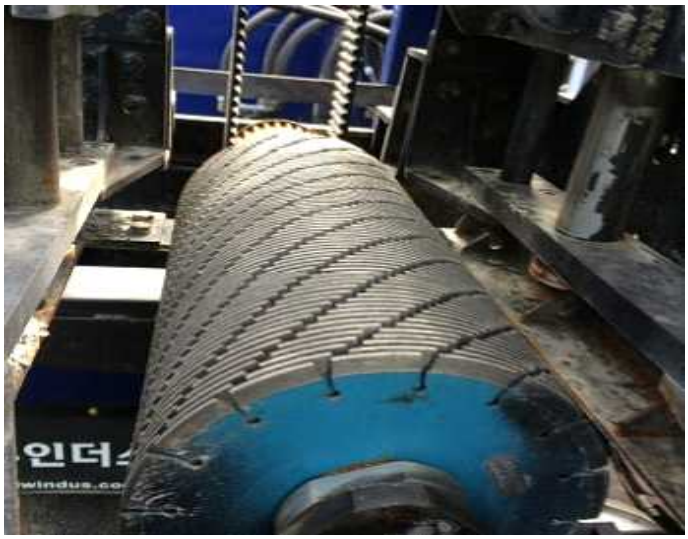


그림 3.254 본 장비에 설치된 그라인딩 장치

그림 3.254는 사진은 본 장비에 장착된 그라인딩 장치로 일반적인 노면 그라인딩 방식으로 샤프트에 그라인딩 날을 여러겹 장착하여 노면의 단차를 커팅하기에 적합하다. 그라인딩 장치는 횡으로 이동이 가능하며 이는 다음의 사진과 같이 파쇄 툴 박스 프레임에 설치되어있는 볼스크류로 이동이 가능하다.

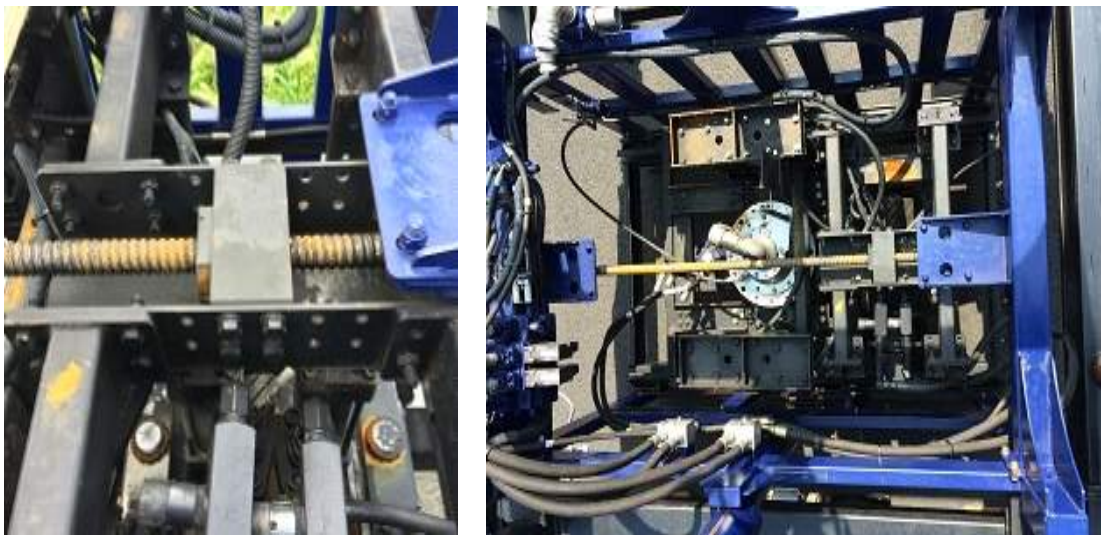


그림 3.255 그라인딩 볼스크류 리니어 드라이브 유닛

아래의 그림 3.256은 노면 그라인딩 장치의 시스템 개념도를 나타낸 것이다. 우선 동력장치를 통해 작업에 필요한 동력을 송출하고 유압 시스템을 통해 그라인딩 작업을 수행하도록 하며, 이때 살수탱크 및 펌프 등을 이용하여 가수하도록 하였다. 또한 그라인딩 작업 후 발생하는 슬러지를 처리하기 위해서 진공 흡입 펌프 및 탱크를 연결하여 현장에서 발생하는 산업부산물을 최대한 처리할 수 있도록 하였다.

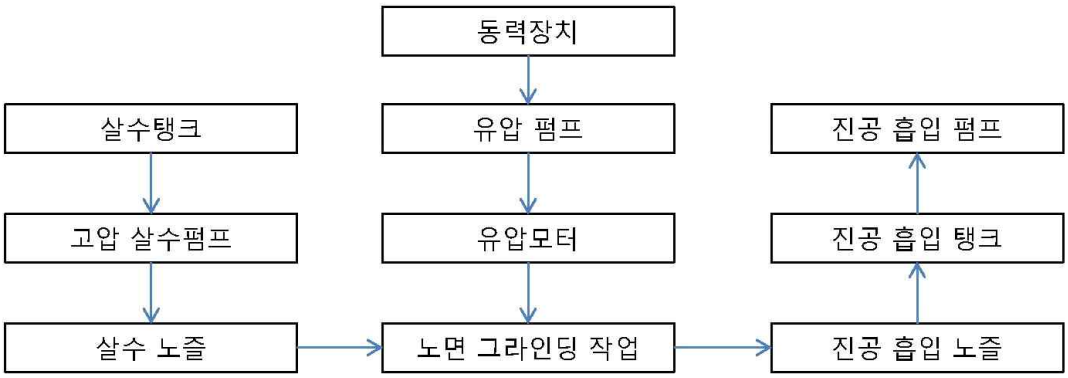


그림 3.256 노면 그라인딩 장치의 흐름도

(6) 탱크 및 채움재 저장부

(가) 물탱크

살수탱크의 경우 파쇄 툴에 원활히 물을 공급하도록 충분한 용량을 탑재하였으며 고압 살수펌프에서 여유되는 물이 돌아가는 리턴라인을 구성하여 제작하였다. 다음의 사진에서 보듯이 물탱크를 원형탱크의 양옆에 사각박스 형태로 제작하여 공간의 활용도를 높였으며 하중의 분포 또한 원형탱크의 중심하중과 같아 물 적재 시와 물을 소모하고 원형의 슬러지 탱크를 적재할 시 하중분포의 변화가 없어 차량이 더욱 안정적인 주행이 가능하도록 하였다. 물탱크의 세척수 적재 및 보충은 물탱크 상부에 있는 홀을 통해 할 수 있으며 세척수 수위는 물탱크 측면에 수직으로 위치한 투명관을 통하여 확인할 수 있다.

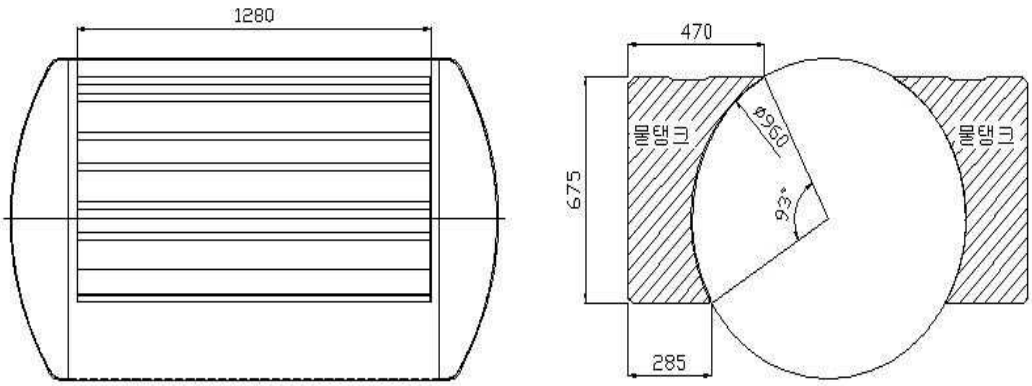


그림 3.257 차량에 설치된 물탱크 제원



그림 3.258 차량에 설치된 물탱크

(나) 슬러지탱크

차량에 설치된 슬러지 탱크는 HEAD를 갖는 원통형상의 철 구조물로 되어있으며 탱크 내부가 진공 상태가 되었을 때 내압의 분포가 고루 분포되어 진공압력에 견딜 수 있도록 설계하였다. 적재된 슬러지는 조수석 방향쪽의 슬러지 탱크에 있는 배출용 볼밸브를 통해 배출되어진다. 슬러지의 배출이 용이하도록 슬러지탱크는 배출용 볼밸브방향으로 약 5° 기울어져 있어 적재된 슬러지가 배출용 볼밸브 방향으로 쌓이도록 설계하였다. 또한 진공펌프의 에어라인을 변경하여 탱크 내부가 진공상태에서 가압상태로 변경시켜 슬러지 배출시 작업속도를 높일 수 있다. 슬러지 탱크의 상부에는 맨홀을 설치하여 배출이 용이하지 않은 잔재물이나 탱크 내부를 청소 시에 이용할 수 있도록 설계하였다.

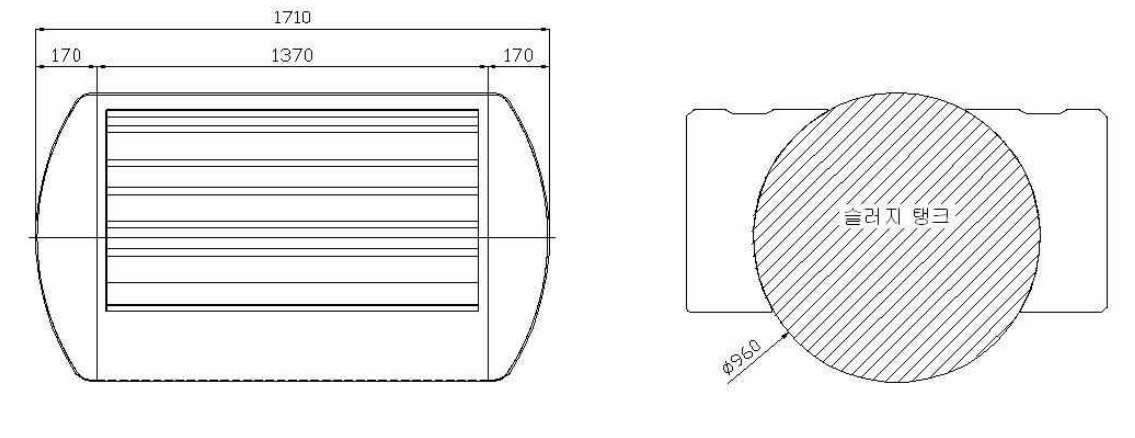


그림 3.259 차량에 설치된 슬러지 탱크 제원



그림 3.260 차량에 설치된 슬러지 탱크

(다) 채움재 저장탱크

2가지 채움재료를 혼합하여 사용하는 채움재는 배합시 굳어버리는 특성을 감안하여 각각의 탱크에 별도로 저장을 할 수 있도록 구성하였다. 탱크 하단에 볼밸브를 설치하여 필요한 만큼의 채움재를 덜어 혼합할 수 있으며 탱크내부에 적재되어있는 채움재의 양을 체크 할 수 있도록 탱크의 측면에 수직으로 위치한 투명관을 설치하여 채움재의 수위를 확인 할 수 있다. 하단의 볼 밸브를 열어 채움재를 배출할 시에는 탱크 내부의 기압을 조절하기 위해 상단에 설치한 볼 밸브를 열어 탱크내부 압력을 대기압으로 맞춘 뒤 채움재를 배출하여야 한다. 채움재 탱크의 저장량은 각각 약 57L이다.



그림 3.261 채움재 A 탱크 (좌), 채움재 B 탱크 (우)

(7) 부속 장비

(가) 진공펌프 -제 1 안전장치 (사이클론)

제1 안전장치는 슬러지탱크와 제2안전장치 사이에 위치하여 있으며, 진공탱크를 통과한 무거운 물질의 슬러지(모래,자갈등)가 배관내로 넘쳐 흘러들어가는 것을 방지한다. 이 안전장치의 하단에는 걸러진 슬러지를 배출시킬 수 있는 드레인 밸브 장착되어져 있다. 다음의 사진은 사이클론의 장착 모습이다.



그림 3.262 사이클론

(나) 진공펌프 -제 2 안전장치 (미세 필터 카트리지)

제 2 안전장치는 사이클론과 진공펌프 사이에 위치하여 있으며, 제1 안전장치를 통과한 가벼운 물질의 슬러지(플라스틱, 스티로폼등)가 배관내로 흘러들어가는 것을 방지한다. 이 제2 안전장치는 내부에 미세 카트리지가 장착되어져 있으며, 주기적으로 청소를 하여 진공도가 저하되는 것을 방지하여야 한다.



그림 3.263 미세 카트리지

(다) 진공펌프 -소음기(사일런스) 및 과열방지기 (에어인젝션)

펌프를 빠져나가는 공기가 소음공해 및 굉음을 내는 것을 막기 위하여 배출구에 소음기가 설치되어 있다.

파이프에서 소음이 생성되는 것을 사일런스 내에서 최소화하여 대기 중으로 배출한다.



그림 3.264 사일런스(좌), 에어인젝션(우)

(8) 시스템 개발

(가) 시스템 제어부

제어부는 장비차량의 운전석 내부에 장착되는 메인제어부와 차량외부에 설치되는 제어부로 구분되어지며, 유선컨트롤 시스템을 장착하여 운전자가 포트홀 절삭위치에 차량을 위치시킨 후 간단한 조작만으로 동력을 보수장비에 연결 가능하도록 제작되었다.

운전석 내부에 장착된 메인제어부는 차량 메인동력을 유압펌프에 전달하는 제어장치로써 운전자 중심의 작동버튼 및 배열을 하여 운전자가 착오를 일으키지 않게 하였으며, 또한 후방카메라를 장착하여 운전자의 편의성을 도모하고, 장비를 포트홀위치에 정확히 안착시키는데 주안점을 두었다.

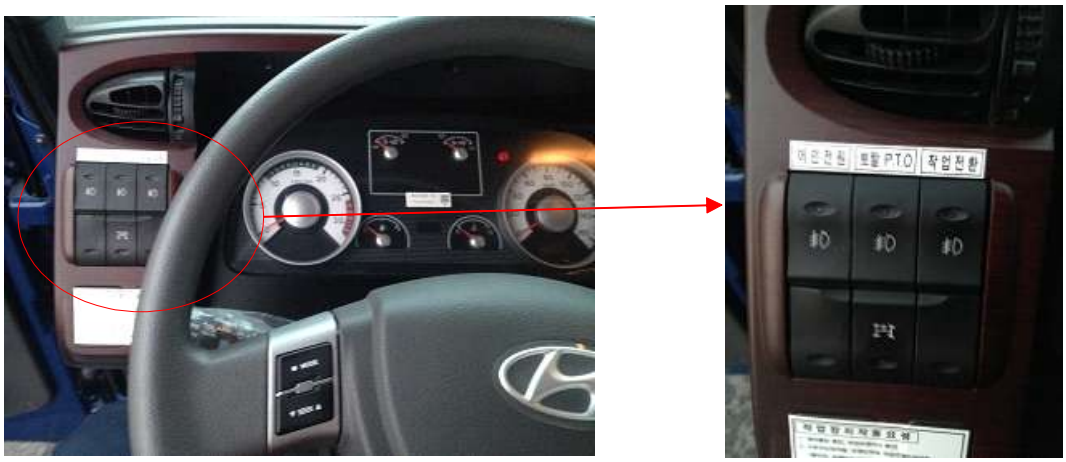


그림 3.265 운전석 메인컨트롤 패널

이 외에 장비의 세부적인 작업 및 구동을 위하여 작업자의 조작 편의 장소에 컨트롤러를 별도로 설치하였다, 이는 장비의 작업환경에 따른 조작자의 조작 편의를 위한 것으로써, 장비의 조작이 수월하도록 하기 위하여 고안되었다,

시스템 제어는 전기적 신호로 작동하며 각각의 장비들은 전선에 의해 시스템 컨트롤박스의 연결단자함까지 연결되어있다. 컨트롤박스의 각 기능들은 전기장치에 의하여 공압, 유압 등을 제어하게 된다. 각 기능의 제어는 사용자의 편의를 위해 on / off 형식의 스위치를 사용하였다. 각각의 시스템 전원을 제외한 작업을 위해 작동하는 실린더를 이용한 파쇄장치 제어부는 실시간으로 정확한 작동을 위해 주의를 요하기 때문에 수동으로 제어를 하도록 설계하였다. 시스템 제어박스는 각각 작업을 하는 위치에 맞게 배치하였으며 도로에서 작업하는 특성상 작업시 항상 위험에 노출 되기 때문에 시스템 제어부는 도로

주행방향에서 인도쪽에 해당하는 조수석쪽에 위치하도록 설계하였다. 각각의 제어부에는 사용법 및 주의사항을 명시하였다.





그림 3.266 시스템 전원 및 펌프 외부 컨트롤 패널(좌),
파쇄기 및 절삭기 외부 조작 패널(우)

그림 3.266의 좌측 사진은 장비의 시스템 메인 조작부로 시스템의 메인 전원과 진공, 살수펌프의 전원, 아웃트리거 및 절삭기의 전원을 on/off 할 수있다. 또한 엔진속도를 조절하여 장비의 RPM을 상승, 하강 시켜 작업속도를 조절 할 수 있다. 그림의 우측에 있는 사진은 파쇄 툴 박스 프레임의 조작부로 진공펌프의 작동과 후드관, 절삭기, 그라인딩기의 위치를 조작할 수 있다. 또한 메인 컨트롤 박스와 마찬가지로 엔진의 RPM을 조절하여 작업속도를 조절할 수 있다.

아래 그림은 본 장비에 탑재된 제어부의 내부 및 외부 패널이며 센서 및 배선작업등을 통하여 원활한 장비의 구동이 가능하도록 하였다. 제작된 컨트롤패널은 장비와 연동하여 테스트를 마쳤으며, 장비 구성품들과의 작업 시 생기는 오류 및 문제점 등을 보완 확인하여 완벽한 구동이 가능하도록 보완 진행하였다.

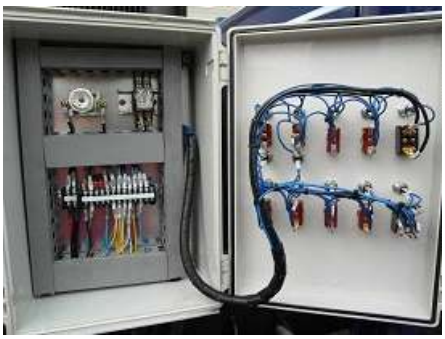



그림 3.267 컨트롤 패널 및 조작 패널 내부

(나) 포트홀 위치 확인 카메라

운전자가 도로에 형성된 포트홀의 위치를 파악하여 장비를 운전하여 정확한 위치에 장비를 안착시킬수 있어야 한다. 이를 위하여 운전자가 운전중 정확히 포트홀의 위치에 차를 정지시킬 수 있는 운전석 모니터와 연동되는 후방 카메라를 설치하였다. 하기 카메라를 이용하여 포토홀 보수장비의 정확한 위치를 파악하여 차를 정지 시킬 수 있으며 또한 장비 조작중 카메라의 파손이나 먼지 등으로 보호하기 위하여 자동으로 셔터가 닫히는 기능을 갖추도록 하였다.



그림 3.268 장비에 장착된 후방 카메라



그림 3.269 운전자 위치 확인용 전방 모니터 시스템

(다) 장비 조립 및 완성

파쇄툴 및 그라인딩장치 등 제작이 완료되어 최종 장비조립을 실시하였다.

장비의 조립은 크게 파쇄부, 동력부, 진공흡입부등으로 나누어 이루어졌으며, 각각의 위치는 차량의 상태 및 이동과 작업성 등의 영향을 고려하여 만들어졌다.



그림 3.270 장비 조립 및 제작완료

표 3.104 장비의 제원표

항 목	내 용
차량	7톤 카고
제원 (W X L X H)	2450×9000×3250
중량(kg)	13,800

다. 포트홀 신고 및 보수이력 관리시스템 개발

(1) 모바일용 프로그램 개발 동향

(가) 국내 정부 및 공공기관의 모바일용 프로그램 개발 현황

국내 스마트폰 단말기 시장은 2009년 11월 국내에 애플사의 아이폰(iPhone)이 첫 선을 보인 이후 3년만인 2012년 말 기준으로 국내 스마트폰 가입자 수가 3천만명을 넘어선 가운데 2014년 4월 전체 가입자 수는 3천8백만명을 넘어서고 있다.(미래창조과학부, 2014) 이에 발맞추어 대한민국 정부 및 공공기관에서는 세계적인 스마트폰의 확산 및 모바일 인터넷 활성화에 따라 모바일 웹 및 앱을 통한 서비스 제공에 나서고 있다.

대한민국 정부 홈페이지(www.korea.go.kr)에 2013년 2월까지 등록된 공공기관의 모바일용 앱은 총 410개이었으나, 2014년 8월 현재 공공기관 모바일 앱은 897개로 1년 6개월간 2배의 수가 증가하였다. 정부 홈페이지에서 구분한 각 서비스 분야별 등록 건수는 다음 그림과 같다. 그림 3.271에 나타난 바와 같이 생활분야가 448건으로 전체의 49.9%를 차지해 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 여행 분야가 151건으로 16.8%, 행정 분야가 102건으로 11.4%를 차지하고 있다. 이 중 '도로 시설물 파손 신고'와 관련있는 민원분야는 23건으로 전체의 2.6% 수준이다.

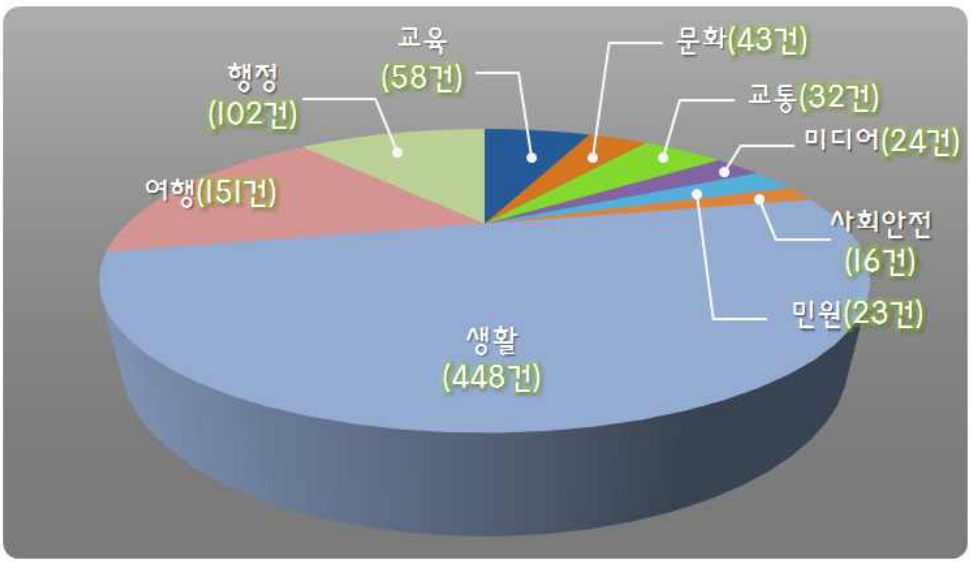


그림 3.271 공공기관 모바일 앱의 응용 분야 현황

대한민국 정부 홈페이지에 등록된 '도로 시설물 파손 신고'와 관련한 민원신고 앱은 중앙정부 1건, 광역자치단체에서 3건, 기초자치단체에서 10건 그리고 공기업 1건을 배포하여 총 15건으로 다음 표 3.105와 같이 조사되었다.

표 3.105 공공기관 도로 시설물관련 민원신고 앱

구분	기관명	모바일 앱
중앙정부	안전행정부	생활불편스마트폰신고
광역자치단체	서울특별시	서울 스마트 불편신고
	대전광역시	소통의 창
	경상남도	톡톡경남
기초자치단체	경기도 부천시시설관리공단	부천한누네
	경기도 수원시	수원시민불편신고
	경기도 수원시 영통구	수원 영통구청 두루편의 홈 서비스
	경상남도 진주시	진주시청
	경상북도 경주시	스마트경주
	경상북도 포항시	스마트포항
	부산광역시 수영구	수영구청
	서울특별시 중랑구	스마트중랑
	충청북도 단양군	단양군
	충청북도 충주시	충주시
공기업	한국도로공사	고속도로 상황제보

이 중 대다수의 민원신고 앱은 단순히 관리기관 모바일 웹페이지를 연결하는 수준이며 시설물 파손 신고는 생활불편신고를 통하여 민원을 제기하도록 통합되어 운영되고 있다. 도로 시설물 파손 신고에 특화된 메뉴를 제공하고 있는 대표적인 앱은 안전행정부의 '생활불편스마트폰신고' 앱과 서울특별시의 '서울 스마트 불편신고' 앱 그리고 한국도로공사의 '고속도로 상황제보' 앱으로 주요 기능과 특징은 표 3.106에 나타내었다.

그림 3.272는 '생활불편스마트폰신고' 앱과 '서울 스마트 불편신고' 앱, '고속도로 상황제보' 앱의 시작화면을 나타낸 것이다.

표 3.106 도로 시설물관련 민원신고 앱의 주요 기능

모바일 앱	주요 기능
생활불편 스마트 폰 신고 기관: 안전행정부	■ 민원등록: 스마트폰의 다양한 지능형 기능(GPS, 사진 등)을 이용하여 자치단체로 불편민원을 등록하는 서비스로서 민원등록 과정은 [내용작성->영상첨부->신고위치선택]으로 순차적으로 구성되어 있음 ■ 자기민원 보기 및 만족도 평가: 본인이 등록한 민원에 대한 처리상황 조회가 가능하며, 처리결과가 등록되기 이전에는 자기 민원을 삭제(취하)할 수 있고, 민원 처리결과에 대하여 만족도 평가를 할 수 있음 ■ 완료답변보기: 다른 사람들이 공개민원으로 등록한 민원에 대한 답변과 평가를 조회할 수 있음
서울 스마트 불편신고 기관: 서울특별시	■ 민원등록: 스마트폰의 다양한 지능형 기능(GPS, 사진 등)을 이용하여 자치단체로 불편민원을 등록하는 서비스로서 민원등록 과정은 [내용작성->영상첨부->신고위치선택]으로 순차적으로 구성되어 있음 ■ 자기민원 보기 및 만족도 평가: 본인이 등록한 민원에 대한 처리상황 조회가 가능하며, 처리결과가 등록되기 이전에는 자기 민원을 삭제(취하)할 수 있고, 민원 처리결과에 대하여 만족도 평가를 할 수 있음 ■ 완료답변보기: 다른 사람들이 공개민원으로 등록한 민원에 대한 답변과 평가를 조회할 수 있음
고속도로 상황제보 기관: 한국도로공사	■ 고속도로 상에서 발생 가능한 1.교통사고 2.노면잡물, 3.본인차량고장, 4.고장차량목격을 제보 ■ 사진/동영상을 촬영 하여 첨부할 수 있으며, 공지사항을 통해 교통 및 기타정보를 확인 할 수 있음 ■ 스마트폰 GPS를 통해서 고속도로 노선, 이정, 방향정보가 자동으로 입력되며, 전송을 누르면 한국도로공사로 전송 ■ 고속도로 노선 외 구간에서는 입력 할 수 없으며, 노선 외 구간이나 위치정보가 틀릴 경우에는 '위치정보 수정'을 통해 노선, 이정, 방향정보를 입력 할 수 있음 ■ 제보한 내용은 문자를 통해 접수완료 통보가 되며, 자동으로 해당부서로 통보가 가고, 처리가 완료된 후에는 제보한 전화번호로 완료 문자를 보냄

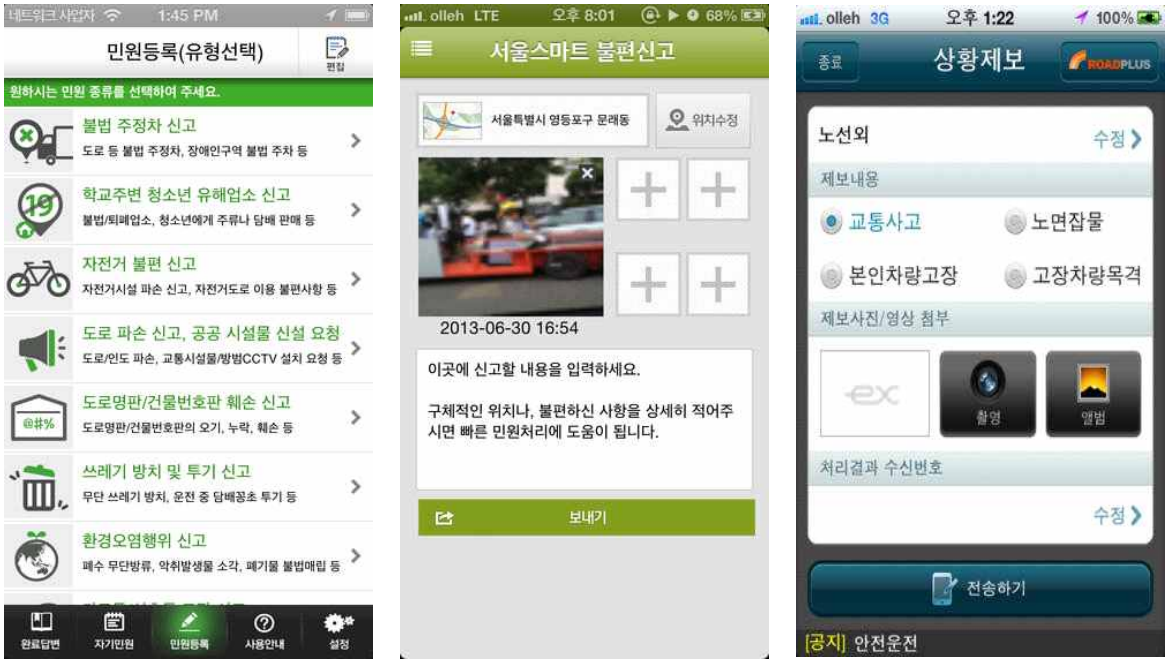


그림 3.272 공공기관 도로 시설물관련 민원신고 대표화면



그림 3.273 ‘생활불편스마트폰신고’ 앱의 신고내용 작성 및 전송 화면

안전행정부의 ‘생활불편스마트폰신고’ 앱은 그림 3.273에 나타난 7개의 신고 항목 외에 가로등/신호등 고장, 에너지 과소비 및 기타 생활불편 항목을 포함하여 총 10개 이상의 신고 항목을 지원하며, 본 과제와 관련한 기능은 도로 파손 신고 항목이다. 이 프로그램은 그림 3.273에 나타난 바와 같이 신고 내용을 작성하기 위해 3단계에 걸친 화면이동을

수행한다. 반면, 한국도로공사의 '고속도로 상황제보' 프로그램의 경우 한 화면 내에서 해당 정보를 확인 후 곧 바로 전송하는 방식을 취하여 제보자가 고속으로 이동하는 중에도 간단하게 신고가 가능하도록 설계되어 있음을 알 수 있다. 이와 같이 각 프로그램에서 제공하는 신고절차가 다른 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

안전행정부의 '생활불편스마트폰신고' 프로그램의 경우 시, 군, 구도와 같이 조밀한 망을 구성하는 도로를 대상으로 하기 때문에 GPS의 위치 오차에 큰 영향을 받을 수 있다. 따라서 이를 최대한 줄이기 위해서는 사용자가 직접 지도상에서 위치를 파악하여 파손위치를 직접 지정하여 전송하는 것이 점검자의 확인 작업을 보다 효율화하는데 효과적이다. 반면, 한국도로공사의 '고속도로 상황제보' 프로그램은 고속도로만을 적용 대상으로 한다. 최근 스마트 단말장치에 장착된 GPS의 위치 오차(최소 5m)를 고려할 때에 인터체인지나 분기점의 경우를 제외하고 제보된 위치 값을 고속도로 상의 개략적 위치에 매핑하는 기술개발이 용이할 것이다. 이에 따라 고속으로 이동 중인 사용자가 지도 상에서 직접 위치를 선택하는 번거로움을 주기 보다는 단말기에서 측정된 위치를 즉시 전송하는 간략화된 제보절차가 제보자의 입장에서 보다 합리적인 것으로 판단된다.

본 과제에서 개발하고자 하는 시스템이 지원하는 신고내용은 포트홀에 한정한 것으로서 상기에 언급한 프로그램보다는 신고내용의 범위는 적다. 그러나 신고 방식은 상기에 언급한 2개 프로그램의 방식을 모두 적용하였다. 이에 따라 제보자가 지도상에서 직접 위치를 선택하여 제보할 수 있는 상황인 경우 사용할 수 있는 기능과 제보자가 이동 중인 경우에 간편하게 단말기의 위치를 전송하는 기능을 모두 제공함으로써 지방자치단체나 고속도로 관리 기관에게 모두 적용될 수 있도록 프로그램 기능을 설계하였다.

(나) 모바일용 앱 개발 기술 동향

모바일용 프로그램 개발은 대부분 웹 기술에 크게 의존적이다. 그림 3.274는 대표적인 웹 표준인 HTML의 개발 이력과 함께 모바일 적용 현황을 나타낸 것이다. 모바일용 프로그램은 크게 브라우저를 기반으로 개발하는 방식과 Native App 방식으로 구분할 수 있는데 브라우저를 이용하는 방식은 다시 풀 브라우징 방식과 모바일 웹 방식으로 구분할 수 있다.

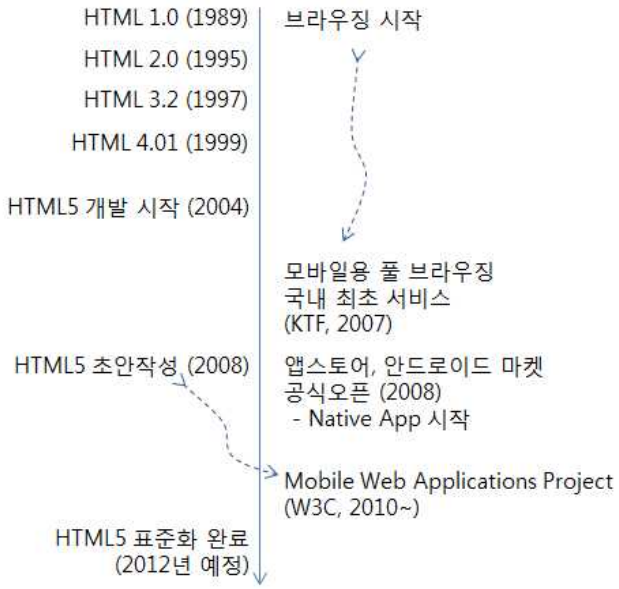


그림 3.274 HTML 개발 이력 및 모바일 적용 현황

풀 브라우징 방식은 PC에서와 동일한 웹 페이지를 제공하는 방식으로서 국내에서는 KTF가 2007년 처음으로 모바일 단말기용 풀 브라우징 서비스를 제공하기 시작하였다. 그러나 풀 브라우징 방식은 스마트 폰과 같은 단말장치 화면의 크기가 작은 경우 화면을 확대 및 이동해야하는 단점이 있다. 모바일 웹 방식은 이러한 풀 브라우징 방식의 단점을 해결하기 위해 스마트 폰 화면에 최적화되도록 별도의 웹 페이지를 제작하여 제공하는 방식이다. 기존의 모바일 웹 방식은 풀 브라우징 방식과 기술적으로 차별되기 보다는 모바일 단말장치 화면에 맞추어 웹 페이지를 설계하여 서비스를 제공하므로 사용자 관점에서 보다 편리한 조작이 가능하다는 점에서 차별화되었다. 그러나 최근 HTML5 표준화와 더불어 모바일 단말장치의 하드웨어 컨트롤이 가능한 기능이 최신의 브라우저에 추가되고 있어 모바일 웹 페이지가 적용 가능한 영역이 게임과 같은 동적인 응용영역까지 점차 확장되어가고 있다.

Native App 방식은 모바일 단말장치에서 적용한 플랫폼 개발사의 개발도구를 이용하여 별도의 프로그램을 개발하고 이를 사용자가 다운로드 받아 단말기에 설치하여 이용하는 방식이다. 따라서, 브라우저를 기반으로 하지 않는 점에서 기존의 모바일 서비스 방식과 많은 차이를 가진다. 그러나 프로그램 개발 및 서비스 업자의 관점에서 서로 다른 플랫폼을 위한 별도의 프로그램을 개발하고 이를 유지관리하는 것이 매우 비효율적인 단점이 있다.

반면, 모바일 웹 어플리케이션 방식은 앞서 언급한 바와 같이 HTML5의 개발과 더불어 다양한 모바일 장치에 설치된 브라우저에서 이를 적극 지원하면서 웹 어플리케이션으

로서 그 시장이 점차 확대되고 있다. 시장조사기관 스트래티지애널리틱스(SA)는 HTML5를 지원하는 모바일 단말기가 지난 2009년 300만대에서 2012에는 6억7300만대, 2016년에는 15억6000만대까지 늘어날 것으로 전망하였다(황태호, 2011). 또한 우리나라의 안전행정부(안전행정부, 2010)도 모바일 전자정부 서비스 제공 시 국민들의 보편적 접근성을 제고하기 위해 Native App 방식보다는 모바일 웹 방식을 표준으로 권고하고 있다.

본 연구에서는 최신의 웹 기술인 HTML5를 이용하여 신고용 앱, 점검자용 앱의 프로토타입을 개발하여 다양한 모바일 단말장치에서 사용하는 여러 플랫폼 환경에서 동일한 서비스가 제공될 수 있음을 확인하였으며, 3차년도에는 신고자와 점검자 그리고 보수자 앱을 안드로이드 플랫폼으로 통합하여 배포 가능하도록 개발하였다.

(2) 포트홀 관리 시스템 기능 설계 및 구현

본 연구에서 개발하고자 하는 포트홀 관리 시스템은 웹서버를 기반으로 크게 세 가지 공정으로 포트홀을 관리한다. 첫째로, 모바일 마켓 등을 통해 도로 관리주체가 포트홀 신고앱을 배포하여 다양한 도로 사용자로 하여금 자발적인 도로파손 제보를 유도하는 것이다. 둘째로, 관리주체의 도로 파손 담당자가 점검자용 앱을 확인하여 신고된 위치를 점검하고, 최종위치 보정 및 현장사진을 웹서버에 등록한다. 셋째로, 포트홀 보수 장비로 신속한 보수를 완료하고 최종 보수 완료 사진을 웹서버에 등록하는 것이다. 다음 그림 3.275 및 그림 3.276은 포트홀 관리 시스템 기획 단계의 기능 구현을 간략히 나타낸 것이다.



그림 3.275 포트홀 관리 앱(안)



그림 3.276 포트홀 관리 시스템 웹서버(안)

(가) 모바일 앱의 구동 방식 선정

권정혁(2011)은 모바일 웹 어플리케이션의 구동 방식을 그림 3.277에 나타난 바와 같이 4개의 방식으로 구분하였다. 온라인 웹 어플리케이션(Online Web Application) 방식은 웹 서버와의 실시간 정보 교환을 전제로 프로그램의 기능이 구동되는 방식이며, 오프라인 지원 웹 어플리케이션(Offline Enabled Web App)은 서버와의 정보 교환을 전제로 하되 모바일 단말장치의 로컬 저장소를 이용하여 오프라인 상태에서도 일정 기능의 동작이 가능한 방식이다. 오프라인 웹 어플리케이션(Offline Web App)은 오프라인 지원 웹 어플리케이션의 하위 개념으로서, 서버로부터 다운로드 받은 웹 어플리케이션을 오프라인 상태에서 지속적으로 사용하는 방식이다. 이는 서버와 양방향 정보교환을 필요로 하지 않는 응용분야에 적용이 가능하다. 마지막으로 하이브리드 웹 어플리케이션(Hybrid Web App) 방식은 웹 어플리케이션에 Native App 방식을 혼합한 방식이다. 이는 Native App 방식에 비하여 아직은 성능이 떨어지는 웹 어플리케이션의 단점을 보완하기 위한 방식이다.

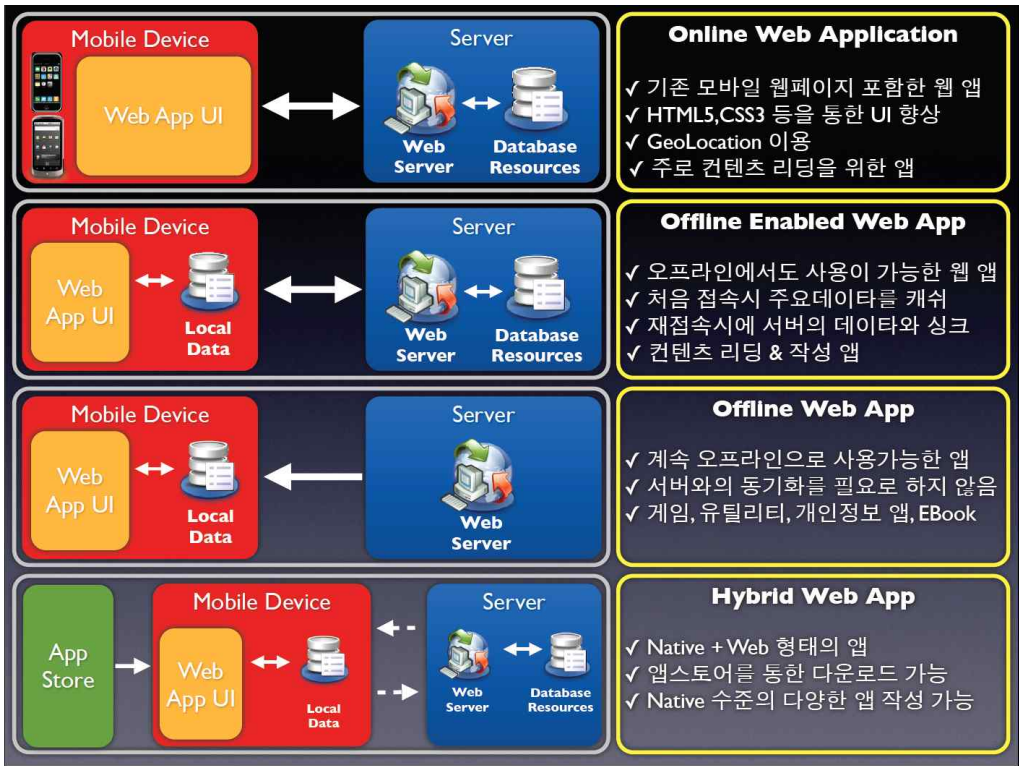


그림 3.277 모바일 웹 어플케이션의 동작 방식(권정혁, 2011)

다음의 표 3.107은 전종홍과 이승윤(2010) Native App 방식, Web App 방식 및 Hybrid Web App 방식의 특성을 보다 상세히 비교한 것이다. 표 3.106에서 Web App 방식은 앞서 그림 3.277의 4가지 방식 중 Hybrid Web App 방식을 제외한 나머지 3개의 방식을 모두 포함한 개념이다.

본 연구에서는 프로토타입 앱 개발은 Web App 방식을 선택하여 다양한 단말기에서 테스트를 진행하였고, 배포용 앱은 Hybrid Web App 방식으로 개발하였다. 프로토타입용 앱 개발에 Wep App 방식을 선택한 이유는 다음과 같다.

먼저, Web App 방식이 그래픽 성능이나 모바일 단말장치를 활용하는 부문에 있어서는 Native App이나 Hybrid We App 방식에 비하여 일정부문 제약사항이 존재하는 것이 사실이나 초기 포트홀 제보 시스템을 구축하기 위한 테스트용 앱을 개발은 몇 개의 아이콘과 간단한 정보항목으로 이루어지므로 고성능의 그래픽 처리를 요구하지 않는다. 그리고 Native App 방식과 Hybrid Web App 방식은 모두 마켓을 통해 사용자가 다운로드 받아 모바일 단말장치에 설치해야 해당 프로그램을 이용할 수 있는 반면 Web App은 브라우저를 통해 서버에 접속함으로 인해 프로그램의 기능이 단말장치에서 구동될 수 있다. 따라서 테스트 참여자들이 상황제보를 위해 미리 프로그램을 설치하고 준비해야 하는 번거로움을 줄일 수 있다. 즉, 미리 모바일 단말장치에 해당 프로그램이 설치되어 있지 않아도 테스트 사용자는 브라우저를 통해 포트홀의 위치를 제보할 수 있다.

표 3.107 Native App, Web App 및 Hybrid Web App 방식 비교
(전종홍과 이승윤, 2010)

항 목	Native App	Web App	Hybrid Web App
그래픽 성능	상	하	상
마켓을 통한 판매	가능	불가능	가능
Offline Mode	가능	일부 가능	가능
웹 서비스 Mashup	불가능	가능	가능
Multi-platform 지원	어려움	용이	중간
Storage	로컬	로컬, 서버	로컬, 서버
Device Capability 이용	용이	일부 제약	용이
다중 사용자 공동 작업	불가능	가능	가능
S/W 갱신 방법	재설치	사용 중 수정 가능	부분 재설치
어플리케이션 재활용	소스 및 Library	소스 및 SaaS	모두
UI 제작 난이도	상	하	중
UI 표현 능력	상	하	중

(나) 프로토타입 앱(App) 및 웹(Wep) 개발

① 포트홀 신고앱

프로토타입용 포트홀 신고앱은 신고자가 모바일 웹 어플리케이션을 통해 서버 측에 포트홀의 위치를 전송하는 것을 그 목적으로 개발되었다. 신고 방법은 도보로 이동 중이거나 차량으로 이동 중일 때 지도를 조회하여 정확한 포트홀의 위치를 지도상에서 표기하여 서버에 전송하거나, 모바일 단말기의 GPS 칩의 위치정보를 서버로 전송할 수 있도록 하였다. 이러한 시나리오에 대한 유스케이스 다이어그램은 그림 3.278과 같고 이에 대한 세부 이벤트 흐름은 다음과 같다.

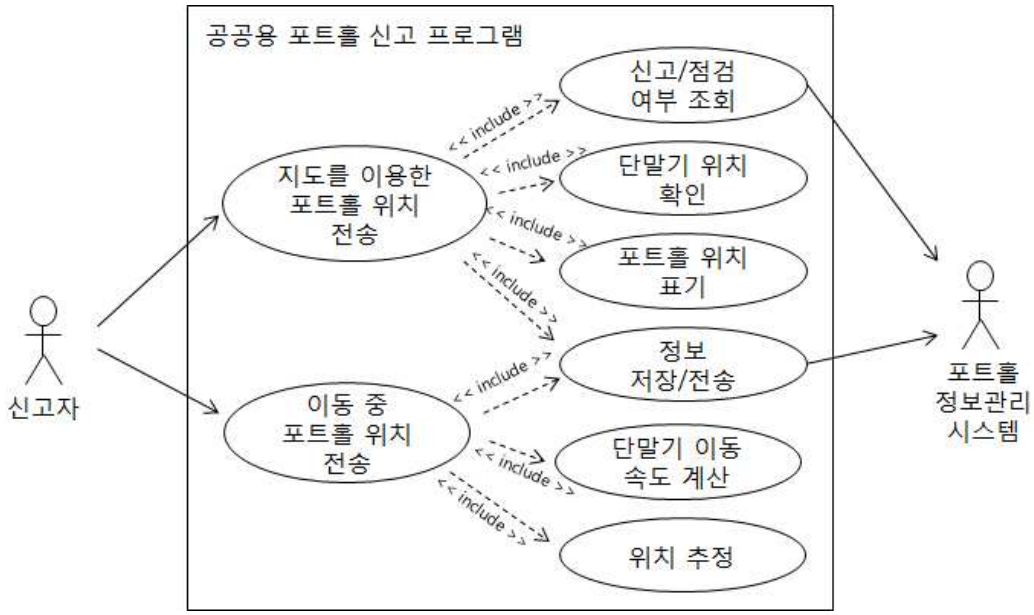


그림 3.278 포트홀 신고앱의 유스케이스 다이아그램

P-1. 지도를 이용한 포트홀 위치 전송

P-1.1 모바일 앱은 서버로부터 이미 신고된 포트홀의 위치나 점검자에 의해 위치가 확인된 포트홀의 위치 정보를 받는다.

P-1.2 모바일 앱은 P-1.1에 의해 취득된 위치 정보와 신고자의 단말기 위치 정보를 포함한 지도 정보를 생성하여 사용자에게 제공한다.

P-1.3 신고자는 신고하고자 하는 포트홀이 이미 시스템에 등록이 되어 있는지의 여부를 확인 후 해당 사항이 등록되지 않은 경우 지도상에서 신고하고자 하는 포트홀의 위치를 지도상에서 지정한다.

P-1.4 신고자는 본인이 지정한 위치가 맞는지 확인하고 맞는 경우 모바일 앱은 사용자가 지정한 포트홀의 위치 정보, 신고자의 ID, 위치정보 취득 시각 정보를 단말기의 로컬 스토리지에 저장하고 메인 화면으로 이동한다.

P-1.4-A1 신고자가 지도상에 잘못된 위치를 지정한 경우 모바일 앱은 신고자가 표기한 마크를 지운 후 지도를 갱신하고 {P-1.3}을 반복한다.

P-1.5 모바일 앱은 메인 화면을 표출할 때에 로컬 스토리지에 단말기가 온라인 상태인지 오프라인 상태인지 확인하고 온라인 상태인 경우 로컬 스토리지에 저장된 위치 정보를 서버 측에 전송하고, 오프라인 상태인 경우 메인 화면을 표출한다.

P-1.6 서버 프로그램은 전송된 메시지를 파싱하여 DB 테이블에 위치정보, 신고자의

ID, 위치정보 취득 시각을 저장한다.

P-2. 이동 중 포트홀 위치 전송

P-2.1 모바일 앱은 최초 신고자가 이벤트를 생성시킨 시각을 로컬 스토리지에 저장한다.

P-2.2 모바일 앱은 단말기의 GPS 좌표를 2초 간격으로 총 3번 취득한다.

P-2.3-A1 취득된 좌표가 다른 경우 모바일 앱은 취득된 GPS 좌표를 이용하여 이동 속도를 계산하고, 최초 신고자가 이벤트를 생성시킨 위치를 계산하여 이를 최종 포트홀 위치로 한다.

P-2.3-A2 취득된 좌표가 동일하여 속도를 계산할 수 없는 경우 최초 취득된 좌표를 최종 포트홀 위치로 한다.

P-2.4 모바일 앱은 추정된 포트홀의 위치 정보, 신고자의 ID, 위치정보 취득 시각 정보를 단말기의 로컬 스토리지에 저장하고 메인 화면으로 이동한다.

P-2.5 모바일 앱은 메인 화면을 표출할 때에 로컬 스토리지에 단말기가 온라인 상태인지 오프라인 상태인지 확인하고 온라인 상태인 경우 로컬 스토리지에 저장된 위치 정보를 서버 측에 전송하고, 오프라인 상태인 경우 메인 화면을 표출한다.

P-2.6 서버 프로그램은 전송된 메시지를 파싱하여 DB 테이블에 위치정보, 신고자의 ID, 위치정보 취득 시각을 저장한다.

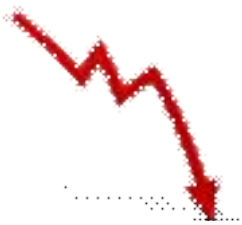
이상과 같은 이벤트 처리 프로세스에 따라 구현한 포트홀 신고앱의 구동 화면을 그림 3.279부터 그림 3.284에 나타내었으며, 지도에서 사용한 각 마크의 이미지에 대한 설명은 표 3.108과 같다. 그림 3.279에서 좌측의 Manual Mode는 앞서 설명한 P-1 이벤트에 해당되며, 우측의 Moving Mode는 P-2 이벤트를 생성시키기 위한 아이콘이고, 각 Mode 옆의 숫자는 해당 단말기에서 서버로 전송한 위치정보의 수를 의미한다.

P-1 이벤트를 발생시키기 위해 사용자는 그림 3.279의 좌측에 있는 아이콘(Manual Mode)을 클릭한다. P-1 이벤트가 발생되면 신고자 위치를 중심으로 지도가 표시되며 이때에 그림 3.280에 나타난 바와 같이 기존에 신고된 포트홀의 위치와 점검자가 확인한 포트홀의 위치를 함께 표기함으로써 신고자가 제보하고자 하는 포트홀의 위치가 이미 시스템에 등록되어 있는 지의 여부를 확인할 수 있도록 하였다. 만약 등록되어 있지 않다면 그림 3.281에 나타난 바와 같이 사용자가 직접 지도상에서 위치를 선택하면 임시 마

크가 표기되며, 해당 마크를 한번 더 클릭하면 그림 3.282에 나타난 바와 같이 전송에 대한 승인 여부를 확인한다. 이때 승인을 선택하면 P-1.5와 P-1.6이 실행되고, 승인을 취소하는 경우 P-1.4-A1 이벤트가 실행된다.

P-2 이벤트를 발생시키기 위해 사용자는 그림 3.279의 우측에 있는 아이콘(Moving Mode)을 클릭한다. 이후 그림 3.283 및 그림 3.284와 같이 P-2.2부터 P-2.6까지가 앱에 의해 자동으로 수행되면서 그 수행결과를 화면에 표출하고 다시 최종적으로는 그림 3.279에 나타낸 초기 화면으로 복귀되므로 신고자는 이동시 포트홀이 발견된 시점에서 한 번의 클릭만으로 포트홀의 위치를 서버로 전달할 수 있도록 하였다.

표 3.108 지도 마크 이미지 및 각 이미지의 용도

마크 이미지	용 도	마크 이미지	용 도
	단말기 위치 표시		점검자에 의해 포트홀 위치 확인이 끝난 곳을 표시
	Manual Mode를 통해 제보된 포트홀의 위치 표시		Moving Mode를 통해 제보된 포트홀 위치 표시

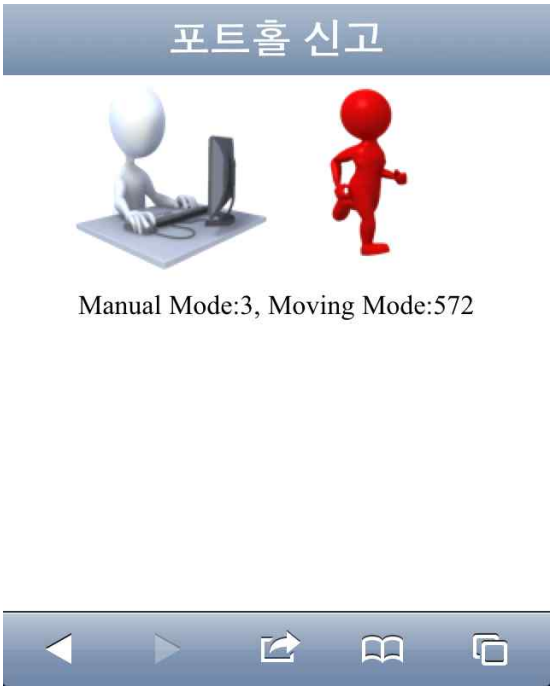


그림 3.279 포트홀 신고앱 초기 화면



그림 3.280 매뉴얼 모드 클릭 시 지도 화면



그림 3.281 포트홀 위치 마킹 화면



그림 3.282 전송 전 포트홀 위치 확인 화면

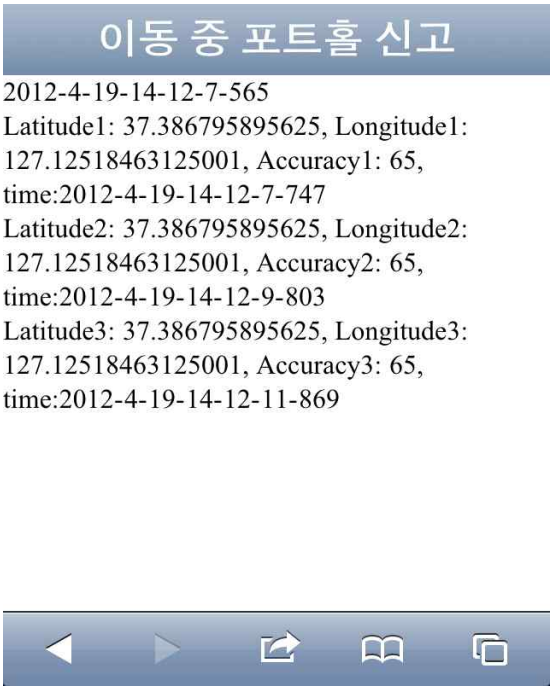


그림 3.283 이동 중 신고 시 화면 1



그림 3.284 이동 중 신고 시 화면 2



```
<!DOCTYPE html>
<html>
    <head>
        <title>
            포트홀 신고
        </title>
        <meta charset="UTF-8">
        <meta name="viewport" content="width=device-width, user-scalable=no, initial-scale=1.0, maximum-scale=1.0">
        <script src="publicOffline.js"></script>
        <script src="indexDBUploader.js"></script>
        <link rel="stylesheet" href="publicIndex.css"/>
    </head>

    <body>
        <h1>포트홀 신고</h1>

        <div class="imgDiv">
            <canvas id="stopMotion" onclick="onStopMotion()" width="120" height="120"> </canvas>
            <canvas id="movingMotion" onclick="onMovingMotion()" width="120" height="120"> </canvas>
        </div>
        <script src="canvasImage.js"></script>
        <div class="debug" id="localStorageCountDiv"> </div>
    </body>
</html>


    }
    else movingCount = localStorage.getItem("movingCount");
}

function uploadValuesInOnline()
{
    // online 시 로컬 데이터를 업로드한다.

    var isStaticEmpty = localStorage.getItem("staticDB") == null || localStorage.getItem("staticDB") == "" || localStorage.getItem("staticDB") == "null";
    var isMovingEmpty = localStorage.getItem("movingDB") == null || localStorage.getItem("movingDB") == "" || localStorage.getItem("movingDB") == "null";

    if (!(isStaticEmpty&&isMovingEmpty))
    {
        uploader = new XMLHttpRequest();
        uploader.onreadystatechange = uploadingCallBack;
        uploader.open("POST", "./locationUpload.php", true);

        var contents = "userID="+localStorage.getItem("userID");

        if (localStorage.getItem("staticDB") != null ||localStorage.getItem("staticDB") != "" )
        {
            contents = contents+"&staticDB="+localStorage.getItem("staticDB");
        }

        if (localStorage.getItem("movingDB") != null || localStorage.getItem("movingDB") != "")
        {
            contents = contents+"&movingDB="+localStorage.getItem("movingDB");
        }

        //alert(contents);

        uploader.setRequestHeader("Content-type", "application/x-www-form-urlencoded");
        uploader.setRequestHeader("Content-length", contents.length);
        uploader.send(contents);
```

그림 3.285 포트홀 신고앱 소스

② 보수 작업원용 앱

보수 작업원용 앱은 포트홀 신고앱에서 수집된 포트홀의 위치정보를 포트홀 정보관리 시스템에서 분류하고 판단하여, 이를 현장의 작업반이 보유한 모바일기기를 통해 확인 가능하도록 하는 앱이다. 수신된 정보에 따라 작업자가 방문하여 포트홀의 존재 유무를 확인하고 신속한 보수를 시행하며, 포트홀의 위치를 좀 더 정확히 조정하여 최종 포트홀 위치를 서버에 전송함은 물론이고, 보수내용 및 보수 전·후 비교사진을 시스템에 등록하여 공개하는 기능을 포함하고 있다. 이러한 시나리오에 대한 유스케이스 다이어그램은 그림 3.286과 같다.

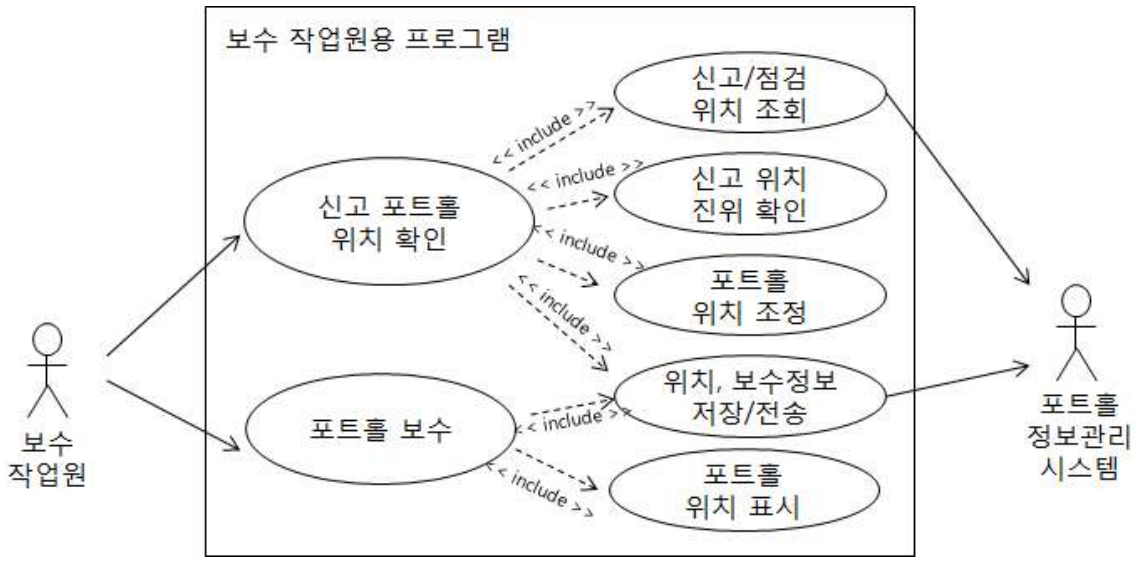


그림 3.286 보수 작업원용 앱의 유스케이스 다이어그램

I-1. 신고 포트홀 위치 확인

I-1.1 모바일 앱은 서버로부터 이미 신고된 포트홀의 위치나 점검자에 의해 위치가 확인된 포트홀의 위치 정보를 받는다.

I-1.2 모바일 앱은 I-1.1에 의해 취득된 위치 정보와 신고자의 단말기 위치 정보를 포함한 지도 정보를 생성하여 사용자에게 제공한다.

I-1.3 점검자는 신고 된 포트홀 위치를 현장에서 확인하고 해당 마크를 클릭하여 포트홀 위치의 진위 여부를 결정한다.

I-1.4 모바일 앱은 점검자가 확정한 포트홀 위치의 진위여부를 신고 된 포트홀의 ID, 점검자의 ID, 점검 시각 정보를 서버로 전송한다.

I-1.4-A1 점검자는 신고 된 포트홀의 위치를 조정하고자 하는 경우 지도상에서 보다

정확한 위치를 표시하고, 모바일 앱은 수정된 위치정보, 신고 된 포트홀의 ID, 점검자의 ID, 점검 시각 정보를 서버로 전송한다.

I-1.5 서버 프로그램은 전송된 메시지를 파싱하여 DB 테이블에 신고 된 테이블에서 해당 포트홀 ID에 대한 정보를 백업하고 최종 점검 테이블에 최종 위치정보, 점검자의 ID, 점검정보 취득 시각을 저장한다.

I-2. 포트홀 보수

I-2.1 보수 작업자는 신고 된 포트홀 외에 추가로 조사된 포트홀의 위치를 지도상에서 표시한다.

I-2.2 모바일 앱은 작업자가 확정한 포트홀 위치정보, 보수내용, 작업 사진, 작업자의 ID, 작업 시각 정보를 서버로 전송한다.

I-2.3 서버 프로그램은 전송된 메시지를 파싱하여 최종 위치정보를 획득 후 마킹된 위치나 기존 DB에서 선택된 포트홀의 위치와 일정 거리 내에 있는 ID를 찾아 진위 여부를 함께 결정하고 최종 점검 테이블에 위치정보, 작업자의 ID, 보수정보 취득 시각을 저장한다.

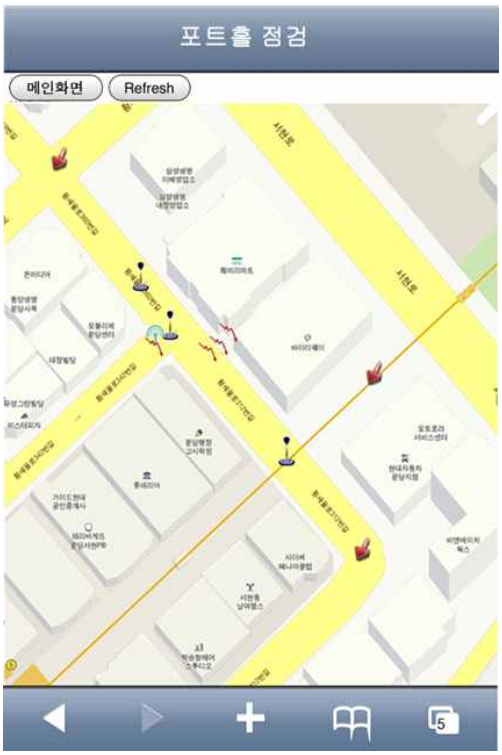


그림 3.287 작업원용 앱의 메인 화면 1

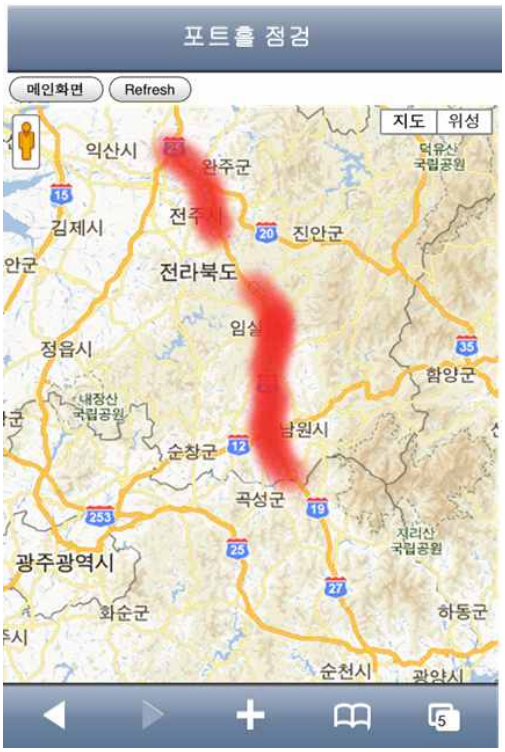


그림 3.288 작업원용 앱의 메인 화면 2

그림 3.287은 보수 작업원용 앱의 메인 페이지의 화면이다. 개발된 앱은 점검자가 지도의 스케일을 조정하여 그림 3.288에 나타난 바와 같이 신고 된 포트홀의 분포를 전체적으로 조망하여 점검 경로를 설정할 수 있도록 지원한다. 그림 3.289부터 그림 3.292는 작업자가 신고 된 위치가 현장 조사결과 사실인 경우에 대한 앱의 구동 방식을 진행절차에 따라 나타낸 것이다. 먼저, 그림 3.289와 같은 화면에서 신고 위치의 진위여부를 결정할 마크를 선택하면, 그림 3.290과 같이 신고 위치의 진위여부를 확인하는 팝업창이 표출된다. 여기서 보수를 실시할 위치가 맞다면 'True'를 선택하여 서버로 전송한다. 서버 내에서는 점검이 완료된 신고 위치정보는 각 Mode별 백업 테이블로 진위 여부정보와 함께 옮겨지며, 신고자용 앱과 보수 작업원용 앱에서 조회되는 임시 테이블에서는 삭제되고, 참(T)으로 판정된 신고 위치는 최종적으로 점검이 완료된 별도의 테이블로 정보가 복사된다.

작업자가 판단하기에 신고 된 마크의 위치가 실제 위치와 다소 차이가 난다면 그림 3.291과 같이 신고된 위치의 포트홀 마크를 드래그하여 원하는 곳에 위치시키고 위치조정 여부를 확인한다. 최종 승인을 하면 기존에 신고된 위치의 마크가 삭제되고 작업자가 위치시킨 곳으로 DB에 저장된다.



그림 3.289 지점 선택



그림 3.290 진위 여부 확인



그림 3.291 지도상에서 위치 표기

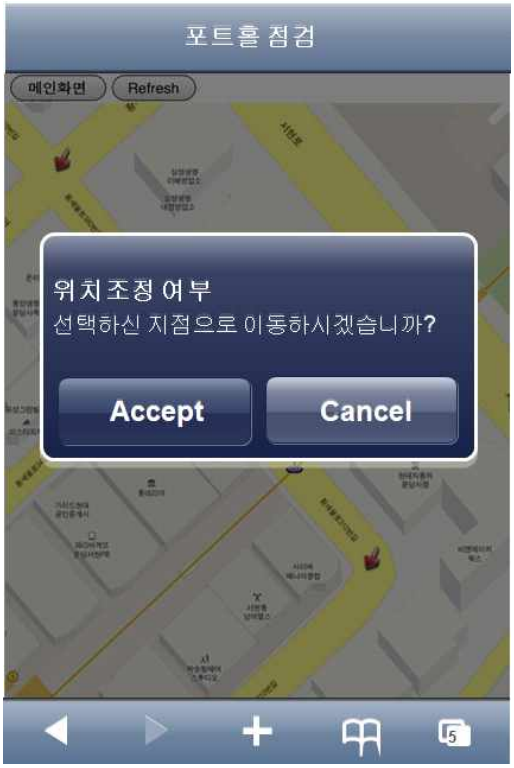


그림 3.292 위치 조정 여부 확인

보수 작업원은 전용 앱을 통하여 신고된 위치의 허위여부와 보수할 곳의 정확한 위치 조정을 서버로 전송한 후 포트홀 보수 장비를 이용한 신속한 보수를 진행하게 된다.

```
}

function errorCallback(err){
    alert("위치추적 실패("+err.code+")"+err.message);
}

function getNoticedLocationLists(){

    request = new XMLHttpRequest();
    request.onreadystatechange = noticedLocationCallBack;
    request.open("POST", "./passLocationList.php", true);
    var contents = "queryContents=Noticed";
    request.setRequestHeader("Content-type", "application/x-www-form-urlencoded");
    request.setRequestHeader("Content-length", contents.length);
    request.send(contents);
}

function noticedLocationCallBack()
{
    if (request.readyState == 4) {
     if (request.status == 200) {

        returnedNoticedLocations = request.responseText.split("&");

        var tmpLocationSet1="";
        var tmpLocationSet2="";

        if (returnedNoticedLocations.length== 2)
        {
            var tmpCnt1 = returnedNoticedLocations[0].search("staticMode");
            var tmpCnt2 = returnedNoticedLocations[0].search("movingMode");
            var tmpCnt3 = returnedNoticedLocations[0].search("inspectionMode");

            if ((tmpCnt1 > 1) && (tmpCnt2 > 1) && (tmpCnt3 < 0))
```

그림 3.293 보수 작업원용 앱 소스

③ 웹서버 테스트 내용 및 결과



그림 3.294 테스트 구간

프로토타입 웹서버의 가용성 및 정보 수신/처리율 테스트를 위한 대상 구간으로 그림 3.294에 표시된 순천~완주 고속국도를 선정하였다. 순천~완주 고속국도는 총 연장 117km로 산악지형이 많아 다수의 터널 및 교량이 포함되어 있어, 가혹 조건에서의 서버 가용율 테스트에 적합한 곳으로 판단하였다.

통신환경은 실제 포트홀 신고 상황을 모사하기 위하여 이동통신장치인 스마트폰의 3G 통신망을 활용하였으며, 스마트패드의 경우 와이파이 및 블루투스를 통한 테더링 기능을 이용하였다. 표 3.109는 포트홀 신고앱의 가용성 및 통신 성공률 측정에 있어 거리 및 속도별 오차 측정을 병행하기 위해 측정 기준점을 임의로 지정하여 이벤트를 발생시킨 성공률이다.

표 3.109 포트홀 신고앱 가용성 및 통신 성공률

속도(km/h)	20	40	60	80	100	총괄
총 테스트 개수	124	110	119	109	109	571
DB 등록 개수	124	110	119	109	109	571
앱 가용성(%)	100	100	100	100	100	100
통신 성공율(%)	100	100	100	100	100	100

본 연구에서는 80km/h, 100km/h, 120km/h 세 가지 속도 별로 670건의 이벤트를 생성하여, 총 2,010건을 테스트 하였다. 실제 신고 환경을 모사하여 무작위로 이벤트를 발생시킬시 모바일 앱의 결과와 다소 차이를 보일 것으로 예상하였으나, 표 3.110에 나타난 바와 같이 서버 가용성이 100%를 달성하였으며, 또한 정보수신율 역시 한건의 누락 없이 DB에 100% 저장됨을 확인하였다.

표 3.110 서버 가용성 및 정보 수신 성공률

속도(km/h)	80	100	120	총괄
총 테스트 개수	670	670	670	2010
DB 등록 개수	670	670	670	2010
서버 가용성(%)	100	100	100	100
통신 성공율(%)	100	100	100	100

포트홀 서버 프로그램의 주요 기능 중 하나인 부속 프로그램 구동 성공률 테스트는 단일 메시지 전송과 다수 메시지의 동시 전송 테스트로 이루어졌다. 표 3.111에 테스트 결과를 나타내었다.

표 3.111 정보 처리 성공률

단말기	A사 스마트패드	S사 스마트패드	A사 스마트폰	A사 스마트폰
출시년도	2012	2011	2011	2009
단일 메시지 전송(100건)	100	100	100	100
전송 성공율(%)	100	100	100	100
100건 동시 전송	100	100	100	73
전송 성공율(%)	100	100	100	73

실험 결과 단일 메시지 전송의 경우 보수 작업원용 앱이 설치된 스마트 폰 및 스마트 패드에서 빠짐없이 알림기능이 작동하였으나, 다수 메시지의 동시 전송 테스트의 경우 일부 구형 스마트폰에서 알림 개수가 누락됨을 확인하였다. 하지만 최신 스마트 폰 및 스마트 패드의 경우 수신 시간에 차이를 보이지만 누락 없이 알림기능이 작동하였다. 이는 서버의 기능상의 문제 보다는 수신 단말기 성능에 따라 발생하는 문제로 보이며, 오류 가능성이 있는 구형 단말기의 성능 및 운영체제 버전에 따라 앱 설치 제한을 둠으로서 해결 가능할 것이다.

동일 포트홀 인식 정확도는 7개의 포트홀 위치를 지정하여 주변을 이동하며 포트홀 신고앱을 활용하여 테스트 하였다. 다음 표에서 나타나듯이 70건의 신고중 100m 이상 이격되는 신고위치는 서버에서 제외하여 49건의 인접 신고위치를 동일 포트홀로 인식하였다.

표 3.112 동일 포트홀 인식 정확도

포트홀 그룹 인식					
기준점 정보		측정 정보			포트홀 지정번호
위도	경도	측정 ID	추정 위도	추정 경도	
37.197872	127.61187	sci24f867229d97d44.04464538	37.197711	127.61183	**Testbed 01**
37.197872	127.61187	sci24f8674b4ae3668.40876442	37.19797	127.61186	**Testbed 01**
37.197872	127.61187	sci24f8674e74be4d5.14819230	37.197862	127.61182	**Testbed 01**
37.197872	127.61187	sci24f8676f83be904.35731194	37.197925	127.61185	**Testbed 01**
37.197872	127.61187	sci24f86772f042bf3.15036694	37.197794	127.61182	**Testbed 01**
37.197872	127.61187	sci24f8679baca3451.00825653	37.197888	127.61185	**Testbed 01**
37.197872	127.61187	sci24f8679e64a9613.59875868	37.197835	127.6118	**Testbed 01**
37.197176	127.61191	sci24f8674f3b5a943.21819833	37.197253	127.61185	**Testbed 02**
37.197176	127.61191	sci24f8676eb5ba496.07342530	37.197336	127.61188	**Testbed 02**
37.197176	127.61191	sci24f86773e2fd4a0.97082972	37.197198	127.61185	**Testbed 02**
37.197176	127.61191	sci24f8679ad6bc3e9.21810802	37.197303	127.6119	**Testbed 02**
37.197176	127.61191	sci24f8679f391afa1.49344855	37.197224	127.61182	**Testbed 02**
37.19471	127.61207	sci24f86725cc613c0.48788487	37.194732	127.61199	**Testbed 03**
37.19471	127.61207	sci24f86747367df59.71468496	37.194827	127.61204	**Testbed 03**
37.19471	127.61207	sci24f867527b09b00.64040900	37.194654	127.61202	**Testbed 03**
37.19471	127.61207	sci24f8676b5cfedb0.98925318	37.194796	127.61204	**Testbed 03**
37.19471	127.61207	sci24f86777444a7a8.55654640	37.194662	127.61201	**Testbed 03**
37.19471	127.61207	sci24f867977b0c906.38878251	37.194811	127.61205	**Testbed 03**
37.19471	127.61207	sci24f867a24087fe2.54553572	37.194689	127.61205	**Testbed 03**
37.191241	127.61228	sci24f86729e1f67f9.93000606	37.191233	127.61229	**Testbed 04**
37.191241	127.61228	sci24f86742b61b069.54863421	37.191293	127.6123	**Testbed 04**
37.191241	127.61228	sci24f867551b71193.53792981	37.19118	127.61227	**Testbed 04**
37.191241	127.61228	sci24f86766a58a861.10184830	37.191288	127.61229	**Testbed 04**
37.191241	127.61228	sci24f8677bb439c62.77862683	37.191229	127.61224	**Testbed 04**
37.191241	127.61228	sci24f86792cae04e9.02313924	37.191314	127.6123	**Testbed 04**
37.191241	127.61228	sci24f867a53703b05.30708466	37.191194	127.61229	**Testbed 04**
37.188765	127.61245	sci24f8672c8aefaa4.42220335	37.188732	127.61243	**Testbed 05**

포트홀 그룹 인식					
기준점 정보		측정 정보			포트홀 지정번호
위도	경도	측정 ID	추정 위도	추정 경도	
37.188765	127.61245	sci24f8673f8665ac2.83204037	37.188854	127.61244	**Testbed 05**
37.188765	127.61245	sci24f86756fefeaf1.10261590	37.188676	127.61245	**Testbed 05**
37.188765	127.61245	sci24f867636db65c9.93836420	37.188877	127.61243	**Testbed 05**
37.188765	127.61245	sci24f8677f139f758.49744603	37.188774	127.61241	**Testbed 05**
37.188765	127.61245	sci24f8678fe8aa5c2.66855392	37.188874	127.61245	**Testbed 05**
37.188765	127.61245	sci24f867a81215811.85384730	37.188724	127.61244	**Testbed 05**
37.184934	127.61271	sci24f8673117ba4b3.62476409	37.184876	127.6127	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f8673a99e4739.54648226	37.184972	127.6127	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f86759c3a96d3.48726737	37.184887	127.6127	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f8676073e8a71.71614619	37.185004	127.61268	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f867845931098.44084618	37.184939	127.6127	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f8678b9171738.16911336	37.18506	127.6127	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f867ad04ae1d8.81480070	37.184881	127.61267	**Testbed 06**
37.184934	127.61271	sci24f867b350500c6.92842001	37.185043	127.61268	**Testbed 06**
37.183301	127.61295	sci24f8673304623f9.61107678	37.183274	127.61292	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f8673886a6898.51052466	37.183335	127.61296	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f8675bc2a4b57.53401069	37.183266	127.61294	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f8675ea685367.75539426	37.183392	127.61291	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f867868777163.48557532	37.183297	127.61291	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f8678946a1532.12015416	37.18336	127.61293	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f867af263b388.91194034	37.183246	127.61295	**Testbed 07**
37.183301	127.61295	sci24f867b186f88a5.91956870	37.18337	127.61295	**Testbed 07**

(다) 포트홀 관리시스템 개발

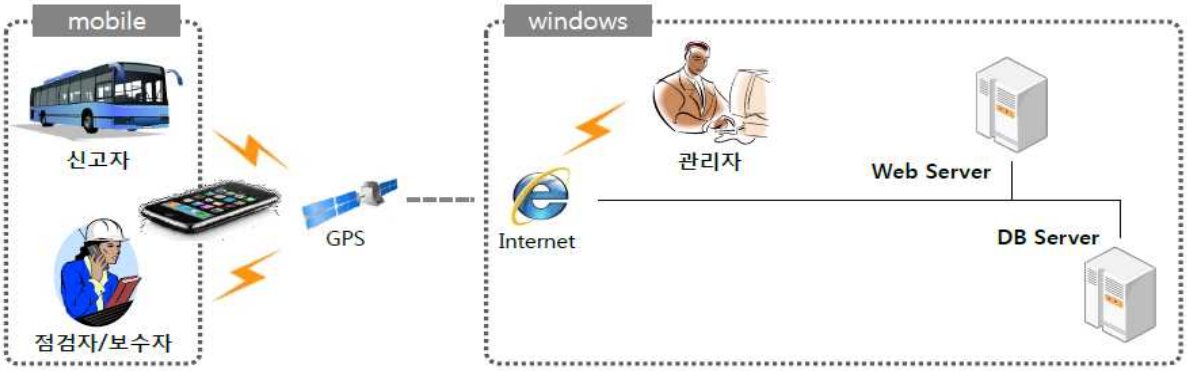


그림 3.295 포트홀 관리시스템 개요

최종 확정된 포트홀 관리 시스템의 구성은 그림 3.295와 같다. 모바일 앱 사용자는 포트홀 확인시 전용 모바일 앱으로 포트홀 정보를 전달하는 신고자와 신고된 포트홀의 진위여부 확인과 점검 및 보수완료 후 포트홀 정보를 전달하는 점검자 및 보수자가 된다. 그리고 사용자(신고자, 점검자, 보수자)를 관리하고, 포트홀 신고현황 및 점검/보수 현황을 관리하는 관리자가 필요하다. 그림 3.295의 웹서버(Web Server)의 기능은 전체 사용자(신고자, 점검자, 보수자)와 관리자 또는 디비서버(Database Server)에 정보를 전달하는 역할을 하고, 디비서버는 웹서버로부터 전달받은 데이터를 저장하는 역할을 한다.

통신환경은 관리시스템의 경우 윈도우즈(Windows) 기반의 웹서버와 디비서버로 운영되고, 모바일앱은 모바일 기반의 통신 및 GPS 환경을 바탕으로 한다. 다음 그림 3.296은 데이터 흐름도를 나타낸다.

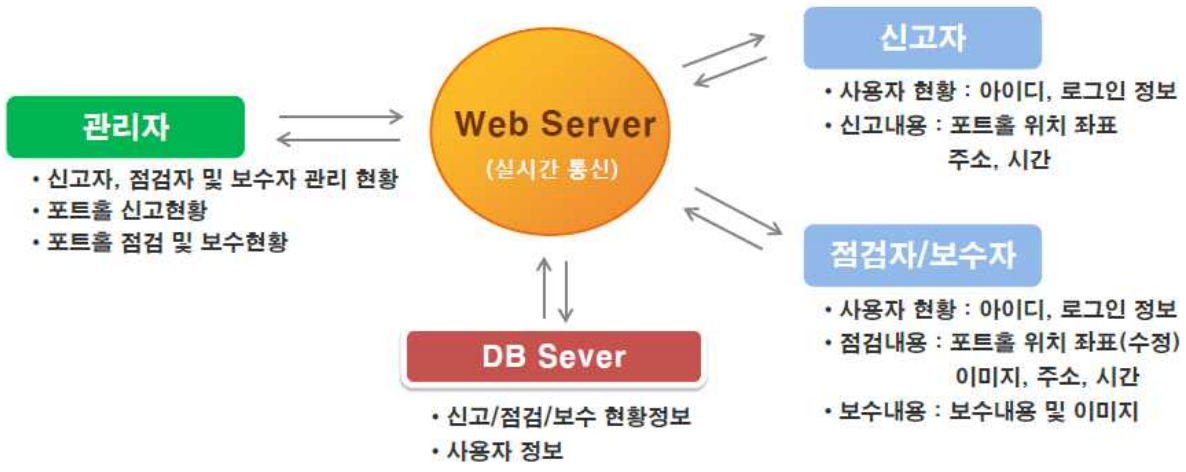


그림 3.296 데이터 흐름도

① 웹기반 서버시스템 개발

포트홀 관리 시스템의 웹기반 서버시스템 개발 환경은 다음과 같다.

- 개발 환경

- Windows 7 Professional K
- IIS 7 웹서버(포트80)
- IIS 7 FTP 서버(포트21)
- MS SQL Server 2008
- .Net Framework 3.5 이상

- 웹서버 사용을 위한 필요요건

- Windows XP Home 또는 Professional(Service Pack 3) 이상
- Internet Explorer 10, Chrome 인터넷 브라우저
- 컴퓨터 모니터 해상도 1024 x 768 이상 설정

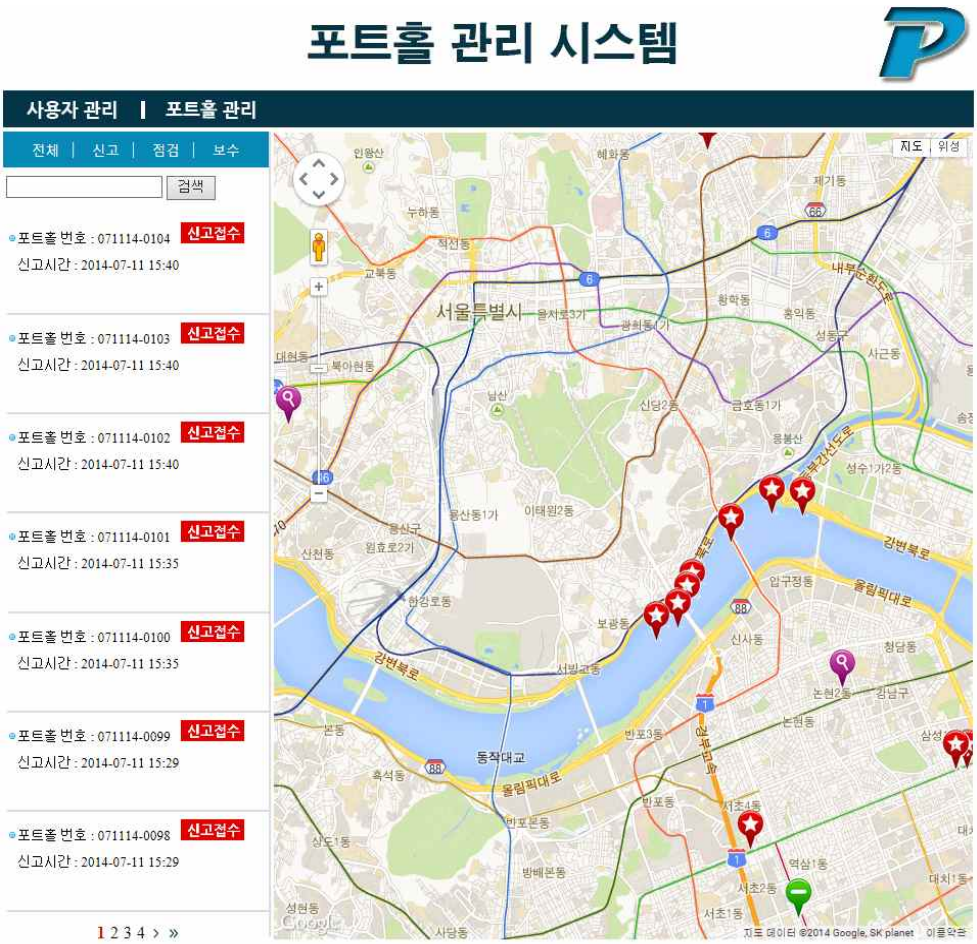


그림 3.297 웹서버 화면구성

그림 3.297은 웹서버의 화면구성을 나타낸 것으로 시스템을 구성하는 메인메뉴인 메뉴창은 사용자 관리와 포트홀 관리로 이루어져 있으며, 각 메뉴의 선택에 따른 상세현황창과 메인창으로 화면이 전환된다. 왼쪽에 위치한 상세현황창은 각 메뉴별 현황리스트를 조회 가능하고, 현황별 상세내용을 관리할 수 있다. 그리고 메인창의 지도 위치정보와 연계하여 관리자가 모바일 앱 사용자 별 화면을 확인할 수 있다. 지도가 표시되는 메인창은 포트홀 전체 현황을 조회하고 관리하며 신고접수, 점검 및 보수완료 선택시 추가적인 창이 나타나 상세내용을 확인할 수 있다.



그림 3.298 웹서버 메뉴 구성

그림 3.298은 웹서버의 메뉴구조를 나타낸다. 시스템은 크게 사용자 관리와 포트홀 현황 관리로 나누어진다. 사용자관리는 신고자, 점검자, 보수자를 신규 등록하고 사용자 정보 조회 및 수정이 가능하다. 포트홀현황 관리 메뉴는 접수된 포트홀 신고를 신고자 별로 관리하고, 점검 및 보수 위치 확인 및 포트홀 보수 전/후 사진을 관리할 수 있다.

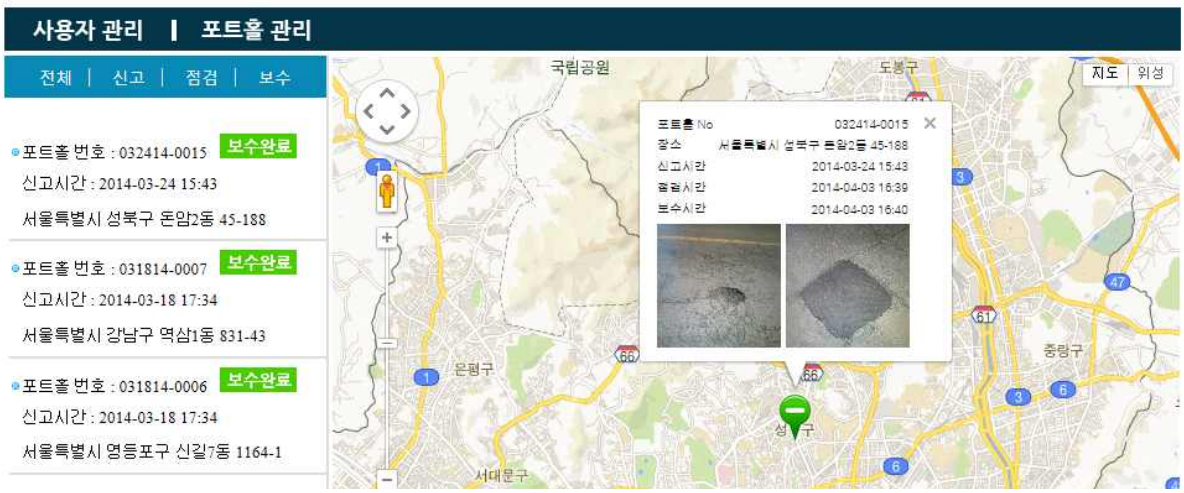


그림 3.299 보수완료 된 지점의 관리창

그림 3.299 보수가 완료된 지점을 관리하는 화면이다. 메인창을 통해 포트홀 신고접수 현황, 점검완료 및 보수완료 현황이 조회 가능하며, 각 위치 선택 시 상세내용을 추가적인 팝업창을 통해 확인 가능하도록 하였다.

㉮ 포트홀 관리시스템 웹페이지 주요기능 소개 (매뉴얼)



그림 3.300 포트홀 관리시스템 접속화면

▷ 포트홀을 관리하는 웹 화면으로 관리자는 시스템에 접속하기 위하여 로그인을 먼저 하게 된다.

① 현재 비밀번호를 입력하면 로그인이 된다.

② 비밀번호를 변경을 원할 경우 현재 비밀번호와 변경할 비밀번호를 입력후 로그인 하면 변경된 비밀번호가 저장된다.

③ 이후 다시 로그인할 때 변경된 비밀번호를 현재 비빌번호로 입력하고 로그인하면 포트홀 관리 페이지로 이동한다.

▷ 포트홀 관리” 화면 설명

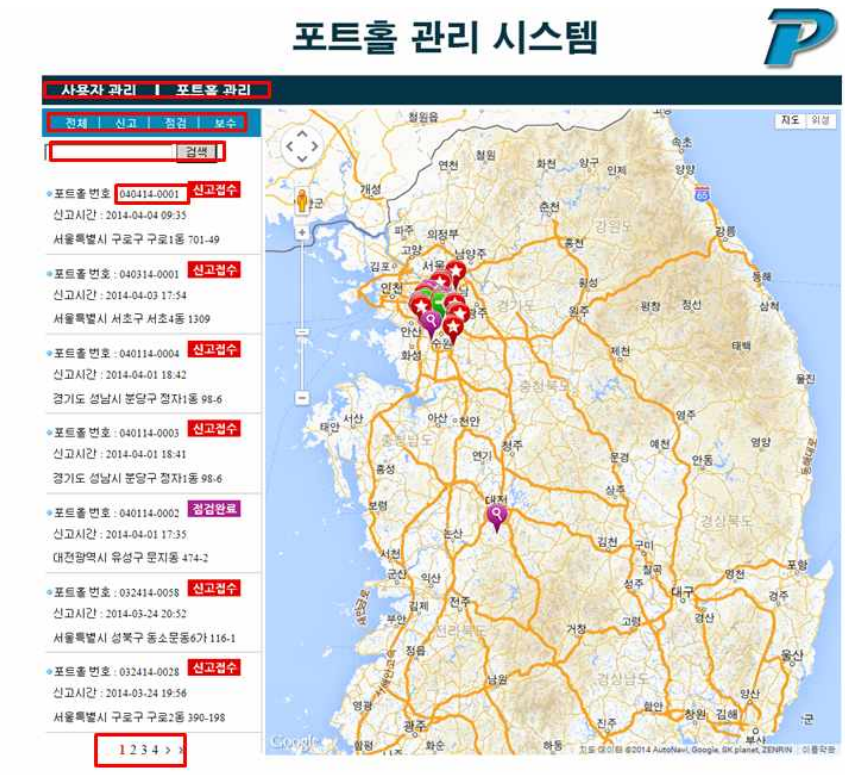


그림 3.301 포트홀 관리 화면 1

▷ 포트홀을 관리하는 웹 화면으로 포트홀 사용자(신고자, 점검자, 보수자)에 대한 아이디 등록 및 수정 기능을 위한 “사용자 관리”메뉴와 포트홀의 신고, 점검, 보수현황을 관리하는 “포트홀 관리” 메뉴로 구성되어있다.

▷ 포트홀 관리시스템 웹페이지에서는 사용자에 대한 등록 및 수정에 대한 권한을 가진다.

▷ 신고, 점검 및 보수된 포트홀의 현황을 확인할 수 있으며 조회 기능만을 부여한다.. 포트홀의 수정 및 삭제 기능은 각 권한을 부여받은 사용자가 모바일 애플리케이션에서 진행된다.

▷ 전체보기는 검색기능이 있어. 아이디를 입력하면 해당 사용자의 포트홀 작업 현황을 검색할 수 있다. 여기서 검색을 통해 “신고취소”, “신고접수”, “점검완료”, “보수완료”의 포트홀 정보를 조회할 수 있다.

▷ “포트홀 관리” 화면 설명



그림 3.302 포트홀 관리화면 2

① “포트홀 관리”는 포트홀관리시스템의 초기화면으로 웹페이지를 실행하면 보여지는 화면이다.

② 포트홀의 전체현황을 확인할 수 있고 신고, 점검, 보수를 구분하여 조회가 가능하다.

③ 좌측의 현황목록을 통하여 포트홀 정보를 조회할 수 있으며 목록의 “포트홀 번호”를 클릭하면 우측 지도화면에 해당하는 포트홀의 상세화면이 보여진다. 또한 우측 지도화면에서 조회하고자하는 포트홀 아이콘을 클릭하면 상세화면을 볼 수 있다.

④ 포트홀 상세화면에서 포트홀 상세정보의 확인과 저장된 이미지를 확인할 수 있으며, 이미지를 선택하면 확대된 이미지 페이지가 새로운 창으로 표시된다.

▷ “사용자관리” 화면 설명

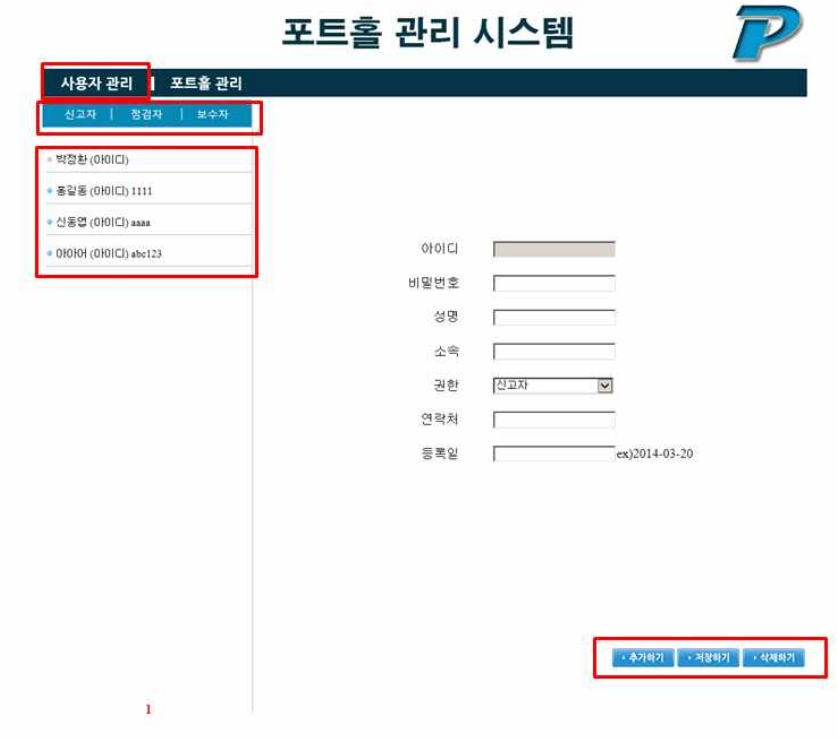


그림 3.303 사용자 관리 화면

① 사용자를 관리하는 웹 화면으로 사용자에 대한 정보의 추가, 삭제 및 조회가 가능하다.

② 좌측의 사용자 목록에서는 사용자 이름과 아이디를 표시된다. 신고자의 경우 아이디 요청이 있는 신고자일 경우 아이콘이 빨간색으로 표시가 된다.

③ “신고자”, “점검자”, “보수자”의 각 사용자별 등록 현황을 확인할 수 있고 신규 추가가 가능하다.

④ 관리항목은 다음과 같다.
- 아이디, 비밀번호, 성명, 소속, 권한, 연락처, 등록일

⑤ 모바일 애플리케이션에서 신고자의 아이디 요청에 대한 정보 확인후 아이디를 부여할 수 있다.

㉯ 포트홀 관리시스템 개발 소스

포트홀 소스 내용(관리자)			
Net	3.5	C#	3.5
기능	포트홀 신고 내역을 가져오는 부분		
소스내용			

CS

```
try
{
    totalCount = ds.Tables[0].Rows.Count;
}
catch (Exception ex)
{
    totalCount = 0;
}

int count = 0;
int mok = totalCount/pageSize;
int na = totalCount%pageSize;

if (na > 0)
    mok += 1;
int tempPage = Int32.Parse(strPage);
int startPage = tempPage / pageCount;
if ((tempPage % pageCount) == 0)
    startPage -= 1;
startPage = startPage * pageCount;
startPage += 1;
string strUrl = "pothole.aspx?report_state=" + strVal + "&page=" + strPage + "";
strHtmlPage = "";
if (tempPage > 1)
{
    strHtmlPage = "<a href='" + getPageURL(strVal, "1") + "'><img
src='img/img_btn_first.png' style='margin-left:5px;'/></a>";
    strHtmlPage += "<a href='" + getPageURL(strVal, tempPage - 1 + "") +
"'><img src='img/img_btn_previous.png' style='margin-left:5px;' /></a>";
}
```

포트홀 소스 내용(관리자)			
Net	3.5	C#	3.5
기능	포트홀 신고 내역을 화면에 표시한다		
소스내용			

Html

```
div >
                <table style="background-color:#0885B2;width:260px;">
                    <tr >
                        <td align="center" style="color:White;height:30px;">
                        <table>
                            <tr>
                                <td style="padding-left:10px;padding-right:5px;">
                                    <a href="pothole.aspx?report_state=a"
style="color:White;font-size:small;font-family:맑은 고딕;">전체</a>
                                </td>
                                <td style="padding-left:5px;padding-right:5px;">
                                    |
                                </td>
                                <td style="padding-left:10px;padding-right:5px;">
                                    <a href="pothole.aspx?report_state=0"
style="color:White;font-size:small;font-family:맑은 고딕;">신고</a>
                                </td>
                                <td style="padding-left:5px;padding-right:5px;">
                                    |
                                </td>
                                <td style="padding-left:10px;padding-right:5px;">
                                    <a href="pothole.aspx?report_state=1"
style="color:White;font-size:small;font-family:맑은 고딕;">점검</a>
                                </td>
                                <td style="padding-left:5px;padding-right:5px;">
                                    |
                                </td>
                                <td style="padding-left:10px;padding-right:10px;">
                                    <a href="pothole.aspx?report_state=2"
style="color:White;font-size:small;font-family:맑은 고딕;">보수</a>
                                </td>
                            </tr>
                        </table>
```

```
                        </td>
                    </tr>
                </table>
            </div>
            <div style="height:700px;margin-top:5px;">
                <table>
                    <tr style="vertical-align:top;">
                        <td style="text-align:left;">
                            <asp:Panel ID="Panel1" runat="server">
                                <asp:TextBox ID="textSearch"
runat="server"></asp:TextBox>
                                <asp:Button ID="btnSearch" runat="server"
Text="검색" />
                            </asp:Panel>
                        </td>
                    </tr>
                    <tr style="vertical-align:top;">
                        <td style="text-align:left;"><p>
                            <asp:DataList ID="DataList1" runat="server"
Width="260px" ShowFooter="False"
                                ShowHeader="False" >
                                <ItemTemplate>
                                    <p
style="font-size:small;vertical-align:middle;height:20px;margin-top:0px;"><img
src="img/icon2.png" style="margin-top:5px" />포트홀 번호 : <a
href="javascript:showMarker('<%# DataBinder.Eval(Container,
"DataItem.report_id")%>')"><%# DataBinder.Eval(Container,
"DataItem.report_id")%></a><img src='img/img_item_list_<%#
DataBinder.Eval(Container, "DataItem.report_state")%>.png'
style="height:20px;margin-left:10px;"/></p><p
style="font-size:small;margin-top:0px;">   신고시간 :
<asp:Label ID="Label2" runat="server"
                                        Text='<%# DataBinder.Eval(Container,
"DataItem.report_date") %>'
                                        style="text-align: left;"
></asp:Label></p><p style="font-size:small;margin-top:0px;border-bottom:solid
2px#D6D6D6;margin-bottom:5px;padding-bottom:8px;">   <asp:La
bel ID="Label1" runat="server"
```

포트홀 소스 내용(관리자)			
Net	3.5	C#	3.5
기능	포트홀 사용자를 가져오는 부분		
소스내용			

CS

```
textUserId.Enabled = true;
textUserId.ReadOnly = false;
string strSelect = "select user_id " +
", user_pw " +
", user_name " +
", user_group " +
", user_right " +
", user_date " +
", user_name +'  (아이디) ' +ISNULL(user_id,'') as user_nick " +
", user_tel " +
" FROM Report_User where user_tel='" + user_tel + "' order by user_id";

ds = dbHelper.getDataSetSelect(strSelect);

//GMarder
if (ds != null)
{
    if (!IsPostBack)
    {
        for (int i = 0; i < ds.Tables[0].Rows.Count; i++)
        {
            textUserPw.Text = ds.Tables[0].Rows[i]["user_pw"].ToString();

            //textUserPw.Attributes.Add("value", textUserPw.Text);

            textName.Text = ds.Tables[0].Rows[i]["user_name"].ToString();
            textGroup.Text = ds.Tables[0].Rows[i]["user_group"].ToString();
            ddRight.SelectedValue = ds.Tables[0].Rows[i]["user_right"].ToString();
            textDate.Text =
((DateTime)ds.Tables[0].Rows[i]["user_date"]).ToShortDateString();
```

포트홀 소스 내용(관리자)			
Net	3.5	C#	3.5
기능	포트홀 사용자를 화면에 표시한다		
소스내용			

Html

```
<div id="left">
        <div>
            <table style="background-color:#0885B2;width:260px;">
                <tr>
                    <td align="center" style="color:White;height:30px;">
                        <table>
                            <td
style="color:White;padding-left:10px;padding-right:5px;"><a
href="user.aspx?user_right=1" style="color:White;font-size:small;font-family:맑은
고딕;height:30px;" >신고자</a></td>
                            <td
style="color:White;padding-left:10px;padding-right:10px;">|</td>
                            <td
style="color:White;padding-left:10px;padding-right:10px;"><a
href="user.aspx?user_right=2" style="color:White;font-size:small;font-family:맑은
고딕;height:30px;">점검자</a></td>
                            <td
style="color:White;padding-left:10px;padding-right:10px;">|</td>
                            <td
style="color:White;padding-left:5px;padding-right:10px;"><a
href="user.aspx?user_right=3" style="color:White;font-size:small;font-family:맑은
고딕;height:30px;">보수자</a></td>
                        </table>
                    </td>
                </tr>
            </table>
        </div>
        <div style="height:700px;margin-top:5px;text-align:left;">
            <table>
                <tr style="vertical-align:top;">
                    <td><p>
                        <asp:DataList ID="DataList1" runat="server"
Width="260px" >
```

```
                                    <ItemTemplate>
                                        <p
style="font-size:small;vertical-align:top;height:20px;border-bottom:solid 2px
#D6D6D6;margin-left:0px;margin-bottom:5px;padding-bottom:5px;margin-top:5px;">
                                            <img src="<%#
DataBinder.Eval(Container, "DataItem.user_state")%>" style="margin-top:5px" />
                                            <asp:LinkButton  ID="lnkUser"
runat="server" onclick="lnkUser_Click" Text='<%# DataBinder.Eval(Container,
"DataItem.user_nick")%>' CommandArgument='<%# DataBinder.Eval(Container,
"DataItem.user_tel")%>'>
                                            </asp:LinkButton >
                                        </p>
                                        <!--<input type="hidden" onload="aabb('aa');"
/> -->
                                    </ItemTemplate>
                                </asp:DataList>
                                </p>
                            </td>
                        </tr>
                    </table>
                </div>
                <div style="vertical-align:middle;">
                    <table>
                        <tr style="margin-top:0px;">
                            <td align="center"
style="padding-top:10px;"><%=strHtmlPage%><!--<a href="">1 | 2 | 3 |
4</a>--></td>
                        </tr>
                    </table>
                </div>
            </div>
            <div id="content">
                <table width="691px" style="height:765px" >
                    <tr>
                        <td align="center" >
                            <table style="height:300px;">
                                <tr>
                                    <td class="style2">아이디</td><td
class="style1"><asp:TextBox ID="textUserId"
```

```
                                        runat="server" ReadOnly="true"
Enabled="False"></asp:TextBox></td>
                                    </tr>
                                    <tr style="margin-top:10px;">
                                        <td class="style2">비밀번호</td><td
class="style1"><asp:TextBox ID="textUserPw"
runat="server"></asp:TextBox></td>
                                    </tr>
                                    <tr style="margin-top:10px;">
                                        <td class="style2">성명</td><td
class="style1"><asp:TextBox ID="textName" runat="server"></asp:TextBox></td>
                                    </tr>
                                    <tr>
                                        <td class="style2">소속</td><td
class="style1"><asp:TextBox ID="textGroup" runat="server"></asp:TextBox></td>
                                    </tr>
                                    <tr>
                                        <td class="style2">권한</td><td
class="style1"><asp:DropDownList ID="ddRight" runat="server"
Width="150px"></asp:DropDownList></td>
                                    </tr>
                                    <tr>
                                        <td class="style2">연락처</td><td
class="style1"><asp:TextBox ID="texttel" runat="server"></asp:TextBox></td>
                                    </tr>
                                    <tr>
                                        <td class="style2">등록일</td><td
class="style1"><asp:TextBox ID="textDate"
runat="server"></asp:TextBox>ex)2014-03-20</td>
                                    </tr>
                                </table>
                            </td>
                        </tr>
                        <tr>
                            <td align="right">
                                <table>
                                    <tr>
                                        <td><p><asp:ImageButton ID="btnAdd"
runat="server" ImageUrl="img/img_btn_add.png" /></p></td>
```

② 모바일 앱 개발

포트홀 관리 시스템의 모바일 앱 개발 환경은 다음과 같다.

- 개발 환경

- Windows 7 Home Premium K
- Android Developer Tool v22.3.0
- Visual Studio 2008
- MS SQL Server 2008
- Internet Explorer 10
- 앱 개발 언어 : JAVA
- 웹 페이지 개발언어 : HTML, ASP.NET(C#)

- 모바일 앱 사용을 위한 필요요건

- Android ICS 4.0 이상 모바일 운영체제
- 720 x 1280 이상 해상도 모바일폰

◎ GPS 활성화

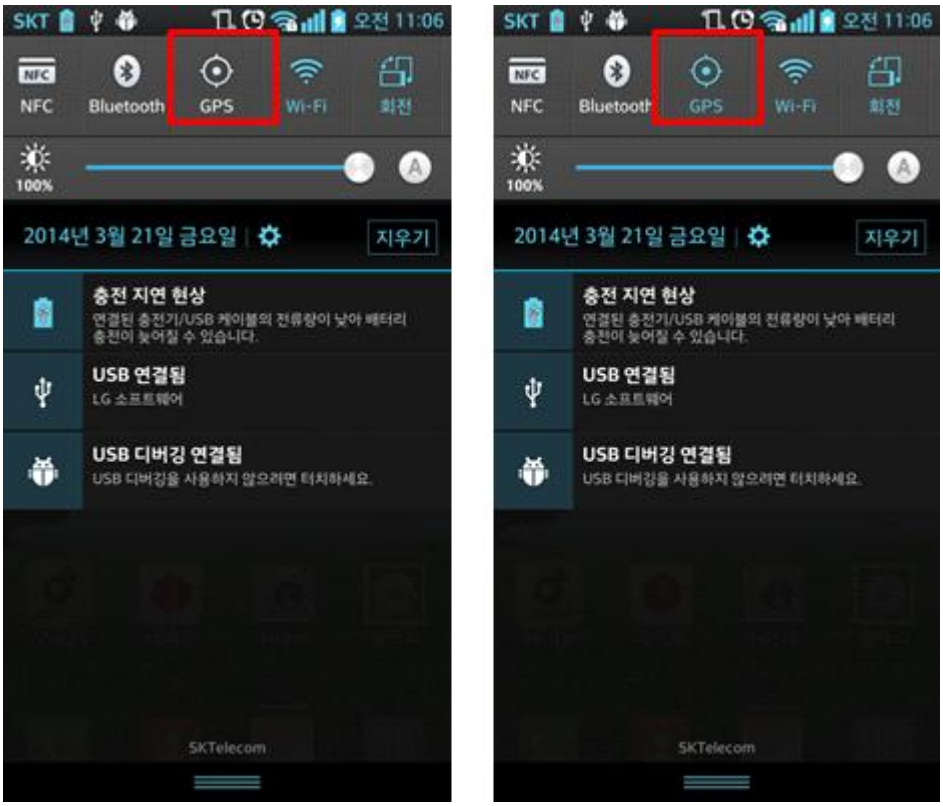


그림 3.304 GPS 활성화 화면

▷ 본 화면은 실행전 GPS 활성화를 위한 화면이다.

① 모바일폰의 환경설정 페이지를 화면과 같이 선택하여 활성화한다.

※ 사용자의 단말기마다 화면 형식이 다를 수도 있다.

② “GPS” 버튼을 선택하여 위치정보를 얻을 수 있도록 GPS를 활성화 시킨다.

③ “GPS” 가 활성화 되어 있어야만 앱이 정상적으로 실행된다.

◎ 어플리케이션 설치전 보안 셋팅



그림 3.305 보안 셋팅 화면

▷ 본 화면은 앱 설치전 보안 설정 화면이다.

① 환경설정-보안을 선택하면 보안 화면이 나타난다.

② 보안 화면에서 “알 수 없는 소스”를 선택한다.

③ 설정화면에서 "항상 묻기" 또는 "허용함"으로 선택한다. "허용하지 않음"을 선택할 경우 앱(이하, “포트홀”)은 설치가 되지 않는다.

◎ 포트홀 사용자 권한

▷ 포트홀의 사용자는 “신고자”, “점검자”, “보수자”로 구분하여 각각의 아이디를 부여받아 사용한다.

▷ 사용자별 권한은 다음과 같다.

표 3.113 사용자 별 권한

구분	신 고 자	점 검 자	보 수 자
초기 화면	포트홀 신고	1.조회 : 신고접수/점검완료 지도 조회 2.수정 : 신고 포트홀 위치 수정 가능 3.상세화면 이동 점검-점검상세화면 이동 삭제-신고/점검 삭제(주1)	1.조회 : 점검완료/보수완료 지도 조회 2.상세화면 이동 보수-보수상세화면 이동 삭제-보수내용 삭제(주2)
목록 화면	1.조회 : 신고접수/점검완료 2.수정 : 본인의 신고 내용만 삭제 가능	1.조회 : 신고접수/점검완료 2.수정 : 신고접수/점검완료 삭제 가능(주1)	1.조회 : 점검완료/보수완료 2.수정 : 보수완료 삭제 가능(주2)
상세 화면	-	1.조회 : 점검완료 내용 조회 2.저장 : 이미지 저장(촬영, 이미지) 3.이미지 조회 : 클릭시 확대	1.조회 : 보수완료 내용 조회 2.저장 : 이미지 저장(촬영, 이미지) 3.이미지 조회 : 클릭시 확대
관리 화면	사용자 관리(암호, 비밀번호의 사용자 정보 저장)		

주1) - 점검자 자신이 점검한 점검완료 내용만 삭제 가능하며 삭제시 신고접수 상태로 전환
- 모든 신고내용에 대한 삭제 권한이 있으며 삭제시 신고접수 완전 삭제

주2) - 보수자 자신이 보수한 보수완료 내용만 삭제 가능하며 삭제시 점검완료 상태로 전환

◎ 포트홀 사용자 설정 화면

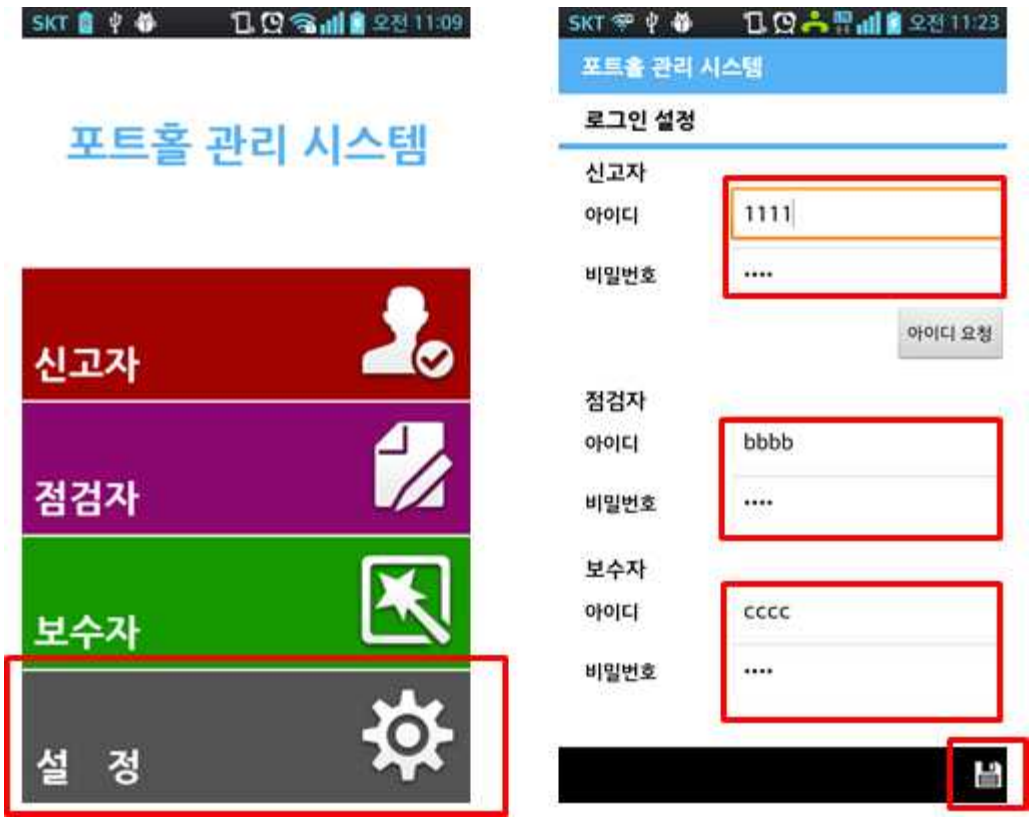


그림 3.306 사용자 설정 화면

▷ 포트홀 사용자는 애플리케이션의 사용전에 “신고자”, “점검자”, “보수자”의 권한을 부여받은 아이디로 로그인 설정을 하여야 한다. 부여받은 권한에 따라 포트홀 사용자별 권한에 제한이 있다.

① 메인화면에서 “설정” 버튼을 선택하면 “로그인을 설정” 화면으로 이동한다.

② “신고자”, “점검자”, “보수자” 각 사용자에게 부여된 “아이디”와 “비밀번호”를 입력한다.

③ 저장 아이콘을 선택하고 모바일폰의 뒤로가기(취소) 버튼을 선택하여 포트홀 메뉴 화면으로 이동한다.

◎ 포트홀 신고자 아이디요청 화면

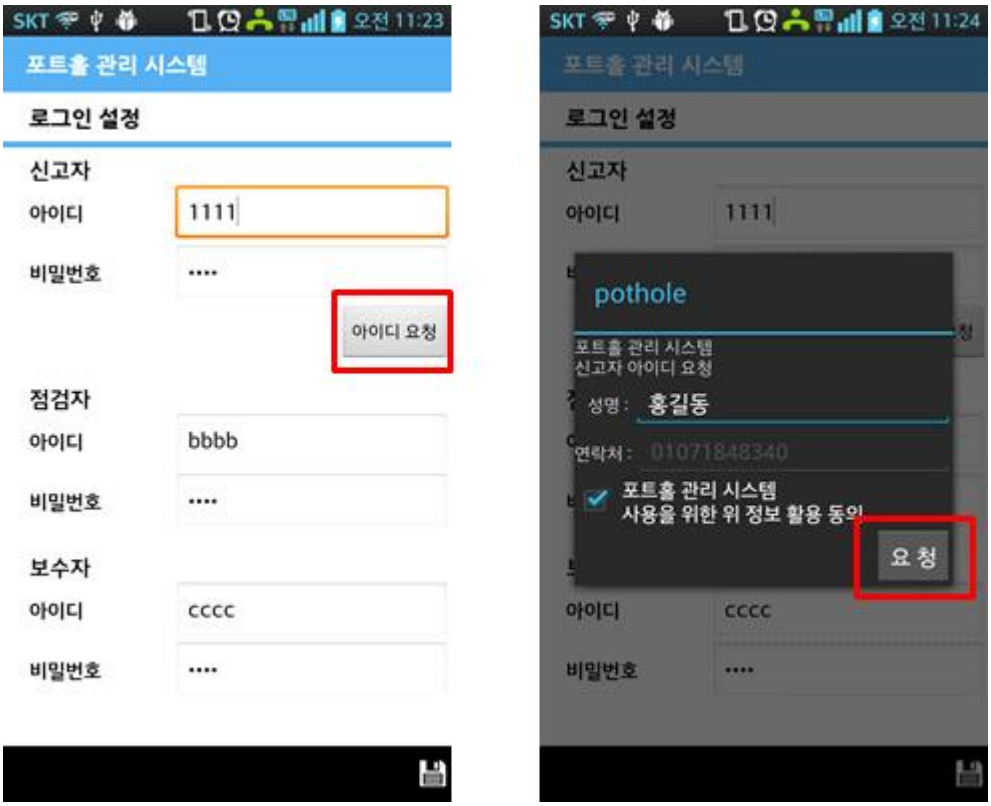


그림 3.307 신고자 아이디 요청 화면

▷ 포트홀 신고자는 아이디 요청을 하여 아이디를 추가를 할 수 있다. 아이디 요청에 의해 웹관리자가 아이디 요청을 확인하고 아이디와 패스워드를 부여한다. 연락처는 신고자의 연락처로 자동 표시되며 같은 연락처로 두 번 요청 할 수는 없다.

① 신고자는 아이디가 없을 경우 “아이디요청” 버튼을 선택한다.

② 아이디 요청 화면에서 이름을 입력하고 요청 버튼을 누르면 아이디 추가 요청을 하게 되면서 화면은 자동으로 사라진다.

③ 웹관리자가 아이디 요청내용 확인후 신고자 아이디 생성하면 신고자는 부여받은 아이디로 로그인하여 사용할 수 있다.

◎ 포트홀 신고 초기화면



그림 3.308 포트홀 신고 초기화면

▷ “신고자”가 포트홀 발견시 신고할 수 있는 화면이다.

① 메인화면에서 “신고자” 버튼을 선택하면 신고자 초기화면으로 이동한다.

② 시간은 현재 시간을 나타내며 위치는 현재 위치의 위도, 경도 좌표이다. 그리고 좌표를 얻어 온 값을 이용해 현 위치의 주소를 표시한다.

③ “포트홀 신고” 버튼을 선택하여 현재 시간, 위치, 주소, 신고자 등 자료가 데이터베이스에 전송되어 포트홀 신고가 완료된다.

◎ 포트홀 신고현황 목록화면



그림 3.309 신고현황 목록화면

▷ 신고자가 포트홀의 신고내용을 확인 하고 삭제 할 수 있는 “신고현황” 화면이다.

① 신고자 초기화면에서 현황 이아콘을 선택하면 “신고현황” 목록화면으로 이동한다.

② “신고현황”에서는 본인이 신고한 내용만 확인 가능하며, 신고후 점검완료가 이루어진 신고현황은 “점검완료” 항목으로 표시된다.

③ 신고 오류가 있을 경우 해당 신고현황의 체크 박스 체크후 삭제 아이콘을 선택하여 삭제 할 수 있다. 이미 점검 완료한 포트홀에 대해서는 삭제가 불가능하다.

◎ 포트홀 신고 사용자 상세정보



그림 3.310 신고자 상세정보

▷ 신고자의 정보를 확인 할 수 있는 화면이다.

① 신고자 초기화면에서 사용자 아이콘을 선택하면 사용자 상세정보화면이 표시된다.

② 신고자 “아이디”, “이름”, “소속”, “등록일”에 대한 정보를 확인할 수 있다.

◎ 포트홀 점검자 초기화면

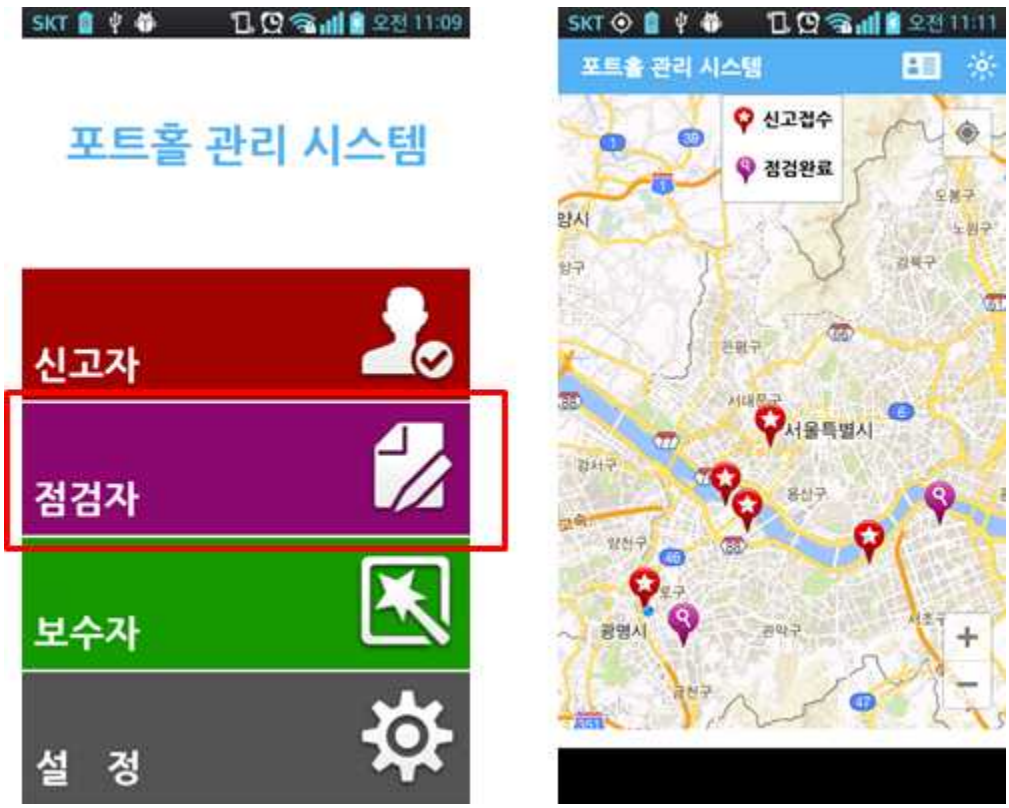


그림 3.311 점검자 초기화면

▷ 신고된 포트홀의 확인과 위치수정 및 이미지 전송의 권한을 부여받은 점검자 초기화면이다. 점검자는 “신고접수” 상태인 포트홀과 “점검완료”된 포트홀을 지도에서 확인할 수 있으며, 신고된 포트홀은 위치 확인후 이미지를 전송하여야 점검이 완료된다.

① 메인화면에서 “점검자”를 선택하면 포트홀 점검 초기화면으로 이동한다.

② “신고접수” 상태는 빨간색으로, “점검완료” 상태는 보라색으로 표시가 된다.

③ 지도는 확대, 축소 등의 모바일폰 기본 기능을 사용하여 신고된 포트홀의 위치를 확인할 수 있으며, 포트홀 신고위치의 수정이 필요한 경우 해당 신고 아이콘을 길게 누른 상태에서 원하는 위치로 변경할 수 있다.

◎ 포트홀 점검 상세화면 이동

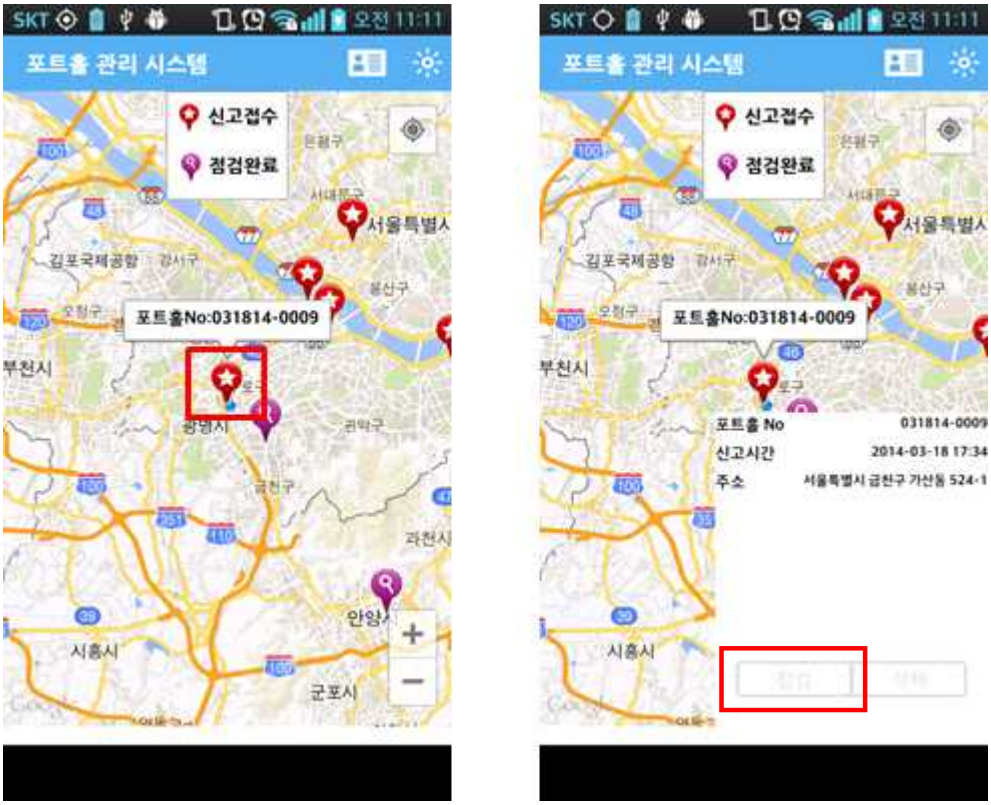


그림 3.312 점검자 상세화면 1

▷ 신고된 포트홀의 위치를 최종 확정하고 포트홀 점검을 수행한다.

① “신고접수” 상태의 아이콘 선택시 우측 하단에 포트홀 상세화면이 표시되며, “포트홀 No”, "신고시간", "주소"의 정보를 확인할 수 있다.

② “점검” 아이콘을 선택하여 포트홀 사진정보를 전송할 수 있는 화면으로 전환한다.

◎ 포트홀 점검 상세화면

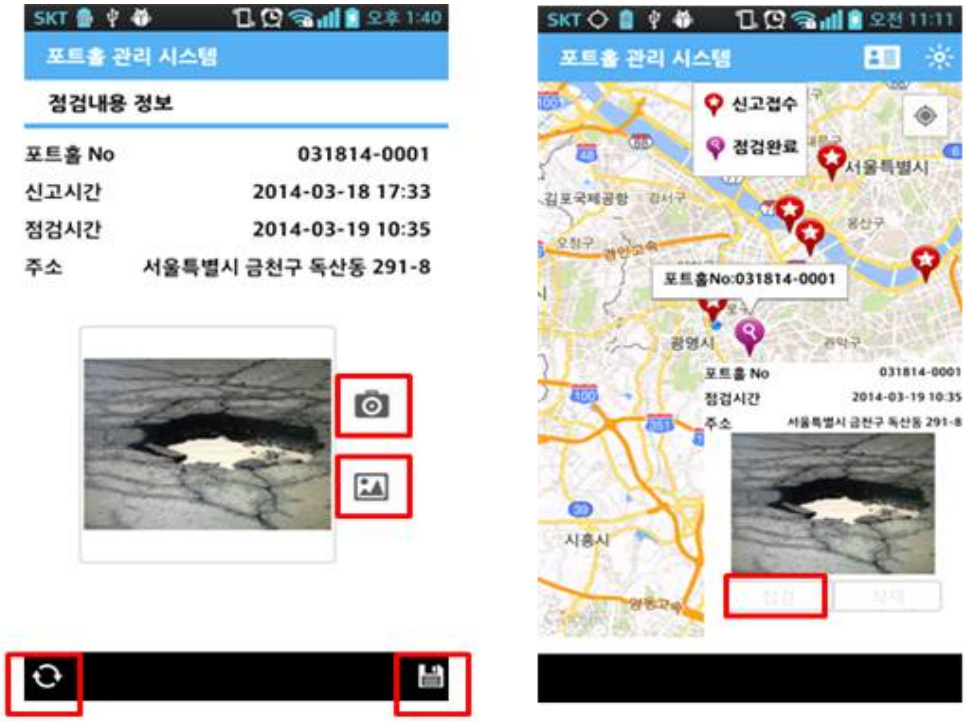


그림 3.313 점검자 상세화면 2

▷ 포트홀 점검을 실행 하는 화면으로 신고된 포트홀의 현장 확인후 사진촬영 또는 기 촬영된 포트홀 이미지를 저장하여 점검을 완료한다.

① “점검내용 정보”에 표시되는 신고현황을 확인하고, 새로고침 아이콘을 선택하여 현재의 “점검시간”으로 갱신한 후 이미지를 저장한다.

② 이미지 저장방법은 카메라 아이콘 선택후 모바일폰의 사진촬영 기능을 활용하여 저장할 수 있고 미리 촬영한 이미지를 저장할 경우는 이미지 아이콘을 선택하여 해당 파일을 선택할 수 있다.

③ 저장 아이콘을 선택하여 이미지를 저장하고 데이터베이스에 전송한다. 이미지 수정은 신규 입력 방법과 동일하게 진행된다.

④ 점검 초기화면으로 이동하면 “신고접수” 아이콘은 “점검완료” 아이콘으로 변경되고 “점검완료” 아이콘 선택시 점검정보를 확인할 수 있다.

◎ 포트홀 점검 상세화면 조회

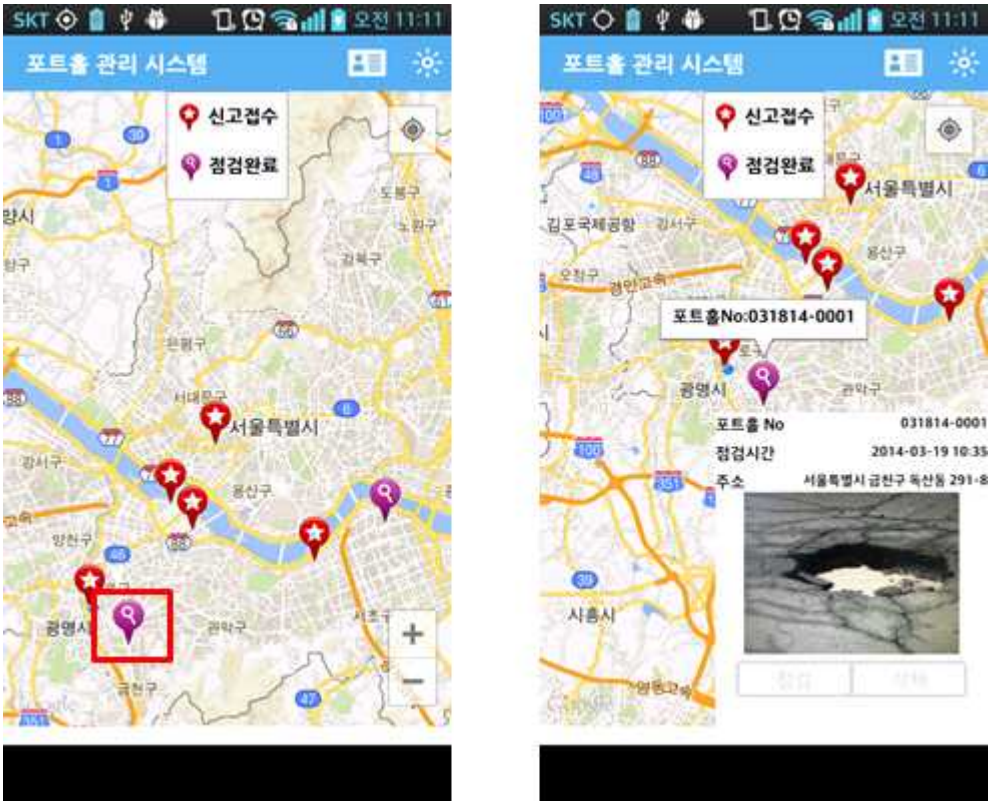


그림 3.314 점검자 상세화면 3

▷ 점검이 완료된 포트홀의 점검현황을 조회하는 과정이다.

① 확인하고자 하는 포트홀 점검내용의 보라색 아이콘을 선택한다.

② 보라색 아이콘을 선택하면 아이콘 위로 포트홀 번호가 나타나면서 포트홀 점검내용을 확인할 수 있다.

③ 점검사진 및 현황의 상세내용 확인을 위해 “점검”을 선택하면 “점검내용 정보” 화면으로 이동한다.

▷ 점검 상세화면은 다음과 같이 표시된다.



그림 3.315 점검자 상세화면 4

① 기 저장된 점검내용을 표시한다. “포트홀 No”, ″신고시간”, “점검시간”, “주소”와 저장된 이미지가 보이며 해당 이미지를 선택하면 우측의 확대된 이미지를 표시한다.

② 모바일폰의 뒤로가기 버튼을 선택하여 이전화면 또는 메인화면으로 이동할 수 있다.

◎ 포트홀 “신고접수” 및 “점검완료” 삭제

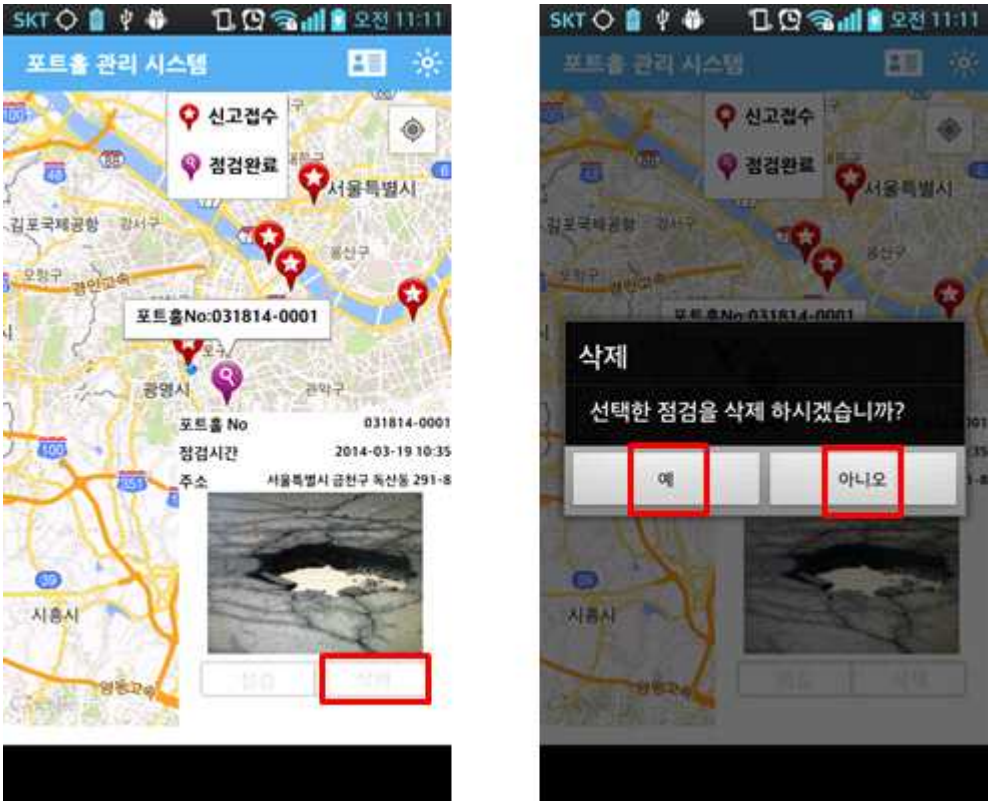


그림 3.316 점검자 상세화면 5

▷ 포트홀 “신고접수” 및 “점검완료”의 내용을 삭제 하는 화면이다.

① “신고접수” 또는 “점검완료” 아이콘을 선택하여 나타나는 팝업 화면의 “삭제” 버튼을 선택하면 삭제 안내메시지가 나타난다.

② “점검완료” 상태에서 삭제하면 점검정보는 삭제되고 “신고접수” 상태로 전환되고 “신고접수” 상태에서 삭제하면 신고된 포트홀 정보는 삭제된다.

③ “점검완료” 상태에서 삭제는 점검자 본인이 점검한 포트홀에 대해서만 권한을 가지며, 다른 점검자가 저장한 포트홀 점검내용은 수정 할 수 권한이 없다. “신고접수” 상태에서의 삭제는 모든 점검자가 삭제할 수 있다.

◎ 포트홀 점검현황 목록화면



그림 3.317 점검 목록 화면

▷ 점검자가 포트홀의 신고현황 및 점검현황을 목록으로 확인하고 삭제 할 수 있는 화면이다.

① 점검 초기화면에서 “현황” 아이콘을 선택하면 “점검현황” 목록화면으로 이동한다.

② 체크박스에 체크를 하면 점검자가 삭제하고자하는 “점검완료”와 “신고접수”를 선택 할 수 있다. 점검자 본인이 점검한 포트홀의 내용만 선택할 수 있다.

③ 체크박스를 선택하고 삭제 아이콘을 선택하면 “신고접수”는 삭제되고 “점검완료”는 삭제가 되면서 “신고접수” 상태로 전환하게 된다.

④ 새로고침 버튼을 누르면 리스트를 다시 가져 올 수 있다.

◎ 포트홀 점검 사용자 상세정보

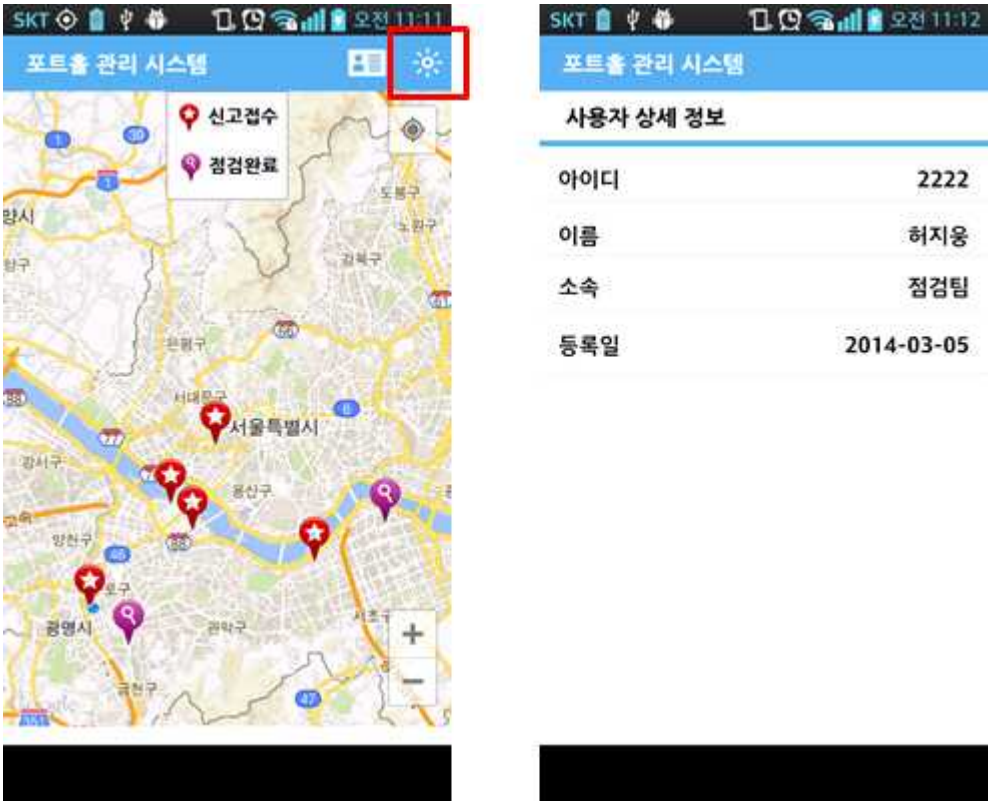


그림 3.318 점검자 상세정보

▷ 점검자의 정보를 확인 할 수 있는 화면이다.

① 점검자 초기화면에서 사용자 아이콘을 선택하면 사용자 상세정보화면이 표시된다.

② 점검자 “아이디”, “이름”, “소속”, “등록일”에 대한 정보를 확인할 수 있다.

◎ 포트홀 보수자 초기화면

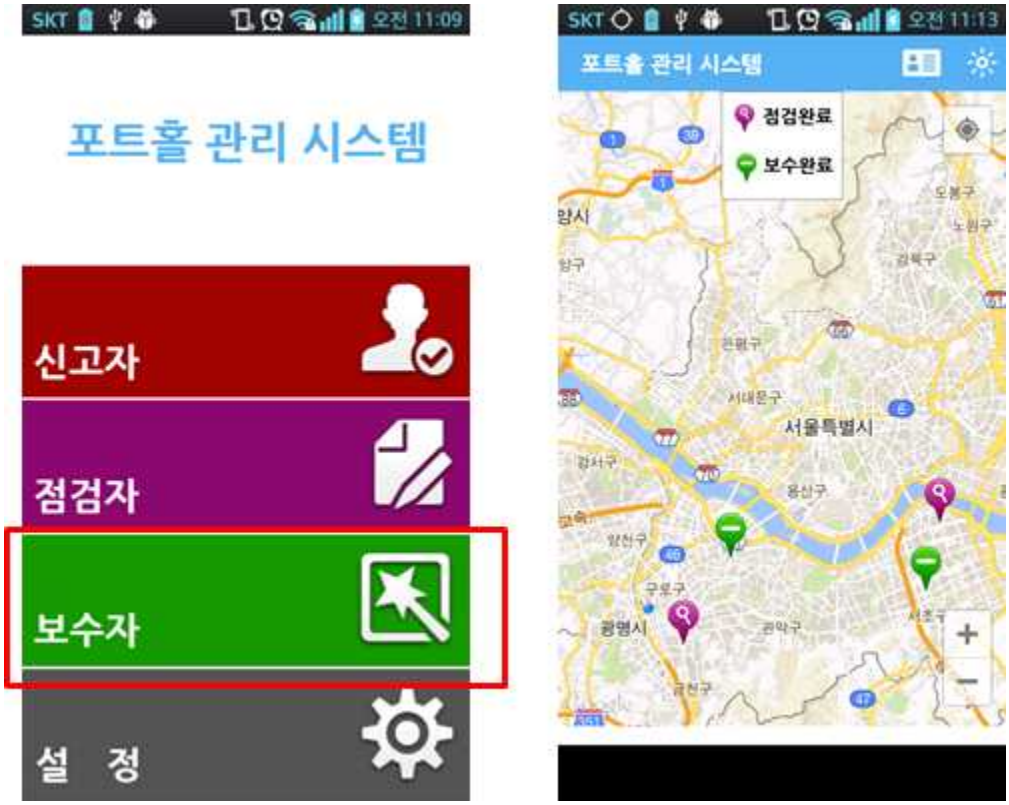


그림 3.319 보수자 초기화면

▷ 점검 완료된 포트홀과 보수 완료된 포트홀의 현황을 조회할 수 있는 화면으로 보수자는 “점검완료” 상태인 포트홀과 “보수완료” 상태의 포트홀을 확인할 수 있다. 점검이 이루어진 포트홀에 대한 보수를 완료하고 보수 이미지를 전송하여야 보수가 완료된다.

① 메인화면에서 “보수자”를 선택하면 포트홀 보수 초기화면으로 이동한다.

② “점검완료” 상태는 보라색으로, “보수완료” 상태는 녹색으로 표시가 된다.

③ 지도는 확대, 축소 등의 모바일폰 기본 기능을 사용하여 포트홀의 위치를 확인할 수 있다.

◎ 포트홀 보수 상세화면 이동

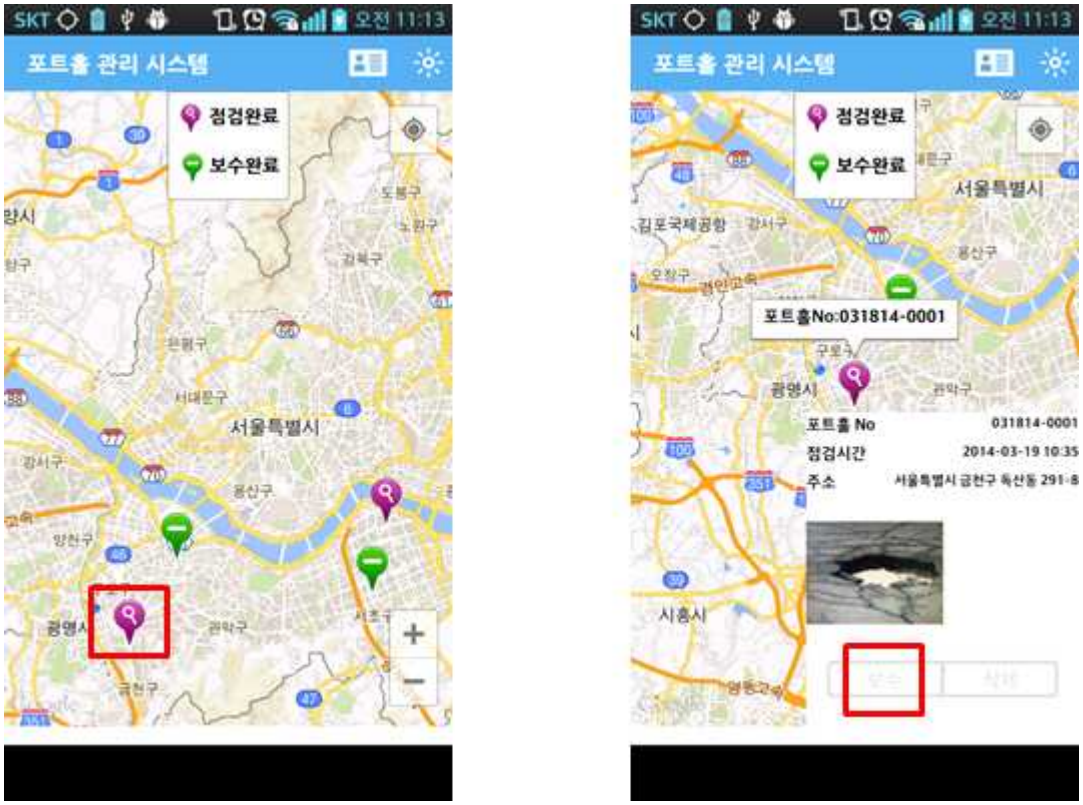


그림 3.320 보수자 상세화면 1

▷ 포트홀 점검현황을 확인하고 포트홀 보수작업을 완료합니다. 보수이후 보수결과를 반영한다.

① “점검완료” 상태의 아이콘 선택시 우측 하단에 포트홀 상세화면이 표시된다. “포트홀 No”, "점검시간", "주소"의 정보를 확인할 수 있다. 또한 보수전 포트홀의 이미지를 확인할 수 있다.

② “보수” 아이콘을 선택하여 포트홀 사진정보를 전송할 수 있는 상세화면으로 전환한다.

◎ 포트홀 보수 상세화면



그림 3.321 보수자 상세화면 2

▷ 포트홀 보수를 실행 하는 화면입니다. 점검 완료된 포트홀의 현황 확인후 보수작업을 완료하고 보수된 포트홀 이미지를 저장하여 보수를 완료한다.

① “보수내용 정보”에 표시되는 보수현황을 확인하고, 새로고침 아이콘을 선택하여 현재의 “보수시간”으로 갱신한 후 이미지를 저장한다.

② “보수후” 이미지 저장방법은 카메라 아이콘 선택후 모바일폰의 사진촬영 기능을 활용하여 저장할 수 있고 미리 촬영한 이미지를 저장할 경우는 이미지 아이콘을 선택하여 해당 파일을 선택할 수 있다.

③ 저장 아이콘을 선택하여 이미지를 저장하고 데이터베이스에 전송한다. 이미지 수정은 신규 입력 방법과 동일하게 진행한다.

④ 보수 초기화면으로 이동하면 “점검완료” 아이콘은 “보수완료” 아이콘으로 변경되고 “보수완료” 아이콘 선택시 보수정보를 확인할 수 있다.

◎ 포트홀 보수 상세화면 조회

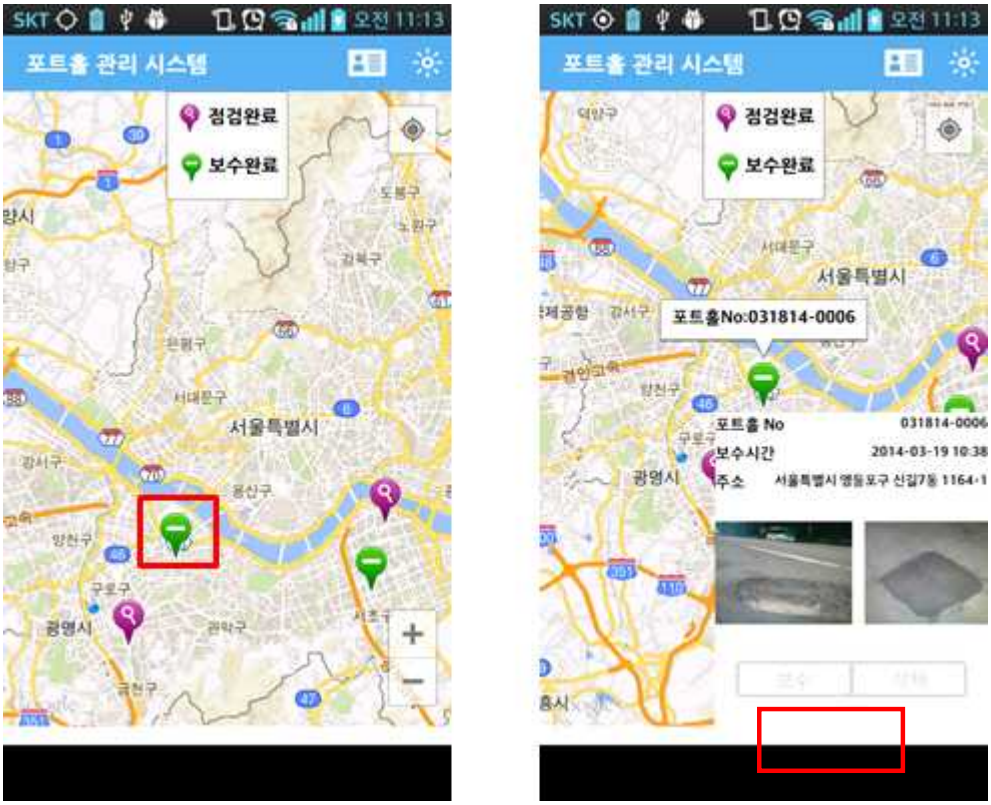


그림 3.322 보수자 상세화면 3

▷ 보수가 완료된 포트홀의 상세화면을 조회하기 위한 과정이다.

① 확인하고자 하는 포트홀의 녹색 아이콘을 선택한다.

② 녹색 아이콘을 선택하면 아이콘 위로 포트홀 번호가 나타나면서 포트홀 보수내용을 확인할 수 있다.

③ 보수사진 및 현황의 상세내용 확인을 위해 “보수”를 선택하면 “보수내용 정보” 화면으로 이동한다.

▷ 보수 상세화면은 다음과 같이 표시된다.



그림 3.323 보수자 상세화면 4

① 기 저장된 보수내용을 표시한다. “포트홀 No”, ″신고시간”, “점검시간”, “보수시간”, “주소”와 보수이전의 저장된 이미지와 보수이후 저장된 이미지가 나타난다. 해당 이미지를 선택하면 우측의 확대된 이미지를 표시한다.

② 모바일폰의 뒤로가기 버튼을 선택하여 이전화면 또는 메인화면으로 이동할 수 있다.

◎ 포트홀 “보수완료” 삭제

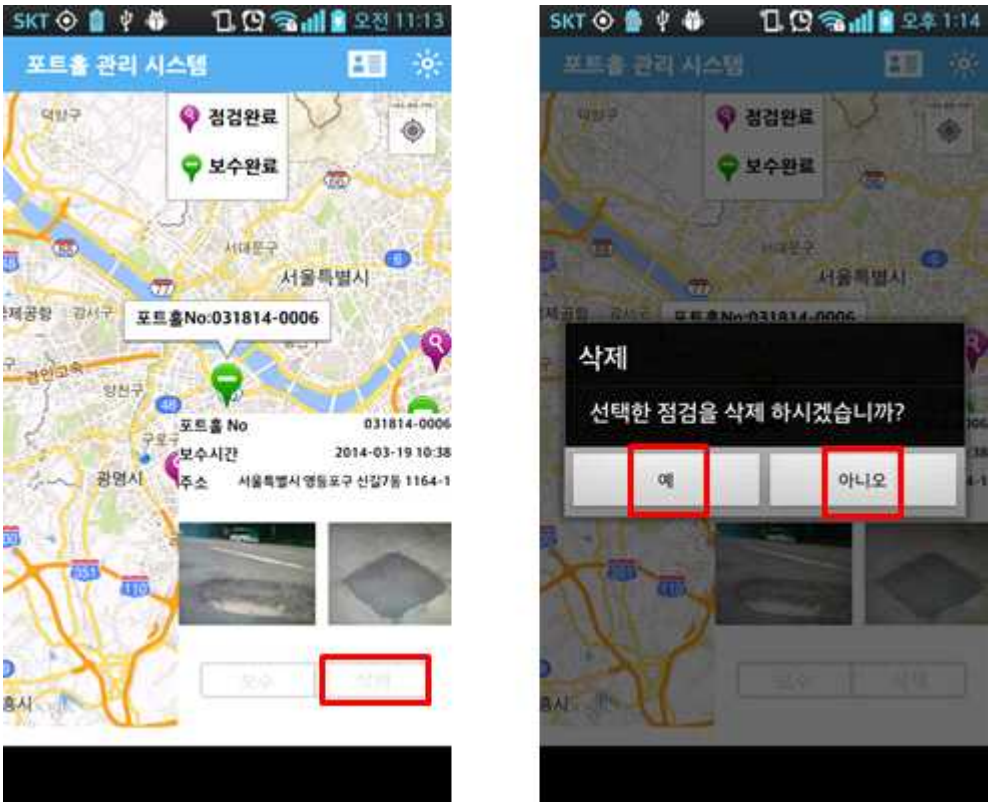


그림 3.324 보수자 상세화면 5

▷ 포트홀 “보수완료”의 내용을 삭제 하는 화면이다.

① “보수완료” 아이콘을 선택하여 나타나는 팝업 화면의 “삭제” 버튼을 선택하면 삭제 안내메시지가 나타난다.

② “보수완료” 상태에서 삭제하면 보수정보는 삭제되고 “점검완료” 상태로 전환된다. 보수자는 “점검완료” 상태에서 삭제는 불가능하다. “점검완료” 상태에서의 삭제는 점검자의 권한이다.

③ “보수완료” 상태에서 삭제는 보수자 본인이 보수한 포트홀에 대해서만 권한을 가지며, 다른 보수자가 저장한 포트홀의 보수내용은 수정 할 수 권한이 없다.

◎ 포트홀 보수현황 목록화면

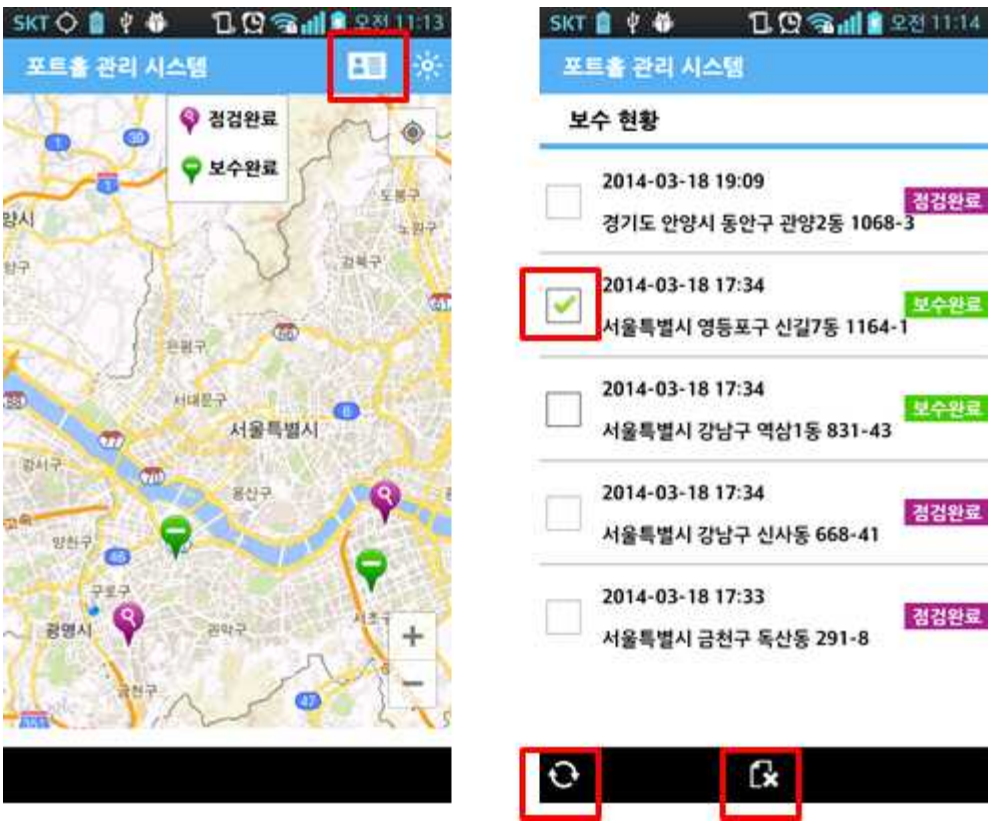


그림 3.325 보수현황 목록

▷ 보수자가 포트홀의 점검현황 및 보수현황을 목록으로 확인하고 삭제 할 수 있는 화면이다.

① 보수 초기화면에서 “현황” 아이콘을 선택하면 “보수현황” 목록화면으로 이동한다.

② 체크박스에 체크를 하면 보수자가 삭제하고자 하는 “보수완료”를 선택 할 수 있다. 보수자 본인이 보수한 포트홀의 내용만 선택할 수 있다.

③ 체크박스를 선택하고 삭제 아이콘을 선택하면 “보수완료”는 삭제되고 “점검완료” 상태로 전환된다.

④ 새로고침 버튼을 누르면 리스트를 다시 가져 올 수 있다.

◎ 포트홀 보수 사용자 상세정보

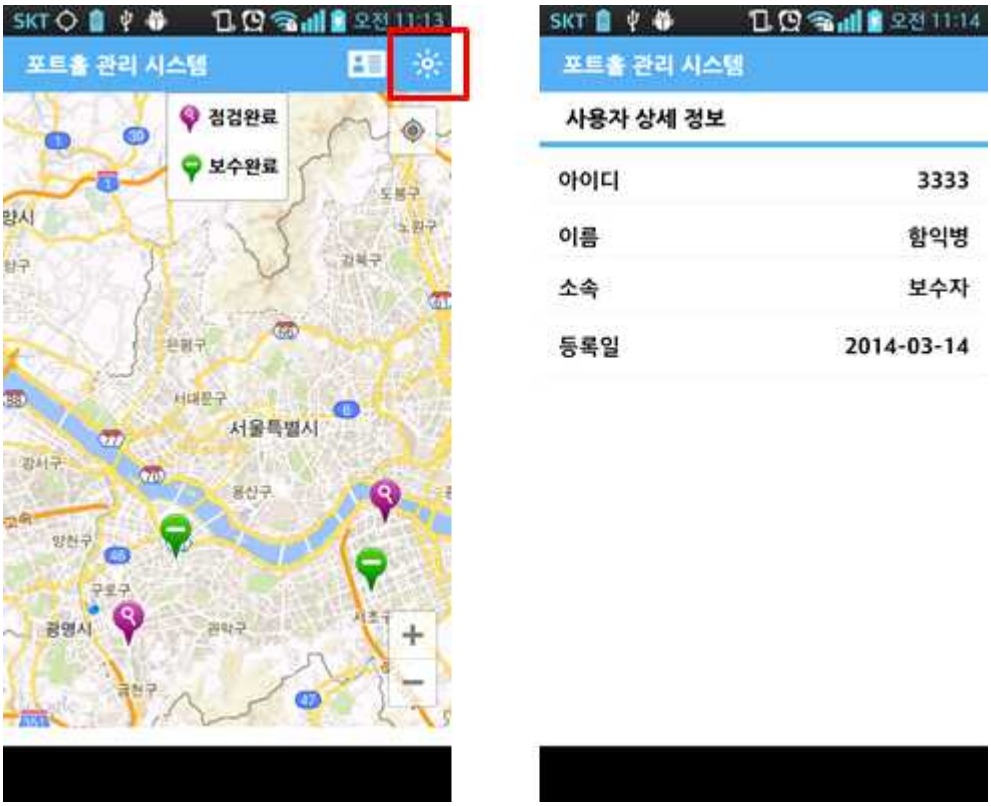


그림 3.326 보수자 상세정보

▷ 보수자의 정보를 확인 할 수 있는 화면이다.

① 보수자 초기화면에서 사용자 아이콘을 선택하면 사용자 상세정보화면이 표시된다.

② 보수자 “아이디”, “이름”, “소속”, “등록일”에 대한 정보를 확인할 수 있다.

㈏ 포트홀 관리시스템 모바일 앱 개발 소스

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	현재 위치 GPS 좌표를 읽어서 주소를 표시해줌		

소스내용

```
private void showGPS(Location location) throws IOException, JSONException {
if(location!=null)
{
StringBuffer juso = new StringBuffer();
_strLat = location.getLatitude()+"";
_strLong = location.getLongitude()+"";
if(Count==0)
{
List<Address> addresses;
addresses = getStringFromLocation(location.getLatitude(),
location.getLongitude());//_Geocoder.getFromLocation(location.getLatitude(),
location.getLongitude(), 1);
for(Address addr:addresses)
{
int index = addr.getMaxAddressLineIndex();
for(int i=0; i <= index;i++)
{
String val = URLEncoder.encode(addr.getAddressLine(i), "UTF-8");
String val1 = URLEncoder.encode(addr.getAddressLine(i), "EUC-KR");
String val2 = URLDecoder.decode(addr.getAddressLine(i), "UTF-8");
String val3 = URLDecoder.decode(addr.getAddressLine(i), "EUC-KR");
juso.append(addr.getAddressLine(i));
juso.append(" ");
}
juso.append("\n");
}
_strAddres = juso.toString().replace("대한민국", "").trim();
}
if(Count == MaxCount)
Count = 0;
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	현재 시간을 가져온다		
소스내용			

```
public static String GetCurrentTime() {

		String time = "";
		Calendar cal = Calendar.getInstance();
		time = String.format("%04d-%02d-%02d %02d:%02d
%02d.%03d",cal.get(Calendar.YEAR), cal.get(Calendar.MONTH)+1,
cal.get(Calendar.DAY_OF_MONTH),
				cal.get(Calendar.HOUR_OF_DAY), cal.get(Calendar.MINUTE),
cal.get(Calendar.SECOND), cal.get(Calendar.MILLISECOND));
		return time;

	}
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	신고한 내역을 가져온다		
소스내용			

```
ResultSet resultSet = null;

try
{
	JdbcUtil util = new JdbcUtil();
	resultSet = util.QueryDataSet(QueryString.Select_Report_Check_List +" AND report_user='"+GlobalData.gGlobalData.getReportUserInfo().getUserId()+"' order by report_date desc");
	if(resultSet!=null)
	{
		listData.clear();

		  while(resultSet.next()){
 ReportListItem item = new ReportListItem();

 item.setReportId(resultSet.getString(1));
 item.setReportUserId(resultSet.getString(2));
 item.setReportAddress(resultSet.getString(5));
 item.setReportState(Integer.parseInt(resultSet.getString(6)));
 item.setReportDate(resultSet.getString(7));
 listData.add(item);
		  }
	}
	Message msg = new Message();
	msg.what = netHandler.MSG_REPORT_LIST_OK;
	netHandler.sendMessage(msg);
}
catch(Exception ex)
{
	Toast.makeText(getApplicationContext(), "포트홀 실행 오류"+ex.getMessage(), 1000).show();
}
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	신고내역과 점검 내역을 가져온다		
소스내용			

```
ResultSet resultSet = null;
try
{
        JdbcUtil util = new JdbcUtil();
        resultSet = util.QueryDataSet(QueryString.Select_Report_Check_List);

        if(resultSet!=null)
        {
                listData.clear();

                  while(resultSet.next()){
 ReportListItem item = new ReportListItem();

 item.setReportId(resultSet.getString(1));
 item.setReportUserId(resultSet.getString(2));
 item.setReportLat(resultSet.getString(3));
 item.setReportLong(resultSet.getString(4));
 item.setReportAddress(resultSet.getString(5));
 item.setReportState(Integer.parseInt(resultSet.getString(6)));
 item.setReportDate(resultSet.getString(7));
 item.setCheckUserId(resultSet.getString(8));
 item.setRepairUserId(resultSet.getString(9));
 item.setCheckImgUrl(resultSet.getString(10));
 item.setCheckTime(resultSet.getString(12));
 item.setRepairTime(resultSet.getString(13));
 listData.add(item);
                  }
        }
        Message msg = new Message();
        msg.what = netHandler.MSG_REPORT_LIST_OK;
        netHandler.sendMessage(msg);
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	점검자 사용자 권한을 얻어 온다		
소스내용			

```
ResultSet resultSet = util.QueryDataSet(query);
try {
        boolean isCheck = false;
        Message msg = new Message();
        while(resultSet.next())
        {
                isCheck = true;
                 String strUserId = resultSet.getString(1);
                 String strUserPw = resultSet.getString(2);
                 String strUserRight = resultSet.getString(3);
if(!strUserPw.equals(GlobalData.gGlobalData.getCheckUserInfo().getUserPw()))
                 {
 msg.what = 11;
 netHandler.sendMessage(msg);
 return;
                 }
                 if(!strUserRight.equals("2"))
                 {
 msg.what = 12;
 netHandler.sendMessage(msg);
 return;
                 }
        }
        if(!isCheck)
        {
                msg.what = 13;
                netHandler.sendMessage(msg);
                return;
        }
        msg.what = 14;
        netHandler.sendMessage(msg);
} catch (SQLException e){}
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	점검한 포트홀에 내용을 보여준다		
소스내용			

```
_txtPothole.setText(pNo);
                _txtReportTime.setText(reporttime);
                _txtAdd.setText(address);

                if(checkTime !=null && checkTime.length()> 0)
_txtCheckTime.setText(checkTime);
                else
_txtCheckTime.setText(GlobalData.CovertDateToString(new
Date(System.currentTimeMillis())));

                _imgReport =
(ImageView)contentView.findViewById(R.id.checkdetail_img);
                _imgReport.setOnClickListener(clickListener);

                _imgReport.setImageBitmap(mImage);
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	점검자 권한을 체크한다		
소스내용			

```
try {
boolean isCheck = false;
Message msg = new Message();
while(resultSet.next())
{
        isCheck = true;
         String strUserId = resultSet.getString(1);
         String strUserPw = resultSet.getString(2);
         String strUserRight = resultSet.getString(3);
if(!strUserPw.equals(GlobalData.gGlobalData.getRepairUserInfo().getUserPw()))
         {
                msg.what = 11;
                netHandler.sendMessage(msg);
                return;
         }
         if(!strUserRight.equals("3"))
         {
                msg.what = 12;
                netHandler.sendMessage(msg);
                return;
         }
}
if(!isCheck)
{
        msg.what = 13;
        netHandler.sendMessage(msg);
        return;
}
msg.what = 14;
netHandler.sendMessage(msg);
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	점검 내역과 보수 내역을 가져온다		
소스내용			

```
try
{
        JdbcUtil util = new JdbcUtil();
        resultSet = util.QueryDataSet(QueryString.Select_Check_Repair_List);
        if(resultSet!=null)
        {
                listData.clear();
                  while(resultSet.next()){
 ReportListItem item = new ReportListItem();
 item.setReportId(resultSet.getString(1));
 item.setReportUserId(resultSet.getString(2));
 item.setReportLat(resultSet.getString(3));
 item.setReportLong(resultSet.getString(4));
 item.setReportAddress(resultSet.getString(5));
 item.setReportState(Integer.parseInt(resultSet.getString(6)));
 item.setReportDate(resultSet.getString(7));
 item.setCheckUserId(resultSet.getString(8));
 item.setRepairUserId(resultSet.getString(9));
 item.setCheckImgUrl(resultSet.getString(10));
 item.setRepairImgUrl(resultSet.getString(11));
 item.setCheckTime(resultSet.getString(12));
 item.setRepairTime(resultSet.getString(13));

 listData.add(item);
                  }
        }
        Message msg = new Message();
        msg.what = NetHandler.MSG_REPAIR_LIST_OK;
        netHandler.sendMessage(msg);
}
catch(Exception ex)
{
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	보수내역을 가져온다		
소스내용			

```
try
{
        JdbcUtil util = new JdbcUtil();
        resultSet = util.QueryDataSet(QueryString.Select_Check_Repair_List + "
order by report_date desc ,report_state desc");
        if(resultSet!=null)
        {
                listData.clear();
                  while(resultSet.next()){
 ReportListItem item = new ReportListItem();
 item.setReportId(resultSet.getString(1));
 item.setReportUserId(resultSet.getString(2));
 item.setReportAddress(resultSet.getString(5));
 item.setReportState(Integer.parseInt(resultSet.getString(6)));
 item.setReportDate(resultSet.getString(7));
 item.setCheckUserId(resultSet.getString(8));
 item.setRepairUserId(resultSet.getString(9));
 //item.setReportDate(date.getYear() + "-" + date.getMonth() + "-"+ date.getDay());
 //item.setReportTime(date.getHours() + "-" + date.getMinutes());
 listData.add(item);
                }
        }
        Message msg = new Message();
        msg.what = netHandler.MSG_REPAIR_LIST_OK;
        netHandler.sendMessage(msg);
}
catch(Exception ex)
{
}
```

포트홀 소스 내용(앱)			
Android Ver	4.0	Java	1.7
기능	사용자 아이디 패스워드 저장한다		
소스내용			

```
if(_userName.getText()!=null && _userName.getText().length()>0 &&
_userName.getText()!=null && _userName.getText().length()>0)
{
	if(!_cbUserOk.isChecked())
	{
		Toast.makeText(getApplicationContext(), "수신동의를 해주세요.",
5000).show();
	}
	else
	{
		String strQuery = "{call UP_RePort_User_IUD(?, ?, ?, ?)}";
		JdbcUtil jdbcUtil = new JdbcUtil();
		jdbcUtil.QueryUpdateUserAddProC(netHandler, strQuery,
_userName.getText().toString(), _userPhone.getText().toString(), MSG_INPUT_OK);
	}
}
else
{
	Toast.makeText(getApplicationContext(), "빈란을 확인해주세요.",
5000).show();
}
```

라. 포장가속시험기를 활용한 내구성 검토

본 고에서는 1, 2차년도에서 개발된 아스팔트 프리캐스트 보수재 및 보수장비를 활용하여 한국도로교통연구원의 포장가속시험기를 통해 아스팔트 프리캐스트 보수재의 공용성능을 평가하고자 하였으며, 공용수명 내의 하중 및 환경조건을 단기간에 모사하여 포장체에 적용시켜 장기수명을 검토하고 누적되는 손상을 평가한다. 현장의 실구조물의 물리적 조건과 기하적인 조건을 그대로 모사하고, 작용하중을 제어되는 가속방식에 의해 가함으로 공용성 평가를 과학적인 손상의 누적을 통해 효율적으로 수행할 수 있는 것이 포장가속시험의 장점이다.

포장가속시험기를 활용한 내구성 검토에서는 일반적인 아스팔트 포장체에 인위적으로 포트홀을 생성하고 이를 프리캐스트 보수재 및 보수장비를 활용하여 보수한 이후 반복적인 하중 재하를 통하여 보수재료의 내구성능을 평가하고자 하였다. 이는 포장가속시험 및 시험시공을 통하여 재료의 내구성을 평가하고 보수장비의 현장 적용성을 동시에 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

(1) 시험 계획

본 시험에서는 A구간(얇은 단면) 두께 10cm, 길이 5m와 B구간의(표준 단면) 두께 25cm, 길이 19m의 두 구간으로 나누어 일반 아스팔트 도로포장을 적용하였으며 포장가속시험의 개요는 그림 3.327에 나타내었다. 아스팔트 및 콘크리트 도로 포장체의 상태와 거동 특성 분석을 통해 포장구조체의 물성을 추정하는 다른 포장가속시험과는 달리 본 연구는 아스팔트 프리캐스트 응급 보수재의 균열 및 파손형태를 평가 하고자 하였으므로 계측센서 및 wandering 등의 사항은 고려하지 않았다. 그러나 포트홀의 발생이 한정된 휠패스 구간에서 발생하지 않는다는 점과 본 기술이 상용화 되었을 경우, 현장 작업자의 시공 숙련도를 고려하여 다양한 조건의 휠패스 위치에 따른 내구성능을 검증하고자 하였다. 시험 결과 도출은 육안조사와 균열 및 파손맵을 작성하는 것으로 설정하였으며 시험 종료 시기는 아스팔트 프리캐스트 보수재의 파손시기 및 주행횟수 150,000회를 목표로 선정하였다.

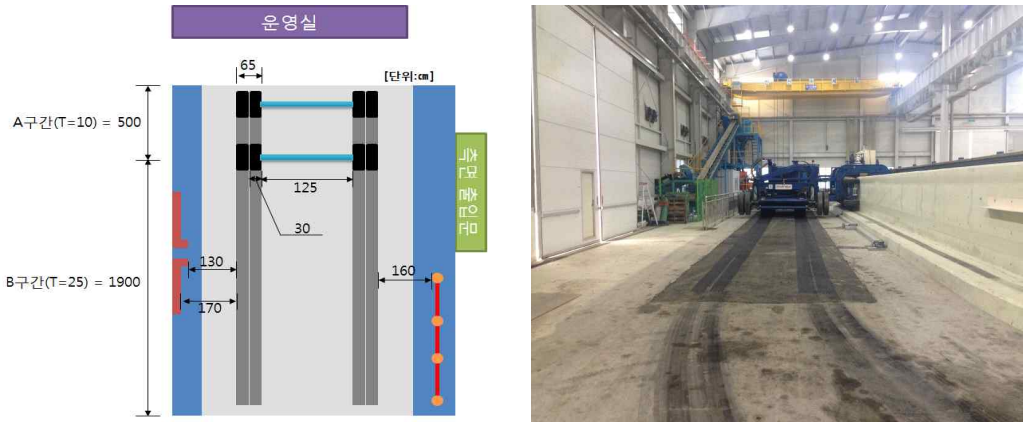


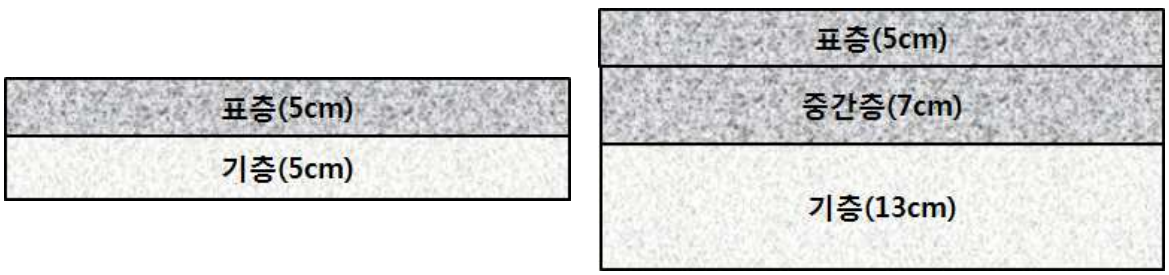
그림 3.327 포장가속시험의 개요

(2) 포장가속시험 조건

포장가속시험은 한국도로공사 도로교통연구원에서 보유하고 있는 트랙형 포장가속시험기를 이용하여 실시하였다. 포장가속시험기의 운행 조건은 표 3.114와 같다. 아스팔트층의 시공은 계획된 시공 두께에 따라 A구간은 기층 5cm, 표층 5cm로 시공되었고 B구간은 기층 13cm, 중간층 7cm, 표층 5cm로 시공되었으며, 아래의 그림 3.328에서는 포장가속시험에 적용된 아스팔트 포장의 단면을 나타내었다.

표 3.114 포장가속시험 운행 조건

구 분	포장가속시험
하중(축하중)	18 ton
운행 속도(㎞/h)	10~15
타이어 타입	Dual Tire Type
주행방향	양방향



A 구간 단면도 B 구간 단면도

그림 3.328 포장가속시험에 적용된 일반 아스팔트 포장 단면도




그림 3.329 아스팔트층 시공

(3) 시험 변수

다음의 표 3.115와 그림 3.330는 시험변수에 대한 휠패스 구간별 프리캐스트 보수재의 위치를 나타낸 것으로 시험변수는 A, B-1, B-2, B-3, B-4로 총 5구간으로 선정하였다.

보수재의 위치는 타이어 중앙(듀얼), 타이어 중앙(싱글), 보수재 절반 하중, 보수 후 단부, 비교용 하중 미구간으로 구분 하였으며 많은 양의 개소수를 시공함으로써 시공오류 시편의 발생은 불가피 하였다.

표 3.115 시험변수 및 보수재 위치

시험변수	보수재 위치
A구간 (포장 두께 : 10cm, 보수재 두께 : 5cm)	① 타이어 중앙(듀얼) 3EA ② 타이어 중앙(싱글) 3EA ③ 보수재 절반 하중 3EA ④ 보수 후 단부 3EA ⑤ 비교용 하중 미구간 1EA
B-1구간 (포장 두께 : 25cm, 보수재 두께 : 5cm) ▶ 보수재 그라인딩 실시	① 타이어 중앙(듀얼) 3EA ② 타이어 중앙(싱글) 2EA ③ 타이어 중앙(싱글) 시공오류 시편 1EA ④ 보수재 절반 하중 3EA ⑤ 보수재 절반 하중 시공오류 시편 1EA ⑥ 비교용 하중 미구간 1EA
B-2구간 (포장 두께 : 25cm, 보수재 두께 : 3cm)	① 타이어 중앙(듀얼) 3EA ② 타이어 중앙(싱글) 3EA ③ 보수재 절반 하중 3EA ④ 보수재 절반 하중 시공오류 시편 2EA ⑤ 보수 후 단부 2EA

	⑥ 비교용 하중 미구간 1EA
B-3구간 (포장 두께 : 25cm, 보수재 두께 : 5cm) ▶ 돌출/침하부 단차 발생 시편 (1.0cm)	① 타이어 중앙(싱글) 3EA-돌출부 ② 보수재 절반 하중 3EA-돌출부 ③ 비교용 하중 미구간 1EA-돌출부 ④ 타이어 중앙(싱글) 3EA-침하부 ⑤ 타이어 중앙(싱글) 시공오류 시편 1EA-침하부 ⑥ 보수재 절반 하중 3EA-침하부 ⑦ 비교용 하중 미구간 1EA-침하부
B-4구간 (포장 두께 : 25cm, 보수재 두께 : 5cm)	① 타이어 중앙(듀얼) 3EA ② 타이어 중앙(싱글) 3EA ③ 보수재 절반 하중 3EA ④ 보수 후 단부 3EA ⑤ 보수 후 단부 시공오류 시편 1EA ⑥ 비교용 하중 미구간 1EA

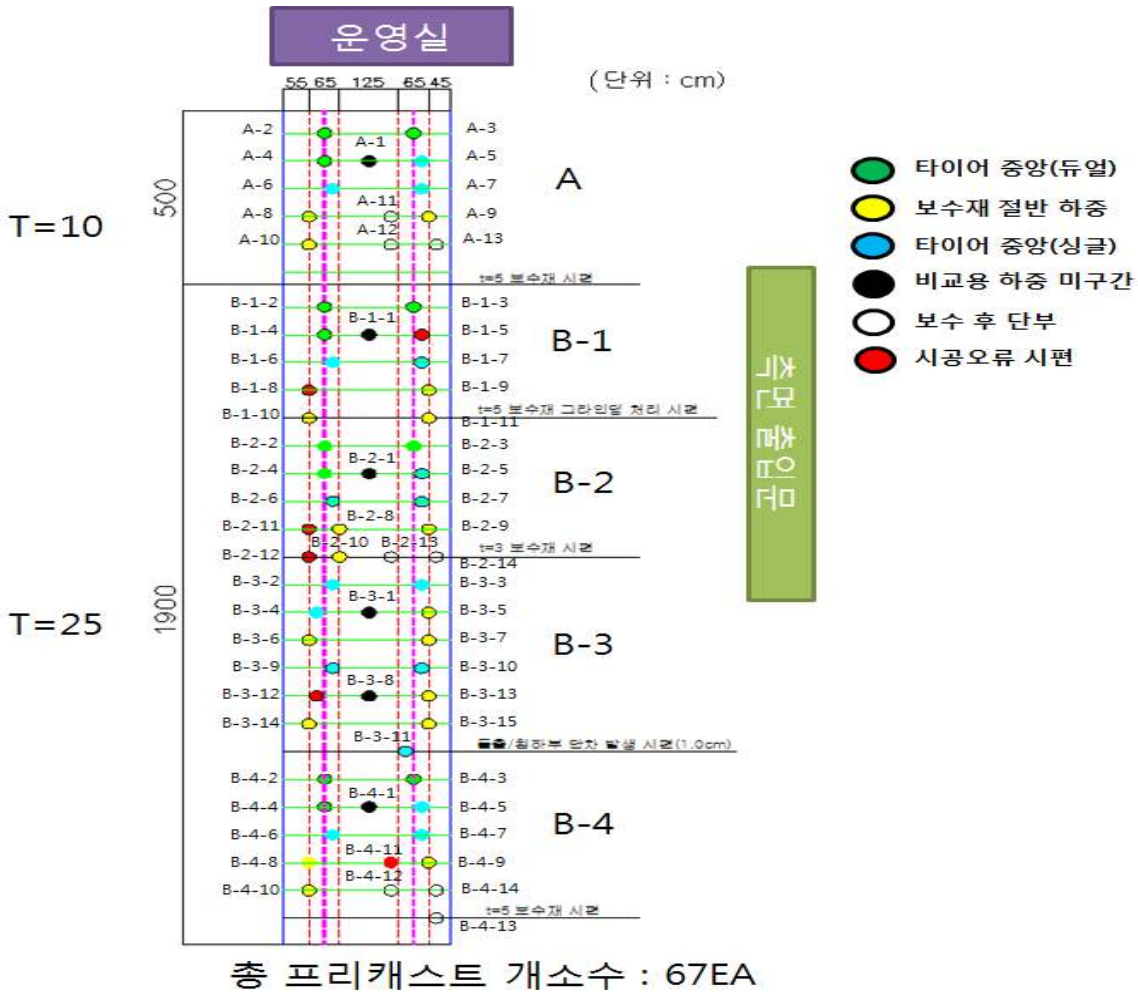


그림 3.330 휠패스 구간에 따른 보수재 위치

(4) 시험 방법

A구간은 포장두께 10cm에 보수재 두께 5cm, B-1구간은 포장두께 25cm에 보수재 두께 5cm를 적용하였고 일반 아스팔트포장에 파쇄비트를 이용하여 4cm 깊이로 절삭하여 두께 5cm의 보수재를 안착시킨 후 남은 1cm에 대하여 그라인딩을 실시하였다. B-2구간은 포장두께 5cm, 보수재 두께 3cm를 사용하였고 일반 아스팔트포장에 먼저 약 5cm 깊이의 코어를 뚫은 뒤 파쇄비트를 이용하여 3cm 깊이로 절삭한 후, 2cm는 도로 응급 보수재로 메우고 그 위에 보수재를 안착시켰다. B-3구간은 포장두께 25cm, 보수재 두께 5cm를 적용하였으며 1cm가량의 돌출/침하 단차를 발생시켜 시험을 수행하였다. 마지막으로 B-4구간은 포장두께 25cm 보수재 두께 5cm를 적용하였다.

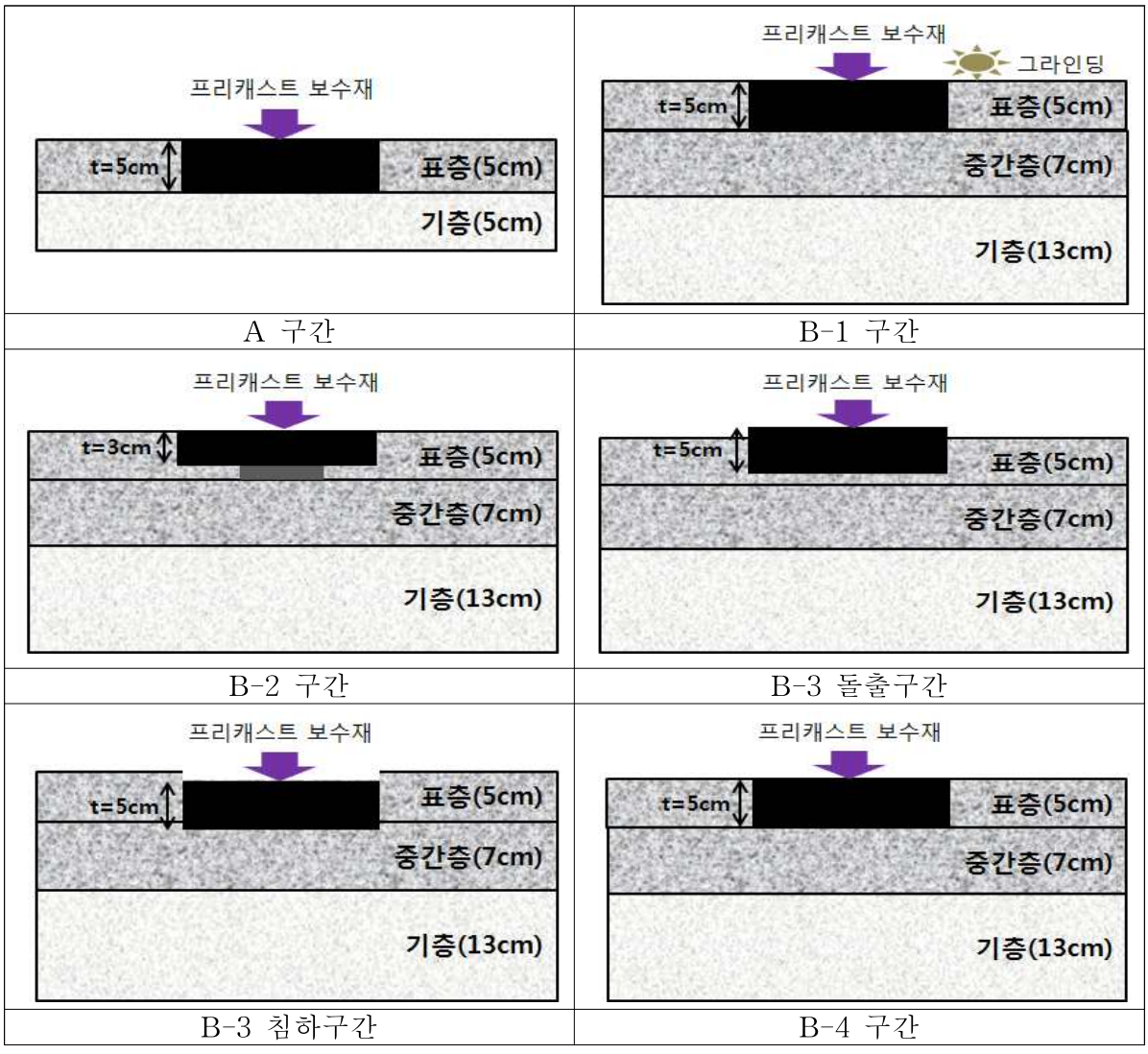


그림 3.331 시험변수에 따른 보수재의 시공단면

아래의 그림 3.332은 포장가속시험을 위한 아스팔트 프리캐스트 보수재 시공순서를 나타내었다.

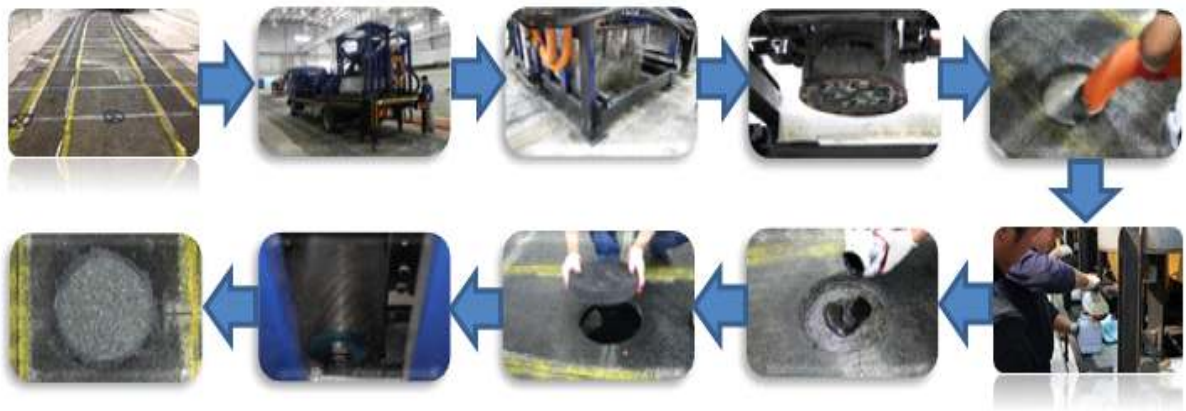


그림 3.332 포장가속시험을 위한 아스팔트 프리캐스트 보수재 시공순서

(5) 시험 결과

휠패스 구간별로 설치한 3개의 보수재 중에 손상이 가장 심한 시편을 대표로 결정하여 시험결과를 도출하였다.

(가) A구간

타이어 중앙(듀얼) 시편의 경우, 주행횟수 30,000회에 보수재 주위의 아스팔트 포장에서 약간의 소성변형이 발생 하였으나 보수재 자체에는 영향을 미치지 않았다. 그리고 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에서 미세균열이 발생 하였으며 이는 채움재 자체에서 발생한 균열로 판단되며 보수재와 기존 포장간의 부착면 상태는 양호한 상태로 나타났다. 주행횟수 60,000회에는 기존 아스팔트 포장에서 발생한 소성변형으로 인하여 보수재 자체가 다소 융기된 것처럼 착시효과를 나타내었으며 100,000회 및 시험 종료 횟수인 150,000회까지는 여분의 채움재를 도포한 부분에서의 추가 미세균열 발생 외에는 특이사항이 없었다. 그 결과 보수재 자체에서는 균열 및 보수재 파손의 흔적은 찾아 볼 수 없는 것으로 보아 내구성능이 뛰어난 것으로 판단된다.

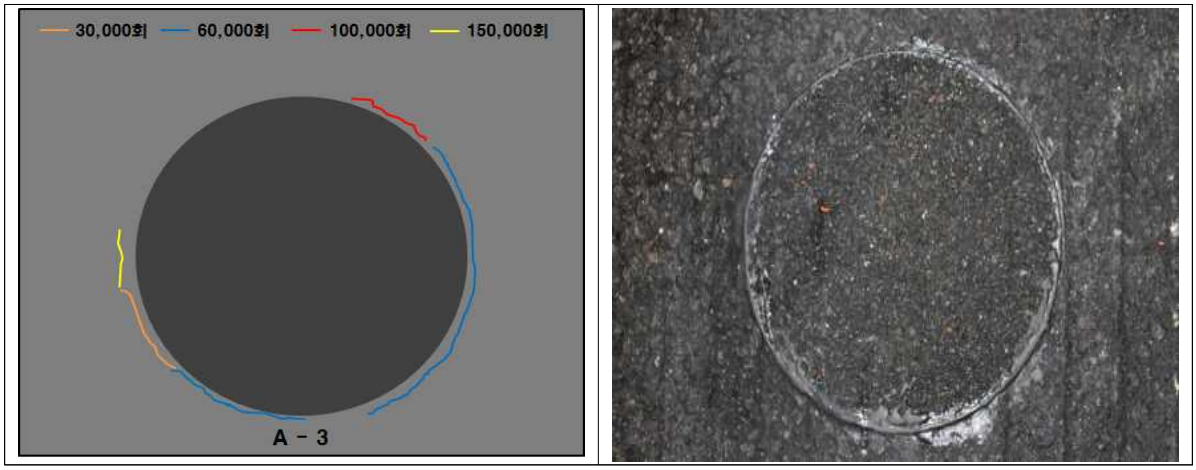


그림 3.333 A구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(타이어 중앙 듀얼)

타이어 중앙(싱글) 시편의 경우 주행횟수 30,000회에 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에서 미세균열이 발생하였으며 150,000회까지 추가 미세균열이 확인 되었으나 보수재와 기존 포장간의 부착면의 상태는 양호한 것으로 분석되었다.

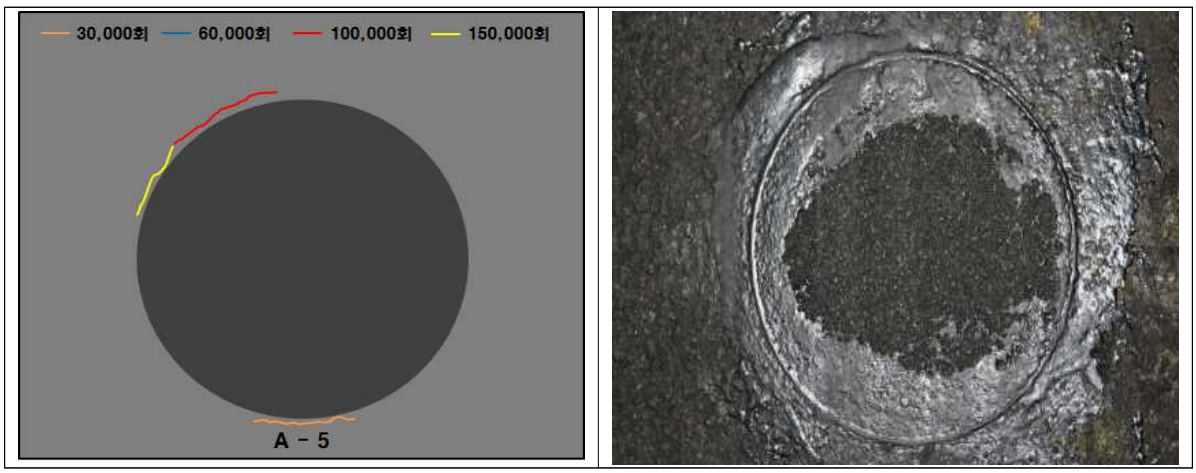


그림 3.334 A구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(타이어 중앙 싱글)

보수재 절반 하중의 경우, 주행횟수 60,000회에서 보수재가 다소 융기된 것으로 나타났으며 휠패스 구간에 표면마모가 발생하였다. 100,000회에서는 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에 미세균열이 발생하였으며 150,000회에서는 미세균열이 추가로 발생하였다.

보수 후 단부의 경우에는 주행횟수 150,000회까지 특이사항이 나타나지 않은 것으로 미뤄볼 때 내구성능이 우수하다.

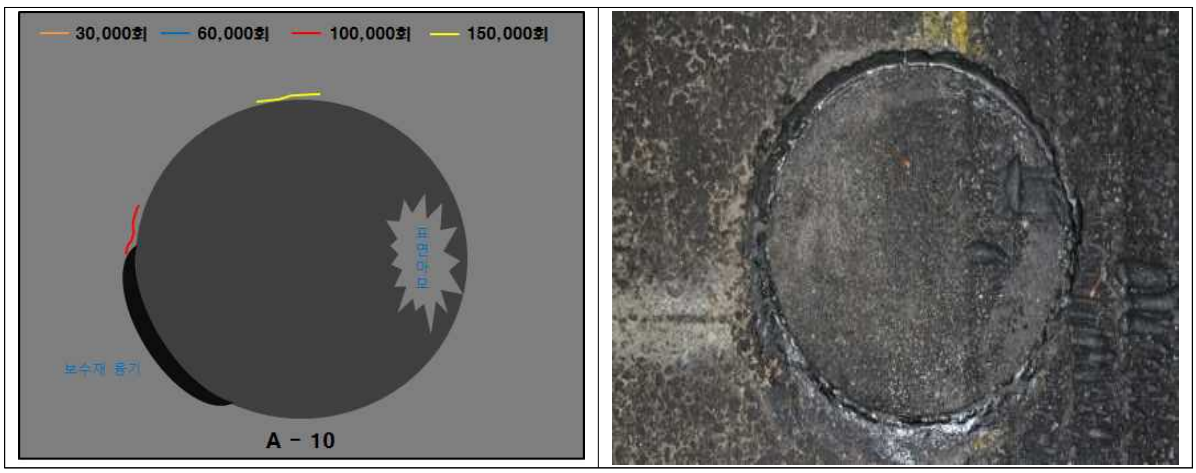


그림 3.335 A구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(보수재 절반 하중)

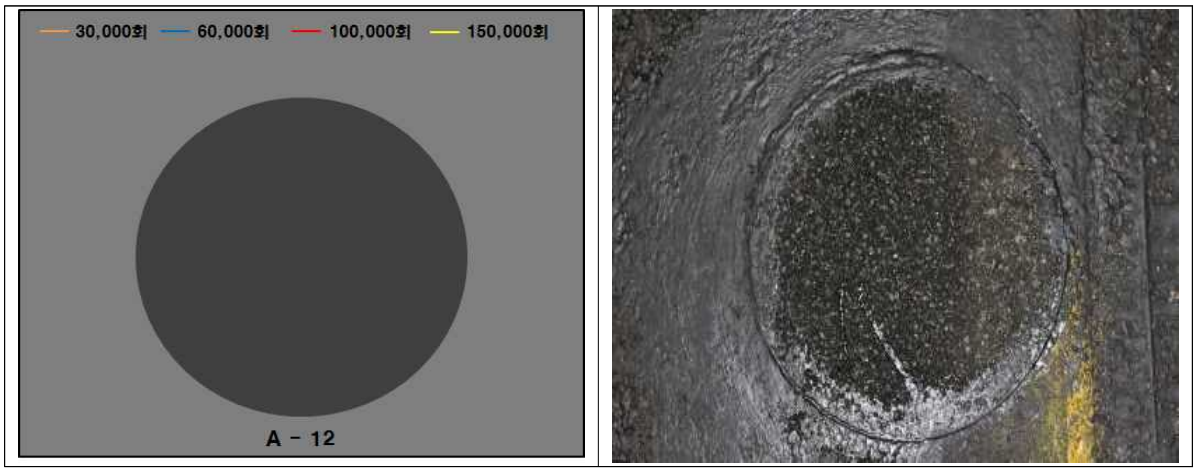


그림 3.336 A구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(보수 후 단부)

(나) B-1 구간

타이어 중앙(듀얼) 시편의 경우, 주행횟수 30,000회에서 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에서 미세균열이 발생하였으며 100,000회에서 균열폭의 약간의 증가한 형태를 나타내었으나 시험종료시까지 보수재와 기존 포장간의 부착면 상태는 양호한 것으로 나타내었다. 따라서 내구성능이 우수한 것으로 판단된다.

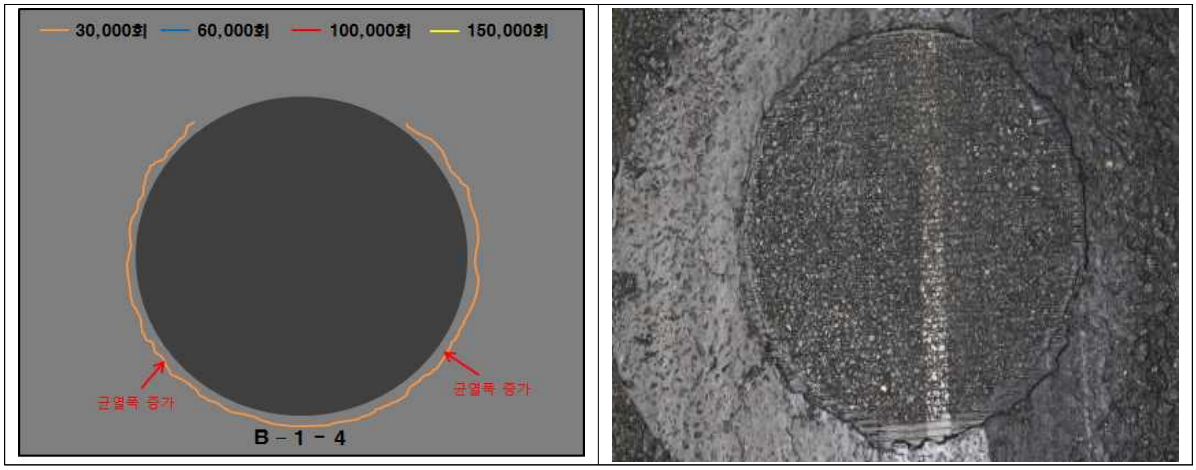


그림 3.337 B-1구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(타이어 중앙 듀얼)

그림 3.338의 타이어 중앙(싱글) 시편의 경우 아무런 특이사항이 발생하지 않았으며 보수재 절반 하중 시편에서는 30,000회에서 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에서 균열이 발생하였다. 60,000회에서는 보수재가 융기되는 현상이 나타났는데 확인결과 도로포장의 배수 확보를 위한 횡단 구배로 인하여 보수재가 융기된 것처럼 보였던 것으로 판명 되었으며 시험종료시까지는 보수재에 어떠한 파손의 형태도 나타나지 않았다.

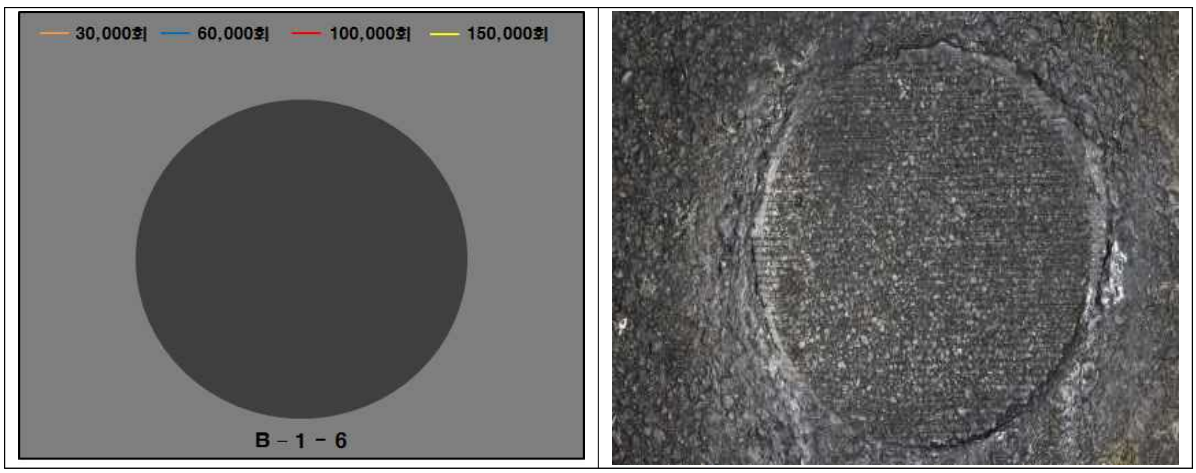


그림 3.338 B-1구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(타이어 중앙 싱글)

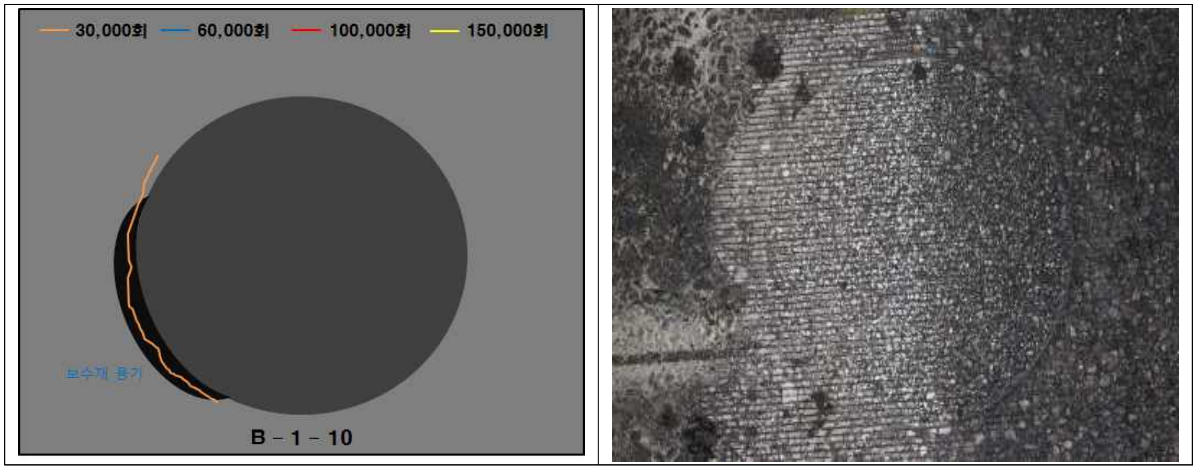


그림 3.339 B-1구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(보수재 절반 하중)

(다) B-2 구간

타이어 중앙(듀얼) 시편의 경우, 주행횟수 100,000회에 보수재와 기존 포장과의 경계면에 채움재가 탈리되는 현상이 나타났다. 확인결과 프리캐스트 보수재 시공 시 채움재의 양이 과도하게 주입되어 뭉쳐진 채움재에서 탈리된 것으로 나타났으며 보수재 자체는 파손 흔적이 나타나지 않았다.

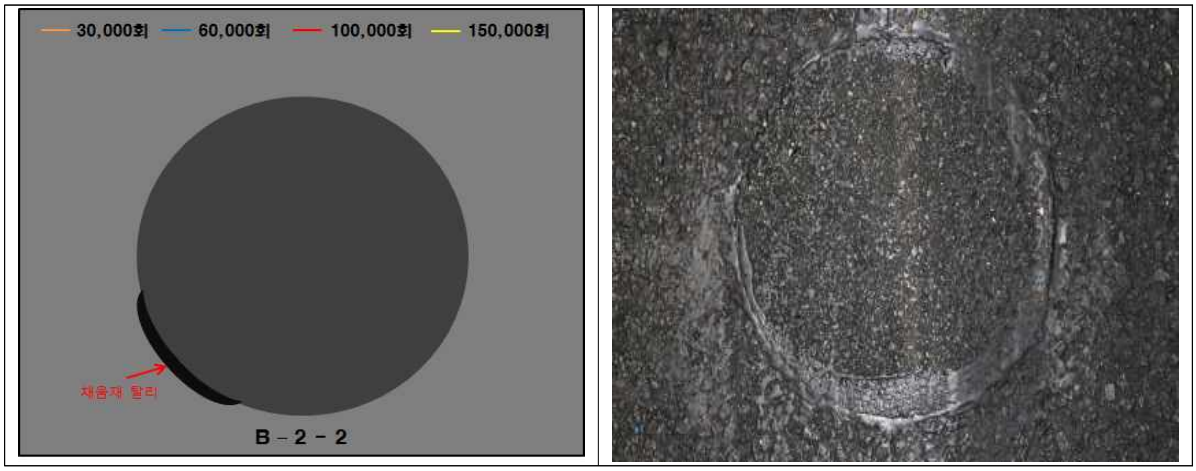


그림 3.340 B-2구간 - 주행횟수 150,000회의 맵 및 육안조사(타이어 중앙 듀얼)

타이어 중앙(싱글) 시편의 경우 60,000회에 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에 미세균열이 발생하였으며 보수재와 기존 포장간의 부착면 상태 및 보수재 자체는 양호한 것으로 나타났다.

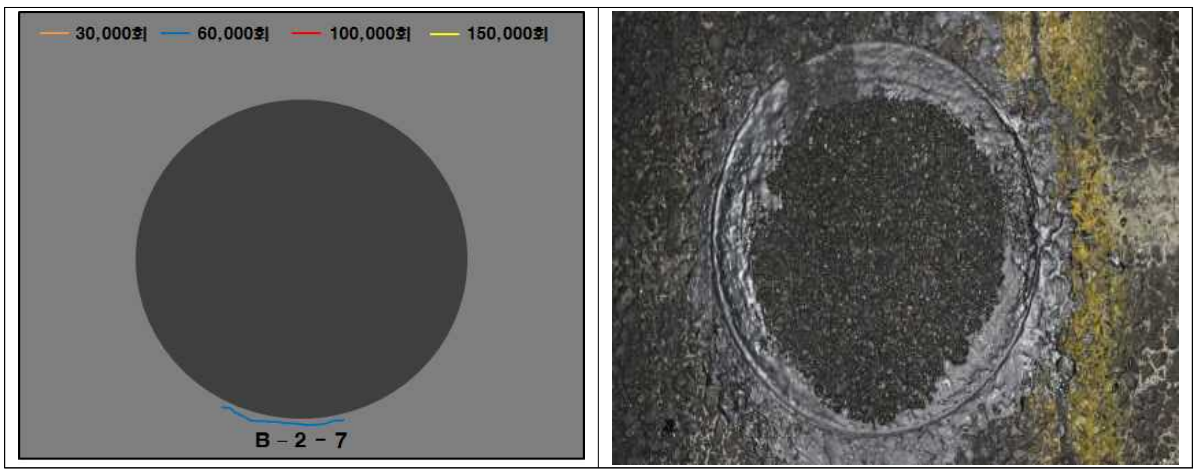


그림 3.341 B-2구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(타이어 중앙 싱글)

보수재 절반 하중 시편에서는 60,000회에서 휠패스 구간에 표면마모가 발생하였으며 100,000회에 보수재 주위에 여분의 채움재 도포 부분에 미세균열이 발생하였다. 시험종료 시인 150,000회에서는 채움재 부분에 미세균열이 추가로 발생된 것 이외에는 보수재 내구성능을 저하 시키는 파손형태는 나타나지 않았다. 그림 3.343에서 보듯이 보수 후 단부의 경우에는 아무런 특이사항이 나타나지 않았다.

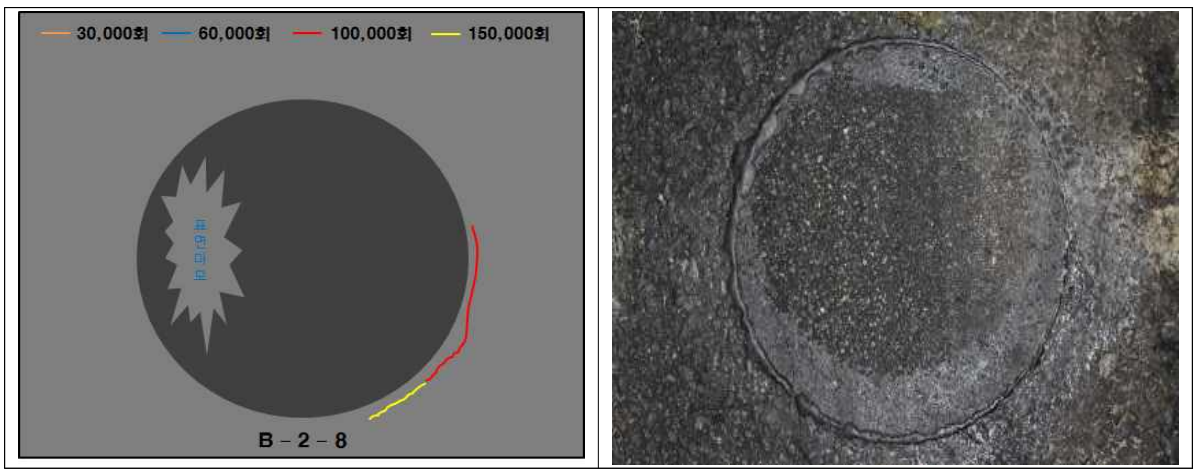


그림 3.342 B-2구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(보수재 절반 하중)

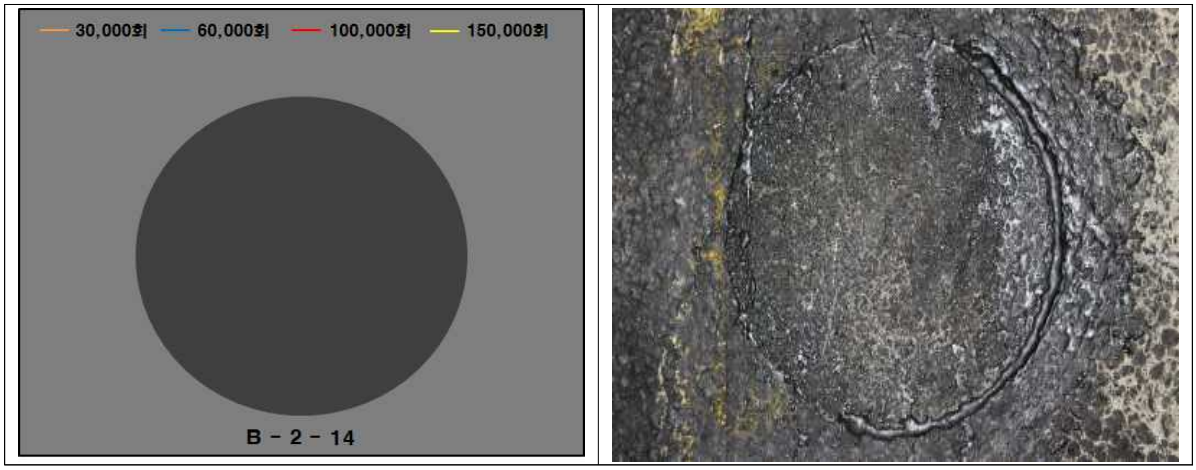


그림 3.343 B-2구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(보수 후 단부)

(라) B-3 구간

① 돌출구간

타이어 중앙(싱글) 시편의 경우 주행횟수 30,000회에서 보수재 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에서 미세균열이 발생 되었으며 가속 시험 중 보수재의 거동이 발생한 것으로 추정하였다. 그러나 주행횟수 60,000회에 확인결과 보수재의 거동은 없었던 것으로 확인 되었으며 다만 보수재 주위에 미세균열이 추가로 발생하였다. 그 외에는 시험종료시까지 특이사항은 발생하지 않았으며 내구성능이 우수한 것으로 판단된다.

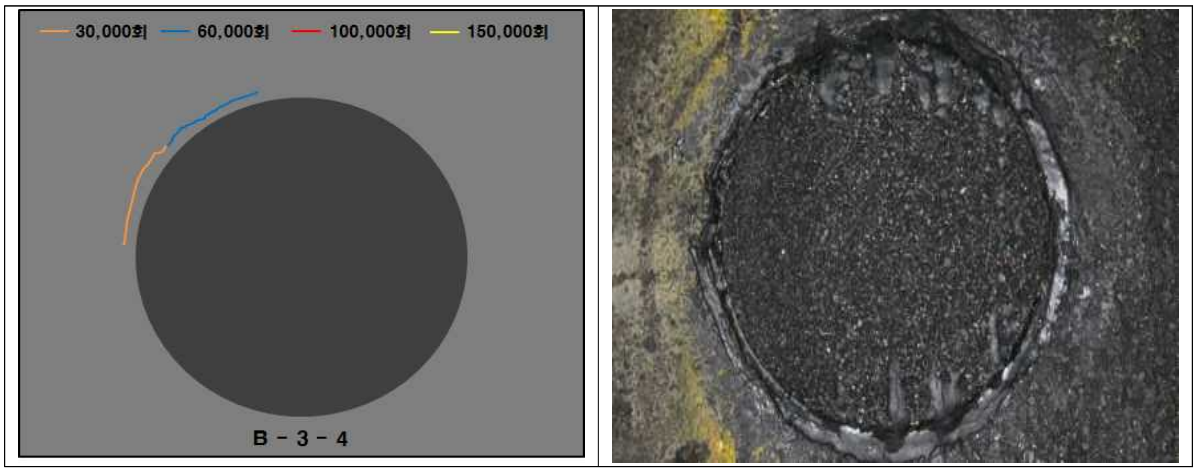


그림 3.344 B-3(돌출)구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사
(타이어 중앙 싱글)

보수재 절반 하중의 경우 주행횟수 30,000회에서 표면마모가 발생한 것 외에는 특이사항이 없는 것으로 확인되었다

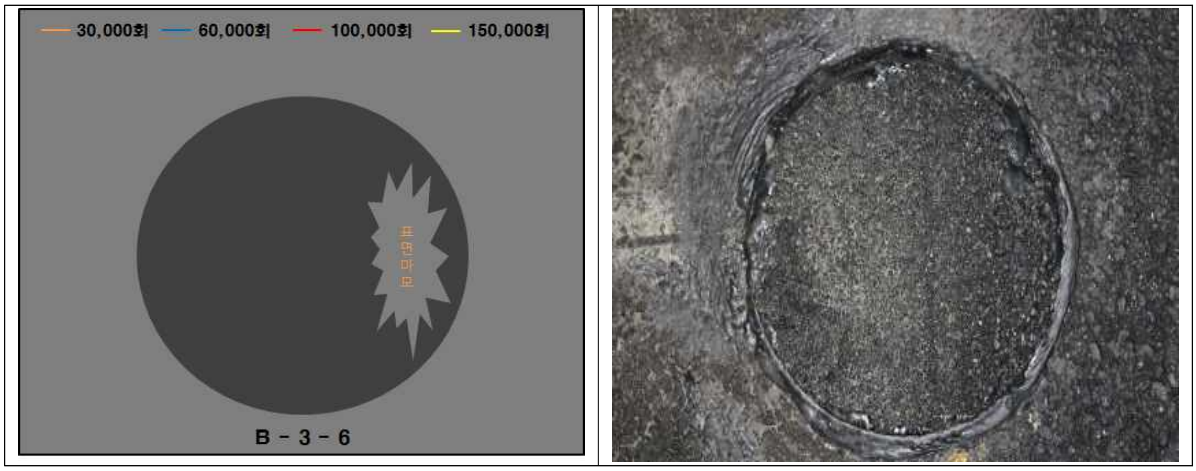


그림 3.345 B-3(돌출)구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사
(보수재 절반 하중)

② 침하구간

그림 3.346의 타이어 중앙(싱글) 시편의 경우와 그림 3.347보수재 절반 하중의 경우, 시험 초기 보수재와 기존 포장체의 경계면에서 파손이 예상되었으나 시험종료시까지 특이사항은 나타나지 않았다.

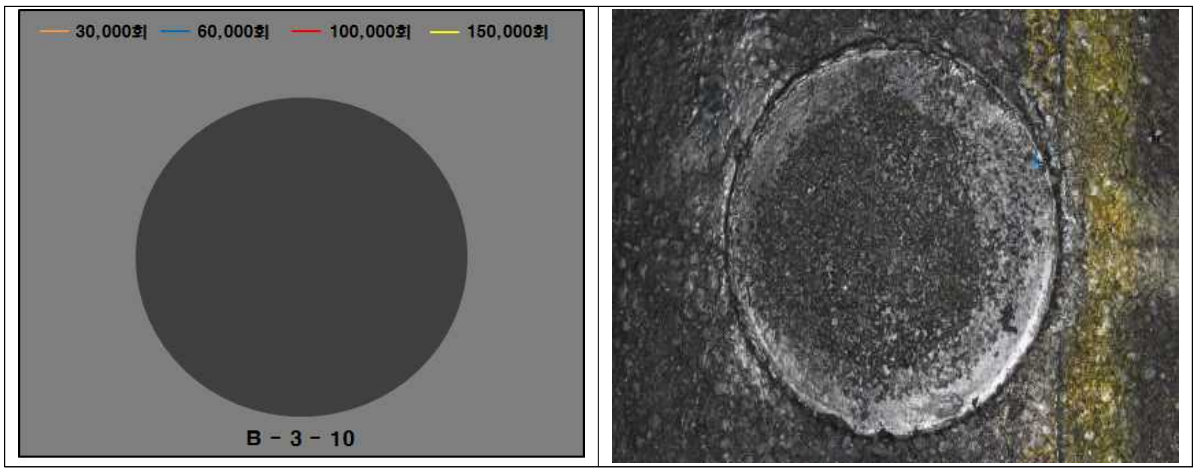


그림 3.346 B-3(침하)구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사
(타이어 중앙 싱글)

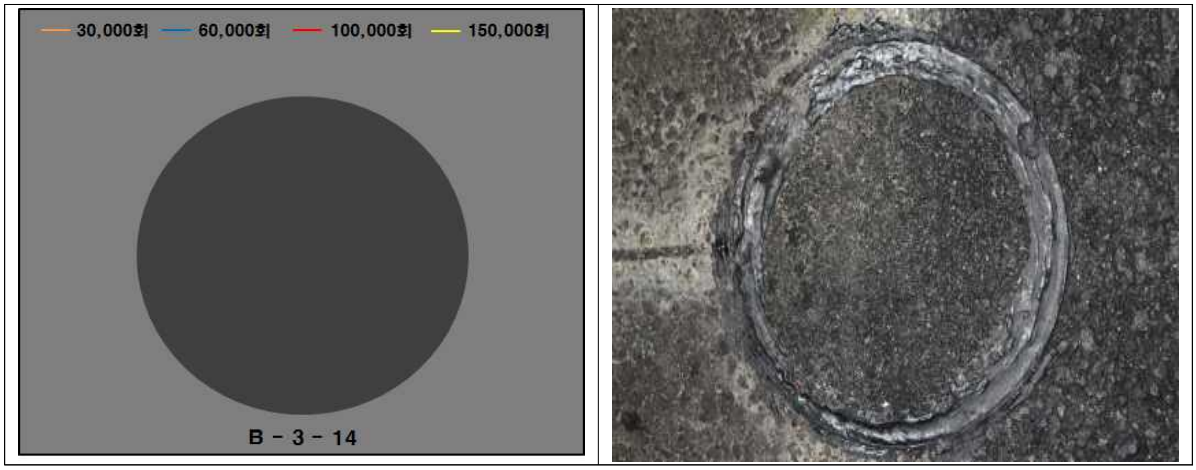


그림 3.347 B-3(침하)구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사
(보수재 절반 하중)

(마) B-4 구간

타이어 중앙(듀얼) 시편의 경우, 주행횟수 100,000회에서 보수재 주위의 채움재를 도포한 부분에서 미세균열이 발생하였으며 150,000회에서는 추가적인 미세균열이 발생하였다.

타이어 중앙(싱글)의 경우에도 역시 타이어 중앙(듀얼) 시편과 비슷한 양상을 나타내었는데 주행횟수 100,000회에서 보수재 주위의 채움재 균열이 발생하였고 150,000회에서 추가적인 미세균열이 발생하였다. 그러나 보수재의 파손 및 보수재와 기존포장간의 부착상태는 양호한 것으로 확인되었다.

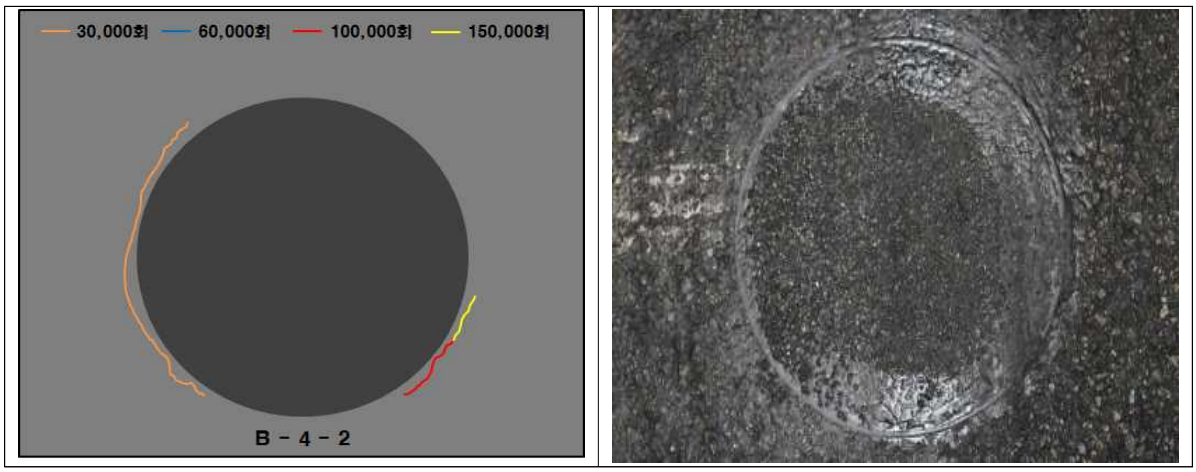


그림 3.348 B-4구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(타이어 중앙 듀얼)

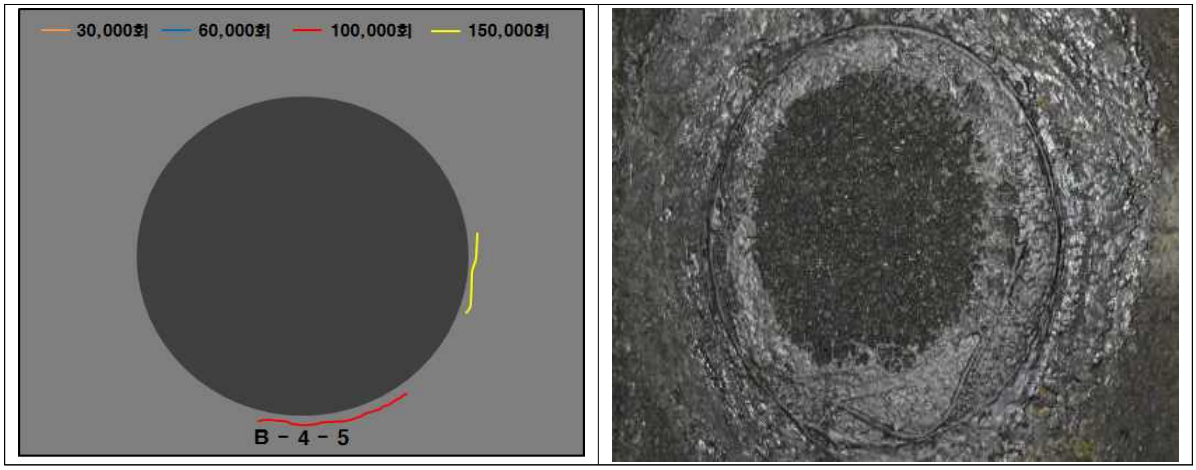


그림 3.349 B-4구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(타이어 중앙 싱글)

보수재 절반 하중 시편에서는 주행횟수 60,000회에서 보수재에서 보수재가 융기된 것처럼 나타내었고 다른 시편들과 마찬가지로 보수재 주위의 여분의 채움재를 도포한 부분에서 미세균열이 발생되었다. 확인결과 보수재의 융기는 포장가속시험동의 배수 구조상 좌측으로 횡단구배가 형성되어 있음에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 보수재 자체의 내구성에는 영향을 끼치지 않는 것으로 분석되었다. 보수 후 단부 시편의 경우에는 아무런 특이사항이 나타나지 않았다.

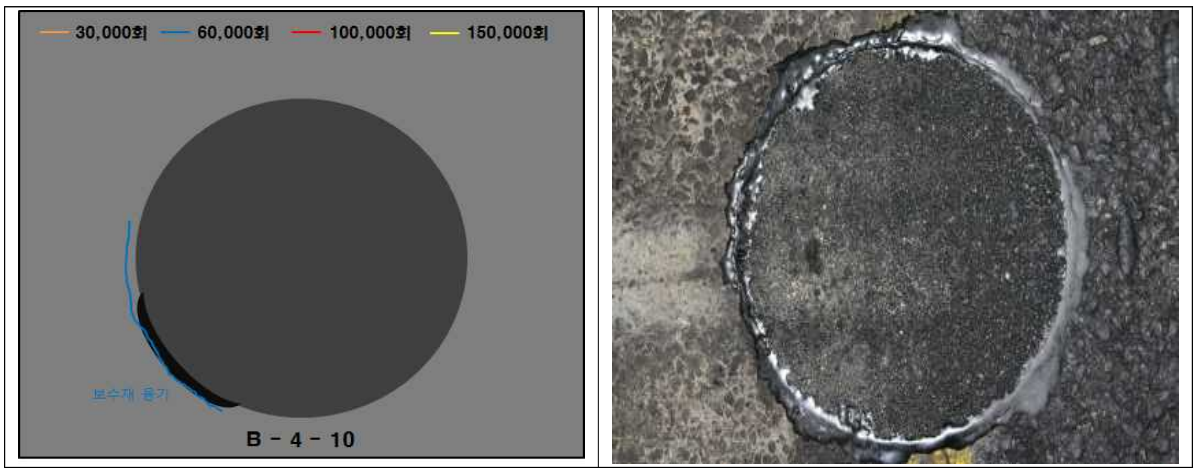


그림 3.350 B-4구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(보수재 절반 하중)

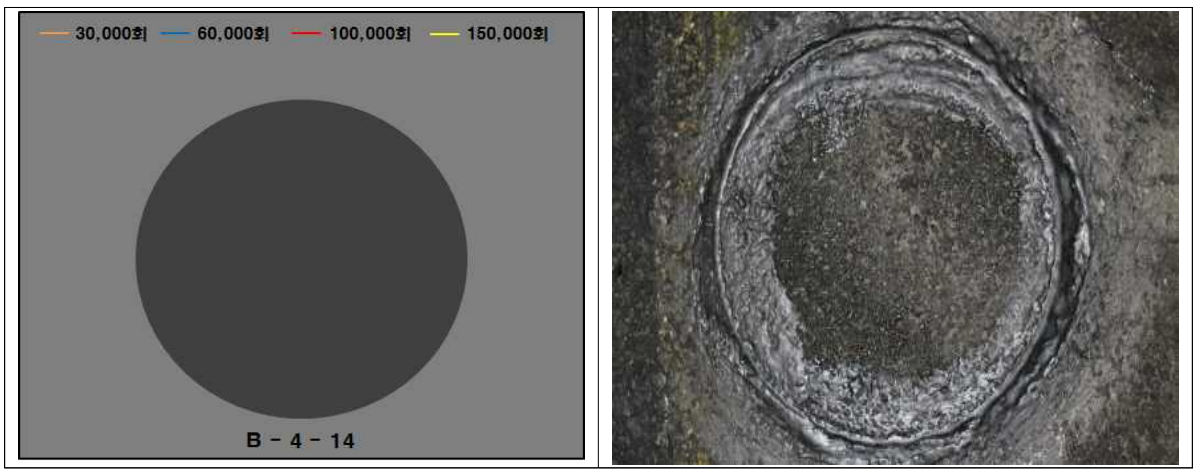


그림 3.351 B-4구간 - 주행횟수 150,000회의 균열 맵 및 육안조사(보수 후 단부)

(6) 소 결

포장가속시험기를 활용한 아스팔트 프리캐스트 보수재의 내구성 검토 결과는 다음과 같다.

1. 모든 보수재 시편 주위에 여분의 채움재를 도포한 부분에 미세균열이 발생하였으며 주행횟수 150,000회까지 보수재의 파손은 나타나지 않았다. 그리고 보수재와 기존 포장간의 부착면 상태도 아주 양호한 것으로 나타났으며 포장가속시험기의 주행횟수 150,000회는 일반국도 수준의 교통량의 약 2년 이상의 공용년수에 해당하는 값으로 위의 결과로 볼 때 아스팔트 프리캐스트 보수재의 내구성능은 아주 뛰어난 것으로 판단된다.

2. 모든 보수재 시편 주위에 발생한 균열은 포장체 및 보수재 자체에는 치명적인 영향을 끼치지 않는 것으로 분석되었으며, 본 공법이 상용화가 된다면 현장 작업자에게 보수재와 기존 포장면과의 부착시킬 정도의 채움재 양을 사용할 것을 권장한다. 또한 보수재 안착 후 포장면으로 새어나오는 채움재를 마무리 면정리 작업을 할 것을 권장한다. 만약 위의 권장사항들을 지키지 않을 경우, 채움재가 뭉쳐져 있는 것을 흔히 볼 수 있을 것이며 차량 통행 시 채움재가 탈리되는 현상이 일어날 수도 있기 때문이다.

3. 향후 성능에 대한 추가적인 검증과 성능 개선이 이루어진 이후에는 기존의 소파보수 예산 비용절감과 보수방법의 자동화로 인한 작업자의 안전성을 도모 할 수 있을 것으로 기대된다.

마. 경제성 평가

본 연구를 통해 개발된 재료 및 장비 등을 이용하여 포트홀 보수를 적용하게 되면 기존의 1차 응급보수, 2차 소파보수의 2단계 작업과정을 1단계로 줄일 수 있으며, 이에 따른 교통체증 감소 및 비용 저감 등의 효과를 기대할 수 있다. 본 장에서는 개발된 기술을 이용하여 현장에 적용하였을 경우 실제 현행 보수방법과의 경제적 효과가 어느 정도 차이가 나는지 검토하였다. 정확하게 비교하자면 교통차단 및 정체 등을 고려하여 사용자비용까지 검토가 되어야 하지만 본 내용에서는 시공에 필요한 직접비만을 가지고 검토하였다. 공법 비교를 위해 다음과 같이 적용 방법을 나누어 비교하였다.

표 3.116 경제성 비교를 위한 조건

	프리캐스트 응급보수 (개발 기술)	기존 보수 (기존 기술)
보수 횟수	1회	2회
보수 방법	개발 기술	1차 : 인력 응급보수 2차 : 소파보수

(1) 기존 보수방법에 의한 단가 산정

앞에서 언급한 바와 같이 기존 포트홀 보수방법은 2단계로 나누어 시공된다. 우천 시 실시간으로 발생하는 포트홀 파손에 대해 응급보수를 통해 발생한 파손부를 메우고 인력으로 임시 보수를 실시한다. 그런 후 일정 기간 이후에 보수한 구간을 사각형으로 절삭하고 가열 아스팔트 혼합물을 시공하는 소파보수를 시행하게 된다.



그림 3.352 포트홀 응급보수(기존 기술)



그림 3.353 포트홀 소파보수(기존 기술)

이러한 시공방법을 토대로 각 시공 단계별 투입 인원 및 장치들은 다음과 같다. 아래의 인원 및 장치는 실제 서울시나 도로공사에서 시공에 투입된 인원 및 장비를 토대로 계상한 것으로, 응급보수는 별도의 장비 없이 작업차량에 보수재료만 가지고 다니면서 인력으로 시공하고 삽, 해머 등의 소형 공구로 다짐하고 교통을 개방한다. 소파보수의 경우, 응급보수가 적용된 구간을 컷터를 이용하여 사각형 형태로 자르고 브레이커 등으로 잔재물을 제거한 후 유화 아스팔트를 살포하고 가열 아스팔트 혼합물을 타설한다. 그런 후 소형 다짐기나 롤러 등을 이용하여 다짐하여 시공을 완료한다. 응급보수는 인력으로 이동하면서 시공하기 때문에 1일 기준 약 30여개소 정도를 보수할 수 있으며, 소파보수는 절삭 후 패칭을 하기에 시간이 다소 오래 걸리므로 1일 기준 10개소 보수 기준으로 하였다.

표 3.117 기존 포트홀 보수방법 투입인원 및 장비

항목	내용	수량	비고
응급보수	작업 차량	2	30개소/일 기준
	작업 인원	4	
소파보수	작업 차량	2	10개소/일 기준
	다이아몬드 컷터	1	
	핸드 브레이커	2	
	발전기	1	
	작업 인원	4	

기존 보수방법에서 응급보수 및 소파보수의 일일 보수 개소 수에 관련된 정확한 자료는 없는 실정이다. 현장에서 발생한 포트홀의 개소가 많으면 하루에 실질적으로 시공할 수 있는 수량이 증가하기 때문에 상황에 맞게 시공되는 것이 일반적인 포트홀 보수 방법이기 때문에 수치화 되어 제시되는 근거 자료는 없다. 본 연구진은 기존의 보수방법의 일 시공 개소수를 다음의 표 3.118과 같이 설정하여 제안하였다.

표 3.118 기존 포트홀 보수방법 일 작업 개소수 산정

항목	작업 단계	단계별 예상 소요시간(분)	총 소요시간(분)	일 보수 개소수 (개소/일)
응급보수	임시 교통차단	3	16	30개소 (480분/16)
	포트홀 발생부 청소 및 정리	5		
	재료 투입 및 다짐	5		
	시공완료 및 차단해제	3		
소파보수	교통차단	5	48	10개소 (480분/48)
	파손부 절삭	20		
	단부 정리 및 깨기	10		
	가열 아스팔트 혼합물 포설	3		
	인력 다짐	5		
	정리 및 차단해제	5		

2014년 상반기 인력 및 자재 단가 등을 적용하여 포트홀 파손 1개소 보수하는데 실제적으로 소모되는 비용을 산정한 것이 다음의 표와 같다. 1개소 보수 물량은 프리캐스트 보수 방법과 동일하게 적용하기 위해 ∮400㎜ 기준의 원형으로 깊이 5㎝ 파손을 기준으로 산정하였다.

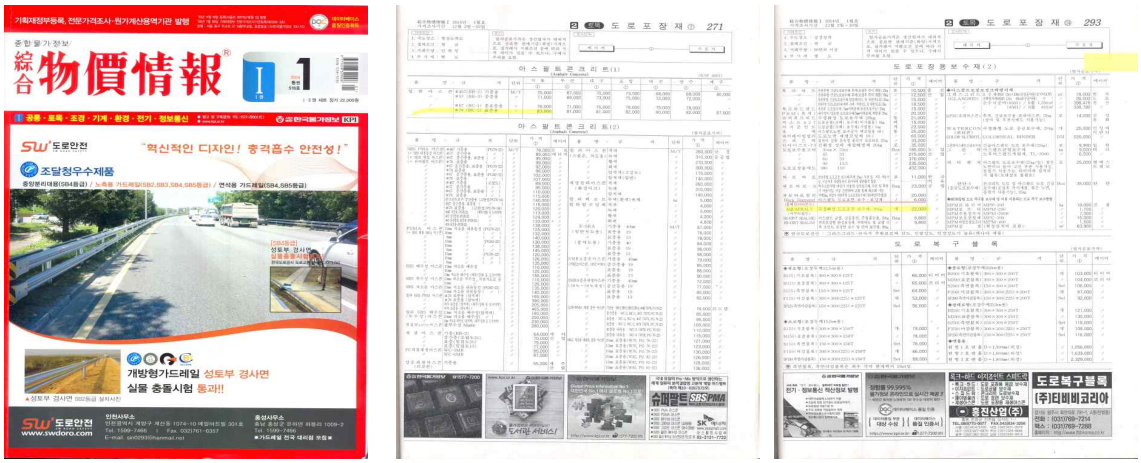


그림 3.354 2014년 상반기 물가정보 참조

표 3.119 기존 포트홀 보수방법 비용 산정

항목	내용		수량	단가	금액(원/일)	금액(원/개소)
응급 보수	인건비	작업 인원 (보통인부)	4	84,166	336,664	11,222
	장비비	작업 차량	2	100,000	200,000	6,667
	자재비	아스팔트 응급보수재	13.5	1,100		14,852
	응급보수 비용 합계(원/개소)					**32,741**
소파 보수	인건비	작업 인원 (보통인부)	4	84,166	336,664	33,666
	장비비	작업차량	2	100,000	200,000	20,000
		다이아몬드 컷터	1	100,000	100,000	10,000
		핸드 브레이커	2	30,000	60,000	6,000
		발전기	1	50,000	50,000	5,000
	자재비	가열 아스팔트 혼합물	15	83		1,225
	소파보수 비용 합계(원/개소)					**75,891**
기존 포트홀 보수 비용 합계(응급보수 + 소파보수, 원/개소)						**108,632**

기존 보수방법 산정 결과, 응급보수의 경우 약 3만2천원 정도 소요되는 것으로 나타났으며 소파보수는 약 7만 6천원 정도 투입되어 합이 약 11만원 정도로 나타났다. 이는 포트홀 1개소를 응급보수와 소파 보수하는 비용의 합으로 기존 보수방법으로 포트홀 1개소를 보수하는 직접비라 할 수 있다.

(2) 신규 보수방법(프리캐스트 보수)에 의한 단가 산정

본 연구에서 개발된 아스팔트 프리캐스트 포트홀 보수 공법의 비용 산정은 크게 자재비와 시공비로 나눌 수 있다. 자재비는 프리캐스트 아스팔트 보수재를 생산하는 재료 및 생산비 등이 포함되며 채움재 비용도 함께 계상하였다. 자재비의 기준은 앞 절에서 제시한 기존 보수방법과 동일한 ∮400㎜ 기준의 원형으로 깊이 5㎝ 파손에 기준하여 산정하였다. 다음의 표 3.120은 본 연구에서 개발된 프리캐스트 보수재와 채움재 및 생산 가공비가 포함된 개략적인 보수재료 단가를 나타낸 것이다.

표 3.120 프리캐스트 포트홀 보수방법 자재비 산정

항목	내용	프리캐스트 보수재(∮400㎜) 기준	합계(원/개소)
자재비	프리캐스트 보수재	5,655	13,191
	채움재	4,536	
	생산/가공비	3,000	



그림 3.355 프리캐스트 포트홀 응급보수재료 및 생산(개발 기술)

아스팔트 프리캐스트 보수공법의 시공비를 산정하기 위해서 투입 장비 및 인원은 다음의 표 3.121과 같다. 작업 차량에는 본 연구를 통해 개발된 장비 1대와 자재 및 보조작업을 위한 작업차 1대가 포함되었다. 또한 인원도 장비 운전인원 1명과 보조인원 2인으로 기존 보수대비 1명이 줄었으며, 실제 2명의 보조인원도 실질적인 작업에 투입되기 보다는 시공장비의 조작 및 보조요원으로 구성되므로 작업원의 안전성 확보에 크게 이바지할 수 있다. 연구를 통해 다양하게 검증된 작업시간을 감안하여 1일 작업량은 약 20개소 정도로 산정하여 산출하였다.

표 3.121 프리캐스트 포트홀 보수방법 투입인원 및 장비

항목	내용	수량	비고
프리캐스트 보수방법	작업 차량	2	20개소/일 기준
	작업 인원	3	

개발된 전용 장비의 제품 가격 및 일반 건설장비의 사용시간을 고려하여 장비비를 산정하고 개소별 인건비 및 장비비를 계상한 결과가 다음의 표 3.122와 같다.

표 3.122 프리캐스트 포트홀 보수방법 인건비 및 장비비 산정

항목	내용	수량	단가	금액(원/일)	금액(원/개소)
인건비	장비운전원 (건설기계운전사)	1	112,268	112,268	5,613
	보수작업원 (보통인부)	2	84,166	168,332	8,417
장비비	전용시공장비	1	333,333	333,333	16,666
	작업차량	1	100,000	100,000	5,000

개소당 산정된 자재비 및 인건비, 장비비 등을 합하여 본 연구에서 개발된 아스팔트 프리캐스트 보수재료 및 보수전용 장비를 이용하여 실제 현장에서 적용되는 시공비를 산출한 결과, 약 4만 9천원 정도 소요되는 것으로 나타났다.

아스팔트 프리캐스트 포트홀 보수공법(신규 기술, 원/개소)	**48,888**

(3) 기존 보수방법과 신규 기술과의 경제성 비교

기존 보수방법과 본 연구에서 개발된 신규 보수방법과의 경제성 검토 결과는 다음의 표 3.123과 같다. 기존기술은 앞에서 언급한 바와 같이 응급보수와 소파보수의 2회 작업으로 진행되며 이에 따른 인력, 장비, 자재에 대한 투입비용이 1개소 보수 당 약 11만원 정도 소요되는 것으로 확인하였다. 그에 반해 본 연구에서 개발된 기술은 공장에서 정형화되어 만들어진 프리캐스트 보수재를 시공함으로써 1회 시공으로 소파보수 후의 내구성까지 확보할 수 있으며 1개소 보수에 소요되는 비용 또한 약 5만원 정도로 기존 기술대비 2배 이상의 비용절감효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 기존기술의 경우 응급보수와 소파보수의 2회 시공으로 인력투입도 2배이며 기타 장비나 작업차량도 추가로 투입되며 보수재료 또한 응급보수용 재료와 소파보수용 재료 2가지가 사용되므로 비용 상승이 불가피하다. 하지만 개발된 기술은 내구성을 갖춘 보수재료를 이용하여 전용 시공장비를 통해 최소 투입인력으로 적용되며, 1회 시공으로 투입 횟수를 줄임으로서 발생하는 부가비용을 절약할 수 있었다.

표 3.123 포트홀 보수방법의 경제성 비교(신, 구 비교)

기술수준	교통차단횟수	적용방법	소요비용 (원/개소)	**합계 (원/개소)**	**비고**
기존기술	2회	응급보수	32,741	**108,632**	**기존 대비 2.2배 비용절감 효과**
		소파보수	75,891		
개발기술	1회	프리캐스트 응급보수	48,888	**48,888**	

바. 사업화 방안

최근 기상 이변에 따른 집중호우나 폭우 등이 빈번하게 발생하면서 아스팔트 포장의 포트홀 파손이 다양하게 발생하고 있다. 본 장에서는 연구를 통해 개발된 재료 및 장비 등을 통합하여 최근 발생하는 포트홀 보수 시장에 진입하기 위한 사업화 방안에 대해 정리하였다.

우선, 포트홀 보수에 대한 사업화 방향은 다음과 같은 내용을 토대로 단계적으로 진행되어야 한다.

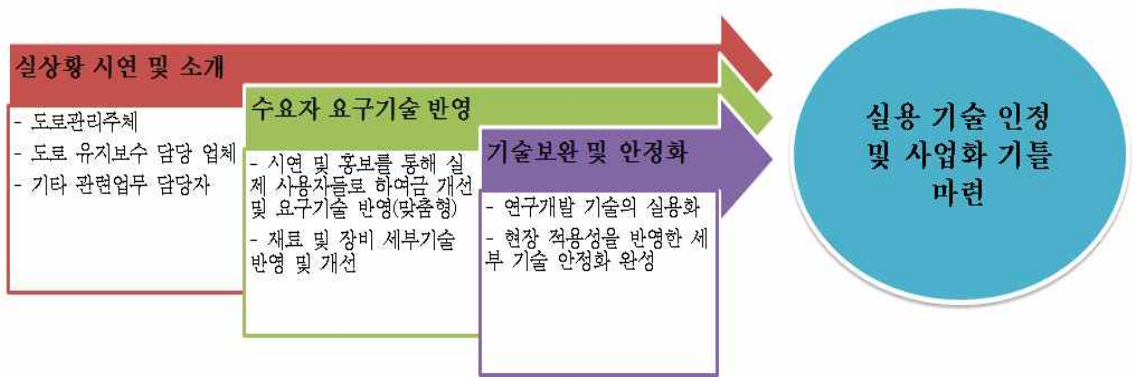


그림 3.356 사업화를 위한 요구기술 반영

현재 완성된 재료 및 장비의 기술을 이용하여 도로관리주체, 유지보수 업체 및 담당자 등에게 기술시연 및 소개가 우선적으로 진행되어야 한다. 이미 '2014 국토기술대전' 및 '도로 안전, 관리 기술 교류회' 등을 통해 소개되었으나 참가 인원이 국한적이고 각 도로 관리주체의 실무진이 직접 보고 판단할 수 있도록 다양한 홍보방법을 통해 기술시연을 진행할 예정이다.

실제 현장에서 직접 사용할 실무진 및 담당자의 기술시연이 진행되면 운영자 및 관리자 측면에서 세부적인 요구 기술들이 나올 것으로 판단된다. 본 연구진이 연구개발 당시 충분한 현장 적용성에 대한 검증을 진행하였지만 실제 현장에서 직접 유지보수 하는 담당자들 관점에서는 추가적인 수정 및 개선사항이 나올 것으로 예상된다. 이러한 실무자들의 요구 기술들을 수집하여 적용 가능한 사항은 반영하고 적용이 어려운 부분들에 대해서는 최대한 개선기술을 적용시켜 사용자의 편의성을 충분히 반영하고자 한다. 이러한 단계가 끝나면 최종적으로 본 기술의 현장 적용성 및 기술 보완이 마무리되며, 이를 토대로 실용기술에 대한 영업 및 사업화가 진행될 것이다.

(1) 도로관리 주체 분석

본 연구에서 개발된 포트홀 응급보수 시스템 기술의 사업화를 위해서 도로관리주체의 도로관리 수준 및 보수시장의 규모를 파악하는 것이 우선적으로 진행되어야 한다. 다음의 표 3.124는 매년 국토교통부에서 발간하는 '도로현황조서(2011), 국토해양부'의 내용을 발췌하여 정리한 것이다. 도로등급별 아스팔트 포장의 연장 및 비율이 나타나 있다.

표 3.124 도로별 아스팔트 포장 연장 및 관리 주체

구 분	아스팔트 포장			
	연장(m)	비율(%)	관리주체	관리특성
고속도로	1,437,128	2.0	한국도로공사	유료도로
일반국도	13,336,266	18.3	국토관리청 (국도유지관리사무소)	교통량 多
특별/광역시도	12,237,125	16.8	해당 지자체 도로관리과	교통량 多
지방도	14,902,687	20.4	국토관리청 (국도유지관리사무소)	교통량 小
시도	17,783,852	24.4	해당 지자체 도로관리과	교통량 小
군도	13,233,312	18.1	해당 지자체 도로관리과	교통량 小
합 계	**72,930,370**	**100**		

고속도로는 한국도로공사에서 관리하는 고속국도로, 대부분이 유료다. 도로 이용에 대한 비용을 지불하기 때문에 이용자들로 하여금 불편을 최소화하기 위해 도로관리에 대한 장비 및 인력을 직접 운영하고 있으며 관리기준도 국내 도로 중 가장 높다고 할 수 있다. 또한 차량들이 고속으로 주행하기 때문에 포트홀이나 포장 파손에 대해서는 매우 민감하며 이에 따른 관리수준도 높다. 일반국도는 국내 5개 국토관리청 산하 국도유지관리사무소에서 분산하여 관리하고 있다. 일반국도는 고속도로보다 한단계 낮은 등급의 도로지만 지역과 지역을 연결하고 고속도로가 직접 통과하지 않는 구간을 연결하는 역할을 하기 때문에 교통량이 다른 도로에 비해 상대적으로 높고 관리수준도 그에 준하는 수준으로 이루어지고 있다. 특별/광역시도는 서울특별시 및 6개 광역시 관내에서 운영되는

도로로 각 특별/광역시도에서 직접 관리하고 있다. 대부분 특별/광역시 도로관리과에서 총괄해서 운영하고 있으며, 외곽순환도로나 고가교, 기타 자동차 전용도로 등을 각 특별/광역시도에서 운영하는 '시설관리공단'에 위탁하여 운영하는 곳도 있다. 특별/광역시도는 이용자들이 많고 대중교통이나 자가 교통량이 많기 때문에 유지관리수준이 다른 시도 도로에 비해 높다. 지방도는 일반국도사이사이를 연결해주는 역할을 하는 도로로 교통량이 상대적으로 적고 관리수준도 낮으며 시군도 역시 특별/광역시에 비해 주거하는 사람이 적고 교통량도 적기 때문에 도로 유지관리에 대한 민감도가 낮은 편이라 할 수 있다.

본 연구의 사업화를 위한 기술시연 및 홍보 대상을 우선적으로 한국도로공사와 서울시를 목표로 진행하고자 한다. 한국도로공사의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 도로유지관리 수준이 높고 포트홀 파손에 대한 신속한 보수를 요하는 도로이다. 서울시 또한 매년 장마나 폭설 직후 포트홀이 상당히 발생하고 있는 실정이라 본 기술에 대한 관심도가 높은 곳이라 판단된다. 포트홀 파손에 대한 관심 및 중요도가 높은 한국도로공사 및 서울시 등은 본 기술 수요처로 좋은 대상일 것으로 판단된다.

(2) 영업 대상

본 기술의 구체적인 영업대상을 선정하기 위해서는 도로 관리 주체에 따른 유지보수 업무 프로세스를 이해할 필요가 있다. 일반적으로 도로의 포트홀 파손 등과 같은 응급보수는 관리주체에서 직접 직영팀을 운영하는 경우와 유지보수 전문업체에 이관하는 2가지 방법이 있다.

한국도로공사의 경우, 각 지사별로 응급보수 및 작업팀을 직영으로 운영하고 있으며, 재료 및 보수장치 등을 직접 관리한다. 하지만 서울시나 일반 국토유지관리사무소 등은 매년 관할지역의 연간유지보수 전문업체를 선정하여 운영하고 있다. 그러므로 도로공사와 서울시 및 국토유지관리사무소 등의 본 기술 사용처는 다르므로 이에 따른 별도의 영업전략이 필요하다.

도로공사는 전국의 고속도로 유지관리를 7개 지역본부와 52개 지사에서 담당하고 있다. 특히 포트홀과 같은 응급 보수는 지사에서 담당하여 관리하고 있으며, 지사별로 작업팀 및 재료 등을 직접 보유하고 포트홀이 발생하면 즉시 보수하는 직영팀을 운영하고 있다. 그러므로 고속도로를 대상으로 하는 영업은 우선적으로 지사를 중심으로 영업활동을 진행하는 것이 최선이라 할 수 있다. 아울러, 포트홀 유지보수 기술에 대한 알림 및 홍보

는 상위 기관인 지역본부를 통해 자연스럽게 전개되어야 할 것이며, 이를 토대로 도로공사에서 자체적으로 발간하여 시행하는 '포장관리 및 유지보수 실무 편람'에 포함되도록 하여야 할 것이다.



그림 3.357 도로공사 유지보수 담당 지역본부 및 지사

서울시의 도로 유지관리는 '도시안전실' 산하 '도로관리과, 도로시설과' 등에서 관리하며 실제적인 유지관리는 도로관리과 산하 6개 도로사업소(성동/동부/서부/북부/남부/강서)에서 나누어 관리하고 있다. 아울러 서울시 내에 있는 자동차 전용도로(강변북로, 올림픽대로, 동부간선, 서부간선, 내부순환선 등)의 유지관리는 '서울시 시설관리공단'에서 위탁 운영을 하고 있다. 하지만 서울시 도로 유지보수는 그 연장이 워낙 넓고 다양하게 분포해있기 때문에 담당 도로사업소나 시설공단에서 직접 직영팀을 운영하기에는 한계가 있다. 그러므로 서울시의 주요 도로의 유지보수는 매년 연간단가 전문업체를 선정하여 그 업체에서 유지보수를 시행한다.

표 3.125 서울시 사업소별 도로관리 구역

사업소	관리구역	관리면적(비율)
동부도로사업소	강남, 송파, 강동, 서초구 일부	116.40㎢(19%)
서부도로사업소	중구, 용산, 서대문, 마포, 은평	103.03㎢(17%)
남부도로사업소	영등포, 관악, 금천, 동작, 서초	94.95㎢(16%)
북부도로사업소	종로, 성북, 강북, 도봉, 노원	128.34㎢(21%)
성동도로사업소	성동, 광진, 동대문, 중랑	66.61㎢(11%)
강서도로사업소	강서, 양천, 구로, 영등포일부	96.19㎢(16%)

서울시 도로사업소에서 매년 연간단가 업체를 선정하여 계약하는 내역서에는 상시 응급보수에 대한 내용도 포함되어 있으며, 포트홀 발생 시 현장에 직접 투입하여 보수하는 작업도 전문 유지보수 업체에서 수행한다. 그러므로 서울시를 대상으로 하는 본 기술의 영업활동은 도로사업소를 통한 기술영업과 실제 포트홀 보수를 시행하는 시행사(유지보수 전문업체)를 대상으로 하는 영업으로 나누어 진행하여야 할 것으로 판단된다.

일반 국도 및 지방도를 관리하는 국토유지관리사무소의 경우도 서울시와 유사하다. 매년 관내의 포장 유지보수를 위한 연간단가보수를 발주하며 유지관리 전문업체에서 직접 수행한다. 그러므로 국도 및 지방도 영업 또한 국토유지관리사무소의 기술영업과 유지보수 전문업체의 영업이 동시에 진행되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 차별화 방안

본 기술의 영업에 있어 기존 기술과의 차별화 개념은 크게 경제적인 측면과 시공적인 측면으로 나누어 제시할 수 있다. 경제성의 경우는 앞 절인 경제성 분석 부분에서 이미 기존 기술 대비 약 2.2배의 경제성 효과가 있는 것으로 나타났다. 하지만 시공적인 측면에서도 실제 유지보수를 시행하는 유지관리 전문업체의 시공적 편의성을 제공하여야 본 기술의 상용화에 효과적일 것으로 판단된다.

현재 일반적인 포트홀 보수 방법은 2단계에 걸쳐 진행된다. 우천 시 포트홀이 발생하면 응급보수팀이 수경화성 상온 보수재를 가지고 현장에 발생한 포트홀을 메우는 작업을 진행한다. 이는 비오는 상황에서 패칭이나 정식 덧씌우기 시공이 안되기 때문에 우선적으로 차량 바퀴빠짐이나 곡예 운전 등의 사고 방지를 위해 우선적으로 시행하는 보수 방법이다. 응급 보수 후 포장 표면이 마르고 나면 패칭 및 소파보수팀이 가열 아스팔트 혼합물(HMA, Hot Mixed Asphalt)을 이용하여 포트홀 발생부위를 절삭한 후 패칭을 하여 보수를 마무리한다. 기존 포트홀 보수방법은 이렇게 2회에 걸쳐 포트홀 파손부를 보수하기 때문에 교통통제도 2회가 필요하고 투입되는 장비와 자재도 매번 별도로 준비하는 불편함이 있다.

하지만 아래의 표 3.126에서 보는 바와 같이, 본 신규 기술에서 제시하는 포트홀 보수 방법은 우천 시 발생하는 포트홀 보수 1회 시공으로 마무리할 수 있으며, 전용 시공장비를 이용하여 보수하기 때문에 인원 또한 최소화 하여 운영이 가능하다. 이러한 시공적인 이점을 고려하면 유지보수 전문업체 측면에서도 본 기술의 우수성을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3.126 시공 방법 비교

		프리캐스트 응급보수 (개발 기술)	기존 보수 (기존 기술)
1차 응급보수	인원	3인	4인
	장비	전용시공장비 작업차량 교통통제팀	작업차량 교통통제팀
2차 소파보수	인원	-	4인
	장비	-	작업차량 컷터 / 브레이커 발전기 교통통제팀
교통차단		1회	2회

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 주요 연구목표 달성도

1. 연구개발 수행 진도율

본 연구진은 다음의 표에 나타난 바와 같이, 총 3차년도 연구개발 내용에 제시된 항목들을 충실히 수행하였으며, 관리 시스템 개발, 보수재료 개발, 보수장비 개발 등의 내용을 과업기간 내에 완료하였다.

구분 / 개발내용		연구개발기간									진도(%)
		1차년도			2차년도			3차년도			
관리시스템 개발	S/W 기능규정	━	━	━							100
	포트홀 신고용 어플 개발	━	━	━							100
	서버용 S/W DB 및 구조설계	━	━	━							100
	서버용 S/W DB 및 구조설계(계속)				━	━	━				100
	서버용 S/W 개발 및 GIS 연계				━	━	━				100
	보수 작업원용 어플 개발				━	━	━				100
	서버용 S/W 개발 및 GIS 연계(계속)							━	━	━	100
	보수 작업원용 어플 개발(계속)							━	━	━	100
	S/W 성능평가 및 기능보완							━	━	━	100
	S/W 보급							━	━	━	100

보수재료 개발	보수&(응급보수)용 재료 조사											100
	폴리머 개질제 조사											100
	바인더 개질 및 배합시험											100
	그라우팅 재료 및 제품 조사											100
	프리캐스트 형상 설계											100
	프리캐스트용 자재 성형 및 기초 물성시험											100
	프리캐스트 바인더 개질 및 배합 결정											100
	프래캐스트 혼합물 입도 및 물성 시험											100
	최종 배합비 선정 및 보수재 성형 확인											100
	성형 재품의 물리적 성능 TEST											100
	채움재 배합 개발											100
	프리캐스트 보수재료 배합 개선											100
	채움재 자재 개선											100
	프리캐스트 생산 방법 및 설비 개발											100
	프리캐스트 시험 생산 설비 보완											100
	프리캐스트 시험 생산											100
	채움재 보관 및 살포방법 개발											100

보수장비 개발	보수장비 기본개념 설계										100
	파손부 제거장치 설계 및 시험평가										100
	파손부 제거장치 및 지지대 개발										100
	파손부 제거장치 보완										100
	포장면 그라인딩 장치 개발										100
	장비 및 시스템 조합										100
	진공흡입 및 청소장비개발										100
	파손부 제거장치 보완										100
	리프팅 크레인 선정										100
	장비 및 시스템 통합(계속)										100
	장비 시험 평가 및 보완										100
시험시공	포장가속시험										100
	현장 시험시공										80
총 진도율											100

····· 당초계획

———————— 실 적

2. 연구개발 수행 달성도

본 연구진은 총 3차년도 연구 내용에 있어 개발 목표를 100% 달성하였으며 보수재료의 경우, 1, 2차 년도에 연구 개발된 응급보수용 보수재료를 적용하여 포장가속시험 및 시험시공을 통한 내구성검토를 수행하였으며 보수장비의 현장 적용성을 동시에 평가하였다. 응급보수 장비개발의 경우 반복적인 시험시공을 통하여 장비성능 평가 및 보완사항을 반영하여 수행하였다. 장비관리 시스템 분야에서도 신고자용 어플리케이션을 개발하고 시험테스트를 통해 오차범위에 대한 문제점 등을 파악 및 보완하는 등, 연구개발 목표 달성을 위해 다양한 방법으로 연구를 진행하였다. 공용성 검증을 위해 포장가속시험을 실시하였으며 추가로 현장 시험시공을 계획하고 있다.

목 표	달 성 도 (%)	내 용
관리시스템 개발	100	- 포트홀 신고용 어플 개발 - 서버용 포트홀 관리시스템 개발 - S/W 기능 규정 - 서버용 S/W DB 및 구조설계 - 서버용 S/W DB 및 구조설계(계속) - 서버용 S/W 개발 및 GIS 연계 - 보수 작업원용 어플 개발 - 서버용 S/W 개발 및 GIS 연계(계속) - 보수 작업원용 어플 개발(계속) - S/W 성능평가 및 기능보완 - S/W 보급
보수재료 개발	100	- 국내외 응급보수용 재료 조사 - 재료개발을 위한 폴리머 개질제 조사 - 바인더 개질 및 기초배합시험 - 프리캐스트 형상 및 기초 물성시험 - 프리캐스트 바인더 개질 및 배합결정 - 프래캐스트 혼합물 입도 및 물성시험 - 최종 배합비 선정 및 보수재 성형 확인 - 성형 재품의 물리적 성능 TEST -채움재 배합 개발 - 프리캐스트 보수재료 배합 개선 - 채움재 자재 개선 - 프리캐스트 생산 방법 및 설비 개발 - 프리캐스트 시험 생산 설비 보완 - 프리캐스트 시험 생산 - 채움재 보관 및 살포방법 개발

보수장비 개발	100	- 보수장비 기본개념 설계 - 파손부 제거장치 설계 및 시험평가 - 파손부 제거장치 및 지지대 개발 - 파손부 제거장치 보완 - 포장면 그라인딩 장치 개발 - 장비 및 시스템 조합 - 진공흡입 및 청소장비개발 - 파손부 제거장치 보완 - 리프팅 크레인 선정 - 장비 및 시스템 통합(계속) - 장비 시험 평가 및 보완
시험시공	80	- 포장가속시험
		- 현장 시험시공

다음의 표에 나타난 바와 같이, 성과목표의 경우도 모두 100% 이상 달성한 것으로 나타났으며, 세부사항은 다음의 표와 같다.

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	포트홀 신고용 어플리캐이션 개발	포트홀 신고용 어플리캐이션 개발	프로그램 등록 여부	1건	30%
		어플리케이션 가용성	현장실험 (어플리케이션 실행 후 성공률)	80%이상 (실험횟수 100건 이상)	10%
		통신 성공률	현장실험 (어플리케이션 실행 후 정보 전송 성공률 측정)	90%이상 (실험횟수 100건 이상)	10%
		주요 도로주행 제한속도에 따른 오차범위 측정(동일 포트홀 인식 알고리즘 개발을 위함)	현장실험(자동차 주행중 정보전송 시 GPS 좌표정보의 오차범위 측정)	90%이상 (100, 80, 60, 40km/h, 100m 이내)	10%
		타 응용프로그램에의 적용을 위한 메시지 전송 규격서	규격서에 따른 타 OS 기반 응용프로그램 시범 구현	1건	10%

	응급보수를 위한 재료 개발	재료선정을 위한 시험횟수 (프리캐스트 재료, 채움재)	인장접착강도시험	50회 이상	15%
		채움재 적용 후 부착강도	전단접착강도시험	12회 이상	15%
	소 계				100%
	사업지표	특허출원 및 등록 건수	특허출원 건수	2건	50%
	기타지표	S/W 등록건수	SW 등록건수	1건	25%
		시작품 제작 건수	시작품 제작 건수	1건	25%
	소 계				100%
2차년도	서버용 소프트웨어 개발	서버용 S/W 개발 프로그램 개발	프로그램 등록 여부	1건	15%
		서버 가용성	현장실험 (서버 접속 성공률)	90%이상 (실험횟수 100건 이상)	5%
		정보 수신 성공률	현장실험 (신고용 소프트웨어에서 전송된 정보수신 성공률)	95%이상 (실험횟수 100건 이상)	5%
		정보 처리 성공률	현장실험 (전송된 정보에 따른 부속 프로그램 구동 성공률, 관리자 알람/보수작업팀 단말기에 전송 등)	95%이상 (실험횟수 100건 이상)	5%
		동일 포트홀 인식 정확도	현장실험 (포트홀이 유관으로 식별되는 여러 주행속도와 위치에서 신고용 프로그램에서 전송된 포트홀의 동일성 여부 판단)	100m 이상 이격 70% 이상	5%
		서버용 S/W 규격서	작성 여부	1건	10%
	응급보수	채움재 선정	부착강도 시험 등	1건 이상	15%

	를 위한 재료 개발		공인기관의 성능시험 성적서		
		채움재 적용 후 부착강도	전단접착강도시험	20℃, 0.15 N/㎟ 이상	5%
		강도발현시간 구현	부착강도 시험	60분 이내	5%
		응급보수 재료 강도	마샬안정도 시험	마샬안정도 750kgf 이상	5%
		채움재 적용 후 부착강도	직접전단시험	20℃: 0.6kg/cm2 이상	5%
	응급보수 장비 개발	코어장비	치수측정	절삭폭 300㎜ 이상	10%
		채움재 저장탱크	용적계산	용량 0.2㎥ 이상	10%
	소 계				100%
	사업지표	특허출원 및 등록건수	특허 출원 건수	1건	30%
	기타지표	SW 등록건수	SW 등록 건수	1건	20%
		국내 학술회의 발표 건수	학술발표회 논문	1건	20%
		시작품 제작 건수	시작품 제작	2건	30%
	소 계				100%
3차년도	포트홀 신고 및 보수 이력 관리시스템 개발	시스템 매뉴얼	학술발표회 논문 발표 여부	1건	10%
		기술시연	기술시연 여부	1건	5%
	응급보수를 위한 재료 개발	응급보수단가	보수단가 산정	㎡당 단가 52,860원 이하	10%
		시방서 작성	시방서 작성 여부	1건	10%

		프리캐스트재 변형강도	Kim's Test	2.0㎫ 이상	5%
		프리캐스트재 시작품 제작	응급보수 재료 시작품 제작	3건 이상	10%
		보수재 목표 수명	포장가속시험 또는 시험시공	보수 후 3개월 교통량	5%
	응급보수 장비 개발	진공흡입장치	용적계산	슬러지탱크용량 1㎥ 이상	10%
		리프팅 크레인	중량측정	상차능력 100㎏	10%
		절삭장비	작업폭 및 작업범위 측정	작업폭 300㎜ 작업범위 1m 이상	10%
		장비성능평가	평가 항목별 공인기관 시험	1건	5%
		장비양산단가	연 10대 생산기준 3억 이하	3억 이하	10%
	소 계				100%
	사업지표	특허출원 및 등록 건수	특허 등록 건수	2건	20%
		국내외 학술지 게재 논문 건수	비SCI급 논문 게재 건수	2건	20%
		기술실시계약	계약 건수	1건	10%
		현장적용에 따른 비용절감 건수	절감 건수	1건	10%
		사업화・제품화	사업화・제품화 건수	2건	20%
	기타지표	시작품 제작 건수	건수	3건	10%
		국내 학술회의 발표 건수	학술발표회 논문	1건	10%
	소 계				100%

제 2 절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

현재 국내에서 적용되고 있는 아스팔트 포트홀 보수는 우천 시, 긴급보수를 통한 상온 아스팔트 혼합물 1차 보수와 우천 후 가열 아스팔트 혼합물을 이용한 2차 소파보수로 획일화 되어 있다. 장마철의 경우, 1차 보수구간이 재파손으로 인해 2, 3차 보수로 늘어나는 일이 빈번하며 인력으로 시공하다 보니 작업자의 안전에 취약한 단점이 있다. 또한 교통차단시간이 잦게 되면 그에 따른 교통체증 및 정체가 반복되게 되며 사용자들로 하여금 도로관리의 문제점을 지적받을 수 있다.

본 연구를 통해 개발되는 기술은 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법으로 제시되었다. 기존의 획일화된 상온 아스팔트 보수재를 통한 보수를 탈피하여 신 개념의 프리캐스트 보수재료를 적용함으로써 내구성 및 시공성을 향상시킬 수 있으며, 전용 시공장비를 개발하여 우천 시 긴급보수에 따른 인력 투입을 최소화 하여 작업자의 안전을 확보하도록 하였다. 또한 위치정보 기술을 기반으로 한 관리시스템을 도입하여 빠르고 정확한 보수가 이루어 질수 있도록 운영하여 대국민 만족도를 향상시킬 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

아래의 그림에서 보는바와 같이, 현재 포트홀 보수 재료 및 보수방법의 한계는 획일적인 보수와 반복적인 파손, 인력시공에 따른 작업자 안전 문제 등을 수반하고 있다. 반복적인 파손이 없는 고내구성 보수재료와 작업자의 안전을 확보하면서 시공 품질을 향상시킬 수 있는 시공장비 등을 갖추게 되면 도로포장 보수재료의 규격화를 통해 품질관리가 용이해질 것이며 기계화 시공으로 신속한 도로보수 및 작업자의 안전까지 확보할 수 있을 것으로 판단된다.



2. 사회·경제적 측면

기존기술은 응급보수와 소파보수의 2회 작업으로 진행되며 이에 따른 인력, 장비, 자재에 대한 투입비용이 1개소 보수 당 약 11만원 정도 소요되는 것으로 확인하였다. 그에 반해 본 연구에서 개발된 기술은 공장에서 정형화되어 만들어진 프리캐스트 보수재를 시공함으로써 1회 시공으로 소파보수 후의 내구성까지 확보할 수 있으며 1개소 보수에 소요되는 비용 또한 약 5만원 정도로 기존 기술대비 2배 이상의 비용절감효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 기존기술의 경우 응급보수와 소파보수의 2회 시공으로 인력투입도 2배이며 기타 장비나 작업차량도 추가로 투입되며 보수재료 또한 응급보수용 재료와 소파보수용 재료 2가지가 사용되므로 비용 상승이 불가피하다. 하지만 개발된 기술은 내구성을 갖춘 보수재료를 이용하여 전용 시공장비를 통해 최소 투입인력으로 적용되며, 1회 시공으로 투입 횟수를 줄임으로서 교통차단시간이 단축되어 사회적 비용 절감효과도 발생할 것으로 판단된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

제 1 절 연구결과의 활용계획

본 연구의 최종성과물은 프리캐스트 개념의 포트홀 보수재료, 포트홀 보수에 필요한 자동화 장비, 포트홀 보수관리시스템의 세 가지로 구분할 수 있다. 포트홀 보수재료 및 장비의 경우에는 포장가속시험과 시험시공을 통하여 성능이 검증된 이후 도로관리청 및 지방자치단체의 포장보수 작업반에게 보급이 가능하다. 보급은 먼저 국토해양부 산하 17개 국도유지관리사무소 또는 한국도로공사의 60여개 지사 중에서 2개소 정도를 선택하여 시험 적용할 수 있다. 이를 통하여 성능의 검증이 실제 업무 수준에서 이루어질 경우 추후 모든 도로관리청에 보급이 가능할 것으로 판단된다. 이와 같은 보급 및 확산을 통하여 보수재료의 성능에 대한 추가적인 검증과 성능 개선이 이루어진 이후에는 포트홀 발생이 빈번한 동남아시아 국가와 중국에 수출 가능성이 열린다고 판단 수 있다.

포트홀 보수관리시스템의 경우에는 보수재료 및 장비와는 별도로 적용할 수 있으며, 도로관리청 및 지방자치단체에 사전 보급이 가능할 것으로 판단된다. 포트홀 보수에 가장 필수적인 포트홀 발생 여부 확인이 관리시스템을 통할 경우 도로보수 작업반이 인지하는 것보다 훨씬 빨리 이루어질 수 있다. 또한 이력관리를 수행할 경우 포장의 보수 의사결정을 내리는 분야에서도 도움이 될 수 있다.

제 2 절 기대성과 및 파급효과

본 연구개발의 성과로 나타나는 가장 큰 기대성과는 소파보수 예산의 절감이다. 기존 보수방법과 본 연구에서 개발된 신규 보수방법과의 경제성 검토 결과는 다음의 표 5.1과 같다. 기존기술은 응급보수와 소파보수의 2회 작업으로 진행되며 이에 따른 인력, 장비, 자재에 대한 투입비용이 1개소 보수 당 약 11만원 정도 소요되는 것으로 확인하였다. 그에 반해 본 연구에서 개발된 기술은 공장에서 정형화되어 만들어진 프리캐스트 보수재를 시공함으로써 1회 시공으로 소파보수 후의 내구성까지 확보할 수 있으며 1개소 보수에 소요되는 비용 또한 약 5만원 정도로 기존 기술대비 2배 이상의 비용절감효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 기존기술의 경우 응급보수와 소파보수의 2회 시공으로 인력투입도 2배이며 기타 장비나 작업차량도 추가로 투입되며 보수재료 또한 응급보수용 재료와 소파보수용 재료 2가지가 사용되므로 비용 상승이 불가피하다. 하지만 개발된 기술은 내구성을 갖춘 보수재료를 이용하여 전용 시공장비를 통해 최소 투입인력으로 적용되며, 1회 시공으로 투입 횟수를 줄임으로서 발생하는 부가비용을 절약할 수 있을 것으로 판단된다.

표 5.1포트홀 보수방법의 경제성 비교(신, 구 비교)

<table>
<tr><th>기술수준</th><th>교통차단횟수</th><th>적용방법</th><th>소요비용
(원/개소)</th><th>합계
(원/개소)</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">기존기술</td><td rowspan="2">2회</td><td>응급보수</td><td>32,741</td><td rowspan="2">108,632</td><td rowspan="3">기존 대비
2.2배
비용절감
효과</td></tr>
<tr><td>소파보수</td><td>75,891</td></tr>
<tr><td>개발기술</td><td>1회</td><td>프리캐스트
응급보수</td><td>48,888</td><td>48,888</td></tr>
</table>

현재 포트홀 보수는 대부분이 인력 시공으로 이루어지고 있다. 4~5인으로 구성된 보수작업반이 현장에 투입되어 인력으로 포트홀 발생부위의 이물질을 제거하고, 포대형 유화아스팔트 또는 가열아스팔트 혼합물을 포트홀에 채워 넣고, 소형 인력다짐기를 사용하여 전압하는 방법으로 이루어진다. 본 연구개발에 의하여 개발되는 장비는 인력의 투입을 최소화하는 개념으로 이루어져, 보수 작업반을 3인 이내로 운영할 수 있도록 도와준다. 이는 동일한 인원의 작업반으로 더 많은 수의 보수를 이루어낼 수 있도록 도와주는 효과

가 있다. 이를 통하여 신속한 유지보수가 가능하고 더 우수한 성능의 도로를 사용자에게 제공할 수 있다는 장점이 있다. 또한 보수 작업반 인원 규모가 줄어들고 장비투입이 늘어나 작업반원의 사고 위험성이 줄어든다.

표 5.2 현행 보수방법과 개선된 보수방법 비교

현행 보수방법	개선된 보수 방법	효과
포트홀 인지	포트홀 인지	• 스마트폰 어플을 이용함으로써 포트홀 발생 인지 시간 ½ 단축
작업반 출동	작업반 출동	
포트홀 청소 및 정리	전용장비를 이용한 포트홀 주변 절삭, 청소 및 수분제거	• 전용장비를 이용한 기계화로 소요시간 단축 • 전용장비를 이용함으로 인한 안전성 증가
수분제거		
상온유화아스팔트 포설	프리캐스트 보수재 설치	• 작업시간 ½ 단축 • 포트홀 주변 아스콘을 완벽히 제거함으로써 내구성 향상 • 프리캐스트 공법을 적용하여 다짐이 불필요해짐으로 인한 내구성 향상
다짐		
뒷정리	뒷정리	• 장비를 이용함으로 인한 안전성 증가

포트홀 보수관리시스템의 경우에는 도로의 유지관리와 IT 기술의 접목을 이루어내어 유지관리 업무의 효율화뿐만 아니라 기술 융합을 이끌어낼 수 있다. 도로 및 시설물의 유지관리는 IT 기술이 도입될 경우 유지관리 이력정보를 DB화하면서 향후 내려질 유지관리 의사결정에 반영할 수 있다. 포트홀의 보수도 단순한 이력관리를 넘어 도로포장의 고비용 유지보수 항목인 절삭덧씌우기 의사결정을 내리는 과정에서도 포트홀 보수 빈도를 구간별로 비교하여 반영할 수 있다. 이와 같은 부분은 이미 선진국에서는 반영하고 있는 기술로 우리도 기술적 자립도를 한단계 끌어올릴 수 있다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

(없 음)

제 7 장 참고문헌

1. 건설교통부 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구-새로운 포장공법 적용 기준 정립(1단계 2차년도 최종 보고서)”

2. 국토해양부 (2011. 09), “노면 불연속 구간 포장파손저감 잠정지침”

3. 김광우, 이문섭, 김준은, 최선주, “소성변형과의 상관성에 근거한 아스팔트 콘크리트의 변형강도 개발을 위한 기초연구” Journal of Korean Society of Pavement Engineers, 4(4), 한국도로포장공학회, 2002. 12, pp.23-39

4. 김광우(1996), "폴리머 개질 아스팔트 포장재료의 특성", 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄, 강원대학교, 61~89.

5. 김남호, 최정순, 박지용, 김광우, “무탄소 고성능 상온 아스팔트 콘크리트의 특성연구-Fundamental Characteristics of Carbon-free High-performance Cold-mix Asphalt Concrete,” 석재연 논문집, 제 15(1), 2010. 12

6. 김덕성, 최정묵, 이재호(2000), “개질아스콘의 시공 및 경제성 연구”, 건설기술정보 통권 제 27호, 1~21

7. 김현환, 김진철, 라일호, 도영수, 김광우, “CRM 혼합물의 박리저항성 향상연구,” 한국도로학회 봄학술대회 논문집, 2008. 3.19., 97-102

8. 김현환, 라일호, 유민용, 도영수, 김광우,“SMA 혼합물의 소성변형 저항성 평가를 위한 반복주행시험의 고찰,” 한국도로학회 봄학술대회 논문집, 2009. 3.12.

9. 권순관, 김상범, 이영범, 최성희, 최건형, 김우년, “Isocyanate의 양과 노화에 따른 경질 폴리우레탄 폼의 물성 변화 연구”, 화학공학의 이론과 응용 제8권 제2호 2002년, pp. 2485-2488

10. 권정혁 (2010) HTML5 on Mobile : 왜 HTML5 가 모바일에서 중요한가, http://xguru.net/593

11. 류명찬, 차순만, 박석주 (2000) “아스팔트 및 아스팔트 개질재-국내사용현황을 중심으로” 한국도로포장공학회 제2권 2호, 25-33

12. 박경원, (2004) “도로유지관리 개선방안에 관한 연구” 석사학위 논문

13. 박은용, 한상기, 김형배, 장영두, 차순만, 황인동 (2010), “Mastic asphalt 포장 공법의 재료 개발 및 현장 적용에 관한 연구” 2010한국도로학회 학술대회 논문집, 79-84

14. 박태순, (2004), “국내 개질 및 특수 아스팔 혼합물의 특성 및 성능 비교에 관한 연구”대한토목학회논문집 v.24 n6-D, 901-909

15. 박태순, 리출선, 이봉원 (2002) “환경친화형 상온아스팔트 혼합물 시공사례” 토목기술 제50권 제9호, 73-78

16. 신현술 (2005) “개질아스팔트 이해와 적용” 도로교통 기술기사 제102호, 46-55

17. 이경하 (2006) “포장파손사례 분석을 통한 유지보수의 기술적 고찰” 한국도로학회 기술기사 제8권 1호, 5-12

18. 이경하, 이광호, (2000), “구스 아스팔트 혼합물의 배합설계방법 및 설계기준 고찰” 한국도로포장공학회 학술발표논문집 제 2권 1호, 69-73

19. 안일신, ‘진공물리 및 진공기술’, 한양대학교 출판부, 1999

20. 전종홍, 이승윤 (2010) 차세대 모바일 웹 애플리케이션 표준화 동향, 전자통신동향분석, 제25권, 제1호, pp. 100-113.

21. 차민경(2008), 정태현, 이관호, 이병식, 임유진, “선회다짐기를 이용한 노상토의 다짐 특성 평가”, 한국도로학회 학술발표논문집, pp. 439-446

22. 한국도로공사 도로교통기술원, (2005) “우수침투로 인한 포장파손의 방지방안 연구”

23. 한국도로공사, (2000) “유지보수 작업매뉴얼(포장보수)”

24. 한국도로학회 도로교통 기술기사, (2005) “개질아스팔트 이해와 적용”

25. 한국도로공사 (2009. 06), “아스팔트 포장의 포트홀 저감 지침”

26. 행정안전부 (2010) 전자정부서비스 호환성 준수지침, 행정안전부고시 제2010-40호.

27. 황성도, 김영민, 이지익, 서창원 (2009) “우천시 시공 가능한 포트홀 응급 보수재 개발 및 평가” 종합물가정보 12월호(통권 469호)

28. 황성도, 이석근, 김영민, 이지익 (2005) “폴리우레탄을 이용한 아스팔트 포장의 포트홀 응급 보수재 평가” 대한토목학회 정기학술대회, 5267-5270

29. 황태호 (2011) [2012년, HTML5 혁명 온다] <상> 모바일 생태계 지각변동, 전자신문, 2011년 12월 25일자 기사

30. Butcher, M. (1997), "Determining Gyratory Compaction Characteristics using the Servopac Gyratory Compactor", TRB

31. Donald M. Mattox, 'Handbook of Physical Vapor Deposition Processing', Noyes Publication, 1998

32. Hinrichsen, J. (2000), "A Comparison of Four Brands Superpave Gyratory Compactor", TRB

33. Lee, K. (1996), "The use of waste materials in hot mix asphalt", Ph.D Thesis,

Dept. of Civil Engineering, Purdue Univ., W. Lafaytte, IN, USA

34. Mallick, R. B. (2000), "Use of Superpave Gyratory Compactor to Characterize Hot Mix Asphalt (HMA)", TRB

35. Ortolani, L. and Sandberh, H. A. (1952), "The Gyratory Shear Method of Modeling Asphaltic Concrete Test Specimens ; Its Development and Correlation with Field Compaction Methods", Proceeding, AAPT, Vol. 21, pp. 280-297.

36. Harland G. Tompkins, 'Pumps Used in Vacuum Technology', American Vacuum Society(AVS), 1991

제 8 장 부 록

아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템 시방서

2014. 11

1. 일반사항

1.1 적용범위

본 시방서는 아스팔트 포장의 포트홀(Pothole) 파손을 응급보수하기 위한 것으로, 아스팔트 프리캐스트 보수재를 이용하여 시공하는 공사 현장에 적용한다.

1.2 참조 규격

KS M 2202	컷백 아스팔트
KS M 2250	역청 재료의 연화점 시험 방법(환구법)
KS M 2252	역청 재료의 침입도 시험 방법
KS F 2337	마샬 시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항력 시험 방법
KS F 2352	다져진 아스팔트 혼합물의 부착에 대한 수분의 영향 시험
KS F 2357	아스팔트 혼합물용 골재
KS F 2364	다져진 역청 혼합물의 공극률 시험 방법
KS F 2369	도로 보수용 상온 아스팔트 혼합물
KS F 2374	아스팔트 혼합물의 휠 트래킹 시험방법
KS F 2488	개질 아스팔트이 파악력 및 점결력 시험 방법
KS F 2508	로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모시험
KS M 2247	아스팔트의 절대 점도 시험 방법
KS M 2254	역청 재료의 신도 시험 방법
KS M 2259	아스팔트성 재료의 롤링 박막 가열 시험 방법
KS M 3705	접착제의 일반 시험 방법

2. 재료

2.1 품질기준

2.1.1 아스팔트 프리캐스트 보수재

보수재의 구성은 골재와 골재를 피복하는 AP-5, 혼합물 제작 시 투입되는 아스팔트 개질 바인더와 폴리우레탄 바인더로 구성된다.

(1) 골재

보수재에 사용되는 골재는 다음을 만족하여야 한다.

① 굵은 골재의 품질

아스팔트 혼합물의 제조에 사용되는 굵은 골재는 부순 골재(쇄석)를 사용하며, 깨끗하고 단단하며 내구적인 것으로 흙, 먼지, 유기물 등의 유해물이 함유되거나 피복되어 있지 않아야 한다. KS F 2357(아스팔트 혼합물용 골재)에 의거하며, 그 품질은 [표 1]과 같다.

[표 1] 굵은 골재의 품질

구분	품질기준
밀도(절대건조, g/cm3)	2.45 이상
흡수율(%)	3.0 이하
편장석률(%)	30 이하
마모율(%)	35 이하
안정성(%)	12 이상
굵은골재 파쇄면비율(%)	85 이상

② 잔골재의 품질

아스팔트 혼합물의 제조에 사용되는 잔골재는 부순 모래 또는 그 혼합물을 사용하며 흙, 먼지, 유기물 등의 유해물이 함유되거나 피복되어 있지 않아야 한다. KS F 2357(아스팔트 혼합물용 골재)에 의거하며, 그 품질은 [표 2]와 같다.

[표 2] 잔골재의 품질

구분	품질기준
밀도(절대건조,g/cm3)	2.5 이상
흡수율(%)	3.0 이하
안정성(%)	15 이하
모래당량(%)	최소 50
잔골재 입형(%)	최소 45

③ 골재 최대 입경에 따른 통과 질량 백분율

골재의 크기는 주어진 여건과 상황에 따라 다르게 적용을 한다. KS F 2369에 의하면 골재의 최대 입자 지름에 따라 표 3과 같이 분류하며 이 때 표시되는 혼합물의 최대 입자 지름은 표 3의 통과 질량 백분율을 만족하여야 한다.

[표 3] 골재의 최대 입자 지름

골재의 최대 입자 지름	체의 호칭 치수[a]	통과 질량 백분율
10mm	10mm	95% 이상
5mm	5mm	95% 이상
3mm	2.5mm	95% 이상
a 여기에서 체는 각각 KS A 5101-1에 규정된 금속 망체 9.52mm, 4.75mm, 2.36mm에 해당한다.		

(2) 바인더

바인더는 골재에 피복에 사용되는 AP-5와 혼합물 제작시 사용되는 아스팔트 개질 바인더와 폴리 우레탄 바인더가 있다. 보수재에 사용되는 바인더는 다음을 만족하여야 한다.

① AP-5

AP-5의 품질 기준은 [표 4]와 같다.

[표 4] 아스팔트(AP-5)의 품질

구분	시험방법	품질기준
침입도(25℃, 100g, 5sec.)	KS M 2252	40 이상
연화점(℃)	KS M 2250	70 이상
신도(15℃, 5cm/min, cm)	KS M 2254	50 이상
박막가열 후 질량변화율(%)	KS M 2259	0.6 이하
박막가열 후 침입도 잔류율(%)	KS M 2259	65 이하
터프니스(25℃, kg.cm)	KS F 2488	200 이상
테나시티(25℃, kg.cm)	KS F 2488	150 이상
점도(60℃, Poise)	KS M 2247	200,000 이상

② 아스팔트 개질 바인더

고분자 수지를 바인더에 일정 비율을 넣고 개질 처리한 아스팔트를 사용한다. 그리고 개질 처리된 아스팔트는 프로세스 오일 및 폴리머 개질제를 처리한 후 가공하여 AP-5와 혼합하였다. 아스팔트 개질 바인더의 품질 기준은 [표 5]와 같다.

[표 5] 아스팔트 개질 바인더의 품질

<table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>시험방법</td><td colspan="2">품질기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">인화점(TOC, ℃)</td><td rowspan="5">KS M 2202</td><td colspan="2">66이상</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">점도(SFS)</td><td>60℃</td><td>250~500</td></tr>
<tr><td>82.2℃</td><td>125~250</td></tr>
<tr><td rowspan="2">증류 찌끼 시험</td><td>침입도</td><td colspan="2">120~300</td></tr>
<tr><td>톨루엔가용분</td><td colspan="2">99.0이상</td></tr>
</table>

③ 폴리 우레탄 바인더

폴리올 수지와 이소시아네이트를 혼입하여 사용한다. 반응형 상온 아스팔트의 폴리우레탄 바인더에 사용된 수지는 습기 경화형으로 4,000~8,000cps(25℃)의 점도를 갖는 암갈색 점조액의 aromatic 이소시아네이트로 NCO함량이 14~18%인 이소시아네이트기(-NCO)를 가진다. 폴리 우레탄 바인더의 품질 기준은 [표 6]와 같다.

[표 6] 폴리 우레탄 바인더의 품질

구분	물성
주 성 분	Urethane Resin
외 관	암갈색 점조액
점도(25℃, Poise)	6,000±2,000
경화시간	3시간 : 90% 이상 경화시간
NCO 함량(wt %)	16.0±2.0

(3) 혼합물

골재와 바인더를 이용하여 제작된 혼합물을 배합설계를 실시하여 [표 7]와 같은 품질기준을 만족하여야 한다.

[표 9] 아스팔트 프리캐스트 혼합물의 품질기준

시험항목	시험방법	단위	품질기준	비고
안정도(25℃)	KS F 2337	N	10,000 이상	
흐름값	KS F 2337	1/100cm	20~40	
밀도	KS F 2352	g/cm3	2.0이상	
수침잔류안정도	KS F 2337	%	75이상	48시간 수침(25±1℃)
변형강도(25℃)	아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침	MPa	4.25이상	
공극률	KS F 2364	%	6~15	
칸타블로 손실율		%	?	25±1℃ 측정
동적안정도(25℃)	KS F 2374	pass/mm	3,000 이상	

2.1.2 아스팔트 프리캐스트 응급보수용 채움재

채움재의 구성은 주제(A)와 경화제(B)로 이루어진 접착제와 내구성 향상을 위해 사용된 필러로 구성되며 도로와의 색상을 고려하여 안료를 첨가한다. 시공 시 사용되는 배합비는 [표 8]과 같다.

[표 10] 채움재의 배합비율

구분	접착제		필러	안료
	주제(A)	경화제(B)		
배합비(%)	20	20	60	필러의 0.25%

① 접착제

[표 9]와 [표 10]은 접착제의 물성 및 반응 특성과 경화 후 특성을 나타낸다. 접착제는 2액형 에폭시 우레아로 주제(A)와 경화제(B)로 이루어져 있다. 2액형 에폭시 우레아는 초속 경화형으로 시공 후 높은 강도를 나타낼 수 있으며 저온에서도 경화가 가능하다.

[표 11] 접착제의 경화 전 물성 및 반응 특성

구 분	주제 (A)	경화제 (B)
밀 도 (25℃)	1.10~1.15	0.95~0.99
점 도 (cps)	40 이하	40이하
○ Thermal stability(내열성) : 0~50℃ ○ Working Time(가사시간) : 2분 이내 ○ Tack free time(지촉건조시간): 4분30초 이내 ○ Final Curing(완전경화시간): 20분~25분		

[표 12] 접착제의 경화 후 품질 기준

Properties	측정값
인장강도 (ASTM D 412)	29 Mpa 이상
신장율	4~8%
압축강도	20 Mpa 이상
경도 (Shore D)	71 이상
접착 강도(철 표면상)	8 Mpa
접착 강도(부식된 표면상)	8 Mpa
휨 감도	19 Mpa 이상
색상	연한 황색

② 필러

사용된 필러는 실리카(Silica)이다. 실리카의 사용 목적은 접착제에 실리카를 투입함으로 내구성 향상을 하기 위함이다. 다음의 [표 11]과 [표 12]는 필러의 물리적 및 화학적 성질이다. 실리카 타입중에 접착제와의 비중을 고려하여 1.0~1.5사이의 필러를 사용한다. 필러의 성분은 대부분이 SiO_2로 99% 이상이 들어가며 그 외에는 여러 첨가물이 들어간다.

[표 11] 필러의 물리적 성질

화학 성분(%)	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O
S-SIL	99.3~99.8	0.06~0.5	0.01~0.07	<0.02	<0.02	<0.01

[표 12] 필러의 화학적 성질

종 류	Median Particle Size	Oil Absorption (g/100g)	pH	bulk density (g/㎤)	
				(Tapped)	(Untapped)
S - SIL 30	14.1 ㎛	19.0	7.0	1.35	0.95

③ 안료

채움재 색상을 도로와의 이명성을 줄이기 위하여 안료(카본블랙)를 사용한다.

채움재 내에서 혼합시 분산이 잘되는 Hi-black 계열의 카본 블랙을 배합비 외에 필러의 0.25%를 첨가한다.

2.2 재료의 생산 및 준비

2.2.1 일반 사항

아스팔트 피복 골재에 아스팔트 개질 바인더(AMB)와 폴리 우레탄 바인더(PUB)의 일정 비율을 투입하고 혼합하여 충분한 믹싱을 한 후, 바로 보수재를 제작하면 무방하지만, 그

러하지 않을 경우에는 수반응형 혼합물을 진공으로 포장하여 보관할 수 있는 특수 포장지에 담아 포장지 내부가 진공이 되도록 패킹을 하여 되도록 이면 상온에서 보관한다.

2.2.2 자동화 설비를 이용한 보수재 생산

[그림 1]은 아스팔트 프리캐스트 자동화 생산 설비이다. 이를 이용하여 300mm 또는 400mm, 500mm의 보수재를 제작한다. 자동화 생산 설비의 제원은 [표 13]와 같다.

[표 13] 자동화 생산 설비의 제원

구분	내용
전원	380V X Φ3 - 유압모터 220V X Φ3 - 소형모터 / 센서
공기압	5~7Kg /㎠
유압	100Kg /㎠
상용 온도	18℃ 이상



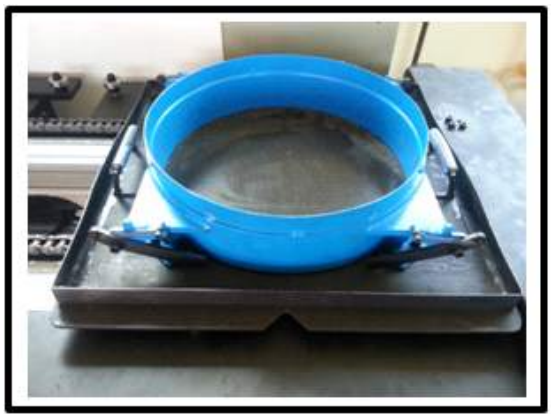
[그림 1] 아스팔트 프리캐스트 자동화 생산 설비

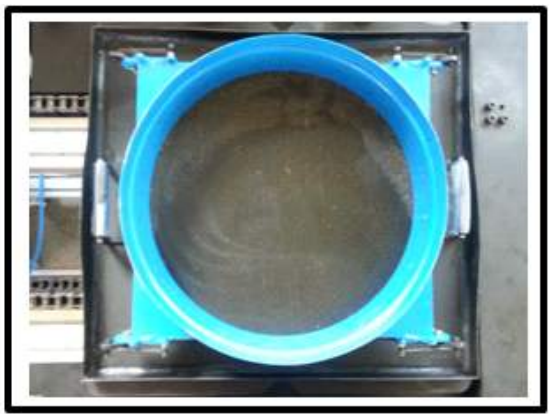
생산 공정은 5가지 공정으로 정리된다.

1. 성형판 및 지그(몰드) 안착 → 2. 혼합물 공급 및 표면 정리 → 3. 가수 및 정지 → 4. 압형 및 탈형 → 5. 보수재 건조 의 순서로 진행된다.

(1) 성형판 및 지그(몰드) 안착

: 생산설비 오른 편에 성형판 및 지그를 제대로 안착한다. 이때, 지그에 부착된 다리를 접어주어 하단에 공간이 생기지 않도록 한다. 다리에 용도는 탈형시 지그가 바닥에 일정 공간 떠 있도록 하는 것이다.





(2) 혼합물 공급 및 표면 정리

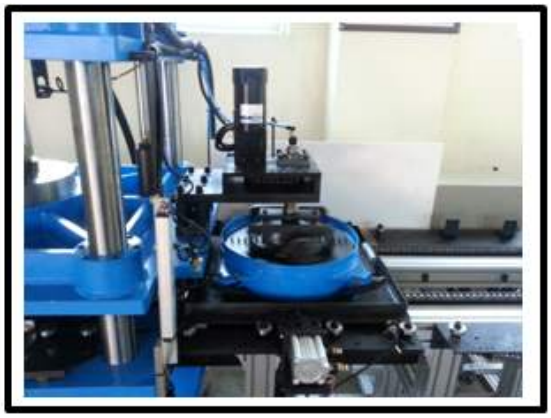
: 생산하려는 보수재에 두께를 정하고 그에 맞는 수반응형 혼합물을 지그 안에 투입한 후, 혼합물이 한쪽으로 몰리지 않도록 골고루 지그 내에 펼쳐준다.





(3) 가수(水) 및 정지

: 혼합물이 들어있는 성형판이 선로를 이동하여 가수 및 정지 장치가 있는 하단부에 위치한다. 그리고 혼합물 위에 일정 시간동안 물이 분사되며 가수판이 회전을 하고 이 판이 혼합물이 평평해 지는 역할을 하여 정지 작업을 해준다.

(4) 압형 및 탈형

: 가수 및 정지가 된 혼합물이 들어있는 성형판이 선로를 이동하여 압형 장치가 있는 하단부에 위치하게 되고 압형 장치가 지그 내부로 들어와 압력을 가해준다. 그리고 탈형 장치가 내려와 지그를 잡아준다. 압형 펀치가 혼합물을 눌러준 상태를 유지하고 지그와 탈형장치는 상승하여 지그에 있는 접혀 있는 다리가 펴지게 된다. 그리고 압형 펀치가 상승한다.




(5) 보수재 건조

: 탈형된 지그 및 보수재가 선로를 이동하여 반출대에 위치한다. 보수재에 경우는 건조가 잘되는 곳에 보관하여 약 6~12시간 양생을 시킨다.





2.3 재료의 저장

2.3.1 아스팔트 프리캐스트 보수재

아스팔트 프리캐스트 보수재는 공장에서 미리 제작되기 때문에 저장 안정성이 높고 재료의 변질에 대한 우려가 적다. 하지만 판형의 형상에 따른 고려가 필요하다.

① 직사광선을 피하고 바람이 잘 통하는 곳에 상온에서 보관한다.
② 단기간 보관 시, 각 재료별로 겹쳐서 쌓아둘 수 있으나, 온도가 높거나 기타 불순물이 침투할 경우, 보수재끼리 붙을 수 있으므로 사이에 부직포 등을 깔고 적재하도록 한다.
③ 장기간 보관 시, 바닥이 평평한 곳에서 적재를 하며, 적재는 높게 하지 않으며, 보수재간에 부직포를 넣어 보관을 권장한다.

2.3.2 아스팔트 프리캐스트 응급보수용 채움재

① 접착제의 경우, 인화성 물질이므로 화기의 접근을 주의하여야 한다.
② 피부에 닿았을 때 다량의 물로 세척하고, 눈에 들어갔거나 흡입의 경우 즉시 세척하고 의사의 처방을 받는다.
③ 혼합 후 가사시간이내 사용하여야 한다.
④ 동절기 동결을 방지하기 위하여 보온 설비가 필요하다(영하의 온도에서 장시간 방치를 피한다). 재료의 온도가 -10℃ 이하일 경우 경화 속도가 늦어지거나 반응이 일어나지 않을 수도 있다.

⑤ 필러 및 안료에 경우, 흡입할 경우 호흡기에 좋지 않으므로 가급적 마스크를 착용한다.

2.4 재료의 변경

계약 상대자는 재료의 공급원이 변경되었을 경우, 신속히 감독에게 보고하고 승인을 받아야 한다.

3. 시공

3.1 시공 일반

아스팔트 프리캐스트 포트홀 보수에 사용되는 장비는 파손부를 절삭하고 발생한 슬러지를 자동으로 흡입하며 청소하고, 채움재를 교반한 후 프리캐스트 포트홀 보수재를 시공하고 이를 양생시켜 교통개방하는 방법으로 적용된다.

3.2 시공 과정

3.2.1 일반 사항

아스팔트 프리캐스트 포트홀 응급보수 시스템의 세부적인 시공방법은 다음과 같다.

① 포트홀 발생 위치 확인 및 현장 투입 : 전용 시공장비 및 기타 작업차량 투입
② 포트홀 발생부 파쇄툴 안착 및 파손부 제거 : 전용 시공장비에 탑재된 파쇄팁을 이용하여 프리캐스트 보수재 크기의 원형으로 절삭
③ 파손부 슬러지 흡입 및 청소 : 파손부 제거 시 발생하는 슬러지 처리
④ 채움재 교반 및 살포 : 전용 장비에 탑재된 교반기를 이용하여 채움재를 교반하고 제거된 포트홀 발생부에 살포
⑤ 프리캐스트 보수재 안착 및 면 마무리 : 채움재가 살포된 제거부 내에 프리캐스트 보수재를 안착시킨 후 채움재 표면을 마무리함
⑥ 시공 후 약 3~5분 이후 교통을 개방함
⑦ 만약, 시공 후 기존 포장면과의 단차가 1㎝ 이상 발생할 경우, 전용장비에 장착되어 있는 그라인딩 장치를 이용하여 단차부를 제거한 후 교통개방함

3.2.2 포트홀 발생부 제거

프리캐스트 보수재를 시공하기 위해서는 우선 포트홀 발생 구간의 파손부를 보수재 크기만큼 제거하여야 한다.

① 시공 장비에 탑재된 후방카메라 등을 이용하여 포트홀 파손부에 위치하도록 설정한다.
② 아웃트리거를 설정하여 안착시킨 후 파쇄 프레임을 설치한다.
③ 원형의 습식 파쇄 팁을 이용하여 포트홀 파손부를 파쇄하고 제거한다.
④ 파손부 제거 시 발생하는 슬러지를 흡입하고 저장 탱크로 분류한다.
⑤ 파손부 제거가 완료된 후 잔유물 제거 및 파쇄툴을 제거한다.

3.2.3 채움재 교반 및 살포

포트홀 발생부 제거가 완료되면 장비에 탑재된 채움재료를 교반하여 파손 제거부에 살포하여야 하며, 채움재의 양생시간을 고려하여 신속하게 진행되어야 한다.

① 장비에 탑재된 채움재료(A제, B제)를 적당량 혼합하여 교반기를 이용하여 충분히 교반한다.
② 혼합된 채움재는 초속경성이므로, 교반 즉시 살포되어야 하며 교반에 사용된 도구는 재사용을 위해 사용 직후 잔재물을 제거하여야 한다.

3.2.4 프리캐스트 보수재 안착 및 양생

채움재가 채워진 보수부에 프리캐스트 보수재를 신속하게 안착시켜야 하며, 양생 후 교통개방하거나 별도의 표면처리 공정을 추가할 수 있다.

① 채움재가 살포된 직후 곧바로 프리캐스트 보수재를 삽입하여 안착시켜야 한다.
② 보수재를 안착한 후 채움재가 굳기 전에 접착면의 이물질 등을 제거하며, 시공 후 약 3~5분 경과 후 초결이 완료되어 교통개방이 가능하다.
③ 시공 후 보수단면과 기존 포장과 단차가 1㎝ 이상 발생할 경우, 장비의 그라인딩 툴을 이용하여 노면 그라인딩을 실시한 후 교통을 개방하도록 한다.
④ 단차가 1㎝ 이내일 경우에는 양생 후 바로 교통을 개방한다.

주 의

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