

건설핵심기술연구개발사업 제2차년도 최종보고서

R&D / 06건설핵심C14

**고압살수 표면처리 및 슛크리트
자동화 장비를 이용한
경사구조물-관로 시스템 보수·보강
공법 개발 연구보고서**

2009. 3. 20.

주관연구기관 / (주)삼우아이엠씨
협동연구기관 / 강원대학교

**국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원**

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “고압살수 표면처리(Hydro-demolition) 및 슛크리트 자동화 장비를 이용한 경사구조물-관로시스템 보수·보강 공법 개발”의 최종보고서로 제출합니다.

2009 . 3. 20.

주관연구기관 : (주)삼우아이엠씨

대표이사 김 기 현

협동연구기관 : 강원대학교 산학협력단

단장 이 명 구

■ 총괄연구책임자 / 수석연구원		김기현	사업총괄업무
■ 주관연구기관 참여연구원 / 책임연구원	배종오		공법개발업무
	/ 선임연구원	김만호	공법개발업무
	/ 선임연구원	정원경	공법개발업무
	/ 선임연구원	김교현	현장지원업무
	/ 선임연구원	류광인	장비개발업무
	/ 연구원	임홍범	현장적용업무
	/ 연구원	이상용	현장적용업무
■ 협동연구기관 참여연구원 / 수석연구원	윤경구		재료개발총괄
	/ 연구원	최성용	재료개발업무
	/ 연구원	최판길	재료개발업무
	/ 연구원	김성권	재료개발업무
	/ 연구원	함성현	재료개발업무
	/ 연구원	서재엽	재료개발업무

요 약 문

I. 제 목

본 연구개발의 제목은 「고압살수 표면처리(Hydro-demolition) 및 슛크리트 자동화 장비를 이용한 경사구조물-관로 시스템 보수·보강 공법 개발」로 슛크리트 공법을 이용한 기존 구조물 보수보강에 필요한 재료 및 장비를 개발하고자 한다.

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 개발대상기술의 목적은 도로상의 경사구조물과 수리구조물 등의 신속하고 장기적인 내구성을 확보하기 위한 고기능성 일체화 슛크리트 모르타르 및 콘크리트 재료를 개발하고 이를 현장에 적용하기 위한 자동화 공법에 관한 것이다. 현재 인력에 의해 시행되고 있는 관련 시설물의 보수공법에서 탈피하여 자동화 장비를 개발, 조합하여 열화된 콘크리트를 선택적으로 제거하고 기존 건전부 콘크리트는 보호하면서 열화된 콘크리트는 완전히 제거하여 신규 콘크리트의 부착성능을 향상시키고 현장 자동화 배합차량인 모빌믹서와 고성능 일체화 장비를 활용하여 구조물을 보수보강하는 공법, 장치 및 재료에 관한 것으로 구조물의 형상에 상관없이 보수보강을 수행할 수 있으며 부착성, 재료절감 및 보수 후 구조물의 장기간 성능 회복의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

즉 본 실용화 기술은 구조물 유지보수의 신공법으로, 고압살수표면처리 장비를 이용하여 기존 표면을 세척 및 절삭한 후, 슛크리트 장비를 이용하여 구조물의 특성에 따라 고기능성 슛크리트용 모르타르 및 콘크리트를 뿜어붙이기 하는 보수보강 공법이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구개발기술은 고압살수 표면처리(Hydro-demolition) 장비를 이용하여 경사구조물 및 수리구조물의 열화된 표면을 절삭·청소한 후, 슛크리트 장비를 이용하여 내황산 모르타르 및 콘크리트를 뿜어붙이는 보수·보강 공법이다. 이를 위하여 재료 및 장비개발과 일체화된 시공 공법의 시스템화를 주된 내용으로 한다. 보다 자세한 연구내용은 다음과 같다.

- 축적된 시멘트 개질 성능향상 기술을 기반으로 고성능 시멘트를 적용 구조물에 활용할 수 있도록 내황산성, 내부식성, 내수성, 저수축성, 초조강성 등을 부여하여, 슛크리트용 고성능 내황산 모르타르 및 콘크리트를 개발한다. 또한 국내 최초로 슛크리트 전용 프리팩 콘크리트를 시제품화 한다. 이를 위하여 친환경, 고성능 복합 기능성 시멘트의 성능

발현을 기반으로 저수축성 및 균열억제력을 유도하며, 방수성, 고유동성 기능 등을 포함하여 경사구조물의 적용성 및 수리구조물과 관로의 적합성능을 극대화한 재료를 개발한다.

- 대부분의 경사구조물과 수리구조물, 관로에 적용 가능한 Hydro-demolition 및 Shotcrete 장비 개발을 위하여 절삭 깊이 5cm이상의 고성능, 고내구성의 무인자동화 고압살수표면처리 장비인 이동식 자동 Spin Hydro-demolition을 개발하고, 구조물 절삭 단면에 일체화 보수보강용 다목적 뿔어붙이기 장비인 Shotcrete Spin Head 장비를 개발한다.
- 공법의 시스템화 및 실용화와 실내 실험 및 현장 적용 실험 실시를 위하여 적용 구조물에 가장 적합한 고압살수 장비, 믹서와 펌프를 포함한 장비를 선택하여 장비 조합의 일치성 및 호환성 등의 최적화를 유도하고 연결 시스템 및 장비 개량을 실시하게 된다. 그리고 현장에 최적화된 통합 장비 및 시스템 구성을 통하여 실내외 실험을 기반으로 시험 시공 및 현장 지원 시스템을 완성한다.

IV. 연구개발결과

본 연구개발의 결과는 기존 구조물의 유지·보수를 위해 고압살수 표면처리(Hydro-demolition)와 슛크리트 장비를 이용하여 고성능 내황산 모르타르 및 슛크리트 전용 프리믹스 콘크리트를 개발하여 이를 활용하기 위한 공법으로 뿔어붙이기하여 기존 구조물과 일체성을 유지하여 내구연한과 경제성을 확보하는 공법 개발 및 실용화이며 예상되는 연구개발결과는 다음과 같다.

연구결과 1 : 기존의 콘크리트구조물과 일체성을 이루는 슛크리트 보수용 고기능성 내황산 모르타르, 프리믹스 건식 슛크리트와 습식 슛크리트 재료 개발

- 기존 구조물과 조화성으로 장기성능 발현이 우수한 시멘트계 재료의 슛크리트 전용 보수보강용 재료개발
- 저수축, 균열억제력, 고유동성, 방수성 증진을 위한 폴리머 복합소재 성능 발현이 가능한 재료 개발

-

- 기존의 터널 라이닝, 사면 1차 보강 등으로만 사용되는 슛크리트 재료에서 벗어나 기존 구조물 보수보강을 위한 슛크리트 재료개발 완료
- 내황산 모르타르 스프레이 재료인 슛트믹스-M 개발 완료
- 프리믹스 타입의 건식 슛크리트 전용 재료인 슛트믹스-D 개발 완료

- 습식 숏크리트 전용 재료인 숏트믹스-W 개발 완료

연구결과 2 : 대상구조물의 열화부 제거를 위한 고압살수표면처리 장비 및 숏크리트 적용가능 장비의 개량 및 개발

- 경사면 구조물 보수·보강을 위한 자립형 고압살수표면처리 장비 및 숏크리트 장비의 적용성 확대를 위한 개량 장비 개발 및 실용화
- 관로 시스템 보수·보강을 위한 회전형 고압살수표면처리 장비 및 숏크리트 장비의 개발
- 회전형 관로 고압살수표면처리 장치 개발
- 회전형 관로 스피너드 개발
- 소규모 경사면 열화부 제거를 위한 고압살수표면처리 바스켓 및 노즐 개발
- 대규모 경사면 열화부 제거를 위한 Hydro-demolition의 칩핑장치 및 분사노즐 장치 개발

연구결과 3 : 개발 된 공법의 현장적용 및 확대시공을 위한 시험시공실시와 지침서 작성

- 숏크리트 공법을 이용한 보수보강 전용인 숏트믹스-M, 숏트믹스-D, 숏트믹스-W 각각 이용한 HSM공법,HSD공법 및 HSW공법에 대한 현장적용성 평가 시행 완료
- 개발된 재료 및 장비를 활용한 적용대상 구조물에 대한 현장적용 평가 및 확대시공을 통한 사업화

V. 연구개발결과의 활용계획

향후 본 결과물을 기본으로 하여 활용할 수 있는 분야는 각종 경사구조물과 수리구조물 및 관로 이외에도 매우 광범위하다. 이는 산성토양, 온천지역 및 오, 폐수가 발생하는 지역, 공업단지 등 황산염이 다량 함유된 환경의 열악한 조건에서 건설 되는 구조물, 해안 및 간척지등의 해양 환경하에 건설되는 구조물 및 해수와 직접 접촉하는 발전소 구조물, 수중 콘크리트 구조물, 장대 교량의 하부구조물, LNG저장탱크 등 내화학적, 내부식성이 요구되는 구조물뿐만 아니라 여러 특수 능력들이 요구되는 다양한 구조물에 활용도를 기대할 수 있다

S U M M A R Y

Recently, Repair and Rehabilitation of structures increasingly constructed in this country with the increased construction of highways, high-speed railways and subways and so on. Shotcreting is one of the major precesses in the repair and rehabilitation of structures. Many problems, however, exist in the current shotcreting practice. The purpose of the present study is, therefore, to explore the High performance Shooting(HS) mortar and concrete in the current shotcreting practice, to derive an optimum mix for efficient shotcreting, to develop high-quality shotcreting systems for repair, and finally to develop hydro-demolition as a method for removing concrete as a part of the structure rehabilitation process for high economical efficiency. Optimum shotcreting system with high quality and economy will be derived and the sulfate resistance cement shotcrete developed in the present study will be expected much lower rebound rate.

The pre-mixed concrete shotcrete, which can pre-bag the shotcrete materials and thus can save considerable labor activity, will be developed through extensive experiments. The proposed pre-mixed High performance Shooting(HS) mortar and concrete and shotcrete system included hydro-demolition will be verified though field tests in actual repair and rehabilitation construction sites. The main advantages of High performance Shooting(HS) mortar and concrete and shotcrete system will be also explored.

the summary is expressed as

I . Title

The Development of Slope and Pipe Structure System Repair Method using Automatic Hydro-demolition and Shotcrete Equipment.

II. Objective

This research will focus on developing of the High performance Shooting(HS) mortar and concrete by laboratory test and evaluating of site application by field test using new automatic Hydro-demolition and Shotcrete equipment.

III. Contents and Scopes

Scopes of Research	Contents of Research
Development of HS Mortar and Concrete	● Laboratory test for Material Development -Test of Fresh Properties -Test of Strength and Dry-shrinkage -Test of Durability -Test of Sulfate resistant
Improvement and Development of Hydro-demolition and Shotcrete Equipment	● Improvement and Development of Equipment on Slope and Pipe System - Hydro-demolition (Cutting over 5cm, Automation,) - Shotcrete (Shotcrete Spin Headunlimited Move)
Optimum of Repair Method	● Optimum of Equipment System - Suitable Equipment Selection - Equipment Combination - Field Application Test

IV. Results

Result 1 : Development of High performance and Sulfate resistant Shooting Mortar and Concrete

Result 2 : Improvement and Development of Automatic Hydro-demolition and Shotcrete Equipment for Repaired Structure

Result 3 : Make out Standards and Guidelines for Site Application

V.FuturePlan

If extension and application of various concrete structure is carried out, it will can be possible to innovate on the repaired method and material.

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구개발의 목적	1
제2절 연구개발의 내용	4
제3절 연구개발의 필요성 및 범위	5
제2장 국내·외 기술개발 현황	12
제1절 국내 기술개발 현황	12
제2절 국외 기술개발 현황	26
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	30
제1절 연구수행목표 및 내용	30
제2절 연구내용의 차별성	37
제3절 실내 연구수행	40
제4절 현장 적용 연구수행	68
제5절 연구개발수행 결과에 따른 지적재산권	133
제6절 연구시설 구축 및 기자재 확보	144
제7절 연구성과 발표 및 홍보활동	151
제4장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	155
제1절 연구개발 목표 달성도	155
제2절 연구성과의 관련분야 기여도	180
제5장 연구개발결과의 활용계획	187
제1절 연구성과의 활용방안	187
제2절 활용에 따른 기대효과	190
제3절 경제성 비교분석	194
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	203
제1절 보수보강용 슛크리트 전용 프리믹스 콘크리트	203
제2절 슛크리트 성능평가 시스템	204
제3절 보수보강용 슛크리트 시스템	206
제7장 결론	208
제8장 참고문헌	211

C O N T E N T S

CH. 1 Introduction	1
1. Objectives of research and development	1
2. Substances of research and development	4
3. Necessity and scope of research and development	5
CH. 2 Situation of Technology	12
1. Domestic situation	12
2. Foreign situation	26
CH. 3 Substances and Results of Research and Development	30
1. Objectives and contents of research and development	30
2. Distinction of research contents	37
3. Experiences in the laboratory	40
4. Field application	68
5. Patents of research result	133
6. Research installations and equipments	144
7. Announces and public relations	151
CH. 4 Accomplishment of Objectives and Expectation	155
1. Accomplishment of objectives	155
2. Expectation of results	180
CH. 5 Future Plan	187
1. Future Plan	187
2. Expectation effect of plan	190
3. Comparison of economization	194
CH. 6 Foreign Information in Research	203
1. Pre-mixed Shotcrete for repair	203
2. Valuation system of shotcrete performance	204
3. Shotcrete system for repair	206
CH. 7 Conclusion	211
CH. 8 Reference	211

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 목적

콘크리트는 항만, 철도, 도로 및 하천, 수로, 댐 등의 시설물에 사용되 산업의 발전과 함께 발전해 왔다. 콘크리트 구조물은 시간이 경과함에 따라 물리·화학적으로 인한 노후화로 인해 박리, 동결융해, 균열 등이 발생하게 된다. 특히 급속한 산업발전과 경제 발전에 기인하여 많은 산업단지와 교통량의 증가로 구조물의 노후화를 촉진 시킨다. 이러한 콘크리트 구조물들을 효과적으로 이용하고, 사용자의 안전을 위해 주기적인 보수·보강이 필요하다.

종래의 보수재료로는 에폭시재료나 폴리머계통의 재료가 주로 사용되어왔으나 이러한 재료들의 결합재는 유기질이므로 열팽창계수와 건조수축특성이 시멘트 콘크리트와 크게 달라 보수한 부분이 조기에 다시 파손되어 재보수해야 하는 문제점을 갖고 있다. 따라서 보수된 콘크리트가 장기간의 사용성을 확보하기 위해서는 결합재가 동일한 시멘트계 보수재료를 사용해야 한다. 종래에는 초속경 콘크리트를 이용하여 인력에 의해 보수하는 방법이 사용되었으나 이는 보수부분의 균열발생, 기존 콘크리트와 보수된 콘크리트의 접착 불량, 기존 콘크리트 손상부의 잔존 등의 문제가 지적되어 왔다. 이를 극복하기 위하여 초속경 LMC를 이용한 보수공법이 제시되었는데 초속경 LMC는 부착 및 내구성이 우수하며 균열의 발생을 최소화할 수 있다는 장점이 있으나 이 보수공법의 경우 다수의 대형장비와 많은 보수공정과 인력을 필요로하므로 보수대상 구간이 큰 종방향 줄눈 보수에 이용되는 경우는 별 문제가 없을 수 있으나 보수대상 구간이 협소하거나 산재해 있는 횡방향 줄눈 보수의 경우에는 대형장비의 접근성, 경제성 기타 많은 측면에서 문제가 지적되었다. 즉, 초속경 콘크리트 또는 초속경 라텍스개질콘크리트를 이용한 횡방향 줄눈보수의 경우 현장에서 초속경 재료의 배합과 타설 등 단구간(횡방향)의 작업이 종방향으로 이동하면서 반복적으로 수행되어야 하는데 재료준비 및 재료적재 등의 전처리 과정, 타설 위치로의 이동, 배합 타설 후 장비 청소 등의 시공과정이 대단히 복잡하며 대형 콘크리트 배합장비의 접근도 용이하지 않으므로 적합한 시공방법이라 볼 수 없다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위한 적합한 보수공법으로 슛크리트

공법의 적용이 필요시 된다.

쏿크리트는 1960년대 초 Austria의 L. V. Rabcewicz 박사가 NATM공법(New Austria Tunnelling Method)을 주창하여 터널공사에 적용하면서 활발히 사용되기 시작하였고, 국내에는 1980년대 3,4호선 지하철에 사용되기 시작하면서 건설 공사에 본격적으로 사용되기 시작하였다. 쏿크리트 공법은 빠른 시간에서 구조재의 역할을 할 수 있으며, 형상이나 크기에 구애 받지 않고 보수·보강 할 수 있는 장점을 지니고 있으며, 암반 표면 및 법면, 수직갱 등의 보호, 지하철, 지하 발전소 등 지하 공간의 굴착면에 밀착시켜 지반의 이완을 방지, 원지반의 강도를 유지, 터널, 도로, 댐 및 교량의 보수, 보강공사 등에 적용되고 있다. 국내의 쏿크리트 공법은 건식을 사용하였으나, 최근에는 구조물의 대형화, 대형 터널, 지하구조물 및 사면보강용으로 습식 쏿크리트를 사용하고 있다. 하지만 쏿크리트 기술은 NATM공법이 국내 들여온 1980년대 초의 기술을 아직 답습하고 있는 상태로 다량의 리바운드가 발생하고, 노즐맨의 경험 등에 크게 의존하는 경우가 많아 비용절감 및 시공성 개선이 요구되고 있다.

지금까지 국내에서도 쏿크리트의 성능개선 및 품질 향상을 위해 많은 연구들이 수행되어왔다. 고품질 혼화재인 실리카 흙의 특성에 관한 연구, 실리카 흙을 적용한 쏿크리트에 대한 실험적인 연구, 새로운 급결제를 적용하여 고품질의 쏿크리트를 개발하고자하는 연구 등에서는 고품질 혼화재를 적용하여 쏿크리트의 고강도화 장기내구성 향상을 위한 방법을 연구하였고, 고성능 급결제를 적용하여 쏿크리트의 초기강도 저하를 막고 품질 향상을 위한 방법을 모색하였다. 또한 강섬유보강 쏿크리트의 휨강도 및 휨 인성을 향상시킬 수 있는 연구들도 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 이러한 연구들은 쏿크리트의 품질 문제를 급결제 및 혼화재의 문제로만 국한시키는 결과를 가져왔다. 실제적으로는 쏿크리트 사용 재료의 품질 저하에 따른 쏿크리트 품질 저하가 더 큰 요인으로 작용하고 있는 것이다. 현재 국내 시공 현장에서 사용되고 있는 현장배합 쏿크리트의 문제점을 살펴보면 쏿크리트용 골재만을 살펴봐도 굵은 골재 최대치수의 부정확을 시작으로 골재 토립분 및 석분토의 과다함량, 입도 불량, 함수율의 부정확, 조립률의 불량 및 규격화된 골재 품질 기준의 미비 등 많은 문제점을 가지고 있다.

본 연구개발기술은 기존의 콘크리트구조물과 일체성을 이루는 고기능성(고강도,

고부착성, 고내구성, 초기변형 억제, 내황산성 등) 숏크리트 모르타르 및 콘크리트를 개발하고, 이를 경사구조물과 관로의 유지보수에 적용하기 위한 자동화 장비와 공법의 개발 및 실용화를 통하여 현장기술에 완벽한 적용을 이루는 것이다.

즉 도로 내의 각종 경사구조물과 소규모 수리 관로구조물의 유지보수를 위하여, 고압살수표면처리 장비를 이용하여 열화된 기존 표면을 절삭한 후, 숏크리트 장비를 이용하여 고기능성 내황산 모르타르 및 콘크리트를 뿔어붙이는 보수보강 공법으로, 현재 인력에 의해 시행되고 있는 기존 공법에서 탈피하여 자동화 장비를 개발 및 조합하고, 기존 건전부 콘크리트는 보호하면서 열화된 콘크리트는 완전히 제거하여 신규 콘크리트의 부착성능을 향상시키고, 구조물의 형상에 상관없이 보수보강을 수행할 수 있으며 시공성의 획기적 증대와 부착성, 재료절감 및 보수 후 구조물의 장기간 성능 회복의 효과를 얻을 수 있다.

뿔어붙이기 콘크리트공법은 빠른 시간내에 구조재로서의 역할을 할 수 있고, 거푸집을 사용하지 않고 극히 얇은 것으로부터 상당히 두꺼운 것까지 자유로이 시공할 수 있어 사갱, 수직갱, 비탈면 혹은 벽면의 풍화나 박리, 박락의 방지, 터널, 댐 및 교량의 보수, 보강공사 등에 적용될 수 있다. 이와 같이 다방면에 적용할 수 있는 뿔어붙이기 콘크리트는 안정성 확보를 위한 조기강도 확보, 장기간의 사용성을 위한 내구성 확보 등을 필요로 하며, 굴착면 또는 대상구조물의 부착성 및 리바운드와 분진의 발생을 최소화하는 시공성을 함께 보유해야한다.

또한 최근 환경보전 및 생명에 대한 인식전환이 범세계적으로 확산되고 있는 가운데 시멘트·콘크리트 문화를 주도해온 건설기술자와 연구자들 사이에서 친환경적이면 고성능을 확보한 콘크리트 개발이 관심사로 떠오르기 시작하였다. 그러나 국내의 뿔어붙이기 콘크리트의 기술은 초기의 기술력을 답습하고 있는 상태로 뿔어붙이기 콘크리트 품질과 시공능률면에서 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 일반 뿔어붙이기 콘크리트가 가지고 있는 문제점을 해결하기위하여 고강도 고성능을 확보한 뿔어붙이기 콘크리트를 개발하고자 한다.

이를 위하여 내구연한 증진과 친환경적이고 시공성 및 안정성, 경제성을 높일 수 있는 새로운 재료의 개발, 경사구조물용 Hydro-demolition 자동화 장비 개발, 숏크리트 장비개량 및 공법 개발, 보수공법의 시스템화 및 실용화를 이룬다.

제2절 연구개발의 내용

본 연구개발기술은 고압살수표면처리(Hydro-demolition) 장비를 이용하여 경사구조물 및 수리구조물의 열화된 표면을 절삭·청소한 후, 슛크리트 장비를 이용하여 내황산 모르타르 및 콘크리트를 뿜어붙이는 보수·보강 공법이다. 이를 위하여 재료 및 장비개발과 일체화된 시공 공법의 시스템화를 주된 내용으로 한다. 연구내용은 다음과 같다.

- 축적된 시멘트 개질 성능향상 기술을 기반으로 고성능 시멘트를 적용 구조물에 활용할 수 있도록 내황산성, 내부식성, 내수성, 저수축성, 초조강성 등을 부여하여, 슛크리트용 고성능 내황산 모르타르 및 콘크리트를 개발한다. 또한 국내 최초로 슛크리트 전용 프리팩 콘크리트를 시제품화 한다. 이를 위하여 친환경, 고성능 복합 기능성 시멘트의 성능 발현을 기반으로 저수축성 및 균열억제력을 유도하며, 방수성, 고유동성 기능 등을 포함하여 경사구조물의 적용성 및 수리구조물과 관로의 적합성능을 극대화한 재료를 개발한다.
- 대부분의 경사구조물과 수리구조물, 관로에 적용 가능한 Hydro-demolition 및 Shotcrete 장비 개발을 위하여 절삭 깊이 5cm이상의 고성능, 고내구성의 무인자동화 고압살수표면처리 장비인 이동식 자동 Spin Hydro-demolition을 개발하고, 구조물 절삭 단면에 일체화 보수보강용 다목적 뿜어붙이기 장비인 Shotcrete Spin Head와 무한이동식 Shotcrete 장비를 개발한다.
- 공법의 시스템화 및 실용화와 실내 실험 및 현장 적용 실험 실시를 위하여 적용 구조물에 가장 적합한 고압살수 장비, 믹서와 펌프를 포함한 장비를 선택하여 장비 조합의 일치성 및 호환성 등의 최적화를 유도하고 연결 시스템 및 장비 개량을 실시하게 된다. 그리고 현장에 최적화된 통합 장비 및 시스템 구성을 통하여 실내외 실험을 기반으로 시험 시공 및 현장 지원 시스템을 완성한다.

따라서 편리한 시공성 및 경제성, 안정성이 확보된 통합시스템의 효율성 극대화를 이루고, 시공 기술의 체계화 및 범용성을 확보하여 시공 현장에 장비 및 공법

적용 후 시장 확대 및 사업화 방안을 본 연구개발에서 추진한다.

제3절 연구개발의 필요성 및 범위

현재 교량 및 고가차도 슬래브의 하면, 터널 및 복개구조물 천장면 등의 단면수복은 흙손이나 헤라 등을 이용한 수작업에 의해 이루어지고 있으며, 이러한 수작업에 의한 방법으로는 천장면의 시공 시 장기간 고개를 들고 시공할 수 없어 좋은 품질의 확보가 어렵다. 또한 보수단면이 넓은 곳이거나 천장면, 특히 진동이 발생되는 구조물의 하면을 보수를 함에 있어서 교통의 통제가 어려워 보수재료의 탈락, 많은 시간과 비용, 비효율적 공정 등 많은 어려움과 문제점이 나타나고 있다.

- 단면수복용 보수 모르타르의 접착강도를 증진시키기 위하여 지금까지 주로 유기계 접착보조제를 사용하고 있다. 그러나 현재 국내에서 사용되고 있는 접착보조제는 거의 아크릴수지, 불소수지 및 에폭시수지 등을 주성분으로 하고 있는 유기계이다. 이러한 유기계를 사용할 경우 무기계인 콘크리트와 접착계면에서 발생되는 건조수축 및 열팽창 특성이 전혀 다르기 때문에 장기적인 접착강도가 저하되고 있는 것은 주지의 사실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 선진국에서는 유기계 접착보조제의 사용을 제한하고 있으며, 무기계 시멘트접착보조제의 개발이나 접착보조제 없이 단면수복 보수공법을 개발하여 접착성능을 향상시키고 있는 실정이다.
- 현재 국내에서 시공하고 있는 단면보수 공법은 물리적, 역학적 성질이 다른 여러 재료를 샌드위치 식으로 겹치기 손미장 시공을 하고 있는 실정이다. 예를 들어 R사의 시공절차를 보면, 표면처리→에폭시계 프라이머 도포→G&W-2 모르타르 도포→RE모르타르 단면수복→G&W-2모르타르 표면도포→표면코팅과 같은 5단계의 복잡한 겹치기 시공으로 어느 한 단계에서 시공이 불량할 경우 보수단면 전체의 내구성이 저하될 뿐만 아니라 이러한 모든 단계의 시공을 수작업으로 하기 때문에 많은 인력의 손실과 공사 기간의 연장에 따른 경제적인 손실이 매우 크다.
- 현재 국내에서 사용되고 있는 대부분의 보수용 폴리머모르타르는 수용성 아크릴, EVA계 및 SBR계 폴리머를 주로 사용하고 있으나 이들 폴리머의 대부분이 일본

등지에서 수입된 동일한 원재료를 회사에 따라 적정한 비율에 의해 물로 희석하여 보수시공 시 시멘트와 분말시료와 액상폴리머를 현장에서 배합하여 사용하고 있는 실정이다. 이러한 경우 폴리머를 비롯한 혼화제가 현장에서 배합되기 때문에 잘못된 배합비나 기술부족으로 인해 적합한 품질의 모르타르를 얻기 어렵고 이로 인해 수가 만족스럽지 못한 결과를 초래하기 쉽다. 따라서 선진국에서는 분말로 건조된 고분자를 시멘트계 분말재료와 미리 혼합하여 보수 시 현장에서는 일정량의 물만 혼합하여 사용함으로써 균일한 품질을 확보하는 방안을 실시하고 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 구조물 보수보강공법의 문제점을 해결하고 신속하고 안정적인 구조물 보수보강을 위한 새로운 대안으로 체계화된 보수보강용 쏫크리트 공법 개발과 전문화된 재료개발을 목적으로 시행되었다.

쏘크리트는 굴착면 위에 고속, 고압으로 뿜어 붙여지는 모르타르나 콘크리트를 통칭하는 용어로, 개발초기에는 Gunit, Guncrete, Pneucrete, Blastcrete, Blocrete, Jetcrete 등의 여러 이름으로 불려지다가 미국 철도공학협회(AREA)에서 최초로 “Shotcrete”라는 명칭으로 소개하여 지금 까지 이르고 있다. 쏫크리트는 본질적으로 보통 콘크리트와 같으나 압축공기로 뿜어 붙여 시공한다는 점에서 일반 콘크리트와 차이가 있다. 즉, 쏫크리트는 터널 굴착 직후에 굴착면에 급결성의 콘크리트를 뿜어 붙여 밀착시킴으로써 원지반의 표층부에 고착시켜 원 지반 내부의 이완을 억제하고, 표면의 요철을 매끄럽게 마무리함으로써 응력 집중에 의한 원 지반 균열의 발달을 억제함과 동시에 대기작용에 의한 암반의 풍화를 방지하여 굴착면의 안정을 도모하는 것이다.

본 연구에서 수행한 구체적인 연구범위는 다음과 같다.

1. 쏫크리트 보수용 고기능성 내황산 모르타르 및 프리믹스 콘크리트 개발

쏘크리트 공법은 빠른 시간내에 구조재로서의 역할을 할 수 있고, 거푸집을 사용하지 않고 극히 얇은 것으로부터 상당히 두꺼운 것까지 자유로이 시공할 수 있어 사갱, 수직갱, 비탈면 혹은 벽면의 풍화나 박리, 박락의 방지, 터널, 댐 및 교량의 보수, 보강공사 등에 적용될 수 있다. 이와 같이 다방면에 적용할 수 있는 쏫크리트는 안정성 확보를 위한 조기강도 확보, 장기간의 사용성을 위한 내구성 확보

등을 필요로 하며, 굴착면 또는 대상구조물의 부착성 및 리바운드와 분진의 발생을 최소화하는 시공성을 함께 보유해야한다.

또한 최근 환경보전 및 생명에 대한 인식전환이 범세계적으로 확산되고 있는 가운데 시멘트·콘크리트 문화를 주도해온 건설기술자와 연구자들 사이에서 친환경적이며 고성능을 확보한 콘크리트 개발이 관심사로 떠오르기 시작하였다. 그러나 국내의 숏크리트의 기술은 초기의 기술력을 답습하고 있는 상태로 이에 대한 전문 지식 인력부족과 숏크리트 품질과 시공능률면에서 많은 문제점을 가지고 있으며 나열하면 다음과 같다.

- 국내에 숏크리트가 적용대상구조물이 다양해지고 대형화됨에 따라 초기 처짐과 변형을 억제할 수 있는 초기강도 확보와 장기간의 사용성을 확보할 수 있도록 내구성을 확보한 고강도 고성능의 숏크리트가 요구되고 있다. 그러나, 현재 사용 중인 숏크리트는 품질관리의 불확실성과 시공성 및 재료특성에 기인한 균열발생으로 많은 유지관리를 필요로 하고 있으며, 특히 박리 및 탈리 등으로 사용연한의 단축을 초래하고 있다.
- 숏크리트는 일반 현장타설 콘크리트와는 달리 초기강도 확보와 리바운드 저감, 지반의 이완을 조기에 억제하기 위해 급결제(Accelerator)를 사용하고 있다. 이 급결제는 숏크리트의 초기강도 뿐만 아니라 장기강도 발현과 내구성, 숏크리트의 두께 등에 영향을 미치고 있어 숏크리트의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 재료이다. 그러나 지금까지의 연구결과에 의하면 기존의 범용 급결제를 사용한 숏크리트의 장기강도는 급결제를 넣지 않은 것과 비교해 20~40%의 압축강도 저하함을 알 수 있었고, 급결제 첨가량이 증가할수록 장기강도의 저하와 다량의 리바운드량이 발생하여 설계기준강도를 만족하지 못하는 경우가 발생된다. 또한 대부분의 급결제가 강한 염기성으로 일부 제품의 경우에는 강한 자극성 때문에 작업자의 안전에 직접적인 영향을 미치고 있으며 특히 석회암 지반으로 토질자체가 염기성인 경우에는 배수구를 통해 시공현장 외부로 배출되어 용해수가 주변 환경을 오염시키는 문제점을 가지고 있다.
- 숏크리트는 공기압을 통해 콘크리트를 타설하는 형태이므로 재료의 리바운드

(rebound) 발생이 필연적이다. 리바운드 율에는 공법 및 대상 구조물에 따라 다소 차이가 있으나, 습식공법의 비탈면에서는 15-20%, 습식공법의 천정면에서는 30-40%의 리바운드가 발생하고, 건식공법에서는 더 많은 리바운드가 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 막대한 리바운드의 발생은 재료의 손실 및 자원의 낭비를 초래하며 동시에 환경오염을 야기 시키고 있다.

- 슛크리트 공법은 빠른시간내에 구조재로서의 역할을 할 수 있고 거푸집을 사용하지 않고 극히 얇은 것으로부터 상당히 두꺼운 것에 이르기까지 자유로이 시공할 수 있어 사갱, 수직갱, 비탈면 혹은 벽면의 풍화나 박리, 박락의 방지, 터널 및 지하구조물의 1차 지보재 등에 적용될 수 있어 구조물의 유지보수에도 적용이 가능하다. 특히, 건식방법(Dry Method)은 기존재료에 우수한 부착력, 습식방법(Wet Method)에 비해 청소용이 및 장비 값이 저렴하고 유지관리가 용이하고 수분함량을 현장상태에 따라 즉시 조절가능하며, 또한 속경성 시멘트 적용이 가능하므로 유지보수에 적용 시 시공의 간편성 및 시간단축과 고강도 및 우수한 부착성, 고내구성을 가진 밀실한 고성능 콘크리트제작이 가능하다. 그러나 국내의 슛크리트 공법은 최초 건식방법을 사용하였으나 최근에는 대형터널 및 지하구조물과 사면보강용으로 습식 슛크리트만 사용하고 있다. 또한 슛크리트 공법에 대한 연구도 습식 슛크리트 공법 및 재료 개발에 대한 연구만이 이루어지고 있으며, 신설 터널 및 지하구조물 사면보강에만 국한되어 연구가 진행되고 있어 건식방법의 공법 및 재료에 대한 연구가 진행되지 않고 있으며, 유지보수 적용을 위한 연구 또한 전무한 상태이다.

- 슛크리트의 강도 및 부착력과 내구성 향상을 위해 강섬유 보강 슛크리트를 많이 사용하고 있는데, 강섬유 사용시 Fiber의 엉킴에 의한 Fiber ball의 발생하게 된다. 이로 인하여 호스의 막힘 및 리바운드의 다량 발생으로 강섬유 보강 슛크리트의 소기의 성과를 거두지 못하는 문제점 발생하게 된다.

- 슛크리트에 대한 전문 지식을 갖춘 인력과 연구자가 국내에는 부족하다. 특히 본 기술개발과제에서 개발된 새로운 재료에 대한 전문인이 부족하다. 또한, 슛크리트에서 전문인력이라면 노즐맨이라 할 수 있다. 아무리 우수한 재료라 하더라도

고품질의 숯크리트를 시공하는데는 노즐맨의 뿔어붙이기 기술이 매우 중요하다. 그러므로 노즐맨의 기술향상 뿐만아니라 노즐맨 인력양성이 매우 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 일반 숯크리트가 가지고 있는 문제점을 해결하기 위하여 고강도 고성능을 확보한 숯크리트를 개발하고자한다. 또한 이 재료에 대한 전문 지식을 가진 전문 인력을 양성하므로 품질관리 및 우수한 현장 적용성 및 시공성을 갖는 재료 개발이 될 것으로 사료된다.

본 기술개발은 고성능 숯크리트를 개발과 함께 현장 적용을 위한 최종목표는 다음과 같다.

- ① 기존 숯크리트 문제점 대처 가능하고 긴급보수재로 적용 가능한 고성능 뿔어붙이기 프리믹스 숯크리트 개발 연구
- ② 내구성이 우수한 고성능 뿔어붙이기 프리믹스 숯크리트 개발 및 시공시스템 분석
- ③ 현장 적용이 가능한 최적 장비 선정 및 개발과 고성능 뿔어붙이기 프리믹스 숯크리트의 시공 및 품질관리 지침서 개발

본 개발대상기술은 도로상의 경사구조물과 수리구조물 등의 신속하고 장기적인 내구성을 확보하기 위한 고기능성 일체화 숯크리트 모르타르 및 콘크리트 재료개발 및 이를 현장에 적용하기 위한 자동화 공법에 관한 것으로 현재 인력에 의해 시행되고 있는 관련 시설물의 보수공법에서 탈피하여 자동화 장비를 개발, 조합하여 열화된 콘크리트를 선택적으로 제거하고 기존 건전부 콘크리트는 보호하면서 열화된 콘크리트는 완전히 제거하여 신규 콘크리트의 부착성능을 향상시키고 현장 자동화 배합차량인 모빌믹서와 고성능 일체화 장비를 활용하여 구조물을 보수보강하는 공법, 장치 및 재료에 관한 것으로 기존의 숯크리트가 갖는 압송거리의 문제점과 탈락율이 감소되고 구조물의 형상에 상관없이 보수보강을 수행할 수 있으며 부착성, 재료절감 및 보수 후 구조물의 장기간 성능 회복의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

즉 본 실용화 기술은 구조물 유지보수의 신공법으로, 고압살수표면처리 장비를 이용하여 기존 표면을 세척 및 절삭한 후, 숯크리트 장비를 이용하여 구조물의 특성에 따라 고기능성 숯크리트용 모르타르 및 콘크리트를 뿔어붙이기 하는 보수보

강 공법이다.

2. 경사구조물 및 관로에 적합한 고압살수표면처리 자동화 장비 개발

Hydro-demolition은 고압의 물을 분사하여 대상 구조물의 열화 또는 부식된 표면을 제거하고 여기에 흡착되어있는 오염물 또는 이물질들을 세척한 후 세정수와 함께 진공 흡입하여 청소하는 방법이며 철근과 굵은 골재는 그대로 유지시키며 선택적인 제거가 가능하다. 그러나 기존의 일반 고압세척의 방법과 인력브레이커를 이용한 방법은 기존의 구조물에 손상을 입혀 미세균열을 유발하고 각 구조물의 종류에 따라 장비를 교체해야 하고 대부분의 공정이 인력으로 이루어지는 단점이 있다.

본 연구개발에서는 자체적으로 고압 분사 헤드가 이동 또는 회전하면서 적절한 분사 속도와 각도를 조절하여 기존 구조물에 손상이 거의 없이 열화부 제거와 콘크리트 절삭을 이루려한다. 또한 기존의 평면 절삭기능에서 벗어나 경사구조물에 대한 고압살수표면처리 자동화가 가능하도록 분사노즐장치 및 칩핑장치를 개발하여 다양한 형태의 구조물에 있어 열화부 제거가 가능하도록 장비를 개발하고자 한다.

3. 경사구조물 및 관로에 적합한 슛크리트 자동화 장비 및 공법 개발

뿔어붙이기는 터널이나 일부 특수구조물에 사용되는 국한된 방법이였으나 이를 경사구조물 및 관로에 적용시켜 편리한 시공성 및 경제성을 갖는 동시에 최상의 부착력, 시공간편, 밀실한 충전, 우수한 인성특성 등을 증가시킴으로 뛰어난 품질을 보장한다. 굵은 골재가 포함된 콘크리트를 사용할 경우 리바운드율이 크고 보수 두께가 커지며, 장비도 대형화 하여야 하므로 경사구조물 및 관로 보수보강에 사용하려면 굵은 골재가 제외된 모르타르 형태의 재료를 사용하여 경제성과 동시에 고강도 및 고부착성, 빠른 보강성을 발현하는 것이 바람직하다.

경사구조물의 경우에는 Hydro-demolition에 적용되었던 장비와 동일한 레일식 또는 크레인 장착식이 적합하지만 슛크리트의 특성상 분사 거리와 각도, 노즐 이동 속도에 따라 부착력과 리바운드율이 많은 차이를 보이므로 독창적인 분사노즐을 개발한다.

4. 개발 된 공법의 현장적용 시험시공실시와 현장 지침서 작성

뽑어붙이기 내황산 모르타르의 성능과 효능에 대한 실험적 연구를 수행, 경사 구조물과 관로에 최적화된 Hydro-demolition 및 슛크리트 자동화 장비를 개발한 뒤 이를 적용시킬 대상 구조물에 현장 적용을 실시하여 건설 재료와 장비로서의 완성도를 확인한다. 현장 적용은 직접적인 구조 재료로서의 사용과 목적 대상물 뽑어붙이기용 재료로서의 사용을 시도하게 되며, 장비의 적용성 및 내구성도 파악하게 된다. 이러한 공법의 적용은 종합적인 장비의 시스템화된 셋팅이 중요하고, 이를 최적화하여 갖춘 뒤, 현장 사용에서 발생될 수 있는 문제점 해결 및 기대 성능 발현 상황 등을 파악하게 된다. 즉 실내외 실험 및 적용성 검증을 통하여, 내황산 모르타르의 재료와 자동화 장비의 안정성과 현장적용성을 극대화 한다. 이를 통한 공법의 시스템화 및 실용화, 최종 현장지원 수행을 통한 작업 공정의 획기적인 업무 증대를 도모하게 된다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제1절 국내 기술개발 현황

1. 국내샷크리트 품질기준

본 연구개발의 목표 중 하나인 보수보강용 고기능성 일체화 샷크리트 모르타르에 관한 국내의 관련기술은 매우 미약하며 이와 유사한 기술로 콘크리트를 활용한 샷크리트가 구조체로 이용되고 있다. 이러한 샷크리트 공법은 국내 도입 초기 건식 공법에 의한 샷크리트 방식이 일반적으로 이루어졌으나 현재는 소규모 터널 및 지하철 공사 등 일부를 제외 하고는 습식 샷크리트의 시공이 보편화되어 수행되고 있다^{2,3,4}. 샷크리트는 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기 변위의 제어 및 풍화의 방지를 통한 굴착면의 안정도모의 목적이 있으나 최근 들어서는 구조물의 장기적인 사용성 및 안전성의 개념에서 고기능성 일체화 콘크리트의 역할이 중요하게 부각되고 있다. 하지만 국내의 경우 샷크리트 설계기준강도가 설계, 시공상의 문제점 등으로 인해 21MPa 내외의 저강도에 머무르고 있는 실정이다.

국내 샷크리트 품질 규정을 살펴보면, 국내에서 주로 사용되고 있는 샷크리트 품질규정에는 터널표준시방서(건교부,1999), 터널설계기준(건교부, 1999), 도로설계요령(도로공사, 2001), 터널지보공관련품질기준개정(도로공사, 2002) 등이 있다.

건설교통부에서 제정한 터널 표준시방서와 터널설계기준을 참고하면 샷크리트 필요 강도와 내구성을 확보하고 부착성과 시공성이 양호하며 재령 1일 압축강도가 9.8MPa 이상, 재령 28일 압축강도가 20.6MPa 이상 되도록 배합할 것을 규정하고 있다.(건교부, 1999). 또한, 샷크리트의 최소두께는 사용목적, 지반조건, 단면트기 등을 고려해서 정하되 3~5cm로 할 것을 규정하고 있다. 그러나 골재, 시멘트, 급결제, 강섬유 등이 복합된 샷크리트 혼합물에 대한 국가적인 표준은 아직까지 마련되어 있지 않다. 따라서 실제 건설현장에서는 골재 재료에 대한 국가 규격(KS F 2577, 2003)을 제외한 다른 부분에 대해서는 현장상황이나 설계사 및 시공사 임의의 품질기준을 적용하고 있는 실정이다. 특히, 급결제에 대한 국내 품질기준은 장기강도에 영향을 미치지 않도록 과다한 량이 사용되지 않게 규정하고 있을 뿐, 급결제의 품질항목에 대한 국가 표준이나 관련 단체 지침 등은 없는 실정이다. 표 2.1은 국내

에서 주로 적용되고 있는 쏿크리트 품질규정을 나타낸 것이고, 표 2.2는 쏿크리트 압축강도, 휨강도, 휨인성 및 강섬유 혼입량 등에 대해 한국도로공사에서는 제시한 품질 기준을 나타낸 것이다. 그러나 외국의 고성능 쏿크리트에 대한 기준과 비교할 때는 아직까지 다소 낮은 수준이며 쏿크리트 재료 및 제반 품질관리 시험에 대한 규정이 부족한 실정이다.

표 2.1 국내 쏿크리트 강도 기준

구 분	강섬유		강섬유 보강 쏿크리트(MPa)					
	인장 강도 (MPa)	형상비 (%)	휨강도		압축강도		코어 압축강도	등가 휨강도
			3일	28일	1일	28일	28일	28일
한국고속 철도공단	68.6	60~80	2.94	4.5	10	21	21	3.06
한국 도로공사	68.6	40~100	2.94	4.5	10	20	17	3.06

표 2.2 한국도로공사 쏿크리트 관련 품질기준(2002)

구분		내용
배합비	기준	지반 특성, 강섬유 혼입 등을 고려하여 구분 적용
압축강도 일반 쏿크리트	기준	재령 28일 강도=19.6MPa, 재령 1일 강도=9.8MPa ⇒ 패널코어강도 85%, 최소 72% 이상
	빈도	1회/200m ² 이상 또는 1일 1회 이상
휨강도	기준	재령 28일 $f_{28bk} = 4.4MPa$, 재령 1일 $f_{1bk} = 2.05MPa$
	빈도	B/P 당 1회/200m ² 또는 1회/일 이상
휨인성	기준	휨인성계수 평균 68%, 최소 58% 이상 (몰드규격: 50×50×12.5cm, 15×15×55cm 병용가능)
	빈도	휨 몰드 사용시 1회/1000m ² 및 휨 인성패널 1회/3000m ² 이상
강섬유 혼입량 시험	기준	투입 기준량의 90%이상
	빈도	1회/1000/m ² 이상(굳지 않은 콘크리트) 구간내 임의위치 1회(6공)이상/50m (쏿크리트 타설 면에서 코어 채취)
두께 측정	기준	평균: 설계 이상, 최소: 설계 75% 이상
	빈도	검사공: 1회(7공)/20m 이상 및 강섬유혼입량 코어시료 등
코어 압축 강도(28일)	기준	재령 28일 $f_{28} = 16.7MPa$ (일반 쏿크리트) 재령 28일 $f_{28} = 19.6MPa$ (강섬유 쏿크리트)
	빈도	구간내 임의 위치 3공/20m

2. 숏크리트의 기능 및 요구조건

국토의 70%이상이 산악지형으로 구성된 우리나라의 경우 터널공사의 수요 및 이에 따른 장대터널 비율의 급증은 매우 당연한 추세라 할 수 있다. 이러한 터널 공사시 국내에서 가장 많이 사용되는 공법으로 NATM(New Austria Tunnel Method)을 들 수 있다. 국내에는 1980년대 초 지하철 3,4호선에 NATM공법이 실시되면서 숏크리트 공법이 적용되기 시작하였다. 숏크리트는 공법상 건식, 습식, 반건식으로 분류될 수 있으며, 공기압으로 원 지반에 타설된 콘크리트가 콘크리트 자체의 충격속도에 의해 밀실화가 이루어지는 것으로 정의 될 수 있다.

숏크리트는 일반적으로 다음 사항을 만족시킬 수 있어야 하며, 시공성, 안정성, 경제성 등에 바탕을 두어야 한다.

- ▶ 리바운드율을 최소화 하면서 벽면 주위에 전반적으로 장착시켜야 한다.
- ▶ 조기강도나 불임성을 좋게 하기 위하여 급결재를 사용하더라도 규정된 28일 강도를 충분히 얻을 수 있어야 한다.
- ▶ 주위 환경과 시공자의 안전등에 전혀 문제가 없어야 하며, 시공후 내구성이 확보되어 터널의 안전성에 전혀 문제점이 없어야 한다.
- ▶ 재료의 단가가 저렴해야 하고 리바운드와 터널의 조건에 의한 제한이 적어 경제적이여야 한다.

현재 터널의 라이닝이나 절개지 등에 사용되고 있는 일반적인 숏크리트 공법은 3-5bar정도의 토출압력으로 분사하고 있기 때문에 리바운드량이 15-20%정도 발생하고 있어 고가의 보수모르타르 사용에 따른 경제성이 맞지 않으며, 모르타르 조직이 다공화 되기 때문에 장기적인 내구성을 유지하지 못하고 기존 콘크리트와의 접착도 불량하여 보수공사에 적용하기 어렵다. 또한 건식 숏크리트 공법은 많은 분진이 발생으로 인해 환경오염을 유발시켜, 노즐에서 배료의 배합과 점성이 이루어지기 때문에 리바운드 량이 15%정도 되어 고가의 보수용 모르타르의 사용이 불가능하다. 특히 시공 후 보수된 단면에서의 많은 공극이 발생함으로서 이러한 공극을 통해 물이나 이산화탄소 및 기타 유해물질이 콘크리트 내부로 침투하여 콘크리트 구조물의 열화가 발생되기 때문에 장기적인 내구성 증대 효과를 얻기 어렵다. 숏크리트가 규정된 성능을 발휘하기 위해서는 여러 조건이 만족되어야 하며 크게 재료와 시공방법으로 나눌 수 있다. 골재는 입형이 4면체이거나 쪼개진 형태는 적당히 않으며 이런 골재는 우선 비표면적이 크기 때문에 다량의 시멘트가 필요하게 된다.

따라서 자연 상태의 등근 골재는 기계나 호스의 통로를 막을 위험성이 적고 기계의 마모와 손상을 줄이기 때문에 가능한 한 많이 사용 하는 것이 좋다. 또한 잔골재와 굵은 골재는 사용하고자 하는 표준치 안에 포함되어야 하며, 먼지는 골재 표면에 유해한 피막을 형성하는 경우가 있어 경화과정에 악영향을 끼치게 된다. 굵은 골재는 지방기준에 따라 적당한 입도를 조절하며, 13mm이상의 골재사용은 리바운드를 증가시킨다. 시공상 조건은 혼합된 재료는 가능한 한 빨리 혼합한 후 1.5~2시간이 경과되지 않게 사용해야 하며, 운반거리가 먼 곳에서는 상단한 단점이 되므로 현장에서 생산 시설이 갖추어질 수 있도록 준비되어야 한다.

또한 새로운 구조체의 건설이 아닌 기존 구조물의 보수보강이 요구될 경우 현재의 보수방식은 현장 타설 방식 및 거푸집 양생 방식이 일반적으로 시행되고 있다¹⁾. 문제는 보수면이 넓고 두께가 얇을 경우 현재의 슛크리트로 보수할 수 없으며 이에 새로운 슛크리트 모르타르 재료 개발이 시급한 실정이며 현재 본 연구과제에서 수행 중인 고성능 내황산 모르타르 개발이 국내에서는 유일한 연구결과라 할 수 있다.

3. 슛크리트용 보수보강 재료 현황

슛크리트용 보강재의 동향을 살펴보면 최근까지의 슛크리트 시공은 Wire mesh를 암반에 부착시킨 다음 그 위에 슛크리트를 타설하는 방법인데, 이 방법은 리바운드율이 크고 Wire mesh 설치기간의 과다소요 및 정확한 설치가 곤란한 점 등으로 빠른 보강작업이 이루어지지 못하고 공기가 지연되고 비용이 증가하는 단점이 있다^{1,9)}. 이를 보완하기 위해 섬유보강 슛크리트가 사용되기 시작하였으며, 이중 대표적으로 강섬유 보강 슛크리트가 사용되어 이전의 공법보다 시공간편, 밀실한 충전, 우수한 인성특성, 빠른 보강이 가능한 장점 등이 있다. 따라서 국내에서 강섬유 보강 슛크리트 적용이 늘고 있다¹⁵⁾. 그러나 강섬유 보강 슛크리트는 혼합시 섬유의 균등분포 문제, 고기능성 일체화 콘크리트 장비 및 압송호스의 마모손상 및 파열, 강섬유의 뒹으로 인한 안전관리상의 문제, 내수성 및 내산성이 불량하여 부식으로 인한 균열 및 박리현상 발생의 여지, 별도의 마감처리가 필요한 점, 시공기술의 부족 등의 문제점을 안고 있다. 특히 기존 구조물의 열화로 인하여 보수보강을 시행할 경우 일반 구조물 건설과는 달리 두께 및 형상에 영향을 받게 된다. 더욱이 기존부와의 부착성 성능에 따라 보수보강 효과가 좌우될 수 있다. 그러나 현재의 슛

크리트 재료는 굵은 골재를 사용하여 타설되는 것이 보통이며 일반 시멘트를 사용하여 단지 급결성만을 부여하여 사용하고 있다. 이러한 재료는 기존면과의 접합부에서 누수, 탈리, 박리의 현상을 가져와 보수보강의 효과를 기대하기 어렵게 된다. 또한 덧씌우기가 얇을 경우 기존의 숏크리트는 반발률의 증가와 원하는 형상을 얻기 힘들게 된다.

가 국내 숏크리트의 시공 문제점 및 개선사항

(1) 급결제 사용

숏크리트 타설 시에는 급결제 사용량을 급결제 종류에 따라 5~12% 정도로 제한하고 있으나 현재 대부분의 국내 터널 현장에서는 급결제 사용량이 증가하고 있다. 가장 큰 이유는 숏크리트 혼합물의 슬럼프가 높기 때문이다. 현장 배치플랜트에서 슬럼프가 10cm 이상이 되면, 리바운드가 많아지기 때문에 타설시 급결제를 과다 투입하게 된다. 급결제를 과다 투입하게 되면 장기강도가 급격히 떨어질 뿐만 아니라, 실제 시공 시 리바운드가 오히려 더 증가하게 되는 경우가 많다. 또한 슬럼프를 맞춘 상태에서 급결제를 과다 투입하여 1회 타설 두께를 10cm 이상으로 할 경우 오히려 숏크리트가 처지는 현상이 발생하거나 덩어리 채 떨어지는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 슬럼프를 낮추는 것이 중요하다. 8~10cm로 관리하는 것이 좋으며, 또한 한번에 5cm 이상 타설하지 않도록 해야 한다. 급결제가 표준침가량이상 과다 투입되게 되면 숏크리트의 장기강도나 내구성에 치명적인 영향을 주게 된다.

한편, 국내의 경우 현재 90% 이상이 알루미늄이트계 급결제를 사용하고 있기 때문에 실명 등 작업자의 신체상의 안전에 특히 유의하여야 한다. 급결제에는 고농도의 알칼리 성분이 함유되어 있기 때문에 환경적인 문제에 대하여 항상 주의하여야 한다. 2005년도 전국의 시공 또는 공용중인 터널 19개소에 대한 현장조사 결과에 의하면, 터널 내·외부 배수로에는 알칼리성분이 용출되어 하얗게 침전되어 있는 것이 발견되었다(그림 2.1 참조). 이러한 배수로의 용수는 그림 2.2에서 보듯이 pH가 11~13 정도로 강 알칼리성분이기 때문에 환경에 유해할 것으로 판단되며, 이에 대한 대책 연구가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 향후 급결제에 있어서는 선진 외국에서 일반화되어 있는 알칼리프리계 급결제의 적극적인 도입 및 상용화가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 급결제를 사용하지 않고 속경성 시멘트를 적용함으로써 발생 가능한 환경오염과 인체에 유해한 점을 방지하고자 한다.



(a) 시공 중 터널 내부 바닥층



(b) 작업 중 외부 터널 배수로

그림 2.1 터널 내·외부 배수로의 알칼리성분 용출

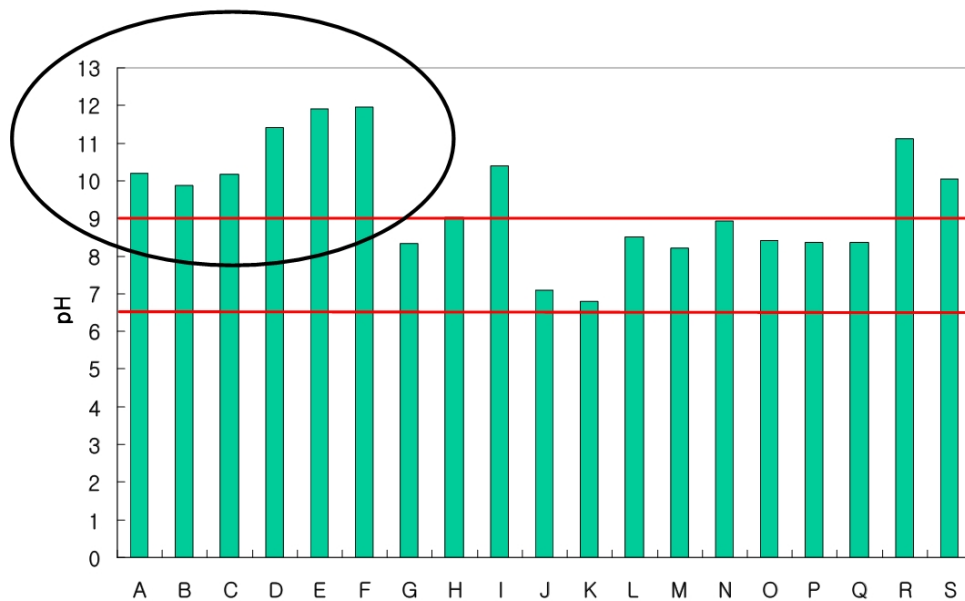


그림 2.2 공용중인 터널 19개소에 대한 현장조사

(2) 혼화제 사용

숏크리트 배합에서는 수량을 감소시킴으로써 강도를 증진시키고, 유동성을 확보함으로써 펌핑 능력을 향상시키기 위하여 혼화제를 첨가한다. 국내 숏크리트 현장에서 주로 나프탈렌계 혼화제를 사용하고 있다. 나프탈렌계 혼화제의 경우 배치플랜트에서 콘크리트를 생산한 후 15~20분 정도가 경과되면 슬럼프가 급격하게 저하되는 현상이 나타나고 있다. 2005년에 나프탈렌계와 폴리카본산계 고성능감수제에

대한 현장 적용성 시험을 수행하였는데 그림 2.3에서 보듯이 동일한 배합에서 생산 후 약 30분이 경과된 상태에서 나프탈렌계의 경우는 유동성이 많이 저하되었으며 폴리카본산계의 경우는 유동성을 여전히 유지하고 있는 것으로 나타났다.

또한, 폴리카본산계 고성능감수제는 감수 성능이 뛰어나 강도증진 효과가 우수할 것으로 판단된다. 점성이 기존 나프탈렌계에 비해 높기 때문에 슛크리트 타설 시 리바운드를 줄일 수 있으며, 골재나 강섬유의 탈락물을 현저하게 저하시킬 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 폴리카본산계 고성능감수제는 시멘트량에 민감하게 반응하기 때문에 그 사용량에 대해서는 시험배합을 통하여 구하여야 한다.



(a) 나프탈렌계의 경우



(b) 폴리카본산계의 경우

그림 2.3 생산 후 약 30분이 경과된 두 가지 콘크리트의 유동성 비교

3) 강섬유 사용

슛크리트 보강용으로 사용되는 강섬유의 인장강도는 대부분 350~2,100 MPa의 범위에 있으며, 형상은 유효지름이 0.25~0.8mm, 길이가 20~65mm의 범위에 있는 것이 일반적이다. 그러나 슛크리트에 사용되는 강섬유의 길이는 타설 장비, 즉 슛크리트 장비의 호스와 노즐의 내부지름에 따라 결정되는데, 일반적으로 이들 지름의 70% 이하 길이를 갖는 강섬유를 사용하도록 유럽통합규정에서는 제시하고 있다. 강섬유의 특성은 이와 같이 인장강도, 기하학적 형상 등으로 표현되며, 특히 강섬유의 길이를 단면의 유효직경으로 나눈 형상비(aspect ratio)가 중요한 특성이 된다. 강섬유의 형상비는 30~150까지 다양한 것들이 사용되고 있는데, 일반적으로 형상비가 클수록 강섬유 보강 슛크리트의 역학적 특성이 우수해지는 것으로 나타나고 있다.

그러나 형상비가 지나치게 커질 경우 배합 시 강섬유의 분산 불량, 뿔어 붙이는 작업의 어려움 등 시공성이 저하될 수 있으므로 슛크리트에 적용되는 강섬유의 형상비는 일반적으로 60~70 정도의 값을 갖는다.

강섬유는 일반적으로 번들(bundle) 타입을 사용하는데 콘크리트 속에서 분산은 잘 이루어지나 접착제의 성분 및 성능에 따라 강섬유 뭉침(fiber balling) 현상이 나타날 수 있으므로, 강섬유 접착제에 대한 성능 및 기준정립이 필요하다. 또한 외국의 경우 강섬유의 접착제 성분에 의하여 배합 시 공기량이 증가하는 현상이 발생되어 강도에 영향을 준다는 사례가 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 본 논문에서는 강섬유가 아닌 환경에 영향을 미치지 않는 친수성 파이버를 사용하여 구조재로서 인장강도를 보강하였다.

이상과 같은 슛크리트용 보수보강 재료 현황에 대한 국내 환경변화는 전무한 상태이며 본 연구의 목표인 슛크리트 용 보수보강 재료인 모르타르 및 프리믹스 콘크리트가 개발될 경우 국내 슛크리트용 보수보강 재료에 대한 획기적인 변화가 예상된다.

나. 일반 슛크리트 공법은 보수시공에 적용할 경우 경제성 및 품질 저하

현재 터널의 라이닝이나 절개지 등에 사용되고 있는 일반적인 슛크리트 공법은 3~5bar 정도의 토출압력으로 분사하고 있기 때문에 리바운드량이 15~20% 정도 발생하고 있어 고가의 보수모르타르 사용할 경우 경제성이 맞지 않고 일반적으로 사용되는 습식 슛크리트 공법의 대부분이 대단면 시공을 하기 때문에 소규모의 보수·보강을 목적으로 할 경우에도 비경제적이며 시공절차상에 대형장비를 요구하기 때문에 넓은 공간을 필요로 하여 현실적으로도 문제점이 따른다. 또한 모르타르의 조직이 다공화 되기 때문에 장기적인 내구성을 유지하지 못하고 기존 콘크리트와의 접착도 불량하여 보수공사에 적용하기 어렵다.

4. 보수보강을 위한 열화부 제거 현황

도로의 덧씌우기나 열화된 구조물의 보수처럼 콘크리트구조물은 종종 새로운 콘크리트가 기존 콘크리트에 적용되어 신·구 콘크리트로 구성된 복합 구조체를 이룬다. 두 가지의 서로 다른 콘크리트로 구성된 신·구 콘크리트구조물의 성능은 새로이 적용되는 신 콘크리트 재료의 물성보다는 구 콘크리트와 신 콘크리트 사이

의 부착성능에 의해서 크게 좌우된다. 이러한 부착성능을 증진시키기 위해서는 새로이 적용되는 보수재료의 부착성도 중요하지만 더욱 큰 영향이 미치는 것이 바로 부착면의 상태이다¹⁶⁾.

현재 보수보강을 위한 대규모 열화부 제거방법은 인력에 의한 부분 파쇄와 장비에 의한 연속식 대규모 파쇄 방법이 시행되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 열화부 제거 시 충격에너지 등의 사용으로 새로운 균열을 유발시킬 수 있으며 압축 공기(air blast) 및 모래 청소(sand blast)는 열화부의 완전제거를 이루지 못하는 단점을 가지고 있다¹⁶⁾. 이러한 완전하지 못한 열화부 제거작업은 오히려 균열 진전과 보수재료와의 계면으로 누수 및 이물질의 침투로 조기 탈리 및 박리현상을 가져오며 구조물의 열화를 더욱 악화시키는 원인으로 작용할 수 있다.

열화부 콘크리트 파쇄방법은 현재 대단위 보수공사에서는 중장비에 의한 파쇄 방법이, 소규모공사에서는 인력에 의한 방법이 적용되고 있으며 최근 워터젯에 의한 방법이 소개되어 일부 적용사례가 보고 되고 있으며, 워터젯에 의한 파쇄방법은 일정수압에 의해 열화부만을 제거할 수 있으며 건전부에 대한 손상의 최소화 및 추가공정을 요하지 않는 장점을 지니고 있다. 그러나 현재의 워터젯에 의한 열화부 제거방식은 새로운 콘크리트 열화부 제거방식으로 국내에 활발히 적용되고 있으나 본 연구과제인 경사 구조물이나 관로에 직접적으로 적용할 수 없으므로 이에 적합한 방식이 필요한 실정이다.

5. 숏크리트 시공방법 현황

숏크리트는 본질적으로는 보통 콘크리트와 같은데, 압축공기로 뿜어붙이는 시공법에 의한 점이 틀리다. 이는 대상구조물에 콘크리트를 뿜어 붙여서 밀착시킴으로써 구조물의 안정을 도모한다. 일반적으로 숏크리트는 뿜어 붙여진 직후 초기 강도 발현을 해야 하므로 급결제를 첨가하게 되는데, 급결제는 국내에서는 실리케이 트계 및 알루미늄에이트계가 주로 사용되고 있으나 이들 급결제는 장기강도 저하와 시공성이 떨어지고 독성 등의 문제점을 지니고 있어 고품질의 급결제 연구가 필요한 실정이다⁷⁾.

현재 국내에서는 터널 라이닝, 기초 굴착면 보호 등 아주 특별한 경우에 중장비를 이용한 장비타설을 시행하고 있으며 대부분의 경우 작업원에 의한 인력 타설이 주를 이루고 있다. 이러한 인력 타설은 작업원의 숙련도와 기술력에 따라 품질

이 결정되며 장비에 의한 타설 방식은 현장 접근성 및 경제성이 매우 낮은 단점을 지니고 있다. 일반적인 쏿크리트 공법은 3~5bar 정도의 토출압력으로 분사하고 있기 때문에 리바운드량이 15~20% 정도 발생하고 있어 고가의 보수모르타르 사용할 경우 경제성이 맞지 않고 일반적으로 사용되는 습식 쏿크리트 공법의 대부분이 대단면 시공을 하기 때문에 소규모의 보수·보강을 목적으로 할 경우에도 비경제적이며 시공절차상에 대형장비를 요구하기 때문에 넓은 공간을 필요로 하여 현실적으로도 문제점이 따른다. 특히 국내에서는 쏿크리트의 품질개선과 아울러 장비에 있어서 습식 쏿크리트가 일반화 되면서 대형화, 기계화, 자동화되고 있는 실정인데 국내의 경우 이에 대한 생산 및 타설 시의 장비개량이 미흡한 실정이다. 또한 모르타르의 조직이 다공화 되기 때문에 장기적인 내구성을 유지하지 못하고 기존 콘크리트와의 접착도 불량하여 보수공사에 적용하기 어렵다.

더욱이 기존 구조물에 대한 보수보강 전문 쏿크리트 인력 및 장비의 부재가 가장 큰 어려움이며 이러한 이유로 국내에서의 쏿크리트에 의한 대규모 보수보강은 이루어지지 않고 있다.

쏿크리트는 생산과정 및 시공과정에 따라 건식방식(Dry-Mix Type) 공법과 습식방식(Wet-Mix Type) 공법 2가지 종류가 있으며, 두 방식에 각기 특징과 장·단점을 가지고 있다.

가. 건식 쏿크리트 공법

건식공법은 시멘트와 기건상태의 골재를 잘 혼합(건식혼합)한 후, 급결제를 가하여 분사장치에 공급하고 이것을 압축공기로 호스를 통해 압축하여 노즐에서 분사하는 공법이다. 이때 배합수는 노즐내에서 골재와 혼합되어 시공면에 고속으로 뿜어붙여진다. 그림 2.4는 건식 쏿크리트 공법의 개략도를 나타내고 있다.

이 공법은 다음과 같은 단계의 작업을 거쳐 시공된다.

- ① 시멘트 또는 혼합재료와 골재를 완전하게 혼합한다.
- ② 시멘트 골재 혼합물을 특수한 기계식 공급기 또는 운반장비라고 불리는 Gun속으로 공급한다.
- ③ 혼합물은 보통 feel wheel, Rotor 또는 feed bowl과 같은 장치에 의해 공급호스속으로 투입된다. 어떤 장비는 재료를 호스속으로 이송하는데 공기압만을 이용한

다(orifice).

- ④ 재료는 압축공기에 의해 공급호스의 노즐 본체로 이동된다. 노즐 본체는 내부에서 water ring과 결합되어 있으며 이 water ring을 통해 배합수가 주입되어 다른 재료와 혼합된다.
- ⑤ 이 재료가 노즐에서 슛크리트 시공면으로 고속 분사된다.

한편, 최근 압력수를 노즐의 몇 미터 앞에서 공급함으로써 다량으로 발생하는 분진을 감소시키는 공법이 선보였는데 이것을 반습식 공법이라고 부르고 있다.

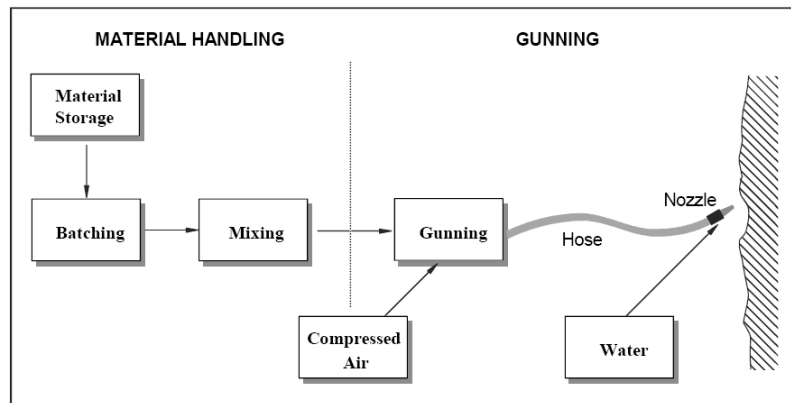
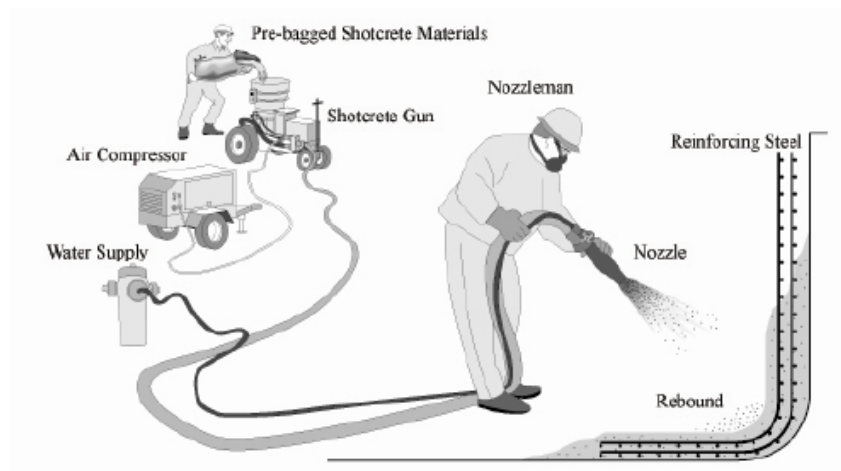


그림 2.4 건식 슛크리트 공법

나. 습식 슛크리트 공법

Air 압송식 및 Screw Pump 압송식 공법으로 대별되는 습식공법은 물을 첨가하여 모든 재료를 잘 혼합한 후 분사장치에 공급하고 노즐에서 공기를 더 가하여 분

사속도를 증가시켜 뿜어 붙인다. 특히, Air 압송식 습식 공법은 Wet-Mixed 덩어리 또는 콘크리트를 압축공기로 압송하여 노즐부에서 급결제를 가하여 뿜어 붙이는 방식으로 습식 Chamber형과 습식 Screw형 등이 있다. 또한, Screw Pump 압송식 공법은 Wet-Mix 덩어리를 Screw식 Pump에서 배관 혹은 호스 내로 압송시켜 노즐 부근에서 압축공기를 보조적으로 이용하고, 급결제를 압축공기에 혼합하여 슛크리트 하는 방식이다. 그림 2.5는 습식 슛크리트 공법의 개략도를 나타내고 있다.

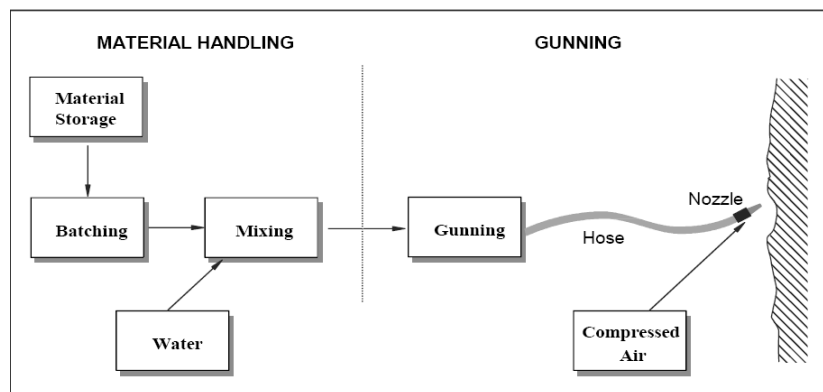
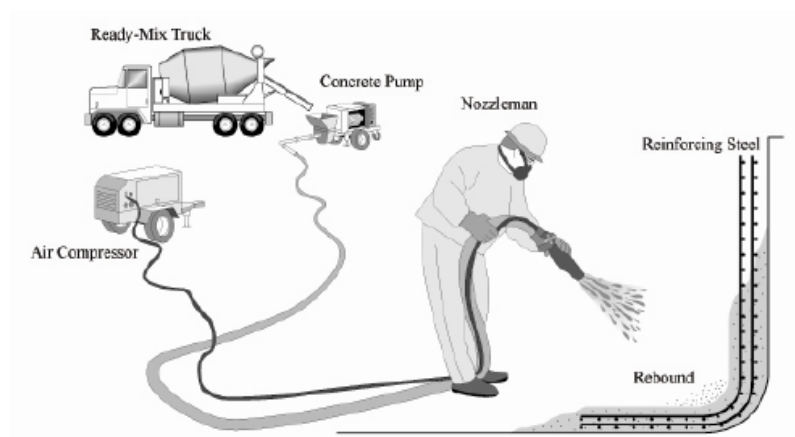


그림 2.5 습식 슛크리트 공법

이 공법은 다음과 같은 단계의 작업을 거쳐 시공된다.

- ① 동상 급결제를 제외하고 모든 재료를 완전하게 혼합한다.
- ② 모르타르 또는 콘크리트를 공급장치의 chamber 내로 넣는다.
- ③ 혼합물을 공급호스속으로 주입하고, 기계식으로 이동시키거나 압축공기에 의해

노즐로 운반한다.

- ④ 급결제는 일반적으로 노즐에서 첨가된다.
- ⑤ 속도를 증가시키고 gun 작업을 용이하게 하기 위해 노즐에서 공기를 추가로 투입한다.
- ⑥ 노즐을 통해 모르타르 또는 콘크리트를 슛크리트 시공면에 고속 분사한다.

건식공법은 노즐에서 물과 재료를 혼합하기 때문에 품질은 작업원의 능력에 따라 좌우될 수 있지만 레미콘이나 배치플랜트를 이용할 필요가 없이 프리믹스를 통해 포대형식으로 재료만 공급할 수 있다면 공급 작업에 제한이 적으며, 습식공법은 호스가 막힐 경우 청소가 어렵고 재료를 방치할 수 없지만 건식공법은 작업 중 호스 막힘이 발생하지 않아 청소할 필요가 없고 작업이 중단되어도 재료가 물과 혼합된 상태가 아니므로 일정시간 방치하여도 문제되지 않는다. 또한 습식공법에 비해 장시간 압송이 가능하고 소형장비를 사용하기 때문에 소면적을 분할하여 보수 시공하는 것이 가능해 유지·보수를 위해서는 효과적이라 볼 수 있다. 다만, 습식공법에 비해 분진이 비교적 많이 발생하고 리바운드가 크다는 문제점이 있어 이를 해결할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

다. 슛크리트 공법의 비교

건식공법과 습식공법의 적용시 발생하는 문제점은 다음과 같다.

① 건식공법의 문제점

- 노즐부에서의 분진의 많이 발생하고 습식에 비해 리바운드가 크다.
- 배합수 첨가는 노즐부에서 밸브 조작으로 하기 때문에 노즐맨의 숙련도에 의해 크게 좌우된다.

② 습식공법의 문제점

- 건식에 비해 W/C비가 일반적으로 높다.
- 최대골재치수의 4배 정도 크기의 지름을 갖는 압송호스가 필요하다.
- 이 방식에 적합한 급결제의 가격이 고가이다.
- 장비본체가 대형이다.
- 장비가격이 고가이다.
- 일반적으로 압송거리가 짧다.

- 노즐부에서 토출되는 콘크리트의 속도가 약간 느리다.

표 2.3 슛크리트 공법의 비교

구 분	건식 공법	반습식 공법	습식 공법
압송거리	- 비교적 길게 할 수 있지만 100m 내외가 적당	건식과 동일	- 공기압송의 경우 50m 정도 - pump압송의 경우 장거리 압송가능 (100m)
시공능력	- 시간당 토출량이 적다. (6~8m ³ /hr)	건식과 동일	- 시간당 토출량이 많다(8~10m ³ /hr)
분진 및 리바운드	- 시공조건 및 작업원 숙련도에 따라 다르지만 대체로 분진과 리바운드 발생량이 많다. - 리바운드율 : 20~40%	- 분진의 발생은 비교적 적으나 리바운드는 비교적 많이 발생한다.	- 건식에 비해 적지만 압력에 따라 Mist를 포함한 분진이 많아진다. - 리바운드율 : 10~20%
작업성	- 청소등 기타 작업 불필요 - 기계가 작아 작업공간이 작다.	건식과 동일	- 건식에 비해 약간 복잡 - 사용재료/콘크리트 성상에 따라 시공성에 영향을 줌. - 기계가 커서 작업공간이 큼.
재료공급	- 공급작업의 제한이 적다.	건식과 동일	- 재료의 제한이 크다.
품질관리	- 작업원의 숙련도에 영향을 받는다. - 마무리면은 습식에 비해 평탄하다. - 잔골재의 표면수 관리가 중요하다	건식과 동일	- 재료의 계량이 정확하고 혼합이 용이하므로 품질관리가 쉽다. - 슬럼프 및 굵은골재의 입도관리가 중요하다

제2절 국외 기술개발 현황

샷크리트는 1910년 미국 뉴욕에서 실시한 시멘트 전시회에서 압축공기로 시멘트와 모래 혼합물을 운반 사용하는 장비가 시멘트 건(gun) 회사에 의해 소개된 이래로 gunit으로 불리면서 건설산업에 꾸준히 사용되어 왔다. 이후 다른 장비사들에 의해 혼합물에 시멘트와 모래 이외에 골재를 혼합할 수 있도록 장비가 개선되고 빠른 시간 안에 경화되는 배합이 개발되면서 샷크리트로 발전하게 되었다. 그림 2.6은 World Tunnelling에 소개된 자료로서 영국의 샷크리트 품질 발전 동향을 잘 나타내 주고 있다.

1990년대 초반까지는 분말형 급결제를 사용하는 건식 샷크리트 공법이 적용되었으며, 1980년대 후반부터는 마이크로 실리카(microsilica), 즉 실리카흙이 건식방법에 투입되었다. 1990년대 초에는 건식샷크리트를 시공하면서 알칼리 기반의 액상형 급결제가 사용되기 시작하였다. 이후 1993년에 처음으로 습식 타설공법이 도입되면서 샷크리트 품질에 있어서 급격한 상승을 가져왔다. 이후 배합에 강섬유를 사용하고 액상형 급결제의 투입량을 줄임으로써 고성능 샷크리트 시공이 가능하게 되었다. 또한 1996년을 지점으로 샷크리트 기술 및 품질에 있어서 또 한 번의 급격한 기술향상이 가능해 졌는데, 로봇화된 타설장비와 알칼리프리(alkali-free)계 급결제가 도입됨으로 인해 1990년대 중반은 획기적인 도약기라 할 수 있다. 이후 1990년대 후반부터 고성능 감수제를 사용하여 물/시멘트비를 0.4 이하로 줄이는 것이 가능해져 고강도의 샷크리트를 시공할 수 있게 되었다.

국외에서는 1990년도 초반에는 샷크리트에 실리카흙을 첨가하는 것에 대한 연구(Morgan & Wolsiefer, 1992 ; Morgan & Wolsiefer, 1993)가 재료적인 측면에서 많이 수행되었으며, 근래에도 급결제 등에 대한 연구가 계속되고 있다(Zampini et al., 2004). 또한, 샷크리트와 관련된 국제적인 활동 기구로서, 1989년 설립된 ITA(International Tunnelling Association)가 있는데 여기서는 Working group 12(Shotcrete use)를 중심으로 샷크리트와 관련된 각국의 기술수준, 동향과 현황, 그리고 시험결과 등을 정리하고 있으며, 지침서, 연구보고서 등을 발간하거나 Annual report를 통하여 세계적으로 공유하고 있다. 또한 1989년 설립된 EFNARC에서는 1991년 샷크리트 기술위원회를 발족하여 유럽통합기준인 “European Specification for Sprayed Concrete”를 작성하였으며(EFNARC, 1996), 이후 이 기준에 대한 지침도 제시하였다(EFNARC, 1999).

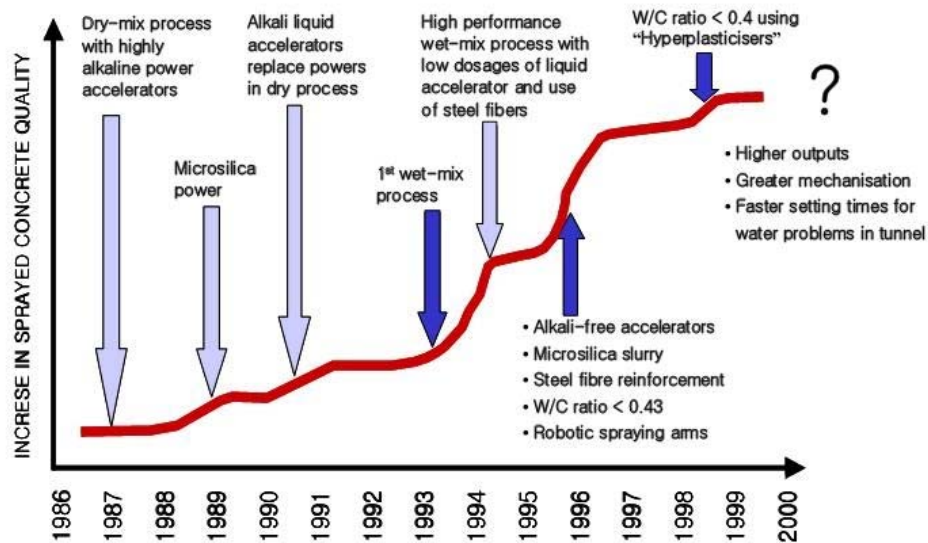


그림 2.6 영국의 슛크리트 품질

내구성에 대한 연구 역시 1990년대부터 활발히 진행되었으며 Davik(1996)은 노르웨이 도로국을 통하여 공용 중인 터널 내 슛크리트에 대한 열화 조사를 실시하여 강도기준이 C25에서 C45로 상향되는 과정을 발표하였다. 특히 Nordström은 2000년 및 2005년 두 차례에 걸쳐 대규모 내구성 실험 연구를 완성하였다(Nordström, 2000; Nordström, 2005). 먼저 실험실에서 콘크리트를 원형 몰드에 타설하여 0.1, 0.5, 1mm 폭의 균열을 인위적으로 생성시킨 뒤 3.5%의 염화물 용액과, 증류수에 3일 침수 4일 건조(상대습도 50%)의 7일 사이클로 염해에 대한 촉진 내구성 실험을 실시하여 70일 및 120일 경과후의 강섬유의 부식정도를 단면 손실률로 계산하여 내구성을 분석하였다. 또한 패널 몰드에 장비를 이용하여 슛크리트를 타설하여 보 형태로 cutting 한 후 실내실험 시편과 동일하게 선 균열을 형성시켜 자동차 도로 옆과 부분적으로 침수되는 호숫가 그리고 도로터널 내에 시편을 적치하여 현장 노출 실험을 실시하였다. 이후 1년, 2.5년 그리고 5년경과 후에 염분 침투량과 강섬유 단면 손실률을 측정하여 실내실험 결과와 비교함으로써 슛크리트의 장기 내구성을 평가하였다. Franzen et al.(2001)은 ITA Working group에서 슛크리트 내구성 관련 자료를 처리하기 위한 지침을 제시하기도 하였으며, Morgan(2003)은 동결융해 저항성에 대한 연구를 수행하였다.

한편, Tomiswa(2003)는 ITA Working group 12 활동을 통하여 각국의 슛크리트

지보 설계 현황에 대해 발표하였는데, 여기에는 쏿크리트의 지보거동에 대한 역학적 개념과 암반과의 부착면에서의 작용하중에 대한 개념이 잘 설명되어 있다. 쏿크리트의 지반과 부착에 따른 상호거동에 관한 연구로서 Barret & McCreath(1995)는 쏿크리트의 잠재적인 파괴 모드에 대해 다뤘는데 쏿크리트의 파괴는 암반과의 부착력 상실과 굴곡파괴에 의해 발생되며 특히 쏿크리트의 지보능력을 극대화하기 위하여 부착성이 매우 중요하고 부착성이 상실된 후에는 휨인성이 매우 중요한 역할을 한다고 하였다. Swoboda & Moussa(1994)는 쏿크리트와 콘크리트 라이닝에 대한 수치해석을, Malmgren et al.(2005)은 쏿크리트의 부착강도에 대한 연구를, Bae et al.(2004)은 암반과 쏿크리트 접촉면의 물성에 대한 연구를 수행한 바 있다.

미국의 경우 보수보강의 필요성 절감과 경제성 등으로 새로운 보수재료의 개발과 연구가 활발히 진행되고 있으며 이에 보수보강 전용 쏿크리트 모르타르를 개발한 상태이다. 그러나 미국 생산제품은 국내 수입 시 기술력의 종속과 경제성을 문제가 발생할 수 있다. 따라서 국내의 우수한 연구기관과 현장 기술자, 전문 업체 간의 유기적 관계를 통해 국내 기술력으로 생산된 고기능성 쏿크리트 모르타르 개발이 절실히 요구된다.

미국 현지에서도 개발된 쏿크리트 모르타르의 고비용으로 적용사례는 미미한 실정이며 이와 유사한 쏿크리트에 대한 기술현황은 다음과 같다.

국내의 쏿크리트 시공과 비교하여 유럽 등 터널기술 선진국에서는 2차 라이닝의 대체나 쏿크리트의 장기적인 거동 및 내구성의 관점에서 40-60MPa에 이르는 고강도 쏿크리트 및 강섬유 보강, 폴리머 쏿크리트가 일반적으로 시공되고 있다. 이는 실리카 폼, 고성능 감수제 등의 사용이 보편화되어 있기 때문이며 급결제의 경우 유럽에서는 장기강도의 저하가 적고 무독성의 환경친화적인 알칼리프리계 급결제 등의 고성능 급결제의 적용이 확산되어 있기 때문이다^{13,14}). 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 실리케이트계 급결제나 알루미늄이트계 급결제는 장기강도의 저하 및 독성 등의 이유로 점차 사용실적이 감소하고 있는 추세이다.

쏘크리트용 보강재에 있어서는 강섬유 이외의 섬유로 폴리프로필렌 섬유가 스웨덴, 홍콩, 캐나다, 호주 등에서 리바운드의 개선 및 내구성의 보완, 경제적인 이유 등으로 터널, 공동 등의 지하굴착공사 및 수로, 운하 등의 수리구조물, 사면안전공사 등에 일부 사용되고 있으며 셀룰로스 섬유 등의 적용이 검토되고 있다^{10,12}). 또

한 구조용 합성섬유가 미국, 캐나다, 일본에서 최근 개발되었는데, 이 섬유의 특징은 강섬유의 부식저항성 취약 및 기존 폴리프로필렌 섬유의 단점인 인성특성 취약 및 다량 첨가시의 작업성 저하를 대폭 개선한 것으로 터널 시공실적도 일부 가지고 있는 것으로 최근 발표되었다.

- 1980년대부터 미국, 일본, 유럽 등에서 관로를 파지 않고 지하시설물을 설치, 교체, 보수하는 비굴착공법(Trenchless Technology)의 기술이 발전되어 왔고, 그 이용 분야가 급속히 확산되고 있는 추세이다.
- Water-Jet을 이용한 하수관로 세정은 이미 선진국에서 보편화된 기술이지만, 기존 구조물에 손상이 거의 없고 세정력이 뛰어난 Hydro-demolition의 공법 및 장비는 현재 연구개발이 활발히 진행되고 있는 분야이다.
- 그리고 국내외 터널에 주로 사용되어지는 Shotcrete Lining 방법을 토목구조물의 보수·보강에 이용하여 기존 방법의 한계성을 극복하고 성능 및 시공성 향상을 도모하고 있으며, 향후 주목받는 사업분야로 확대를 시도하고 있다¹⁶⁾.
- 경사면 구조물의 보수·보강은 폴리머시멘트 또는 에폭시를 사용한 공법이 제시되어졌으나, 관거에서는 취약한 결과를 보이고 있어 이를 개선하려는 노력이 시도되고 있으나 마땅한 대안이 마련되지는 못하였고, 경사구조물 및 관로에 이르는 종합적이고 시스템화된 보수·보강 공법은 아직 미흡한 실정이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구수행목표 및 내용

1. 1차년도 연구내용 및 범위

가. 연구내용 및 범위

○ 계획수립 및 자료조사

- 국내외 적용 구조물 보수공법과 응용분야 개발사례 및 성능내용 분석
- 기 개발된 공법 및 재료와 장비의 문제점, 개선방안 분석
- 기존 Hydro-demolition 및 슛크리트(모르타르) 전용 장비 및 공법 분석
- 국내외 적용 시장성 및 특화전략 수립
- 전체계획 및 신기술 취득, 사업화계획 수립

○ 슛크리트용 고성능 내황산 모르타르 개발

- Shotcrete Lining에 적합한 시멘트계 모르타르 개발
- 적용 구조물 보수·보강에 최적화
- 친환경, 고성능 복합 기능성 모르타르의 성능 발현
- 내황산성 및 내부식성 기능 발현
- 저수축성 및 균열억제력 발현
- 초조강성 및 방수성, 고유동성 기능 등을 포함

- 국내 콘크리트 구조물은 주재료인 시멘트를 기본 재료로 하여 보수하는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 기존에 시판되고 있는 시멘트를 적용 구조물용으로 최적화할 수 있는 개선된 재료개발을 시행하여야 한다. 특히 경사구조물과 수리구조물 및 관로는 오염물질로 인한 부식이 심하고 일시 또는 상시 수분과 접한 상태로 24시간 이내에 보수를 마치고 교통개방 및 통수를 시켜야하며, 작업성과 성능 발현의 어려움 등 여러 애로사항을 갖는다.

- 따라서 기존의 구조물에 완전히 부착(부착강도 1MPa 이상) 되어야 하고 조기에

강도(압축강도 10MPa 이상)를 발현해야한다. 이를 위하여 시멘트 베이스와 골재를 우선적으로 선택하고 조강성능 발현과 재료 안정성을 갖는 선행 작업을 수행한다.

- 또한 슛크리팅에 필요한 필수조건인 작업성, 리바운드의 최소화 및 작업시간의 충분한 확보가 가능한 재료가 개발, 적용되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위한 연구내용으로 다음과 같은 목표를 설정하여 재료를 개발하고자 한다.

- 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비개발

- 경사구조물과 수리구조물에 적용 가능한 Hydro-demolition 장비개발
- 경사구조물 절삭을 위한 자립형 Hydro-demolition 장비 개발
- 경사면 0~90°면에 대한 절삭 깊이 5cm이상의 고성능, 고내구성 구현

- 경사면에 대한 파쇄작업은 작업장의 난이도로 인해 인력작업에 의한 방식이 대부분을 차지하고 있다. 또한 경사구조물에 적용하기 위한 Hydro-demolition은 장비의 이동성 및 작업성에 제약을 받는 경우가 대부분이므로 이를 해결하기 위해서는 기존 장비의 한계를 넘는 자립형 장비의 개발이 필요하다. 또한 기존 열화부에 대한 파쇄능력이 확보되어야 하므로 경사면 0~90°에 대한 최소 절삭깊이 5cm이상의 고성능, 고내구성 이 구현되어야 한다. 이를 위해 무인시스템의 구축과 이동성의 편리성, 작업반경의 확대가 가능한 장비 개발을 실현하고자 한다.

- 관로 시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shotcrete 용 자동화 장비 개발

- 이동식 자동 Spin Hydro-demolition 개발
- 인력 작업이 곤란한 소형 관경에 적용 가능한 회전식 Spin-Head개발

- ① 회전형 Hydro-demolition 장비 개발

- Hydro-demolition은 고압의 물을 분사하여 구조물의 열화 또는 부식된 표면을 제거하고 관에 흡착되어있는 오염물 또는 이물질들을 세척한 후 세정수와 함께 진공 흡입하여 청소하는 방법이다. 그러나 기존의 일반 고압세척의 방법은 인력브레이커와 같이 기존의 구조물과 관로에 손상을 입혀 미세균열을 유발하고 각 구조물 형태와 관경마다 헤드를 교체해야 하는 단점이 있다. 본 공법에서는 자체적

으로 헤드가 회전 또는 이동하면서 적절한 분사 속도와 각도를 조절하여 기존 구조체에 손상이 거의 없으며, 헤드에 결합된 분사 노즐의 각도와 길이가 조절되어 최적의 세정력과 부식 및 열화된 표면 제거력을 보일 수 있는 회전형 장비를 개발하고자 한다.

② 회전형 Spin-Head Shocrete 장비 개발

- Spin-Head Shocrete은 원심력에 의해 모르타르를 분사하여 원형 구조물의 단면을 회복시키는 슛크리트 방식의 새로운 장비이다. 기존의 직립식 슛크리트에서 벗어나 인력 접근이 곤란한 소형 관로에 적합하도록 개발하고자 하며 분사압 및 분사방식을 개량 및 개발하여 슛크리트 전용 내황산 모르타르에 적합한 새로운 분사장치를 개발하고자 한다.

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (‘06.12~’07.6)	▪ 계획수립 및 자료조사	• 국내외 적용 구조물 보수공법과 응용분야 개발사례 및 성능내용 분석 • 기 개발된 공법 및 재료와 장비의 문제점, 개선방안 분석 • 기존 Hydro-demolition 및 슛크리트(모르타르) 전용 장비 및 공법 분석 • 전체계획 및 신기술 취득, 사업화계획 수립
	▪ 슛크리트용 고성능 내황산 모르타르 개발	• Shotcrete Lining에 적합한 시멘트계 모르타르 개발 • 적용 구조물 보수·보강에 최적화 • 친환경, 고성능 복합 기능성 모르타르의 성능 발현 • 내황산성 및 내부식성 기능 발현 • 저수축성 및 균열억제력 발현
	▪ 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량	• 경사구조물과 수리구조물에 적용 가능한 Hydro-demolition 장비 개량 • 무인자동화된 다목적 Hydro-demolition 공법 개발 • 0~90° 경사구조물 절삭 단면 일체화 보수보강이 가능한 자립형 Hydro-demolition 장비 개량
	▪ 관로 시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shotcrete용 자동화 장비 개발	• 이동식 자동 Spin Hydro-demolition 개발 • 절삭 깊이 5cm이상의 고성능, 고내구성 • 단면 손상이 없는 고성능 공법 완성

나. 1차년도 성과지표 설정에 따른 결과물

연구목표	설정근거	목표치	측정방법
○ 계획수립 및 자료조사	전문화 및 과제성공을 위한 전용 연구실 구비	연구시설구축	연구시설 구축 정도 및 확보된 공간
○ 숏크리트용 고성능 내황산 모르타르 개발	개발과정에서 학술회의 발표를 통한 대외 홍보	1편	학술회의(학회)에 참가해 발표한 건수
	개발완료 후 학술지에 게재하여 성능검증	1편	국내외 학술지 논문 게재 건수 제시
○ 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량	핵심기술장비보유여부	1 set	장비 구입 건수 및 구입 규모
○ 관로시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shocrete 용 자동화 장비개량	핵심기술장비보유여부	1 set	장비 구입 건수 및 구입 규모

2. 2차년도 연구내용 및 범위

가. 연구내용 및 범위

○ 슛크리트용 고성능 내황산 프리믹스 콘크리트 개발

- 소규모 경사구조물 적용을 위한 프리믹스 건식 콘크리트 재료 개발
(굳기 전 물성시험, 굳은 후 강도특성 및 내구특성 검증)
- 대규모 경사구조물 적용을 위한 습식 콘크리트 재료 개발
(굳기 전 물성시험, 굳은 후 강도특성 및 내구특성 검증)
- 개발된 슛크리트용 콘크리트의 시험시공을 통한 재료 품질 검증
(모의현장에서 시험시공을 통해 개발 재료 품질 검증)
- 프리믹스 콘크리트의 브랜드화 및 현장적용 검증

① 재료선정 및 개발 목표치 선정

- 건식 및 습식 슛크리트 재료 개발을 위한 콘크리트 재료 선정
(시멘트, 혼화재료, 골재 등)
- 슛크리트용 고성능 건식 프리믹스 및 습식 콘크리트 개발 평가를 위한 평가 항목 및 목표치 새로운 문헌 및 사용재료에 대한 기본 물성 시험을 통해 재 검토 후 확정

② 모의 현장에서 시험시공을 통한 개발재료의 품질 검증

- (평가항목 및 목표치는 ①에서 결정한 항목과 목표치에 의해 실시)
- 굳기 전 품질 시험 (슬럼프, 공기량, 리바운드율 측정)
- 굳은 후 품질 시험 (강도특성, 내구특성, 화학저항성 시험실시)

③ 프리믹스 건식 및 습식 슛크리트 재료의 브랜드화 및 현장적용 검증

- 현장적용 검증(통합시스템 구성과 시험시공 및 현장적용의 평가 시 슬럼프, 공기량, 리바운드율, 강도특성 평가)

○ 경사구조물에 따른 Shotcrete용 및 Hydro-demolition 자동화 장비 개량

및 개발

① 쏿크리트 장비선정 및 개량 목표치 선정

- 현재의 국내 쏿크리트 장비는 터널 라이닝에 적합하도록 제조 또는 개량된 대형 장비로 본 연구과제의 기존 구조물 보수보강에는 적합하지 않음.
- 따라서, 이동성, 간편성 등을 고려한 최적의 장비를 선정하여야 하며 이를 프리믹스 콘크리트의 최적성능을 발현할 수 있도록 현장조건에 맞게 개량을 시행하여야 함.
- 또한 기존 구조물의 다양성으로 인하여 기존의 습식 또는 건식 방식 중 하나를 획일적으로 선택할 수 없으므로 두 가지 방식 모두에 대한 개량 및 개발이 병행되어야 함.

② Hydro-demolition 장비선정 및 개량 목표치 선정

- 현재 본 과제를 통해 얻은 워터젯의 칩핑장치 및 분사노즐 장치는 파쇄방식 및 장치에 대한 지적재산권임.
- 차년도 과제에서는 개발된 파쇄장치를 이용하여 경사면 자립형 구동이 가능하도록 장비를 개량하고자 함.
- 경사구조물은 중소형에서 대형구조물에 이르기까지 매우 다양한 형태를 갖게 되므로 이들 구조물에 대한 접근의 용이성 및 파쇄능력 유지를 위하여 이동 및 구동장치를 개량하고자 함.

○ 통합시스템 구성

- 고압살수 지원 적합장비 구성
- 믹서와 펌프를 포함한 적합장비 구성
- 장비 조합의 최적화 및 호환성 등의 최적화
- 편리한 시공성 및 경제성 확보
- 통합시스템의 안전성과 효율성 극대화
- 현장에 최적화된 통합 장비 및 시스템 구성

○ 시험시공 및 현장적용

- 실내 실험 및 현장 적용 실험 실시
(재료목표치에 대한 실내 검증결과와 현장 적용 시의 항목 대비 발현율)
- 공법 안전성 및 최대효율성 도출
(일일작업량을 통한 공사비대비 및 추적조사를 통한 LCC 분석)
- 시험 시공 및 현장 지원 극대화
- 시공 기술의 체계화 및 범용성 확보
- 시공 현장에 장비 및 공법 적용 후 시장 확대 및 사업화 방안 추진

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도 (‘07.8~’08.12)	○ 슛크리트용 고성능 내황산 프리믹스 콘크리트 개발	• 대규모 경사구조물 보수보강을 위한 프리믹스 타입의 내황산 콘크리트 개발 • 국내 최초의 슛크리트 프리믹스 타입 콘크리트 제품으로 브랜드화 등을 통한 지적재산권 확보
	○ 경사구조물에 따른 Shotcrete용 및 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 및 개발	• 소규모 경사구조물에 대한 보수보강 시 기 개발된 내황산 모르타르 및 프리믹스 콘크리트를 이용한 장비의 최적화 모색 • 소규모 경사구조물 보수·보강에 최적화 공법 개발(건식 슛크리트 이용) • 대규모 경사구조물 보수·보강에 최적화 공법 개발(습식 슛크리트 이용)
	▪ 통합시스템 구성	• 고압살수 지원 적합장비 구성 • 믹서와 펌프를 포함한 적합장비 구성 • 장비 조합의 일치성 및 호환성 등의 최적화 • 편리한 시공성 및 경제성 확보 • 통합시스템의 안전성과 효율성 극대화 • 현장에 최적화된 통합 장비 및 시스템 구성

나. 2차년도 성과지표 설정에 따른 결과물

연구목표	성과지표	목표치	성과물 명칭
○ 슷크리트용 고성능 내 황산 프리믹스 콘크리트 개발	4-2 특허출원 건수	1건	관련장비 특허출원
	6-1시제품 출시 건수	1건	시제품 출시건수
○ 경사구조물에 따른 Shotcrete용 Hydro-demolition 자동화 개량 및 개발	4-2 특허등록 건수	1건	관련장비 특허등록
	28-3 장비구축건수	1건	장비 구입 건수 및 구입규모
○ 통합시스템 구성	4-2 특허등록 건수	1건	공법 특허등록
	1-7 학술발표논문	1건	학술회의 발한 건수
	3-1연구개발홍보건수	1건	세미나, 워트샷,박람회,공청회 등의 개최
○ 시험시공 및 현장적용	1-7 학술발표논문	1건	학술회의 발표 건수
	6-2 사업화제품화	2건	시험시공 및 실적 건수
	21-1 고용창출효과	2명	사업수행 전후의 고용인원 증감 수

제2절 연구내용의 차별성

구조물 보수보강을 위한 재료 및 공법 개발을 위한 기존의 연구개발은 다양한 시도가 되어왔다. 재료분야에서도 시멘트 재료에 각종 첨가재를 이용한 개질 및 성능향상을 꾸준히 지속하여 왔고, 에폭시 재료를 이용한 응급보수 분야도 활발하게 시도되어져 국책연구과제에서도 꾸준히 연구개발을 시행하여 왔다. 하지만 경사구조물과 수리구조물, 그리고 관로에까지 적용하여 기존 슷크리트 문제점을 최소화한 고부착성 및 고내구성 성능 발현과 저수축, 균열억제력, 고유동성, 방수성 증진, 내황산성 및 내부식성을 강화한 고기능성 재료의 성능 발현을 이루는 슷크리트용 모르타르를 위한 연구개발을 수행하여 독자적이며 기존 연구개발과의 확실한 차별화를 이룰 수 있다.

그리고 장비 개발에서 보수보강을 위한 자동화 장비의 연구는 시도된 바가 거의 없으나 무인 로봇형 또는 레일형의 고압살수표면처리 자동화 장비와 슷크리트 자동화 장비를 개발하는 것 역시 기존 연구개발과의 확실한 차별화를 보인다. 추가적으로 고압살수표면처리는 국내 최초로 시도되는 연구로서 장비개발이라는 응용분

야까지 연구개발을 시도한다는 것은 획기적 연구로 이를 통한 선도적 역할을 기대할 수 있다. 쏫크리트 장비에서는 기존 터널라이닝을 위한 연구가 지속적으로 연구되어왔으나, 이를 구조물 보수보강을 위한 연구는 국외에서도 최신에 연구개발 중인 내용으로 국내에서도 도입을 시도하고 있으나 재료에서부터 장비까지 성능과 적용성을 획기적으로 증대시킬 연구개발 자체는 차별화에서 신규시장 개척까지의 모두를 갖춘 연구개발이 될 것이다.

<적용대상 구조물을 통한 기존 쏫크리트 공법과의 차별성>

구 분	기존 쏫크리트 공법	본 연구성과	개발 향후 적용 대상 구조물
경사 구조물	- 절토면 및 암석낙하방지를 위한 1차 라이닝 개념으로 시공 - 터널 1차 지보공 역할에 대한 쏫크리트 실시 - 건축미장용, 슬래브 하부 보강시 폴리머계열의 보수재료에 의한 스프레이식 보수	- 모든 형식의 옹벽 벽체에 대한 전면적 보수보강 - 도로 중앙분리대 및 방호벽 벽체에 대한 전단면 보수 - 교량 교대 벽체에 대한 전면 보수보강 - 교량 슬래브 상부 및 하부에 대한 전면 보수보강	- 콘크리트 구조물 중 벽체 전반에 대한 전단면 보수보강을 요하는 경우
수리 구조물	- 보수면 인력파쇄 후 조강성 시멘트 및 에폭시계열을 이용한 임시 보수가 대부분 - 기존 쏫크리트 공법을 이용한 수리구조물 보수실적 미미	- 저수지의 여수로 및 여수로 측면에 대한 전면 보수 - 저수지 제방 벽체에 대한 보수	- 수리 구조물 중 댐 등 대형 구조물 벽체에 대한 전단면 보수보강을 요하는 경우
관로 구조물	- 시멘트계열을 이용한 관로구조물 적용실적 없음	- 인력 및 대형장비의 접근이 곤란한 보통 관로	- 매립된 모든 종류의 관경에 적용이 가능

<연구개발과제의 차별성>

구분	현재 시행 공법	연구개발 공법 차별성
-shot크리트용 내 황산 모르타르 개발	- 건축용 미장 및 콘크리트 슬래브 하부 보강 등에 폴리머계열 등이 사용 ☞ 기존 구조체와 물성차이가 큰 폴리머계열 재료의 사용으로 보수보강효과 미비	- 일반시멘트계열에 내구성을 향상시킨 폴리머계열 혼화재료를 첨가하여 기존구조체와 이질성 최소화, 자체의 조강성 확보 및 내구성 확보가 가능한 shot크리트 전용 시멘트계열 모르타르 개발
-shot크리트용 내 황산 프리믹스 콘크리트 개발	- 일반콘크리트를 사용하거나 조강성을 부여하기 위하여 급결제를 첨가 - 특성화된 배합이 없으며 단지 급결제 사용에 따른 급결성만을 요구하고 있는 실정임. - 1차 보강재 개념으로 라이닝에 사용되고 있음. - 절토면, 낙석방지용으로 사용되고 있으나 구조물 보수보강으로는 재료 및 장비의 낙후로 적용하지 못하고 있음	- shot크리트 전용 프리믹스 콘크리트 개발로 급결제 사용에 따른 환경오염 및 내구성 저하를 사전에 방지 - 선배합으로 인한 확실한 품질관리로 현장에서 발생할 수 있는 품질저하를 원천적으로 해결 - 뛰어난 내구성 및 부착성 확보로 접근 및 보수방법 난해성을 지닌 기존 경사구조물 보수보강에 폭넓게 적용 가능
Hydro-demolition 자동화 장비 개량 및 개발	- 현재 Hydro-demolition 장비는 도장제거, 녹제거 등의 산업현장에서 사용 - 콘크리트 제거용 장비가 일부 도입되어 사용되고 있으나 매우 한정적 기능 및 적용대상을 가지고 있음 - 기존 Hydro-demolition 장비로는 콘크리트 구조물 전반에 걸쳐 적용이 곤란한 상태임	- 기존 구조체 보수 후 보강효과를 얻기 위해서는 일체화 거동 및 내하력 회복을 위한 부착력 증진이 매우 중요한 요소임 - 현재의 자립형 Hydro-demolition 장비를 개량하여 적용범위를 확대 - 회전형 Hydro-demolition 장비를 개발하여 인력투입이 곤란한 관로에 적용
Shotcrete용 자동화 장비 개량 및 회전 형 장비 개발	- 현재 Shotcrete는 인력타설에 의한 방식이 주도적 - 인력접근이 곤란한 관로 등의 shot크리트 방식은 전무한 상태	- 인력타설에 의한 작업한계를 극복하기 위한 현 장비의 개량 - 관로 구조물에 대한 shot크리트 접목이 가능한 회전형 shot크리트 장비의 개발
경사구조물에 따른 Shotcret e용 및 Hydro -demolition 자동화 장비 개량 및 개발	- 국내 shot크리트는 1차 지보공 개념 또는 단순 덧씌우기 개념으로 적용되고 있으며 전문 기술자의 부재로 전문성 및 세분화가 미미한 상태임. - 대상 구조물 및 사용목적에 따른 보수보강 shot크리팅이 아닌 시공자 편의의 공법 선택(건식 또는 습식)	- 선진외국의 차별화된 장비를 도입하여 개량함으로써 국내 shot크리트 시장에 새로운 기술 보급이 가능 - 향상된 장비와 고성능 재료의 사용으로 과거 경험에 의존한 shot크리트를 전문화, 특성화할 수 있음.

제3절 실내 연구수행

1. 내황산 고성능 모르타르(숏믹스-M) 재료개발을 위한 실내실험 결과

가. 사용재료 및 배합특성

본 연구에서 뿔어붙이기용 내황산성 고성능 모르타르에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 초기 속경성 부여를 위해 알루미늄 시멘트를 전체 중량에서 7~8% 사용하였다. 잔골재는 규사를 사용하였으며, 균열 억제를 위해 섬유보강재 첨부, 부착특성과 내구성 확보를 위해 분말형 폴리머를 사용하였다. 그 외 성능개선을 위해 혼화제(실리카흄)를 일부 첨부하여 프리믹스(Premixed)된 모르타르를 제작하였다.

최적의 내황산 고성능 모르타르재료개발을 위하여 기존 연구문헌을 기초로 많은 예비시험을 시행한 후 최종결정된 배합비는 물/모르타르비 18%, 시멘트와 잔골재 비율이 1 : 1정도이며, 분말형폴리머 혼화제는 0.1~0.5%, 실리카흄 3~5%이다.

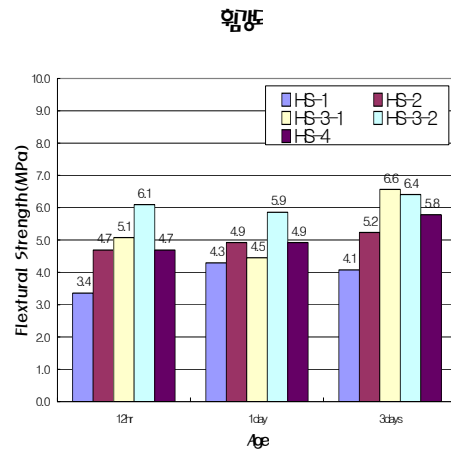
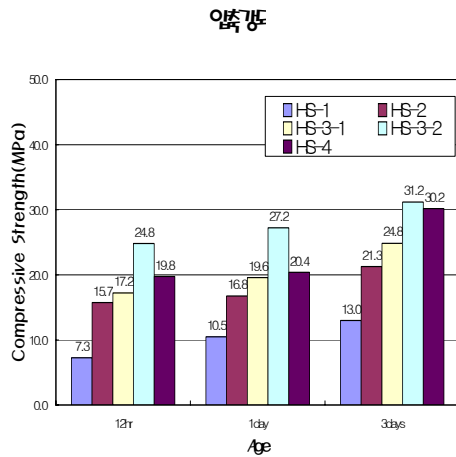
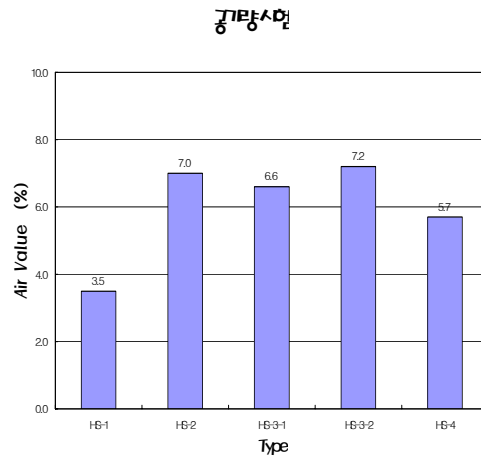
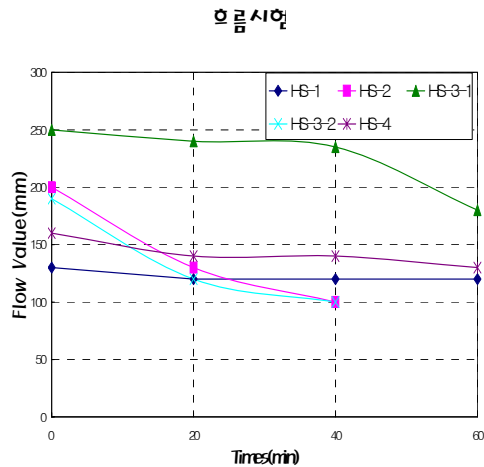
나. 기초 실내 물성평가 실험

(1) 기초 실내물성실험

초기강도 및 장기강도 발현이 우수하고, 내황산성 및 내구성을 지닌 고성능성을 가지며 뿔어붙이기용에 적당한 재료를 선정하기 위해 배합성분이 다른 4 Type의 모르타르를 작업성과 강도 측면에서 순차적으로 개선하며 실내물성실험을 실시하였다.

<고성능 내황산 모르타르 개발을 위한 예비실험>

모르타르 변수명	물/모르타르 비 (%)	초기흐름값 (mm)	개 선 사 항
HS-1	24	130	숏크리트용 고성능 모르타르
HS-2	18	200	12hr 강도 10MPa 이상, 초기 유동성 확보
HS-3-1	18	250	작업시간확보를 위한 유동성 지속시간 확보
HS-3-2	16	190	HS-3-1과 같은 재료로 숏크리트에 적당한 유동성 확보
HS-4	18	160	강도와 초기유동성 및 유동성 지속 확보



- HS-1은 적정 물/모르타르 비에서 배합이 불가하여 6% 추가하여 24%에 실시 그 결과 유동성은 확보 되었으나, 강도발현 효과가 떨어짐.
- HS-2는 강도발현 효과에서는 우수하나, 초기 흐름 값이 200mm로 뿔어붙이기에 유동성이 다소 크고 20분에 급속히 유동성이 떨어지는 결과를 보임.
- HS-3-1은 강도발현 효과가 뛰어나나, 초기 유동성이 매우 커 뿔어붙이기에 적당하지 않음.
- HS-3-2는 HS-3-1의 물/모르타르 비를 2% 줄여 초기 유동성을 뿔어붙이기에 적당하게 하여 실험을 실시한 결과 20분에 급격히 유동성이 떨어지는 경향이 나타남.
- HS-4는 뿔어붙이기에 적당한 유동성을 60분정도 유지하며, 강도발현 효과도 우수함.

(2) 뽐어붙이기 성능 평가

실내물성실험 결과를 토대로 우수한 강도발현을 하는 HS-3-2와 HS-4를 선정하여, 뽐어붙이기 시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- HS-3-2는 뽐어붙이기 후 표면이 흐려내는 현상이 보이며, 손 마무리 작업 시 표면 마무리가 깨끗이 처리가 안됨.
- HS-4 재료는 뽐어붙이기 후 표면이 깨끗하며 손 마무리 작업이 수월하고 리바운드율이 4.4%로 매우 낮음.

최종적으로 HS-4 모르타르 선정하여 시험시공 및 강도발현, 내구성, 내황산성 시험 실시하였다.

<내황산 모르타르 마무리성 평가결과>

평가항목	HS-3-2	HS-4
뽐어붙이기 후 표면상태		
마무리성 평가		
리바운드율	8.3%	4.4%
시공두께	120mm	160mm

다. 평가결과

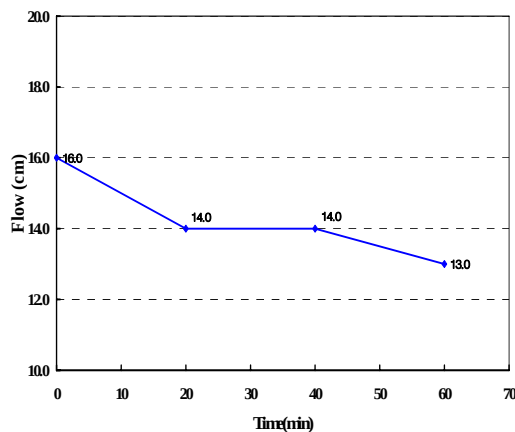
(1) 흐름특성과 응결

굳기 전 모르타르의 흐름 특성은 뽐어붙이기시 뽐어붙임성과 펌핑성에 직접적으로 영향을 미치는 요소이기 때문에 최적의 흐름특성에 관한 연구가 이루어 질 필요성이 있다. 또한 흐름의 경시 경향을 파악하므로 펌프성 및 작업성을 확보할 수

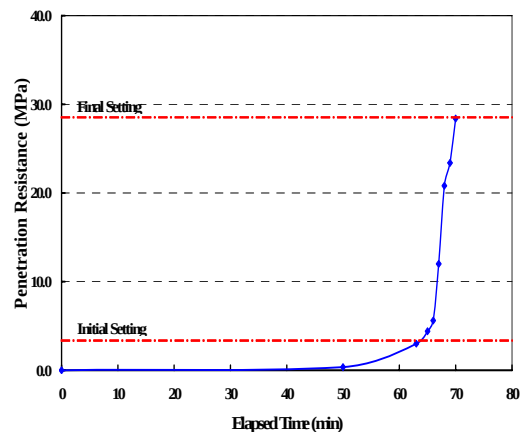
있다. 초기 적정 흐름값은 160mm로 뿔어붙이기가 가능하고, 뿔어붙이기 후 재료가 흘러내리지 않은 흐름값이다. 또한 흐름경사를 보았을 때 60분까지 작업성을 확보하므로 뿔어붙이기에 적합함을 판단하였다. 응결시험결과 초결은 63분에 종결은 70분에 일어났다. 이와 같이 초결60분까지 어느 정도 작업성 및 펌핑성은 확보된 것으로 판단된다.

(2) 공기량 특성

뿔어붙이기 후 압력법에 의해 공기량을 측정한 결과 4.0%가 측정되었다. 이는 적정공기량에 포함된 것으로 판단되어진다.



<초기흐름값 및 흐름경사>



<응결시험 결과>

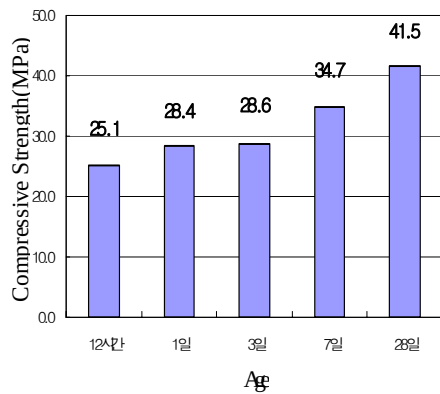
(3) 리바운드율 및 최대시공두께 특성

리바운드율은 총 뿔어붙이기한 양과 반발된 양을 측정하여 계산하였고, 최대 시공두께는 패널 가운데 부분을 계속해서 뿔어붙이기를 하여 재료가 떨어지지 않을 정도에서 가장 두꺼운 부분의 두께를 측정하였다.

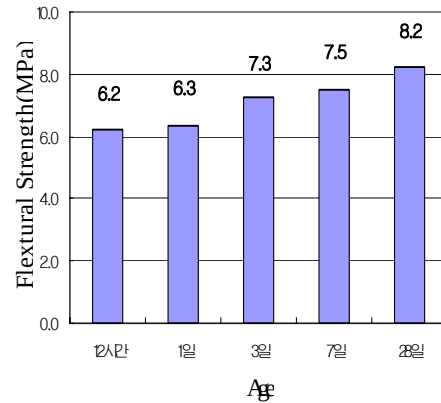
먼저 리바운드율은 총 뿔어붙이기량 49.37kg, 반발된 량 2.18kg으로 반발된 량을 총 뿔어붙이기량으로 나누면 4.42% 값을 얻었다. 이는 매우 작은 리바운드율로 뿔어붙이기 작업능력이 좋고 재료손실이 적음을 나타낸다. 최대 시공두께는 160mm로 측정되었으며, 그 이상의 두께도 시공이 가능할 것으로 사료된다.

(4) 강도발현 특성

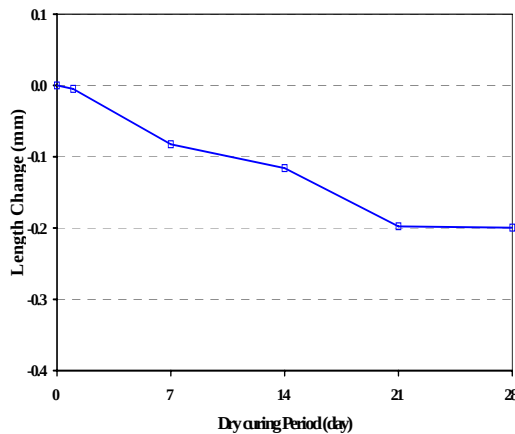
채령 12시간, 1일, 3일, 7일, 28일의 압축 및 휨강도 결과이다. 이 결과에서 초기 12시간 강도가 압축 및 휨강도가 25.1, 6.2MPa로 매우 크게 발현되므로 콘크리트 열화부 보수, 보강시 그 구조물의 사용 시기를 앞당길 수 있을 것으로 사료된다. 또한 28일 강도가 41.5, 8.2MPa로 보수재료의 고강도의 특성을 볼 수 있다. 부착강도는 28일 채령에 1.8MPa로 평가되었다.



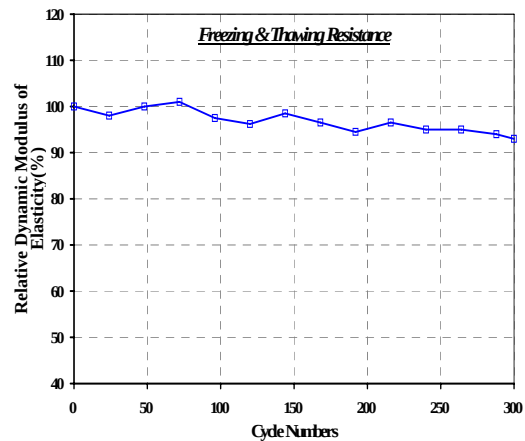
<압축강도 시험결과>



<휨강도 시험결과>



<길이변화 측정>



<동결융해 저항성>

(5) 길이변화 시험

건조수축에 의한 길이변화를 측정하고자 100*100*330mm의 시편을 28일 동안 측정하였다. 그 결과는 아래 그래프와 같이 0.200mm 수축하는 결과값을 얻었다. 총 길이에 대한 변화율로 환산하게 되면 28일동안 길이변화율은 0.061%로 산정된다.

이는 매우 적은 길이변화율로 목표치 0.12% 이내의 값으로 길이변화가 적은 재료라고 판단된다.

(6) 동결융해 저항성

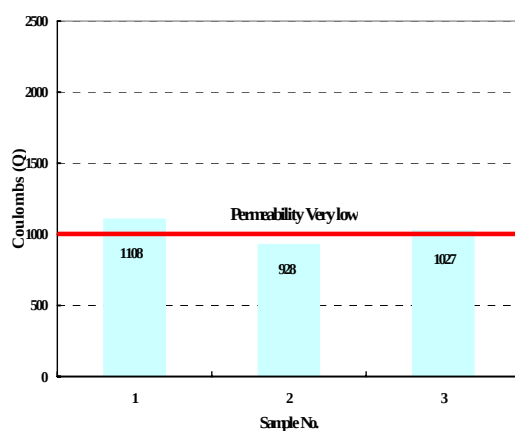
두 개의 시편을 24사이클 마다 고유진동수와 시편의 무게를 측정하여 동탄성 계수를 산정하여 0사이클을 기준으로 매 사이클의 상대동탄성 계수를 산정하여 표시한 것이 아래 그래프이다. 그 결과 300 사이클까지 상대동탄성 계수가 90%이상 유지되는 것으로 나타났다. 또한 최저 상대동탄성 계수는 93%로 동결융해 저항성이 우수한 것으로 판단된다.

(7) 염화이온 투과저항성

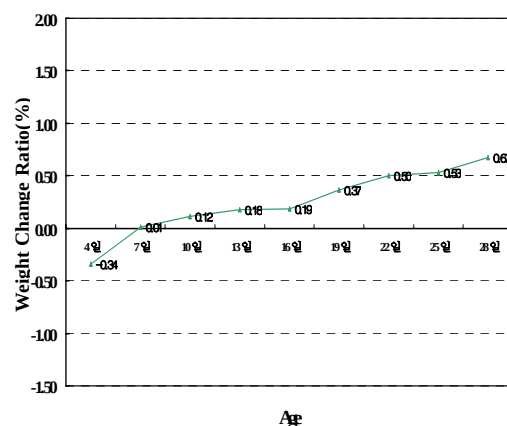
다공성 재료는 투수성 높아 콘크리트의 열화를 촉진시킨다. 따라서 개발하려는 재료는 낮은 투수성을 가져야 한다. 그림은 재령 28일에 3개의 시편을 채취하여 염화이온 투과 시험한 결과이다. 이 결과에서와 같이 투수성이 매우 낮음의 기준인 1000 Coulombs 근처의 측정치를 얻었다. 이는 이 재료가 투수저항성이 높음을 의미한다.

(8) 화학저항성

5% 황산에 재령 28일 시편을 28일 동안 중량변화율을 측정하였다. 그 결과 5% 황산에 수침한 중량변화율은 0.67%로 나타났다.



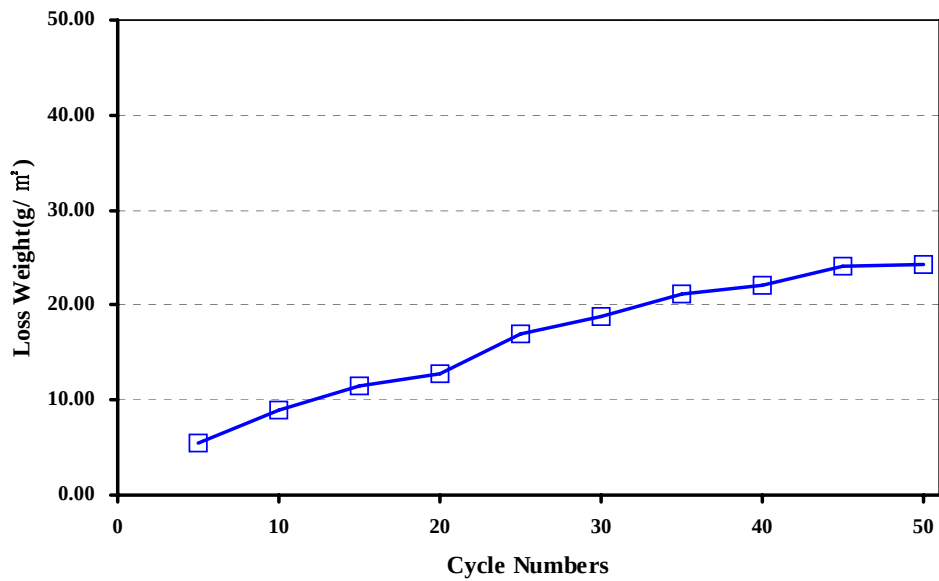
<투수저항성 결과>



<5% 황산에 의한 중량변화율>

(9) 표면박리 저항성

ASTM C 672 규정에 의거 표면 박리 시험의 실시한 결과 50사이클 후 두 시편의 평균 박리량은 2.19 g 이고, 이를 1 m²으로 환산하면 0.024 kg/m² 의 결과를 얻었다. 이는 매우 작은 박리량으로 표면박리 저항성이 우수하다.



<표면박리량 (kg/m²)>

다. 종합평가

아래 표는 개발재료의 평가를 위한 개발목표치에 따른 재료의 결과치를 정리한 표로 높은 초기강도발현 특성과 더불어 리바운드율 저감 및 높은 내구성을 확보한 평가 결과를 얻었다. 또한 매우 높은 화학저항성을 갖는 것으로 평가되어 고성능 내황산성을 지닌 프리믹스 숏크리트 모르타르 개발 목표를 만족하는 것으로 평가되었다.

평가항목 (주요성능 Spec)	단위	평가방법	개발목표치	결과치	성공 여부
1. 흐름시험	mm	KS F 2474	160±20	160	○
2. 리바운드율	%	KCI-SC 101	6 이하	4.42	○
3. 공기량	%	KS F 2421	4±2	4	○
4. 압축강도(재령 1일)	MPa	KS F 2476	20 이상	28.4	○
5. 압축강도(재령28일)	MPa	KS F 2476	40 이상	41.5	○
6. 부착강도(재령28일)	MPa	KS F 4716	1.5 이상	1.8	○
7. 휨강도(재령 1일)	MPa	KS F 2476	3.5 이상	6.3	○
8. 휨강도(재령28일)	MPa	KS F 2476	6.0 이상	8.2	○
9. 길이변화율	%	KS F 2424	±0.12 이내	0.061	○
10. 동결융해 저항성	%	KS F 2456	90	93	○
11. 염화물이온 투과저항성	coulomb	KS F 2711	1000 이하	928	○
12. 내알칼리성	MPa	KS F 2476	40 이상	41.5	○
13. 염산, 황산의 화학저항성	MPa	KS F 2476 ASTM C 267	40 이상 중량변화 ±10이내	황산 : 0.67	○
14. 표면박리 저항성	등급	ASTM C 672	1~2	1등급	○

2. 프리믹스 건식 슷크리트 전용(슷트믹스-D) 재료개발

가. 1차 실험

(1) 사용재료 및 배합표

(가) 사용재료

- 시멘트

시멘트는 국내 S사에서 생산되는 교면포장 보수 전용 VES-Cement를 사용하였으며, 시험에 사용된 VES-Cement의 물리적 성질은 아래 표와 같다.

<VES-Cement의 물리화학적 특성>

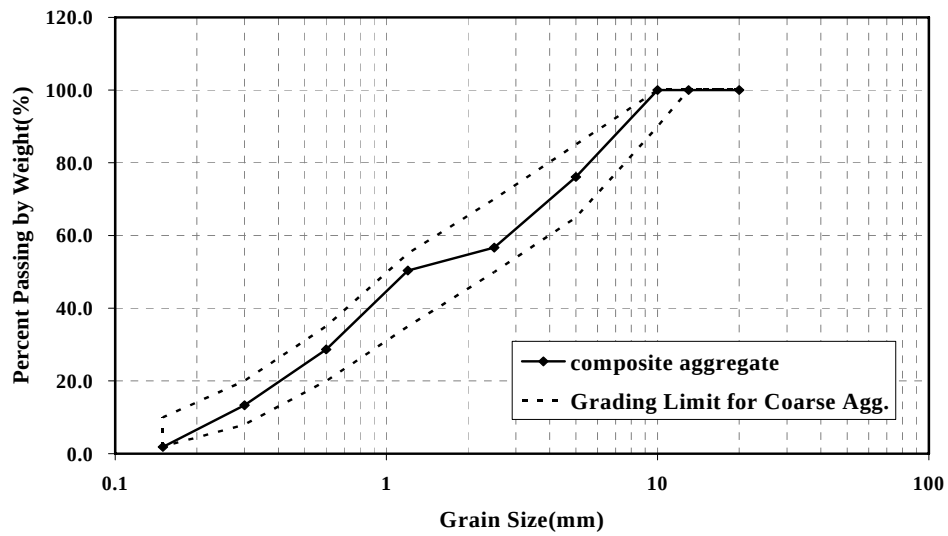
Cement type	Chemical Composition (%)						blaine (cm^2/g)	specific gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
VES-Cement	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	15.5	5,400	2.95

- 골재

굵은 골재는 최대치수 10mm인 세척 쇄석을 이용하였고, 잔골재는 3호사, 5호사, 6호사 입도의 규사를 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 KS 규정에 의한 실험을 통하여 규정에 맞는 골재를 물로 세척하여 사용하였으며 표는 골재의 비중 및 조립률을 나타낸 것이다. 또한 한국도로공사 슷크리트 품질기준 개선지침의 혼합골재 입도분포 기준하에 사용된 혼합골재의 입도곡선은 아래그림과 같다.

<골재의 물리적 특성>

Type	Max. size	Gravity (Dry Condition)	F.M
Fine aggregate	3호사	2.59	-
	5호사	2.57	-
	6호사	2.55	-
Coarse aggregate	13mm	2.73	5.70



<혼합골재의 입도곡선>

- 혼화재료

혼화재료는 본 개발과제와 맞게 분말형태의 혼화재료를 선정하였고, 사용된 혼화재료의 물리적 특성은 아래와 같다.

<실리카 흙(Silica Fume)의 물리적 특성>

Chemical Composition (%)		Blaine's (cm^2/g)	Specific Gravity
SiO ₂	CaO		
85~97	< 1	150,000~300,000	2.22

<폴리머(Polymer)의 물리적 특성>

Typical General Characteristics	Value
Solids Content (%)	98 - 100
Ash Content (%)	9 - 13
Bulk Density (kg/m^3)	490 - 590
Appearance	white powder
Protective Colloid/Emulsifier System	Polyvinyl alcohol
Particle Size (μm)	Max.4% over 400
Predominant Particle Size Redisperion (μm)	0.5 - 8
Minimum film forming temperature ($^{\circ}\text{C}$)	4
Film properties of the redisperion	Cloudy, Touch-Elastic

<합성섬유 (Synthetic Fiber)의 물리적 성질>

Typical General characteristics	Specification
Material	100% Nylon
Filament Diameter	23 Microns, denier range 2-7
Specific Gravity	1.16
Fiber Length (mm)	12
Melting Point (°F)	490-510
Tensile Strength (MPa)	890
Youngs Modulus (GPa)	5.10
Toughness (MPa)	107
Thermal Conductivity	Low
Electrical Conductivity	Low
Acid/Salt Resistance	Good
Alkali Resistance	Excellent
UV Light Resistance	Excellent
Water Absorption (ml/m ³)	20
Concrete Surface	Smooth, Nonhairy
Absorption (%)	4~5
Color	Natural

<고성능감수제(Superplasticizer)의 물리적 특성>

Typical General Characteristics	Value
Colour	Brownish Powder
pH(5% solution)	6.5±1.0
Dry Content (%)	Min. 96
Equivalent Na ₂ O (%)	Max. 6
Chloride Content (%)	Max. 0.05
Active Component	Polycarboxylater Polymer
Bulk Density (kg/m ³)	370

<증점제(Viscous Admixture)의 물리적 특성>

Typical general characteristics	Value
Component	Hydroxypropyl Methlyl Cellulose
Hydroxypropyl Content(wt%)	7.0~12.0
Methoxyl(wt%)	28.0~30.0
Ash content(wt%)	Not More Than 1.0
Moisture(wt%)	Not More Than 5.0
Viscosity(2wt%, solution)	400 MPa.s
pH value(1wt%, solution)	neutral
Particle size	98.5%<100mesh, 100%<80mesh
Charring temperature	280~300℃
Bulk density(g/cm ³)	0.25~0.7(Usually around 0.5)
Real specific gravity	1.26~1.31

<AE제의 물리적 특성>

Typical general characteristics	Value
Composition	Sulfonate Silica Powder
Appearance	Light Ivory of Powder
Moisture (wt%)	Not More Than 2
pH Value(1wt%, solution)	7.0
Bulk Density (g/cm ³)	0.9 ~1.2

(나) 배합표

본 배합은 추천배합과 문헌조사에 의해 적정한 단위결합재량을 450Kg/m³으로 하여 잔골재율을 65% 우선 결정 후 혼화재료를 아래 배합표와 같이 혼입하였다.

<1차 배합표>

W/ B (%)	S/a (%)	단위량 (Kg/m ³)										
		VES C/M	S/F 7%	Sand				Coars e Agg.	Polymer 6%	Fiber 0.2%	Visco./A 0.3%	Super plasticizer 0.5%
				총량	3호사	5호사	6호사					
45	65	418.5	31.5	974.9	263.7	311.4	399.8	558.2	27.00	0.90	1.35	2.25

(2) 시험결과

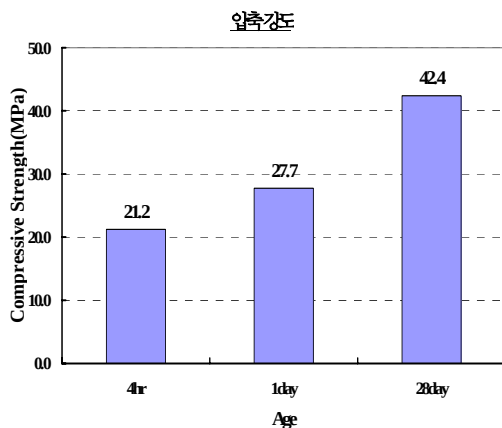
(가) 공기량

공기량은 시험은 굳기전 시료를 채취하여 압축식 공기량시험기를 사용하여 측정하였다. 그 결과 5%의 적정 공기량의 결과를 얻었다.

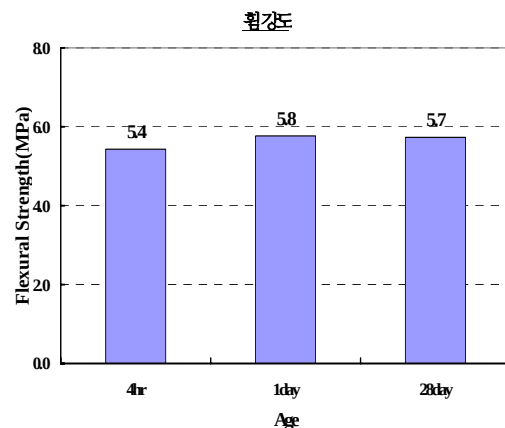
(나) 강도발현 특성

채령 4시간, 1일, 28일의 압축강도 결과로, 초기 4시간 강도가 21.2MPa로 매우 크게 발현되므로 콘크리트 열화부 보수, 보강시 그 구조물의 사용 시기를 앞당길 수 있을 것으로 사료된다. 또한 28일 강도가 42.4MPa로 보수재료의 고강도의 특성을 볼 수 있다.

채령 4시간, 1일, 28일의 휨강도 특성을 나타낸 것이다. 이 결과에서 초기강도가 급상승하여 4시간 휨강도가 5.4MPa로 발현되나, 28일에 5.5MPa로 초기강도와 유사하여 강도발현 효과가 없는 것을 알 수 있다. 그러나, 보수재료로써 휨강도는 발휘하는 것으로 판단된다.



<압축강도 시험결과>



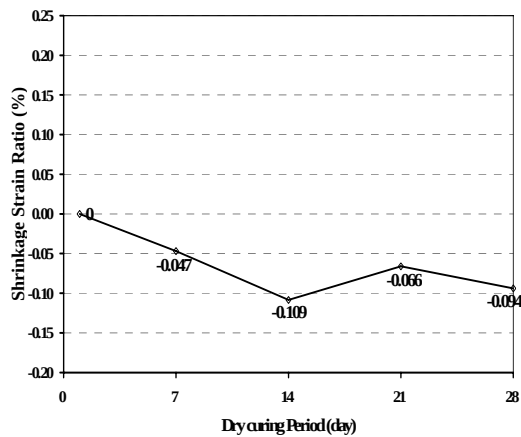
<휨강도 시험 결과>

(다) 길이변화 시험

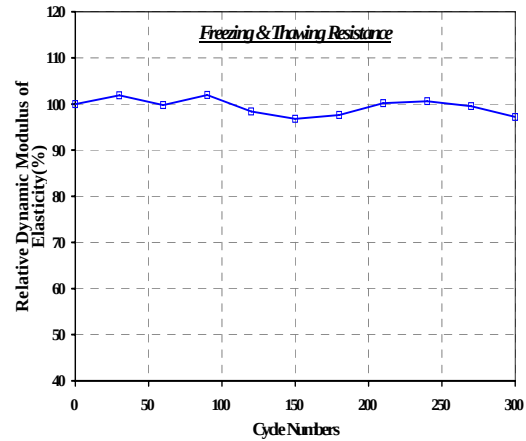
그 결과 최대 길이변화율은 0.094%로 그 수축량은 매우 작은 것으로 나타났다.

(라) 동결융해 저항성 시험

300사이클의 상대 동탄성계수는 97%로 동결융해에 대한 저항성이 높은 것으로 판단된다.



<길이변화 시험>



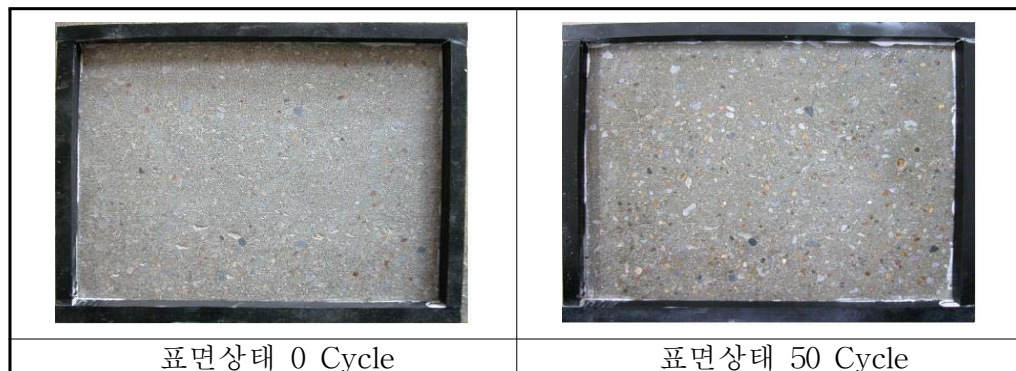
<동결융해 저항성 시험 결과>

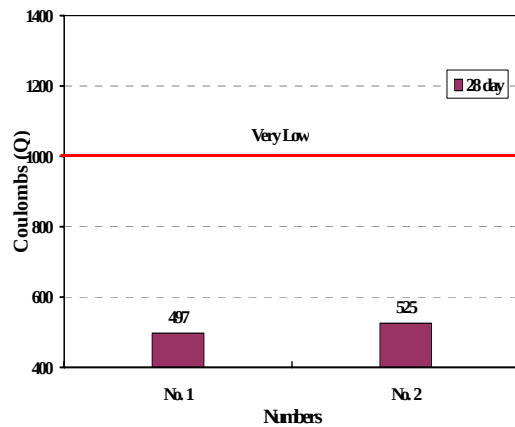
(마) 투수저항성

두 개의 시편 시험 결과, 투수성이 매우 낮은 기준인 1000 Coulombs 보다 낮은 측정치를 얻었다. 이는 이 재료가 투수저항성이 높음을 의미한다.

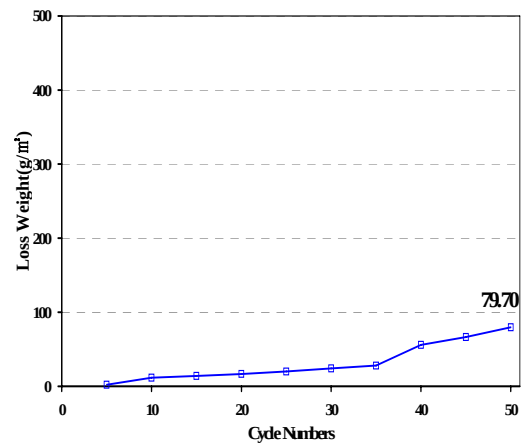
(바) 표면박리 저항성 시험

단위면적당 누적 표면 박리량으로 총 50사이클을 시험한 결과 79.7 g/m²으로 박리량이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 즉 이 재료의 표면박리 저항성이 매우 우수함을 나타내는 결과이다.





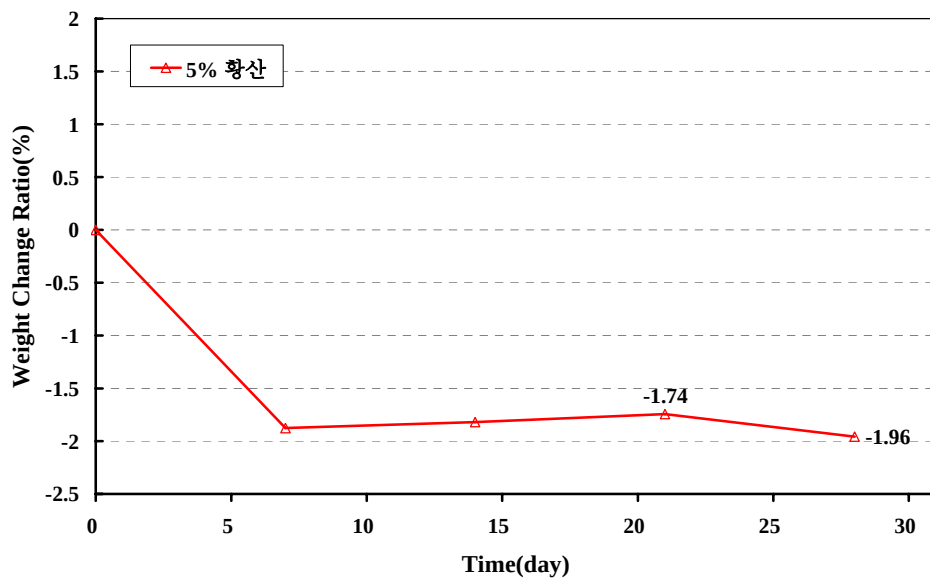
<투수저항성 결과>



<단위면적당 누적 표면박리량>

(사) 화학저항성

5% 황산에 재령28일 시편을 28일 동안 7일 간격으로 중량변화율을 측정하였다. 그 결과 5% 황산에 수침한 중량변화율은 1.96%로 나타났다.



<황산에 의한 중량변화율>



수침 전 시편

수침 28일 후 시편

<5%황산에 수침 전, 후 시편>

(2) 종합평가

주요평가항목의 목표치를 달성하였으나, Superplasticizer의 재 성능발현 없는 것으로 판단되며, 내구성 향상 및 유동성 확보를 위한 분말 AE제 첨가 검토가 필요함. 또한 리바운드 감소를 위한 잔골재율을 높이는 방안 검토가 필요함.

이에 개선사항에 대한 2차 실내실험을 진행함.

평가항목 (주요성능 Spec)	평가방법	단위	개발목표치	달성도
1. 공기량(뿔어붙이기 후)	KS F 2421	%	4.5±1.5	5.0
2. 리바운드율	-	%	10이내	-
3. 압축강도(4시간)	KS F 2405	MPa	20 이상	21.2
4. 압축강도(재령28일)	KS F 2405	MPa	40 이상	42.3
5. 부착강도(재령28일)		MPa	2.0 이상	1.6(재령14일)
6. 휨강도(재령 4시간)	KS F 2408	MPa	3.5 이상	5.4
7. 휨강도(재령28일)	KS F 2408	MPa	5.0 이상	5.7
8. 길이변화율	KS F 2424	%	±0.12 이내	0.08
9. 동결융해 저항성	KS F 2456	%	90 이상	97
10. 염화물이온 투과저항성	KS F 2711	coulomb	1000 이하	511
11. 내황산성	ASTM C 267	%	±10 이하	-1.96
12. 스케링 저항성	ASTM C 672	등급	1~2	1등급

나. 2차 실험

(1) 배합표

1차 실험결과를 토대로 잔골재율을 65%에서 85%로 고성능감수제 대신 분말형 AE제를 사용하였다.

W/B (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)										
		VES C/M	S/F 7%	Sand				Coarse Agg.	Polymer 6%	Fiber 0.2%	Visco./ A 0.3%	AE 제 0.5 %
				총량	3호사	5호사	6호사					
50	85	418.5	31.5	1225.8	331.6	391.5	502.7	230.0	27.00	0.90	1.35	2.25

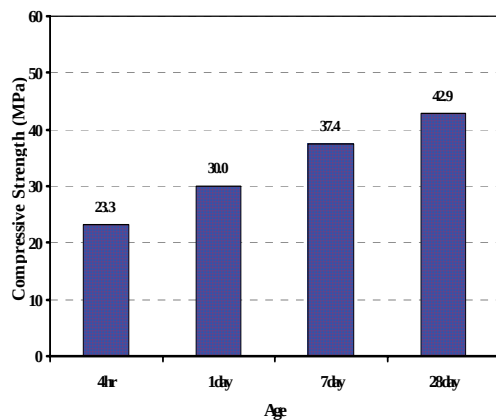
(2) 시험결과

(가) 공기량

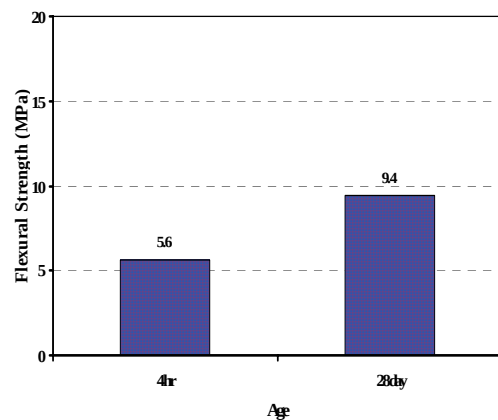
압축식 공기량 시험기를 사용한 결과 4.5%의 적정공기량을 측정하였다.

(나) 강도특성

압축강도는 4시간에 23.3, 28일에 42.9MPa 휨강도는 4시간 5.6MPa의 강도값을 얻음으로 긴급보수에 적합하다.



<압축강도 실험 결과>



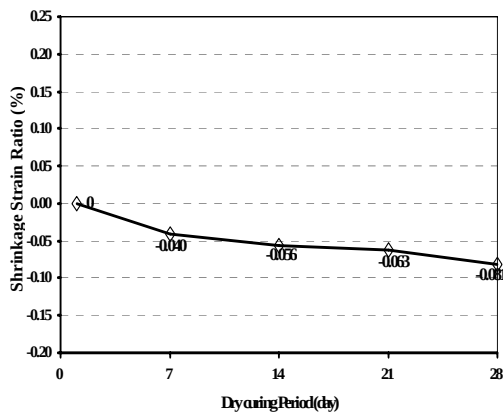
<휨강도 실험 결과>

(다) 길이변화 시험

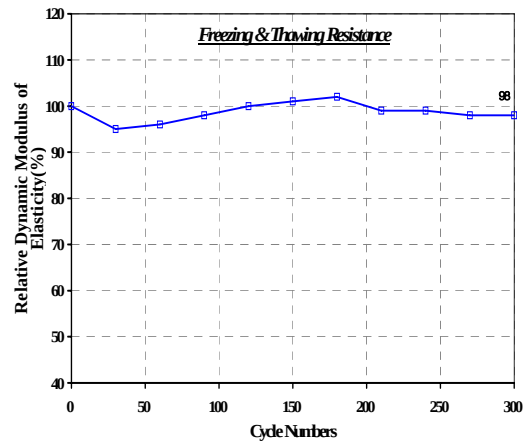
그 결과 최대 길이변화율은 0.081%로 그 수축량은 매우 작은 것으로 나타났다.

(라) 동결융해 저항성 시험

300사이클의 상대 동탄성계수는 98%로 동결융해에 대한 저항성이 높은 것으로 판단된다.



<길이변화 시험>



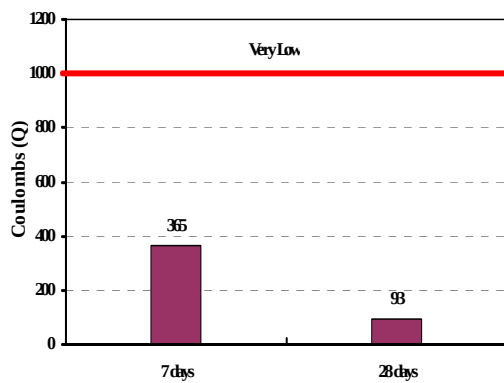
<동결융해 실험결과>

(마) 투수저항성

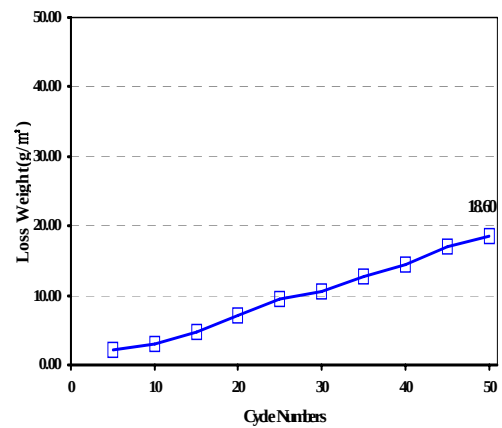
두 개의 시편을 재령 7일 28일에 시험한 결과, 투수성이 매우 낮은 기준인 1000 Coulombs 보다 낮은 측정치를 얻었다. 이는 이 재료가 투수저항성이 높음을 의미한다.

(바) 표면박리 저항성 시험

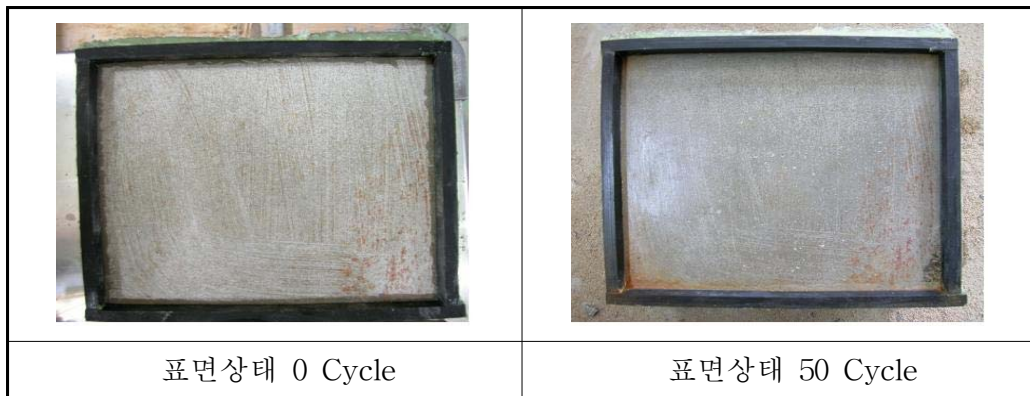
단위면적당 누적 표면 박리량으로 총 50사이클을 시험한 결과 18.60g/m²으로 박리량이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 즉 이 재료의 표면박리 저항성이 매우 우수함을 나타내는 결과이다.



<투수저항성 평가>



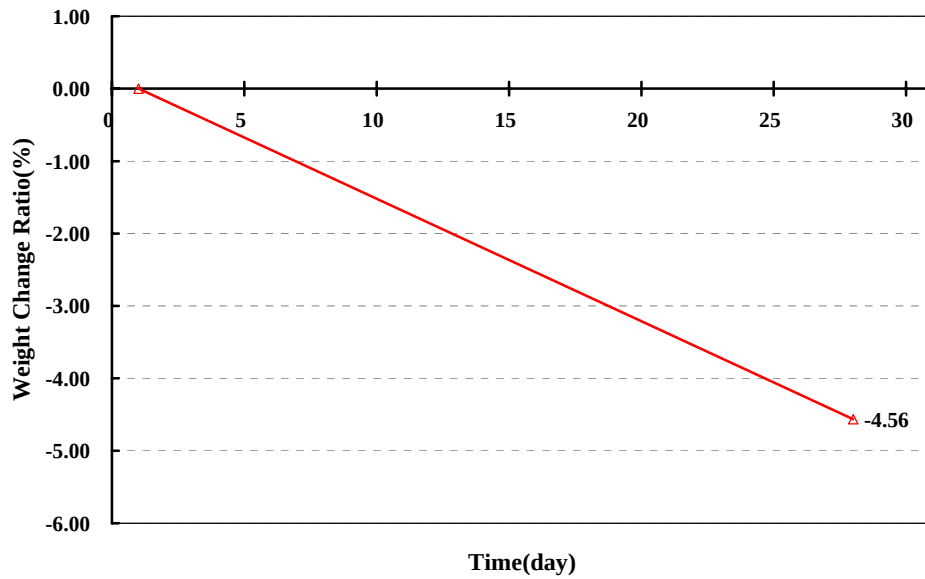
<단위면적당 누적 표면박리량>



(사) 화학저항성

5% 황산에 재령28일 시편을 28일 침수후 중량변화율을 측정하였다. 그 결과 5% 황산에 수침한 중량변화율은 -4.56%로 나타났다.





<황산에 의한 중량 변화율>

(3) 종합평가

초기강도 장기강도 매우 우수하며, 특히 불투수성으로 내구성이 우수할 것으로 판단된다.

평가항목 (주요성능 Spec)	평가방법	단위	개발목표치	달성도
1. 공기량(뿔어붙이기 후)	KS F 2421	%	4.5±1.5	4.5
2. 리바운드율	-	%	10이내	-
3. 압축강도(4시간)	KS F 2405	MPa	20 이상	23.3
4. 압축강도(재령28일)	KS F 2405	MPa	40 이상	42.9
5. 부착강도(재령28일)		MPa	2.0 이상	-
6. 휨강도(재령 4시간)	KS F 2408	MPa	3.5 이상	5.6
7. 휨강도(재령28일)	KS F 2408	MPa	5.0 이상	9.4
8. 길이변화율	KS F 2424	%	±0.12 이내	0.08
9. 동결융해 저항성	KS F 2456	%	90 이상	98
10. 염화물이온 투과저항성	KS F 2711	coulomb	1000 이하	93
11. 내황산성	ASTM C 267	%	±10 이하	-4.56
12. 스케링 저항성	ASTM C 672	등급	1~2	1등급

3. 고성능 습식 숏크리트 (숏믹스-W) 재료개발을 위한 실내실험결과

가. 사용재료 및 배합표

(1) 사용재료

-시멘트

시멘트는 국내 S사에서 생산되는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 실험에 사용된 시멘트의 성질은 다음과 같다.

<시멘트의 화학적, 물리적 특성>

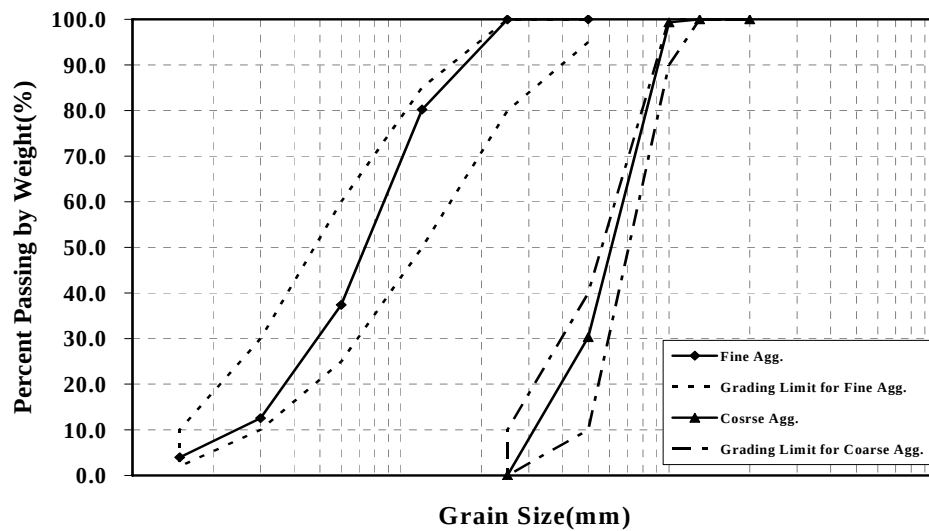
Chemical Composition (%)						Blaine's (cm^2/g)	Specific Gravity
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3	3200	3.15

- 골재

굵은 골재는 최대치수 10mm인 세척 쇄석을 이용하였고, 잔골재는 세척 강모래를 사용하였다. 골재의 비중 및 조립률과 입도곡선은 아래와 같다.

<골재의 물리적 성질>

Type	Max. size	Gravity (SSD)	F.M
Fine Aggregate	-	2.57	2.66
Coarse Aggregate	10mm	2.65	5.70



- 혼화재료

<실리카 흙(Silica Fume)의 물리적 특성>

<폴리머(Polymer)의 물리적 특성>

<합성섬유 (Synthetic Fiber)의 물리적 성질>

Typical General characteristics	Specification
Material	100% Nylon
Filament Diameter	23 Microns, denier range 2-7
Specific Gravity	1.16
Fiber Length (mm)	12
Melting Point (°F)	490-510
Tensile Strength (MPa)	890
Youngs Modulus (GPa)	5.10
Toughness (MPa)	107
Thermal Conductivity	Low
Electrical Conductivity	Low
Acid/Salt Resistance	Good
Alkali Resistance	Excellent
UV Light Resistance	Excellent
Water Absorption (ml/m ³)	20
Concrete Surface	Smooth, Nonhairy
Absorption (%)	4~5
Color	Natural

<고성능감수제(Superplasticizer)의 물리적 특성>

Typical General Characteristics	Value
Colour	Brownish Powder
pH(5% solution)	6.5±1.0
Dry Content (%)	Min. 96
Equivalent Na ₂ O (%)	Max. 6
Chloride Content (%)	Max. 0.05
Active Component	Polycarboxylater Polymer
Bulk Density (kg/m ³)	370

<증점제(Viscous Admixture)의 물리적 특성>

Typical general characteristics	Value
Component	Hydroxypropyl Methlyl Cellulose
Hydroxypropyl Content(wt%)	7.0~12.0
Methoxyl(wt%)	28.0~30.0
Ash content(wt%)	Not More Than 1.0
Moisture(wt%)	Not More Than 5.0
Viscosity(2wt%, solution)	400 MPa.s
pH value(1wt%, solution)	neutral
Particle size	98.5%<100mesh, 100%<80mesh
Charring temperature	280~300℃
Bulk density(g/cm ³)	0.25~0.7(Usually around 0.5)
Real specific gravity	1.26~1.31

<AE제의 물리적 특성>

Typical general characteristics	Value
Composition	Sulfonate Silica Powder
Appearance	Light Ivory of Powder
Moisture (wt%)	Not More Than 2
pH Value(1wt%, solution)	7.0
Bulk Density (g/cm ³)	0.9 ~1.2

(2) 배합특성

주요 변수를 고성능 습식 숏크리트에서 가장 많이 사용되는 혼화재료인 실리카 흙의 함량과 AE제 첨가 유무를 선정하였다. 또한, 위 변수에서 한 고정배합에 합성섬유첨가, 폴리머 첨가, 증점제 첨가하여 추가 검토하였다. 사용된 배합은 단위시멘트를 440kg/m³, 굵은골재 최대치수 10mm, 잔골재를 70%, 물-시멘트비 43.5%로 고정된 상태에서 변수의 변화에 따라 배합설계를 실시하였다. 또한 슬럼프 120±30mm를 맞추기 위해 고성능 감수제(Superplasticizer)의 첨가량을 조절하였다. 변수 및 사용 배합표는 아래와 같다.

<최적배합을 위한 배합변수 선정>

Material	Type	Remarks
Cement	OPC(440kg/m ³)	Fixed
Coarse Aggregate	G _{max} = 10mm	Fixed
Fine Aggregate	S/a = 70%	Fixed
Silica Fume	0, 4.5, 9%	Varied
AE	0, 0.005%	Varied
Superplasticizer	As Required	Fixed
Fiber	0, 0.2%	Varied
Polymer	0, 4%	Varied
Viscous Admixture	0, 0.3%	Varied

<배합표>

Mix.	Gmax (mm)	Slump (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)									
					W	C	S	G	S/F	AE	S/P	Fiber	Polymer	Visco./A
SF0	10	120 ±30	43.5	70	191	440	1122	496	0 (0%)	-	1.012 (0.23%)	-	-	-
SF4.5	10	120 ±30	43.5	70	191	420	1118	494	20 (4.5%)	-	1.012 (0.23%)	-	-	-
SF9	10	120 ±30	43.5	70	191	400	1113	492	40 (9%)	-	1.188 (0.27%)	-	-	-
SF0A	10	120 ±30	43.5	70	191	440	1122	496	0 (0%)	0.022 (0.005%)	0.748 (0.17%)	-	-	-
SF4.5A	10	120 ±30	43.5	70	191	420	1118	494	20 (4.5%)	0.022 (0.005%)	0.836 (0.19%)	-	-	-
SF9A	10	120 ±30	43.5	70	191	400	1113	492	40 (9%)	0.022 (0.005%)	1.056 (0.24%)	-	-	-
SF9A-F	10	120 ±30	43.5	70	191	400	1113	492	40 (9%)	0.022 (0.005%)	1.056 (0.24%)	0.880 (0.2%)	-	-
SF9A-FP	10	120 ±30	43.5	70	191	400	1097	485	40 (9%)	0.022 (0.005%)	0.528 (0.12%)	0.880 (0.2%)	17.6 (4%)	-
SF9A-FPV	10	120 ±30	43.5	70	191	400	1110	485	40 (9%)	0.022 (0.005%)	0.704 (0.16%)	0.880 (0.2%)	17.6 (4%)	1.320 (0.3%)

<변수에 따른 배합기호>

SF0	A	-	F	P	V
0 : Silica Fume 0% 4.5: Silica Fume 4.5% 9 : Silica Fume 9%	None : 0% A : 0.005%		None : 0% R : 0.2%	None : 0% P : 4%	None : 0% V : 0.3%

나. 시험결과

(1) 굳기전 쏿크리트의 특성

쏿크리트의 굳기전 특성 결과는 다음과 같다. 아래 표와 같이 공기량은 적정공기량 범위에 들어가나, SF9A-FPV 만이 7.3%으로 크게 나온다. 슬럼프 범위는 목표 슬럼프 범위에 들어간다. 리바운드 시험 결과 전체적으로 큰 리바운드 결과가 나오나, 이는 실내 시험용 리바운드 판넬이 600x600x100mm의 작은 치수에 적용하여 판넬 외부로 쏿크리팅 되는 양이 과다하였고, 토출량이 너무 작아 정확한 리바운드율을 측정하지 못하였다. 그러나 재료비에 따른 비교는 가능하여, 비교결과 증점제 추가한 배합이 가장 적게 나왔다. 불임두께(시공시 최대쏿팅 두께)는 폴리머 혼입한 배합과 증점제를 첨가한 배합이 180mm로 가장 크게 나왔다.

<굳기전 쏿크리트의 특성시험 결과>

Mix.	Air(%)	Slump (mm)	Piston Pressure (Bar)		Rebound (%)	Build-Up Thickness (mm)
			Initial	Final		
SF0	4.1	130	50	100	38.80	85
SF4.5	4.3	105	50	50	38.59	110
SF9	4.8	120	40	40	33.64	110
SF0A	6.0	135	40	40	36.62	130
SF4.5A	4.5	130	40	40	35.10	120
SF9A	4.9	135	40	40	31.18	150
SF9A-F	4.9	105	50	50	30.37	150
SF9A-FP	5.3	140	50	70	27.69	180
SF9A-FPV	7.3	140	70	100	19.65	180

(2) 굳은 후 숯크리트의 특성

굳은 후 숯크리트 특성 중 굳은 후의 공극구조와 압축강도, 휨강도, 투수특성을 측정하였다. 강도측면 결과를 보면, 압축강도는 SF9A의 배합이, 휨강도는 SF9A-FPV배합이 크게 나왔다. 투수특성 결과는 SF9A-FP 배합이 가장 저항성이 우수하였다.

<굳은 후 숯크리트의 내부공극 구조 특성>

Mix.	ASTM C 457		Entrained Air (< 1000 μ m)		Entrapped Air (> 1000 μ m)	
	Air (%)	Spacing Factor (μ m)	Air (%)	Count (ea)	Air (%)	Count (ea)
SF0	2.6	398	1.9	211	0.7	10
SF4.5	2.8	403	2.2	228	0.6	7
SF9	2.5	392	2	228	0.5	4
SF0A	4.8	236	4.2	519	0.6	5
SF4.5A	4.5	208	3.7	569	0.8	6
SF9A	3.4	225	2.9	454	0.5	2
SF9A-F	3.6	289	2.9	365	0.7	6
SF9A-FP	4.5	251	4.1	482	0.4	4
SF9A-FPV	7.2	172	5.3	900	1.9	18

<굳은 후 숯크리트의 물리적 특성결과>

Mix.	Compressive Strength (MPa)	Flexural Strength (MPa)	Permeability (Coulombs)
SF0	45.2	6.1	6772
SF4.5	51.5	7.1	2556
SF9	50.3	7.1	1096
SF0A	47.5	5.4	5765
SF4.5A	55.7	6.4	3322
SF9A	57.6	5.7	1095
SF9A-F	51.3	7.9	887
SF9A-FP	42.9	7.9	793
SF9A-FPV	39.9	8.0	899

다. 종합평가

종합적으로 실내 시험결과를 보면, SF9A-FP(실리카 흙 9%, AE제 0.005%, 합성 섬유 0.2%, 폴리머 4%혼입) 의 배합이 굳기전 특성과 굳은 후 특성이 본 과제의 목표치에 적합하여 시험시공 시 이 배합으로 시험시공을 실시하였다.

아래 표는 SF9A-FP 에 대한 결과로 목표치와 비교한 표이다.

평가항목 (주요성능 Spec)	평가방법	단위	개발목표치	달성도	비고
1. 슬럼프	KS F 2402	mm	120±40	140	
2. 공기량	KS F 2421	%	5±1	5.3	
3. 리바운드율	-	%	10이내	-	
4. 압축강도(재령 1일)	KS F 2405	MPa	15 이상	-	
5. 압축강도(재령28일)	KS F 2405	MPa	40 이상	42.9	
6. 부착강도(재령28일)		MPa	1.5 이상	진행중	
7. 휨강도(재령 3일)	KS F 2408	MPa	3.5 이상	-	
8. 휨강도(재령28일)	KS F 2408	MPa	5.0 이상	7.9	
9. 길이변화율	KS F 2424	%	±0.12 이내	진행중	
10. 동결융해 저항성	KS F 2456	%	90 이상	진행중	
11. 염화물이온 투과저항성	KS F 2711	coulomb	1000 이하	793	
12. 내황산성	ASTM C 267	%	±10 이하	진행중	
12. 스케링 저항성	ASTM C 672	등급		진행중	

제4절 현장 적용 연구수행

건설교통기술연구개발사업인 “고압살수 표면처리(Hydro-demolition) 및 슛크리트 자동화 장비를 이용한 경사구조물-관로 시스템 보수·보강 공법 개발”사업을 통해 새롭게 개발된 슛크리트 전용 내황산 모르타르, 건식 슛크리트용 프리믹스 및 습식 슛크리트용 재료에 대하여 각각의 적용대상물을 선정하여 총 4회에 걸쳐 현장 적용성 평가를 수행하였다.

이러한 현장적용성 평가를 통하여 개발된 재료의 보완사항 및 장비 효율성을 극대화하였으며 사업화를 위한 기술력 및 자료를 확보하였다.

구분	시험시공 장소	시공일자	대상구조물	평가항목
1	강원대학교 공과대학 3호관내	2007. 2. 28	폐흡관	관로에 적용할 수 있는 공법의 시스템화 및 실증화
2	중앙고속도로 홍천지사 관내 369km 지점	2007. 4. 5	낙석방책옹벽 하단 열화부	내황산 모르타르 현장적용성
3	영동고속도로 (구)동수원광장	2008. 2. 28	콘크리트포장	건식스�크리트 전용 프리믹스를 이용한 콘크리트포장 보수 공법 개발
4	영동고속도로 (구)동수원광장	2008. 2. 28	콘크리트슬래브	고압살수장비를 이용한 콘크리트 파쇄능력 평가실험
5	영동고속도로 대관령 지사관내 192.6K 지점	2008. 7. 14	열화된 옹벽 벽면 및 바닥면	건식스�크리트 전용 프리믹스를 이용한 콘크리트 경사구조물 적용성 평가
6	한국농촌공사 홍천춘천지사 관내 원창저수지	2008. 10. 25 ~11.01	열화된 저수지 바닥면 및 방수로 경사면	습식스�크리트 전용 재료를 이용한 대형 경사구조물 적용성 평가

1. 관로시스템 보수보강 가능성 평가를 위한 모의시공 평가

가. 관로시스템 보수보강 특성

- 관로시스템 유지·보수를 위해 개발완료 단계에 있는 고압살수 표면처리(Hydrodemolition)와 슛크리트 장비를 이용하여 고성능 내황산 몰탈을 라이닝하여 기존 하수관거와 일체성을 유지하여 내구연한과 경제성을 확보하는 보수공법(HS-M공법) 개발을 목표로 다음과 같은 사항을 평가하고자 함.

- 본 연구에서는 고성능 몰탈을 하수관거에 적용할 수 있도록 내황산성, 내수성, 항균성, 저수축성, 초조강성 등을 부여하여, 프리믹스된 고성능 내황산 몰탈개발
- 다목적 고압살수 표면처리(Hydrodemolition) 장비개량 및 국산화
- 하수관거 시스템 일체시공을 위한 슛크리트 라이닝 장비개량 및 공법 개발
- 다양한 하수관거에 적용할 수 있는 공법의 시스템화 및 실증화

나. 모의시공 일정

▣ 모의시공 장소 : 강원대학교 공과대학 3호관내

▣ 시공일자 : 2007년 2월 28일(수)

▣ 모의시공 대상 : 600mm 홑관

다. 투입장비

	
모르타르 압송기	초고압 펌프



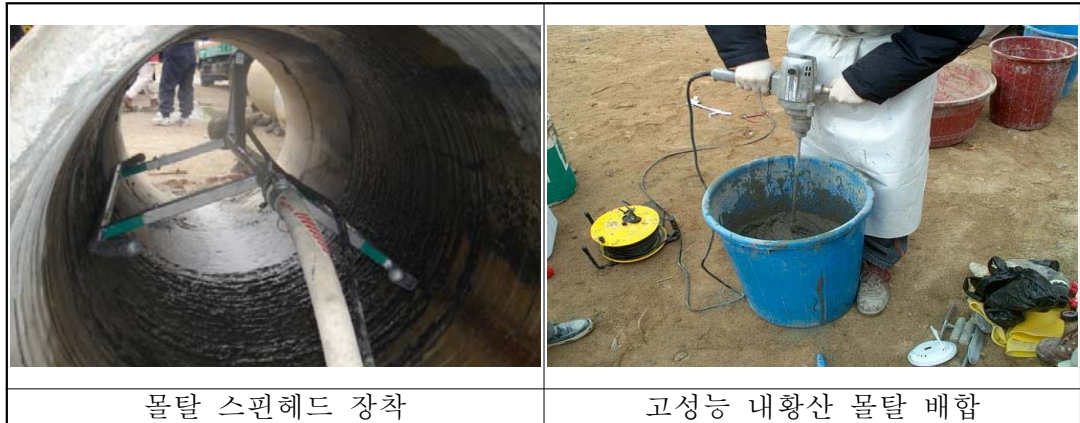
라. 모의시공 공정별

■ Hydro-demolition 거치 및 파쇄작업

- 본 장치는 제공되는 초고압수를 이용하여 자체적으로 회전분사하며 파쇄하는 파쇄노즐과 이물질을 후방으로 배출하며 배출노즐로 구성되어 있음.
- 본 장치는 노즐 팔길기와 지지대를 자유롭게 조절할 수 있어 환경에 구애받지 않고 적용할 수 있음.

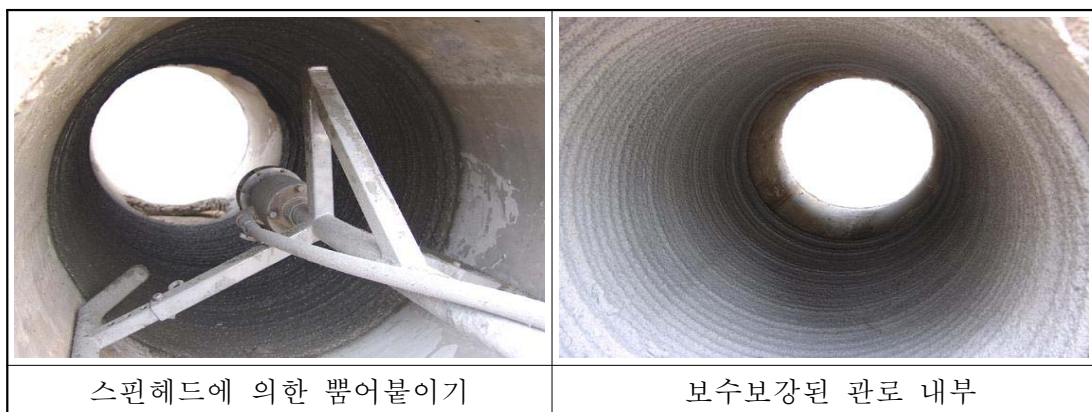


■ 쏿트믹스-M 뿔어붙이기



■ 쏿트믹스-M 쏿크리팅

- 개발된 시멘트계 뿔어붙이기용 물탈은 내황산 기능으로 내화학적 및 내부식성 증진
- 폴리머 복합소재로 방청, 고유동성, 방수성 증진되며 고강도 및 고부착성, 고내구성 발현할 수 있음.
- 고성능 시멘트계 뿔어붙이기 물탈을 이용한 무인 Shotcrete Lining 장비 및 공법 개발을 목적으로 이동식 자동 Lining Machine인 자동 Shotcrete Spin Head를 개발하였으며 본 모의시공 평가결과, 분사력과 균등성이 매우 우수한 것으로 나타났다.



라. 모의시공 평가 결과

- (1) 파쇄 및 세정을 위한 Hydro-demolition의 개발

- 이동식 자동 Spin Hydro-demolition 개발
- 뛰어난 세정력과 부식 및 열화된 표면 제거
- 기존 관거의 손상이 거의 없음
- 고압살수에 의한 손상된 부분만 선택적 제거
- 모든 관경에 적합한 길이 조정 가능

Hydro-demolition은 고압의 물을 분사하여 하수관내의 열화 또는 부식된 표면을 제거하고 관에 흡착되어있는 오염물 또는 이물질을 세척한 후 자체적으로 돌출관 및 지장물의 대부분 제거 가능하다. 그러나 기존의 일반 고압세척의 방법은 인력브레이커와 같이 기존의 관로에 손상을 입혀 미세균열을 유발하고 각 관경마다 헤드를 교체해야 하는 단점이 있다. 본 공법에서는 자체적으로 헤드가 회전하면서 적절한 분사 속도와 각도를 조절하여 관로에 손상이 거의 없으며, 헤드에 결합된 분사 노즐의 길이가 관경에 맞게 길거나 짧게 조절되어 대부분의 모든 관경에 최적의 세정력과 부식 및 열화된 표면 제거력을 보인다.

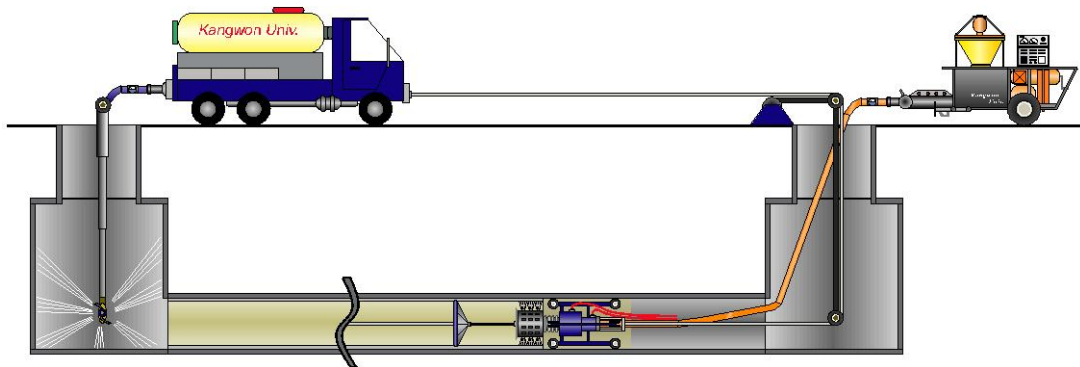
(2) Shotcrete Lining 장비 개발

본 공법은 고성능 친환경적(내화학적, 항균 기능 등) 고성능(고강도, 고부착성, 방수성, 저수축성 등) 시멘트계 뿜어붙이기 몰탈을 이용한 무인 Shotcrete 장비를 이용하여 관내 Lining을 실시하는 것으로, 기존의 Shotcrete Lining은 터널이나 일부 토목구조물, 돔형 건축물, 동물원 등의 인공 암벽 등에 사용되는 국한된 공법이었으나 이를 상하수관로에 적용시켜 보수·보강에 개선, 발전시켜 최적화한 신기술이다. 이는 Shotcrete의 장점인 편리한 시공성 및 경제성을 갖는 동시에 Shotcrete Lining Machine에 의한 일정한 두께가 되도록, 미리 설정된 속도로 견인 또는 자체주행을 통한 Lining을 할 수 있는 자동 Shotcrete Spin Head 개발로 재료의 분사를 최적의 상태로 유지하면서 최상의 부착력을 유도함과 동시에 고품질을 얻을 수 있다.

(3) 장비운용

Hydro-demolition을 이용한 준설 및 세정과 Shotcrete Lining을 이용한 무인 비굴착 하수관로 보수·보강을 위한 장비운용은 다음과 같다.

- ① 맨홀을 통하여 파이프 안에 스핀 H/D 또는 Shotcrete Lining Machine을 투입, 셋팅시킨다.
- ② 파이프 양끝단의 맨홀에 장비 견인을 위한 지지대를 설치한 후 이를 통하여 장비를 라인으로 고정시킨다.
- ③ 견인되는 부분의 라인 끝단을 자동 견인 장비에 결속하고 관경과 관길이에 적절한 속도로 견인하도록 한다.
- ④ 스핀 H/D는 고압 물공급 장치에 연결하고, Shotcrete Lining Machine에는 고성능 시멘트용 몰탈펌프와 에어컴프레서를 연결한다.
- ⑤ 장비 셋팅이 끝난 후 Hydro-Demolition 또는 Shotcrete Lining을 실시한다.



<Hydro-demolition과 Shotcrete Lining 실증화 시스템 개요도>



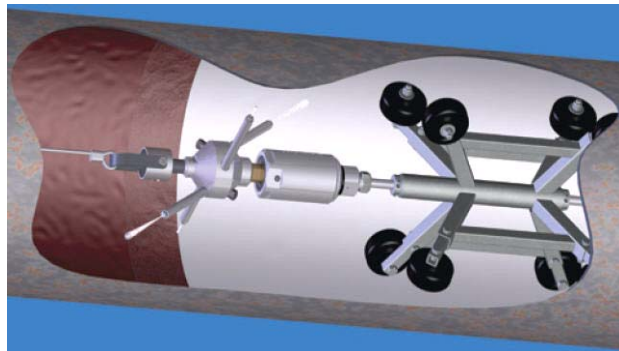
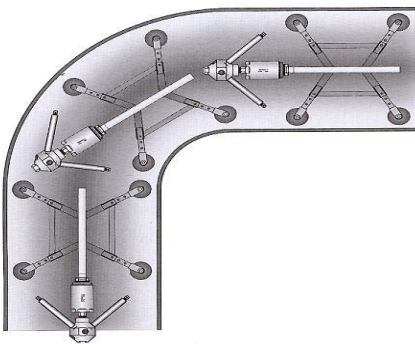
<Hydro-demolition과 Shotcrete Lining 실증화 시스템 공정도>

마. 향후 개선사항

가) 작업관로 내 선형변경될 경우의 진행방법

현재의 개발된 Hydro-demolition 작업장비에 다음과 같은 추가적인 시스템을 개발 장착하여 변화하는 관로 시스템의 열화부 제거를 원활하게 극복한다.

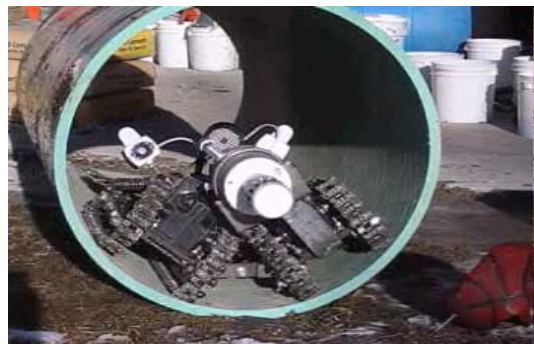
- 관경에 따른 Nipple 길이 및 스핀 속도 자동화 장비 개발
- 연결관 및 곡선관로에 적용할 수 있는 전천후 몸체 개발
- 열화 정도에 따른 속도조절형 자동 견인 시스템 개발
- 압축스프링 지지대에 의한 선형변경곡선 작업진행 시스템 개발



<Hydro-demolition의 선형변경 작업도>

나) 일정한 라이닝 형성을 위한 추가장비 개발

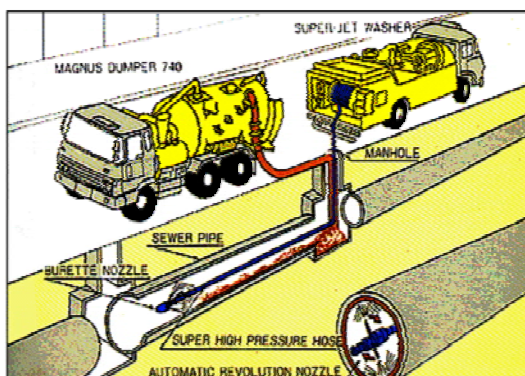
- 관경에 따른 라이닝 두께 및 분사압력 속도 자동화 장비 개발
- 연결관 및 곡선관로, 단차 발생 구간 등 전천후 상황에 적용할 수 있는 침단 슛크리트 로봇 개량



다) Hydro-demolition에 따른 수질오염 상태 평가 및 처리개선 시스템 개발

- 하수관거 내 퇴적물의 오염도 평가
- Hydro-demolition 공정시 발생하는 단위길이당 폐수 및 폐기물 발생량 산정
- 공정시 발생하는 폐수의 성상 분석
- 성상분석을 토대로 한 폐수의 안정화 방안
- 공정 중 발생하는 폐기물의 성상 분석을 통한 재활용 또는 안정화 방안 연구

현재 하수관거내 퇴적되어 있던 퇴적물들은 위탁업체에 의해 매립처리되고 있다. 이러한 퇴적물은 토양 뿐만아니라 유기물 및 중금속등을 다량 포함하고 안정화 처리가 반드시 요구된다. 또한 Hydro-demolition 공정에서 발생하는 폐콘크리트 및 폐수는 최대 pH 13~14까지의 고농도 알칼리성 폐수로서 미처리된 상태로 하수처리장으로 유입시 처리장에 심각한 문제점을 유발시킬수 있다. 따라서, Hydro-demolition 공정 수행을 위해 발생하는 퇴적물의 처리 및 폐수의 상태 평가 및 개선 시스템을 개발하여야 한다. 또한 절삭된 이물질은 초고압수(0~550kg/cm²)를 분사하여 하수구, 배출관 등의 모래, 진흙, 각종오일, 분말, 오물 등이 막힌 곳을 효율적으로 관통시켜주며 고착된 흙이나 악성 Scale 제거 및 상수도관 갱생하고 진공 펌프의 고속회전으로 형성된 수압의 편차로 인해 TANK내의 공기를 배출시켜 진공을 형성, 공기유입과 동시에 배수로내의 준설토 및 각종 오물, 침전물을 MAXIMUM ULTIMATE VACUUM PRESSURE 740mmHg 의 흡입력에 의해 7.3 m³ TANK에 오물을 적재한다.



<절삭이물질 제거 모식도>



<진공흡입트럭에 의한 이물질 적재>

2. 내황산 모르타르(샷믹스-M)을 이용한 현장 적용성 평가

가. 샷믹스-M 재료적 특성

- 샷믹스-M은 모르타르 샷크리트작업에 적당한 유동성과 작업시간내에 유동성 확보.
- 리바운드율이 매우 작아 재료의 손실과 재료분리현상이 감소.
- 시공두께가 최소 160mm로 그이상의 두께로 시공이 가능.
- 샷크리팅 작업후 마무리성이 좋아 마무리 작업이 용이
- 초기 압축, 휨강도 발현이 커 구조물의 안전성 확보
- 급결제를 사용하지 않아 장기강도 확보

■ 시험시공 장소 : 한국도로공사 홍천지사 관내 중앙고속도로
춘천~홍천간(대구방향) 369 K (굴지교지점)

■ 시공일자 : 2007년 4월 5일(목)

■ 비용부담 : 연구개발사업팀((주)삼우아이엠씨+강원대학교)

■ 주시공사 : (주)삼우아이엠씨

■ 시험시공 장소 및 대상 : 난간방호벽 10(L) × 0.25(H) × 0.1(T) m

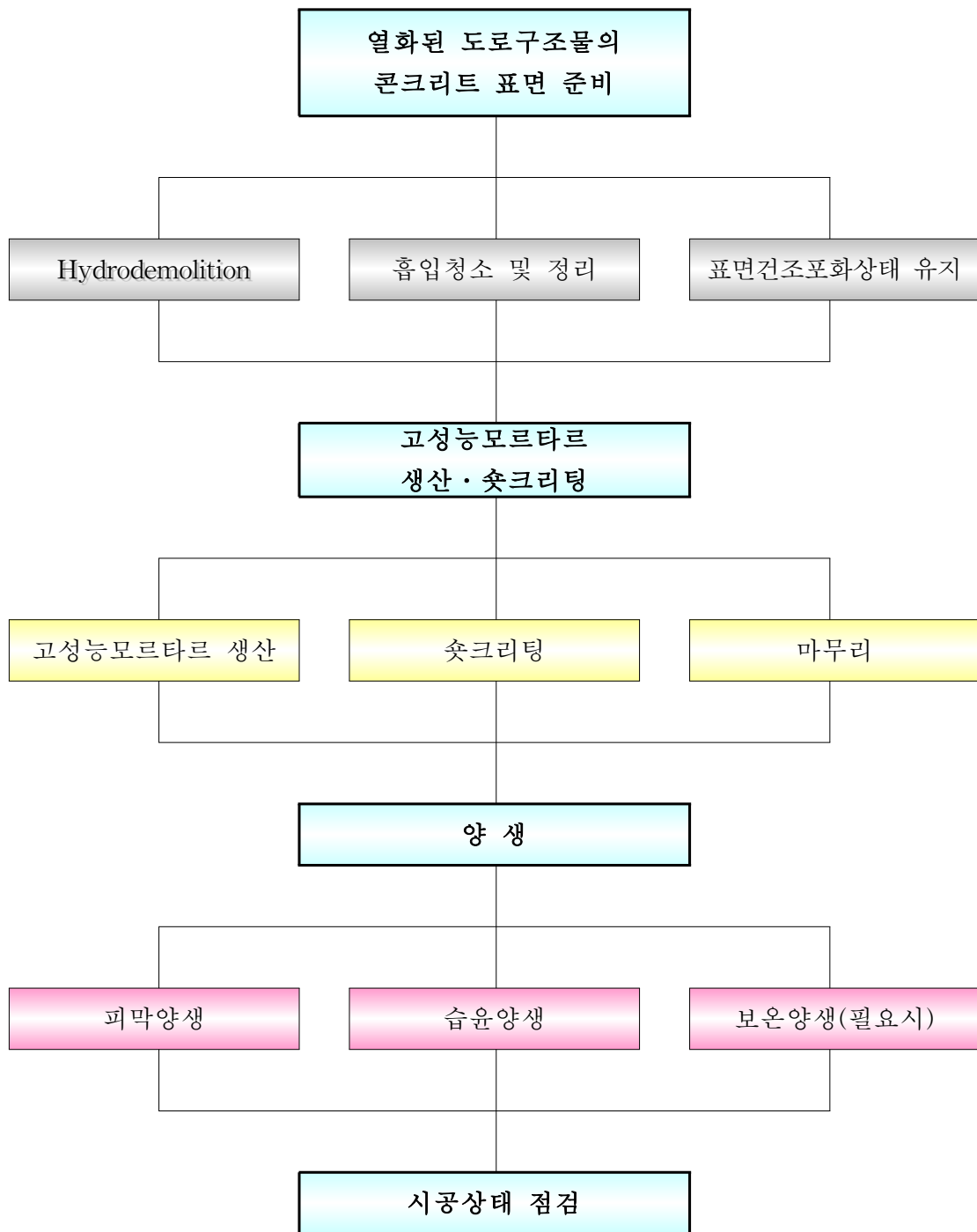


<시험시공 장소 전경>

	
보수대상 전경	보수대상 H=0.25m

나. 시험시공 Time Schedule

작업 공정	작업 시간	내 용
교통차단	09:30 ~ 09:45	
열화부 제거	10:00 ~ 10:50	· 워터제트를 이용한 Hydro-demolition
절삭폐기물 제거	10:50 ~ 11:15	· 절삭폐기물 인력 청소
고압살수 청소	11:15 ~ 11:50	· 고압살수를 이용한 절삭이물질 제거
샷트믹스-M 타설	12:30 ~ 13:20, 13:20 ~ 14:00	· 샷트믹스-M Shotcreting · 시편 제작
표면마무리	12:45 ~ 14:20	· 인력마무리
양생제 살포	14:05 ~ 14:30	· 피막양생제 살포
시공 완료	14:30	



다. 시험 시공 특이사항

■ Hydro-demolition

○ 워터제트 사용수압 : 800bar(3cm) / 500bar(6cm, 7cm) / 1,000bar(5cm)

→ 800bar로 절삭을 실시하였으나 절삭깊이가 너무 깊어 500bar로 감소시켰다가 다시 1,000bar(5cm)로 조정하여 절삭 실시.

→ 난간방호벽의 신축이음부위의 열화가 심각하여 초기에 절삭깊이가 깊었으나, 열화된 콘크리트의 제거와 함께 HS 모르타르 슛크리팅을 위한 소요의 타설 두께를 확보하려면 1,000bar정도의 수압이 필요할 것으로 보임.

→ 보수대상 구조물의 구간에 따라 열화의 정도가 큰 경우 Hydro-demolition을 적용할 경우 사용수압을 결정함에 있어서 주의가 필요한 것으로 보임.

→ 보수대상 구조물의 절삭될 면과 워터제트의 노즐이 이루는 각이 틀린 경우, 절삭능력에 차이가 발생할 수 있으므로 워터제트 setting시에 주의가 필요한 것으로 보임.

워터제트를 이용한 Hydro-demolition	열화로 인한 신축이음부 과도한 절삭
Hydro-demolition 후 전경 (500bar/7cm)	Hydro-demolition 후 전경 (1,000bar/5cm)

■ 절삭이물질 제거

	
절삭폐기물 인력 청소	고압살수를 이용한 절삭이물질 제거

■ 쏿트믹스-M 쏿크리팅

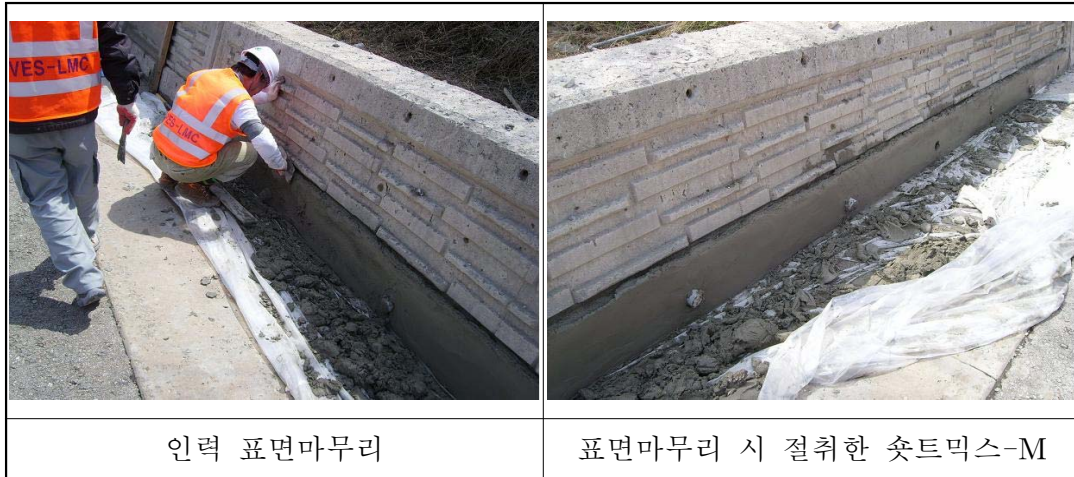
○ 쏿크리트 장비를 이용한 HS 모르타르 쏿크리팅

→ 쏿크리트 타설두께가 일정하지 않아 2회 타설 실시됨.

	
타설 준비	쏘트믹스-M 생산
	
쏘크리트 분사를 위한 Pumping 장비	쏘트믹스-M 쏿크리팅 전경

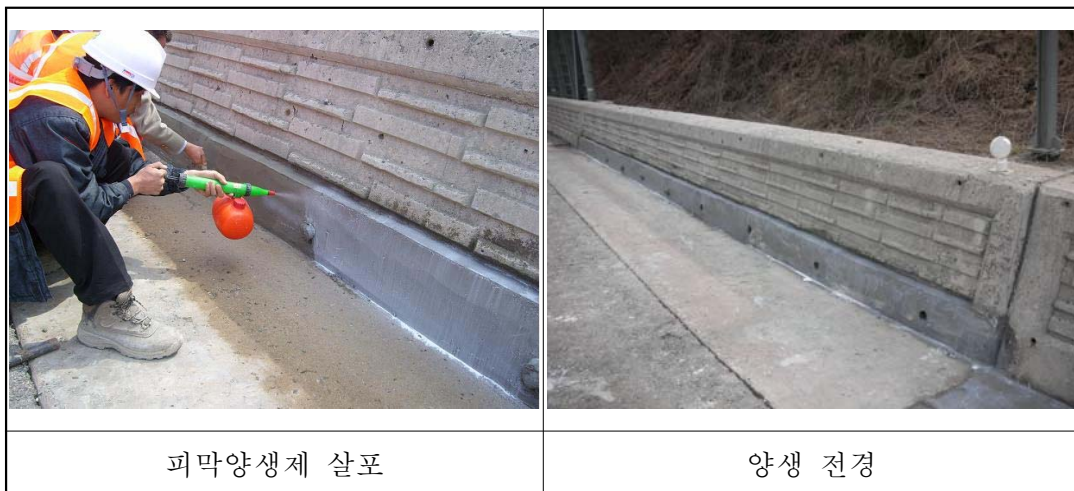
■ 표면마무리

→ 숏트믹스-M 타설량이 많아짐에 따라 과도한 표면마무리가 이루어짐

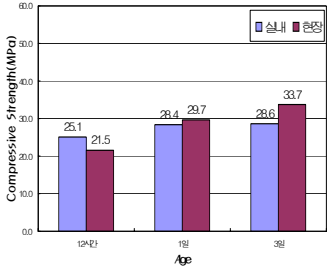
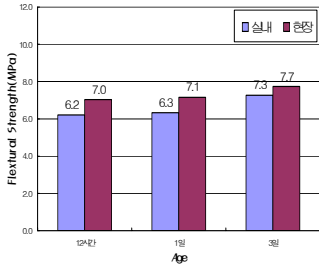


■ 양생 및 개방

→ 표면마무리 작업시간이 길어짐에 따라 피막양생제 살포시기가 매우 늦어짐



라. 숏트믹스-M 성능평가

시험항목	시험사진 및 그래프	시험결과												
시편제작		- 압축, 휨강도 시편제작 - 동결융해 시편 제작 - 스케링저항성 시편 제작 - 투수저항성 시편제작												
흐름시험		- 흐름값 : 160mm												
공기량 시험		- 뿔어붙이기 후 공기량 : 4.0 % - 적당한 공기량 유지												
압축강도	압축강도  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Age</th> <th>실내 (MPa)</th> <th>현장 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12시간</td> <td>25.1</td> <td>21.5</td> </tr> <tr> <td>1일</td> <td>28.4</td> <td>29.7</td> </tr> <tr> <td>3일</td> <td>28.6</td> <td>33.7</td> </tr> </tbody> </table>	Age	실내 (MPa)	현장 (MPa)	12시간	25.1	21.5	1일	28.4	29.7	3일	28.6	33.7	- 12시간 강도 : 21.5 MPa - 3일 강도 : 33.7 MPa - 12시간 강도 제외하고 현장시험 결과가 다소 높음. - 우수한 압축강도 발휘
Age	실내 (MPa)	현장 (MPa)												
12시간	25.1	21.5												
1일	28.4	29.7												
3일	28.6	33.7												
휨강도	휨강도  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Age</th> <th>실내 (MPa)</th> <th>현장 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12시간</td> <td>6.2</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>1일</td> <td>6.3</td> <td>7.1</td> </tr> <tr> <td>3일</td> <td>7.3</td> <td>7.7</td> </tr> </tbody> </table>	Age	실내 (MPa)	현장 (MPa)	12시간	6.2	7.0	1일	6.3	7.1	3일	7.3	7.7	- 12시간 강도 : 7.0 MPa - 3일 강도 : 7.7 MPa - 현장시험결과가 다소 높음. - 우수한 휨강도 발휘
Age	실내 (MPa)	현장 (MPa)												
12시간	6.2	7.0												
1일	6.3	7.1												
3일	7.3	7.7												

3) 현장 적용 결과 및 고찰

시험시공 특히 사항은 Hydro-demolition 공정에서 난간방호벽의 신축이음부위의 열화가 심각하여 초기에 절삭깊이가 깊었으나, 열화된 콘크리트의 제거와 함께 HS 모르타르 슛크리팅을 위한 소요의 타설두께를 확보하려면 1,000bar정도의 수압이 필요할 것으로 사료되며, 뿔어붙이기 타설두께가 일정하지 않아 2회 타설 실시하였고, 뿔어붙이기 중간에 막힘 현상이 1번 발생하였다. 마무리는 인력마무리로 하여 보수시간이 증가되었으며, 향후 자동화 시스템으로 시간단축이 필요하다.

HS 모르타르의 재료특성은 전체적인 역학적 특성상 보수재료로 우수한 것으로 평가되었으며 자세한 평가 사항은 다음과 같다.

■ 재료적 특성

- 슛크리팅 작업에 충분한 유동성을 확보.
- 초기 압축 및 휨강도 발현 우수성 확인.
- 슛트믹스-M 모르타르 슛크리팅 시공가능성과 현장 적용성을 확인.
- 슛크리팅 작업 후반부에 재료의 슛크리팅이 원만하지 못함 재료적 개선요구.
- 향후 내구성시험을 통해 내구성 확보에 대한 검증 요구.

■ 공법적 특성

- Hydro-demolition과 Shotcrete 공법의 시공성과 현장 적용성을 확인.
- 이 공법을 적용함으로 구조물의 공용성을 장기화 할 것으로 기대.
- Hydro-demolition에 적용된 장비는 교량 바닥판 보수 · 보강 시 사용된 장비로 대형 장비로 구조물 보수대상에 따라 소형장비로 개선이 요구.
- 슛크리팅 작업 후반부에 재료의 슛크리팅이 원만하지 못함을 장비 용량 등으로 검토후 개선이 요구.
- 위와 같이 Hydro-demolition과 Shotcrete 공법의 조화와 공법의 타당성 확인하였으나, 향후 경제성과 시공성 확보 측면에서 공법개선 요구.

3. 건식샷크리트 전용 프리믹스를 이용한 콘크리트포장보수공법 개발

가. 시험시공의 목적

- 건교부 과제 수행의 일환으로 현재 협동기관인 강원대학교에서 개발 중인 건식 샷크리트 재료와 공법에 대한 현장 적용 평가를 시행하고자 함.
- 사용재료는 협동기관에서 개발한 건식 샷크리트 전용 프리믹스 콘크리트를 사용하며, 적용대상 구조물로는 경사도 0°에 해당하는 콘크리트 포장 줄눈부로 선정·시행함.
- 개발된 건식 샷크리트 전용 프리믹스 콘크리트의 강도발현 특성 및 내구성 등을 평가하며, 부착경계면 조건에 따른 현장 부착강도 실험을 수행함.

나. 시공 일자 및 장소

(1) 시공 일자 및 주요내용

2008. 2. 27 (10:00 ~ 18:00) : 시험 시공을 위한 기초 작업

- 포설구간 표시 및 재료 입하, 장비 점검

2008. 2. 28 (08:30 ~ 18:00) : 시험 시공

- Bobcat 파쇄, S/J 콘크리트 절삭, 진공흡입청소 절삭폐기물 처리, 건식 샷크리트 생산 및 포설, 줄눈 설치

(2) 장소 : (구)동수원 Toll Gate 폐광장

다. 구간별 시험시공 현황

- 절삭공법에 따른 건식 샷크리트의 부착특성을 고찰하고자 인력브레이커, B/C, B/C + S/B, B/C + S/J 네 공법으로 절삭하여 부착강도 시험을 목적으로 하는 구간

◆ 제1구간

- Bobcat을 이용한 콘크리트 절삭 시연 및 진공흡입청소차를 이용한 절삭폐기물 처리 작업을 목적으로 하는 구간

◆ 제2구간

- Bobcat을 이용한 콘크리트 절삭 시연, 스틸브러쉬를 이용한 절삭면 마무리 및 진공흡입청소차를 이용한 절삭폐기물 처리 작업을 목적으로 하는 구간

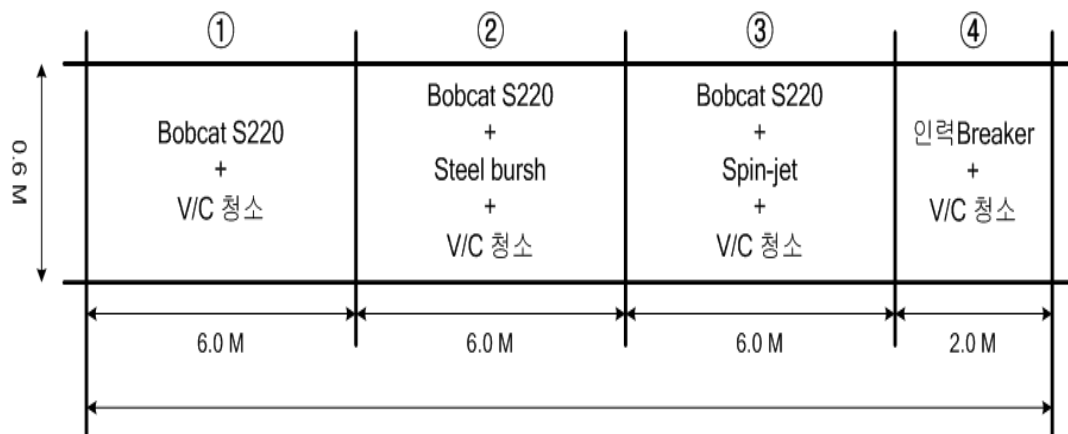
◆ 제3구간

- Bobcat을 이용한 콘크리트 절삭 시연, 스피ن젯을 이용한 절삭면 마무리 및 진공흡입청소차를 이용한 절삭폐기물 처리 작업을 목적으로 하는 구간

◆ 제4구간

- 인력브레이커를 이용한 콘크리트 절삭 및 진공흡입청소차를 이용한 절삭폐기물 처리 작업을 목적으로 하는 구간

구 분	절삭 방법	구 간	비 고
제1구간	bobcat	$0.6 \times 6.0 \times 0.05$	
제2구간	bobcat + steel brush	$0.6 \times 6.0 \times 0.05$	
제3구간	bobcat + spin-jet	$0.6 \times 6.0 \times 0.05$	
제4구간	인력breaker	$0.6 \times 2.0 \times 0.05$	



라. 시험시공 작업일지

(1) 시간대별 작업내용

시간	내용	장비	비고
AM 8:51	1차 파쇄시작	Bobcat S220, 덤프트럭	
AM 9:16	1차 파쇄완료	Bobcat S220	B=40cm, t=3cm
AM 9:30	비트교체	Bobcat S220	
AM 9:50	2차 파쇄시작	Bobcat S220	B=80cm, t=5cm
AM 10:10	파쇄완료		
AM 10:35	스핀젯 작업	스핀젯, 물차	
AM 11:00	스핀젯 완료		
AM 11:35	인력파쇄 시작	브레이커 2대	
PM 12:20	VC 청소 시작	진공흡입청소차량, S/C	
PM 12:40	VC 청소 마무리		
PM 1:50	숏크리트 타설시작	건식숏크리트, 배합기 롤러튜브	
PM 2:40	숏크리트 타설마무리		
PM 2:50	양생제살포및양생포		
PM 5:00	줄눈절삭	컷팅기	
PM 5:30	청소및마무리		

(2) 투입인원 및 사용장비

바브켓 파쇄	인력 파쇄	스핀젯	스틸 브러쉬	진공흡 입트럭	배합	숏크리팅	미장	컷팅 양생	계
1	5	4	1	3	4	2	4	4	28 인



카고트레인-재료밋기자재 운반



덤프트럭-폐기물 적재 및 운반



1.5톤-양생포밋재료 운송



바브켓-노면청소



1.5톤-발전기 운행



1.5톤-포설장비운송



5.0톤-바브켓및사용수 운반



5.0톤-스핀젯초고압펌프



물차-작업수



S220 바브켓-노면파쇄



절삭면마무리



Piccola-타설장비



진공흡입트럭-파쇄이물질 제거



롤러튜브-포설면 마무리



컷팅기-줄눈 절삭



S/B-절삭면 마무리

마. 시험시공 결과

세로줄눈 중심으로 파손된 콘크리트 포장부 보수공사에 건식 슛크리트 전용 프리믹스 콘크리트 및 HS 공법을 적용하기 위하여 시공폭(0.8m), 절삭공법(인력브레이커, B/C, B/C + S/B, B/C + S/J)을 변수로 두어 각 공정에 적용되는 장비의 적합성 및 효율성, 부착성 등을 조사 · 분석함.

공 중	시 험 결 과
기존 콘크리트 절삭	■ Bobcat 파쇄기(B/C) · 장비구성 : 바브켓 1대 · 투입인원 : 운전원 1명 · 시공능력 : 아스콘과 콘크리트 조건에 따라 큰 차이 · 장비설명 : 폭 0.4m B/C의 팁날을 사용하며 폭 0.6m로 절삭할 경우 2회에 걸쳐 파쇄하여야 하며, 1회 절삭깊이는 약 2~3cm임. 현행 줄눈보수크기인 B=0.6m, t=0.05m 조건 일 경우 총 4회 파쇄 실시 · 시공결과 - 시공능력 : 40~50m²/hr - 장비손상 : T=5cm 1회 절삭이 불가능하며, 콘크리트 파손 시 팁 날 파손이 심각하여 주기적인 팁날 교체 작업이 이루어져야 함. - 기존 파쇄장비와 운영 및 능력면에 있어 차이 없음
	■ Hydro-demolition · 장비구성 : 로봇 1대 + 물차 1대 + 파워팩 1대 · 투입인원 : 운전원 4명 · 시공능력 : 20~60 m²/hr · 사용 최대수압 : 1400 bar · 시공결과 - B/C로 손상된 부분 및 기존 줄눈 오염부 완전 제거 - 기존 워터제트에 비하여 사용 수량이 적고 작업속도가 우수함.
	■ 스틸브러쉬 (S/B) · 장비구성 : 바브켓 1대 · 투입인원 : 운전원 1명 · 시공능력 : 100 이상 m²/hr · 사용재료 : 스틸브러쉬+플라스틱브러쉬 · 시공결과 - 줄눈절삭폭 0.6m로 스틸브러쉬 제작 - 스틸브러쉬가 너무 Flexible하여 절삭면 마무리용으로 부적합. - Stiffness한 steel-brush를 사용치 않을 경우 효과없음.

공 종	시 험 결 과
절삭 폐기물 처리	■ 진공흡입청소차 (10m³) · 장비구성 : 자주식 흡입장치 1기 + 호스식 흡입장치 1기 · 투입인원 : 운전원 1명, 조정원 2명 · 시공능력 : 100m²/hr · 시공결과 - 절삭폐기물 및 고인물을 완전하게 흡입 제거함 - 장비 사용 적정함
건식 HS 생산 및 포설	■ Piccola Mixer (7m³) · 장비구성 : 건식배합기, 발전기, 콤프레셔, 물차 · 투입인원 : 운전원 1명, 투입원 3명 · 시공능력 : m³/hr ■ 건식 쏿크리팅 · 투입인원 : 노즐맨 1명, 보조원 1명 · 시공능력 : 1m³/hr · 시공결과 - 시험시공에 사용된 토출사이즈는 최소량이며 현장 사용 시 이를 약 3배 증가시킬 수 있는 부속품 사용가능. - 현장 적용 시 2대이상 또는 기계화 장비를 도모해야 할 것으로 판단됨. ■ 롤러튜브 (B=3m), 매직 스크리드 (B=1.2m) · 투입인원 : 포장공 2명, 미장공 2명 · 시공능력 : 100m²/hr · 시공결과 - <u>롤러튜브</u> : 줄눈포설 폭에 적합 - 롤러튜브의 원활한 작업을 위해 거취면 청소병행 요구 - <u>매직 스크리드</u> : 포설 폭 1.5m이하일 경우 효과적임 - 된배합 및 급결성이 있는 건식 쏿크리트에 미장효과 미흡 - <u>평탄성</u> : 롤러튜브를 사용할 경우, 된배합에서는 작업진행이 다소 늦었으나 작업원 숙련도에 따라 우수한 평탄 효과를 나타낼 것으로 판단됨. 매직스크리드 사용결과, 본 쏿크리트 재료의 마무리에 적합하지 않음.
건식HS 역학적 특성	■ 4hr 압축강도 : 20MPa 이상 ■ 4hr 휨강도 : 5.0MPa 이상 ■ 1일 압축강도 : 25MPa 이상 ■ 1일 휨강도 : 5.0MPa 이상

		압축강도			휨강도		
		하중 (kg)	강도 (kg/cm ²)	평균 (kg/cm ²)	하중 (kg)	강도 (kg/cm ²)	평균 (kg/cm ²)
4hr	Vib.	33940	192.2	212.5	1638	49.1	54.3
		41760	236.4		1906	57.2	
		36880	208.8		1884	56.5	
	Non	25970	241.3	261.8	1818	54.5	53.3
		29220	279.3		1626	48.8	
		28410	265.0		1884	56.5	
1day	Vib.	50480	285.8	277.3	1874	56.2	57.7
		51040	289.0		1810	54.3	
		45400	257.0		2090	62.7	
	Non	29150	309.7	294.1	1822	54.7	54.5
		30780	300.5		1836	55.1	
		24760	272.2		1796	53.9	
28day	Vib.	75316	426.4	423.9	2050	61.5	57.1
		75357	426.6		2220	66.6	
		73948	418.7		1440	43.2	
	Non	38969	398.9	395.1	1740	52.2	56.0
		42938	421.3		1990	59.7	
		34942	365.0				

		부착강도		
		하중 (N)	강도 (kg/cm ²)	평균 (kg/cm ²)
재령 14일	제1구간 (BC+VC)	6,049	7.9	10.1
		9,352	12.1	
		8,018	10.4	
	제2구간 (BC+SB+VC)	8,481	11.0	10.6
		8,342	10.8	
		7,685	10.0	
	제3구간 (BC+SJ+VC)	11,303	14.7	16.3
		11,380	14.8	
		15,091	19.6	
	제4구간 (인력)	3,481	4.5	8.2
		11,283	14.6	
		4,121	5.3	

바. 시험시공 평가

○ 프리믹스 콘크리트와 건식샷크리트를 이용하여 콘크리트 포장 파손 부위의 보수공법으로 활용할 경우 아래와 같은 장점이 있음.

- 공장제품 사용으로 콘크리트 제품의 품질 균질성 유지.
- 초속경성 시멘트, fiber, polymer, SP 등의 최적배합으로 재료성능이 우수하고 공장완제품 납품으로 현장에서 별도의 배합장치가 필요없음.
- 조기강도 발현이 우수하여 포설 후 2시간 이후부터 줄눈설치 작업이 가능하고 3시간 이후에 교통개방이 가능함.
- 재령 14일에 스펀젯 적용 구간 부착강도 1.4MPa 이상 발현.
- 타설장비 간소화로 작업인력 및 장비 감소로 공사비 절감.
- 건식 샷크리트 특성 상 작업 일시 중지 시 시공이음 또는 장비 청소 등의 번거로움이 없음.
- 고압의 뿔어붙이기 방식으로 신구 접착력이 우수함.

○ 프리믹스 콘크리트와 건식샷크리트를 이용하여 콘크리트 포장 파손 부위의 보수공법으로 활용할 경우 아래와 같은 문제점이 있음.

- 건식 샷크리트 전용 프리믹스 완제품 생산 가능성(굵은골재 포함).
- 일일 작업량 증대 가능성(현재 약 1m³/hr).
- 타설 시 기온이 7~9℃였으나 하계 포설 시 작업시간 확보 문제.
- 고가의 재료 사용 시 공사비 절감 효과 미흡.
- 단가산출 후 기존 공법과 경제성 비교분석 필요.
- 리바운드 발생 시 현장 안전문제 발생.
- 부착력 및 내구성 검증 자료.

○ 시공절차



(1) 줄눈파쇄



(2) 1차 청소



(3) 스펀젯



(4) 진공흡입 청소



(5) 재료준비



(6) 건식 슛크리팅



(7) 표면마무리



(8) 양생



(9) 줄눈질삭 및 교통개방

○ 적용방안

- 적용대상 : 세로줄눈 중심으로 파손된 포장보수 공사
- 적용 폭 : 구간 내 최대 파손부위가 포함될 수 있는 폭 또는 0.5 ~ 1m
- 최소면적 : 투입 장비 및 인력을 고려할 경우 1일 150~200m²
- 일일작업가능량 : 200m × 0.6m × 0.05m = 6m³

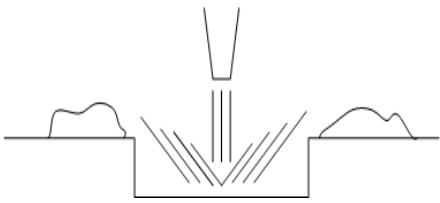
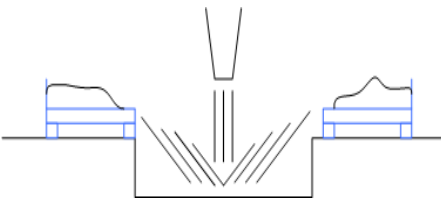
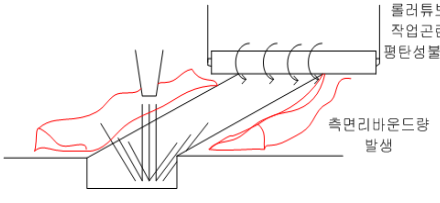
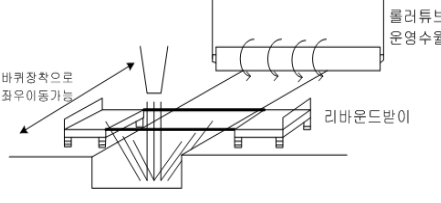
사. 향후 개선 사항

건식 슛크리트를 이용한 경사구조물 보수보강에 대한 시험시공 결과, 재료적 측면, 장비운영 측면 및 공법 측면에서의 개선요구사항이 도출되었다. 우선 재료적 측면에서는 프리믹스타입의 건식 슛크리트 투입 및 압송으로 인력 및 시간 소요는 획기적으로 개선되었으나 압송장비의 소형화로 일일작업량이 감소되는 결과를 나타내었다. 또한 건식 슛크리트 특성상 배출초기 기존 구조물에 반발하여 좌우로 비산되는 리바운드량이 다소 발생하여 리바운드된 재료 손실, 주변환경오염 및 안전 문제 해결을 위한 추가적인 보호막장비가 요구되었다.

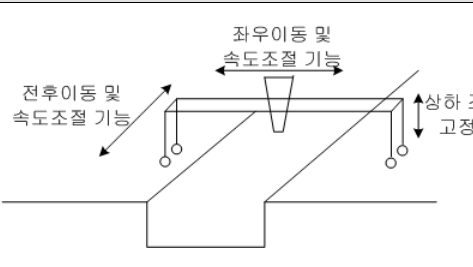
장비운영에서는 현재 압축기, 발전기, 압송기, 물탱크 등이 별도로 운영되어 다소 번잡하고 산만하므로 이를 5톤 트럭 등에 적재·일체화하여 작업효율성 및 작업공간 활용도를 높일 수 있도록 개선하여야 할 것이다.

도출된 문제점	현 상황	개선방향
②일일작업량	· 일일 건식스�크리트 작업량은 약 1m³/hr. · 현재 시스템은 약 30m/hr의 작업속도임.	· 장비 부속품 구매 설치시 약 3~4m³/hr 가능 · 2대 가동 시 6~8m³/hr 가능 · 일일작업량 200m³ 가능 · 장비 및 부속품 추가구입요망
③리바운드	· 건식 특성상 리바운드량 과다 · 포설지역내 리바운드물질로 인해 마무리 장비 가동 어려움	· 경사면 0° 특성상 압력을 낮추고 물/시멘트비를 높일 경우 문제해결 가능 · 리바운드받이 제작 요망
④장비운영	· 콤프레셔, 발전기, 압송기, 물탱크 별도 운영 · 작업공간 과대 요구 · 이동반경 제약	· 5톤 트럭에 모든 슛크리트 장비 적재시 작업공간 및 이동속도 증가 · Gunman이 아닌 Gun 거취대 제작 시 작업효율성 증대 기대

① 일일작업량 현황 및 개선방향

	현 상황	개선
단면		
평면		
비고	· 측면리바운드 발생으로 작업자 및 이용자 안전문제 발생가능 · 타설면 마무리장비인 롤러튜브의 운영 어려움(골재걸림) · 평탄성 저하 및 청소인력 추가요구	· 이동식 리바운드반이 설치 시 별도 청소인력 및 장비 불필요 · 측면이물질 제거로 롤러튜브 운영 원활 · 평탄성 확보 및 현장 안전문제 해결

② 리바운드 절감을 위한 개선방향

	현 상황	개선
구분		
비고	· Nozzleman에 의한 포설 · 공사물량 증대 시 피로 누적 및 안전문제 발생 가능 · 교체 인력 추가요구	· 이동식 Gun 장착장비 제작 · 워터제트 시스템과 같이 자동이동 시 현장 작업 속도 및 안전문제 해결

③ 장비운영 효율성 증대를 위한 개선방향

	현 상황	개선
구분		
비고	• 건식 슛크리트 운영 시 필요장비는 발전기, 에어컴프레서 (250~600cfm), Piccola(636kg), 수조 등임. • 현재 개별적으로 수송 및 운영되어 이동차량 및 작업공간이 과대소요됨.	• 5.0톤 적재함에 Package로 운송, 운영시 작업공간 및 작업효율 극대화

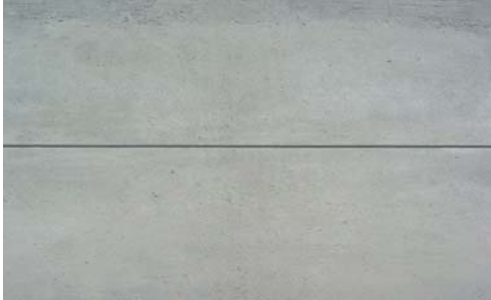
□ 시험시공 사진대지

			
1	1차 파쇄(bobcat s220)	2	절삭폭(80cm)
			
3	1차 절삭깊이(t=3cm)	4	2차 절삭깊이(t=6cm)
			
5	인력파쇄구간	6	Steel brush 마무리
			
7	Spin Jet에 의한 표면마무리	8	Vaccum suction에 의한 청소

□ 시험시공 사진대지

	
9 HS 건식샷크리트 프리팩 재료	10 건식샷크리트 배합
	
11 건식샷크리트 건	12 배출량 검교정
	
13 샷크리트 분사	14 롤러튜브에 의한 마무리
	
15 양생제 살포	16 양생포

□ 시험시공 사진대지

	
17 시편제작	18 절삭 직후 전경
	
19 재령 10일 경과	20 재령 10일 경과

4. 고압살수장비를 이용한 콘크리트 파쇄능력 평가실험

가. 시험시공 개요

워터제트에 의한 파쇄방법은 일정수압에 의해 열화부만을 제거할 수 있으며 건전부에 대한 손상의 최소화 및 추가공정을 요하지 않는 장점을 지니고 있다. 국내 토목공사에 적용되고 있는 워터제트 관련 시방규정 및 성능평가가 부족하여 국외 자료를 참조하여 기본적인 제원 및 성능 범위를 규정하고자 한다. 열화된 콘크리트를 선택적으로 제거할 수 있는 워터제트 공법의 보다 효과적인 적용 및 공학적 접근을 위하여 콘크리트 강도별 워터제트 파쇄 성능을 실험적으로 평가하고자 함. 현재 경사구조물에 대한 숏크리트공법에서 주요 공정인 워터제트에 의한 열화부 파쇄 장비인 워터제트의 정확한 파쇄능력을 평가함으로써 현장적용 시의 효율증대를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

나. 국외 워터제트 관련 규정

(1) 콘크리트 슬래브 절삭 깊이 규정

일반적인 파쇄장비를 이용하여 콘크리트 표면을 1/4인치(0.6cm) 제거하고 Hydro-demolition(워터제트)을 이용하여 철근콘크리트 표면 상부를 높은 거칠기와 부착력을 확보하기 위하여 건전한 콘크리트를 1/4~1/2인치(0.6~1.2cm) 추가적으로 제거해야 하며, 열화된 콘크리트는 모두를 제거하여야 한다.

(2) 콘크리트 파쇄를 위한 워터제트 장비구성 및 작업능력

워터제트의 고압펌프는 225~370kW의 디젤엔진으로 구성되며 엔진크기는 펌프의 용량에 따라 다양하다. 피스톤 타입의 펌프수압은 유량 75~265L/min.에서 약 83~138MPa 정도이다.

	절삭 깊이규정	장비구성
국외 관련 규정	Missouri DOT (붙임 #1) - 일반 파쇄기 1/4 inch(0.6cm) + 워터젯 장비 1/4~1/2 inch(0.6~1.3cm) ≒ 1~2cm - 상부 열화부 전체	SHRP-S-336 (붙임 #2) - 225~370kW 고압디젤엔진 - 75~265L/min.유량 - 83~138MPa 펌프압

(3) 국내의 고압살수 표면처리 공법

워터제트 용어는 보통명사로 고압살수를 이용하는 방식을 총칭하여 워터제트라 하며 장비조건 및 파쇄기능면에 있어 살수, 워터블라스팅 및 Hydro-demolition으로 구분할 수 있다. 살수장비는 소형압축기 등을 이용하여 물을 분사, 세차 및 바닥 청소에 활용되는 일상생활용품이며 Hydro-demolition은 초고압수를 이용하여 대상 구조물을 분쇄·파쇄하는 것을 의미하며 Waterblasting은 파쇄목적보다는 이물질 및 먼처리 기능을 의미하며 이러한 구분은 제공되는 펌프압과 유량에 따라 변화하는 식(1)의 장비출력 즉, 마력(horsepower, hp)으로 구분할 수 있으며(NLB Corp, 2007) 300~500hp 정도의 출력을 Hydro-demolition에 필요한 장비조건으로(Michael C., 1992), 이보다 낮은 출력을 갖을 경우 Waterblasting 개념으로 평가할 수 있다.

$$BHP = \frac{GPM \times PSI}{1715} \text{ (hp)} \quad \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

여기서, GPM은 유량단위(gallon per minute), psi는 펌프압력단위

(가) 살수장비

워터제트는 통상 펌프장비, 분사장비로 구분되며 각 장비제원에 따라 살수, 워터 블라스팅 및 Hydro-demolition 기능으로 분류할 수 있다. 살수용도의 워터제트는 소형 압축기를 사용하며 펌프압은 약 100~150bar, 유량은 약 5.5ℓ/min.의 용량으로 물을 분사할 수 있는 스프레이건으로 구성되며 대략 1~2hp 정도의 충격에너지를 나타낸다. 세차장, 건물 외관 세척 등에 적용되며 대상물에 대한 물분사로 겉표면의 먼지 등을 제거하는 편의장비이다.



<소형압축기>



<water spray>

(나) 워터블라스팅(Water blasting)

고압살수(water blasting) 방법은 고압의 물을 직접 콘크리트 표면에 살수하여 표면을 처리하는 방법으로 잔 부스러기를 제거할 때 특히 유효하고 조인트의 이물질 제거효과도 우수한 장점을 지니고 있다. 워터블라스팅의 주요 적용 목적은 콘크리트 파쇄목적이 아닌 1차 파쇄면에 대한 들뜸부 및 열화부 제거, 요철형성 등 부착력 증진의 목적으로 적용되며 워터블라스팅 장비(Water jet)는 펌프압력 1,400bar 및 유량 80ℓ/min. 이하로 분사에너지가 300hp 이하의 장비를 적용하고 있다. 국내에서 적용되고 있는 Water jet 장비는 펌프압 및 유량에 따라 식(1)과 같이 계산된 제원으로 Hydro-demolition과 워터블라스팅으로 구분·적용되고 있는 실정이다.

<펌프압 및 유량에 따른 장비 구분>

적용대상	펌프압		유량		HP	비고
	bar	psi	lpm	gpm		
콘크리트 파쇄	1,100	15,730	195	52	474	Hydro-demolition
	2,500	35,750	82	22	453	
파쇄면 이물질 제거	1,400	20,020	75	20	232	Water Blasting
세차 및 물청소	120	1716	5.5	1.46	1.46	water spray



<워터블라스팅 1,400bar 펌프>



<워터블라스팅 분사로봇>

(다) Hydro-demolition

Hydro-demolition이란 물을 초고압, 초고속 상태의 제트류로 만들어 이를 해체대상 구조물에 분사시킴으로써 콘크리트에 세굴작용을 일으켜 콘크리트만을 선택적으로 파괴시킬 수 있는 워터제트분사방식의 한 종류이며 이 공법으로 해체하게 되

면 부재의 표면은 요철형태로 콘크리트가 떨어지고 철근에는 전혀 손상 없이 해체할 수 있으므로 이 표면 위에 보강공사를 시행할 때 보강 콘크리트의 부착력을 증대시킬 수 있다고 보고되고 있다. 유체가 고체에 저압으로 부딪힐 경우에는 고체표면에 아무런 변화가 없으나 일정 압력 이상의 높은 압력으로 고체에 부딪히면 고체의 표면에 구멍이 생기기 시작하고 이것이 계속 진행되면 고체 내부로의 세굴작용을 일으키고 계속 더 진행되면 분사되는 물의 압력이 세굴된 고체 내부의 벽면에 압력을 가하여 고체가 박리되는 충격파괴가 시작되며, 폭발적인 파괴작용을 일으키는 원리를 이용하는 것으로 제공되는 분사에너지보다 낮은 강도를 지닌 콘크리트는 파쇄되며 높은 강도를 지닌 건전부위는 남게 되는 것이다.

즉, Hydro-demolition은 대상 구조물에 일정크기의 분사에너지를 제공하여 제공된 에너지보다 높은 저항체는 잔존하게 되며 그 보다 낮은 저항력을 지닌 부위를 제거할 수 있어 Hydro-demolition이 적용된 구간은 신·구 접착면에서도 콘크리트가 설계강도를 만족하게 되며 경계면 요철형성으로 보수재와 일체화거동을 나타내게 되므로 열화부 제거 및 보수재와의 일체화 거동을 동시에 확보할 수 있게 된다.



<2,500bar 초고압펌프>



<파쇄로봇>



<초고압펌프에 의한 파쇄장면>



<파쇄 후 상부 콘크리트 면상태>

다. 워터제트 성능 평가

(1) 콘크리트 강도

콘크리트 구조물의 설계강도는 최소 21MPa 이상이며 보통 28MPa이하로 설계되고 있으며 실제 강도는 30MPa를 넘는 것이 일반적이다. 따라서, 워터제트 성능평가에서는 경사구조물의 실제 강도를 모사하기 위하여 32MPa를 기준으로 고강도인 38MPa와 저강도 17MPa 슬래브를 제작하여 강도에 따른 파쇄깊이를 검증하였다

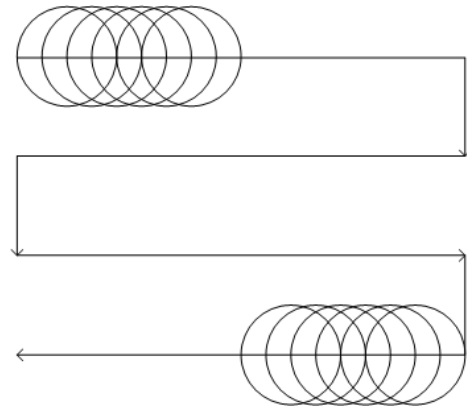
설계강도	fck=15MPa	fck=30MPa	fck=35MPa
코어강도	17MPa	32MPa	38MPa

(2) 워터제트 제원

현재 국내에서 제작·적용되고 있는 Hydrodemoliton 장비는 크게 2가지 제원으로 구분되며 본 연구에서는 두 가지 장비제원 모두에 대하여 실험적 평가를 수행하였다. 워터제트의 파쇄능력은 사용되는 펌프압 및 유량에 가장 크게 영향을 받게 된다. 워터제트 장비 구성은 수압과 유량을 제어하는 파워팩과 자동제어 이동식 파쇄로봇으로 이루어져 있으며 파워팩에서 제공되는 에너지를 로봇에서 분사노즐을 통해 타격함으로써 타격 에너지보다 낮은 콘크리트 표면에 요철을 형성하게 된다. 분사노즐은 그림 3과 같이 직경 250~350mm, 200rpm의 속도로 고속회전하면서 대상구조물을 파쇄하게 된다. 이때 제공되는 분사에너지는 펌프압 및 유량으로 계산되는 마력(horsepower)으로 표현되며 워터제트 장비 중 Hydrodemolition을 수행하기 위해서는 300~500 hp의 크기를 가져야 한다(Michael C., 1992). 국내에서 콘크리트 파쇄를 목적으로 적용되고 있는 장비는 펌프압 및 유량에 다소 차이는 있으나 모두 450~480hp의 장비출력을 갖는 것으로 조사되었다.

<Hydro-demolition 장비 제원>

구분	W-1	W-2
노즐수	2구	4구
노즐분사구경 (Nozzle diameter)	2.2mm	0.8mm
스핀헤드 직경 (rotating diameter)	250mm	350mm
스핀헤드 회전속도 (rotating speed)	200 rpm	200 rpm
수압 (pump pressure)	110 MPa	250 MPa
유량 (flow rate)	195 L/min	82 L/min
마력 (horsepower)	474 hp	453 hp

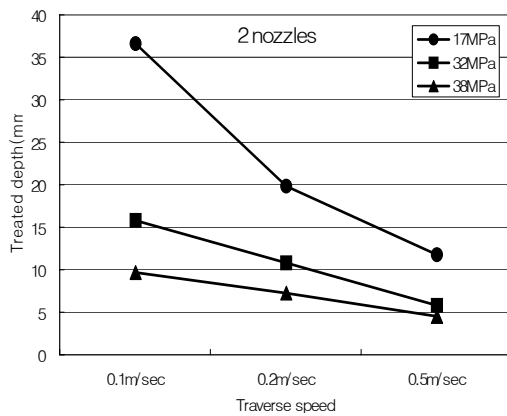


<노즐 파쇄이동 방식>

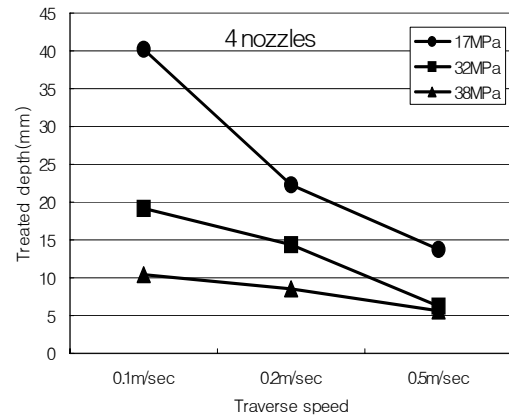
라. 워터제트 성능 평가 결과

(1) 노즐수에 따른 파쇄특성

동일한 수압 및 유량 조건에서는 분사노즐수가 증가할수록 분출되는 수량 및 압력이 분산되어 파쇄능력은 저하된다. 따라서 노즐수를 증가시키면서 동일한 파쇄능력을 유지하기 위해서는 최대수압을 높이고 분사유량을 저감시켜 타격에너지를 보존시키는 방법이 일반적이다. 국내 워터제트 장비는 2구의 경우 최대수압 110MPa, 유량 195ℓ/min.을 적용하고 있으며 4구 장비는 최대수압 250MPa, 유량 82ℓ/min.을 사용하고 있다. 본 연구에서는 이들 장비조합이 각각의 노즐수에 적합한지 실험적으로 평가하고자 하였다. 그림은 지속시간별 콘크리트강도 변화에 따른 파쇄깊이를 정리한 것으로 콘크리트강도 변화에 상관없이 4구를 적용한 경우가 2구의 파쇄깊이보다 다소 깊이 측정되었으나 그 차이가 약 5mm 정도로 미소하여 현재의 2구 및 4구 장비에 대한 장비조합은 양호한 것으로 평가되었으며 파쇄에너지원이 동일한 것으로 나타났다.



<노즐수 2구의 파쇄깊이>



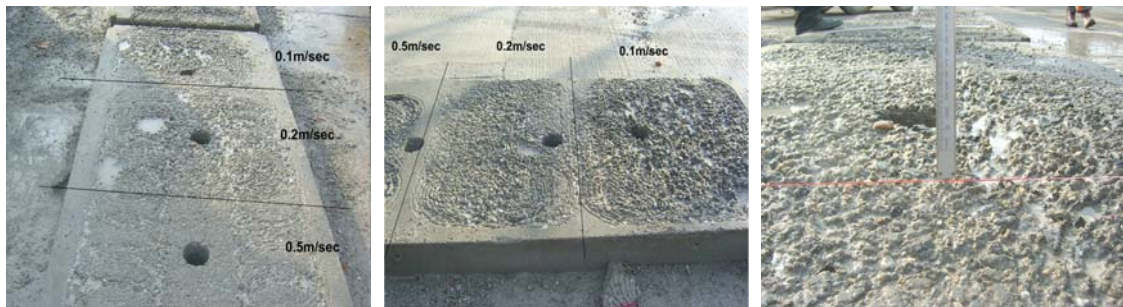
<노즐수 4구의 파쇄깊이>

(2) 콘크리트 강도에 따른 파쇄깊이 특성

콘크리트 구조물에 대한 보수보강 시 신규 부착력 증대를 위해 적용되는 워터 제트는 기존 콘크리트 강도와 분사되는 수압, 유량 등에 따라 파쇄깊이가 변화하게 되지만 기존 콘크리트 강도가 양호할 경우 표면에 요철을 형성하여 보수보강재의 부착면을 증대시키는 역할을 하게 된다. 그러나, 기존 콘크리트가 환경조건 및 외력 등에 의해 강도가 저하된 경우 파쇄깊이는 증가하게 된다. 또한, 워터제트 장비 조합 및 운영이 부적절할 경우 필요이상으로 파쇄깊이가 깊어질 수 있게 된다. 따라서 검증된 콘크리트 강도를 기준으로 현 장비의 파쇄능력을 검증하여 이를 토대로 파쇄깊이에 따른 기존 콘크리트의 강도를 추정함으로써 관리자 및 시공자의 부담을 절감할 수 있다. 본 연구에서는 건전한 콘크리트 강도 기준을 교량 슬래브 설계강도인 $f_{ck}=28\text{MPa}$ 로 설정하고 이를 기준으로 고강도 콘크리트와 저강도 콘크리트 슬래브를 제작하여 동일한 워터제트 장비제원으로 파쇄할 경우 변화되는 파쇄깊이를 실험적으로 평가하였다. Hydrodemolition에 의한 콘크리트 파쇄결과는 출력되는 수압(hp)과 이에 반발하는 콘크리트 강도에 따라 변화하므로 콘크리트의 재료요소 및 배합요소는 전체적인 파쇄에 큰 영향이 없는 것으로 판단되어 본 연구의 결과분석에서는 이와 같은 영향을 고려하지 않았다.

콘크리트 강도별 평균 파쇄깊이를 살펴보면, 20MPa보다 낮은 저강도 콘크리트에서는 지속시간 0.1m/sec에서 파쇄깊이는 36~40mm로 측정되었으며 지속시간 0.5m/sec의 파쇄깊이는 약 11~13mm로 파쇄되어 약 3배이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 콘크리트 강도가 증가할수록 파쇄깊이는 감소하여 32MPa 강도에

서는 0.1m/sec의 파쇄깊이는 15~19mm, 0.5m/sec의 파쇄깊이는 5~6mm로 고강도로 갈수록 지속시간에 따른 파쇄깊이 차이는 미미해지는 것으로 평가되었다. 그림은는 평균파쇄깊이를 나타낸 것으로 콘크리트 강도 및 파쇄지속시간에 따른 파쇄깊이 변화를 정량적으로 분석할 수 있는 자료이며, 표는 측정데이터를 종합하여 정리한 것이다.



<위터제트 파쇄성능 평가시험 전경>

<콘크리트 강도별 지속시간에 따른 파쇄깊이 측정결과>

fc	17MPa			32MPa			38MPa		
Traverse speed	0.1 m/sec	0.2 m/sec	0.5 m/sec	0.1 m/sec	0.2 m/sec	0.5 m/sec	0.1 m/sec	0.2 m/sec	0.5 m/sec
type I (2holes) removal depth (mm)	41	14	8	8	8	5	8	8	3
	39	18	11	13	10	4	8	10	4
	34	21	13	18	12	5	9	7	5
	29	15	14	21	9	7	10	8	6
	36	16	16	19	10	8	10	9	4
	38	24	12	14	14	6	10	5	3
	32	21	14	20	11	9	11	8	4
	42	24	10	16	11	4	12	5	5
aver.	36.6	19.8	11.8	15.8	10.8	5.8	9.8	7.3	4.4
type II (4holes) removal depth (mm)	38	19	13	18	14	4	11	9	7
	42	24	10	17	15	5	9	14	4
	44	26	14	21	18	5	6	7	7
	47	22	14	17	9	7	7	9	5
	37	19	15	19	14	5	12	7	6
	40	23	16	24	12	8	14	5	4
	38	25	17	20	15	6	13	8	5
	36	23	14	19	20	8	9	6	6
aver.	40.2	22.2	13.8	19.2	14.3	6.3	10.4	8.6	5.7

(3) 파쇄깊이와 콘크리트 강도와 상관성

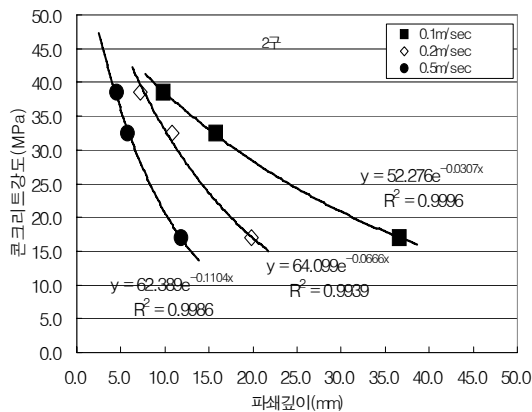
워터제트를 이용한 hydro-demolition의 적용하는 이유는 신규 콘크리트의 부착력 강화를 위하여 기존 콘크리트에 일정한 형태의 요철을 주기 위함이다. 일반 파쇄기로도 부착면 증대를 위한 요철형태를 만들 수 있으나 그 과정에서 손상을 유발하여 오히려 부착력 저하를 나타내게 된다. 이러한 부착력 강화를 위한 워터제트 파쇄깊이는 기존 콘크리트가 건전할 경우 약 1cm 내외의 깊이로 형성되게끔 국외에서 규정하고 있다. 국내에서는 워터제트 파쇄깊이에 대한 규정이 없는 관계로 이를 근거로 워터제트 장비 최적화를 제안하고자 한다. 우선 국내 워터제트를 이용하여 건전한 콘크리트를 약 1cm 내외로 파쇄할 수 있는 장비제원을 평가하고 이를 활용하여 현장에 적용할 경우 파쇄깊이에 따른 기존 콘크리트 강도추정식을 제안한다.

Hydro-demolition 개념에 의한 콘크리트 파쇄능력이 아직까지 객관적으로 검증되어 있지 못하여 이를 적용하고 할 때 관계자들 사이에 많은 논쟁이 있는 것이 현실이다. 현재 공용 중인 콘크리트의 강도를 명확하게 도출할 수 있는 경우 Hydro-demolition 적용에 많은 문제가 해결될 수 있으나 공용 중인 콘크리트 구조물의 특성 상 이를 명확하게 도출하지 못하는 것이 현실이다. 즉, 외부에 노출된 콘크리트는 지속하중, 동결융해 및 제설제 등의 하중 변화 및 환경변화에 따라 위치별 열화정도가 극심하여 국부적인 코어채취만으로는 정량적인 강도평가가 불가능하다. 따라서 보수보강 전에 대상구조물의 열화정도 및 열화부위를 정량적으로 평가하는 것은 현실적인 어려움이 있다. 즉 대상구조물을 선정한 후 시공 전 위치별로 많은 코어를 채취한 후 깊이별 강도평가를 시행, Hydro-demolition 적용 후 열화부 제거 깊이 측정과 비교분석하여야 하나 시공 전 콘크리트의 깊이별 강도평가 및 열화정도의 평가가 불가능하다. 따라서 Hydro-demolition 을 적용한 후 파쇄된 깊이에 따라 열화정도 및 열화부를 평가하고 이를 활용하여 역추적함으로써 열화정도를 객관적으로 분석하고자 하였다.

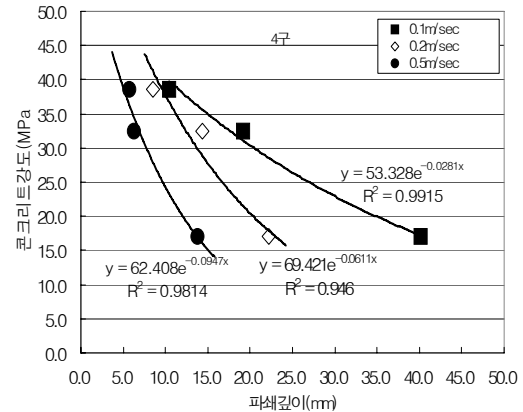
이러한 목적으로 시행된 본 연구결과, 국내에서 적용 중인 Hydro-demolition 장비는 압력수 및 펌프압을 고정·적용하며(110MPa,195L/min,474hp 및 250MPa,82L/min,453hp) 파쇄지속시간을 조절하여 파쇄깊이를 조절할 수 있다. 따라서 콘크리트 강도조건에 따른 파쇄지속시간별 파쇄깊이를 산출할 경우 그 결과를 활용하여 역산출이 가능하게 된다.

즉, 보수보강하려는 구조물의 열화정도를 알 수 없으나 파쇄에너지에 대한 검증이 수행한 Hydro-demolition을 활용하여 파쇄한 후, 그 깊이를 측정하게 되면 구조물의 열화정도를 평가할 수 있게 되는 것이다.

그림은 본 연구에서 수행한 연구결과인 워터제트에 의한 파쇄깊이와 콘크리트 강도를 정리하여 회귀분석한 결과이다. 강도추정식을 활용할 경우, 현재 국내 워터제트 관련 장비에 대한 제원확보 및 파쇄능력을 평가할 수 있으며 건전한 콘크리트 즉, 설계기준강도 21MPa를 만족하는 콘크리트에 대하여 2구의 워터제트를 사용하여 파쇄할 경우 그 깊이는 지속시간 0.1m/sec, 0.2m/sec 및 0.5m/sec에 대하여 각각 30mm, 17mm, 10mm를 나타나게 된다.



<파쇄깊이에 따른 콘크리트 강도추정(2구)>



<파쇄깊이에 따른 콘크리트 강도추정(4구)>

따라서, 부착력 강화를 위한 워터제트 적용 파쇄깊이를 국외규정을 적용하여 10mm로 하고자 할 경우, 국내 워터제트 파쇄지속시간은 0.5m/sec으로 하여야 한다. 또한, 기존콘크리트강도가 30MPa 이상으로 고강도일 경우는 부착력 확보를 위한 지속시간을 0.2m/sec으로 할 경우 10mm 내외의 파쇄깊이를 확보할 수 있게 된다.

마. 시험시공 결과분석

본 연구에서는 콘크리트 구조물 보수보강 시 적용되고 있는 워터제트의

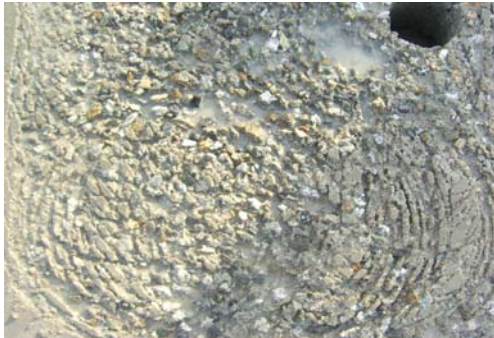
Hydrodemolition 장비에 대한 파쇄특성을 실험적으로 평가하고 파쇄깊이별 콘크리트 강도추정식을 제시하였다. 국내에는 워터제트 관련 규정이 없는 관계로 현장에서 적용되고 있는 장비제원을 활용하여 파쇄특성을 분석하였으며 이를 토대로 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

① 국내에서 적용되고 있는 콘크리트 파쇄용 워터제트는 노즐수에 따라 2구 및 4구 장비로 구분되며 각각 펌프압 110MPa, 유량 195ℓ/min에 장비출력 474hp, 펌프압 250MPa, 유량 85ℓ/min에 장비출력 453hp를 갖는 것으로 조사되었다.

② 국외에서는 교면 재포장 시 철근콘크리트 표면 상부를 높은 거칠기와 부착력을 확보하기 위하여 워터제트(Hydrodemolition)를 적용하는데 그때의 제거깊이는 건전한 콘크리트가 1/4~1/2in.(0.64~1.3cm) 추가적으로 제거되도록 규정하고 있다. 본 연구를 기초로 설계강도 21~30MPa를 만족하는 건전한 콘크리트에 펌프압과 유량에 의한 장비출력이 450hp 이상인 워터제트(Hydrodemolition) 장비를 적용할 경우 파쇄깊이는 약 1.0cm 정도이며 이는 현재의 설계기준 1.0cm를 만족하는 것으로 평가되었다.

③ 워터제트에 의한 콘크리트 파쇄 시 콘크리트 설계강도를 기준으로 장비의 펌프압, 유량 및 이동속도로 결정된 파쇄기준치보다 깊게 파쇄되는 것은 콘크리트 설계강도를 만족하지 못하는 강도 상태임을 나타내는 것이며 이는 공용기간 중 환경 및 하중조건 등에 의해 강도가 저하된 것으로 신규 콘크리트 부착력 확보 및 보수효과를 높이기 위해서는 반드시 제거되어야 한다. 즉, 워터제트 장비출력 450~480hp, 이동속도 0.5m/sec, 설계강도 21~28MPa 조건에서 콘크리트 파쇄깊이는 약 1.0cm 정도이나 이보다 더 깊게 제거되는 부위는 콘크리트 설계강도를 만족하지 못하는 열화된 영역으로 판단할 수 있으며 워터제트에 의해 노출된 부위는 설계강도를 만족하는 건전한 부위로 평가할 수 있다.

□ 시험시공 사진대지

	
1 1.2× 2.4× 0.18 슬래브 거푸집	2 콘크리트 타설
	
3 슬래브에서 채취된 코어	4 2구 노즐크기
	
5 워터제트 장비	6 워터제트 파쇄능력 평가
	
7 파쇄면 특성	8 파쇄깊이 측정

5. 건식샷크리트 전용 프리믹스를 이용한 콘크리트 경사구조물 적용성 평가

가. 시험시공의 목적

- 건교부 과제 수행의 일환으로 현재 협동기관인 강원대학교에서 개발 중인 건식 샷크리트 재료(샷트믹스-D)와 공법에 대한 현장 적용 평가를 시행하였음.
- 사용재료는 협동기관에서 개발한 건식 샷크리트 전용 프리믹스 콘크리트를 사용하며, 적용대상 구조물은 경사도 90°에 해당하는 콘크리트 L형 측구 및 바닥면을 선정·시행함.
- 개발된 건식 샷크리트 전용 프리믹스 콘크리트의 강도발현 특성 및 내구성 등을 평가하며, 장비조합에 따른 시공능률, 작업성 등을 종합평가함.

나. 시공 일자 및 장소

(1) 시공 일자 및 주요내용

- 시험시공 대상 : 열화된 옹벽 벽면 및 바닥면
- 시공일자 : 2008. 7. 14(월)

(2) 장소

- 영동고속도로 대관령 지사관내 강릉방향 192.6K 지점



다. 시험시공구간 현황

	길이	폭	절삭두께	시공물량
대상구조물	측면 10m 바닥면 10m	측면 1m 바닥면 1m	측면 0.1m 바닥면 0.05m	1.5m ³



라. 시험시공 작업일지

(1) 투입인원 및 사용장비

바브켓	워터 제트	카고 크레인	진공흡입 트럭	배합	덤프 트럭	숫크리팅	미장	교통 통제원	계
1	4	2	2	5	1	4	3	4	26 인

* 참관인원 : 케미콘 3인, 쌍용 3인, 대상 및 삼우 7인, 도로공사 3인

(2) 시공절차



(1) 스프인젯 공정



(2) 절삭면 청소



(3) 진공흡입 청소



(4) 숫크리팅



(5) 표면마무리



(6) 표면마무리

마. 시험시공 결과

건식 슛크리트 전용 프리믹스 콘크리트 및 HS 공법 적용 시 소규모로 개량된 스프링클러 및 공정별 장비의 적합성, 효율성 및 경제성을 조사·분석함.

(1) 투입장비 효율성 평가

시 험 결 과		
■ 개량형 Hydro-demolition · 장비구성 : 로봇 1대 + 물차 1대 + 파워팩 1대 · 투입인원 : 운전원 4명 · 시공능력 : 20~60 m²/hr(수직면 20~30, 수평면 30~60) · 사용 최대수압 : 1400 bar · 시공결과 - 1회 파쇄반경은 30cm로 수직 및 수평면 제거작업 가능. - 기존 워터제트에 비하여 사용 수량이 적고 작업속도 보통. - 수직면 파쇄 시 노즐 위치 및 압착력 미흡으로 소정의 파쇄효과를 얻기 위해서는 추가 개량 요구.		
	개량형 H/D	워터제트 로봇
구동방식	자체구동	자체구동
최대수압	2구 1400bar	2구 1100bar 4구 2500bar
사용수량	75리터/분	82~195리터/분
작업면	수평 및 수직면	360°
시공면	고정식 30cm	좌우이동폭 2m
절삭효과	·수평면 완전절삭 가능 ·수직면 클리닝	·수직수평면 완전절삭 가능
비고	·수직면 절삭을 위한 추가 개량 필요 ·1회 작업가능 면적 증대 필요	·대형장비로 소규모 작업 시 비경제적

	개량형 H/D	워터제트 로봇
작업방식	 -수직면 파쇄-	 -수직면 파쇄-
	 -수평면 파쇄-	 -수평면 파쇄-
파쇄면	 -수직 파쇄면-	 -수직 파쇄면-
	 -수평 파쇄면-	 -수평 파쇄면-

시 험 결 과	비 고
■ Piccola Mixer (7m³) · 장비구성 : 건식배합기, 발전기, 콤프레셔, 물차 · 투입인원 : 운전원 1명, 투입원 3명 · 시공능력 : m³/hr ■ 건식 숏크리팅 · 투입인원 : 노즐맨 1명, 보조원 1명 · 시공능력 : 0.7~3.1m³/hr(현재 토출구 0.7m³) · 시공결과 - 공장생산 프리믹스 모르타르+굵은골재 현장 배합으로 작업시간 증대 및 효율 저하 - 현장 투입 시 모빌믹서 또는 현장 자동화 배합기 등을 통한 생산설비 구축 필요 - 시험시공에 사용된 토출사이즈는 최소량이며 현장 사용 시 약 2~3배(32mm×120mm→50mm×210mm) 증가시킬 수 있는 부속품 사용예정. - 경사면 타설 시 리바운드 발생으로 인한 안전사고 발생 우려, 이에 대한 대책마련 필요. - 경사면에 대한 인력마무리 시 급결성 및 높은 점성으로 인하여 작업 지연. - 숏크리트 수직타설면에 대한 마무리 장비 도입 또는 마감방식 개발 필요. - 긴급 보수를 요하지 않는 경우, 경제성 및 작업성을 고려하여 1종 시멘트 또는 조강시멘트를 이용한 숏크리트 적용 고려	Piccola 장비추가 또는 기계화개량 현장배합방식 변경 소형배합기 →모빌믹서



실험용 토출사이즈(32mm×120mm, 0.7m³/hr)



현장용 토출사이즈(50mm×210mm, 3.1m³/hr)

(2) 숏트믹스-D 성능평가

	압축강도		휨강도	
	강도 (MPa)	평균 (MPa)	강도 (MPa)	평균 (MPa)
4hr	27.3	26.6	5.5	5.6
	28.7		5.4	
	24.0		5.9	
28day	42.7	42.7	9.4	9.4
	41.4		9.3	
	44.0		9.5	

	염소이온투과시험	
	S2-쿨롱	투수등급
재령 7일	365	매우낮음
재령 28일	93	불투수성

건식HS 역학적 특성	■ 4hr 압축강도 : 21MPa 이상 ■ 4hr 휨강도 : 5.0MPa 이상 ■ 28일 투수성 : 불투수성	초기강도 및 투수특성 우수
----------------	---	-------------------

바. 시험시공 평가

○ 프리믹스 콘크리트와 건식샷크리트를 이용하여 소형 콘크리트 구조물 파손 부위의 보수공법으로 활용할 경우 아래와 같은 장점이 있음.

- 공장제품 사용으로 콘크리트 제품의 품질 균질성 유지.
- 초속경성 시멘트, fiber, polymer, SP 등의 최적배합으로 재료성능이 우수하고 구조물의 시급성에 따라 시멘트 종류를 변화함으로써 강도발현 시기를 조절할 수 있음.
- 기존 공법에 비하여 투입장비 간소화, 작업인력 감소로 공사비 절감 가능.
- 건식 샷크리트 특성 상 작업 일시 중지 시 시공이음 또는 장비 청소 등의 번거로움이 없음.
- 고압의 뿔어붙이기 방식으로 신규 접착력이 우수함.
- 일일작업가능량을 비교할 경우 기존공사에 비해 2~3배 효율적임.
- 단위면적당 공사비는 유사하나 전체적 공사비 비교에서는 HS공법이 더 경제적임.

○ 현 시스템에 대한 문제점은 다음과 같음.

- 프리믹스 모르타르제품만을 공장에서 생산함으로써 굵은골재에 대한 현장 추가 배합이 요구(공장설비를 통한 배합 개선보다는 모벌믹서 등을 이용한 현장배합 방식이 경제적으로 판단됨).
- 일일 작업량 증대 필요(현재 약 1m³/hr).
- 리바운드 발생 시 현장 안전문제 발생 가능성이 있으므로 이에 대한 방지책 마련.
- 개량형 스펀젯은 수직면에 대한 절삭효율이 낮으므로 이에 대한 추가 개량이 시급

○ 향후 HS 적용 방안

- 08년 7월 현재 협동기관에서 재료개발 후 시험시공 적용과정에서 장비 및 현장 운영 개선점 도출.
- 이러한 개선점은 협동기관에서 해결하기에는 한계점이 있으므로 소규모라도 공사비 수주 후 현장적용을 통한 실질적 해결방안 모색 필요.

- 이를 통해 HS공법 안정화 및 신기술 신청 요건 수립 가능.
- 시험시공 과정에서 스펀젯에 의한 기존 구조물 파쇄방식에 대하여 발주처 관심 표명.

(현재 인력브레이커 방식을 대체할 수 있도록 스펀젯 장비개량 가능여부 질문)

- 영동고속도로 및 중부고속도로 등지에서 중분대기초 및 L형 측구에 대하여 기존 방식을 활용한 소규모 보수공사가 지속적으로 시행 중이므로 이들 시장 진입을 조속히 시행.



6. 습식췁크리트 전용 재료를 이용한 대형 경사구조물 적용성 평가

가. 시공목적

(1) 개요

- 건설교통부 산하 한국건설교통기술평가원의 건설교통기술연구개발사업 인 “고압살수 표면처리(Hydro-demolition) 및 췁크리트 자동화 장비를 이용한 경사구조물-관로 시스템 보수·보강 공법 개발(06건설핵심C14)”과 관련하여 현장적용성 확인을 위한 시험시공 시행하여 다음과 같은 내용을 평가하였음.

(2) 시험시공 평가내용

- 췁크리트를 이용한 경사구조물 보수보강 시장진입을 위한 기초물성 평가
- 경사 구조물 보수를 위한 습식 췁크리트 적용성 평가.
- 췁크리트 및 롤러튜브에 의한 경사면 적용성 평가.
- 기존 공사공법과의 비교분석을 통한 경쟁력 평가

(3) 시험시공 대상

- 시험시공 장소 : 강원도 춘천시 소재 원창저수지
- 시험시공 대상 : 열화된 저수지 바닥면 및 방수로 경사면
- 시공일자 : 1차 파쇄 2008년 10월 25~26일, 타설 11월 1일



<시험시공 대상 구조물 전경>

나. 시험시공 계획

(1) 시험시공 물량

	길이	폭	절삭두께	시공물량
대상구조물	바닥면 10m 경사면 2m	바닥면 10m 경사면 3m	바닥면 0.09m 경사면 0.2m	11m³



(2) 시험시공 공정계획도

<주요공정>	<주요 장비>	<장비 특성>
워터제트에 의한 열화부 제거 ↓ 파쇄물 집진 및 파쇄면 청소 ↓ 샷크리트에 의한 단면회복 ↓ 롤러튜브에 의한 타설면 평탄화 작업 ↓ 양생 및 시공완료	  	- 일정한 파쇄에너지를 통해 열화부 제거 - 기존 구조물에 충격에 의한 2차 파손 우려 없음 - 자동화 공정에 의한 시공성 우수 - 거푸집 설치 필요없음 - 뿜어붙이기에 의한 부착력 강화 - 작업접근성이 곤란한 지역 적용성 우수 - 경사면 정지작업 우수 - 린치를 이용한 급경사 평탄화작업 가능 - 장비에 의한 인력감소 및 안전성 확보

다. 시험시공 투입현황

(1) 공정별 인원 및 장비 투입 현황

공정	작업일	장 비 명	규 격	투입 대수	투입 인원	용 도
열화부 파쇄공정	10월 25~26일	Water Jet Set	1,400 bar	1	5	절 삭
		Car go Truck	11.5 ton	1	1	자재 및 장비운반
		오펜수 처리기		1	2	정수처리
		Air Compressor	390cfm	1	1	파쇄 및 청소
		물 차	16,000L	1	1	W/J 급수 및 청소
포설공정	11월 1일	습식숫크리트		1	5	숫크리트 작업
		Crane Truck	5 ton	1	1	장비 및 원자재 공급
		발전기	100 Hp	1	-	동력장치
		커팅기		1	2	시편절삭
		덤프	5 ton	1	1	폐기물처리
		포설	인력		6	마무리

(2) 자재 투입 계획

Cement	잔골재	굵은골재	기타	비 고
5Ton	12Ton	6Ton	0.6Ton	- 레미콘으로 운송 - 현장 숫크리트 타설

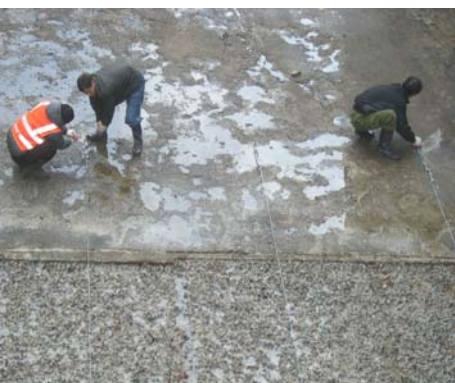
라. 시험시공 공정별 진행사항

(1) 1차 파쇄

	
시공면 선정	워터제트 파쇄 작업

	
워터제트 건	경사면 열화부 제거

(2) 숏크리트 타설 준비

	
롤러튜브 설치를 위한 와이어설치	와이어설치 완료

(3) 고성능 습식 숯크리트(숯트믹스-W) 배합

	
고성능 프리믹스 혼화제	고성능 혼화제 투입

	
배치플랜트 생산	레미콘 운송

(3) 숯크리트 타설

	
숯크리트 압송	슬럼프 실험



슛크리팅



슛크리팅 및 롤러튜브 마무리

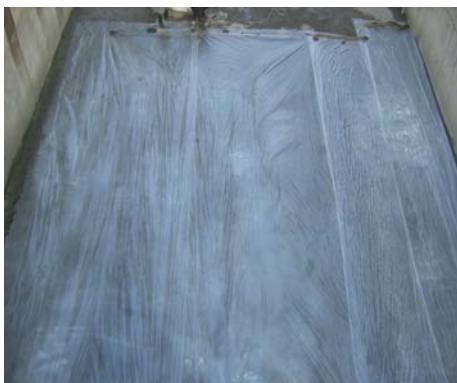


경사면 슛크리트



경사면 슛크리트

(4) 마무리



양생



양생

마. 시험시공 결과

고성능 습식 슛크리트를 이용한 HS 공법 적용 시 공정별 장비의 적합성, 효율성 및 경제성을 조사·분석함.

(1) 투입장비 효율성 평가

시 험 결 과
■ Hydro-demolition 장비 (H/D) · 장비구성 : 로봇 1대 + 물차 1대 + 파워팩 1대(1,400bar, 150LPM) · 투입인원 : 운전원 5명 · 시공능력 : 80 m³/hr이상(수직면 40~50, 수평면 80) · 사용 최대수압 : 1,400 bar · 시공결과 - 1회 파쇄반경은 30cm로 수직 및 수평면 제거작업 가능. - 기존 인력파쇄보다 작업속도가 빠르며 열화부 선택제거 가능. - 급경사면 파쇄 시 와이어에 의한 지지필요.

경사면 W/J 적용방법	수직면 W/J 적용방법
	
	

시 험 결 과

■ 습식췁크리트

- 장비구성 : 발전기, 콤프레셔, 물차
- 투입인원 : 투입원 5명
- 시공능력 : 4~5m³/hr

■ 시공성

- 투입인원 : 노즐맨 1명, 보조원 2명, 장비운영 2명
- 시공능력 : 4~5m³/hr(분사압력 조절에 따라 다소 차이)
- 시공결과
 - 레미콘+프리믹스 혼화제의 배쳐플랜트 생산으로 효율 증대
 - 생산 후 현장 도착 시(약 40분소요) 슬럼프 로스 1cm
 - 시험시공에 사용된 토출사이즈는 2.5inch이며 일반적인 경우 60m까지 압송가능, 이중공기압 연결장치 시 60m 추가압송가능.
 - 공기압의 크기에 따라 췁팅 또는 펌핑 개념으로 접목되므로 분사압에 대한 규제가 필요.
 - 슬럼프 12cm의 경우 마무리성, 작업시간 유지 등에 어려움 없으나 분사압이 낮은 상태에서 재료분리 현상이 발생할 수 있으며 된반죽 슬럼프 8cm의 경우 막힘현상이 발생할 수 있음.

습식 췁크리트	
동원 장비	 -Air Compressor-  -압송기-

	슬럼프 12cm	슬럼프 8cm
타설 조건	 -리바운드 방지막 필요-	 -분진발생-
장비 상태	 -ø6.5cm 노즐-	 -막힘현상-
분사 상태	 -낮은 분사압으로 토출식 재료분리-	 -고압분사로 작업효율 저하-
작업 조건	 -하향타설 시 80m 연결가능-	 -이중 공기압 연결장치-

시 험 결 과

■ 롤러튜브 마무리

- 장비구성 : 롤러튜브(2m)
- 투입인원 : 투입원 5명
- 시공능력 :

■ 시공성

- 투입인원 : 운전원 2명, 미장원 3명
- 시공능력 :
- 시공결과
 - 와이어 설치 시 마무리 효율 증대
 - 슛크리트와 동시에 작업가능
 - 슬럼프 8cm의 경우 뭉침 및 몰림현상 발생.
 - 지속적인 사용 및 연습으로 숙련이 필요.
 - 국외에서는 무슬럼프에 대한 시공사례도 있으므로 본 장비를 적극적으로 활용할 경우 경사면에 대한 슛크리트 후 마무리가 탁월할 것으로 판단..

롤러튜브	
동원 장비	 -마무리공정-  -스�크리트 및 마무리-
마무리 상태	 -마무리 용이-  -몰림현상 발생-



(2) 숏트믹스-W 성능평가

	압축강도		휨강도	
	강도 (MPa)	평균 (MPa)	강도 (MPa)	평균 (MPa)
7일	21.78	20.27	10.71	10.20
	16.32		9.89	
	22.72		10.01	
28일	35.33	34.35	10.82	10.29
	37.79		10.06	
	29.92		10.00	

	염소이온투과시험	
	쿨롱	투수등급
재령 28일	24	불투수성

바. 시험시공 평가

- 배척플랜트 생산 습식 숏크리트를 이용하여 대형 콘크리트 구조물 파손 부위의 보수공법으로 활용할 경우 아래와 같은 장점이 있음.
 - 배척플랜트와 혼화재의 공장제품 사용으로 콘크리트 제품의 품질 균질성 유지.
 - 증점제, fiber, polymer, SP, AE 등의 최적배합으로 재료성능이 우수하고 불투수성을 나타내어 구조물의 공용성을 증진시킬 수 있음.
 - 기존 공법에 비하여 투입장비 간소화, 작업인력 감소로 공사비 절감 가능.
 - 고압의 뿔어붙이기 방식으로 신규 접착력이 우수함.
 - 급결제 미사용으로 급결성은 떨어지나 수직면 또는 직각면이 아닌 경우에는 본 재료배합만으로 충분한 부착성 유지가 가능함.

구분	습식 HS 공법 (특허등록 2008-0017458)	기존 공법
공법 개요	손상된 여수로 및 방수로 등의 대형경사 구조물을 보수전용 습식 슛크리트와 Hydro-demolition 장비를 이용하여 손상 부위를 일정 깊이까지 기계화 장비를 활용하여 절삭, 청소 후 치핑 및 와이어매쉬 설치 없이 고압으로 슛크리트를 뿔어붙이므로 기존방식에 비해 작업성이 2~3배 향상되고 기존 구조물과 일체화 거동과 고내구성을 유지할 수 있는 보수공법..	손상된 측구 및 중분대기초를 소형브레이커로 파쇄한 후 부착력 확보를 위한 추가 치핑, 앵커설치, 와이어매쉬 설치, 수직거푸집 설치 후 레미콘 타설을 실시한 후 약 14일 이상 양생 후 거푸집을 해체하는 공법으로 인력에 의한 공정 및 설치물 과다로 일일작업량이 현저히 감소하며, 기존 콘크리트 물성의 반복사용으로 보수 효과 미미.
재료 구성	습식 슛크리트 전용 HS 혼화제	일반시멘트, 골재, 물
압축 강도	• 7일 : 20 MPa • 28일 : 34 MPa	• 7일 : 10 MPa • 28일 : 25~30 MPa
휨강도	• 7일 : 10 MPa 이상	• 7일 : 2.0~2.5 MPa • 28일 : 4.0~5.0 MPa
부착성	• 부착강도 2.0 MPa이상으로 기존 콘크리트와의 부착성이 높음.	• 재료의 낮은 부착강도를 치핑, 앵커 및 와이어매쉬 등으로 유지.
균열 저항	• 우수	• 양호
방수성	• 28일 : 24 쿨롱-불투수성	• 7일 : 4,000이상 쿨롱-투수성 • 28일 : 2,000~4,000 쿨롱-보통
시공성	• 일정 보수면적에 대하여는 1일 이내 시공가능. • 일일작업가능량 200m²/일 이상	• 양생기간이 최소 14일이상 소요. • 일일작업가능량 20~30m²/일
경제성	• 일반 : 124,000원/m²	• 일반 : 140,000원/m²
장점	• 불투수성, 고내구성으로 보수효과 우수 • 거푸집 미설치로 경제적.	• 거푸집 사용으로 마감면 상태 양호.
단점	• 양생기간 필요.	• 최소 14일이상의 양생소요기간이 필요. • 브레이커 파쇄로 추가 손상가능 • 앵커, 와이어매쉬, 거푸집설치로 시간 소요과다 • 일반레미콘 사용으로 재료향상

제5절 연구개발수행 결과에 따른 지적재산권

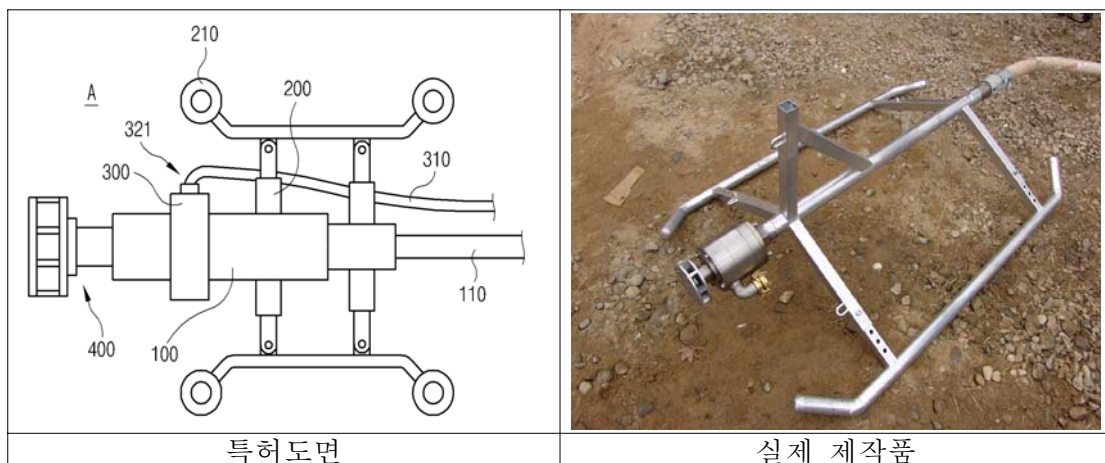
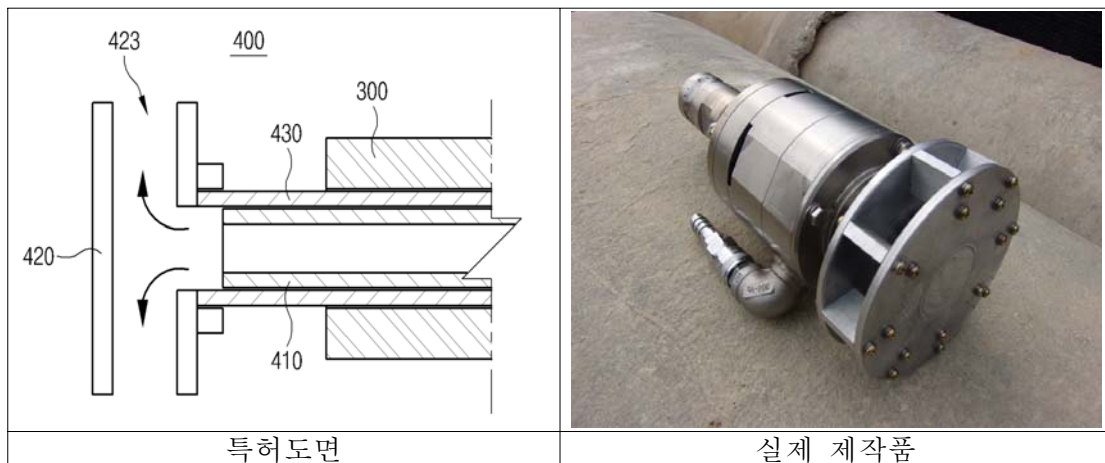
○ 지적재산권 등록

- 본 과업을 수행하면서 획득한 지적재산권은 특허등록완료 8건, 특허출원 1건 및 상표출원 1건 등 총 10건에 이르고 있어(공법관련 5건, 장비관련 3건, 재료관련 2건) 지적재산권 획득을 통한 사업화 기반을 구축하였다.

발명의 명칭	출원인	출원번호	등록일	등록번호
관로 내부의 보수공법	삼우, 강대, 대상	2006-0014302	07.07.09	0739858
모르타르 타설장치	삼우, 강대 대상, 대상Eng	2006-0023617	07.04.05	0706581
워터젯 시스템의 칩핑장치	삼우, 건우기술	2006-0128125	07 04.03	0705356
워터젯 시스템의 분사노즐장치	삼우, 건우기술	2006-0128119	07.04.03	0705355
마무리 작업모듈을 이용한 콘크리트 경사면의 보수공법	삼우, 강대, 대상	2008-0017458	08.06.03	0836856
건식 슛크리트를 이용한 도 로시설물의 보수공법	삼우, 강대, 대상	2007-0075331	08.12.15	0875211
보수공사를 위한 건식 슛크 리트용 프리믹스 조성물	삼우, 강대, 대상	2007-0076544	08.12.15	0875210
콘크리트 경사면의 보수공법	삼우, 강대, 대상	2008-0010789	08.11.24	0871146
고성능 습식 슛크리트 프리 믹스 조성물 및 이를 이용한 습식 슛크리트 보수및 보강 공법	삼우, 강대, 대상	2008-0127069	08.12.15	심사 중
스프트믹스	삼우, 강대, 대상	2008-50385	08.10.23 상표출원	심사중

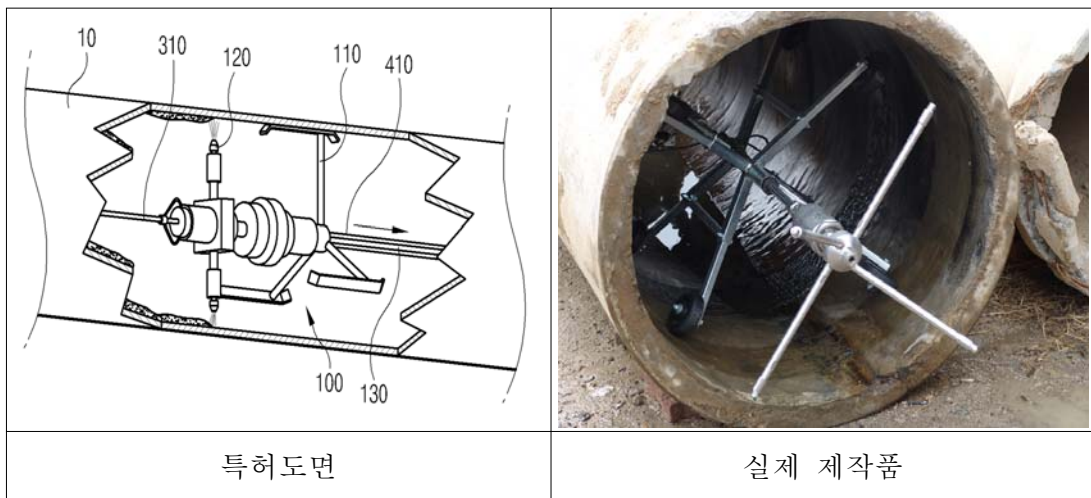
1. 모르타르 타설장치(특허등록 제 10-0706581호, 2007. 4.5)

내용 : 본 발명은 관로의 내부를 이동하면서, 관로의 내부에 뿜어 붙이기 방식에 의해 모르타르를 타설하는 모르타르 타설장치에 관한 것으로서, 본체부를 관로의 중앙부에 위치하도록, 본체부로부터 내벽을 향하여 연장형성된 스페이서와; 본체부의 전방에 연결되어 모르타르를 공급하는 모르타르 유입호스와; 모르타르 유입호스를 통해 모르타르를 공급받아, 모터에 의한 회전력에 의해, 관로의 내벽을 향하여 방사상으로 모르타르를 분사하여 타설하도록, 본체부의 후방에 설치된 모르타르 분사부를; 포함하는 구조를 제시함으로써, 각종 관로의 보수공법에 폭넓게 사용될 수 있고, 불량 관로의 내구연한을 증진시킬 수 있으며, 친환경적이고, 시공성, 안정성, 경제성을 높일 수 있도록 한다.



2. 관로 내부의 보수공법(특허등록 제 10-0739858호, 2007. 7.9)

내용 : 본 발명은 가압수 분사장치에 의해 높은 수압에 의한 가압수를 분사함으로써, 관로의 내부의 이물질을 제거하는 이물질 제거단계와; 이물질이 제거된 관로의 내부에 뿜어 붙이기 방식에 의해 콘크리트를 타설하는 콘크리트 타설단계를; 포함하는 관로 내부의 보수공법을 제시함으로써, 각종 관로에 폭넓게 사용될 수 있고, 불량 관로의 내구연한을 증진시킬 수 있으며, 친환경적이고, 시공성, 안정성, 경제성을 높일 수 있도록 한다.





(3) 실 시공장면-가압수에 의한 관로 이물질 제거 완료



(4) 실 시공장면-뽑어붙이기 모르타르타설장치 설치



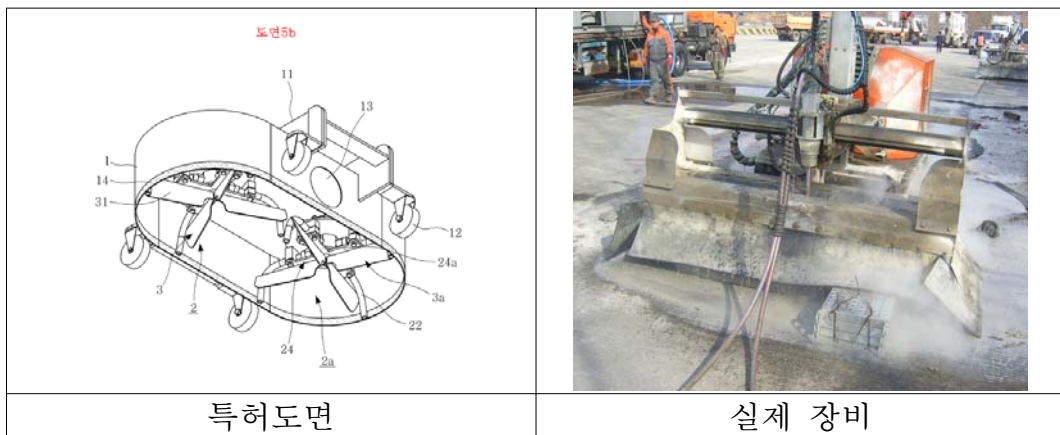
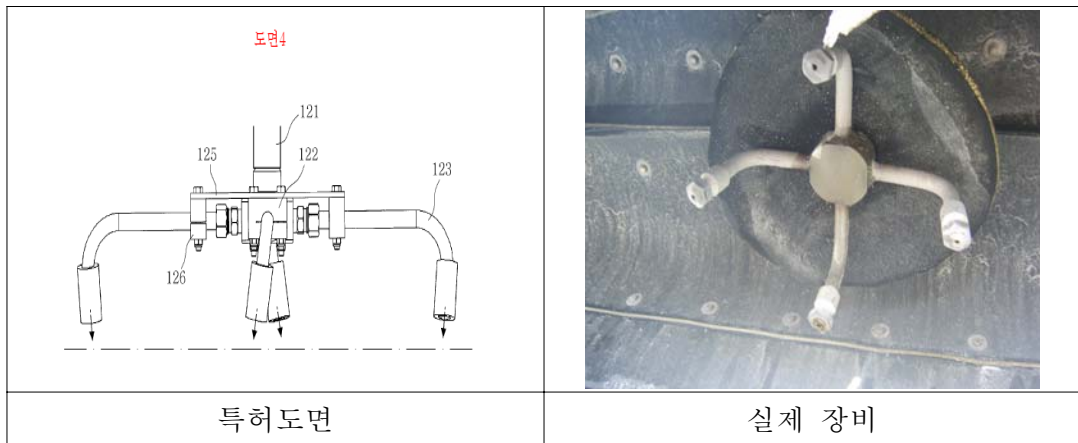
(5) 실 시공장면-뽑어붙이기 시행



(6) 실 시공장면-시공 후 전경

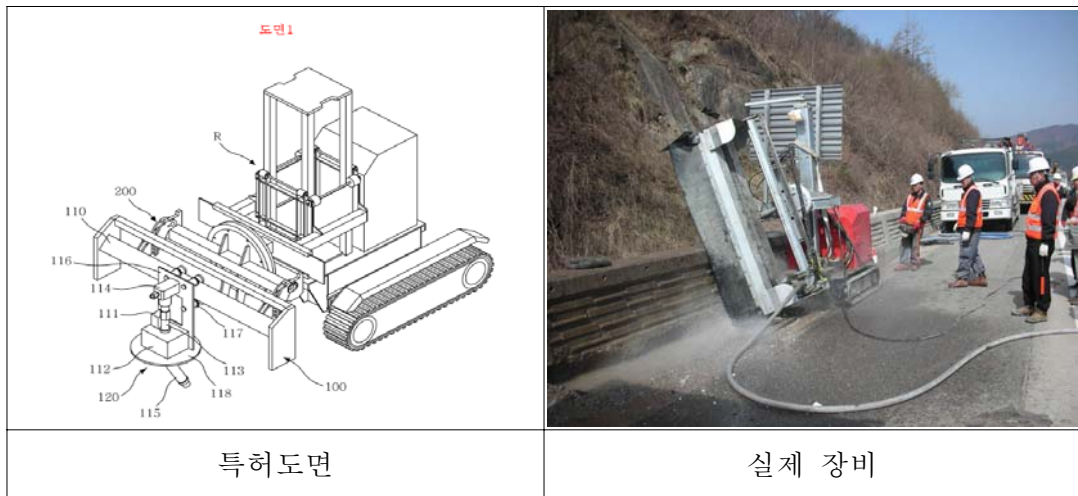
3. 워터젯 시스템의 칩핑장치(특허등록 제 10-0705356호, 2007. 4.3)

내용 : 본 발명은 워터젯 시스템의 칩핑장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 초고압수를 이용한 보수면의 칩핑 작업시 칩핑 작업과 파쇄 잔재물의 회수 및 수거가 동시에 이루어질 수 있도록 한 워터젯 시스템의 칩핑장치에 관한 것으로서, 상부측에 연결부가 형성되고 하부에 바퀴가 달린 커버의 내부에 분사방향을 달리하는 한 쌍의 분사장치가 구비되고, 상기 분사장치 사이의 커버에 배출구가 형성되며, 각 분사장치는 분사되는 초고압수에 의해 회전하는 수거용 회전날개를 포함하고, 상기 수거용 회전날개는 회전에 의해서 커버 내부의 잔재물을 배출구측으로 유도할 수 있도록 구성함으로써 기존에 파쇄된 잔재물을 별도로 회수 및 수거하기 위한 작업이 불필요할 뿐만 아니라 이로 인하여 잔재물 회수 및 수거에 따른 인력 투입 및 시간 소비에 따른 경제성 저하 및 보수작업의 지연을 해소할 수있는 효과를 갖게 된다.



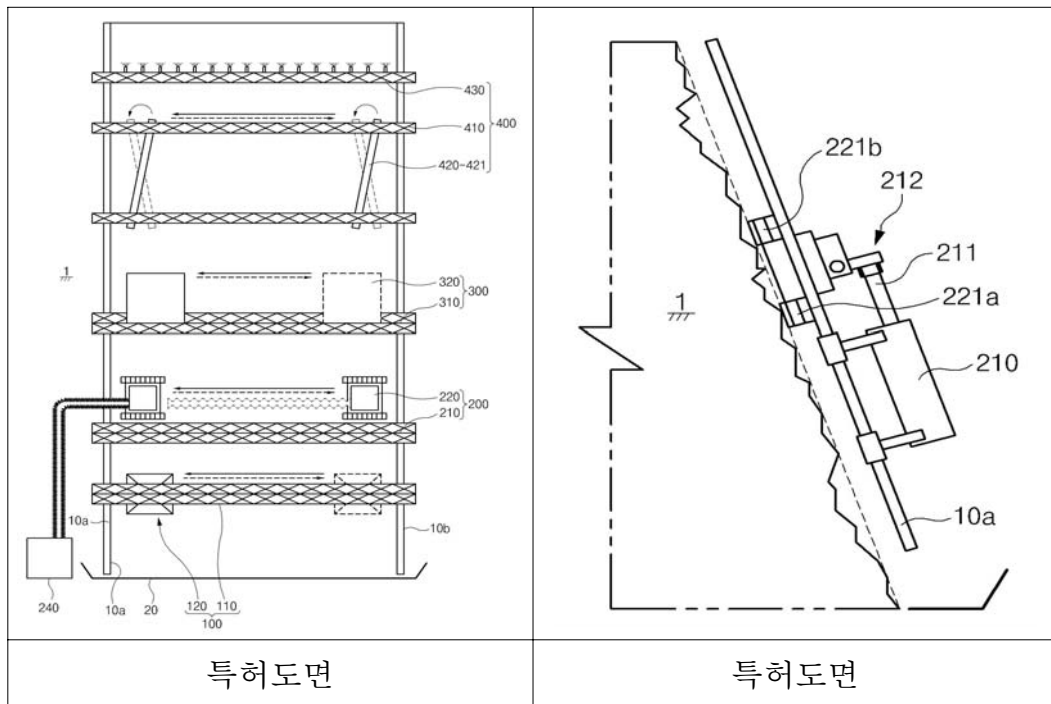
4. 워터젯 시스템의 분사노즐장치(특허등록 제 10-0705355호, 2007. 4.3)

내용 : 본 발명은 초고압수를 이용하여 보수면을 파쇄하는 워터젯 시스템의 분사 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 파쇄 작업시 그 표면이 높낮이가 불규칙적으로 형성됨에 따라 그 파쇄 표면을 다듬기 위한 별도의 작업없이 보수면의 파쇄작업과 다듬기 작업이 동시에 이루어질 수 있도록 한 워터젯 시스템의 분사장치에 관한 것으로서, 모터의 동력에 의해 저속으로 회전하고 중앙부에 수직의 제1 급수 로가 형성된 샤프트와; 상기 샤프트와 함께 회전하면서 샤프트를 통해 전달된 초고압수를 보수면에 분사하는 아우터 분사부와; 상기 아우터 분사부의 안쪽에 회전이 가능하게 구비되고, 보수면에 대한 초고압수의 반력에 의해 고속으로 회전하는 인너 분사부;로 구성됨으로써 보수작업의 신속성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 작업의 간편성 및 효율성은 물론 경제성을 기할 수 있는 효과가 있다.

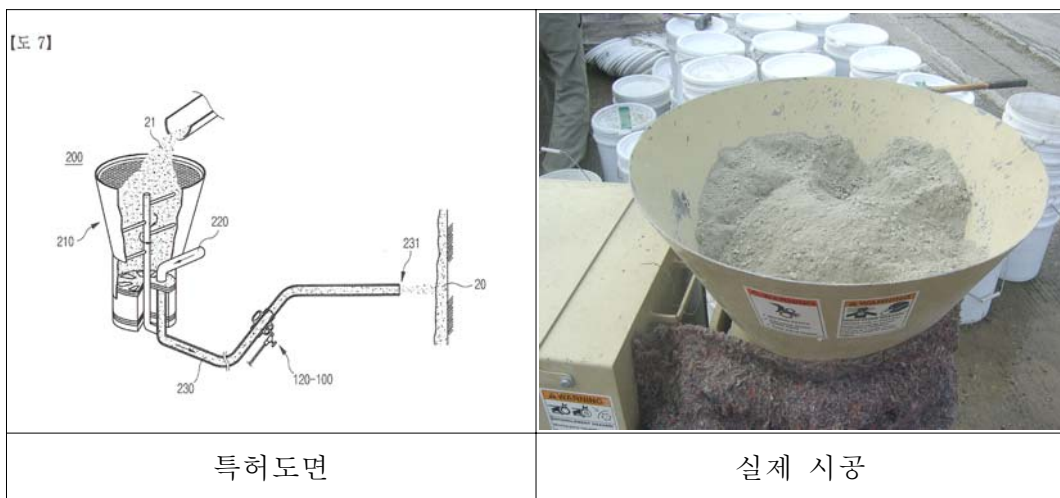


5. 마무리 작업모듈을 이용한 콘크리트 경사면의 보수공법(특허등록 제 10-0836856호, 2008. 6. 3)

내용 : 본 발명은 콘크리트 경사면에 상하방향으로 한 쌍의 레일에 의해 지지됨과 아울러 한 쌍의 레일을 따라 구동하도록 좌우방향으로 설치된 파쇄 모듈 지지대와, 파쇄모듈 지지대에 가이드되어 좌우방향으로 구동하는 가압수 분사장치를 구비한 파쇄모듈을 상하방향으로 구동하면서, 가압수 분사장치에 의해 콘크리트 경사면의 열화부에 높은 수압에 의한 가압수를 분사하여 상기 열화부를 제거하는 열화부 제거와 슛크리트 작업모듈을 상하방향으로 구동하면서, 작업자가 작업대에서 청소된 콘크리트 경사면에 대하여 슛크리트를 타설하는 슛크리트 타설단계 양단이 한 쌍의 레일에 의해 지지됨과 아울러 한 쌍의 레일을 따라 구동하도록 좌우방향으로 설치된 마무리 장치 지지대와, 마무리 장치 지지대에 가이드되어 좌우방향으로 구동하는 마무리 장치를 구비한 마무리 작업모듈을 설치하는 마무리 작업모듈 설치단계; 마무리 작업모듈을 상하방향으로 구동하면서, 마무리 장치에 의해 슛크리트가 타설된 면을 마무리하는 마무리단계를 포함하는 마무리 작업모듈을 이용한 콘크리트 경사면의 보수공법을 제시함으로써, 대규모 콘크리트 구조물의 경우에도 효율적이고 안정적으로 콘크리트 경사면을 보수할 수 있도록 한다.



내용 : 본 발명은 도로시설물의 손상된 부분을 절삭하는 절삭단계; 절삭단계에 의해 발생한 이물질을 제거하는 청소단계; 도로시설물의 절삭된 부분에 건식에 의해 슷크리트를 타설하는 슷크리트 타설단계; 타설된 슷크리트의 상면을 마무리하는 마무리단계;를 포함하는 건식 슷크리트를 이용한 도로시설물의 보수공법을 제시함으로써 콘크리트의 배합과 타설이 도위에 이루어짐으로 인해 장비를 소형화, 간편화 할 수 있고, 작업공정을 간단히 하며, 소요인력을 대폭 감소할 수 있으며, 특히 콘크리트포장의 횡방향 줄눈보수와 표면소산 보수의 경우 간편하고 신속하게 시공할 수 있도록 한다.



7. 보수공사를 위한 건식샷크리트용 프리믹스 조성물
(특허등록 제 10-0875210호, 2008. 12.15)

내용 : 본 발명은 초속경시멘트; 골재; 초소경 시멘트 중량 대비 실리카흙3~13중량%;를 포함하는 보수공사를 위한 건식 샷크리트용 프리믹스 조성물을 제시함으로써, 초속경 및 고내구성의 품질을 얻을 수 있으면서도 분진발생률과 리바운드 발생을 최소화하며, 특히 콘크리트포장의 줄눈 및 표면 손상부 보수의 경우 간편하고 신속하게 보수작업을 수행할 수 있도록 한다.



프리믹스 시제품



시제품 현장적용



프리믹스 시제품



시제품 현장적용

8. 콘크리트 경사면의 보수공법

(특허등록 제 10-0871146호, 2008. 11.24)

내용 : 본 발명에 의한 보수 공법은 기본적으로, 콘크리트 경사면에 상하방향으로 한 쌍의 레일을 설치하는 레일 설치단계; 양단이 한 쌍의 레일에 의해 지지됨과 아울러 한쌍의 레일을 따라 구동하도록 좌우방향으로 설치된 파쇄모듈 지지대와, 파쇄모듈 지지대에 가이드되어 좌우방향으로 구동하는 가압수 분사장치를 구비한 파쇄모듈을 설치하는 파쇄모듈 설치단계; 파쇄모듈을 상하방향으로 구동하면서, 가압수 분사장치에 의해 콘크리트 경사면의 열화부에 높은 수압에 의한 가압수를 분사하여 상기 열화부를 제거하는 열화부 제거단계와; 양단이 한 쌍의 레일에 의해 지지됨과 아울러 한 쌍의 레일을 따라 구동하도록 좌우방향으로 설치된 작업대 지지대와, 작업대 지지대에 가이드되어 좌우방향으로 구동하는 작업대를 구비한 슛크리트 작업모듈을 설치하는 슛크리트 작업모듈 설치단계; 슛크리트 작업모듈을 상하방향으로 구동하면서, 작업자가 작업대에서 청소된 콘크리트 경사면에 대하여 슛크리트를 타설하는 슛크리트 타설단계; 양단이 한 쌍의 레일에 의해 지지됨과 아울러 한 쌍의 레일을 따라 구동하도록 좌우방향으로 설치된 마무리장치 지지대와, 마무리 장치 지지대에 가이드되어 좌우방향으로 구동하는 마무리 장치를 구비한 마무리 작업모듈을 설치하는 마무리 작업모듈 설치단계; 마무리 작업모듈을 상하방향으로 구동하면서, 마무리 장치에 의해 슛크리트가 타설된 면을 마무리하는 마무리단계;를 포함하여 구성된다. 즉, 콘크리트 경사면에 상하방향으로 한 쌍의 레일을 설치하고, 이 레일을 따라, 파쇄모듈, 슛크리트 작업모듈, 마무리 작업모듈을 순차적으로 또는 동시에 장착하여 파쇄작업, 청소작업, 슛크리트 타설작업을 진행하는 것을 특징으로 하는 것이다.

9. 고성능 습식 슛크리트 프리믹스 조성물 및 이를 이용한 습식 슛크리트 보수 및 보강공법

(특허출원 제 2008-0127069호, 2008. 12.15)

내용 : 본 발명은 기존의 슛크리트 문제점을 해결하기 위하여 도출된 것으로서 적용범위를 확대할 수 있고 품질관리가 용이하며, 급결제를 상요하지 않더라도 급

결성능을 발휘할 수 있고, 시공성(펌핑성 및 숏팅성)이 우수하며, 강섬유를 사용하지 않으면서도 우수한 강도를 발휘할 수 있도록 하는 고성능 습식 숏크리트 프리믹스 조성물 및 이를 이용한 습식 숏크리트 보수 및 보강공법을 제시하는 것을 그 목적으로 한다. 본 발명은 실리카 흙 440~460kg/m³가 포함되고, 이를 100중량부라 할때, 실리카 흙 9~121 중량부, 합성섬유 0.1~0.3 중량부를 포함하고 잔골재율(S/a)은 65~70 중량부, 물-바인더(W/B)는 41~43.5 중량부, 굵은골재 최대치수는 10mm 인 것을 특징으로 하는 고성능 습식 숏크리트 프리믹스 조성물을 제시함으로써, 적용범위를 확대할 수 있고, 품질관리가 용이하며, 급결제를 사용하지 않더라도 급결성능을 발휘할 수 있고, 시공성이 우수하며, 강섬유를 사용하지 않으면서도 우수한 강도를 발휘할 수 있도록 하였다.

10. 숏트믹스(상표출원 제 2008-50385호, 2008. 10. 23)

내용 : 본 상표출원은 연구성과로 얻어진 내황산 숏크리트 모르타르재료, 프리믹스 건식 숏크리트 전용 재료와 습식 숏크리트 전용 재료에 대한 상품화를 목적으로 제품명에 대한 지적재산권을 선점하기 위함이다.

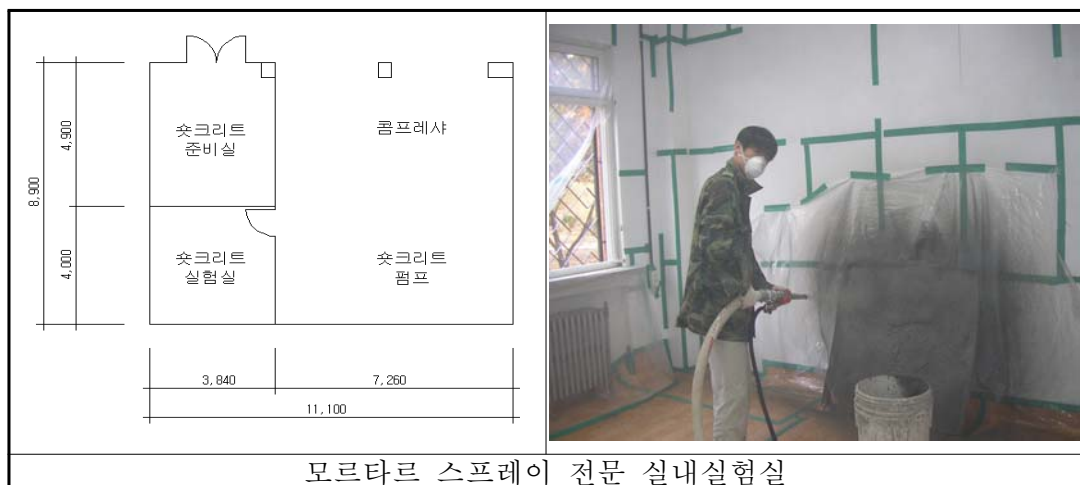
제6절 연구시설 구축 및 기자재 확보

1. 연구시설 구축

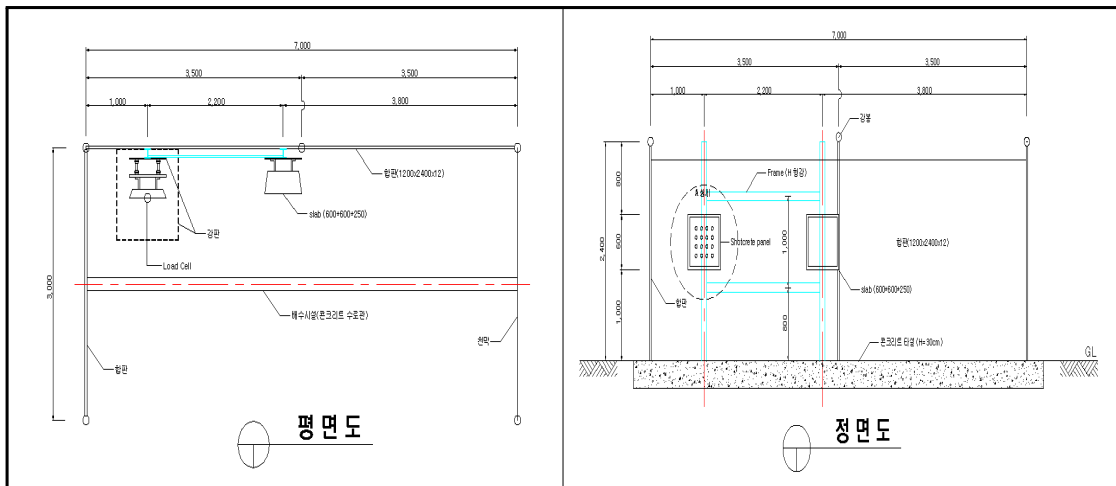
국내에서 수행 중인 숯크리트 전문연구는 많은 한계성을 지니고 있다. 대형장비, 고가, 장소, 전문성 등으로 일부 기업체에서의 연구를 제외하고는 전문성을 지닌 연구소 내에서의 연구는 현재까지는 어려운 실정이다. 본 과제를 수행함에 있어 국내 숯크리트 전문연구기관 부재로 국외 전문기관을 방문, 이를 토대로 모르타르 스프레이 및 물성평가를 위한 숯크리트 전문 실내실험실을 구축하였으며, 현장 적용성을 모사하기 위하여 대형 실외 전문 연구시설을 국내 대학연구기관에 최초로 구축하였다. 본 연구시설은 모르타르 스프레이 연구, 건식 및 습식 숯크리트 연구, 물성치 분석, 리바운드 등 숯크리트 관련 해석 및 개발연구가 가능하도록 구축하였으며 이를 통해 국내 제일의 숯크리트 전문연구기관으로 발돋움하고자 한다.



기존 숯크리트 관련 연구의 한계성 및 문제점



모르타르 스프레이 전문 실내실험실



실외 숯크리트 전문연구시설 설계도



실외 숯크리트 전문연구시설 구축 및 실험

2. 연구기자재 확보

가. 숯크리트 관련 장비

본 과제는 숯크리트를 이용한 기존 경사구조물 보수보강 공법개발로써 숯크리트 종류별 최적의 보수재료 개발을 그 목표로 하고 있다. 이를 위해 시멘트계열을 이용한 관로 회전형 숯크리트 보수, 부식도가 낮은 얇은 표면보수를 위한 내황산 모르타르 스프레이, 웅벽, 난간, 중분대 등의 소규모 신속보수를 위한 건식 숯크리트 전용 콘크리트, 그리고 여수로, 방수로, 벽체 등의 대형 구조물 보수를 위한 습식 숯크리트 전용 콘크리트 모두에 대한 종합적인 연구를 수행하였으며 이를 위해 각 목표에 적합한 최적의 연구기자재를 확보하여 연구신뢰성을 높이하고자 하였다.



내황산 모르타르 스프레이 장비



건식 숯크리트 장비



습식 숯크리트 장비



관로 회전형 숯크리트 장비

나. 고압살수 표면처리 장비

본 과제의 또하나의 주요목표는 기존 구조물의 보수보강 효율 극대화를 위하여 열화부 완전제거 시스템의 구축에 있다. 이를 위해서는 기존 열화부 제거방식에서 탈피하여 새로운 방식을 모색하여야 하며 이를 고압살수에 의한 표면처리방식으로 해결하고자 하였다. 이를 위해 관로부 열화부 제거를 위한 회전형 water-blasting 장비 개발, 소규모 구조물의 열화부 제거를 위한 자립식 water blasting 장비 개발 그리고 대형 구조물 보수를 위한 자동화 Hydro-demolition 장비를 개량하였다.

개발된 회전형 워터블라스팅 장비는 무인 무동력 장비로 고압수 분사 시 노즐의 각도조절 및 위치에 따라 열화부 제거 노즐, 추진노즐, 이물질 배출 노즐 등으로 구분되어 작동하며 환경의 직경에 따라 지지대의 높이를 변화시킴으로써 현장적용성을 극대화하였다.

소규모 경사구조물용 자립형 워터블라스팅은 기존의 수평제거 방식과 더불어 다양한 경사면 형태에 따라 조절이 가능한 바스켓형 노즐을 제작·설치하였다. 본 개발품은 소규모 경사구조물의 열화부 제거에 대단히 효과적인 것으로 노즐거리 30cm, 2구 직경 1.1mm의 고압살수 노즐을 장착하여 워터블라스팅의 기능을 확보함과 동시에 인력 접근이 곤란한 경사면에 소형 자립형 장비를 이용, 작업 효율성을 높였다.



회전형 워터블라스팅 개발



소파보수용 이동식 워터블라스팅



소규모 경사구조물용 자립형 워터블라스팅 개발



대규모 경사구조물용 Hydro-demolition 자동화 로봇장비 개량

다. 효율증대장비

본 과제에서는 기자재 확보와 더불어 시험시공을 통해 드러난 문제점에 대한 해결방안을 연구하여 현장적용 시 장비 효율측면에서 효과를 얻을 수 있도록 장비개량 및 개발을 추진하였다.

관로 회전용 내황산 모르타르 스프레이를 위하여 균등한 스프레이 및 회전력을 높이기 위한 스핀헤드를 설계 개발하였으며 건식 슛크리트의 작업효율을 증대시키기 위하여 토출사이즈를 4배이상 향상시켰다.

또한 관로 워터블라스팅의 노즐 직경을 다양화 하여 관경 크기에 따른 적용성을 최적화 하였다.



회전형 관로 워터블라스팅 직경별 노즐



회전형 관로 스프레이 스핀헤드 개발



소규모 건식샷크리트 토출사이즈
(32mm×120mm, 0.7m³/hr)



대규모 건식샷크리트 토출사이즈
(50mm×210mm, 3.1m³/hr)

라. 연구분석장비

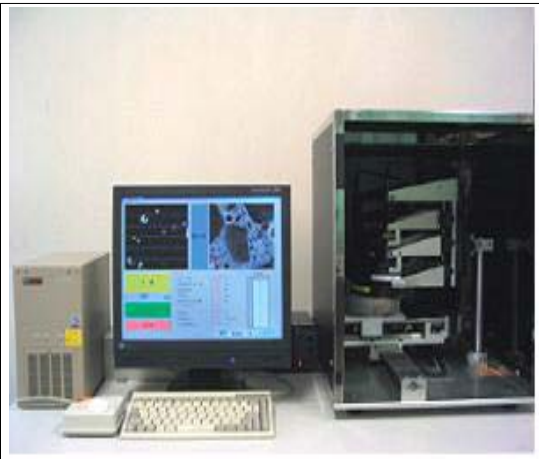
본 연구의 최종 목표는 현장에서 직접 배합되어 타설되고 있는 샷크리트가 가지고 있는 고질적인 문제들인 불확실한 품질관리, 골재 품질 불량, 강도 및 내구성의 저하 등을 효과적으로 개선할 수 있는 내황산 스프레이 모르타르 개발, 분말로 혼합된 프리믹스 습식샷크리트 재료개발 및 건식 샷크리트 재료개발이다. 이러한 재료개발을 위해서는 다양화 물성실험을 수행하여야 하며 특히 샷크리트가 가지는 공학적 특성으로 인하여 특수한 물성평가가 요구된다.

본 연구개발에서는 이를 위해 샷크리트 전용 연구실 구축과 더불어 샷크리트의 펌핑성 및 작업성을 정량적으로 분석하는데 사용되는 레오미터를 통해 각 변수별

레올로지를 측정하여 펌핑성과 관련하여 연구하였다. 또한 숏크리트는 고압의 펌핑으로 인하여 숏팅 전후의 물성치에 변화를 가져오게 되며 특히 내부 공극구조에 커다란 변화를 겪게 된다. 이는 경화 후 내구성에 직접적인 영향을 주게 되므로 이에 대한 연구고찰이 반드시 수행되어야 하며 이를 위해 자동화 공극 구조해석 장비인 HF-MA C01를 확보하여 콘크리트 내부 공극 분석기를 통하여 분석함으로써 측정 시간 또한 기존의 육안에 의한 분석 방법보다 약 1/100로 단축하여 빠르게 측정을 할 수 있으며 종래법과 비교하여 오차도 거의 없어 바로 사용할 수 있고, 공극 분석 시 해석 결과를 바로바로 볼 수 있는 시스템을 구축하였다. 또한 경화 후 숏크리트의 강도를 직접적으로 평가하기 위하여 ASTM C900에 근거한 인발기구를 도입 사용하였다.



레올로지 측정 장비 IBB 레오미터



공극 구조 분석 장비 HF-MA C01



간접 인발시험장비

제7절 연구성과 발표 및 홍보활동

1. 전문가 배출

본 연구과제는 기업을 중심으로 대학연구소의 지원을 기초로 한 산학협력연구체계로서 국내에 부족한 숯크리트 전문기술자를 배출하는 성과를 얻을 수 있다. 국내 대학에서 이루어지고 있는 숯크리트 관련 지식 및 교육은 전무한 실정으로 현장에서 필요로 하는 전문성 및 문제해결 능력이 부족한 현실에서 본 과제를 수행한 연구기관의 숯크리트 전문 연구자 배출은 큰 의미가 있다. 또한 과제수행에서 습득한 기업체 연구원들의 현장 기술과 숯크리트를 이용한 보수보강 활용 기술은 큰 성과라 할 수 있다.

일시	학위논문명	저자	학위	수여기관
2007. 2	조강형 라텍스개질 스프레이 모르타르의 개발	이진범	공학석사	강원대학교
2009. 2	분말형 프리믹스 습식 숯크리트의 역학적 특성 및 공극구조 특성	신현길	공학석사	강원대학교
2009. 2	초속경 건식 숯크리트의 조기강도 및 내구특성에 관한 연구	함성현	공학석사	강원대학교
2009. 2	고성능 습식 숯크리트의 레올로지 및 공극구조 특성에 관한 연구	최성용	공학박사	강원대학교

2. 전문학술지를 활용한 연구성과 발표

- 본 과제는 적용구조물 특성에 따라 요구되는 성능을 최적화시킨 숯크리트 전용 모르타르 및 콘크리트 개발과 이를 현장에 적용함에 있어 작업효율 및 경제성을 확보하기 위한 통합시스템 구성에 관한 연구이다. 연구과제를 수행하는 과정에서 발생된 연구성과물은 지속적으로 공개, 발표하여 객관적 평가를 받고자 하였다.

구분	논문제목	저자	게재지
1	콘크리트 관거 보수용 고성능 뿔어붙이기 모르타르의 역학적 특성	최성용, 정원경 김기현, 김용곤 윤경구	한국콘크리트학회 2007년도 봄 학술발표회 논문집
2	소형경사구조물 대상으로 한 고성능 뿔어붙이기 모르타르 공법의 현장적용성 평가	최성용, 김기현 김용곤, 윤경구	대한토목학회 2007년도 정기 학술대회 논문집
3	유지보수를 위한 고성능 초속경 건식 슛크리트 현장적용성 평가	최성용, 함성현 정원경, 김기현, 윤경구	대한토목학회 2008년도 정기 학술대회 논문집
4	워터제트 파쇄깊이에 따른 콘크리트 강도추정에 대한 실험적 평가	정원경, 김기현, 윤경구, 김용곤, 배종오, 여창현	대한토목학회 2008년도 정기 학술대회 논문집
5	프리믹스 슛크리트와 Hydro-demolition을 이용한 경사구조물 보수공법 개발	정원경, 김기현, 김용곤, 윤경구, 최성용	한국콘크리트학회 2008년도 가을 학술발표회 논문집
6	Hydrodemolition에 의한 콘크리트 파쇄기준 제안을 위한 실험적 연구	정원경, 김기현, 김용곤, 윤경구,	대한토목학회 논문집 Vol.29, No.1D, 09.1월호

3. 기술상담 및 성과홍보 활동

- 국제적인 슛크리트 전문기관인 캐나다 퀘벡 소재의 Laval University를 방문하여 세계적인 슛크리트 권위자인 Marc Jolin 교수와의 회동으로 연구에 대한 자문 및 향후 연구진행 시 필요사항에 대한 인적·물적 교류 협의하였으며 Lab. tour 및 슛크리트 Demo. 참관, 선진국의 기술동향 및 기술력 습득에 기여하였다. 또한 이를 바탕으로 연구된 본 과제의 성과물에 대하여 농촌공사 기술관계자를 대상으로 기술설명회를 마련함으로써 기존 보수공법들과의 기술적 차이점 및 효과에 대하여 교육하고 소규모 경사구조물이 다량으로 설치되어 있는 한국도로공사 관계자들을 대상으로 본 공법의 우수성 및 적용가능성에 대하여 기술설명회를 실시하여 사업화의 토대를 이루었다. 또한, 2008년 10월 14일 최종적인 연구성과를 도로학회 가을학술대회장에서 전시부스를 통해 홍보함으로써 본 기술에 대한 이해도를 높이고

자 하였다.

구분	내용
기술상담 및 교육	• 기술상담, 기술교육 및 정보 제공 - 농촌공사 강원지역본부 대상 기술설명회(2007. 2.) - 한국도로공사 홍천지사 대상 기술설명회(2007. 4.) - 한국도로공사 대관령지사 대상 기술설명회(2008. 7.) - 농촌공사 홍천춘천지사 대상 기술설명회(2008. 10.)
성과홍보 및 확산	• 전시회 참가 및 국제교류 활성화 - 캐나다 Laval 대학 내 숏크리트 전문연구기관 교류(2007.1~) - 동계 워크샵(2007. 2. / 2008. 2) - '08년 도로학회 전시회 참가(HS공법)



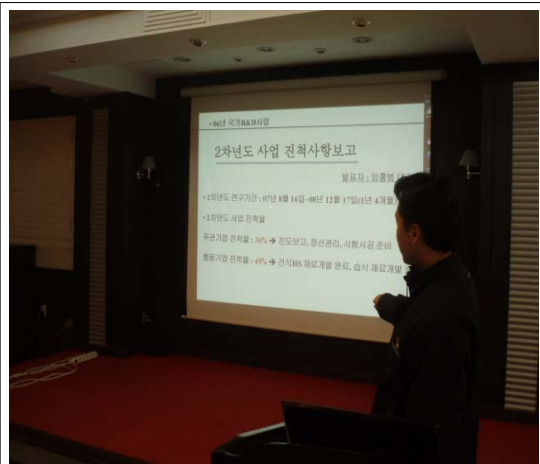
Lab. tour 및 숏크리트 Demo. 참관(2007. 1. 19~20)



Marc Jolin 교수와의 회동(2007. 1. 18)



1차년도 연구개발 교육세미나 실시(2007. 2)



연구성과 발표 및 사업화 진행 세미나 실시(2008. 2)



도로학회 정기학술발표회장 전시부스 설치(HS공법)

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표 달성도

본 연구개발의 최종목표는 경사구조물과 관로의 유지·보수를 위해 고압살수 표면처리(Hydro-demolition)와 슛크리트 장비를 이용하여 고성능 내황산 모르타르 및 슛크리트 전용 프리믹스 콘크리트를 뿔어붙이기하여 기존 구조물과 일체성을 유지하여 내구연한과 경제성을 확보하는 공법 개발 및 실용화에 있다.

목표 1 : 기존의 콘크리트구조물과 일체성을 이루는 슛크리트 보수용 고기능성 내황산 모르타르 및 프리믹스 콘크리트 개발

- 기존 구조물과 조화성으로 장기성능 발현이 우수한 시멘트계 재료의 성능 발현
- 저수축, 균열억제력, 고유동성, 방수성 증진을 위한 폴리머 복합소재 성능 발현
- 내황산성 및 내부식성을 강화한 고기능성 재료의 성능 발현

목표 2 : 대상구조물의 열화부 제거를 위한 고압살수표면처리 장비 및 슛크리트 적용가능 장비의 개량 및 개발

- 경사면 구조물 보수·보강을 위한 자립형 고압살수표면처리 장비 및 슛크리트 장비의 적용성 확대를 위한 개량
- 관로 시스템 보수·보강을 위한 회전형 고압살수표면처리 장비 및 슛크리트 장비의 개발

목표 3 : 개발 된 공법의 현장적용 및 확대시공을 위한 시험시공실시와 지침서 작성

- 개발된 재료 및 장비를 활용한 적용대상 구조물에 대한 현장적용 평가 및 확대 시공

본 연구개발의 성과물은 제품 개발과 동시에 공정 개발의 성격을 지닌다. 슛크리트용 고기능성 재료 및 자동화 장비개발은 제품 개발에 속하며 재료와 장비 자체의

독자적 건설산업 적용이 가능하다. 그리고 경사구조물 및 수리구조물과 관로에까지 적용할 수 있는 현장지원 공법은 공정 개발에 속하는 것으로 재료와 장비, 공법의 시스템까지 하나의 보수보강 공정에 투입되는 모든 것이 최적화하여 신규 연구개발되는 것이다.

본 과제의 최종목표에 따른 연구성과를 요약하면 다음과 같다.

목표 1	<연구목표> 기존의 콘크리트구조물과 일체성을 이루는 슛크리트 보수용 고기능성 내황산 모르타르 및 프리믹스 콘크리트 개발
	<연구성과> 기존의 터널 라이닝, 사면 1차 보강 등으로만 사용되는 슛크리트 재료에서 벗어나 기존 구조물 보수보강을 위한 슛크리트 재료개발 완료 - 내황산 모르타르 스프레이 재료인 슛트믹스-M 개발 완료 - 프리믹스 타입의 건식 슛크리트 전용 재료인 슛트믹스-D 개발 완료 - 습식 슛크리트 전용 재료인 슛트믹스-W 개발 완료
목표 2	<연구목표> 대상구조물의 열화부 제거를 위한 고압살수표면처리 장비 및 슛크리트 적용가능 장비의 개량 및 개발
	<연구성과> - 회전형 관로 고압살수표면처리 장치 개발 - 회전형 관로 스펀헤드 개발 - 소규모 경사면 열화부 제거를 위한 고압살수표면처리 바스켓 및 노즐 개발 - 대규모 경사면 열화부 제거를 위한 Hydro-demolition의 칩핑장치 및 분사노즐 장치 개발
목표 3	<연구목표> 개발 된 공법의 현장적용 및 확대시공을 위한 시험시공실시와 지침서 작성
	<연구성과> - 슛크리트 공법을 이용한 보수보강 전용인 슛트믹스-M, 슛트믹스-D, 슛트믹스-W 각각에 대한 현장적용성 평가 시행 완료

가. 연차별 주요 추진실적

본 연구개발의 연구수행기간은 2006년 12월 20일부터 2008년 12월 16일까지 1차년도와 2차년도로 구분·연구수행되었으며 각 차년도별로 연구계획에 맞추어 연구를 추진하였으며 추가실적을 포함한 주요 연차별 실적은 다음과 같이 같다.

1차년도 연구계획	1차년도 추진실적
① 계획수립및자료조사 - 국내외 적용 구조물 보수공법과 응용분야 개발사례 및 성능내용 분석 - 기 개발된 공법 및 재료와 장비의 문제점, 개선방안 분석 - 기존 Hydro-demolition 및 슛크리트(모르타르) 전용 장비 및 공법 분석 - 국내외 적용 시장성 및 특허전략 수립	2007년 1월 미국 라스베이거스에서 열린 World of Concrete 참가를 통한 장비도입 및 개량 방안 모색 - 스�크리트 전문기관인 캐나다 Laval Uni. Marc Jolin 교수와 회동을 통한 인적·물적 교류 활성화 모색 - 스�크리트 전용 실내 연구실 설비완료
② 슛크리트용 고성능 내황산 모르타르 개발 - Shotcrete Lining에 적합한 시멘트계 모르타르 개발 - 적용 구조물 보수·보강에 최적화 - 친환경, 고성능 복합 기능성 모르타르의 성능 발현	- 조강성 고성능 내황산성 슛크리트 모르타르 개발 (스트믹스-M) 12시간 10MPa 이상의 압축강도 확보 - 스�크리트가 가능한 유동성 확보
③ 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 - 경사구조물과 수리구조물에 적용 가능한 Hydro-demolition 장비 개량 - 단면 손상이 없는 고성능 공법 완성	- 워터젯 시스템의 칩핑장치(특허등록) - 워터젯 시스템의 분사노즐장치(특허등록)
추가실적	④ 관로 시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shotcrete용 자동화 장비 개발(특허1건) - 관로(φ600 ~1,000mm)용 고압살수표면처리 장비 개발 - 관로(φ600 ~ 1,000mm)용 슛크리트 Spin-Head 제작 - 토출량 30 ℓ/min, 압송력 30 bar의 슛크리트 펌프 도입 - 모르타르 타설장치
추가실적	⑤ 현장 모의 시험 및 시험시공 - 관로(φ 600)용 워터젯 성능 평가를 위한 모의 시험 - 도로공사 중앙고속도로 369K 지점 보수공사 - Hydro-demolition 장비 향상 파쇄 능력 모의 시험
추가실적	⑥ 기술상담, 기술교육 및 정보제공 - 농촌공사 강원지역본부 대상 기술설명회 (2007. 2.) - 한국도로공사 홍천지사 대상 기술설명회 (2007. 4.) - 기술 세미나 개최, 연구진행 워크샵 개최 '07년 건설교통 R&D 성과포럼 참가 '07년 콘크리트학회 봄학술대회 논문발표

2차년도 연구계획	2차년도 추진실적
① 고성능 프리믹스 숏크리트 개발 • 대규모 경사구조물 보수보강을 위한 프리믹스 타입의 숏크리트 전용 콘크리트 개발 • 국내 최초의 숏크리트 프리믹스 타입 콘크리트 제품으로 브랜드화 등을 통한 지적재산권 확보	• 2008년 1월 미국 라스베이거스에서 열린 World of Concrete 참가를 통한 장비도입 및 개량 방안 모색 • 2008년 2월 개발된 시제품 건식 숏크리트 프리믹스 타입 콘크리트 시험시공 실시 및 최적배합 도출 • 보수공사를 위한 건식 숏크리트용 프리믹스 조성물(특허등록) • 대규모 경사면 보수공사를 위한 습식 숏크리트용 프리믹스 조성물(특허출원) • 개발된 건식 및 습식 숏크리트 제품에 대한 상표출원(숏트믹스, 출원번호 50385)
② 경사구조물에 따른 Shotcrete용 및 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 및 개발 • 경사면 0~90° 경사구조물과 수리구조물에 적용 가능한 Hydro-demolition 장비 개량 및 개발 • 자립형 무인 Shotcrete 장비 도입 • 경사면 타설 시 인력투입 및 작업공간에 제한을 받지 않는 Shotcrete 장비의 도입 및 개량	• 소형구조물에 대한 Hydro-demolition 적용을 위한 장비개량('08.06월) • '08년 2월 Hydro-demolition 장비 향상 과제 능력 성능평가 완료 • 숏크리트 전용 실외 연구실 설비완료 • 시험시공 실적 1건 • 학회논문제출 1편
③ 통합시스템 구성 • 고압살수 지원 적합장비 구성 • 믹서와 펌프를 포함한 적합장비 구성 • 장비 조합의 일치성 및 호환성 등의 최적화 • 편리한 시공성 및 경제성 확보 • 통합시스템의 안전성과 효율성 극대화	• 한국도로공사 대관령지사 대상 기술설명회 (2008. 6.) • 통합시스템 구축을 위한 설계단가 산출 • 마무리 작업모듈을 이용한 콘크리트 경사면의 보수공법(등록번호 0836856) • 건식 숏크리트를 이용한 도로시설물의 보수공법(특허등록) • 한국농촌공사 원창저수지 시험시공
추가실적	④ 기술상담, 기술교육 및 정보제공 • 농촌공사 홍천춘천지사 대상 기술설명회 (2008. 10.) • 한국도로공사 대관령지사 대상 기술설명회 (2008. 7.) • 기술 세미나 개최, 연구진행 워크샵 개최 • '08년 한국도로학회주관 전시회 참가및홍보 • '08년 한국콘크리트학회 학술발표 1편 • '08년, 대한토목학회학술대회 학술발표 2편

나. 연구개발 목표 달성도

본 연구개발의 연구수행기간은 2006년 12월 20일부터 2008년 12월 16일까지 1차년도와 2차년도로 구분·연구수행되었으며 이와 같은 연구기간 중 각 차년도별 주요 연구개발 목표에 따른 달성도는 다음과 같이 세분하여 평가할 수 있다.

<1차년도 연구개발 달성도>

목 표	달성도(%)	1차년도 연구수행 결과
▪ 계획수립 및 자료조사	100	• 슛크리트 전용 실험실 구축 • 국내외 적용 구조물 보수공법과 응용분야 개발사례 및 성능내용 분석 • 기 개발된 공법 및 재료와 장비의 문제점, 개선방안 분석 • 기존 Hydro-demolition 및 슛크리트(모르타르) 전용 장비 및 공법 분석 • 국내외 적용 시장성 및 특화전략 수립 • 전체계획 및 신기술 취득, 사업화계획 수립
▪ 슛크리트용 고성능 내황산 모르타르 개발	100	• Shotcrete Lining에 적합한 시멘트계 모르타르 개발 • 적용 구조물 보수·보강에 최적화 • 친환경, 고성능 복합 기능성 모르타르의 성능 발현 • 내황산성 및 내부식성 기능 발현 • 저수축성 및 균열억제력 발현 • 초조장성 및 방수성, 고유동성 기능 등을 포함 • 경사구조물의 적용성 및 수리구조물과 관로의 적합성능 극대화
▪ 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 (시험시공 1건, 모의시공 1건, 특허등록 2건)	100	• 경사구조물과 수리구조물에 적용 가능한 Hydro-demolition 장비 개량 • 0~90° 경사구조물 절삭 단면 일체화 보수보강이 가능한 자립형 Hydro-demolition 장비 개량 • 워터젯 시스템 칩핑장치 특허등록 • 워터젯 시스템의 분사노즐 장치 특허등록 • 시험시공 실적 1건 • 워터젯 성능평가를 위한 모의시공 1건 • 2차년도 연구목표인 경사구조물에 따른 Shotcrete 용 및 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 및 개발과 연계하여 추가적인 연구시행 계획
▪ 관로 시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shotcrete용 자동화 장비 개발 (장비개발 2건, 특허등록 1건)	100	• 관로(φ600 ~ 1,000mm)용 고압살수표면처리 장비 개발 • 관로(φ600 ~ 1,000mm)용 슛크리트 Spin-Head 제작 • 회전형 모르타르 타설장치 특허등록

<2차년도 연구개발 달성도>

목 표	달성도(%)	2차년도 연구수행 결과
▪ 슛크리트용 고성능 내황산 프리믹스 콘크리트 개발	100	• 경사구조물 보수보강을 위한 프리믹스 타입의 건식 슛크리트 콘크리트 개발 • 대규모 경사구조물 보수보강을 위한 급결제 미혼입의 습식 슛크리트 콘크리트 개발 • 국내 최초의 슛크리트 프리믹스 타입 콘크리트 제품으로 브랜드화(슛트믹스, 상표출원)
▪ 경사구조물에 따른 Shotcrete용 및 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 및 개발	100	• 소규모 경사구조물에 대한 보수보강 시 고압살수에 의한 열화부 제거용 워터블라스팅 바스켓 및 노즐 개발 • 프리믹스 건식 슛크리트를 이용한 새로운 포장보수공법 개발을 위한 시험시공 실시 • 옹벽, 중분대, 배수로 등의 신속 보수를 위한 프리믹스 건식 슛크리트 공법 개발 완료 • 습식 슛크리트를 이용한 대규모 경사구조물(45° 이상) 보수·보강에 최적화 공법 개발 완료
▪ 통합시스템 구성	100	• 고압살수 지원 적합장비 구성을 위한 장비 효율성 및 최적화를 위한 시험시공 및 지침 마련 • 장비 조합의 일치성 및 호환성 등의 최적화 구성 • 편리한 시공성 및 경제성 확보 • 통합시스템의 안전성과 효율성 극대화 • 현장에 최적화된 통합 장비 및 시스템 구성 완료

<연구개발 주요성과 >

구분	주요 성과
시제품 및 현장적용	● 장비 도입 및 개량 (7건) - 조강성 내황산 모르타르 개발 (슛트믹스-M) - 고성능 건식 슛크리트 프리믹스 재료 개발(슛트믹스-D) - 고성능 습식 슛크리트 재료 개발(슛트믹스-W) - 관로(φ600 ~ 1,000mm)용 고압살수표면처리 장비 개발 - 관로(φ600 ~ 1,000mm)용 슛크리트 Spin-Head 제작 - 토출량 30 ℓ/min, 압송력 30 bar의 슛크리트 펌프 도입 - 경사구조물 전용 고압살수표면처리 장비 개발 ● 전용 연구실 구축(2건) - 슛크리트 개발 실내실험실 구축 - 대규모 실험을 위한 슛크리트 실외 실험실 구축 ● 현장 시험시공 (5건) - 중앙고속도로 369K 지점 시험시공(2007. 4.) - 영동고속도로 동수원광장 콘크리트포장구간 시험시공(2008. 2) - 영동고속도로 동수원광장 내 Hydrodemolition 평가(2008. 2) - 영동고속도로 192.6k 지점 시험시공(2008. 7) - 농촌공사 관할 원창저수지 방수로 시험시공(2008. 10)
지적 소유권 등록	● 특허 등록 8건 - 관로 내부의 보수공법 - 모르타르 타설장치 - 워터젯 시스템의 칩핑장치 - 워터젯 시스템의 분사노즐장치 - 마무리 작업모듈을 이용한 콘크리트 경사면의 보수공법 - 건식 슛크리트를 이용한 도로시설물의 보수공법 - 보수공사를 위한 건식 슛크리트용 프리믹스 조성물 - 콘크리트 경사면의 보수공법 ● 특허 출원 1건 - 고성능 습식 슛크리트 프리믹스 조성물 및 이를 이용한 습식 슛크리트 보수 및 보강공법 ● 상표 출원 1건 - 슛트믹스
기술상담 및 교육	● 기술상담, 기술교육 및 정보 제공 - 캐나다 Laval 대학 슛크리트 전문 연구기관 방문 및 기술교류 - 농촌공사 강원지역본부 대상 기술설명회(2007. 2.) - 한국도로공사 홍천지사 대상 기술설명회(2007. 4.) - 농촌공사 홍천춘천지역본부 대상 기술설명회(2008. 10.) - 한국도로공사 대관령지사 대상 기술설명회(2008. 7.)
성과홍보 및 확산	● 기술 세미나 개최, 연구진행 워크샵, 기술교류회 및 연구성과 홍보 활동 - 주관기업 연구원 2007/2008년 동계 워크샵 - 전문학회 학술발표회 연구성과발표 5편 - '08년 한국도로학회주관 전시회 참가 및 부스설치 홍보

다. 항목별 개발 목표치 대비 달성도

본 연구개발은 스프레이방식이 아닌 쏙크리트 방식을 이용한 경사구조물 보수보강 공법개발을 목표로 하였으며 이를 위해 구조물별 적용성을 확대한 재료개발 및 보수 후 구조물 공용성 증대를 위한 열화부 제거 장비의 개발을 목표로 수행되었다.

(1) 재료개발 목표치 달성도

- 재료개발 목표치는 1차년도 내황산성 모르타르 개발, 2차년도 프리믹스 타입의 쏙크리트 전용 콘크리트 개발을 목표로 개발목표치를 설정하였으며 이를 기초로 한 항목별 달성도는 다음과 같다.

(가) 쏙크리트용 내황산성 모르타르 개발

본 연구에서는 뿔어붙이기용 내황산성 고성능 모르타르를 개발하기 위하여 장기적인 안정적 강도발현을 위하여 보통 포틀랜드 시멘트와 초기 속경성 부여를 위해 알루미나 시멘트를 전체 중량에서 7~8% 사용하였다. 잔골재는 프리믹스를 위하여 규사를 사용하였으며, 균열 억제를 위해 섬유보강재 첨부, 부착특성과 내구성 확보를 위해 분말형 폴리머를 사용하였다. 그 외 성능개선을 위해 혼화재(실리카흄)을 일부 첨부하여 프리믹스(Premixed)된 모르타르를 개발하였으며 많은 예비시험을 시행한 후 최종결정된 배합비는 물/모르타르비 18%, 시멘트와 잔골재 비율이 1 : 1정도이며, 분말형폴리머 혼화제는 0.1~0.5%, 실리카흄 3~5%이다. 개발된 재료의 성능은 다음과 같다.

- 초기재령 12시간에 20 MPa이상의 압축강도 확보
- 흐름시험 결과 초기 흐름 160mm의 높은 유동성으로 압송성 향상
- 작업가능한 흐름치 60분 확보로 쏙크리트 작업시간 확보
- 4.4%로 매우 작은 리바운드율로 재료손실 최소화
- 160mm 이상 시공두께 가능으로 높은 부착력확보
- 뿔어붙이기 후 흐러내림 없고 손 마무리 후 표면이 매끄러워 미관성 향상.

개발재료의 평가를 위한 개발목표치에 따른 재료의 결과치를 정리한 표이며 1~3까지의 평가항목은 숏크리트의 분사에 필요한 굳지않은 상태평가항목으로 높은 흐름성은 압송력을 절감에 따른 장비부하 절약 및 막힘현상을 줄일 수 있게 된다. 강도평가는 숏크리트에 요구되는 급결성 평가 및 장기공용성을 평가할 수 있는 항목으로 특히 부착력은 기존 구조체와의일체화 거동화 거동 평가가 필수요소이다. 9~14항목의 내구성 평가는 본 연구개발에서 추구하는 고성능 및 내황산성 검증을 위한 필수평가항목으로 현장적용 후 재료의 안정성을 간접적으로 평가할 수 있다. 이러한 평가항목에 대한 실험결과 높은 초기강도발현 특성과 더불어 리바운드를 저감 및 높은 내구성을 확보한 평가 결과를 얻었다. 또한 매우 높은 화학저항성을 갖는 것으로 평가되어 고성능 내황산성을 지닌 프리믹스 숏크리트 모르타르 개발 목표를 만족하는 것으로 평가되었다.

<숏크리트용 내황산성 모르타르 개발 목표치 및 달성도>

평가항목 (주요성능 Spec)	단위	평가방법	개발목표치	결과치	성공 여부
1. 흐름시험	mm	KS F 2474	160±20	160	○
2. 리바운드를	%	KCI-SC 101	6 이하	4.42	○
3. 공기량	%	KS F 2421	4±2	4	○
4. 압축강도(재령 1일)	MPa	KS F 2476	20 이상	28.4	○
5. 압축강도(재령28일)	MPa	KS F 2476	40 이상	41.5	○
6. 부착강도(재령28일)	MPa	KS F 4716	1.5 이상	1.8	○
7. 휨강도(재령 1일)	MPa	KS F 2476	3.5 이상	6.3	○
8. 휨강도(재령28일)	MPa	KS F 2476	6.0 이상	8.2	○
9. 길이변화율	%	KS F 2424	±0.12 이내	0.061	○
10. 동결융해 저항성	%	KS F 2456	90	93	○
11. 염화물이온 투과저항성	coulomb	KS F 2711	1000 이하	928	○
12. 내알칼리성	MPa	KS F 2476	40 이상	41.5	○
13. 염산, 황산의 화학저항성	MPa	KS F 2476 ASTM C 267	40 이상 중량변화 ±10이내	황산 : 0.67	○
14. 표면박리 저항성	등급	ASTM C 672	1~2	1등급	○

품질시험 · 검사 시험성적서

수 신: 한국건설교통기술평가원

강원대학교 토목공학과 구조연구실

강원도 춘천시 효자2동 192-1

발송일자: 2007-07-31

전화:(033)250-6240, FAX 255-6241

숏크리트용 고성능 내황산 몰탈의 검사결과를 아래와 같이 확인합니다.

접 수 번 호			발 급 번 호		
시 료 명		숏크리트용 고성능 내황산 몰탈		시료 채취자	최 성 용
시료채취일		2007. 4. 4.		입 회 자	
시 험 일		2007. 4. 4. ~ 6. 29.		의 회 자	삼우IMC(주) 김기현
생 산 자		최 성 용			
시 험 (검 사) 항 목		단 위	시 험 (검 사) 결 과	시 험 (검 사) 방 법	
흐름시험(프로우)		mm	160	KS F 2474	
공 기 량		%	4.0	KS F 2421	
압축강도	재령 1일	MPa	28.4	KS F 2476	
	재령28일	MPa	41.5	KS F 2476	
부착강도	재령28일	MPa	1.8	KS F 4716	
휨강도	재령 1일	MPa	6.3	KS F 2476	
	재령28일	MPa	8.2	KS F 2476	
길이변화율		%	0.061	KS F 2424	
동결융해 저항성		%	93	KS F 2456	
염화물이온 투과저항성		coulomb	928	KS F 2711	
내황산성		%	0.67	ASTM C 267	
표면박리 저항성		등급	1	ASTM C 672	
특 기 사 항		“이 시험 성적서는 용도 이외의 사용을 금하며 선전, 소송 및 기타 별첨요건으로 사용할 수 없습니다.”			
확 인 자		윤 경 구(033-250-6236)			

강 원 대 학 교 토 목 공 학 과



(나) 숏크리트용 프리믹스 개발

본 연구에서는 장기강도 저하, 내구성 저하, 환경오염 발생 및 인체에 유해한 점을 유발시키는 급결제를 사용하지 않고 속경성 시멘트를 적용함으로써 보수·보강할 수 있는 프리믹스 숏크리트 재료를 개발하기 하였으며 많은 실내외 연구결과, 초속경 건식 숏크리트 프리믹스(Premixed)형태로 모든 재료가 완전건조상태로 생산공장에서 자동계량 및 배합된 숏트믹스-D를 개발하였다. 사용된 배합비는 단위결합재량 450kg/m³, 잔골재율 85%, 실리카흙 혼입율 단위결합재에 7% 치환, 분말형 폴리머는 단위결합재에 6%를 혼입하였다. 배합표는 아래의 표와 같으며 개발된 숏트믹스-D는 다음과 같은 특성을 지니는 것으로 평가되었다.

- 급결제를 사용하지 않고 속경성 시멘트를 적용하여도 충분한 강도를 확보하였으므로 유지보수 재료로써 충분히 가능하였다.
- 프리믹스된 재료를 사용하여 건식공법으로 숏크리트한 시편의 내구특성을 판단하기 위해 투수저항성, 내약품성, 동결융해저항성 그리고 표면박리저항성실험을 수행한 결과 모두 우수한 결과를 나타내었다. 이는 실리카흙을 혼입함으로써 포졸란반응으로 콘크리트의 내부가 치밀해지고 시멘트량과 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)량을 감소시켜 황산염에 대한 저항성을 내황산염시멘트 수준으로 향상시킴으로써 내부의 작은 공극이 다량 형성되어 내동해성이 향상되었으며, 폴리머 혼입으로 인해 결합재의 입자들이 폴리머에 감싸여진 형태의 조직구조를 갖기 때문에 투수가 감소하여 궁극적으로 숏크리트의 내구성을 향상시키는 작용을 한 것이라 판단된다.

<숏크리트용 프리믹스 배합표>

W/B (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)									
		VES C/M	S/F 7%	Sand			Coarse Agg.	Polymer 6%	Fiber 0.2%	Visco./A 0.3%	AE제 0.5%
				3호사	5호사	6호사					
50	85	418.5	31.5	331.6	391.5	502.7	230.0	27.00	0.90	1.35	2.25

아래의 표는 개발재료의 평가를 위한 개발목표치에 따른 재료의 실내 및 현장적 용결과치를 정리한 것으로 숏크리트 분사 후 공기량을 측정하여 잠재적인 내구성을 평가하였으며 리바운드율은 배합 및 분사 후의 중량변화를 나타낸 것이다. 강도 평가는 숏크리트에 요구되는 급결성 평가 및 장기공용성을 평가할 수 있는 항목으로 특히 부착력은 기존 구조체와의일체화 거동화 거동 평가가 필수요소이다. 내구성 평가는 현장적용 후 재료의 안정성을 간접적으로 평가할 수 있다. 이러한 평가 항목에 대한 실험결과 급결제 사용없이 매우 높은 초기강도발현 특성과 더불어 높은 내구성을 확보한 평가 결과를 얻었다. 또한 불투수성 재료특성과 우수한 내동결성을 나타내어 기존의 급결제 사용에 따른 환경오염 및 장기 내구성 저하의 문제점을 크게 개선한 것으로 평가되었다.

<숏크리트용 프리믹스 개발 목표치 및 달성도>

평가항목 (주요성능 Spec)	평가방법	단위	개발목표치	결과치	성공 여부
1. 공기량(뿔어붙이기 후)	KS F 2421	%	4.5±1.5	4.5	○
2. 리바운드율	-	%	10이내	10	○
3. 압축강도(4시간)	KS F 2405	MPa	20 이상	26.6	○
4. 압축강도(재령28일)	KS F 2405	MPa	40 이상	42.7	○
5. 부착강도(재령28일)		MPa	2.0 이상	1.6이상	△
6. 휨강도(재령 4시간)	KS F 2408	MPa	3.5 이상	5.6	○
7. 휨강도(재령28일)	KS F 2408	MPa	5.0 이상	9.4	○
8. 길이변화율	KS F 2424	%	±0.12 이내	0.08	○
9. 동결융해 저항성	KS F 2456	%	90 이상	98	○
10. 염화물이온 투과저항성	KS F 2711	coulomb	1000 이하	93	○
11. 내황산성	ASTM C 267	%	±10 이하	-4.56	○
12. 스케링 저항성	ASTM C 672	등급	1~2	1등급	○

품질시험 · 검사 시험성적서

수 신: 한국건설교통기술평가원

강원대학교 토목공학과 구조연구실

강원도 춘천시 효자2동 192-1

발송일자: 2008-02-26

전화:(033)250-6240, FAX 255-6241

HS공법 건식샷크리트의 검사결과를 아래와 같이 확인합니다.

접 수 번 호		발 급 번 호	
시 료 명	HS공법 건식샷크리트	시료 채취자	최 성 용
시료채취일	2007. 12. 03.	임 회 자	
시 험 일	2007. 12. 03. ~ 2008. 2. 22	의 회 자	삼우IMC(주) 김기현
생 산 자	최 성 용		
시 험 (검 사) 항 목	단 위	시 험 (검 사) 결 과	시 험 (검 사) 방 법
공 기 량	%	4.5	KS F 2421
길이변화율	%	0.08	KS F 2424
동결융해 저항성	%	98	KS F 2456
내향산성	%	-4.56	ASTM C 267
표면박리 저항성	등급	1	ASTM C 672
특 기 사 항	“이 시험 성적서는 용도 이외의 사용을 금하며 선전, 소송 및 기타 별책요건으로 사용할 수 없습니다.”		
확 인 자	윤 경 구(033-250-6236)		

강 원 대 학 교 토 목 공 학 과



품질검사전문기관

미래이엔씨주식회사

경기도 용인시 처인구 이동면 룡봉리 414-1 TEL.(031)334-2920 FAX.(031)334-2926

품질시험·검사성적서

접수번호 : AC-D-08071403

발급번호 : AC-E-081107

의뢰자 : 정원경

접수일 : 2008. 07. 14

시료명 : HS공법 건축축크리트

시험(검사)개시일 : 2008. 07. 14

주소 : 서울시 송파구 오금동 73-6

시험(검사)종료일 : 2008. 08. 11

성적서발급일 : 2008. 08. 11

귀하가 2008. 07. 14 일자로 의뢰하신 시료에 대한 품질시험(검사)결과는 아래와 같습니다.

시험항목	단위	시험결과				시험근거	책임기술자 (서명)
		S ₁	S ₂	S ₃	평균		
압축강도 (4시간)	MPa	27.3	28.7	24.0	26.6	KS F 2405 - 05	홍순고 
압축강도 (1일)		31.0	30.0	27.5	29.5		
압축강도 (28일)		42.7	41.4	44.0	42.7		

* 책임기술자 자격종목 및 자격증번호 : 1750/99205131500P

* 공사명 : HS공법 관련 영동고속도로 192.6K 용역 시험시공

* 시료채취자 : ㈜삼우아이엠피정원경

* 발주자 : 한국도로공사 대관령지사

* 시료채취일회자 : 한국도로공사 강현익

* 시공자 : ㈜삼우아이엠피

* 시료채취일 : 2008. 07. 14.

* 시료채취장소 : 영동고속도로 강릉방면 192.6K

* 성과이용목적 : 품질시험용

<비고>

1. 위 내용은 의뢰자가 제출한 시료에 대한 결과이며 시료의 명칭은 의뢰자가 제시한 것임.
2. 이 시험 성적서는 용도이외의 사용을 금하며, 광고·소송 및 기타 법적으로 사용되지 못함.
3. 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.
4. 이 시험성적서는 승인 없이 복사 사용을 금지함.

2008년 08월 11일

미래이엔씨주식회사 대표이사



PAGE 1 of 1

품질 검사 전문 기관

미래이엔씨주식회사

경기도 용인시 처안구 이동면 보분리 414-1 TEL.(031)334-2920 FAX.(031)334-2926

품질 시험 · 검사 성적서

접 수 번 호 : AC-D-08072102

발 급 번 호 : AC-E-081105

의 의 자 : 정 원 경

접 수 일 : 2008. 07. 21

시 료 명 : HS공법 건축실험실

시험(검사)개시일 : 2008. 07. 21

주 소 : 서울시 송파구 오금동 73-1번지

시험(검사)종료일 : 2008. 08. 11

심 적 서 발 급 일 : 2008. 08. 11

귀하가 2008. 07. 21 일자로 의뢰하신 시료에 대한 품질시험(검사)결과는 아래와 같습니다.

시 험 항 목	단 위	시 험 결 과		시 험 근 거	책임기술자 (서명)
		S ₁	S ₂		
염소이온 침투 저항성	7일	28	365	KS F 2711-02	홍 순 고
	28일	21	93		

※ 책임기술자 자격종목 및 자격증번호 : 1750/9920513500P

※ 공 사 명 : HS공법 관원 영동고속도로 192.6Km 종점 시험사공

※ 발 주 자 : 한국도로공사 대관령지사

※ 임 의 자 : 한국도로공사 충청지역 본부 강 현 역

※ 시 공 자 : ㈜삼우아이엔씨

※ 제 위 자 : ㈜삼우아이엔씨 정 원 경

※ 시료 채취장소 : 영동고속도로 강릉방면 192Km

※ 성과 이용목적 : 품질 시험용

※ 시 료 채 취 일 : 2008. 07. 14.

< 비 고 >

1. 위 내용은 의뢰자가 제출한 시료에 대한 결과이며 시료의 명칭은 의뢰자가 제시한 것임.
2. 이 시험 성적서는 용도이외의 사용을 금하며, 광고·소송 및 기타 법적요건으로 사용하지 못함.
3. 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.
4. 이 시험성적서는 승인 없이 복사 사용을 금지함.

2008년 08월 11일

미 래 이 엔 씨 주 식 회 사 대 표 이 사

PAGE 1 of 1



품질검사전문기관

미래이엔씨주식회사

경기도 화성시 반월동 530-2 TEL.(031)223-1438 FAX.(031)225-1439

품질시험·검사성적서

접수번호 : AC-D-08030315

발급번호 : AC-E-031206

의뢰자 : 김기현

접수일 : 2008. 03. 03

시험명 : HS공법 컨크리트

시험(검사)개시일 : 2008. 03. 12

주소 : 서울시 송파구 오금동 73-6

시험(검사)종료일 : 2008. 03. 12

성적서발급일 : 2008. 03. 12

귀하가 2008. 03. 03 일자로 의뢰하신 시험에 대한 품질시험(검사)결과는 아래와 같습니다.

시험항목	단위	시험결과				시험근거	책임기술자 (서명)
		2-1	2-2	2-3	평균		
부착강도	강도 MPa	1.4	1.4	1.9	1.6	Technical Guidelines No. 3739	홍순교 
	파괴면	base	base	base	-		

※ 책임기술자 자격증명 및 자격증번호 : 1750/99205131500P

※ 공 사 명 : HS공법 현장적용 성능평가 시험시공

※ 시험채취자 : 기술연구소 임종범

※ 시 공 자 : ㈜삼우아이엔씨

※ 시험채취일자 : 기술본부 강재균

※ 시험채취장소 : (구)동수원TG 제강장 (스핀넷)

※ 시험채취일 : 2008. 02. 28.

※ 성과 이용 목적 : 품질관리시험용

<비 고>

1. 위 내용은 의뢰자가 제출한 시험에 대한 결과이며 시험의 명칭은 의뢰자가 제시한 것임.
2. 이 시험 성적서는 용도 이외의 사용을 금하며, 광고·소송 및 기타 법적요건으로 사용하지 못함.
3. 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.
4. 이 시험성적서는 승인 없이 복사 사용을 금지함.

2008년 03월 12일

미래이엔씨주식회사 대표이사

PAGE 2 of 4



(2) 장비개발 목표치 달성도

- 장비개발 목표치는 1차년도 내황산성 모르타르를 이용한 관로 보수보강을 위한 회전식 고압살수장비 및 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개발이었으며, 2차년도에서는 슛크리트 장비 개량 및 개발로 개발목표치를 설정하였으며 이를 기초로 한 항목별 달성도는 다음과 구분하여 정리할 수 있다.

■ 개발된 관로형 회전형 Hydro-demolition 장비 성능

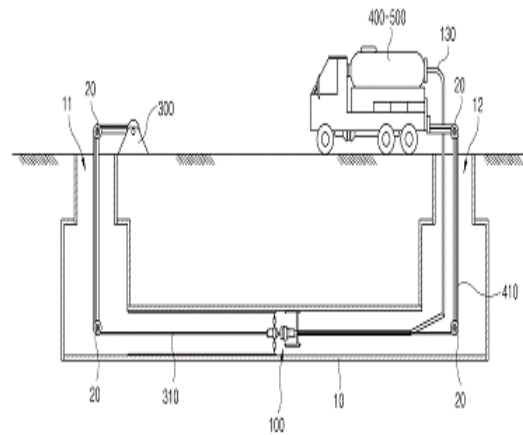
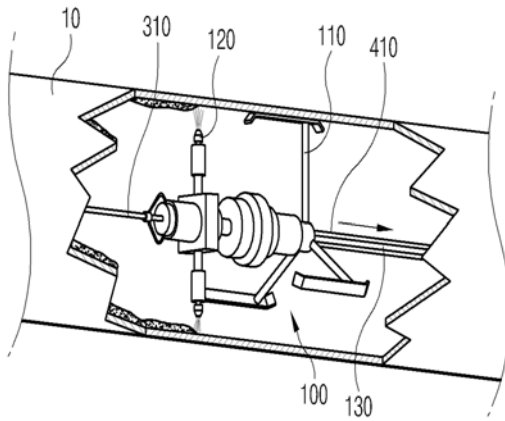
본 개발장비는 가압수 분사장치에 의해 높은 수압에 의한 가압수를 분사함으로써, 관로의 내부의 이물질을 제거하는 이물질 제거하는데 요구되는 장비로써 관로 내부의 보수공법에 적용된다. 이물질 제거단계에서 가압수 분사장치는 관로의 중앙부로부터 내벽을 향하여 방사상으로 상기 가압수를 분사하도록 구성되어 있으며 이물질 제거단계에서 가압수 분사장치가 관로의 길이방향을 따라 이동하면서 작업하게 된다.

이물질 제거는 소정 간격을 두고 관로에 연결된 복수의 맨홀 중 가압수 분사장치 인입용 맨홀과 가압수 분사장치 인출용 맨홀을 선택하고 가압수 분사장치 고정부를 설치하는 가압수 분사장치 고정부 설치와 가압수 분사장치 인출용 맨홀의 일측에 가압수 분사장치 인출장비를 설치하는 가압수 분사장치 인출장비 설치, 가압수 분사장치를 전방으로 이동시키면서 이물질 제거를 수행한다. 또한, 본 연구개발장비는 실내외 평가를 통하여 다음과 같은 성능을 확인하였다.

- 본 장비는 펌프압 1,000~1,400bar, 유량 75 ℓ/min.의 230hp 출력용량을 갖는 파워팩을 사용하여 이물질을 제거함.
- 절삭깊이는 이동속도(0.1~0.5m/sec) 및 열화정도에 따라 상이하나 약 1~50mm 절삭이 가능함.
- 절삭이물질의 후방배출을 용이하게 하기 위한 후방배출 노즐 및 절삭노즐, 회전노즐 등 구성되어 있음.
- 회전 노즐의 교체로 약 300~1,000mm 직경내 이물질 제거가 가능함.



<개발된 회전형 Hydro-demolition 및 환경에 따른 회전노즐 종류>



<개발된 회전형 Hydro-demolition을 이용한 관로 보수보강 설계도-특허등록>

<관로용 회전형 Hydro-demolition 자동화 장비 개발의 평가>

평가항목	단위	개발목표치	달성도
Hydro-demolition 출력	psi	65 이상	○
1회 최대 절삭 깊이	mm	45 이상	○
1회 최대 절삭 폭	m	3 이상	○
적용 가능 관로 구경	mm	300~1000	○
절삭단면 미세균열	유/무	무	○
분사노즐 개량	수압 조절의 변화 가능(800~1400bar) 열화부 제거 가능 범위(비파괴 검사)		
장비 조합에 따른 작업가능범위	최대 작업속도 및 작업 면적 산출 열화부 제거 최대 작업 폭과 깊이 가능여부 인력작업이 곤란한 환경 300~1,000mm의 범위로 조절 가능한 지지대 및 이동 장비		

■ 경사용 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량

본 개발장비는 초고압수 분사장치를 기존의 소형케도장비에 새로이 장착하여 소형경사구조물에 대한 Hydro-demolition이 가능토록 개량·제작된 장비이다.

본 장비는 자체구동이 가능한 케도굴삭기 붐대를 활용하여 접근이 곤란한 작업조건에서도 이물질 절삭이 가능하며 상하좌우 모든 방향으로의 작업이 인력을 배제한 채 가능토록 설계·제작되었다. 본 장비를 활용할 경우 대형장비의 접근이 곤란한 소규모 경사구조물에 대하여 경제성 및 시공안전성을 확보하게 된다. 또한, 본 연구개발장비의 실내외 평가를 통하여 다음과 같은 성능을 확인하였다.

- 본 장비는 펌프압 1,100~1,400bar, 유량 75~182 ℓ/min.의 230~350hp 출력용량을 갖는 파워팩을 사용하여 이물질을 제거함.
- 절삭깊이는 이동속도(0.1~0.5m/sec) 및 열화정도에 따라 상이하나 약 1~50mm 절삭이 가능함.
- 절삭이물질의 비산을 방지하기 위하여 방지막을 연결, 시공자 및 장비안전을 우선시 할 수 있음.

<경사용 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 평가>

평가항목	단위	개발목표치	달성도
Hydro-demolition 출력	psi	65 이상	○
1회 최대 절삭 깊이	mm	45 이상	○
1회 최대 절삭 폭	m	3 이상	△
1회 최대 절삭 길이	m	2 이상	○
절삭단면 미세균열	유/무	무	○
분사노즐 개량	수압 조절의 변화 가능(800~1400bar) 열화부 제거 가능 범위(비파괴 검사)		
수평이동 적합성	고압살수분사기의 안정적 탈부착 가능여부 이동속도 조절 가능성 평가		
수직이동 안정성	다양한 경사면 적용 가능 및 안정적 지지성 여부 이동성 및 해제조립의 간편성 여부		



<경사용 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 전경>

■ Shotcrete 자동화 장비 개량 및 개발의 평가

본 장비는 관로의 내부를 이동하면서, 관로의 내부에 뿜어 붙이기 방식에 의해 모르타르를 타설하는 모르타르 타설장치로서, 본체부를 관로의 중앙부에 위치하도록, 본체부로부터 내벽을 향하여 연장형성된 스페이서와 본체부의 전방에 연결되어 모르타르를 공급하는 모르타르 유입호스와 모르타르 유입호스를 통해 모르타르를 공급받아, 모터에 의한 회전력에 의해, 관로의 내벽을 향하여 방사상으로 모르타르를 분사하여 타설하도록, 본체부의 후방에 설치된 모르타르 분사부를 포함하는 것을 특징으로 하는 모르타르 타설장치이다.

모터는 에어모터로 구성되어 있으며 심부에 모르타르 주입관 및 회전관의 수용공간이 형성됨과 아울러, 공기 유입구 및 공기 유출구가 관통, 형성된 본체와 공기 유입구로 유입되어, 공기 유출구로 유출되는 공기의 압력에 의해 구동하는 날개와 날개에 의해 회전력을 인가받아 회전관을 회전하도록 장착됨과 아울러, 심부에 모르타르 주입관의 관통공이 형성된 회전자를 포함하고 있다.

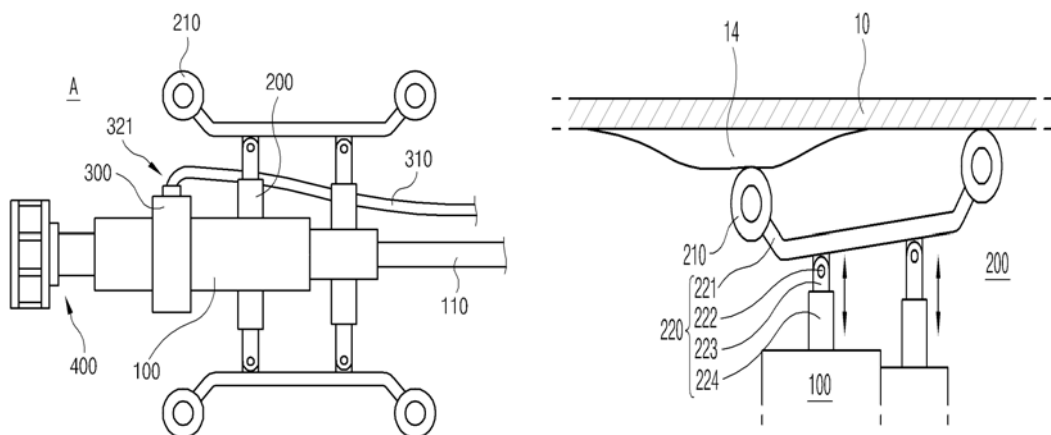
회전타설장치를 지지하는 스페이서의 단부에는 관로의 내벽과 접촉되는 롤러가 있으며 스페이서에는 본체부와 관로의 내벽 사이의 거리변화에 대응하여, 탄성적으로 길이변화가 가능하도록 하는 탄성인가수단으로 구성되어 장애물 등에 대한 대응력을 향상시켰다. 모르타르 분사부는 전방에 장착된 모르타르 유입호스를 통해 모르타르를 공급받아, 모터에 의한 회전력에 의해, 관로의 내벽을 향하여 방사상으로 모르타르를 분사하여 타설한다. 즉, 모르타르 주입관을 통해 공급되는 모르타르를 회전식 분사캡의 회전력에 의해 사방으로 뿜어냄으로써, 관로 내벽에 모르타르가 타설되도록 하는 구성되어 있다.

<Shotcrete 자동화 장비 개량 및 개발의 평가>

평가항목	단위	개발목표치	달성도
-shotcrete 리바운드율	%	10 이하	○
shotcrete 종류	-	습윤, 건조 가능	습식전용
공기압축력	psi	100 이상	○
펌프 용량	kw	7.5 이상	○
연속믹서 용량	l/min	30 이상	○
shotcrete 분사노즐 개량	일정압에 의한 지속성 여부 및 덧씌우기 범위 측정 최소분사량 및 최대분사량		
장비 조합에 따른 작업가능범위	최대 작업속도 및 작업 면적 산출 콘크리트 분사 각도와 압력 적정성 여부		



<개발된 Shotcrete 자동화 장비 및 스페이서>



<Shotcrete 자동화 장비 설계도-특허등록>

라. 개발된 HS-M공법 시스템

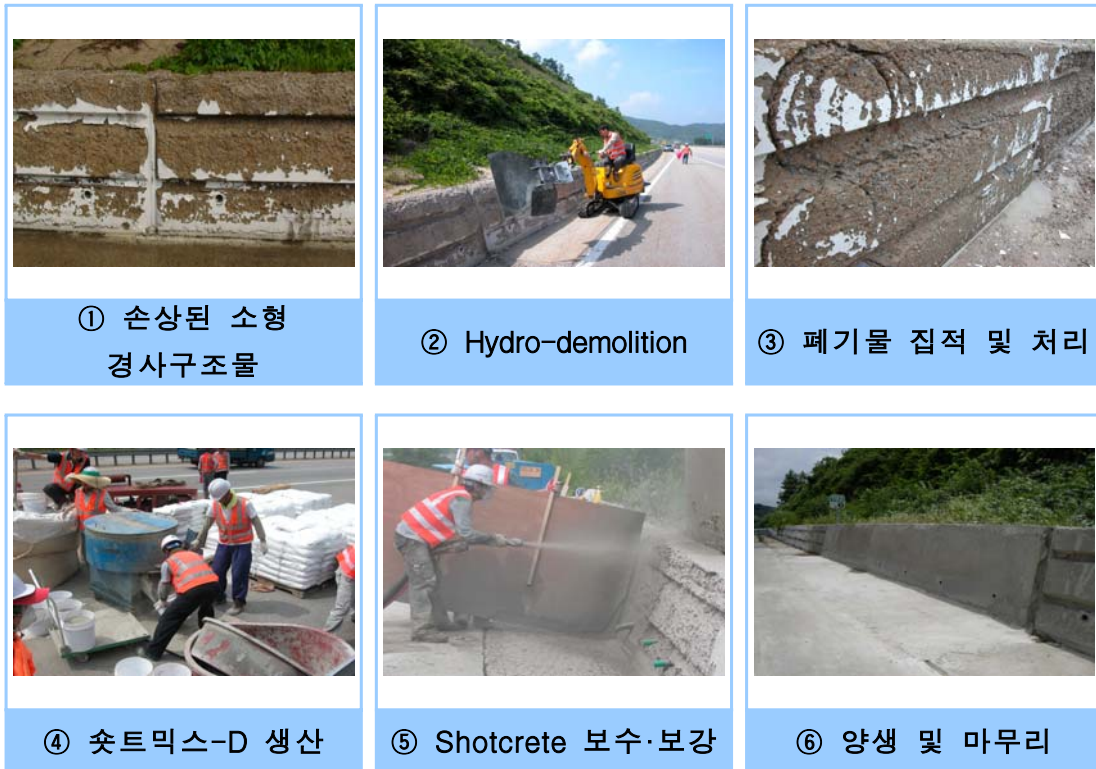
본 연구개발에서는 고압살수 표면처리 및 슛크리트를 이용한 경사구조물-관로 시스템 보수보강 공법개발에 대한 통합시스템을 구축하였으며 개발된 각 재료별 보수보강 시스템은 다음과 같다.

(1) 고성능 내황산성 모르타르 슛트믹스-M을 이용한 관로 시스템 보수보강 HS-M 공법



- 개발된 회전형 Hydro-demolition을 이용한 관로 내부 열화부 제거
- 회전 절삭과 동시에 폐기물 자동 배출
- 개발된 내황산 모르타르를 이용한 슛트믹스-M 배합
- 고속 회전 스펀헤드를 이용한 관로 내부 보수보강
- 동일 시멘트계열로 일체화 거동 및 완전부착 가능

(2) 프리믹스 건식 슛크리트 슛트믹스-D를 이용한 경사구조물 보수보강 HS-D공법



- 개발된 소형 경사면 Hydro-demolition을 이용한 열화부 완전 제거
- 자립형 로봇활용으로 현장 기술자 안전확보
- 개발된 프리믹스 건식 슛크리트 슛트믹스-D 배합
- 건식 슛크리트를 이용한 경사구조물 보수보강
- 동일 시멘트계열로 일체화 거동 및 완전부착 가능
- 급결제 미사용으로 환경오염 방지
- 초속경성으로 3시간만에 실용강도 발현
- 거푸집, 철근설치 불필요
- 인력깨기, 인력타설 등의 기존방식보다 작업효율성 및 경제성 확보

(3) 습식 쏫크리트 쏫트믹스-W를 이용한 대형 경사구조물 보수보강 HS-W공법



- 개량된 대형 경사면 Hydro-demolition을 이용한 열화부 완전 제거
- 자동형 로봇활용으로 현장 기술자 안전확보
- 개발된 프리믹스 습식 쏫크리트 쏫트믹스-W 혼화재를 이용한 배합
- 배치 플랜트 생산으로 대용량 생산 가능
- 습식 쏫크리트를 이용한 경사구조물 보수보강
- 동일 시멘트계열로 일체화 거동 및 완전부착 가능
- 급결제 미사용으로 환경오염 방지
- 거푸집, 철근설치 불필요
- 기존의 접근성 한계로 실시하지 못한 구조물 보수보강 실현

제2절 연구성과의 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

본 연구개발에서 1차년도에 이룩한 연구성과 중 기술적 연구성과의 대표적인 결과는 다음과 같이 요약할 수 있으며 각 연구성과에 대한 세부사항은 다음과 같다.

가. 계획수립 및 자료조사에 대한 기술적 기여도

- World of Concrete 참가를 통한 장비도입 및 개량 방안 모색
 - 국제적인 대규모 컨퍼런스에 참석하여 연구방향의 적정성과 국제적 연구흐름을 파악하여 본 연구개발이 보다 완성도 높은 결과를 갖을 수 있도록 각 연구기관 연구원들을 참여시켜 전문 지식배양.
- 쏫크리트 전용 실내 실험실 설비완료
 - 본 연구개발의 목표 중 하나인 쏫크리트용 고성능 내황산 모르타르 및 콘크리트 개발에 필요한 전용 실험실을 구비함으로써 연구성과에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 기술적 토대를 마련.
- 쏫크리트 전용 실외 대형 실험실 설비완료
 - 본 연구개발의 목표 중 하나인 쏫크리트용 고성능 내황산 모르타르 및 콘크리트 개발에 필요한 전용 실외 실험실을 구비함으로써 국내에 미미했던 쏫크리트 연구에 대한 전문기술인 배출과 연구기술 노하우를 높일 수 있는 기술적 토대를 마련.

나. 구조물 보수보강용 쏫크리트 모르타르 및 프리믹스 재료 개발에 대한 기술적 기여도

- 조강성 고성능 쏫크리트 모르타르 개발 및 시제품 생산
 - 국내 최초의 조강성 고성능 쏫크리트 모르타르를 개발하여 쏫트믹스-M으로 명명한 시제품을 생산함으로써 국내 쏫크리트를 이용한 모르타르 시장점유에 한발 앞서게 되었으며 전문화, 세분화된 특수 재료를 완성함으로써 국내 유일의 쏫크리트용 모르타르 제조 기술 보유.

- 프리믹스 건식 초속경 쏜크리트 재료 개발 및 시제품 생산
- 시멘트 전문 제조회사와 긴밀한 협조를 통해 국내 유일의 프리믹스 쏜크리트 재료를 개발하였으며 이를 브랜드 시리즈화하였으며 본 제품 개발에 연계된 2차 제조산업의 기술력 증대와 새로운 보수보강용 재료를 개발함으로써 쏜크리트 제품생산 기술에 대한 국산화에 기여.
- 프리믹스 혼화재를 이용한 습식 쏜크리트 재료 개발
- 혼화재 전문 제조회사와 긴밀한 협조를 통해 국내 유일의 습식 쏜크리트 혼화재를 공장 프리믹스 제품화에 성공하였으며 이를 브랜드 시리즈화 하였고 본 제품개발에 참여한 혼화물 연구자 및 쏜크리트 관련 기술자들의 새로운 기술력 확보를 이를 바탕으로 새로운 고성능 콘크리트 제조 기술을 확보하는데 기여.

다. 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 목표에 대한 기술적 기여도 (특허 등록 2건)

- 워터젯 시스템의 칩핑장치(특허등록 제10-0705356호, 2007. 4. 3)
- 현재의 평면절삭 시스템을 다양한 경사 구조물 절삭에 적합하도록 기존의 칩핑장치를 개량하고 이에 대한 지적재산권을 확보함으로써 Hydro-demolition 자동화 장비에 대한 기술력을 인정받음.
- 워터젯 시스템의 분사노즐장치(특허등록 제10-0705355호, 2007. 4. 3)
- 현재의 워터젯 시스템을 업그레이드 시키기 위하여 분사노즐장치를 개량, 이에 대한 지적재산권을 확보함으로써 Hydro-demolition 자동화 장비에 대한 기술력을 인정받음.

라. 관로 시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shotcrete용 자동화 장비 개발 목표에 대한 기술적 기여도 (장비 개발 3건, 특허등록 1건)

- 관로($\phi 600 \sim 1,000\text{mm}$)용 고압살수표면처리 장비 개발.
- 현재 국내에서 관로 시스템 보수보강에 적용 중인 비굴착공법과는 차별되는 장비로 기존의 열화된 관로에 대한 절삭장비를 개발하여 국내 유일의 관로 시스템 고압살수표면처리 장비를 보유하게 됨.
- 관로($\phi 600 \sim 1,000\text{mm}$)용 쏜크리트 Spin-Head 제작

- 열화부가 제거된 관로 시스템의 단면복구를 위한 슛크리트 Spin-Head를 자체 제작하여 시험시공함으로써 관로 시스템의 비굴착공법에 대한 새로운 공법을 완성하였으며 국내 유일의 장비 및 공법을 보유하게 됨으로써 국내 보수보강 시장의 기술력을 한단계 높이게 됨.
- 이는 국내 최초의 슛크리트 Spin-Head로 지적재산권을 확보하기 위한 일환으로 특허를 출원하였으며 이에 “모르타르 타설장치”로 특허등록 결정 (2007. 3. 28).

마. 현장 모의 시험 및 시험시공에 대한 기술적 기여도

- 관로(ø600)용 워터젯 성능 평가를 위한 모의시험
 - 새로이 개발된 워터젯 및 Spin-Head에 대한 실물 관로 모의시험을 시행하여 장비 및 공법의 타당성을 분석하였으며 이를 통한 국내 유일의 비굴착 HS공법 기술력을 보유하게 됨.
- 도로공사 중앙고속도로 소형경사구조물 보수 시험시공
 - 개발된 고성능 내황산 모르타르의 재료성능을 평가하기 위하여 소규모 경사구조물에 대한 슛크리트 모르타르 시험시공을 실시하여 재료의 우수성 및 공법 적용의 가능성을 평가하였으며, 이에 대한 기술적 노하우를 축적하게 됨.
- 도로공사 영동고속도로 소형경사구조물 보수 시험시공
 - 개발된 프리믹스 건식 슛크리트의 재료성능을 평가하기 위하여 소규모 경사구조물에 대한 슛트믹스-D 및 소형 경사구조물 고압살수 표면장비를 이용한 시험시공을 실시하여 재료의 우수성 및 공법 적용의 가능성을 평가하였으며, 이에 대한 기술적 노하우를 축적하게 됨.
- 농촌공사 원창저수지 방수로 및 대형 경사구조물 보수 시험시공
 - 개발된 습식 슛크리트의 재료성능을 평가하기 위하여 대규모 경사구조물에 대한 슛트믹스-W의 시험시공을 실시하여 재료의 우수성 및 공법 적용의 가능성을 평가하였으며, 이에 대한 기술적 노하우를 축적하게 됨.

바. 공법개발에 따른 기술적 기대효과

- 관로 시스템에 대한 HS-M공법 개발
 - 관로시스템에 대한 숏트믹스-M을 활용한 새로운 HS-M공법을 개발하여 기존의 보수보강과 비교하여 경제성 및 기술력을 확보한 새로운 공법을 개발함으로써 건전한 시장경쟁을 통한 공법의 다양화를 이루므로써 공법 선정의 폭을 넓혔다.
- 소규모 경사구조물에 대한 HS-D공법 개발
 - 기존의 소규모 경사구조물 보수보강은 인력에 경험적 파쇄, 철근 배근 및 거푸집 설치, 현장 타설 또는 레미콘 타설, 일정기간 양생방법으로 이루어졌으며 기존의 방식은 경사구조물의 특성과 열화정도를 전혀 고려치 않은 과거답습식 단순 공정이었으나 본 연구과제에서 개발한 HS-D공법은 경사구조물의 특성을 고려한 고압살수 표면처리장비를 활용, 프리믹스 건식 숏크리트를 타설함으로써, 보수보강 후 공용연수 증대와 경제성 확보를 가능케 하였음.
- 대규모 경사구조물에 대한 HS-W공법 개발
 - 대규모 경사구조물은 본 공법이 개발되기까지 현장접근성, 안전성, 공법 부재 등으로 방치되어왔다. 그러나 본 연구과제에서 개발된 HS-W공법에서 자동화 로봇에 의한 열화부 절삭, 대용량 타설이 가능한 습식 숏크리트 재료 적용 등으로 그동안 해결할 수 없었던 구조물 보수보강을 실현 가능토록 하였음.

사. 기타 기술적 기대효과 - 기술상담, 기술교육 및 정보제공 (4건)

- 농촌공사 강원지역본부 및 홍천춘천지사 대상 기술설명회
 - 대규모 경사구조물을 관리하는 농촌공사 관계자들을 대상으로 본 공법의 우수성 및 적용가능성에 대하여 기술설명회를 마련함으로써 기존 보수공법들과의 기술적 차이점 및 효과에 대하여 교육함.
- 한국도로공사 홍천지사 및 대관령 지사 대상 기술설명회
 - 소규모 경사구조물이 다량으로 설치되어 있는 한국도로공사 관계자들을 대상으로 본 공법의 우수성 및 적용가능성에 대하여 기술설명회를 마련함으로써 기존 보수공법들과의 기술적 차이점 및 효과에 대하여 교육함.

아. 성과홍보 및 확산

- 전시회 참여
 - 본 연구과제에서 달성된 쏫트믹스 시리즈를 활용한 HS공법 개발결과에 대하여 전문학술대회장에서 전시회를 개최함.
- 기술 세미나 개최, 연구진행 워크샵 개최
 - 본 연구진들은 자체적인 전체 연구원의 기술세미나 2회 및 주관기업 연구원들의 동계 워크샵을 개최함으로써 기술정보의 공유 및 개발 의지를 고취함.
- 전문학술대회 논문발표
 - 본 연구과제에서 달성된 고성능 내황산 모르타르, 프리믹스 건식 쏫크리트, 습식 쏫크리트 재료 개발결과에 대하여 학회에 보고함으로써 기술력을 인정받음.

2. 사회·경제적 측면

본 1차년도 연구개발은 개발기간이 약 6개월에 불과하여 연구성과에 대한 가시적인 경제·산업적 연구성과를 제시하기는 어려우나 기술적 연구성과를 토대로 예상되는 경제·산업적 연구성과는 대단히 큰 것으로 판단되며 각 연구성과에 대한 세부사항은 다음과 같다.

가. 계획수립 및 자료조사에 대한 사회·경제적 기여도

- 쏫크리트 전문기관인 캐나다 Laval Uni. Marc Jolin 교수와 회동을 통한 인적·물적 교류 활성화 모색
 - 국제적으로 쏫크리트 전문기관 및 전문가로 인정받고 있는 캐나다 Laval University 연구실 및 Marc Jolin 교수와의 교류를 통하여 높은 수준의 기술력 도입과 국제 쏫크리트 시장에 대한 경제·산업적 동향 분석이 용이하게 됨.

나. 기존 구조물 보수보강을 위한 국내 최초의 쏫크리트 전용 재료 개발에 대한 사회·경제적 기여도

- 조강성 고성능 쏿크리트 모르타르 개발 및 시제품 생산
 - 시멘트 전문 제조사와 긴밀한 협조를 통해 국내 유일의 조강성 고성능 쏿크리트 모르타르를 개발하였으며 이를 브랜드화하여 국내 보수 시장에서 재료적 기술력 인정과 더불어 제품 생산, 판매에 따른 경제적 이익 창출과 담보상태에 머물고 있는 쏿크리트 보수 시장에 대한 산업적 파급 효과가 매우 클 것으로 기대.
- 프리믹스 건식 초속경 쏿크리트 재료 개발 및 시제품 생산
 - 시멘트 전문 제조사와 긴밀한 협조를 통해 국내 유일의 프리믹스 쏿크리트 재료를 개발하였으며 이를 브랜드 시리즈화하였음. 본 개발품은 쏿크리트에 대한 국내 기술자의 인식을 바꾸어 놓은 것이며 쏿크리트=터널라이닝으로 고착된 국내 토목시장에 새로운 블루오션을 창출할 것으로 확신.
- 프리믹스 혼화재를 이용한 습식 쏿크리트 재료 개발
 - 혼화재 전문 제조사와 긴밀한 협조를 통해 국내 유일의 습식 쏿크리트 혼화재를 공장 프리믹스 제품화에 성공하였으며 이를 브랜드 시리즈화하였음. 본 제품은 대규모 경사구조물 보수보강에 적용하기 위하여 배치플랜트를 활용한 생산이 가능하며 기존 쏿크리트 성능을 고성능, 고내구성으로 개선할 수 있는 재료로써 쏿크리트 보수 시장에 대한 산업적 파급 효과가 매우 클 것으로 기대.

다. 경사면 자립형 Hydro-demolition 자동화 장비 개량 목표에 대한 사회·경제적 기여도(특허 등록 2건)

- 워터젯 시스템의 칩핑장치 및 워터젯 시스템의 분사노즐장치 특허등록
 - 국내에서 워터젯을 활용한 기존 경사구조물 열화 제거 방식에 있어 독보적인 기술력 확보와 이를 활용한 콘크리트 구조물 보수보강 시장 확대에 매우 유리한 성과를 이룩함.

라. 관로 시스템 회전형 Hydro-demolition 및 Shotcrete용 자동화 장비 개발 목표에 대한 사회·경제적 기여도 (장비 개발 3건, 특허등록 1건)

- 관로($\phi 600 \sim 1,000\text{mm}$)용 고압살수표면처리 장비 개발 및 쏿크리트

Spin-Head 제작

- 국내 최초의 시멘트계를 활용한 관로 시스템의 비굴착공법을 정착함으로써 관로 시스템 보수시장에서 관리자들에게 공법 선택의 폭을 넓혔으며 이를 적극활용할 경우 기존 공법들과 산업경제적 경쟁을 통해 전체적인 보수시장의 기술력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단.
- 선진국의 최신 슛크리트 전용 장비를 도입함으로써 기존 보수업체와는 차별되는 기술력과 품질경쟁력을 확보함으로써 보수시장 전반에 걸친 기술 경쟁력 유발

마. 기타 경제·산업적 연구성과-기술상담, 기술교육 및 정보제공 (2건)

- 농촌공사 강원지역본부 및 한국도로공사 홍천지사 대상 기술설명회
- 본 개발기술에 대한 발주처 관계자들에 대한 기술설명회는 기술의 범용성을 앞당기는 파급효과가 있을 것이며, 기존 공법에 비하여 월등한 경쟁력을 가지고 있음을 직접적으로 시험시공을 통하여 공개함으로써 본 기술에 대한 관계기관 관련자들에게 기술력 확신과 우수성을 널리 홍보할 수 있었음.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제1절 연구성과의 활용방안

본 연구의 활용방안은 다음과 같이 연구의 중요성을 통하여 계획할 수 있다.

도로 상의 경사구조물과 각종 수리 구조물(저수지 제방, 여수로 및 하수로)은 그 특성상 수분에 노출되어 지속적으로 반복적인 동결융해 하에 놓이게 된다. 이러한 동결융해 작용은 구조물 건설 시 수밀한 콘크리트로 제조하지 못할 경우 콘크리트 열화를 촉진시키는 직접적인 원인으로 작용하게 된다. 또한 노후화된 구조물의 경우 건설당시의 기술력 낙후와 내구연한의 장기화로 구조물의 탈리, 균열 발생이 심각한 것으로 나타나고 있다. 이의 보수를 시행하지 않을 경우 커다란 환경재난을 가져올 수 있으며 특히 장마철 및 태풍 등의 영향으로 구조물 자체의 안정성에 큰 피해를 입을 수 있게 된다. 특히 경사로 구조물은 사면의 구배가 급경사인 관계로 시공 및 보수보강 시에는 다음과 같은 문제점이 있다.

구 분	기존 경사 구조물 보수보강의 문제점
시공성 및 안정성	- 거푸집 설치가 어려움 - 콘크리트 펌프카 또는 콘크리트 펌프 등의 팔길이 부족 - 급경사에서는 콘크리트 슬럼프를 적절히 조절하기 곤란, 단면형성이 매우 어려움 - 불안정한 작업원 자세로 사면 작업 안전관리에 허점을 노출 - 공사기간이 상당히 오래 걸림
품질관리	- 콘크리트 타설시 다짐이 거의 불가하여 품질확보가 어려움 - 부착력 유지가 어려워 시공 후 탈락 및 박리가 일어남 - 단면형성 후 되메우기를 시행하기 어렵고, 되메우기 시공 후라도 우천시에 유실될 가능성이 높음

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 거푸집의 제작이 필요 없는 슛크리트의 접목이 가장 타당한 대안으로 알려져 있다. 일반 슛크리트 공법에 의한 보수방법은 빠른 시간 내에 구조재로서의 역할을 할 수 있고, 거푸집을 사용하지 않고 극

히 얇은 것부터 상당히 두꺼운 것까지 자유로이 시공할 수 있어 사갱, 수직갱, 비탈면 혹은 벽면의 풍화나 박리, 박락의 방지, 터널, 댐 및 교량의 보수, 보강공사 등에 적용될 수 있다. 그러나 이와 같이 다방면에 적용할 수 있는 숏크리트 공법은 안정성 확보를 위한 초기강도 확보, 장기간의 사용성을 위한 내구성 확보 등을 필요로 하며, 굴착면 또는 대상구조물의 부착성 및 리바운드와 분진의 발생을 최소화하는 시공성을 함께 보유하여야 한다.

또한 최근 환경보전 및 생명에 대한 인식전환이 범세계적으로 확산되고 있는 가운데 시멘트·콘크리트 문화를 주도해온 건설기술자와 연구자들 사이에서 친환경적이면 고기능성을 확보한 콘크리트 개발이 관심사로 떠오르기 시작하였다. 그러나 국내의 보수용 숏크리트의 기술은 초기의 기술력을 답습하고 있는 상태로 품질과 시공능률면에서 많은 문제점을 가지고 있으며 이를 해결하기위한 본 연구개발 기술이 절실히 필요한 실정이다.

① 국내에 숏크리트의 적용대상구조물이 다양해지고 대형화됨에 따라 초기 처짐과 변형을 억제할 수 있는 초기강도 확보와 장기간의 사용성을 확보할 수 있도록 내구성을 확보한 고강도 고기능성의 일체화 콘크리트가 요구되고 있다. 그러나 현재 국내에 사용 중인 숏크리트는 적용대상이 터널 등지에 한정되어지며 특히 품질관리의 불확실성과 시공성 및 재료특성에 기인한 균열발생으로 많은 유지관리를 필요로 하고 있으며, 특히 박리 및 탈리 등으로 사용연한의 단축을 초래하고 있다.

② 숏크리트는 일반 현장타설 콘크리트와는 달리 초기강도 확보와 리바운드 저감, 지반의 이완을 조기에 억제하기 위해 급결제(Accelerator)를 사용하고 있다. 이 급결제는 숏크리트의 초기강도 뿐만 아니라 장기강도 발현과 내구성, 고기능성 일체화 콘크리트의 두께 등에 영향을 미치고 숏크리트의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 재료이다. 그러나 지금까지의 연구결과에 의하면 기존의 범용 급결제를 사용한 숏크리트의 장기강도는 급결제를 넣지 않은 것과 비교해 20~40%의 압축강도가 저하되고, 급결제 첨가량이 증가할수록 장기강도의 저하와 다량의 리바운드량이 발생하여 설계기준강도를 만족하지 못하는 경우가 발생된다. 또한 대부분의 급결제가 강한 염기성으로 일부 제품의 경우에는 강한 자극성 때문에 작

업자의 안전에 직접적인 영향을 미치고 있으며 특히 석회암 지반으로 토질자체가 염기성인 경우에는 배수구를 통해 시공현장 외부로 배출되어 용해수가 주변 환경을 오염시키는 문제점을 가지고 있다.

③ 슛크리트는 공기압을 통해 콘크리트를 타설하는 형태이므로 재료의 리바운드(rebound) 발생이 필연적이다. 리바운드율에는 공법 및 대상 구조물에 따라 다소 차이가 있으나, 습식공법의 비탈면에서는 15-20%, 습식공법의 천정면에서는 30-40%의 리바운드가 발생하고, 건식공법에서는 더 많은 리바운드가 있는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 막대한 리바운드의 발생은 재료의 손실 및 자원의 낭비를 초래하며 동시에 환경오염을 야기 시키고 있다.

④ 슛크리트의 강도 및 부착력과 내구성 향상을 위해 강섬유 보강 슛크리트를 많이 사용하고 있는데, 강섬유 사용 시 fiber의 엉킴에 의한 fiber ball의 발생하게 된다. 이로 인하여 호스의 막힘 및 리바운드의 다량 발생으로 강섬유 보강 슛크리트의 소기의 성과를 거두지 못하는 문제점 발생하게 된다.

⑤ 특히 구조물의 건설이 아닌 기존 구조물의 보수보강 시 열화부 제거 및 재포설을 시행하여야 하나 일반 슛크리트의 경우 굵은골재의 사용으로 인하여 기존 구조물과의 부착성 및 반발률 증가로 어려움이 뒤따르고 있다. 또한 덧씌우기의 깊이가 낮을 경우(약 5cm 이하) 기존의 슛크리트 재료로는 원하는 단면 형상 및 보수보강 성과를 거두지 못하게 된다.

이러한 본 연구방면의 중요성을 통하여 향후 본 결과물을 기본으로 하여 활용할 수 있는 분야는 각종 경사구조물과 수리구조물 및 관로 이외에도 매우 광범위하다.

이는 산성토양, 온천지역 및 오, 폐수가 발생하는 지역, 공업단지 등 황산염이 다량 함유된 환경의 열악한 조건에서 건설 되는 구조물, 해안 및 간척지등의 해양 환경하에 건설되는 구조물 및 해수와 직접 접촉하는 발전소 구조물, 수중콘크리트 구조물, 장대 교량의 하부구조물, LNG저장탱크 등 내화학적, 내부식성이 요구되는 구조물뿐만 아니라 여러 특수 능력들이 요구되는 다양한 구조물에 활용도를 기대

할 수 있다.

그리고 오수, 우수관로 등 불량하수도 정비공사시나, 상수도관거에까지 적용할 수 있다. 그리고 택지개발, 단지개발, 해안매립지 등 연약지반 내 매립지에 조성된 각종 단지의 배수관 보완공사에 사용될 수 있고 하수처리장, 각종 산업폐수 배출관 등 내화학적, 내부식성이 요구되는 관거에도 집중적으로 사용될 수 있으며, 해수와 직접 접촉하는 발전소 용수관에 까지 다양한 활용도를 기대할 수 있다.

제2절 활용에 따른 기대효과

1. 기술적 측면

본 연구개발의 기술적 측면 기대성과는 재료적 측면을 살펴보면 국내적으로는 내황산 시멘트계 구조물 뿔어붙이기 보수보강용 재료(모르타르 및 콘크리트)의 유일한 기술을 보유하게 된다. 내황산성, 내부식성, 방수성 등 뛰어난 고기능성을 포함한 재료는 구조물 보수보강 공사뿐만 아니라, 오염도가 높아 커다란 내화학적, 내부식성이 요구되는 특수 구조물에도 사용될 수 있으며, 다양한 환경의 지하구조물 등 다양한 활용도와 파급효과를 기대할 수 있다.

본 연구개발기술은 다양한 구조물에 적용할 수 있는 보수·보강공법으로 공용 중인 각종 경사구조물과 수리구조물 및 관로의 기능성 회복, 구조성능 회복 등을 이루어 기존 공법의 문제점을 해결한다. 기존 공법보다 품질관리, 시공, 현장적용 등이 용이하여 기술 선진화를 이룰 수 있다

- 보수용 고기능성 숏크리트 모르타르와 콘크리트 개발 및 일체화 시공으로 내구성 및 장기공용성 확보
- 우수한 강도발현, 불투수성, 부착력, 휨강도 등을 기본으로 내황산성, 내수성, 항균성, 저수축성, 초조강성을 추가로 지닌 고강도 고기능성 재료 개발로 기존의 낙후된 숏크리트 대체 효과
- 균열발생 억제력의 증진으로 내구성 증진 및 장기간 사용성 확보
- 리바운드율 저감으로 균질한 고성능 일체화 콘크리트 생산
- 급결제 사용억제로 환경 및 생명 보호(노무자들의 안전확보)
- 자동화 공법 개발에 따른 보수공법의 전문화 및 선진화
- 자동화에 따른 공기단축 및 재보수 방지로 경제성 증진

- 구조물 전단면 보수보강 공법 개발 효과
- 표면박리 된 콘크리트 구조물과 시공이 난이한 구조물의 보수, 불투수성 및 내구성을 필요로 하는 수리 및 해양구조물 유지보수에 적용 등 다양한 구조물 보수보강 가능

2. 사회·경제적 측면

기존 구조물 보수보강은 인장강도, 접착강도, 투과 저항성, 내화학적 등이 낮아서 최대 단점으로 작용하고 있으며, 이로 인한 구조물 표면의 부식과 내구성 저하 등이 시급한 문제점으로 제시되고 있다. 또한 시공단계부터 종합적 부실을 가지고 있으며, 일반적인 보수·유지관리로는 정상적인 구조적 성능을 수행할 수 없는 경우가 많다. 따라서 시멘트계의 첨단 기능성 첨가재료가 포함된 복합소재의 재료 개발로 내화학적 및 내부식성, 방청, 고유동성, 방수성 등을 크게 증대시킬 수 있어야 한다.

- 본 개발로 외국기술의 국내도입 억제, 기술사용 및 재료와 시공관련자재 등의 수출이 가능하다. 범용성을 가지는 독창적 재료는 자재의 국산화에 따른 외화유출방지 뿐만 아니라 기술의 범용성을 앞당기는 파급효과가 있을 것이며, 기존 공법에 비하여 월등한 경쟁력을 가지고 있어 외화유출방지 및 수출증대 효과를 기대할 수 있는 경제적인 공법이다.
- 우수한 강도발현, 불투수성, 부착력, 휨강도, 균열발생 억제력 향상과 내구연한 증진에 따른 유지보수비용 절감
- 리바운드율 저감으로 자원낭비 절감 및 경제성 확보
- 보수 보강이 난이하고, 거푸집 설치가 불가능한 구조물 보수에 적용함으로 기존 보수보강에 필요했던 부가 구조물의 재건축비용 절감
- 추후 국내·외 관련 업체와 공동연구를 유치하여 기술이전과 기술력향상을 이룰 수 있을 뿐만 아니라 국외 관련 업체를 통한 기술력 수출 또한 이루어져 외자 유치 이익을 갖게 한다. 그리고 내화산성 나노 재료를 이용한 재료를 개발하여 건설현장에 적용하므로, 이 분야의 활발한 산업 발전의 시발점으로 작용할 것이다.

구분	기대효과
기술적 효과	● 장기 공용성을 지닌 숏크리트용 모르타르 및 콘크리트 개발 - 내황산성, 내부식성, 방수성 등 뛰어난 고기능성을 포함한 재료는 구조물 보수보강 공사뿐 등 다양한 활용도와 파급효과 - 우수한 강도발현, 불투수성, 부착력, 휨강도 등을 기본으로 내황산성, 내수성, 항균성, 저수축성, 초조강성을 추가로 지닌 고강도 고기능성 재료 개발로 기존의 낙후된 숏크리트 대체 효과 ● 보수공사에 고압살수표면처리공법(Hydrodemolition)의 사용 일반화 - 보수공사에 필연적인 열화 된 콘크리트의 효율적 제거 - 열화부 제거 시 기존 콘크리트에 균열을 남기지 않음 ● 습식 숏크리트 공법의 보수공사에 효율적 적용 - 리바운드율 저감으로 균질한 고성능 일체화 콘크리트 생산 - 급결제 사용억제로 장기강도 및 내구성 확보 ● 자동화 공법 개발에 따른 보수공법의 전문화 및 선진화 - 자동화에 따른 공기단축 및 재보수 방지로 경제성 증진 - 구조물 전단면 보수보강 공법 개발 효과
사회 · 경제적 효과	● 시멘트계의 첨단 기능성 첨가재료가 포함된 복합소재의 재료 개발 - 우수한 강도발현, 불투수성, 부착력, 휨강도, 균열발생 억제력 향상과 내구연한 증진에 따른 유지보수비용 절감 - 보수 보강이 난이하고, 거푸집을 설치가 부가한 구조물 보수에 적용함으로써 기존 보수보강에 필요했던 부가 구조물의 재건축비용 절감 ● 정부 주도하의 하수관거 정비 종합계획에 따른 시장규모 - 건교부에 의하여 수립된 도로 경사구조물 보수예산은 2007년 약 5,000억원을 투자하여 정비를 추진 - 숏크리트 보수보강에 대한 연간 시장점유율 목표를 5%하여 매년 250억원의 규모 안정된 시장이 예측

3. 타 산업에 미치는 효과

본 연구개발은 건설분야 이외에도 기계분야와 나노재료분야 및 환경분야에 까지 타 산업에 미치는 효과는 크다. 즉 숏크리트 보수용 고기능성 내황산 모르타르 개발에서는 시멘트계 건설재료에 나노재료인 내황산성 재료를 첨가하여 최적의 배합을 유도하는 과정과 향후 재료의 성능 향상을 위해서 첨단 재료분야의 연계와 파급효과를 갖는다. 그리고 경사구조물 및 관로의 열화부 제거를 위한 고압살수표면처리 자동화 장비와 숏크리트 자동화 장비 및 공법 개발을 위하여 기계분야, 특

히 현재의 워터젯 장비와 슛크리트 장비를 활용한 조합 장비의 개량과 동시에 경사구조물과 관로에 적용하여 최적 성능을 유도하기 위하여 자유로운 경사면 이동 및 공사가 가능한 지지대 개발 및 슛크리트 건 및 워터젯 노즐 장착을 위한 moving frame 개발 등의 신규 장비 유닛 개발이 최신의 기계분야 기술과 연계하여 건설 장비 분야에도 활성화된 협력 시장을 창출할 것으로 기대한다. 그리고 본 연구개발은 상하수도과 같은 관로와 하수처리장, 특수 내화확성이 요구되는 분야까지 환경분야에도 파급효과를 기대할 수 있으며 건설 유지보수와 기계산업, 재료산업, 환경산업의 신규시장 개척에 영향을 미치는 효과를 갖는다.

4. 해외진출에 미치는 효과

가. 슛크리트 보수보강 공법 시스템 효과

첨가제를 사용하는 외국기술의 국내도입을 억제(=연간 로열티 절약(총공사비-부가세) $\times 2\sim 5\%$) 할 수 있고 중국, 동남아시아(=싱가포르, 대만, 말레이시아), 인도 등에 기술사용 및 시공관련자재 등의 수출이 가능하다. 그리고 견인, 밀착반전삽입은 기존의 공법특성 중 견인삽입, 공기압반전, 수압반전의 통상적인 기술들에서 사용하는 연질보강튜브는 외국의 원기술사에 지불해야 함으로 공법 로열티와 함께 2종의 외화유출이 일어나고 있는 실정이다. 현재 이러한 현실을 감안할 때 범용성을 가지는 독창적 재료와 공법 개발은 자재의 국산화에 따른 외화유출방지 뿐만 아니라 기술의 범용성을 앞당길 수 있는 파급효과가 있을 것으로 판단된다.

나. 재료개발에 따른 효과

우선 재료적 측면을 살펴보면 국내적으로는 내황산 시멘트계 재료의 유일한 기술을 보유하게 된다. 이는 기존 구조물과 일체성이 뛰어난 시멘트 슛크리트 발전하는 단계에서 최신·최적의 재료적 기술을 국내에서 소유하게 된다. 내황산성, 내부식성, 방수성, 항균성 등 뛰어난 고기능성을 포함한 재료는 오염도가 높아 커다란 내화확성, 내부식성이 요구되는 구조물에도 사용될 수 있으며, 특수 환경의 지하구조물 등 다양한 활용도와 파급효과를 기대할 수 있으며 이를 국제특허로 등록할 경우 해외시장진출이 보다 용이할 수 있다.

제3절 경제성 비교분석

1. 내황산 모르타르 숏트믹스-M를 이용한 HS-M공법과 기존공법 비교

본 연구과제에서 개발된 내황산 모르타르 숏트믹스-M을 이용한 Hydro-demolition & Shocrete(HS-M) 공법은 기존의 스프레이 보수공법과 비교하여 다음과 같은 장점을 지니고 있다.

- 방청제 도포, 접착제 도포 등이 필요없어 시공절차 간소화로 시간, 비용 절감
- 현장에서 물 혼합비만 조절
- 내황산성으로 내구성 향상
- Hydro-demolition으로 철근방청 불필요
- 기공이 적음
- 접착력 우수

이를 종합한 경제성에서도 기존의 스프레이 보수공법과 비교하여 약 14~20% 절감효과가 있어 경제성이 높은 것으로 분석되었다.

공 법	시공 단계	비 고
HS-M공법 (숏트믹스-M)	① Hydro-demolition표면처리 → ② 단면충전숏크리트 → ③ 마감	시공단계 최소화
MDF 스프레이공법	① 표면처리 → ② 고압수표면세척 → ③ 방청처리 → ④ 초벌스프레이 → ⑤ 단면충전스프레이 → ⑥ 마감스프레이 → ⑦ 마감	표면처리 : 소형 브레이커 + 공기 압축기
리폼공법	① 표면처리 → ② 고압수표면세척→ ③ 발청억제침투제 → ④ 접착력강화1 → ⑤ 접착력강화2→ ⑥ 1차단면충전 → ⑦ 2차단면충전 → ⑧ 마감	각 단계별로 시 공 후 일정시간 건조 후 다음단 계 시공 가능
리프리트공법	① 표면처리 → ② 고압수표면세척 → ③ 침투성알카리부여 → ④ 방청제도포 → ⑤ 철근방청 → ⑥ 단면충전 → ⑦ 마감방청시멘트도포 → ⑧ 마감	각 단계별로 시 공 후 일정시간 건조 후 다음단 계 시공 가능

■ HS-M공법을 이용한 관로시스템 보수보강공법 경제성 비교

- HS-M공법은 노후화된 기존 콘크리트관에 도로를 굴착하지 않고 신관수준 또는 그 이상으로 기존관을 갱생하는 공법임.
- 내구성은 15년 정도의 수명을 가지며, 공사기간은 7~14일 정도로 신설공사기간의 절반에 불과하며 환경문제 저감과 경제성 및 도심환경과 안전문제를 최소화 시킬 수 있는 새로운 공법임.

< 관로시스템 HS-M공법과 신규교체공법과의 비교 >

분류비교	굴착공법	비굴착 HS-M공법
개 요	-도로굴착후 관 교체	-굴착없이 신관수준 이상으로 관갱생
교통문제	-시공 전구간의 교통차단 -장기간 도로통제로 교통체증 유발	-시공 일부구간의 1차선정도 교통문제 -단기간 도로 통제로 교통체증 해소
공사기간	- 5~30일 정도	-7~14일
환경문제	-관 파손 및 이음부 불량에 의한 하수 유출로 토양오염 및 지하수 유입 -건설폐자재 상당량 발생	-수밀시공으로 인한 하수유출 및 지하수 유입 완전차단 -지하수 및 토양오염 방지 -건설 폐자재 발생억제
행정문제	-간헐적 보수공사로 인한 민원발생 및 행정불신초래 -예측불허의 긴급보수로 장기적계획의 차질 초래	-단1회 시공으로 민원발생 해소 및 행정 신뢰감 구축 -계획적인 불량 하수관거 정비사업 가능
경제성	-생화하수관 기준(ø600mm, 흙관) 비포장 47만원/m, 포장 69~85만원/m -내구년한 최소 약 10년	-생화하수관 기준(ø600mm, 흙관) 50~60만원/m -도로수명 단축, 교통장애, 환경문제 등 사회간접손실을 감안시 경제성 탁월 -내구년한 최소 15년 이상
도심환경	-장기간 공사로 주민의 주거환경 악화	-단기간 공사로 쾌적한 도심환경 창조
안전	-굴착으로 인한 주변 침하현상 야기 -굴착시 가스관등 타 매설관로 접촉으로 위험상존	-주변 침하현상과 무관 -타 매설관과 접촉성 전무

■ HS-M공법을 이용한 기존 경사구조물 박층 보수보강공법 경제성 비교

구 분		본공법	기존 박층 보수·보강 공법		
		HS-M공법 (샷믹스-M)	MDF 공법	리폼 공법	리프리트 공법
공법 개요	방식	Hydrodemolition + Shotcrete	브레이커 + Shotcrete	브레이커 + 손미장·붓시공	브레이커 + 손미장·붓시공
	사용재료	샷믹스-M	폴리머 모르타르	작업단계별 구분 (액상폴리머혼입)	작업단계별 구분 (액상폴리머혼입)
	신기술	-	건설신기술246호	건설신기술 59호	건설신기술209호
보수 목적		철근, 강선, 와이어매쉬, 일반 수복 보수	철근, 강선, 와이어매쉬, 일반 단면 수복 보수	일반 단면 수복 보수	일반 단면 수복 보수
시공성	콘크리트 표면철거	높이 5m까지 가능	높이 2.5m까지 가능(이후 비계 설치)	높이 2.5m까지 가능(이후 비계 설치)	높이 2.5m까지 가능(이후 비계 설치)
	철근방청제 도포	필요 없음	사용함	사용함	사용함
	접착제	필요 없음	필요 없음	사용함	방청시멘트, 침투성알카리부여
	최대시공 두께	10cm(천정)	6cm(천정)	2cm(천정)	2cm(천정)
	작업인원	1개조 4명	5명	8명	8명
시공절차		단일단계 공정	다단계 연속 공정	다단계 단속 공정	다단계 단속 공정
장 점		• 시공절차 간소화로 시간, 비용 절감 • 현장에서 물 혼합비만 조절 • 내환경성으로 내구성 향상 • Hydro-demolition으로 철근방청 불필요 • 기공이 적음 • 접착력 우수	• 현장에서 물 혼합비만 조절 • 기공이 적음 • 접착력 우수	• 시공시 사용도구 비용이 적음 • 유기+무기계로 습윤면 시공가능 • 침투성접착강화제로 방청력발현 • 국소면적시 비용이 적음	• 시공시 사용도구 비용이 적음 • 무기계로 습윤면 시공가능 • 중성화된 구조물의 알칼리성 회복
단 점		• 사용장비 이동시 비용 발생 • 국소면적 시공시 비용이 많이 들 • 장비세척에 많은 시간 소요		• 현장에서 폴리머 액체와 모르타르를 혼합하여 사용 • 작업 소요시간 김 • 작업공간에 제약이 따름 • 벽체 및 천장 부착시 접착력이 약함 • 작업소요인원이 많음 • 1일 시공두께가 얇음(최대 30mm)	
경제성 (원/m ²)	표면철거	155,802	43,000	43,000	43,000
	방청제 도포	-	19,000	60,000	54,000
	단면수복	65,643	195,000	194,000	197,000
	합계	221,445	257,000	297,000	294,000

2. 프리믹스 건식 슛크리트 슛트믹스-D를 이용한 HS-D공법과 기존공법 비교

본 연구과제에서 개발된 프리믹스형 건식 슛크리트인 슛트믹스-W를 이용한 Hydro-demolition & Shocrete(HS) 공법은 기존의 경사구조물 보수공법과 비교하여 다음과 같은 특징을 지니고 있다.

- 중분대기초 및 L형측구에 대한 기존 보수공사는 인력 및 소형장비 깨기, 치핑, 앵커 및 와이어 매쉬 설치, 레미콘 타설의 공정을 가지고 있으며 인력공정이 많아 일일작업량이 20~30m²에 불과함.
- 또한, 일정깊이(약 10cm)까지 충격식 브레이커로 기존 구조물을 깨어내고 부착증진을 위해 또다시 치핑, 앵커 및 와이어매쉬를 설치하고 수직거푸집을 설치한 후 콘크리트를 타설하는 방식임.
- HS공법은 워터블라스팅을 이용하여 열화부(5~10cm)를 제거한 후, 앵커 및 와이어매쉬설치 없이 부착력이 우수한 HS시멘트를 강하게 뿜어붙이므로서 안정적인 일체화 거동 확보.
- HS공법의 일일작업량은 최소토출구 사용시 20~30m²/hr (최대토출구 사용시 62m²/hr)이며 포설시간 3시간기준으로 60~90m²/일 (최대 186m²/일)의 작업량을 가지므로 기존 공사방식에 비해 효율성이 2~3배 향상됨.

이를 종합한 공사비 측면에서도 기존 공사방식인 인력과쇄&거푸집설치식 보수공법은 약 140,878원/m²이며, 슛트믹스-D를 이용한 HS공법은 182,272원/m² 이나 일일작업가능량을 비교할 경우, HS공법이 오히려 약 2~3배정도 경제성이 높은 것으로 분석되었다.

<HS-D공법(슛트믹스-D) 개략 보수공사비>

공 종	규격	단위	수량	재료비	노무비	경비	합계
콘크리트건어내기 (워터블라스팅)	T=5CM	M2	1	8,983	5,563	11,965	26,519
버력비산 보호막설치	T=5CM	M2	1	8,704	2,152	0	10,864
콘크리트파쇄면 청소 및 버력모으기	T=5CM	M2	1	5,725	46,159	2,669	54,561
슛크리트(슛트믹스-D)	T=5CM	M2	1	69,044	14,671	6,638	90,361
합계		M2		92,455	68,545	21,272	182,305

<인력파쇄&거푸집설치식 기존 보수공사비>

공	종	규격	단위	수량	재료비		노무비		경비		합계
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	금액
1	무근콘크리트 깨기	기계, 소형	M3	0.124	3,988	495	37,566	4,658	1,927	239	5,392
2	무근콘크리트타설(레미콘)	1종25mm	M3	0.124	77,418	9,600	30,977	3,841		0	13,441
3	앙카설치	Φ16,L=15cm	공	2	1,974	3,948	13,932	27,864	1,009	2,018	33,830
4	합판거푸집	(4회)	M2	1.04	7,250	7,540	11,656	12,122		0	19,662
5	수축줄눈설치	폭5mm, 깊이15cm	M	0.223	1,102	246	3,909	873	88	20	1,139
6	폐콘크리트운반	2.5톤 덤프	M3	0.124	3,844	477	37,492	4,649	8,267	1,025	6,151
7	교통관리비	갓길차단	일	0.056	64,272	3,607	201,308	11,298	91,811	5,153	20,057
8	콘크리트치핑		M2	1.03		0	18,522	19,078	555	572	19,649
9	와이어매쉬설치	#4	M2	0.83	3,189	2,647	483	401		0	3,048
10	배수파이프설치	@50	M	0.05	1,864	93	186	9		0	102
11	신구콘크리트접착제바르기		M2	1.03	6,640	6,839	11,011	11,341	220	227	18,407
	직공비계					35,491		96,134		9,252	140,878

<인력파쇄&거푸집설치식 기존 보수공법과 주요공정비교>

공정	기존 공사방식	HSD공법 (숏믹스-D)	비고
1. 무근콘크리트 깨기	유압브레이커	워터블라스팅	
2. 무근콘크리트타설	레미콘	숏믹스-D	
3. 앙카설치	핸드드릴&인력	-	
4. 합판거푸집	인력	-	
5. 수축줄눈설치	6m 당	6m 당	
6. 폐콘크리트운반	2.5톤 덤프	2.5톤 덤프	
7. 교통관리비	교통차단및신호수	교통차단및신호수	
8. 콘크리트치핑	핸드브레이커&인력	-	
9. 와이어매쉬설치	인력설치	-	
10. 배수파이프설치	기존배수구 재설치	기존배수구 재설치	
일일작업량	20~30m ² /일	20~30m ² /hr (60~90m ³ /day)	

구분	건식 HS-D 공법 (특허출원 0075331, 0076544))	기존 공법
공법 개요	손상된 측구 및 중분대기초를 건식 슛크리트 전용 프리믹스 모르타르와 Hydro-demolition 장비를 이용하여 손상 부위를 일정 깊이까지 기계화 장비를 활용하여 절삭, 청소 후 치핑 및 와이어매쉬 설치 없이 고압으로 슛크리트를 뿔어붙이므로 기존방식에 비해 작업성이 2~3배 향상되고 기존 구조물과 일체화 거동과 고내구성을 유지할 수 있는 보수공법..	손상된 측구 및 중분대기초를 소형브레이커로 파쇄한 후 부착력 확보를 위한 추가 치핑, 앵커설치, 와이어매쉬 설치, 수직거푸집 설치 후 레미콘 타설을 실시한 후 약 14일 이상 양생 후 거푸집을 해체하는 공법으로 인력에 의한 공정 및 설치물 과다로 일일작업량이 현저히 감소하며, 기존 콘크리트 물성의 반복사용으로 보수 효과 미미.
재료 구성	건식 슛크리트 전용 HS시멘트 (일반형, 조강형, 초속경형 선택가능)	일반시멘트, 골재, 물
압축 강도	• 4시간 : 26 MPa • 28일 : 40~45 MPa	• 7일 : 10 MPa • 28일 : 25~30 MPa
휨강도	• 4시간 : 5~6 MPa • 28일 : 8~9 MPa	• 7일 : 2.0~2.5 MPa • 28일 : 4.0~5.0 MPa
부착성	• 부착강도 20 MPa이상으로 기존 콘크리트와의 부착성이 높음.	• 재료의 낮은 부착강도를 치핑, 앵커 및 와이어매쉬 등으로 유지.
균열 저항	• 우수	• 양호
방수성	• 7일 : 365 쿨롱-매우낮음 • 28일 : 93 쿨롱-불투수성	• 7일 : 4,000이상 쿨롱-투수성 • 28일 : 2,000~4,000 쿨롱-보통
시공성	• 일정 보수면적에 대하여는 1일 이내 시공가능. • 일일작업가능량 60m²/일 이상	• 양생기간이 최소 14일이상 소요. • 일일작업가능량 20~30m²/일
경제성	• 속경성 : 182,000원/m² • 일반 : 124,000원/m²	• 일반 : 140,000원/m ²
장점	• 시급성에 따라 1~14일 시공일 선택가능. • 내구성이 우수함.	• 거푸집 사용으로 마감면 상태 양호.
단점	• 슛크리트 특성상 분진 및 리바운드 발생가능.	• 최소 14일이상의 양생소요기간이 필요. • 브레이커 파쇄로 추가 손상가능 • 앵커, 와이어매쉬, 거푸집설치로 시간소요과다 • 일반레미콘 사용으로 재료향상

3. HS공법을 이용한 오봉지구 보수보강

본 연구를 통해 개발된 HS공법은 2009년 한국농촌공사 및 한국도로공사의 경사 구조물을 대상으로 본격적인 사업화를 진행할 계획이며 특히, 2009년 하반기에서 2010년 상반기 중 한국농촌공사 감독하에 시행되는 공사총금액 214억원의 오봉지구 수리시설개보수사업을 시작으로 사업을 확대할 계획이다. 본 공사는 2007년 11월 사업시공공고 시 기존 방수로 보강에 대한 기술자문을 시행하여 HS공법으로 보수보강하도록 설계되었으며 여수토 및 방수로보강공사비로 책정된 금액이 약 23억원이다. 본 공사를 시행하기 위함에 있어 예상되는 현재공법별 비교결과, 처리공정 및 경제성은 다음과 같다.



<오봉댐 방수로 전경>

<공법별 처리공정>

구분	HS공법	1액형 철근노출단면복구 공법(농촌공사)	M공법	L공법
시공단계	① Hydrodemolition 표면처리 ② 단면충전샷크리트 ③ 마감	① 표면처리 ② 고압수표면세척 ③ 방청처리 ④ 프라임도포 ⑤ 모르타르단면충전 ⑥ 방식피복처리 ⑦ TOP코트도포 ⑧ 마감	① 표면처리 ② 고압수표면세척 ③ 방청처리 ④ 초벌스프레이 ⑤ 단면충전스프레이 ⑥ 마감스프레이 ⑦ 마감	① 표면처리 ② 고압수표면세척 ③ 발청억제침투제 ④ 접착력강화1 ⑤ 접착력강화2 ⑥ 1차단면충전 ⑦ 2차단면충전 ⑧ 마감
특징	시공단계 최소화	표면처리 : 소형브레이커 + 공기압축기		각 단계별로 시공 후 일정시간 건조 후 다음단계 시공 가능

<오봉지구 적용가능 공법별 비교분석>

구 분		신설 공법	보수·보강 공법		
			일반타설 공법	단면복구 공법	HS 공법
공법 개요	방식	기존구조물 해체 + 신설	브레이커 + 거푸집타설	브레이커 + 손미장·붓시공	Hydrodemolition + Shotcrete
	사용재료	일반 콘크리트	일반 콘크리트	작업단계별 구분 (액상폴리머혼입)	내황산성 모르타르
	신기술	-	-		-
보수 목적		구조물 붕괴시 신설복구	일반 단면 수복 보수	일반 단면 수복 보수	철근, 강선, 와이어매쉬, 일반 단면 수복 보수
시공성	콘크리트 표면철거	구조물헐기	높이 2.5m까지 가능(이후 비계 설치) 15cm 이상만 가능	높이 2.5m까지 가능(이후 비계 설치)	높이 5m까지 가능
	철근방청제 도포	필요 없음	필요 시	사용함	필요 없음
	접착제	필요 없음	필요 없음	사용함	필요 없음
	시공두께	20~100cm	20~80cm	2~10cm	2~15cm
	작업인원	1개조 8명	8명	8명	4명
시공절차		-	단일단계 공정	다단계 단속 공정	단일단계 공정
경제성 (원/m ²)	표면철거		29,237	29,237	155,802
	방청제도포	-	36,189	49,373	-
	단면수복		51,854	171,502	65,643
	합계		117,280	250,112	221,445
비 고		두께 40cm 신설	두께 20cm 보수*	농촌공사 1액형	

* 합판거푸집(3회) 0~7m No.165 26,037원, 콘크리트(무근, 믹서) No.136 129,083원×0.2, 철근방청처리 3mm No.567

<오봉지구 시설공사 개요>

시설공사 입찰공고

1. 공사개요

가. 공 사 명 : 오봉지구 수리시설개보수(재해대비보강)사업

나. 공사현장 : 강원도 강릉시 성산면 오봉리 일원

다. 공사기간 : 2007. 11. ~ 2011. 10.31(금차년도 2007.12.20)

라. 공사내용 :

○ 제 당 : 제체승상 5m(제당승상 3m, 여유고(Parapet) 2m 보강)

제당 내·외제 풍화사석 교체, 보강 L=268m

○ 여수로 및 방수로 보강 : L=240m B=42.0m

○ 비상방수터널 신설 : D=7.1m, L=270 m

○ 관리사무소 및 기계실 등 신축

마. 공사추정금액 : **금28,161,712,000원**

(추정가격:21,906,140,000원+부가가치세:2,190,614,000원+사급자재대:67,181,000원 +도급자설치관급자재대:3,997,777,000원)

바. 예비가격기초금액 : **금24,163,935,000원**

조건별 내역서

공종	규격	단위	수량	합계		재료비		노무비		경비		비고
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
1공사비				266,358	21,382,018,755	120,183	1,122,402,152	85,785	801,155,672	48,090	458,460,932	
콘크리트 파쇄				158,039	1,475,948,373							
콘크리트갈아내기	T=5CM	M2	9,339.12	82,238	768,027,489	29,341	274,015,393	14,063	131,331,941	38,835	362,680,155	
바력비상 보호막설치	T=5CM	M2	9,339.12	11,167	104,268,317	8,704	81,283,964	2,463	23,004,353	0	0	
콘크리트파쇄면 청소 및 바력모으기	T=5CM	M2	9,339.12	64,835	603,632,567	7,378	68,907,995	53,816	502,566,140	3,440	32,128,432	
콘크리트 다짐				97,019	905,070,383							
1 솟크리트	T=5CM	M2	9,339.12	87,682	818,668,900	69,044	644,806,650	11,967	111,760,046	6,671	62,302,204	
2 와이어메쉬	T=5CM	M2	9,339.12	9,337	87,201,483	5,717	53,388,150	3,476	32,463,192	145	1,350,141	

- * T=5CM 기준
- * 부대공사비(장비운반비, 사토운반, 절단, 복가물처리비, 교통전환비) 별도
- * 시험비, 감독자량유지비, 가설사무실비, 장비조립 및 해체 별도
- * 작업조건에 따라 동바리공 설치가능

11.07 MON 18:51 FAX 027482559

HEC JUM

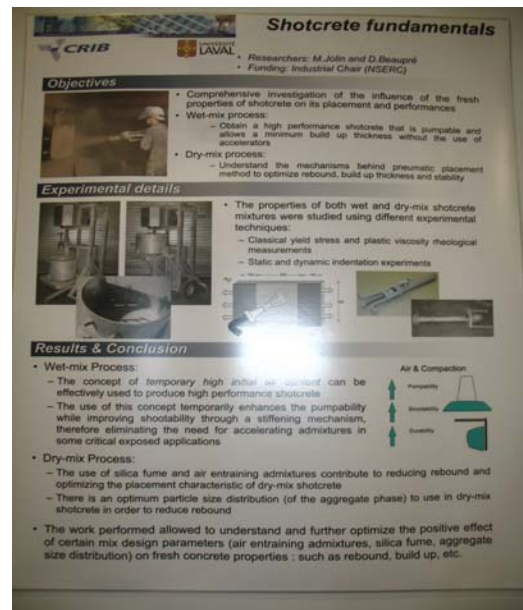
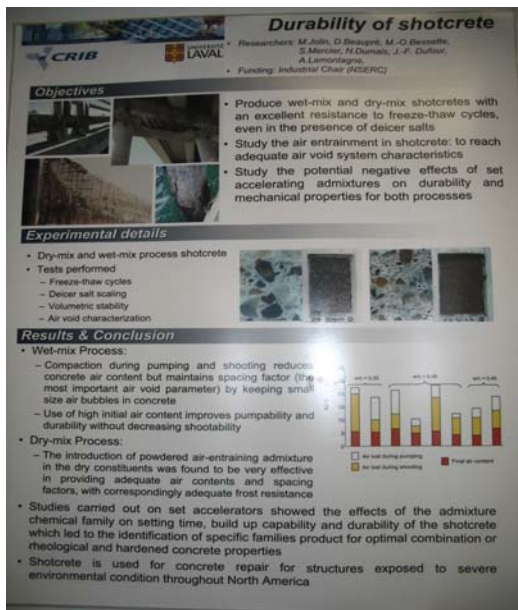
<여수로 및 방수로 보강공사금액 약 23억원>

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 보수보강용 샷크리트 전용 프리믹스 콘크리트

현재 국외에서는 샷크리트 공법을 이용한 구조물 보수보강에 대하여 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 조사되었다. 특히 캐나다 및 미국을 중심으로 많은 연구성과가 보고되고 있으며 유럽에서 또한 많은 관심을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이들의 과학기술은 샷크리트를 이용한 구조물 보수보강 연구가 전무한 국내 사정과 비교하여 볼 때 앞선 과학기술을 가지고 있으며 이를 종합하여 보면 다음과 같다.

- 터널라이닝과 같은 대형 구조물과 달리 소규모 또는 일정한 형태를 복원해야 하는 경우 습식 또는 건식 방식 모두 사용될 수 있으므로 이에 대한 연구가 병행되고 있음.
- 특히 pumping, shooting 및 표면마무리가 보수보강에 있어 대단히 중요하므로 이에 대한 연구를 중심으로 행하여지고 있음.
- 초기 공기량은 기존 콘크리트와 달리 대단히 높아야 pumping 및 shooting 능력이 더욱 향상되며 리바운드량을 현저하게 줄일 수 있음.
- 건식방식에서는 실리카흙 및 공기연행제의 사용으로 높은 효율을 얻을 수 있음.
- 보수보강의 경우 재료적 성능이 공용성 증진에 결정적 기여를 하므로 기존의 터널라이닝에서 사용되는 레미콘 운송, 현장 급결제 첨가, 샷크리팅 방식은 지양되어야 함.
- 이를 위해서는 내구성 확보가 검증된 pre-mixed 또는 pre-bagged type으로 해야 함.



<슛크리트 연구성과 발표물>



< Pre-bagged 슛크리트 재료 >

제2절 슛크리트 성능평가 시스템

국내에서의 슛크리트 평가는 현장강도, 분진발생, 리바운드량만이 슛크리트 성능 평가에 이용되고 있을 뿐이다. 이러한 한정된 항목은 터널라이닝 같은 구조체의 성능평가에는 큰 무리가 없으나 구조물의 공용성 증진과 연결되는 보수보강의 경우 이들 항목만으로는 정확한 슛크리트 성능평가가 곤란하게 된다. 국외에서 이와 관

런된 쏫크리트 평가 과학기술을 종합하여 보면 다음과 같다.

- 쏫크리트는 pumping, shooting이 매우 중요하므로 쏫크리팅 전후의 공기량을 측정하여 최적의 공기량 함량을 유지하여야 함.
- 공기량 측정은 단순한 압력식 방식에서 벗어나 image analysis 방식 및 AVA 방식에 의해 매우 정밀하게 시행되어야 함.
- 부착력 확보를 위해서 쏫크리팅 가능한 두께를 수직면, 수평면에 대하여 평가하여야 함.
- 작업성, 경화시간 등을 정밀하게 측정하기 위하여 레오미터 등의 최신기자재를 사용하여야 함.



<쏫크리트 성능평가>



<쏿크리트 성능평가를 위한 실내평가 전경>

제3절 보수보강용 쏿크리트 시스템

쏿크리트 공법은 노즐맨에 의해 최종 품질이 좌우될 수 있으므로 이들 노즐맨에 대한 전문화 및 시스템화가 구축되어야 한다. 국내의 경우 현장에서 man to man 개념으로 인계가 될 뿐이며 이로 인해 아무리 좋은 제품을 제공한다 하여도 작업의 편의성을 강조하는 노즐맨에 의해 소요의 품질 확보가 곤란하게 되는 경우가 발생한다.

이러한 문제점을 인식한 국외에서의 쏿크리트 노즐맨에 대한 전문성을 강화하기 위하여 정부차원의 노즐맨 교육을 시행하고 있으며 일정시간 이상의 교육을 수료한 자에 한해 쏿크리트 노즐맨 자격을 부여하고 있다. 이러한 시스템은 매우 고무적인 것으로 국내도입이 절실히 요구되는 사항이다.



<쏜크리트 노즐맨 실습교육>

제 7 장 결론

본 연구의 목적은 도로상의 경사구조물과 수리구조물 등의 신속하고 장기적인 내구성을 확보하기 위한 고기능성 일체화 숏크리트 모르타르 및 콘크리트 재료를 개발하고 이를 현장에 적용하기 위한 자동화 공법에 관한 것이다. 본 연구를 통해 얻은 결과물을 활용할 경우, 현재 인력에 의해 시행되고 있는 관련 시설물의 보수 공법에서 탈피하여 자동화 장비를 개발, 조합하여 기존 건전부 콘크리트는 보호하면서 열화된 콘크리트는 완전히 제거하여 신규 콘크리트의 부착성능을 향상시키고 현장 배합을 배제한 프리믹스 재료 사용에 따른 품질향상과 고성능 일체화 장비를 활용하여 구조물을 보수보강이 가능하며 구조물의 형상에 상관없이 보수보강을 수행, 부착성에 따른 장기공용성 및 내구성 확보, 새로운 공법개발에 따른 기술력 향상, 자동화에 따른 경제성 확보 및 보수 후 구조물의 장기간 성능 회복의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

즉 본 실용화 기술은 구조물 유지보수의 신공법으로, 고압살수표면처리 장비를 이용하여 기존 표면을 세척 및 절삭한 후, 숏크리트 장비를 이용하여 구조물의 특성에 따라 고기능성 숏크리트용 모르타르 및 콘크리트를 뿜어붙이기하는 보수보강 공법이며 본 연구결과의 내용, 차별성 및 우수성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 관로시스템 및 박층 보수보강을 위한 HS-M공법 개발

개발된 내황산 모르타르(숏트믹스-M)을 이용한 관로 및 박층 보수보강공법인 HS-M공법은 동일 시멘트계열로 일체화 거동 및 완전부착이 가능한 보수보강재료써 개발된 회전형 Hydro-demolition을 이용한 관로 내부 열화부 제거하고 회전 절삭과 동시에 폐기물 자동 배출한 후 개발된 내황산 모르타르를 이용한 숏트믹스-M 배합, 고속 회전 스피ن헤드를 이용한 관로 내부 보수보강하는 신개념 보수보강 공법이다.

② 프리믹스 건식 숏크리트 숏트믹스-D를 이용한 소규모 경사구조물 보수보강 HS-D공법 개발

개발된 프리믹스 건식 숏크리트 숏트믹스-D를 이용한 소규모 경사구조물 보수보강공법인 HS-D공법은 개발된 소형 경사면 Hydro-demolition을 이용한 열화부 완

전 제거하고 자립형 로봇활용으로 현장 기술자 안전을 확보하면서 개발된 프리믹스 건식 쏫크리트 쏫트믹스-D 배합, 건식 쏫크리트를 이용한 경사구조물 보수보강하는 공법으로 동일 시멘트계열로 일체화 거동 및 완전부착 가능하고 급결제 미사용으로 환경오염을 방지하고 초속경성으로 3시간만에 실용강도 발현이 가능하며 거푸집 및 철근 설치, 인력깨기, 인력타설 등의 기존방식보다 작업효율성과 경제성을 확보한 보수보강공법이다.

③ 습식 쏫크리트 쏫트믹스-W를 이용한 대형 경사구조물 보수보강 HS-W공법 개발

개발된 프리믹스 혼화재를 이용한 습식 쏫크리트 쏫트믹스-W를 이용한 대형 경사구조물 보수보강공법인 HS-W공법은 랑된 대형 경사면 Hydro-demolition을 이용한 열화부 완전 제거하고 자동형 로봇활용으로 현장 기술자 안전을 확보하면서 개발된 프리믹스 습식 쏫크리트 쏫트믹스-W 혼화재를 이용한 배합 및 배치 플랜트 생산으로 대규모 생산이 가능한 습식 쏫크리트를 이용한 경사구조물 보수보강 공법으로 동일 시멘트계열로 일체화 거동 및 완전부착 가능하고 급결제 미사용으로 환경오염 방지 및 거푸집, 철근설치가 필요치 않아 기존의 접근성 한계로 실시하지 못한 구조물 보수보강을 실현한 공법이다.

④ 지적재산권 및 선진기술 도입

본 과업을 수행하면서 획득한 지적재산권은 특허등록완료 8건, 특허출원 1건 및 상표출원 1건 등 총 10건에 이르며(공법관련 5건, 장비관련 3건, 재료관련 2건) 지적재산권 획득을 통한 사업화 기반구축 및 국내의 관련 기술력 향상에 기여하였다

⑤ 기술력 확보 및 사업화

본 과제를 수행함에 있어 국내 쏫크리트 전문연구기관 부재로 국외 전문기관을 방문, 이를 토대로 모르타르 스프레이 및 물성평가를 위한 쏫크리트 전문 실내실험실을 구축하였으며, 현장 적용성을 모사하기 위하여 대형 실외 전문 연구시설을 국내 대학연구기관에 최초로 구축하였다. 본 연구시설은 모르타르 스프레이 연구, 건식 및 습식 쏫크리트 연구, 물성치 분석, 리바운드 등 쏫크리트 관련 해석 및 개발연구가 가능하도록 구축하였으며 이를 통해 국내 제일의 쏫크리트 물성 분석 및

재료평가가 가능케 되었으며 본 연구개발성과인 HS공법의 우수성을 한국도로공사 및 한국농촌공사에 적극 홍보, 시험시공을 실시하여 사업화를 위한 기술력 홍보를 마친 상태이다.

본 연구수행에서 개발된 슛크리트 전용 보수재 및 HS공법은 국내에서 개발된 사례가 없는 독창적인 개발성으로 국내 슛크리트 적용범위였던 터널라이닝, 사면안정 등의 국한적 사용에서 벗어나 구조물 보수보강 시장으로의 적용범위를 확대하였으며 기존 열화부 제거에 사용되는 Hydro-demolition 개념을 폭넓게 적용, 장비개량 및 개발로 현 기술수준을 한 단계 향상시켰으며 이러한 연구결과에 대하여 특허등록 및 출원 10건의 지적재산권을 확보, 조기사업화 실현을 이룰 수 있는 발판을 마련하였다. 또한, 국제교류, 학회발표, 전문인력양성 및 전문시설 구축 등 다양한 연구성과 획득하였으며 시설, 장비 및 기술력에서 국내 슛크리트 연구전문기관으로 발돋움 하여 관련 기술문제해결 및 국제 기술경쟁력 확보하였다.

제 8 장 참고문헌

1. 건설부, 콘크리트 표준시방서, 2000.
2. 건설교통부, “습식 슛크리트 공법 고성능화 연구,” 2001.
3. 건설교통부, “터널 지보특성 개선을 위한 보강합성섬유 습식 슛크리트 공법 개발,” 2004.
4. 건설 교통부 한국 건설교통 기술평가원, “산업부산물의 경제적 재활용과 시공품질 향상을 위한 분말형 레드믹스트 슛크리트 개발”, 2007.
5. 권소진, 이성권, 김경남, 정경섭, “고성능 슛크리트 내구특성의 실험적 연구” 대한 토목학회 논문집 제 24권, pp 981~991, 2004.
6. 김규동, 이승훈, 강상구, 김재호, 김경준, “고강도 콘크리트의 배합변수별 레올로지 특성 평가” 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집 pp. 653~656, 2007.
7. (주)대우 건설기술연구소, “SHOTCRETE 성능개선 연구,” 1992.
8. 배규진, 장수호, 원종필, 박해균, “고반응성 메타카올린에 의한 습식 슛크리트의 고성능화에 대한 기초 실험연구” 대한 토목학회 정기학술 대회 pp. 5620~5623, 2005.
9. 안상기, “스�크리트의 리바운드 감소에 대한 재료개발 연구시험,” 기술동아, 1992.
10. 원종필, 김황희, 박경훈, 이시원, “급결제 종류 및 실리카 흙 치환율에 따른 영구지보재로서 슛크리트의 배합설계 및 성능평가” 대한 토목학회 논문집 제 27권, pp. 157~162, 2007.
11. 이양규, 권인환, “Shotcrete 리바운드량 감소를 위한 실험적 연구” 대한 토목학회 논문집 제 21권, pp. 499~508, 2001.
12. 이진범, “조강형 라텍스개질 스프레이 모르타르의 개발”, 강원대학교 대학원 석사학위 논문. 2007.
13. 이상필, “터널 영구 지보재로서의 슛크리트 고성능화 및 내구성 평가에 관한 연구” 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2006.
14. 전준태, 이양규, “습식 Shotcrete 리바운드량 감소량에 대한 실험적 연구” 대한 토목학회 논문집 제 23권, pp. 89~95, 2003.
15. 정원경, 김동호, 윤경구, “평면간격계수에 의한 콘크리트 동결융해 내구성 평가” 대한토목학회 논문집 제 25권 pp. 393~945, 2005.
16. 최성하, “경화 콘크리트의 공극 구조와 콘크리트 내구 특성과의 관계” 강릉대학교 대학원 석사학위 논문, 2007.
17. 한국통신 선로기술연구소, “습식 슛크리트 최적배합비 개발,” 1996.
18. 한국콘크리트학회편 최신콘크리트공학, 1994.

19. 현대건설기술연구소, “섬유보강 슛크리트의 적용성에 관한 실험적 연구,” 1995.
20. ACI Committee 506, “Guide to Shotcrete,” ACI Manual of Concrete Practice Part 5, 1985.
21. American Concrete Institute, Specifications for Material Proportioning and Application of Shotcrete. Reported by ACI Committee 506, ACI 506.2R-77, Detroit, 1990.
22. American Concrete Institute, Guide to Certification of Shotcrete Nozzleman. Reported by ACI Committee 506.3R, Detroit, 1991.
23. American Society for Testing and Materials. 2005a. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM C 1074. Philadelphia, PA.
24. ASTM C900-82, “Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete”, ASTM Committee on Standards, 1916 Race Street, Philadelphia, pa. 19103, USA
25. Blank, J. A, “Short Durability and Strength-A Practical Viewpoint,” Use of Shotcrete for Underground Structural Support, ASCE and ACI SP-45, pp320-329, 1974.
26. Claus Germann Petersen, “LOK-TEST and CAPO-TEST pullout testing, twenty years experience”, Non-destructive Testing in Civil Engineering Conference, pp 1~18, 1997.
27. C. H. Yun, K. R. Choi, Y. C. Song, “Comparison Evaluation of Nondestructive test method for In-Place Strength Determination”, Permeability SP 112-6, pp 111~135
28. Claus Germann Petersen, M. SC, “In-Situ Strength Testing with Lok-Test and Capo-Test the Danish Pullout tests”, Symp Modern Technology Del Concrete, pp 1~10, 1980.
29. D. R. Morgan, “Freeze-Thaw Durability of Shotcrete,” Concrete International,, PP.86-93, 1989.
30. D. R.Morgan, “High Early Strength Blended-Cement Wet-Mix Shotcrete,” concrete International, pp.339, 1991.
31. D. R. Morgan, R. Geere, N. McAskill and C. Chan, “System Ductility of Mesh and Fiber Reinforced Shotcrete,” ACI Spring Convention 1999.
32. Denis Beaupre(1994, 02) “Rheology of High Performance Shotcrete” PH.D

- Thesis, University of British Columbia, 1994.
33. Ferdericks, J. C. N. R. Sauders and J. T. Broadfoot, "Recent Developments in Positive Displacement Shotcrete Equipment, "ACI SP-14, Shotcreting, pp.75-85, 1966.
 34. FHWA, "Maturity Testing for Concrete Pavement Applications", FHWA-IF-06-004, CPCP TechBrief, 2005.
 35. Iwaki, K, A. Hirama, K. Mitani, S. Kaise, K. Nakagawa, "A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test", NDT & E International 34, pp. 395~402, 2001.
 36. J. A. Bickley, "The Variability of Pullout Tests and In-Place Concrete Strength", Concrete International, 1982.
 37. Marc Jolin, "Mechanisms of Placement and Stability of Dry Process Shotcrete" Thesis, University of British Columbia., 1999.
 38. Morgan, D.R., "High Early Strength Blended-Cement Wet-Mix Shotcrete." Concrete International, Composites, Vol.13, pp. 113~121, 1982.
 39. Morgan, D.R., Wolsiefer, J.T., Wet-mix silica fume shotcrete (effect of silica fume form), Elkem Materials literature database for concrete, pp. 1251~1271, 1992.
 40. Strategic Highway Research Program, "Techniques for concrete removal and bar cleaning on bidge rehabilitation projects", SHRP-S-336, 1992.
 41. Marc Jolin, "Mechanisms of Placement and Stability of Dry Process Shotcrete" PH.D Thesis, University of British Columbia, 1999.
 42. Morgan, D.R., Freeze-thaw durability of shotcrete, pp. 30~37, 2003.
 43. Nordstrom, E., Durability of sprayed concrete (Steel fiber corrosion in cracks), Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden, 2005.
 44. Peter Kierkegaard-Hansen, John A. Bickley, "In-Situ Strength Evaluation of Concrete by The Lok-Test System", ACI Fall Convention, 1978.
 45. Ronald L. Dilly, A. M. ASCE and William B. Ledbetter, M. ASCE, "Concrete Strength Based on Maturity and Pullout", Journal of Structural Engineering ASCE Vol. 110, No. 2, 1984.
 46. V. M. Malhotra and G. Carrette, "Comparison of Pullout Strength of Concrete with Compressive Strength of Cylinders and Cores, Pulse, Velocity, and Rebound Number", ACI JOURNAL, May-June, pp. 161~170, 1980.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

- 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
- 문의처 : (주)삼우아이엠씨 TEL 02)402-2795
- 문의처 : 강원대학교 산학협력단 TEL 033)250-6240

R&D / 06-건설핵심C14

고압살수 표면처리(Hydro-demolition) 및 슛크리트 자동화 장비를 이용한 경사구조물-관로 시스템 보수·보강 공법 개발 연구보고서

- 발행일 / 2009. 3. 20.
- 발행처 / 삼우아이엠씨 주식회사
서울시 송파구 오금동 73-6
TEL : 02-402-2795(대)
- 인쇄처 / 은광사