

하
수
시
설
내보
항수
산을
보위
수한
재아
료민
및유
보도
수체
신와
기이
술온
공반
법응
개활
발용

최
종
보
고
서

2019

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원
국
토
교
통
부

R&D / 19CTAP-C130223

하수시설 보수를 위한 아민유도체와 이온반응 활용 내황산 보수재료 및 보수 신기술 공법 개발

최종보고서

2019. 12. 31.

주관연구기관 / (주)삼명이엔씨

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘하수시설 보수를 위한 아민유도체와 이온반응 활용 내황산 보수재료 및 보수 신기술 공법 개발’(연구개발 기간 : 2017. 4. 1 ~ 2019. 12. 31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 12. 31.

주관연구기관명 : (주)삼명이엔씨 강 태 원



협동연구기관명 : (인)

참여기관명 : (주)삼명이엔씨 강 태 원



(주)한양이엔씨 유 조 영



롯데건설(주) 하 석 주



주관연구기관책임자: 강 태 원

협동연구기관책임자:

참여기관책임자: 강 태 원
류 화 성
안 범 준

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP -C130223	해당 단계 연구 기간	2019.1.1. ~2019.12.31	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	국토교통연구개발사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	하수시설 보수를 위한 아민유도체와 이온반응 활용 내황산 보수재료 및 보수 신기술 공법 개발			
연구책임자	강 태 원	해당단계 참여연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 150,000 천원 민간: 50,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 200,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부: 명	총 연구비	정부: 600,000 천원 민간: 200,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 800,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)삼명이엔씨			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: (주)한양이엔씨 롯데건설(주)			연구책임자: 류화성 안범준	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	3										

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약 하수시설 보수를 위한 아민유도체와 이온반응 활용 내황산 보수재료 및 보수 신기술 공법의 개발을 위하여 연구를 진행한 결과, 다음과 같은 성과를 획득함. ● 기술개발에 관한 지식재산권 획득 : 특허출원 5건, 특허등록 1건 ● 기술의 진보성에 대한 학계로부터의 객관적 인정 : SCI(E) 국외게재논문 1건, 국내게재논문 1건, 학술발표논문 1건 ● 개발기술의 제품 구현 가능성 판단 근거 : 시제품 2건, 현장적용 3건 ● 시제품에 대한 공인기관으로부터의 성능 객관성 확보 : 공인시험성적서 7건	보고서 면수
---	--------

〈 국 문 요 약 문 〉

연구개발목표	본 연구개발의 최종목표는 하수 시설 콘크리트 구조물에서 콘크리트 내부로 콘크리트 내부로 침투하는 유해이온(SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-})을 시멘트 매트릭스와 반응하기 전에 선 반응하여 능동적으로 차단하는 내황산 보수 모르타르 및 방청소재를 개발하고, 이를 이용한 하수 시설 콘크리트 구조물의 보수 공법을 개발하는 것이다. 이를 통해 철근콘크리트 사회기반시설의 내구성 확보와 사회 안전성을 도모하고, 더 나아가 건설구조물의 장수명화를 목표로 한다.				
연구개발내용	○ 콘크리트 황산염 침식 메커니즘, 염해 메커니즘, 탄산화 메커니즘 규명 - SO_4^{2-} 이온침투 및 반응 메커니즘 정립 및 소재 선정 - Cl^- 이온침투 및 고정 메커니즘 정립 및 소재 선정 - CO_2 침투 및 흡수 메커니즘 정립 및 소재 선정 ○ SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-} 이온 반응 물질을 활용한 시멘트계 보수재료 개발 - SO_4^{2-} 이온반응 물질 혼입 모르타르의 배합설계 - SO_4^{2-} 이온반응 물질 혼입 모르타르의 내황산 성능 및 기본물성 평가 - 도포형 / 분말형 Cl^- 이온반응 시멘트계 보수재 개발 - Cl^- 이온고정 물질 적용 보수재의 내염해 성능 평가 및 기본물성 평가 - 도포형 / 분말형 CO_2 이온반응 시멘트계 보수재 개발 - CO_2 이온고정 물질 적용 보수재의 내염해 성능 평가 및 기본물성 평가 ○ 수중경화형 내황산 보수 모르타르 개발 - 수중경화를 위한 고흡수성 소재 선정 - 수중경화형 내황산 보수 모르타르의 성능 및 기본물성 평가 ○ 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수/보강 공법 개발 - 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수 공법 개발 - 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보강 공법 개발 ○ 시제품 및 공법의 현장적용성 평가 - 개발된 내황산 보수 모르타르 및 방청제의 현장적용성 평가 - 해당 연구개발 결과물의 시장성 분석				
연구개발성과	○ 하수시설 콘크리트 구조물 보수를 위한 아민유도체와 이온반응을 활용한 보수재 개발 및 보수/보강 공법 개발 - 주요 성과 지표 : ① SCI(E)급 논문 1편 ② 비SCI급 논문 1편 ③ 학술대회논문 1건 ④ 국내특허 출원 5건 ⑤ 시제품 제작 2건 ⑥ 건설신기술 신청 1건 ⑦ 공정매뉴얼 작성 1건 ⑧ 유지관리지침서 작성 1건 ⑨ 보고서 작성 2건 ⑩ 시험성적서 3건 ⑪ 적용실적 3건				
활용계획 및 기대효과	○ 기술적 측면 - 선진국과 대등한 기술 축적 - 내황산염 기술의 사회 기반 시설(댐, 교량, 건축물 수처리 시설물 등) 적용을 통한 기술경쟁력 강화 - 특허 개발과 실용화를 통해 시장의 적극적인 반영 및 활용 가능 ○ 경제적·산업적 측면 - 국내 기업의 참여 기회 증가 및 시장 선점 - 친환경 보수재료의 수요증가에 따른 신성장 건설산업 동력원 기대 ○ 사회·환경적 측면 - 시설물의 성능 회복 및 수명을 연장시키는 저비용·고효율 유지보수 기술 제공 - 실용화 및 사업화 기반을 확보하여 국내 건설 구조물 보수재 시장 활성화 - 노후화 시설물의 증가에 따른 유지보수 대응력 향상 - 기존 시설물에 대한 유지관리 부담 감소에 따른 생활형 시설물 투자 증가로 국토 보전 시설물과의 불균형 해소				
중심어 (5개 이내)	콘크리트 열화	황산염 침식	이온반응	보수 모르타르	보수/보강

〈 Summary 〉

Purpose	The goal of this research and development is to improve the performance of the sulfuric acid repair mortar which actively blocks the harmful ions (SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-}) penetrating into the concrete from the concrete structure of the sewage facilities before they react with the cement matrix, and to develop repair / reinforcement method of concrete structure of sewage facility using this material. Through this, it was aimed to secure the durability and social safety of reinforced concrete infrastructure, and to further improve the longevity of construction structures.				
Contents	☐ Investigation of sulfate erosion mechanism, salting mechanism, carbonation mechanism – SO_4^{2-} Ionic penetration and mechanism of reaction and material selection – Cl^- ion infiltration and fixing mechanism and material selection – CO_2 establishment of penetration and absorption mechanism and selection of materials ☐ Development of cement-based repair materials using SO_4^{2-}, Cl^-, and CO_3^{2-} ion reactants – Mixing design of SO_4^{2-} ion reaction material incorporation mortar – Evaluation of Sulfuric Acid Performance and Basic Properties of Mortar Containing SO_4^{2-} Ionic Reaction Material – Development of coating type / powder type Cl^- Ionic Reaction cement based repair material – Evaluation of flame-retardant performance and basic properties of Cl^--ion fixing materials – Coating type / Powder type CO_2 Ion reaction cement system redevelopment – CO_2 Ion fixation performance evaluation and basic property evaluation of repair materials ☐ Development of underwater hardening type sulfuric acid repair mortar – Selection of highly absorbent material for underwater hardening – Evaluation of Performance and Basic Properties of Underwater Curing Type Sulfuric Acid Repair Mortar ☐ Development of repair / reinforcement method using sulfuric acid repair mortar and rust inhibitor – Development of repair method using sulfuric acid repair mortar and rust inhibitor – Reinforcing method development using my sulfuric acid repair mortar and rust inhibitor ☐ Evaluation of field application of prototype and construction method – Evaluation of the applied sulfuric acid repair mortar and rust inhibitor on site – Marketability analysis of R & D result				
Development results	☐ Development of repair material and development / repair method development utilizing amine derivatives and ionic reactions to repair concrete structures in sewage systems – Performance indicators : ① 1 SCI(E) paper ② 1 Non-SCI paper ③ 1 Conference paper ④ 5 Domestic patents ⑤ 2 Prototypes ⑥ 1 New technology application ⑦ 1 Process manual ⑧ 1 Maintenance manual ⑨ 2 Reports ⑩ 3 Test reports ⑪ 3 test application				
Expected Contribution	☐ Technical aspects – Technology accumulation equal to advanced countries – Strengthening technological competitiveness through application of social infrastructure (dams, bridges, building water treatment facilities, etc.) of my sulfate technology – Actively reflect and utilize the market through patent development and commercialization ☐ Economic and industrial aspects – Increase the participation opportunity of domestic companies and market preemption – Expected growth of new growth engine due to increasing demand of eco-friendly repair materials ☐ Social and environmental aspects – Provide low-cost, high-efficiency maintenance technology that improves performance recovery and life of facility – Establishment of commercialization and commercialization base to revitalize domestic construction structure repair material market – Improvement of maintenance ability due to increase of aging facilities – Reduction of maintenance burden on existing facilities, resulting in increased investment in lifestyle-related facilities.				
Keywords	Concrete deterioration	Sulfate erosion	Ionic reaction	Repair mortar	Repair / Reinforcement

< 목 차 >

제1장 연구개발과제의 개요	1
제2장 국내외 기술 개발 현황	4
제3장 연구 수행 내용 및 성과	7
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	174
제5장 연구개발성과의 활용 계획	179
제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	181
제7장 연구개발성과의 보안등급	181
제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	181
제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	181
제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적	181
제11장 기타 사항	182
제12장 참고 문헌	183

< Contents >

Ch.1 Introduction of R&D project	1
Ch.2 Status of domestic and overseas technology development	4
Ch.3 Research content and achievements	7
Ch.4 Achievement of goal and contribution to related field	174
Ch.5 Plan to utilize R&D achievements	179
Ch.6 Information on overseas technology obtained in the period of research	181
Ch.7 Security rating of R&D achievement	181
Ch.8 Status of research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	181
Ch.9 Implementation of safety measures in laboratories based on R&D tasks	181
Ch.10 Representative research achievements of R&D project	181
Ch.11 Others	182
Ch.12 Reference	183

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

○ 본 연구개발의 최종목표는 하수 시설 콘크리트 구조물에서 콘크리트 내부로 침투하는 유해이온(SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-})을 시멘트 매트릭스와 반응하기 전에 선 반응하여 능동적으로 차단하는 내황산 보수 모르타르 및 방청소재를 개발하고, 이를 이용한 하수 시설 콘크리트 구조물의 보수/보강 공법을 개발하는 것이다. 이를 통해 철근콘크리트 사회기반시설의 내구성 확보와 사회 안전성을 도모하고, 더 나아가 건설구조물의 장수명화를 목표로 한다.

▶ 콘크리트 황산염 침식 메커니즘, 염해 메커니즘, 탄산화 메커니즘 규명

- SO_4^{2-} 이온침투 및 반응 메커니즘 정립 및 소재 선정
- Cl^- 이온침투 및 고정 메커니즘 정립 및 소재 선정
- CO_2 침투 및 흡수 메커니즘 정립 및 소재 선정

▶ SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} 이온 반응 물질을 활용한 시멘트계 보수재료 개발

- SO_4^{2-} 이온반응 물질 혼입 모르타르의 배합설계
- SO_4^{2-} 이온반응 물질 혼입 모르타르의 내황산 성능 및 기본물성 평가
- 도포형 / 분말형 Cl^- 이온반응 시멘트계 보수재(모르타르, 방청제) 개발
- Cl^- 이온고정 물질 적용 보수재의 내염해 성능 평가 및 기본물성 평가
- 도포형 / 분말형 CO_2 이온반응 시멘트계 보수재(모르타르, 방청제) 개발
- CO_2 이온고정 물질 적용 보수재의 내염해 성능 평가 및 기본물성 평가

▶ 수중경화가 가능한 내황산 보수 모르타르 개발

- 수중경화를 위한 고흡수성 소재 선정
- 수중경화형 내황산 보수 모르타르의 성능 및 기본물성 평가

▶ 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수 공법 개발

- 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수 공법 개발
- 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보강 공법 개발

▶ 시제품 및 공법의 현장적용성 평가

- 개발된 내황산 보수 모르타르 및 방청제의 현장적용성 평가
 - 해당 연구개발 결과물의 시장성 분석
-

2. 연구개발의 필요성

- 최근 인구가 증가하고 사회가 급속히 발달하여 도시의 거대화가 진행됨에 따라 상하수도과 같은 도시 형성에 필수적인 사회기반시설의 증대와 유지관리가 요구되고 있는 실정이다. 일반적으로 콘크리트 구조물은 40년의 수명을 산정하고 있지만, 이는 일반적인 건축구조물에서의 열화현상을 기반으로 산정된 결과이며, 하수도과 같은 밀폐되고 유해가스의 농도가 높은 환경은 기존 열화 요인들에 더해 황산염 침식의 영향으로 인해 하수암거의 열화현상이 극심한 것으로 확인되고 있다. 그러나 하수암거의 교체는 하수시설의 특성상 대규모의 토공사가 따르며, 교체에 따른 시설 사용 중지에 따라 경제적 손실이 발생하게 됨으로, 교체공사가 아닌 콘크리트 하수암거의 유지 보수에 대한 관심이 높아지고 있으며, 구조물에 대한 적절한 유지관리를 실시하지 않을 경우 장기적으로 누적된 손상에 의해 하수 누수에 따른 환경오염, 누수로 야기된 지반불안정으로 인한 지반침하 등의 안전성에 심각한 문제를 야기할 수 있다.
- 기존 콘크리트 구조물의 열화방지와 관련된 연구들은 모두 1차원적 차단 기술로 구성되어있으며, 특히 하수 시설 콘크리트 구조에서는 일반 열화 요인에 더하여 황산염 침식이 발생하기 때문에, 기존의 단순 차단 기술로는 구조물의 열화를 예방, 유지관리 하는데 어려움이 있다. 본 연구개발은 아민유도체와 SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} 이온과 반응하여 침투를 억제하는 내황산 보수 모르타르와 방청제 및 이를 활용한 보수/보강 공법을 개발하는 것을 목표로 하며, 건설분야 외에 타 분야(의학, 화학, 생물학 등)에서 연구된 다양한 소재들의 적용성을 검토하여 열화요인(SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-})을 억제 할 수 있는 보수용 시멘트계 소재 및 방청 소재기술을 개발하는데 그 창의성이 있다. 또한, 기존의 수동적인 차단을 위한 보수가 아닌 모르타르 및 콘크리트 내·외부에서 열화이온에 대해 다양한 원천소재를 사용하여 물리화학적 작용으로 구조물 열화를 방지하는 연구로써 기존 연구기술과 혁신성이 있다.

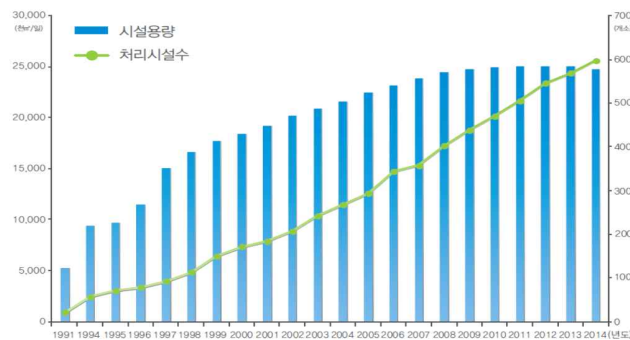


그림 1.1 우리나라 하수처리시설 설치현황

*한국하수도발전사, 환경부

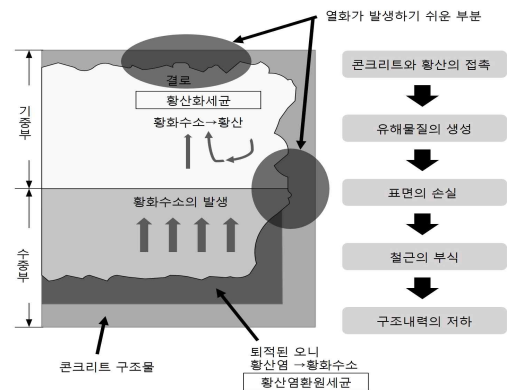


그림 1.2 하수시설의 열화작용

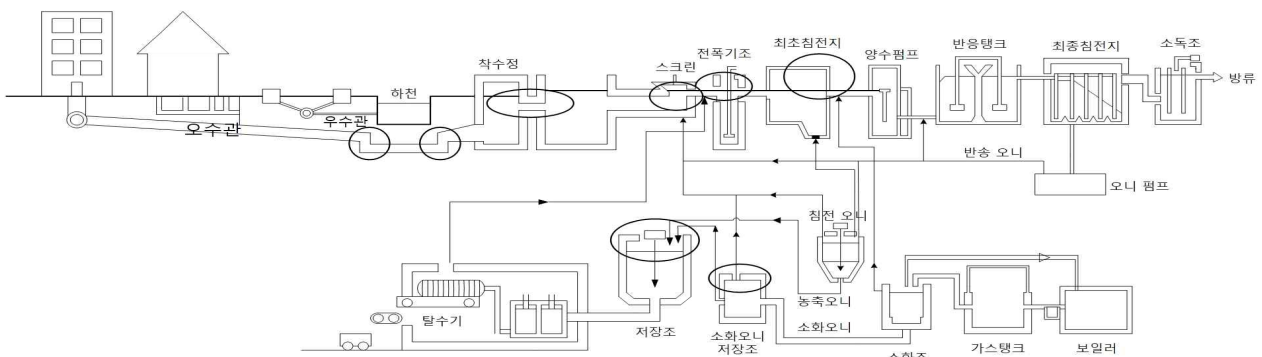


그림 1.3 황산으로 인한 콘크리트 부식이 발생하는 시설

3. 연구 범위 및 연구 수행 방법

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
하수 시설 콘크리트 구조물 열화 메커니즘 규명 및 열화억제 기술 정립	- 황산염, 염해, 탄산화 열화에 관한 자료조사 - 기존 기술 자료 조사 - 기존 열화 억제 제품 분석 테스트 - 열화 억제 소재 예비 성능 테스트	- 하수시설 열화 현상 메커니즘 분석, 정립 - 현장시공 및 실험실 실험을 통한 기존 보수재 성능 확인 - 선정된 열화 억제 소재의 성능 확인
열화이온 반응 소재 설정	- 시멘트, 고로슬래그, 이온교환수지, 아민카르복실, 무수석고, 폐유리, 라텍스 등의 열화이온 억제반응 메커니즘 조사 - 타분야 등에서의 유해이온 반응 소재 자료 조사	- CAC, 혼화재, 이온교환수지, 아민카르복실 등의 열화이온 억제반응 메커니즘 분석 - 건설 외 분야에서의 유해이온 반응 소재 자료 조사
열화이온 반응 소재를 활용한 수중경화형 보수 모르타르 개발	- 열화이온 반응 소재 혼입 모르타르 배합 선정 - 내황산 보수 모르타르 조합에 관한 특허 출원 - 내황산 보수 모르타르 연구논문	- 열화이온 반응 소재 혼입 모르타르 배합 선정 : 시멘트(OPC, CAC), 혼화재(고로슬래그), 이온교환수지, 아민카르복실, 무수석고, 수지 등의 혼입량 선정 실험 실시. - 실험으로 도출된 열화이온 반응 소재 혼입 모르타르 조합에 관한 특허 출원. - 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 연구논문 작성.
아민 유도체를 활용한 방청제 개발	- 내황산 방청제 성분 배합 선정 - 내황산 방청제 조합에 관한 특허 출원 - 내황산 방청제 연구논문	- 열화이온 반응 소재 혼입 방청제 성분 배합 선정 실험 실시. - 열화이온 반응 소재 혼입 방청제 조합에 관한 특허 출원. - 열화이온 반응 소재 혼입 방청제 연구논문 작성.
보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수 공법 개발	- 보수공법 공정매뉴얼 작성 - 보수공법 유지관리지침 작성 - 보수공법 특허 출원 - 건설신기술 신청	- 성능 실험 결과와 현장적용 평가 결과를 참고하여 보수공법의 공정매뉴얼, 유지관리지침 작성 - 보수공법에 관한 특허 출원 - 개발된 보수재 및 보수공법을 활용한 건설신기술 신청
열화이온 반응 소재 제어량 정량 분석	- 이온크로마토그래피(IC) 실험 - 잔존 Cl⁻ 이온 분석 실험 - 전기화학적 방식특성실험 - TG-DTA 탄산화 시험	- IC 분석 실험을 통한 분체 및 혼입물의 황산이온 저항성 확인 - Cl⁻ 이온 분석 실험을 통한 분체 및 혼입물의 염화이온 저항성 확인 - 전기화학적 방식특성실험을 통한 유해이온 반응 소재의 방식특성을 확인 - TG-DTA 분석 실험을 통한 분체 및 혼입물의 탄산화 저항성 확인
열화이온 반응 소재를 활용한 보수재 시험평가	- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르의 기본 물성 확인 - 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 및 방청제의 장기 내구성 확인	- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르의 기본 물성(휨강도, 압축강도, 부착강도, 내알칼리성, 중성화 저항성, 염화물침투저항성, 길이변화율 등) 실험 실시 - 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 및 방청제의 장기 내구성 실험 실시
하수 시설의 보수 수요시장 조사	- 하수 시설 구조물의 현황조사 - 하자 및 열화 사례 조사 - 하수 시설 구조물 보수 사례 조사	- 하수 시설 구조물의 현황 확인 - 하수 시설 구조물의 하자 및 열화 사례 분석 - 하수 시설 구조물 보수/보강 사례 분석
프로그램 해석을 통한 보수 공법 검증	- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 적용에 따른 구조성능 확인	- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 적용에 따른 구조성능 프로그램 해석
보수공법의 현장적용 평가	- 실제 보수현장 적용을 통한 재료 및 공법의 현장적용성 평가	- 하수시설 보수현장에서의 현장적용성 평가

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내외 기술현황 및 수준

- 미국, 유럽 등 선진 외국에서는 2차 대전 이후 건설된 시설물의 노후화로 인해 유지관리 비용이 전체 예산의 40~50%를 차지하는 등 유지관리비용이 급증하고 있으며, 유지관리에 관한 인식이 높은 이유로 유지관리기술에 관한 개발이 활발히 이루어지고 있다. 국내의 경우, 사회기반시설은 1970~80년대에 집중적으로 건설되어 준공 후 30년 이상 된 사회기반 시설이 큰 비중을 차지하여 노후화가 심화되고 이에 따른 유지보수 예산은 크게 증가하고 있다. 더욱이 기존 국내 건설 시장은 유지보수보다는 신규에 집중되어 유지보수에 관한 기술개발이 부족한 실정이다.
- 최근 사회기반시설 중 하수도 시설은 국민의 보건 및 위생확보 측면에서 파급효과가 매우 큰 중요한 시설임에도 불구하고, 국내는 지하매설물이라는 특수성으로 인하여 도로, 교량 등 가시적인 사회기반시설보다는 우선순위에서 뒤쳐지는 개도국형 성향이 지배하고 있다.
- 하수처리분야의 기술수준은 선진국대비 80~90% 정도이나 하수관거 관련 기술수준은 선진국대비 약 40~50% 정도 수준에 그치고 있어서 관련 연구투자가 매우 절실한 실정이다.

표 2.1 국내 기술수준 분석

세부 기술명	세계최고 수준국가	세계최고수준국가대비 국내기술수준		국내 개발단계
		기술 수준(%)	최고기술수준국가의 관련근거	
법제도 및 기준 제정 지원기술	일본	30%	각종 하수관거 관련 매뉴얼, 지침, 기준 등에 관하여 국책으로 연구투자하고 있음.	미추진
관거 설계 기술	일본	30%	내진설계기술, 신개념 설계기술 등에 R&D를 집중 투자하였음.	미추진
하수관거 관리 시스템 기술	호주/ 뉴질랜드	30%	Asset Management 도입 및 선진적 제도정책	미추진
하수관거 제품화(표준화) 기술	미국/ 일본	70%	하수관거 인프라 구축 역사가 오래되었으며, 관련 시장이 활성화되어 있어 관련 시제품을 다수 보유함.	추진중
하수관거 비굴착 정비 기술	미국/ 일본	50%	하수관거 인프라 구축 역사가 오래되었으며, 관련 시장이 활성화되어 있어 관련 정비기술을 다수보유함.	추진중
하수관거 보수/보강 기술	미국/ 일본	50%	하수관거 인프라 구축 역사가 오래되었으며, 관련 시장이 활성화되어 있어 관련 보수/보강 기술을 다수보유함.	추진중
하수관거 첨단 조사 기술	독일	50%	Sensing 기술과 정밀기계 가공기술이 가장 선진적이어서 미국시장에 수출하고 있음.	추진중
하수관거 모니터링 제어기술	미국/ 일본	70%	하수관거 인프라 구축 역사가 오래되었으며, 관련 제어기술 적용실적이 앞서있음	추진중
하수관거 자원화 기술	일본	30%	법제적으로 에너지효율화 정책을 97년부터 시행하여 관련 연구가 가장 활성화 되어있음.	미추진

2. 국내외 시장현황

○ 국외 콘크리트 구조물 유지관리 시장 및 정책

- 국외의 경우, 우리나라보다 더 오래 사용된 건축물 및 사회기반시설이 많고, 유지관리의 사회적 인식이 일찍 자리 잡았기 때문에 유지관리 시장이 우리나라에 비해 더 큰 것으로 나타난다. 국내의 경우, 유지관리 시장이 최근 자리 잡고 있는 상황이지만, 시설물의 양적증대 및 공용년수 증가로 인해 유지관리 비중이 점차 커질 것으로 예상되고 있다.
- 미국, 일본 및 유럽의 선진국의 경우 건축물 이외에도 도로, 철도, 항만, 교통, 상하수도 등 국민 생활에 필수적으로 요구되는 사회 기반시설의 현재 물리적 상태, 관리 현황, 요구되는 조치 및 재원 조달 현황, 개선 방안, 정책 제언 등의 내용을 담은 보고서가 나오고 있으며, 이를 바탕으로 장기적인 유지관리 계획을 수립하고 있다.
- 우리나라의 시설물에 대한 유지관리 투자는 점차 확대되어 가고 있으나, 신규건설의 약 8% 수준으로 문화유산이 많은 유럽국가들의 경우를 배제한다고 하더라도, 신규건설 대비 유지관리 투자가 21.7%인 일본의 약 3분의 1 수준에 불과하는 등 유지관리를 중요시하는 세계적 추세에 비해 뒤쳐져 있는 것으로 나타난다.

○ 미국의 콘크리트 구조물 유지관리 정책

- 미국 토목기술자 학회 자료에 따르면 공공기간 시설 및 교량의 노후로 인한 불안정한 상태에 관하여 조사/평가하였고, 유지관리 기술의 미흡으로 인하여 연간 205억 달러, 2020년까지 인프라 개선에 3조6천억 달러의 높은 예산이 필요할 것으로 예측하고 있다.
- 유지관리 관련 법령으로는 IBC(International Building Code : 손상정도별 보수수준을 명시, 구조적/비구조적 보수), ISO 9000 Quality Management System(건축물 시설관리 서비스에 관련 깊은 것은 ISO 9001로서 생산에서 서비스 조직까지의 전 과정에 적용할 수 있는 20개 모델을 제시)등이 있다.
- 건축물의 경제적이고 효율적 이용 관점에서 건물의 특정 성능에 관한 평가항목 및 기준을 개발하고 있으며, 이 기준에 관한 인증 제도를 구축함에 따른 건축물의 성능을 향상시키는데 유지 관리의 방향을 두고 있다.

○ 일본의 콘크리트 구조물 유지관리 정책

- 주요 R&D 정책으로 '사회 자본의 유지관리, 장수명화'를 목표로 설정하고 이에 대한 연구가 진행 되고 있다.
- 주요 유지관리 법령으로는 건축기준법(제8조), 건설업법, 건축사법, 택지건물 거래법, 주택의 품질확보의 촉진 등에 관한 법률, 맨션의 관리의 적정화 추진에 관한 법률이 있으며, 그 중 건축기준법과 건설성에서 고시한 준칙, 건축물의 내진 개수 촉진에 관한 법률이 유지관리에 관하여 가장 자세하게 기술하고 있다.
- 건축물의 안전에 대한 유지 관리뿐만 아니라 기존 건축물의 개선, 유효활용에 있어 안전, 위생에 대한 장벽이 없는 생활환경 등의 기본적인 성능확보, 에너지 절약, 자원절약 등의 지구환경대책의 추진, 도시 재생 및 경관 형성 등의 도시계획에 대한 배려에 대한 고려 등의 다방면의 문제점을 개선하는 방향으로 바뀌고 있다.

○ 국내 콘크리트 구조물 유지관리 시장 및 정책

- 국내 건설시장은 1990년대에 주택200만호 건설, SOC투자 확대 등으로 건설투자 비중이 GDP대비 20%를 상회하며 초고속 성장 하였으며, 1990년대 말 외환위기 이후 국내 건설산업은 본격적으로 성숙기에 진입, 이후 건설 투자가 지속적으로 정체 상태가 되었으며, 이에 따라 GDP 대비 건설투자 비중은 지속 하락, 2014년에 GDP 대비 건설투자 비중은 약 14% 수준으로 하락 하였다.
- 2020년 GDP 대비 건설투자 비중이 약 11%가 된다는 것은 2020년 이후에는 우리나라의 건설시장이 본격적으로 선진국형 시장으로 전환될 것이라는 의미하며, 현재 1인당 GDP가 3만 달러 이상 되는 OECD 국가들의 GDP 대비 건설투자 비중은 대체적으로 11% 수준에서 형성
- 국내 건설투자는 1990년대에 가장 급성장했고, 당시 신축된 수많은 시설들이 2020년 이후 준공된 지 30년이 경과하면서 유지보수 수요가 급증하고 있으며, 「시설물안전관에관한특별법」상 1·2종 시설물 중 사용 연수가 30년 이상 경과된 노후 기반시설물(건축물 제외)은 2008년 말 기준 8.4%에서 2014년 3월 현재 9.5%로 증가하는데 그쳤으나, 향후에는 증가세가 빨라질 전망이다. 또한, 2024년에 준공 후 30년경과 1·2종 기반 시설물 수는 2014년 대비 2배 이상 급증할 전망이며, 동 시설물의 비중 역시 21.5%에 이를 전망임에 따라, 국내건설시장은 2020년이후본격적으로신축시장은축소소멸하기시작하고, 주택리모델링, 도심재생, SOC 시설물의유지보수/재개축등과 관련된 유지보수 시장 위주로 재편되기 시작할 것이라 예상된다.
- 특수환경의 보수재료를 포함한 기능성 모르타르/콘크리트의 경우 2003년 이후부터 사용량이 증가하기 시작하여 일반 콘크리트 시장의 약 10%를 차지하고 있다. 기능성 콘크리트 종류로는 해양 구조물에서 사용하기 위한 염분침투 저항성이 높은 내염 모르타르/콘크리트, 첨단 기술을 이용한 나노 촉매제를 첨가하여 강도 증진과 내구성을 증진시키는 나노 모르타르/콘크리트, 대형 산업기반 구조물의 안전, 경제적인 설계, 시공 및 유지관리를 위한 스마트 모르타르/콘크리트, 특수화합물을 이용하여 균열 보수 및 내구성을 증진시키는 보수용 모르타르 등이 있다.
- 기능성 모르타르/콘크리트에 대한 국내 연구는 초기 단계이며 이에 따라 황산염 및 CO₃²⁻, Cl⁻를 대비한 방청성, 수중경화성, 속경성의 기능을 가지는 기능성 콘크리트의 소재 및 시장을 개발하여 고부가가치 산업육성이 될 것으로 사료된다.

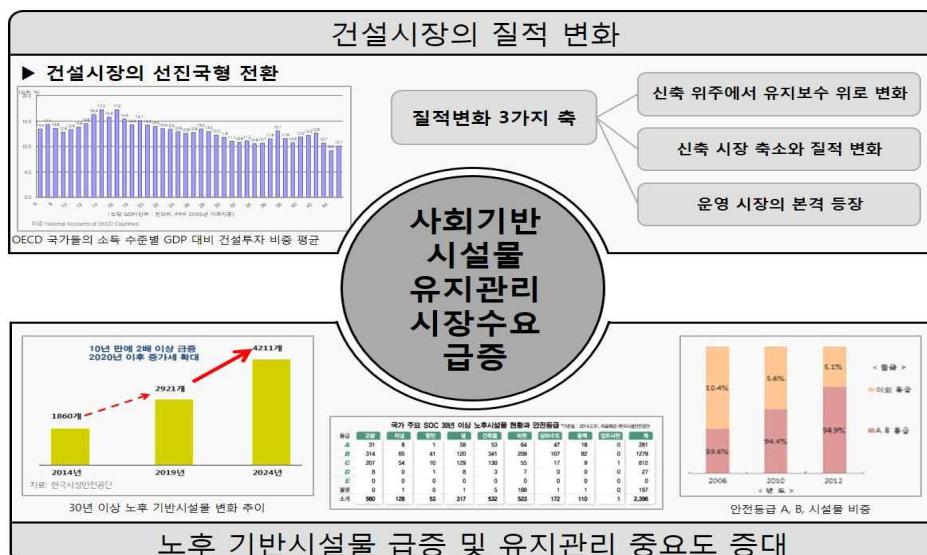


그림 2.1 우리나라 사회기반 시설물 유지관리 시장 수요 현황

제3장. 연구수행내용 및 성과

1. 시멘트계 재료의 열화 모델

콘크리트 구조물의 내구성 저하요인에는 콘크리트 탄산화에 의한 철근의 부식 발생, 건조 수축에 의한 성능저하, 건습반복, 온도변화 등의 기상작용 등에 의한 성능저하, 콘크리트에 대한 물리/화학적 침식, 염화물에 의한 콘크리트 중의 철근 및 강재의 부식 발생, 하중 작용, 지진 등에 의한 균열의 발생과 확대, 반복하중에 의한 콘크리트 균열부의 성능저하 및 철근의 피로, 지속하중에 의한 크리프 변형, 알칼리 골재반응, 황산염에 의한 팽창 등이 있으나, 본 연구에서는 주로 콘크리트의 황산염해, 염해, 탄산화를 중심으로 고찰한다.

일반적으로 구조물의 성능저하에 따른 일반적인 성능저하는 그림 3.1과 같이 나타낼 수 있다. 또한 성능저하기구의 모델화를 위해서는 본 절에 나타낸 성능저하요인, 성능저하 지표를 적절히 이용하는 것이 좋으며, 성능저하예측의 수준은 한결같지 않으며 상세 점검의 결과를 이용하지 않는 경우는 정량적인 예측이 불가능한 경우도 있다. 따라서, 현재의 기술 수준에서 정량적인 성능저하 예측을 실시하기 위해서는 상세 점검 결과는 대단히 중요하다.

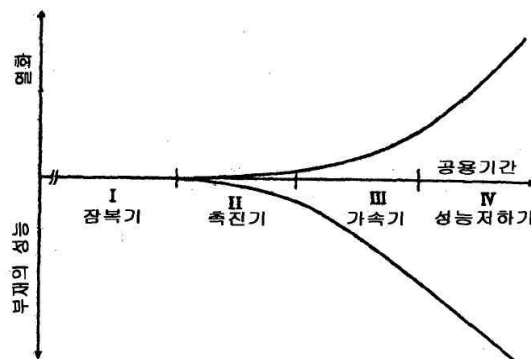


그림 3.1 콘크리트 구조물의 일반적인 성능저하도

*해상교량 염해 내구성 평가 및 내염성능 향상방안 연구, 도로교통연구원

(1) 황산염

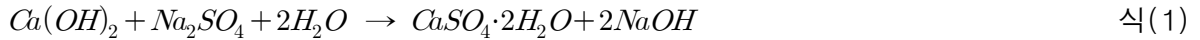
물에 녹은 황산염은 시멘트 수화물 중 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 석고를 생성하여 콘크리트를 연화시키고 이 석고는 시멘트 경화체 중의 칼슘알루미네이트 수화물 및 수화되지 않은 칼슘알루미네이트 페라이트상과 반응한다. 그때 에트링가이트 등을 생성하여 큰 팽창압을 일으키기 때문에 콘크리트의 팽창균열 및 조직 붕괴를 유발한다.

또한 황산염은 시멘트 경화체 중의 수산화칼슘과 반응하여 이수석고를 생성한다. 이수석고는 수용성이기 때문에 용출하여 조직이 다공화되어 침식이 가속된다. 황산염은 각종 공업원료 및 비료로서 널리 사용되어 오고 있고, 온천 및 하천수에도 함유되어 있는 것이 있으며, 또 해수 중에도 포함되어 있어 해수에 의한 콘크리트의 성능저하에도 영향을 미친다. 황산염에 의한 성능저하의 징후는 산에 의한 성능저하와는 다르고 침적기간이 비교적 장기간에 걸쳐 이루어졌을 때 나타나는 경향이 있다.

(가) 황산나트륨에 의한 성능저하

공장폐수, 지하수, 산성토양 및 화산지대 등에는 황산염이 포함되어 있는 경우가 많으므로 콘크리트 구조물에 접할 경우 황산(SO_4^{2-})이온이 시멘트 경화체 내부로 침투한 후 식(1)과 같이 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 생성된 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 연화작용과 식(2)와 같이 에트링가이트를 생성하여 팽창작용을 일으키게 된다.

특히 황산나트륨에 의한 시멘트 경화체의 성능저하는 ettringite에 의한 팽창이 주요 원인으로 보고되고 있으며, 아울러 gypsum에 의한 연화현상도 성능저하의 한 원인으로 지적되고 있다(Figg, 1979). 황산이온에 의하여 콘크리트 표면의 시멘트 페이스트 부분이 침식되어 용해되는 토포케미칼반응(topochemical reaction)으로 시멘트 경화체의 성능저하가 생기며 콘크리트의 강도저하 현상 및 체적변화에 의한 팽창이 발생하여 콘크리트의 품질을 크게 떨어뜨린다. 그래서 시멘트 경화체의 황산염침식에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 황산이온의 시멘트 경화체 중의 확산을 억제시키며, 물-시멘트비를 낮출 뿐만 아니라 결합재에 포졸란물질을 적절하게 혼합하여 사용하는 것이 효과적이라고 알려져 있다.

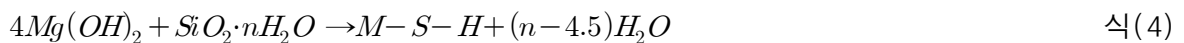
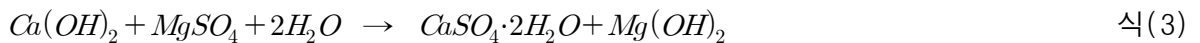


(나) 황산마그네슘에 의한 성능저하

황산마그네슘 환경하의 시멘트 경화체의 성능저하는 황산나트륨 환경하의 경우와는 달리 시멘트 경화체의 성능저하 메카니즘은 다음과 같다(Al-Amoudi 등, 1995).

첫째, C3S 및 C2S가 수화반응을 일으킬 때 생성되는 수산화칼슘과 황산마그네슘이 반응하여 식(3)과 같이 gypsum 및 brucite를 생성하며 이들 반응생성물의 영향으로 시멘트 경화체는 연화된다. 또한 시멘트 경화체의 표면부에 생성된 불용성 brucite는 시멘트 경화체 내부의 pH를 저감시켜 알칼리도를 떨어뜨리기도 한다.

둘째, brucite는 실리케이트 수화물과 반응하여 섬유상의 마그네슘-실리케이트 수화물을 생성하여 시멘트 경화체의 강도손실을 유발시켜 성능저하 원인이 되며 그 반응식은 식(4)와 같다.



황산염 환경하에 노출된 시멘트 경화체의 황산염침식 메카니즘은 그림 3.2와 같으며, 황산염침식 과정은 다음의 3단계로 요약할 수 있다.

- 시멘트 경화체 속으로 황산이온의 침투, 확산
- 황산이온과 시멘트수화물의 반응으로 ettringite 및 gypsum 등의 성능저하 물질 생성
- 반응생성물의 팽창 및 연화 작용으로 인한 시멘트 경화체 조직구조의 파괴 및 균열발생

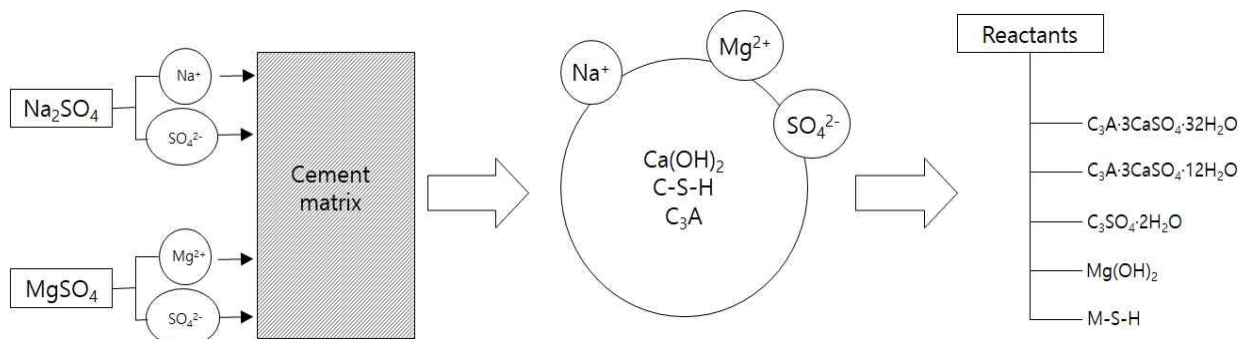


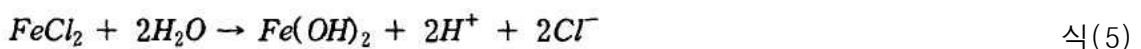
그림 3.2 시멘트 경화체의 황산염침식 메카니즘

(2) 염해

철근콘크리트 구조물에 있어서 성능저하의 주원인은 염소이온의 침입에 의한 철근의 부식이고, 염소이온의 침입은 크게 나누어, 해사나 배합수 등에 의하여 직접 콘크리트 중에 유입되는 것과 해양환경하의 비래염분이나 해수의 직접적인 접촉 또는 동절기 용빙제의 살포 등으로 인하여 염소이온 등이 콘크리트 중으로 침투, 확산되는 것으로 나눌 수 있다.

염해는 주로 철근부식과 밀접한 관련이 있으며, 염해에 의한 콘크리트 중의 철근의 부식은 세공용액의 pH가 9이하 정도로 되지 않아도 철근부근에 소정의 염화물이 존재하면 염소이온이 강재 표면의 부동태 피막을 파괴하게 되고, 그 결함 부분에서 물의 존재 하에 국부 전지를 만들어 철근의 부식반응이 진행되며, 이들의 반응생성물로 수산화 제1철 또는 수산화 제2철의 녹을 발생시킨다.

염소 침식의 국부적인 침식에 의하여 야기된 애노드와 캐소드 면적의 분리는 부식형태에 상당한 영향을 미친다. 애노드 지역에 인접한 콘크리트에서 양의 철이온의 농도가 증가하여 pH는 떨어지고, 음극반응의 산물인 수산화 이온의 생성은 철의 캐소드 지역의 근방에서 일어난다. 애노드에서 국부적인 pH의 강하 때문에 $FeCl_2$ 의 가용성 화합물이 형성될 수 있으며, 이 화합물은 애노드로부터 퍼져나가서 부식이 계속 될 수 있다. pH와 용존 산소의 농도가 더 높은 지역으로부터 약간 떨어진 곳에서 가용성 화합물은 분해되고, 수산화철은 침전되기 때문에 염소이온은 애노드에서 철이온과 훨씬 더 '자유롭게' 반응한다. 염소이온들은 이 과정에서 소비되지는 않으며, 철 근방에서 철이온의 농도가 높기 때문에 부식은 억제되지 않고 계속해서 철이온이 용출되어 산소와 반응하기 때문에 더 많은 산화물과 수산화물을 형성한다. 그럼으로, 부식이 철근을 따라 측면으로 퍼지는 대신 국부적인 애노드 지역에 한정되어 깊은 공식을 나타내며, 결과적으로 철근은 심각한 상태가 된다. 또한 양극에서 발생된 수소이온(H^+)은 철근 표면의 pH를 낮춤으로써 부식에 영향을 미치게 된다. 활발한 부식 반응이 일어나고 있는 철근 부위에서의 pH는 언제나 4.8~ 6.0 사이의 범위라고 한다. 이들의 부식반응은 다음과 같다.



이 식에서 볼 수 있듯이 염소이온은 반응에 참가하지 않고 촉매역할을 수행함으로 끊임 없이 부식반응이 진행된다. 이러한 염소이온에 의하여 콘크리트 중의 철근의 부식반응 메커니즘은 그림 3.3과 같다.

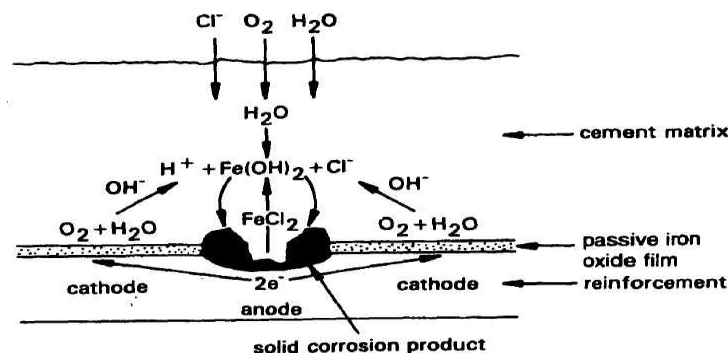
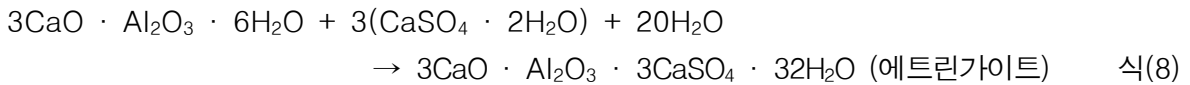
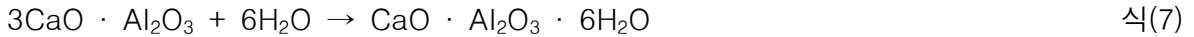
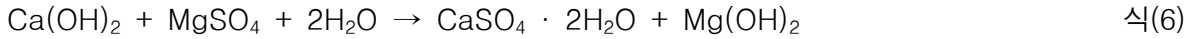


그림 3.3 염소이온에 의한 콘크리트 중의 철근부식 메커니즘

*철근콘크리트 구조물의 철근부식에 관한 실험 연구, 한국안전학회지

철근부식의 결과는 ① 직경의 감소(역학적 특성이 약해짐), ② 산화철의 팽창성으로 인해 피복 콘크리트에 균열이 발생하거나 탈락, ③ 철근과 콘크리트의 부착력 감소 등으로 나타난다.

위와 같은 철근부식 이외에도 해수 중에는 황산마그네슘, 중탄산암모늄 등이 함유되어 있기 때문에 이들에 의한 콘크리트의 화학적 침식이 발생된다. 특히 황산염은 시멘트의 화학조성의 하나인 CaA 수화물과 반응하여 다음 식과 같이 에트링가이트를 생성함으로 그 팽창압에 의하여 콘크리트가 붕괴하는 반응을 일으키기도 한다.



위의 식에서 CaSO_4 를 만들 때 124%, Mg(OH)_2 를 만들 때 196%, 에트링가이트 생성시는 227%의 체적팽창을 나타내기 때문에 콘크리트에 팽창성의 균열을 발생시킨다.

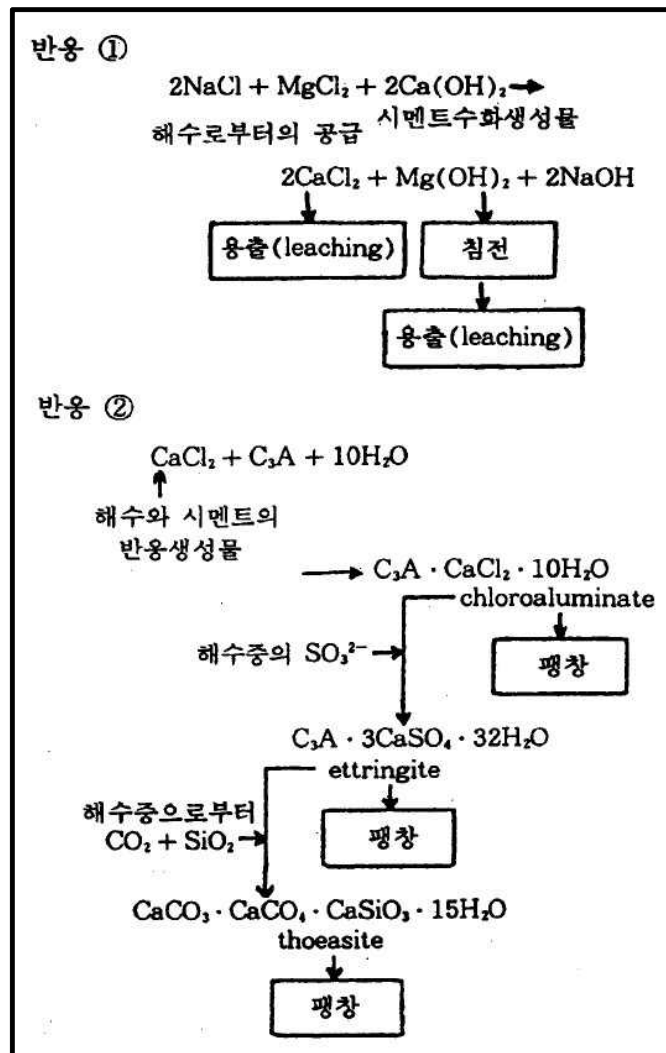
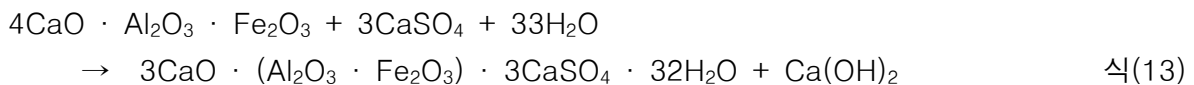
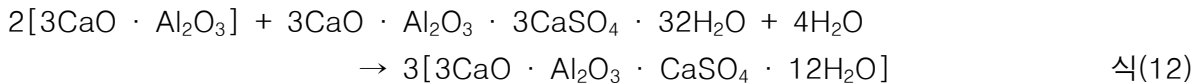
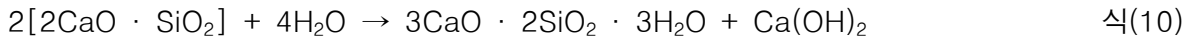
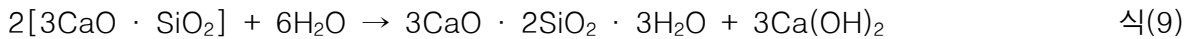


그림 3.4 해수에 의한 콘크리트의 화학적 침식

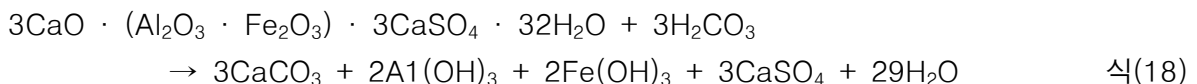
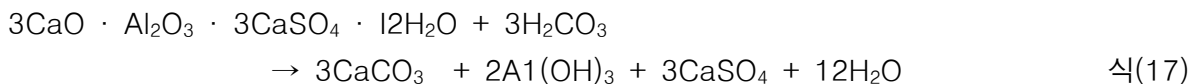
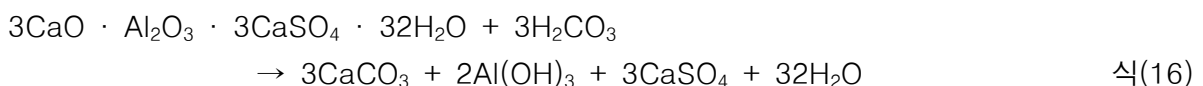
*콘크리트 공학, 일광

(3) 탄산화

일반적으로 시멘트의 수화는 C_3S , C_2S 로 대표되는 실리게이트와 C_3A 와 C_4AF 등의 알루미늄이네이트가 아래 반응식 식(9)~(13)과 같이 나타난다.



식(9), (10)에서는 $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ 의 일반식을 갖는 규산칼슘 수화물과 수산화칼슘 이, 식(11), (12)에서는 에트링가이트, 모노설페이트 등의 복염이 생성된다. 완전히 시멘트의 수화반응이 끝나면 경화 시멘트 페이스트의 약 60%가 C-S-H로, 25% 정도가 수산화칼슘으로 된다. 이 수산화칼슘은 경화 시멘트 페이스트 중에서, 결정 pH는 공극 중의 포화 수용액의 형태로 존재한다. 수산화칼슘의 포화수용액은 pH 12.6의 강알칼리성으로 경화 시멘트 페이스트의 pH를 결정한다. 콘크리트가 대기 중에 있을 때 대기 중의 탄산가스가 콘크리트 내부로 확산되어 탄산화 반응이 식(14)~(18)과 같이 나타난다.



흔히 콘크리트의 탄산화는 상기 반응식 가운데 식(14)의 수산화칼슘이 탄산화되는 것을 말하며, 포괄적인 의미의 탄산화는 식(15)~(18) 모두를 포함한다. 참고로 탄산화는 시멘트의 수화생성물이 이산화탄소와 반응하여 탄산화합물 및 그 밖의 물질로 분해되는 현상이라 할 수 있으며, 탄산화는 시멘트 경화체의 알칼리성이 저하되는 현상이라 할 수 있다.

가장 일반적인 탄산화는 콘크리트가 대기 중에 있는 경우이다. 대기 중의 탄산가스가 콘크리트 내부로 확산되어 탄산화가 콘크리트 표면에서 내부로 진행해 간다. 그러나 모든 수산화칼슘이 탄산화된 영역과 탄산칼슘이 생성되지 않은 영역 사이에 명확한 경계는 존재하

지 않는다. 이 2개의 영역 사이에는 그림 3.5에 표시한 수산화칼슘과 탄산칼슘이 혼재되어 있는 영역이 있다.

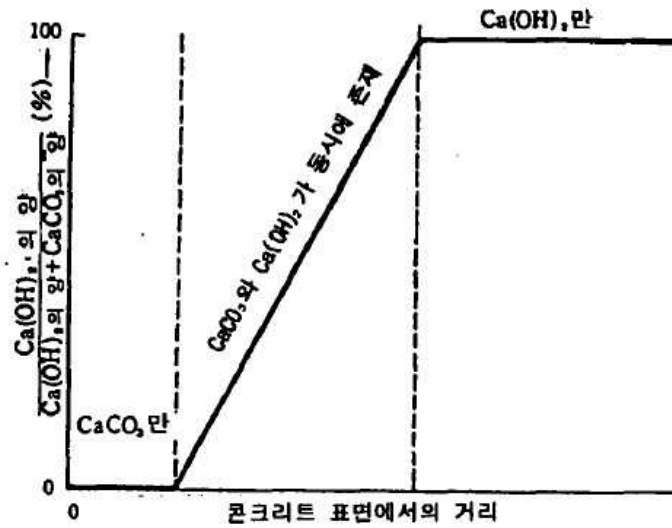


그림 3.5. 콘크리트 탄산화 모델

*콘크리트 공학, 일광

이러한 탄산화는 콘크리트 자체에 유해하지는 않지만 콘크리트 중의 철근이 부식하기 때문에 문제가 된다. 따라서 철근콘크리트 구조물의 내구성 문제에서 탄산화는 중요하다.

콘크리트의 탄산화 판정은 페놀프탈레인 1%의 알코올 용액을 콘크리트 표면에 뿌리면 알칼리성의 부분은 붉은 보라색을 나타내기 때문에 색깔이 변하지 않은 부분을 탄산화된 것으로 판정하며, 이 때의 pH는 8.5~9.5 정도이다. 콘크리트 표면에 부동태 피막이 생성되는 것은 pH 11이상의 강알칼리 환경이 필요하며, 콘크리트가 탄산화 되면 철근의 부동태 피막이 파괴되므로 철근의 부식이 시작되어, 구조내력의 저하, 철근의 피복 콘크리트의 균열, 박리 등을 발생시켜 미관, 기능 및 안정성이 저하된다. 한편, 수화생성물과 이산화탄소의 반응에 의해 콘크리트 조직이 변화하고, 강도에 영향을 미친다는 보고도 있다.

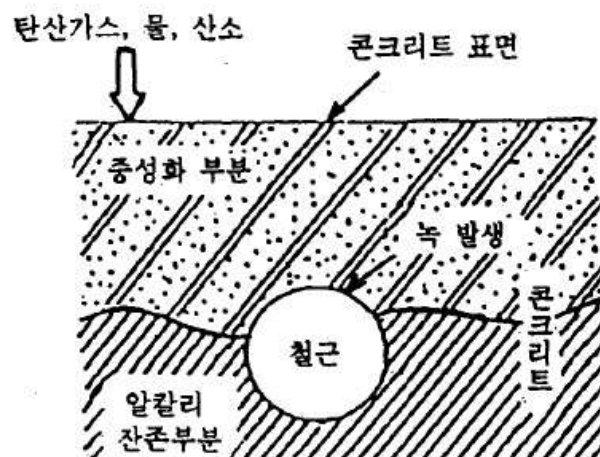


그림 3.6 탄산화에 의한 철근부식 메커니즘

*콘크리트 공학, 일광

2. 콘크리트 구조물 열화 억제 기술

(1) 기존 기술 자료 조사

구 분		제 1 안	제 2 안
		PSMD 공법 (건설신기술 506호)	섬유복합모르터 공법 (건설신기술522호)
특 성		콘크리트 구조물의 모양과 형상에 맞게 macro fiber 및 micro fiber의 복합 사용에 의한 경제적 단면복구 모르타르 설계기법을 적용시킨 보수공법	고인성 PVA 섬유의 다량 혼합이 가능한 배합성능과 장거리 이동 후 스프레이가 가능한 시공성능 및 섬유의 고른 분산을 통한 방사선 모양의 3차원 가교작용에 의해 연성과 균열저항성이 향상된 콘크리트 구조물의 보수공법
재 료 특 성	계면 도포제	프라이머(JETCON PD-#141)	구체접착강화제
	철근 방청제	JETCON PD-#120	방청제
	충진 모르터	보수용폴리머모르터 (JETCON PD-#100)	섬유복합모르터
	표면 코팅제	표면코팅제(JETCON PD-#142)	표면코팅제
시 공	중성화	표면 그라인딩 및 고압세척 바탕면 퍼티 프라이머(JETCON PD-#141) 도포 표면 코팅제(JETCON PD-#142) 도포	표면그라인딩 및 고압세척→바탕면 퍼티→무기질 중성화 및 염화방지용 코팅제 도포
	단면복구	치핑 및 고압세척 ⇒ 프라이머 도포 (JETCON PD-#141) ⇒ 보수용 폴리머 모르터(JETCON PD-#100) ⇒ 표면코팅제(JETCON PD-#142) 도포	치핑 및 고압세척→접착강화제 도포→섬유 복합모르터 도포→코팅제 도포
장 점		- 세피오라이트 섬유적용 보수재 사용으로 내균열성, 부착성, 압축성, 내화학적 등 보수재 성능이 우수 - 제품의 개발목적을 습윤면에 강하도록 설계하여 습윤상태 부착성능 매우 우수 - 개별보수 설계시 경제적 효과 큼	- PVA 섬유의 3차원 가교작용으로 균열 억제 - 배수지(상수도), 하수암거(하수도) 및 항만등 습윤한 상태의 구조물 보수공법으로 개발 - 습윤면에 대한 부착강도 우수 (특히 제 180759호) - 균열부 콘크리트 방청, 중성화 및 염해방지 기능 - 무기계재료로 모체와 일체거동
단 점		• 숙련된 기능공에 의한 정밀시공 요함	공정이 다소 복잡하여 시공전문가 필요
개략공사비		T=30mm, 196,000원/㎡	T=30mm, 220,000원/㎡

구 분		제 3 안	제 4 안
		리플래시 공법 (건설신기술330호)	에코텍트공법 (건설신기술642호)
특 성		친수성 폴리머와 특수미립 시멘트로 구성되고, 특히 습윤면에 대한 부착성능이 우수한 무기질 단면 피복재 및 항균성 개질재와의 복합에 의한 노후화된 RC 구조물의 방식 및 보수하는 공법	천연섬유를 함유한 기능성 폴리머 모르타르를 인력 및 스프레이 장비를 이용하여 단면을 복구 후 점착성능과 열화인자 차단효과가 뛰어난 나노메탈 미분이 함유된 에코트(ECOAT)를 분사하여 복구된 단면을 보호하는 보수공법
재 료 특 성	계면 도포제	RH 프라임	
	철근 방청제	RH 방식피복재	철근 방청도료
	충진 모르터	RH 모르터	황마섬유폴리머몰탈 - ECOTAL
	표면 코팅제	RH-Top 코트	나노메탈 표면보호재 - ECOAT
시 공	중성화	표면그라인딩 및 고압세척→바탕면퍼티→RH방식피복처리→RH-Top 코트 도포	표면그라인딩 및 고압세척→바탕면 퍼티→나노메탈 표면보호재 ECOAT 도포
	단면복구	치핑 및 고압세척 ⇒ RH프라임 도포 ⇒ RH모르터 충전 ⇒ RH 방식피복처리 ⇒ RH-Top 코트 도포	치핑 및 고압세척 → 철근 방청도료 도포 → 황마섬유폴리머몰탈 도포 → 나노메탈 표면보호재 도포
장 점		·노후화된 기존 콘크리트면의 알칼리성 회복 및 표면강화 ·배수지(상수도), 하수암거(하수도) 및 항만등 습윤한 상태의 구조물 보수공법으로 개발 ·습윤면에 대한 부착강도 우수 (특히 제 180759호) ·균열부 콘크리트 방청, 중성화 및 염해 방지 기능 ·무기계재료로 모체와 일체거동	·천연섬유인 황마섬유의 고유특성인 보수성으로 인해 초기에 발생하는 건조수축균열 완벽 차단 ·습윤면 및 열화된 부재에서도 우수한 점착성과 단면 회복 우수 ·스프레이 장비와 인력 시공에 대한 현장구애를 받지 않으므로 시공성 향상 ·휘발성유기화합물의 함량을 대폭저감시킨 친환경 내후성 도료(ECOAT)을 사용하여 강력한 점착력, 부착력, 내화학적, 내오염성, 내약품성, 균열 저항성 등이 우수함 ·다양한 색상 시공 가능
단 점		공정이 다소 복잡하여 시공전문가 필요	완벽한 시공을 위해서 현장 품질관리가 필요
개략공사비		T=30mm, 250,000원/㎡	T=30mm, 176,292원/㎡

구 분		제 5 안	제 6 안
		레미가드 공법 (건설신기술462호)	리노스시스템 공법 (건설신기술363호)
특 성		염소이온 교환작용이 탁월한 하이드로탈 사이트를 혼입한 단면복구모르터를 사용하여 철근부식에 대한 복합장벽을 구축하고 보수시공의 합리화를 도모하기 위하여 완전 밀폐형 건·습식 복합분체이송 뿔칠시스템을 적용하는 보수공법	나노수준의 분자제어 기술을 이용하여 콘크리트 노후화 이온의 크기보다 작은 3차원 망목구조의 미세기공을 형성하는 무기질 폴리머를 도포하여 노후화인자를 차단하고 통기성을 유지하여 콘크리트의 내구성을 향상시키는 공법
재 료 특 성	계면 도포제	RG-Primer(A)	침투형 알콕시 실란계(HCT-40CI) 백색 일액형
	철근 방청제	RG-Primer(B)	몰리브데이트 수황물(RM-30C)프리믹스
	충진 모르터	REMIGUARD=RSP	3차원 난용성 모르터(RM-50P)
	표면 코팅제	변성실리콘계 고분자	Hybrid계 침투형 알콕시 실란계 (HCT-400CF)
시 공	중성화	표면그라인딩 및 고압세척→알칼리회복 표면강화 도포→표면보호 모르터 및 발수성 표면 방식 강화제 도포	표면그라인딩 및 고압세척 바탕면 퍼티 무기질 통기성 방수제 도포 (2회)
	단면복구	치핑 및 고압세척 ⇒ 속경성 모르터 단면복구 ⇒ 표면보호 모르터 도포 ⇒ 표면강화제 도포 ⇒ 발수성 표면 방식 강화제 도포	치핑 및 고압세척/무기질통기성 계명방수제/복합폴리머 시멘트모르터 바르기/무기질 통기성 방수제
장 점		·중성화, 염해 및 화해된 환경하에서 단면복구 모르터가 물리적·화학적 복합장벽을 형성하여 철근부식에 대한 억제 기능 향상 ·최대 보수시공 반경을 200M 로 확대 ·대형 보수공사 현장에 적합한 연속시공 단면복구 보수공법 ·시스템에 의한 완전 자동화·기계화에 의한 인력절감 및 공사비 절감	·나노수준의 3차원 망목구조에 의한 열화인자의 근본적 차단 ·친소수성으로 계면에 화학결합되어 부착력 우수 ·내화학적, 내약품성, 내충격성 우수 통기성이 있어 내부수분이 외부로 발산 ·몰리브네이트계의 방청제 사용으로 친환경적
단 점		시공전 사일로 및 기계화장비 설치 필요, 소규모 국소부위 시공시 효율 저하	모르터의 부착성 부족으로 탈락우려 보관중 침전에 의한 경화불생 우려
개략공사비		T=30mm, 250,000원/㎡	T=30mm, 260,000원/㎡

구 분		제 7 안	제 8 안
		MA공법 (특허10-0833870호)	크로스 공법(신기술 288호) (특허 제 0415168 호)
특 성		콘크리트 구조물의 열화원인 중에 하나인 산성환경에 대해 내부식성이 우수하도록 시알레이트계 내산성 모르타르와 내산성 코팅제를 이용하여 노후화 시설의 단면 보수.보강에 시공함으로써, 기존에 산성부식에 취약했던 단면복구용 모르타르의 단점을 보완하고 시설물의 내구성을 증대	고 알칼리성, 고농도 방청성분을 갖는 방청복합 알칼리회복제와 아질산계 분말 방청제 혼입 폴리머 시멘트 모르타르(방청모르타르, 방청표면 피복제, 방청단면수복제)를 병용 사용하여 중성화 및 염해 등에 의해 손상된 RC구조물을 보수하는 공법
재 료 특 성	계면도포제	MA-프라이몰(A,B)	방청복합알칼리회복제-CR-1000
	철근방청제	MA-방청피복제	철근방청모르타르 - CR-10
	충진모르타르	MA콘 400, 500, 600 (시알레이트계 내산성 모르타르)	방청단면수복제 - CR-20
	표면코팅제	MA코트303	마감코팅제 - CRO-COAT
시 공	중성화	그라인딩및고압세정→알칼리회복제 도포 → 내산성코팅도포	표면그라인딩 및 고압세척→수성표면강화제 도포 → 방청표면처리제 도포 → 마감코팅제 도포
	단면복구	치핑및고압세정→철근부식제거고압세정알칼리회복제도포→철근방청→내산성모르타르충전→내산성코팅제도포	치핑및고압세척→알칼리회복제 도포→철근방청제도포→수성표면강화제 도포→방청단면수복제도포→방청 표면피복재 시공→마감코팅
장 점		·내산성, 내화학적, 내황산염저항성우수 ·산성환경에 대한 내부식성우수 ·유기기용제를 사용하지 않으므로 환경친화적 ·화학적 침식작용 억제 차단함으로 구조물의 수명연장 ·무기계 자료로써 모체와 일체거동	·수성 제품사용, 환경친화적 공법 ·수성 표면강화제에 의한 콘크리트 표면강화 ·방청 표면피복제 CO2가스, 산소, 수분 차단 및 우수한 접착력 ·방청성,방수성,내화학성이 우수 ·시공 후 균열, 탈락등의 재 손상 발생이 적다. ·중성화된 콘크리트의 알칼리성 회복, 부식철근을 아질산 방청성분에 의한 철근 부동태 재생 및 방청 ·아질산계 폴리머 사용으로 내구성 우수 ·인력미장 및 기계화 시공이 모두가능
단 점		·시공전문가 필요	·재료의 특성상 전문시공필요 ·누수부위는 별도의 공법필요
개략공사비		T=30mm, 199,000원/㎡	T=30mm, 238,000원/㎡

구 분		제 9 안	제 10 안
		ECO-TERRA 공법 (특허 제10-1140102)	피엠아이(P.M.I)공법 (특허 제10-1133782)
특 성		고로 슬래그와 프라이애쉬등을 규산알카리용액에서 고화시킨 친환경적인 새로운 개념의 테라폴리머 몰탈을 사용하여 화학적부식,염해,등의 열화인자로 인해 손상된 콘크리트 표면을 보수하여 내구성을 복구시키는 보수공법	고분자 금속 및 세라믹복합재료를 입체 융합 하이브리드화 시켜 다원자간 이온 융합을 통해 콘크리트 구조물의 내구성 증진은 물론 비오염성과 내오존성의 다기능 복합 표면처리공법
재 료 특 성	계면 도포제	알칼리회복제-ECO TERRA200	MC-STEEL
	철근 방청제	철근방청제 - ECO TERRA100	MC-PCM-BOND
	충진 모르터	친환경 폴리머몰탈 - ECO TERRA CON	MC-PCM101
	표면 코팅제	표면코팅제 - ECO TERRA GUARD	
시 공	중성화	표면그라인딩 및 고압세척 → 알칼리회복제 도포 → 프라이머 도포→중성화방지코팅제 도포	표면그라인딩 및 고압세척→방식용 바탕조정제 B도포→탄산화 및 염해방지제 B도포→내오염성 탄산화,염해방지제 top B 도포
	단면복구	치핑 및 고압세척→알칼리회복제 도포→철근방청제 도포→프라이머 도포→친환경폴리머몰탈 도포→중성화방지코팅제 도포	치핑 및 고압세척→녹제거 및 방청→신구접착제 도포(알칼리회복형)→단면수복
장 점		·ECO TERRA CON은 주성분인 고로슬래그의 잠재수경성으로 시간이 지날수록 장기간에 걸쳐 지속적인 강도증가를 확인할 수 있으며,수밀성 또한 우수하다. ·제품의 특성상 소성과정이 없어 제조시 소모되는 화석에너지 사용을 대폭 감소할 수 있으며, 산업부산물의 재사용을 감안할 때도 환경 친화적이다. ·보통포틀랜드 시멘트에 비해 수화열이 적기 때문에 양생시 급작스런 건조수축율이 거의 없으며, 그로 인한 균열 발생을 예방할 수 있다.	·조직을 치유하여 내구성 및 강도 우수 ·유연성과 강한 부착력을 유지함으로서 장기적인 내구성 확보 ·망상균열에 대한 저항성 우수 ·기계화 시공으로 공기를 단축 시키며 시공품질 확보가 가능하다. ·수화열에 대한 저항성우수. ·리바운량이 적다. ·탄산화, 염해방지 성능 우수
단 점		최신개발 공법으로 실적이 다소 적은 편이다.	시공에 대한 기초 지식과 숙련도 필요
개략공사비		T=30mm, 173,195원/㎡	T=30mm, 210,000원/㎡

구 분		제 11 안	제 12 안
		하이퍼 공법 (특허 제0933224호)	건답콘 공법 (특허 제10-1075341호)
특 성		고인장 섬유(Polybenzoxazole, PAO섬유)를 포함한 고강도 폴리머 시멘트를 이용하여 성능이 저하된 구조물의 유해성가스의 침입을 차단하고, 내부 알칼리이온(Ca(OH) ₂ , Na ⁺ , K ⁺)의 이동을 억제할 수 있는 알칼리성을 부여하며, 콘크리트 표면에서의 미세균열 및 황산화가스에 노출된 콘크리트 구조물을 보호할수 있는 공법으로 콘크리트 구조물을 보호함으로써 열화된 RC구조물의 내구수명을 증진시키는 공법	우수한 내산 기능을 가진 지오폐리머 보수물탈(Gun Dap Con) 및 콘크리트구조체를 보강시키는 침투성 강화제(Gun Dap C.D.S) 그리고 중성화 및 염해 방지용(Gun Dap Coat)를 사용하여 노후화된, 특허 황산이나 황산염에 노출된 콘크리트 구조물의 보수 및 보강에 효과적인 공법
재료특성	계면도포제	-	Gun Dap C.D.S
	철근방청제	철근방청제 - Hi-fer Iron	Gun Dap PR
	충진모르타	폴리머몰탈 - Hi-fer mortar	Gun Dap Con
	표면코팅제	표면코팅제 - Hi-fer primer Hi-fer Coating	Gun Dap Coat
시공	중성화	표면그라인딩 및 고압세척→바탕면 페티→Hi-fer primer 도포→Hi-fer Coating 도포	
	단면복구	치핑 및 고압세척 → 철근 방청재 도포 → Hi-fer mortar 도포 → Hi-fer primer 도포→Hi-fer Coating 도포	치핑 및 고압세척→Gun Dap C.D.S도포→Gun Dap PR도포→Gun Dap Con충진→Gun Dap Coat도포
장 점		·PAO 섬유에 의한 치밀한 밀도 형성으로 균열억제성 우수 ·내화학적, 내산성, 내 환산염이 우수하여 구조물의 내구성 향상 ·기존 모체와의 부착성능이 우수 ·재료의 경량화로 구조물의 자중을 감소 ·시공두께 증대 및 경제성 유리 ·기존 모체와 일체 거동 ·황산화가스, 탄산화가스, 이산화탄소등 유해가스 차단성 우수 ·콘크리트 구조체의 내구성 향상에 기여하는 표면조직의 응집력 에 대한 보강 효과 ·동결융해 및 화학약품에 대한 저항성이 우수 ·콘크리트 구조체의 장기적인 강도발현에 기여하는 통기성 효과 우수 ·자외선에 의한 저항성 우수	·내산성 및 내염성이 매우 우수하여 시설물 내구성 증대 ·침식작용 억제, 차단하여 구조물 수명 증대 ·강알칼리성으로 기존열화 콘크리트면 성능강화 부여 ·구조물 방수층 형성 열화를 방지 ·콘크리트의 강도증진 ·VOC 또는 VOS성분이 없는 친환경제품 ·기후 및 온도변화 곰팡이등에 매우 안정적 ·자외선에 강해 열화 및 변색 방지에 우수
단 점		완벽한 시공을 위해서 현장 품질관리가 필요	·시공전문가 필요
개략공사비		T=30mm, 181,584원/㎡	T=30mm, 223,680원/㎡

(2) 기존 열화 억제 제품 성능 실험

본 연구개발을 통해 개발 예정인 하수 시설 콘크리트 구조물 보수를 위한 방청제 및 보수재의 현장적용성능 및 기초성능을 비교 평가하기 위하여 기존 제품을 현장에 시공하고 실험체를 제작하여 기초성능을 평가하였다.

표 3.1 기존 제품 현장적용 개요

구 분	내용
공 사 명	기존 보수보강 시공 테스트
발 주 처	(주)삼명이앤씨
시 공 자	고려토건(주)
목 적	기존 보수보강 mockup test
규 격	2.0*2.0
사 용 재 료	방청 모르타르 (B사)
시 공 규 모	1.10m ² 2.10m ²
현 장 위 치	부산시 동래구
공 사 기 간	2017.09.01. ~ 2017. 09.30



보수부위 조사 (박락, 부식)



보수부위 조사 (박락, 부식)



보수부위 치핑



치핑 완료



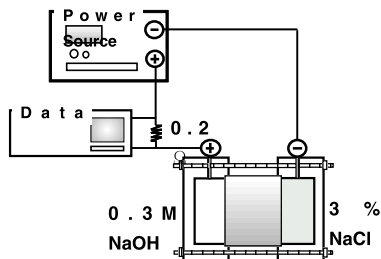
천정 전체보수 완료



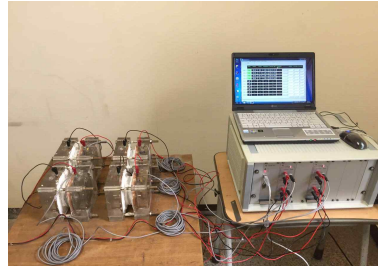
천정 부분보수 완료

그림 3.7 기존제품의 현장적용 평가

현장적용에 사용된 보수재의 기초 성능 평가는 3회의 배합을 선정하여 실시하였다. 성능 평가 항목은 압축강도, 휨강도, 균열발생 및 부착불량 여부, 내구성시험이며, 압축강도, 휨강도는 현장 배합 시 실험용 몰드에 타설하여 제작한 실험체를 28일 기중 양생 후 측정하였다. 균열발생 및 부착불량 여부는 시공 완료 후 28일 경과한 시점에 현장을 육안 관찰하여 평가하였다. 또한 내구성 시험은 실험용 몰드로 제작한 실험체를 이용하여 KS F 2711(전기 전도도에 의한 콘크리트의 염화이온 침투 저항성 시험 방법)에 따라 염화이온 침투저항성 실험과 황산용액 5% 용액(20±2)℃에서 28일 동안 침지 후 압축강도를 측정하는 내황산성 실험을 실시하였다.



염화이온 실험기기 모식도



전기전도도에 의한 염화물 실험



실험체 제작



압축강도 실험



무기계(아질산계) 유도체를 혼입한 보수재료



황산용액 5% 침지

그림 3.8 기존제품의 성능 실험

기존 제품인 B사의 방청모르타르 제품을 현장에 적용하여 시공한 결과, 평균 183 mm의 플로, 57.4 MPa의 압축강도, 8.6 MPa의 휨강도를 나타내었다. 염화물이온 침투저항성 시험 결과, 무기계의 아질산 유도체의 보수재료는 619 Coulombs에 해당하는 값으로 나타났으며, 기존 보수재료인 무기계(아질산계)의 염화이온 소재를 혼입한 보수재료의 경우 황산용액 5% 침지후의 강도가 45.6 MPa로 나타나, 강도감소율이 약 25.9% 인 것으로 확인되었다.

표 3.2 성능 실험 결과 (강도실험)

구분	압축강도(MPa)		휨강도(MPa)	균열발생 및 부착불량 여부
1차 배합	54.6	56.5	8.5	균열 없음
2차 배합	56.3	57.3	8.6	
3차 배합	59.2	60.7	8.7	
평균	57.4		8.6	

표 3.3 성능 실험 결과 (내구성실험)

구분	염화물이온 침투저항성(Coulombs)	내 황산성(MPa)	
		황산용액 5% 28일 침지 후	
1차 배합	645	43.2	42.5
2차 배합	768	50.3	49.8
3차 배합	432	43.8	44.2
평균	615	45.6	

3. 열화이온 반응 소재 설정

(1) 열화이온 반응 소재 선정

본 연구의 1차년도에서 선정된 하수시설용 보수재의 성분인 칼슘알루미나시멘트(CAC), 고로슬래그, 메타카올린, 이온교환수지, 아민유도체의 성분과 작용 메커니즘을 고찰하였다.

(가) 칼슘알루미네이트시멘트(CAC)

해외에서는 ISO 13007에는 24시간 후의 인장접착강도가 1.0MPa 이상이 나오는 제품을 C2F로 분류하여 성능규정을 하고 있는데, 이를 위해서 일반적으로 보통포틀랜드시멘트-칼슘알루미나시멘트-석고의 삼성분계 결합재에 촉진제, 지연제를 병용한 배합설계가 일반적으로 채용되고 있다.

CAC는 일반 OPC가 수화하면서 발생하는 포틀랜드라이트(Ca(OH)_2)의 생성량이 상대적으로 적기 때문에 산침식과 같이 gypsum에 의한 열화가 발생하지 않는다. 뿐만 아니라, CAC에 다량으로 함유되어 있는 알루미나 이온의 열화억제 기능으로 인하여 화학적 침식 저항성이 우수한 건설재료로 알려져 있다.

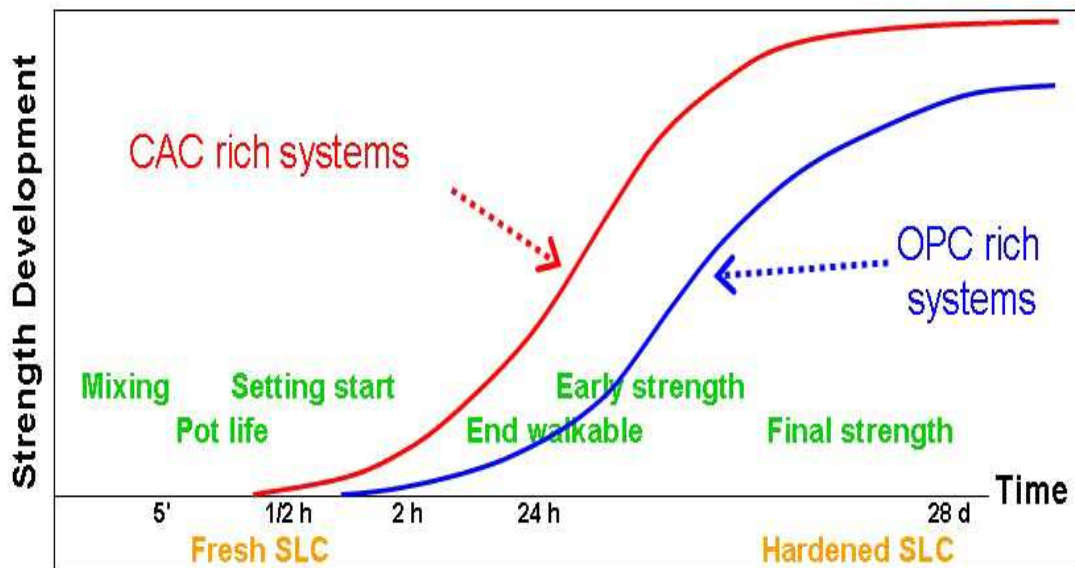


그림 3.9 CAC와 OPC비율에 따른 시간별 강도 변화 추이 곡선

*Acceleration of OPC by CAC in binary and ternary systems: The role of pore solution chemistry, Cement and Concrete Research

OPC보다 CAC비율이 높은 결합재 배합시스템은 속경형이며, 초기 강도 확보에 유리하고 작업시간이 짧은 특성이 있다. CAC보다 OPC비율이 높을 경우에는 경화 지연형이면서 강도 발현이 장기적인 형태로 나타나는 특성이 있다.

CAC와 OPC비율이 일정한 상태에서 CaSO_4 사용의 점증적인 증가는 수축보상에 효과가 있으나, CaSO_4/CAC ($\text{CAC} > \text{CaSO}_4$)이 작아야 팽창균열을 방지할 수 있으므로 각별히 주의하여야 한다.

CaSO_4 양이 일정하고 CAC/OPC 비율이 증가하면 응결시간이 단축되면서 강도는 약간 상승하며, CAC 첨가량이 일정하고 CaSO_4/OPC 비율이 커지면 수축보상에 효과가 있고 응결시간이 감소되면서 강도가 상승된다. 특히, CAC/ CaSO_4 비율이 최적일 경우 강도 상승 및 수축보상이 이루어진다.

(나) 고로슬래그

제철공장에서 선철을 만들 때 철광석, 석회석, 코크스를 고로(Blast Furnace)에 연속적으로 투입하여 용광로의 하부에 뜨거운 공기를 불어넣으면, 철광석 중의 Fe_2O_3 는 Fe로 환원되고, 이 중의 SiO_2 , Al_2O_3 등은 석회석의 CaO와 반응하며, $1,200 \sim 1,400^\circ\text{C}$ 에서 용해되어 슬래그가 된다. 고로슬래그는 냉각 및 가공처리 방법에 따라 유리질, 반정질 또는 결정질의 섬유상이나 과립상 또는 경량다공질, 치밀질 암석상괴로 생성될 수 있다.

슬래그의 성분은 일반 포틀랜드 시멘트(OPC)와 같이 주로 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO가 주성분으로 CaO와 MgO를 염기 성분으로 하는 알루미늄산 규산염이라 할 수 있으며, 그 화학성분은 철광석의 품질에 따라 차이가 있다. 이와 같이 생성된 슬래그는 선철보다 가볍기 때문에 선철과 분리되어 로외(爐外)로 배출되는 데, 이때 고온중에서 물로 급냉시키면 $1 \sim 5\text{mm}$ 크기의 입상이 된다. 이것이 수쇄슬래그로서 급냉에 의해 결정화할 시간적 여유가 없이 대부분 유리 상태로 잔류하게 된다.

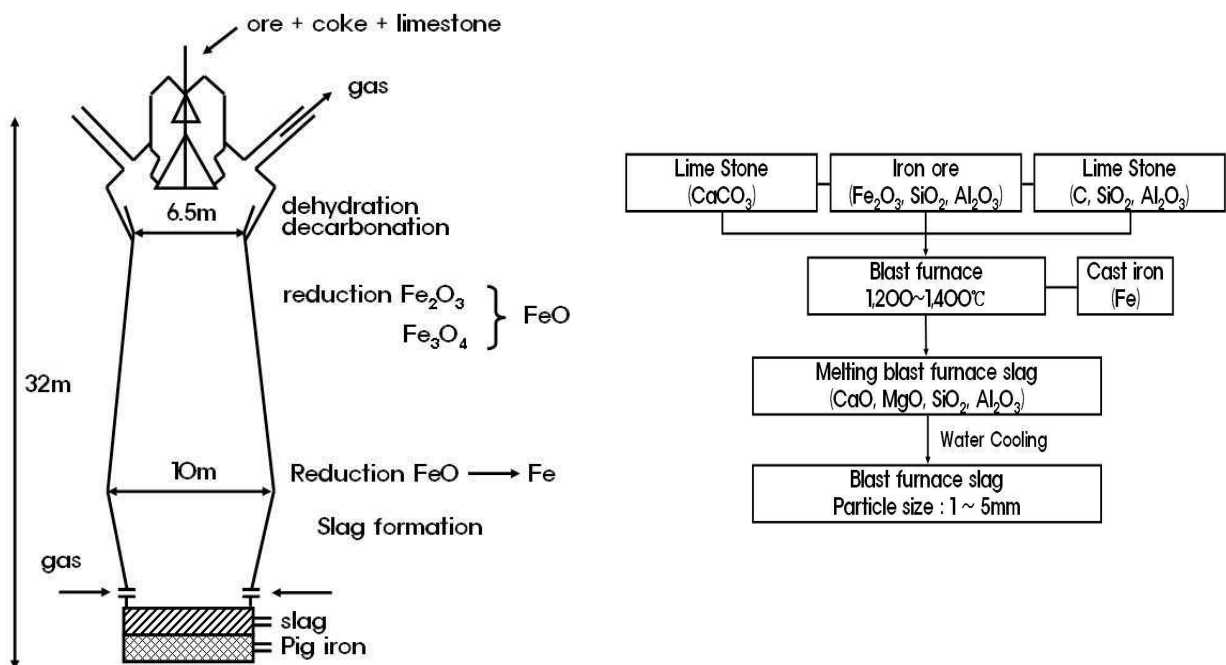


그림 3.10 고로슬래그의 생산과정

슬래그를 구성하는 상중에서 특히 고로수쇄슬래그의 수경성에 대하여는 많은 연구가 되고 있다.

일반적으로 규산염 결정은 SiO_4 4면체가 규칙적으로 배열되어 있어 화학적으로 안정한 구조이나 유리질은 고온의 용융상태에서 급냉한 과냉각체라고 할 수 있으며, 그 구조는 결정에 비하여 불안정한 상태, 즉 화학적으로 반응성이 큰 상태이다.

고로슬래그를 수냉하여 수쇄슬래그를 만들면 높은 에너지 상태로 되어 반응성은 커지나, 그 분말을 그대로 물과 접촉시켜도 수화반응은 거의 진행되지 않는다. 이는 주수 직후 Ca^{2+} 가 용출하여 그 입자표면에 투구성이 좋지 않은 부정형의 ASH6의 막을 형성하여 물의 침투 및 입자로부터의 이온의 용출을 제어하기 때문이다. 그러나, 어떤 조건하에서는 아주 현저한 수경성을 보인다. 이 특성을 잠재수경성이라 한다.

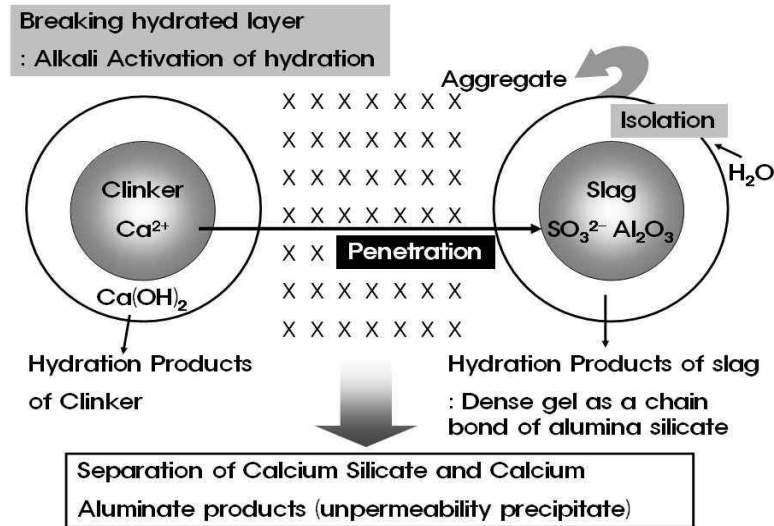


그림 3.11 고로슬래그의 수화매커니즘

고로슬래그가 알칼리 환경하에 있으면, 예를들어, 소량의 Ca(OH)_2 와 공존시키면 수화 반응이 진행된다. 즉, 알칼리 자극제로서 소량의 소석회나 황산염 등이 존재하면, 슬래그에 OH^- 를 흡착시켜 유리구조를 파괴하여 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO 의 용출을 촉진시키기 때문에, 액상중의 각 이온농도가 높아져 현저한 수경성을 나타내고, 일단 반응이 시작되면 자신이 용출하는 성분에 의해 용액이 높은 pH를 지속하여 반응은 계속된다. 결국, 고로수쇄슬래그의 유리질을 구성하고 있는 불규칙한 $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-$ 의 3차원망상 구조체의쇄상결합이 pH12 이상의 강알칼리성에 의해 절단되고, 그 망상구조내에 들어있던 Ca, Mg, Al 등의 이온이 용이하게 용출될 수 있기 때문에, 용출된 각 이온들은 포틀랜드 시멘트의 경우와 같이 규산칼슘수화물이나 알루미나칼슘수화물을 생성하여 경화하게 되는 것이다. 수화반응이 일단 시작되면 슬래그 중에 함유되어 있는 CaO , MgO 와 같은 알칼리성 물질이 용출하여 그 분위기는 계속 알칼리성으로 유지되므로, 처음 첨가된 알칼리성 물질은 처음 수화를 일으키기 위한 작용을 할 뿐 화학량론적으로 필요한 것은 아니다. 이와 유사한 반응으로 포졸란 반응은 화산재등의 가용성 규산을 많이 함유하는 물질이 Ca(OH)_2 와 작용하여 CSH계 수화물을 형성하여 경화하는 것으로, 이 경우는 화학양론적인 Ca(OH)_2 량이 필요한 수경성 반응이다.

(다) 메타카올린

카올린을 고온소성한 후 급랭시키면 카올린은 결정화 에너지를 내부에 보존하여 유리 상태가 되며 잠재 수경성을 가지게 된다. 즉, 카올린을 이러한 처리에 의해 활성화시키면 높은 에너지 상태로 되어 반응성은 커지나 물과 접촉되어도 수화반응은 거의 진행되지 않고 알칼리 조건하에서 아주 현저한 수경성을 보이게 된다. 이처럼 활성화된 카올린은 잠재수경성과 함께, 시멘트의 수화생성물인 Ca(OH)_2 과 포졸란 반응을 일으키는 메카니즘을 가지게 된다.

이와 같은 활성화 메카니즘과 카올린의 열간변화를 기초로 하여, 카올린을 소성하여 MK를 제조하게 된다. 이 과정에서의 소성온도는 보통 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ 의 범위에서 이루어지는데 이는 할로이사이트의 층간수가 약한 가열에서도 탈수되며, 이 온도범위에서 카올리나이트가 2차원의 유리구조를 가지는 메타카올린으로 변화하기 때문이다.

메타카올린은 먼저 원료를 투입, 분쇄하여 1차 건조 후 회전식 가마 혹은 유동질 층에서 소성한 후 생성되어진 클링커를 적당한 입도분포로 조절 분쇄하여 제조하게 된다. 일

반적으로 메타카올린의 화학성분은 실리카와 알루미나가 주성분으로 이루어져 있으며, 산화칼슘, 산화철, 이산화티탄등을 소량 포함하고 있으며, 주요 성분은 표 3.4와 같다.

표 3.4 각국의 메타카올린 화학 성분표

구성	미국 1 (%)	미국 2 (%)	미국 3 (%)	프랑스 (%)	한국 (%)
SiO ₂	56.14	59.34	52.18	54.12	52.00
Al ₂ O ₃	41.67	37.68	43.36	40.28	40.20
Fe ₂ O ₃	0	1.86	0.25	2.05	3.00
MgO	0	0	0	0.27	0.50
CaO	0	0	0	0.17	1.20
TiO ₂	2.16	1.12	4.21	1.72	0.35
Na ₂ O	0	0	0	0.08	0.04
K ₂ O	0	0	0	1.34	0.60
ig. loss	1.25	0.64	0.85	0.57	1.85
색도	백색	백색	백색	연적색	연적색 혹은 백색

시멘트는 이론적으로 중량비의 약 28% Ca(OH)₂을 생성하지만 실제로는 충분히 수화된 콘크리트라도 20%를 넘지 못한다고 한다. 또한 포졸란재를 혼합하게 되면 Ca(OH)₂은 혼합한 포졸란재와 반응하여 규산칼슘 수화물을 추가적으로 생성한다. 시멘트의 수화로 생성된 수산화 칼슘은 강도증진에 충분히 기여하지 못할 뿐 아니라, 내구성에도 좋지 않은 영향을 줄 수 있다.

따라서 포졸란 재료와의 반응에 의해 Ca(OH)₂이 소비됨으로써 시멘트 복합체의 내구성 및 강도는 크게 증가된다. 포졸란의 반응성은 수화된 페이스트에서 반응하지 않은 포졸란을 화학적으로 분석하거나 포졸란재 g당 시멘트 복합체내 Ca(OH)₂ 소비량과의 관계로 평가할 수 있다. Ca(OH)₂을 완전히 소비시키기 위한 MK의 혼입율에 대한 연구는 연구자에 따라 차이가 있다. 코스터크(Kostuch L.A.)등은 재령 28일 시멘트 복합체에서 Ca(OH)₂를 완전히 소비시키기 위한 메타카올린의 혼입율을 20%로 정의하고 있는 반면, 오리올(Oriol) 등은 물 결합재비 50%일 경우에는 메타카올린의 혼입율을 30~40%로 보고하고 있다. 이러한 차이는 수화물 생성물과 포졸란 활성도가 시멘트의 조성, 메타카올린의 순도 및 물 결합재비에 따라 크게 달라질 수 있고, 콘크리트 속의 Ca(OH)₂은 페이스트에서 보다 희석된 상태이므로 정량화하기 어렵기 때문이다. 또한 시멘트 및 모르타르 내의 Ca(OH)₂량 변화는 일반적으로 약 14일에서 최소가 된다. 이것은 메타카올린의 포졸란 활성이 가장 활발하게 되어 시멘트의 수화로 생성되는 Ca(OH)₂량보다 더 많은 양이 메타카올린의 반응으로 소비되기 때문이다.

수화 시멘트 속에 대단히 많은 Ca(OH)₂가 존재하면 산성용액에 대한 화학적 내구성이 저하되며, 큰 Ca(OH)₂ 결정이 존재하는 경우 표면적이 작아 그 결정 방향으로 갈라짐이 발생하여 점착력을 저하시키는 원인이 된다. 이와 같은 이유로 포졸란 반응효과가 큰 메타카올린을 혼합한 콘크리트는 포졸란 활성을 통해 공극 개선이나 화학적 침식에 대한 개선효과를 기대할 수 있다.

(라) 음이온교환수지

본 연구에서 사용한 이온교환수지는 비드 형태의 음이온 교환수지(TRILITE SAR20 OH⁻ form, Samyang)이다. 표 3.5는 본 연구에서 사용한 음이온 교환수지의 물리화학적 특성을 나타낸다. 그림 3.12는 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 측정한 음이온 교환수지의 사진이다.

그림 3.13은 일반적인 음이온 교환수지 비드의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다. 비드의 구조는 기본적으로 Polystyrene이 Divinylbenzene의 가교결합으로 실타래처럼 뭉쳐 있는 구조이다. 이 기본구조의 표면이 전처리 되어 양전하를 띠는 작용기 부분이 생기며, 이 작용기 부분에 결합성이 낮은 음이온이 결합되어 있다. 음이온 교환수지 비드 표면에서의 음이온 교환은 비드 표면에 붙어있는 음이온의 선택성 차이 때문에 발생하게 된다. 강염기 음이온 교환수지가 교환할 수 있는 주요 음이온의 선택계수(Selectivity Coefficient)가 클수록 음이온이 교환될 확률이 높아진다.

표 3.5 음이온 교환수지의 물리화학적 특성

Appearance	Spherical bead
Matrix	Polystyrene Divinylbenzene copolymer
Functional group	R-N+(CH ₃) ₂ C ₂ H ₄ OH
Ionic form	OH-
Operating pH range	1-14
Specific gravity	1.13
Particle size range(μm)	300-1000
Total Capacity(eq/L)	1.3

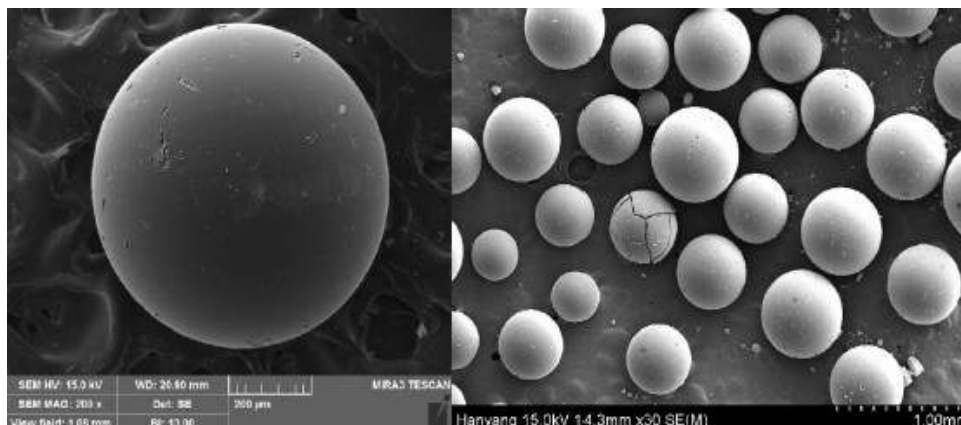


그림 3.12 음이온 교환수지의 SEM 이미지

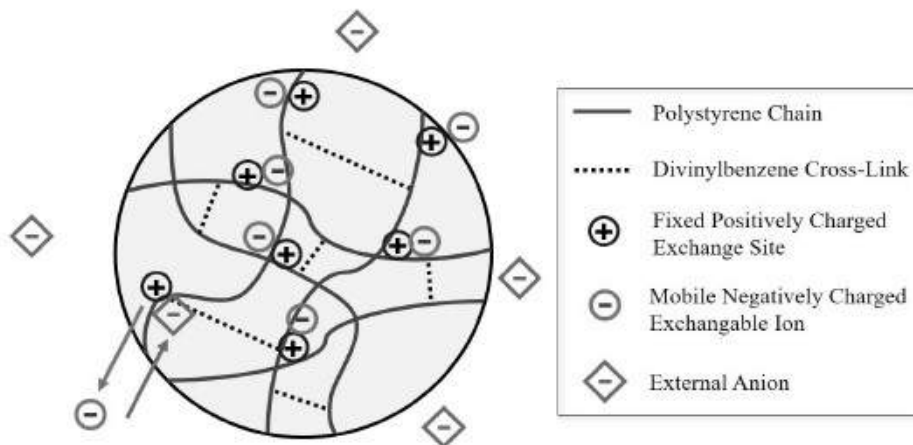


그림 3.13 음이온 교환수지의 구조

(마) 아민유도체

아민은 암모니아의 수소 원자를 탄화수소 잔기 R로 치환한 화합물인데 치환된 탄화수소 잔기의 수에 따라 일차 아민, 이차 아민, 삼차 아민의 세 종류가 있다. 탄화수소 잔기 R가 모두 알킬기(또는 그 치환체)인 것을 지방족 아민이라고 하며 R의 전부 또는 일부가 방향족 탄화수소 잔기(페닐기 또는 그 치환체)인 것을 방향족 아민이라고 한다. 1 분자 내에 아미노기, 이미노기 등의 질소를 1개 가진 것을 모노아민, 2개 가진 것을 디아민, 3개 가진 것을 트리아민이라고 하며 일반적으로 다수의 아미노기를 가진 아민을 총칭하여 폴리아민이라고 한다.

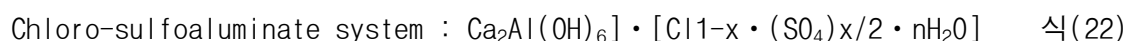
유기계방청제 성분으로 CO₂고정화 능력이 우수한 흡수법이며, 유기계 아민의 고정 반응은 CO₂가 아민유도체가 빠르게 직접적으로 반응하여 염기와 산성의 특징을 동시에 갖는 쌍극성 이온을 생성하는 반응으로 나타낸다. CO₂는 아민유도체의 염기와 빠르게 반응하여 탈 양성자화(표면이 음전하를 띄게 되는 상태)되면서 산성상태의 물질을 생성하여 안정화가 된다. 탈 양성자화 된 수소이온은 아민유도체와 다시 반응하여 안정화된 상태로 존재하게 된다. 이러한, 탈 양성자화란 아민의 작용기의 H이온에서 음이온이 외부로 방출되면서 아민의 H이온이 수소이온농도지수가 높은 상태인 H⁺이온상태가 되는 것을 말한다. 이 때 발생된 방출된 음이온은 CO₂를 공격하여 CO₂ 상태가 됨으로 화학적인 결합이 가능하게 되며, pH에서 산성상태라 함은 H⁺이온의 양적상태를 말하나 아민의 경우에는 pH 영역과 관계없이 아민기 자체의 탈양성자화에 의한 CO₂와의 화학적 결합을 의미함으로 CO₂의 고정화는 안정적으로 생성될 수 있다.



유기계 방청제인 아민유도체에 의한 Cl⁻의 고정 메커니즘은 한 개의 아민과 또 다른 한 개의 Cl⁻이 만나 말단의 알콜기인 OH와 만나 RNHCl⁻을 형성하게 되고 외부로 OH⁻이온을 방출하는 특성을 나타내어 부식부의 장벽 역할을 하여 부동태피막을 유지한다. 또한, 시멘트 내 C₃A가 초기에 염화물을 흡착하였다가 탄산화가 진행되면서 해리상태가 되나 아민유도체는 Cl⁻의 이온친화력에 의해 고정화 되어 안정된 상태이다. 이러한, Cl⁻을 함유하는 화합물, 즉 아민에 의해 생성되는 화합물은 아래와 같은 화학적 결합에 의해 유효한 염소 이온이 고정화될 수 있다.



시멘트 내의 수화물로서는 C₃A의 수화물의 형태인 AFm상은 Hydrocalumite와 유사한 결정구조를 갖게되는데 이 수화물은 아래와 같은 시스템으로 염소이온을 고정화하게 된다.

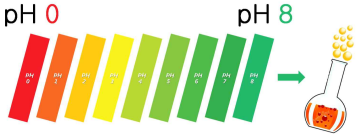
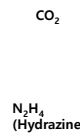


(2) 타 분야 열화이온 반응성 소재 조사

(가) Cl^- 이온 반응제어 기술

Cl^-		
재료 / 원리	기술명 (출처 / 관련분야)	주요내용
키토산비드, 활성탄비드 / 흡착	중금속과 유기물 제거 및 미생물담체 친환경 소재개발 (김승재, 전남대학교, 2009 / 환경)	- 폐수 중의 중금속과 유기물의 조성비에 따라 키토산 비드 내의 활성탄을 비드화 하는 기술개발과 중금속과 유기물을 동일 공정 내에서 동시에 제거할 수 있는 산업체 맞춤형 친환경 소재 개발 - 감각류의 껍질로부터 다공성 키토산 비드를 제조하고 이를 친환경 미생물 담체로 개발
	키토산 Bead 키토산 Bead의 염소이온탈착	
과염소산염 환원 박테리아 / 흡착	흡착 및 미생물 환원에 의한 과염소산염의 처리(이종철, 한국과학기술정보연구원, 미래창조과학부, 2015 / 화학 및 환경)	바이오 폴리머 흡착제(biopolymer based adsorbent ; BBA)를 제조하여 과염소산염을 흡착한 후 농축된 과염소산염을 혐기성 조건에서 과염소산염 환원 박테리아를 이용한 탈 산소화 특성을 규명함
	 과염소산염 박테리아가 ClO_4중 Cl^-이온을 흡착	
LDH계 monosulfate (Mg-Fe, Mg-Al) / 흡착	LDHs 계 monosulfate를 이용한 중금속 및 음이온성 오염물질 제거기작 연구 (박주양, 한양대학교, 교육과학기술부, 2010 / 환경)	- 기존 오염물질처리제를 LDHs 물질로 대체하여 비소, 염소이온과 같은 음이온성 오염물질 처리기법 연구 - 건조를 통한 Monosulfate 제조방법 및 특성 연구 - 토양 정화 및 수처리에 과정에의 적용성 검증
	LDHs계 Monosulfate LDHs계 Monosulfate를 통한 Cl^- 이온 흡착으로 토양 정화 및 수처리	
LDHs (Ca-Al, Zn-Al, Mg-Fe, Zn-Fe) / 흡착, 교환, 고정	지하수환경에서 층상이중수산화물에 의한 바이러스 제거 (박정안, 서울대학교, 교육과학기술부, 2011 / 환경)	- 층상이중수산화물(Layered Double Hydroxides)를 이용하여 지하수 중의 바이러스를 효율적으로 제거할 수 있는 흡착 여재(LDHs)를 개발 - 바이러스 제거 시 제거효율에 미치는 환경변수를 규명 - 다양한 구성의 LDHs를 제조하고 제조 방법 표준화 - 바이러스 제거 실험을 통한 최적의 LDHs 선정 - pH에 따른 바이러스 흡착영향 규명
	Virus 기존연구의 LDHs는 Virus를 흡착 Layered Double Hydroxides (LDHs)	

(나) CO²⁻이온 반응제어 기술

CO ₂		
재료 / 원리	기술명 (출처 / 관련분야)	주요내용
광합성미생물(미세조류, Cyanobacteria) / 고정	Cyanobacteria를 이용한 이산화탄소 고정화 및 고부가 생물제품화 기술개발(오희목, 한국생명공학연구원, 교육과학기술부, 2008 / 생명공학)	■ 광합성 미생물 (Cyanobacteria, 미세조류)의 고밀도 배양을 통한 생명공학기술을 이용한 이산화탄소 고정화 기술 개발 ■ 미생물 군주개량을 통하여 소규모의 생물학적 고정화 system 개발 ■ Cyanobacteria의 대량배양 공정연구 및 CO₂농도에 따른 배양
		광합성 미생물(Cyanobacteria, 미세조류)은 활동할 수 있는 범위가 pH9로 제한
Monolith형 이산화탄소 흡착제 / 흡착	Monolith형 이산화탄소 흡착제 개발 (조순행, 한국에너지기술연구원, 지식경제부, 2008 / 화학)	■ 활성탄, 제올라이트, 실리카겔, 메조포러스 실리카 등에 아민기를 활용하여 Monolith 흡착제를 제조 후 연소배가스의 이산화탄소를 흡착, 탈착하는 기술 및 공정 개발 ■ 이산화탄소 흡착제의 선택도 및 흡착성능을 향상시키기 위해 Na-X 및 제올라이트 sheet를 사용하여 Li⁺, Ca²⁺ 등의 이온교환을 실시하고 이온교환 전후의 이산화탄소 흡착성능 비교
		배기가스 중 이산화탄소를 Monolith형 흡착제를 사용하여 흡착
히드라진 (Hydrazine) / 흡수	히드라진 기반 이산화탄소 흡수제 개발 (허남희, 서강대학교, 미래창조과학부, 2014 / 화학)	■ 상압에서 MEA 보다 약 3배의 흡수속도를 보이는 히드라진을 확보 ■ 이산화탄소를 흡수한 히드라진으로부터 낮은 온도(약 70℃)에서 이산화탄소를 탈착할 수 있는 촉매 및 조건 연구가 상당히 진행 ■ 흡/탈착 최적화를 위한 동위원소를 활용하여, 메커니즘 연구 진행 ■ 히드라진의 염기성도가 상대적으로 약한 고유 특성으로 인하여 이산화탄소와의 결합력 낮아 작은 에너지로도 쉽게 CO₂ 분리 ■ 적은 에너지로 분리가 가능하여 공정 운전비용이 낮음
		70℃이상의 온도에서의 이산화탄소 흡착기술 개발
실리카-탄소계 복합 흡착제 / 흡착	이산화탄소 분리용 실리카-탄소계 복합 흡착제 개발 (박수진, 인하대학교, 교육과학기술부, 2012 / 화학)	■ 이산화탄소 분리포집용 실리카-탄소계 고체 흡수제 제조기술을 개발하여 흡착-재생공정에 의한 장치 및 에너지비용 저감 ■ 이산화탄소 흡수능력 증진을 위한 메조포러스 실리카 내부 표면에 아민 작용기를 접목시킨 아민-실리카 복합 흡수제 개발
		70℃이상의 온도에서 이산화탄소 흡착능력 저하

(다) SO_4^{2-} 이온 반응제어 기술

SO ₄ ²⁻ 이온		
재료 / 원리	기술명 (출처 / 관련분야)	주요내용
굴 껍질을 이용한 중금속과 아황산가스의 제거에 관한 연구 (한중대, 창원대학교, 한국과학재단, 1996 / 자원공학)		■ 93% 정도가 탄산칼슘으로 이루어져 있으며 다공질체로 비표면적이 큰 굴 껍질을 분말화하여 중금속과 아황산가스를 흡착시켜 제거하는 것이 목표 ■ 중금속 흡착특성에서 굴 껍질 분말의 흡착선호도는 Pb, Cd, Cu, Zn 순으로 나타나며 우수한 중금속 제거효과를 보임 ■ 굴 껍질은 그대로 사용하거나 플라이애쉬의 포졸란 반응으로 만든 흡착제로 만들어 사용할 경우, 고온의 조건에서 아황산가스의 좋은 흡착활성을 보여 건식탈황공정에서의 응용 가능성을 보임
	H₂S H₂S 고온 굴껍질(CaCO₃)분말 H₂S 아황산가스(SO₂)흡착 H₂S 고온의 배기가스 굴뚝에서 굴 껍질(CaCO₃)을 사용하여 아황산가스를 흡착 가능	
붕규산염 유리재료 / 반응 (결정 석출)	용액으로부터 유해이온 제거를 위한 유리재료 개발 (이본수, 인하대학교, 환경부, 2007 / 신소재공학)	■ PO₄²⁻, Ca²⁺, SO₄²⁻, CO₃²⁻ 이온 제거를 위한 유리 재료의 개발하여 새로운 개념의 폐수처리 방법 적용을 목표로 함 ■ 비교적 화학적 내구성이 나쁜 유리를 용액과 반응 시키면 유리 성분 중 일부가 용액 속으로 용출되어 유해이온과 반응하여 유리표면의 silica-rich 층에 결정이 석출되는 원리를 이용 ■ BaO가 포함된 유리를 이용하면 Ba²⁺이온이 용출되고 SO₄²⁻이온과 반응하여 BaSO₄ 결정으로 석출되어 SO₄²⁻이온을 제거
	Na⁺ SO₄²⁻ SO₄²⁻ B Si Ba Ba Porous Crystals (BaSO₄) 붕규산염 유리 붕규산염유리 분말을 사용하여 용액 내에서 황산이온(SO₄²⁻)를 황산바륨(BaSO₄) 결정으로 석출	
황산환원균 (sulfate reducing bacteria, SRB) / 고정, 환원 반응	압출성형에 의한 황산환원균 고정화 담체 제작 (백환조, 강원대학교, 2008 / 환경)	■ 황산환원균 고정화 담체의 표준 생산 공정 및 시공기준 확립 ■ 구성 물질 배합비율에 따른 고정화담체의 물성(강도특성) 파악 ■ 흡착성능 평가 실험장치를 통한 황산환원균 고정화담체의 중금속 흡착성능 파악
	고정화 담체 황산환원균 황산환원균 고정화 담체를 사용하여 SO₄²⁻를 고정 SO₄²⁻ H₂S 산성화 SO₄²⁻ 고정(H₂S)	

4. 내황산 보수 모르타르 개발

(1) 개요

본 기술개발은 하수관거의 열화에 대한 원인을 분석하고 열화원인에 적극 대응할 수 있는 소재를 이용하여 노후화된 하수관거의 기능회복 및 내구성능을 향상시키기 위한 내황산 보수 모르타르를 개발하는데 최종 목적이 있다.

1차년도에는 하수구조물의 열화 메커니즘 및 물리화학적 열화요인 분석과 기존 보수 시스템에 관한 연구 동향 및 기술개발 현황에 대한 이론적 연구를 진행하고, 현재 국내에서 개발 및 적용되고 있는 각종 보수공법의 수준을 조사하여 국내외의 하수관거 보수 및 하수관거의 열화 요인에 대한 연구 동향 및 연구내용을 검토 및 분석하였다.

2차년도에는 1차년도 연구조사를 바탕으로 열화 메커니즘 및 물리화학적 열화요인에 대하여 검토하고, 이에 따른 열화제어 방안 및 소재를 도출하였다. 열화제어 소재로 도출된 아민유도체와 이온교환수지를 활용한 하수구조물용 내황산 보수 모르타르는 칼슘알루미나시멘트를 주요 바인더로 하고 첨가재로서 고분자폴리머, 석고, 촉진제 및 지연제, 유동화제, 증점제, 섬유 등을 혼입하여 개발하였다. 먼저, 각 소재의 적정 혼입량 산정을 위한 기초실험을 실시하였으며, 선정된 최종배합을 대상으로 KS 기준의 성능 만족여부를 각종 실험을 통하여 확인하였다. 또한 실험으로 확인된 물성치를 이용, 구조해석을 통하여 보수모르타르의 보수효과에 대한 해석을 실시하였다.

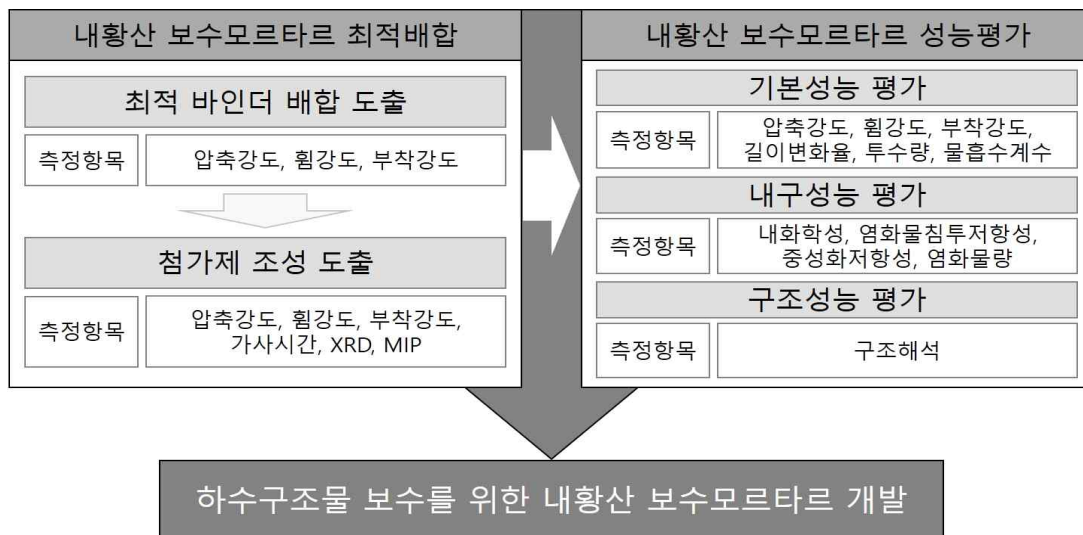


그림 3.14 내황산 보수모르타르 개발을 위한 프로세스

(2) 골재 및 바인더의 특성 평가

(가) 주요 사용재료

① 바인더

㉠ 시멘트

시멘트는 KS L 5201에 따라 국내 S사에서 생산한 1종 보통 포틀랜드 시멘트 (Ordinary Portland Cement)와 알루미나 시멘트(Calcium Alumina Cement)는 국내 U사의 알루미나 함량 50% 규격의 시멘트를 사용하였다. OPC의 주요 화합물은 CaO를 주로 한 C3S, C2S, C3A와 같은 4대 조성광물로 구성되어 있다. CAC는 알루미나 함량이 높으며, 주요 화합물은 칼슘알루미늄네이트로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

시멘트의 입자는 표면에 각이 진 상태의 입자로 구성되어 있으며, OPC와 CAC간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

표 3.6 사용재료의 XRF 분석 결과

Type	화학적 조성 (%)							
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
OPC	18.79	65	4.2	4.92	0.09	1.24	2.26	1.68
CAC	4.9	36.5	52.1	1.59	0.06	0.66	0.72	0.04

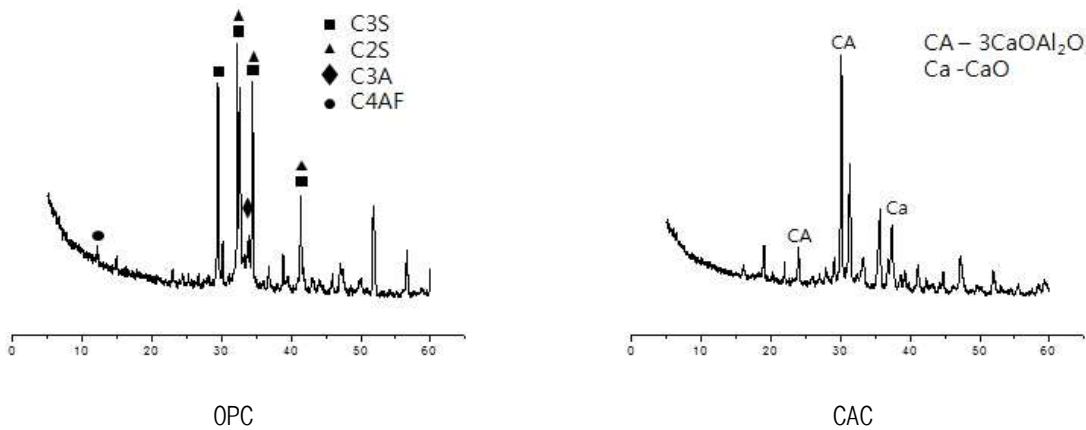


그림 3.15 시멘트의 XRD 분석 결과

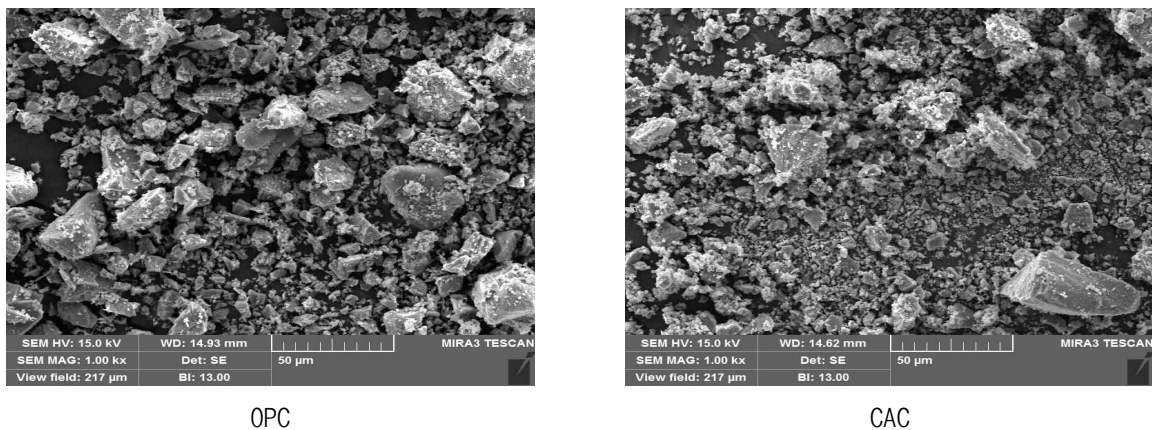
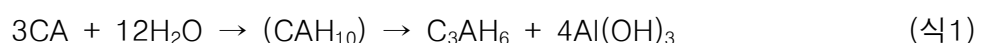


그림 3.16 시멘트의 SEM 분석 결과

알루미나시멘트는 Al₂O₃가 30% 이상 함유되어 있고, 주된 화합물은 C₁₂A₇, CA, CA₂이며 3종의 알루미네이트 중에서 CA의 강도 특성이 가장 뛰어나기 때문에 일반적으로 CA가 주성분이 되도록 제조하고 있다. 이러한 CAC는 복합결합재로 모르타르의 유동, 강화, 강도발현, 수축 등의 특성을 조절한다. 용도로는 낮은 온도에서 빠른 강도 발현을 위한 포틀랜드 시멘트의 촉진 결합재, 화학 저항성을 필요로 하는 곳, 높은 온도 저항성 및 내화물 등에 사용된다. 특성은 수축보상과 팽창성, 조강성, 응결시간 조절 특성이 있으며 내화학적, 내산성, 황산염에 대한 내식성이 매우 뛰어나다.

한편 보통 포틀랜드시멘트의 수화반응과는 달리 CAC의 수화반응은 다음과 같다.



즉, 주성분 CA가 물과 반응하여 준안정성 중간 화합물을 거쳐, 최종적으로는 안정한 입방정계의 C_3AH_6 와 $Al(OH)_3$ 로 변화한다.

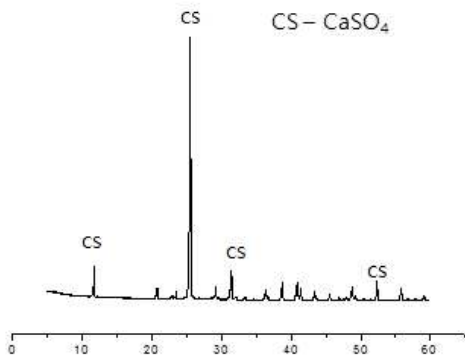
또한, 알루미늄시멘트가 석고와 반응하여 생성되는 수화물인 에트링가이트(ettringite)는 육각 주상형태의 가늘고 긴 침상구조로 강도뿐만 아니라 팽창성 물질로 조강성에 크게 기여한다.

㉔ 무수석고

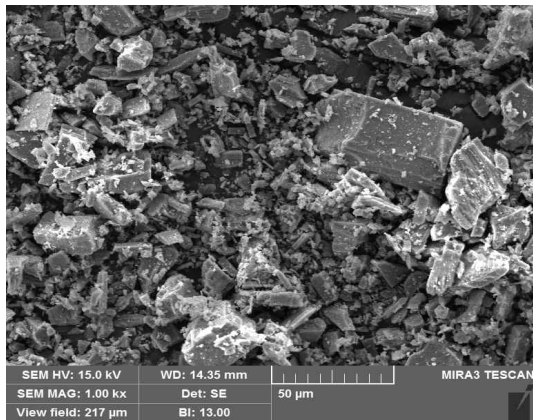
무수석고는 SO_3 함량이 42%이상인 제품을 사용하였다. 바인더의 XRF는 아래 표 2. 와 같다. XRD상으로 석고 함량이 주를 이루고 있으며, 결정상은 무정형의 물질이 불규칙적으로 결합하여 거친 구형의 형태를 이루고 있음을 확인할 수 있었다. 석고는 온도별로 생성되는 구조가 다르며, 종류에 따라 응결성 및 SO_3 용출량이 달라진다. 무수석고 중 III형의 무수석고에서 용출량이 증가하여 초기 에트링가이트 생성에 유리하여 본 연구개발에서는 III형의 무수석고를 사용하였다.

표 3.7 사용재료의 XRF 분석 결과

Type	화학적 조성 (%)							
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
무수석고	1.52	53.03	0.64	1.31	-	0.12	0.09	42.54



석고의 XRD



석고의 SEM

그림 3.17 무수석고의 XRD, SEM 분석 결과

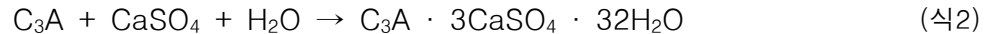
표 3.8 석고의 형태에 따른 성질

소성온도(℃)	생성석고	개 요
130~160	α -CaSO ₄ · 1/2H ₂ O	급경성, 습식 가열
	β -CaSO ₄ · 1/2H ₂ O	급경성, 건식 가열
170~250	III β -CaSO ₄	가용성 무수석고, 흡수성이 크고 급속히 α -CaSO ₄ · 1/2H ₂ O로 됨. 건식가열법
	III α -CaSO ₄	β -CaSO ₄ · 1/2H ₂ O를 가열 탈수한 것, 흡수성이 큼
400~600	II CaSO ₄	III α , III β -CaSO ₄ 를 더 가열한 것으로 응결성이 없음

알루미나시멘트 수화에 있어 CaSO_4 즉, 무수석고의 역할은 근본적으로 SO_3 이온의 용해에 의해서 설명된다. 결국, 이수석고나 반수석고도 같은 메카니즘이지만 용해속도 및 양이 많기 때문에 제어하기가 어렵다.

따라서 본 연구에서 전술한 알루미나시멘트를 급결재로 사용하고 여기에 팽창성을 부여하기 위하여 무수석고를 혼합한 것이 기본 개발개념이다.

알루미나시멘트에서 Calcium Aluminate 성분과 CaSO_4 의 반응 메카니즘은 다음과 같다. 식 2는 무수석고가 C_3A 및 물과 반응하여 에트링가이트를 생성하는 과정이며, 식 3은 SO_3 의 농도에 따라서 모노설페이트가 생성되는 과정을 나타낸 것이다. 이 경우, 에트링가이트는 탈수에 의하여 모노설페이트로 전이되기도 한다.



알루미나시멘트와 석고가 결합할 경우의 반응 메카니즘은 칼슘알루미네이트 성분이 물, 석고와 결합하여 에트링가이트를 형성하고 팽창성을 부여하여 건조 수축을 억제하는 구조이다.



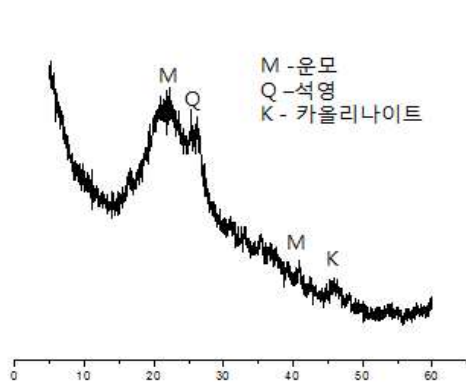
석고의 상용량은 CaSO_4 의 사용으로 인한 팽창 효과를 충분하게 얻을 수 있는 범위 내에서 최소로 사용하는 것을 검토하였다. 석고의 사용량이 높으면 경화체에 과도한 팽창이 발생하여 치명적인 결함을 유발할 수 있다. 따라서 석고의 사용량 결정은 매우 중요한 사항이다. 이러한 팽창성을 고려하여 석고의 적정 사용량은 시멘트 총량의 10~20%로 설정하였다. 이와 같이 10%로 한정된 것은 조강 성능 발현을 목적으로 하는 알루미나시멘트를 동시에 사용함으로써 경화속도와 팽창성의 제어가 어려워지는 것을 방지하기 위함이다.

㉔ 메타카올린

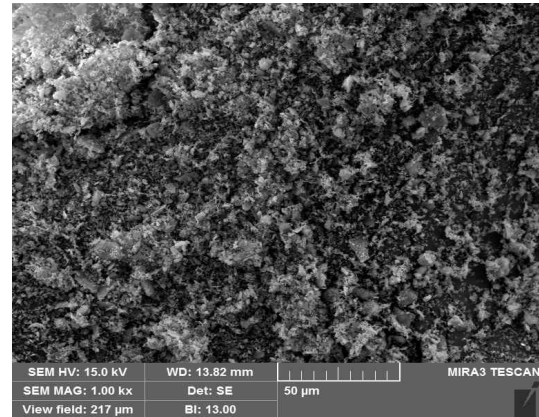
본 연구에서 사용된 메타카올린의 화학적 조성은 SiO_2 와 Al_2O_3 가 약 97.99%로 구성되어 있었다. XRD상의 메타카올린은 비결정질상태로 불규칙한 곡선과 함께 석영과 운모 등의 peak가 소량 나타나고 있었다. SEM사진 상에서 나타난 메타카올린의 형상은 판상 구조의 형상을 띄고 있으며, 카올린나이트의 결정의 탈수에 의한 판상 형태로 보인다.

표 3.9 사용재료의 XRF 분석 결과

Type	화학적 조성 (%)							
	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	SO_3
메타카올린	50.79	0.11	47.2	0.66	0.15	0.05	-	0.01



메타카올린의 XRD



메타카올린의 SEM

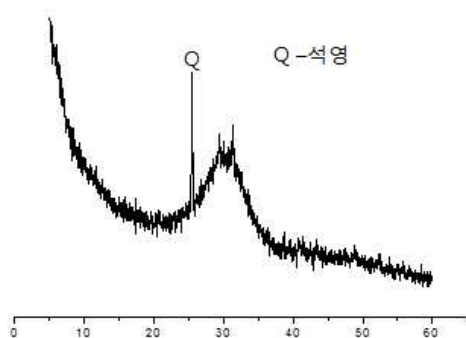
그림 3.18 메타카올린의 XRD, SEM 분석 결과

㉠ 고로슬래그

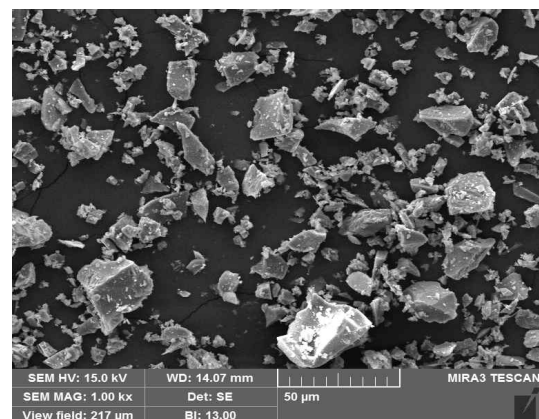
고로슬래그는 블레인 4800 cm^2/g 인 3종 고로슬래그를 사용하였다. 고로슬래그의 주요 화학적 구성은 CaO 와 SiO_2 그리고 Al_2O_3 가 90%이상 함유하고 있었다. 고로슬래그의 XRD는 대체로 비결정질 상태로 존재하며, 소량의 석영질이 있는 것으로 나타났다. 고로슬래그의 비결정질 중 칼슘실리케이트계의 광물이 25~35° 사이에서 Broad한 피크 상으로 나타났다. 고로슬래그의 입형은 시멘트와 유사하며, 각이 진 상태의 입자들로 구성되어 있었다.

표 3.10 사용재료의 XRF 분석 결과

Type	화학적 조성 (%)							
	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	SO_3
고로슬래그	33.62	43.53	13.67	1.07	0.20	0.53	3.50	2.03



고로슬래그의 XRD



고로슬래그의 SEM

그림 3.19 고로슬래그의 XRD, SEM 분석 결과

② 잔골재

잔골재는 국내 D사에서 생산된 제품으로 직경 0.075~0.22(7호사), 0.075~0.15(8호사)인 2종류를 사용하였다. 2종류의 잔골재는 경도 7, 비중 2.65g/ml 이다.

③ 첨가재료

첨가재료는 크게 재유화형 분말수지, 경화촉진제, 증점제, 유동화제, 소포제, 지연제를 사용하였다. 재유화형 분말수지는 독일 B사의 Veo/Veova계열의 제품을 사용하였으며, 경화촉진제는 리튬카보네이트를 사용하였으며, 증점제는 독일 A사의 메틸셀룰로오스 계열의 제품을 사용하였으며, 점도는 2,500~3,500mPa.s(20℃)이다. 유동화제는 해외 P사의 폴리카르복실계 분말형 혼화제를 사용하였다. 소포제는 해외 M사의 분말형 소포제(회분량 42%, 밀도 550g/ℓ)를 사용하였다. 지연제는 유동성 개선과 가사시간 평가를 위해서 주석산을 사용하였다.

재유화형 분말수지를 콘크리트 및 모르타르에 혼입하면 시멘트 페이스트 중에 폴리머 미립자가 분산되어, 골재 및 시멘트 겔 또는 미수화 시멘트 입자 표면에 흡착되어서 시멘트 수화에 따른 세공용적의 감소 및 수분의 증발에 의한 모세관수의 감소에 의해 모세관 공극을 메운 상태로 폴리머 입자가 응집하여 최종적으로 연속된 폴리머 필름을 형성하게 된다. 이러한 재유화형 분말 수지는 시멘트를 포함한 본 조성물과 함께 현장에서 물과 함께 혼련 시 시멘트, 충전재, 기타 첨가제로 조성된 조성물 내에서 사진 4.3에서와같이 도막 형태로 가고 결합됨에 따라 인장력을 향상 시키고 수분과 중성화의 원인이 되는 이산화탄소의 침투를 억제 시켜주며 수분증발 후의 필름 형성으로 인하여 방수 효과를 나타낸다.

이로 인하여 경화 전에는 시멘트 모르타르의 블리딩(bleeding)이나 재료분리(segregation)에 대한 저항성이 개선되며 또한 폴리머 입자의 응집에 따른 매트릭스(matrix)상 골재간의 접착성이 개선된다. 아울러 경화 후에는 시멘트 수화물과 폴리머 필름상이 일체로 된 결합재 조직(co-matrix)의 형성에 의해 모르타르와 콘크리트 내에서 생기는 미세균열이 폴리머 필름에 의해 방지되어 방수성, 수밀성, 내약품성 등이 개선되며 특히 하지면과의 부착성능이 탁월하고 표면에서의 내마모성도 크게 개선된다.

지연제 및 촉진제는 시멘트 또는 석고의 응결을 지연시키는 역할의 지연제와 응결을 촉진 시키는 촉진제이며, 이 혼화제는 적은 양으로도 매우 효과적이므로 사전 실험을 통하여 사용량을 선정하여 배합에 적용하였다. 지연제는 더운 날씨 및 기타 목적에 효과적이며, 클링커 및 수화물질 상의 흡착에 의해 지연이 되는 것으로 알려져 있다. 촉진제는 알루미늄 성분이나 성분이 많은 콘크리트나 모르타르의 경화를 촉진 시키며 보통 리튬염이라고도 한다.

유동화제는 시멘트계 제품의 유동성을 증가시켜 현장에서의 작업성을 개선하는 데에 소요되는 원료로서 사용하고자 하는 용도와 재료의 특징에 따라 선택하여 적용하여야 한다. 반드시 유동성이 우수하다고 하여 모든 분야에 적용할 수는 없다. 나프탈렌설폰산계와 폴리카르본산계 유동화제를 혼합하여 사용할 경우 교반시 상호 화학반응에 의한 겔 결정이 생성되어 분산성이 감소할 수 있고, 석고와 같은 황산칼슘계 결합재를 사용할 경우 폴리카르본산계는 유동화제의 흡착으로 인하여 오히려 유동성의 감소가 발생할 수도 있다.

본 연구에서 검토한 폴리카르본산계 유동화제는 결합재 및 미세한 모래 등에 강력한 분산효과를 나타낸다. 이 고분자는 표면 활성 특성이 있어서 물질의 표면에 흡착되며, 입자 사이에 윤활막을 형성하여 각 성분들 사이의 상호 부착력을 저감시켜, 개선된 유동특성을 나타낸다. 이러한 특성은 사용 수량의 감소를 가능하게 하여 강도를 증가시키고, 유동성능을 증가시킨다.

본 연구에 사용되어 재료의 점도를 상승시키는 증점제의 경우 셀룰로오즈 유도체 등과 같은 수용성 폴리머가 보통 사용된다. 셀룰로오즈 분자는 무수 글루코오즈 단량체 사슬로 이루어져 있다. 이러한 단량체의 숫자는 점도에 매우 중요한 역할을 한다. 무수 글루코오즈 내에 있는 세 개의 수산화기는 알킬 또는 수산화알킬의 유도체로 변형될 수 있으며, 이것은 용해성, 표면활성, 화학저항성, 효소저항성 등과 같은 화학적 특성을 셀룰로오즈 에테르에 부여한다. 용도는 건축용첨가제, 페인트 박리제, 접착제 및 풀, 세라믹, 중합반응, 농약, 잉크 등 여러 분야에서 사용되어 지고 있다. 특성은 제품의 점도 부여, 제품의 처짐 및 분리 방지, 응집효과 및 접착력 향상 등 여러 가지가 있다.

시멘트계 제품을 물과 혼합할 때 의도하지 않은 공기가 연행되는 경우가 발생하는데 이러한 공기는 밀도를 변화시키고 이로 인하여 물리적인 강도를 저하시킨다. 또한, 기포는 표면에 분화구나 핀홀과 같은 결점들을 남기기도 한다. 소포제는 특수 목적하에 제조되는 시멘트계 제품에 주로 적용되며 그 이유로서는 다양한 요구조건을 만족하기 위하여 시멘트, 골재 외 다양한 기능성 화학제품이 첨가되며 이로 인하여서도 기포가 다량 발생되기 때문이다. 소포제는 기포를 감소시킬 뿐만 아니라 재료내 공기량을 적절한 수준으로 조절하거나 기포의 크기를 감소시키는 역할을 한다. 안정적인 미세한 공기는 작업성을 좋게 하고, 균열 형성을 저감시키는 등 모르타르에서는 필수적이라 할 수 있다. 용도로서는 조적 모르타르, 그라우트재, 타일줄눈재 같은 건축용 재료와 페인트, 잉크, 라커, 화학산업용 첨가제, 제지 산업용 화학물질 등에 사용된다. 특성으로는 전술한 바와 같이 제품내의 공기량 조절 및 기포 감소, 강도 증진, 표면 기포 제거 및 제품 표면 개선, 품질의 안정성 확보가 있다.

(3) 내황산 모르타르 조합 선정을 위한 실험 항목 및 실험 방법

(가) 실험 개요

내황산 모르타르의 개발을 위해 앞에서 선정된 각 재료들을 조합하여 목표 성능을 달성하고자 한다. 이를 위하여 골재 입도, 바인더 조성비, 바인더/골재비, 고로슬래그 혼입량, 메타카올린 혼입량, 지연제 선정 및 혼입량, 유기섬유 혼입량 선정의 단계를 수행하였다.

① 골재 입도 선정

내황산 모르타르의 충전성 향상을 통한 강도증진을 위하여 7호사, 8호사의 적절한 혼입을 통한 입도 분포가 필요할 것이라 사료되어 골재 입도를 달리하여 성능 평가를 실시, 개발 제품에 적합한 골재 입도를 선정하였다.

표 3.11 골재 입도 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
1-1	100						90	10	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
1-2	100						80	20	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
1-3	100						70	30	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
1-4	100						60	40	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유															

② 바인더 조성비 선정

본 연구의 내황산 모르타르는 일반 포틀랜드 시멘트, 알루미나 시멘트, 무수석고를 기본으로 하는 3성분계 모르타르로서 기본 성능 및 장기 성능을 위한 일반 시멘트, 조강성을 위한 알루미나 시멘트, 충전성 및 조강성 확보를 위한 무수석고의 적절한 배합이 목표 성능에 도달하는데 가장 중요한 요소로서 3개 재료의 최적 배합비를 선정하였다.

표 3.12 바인더 조성비 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
2-1	20	80					90	10	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
2-2	20	64	16				90	10	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
2-3	20	48	32				90	10	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
2-4	20	40	40				90	10	0.1		4.5	0.05	0.6	0.4	
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유															

③ 바인더/골재비 및 슬래그 혼입량 선정

앞서 선정된 골재 입도, 바인더 비를 이용하여 성능 향상을 위한 적정 바인더/골재비 및 장기강도 확보를 위한 골재를 치환하는 고로슬래그 혼입량을 선정한다. 바인더/골재비 1:1, 1:1.5의 경우, 고로슬래그의 골재 치환량이 0, 10, 20% 일 때의 성능을 확인하였다.

표 3.13 바인더/골재비 및 고로슬래그 혼입량 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
3-1	20	64	16				90	10	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
3-2	20	64	16		10		81	9	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
3-3	20	64	16		20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
3-4	20	48	32				90	10	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
3-5	20	48	32		10		81	9	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
3-6	20	48	32		20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유															

④ 메타카올린 혼입량 선정

보수 모르타르의 압축강도, 휨강도 증진뿐만 아니라 부착성능의 향상이 가능한 메타카올린 혼입을 위한 적정 혼입량을 선정하였다. 메타카올린의 과량 혼입은 성능 저하를 발생시킬 수 있기 때문에 소량의 혼입량을 선정하였다.

표 3.14 메타카올린 혼입량 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
4-1	20	64	16		20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
4-2	19	62	15	4	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
4-3	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
4-4	18	60	14	8	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유															

⑤ 지연제 종류 및 혼입량 선정

보수 모르타르는 조기강도 발현의 필요성으로 인하여 일반적으로 빠르게 경화하는 특징을 갖는다. 따라서 작업성 확보를 위한 지연제의 혼입은 필수적이며, 본 연구에서는 주석산을 활용하여 개발 모르타르에서의 지연성능 및 적정 혼입량을 선정하였다.

표 3.15 지연제 종류 및 혼입량 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
5-1	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.01	4.5	0.05	0.6	0.4	
5-2	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.02	4.5	0.05	0.6	0.4	
5-3	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.03	4.5	0.05	0.6	0.4	
5-4	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유															

⑥ 유기섬유 혼입량 선정

보수 모르타르는 급격한 수화반응으로 인하여 균열이 발생하기 쉬운 재료로서 내부 수축압력을 보완할 수 있는 섬유의 혼입이 필요하다. 본 연구에서는 왕겨로 구성된 유기섬유를 혼입하여 균열을 방지할 수 있도록 하며, 적정 혼입량을 선정한다.

표 3.16 유기섬유 혼입량 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
6-1	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	
6-2	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.1
6-3	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.2
6-4	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.3
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유															

(나) 실험 방법

① 휨강도 및 압축강도 시험

휨 강도 시험편은 제조된 시료를 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 몰드에 천천히 부어 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $65 \pm 10\%$ 에서 양생을 실시한다. 시료를 몰드 안에 부은 후 24시간 경과 후 탈형하고 24시간(재령 1일), 재령 3일, 재령 7일, 재령 28일의 순으로 휨강도와 압축강도를 측정한다.

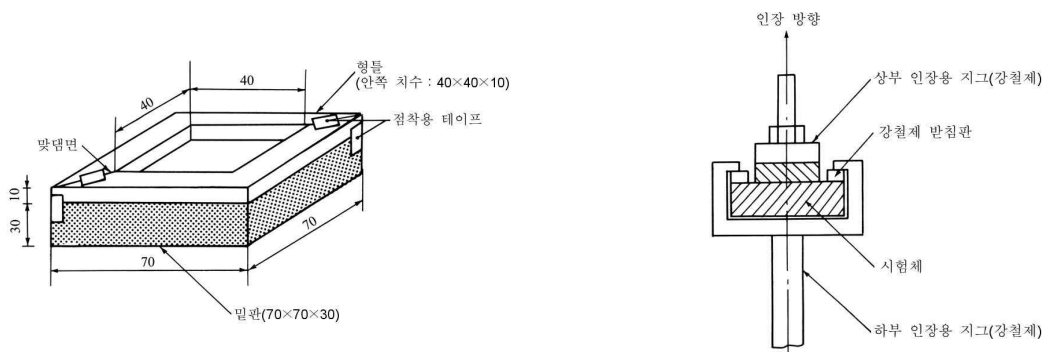


그림 3.20 휨/압축강도 시험체 제조 및 시험체 전경

② 부착강도 시험

아래 그림 3.45에 나타난 시험용 밀판을 연마한 후 안쪽치수 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 10\text{mm}$ 의 금속제 또는 합성 수지제 형틀을 넣고 시료를 형틀과 동일한 높이까지 채워 성형한다. 그 후 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $65 \pm 10\%$ 에서 양생하고, 성형 후 24시간 경과한 후에 탈형하여 다시 재령 28일까지 양생시킨 것을 부착강도 시험체로 한다.

정해진 양생이 끝난 시험체를 양생실 내에 수평하고 놓고 시료 도포면에 접착제를 바른 후, 상부 인장용 지그(강철제)를 가만히 올려놓고 가볍게 문질러 접착시킨다. 다음으로 그 위에 무게 1kg의 추를 얹어 주위에 비워진 접착제를 신중히 제거한다. 24시간 진동 없이 둔 후 추를 제거하고 하부 인장용 지그(강철제) 및 강철제 받침판을 사용해서, 시료면에 대해 수직 방향으로 인장력을 가해 최대 인장하중을 구한다.



부착강도 시험체 제작용 밀판 및 형틀

부착강도 시험체 조립 완성도

그림 3.21 부착강도 시험체 개요

③ 길이변화율

길이변화 측정은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트 길이변화 시험방법) 표준에 준하여 시험체의 길이 측정에 앞서 각선기로 젓빛유리에 선을 그은 후 시험체의 받침대에

표준자를 놓고 현미경에 기준을 정하고, 받침대에 젓빛유리가 위로가게 올려놓고 길이를 측정한다. 측정은 탈형 후 즉시 제 1회째를 측정한 후 재령 7일 때 측정시점을 기준으로하고 각 재령일 마다 측정한다. 길이변화율은 다음식으로 계산한다.

$$\text{길이변화율 (\%)} = \frac{(X_{01} - X_{02}) - (X_{i1} - X_{i2})}{L_0}$$

여기서, L_0 :기준길이, X_{01}, X_{02} : 각각 기준으로 한 시점에서의 측정치, X_{i1}, X_{i2} : 각각 시점 i 에서의 측정치

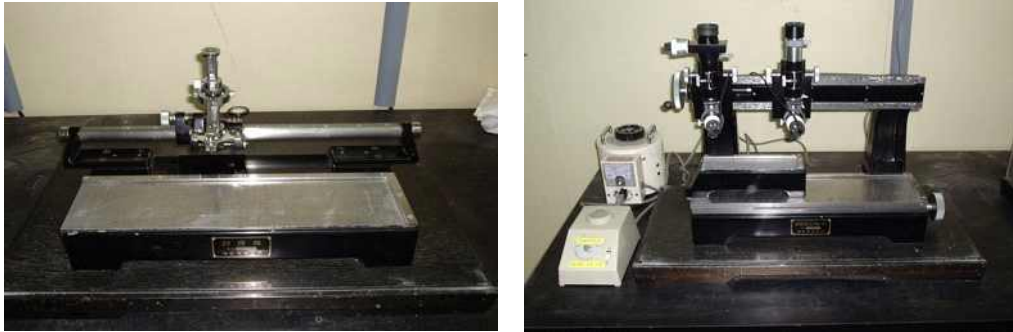


그림 3.22 길이변화율 시험

④ 내부 미세구조 및 수화생성물 관찰

본 연구에서 사용된 각 혼입재료에 따른 내부 미세구조 및 수화생성물을 확인하기 위하여 XRD 분석, SEM 분석, 시차열 분석, 공극 분석을 실시하였으며, 각 시험체의 내용은 아래의 표 3.36와 같다.

표 3.17 내부 미세구조 및 수화생성물 관찰을 위한 시험체

시험체 명	내용	비고
1	일반시멘트, 알루미나 시멘트, 규사	비교군
2	일반시멘트, 알루미나 시멘트, 규사, 무수석고	무수석고 혼입
3	일반시멘트, 알루미나 시멘트, 규사, 무수석고, 고로슬래그	고로슬래그 혼입
4	일반시멘트, 알루미나 시멘트, 규사, 무수석고, 고로슬래그, 유기첨가소재	유기첨가소재 혼입
5	일반시멘트, 알루미나 시멘트, 규사, 무수석고, 고로슬래그, 유기첨가소재, 메타카올린	메타카올린 혼입

㉓ XRD 분석

시험체의 XRD분석은 일본 RigaKu사의 Dimax 2500을 이용하여 X선 회절 분석을 실시하였으며, 측정조건은 $\text{CuK}\alpha(\text{Nifilfer})$: 40kV, 30mA, Scanning Speed: $4^\circ/\text{min}$, start angle: 5° , stop angle : 60° 로 하였다.

㉔ SEM 분석

본 연구개발의 내황산 보수 모르타르의 구성요소 혼입에 따른 6종류에 대하여 미세 구조 및 수화생성물을 확인하기 위하여 SEM 분석을 실시한다. FE-SEM 장비를 사용하여 1000배율, 10000배율, 15000배율로 SEM 분석을 실시하였다.

㉕ 시차열 분석

시차열 분석은 각각 시료와 기준물질을 하나의 가열로 내에서 가열시켜 시료와 불활성 기준물질간의 온도 차이를 열전쌍으로 측정하며, 시료의 열적 변화를 관심 온도 영역에서 열적 변화를 일으키지 않는 불활성 물질과 비교함으로써 시료의 온도는 시료의 절대 온도만이 측정될 때 보다 더욱 정확하게 측정될 수 있다. 또한, 시료에 온도프로그램을 가하여 시료의 질량변화를 시간이나 온도의 함수로써 측정한다.

TG/DTA 측정으로 알 수 있는 결과는 곡선에 의해 세 가지 온도 구간을 설정할 수 있다. 영역 1은 100~300℃ 구간으로 C-S-H와 에트링가이트가 분해되는 구간이다. 이온도 구간에서 C-S-H가 CaO와 SiO₂ 비에 따라 물을 잃고 분해된다. 영역 2는 290~350℃ 구간이고, 칼슘 알루미늄 실리케이트 수화물과 칼슘 알루미늄, calcium chloroaluminate 수화물이 분해된다. 영역 3은 450~510℃구간이고 Ca(OH)₂의 분해 구간이다. 700℃부근에서 나타나는 흡열 구간은 수화물 내의 CaCO₃의 분해를 의미한다. 온도 상승 속도는 50~1000℃까지 30℃/min로 설정하였다.

표 3.18 온도 구간별 분해 물질

온도 구간(℃)	분해 물질
-110	물리적으로 포함된 물, 에트링 가이트($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)
110-300	칼슘 실리케이트 수화물($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
290-350	칼슘 알루미늄 실리케이트 수화물, 칼슘 알루미늄 수화물($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, or $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$), 칼슘 클로로 알루미늄 수화물($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
400-510	수산화 칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
700-750	탄산 칼슘(CaCO_3)



그림 3.23 시차열 분석 시험 장치

㉔ 공극 분석

공극경 분포 및 공극량 측정 실험은 수은압입시험법(Mercury Intrusion Porosimetry, MIP)을 이용한다. 시험체는 각 재령 일에서 양생한 후 시편 중앙부에서 채취한 시편을 대상으로 5mm이하의 정육면체로 절단하여 아세톤 용액에 24시간 침지시켜 수화를 정지시키고, 수화가 정지된 시험체를 105℃의 건조기에서 1일간 건조 후 수은압입식 포로시트메타를 이용하여 가압과정과 감압과정에서의 공극경 분포에 따른 공극량을 측정하였다.

수은압입법(MIP)은 실험시편의 준비과정에서 상당히 많은 사항들을 고려하여야 하는 측정법임에도 불구하고, 사실 단순한 원리를 이용하여 간단히 공극의 크기 및 분포를 측정할 수 있다. 이때 사용되는 방정식이 Washburn equation이다. 공극의 모양을 실린더형 모세관들로 정의한다면 수은이 침투하는 공극의 크기는 다음의 식과 같이 적용된 압력에 반비례한다.

$$d = \frac{-4\gamma\cos\theta}{P}$$

d : 공극직경(m)
 γ : 표면장력(0.484 N/m)
 θ : 수은의 접촉각(140°)
 P : 수은의 압입 압력



그림 3.24 수은압입법에 의한 공극 분포 측정 장치 및 시험편

(다) 실험결과

① 휨강도 및 압축강도 시험

내황산 보수 모르타르 개발을 위한 각 실험배합의 휨강도를 측정한 결과, 휨강도는 알루미나 시멘트, 무수석고, 메타카올린, 고로슬래그의 혼입에 따라 영향을 받는 것으로 나타났으며, 1일차 및 3일차의 초기 압축강도는 조기강도 발현에 도움을 주는 알루미나 시멘트, 무수석고, 메타카올린의 혼입량이 증가할수록 커지고, 지연제, 규사의 혼입량이 큰 경우 낮은 값을 나타냈다. 또한 초기 강도에는 큰 이점이 없으나, 고로슬래그와 일반시멘트는 목표의 장기강도 확보를 위해 적정 혼입이 필요한 것으로 나타났다.

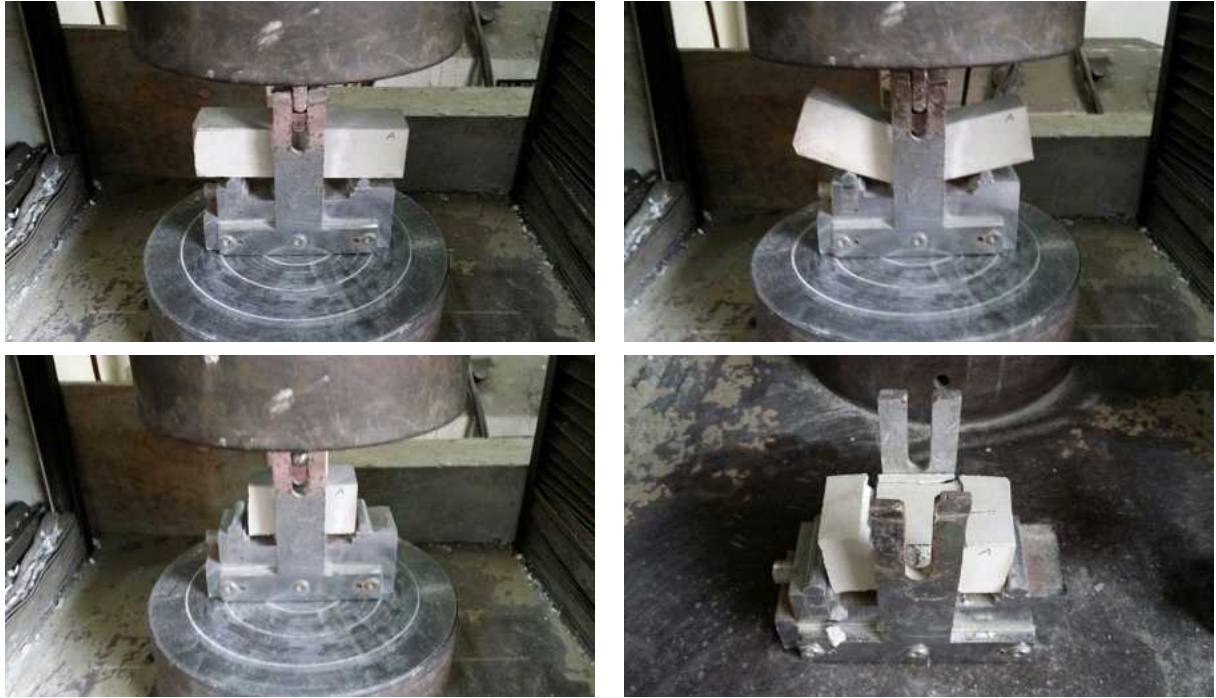


그림 3.25 휨, 압축강도 시험 전경

표 3.19 휨강도 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
휨강도 (MPa)	7.8	7.3	7.5	7.1		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
휨강도 (MPa)	6.4	6.8	6.1	5.3		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
휨강도 (MPa)	5.6	6.7	6.9	6.4	6.2	7.1
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
휨강도 (MPa)	7.1	8.2	7.8	7.9		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
휨강도 (MPa)	7.3	7.5	7.6	8.3		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
휨강도 (MPa)	7.3	7.9	8.3	8.1		

표 3.20 압축강도 (1일) 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
압축강도 (MPa, 1일)	4.4	5.1	3.9	5.4		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
압축강도 (MPa, 1일)	23.0	20.7	12.5	18.5		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
압축강도 (MPa, 1일)	24.1	22.4	22.3	16.8	24.3	27.8
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
압축강도 (MPa, 1일)	26.7	29.6	32.4	30.0		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
압축강도 (MPa, 1일)	23.4	22.2	23.5	20.6		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
압축강도 (MPa, 1일)	27.6	25.4	27.2	22.9		

표 3.21 압축강도 (3일) 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
압축강도 (MPa, 3일)	32.3	29.1	27.8	19.4		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
압축강도 (MPa, 3일)	31.4	24.6	19.0	21.4		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
압축강도 (MPa, 3일)	20.5	27.8	26.0	14.6	27.1	35.8
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
압축강도 (MPa, 3일)	30.7	27.8	29.4	31.3		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
압축강도 (MPa, 3일)	37.4	38.7	30.6	33.3		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
압축강도 (MPa, 3일)	32.1	26.7	33.5	31.4		

표 3.22 압축강도 (7일) 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
압축강도 (MPa, 7일)	38.4	38.0	40.3	33.3		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
압축강도 (MPa, 7일)	39.7	33.4	24.2	29.2		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
압축강도 (MPa, 7일)	31.6	35.0	41.5	22.1	33.5	47.6
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
압축강도 (MPa, 7일)	31.0	32.8	26.0	30.5		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
압축강도 (MPa, 7일)	35.8	36.2	43.0	44.2		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
압축강도 (MPa, 7일)	29.5	31.4	38.4	35.9		

표 3.23 압축강도 (28일) 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
압축강도 (MPa, 28일)	48.4	43.3	53.5	44.2		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
압축강도 (MPa, 28일)	38.4	41.5	26.7	35.4		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
압축강도 (MPa, 28일)	40.0	48.7	54.3	30.1	44.7	47.8
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
압축강도 (MPa, 28일)	33.1	34.1	34.5	31.6		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
압축강도 (MPa, 28일)	42.1	45.2	47.1	49.7		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
압축강도 (MPa, 28일)	43.3	42.0	43.2	41.3		

② 부착강도 시험



그림 3.26 부착강도 시험 전경

내황산 보수 모르타르 개발을 위한 각 실험배합의 부착강도를 측정한 결과, 일반시멘트의 혼입량이 감소하면 28일 이후의 부착강도에 영향을 주는 것으로 나타났으며, 메타카울린 혼입에 따라 부착강도의 증진을 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서의 배합에는 첨가제로 분말수지를 고정 혼입하였기 때문에, 전반적으로 부착강도가 우수한 것으로 나타났다.

표 3.24 부착강도 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
부착강도 (MPa)	2.5	2.2	2.8	2.2		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
부착강도 (MPa)	1.4	2.2	1.6	2.3		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
부착강도 (MPa)	2.4	2.5	2.5	2.2	2.1	2.3
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
부착강도 (MPa)	2.2	2.5	2.9	2.8		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
부착강도 (MPa)	2.6	2.3	2.8	2.7		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
부착강도 (MPa)	2.5	2.7	2.8	2.4		

③ 길이변화율

내황산 보수 모르타르 개발을 위한 각 실험배합의 길이변화율을 측정한 결과, 골재입도, 알루미나시멘트, 무수석고의 혼입에 따라 길이변화율의 개선은 나타나지 않았으며, 바인더/골재비의 조정, 고로슬래그 혼입에 따라 점진적 개선이 가능하였다. 또한 유기섬유의 혼입으로 길이변화율의 개선이 가능함을 확인하였다.

표 3.25 길이변화율 시험 결과

시험체명	1-4	1-5	1-6	1-7		
길이변화율 (%)	-0.052	-0.053	-0.055	-0.053		
시험체명	2-4	2-7	2-5	2-6		
길이변화율 (%)	-0.055	-0.051	-0.055	-0.054		
시험체명	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
길이변화율 (%)	-0.053	-0.051	-0.049	-0.048	-0.046	-0.045
시험체명	4-1	4-2	4-3	4-4		
길이변화율 (%)	-0.046	-0.045	-0.045	-0.046		
시험체명	5-1	5-2	5-3	5-4		
길이변화율 (%)	-0.052	-0.050	-0.048	-0.047		
시험체명	6-1	6-2	6-3	6-4		
길이변화율 (%)	-0.051	-0.048	-0.044	-0.042		

④ 내부 미세구조 및 수화생성물 관찰

㉞ XRD 분석

그림 3.51는 OPC+CAC에 대한 무수석고 첨가에 의한 XRD이다. OPC와 CAC의 주요 화합물은 알루미늄계 수화물이 주를 이루고 있는 것으로 나타났다. 그러나 석고의 혼입에 따라 AH3는 감소하면서 Ca(OH)2, 에트링가이트 및 에트링가이트와 동질 이성체의 수화물인 C2ASH8 peak가 관찰되었다. 석고를 혼입하면서 석고내의 황산염이 시멘트 내의 칼슘알루미늄하이드록사이드와 만나 에트링가이트를 생성하고 잔여 칼슘이온이 Ca(OH)2로 나타난 것으로 판단된다.

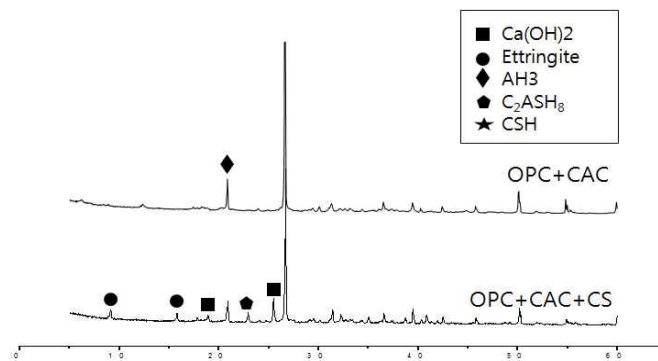


그림 3.27 OPC와 CAC 바이더의 석고 치환에 따른 특성

아래 그림 3.52은 고로슬래그 혼입과 메타카올린 혼입에 따른 XRD 그래프이다. 고로슬래그 혼입시 수산화칼슘양의 변화는 크지 않은 것으로 나타났으며, AH3의 양이 감소한 것으로 나타났다. 고로슬래그는 잠재수경성을 가지고 있으며, 석고의 혼입에 따라 ASH6의 산성피막이 파괴되면서 수경성이 증대되어 CSH겔 등으로 전환된 것으로 판단된다. 메타카올린을 혼입한 경우에는 수산화칼슘 피크가 감소되면서 에트링가이트 피크가 증가된 것으로 나타났다. 메타카올린의 주요 성분인 알루미늄과 OPC+CAC+무수석고의 반응 부산물인 수산화칼슘이 만나 에트링가이트 생성량을 증가시켜 수산화칼슘의 양이 감소되면서 에트링가이트의 양이 감소된 것으로 판단된다. 메타카올린의 에트링가이트 생성은 미세한 에트링가이트를 생성하면서 수화구조물을 고밀화하여 내화학적을 증가시킨다고 보고되고 있어 경화체의 내구성을 향상할 수 있을 것으로 판단된다.

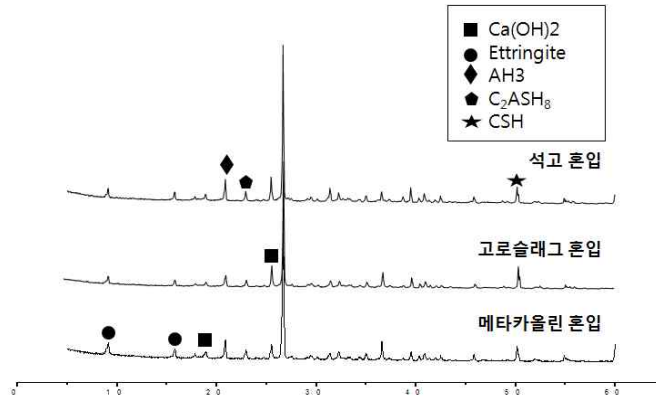
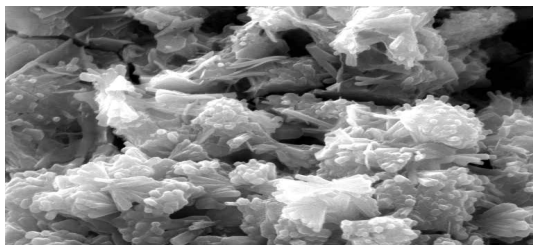


그림 3.28 고로슬래그 및 메타카올린 혼입에 따른 XRD

㉠ SEM 분석

먼저 OPC와 CAC의 수화물은 칼슘알루미네이트계의 수화물(그림 3.53(a))로 구성되어 있으며, 여기에 무수석고(그림 3.53(b))를 치환한 경우, 육각의 침상 결정인 에트링가이트가 생성된 것을 볼 수 있다. 고로슬래그(그림 3.53(c))에 의해 생성된 에트링가이트 결정은 석고만을 사용한 경우에 비해 결정이 작은 것으로 나타나고 있다. 이는 무수석고에 의해 시멘트 액중에 과포화된 황산이온이 고로슬래그의 산성피막을 파괴하는 과정 중에 에트링가이트 생성속도가 느려져 급격한 수화물 성장을 억제한 것으로 판단된다. 그림 3.53(d)의 메타카올린을 혼입한 경우, 에트링가이트 결정이 좀 더 작아진 것으로 나타나고 있는데 입자가 작은 메타카올린에 의한 초기 반응 조절과 수화물의 고밀도화로 판단된다. 그림 3.53(e)는 재유화형 분말수지 등을 혼입한 시험체의 SEM사진으로 수화물간 공극을 메워 밀실한 상태의 조직 구조를 보이는 것을 관찰할 수 있다.



(a) OPC+CAC



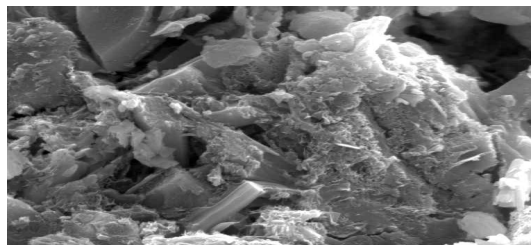
(b) OPC+CAC+무수석고



(c) OPC+CAC+석고+고로슬래그



(d) OPC+CAC+석고+메타카올린



(e)바인더 + 재유화형분말수지

그림 3.29 바인더 및 첨가재료에 의한 시험체의 SEM

㉔ 시차열 분석

그림 3.54은 OPC+CAC의 TG-DTA를 나타낸 그래프이다. OPC+CAC의 DTA상에서 100℃까지는 경화체 내의 물리적 결합수가 증발하였으며, 이후 140~180℃사이에서 C₃A 에트링가이트가 전체 중량의 약 0.623%가 탈수되는 것으로 나타났다. 270~330℃사이에서 에트링가이트와 알루미늄에이트계 수화물이 전체 중량의 약 -2.293%의 물리 탈수가 발생하였으며, 570℃부근에서 알루미늄에이트계 수화물의 0.047%가 물리적 탈수로 나타났다. OPC와 CAC의 경화체 상의 주요 수화물의 구성은 에트링가이트와 알루미늄에이트계 수화물로 구성되어 있으며, 이들 중 알루미늄에이트계 수화물이 주를 이루고 있었다.

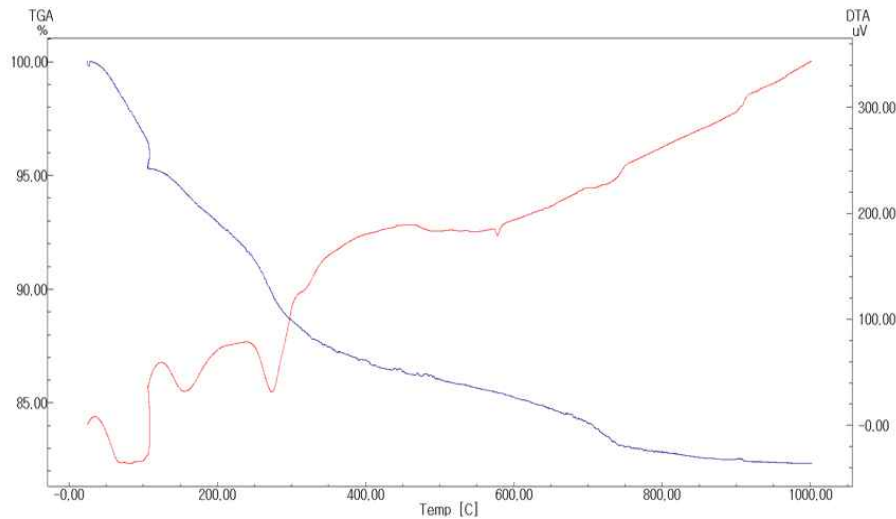


그림 3.30 OPC+CAC의 TG-DTA

OPC+CAC+무수석고에서 C₃A수화물의 계열인 모노설페이트의 붕괴량이 증가하는 것으로 나타났으며, 240~280℃사이의 에트링가이트계열의 수화물은 -1.849%감소되는 것으로 나타났다. 350℃부근의 발열 피크는 경화체 내의 유기 첨가 소재의 연소에 의한 열 분해로 판단된다. 600℃부근에서 소량의 CSH겔의 분해가 나타났다.

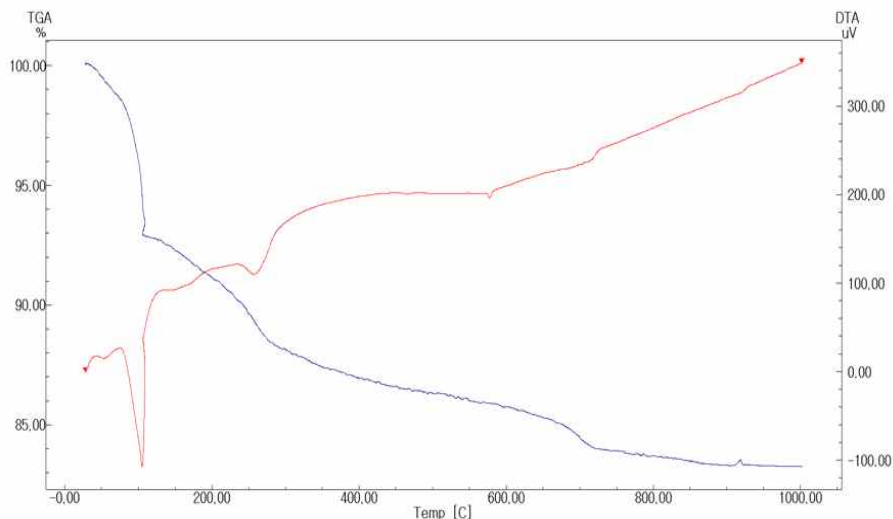


그림 3.31 OPC+CAC+무수석고의 TG-DTA

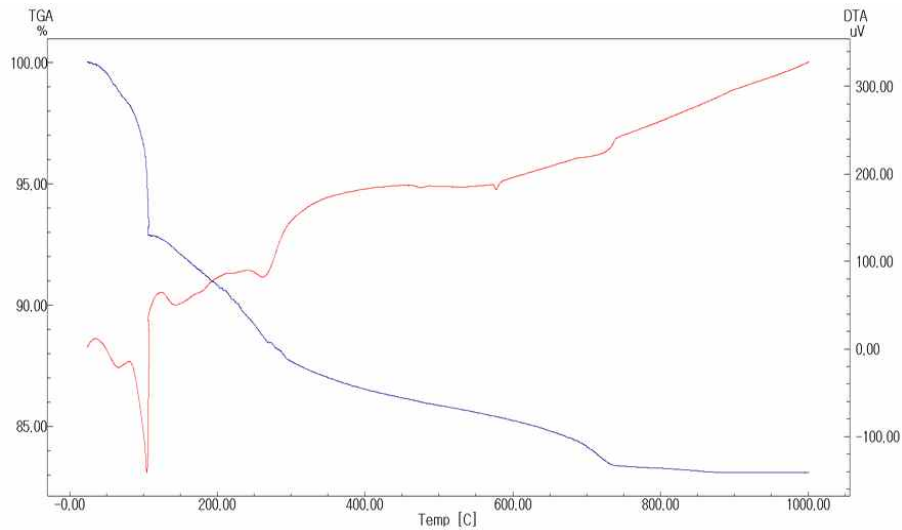


그림 3.32 무수석고+고로슬래그의 TG-DTA

고로슬래그가 혼입된 경우 초기 CSH겔의 탈수가 높은 것으로 나타나고 있으며, 미반응한 이수석고의 흡열피크가 관찰되었다. 고로슬래그 혼입에 따라 초기 100°C 부근의 CSH겔의 분해가 상승한 것을 관찰할 수 있었다.

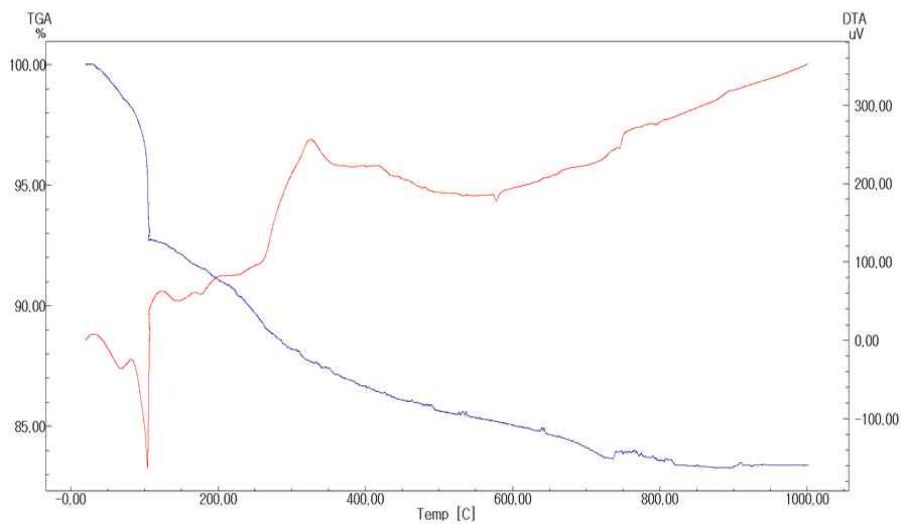


그림 3.33 OPC+CAC+석고+고로슬래그+메타카올린+유기 첨가제의 TG-DTA

그림 3.57은 OPC+CAC+석고+고로슬래그+메타카올린의 경우 고로슬래그 혼입시와 유사한 형태를 보이고 있으나 160 ~ 180°C 부근의 에트링가이트의 흡열 피크가 좀 더 넓게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 한편 300°C를 전후하여 발열피크를 보이며 수화물내의 유기 소재의 산화에 의한 열분해가 나타난 것으로 보인다.

㉠ 공극 분석

표 21은 미세 공극 분석표이다. 전공극량의 크기는 유기 첨가제 혼입 > 메타카올린 치환 > 무수석고 치환 > 고로슬래그 치환 > OPC+CAC의 순으로 나타났다. 그러나 평균 공극 크기는 무수석고 치환 > 고로슬래그 치환 > OPC+CAC > 메타카올린 치환 > 유기첨가제 혼입의 순으로 작아지는 것으로 나타났다.

표 3.26 미세 공극 분석표

구분	OPC+CAC	무수석고 치환	고로슬래그 치환	메타카올린 치환	유기첨가제 혼입
전공극량(%)	14.1833	16.0737	15.441	16.41%	17.666
Median Pore Diameter (Volume)	233.8nm	374.3nm	305.6nm	222.0nm	187.3nm
Median Pore Diameter (Area)	20.0nm	92.9nm	71.6nm	43.6nm	62.4nm

공극 분석 결과, 석고 첨가시 공극 분포를 보면 OPC+CAC에 비해 $10\mu\text{m}$ 이하의 공극 분포는 감소하고 $100\sim 1000\mu\text{m}$ 사이의 공극 분포가 증가한 것을 확인하였으며, 이는 무수석고 치환에 의해 내부의 에트링가이트 등의 팽창성 수화물에 의해 내부 공극의 양이 증가하면서 공극크기가 한 것으로 판단된다.

고로슬래그를 치환한 경우, 석고 치환시와 유사한 공극 분포를 가지고 있으나 $100\sim 1000\mu\text{m}$ 사이의 공극 분포가 감소되는 경향을 보였으며, 이는 고로슬래그를 혼입할 경우 미세한 공극 총진에 의해 공극량과 평균 공극 크기가 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

메타카올린을 혼입한 경우 미세한 입자로 인한 총진 작용으로 평균공극 크기는 감소하지만 에트링가이트 생성에 의한 팽창성으로 전공극량은 증가한 것으로 나타났다. 유기 첨가제의 경우 계면활성 작용 등에 의해 전공극량이 가장 높은 것으로 나타났으나 내부 필름 생성으로 인해 평균 공극량은 가장 작은 것으로 나타났다.

(4) 열화이온 반응소재 조합 선정을 위한 실험

(가) 실험 개요

본 연구에서는 내황산 보수 모르타르에 혼입하기 위한 열화이온 반응소재(아민유도체, 이온교환수지)의 혼입량을 도출하기 위한 물성 실험을 실시하였다. 내황산 보수 모르타르의 기초소재들의 조합을 도출하기 위해 실시한 앞의 연구결과를 바탕으로, 먼저, 기초소재들의 최적배합에 반응소재 혼입량을 선정하기 위한 수용액 내 반응성 실험 및 부식특성 실험을 실시하고, 실제 모르타르에 혼입하여 기본물성 및 내구성 실험을 실시하였다.

(나) 실험 방법

① 열화이온 반응소재 혼입에 따른 수용액 내 음이온량

본 연구에서는 콘크리트 유해요인인 SO_4^{2-} , Cl^- 이온을 고정, 흡착하는 특성을 갖는 것으로 알려진 아민유도체와 이온교환수지를 사용하여 실험을 실시하였다. 표 22, 23과 같이 각각의 혼입량을 설정하여 그림 22의 (a)와 같이 수용액을 제조하고, 콘크리트와 같은 알칼리 수용액 환경에서의 고정/흡착 성능을 표 24에 명시된 조건으로 그림 22 (b)의 장비를 활용하여 이온 크로마토그래피 분석실험을 통하여 확인하였다.

표 3.27 실험변수 (Detection of SO_4^{2-} ion)

구분	수용액	함유량 (g)	
		Amine derivative	Ion exchange resin
1	Ca(OH) ₂ Solution 50 mL + Na ₂ SO ₄ 1 mg	—	—
2		1.00	—
3		0.75	0.25
4		0.50	0.50
5		0.25	0.75
6		—	1.00

표 3.28 실험변수 (Detection of Cl^- ion)

구분	수용액	함유량 (g)	
		Amine derivative	Ion exchange resin
1	Ca(OH) ₂ Solution 50 mL + NaCl 1 mg	—	—
2		1.00	—
3		0.75	0.25
4		0.50	0.50
5		0.25	0.75
6		—	1.00

표 3.29 실험장비 및 조건 (IC)

Equipment	Thermo Scientific ICS-2100
Analysis columns	IonPac® AS19 analytical (4 * 250 mm)
Moving phase	45 mM KOH / Dionex EGAIII KOH
Flow velocity	1.0 mL/min
Oven temperature	30°C
Detecting Method	Suppressed Conductivity Detector
Amount of injection	25 µL
Suppressor	Anion Electrolytically Regenerated Suppressor



(a) Solutions



(b) Ion chromatography

그림 3.34 이온크로마토그래피 분석 (Anion Detection)

② 열화이온 반응소재 혼입에 따른 부식특성

본 연구에서 부식특성을 수용액 상에서의 전기화학적 분석을 통하여 확인하였다. 일반적으로 전기화학적 분석 방법에서는 콘크리트의 고알칼리 환경을 포화수산화칼슘 수용액으로 모사하여 실시한다. 본 연구에서는 아민유도체와 이온교환수지의 염소, 황산이온 제어를 통한 부식특성을 확인하기 위하여 제한적으로 포화수산화칼슘 수용액에 염소이온과 황산이온만을 첨가하여 실험을 실시하였다. 염화물이 존재하는 시멘트세공용액을 모사한 포화 수산화칼슘 수용액내에서 황산나트륨과 유기계 방청성분인 아민 유도체, 이온교환수지의 혼입량을 변수로 하여 전기화학적 부식특성 평가로 하수환경의 콘크리트 구조물(암거, 처리시설)용 보수재료의 요소기술로서 방청성능을 실험적으로 파악한다.

표 3.49와 같이 세공용액은 포화 수산화칼슘에 NaCl 1.0 g/L를 첨가하여 제조하였고, Na₂SO₄ 1.0, 2.0 g/L 두가지 혼입량으로, 아민유도체는 염소이온 대비 아민기의 몰비 0.3 몰을 최대혼입량으로 설정하였다. 또한 이온교환수지는 아민유도체 혼입량을 0, 25, 50, 100 %으로 대체 혼입하는 것으로 설정하였다.

표 3.30 실험변수 (Evaluation of corrosion)

반응소재	NaCl 농도 (g/L)	Na ₂ SO ₄ 농도 (g/L)	AD 농도 (g/L)	IER 농도(g/L)	시험수용액 명
None	1.0	1.0	0.0	–	C1.0-S1.0
		2.0	0.0	–	C1.0-S2.0
Amine derivative + Ion exchange resin		1.0	0.4	–	C1.0-S1.0-A0.4
			0.3	0.1	C1.0-S1.0-A0.3-R0.1
			0.2	0.2	C1.0-S1.0-A0.2-R0.2
			0.1	0.3	C1.0-S1.0-A0.1-R0.3
			–	0.4	C1.0-S1.0-R0.4
		2.0	0.4	–	C1.0-S2.0-A0.4
			0.3	0.1	C1.0-S2.0-A0.3-R0.1
			0.2	0.2	C1.0-S2.0-A0.2-R0.2
			0.1	0.3	C1.0-S2.0-A0.1-R0.3
			–	0.4	C1.0-S2.0-R0.4

표 3.31 실험장비 및 조건 (Potentiostat)

Equipment	VersaSTAT (Princeton Applied Research, Oak Ridge, TN, USA)
Analysis columns	Metrohm Autolab Nova 1.10
Analysis model	CPE (constant phase element)
Specimen	ø 16mm steel (polishing by 180~1200 μm sandpaper)

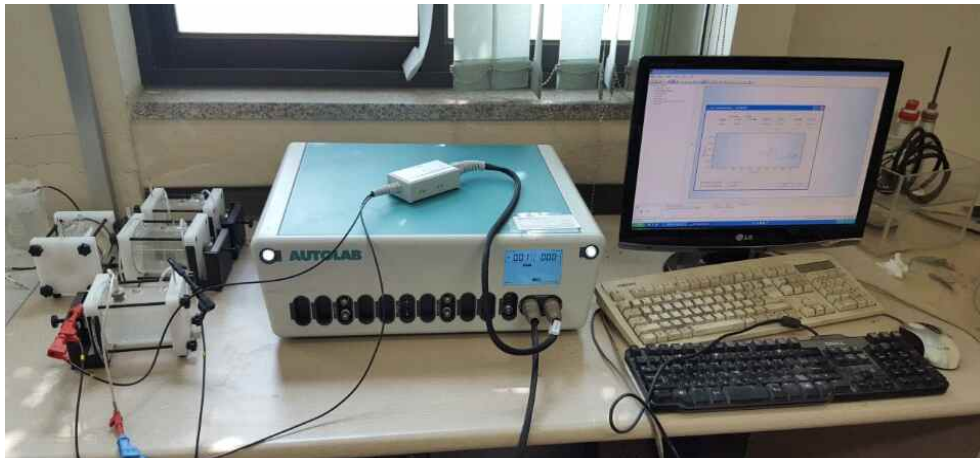
본 실험에서 사용된 전기화학적 실험기구 Potentiostat은 기준전극(Reference Electrode), 작동전극(Working Electrode), 보조전극(Counter Electrode) 으로 구성되어 있는 부식성능 측정 셀을 통하여 철근의 자연전위와 분극저항을 측정하는 장비로서, 표 3.50에 명시된 VersaSTAT 장비와 CPE 분석 모델을 이용하여 직경 16mm의 강철 시편을 대상으로 그림 3.59의 (a)와 같은 각 수용액에서의 부식특성을 확인하였다. 그림 3.59의 (b)는 전극과 강철시편이 장착된 측정 셀이며 (c)는 전기화학적 실험기구를 나타낸다.



(a) Solutions



(b) Corrosion test cell



(c) Potentiostat

그림 3.35 전기화학적 부식특성 평가

③ 열화이온 반응소재 혼입에 따른 기초물성 평가

내황산 보수 모르타르의 내황산성을 향상시킬 수 있는 열화이온 반응소재 혼입에 따른 기초물성 평가를 “가” 절에서 실시한 기초소재 조합 도출 연구와 마찬가지로 휨강도, 압축강도, 부착강도, 길이변화율로 실시하였다. 또한 내화학적실험을 실시하여 열화이온 반응소재의 적절 혼입량을 도출하였다. 표 3.51과 같이 도출된 기초소재 배합에 아민유도체와 이온교환수지를 혼입하여 평가를 실시하였다.

표 3.32 열화이온 반응소재 혼입량 선정을 위한 배합

구분 시험체	바인더 (%)				골재 (%)				첨가제 (분체대비%)								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
7-1	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.2		
7-2	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.2	0.03	0.01
7-3	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.2	0.06	0.02
7-4	19	61	14	6	20		72	8	0.1	0.04	4.5	0.05	0.6	0.4	0.2	0.09	0.03
a:OPC, b:알루미나시멘트, c:무수석고, d:메타카올린, e:슬래그, f:규사6호, g:규사7호, h:규사8호, i:증점제, j:지연제, k:분말수지, l:응결촉진제, m:유동화제, n:소포제, o:유기섬유, p:아민유도체, q:이온교환수지																	

(다) 실험결과 및 분석

① 열화이온 반응소재 혼입에 따른 수용액 내 음이온량

포화 수산화칼슘 수용액에 황산나트륨 1 mg을 혼입 후, 아민유도체와 음이온교환수지의 첨가량을 총량 1 g 기준으로 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1 으로 혼입하여 황산이온량을 이온크로마토그래피 장비를 이용하여 분석한 결과를 그림 3.60에 나타내었다. 아민유도체, 이온교환수지를 첨가하지 않은 경우와 비교하여, 아민유도체만 1 g 첨가된 경우는 16.21 %, 아민유도체 0.75, 이온교환수지 0.25 g 첨가된 경우는 19.96 %, 아민유도체 0.5, 이온교환수지 0.5 g 첨가된 경우는 25.72 %, 아민유도체 0.25, 이온교환수지 0.75 g 첨가된 경우는 26.52 %, 이온교환수지만 1 g 첨가된 경우는 29.78 %의 황산이온 저감 성능을 갖는 것으로 나타났다. 음이온교환수지의 첨가율 증가에 따라 황산이온 저감율이 증가하는 것으로 보아, 아민유도체 보다 음이온교환수지의 황산이온과의 반응성이 우수한 것으로 확인되어 음이온교환수지의 혼입량이 황산이온 저감에 영향을 주는 것으로 판단된다.

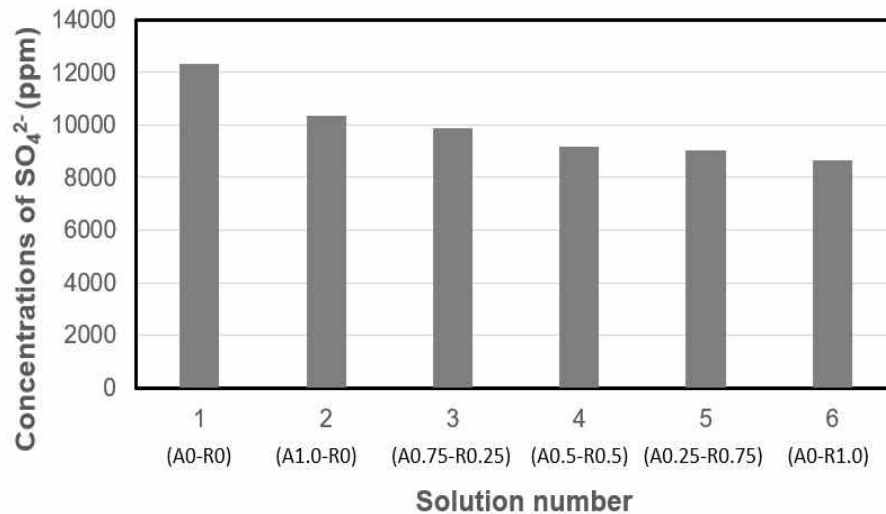


그림 3.36 이온크로마토그래피 결과 (S042-)

포화 수산화칼슘 수용액에 염화나트륨 1 mg을 혼입 후, 아민유도체와 음이온교환수지의 첨가량을 총량 1 g 기준으로 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1 으로 혼입하여 염소이온량을 이온크로마토그래피 장비를 이용하여 분석한 결과를 그림 3.4에 나타내었다. 아민유도체, 이온교환수지를 첨가하지 않은 경우와 비교하여, 아민유도체만 1 g 첨가된 경우는 31.47 %, 아민유도체 0.75, 이온교환수지 0.25 g 첨가된 경우는 29.50 %, 아민유도체 0.5, 이온교환수지 0.5 g 첨가된 경우는 28.67 %, 아민유도체 0.25, 이온교환수지 0.75 g 첨가된 경우는 23.79 %, 이온교환수지만 1 g 첨가된 경우는 16.78 %의 염소이온 저감율을 나타내었으며, 아민유도체의 첨가율 증가에 따라 염소이온 저감율이 증가하는 것으로 보아, 염소이온에 대한 흡착성능은 음이온교환수지 보다 아민유도체의 경우가 우수한 것으로 확인되었다. 이는 음이온교환수지의 반응 선택성이 염소이온보다 황산이온이 더 높기 때문이며, 이에 따라 음이온교환수지보다는 아민유도체의 혼입량이 염소이온 저감에 영향을 주는 것으로 판단된다.

실험결과, 아민유도체와 음이온교환수지는 콘크리트 구조물의 유해이온인 황산이온과 염소이온에 대한 흡착성능이 유효한 것으로 판단된다.

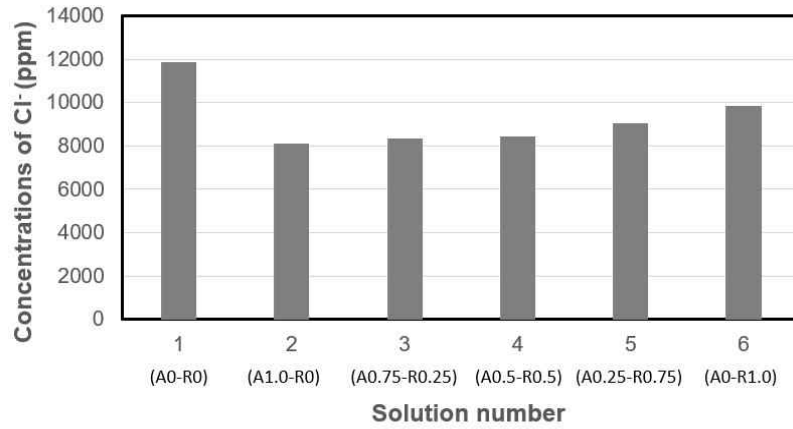
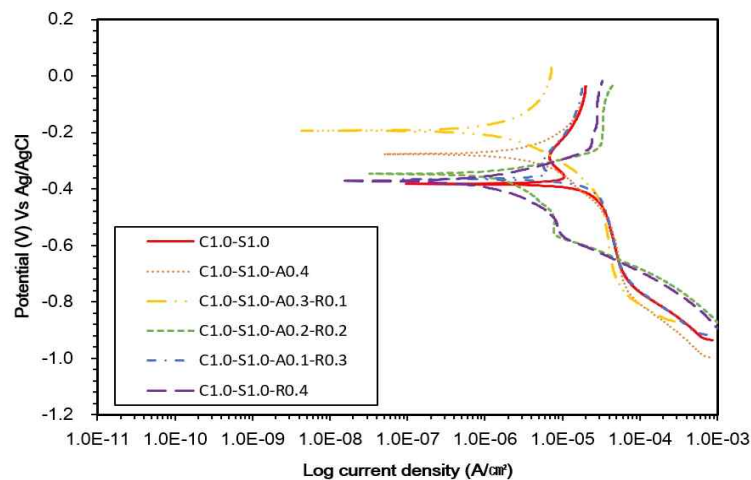


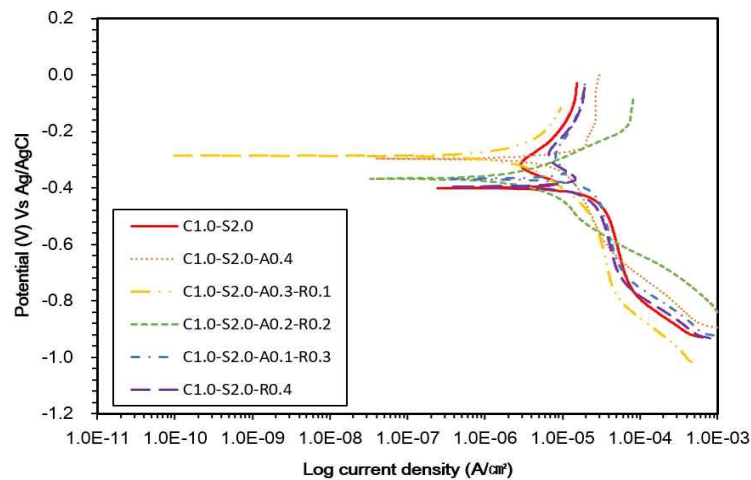
그림 3.37 이온크로마토그래피 결과 (Cl⁻)

② 열화이온 반응소재 혼입에 따른 부식특성

염화물이 존재하는 시멘트세공용액을 모사한 포화 수산화칼슘 수용액내에서 황산나트륨과 유기계 방청성분인 아민유도체, 이온교환수지의 혼입량을 변수로 하여 전기화학적 방법으로 부식 특성을 확인한 결과, 측정된 분극곡선을 그림 3.62에 나타내었다. 또한, 분극곡선으로 확인할 수 있는 부식전위 값을 염화나트륨 혼입량에 따라 표 3.52에 나타내었다.



(a) NaCl 1.0 g/L , Na₂SO₄ 1.0 g/L



(b) NaCl 1.0 g/L , Na₂SO₄ 2.0 g/L

그림 3.38 분극저항 곡선

표 3.33 부식전위

Solution	Corrosion potential (mV)	Solution	Corrosion potential (mV)
C1.0-S1.0	-382	C1.0-S2.0	-399
C1.0-S1.0-A0.4	-275	C1.0-S2.0-A0.4	-296
C1.0-S1.0-A0.3-R0.1	-193	C1.0-S2.0-A0.3-R0.1	-286
C1.0-S1.0-A0.2-R0.2	-346	C1.0-S2.0-A0.2-R0.2	-366
C1.0-S1.0-A0.1-R0.3	-364	C1.0-S2.0-A0.1-R0.3	-368
C1.0-S1.0-R0.4	-371	C1.0-S2.0-R0.4	-395

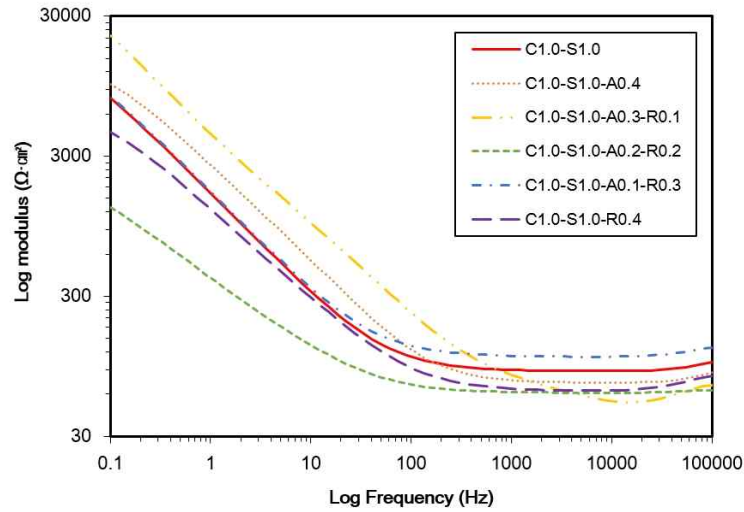
분극곡선 분석 결과, 가로축의 전류밀도는 아민유도체와 이온교환수지 혼입에 따라 저감되는 것을 확인할 수 있으며, 아민유도체가 혼입되지 않은 경우의 수용액에서 pitting type의 부식이 발생할 수 있음이 확인되었다.

분극곡선 분석 결과 중, 부식 전위는 철근의 표면 부식에 대한 정보를 제공하는데, 일반적으로 NaCl의 농도를 조절하는 연구에서 부식 전위는 NaCl의 농도가 증가함에 따라 활발히 증가하고, 이는 Cl⁻ 농도 증가에 따른 철근 / 용액 경계면에서 더 많은 반응이 발생할 수 있음을 나타낸다.

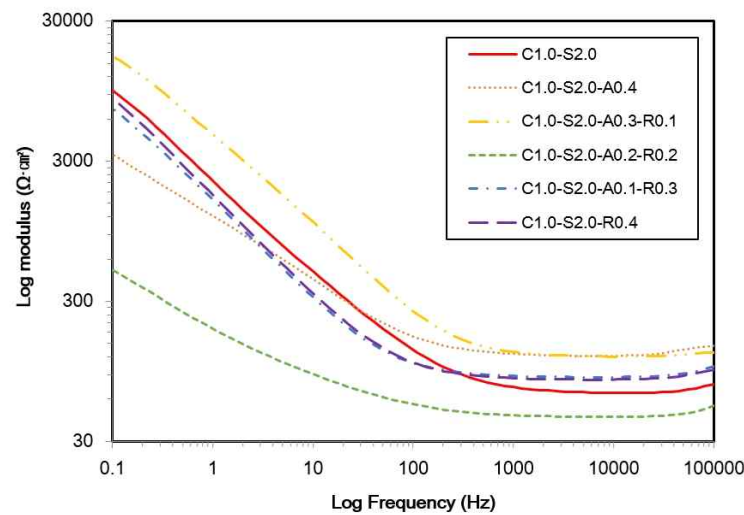
부식전위 산출 결과, 염화나트륨이 1.0 g/L 혼입된 C1.0 수용액 결과를 살펴보면, 이온교환수지가 아민유도체 첨가량의 25 % 치환되어 첨가된 경우가 부식전위의 절대값이 아민유도체와 이온교환수지가 첨가되지 않은 수용액 대비 49% 저감되어 높은 부식저항성을 갖는 것으로 확인되었다. 이는 아민유도체와 이온교환수지의 적정 혼합으로 아민유도체의 염소이온과의 반응으로 강철시편 표면에 피막을 형성하고, 이온교환수지의 황산이온과의 반응으로 알칼리환경을 유지 시키는 이유로 판단된다. 반면, 이온교환수지의 혼입량이 25% 이상 치환되고 아민유도체의 혼입량이 줄어들게 되면, 염소이온의 잔존량이 효과적으로 저감되지 않는 관계로 부식저항 성능이 급격히 저감되는 것으로 확인되었다.

염화나트륨이 2.0 g/L 혼입된 C2.0 수용액 결과를 살펴보면, 1.0 g/L 혼입된 결과와 마찬가지로 아민유도체 첨가량의 25 % 치환되면 가장 우수한 부식저항성을 갖는 것으로 나타났으며 그 정도는 아민유도체와 이온교환수지가 첨가되지 않은 수용액 대비 28%인 것으로 확인되었다. 이와같이 염화나트륨 1.0 g/L 혼입의 경우에 비해 낮은 저감량을 나타난 것은 염화나트륨 2.0 g/L 혼입은 아민유도체와 이온교환수지가 제어할 수 있는 임계치 이상의 염소이온이 존재하기 때문으로 판단된다.

그림 3.63은 측정된 임피던스-주파수 그래프를 나타낸다. 임피던스-주파수 그래프를 통하여 낮은 주파수 (0.1Hz)에서의 임피던스값으로 부식 저항 특성을 확인한다. 본 연구의 임피던스-주파수 그래프를 확인한 결과, 아민유도체의 혼입량이 75% 이상인 경우에 높은 임피던스값을 나타내어 부식 저항성이 있는 것으로 확인되었으나, 아민유도체의 혼입량이 75% 미만의 경우는 이온교환수지의 혼입량이 증가하더라도 부식 저항성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 아민유도체 0.3 g/L, 이온교환수지 0.1 g/L이 첨가된 C1.0-S1.0-A0.3-R0.1, C1.0-S2.0-A0.3-R0.1의 수용액에서 아민유도체는 수용액 내의 염소이온과 반응하여 강철시편 표면에 방식에 효과적인 비활성의 피막을 형성하여 임피던스값을 증가시키고, 이온교환수지는 황산이온과의 반응을 통하여 수용액의 고알칼리를 유지하여 부식저항성을 높이는 것으로 판단된다.



(a) NaCl 1.0 g/L , Na₂SO₄ 1.0 g/L



(b) NaCl 1.0 g/L , Na₂SO₄ 2.0 g/L

그림 3.39 Impedance-frequency bode plots

③ 열화이온 반응소재 혼입에 따른 기초물성 평가

열화이온 반응소재를 적정 혼입량 도출을 위한 기초물성 실험 결과를 표 3.53에 나타내었다. 아민유도체와 이온교환수지의 혼입에 따라 휨강도, 압축강도, 부착강도는 혼입되지 않은 배합에 비해 저감되는 것으로 나타났다. 이는 매트릭스의 경화반응에 관여하지 않는 이온교환수지의 혼입과 아민유도체의 지연성으로 인하여 나타나는 현상으로 판단되며, 초기강도에서는 성능발현에 영향을 주지만, 본 연구의 혼입량에서는 장기적으로 강도의 저감을 발생시키지 않는 것으로 확인되었다. 길이변화율의 경우, 반응소재 혼입에 따라 변화율이 저감되는 것으로 나타났다.

그림 3.64과 같이 열화이온 반응소재를 혼입한 모르타르의 내약품성을 확인하기 위하여 10% 황산나트륨 수용액에 침지한 후, 소정기간에 압축강도 및 무게변화를 확인한 결과를 표 30에 나타내었다.

열화이온 반응소재를 혼입한 모르타르의 내약품성을 확인하기 위하여 10% 황산나트륨 수용액에 침지한 후, 소정기간에 압축강도 및 무게변화를 확인한 결과, 기초소재 조합에서도 내황산성 확보를 위한 CAC, 메타카올린, 고로슬래그 등을 도입하였기 때문에, 전체적으로 강도 확보가 가능한 것으로 나타났으며, 반응소재 혼입량이 증가할수

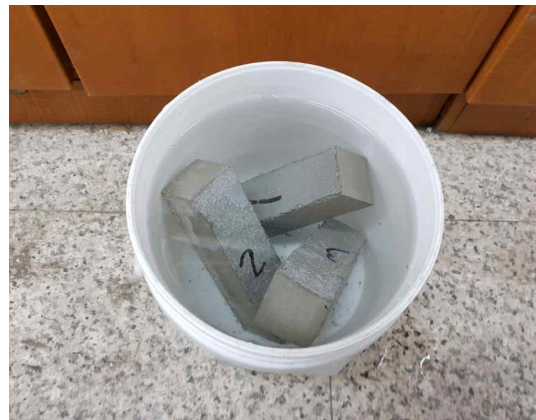
록 강도 저감을 및 중량변화가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 본 연구를 통하여 반응 소재의 혼입률이 증가할수록 내황산성이 증진되는 결과를 얻을 수 있었으나, 기본물성의 저하도 발생하게 되어, 혼입되지 않은 배합과 기본물성은 유사하나 내황산성의 증진을 확인할 수 있는 배합을 열화이온 반응소재 혼입된 내황산 보수 모르타르의 적정 조합으로 선정하였다.

표 3.34 기초물성 실험 결과

시험체명		7-1	7-2	7-3	7-4
휨강도 (MPa)		7.3	7.9	7.1	6.7
압축강도 (MPa)	1일	20.3	17.4	18.2	13.8
	3일	29.3	26.5	24.2	20.1
	7일	33.8	30.2	31.7	28.5
	28일	41.7	40.8	41.4	35.2
부착강도 (MPa)		2.5	2.1	2.1	2.0
길이변화율 (%)		-0.062	-0.058	-0.054	-0.053



증류수 침지



10% 황산나트륨 침지

그림 3.40 침지 실험

표 3.35 황산나트륨 침지 실험 결과

항목			7-1	7-2	7-3	7-4
압축강도 (MPa)	표준양생	7일	28.6	26.3	24.6	20.5
		28일	40.2	41.2	40.7	38.2
	10% 황산나트륨 침지	7일	27.5	26.2	25.4	19.8
		28일	35.2	37.8	38.5	36.6
중량변화 (g)	10% 황산나트륨 침지	28일	5.2	4.3	3.4	3.1

(5) 내황산 보수 모르타르의 내황산성 평가 실험

(가) 실험 개요

본 연구에서는 개발된 내황산 보수 모르타르의 내황산성을 평가하기 위하여 배합선정 실험을 통하여 최종결정된 내황산 보수 모르타르 배합을 대상으로 표준양생 28일 이후, 10% 황산나트륨 수용액에 28일 침지후 압축강도와 중량변화량을 확인하였다.

표 3.36 내황산 보수 모르타르의 내황산성 평가 실험 개요

구분	내용
시험체	내황산 보수 모르타르 40*40*160 mm 시험체
침지 수용액	10% 황산나트륨 수용액
시험항목	중량변화, 압축강도



10% 황산나트륨 침지



중량 변화 측정



압축강도 측정

그림 3.41 내화학적 평가 실험

시험결과, 10% 황산나트륨 수용액에 28일간 침지한 이후 각 시험체의 중량변화는 3.1에서 3.6 g으로 평균 3.4 g의 중량변화가 발생하는 것으로 나타났으며, 압축강도의 경우 이온교환수지의 입자크기를 조절하지 않은 1차와 이온교환수지를 분말화하여 배합한 2차 시험으로 나누어 실시한 결과, 1차에서는 표준양생 압축강도가 47.8 N/mm²로 나타난 반면, 10% 황산나트륨 수용액에 침지한 시험체는 38.5 N/mm²으로 약 19.5 %의 강도 저감이 발생하였다. 2차 시험에서는 표준양생 압축강도가 54.3 N/mm²으로 나타난 반면, 10% 황산나트륨 수용액에 침지한 시험체는 40.6 N/mm²으로 약 25.2 %의 강도 저감이 발생하였다. 이에 따라 분말도가 높아지는 경우 압축강도의 향상을 기대할 수 있으나, 황산이온과의 반응성이 감소하여 강도 저감율이 증가하는 것으로 판단된다.

표 3.37 내황산 보수 모르타르의 내황산성(중량변화) 결과

구분	최초 중량(g)	침지 후 중량(g)	중량변화(g)
1	684	662	3.2
2	705	683	3.1
3	693	668	3.6
4	697	672	3.6
5	702	678	3.4
평균			3.4

표 3.38 내황산 보수 모르타르의 내황산성(압축강도) 결과

구분		표준양생 압축강도 (N/mm ²)	10%황산나트륨수용액 침지 후 압축강도 (N/mm ²)	강도 저감율(%)
1차	1	49.6	38.5	22.4
	2	47.2	39.2	16.9
	3	46.7	37.6	19.1
	평균	47.8	38.5	19.5
2차	1	54.2	40.6	25.1
	2	53.7	41.5	22.7
	3	55.1	39.8	27.8
	평균	54.3	40.6	25.2

5. 내황산 유기계 방청제 개발

(1) 개요

본 연구는 콘크리트 제조 및 보수용 방청제로서 가장 많이 사용되며 일반화 되어있는 무기계 아질산 방청제(부동태피막형)인 아질산 칼슘($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 아질산 리튬(LiNO_2)과 보수용 방청제로서 새롭게 개발된 내황산 유기계 방청제를 대상으로 염분이 함유된 모르타르 및 콘크리트내의 철근 방청성능을 부식 촉진 실험 방법을 통하여 실험적으로 파악하였다.

(2) 실험 방법

(가) 탄산화(pH 저하) 모사 환경에서의 방청성능 (수용액)

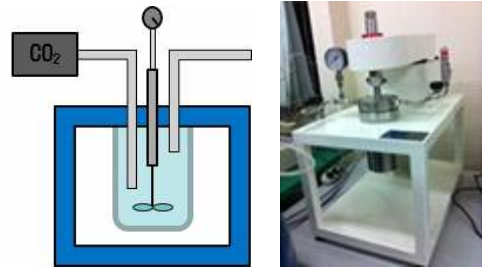
콘크리트는 탄산화 열화로 인하여 pH가 저하되는데, pH 저하는 콘크리트 내부에 매립된 철근의 부동태 피막을 파괴시켜 부식인자들이 철근에 쉽게 도달할 수 있는 환경을 만들게 된다. 본 연구에서는 콘크리트에 탄산화 열화로 인하여 pH 저하에 의하여 철근에 부식이 쉽게 발생하게 되는 환경 하에서 유기계 방청성분 및 기존 방청제인 아질산리튬의 성능 변화에 관하여 확인하였다. 표 3.39과 같이 실험인자 및 수준을 정하였고, 그림 3.42과 같이 이산화탄소 교반기를 이용하여 수산화칼슘 수용액을 교반시켜, pH 10으로 탄산화된 콘크리트 환경을 수용액상에서 모사하여 Potentiostat을 이용한 전기화학적 부식실험을 진행하였다.

표 3.39 실험인자 및 수준

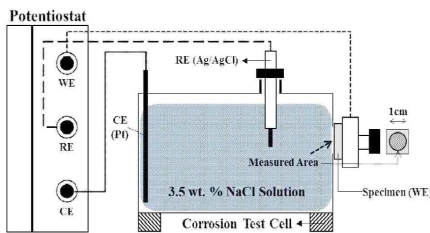
No	Content of Cl ⁻	Nitrite Corrosion Inhibitors				Organic Corrosion inhibitor [Amine]		Remarks
		LiNO ₂		Ca(NO ₂) ₂		(CH ₃) ₂ NCH ₂ CH ₂ OH		
		Molar ratio	Addition	Molar ratio	Addition	Molar ratio	Addition	
		[Cl ⁻]/[NO ₂ ⁻]	kg/m ³	[Cl ⁻]/[2(NO ₂ ⁻)]	kg/m ³	[Cl ⁻]/[OH ⁻]	kg/m ³	
1	0.6kg/m ³	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Saturati on Ca(OH) ₂ Solution (0.173g/ 100ml)
2		0.3	1.08	0.3	2.24	0.3	0.45	
3		0.6	2.15	0.6	4.47	0.6	0.91	
4		1.2	4.30	1.2	8.94	1.2	1.81	
5	1.2kg/m ³	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
6		0.3	2.15	0.3	4.47	0.3	0.91	
7		0.6	4.30	0.6	8.94	0.6	1.81	
8		1.2	8.60	1.2	17.89	1.2	3.62	
9	2.4kg/m ³	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
10		0.3	4.30	0.3	8.94	0.3	1.81	
11		0.6	8.60	0.6	17.89	0.6	3.62	
12		1.2	17.21	1.2	35.77	1.2	7.24	



(a) 방청제 혼입 수산화칼슘 수용액



(b) 이산화탄소 교반



(c) Potentiostat을 이용한 전기화학 부식실험

그림 3.42 탄산화 환경(pH9)에서의 방청성능 실험 (수용액)

(나) 고정염분함유량에 따른 모르타르매설 고온고습 부식촉진

표 3.40에 실험요인과 수준을 나타내며, 실험요인은 철근방청제의 종류 (아질산 칼슘 ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 아질산 리튬(LiNO_2), 내황산 보수 방청제, 부식 촉진방법 (모르타르 매설 고온고습 부식촉진)이다. 철근을 200mm로 절단하고, 양단 10mm를 에폭시 수지로 코팅한 시험체를 제작한다. 또한, 모르타르 매설 부식촉진 시험체의 경우, 철근의 부식을 촉진하기 위하여 NaCl을 절건 모래중량의 0.1%, 0.3% 가 혼입된 모르타르에 매설하고 고온고습 부식촉진(온도 80°C RH=95%)시험방법으로 부식을 촉진하여 소정의 재령에서 부식면적율을 측정한다.

표 3.40 실험인자 및 수준(고정염분)

실험 인자	실험 수준	비고
철근방청제 종류	기존기술A-아질산 리튬(LiNO_2), 기존기술B-아질산 칼슘($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 본 개발기술-내황산 유기계 방청제	
방청제 혼입량	염화물이온 농도와 방청성분의 물비 4단계 (물비 0, 0.3, 0.6 1.2)	
부식촉진 방법	모르타르매설 고온고습 부식촉진(온도 80°C RH=95%)	

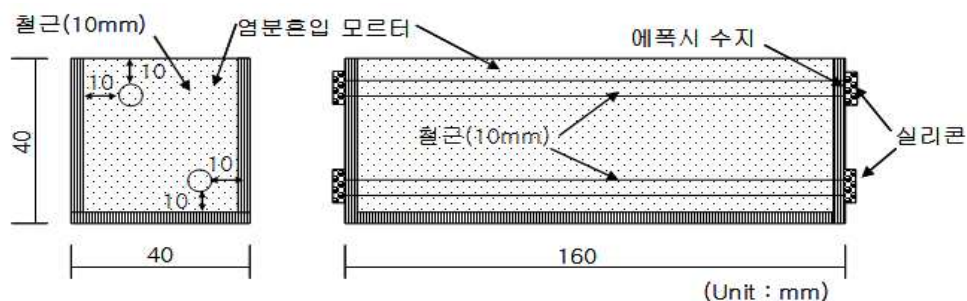


그림 3.43 시험체의 형상

실험체는 40×40×160mm의 직사각형으로 직경 10mm의 원형철근을 각각 200mm 절단한 후 표면에 각 방청제를 혼입한 방청모르타르로 도포한 후 2개의 철근을 피복두께가 각각 10mm가 되도록 평행하게 매립한 후 염화물 이온이 함유된 모르타르를 타설하여 부식 촉진 양생용 시험체를 제작, 고온고습 부식촉진을 온도 80℃, RH=95% 시험방법으로 부식을 촉진하여 30일 재령에서 부식면적율을 측정한다.



그림 3.44 고온고습 부식촉진

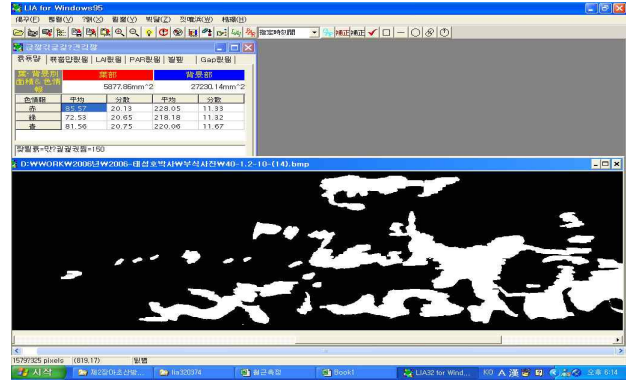


그림 3.45 스캔 후 화상처리 프로그램

(다) 내황산 유기계 방청제 혼입량에 따른 모르타르매설 부식촉진

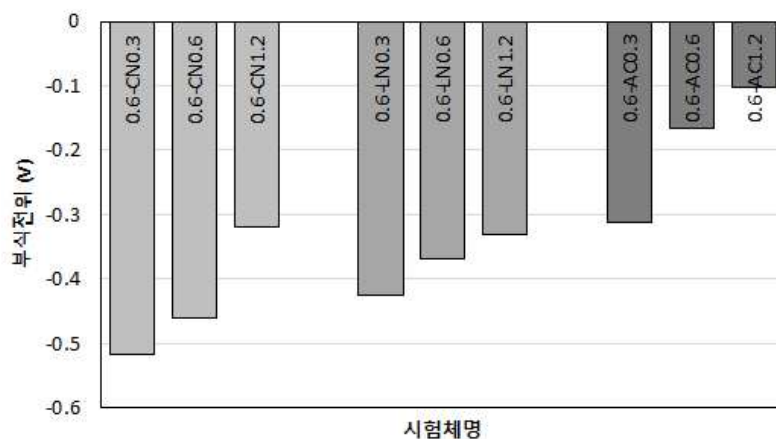
표 3.41에 실험요인과 수준을 나타낸다. 실험요인은 철근방청제의 종류 (아질산 칼슘 ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 아질산 리튬(LiNO_2), 내황산 유기계 방청제, 방청제 혼입량 (염화물이온 농도와 방청성분의 물비 4단계 0, 0.3, 0.6 1.2), 모르타르 염분함유량 (Cl^- 1.2 kg/m^3 , 2.4 kg/m^3)이다. 40×40×160mm의 직사각형 몰드에 직경 10mm의 철근을 피복두께 100mm로 2개 배근하고 실험인자에 따라 제작한 모르타르를 타설하여 제작한다. 또한, 부식촉진을 위하여 온도 80℃ RH=95% 1일, 80℃ RH=40% 1일, 총 2일을 1 Cycle로 하여 실험을 실시한다. 측정항목은 부식면적율, 염화물 추출양이며, 소정의 30 Cycle에서 화상장치를 이용하여 부식면적율을 측정한다. 또한, 소정의 Cycle에서 시험체를 만능재료시험기를 활용하여 할렬을 실시하고 철근부위의 시료를 채취하여 가용성 염화물측정을 KS F 2713 표준에 준하여 실시한다.

표 3.41실험인자 및 수준(방청제 혼입)

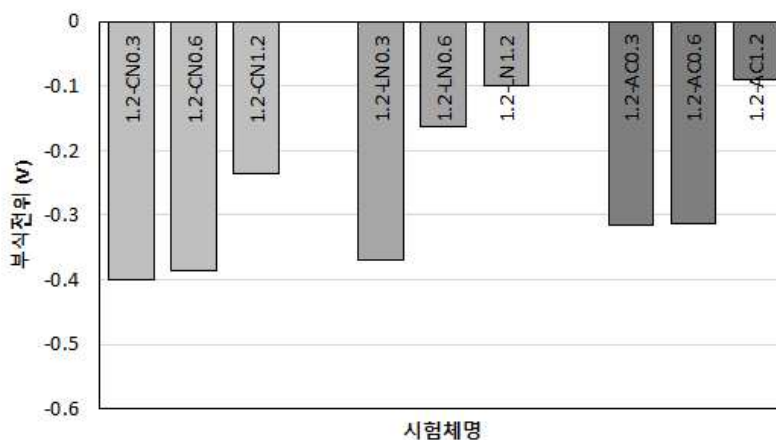
실험 인자	실험 수준	비고
방청제 종류	기존기술A-아질산 리튬(LiNO_2), 기존기술B-아질산 칼슘($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 본 개발기술-내황산 유기계 방청제	
방청제 혼입량	염화물이온 농도와 방청성분의 물비 4단계 (물비 0, 0.3, 0.6 1.2)	
모르타르 염분혼입량	Cl^- 1.2 kg/m^3 , 2.4 kg/m^3	
측정 시기	30 Cycle	
측정 항목	부식면적율, 가용성 염화물량	

철근의 부식을 촉진시키기 위하여 방청제 혼입량은 염화물이온 농도와 방청성분의 물비 4단계 0, 0.3, 0.6 1.2로 진행하였고, 모르타르 염분함유량은 0.0 kg/m^3 , 1.2 kg/m^3 , 2.4 kg/m^3 혼입하였으며, 시험체는 시멘트 : 모래의 중량 비율은 1 : 3, W/C는

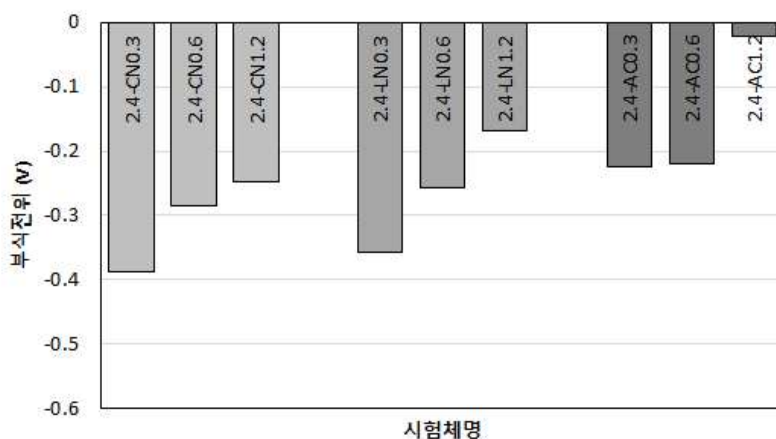
온 농도가 0.6, 1.2, 2.4kg/m³로 증가하여도 방청물비에 따라 방청제 혼입량이 증가하기 때문에 부식전위가 향상되는 결과가 나타났으며, 특히, 본 연구의 유기계 방청제의 경우 부식전위가 최대 -0.020 V에서 최소 -0.315 V로 나타나 기존 방청제 대비 방청성능이 우수한 것으로 나타났다.



(a) 염소이온 0.6kg/m³, 방청성분 혼입

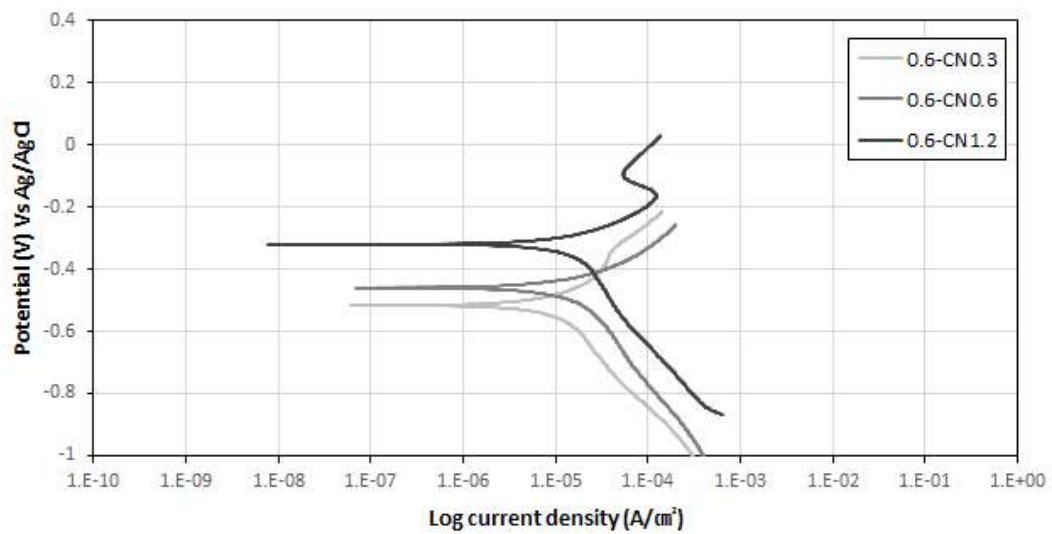


(b) 염소이온 1.2kg/m³, 방청성분 혼입

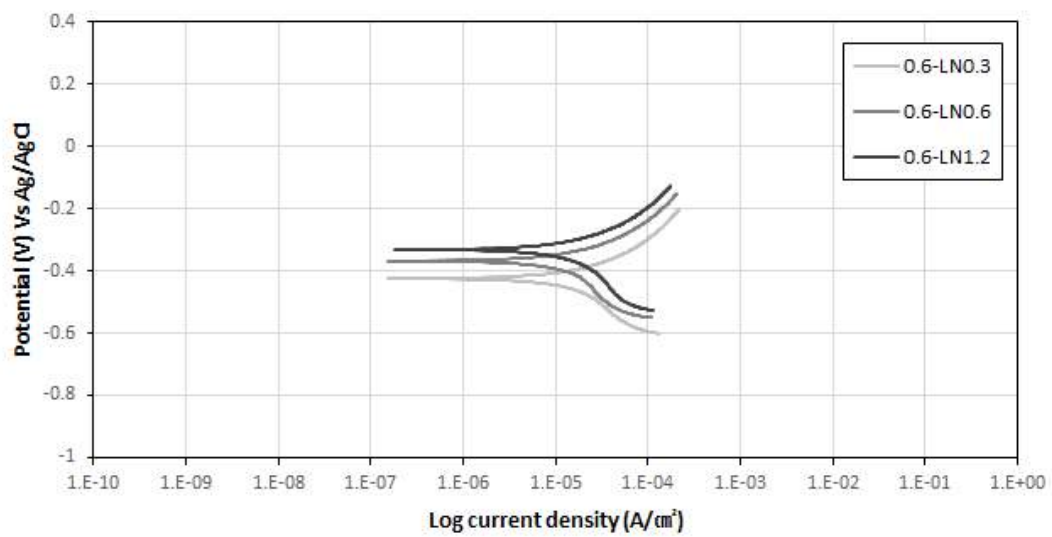


(c) 염소이온 2.4kg/m³, 방청성분 혼입

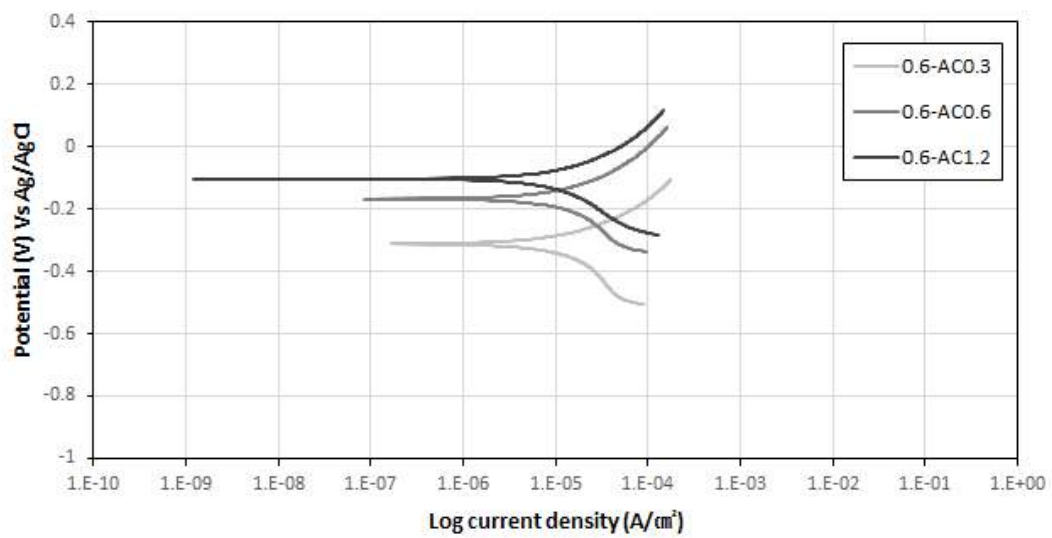
그림 3.49 염소이온, 방청성분 혼입 시 부식전위 결과



(a) 염소이온 0.6kg/m³ ,LiNO₃ 혼입

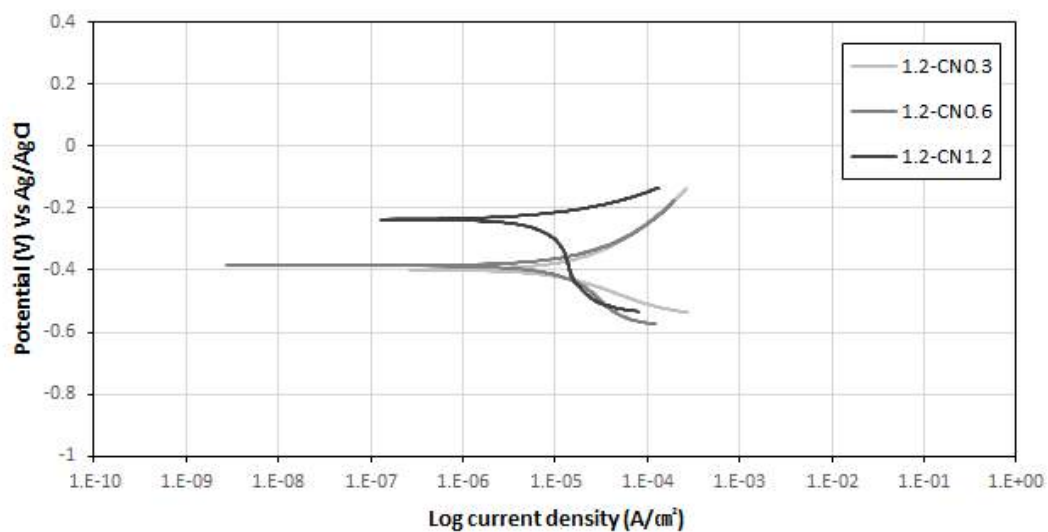


(b) 염소이온 0.6kg/m³ ,Ca(NO₃)₂ 혼입

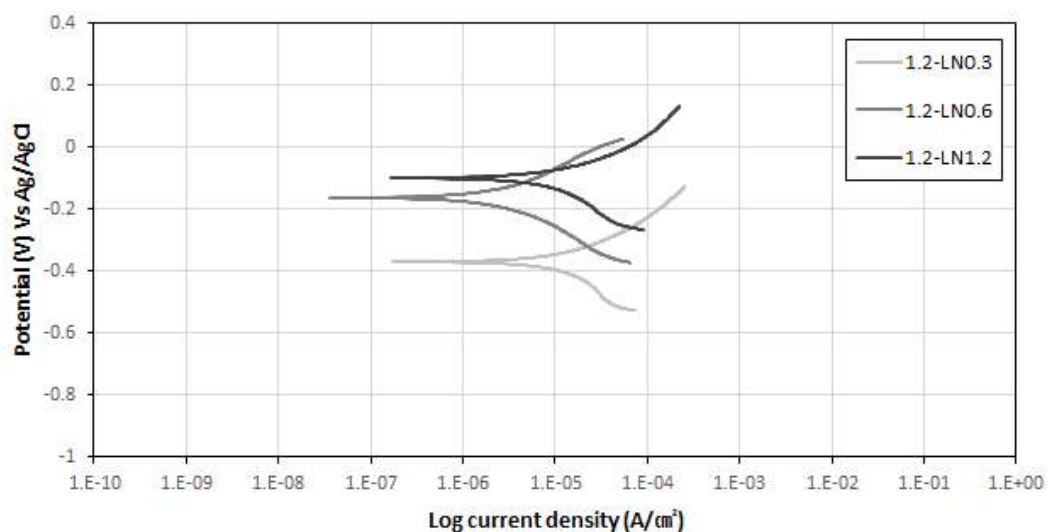


(c) 염소이온 0.6kg/m³ , Amine 혼입

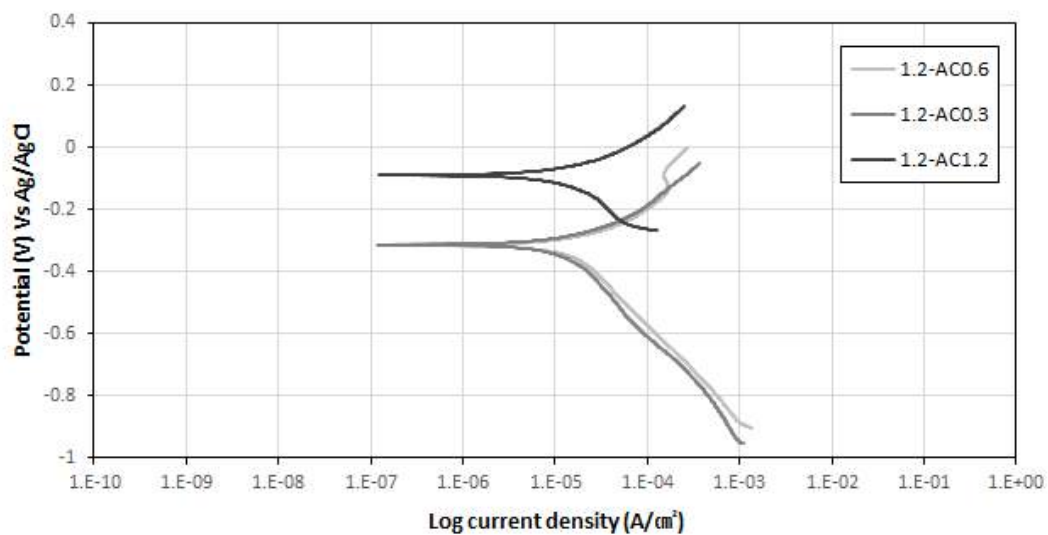
그림 3.50 염소이온 0.6kg/m³ , 방청성분 혼입 시 타펠 곡선 결과



(a) 염소이온 1.2kg/m³, LiNO₂ 혼입

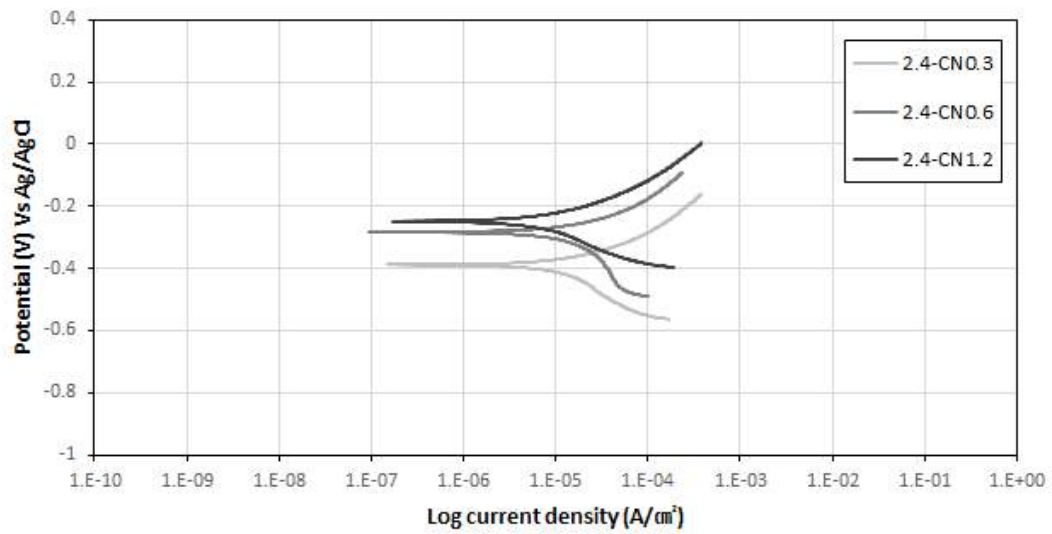


(b) 염소이온 1.2kg/m³, Ca(NO₂)₂ 혼입

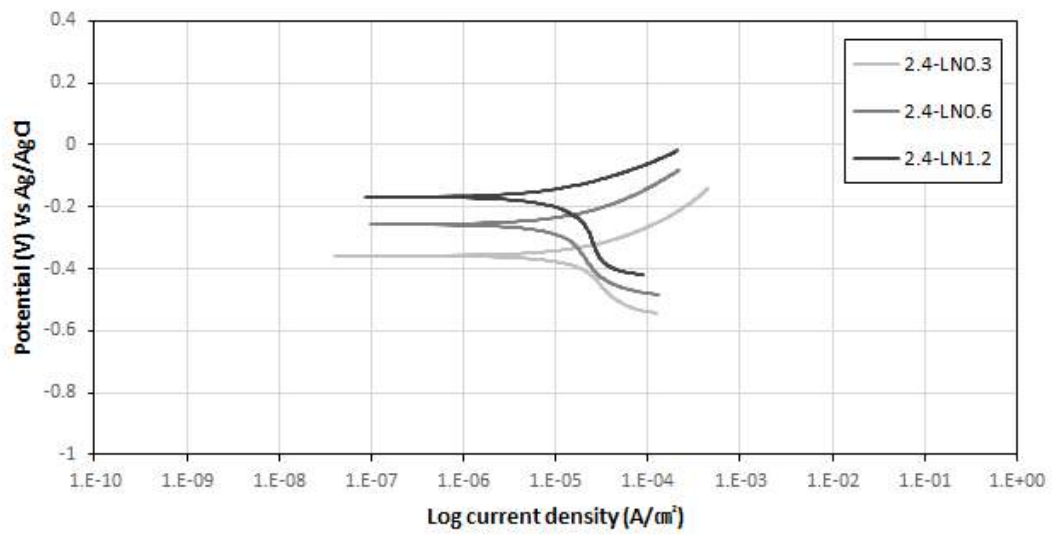


(c) 염소이온 1.2kg/m³, Amine 혼입

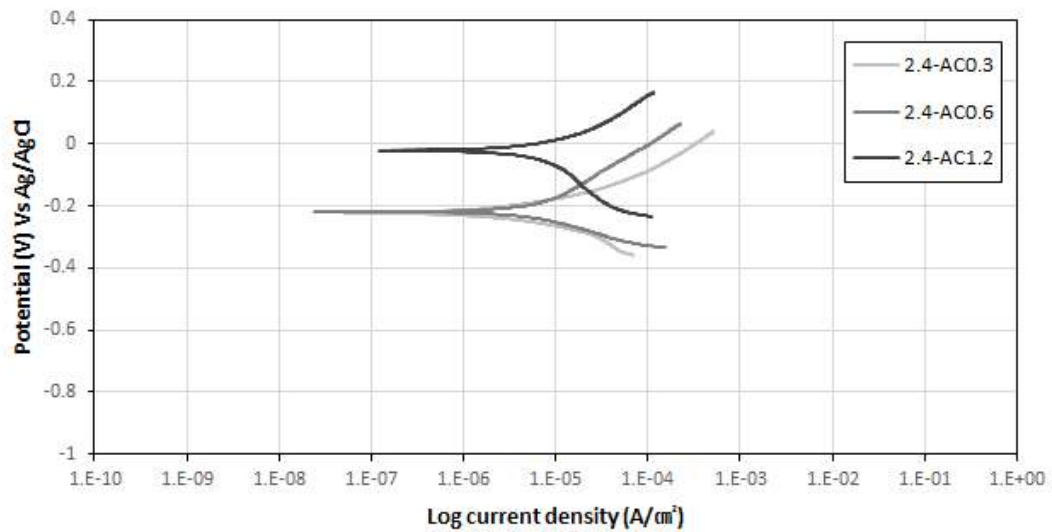
그림 3.51 염소이온 1.2kg/m³, 방청성분 혼입 시 타펠 곡선 결과



(a) 염소이온 2.4kg/m³ ,LiNO₃ 혼입

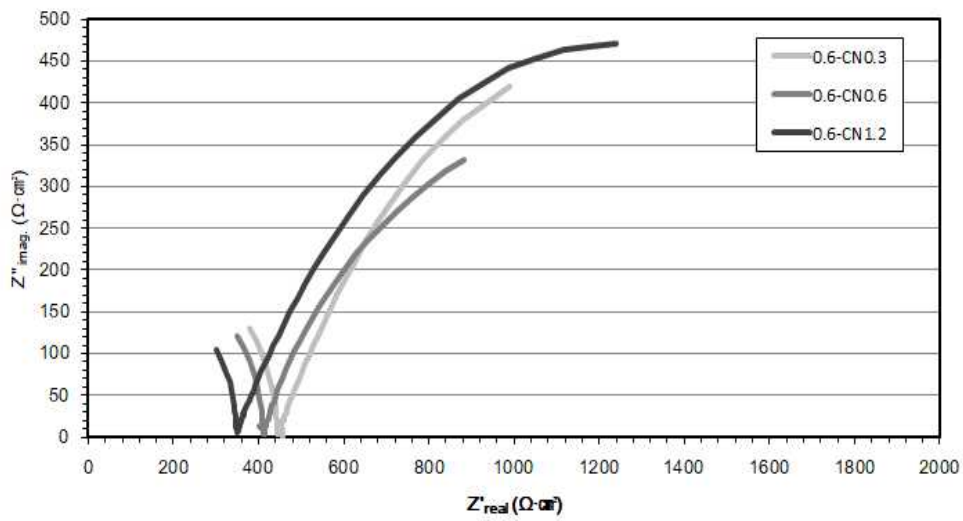


(b) 염소이온 2.4kg/m³ ,Ca(NO₂)₂ 혼입

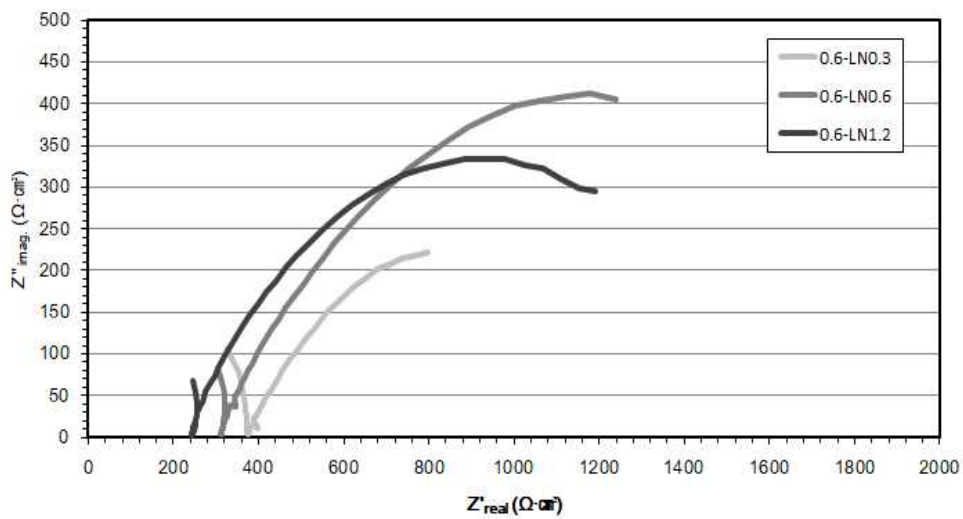


(c) 염소이온 2.4kg/m³ , Amine 혼입

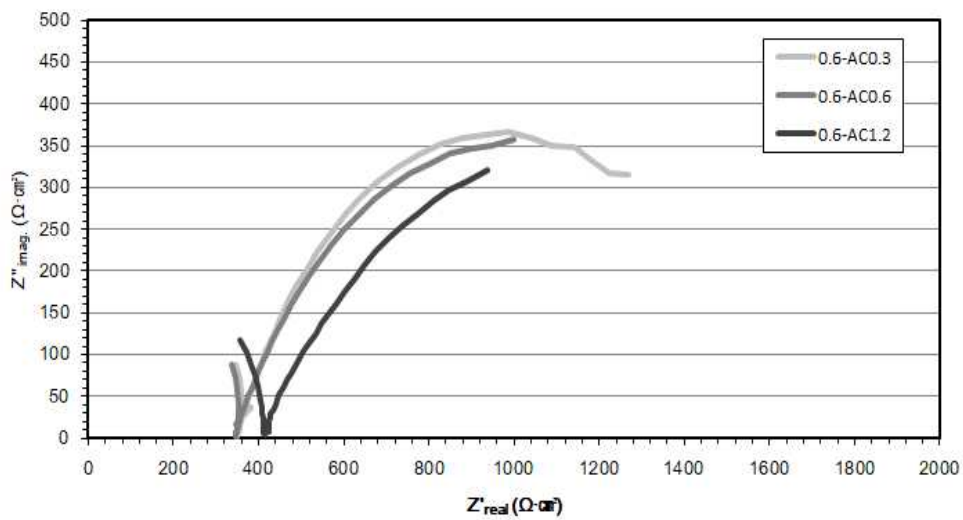
그림 3.52 염소이온 2.4kg/m³ , 방청성분 혼입 시 타펠 곡선 결과



(a) 염소이온 0.6kg/m³ ,LiNO₂ 혼입

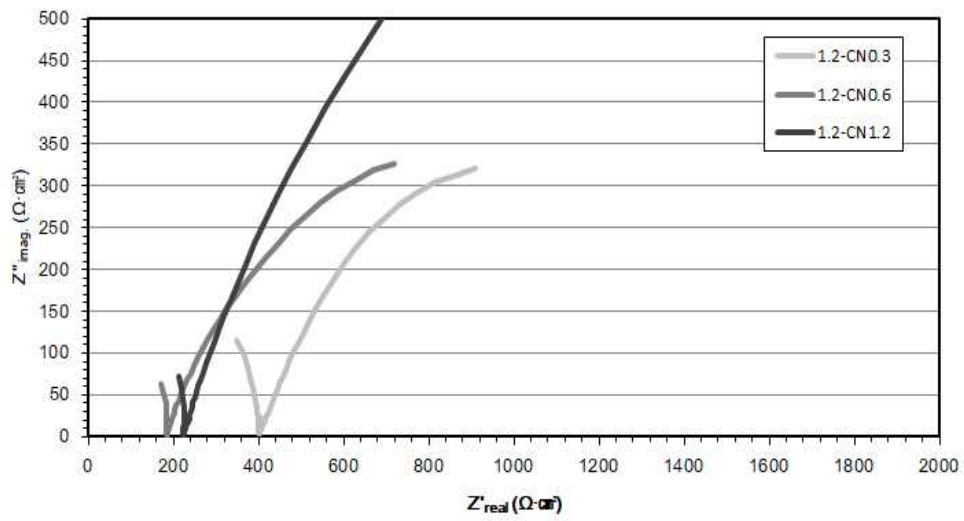


(b) 염소이온 0.6kg/m³ ,Ca(NO₂)₂ 혼입

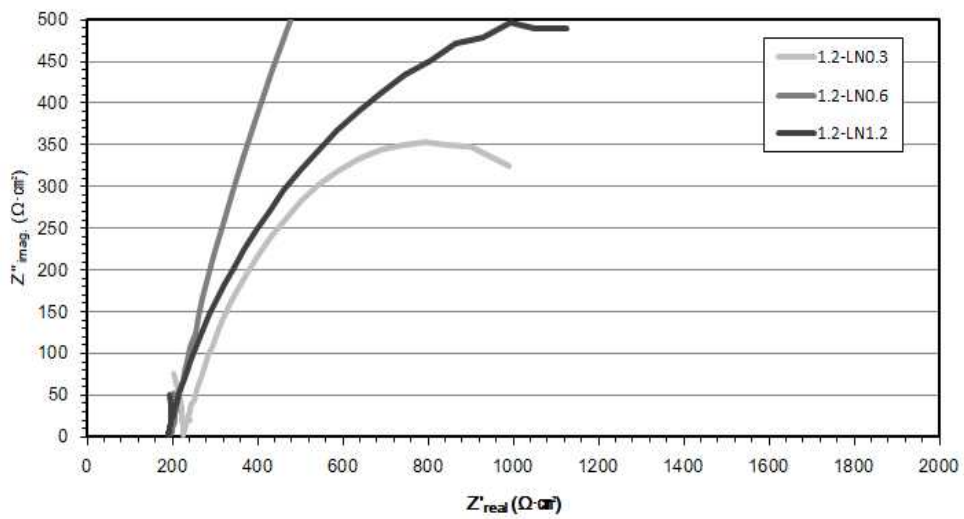


(c) 염소이온 0.6kg/m³ , Amine 혼입

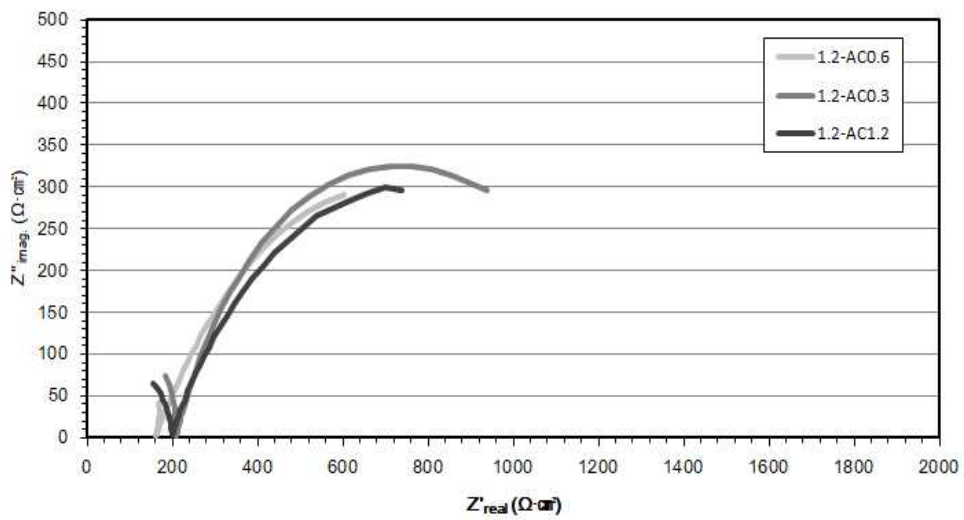
그림 3.53 염소이온 0.6kg/m³ , 방청성분 혼입 시 Nyquist 곡선 결과



(a) 염소이온 1.2kg/m³ ,LiNO₂ 혼입

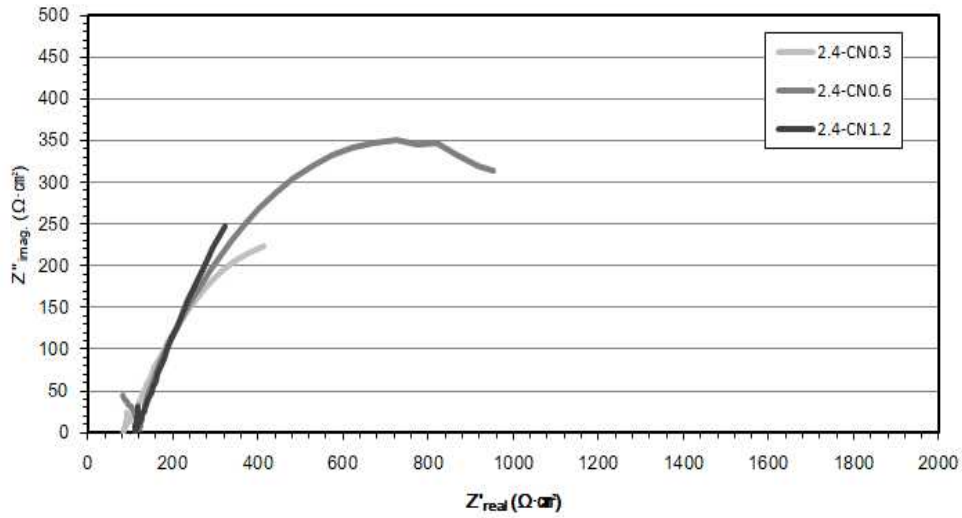


(b) 염소이온 1.2kg/m³ ,Ca(NO₂)₂ 혼입

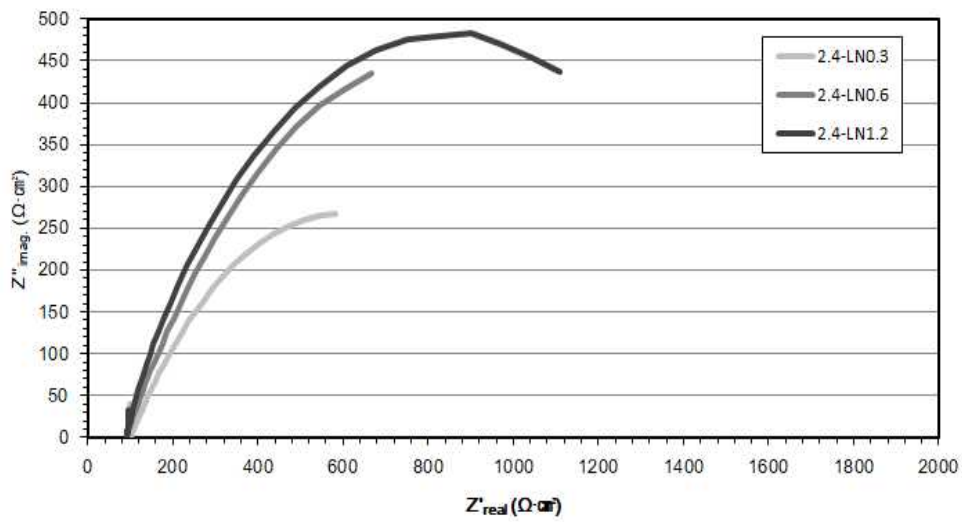


(c) 염소이온 1.2kg/m³ , Amine 혼입

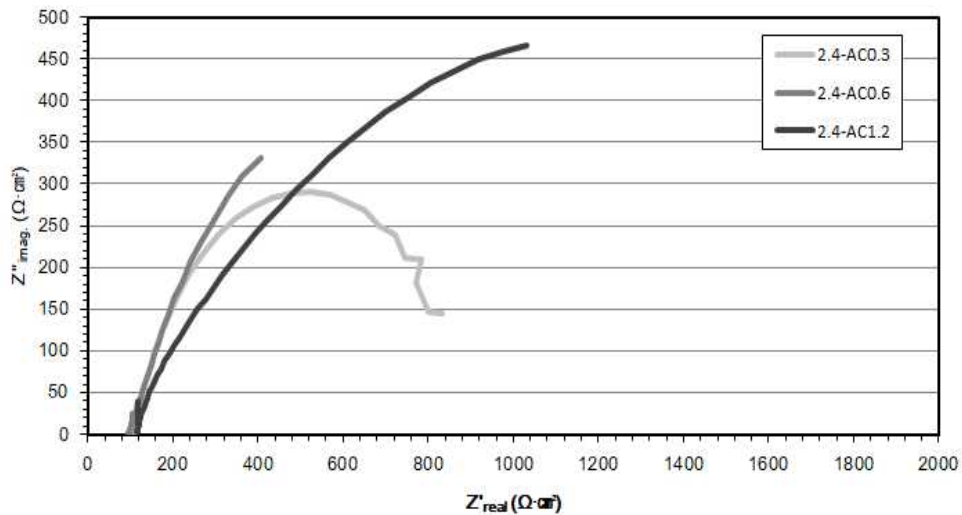
그림 3.54 염소이온 0.6kg/m³ , 방청성분 혼입 시 Nyquist 곡선 결과



(a) 염소이온 2.4kg/m³, LiNO₂ 혼입



(b) 염소이온 2.4kg/m³, Ca(NO₂)₂ 혼입



(c) 염소이온 2.4kg/m³, Amine 혼입

그림 3.55 염소이온 0.6kg/m³, 방청성분 혼입 시 Nyquist 곡선 결과

실험결과로 도출된 타펠 곡선을 확인해본 결과, 방청제 혼입량 증가에 따른 부식전위의 증가와 부식전류밀도의 감소를 확인할 수 있었으며, 특히 기존 무기계 방청제인 아질산칼슘, 아질산리튬과 비교하여 본 연구의 유기계 방청제의 부식전위와 부식전류

밀도 값이 부식저항에 유리한 값을 나타낸 것을 확인할 수 있다. 또한 Nyquist 곡선을 확인해 본 결과, 철근의 부식저항성을 나타내는 Z값이 유기계 방청제의 경우 혼입농도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타나 저농도에서 고농도까지 방청성능을 발현하는데 우수한 것에 비해 기존 무기계 방청제의 경우 염소이온 농도 및 방청제 혼입농도에 따라 변동이 심한 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구의 유기계 방청제의 방청성능 안정성 측면에서도 우수한 것으로 판단된다.

(나) 고정염분함유량에 따른 모르타르매설 고온고습 부식촉진

표 3.42에 실험결과를 나타낸다. 또한, 그림 3.56는 방청제 혼입율과 철근 부식 면적율과의 관계를 나타낸 것이다. 방청제 혼입율이 커지면 철근 부식 면적율은 급격하게 저하하여 방청제의 효과가 명확히 나타났다. 그림 3.57은 방청제 혼입율(Molar ratio)과 철근 방청율과의 관계를 나타낸 것이다. 염분 혼입량 0.1%에서는 내황산 유기계 방청제의 경우 1.2 몰비에서 방청율이 96.2%로 나타났으며 기존기술의 아질산리튬 및 아질산칼슘은 방청율이 80%이하로 나타났다. 또한, 염분 혼입량 0.3%에서는 본 개발기술의 내황산 유기계 방청제는 모든 몰비에서 방청율은 90%를 넘는 결과로 나타나 염분에 대한 방청효과가 아질산리튬 및 아질산칼슘의 무기계 방청제 보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 방청제의 성능은 본 개발기술의 방청제가 우수한 것으로 판단되며 일반적으로 문제가 되는 염소이온 혼입 한계 범위인 0.75kg/m^3 의 범위 내에서는 내황산 유기계 방청제를 사용함으로써 철근의 부식을 방지하는 것이 가능하다.

표 3.42 기존기술인 아질산계 방청제의 방청 성능 실험 결과표(무기계)

번호	염분량	방청제 혼입량(kg/m^3)			부식 면적율(%)	방청율 (%)	비고
		구분	[몰비]	첨가량			
1	0.10% (0.75kg/m^3)	무혼입	0.0	0.0kg/m^3	60.6	0.0	Plain
2		기존기술A	0.3	1.34kg/m^3	48.6	19.8	
3		(288호-아	0.6	2.69kg/m^3	22.7	62.5	
4		질산리튬)	1.2	5.38kg/m^3	13.6	77.6	
5		기존기술B	0.3	2.79kg/m^3	24.0	60.4	
6		(288호-아	0.6	5.59kg/m^3	15.0	75.2	
7		질산칼슘)	1.2	11.18kg/m^3	12.5	79.4	
8	0.30% (1.8kg/m^3)	무혼입	0.0	0.0kg/m^3	76.0	0.0	Plain
9		기존기술A	0.3	3.23kg/m^3	37.8	50.3	
10		(288호-아	0.6	6.45kg/m^3	15.0	80.2	
11		질산리튬)	1.2	12.91kg/m^3	7.2	90.6	
12		기존기술B	0.3	6.71kg/m^3	10.0	86.9	
13		(288호-아	0.6	13.41kg/m^3	12.6	83.4	
14		질산칼슘)	1.2	26.83kg/m^3	9.7	87.2	

표 3.43 본 개발기술인 내황산 유기계방청제의 방청 성능 실험 결과표(유기계)

번호	염분량	방청제 혼입량(kg/m ³)			부식 면적율(%)	방청율 (%)	비고
		구분	[몰비]	첨가량			
1	0.10% (0.75kg/m ³)	고알칼리 유기계 방청제	0.3	0.57kg/m ³	8.0	87.0	
2			0.6	1.13kg/m ³	8.4	86.3	
3			1.2	2.26kg/m ³	2.4	96.2	
4	0.30% (1.8kg/m ³)		0.3	1.36kg/m ³	5.6	93.0	
5			0.6	2.72kg/m ³	4.5	94.3	
6			1.2	5.43kg/m ³	3.3	95.9	

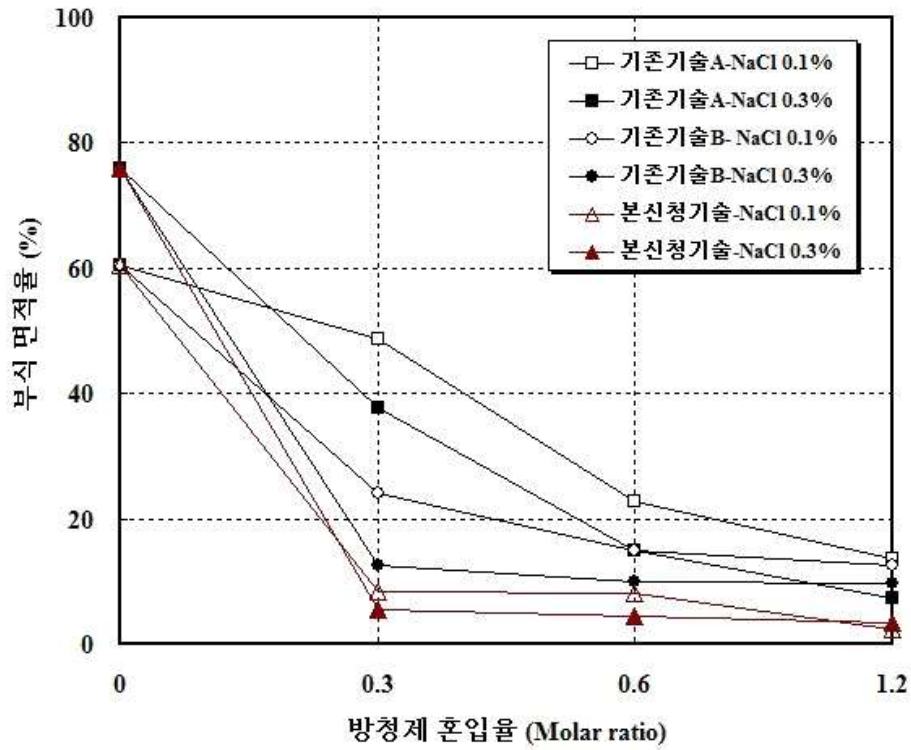


그림 3.56 방청제 혼입율(Molar ratio)과 철근 부식 면적율과의 관계

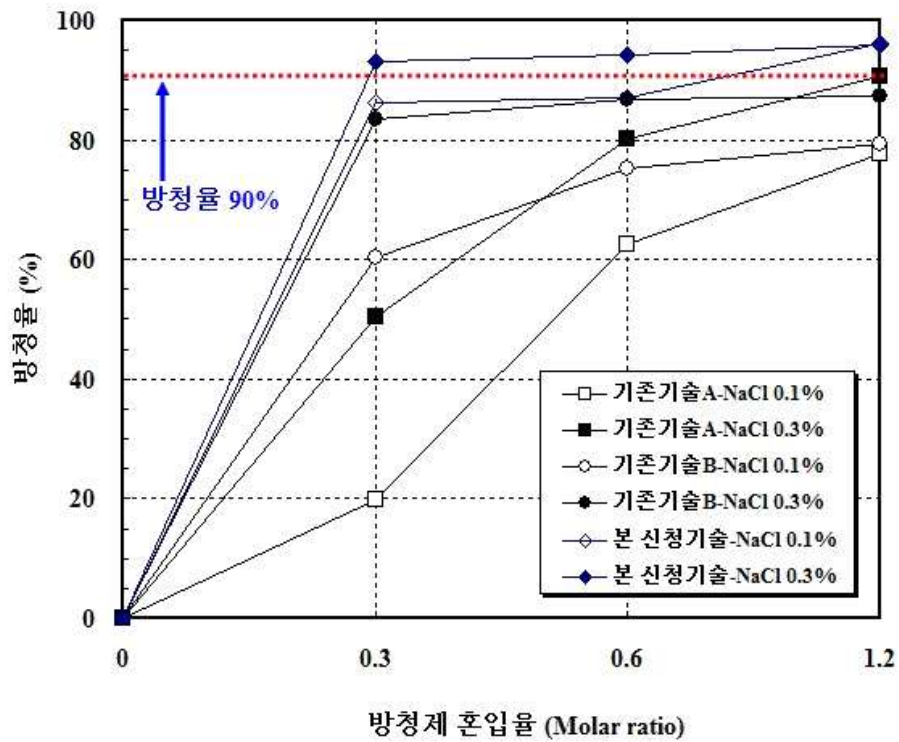
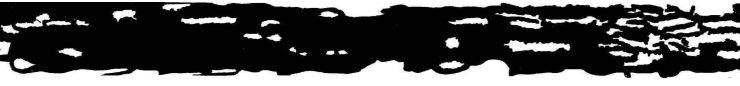
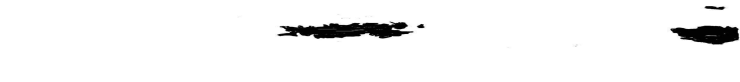
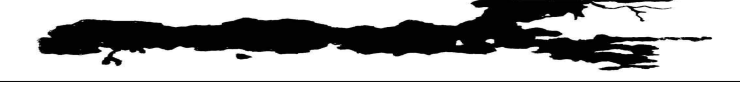
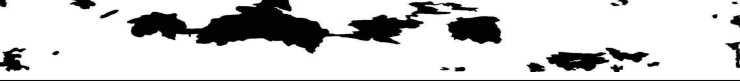
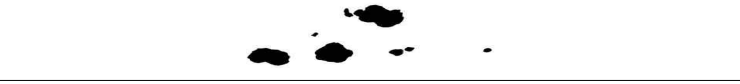


그림 3.57 방청제 혼입율(Molar ratio)과 철근 방청율과의 관계

표 3.44 부식면적

번호	염분	방청제 혼입량 (Molar ratio)		부식 상황	부식율	방청율
1	0.1%	무 혼입	0.0		60.6	0.0
2		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3		48.6	19.8
3			0.6		22.7	62.5
4			1.2		13.6	77.6
5		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3		24.0	60.4
6			0.6		15.0	75.2
7			1.2		12.5	79.4
8	0.3%	무 혼입	0.0		76.0	0.0
9		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3		37.8	50.3
10			0.6		15.0	80.2
11			1.2		7.2	90.6
12		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3		10.0	86.9
13			0.6		12.6	83.4
14			1.2		9.7	87.2
15	0.1%	본 개발기술	0.3		8.0	87.0
16			0.6		8.4	86.3
17			1.2		2.4	96.2
18	0.3%	내황산 유기계 방청제	0.3		5.6	93.0
19			0.6		4.5	94.3
20			1.2		3.3	95.9

(다) 내황산 유기계 방청제 혼입량에 따른 모르타르매설 부식촉진

표 3.45에 실험결과를 나타낸다. 또한, 그림 3.100는 방청제 혼입율과 철근 부식면적율과의 관계를 나타낸 것이다. 방청제 혼입율이 커지면 철근 부식 면적율은 급격하게 저하하여 방청제의 효과가 명확히 나타났다. 그림 3.101는 방청제 혼입율(Molar ratio)과 철근 방청율과의 관계를 나타낸 것이다. 염분 혼입량 1.2 kg/m³에서는 본 신청기술인 내황산 유기계 방청제의 경우 1.2 몰비에서 방청율이 90.9%로 나타났으며 기존기술인 아질산리튬 및 아질산칼슘은 방청율이 80%이하로 나타났다. 또한, 염분 혼입량 2.4 kg/m³에서는 내황산 유기계 방청제는 모든 몰비에서 방청율은 90%를 넘는 결과로 나타나 염분에 대한 방청효과가 아질산리튬 및 아질산칼슘의 무기계 방청제 보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 방청제의 성능은 본 개발기술의 내황산 유기계 방청제가 우수한 것으로 판단되며 일반적으로 문제가 되는 염소이온 혼입 한계 범위인 1.2 kg/m³의 범위 내에서는 내황산 유기계 방청제를 사용함으로써 철근의 부식을 방지하는 것이 가능하다. 또한, 그림 3.102은 방청제 혼입율과 염화물량과의 관계를 나타낸 것이다. 본 개발기술의 내황산 유기계 방청제의 염화물 이온 고정 능력을 평가하기 위해 염화물 함유량 1.2 kg/m³ 와 2.4 kg/m³에서 방청제 혼입에 따른 시험체에 대하여 가용성 염화물을 측정 한 결과, 철근부식에 직접적인 영향을 미치는 가용성 염화물은 내황산 유기계 방청제의 경우 방청제 혼입량의 증가율과 다르게 감소되는 것으로 나타났으나 기존기술인 아질산리튬 및 아질산칼슘의 무기계방청제는 방청제 증가율과 거의 같게 나타났다. 본 개발기술의 내황산 유기계 방청제는 염화물이온 고정으로 염분에 대한 방청효과가 아질산리튬 및 아질산칼슘의 무기계 방청제 보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

표 3.45 방청제의 방청 성능 실험 결과표(30cycle)

번호	염분량	방청제 혼입량(kg/m ³)			부식면적율(%)	방청율 (%)	염화물량(%)	비고
		구분	[몰비]	첨가량				
1	1.2 kg/m ³	무혼입	0.0	0.0kg/m ³	68.5	0.0	0.0148	Plain
2		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3	1.34kg/m ³	34.0	72.5	0.0188	
3			0.6	2.69kg/m ³	30.6	50.4	0.0217	
4			1.2	5.38kg/m ³	18.8	55.4	0.0185	
5		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3	2.79kg/m ³	26.5	61.3	0.0214	
6			0.6	5.59kg/m ³	20.9	69.5	0.0172	
7			1.2	11.18kg/m ³	18.0	73.7	0.0248	
8		본개발기술 -내황산 유기계 방청제	0.3	1.36kg/m ³	13.9	79.7	0.0075	
9			0.6	2.72kg/m ³	13.1	80.8	0.0043	
10			1.2	5.43kg/m ³	6.3	90.9	0.0024	
11	2.4 kg/m ³	무혼입	0.0	0.0kg/m ³	70.6	0.0	0.0275	Plain
12		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3	3.23kg/m ³	34.3	51.4	0.0282	
13			0.6	6.45kg/m ³	31.5	55.3	0.0297	
14			1.2	12.91kg/m ³	13.8	80.4	0.0339	
15		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3	6.71kg/m ³	32.5	54.0	0.0395	
16			0.6	13.41kg/m ³	29.0	58.9	0.0347	
17			1.2	26.83kg/m ³	27.3	61.3	0.0403	
18		본개발기술 -내황산 유기계 방청제	0.3	1.36kg/m ³	21.1	70.1	0.0064	
19			0.6	2.72kg/m ³	11.5	83.8	0.0037	
20			1.2	5.43kg/m ³	8.0	89.1	0.0012	

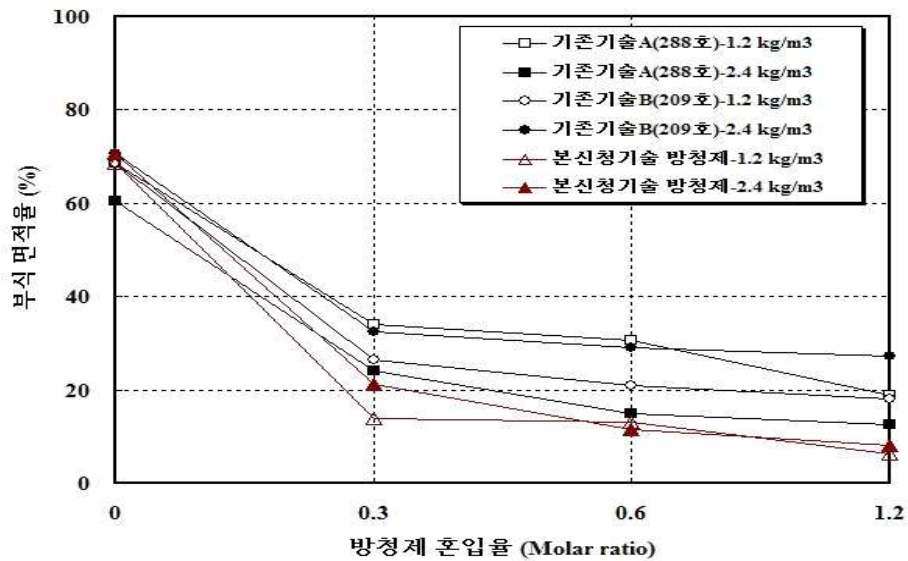


그림 3.58 방청제 혼입율(Molar ratio)과 철근 부식 면적율과의 관계

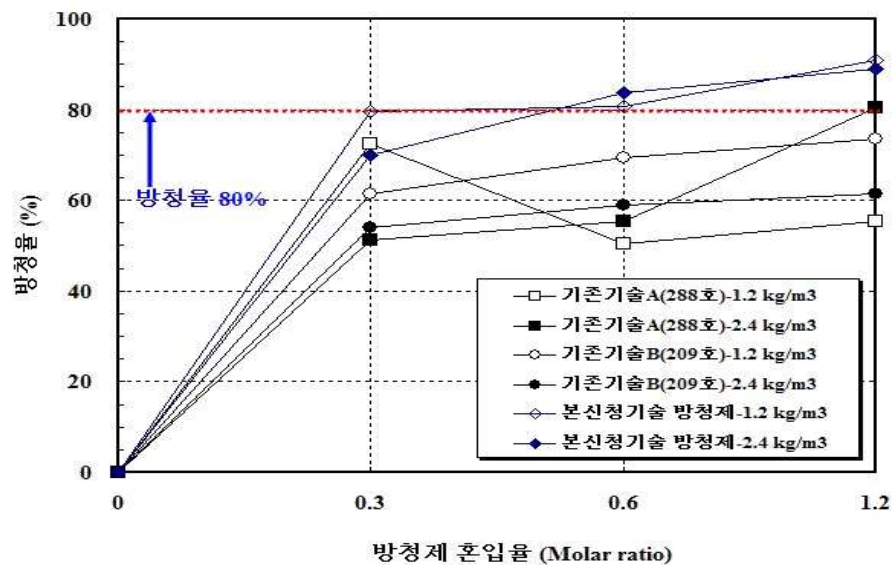


그림 3.59 방청제 혼입율(Molar ratio)과 철근 방청율과의 관계

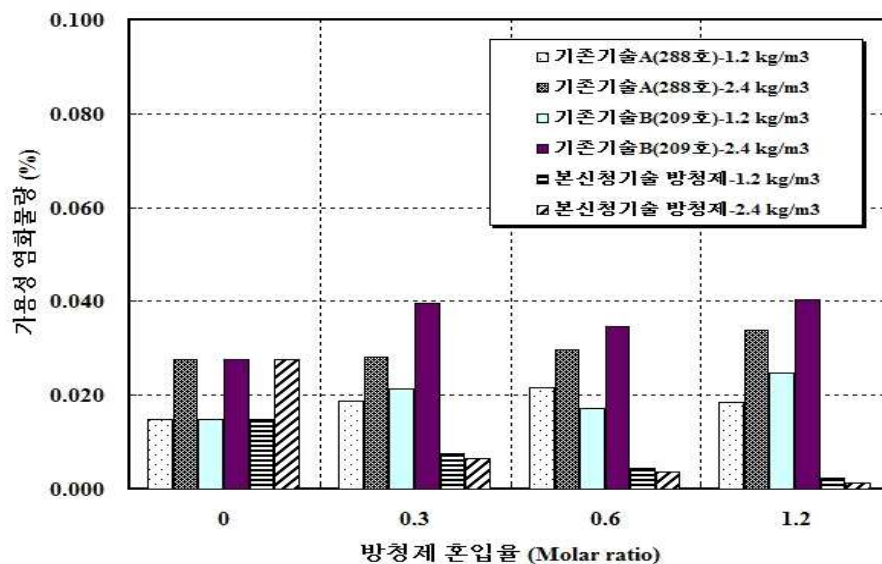
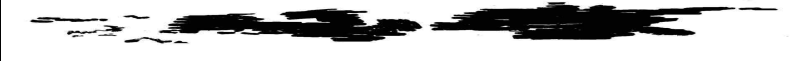
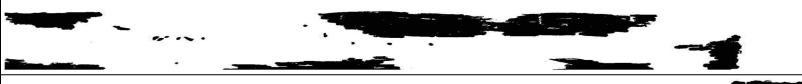
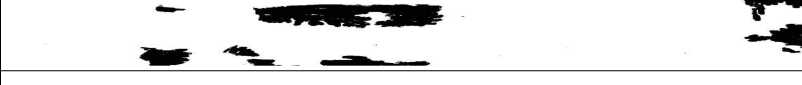
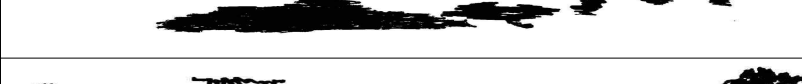
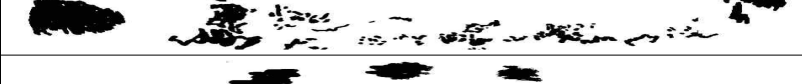
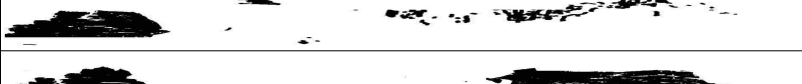
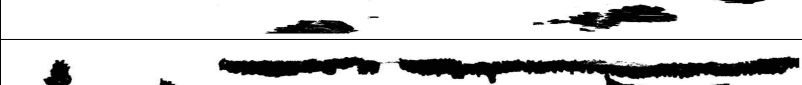
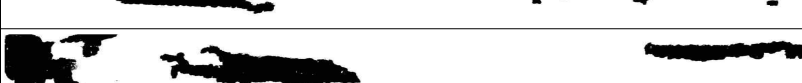
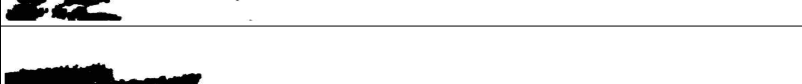
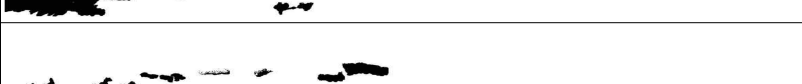


그림 3.60 방청제 혼입율(Molar ratio)과 염화물량과의 관계

표 3.46 부식면적

번호	염분	방청제 혼입량 (Molar ratio)		부식 상황	부식율	방청율
1	1.2 kg/m ₃	무 혼입	0.0		68.5	0.0
2		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3		34.0	72.5
3			0.6		30.6	50.4
4			1.2		18.8	55.4
5		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3		26.5	61.3
6			0.6		20.9	69.5
7			1.2		18.0	73.7
8	2.4 kg/m ₃	무 혼입	0.0		13.9	79.7
9		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3		13.1	80.8
10			0.6		6.3	90.9
11			1.2		70.6	0.0
12		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3		34.3	51.4
13			0.6		31.5	55.3
14			1.2		13.8	80.4
15	1.2 kg/m ₃	본 신청기술	0.3		32.5	54.0
16			0.6		29.0	58.9
17			1.2		27.3	61.3
18	2.4 kg/m ₃	고알칼리 유기계 방청제	0.3		21.1	70.1
19			0.6		11.5	83.8
20			1.2		8.0	89.1

6. 열화이온 반응 소재 정량 분석 실험

(1) 이온크로마토그래피(IC) 방법을 이용한 수용액 내 잔존 SO_4^{2-} , Cl^- 농도변화 분석

(가) 실험체 제작 및 실험방법

본 연구에서는 콘크리트 유해요인인 SO_4^{2-} , Cl^- 이온을 고정, 흡착하는 특성을 갖는 것으로 알려진 아민카르복실 유도체와 디메틸에탄올아민 유도체, 이온교환수지를 사용하여 표 3.47, 48과 같이 중성환경과 콘크리트와 같은 알칼리 환경에서의 고정, 흡착 성능을 수용액에서의 이온크로마토그래피 분석실험을 통하여 확인하였다.

표 3.47 실험변수 (SO_4^{2-})

구분	수용액	첨가량 (g)		
		아민카르복실	디메틸에탄올아민	이온교환수지
1	증류수 50 ml + Na_2SO_4 1 mg	—	—	—
2		1	—	—
3		—	1	—
4		—	—	1
5	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 수용액 + Na_2SO_4 1 mg	—	—	—
6		1	—	—
7		—	1	—
8		—	—	1

표 3.48 실험변수 (Cl^-)

구분	수용액	첨가량 (g)		
		아민카르복실	디메틸에탄올아민	이온교환수지
1	증류수 50 ml + NaCl 1 mg	—	—	—
2		1	—	—
3		—	1	—
4		—	—	1
5	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 수용액 + NaCl 1 mg	—	—	—
6		1	—	—
7		—	1	—
8		—	—	1



수용액 제조



IC 장비 (Agilent HPLC 1100series)

그림 3.61 이온크로마토그래피 실험

(나) 실험결과

실험결과 그래프는 그림 3.62, 63에 나타내었다. 실험결과, 아민카르복실과 디메틸에탄올아민 및 이온교환수지의 유해이온 흡착성능은 유효한 것으로 나타났으나, 콘크리트와 유사한 pH환경으로 가정한 수산화칼슘 수용액 상에서의 흡착성능은 저감되는 것으로 확인되었다.

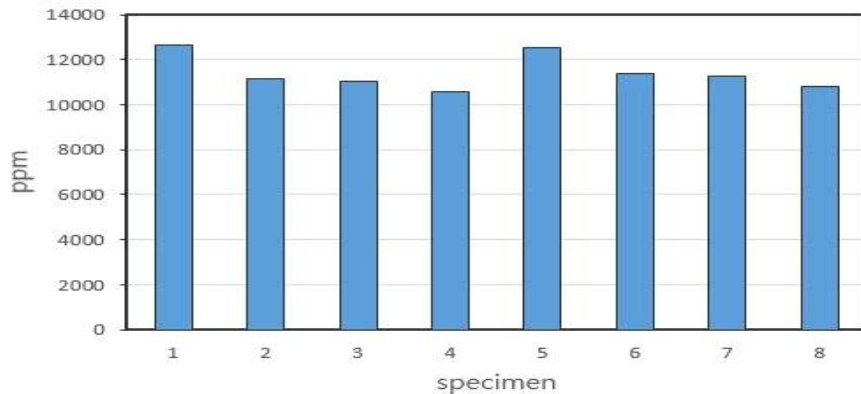


그림 3.62 실험결과 (SO_4^{2-})

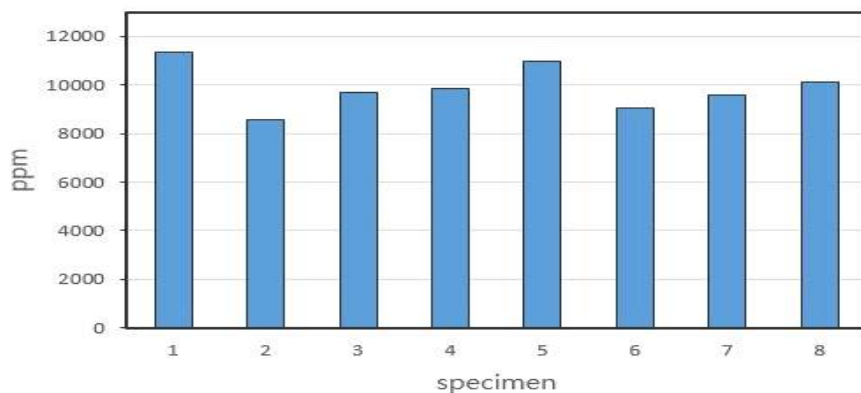


그림 3.63 실험결과 (Cl^-)

(다) 결론

이온크로마토그래피 실험을 통하여 콘크리트 유해요인인 SO_4^{2-} , Cl^- 이온을 고정, 흡착하는 특성을 갖는 것으로 알려진 아민카르복실 유도체와 디메틸에탄올아민 유도체, 이온교환수지를 사용하여 고정, 흡착성능을 확인한 결과, 세가지 성분 모두 황산이온 및 염소이온을 흡착하는 성능이 유효한 것으로 확인되었으나, 콘크리트와 같은 고알칼리 환경에서의 성능은 소폭 저감되나 이온 흡착을 통한 방청성분으로서 성능이 유효한 것으로 판단된다.

(2) 열화이온소재의 질산은 적정에 의한 전위차 실험평가

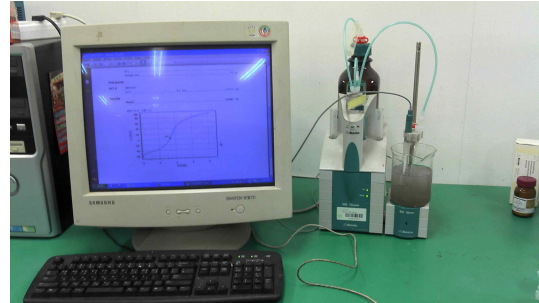
(가) 실험체 제작 및 실험방법

열화이온소재의 질산은 적정에 의한 전위차 시험은 철근부식에 관여하는 가용성 염분의 총량을 분석하여 경화체의 내구성능을 평가하는 것을 목적으로 한다. 염화물량 실험은 시멘트 내의 염화물량을 측정하며 KS F 2713 (콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 시험방법)에 따라 분석 시료를 채취하여 염분 분석 시험을 실시한다. 또한, 시멘트 페이스트를 제조하여 28일 양생 후 분말시료를 채취하여 진행한다.

유기계(아민계) 혼입량(염화물이온 농도와 방청성분의 몰비 4단계 0, 0.3, 0.6 1.2), 염화물이온 함유량 (Cl^- 1.2 kg/m^3 , 2.4 kg/m^3)이다. 40×40×160mm의 직사각형 몰드에 실험인자에 따라 제작한 W/C=40%의 시멘트 페이스트를 타설하여 제작한다. 또한, KS F 2561 표준을 준용하여 실험을 실시하였으며 추가로 부식촉진을 위하여 온도 80℃ RH=95% 1일, 80℃ RH=40% 1일, 총 2일을 1Cycle로 하여 5Cycle, 10Cycle에서의 염화물량을(가용성염화물량) 측정하였다.



오토클레이브 촉진부식



전위차적정장치로 염화물측정 모습

그림 3.64 전위차 실험

(나) 열화이온소재의 질산은 적정에 의한 전위차 실험결과

표 3.49의 시험결과에 나타난 바와 같이 방청성능 확보 기준을 부식전위 -350mV 이상으로 평가한 경우, 염화물이온함량 1.2 kg/m^3 일 때 방청몰비 0.3이상, 염화물이온함량 2.4 kg/m^3 에서는 방청몰비 0.6이상에서 각각 방청성이 있는 것을 알 수 있다. 열화이온소재인 유기계(아민계)를 혼입한 경우, 시멘트 페이스트 내에서 염화물이온을 고정화하는 능력을 평가하는 것으로 염화물이온함량 1.2 kg/m^3 , 2.4 kg/m^3 에서 철근의 부식에 영향을 미치는 가용성염화물량을 측정한 결과이다. 일반적으로 문제가 되는 염소이온 혼입 한계 범위인 1.2 kg/m^3 의 범위 내에서는 열화이온소재를 사용함으로써 철근의 부식을 방지하는 것이 가능하며, 철근부식에 직접적인 영향을 미치는 가용성 염화물은 열화이온 소재의 혼입량의 증가율과 다르게 감소되는 것으로 나타났다.

특히, 모든 부식촉진 조건에서 염화물이온 함유량 1.2 kg/m^3 와 2.4 kg/m^3 에서 열화이온 소재 혼입량에 따른 시험체에 대하여 콘크리트 내부에 존재하는 가용성 염화물을 크게 감소하는 것은, 유기계인 아민유도체가 염화물이온과 반응하여 염화물이 고정화되었기 때문으로 판단된다.

표 3.49 열화이온 소재의 혼입에 따른 염화물량 실험결과

번호	염화물 이온량	혼입량 (Molar ratio)	염화물량(%)		
			오토클레이브촉진	5cycle	10cycle
1	1.2 kg/m^3	0.0	0.008	0.0083	0.0079
2		0.3	0.0055	0.0064	0.0048
3		0.6	0.0037	0.0046	0.0021
4		1.2	0.0015	0.0031	0.0011
5	2.4 kg/m^3	0.0	0.0199	0.0207	0.0197
6		0.3	0.0181	0.0191	0.0175
7		0.6	0.0164	0.0173	0.0166
8		1.2	0.0098	0.0102	0.0086

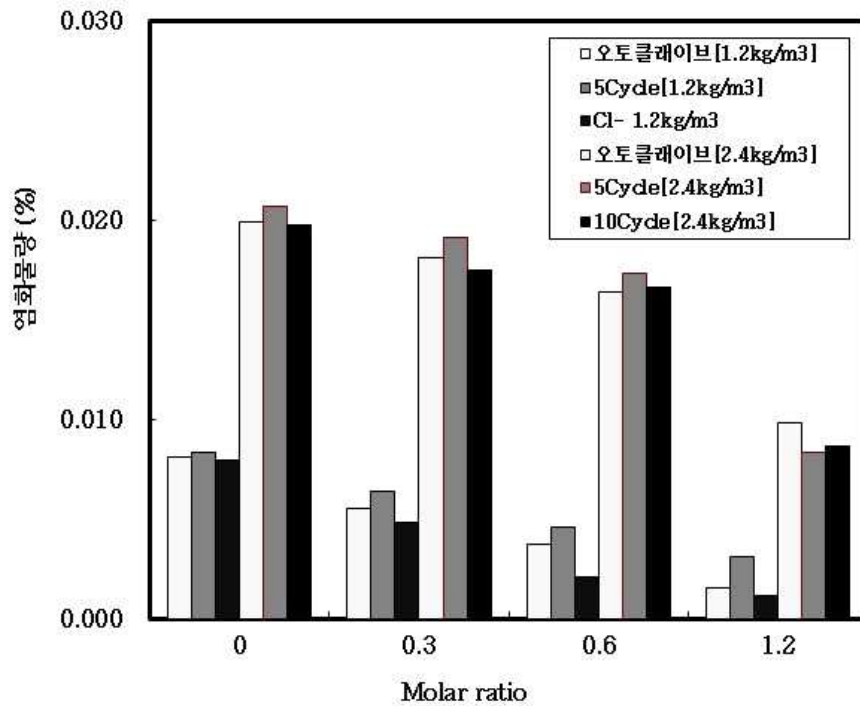


그림 3.65 열화이온 소재의 혼입에 따른 염화물량 시험결과

(다) 결론

- 1) 방청성능 확보 기준을 부식전위 -350mV 이상으로 평가한 경우, 염화물이온함량 1.2kg/m^3 일 때 방청물비 0.3이상, 염화물이온함량 2.4kg/m^3 에서는 방청물비 0.6이상에서 각각 방청성이 있는 것을 알 수 있다.
- 2) 열화이온소재인 유기계(아민계)를 혼입한 경우, 시멘트 페이스트 내에서 염화물이온을 고정화하는 능력을 평가하는 것으로 염화물이온함량 1.2kg/m^3 , 2.4kg/m^3 에서 철근의 부식에 영향을 미치는 가용성염화물량을 측정한 결과, 일반적으로 문제가 되는 염소이온 혼입 한계 범위인 1.2 kg/m^3 의 범위 내에서는 열화이온소재를 사용함으로써 철근의 부식을 방지하는 것이 가능하며, 철근부식에 직접적인 영향을 미치는 가용성 염화물은 열화이온 소재의 혼입량의 증가율과 다르게 감소되는 것으로 나타났다.
- 3) 이러한 모든 부식촉진 조건에서 염화물이온 함유량 1.2 kg/m^3 와 2.4 kg/m^3 에서 열화이온 소재 혼입량에 따른 시험체에 대하여 콘크리트 내부에 존재하는 가용성 염화물을 크게 감소하는 것은, 유기계인 아민유도체가 염화물이온과 반응하여 염화물이 고정화되었기 때문으로 판단된다.

(3) 열화이온소재의 수용액 내에서의 전기화학적 방식특성시험

본 실험에서는 열화이온소재 첨가량에 따른 수용액내에서 전기화학적 특성을 파악하기 위하여 Potentiostat를 이용하여 부식전위(E_{corr})와, 부식속도(Corrosion rate - CR), 부식전류를 측정함으로써 분극저항(Polarisation Resistance - Rp)을 산정하였다. 또한, 세공용액은 포화 수산화칼슘(용해도 0.82g/1L , 20°C)에 NaCl를 첨가하여 제조하였고, 염소이온 농도는(NaCl 첨가량)는 내구수명 예측을 위한 염화물이온함량 1.2kg/m^3 을 기준으로, 0.6kg/m^3 , 2.4kg/m^3 , 4.8kg/m^3 4수준으로 하였다. 열화이온소재는 종류별(무기계(아질산칼슘, 유기계 아민계로 염소이온함량에 따른 질산이온과 수산화 이온 각각의 몰비를 4단계(0.0, 0.3, 0.6, 1.2)로 하여 실험수준을 정하였다. 또한, 전기화학실험을 통해 부식특성에 따른 부식전위와 부식속도, 그리고 부식전류를 통한 분극저항을 측정하였다.

(가) 실험체 제작 및 실험방법

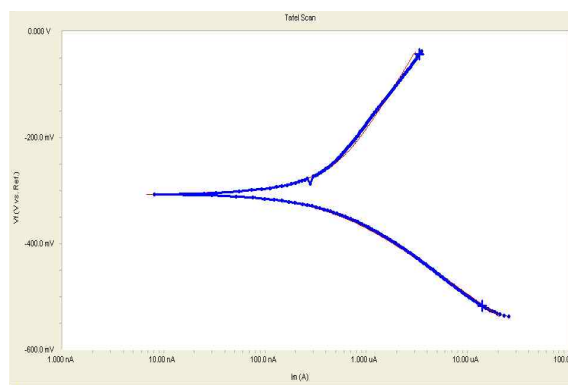
본 실험에서 사용된 전기화학적 실험기구는 Potentiostat를 이용하였으며 기준전극(Reference Electrode), 작동전극(Working Electrode), 보조전극(Counter Electrode)으로 구성되어 있는 실험 기구를 통하여 철근의 자연전위와 분극저항을 측정하였다. 철근의 부식을 측정하기 위하여 지름 D13mm의 원형철근을 길이 10mm로 절단하고 철근의 한쪽 단면에 전선을 납땜하였다. 그 후 전기화학적 특성값을 측정하는 단면(전선을 납땜한 반대쪽 철근단면)을 제외한 실험체의 다른 부분을 모두 실리콘으로 코팅하여 절연시켰다.

표 3.50 실험인자 및 수준

No.	Content of Cl^-	열화이온소재				Remarks
		무기계 (아질산계)		유기계(아민계)		
		Molar ratio	Addition	Molar ratio	Addition	
		$[2(\text{NO}_2^-)]/[\text{Cl}^-]$	kg/m^3	$[\text{OH}^-]/[\text{Cl}^-]$	kg/m^3	
1	0.6 kg/m^3	0	0.00	0	0.00	Saturation $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Solution (0.82g/L)
2		0.3	2.24	0.3	0.60	
3		0.6	4.47	0.6	1.19	
4		1.2	8.94	1.2	2.38	
5	1.2 kg/m^3	0	0.00	0	0.00	
6		0.3	4.47	0.3	1.19	
7		0.6	8.94	0.6	2.38	
8		1.2	17.89	1.2	4.76	
9	2.4 kg/m^3	0	0.00	0	0.00	
10		0.3	8.94	0.3	2.38	
11		0.6	17.89	0.6	4.76	
12		1.2	35.77	1.2	9.52	
13	4.8 kg/m^3	0	0.00	0	0.00	
14		0.3	17.89	0.3	4.76	
15		0.6	35.77	0.6	9.52	
16		1.2	71.55	1.2	19.04	



측정장비



타펠 곡선

그림 3.66 Potentiostat를 이용한 전기화학적 특성 실험과정

(나) 실험결과

본 시험결과는 표 3.51에 무기계(아질산계)와 유기계(아민계)의 열화이온 소재를 대상으로, 시멘트세공용액을 모사한 포화 수산화칼슘 수용액내에서 염화물이온 농도와 방청성분 물비를 변수로 하여 전기화학적 방법으로 방식성능 평가 시험결과를 나타낸다.

표 3.51 실험결과

No.	Content of Cl ⁻	무기계 (아질산계)			유기계(아민계)		
		Ecorr	CR	Rp	Ecorr	CR	Rp
		mV	mpy	Ωm^2	mV	mpy	Ωm^2
1	0.6 kg/m ³	-359	1.22	26.53	-359	1.22	26.53
2		-301	0.76	31.33	-312	0.28	100.00
3		-342	0.79	57.40	-309	0.22	118.18
4		-283	0.44	19.85	-288	0.13	129.35
5	1.2 kg/m ³	-381	1.33	21.85	-381	1.33	21.85
6		-338	1.22	58.82	-298	0.35	106.56
7		-297	0.99	59.63	-291	0.24	112.07
8		-301	0.55	83.07	-290	0.14	116.59
9	2.4 kg/m ³	-430	1.55	20.63	-430	1.55	20.63
10		-380	0.9	25.00	-324	0.27	82.28
11		-318	0.97	118.18	-278	0.22	192.59
12		-280	0.54	129.35	-302	0.14	206.35
13	4.8 kg/m ³	-438	1.76	17.33	-438	1.76	17.33
14		-383	1.6	38.35	-360	0.16	60.19
15		-385	1.1	79.03	-331	0.19	55.20
16		-349	0.4	97.74	-312	0.16	72.22

무기계(아질산계)와 유기계(아민계) 모두 방청몰비가 증가할수록 부식전위는 커지는 것을 알 수 있었다. 또한, 그림 3.47에 나타난 바와 같이 방청성능 확보 기준을 부식전위 -350mV 이상으로 평가한 경우, 무기계(아질산계)는 염화물이온함량 0.6kg/m³과 1.2kg/m³의 경우 방청몰비 0.3에서, 2.4kg/m³에서는 방청몰비 0.6에서, 4.8kg/m³에서는 방청몰비 1.2에서 방청성능을 확보하는 것으로 나타났다.

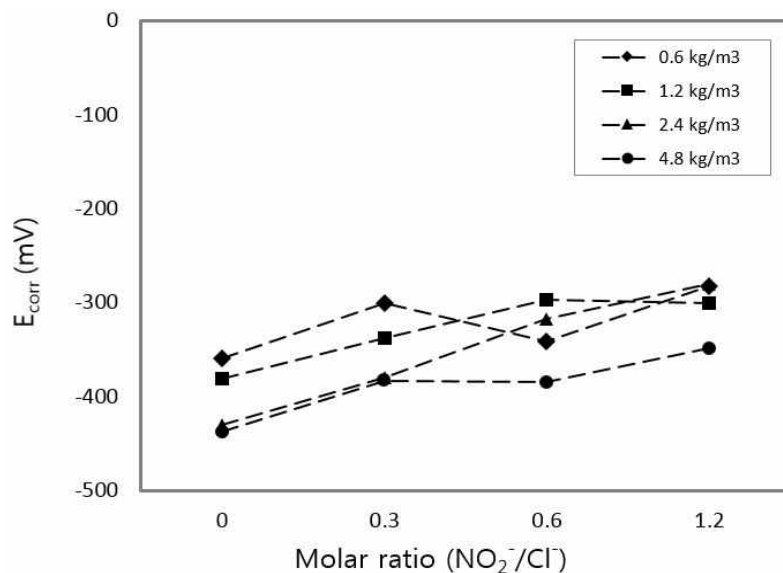


그림 3.67 무기계(아질산계)의 부식전위

그림 3.68은 유기계(아민계)의 방청물비에 따른 부식전위값을 나타낸 것이다. 유기계(아민계)의 경우에는 방청물비 0.3에서 부터 방청성능을 확보한 것으로 평가되어 무기계(아질산계)보다는 유기계(아민계)가 방식성능의 우수한 것으로 판단된다.

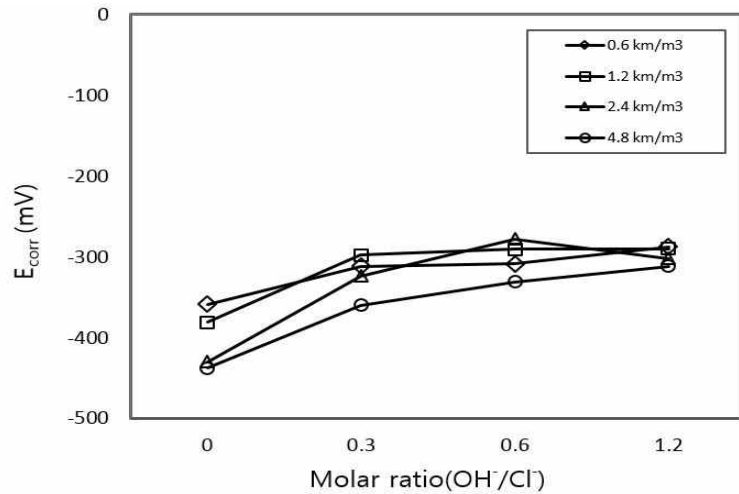


그림 3.68 유기계(아민계)의 부식전위

특히, 무기계(아질산계)는 염화물이온함량 1.2kg/m³ 이상부터 그 사용량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며, 이로 인해 콘크리트의 급결로 인한 시공성 저하 문제가 발생되기 때문에(Lee, H. S. et al, 2002) 대량으로 혼입하는 것은 어렵다고 판단된다.

그림 3.69은 무기계(아질산계)를 대상으로 방청물비에 따른 부식속도를 나타낸 것으로 방식성능 확보평가는 방식기준인 0.5mpy 이하를 기준으로 실시하였다(Manfredi, C. et. al, 1989). 방청물비가 커질수록 부식속도는 작아지는 경향을 나타내었으며, 특히 무기계(아질산계)에서는 방청물비가 1.2 이상이 되어야 방식기준 부식속도 0.5mpy를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 그림 3.70은 유기계(아민계)를 대상으로 방청물비에 따른 부식속도를 나타낸 것으로, 방청물비가 커질수록 부식속도는 작아지는 경향을 나타내었다. 특히 유기계(아민계)는 염화물이온함량 0.6kg/m³, 1.2kg/m³, 2.4kg/m³ 및 4.8kg/m³에 상관없이 방청물비 0.3 이상 사용시 부터 전부 부식속도가 급격히 0.5mpy이하로 나타나 소량의 사용으로 우수한 방청성능을 확보하는 것을 알 수 있었다.

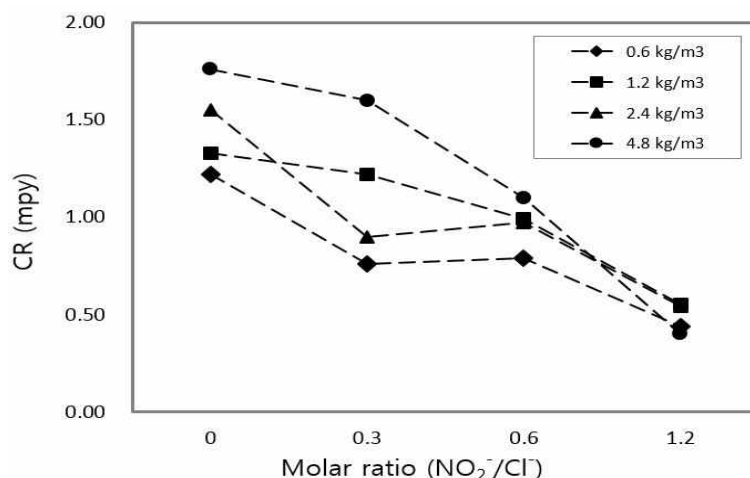


그림 3.69 무기계(아질산계)의 부식속도

따라서 무기계(아질산계)와 유기계(아민계)의 방청물비에 따른 부식전위와 부식속도를 분석한 결과, 무기계는 방청물비 약 1.2 이상에서 방식성능을 확보하는 것으로 나타났고, 유기계(아민계) 방청물비 약 0.3 이상에서 방식성능을 확보하는 것으로 나타났다. 이를 종합하여, 염화물이온이 함유된 수용액내에서 무기계(아질산계)보다는 유기계(아민계)가 소량 사용하여도 방청성능이 우수한 것으로 판단된다.

그림 3.71은 무기계(아질산계)를 대상으로 사용량에 따른 방청물비와 다음 식에서 산정한 분극저항값(R_p)과의 관계를 나타낸 것이다. $I_{corr} = K \cdot \frac{\Delta i}{\Delta E} = K \cdot \frac{1}{R_p}$ 식(1). 방청물비가 증가할수록 분극저항의 값은 전체적으로 커지는 경향을 나타낼 수 있었고, 특히 방청물비가 클수록 분극저항 측정값의 편차는 크게 나타나 분극저항을 방식성능의 지표로 평가하는 것은 부적절 하다고 판단된다. 이러한 이유는 아노드와 캐소드 분극곡선의 기울기가 선형이 아니기 때문에 실험자의 주관에 따라 부식전류(I_{corr})의 값이 다르게 나타나기 때문으로 판단된다. 그림 3.72는 유기계(아민계)를 대상으로 방청물비에 따른 분극저항값(R_p)을 나타낸 것이다. 방청물비가 증가할수록 분극저항의 값은 전체적으로 커지는 경향을 나타낼 수 있었고 분극 저항값의 편차가 큰 것은 무기계(아질산계)와 유사한 경향을 나타내고 있다.

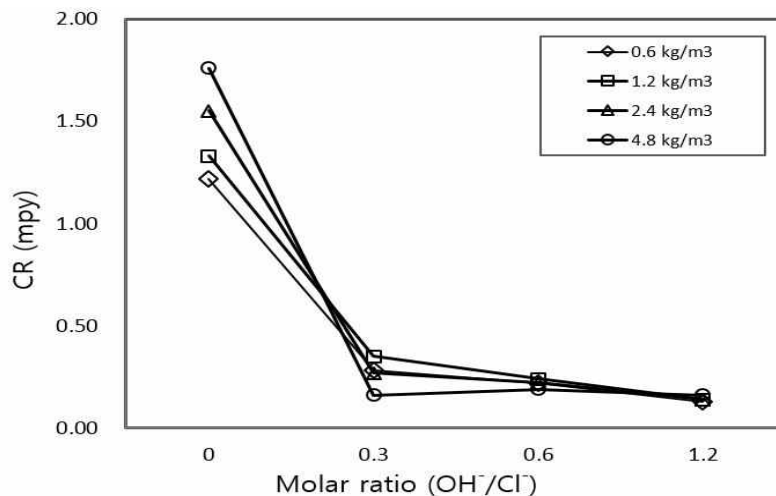


그림 3.70 유기계(아민계)의 부식속도

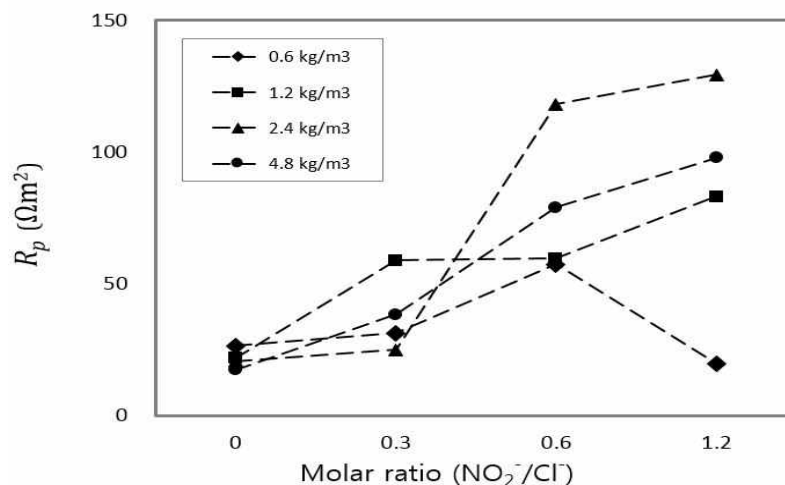


그림 3.71 무기계(아질산계)의 분극저항

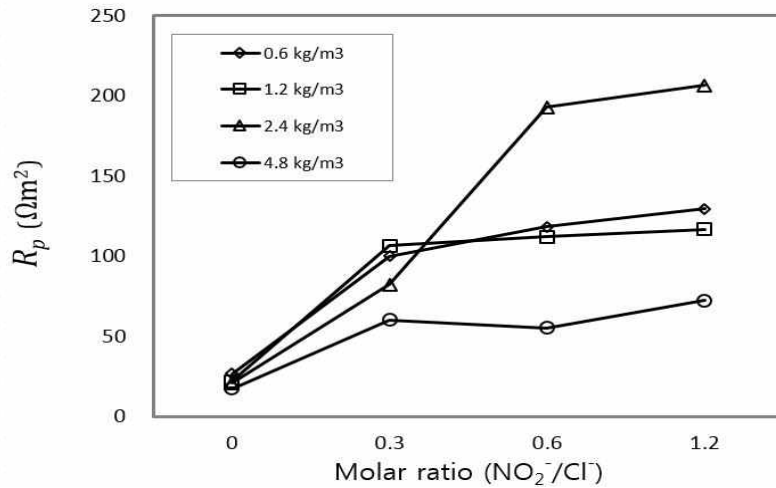


그림 3.72 유기계(아민계)의 분극저항

(다) 결론

열화이온소재의 수용액 내에서의 전기화학적 방식특성 실험평가를 실시한 결과, 열화이온소재인 무기계(아질산계)는 염화물이온함량 0.6kg/m³과 1.2kg/m³의 경우 방청몰비 0.3에서, 2.4kg/m³에서는 방청몰비 0.6에서, 4.8kg/m³에서는 방청몰비 1.2에서 방청성능을 확보하는 것으로 나타났다.

또한, 유기계(아민계)의 경우에는 방청몰비 0.3에서 부터 방청성능을 확보한 것으로 평가되어 무기계(아질산계)보다는 유기계(아민계)가 방식성능의 우수한 것으로 판단된다.

(4) 시차열 중량분석(TG-DTA)

(가) 실험방법 및 계획

TG(Thermogravimetry, 열중량법)-DTA(Differential Thermal Analysis, 시차열분석법) 분석법은 열분석법의 일종으로 온도를 서서히 높이면 온도변화에 대한 물질의 상태변화는 각각의 물질에 따라 특성이 다르기 때문에 이 과정에서의 상태변화를 조사함으로써 시료는 어떤 물질이 어느 정도 함유되어 있는가를 알 수 있다. 특히, 탄산칼슘 및 수산화칼슘을 정량하여 주로 탄산화의 정도를 정량적으로 파악하고자 할 때 유용하게 적용된다. 콘크리트가 고온에 노출되면 시멘트 경화체가 열을 받게 되며, 약 100℃ 정도까지는 특별한 변화 없이 콘크리트중에 포함된 수분이 증발, 건조된다. 100℃ 이상에서 250℃까지는 CSH 수화물의 층간수인 H₂O가 소실되어 CSH gel 수화물의 분해가 일어난다. 250~350℃에서는 Al₂O₃와 Fe₂O₃를 함유한 수화 생성물이 탈수하여 수축하기 때문에 미세한 마이크로 균열이 발생한다. 450~500℃가 되면 수산화칼슘 [Ca(OH)₂]중의 (OH) 결정수가 탈수하여 CaO로 분해가 일어나고, 850~950℃의 고열을 받으면 CaCO₃의 CO₂ 분해가 일어나게 된다. 이외에도 콘크리트 중의 골재나 수화물에 함유된 실리카 성분(SiO₂)이 온도 300℃ 부근에서는 1차 상태 변이를 일으키며, 이수석고(CaSO₄·2H₂O)는 120~150℃ 부근에서 반수석고(CaSO₄·1/2H₂O)로 변환된다.



시차열중량분석 실험인자 및 수준은 유기계 방청제의 혼입량에 따른 보수모르타르를 대상으로 하여 진행하였다. 표 3.52에 실험인자 및 수준을 정하였고, 표 3.53에 시험체의 배합표를 나타내었다.

표 3.52 실험 인자 및 수준

실험 인자	수준	비고
유기계 방청성분 함유량	0%, 2%, 4%	W/C(%) = 40% 28일
CO ₂ 농도	None 100%	

표 3.53 시험체 배합

구분		Mixture proportions	비고
비탄산화	A1	보수 모르타르 + Inhibitor 0%	W/C(%) = 40%
	B1	보수 모르타르 + Inhibitor 2%	
	C1	보수 모르타르 + Inhibitor 4%	
100% 탄산화	A2	보수 모르타르 + Inhibitor 0%	
	B2	보수 모르타르 + Inhibitor 2%	
	C2	보수 모르타르 + Inhibitor 4%	

(나) TG-DTA 평가 결과 및 분석

본 연구에서는 탄산칼슘 생성량을 이용하여 이산화탄소의 고정화 특성을 평가하였다. 수산화칼슘과 탄산칼슘의 정량은 초기 시료중량을 대상으로 수산화칼슘 및 탄산칼슘의 중량함유율(백분율)인 질량비를 분석하였으며, 온도별 TG-DTA 결과 그래프에 각각 온도 구간에서의 감량에 따른 수산화칼슘량, 탄산칼슘량 산정을 위한 간략 식을 표기하여 삽입하였다. 온도변곡점 선정은 본문에 기술되어 있는 바와 같이 기존 연구자들의 연구내용을 참고하여 450~500℃ 구간을 수산화칼슘 분해 구간, 850~950℃ 구간을 탄산칼슘 분해 구간으로 설정하여 각각의 결과치를 산출하였다.

TG-DTA 실험은 개발 모르타르 분체의 이산화탄소 고정화 특성을 확인하기 위한 실험으로서 실험체 중 탄산화된 부분에서 채취한 시료를 대상으로 실시하였다. 그 결과, B, C 시료의 CO₂ 흡수량이 많은 것으로 나타났다. 반면, 탄산화 깊이는 유기계방청제 혼입에 따른 탄산칼슘의 생성 증가가 실험체 외곽부의 시멘트 매트릭스 내의 공극을 충전하여 내부로의 이산화탄소의 침투를 억제하는 것으로 판단된다. 시차열중량분석 실험(TG-DTA)으로 수산화칼슘량, 탄산칼슘량을 산출하고 각각의 질량비와 고정화된 CO₂ 질량비를 계산하였다.

표 3.54 수산화칼슘 및 탄산칼슘 함유량 분석 결과

구분		탄산화 후 수산화칼슘량 (mg)	탄산화 후 탄산칼슘량 (mg)	탄산화 후 수산화칼슘 함유비 (%)	탄산화 후 탄산칼슘 함유비 (%)
None Carbonation	A1	5.34	2.40	17.70	7.96
	B1	3.14	3.54	13.61	15.36
	C1	2.81	6.71	13.00	31.05
100% Carbonation conditions	A2	3.26	7.37	12.07	27.31
	B2	3.90	9.15	12.24	28.73
	C2	2.69	8.98	11.39	37.95

표 3.55 탄산화 후 CO₂ 고정량 결과

구분	비탄산화 CO ₂ 고정량(%)	CO ₂ , 100% CO ₂ 고정량(%)
A	3.50	12.01
B	6.75	12.63
C	13.65	16.68

표 3.54과 표 3.55는 비탄산화, 100% 이산화탄소 농도에서 탄산화된 시료의 수산화칼슘, 탄산칼슘, 이산화탄소의 질량과 시료 무게에 관한 질량비를 나타낸 것이다. 물시멘트비 40%의 Type-A1(0%)와 비교하여 유기계 방청성분 혼입 시료 Type-B1(2%)와 Type-C1(4%) 모두 CO₂ 고정 메커니즘으로 인하여 탄산화 후 수산화칼슘량이 저감하고 탄산칼슘량은 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 생성된 탄산칼슘량으로 CO₂ 고정량을 산출한 결과, Type-B1과 Type-C1의 경우 방청성분 혼입으로 CO₂ 고정량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 3.73는 온도변곡점을 선정하여 분석한 TG-DTA 실험결과를 나타내고 있으며 그림 3.74 및 그림 3.75는 시료질량 대비 CO₂ 고정량 질량비를 나타내었다.

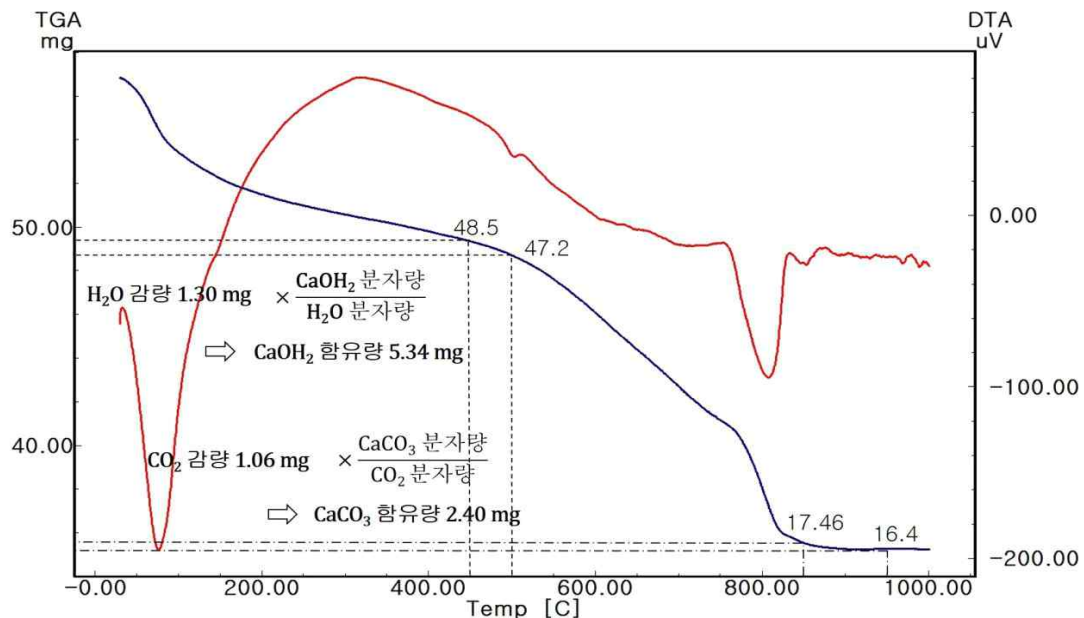


그림 3.73 TG-DTA 결과 (A1-비탄산화)

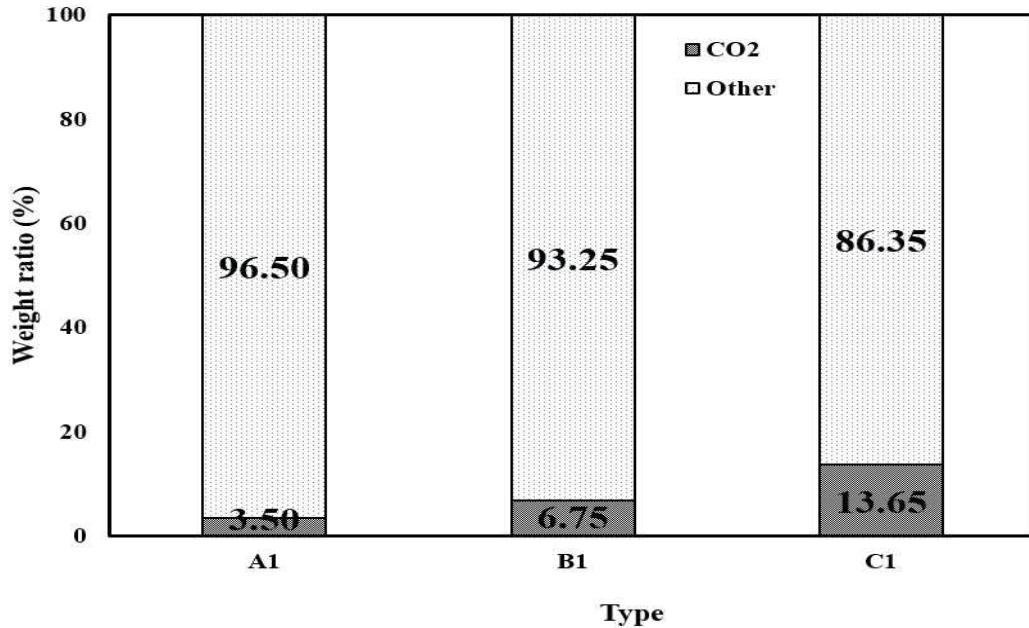


그림 3.74 전체질량 vs. CO₂ 고정질량 (비탄산화)

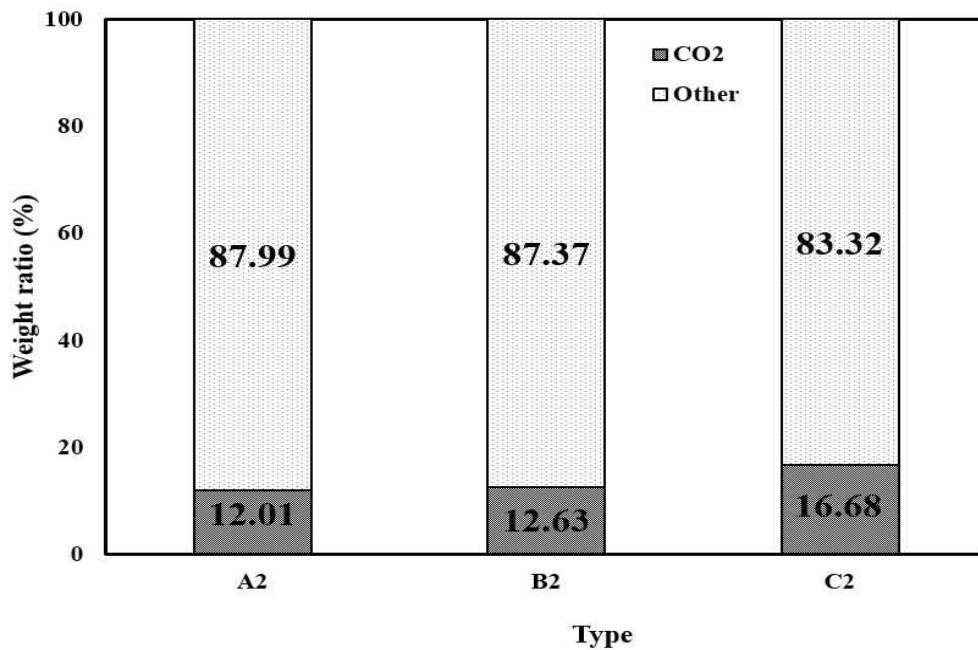


그림 3.75 전체질량 vs. CO₂ 고정질량 (100% 탄산화)

(다) 결론

물시멘트비 40%의 Type-A1(0%)와 비교하여 유기계 방청성분 혼입 시료 Type-B1(2%)와 Type-C1(4%) 모두 CO₂ 고정 메커니즘으로 인하여 탄산화 후 수산화칼슘량이 저감하고 탄산칼슘량은 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 생성된 탄산칼슘량으로 CO₂ 고정량을 산출한 결과, Type-B1과 Type-C1의 경우 방청성분 혼입으로 CO₂ 고정량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 방청성분 혼입에 따라 콘크리트 유해요인인 CO₂의 고정효과가 증가하는 것을 알 수 있었으나, 적정 혼입량 선정에 있어서 추후 모르타르 기본 성능 및 내구성 평가를 실시하여 최적의 혼입량을 결정할 필요가 있을 것이라 판단된다.

7. 내황산 보수 모르타르 내구성능 평가

(1) 실험개요

본 연구에서 개발된 내황산 보수 모르타르의 내구성능을 확인하기 위하여 콘크리트 구조물 열화요인에 대한 내구성능 평가를 실시하였다.

(가) 염화물 침투 저항성 평가

염화물 침투 저항성 평가는 콘크리트, 모르타르 또는 시멘트계 보수재료의 염분확산 계수를 결정하여 평가하는 방법으로 본 연구에서 개발된 내황산 보수 모르타르가 구조물 내구성에 치명적인 염분의 확산에 저항성이 있는지를 확인하고자 한다. 개발된 내황산 보수 모르타르의 염화물 침투 저항성을 평가하기 위하여 비교군으로 일반 모르타르와 기존 제품 2종을 선정하였다.

(나) 내화학적성 평가

본 연구에서 개발된 내황산 보수 모르타르는 하수 콘크리트 시설의 보수재로서의 목적을 가지기 때문에 하수 내의 알칼리 및 산에 의해 발생하는 화학적 침식에 대한 저항성을 가져야 한다. 본 절에서는 내알칼리, 내산성에 관한 평가를 위하여 알칼리 용액과 산성 용액에 모르타르 시험체를 침지 후, 압축강도를 측정하여 평가하였다.

(다) 탄산화 저항성 평가

이산화탄소(CO_2)와 염화물이온(Cl^-)이 고정되는 메커니즘을 규명하기 위하여 표 31과 같은 실험을 진행하였다. 표 3.56는 이산화탄소(CO_2)와 염화물이온(Cl^-) 고정화에 따른 실험계획 및 세부내용을 나타낸다.

표 3.56 실험계획 및 세부내용

고정화 메커니즘	실험내용
이산화탄소(CO_2) 고정화	탄산화깊이 측정실험
	탄산화 억제를 위한 보수 실험
	SEM-EDS
	TG-DTA

표 3.57 배합사항(중량비)

종류	배합비	비고
A	opc + 물	w/c = 40%
B	opc + 물 + A1(유기계 방청성분)-2%	
C	opc + 물 + A1(유기계 방청성분)-4%	
D	opc + 물 + A1(유기계 방청성분)-6%	
E	opc + 물 + 소석회계 10%	
F	opc + 물 + 소석회계 10% + A1(유기계 방청성분)-4%	
G	opc + 물 + 소석회계 10% + A1(유기계 방청성분)-4% + S1(SBR라텍스), 분체비 3:1	

(2) 실험 방법

(가) 염화물 침투 저항성 평가

① 전기영동시험

염화물 침투 저항성 평가는 NT Build 492의 시험방법에 준하여 실시하였다. 시험체는 $\phi 10 \times 5\text{cm}$ 원주형 공시체의 양단의 10~20mm정도를 잘라내고 $50 \pm 2\text{mm}$ 두께로 잘라 준비한다. 커팅 후 시편의 표면을 브러쉬로 거친 단면을 정리하거나 물로 표면을 씻어 준다. 시편이 표면건조상태가 되면 진공콘테이너나 진공처리를 하는 곳에 넣는다. 양 끝면이 모두 노출되도록 한다. 진공콘테이너에 있는 절대압력을 19~50mbar (1~5kPa)의 범위로 몇 분에 걸쳐 압력을 낮춘다. 진공펌프는 계속 가동이 되는 상태로 3시간을 유지한 뒤에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 포화용액(증류수에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 을 포화시켜 용해함)으로 시편이 잠기도록 채운다. 콘테이너에 공기가 들어가지 않도록 진공을 유지한다. 시편은 18 ± 2 시간 동안 용액속에 침지한다.

염화물 침투 시험 장치에 사용되는 음극용액은 10% NaCl, 양극용액은 0.3N NaOH 수용액이며, 시험체와 수용액을 장치에 위치시킨 후 전원을 올리고 30V를 인가한 후 각 시편의 초기전류를 기록한다. 또한 열전대로 각 양극용액의 초기 온도를 기록하고 6시간 후 실험을 종료한다.

염화물 침투깊이는 시험체를 축방향으로 할렬시켜 파단면에 0.1N의 질산은 용액을 분무하여 은백색의 염화물이 육안으로 석출될 때 버니어캘리퍼스로 침투깊이를 측정한다.

본 연구에서는 실험 결과, 측정되는 침투깊이 등으로 확산계수를 산출하기 위하여 Tang&Nilsson이 제안한 아래 식과 같은 비정상상태에서의 확산계수 산정법을 적용하였다.

$$D_m = \frac{RT}{zFE} \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t}$$

여기에서

$$E = \frac{U-2}{L}$$

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{2C_d}{C_0} \right)$$

D_m : 염소이온 확산계수(cm^2/sec)

R : 기체상수($R=8.314\text{J/Vmol}$)

T : 양극 용액의 평균 절대온도(K)

L : 시편의 두께(cm)

x_d : 염소이온 침투깊이(cm)

z : 이온의 원자가($z_{\text{Cl}}=1$)

F : Faraday 상수($F=96,481.04\text{J/Vmol}$)

U : 양극간 전압차(V)

t : 시험지속시간(sec)

erf^{-1} : error function

C_d : 질산은에 의한 변색 부분 염소이온 농도

C_0 : 음극 셀의 염소이온 농도

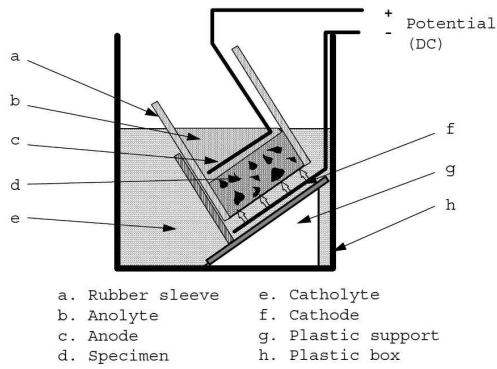


그림 3.76 염화물 침투 실험

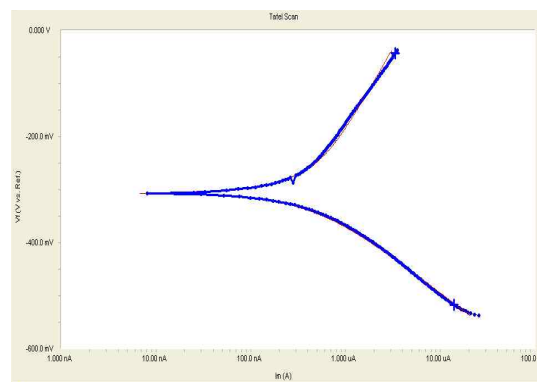
② pH에 따른 전기화학적 특성 실험

본 실험에서 사용된 전기화학적 실험기구는 Potentiostat를 이용하였으며 기준전극(Reference Electrode), 작동전극(Working Electrode), 보조전극(Counter Electrode)으로 구성되어 있는 실험 기구를 통하여 철근의 자연전위와 분극저항을 측정하였다. 철근의 부식을 측정하기 위하여 지름 D13mm의 원형철근을 길이 10mm로 절단하고 철근의 한쪽 단면에 전선을 납땜하였다. 그 후 전기화학적 특성값을 측정하는 단면(전선을 납땜한 반대쪽 철근단면)을 제외한 실험체의 다른 부분을 모두 실리콘으로 코팅하여 절연시켰다. 준비된 실험체는 표 3.56에서 기술된 실험수준의 수용액내에 침지시킨 후, 전기화학적 특성인 부식전위와 부식속도를 측정하였다. 본 실험에서는 부식전위 및 부식속도는 실험체를 수용액에 침지시킨 후 10분 경과한 후 측정하였는데 이는 수용액내에서 실험체가 안정한 상태로 안정된 후 실험을 실시하기 위함이었다.

또한, 포화 수산화칼슘 수용액내(pH 12.0 이상)에서 유기계 방청 성분의 전기화학적 방식특성과 수용액내 pH 8.0 ± 0.5 , pH(10.0 ± 0.5)에서의 전기화학적 방식특성을 평가하기 위하여 표 3.58과 같은 pH완충액을 제조하여 수용액내 pH를 조절한 후 실험을 실시하였다. 그림 3.77의 Potentiostat을 이용한 포화 수산화칼슘 수용액내의 전기화학 실험 과정을 사진으로 나타낸다.



a. Measurement



b. Tafel plotCorroded electrode

그림 3.77 Potentiostat를 이용한 전기화학적 특성 실험과정

표 3.58 pH 완충액

완충액 원액		조절 가능한 pH 범위
0.2M 인산 이수소칼륨용액 + 0.2M 수산화나트륨용액		5.8~8.0
0.2M 4붕산나트륨용액 + 0.1M 염산		7.6~10.2
0.2M 4붕산나트륨용액 + 0.1M 수산화나트륨용액		9.3~12.4
Na ₂ B ₄ O ₇	HCl	조절 가능한 pH 범위
250 ml	750 ml	8.0
950 ml	50 ml	10.1
Ca(OH) ₂ Solution (0.82g/L)		12.5

표 3.59 실험인자 및 수준과 시험결과

No.	Content of Cl ⁻	유기계 방청 성분				Remarks
		혼입량	수용액의 pH			
			pH 8.0	pH 10.1	pH 12.5	
			Ecorr(mV)	Ecorr(mV)	Ecorr(mV)	
1	0.0 kg/m ³	0 %	-530	-454	-414	Saturation Ca(OH) ₂ Solution (0.82g/L)
2		4 %	-464	-367	-319	
3		8 %	-395	-346	-285	
4	0.6 kg/m ³	4 %	-514	-442	-302	
5	1.2 kg/m ³	4 %	-462	-429	-286	
6	2.4 kg/m ³	4 %	-433	-406	-268	

③ 염화물이온 반응성[염화물량, 부식전위, 부식면적율]

본 실험은 아민유도체를 주성분으로 하는 유기계 방청 성분을 대상으로 염화물이온 [Cl⁻] 고정화 능력을 평가하기 위하여 고알칼리 유기계방청제 혼입량과 염분혼입량에 따른 염화물량과 부식전위, 부식면적율을 측정하여 염화물이온[Cl⁻]고정화의 메커니즘을 규명한다. 표 35에 실험요인과 수준을 나타낸다. 실험요인은 고알칼리 유기계(흡착형)방청제 혼입량 (염화물이온 농도와 방청성분의 물비 4단계 0, 0.3, 0.6 1.2), 염화물이온 함유량 (Cl⁻ 1.2 kg/m³, 2.4 kg/m³)이다. 40×40×160mm의 직사각형 몰드에 직경 10mm의 철근을 피복두께 100mm로 2개 배근하고 실험인자에 따라 제작한 W/C=40%의 시멘트 페이스트를 타설하여 제작한다. 또한, 콘크리트 시험체에 대하여 KS F 2561 표준을 준용하여 실험을 실시하였으며 추가로 부식촉진을 위하여 온도 80℃ RH=95% 1일, 80℃ RH=40% 1일, 총 2일을 1Cycle로 하여 5cycle, 10cycle에서의 부식전위와 부식면적율, 염화물량을(가용성염화물량, 전염화물)측정함으로서 염화물이온[Cl⁻]고정화의 메커니즘을 규명한다.

표 3.60 실험인자 및 수준

실험 인자	실험 수준	비고
방청제 종류	고알칼리 유기계방청제	
방청제 혼입량	염화물이온 농도와 방청성분의 몰비 4단계 (몰비 0, 0.3, 0.6 1.2)	
염화물이온 혼입량	Cl^- 1.2 kg/m ³ , 2.4 kg/m ³	
촉진방법 및 촉진시기	오토클레이브 부식촉진(KS F 2561), 5Cycle, 10Cycle	
측정항목	부식전위, 부식면적율, 가용성 염화물량, 전염화물	

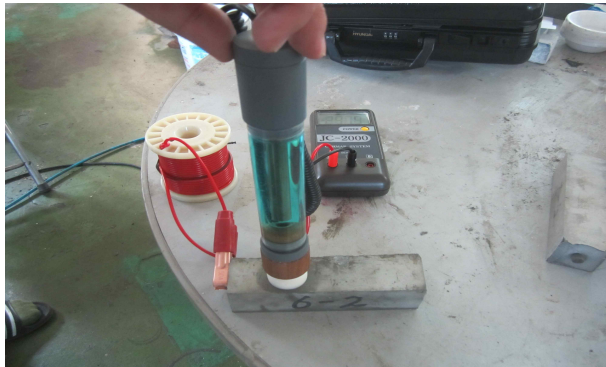


그림 3.78 자연전위 측정 모습



그림 3.79 고온고습 부식촉진 모습(오토클레이브)



그림 3.80 철근부식 촉진 Cycle(항온항습챔버)

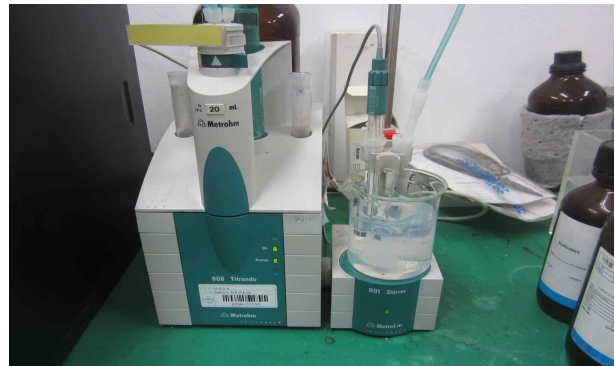


그림 3.81 전위차적정장치로 염화물측정 모습

(나) 내화학적 평가

내화학적 평가 실험은 압축강도 시험체를 대상으로 알칼리성의 포화 수산화칼슘 용액, 산성의 황산나트륨 수용액에서 28일 동안 침지시킨 후, 젖은 형검으로 싸서 상온으로 냉각시킨 후 압축강도를 측정하였다.



그림 3.82 내화학적 평가 실험

(다) 중성화 저항성 평가

① 탄산화 침투깊이 측정

탄산화 저항성 시험은 KS F 4042 및 KS F 2584 표준에 준하여 실시하였다. 시험체 제작은 40×40×160mm의 몰드에 배합비에 맞춰 혼합한 시료를 타설 한 후 온도 20±3℃, 습도 80% 이상에서 24시간 양생한다.

탄산화 저항성 시험은 습도 80%, 온도 40℃, CO₂농도 100%로 setting된 촉진 중성화 시험기에 넣은 후 재령 7일, 14일, 21일, 28일 동안 중성화 시킨다. 각 재령일 맞춰 꺼내어 단면을 절단하고 절단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정한다.



(a) 100% 탄산화



(b) 탄산화 깊이 측정

그림 3.83 탄산화 시험

② 탄산화 억제를 위한 보수 실험

본 실험에서는 그림 3.84에 나타난 바와 같이 시험체는 100x100x400mm의 직사각형으로 유기계 방청제와 방청 모르타르, 세라믹마감재를 시공 할 1면을 제외하고는 5면에 에폭시 수지를 이용하여 실링을 실시하였다. 시험 변수에 따라 각 재료를 도포 시공하고 KS F 2484(콘크리트의 촉진 탄산화 시험 방법)에 준하여 시험을 진행하였다. 다음 표 3.61에 시험체를 제작한 콘크리트의 배합표 및 압축강도 시험결과를 나타낸다.

표 3.61 콘크리트 배합표

W/C (%)	s/a (%)	Slump (mm)	Air (%)	Unit weight(kg/m ³)					압축강도(28d) (MPa)
				W	C	S	G	AD	
65	49.0	150	5.0	176	288	925	903	0.6	21

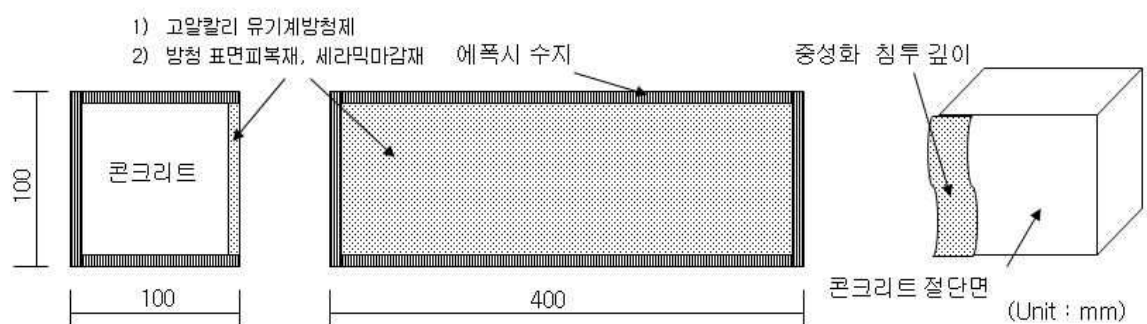


그림 3.84 탄산화 억제를 위한 보수 시험용 시험체의 형상 및 크기

시험체는 콘크리트 타설 후 1일에서 탈형하고 20℃에서 4주까지 습윤 상태에서 양생을 실시하였다. 그 후 7일간 20℃에서 건조시킨 후, 재령 14일 까지 촉진 탄산화 시험을 실시하였다. 이후 각 4개의 시험체 대하여 탄산화 침투깊이를 각각 측정하고 ① 무도포 ② 유기계 방청제 ③ 유기계 방청제+방청 모르타르 ④ 유기계 방청제 + 방청 모르타르 + 세라믹 마감재로 구성되는 공법을 실시하여 20℃에서 1일간 양생한 후 에폭시 수지로 실링을 실시하고 1일간 건조 시켰다. 그 후 다시 소정재령까지 촉진 탄산화 시험을 실시하였다. 촉진 재령은 7일, 14일, 21일, 28일로 하였다. 촉진 중성화 조건은 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, RH $(60 \pm 5)\%$, CO_2 농도 $(20 \pm 0.2)\%$ 조건으로 실시하였다. 또한, 시험체는 소정재령에서 U.T.M을 이용하여 할렬하고 할렬면에 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 침투 깊이를 한면 8점을 측정하여 평균값을 산정 하였다. 또한, 시험이 종료한 후 할렬면을 에폭시 수지로 다시 실링한 후 소정재령까지 중성화 촉진 시험을 실시하였다.

③ TG-DTA

방청 모르타르의 시차 열 중량 분석(Thermogravimetric: TG / Differential Thermal Analysis: DTA)에서는 7종류의 배합에 대하여 지름 100mm, 두께 1~2mm의 시험체를 제작하여 양생온도($20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 습도 80% 이상에서 24시간 경과 후 탈형하여 재령 28일까지 온도 $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$, 습도 $(60 \pm 10)\%$ 에서 양생한다. 이후 중성화 전의 일반 대기상태의 시험체와 100% 중성화시킨 시험체에 대하여 각각 시료와 기준물질들 하나의 가열로(furnace) 내에서 가열시켜 시료와 불활성 기준물질간의 온도차이(temperature difference)를 열전쌍(thermocouple)으로 측정하며, 시료의 열적 변화를 관심 온도 영역에서 열적 변화를 일으키지 않는 불활성 물질과 비교함으로써 시료의 온도는 시료의 절대 온도만이 측정될 때 보다 더욱 정확하게 측정될 수 있다. 또한, 시료에 온도프로그램을 가하여 시료의 질량변화(changes in mass)를 시간이나 온도의 함수로써 측정한다.

표 3.62 온도 구간별 분해 물질

온도 구간($^{\circ}\text{C}$)	분해 물질
-110	물리적으로 포함된 물, 에트링 가이트($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)
110-300	칼슘 실리케이트 수화물($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
290-350	칼슘 알루미네이트 실리케이트 수화물, 칼슘 알루미네이트 수화물($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, or $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$), 칼슘 클로로알루미네이트 수화물($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
400-510	수산화 칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
700-750	탄산 칼슘(CaCO_3)

TG/DTA 측정으로 알 수 있는 결과는 곡선에 의해 세 가지 온도 구간을 설정할 수 있다. 영역 1은 $100 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 구간으로 C-S-H와 에트링가이트가 분해되는 구간이다. 이온도 구간에서 C-S-H가 CaO와 SiO_2 비에 따라 물을 잃고 분해된다. 영역 2는 $290 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 구간이고, 칼슘 알루미네이트 실리케이트 수화물과 칼슘 알루미네이트, calcium chloroaluminate 수화물이 분해된다. 영역 3은 $450 \sim 510^{\circ}\text{C}$ 구간이고 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 분해 구

간이다. 700℃부근에서 나타나는 흡열 구간은 수화물 내의 CaCO_3 의 분해를 의미한다. 그 시편을 미분으로 만들어 Shimadз 사의 분석 장비를 사용하여 백금 용기에 40~50mg을 넣어 25℃에서 1000℃까지 TG/DTA를 동시에 실시하였다. 온도 상승 속도는 50~400℃까지는 20℃/min, 400~1000℃까지는 10℃/min로 설정하였고, 완충 기체로 질소를 투입하였다. 참고 시료로는 알루미나 분말을 사용하였다. DTA 곡선에서 급격한 흡열을 보이는 온도 구간은 400~450℃ 사이였으며, 이 구간에서 수화 반응에 의해 생성된 Ca(OH)_2 가 분해되는 것을 의미한다. DTA 곡선의 흡열에 해당하는 온도 구간의 질량 감소율을 측정하면 수산화칼슘을 정량 분석한다.

(3) 실험 결과

(가) 염화물 침투 저항성 평가

① 전기영동시험

NT Build 492의 시험방법에 준하여 실시한 염화물 침투 저항성 실험의 결과를 표 3.63과 3.64에 나타내었다. 일반 모르타르에 비해 기존제품 및 개발제품의 확산계수가 작은 것으로 나타났으며, 이는 혼입된 수지 및 바인더, 골재의 조합이 내부 구조를 치밀하게 만들어 염화물 침투에 관하여 높은 저항성을 갖는 것으로 사료된다.

표 3.63 염화물 침투 저항성 실험 결과

시험체명	초기전압 (V)	Z	초기전류 (A)	U(V)	시간(s)	T(K)	시편두께 (m)
일반 모르타르	30	1	0	30	86400	292	0.04445
기존제품 1	30	1	0	30	86400	292	0.04677
기존제품 2	30	1	0	30	86400	292	0.04735
개발 모르타르	30	1	0	30	86400	292	0.04537

표 3.64 염화물 침투 깊이 및 확산계수 결과

시험체명	염분침투깊이(m)								D_{nssm} (m^2/s)
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	평균	
일반 모르타르	0.02234	0.02132	0.02056	0.02154	0.02334	0.02571	0.02321	0.022574	$9.31\text{E}-12$
기존제품 1	0.01222	0.01132	0.01355	0.01211	0.01374	0.01403	0.01123	0.012600	$5.22\text{E}-12$
기존제품 2	0.01526	0.01015	0.01064	0.01168	0.01242	0.01322	0.01072	0.012012	$5.01\text{E}-12$
개발 모르타르	0.01009	0.01183	0.01202	0.01145	0.01324	0.01079	0.01055	0.011424	$4.57\text{E}-12$

② pH에 따른 전기화학적 특성 실험

그림 3.85과 그림 3.86는 유기계 방청성분을 대상으로 혼입량과 pH에 따른 부식전위를 나타낸 것이다. 염화물이온함량 $[\text{Cl}^-]$ 0.0kg/m³일 때 유기계 방청성분 혼입량에 따른 부식전위를 측정한 결과 방청제 혼입량이 증가할수록 부식전위는 커지는 것을 알 수 있었다.

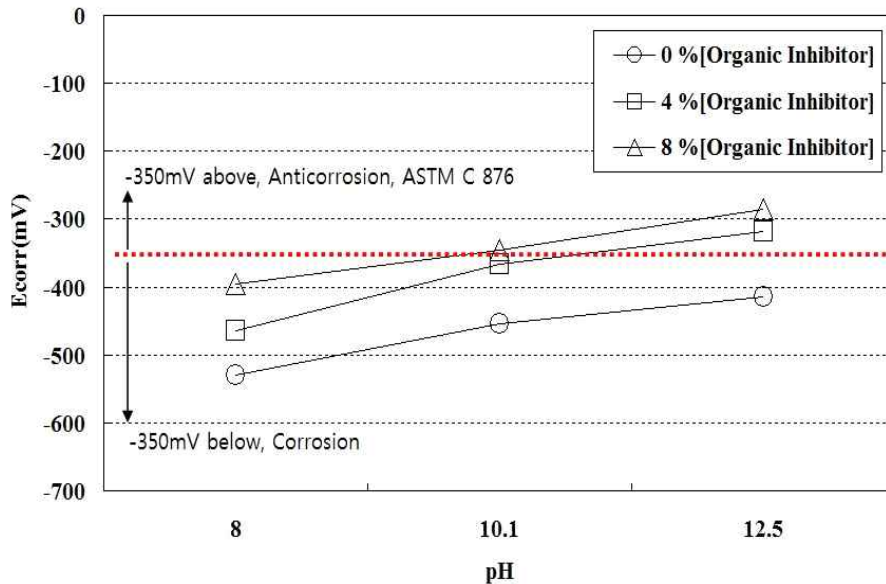


그림 3.85 고알칼리 방청제 혼입량에 따른 pH에서의 부식전위

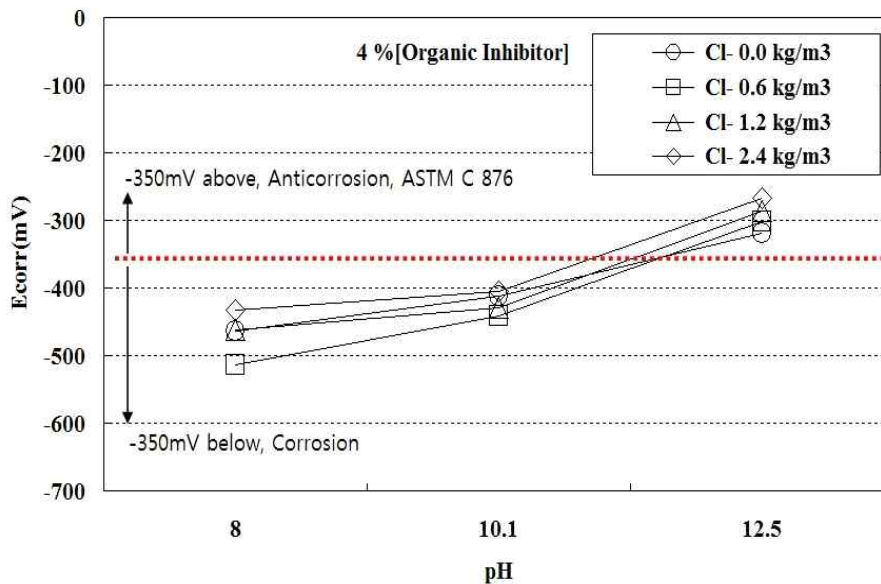


그림 3.86 염화물 함유량에 따른 pH에서의 부식전위

또한, 유기계 방청성분을 각각 0%, 4%, 8% 혼입한 경우 동일 pH범위 내에서 부식전위는 혼입량이 많을 경우 부식전위가 커지는 것으로 나타났고 pH가 10.0 이상 에서 그림 38에 나타난 바와 같이 방청성능 확보 기준을 부식전위 -350mV 이상으로 평가한 경우, 각각 방청성이 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 유기계 방청성분은 염화물이온함량[Cl⁻] 0.0kg/m³에도 부식억제에 관여하여 방청성능의 우수함을 확인하였다.

③ 염화물이온 반응성

표 3.65, 66, 67에 실험결과를 나타낸다. 또한, 그림 3.87은 방청성분 혼입율과 철근 부식면적율과의 관계를 나타낸 것이다. KS F 2561를 준용한 오토클레이브 부식촉진 시험방법을 포함하여 모든 시험체의 경우 방청성분 혼입율이 커지면 철근 부식 면적율은 급격하게 저하하여 방청제의 효과가 명확히 나타났다. 그림 3.88은 방청성분 혼입율 (Molar ratio)과 부식전위와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 3.89에서 알 수 있듯이 오

토클레이브촉진과 5Cycle, 10Cycle의 부식촉진에서 방청제의 물비가 증가할수록 부식 전위는 커지는 것을 알 수 있었으며 또한, 그림 3.88에 나타난 바와 같이 방청성능 확보 기준을 부식전위 -350mV 이상으로 평가한 경우, 염화물이온함량 1.2kg/m³ 일 때 방청물비 0.3이상, 염화물이온함량 2.4kg/m³에서는 방청물비 0.6이상에서 각각 방청성이 있는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3.89는 아미노알콜유도체를 주성분으로 하는 유기계 방청성분이 시멘트 페이스트내에서 염화물이온을 고정화하는 능력을 평가하는 것으로 염화물이온함량 1.2kg/m³, 2.4kg/m³에서 철근의 부식에 영향을 미치는 가용성염화물량을 측정한 결과이다. 일반적으로 문제가 되는 염소이온 혼입 한계 범위인 1.2 kg/m³의 범위 내에서는 유기계 방청성분을 사용함으로써 철근의 부식을 방지하는 것이 가능하다.

아민유도체를 주성분으로 하는 유기계 방청성분의 염화물 이온 고정 능력을 평가하기 위해 염화물이온 함유량 1.2 kg/m³ 와 2.4 kg/m³에서 방청제 혼입에 따른 시험체에 대하여 가용성 염화물을 측정한 결과, 철근부식에 직접적인 영향을 미치는 가용성 염화물은 유기계 방청성분의 경우 방청제 혼입량의 증가율과 다르게 감소되는 것으로 나타났다. 유기계 방청성분은 염화물이온 고정화로 염분에 대한 방청효과가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

특히, 모든 부식촉진 조건에서 염화물이온 함유량 1.2 kg/m³ 와 2.4 kg/m³에서 방청제 혼입량에 따른 시험체에 대하여 콘크리트 내부에 존재하는 가용성 염화물을 크게 감소시키는 것은 친환경 유기계 방청성분의 주성분인 아민유도체가 염화물이온과 반응하여 염화물이 고정화되었기 때문으로 판단된다. 이상과 같이 아미노알콜유도체를 주성분으로 하는 유기계 방청성분의 염화물 차단성능과 염화물 고정화 성능을 평가한 결과 염화물이 고정화되어 콘크리트 내부에 존재하여 철근부식에 관여하는 가용성염화물량을 감소시키는 것으로 확인되었다.

표 3.65 방청성분의 방청 성능 실험 결과표(KS F 2561-오토클레이브촉진)

번호	염화물 이온량	방청성분혼입량 (Molar ratio)	부식전위 (mV, CSE)	부식 면적율(%)	가용성 염화물량(%)		비고
					가용성염화물	전염화물	
1	1.2 kg/m ³	0.0	-377	14.6	0.0080	0.0413	Plain
2		0.3	-349	12.2	0.0055	0.0377	
3		0.6	-337	4.7	0.0037	0.0375	
4		1.2	-314	2.7	0.0015	0.0309	
5	2.4 kg/m ³	0.0	-395	24.5	0.0199	0.0997	Plain
6		0.3	-350	10.0	0.0181	0.0873	
7		0.6	-338	5.7	0.0164	0.0769	
8		1.2	-312	2.1	0.0098	0.075	

표 3.66 방청성분의 방청 성능 실험 결과표(5cycle)

번호	염화물 이온량	방청성분혼입량 (Molar ratio)	부식전위 (mV, CSE)	부식 면적율(%)	염화물량(%)		비고
					가용성염화물	전염화물	
1	1.2 kg/m ³	0.0	-358	6.4	0.0083	0.0424	Plain
2		0.3	-343	5.4	0.0064	0.0386	
3		0.6	-317	2.1	0.0046	0.0372	
4		1.2	-298	1.8	0.0031	0.0303	
5	2.4 kg/m ³	0.0	-401	11.8	0.0207	0.0969	Plain
6		0.3	-359	10.2	0.0191	0.0897	
7		0.6	-346	9.7	0.0173	0.0758	
8		1.2	-309	1.7	0.0102	0.0752	

표 3.67 방청성분의 방청 성능 실험 결과표(10cycle)

번호	염화물 이온량	방청성분혼입량 (Molar ratio)	부식전위 (mV, CSE)	부식 면적율(%)	염화물량(%)		비고
					가용성염화물	전염화물	
1	1.2 kg/m ³	0.0	-380	18.3	0.0079	0.0401	Plain
2		0.3	-361	16.0	0.0048	0.0374	
3		0.6	-346	9.3	0.0021	0.0368	
4		1.2	-311	18.8	0.0011	0.0314	
5	2.4 kg/m ³	0.0	-392	2.9	0.0197	0.0967	Plain
6		0.3	-377	18.7	0.0175	0.0866	
7		0.6	-352	16.7	0.0166	0.0811	
8		1.2	-322	2.2	0.0086	0.0746	

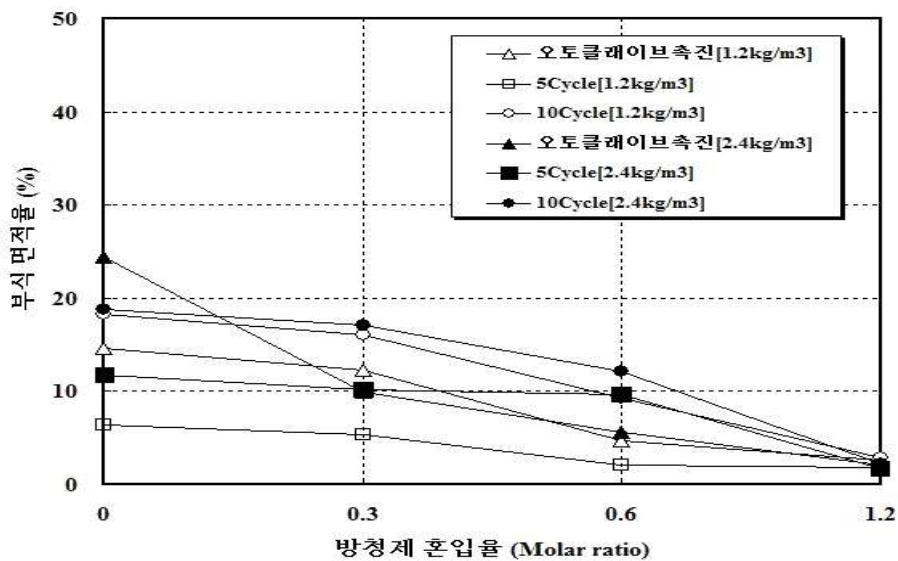


그림 3.87 방청성분 혼입율(Molar ratio)과 철근 부식 면적률과의 관계

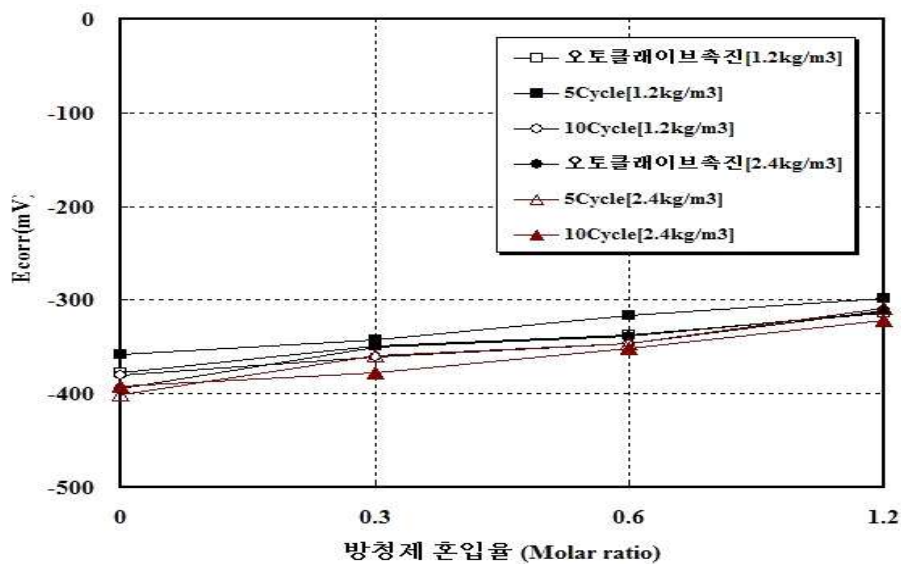


그림 3.88 방청성분 혼입율(Molar ratio)과 부식전위와의 관계

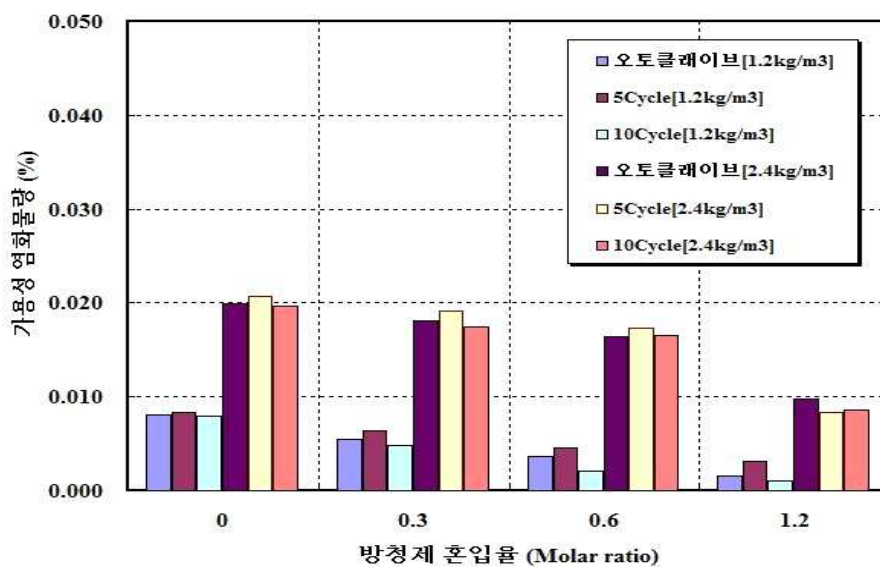
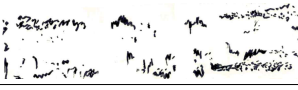
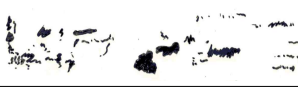
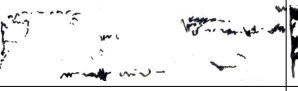
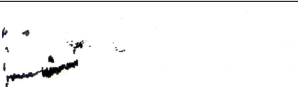
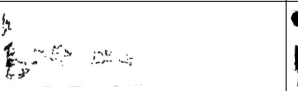
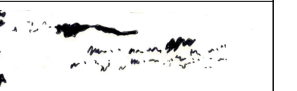
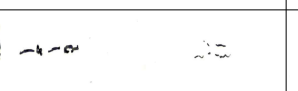
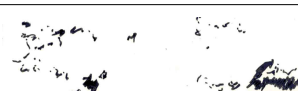
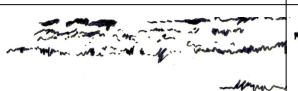
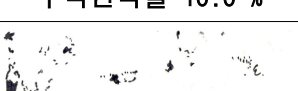
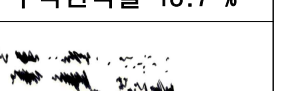
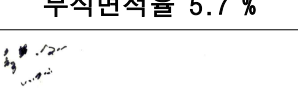
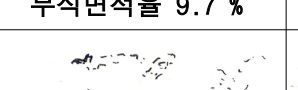
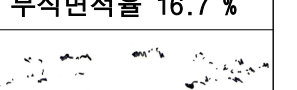


그림 3.89 방청성분 혼입율(Molar ratio)과 가용성염화물량과의 관계

표 3.68 부식면적율

번호	염분	방청성분 혼입량 (Molar ratio)	부식 상황		
			오토클레이브 촉진	5Cycle	10Cycle
1	1.2 kg/m ³	0.0			
			부식면적율 14.6 %	부식면적율 6.4 %	부식면적율 18.3 %
2		0.3			
			부식면적율 12.2 %	부식면적율 5.4 %	부식면적율 16.0 %
3		0.6			
			부식면적율 4.7 %	부식면적율 2.1 %	부식면적율 9.3 %
4		1.2			
			부식면적율 2.7 %	부식면적율 1.8 %	부식면적율 18.8 %
5	2.4 kg/m ³	0.0			
			부식면적율 24.5 %	부식면적율 11.8 %	부식면적율 2.9 %
6		0.3			
			부식면적율 10.0 %	부식면적율 10.2 %	부식면적율 18.7 %
7		0.6			
			부식면적율 5.7 %	부식면적율 9.7 %	부식면적율 16.7 %
8		1.2			
			부식면적율 2.1 %	부식면적율 1.7 %	부식면적율 2.2 %

(나) 내화학적 평가

표 3.69는 내화학적 실험을 실시한 결과이다. 28일간 알칼리 용액과 산성 용액에 침지한 시험체의 압축강도를 측정한 결과, 모든 시험체가 KS F 4041의 기준을 만족하는 것으로 나타났으나, 산성 용액에서의 강도저하가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 치밀한 구조를 갖는 기존제품과 개발 모르타르의 강도 저하는 혼입된 수지의 용해로 발생하는 것으로 사료된다.

표 3.69 내화학적 실험 결과

구분			일반 모르타르	기존제품 1	기존제품 2	개발 모르타르
압축강도 (N/mm ²)	내알칼리성	20.0 이상	26.8	37.2	41.5	43.7
	내산성	20.0 이상	23.5	32.4	38.2	40.8

(다) 이산화탄소(CO₂) 고정 메커니즘

① 탄산화 침투깊이 측정

탄산화는 강알칼리성을 띠는 콘크리트가 대기 중의 탄산가스의 침투로 인해 강알칼리성에서 중성으로 변해가는 것이다. 콘크리트 분야에서는 페놀프탈레인 시약을 분무하여 확인하는 방법으로 콘크리트의 탄산화 현상을 확인한다.

시험 결과, 유기계 방청성분의 혼입에 따라 탄산화 깊이가 증가하는 것을 확인할 수 있었으나, 마지막 G 시험체의 경우 SBR라텍스 성분이 외부 요인을 차단하기 때문에 침투 저항성이 높은 것으로 나타났다.

표 3.70 탄산화깊이 측정 결과

CO ₂ 농도	시험체	촉진탄산화 기간				
		3d	7d	14d	21d	28d
20%	A	-	1.11	1.48	2.75	2.97
	B	-	1.64	2.18	3.39	4.25
	C	-	1.77	2.91	3.58	4.57
	D	-	2.37	4.35	4.66	5.49
	E	-	3.49	5.75	6.12	7.23
	F	-	4.20	5.96	6.19	8.62
	G	-	0.28	1.34	2.22	2.74
100%	A	3.21	5.79	6.30	7.41	8.64
	B	3.83	6.35	6.74	8.52	8.91
	C	4.21	6.95	7.75	8.86	9.83
	D	5.56	7.21	8.06	9.12	10.12
	E	5.33	7.27	9.80	10.87	11.75
	F	8.93	10.25	12.75	13.56	14.31
	G	3.10	4.52	6.01	7.03	7.88

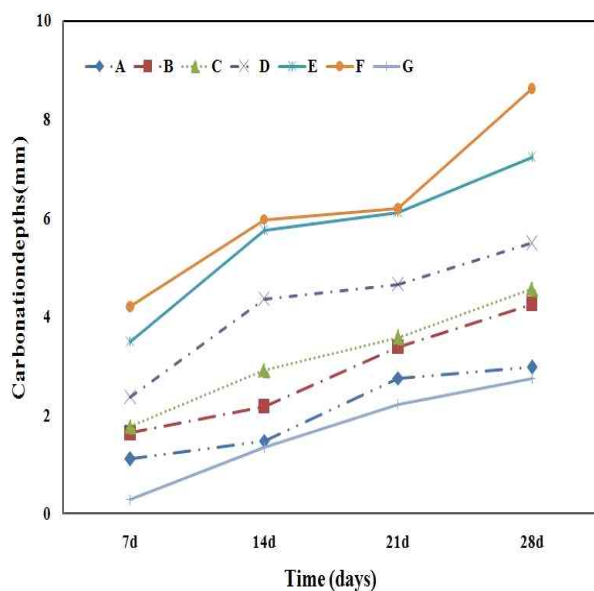


그림 3.90 탄산화깊이 측정 결과 (20%)

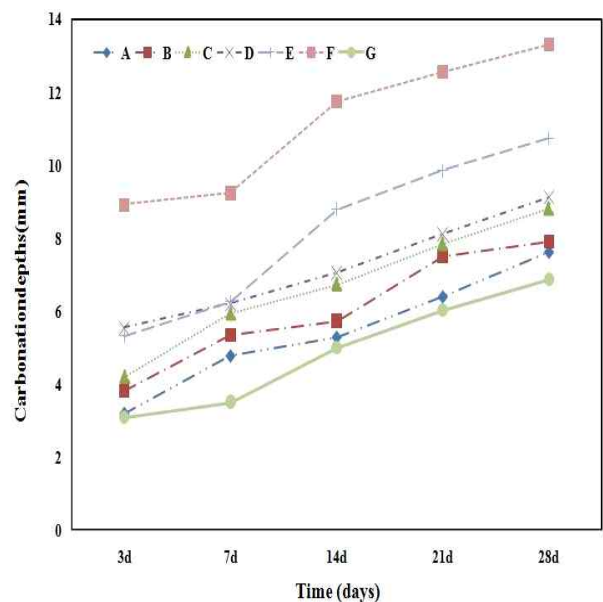


그림 3.91 탄산화깊이 측정 결과 (100%)

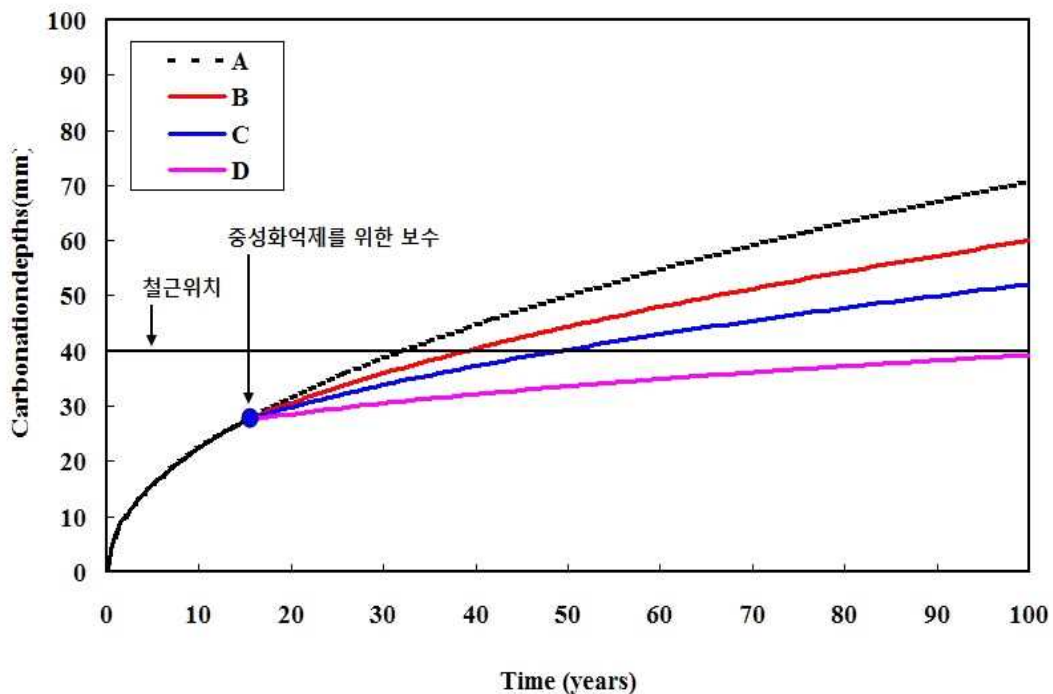
② 탄산화 억제를 위한 보수 실험

탄산화 억제를 위한 보수실험에서 시험변수별 4개의 시험체 대하여 탄산화 시험 후 침투깊이를 각각 측정하고 ① 무도포 ② 유기계 방청제 ③ 유기계 방청제+방청 모르타르 ④ 유기계 방청제 + 방청 모르타르 + 세라믹 마감재로 구성되는 보수 공법으로 시공한 후 촉진 탄산화를 실시하여 실험한 결과를 표 3.71에 나타낸다.

표 3.71 탄산화 억제를 위한 보수 실험결과

종 류	탄산화 침투깊이(mm)				
	촉진 중성화기간(일)				
	0일	7일	14일	21일	28일
① 무도포	5.12	7.48	11.65	15.27	20.74
② 유기계 방청제	5.17	6.34	7.99	11.54	15.56
③ 유기계 방청제+방청 모르타르	5.09	6.27	7.45	9.11	11.78
④ 유기계 방청제 + 방청 모르타르 + 세라믹 마감재	5.15	5.19	5.37	5.45	5.67

*시험체 4종류 모두 15일간 탄산화후 시공 → 시공 후 촉진 탄산화



범례 : A[무도포], B[유기계 방청제], C[유기계 방청제+방청 모르타르],
D[유기계 방청제+방청 모르타르+세라믹 마감재]

그림 3.92 보수에 의한 탄산화 억제 실험결과



① 무도포



② 유기계 방청제



③ 유기계 방청제 + 방청 모르타르



④ 유기계 방청제 + 방청 모르타르 + 세라믹 마감재

그림 3.93 탄산화 침투깊이(28일)

③ TG-DTA

열중량분석 시험(TG-DTA)으로 수산화칼슘량, 탄산칼슘량을 산출하고 각각의 질량비와 고정화된 이산화탄소 질량비를 계산하였다. 표 3.72와 표 3.73은 20%, 100% 이산화탄소 농도에서 탄산화된 시료의 수산화칼슘, 탄산칼슘, 이산화탄소의 질량과 시료 무게에 관한 질량비를 나타낸 것이다. 물시멘트비 40%의 일반 모르타르 시료(opc)와 비교하여 아민유도체를 주성분으로 하는 유기계방청제 혼입 시료(A1 : 분체 질량비 4%)와 소석회계 분체 혼입 시료(S1 : 질량비 10%치환) 모두 이산화탄소 고정 메커니즘으로 인하여 탄산화후 수산화칼슘량이 저감하고 탄산칼슘량은 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 생성된 탄산칼슘량으로 이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 유기계방청제와 소석회계 분체의 혼입으로 이산화탄소 고정량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

표 3.72 TG-DTA 시험 결과 (20%)

구분	수산화칼슘량(mg)	탄산칼슘량(mg)	수산화칼슘 질량비 (%)	탄산칼슘 질량비(%)
A	5.34	2.40	17.70	7.96
B	5.55	4.46	15.32	12.32
C	3.14	3.54	13.61	15.36
D	4.39	4.24	14.42	13.93
E	2.81	6.71	13.00	31.05
F	5.66	3.73	20.15	13.29
G	1.53	4.47	7.37	21.47

표 3.73 TG-DTA 시험 결과 (100%)

구분	수산화칼슘량(mg)	탄산칼슘량(mg)	수산화칼슘 질량비 (%)	탄산칼슘 질량비(%)
A	3.26	7.37	12.07	27.31
B	3.30	8.15	11.62	28.65
C	3.90	9.15	12.24	28.73
D	5.30	11.26	13.95	29.61
E	2.69	8.98	11.39	37.95
F	3.21	8.49	13.45	35.54
G	4.02	5.39	19.61	26.29

표 3.74 이산화탄소 흡착량 산출 결과

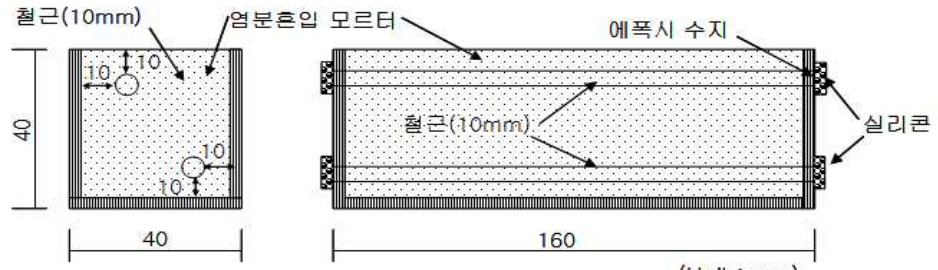
구분	이산화탄소 질량비(%) - 20% 탄산화	이산화탄소 질량비(%) - 100% 탄산화
A	3.50	12.01
B	5.42	12.59
C	6.75	12.63
D	6.12	13.02
E	13.65	16.68
F	5.84	15.62
G	9.44	11.56

8. 기존 기술 대비 성능 검토 (자체실험)

(1) 고정염분함유량에 따른 모르타르매설 고온고습 부식촉진

기존 철근방청제 (아질산 칼슘($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 아질산 리튬(LiNO_2))와 본 연구의 내황산 보수 방청제를 철근이 매립된 모르타르 시험체에 혼입한 후 고온고습 부식촉진 시험을 실시하여 철근의 부식정도를 측정하여 부식면적율과 방청율을 산정하였다.

표 3.75 실험인자 및 수준(고정염분)

구분	실험 수준
철근방청제 종류	기존기술A-아질산 리튬(LiNO_2), 기존기술B-아질산 칼슘($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), 본 개발기술-내황산 유기계 방청제
방청제 혼입량	염화물이온 농도와 방청성분의 몰비 4단계 (몰비 0, 0.3, 0.6 1.2)
부식촉진 방법	모르타르매설 고온고습 부식촉진(온도 80℃ RH=95%)
시험체 형상	

시험결과, 방청제 혼입율이 커지면 철근 부식 면적율은 급격하게 저하하여 방청제의 효과가 명확히 나타났다. 염분 혼입량 0.1%에서는 내황산 유기계 방청제의 경우 1.2 몰비에 서 방청율이 96.2%로 나타났으며 기존기술의 아질산리튬 및 아질산칼슘은 방청율이 80%이하로 나타났다. 또한, 염분 혼입량 0.3%에서는 본 개발기술의 내황산 유기계 방청제는 모든 몰비에서 방청율은 90%를 넘는 결과로 나타나 염분에 대한 방청효과가 아질산리튬 및 아질산칼슘의 무기계 방청제 보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

표 3.76 본 개발기술인 내황산 유기계방청제의 방청 성능 실험 결과표

번호	염분량	방청제 혼입량(kg/m ³)			부식 면적율(%)	방청율 (%)	비고	
		구분	[몰비]	첨가량				
1	0.10% (0.75kg/m ³)	고알칼리 유기계 방청제	0.3	0.57kg/m ³	8.0	87.0		
2			0.6	1.13kg/m ³	8.4	86.3		
3			1.2	2.26kg/m ³	2.4	96.2		
4	0.30% (1.8kg/m ³)		0.3	1.36kg/m ³	5.6	93.0		
5			0.6	2.72kg/m ³	4.5	94.3		
6			1.2	5.43kg/m ³	3.3	95.9		

표 3.77 기존기술인 아질산계 방청제의 방청 성능 실험 결과표

번호	염분량	방청제 혼입량(kg/m ³)			부식 면적율(%)	방청율 (%)	비고
		구분	[몰비]	첨가량			
1	0.10% (0.75kg/m ³)	무혼입	0.0	0.0kg/m ³	60.6	0.0	Plain
2		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3	1.34kg/m ³	48.6	19.8	
3			0.6	2.69kg/m ³	22.7	62.5	
4			1.2	5.38kg/m ³	13.6	77.6	
5		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3	2.79kg/m ³	24.0	60.4	
6			0.6	5.59kg/m ³	15.0	75.2	
7			1.2	11.18kg/m ³	12.5	79.4	
8	0.30% (1.8kg/m ³)	무혼입	0.0	0.0kg/m ³	76.0	0.0	Plain
9		기존기술A (288호-아 질산리튬)	0.3	3.23kg/m ³	37.8	50.3	
10			0.6	6.45kg/m ³	15.0	80.2	
11			1.2	12.91kg/m ³	7.2	90.6	
12		기존기술B (288호-아 질산칼슘)	0.3	6.71kg/m ³	10.0	86.9	
13			0.6	13.41kg/m ³	12.6	83.4	
14			1.2	26.83kg/m ³	9.7	87.2	

(2) 열화이온소재의 수용액 내에서의 전기화학적 방식특성시험

본 실험에서는 열화이온소재 첨가량에 따른 수용액내에서 전기화학적 특성을 파악하기 위하여 Potentiostat를 이용하여 부식전위 (E_{corr})와, 부식속도(Corrosion rate - CR), 부식전류를 측정함으로써 분극저항(Polarisation Resistance - Rp)을 산정하였다. 또한, 세공용액은 포화 수산화칼슘(용해도 0.82g/1L, 20℃)에 NaCl를 첨가하여 제조하였고, 염소이온 농도는(NaCl 첨가량)는 내구수명 예측을 위한 염화물이온함량 1.2kg/m³을 기준으로, 0.6kg/m³, 2.4kg/m³, 4.8kg/m³ 4수준으로 하였다. 열화이온소재는 종류별(무기계(아질산칼슘, 유기계 아민계로 염소이온함량에 따른 질산이온과 수산화 이온 각각의 몰비를 4단계(0.0, 0.3, 0.6, 1.2)로 하여 실험수준을 정하였다. 또한, 전기화학실험을 통해 부식특성에 따른 부식전위와 부식속도, 그리고 부식전류를 통한 분극저항을 측정하였다.

표 3.78 실험인자 및 수준

No.	Content of Cl ⁻	열 화 이 온 소 재				Remarks
		무기계 (아질산계)		유기계(아민계)		
		Molar ratio	Addition	Molar ratio	Addition	
		[2(NO ₂ ⁻)]/[Cl ⁻]	kg/m ³	[OH ⁻]/[Cl ⁻]	kg/m ³	
1	0.6 kg/m ³	0	0.00	0	0.00	Saturation Ca(OH) ₂ Solution (0.82g/L)
2		0.3	2.24	0.3	0.60	
3		0.6	4.47	0.6	1.19	
4		1.2	8.94	1.2	2.38	
5	1.2 kg/m ³	0	0.00	0	0.00	
6		0.3	4.47	0.3	1.19	
7		0.6	8.94	0.6	2.38	
8		1.2	17.89	1.2	4.76	
9	2.4 kg/m ³	0	0.00	0	0.00	
10		0.3	8.94	0.3	2.38	
11		0.6	17.89	0.6	4.76	
12		1.2	35.77	1.2	9.52	
13	4.8 kg/m ³	0	0.00	0	0.00	
14		0.3	17.89	0.3	4.76	
15		0.6	35.77	0.6	9.52	
16		1.2	71.55	1.2	19.04	

시험결과, 무기계(아질산계)와 유기계(아민계) 모두 방청몰비가 증가할수록 부식전위는 증가하는 것으로 나타났으며, 방청성능 확보 기준을 부식전위 -350mV 이상으로 평가한 경우, 무기계, 유기계 모두 염화물이온함량이 0.6kg/m^3 과 1.2kg/m^3 의 경우 방청몰비 0.3 이상에서 방청성능을 확보하였지만, 염화물이온함량이 2.4kg/m^3 에서는 무기계는 방청몰비 0.6 이상, 4.8kg/m^3 에서는 방청몰비 1.2 이상이 되어야 방청성능을 확보하는 반면, 본 연구로 개발된 유기계 방청제의 경우, 염화물이온함량 2.4kg/m^3 에서는 무기계는 방청몰비 0.3 이상, 4.8kg/m^3 에서는 방청몰비 0.6 이상에서 방청효과를 나타내는 것으로 나타났다.

표 3.79 실험결과

No.	Content of Cl^-	무기계 (아질산계)			유기계(아민계)		
		Ecorr	CR	Rp	Ecorr	CR	Rp
		mV	mpy	Ωm^2	mV	mpy	Ωm^2
1	0.6kg/m^3	-359	1.22	26.53	-359	1.22	26.53
2		-301	0.76	31.33	-312	0.28	100.00
3		-342	0.79	57.40	-309	0.22	118.18
4		-283	0.44	19.85	-288	0.13	129.35
5	1.2kg/m^3	-381	1.33	21.85	-381	1.33	21.85
6		-338	1.22	58.82	-298	0.35	106.56
7		-297	0.99	59.63	-291	0.24	112.07
8		-301	0.55	83.07	-290	0.14	116.59
9	2.4kg/m^3	-430	1.55	20.63	-430	1.55	20.63
10		-380	0.9	25.00	-324	0.27	82.28
11		-318	0.97	118.18	-278	0.22	192.59
12		-280	0.54	129.35	-302	0.14	206.35
13	4.8kg/m^3	-438	1.76	17.33	-438	1.76	17.33
14		-383	1.6	38.35	-360	0.16	60.19
15		-385	1.1	79.03	-331	0.19	55.20
16		-349	0.4	97.74	-312	0.16	72.22

(3) 염화물 침투 저항성 평가

NT Build 492의 시험방법에 준하여 실시한 염화물 침투 저항성 실험의 결과를 표 3.77과 3.78에 나타내었다. 일반 모르타르에 비해 기존제품 및 개발제품의 확산계수가 작은 것으로 나타났으며, 이는 혼입된 수지 및 바인더, 골재의 조합이 내부 구조를 치밀하게 만들어 염화물 침투에 관하여 높은 저항성을 갖는 것으로 사료된다.

표 3.80 염화물 침투 저항성 실험 결과

시험체명	초기전압 (V)	Z	초기전류 (A)	U(V)	시간(s)	T(K)	시편두께 (m)
일반 모르타르	30	1	0	30	86400	292	0.04445
기존제품 1	30	1	0	30	86400	292	0.04677
기존제품 2	30	1	0	30	86400	292	0.04735
개발 모르타르	30	1	0	30	86400	292	0.04537

표 3.81 염화물 침투 깊이 및 확산계수 결과

시험체명	염분침투깊이(m)								D _{nssm} (m ² /s)
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	평균	
일반 모르타르	0.02234	0.02132	0.02056	0.02154	0.02334	0.02571	0.02321	0.022574	9.31E-12
기존제품 1	0.01222	0.01132	0.01355	0.01211	0.01374	0.01403	0.01123	0.012600	5.22E-12
기존제품 2	0.01526	0.01015	0.01064	0.01168	0.01242	0.01322	0.01072	0.012012	5.01E-12
개발 모르타르	0.01009	0.01183	0.01202	0.01145	0.01324	0.01079	0.01055	0.011424	4.57E-12

(4) 내화학적 평가

28일간 알칼리 용액과 산성 용액에 침지한 시험체의 압축강도를 측정한 결과, 모든 시험체가 KS F 4041의 기준을 만족하는 것으로 나타났으나, 알칼리 용액 보다는 산성 용액에서의 강도저하가 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 기준양생의 경우 기존제품과 본 연구 개발의 방청모르타르의 강도는 약 48~53 N/mm² 정도로 유사한 값을 나타내었으나, 일반 모르타르 및 기존제품은 강도저감 정도가 개발 모르타르에 비해 큰 것으로 나타나 본 연구의 방청 모르타르의 내화학적성이 우수한 것으로 판단된다.

표 3.82 내화학적 실험 결과

구분			일반 모르타르	기존제품 1	기존제품 2	개발 모르타르
압축강도 , (N/mm ²)	내알칼리성	20.0 이상	26.8	37.2	41.5	43.7
	내산성	20.0 이상	23.5	32.4	38.2	40.8

9. 하수시설 보수를 위한 내황산 보수 공법 개발

(1) 공정매뉴얼

가. 일반사항

1) 적용범위

(가) 본 시방은 철근콘크리트 구조물을 보호하고 노후화된 구조물에 알칼리성을 부여하여 표면을 정상적으로 수복하여 줌과 동시에 물리적 특성과 내황산성, 내염해성 또는 내동해 방지성 등의 내구성을 증진하기 위해 친환경 방청제인 내황산 유기계방청제와 이를 함유한 내황산 방청모르타르를 사용하여 철근콘크리트구조물의 보수 공사에 적용한다.

(나) 본 시방에 의한 공사는 1.(일반사항), 2.(자재), 3.(시공)의 각 항에 따라 실시한다.

2) 법령 및 규칙의 준수

(가) 본 시방서의 내용이 관련법규의 규정과 상호모순 될 경우 법규 우선 준수를 원칙으로 한다.

(나) 시공자는 본 시방서에 “OO는 관련법규(조례를 포함한다. 이하 본 시방서에서 같다)의 규정에도 불구하고 이 절에서 정하는 바에 따른다.”라고 별도로 명시되어 있지 않는 한, 본 시방서를 포함한 설계도서의 내용이 대한민국 관련법규의 규정과 상호모순될 경우(건설공사 중에 관련 법규가 변경되고 규정에 따라야 할 경우를 포함한다)는 대한민국 관련법규의 규정을 우선하여 준수하여야 하며, 법령 및 규칙 중 중요한 사항은 아래와 같다.

① 건설기술관리법 제 27조, 제 28조, 제 35조

② 건설기술관리법 시행규칙 제 14조의 2 제 2항 제 3항

3) 시공관리

(가) 시공일반

시공은 설계도서, 그리고 발주자 대리인의 승인을 받은 공정표·시공계획서·원칙도·시공도 등에 따라 시행하고, 별도의 체크리스트와 제품 안전데이터 시트(M.S.D.S)를 가지고 시공 관리한다.

(나) 공사기간

① 시공자는 따로 정한 경우를 제외하고, 계약서상에 명기된 기간 내에 공사를 착공하여 지체 없이 계획대로 공사를 추진하여 계약 공기 내에 완료하여야 한다.

② 선행공정 완료 직후, 즉시 후속공정에 착수하면 품질에 나쁜 영향을 줄 수 있는 공정에 대하여는 충분한 공사기간을 고려하여야 한다.

③ 전체공사의 완료 전에 특정부분에 대한 공사의 완료 또는 시공순서 변경에 대하여 발주자 대리인의 요구가 있을 때에는 시공자는 품질에 나쁜 영향이 없는 한, 이를 반영하여야 한다.

(다) 작업시간의 조정

① 공사시행의 편의상 작업시간을 연장 또는 단축하거나, 야간 또는 휴일에 작업을 할 때에는 미리 발주자 대리인의 승인을 받아야 한다.

- ② 공정계획상 작업시간의 연장 또는 단축, 야간 또는 휴일작업의 필요가 있다고 발주자 대리인이 인정할 때에는 품질확보에 지장이 없는 한, 시공자는 이를 반영하여야 한다.

(라) 수량의 단위 및 계산

공사수량의 단위 및 계산은 원칙적으로 정부시설공사 표준품셈의 수량계산 규정에 따른다.

4) 공정표와 그 관리

- (가) 시공자는 설계도서에 따라서 공사전반에 대한 상세한 계획을 세우고 소정양식의 공정표를 제출하여야 한다.
- (나) 공정표에 변경이 생긴 경우에는, 변경공정표를 지체없이 작성하고 발주자 대리인의 승인을 받는다.
- (다) 계약 이외의 공사와의 관련사항이 있는 경우에는 발주자 대리인의 지시를 받아 조정한다.

5) 시공계획서

시공자는 공사실시에 앞서 발주자 대리인의 요구에 따라 공정계획, 현장인력 관리계획, 시공장비계획, 자재반입계획, 품질관리계획, 안전관리계획, 환경대책 등에 대하여 상세한 실시계획을 작성한 시공계획서를 발주자 대리인에게 제출하여 그 승인을 받아야 한다.

6) 제출물 및 품질관리·안전관리

- (가) 시공자는 본 공사의 계획에 맞추어 시험성적서 등 발주자 대리인이 요구하는 제출물을 작성하여 제출하여야 한다.
- (나) 품질관리는 건교부와 관련단체 제정 표준시방서 및 공사시방서에 준하여 작성하고 관리한다.
- (다) 안전관리는 산업안전보건법 제1장(총칙), 제5조(사업자의 의무), 제 6조(근로자의 의무), 동 제 4장(유해, 위험예방조치)의 제23조(안전상의 조치), 제 24조(보건상의 조치), 동 제 5장(근로자의 보건관리) 및 산업안전기준 규칙 제 2편(작업장 등의 안전기준), 제 3편(기계, 기구, 기타 설비에 의한 위험예방), 제 4편(폭발, 화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지), 제 6편(건설작업에 의한 위험예방)에서 각각 정하고 있는 내용을 준수하여 상시 안전을 확보하여야 한다.
- (라) 사용재료는 제품 안전데이터시트(M.S.D.S)를 확인하여, 기재된 내용과 같이 관리·사용하고, 기구의 보관 및 취급은 소방법 제3장(위험물의 저장 및 취급), 산업안전보건법 제 4편(폭발, 화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지) 등 관계법규의 적용을 받는 재료의 유무를 확인하고 그 규제에 따르며, 기타의 경우에는 다음과 같이 보관 및 취급한다.
 - ① 성형된 재료 등은 빗물, 이슬이나 직사광선이 닿지 않는 장소에서 습기의 영향을 받지 않는 상태로 보관하고, 운반 시에는 손상을 주지 않도록 취급한다.
 - ② 액상의 재료는 빗물, 이슬이나 직사광선이 닿지 않는 장소에서 밀봉된 상태로 보관하고, 본 공사에 적용하는 유기계방청제는 수용성이므로 동절기에는 5℃ 이상, 여름철에는 냉암소(30℃ 이하)에서 보관한다.
 - ③ 시공용 기계기구 및 공구는 사용이 용이하도록 항상 정비해 두고 사용한다.

(마) 작업환경은 다음의 사항을 준수한다.

- ① 강우·강설시 혹은 강우·강설이 예상될 경우, 또는 강우·강설 후 바탕이 젖어 있을 때에는 시공해서는 안 된다.
- ② 기온이 5℃미만으로 현저하게 낮고, 바탕이 동결되어 있어 시공에 지장이 있다고 예상되는 경우에는 시공해서는 안된다. 다만 적절한 보온조치를 취할 경우에는 주의하여 시공한다.
- ③ 바탕의 표면온도가 30℃이상으로 현저히 높을 때에는 본 공사에 적용하는 유기계 방청제, 방청 단면복구재, 방청 표면피복재, 철근 방청페이스트 등의 표면결정의 원인이 될 수 있으므로 물을 뿌려 표면온도를 내려준다.
- ④ 강풍 및 고온, 고습일 때는 시공에 주의한다.
- ⑤ 환기, 채광이 부족하지 않도록 충분한 환기, 조명설비를 갖춘다.
- ⑥ 벽면시공의 경우에는 적절한 발판을 설치한다. 가설재 철거 시에는 이미 시공한 표면층을 손상시키지 않도록 주의한다.
- ⑦ 시공 장소 인근으로의 날림, 오염을 방지하기 위해서 필요한 보호조치를 한다. 날림에 의해 인근 차량이나 창에 부착하였을 경우에는 강력한 힘으로 부착하므로 가능한 한 빨리 물로 씻어 제거하여야 한다.
- ⑧ 시공자는 인화성 액체, 인화성 가스 등을 수시로 취급하는 장소에서는 환기가 충분하지 않은 상태에서 전기기계 및 기구를 작동시켜서는 안되며, 증기, 가스 또는 분진에 의한 폭발 또는 화재를 예방하기 위하여 통풍, 환기 및 분진 제거 등의 조치를 하여야 한다.
- ⑨ 밀폐된 공간에서 작업시 충분한 환기와 통풍을 지속적으로 실시하여야 하며 시공자는 근로자가 밀폐 공간에 입장할 때와 퇴장시 마다 인원을 점검하여야 한다.

7) 응급조치

(가) 시공자는 시공기간 중 재해방지를 위하여 응급조치를 취하여야 한다.

(나) 본 신기술에서 사용하는 각 구성 재료는 알칼리성을 띄므로 각 재료를 사용할 때에는 눈에 들어가지 않도록 보호구를 착용하고, 잘못하여 눈에 들어갔을 경우에는 다량의 물로 세정하고, 즉시 의사의 처방을 받아야 한다. 또한, 마셨을 경우에도 마찬가지로 의사의 처방을 받아야 한다.

(다) 부주의로 다량 흘렸을 때에는 다량의 물로 희석하거나, 흙으로 덮어 제거하여야 한다.

(라) 본 신청 신기술의 각 구성 재료는 소정의 용도 외에는 사용하지 않아야 한다.

나. 자 재

1) 일반사항

본 시방서는 철근콘크리트구조물을 보호하고 노후화 된 구조물 등의 알칼리 회복 표면보수공사 및 내구성 향상공사에 사용하는 자재에 적용하며, 시공자는 본 공사의 계획에 맞추어 시험성적서 등 발주자 대리인이 요구하는 제출물을 작성하여 제출하여야 한다.

2) 저 장

재료는 방습구조로 된 창고에 품종별로 구분하여 저장하되 5℃ 이상, 30℃ 이하의 온도에서 보관하여 동파나 과열에 따른 품질변화를 방지하여야 한다.

- (가) 모든 적용 대상 자재는 검사나 반출이 편리하도록 배치하여 저장하여야 하며, 3단 이상 쌓아 올려서는 안된다. 3단이상 적재 시에는 베니어 합판 등으로 무게를 분산시킨 후 적재하여야 한다(분말상인 제품은 제외).
- (나) 풍화된 자재를 사용해서는 안되며 제조일로부터 1년 이상 저장된 자재에 대해서는 사용하기 전에 시험을 실시하여 그 품질을 확인하여야 한다.
- (다) 재료의 저장은 직사광선을 피하고 보관상태, 제조일자 등을 확인하여 선입선출이 되도록 하여야 한다. 자재를 일시적으로 야적하고자 할 때에는 발주자 대리인의 승인을 얻어야 한다.
- (라) 내황산 유기계방청제, 내황산 방청모르타르 및 관련 제품의 경우, 통기가 잘 되고, 열상, 또는 동파의 문제가 발생되지 않는 영상의 적정 기온(5℃ ~ 30℃)하에서 보관하여야 한다.

3) 검사

모든 재료는 발주자의 검사를 받은 후 사용하여야 한다.

- (가) 시공자와 재료공급자는 시험성적서 등 검사에 필요한 서류를 제공하여야 한다.
- (나) 최초 검사에 합격한 재료일지라도 품질의 변동이 예상되어 재시험을 한 결과, 품질기준에 맞지 않을 경우에는 새로운 재료로 대체하여야 한다.

4) 재료의 종류 및 특성

(가) 내황산 유기계방청제

노후화로 인하여 노출부식된 철근과 주변부 콘크리트의 알칼리 회복 및 표면층의 응집력을 강화시켜 철근콘크리트구조물의 내구수명을 연장시켜 주며, 발청철근 표면에서 기화성의 방청피막을 형성하는 제품으로, SO_4^{2-} , Cl^- 이온과 CO_2 를 고정하는 특성을 갖는 아민유도체를 주성분으로 하는 유기계 방청제.

① 포장단위 및 혼합비

제품명	포장단위	혼합비(무게)	사용량(m^2)	비고
내황산 유기계방청제	18L	1액형	0.8Kg	투명액상

② 품질기준

내황산 유기계방청제의 품질은 다음의 품질 이상의 것으로 한다.

시험항목	품질기준	시험방법
내 알칼리성 시험 (포화 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 용액 30일간 침적)	이상이 없을 것	ASTM C 267
방청성 시험	방청율 70% 이상	NSKS-004
PH값	12 이상	KS M 0011

* 비고: NSKS-004(일본마감재 공업회 침투성 흡수방지재 시험방법)

(나) 표면피복용 내황산 방청모르타르

황산염, 염해, 탄산화, 동해 등 노후화현상으로 인하여 탈락된 철근콘크리트구조물 결함부의 알칼리 회복과 표면층의 응집력 강화 및 SO_4^{2-} , Cl^- 이온과 CO_2 를 흡수하는 특수시멘트계 분체와 유기계방청제가 함유된 SBR라텍스 용액으로 조성되는 다기능성 제품.

① 포장단위 및 혼합비

제품명	포장단위 (set)	혼합비(무게)		사용량(m^2)	비고
		액상부	분말부		
내황산 방청모르타르	27Kg	7Kg	20Kg	2.3Kg, set / 1mm	

② 품질기준

표면피복용 내황산 방청모르타르의 품질은 다음의 품질 이상의 것으로 한다.

시험항목		품질기준	시험방법
부착강도(N/mm^2)이상		1.0 이상	KS L 5105
화학저항성	황산소다 포화수용액, 7일간 침적	이상이 없을 것	KICM-QA-905
	내염수성(CaCl_2 5%용액, 3일간 침적)	"	"
염화물 이온 침투 저항성(Coulombs)		1,000 이하	KS F 4936

* 비고: KICM-QA-905(한국건자재 시험연구원 시험방법)

(다) 단면복구용 내황산 방청모르타르

황산염, 염해, 탄산화, 동해 등 노후화현상이 진행되고 있는 철근콘크리트구조물 표면부의 알칼리 회복과 표면층의 응집력 강화 및 SO_4^{2-} , Cl^- 이온과 CO_2 를 흡수하는 섬유혼입 특수시멘트계 분체와 유기계방청제가 함유된 수용액으로 조성되는 다기능성 제품.

① 포장단위 및 혼합비

제품명	포장단위 (set)	혼합비(무게)		사용량(m^2)	비고
		액상부	분말부		
내황산 방청모르타르	29.5Kg	4.5Kg	25Kg	21.05Kg, set / 10mm	

② 품질기준

단면복구용 내황산 방청모르타르의 품질은 다음의 품질 이상의 것으로 한다.

시 험 항 목		품 질 기 준	시 험 방 법
들뜸검사		들뜸이 없을 것	타검봉으로 모르타르의 들뜸 유무확인
압축강도		평균 20.0N/mm ² 이상	KS F 4042
휨강도		평균 6.0N/mm ² 이상	KS F 4042
부착강도	표준 조건	평균 1.0N/mm ² 이상	KS F 4042
	온냉 반복 후	평균 1.0N/mm ² 이상	KS F 4042

(바) 기타 보조재료

기타 본 공법에 적용하는 보조재료는 신뢰 가능한 자료에 의하여 그 효과와 소요성능의 확보유무를 확인한 것을 사용한다.

다. 시 공

1) 시공 일반

(가) 공법의 적용

- ① 철근콘크리트구조물의 열화상태 또는 손상부위를 확인하여 보수 범위 등을 파악한 후 적합한 공법을 적용한다.
- ② 시공에 앞서 구조물의 조사, 적용범위의 설정, 자재 및 공구의 준비, 콘크리트 표면의 처리, 유기계방청제 도포, 표면피복모르타르, 단면복구모르타르 시공, 철근방청페이스트 도포 등 각각의 작업조건을 충분히 검토하여 시공 및 공정계획을 수립한다.

(나) 현장 작업 조건

- ① 작업 기상 조건 : 대기온도 5 ~ 35℃, 상대습도 85% 이하
- ② 기후 : 강우, 강설이 예상되어 시공이 어려울 경우 감독관과 상의 후 적절한 차단막 및 보호막 등의 양생 방법을 강구한 후 시공한다.

(다) 표면처리

철근콘크리트구조물에 본 신기술을 적용하기 직전의 철근콘크리트구조물 바탕 전반의 상태는 아래의 항을 표준으로 한다.

㉠ 표면 하지 처리

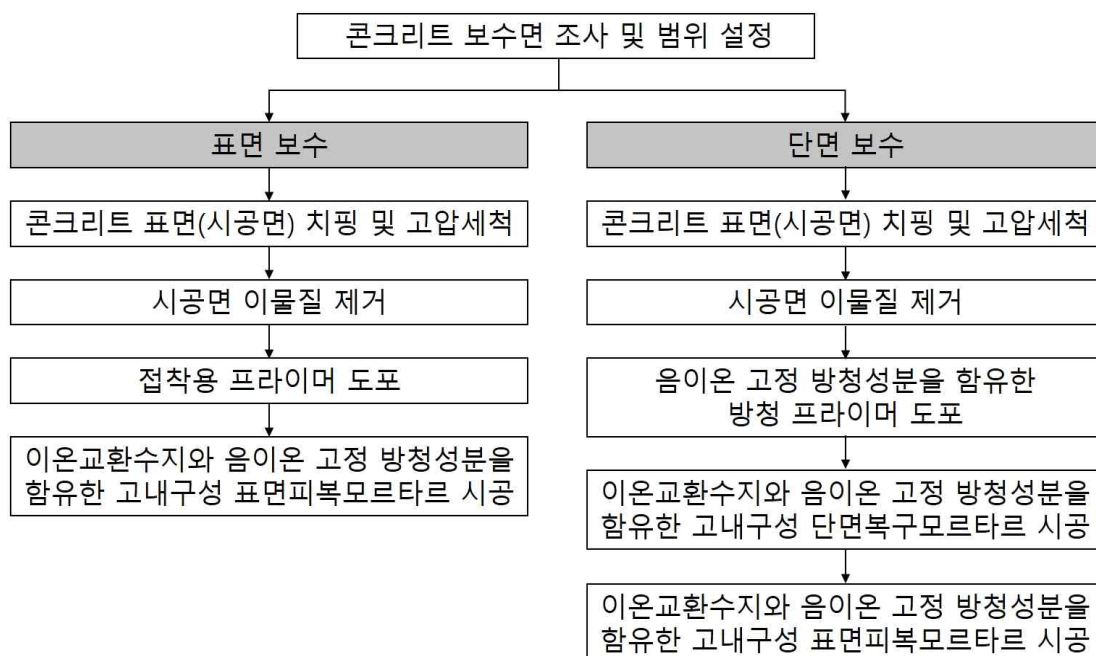
- ① 철근콘크리트면의 거푸집 이음부 등 요철부위를 전동공구, 기타공구를 이용하여 평활하게 면을 정리한다.

- ② 철근콘크리트면의 레이턴스, 변형, 박리, 풍화부분을 제거한 후 고압수 세척 또는 콤프레셔 고압공기청소 (Air blowing)를 실시한다.
- ③ 철근콘크리트면의 곰보 등 부위에 대하여는 치핑(chipping) 처리를 한다.
- ④ 철근콘크리트면의 돌출부나 단자(턱)부분에 대하여는 샌딩 또는 방청단면복구재 등으로 평활하게 하여야 한다.
- ⑤ 철근콘크리트면의 시멘트가 빈 배합으로 되어 있거나, 골재가 분리되어 공극이 존재하는 부분, 콘크리트 타설 불량 등 취약부에 대하여는 방청단면복구재 등을 사용하여 적절한 두께로 쇠퇴손으로 표면을 평활하게 마감한다.
- ⑥ 구조물(수조)내의 바닥은 필요시 물흐름 구배(1/100 ~ 1/50)를 두어 배수시 물빠짐이 원활하여야 한다.
- ⑦ 보수시 구도막은 완전 제거한 후 본 신기술을 적용하여야 한다.

④ 균열 및 단면복구 부위

- ① 균열부위는 그라인더 또는 기타 공구를 사용하여 균열부위를 중심으로 하여 45° 각도로 양쪽을 V자형으로 커팅을 실시한다.
- ② 콘크리트 치핑기 또는 기타 공구를 사용하여 콘크리트 열화깊이에 따라 일정하게 치핑 작업(열화부위 제거 작업)을 실시한다.
- ③ 콘크리트면의 레이턴스, 변형, 박리, 풍화부분을 제거한 후 고압수 세척 또는 콤프레셔 고압공기청소 (Air blowing)를 실시한다.

2) 시공순서



(가) 표면 보수 시공순서(표면 보호)

- ① 철근콘크리트구조물 표면의 이물질, 레이턴스 등을 그라인딩 처리 후 고압수 또는 고압의 에어로 세척한다.
- ② 상기의 공정 후 특수 무기질 시멘트 파우더, 유기계방청제가 함유된 SBR라텍스 용액이 혼합된 표면피복용 내황산 방청모르타르(액상부 : 분말부 = 7 : 20(무게비))를 1~2mm 시공하여 산소, 수분 및 염소 등의 침투를 억제한다.

(나) 단면 보수 시공순서 (철근 비노출)

- ① 철근콘크리트구조물의 열화 부분을 현장 여건을 검토하여 치핑, 샌드브라스터, 고압수 표면처리, 착암기 등을 사용하여 표면처리를 실시한다.
- ② 면처리한 콘크리트 표면에 내황산 유기계방청제를 2회 반복 도포하여 방청제가 콘크리트내의 철근위치까지 깊숙이 침투되도록 한다.
- ③ 상기 ②의 공정 후에 열화 제거부의 깊이에 따라 단면복구용 내황산 방청모르타르를 액상부 : 분말부 = 4.5 : 25(무게비)로 혼합하여 적용한다.
- ④ 상기 ③의 공정 후 특수 무기질 시멘트 파우더, 내황산 유기계방청제가 함유된 SBR라텍스 용액이 혼합된 표면피복용 내황산 방청모르타르(액상부 : 분말부 = 7 : 20(무게비))를 1~2mm 시공하여 산소, 수분 및 염소 등의 침투를 억제한다.

(다) 단면 보수 시공순서 (철근 노출 시)

- ① 철근콘크리트구조물의 열화 부분을 현장 여건을 검토하여 치핑, 샌드브라스터, 고압수 표면처리, 착암기 등을 사용하여 표면처리를 실시한다.
- ② 노출된 철근의 부식 방지 처리는 부식된 철근 주변의 콘크리트를 적절한 공법을 적용하여 제거하되 기존 구조물의 진동 및 손상을 초래하는 일이 없도록 하여 녹을 브러쉬, 샌드 블라스트 등으로 깨끗이 제거한다.
- ③ ②항의 방법으로 부식된 철근을 보수한 후 콘크리트 표면에 내황산 유기계방청제를 2회 반복 도포하여 내황산 유기계방청제가 콘크리트 내부로 깊숙이 침투되도록 도포한다.
- ④ 상기 ③의 공정 후에 열화 제거부의 깊이에 따라 단면복구용 내황산 방청모르타르를 액상부 : 분말부 = 4.5 : 25(무게비)로 혼합하여 적용한다.
- ⑤ 상기 ④의 공정 후 특수 무기질 시멘트 파우더, 내황산 유기계방청제가 함유된 SBR라텍스 용액이 혼합된 표면피복용 내황산 방청모르타르(액상부 : 분말부 = 7 : 20(무게비))를 1~2mm 시공하여 산소, 수분 및 염소 등의 침투를 억제한다.

3) 입회 및 자료제출

수중, 지하 또는 건조물 내부에 매몰되는 부분 및 재료의 배합, 강도, 기타 시공 후의 검사가 곤란한 시공부분에 대하여는 발주자 대리인의 입회하에 모양·치수·강도·품질 등을 확인하고 그 기록, 기타 필요한 자료(검사보고서, 기록사진, 품질시험 성적표 등)를 제출하여야 한다.

4) 기계기구

중요한 기계기구는 당해 공사에 상응한 성능 및 규격 등의 것으로 하되, 사용하기 전에 발주자 대리인의 승인을 받는다.

5) 폭발물 등의 취급

폭발물 기타 위험물의 운반, 보관 및 사용 등의 취급은 관계법규에 따라 확실하고 안전하게 하여야 한다.

6) 공사보고

공사의 진척, 작업원의 취업, 재료의 반입, 기후 등 발주자 대리인이 필요하다고

인정하여 지시한 사항에 대하여는 그의 상황·결과를 나타낸 보고서를 발주자 대리인에게 제출한다. 공사보고의 서식, 제출방법, 시기 등에 대하여는 발주자 대리인의 지시에 따른다.

(2) 유지관리지침서

가. 일반사항

- 1) 본 지침은 하수시설 철근콘크리트구조물과 황산염, 염해, 탄산화에 의하여 피복 콘크리트가 손상되었거나 철근이 부식하여 콘크리트가 박리·박락한 철근콘크리트구조물의 내구성을 향상시키기 위하여 SO_4^{2-} , Cl^- 이온과 CO_2 를 화학적으로 고정하는 메커니즘을 갖는 유기계방청제와 분체를 주원료로 하여 제조된 친환경 내황산 유기계방청제, 내황산 방청모르타르를 병용 사용하여 철근부식을 억제하거나 철근 부식부위를 보수하기 위해 적용한다.
- 2) 본 지침서에 명시되지 않은 부분은 시설물의 안전 점검 및 정밀안전진단과 관련된 지침을 적용하고 그 이외의 사항에 대해서는 구조물의 관리주체에 의한다.
- 3) 본 공법에 의해 준공된 후에도 시공자는 품질의 사후 관리를 위해 면밀한 작업계획을 수립하고 이에 따라 점검을 수행하여야 한다.

나. 유지관리의 절차 및 점검계획

1) 점검 절차

- ① 시설물별 적절한 유지관리 계획을 작성한다.
- ② 유지관리 계획에 따라 시설물의 점검을 실시하며 점검은 체크리스트에 따라 실시한다.
- ③ 점검결과에 따라 발견된 결함의 진행성 여부, 발생시기, 결함의 형태나 발생 위치와 그 원인 등을 정확히 판정한다.
- ④ 점검 결과에 의한 평가 판정 후 적절한 대책을 수립하여 시행한다.

2) 점검 계획

(가) 일반사항

- ① 점검대상 시설물의 종류, 범위, 점검 항목 및 점검 방법과 점검시에 사용 장비 및 점검에 필요한 가설물에 대한 사전 검토가 요구된다.
- ② 점검대상 시설물에 대한 적절한 점검을 위해서는 대상 시설물의 설계자료와 과거의 열화상태 보수 및 보강 실태 등을 충분히 파악할 필요가 있다.
- ③ 점검 계획은 시설물이나 부재의 중요도 등 시설물이 갖는 구조적 특성을 미리 파악하여 점검계획을 세울 경우 이를 고려할 필요가 있다.
- ④ 시설물의 종류에 따라 점검이 곤란한 경우가 많기 때문에 점검자는 유지관리 난이도를 고려하여 점검계획을 수립한다.
- ⑤ 점검자는 시설물의 점검시에 시설물의 변형 및 결함을 미리 예측하고, 점검시에 구체적인 점검방법과 빈도를 결정하고, 점검시의 주변 환경 등을 고려하여야 한다.

(나) 점검시 필요 자료

- ① 주변지역의 현황도 및 관계서류

- ② 설계도, 구조계산서, 설계도면, 표준시방서, 특별시방서 및 견적서
- ③ 보수, 개수시의 상기 설계도서류 및 작업기록서
- ④ 공사계약서, 시공도, 사용재료의 업체명 및 품명
- ⑤ 공정사진, 준공사진

다. 유지관리 점검 방법 및 결과 기록

1) 점검사항

(가) 점검사항

- ① 육안조사
 - 보수면에 균열이 발생되었는지 여부를 점검한다.
 - 보수면의 변색 및 누수 흔적, 녹물 흔적 여부를 점검한다.
 - 보수면의 박리, 박락 및 철근 노출 여부를 점검한다.
- ② 정밀점검
 - ㉠ 정밀점검은 육안조사를 통해 얻은 결과를 통해 성능저하가 현저할 경우 성능저하 원인을 추정하거나 보수 부위의 재보수 여부 판정이 필요할 경우 실시한다.
 - ㉡ 육안조사 결과 다음과 같이 점검사항이 현저한 경우 정밀점검을 실시한다.
 - 육안검사 결과 균열의 폭이 큰 경우
 - 보수부위에 박리, 박락 및 누수가 발생한 경우
 - ㉢ 정밀점검시의 주요 검사 항목
 - 탄산화 깊이
 - 박리, 박락 및 들뜸
 - 이상변위 발생여부

(나) 결과 기록

- ① 점검 결과의 기록은 조사대상 구조물의 제원, 점검의 내용 및 결과, 점검결과의 평가, 대책 실시 내용 등 구조물의 유지관리에 필요한 내용을 확인 후 유지관리 자료로 활용하기 위하여 참조하기 쉬운 형태로 보조하여야 한다.
- ② 기록방법은 유지관리 담당자가 바뀌어도 기록의 확인만으로도 구조물의 이력을 이해할 수 있어야 한다.
- ③ 유지관리 기록은 유지관리의 구분, 종류, 내용 및 대상 구조물의 종류에 따라 알기 쉬운 테이블시트를 이용하여 기록한다

라. 유지관리시 유의사항

1) 점검사항

노후와 등으로 인해 보수·보강 조치가 필요한 구조물에 대해서는 구조물에 대한 영향성, 구조물의 중요성, 사용 환경조건, 유지관리의 난이도 등을 고려한다. 보수 조치시에는 발생한 손상의 허용 정도를 판단하여야 한다.

- ① 발생한 손상이 시설물의 안전에 영향을 미치는 손상, 안전에 중대한 손상의 경우 전문가의 자문을 실시한다.
- ② 적절한 보강 조치 수주를 결정하기 위해 간단한 시험을 실시한다.
- ③ 반드시 보강계획 및 설계를 실시하고 보강 후 보강효과를 확인한다.
- ④ 보강 조치된 시설물은 특별점검으로 관리한다.

2) 보수공사 체크리스트

구 분	점 검 사 항
작업준비	1. 작업 전 예비회의 2. 재료의 보관상태 및 재료의 사용기간 확인 3. 작업기기의 정비 및 청결 상태 4. 작업장의 환기상태 확인 5. 작업자의 기능 및 건강상태 확인 6. 작업자에 대한 사전 안전교육 7. 본 공법에 대한 시공방법 및 주의사항 등 작업자 사전교육 8. 구도막 제거 및 먼처리 공정시 먼지 및 가스 발생 등의 작업여건 확인
보수작업	1. 주변 보양상태 확인 2. 표면처리에 대한 검토 확인 3. 먼지, 유분 및 노후된 피막제거 상태확인 4. 작업 중 표시를 하여 피막 훼손 방지 강구 5. 작업방법의 준수여부 확인 6. 작업장의 온도 및 습도 확인 (온도 5~35℃, 상대습도 85% 이하) 7. 건조시간 확인 8. 재료 배합 확인 및 충분한 교반확인 9. 흐름 현상 및 외관상 문제가 없는지 확인 10. 작업자는 유기 용제 관리 수칙을 따른다 11. 환경대책 및 개니 안전보호 장구 확인
보양	1. 작업완료 후 경고 표시를 하여 적용 부위가 손상되지 않도록 사전조치 여부 2. 작업완료에 대한 검수
검사	1. 검사 장비의 현장비치 여부 확인 2. 검사자의 장비 사용능력 확인 3. 검사장비 활용방안 및 검사 시점 확인
기타	1. 작업 지시 등에 대한 조치여부 2. 작업도구 정리 정돈

9. 하수시설의 보수 수요시장 조사

(1) 하수시설 현황

(가) 하수도 보급현황

2015년말 기준, 전국 하수도보급률은 92.9%이며, 하수관로 보급률은 79.9%이다.

표 3.83 전국 하수도 보급률

구분	'11	'12	'13	'14	'15
총인구(천명)	51717	51881	52127	52419	52672
처리인구(천명)	47034	47538	48016	48506	48925
처리시설(개소)	505(2858)	546(3067)	569(3205)	597(3160)	625(3282)
보급률(%)	90.9	91.6	92.1	92.5	92.9
시설용량(천톤/일)	25228	25297	25330	24999	25398

※하수도보급률(%) = 하수처리구역 내 하수처리인구 / 총 인구



그림 3.94 전국 하수도 보급률

표 3.84 전국 하수관로 보급률

구분			‘11	‘12	‘13	‘14	‘15
계 획연장			161321	162633	165479	170472	171696
시설연장	총계		118329	123309	126605	132680	137193
	합류식		47510	45683	45415	44601	44228
	분류식	합계	70820	77627	81191	88079	92966
		오수	41739	45094	47935	51813	54721
		우수	29080	32533	33256	36266	38245
하수관로 보급률(%)			73.4	75.8	76.5	77.8	79.9

※하수관거 보급률(%) = 설치연장 / 계획연장



그림 3.95 전국 하수관거 보급률

하수도 보급률은 92.9%로써 하수처리시설의 보급이 그 수요를 거의 만족하는 것으로 보일 수 있으나, 하수의 수질관리 기준이 점차 세분화되고 엄격해지고 있다는 것을 고려할 때, 여전히 하수처리시설의 수요는 큰 것으로 보는 것이 타당하다.

표 3.85 전국 하수도 설치율

지 역 (시·군·구)	총인구(명)	총면적 (km ²)	공공하수처리구역 인구보급률(%)	고도처리 인구보급률(%)	하수관로 보급률(%)	하수도 설치율(%)
전국('15)	52,672,425	98,626.7	92.9	84.0	79.9	74.2
서울특별시	10,297,138	605.2	100.0	100.0	100.0	100.0
부산광역시	3,553,768	767.5	99.2	37.1	60.8	60.3
대구광역시	2,513,970	884.0	98.3	98.3	90.0	88.5
인천광역시	2,983,484	1,024.1	97.6	97.6	87.4	86.5
광주광역시	1,490,654	501.2	98.6	98.6	86.0	84.8
대전광역시	1,535,191	540.0	97.4	94.5	96.0	93.5
울산광역시	1,199,717	1,061.0	98.8	93.7	80.4	79.5
세종특별자치시	214,365	464.9	89.5	86.8	87.7	83.9
경기도	12,892,271	8,983.5	94.0	86.6	81.5	76.6
강원도	1,564,615	17,417.7	86.0	74.3	74.4	64.1
충청북도	1,616,589	7,404.6	86.2	81.0	83.6	72.0
충청남도	2,134,232	8,181.6	74.3	73.2	73.2	54.4
전라북도	1,895,905	7,636.1	85.9	81.1	81.5	70.0
전라남도	1,939,562	11,714.0	76.1	66.3	70.7	53.8
경상북도	2,752,591	19,011.1	79.3	71.6	81.3	64.5
경상남도	3,447,018	10,581.3	88.6	88.0	81.9	72.5
제주도	641,355	1,848.8	91.4	-	68.9	63.0

위 표와 같이, 서울특별시를 제외하고는 여전히 보급률과 설치율이 많이 부족한 상태이며, 지역별 편차도 큰 것을 알 수 있다.

또한, 하수도 세출현황을 보면 하수처리시설 건설에 투자된 금액은 지속적으로 감소하고 있으나 하수관로 투자액은 증가하고 있는데, 이는 선진국과 유사한 경향으로써 하수관로 설치시기가 비교적 빠른 특/광역시 하수관로들이 대체로 노후화해 교체하거나 정비해야 할 필요성이 있기 때문으로 파악된다.

표 3.86 2010년대 하수도사업 세출현황

연도	총계	처리시설	하수관로	유수지 및 빗물펌프장	기타 (행정운영비 등)
2010	63,299	29,286(46.3%)	22,329(35.3%)	2,469(3.9%)	9,216(14.6%)
2011	65,140	30,575(46.9%)	22,384(34.4%)	1,697(2.6%)	10,483(16.1%)
2012	70,400	31,108(44.2%)	25,536(36.3%)	1,624(2.3%)	12,133(17.2%)
2013	73,113	30,719(42.0%)	28,273(38.7%)	1,585(2.2%)	12,536(17.1%)
2014	86,662	27,623(31.9%)	33,488(38.6%)	1,381(1.6%)	24,170(27.9%)

※자료: 환경부 「하수도통계」, 각 년 판

기존 시설에 대한 투자 및 교체는 어려운 상태이므로 시설 노후화 정도는 점점 심화되고 있으며, 매설의 경과연수가 20년 이상인 하수관로시설이 전체의 55.9%를 차지, 노후화에 따른 대규모 투자가 필요한 것으로 파악되어 환경부는 이에 대한 대책 마련에 나섰다.

2007년 환경부가 발표한 ‘국가하수도종합계획’ 중, 하수관로 정비사업은 지속적으로 추진하되 하수도정비기본계획 수립시 가장 우선적으로 하수관로에 대한 정비사업이 추진되도록 한 부분이 눈여겨 볼 만하다. 또 사업우선순위에 의한 하수관로 정비사업을 시행하되, 하수관로 불명수량, 관로부실 등 평가항목별 표준점수와 지자체의 재정현황 등의 기준을 통해 순위가 결정되도록 했다. 아울러 지자체별 하수관로 설치현황 및 공공하수도대장에서 미확인 하수관로 실태조사를 거쳐 노후화 진행이 심각하거나 하수관으로 기능이 불가능한 경우 연차별 정비계획을 하수도정비기본계획에 반영하여, 국고지원으로 개/보수사업이 완료된 지역(구역 또는 분구별)에 대한 추가 개/보수사업은 지방비로 진행되게 했다.(한국하수도 발전사, 환경부)

(나) 하수관종의 다양화와 연장 변화

2014년 기준, 우리나라 하수관로 연장 가운데 가장 큰 비중을 차지하고 있는 관종은 ‘원심력철근콘크리트관’으로 불리는 흙관이다.(총연장의 34.9%) 그 다음으로 PE관(폴리에틸렌피복강관)이 20.2%를 점유하고 있다.

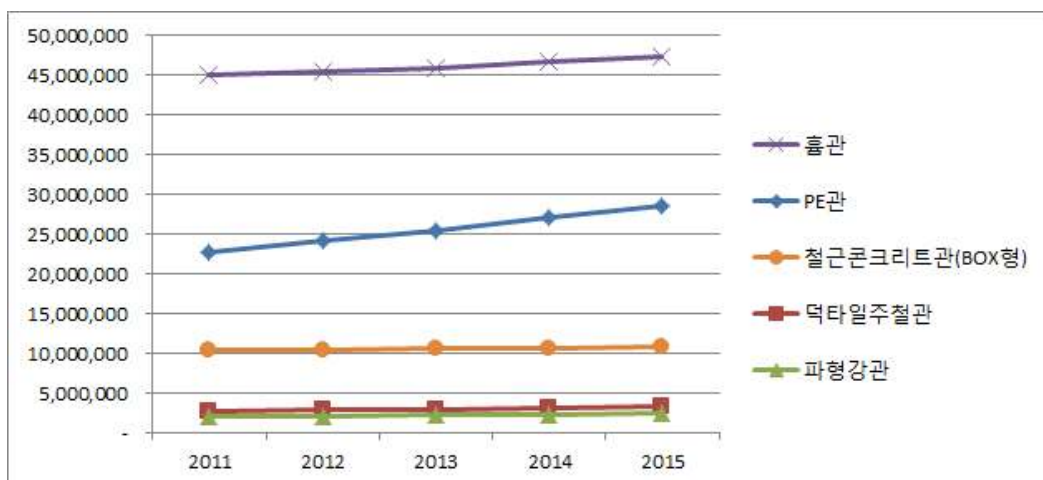


그림 3.96 관종별 하수관로 보급현황

이미 오래전부터 하수관로로 이용되어 오던 흙관과 박스형 철근콘크리트관, 진동 및 전압 콘크리트관인 VR관 등은 모두 내식성과 내구성이 강한 강성관으로 철근콘크리트를 원심력 다짐에 의해 성형해 만든 관종이다. 공사비용이 저렴하고 수밀성이 양호하며 관형의 변형이 좀처럼 발생하지 않는다는 장점이 있다. 이 때문에 흙관을 비롯한 콘크리트관들은 하수관로로 가장 많이 사용하는 관종들이지만, 중량이 무거워 취급 및 시공이 불리하고, 연약지반 공사시에는 기초콘크리트를 설치해야 하므로 공사비가 증가한다는 단점이 있다.

흙관을 비롯한 콘크리트관들은 1980년대 이전부터 사용되어 왔으며 이후 지속적으로 내구성을 강화해 오면서 계속 사용된 관종이므로 오래된 하수관로일수록 이 콘크리트관들의 점유율이 높을 수밖에 없다.

2000년 이후에는 유리섬유복합관, 덕타일주철관, 강화플라스틱복합관 등 다양한 관종의 사용이 크게 늘었는데, 대체적으로 파형강관은 점차 감소하는 추세를 보였고 PC관과 VE관 등은 연장이 소폭 증가한 반면, 하수관로의 주종인 흙관과 PE관, 철근콘크리트관은 물론 PVC관, 유리섬유복합관, 덕타일주철관 등은 크게 늘어 하수관로로 채택되는 관종이 점차 다양해지고 있다.(한국하수도 발전사, 환경부)

표 3.87 하수관종 비교

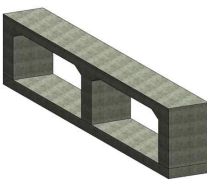
구분	흙관 (원심력 철근 콘크리트관)	PE관	철근콘크리트 BOX	DCIP (덕타일주철관)	파형강관
개 요	· 원심력 또는 축전압을 응용하여 만든 철근콘크리트관 · 벽체 내에 종선 나선 및 사선 등의 철선을 삽입하여 제조.	· 폴리에틸렌(PE)을 기계적으로 압출하여 이층구조로 제조한 관 · 내·외관 사이에 I 자 Beam이 일정한 간격으로 중심층을 형성 되도록 제조	· 철근으로 보강된 콘크리트로 4각 BOX 형상을 형성 · 용도와 용량에 따라 박스의 개수를 증가시킬 수 있음	· 덕타일 주철에 양질의 원료를 용해하고 주강상태에서 흑연을 구상화시키는 처리를 한 후 이를 원심주조로 관을 만들어 내부에 시멘트 라이닝을 한 관	· 열간압연 연강판에 아연을 600kg/m ² 이상 특수도금처리한 관 · 외압강도를 높이기 위해 파형으로 제조
형 상					
제품성질	강성관/RC 관종	연성관/비RC 관종	강성관/RC 관종	연성관/비RC 관종	연성관/비RC 관종
내구성	보통	우수	보통	우수	우수
물리적 특징	내식성	불리	우수	불리	우수
	내마모	보통	우수	보통	우수
	내충격	다소 미흡	우수	다소 미흡	우수
	변형량	없음	신축성 큼	없음	신축성 큼
현장관리	· 중량이 무거워 관리 불리	· 중량이 가벼워 현장 관리 용이	· 중량이 무거워 관리 불리	· 중량이 가벼워 현장 관리 용이	· 중량이 가벼워 현장 관리 용이

표 3.88 관종별 하수관로 연장 현황(단위:m)

구분	관종별 하수관로 연장 (km)				
	2010	2011	2012	2013	2014
총계	113,492	118,329	123,311	125,377	132,680
흙관	38,709	40,738	44,732	44,762	46,283
PC관	1,546	1,585	1,683	1,714	1,849
VR관	1,033	1,116	1,203	1,269	1,279
PVC관	7,294	9,217	11,291	12,378	14,072
강화플라스틱복합관	870	1,112	1,103	1,039	1,085
유리섬유복합관	898	1,112	1,227	1,328	1,463
PE관	17,609	21,209	23,590	25,128	26,780
덕타일주철관	1,832	2,104	2,983	2,658	3,248
파형강관	1,945	2,028	1,918	1,912	2,085
레진콘크리트관	414	410	571	587	580
철근콘크리트관(BOX형)	8,883	9,203	10,016	10,330	10,885
합성수지계 기타관종	462	554	426	466	473
기타	31,997	27,940	22,570	21,806	22,599

※자료: 환경부 「하수도통계」, 각 년 판

최근 5개년간 신설 하수관의 관종은 비 RC계열의 비중이 RC와 비교하여 약 4:1의 비율을 보이고 있으며, 누적연장의 비율도 50%를 넘어 점차 그 차가 커지고 있는 추세이다.

표 3.89 관종별 연장 현황

구 분	합류식					분류식					전체	
	형식별 시설연장 (km)			비율 (%)		형식별 시설연장 (km)			비율 (%)		비율 (%)	
	전체	사각형	기타	사각형	기타	전체	사각형	기타	사각형	기타	사각형	기타
전국('15)	44,228	5,534	38,693	13%	87%	92,966	4,593	88,373	5%	95%	7%	93%
서울특별시	9,651	1,369	8,282	14%	86%	965	36	929	4%	96%	13%	87%
부산광역시	4,103	513	3,590	12%	88%	4,413	293	4,120	7%	93%	9%	91%
대구광역시	3,476	392	3,084	11%	89%	2,334	161	2,173	7%	93%	10%	90%
인천광역시	2,499	329	2,170	13%	87%	2,429	232	2,197	10%	90%	11%	89%
광주광역시	1,675	154	1,521	9%	91%	1,646	154	2,423	9%	147%	9%	119%
대전광역시	1,608	230	1,378	14%	86%	1,893	134	1,759	7%	93%	10%	90%
울산광역시	92	89	3	96%	4%	4,037	164	3,872	4%	96%	6%	94%
세종특별자치시	166	13	154	8%	92%	734	56	678	8%	92%	8%	92%
경기도	6,773	733	6,040	11%	89%	18,992	907	18,085	5%	95%	6%	94%
강원도	2,461	185	2,277	7%	93%	5,263	152	5,111	3%	97%	4%	96%
충청북도	1,299	142	1,156	11%	89%	4,570	149	4,421	3%	97%	5%	95%
충청남도	1,576	137	1,439	9%	91%	5,988	257	5,731	4%	96%	5%	95%
전라북도	1,864	203	1,661	11%	89%	6,707	311	6,396	5%	95%	6%	94%
전라남도	1,857	283	1,574	15%	85%	7,929	395	7,534	5%	95%	7%	93%
경상북도	2,391	445	1,946	19%	81%	10,366	757	9,609	7%	93%	9%	91%
경상남도	1,985	244	1,741	12%	88%	10,566	366	10,199	3%	97%	5%	95%
제주도	751	75	675	10%	90%	3,203	68	3,135	2%	98%	4%	96%

전국적으로 사각형 콘크리트 RC암거가 차지하는 비중은 약 7%이며 합류식에서 분류식보다 더 많이 쓰이는 것으로 판단된다.

개·보수관로의 연장은 점차 감소하다가 다시 증가하는 추세이며, 우수관로보다는 오수관로(합류식 포함)의 비중이 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

표 3.90 방식별 연장 현황

연도	개·보수관로					
	연장 (km)				비율 (%)	
	계	합류식	분류식		우수	합류+오수
			우수	오수		
2011	1,063	466	175	422	16%	84%
2012	1,113	402	137	573	12%	88%
2013	779	341	110	328	14%	86%
2014	890	462	100	327	11%	89%
2015	939	443	131	365	14%	86%

(다) 하수도시설 노후화 및 재투자 대두

1) 하수도시설 노후화 현황

매설 후 30년이 지난 하수관로 비율은 현재 14.1%에서 2025년에는 38.1%, 2035년에는 51.5%로 증가가 예상되며, 설치된 지 30년이 지난 하수처리시설도 현재 6.8%이나 2025년에는 52.5% 2035년에는 83.6%로 증가될 것으로 예상된다.

2) 노후 하수도시설 재투자 소요 추정

시설별 내용연수를 고려하여 하수처리시설(30년) 및 하수관로(20년) 각각의 경년을 기준으로 재투자 계획 및 소요예산을 추가해본 결과, 2030년까지 노후 하수관로 재투자 16조 9,095억원, 노후 하수처리시설 재투자 2조 2,981억원 등 19조 2,076억원 소요될 것으로 예상되며, 시간이 경과함에 따라 노후화도가 증가하여 2040년까지 하수관로(50.6조) 및 하수처리시설(2.7조) 등 하수도 부문에 총 53.3조원의 재투자 소요가 발생할 것으로 전망된다.

표 3.91 하수도 재투자 소요 추정 (억원)

분류		현재~2020	2021~2030	2031~2040	합계
하수도	처리시설	14,459	8,522	4,318	27,298
	관로	38,571	130,524	336,643	505,738
합계		53,030	139,046	340,961	533,036

3) 노후 하수관로 정비사업 확대

현재 전체 하수관로 중 20년 이상 관로 비중이 38%('13년 관로연장 기준)에 달하는 등 노후화가 도래되었으며, 특히, 서울시는 전체 하수관로 중 48.4%(약 5,000km)가 설치 후 30년 이상 경과되었다. 2002년 이후 설치된 분류식 하수관로도 2020년대에는 설치 후 20년 이상 경과되는 시점이 단계적으로 도래할 것으로 예상된다.

그러나 이러한 하수관로 및 하수시설의 노후화가 진행되는 현황에도 불구하고 국내의 경우 지반침하 사고를 계기로 노후 하수관로 안전관리에 대한 관심이 높아졌으나, 하수도시설 안전도 및 서비스 수준 확보를 위한 장기적·종합적인 관리전략이 부재한 상황이며, 노후관로 갱생 등 관로 수명연장을 통한 비용절감방안에 대한 관심이 부족한 상황이다.

최근 이러한 문제점의 인식으로 인해 노후 하수관로 및 하수시설의 개보수 교체 및 정비사업을 확대할 계획을 수립중이며, 환경부 자료에 따르면, 하수관로 예산 중 노후 관로 진단·조사·정비 등 하수관로 안전 확보사업 투자 비중을 2025년까지 50%로 제고할 예정인 것으로 확인된다. 또한 노후관로 개량·개보수 사업 확대를 위한 국고 보조율 상향 조정(현행 : 10~30% → 30%), 노후관로 실태조사 및 관리대책 지침 발간 등을 추진할 예정이며, 경과연수 등 하수관로 노후화도 및 관로수명 예측모델 개발, 생애주기비용(LCC)에 근거한 관로정비 우선순위 등 하수관로 최적정비방안 마련 등을 통하여 노후 하수관로 수명연장 및 관리대책 마련할 예정으로 하수시설의 보수시장의 확대가 기대되고 있다.

(2) 하수 시설 열화 사례

(가) 하수암거의 결함 예시

1) 균열(Crack)

하수암거 벽에 균열 선이 나타나며 눈에 띄게 균열이 벌어져 있는 형태로, 콘크리트 조각 혹은 기타 골재들의 유실이 없는 상태

- 길이 : 종 방향 균열로써 하수암거의 축방향으로 나타난 균열
- 수직 : 횡 방향 균열로써 하수암거의 축에 직각 방향으로 나타난 균열
- 사선 : 종/횡 방향에 포함되지 않는 하수암거에 사선 방향으로 나타난 균열
- 복합 : 2가지 종류 이상(길이, 수직, 사선) 균열이 한 구간에 '대' 등급 이상으로 동시에 발생

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
길이	대	폭 25mm 초과, 혹은 5개소 이상 균열 발생	
	중	폭 10~25mm, 혹은 2~4개소 균열 발생	
	소	10mm 미만	
수직	대	폭 25mm 초과, 혹은 5개소 이상 균열 발생	
	중	폭 10~25mm, 혹은 2~4개소 균열 발생	
	소	10mm 미만	

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
사선	대	폭 25mm 초과, 혹은 5개소 이상 균열 발생	
	중	폭 10~25mm, 혹은 2~4개소 균열 발생	
	소	10mm 이하	
복합	대	길이 및 원주, 사선방향 중 두가지 이상 '대' 결함이 복합적으로 발생(대/대)	
	중	길이 및 원주, 사선방향 중 두가지 이상 '중' 이상의 결함이 복합적으로 발생(중/중/중, 중/대, 대/중)	
	소	길이 및 원주, 사선방향 중 두가지 이상 '소' 이상의 결함이 복합적으로 발생(소/소, 소/중, 소/대, 중/소, 대/소)	

2) 표면손상(Surface Damage)

하수암거의 표면이 파쇄나 마모로 인해 나타나는 결함항목으로 벽체 거칠기 증가, 쇄굴, 골재노출, 철근 노출, 철근 부식 등 표면손상으로 나타나는 현상들을 포함한다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
표면 손상	대	100mm 초과 벽체 손실(혹은 세굴), 노출 철근 부식	
	중	50~100mm 벽체 손실(혹은 세굴), 철근 혹은 골재 노출	
	소	50mm 미만 벽체 손실(혹은 세굴), 미량의 마모 발생	

3) 파손(Broken)

외부 공사 혹은 외압에 의해 하수암거가 파손된 상태로, 파손으로 인한 암거 둘레의

손실이 25% 이상 해당하는 항목들로 구성된다. 단, 하수관로와 달리 고의적인 타관 통과에 의한 암거 둘레 손실이 25% 이상 해당할 시 해당 결함으로 분류한다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
파손	-	파손 혹은 고의적 타관통과로 인한 암거 둘레 25% 이상 손실	

4) 붕괴(Collapsed)

하수암거의 구조적 안정성을 완전히 상실한 상태를 말하며 파손(Broken)으로 암거 높이(혹은 너비) 손실이 25%이상 발생한 결함을 말한다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
붕괴	-	구조적 안정성을 상실하거나, 변형이 암거 높이(혹은 너비)의 25% 이상 발생	

5) 영구 장애물(Permanent Obstruction)

하수관로에 수리적 용량 저하 혹은 흐름에 심각한 영향을 미치는 관로 내 장애물로써, 고정 물질, 암거의 벽으로 침투한 외부 물체 또는 외부 공사장으로부터 유입된 모르타르 등 세척 장비를 사용하여 제거 할 수 없는 장애물을 존재하는 경우 해당 결함으로 분류한다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
영구 장애물	대	장애물(지장물, 모르타르, 용접부산물 등)이 관경의 25%를 초과하여 점유	
	중	장애물(지장물, 모르타르, 용접부산물 등)이 관경의 10~25% 범위에서 점유	
	소	장애물(지장물, 모르타르, 용접부산물 등)이 관경의 10% 미만으로 점유	

6) 천공(Hole)

하수암거의 벽체에 구멍이 발생한 경우로, 해당 구멍을 통해 뒷채움재나, 공동이 관측된다. 혹은 고의적인 타관 통과로 인해 구멍이 발생한 경우도 해당 결함으로 포함한다. 결함 정도는 관둘레에서 해당 천공구멍이 차지하는 비율을 기준으로 산정한다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
천공	대	천공 구멍이나 타관통과로 인한 하수암거 둘레의 20% 초과, 25% 미만 손실 발생	
	중	천공 구멍이나 타관통과로 인한 하수암거 둘레의 10~20% 손실 발생	
	소	천공 구멍이나 타관통과로 인한 하수암거 둘레의 10% 미만 손실 발생 혹은 천공 구멍 보수	

7) 연결관(Lateral)

대상 하수암거에 연결된 연결관의 접합부 인근에서 발생하는 결함으로, 연결관 접합 후, 커팅이 제대로 이루어지지 않은 돌출 및 접합부 인근 발생하는 손상 현상을 포함한다.

- 돌출 : 암거의 측면에 연결관이 튀어 나오는 결함으로 돌출로 인한 관경 손실로 등급 구분
- 접합부 이상 : 하수암거와 연결관 사이의 접합부에 결함이 발생한 모든 경우를 통칭.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
돌출	대	직경 25% 초과 감소	
	중	직경 10~25% 감소	
	소	직경 10% 미만 감소	
접합부	대	연결관과 접합부에 누수의 흔적이 있음	
	중	접합부에 벌어진 틈은 있지만 외벽까지 확장되지 않음	
	소	접합부에 작은 틈이 존재하나 벌어지지 않음	

8) 이음부(Joint)

대상 하수암거 본과 인접 하수관로 본을 연결하는 이음부에서 발생하는 결함으로, 수평/수직 벌어짐을 의미하는 단차 및 이탈 결함을 포함하여, 기타 손상으로 발생하는 현상을 포함한다.

- 단차:대상 하수암거 본이 인접 하수관로 본과 동심 배치를 만족하지 못하는 상태
- 손상:이음부 부근에서 관측되는 단차/이탈을 제외한 결함들(균열, 공동, 고무링 노출 등)
- 이탈:이음부 부분 인접 하수관로와의 동심배치는 만족하나 축방향 단차가 존재하는 상태.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
단차	대	관 벽 두께의 100%를 초과하여 단차 발생	
	중	관 벽 두께의 50%~100% 단차 발생	
	소	관 벽 두께의 25% 미만으로 단차 발생	
접합부	대	균열이나 찢개짐이 외벽까지 확장, 이음부 누수 흔적	
	중	균열이나 찢개짐이 존재하나 외벽까지 확장된 흔적이 없음, 고무링 망실	
	소	작은 균열 혹은 찢짐 발생, 고무링 존재	
이탈	대	암거 길이방향 변위 50mm 초과, 토사 관측	
	중	암거 길이방향 변위 10 ~ 50mm	
	소	암거 길이방향 변위 10mm 미만	

9) 침하(Sags)

조사구간 중 특정 본에 침하가 발생하여 관측되는 결함 항목으로, 일반적으로 조사 시, 수위 변화에 의해 관측된다. 조사 중, 장애물로 인한 수위 상승이 아닌, 육안으로 원인을 파악할 수 없는 수위 상승이 발생한 경우 해당 결함으로 분류한다.

결함 항목	결함 등급	관중별 결함등급 설명	결함사례
침하	대	암거 내 유량 정체수위가 100mm 초과	
	중	암거 내 유량 정체수위가 50~100mm	
	소	암거 내 유량 정체수위가 50mm 미만	

10) 역경사(Negative slope)

조사구간 중 특정 본에 침하가 발생하여 관측되는 침하(Sags)와 달리, 조사구간 전체에 해당하는 관로의 기울기가 역경사를 이루는 결함으로, 중력식 암거에 한정해서 결함으로 적용된다. 해당 결함으로 의심되는 구간이 발생 할 경우, 시각적인 육안 조사와 더불어 하수관로의 기울기를 측정하여 비교에 기록한다.

결함 항목	결함 등급	관중별 결함등급 설명	결함사례
역경사	대	하수암거의 경사가 정상적인 흐름방향과 반대로 10° 이상 발생	-
	중	하수암거의 경사가 정상적인 흐름방향과 반대로 10° 미만 발생	-
	소	하수암거가 평행한 상태(역경사 진행중)	-

11) 토사 퇴적(Deposits, Silty)

하수암거 내부에 실트와 자갈이 퇴적되어 나타나는 결함으로, 이음부, 파손 및 천공으로 인한 뒷채움재의 소실이 주요 원인으로 작용한다. 횡단면적의 감소 비율을 기준으로 결함등급을 산정한다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
토사 퇴적	대	단면적이 20%를 초과하여 감소	
	중	단면적이 10 ~ 20% 범위에서 감소	
	소	단면적이 10% 미만으로 감소	

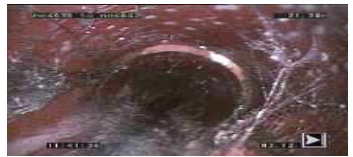
12) 임시 장애물(Temporary Obstruction)

영구 장애물과 달리, 하수암거 벽에 부착되거나 퇴적되지 않았으며, 준설 및 세척을 통해 제거가 가능한 장애물로, 토사퇴적 해당되는 결함을 제외한 기타 장애물 암거 하부에 퇴적되거나 존재하는 장애물로 인한 결함을 나타낸다.

결함 항목	결함 등급	관종별 결함등급 설명	결함사례
임시 장애물	대	단면적이 20%를 초과하여 감소	
	중	단면적이 10 ~ 20% 범위에서 감소	
	소	단면적이 10% 미만으로 감소	

13) 뿌리침입(Roots Intrusion)

하수암거, 이음부 또는 연결부의 결함을 통해 식물의 뿌리가 침입하는 결함으로, 등급은 단면적 손실 비율을 기준으로 선정한다.

결함 항목	결함 등급	관중별 결함등급 설명	결함사례
뿌리 침입	대	뿌리침입으로 인한 암거 단면적이 20%를 초과하여 감소	
	중	뿌리침입으로 인한 암거 단면적이 10~20% 범위에서 감소	
	소	뿌리침입으로 인한 암거 단면적이 10% 미만으로 감소, 혹은 뿌리침입 흔적 발생	

14) 침입수(Infiltration)

하수암거, 이음부, 연결부의 결함 혹은 암거 벽체의 다공성 구역을 통해 지하수가 내부로 유입되는 결함으로, 시각으로 관측되는 정도에 따라 결함등급을 선정한다.

결함 항목	결함 등급	관중별 결함등급 설명	결함사례
침입수	대	하수암거 표면에서 뿜어 나옴	
	중	중 하수암거 표면을 따라 흐름	
	소	하수암거 표면에서 스며나옴, 침입수 흔적 발견	

(3) 하수 시설 구조물 보수/보강 사례

(가) 지하 RC구조물의 하자 및 보수보강 공법

콘크리트 구조물은 사용 기간 동안에 수축팽창, 진동, 과다하중, 성능저하 등 여러 가지 요인으로 인하여 손상을 입게 된다. 구조체의 손상은 구조물의 균열, 과다한 처짐, 강도저하 등으로부터 내구성, 안전성, 미관, 기능상실 등 구조성능 및 사용성에 문제를 야기시킨다.

그 중에서도 특히 균열은 보수하지 않을 경우 점점 크기와 깊이가 확대되어 구조적 안전성을 심각하게 저하시킬 수 있으므로 즉각적인 보수/보강이 필요한 사항이다.

균열은 콘크리트의 재료분리, 건조수축, 온도변화, 혹은 복합작용에 철근부식, 화재, 과다한 하중 등 여러가지 요인들이 단독 혹은 복합작용에 의하여 발생한다. 균열의 발생 원인을 알기 위하여는 균열의 위치, 방향, 폭과 길이, 발생시기 등 균열자체에 관련된 것들을 구조물의 상태, 시공하중이나 이상하중의 작용, 부동침하, 토압이나 수압에 의한 축압의 작용 등 외적인 조건들과 결부하여 포괄적인 검토가 이루어져야 한다.

또한, 균열은 발생원인을 파악하는 과정이 중요하다. 그에 따라 적절한 보수/보강 방안이 정해질 수 있기 때문이다.

일반적으로 보수(Repair)란 손상된 콘크리트 구조물의 내구성, 안전성, 미관 등 내하력 이외의 기능을 회복시킴을 목적으로 하는 것이며, 보강(Rehabilitation)이란 손상에 의해 저하된 콘크리트 구조물의 내력을 회복시킴을 목적으로 하는 것으로 정의된다.

보수설계는 안전진단 결과에 의거하여 손상된 구조물의 기능회복을 목적으로 보수의 필요여부, 보수범위의 결정, 성능저하원인의 파악, 보수목적 및 회복목표 등을 만족하기 위한 적절한 재료 및 공법을 결정하는 행위이다. 즉 보수설계에 있어서는 안전진단 결과에 따라 손상원인, 발생상황, 구조물의 중요도, 환경조건 등을 파악하고, 보수의 범위 및 규모를 설정하며, 보수 목적 및 회복 목표에 따라 적절한 재료와 공법이 선택되어야 한다.

구조물의 안전진단 결과, 보수만으로 강도와 내구성 및 사용성을 확보할 수 없다면 저하된 내력을 회복할 수 있는 적절한 재료와 공법으로 보강을 하여야 하며 이때는 손상의 원인, 재하조건, 보강의 범위와 규모, 안전성, 경제성, 관리의 용이성, 기존에 사용된 재료와 보강 시 사용된 재료의 역학적 특성, 접합재료의 특성 등을 고려하여야 한다.

(나) 균열의 발생원인

표 3.92 균열의 발생원인

대분류	중분류	소분류	번호	원 인	발생시기	형 태	특징
재 료	사 용 재 료	시 멘 트	A1	이상응결	수시간 ~ 1일	표면	폭이 크고 짧은 균열이 비교적 빨리 불규칙하게 발생
			A2	수화열	수일	표면 관통	콘크리트 단면에서 1~2주간 지난후부터 직선상의 균열이 거의 등간격으로 규칙적으로 발생. 표면에 발생하는 것과 부재를 관통하는 것이 있다.
			A3	이상팽창	수10일 이상	표면 그물 모양	방사형의 그물 모양 균열
		골 재	A4	점토성분	수시간 ~ 1일	표면 그물 모양	콘크리트 표면의 건조에 따라서 불규칙하게 그물모양의 균열이 발생
			A5	저품질	수시간 ~ 1일	표면	불규칙한 짧은 균열 발생
			A6	반응성	수10일 이상	표면 그물 모양	콘크리트 내부에서부터 거북등 모양으로 발생. 다습한 곳에 많다.
	콘 크 리 트		A7	염분	수10일 이상	표면 그물 모양	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생
			A8	침하 블리딩	수시간 ~ 1일	표면	타설후 1~2시간에서, 철근의 상부와 벽, 상판의 경계 등에서 단축적으로 발생
			A9	소성수축	수시간	표면 그물 모양 관통	개구부나 기둥, 보로 둘러싸인 코너부위에는 경사균열이, 상판·보 등에서는 가는 균열이 등간격으로 수직하게 발생
				경화수축	수시간 ~ 1일		
				건조수축	수일 ~ 수10일		
				장기건조수축	수10일 이상		

대 분 류	중 분 류	소 분 류	번 호	원 인	발생시기	형태	특 징
시 <							

대 분 류	중 분 류	소 분 류	번 호	원 인	발생시기	형 태	특 징
사 용 및 환 경	물 리 적	온 도 · 습 도	C1	외부온도·습도의 변화	수10일 이상	표면 관통	건조수축의 균열과 유사. 발생한 균열은 습도 변화에 따라 변동
			C2	부재양면의 온도·습도차	수10일 이상	표면	저온측 또는 저습측의 표면에 휨방향과 직각 으로 발생
			C3	동결·융해의 반복	수10일 이상	표면 그물 모양	표면이 부풀어 올라서 부슬부슬 떨어지게 됨
			C4	화재	수10일 이상	표면 그물 모양	표면 전체에 가는 거북등 모양의 균열이 발생
			C5	표면가열			
	화 학 적	화 학 작 용	C6	산·염분에 의한 화학작용	수10일 이상	표면 그물 모양	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전 면에 균열이 발생
			C7	중성화에 의한 내부철근의 녹			철근을 따라 큰 균열이 발생. 콘크리트의 피 복이 떨어져 나가고 녹이 유출됨
			C8	염화물에 의한 내부철근의 녹			
구 조 및 외 력	하 중	장 기 · 단 기 · 동 적 하 중	D1	설계하중이내의 장기하중	수10일 이상	표면 관통	주로 휨하중에 의해 보나 슬래브의 인장측에 수직으로 균열이 발생
			D2	설계하중을 초과하는 장기하중			
			D3	설계하중이내의 단기·동적하중	수10일 이상	표면 관통	전단하중에 의해서 기둥, 보, 벽 등에 45°방향으로 균열이 발생
			D4	설계하중을 초과하는 단기·동적하중			
	구 조 설 계		D5	단면·철근량 부족	수10일 이상	표면 그물 모양	휨하중과 전단하중에 의한 균열 발생과 같은 형태. 상판과 채양 등에서 처진 방향으로 평 행한 균열이 발생
			지 지 조 건		D6	구조물의 부등침하	수10일 이상
	D7	지반의 동결			시공중 및 사용중	표면 관통	동결조건에 따라 다양
기 타			E				기타

(다) 균열 보수보강공법

1) 표면처리 공법

이 공법은 균열을 따라 콘크리트 표면에 피막층을 만드는 방법과 어느정도 넓은 범위로 콘크리트 표면 전체를 피복하는 방법으로 분류할 수 있다. 전자는 그림과 같이 통상 0.2mm이하의 미세한 균열에 대해 방수성, 내구성을 확보할 목적으로 실시되는 방법이며 후자는 일반건축 마감공법 중 콘크리트의 내구성, 방수성, 미관성을 확보하기 위해 이용된다.

이 공법은 균열의 내부처리가 가능하지 않다는 점과 균열이 계속 진행되는 경우에 균열의 움직임을 추적하기 어렵다는 등의 결점을 가지고 있다. 이 때문에 균열폭의 변동에 따라서 탄력성이 있는 재료를 채우고 그림b)에 나타난 바와 같이 처리되고 있다. 이와 같이 균열의 성장이 진행될 경우에는 경화 후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수를 하면 보수 부위에 다시 균열이 발생하므로 변형성, 신장성이 큰 재료를 사용하여야 한다.

이를 테면 균열면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15mm 테이프를 부착하고 테이프를 중심으로 폭 30~50mm 두께2~4mm로 시일재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

균열의 성장이 정지된 상태에서는 단순히 표면처리 하여 보수할 수 있다. 즉, 균열선을 따라 폭 50~10mm를 와이어 브러쉬로 닦아 낸후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터(두께 약 2mm정도)로 균일하게 도포한다.

콘크리트 표면에 미세한 균열이 많이 있는 경우도 같은 방법으로 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터를 도포하는 경우가 있으나, 재료를 기계로 분무하여 보수하는 방법도 있다. 분모보수는 균열이 진행되지 않은 경우에 시공하는 것이 원칙이다.

이 공법은 비교적 간단한 보수공법이므로 주로 균열폭의 변동 유무에 따라서 선택하는 것이 중요하다. 일반적으로 균열폭의 변동이 적은 경우는 에폭시 수지, 균열폭 변동이 큰 경우에는 타르 에폭시, 폴리우레탄이 이용되어지고 있고, 간단한 보수에는 시멘트 모르터, 아스팔트 등을 이용하고 있다.

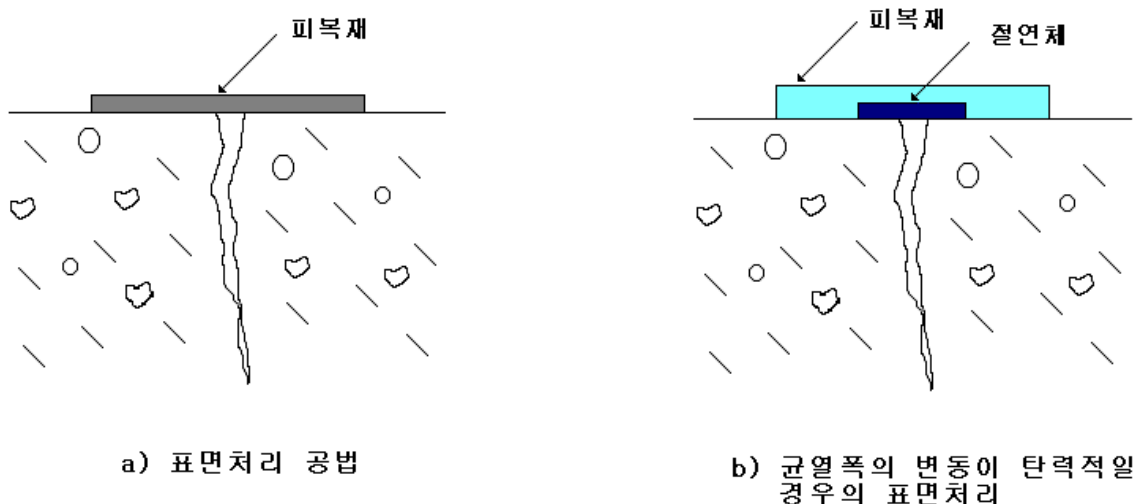


그림 3.97 표면처리 방법

2) 주입공법

균열폭이 0.2mm이상의 경우에 채용되는 것으로 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법이며, 마감재가 콘크리트의 구체에서 들떠 있는 경우의 보수에도 채용한다. 이 공법을 적용함에 있어서는 시공시기에 알맞는 가사시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하다.

주입공법의 주류는 에폭시 수지 주입공법이며 과거에는 수동 및 기계주입 방법으로 행해졌었다. 그러나 이들 방법에서는 주입량의 점검이 가능하지 않고 관통하지 않는 균열에서는 내부까지 재료를 주입하는 것이 곤란한 것, 주입 압력이 너무 높으면 균열을 확대하여 버리는 것 등의 문제가 있었는데 최근에는 저압 저속 주입이 다양하게 고안되어 있다.

저압저속 주입공법은 주입량 파악이 쉬우며, 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있으나 주입기에 주입재료가 남아서 재료손실이 많아지는 경우가 있다. 또한 이 공법은 콘크리트 균열면에 직접 보수재료를 주입하기 때문에 균열내부 및 균열 표면재료의 접착을 방해하는 부착물이 있는 경우에는 적용할 수 없다.

에폭시 수지 주입공법을 적용할 때는 충분한 가사시간과 균열폭에 적합한 점도를 가진 재료를 선정하는 것이 중요하다. 점도는 용재를 넣어 조절할 수 있지만, 과다하면 접착력이 저하되므로 주의해야 한다.

진행중인 균열의 경우 변형성이 작은 에폭시 수지(일반적으로 2% 정도)를 사용하면 보수한 균열 부근에 새로운 균열이 발생하는 경우가 많다. 따라서 이와 같은 경우에는 가용성의 에폭시 수지 주입공법과 스테인레스 핀을 병행 사용하여 균열부의 일체성을 높임으로써 온도변화에 의한 균열의 움직임을 적게 하는 방법도 있다.

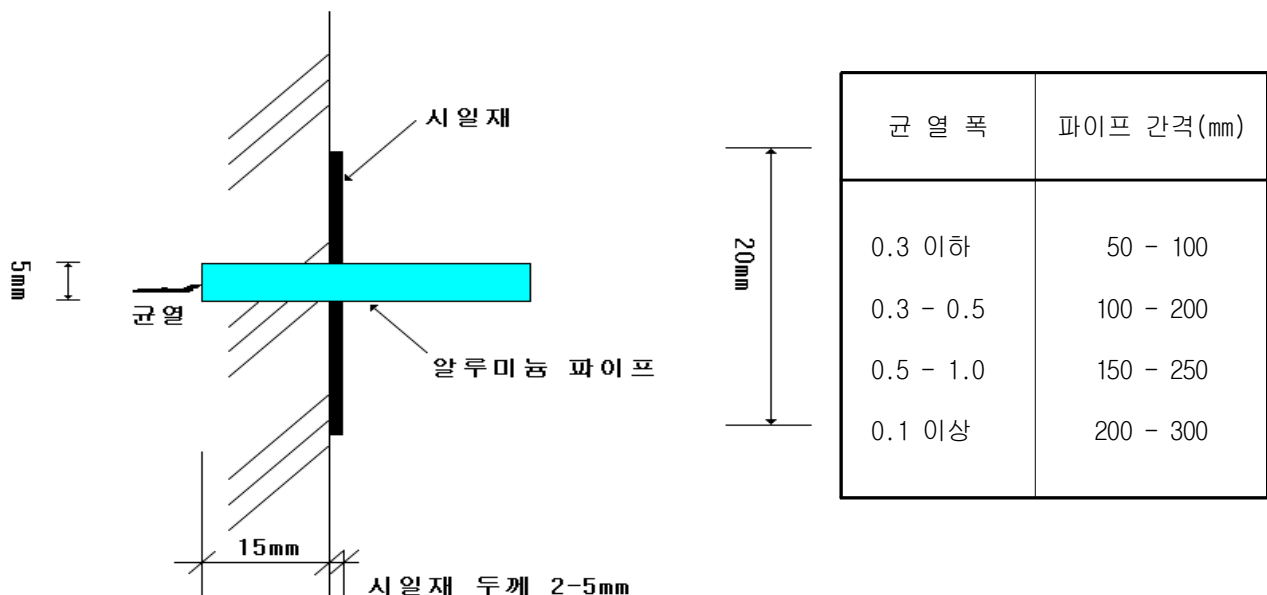


그림 3.98 주입공법 시공 단면도

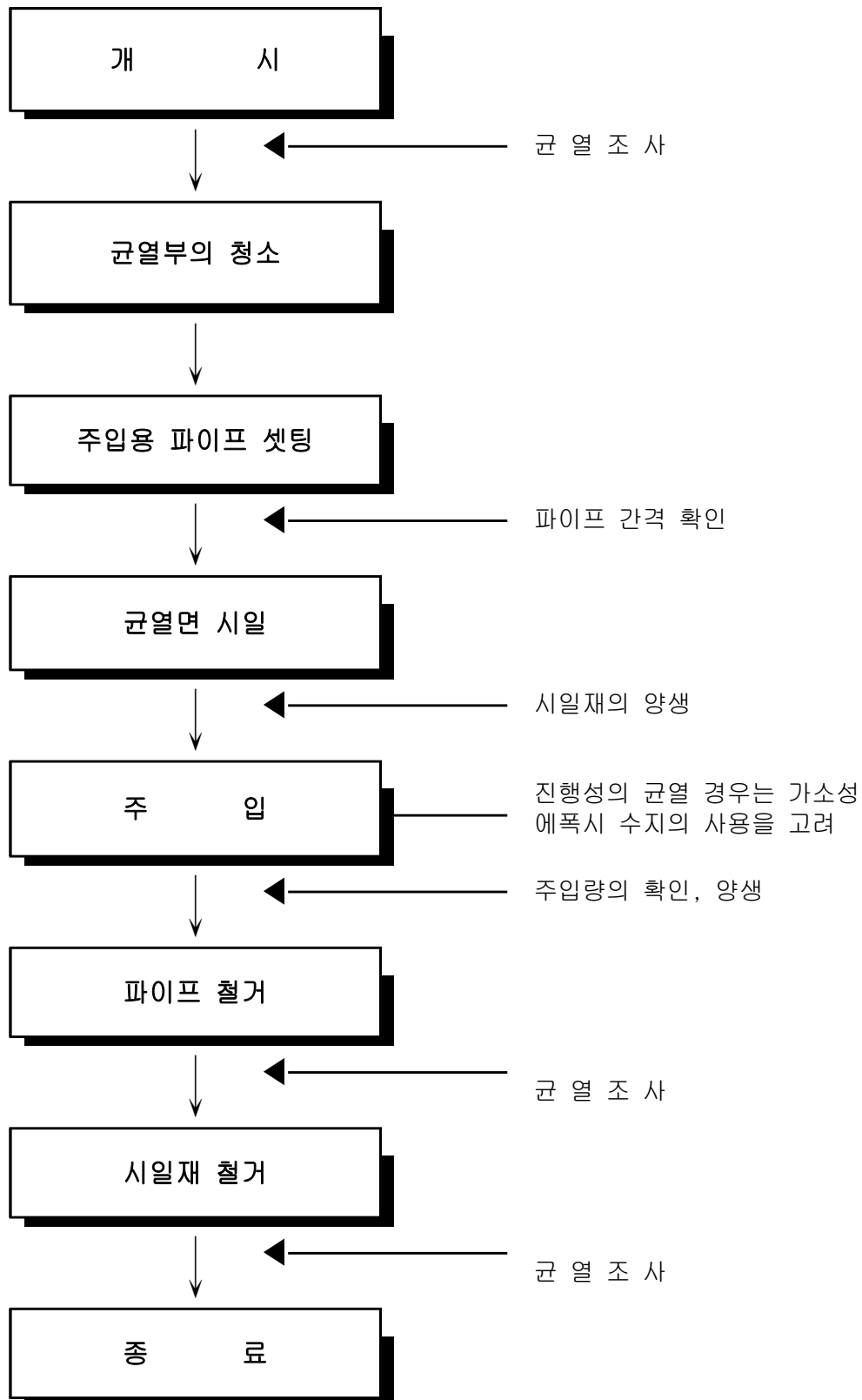


그림 3.99 주입공법 시공 단면도

3) 충전공법

0.5mm 이상의 비교적 큰 폭의 균열보수에 적용하는 공법으로 균열선을 따라 콘크리트를 U형으로 잘라내고 그부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근의 부식여부에 따라 보수방법을 달리하여야 한다.

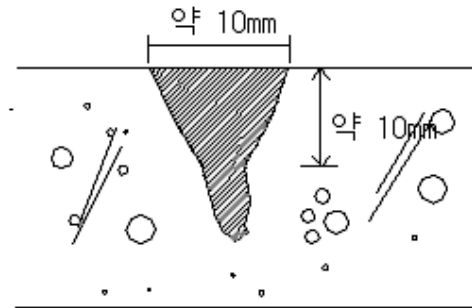


그림 3.100 충전공법

- 철근이 부식하지 않는 경우

아래 그림과 같이 균열선을 따라 약 10mm의 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 잘라낸 후 이 잘라낸 부분에 시일재, 탄성형 에폭시 수지 및 폴리머 시멘트 몰탈 등을 충전한다. U자형으로 잘라내는 경우는 균열선을 중심으로 양쪽에 커터로 흠을 낸 후 그사이의 콘크리트를 제거하는 것이며, V자형으로 잘라내는 경우에는 원추형의 다이아몬드 비트를 전동드릴 끈에 장착하여 균열선을 따라 제거한다. V형의 절단 방법은 간단하지만 폴리머 시멘트 몰탈을 충전하는 경우에는 몰탈의 박리, 박락이 일어나기 쉽기 때문에 U자형의 절단방법을 채용하는 것이 바람직하다.

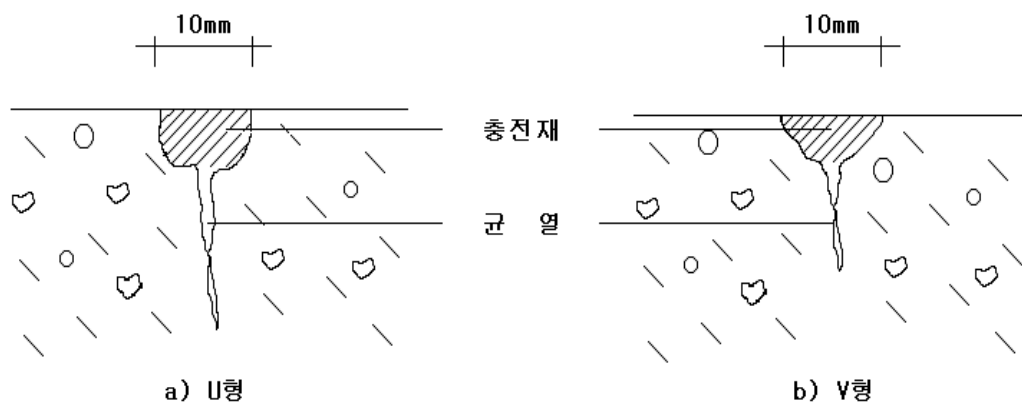


그림 3.101 철근이 부식하지 않는 경우

- 철근이 부식되어 있는 경우

아래 그림과 같이 철근이 부식되어 있는 부분을 충분히 처리할 수 있을 정도로 콘크리트를 떼어내고 철근의 부식된 부분을 제거하여 철근에 방청처리를 한 후 콘크리트 프라이머 도포를 행한 후 폴리머 시멘트 모르타나 에폭시 수지 모르타 등의 재료를 충전한다. 이 방법은 철근이 부식된 철근 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목표로 한 것으로서 여러가지 재료와 공법이 사용될 수 있다.

이에 대한 주된 것으로는 다음 3가지를 열거할 수 있다.

- ① 보수재료를 사용하여 물리적으로 부식을 방지하는 방법
- ② 콘크리트에 알칼리성을 부여하여 화학적으로 부식을 억제하는 방법
- ③ ①과②를 혼용하는 방법이다.

철근이 부식하고 있는 경우의 보수에는 다음의 사항에 유의할 필요가 있다.

- ① 부식한 철근의 녹을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 균열이 발생하지 않은 부분의 철근도 부식하고 있는 것이 많기 때문에 이 부분도 포함하여 보수한다.
- ③ 균열은 진행성으로 균열폭이 확대하는 것이 많기 때문에 변형 추종성이 큰 보수재료를 사용한다.

균열의 진행이 없는 경우에는 균열선을 따라 약 10mm 를 한번으로 하는 정삼각형(V형)으로 절단하여 완전히 제거한 후 겔 상태의 에폭시 수지를 주입한다. 겔 상태의 에폭시 수지란 중량비로 에폭시 수지1에 대해 규석분 2.5~3.5를 혼합교반한 것이다. 바닥 슬래브의 경우는 V형으로 절단한 수 저점도 에폭시 수지를 주입하여 충전한다.

균열이 진행하는 경우에는 변형력, 시장력이 큰 재료가 유리하며, 재료로서는 겔 상태의 에폭시 수지 대신에 탄성 접착제를 사용한다. 이 경우 V형으로 절단된 면에 에폭시 수지를 프라이머로 도포하면 접착력을 향상시킬 수 있다.

누수 또는 용축수가 있는 경우에는 보수에 의해 물을 차단하면 수압 때문에 보수한 부근에서 누수가 되므로 도수관을 설치하여 자연도수가 되도록 하여야 한다.

균열선을 따라 V형으로 절단하여 절단부 구석에 특수성 스폰지, 집수용 파이프와 도수용 호스를 장전하고, 급결성 시멘트 모르타르로 임시 막아놓은 다음 몇 군데 설치된 파이프를 한 곳으로 모아 배수시킴으로써 균열부에서의 누수와 용수를 방지하여야 한다.

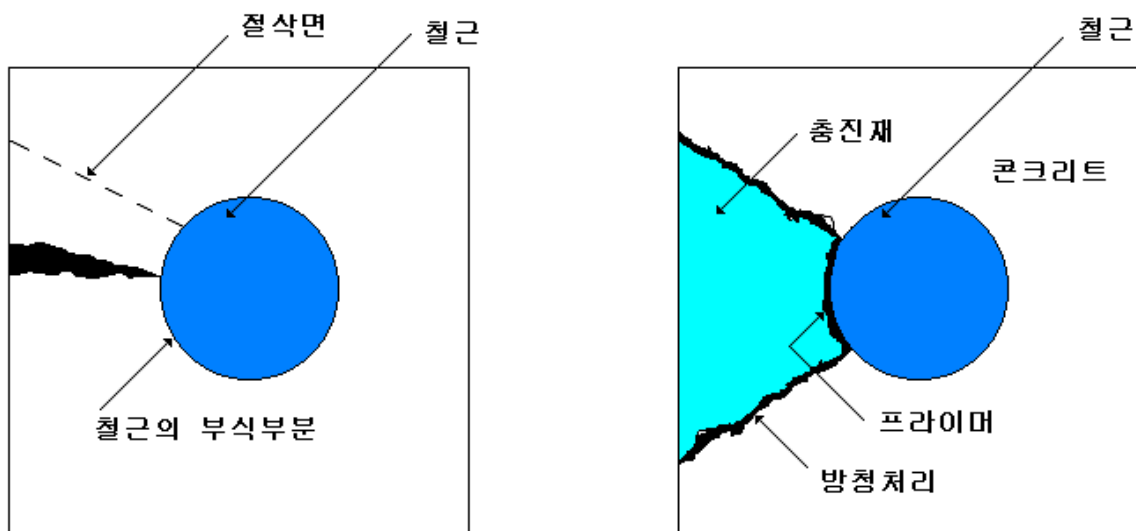


그림 3.102 철근이 부식되어 있는 경우

10. 보수재 적용 하수암거 구조해석

(1) 개요

철근콘크리트 구조물인 하수암거의 주요 성능저하요인은 황산에 의한 침식으로 하수암거 콘크리트의 열화가 진행되고 이에 따라 콘크리트 피복 탈락, 철근부식, 단면결손 등으로 철근콘크리트 구조물의 강도 및 성능이 저하된다. 구조물 성능이 저하됨에 따라 구조물 수명이 줄어들고 하수 누수로 인하여 주변 토양오염, 지반의 공동 발생 등의 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하고자 내황산 모르타르 보수재 개발을 진행 중이다.

본 연구에서는 대표적인 하수암거 단면에서 황산해로 콘크리트 피복이 탈락되어 철근이 노출된 상태, 보수모르타르를 이용해 보수된 상태에 대해 강도 검토를 수행하였다. 보수모르타르의 종류에 따른 보강효과를 비교하고 신규 개발 내황산 보수모르타르를 적용한 보강에 대해서는 상세 해석을 실시하여 성능을 검증하고자 한다.

표 3.93 검토단계

검토단계	설명
건전단계	설계강도
황산해	하수에 포함된 황산에 의해 내측 피복깊이(90mm)까지 콘크리트 강도 약화
단면 탈락	콘크리트 열화로 인해 암거 내부의 콘크리트가 탈락 내측 피복깊이(90mm)까지 탈락하여 감소된 단면 가정
보수 후	재료별(일반 보수모르타르, 기존 내황산 보수모르타르, 개발 내황산 보수모르타르) 보수 후 시간 경과에 따른 강도 변화 적용

(2) 하수암거 구조물 강도 검토

구조물의 강도는 구조물 외부에서 작용하중에 대하여 구조물이 견딜 수 있는 능력이다. 즉 외력에 대한 구조물 설계강도로 철근 콘크리트 구조물에서는 철근의 강도와 배치량, 콘크리트 강도, 부재의 크기 등에 의해 결정된다. 건전한 상태의 철근 콘크리트 구조물은 외력을 견딜 수 있는 충분한 강도를 가지고 있으나 황산해를 입어 콘크리트 탈락, 철근 부식, 단면 손상 등이 발생한 철근 콘크리트 구조물은 강도가 저하된다.

본 장에서는 하수암거의 대표 단면을 선정하고 철근이 노출된 손상 단면과 기존 모르타르 및 신규 개발 모르타르로 각각 보수된 단면에 대하여 강도설계법을 적용하여 강도 검토를 수행하였다.

(가) 설계 조건

① 검토 단면

검토 단면은 내공 높이 2m, 폭 2m에 상부 토피 2m인 1련 박스로 콘크리트는 설계기준 강도(f_{ck}) 24 MPa, 철근은 항복강도(f_y) 400MPa을 적용하였으며 단면 제원은 다음과 같다.

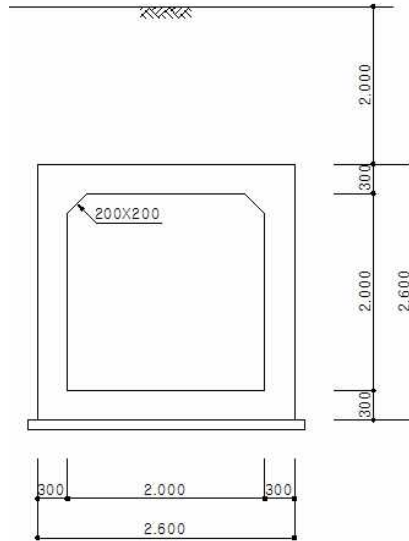


그림 3.103 검토 단면 일반도

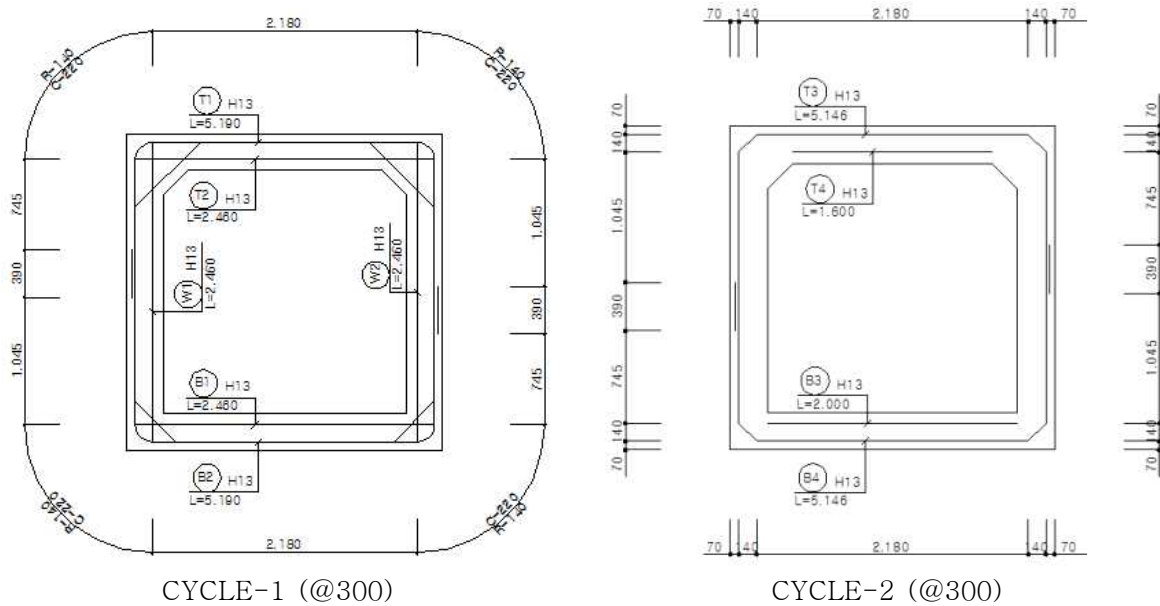


그림 3.104 주철근 배근도

② 설계기준

철근콘크리트 구조물은 원칙적으로 강도설계법의 규정에 따라 구조적 안전성을 확보할 수 있도록 설계하여야 하며, 본 검토에서도 강도설계법 규정에 따라 열화 및 보수를 가정한 단면에 대해 강도 검토를 실시하였다.

③ 설계하중

1) 일반사항

- 구조물의 설계에는 시공 및 구조물 사용 기간 중에 작용이 예측되는 모든 하중을 고려하고 극한상태에 따라 적절한 조합을 고려하여야 한다.
- 설계하중은 사용하중에 하중계수를 곱하여 정한다.
- 설계강도는 부재의 공칭강도에 강도감소계수를 곱하여 얻는다.
- 구조물의 설계에는 시공 및 사용 중 구조물에 작용할 것으로 예측되는 모든 종류의 하중에 의한 영향을 고려하여야 한다.

2) 고정하중

고정하중 산출에 사용되는 재료의 중량은 아래 표의 단위중량을 사용하고 실중량이 명확한 것은 그 값을 사용한다.

표 3.94 재료의 단위중량

재 료	단위중량 (kN/m ³)	재 료	단위중량 (kN/m ³)
철근 콘크리트	24.5	도상 자갈, 쇠석	19.0
무근 콘크리트	23.0	역청재 (방수용)	11.0
시멘트 모르타르	21.0	역 청 포 장	23.0

3) 활하중

활하중은 자동차 하중으로 도로교 설계기준의 DB하중으로 한다.

- 지하 구조물의 노면 활하중

D : 암거 상면의 토피 및 포장층 두께 (m)

Bo : 암거폭(다련 BOX인 경우 외측 1-BOX의 폭)(m)

노면활하중이 10kN/m² 이하일 때는 10kN/m²으로 한다.

표 3.95 D/Bo ≥ 0.5인 경우 노면 활하중

토피 (D, m)	노면 활하중 (Pv1, kN/m ²)	비 고
1.0	39.0	토피의 중간값은 노면 활하중 상위의 값을 적용
1.5	25.0	
2.0	18.0	
2.5	14.0	
3.0	11.0	
3.5 이상	10.0	

표 3.96 D/Bo < 0.5인 경우 노면 활하중

D / B0	노면 활하중 (Pv1 x D, kN/m ²)	비 고
0.1	17	D/B0의 중간 값은 Pv1xD의 상위 값을 적용 노면활하중(Pv1)은 표의 값을 D로 나누어 구함
0.2	27	
0.3	33	
0.4 이상	36	

토피고 1.0m 이내인 경우 이동하중으로 재하하고 상부 슬래브는 바닥판 기준을 따라 설계한다. (상기 노면 활하중 값의 기준은 DB-24이므로 DB-18 또는 DB-13.5 적용 시는 별도로 검토하여야 한다.)

4) 토압

가) 정지토압

정지토압은 지하박스 구조물등과 같이 정지토압을 적용하는 것이 타당한 경우에 적용한다.

구조물에 전 설계토압이 작용하는 경우와 전설계 토압의 1/2이 작용하는 경우, 주동 토압 및 특수한 경우 현장조건에 의한 최소토압 중에서 가장 불리한 경우의 단면력에 대하여 설계하여야 한다. 정지토압의 계산은 다음 식에 의한다.

$$H = K_o(L + \gamma_t \cdot h_1 + \gamma_{sub} \cdot h_2)$$

K_o : 정지토압계수 ($K_o = 1 - \sin\phi'$)

L : 과재하중 (KN/m²)

γ_t : 지하수면 이상의 흙의 단위중량 (kN/m³)

γ_{sub} : 지하수면 이하의 흙의 단위중량 (kN/m³)

h_1 : 지표에서 지하수면까지의 깊이 (mm)

h_2 : 지하수면에서 측압을 구하려는 위치까지의 깊이 (mm)

ϕ' : 흙의 내부 마찰각 (rad)

연암층 이상의 암반층에 굴착 시공된 구조물에 작용하는 측압에 대해서는 시추조사 및 지질구조 조사 결과에 나타난 절리 및 단층 등의 불연속면의 방향성 및 경사각 등을 고려한 암반사면 안전성 분석을 시행하여 암반의 자립여부를 판단, 토압의 증감여부를 고려할 수 있다.

나) 주동토압

주동토압은 옹벽 구조물 등 주동토압 적용이 타당한 경우에 적용한다. 주동토압 계산은 다음 식에 의한다.

$$H = K_a(L + \gamma_t \cdot h_1 + \gamma_{sub} \cdot h_2)$$

여기서, 주동토압계수 (K_a)의 산정식은 안정 검토 시에는 랭킨(Rankine) 토압공식, 부재 계산 시에는 쿨롬(Coulomb) 토압공식을 사용한다.

다) 흙의 단위중량과 내부마찰각

흙의 단위중량과 내부마찰각은 시추자료, 토질시험 값 등과 같이 지반조사 자료의 분석과 경험을 종합적으로 고려하여 책임기술자가 제시한 값을 사용한다.

다만, 사질토로서 시험에 의하지 않았을 경우에는 책임기술자의 판단아래 토질 공학적 근거에 입각한 관계식이나 다음 표의 일반적인 시험 값을 참고적으로 사용할 수 있다.

표 3.97 토압계산에 사용되는 일반적인 흙의 단위중량과 내부마찰각 (참고사항)

흙의 종류	상대 밀도	단위 중량 (kN/m ³)	내부 마찰각 (rad)	비 고
모래, 자갈	조 밀	20.0	0.576	
	보 통	19.0	0.524	
	느 슨	18.0	0.489	

5) 수압

지하수에 의한 수압계산은 정수압을 기준으로 하며 다음 식에 의한다.

$$F = \gamma_w \cdot h$$

F : 정수압 (KN/m²)

γ_w : 물의 단위중량 (kN/m³)

h : 지하수의 깊이 (m)

④ 하중계수 및 하중조합

강도설계법에 의해 작용하중에 계수를 적용한 계수하중을 적용하며, 암거에 작용하는 하중은 고정하중, 노면활하중(재하 시, 비재하 시), 토압(최대측압, 최소측압)등이 있다. 하중계수 및 하중조합에 따라 가장 불리한 조건에 대해 검토한다.

표 3.98 하중계수 및 하중조합

하 중 조 합		하 중 계 수			
		고정하중 (D)	노면활하중 (L)	연직토압 (Hv)	수평토압 (Hh)
하중조합1	최대측압 + 최대연직하중 (활하중 재하 시)	1.2	1.6	$1.6\alpha H$	1.6
하중조합2	최대측압 + 최소연직하중 (활하중 비재하 시)	0.9		$1.6\alpha H$	1.6
하중조합3	최소측압 + 최대연직하중 (활하중 재하 시)	1.2	1.6	$1.6\alpha H$	0.8

※ 토피의 두께에 따른 연직방향 하중 Hv에 대한 보정계수 αH 는 토피두께 $h \leq 2m$ 에 대해서는 $\alpha H=1.0$, 토피두께 $h > 2m$ 에 대해서는 $\alpha H=1.05-0.025h$ 이며 0.875보다 작지 않은 값이다. 보정계수 αH 를 취함으로써 Hv에 대한 적용 하중계수는 토피의 두께가 2m 이하인 경우 1.6, 토피의 두께가 7m 이상인 경우 1.4이며 토피의 두께가 2m에서 7m 사이인 경우에는 1.6에서 1.4사이의 값을 직선 보간한 값이 된다

⑤ 설계강도

구조물의 부재, 부재간의 연결부 및 각 부재 단면의 휨, 축하중, 전단, 비틀림에 대한 설계강도는 이 기준의 규정과 가정에 따라 정해지는 공칭강도에 콘크리트구조설계 기준의 강도감소계수 ϕ 를 곱한 값으로 하여야 한다.

표 3.99부재별 강도감소계수

종 류		강도감소계수 ϕ
휨, 또는 휨과 축방향 인장을 겸하여 받는 보통 철근콘크리트 부재		0.85
축방향 인장부재		0.85
축방향 압축부재 휨과 축방향 압축을 겸하여 받는 부재	나선철근으로 보강된 철근콘크리트부재	0.70
	그 외의 철근콘크리트 부재	0.65
	공칭강도에서 최외단 인장철근의 순인장변형률 ϵ_t 가 압축지배와 인장지배 단면 사이일 경우	ϵ_t 가 압축지배 변형률 한계에서 0.005로 증가함에 따라 ϕ 값을 압축지배 단면에 대한 값에서 0.85까지 증가시킨다
전단과 비틀림		0.75
무근콘크리트의 휨 모멘트, 압축력, 전단력, 지압력		0.55

⑥ 구조해석

1) 일반사항

- 단면의 검토에는 콘크리트구조설계기준의 설계하중 및 설계강도를 적용하고, 지하수(G.L. -1.0m)가 있을 때 하중을 산정하여 필요한 하중조합으로 재하시켜 얻은 부재력 중 가장 불리한 부재력으로 검토한다.
- 구조해석 시 지점조건은 연직, 수평방향 스프링을 설치하거나 힌지, 롤러를 설치하는 방법이 적용될 수 있으며, 실제 지반조건에 적합한 방법을 적용토록 한다.
- 구조형상 및 단면은 구조물의 내공치수를 확보하고, 관련규정에 부합되며 안전도

와 사용성을 고려하여 적절하도록 설계하여야 한다.

- 기초지반이나 단면의 변화가 있는 구간에 대하여는 단면별 계산단면을 선정하여 구조검토를 실시하여야 한다.

2) 지하구조물의 해석 모델

- 모든 구조물은 해석 가능한 모델로 이상화 하고, 부재는 도심축과 일치하도록 하며 현치에 의한 도심의 변화는 고려하지 않는 것으로 한다.
- 지점의 경계조건은 기초지반의 종류에 관계없이 저판의 모든 부위에 지반반력 계수와 설치 간격으로부터 환산된 스프링을 설치(간격 1.0m 이내)한 모델로 계산하는 것을 원칙으로 하고, 부력 등에 의하여 스프링에 인장이 발생할 경우 인장을 받는 스프링은 차례로 제외시켜 최종적으로 압축만 받는 스프링만 남겨둔 상태의 모델해석 결과를 취하여야 한다. 다만, 암반지반에서는 벽체 또는 기둥 하단부위에 회전 또는 이동 지점의 경계 조건을 부여할 수 있다.
- 지반반력계수 (토사지반)

연직방향 지반반력계수는 각종 조사 및 시험결과에 의해 얻어진 변형계수 및 기초의 재하폭등의 영향을 고려하여 정한다.

$$K_v = K_v (B_v / 0.3)^{-3/4}$$

K_v : 연직방향 지반반력계수 (kN/cm²)

K_{vo} : 지름 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험의 값에 상당하는 연직 방향 지반반력계수 (kN/cm²)로서 각종 토질시험 · 조사에 의해 구한 변형계수로부터 추정하는 경우는 다음 식에 의한다.

$$K_{vo} = \frac{1}{30} \alpha E_o$$

B_v : 기초의 환산재하폭 (mm)

E_o : 아래표에 표시한 방법으로 측정 또는 추정한 설계의 대상이 되는 위치에서의 지반의 변형계수 (MPa)

α : 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수로서 아래 표에 주어져 있다.

표 3.100 E_o 와 α 값

다음의 시험방법에 의한 변형계수 E_o (MPa)	α
지름 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 $\frac{1}{2}$	1
보오링공 내에서 측정한 변형계수	4
공시체의 1축 또는 3축 압축시험에서 구한 변형계수	4
표준관입시험의 N값에서 $E_o=2800N$ 으로 추정한 변형계수	1

(3) 단면 강도 검토

(가) 해석 모델

사용프로그램: MIDAS Civil LSD

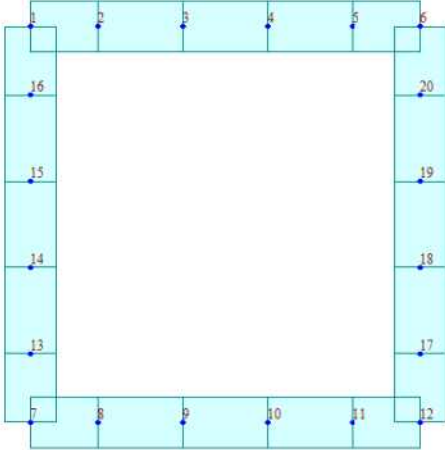
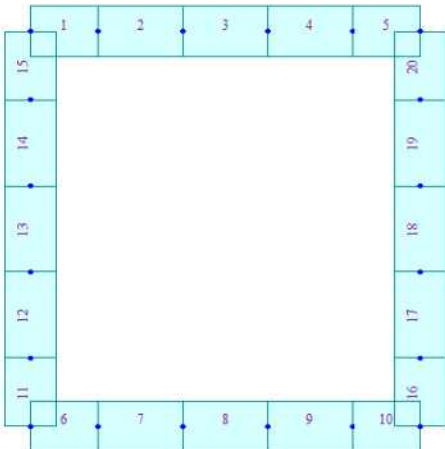
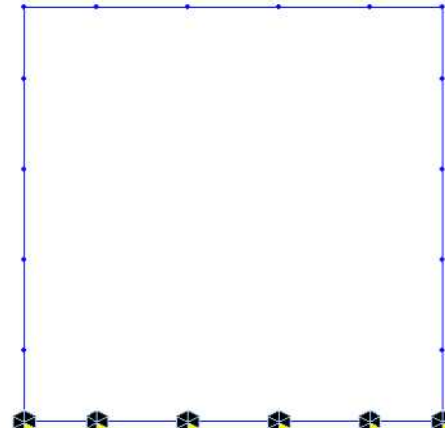
구 분	구조 모델
절점 번호	
부재 번호	
지반스프링	

그림 3.105 해석 모델(계속)

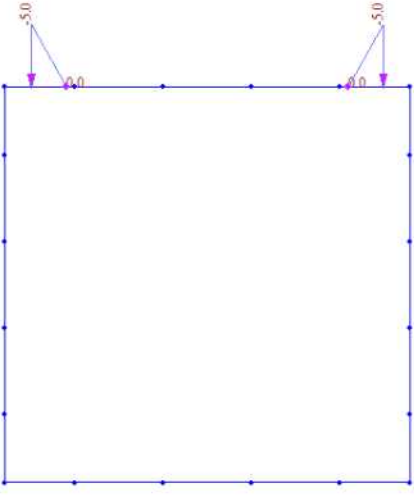
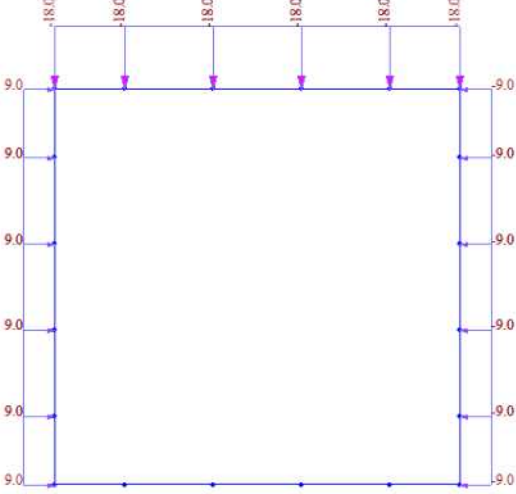
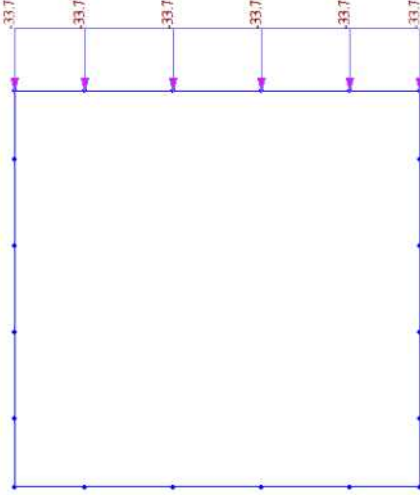
구 분	구조 모델
고정 하중 DL	 (프로그램 내 자동재하 + 한치 자중 별도 모델링)
이동 하중 LL	
연직 토압 EPV	

그림 3.105 해석 모델 (계속)

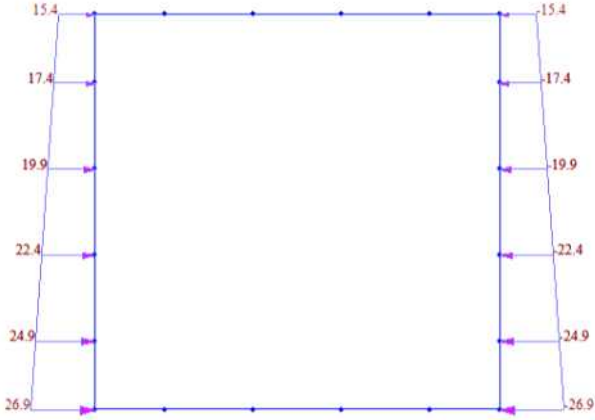
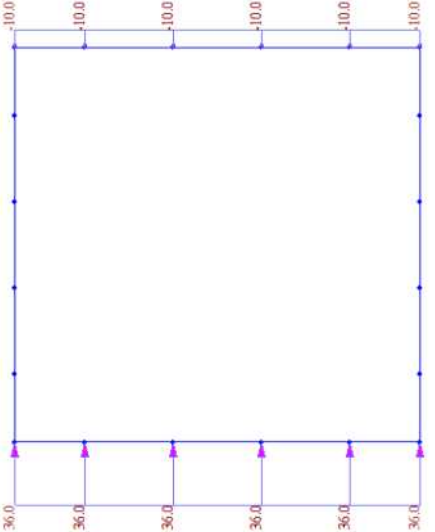
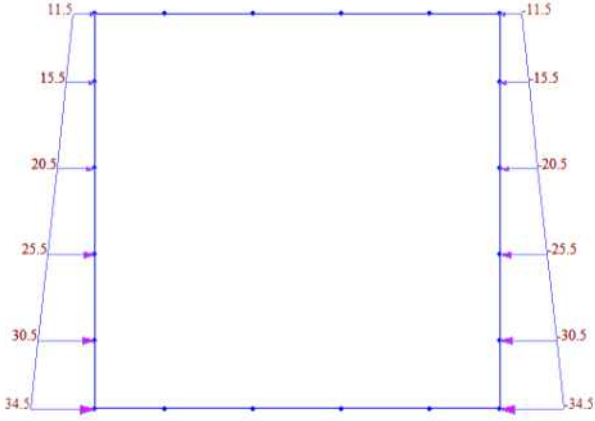
구 분	구조 모델
수평 토압 EPH	
연직 수압 WPV	
수평 수압 WPH	

그림 3.105 해석 모델

(나) 해석 결과

콘크리트구조기준의 하중조합을 적용하여 해당 구조물에 작용하는 최대 소요강도를

산정하였다. 적용 하중조합 및 해석 결과는 다음과 같다.

표 3.101 하중조합

하중 조합	DL	LL	EPV	EPH	WPV	WPH
LCB 1	1.4					
LCB 2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
LCB 3	1.2	1.0				
LCB 4	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0
LCB 5	1.2	1.0	1.2	0.5	1.2	0.5
LCB 6	1.0	1.6	1.6	0.8	1.6	0.8
LCB 7	0.9			1.6		1.6
LCB 8	0.9			0.8		0.8

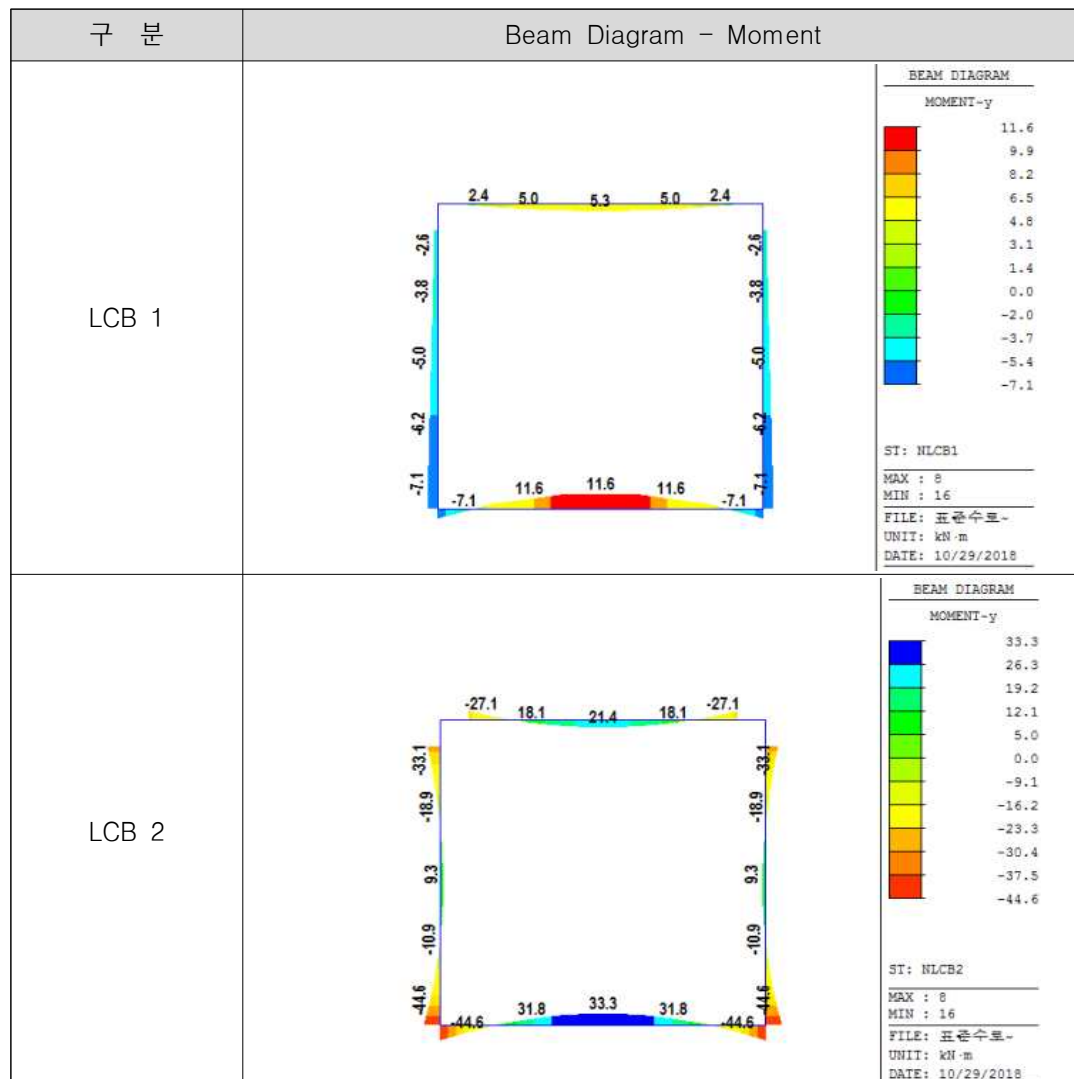


그림 3.106 해석 결과(계속)

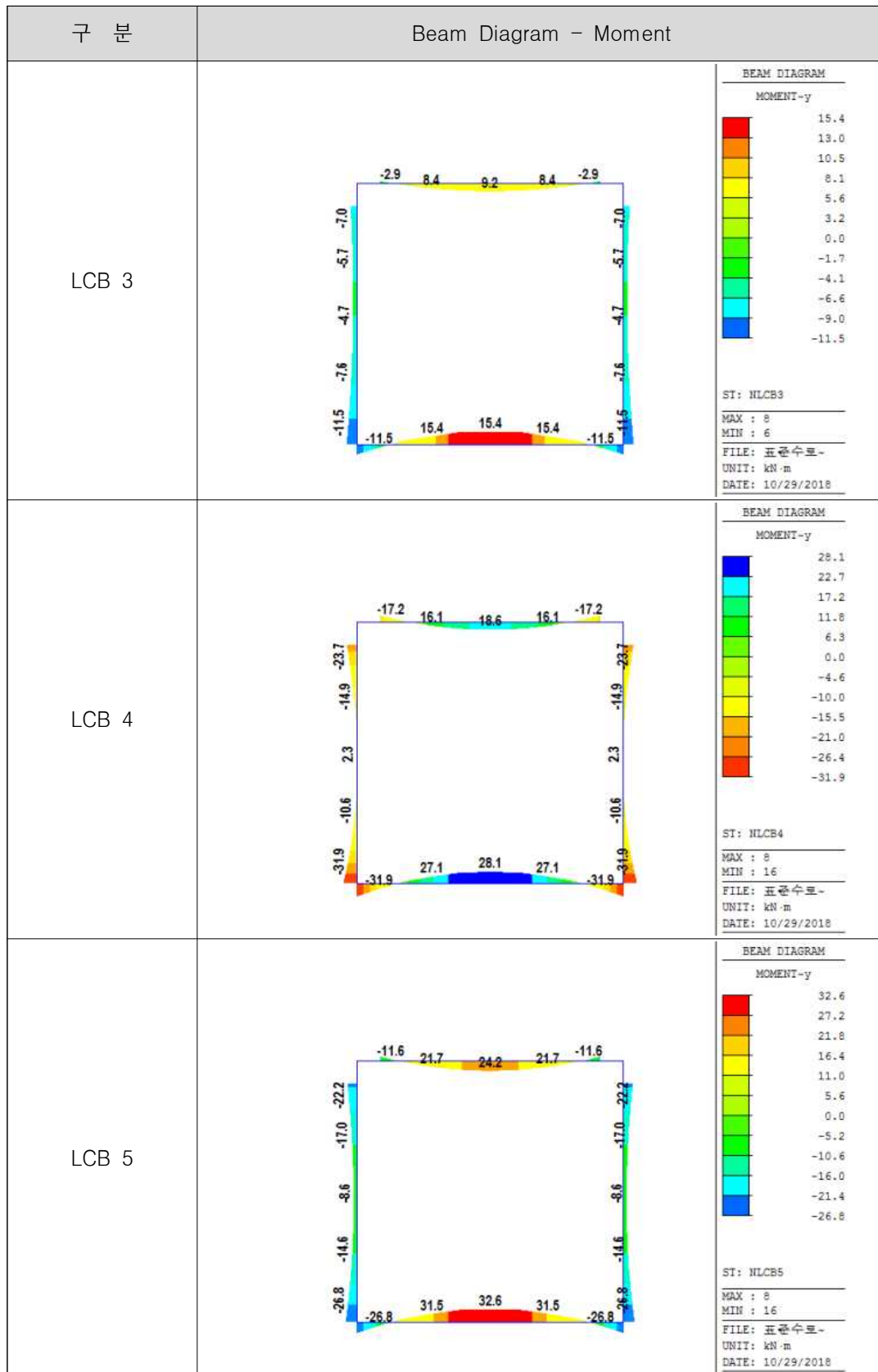


그림 3.106 해석 결과(계속)

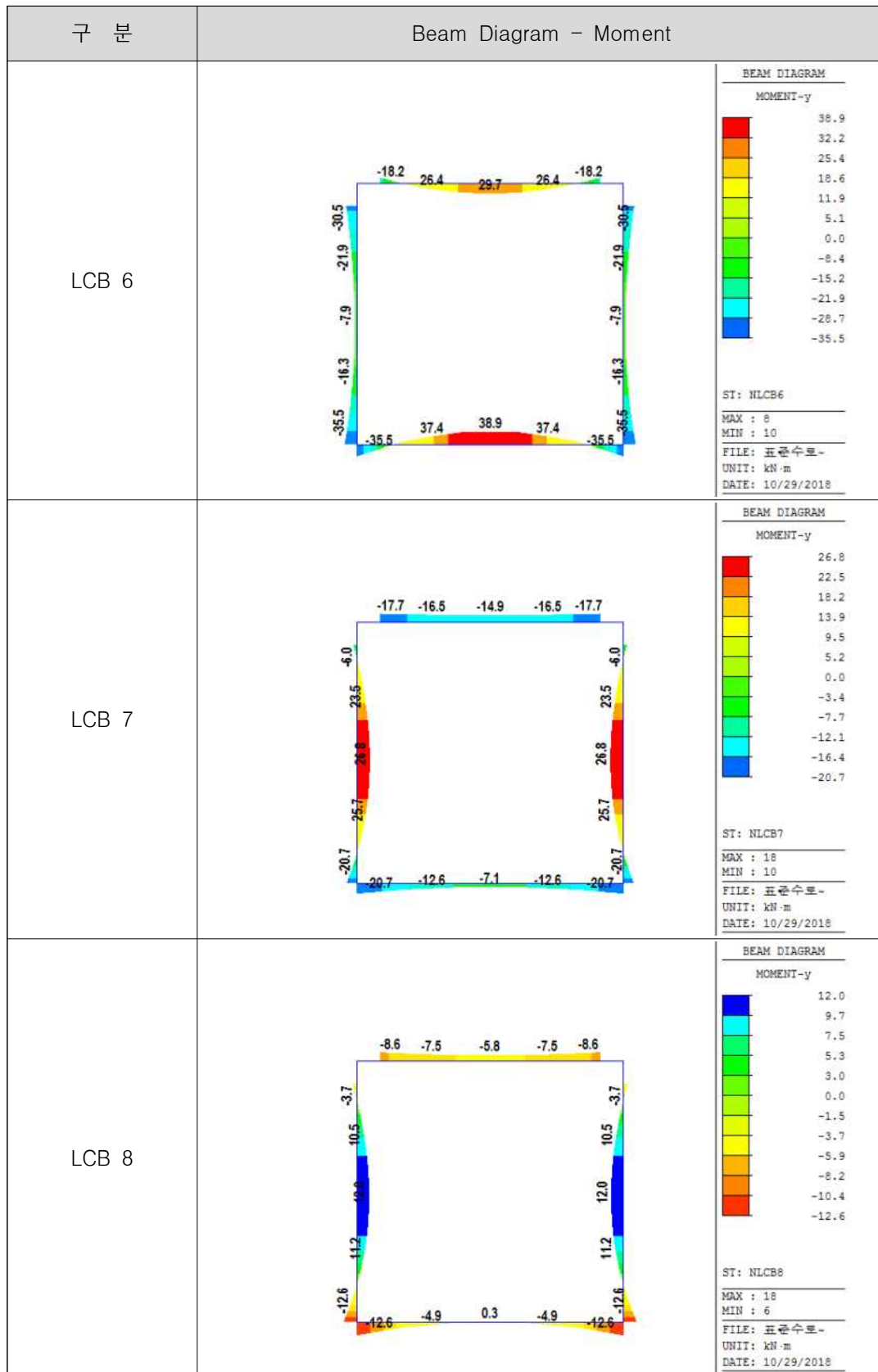


그림 3.106 해석 결과(계속)

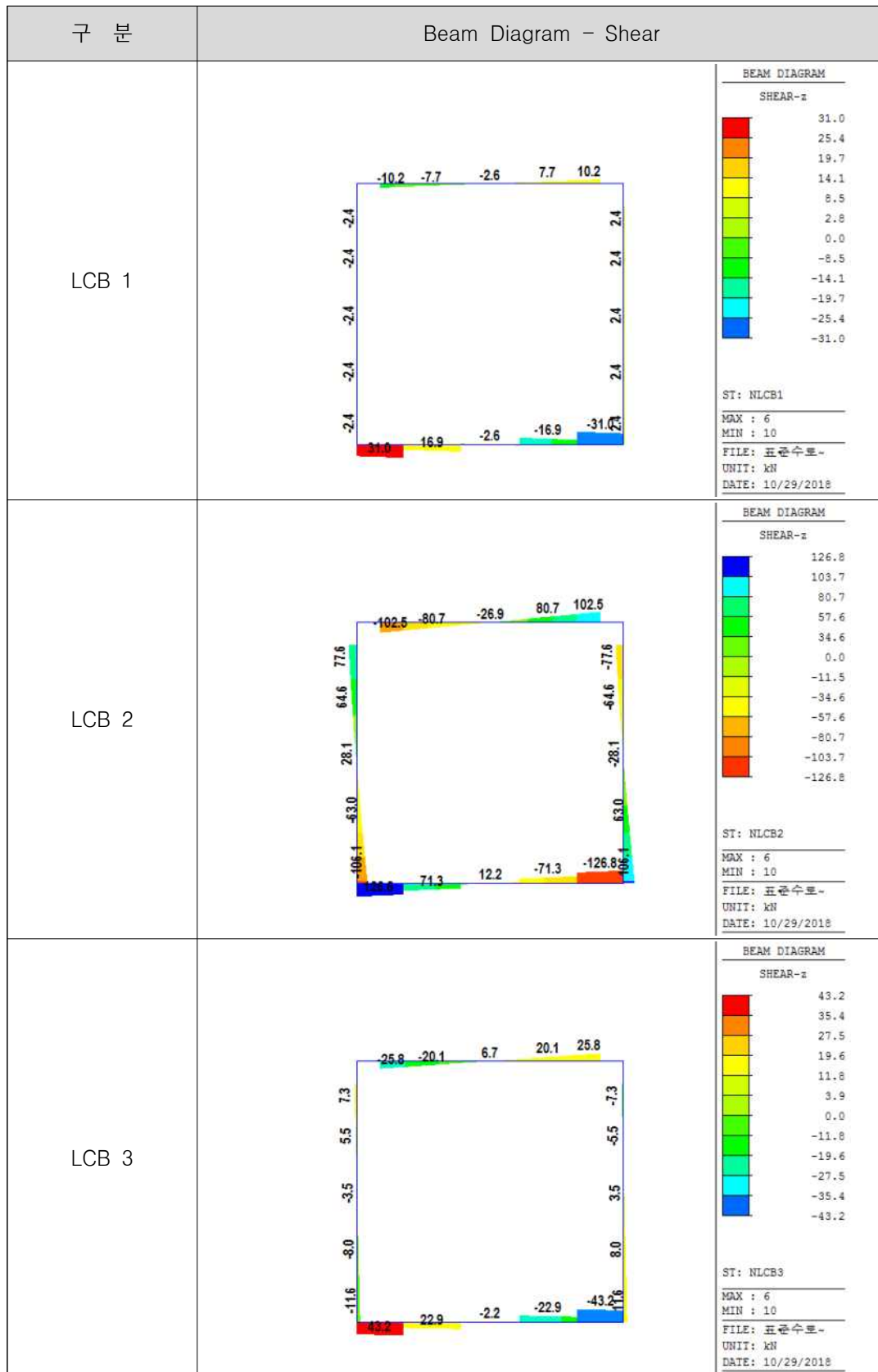


그림 3.106 해석 결과(계속)

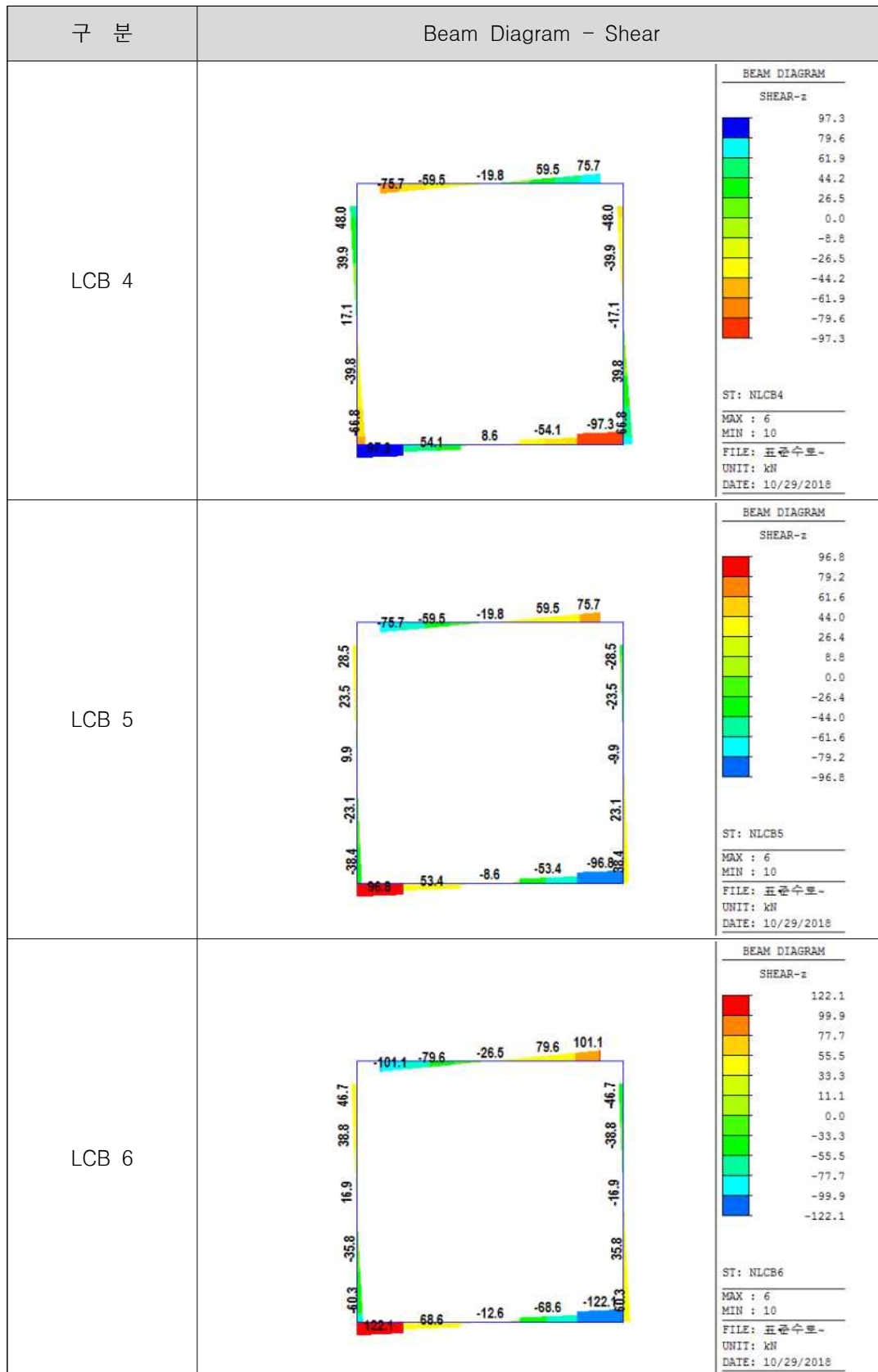


그림 3.106 해석 결과(계속)

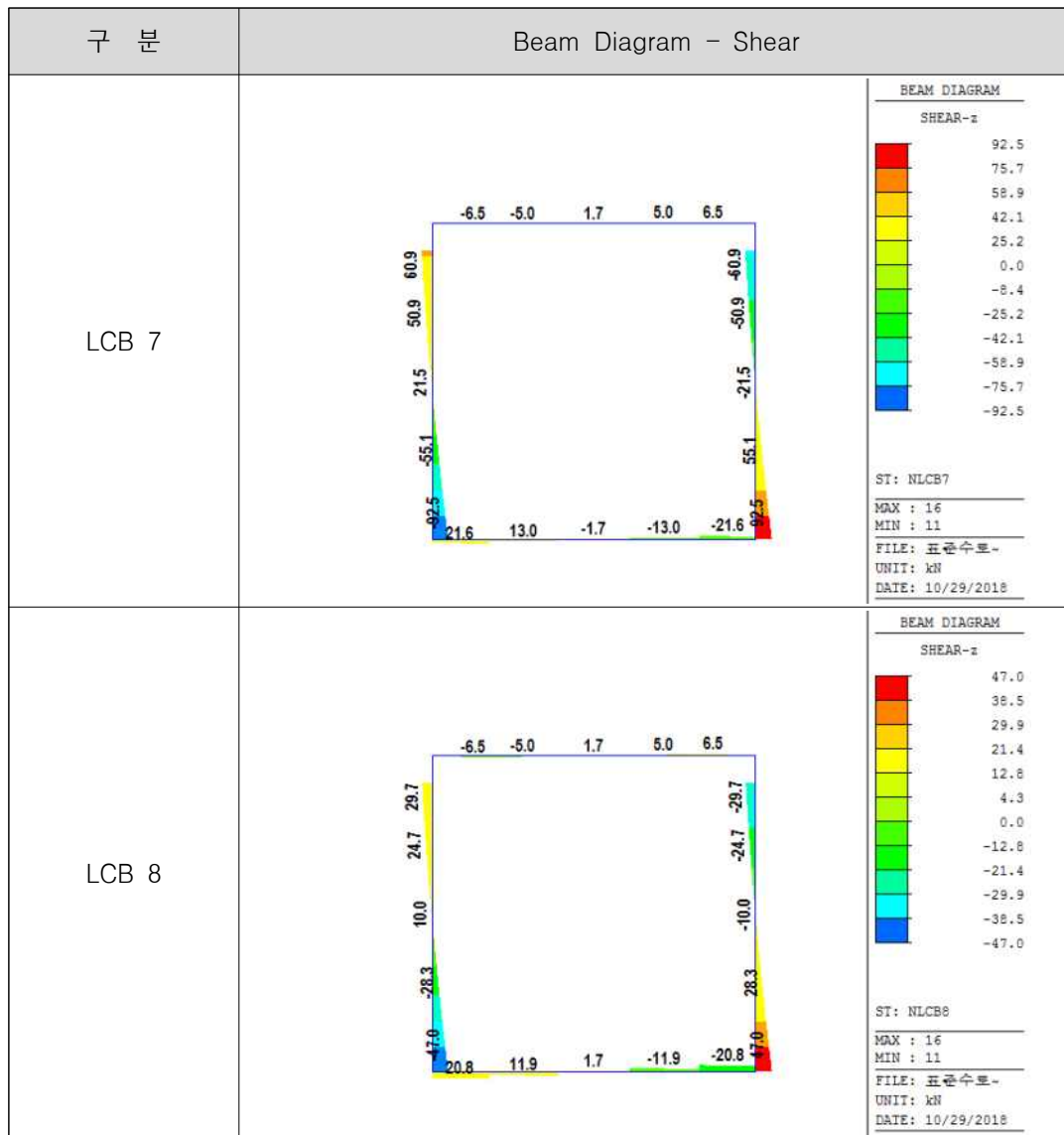


그림 3.106 해석 결과

① 강도 검토

10% 황산나트륨 용액에 침지한 시험체의 시간경과(7일, 14일, 28일)에 따른 시험값(압축강도, 탄성계수)을 적용하여 단면강도(휨강도, 전단강도)를 검토하였다.

표 3.102 검토단계

검토단계	정의	설명	비고
1	설계강도	설계 강도 24MPa에 맞춘 이론값 $f_{ck} = 24\text{MPa}$, $E_c = 25,811\text{MPa}$ 적용	f_{ck} : 압축강도 E_c : 탄성계수
2	황산해	일반 모르타르 시험체에 대해 10% 황산나트륨 용액 침지 28일 경과 후 시험치 적용	
3	단면 탈락	콘크리트 열화로 인해 암거 내부의 콘크리트가 탈락 내측 피복깊이(90mm)까지 탈락하여 감소된 단면 가정	
4	보수 후 7일 경과	각 보수모르타르별 시험체에 대해 10% 황산나트륨 용액 침지 7일 경과 후 시험치 적용	양생으로 인한 강도 발현과 황산해로 인한 강도 저하가 동시 진행 중
5	보수 후 14일 경과	각 보수모르타르별 시험체에 대해 10% 황산나트륨 용액 침지 14일 경과 후 시험치 적용	
6	보수 후 28일 경과	각 보수모르타르별 시험체에 대해 10% 황산나트륨 용액 침지 28일 경과 후 시험치 적용	

표 3.103 해석 적용 물성치 (강도 시험 결과)

시험결과		1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
정의		설계강도	황산해	단면탈락	보수 후 7일 경과	보수 후 14일 경과	보수 후 28일 경과
압축강도 (MPa)	일반 보수모르타르	24.0	15.5	-	17.2	20.6	23.8
	기존 내황산 보수모르타르				28.6	29.4	31.5
	개발 내황산 보수모르타르				30.2	36.4	40.6
탄성계수 (GPa)	일반 보수모르타르	25.81	15.48	-	14.39	16.58	15.34
	기존 내황산 보수모르타르				19.33	19.56	21.57
	개발 내황산 보수모르타르				19.85	20.55	22.27

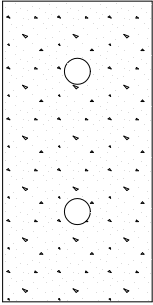
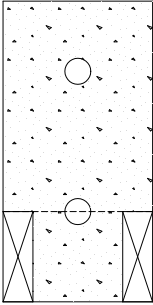
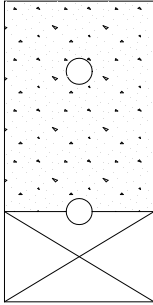
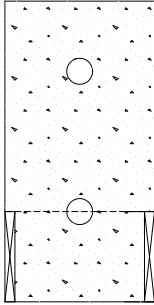
암거 내측은 하수에 지속적으로 노출되어 황산에 의해 콘크리트의 강도 및 탄성계수가 감소하고, 단면의 일부가 탈락하여 단면 손실이 발생한다.

철근콘크리트 부재는 콘크리트가 압축력을, 철근이 인장력을 받는다고 가정하여 계산한다. 이에 따라 열화된 부위인 내측이 인장부로 작용하는 정모멘트 구간(중앙부)은 손상 및 보수에 따른 휨강도의 변화가 없다.

반면 내측이 압축부로 작용하는 부모멘트 구간(단부)은 탄성계수와 압축강도의 감소에 따라 중립축의 위치가 이동하며 휨강도가 감소한다. 전단강도 역시 압축강도의 제곱근에 비례하는 경험식을 적용하므로 감소하게 된다.

이처럼 황산해에 따른 열화 및 보수 후 시간경과에 따른 영향을 분석하기 위해 아래와 같은 단면을 가정하여 부모멘트부(단부)에 대한 단계별 공칭강도를 계산하였고 설계강도 및 소요강도와 비교하였다. 황산해에 따른 단면 손상은 내측 피복깊이만큼(90mm) 열화가 진행되고 단면 손실이 이루어진다고 가정하여 검토하였다.

표 3.104 단계별 검토단면

검토단면	1단계	2단계	3단계	4단계~6단계
단면 정의	설계단면	열화단면	손실단면	보수 후 단면
휨강도 검토단면 (환산단면)				
단면 유효폭	전단면	탄성계수비에 따른 유효폭 적용	-	탄성계수비에 따른 유효폭 적용
유효 깊이 (mm)	정모멘트부: 210 부모멘트부: 230		정모멘트부: 210 부모멘트부: 140	정모멘트부: 210 부모멘트부: 230
전단강도 검토단면	전단강도: $(\sqrt{f_{ck}})/6$ 적용			

부모멘트부 (단부)
정모멘트부 (중양부)

그림 3.107 검토 위치

앞의 해석결과에 대해 그림 71과 같이 단면의 검토 위치를 선정하였으며 재료의 종류(일반 보수모르타르, 기존 내황산 보수모르타르, 개발 내황산 보수모르타르)에 따라 단계별 휨강도 및 전단강도를 검토하였다.

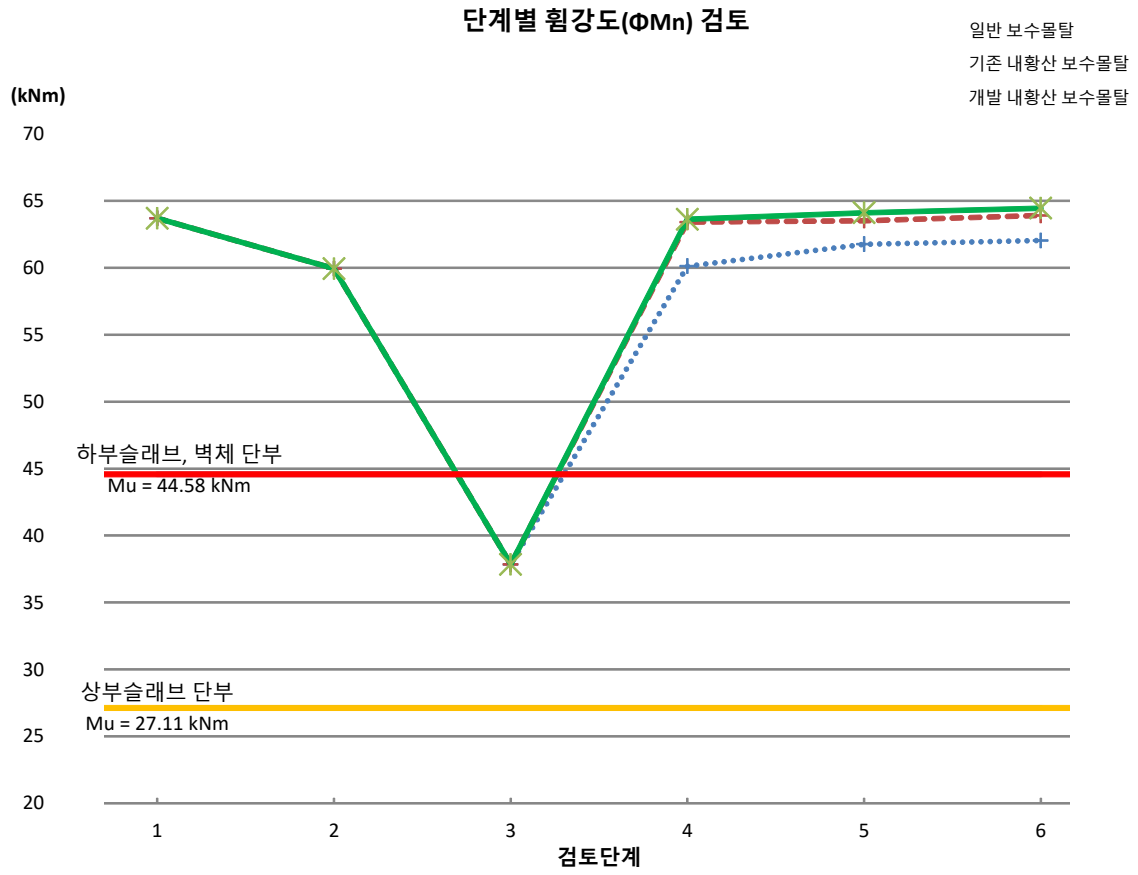


그림 3.108 단계별 휨강도

표 3.105 보수재료별 휨강도 (단위: $\text{kN} \cdot \text{m}$)

구 분		1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
일반 보수모르타르		63.71	59.94	37.85	60.13	61.77	62.05
기존 내황산 보수모르타르					63.42	63.52	63.92
개발 내황산 보수모르타르					63.63	64.12	64.46
분석	일반 보수모르타르	건전한 상태	열화되었으나 소요강도 이상	단면탈락으로 인한 강도부족 (하부슬래브, 벽체 단부)	보수 후 소요강도 이상 강도 발현	설계강도 이하	
	설계강도 이상 확보						
	설계강도 이상 확보						

단계별 전단강도(ΦV_n) 검토

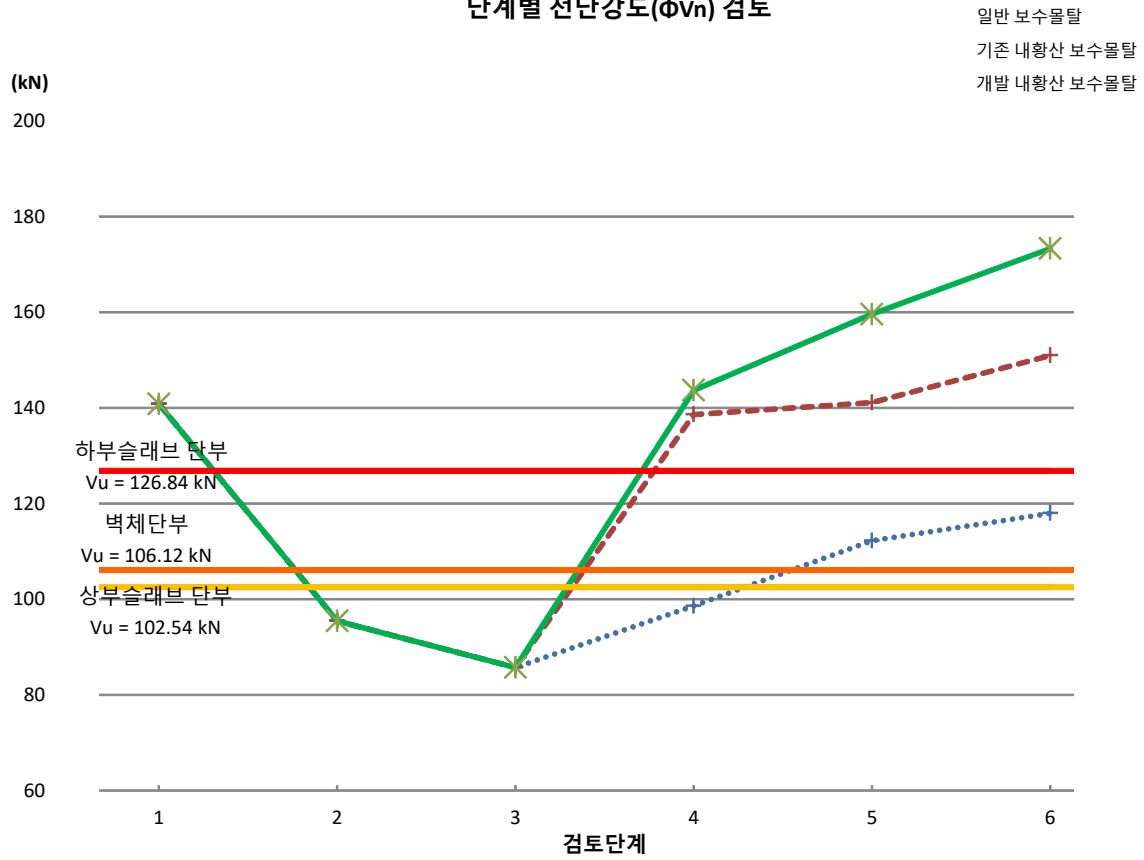


그림 3.109 단계별 전단 강도

표 3.106 보수재료별 전단강도 (단위: kN)

구 분		1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
일반 보수모르타르		140.85	95.46	85.73	98.59	112.23	117.99
기존 내황산 보수모르타르					138.65	141.11	150.98
개발 내황산 보수모르타르					143.72	159.62	173.36
분석	일반 보수모르타르	건전한 상태	열화로 인한 강도부족 (모든 위치)	단면탈락으로 인한 강도부족 (모든 위치)	강도 부족 (모든 위치)	상부슬래브, 벽체 단부만 소요강도 이상	
	소요강도 이상 설계강도 이하				설계강도 이상 확보		
	개발 내황산 보수모르타르				설계강도 이상 확보		

(4) 하수암거 상세해석

(가) 해석 개요

철근콘크리트 구조물의 경우 극한 상태 시 재료적 비선형특성으로 인해 탄성해석 결과와는 상이한 거동특성을 보인다. 따라서 재료의 비선형성을 고려한 비선형 해석을 통해 탄성거동 뿐 아니라 비탄성 거동까지도 파악하고자 하였다.

이에 따라 본 장에서는 강도 검토 시 적용한 하수암거 단면에 대하여 개발 내황산 보수모르타르를 적용하였을 때 콘크리트의 비선형재료 모델을 적용한 비선형 상세해석을 실시하였다.

(나) 비선형 재료 모델

① 콘크리트 구조물의 비선형재료 모델: Total Strain Crack 모델

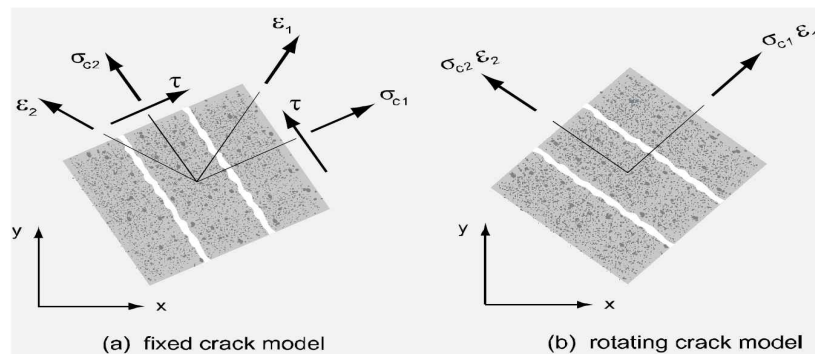


그림 3.110 균열 모델

Total Strain Crack에서는 균열축을 취급하는 방법에 따라 fixed crack model 및 rotating crack model의 두 가지 방법을 적용할 수 있다. 전자는 균열 축이 한번 결정 되면 변화하지 않는 것으로 가정하는 방법이며, 후자는 주변형률의 변화에 따라 균열 방향이 계속해서 회전한다고 가정하는 방법이다.

② 압축 균열모델: Thorenfeldt 모델

압축 응력하의 콘크리트는 등방성 응력이 증가하고 이에 따라 강도(Strength)와 연성(Ductility)이 증가하게 된다. 이러한 등방성 응력의 영향을 반영하기 위해 압축 응력-변형률의 관계는 이러한 함수 인자들인 Peak Stress(f_{cf})와 Peak strain(ϵ_p)들은 파괴를 일으키는 파괴함수로부터 결정된다.

압축부의 기본함수는 f_p 와 α_p 들로 표현되며, 기 정의된 곡선이나 사용자가 직접 정의한 곡선들을 활용할 수 있고 본 해석에서는 기 정의된 곡선 중 Thorenfeldt 경화 곡선을 사용하였다.

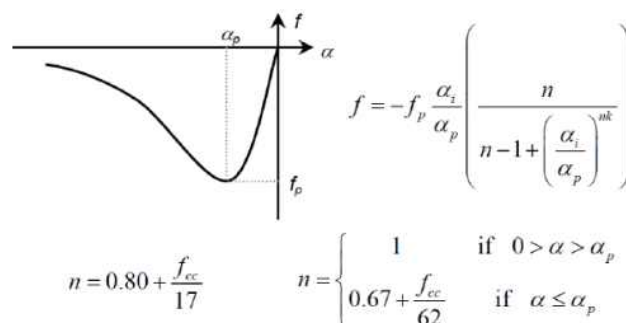


그림 3.111 Thorenfeldt 경화 곡선

③ 인장 균열모델: Exponential 모델

Total Strain Crack모델에서 제공하는 인장거동 모델은 Elastic, Ideal, Brittle, Linear, Exponential, Hordijk, Multi-linear, 그리고 사용자 정의 모델이 있다. 이들 모델들은 파괴에너지(Fracture energy)에 근거한 연화함수로 구현된 모델과 파괴에너지와 직접적으로 상관이 없는 인장거동을 하는 모델로 구분할 수 있으며 본 해석에서는 Exponential 모델을 사용하였다.

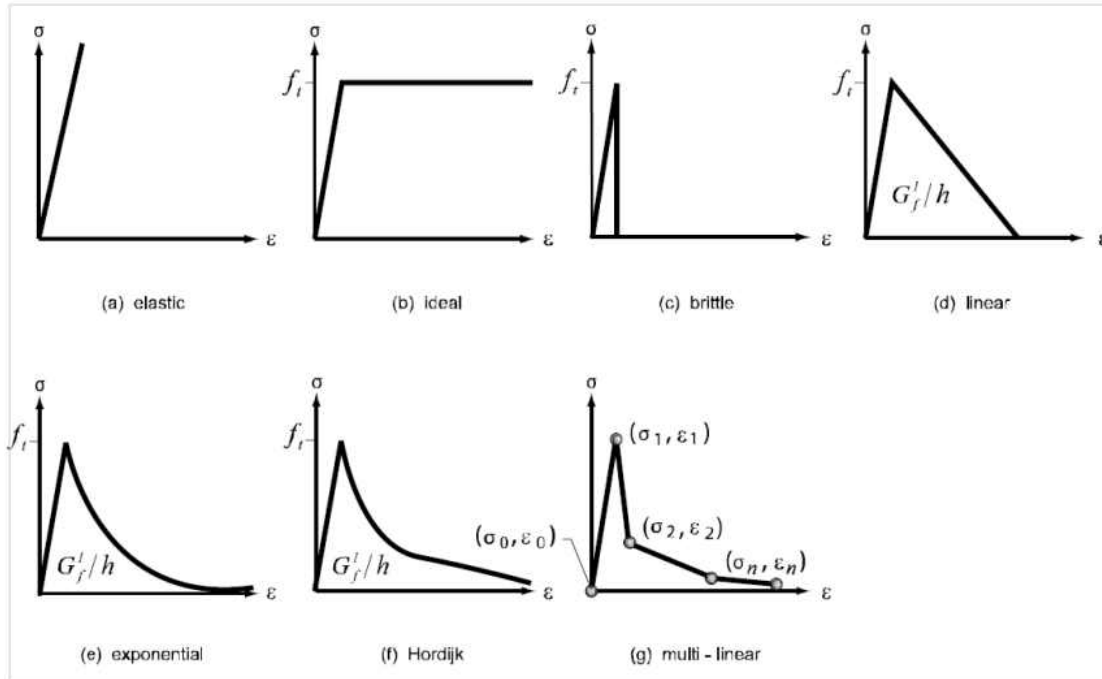


그림 3.112 인장 균열 모델

(다) 비선형 해석 방법

① Initial Stiffness Method

초기강성법은 비선형 수치해석에 있어서 다른 반복법을 사용할 경우 불안정한 경향을 보이는 해석에 대해서 사용된다. 해가 안정적으로 구해지지만, 증분 구간의 크기가 상대적으로 작아서 수렴속도가 느리다.

② Modified Newton-Raphson Method

Newton-Raphson method에서는 매 증분변위(incremental displacement)를 구할 때마다 새로운 접선강성과 내력을 구하는 것에 반해, Modified Newton-Raphson method는 접선강성을 다시 구하는 과정을 생략하고 내력만을 갱신한다. Newton-Raphson method보다 더 많은 반복단계를 거쳐야 하므로 수렴속도가 더 느리지만, 각각의 반복단계에서 걸리는 시간이 더 짧은 장점이 있다.

③ Newton-Raphson Method

Newton-Raphson method는 매 반복단계마다 접선강성으로 강성이 갱신하면서 반복계산을 수행하는 방법이다. 따라서 수렴속도가 빠르고 적은 수의 반복을 통해서도 수렴이 가능하다.

④ Arc-Length Method

Arc-length method는 증분 변위의 놈(norm)을 구속조건으로 사용하며, 동시에 증분 변위의 크기도 조절한다. 즉 증분변위의 크기는 고정되어 있지 않고, 축차 반복 해석 하는 도중에 적절한 크기로 산정된다.

⑤ Automatic Load Step

비선형 해석에서 해석의 수렴 성능은 구조물의 거동 특성에 따라 크게 달라진다. 또한 하중 증분의 크기가 상대적으로 큰 경우에는 주어진 증분 내에서 해석 결과가 수렴하지 않을 수 있다. 특히 초기 강성에 비하여 강성의 크기가 크게 줄어드는 영역에서는 작은 증분 하중에 대해서도 많은 반복 계산을 필요로 하거나, 증분의 크기를 더욱 작게 할 필요성도 발생한다. 그러나 이러한 경향은 구조물에 따라 매우 다르게 나타날 수 있으며, 해석의 시작 전에 적절한 증분의 크기를 미리 예측할 수 없는 문제점이 있다.

따라서 비선형 해석을 효과적으로 수행할 수 있도록 전산해석 프로그램에서 제공하는 Automatic Load Step 기능을 사용하였다. 이 기능은 하중 증분 크기를 자동으로 조절하는 기능으로 비선형성이 큰 영역에서는 하중 증분 크기를 자동으로 줄이고, 반대로 비선형성이 작은 영역에서는 하중 증분 크기를 자동으로 증가시킨다. 이 기능은 해석 시간의 단축과 함께 비선형성이 큰 영역에서는 보다 세분화된 해석결과를 얻을 수 있으므로 매우 효과적이다.

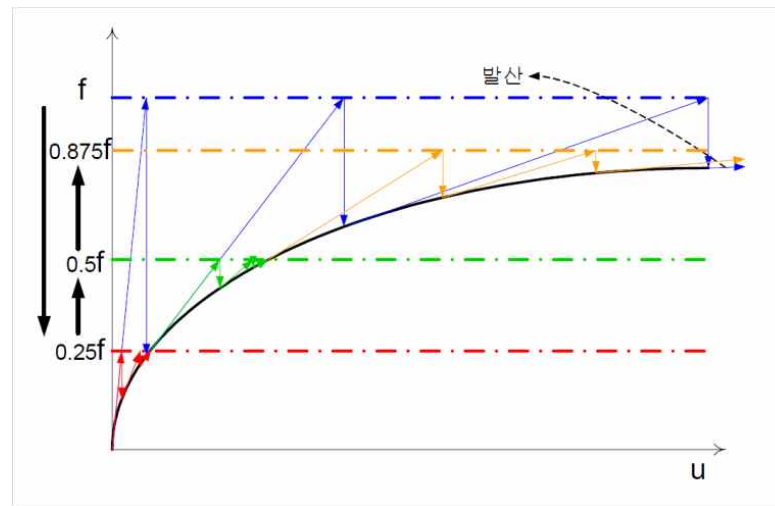


그림 3.113 Automatic Load Step

위의 그림과 같이 하중 자동 증분 해석에서는 반복 계산의 횟수에 근거하여 하중 증분을 조정한다. 하중 크기 f 에 대하여 반복해석을 수행하여 16회의 반복 계산 내에서 해석이 수렴하지 않으면(파란색 선), 하중 증분을 25%로 감소시킨 $0.25f$ 로 해석을 다시 수행한다(빨강색 선). 감소된 하중 증분 ($0.25f$)에 대해 해석이 5번 반복 횟수 이내에 수렴한다면, 이는 해석 결과를 비교적 쉽게 찾을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 2회 연속적으로 5번 반복 횟수 이내에 수렴한다면(빨강색 및 초록색 선), 프로그램은 자동으로 하중 증분을 50% 증가(주황색 선)시킨다. 또한 현재 하중 증분에 대해 해석이 수렴하는데 10번 이상이 소요된다면, 현재 하중 증분의 75%를 다음 하중 증분으로 이용한다. 이러한 증분의 조정은 연속적으로 5회까지만 진행이 되며, 그 이후에도 수렴하지 않을 경우에는 해석이 중단된다.

(라) 상세해석

① 해석 모델

사용프로그램: MIDAS FEA (V.3.7.0)

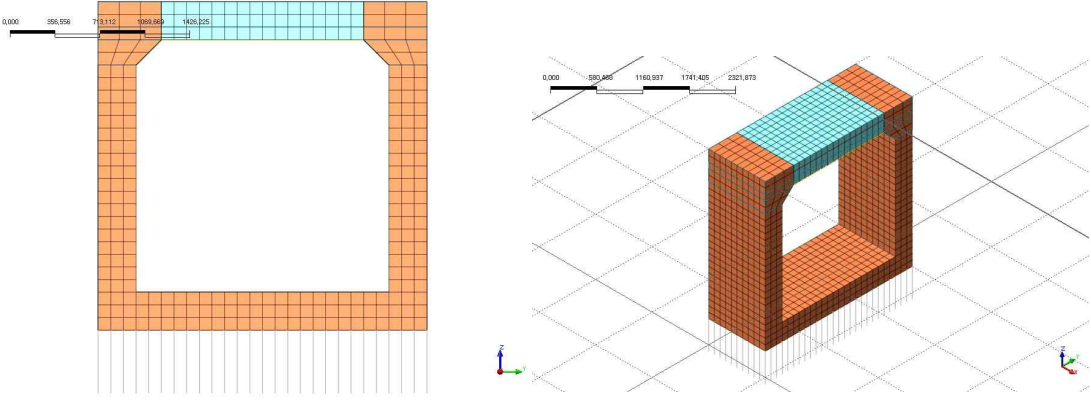
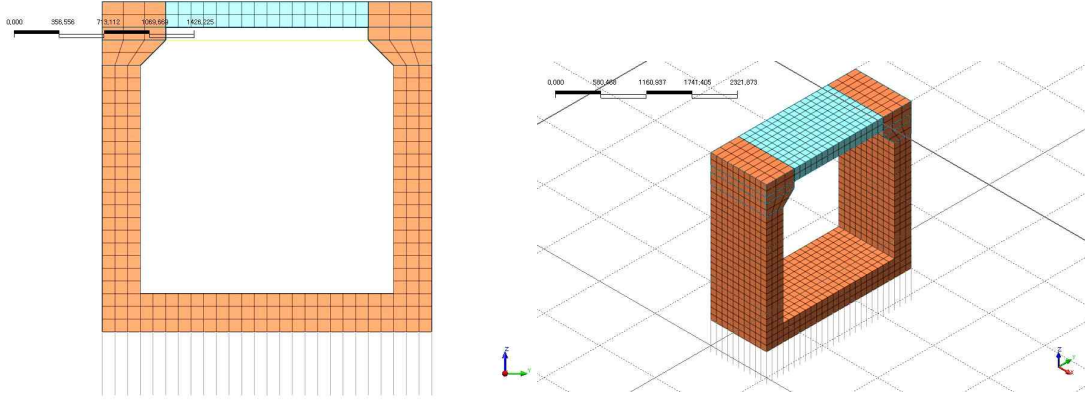
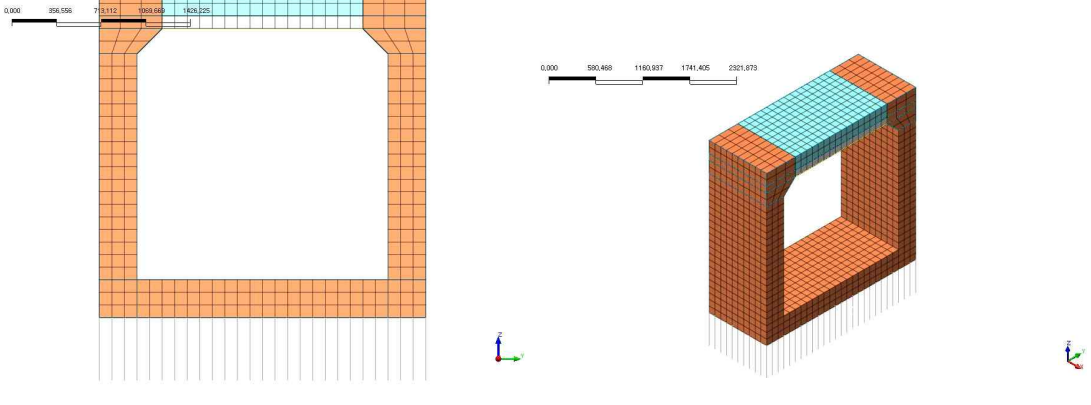
구 분	해석 모델
STEP 01 (설계단면)	 설계강도(24MPa)기준, 구조물 준공 당시의 설계조건에 대한 응력 해석
STEP 02 (탈락단면)	 열화로 인해 상부슬래브 피복(90 mm) 탈락한 경우의 응력 검토
STEP 03 (보수단면)	 내황산보수재료(40 MPa) 보수 후 응력 검토

그림 3.114 해석 모델

② 해석 결과

콘크리트 : $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ $G_{f1} = 0.1 \text{ N/mm}$, $f_{t1} = 1.846 \text{ MPa}$

보수재료 : $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ $G_{f2} = 0.12 \text{ N/mm}$, $f_{t2} = 3.123 \text{ MPa}$

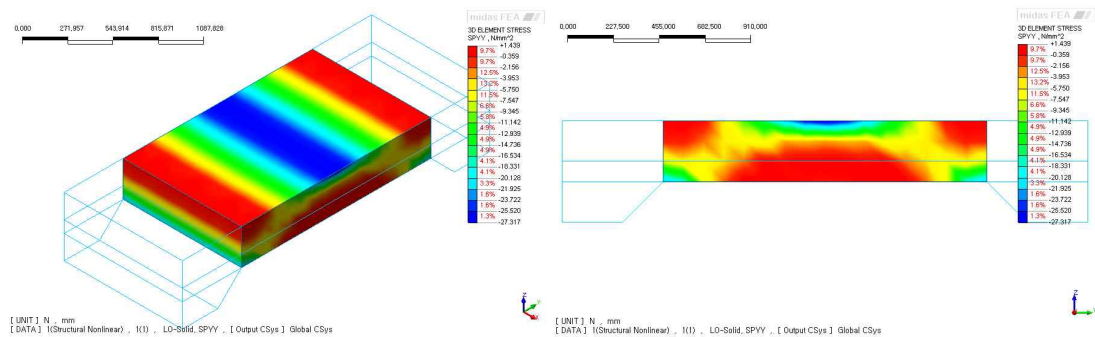
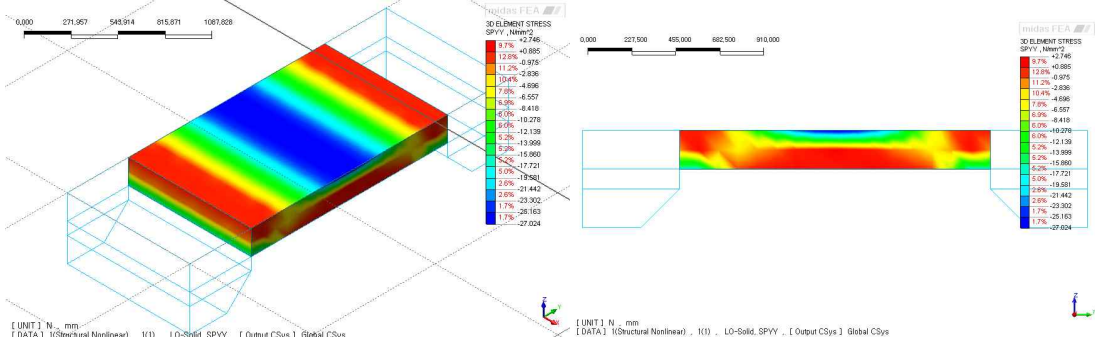
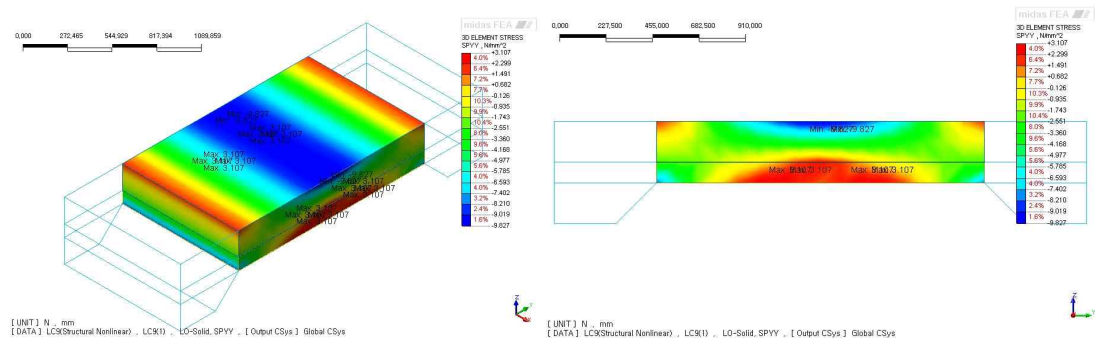
구 분	콘크리트 발생 응력
STEP 01	 인장응력 1.439 MPa / 압축응력 27.317 MPa
STEP 02	 인장응력 2.746 MPa / 압축응력 27.024 MPa
STEP 03	 인장응력 3.140 MPa / 압축응력 27.399 MPa

그림 3.115 해석 결과 (콘크리트 응력)

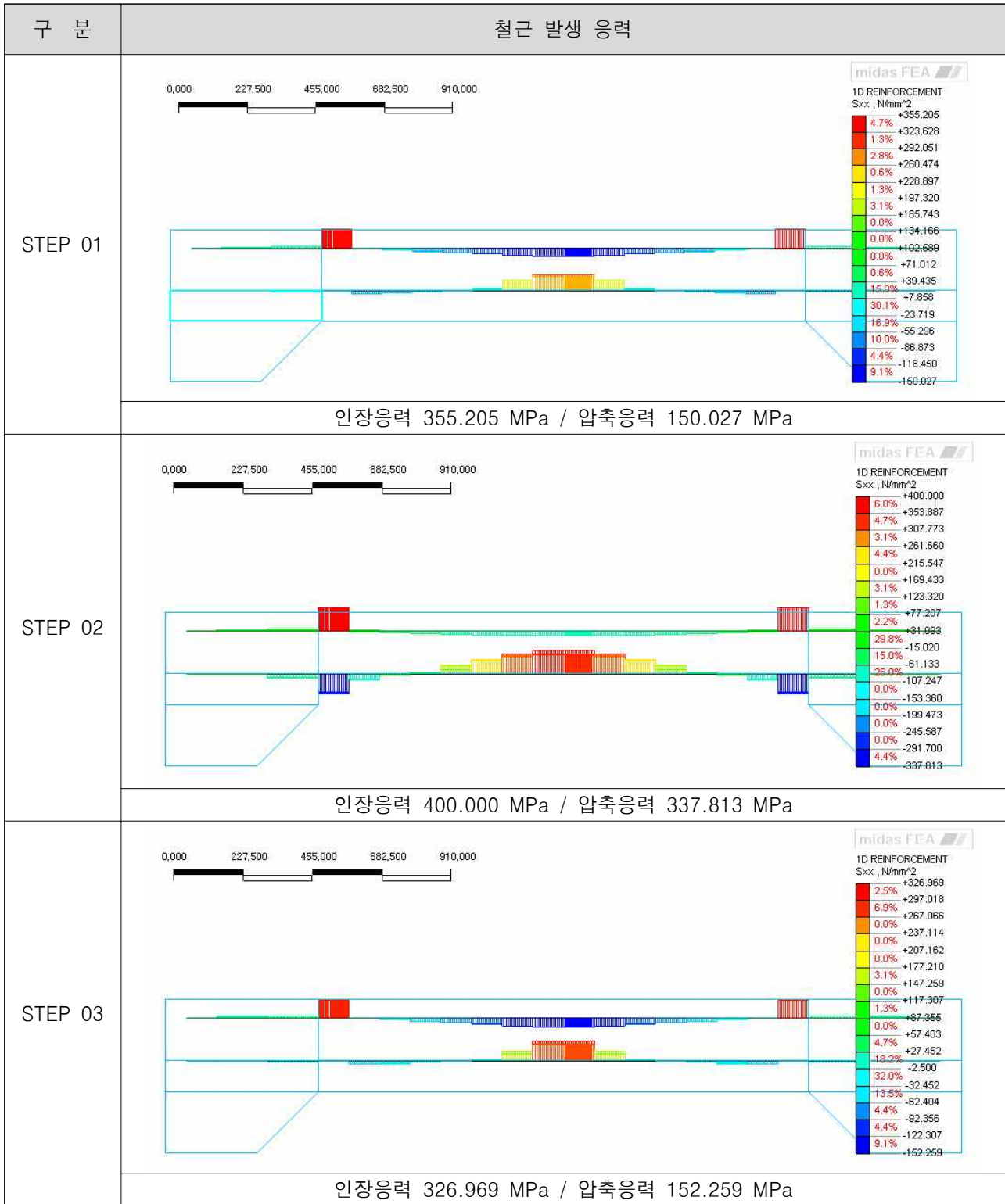


그림 3.116 해석 결과 (철근응력)

비선형해석에 의한 단면의 극한성능을 검토한 결과, 콘크리트 피복이 탈락한 상태인 STEP 02는 STEP 01 극한성능 대비 59%에서 콘크리트가 인장강도를 초과하였으며, 신규 개발 보수재를 적용하여 보수 후 상태인 STEP 03은 STEP 01 대비 100%의 극한성능을 나타냈다.

STEP 03의 경우, 철근인장응력이 STEP 01에 비해 작게 나타났다. 이는 신규 개발 보수재 사용으로 슬래브 하면의 강성이 증가하여 콘크리트가 분담하는 하중이 STEP 01에 비해 커지고 철근이 분담하는 하중이 줄어들기 때문이다. STEP 03에서 철근의 인장응력이 줄어들어 따라 구조물의 피로도는 낮아질 것으로 예측된다.

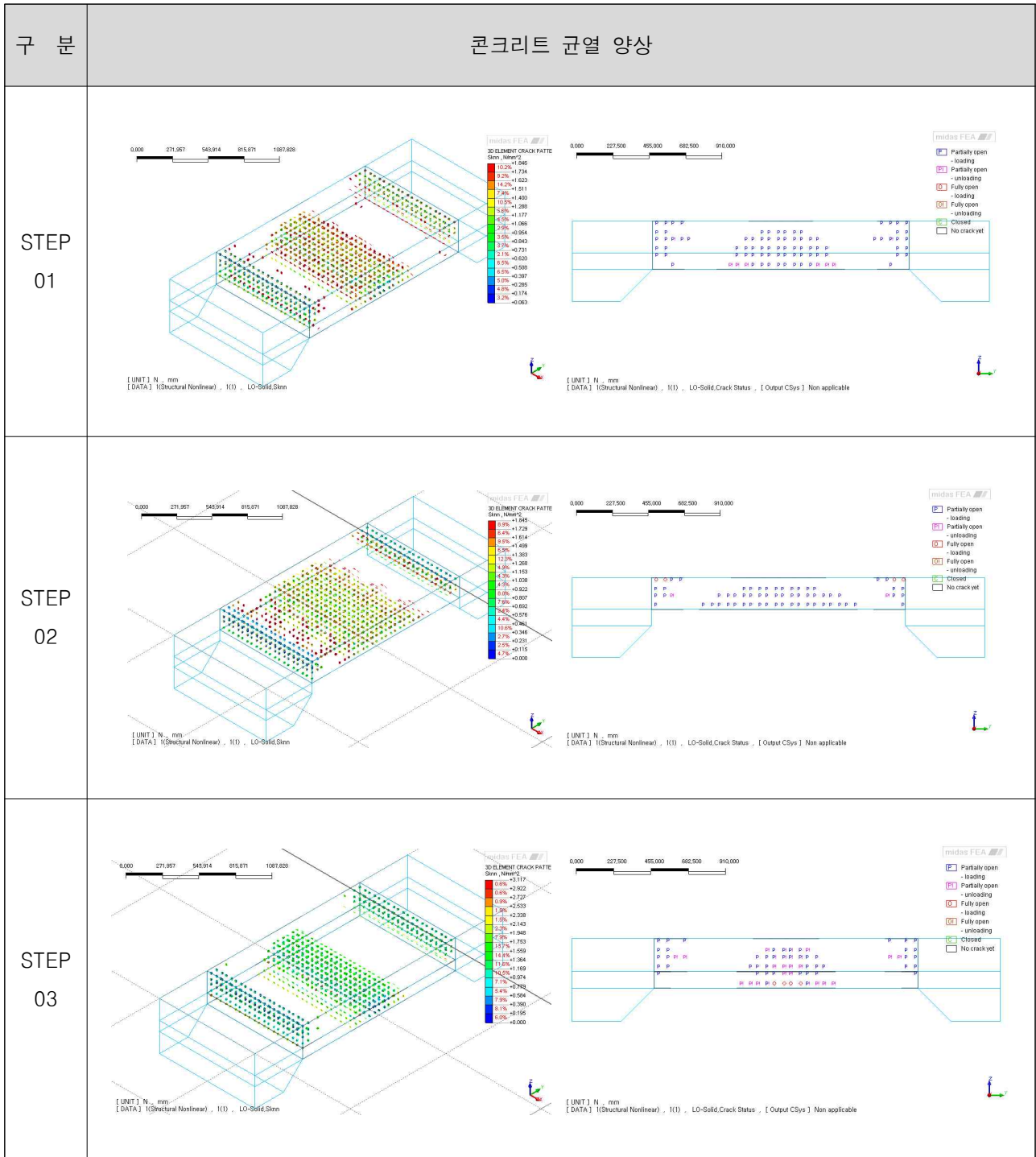


그림 3.117 해석 결과 (콘크리트 균열 양상)

STEP 01의 경우, 슬래브 중앙부 하면과 단부 상면에 균열이 발생하며 중앙부 하면 균열은 헌치를 제외한 슬래브 폭의 약 50%(0.8m)범위까지 발생하는 것으로 나타났다. 또한 슬래브 단부 하면에도 일부 균열이 발생하는 것으로 나타났다.

STEP 02의 경우, 슬래브 중앙부 하면 균열은 슬래브 폭의 약 70%(1.1m) 범위까지 발생하였으며 단부 상면에도 균열이 발생하는 것으로 나타났다.

STEP 03의 경우, 슬래브 중앙부 하면과 단부 상면에 균열이 발생하며 중앙부 하면 균열은 슬래브 폭의 약 30%(0.5m)범위까지 발생하는 것으로 나타났다. STEP 01에 비해 균열 발생량과 범위가 줄어 내구성이 향상됨을 알 수 있다.

(5) 결 론

하수암거 구조물의 강도 검토 결과, 손상부 보수 후 휨강도와 전단강도 모두 설계강도를 상회하는 시기는 기존 내황산 보수 모르타르 적용 시 28일 후, 신규 개발 내황산 보수 모르타르 적용 시는 14일 후로 개발 내황산 보수재가 강도 발현이 빠르며 최종 강도 또한 우수한 것으로 나타났다.

표 3.107 공칭강도/설계강도 (단위: %)

구 분		1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계
		설계강도	열화	탈락	보수 7일 후	보수 14일 후	보수 28일 후
휨강도	일반 보수모르타르	100.00	94.09	59.41	94.38	96.96	97.40
	기존 내황산 보수모르타르	100.00	94.09	59.41	99.55	99.71	100.33
	개발 내황산 보수모르타르	100.00	94.09	59.41	99.88	100.64	101.18
전단강도	일반 보수모르타르	100.00	67.78	60.87	70.00	79.68	83.77
	기존 내황산 보수모르타르	100.00	67.78	60.87	98.44	100.19	107.20
	개발 내황산 보수모르타르	100.00	67.78	60.87	102.04	113.33	123.08

비선형해석 결과, 극한성능 상태에서 슬래브 철근에 발생하는 인장응력은 개발 내황산 보수재로 보수 후 줄어들었으며, 균열 또한 내황산 보수재로 보수 후 발생량과 발생범위가 줄어들었다. 이로 인하여 구조물의 피로도가 줄어들고 내구성이 향상됨을 알 수 있다.

본 연구에서 개발한 내황산 보수 모르타르와 관련하여 구조물 강도 검토와 비선형해석을 실시한 결과, 신규 개발 내황산 보수 모르타르의 역학적 성능이 기존 내황산 보수 모르타르보다 우수한 것으로 판단된다.

11. 현장적용 평가

(1) 기존 기술 평가

현장개요	공사명	기존 보수보강 시공 테스트																						
	발주처	(주)삼명이엔씨																						
	시공자	고려토건(주)																						
	구조	PC 하수암거 (2.0×2.0 m)																						
	사용재료	방청모르타르 (B사)																						
	시공규모	1.10 m², 2.10 m²																						
	현장위치	부산 동래구																						
	공사기간	2017. 9. 1 ~ 2017. 9. 30. (총 30 일)																						
현장설명	현장특징	- 하수암거 노후로 인한 보수 모르타르 시공																						
	개발 예정인 하수 시설 콘크리트 구조물 보수를 위한 방청제 및 보수재의 현장적용성능 및 기초성능을 비교 평가하기 위하여 기존 B사의 방청모르타르 제품을 현장에 시공하고 기초성능 평가용 실험체를 제작하였음.																							
	적용 현장은 천정부 전반의 콘크리트 피복이 박탈되어 있었으며, 박탈정도가 심한 곳의 철근은 노출되어 부식이 진행되고 있음. 따라서 불량한 피복 제거 및 보수모르타르의 접착증강을 위한 치핑작업을 실시하고, 표면정리 후 기존 방청모르타르 제품을 시공하였음.																							
	보수부위 조사 (박락, 부식)		보수부위 치핑																					
																								
	치핑 완료		천정 전체보수 완료																					
																								
			천정 부분보수 완료																					
																								
																								
현장평가	성능평가	◎ 배합/시공 - 배합비(물:혼합물=1:5), 시공성 양호, 가사시간 30분~50분																						
		◎ 성능시험																						
		<table><tr><td>구분</td><td colspan="2">압축강도(MPa)</td><td>휨강도(MPa)</td></tr><tr><td>1차 배합</td><td>54.6</td><td>56.5</td><td>8.5</td></tr><tr><td>2차 배합</td><td>56.3</td><td>57.3</td><td>8.6</td></tr><tr><td>3차 배합</td><td>59.2</td><td>60.7</td><td>8.7</td></tr><tr><td>평균</td><td colspan="2">57.4</td><td>8.6</td></tr></table>			구분	압축강도(MPa)		휨강도(MPa)	1차 배합	54.6	56.5	8.5	2차 배합	56.3	57.3	8.6	3차 배합	59.2	60.7	8.7	평균	57.4		8.6
		구분	압축강도(MPa)		휨강도(MPa)																			
	1차 배합	54.6	56.5	8.5																				
2차 배합	56.3	57.3	8.6																					
3차 배합	59.2	60.7	8.7																					
평균	57.4		8.6																					
◎ 시공 후 표면 상태 - 시공상태 양호, 경화상태 양호, 균열등 없음																								
하자발생	- 하자 발생 없음.																							
비고 (평가 및 개선)	- 시공성이 우수하고 기초성능인 압축강도 및 휨강도도 기준대비 우수한 값을 나타내었으나, 하수 시설에서의 내구성 유해요소에 대비된 보수재가 아닌 관계로 추후 내구성의 문제가 발생할 것으로 판단되어 장기적으로 관찰이 필요함.																							

(2) 개발 기술 평가

현
장
개
요

공 사 명

발 주 처

시 공 자

구 조

사용재료

시공규모

현장위치

공사 기간

대연초등학교 일원 복개구조물 보수공사 중 단면보수공사

주식회사 대세건설

(주)삼명이엔씨

복개구조물

단면복구모르타르 (개발제품)

약 20 m²

부산광역시 남구

2018. 11. 1 ~ 2018. 12. 15. (총 45 일)

현
장
실
명

현장특징

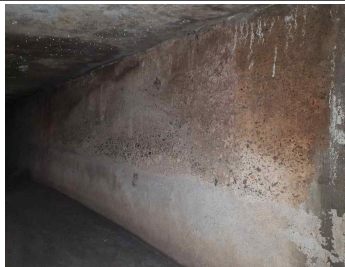
- 복개구조물 노후로 인한 단면보수 모르타르 시공

본 연구를 통하여 개발된 하수 시설 콘크리트 구조물 보수를 위한 방청제 및 보수재의 현장적용성능 및 기초성능을 평가하기 위하여 개발제품인 단면복구모르타르 제품을 현장에 시공하고 기초성능 평가용 실험체를 제작하였음.

적용 현장은 복개천이 흐르는 복개구조물로서 천정부 일부의 콘크리트 피복이 박탈되어 있었으며, 박탈정도가 심한 곳의 철근은 노출되어 부식이 진행되고 있었음. 따라서 불량한 피복 제거 및 보수모르타르의 접착 증강을 위한 치핑작업을 실시하고, 표면정리 후 개발 단면복구모르타르 제품을 시공하였음.

보수부위 조사 (박락, 부식)



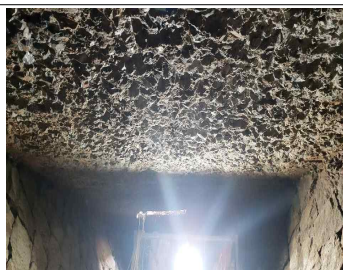




치핑 완료

측면 보수 완료

천정 보수 완료







현
장
평
가

성능평가

◎ 배합/시공

- 배합비(물:혼합물=1:4), 시공성 양호, 가사시간 25분~40분

◎ 성능시험

구분	압축강도(MPa)		휨강도(MPa)
1차 배합	52.2	53.6	7.8
2차 배합	52.4	51.2	8.1
3차 배합	58.3	57.2	8.3
평균	54.2		8.1

◎ 시공 후 표면 상태

- 시공상태 양호, 경화상태 양호, 균열등 없음

하자발생

- 하자 발생 없음.

비고
(평가 및 개선)

- 시공성이 우수하고 기초성능인 압축강도 및 휨강도도 기준대비 우수한 값을 나타내었으나, 황산염 침식이 많이 관찰된 현장으로서 개발 제품이 실제 하수 시설에서 유효한 장기성능을 확보하는지에 대하여 추후 장기적인 관찰이 필요함.

현 장 개 요	공 사 명	남산천 복개구조물 보수공사 중 단면보수공사																						
	발 주 처	주식회사 장원이엔씨건설																						
	시 공 자	(주)삼명이엔씨																						
	구 조	복개구조물																						
	사용재료	방청제, 단면복구모르타르 (개발제품)																						
	시공규모	약 5 m ²																						
	현장위치	대구광역시 중구																						
	공사 기간	2019. 6. 5 ~ 2019. 7. 20. (총 45 일)																						
현 장 설 명	현장특징	- 복개구조물 노후로 인한 단면보수 모르타르 시공																						
	본 연구를 통하여 개발된 하수 시설 콘크리트 구조물 보수를 위한 방청제 및 보수재의 현장적용성능 및 기초성능을 평가하기 위하여 개발제품인 방청제, 단면복구모르타르 제품을 현장에 시공하고 기초성능 평가용 실험체를 제작하였음.																							
	적용 현장은 복개천이 흐르는 복개구조물로서 천정부 일부의 콘크리트 피복이 박탈되어 있었으며, 일부 박탈부의 철근은 노출되어 부식이 진행되고 있었음. 따라서 불량한 피복 제거 후, 개발 방청제 및 단면복구모르타르 제품을 시공하였음.																							
	보수부위 조사 (박락, 부식)																							
	천정 부분보수 완료																							
	현 장 평 가	성능평가	◎ 배합/시공 - 배합비(물:혼합물=1:4), 시공성 양호, 가사시간 25분~40분																					
◎ 성능시험																								
		<table><tr><td>구분</td><td colspan="2">압축강도(MPa)</td><td>휨강도(MPa)</td></tr><tr><td>1차 배합</td><td>50.8</td><td>48.5</td><td>7.3</td></tr><tr><td>2차 배합</td><td>49.7</td><td>51.2</td><td>7.4</td></tr><tr><td>3차 배합</td><td>52.4</td><td>49.3</td><td>7.4</td></tr><tr><td>평균</td><td colspan="2">50.3</td><td>7.4</td></tr></table>			구분	압축강도(MPa)		휨강도(MPa)	1차 배합	50.8	48.5	7.3	2차 배합	49.7	51.2	7.4	3차 배합	52.4	49.3	7.4	평균	50.3		7.4
구분		압축강도(MPa)		휨강도(MPa)																				
1차 배합	50.8	48.5	7.3																					
2차 배합	49.7	51.2	7.4																					
3차 배합	52.4	49.3	7.4																					
평균	50.3		7.4																					
	◎ 시공 후 표면 상태 - 시공상태 양호, 경화상태 양호, 균열등 없음																							
	하자발생	- 하자 발생 없음.																						
	비고 (평가 및 개선)	- 시공성이 우수하고 기초성능인 압축강도 및 휨강도도 기준대비 우수한 값을 나타내었으나, 개발 제품이 실제 하수 시설에서 유효한 장기성능을 확보하는지에 대하여 추후 장기적인 관찰이 필요함.																						

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 최종 성과 목표

구분	내용
최종목표	○ 본 연구개발의 최종목표는 하수 시설 콘크리트 구조물에서 콘크리트 내부로 침투하는 유해이온(SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-})을 시멘트 매트릭스와 반응하기 전에 선 반응하여 능동적으로 차단하는 내황산 보수 모르타르 및 방청소재를 개발 하고, 이를 이용한 하수 시설 콘크리트 구조물의 보수/보강 공법을 개발 하는 것이다. 이를 통해 철근콘크리트 사회기반시설의 내구성 확보와 사회 안전성을 도모하고, 더 나아가 건설구조물의 장수명화를 목표로 한다.
세부목표	○ 콘크리트 황산염 침식 메커니즘, 염해 메커니즘, 탄산화 메커니즘 규명 ○ SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} 이온 반응 물질을 활용한 시멘트계 보수재료 개발 ○ 수중경화형 내황산 보수 모르타르 개발 ○ 내황산 보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수/보강 공법 개발 ○ 시제품 및 공법의 현장적용성 평가

나. 연구개발성과

- 하수시설 콘크리트 구조물에서의 능동적 보수재 개발을 위하여 콘크리트 구조물의 유해요소인 황산염 침식, 염해, 탄산화에 관한 고찰을 실시하였으며, 유해요소로 인한 열화를 억제할 수 있는 소재들의 메커니즘을 정립하였음.
- 열화이온을 억제하는 반응소재의 효과와 제어량을 실험 분석을 통하여 확인하였음.
- 본 연구를 통하여 개발되는 하수시설 콘크리트 구조물 보수재의 도입이 가능한 수요시장 현황을 조사하였음.
- 열화이온 반응 소재 혼입 모르타르(내황산 모르타르) 배합 선정을 위한 실험 연구를 하였음.
- 열화이온 반응 소재 혼입 방청제(내황산 방청제) 성분 선정을 위한 연구를 진행하였음.
- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르의 기본 물성(휨강도, 압축강도, 부착강도, 내알칼리성, 중성화 저항성, 염화물침투저항성, 길이변화율 등) 확인을 위한 실험 연구를 하였음.
- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 및 방청제의 장기 내구성 실험을 진행하였음.
- 열화이온 반응 소재 혼입 보수 모르타르 적용에 따른 구조성능 프로그램 해석을 하였음.
- 개발된 내황산 모르타르 및 방청제를 이용한 하수시설 콘크리트 구조물 보수 공법을 개발하였음.
- 개발 제품 및 공법으로 현장적용을 실시하여, 현장적용성을 평가하였음.
- 연구 개발을 통하여 도출된 결과를 활용하여 건설신기술 신청을 진행하고 있음.
- 본 연구의 양적 성과 목표인, 특허출원 5건, 학술발표 논문 1건, 국내논문게재 1건, 해외논문게재 1건, 공인시험성적서 7건, 보고서 2건, 시제품 2건, 공정매뉴얼, 1건, 유지관리지침서 1건, 적용실적 3건의 성과를 달성하였으며, 건설신기술신청 1건을 달성하기 위하여 본 연구진들은 적극적으로 연구에 임하고 있음.

○ 성과점검기준표

[총괄]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수		
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	기준치			
주관	1	열화 억제 메커니즘 규명 및 열화이온 반응 소재 설정	1-1	황산염 침식, 염해, 탄산화, 모델정립	① 자료 조사	1건	-	작성건수	연차보고서	2.5	특허: 출원 1 건 등록 1 건 국내학술발표논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건		
			1-2	열화이온별 화학적 열화억제 메커니즘 정립	① 자료 조사	1건	-	작성건수	연차보고서	3.75			
					② 특허출원	1건	-	출원건수	특허출원서	5			
			③ 국내학술발표대회	1건	-	대회참가	학술발표논문	3.75					
	1-3	타 분야 이온 반응 소재 조사	① 자료 조사	1건	-	작성건수	연차보고서	2.5					
	2	열화이온 반응 소재를 활용한 보수 모르타르 및 방청제 개발	2-1	열화이온 반응 소재를 활용한 보수 모르타르 개발	① 특허출원	1건	-	출원건수	특허출원서	9.1	특허: 출원 2 건 등록 1 건 국내논문: 1 건 해외논문: 1 건 시제품: 2 건 시험성적서: 3 건		
					② 시제품	1건	-	제품건수	시제품	4.5			
					③ 국내게재논문	1건	-	게재	논문	1.8			
					④ 부식량(방청률)	95%이상	-	KS F 2561	시험성적서	2.2			
					⑤ 염분침투깊이	5mm 이하	-	KS F 2737	시험성적서	2.2			
					⑥ 내산성(N/mm)	압축20상	-	KS F 4042					
			2-2	아민 유도체를 활용한 방청제 개발	① 특허출원	1건	-	출원건수	특허출원서	4.4			
					② 시제품	1건	-	제품건수	시제품	3.5			
					③ 해외게재논문	1건	-	게재	논문	3.5			
					④ 부식전위	-3500이상	-	ASTM C876	시험성적서	3.0			
	3	보수 모르타르 및 방청제를 활용한 보수 공법 개발	3-1	보수 공법 개발	① 보수 시스템 매뉴얼 작성	1건	-	작성건수	매뉴얼	3	특허: 출원 2 건 등록 1 건 건설신기술신청: 1건 공정매뉴얼: 1건 유지관리지침서: 1건		
					② 유지관리지침서 작성	1건	-	작성건수	지침서	3			
					③ 특허출원	2건	-	출원건수	특허출원서	4.5			
			3-2	건설 신기술	① 건설신기술 신청	1건	-	신청건수	신청서	10.5			
위탁 1	4	열화이온 반응 소재를 활용한 보수재의 성능평가 및 검증	4-1	열화이온 반응 소재 제어량 정량 분석	① 보고서	1건	-	작성건수	보고서	5	보고서: 2 건 시험성적서: 4 건 적용실적: 3 건		
			4-2	열화이온 반응 소재를 활용한 보수재 시험평가	모르타르	① 휨강도(N/mm)	6.0 이상	-	KS F 4042	시험성적서		3.3	
						② 압축강도(N/mm)	20.00상	-					
						③ 부착강도(N/mm)	1.0 이상	-					
						④ 내알칼리성(N/mm)	압축20상	-					
						⑤ 중성화 저항성(mm)	2.0 이하	-					
						⑥ 투수량(g)	20.00하	-					
						⑦ 물흡수계수(kg/(m ² ·h ^{0.5}))	0.50하	-					
						⑧ 염분침투저항성(Culombs)	1000 이하	-					
						⑨ 길이 변화율(%)	±15 이내	-					
						⑩ 내구성내하량(%)	중성화10	-	ASTM C267	시험성적서		2.5	
						⑪ 수용성 염화물량	0.04%이하	-	KS F 2713	시험성적서		2.5	
			방청제		⑫ 부식상황	부식없음	-	KS F 2561	시험성적서	6			
					⑬ 방청률	95 이상	-						
					⑭ 응결 시간차	±60 이내	-						
					⑮ 압축 강도비	90 이상	-						
			4-3		하수 시설의 보수 수요시장 조사	① 자료조사	1건	-	작성건수	연차보고서		2.5	
	4-4	프로그램 해석을 통한 보수/보강 공법 검증		① 보고서		1건	-	FEM해석	프로그램 해석	2.5			
	4-5	보수 공법의 현장적용 평가		① 적용실적		3건	-	적용건수	적용실적	3			
	계										100	특허: 출원 5건 등록 3건 논문: 3건 시제품: 2건 건설신기술신청: 1건 공정매뉴얼: 1건 유지관리지침서: 1건 보고서: 2건 시험성적서: 7건 적용실적: 3건	

○ 해당 연도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	1		
	비SCI			
	계	1		
국내 논문 게재	SCI			
	비SCI	2		학술발표논문, 게재논문
	계	2		
특허 출원	국내	5	100	
	국외			
	계	5	100	
특허 등록	국내			
	국외			
	계			
인력 양성	석사			
	박사			
	계			
기술 이전	계약 건수			
	계약액			
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어			
기타	화학물			
	시제품	2	100	
	보고서	2	100	
	성과 홍보			
	일자리 창출			

다. 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표	자체 평가
특허출원 (5건)	아민유도체와 이온교환수지를 이용한 내황산 보수 모르타르 및 내황산 방청제에 관한 특허 5건을 출원완료하였음.
논문 (3건)	2017년 한국콘크리트학회 가을학술발표대회 논문 1건, 한국건축시공학회지의 국내논문 1건과 Advances in Materials Science and Engineering 저널의 해외논문 1건을 기고하였음.
시제품 (2건)	내황산 방청 모르타르 및 내황산 유기계 방청제 2건의 시제품을 제작하였음.
보고서 (2건)	- 위탁기관1에서 열화요인 반응소재의 성능 확인을 위한 실험을 실시하여 보고서 1건을 발부받았음. - 위탁기관2에서 실시한 프로그램 해석을 통한 보수재의 성능 검증 결과에 관한 보고서 1건을 발부받았음.
공인시험성적서 (10건)	내황산 방청 모르타르 및 내황산 유기계 방청제의 성능 실험결과에 관한 공인시험성적서 7건을 발급받았음.
공정매뉴얼 및 유지관리지침 (1건)	내황산 방청 모르타르 및 내황산 유기계 방청제를 활용한 하수시설 보수 공법에 관한 공정매뉴얼 1건, 유지관리지침 1건을 작성하였음.
적용실적 (4건)	내황산 방청 모르타르 및 내황산 유기계 방청제를 활용한 하수시설 보수 공법을 실제 현장에 적용하여 현장적용성을 평가하였음.
건설신기술 신청 (1건)	연구결과를 바탕으로 건설신기술 신청을 완료하였음.

2. 관련 분야 기여도

○ 기술적 측면

1) 선진국과 대등한 기술 축적

- 시멘트 및 레미콘 회사, 건설구조물 보수·보강재 제조사 및 시공사 등의 전방산업 확산을 통해 기술 경쟁력 강화
- 구조물 보수 보강 회사의 기술력 확보를 통한 시공 능력 확보
- 해외 선진기술과의 격차를 좁힐 뿐만 아니라 그 이상의 기술력 확보를 기반으로 해외 시장 진출

2) 내항산업 기술의 사회 기반 시설, 특히 수처리 구조물(댐, 교량, 건축물 수처리 시설물 등) 적용을 통한 기술경쟁력 강화

- 내항산업 기술을 기반으로 한 원천 기술 개발 및 대량생산화
- 능동적 방법을 이용하여 내구성 저하를 근본적으로 해결할 수 있는 기술력 및 경제성 확보

3) 특허 개발과 실용화를 통해 시장의 적극적인 반영 및 활용 가능

- 개발된 원천기술을 바탕으로 세계 건설시장에 기술전파 도모

○ 경제적·산업적 측면

1) 국내 기업의 참여 기회 증가 및 시장 선점

- 개발된 원천기술을 바탕으로 국내 유지보수 관련 기업의 해외 진출 시 효율적인 공사 진행 및 유지보수 비용절감을 통한 예산 절감
- 콘크리트 구조물 사회기반 시설물의 내구수명 증가로 유지관리 비용 대폭 감소
- 노후화된 산업 시설의 유지 관리 기술 확보를 통한 재생산업성 강화
- 노후 SOC시설물의 보수보강 기술 공급을 통한 유지관리 시장 강화
- 국외의 경우 콘크리트 건설구조물의 유지보수 시장이 국내에 비해 많이 활성화 되어 있음. 따라서 2013년 기준 점유율 상승이 5% 증가할 경우 국내에 비해 다소 적은 약 5억원 규모의 시장 창출이 가능

2) 친환경 인증제도, 친환경 보수재료의 수요증가에 따른 신성장 건설산업 동력원 기대

- 신축 공사 형태에서 유지 보수 관리 형태의 건설 산업 변화 구도에서 친환경 보수 재료의 공급에 따른 산업 소재 산업 활성화
- 내항산업 구조물의 보수·보강재의 고효율화를 통한 국내·외 기술격차를 줄임

3) 미래지향적인 자기치유형 유해인자 반응제어 기술 개발을 통해 국외 시장에서의 경쟁력 강화

- 보수·보강재 및 혼화재로서의 최적화 기술 확보를 통해 해외 선진기술보다 우수한 경쟁력 확보
- 건설재료 시장 활성화로 인한 국외 수출 증가 및 이에 따른 국가경쟁력 향상

○ 사회·환경적 측면

- 1) 현재 국내 건설산업의 패러다임 변화에 따라 사회기반시설을 포함한 구조물의 성능 회복 및 수명을 연장시키는 방법 대두됨. 이에 따라 시설물 유지관리 3차 기본 계획에 맞는 저비용·고효율 유지보수 기술 제공
 - 선진화된 보수·보강 기술을 노후화된 사회기반시설에 적용시켜 구조물의 내구수명을 증진
- 2) 유해인자 반응제어 자기치유 기술 개발을 통해 이산화탄소를 절감하고 정부시책에 부합하는 녹색건설 기술발전 기여
- 3) IBC, ISO 9000, BREEAM 등 해외 인증 제도를 바탕으로 국내 뿐만 아니라 해외 연계를 통한 실용화 추진
- 4) 기술문서(공인성적시험서) 확보 및 성과홍보(녹색기술인증)을 통해 실용화 및 사업화 기반을 확보하여 국내 건설 구조물 보수재 시장 활성화
- 5) 노후화 시설물의 증가에 따른 유지보수 대응력 향상
 - 2024년에 노후화 시설물은 2014년 대비 2배 이상 급증하여 유지보수에 대한 수요가 증가할 것으로 전망
 - 재해·재난 예방에 따른 국민 안전 제고와 사회 재산 보호에 기여
- 6) 기존 시설물에 대한 유지관리 부담 감소에 따른 생활형 시설물 투자 증가로 국토 보전 시설물과의 불균형 해소
- 7) 유해인자 반응제어 기술개발을 통한 친환경적 건설기술을 확립하고, 이로 인한 국가적 이미지 제고에 기여 및 수출 경쟁력 증대

3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

○ 해당사항 없음

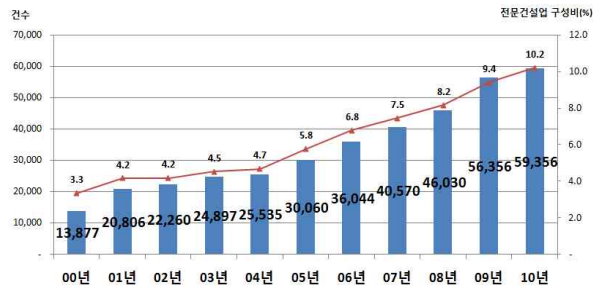
제5장. 연구개발성과의 활용계획

○ 시장 특성 및 구조

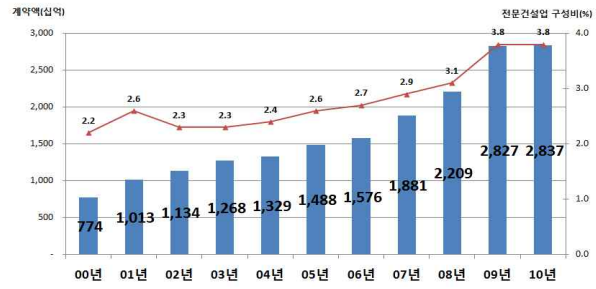
- 국내 시설물 유지관리 시장의 규모와 업체는 지속적으로 증가하고 있으나 과학적 유지관리 기법의 적용 등 질적성장을 위한 노력은 미흡

* 시장규모: ('01) 1.0조원 → (10) 2.8조원, 업체 수: ('01) 1,982개 → ('10) 4,056개

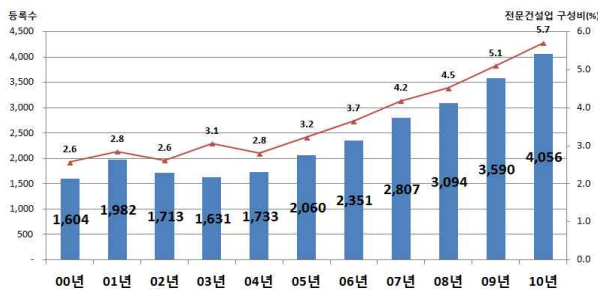
* 자산관리(Asset Management), BIM(Building Information Modelling) 기술 등



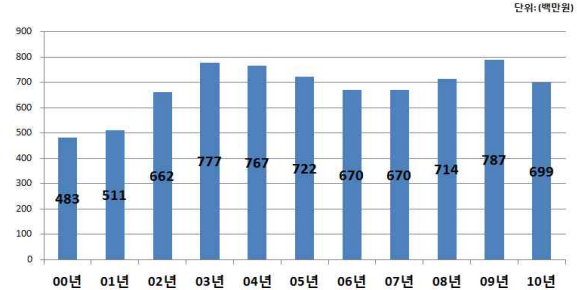
(a) 시설물 유지·보수공사 연간 건수



(b) 시설물 유지·보수공사 연간 시장규모(계약금액)



(c) 시설물 유지관리업체 등록수



(d) 시설물 유지관리업체당 계약금액

그림 5.1 국내 시설물 유지관리 현황

- 시설풍 제정으로 인해 구조물의 안전진단 및 보수 보강이 강화되었음. 시설풍 대상인 1·2종 시설물(59,559개) 중 민간 시설물(41,984개, 70.5%의 비중이 매우 크며, 공동주택, 다중이용 건축물 등 국민 밀착시설물이 대부분임.
- 국내 고도 개발 기간을 거쳐 개발된 구조물의 30가량이 되면서 보수 보강 시장의 요구 증대

○ 실용화 및 제품화 방안

- 고내구성이 요구되는 현장을 대상으로 개발된 내황산 보수 기술 홍보를 진행중.
- 확보된 특허와 추후 확보예정의 신기술을 바탕으로 구조물 보수 시장 및 콘크리트 혼화재 시장에 적극적 홍보 실시할 예정임.
- 염해, 탄산화, 황산염 침식 등에 특화된 제품군 구성 및 각각의 열화가 아닌 복합 열화에도 성능확보가 가능한 보수재 제품 구성과 보수공법 개발을 통하여 다양한 요구층을 대상으로 차별화된 보수재 시장 접근을 실시할 예정임.
- 개발 완료 초기에는 OEM 방식으로 생산을 계획/진행하고 있으나, 제품의 수요가 극대

화될 것으로 예상되는 3~5년 후에는 2021년 준공예정인 생산공장을 활용하여 본사 직영 생산을 통한 제품의 다양화와 품질 안정성을 확보할 예정임.

○ 현장적용 방안

- 개발된 황산염 대응 보수 기술을 통한 노후화 된 사회기반 시설(도로, 하천, 등)에 적용하여 구조물의 열화방지를 통한 내구수명을 증진시킬 수 있는 것으로 판단됨.
- 시트법 조성에 따른 노후 구조물의 보수 기술 확보하였음.
- 현장적용에 앞서 유해이온 반응제어 원천기술을 활용한 구조물에 접목하기 위한 보수재 및 공법을 개발하였으며, 개발된 보수재의 우수한 성능을 바탕으로 본 과제 진행으로 3건의 현장적용 실적을 확보하였으며, 개발 종료 이후인 2020년 상반기 현재, 2건의 현장적용이 예정되어 있음.
- 개발된 보수재 및 공법을 활용한 건설신기술 확보를 통하여 민간급 보수공사를 적극적으로 수주하여 현장적용 사례를 점진적으로 확보할 예정임.

○ 미래 원천기술 및 신산업 창출 방안

- 환경/화학/생명 등의 타 분야의 기술을 적극 도입하여 건설재료의 다양화 및 다기능, 고성능화할 수 있는 융복합의 원천기술을 확보할 수 있을 것이라 판단됨.
- 본 연구개발을 통하여 철근콘크리트 구조물에서의 황산염, 탄산화, 염해 등의 화학적 내구성 저하 인자를 제어할 수 있는 원천기술을 확보하였음.
- 현재 일반적으로 사용하고 있는 보수재에 비하여 경제성 및 효율성이 증진된 보수재 및 보수공법 기술을 확보하였으며, 추후 보강소재와 시공기기 개발에 따른 기술융합을 통한 보수 산업의 새로운 패러다임이 창출될 것으로 기대됨.

○ 국외 경쟁력 방안

- 국내 유지보수 관련기업의 해외 진출시 저비용 고효율의 기술력을 바탕으로 국외 시장 경쟁력 상승
- 사용재료의 최적화된 기술 확보를 통해 해외 선진기술 이상의 기술 우수성 확보

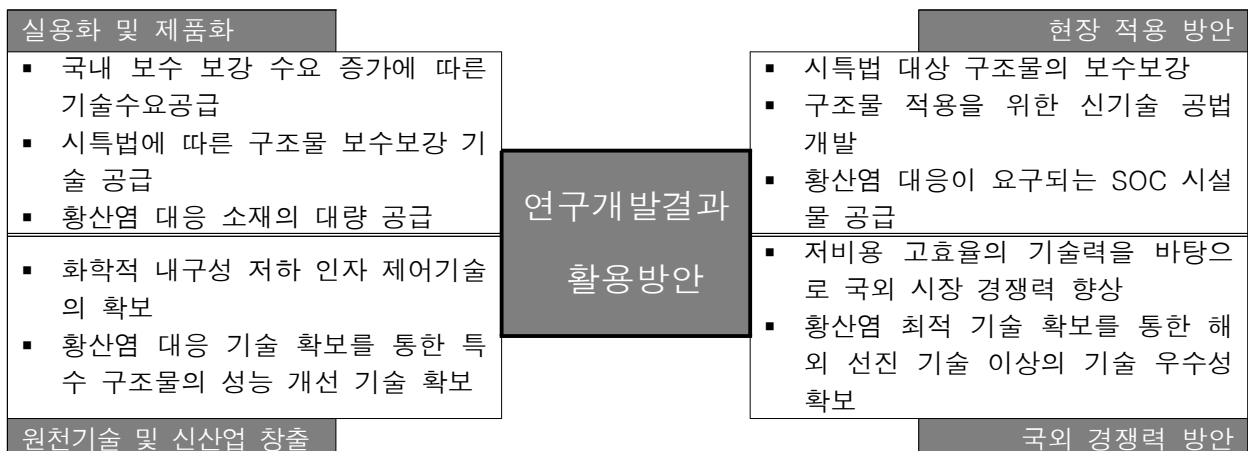


그림 5.2 연구개발 활용방안

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

○ 해당사항 없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		■
결정 사유	본 연구개발사업은 [국토교통부소관 연구개발사업 운영규정] 제7장 연구개발사업의 보완 및 정보관리, 제47조의 4 (보안등급 분류기준)에 명시된 보안등급 분류에 따라 일반과제로 구분됨.	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

○ 해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 연구실 안전점검 정기적 실시

- 연구실의 기능 및 안전을 유지 관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시하였음.

○ 참여 연구원의 안전관련 교육훈련 시행

- 산업안전보건법 제31조 (안전보건교육) 및 연구실 안전환경조성에 관한 법률 제 18조에 의거, 전 직원에 대한 안전보건교육을 매달 실시하였음. 교육 방법은 모든 직원에 대한 자체교육(2시간)을 실시하였음.

○ 연구 내용 및 결과물 안전 확보

- 정기적으로 인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시하여 연구 내용 및 결과물의 안전을 확보하고 있음. 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리를 위한 안전교육 실시하였음.

○ 연구실 안전 확보 계획

- 참여 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 하며, 요구되는 안전교육 및 훈련 실시하였음.
- 실험에 관련된 위험 정보를 숙지하고 적절한 개인 보호 장비 착용, 실험실에 노출될 수 있는 위험을 안전관리책임자에게 항상 보고하였음.
- 연구실의 잠재되어 있는 위험성 발견 및 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육을 실시하였음.

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	내황산 보수재료 요소기술의 황산이온 제거능력 평가	(주)삼명 이엔씨	주관	한국콘크리 트학회 2017 가을 학술대회 논문집		2017.10	○	
2	논문	황산, 염소이온 반응소재 혼입 수용액에서의 이온반응성 및 전기화학적 부식에 관한 실험적 연구	(주)삼명 이엔씨	주관	한국건축 시공학회		2019.2	○	
3	논문	Evaluation of Corrosion Resistance of Corrosion Inhibitors for Concrete Structures by Electrochemica l Testing in Saturated Ca(OH) ₂ Solutions with NaCl and Na ₂ SO ₄	(주)삼명 이엔씨	주관	Advances in Materials Science and Engineering		2019.4.15	○	SCI(E)
4	특허	아민유도체 및 이온교환수지를 이용한 하수시설 보수용 내황산 모르타르 분체 조성물	(주)삼명 이엔씨	주관	대한민국		2019.5.27	○	

제11장. 기타 사항

○ 해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

1. 최완철, 콘크리트, 동화기술, 2010.02.26.
2. 황순재, 합성수지, 동화기술, 2006.09.10.
3. 대한건축학회, 건축기술지침, 한국: 공간예술사, 2006.10.25.
4. 건설교통부, 콘크리트 구조물의 균열평가기법 및 보수·보강 전문시방서의 개발, 건설교통부, 1999.12.25.
5. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서 해설, 한국콘크리트학회. 2004.02.13.
6. 정구섭 외4인, 건축재료학, 광문각, 1999.02.28.
7. P. Kumar Mehta, 콘크리트 공학 미시구조와 재료 특성, 일광, 2015.
8. 보수·보강기술 인증기준에 관한 연구, 한국시설안전공단, 2009.12.
9. 고속철도공사 전문시방서(노반편), 한국철도시설공단, 2006.4.
10. Standard Practice for Estimating the Cracking Tendency of Concrete, AASHTO 1998.
11. 문한영, 김홍삼, 이승태, 시멘트 경화체의 황산염침식 저항성 평가, 한국콘크리트학회 논문집, 2000.
12. 문한영, 이승태, 정호섭, 김홍삼, 시멘트 모르타르의 황산염용액에 대한 침식 평가, 대한토목학회논문집, 2001.
13. 김명식, 백동일, 황산염 침해를 받는 부순모래 모르타르의 단위중량 및 압축강도 특성, 대한토목학회 논문집, 제27권, 2007.
14. 김명식, 백동일, 최강석, 동결융해와 황산염의 복합작용을 받는 부순모래 모르타르의 기초 특성 평가, 한국해양공학회지, 제23권, 2009.
15. 배수호, 박재임, 이광명, 콘크리트의 황산 및 황산염 침투 저항성에 미치는 광물질 혼화제의 영향, 콘크리트 학회지, 제22권, 2010.
16. 문한영, 김성수, 김홍삼, 철근콘크리트 복개구조물의 성능저하 원인 및 철근부식의 평가, 대한토목학회논문집, Vol.20, 2000.
17. 이승태, 하상욱, 김성수, 박세호, CAC 모르타르의 황산염 침식 저항성 평가, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2013.
18. 문한영, 전종규, 김홍삼, 황산 침식을 받는 시멘트 경화체의 성능 평가 예측, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2006.
19. 이승태, 김성수, 박광필, 3성분계 혼합시멘트 경화체의 황산염침식 모드 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2011.
20. 김성수, 이정배, 이춘민, 이주현, 엄성현, 광물질 혼화제를 활용한 콘크리트의 황산염 저항성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2013.
21. 정의창, 신상엽, 김영수, 메타카올린을 혼입한 3성분계 콘크리트의 황산마그네슘침식 저항성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2012.
22. 박재임, 배수호, 유경근, 이광명, 차수원, 최성, 산 및 황산염 저항성에 미치는 시멘트 종류의 영향, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2008.
23. 배수호, 박재임, 이광명, 콘크리트의 황산 및 황산염 침투 저항성에 미치는 광물질 혼화제

의 영향, 한국콘크리트학회 논문집, 2010.

24. 하상원, 안태호, 방신영, 양능원, 류재석, 황산 열화에 저항하는 고 내구성 콘크리트 및 단면 복구재 개발을 위한 기초 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2015.
25. 최소영, 최윤석, 양은익, 노재호, 최상릉, 혼합재를 혼입한 레미콘 라텍스 개질 콘크리트의 황산염 저항성에 관한 연구, 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표 논문집, 2013.
26. 최소영, 김용무, 차경문, 진상호, 김일순, 양은익, 고밀도 폐유리를 잔골재로 사용한 모르타르 시험체의 황산염 저항성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2016
27. 이승태, 메타카올린 혼합 시멘트 경화체의 황산마그네슘 침식 및 성능저하 모드, 한국콘크리트학회 논문집, 2009.
28. 박양순, 이온 크로마토그래피와 자외선 검출을 이용한 황산수용액 중의 요오드 음이온 정량, 한국분석과학회, 2001.
29. 이웅중, 정연식, 양승규, 유재상, 이종열, 황산에 의한 모르타르의 침식현상, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2002.
30. 김종필, 황산염침식 방지를 위한 포틀랜드시멘트의 선정, 한국콘크리트학회 논문집, 2009
31. 이승태, 김성수, 김종필, 콘크리트의 황산염침식 및 평가 기준, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2008.
32. 이윤수, 진정심, 이한승, 음이온 교환수지를 이용한 포화 수산화칼슘 수용액 내 염소이온 및 황산이온 제거 특성 평가, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 2017.
33. 권중현, 김봉익, Fly ash를 사용한 수중분리성 콘크리트의 응결에 관한 실험적 연구, 한국해양공학회지, 2001.
34. 김기철, 한민철, 원종필, 최응규, 한천구, 증점제 및 플라이애쉬를 이용한 다짐불요 콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회 가을 학술발표논문집, 1996.
35. 대한토목학회, 유동화콘크리트공사지침(안), 1991.
36. 대한토목학회, 콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질 기준(안), 1995.
37. 이영제, 수중 콘크리트용 혼화제를 사용한 콘크리트의 실험적 연구, 건국대학교 대학원 석사학위논문, 1992.
38. 채소언, 수중 불분리성 혼화제를 사용한 콘크리트의 제성질에 대한 실험적 연구, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1993.
39. 김성욱, 박정준, 배수호, 박재임, 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비 도출, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 2012.
40. 김재훈, 윤상천, 지남용, 고로슬래그 미분말을 함유한 고유동 모르타르의 유동성상에 미치는 영향 요인에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집.
41. 장현오, 지남용, 고로슬래그 미분말을 혼입한 보통강도 고유동 콘크리트 배합에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 2013.6.
42. 김재훈, 윤상천, 지남용, 고로슬래그미분말을 혼입한 고유동콘크리트에서 골재조합이 콘크리트 유동성상에 미치는 영향에 관한 실험 연구, 한국건축시공학회 논문집, 2003.12.
43. 강수태, 김진근, 고유동 강섬유보강 모르타르의 유동에 따른 섬유 방향성 분포특성 변화

- 의 예측, 한국전산구조공학회 논문집, 2009.12.
44. 최연왕, 정재권, 정우용, 고유동 자기충전 콘크리트의 압축 강도수준별 배합특성, 대한토목학회 논문집, 2009.3.
 45. 김도수, 정홍호, 박병배, 노재성, 고유동화제와 시멘트 혼화용 무기미분체가 첨가된 시멘트 페이스트의 유동성 변화, 한국세라믹학회지, 2000.2.
 46. 이근수, 최열, 배합변수가 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집 구조계, 2010.5.
 47. 채우병, 박신준, 오상근, 서상교, 백시멘트와 조강성 분말수지 첨가량 변화에 따른 2성분 박막형 시멘트 모르타르계 주차장 바닥용 표면 마감재의 휨-압축강도비와 윤하중 저항성능 간의 상관성 분석, 대한건축학회논문집 구조계, 2010.6.
 48. 최성우, 조현태, 류득현, 김규용, 보통 포틀랜드 시멘트 품질이 고유동 콘크리트의 유동 특성에 미치는 영향에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 2012.2.
 49. 안양진, 폐인산석고의 증기양생용 고강도 콘크리트 혼화재로서의 적용성 평가, 전북대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문, 2004.2.
 50. 샤오주동, 곽규성, 채우병, 배기선, 오상근, 시멘트 모르타르계 주차장 바닥 마감재의 윤하중 저항성능을 위한 EVA 분말수지의 최적 첨가 범위에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 춘계학술발표대회 논문집, 2010.
 51. 최원일, 김학영, 최병선, 이영도, 정상진, 요소를 혼입한 균열저감형 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 2013.1
 52. 류두열, 박정준, 김성욱, 윤영수, 초고성능 섬유보강 콘크리트의 재료 특성 및 예측모델 : (1) 응결 및 수축 특성과 인장거동 평가, 대한토목학회 논문집, 2012.9.
 53. 문훈, 김형근, 류은지, 진은지, 정철우, 칼슘실리케이트 수화물과 포도당을 이용한 시멘트 페이스트의 최대 수화온도 저감, 한국콘크리트학회 논문집, 2015.6.
 54. 최성민 외 3명, 특수시멘트 혼입 에폭시 수지계 콘크리트용 바탕조정재의 기초물성에 관한 연구, 한국콘크리트학회. 1998
 55. 오상근 외4명, 콘크리트 구조물에 적용되는 초속경 분사시공 도막 방수재료의 내화학 특성 분석 : 폴리우레아, 폴리우레탄·우레아, 폴리우레탄 수지계 방수재료를 중심으로, 대한건축학회, 2013.12.
 56. 채우병 외2명, 유동화제와 증점제의 조성비가 자기수평 칼라 모르타르의 재료분리저감에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회, 2009.
 57. 정재동 외5명, 고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구, 한국양회공업협회. 1994.
 58. 이경희, 고성능 콘크리트, 한국양회공업협회, 2000.
 59. 소양섭, 고성능 콘크리트의 내화성능(고강도 및 섬유보강 콘크리트), 한국콘크리트학회, 2002.
 60. 오병환 외1명, 고성능 콘크리트의 설계와 시공-국내의 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화, 한국콘크리트학회, 1995.
 61. 윤영수 외2명, 고성능 콘크리트의 설계와 시공-국내의 고성능 콘크리트에 대한 최근의 연구동향: 고강도 콘크리트를 중심으로, 한국콘크리트학회, 1995.
 62. 박철림 외1명, 고성능 콘크리트의 설계와 시공-고성능 콘크리트의 개발 및 실용화 연구,

한국콘크리트학회, 1995.

63. 홍성윤 외3명, 무기질 침투성 표면강화제에 의한 콘크리트 구조물의 표면보호 성능향상 방안, 한국양회공업협회, 2004년.
64. 한국양회공업협회, 시멘트업계의 해외 수출현황, 한국양회공업협회, 1995.
65. 이광명 외1명, 해외 시멘트 콘크리트 산업의 최근 동향 및 향후 전망, 한국양회공업협회, 2003.
66. 김진국 외2명, 알루미나시멘트 특성에 관한 연구, 한국양회공업협회, 1987.
67. 최상훈, 알루미나 시멘트, 한국양회공업협회, 1993.
68. 최연왕 외7명, 고유동 콘크리트, 한국콘크리트학회, 2010
69. 노재성, 고성능 콘크리트 제조를 위한 국내의 혼화제 제조현황, 특성 및 반응 기구, 한국 레미콘공업협회, 1993.
70. 엄태선 외 2명, 비정질 규산원료를 이용한 칼슘실리케이트 수화물 합성과 역학적 특성, 한국과학기술정보연구원, 1997.
71. 임홍범 외 4명, 콘크리트 보수에 적용되는 표면강화제의 성능평가, 한국콘크리트학회, 2012.11.
72. 정민철, Meta Kaolin 및 Silica Fume을 이용한 고성능 고강도 시멘트 모르타르 특성에 관한 연구, 한국과학기술정보연구원(KISTI), 1996
73. 윤재환, 고내구성 콘크리트, 한국과학기술정보연구원(KISTI), 2006
74. 오병환, 고내구성 콘크리트와 고성능 콘크리트의 개발 및 적용, 한국과학기술정보연구원 (KISTI), 1999
75. 이승훈, 고유동 콘크리트 기술의 현황과 전망, 한국양회공업협회, 2001
76. 한국 하수도 발전사 (환경부)
77. 국가하수도 종합계획 2015 (환경부)
78. 하수관로·맨홀 조사 및 상태등급 판단기준 표준매뉴얼 (환경부)
79. 콘크리트구조물의 균열평가 및 보수보강 (한국시설안전공단)
80. 시설물 유지관리 지침 (건설교통부)
81. 하수도시설 표준사업비 산정을 통한 국고지원 적정성 연구 (한국환경공단)
82. 2016~2020 국가재정운용계획 환경 분야 보고서 (기획재정부)
83. 국가하수도정보시스템 (www.hasudoinfo.or.kr)
84. 환경신기술정보시스템 (www.koetv.or.kr)
85. 국토교통과학기술진흥원 (www.kaia.re.kr)

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.