

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 "국내 석탄회(Bottom Ash 포함)를 이용한 터널 보수보강 모르타르 개발에 관한 연구"의 보고서로 제출합니다.

2010. 08. 30

주관연구기관명 : (주)두영티앤에스

주관연구책임자 : 조 정 기

연구원 : 서 현 석

" : 나 규 원

협동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원

협동연구책임자 : 이 건 철

보고서 요약서

과제고유번호	09TRPI-C 051911-02 -000000	해 당 단 계 연 구 기 간	2008.12.29 ~ 2010.8.30	단 계 구 분	(총 단 계)
연 구 사 업 명	중 사 업 명	개발사업			
	세부사업명	건설교통 창업 R&D 정책·인프라사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명				
	세부과제명	국내 석탄회(Bottom Ash 포함)를 이용한 터널 보수보강 모르타르 개발			
연 구 책 임 자	조 정 기	해당단계 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 8 명 외부 : 0 명	해당단계 연 구 비	정부:200,000천원 기업:180,131천원 계:380,131천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 8 명 외부 : 0 명	총연구비	정부:200,000천원 기업:180,131천원 계:380,131천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)두영티앤에스 기업부설연구소		참여기업명	(주)진우엔지니어링	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
협 동 연 구	연구기관명 :한국건설생활환경시험연구원 연구책임자 :이 건 철				
요 약				보고서면수	
o 국내산 산업 폐기물(석탄회 조분) 및 산업 부산물(수쇄슬래그) 등을 초속경시멘트에 혼입하여 양질의 속경성 보수/보강 모르타르를 개발함.					
o 석탄회 조분은 석탄회 총량의 10%이상, 석탄회+수쇄슬래그는 개발제품 총량의 30% 이상 치환을 목표로 하여, 석탄회 15% 및 슬래그 15%의 치환율로 목표를 달성함.					
o 20℃환경을 기준으로 한 시험 총 7가지(플로우, 응결시간, 압축강도, 인장강도, 부착강도, 휨강도, 전단시험, 길이변화율)의 목표를 모두 만족하였음.					
o 극한의 저온(동절기 5℃)환경을 기준으로 한 시험 총 4가지(플로우, 응결시간, 압축강도, 부착강도) 역시 목표치를 모두 만족하였음.					
o 연구개발의 실적은 목표인 시작품 다수, 현장적용은 시험시공 3건, 상품화 1건 (제품명 매직콘), 매뉴얼 1건, 학술회의논문 5건, 학술지논문 2건(예정), 특허출원 1건으로 성과지표를 모두 달성하였음.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	석탄회 조분, 보수모르타르, 초속경시멘트, 자원재순환, 클립(CLiP)공법(터널)			
	영 어	Bottom Ash, Repair Mortar, High early hardening Hardening Cement, Recycling, Clean Lining by Pumping(Tunnel)			

요 약 문

I. 제 목

국내 석탄회(Bottom Ash 포함)를 이용한 터널 보수보강 모르타르 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

석탄회는 화력발전소에서 전력을 생산하는 과정 중에 발생하는 산업부산물로서 시멘트 치환재로 사용되지만 그 재활용량이 10% ~ 20%에 불과하고 나머지는 매립된다. 본 연구는 재활용되지 못하는 석탄회의 폐기 비용을 절감하고 환경 보존적 측면에서 초속경시멘트에 석탄회 조분(Bottom Ash)를 첨가하여 자원 재순환형 기능성 보수/보강 모르타르를 제조하여 속경성/고유동성을 특성을 지니면서 내구성을 향상시킨 제품을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

금번 개발된 기술은 현재 당면과제인 긴급공사, 특히 콘크리트의 보수 또는 보강이 어려운 혹한기 등의 열악한 환경에서 신속하게 보수/보강을 하는 것이 필요한 여러 터널 및 수리 구조물 등에 효율적으로 적용되리라 판단된다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

자원화 이용률이 낮은 국내산 산업폐기물(석탄회 조분)을 초속경시멘트에 혼입하여 양질의 속경성 보수/보강 모르타르를 개발한다. 석탄회 조분은 석탄회 총량의 10% 이상, 석탄회+슬래그는 개발제품 총량의 30%이상 치환을 목표로 하여 보수/보강 모르타르의 기본 물성을 충족시키는 제품을 개발한다.

1. 20℃ 기준

평가 항목		목표	평가 방법
정치플로우		250mm 이상	시멘트물리시험방법의 정치플로우 시험
응결시험 (분)	초결	30분 이상	콘크리트의 응결시간 시험
	종결	80분 이하	
압축강도		50N/mm ² 이상	콘크리트의 압축강도 시험
인장시험		4N/mm ² 이상	콘크리트의 할열인장강도 시험

부착강도	2.5N/mm ² 이상	표면피복재의 부착강도 시험
휨강도	6N/mm ² 이상	콘크리트의 휨강도 시험
전단시험	5N/mm ² 이상	강섬유보강콘크리트의 전단강도 시험
길이변화율	6×10 ⁻⁴ 이하 ; R.H 80%	모르타르 및 콘크리트 길이변화 시험

2. 5℃ 기준

기본요건 ; 석탄회 조분 10%이상, 석탄회+슬래그 30%이상 치환,
 썩씨 5도 이하기준, 충전용

- 3시간 압축강도 ; 6N/mm² 이상(2~4시간 정도에 탈형 가능)
 장기압축강도 ; 40N/mm² 이상, 부착강도 ; 2N/mm² 이상
- 유동성 ; 셀프플로우(진동을 주지않은 상태에서의 플로우) 250mm이상
 초결 40분 이상
- 건조에 의한 균열이 발생하지 않을것 (6×10⁻⁴이하; R.H 80%)

IV. 연구개발결과

개발 성과물은 물·시멘트비 34% 기준으로 태안산 석탄회(15%)와 수쇄슬래그(15%)를 혼합, 사용한 터널용 보수보강 모르타르를 개발하였다. 개발하고자 한 목표치에 모두 만족하였으며, 아래 표에 의거 개발 목표치와 개발실적을 나타내었다.

1. 20℃ 기준

세부 개발 내용 평가 항목		단위	개발목표치	실적
Flow		mm	250 이상	260 ± 10
응결시간 (분)	초결	분	30 이상	35 ± 5
	종결		80 이하	45 ± 5
휨강도(28일)		N/mm ²	6 이상	8.60
압축강도(28일)			50 이상	55.83
부착강도 (7일)	표준조건	N/mm ²	2.5 이상	2.5
	온·냉반복		-	2.0
인장시험		N/mm ²	4 이상	4.9
전단시험		MPA	5 이상	7.4
길이변화율		%	6×10 ⁻⁴ 이하 ; R.H 80%	5×10 ⁻⁴

2. 5℃ 기준

세부 개발 내용 평가 항목		단위	개발목표치	실적
Flow		mm	250 이상	260 ± 10
응결시간(초결)		분	40 이상	48 ± 5
압축강도	3시간	N/mm ²	6 이상	6.64
	28일		40 이상	44.38
부착강도(7일)		N/mm ²	2.0 이상	2.0

3. 연구개발목표의 목표 및 실적

연구목표	성과지표	가중치	목표치	실적	성과물 명칭
터널보수용 보수보강모르타르 개발	시작품	0.2	1건 이상	다수	시작품
	현장적용	0.2	3건 이상	3건	시험시공
	상품화	0.2	1건 이상	1건	제품
	매뉴얼	0.1	1건 이상	1건	매뉴얼
	학술회의논문	0.1	2건 이상	5건	학술회의 논문
	학술지논문	0.1	1건 이상	2건(예정)	학술지 논문
	특허출원	0.2	1건 이상	1건	특허
합계		1.0	10건	10건	-

V. 연구개발결과의 활용계획

폐사는 본 개발 기술의 선행기술로서 2000년 초기 시작단계에서부터 일본 연구기관인 카지마건설기술연구소와 함께 연구하여 왔다. 폐사는 본 개발과제의 결과(국내 석탄회를 이용한 보수모르타르)도 카지마건설주식회사와 폭넓게 정보공유하여 국내외 시장의 응용범위를 넓혀 나갈 것이다. 한편 일본에서의 연구개발결과에 대한 활용은 2004년 산업폐기물(석탄회+슬래그)를 사용한 초속경 바닥재 개발 및 시공, 2006년에는 일본 후지산 후지터널 양측 빗물 유도로의 보수/보강용 모르타르 개발 및 시공 등이 있으며 두차례에 걸친 시험시공 모두 일본산 석탄회를 사용한 바 있다. 아직 국내 석탄회에 대한 사용은 일본에 비해 부족한 실정인 바 폐사는 본 과제에서 다룬 국내 석탄회(태안산)을 사용한 터널용 보수보강 모르타르를 신속히 제품화하여 국내 산업폐기물의 고부가가치 재활용에 기여할 것이다.

SUMMARY

I. Title

A Study of Development of Mortar for Tunnel Repairs and Reinforcement Using Domestic Fly Ash (Bottom Ash Included)

II. Objectives and necessities

Fly ash is an industrial by-product which is produced in the processing of generating power in power plants. While it can be used as a cement implant, recycling is only about 10-20% and the remainder is buried. This paper has attempted to develop durable, rapid-cure and high-fluidity products after manufacturing resource-recycling and functional repair and reinforcement mortar by adding bottom ash to ultra-rapid hardening cement for both the reduction of fly ash disposal costs and environmental conservation.

It would appear that this new technology will be efficient in many tunnels and hydraulic structures that require rapid repair and reinforcement in poor environments.

III. Content and scope

High-quality, rapid curing repair/reinforcement mortar is developed by mixing domestic industrial wastes (fly ash) which has had poor rates of recycling with ultra rapid hardening cement. With the goal of implanting more than 10% of total amounts of fly ash (in fly ash) or more than 30% of total developed products (in fly ash + slag), a product which meets the basic properties of repair/reinforcement mortar is developed.

1. At 20°C

Category		Target	Evaluation Method
Settling flow		250mm or more	Settling flow test in the cement physical property test
Setting test (Min.)	Initial setting	30 min. or more	Concrete setting time test
	Final setting	80 min. or less	
Compressive strength		50N/mm ² or greater	Concrete compressive strength test
Tension test		4N/mm ² or greater	Concrete splitting tensile strength test
Bond strength		2.5N/mm ² or greater	Floor covering bond strength test
Flexural strength		6N/mm ² or greater	Concrete flexural strength test
Shear test		5N/mm ² or greater	Steel fiber-reinforced concrete shear test
Length change rates		6 × 10 ⁻⁴ or less ; R.H 80%	Mortar and concrete length change test

2. When temperature was 5°C

- Basic conditions ; Bottom ash (10% or more), Fly ash + slag (30% or more implant)
5°C or below, For filling
- 3-hour compressive strength ; 6N/mm² or greater (forms can be removed in 2-4 hours)
- Long-term compressive strength ; 40N/mm² or greater
- Bond strength ; 2N/mm² or greater
- Fluidity: Self flow (flow when no vibration is applied) 250mm or more
Initial setting (40 min. or more)
- There should be no cracking from drying (6 × 10⁻⁴ or less: R.H 80%)

IV. Results

In this paper, a mortar for tunnel repair and reinforcement (15% Taeon fly ash +

15% granulated slag based on 35% of water and cement ratio) has been developed and the goals have been met. The target values and achievements are stated in the table below.

1. At 20°C

Category		Unit	Target	Achievements
Flow		mm	250 or more	260 ± 10
Setting test (Min.)	Initial setting	Min.	30 or more	35 ± 5
	Final setting		80 or less	45 ± 5
Flexural strength (28 days)		N/mm ²	6 or greater	8.60
Compressive strength (28 days)			50 or greater	55.83
Both strength (7 days)	Standard conditions	N/mm ²	2.5 or greater	2.5
	Heating & cooling repetition		-	2.0
Tension test		N/mm ²	4 or greater	4.9
Shear test		MPA	5 or greater	7.4
Length change rates		%	6×10 ⁻⁴ or less ; R.H 80%	5×10 ⁻⁴

2. At 5°C

Category		Unit	Target	Achievements
Flow		mm	250 or more	260 ± 10
Setting time (initial setting)		Min.	40 or more	48 ± 5
Compressive strength	3 hours	N/mm ²	6 or greater	6.64
	28 days		40 or greater	44.38
Both strength (7 days)		N/mm ²	2.0 or greater	2.0

3. Goals and achievements

Goal	Performance indicator	Weighted value	Target	Achievement(s)	Title
Development of mortar for tunnel repair and reinforcement	Prototype	0.2	1 or more	several	Prototype
	Field application	0.2	3 or more	3	Mock-up test
	Commercialization	0.2	1 or more	1	Product
	Manual	0.1	1 or more	1	Specification
	Academic conference paper	0.1	2 or more	5	Academic conference paper
	Journal article	0.1	1 or more	1 (schedule)	Journal article
	Patent application	0.2	1 or more	1	Patent
Total		1.0	10	10	-

V. Use of the results

We have undertaken joint research with the Kajima Construction Technology Research institute since early 2000. We are going to share the results of this paper with the Kajima Corporation and expand its application in the domestic market. In terms of the use of the results of Japanese papers, these included the development and construction of ultra rapid hardening flooring using industrial wastes (fly ash + slag) in 2004 and the development and application of mortar for repair and reinforcement of the Fuji Mountaintunnel rain path in 2006. Japanese fly ash was used in both mock-up tests. Domestic fly ash is less preferred than the Japanese product. This paper will contribute to the high-value recycling of domestic industrial wastes by commercializing mortar for tunnel repairs and reinforcement made of domestic fly ash (Taean).

TABLE OF CONTENTS

Chapter I Overview	24
Section 1. Objectives	24
Section 2. Needs & Scope	25
Chapter II Current Status of Domestic and Foreign Technology Development	27
Section 1. Current Status of Domestic and Foreign Technology Development	27
1. Current Status of Technology Development in Related Sectors in Domestic Market	27
2. Current Status of Technology Development in Related Sectors in Overseas Market	29
3. Domestic and Overseas Market Size	32
4. Current Position of Domestic and Foreign Technology Development (Research Results)	33
Section 2. Ripple Effects and Use Plan	33
1. Technical Aspect	34
2. Socioeconomic Aspect	34
Chapter III Contents and Results	35
Section 1. Theoretical Approach	35
1. Technical Literature Reviews	35
2. Differentiation Scheme	56
3. Connection and Cooperation with Other Industries	56
Section 2. Experimental Approach	57
1. Development Goal	57
2. Specific Goal	57
3. Target Development Performance	58
4. Experiment Overview	59
5. Experiment Materials	59

Section 3. Research	66
1. Test Plan	66
2. Collection of Domestic Fly Ash and Quality-related Test	67
3. Ultra Rapid Hardening Inorganic Binder (MT) Mortar Test (S/C=2/1)	76
4. JKR Binder (MT+Slag) Test	81
5. MT Mortar Mix Proportion Design and Test	87
6. Fluidity Test	92
7. Work Time Test (Setting Test)	97
8. Compressive Strength and Flexural Strength Test	100
8-1. Fluidity and Setting Time Test	108
8-2. Flexural Strength Improvement Test	110
9. Bond Strength Test (Standard, Cooling & Heating Repetition)	114
10. Expansion Rate Test	123
Section 4. Results	124
1. Final Performance Evaluation Test	124
2. Plan and Achievements	124
3. Improvements	125
4. Field Test	126
 Chapter VI Goal Attainment and Contribution to Related Sectors	130
Section 1. Goals by Year	130
1. Goals	130
Section 2 Goal Attainment	132
1. Contents and Achievements	132
Section 3 Technology Development Contribution to Related Sectors	137
 Chapter V Use of Results	138
Section 1. Needs for Further Studies	138
1. Needs for Further Studies	138
2. preparatory of Further Studies	138

Section 2. Application to Other Studies	169
1. Rapid Curing Mortar for Tunnel Repair	169
2. Available in Other Products	171
Section 3. Business Promotion Plan	177
1. Establishment of Technology Development Marketing Strategy	177
2. Financing Plan	179
3. Development of Domestic and Foreign Development Technology Sales Network	179
4. Development of Roadmap	180
 Chapter VI Foreign Science Technology Information Collected during R&D	
Activities	184
 Chapter VII Reference books	187

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	24
제 1 절 연구개발의 목적	24
제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위	25
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	27
제 1 절 국내·외 관련 기술의 현황	27
1. 국내 관련분야에 대한 기술개발의 현황	27
2. 국외 관련분야에 대한 기술개발의 현황	29
3. 국내·외 시장규모	32
4. 국내·외 기술개발 위치(연구결과)	33
제 2 절 파급효과 및 활용방안	33
1. 기술적 측면	34
2. 사회·경제적 측면	34
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	35
제 1 절 이론적 접근방법	35
1. 기술문헌 조사	35
2. 연구개발과제의 차별화 방안	56
3. 타 산업 및 국내외 연계·협력 가능성	56
제 2 절 실험적 접근방법	57
1. 개발 목표	57
2. 세부 개발 내용	57
3. 목표 개발 성능	58
4. 실험 개요	59
5. 실험 재료	59
제 3 절 연구내용	66
1. 시험계획	66
2. 국내 석탄회 수집 및 품질관련 기초 시험	67

3. 초속경 무기계결합재(MT) 모르타르 기초시험(S/C=2/1)	76
4. JKR바인더 (MT+Slag) 기초 시험	81
5. MT 모르타르 기본 배합 설계 및 시험	87
6. 유동성 확보 시험	92
7. 작업시간 확보 시험(응결시험)	97
8. 압축강도 및 휨강도 시험	100
8-1. 유동성 및 응결시간 확인 시험	108
8-2. 휨강도 증진 시험	110
9. 부착강도 시험(표준, 온·냉 반복)	114
10. 팽창율 시험	123
제 4 절 연구결과	124
1. 최종 성능 평가 시험 배합	124
2. 계획 및 실적	124
3. 향후 개선 사항	125
4. 시험타설	126
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	130
제 1 절 연도별 연구개발 목표	130
1. 연구개발 목표	130
제 2 절 연구개발목표의 달성도	132
1. 연구수행 내용 및 성과	132
제 3 절 관련분야의 기술발전 기여도	137
제 5 장 연구개발결과의 활용 계획	138
제 1 절 추가연구의 필요성	138
1. 추가연구 필요성	138
2. 추가연구관련 예비시험	138
제 2 절 타연구에의 응용	169
1. 터널 보수용 속경성 모르타르	169
2. 기타 제품에 사용	171

제 3 절 기업화 추진방안	177
1. 개발기술의 마케팅 전략 수립	177
2. 사업화를 위한 자금조달계획	179
3. 개발기술의 국내외 판매망 구축방안	178
4. 사업화를 위한 로드맵 구축	180
 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	 184
 제 7 장 참고문헌	 187

표 목차

- 표 1-1. 연도별 국내 석탄회 발생량 (한국건자재시험연구원, 2006)
- 표 1-2. 석탄회 발생 및 재활용 현황 및 장기 수급 전망
- 표 2-1. 선진국대비 기술 분야별 건설기술수준(선진국 : 100%)
- 표 2-2. 선진국대비 주요 시설별 수준(선진국 : 100%)
- 표 2-3. 국외대비 국내 개발 현황
- 표 2-4. 세계시장을 선도하는 주요 업체
- 표 2-5. 국내·외 시장규모
- 표 3-1. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과
- 표 3-2. 대상기술 관련 중요특허 목록
- 표 3-3. 대상기술과 중요특허 간의 비교
- 표 3-4. 대상기술(10-0362088)의 핵심 내용
- 표 3-5. 대상기술(10-0362088)의 핵심 내용
- 표 3-6. 대상기술(10-0378208)의 핵심 내용
- 표 3-7. 대상기술(10-0405941)의 핵심 내용
- 표 3-8. 터널 보수공법
- 표 3-9. 터널 지보재보강구조
- 표 3-10. 대상기술(10-0563990)의 핵심 내용
- 표 3-11. 대상기술(10-0599503)의 핵심 내용
- 표 3-12. 대상기술(10-0760977)의 핵심 내용
- 표 3-13. 연차별 세부 개발 내용
- 표 3-14. 20℃ 기준 목표
- 표 3-15. MT 시멘트의 화학적 성분
- 표 3-16. MT 시멘트 물리성능
- 표 3-17. 천연 무수석고의 화학적 성분
- 표 3-18. 천연 무수석고 물성
- 표 3-19. 수채슬래그분말의 화학적 성분
- 표 3-20. 수채슬래그분말 물리 성능
- 표 3-21. 고성능감수제 물성

- 표 3-22. 지연제 물성
- 표 3-23. 탄소섬유의 물성
- 표 3-24. 폴리비닐알코올(PVA)섬유의 물성
- 표 3-25. 아라미드섬유의 물성
- 표 3-26. 액상아크릴 물성
- 표 3-27. 석탄회 종류별 밀도
- 표 3-28. 석탄회 종류별 비표면적
- 표 3-29. 입도분포시험 결과(산지별)
- 표 3-30. 석탄회 종류별 유기물 함량
- 표 3-31. 석탄회 종류별 골재안정성
- 표 3-32. 석탄회 종류별 마모감량
- 표 3-33. 석탄회 종류별 흡수율
- 표 3-34. JKR바인더(MT+Slag) 기초 시험 배합
- 표 3-35. JKR 모르타르 시험 배합
- 표 3-36. JKR 모르타르 시험 결과
- 표 3-37. 플레인 기초 배합 및 시험 결과
- 표 3-38. 표준규사 체가름 시험 결과
- 표 3-39. 서천산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과
- 표 3-40. 서천산 석탄회 체가름 시험 결과
- 표 3-41. 삼천포산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과
- 표 3-42. 삼천포산 석탄회 체가름 시험 결과
- 표 3-43. 동해산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과
- 표 3-44. 동해산 석탄회 체가름 시험 결과
- 표 3-45. 태안산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과
- 표 3-46. 태안산 석탄회 체가름 시험 결과
- 표 3-47. 유동성 확보를 위한 프리 플로우 시험 배합
- 표 3-48. 작업 시간 확보를 위한 응결시험 배합
- 표 3-49. 작업 시간 확보를 위한 응결시험 결과
- 표 3-50. 석탄회와 Slag의 치환율
- 표 3-51. 석탄회와 슬래그의 치환 시험 배합

표 3-52. 압축강도 측정 결과

표 3-53. 휨강도 측정 결과

표 3-54. 석탄회와 슬래그의 치환 시험 배합

표 3-55. 석탄회와 슬래그의 치환 시험 결과

표 3-56. 섬유 종류에 따른 휨강도 배합표

표 3-57. 전단강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

표 3-58. 인장강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

표 3-59. 복공콘크리트 시험배합 및 결과

표 3-60. 부착강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

표 3-61. 부착강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

표 3-62. 팽창율 시험 결과

표 3-63. 최종 성능 평가 시험 배합

표 3-64. 세부 개발 내용 및 수준(20℃ 기준)

표 3-65. 세부 개발 내용 및 수준(5℃ 기준)

표 4-1. 연구목표 및 연구성과

표 4-2. 연구목표치 대비 실적치

표 5-1. 실험계획

표 5-2. 배합사항

표 5-3. 시멘트의 물리·화학적 특성

표 5-4. 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 특성

표 5-5. 규사의 화학성분

표 5-6. 석탄회의 입도분포

표 3-7. 석탄회의 물리적 성질

표 5-8. 혼화제 물리적 성질

표 5-9. 일본 카지마건설 JKR 모르타르 기술/사업지원 조직

표 5-10. 사업화를 위한 자금조달계획

표 5-11. 핵심기술 개발 로드맵

표 6-1. 대상기술(US2005/0095066 A1)의 핵심 내용

표 6-2. 대상기술(US2007/0093602 A1)의 핵심 내용

그림 목차

- 그림 2-1. 일본 시험시공 현장사진 및 시험결과
- 그림 2-2. 일본 시험시공 시험결과 및 데이터 분석
- 그림 2-3. 일본 국철 수로터널 인버터용 보강기술
- 그림 2-4. 고인성 보드를 이용한 터널 보수보강 공법
- 그림 2-5. 후지 터널 빗물 유도로 보수공사
- 그림 3-1. 시험 진행 단계
- 그림 3-2. 산지 종류별 석탄회
- 그림 3-3. 석탄회 종류에 따른 밀도 분포
- 그림 3-4. 석탄회 종류에 따른 비표면적 시험 결과
- 그림 3-5. 석탄회 종류(산지별)에 따른 투수계수 분포
- 그림 3-6. 체가름시험 모습
- 그림 3-7. 동해산 석탄회 입도분포시험 결과
- 그림 3-8. 태안산 석탄회 입도분포시험 결과
- 그림 3-9. 삼천포산 석탄회 입도분포시험 결과
- 그림 3-10. 서천산 석탄회 입도분포시험 결과
- 그림 3-11. 석탄회 종류에 따른 유기질 함량 분포
- 그림 3-12. 석탄회 종류에 따른 골재 안정성 시험 결과 분포
- 그림 3-13. 석탄회 종류에 따른 마모감량 시험 결과
- 그림 3-14. 석탄회 종류에 따른 흡수율 분포
- 그림 3-15. JKR바인더 압축강도
- 그림 3-16. JKR바인더/모르타르 압축강도(S/C 2:1)
- 그림 3-17. JKR바인더/모르타르 압축강도(S/C 1.5:1)
- 그림 3-18. JKR바인더/모르타르 압축강도(S/C 1:1)
- 그림 3-19. 유동성 확보 시험 과정
- 그림 3-20. 유동화제 첨가량에 따른 프리 플로우
- 그림 3-21. 분리저감제 첨가량에 따른 프리 플로우
- 그림 3-22. 물·시멘트비에 따른 프리 플로우
- 그림 3-23. 응결시간 측정 모습

그림 3-24. 양생 조건에 따른 응결시험 결과

그림 3-25. 강도 측정용 시험체 양생 모습 및 강도 측정 모습

그림 3-26. 표준양생 압축강도 측정 결과 : W/C 36%

그림 3-27. 표준양생 압축강도 측정 결과 : W/C 34%

그림 3-28. 저온양생 압축강도 측정 결과 : W/C 36%

그림 3-29. 저온양생 압축강도 측정 결과 : W/C 34%

그림 3-30. 표준양생 휨강도 측정 결과 : W/C 36%

그림 3-31. 표준양생 휨강도 측정 결과 : W/C 34%

그림 3-32. 저온양생 휨강도 측정 결과 : W/C 36%

그림 3-33. 저온양생 휨강도 측정 결과 : W/C 34%

그림 3-34. 휨강도 증진을 위한 종류별 섬유

그림 3-35. 표준양생 섬유를 사용한 휨강도 측정 결과

그림 3-36. 저온양생 섬유를 사용한 휨강도 측정 결과

그림 3-37. 복공콘크리트 시험 및 제작 사진

그림 3-38. 복공콘크리트 완성 사진

그림 3-39. 압축강도 측정모습

그림 3-40. 양생조건에 따른 부착강도 측정 결과

그림 3-41. 인장용 어테치 먼트

그림 3-42. 부착강도 시험체 제작 및 시험 모습

그림 3-43. 양생조건에 따른 부착강도 측정 결과

그림 3-44. 아크릴을 사용한 부착강도 측정 결과

그림 3-45. 1차 시험 타설 현장

그림 3-46. 2차 시험 타설 현장

그림 3-47. 3차 시험 타설 현장

그림 5-1. 실험계획 기본 개념

그림 5-2. 유동성 시험

그림 5-3. 응결시간 측정

그림 5-4. 압축강도 측정

그림 5-5. 휨강도 측정

그림 5-6. 인장용 어테치 먼트

그림 5-7. 부착강도 측정 모습

그림 5-8. 온·냉반복시험기

그림 5-9. 길이변화시험

그림 5-10. 투수 시험 모습

그림 5-11. 물 흡수 계수 측정 모습

그림 5-12. 습기투과 저항성 시험

그림 5-13. 투기계수 시험방법 모식도

그림 5-14. 투기계수 시험(Darcy's law) 모습

그림 5-15. 투기계수 시험(Torrent's law) 모습

그림 5-16. 중성화 저항성 시험

그림 5-17. 중성화 깊이 측정(단위:mm)

그림 5-18. 염화이온 침투 저항성 시험

그림 5-19. 내알칼리성 및 내산성 시험

그림 5-20. 규사 및 석탄회의 입도

그림 5-21. 경시변화에 따른 플로 변화

그림 5-22. 시리즈별 유하시간

그림 5-23. 시리즈별 응결시간

그림 5-24. 시리즈별 압축강도

그림 5-25. 시리즈별 압축강도(적산온도)

그림 5-26. 시리즈별 재령과 휨강도의 관계

그림 5-27. 시리즈별 재령과 휨강도의 관계 (적산온도)

그림 5-28. 시리즈별 부착강도

그림 5-29. 시리즈별 길이변화

그림 5-30. 시리즈별 투수량

그림 5-31. 시리즈별 물흡수 계수

그림 5-32. 시리즈별 투기계수

그림 5-33. 시리즈별 습기투과 저항성

그림 5-34. 시리즈별 중성화 저항성

그림 5-35. 시리즈별 염화물 이온 침투 저항성

그림 5-36. 시리즈별 내알칼리성(시리즈 I)

그림 5-37. 시리즈별 내알칼리성(시리즈 II)

그림 5-38. 시리즈별 내산성(시리즈 I)

그림 5-39. 시리즈별 내산성(시리즈 II)

그림 5-40. 접지저항 저감제 시험 모습 및 전도성 측정 모습

그림 5-41. 반강성 아스팔트 포장재 시험 과정

그림 5-42. 미끄럼저항 측정 모습

그림 5-43. 속경성 칼라미끄럼방지 포장재 시공 과정

그림 5-44. 판매(기)구축시스템

그림 5-45. 판매(기)구축시스템

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구개발과제의 목적은 제품개발로서 무엇보다도 국내에서 발생되어 폐기물로 버려지는 석탄회(바텀애쉬 포함) 등을 전처리과정 없이 자연그대로 가급적 많이(30%이상) 재활용할 수 있는 터널 보수보강용 모르타르를 개발하는 것이다. 석탄회(Bottom Ash 등)는 여전히 비싼 댓가를 치르며 매립되고 있으며 또한 타개책으로서 자원 재활용도를 높이고자 산업부산물인 석탄회를 전처리과정을 거쳐 입도별로 구분하여 단열특성을 갖는 단열 모르타르 원료나 경량골재, 투수성 호안블럭 등 콘크리트 2차 제품으로 활용하려는 연구나 시도가 계속되고 있으나 품질관리의 어려움이나 준비 또는 처리비 등의 문제로 어려움을 겪고 있다. 이 태생적인 한계를 가지고 있는 석탄회는 시멘트원료(조합원료비 상승)나 기타 일반콘크리트 등에 사용하기에도 품질을 보상받기에는 너무 고가의 비용이 들고 일반 골재와는 물성도 달라 그 사용 또한 극히 제한적일 수 밖에 없다.

따라서 잉여 석탄회의 폐기 비용을 절감하고 환경보존적 측면에서 재활용하기 위한 개선 및 대책에 부응하기 위해 폐사의 연구개발은 반드시 전폭적인 지원하에 이루어져야 하며 이러한 잉여 산업부산물을 사용한 고부가가치의 건설용 보수재료의 개발은 경제적 측면에서도 매우 기대되는 사항이다. 최종목표가 되는 목표물성에 대한 설정근거는 폐사 개발품인 초속경시멘트의 핵심역량을 근간으로 하여 약 5년간(2002년~2006년)에 걸쳐 일본 최대 건설업체(도급순위 1위)인 카지마건설주식회사와 함께 수행한 일본 동경전력의 이와무로발전소 수로터널 시험시공의 시험결과를 토대로 국내실정에 맞게 목표물성을 수립하였다. 다만, 일본과 한국의 발전소 공정 및 유연탄 탄종 등 비록 매우 유사하다고는 하나 적용범위는 다를 수 있음을 감안하여 본 과제연구가 사업화 성공을 위한 국산신기술 획득을 목표로 하고 있고 또한 지금까지 연구결과를 토대로 국내 실정(국내산 석탄회 포함)에 맞는 범용화되고 차별화된 추가기술개발을 완성코자 함을 그 근거로 한다.

제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위

석탄회는 화력발전소에서 전력을 생산하는 과정 중에 발생하는 산업부산물로서 종래에는 미연탄소를 줄인 정제된 플라이애쉬를 건설 현장에서 콘크리트 제조시 시멘트 치환재로 주로 사용되어왔다. 그러나 시멘트 치환재로 사용되는 석탄회의 양은 전체 발생량의 약 10% ~ 20%에 불과하기 때문에 잉여분은 전량 매립 등의 방법으로 폐기 처분되어 문제로 제기되어 왔다. 더불어 전력생산량 증가와 더불어 석탄회 발생량도 꾸준히 증가하고 있어 학계에서 석탄회에 대한 연구도 활발한 상태이나 주로 정제된 플라이애쉬 이용에 대한 분야로 집중되고 있는 실정이다. 따라서 자원 재활용도를 높이고자 석탄회를 입도별로 구분하여 단열특성을 갖는 단열모르타르 원료나 경량골재, 투수성 호안 블록 등 콘크리트 2차 제품으로 활용하려는 등 다양한 연구가 필요하다.

재활용되지 못하고 매립되는 잉여 석탄회의 폐기 비용을 절감하고 환경 보존적 측면에서 원료 또는 충전재로 재활용하기 위한 개선 및 대책 마련이 시급히 필요한 실정이다. 자원 재자원화 기술은 시멘트/모르타르/콘크리트의 원료 또는 충전재로 적합한 성분을 지닌 산업폐기물을 자원으로 재활용함으로써 원가를 절감하고 환경을 개선하는 기술이다. 또한 이렇게 재활용되지 못하고 매립되는 산업부산물인 잉여 석탄회를 사용하여 환경 친화적이면서 고부가가치인 건설용 보수/보강 재료의 개발은 경제적 측면에서도 매우 기대된다.

초속경시멘트에 석탄회 조분(Bottom Ash)를 첨가하여 자원 재순환형 기능성 보수/보강 모르타르를 제조하여 속경성/고유동성을 특성을 지니면서 내구성을 향상시킨 제품을 개발하고자 한다. 특히 국내 보수보강분야의 전문조직인 한국건자재시험원과 함께 개발하여 물성이 우수하고 석탄회(바텀애쉬 포함)치환량도 많은 범용적이고 경제성이 높은 자원재순환 기능성 보수/보강 모르타르를 개발하고자 한다.

개발된 기술을 바탕으로 현재 콘크리트의 보수 또는 보강이 어려운 혹한기 등의 열악한 환경에서 신속하게 보수/보강을 하는 것이 필요한 여러 터널 및 수리 구조물 등에 효율적으로 적용되리라 판단된다. 또한 일반 콘크리트 구조물의 보수/보강에도 폭넓게 적용 가능한 매우 경제적이며 친환경 소재가 될 것이다.

표 1-1. 연도별 국내 석탄회 발생량 (한국건자재시험연구원, 2006)

구분	1992	1994	1996	1998	2000	2006
무연탄	948	864	970	980	1026	1026
유연탄	920	1,564	2,150	2,830	3,390	4,687
계	1,868	2,428	3,120	3,810	4,416	5,713

표 1-2. 석탄회 발생 및 재활용 현황 및 장기 수급 전망

구분	1997	1998	1999	2000	2001	2006	2010
Fly Ash	2,558	2,930	3,162	3,549	3,931	4,481	5,600
Bottom Ash	640	733	790	887	983	1,232	1,400
석탄회 재활용량	869	1,178	1,678	2,420	3,109	4,020	5,000
재활용 비율(%)	27.2	32.2	42.5	54.6	63.2	70.4	75
주: 발전소에서 발생하는 석탄회는 Fly Ash(약 80% 발생)와 Bottom Ash(약 20%)이므로, 상기 전망치는 80:20을 적용하여 산출							

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련 기술의 현황

1. 국내 관련분야에 대한 기술개발의 현황

가. 국내 기술개발 수준

개발대상기술은 건설 및 토목/건축 분야 중 보수/보강 분야로 한정된 분야의 개발기술로서, 동 분야에 국한하여 기술현황을 살펴보기에는 통계자료가 미흡하고 전체적인 건설 기술 범위에 대해 살펴보면 국내 건설 기술수준은 '60년대 이후 약 40년간의 짧은 기간에도 비약적인 성장을 거듭해 왔다. 그러나 국내 건설 기술의 종합수준은 선진국에 비해 67% 수준(전문가 설문조사 결과)으로서 국제경쟁력이 상당히 낙후된 상태이며, 특히 기획, 설계 등 Soft 분야는 선진국과의 기술격차가 매우 심각한 편이다. 시공기술도 개발도상국의 중·저급 기술의 급속한 발전과 선진시공기술 개발기반 취약으로 경쟁력이 약화된 상태이다.

표 2-1. 선진국대비 기술 분야별 건설기술수준(선진국 : 100%)

종합수준	공사수준	설계	시공	유지관리
67%	63	66	72	66

표 2-2. 선진국대비 주요 시설별 수준(선진국 : 100%)

도로	하천	교량	고층건물	원전시설
78%	74%	70%	66%	61%

〈표 2-1, 표 2-2〉에서 보듯이 국내 건설기술 수준의 낙후로 '90년대 들어 많은 문제점이 노출되어 성수대교·상품백화점 붕괴 등 대형부실사고로 이어졌으며, 시공업체·기술용역업체의 고질적인 사업부주의 및 부조리 등이 발생하기도 하였다. 기술낙후 원인으로는

성장·외형위주의 건설산업정책을 들 수 있으며, 저조한 기술개발 투자 또한 주된 요인 중에 하나이다. 건교부의 전체 R&D예산은 '05년도 1,519억 원으로 전체 R&D 예산의 2.3%, 건설교통부 전체 예산의 1%에 해당되며, 민간분야에서는 매출액 대비0.8%(金산업 평균 2.2%)로 투자규모가 매우 적음을 알 수 있다. 즉 기술력보다는 로비·담합을 부추기는 경쟁 체제이기도 하다. 이와 같이 국제 기술경쟁력 정체가 지속됨에 따라 해외 건설시장의 수주 경쟁력이 저하되고 수익성도 악화됨으로 인해 고부가가치 영역인 엔지니어링 분야는 기술개발 투자 소홀로 선진국의 67% 수준에 불과하고, 고비용·저효율·생산구조와 중국 등 개도국의 약진으로 해외시장 점유율이 '80년대에는 7.6%, '90년대에는 4.5%, 그리고 2000년대에는 3.1%로 날로 저하되고 있는 실정이다. 국내 건설시장 업체의 당면과제로는 특화된 고도기술력을 갖춘 전문기업 부재 및 고수익 창출 엔지니어링능력과 사업관리기술이 취약하며, 고급전문인력 부족, 전문인력 육성·관리체계 미흡 및 R&D투자 저조로 기술수준 정체 및 신기술 보급·이전 부진한 상태에 있다.

표 2-3. 국외대비 국내 개발 현황

세부기술 내용	국외 현황 (주요선진국명)	국내 개발 현황	수준 (국외대비)
석탄회 활용기술	미국(EPRI:Energy Power Research Institute)	한전산업개발(주), 전력연구원	70%
보수보강모르타르기술	일본(카지마,다케나카건설)	플래시기술, 레미가드,리프리트	80%
콘크리트 균열보수 공법(S.K.I.공법)	미국, 일본	삼성건설	90%
초속경시멘트기술	미국, 일본	쌍용양회, 한일시멘트	90%

나. 산업부산물을 이용한 기술개발 현황

산업부산물인 석탄회는 최근 시멘트 원료나 치환재 등으로도 사용 중이나 사용량이 미미하고 폐기량은 점차 증가 추세에 있지만 활용에 관한 연구 역시 정체된 플라이애쉬에만 집중되는 등 매우 미흡한 실정이다. 석탄회 조분이 벽돌 및 해안블럭 등 건설재료용으로 치환되어 사용되기도 하지만 건조수축 및 강도저하 등으로 인해 그 사용은 극히 제한적이다. 따라서 최근의 자원재자원화 기술에 대한 연구 방향은 산업폐기물이 지니고 있

는 본연의 품질적 한계를 극복하고 가급적 보다 많은 양의 폐기물이 재활용됨을 목표로 연구하는 추세이다. 다만 아직 국내에서는 바텀애쉬를 모르타르에 활용하는 등의 기초적인 연구와 소량 재활용에 대한 연구는 진행된 바 있으나 본격적인 대규모, 대단위 물량의 재활용 관련 연구 또는 실적은 보고된 바 없다.

2. 국외 관련분야에 대한 기술개발의 현황

가. 국외 기술 및 산업 동향

(1) 세계시장을 선도하는 주요 업체

표 2-4. 세계시장을 선도하는 주요 업체

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
카지마 건설 주식회사 (일본)	1) 창업; 1840년 2) 설립; 1930년 3) 자본금; 814억엔 4) 종업원; 10,850명 5) 매출; 2조엔 6) 회사개요; 일본 최대건설업체 (도급순위1위)	토목/건축비율 5:5)로서 원자력 발전소건설 및 내지진쪽은 일본 내에서 독보적 존재임. 기획,설계,사업관리,시공,유지 관리 등 모두 높은 수준임. 대표적 공법; SL, CLiP공법

일본은 일본내 대형건설사인 카지마건설주식회사가 전력회사(동경전력 외)의 의뢰를 받아 일본산 석탄회(바텀애쉬 포함)를 원재료로 이용한 보수재료를 사용한 터널보강기술을 개발, 성능시험을 거쳐 시험시공을 한 바 있다.

나. 일본 시험시공 현장 결과 분석



그림 2-1. 일본 시험시공 현장사진 및 시험결과

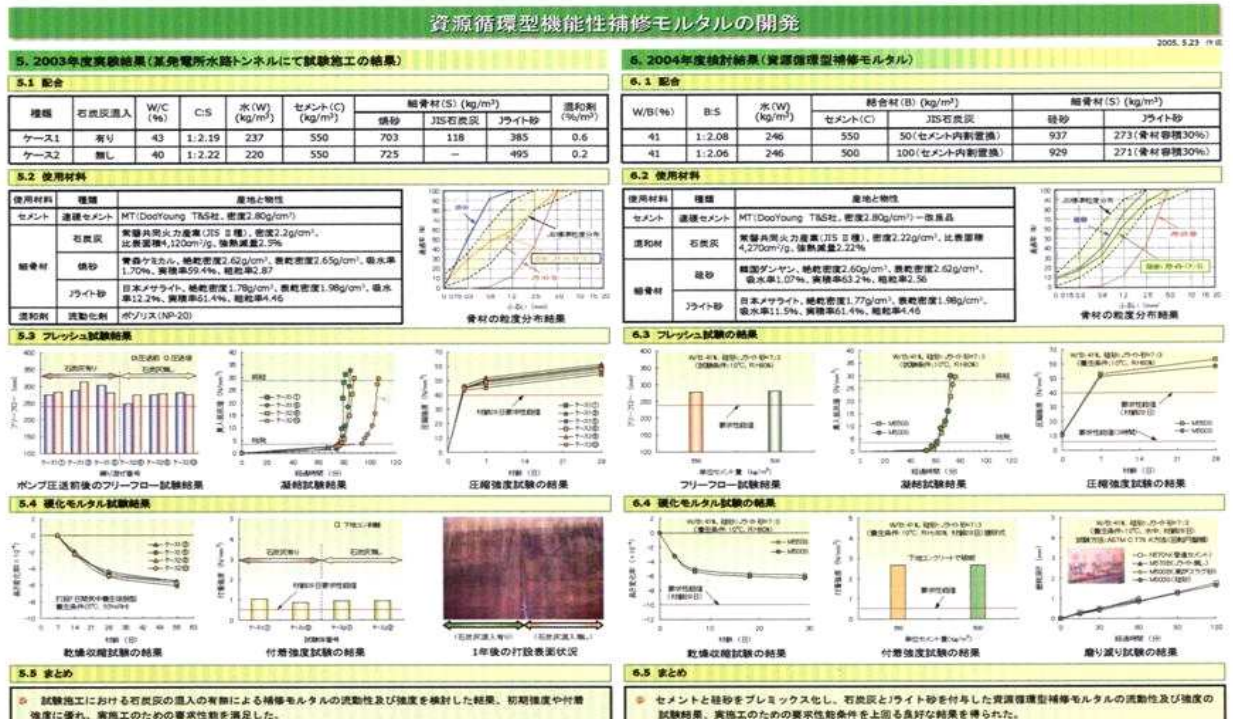


그림 2-2. 일본 시험시공 시험결과 및 데이터 분석

다. 해외 유사 시공사례 조사



그림 2-3. 일본 국철 수로터널 인버터용 보강기술



그림 2-4. 고인성 보드를 이용한 터널 보수보강 공법



그림 2-5. 후지 터널 빗물 유도로 보수공사

3. 국내·외 시장규모

표 2-5. 국내·외 시장규모

구분	현재 시장규모	예상 시장규모
세계시장규모	12,000억원(추정)	20,000억원 이상
한국시장규모	600억원	800억원
※ 산출근거 ◎ 국내 보수보강 단면수복 공사비 6,000억(2000년 기준)의 10%, 일본내 전력회사(동경전력의 9개사)보유 수로터널 보수보강 공사비 ◎향후 10년간 약 10,000km, 20조/년*30%(재료비)*20%(점유) 일본은 보수.보강비 2000년 후부터 총공사비의 60% 이상 미국은 지난 19년간 총 3조 3천억 달러 소요		

4. 국내·외 기술개발 위치(연구결과)

가. 20℃ 기준

세부 개발 내용 평가 항목		단위	국내	해외	연구결과
Flow		mm	200	250 이상	260 ± 10
응결시간 (분)	초결	분	20	30 이상	35 ± 5
	중결		60	80 이하	45 ± 5
휨강도(28일)		N/mm ²	5	6 이상	8.60
압축강도(28일)			40	50 이상	55.83
부착강도 (7일)	표준조건	N/mm ²	2.0	2.5 이상	2.5
	온·냉반복		1.0	-	2.0
인장시험		N/mm ²	3.0	4 이상	4.9
전단시험		MPA	4.0	5 이상	7.4
길이변화율		%	8×10 ⁻⁴ 이하	6×10 ⁻⁴ 이하 ; R.H 80%	5×10 ⁻⁴

나. 5℃ 기준

세부 개발 내용 평가 항목		단위	국내	해외	실적
Flow		mm	200	250 이상	260 ± 10
응결시간(초결)		분	30	40 이상	48 ± 5
압축강도	3시간	N/mm ²	5	6 이상	6.64
	28일		30	40 이상	44.38
부착강도(7일)		N/mm ²	1.0	2.0 이상	2.0

제 2 절 파급효과 및 활용방안

기술개발이 완료되면 현재 열악한 환경에서 신속하게 보수/보강을 하는 것이 필요한 전문 터널(일반 교통, 철도, 지하철 등) 및 수리구조물뿐 아니라 일반 콘크리트 구조물의 보수/보강에도 폭넓게 적용 가능한 매우 경제적이고 친환경 소재가 되리라 판단된다.

석탄회(바텀애쉬) 치환량이 많은 범용적이고 경제성이 높은 자원재순환 기능성 보수/보강 모르타르를 개발하여 현재 대부분 매립처리하고 있는 석탄회(바텀애쉬)의 폐기물 처리 비용을 대폭 절감할 수 있다.

1. 기술적 측면

- 산업폐기물(석탄회 조분 등)을 이용한 자원재순환
- 전문 터널의 콘크리트 보수/보강
- 일반 콘크리트 구조물의 시급한 보수/보강
- 공기단축 및 사계절 시공 가능

2. 사회·경제적 측면

- 산업부산물인 석탄회(Bottom Ash) 활용 증대
- 공사 기간 단축으로 시공비 절감
- 저렴한 폐기물 사용으로 15%~20% 재료 원가 절감
- 산업폐기물매립 및 처리비용 절감

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 이론적 접근방법

1. 기술문헌 조사

가. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

1999년부터 2006년까지 건설교통부를 비롯한 타부처(중소기업청, 산업자원부, 과학기술부, 교육인적자원부 등)대상기술의 유사연구수행과제를 검색한 결과 키워드 “모르타르”로 19건 검색되었으며 키워드 “석탄회”로는 모두 73건이 검색되었음. 그 중 본 대상과제와 관련이 있다고 생각되는 것은 모두 11건으로 다음과 같다.

표 3-1. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	핵심기술명	예 산	비 고
중소기업청	산화연 공동기술개발	콘크리트구조물 보수보강용 초속경 모르타르 개발	콘크리트구조물 보수보강용 초속경 모르타르 개발	0.20	2002
지식경제부	에너지자원이용 합리화기술개발	석탄회를 대량 활용한 환경부하저감형 콘크리트의 제조기술개발	석탄회를 대량 활용한 환경부하 저감형 콘크리트 제조기술 개발	0.19	2003
지식경제부	에너지자원이용 합리화기술개발	무연탄 석탄회 고함량벽돌의 상용화를 위한 요소기술개발	무연탄 석탄회 고함량 벽돌의 상용화를 위한 요소기술개발	1.24	2002
지식경제부	전력산업연구 개발사업(기금)	매립석탄회를 활용한 인공어초 및 소파블록제조기술개발	매립석탄회를 활용한 인공어초 및 소파블록 제조기술개발	1.62	2003
지식경제부	전력산업연구 개발사업(기금)	비정제석탄회를 이용한 소음저감재 개발	비정제 석탄회를 이용한소음 저감재 개발	1.40	2003
지식경제부	청정에너지기술 개발	폐석탄회를 사용한 고유동충전재의 개발 및 적용에 관한 연구	-폐석탄회를 사용한 고유동충전재의 개발 및 적용에 관한 연구	0.82	2002

지식경제부	청정에너지기술 개발	석탄회를 이용한 환경친화건자재의 개발	-석탄회를 이용한 환경친화 건자재의 개발	1.50	2001
지식경제부	청정에너지기술 개발	석탄회를 이용한 구조용 경량골재 제조연구	석탄회를 이용한 구조용경량골재 제조연구	1.51	1999
지식경제부	청정생산기술 개발	고로 Slag 및 발전소 부산석탄회를 이용한 고강도 내마모 Tile 제조 기술(2)	고로Slag 및 발전소 부산석탄회를 이용한 고강도 내마모 Tile 제조 기술(2)	2.40	1999
지식경제부	청정생산기술 사업	석탄회의 미연분저감 및 플라스틱충전재, 도로재이용기술개발(3)	석탄회의미연분저감및플라스틱충전재,도로재이용기술 개발(3)	1.48	2000

- 상기 수행과제 중 우선 “석탄회를 대량 활용한 환경부하 저감형 콘크리트 제조기술 개발”은 이론적 고찰, 플라이애시의 치환방법에 따른 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 플라이애시를 대량 활용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 바텀애쉬를 대량 활용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구 및 결론 등 총 여섯개의 장으로 구성된 것으로 제1장에서는 연구를 수행하게 된 배경과 목적에 대하여 논하고, 본 연구의 범위, 방법 및 연구 동향에 대하여 서술하였고 제2장에서는 석탄회의 특성, 활용과 석탄회를 사용한 콘크리트의 특성에 관하여 이론적 고찰을 실시하였으며 제3장에서는 플라이애시의 효율적 활용방안을 검토하기 위한 플라이 애쉬의 치환방법에 따른 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구로서, 플라이애쉬를 단위 시멘트량의 일부로 치환한 내할배합과 잔골재의 일부로 치환한 외할배합에 의해 제조한 콘크리트의 각종 공학적 특성을 비교,검토하였음. 제4장에서는 플라이 애쉬를 대량 활용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구로서, 실험요인을 2개의 시리즈로 구성하여 1시리즈에서는 플라이 애쉬를 대량사용한 모르타르의 유동성 및 강도특성을 검토한 후, 2시리즈에서 플라이 애쉬 치환율에 따른 콘크리트의 공학적 특성 및 내구성을 비교,분석함으로써 플라이 애쉬를 대량 활용한 콘크리트의 실용화를 위한 참고자료를 제시하고자 하였다. 제5장 및 6장에서는 바텀애쉬를 대량 활용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구를 한 것으로 범용적인 일반 기초시험 자료임.

“콘크리트 구조물 보수보강용 초속경 모르타르개발”연구과제는 재료의 혼합과 동시에 5 ~ 10분 이내에 초고속으로 경화되는 콘크리트 모르타르 제조, 30분 혹은 1시간까지 경화 시간이 조절되는 모르타르의 배합설계 모델 및 배합비 개발, 배합 방법에 따른 모르타르의 물

성 및 역학적 특성 분석, 보수 혹은 보강 대상이 되는 본구조체의 강도보다 125% 이상의 강도로 부착될 수 있는 모르타르 제품 개발하는 것으로 일반적인 초속경 모르타르 개발요건의 기본원리는 유사하나 석탄회 조분을 유효 이용하는 폐사의 과제와는 상이하며 특히 전문적인 수로터널용 보수공법과 동절기 시공의 특수성은 감안하지 않은 시험실적 연구과제로 판단되어 본 과제와는 성격이 매우 다르다 할 수 있음.

“폐재를 이용한 재생굵은골재의 모르타르 가열처리 제거기술”은 석탄회가 아닌 건설폐기물을 이용해 모르타르에 사용하는 것으로 건설폐기물 중 콘크리트를 죠크러샤로 처리한 재생골재에 혼입된 가연성 물질제거 및 부착 모르타르 분리로 콘크리트용 굵은 골재 생산, 건설폐기물 중 콘크리트를 죠크러샤로 처리한 재생골재에 혼입된 가연성 물질제거 및 부착 모르타르 분리로 콘크리트용 굵은 골재 생산, 건설폐기물 중 콘크리트를 죠크러샤로 처리한 재생골재에 혼입된 가연성 물질제거 및 부착 모르타르 분리로 콘크리트용 굵은 골재 생산을 생산....., 자원재활용의 취지 및 접근방법 상 약간 유사한 바는 있으나 개념이 상이함.

“석탄회의 미연분 저감 및 플라스틱충전재, 도로재이용기술개발(3)”과제는 석탄회의 미연탄소분 제거 공정개발을 통하여 석탄회의 품질을 향상시켜 부가가치를 극대화한 습식 공정에서 얻은 제품은 플라스틱 충전재로 이용하고, 건식공정에서 얻은 제품은 수요가 많은 도로재 등 광범위하게 다용도로 이용할 수 있도록 기술개발을 선도하는 것으로 여기에서 습식공정은 기존 부선공정을 이용하여 석탄회의 회분순도 99%이상 분리하여 고부가의의 충전재로 이용하고 건식공정은 공기분급기와 체분에 의한 분리 방법을 통하여 석탄회의 미연분을 45%이상 제거 시켜 도로재 등 이용하는 것을 골격으로 하는 연구과제로 석탄회 전처리공정을 통해 재활용하는 것으로 전처리 공정없이 가급적 다량 사용할 수 있도록 초점을 맞춘 본과제와는 차이가 있음.

“석탄회로부터 고순도 알루미나와 제올라이트의 계통 적합성”연구과제는 목표나 접근방법은 전혀 다르나 석탄회의 정제기술개발, 석탄회의 분쇄, 과립화 기술 등 연구방법에 있어 석탄회의 기초적 물성시험 (광물상, 화학성분, 입자크기, 비표면적, 미세구조), 석탄회 구성성분의 이론적 고찰 등 기초물성관련 데이터 확보에 참조가 될 수있다 판단됨.

끝으로 관련과제와 연관성은 적으나 “고인성,고내구성 신섬유 복합모르타르 및 구조물보수/보강신기술개발”은 보수/보강용 섬유복합재료의 현재 기술력 및 시장성 분석, 마이크로

역학을 이용하여 최적의 섬유 선정, 마이크로역학을 이용하여 최적의 결합재 및 충전재의 선정, 안정상태 균열이론과 마이크로역학을 이용하여 최적의 배합비 선정, 보수/보강 공법의 종류에 따른 재료배합의 최적화, 개발된 신섬유복합 모르타르의 경제성 분석 및 실용화, 기존 보수/보강용 재료를 적용하는 공법에 대한 분석, 기존의 공법에 의하여 보수/보강된 구조물의 성능평가, 신섬유복합 모르타르를 이용하는 보수/보강 신기술의 개발, 개발된 시공법에 의하여 보수/보강된 구조물의 성능평가 및 비교/분석, 현장에서 사용할 수 있는 매뉴얼 및 시작품 제작, 개발된 보수/보강공법의 실용화하는 것으로서 대상개발기술와의 접목 시 공법개발에 도움을 줄 수 있다고 판단되나 내용 및 성격은 매우 다름.

또한 본 과제는 터널 보수 및 보강 기술에 대한 것으로 포함하고 있음. 본 과제관련기술에 관련된 특허 출원일 기준으로 선행 특허를 조사하여 검토한 결과, 목적, 구성 및 효과 면에 있어서 모두 동일한 기술의 선행문헌은 발견되지 않았으며, 부분적으로 유사한 기술 7건을 관련 특허로 선정하여 분석하였음.

나. 국내 선행기술 분석

표 3-2. 대상기술 관련 중요특허 목록

순번	등록/공개번호(일자)	출원인	명칭	관련도
1	10-0362088 (2002.11.11)	한일시멘트(주)	터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물	A
2	10-0378208 (2003.03.18)	선암산업개발주식회사	터널의 누수방지용 보수재 및 보수공사	A
3	10-0405941 (2003.11.04)	주식회사 한국피엔알건설	터널 보수공법	A
4	20-0359387 (2004.08.09)	삼성물산주식회사	터널 지보재 보강구조	A
5	10-0563990 (2006.3.17)	건양씨엔이(주)	가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강그라우팅공법 및 그 장치	A
6	10-0599503 (2006.7.5)	엠프로(주)	돌기가 형성된 섬유판 및 이를 이용한 노후터널의 방수 및 보강공법	A
7	10-0760977 (2007.9.17)	주식회사 진화기술공사	고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법	A

주) 1. 관련도 X: 동일, Y: 유사, A: 일반 2. 상세 내용은 부록 유관특허 원문 참조

상기한 목적, 구성 및 효과의 대비로부터 알 수 있는 바와 같이, 평가대상기술은 선행 기술들에 비해 그 기술적 구성이 차이가 나며, 기능적인 면에서도 양호하여 현장적용 시 예측할 수 없는 상승효과를 구비하고 있음. 비록 평가대상기술과 선행기술들이 거시적 목적이 동일 내지 유사하다 할지라도 기술적 구성과 작용효과가 전혀 상이한 이상 당해 기술 분양서 통상의 지식을 가진 자라 할지라도 선행기술들에 근거하여 평가대상기술을 용이하게 추구하는 것은 불가능하다. 따라서 관련 타 영역에서 내·외관상 통상의 전문적인 지식을 가진 자가 용이하게 추구할 수 있다 하더라도 세부적으로 터널 내부 보수 및 보강 공사 영역에서의 적용은 용이하지 않음을 알 수 있음. 표에 제시한 바와 같이 터널 보수 및 보강에 대한 선행기술에서 유사한 내용을 언급하고 있으나, 평가대상기술과 관련 있는 터널 보수 및 보강기술과 모르타르 제조방법에 대한 목적, 구성 및 효과 면에서 상당한 차이점이 있는 편이다.

표 3-3. 대상기술과 중요특허 간의 비교

문헌번호	유사점	차이점
10-0362088 (2002.11.11)	• 목적: 터널공사가 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물 구성방법 제공 • 유사구성: 모르타르제조 방법 • 효과: 휨강도 특성 약 30% 정도 향상 시킴	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 모르타르 제조법에 대해서 기술한 부분은 있으나 동 기술은 충전 모르타르 구성과 사이함
10-0378208 (2003.03.18)	• 목적: 터널의 누수방지용 보수재 및 보수공법 제공 • 유사구성: 터널 보수 및 보강 관련기술 • 효과: 터널에 발생한 균열 진행을 방지하고 누수를 억제하는 효과	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 충전 모르타르 제조법에 대한 기술부분이 없음
10-0405941 (2003.11.04)	• 목적: 터널 보수공법 제공 • 유사구성: 터널 보수 및 보강 관련기술 • 효과: 내구성과 함께 미감을 향상	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 충전 모르타르 제조법에 대한 기술부분이 없음
20-0359387 (2004.08.09)	• 목적: 터널 지보재 보강구조 제공 • 유사구성: 터널 보수 및 보강 관련기술 • 효과: 응력분산을 유도, 저항력을 증	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 충전 모르타르 제조법에 대한 기술부분이 없음

	대시키고 결국 침하를 억제하여 터널의 구조적인 안정성을 향상	
10-0563990 (2006.3.17)	• 목적: 가압식 초음파진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법 및 그 장치 • 유사구성: 터널 보수 및 보강 관련 기술 • 효과: 저렴한 가격의 레진 콘크리트관을 사용, 터널보강	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 충전 모르타르 제조법에 대한 기술부분이 없음
10-0599503 (2006.7.5)	• 목적: 돌기가 형성된 섬유판 및 이를 이용한 노후터널의 방수 및 보강공법 • 유사구성: 터널 보수 및 보강 관련 기술 • 효과: 방수와 보강 효과가 동시에 발휘되는 공법. 이에 사용되는 재료를 제공	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 충전 모르타르 제조법에 대한 기술부분이 없음
10-0760977 (2007.9.17)	• 목적: 고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법 • 유사구성: 터널 보수 및 보강 관련 기술 • 효과: 슛크리트 물량 감소, 공기단축으로 인한 비용 절감, 굴착량이 감소	• 목적으로 유사하나, 구성 및 효과가 대부분 상이 • 충전 모르타르 제조법에 대한 기술부분이 없음

- 터널공사 시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물 -

(등록번호 10-0362088)

본 발명은 터널공사 시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물에 관한 것이다. 최근 들어 고속도로, 고속철도, 지하철 등의 건설이 급격히 증가함에 따라 터널 시공이 증가하고 있다. 이러한 터널공사를 하기 위하여 주로 NATM(New Austrian Tunnel Method)공법으로 터널공사를 하고 있으나. 최근에는 터널 굴착속도 및 작업 안정성을 최우선적으로 하는 TBM(Tunnel Boring Machine) 장비에 의한 1차 굴진 후, 2차로 NATM 공법에 의한 터널공사를 병행하고 있다.상기와 같은 문제점을 해결하고자, 본 발명은 터널보강용 모르타르는 콘크리트로 구성된 Shotcrete 작업의 단점을 보완한 제품이다. 이러한 터널보강용 모르타르는 소형 구경의 갱이나 폐갱 등의 보강 시 분진이 다량 발생해서 안 될 공사 현장에서 꼭 필요한 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물을 제공하는 그 목적이 있다.

표 3-4. 대상기술(10-0362088)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	보강용 모르타르 조성물의 구성에 대한 설명(1)	터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물에 있어서, 시멘트 30-35%, 모래S1(크기 06mm이하):28-33%, 모래S2(크기 0.6-2.4mm):25-28%, 플라이애쉬(fly ash) 5-10%, 고강도 혼합재 0.1-5%, 고성능감수제 0.1-0.65%, MC(메틸셀룰로오스):0.004-0.007% 및 시멘트 대비 4~6중량%의 알루미늄에이트계 액상급결제로 조성됨을 특징으로 하는 터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물.
청구항 2항 (독립항)	보강용 모르타르 조성물의 구성에 대한 설명(2)	터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물에 있어서, 시멘트 30-35%, 모래S1(크기 06mm이하):28-33%, 모래S2(크기 0.6-2.4mm):25-28%, 플라이애쉬(fly ash) 5-10%, 고강도 혼합재 0.1-5%, 고성능감수제 0.1-0.65%, MC(메틸셀룰로오스):0.004-0.007% 및 시멘트 대비 10~15중량%의 실리케이이트 액상급결제로 조성됨을 특징으로 하는 터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물.
청구항 3항 (독립항)	-삭제-	-삭제-

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 2항, 종속항 0항)

본 발명의 구성은 시멘트, 플라이애쉬, 내구성향상제, 유동화제, 접착증진제, 공기연행제, 모래 및 급결제로 조성된 터널공사 시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물로 구성되어 있다. 시멘트의 입도는 블레인(Blaine) 기준으로 $3.219\text{cm}^3/\text{g}$ 이고, 밀도는 3.15의 물리적 특성을 가졌으며, 플라이애쉬는 비표면적 $3.844\text{cm}^2/\text{g}$ 이고, 고강도혼합제는 고로슬래그가 주성분으로 밀도가 2.9 평균입자의 크기는 $5\sim 6\mu\text{m}$ 의 물리적 특성이 있으며, 혼화제는 고유동화제(S.P:superplasticizer)를 사용하였다. 접착증진제는 M.C(메틸셀룰로오스)를 사용하였으며, 급결제는 무기질의 알루미늄산염 및 탄산염을 주재료 한 알루미늄에이트계 액상급결제를 사용하였다. 본 발명의 효과는 협소한 장소에서 사용가능하고, 분진발생이 현저히 감소되며, 리바운드율 발생 5% 내외이고, 타설면이 평활하며, 고강도 발현 가능한 효과가 있다. 터널공사 시 보강용 조성물에서 요구되는 특성 중 압축강도 보다는 휨강도 특성이 더욱 중요한 인자로서 본 발명에서는 모르타르 조성물으로써 휨강도를 약 30% 정도 향상시켰다.

표 3-5. 대상기술(10-0362088)의 핵심 내용

선행기술 1	서지	특허번호: 한국등록특허 10-0362088 (등록일:2002년11월11일) 명 칭: 터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물 출 원 인: 한일시멘트 (주)	
	관련기술내용	본 발명은 터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물에 관한 것이다. 터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물에 있어서, 시멘트 30-35%, 모래S1(크기 06mm이하):28-33%, 모래S2(크기 0.6-2.4mm):25-28%, 플라이애쉬(fly ash) 5-10%, 고강도 혼합재 0.1-5%, 고성능감수제 0.1-0.65%, MC(메틸셀룰로오스):0.004-0.007% ac 알루미늄계 액상급결제로 조성됨을 특징으로 하는 터널공사시 누수, 낙석을 방지하는 보강용 모르타르 조성물에 관한 것	
관련성 비교	1) 충전 모르타르 제조 단계		2) 적용 단계
	관련도 있음		관련도 낮음
	-유사점 : 모르타르 제조방법으로서 유사함. -차이점 : 충전 모르타르 제조 방법과 상이함.		-유사점 : 터널 보수 및 보강기술임. -차이점 : 개발대상기술과 유사함.

- 터널의 누수방지용 보수재 및 보수공법 -

(등록번호 10-0378208)

본 발명은 터널의 누수방지용 보수재 및 보수공법에 관한 것으로, 특히 터널의 균열부에 누수를 유도하고 균열의 진행을 방지하는 수단과 보수공법에 관한 것이다. 그리고 균열부로 흐르는 물을 신속히 배출시키는 수단과 터널 내벽의 신축작용에 적절히 대응할 수 있는 수단을 구비하여, 터널 내벽으로 누수되거나 상기 내벽에 균열이 진행되는 것을 방지하는 터널의 누수방지용 보수재 및 보강공법을 제공함에 있다.

본 발명은 터널 내벽의 균열부에 형성한 홈에 시공되는 것으로, 신축성이 좋은 패킹재와 무수축 콘크리트 되는 보수재에 있어서, 상기 홈에 내측에 설치되며 다수의 구멍이 형성된 유공판과, 균열부를 흐르는 물이 홈으로 유입되는 것을 방지하는 차수판과, 홈이 폭보다 크며 양측면에 요철부를 형성한 패킹재로 구성되며, 터널의 균열부에 홈을 형성하고 상기 홈의 내벽에 접착제를 도포하는 공정과, 접착제가 도포된 홈의 내측에 위치하며 하단이 하수로에 연결되는 유공판을 설치하는 공정과, 균열부를 흐르는 물이 홈으로 유입되

는 것을 방지하는 차수관을 설치하는 공정과, 요철부를 갖는 패킹재를 압축시켜 흠에 삽입 설치하는 공정과 무수축 콘크리트를 타설하여 마감하는 공정으로 됨을 특징으로 한다. 본 발명은 표에서 보듯이 터널에 발생한 균열의 진행을 방지하고 누수를 억제하는 효과가 있다.

표 3-6. 대상기술(10-0378208)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	터널의 누수방지용 보수재에 대한 설명	터널 내벽(10)의 균열부(11)에 형성한 흠(12)에 시공되는 것으로 신축성이 좋은 패킹재(17)와 무수축 콘크리트로 되는 보수재(19)에 있어서, 상기 흠(12)의 내측에 설치되며 다수의 구멍(15)이 형성된 유공관(14)과, 균열부(11)로 흐르는 물이 흠(12)으로 유입되는 것을 방지하는 차수관(16)과, 흠(12)의 폭보다 크며 양측면에 요철부(18)를 형성한 패킹재(17)로 구성됨을 특징으로 하는 터널의 누수방지용 보수재.
청구항 1항 (독립항)	터널의 누수방지용 보수재에 대한 설명	터널 내벽(10)의 균열부(11)에 흠(12)을 형성하고 상기(12)에 패킹재(17)를 설치한 다음 무수축 콘크리트(19)를 타설하는 공정으로 이루어진 터널의 누수방지 보수공법에 있어서, 상시 흠(12)의 내부 벽면에 접착제(13)를 도포하는 공정(27)과, 접착제(13)가 도포된 흠(12)의 내측에 위치하며 하단이 하수로(23)에 연결되는 유공관(14)을 설치하는 공정(28)과, 균열부(11)로 흐르는 물이 흠(12)으로 유입되는 것을 방지하는 차수관(16)을 설치하는 공정(29)과, 요철부(18)를 갖는 패킹재(17)를 압축시켜 흠(12)에 삽입 설치하는 공정(30)으로 구성됨을 특징으로 하는 터널의 누수방지 보수공법

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 2항, 종속항 0항)

선행기술 1	서지	특허번호: 한국등록특허 10-0378208 (등록일:2003년03월18일) 명 칭: 터널의 누수방지용 보수재 및 보수공법 출 원 인: 선암산업개발주식회사	
	관련기술내용	본 발명은 터널의 누수방지용 보수재 및 보수공법에 관한 것으로, 본 발명의 목적은 균열부로 흐르는 물을 신속히 배출시키는 수단과 터널 내벽의 신축작용에 적절히 대응할 수 있는 수단을 구비하여, 터널 내벽으로 누수되거나 상기 내벽에 균열이 추가로 진행되는 것을 방지 또는 억제하는 터널의 누수방지용 보수재 및 보수공법을 제공함에 있다.	
관련성 비교		1) 충전 모르타르 제조 단계	2) 적용 단계
		관련도 낮음	관련도 낮음
		-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 충전 모르타르 제조 방법과 상이함.	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 개발대상기술과 유사함.

<터널 보수공법>

(등록번호 10-0405941)

본 발명은 터널 보수공법에 관한 것으로서, 상세하게는 기차가 통과하기 위한 철로 터널을 할당된 시간의 작업량에 따라 구간을 등분하고, 등분된 구간을 순차적으로 분업화하여 작업을 수행 할 수 있도록 함으로써 철로의 소통에 지장을 주지 않으며 터널 전체에 대한 작업이 신속히 수행될 수 있도록 한 것이다. 또한, 균열, 누수된 부분에 대한 부분적인 보수보다는 터널 전체를 보다 튼튼한 신 자재 및 공법을 이용하여 전체적인 보수작업을 수행해야하는 요구가 발생되기에 이르렀다. 본 발명은 상기된 요구에 부응하기 위해 창안된 것으로서, 터널의 전체적인 보수작업이 진행될 수 있도록 하고, 이러한 진행도중 기차의 운해에 지장을 주지 않으며 신속한 작업이 수행할 수 있도록 함에 그 목적이 있다. 상기된 목적을 달성하기위해 본 발명은 기차가 터널을 통과하는 각 시간의 공배에 작업될 수 있는 구간을 등분하고, 등분된 구간을 진행하며 분업화된 작업이 수행될 수 있도록 한 터널 보수공법을 제공한다.

본 발명은 구성으로는 라이닝 철거단계와, 유도배수공 형성단계와, 터널형태 형성단계

와, 완성단계로 이루어진 터널 보수공법에 있어서 상기 완성단계는 건조된 숏크리트의 면을 세척하고 탄소봉을 삽입시키는 예비단계와 상기 숏크리트 면과 탄소봉이 삽입된 위치에 섬유로드가 숏크리트의 면과 일정간격 이격되도록 결합된 로드 스페이서를 섬유로드가 격자형으로 형성되도록 각각 위치하고, 1차적으로 스페이서의 끝단이 함침되어 강결되도록 모르타르를 미장하는 1차 미장단계와 상기 1차 미장시 미장면에서 돌출된 섬유로드를 은폐시키도록 하는 두께로 모르타르를 미장하는 2차 미장단계를 실행함으로써 이루어진다. 본 발명의 효과는 노후된 터널을 보수하는 일련의 과정 중, 그 완성단계에 있어, 1,2차에 걸친 미장단계를 행하게 됨으로써, 내구성과 함께 미감을 향상되게 하는 것으로, 매우 유용한 기대효과를 제공하게 되는 것이다.

표 3-7. 대상기술(10-0405941)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	터널의 누수방지용 보수재에 대한 설명	라이닝 철거단계와, 유도배수공 형성단계와, 터널형태 형성화단계와, 완성단계로 이루어진 터널 보수공법에 있어서, 상기 완성단계는 건조된 숏크리트의 면을 세척하고 탄소봉을 삽입시키는 예비단계와, 상기 숏크리트 면의 탄소봉이 삽입된 위치에 섬유로드가 숏크리트의 면과 일정간격 이격되도록 결합된 로드 스페이서를 섬유로드가 격자형으로 형성되도록 각각 위치시키고, 1차적 미장단계와, 상기 1차 미장시 미장면에서 돌출된 섬유로드를 은폐시키도록 하는 두께로 모르타르를 미장하는 2차 미장단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 터널 보수방법.
청구항 1 및 3항 (독립항)	-삭제-	-삭제-

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 1항, 종속항 0항)

표 3-8. 터널 보수공법

선행기술 1	서지	특허번호: 한국등록특허 10-0405941 (2003년11월04일) 명 칭: 터널 보수공법 출 원 인: 주식회사 한국피엔알건설	
	관련기술내용	본 발명은 기차가 통과하기 위한 철로 터널을 할당된 시간의 작업량에 따라 구간을 등분하고, 등분된 구간을 순차적으로 분업화하여 작업수행될 수 있도록 하므로써 철로의 소통에 지장을 주지 않으며 터널 전체에 대한 작업이 신속히 수행될 수 있도록 한 터널 보수공법에 관한 것이다. 본 발명은, 라이닝 철거단계와, 유도배수공 형성단계와, 터널형태 형성단계와, 완성단계로 이루어진 터널 보수공법에 있어서, 상기 완성단계는 건조된 숏크리트의 면을 세척하고 탄소봉을 삽입시키는 예비단계와, 상기 숏크리트 면의 탄소봉이 삽입된 위치에 섬유로드가 격자형으로 형성되도록 각각 위치시키고, 1차적으로 스페이서의 끝단이 함침되어 강결되도록 모르타르를 미장하는 1차 미장단계와 상기 1차 미장시 미장면에서 돌출된 섬유로드를 은폐시키도록 하는 두께로 모르타르를 미장하는 2차 미장단계를 실행함으로써 이루어진다.	
관련성 비교	1) 충전 모르타르 제조 단계		2) 적용 단계
	관련도 낮음		관련도 낮음
	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 충전 모르타르의 대한 언급 없음.		-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 개발대상기술과 유사함.

본 고안은 터널 지보재 보강구조에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 강지보재 사이에 설치되는 연결부재를 사선으로 배치하여 전체적으로 트러스 구조를 형성시킴으로써 작용하중에 의한 응력변형의 저항력을 증대하여 침하를 억제시키고 이로써 터널의 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있는 터널 보수재 보강구조에 관한 것이다. 본 고안은 종래 터널 지보재 설치구조의 제반 문제를 개선하기 위하여 제안된 것으로, 강지보재 사이에 설치되는 연결부재를 상호간 응력전달을 가능케 하면서 연결부재가 직접 응력을 발생시켜 집중되는 작용하중에 의한 응력분산을 유도, 저항력을 증대시키고 결국 침하를 억제하여, 터널의 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있는 터널 지보재 보강구조를 제공하는데 그 목적이 있다.

표 3-9. 터널 지보재보강구조

선행기술 1	서지	특허번호: 한국 실용신안 등록특허 20-0359387 (2004년08월09일) 명 칭: 터널 지보재 보강구조 출 원 인: 삼성물산 주식회사	
	관련기술내용	본 고안은 터널 지보재 보강구조에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 강지보재 사이에 설치되는 연결부재를 사선으로 배치하여 전체적으로 트러스 구조를 형성시킴으로써 작용하중에 의한 응력변형의 저항력을 증대하여 침하를 억제시키고 이로써 터널의 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있는 터널 보수재 보강구조에 관한 것이다. 본 고안의 터널 지보재 보강구조는 강지보재 및 강지보재 사이에 설치되는 사선형 연결부재를 주 구성요소로 하며, 여기에 수평형 연결부재 및/또는 응력계측센서가 더 포함될 수 있다. 본 고안의 터널 지보재 보강구조에 따르면, 강지보재 사이에 설치되는 연결부재를 상호간 응력전달을 가능케 하면서 연결부재가 직접 응력을 발생시켜 집중되는 작용하중에 의한 응력분산을 유도, 저항력을 증대시키고 결국 침하를 억제하여, 터널의 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있게 된다.	
관련성 비교	1) 충전 모르타르 제조 단계		2) 적용 단계
	관련도 낮음		관련도 낮음
	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 충전 모르타르의 대한 언급 없음.		-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 개발대상기술과 유사함.

본 고안의 터널 지보재 보강구조는 굴착된 단면을 보강하기 위하여 강지보재를 포함한 지보재가 설치되는 터널구조에서, 일정간격으로 설치되는 다수개의 강지보재 및 상기 다수개의 강지보재의 간격을 유지하기 위해 강지보재 사이에 위치하여 이웃하는 지보재 상호간을 사선으로 연결하는 다수개의 사선형 연결부재를 포함하여 구성된다. 본 고안의 효과는 강지보재 사이에 설치되는 연결부재를 사선으로 배치하여 전체적으로 트러스 구조물 형성시킴으로써 강지보재와 연결부재 상호간 응력전달을 가능케 하면서 연결부재가 직접 응력을 발휘하여 집중되는 작용하중에 의한 응력분산을 유도, 저항력을 증대시키고 결국 침하를 억제하여 터널의 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있게 된다. 특히, 이와 같은 보강구조는 지보재간의 상대 침하가 크게 발생하는 갱구부나 단층대에 적용함으로써 향상된 효과를 기대할 수 있다.

<가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강그라우팅공법 및 그 장치>

(등록번호 10-0563990)

본 발명은 목적은 가압식 초음파 진동체를 이용하여 주입액의 지반 침투 효율성을 증가시키어 미세한 균열 및 크랙 부분까지 주입재의 침투가 이루어지도록 함과 동시에 강관 또는 강관을 대체할 수 있는 저렴한 가격의 레진 콘크리트관을 사용하여 터널보강이 이루어지도록 하는 가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법 및 그 장치에 관한 것이다.

또한 본 발명은 플라즈마 유리화 기술을 이용한 차수그라우팅공법 및 플라즈마 유리화 기술을 이용한 터널 보강 그라우팅공법을 개량한 것으로서, 가압식 초음파 진동체를 이용하여 주입액의 지반 침투 효율성을 증가시키어 미세한 균열 및 크랙 부분까지 주입재의 침투가 이루어지도록 함과 동시에 강관 또는 강관을 대체할 수 있는 저렴한 가격의 레진 콘크리트관을 사용하여 터널 보강이 이루어지도록 하는 가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법 및 그 장치를 제공하는 것이 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제이다.

상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 (강관 또는 폴리머콘크리트관을 이용한)보강 그라우팅 공법에 관한 것으로서, 가압식 초음파를 이용하여 그라우트 주입재를 동적 주입시키는 본 공법은 크게 4가지 공정으로 나누어 시행된다.

상기와 같은 본 발명은 본 가압식 초음파 진동체를 이용한 동적 주입공법의 개발로 기존의 정적 주입 방식의 그라우트공법의 주입 방식에 비해 주입 대상 암반층의 미세한 균열과 크랙에까지 주입재를 도달시킬 수 있어, 기존의 각종 정적 주입공법 및 그라우트 양재를 이용한 터널 보강 다단 그라우팅공법에 비해 더욱 정확하고 완벽한 보강 효과를 기대할 수 있다. 또한 본 공법은 지하수 유출이 없는 풍화암층이나 연암층을 대상으로 하는 경우에 기존에 적용되어 오던 강관을 이용하여 다단보강그라우팅공법을 수행하고, 지하수 유출로 인하여 강관의 부식이 염려될 경우에는 물로 인한 부식 및 산, 염기에 내식성이 강하고 강도가 우수한 레진콘크리트관 (폴리머 콘크리트관)을 이용하도록 하여 각종 여건의 현장에 모두 대응할 수 있도록 한 특징을 가지고 있다.

표 3-10. 대상기술(10-0563990)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅 공법의 공정 설명	가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법에 있어서, 제1공정(수평천공공정) 수평천공기(F)를 이용하여 터널 막장(A)의 그라우팅 예정 대상 지반을 우산상으로 상향 2° ~ 5° 각도로 10m~20m 길이로 다수개의 천공작업을 수행하며, 제2공정(유공관(40)설치공정) 강관이나 폴리머 콘크리트관을 천공된 구멍에 삽입 설치시, 유공관(40)이 자체 하중으로 인하여 천공홀(drill Hole) 하부에 위치하여 여굴 현상이 발생되지 않도록 적당한 간격으로 유공관(40)의 외부에 고압튜브(44)를 삽입하여 유공관(40)을 설치함으로써, 유공관(40)이 천공홀 중앙부에 항상 위치하도록 한 다음, 제3공정(그라우트주입공정) 상기 유공관(40)에 가압식 초음파 진동체(30)를 연결하고, 상기 가압식초음파 진동체(30)는 믹서(21)가 설치되어 그라우트주입재를 교반시켜 저장된 그라우트주입재탱크(20)와, 상기 그라우트주입재탱크(20)에 연결된 펌프(22)와, 상기 펌프(22)에서 연장된 그라우트공급호스(23,34)에 의해 연결되며, 다른 일측에는 바이브레이터구동부(25)에 의해 연결된 바이브레이터구동선(27,32)에 연결되어 있으며, 상기 또 다른 일측에는 유압유닛(26)에 연결된 유압호스(28)에 연결되어, 상기 장치들을 작동시키면, 내부에 설치된 다단계유압잭(31)과 연결된 다단유압실린더(33)가 유공관(40) 내부로 삽입됨과 동시에, 펌프(22)의 작동에 의해 그라우트주입재가 그라우트주입노즐(37)에 의해 충전되고, 동시에, 바이브레이터구동부(25)의 작동에 의해 유압실린더 선단부(38)에 삽입된 바이브레이터(36)가 진동되면서, 그라우트 주입재를 천공홀 내에 위치한 유공관(40)을 통하여 그라우트 대상 지반에 주입하며, 유공관(40) 내부에 가압 삽입하여 주입되는 그라우트재에 동적 파장을 가하여 그라우트 주입재가 보다 효과적으로 미세한 균열와 크랙에까지 도달하게 하며, 제4공정(마무리공정) 그라우트 주입재 경화 작업이 완료되면, 지상에 설치한 각종 동력 장치 및 그라우팅 주입 장비(그라우트주입탱크(20), 믹서(21), 펌프(22), 바이브레이터구동부(25), 유압유닛(26), 그리고 가압식 초음파 진동체를 외부로 철수시킴을 특징으로 하는 가압식

		초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법.
청구항 2,항	-삭제-	-삭제-
청구항 4항 (독립항)	가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅 장치 설명	가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법에 있어서. 수평천공기(F)를 이용하여 터널 막장(A)의 그라우팅 예정 대상 지반을 우산상으로 상향 2° ~ 5° 각도로 10m~20m 길이로 다수개의 천공작업을 수행하는 수평천공기(F)와, 상기 천공된 구멍에 삽입되는 유공관(40)과, 상기 유공관(40)이 연결조인트(41)에 연결된 가압식 초음파 진동체(30)에 연결된 그라우트주입재탱크(20), 믹서(21), 펌프(22), 바이브레이터구동부(25) 및 유압유니트(26)를 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅 장치.

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 1항, 종속항 2항)

선행기술 1	서지	특허번호: 한국등록특허 10-0563990 (등록일:2006년03월17일) 명 칭: 가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강그라우팅공법 및 그 장치 출 원 인: 진양씨엔이 (주)	
	관련기술내용	본 발명은 목적은 가압식 초음파 진동체를 이용하여 주입액의 지반 침투 효율성을 증가시키어 미세한 균열 및 크랙 부분까지 주입재의 침투가 이루어지도록 함과 동시에 강판 또는 강관을 대체할 수 있는 저렴한 가격의 레진 콘크리트관을 사용하여 터널보강이 이루어지도록 하는 가압식 초음파 진동체를 이용한 터널 다단 보강 그라우팅공법 (PUV 다단그라우팅) 및 그 장치에 관한 것이다.	
관련성 비교	1) 충전 모르타르 제조 단계		2) 적용 단계
	관련도 낮음		관련도 낮음
	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 충전 모르타르 제조에 대한 언급 없음.		-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 개발대상기술과 관련없음.

<돌기가 형성된 섬유관 및 이를 이용한 노후터널의 방수 및 보강 공법>

(등록번호 10-0599503)

본 발명의 목적은 노후한 터널을 방수 및 보수, 보강하는 공법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 노후된 터널의 콘크리트 구조체를 섬유관을 이용하여 효과적으로 방수 및 보수, 보강하는 공법에 관한 것이다. 노후된 터널의 콘크리트구조체를 방수하는 공법은 많이 개발되어 있다. 그러나 방수와 보수, 보강 효과가 동시에 발휘되도록 시공하는 방법은 시도된 적이 없는 공법이다. 그리고 본 발명에서는 상기의 종래의 터널 방수공법의 한계를 극복하여, 방수와 보강 효과가 동시에 발휘되는 공법 및 이에 사용되는 재료를 제공하는 것이다. 또한 방수공사를 시행한 후 일정시간이 경과하여 터널을 구성하는 콘크리트 구조체에서 다시 누수가 발생하더라도 그 누수가 터널 내로 직접 유입되지 못하도록 함으로써, 누수에 의해 터널 사용에 즉각적인 지장을 초래하는 일이 없는 공법 및 이에 사용되는 재료를 제공하는 것이다.

표 3-11. 대상기술(10-0599503)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	보강방수용 섬유관 설명	강판 층 상기 강판 층의 상부면에 수지에 함침되어 적층되는 일방향섬유 층 및 상기강판 층의 하부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 일방향섬유 층을 포함하여 구성되되, 적층된 최상부면에 섬유방향을 따라 양측 가장자리에서 돌출된 상부돌기가 구비되고 상기 상부돌기 사이의 최하부면에는 섬유방향을 따라 양측 가장자리에서 돌출된 하부돌기가 구비되고 상기 하부돌기 사이의 최하부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 배일 특히 더 포함되는 것을 특징으로 하는 보강방수용 섬유관.
청구항 5항	이음섬유관 설명	강판 층 상기 강판 층의 상부면에 수지에 함침되어 적층되는 일방향섬유 층 및 상기강판 층의 하부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 일방향섬유 층을 포함하여 구성되되, 적층된 최상부면에는 섬유방향을 따라 양측 가장자리에서 돌출된 하부돌기가 구비되고 상기 하부돌기 사이의 최하부면에는 수지에 함침되어 적층되는 상기 배일 특히 더 포함되고,적층된 최상부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 배일 특히 더 포함되는 것을 특징으로 하는 이음 섬유관.
청구항 9항 (독립항)	노후 터널의 보수 및	강판 층 상기 강판 층의 상부면에 수지에 함침되어 적층되는 일방향섬유 층 및 상기강판 층의 하부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 일방향섬유

	보강 방법 설명	층을 포함하여 구성되되, 적층된 최상부면에 섬유방향을 따라 양측 가장자리에서 돌출된 상부돌기가 구비되고 상기 상부돌기 사이의 최하부면에는 섬유방향을 따라 양측 가장자리에서 돌출된 하부돌기가 구비되고 상기 하부돌기 사이의 최하부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 배일 특히 더 포함되는 것을 특징으로 하는 보강방수용 섬유판, 및 강판 층 상기 강판 층의 상부면에 수지에 함침되어 적층되는 일방향섬유 층 및 상기강판 층의 하부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 일방향섬유 층을 포함하여 구성되되, 적층된 최상부면에는 섬유방향을 따라 양측 가장자리에서 돌출된 하부돌기가 구비되고 상기 하부돌기 사이의 최하부면에는 수지에 함침되어 적층되는 상기 배일 특히 더 포함되고, 적층된 최상부면에 수지에 함침되어 적층되는 상기 배일 특히 더 포함되는 이음섬유판을 이용하여 노후터널의 콘크리트구조체에 접착제를 이용하여 부착하는 보강방수용 섬유판 접착단계 상기 보강방수용 섬유판의상부돌기에서 하부돌기를 관통하여 노후터널의 콘크리트구조체의 내부에 도달하도록 앵커볼트를 타정하고 앵커너트를 체결하는 제1차앵커설치단계 인접하는 상기 보강방수용 섬유판의 상부돌기를 상기 이음 섬유판의 하부돌기 사이의 홈부에 접착제를 이용하여 삽결하는 이음 섬유판 접착단계 및 상기 이음 섬유판의 상부면에서 상기 이음 섬유판의 하부돌기 및 상기 보강방수용 섬유판을 관통하여 노후터널의 콘크리트구조체의 내부에 도달하도록 앵커볼트를 타정하고 앵커너트를 체결하는 제2차앵커설치단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 노후터널의 방수 및 보강 공법.
--	-------------	---

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 1항, 종속항 2항)

본 발명의 구성은가장자리에 돌기가 형성되어 콘크리트 구조체에 부착 시 콘크리트면과의 사이에 유도수로 역할 또는 보강 접착수지 주입 공간 역할을 하는 공극을 형성하는 보강방수용 섬유판과 상시 연이어 시공된 보강방수용 섬유판을 결합하면서 동시에 또한 유도수로 역할 또는 보강 접착수지 주입 공간 역할을 하는 공극을 형성하는 이음 섬유판을 제공한다. 또한 상기 보강방수용 섬유판과 이음 섬유판에 의한 노후 터널 방수 및 보강공법을 제공한다. 본 발명의 효과는 종래의 터널 방수공법의 한계를 극복하여, 방수와 보강 효과가 동시에 발휘되는 공법 및 이에 사용되는 재료를 제공하여, 방수공사를 시행한 후 일정시간이 경과하여 터널을 구성하는 콘크리트 구조체에서 다시 누수가 발생하더라도 그 누수가 터널내로 직접 유입되지 못하도록 함은 물론. 누수에 의해 터널 사용에

즉각적인 지장을 초래하는 일이 없는 노후터널 방수가 가능하게 되었으며, 동시에 노후터널의 보강도 가능한 공법을 제공할 수 있게 되었다. 또한 하나의 터널에서도 방수가 필요한 부위와 보강이 필요한 부위를 선별하여 방수공법과 보강공법을 각각 적용하면서 하나의 공사로 동시에 시행할 수 있게 되었다.

선행기술 1	서지	특허번호:한국등록특허 10-0599503 (등록일:2006년07월05일) 명 칭:돌기가 형성된 섬유판 및 이를 이용한 노후터널의 방수 및 보강 공법 출 원 인:(주)엠프로	
	관련기술내용	본 발명에서는 구성은가장자리에 돌기가 형성되어 콘크리트 구조체에 부착 시 콘크리트면과의 사이에 유도수로 역할 또는 보강 접착수지 주입 공간 역할을 하는 공극을 형성하는 보강방수용 섬유판과 상시 연이어 시공된 보강방수용 섬유판을 결합하면서 동시에 또한 유도수로 역할 또는 보강 접착수지 주입 공간 역할을 하는 공극을 형성하는 이음 섬유판을 제공한다. 또한 상기 보강방수용 섬유판과 이음 섬유판에 의한 노후 터널 방수 및 보강공법을 제공한다.	
관련성 비교	1) 충전 모르타르 제조 단계		2) 적용 단계
	관련도 낮음		관련도 낮음
	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 충전 모르타르 제조에 대한 언급 없음.		-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 개발대상기술과 유사함.

<고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법>

(등록번호 10-0760977)

본 발명은 고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 강지보, 2차 슛크리트, 콘크리트 라이닝을 설치하지 않고 터널의 내부를 보강할 수 있어 굴착량이 감소하게 되는 고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법에 관한 것이다. 또한 종래의 공정을 대폭 줄이고, 인장력을 강화시키는 고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법을 제공, 콘크리트 라이닝을 설치하지 않고, 슛크리트 타설을 한번만으로 하는 것으로 공정을 줄이며, 강지보를 설치하지 않아도 초기지지 가능한 구조를 제공하고자 하는 목적이 있다. 공정수를 줄여 공기를 줄일 뿐만 아니라, 별도의방수구조가 필요 없으며, 굴착단면을 줄여 굴착량을 줄이고자 하는 목적이 있다.

본 발명은 터널의 보강 구조를 설치할 때, 슛크리트의 타설을 한번도 해도 유사한 효과를 얻을 수 있고, 굴착량을 줄일 수 있으며, 공정의 단계를 여러 단계 줄일수 있는 구조

와 방법에 관한 것으로서, 굴착된 면에 텐션철판을 설치하고, 텐션철판을 지압판과 록볼트로 고정하며, 록볼트와 텐션철판을 덮도록 숏크리트를 타설하고, 배수를 위해 워홀을 다수개 설치하는 것을 주요 구성으로 한다. 본 발명의 효과로서는 한번의 숏크리트 타설만 하므로 숏크리트 물량이 줄어들어 경제적인 효과가 있다. 숏크리트 대신 철판을 설치하여 공기 단축으로 인한 비용 절감의 효과가 있으며 적은 직경으로 굴착하여도 되므로 굴착단면이 줄어들어 굴착량이 감소되는 효과가 있다. 또한 고강도 텐션철판에 의하여 인장강도가 증대되고, 텐션철판의 응력이 다른 록볼트로 전달되어 전체적 안정성이 뛰어난 효과가 있고 강지보와 콘크리트 라이닝을 설치하지 않아도 되므로 공정과 자재의 사용이 줄어드는 효과가 있다.

표 3-12. 대상기술(10-0760977)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	고강도 텐션철판을 이용한 터널 보강 구조에 설명(1)	터널의 보강구조에 있어서, 터널의 굴착된 설계굴착면에 텐션철판(20)이 설치되고, 텐션철판(20)이 설치된 터널의 설계굴착면에 다수개의 록볼트(30)가 설치되며, 록볼트(30)는 지압판(32)과 고정너트(33)에 의해 텐션철판(20)을 지지하게 되고, 록볼트(30)의 돌출된 단부를 덮도록 3~5m 두께로 숏크리트(40)가 타설되며, 터널 내부벽면 하측에 위치하도록 다수 개의 워홀(50)이 형성되는 것을 특징으로 하는 고강도 텐션 철판을 이용한 보강구조.
청구항 3항 (독립항)	고강도 텐션철판을 이용한 터널 보강 구조에 설명(2)	터널의 보강 방법에 있어서 터널 공간 라인에 텐션철판(20) 서치 두께와 숏크리트(40) 설치두께를 더하여 굴착하는 설계 굴착 단계(100) 설계굴착면에 고강도 텐션철판(20)을 설치하고, 텐션철판(20)은 1770 N/mm ² 이상의 고인장강도를 가진것을 사용하는 텐션철판 설치 단계(110) 록볼트(30) 사이의 공간에 주입재를 충전하며, 시각의 지압판(32)이 텐션철판(20)을 압착하도록 고정너트(33)로 고정하는 록볼트 설치 단계 (120) 록볼트(30)의 돌출된 단부가 덮히도록 숏크리트(40)를 3~5 두께로 타설하는 숏크리트 타설 단계(130) 터널의 굴착면 양쪽 하부에 형성된 다발관홀(51)에 다발관(52)을 부직포(53)에 싸서 삽입하되 다발관(52)이 단부가 숏크리트(40)를 통과하여 노출되게 설치되는 것을 특징으로 하는 워홀 설치 단계(140)를 포함하는 것을 특징으로 하는 고강도 텐션 철판을 이용한 터널 보강 방법.

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 2항, 종속항 1항)

선행기술 1	서지	특허번호: 한국등록특허 10-0760977 (2006년07월05일) 명 칭: 고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 방법 출 원 인: 주식회사 진화기술공사	
	관련기술내용	본 발명은 강지보, 2차 숏크리트, 콘크리트라이닝을 설치하지 않고 터널의 내부를 보강할 수 있어 굴착량이 감소하게 되는 고강도 텐션 철망을 이용한 터널 보강구조 및 보강방법에 관한것이며, 터널의 굴착된 설계굴착면에 텐션철망(20)이 설치되고, 텐션철망(20)이설치된 터널의 설계굴착면에 다수개의 록볼트(30)가 설치되며, 록볼트(30)는 지압판(32)과 고정너트(33)에 의해 텐션철망(20)을 지지하게 되고, 록볼트(30)의 돌출된 단부를 덮도록 3·5m 두께로 숏크리트(40)가 타설되며, 터널 내부벽면 하측에 위치하도록 다수 개의 워홀(50)이 형성되는 것을 특징으로 한다.	
관련성		1) 충전 모르타르 제조 단계	2) 적용 단계
		관련도 낮음	관련도 낮음
	비교	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 충전 모르타르 제조에 대한 언급 없음.	-유사점 : 터널 보수 및 보강 기술임. -차이점 : 개발대상기술과 관련 없음.

라. 선행기술과의 관련성

선행기술은 대부분 터널 공사에 대한 보수 및 보강 기술과 모르타르 제조 기술에 관한 특허가 많이 출원되었으나 개발대상기술에 해당되는 고인성 판넬 및 충전재의 개발 관련 된 핵심기술에 해당되는 특허는 그리 많지 않은 상태이다. 특히 충전모르타르 구성물에 있어서 유기물 대신 무기물을 사용한 제조 기술은 발견되지 않은 것으로 볼 때 개발대상 기술은 고난도를 요하는 기술로 판단되는 편이다. 건설 및 토목/건축 공사의 성격상 실제 적용 시까지 많은 시간이 소요되는 관계로 유사관련 기술이 개발된다고 하더라도 실제 적용 및 시장진입을 위해서는 상당한 시간이 소요될 것이다.

따라서 상기 목적, 구성 및 효과를 대비로부터 알 수 있는 바와 같이, 개발대상기술은 선행기술들에 비해 기술적 구성이 크게 차이가 나며, 기능적인 면에서도 우수한 측면이 많아 현장 적용 시 예측할 수 없는 상승효과를 구비하고 있다. 비록 개발대상기술과 선행 기술들이 거시적 목적이 동일 내지 유사하다 할지라도 기술적 구성과 작용효과가 전혀 사이한 이상 당해기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라 할지라도 선행기술들에 근거하여 평가대상 기술을 용이하게 추구하는 것은 불가능하다.

2. 연구개발과제의 차별화 방안

일반적으로 산업폐기물(석탄회 조분 등)을 활용하여 연구되는 과제는 매년 그 개발필요성이 절실한 만큼 매년 연구과제 제안이 쏟아져 나오지만 항상 그렇듯 폐기물이 지니고 있는 약점(마이너스 요소 및 인자)으로 말미암아 선별 또는 전처리가 공정이 필요하고 그 처리비용으로 말미암아 개발이 완료되더라도 현장적용에는 어려움이 따르며 그로 말미암아 연구를 위한 연구수준을 벗어나지 못하고 있음은 다 아는 사실이다. 폐사의 개발과제는 일반적인 개별기술이라기 보다는 구체적인 대상목표물(폐사의 경우, 수리구조물인 수로터널의 벽체 및 바닥재의 보수보강)과 열악한 기후조건(동절기 시공 등)에서도 종전 개발제품보다 월등히 높은 강도(압축강도 및 부착강도)를 발현하고 높은 유동성과 충분한 작업시간(가사시간)을 확보할 수 있는 수준 높은 개발제품임. 특히 산업폐기물인 석탄회 조분(바텀애쉬)을 특성별(투수성, 경량성 등)로 구분하거나 전처리한 것이 아니라 일반 폐기물(- 효과 Filler)로 규정하고 석탄회를 제외한 기본목표물성을 강화하여 맞춘 만큼 석탄회 조분 전처리 공정(입도선별 등)없이 혼합재로 바로 적용이 가능해 개발연구측면에서는 다소 어려움이 따르겠으나 현장 적용측면에서는 현장적용이 매우 용이하고 간편하여 분명한 차별성을 가지고 있으며 개발이 완료되면 그 용도범위는 크게 확대되리라 판단된다.

3. 타 산업 및 국내외 연계·협력 가능성

본 개발기술은 산업폐기물(석탄회 조분 등)을 유효이용한 자원재순환 프로젝트로서 일반터널 및 수로터널에 광범위하게 적용할 수 있는 신기술이며 개발되어진 핵심기술을 토대로 경제성을 감안한 보수보강공법이 접목되면 적용용도가 기하급수적으로 증대되리라 확신한다. 기존 터널이외의 일반 콘크리트 보수/보강시장 대체를 비롯해 환경문제관련 무기소재의 장점을 조합한 신시장 개척, 토목수리구조물의 보수보강 시스템 정립에 적용 가능한 기술 제공 뿐 아니라 콘크리트 보수보강분야 재료 및 공법관련 건설기술의 선진화를 꾀할 수 있다. 특히 산업부산물인 석탄회(Bottom Ash) 활용 증대(폐기물 재활용)라는 명분아래 타산업에의 자원재활용관련 응용과 폐기물의 고부가가치 재이용에 의한 환경친화적 산물로 터널, 도로 및 기타 콘크리트구조물의 보수용 재료로 활용 등 개발기술(석탄회 대체/혼화재료)의 타산업/공정예의 응용이 가능하다. 다만 전술한 바와 같이 국

내의 경우, 재료기술이 개발된다 해도 그 보수보강관련 공법이 미흡하여 적용상 한계에 부딪힐 수 있다. 다행히 폐사는 본 개발기술의 선행기술로서 초기 시작단계에서부터 일본 연구기관인 카지마건설기술연구소와 2002년 양해각서를 체결 후 현재까지 순조롭게 공동 연구를 진행해 오고 있으므로 연계, 협력 가능성을 떠나 긴밀한 관계설정이 가능하다고 하겠다.

제 2 절 실험적 접근방법

1. 개발 목표

자원화 이용률이 낮은 국내산 산업폐기물(석탄회 조분)을 초속경시멘트에 혼입하여 양질의 속경성 보수/보강 모르타르를 개발한다. 석탄회 조분은 10%이상, 석탄회+슬래그 30%이상 치환을 목표로 하여 보수/보강 모르타르의 기본 물성을 충족시키는 제품을 개발한다.

2. 세부 개발 내용

표 3-13. 연차별 세부 개발 내용

1차년도	- 국내 석탄회 발생 현황 조사 - 바텀애쉬 특성 조사 및 시험 - 재료 조합 선정 실험 - 모르타르 조합관련 초속경 시멘트 기초시험 - 최적배합 선정을 위한 최적화 시험 및 설계를 위한 기초시험 - 복공 콘크리트 제작
2차년도	- 석탄회 혼입율별 최적 배합 시험 - 혼화제 사용량별 최적 배합 - 조합별 성능 평가 시험 - 최적 배합 확정 - 시험체 제작 및 평가 - 목표품질 배합 선정 시험 - 목표품질 최종 시험체 제작

	- 최종성능 평가 배합 선정 시험 - 최종 제품 현장 시험 - 최종 제품 성능 평가 의뢰
--	---

3. 목표 개발 성능

가. 20℃ 기준

표 3-14. 20℃ 기준 목표

평가 항목		목표	평가 방법
정치플로우		245mm 이상	시멘트물리시험방법의 정치플로우 시험
응결시험	초결	30분 이상	콘크리트의 응결시간 시험
	중결	80분 이하	
압축강도		50N/mm ² 이상	콘크리트의 압축강도 시험
인장시험		4N/mm ² 이상	콘크리트의 활열인장강도 시험
부착강도		2.5N/mm ² 이상	표면피복재의 부착강도 시험
휨강도		6N/mm ² 이상	콘크리트의 휨강도 시험
전단시험		5N/mm ² 이상	강섬유보강콘크리트의 전단강도 시험
길이변화율		6×10 ⁻⁴ 이하 ; R.H 80%	모르타르 및 콘크리트 길이변화 시험

나. 5℃ 기준

기본요건 ; 석탄회 조분 10%이상, 석탄회+슬래그 30%이상 치환,
 섭씨 5도 이하기준, 충전용

- 3시간 압축강도 ; 6N/mm² 이상(2~4시간 정도에 탈형 가능)
 장기압축강도 ; 40N/mm² 이상, 부착강도 ; 2N/mm² 이상
- 유동성 ; 셀프플로우(진동을 주지않은 상태에서의 플로우) 250mm이상
 초결 40분 이상
- 건조에 의한 균열이 발생하지 않을것 (6×10⁻⁴이하; R.H 80%)

4. 실험 개요

초속경시멘트에 석탄회 조분과 골재를 혼입한 터널 보수/보강용 모르타르의 품질 향상을 목표로 한다. 기존 기술은 현장 타설시 충분한 가사시간을 확보하지 못하여 작업의 효율성이 떨어지는 실정이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 짧은 시간내에 경화가 일어나지만 충분한 가사시간을 확보할 수 있는 속경성 시멘트가 필요하나 이와 같은 두 가지 장점을 가진 시멘트는 극히 드물다. 이에 본 실험에서는 제품의 기본이 되는 초속경 시멘트로 빠른 시간 내에 경화가 일어나며 유동성과 가사시간을 확보할 수 있는 폐사가 개발하여 일본에서 터널 보수 시험타설을 한 실적이 있는 속경성 시멘트(상품명 MT)를 주원료로 사용하였다.

먼저 각 화력 발전소(서천, 삼천포, 보령, 동해, 태안)별로 석탄회를 수집하여 기초 시험을 거쳐 발전소별 석탄회 각각의 기본 물성을 파악하였다. 현장 시공시 충분한 가사시간과 작업성을 확보하기 위한 실험을 위해 유동성 시험을 시행하였고 입도분포는 유동성에 큰 영향을 미치기 때문에 체가름 시험을 바탕으로 표준입도곡선에 맞추어 조골재에 치환하여 시험하였다. 또한 공사기간을 단축하여 공사비를 절감하고 빠른 시간 내에 교통개방을 하기 위해서는 시멘트의 빠른 경화가 필요하다. 유동성과 응결 시간을 고려한 적합한 배합을 위하여 유동화제, 촉진제, 지연제를 조절하여 기본이 되는 배합설계를 하였다. 석탄회 조분은 10%이상, 석탄회+슬래그 30%이상 치환하여 규격별 시험체를 제작하여 3시간, 1일, 7일 28일에 압축강도를 측정하였다. 본 연구는 기존 터널 내면 보수보강용 모르타르를 개발하는 것으로 노후화된 콘크리트와의 부착력이 중요한 요소이므로 부착강도 시험도 병행하여 시행하였다. 상기 결과를 바탕으로 하여 석탄회 종류 중 가장 적합한 대표 배합을 설계, 선정하여 최종 현장 성능 시험을 시행하였다.

5. 실험 재료

가. 터널 보수용 시멘트 물성

본 연구 시험에는 폐사가 직접 개발하여 일본에서 터널 보수용 속경성 시멘트로 시험 타설한 실적이 있고 일본과 동시에 특허를 출원하고 일본에 수출을 추진하고 있는 터널 보수용 속경성 시멘트를 주 원료로 사용했다. 이 시멘트는 무수축 초속경 고강도 시멘트 (Non-Shrinkage Very Early High-Strength Cement; 상품명 MT)이며, 화학성분 분석 및

물리성능은 다음과 같다.

표 3-15. MT 시멘트의 화학적 성분

항목	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	SiO ₂	LOI
%	35.0-37.0	1.0-3.0	40.5-42.5	1.5-2.0	8.5-10.5	1.0-1.5	6.6-8.0	2.1

표 3-16. MT 시멘트 물리성능

블레인 값 (㎠/g)	응결시간(분)		압축강도(N/㎠)			밀도
	초결	종결	3시간	1일	7일	
4,715	45	55	41.8	56.0	68.7	2.80

나. 천연 무수석고 물성

일반적으로 석고는 시멘트 응결 지연제 용도로 사용되지만 본 시험에서 석고는 속경성 시멘트의 경화촉진작용을 하여 보수/보강 모르타르의 초기 강도를 증진시키며, 황산염에 대한 저항성을 향상시키는 역할을 하며, 화학성분 분석 및 물리성능은 다음과 같다.

표 3-17. 천연 무수석고의 화학적 성분

항목	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI	CaSO ₄
%	0.75	Tr	Tr	40.45	Tr	56.79	0.95	96.42

표 3-18. 천연 무수석고 물성

325Mesh 잔여물(%)	비표면적(㎠/g)	밀도(g·㎠)	습도(%)
1.1	4,530	2.93	0.4

다. 수쇄슬래그분말 물성

시멘트에 대한 슬래그의 치환율이 클수록 초기의 강도 증진이 작게 되는 경향이 있으나 잠재수경성반응에 의하여 장기재령으로 갈수록 강도는 증진된다. 또한 잠재수경성에 의해 생성된 C-S-H 겔이 공극구조를 개선하기 때문에 수밀성이 향상된다. 이러한 수밀성의 향상에 의하여 황산염, 염소이온의 침투 등에 대한 저항성을 증가시킨다. 화학성분 분석 및 물리성능은 다음과 같다.

표 3-19. 수쇄슬래그분말의 화학적 성분

항목	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI
%	33.24	13.52	0.30	41.04	6.65	2.49	0.73

표 3-20. 수쇄슬래그분말 물리 성능

구분			단위	KS규격 3종	시험결과
물리성능	밀 도		g/cm ³	2.80 이상	2.90
	블레인(비표면적)		cm ² /g	4,000~6,000	4,306
	활성도 지수	재령7일	%	55 이상	70
		재령28일		75 이상	103
		재령91일		95 이상	117
	플로값 비		%	95 이상	102
비 고	수쇄슬래그(염기도)		-	1.60 이상	1.76
	석고첨가(유,무)		석고첨가		

라. 고성능감수제 물성

터널 보수공사 시 계절에 관계없이 신속한 시공과 시공 후 조기 교통개방을 하기 위한 보수/보강 모르타르를 개발하기 위해서는 시멘트계 분산에 탁월한 효과를 보여 고강도,

고유동 콘크리트 제조시에 널리 사용되는 멜멘트계 축합물을 주성분으로 하는 분말형태의 고성능 감수제를 사용하였다. 멜멘트계 고성능 감수제는 건조수축을 감소시키고 동결융해 저항성을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 시험에서 사용한 멜멘트계 고성능 감수제 분말의 물성은 다음과 같다.

표 3-21. 고성능감수제 물성

	단위	값	최소값	최대값
건조손실 (1시간, 80℃)	%	3.3	-	4.0
겉보기밀도	kg/m ³	680	500	800
용존물질 함량	%	20.0	-	-
PH값(20℃)	-	10.2	9.0	11.4

마. 지연제 물성

본 연구의 시험에서는 물에 용해가 잘 되며 일반적으로 시멘트와 석고계 분체 등의 지연제로 사용되는 백색 분말 형태의 주석산(Tartaric Acid)을 사용하였으며 물성은 다음 표와 같다.

표 3-22. 지연제 물성

구분	용해도(g/100ml)	밀도(g/ml)	밀도(g/ml)	pH(1.5g/1 ℓ 물)
주석산(40% 용액)	147	1.76	0.6~1.3	2.2

바. 소포제 물성

예비 시험 결과 시멘트 분체를 아크릴과 혼합할 때 의도하지 않은 공기가 연행되는 경우가 종종 발생하여 표면이나 구체에 기포 결점을 남기게 되는 현상을 발견하였다. 따라서 이러한 미세한 공기량을 조절하여 공기량을 안정적으로 유지하여야 한다. 안정적인

미세한 공기는 작업성을 좋게 하고 균열 형성을 저감시키는 등의 역할을 한다. 본 연구의 시험에서는 일반적인 시멘트 소포제로 사용되는 백색의 탄화수소 폴리글리콜계 분말을 사용하였다.

사. 촉진제 물성

터널용 보수보강 모르타르 개발에 있어서 시간내에 경화되어 적당한 강도를 발현하기 위해서 고강도 초속경 시멘트를 기본으로 사용하여 제조하였으며, 경화 시간 조절을 위하여 경화 촉진제를 사용하였다. 본 연구의 시험에서는 일반적인 시멘트의 경화 촉진제로 널리 사용되는 백색의 탄산 리튬 분말을 사용하였다.

아. 고인성 섬유

터널용 보수보강 모르타르를 개발하는데 있어서 휨강도 증진을 위한 목적으로 다음과 같은 섬유들을 사용하여 시험하였다.

㉠ 탄소섬유

탄소섬유는 거의 100% 탄소 원자로 구성된 무기섬유이다. 프리커서(precursor)라 불리는 전 단계 섬유를 소성하여 탄소만을 남기는 방식으로 공업화 하고, 프리커서의 종류에 따라 레이온계, 피치계, PAN계로 분류되고 그 중 PAN계가 압도적으로 많이 사용된다.

PAN계 섬유는 아크릴로니트릴을 중합, 방사하여 섬유를 내염화, 탄화하여 제조한다. 내염화(耐炎化)는 공기 중에서 200~300℃로 산화시키며 환화(環化)하는 공정이고 그 후 불활성 가스 분위기 1,000~1,500℃에서 탄화된 실을 얻는다. 탄화사를 다시 2,000~3,000℃의 고온에서 흑연화(黑鉛化)를 시킴으로 고탄성을 가진 탄소섬유를 만든다.

일반적으로 탄소섬유의 직경은 5~7 μm 의 필라멘트가 1,000가닥에서 24,000가닥으로 이루어져 있다. 탄소섬유는 가볍고, 강도 및 탄성율이 높고, 부식이 없는 특징이 있어 토목, 건축의 콘크리트 보수, 보강 재료로써 사용되고 있으며, 물성은 다음과 같다.

표 3-23. 탄소섬유의 물성

인장강도(N/mm ²)	파단신도(%)	탄성율(N/mm ²)	밀도(g/cm ³)
35	2.0	2,500	1.70

㉞ 폴리비닐알코올(PVA)섬유

폴리비닐알코올(PVA) 섬유는 기존의 합성섬유들이 석유화학에서 개발, 생산된 제품인 반면에 폴리비닐알코올의 10~15% 수용액을 황산나트륨의 포화용액 속에서 방사(紡絲)하여 얻은 폴리비닐알코올 섬유를 폴리머화한 합성섬유이다. 폴리비닐알코올(PVA)섬유는 콘크리트와 모르타르 속에서 혼연성, 분산성이 좋아 시멘트 매트릭스와의 높은 접착성과 내알칼리성, 내구성 및 높은 인장강도와 인장탄성 등의 특성을 가지고 있다.

폴리비닐알코올(PVA) 섬유는 OH-Group을 가지고 있으며, 표면은凸凹구조로 되어 있는 친수성 물질로서 화학적, 물리적으로 우수한 접착성을 가지고 있으며 인장 강도가 90-150 kgf/mm² 이상으로 내알칼리성이 높게 요구되는 시멘트 콘크리트 보강 소재로 적당하다. 또한 콘크리트와 모르타르 보강용으로서 종래의 섬유에 비해 콘크리트와 모르타르 속에서 비빔성, 분산성능이 우수하며, 보강 성분이 뛰어나 콘크리트 및 모르타르용 섬유로 사용되고 있으며 물성은 다음과 같다.

표 3-24. 폴리비닐알코올(PVA)섬유의 물성

인장강도(N/mm ²)	파단신도(%)	탄성율(N/mm ²)	밀도(g/cm ³)
9~15	6.0~10.0	150~500	1.30

㉟ 아라미드섬유

아라미드섬유는 수지를 사용하지 않고도 높은 인장강도와 탄성율을 지니고, 열처리에 따라 내부 구조의 변화로 다양한 물성이 가능하다. 내충격, 내마모성이 뛰어나고, 고온하에서도 용융, 수축하지 않고 탄화되는 성질을 나타낸다. 이와 같은 물성을 기초로 하여 브레이크, 가스켓 등의 마찰재료로의 응용 사용되거나 높은 강도와 탄성율을 이용하여 방탄복, 헬멧 등의 방호소재의 응용 사용되기도 한다. 또한 광케이블, 철근 등을 대체하는

로프 분야, 호스, 벨트, 타이어 등 고무재료의 보강재료의 응용과 건축, 토목분야의 보수 보강 복합재료로 널리 사용되고 있다.

아라미드섬유 시트는 기포가 발생하는 핸드 레이업 성형방법으로도 강도와 탄성이 발현되는 재료이다. 두꺼운 시트도 잘 휘어지기 때문에 단위 면적 당 보수, 보강량이 많은 경우, 적은 적층수로도 가능하여 재료비 및 시공비를 절감할 수 있다. 또한 탄소섬유에 비하여 파단신도가 2배 이상이므로 크랙(crack)이 이미 존재하는 콘크리트의 보수, 보강에 적절히 이용될 수 있으며 물성은 다음과 같다.

표 3-25. 아라미드섬유의 물성

인장강도(N/mm ²)	파단신도(%)	탄성율(N/mm ²)	밀도(g/cm ³)
30	4.0	1,000	1.40

자. 액상아크릴

수지계 결합재로서 부착강도 성능 향상을 위한 목적으로 액상아크릴을 사용하여 시험하였다. 시멘트 페이스트 경화체의 내부에 필름을 형성하여 휨, 인장 및 부착강도를 향상시키고 보수성을 개선하여 중성화, 염화물 이온 침투, 동결융해 등의 내구성을 향상시키기 위해 폴리머 디스퍼전을 사용한다. 상기 폴리머 디스퍼전으로는 SBR(Styrene Butadiene rubber) 라텍스, EVA(Ethylene Vinyl Acetate) 에멀전 또는 아크릴계(Acrylic) 수지를 사용할 수 있다.

표 3-26. 액상아크릴 물성

구분	고형분(%)	점도(CPS)	PH
FT-507LBK	23.2	10	8.1

*점도 : RVT #1 10 rmp(at 25℃)

*고형분 : 열풍건조기 135 ± 3(℃) 40분

*PH : PH meter(원액)

제 3 절 연구내용

1. 시험계획

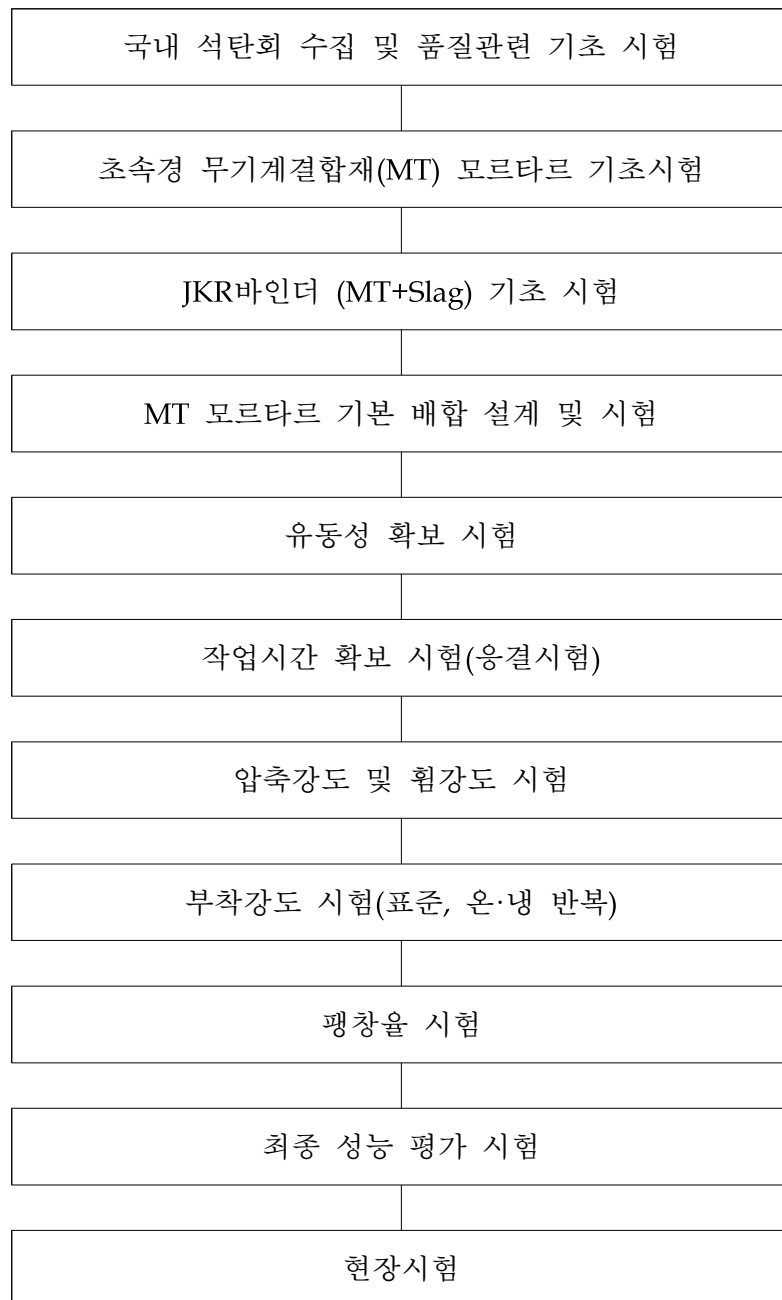


그림 3-1. 시험 진행 단계

2. 국내 석탄회 수집 및 품질관련 기초 시험

국내 화력 발전소 중에서 삼천포, 서천, 동해, 태안 등의 선별하지 않은 석탄회(바텀애쉬)를 수집하여 기초 물성을 파악하였다. 기초 물성 파악을 위하여 밀도, 비표면적, 흡수율, 입도분포, 투수계수, 마모감량 등 6 종류의 물리적 특성 시험과 골재안정성, 유기물 함량 시험 등 2종의 화학적 특성 시험을 수행하였다.



그림 3-2. 산지 종류별 석탄회

가. 밀도

국내 화력발전소에서 수집된 석탄회의 밀도를 KS F 2308 에 따라 비교하여 아래 표와 그림에 나타내었다. 국내 화력발전소 석탄회의 밀도는 2.173에서 2.301로 서천의 경우에는 시험 과정 중에서 일부 편차를 보이기도 하였으나 대부분 유사한 결과를 나타내었다. 모든 석탄회의 밀도는 일반적인 잔골재 및 굵은 골재의 밀도(2.50~2.70)보다 작게 나타났다.

표 3-27. 석탄회 종류별 밀도

삼천포	동해	태안	서천
2.221	2.307	2.169	2.215

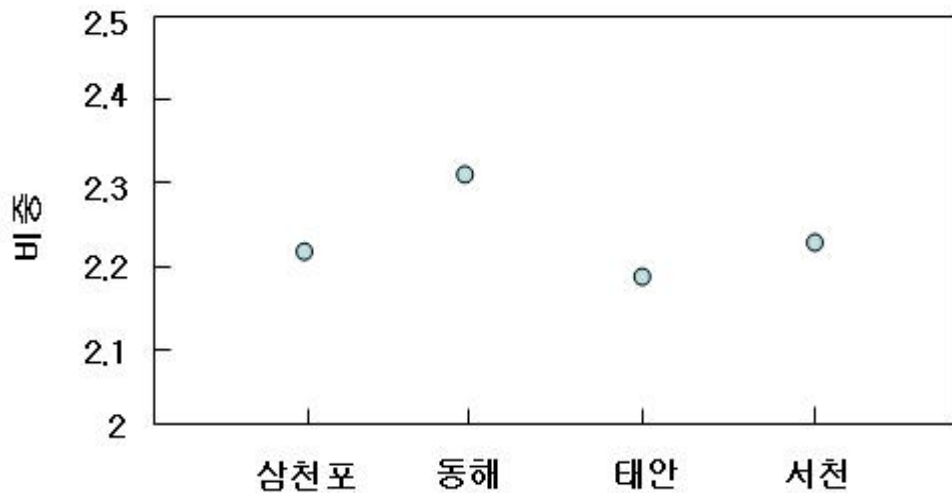


그림 3-3. 석탄회 종류에 따른 밀도 분포

나. 비표면적

아래 표와 그림은 국내 화력발전소 석탄회의 비표면적을 KS A 0094에 따라 비교하여 나타낸 것으로 비표면적은 삼천포 수집석탄회가 $1,388\text{cm}^2/\text{g}$ 으로 가장 큰 값을 나타냈으며, 그 외의 석탄회는 $1,150\sim 1,320\text{cm}^2/\text{g}$ 분포를 나타냈다. 또한 삼천포의 석탄회는 비표면적 분석 결과 큰 편차를 보이기도 하였다. 비표면적은 포틀랜드 시멘트의 비표면적(약 $3,500\text{cm}^2/\text{g}$)이나 플라이애쉬 미분말($4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 이상)보다 작은 값으로 나타났는데, 이는 수집한 석탄회 자체가 정제과정을 거치지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

표 3-28. 석탄회 종류별 비표면적

삼천포	동해	태안	서천
$1,364\text{cm}^2/\text{g}$	$1,253\text{cm}^2/\text{g}$	$1,150\text{cm}^2/\text{g}$	$1,331\text{cm}^2/\text{g}$

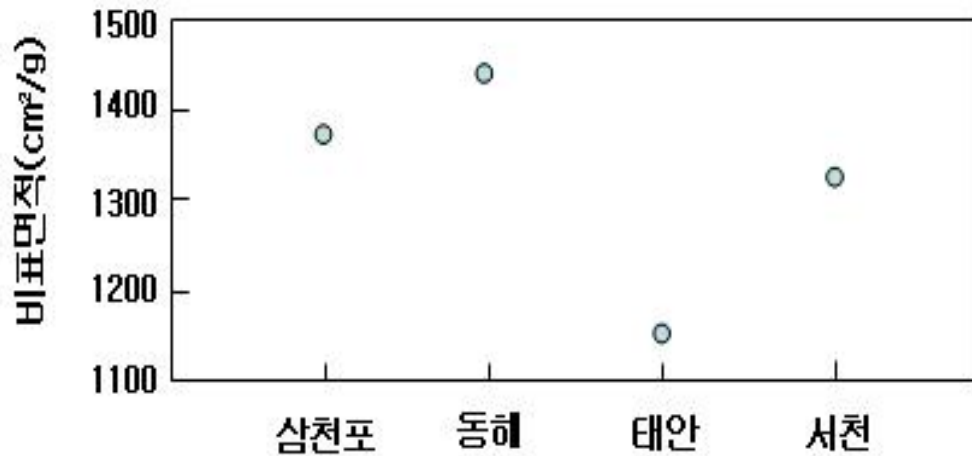


그림 3-4. 석탄회 종류에 따른 비표면적 시험 결과

다. 투수계수

아래 그림에 국내 화력발전소 석탄회의 투수계수 값을 나타내었으며, 투수계수는 약 $1.2 \times 10^{-5} \sim 2.3 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 분포로 나타났다. 그러나 석탄회는 잠재 수경성이 있어 모르타르 내에 혼입되어 있는 경우에 수분이 첨가되면 양생에 따라 조직이 치밀해져서 투수계수가 점차 낮아질 것으로 판단된다.

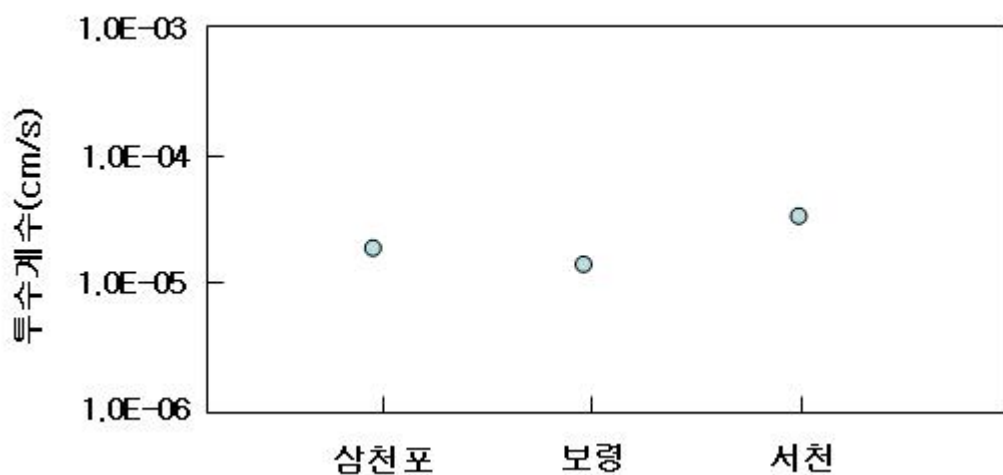


그림 3-5. 석탄회 종류(산지별)에 따른 투수계수 분포

라. 입도분포

입도분포는 유동성에 영향을 미치기 때문에 골재 체가름 시험(KS F 2502)에 의해 삼천포, 동해, 태안, 서천 화력발전소 발생된 석탄회에 대한 입도시험을 수행하였으며, 아래 표에 석탄회에 대한 입도분석 결과를 표시하였다. 삼천포와 서천은 표준입도곡선이 불안정하여 골재로 사용하기에 동해와 태안에 비해 적합하지 않다.



그림 3-6. 체가름시험 모습

표 3-29. 입도분포시험 결과(산지별)

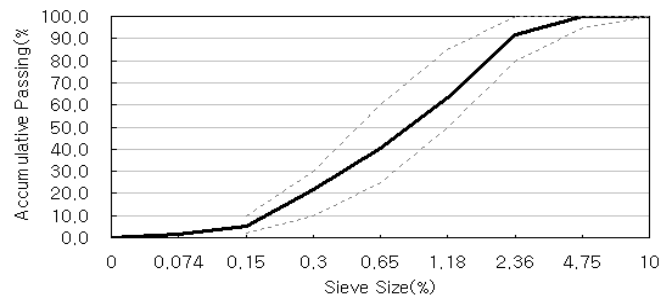
구분	최대입경 (mm)	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	균등계수, C_u	곡률계수, C_g	200번체 통과율 (%)
삼천포	19	0.11	0.43	1.8	19.1	1.08	5.9
동해	8	0.14	0.38	1.1	6.3	0.88	3.6
태안	15	0.10	0.35	1.0	13.5	1.07	3.4
서천	21	0.09	0.30	1.0	12.4	1.17	6.0

各骨材粒度分布(Particle Size Distribution of Aggregates) 年月日(Date): 2009-05-19

Sieve Mesh	Sieve Size(mm)	Residue(%)						동해	혼합
		#3	#4	#5	#6	#7			
4	4.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	2.36	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	27.6	8.3	8.3
16	1.18	78.3	98.2	0.7	0.0	0.0	29.3	28.6	28.6
20	0.85	20.6	1.5	41.0	0.0	0.0	0.0	8.5	8.5
30	0.65	0.6	0.1	41.4	0.0	0.3	19.1	14.1	14.1
40	0.425	0.3	0.0	15.3	11.6	1.2	0.0	5.5	5.5
50	0.3	0.0	0.0	1.3	45.3	12.2	9.3	13.3	13.3
100	0.15	0.0	0.0	0.2	36.8	71.4	6.7	16.6	16.6
200	0.074	0.0	0.0	0.1	5.3	12.3	4.7	3.7	3.7
Pan	0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.6	3.3	1.5	1.5
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
혼합비		0%	20%	20%	20%	10%	30%	100.0%	

混合骨材粒度分布(Particle Size Distribution of Combined Aggregates)

Sieve Size(mm)	Residue (%)	Residue Acc. (%)	Passing Acc. (%)
0	1.5	100.0	0.0
0.074	3.7	98.6	1.5
0.15	16.6	94.8	5.2
0.3	18.8	78.3	21.7
0.65	22.6	59.5	40.6
1.18	28.6	36.9	63.1
2.36	8.3	8.3	91.7
4.75	0.0	0.0	100.0
10	0.000	0.0	100.0
Total	100.0		



試験者:

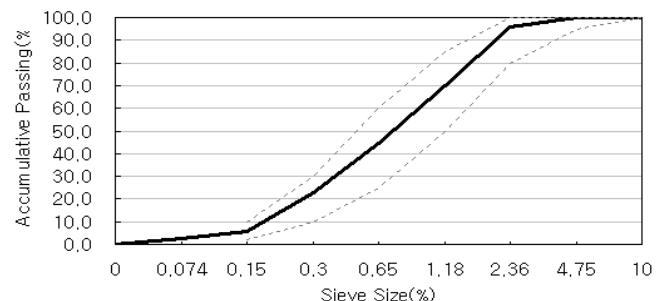
그림 3-7. 동해산 석탄회 입도분포시험 결과

各骨材粒度分布(Particle Size Distribution of Aggregates) 年月日(Date): 2009-05-21

Sieve Mesh	Sieve Size(mm)	Residue(%)						태안	혼합
		#3	#4	#5	#6	#7			
4	4.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	2.36	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	13.1	4.0	4.0
16	1.18	78.3	98.2	0.7	0.0	0.0	21.7	26.3	26.3
20	0.85	20.6	1.5	41.0	0.0	0.0	0.0	8.5	8.5
30	0.65	0.6	0.1	41.4	0.0	0.3	28.4	16.9	16.9
40	0.425	0.3	0.0	15.3	11.6	1.2	18.1	10.9	10.9
50	0.3	0.0	0.0	1.3	45.3	12.2	0.0	10.5	10.5
100	0.15	0.0	0.0	0.2	36.8	71.4	8.7	17.2	17.2
200	0.074	0.0	0.0	0.1	5.3	12.3	3.2	3.3	3.3
Pan	0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.6	6.8	2.5	2.5
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
혼합비		0%	20%	20%	20%	10%	30%	100.0%	

混合骨材粒度分布(Particle Size Distribution of Combined Aggregates)

Sieve Size(mm)	Residue (%)	Residue Acc. (%)	Passing Acc. (%)
0	2.5	100.0	0.0
0.074	3.3	97.5	2.5
0.15	17.2	94.2	5.8
0.3	21.5	77.1	22.9
0.65	25.4	55.6	44.4
1.18	26.3	30.3	69.7
2.36	4.0	4.0	96.0
4.75	0.0	0.0	100.0
10	0.000	0.0	100.0
Total	100.0		



試験者:

그림 3-8. 태안산 석탄회 입도분포시험 결과

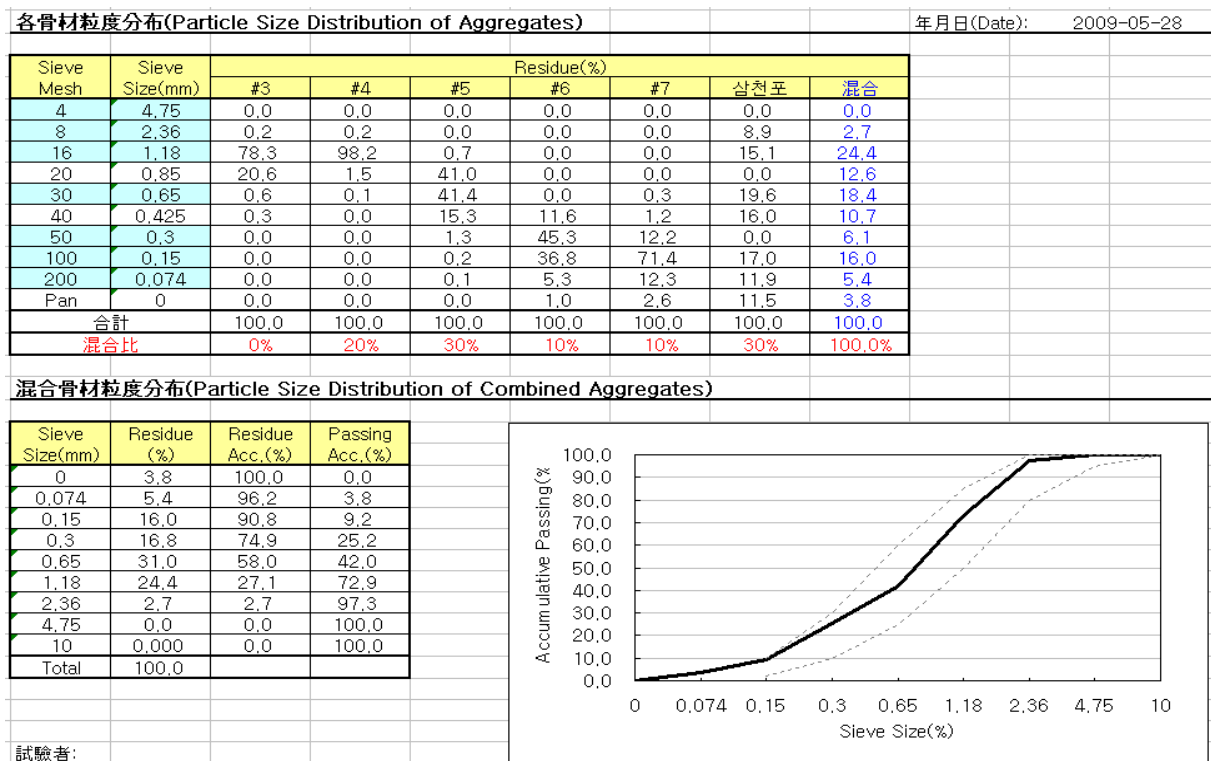


그림 3-9. 삼천포산 석탄회 입도분포시험 결과

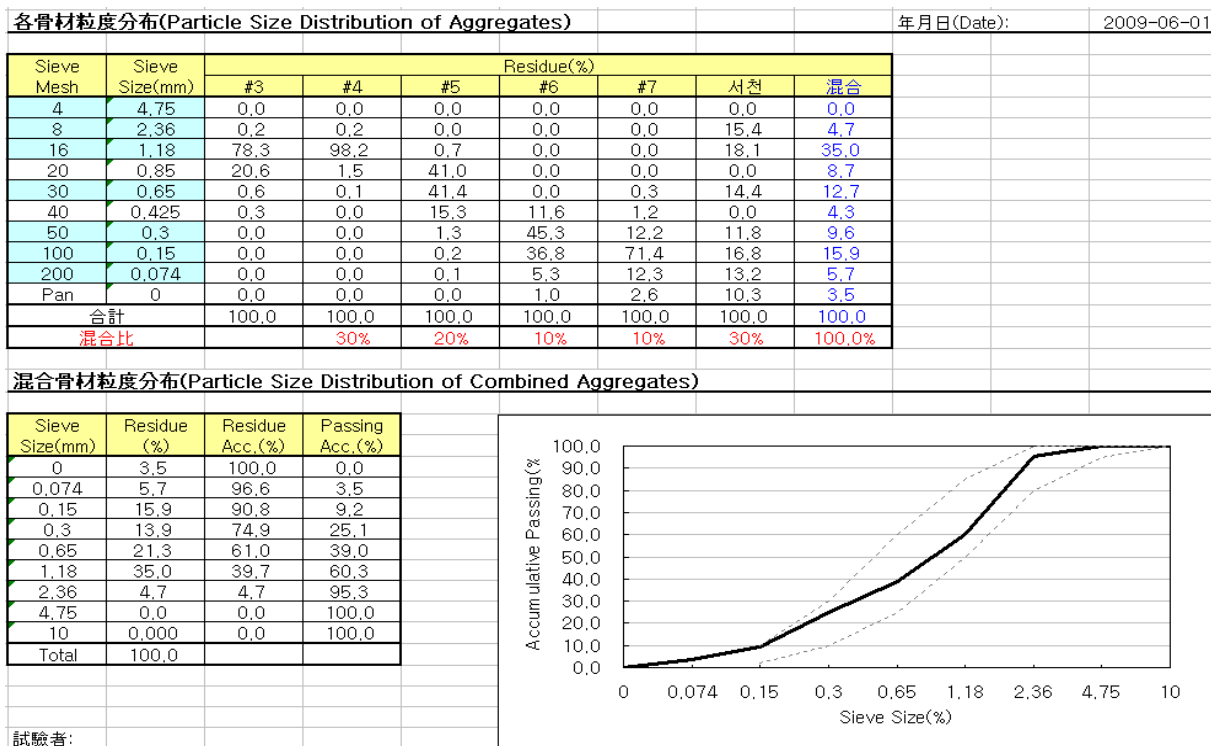


그림 3-10. 서천산 석탄회 입도분포시험 결과

마. 유기물 함량

골재로서의 사용 타당성을 검토하기 위하여 수집된 석탄회의 유기물 함량을 KS F 2104에 따라 시험 분석하였다. 시험방법은 도가니를 연소로에 넣고 서서히 가열하는데, 온도를 700~800℃로 유지하고 시료가 일정 질량이 될 때까지 가열한다. 일반적으로 세립토 및 조립토는 약 2시간, 유기질토는 약 3시간, 이탄토는 약 4시간 가열하는데, 석탄회는 약 2시간 가열하였다. 가열이 끝난 후 도가니를 데시케이터에 넣고 실온으로 냉각한 후 그 질량 $m_b(g)$ 을 측정한다. 측정결과를 아래에 나타내었다.

$$\text{가열 감량(\%)} = \frac{W_a - W_b}{W_a - W_c} \times 100$$

여기에서 W_a : 시료와 도가니의 질량(g)

W_b : 가열 후의 시료와 도가니의 질량(g)

W_c : 도가니의 질량(g)

표 3-30. 석탄회 종류별 유기물 함량

삼천포	동해	태안	서천
0.75 %	0.22 %	0.34 %	0.41 %

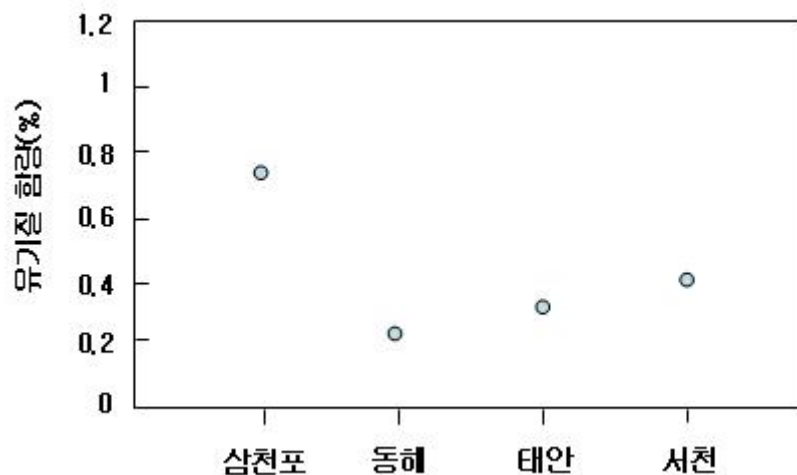


그림 3-11. 석탄회 종류에 따른 유기질 함량 분포

바. 골재안정성

골재로서의 사용 타당성을 검토하기 위하여 수집된 석탄회의 골재 안정성 시험을 KS F 2507에 따라 분석하였으며 결과를 아래에 나타내었다. 황산나트륨(Na_2SO_4)에 의한 골재의 안정성 시험 결과 동해, 태안, 서천 바텀애쉬의 골재 손실율은 11.2 ~ 18.5%의 값으로 나타났다.

표 3-31. 석탄회 종류별 골재 안정성

삼천포	동해	태안	서천
16.2 %	12.1 %	10.7 %	11.5 %

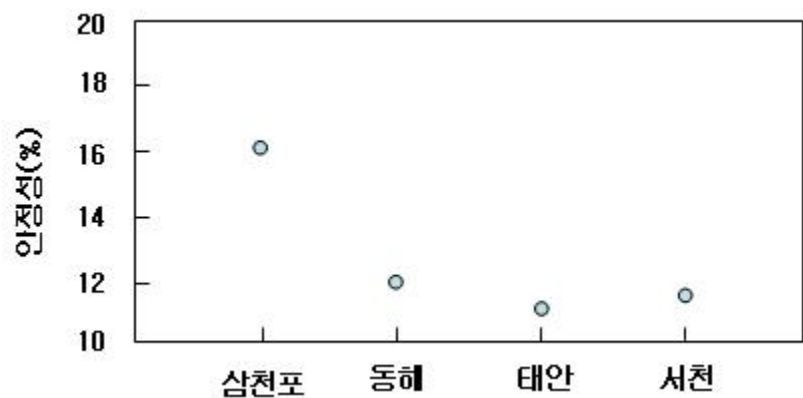


그림 3-12. 석탄회 종류에 따른 골재 안정성 시험 결과 분포

사. 마모감량

재로서의 사용 타당성을 검토하기 위하여 수집된 석탄회의 마모 감량 시험을 KS F 2508에 따라 분석하였으며 결과를 아래에 나타내었으며, 마모감량은 삼천포 42%에서 동해 49% 사이로 도로공사 표준시방서에서 제시한 골재의 품질기준인 50%보다 작게 나타났다.

표 3-32. 석탄회 종류별 마모감량

삼천포	동해	태안	서천
43 %	48 %	43 %	46 %

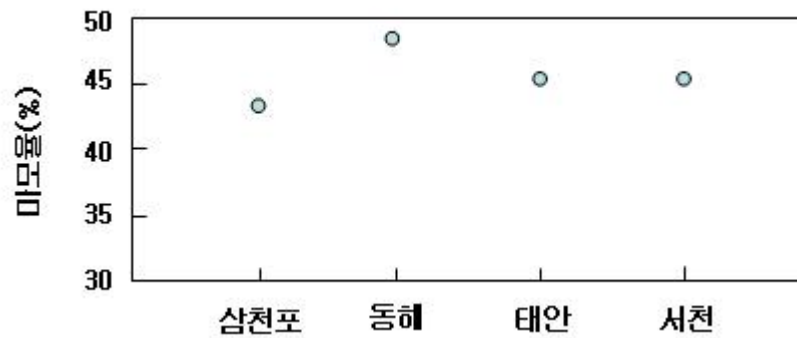


그림 3-13. 석탄회 종류에 따른 마모감량 시험 결과

아. 흡수율

골재로서의 사용 타당성을 검토하기 위하여 수집된 석탄회의 흡수율을 KS F 2504 에 따라 분석하였으며 결과를 아래에 나타내었다. 흡수율은 태안 4.68%에서 삼천포 5.12%로 다소 높은 경향을 보였다.

표 3-33. 석탄회 종류별 흡수율

삼천포	동해	태안	서천
5.09 %	4.99 %	4.71 %	4.85 %

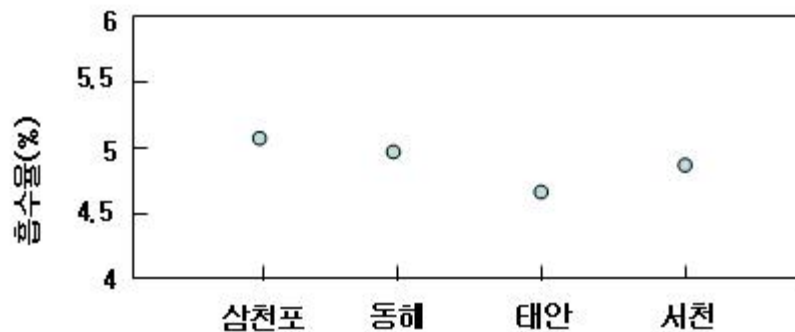


그림 3-14. 석탄회 종류에 따른 흡수율 분포

3. 초속경 무기계결합재(MT) 모르타르 기초시험(S/C=2/1)

가. 가사시간(분)

KS F 4044-'04

10:53 ~ 11:10 0:17

나. 슬럼프 플로우(mm)

KS F 4044-'04

300 315 310

다. 압축강도(N/mm²)

KS F 4042-'07

3시간

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	42300	26.44	<u>30.2</u>
2	50850	31.78	
3	51230	32.02	
4	48790	30.49	
5	52330	32.71	
6	44570	27.86	

7일

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	62820	39.26	<u>43.3</u>
2	72990	45.62	
3	69990	43.74	
4	70340	43.96	
5	68390	42.74	
6	71220	44.51	

28일

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	70470	44.04	<u>51.6</u>
2	72405	45.25	
3	89340	55.84	
4	90120	56.33	

5	89240	55.78	
6	83420	52.14	

$$\text{압축강도(N/mm}^2\text{)} = \text{최대하중(N)} / 1600$$

라. 휨강도(N/mm²)

KS F 4042-'07

3시간

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	강도(N/mm ²)
1	2130	4.98	<u>4.8</u>
2	1980	4.63	
3	2010	4.70	

7일

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	강도(N/mm ²)
1	2410	5.64	<u>6.1</u>
2	2640	6.18	
3	2810	6.58	

28일

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	강도(N/mm ²)
1	3520	8.24	<u>8.2</u>
2	3590	8.40	
3	3420	8.00	

$$\text{휨강도(N/mm}^2\text{)} = \text{최대하중(N)} \times 0.00234$$

마. 부착강도(N/mm²)

KS F 4042-'07

표준조건

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	2350	1.47	<u>1.5</u>
2	2520	1.58	
3	2266	1.42	

침수조건

구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	2100	1.31	<u>1.3</u>
2	2205	1.38	
3	2020	1.26	

열충격 30사이클			
구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	2826	1.77	<u>1.5</u>
2	2205	1.38	
3	2210	1.38	

온냉반복 후 부착강도			
구분	하중(N)	강도(N/mm ²)	평균
1	2569	1.61	<u>1.2</u>
2	1353	0.85	
3	1676	1.05	

$$\text{부착강도(N/mm}^2\text{)} = \text{최대하중(N)} / 1600$$

바. 길이변화율(%)

KS F 4042-'07

$$\begin{aligned}
 & \text{28일} \\
 \textcircled{1} & \frac{(0.001 - 140.151) - (0.001 - 140.271)}{140.151} \times 100 = -0.0856 \\
 \textcircled{2} & \frac{(0.001 - 140.126) - (0.001 - 140.250)}{140.126} \times 100 = -0.0885 \\
 \textcircled{3} & \frac{(0.001 - 140.113) - (0.001 - 140.235)}{140.113} \times 100 = -0.0871
 \end{aligned}$$

평균	<u>-0.09</u>
----	--------------

사. 투수량(g)

KS F 4042-'07

구분	처음무게(g)	나중무게(g)	투수량(g)	평균
1	4198.31	4204.51	6.20	<u>6</u>
2	4178.45	4183.69	5.24	
3	4189.13	4195.67	6.54	

아. 물흡수계수(kg/ m²h^{0.5})

KS F 4042-'07

구분	1	2	평균
물흡수계수	0.243	0.244	<u>0.24</u>

자. 습기투과저항성[Sd(m)]

KS F 4042-'07

1.39

1.36

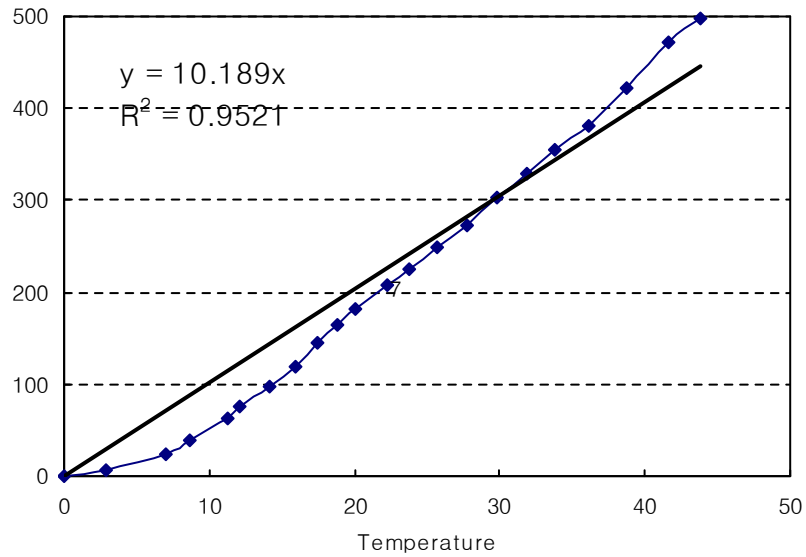
1.4

차. 팽창률(K⁻¹)

KS F 2608-'06

T0	T1	△L/L	ε	α	△T
27.3	27.3	0	2	0.000000E+00	0
27.3	30.2	6	8	2.068966E+00	2.9
27.3	34.3	24	26	3.428571E+00	7
27.3	35.9	38	40	4.418605E+00	8.6
27.3	38.5	62	64	5.535714E+00	11.2
27.3	39.4	75	77	6.198347E+00	12.1
27.3	41.5	97	99	6.830986E+00	14.2
27.3	43.2	120	122	7.547170E+00	15.9
27.3	44.8	144	146	8.228571E+00	17.5
27.3	46.1	164	166	8.723404E+00	18.8
27.3	47.4	182	184	9.054726E+00	20.1
27.3	49.5	207	209	9.324324E+00	22.2
27.3	51	226	228	9.535865E+00	23.7
27.3	53	250	252	9.727626E+00	25.7
27.3	55.1	273	275	9.820144E+00	27.8
27.3	57.1	303	305	1.016779E+01	29.8
27.3	59.1	330	332	1.037736E+01	31.8
27.3	61.1	355	357	1.050296E+01	33.8
27.3	63.4	382	384	1.058172E+01	36.1
27.3	66	421	423	1.087855E+01	38.7
27.3	68.9	471	473	1.132212E+01	41.6
27.3	71.1	498	500	1.136986E+01	43.8

열팽창계수 = 1.0 * 10⁻⁵



카. 내알칼리성 시험 후 압축강도(N/mm²)

KS F 4042-'07

구분	하중(N)	강도(N/mm²)	평균
1	76239	47.65	<u>49.6</u>
2	80120	50.08	
3	79340	49.59	
4	78120	48.83	
5	80120	50.08	
6	82310	51.44	

$$\text{압축강도(N/mm}^2\text{)} = \text{최대하중(N)} / 1600$$

타. 중성화저항성 시험(mm)

KS F 4042-'07

구분	1	2	3	평균	평균
1	1.45	1.78	2.05	1.66	<u>1.7</u>
	1.39	1.25	2.01		
2	1.99	2.01	1.25	1.71	
	1.87	1.80	1.36		
3	1.60	1.55	1.80	1.68	
	1.80	1.60	1.70		

과. 염소이온침투저항성(coulombs)

KS F 4042-'07

구분	1	2	3	평균
통과전하량	7	5	6	<u>6</u>

배합비(중량비)

분말 : 물 = 100 : 35

4. JKR바인더 (MT+Slag) 기초 시험

초속경 무기계결합재의 기초시험 결과 MT는 보수용 초속경시멘트 또는 모르타르에 매우 적합하다고 판단되나 단가가 높기 때문에 대량 공사시 경제적으로 부담이 될 수 있다. 단가를 낮추어 경제성을 높이고, 터널 보수의 특성에 맞는 강한 내구성을 필요로 하는 재료로서 내구성 증진과 장기강도에 효과적인 슬래그를 치환, 사용하여 시험하기로 하고 JKR바인더로 명명하였다.

표 3-34. JKR바인더(MT+Slag) 기초 시험 배합

[단위: m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m³)	분체구성요소(kg/m³)					
			MT	Slag	유동화제	지연제	축진제	소포제
1	30	449	1,496	0	17.95	0.75	0.75	1.50
2	30	449	1,348	150	17.98	0.75	0.75	1.50
3	30	450	1,275	225	18.00	0.75	0.75	1.50
4	30	451	1,202	300	18.02	0.75	0.75	1.50
5	30	451	1,128	376	18.05	0.75	0.75	1.50
6	30	452	1,054	452	18.07	0.75	0.75	1.50

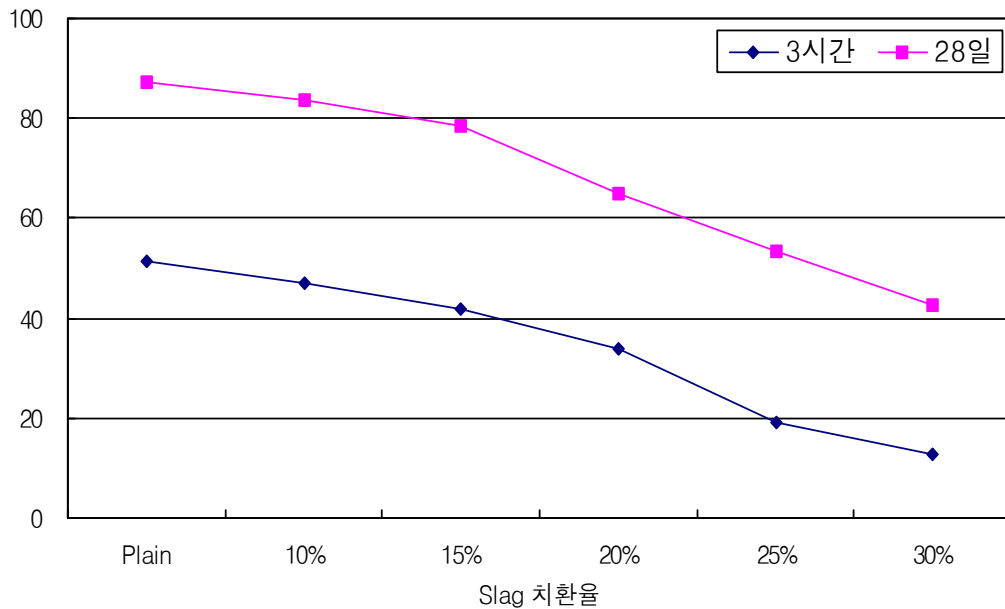


그림 3-15. JKR바인더 압축강도

시험방법은 용기에 초속경 무기계결합재(MT)와 첨가제를 계량하여 넣은 다음 슬래그를 분체 대비 10 ~ 30% 까지 5%씩 증가시키며 각각 투입하였다. 다음으로 모르타르 믹서기를 사용하여 분체 대비 30%의 물을 넣은 후 3분 30초 동안 교반하여 충분히 혼합시켜 주었다. 처음 30초는 1속으로 혼합한 후 다음 30초는 2속으로 혼합한다. 1분간 믹서기를 멈추고 손으로 재료분리가 일어나지 않도록 계속 혼합한 후 믹서기를 사용하여 1분 30초간 2속으로 혼합한다. 교반후의 생성된 시멘트 페이스트를 큐브몰드(50x50x50mm)에 각각 충전한 후 항온항습기에서 표준양생(온도: $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도: 65%)한 다음 탈영하여 3시간, 1일, 7일, 28일 압축강도를 측정하였다. 위 그래프에 3시간과 28일 압축강도를 나타내었다.

그래프에서 보듯이 슬래그의 치환율이 증가할수록 압축강도는 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 슬래그의 특성상 초기강도가 저하하기 때문이며 장기강도(96일 이상)의 측정이 필요할 것으로 보인다. 모르타르에서도 같은 특징이 나타나는지 알아보기 위해 JKR 모르타르 시험을 실시하기로 하였다.

표 3-35. JKR 모르타르 시험 배합

[단위: m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m³)	분체구성요소(kg/ m³)						
			MT	Slag	유동화제	지연제	촉진제	소포제	잔골재
1-1	45	286	635	0	7.62	0.32	0.31	0.64	1270
2-1	45	286	572	64	7.63	0.32	0.32	0.64	1272
3-1	45	286	541	95	7.63	0.32	0.32	0.64	1272
4-1	45	287	509	127	7.64	0.32	0.32	0.64	1274
5-1	45	287	478	159	7.64	0.32	0.32	0.64	1274
6-1	45	287	446	191	7.64	0.32	0.32	0.64	1274
1-2	45	325	722	0	8.67	0.36	0.36	0.72	1445
2-2	45	325	650	72	8.67	0.36	0.36	0.72	1445
3-2	45	325	615	108	8.68	0.36	0.36	0.72	1446
4-2	45	325	579	145	8.68	0.36	0.36	0.72	1446
5-2	45	326	543	181	8.69	0.36	0.36	0.72	1448
6-2	45	326	507	217	8.69	0.36	0.36	0.72	1148
1-3	45	376	836	0	10.03	0.42	0.42	0.84	836
2-3	45	377	753	84	10.04	0.42	0.42	0.84	837
3-3	45	377	711	126	10.04	0.42	0.42	0.84	837
4-3	45	377	670	168	10.06	0.42	0.42	0.84	838
5-3	45	377	629	210	10.06	0.42	0.42	0.84	838
6-3	45	378	587	252	10.07	0.42	0.42	0.84	839

표 3-36. JKR 모르타르 시험 결과

[단위: N/mm²]

S/C	No.	압축강도					
		3시간	1일	7일	28일	유동성	응결시간
2 : 1	1-1	16.70	38.46	46.07	51.84	○	○
	2-1	14.37	35.57	43.49	49.36	○	○
	3-1	12.03	33.50	39.62	46.97	○	○
	4-1	10.92	26.45	33.84	40.03	△	○
	5-1	8.61	22.42	27.12	35.87	X	△
	6-1	4.79	16.58	23.76	30.23	X	△
1.5 : 1	1-2	17.55	43.64	51.22	58.29	○	○
	2-2	15.54	41.05	48.54	53.88	○	○
	3-2	14.09	37.82	44.89	50.54	○	△
	4-2	11.36	30.62	37.06	44.12	○	△
	5-2	9.05	25.77	31.75	39.65	△	△
	6-2	6.18	19.81	27.59	35.10	△	△
1 : 1	1-3	19.18	48.65	55.86	64.54	○	○
	2-3	17.64	45.72	53.07	60.90	○	△
	3-3	16.01	42.99	49.75	55.67	○	△
	4-3	12.77	37.65	41.83	45.12	○	△
	5-3	-	31.53	37.36	42.54	○	X
	6-3	-	22.00	31.55	39.28	△	X

*적합○, 검토△, 부적합X

JKR바인더와 잔골재의 가장 적합한 비율을 찾기 위하여 잔골재와 JKR바인더의 비율을 2 : 1, 1.5 : 1, 1 : 1 총 3가지로 시험하였다. 시험방법은 MT 시험과 동일하게 하였으며 마찬가지로 유동성 시험 및 3시간, 1일, 7일, 28일 압축강도를 측정하였다. 시험결과 슬래그의 치환율이 커질수록 유동성이 저하하여 플로우 수치가 낮아졌다. 이는 슬래그의 분말이 4,000~6,000으로 미분말이며, 물을 머금은 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 생각된다.

다. 비카침 장치를 이용한 응결시간 측정 결과 슬래그의 양이 증가할수록 응결이 지연되었으며 5-3과 6-3은 3시간 지나도록 종결이 되지 않아 3시간 강도를 측정할 수 없었다. 응결시간은 혼화제 조절로 가능할 것으로 보여지며 응결시간 단축에 대한 시험이 필요하다. 또한 슬래그의 치환율이 커질수록 3시간 압축강도는 감소하였으며, 28일 압축강도는 증가하는 MT 시험에서와 같은 양상을 보였다. 골재와 MT의 비가 1 : 1일 때 가장 압축강도가 높았으나 슬래그 치환율이 커질수록 큰 폭으로 감소하였다. 특히 15% 이상 치환하였을 때 압축강도는 크게 저하하였다. 또한 따라서 골재와 시멘트의 비는 1 : 1로 하되 슬래그를 15% 치환하는 것이 가장 적합한 배합으로 도출되었다.

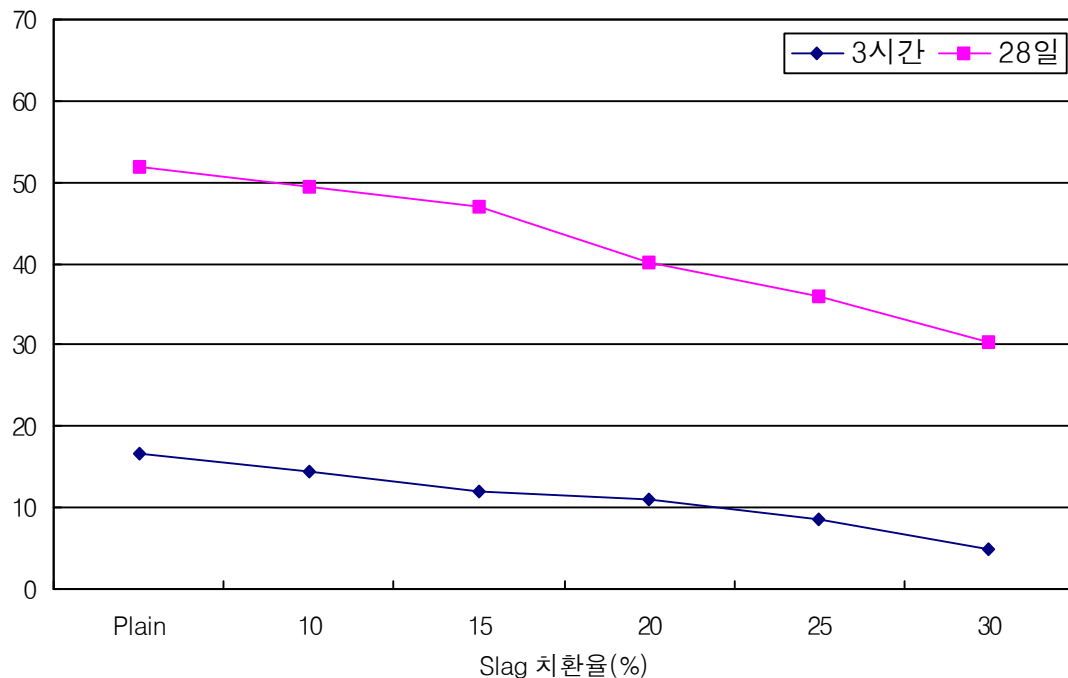


그림 3-16. JKR바인더/모르타르 압축강도(S/C 2:1)

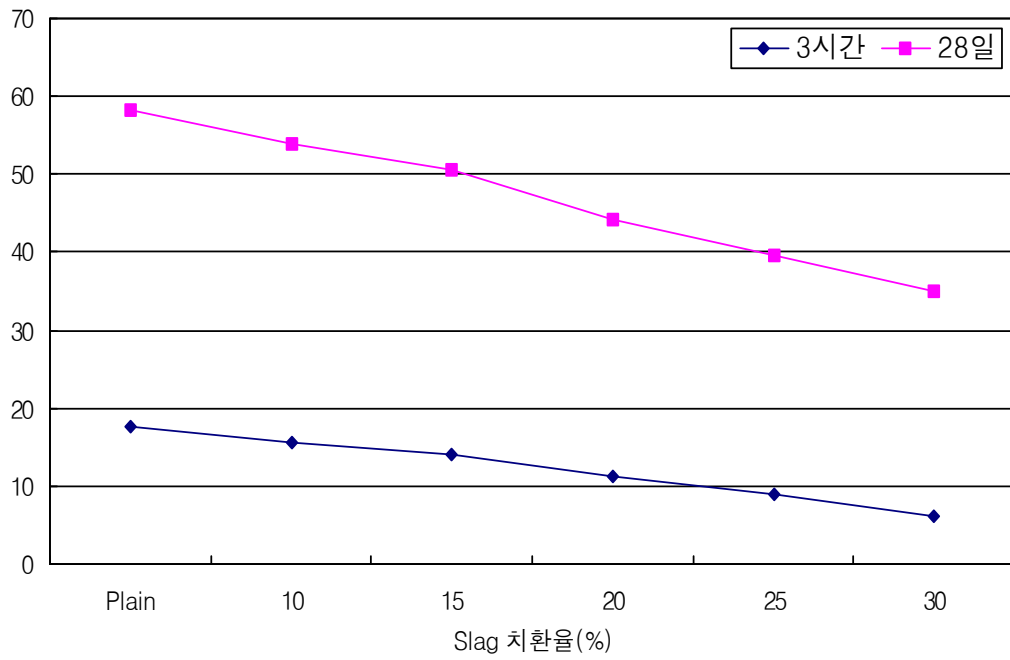


그림 3-17. JKR바인더/모르타르 압축강도(S/C 1.5:1)

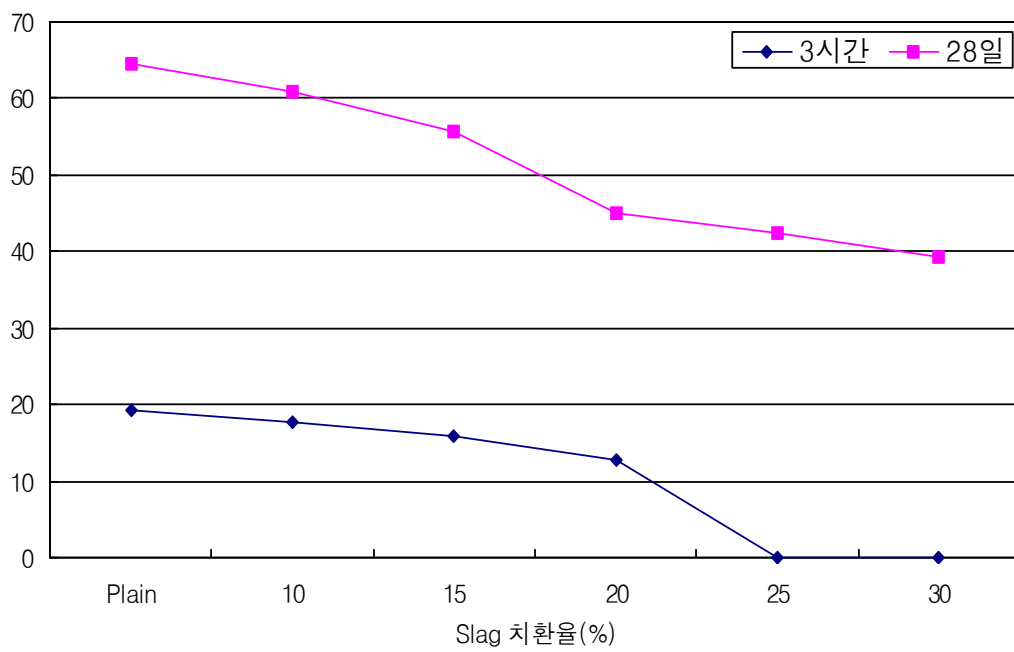


그림 3-18. JKR바인더/모르타르 압축강도(S/C 1:1)

5. MT 모르타르 기본 배합 설계 및 시험

가. 석탄회 산지별 종류에 따른 기초 배합 시험

표 3-37. 플레인 기초 배합 및 시험 결과

[단위: m³]

	석탄회 종류	S/C	W/C (%)	W (kg/m³)	MT (kg/m³)	석탄회 (kg/m³)	유동 화제 (kg/m³)	지연제 (kg/m³)	촉진제 (kg/m³)	소포제 (kg/m³)	SFCA (kg/m³)	잔골재
1	無	2	45	333	593	0	8.9	0.4	0.7	0.4	0.5	1,100
			48	348	580	0	8.7	0.4	0.7	0.4	0.5	1,087
			51	361	567	0	8.5	0.4	0.7	0.4	0.4	1,062

	석탄회 종류	물온도 (°C)	Flow (mm)	응결시간 (min)		휨강도(N/mm²)			압축강도(N/mm²)		
				초결	종결	3시간	7일	28일	3시간	7일	28일
1	無	21	200	43	49	3.2	7.6	8.4	10.4	38.2	46.1
		21	214	47	51	3	7.1	8.1	10	37.7	45.6
		21	230	52	59	2.7	6.9	7.6	9.5	37.2	45.2

표 3-38. 표준규사 체가름 시험 결과

MESH	Size	3호사	4호사	5호사	6호사	7호사	합계
4	4.75mm	0	0	0	0	0	0
8	2.36mm	0.2	0.2	0	0	0	0.1
16	1.18mm	78.3	98.2	0.7	0	0	19.2
20	0.85mm	20.6	1.5	41.0	1.6	0	35.1
30	0.6mm	0.8	0.1	41.4	0	0.1	11.3
40	0.3mm	0.0	0	15.3	11.6	0.6	11.2
50	0.21mm	0.0	0	1.3	45.3	2.6	2.3
100	0.15mm	0.0	0	1.2	36.8	33.7	7.7
200	0.075mm	0.0	0	0.1	5.3	56.2	11.6
PAN		0.0	0	0	1.0	6.8	1.5
합계		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

표 3-39. 서천산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과

[단위: m³]

	석탄회 종류	S/C	W/C (%)	W (kg/m ³)	MT (kg/m ³)	석탄회 (kg/m ³)	유동 화재 (kg/m ³)	지연제 (kg/m ³)	촉진제 (kg/m ³)	소포제 (kg/m ³)	SFCA (kg/m ³)	잔골재
2	서천	2	45	328	583	219	8.8	0.4	0.7	0.4	0.5	874
			48	342	570	214	8.6	0.4	0.7	0.4	0.5	854
			51	356	559	210	8.4	0.4	0.7	0.4	0.4	838

	석탄회 종류	물온도 (℃)	Flow (mm)	응결시간 (min)		휨강도(N/mm ²)			압축강도(N/mm ²)		
				초결	종결	3시간	7일	28일	3시간	7일	28일
2	서천	21	105	25	29	2.8	6.5	7.7	9.8	36.5	45.8
		21	108	29	34	2.7	6.2	7.4	9.1	34.3	40.9
		21	110	34	38	2.4	6	7.2	8.5	30.9	38.4

표 3-40. 서천산 석탄회 체가름 시험 결과

MESH	Size (mm)	1		2		3		4		Average	
4	4.75	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
8	2.36	54.2	13.5%	65.9	16.1%	66.2	15.9%	68.2	16.2%	60.2	15.4%
16	1.18	73.9	18.4%	70.2	17.2%	77.9	18.7%	75.6	18.0%	75.9	18.0%
20	0.85	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
30	0.6	53.1	13.2%	66.3	16.2%	54.3	13.0%	63.2	15.0%	53.7	14.4%
50	0.3	47.2	11.7%	51.3	12.5%	45.6	10.9%	50.2	11.9%	46.4	11.8%
70	0.21	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
100	0.15	75.1	18.7%	62.3	15.2%	72.6	17.4%	66.2	15.7%	73.9	16.8%
200	0.075	56.9	14.1%	52.8	12.9%	55.6	13.3%	53.9	12.8%	56.3	13.3%
PAN		42.1	10.5%	40.3	9.9%	44.9	10.8%	43.1	10.3%	43.5	10.3%
합 계		402.5	100%	409.1	100%	417.1	100%	420.4	100%	409.8	100%

표 3-41. 삼천포산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과

[단위: m³]

	석탄회 종류	S/C	W/C (%)	W (kg/m ³)	MT (kg/m ³)	석탄회 (kg/m ³)	유동 화재 (kg/m ³)	지연제 (kg/m ³)	촉진제 (kg/m ³)	소포제 (kg/m ³)	SFCA (kg/m ³)	잔골재
3	삼천포	2	45	311	553	207	8.3	0.3	0.7	0.3	0.4	829
			48	325	541	203	8.1	0.3	0.7	0.3	0.4	811
			51	335	525	197	7.9	0.3	0.7	0.3	0.4	787

	석탄회 종류	물온도 (℃)	Flow (mm)	응결시간 (min)		휨강도(N/mm ²)			압축강도(N/mm ²)		
				초결	중결	3시간	7일	28일	3시간	7일	28일
3	삼천포	21	x	28	31	1.8	5.4	6.4	8.7	29.9	35.4
		21	105	32	36	1.5	4.9	6.5	8.3	36.9	32.4
		21	112	35	42	1.5	4.8	6.3	7.9	23.6	29.5

표 3-42. 삼천포산 석탄회 체가름 시험 결과

MESH	Size (mm)	1		2		3		4		Average	
4	4.75	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
8	2.36	42.3	9.2%	39.1	8.7%	36.9	8.2%	42.3	9.2%	39.6	8.8%
16	1.18	70.2	15.3%	66.8	14.9%	70.1	15.6%	65.3	14.2%	70.2	15.0%
20	0.85	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
30	0.6	92.6	20.2%	89.0	19.9%	83.9	18.6%	90.2	19.7%	88.3	19.6%
50	0.3	77.3	16.9%	71.6	16.0%	72.3	16.1%	71.3	15.6%	74.8	16.1%
70	0.21	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
100	0.15	74.6	16.3%	79.0	17.6%	77.6	17.2%	77.6	16.9%	76.1	17.0%
200	0.075	47.3	10.3%	56.1	12.5%	55.	12.2%	56.3	12.3%	51.2	11.8%
PAN		53.6	11.7%	46.2	10.3%	54.3	12.1%	55.3	12.1%	54.0	11.5%
합 계		457.9	100%	447.8	100%	450.1	100%	458.3	100%	454.0	100%

표 3-43. 동해산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과

[단위: m³]

	석탄회 종류	S/C	W/C (%)	W (kg/m ³)	MT (kg/m ³)	석탄회 (kg/m ³)	유동 화재 (kg/m ³)	지연제 (kg/m ³)	촉진제 (kg/m ³)	소포제 (kg/m ³)	SFCA (kg/m ³)	잔골재
4	동해	2	45	328	582	218	8.7	0.4	0.7	0.4	0.5	873
			48	342	570	214	8.5	0.4	0.7	0.4	0.4	854
			51	355	557	209	8.4	0.3	0.7	0.3	0.4	835

	석탄회 종류	물온도 (℃)	Flow (mm)	응결시간 (min)		휨강도(N/mm ²)			압축강도(N/mm ²)		
				초결	종결	3시간	7일	28일	3시간	7일	28일
4	동해	21	100	32	37	3.5	8.7	8.9	11.3	45.7	58
		21	120	37	41	3.2	8.4	8.5	10.8	40.8	50.7
		21	150	39	44	3	8.1	8.1	10.5	38	42.4

표 3-44. 동해산 석탄회 체가름 시험 결과

MESH	Size (mm)	1		2		3		4		Average	
4	4.75	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
8	2.36	101.0	27.2%	107.2	27.7%	113.5	28.9%	104.5	26.7%	107.3	27.6%
16	1.18	113.2	30.5%	112.3	29.0%	111.1	28.3%	116.0	29.7%	112.2	29.4%
20	0.85	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
30	0.6	71.2	19.2%	75.0	19.4%	72.6	18.5%	77.6	19.9%	71.9	19.2%
50	0.3	37.0	10.0%	34.2	8.8%	37.8	9.6%	35.2	9.0%	37.4	9.4%
70	0.21	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
100	0.15	22.0	5.9%	28.0	7.2%	26.6	6.8%	27.3	7.0%	24.3	6.7%
200	0.075	16.1	4.3%	17.5	4.5%	16.6	4.2%	17.1	4.4%	16.4	4.4%
PAN		11.2	3.0%	12.8	3.35	14.6	3.7%	13.1	3.4%	12.9	3.3%
합 계		371.7	100%	387.0	100%	392.8	100%	390.8	100%	382.3	100%

표 3-45. 태안산 석탄회 기초 배합 및 시험 결과

[단위: m³]

	석탄회 종류	S/C	W/C (%)	W (kg/m³)	MT (kg/m³)	석탄회 (kg/m³)	유동 화재 (kg/m³)	지연제 (kg/m³)	촉진제 (kg/m³)	소포제 (kg/m³)	SFCA (kg/m³)	잔골재
5	태안	2	45	324	576	216	8.6	0.4	0.7	0.4	0.5	864
			48	338	563	211	8.4	0.4	0.7	0.4	0.4	844
			51	355	557	209	8.4	0.3	0.7	0.3	0.4	835

	석탄회 종류	물온도 (°C)	Flow (mm)	응결시간 (min)		휨강도(N/mm²)			압축강도(N/mm²)		
				초결	종결	3시간	7일	28일	3시간	7일	28일
5	태안	21	105	29	32	3.3	6.9	7.8	10.7	38.8	47.8
		21	130	34	38	3.1	6.6	7.2	10	35.6	42.1
		21	150	36	43	3	6.4	6.9	9.5	33.8	37.2

표 3-46. 태안산 석탄회 체가름 시험 결과

MESH	Size (mm)	1		2		3		4		Average	
4	4.75	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
8	2.36	59.3	12.7%	60.4	12.9%	61.2	13.3%	62.0	13.3%	60.3	13.1%
16	1.18	98.0	21.0%	103.5	22.1%	99.4	21.6%	101.6	21.9%	98.7	21.7%
20	0.85	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
30	0.6	139.2	29.9%	129.5	27.7%	128.2	27.9%	130.2	28.0%	133.7	28.45
50	0.3	81.1	17.4%	81.6	17.5%	87.2	18.9%	86.9	18.7%	84.2	18.1%
70	0.21	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
100	0.15	40.0	8.6%	41.5	8.9%	39.4	8.6%	40.2	8.7%	39.7	8.7%
200	0.075	15.0	3.2%	17.3	3.7%	15	3.3%	14.6	3.1%	15.0	3.3%
PAN		33.2	7.1%	33.5	7.2%	29.8	6.5%	29.0	6.2%	31.5	6.8%
합 계		465.8	100%	467.3	100%	460.2	100%	464.5	100%	463.0	100%

본 연구 과제에 적합한 석탄회를 선택하기 위하여 석탄회 산지별로 시험하였다. MT와 잔골재는 1 : 2 비율로 하였고, 석탄회는 표준입도분포를 결과에 맞추어 잔골재의 30%를 치환하였다. 시험은 작업성과 가사시간을 위한 플로우 값과 응결시간 측정을 하였으며, 3연형 빔볼드(40x40x160mm)를 사용하여 3시간, 7일, 28일의 휨강도와 압축강도를 측정하였다.

석탄회의 물을 많이 머금은 특성을 고려하여, 물·시멘트 비를 45%, 48%, 51%로 늘려가며 시험하였다. 먼저 플로우 측정 결과 동해와 태안은 150mm으로 좋은 유동성을 보여주고 있는 반면 삼천포는 112mm, 서천은 110mm로 유동성이 현저히 떨어졌다. 이는 표준입도분포에서 불안정한 곡선이 유동성에 영향을 미쳤기 때문으로 보여진다. 응결시간은 30~40분 내외로 모두 비슷한 결과를 나타내었다. 물·시멘트 비 51%, 양생 28일을 기준으로 휨강도는 동해(8.1N/mm²), 압축강도 역시 동해(42.4N/mm²)가 가장 높게 측정되었다. 시험결과에 따라 동해산과 태안산 석탄회가 적합하다고 판단되며 태안산이 동해산에 비해 휨강도와 압축강도가 약간 떨어지지만 위치가 가장 근거리이며, 보유하고 있는 양도 가장 많기 때문에 태안산 석탄회를 주 재활용 자재로 사용하기로 결정하였다.

6. 유동성 확보 시험

터널 보수보강시 현장에서 작업에 충분히 용이한 작업성을 위해 유동성을 유지해 주어야 한다. 이를 위하여 여러번의 예비 시험을 통하여 프리 플로우 250mm 이상을 목표로 설정하였다. MT와 잔골재의 비율은 예비시험에서 1 : 2, 1 : 1.5, 1 : 1 3가지 경우로 시험하여 본 결과 1 : 1 비율이 작업성 면에서 가장 우수하여 MT와 잔골재의 비는 1 : 1로 결정되었다.

먼저 용기에 초속경 무기계결합재(MT)와 잔골재, 첨가제를 계량하여 넣은 다음 석탄회 종류별 시험에서 가장 적합하다고 판단된 태안산 석탄회를 10 ~ 35% 까지 증가시키며 각각 투입하였다. 다음으로 모르타르 믹서기를 사용하여 시멘트 분체 대비 30%의 물을 넣은 후 3분 30초 동안 교반하여 충분히 혼합시켜 주었다. 처음 30초는 1속으로 혼합한 후 다음 30초는 2속으로 혼합한다. 1분간 믹서기를 멈추고 손으로 재료분리가 일어나지 않도록 계속 혼합한 후 믹서기를 사용하여 1분 30초간 2속으로 혼합한다.

교반 후의 생성된 시멘트 페이스트를 플로우 콘에 채운 후 타격 및 기타 외력을 가하지 않고 그대로 들어 올려 프리 플로우 값을 측정한다. 목표치인 250mm 이상을 만족하

기 위해 혼화제량을 증가시키면서 물·시멘트비에 변화를 주며 시험하였다. 그림 3-18.에 유동성 확보 시험 과정을 나타내었다.



그림 3-19. 유동성 확보 시험 과정

표 3-47. 유동성 확보를 위한 프리 플로우 시험 배합

[단위: m^3]

No.	W/C (%)	물 (kg/m^3)	분체 구성 요소(kg/m^3)								Flow (mm)
			MT	석탄회	유동화제	지연제	촉진제	소포제	SFCA	잔골재	
1	30	323	922	-	-	-	-	-	-	922	250
2	30	318	907	181	-	-	-	-	-	726	235
3	30	315	901	270	-	-	-	-	-	631	205
4	30	313	894	358	-	-	-	-	-	536	200

5	30	310	887	443	-	-	-	-	-	443	150
6	30	308	881	528	-	-	-	-	-	352	100
7	30	306	875	612	-	-	-	-	-	262	100
8	30	311	889	356	5.33	0.89	0.89	0.89	0.44	534	140
9	30	311	888	355	7.10	0.89	0.89	0.89	0.44	533	160
10	30	310	887	355	8.87	0.89	0.89	0.89	0.44	532	175
11	30	310	886	354	10.63	0.89	0.89	0.89	0.44	531	190
12	30	310	884	354	12.38	0.88	0.88	0.88	0.44	530	190
13	30	309	882	353	14.11	0.88	0.88	0.88	0.44	529	195
14	30	311	889	356	5.33	0.89	0.44	0.89	0.44	534	135
15	30	311	888	355	7.10	0.89	0.44	0.89	0.44	533	155
16	30	310	887	355	8.87	0.89	0.44	0.89	0.44	532	170
17	30	310	886	354	10.63	0.89	0.44	0.89	0.44	531	190
18	30	310	884	354	12.38	0.88	0.44	0.88	0.44	530	185
19	30	309	882	353	14.11	0.88	0.44	0.88	0.44	529	185
20	30	311	889	356	5.33	0.44	0.89	0.89	0.44	534	170
21	30	311	888	355	7.10	0.44	0.89	0.89	0.44	533	190
22	30	310	887	355	8.87	0.44	0.89	0.89	0.44	532	200
23	30	310	886	354	10.63	0.44	0.89	0.89	0.44	531	210
24	30	310	884	354	12.38	0.44	0.88	0.88	0.44	530	215
25	30	309	882	353	14.11	0.44	0.88	0.88	0.44	529	215
26	30	311	889	356	5.33	0.44	0.89	0.89	0.53	534	175
27	30	311	888	355	7.10	0.44	0.89	0.89	0.53	533	190
28	30	310	887	355	8.87	0.44	0.89	0.89	0.53	532	205
29	30	310	886	354	10.63	0.44	0.89	0.89	0.53	531	220
30	30	310	884	354	12.38	0.44	0.89	0.89	0.53	530	215
31	30	309	882	353	14.11	0.44	0.89	0.89	0.53	529	215
32	32	291	910	364	10.92	0.45	0.91	0.91	0.55	546	240
33	34	306	893	357	10.71	0.45	0.89	0.89	0.54	536	250

34	36	316	877	351	10.53	0.44	0.88	0.88	0.53	526	260
35	38	328	863	345	10.35	0.43	0.86	0.86	0.52	518	265
36	40	339	847	339	10.17	0.42	0.85	0.85	0.51	508	270
37	42	350	834	334	10.01	0.42	0.83	0.83	0.50	500	280

먼저 다른 첨가제 없이 초속경 무기계결합재(MT)와 잔골재, 석탄회만을 혼합하여 물·시멘트비 30%로 시험하였다. 석탄회는 10 ~ 35%로 5%씩 증가시키며 시험한 결과 석탄회가 증가함에 따라 유동성은 점진적으로 감소하였으며 치환율이 30% 이상이 되자 플로우값 100mm으로 유동성을 보이지 않았다. 시험 결과 석탄회는 치환율이 20% 이하에서 작업이 가능한 유동성을 나타내므로 이를 바탕으로 목표치인 250mm 이상의 값을 도출하기 위해 혼화제를 첨가하는 시험을 실시하기로 하였다.

지연제, 촉진제, 소포제와 분리저감제인 SFCA의 첨가량을 고정하고 유동화제를 5.33 ~ 14.11g 까지 0.2%씩 증가시키며 시험하였다. 이때 유동화제는 2% 이내에서 변화하도록 주의하였다. 나프탈렌계인 파워콘은 기포가 많이 발생하여 시험체에 공극이 많이 발생한 바 기포발생 문제를 해결하고 유동성을 증가시키기 위해 멜라민계인 멜멘트 F10으로 교체하여 시험하였고 그 결과 기포 발생이 많이 감소하면서 유동성 또한 증가하였다. 그래프에서 보듯이 유동화제가 증가함에 따라 유동성 증가로 플로우 값이 늘어났으나, 1.4%부터는 더 이상 증가하지 않고 정체하거나 오히려 값이 감소하였다. 이 시험 결과에 따라 유동화제는 10.0g(1.2%) 선이 적합하다는 결론을 얻을 수 있다. 지연제를 0.9g에서 0.4g로 변화시켜 시험하였지만 큰 차이를 보이지는 않았으며, SFCA는 0.44g에서 0.01% 증가시켜 0.53g으로 변화시킨 결과 플로우값에는 영향을 주지 못하였으나 블리딩은 현저히 줄어들었다. 혼화제 개별 변화 시험으로 플로우값은 일정부분 220mm까지 증가하였으나 목표치인 250mm에 만족하지 못했기 때문에 물·시멘트비에 변화를 주어 다시 시험을 실시하였다.

물의 양을 증가시키며 시험하였으며(No. 32~37) 결과를 그래프로 나타냈다. 물의 양이 증가할수록 플로우값 또한 크게 증가하였으며, 물·시멘트비 36%부터는 250mm 이상의 값을 측정할 수 있었다. 그러나 물·시멘트비 38% 이상 치환하였을 경우에 재료분리가 심하여 블리딩 현상이 일어났다. 재료분리나 블리딩 현상은 강도에 큰 영향을 미치기 때문에 물·시멘트비는 34%와 36%가 가장 적합하다고 결론지었다.

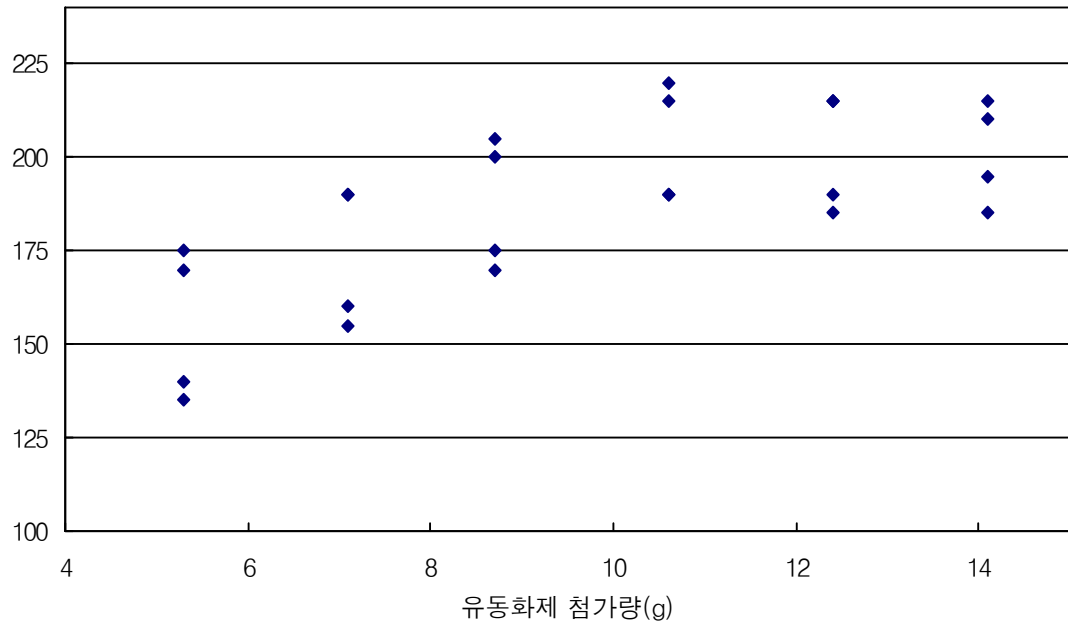


그림 3-20. 유동화제 첨가량에 따른 프리 플로우

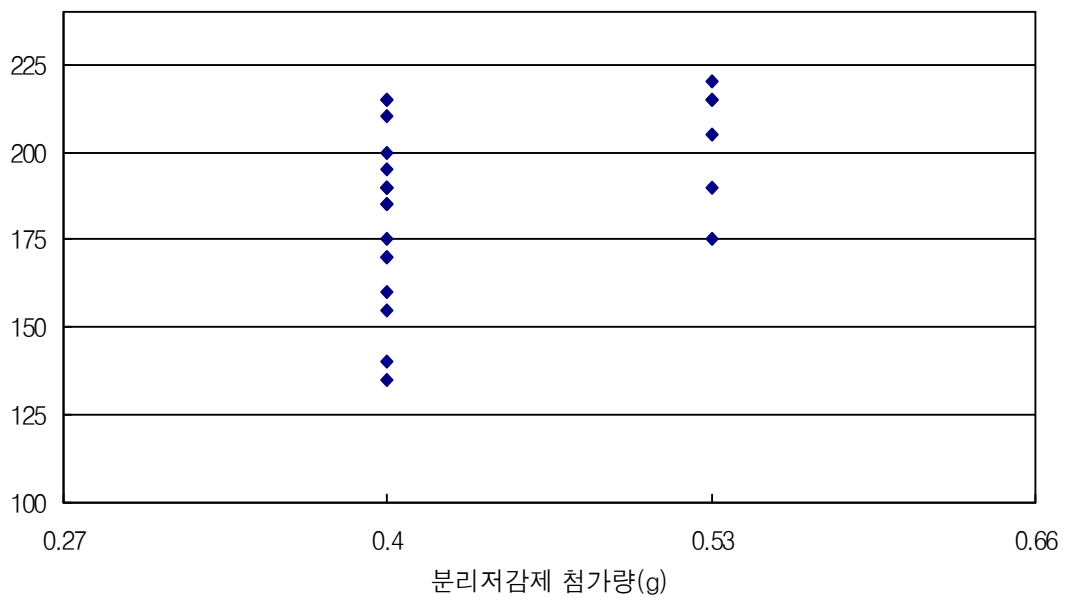


그림 3-21. 분리저감제 첨가량에 따른 프리 플로우

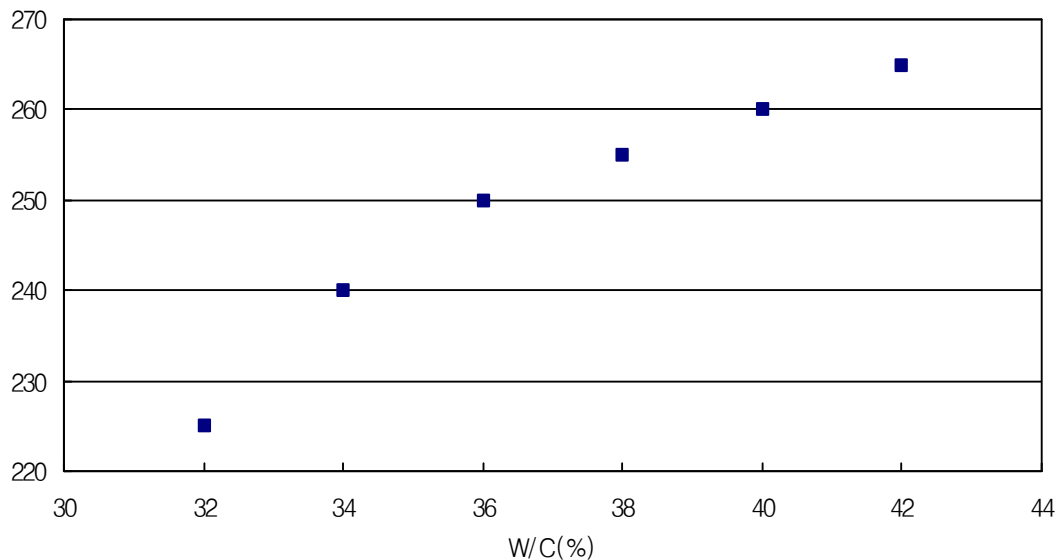


그림 3-22. 물·시멘트비에 따른 프리 플로우

7. 작업시간 확보 시험(응결시험)

터널 현장에서 보수보강 작업시 작업성을 위한 유동성뿐만 아니라 가사시간도 일정한 시간 이상 유지되어야 한다. 터널 보수보강시 협소한 공간에서 작업이 이루어지는 경우도 발생하기 때문에 충분한 가사시간을 고려하여 20℃ 조건에서는 초결 30분 이상 종결 80분 이하로, 5℃에서는 초결 40분 이상을 목표값으로 설정하였다.

시험방법은 유동성 시험과 동일하게 교반하여 JKR 모르타르를 제조한 다음 KS L 5108 비카트 침 시험 방법에 따라 초결 및 종결 시간을 측정하였다. 물·시멘트비는 앞서 시험한 결과 34%와 36% 중에서 36%가 더 우수한 플로우 값을 보였으므로 작업성을 고려하여 물·시멘트비 36%에서 실시하였다. 응결시간 조절을 위하여 유동화제, 지연제, 촉진제, 소포제와 분리저감제를 여러 가지 배합으로 달리하여 시험하였다. 또한 열악한 기후 조건(5℃ 이하)에서 응결시간이 어떤 영향을 받는지 알아보기 위한 시험도 실시하였다. 이를 위해 표준조건(온도 20±2℃, 습도 65%)과 저온조건(온도 5℃, 습도 50%) 두 가지 경우로 나누어 시험하였다.

유동화제 첨가량은 앞에서 시험한 결과에 따라 1.2%를 사용하였으며, 분리저감제는 블리딩을 고려하여 0.06%를 사용하였다. 표에 작업시간 확보를 위한 시험배합과 이에 대한 비카트 침 시험결과를 나타내었다. 지연제 양을 0.02%씩 늘리며 4가지 조건에서와 촉진

제 3가지 조건에서 시험을 실시하였다.

온도를 5℃로 낮추어 시험한 저온 조건에서의 결과는 표준조건일 때에 비하여 응결시간이 2 ~ 3배 정도 지연되는 결과를 보였다. 이는 온도가 낮아짐에 따라 수화반응이 천천히 작용하여 수화열 발생이 늦어짐에 따라 응결시간도 늦어지는 것으로 보인다.



그림 3-23. 응결시간 측정 모습

표 3-48. 작업 시간 확보를 위한 응결시험 배합

[단위: m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m³)	분체 구성 요소(kg/m³)							
			MT	석탄회	유동화제	지연제	촉진제	소포제	SFCA	잔골재
1	36	316	877	351	10.5	0.44	0.58	0.88	0.53	526
2	36	316	877	351	10.5	0.44	0.73	0.88	0.53	526
3	36	316	877	351	10.5	0.44	0.87	0.88	0.53	526
4	36	316	877	351	10.5	0.58	0.58	0.88	0.53	526
5	36	316	877	351	10.5	0.58	0.73	0.88	0.53	526
6	36	316	877	351	10.5	0.58	0.87	0.88	0.53	526
7	36	316	877	351	10.5	0.73	0.58	0.88	0.53	526
8	36	316	877	351	10.5	0.73	0.73	0.88	0.53	526
9	36	316	877	351	10.5	0.73	0.87	0.88	0.53	526

10	36	316	877	351	10.5	0.87	0.58	0.88	0.53	526
11	36	316	877	351	10.5	0.87	0.73	0.88	0.53	526
12	36	316	877	351	10.5	0.87	0.87	0.88	0.53	526

표 3-49. 작업 시간 확보를 위한 응결시험 결과

[단위: 분]

No.	20℃		5℃	
	초결	종결	초결	종결
1	37	41	58	72
2	36	39	55	68
3	34	37	54	63
4	53	56	87	121
5	48	52	80	100
6	45	48	72	94
7	68	72	118	150
8	67	70	104	141
9	64	67	92	132
10	90	97	137	177
11	88	92	125	168
12	84	89	121	158

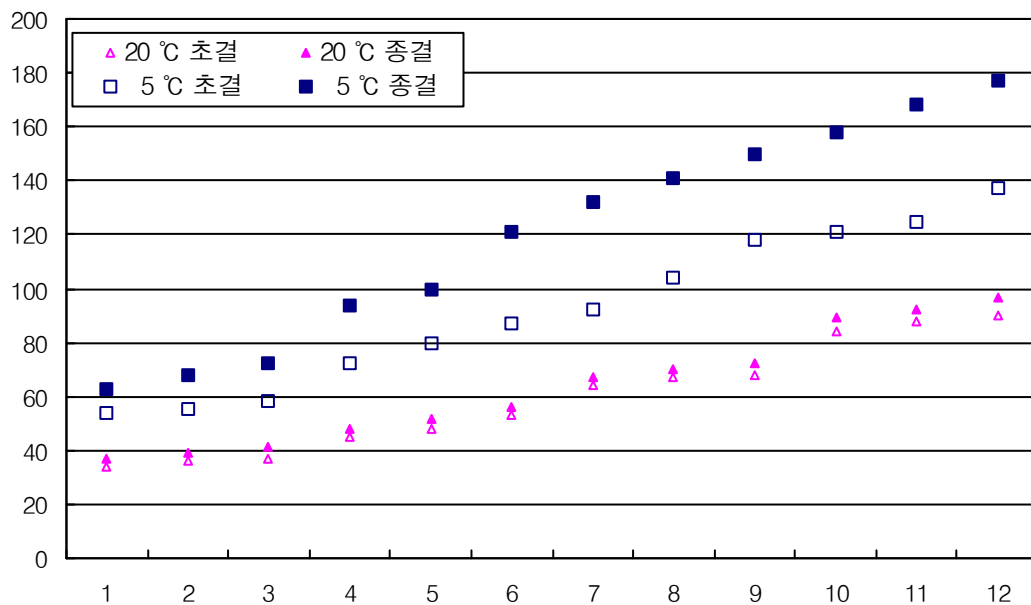


그림 3-24. 양생 조건에 따른 응결시험 결과

8. 압축강도 및 휨강도 시험

JKR 모르타르는 열악한 기후 조건(동절기)에서 시공하여도 높은 강도를 발현하는 것을 목표로 한다. 따라서 5℃ 조건에서 3시간 양생 후 압축강도 6N/mm² 이상, 28일 양생 후 40N/mm² 이상의 강도 발현을 목표로 설정하였다. 압축강도 3시간 값을 만족하기 위해서 3시간 내에 완전히 응결되어야 하기 때문에 위 시험 결과를 토대로 분체대비 지연제 0.07%, 촉진제 0.1%로 혼화제의 양을 결정하였다. 또한 시멘트의 원료 및 토목용 재료로 널리 사용되고 있는 슬래그를 첨가하여 내구성 증대와 원가 절감을 도모하였다. 슬래그를 치환함으로써 장기강도가 발현뿐만 아니라 내해수성이 증대되는 효과를 얻을 수 있다. 이번 과제 대상 목적물이 수리구조물인 수로터널의 벽체 및 바닥재의 보수보강이니만큼 해수에 대한 저항성을 고려하지 않을 수 없다.

먼저 유동성 확보 시험 및 작업시간 확보 시험과 동일한 방법으로 JKR 모르타르를 만든 후 이를 3연형 몰드(40x40x160mm)에 채운 다음 양생하였다. 양생조건은 표준양생(온도: 20±2℃, 습도: 65%)과 저온양생(온도: 5℃, 습도: 50%)두 경우로 하였다. 이는 동절기(5℃ 이하) 시공시에 평균기온(20±2℃)에서 시공한 것보다 강도가 얼마나 저하되는지 비교하기 위해서이다. 석탄회는 5%씩 줄이고 슬래그를 5%씩 늘려서 석탄회와 슬래그를 합한 양이 30%가 되도록 치환하여 시험하였다. 조건에 따른 양생 후 3시간, 1일, 7일, 28일의 압축강도 및 휨강도를 측정하였다. 다음 사진에 시험체 양생 모습과 압축강도 및 휨강도 측정 모습을 나타내었다.



표준양생(온도: 20±2℃, 습도: 65%)



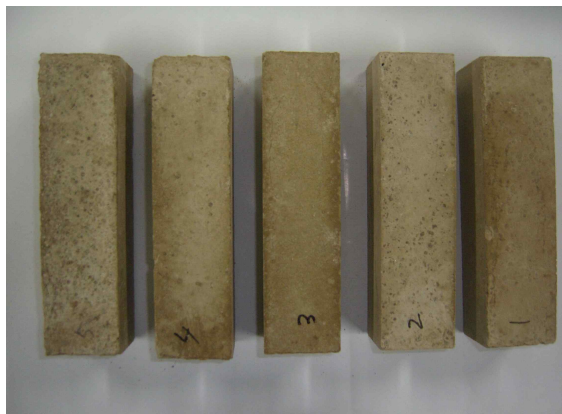
저온양생(온도: 5℃, 습도: 50%)



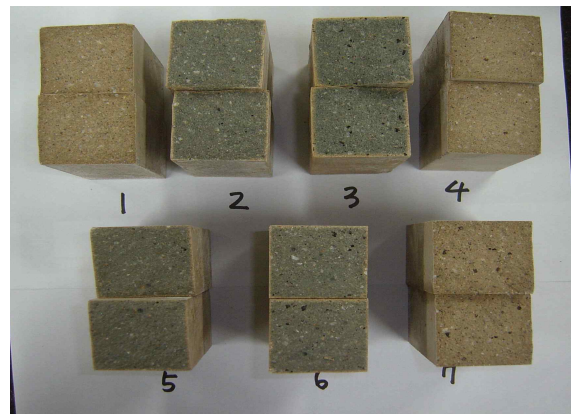
휨강도 측정



압축강도 측정



JKR 모르타르 시험체



휨강도 측정 후 시험체 단면

그림 3-25. 강도 측정용 시험체 양생 모습 및 강도 측정 모습

표 3-50. 석탄회와 Slag의 치환율

양생조건	석탄회 : Slag 비율	석탄회 (%)	Slag (%)
대기양생 온도: 20±2℃ 습도: 65%	-	0	30
	1 : 5	5	25
	1 : 2	10	20
	1 : 1	15	15
	2 : 1	20	10
	5 : 1	25	5
항온항습양생 온도: 5℃ 습도: 50%	-	0	30
	1 : 5	5	25
	1 : 2	10	20
	1 : 1	15	15
	2 : 1	20	10
	5 : 1	25	5

동일한 배합과 조건으로 물·시멘트비 34%와 36% 시험

표 3-51. 석탄회와 슬래그의 치환 시험 배합

[단위 m^3]

No.	W/C (%)	물 (kg/m^3)	분체 구성 요소(kg/m^3)								
			MT	석탄회	Slag	유동화제	지연제	촉진제	소포제	SFCA	잔골재
1	36	327	635	0	272	10.89	0.60	0.91	0.91	0.54	907
2	36	325	678	45	226	10.84	0.60	0.90	0.90	0.54	858
3	36	324	719	90	180	10.79	0.60	0.90	0.90	0.54	809
4	36	322	761	134	134	10.74	0.60	0.90	0.90	0.54	761
5	36	321	802	178	89	10.70	0.60	0.89	0.89	0.53	713
6	36	320	844	222	44	10.66	0.60	0.89	0.89	0.53	666
7	34	315	647	0	277	11.09	0.62	0.92	0.92	0.55	924
8	34	313	689	46	230	11.03	0.61	0.92	0.92	0.55	873
9	34	311	732	92	183	10.98	0.61	0.92	0.92	0.55	824
10	34	310	775	137	137	10.94	0.61	0.91	0.91	0.55	775
11	34	308	816	181	91	10.89	0.60	0.91	0.91	0.54	726
12	34	307	858	226	45	10.84	0.60	0.90	0.90	0.54	678

표 3-52. 압축강도 측정 결과

[단위 N/mm^2]

No.	20℃				5℃			
	3시간	1일	7일	28일	3시간	1일	7일	28일
1	11.65	19.90	29.92	43.36	3.74	15.28	27.66	37.11
2	13.33	22.76	33.57	44.89	5.86	19.33	30.48	40.82
3	16.44	26.52	35.31	47.54	6.98	22.61	32.91	44.69
4	17.06	28.83	38.88	52.47	8.49	25.91	39.83	49.52

5	18.37	30.05	36.70	49.13	9.16	24.59	34.27	46.64
6	17.40	29.54	34.97	46.56	8.84	23.95	33.86	40.27
7	13.57	27.43	35.66	46.82	5.34	18.28	30.64	37.51
8	16.20	29.56	36.19	48.67	7.75	23.33	33.94	43.96
9	18.34	32.79	40.52	51.24	9.18	24.61	35.62	48.65
10	21.87	35.54	43.30	55.61	10.04	28.54	38.73	50.61
11	22.99	35.93	38.88	52.15	10.22	27.40	37.25	48.25
12	24.17	34.78	37.97	47.68	9.62	26.88	35.68	43.57

표 3-53. 휨강도 측정 결과

[단위 N/mm²]

No.	20℃				5℃			
	3시간	1일	7일	28일	3시간	1일	7일	28일
1	2.99	4.58	5.04	5.61	1.49	3.14	4.37	6.39
2	3.57	4.98	5.63	6.03	1.62	3.83	4.52	7.88
3	3.89	5.21	6.22	6.87	1.85	4.36	5.58	7.62
4	4.26	6.15	7.34	7.94	2.05	5.58	6.82	8.75
5	4.50	5.92	7.71	7.86	2.18	5.64	6.60	8.62
6	4.16	5.58	6.89	6.75	2.24	5.07	6.17	8.40
7	3.45	4.32	6.28	6.86	1.53	4.08	5.23	7.43
8	3.89	5.18	6.95	7.25	1.72	4.75	5.67	8.26
9	4.13	5.54	7.52	7.91	1.94	5.53	6.58	8.82
10	4.92	6.18	8.34	8.85	2.30	6.25	7.86	9.51
11	5.13	6.30	8.10	8.43	2.23	6.43	7.52	8.16
12	4.80	5.83	7.87	8.66	2.27	6.17	7.09	8.95

위 표 3-54의 배합으로 석탄회와 슬래그를 치환하여 시험하였다. 아래 그래프에 나타냈듯이 20℃에서 양생한 시험체와 5℃에서 양생한 시험체의 측정값을 비교하였을 때, 3시간 압축강도가 표준양생 조건에서는 목표치 6N/mm²를 모두 만족하였으나 저온양생조건에서는 압축강도가 약 8 ~ 10N/mm² 정도 저하되어 목표치를 만족하지 못하였다. 따라서 강도 증진을 위하여 물·시멘트비를 2% 줄인 34% 배합을 시험하였으며, 이 결과 목표치를 상회하였다. 물·시멘트비 감소에 따른 작업성 저하를 우려하였으나 슬래그를 치환하여 첨가됨으로써 유동성이 증가하여 작업성 또한 어려움이 없었다. 저온양생조건에서 양생한 시험체는 단기강도(3시간, 1일)가 표준양생조건에서 양생한 시험체에 비하여 약 8 ~ 10N/mm² 정도로 크게 저하되었으나, 장기강도(7일, 28일)는 약 2 ~ 5N/mm² 정도 약간 저하되거나 거의 비슷한 값을 보였다. 이는 당사의 속경성 무기결합재의 강도 발현 특성의 우수함을 증명하는 것이라 생각된다.

목표를 모두 만족한 배합은 4번과 10번, 11번 배합으로 석탄회와 슬래그는 1 : 1 배합으로 치환한 10번 배합이 가장 높은 압축강도를 보였다. 높은 압축강도의 시험체가 휨강도 역시 높게 측정되었다.

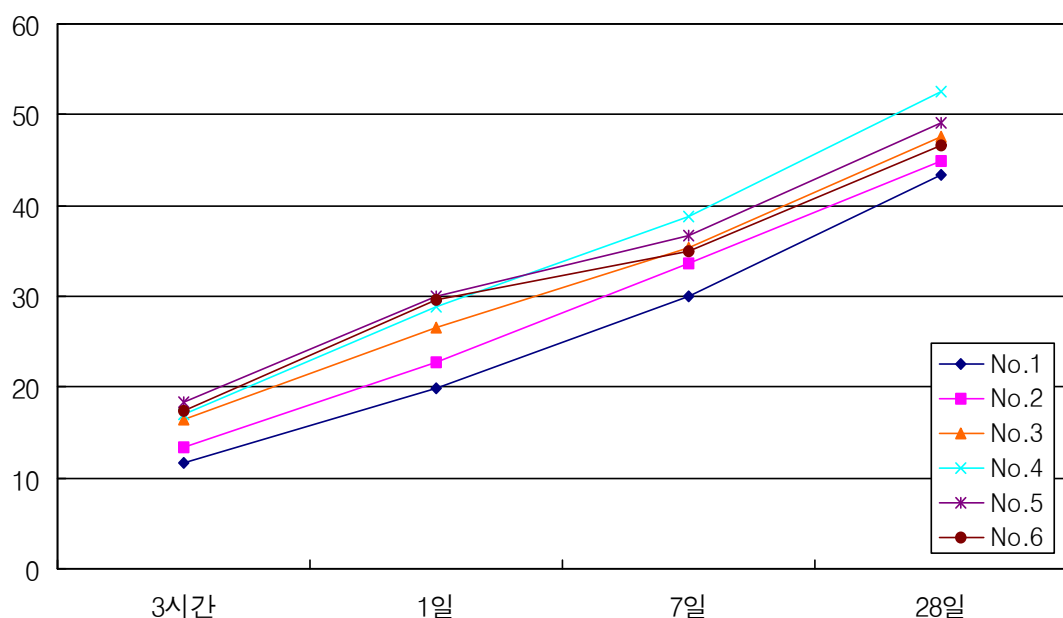


그림 3-26. 표준양생 압축강도 측정 결과 : W/C 36%

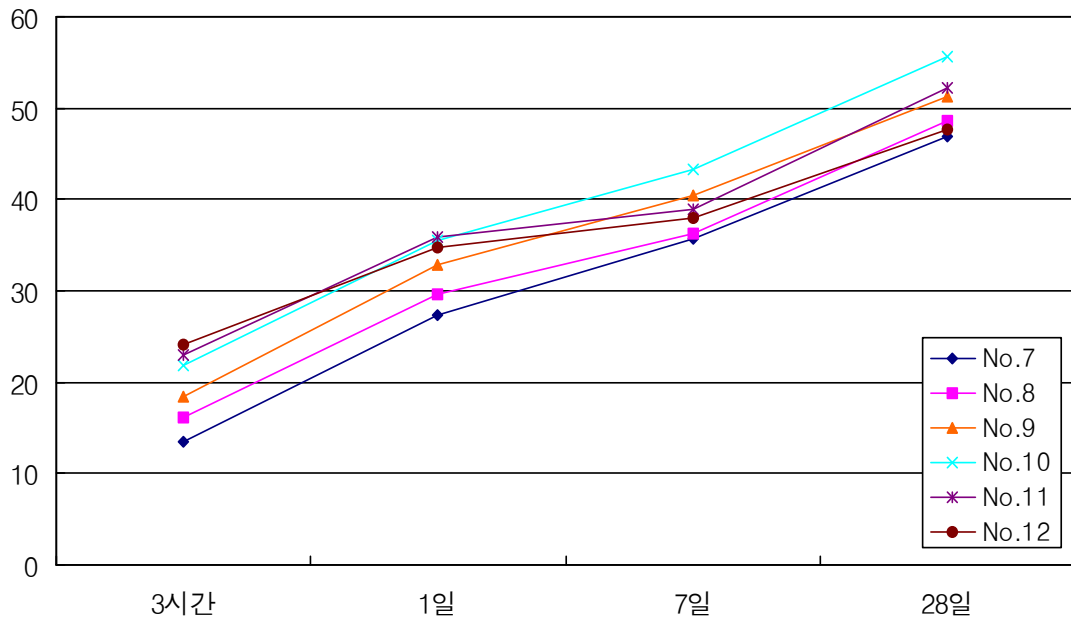


그림 3-27. 표준양생 압축강도 측정 결과 : W/C 34%

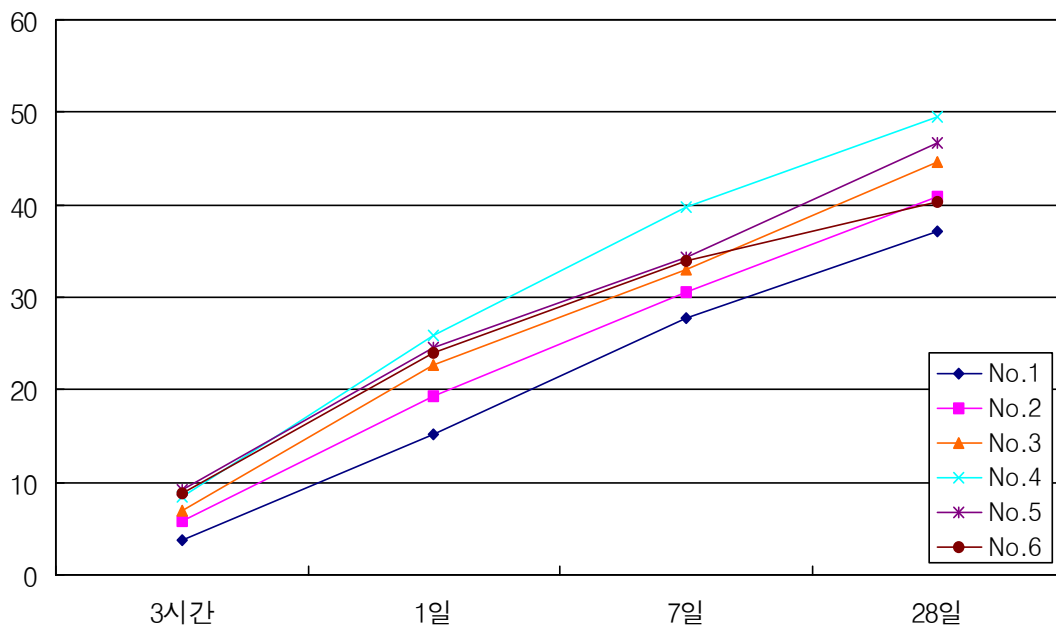


그림 3-28. 저온양생 압축강도 측정 결과 : W/C 36%

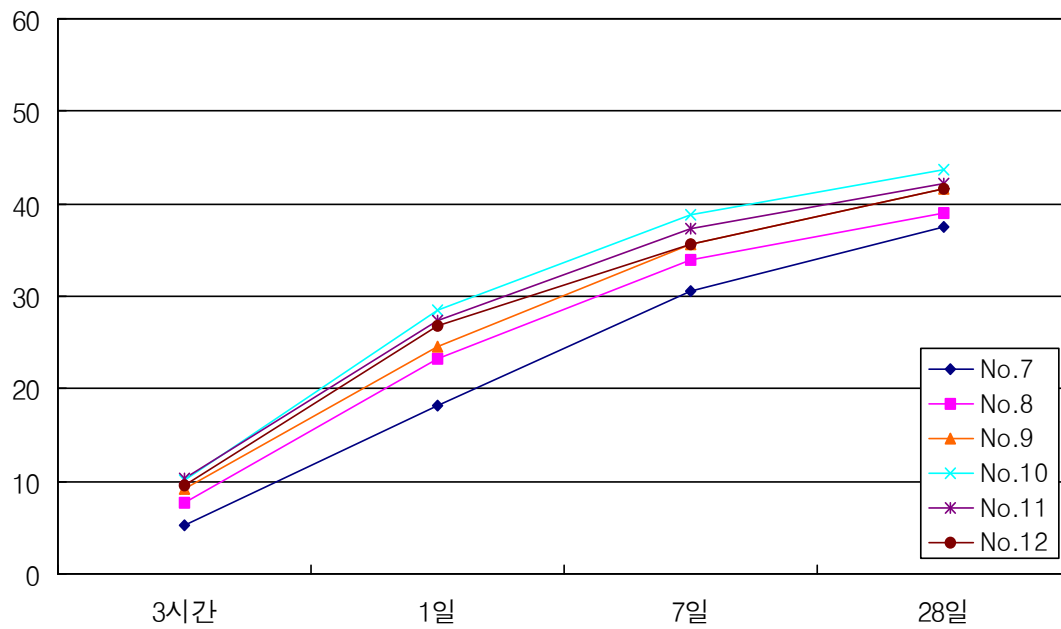


그림 3-29. 저온양생 압축강도 측정 결과 : W/C 34%

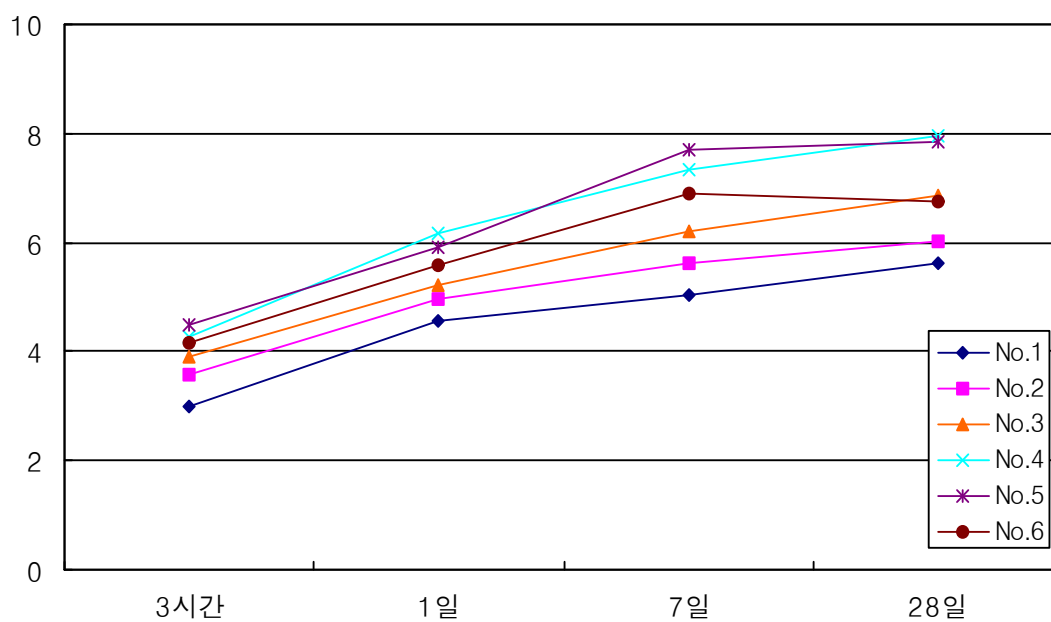


그림 3-30. 표준양생 휨강도 측정 결과 : W/C 36%

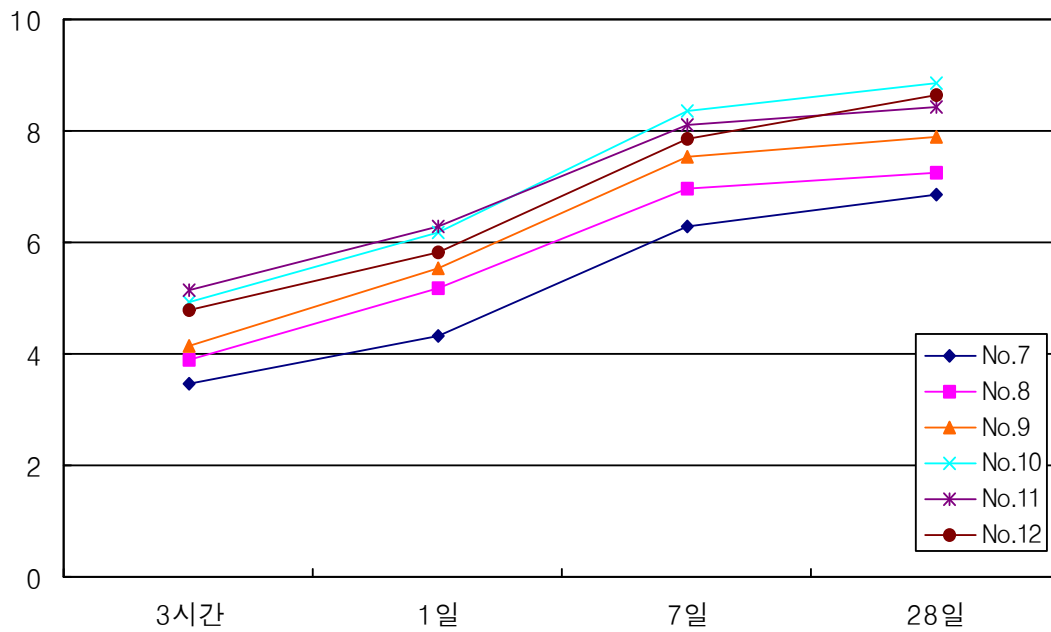


그림 3-31. 표준양생 휨강도 측정 결과 : W/C 34%

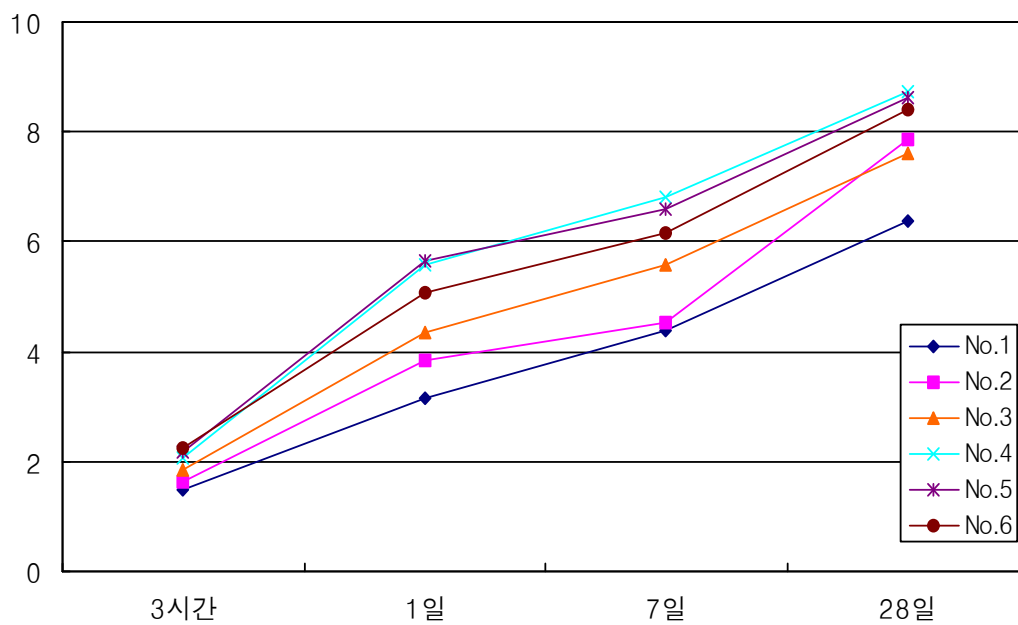


그림 3-32. 저온양생 휨강도 측정 결과 : W/C 36%

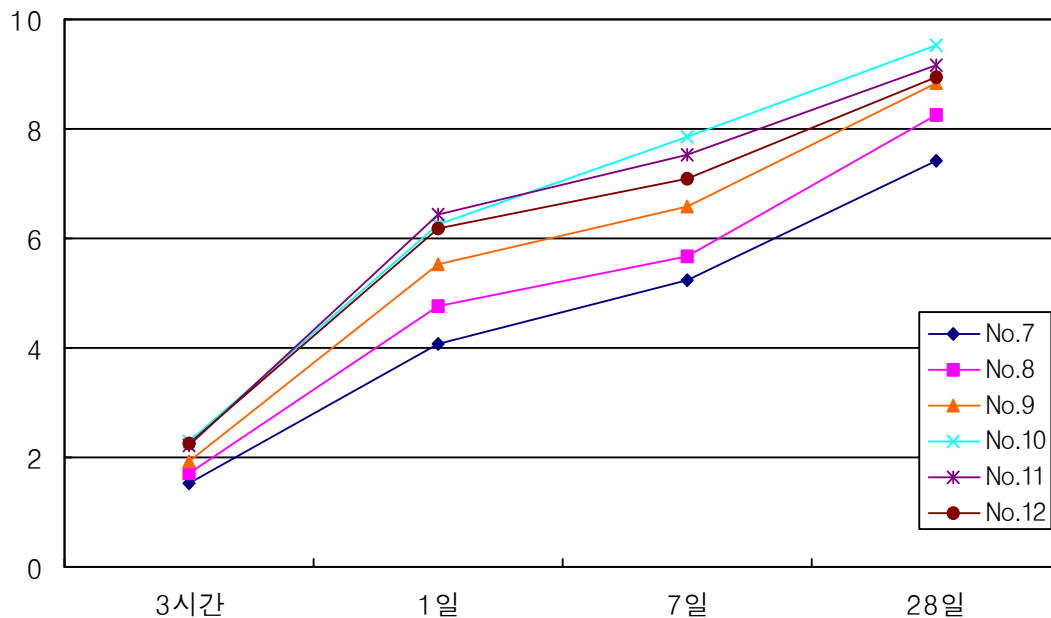


그림 3-33. 저온양생 휨강도 측정 결과 : W/C 34%

8-1. 유동성 및 응결시간 확인 시험

석탄회와 슬래그를 합하여 분체 대비 총 30%의 치환율로 휨강도와 압축강도를 시험하였다. 휨강도와 압축강도 시험시 몰드를 성형하는 과정에서 유동성이 떨어져 작업에 어려움을 느꼈다. 슬래그와 석탄회 모두 물을 머금은 성질이 있으며, 슬래그는 수화반응을 지연시켜 응결시간에 영향을 줄 수 있으므로 유동성과 응결시간을 확인해 볼 필요가 있다고 판단하였다. 휨강도와 압축강도 시험 배합 중 물·시멘트 비 34%에서 2가지(4번과 5번), 36%에서 2가지(10번과 11번) 배합을 각각 선택하여 시험하였다. 시험 배합과 시험 결과를 아래 표에 나타내었다.

표 3-54. 석탄회와 슬래그의 치환 시험 배합

[단위: m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m³)	분체 구성 요소(kg/m³)							
			MT	석탄회	Slag	유동화제	지연제	촉진제	소포제	SFCA

4-1	36	322	761	134	134	10.74	0.60	0.90	0.90	0.54	761
4-2	36	322	761	134	134	11.62	0.60	0.90	0.90	0.54	761
4-3	36	322	761	134	134	12.52	0.60	0.90	0.90	0.54	761
5-1	36	321	802	178	89	10.70	0.60	0.89	0.89	0.53	713
5-2	36	321	802	178	89	11.59	0.60	0.89	0.89	0.53	713
5-3	36	321	802	178	89	12.48	0.60	0.89	0.89	0.53	713
10-1	34	310	775	137	137	10.93	0.61	0.91	0.91	0.55	775
10-2	34	310	775	137	137	11.84	0.61	0.91	0.91	0.55	775
10-3	34	310	775	137	137	12.75	0.61	0.91	0.91	0.55	775
11-1	34	308	816	181	91	10.89	0.60	0.91	0.91	0.54	726
11-2	34	308	816	181	91	11.79	0.60	0.91	0.91	0.54	726
11-3	34	308	816	181	91	12.70	0.60	0.91	0.91	0.54	726

표 3-55. 석탄회와 슬래그의 치환 시험 결과

No.	석탄회 : Slag	20℃			5℃		
		Flow (mm)	응결시간(분)		Flow (mm)	응결시간(분)	
			초결	종결		초결	종결
4-1	1 : 1	250	42	53	252	76	103
4-2	1 : 1	258	40	46	259	73	100
4-3	1 : 1	260	39	44	258	78	105
5-1	1 : 2	239	37	45	241	87	114
5-2	1 : 2	246	35	39	248	89	109
5-3	1 : 2	245	36	41	249	90	118
10-1	1 : 1	243	36	42	244	50	88
10-2	1 : 1	255	39	44	258	49	86
10-3	1 : 1	256	38	46	260	48	87
11-1	1 : 2	235	33	39	241	41	86
11-2	1 : 2	250	32	37	251	43	83
11-3	1 : 2	252	34	40	253	44	85

시험 결과 슬래그 치환량이 증가 할수록 유동성은 떨어졌으며, 응결시간은 약간 지연되거나 거의 비슷한 값을 보였다. 유동성을 증가시키기 위하여 유동화제를 0.1%씩 증가시켜 1.2%, 1.3%, 1.4%의 양으로 시험하였다. 앞서 작업성 확보를 위한 유동성 시험에서와 마찬가지로 일정한 양 이상의 유동화제를 넣어도 더 이상 유동성이 증가하지 않았다. 유동화제의 양은 1.3%로 결정하였으며 응결시간은 20℃ 기준으로 초결 30분 이상 종결 80분 이내, 5℃ 기준으로 초결 40분 이상의 목표치를 모든 배합이 만족하였다.

8-2. 휨강도 증진 시험

일반적인 터널 보수용 모르타르 외에 높은 휨강도를 요구하는 경우에 대비하여 JKR 모르타르의 휨강도 증진 시험을 여러 섬유로 실시하였다. 혼합할 섬유의 양은 JKR 모르타르 대비 1.5%를 혼합하여 휨강도뿐만 아니라 유동성에 따른 작업성까지 고려하여 시험하였다. 아래 사진에 시험에 사용된 섬유들을 열거하였다.

시험은 태안산 석탄회를 사용하였으며 압축강도 및 휨강도 시험에서 가장 높은 강도를 나타낸 10번과 11번 배합으로 실시하였으나 시험 중 유동성이 떨어져 작업에 어려움을 느껴 물을 4% 더 치환하였다. 먼저 시험 용기에 정량의 초속경 무기계결합재(MT)와 잔골재(석탄회 포함) 및 첨가제를 계량하여 넣은 다음 섬유를 분체 대비 1.5% 투입하였다. 섬유의 투입량은 예비 시험에서 0.20 ~ 5.00%까지 늘려가며 시험한 결과 휨강도와 작업성 모두 만족하였기 때문에 결정한 수치이다. 모르타르 믹서기를 사용하여 분체와 섬유가 잘 혼합될 수 있도록 1속의 속도로 30초 동안 건식 교반하고 분체의 약 38%의 물을 넣어 다시 3분 30초 동안 교반하여 충분히 혼합시켜 주었다. 섬유의 종류에 따라 같은 방법으로 시험하였으며 교반된 혼합물을 3연형 빔볼드(40x40x160mm)에 각각 충전시킨 후 항온습기(25± 2℃, 습도 90%)에서 24시간 양생 한 후 탈영하여 28일 동안 양생(온도 20±2℃, 습도 65%)하여 휨강도를 측정하였다. 아래에 표에 섬유종류에 따른 휨강도 측정을 위한 배합표를 나타내었다.



탄소

아라미드

PVA(메이스터)

PVA(쿠라레)

그림 3-34. 휨강도 증진을 위한 종류별 섬유

표 3-56. 섬유 종류에 따른 휨강도 배합표

[단위 m^3]

NO.	섬유종류	W/C (%)	물 (N/mm^3)	분체 구성 요소(N/mm^3)					
				MT	석탄회	Slag	혼화제	잔골재	섬유
1	탄소	38	327	734	130	130	13.19	734	26
2	아라미드	38	327	732	129	129	13.15	732	26
3	메이스터	38	327	731	129	129	13.14	731	26
4	쿠라레	38	329	731	129	129	13.14	731	26
5	탄소	38	327	779	130	130	13.19	692	26
6	아라미드	38	327	775	129	129	13.15	689	26
7	메이스터	38	327	774	129	129	13.15	688	26
8	쿠라레	38	328	774	129	129	13.15	688	26

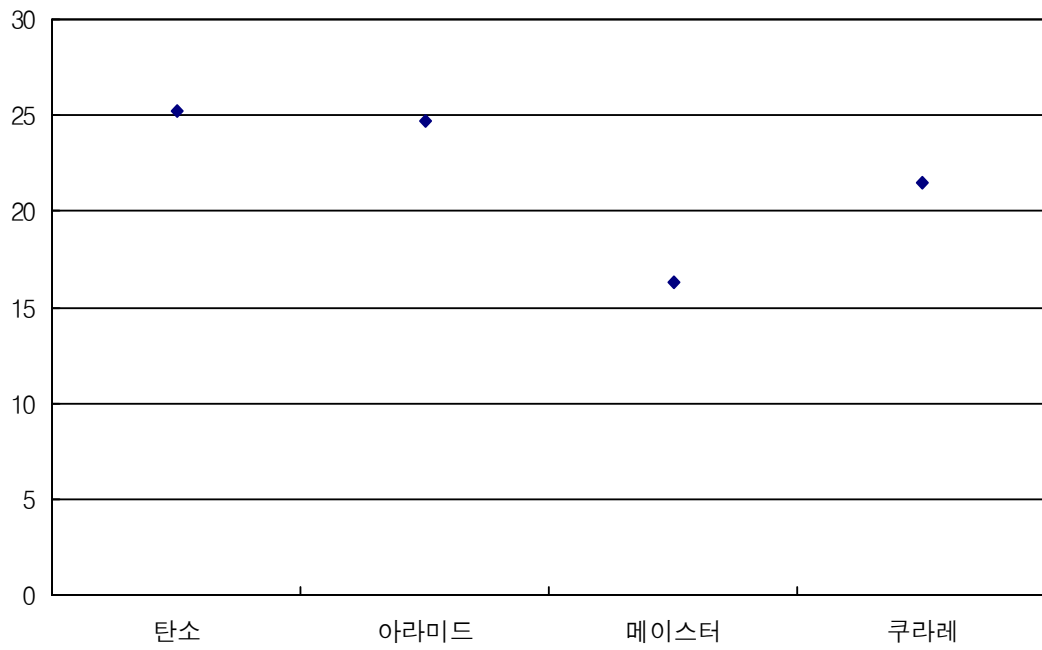


그림 3-35. 표준양생 섬유를 사용한 힘강도 측정 결과

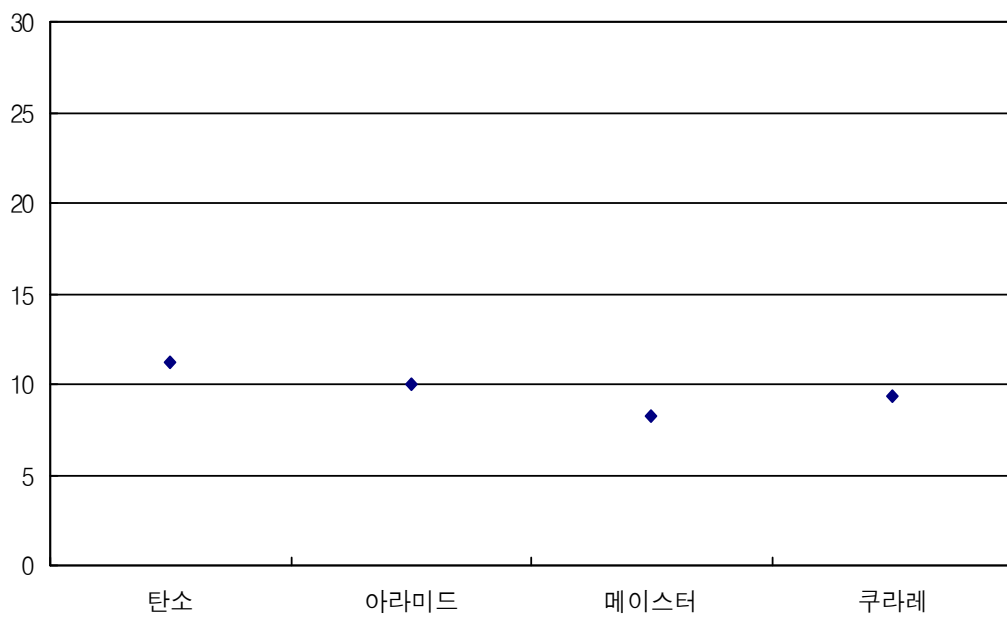


그림 3-36. 저온양생 섬유를 사용한 힘강도 측정 결과

시험 결과 위 그래프에서 보듯이 표준양생과 저온양생 모두 휨강도가 증진하였다. 표준양생 조건에서는 섬유를 첨가한 후 28일 휨강도가 약 2 ~ 3배 증가하였으며, 저온양생 조건에서는 최대 2.5N/mm²까지 증가하였다. 표준조건에서 큰 폭으로 증가한 것에 비하여 저온조건에서 휨강도 증진은 미약하였다. 섬유의 종류별로 살펴보면 탄소와 아라미드 섬유는 10N/mm² 이상의 값을 측정하였으나 메이스터와 쿠라레 섬유는 그에 미치지 못하였다. 휨강도가 가장 높게 측정된 탄소섬유는 고가이기 때문에 경제적으로 적용이 적합하지 못하므로 탄소섬유에 다른 섬유를 첨가하여 사용하거나, 아라미드 섬유를 사용한 휨강도 증진 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

가. 강섬유 전단강도 시험

표 3-57. 전단강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

[단위 : m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m ³)	분체 구성 요소(kg/m ³)									
			MT	석탄회	Slag	섬유	유동화제	지연제	축진제	소포제	SFCA	잔골재
10	34	310	775	137	137	26	11.84	0.61	0.91	0.91	0.55	775

앞서 실시한 섬유를 이용한 휨강도 증진 시험에서 가장 큰 강도가 측정된 탄소섬유를 1.5% 치환하여 전단강도를 시험하였다. 시험방법은 JSCE-G 533을 따랐으며 시험 결과 7.4MPa로 목표치인 5MPa를 충분히 만족하였다.

나. 인장강도 시험

표 3-58. 인장강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

[단위 : m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m ³)	분체 구성 요소(kg/m ³)								
			MT	석탄회	Slag	유동화제	지연제	축진제	소포제	SFCA	잔골재
10	34	310	775	137	137	11.84	0.61	0.91	0.91	0.55	775

압축강도가 가장 높게 측정된 10번 배합을 사용하여 인장강도를 시험을 하였으며 시험 방법은 KS L5104에 따랐다. 시험은 강도 시험과 동일한 방법으로 JKR 모르타르 분체와 물을 교반하여 시험체 틀에 올려 놓은 후 12회에 걸쳐 엄지손가락으로 틀에 밀어 넣는다. 시험체를 성형한 직후 몰드를 습기함에서 24시간 동안 보관한 후 깨끗한 물 속에 담그어 놓는다. 24시간 시험체는 습기함에서 꺼내는 직후, 그 이외의 시험체는 저장수에서 꺼내는 직후 시험한다. 각 시험체는 표면 건조가 되도록 물기를 닦고 시험기의 클립과 접촉하는 면에 붙어있는 모래알이나 다른 부착물을 없게 한다. 클립을 닫고 있는 천결이는 부착물이 없고 피벗(pivot)은 정확히 조정하여 클립이 자유롭게 피벗 주위로 움직이고 철결이에 교착되지 않도록 한다. 시험체는 클립단의 중심에 오도록 주의깊게 넣고 하중은 계속해서 $270 \pm 10\text{kg/min}$ 의 속도로 부하한다. 시험결과 4.9N/mm^2 으로 목표치인 4.0N/mm^2 을 만족하였다.

9. 부착강도 시험(표준, 온·냉 반복)

가. 복공 콘크리트 제작 시험

터널 보수 공사시 터널 내부의 노후된 콘크리트를 모체로 하여 시공하게 되는데 이 노후된 콘크리트와 JKR 모르타르와의 부착성을 알아보기 위하여 복공 콘크리트를 제작하였다. 복공 콘크리트는 실제 30년 이상의 노화된 터널속 콘크리트의 물성을 고려하였다.

복공 콘크리트의 거꾸집은 탄성복합판넬과 마찬가지로 투명아크릴을 사용하였고 사이즈는 가로, 세로, 높이 $530\text{mm} \times 150\text{mm} \times 105\text{mm}$ 로 제작하였다. 시험에 필요한 주원료로는 일반 포틀랜드시멘트와 잔골재, 굵은골재 그리고 첨가제는 작업성을 확보하기 위해 나프탈렌계 액상 유동화제를 준비하였다. 실험과정은 먼저 원료를 계량하여 콘크리트 팬믹서기에 투입하고 30초간 건비빔을 한 후 물을 붓고 다시 5분간 30RPM으로 비빔을 하였고 혼합을 마친 시험물은 먼저 슬럼프와 공기량을 측정하여 기록하고 $10\varnothing \times 20\text{cm}$ 압축강도 몰드를 성형한 후 아크릴 거꾸집을 사용하여 복공콘크리트를 제작하였다.

아래 표에 복공 콘크리트 시험 배합과 7일, 28일, 56일 양생하여 측정한 압축강도를 나타내었으며 부착강도 시험에 사용할 배합으로는 위 목표치에 가장 근접한 5번 배합으로 결정하였다.

◎ 배합설계(목표물질) : 25 - 180 - 15

◎ 슬럼프(cm) : 15.5 / 15.3

◎ 공기량(%) : 4.8

표 3-59. 복공콘크리트 시험배합 및 결과

no	W/c	s/a	W	C	S	G	AD ①②	슬럼프	공기량 4±15%	강도(N/mm ²)			단중
										7	28	56	
1	60.6	47.2	140	231	892	1,025	c x 0.3%	10/10	3.1	8.7	14.8	15.8	2371.5
2	62.8	47.2	145	231	892	1,025	c x 0.3%	11/11	2.8	7.7	13.5	14.3	2358.8
3	64.9	47.2	150	231	892	1,025	c x 0.3%	13/14	3	6.9	12.4	12.9	2489.4
4	67.1	47.2	155	231	892	1,025	c x 0.3%	15/15	4.5	6.1	11.3	12.5	2334.0
5	69.3	47.2	160	231	892	1,025	c x 0.3%	15/15	4.8	11.1	18.1	19.4	2321.9
6	71.4	47.2	165	231	892	1,025	c x 0.3%	16/17	4.1	5.3	10.2	11.6	2309.7
7	58.4	46.7	130	224	780	1,130	c x 0.3%	8/8	3.3	9.9	16.4	16.9	2684.4
8	60.2	46.7	135	224	780	1,130	c x 0.3%	11/12	3.1	8.8	15.0	16.3	2371.4
9	62.5	46.7	140	224	780	1,130	c x 0.3%	10.8 /11.5	4.5	7.9	13.7	15.0	2358.8
10	64.7	46.7	145	224	780	1,130	c x 0.3%	14/14	3.8	7.0	12.5	12.6	2346.1
11	67.0	46.7	150	224	780	1,130	c x 0.3%	14/15	4.1	6.1	11.3	11.9	2333.8
12	69.2	46.7	155	224	780	1,130	c x 0.3%	15/15	5.5	5.3	10.3	10.8	2321.3
13	72.5	48.3	158	218	905	996	c x 0.2%	15/15	2.9	4.3	8.8	9.5	2363.3
14	74.3	48.3	162	218	905	996	c x 0.2%	16/16	3.8	3.7	8.1	9.9	2353.5
15	76.1	48.3	166	218	905	996	c x 0.2%	16/17.5	3.2	3.2	7.4	8.6	2343.6
16	78.0	48.3	170	218	905	996	c x 0.2%	15.5/18	4.3	2.7	6.7	7.6	2333.7
17	80.0	48.3	174	218	905	996	c x 0.2%	17.5 /17.5	3.5	2.2	6.1	6.5	2323.9
18	81.7	48.3	178	218	905	996	c x 0.2%	18/18.5	4.3	1.8	5.4	6.1	2314.3
19	71.1	47.9	160	225	880	1,054	c x 0.2%	16.5/x	2.8	4.7	9.4	10.6	2365.1
20	73.3	47.9	165	225	880	1,054	c x 0.2%	17.5/17	2.5	4.0	8.5	9.9	2352.9
21	75.5	47.9	170	225	880	1,054	c x	16.8	3.1	3.4	7.6	8.1	2340.8

							0.2%	/17.5					
22	77.8	47.9	175	225	880	1,054	c x 0.2%	17/17	2.5	2.7	6.8	7.2	2328.8
23	80.8	47.9	180	225	880	1,054	c x 0.2%	18.5 /18.5	x	2.2	6.0	6.4	2316.9
24	82.8	47.9	185	225	880	1,054	c x 0.2%	18/19	x	1.6	5.3	6.0	2305.2



그림 3-37. 복공콘크리트 시험 및 제작 사진



그림3-38. 복공콘크리트 완성 사진



그림3-39. 압축강도 측정모습

나. 부착강도 시험

(1) 저온양생 조건

터널 내부의 노후된 콘크리트와 JKR 모르타르의 부착성을 확인하기 위하여 미리 복공 콘크리트를 제작하였다. 앞서 제작하여 충분히 양생(56일 이상)한 복공콘크리트의 윗 표면을 깨끗이 닦아내고 그라인더를 이용하여 살짝 치핑해준다. 다음 압축강도 및 휨강도 측정에서 적합하다고 판단된 10번과 11번 배합으로 강도 측정시험과 동일한 방법으로 혼합물을 제조하여 복공콘크리트 위에 도포하여 준다. 1주일간 표준양생(온도: $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도: 65%)과 저온양생(온도: 5°C , 습도: 50%)을 각각 실시한 후 부착강도를 측정한다.

부착강도 측정 방법은 모체로 사용된 복공콘크리트 윗면에 $40 \times 40\text{mm}$ 크기의 사각형을 그라인더를 이용하여 약 1mm 두께로 절단한 후 도표 면에 접착제를 바르고 인장용 지그(강철제)를 접착시킨 후 24시간 동안 가만히 놓아둔다. 디지털 타일 인발 시험기를 이용하여 부착강도를 측정한다. 측정 결과 표준양생과 저온양생은 큰 차이가 없었으며 두 경우 모두 목표치인 $2.5\text{N}/\text{mm}^2$ (20°C 기준 목표)와 $2.0\text{N}/\text{mm}^2$ (5°C 기준 목표)를 만족하였다. 아래에 시험결과를 그래프로 나타내었다.

표 3-60. 부착강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

No.	W/C (%)	물 (kg/m^3)	분체 구성 요소(kg/m^3)								
			MT	석탄회	Slag	유동화제	지연제	촉진제	소포제	SFCA	잔골재
10	34	310	775	137	137	11.84	0.61	0.91	0.91	0.55	775
11	34	308	816	181	91	11.79	0.60	0.91	0.91	0.54	726

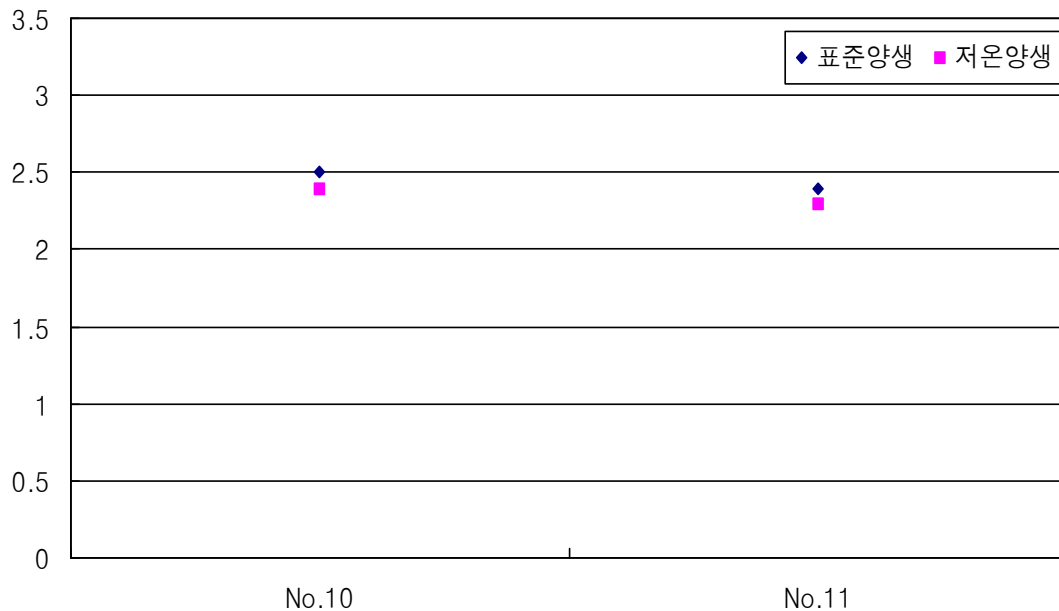


그림 3-40. 양생조건에 따른 부착강도 측정 결과

(2) 온·냉 반복 조건

JKR 모르타르의 부착강도를 확인하기 위하여 압축강도 및 휨강도 측정에서 적합하다고 판단된 10번과 11번 배합으로 한국산업규격 KS F 4716 시험방법에 따라 표준조건에서와 온·냉 반복 조건에서의 부착 강도 측정 시험을 하였다.

(가) 시험체의 제작

70×70×20mm의 모르타르 판에 안쪽 치수 40×40×2mm의 금속제 또는 합성수지제 형틀을 놓고, 조제한 시료를 채워 제한 시료를 채워 쇠흄손 또는 쇠주걱을 사용하여 윗면을 평탄하게 마무리하여 성형하고 양생방법에 따라 양생이 끝난 시험체를 양생실 내에 수평하게 놓고, 시료 도포 면에 접착제를 바른 후 아래그림의 상부 인장용 지그(강철제)를 조용히 올려놓고 가볍게 문질러 접착시킨 후, 상부 인장용 지그가 움직이지 않도록 고정하고 주위에 나온 접착제를 신중히 제거하여 24시간 조용히 놓아둔다.

(나) 시험방법

① 표준조건

표준상태에서 1시간이상 놓아둔 시험체를 사진과 같이 부착강도를 시험한 후 다음 식에 의해 산출하고 공시체 3개의 평균값으로 하여 소수점이하 한자리로 끝맺음한다.

$$\text{부착강도}(N/mm^2) = \frac{T}{1,600}$$

여기에서, T : 최대 인장하중(N)

주(注) 파단될 때까지의 하중속도는 $1,500 \sim 2,000 N/min$ 으로 한다.

비 고 시험에 사용하는 인장시험기의 물리개는 자동 중심조심형이 바람직하다.

참 고 접착제는 시험체에 침투하기 어려운 고점도의 것으로, 예를 들면 무용제형인 2액형 에폭시 수지 접착제 등이 좋다.

② 온·냉반복 후

온·냉반복 후 부착강도 시험은 제작된 공시체를 물 속에 18시간 침지시킨 후 꺼내어 즉시 $-20 \pm 3^\circ C$ 의 항온 탱크내에서 3시간 냉각 후 $50 \pm 3^\circ C$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 가열한다. 이러한 조작을 10회 반복하고 양생실에서 2시간 가만히 놓아 둔 후 부착강도 시험을 한다.

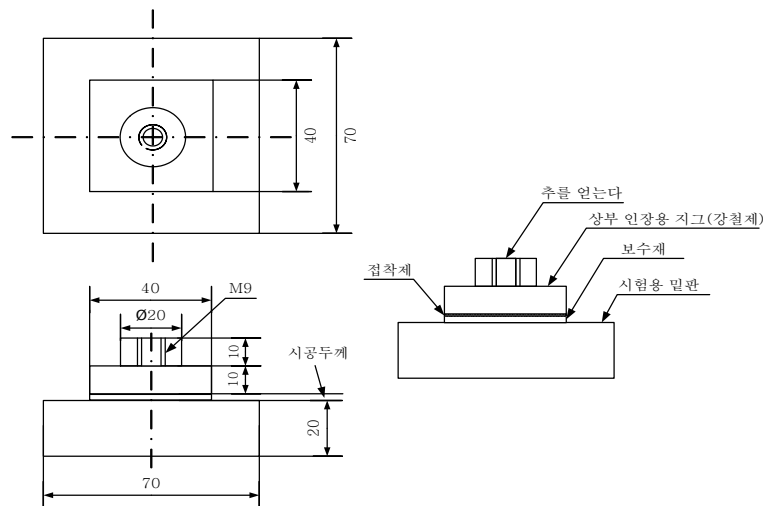


그림 3-41. 인장용 어테치먼트



그림 3-42. 부착강도 시험체 제작 및 시험 모습

부착강도 시험 결과 그래프 20에서 보듯이 표준양생 조건에 비해 온·냉반복 조건의 강도가 $0.6\text{N}/\text{mm}^2$ 이하되는 것을 확인할 수 있었다. 표준양생 조건의 측정값은 목표인 $2.0\text{N}/\text{mm}^2$ 을 충분히 만족하였지만, 온·냉반복 조건의 측정값은 10번 $2.0\text{N}/\text{mm}^2$, 11번 $1.8\text{N}/\text{mm}^2$ 로 11번은 목표값에 조금 못 미치는 결과를 보였다.

이번 연구에서 온·냉반복 조건에서의 부착강도를 목표로 설정한 것은 아니었지만, 하절기와 동절기의 최저와 최고 온도가 약 40°C 정도 차이가 나는 것을 고려하여 온·냉반복 조건에서의 부착강도 증진을 위해 액상아크릴을 사용하기로 결정하였다. 액상 아크릴은 현재 폐사에서 도로포장재에 사용하고 있으며 노하우와 그간의 경험으로 액상 아크릴이 부착강도 증진에 영향을 줄 것이라고 기대한다.

표 3-61. 부착강도 시험용 JKR 모르타르의 배합

[단위 m^3]

No.	W/C (%)	물 (kg/ m^3)	분체 구성 요소(kg/ m^3)								
			MT	석탄회	Slag	유동화제	지연제	촉진제	소포제	SFCA	잔골재
10	34	310	775	137	137	10.94	0.61	0.91	0.91	0.55	775
11	34	308	816	181	91	10.89	0.60	0.91	0.91	0.54	726

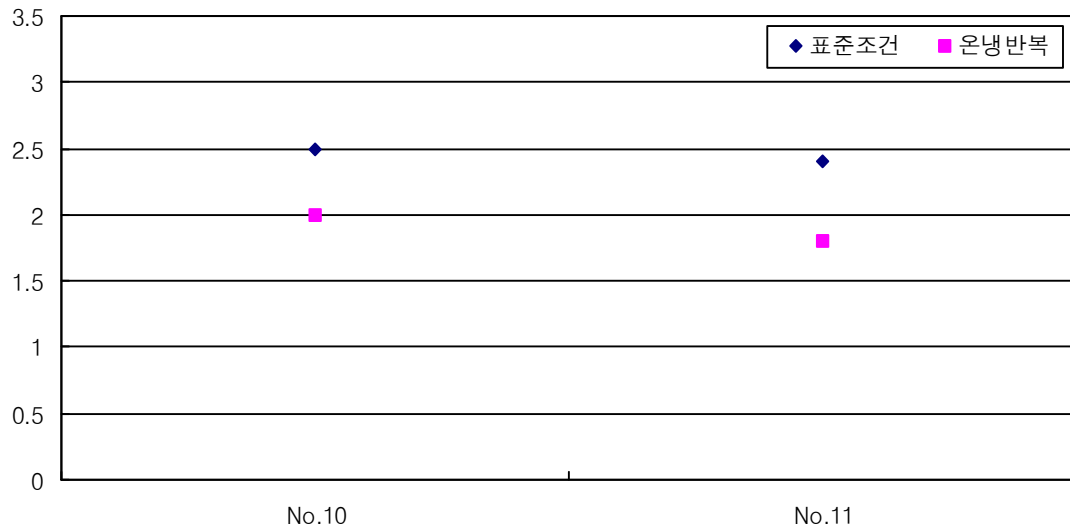


그림 3-43. 양생조건에 따른 부착강도 측정 결과

부착강도 증진을 위하여 물 대신 액상아크릴을 사용하여 10번과 11번 배합으로 시험을 실시하였다. 시험결과 표준조건뿐만 아니라 온·냉반복 조건 역시 목표치인 $2.0\text{N}/\text{mm}^2$ 을 만족하였다. 이는 액상아크릴 내의 폴리머 디스퍼전이 시멘트 페이스트 경화체의 내부에 필름을 형성하여 부착강도를 증진 시킨 것으로 생각된다. 아래 시험결과를 그래프로 나타내었다. 그래프에 나타냈듯이 표준양생 조건은 물을 사용하였을 때에 비하여 $0.3 \sim 0.4\text{N}/\text{mm}^2$ 의 값이 증가하였으며, 저온양생 조건에서는 $0.2 \sim 0.3\text{N}/\text{mm}^2$ 이 증가하였다. 아크릴이 부착강도 증진에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되나 현재 현장에 적용하기에 미흡한 부분이 있으므로 현장 적용에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

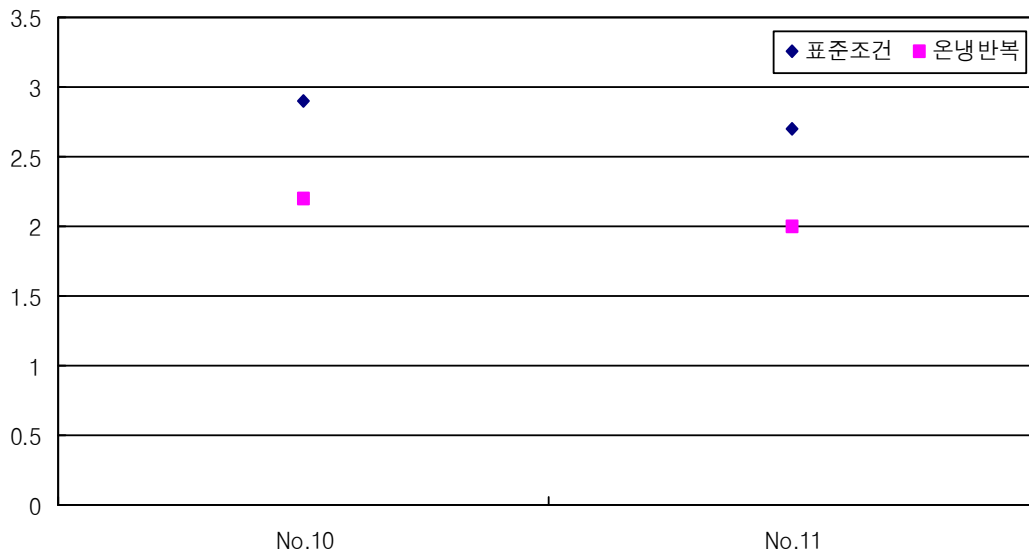


그림 3-44.아크릴을 사용한 부착강도 측정 결과

10. 팽창율 시험

시멘트를 기본으로 재료는 반응에 필요한 물 이외에 과잉의 여분의 물을 유동성을 위해 사용하므로 이 과잉의 물의 건조되면서 수축하는 특성을 가지고 있다. 따라서 이 수축하는 특성을 최대한 억제하거나 줄이는 방법이 필요하며 얼마나 수축 팽창하는지의 결과를 파악해야 하므로 팽창율 시험을 실시하였다. 시험은 10번과 11번 배합으로 하였으며 강도 측정 시험과 동일한 방법으로 JKR 모르타르 분체와 물(W/C 34%)을 교반하여 팽창율 측정용 몰드에 넣어 양생시킨다. 아래 그림에 팽창률 측정 모습을 나타내었다. 팽창율 시험은 JIS A 6202 방법에 따라 재령 28일 까지 측정하였다.

표 3-62. 팽창율 시험 결과

No.	1일	4일	5일	7일	8일	12일	19일	21일	28일
표준봉	0.943	0.943	0.946	0.945	0.945	0.947	0.946	0.945	0.947
10	1.816	1.795	1.786	1.791	1.782	1.794	1.756	1.749	1.731
	변화율	-0.000118	-0.000185	-0.000152	-0.000202	-0.000146	-0.000354	-0.000388	-0.0005000
11	1.779	1.749	1.729	1.743	1.726	1.739	1.692	1.687	1.656
	변화율	-0.000169	-0.000281	-0.000202	-0.000298	-0.000225	-0.000489	-0.000517	-0.000691

시험 결과 CSA계의 팽창성을 지니고 있는 주 원료인 초속경 무기계결합재의 특성상 수축을 거의 하지 않는 것으로 나타났다. 4번, 10번, 11번의 시료 팽창률 결과를 표25에 나타내었으며 목표치인 0.15% 이하를 모두 만족하였다.

제 4 절 연구결과

1. 최종 성능 평가 시험 배합

- ◎ 물·시멘트비 : 34%
- ◎ 산업부산물 치환율 : 30%
- : 석탄회(15%) + 슬래그(15%)

표 3-63. 최종 성능 평가 시험 배합

[단위 m³]

No.	W/C (%)	물 (kg/m³)	분체 구성 요소(kg/m³)								
			MT	석탄회	Slag	유동화제	지연제	축진제	소포제	SFCA	잔골재
10	34	310	775	137	137	10.94	0.61	0.91	0.91	0.55	775

2. 계획 및 실적

(기본요건)

; 석탄회 조분 10%이상, 석탄회+슬래그 30%이상 치환, 섭씨 5도 이하기준, 충전용

- 3시간 압축강도 ; 6N/mm² 이상(2~4시간 정도에 탈형 가능)
장기압축강도 ; 40N/mm² 이상, 부착강도 ; 2N/mm² 이상
- 유동성 ; 셀프플로우(진동을 주지않은 상태에서의 플로우) 250mm이상으로
초결 40분 이상
- 건조에 의한 균열이 발생하지 않을것 (6×10^{-4} 이하; R.H 80%)

표 3-64. 세부 개발 내용 및 수준(20℃ 기준)

세부 개발 내용 평가 항목		단위	개발목표치	실적
Flow		mm	250 이상	260 ± 10
응결시간 (분)	초결	분	30 이상	35 ± 5
	종결		80 이하	45 ± 5
휨강도(28일)		N/mm ²	6 이상	8.60
압축강도(28일)			50 이상	55.83
부착강도 (7일)	표준조건	N/mm ²	2.5 이상	2.5
	온·냉반복		-	2.0
인장시험		N/mm ²	4 이상	4.9
전단시험		MPA	5 이상	7.4
길이변화율		%	6×10 ⁻⁴ 이하 ; R.H 80%	5×10 ⁻⁴

표 3-65. 세부 개발 내용 및 수준(5℃ 기준)

세부 개발 내용 평가 항목		단위	개발목표치	실적
Flow		mm	250 이상	260 ± 10
응결시간(초결)		분	40 이상	48 ± 5
압축강도	3시간	N/mm ²	6 이상	6.64
	28일		40 이상	44.38
부착강도		N/mm ²	2.0 이상	2.0

3. 향후 개선 사항

현재 석탄회 15%와 수쇄 슬래그 15%, 총 30%의 산업부산물을 치환하여 터널 보수보강 현장 작업에 필요한 물성을 모두 만족하였다. 천연 재료 사용을 절감하고 산업부산물 폐기 비용을 절약하여 경제적인 효과뿐 아니라 친환경적인 재활용 증대 효과 또한 가져

을 수 있도록 치환율을 증대시키기 위한 연구가 필요하다. 또한 석탄회의 종류가 태안산 한가지로만 국한되었지만 더 많은 연구를 통하여 다른 산지의 석탄회 또한 재활용될 수 있도록 해야 한다.

터널의 보수보강은 자주 할 수 없는 점을 감안하여 장기적 내구성(90일, 180일 365일) 증대의 검토를 해야할 것이다. 또한 저온양생에서 부착강도가 목표에 만족하지 못하였기 때문에 이를 보완하기 위한 연구가 필요하다.

이번 과제는 수로터널의 벽체 및 바닥재의 보수보강을 대상으로 연구하였다. 연구 결과 염해에 대한 저항성이 높게 측정되므로 이 특성을 살려 해수터널 및 해수 구조물에 적용이 적합할 것으로 보여진다.

4. 시험타설

가. 1차 시험 타설

- ◎ 일자 : 2009년 9월 29일
- ◎ 장소 : (주)두영티앤에스 공장 내
- ◎ 참가업체 : 펄메이드, (주)두영티앤에스
- ◎ 목적 : 터널용 보수보강 모르타르의 현장성 인자 도출

대형 타설 현장에서 필요한 작업성과 가사시간의 정량적 인자 도출을 위하여 시험타설을 실시하였다. 최종 배합을 가지고 시험타설 하였으며 작업성을 위해 물·시멘트비를 조금씩 조절하며 타설하였다. 실내에서 시험시 34%의 물이 적합하였으나 현장에서는 유동성이 부족하여 작업에 어려움이 있었으므로 물을 약 3% 정도 첨가하여 유동성을 풍부하게 한 결과 255mm의 플로우를 측정할 수 있었다. 가사시간(응결시간)은 현장 온도에 영향을 많이 받아 약30분에 초결이 측정되었다. 시험시 5℃에 조건을 맞추고 배합을 결정한 것을 감안하면 타설 당시 현장 기온이 19~22℃이었기 때문에 동절기 시공시에는 충분히 여유 있는 가사시간을 발현할 것이라고 생각된다.



그림 3-45. 1차 시험 타설 현장

나. 2차 시험 타설

- ◎ 일자 : 2010년 2월 23일
- ◎ 장소 : 강원도 태백시 창죽동 현장
- ◎ 참가업체 : 이피에스, (주)두영티앤에스
- ◎ 목적 : 동절기 공사현장의 적합여부 확인

동절기에 현장 적용시 작업성 및 강도의 적합 여부를 확인하기 위해서 시험타설을 실시하였다. 1차 시험타설과 마찬가지로 최종배합을 가지고 현장용 팬믹서기를 사용하여 혼합하였다. 물·시멘트비는 변화없이 34% 그대로 치환하였으나 작업에 불편함 없는 유동성을 보였으며 플로우 측정결과 250mm의 값을 얻었다. 타설 당시 현장 기온은 2~4℃로 요구했던 조건과 비슷한 환경이었으며 응결시험 측정 결과 초결 106분으로 측정되었다. 목표치인 40분 이상을 만족하였으며 시험실에서 시험한 값보다 지연되었지만 3시간 이내로

응결이 되었기 때문에 현장 적용에 무리가 없을 것으로 보인다. 현장에서 40x40x160mm 3연형 빔볼드로 시험체를 제작하여 3시간과 1일 압축강도를 측정한 결과 목표값에 모두 만족하였다. 7월말인 현재 표면에 미세한 잔 균열이 약간 발생한 상태로 큰 하자는 없으며 지속적으로 점검할 계획이다.



그림 3-46. 2차 시험 타설 현장

다. 3차 시험 타설

- ◎ 일자 : 2010년 8월 10일
- ◎ 장소 : 경상남도 양산시 국민체육센터
- ◎ 참가업체 : (주)두영티앤에스
- ◎ 목적 : 하절기 공사현장의 적합여부 확인

하절기에 현장 적용시 작업성 및 강도의 적합 여부를 확인하기 위해서 시험타설을 실시하였다. 2차 시험타설과 마찬가지로 최종배합을 가지고 현장용 팬믹서기를 사용하여 혼합하였다. 타설 당시 현장 기온은 28~30℃로 전형적인 여름철 높은 온도와 습도의 환경이었다. 물·시멘트비는 4% 증가시킨 38%로 하였으며 높은 온도에 응결이 단축될 것을 고려하여 혼합시 액상 지연제를 0.5% 첨가하였다. 유동성 측정 결과 250mm로 작업에 무리없는 수치였으며 유동성은 약 50분 정도 지속되었다. 응결시간은 초결 36분으로 목표치인 30분 이상을 만족하였으며, 현장에서 혼화제로 가사시간 조절이 가능한 것으로 보여진다. 현장에서 40x40x160mm 3연형 빔볼드로 시험체를 제작하여 3시간과 1일 압축강도를 측정한 결과 3시간 강도 7.64N/mm², 1일 강도 19.33N/mm²으로 목표값에 모두 만족하였다. 8월말인 현재 시공후 경과시간이 적기 때문에 하자 없이 깨끗한 상태이며 지속적으로 점검할 예정이다.



그림 3-47. 3차 시험 타설 현장

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구개발 목표

1. 연구개발 목표

가. 최종목표

재자원화 이용률이 낮은 국내산 산업폐기물(석탄회 조분)의 이용을 도모하기 위해 초속 경시멘트 및 산업폐기물을 혼입한 터널용 급경성 보수 모르타르를 개발하는 것이며 산업 부산물(슬래그 및 석탄회 조분) 치환량을 높인 용도별 보수보강모르타르의 개발, 동절기(섭씨 5도 이하기준, 충전용, 석탄회 조분 10%이상, 석탄회+슬래그 30%이상 치환)를 기준으로 3시간 압축강도 6N/mm^2 이상(2~4시간 정도에 탈형 가능), 장기강도 40N/mm^2 이상, 부착강도 2N/mm^2 이상, 유동성은 셀프플로우(진동을 주지않은 상태에서의 플로우) 250mm이상, 초결 40분 이상으로 건조에 의한 균열이 발생하지 않을것 (6×10^{-4} 이하; R.H 80%), 내구성이 우수한 제품개발이 목표이다.

최종 목표는 제품개발 및 실용화로서 국내에서 발생되어 폐기물로 버려지는 석탄회(바텀애쉬 포함)를 전처리과정 없이 자연그대로 가급적 많이(30%이상) 재활용할 수 있는 터널 보수보강용 모르타르를 개발하는 것이다. 석탄회(Bottom Ash 등)는 여전히 비싼 댓가를 치르며 매립되고 있으며 또한 타개책으로서 자원 재활용도를 높이하고자 산업부산물인 석탄회를 전처리과정을 거쳐 입도별로 구분하여 단열특성을 갖는 단열모르타르 원료나 경량골재, 투수성 호안블럭 등 콘크리트 2차제품으로 활용하려는 연구나 시도가 계속되고 있으나 품질관리의 어려움이나 준비 또는 처리비 등의 문제로 어려움을 겪고 있다. 이 태생적인 한계를 가지고 있는 석탄회는 시멘트원료(조합원료비 상승)나 기타 일반콘크리트 등에 사용하기에도 품질을 보장받기에는 너무 고가의 비용이 들고 일반 골재와는 물성도 달라 그 사용 또한 극히 제한적일 수 밖에 없다. 따라서 잉여 석탄회의 폐기 비용을 절감하고 환경보존적 측면에서 재활용하기 위한 개선 및 대책에 부응하기 위해 폐사의 연구개발은 반드시 전폭적인 지원하에 이루어져야하며 이러한 잉여 산업부산물을 사용한 고부가가치의 건설용 보수재료의 개발은 경제적 측면에서도 매우 기대되는 사항이다. 최

중목표가 되는 목표물성에 대한 설정근거는 폐사 개발품인 초속경시멘트의 핵심역량을 근간으로 하여 약 5년간(2002년~2006년)에 걸쳐 일본 최대 건설업체(도급순위 1위)인 카지마건설주식회사와 함께 수행한 일본 동경전력의 이와무로발전소 수로터널 시험시공의 시험결과를 토대로 국내실정에 맞게 목표물성을 수립하였다. 다만, 일본과 한국의 발전소 공정 및 유연탄 탄종 등 비록 매우 유사하다고는 하나 적용범위는 다를 수 있음을 감안하여 본 과제연구가 사업화 성공을 위한 국산신기술 획득을 목표로 하고 있고 또한 지금까지 연구결과를 토대로 국내 실정(국내산 석탄회 포함)에 맞는 범용화되고 차별화된 추가기술개발을 완성코자 함을 그 근거로 한다.

나. 연구개발단계별 목표

1기; - 보수모르타르의 재료분석

- 조건별 재료 최적조합 선정

(시멘트종류에 따른 잔골재비율, 결합재치환율, 석탄회/슬래그치환율)

- 기존 개발제품(일본)대비 동등이상 시험을 위한 보수모르타르 시험

(유동성, 압축강도, 수축성, 내구성, 건조수축 감소 등)

2기; - 속경시멘트의 개량 및 최적입도분포 선정 (입도관련 성능평가)

- 시험시공 준비(복공콘크리트 표준화 및 거푸집 박리제 시공성 검토)

- 시험시공(산업폐기물 치환율 증대에 따른 용도별 제품(물성 감안)검토)

- 실제 목압 제작

3기; - 석탄회(바텀애쉬) 산지별, 품질별 품질관리지침 /표준화

- 내구성, 내후성, 내마모성 체크, 코아채취에 의한 사후관리

- 중점항목(염해, 중성화, 동결융해 등)에 대한 성능향상

- 시험시공 후 결과분석에 의한 성능보완

제 2 절 연구개발목표의 달성도

1. 연구수행 내용 및 성과

가. 연구목표 및 연구내용

개발코자하는 기술은 초속경시멘트와 국내산 석탄회 조분(Bottom Ash)를 이용한 수로 터널용 자원재순환형 기능성 보수/보강 모르타르에 관한 것으로서 속경성/고유동성을 발휘하고 내구성을 향상시킨 제품개발이다. 석탄회는 화력발전소에서 발생하는 산업부산물로서 정제된 일부 플라이애쉬(전체 석탄회의 약 10% ~ 20%)만이 레디믹스 콘크리트공장 및 건설현장에서 콘크리트 제조시 시멘트치환재로 주로 사용 되어왔으며 잉여분은 전량 매립 등의 방법으로 폐기 처분되어 왔다.

따라서 석탄회의 폐기 비용을 절감하고 환경적으로 재활용하기 위한 개선 및 대책 마련이 시급히 필요한 실정이며 또한 이러한 잉여 산업부산물을 사용한 고부가가치의 건설용 보수재료의 개발은 경제적 측면에서도 매우 기대되는 사항이다. 폐사는 약 5년간(2002년~2006년)에 걸쳐 일본 최대 건설업체(도급순위 1위)인 카지마건설주식회사와 일본 동경전력을 비롯한 9개사의 화력발전소에서 나오는 석탄회를 활용한 자원재순환 프로젝트를 공동으로 연구/개발해 왔으며 여러 차례의 제품관련 시험시공(동경전력 이와무로발전소 외)을 거쳐 그 성능을 인정받고 2007년 1월에는 일본 카지마건설과 함께 동 내용을 일본 및 한국에 동시 공동특허출원한 바 있다.

다만, 제반여건이 유사하다고는 하나 기초시험을 제외한 모든 시험 및 연구가 일본에서 이루어졌고 용도 또한 열악한 환경(동절기시공 등)의 일본수로터널에 한정되어 석탄회(바텀애쉬 포함) 사용량이 극히 제한되었던 만큼 지금까지 연구결과를 토대로 국내 실정(석탄회 포함)에 맞는 차별화된 기술개발이 필요하며 특히 국내 보수보강분야의 전문조직인 전자제시험원과 함께 경제성이 높은 자원재순환 기능성 보수/보강 모르타르를 개발코저 하며 개발되는 모르타르는 기존 개발품(일본)보다 물성이 우수하고 석탄회(바텀애쉬 포함)치환량도 많은 제품으로서 터널(일반 교통, 철도, 지하철 등) 및 수리구조물뿐 아니라 일반 콘크리트 구조물의 보수/보강에도 폭넓게 적용 가능한 매우 경제적이며 친환경 소재가 되리라 기대하는 바이다.

본 연구는 연구기획과정에서 개발과제관련 기술동향과 권리범위를 분석하고 사업화를

위한 기술적 타당성을 객관적으로 검증받은 바 있으며 모든 연구과정은 사업화 성공을 위한 전략을 위주로 작성하였고 궁극적으로는 신기술지정을 위한 기초자료로 활용코자 한다. 본 과제는 친환경 기능성 보수 모르타르의 품질향상 및 국산화를 위해 협동기관으로서 한국전자재시험원과 함께 시행하며 최적 제품개발을 위해 각 화력발전소에서 나오는 석탄회 조분의 품질, 즉 탄종(유연탄; 미연탄소/입도/기타)별 제품설계 및 조건별 조합모델(결합재대비 치환량)결정과 석탄회 사용량 증가를 위한 제품용도별 최적 조합제품 개발을 목표로 한다. 또한 연구기획단계에서 이루어진 기술가치평가기관(기술보증기금)의 기술분석(관련기술 동향 및 권리분석)과 기술적 타당성검토(기술경쟁력 및 제품화 환경), 시장동향 및 사업계획분석을 등을 참고하여 보다 성공적인 사업화(연구개발)을 꾀하기 위해 노력하였다.

또한 성공적인 사업화를 위해 추가로 연구되는 기술의 정확한 목표설정 및 달성을 위해 다음과 같은 연구계획(연구방법)에 따라 수행한다. 폐사와 전자재시험원은 개발과제가 추구하는 개발과제관련 보수모르타르 목표물성 시험을 위해 보수모르타르 시험계획 입안, 현장시공성 검토, 그리고 개발된 제품을 국내외에 판매시스템을 구축하여 마케팅할 것인가에 대한 계획을 수하고 또한 실천하는 것을 그 연구범위로 한다.

나. 연구목표 및 연구성과

표 4-1. 연구목표 및 연구성과

연 차	연구목표	주요연구내용	달성도
1차년도	1. 기술자료/문헌조사 기자재 구입	▪ 문헌조사 및 기자재 구입	100%
	2. 기본 배합설계 산정/재료시험 (입도분포)	▪ 재료별 분석 ▪ 분석 결과를 바탕으로 기본배한 설계 및 시험	100%
	3. 최적화 실험(W/B 및 석탄회혼입율/혼화제량상관관계 도출(1차성능))	▪ 기본배한 설계/시험을 바탕으로 다양한 시험을 거쳐 최적 배합 설계 도출	100%
	4. 조합별 성능평가실험 (조건별 시험항목체크)	▪ 조건에 따른 성능 평가 시험 ▪ 성능 평가 시험을 바탕으로 석탄회 사용량 증대 추진	100%
2차년도 (차년도*)	5. 최적배합(우수조합군) 선정시험(재현성)평가 (석탄회율/혼화제양)	▪ 최적 배합 선정 및 재현성 평가	100%
	6. 시험체제작/평가(1차)	▪ 시험체를 제작하여 성능 평가	100%
	7. 골재특성별/혼화제시험	▪ 골재별 시험을 통하여 골재별 최적 배합 산정	100%
	8. 목표품질 배합 선정/시험체제작/평가(2차)	▪ 목표 품질에 따른 배합 설계 방법 결정 ▪ 2차 시험체 제작	100%
	9. 최종성능 평가/보완 (조건별 시험항목의뢰)	▪ 최종 성능 평가 완료	100%
	10. 최종 개발제품 완성 현장 테스트 실시	▪ 현장 시험 3회 실시	100%

표 4-2. 연구목표치 대비 실적치

연구목표	성과지표	가중치	목표치	실적	성과물 명칭
터널보수용 보수보강모르타르 개발	시작품	0.2	1건 이상	다수	시작품
	현장적용	0.2	3건 이상	3건	시험시공
	상품화	0.2	1건 이상	1건	제품
	매뉴얼	0.1	1건 이상	1건	매뉴얼
	학술회의논문	0.1	2건 이상	5건	학술회의 논문
	학술지논문	0.1	1건 이상	2건(예정)	학술지 논문
	특허출원	0.2	1건 이상	1건	특허
합계		1.0	10건	10건	-

(1) 성과지표 세부사항

(가) 시작품 ; 다수

(나) 현장적용(총 3건)

① 1차 시험 타설

- 일자 : 2009년 9월 29일
- 장소 : (주)두영티앤에스 공장 내

② 2차 시험 타설

- 일자 : 2010년 2월 23일
- 장소 : 강원도 태백시 창죽동 현장

③ 3차 시험 타설

- 일자 : 2010년 8월 10일
- 장소 : 경상남도 양산시 국민체육센터

(다) 상품화 ; 1건, 상품명(매직콘)

해외 전시회 3회 참가(카자흐스탄, 인도네시아, 시리아)

(라) 매뉴얼 ; 1건 (배합설계, 품질관리, 시공지침관련)

(마) 논문(총 5건)

① 학술회의 논문 ;

- 구조물진단학회 2010.05.14 “석탄회를 이용한 보수 모르타르의 개발”
- 대한건축학회 2010.10.23 “석탄회를 이용한 터널용 보수 모르타르의 기초적 특성”
- 대한건축학회 2010.10.23 “석탄회를 이용한 터널용 보수 모르타르의 수밀성 관한 연구”
- 한국콘크리트학회 2010.11.5~6 “산업부산물을 이용한 보수 모르타르의 내구성 관한 기초적 연구”
- 한국콘크리트학회 2010.11.5~6 “산업부산물을 이용한 보수 모르타르의 투기성능 관한 연구”

② 학술지 논문 투고(계획);

- 한국구조물진단학회 “산업부산물을 이용한 보수 모르타르의 기초적 특성에 관한 연구”
- 한국콘크리트학회 “산업부산물을 이용한 터널 보수 모르타르의 내구성에 관한 연구”

(바) 특허출원(총 1건)

- “내마모, 내충격 및 내염해성이 우수한 보수용 모르타르 및 이를 이용한 터널보수공법”(출원번호; 10-2010-0082482)

제 3 절 관련 분야의 기술발전예의 기여도

본 과제의 개발기술은 산업폐기물(석탄회 조분 등)을 유효 이용한 자원재순환 기술 분야로서 일반터널 및 수로터널에 광범위하게 적용할 수 있는 신기술이며 핵심기술을 토대로 경제성을 감안하면 다양한 보수보강공법과의 접목이 가능할 것이다. 기존의 일반터널 및 수로터널 이외에도 일반 콘크리트 보수/보강시장 대체를 비롯해 환경문제관련 무기소재의 장점을 조합한 신시장 개척, 토목수리구조물의 보수보강 시스템 정립에 적용 가능한 기술 제공 뿐 아니라 콘크리트 보수보강분야 재료 및 공법관련 건설기술의 선진화를 위한 바탕을 제공하였다. 특히 산업부산물인 석탄회(Bottom Ash) 활용 증대(폐기물 재활용)라는 명분아래 타 산업에의 자원재활용관련 응용과 폐기물의 고부가가치 재이용에 의한 환경친화적 산물로 터널, 도로 및 기타 콘크리트구조물의 보수용 재료로 활용 등 개발기술(석탄회 대체/혼화재료)의 타산업/공정예의 응용이 가능하다.

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

제 1 절 추가연구의 필요성

1. 추가연구 필요성

본 절에서는 앞서의 최적배합 도출을 위한 연구결과를 바탕으로 제시된 시멘트계 무기 바인더 및 여기에 석탄회 조분을 치환 사용한 자원순환형 고성능 보수 모르타르를 대상으로 역학적 특성 및 내구성에 대한 추가 검토가 필요하였다.

2. 추가연구관련 예비시험

가. 실험개요

(1) 실험계획

그림 5-1. 및 표 5-1.은 본 절의 실험계획 및 기본 개념을 나타낸 것이다. 즉, 그림 5-1.과 같이 시리즈 I 은 기존 속경성 보수모르타르의 재료구성을 바탕으로 시멘트 종류를 변화시켜 각각의 특성을 검토 하였고, 시리즈 II에서는 시리즈 I의 시멘트 및 규사의 일부를 고로슬래그 미분말 및 버텀애쉬로 각각 15%를 치환하여 자원순환형 고성능 보수모르타르의 개발에 대한 성능 검토를 실시하였다.

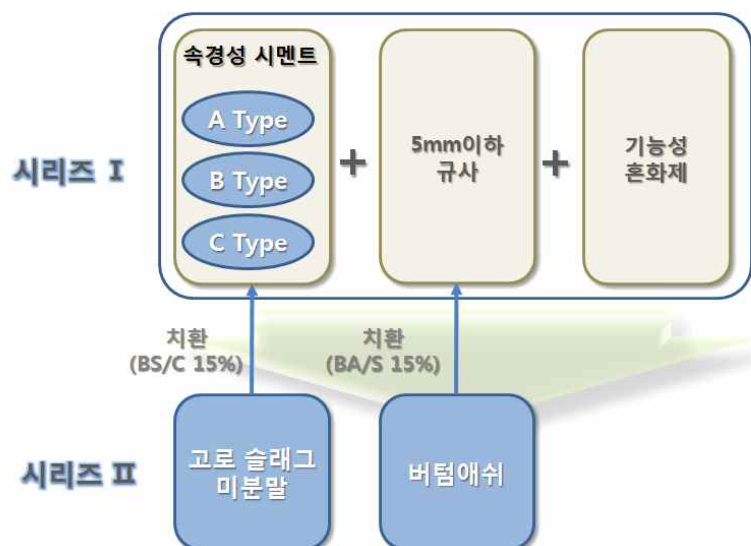


그림 5-1. 실험계획 기본 개념

표 5-1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합요인	시멘트 종류	3	A type, B type, C type
	(%)	2	0(시리즈 I), 30(시리즈 II)
	양생조건(℃)	2	20, 5
측정사항	굳지않은 모르타르 특성	4	· 유동 특성 - 테이블 플로 - 유하시간 · 응결시간
	경화 모르타르 특성		· 강도 특성 - 압축강도(3, 6, 12시간, 1, 7, 28, 56일) - 휨강도(3, 6, 12시간, 1, 7, 28, 56일) - 부착강도 표준 조건(28일) - 부착강도 (28일 양생후 냉온반복) · 길이변화 특성 · 물흡수 계수
	내구특성		· 중성화 저항성 · 동결융해 저항성 · 투수계수 · 투기계수 · 염화이온 침투저항성 · 내화학적성 - 내알칼리성(Ca(OH)_2 28일 침지 후) - 내산성(H_2SO_4 28일 침지 후)

시리즈 I의 시멘트 종류는 속경성 시멘트로서 A, B, C 3타입의 제품에 대하여 검토하였고, 시리즈 II는 시리즈 I의 3수준의 시멘트계 바인더에 각각 부산물 골재를 체적비로 30% 치환한 것으로 하였으며, 부산물 골재는 버텀애쉬와 고로슬래그 미분말을 각각 15%씩 혼합하여 사용하였다.

시험체에 대한 양생조건은 실험실 표준조건을 가정한 20℃ 및 현장조건을 고려한 5℃로 실험계획 하였다.

측정사항은 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 모르타르의 시험방법 규정인 KS F 4042 를 기본으로 하고, 기타 특성 및 내구성에 관련된 추가적인 시험을 실시하였다. 즉, 굳지않은 모르타르 특성은 테이블 플로, 유하시간 및 응결시간을 측정하였으며, 경화 모르타르 특성으로 압축강도, 휨강도, 부착강도(표준조건, 냉온반복조건), 길이변화 및 물흡수 특성에 대하여 검토를 실시하였다. 또한, 내구특성으로 중성화 저항성, 동결융해 저항성, 투수성, 투기성, 염화이온 침투 저항성 및 내화학적성에 대한 측정을 실시하였다.

표 5-2. 배합사항

기호		W/B (%)	S/B	단위용적질량(kg/m ³)					유동 화제 (%)
				물	시멘트	규사	슬래그	석탄회	
시리즈 I	A	30	1.0	300	1000	1000	-	-	1.2
	B	30	1.0	300	1000	1000	-	-	1.2
	C	30	1.0	300	1000	1000	-	-	1.2
시리즈 II	A-1	36	1.0	328	637	637	273	273	1.2
	B-1	36	1.0	328	637	637	273	273	1.2
	C-1	36	1.0	328	637	637	273	273	1.2

B = 시멘트 + 고로슬래그 미분말

S = 규사 + 버텀애쉬

(2) 시험방법

① 유동성

플로 시험은 KS F 2476의 시험방법에 따라 실시하였으며, 플로콘을 수직으로 들어올린 후 플로콘 내부의 시료가 퍼진 후 지름을 최대 방향과 이것에 직각 방향에 측정하여 두 값의 평균을 측정값으로 하였으며, 비빔직후, 15분 후 및 30분 후에서 경시변화를 측정하도록 하였다. 유하시간은 KS F 4044의 시험방법에 따라 실시하였다. 그림 5-2.는 유동성 시험 방법을 나타낸 것이다.



그림 5-2. 유동성 시험

② 응결시간

응결시간은 KS L 5207(내화물용 알루미나 시멘트의 물리 시험방법) 시험방법에 따라 실시하였다. 그림 5-3.은 응결시간 측정하는 모습을 나타낸 것이다.



그림 5-3. 응결시간 측정

주도계의 표준 막대를 초결 또는 종결침으로 바꾸고, 전체 질량을 300g으로 해서 시멘트 중에 서서히 강하 시키며, 초결용 표준침의 앞끝이 밀판의 윗면에서 약 1mm인 곳에 멈추는 때를 초결로 하고, 종결용 표준침의 부착된 작은 고리에 의한 흔적이 남지 않을 경우 종결로 판단 하였다.

③ 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2476의 7.2 a)에 따라 휨강도 시험 직후 절단된 시험체를 이용하여 실시하였다. 시험체 성형시 양측면을 가압면으로 하고, 40×40×40mm 하중용 가압판(강철제)을 상·하부에 놓고 매초 800±50N의 하중 속도로 재하하여 최대하중을 구한다. 압축강도는 다음 식에 의해 계산하고 공시체 6개의 평균값으로 하였다. 그림 5-4.는 압축강도 측정 모습을 나타낸 것이다.

$$\sigma_c = \frac{P}{1,600}$$

여기에서, σ_c : 압축강도(N/mm^2)

P : 최대하중(N)

④ 휨강도 시험

휨강도 시험은 KS F 2476의 7.2 b)에 따라 40×40×160mm 크기의 시험체를 이용하여 지간의 거리를 100mm로 하고, 공시체의 중량을 매초 50±10N의 하중 속도로 재하하여 최대하중을 구한다. 휨강도는 다음 식에 의해 계산하고 공시체 3개의 평균값으로 하였다. 그림 3.5는 휨강도를 측정하는 모습을 나타낸 것이다.

$$\sigma_b = P \times 0.00234$$

여기에서, σ_b : 휨강도(N/mm^2)

P : 최대하중(N)



그림 5-4. 압축강도 측정



그림 5-5. 휨강도 측정

⑤ 부착강도 시험

부착강도 시험은 표준 조건과 온냉반복 조건으로 실시하였다. 시험체 제작은 KS F 4716의 5.2에 따라 제작한 70×70×20mm의 모르타르 밀판을 연마한 후 중앙부에 안목 치수 40×40×10mm의 몰드를 놓고, 물에 적신 후 보수모르타르를 성형하고 각 양생방법에 따라 양생이 끝난 공시체를 양생실 내에 수평하게 놓고, 공시체의 표면에 접착제를 바른 후 그림 5-6.의 상부 인장용 지그(강철제)를 가만히 놓고, 가볍게 문지르듯이 접착하여 주위로 비어져 나온 접착제를 조심스럽게 제거한다. 상부 인장용 지그를 접착한 공시체를 시험실 내에 24시간 가만히 놓아둔다.

표준조건은 시험체를 하부 인장용 지그 및 강철제 받침판을 사용해서 시료면에 대해 수직 방향으로 1,500~2,000 N/min의 하중 속도로 인장력을 가해 최대 인장 하중을 구한

다. 부착강도는 다음 식에 의해 계산하고 공시체 3개의 평균값으로 하였다. 그림 3.7은 부착강도 측정모습을 나타낸 것이다.

$$\text{부착강도}(N/mm^2) = \frac{T}{1,600}$$

여기에서, T : 최대 인장하중(N)

온·냉반복 조건은 시험체를 물 속에 18시간 침지시킨 후 꺼내어 즉시 $-20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 냉각 후 $50\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 가열한다. 이러한 조작은 그림 5-8.의 온·냉반복시험기를 통해 10회 반복하고 양생실에서 2시간 가만히 놓아 둔 후 표준조건의 부착강도 시험 방법으로 동일하게 실시하여 부착 강도를 구하였다.

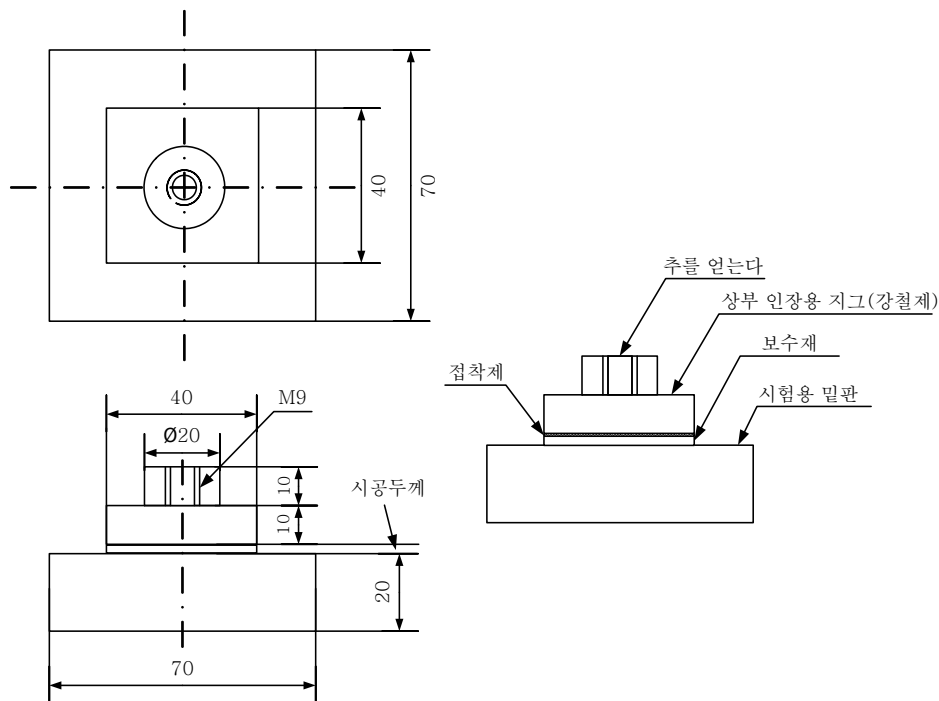


그림 5-6. 인장용 어테치먼트

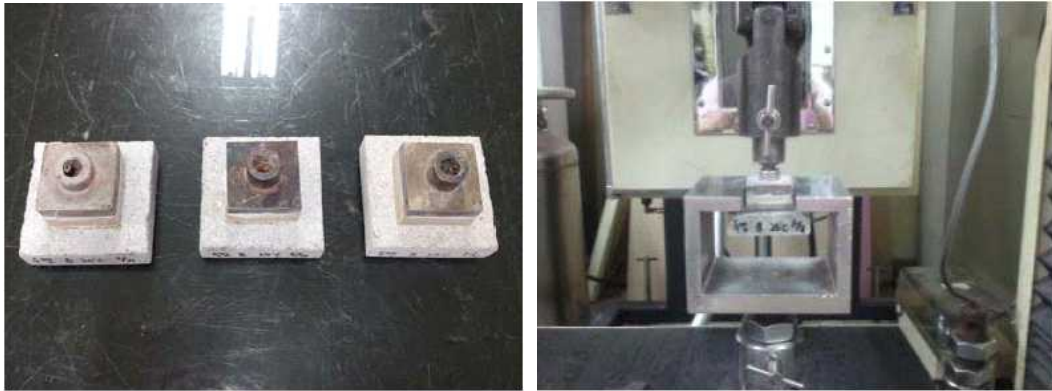


그림 5-7. 부착강도 측정 모습



그림 5-8. 온·냉반복시험기

⑥ 건조수축 길이변화 시험

건조수축 길이변화 시험은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에 따라 40×40×160mm 크기의 시험체는 길이 측정에 앞서 각선기로 젓빛유리에 선을 그은 후 시험체의 받침대에 표준자를 놓고 현미경에 기준을 정하고, 받침대에 젓빛유리가 위로 가게 올려놓고 길이를 측정한다. 측정은 재령 7일에 바탕길이를 측정하였고 이어 공시체를 각 항온항습기에 넣어 28일간 양생한 후에 길이를 측정한다. 길이변화율은 다음 식으로 계산한다. 그림 5-9.는 건조수축 길이변화를 측정하는 장치의 모습을 나타낸 것이다.

$$\text{길이변화율}(\%) = \frac{(X_{o1} - X_{o2}) - (X_{i1} - X_{i2})}{L_0}$$

여기서, L_0 : 기준길이

X_{o1}, X_{o2} : 각각 기준으로 한 시점에서의 측정치

X_{i1}, X_{i2} : 각각 시점 i 에서의 측정치



a) 각선기



b) 콤파레이터

그림 5-9. 길이변화시험

⑦ 투수 시험

투수 시험은 $\phi 150 \times 40 \text{mm}$ 크기의 시험체를 이용하여 온도 $80 \pm 2^\circ \text{C}$ 에서 48시간 건조하고, 데시게이터 내에서 냉각한 다음 공시체의 위면 중앙부 지름 5cm 이상을 연마한 후 투수 시험기용 금속제판 위에 공시체를 놓고 실리콘으로 위면 중앙부 지름 5cm를 제외한 나머지 부분을 도포하여 고정시킨 후 시험실 내에 24시간 가만히 놓아둔다. 투수시험 전 공시체의 질량(W_0)을 측정한다. 다음에 KS F 2451에 따라 공시체에 $10 \text{N}/\text{cm}^2 \{1.02 \text{kgf}/\text{cm}^2\}$ 의 수압을 1시간동안 가한 후 질량(W_1)을 측정한다. 다음 식으로 투수량을 계산하였다. 그림 5-10.은 투수량을 측정하는 모습을 나타낸 것이다.

$$W_p = W_1 - W_0$$

여기서, W_p : 투수량(g)

W_0 : 건조 후의 질량(g)

W_1 : 투수 후의 질량(g)



그림 5-10. 투수 시험 모습

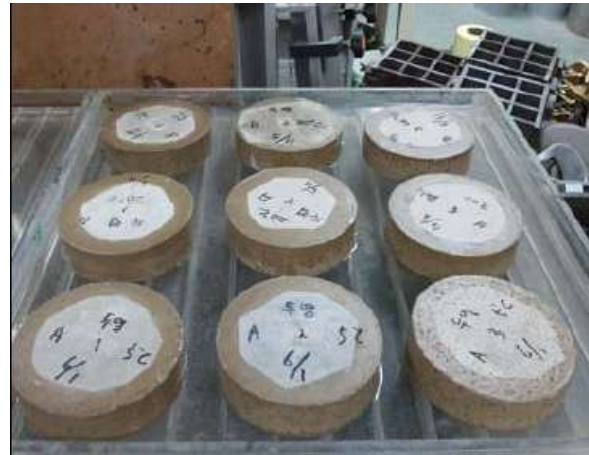


그림 5-11. 물 흡수 계수 측정 모습

⑧ 물 흡수 계수 측정

물 흡수 계수 측정은 제작된 공시체를 KS F 2609(건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 따라 $\phi 150 \times 40\text{mm}$ 크기의 시험체를 이용하여 온도 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 48시간 건조한 후 측면에 파라핀 및 에폭시 등으로 방수 처리한다. 파라핀 및 에폭시가 경화하면 초기무게를 측정하고 약 20°C 의 물에 2~10 mm 정도의 깊이로 담근다. 물에 담근 후 일정 시간의 간격으로 공시체의 무게를 측정한다. 이때 표면에 묻은 물은 젖은 형겅 등을 이용하여 제거한 후 측정한다. 물 흡수 계수는 다음 식으로 계산하였다. 그림 5-11.은 물흡수 계수 측정 모습을 나타낸 것이다.

$$W_t = \frac{\Delta m_t}{\Delta \sqrt{t}}$$

여기서, Δm_t : 면적당 물 흡수량(g)

t : 시간(s)

⑨ 습기투과 저항성 시험

습기투과 저항성 시험은 온도 $20 \pm 5^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 10\%$ 조건의 항온·항습기에서 실시하여야 한다. $\phi 150 \times 5\text{mm}$ 크기의 시험체를 이용하여 그림 5-13. a)와 같은 모양 및 치수의 시험용기(투습컵) 바닥에 KS M 8040에서 규정하는 흡습제(무수염화칼슘)를 100g이상 투입하여 평활하게 한다. 이때 흡습제 윗면과 시험체와의 간격은 10mm 이상으로 하며, 시험체를 시험용기에 설치도록 한다. 시험체의 투습 범위($\phi 100$) 이외의 부분은 밀봉재(파라

핀)로 밀봉하여 습기가 틈새로 투과하지 못하도록 한다. 또한 블랭크 컵이라 하여 시험용기에 흡습재를 넣지 않고 같은 방법에 의해 시료를 설치하도록 한다. 측정은 시료를 설치한 시험용기를 그림 5-12. b)와 같이 온도 23℃, 상대 습도 50%로 설정한 항온 항습조 내에 두고 24시간 간격으로 시험용기를 꺼내어 컵의 무게 증가를 측정하고 시료의 습기 투과량을 구하며, 블랭크 용기를 사용한 경우는 그 무게 증감을 측정하고, 블랭크 용기를 이용하여 구한 값을 습기 투과량에서 가감하여 보정하였다. 측정결과와 계산은 다음 식으로 하였다.

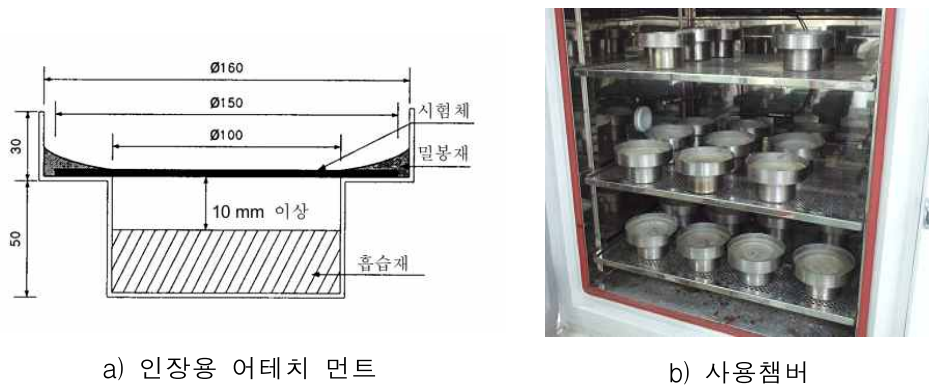


그림 5-12. 습기투과 저항성 시험

$$\mu = \frac{\Delta P}{1.5 \times 10^6 \times m \times s}$$

여기에서, μ : 측정재료의 습기투과 저항계수

$$\frac{1}{1.5 \times 10^6} : \text{공기 } 5^\circ\text{C에서의 습기투과성} (\delta) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right)$$

$$m : \text{측정재료의 단위시간당 질량의 변화} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

$$\Delta P : \text{습기압차 (Pa)}$$

$$s : \text{측정재료의 두께 (m)}$$

⑩ 투기계수 시험(Darcy's law)

현재까지 국내외 투기계수에 관한 시험방법이 표준화되어 있지 않으며, 각 연구에 따라 다양한 방법들이 적용되고 있다. 그 방법들의 이론에 기초된 방법으로, 국내에서 많이 적용되고 있는 Darcy's law에 따라 Ø100×50mm의 투기계수 시험용 공시체를 사용하여 투

기계수를 측정하였다. 투기계수는 그림 5-13.에 나타난 바와 같이 내부직경 7cm의 실린더에 시험체를 고정하고 실리콘으로 실링하여 공기가 틈새로 투과하지 못하도록 하였다. 실리콘이 경화된 후 실린더에 2 kgf/cm²의 압축공기를 주입하여 메스실린더를 이용한 수중 치환법에 의해 투기량을 측정하고, Darcy's law을 적용한 다음 식을 이용하여 투수계수를 계산하였다. 그림 5-14.는 투기계수를 측정하는 모습을 나타낸 것이다.

$$K = \frac{2P_2 h \gamma}{P_1^2 - P_2^2} \cdot \frac{Q}{A}$$

여기서, K : 투기계수(cm/s) , P_1 : 재하압력(kgf/cm²), P_2 : 대기압 (1.0332kgf/cm²), h : 시험체의 두께(cm), Q : 투기량(cm³/s), A : 투기면적(cm²), γ : 기체의 단위용적질량(1.205X10⁻⁶kg/cm³)

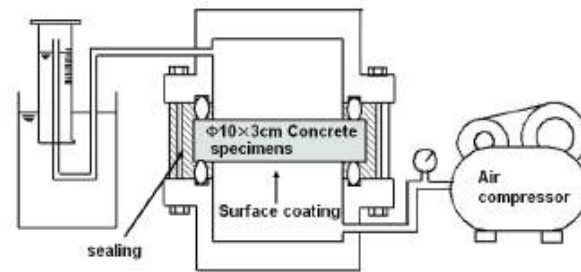


그림 5-13. 투기계수 시험방법 모식도



그림 5-14. 투기계수 시험(Darcy's law) 모습

⑪ 투기계수 시험(Torrent's law)

투기계수에 관한 다른 시험방법인 Torrent's law은 300×300×100mm의 직육면체 공시체에 투기성 시험장치를 이용하여 실시하는 것이다. 투기계수 시험은 이중으로 빨려 들어가 내측 진공실의 기압 변화를 720초 동안 측정함으로써 시험체의 투기성을 평가하는 것이며, 투기성 계수(K)는 Torrent가 제안한 이론적 모델에 의하여 다음 식에 의해서 계산된다.

$$K=4\left(\frac{V_c(dP_I/dt)^2}{A(P_a^2-P_I^2)}\right)\frac{\mu P_a}{\epsilon}\int_{t_0}^t\left[1-\left(\frac{P_I}{P_a}\right)^2\right]dt$$

여기서, K : 투기성 계수 (m^2)

ϵ : 콘크리트의 공극 (m^3)

dP_I/dt : 시간 t 에 대한 미분항 ($Nm^{-2}s^{-1}$)

A : 내부 챔버와의 접촉면적 (m^2)

μ : 기체의 동점도 (Nsm^{-2})

P_I : 내부 챔버의 압력 ($Nm^{-2}s^{-1}$)

V_c : 챔버 내부용량 (m^3)

P_a : 대기압 (Nm^{-2})



그림 5-15. 투기계수 시험(Torrent's law) 모습

⑫ 중성화 저항성 시험

중성화 저항성 시험은 KS F 4042의 규정에 따라 100×100×100mm의 중성화 저항성 시험용 공시체를 양생 종료 1일 전에 공시체의 4측면 및 밑면을 에폭시 수지로 밀봉하고, 에폭시 수지를 24시간 경화시킨다. 온도 20±2℃, 상대습도 65±10%, CO₂ 농도 5.0%로 고정된 그림 5-16. a)의 촉진 중성화 시험기에 넣은 후 28일 동안 중성화시킨다. 그 후 단면을 절단하고 절단면에 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 그림 5-16. b)와 같이 적색으로 변하지 않는 부분을 중성화 부분이라고 한다. 중성화된 부분을 그림 3.17과 같이 1측면 3개소씩 총 6개소의 깊이를 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.1mm까지 측정하였다.



a) 촉진 중성화 시험기

b) 중성화 시험체의 단면

그림 5-16. 중성화 저항성 시험

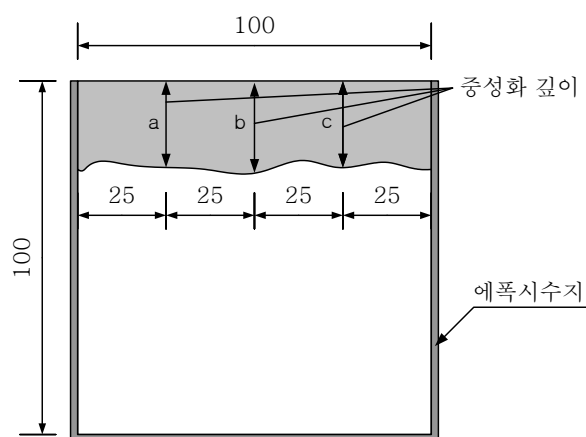


그림 5-17. 중성화 깊이 측정(단위:mm)

⑬ 염화물이온 침투 저항성 시험

염화물이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711의 규정에 따라 $\varnothing 100 \times 50 \text{mm}$ 의 크기로 제작된 공시체에 대략 10g의 급결 도막제(에폭시)를 준비하여 시험편의 옆면에 솔로 바르며 겹으로 보이는 외부 구멍을 모두 메운다. 경화 후 공시체를 그림 5-18.과 같이 진공 포화 장치에 넣어 진공포화 시킨 후 시험셀에 장착시킨다. 윗면과 면하고 있는 시험셀에 (-)전극을, 다른 쪽에 (+)전극을 연결한다. (-)전극에 3.0%의 NaCl 용액을 채우고 (+) 전극에는 0.3N의 NaOH 용액을 채워 넣은 다음 $60.0 \pm 0.1 \text{ V}$ 의 전원 공급 장치에 연결하여 6시간 동안의 전압값을 기록하였다. 이때 전압은 0.1mV까지 측정이 가능해야 하고 측정한 전압값은 다음 식에 의하여 전류값으로 환산한다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{1.0}$$

여기에서, I : 전류 (Amperes, A)

V : 전압 (Volts, V)

R : 저항 (Ohms, Ω)

측정은 30분 간격으로 6시간 동안 저항 양단에 걸리는 전압을 측정하고 이를 전류로 환산한 후 다음 식을 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 계산하였다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2 \cdot I_{30} + 2 \cdot I_{60} + \dots + 2 \cdot I_{300} + 2 \cdot I_{330} + I_{360})$$

여기에서, Q : 통과 전하량(Coulombs)

I_0 : 전압을 가한 직후의 전류(Ampere)

I_n : 전압을 가한 후 n분 경과 후의 전류(Ampere)



그림 5-18. 염화이온 침투 저항성 시험

⑭ 내알칼리성/내산성 시험

내알칼리성 시험은 압축강도 시험체를 포화 수산화칼슘용액($50\pm 2^{\circ}\text{C}$)에서 28일 동안 담근다. 그 후 젖은 형겅으로 싸서 상온으로 냉각시킨 후 압축강도를 측정한다. 내산성 시험은 압축강도 시험체를 포화 황산용액($50\pm 2^{\circ}\text{C}$)에서 28일 동안 담근다. 그 후 젖은 형겅으로 싸서 상온으로 냉각시킨 후 압축강도를 측정한다.



a) 포화 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 용액 침지



b) 5% H_2SO_4 용액 침지



c) 내알칼리 시험체의 단면



d) 내산성 시험체의 단면

그림 5-19. 내알칼리성 및 내산성 시험

(3) 사용재료

① 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 두영 T&S에서 개발한 시멘트를 포함한 3종의 속경성 타입 시멘트를 사용하였고, 그 물리·화학적 성질은 표 5-3.과 같다.

표 5-3. 시멘트의 물리·화학적 특성

항목	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	SiO ₂	Ig. Loss	Blaine (cm ² /g)	밀도 (g/cm ³)
A Type	36.5 ~ 39.0	1.0 ~ 2.0	40.0 ~ 41.5	1.5 ~ 2.0	9.0 ~ 11.0	1.0 ~ 1.5	4.5 ~ 6.5	2.5	4,610	2.95
B Type	35.0 ~ 37.0	1.0 ~ 3.0	40.5 ~ 42.5	1.5 ~ 2.0	8.5 ~ 10.5	1.0 ~ 1.5	6.6 ~ 8.0	2.1	4,715	2.80
C Type	9.1	2.1	58.9	0.6	9.5	0.5	15.4	2.2	4,710	3.04

② 고로슬래그 미분말

표 5-4. 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 특성

구분			단위	KS규격 3종	시험결과
물리성능	밀도		g/cm ³	2.80이상	2.90
	비표면적		cm ² /g	4000~6000	4,306
	활성도 지수	재령7일	%	55 이상	70
		28일		75 이상	103
		91일		95 이상	117
	플로값 비		%	95 이상	102
화학성분	삼화마그네슘(MgO)		%	10.0 이하	5.61
	삼산화황(SO ₃)		%	4.0 이하	1.00
	강열 감량		%	3.0 이하	0.43
	염화물 이온		%	0.02 이하	0.007
비고	고로수쇄슬래그(염기도)		%	1.60 이상	1.76
	석고첨가(유,무)		-	석고첨가	

고로슬래그 미분말은 KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그 미분말) 3종을 사용하였으며, 그 화학성분 분석 및 물리적 성질은 표 5-4.와 같다.

③ 규사

규사는 국내 전남 화순 이야의 골재를 사용하였으며, 그 화학성분 및 입도 범위는 표 5-5. 및 그림 5-20.과 같다.

표 5-5. 규사의 화학성분

시료명	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
규사	95.2	1.73	0.44	0.08	0.04

④ 석탄회 입도

석탄회는 국내 태안 화력발전소에서 발생한 버팀애쉬를 사용하였으며, 그 입도 분포 및 물리적 성질은 그림 5-20., 표 5-6. 및 표 5-7.과 같다.

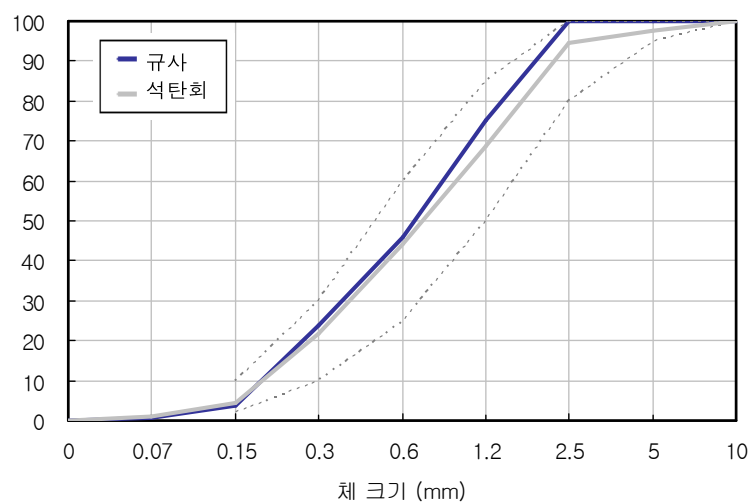


그림 5-20. 규사 및 석탄회의 입도

표 5-6. 석탄회의 입도분포

최대입경 (mm)	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	균등계수 (C_u)	곡률계수 (C_g)	200번체 통과율(%)
15	0.08	0.32	1.1	13.8	1.08	8.6

표 3-7. 석탄회의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	골재 안정성 (%)	마모 감량 (%)	비표면적 (cm ² /g)	흡수율 (%)	유기물 함량 (%)
2.2	10.9	45	1,150	4.68	0.30

⑤ 혼화제

혼화제로서 고성능 감수제는 멜멘트계 축합물을 주성분으로 하는 분말형태의 고성능 감수제를 사용하였고, 지연제는 일반적으로 시멘트와 석고계 분체 등의 지연제로 사용되는 백색 분말 형태의 주석산(Tartaric Acid)을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 5-8.과 같다.

표 5-8. 혼화제 물리적 성질

구 분	구성 성분 및 물리적 성질
고성능 감수제	주성분 : 멜멘트계 축합물, 건조손실 : 3.3%, 겔보기밀도 : 0.68g/cm ³ , 용존물질 함유량 : 20%, pH : 10.2
지연제	주성분 : 주석산, 용해도 : 147g/100ml, 밀도 : 1.76g/ml, pH : 2.2

나. 실험결과 및 분석

(1) 굳지 않은 모르타르 특성

그림 5-21.은 시리즈별 경시변화에 따른 플로를, 그림 5-22.는 유하시간 결과를 나타낸 것이다. 각 시멘트 종류별 플로는 그림에서 알 수 있듯이 다양한 양상을 나타내고 있는데, 전반적으로 A 타입 및 C 타입 시멘트의 경우 급격한 응결로 인해 10분 경과 후 대부분의 유동성을 상실하는 것으로 나타났다. 한편, B 타입 시멘트의 경우 다른 타입의 시멘트에 비해 양호한 유동성을 나타내고 있다. 특히, 시리즈 I 의 5℃조건의 경우 비빔직후의 플로가 275mm로 가장 큰 것으로 나타났으며, 경시변화에 따른 유동성 저하 경향도 양호한 것으로 나타났다.

온도 조건 변화에 따른 유동성 변화 경향으로는 20℃조건보다 5℃조건의 경우가 양호한 경시변화 특성을 나타내었다.

또한, 시리즈별 특성으로는 시리즈 I 에 고로슬래그 미분말 및 버팀애쉬 잔골재를 치환

한 시리즈 II의 경우 시리즈 I에 비해 전반적으로 유동성이 약간 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 규사의 일부를 치환한 버팀애쉬의 높은 흡수율에 의한 배합수 감소 등을 원인으로 들 수 있다.

그림 5-22의 유하시간 측정결과는 B 타입의 시멘트를 제외한 모든 시료가 컨시스턴스의 확보가 어려운 것으로 나타났으며, B 타입 시멘트의 경우 시리즈 I, II 모두 KS 4044 (수경성 시멘트 무수축 그라우트)의 기준인 60초 이내로 나타났다.

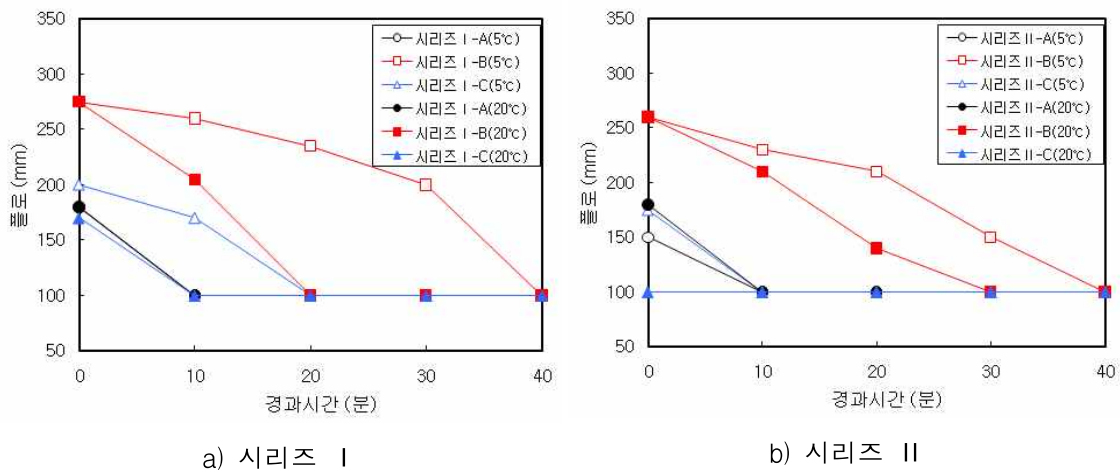


그림 5-21. 경시변화에 따른 플로 변화

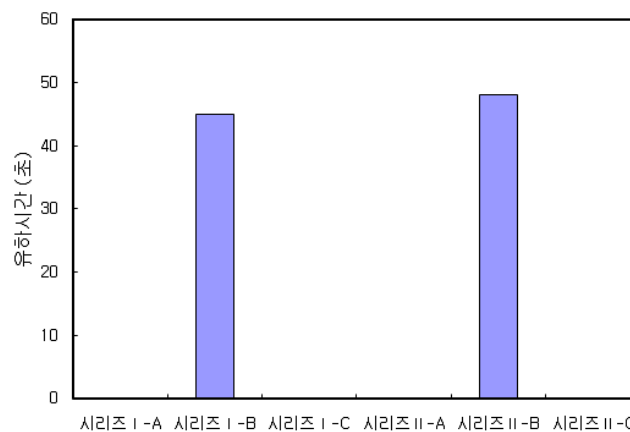


그림 5-22. 시리즈별 유하시간

그림 5-23은 시멘트 종류, 양생조건 및 시리즈별 응결시간을 나타낸 것이다. 시멘트 종류별 응결시간은 전반적으로 A 타입, C 타입, B 타입 순으로 빠르게 나타났다. 특히, 시

리즈 1의 B 타입의 경우 초결 55분, 종결 60분으로 가장 늦은 것으로 나타나, 본 연구의 목표 범위에 포함되는 것으로 나타났다.

온도 조건 변화에 따른 응결시간은 당연한 결과로 20℃ 조건 보다 5℃ 조건의 경우가 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다. 그러나, 20℃ 조건의 경우도 B 타입 시멘트의 경우 본 연구의 목표치인 20℃ 조건 초결 30분을 만족하는 것으로 나타났다.

또한, 시리즈별 응결시간은 시리즈 II의 경우가 시리즈 I 보다 빨라지는 것으로 나타났는데 이는 유동성 감소와 다소 연관이 있을 것으로 판단된다.

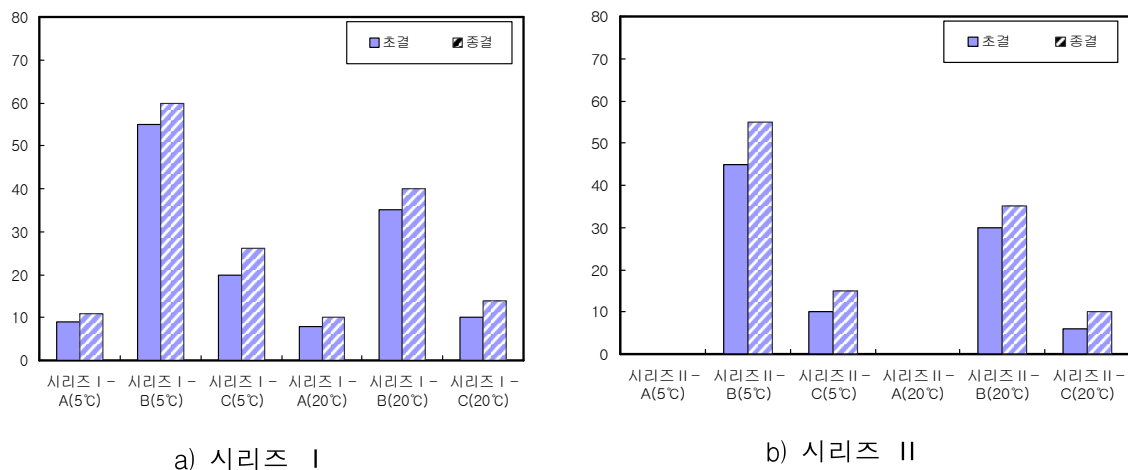
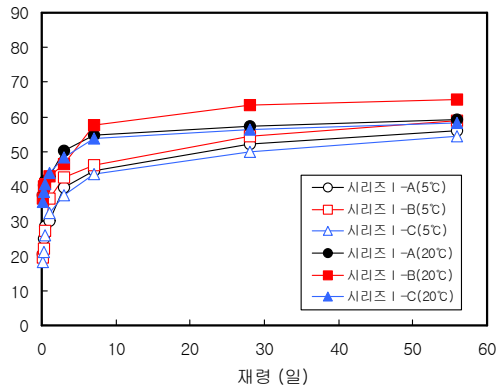


그림 5-23. 시리즈별 응결시간

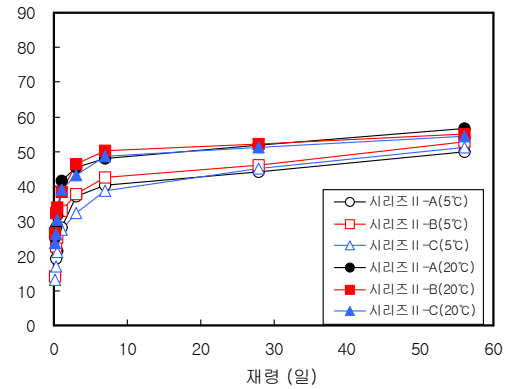
(2). 경화 모르타르의 특성

그림 5-24.는 시리즈별 재령경과에 따른 압축강도 특성을 나타낸 것이고, 그림 5-25.는 동일 결과를 적산온도로 나타낸 것이다.

시멘트 종류별 압축강도는 전반적으로 B 타입, A 타입, C 타입 순으로 나타났다. 양생 온도 조건별로는 5℃ 조건 보다 20℃ 조건의 경우가 다소 높은 강도를 나타냈다. 그러나, 그림 3.25의 적산온도 그래프에 알 수 있듯이 장기 재령으로 갈수록 저온양생 조건인 5℃의 경우도 지속적인 강도 증진 경향을 나타내어 56일 재령에서는 20℃ 양생조건과 유사한 강도를 나타내고 있다.

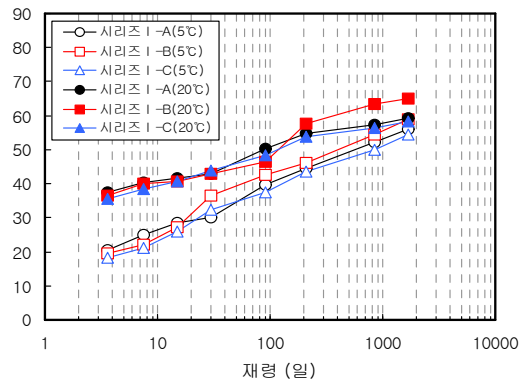


a) 시리즈 I

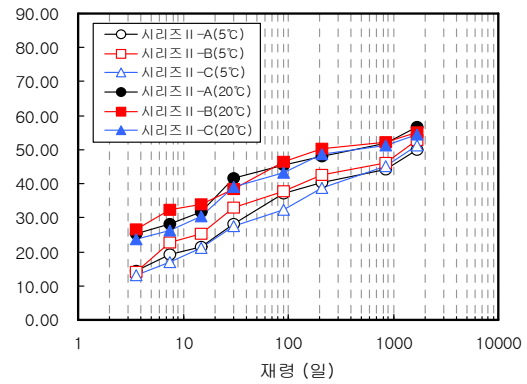


b) 시리즈 II

그림 5-24. 시리즈별 압축강도



a) 시리즈 I



b) 시리즈 II

그림 5-25. 시리즈별 압축강도(적산온도)

한편, 시리즈별 압축강도는 시리즈 II의 경우 시리즈 I 보다 전반적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, 강도증진 경향은 시리즈 I 과 유사하며 56일 재령에서는 본 연구의 목표치인 $50\text{N}/\text{mm}^2$ 를 만족하는 것으로 나타났다.

그림 5-26.은 앞서 압축강도와 동일한 방법으로 시리즈별 재령경과에 따른 휨강도 특성을 나타낸 것이고, 그림 5-27.은 동일 결과를 적산온도로 나타낸 것이다. 전반적으로 휨강도는 압축강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 시멘트 종류별 휨강도는 근소한 차이로 대동소이한 것으로 나타났으나, 양생온도 조건별 차이는 명확한 차이를 나타내었다. 특히, 시리즈 I의 경우 양생온도 조건별 차이가 현저한 것으로 나타났다. 그러나, 고로슬래그 미분말 및 버팀애쉬를 일부 치환 사용한 시리즈 II의 경우 온도조건별 차이가 미소하며,

25일 재령에서는 거의 유사한 강도를 나타내었다.

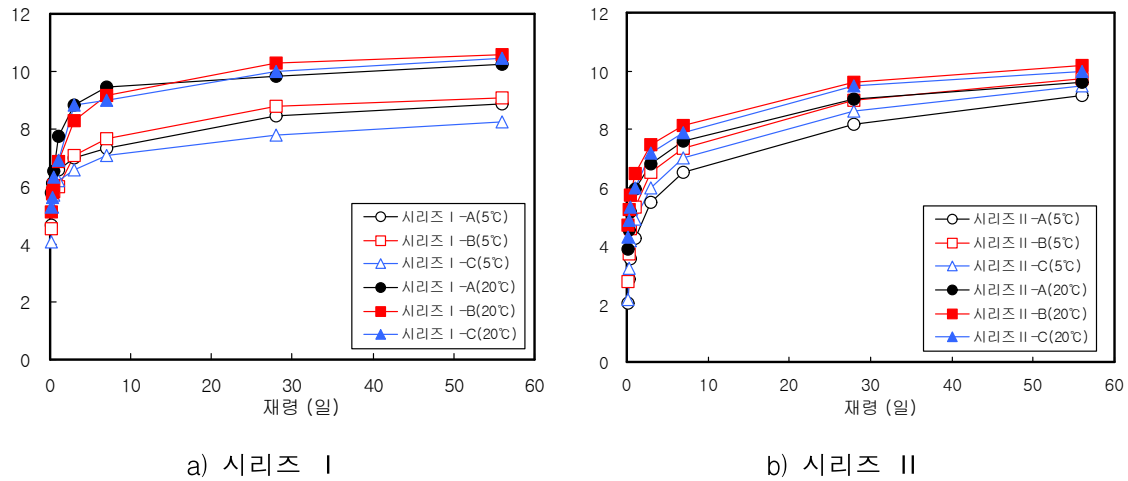


그림 5-26. 시리즈별 재령과 휨강도의 관계

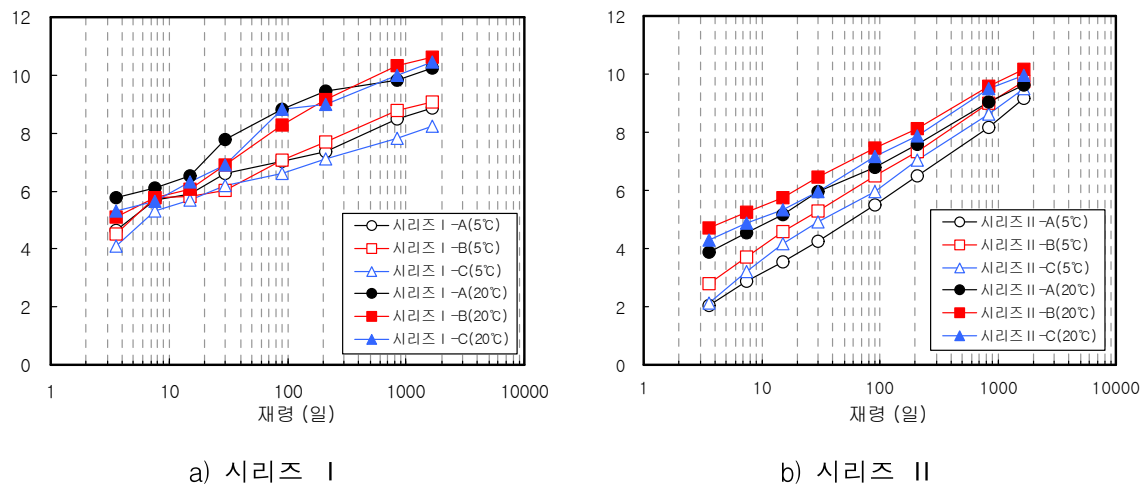


그림 5-27. 시리즈별 재령과 휨강도의 관계 (적산온도)

그림 5-28은 시멘트 종류 및 시리즈별 부착강도 특성을 나타낸 것이다. 부착강도 시험은 그림과 같이 표준조건(5°C, 20°C)과 냉온 반복조건으로 구분하여 시험을 진행하였으며, 그림과 같이 시리즈 I의 경우 시멘트 종류별 부착강도는 전반적으로 대동소이하나 양생 온도 조건별 및 냉온 반복후의 시험결과의 차이가 큰 것으로 나타났는데, 20°C 양생조건에 비해 5°C의 양생조건이 평균 35%정도 감소하는 것으로 나타났고, 냉온 반복 후의 경우 평균 57%정도 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 시리즈 II의 경우 양생온도 조건 및 냉온 반복후의 부착강도 차이가 시리즈 I에 비해 미소한 것으로 나타났는데, 20°C 양생

조건의 경우 평균 2.8 N/mm^2 으로 나타났고, 이에 비해 5°C 양생조건의 경우 평균 31% 저하 하였으며, 냉온 반복 후의 경우가 평균 19%정도 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 고로슬래그 미분말 및 버팀애쉬를 치환 사용함에 따라 부착성능이 개선된 것은 버팀애쉬 치환에 따른 접착 단면적의 증가에 따른 것으로 판단된다.

그림 5-29.는 시멘트 종류 및 시리즈별 길이변화 특성을 나타낸 것이다. 시멘트 종류별 건조수축 특성으로는 전반적으로 A > C > B 타입 순으로 나타났으며, 시리즈별로는 시리즈 II가 시리즈 I 보다 수축이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 시멘트의 일부를 고로슬래그 미분말로 치환함에 따른 단위 시멘트량 감소의 영향으로 판단된다.

또한, 양생온도 조건별 길이변화 특성으로 시리즈 I의 경우 5°C 양생조건과 20°C 양생조건 간에 차이가 큰 반면 시리즈 II의 경우 양생온도 조건 변화에 따른 차이가 매우 작은 것으로 나타났으며, 모든 시료가 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)의 기준인 $\pm 0.15\%$ 범위내에 포함되는 것으로 나타났다.

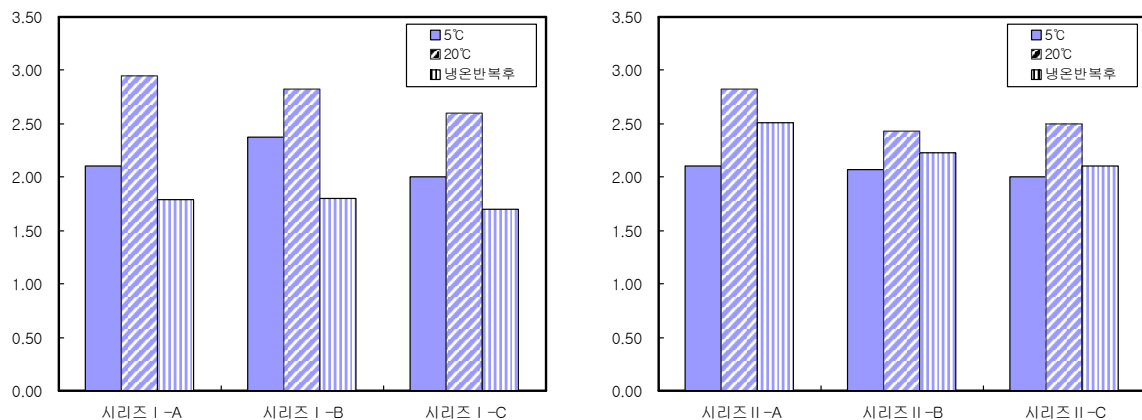


그림 5-28. 시리즈별 부착강도

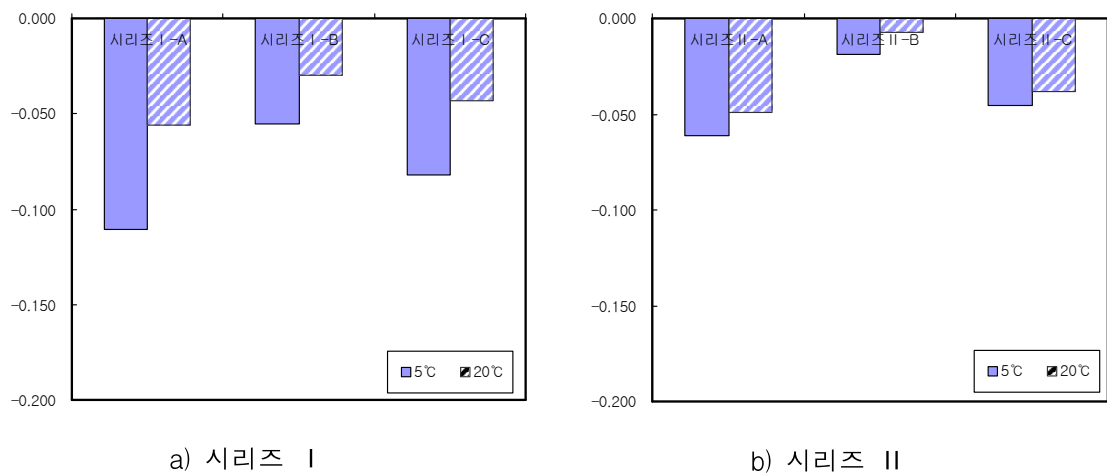


그림 5-29. 시리즈별 길이변화

(3) 수밀성

그림 3.30은 시멘트 종류 및 시리즈별 투수량을 나타낸 것이다. 시멘트 종류별 투수량은 전반적으로 A < C < B 타입 순으로 나타났고, 온도조건별로는 20℃ 양생조건이 5℃ 양생조건 보다 투수량이 적은 것으로 나타났다. 이는 20℃ 양생조건이 5℃ 양생조건 보다 내부조각이 치밀하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 시리즈별로는 전반적으로 시리즈 II가 시리즈 I 보다 투수량이 많은 것으로 나타났는데, 이는 다공질 버팀애쉬의 높은 흡수율과의 상관성에 의한 것으로 판단 된다. 그러나, 본 연구범위 모든시료는 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 투수량 기준인 20g 이내를 만족하는 것으로 나타났다.

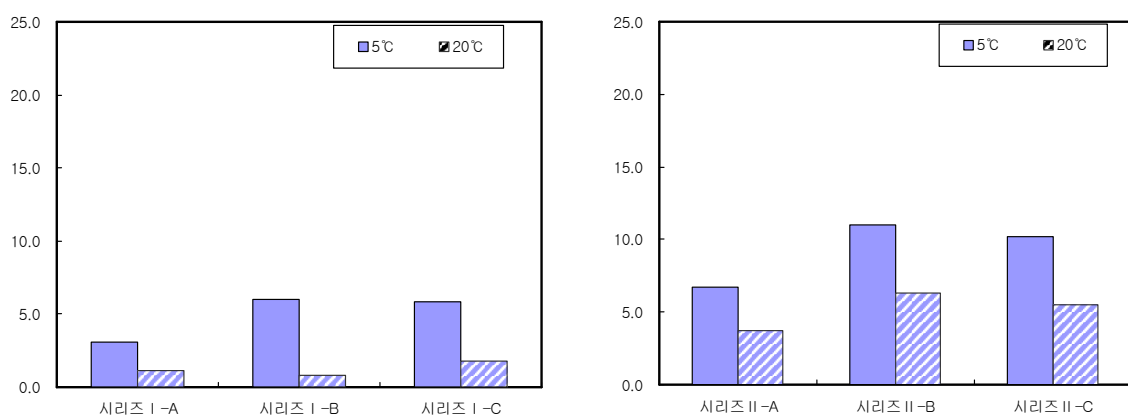


그림 5-30. 시리즈별 투수량

전반적으로 시멘트 종류별 물흡수 계수의 차이는 그다지 크지 않은 것으로 나타났으나, 시리즈별 차이가 현저한 것으로 나타났는데, 시리즈 II의 경우 현저한 물흡수계수를 나타내었다. 이는 투수량과 동일한 이유에 의한 것으로 버팀애쉬의 영향에 의한 것으로 판단된다. 또한, 양생온도 조건별로는 5℃ 양생조건이 20℃ 양생조건 보다 물흡수 계수비가 약간 큰 것으로 나타났다.

그림 5-32.는 시멘트 종류 및 시리즈별 투기계수를 나타낸 것이다. 시멘트 종류별 투기계수는 시리즈별로 다소 다른 양상을 나타내었으나, 시리즈별 투기계수는 시리즈 I 이 시리즈 II보다 작은 것으로 나타났다.

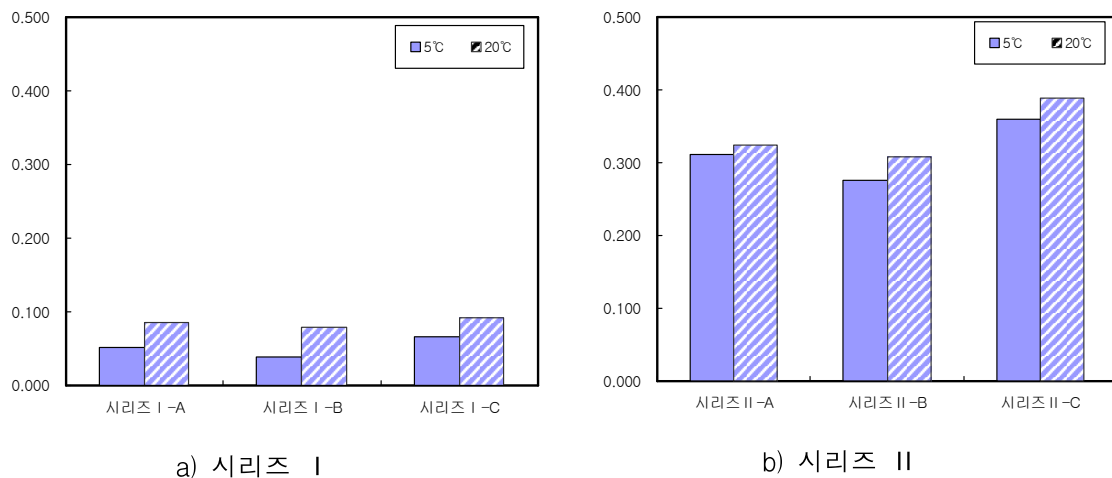


그림 5-31. 시리즈별 물 흡수 계수

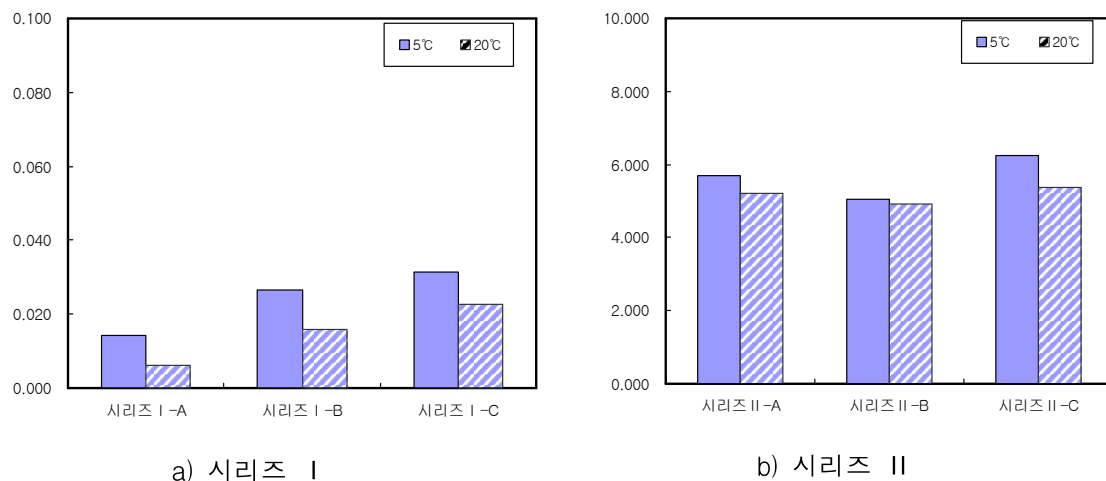


그림 5-32. 시리즈별 투기계수

이는 앞서의 투수량과 상호 상관성이 있을 것으로 판단된다. 또한, 양생온도 조건별로는 5℃ 양생조건이 20℃ 양생조건 보다 투기 계수가 약간 큰 것으로 나타났다.

그림 5-33.은 시멘트 종류 및 시리즈별 습기투과 저항성을 나타낸 것이다. 시멘트 종류별 습기투과 저항성은 전반적으로 A < C < B 타입 순으로 작아지는 것으로 나타났고, 온도조건별로는 20℃ 양생조건 보다 5℃ 양생조건의 경우가 습기투과 저항성이 작아지는 것으로 나타났는데, 시리즈 II의 경우 온도 조건별 차이가 현저한 것으로 나타났다.

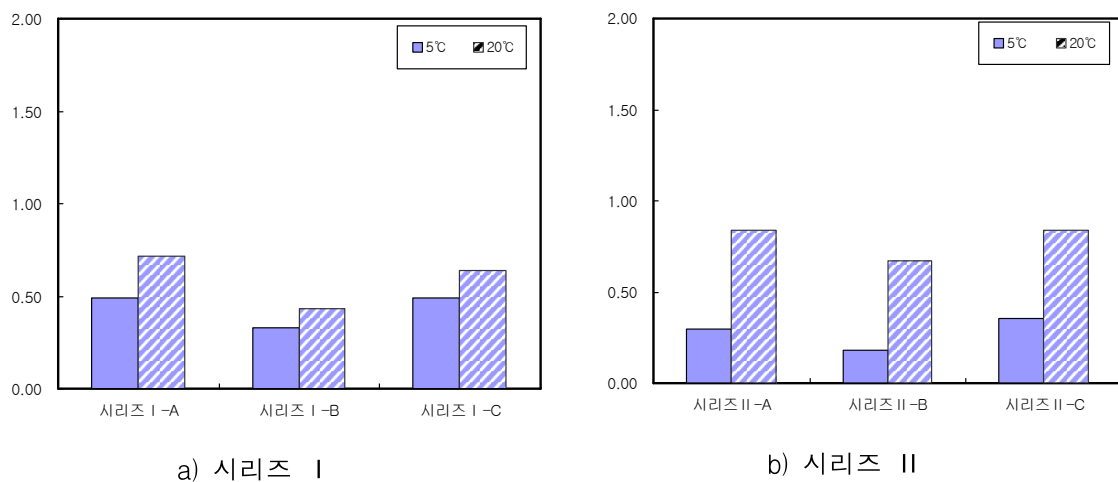


그림 5-33. 시리즈별 습기투과 저항성

(4) 내구성

그림 5-34.는 시멘트 종류 및 시리즈별 중성화 저항성을 나타낸 것이다.

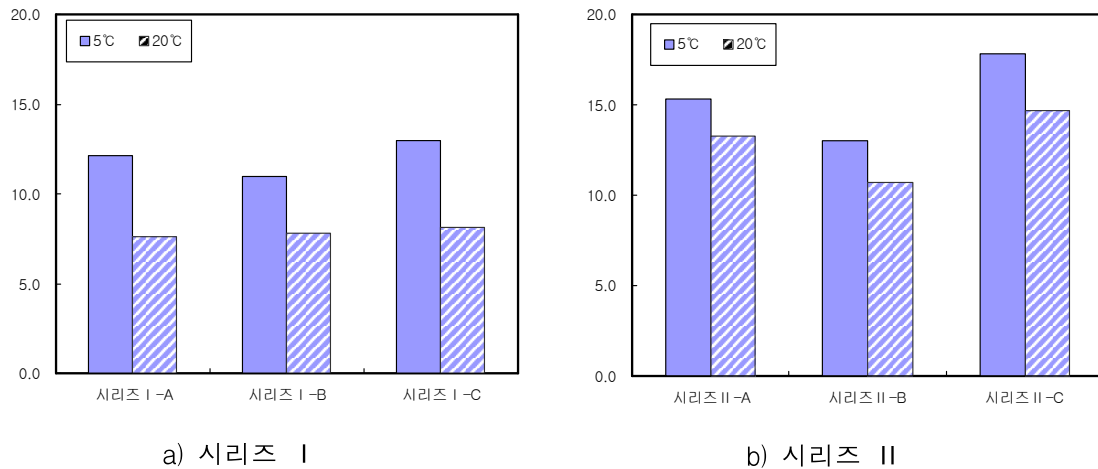


그림 5-34. 시리즈별 중성화 저항성

시멘트 종류별 중성화 저항성은 전반적으로 A < C < B 타입 순으로 작아지는 것으로 나타났고, 온도조건별로는 20℃ 양생조건 보다 5℃ 양생조건의 경우가 중성화 저항성이 커지는 것으로 나타났으며, 시리즈별로는 시리즈 I, II간의 차이는 미소한 것으로 나타났다.

그림 5-35.는 시멘트 종류 및 시리즈별 염화물 이온 침투 저항성을 나타낸 것이다. 시멘트 종류별 염화물 이온 침투 저항성은 그다지 차이가 크지 않은 것으로 나타났으나, 시리즈별 차이가 현저한 것으로 나타났는데, 시리즈 II의 경우 현저히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 버팀애쉬 잔골재에 포함되어 있는 공극에 의한 영향으로 판단된다. 또한, 양생 온도 조건별로는 5℃ 양생조건이 20℃ 양생조건 보다 염화물 이온 침투 저항성이 큰 것으로 나타났다.

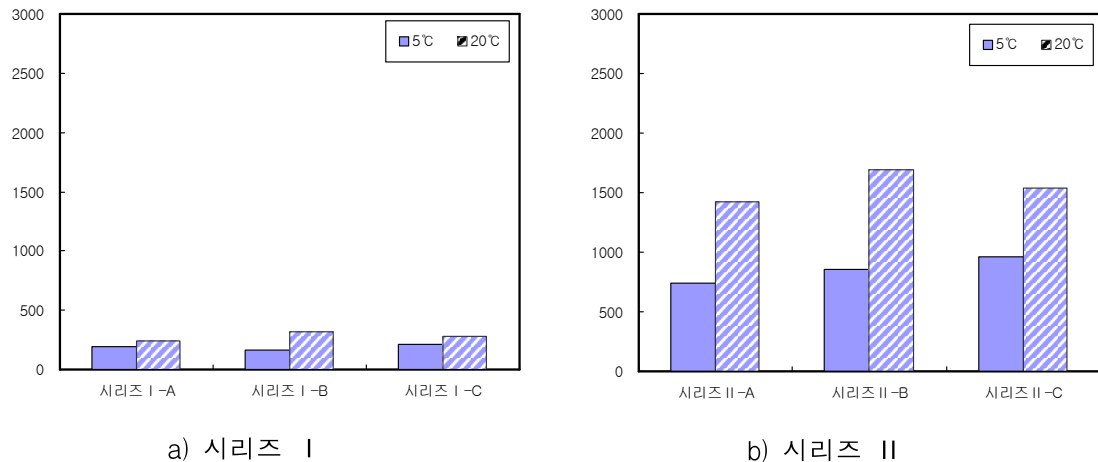


그림 5-35. 시리즈별 염화물 이온 침투 저항성

그림 5-36. 및 5-37.은 시멘트 종류 및 시리즈별 내알칼리성 결과를 나타낸 것이다. 내알칼리성 시험은 28일 압축 측정 시점에서 시험체를 포화 수산화칼슘용액 다시 28일 동안 침지 시킨뒤 압축강도를 측정한 것으로써, 그래프 상에는 28일 재령의 압축강도와 알칼리 침지후의 압축강도 결과를 동시에 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시리즈 I의 경우 수산화칼슘용액에 침지후의 압축강도가 침지전의 압축강도에 비해 저하하는 것으로 나타났다. 특히, C 타입 시멘트의 경우 다른 종류의 시멘트에 비해 강도저하가 큰 것으로 나타났다. 이는 다른 시멘트가 CA계인 것에 비해 C타입의 시멘트가 CSA계 시멘트인데 이에 기인한 결과로 사료된다. 반면, 시리즈 II의 경우 강도저하가 미비한 것으로 나타났으며, 5°C 양생조건의 경우 C 타입의 시멘트를 제외하고는 28일 재령의 압축강도와 동등한 값을 나타내어 내알칼리성 큰 것 알 수 있었다.

그림 5-38. 및 5-39.는 시멘트 종류 및 시리즈별 내산성 결과를 나타낸 것이다. 내산성 시험은 내알칼리성 시험과 동일한 방법으로 황산용액($50\pm 2^{\circ}\text{C}$)에 28일 동안 침치시킨후 측정한 결과이다. 전반적으로 내산성 시험의 경우도 내알칼리성 시험과 유사한 경향을 나타내고 있는데, 고로슬래그 미분말 및 버텨애쉬를 치환 사용한 경우가 내산성이 큰 것을 알 수 있다.

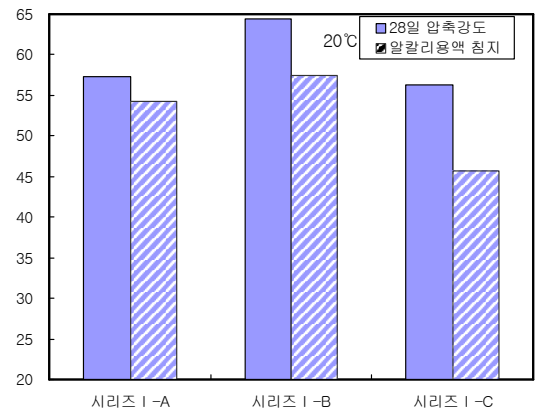
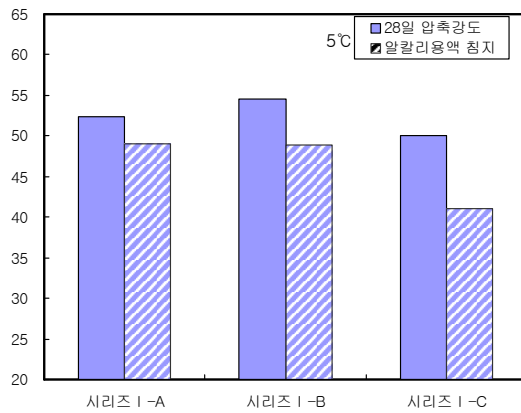


그림 5-36. 시리즈별 내알칼리성(시리즈 I)

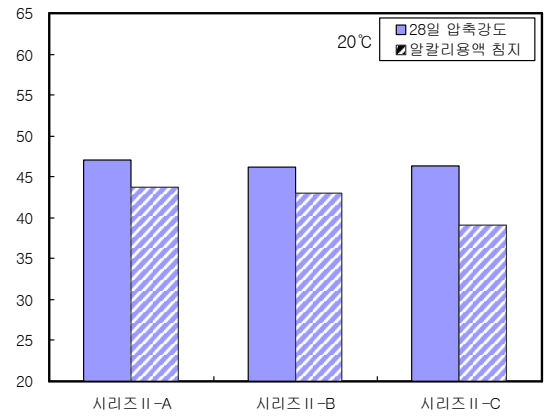
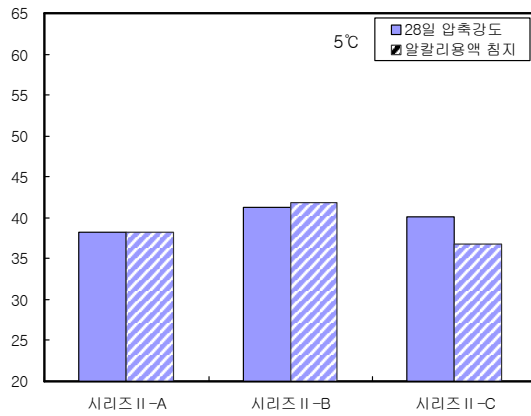


그림 5-37. 시리즈별 내알칼리성(시리즈 II)

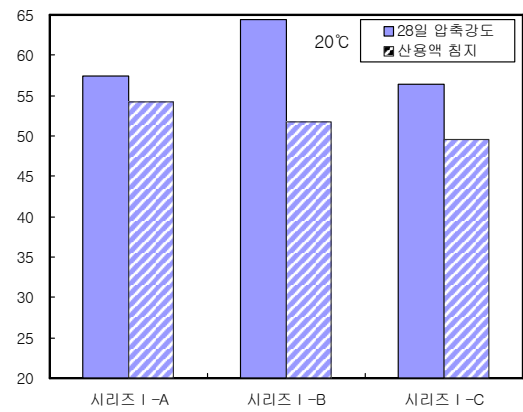
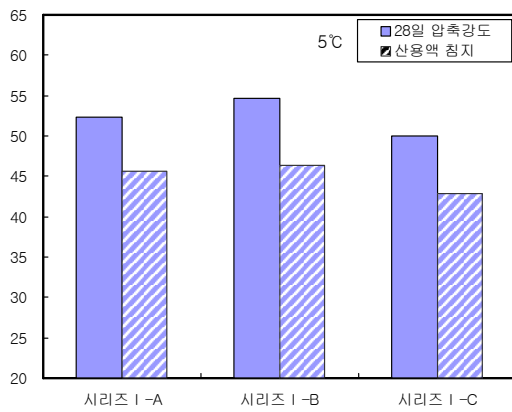


그림 5-38. 시리즈별 내산성(시리즈 I)

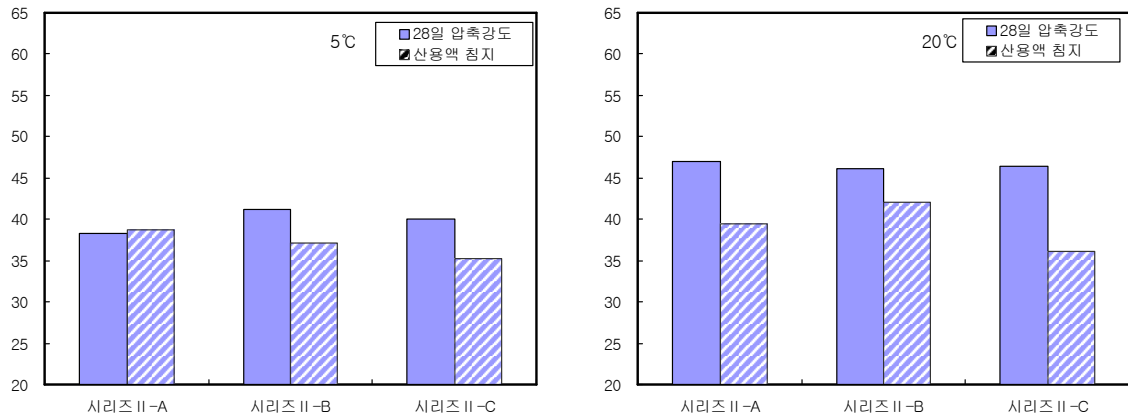


그림 5-39. 시리즈별 내산성(시리즈 II)

다. 소결

본 절에서는 자원순환형 터널보수용 고성능 보수 모르타르의 개발을 목적으로 두영 T&S에서 개발한 무기질계 바인더를 포함한 3종류의 시멘트와 여기에 고로슬래그 미분말 및 버팀애쉬를 치환 사용한 3종류의 제품을 대상으로 역학적 특성, 수밀성 및 내구성에 대하여 검토하였다.

(1) 굳지않은 모르타르의 특성

유동 특성으로 A 타입 및 C 타입 시멘트의 경우 급격한 응결로 인해 10분 경과 후 대부분의 유동성을 상실하는 것으로 나타났다. 한편, B 타입 시멘트의 경우 다른 타입의 시멘트에 비해 양호한 유동성을 나타내고 있다. 특히, 시리즈 I의 5°C조건의 경우 비빔직 후의 플로가 275mm로 가장 큰 것으로 나타났으며, 시리즈 II의 경우도 본 연구의 목표치인 정치 플로 250mm 이상을 만족하는 것으로 나타났다.

시멘트 종류별 응결시간은 전반적으로 A 타입, C 타입, B 타입 순으로 빠르게 나타났다. 또한, 온도 조건 변화에 따른 응결시간은 20°C 양생온도 조건 보다 5°C 양생온도 조건의 경우가 응결시간이 지연되는 것으로 나타났는데, B 타입의 경우 시리즈별 및 양생온도 조건별 응결시간은 본 연구의 목표치인 초결 30분 이상을 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 경화 모르타르의 특성

강도 특성으로 압축강도는 시멘트의 경우 전반적으로 B 타입, A 타입, C 타입 순으로 나타났으며, 양생온도 조건별로는 5℃ 조건 보다 20℃ 조건의 경우가 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나, 장기 재령으로 갈수록 저온양생 조건인 5℃의 경우도 지속적인 강도 증진 경향을 나타내어 56일 재령에서는 20℃ 양생조건과 유사한 강도를 나타내었다.

또한, 시리즈 I, II 모두 본 연구범위의 목표치인 저온(5℃)조건에서 6N/mm²를 만족하는 것으로 나타났으며, 장기재령에서의 압축강도도 만족하는 것으로 나타났다.

휨강도의 경우 전반적으로 압축강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 목표치인 6N/mm²를 만족하는 것으로 나타났다.

부착강도는 시리즈 I 보다 시리즈 II의 경우가 양생온도 조건 및 냉온반복후의 강도저하가 작은 것으로 나타났으며, 본 연구의 목표치인 상온조건(20℃) 2.5N/mm², 저온조건(5℃) 2N/mm²를 만족하는 것으로 나타났다.

건조수축에 의한 길이변화는 시리즈 I의 경우 5℃ 양생조건과 20℃ 양생조건 간에 차이가 큰 반면 시리즈 II의 경우 양생온도 조건 변화에 따른 차이가 매우 작은 것으로 나타났다. 모든 시료가 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)의 기준인 ±0.15% 범위내에 포함되는 것으로 나타났다. 또한, 시리즈 II의 경우 모든 시료가 본 연구의 목표치인 0.06%이하를 만족하는 것으로 나타났다.

(3) 수밀성

투수량은 석탄회를 이용하는 시리즈 II의 경우가 증가하는 것으로 나타났으며, 온도조건별로는 20℃ 양생조건이 5℃ 양생조건 보다 투수량이 적은 것으로 나타났다. 또한, 본 연구범위 모든시료는 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 투수량 기준인 20g 이내를 만족하는 것으로 나타났다.

물흡수계수 시험결과는 투수량과 상호 연관성을 나타내었는데, 시리즈 II의 경우 물흡수계수가 증가한 것으로 나타났다.

(4) 내구성

시멘트 종류별 중성화 저항성은 온도조건별로는 20℃ 양생조건 보다 5℃ 양생조건의 경우가 중성화 저항성이 커지는 것으로 나타났으며, 시리즈별로는 시리즈 I, II간의 차이는 미소한 것으로 나타났다.

염화물 이온 침투 저항성은 시리즈별 차이가 현저한 것으로 나타났는데, 버텨쉬 잔골재에 포함되어 있는 공극의 영향으로 시리즈 II의 경우 시리즈 I에 비해 현저히 증가하는 것으로 나타났다.

내알칼리성 및 내산성 결과는 시리즈 I의 경우 수산화칼슘용액에 침지후의 압축강도가 침지전의 압축강도에 비해 저하하는 것으로 나타났다. 반면, 시리즈 II의 경우 강도저하가 미비한 것으로 나타났으며, 5℃ 양생조건의 경우 C 타입의 시멘트를 제외하고는 28일 재령의 압축강도와 동등한 값을 나타내어 고로슬래그 미분말 및 버텨쉬를 치환사용한 경우 내알칼리성 및 내산성이 큰 것 알 수 있었다.

제 2 절 타 연구에의 응용

1. 터널 보수용 속경성 모르타르

폐사는 본 개발 기술의 선행기술로서 초기 시작단계에서부터 일본 연구기관인 카지마 건설기술연구소와 함께 연구하고 있다. 본 과제를 토대로 카지마 건설과 협동하여 우선 일본 시장을 개척한 후 이를 바탕으로 국내시장에 진입할 계획이다. 2004년 일본 업체와 산업폐기물(석탄회+슬래그)를 사용하여 초속경 바닥재를 개발하고 시공한 바 있다. 2006년에는 일본 후지산 후지터널 양측 빗물 유도로의 보수/보강용 모르타르를 개발하였으며 2차례에 걸쳐 시험시공하였다. 두 번의 시험시공 모두 일본산 석탄회를 사용하였으나 국내 석탄회에 대한 사용은 아직 일본에 비해 부족한 실정이다. 본 과제에서 다룬 국내 석탄회(태안산)를 사용한 터널용 보수보강 모르타르를 제품화하여 국내 산업폐기물의 고부가가치 재이용 도모할 것이다.

구체적 연구결과 활용방안은

- 기온(동절기 공사)영향을 많이 받는 취약한 개소의 콘크리트구조물
- 보수/보강을 요하는 교통관련 터널 (지하철, 열차 등)
- 수력발전소 배수로, 수로터널, 댐 등의 수리구조물 보수/보강
- 석탄회(Fly Ash) 및 고로 슬래그 골재와 병행 사용으로 재활용도 증진
; 고유동/속경성/고강도/고내구성의 특징을 갖는 콘크리트조성물로서

폐기물의 고부가가치 재이용에 의한 환경친화적 산물로 터널, 도로 및
기타 콘크리트구조물의 보수용 재료로 활용

- 개발기술(석탄회 대체/혼화재료)의 타산업/공정에서의 응용 등을 들 수 있다.

대상기술 개발이 완료되면 적용될 수 있는 분야는 매우 다양하리라 생각되며 주요 활용도를 열거하면 다음과 같다.

- 고인성보드 이용한 터널보수/보강공법의 개발(관련사; (주)다찌바나)

; 신기술아이디어평가사업에 제출한 과제로 일본 후쿠이현장에서

일본의 카지마건설을 주체로 일본의 대형 재료업체 3개사(태평양화성, 덴카, 일본화성) 및 당사(두영티앤에스)가 참석하여 금년(2007년) 3월, 약 15억원의 예산을 들여 시험공함. (내용 생략)

- 연약지반 정착 모르타르의 개발(BO공법)(관련사; KFC주식회사)

; 신설 터널 굴삭시 절단면의 연약지반의 보강 및 안정화를 위해 정착 모르타르가 필요한 바 IBO(Injection Boring)공법에 맞는 보다 우수한 물성의 정착재를 개발위한 프로젝트로서 고유동화/단기간 고강도 요구.

- 도수로터널 인버터용 보수모르타르 개발(관련사; 카지마리노베이트)

; 일본 JR 및 신칸센의 기술개발의뢰로 시작된 프로젝트로서 JR보유 수로터널의 도수로 보수 프로젝트임. 마모와 충격시험이 중요하며 특히 실제 수압조절을 통한 재료물성 시험 시행, 당사의 개발제품 사용시 내마모성 및 내구성이 가장 우수한 것으로 나왔으며 특히 보수면적을 늘릴 수 있는 것(약 2km/년 가능)이 최대 장점으로 대두됨(종래 200m/년)

- 농수로 및 하수관거 보수모르타르의 개발(관련사; 카지마, 미정)

; 기본과제에서 개발된 보수모르타르에 휩성이 뛰어난 섬유를 함침시켜 내후성을 높이고자 개발하는 제품이며 기존 ECC모르타르의 취약점 (유동성 등)을 보완하여 개발시 농수로 등의 보수 및 부분보수가 매우 용이해질 것으로 판단됨.

- 산업폐기물(석탄회&슬래그)활용 초속경 바닥재 개발

(관련사; 일본 삼영공업주식회사)

; 일명 셀프레벨링재로 일컫는 바닥재를 말하며 특이점은 산업부산물인 석탄회와 일본에만 있는 슬래그골재를 사용하여 개발함.

일본의 아오모리중앙병원에 매직플로우란 상표로 시공(2004년 2월 ~)하였으며 일본(대기업)의 타제품에 비해 물성이 우수한 것으로 평가됨.

- 빗물 유도로의 보수/보강 모르타르(관련사;(주)다찌바나메테리얼)

; 후지산 후지터널 양측 빗물유도로의 보수/보강용 페이스트 및 모르타르 개발, 2차 례에 걸쳐 시험시공(2006년 3월, 8월)됨.

2. 기타 제품에 사용

폐사에서 생산하고 있는 다수의 제품에 석탄회 이용 추진을 위한 시험을 하였다. 첫 번째는 접지저항 저감제로 대지의 접지저항 및 낙뢰 등에 사용되는 제품으로 석탄회의 탄소성분을 이용하여 전도성 증대를 도모하고자 하였다. 두 번째는 반강성 아스팔트 포장 주입재로 개립도 아스팔트에 시멘트 페이스트를 주입하는 제품이다. 표면 처리시 사용되는 규사에 석탄회를 치환하여 천연재료인 규사의 양을 줄이고 석탄회의 사용량을 늘리는 목적을 가지고 시험하였다. 마지막으로 세 번째 속경성 칼라미끄럼방지 포장재는 도로의 미끄럼 방지가 필요한 곳(스쿨존, 버스정류장 등)에 시공되는 포장재로서 미끄럼 방지를 위해 사용되는 규사에 석탄회를 치환하여 규사의 양을 줄이고 석탄회의 이용을 늘리고자 하였다.

가. 접지저항 저감제(M-EARTH)

엠어스는 접지저항 저감제로서 기존 화학저감제와 달리 도전성을 유지하게 하여 접지 전극과 대지와의 접촉면적을 크게 함으로서 매우 우수한 접지저항 저감 효과를 나타냄과 동시에 낙뢰 또는 이상전압 발생시 순간적으로 이상전류를 대지로 소멸시킨다. 폐사에서 는 시멘트와 탄소계 재료(Carbon Fiber)를 주성분으로 하여 개발한 제품으로 무기 물질이 균일하게 혼합되어 있으며 시멘트로서의 물리적 특성인 우수한 작업성과 강도 및 토양과의 친화, 접지전극의 확대, 부식방지 등의 특성과 우수한 도전성으로 접지 저항값을 반영구적으로 유지하게 된다.

천연재료 절약과 산업부산물 재활용을 위하여 규사에 석탄회를 치환하는 시험을 실시하였다. 접지저항 저감제에 규사가 약 14% 치환되는데 규사의 양을 총 10으로 보고 규사와 석탄회의 비율을 7 : 3, 6 : 4, 5 : 5, 4 : 6, 3 : 7 5가지 경우로 시험하였다. 시험결과 휨강도 및 압축강도에 영향을 주지 않는 비율은 규사 : 석탄회 = 6 : 4였으며, 석탄회를 치환율을 증가시킴에 따라 전도성 또한 좋아지는 것을 볼 수 있었다. 이는 석탄회의 탄소 성분이 전도성에 영향을 준 것으로 생각된다. 석탄회는 산화광물질로 이루어져 있으며 주 성분은 SiO_2 , FeO_3 , Al_2O_3 로 약 85% 이상을 차지하였으며 10% 정도는 미연탄소분으로 이루어져 있다. 더 구체적인 연구를 통하여 접지저항 저감제 생산시 적극 반영하도록 할 계획이다.



그림 5-40. 접지저항 저감제 시험 모습 및 전도성 측정 모습

나. 반강성 아스팔트 포장주입재(로하스콘)

로하스콘은 공극률이 큰 개립도 아스팔트 혼합물의 공극에 침투용 폴리머 시멘트 페이스트(속경성시멘트, 고로슬래그, 폴리머, 안료, 혼화제 등)를 채워 넣어 완성한 포장체로서 아스팔트 포장의 연성과 콘크리트의 강성을 갖는 포장체이다. 기존 반강성 포장체는 개립도 아스팔트 콘크리트에 폴리머 시멘트 페이스트를 혼입한 것으로 구체인 아스팔트 콘크리트와 시멘트 페이스트의 변형량이 상이하여 균열이 발생하기 쉬우며, 압축강도 및 휨강도의 발현이 지연되어 교통개방의 연장이 발생하는 간접자본의 손실이 크게 발생하는 등의 문제점을 지니고 있다. 폐사의 제품은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 타설 후 3시간에 강도를 발현함과 동시에 우수한 휨강도를 발현하여 균열발생을 최소화하였다.

개립도 아스팔트에 폴리머 시멘트 페이스트를 주입 후 미끄럼 저항성 증대를 위하여 표면에 규사를 살포하여 면을 거칠게 처리한다. 이때 규사를 대신하여 석탄회를 사용하기 위한 시험을 하였다. 현장에서 표면에 살포하는 규사의 양을 줄이기 위하여 폴리머 시멘트 페이스트에 석탄회를 치환하기로 하였다. 표면에 살포하는 규사의 양은 전체양의 10% 정도이므로 이를 5%로 줄이는 것을 목표로 하였다. 따라서 페이스트에 석탄회를 4%, 6%, 8%, 10%로 증가시키며 치환하여 시험하였다. 시험 결과 석탄회를 6% 치환하였을 때 유동성에 영향을 주지 않으면서 표면 거칠기 또한 증가하였다. 표면 거칠기는 미끄럼저항 시험기를 이용하여 시험하였으며 BPN(미끄럼 마찰계수)으로 나타내었다. 이로서 현장에서 미끄럼 저항 증가와 규사 타설에 소요되는 시간을 줄이는 효과를 얻을 수 있을 것으로 보여진다.



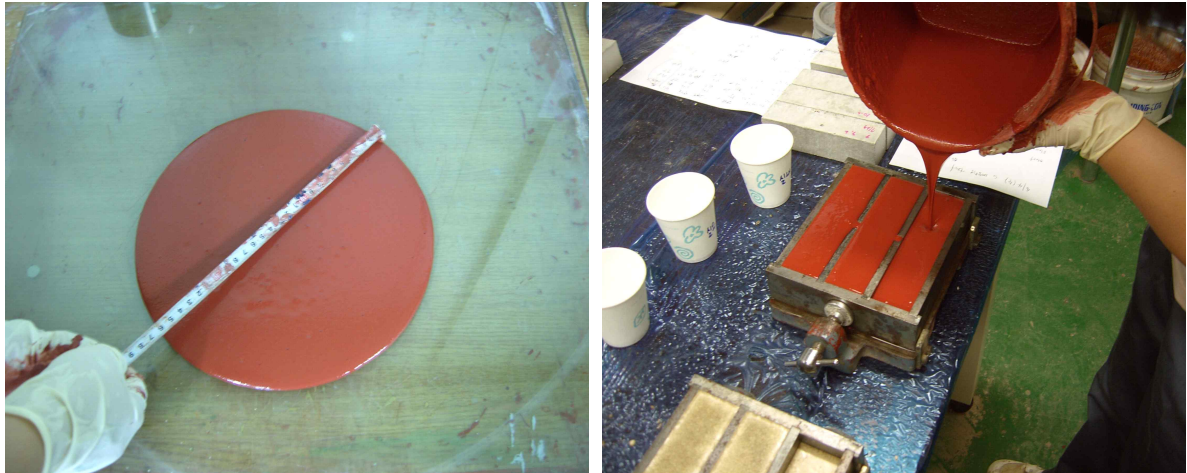


그림 5-41. 반강성 아스팔트 포장재 시험 과정

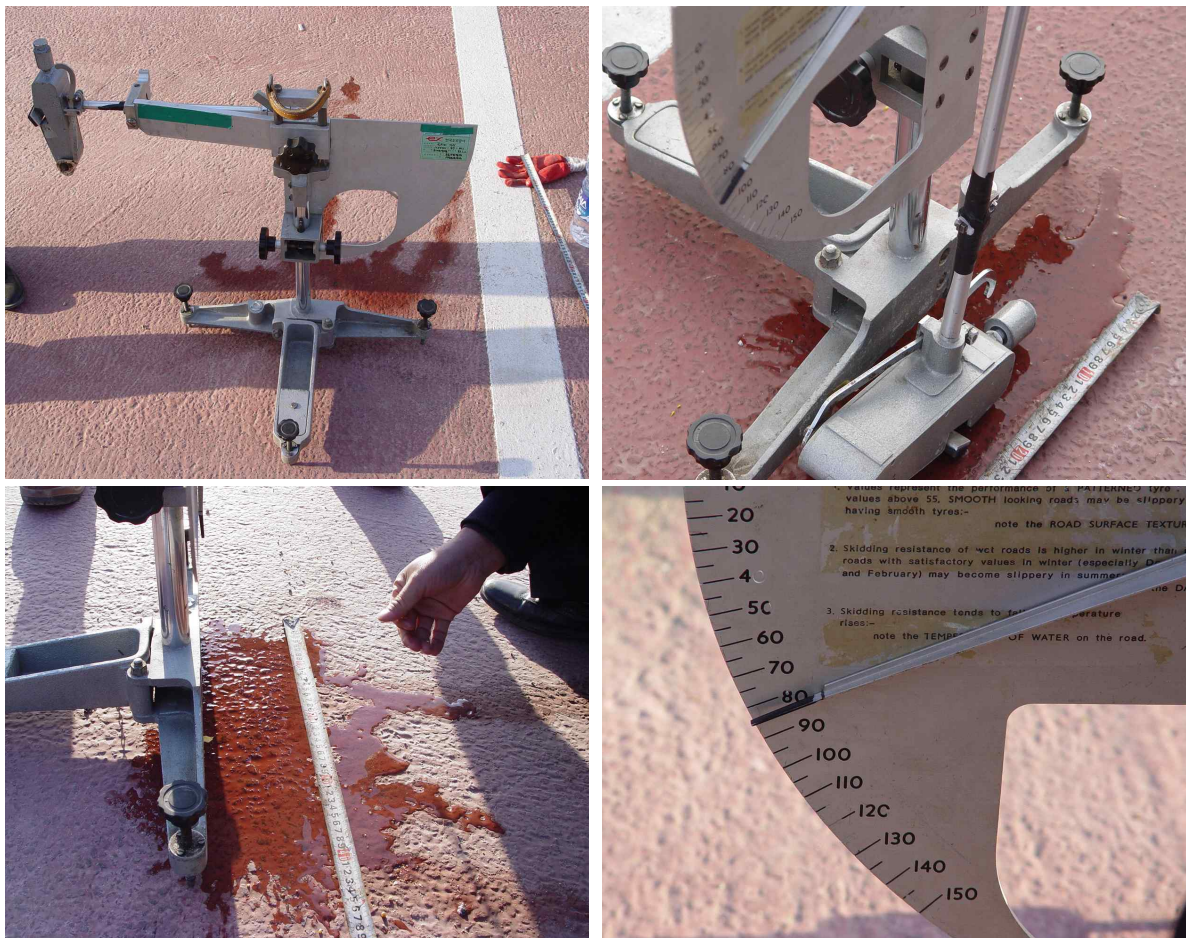


그림 5-42. 미끄럼저항 측정 모습

다. 속경성 칼라미끄럼방지 포장재(세이프티)

세이프티는 수용성 특수 폴리머페이스트와 규사 등의 골재를 이용하여 표면처리를 함으로써 미끄럼저항성을 높인 포장재이다. 초미립 시멘트와 특수 폴리머 디스펜션을 통하여 초기강도 발현 및 내구성을 증진시켰으며, 기존 포장의 노후된 표면을 1~2mm정도 평삭한 후 세이프티를 포설하여 주행평탄성을 향상시키고, 기존 포장면과의 표면박리를 최소화한 제품이다.

미끄럼방지 포장재는 폴리머페이스트 75%와 규사 25%의 비율로 혼합하여 포장의 표면에 약 3mm 정도의 두께를 주어 시공한다. 이때 로하스콘과 마찬가지로 표면에 규사를 살포하여 미끄럼 저항성을 증대시킨다. 폴리머 페이스트 안에 첨가되는 규사의 양을 줄이고 대체로 석탄회를 치환하는 시험을 하였다. 규사의 비율을 총 100%으로 가정하고 석탄회를 40%, 50%, 60%, 70% 총 4가지 경우로 치환하여 시험한 결과 60%일 때 압축강도 및 휨강도의 변화에 차이가 적었으며, 입도분포곡선에서 가장 안정한 곡선을 보였다. 표면의 거칠기는 증가하였지만 석탄회의 물을 많이 머금은 성질 때문에 유동성이 감소하여 현장에서 작업에 어려움이 있을 것으로 생각된다. 혼화제 조절과 아크릴량 조절에 따른 유동성 증가에 대한 연구가 더 필요할 것으로 보여진다.



① 표면처리 단계



② 프라이머 도포 단계



③ 칼라폴리머 조성물 도포 단계



④ 미끄럼저항 증대를 위한 규사 살포



⑤ 표면강화제 도포 단계



⑥ 양 생

그림 5-43. 속경성 칼라미끄럼방지 포장재 시공 과정

제 3 절 기업화 추진방안

1. 개발기술의 마케팅 전략 수립

가. 대상개발기술은 아래 그림에서 보듯이 기 구축되어 있는 일본 내 판매시스템을 이용해 일본 터널 보수, 보강시장에 진출(수출)할 계획이며, 일본 카지마 건설을 통한 일본 내 토목 수리 구조물에의 접목(수출)을 시작으로 일본 각 전력회사의 수로터널 및 일반 교통용터널에 시공하는 한편, 국내에서는 보수/보강 시공업체와 연계한 터널보수/보강 개발 기술과 일본 카지마 건설의 공법(또는 국내 보수/보강 시공업체 연계)의 조합을 통해 노후화되어 보수보강이 시급함에도 손대지 못하고 있는 우리나라 교통(도로/열차/지하철 등) 터널, 수자원 관련 터널 등을 시작으로 광범위한 범위로의 적용확대를 계획하고 있다.

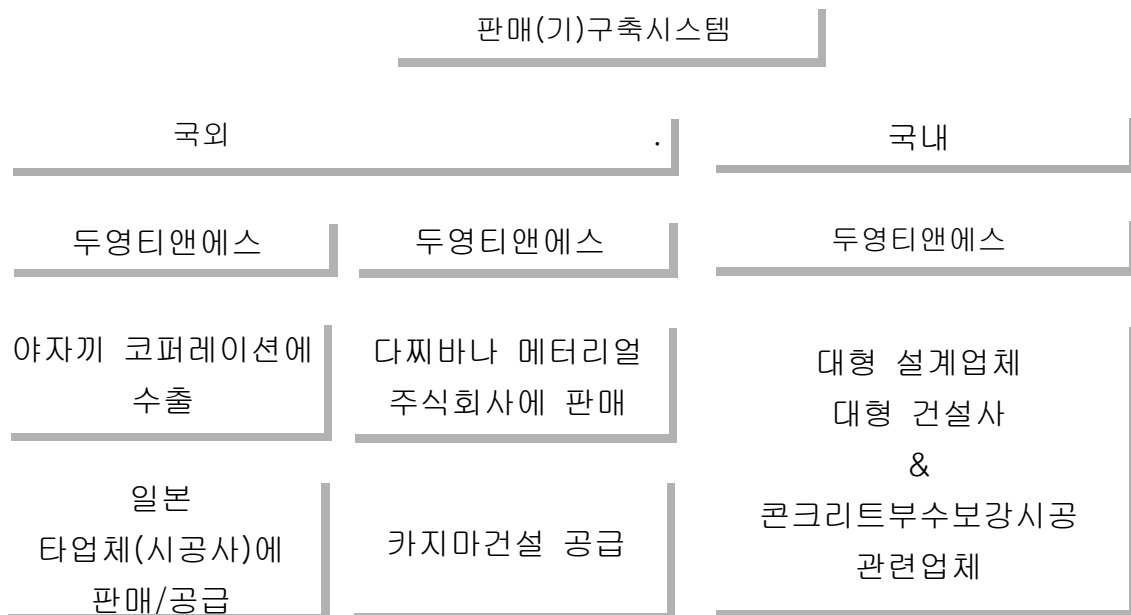


그림 5-44. 판매(기)구축시스템

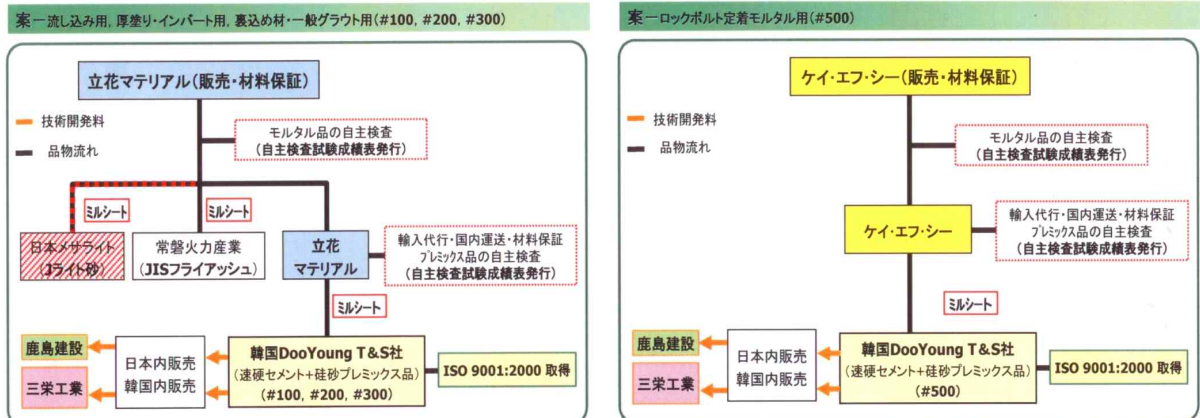


그림 5-45. 판매(기)구축시스템

나. 폐사의 해외 목표시장으로 일본의 경우 다찌바나 메타리얼 주식회사와 야자끼 코퍼레이션을 통하여 각각 카지마 건설업체와 일본의 여타업체(시공사)에 판매/공급하는 공급 라인(supply-chain)을 갖추고 보수/보강 시공관련업체에 직영 공급라인을 형성하는 판매 구축 시스템을 현재 구상하고 있다.

다. 해외 지원조직

표 5-9.일본 카지마건설 JKR 모르타르 기술/사업지원 조직

역할	소속부서			성명
사업지원	신사업개발부	사업지원그룹		부장
	토목관리본부	토목기술부	계약부	과장
영업지원	토목관리본부			고문
	관동지점	영업부	환경/개발	부장
	관동지점	군마영업소	영업/토목	부장
기술지원	기술연구소		재료/LCEG	상석연구원
	기술연구소		건축생산 G	상석연구원
	기술연구소		건축생산 G	주임연구원
	기술연구소		건축생산 G	연구원

○ 일본 씨마네 국립대 건축공학부

와미 교수(전 카지마건설 연구소 부소장) 외

○ 일본 카지마 건설 협력업체

(주)다찌바나메타리얼/KFC(주)/카지마리노베이트/삼영공업

○ 일본 텐카 기술연구소 연구팀

2. 사업화를 위한 자금조달

표 5-10. 사업화를 위한 자금조달계획

구 분	소요금액	조달계획	
		정부지원금	민간자금
금 액	500백만원	200백만원	300백만원

- 소요자금 근거; 상기 개발과제는 일본의 경우 5년에 걸쳐 약 20억원 이상 소요된 프로젝트로서 동 프로젝트에 참여하여 일본에서 성공적으로 수행한 폐사가 금번 연구결과 과정에서 약 1.5년간에 걸쳐 5억원(정부지원금 2억원 포함)의 개발사업화 자금(시험시공 포함)을 투입하여 사업화에 성공함.

3. 개발기술의 국내외 판매망 구축방안

가. 개발된 기술의 국내 시장 진출 방안

국내신기술과정에서 공법협의회(카지마건설 참여)구성하여 구성원 판매체제 구축

* 국내 판매 구축(예정) 시스템

○ 폐사(두영티앤에스) ——> 공법협의회(주관)

——> 관급, 대형건설사 (선택적) 공급

○ 폐사(두영티앤에스) ——> 공법협의회(구성원; 전문 보수보강업체, 설계업체)

——> 국내 타업체 (시공사)에 판매/공급

나. 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

우선 이미 구축되어있는 일본내 판매시스템을 이용해 일본 진출(수출)하는 것으로 일본 카지마건설을 통한 일본내 토목수리구조물에의 접목 (수출)을 시작으로 일본 각전력회사의 수로터널 및 일반 교통용 터널에의 적용한다.

* 일본 내 판매 (기)구축 시스템

○ 폐사(두영티앤에스) ——> 다찌바나 메터리얼주식회사에 판매

——> 카지마건설 공급

○ 폐사(두영티앤에스) ——> 야자끼 코퍼레이션에 수출

——> 일본 타업체 (시공사)에 판매/공급

4. 사업화를 위한 로드맵 구축

가. 개요

○ 콘크리트 배수로나 수로터널 등의 수리구조물은 경과년수가 오래되면 화학적,물리적 요인에 의해 콘크리트의 표층부가 마모, 균열 등의 열화로 인해 보수가 요구되어지고 있음.

○ 특히 일본의 각 전력회사가 보유하고 있는 수력발전소는 장기 내구년수와 전력공급의 안정성,발전비용의 저감 및 자연에너지의 이용이라는 특징 때문에 상당히 많이 건설되었습. 그러나, 대표적인 전력회사인 동경전력의 경우 76%에 해당하는 발전소가 대부분 50년 이상 경과되어 설비 전체의 노령화가 급속히 진행되고 있는 실정임.

○ 또한 경과년수와 함께 열화되고 있는 수로터널 내부에 대한 보수공사는 수로단면의 여유의 유무, 터널의 형태에 따라 몇가지 공법이 적용되고 있는데 그 중에서 최근 안정성, 작업성, 경제성 등의 CLiP(Clean Lining by Pumping)이 적용되고 있음.

○ 이 CLiP공법의 적용에 필요한 모르타르의 작업성 및 품질확보를 위해
첫째, 2시간 압축강도가 5N/mm² 이상(2~4시간정도에 탈형이 가능할 것)
둘째, 유동성으로는 셀프플로우(진동을 주지 않은 상태)가 250mm이상
셋째, 건조에 의한 균열이 발생하지 않을 것 등과 같은 조건이 주어짐.

○ 자원 재자원화 기술은 재자원화 이용률이 낮은 석탄회 조분의 유효이용을 도모하기 위해 석탄회 조분과 바텀애쉬를 재가공 처리하여 만든 인공경량골재, 그리고 슬래그 골재를 이용한 급경성 보수모르타르를 말함.

○ 본 기술은 CLiP공법을 만족하면서 초속경시멘트를 사용하여 천연골재와 석탄회, 슬래그 등을 적합하게 혼입한 양질의 급경성 보수모르타르를 개발하는데 있음.

나. 자원 재자원화 기술

○ 자원 재자원화 기술은 시멘트/모르타르/콘크리트의 원료 또는 충전재로 적합한 성분을 지닌 산업폐기물을 유용한 자원으로 2차 공해물질의 발생없이 재활용함으로써 원가를 절감하고 환경을 개선하는 기술임.

○ 처리대상은 물질별로 고상, 액상 등으로 구분되나 현실적으로 가장 문제가 되고 있는 고상물질 중에서 그 양이 엄청나게 증가하는 산업부산물(석탄회, 슬래그, 기타 등)의 재활용을 목표로 하였음.

○ 자원재자원화 기술을 통한 수익창출방법은 대상폐기물 업체로부터 처리수수료를 받거나 기존 재료를 대체하여 전체 원가절감을 도모하는 것이 있고 가장 일반적인 것은 관련 정책자금의 활용이나 정부의 지원 등이 있음.

○ 추진방법은 폐기물 전문업체와의 제휴를 통한 방법, 폐기물 발생업체와 직접접촉 또는 공동연구하는 방법 등이 있음.

○ 시장여건은 지정폐기물의 경우, 재활용(47%), 소각(13%), 해양투기(11%), 매립(11%), 기타(22%)로 처리되며 폐기물 중의 상당량이 원료로써 사용가능하므로 시장여건은 다소 유동적임.

○ OECD국가의 경우유해폐기물을 비교적 안정적인 시스템 구축을 통해 처리하고 있는 반면 우리나라는 재활용과정이 투명하지 않고 정상적인 방법으로도 수행되지 않고 있음. 또한 기존 난립하는 중간처리업체의 저가수탁 과당경쟁이 심각하고 한정된 폐기물매립지는 점차 고갈되어 가는 상태에 있음.

다. 기술개발 방향

○ 자원재자원화 기술 및 방향은 산업폐기물이 지니고 있는 품질적 한계를 극복하고 보다 많은 양의 폐기물이 재활용됨을 목표로 폐사의 핵심역량인 축경경 무기계 결합재 기술은 근간으로 함

○ 기술 개발 방향 및 목표는 국내외 석탄회(바텀애쉬 포함)를 유효 이용한 터널용 보수보강 모르타르를 제품화하여, 기술협력관계에 있는 일본 카지마 건설을 통해 일본내 다찌바나 메터리얼(주)과 삼영 공업(야자끼코퍼레이션)에 기술 및 소재들을 판매할 예정이며, 기술의 진전에 따라서는 향후 건축/토목(터널) 공사에도 당해기술의 활용도를 높이고자 하는데 목표를 두고 있다.

동 기술은 폐사와 일본 카지마 건설이 공동개발 중에 있고, 기존의 일반화된 콘크리트 보수보강 공법 외에는 처음으로 시도되는 기술로서 유사 개발업체가 없어 일반적인 로드맵을 논하기가 다소 어려운 상태이며 특히 일본에서 발생하는 석탄회를 사용했던 것을 국내 석탄회로 대체해 연구 진행하는 것으로 계획된 바 본 내용에서는 <표>에서 보는 바와 같이 동 기술관련 핵심기술의 개발과정을 제시하여 살펴보고자 한다.

표 5-11. 핵심기술 개발 로드맵

세목	~2004년	~2006년	~2007년	
자원재순환형 기능성 보수 모르타르(1)	-무기계 보수모르타르 개발완료 (수로터널용)	-일반 터널보수모르타르 적용성 시험개시 -일본수출/영업개시	-일본내판매협의회 하 부조직/판매망구축 *카지마건설	-일본 수로터널 현장 실시공 (후쿠이현장 12m)

폐 기 물 (석 탄 회) 유 효 이 용 보수 모르타르	*채움용 보수모르타르 *미장용 보수모르타르 -일본수로터널 현장 샘플 시공 (군마현6m) *동경전력보유구간 -한국콘크리트학회 논문발표 -일본카지마건설과 비밀보호계약체결 -목표물성 시험	-한국콘크리트학회 논문 발표 -일본내 상표권 출원 (JK-R 모르타르) -판매/지적소유권 계약 (카지마/삼영/두영) -일본수로터널현장 시공(군마현 20m) -일본건축학회 논문 발표(2006.8.)	*야자끼코퍼레이션 *다찌바나메타리얼 -일본건축학회 논문 발표(2007.8.) -일본내 상표권 출원 (JK-R 모르타르) -판매/지적소유권 계약 (카지마/삼영/두영) -국제특허 출원 카지마공동특허 (2007. 1.)	*채움용 보수모르타르 개발 -일본수로터널 현장 사후관리(내구성) -일본건축학회 논문 발표(2007. 9.) -일본다찌바나 메타리얼과 매매계약 체결 -1차목표물성시험
세 목	~2008년		~2010년	~2012년
자원재순환형 기능성 보수 모르타르(1) 폐 기 물 (석 탄 회) 유 효 이 용 보수 모르타르	-2차물성목표시험 -실시공관련 영업 -제품시장 확대 (제품의 다양화) -건설신기술 준비 -공장배치,설립 (본격 생산/판매)	-일본 JR터널 인버터용 보수모르타르 적용성시험 예정 (수로바다 2km) -일본수출/영업개시 -한국콘크리트학회 논문 발표 예정 (2008. 9.) *국내판매/지적소유권 계약 (보수시공업체)	-국내판매협의회 하부조직/판매망구축 *대형 건설회사 *전문보수/보강업체 -추가기술개발 -국내/일본건축학회 논문발표 -국내 상표권 출원 -판매/지적소유권계약 (국내업체/두영) -추가기술국제특허 출원/카지마공동특허	-공법협의회 결성 (일본/국내 기술교류회 개최) -제품시장 확대, 신제품 다양화 및 차별화 (경쟁력 강화) -건설신기술 취득 (국내시장 활성화) -제조시스템구축 (2차 가공 시스템)

본 개발기술은 일반터널 및 수로터널에 광범위하게 적용할 수 있는 신기술로서 개발되어진 핵심기술을 토대로 경제성을 감안한 보수보강공법이 점목되면 적용용도가 기하급수적으로 증대되리라 확신한다. 다만 국내의 경우, 재료기술이 개발된다 해도 그 보수보강 관련 공법이 미흡하여 적용상 한계에 부딪힐 수 있다. 다행히 폐사는 본 개발기술의 선행 기술로서 초기 시작단계에서부터 일본 연구기관인 카지마건설기술연구소와 2002년 양해각서를 체결 후 현재까지 순조롭게 공동연구를 진행해 오고 있으며 양국의 제반 환경과 조건을 감안한 각사간의 개발기술연구는 상호보완적이고 그 목표시장 및 응용범위를 극대화시킬 수 있다는 장점이 있다 하겠다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

<Method For repairing in-Ground Tunnel Structure>

(공개번호 US2005/0095066 A1)

본 발명은 지면의 터널 구조의 보수에 관한 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 터널 구조내부에 배수구멍을 형성하는 것과 에폭시와 같은 레진을 허용하여 구멍을 확장하는 것에 관한 것을 포함하고 있다. 더 나아가 제시하고 있는 방법은 보수를 위한 레진을 단단한 레진 선형을 형성하기 위해 터널표면 벽 내부에 적용하는 것을 포함한다. 보수 완료된 혼합 터널구조는 높은 기계적강도를 가지고 있으며 누수에 상당히 효과적인 면이 있다. 본발명은 시멘트의 특징을 가지는 선형을 깨끗이 하는 단계와 그 선형내부에 적어도 배수구 1개를 형성하는 단계, 시멘트의 성질을 가지는 선형에 보수 레진을 1차로 적용하는 것과 시멘트 선형과 결합하는 레진 선형을 구성하기 위해 레진을 첨가하는 단계로 구성되어 있다. 본 발명의 효과로는 터널 내부에 시트나 판넬 그리고 기계적인 지지대를 설치할 필요 없이 지상 터널 구조를 보수하는 개선된 방법이다. 본 방법은 비교적 빠르며 실용적이어서 넓고 다양한 터널 구조에 사용할 수 있으며, 경제적으로도 실용가능성이 있는 것으로 판단된다.

표 6-1. 대상기술(US2005/0095066 A1)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항 (독립항)	터널 표면 보수공사의 구성단계에 대한 설명	A method for rapairing an in-ground tunnel structure havign an interior wall surface lined a cementitious liner, comprising the steps of: a) cleaning the cementitious liner b) forming at least one drainage hole in the cementitious linear; c) applying a first curable resin to the cementitious liner and allowing the resin to cure to form a resinous liner that is bonded to the comentitious liner; and d) introducing a second curable resin into the at leaset one drainage hole and allowing the resin to cure and seal the hole.

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 1항, 종속항 9항)

선행기술 1	서지	특허번호: 미국공개특허 US2005/0095066 A1 (2005년05월05일) 명 칭: Method For repairing in-Ground tunnel Structure 출 원 인: Daniel Warren	
	관련기술내용	The present invention provides an improved for repairing in-ground tunnel structures. The method involves applying a first curable resin over a cementitious liner which lines the interior wall surfaces of the tunnel, drilling drainage holes in the cementitious liner, and filling the drainage holes with a second curable resin. The resins are allowed to cure and harden. The cured resins seal the wall surfaces and drainage holes to provide a composite tunnel structure having high mechanical strength and resistance to fluid leaks	
관련성 비교	1) 충전 모르타르 제조 단계		2) 적용 단계
	관련도 낮음		관련도 낮음
	-유사점 : 레진 및 모르타르에 대한 사용 부분 -차이점 : 충전 모르타르 제조에 관한 언급 없음.		-유사점 : 터널 보수 및 보강기술임. -차이점 : 개발대상기술과 관련없음.

<Solid polyurethane compositions, infrastructure repair

and Geo-stabilisation Processes >

(공개번호 US2007/0093602 A1)

본 발명의 목적은 일반적으로 폴리우레탄에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 내부구조의 보수를 위해 주입, 분사 몰딩 과정에 사용되기 위해 폴리우레탄을 굳게 하는 것과 낮은 발열 거품, 모르타르 혹은 탄성합성물을 이용한 안정성 확보를 위한 것이다. 본 발명의 특징은 빌딩이나 건축물, 도로, 다리, 고속도로, 보도, 터널 등과 같은 내부 구조의 보수에 사용될 수 있으며 고체의 폴리우레탄 구성물은 탄성중합체의 분사와 뿌리는 몰딩 및 주입 몰딩과 같은 프로세스에 사용될 수 있다.

표 6-2. 대상기술(US2007/0093602 A1)의 핵심 내용

청구항	핵심내용	세부내용
청구항 1항	고체 폴리우레탄	A solid polyurethane composition comprising, at least one polyisocyanate, at least one isocyanate-reactive compound, and

(독립항)	구성물에 대한 설명	at least one organic particulate material capable of absorbing heat, optionally, one or more of waver, surfactants, p pigments, catalysts, and fillers.
청구항 8항 (독립항)	몰딩 반응 과정에 대한 상세 설명	In one of a reaction composition comprising, st least one polyisocyanate, at least one isocyanate-reactive compound, and at least one organic particulate material capable of absorbing heat, optionally, one or more of waver, surfactants, pigments, catalysts, and fillers.

※ 독립항 위주로 구성함(독립항 2항, 종속항 12항)

제 7 장 참고문헌

- 건설교통부, 철근 콘크리트 구조물의 균열평가 및 제어대책에 관한 연구, 건설교통부, 1996.12
- 건설부, 건축물의 내진구조 및 방제기준에 관한 연구(제1권), 1987
- 建築物の耐久性向上技術の開発報告書 (建設省綜合技術開發プロジェクト), 建設省, 1985.3
- 김도겸, 오광진, 안상구, 박정준, “콘크리트 보수재료 효과 분석 및 공법기준관련 연구”, 한국콘크리트학회봄학술발표회 논문집, Vol.18, No.1, 2006, pp.317-320.
- 김형길, 철근콘크리트조 건축의 내구성, 대한건축학회지: 건축, 36권, 3호, 1992
- 대한건축학회, 콘크리트 구조물의 보수 보강, 대한건축학회, 1997
- 박현일, 이승래, “플라이애쉬(F/A)가 혼합된 도시 쓰레기(MSW)의 압축특성”, 한국지반환경공학회논문집, Vol. 제4권, No. 제3호, 2003, p.41~49
- 박완신, 한병찬, 성수용, 윤현도, 정수영, “석탄회 인공경량골재를 사용한 고강도 콘크리트의 역학적 특성”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol. 13, No. 1, 2001, p.151-156
- 심중성, “콘크리트 구조물의 보수 보강 기법의 최근 연구 동향”, 콘크리트학회지, 7권 6호, 1995.12
- 이효석, 임홍철, 이상균, 송영철, “주파수변화에 따른 콘크리트 FRP 보강 구조물의 박리탐사 연구 (Delamination Detection of FRP Reinforced Concrete at Different Frequency Range)”, 한국구조물진단학회 봄학술발표 논문집, 제10권 1호 (통권 17집), 부산대학교, 2006.5, p.75~78
- 일본건축센타, 建築物の減衰評價研究報告書, 1993.3, p.75~99
- 日本建築學會, 建築物荷重指針同解説, 技報堂, 1992.3, p.281~283
- 日本建築學會, 建築物の減衰, 2000.10, p.208~213
- 日本建築學會, 建築物の調査 劣化診断・修繕の考え方(案)・同解説 1993.1
- 日本建築學會, 建築物の振動に關する居住性能評價指針同解説, 1991
- 임홍철, 이효석, 이상균, 송영철, “Microstrip Patch Antenna를 이용한 탄소섬유시트 보강 콘크리트의 박리 탐사 (Delamination Detection of FRP Sheet Reinforced Concrete

Using Microstrip Patch Antenna”, 비파괴검사학회지, Vol. 27, No. 2, 2007.4, p.134~141

- 임홍철, 정행철, 이상균, 송영철, “탄소섬유 보강 콘크리트의 박리 탐사 실험 (Experiments on the Detection of Delamination in FRP Reinforced Concrete)”, 콘크리트학회 논문집, 제19권 1호 (통권 97호), 2007.2, p.3~9
- 조정기, 전진환, 야자끼 히데끼, 카사이 히로시, 와미 히로끼, 석탄희 조분을 유효이용한 보수모르타르의 개발”한국콘크리트학회 논문집 제15권1호 2003년 5월 pp. 1017-1022
- 조정기, 전진환, 카사이 히로시, 야자끼 히데끼, "초속경시멘트를 이용한 보수모르타르의 현장적용성 검토"한국콘크리트학회 논문집 제16권2호 2004년 11월 pp. 309-312
- 한국시설안전기술공단, 공동주택의 장수명화를 위한 유지관리 시스템 개발 연구보고서, 2004
- 한국시설안전기술공단, 기존 건축물의 종합성능 평가모델 개발, 건설교통부, 2002.12
- 한만엽 외, 콘크리트 구조물의 탄소섬유쉬트 보강공법, 선경인더스트리, 1997.7
- 한영철, 국내의 콘크리트 구조물의 보수·보강사례, 콘크리트학회지, 7권 6, 1995.12
- Allen, R. T. L, Edward, S. C, Shaw, J. D. N, The Repair of Concrete Structures, 2nded Blackie A&P, 1993
- Anne Beeldens, Influence of Polymer Modification on the Behaviour of Concrete under Severe Conditions, Journal of Structural Concrete, Vol.4, No.3, 2003, pp.155-162
- Pareek, S.N., Ohama, Y., and Demura, K., "Adhesion of Bonded Mortars to Polymer-Cement Paste Coated Mortar Substractes", Proceedings of International Conference on Interfaces in Cementitious Composites, E&FN Spon, 1992, pp.89~98.

주 의

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