

목재 부산 자원인
목초액을 활용한
항균성 내외장재
최종보고서

2015. 06. 30.

Infrastructure
R&D Report

/ 협성대학교 산학협력단
공동연구기관 / (주)인텍스코리아

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "목재 부산 자원인 목초액을 활용한 향균성 내외장재 개발"에 관한 연구의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 06. 30.

주관연구기관명 : 협성대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김 완 기

연 구 원 : 함 성 민

" : 이 건 희

" : 정 현 우

" : 김 승 재

" : 박 세 인

" : 지 승 현

공동연구기관명 : (주)인덱스코리아

공동연구책임자 : 신 홍 철

연 구 원 : 이 삼 남

연 구 원 : 홍 인 표

연 구 원 : 곽 동 한

연 구 원 : 이 재 화

보고서 요약서

과제고유번호	14CTAP-C066418-02-000000	해 당 단 계 연구 기 간	2013.04.01.~ 2015.03.31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연구 사업 명	국토교통기술촉진연구사업				
연구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	목재 부산 자원을 활용한 항균성 내외장재 개발			
	단위과제명				
연구 책임 자	김 완 기	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 12명 내부 : 7명 외부 : 5명	총연구비	정부 : 255,000천원 기업 : 90,000천원 계 : 345,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	협성대학교 산학협력단		참여기업명	인텍스코리아	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면 수	
○ 본 연구 개발에서는 목재 부산물인 목초액을 사용하여 항균성의 내외장재를 개발하는 것이 주요 목적이다. 세부적으로 내외장재의 항균성을 확보함으로 세균 번식을 억제하고 친환경적인 공기질을 유지할 수 있는 소재를 개발하고자 하였다. 목초액은 크게 제조 과정 상에서 상등액으로 분리된 목초액과 하부의 침전된 목타르로 구분된다. 1차년도에는 목초액을 사용하여 경량 담체에 침지하여 목초액 함침 골재를 제조하고 이를 사용하여 외단열 소재인 KS F 4715와 KS F 4716의 마감소재의 기존 골재 대비 5~20%를 사용하여 KS 규격을 만족하는 소재를 개발하고 경량 함침 골재의 항균성을 확인하였다. 2차년도에는 에폭시 계열의 EPS부착용 모르타르를 제조하기 위하여 목타르를 소량 사용하여 에폭시 수지의 사용을 절감하고 길이변화 성능을 개선할 수 있는 모르타르를 개발할 수 있었다. 또한 내장재료인 석고계 바름재에 대하여 1차년도의 항균성을 갖는 함침골재를 사용하여 실내 공기질 성능을 평가한 결과, 암모니아 흡착성능이 우수하고 VOC 방출이 없는 소재를 개발할 수 있었다. 본 연구결과 목재산업부산물인 목초액을 사용하여 항균 및 공기질 성능이 우수한 내외장재를 개발할 수 있었다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	목초액, 경량담체, 아크릴 에멀전, 에폭시수지, 항균성			
	영 어	Pyroligneous liquid, Light-weight carrier, Acrylic emulsion, Epoxy resin, Antibiosis			

요 약 문

I. 제 목

목재 부산 자원을 활용한 항균성 내외장재 개발

II. 연구개발과제 개요

세계보건기구(WHO)에 따르면 실내 공기의 폐전달률은 실외 오염 물질에 비해 1000배나 높은 것으로 조사됨. 환경부와 국민 의료 보험 공단에 따르면 과거 30년간 아토피 피부염은 3배, 천식은 5배 이상 늘었고, 환경성 질환으로 인한 사회적 비용은 연간 2조 원이 넘는 것으로 나타남. 특히 소아, 청소년 등의 질병 부담은 천식이 1위, 아토피 등 피부질환이 3위를 차지하며, 새집증후군으로 인한 질환도 증가 추세이다. 이들 발병 원인의 대부분이 실내 마감재에 의한 것이 대부분이며, 이에 따라 최근에는 오염물질 무방출, 항균, 공기질 조절 등의 성능을 갖는 마감재의 요구가 증대되고 있다.

한편, 목재산업부산물인 목초액은 목재를 500~700°C에서 탄화시킬 때 발생하는 연기와 수증기를 포집하여 냉각·응축시켜 다시 30일에서 길게는 1년 이상 상온에서 숙성·정제시키면 3개 층으로 분리하여 얻을 수 있으며, 이 중 중간층이 주로 이용됨. 목초액의 주요 성분은 항산화성이 높은 페놀성 분획을 가지고 있다. 목초액은 주로 참나무류, 소나무 등의 천연목재가 쓰이고 있다. 목초액은 진균류 억제, 항균, 탈취 성능등의 각종 연구에서 우수한 성능을 갖는 것으로 알려져 있어 목초액을 건축마감재에 적용할 경우 항균성 및 탈취 성능 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 목초액을 사용할 경우 가장 큰 문제는 장기적인 안정성의 문제가 있으며, 이를 사용하는데 있어 액상 소재이기 때문에 건식 모르타르와 같은 제품에 적용하는데 있어 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 목재 산업부산물인 목초액을 내외장재에 적용하기 위하여 액상인 목초액을 경량 담체에 함침시켜 미리 목초액 함침 경량담체를 제조하고 이를 내외장재에 적용하기 위한 방안을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 세균에 의한 오염으로 인한 표면 열화를 갖을 수 있는 외장 마감재 중 외단열 공법에 사용되는 아크릴계 모르타르인 KS F 4715와 KS F 4716에 목초액 함침 경량담체를 치환한 모르타르를 제조하여 그 물리적 특성 및 항균성을 평가하고, 목타르를 사용하여 경화제 무첨가 에폭시 수지 모르타르의 성능을 개선한 EPS부착용 모르타르를 개발하고자 하였다. 내장재로서는 목초액 함침 경량담체를 치환한 석고계 바름재를 제조하고 이의 바름재로서의 특성과 공기질 성능을 평가하고자 하였다. 또한 MOCK-UP 테스트를 통하여 외부 시공 시 안정성과 석고바름재의 공기질 성능 및 온습도 조절 특성에 대하여 평가하였다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

본 연구에서는 목재 산업 부산물을 사용하여 목초액 함침 경량담체 제조 기술, 함침 기술을 활용한 KS F 4715와 KS F 4716, 석고계 바름재를 개발하고, 목타르를 사용한 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 모르타르를 개발하고자 하였다. 또한 제조된 모르타르의 물리적 특성과 내외장재로서의 항균성, 공기질 성능, 온습도 특성을 검토하여 친환경적인 건축 마감 소재의 특성을 평가하였다.

1. 목초액의 성분 분석과 목초액 함침 경량담체를 제조하기 위한 방안을 도출하기 위하여 경량 골재별 목초액의 함침률 및 색상 등의 특성을 분석하였다.

2. 아크릴계 모르타르인 KS F 4715에 목초액 함침 골재를 백운석 골재에 대하여 용적 치환하여 양생 온도 조건 및 함침 골재 종류에 따른 부착강도, 물흡수계수, 내충격성, 잔갈림 특성, 항균성 등을 검토하였다. 이를 통해 최적의 목초액 함침 경량담체와 혼입률을 도출하였다.

3. 아크릴계 모르타르인 KS F 4716에 대하여 목초액 함침 경량담체를 사용하여 백운석 골재에 대하여 용적 치환하고, 양생 온도 조건 및 함침 골재 종류에 따른 부착강도, 물흡수계수, 내충격성, 잔갈림 특성, 항균성 등을 검토하였다. 이를 통해 최적의 경량담체와 혼입률을 도출하였다.

4. EPS부착용 모르타르를 제조하기 위하여 목타르 혼입 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 모르타르를 제조하고, 압축강도, 휨강도, 인장강도, 에폭시 수지 부착강도, XRD 분석, MIP 분석, 동결융해 저항성 등을 검토하여 최적의 목타르 혼입률을 도출하였다.

5. 목초액 함침 골재를 사용하여 석고계 바름재를 제조하고, 부착강도 특성, 흡방습 특성, 유해 가스 방출 특성, 암모니아 흡착 특성, VOC흡착 특성 등을 검토하였다. 이를 통해 최적의 경량담체와 혼입률을 도출하였다.

6. 개발된 소재를 사용하여 시제품을 제작하였으며, 이를 활용하여 MOCK-UP 구조체를 만들어 공기질 특성 및 온습도 특성을 검토하였다. 또한 원재료비를 분석하여 기술개발의 경제성을 검토하였다.

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

목재 산업부산물인 목초액을 사용하여 고부가가치성의 건설 재료로 활용하기 위한 내외장재 개발을 위해 목초액 함침 골재의 제조 및 내외장재의 물리적 특성과 항균 특성 및 공기질 특성 등을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 목초액의 고형분량은 1% 내외로 색상은 적갈색으로 주요 성분은 과량의 유기산과 함께 폴리페놀 성분을 함유하고 있다. 목초액을 사용한 경량담체는 펄라이트 1.2mm와 3mm, 질석, 활성탄, 제올라이트로 목초액의 함침률은 제올라이트 8.75%, 활성탄 7.32%, 펄라이트 3mm 5.03%, 질석 1.52%, 펄라이트 1.2mm 0.47%의 순으로 나타나 제올라이트에서 가장 높은 함침률을 나타냈다.

2. 목초액을 아크릴계 모르타르에 혼입할 경우 낮은 고형분량과 함께 유기산으로 인해 물성 저하 현상이 심하고 유동성 제어 등에 어려움이 발생하였다. KS F 4715의 아크릴 에멀전계 바름재에 대하여 목초액 함침 경량담체를 혼입한 경우, 유동성의 변화가 Plain에 비하여 적으며, 균질하게 나타났다. 부착강도는 고온 양생에서 강도가 높게 나타났으며, 경량담체 치환율 증가에 따라 저하하는 것으로 나타났으나, 모든 배합에서 KS 규격인 0.6 N/mm^2 이상을 만족하였다. 목초액 함침 경량담체를 사용한 외장 마감재의 표면은 펄라이트와 질석은 함침된 목초액이 배합 후 시간이 지남에 따라 외부로 방출되어 변색된 상태로 나타났으며, 활성탄은 자체 색상의 단일하여 다양한 색상의 마감재로 제조할 수 없는 단점이 있었다. 제올라이트의 경우 색상의 변화가 적고 균질하여 외장마감을 위해서는 제올라이트가 최적의 골재로 선정되었다.

3. KS F 4716에서 목초액 함침 경량담체별 물리적 특성을 보면, 펄라이트 및 질석은 부착강도가 떨어지고 물흡수계수 증가 등의 문제점이 발생하였으나 활성탄 및 제올라이트는 10% 혼입률까지 유동성의 변화가 적으면서 강도가 향상되고 물흡수 성능 개선의 효과가 있는 것으로 나타났다. 내충격성 및 잔갈림 특성을 보면 대부분의 함침골재에서 이상이 없는 것으로 나타났으나 활성탄의 경우 잔갈림 특성이 좋지 않은 것으로 나타났다. 온도별 양생조건을 보면 목초액 함침 골재를 사용한 경우에는 고온 양생보다 저온 양생에서 강도가 높은 것으로 나타났다.

4. 목초액 함침 경량담체를 사용한 아크릴계 외장 모르타르의 항균성을 검토한 결과, 목초액 함침 경량담체 치환율 10% 이상의 혼입률에서 우수한 항균성을 나타내어 강알칼리성을 갖는 KS F 4716의 시험체를 1년 이상 보관한 후 항균성을 시험한 결과 항균성이 유지되는 것으로 나타나 목초액 함침 경량담체의 항균성이 우수한 것으로 나타났다.

5. 목타르 치환 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르에서 목타르의 페놀 성분에 의해 에폭시 수지의 경화도가 촉진되는 것으로 나타났으며, 압축강도, 휨강도, 인장강도, 부착강도 성능, 길이변화 특성 등의 물성이 향상되는 것으로 나타났다. 에폭시 수지 혼입을 3% 및 목타르 치환율 10%에서 최적인 것으로 나타났다. 동결융해 저항성은 높은 단위 시멘트량으로 모든 배합에서 우수한 것으로 나타났으며, 특히 에폭시 수지 혼입에 의해 성능이 향상되는 것으로 나타났다.

6. 석고계 바름재의 강도 향상을 위한 최적 배합은 골재 바인더비는 1:0.5이며, 슬래그 10%에서 최적인 것으로 나타났다. 석고 바름재의 부착강도는 목초액 함침 경량담체 치환율 2~3%에서 최대인 것으로 나타났으나, 그 이상의 혼입률에서도 실내 바름재 기준인 0.4 N/mm^2 이상을 상회하여 물리적 성능으로 인한 문제점은 크지 않은 것으로 나타났다. 목초액 함침 골재를 사용한 석고계 바름재에서 공기질 오염물질은 검출되지 않았으며, 목초액 함침 경량담체의 종류에 관계없이, 혼입률이 증가함에 따라 암모니아 흡착성능이 향상되는 것으로 나타났으며, 톨루엔의 흡착성능을 검토한 결과 활성탄에서만 성능이 있는 것으로 나타나 실내 내장재로 사용할 경우 효과적인 경량 함침 골재는 활성탄인 것으로 나타났다.

7. MOCK-UP 시험 결과, 개발된 석고 바름재를 사용한 경우에 석고보드보다 오염물질의 방출 종류가 감소된 것으로 나타났으며, 온습도 제어 성능이 약간 높은 것으로 나타났다. 시제품 생산 수행 결과 경량 함침 골재를 사용함에 따라 기준 대비 95~98%의 가격 차이를 갖는 것으로 나타나 원가 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 에폭시 수지를 사용할 경우 기존 제품 대비 약 45.73%의 원가절감 효과가 있는 것으로 나타나 경제성을 확보할 수 있었다.

V. 연구목표 달성 및 효과

본 연구 개발을 통하여 목재 산업 부산물인 목초액을 사용한 항균성, 공기질 제어 및 환경적으로 우수한 성능의 내외장재를 제조할 수 있었다.

본 기술 개발에서 사용된 목초액은 천연물질로 복잡한 화학공정을 통해 생산되고 고가의 항균제로 공급되는 기존의 무기계 및 유기계 항균제를 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 본 기술 개발을 적용하여 내외장재를 제조할 경우, 의료 기관 및 요양기관 등의 클린 룸 등을 제공할 수 있는 기술을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

외단열 공법 부분에서는 표면의 오염과 물리적 성능 향상을 통해 시공 안정성을 확보할 수 있었으며, 신규 소재의 개발을 통한 경제성을 확보할 수 있었다. 내장재로서는 유해 물질을 방출하지 않으면서 공기질을 개선할 수 있는 소재를 제공할 수 있었다.

본 기술 개발은 국민 생활 건강 확보를 위해 연가 4조원의 새집증후군 관련 보건 비용을 절감할 수 있는 기술을 제공할 수 있다.

VI. 연구성과 활용계획

외단열 공법 및 친환경 소재 시장의 확대에 의해 본 기술개발의 시장 증대 효과는 시의 적절할 것으로 판단되며, 일반 주거 시설의 석고보드 대체용 마감재나 기존 외단열 소재의 대체 등의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

목초액 함침 경량담체는 건식으로 제조가 가능하여 다양한 건설 재료의 2차 제품 적용이 가능할 것으로 판단된다.

SUMMARY

I . Title

Development of Antimicrobial-Internal and External Material Using Pyroligneous Liquid as Wood By-product

II . Overview of Research and development

According to World Health Organization (WHO), lung transmissibility of indoor atmosphere is 1,000 times higher than outdoor pollutant. And with regards to the Ministry of Environment and National Health Insurance Service, 3 times increasing of atopic dermatitis and 5 times increase of asthma over past 30 years were identified, and social cost of environmental disease is estimated over 2 trillion KRW annually. Especially, for children and youth, asthma is in the first rank of disease burden while skin problem including atopy is in third rank. Furthermore, disease from sick house syndrome is increasing. The biggest reason for this occurrence is from interior finishing materials, and consequentially there is increasing need for finishing materials that don't emit pollutant and have performance of antibacterial and atmosphere quality control.

Meanwhile, pyroligneous liquid which is a by-product of wood industry can be obtained with classification of 3 layers by collecting smoke and vaporization when wood is carbonized in 500~700°C. When cooling and condensing this smoke and vapor, it is fermented in the room temperature for 30 days to over 1 year. Mostly, the second layer is used. Main component of pyroligneous liquid has phenolic fraction with high antioxidant. Natural lumber such as oak or pine is mainly used for manufacturing pyroligneous liquid. Because pyroligneous liquid is known to have superior performance in various research such as suppression of Eumycetes, performance of antibacterial and deodorization would have this kind of effect when pyroligneous liquid is applied in constructing fishing material.

The biggest problem for using existing pyroligneous liquid is a long-term stability problem, and because it is liquefied material, there is problem of applying to products like dry mortar. This study tries to manufacture pyroligneous liquid impregnation aggregates by impregnating liquefied pyroligneous liquid to light-weighted carrier in advance and to derives plan

for applying this to interior and exterior material for solving the problems mentioned earlier and applying pyroligneous liquid to interior and exterior material. For this, this study develops mortar that substitutes KS F 4715 and KS F 4716 which are acrylic mortar used for exterior insulation construction method among exterior finishing materials that can have surface deterioration according to pollution by germ to impregnation aggregates of pyroligneous liquid. Moreover, this study evaluates physical characteristic of this mortar, and also develops mortar for EPS attachment, where performance of epoxy resin mortar is improved by using wood tar. For the interior material, this study develops plaster coating material that substitutes impregnation aggregates of pyroligneous liquid. Furthermore, this study evaluates characteristics like coating material and performance of atmosphere quality. Also, it evaluates stability for exterior construction through MOCK-UP test, atmosphere quality performance, characteristic of control temperature, and humidity of plaster coating material.

III. Performance detail and result of research and development (Description of process for research, result of development and etc.)

This study develops KS F 5715, KS F 4716 and plaster coating material through manufacturing, impregnation technique of impregnation aggregate of pyroligneous liquid by using by-product of wood industry, and develops epoxy mortar where hardening is not added by using wood tar. Also, this study evaluates eco-friendly construction finishing materials by examining physical characteristics, antibacterial, atmosphere quality performance and characteristic of temperature, and humidity as a interior and exterior material of manufactured mortar.

1. This study analyzes characteristic such as impregnation rate and color of pyroligneous liquid for each light-weighted aggregate to derives plan for component analysis for pyroligneous liquid and manufacturing of light-weight aggregate with pyroligneous liquid impregnation.

2. This study examines temperature condition and attachment ability according to impregnation aggregate, water absorbing coefficient, shock resistance, small division characteristic and antibacterial by capacity that substitutes impregnation aggregate of pyroligneous liquid for dolomite aggregate to KS F 4715, which is acrylic mortar. And through this, the study derives optimum light-weighted impregnation aggregate and mixing rate.

3. This study examines curing temperature condition, attachment ability according to impregnation aggregate, water absorbing coefficient, shock resistance, small division characteristic and antibacterial by capacity substituting impregnation aggregate of pyroligneous liquid for dolomite aggregate to KS F 4716, which is an acrylic mortar. And through this, it derives optimum light-weighted impregnation aggregate and mixing rate.

4. This study manufactures epoxy resin mixing mortar without addition of wood tar mixed with hardener to produce mortar for EPS attachment, and derives optimum wood tar mixing rate by examining compressive strength, flexural strength, tensile strength, attachment strength of epoxy resin, XRD analysis, MIP analysis, and characteristic of freezing and thawing.

5. This study manufactures plaster coating material by using impregnation aggregate of pyroligneous liquid and derives optimum light-weighted impregnation aggregate and mixing rate by examining attachment strength, absorption and desorption of moisture, harmful gas emission, ammonia absorption, and VOC absorption characteristic.

6. This study manufactures development prototype by using developed materials, and examines atmosphere quality and temperature, moisture characteristic through making MOCK-UP structure from prototype. Also, it examines economic feasibility of technical development analyzing raw material charge.

IV. Final research performance and applied result

The following results were acquired by reviewing manufacturing of pyroligneous liquid impregnation aggregate, physical characteristics of interior and exterior materials, antibacterial characteristic, and air quality characteristics to develop interior and exterior materials to manufacture construction material of high added value by using pyroligneous liquid, which is a by-product of wood industry.

1. Solidity amount of pyroligneous liquid is about 1%, the color is reddish brown and the main component is an excess organic acid with polyphenol. Light-weighted carrier using pyroligneous liquid is composed of 1.2mm of perlite, 3mm of vermiculite, active carbon, and zeolite. Impregnation rate of pyroligneous liquid is 8.75% for zeolite, 7.32% for active carbon, 5.03% for 3mm perlite, 1.52% of vermiculite and 0.47% for 1.2mm perlite. This means that zeolite has the highest rate.

2. If pyroligneous liquid is mixed with acrylic mortar, problems such as mass property reduction according to low solidity amount with organic acid and flexibility control may occur. If impregnation aggregate of pyroligneous liquid is mixed with acrylic emulsion coating aggregate of KS F 4715, and if it is light-weighted aggregate, changes of flexibility is lower than plain and has homogenetic characteristic. Attachment strength is the highest in high temperature curing, and it appears to decline according to the increase of light-weighted carrier substitution rate but above 0.6 N/mm². Here, KS standard is satisfied in each mix. For the surface of exterior finishing material that uses impregnation light-weighted aggregate of pyroligneous liquid, perlite and vermiculite are discolored because impregnated pyroligneous liquid is emitted to exterior. Zeolite has small color change and homogeneity, and from this zeolite optimum aggregate for exterior finishing is selected.

3. In the physical characteristic for each impregnation aggregate of KS F 4716, perlite and vermiculite have problems including reduction of attachment strength and increasing of moisture absorption coefficient. However, active carbon and zeolite have small changes of flexibility, improvement of solidity and moisture absorption performance until 10% of mixing rate. For the impact resistance and small division characteristics, most impregnation aggregates do not have problems, but active carbon has negative small division characteristic. For the curing condition for each temperature, impregnation aggregates of pyroligneous liquid have high solidity in high temperature curing compared to low temperature.

4. As a result of examining antibacterial of acrylic exterior mortar using impregnation aggregate of pyroligneous liquid, it has superior antibacterial in the mixing rate above 10%. Furthermore, as a result of test antibacterial of specimen of KS F 4716 which has strong alkali after storing above 1 year there was still antibacterial which means that impregnation aggregates of pyroligneous liquid have superior antibacterial.

5. For the case of wood tar substitution for epoxy resin mixing mortar without hardener, hardness of epoxy resin is accelerated according to phenol component of wood tar and material property such as compressive strength, flexural strength, tensile strength, attachment strength. Furthermore characteristic of length changes are improved. 3% of epoxy resin mixing rate and 10% of wood tar substitution rate are the most optimal rates. Freezing and thawing resistance are superior in all mixing rate with unit cement amount. In particular, performance is improved by epoxy resin mixing.

6. Optimum mixing ratio for improving solidity of plaster coating material

is 1:0.5 of binder rate and 10% of slag. Attachment strength of plaster coating material has a maximum value of 2~3% of mixing rate in pyroligneous liquid impregnation light-weighted carrier, no problem from physical performance above that mixing rate was identified because attachment strength exceeds 0.4 N/mm^2 , which is the standard of interior coating material in any mixing rate. For plaster coating material using impregnation aggregate, there is no pollutant in atmosphere quality. Moreover, ammonia attachment performance is improved according to increase of mixing rate regardless of the type of impregnation aggregates, which are standards of interior coating material. As a result of examining attachment performance of toluene, only active carbon has performance. Thus, effective light-weighted impregnation aggregates for interior material are active carbons.

7. As a result of MOCK-UP test, using developed plaster coating material shows that there is reduction in emission type of pollutant when compared to plaster board. Furthermore, it has high temperature and moisture control performance. As a result of producing prototype, there is cost reduction effect which identified 95~98% of cost difference in comparison with standard cost when light-weighted impregnation aggregate. In case of using epoxy resin, economic feasibility is ensured because it has cost reduction effect of 45.73% in comparison with the existing product.

V. Achievement of research purpose and effect

Through this research and development, interior and exterior material of high environmental performance, air quality control, and antibacterial can be produced by using pyroligneous liquid, which is a by-product of wood industry.

Pyroligneous liquid used for this research and development is expected to replace existing inorganic and organic antibacterial materials that are supplied as antimicrobial of high price that is produced through complex chemical procedures with natural materials. When manufacturing interior and exterior materials by applying this technical development, it is judged that technology that promotes clean rooms in medical institutes and sanatoriums can be provided.

In the exterior insulation construction method area, construction stability can be ensured through improvement of surface pollution and physical

performance, and economic feasibility could be ensured through development of new material. As an internal material, it does not emit pollutants and can provide materials to improve quality of air.

This technical development can provide skills to reduce health expenditures related to sick house syndrome which is 4 billion KRW annually to ensure the living of healthy people.

VI. Application plan for result

Market expansion effect of this technical development is considered to be appropriate because of market expansion of exterior construction method and eco-friendly material. Also, it is applicable to replace existing exterior insulation material or plaster board finish material in general living areas.

Impregnation aggregate of pyroligneous liquid can be manufactured in dry process and is considered to be possible to be applied in secondary usage of various construction material.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction to the Research and Development (R&D) project	1
Section 1. The Need for R&D	1
Section 2. Research contents and scope	6
1. Research contents	6
2. Research scope	8
Section 3. Current status of domestic and international technological development	9
1. Summary of the preceding research result	9
2. The objective of this project through preceding result	10
3. Intellectual property right trends in the construction	10
Section 4. Government support policy trends	17
1. Related statute, government policy and assignment organization	17
2. Current status and type of national policy project	19
Section 5. Difference analysis and ability and condition of R&D	20
1. Analysis condition and ability of R&D	20
2. Difference analysis of R&D	21
Chapter 2 Details and results of R&D	22
Section 1. Strategies and methods used for R&D promotion	22
1. Research objective	22
2. Characteristic of research objective and basis	22
Section 2. Research summaries and results	29
1. Development of the interior materials using wood by-product	29
2. Development of the exterior materials using wood by-product	153
3. Mock-up test of developed materials	186
Chapter 3 Research result and application actual result	211
Section 1. Individual research results	211
Section 2. The main research results and external the contribution	219
Section 3. Analysis of impact on R&D achievements	222

Chapter 4 Research objective achievement and effect	224
Section 1. Achievement of research objective	224
Section 2. Technical effect analysis of R&D	225
Section 3. Economical effect analysis of R&D	225
Section 4. Policy effect analysis of R&D	226
 Chapter 5 Needs of additional research and application of research result ·	227
Section 1. Application plan of research result	227
Section 2. Needs of additional research	228
 References	229

목 차

제 1 장 연구개발과제 개요	1
제 1절 연구개발의 목적 및 필요성	1
제 2절 연구목표 및 범위	6
1. 연구목표	6
2. 연구범위	8
제 3절 국내외 기술개발 현황	9
1. 선행 연구 결과 요약문	9
2. 선행 연구 결과를 통한 본 연구의 의미	10
3. 건설 관련 지식 재산권 동향	10
제 4절 정부지원정책 현황	17
1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관	17
2. 정부지원 정책사업의 종류와 현황	19
제 5절 연구개발의 역량, 환경 및 차별성 분석	20
1. 연구개발의 역량 및 환경 분석	20
2. 연구개발의 차별성 분석	21
제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과.....	22
제 1절 연구개발 수행 전략	22
1. 최종목표	22
2. 최종목표의 성격 및 설정근거	22
제 2절 연구개발 수행 내용 및 결과	29
1. 목재 부산 자원을 활용한 외장재료의 개발	29
2. 목재 부산 자원을 활용한 석고계 내장 모르타르의 개발	154
3. 개발 제품의 현장 적용을 실험	187
제 3 장 최종연구성과 및 적용실적	213
제 1절 개별 연구성과	213
제 2절 주요 연구성과 및 대외 기여도	221
제 3절 기술 개발 성과의 국내외 시장 전망	224

제 4 장 연구 목표 달성 및 효과	226
제 1절 최종목표 달성도	226
제 2절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석	227
제 3절 연구개발 성과의 경제적 효과 분석	227
제 4절 연구개발 성과의 정책적 효과 분석	228
제 5 장 연구성과의 활용 및 추가 연구 필요성	229
제 1절 연구성과 향후 활용방안	229
제 2절 추가 연구 필요성	230
참고문헌	231

표 목차

표 1.1.1 국내 목초액의 규격	4
표 1.1.2 목초액을 사용한 제품 응용 분야	5
표 1.3.1 국내 목초액 연구 동향	11
표 1.3.2 일본의 최근 5년간 목탄의 수급실태	12
표 1.3.3 일본의 주요 목탄 생산지(2001년 기준)	13
표 1.3.4 일본의 용도별 목탄 판매 실적(1999~2001)	14
표 1.3.5 일본의 용도별 목초액 판매 실적(1999~2001)	14
표 1.3.6 국내·외 특허 동향	15
표 1.4.1 세계 주요국가의 친환경 건축물 인증제도	17
표 1.4.2 국내 친환경건축물 인증제도 정리	17
표 1.4.3 실내 공기질 관리법 상의 각종 물질 규제 기준안	18
표 1.5.1 목초액 관련 국가R&D사업 현황	21
표 2.1.1, 1차년도 연구목표 및 내용	22
표 2.1.2 국내 목초액의 규격	23
표 2.1.3 목초액의 LC분석 데이터	24
표 2.1.4 1차년도 연구개발의 성능 개선 항목	26
표 2.1.5, 2차년도 연구목표 및 내용	27
표 2.2.1 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 배합표	29
표 2.2.2 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 배합표	30
표 2.2.3 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 배합표	31
표 2.2.4 항균성 코팅제의 배합	32
표 2.2.5 내충격성 시험 결과	46
표 2.2.6 내잔갈림성시험 결과	46
표 2.2.7 함침 전 후 경량 담체의 색상 변화	47
표 2.2.8 경량 담체 종류에 따른 목초액 함침율	48
표 2.2.9 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우 내충격성 시험 결과	67
표 2.2.10 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우 내충격성 시험 결과	67
표 2.2.11 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우 내잔갈림성 시험 결과	68
표 2.2.12 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우 내잔갈림성 시험 결과	68
표 2.2.13 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 내충격성 시험 결과	84
표 2.2.14 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 내잔갈림성 시험 결과	85
표 2.2.15 항균실험 변수	95
표 2.2.16 포도상구균(<i>Staphylococcus aureus</i>)에 대한 아크릴 에멀전 모르타르의 항균성능	96
표 2.2.17 대장균(<i>Escherichia coli</i>)에 대한 아크릴 에멀전 모르타르의 항균성능	96
표 2.2.18 포도상구균(<i>Staphylococcus aureus</i>)에 대한 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균성능	97
표 2.2.19 대장균(<i>Escherichia coli</i>)에 대한 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균성능	97

표 2.2.20	광촉매의 종류	100
표 2.2.21	산화티탄 종류에 따른 물성	101
표 2.2.22	코팅제의 배합과 수분 접촉각	107
표 2.2.23	코팅제의 내세척성 시험 결과	109
표 2.2.24	코팅제의 내세척성 시험 결과	109
표 2.2.25	코팅제의 유기물 분해 성능	110
표 2.2.26	코팅제 처리에 따른 물흡수계수 변화	111
표 2.2.27	포도상구균(<i>Staphylococcus aureus</i>)에 대한 코팅제의 항균성능	113
표 2.2.28	대장균(<i>Escherichia coli</i>)에 대한 코팅제의 항균성능	113
표 2.2.29	보통포틀랜드시멘트의 화학적 조성	116
표 2.2.30	보통포틀랜드 시멘트의 물리적 특성	116
표 2.2.31	골재의 특성	117
표 2.2.32	에폭시 수지의 특성	117
표 2.2.33	배합표	118
표 2.2.34	시멘트 페이스트의 공극 크기에 따른 영향	144
표 2.2.35	동결 용해 시험 전후의 무게 변화	151
표 2.2.36	공인시험기관의 압축강도 및 보수성 시험배합 및 결과	152
표 2.2.37	석고 바름재의 공기질 시험용 배합	154
표 2.2.38	습도조절능력 실험구성(고습영역)	157
표 2.2.39	사용 검지관 검출항목	159
표 2.2.40	챔버의 측정조건	160
표 2.2.41	암모니아 검지관의 특성	160
표 2.2.42	챔버의 측정조건	162
표 2.2.43	toluene 검지관의 특성	163
표 2.2.44	석고 바름재의 흡습량과 방습량	182
표 2.2.45	석고 바름재의 수화가스 정성분석	183
표 2.2.46	석고 바름재의 암모니아 가스 흡착량 및 VOC 흡착량	185
표 2.2.47	흡착관 종류에 따른 측정대상물질	192
표 2.2.48	Analysis condition of gas chromatography	193
표 2.2.49	Analysis condition of mass spectrometer	193
표 2.2.50	Analysis condition of purge & trap	194
표 2.2.51	시제품의 물리적 특성	200
표 2.2.52	KS F 4716 시험체의 포도상구균 항균성 시험결과	206
표 2.2.53	KS F 4716 시험체의 대장균 항균성 시험결과	207
표 2.2.54	함침 골재의 경제성 분석	207
표 2.2.55	KS F 4715와 KS F 4716 제품의 목초액 함침 골재 사용에 따른 가격비교	208
표 2.2.56	KS F 4716 제품의 EPS 부착용 모르타르의 가격비교	209
표 2.2.57	내장용 바름재의 가격비교	210
표 2.2.58	개발 제품의 일위대가	211

그림 차례

그림 1.1.1 실내 유해 물질의 인체 유해성	1
그림 1.1.2 벽에서 전도된 외단열 벽체	3
그림 1.2.1 본 기술 개발의 요소 기술 I - 목초액 함침 골재	6
그림 1.2.2 본 기술 개발의 요소 기술 II - 목초액 함침 골재 사용 2차 제품	6
그림 1.2.3 본 기술 개발을 적용한 외장 공법과 내장 공법	6
그림 1.3.1 FT-IR 분석	9
그림 1.3.2 양생 방법별 압축 강도 특성	9
그림 1.3.3 양생 방법별 경화도 특성	9
그림 1.3.4 목초액과 연관된 R&D 동향 정보	11
그림 1.4.1 실내 공기질 관리법의 변천 과정	17
그림 2.1.1 본 연구에 사용한 목초액	23
그림 2.1.2 목초액의 FT-IR 분석	24
그림 2.1.3 본 연구에 사용한 목타르액	28
그림 2.1.4 목타르의 FT-IR 분석	28
그림 2.2.1 부착강도 시험 방법	34
그림 2.2.2 물흡수시험계수 측정 KS F 4715 시험체	34
그림 2.2.3 물흡수시험계수 측정 KS F 4716 시험체	35
그림 2.2.4 내잔갈림성 시험	35
그림 2.2.5 내충격성 시험	36
그림 2.2.6 항균성 시험 과정	36
그림 2.2.7 JIS Z 2801 : 2006 필름 밀착법	36
그림 2.2.8 희석한 배양세균의 흡광도 측정	37
그림 2.2.9 세균 집락군 측정	37
그림 2.2.10 시험시료준비	38
그림 2.2.11 시험 시료의 살균	38
그림 2.2.12 시료에 균을 접종하는 모습	38
그림 2.2.13 접종된 시료를 배양기에 넣은 모습	38
그림 2.2.14 시료에서 세균수거 과정	39
그림 2.2.15 (좌)배양모습, (우)진탕배양기	39
그림 2.2.16 수분표면접촉각과 젖음성의 관계	40
그림 2.2.17 다공질 표면에서의 물흡수	40
그림 2.2.18 수분접촉각 측정기	41
그림 2.2.19 항균성 시험 과정	42
그림 2.2.20 시험 시료의 준비	42
그림 2.2.21 시험 시료 살균 과정	42

그림 2.2.22 20W의 Black light blue 램프	43
그림 2.2.23 접종한 시료에 자외선(UV-a)을 조사하는 과정	43
그림 2.2.24 물과 목초액 첨가에 따른 유동성	44
그림 2.2.25 물과 목초액 첨가에 따른 부착강도 특성	45
그림 2.2.26 물과 목초액 첨가에 따른 물흡수계수 특성	46
그림 2.2.27 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성	49
그림 2.2.28 평균 입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성	50
그림 2.2.29 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성	51
그림 2.2.30 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성	52
그림 2.2.31 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성	53
그림 2.2.32 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성	54
그림 2.2.33 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성	55
그림 2.2.34 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성	55
그림 2.2.35 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성	56
그림 2.2.36 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성	56
그림 2.2.37 고온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(a)	57
그림 2.2.38 고온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(b)	58
그림 2.2.39 고온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(c)	59
그림 2.2.40 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성	60
그림 2.2.41 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성	60
그림 2.2.42 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(a)	61
그림 2.2.43 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(b)	62
그림 2.2.44 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(c)	63
그림 2.2.45 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 물흡수계수	64
그림 2.2.46 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 물흡수계수	65
그림 2.2.47 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 물흡수계수	65
그림 2.2.48 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 물흡수계수	66
그림 2.2.49 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(a)	69
그림 2.2.50 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(b)	70
그림 2.2.51 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(c)	71
그림 2.2.52 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(d)	72
그림 2.2.53 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(e)	73
그림 2.2.54 평균입도 1.2mm 이상 경량 담체 치환에 따른 Flow 변화	75
그림 2.2.55 평균입도 0.075mm 이하 경량 담체 치환에 따른 Flow 변화	75
그림 2.2.56 1.2mm이상 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 (상온 양생)	76
그림 2.2.57 0.075mm 이하 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 (상온 양생)	76
그림 2.2.58 1.2mm 이상 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 (고온 양생)	77
그림 2.2.59 0.075mm 이하 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도	

(고온 양생)	78
그림 2.2.60 1.2mm 이상 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 (고온 양생)	79
그림 2.2.61 0.075mm 이하 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 (고온 양생)	79
그림 2.2.62 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 정상(a)	80
그림 2.2.63 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 정상(b)	81
그림 2.2.64 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 정상(c)	82
그림 2.2.65 1.2mm 이상 경량 담체 치환에 따른 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수	84
그림 2.2.66 0.075mm 이하 경량 담체 치환에 따른 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수	85
그림 2.2.67 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 특성	87
그림 2.2.68 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제 혼입 특성	87
그림 2.2.69 실란커플링제 첨가에 의한 부착강도 변화	88
그림 2.2.70 아크릴 에멀전 첨가에 의한 부착강도 변화	88
그림 2.2.71 리튬실리케이트 첨가에 의한 부착강도 변화	89
그림 2.2.72 실란커플링제 첨가에 의한 부착강도 변화	89
그림 2.2.73 아크릴 에멀전 첨가에 의한 부착강도 변화	90
그림 2.2.74 리튬실리케이트 첨가에 의한 부착강도 변화	90
그림 2.2.75 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 - Plain	91
그림 2.2.76 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 - ZL - 5	92
그림 2.2.77 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 - Plain	93
그림 2.2.78 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 - ZL-5	94
그림 2.2.79 대장균에 대한 항균성 실험 결과. 맨오른쪽이 대조군 시료	98
그림 2.2.80 대장균에 대한 항균성 실험 결과. 맨오른쪽이 대조군 시료	98
그림 2.2.81 시멘트혼입 방부제 1~4번 시료들 간 세균 증식 비교	98
그림 2.2.82 광촉매의 반응	100
그림 2.2.83 광촉매의 밴드갭 에너지	101
그림 2.2.84 수분 접촉각 변화	108
그림 2.2.85 자외선 조사 전(좌, 左)과 조사 후(우, 右)에 따른 포도상구균 대조군에서 UV-a의 영향	112
그림 2.2.86 UV-a를 조사하지 않은 시료의 세균 배양 후 불검출 모습	114
그림 2.2.87 경화제 무첨가 에폭시 수지 모르타르 내의 에폭시 경화기구	115
그림 2.2.88 부착강도 측정방법	120
그림 2.2.89 간이단열 수화열 상자 (unit : mm)	120
그림 2.2.90 에폭시 수지 혼입률에 따른 모르타르의 압축강도	122
그림 2.2.91 에폭시 수지 혼입률에 따른 모르타르의 휨강도	123
그림 2.2.92 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입에 따른 휨압축강도비	123
그림 2.2.93 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 부착강도	124
그림 2.2.94 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 경화도	125

그림 2.2.95 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 경화수지량 (재령 28일)	125
그림 2.2.96 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 수화열 특성	126
그림 2.2.97 UMM과 에폭시 수지 혼입에 따른 XRD 특성 (재령 5시간)	127
그림 2.2.98 UMM과 에폭시 수지 혼입에 따른 XRD 특성 (재령 1일)	127
그림 2.2.99 UMM과 에폭시 수지 혼입에 따른 XRD 특성 (재령 3일)	127
그림 2.2.100 에폭시 수지 혼입률에 따른 페이스트의 XRD	128
그림 2.2.101 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도 (에폭시 수지 1%)	130
그림 2.2.102 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도 (에폭시 수지 3%)	131
그림 2.2.103 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도 (에폭시 수지 5%)	132
그림 2.2.104 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 휨강도 (에폭시 수지 1%)	134
그림 2.2.105 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 휨강도 (에폭시 수지 3%)	135
그림 2.2.106 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 휨강도 (에폭시 수지 5%)	136
그림 2.2.107 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 인장강도 (에폭시 수지 1%)	138
그림 2.2.108 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 인장강도 (에폭시 수지 3%)	139
그림 2.2.109 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 인장강도 (에폭시 수지 5%)	140
그림 2.2.110 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지의 경화도	141
그림 2.2.111 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지의 경화수지량	141
그림 2.2.112 목타르 치환에 따른 간이단열온도 특성	142
그림 2.2.113 목타르 치환에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 XRD	143
그림 2.2.114 시멘트 페이스트 내의 수화물과 공극 크기	144
그림 2.2.115 목타르 치환에 의한 공극률 변화(에폭시 수지 1%)	146
그림 2.2.116 목타르 치환에 의한 공극률 변화(에폭시 수지 3%)	147
그림 2.2.117 목타르 치환에 의한 공극률 변화(에폭시 수지 5%)	147
그림 2.2.118 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28일 길이변화	149
그림 2.2.119 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 56일 길이변화	149
그림 2.2.120 에폭시 수지 혼입률에 따른 28일 길이변화	150
그림 2.2.121 건조기간에 따른 목타르 치환 에폭시 수지 혼입 모르타르의 길이변화	150
그림 2.2.122 목타르 혼입률에 따른 에폭시수지 혼입 모르타르의 상대동탄성계수	151
그림 2.2.123 시험편 사진	155
그림 2.2.124 항온항습기	156
그림 2.2.125 시료의 측정	156
그림 2.2.126 습도조절실험 그래프의 분석	157

그림 2.2.127	진공식 가스채취기	158
그림 2.2.128	암모니아 검지관 측정방법	161
그림 2.2.129	톨루엔 검지관 측정방법	163
그림 2.2.130	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)	164
그림 2.2.131	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)	164
그림 2.2.132	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)	165
그림 2.2.133	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)	165
그림 2.2.134	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)	166
그림 2.2.135	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)	166
그림 2.2.136	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)	167
그림 2.2.137	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)	167
그림 2.2.138	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)	168
그림 2.2.139	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)	168
그림 2.2.140	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)	169
그림 2.2.141	바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)	169
그림 2.2.142	슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)	170
그림 2.2.143	슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)	170
그림 2.2.144	슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)	171
그림 2.2.145	슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)	171
그림 2.2.146	슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)	172
그림 2.2.147	슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)	172
그림 2.2.148	슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)	173
그림 2.2.149	슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)	173
그림 2.2.150	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50, 슬래그 치환 0%)	174
그림 2.2.151	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100, 슬래그 치환 0%)	174
그림 2.2.152	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50, 슬래그 치환 10%)	175
그림 2.2.153	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100, 슬래그 치환 10%)	175
그림 2.2.154	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50, 슬래그 치환 20%)	176
그림 2.2.155	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100, 슬래그 치환 20%)	177
그림 2.2.156	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50, 슬래그 치환 0%)	178
그림 2.2.157	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100, 슬래그 치환 0%)	178
그림 2.2.158	목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50, 슬래그 치환 10%)	179

그림 2.2.159 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100, 슬래그 치환 10%)	179
그림 2.2.160 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50, 슬래그 치환 20%)	180
그림 2.2.161 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100, 슬래그 치환 20%)	180
그림 2.2.162 시제품의 제작과정	187
그림 2.2.163 MOCK-UP시험용 실험동	188
그림 2.2.164 외단열 시험 시공과정	189
그림 2.2.165 내부 석고 바름재와 석고보드 시공	189
그림 2.2.166 Trap by curie point system 192	193
그림 2.2.167 Tenax-GR 흡착관	194
그림 2.2.168 Purge & Trap analyzer	194
그림 2.2.169 MOCK-UP 시험 공간의 VOC 채취 및 검지관 흡착	194
그림 2.2.170 MOCK-UP 시험 공간의 암모니아 채취 및 검지관 흡착	195
그림 2.2.171 희석한 배양세균의 흡광도 측정	197
그림 2.2.172 세균집락수 측정	197
그림 2.2.173 시험시료준비 및 살균	198
그림 2.2.174 시료에 균을 접종하는 모습	198
그림 2.2.175 접종된 시료를 배양기에 넣은 모습	199
그림 2.2.176 석고바름재와 석고보드를 사용한 시험공간의 온도 및 습도 특성	201
그림 3.3.1 국내 건자재 시장 규모 변화 추이	225

제 1 장 연구개발과제 개요

제 1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 필요성



그림 1.1.1 실내 유해 물질의 인체 유해성

○ 세계보건기구(WHO)에 따르면 실내 공기의 폐 전달률은 실외 오염 물질에 비해 1000배나 높은 것으로 조사됨. 환경부와 국민 의료 보험 공단에 따르면 과거 30년간 아토피 피부염은 3배, 천식은 5배 이상 늘었고 환경성 질환으로 인한 사회적 비용은 연간 2조원이 넘는 것으로 나타남. 특히 소아, 청소년 등의 질병 부담은 천식이 1위, 아토피 등 피부질환이 3위를 차지하며, 새집증후군으로 인한 질환도 증가 추세임.

○ 대부분의 실내 질환의 원인은 대부분 실내마감재에서 방출되는 유해 물질에 의한 것이며, 이와 관련된 증상은 그림 1.1.1과 같이 전신에 걸쳐 나타남. 이로 인해 현재 실내 마감재의 친환경성을 강조한 다양한 제품군이 제시되고 있음. 기존 실내 마감재에 사용되는 재료는 PVC, 에폭시 수지, 우레탄 수지, 아크릴 수지 등이 사용되고 있음.

○ 실내 마감재는 의장 재료로써 다양한 색감과 질감을 제공하는 기능을 가지고 있음. 의장 재료로 사용하기 위한 색상 발현의 문제로 원재료의 투광성과 색상발현성이 우수한 재료가 필요함.

○ 실내 공기질 법안의 강화 및 사회적인 인식의 강화로 유기화합물을 주재료로 사용하는 실내 마감재에 좋지 않은 인식으로 기피하는 경향이 있음. 이에 따라 다수의 기업들이 유기화합물과 친환경성 물질을 혼합하여 제품의 인식 전환 및 환경성능 개선 형태로 제품 성능을 개선하고 있음.

○ 기존에는 국내 건설 자재는 저탄소 녹색 성장이라는 국가 정책에 따라 대체로 저에너지 구현을 위한 건자재 연구가 주류를 이루고 있었음. 점차 국민 복지 정책의 필요성이 증가함에 따라 생활 환경의 질 향상에 대한 연구의 필요성이 증가하고 있는 실정임. 또한 국내 주택시장의 물량 과공급에 따라 신규 건축물의 증가는 점차 감소할 것으로 예상되고 있으며,

기존 건축물의 성능개선이나 유지 관리 형태로 건축물의 수요가 변화될 것으로 판단됨.

○ 한편 최근에는 건축물의 단열성능이 높은 저에너지 건축 시공 방식이 확대되면서 단열재를 기본 벽체로 한 구조물의 제공이 증가하고 있음. 이에 따라 내외장재는 표면에 일정 두께를 갖는 바름재나 부착물의 형태를 취하는 것을 선호하고 있음. 기존에는 타일과 같은 정형의 부착물을 선호한 적이 있었으나 작업 시 자재의 과중량의 문제점과 타일 붙임 방식에 있어 별도의 숙련된 기능공이 소요되는 문제점으로 기피되고 있음. 타일 면에 대한 별도의 접착제를 사용하는 방식은 중량물의 운반과 정형화된 자재의 부착으로 작업의 어려움이 이를 가중시키고 있음.

○ 외단열 공법의 하나인 ETHICS(Exterior Thermal Insulation Composite System)는 1960년대에 유럽에서 처음 개발되었는데 습식 외단열 공법으로 EPS(Expanded Polystyrene: 발포 폴리에스터)로 외벽을 감싸고 표면에 수지모르타르를 바르는 공법을 이른다. ETHICS는 뛰어난 단열효과를 제공하기 때문에 덥고 추운 기후지역의 건물에 적용하면 냉·난방 에너지 효율을 크게 높일 수 있어 유럽과 미국에서 활발하게 채용되어 왔음. 또한 외단열 공법의 특성상 표면과 내부의 열차이에 의한 결로 현상 저감에 유리하여 실내 환경 유지에 유리한 공법이다.

○ 특히 독일의 경우 2001년 이후 연방법에서 소위 "에너지 절감 법령(EnEV)"을 공포하면서 모든 신규 빌딩들에 에너지 절감 규정이 적용되었는데 이로 인해 ETICS 시공이 일반화되게 되었음. EnEV는 2009년에 개정되어 그 규정이 더욱 강화되었는데 신규빌딩에 요구되는 에너지 소비량이 2007년 규정에 비해 30%가 낮아졌음.

○ 현재 ETHICS는 동구유럽을 비롯한 중국 등지에서도 정부의 정책적인 도입을 통해 에너지 절감을 꾀하고 있으며, 우리나라에서도 일부 저층건물들을 대상으로 시공이 이루어 있음.

○ 한편, ETHICS는 시공 후 여러 가지 하자를 발생시키는 문제를 안고 있음. 미국 동부에서는 1985년 당시 시공 후 채 몇 년이 지나지 않아 50%에 가까운 건물이 보수가 이루어져야 할 정도로 심각한 문제가 야기됨. 대부분의 하자원인은 EPS와 벽체의 사이에 우수의 침투에 의해 이루어지는데, 특히 강우량이 많은 고온다습 지역에서의 하자발생이 많은 이유임. 우수침투 후 건조능력이 낮을 경우 벽의 안쪽에 수분 장막이 형성되어, 곰팡이, 균류가 서식하는 문제를 야기하며, 중국적으로는 EPS가 벽체로부터 탈락되어 그림 1.1.1과 같이 전도되기도 함.

○ 물론 ETHICS 자체 구성 재료의 성능 불량도 하자발생의 원인이 되기도 하지만 ETICS 벽체 자체는 누수에 대한 큰 결함을 가지고 있지 않음. 대부분의 수분침투에 의한 하자발생이 창문 밑, 지붕 밑과 벽체의 접합부, 벽체의 지면부에서 일어나는 것

으로 볼 때 이러한 수분침투의 원인은 대부분 잘못된 배수설계 및 불량시공에서 비롯되는 경우가 많음. 특히 타일과 같은 과중량의 벽체에서는 전도 현상이 과속화됨.



그림 1.1.1 벽에서 전도된 외단열 벽체

현재 아파트의 외벽이나 공장 등의 외벽면, 건축물의 내벽면의 타일 대체 형태의 의장 재료로 사용되고 있음.

○ 그러나 이러한 수지 모르타르는 앞서 설명한 바와 같이 VOCs와 같은 유해 물질의 방출 위험성이 있음. 수지 모르타르는 표면에서 친유기를 가지고 있어 친수기의 오염 물질에 대해 취약하므로 방오성의 문제와 함께 세균이 번식하기 쉬운 조건이 될 수 있음. 따라서 표면의 방오성의 개선과 함께 항균성, VOCs 분해가 가능한 물질의 도입을 통해 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단됨.

○ 앞서 언급한 친환경성 물질을 도입할 경우, 제품 구매력의 향상에 유리할 것으로 판단됨. 이러한 친환경성 물질 중 기존 기술에서 다양한 분야에서 사용되고 있는 것이 목초액으로 비료나 민간 의약품으로 다수 사용되고 있는 제품임. 천연 항균 물질은 현재 까지 보고된 바에 의한 식물추출물(1~3), 한약재(4,5), 특정단백질 또는 효소류(6), 유기산류(7~9), 지방산류(10), 향신료(마늘갓)로부터 추출한 성분(11) 등이 있음. 이들 대부분은 페놀(phenol성 화합물), 퀴논(quinone)류, 테르펜(terpene)류 및 휘발성 향기 성분 등의 이차 대사산물(수목의 가지, 잎, 뿌리, 꽃 및 종자 등 특정한 기관에서 추출한 것을 이름)이거나 유도체들로 알려져 있음. 특히, 훈취가 매우 강한 목초액은 그 자체가 미생물의 성장을 억제하는 기능이 있는 것으로 알려져 있음.

표 1.1.1 국내 목초액의 규격

구분	원료	보매 비중 (° Be)	산량 (%)	pH	용해타르 (%)	굴절률 (% Brix)	육안판별
전통식 숯가마 또는 이를 응용한 장치	침엽수	0.6~5.5	1.5~5.0	3.5이하	2.0이하	3.5이상	적갈색, 투명
	활엽수	0.6~2.5	3.0~6.5	3.5이하	1.5이하	3.5이상	적갈색, 투명
기계식 탄화로	침엽수	2.5~5.5	2.3~5.5	3.5이하	5.0이하	7.0이상	적갈색, 투명
	활엽수 (죽재류 포함)	2.5~5.5	4.5~9.0	3.5이하	5.0이하	7.0이상	적갈색, 투명
증류 목초액	침엽수	0.0~2.5	0.8 이상	3.5이하	0.3이하	0.8이상	담황색, 투명
	활엽수 (죽재류 포함)	0.0~2.5	1.0 이상	3.5이하	0.3이하	0.8이상	담황색, 투명

○ 목초액은 목재를 500~700℃에서 탄화시킬 때 발생하는 연기와 수증기를 포집하여 냉각·응축시켜 다시 30일에서 길게는 1년 이상 상온에서 숙성·정치시키면 3개 층으로 분리하여 얻을 수 있으며, 이 중 중간층이 주로 이용됨. 목초액의 주요 성분은 항산화성이 높은 페놀성 분획을 가지고 있음. 목초액은 주로 참나무류, 소나무 등의 천연목재가 쓰이고 있음.

○ 숯생산을 하면서 부산물로 얻어지는 목초액은 “산림법시행규칙 제2조 임산물의 종류” 중 6항의 수액(수목을 태워서 얻은 응축액을 포함한다.)에 임산물로 규정되며, 환경농산물품질관리요령의 토양개량 자재로 농림부고시 제2000-63호(2000.10.6.)에 포함됨.

○ 석유화학 산업이 발전되기 전에는 목초액은 알콜이나 초산 등의 공업용 화학물질의 원료였으나 석유화학 산업이 활성화되면서 그 경쟁력을 상실하고 방치됨. 최근 목초액이 감농약재 및 감비료재, 탈취제 등으로 활용될 수 있는 새로운 용도가 규명되면서 약 12,000톤/년이 생산되며, 주요 생산 업체는 10여개소로 증가함.

표 1.1.2 목초액을 사용한 제품 응용 분야

분 야	용 도
주방용	세정제
민간 의료 용품	항균 물질 (치료 보조제)
농업용	비료 및 농약 가축 사료 분뇨 등의 악취 억제

○ 기존 건축용 소재 기술 중에는 목초액을 함유한 도료 제조 기술이 있었으나 표면 노출이 과다하고, 혼입률이 3~7% 정도로 매우 낮아 경시 변화에 따른 효과의 지속성에 논란이 있었음. 과량 사용할 경우, 물성 저하의 문제로 사용량에 제한을 받는 문제점이 있음. 그럼에도 불구하고 이와 관련된 제품 인식도는 소비자들에 높은 만족도를 제시하여 구매력을 향상하는 인자로 작용됨.

○ 본 기술 개발에서는 기존 기술의 문제점을 해결하기 위하여 목초액의 함량을 향상하면서, 소재의 경량화, VOCs의 방출량 제어, 방오성 개선을 통한 항균 조건 등을 향상하고자 함. 이를 위해서 목초액의 함량을 증가시키면서 소재의 경량화를 위하여 제올라이트나 펄라이트와 같은 흡착성능을 갖는 소재를 목초액에 담지하여 목초액의 함량을 증량하려 함. 이는 기존 기술에서 표면에서 방출량이 높을 것으로 예상되는 목초액의 손실을 저감하면서 함침률을 극대화 할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 또한 VOCs의 저감과 분해를 위하여 광안정화제를 사용함으로 자외선에 의한 수지의 분해와 함께 발생하는 유해 물질을 안정화하고자 함. 또한 바름제의 시공 후 표면의 항균성능을 향상하기 위하여 친수기를 갖는 코팅제를 도포하여 표면의 방오성을 향상하는 기술을 제공하고자 함. 따라서 본 기술 개발의 주요한 인자는 목초액의 증량을 위한 흡착제 담지 처리 과정과 함께 광안정화제를 함유한 수지모르타르의 제작, 최종적으로 표면의 방오성 향상을 위한 친수성의 코팅제 개발을 포함함.

제 2절 연구목표 및 범위

1. 연구 목표

본 기술 개발은 목재 산업 부산 자원인 목초액을 침지한 담체를 골재로 활용하여 항균성 아크릴계 수지 모르타르를 제조하고 항균성이 부여된 내·외장재를 개발하고자 함. 또한 개발된 마감재의 안쪽의 단열성 확보를 위해 부착되는 EPS보드의 부착력 향상과 내수성 향상, ETHICS 공법상의 하자인 벽체의 전도현상 저감을 위해 목재 부산 자원인 목타르를 치환한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르를 개발하고, 실내 공기 질 개선을 위한 석고계 내장모르타르 및 이를 종합한 MOCK-UP 시험체를 제작하여 실증하고자 함.

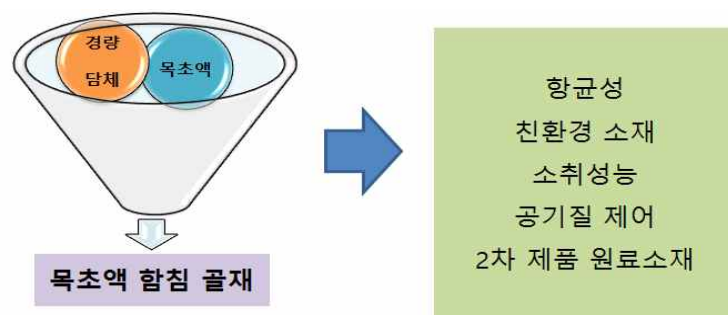


그림 1.2.1 본 기술 개발의 요소 기술 I - 목초액 함침 골재

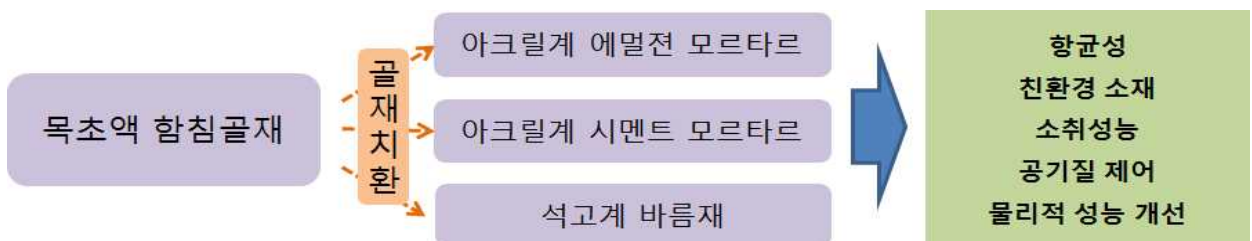


그림 1.2.2 본 기술 개발의 요소 기술 II - 목초액 함침 골재 사용 2차 제품

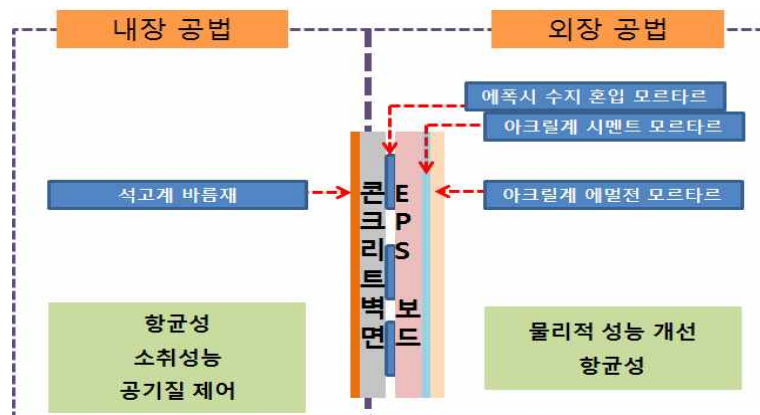


그림 1.2.3 본 기술 개발을 적용한 외장 공법과 내장 공법

가. 연구목표 및 내용(총괄)

과제명	연구목표	주요 연구내용
목재 부산 자원인 목초액을 활용한 항균성 내외장재 개발	목재 부산 자원을 사용한 아크릴 수지계 모르타르 제조	- 원재료 특성 분석 - 목재 부산 자원을 침지한 최적 담체 및 침지 조건 도출 - 침지 담체를 활용한 아크릴계 수지 모르타르를 제조하고자 함 - 실란커플링제 개질 아크릴계 수지 모르타르의 성능향상
	항균성 표면 코팅제 제조	- 광촉매 입자의 선정 및 도출 (적용 개소 및 입도별) - 아크릴 수지와 광촉매의 최적 배합 도출
	목재 부산 자원을 이용한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르 제조	- 목재 부산 자원 종류에 따른 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 특성 - 목재 부산 자원의 혼입률에 따른 경화 성능 평가 - 목재 부산 자원을 혼입한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 내구성능 평가
	목재 부산 자원을 사용한 아크릴계 수지 모르타르의 내구성능 평가	- 동결융해, 내화학적, 내후성 - 건조수축특성, 잔갈림 특성 등
	목재 부산 자원을 사용한 석고계 모르타르의 공기질 분석 및 평가	- 석고계 내장 모르타르의 부착특성 - VOCs(톨루엔) 흡착능력 평가 - 습도조절능력 평가 - 암모니아가스 최대 흡착능력 평가
	개발 모르타르의 MOCK-UP 시험 및 공법 개발	- 뿔칠 특성 평가 - 표면 마감 특성 평가(표면 마감도, 색상 발현성) - 시제품 제작

2. 연구 범위

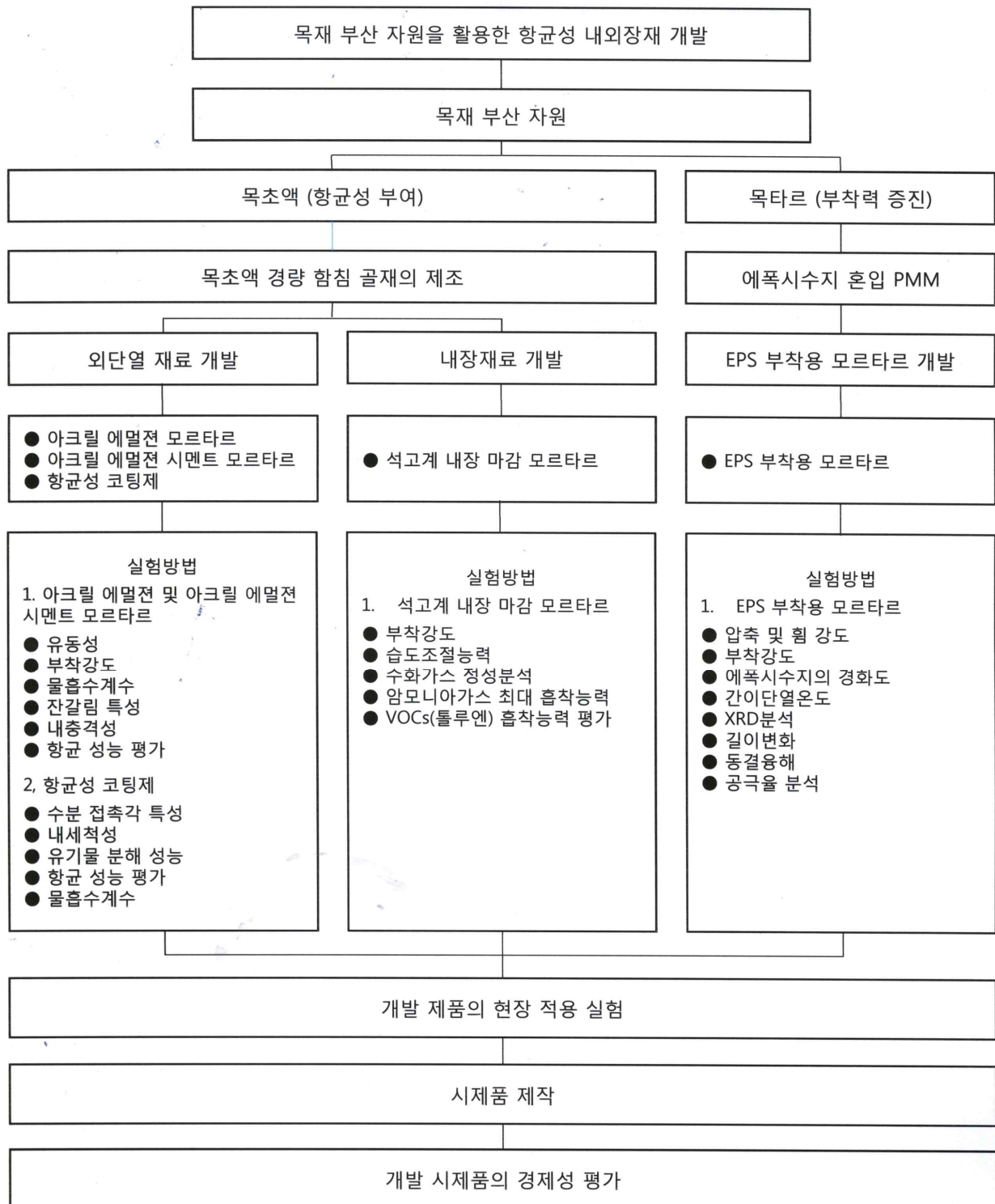
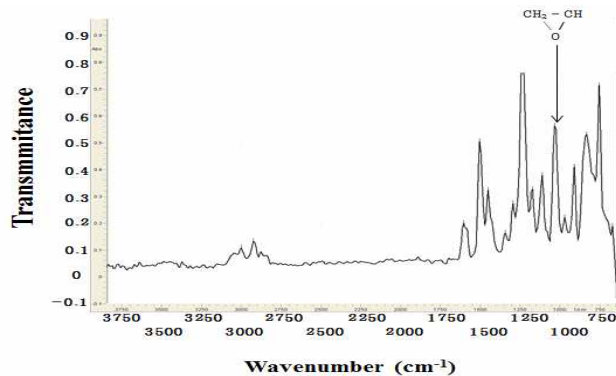


그림 1.2.4 본 연구의 흐름도

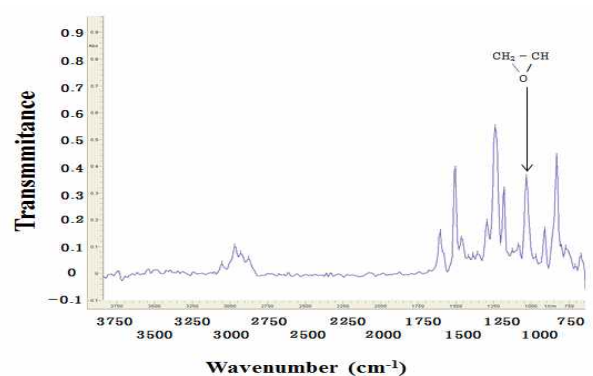
제 3절 국내외 기술개발 현황

1. 선행 연구 결과 요약문

선행 연구에서 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르(Polymer Modified Mortar ; PMM)의 양생법 별 특성과 에폭시 수지 종류에 따른 강도 및 경화도 특성을 검토하였다. 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 시멘트 내의 FT-IR 분석 결과에서 에폭시는 시멘트 내 $[OH^-]$ 기에 개환반응이 일어나는 것을 확인하였다. 양생법에 따른 강도 특성에서는 가열 양생을 통한 양생법에서 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 경화체의 강도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 에폭시 수지의 종류별 특성 중 비스페놀 A 타입과 F 타입의 점도에 따라 물시멘트비 저감 효율의 차이로 인한 초기 압축강도 개선의 효과는 있으나 경화도의 영향은 없는 것으로 나타났다. 기존 선행 연구에서 경화제 무첨가 에폭시 수지의 필름 생성을 개선하기 위한 최적 방안으로는 에폭시 수지와 시멘트 내 수산화칼슘의 접촉면을 증가시켜 경화 수지량을 초기에 증가시키는 방법과 양생 온도의 조절을 통한 에폭시 수지와 $[OH^-]$ 기의 반응을 활성화시키는 것으로 연구되었다. 경화 수지량을 증가시킬 경우, 경화체의 압축 강도가 초기에 저하하는 현상을 나타내는 문제점을 가지고 있었으며, 양생 온도의 상승에서는 필름 생성을 조절 가능한 활용 범위가 별도의 양생 설비가 필요한 2차 제품에만 적용할 수 있는 한계를 나타냈다.



a) 에폭시 수지 원시료의 에폭시기



b) 시멘트 내 미경화 에폭시 수지의 에폭시기 감소

그림 1.3.1 에폭시수지의 FT-IR 분석

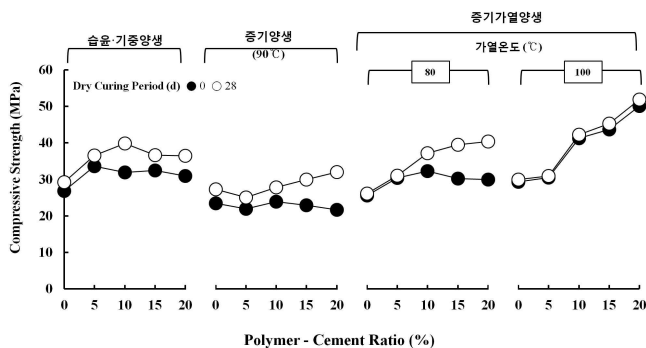


그림 1.3.2 양생 방법별 압축 강도 특성

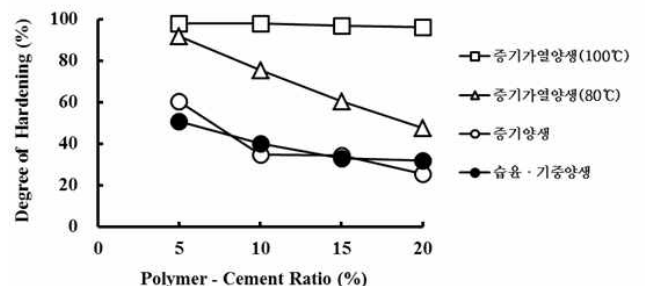


그림 1.3.3 양생 방법별 경화도 특성

2. 선행 연구 결과를 통한 본 연구의 의미

기존 연구에서 에폭시 수지의 필름 형성량을 증가시키기 위한 방안으로 경화 수지량을 증가시키거나 양생 온도의 조절을 통해 이루어졌으나, 본 연구에서는 화학적인 무기 화합물에 의한 경화도 특성을 개질함으로 경화체의 초기 성능을 개선하는 방안을 고려하고자 하였다. 선행 연구에서는 에폭시 수지가 필름 생성과 미세 조직 구조에 영향을 위주로 고려하였다면, 본 연구에서는 알칼리 활성화제 이용에 따른 에폭시 수지의 필름 형성 거동과 시멘트나 기타 산업부산물에 대한 영향을 고려함으로 유무기 복합체로서 수화 거동에 따른 상호 관계를 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 온도가 낮은 조건에서 알칼리 활성화제를 이용하여 경화도 및 물리적 특성을 개선할 수 있는 기술이 될 수 있다.

3. 건설 관련 지식 재산권 동향

○ 기존 목초액과 관련된 건설 관련 기술은 대부분 액상형의 제품으로 응용되는 것이 대부분이었음. 이들 제품군은 도료, 접착제, 혼화제로 사용되는 것이 대부분이었음. 접착제로 사용되는 연구는 기존에 페놀계 화합물의 에폭시 수지의 경화성능을 향상하는 방향으로 연구되는 것이 주류를 이루고 있었으며, 최근 이를 활용한 특허 출원사례가 있었음.

○ 콘크리트 혼화제로 사용된 경우, 목초액 내부의 에스테르기에 의한 시멘트 입자의 반발작용을 향상하는 것과 내부의 아민 성분에 의한 조강성을 활용한 혼화제에 대한 첨가제 특허가 있었음(목초액을 이용하여 제조된 콘크리트 조강 및 장기강도증진을 위한 혼화제 및 이의 제조방법). 기존 조강제로 사용되던 아민계 화합물을 목초액 내부의 아민 성분으로 대체하여 사용함으로 알루미늄 실리케이트 수화물의 생성을 촉진하는 역할을 하게 됨.

○ 도료에서 사용되는 경우에는 목초액의 소취성능과 항균 성능을 활용하기 위하여 1~10% 정도로 소량의 목초액을 도료와 혼합하여 사용함. 그러나 외부 환경에 이를 시공시에 우수에 의해 목초액이 도료 표면에 안정화되지 않고 씻김에 의한 소실을 가져온다는 이유와 도료의 물성 저하 문제 등의 이유로 효용성이 낮은 기술로 판별되고 있음.

가. 국가 R&D 동향 정보



그림 1.3.4 목초액과 연관된 R&D 동향 정보

표 1.3.1 국내 목초액 연구 동향

연구기관	문헌 종류	연구 제목	요약
광운대학교 산학협력단	연구보고서	개량요소용액을 이용한 Hybrid SNCR-SCR 기술개발 및 실용화	목초액을 활용하여 탈질 과정에 필요한 환원제를 제조하고, 이를 적용한 SNCR-SCR기술을 개발하는 것으로 공기 정화 성능을 갖는 목초액의 성능을 이용한 기술 개발이 주요한 것임
목포대학교	연구보고서	채소의 화훼재배농가의 목탄과 목초액의 사용 기준설정 및 토양개량용 목탄 개발	목탄과 목초액의 사용기준 설정을 위한 국내외 목탄과 목초액의 품질을 검사하고 이의 특성을 분석함. 이를 토대로 각 사용량과 기준을 설정하고 있음.
농림수산 식품부	연구보고서	목초액을 이용한 농약 감량 효과 및 작용기작	목초액의 살충 효과는 혼합되는 농약 제품의 종류에 살충 효과가 서로 상이하게 발현되며, 특정 제품군에서 살충효과가 상승하는 것으로 나타남.
농림수산 식품부	연구보고서	왕겨 탄화 초액의 고부가가치 활용 기술 개발	연간 20만톤 정도 발생하는 왕겨 초액의 고부가가치 활용 기술을 개발하기 위하여 그 제반 성능을 확인하고 적용 가능 분야를 도출함.
광운대학교	학위논문	식물 정유의 물리화학적 특성 분석 및 악취 제거 응용 연구	소나무 잎 정유의 암모니아 제거 특성은 100%에 가까운 특성을 나타내며, 황화수소 등에 대하여 착화합물을 생성하여 안정화 효율이 높은 것으로 나타남.
울산대학교	학위논문	친환경 자전거 전용도로 및 산책로 포장재 조성물 및 그 시공 방법	목초액을 천연 감수제로 사용하기 위한 것으로 단순히 감수효과와 인공 유기 화합물을 사용량을 저감에만 목표를 두고 있음.
울산대학교	연구보고서	친환경 축사 탈취 및 소독제 개발	목초액을 사용하여 축사지역의 암모니아 및 아민류 등 악취저감(탈취율 90%이상)에 사용함
전북대학교	연구보고서	피톤치드를 활용한 새집증후군 완화제 제조 기술 개발	목초액과 피톤치드를 사용하여 새집증후군 완화제 개발하여 항균, 살균 등의 특성을 갖는 완화제 개발
목포해양대학교	연구보고서	친환경 목초액과 자연추출물을 이용한 살균효과에 관한 연구	친환경 목초액과 자연추출물을 이용한 살균효과에 관한 연구

○ 목초액과 연관된 R&D 동향은 대체로 의료 분야와 항균 활성 물질을 추출하여 고부가가치성 물질의 제조 형태 및 축사와 같은 악취 발생 구역에 대한 대안 소재로 제

시하는 것이 주류를 이루고 있음. 2005년부터 2010년까지 목초액에 대한 연구는 점진적으로 증가하는 형태를 가지고 있으며, 이후부터 점차 연구 형태가 감소하는 것으로 나타나고 있음.

○ 초기 연구 단계가 항균성의 규명 등에 초점을 맞추어 이루어지는 형태였으며, 이후 대량 생산 체계를 위한 탄화 설비 등에 대한 연구로 이루어지고 있었음. 2010년 이후 연구 사례가 감소하는 것은 응용분야에 대한 도출 연구가 다방면으로 이루어지지 못함에 따라 나타난 현상으로 판단됨. 2010년 이후 응용 연구사례는 토양 개량제 및 액상 제설제 등의 응용분야 연구에 대하여 조금씩 이루어지고 있음.

○ 2010년 이후로 목초액의 공기질 제어 효과와 항균력에 대한 연구들이 이루어지고 있으며, 목초액의 살균력은 100배 이하에서는 높은 살균력을 나타내나 이를 초과하는 희석하는 비율에서 살균력이 거의 나타나지 않아 본 연구개발에서 목초액을 대량 사용할 수 있는 방안에 대한 연구가 요구됨.

나. 국외 기술 및 산업 동향

○ 일본의 목탄·목초액 생산과 관련되어 정확한 자료가 없기 때문에 일본 임야청(2004)에서 공식 발표한 “2003년의 주요특용임산물의 생산동향”에서 목탄의 수급실태를 살펴보면, 1999년부터 5년간 일본의 목탄 소비량은 2000년에 185천톤을 기점으로 감소하였다가 2003년에 다시 178천톤으로 약간 회복세를 보이고 있음. 수출은 1999년 123톤에서 2003년에 5천톤으로 연간 805%씩 증가하고 있음.

표 1.3.2 일본의 목탄의 수급실태

단위:톤

구분		1999	2000	2001	2002	2003	연간 증감률(%)
공급	생산	66,946	56,456	51,878	42,249	39,715	▲8
	수입	117,797	129,440	131,659	135,118	144,135	4.5
수요	수입	184,620	185,698	182,723	172,736	178,775	▲0.6
	수출	123	198	814	4,631	5,075	805
수급량		184,743	185,896	183,537	177,367	183,850	-
자급율		36.2	30.4	28.3	23.8	21.6	

주: 소비는 생산량+수입량-수출량임

자료: www.rinya.maff.go.kr

○ 공급 측면에서는 국내 생산이 1999년 66천톤에서 2003년에 39천톤으로 매년 8%의 감소를 보인 반면, 수입량은 1999년에 117천톤으로 2003년 144천톤으로 매년 4.5% 증가한 것으로 나타남. 주요 수입국은 중국, 인도네시아, 말레이시아 등임. 수입의 증가에 따라 일본의 자급률은 1999년 36.2%, 2003년도에 21.6%로 4.6% 하락함.

표 1.3.3 일본의 주요 목탄 생산지(2001년 기준)

단위: 톤

순위	도도부현(都道府縣) (일본의 행정구역)	생산량	순위	도도부현(都道府縣) (일본의 행정구역)	생산량
1	이와테현(동북지방 북동부)	5,736	6	미야자키	775
2	홋카이도(킨키지방 남부)	4,126	7	쿠마모토	642
3	와카야마현 (키이반도의 남서안에 있는 현)	1,722	8	토치키	593
4	후쿠시마현 (동북지방 최남부)	1,225	9	군마	466
5	코우치현(시코쿠의 남반부)	990	10	미야시로	406

자료: www.rinya.maff.go.jp

○ 주요 생산지(2001년 기준) 표에서 보는 바와 같이 동북지방 북동부에 위치한 이와테현이 가장 많은 5,736톤, 킨키지방 남부의 홋카이도가 4,126톤, 키이반도의 남서안에 있는 와카야마현이 1,722톤, 동북지방 최남부에 위치한 후쿠시마현이 1,225톤으로 상위 1~4위를 점하고 있음.

○ 일본에서의 목탄·목초액 이용은 매우 다양한 것으로 보고되고 있음. 최근 일본 전국연료협회가 일본에서의 신용도 목탄과 목초액의 수요동향을 『특산정보(2002.12)』에 발표한 바 있음. 이 자료에 따르면 목탄의 용도는 농업용, 골프장용, 조습용, 축산용, 양식용, 녹화·원예용, 메탄용, 수처리용, 선도유지용, 소취용, 취사용, 음료수용, 침구베개용, 융설용, 목욕용 등이 1999년 전체 판매량의 84.8%, 기타 15.2%, 2000년에 77.8%, 22.8%, 2001년에 83.6%, 16.4% 등인 것으로 나타남.

○ 농업용의 경우 1999년에 전체 판매량의 30.6%이었으나 2001년에는 1999년 대비 3.1%가 감소한 27.5%로 나타남. 축산용의 경우 2001년에 전체 판매량의 8.8%인 2,997.8톤으로 1999년 대비 13.5%가 감소함.

표 1.3.4 일본의 용도별 목탄 판매 실적(1999~2001)

구분	1999		2000		2001	
	수량(톤)	비율(%)	수량(톤)	비율(%)	수량(톤)	비율(%)
농업용	15,552.8	30.6	13,675.7	27.5	9,317.8	27.5
골프장용	2,049.9	4.0	1,338.0	2.7	1,017.8	3.0
조습용	9,107.3	17.9	7,272.5	14.6	8,838.2	26.1
축산용	11,346.8	22.3	10,623.3	21.4	2,997.8	8.8
양식용	240.0	0.5	354.0	0.7	255.1	0.7
녹화·원예용	1,803.9	3.6	1,109.2	2.2	1,924.7	5.7
매탄용	429.4	0.8	1,077.1	2.2	905.7	2.7
수처리용	241.7	0.5	149.4	0.3	175.7	0.5
선도 보식	207.6	0.4	144.5	0.3	160.5	0.5
소취용	283.2	0.6	435.1	0.9	421.1	1.2
취사용	311.6	0.6	249.8	0.5	264.9	0.8
음료수용	318.6	0.6	272.1	0.5	244.3	0.7
침구베게용	406.6	0.8	378.9	0.8	271.8	0.8
용설용	259.5	0.5	1,123.4	2.2	1,116.8	3.3
목욕용	547.6	1.1	512.4	1.0	428.7	1.3
기타	7,728.7	15.2	11,040.9	22.2	5,569.8	16.4
합계(판매량)	50,835.1	100.0	49,756.5	100.0	33,910.7	100.0

자료: 全國 燃料協會.2002.12. 『特産情報』

표 1.3.5 일본의 용도별 목초액 판매 실적(1999~2001)

구분	1999		2000		2001	
	수량(톤)	비율(%)	수량(톤)	비율(%)	수량(톤)	비율(%)
농업용	1,837.4	47.9	5,232.3	65.1	4,914.8	57.0
골프장용	16.9	0.4	7.7	0.1	22.5	0.3
축산용	404.4	10.5	412.1	5.2	688.3	0.3
사료첨가용	520.9	13.6	530.8	6.6	142.4	1.6
기피용	75.7	2.0	66.1	0.8	28.6	0.3
건강청량음료용	257.9	6.7	861.6	10.8	800.9	9.3
소취용	130.5	3.4	264.6	3.3	254.4	3.0
양품 첨가용	250.6	6.5	267.1	3.3	294.5	3.4
목욕용	228.0	5.9	349.3	4.3	1,407.3	16.3
소독용	91.8	2.4	3.7	0.0	32.7	0.4
녹화·원예용			1.3	0.0	1.0	0.0
기타	26.6	0.7	41.5	0.5	34.6	0.4
합계(판매량)	3,840.7	100.0	9,038.1	100.0	8,622.0	100.0

자료: 全國 燃料協會.2002.12. 『特産情報』

○ 반면 건축 조습용으로서의 수요가 크게 확대되고 있음. 1999년에 전체 판매량의 17.9%인 9,107.3톤이었으나, 2001년에는 전체 판매량의 26.1%인 8,838.2톤이 건축조습용으로 판매가 됨. 이외에도 이용량은 적으나 점차 수요가 늘어나고 있는 용도는 녹화·원예용·매탄용·소취용·용설용·목욕용 등을 들 수 있음.

○ 목초액은 농업용, 골프장용, 축산용, 사료첨가용, 진드기, 모기 등의 기피제용, 건강청량음료용, 소취용, 식품첨가용, 목욕용, 소독용, 녹화·원예용 등에 주로 이용이 되고 있으며, 1999년에 전체 판매량의 99.3%, 2001년에는 99.6%가 이들 용도로 사용이 됨. 사료첨가용, 기피제용 등은 판매량이 계속 감소하고 있으며, 축산용, 골프장용 등은 전

체 판매량 대비 비중은 낮아지고 있으나 판매량은 증가하고 있음. 즉 축산용은 1999년 404.1톤으로 전체 판매량 대비 10.5%이었으나, 2001년에는 688.3톤으로 판매량은 증가했으나 전체 판매량 대비 0.3%에 불과함. 반면 목초액의 목욕용으로서의 판매는 계속 증가하고 있음. 즉, 1997년 208톤으로써 전체 판매량의 5.9%에 불과했으나 2001년에는 1,407톤으로 전체 판매량의 16.3%를 점유하고 있음.

○ 새집 증후군과 같은 문제가 전세계적으로 문제가 되면서 목초액의 항균성에 대해 검토하는 연구가 진행되고 있으며, Harada K.의 2013년 연구에 의하면 목초액이 목축업과 관련된 세균에 대한 살균력이 강하여 천연항균제로 사용될 수 있다는 보고가 있음.

○ OHIRA의 연구에 의하면 목초액은 시간이 지남에 따라 포름알데하이드를 일정량씩 첨가한 결과 목초액내의 페놀과 만나 안정화되는 것으로 나타났음. 목초액 내의 온도가 높을 경우에 유해물질은 휘발되어 없어지는 것으로 나타나 본 연구에서는 목초액을 고온에서 건조하는 과정을 통해 목초액 내의 소량의 유해 물질을 억제할 수 있을 것으로 기대됨.

다. 특허 동향

표 1.3.6 국내·외 특허 동향

구분	출원번호 (출원일)	등록번호 (등록일)	국가	출원인	명칭
등록		1010035700000 (2009년 09월 10일)	대한민국	정흥호	목초액을 이용하여 제조된 콘크리트의 조강 및 장기강도증진을 위한 혼화재 및 이의 제조방법
등록		1009442380000 (2010년 02월 18일)	대한민국	길배수	카르복실계 복합조성물을 포함하는 콘크리트용 친환경 유동화제 조성물 및 이를 이용한 친환경 콘크리트
등록		1010486410000 (2010년 02월 08일)	대한민국	(주)오에치케이	준설토 및 오탉수 처리 방법 및 이를 이용한 처리 시스템
등록		1011762080000 (2010년 02월 08일)	대한민국	(주)와이씨씨	친환경 염화칼슘계 액상 제설제와 이의 제조방법
등록		1010490960000 (2011년 07월 22일)	대한민국	이태홍	목초액을 이용한 목재의 친환경 보존처리방법
등록		1006267160000 (2006년 09월 14일)	대한민국	(주)종합건축사사무소스페이스플랜	건축용 내장판넬의 제조방법 및 이에 의해 제조된 내장판넬
출원	1020090056795		대한민국	이동훈	도장용 도료 조성물

	(2009년 06월 25일)				
등록		1020120029550 (2012년 03월 27일)	대한민국	(주)에코 이온	음이온을 발생하는 건축내장용 기능성 석고보드 및 이의 제조방법
등록		1009854160000 (2010년 02월 22일)	대한민국	이연재	건축용 내외장 판재 및 그 제조방법
출원	15048212 (2003.01.20)		일본	OKUBO HISAYOSHI	FINISH COATING OR COATING MATERIAL GIVEN BY USING WOOD VINEGAR SOLUTION OF WOOD CHARCOAL AND BAMBOO CHARCOAL
출원	15032417 (2003.02.10)		일본	ECOZUMI CARBON COAT KK	ANTI-PROOF COATING AGENT AND BOARD FOR BUILDING MATERIAL COATED THEREWITH
출원	14003788 (2002.01.09)		일본	CHEMICAL KOSAN KK	COATING MATERIAL AND METHOD FOR APPLYING THE SAME
출원	08224667 (1996.08.08)		일본	NATL HOUSE IND CO LTD	ENVIRONMENT MAINTAINING METHOD IN UNDER FLOOR OF BUILDING

○ 기존 특허의 특성

- 적용 분야

기존 기술의 특허 출원 및 등록은 대부분 도료, 혼화제, 판재 등의 범위에서 사용되고 있음. 또한 재료의 사용 형태는 재료를 구성하는 바인더와 목초액을 혼합하여 사용하는 형태임

○ 선행 특허 회피 전략

- 적용 분야의 차별화

본 기술 개발에서는 담지체를 사용하여 목초액을 다량 함유하는 인공 골재를 제공하여, 본래 수지의 성능에 영향을 끼치지 않는 형태를 제공하고 있음. 또한 적용 분야가 수지 모르타르 바름재로 무정형의 내장 마감재를 제공함으로 기존 소재와 이에 그 차별성을 갖음.

제 4절 정부지원정책 현황

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

표 1.4.1 세계 주요국가의 친환경 건축물 인증제도

국가명	친환경건축물 인증제도	국가명	친환경건축물 인증제도
대한민국	GBCC	중국	GBAS
미국	LEED	포르투갈	Lider A
영국	BREEAM	홍콩	HKBEAM
호주	Green Star	남아프리카	Green Star SA
일본	CASBEE	싱가포르	BCA Green Mark
브라질	LEED Brazil	스페인	VERDE
멕시코	LEED Mexico	인도	IGBC
캐나다	LEED Canada	스위스	Minergie
네덜란드	BREEAM Netherlands	이탈리아	Protocollo Itaca
독일	DGNB	아랍에미레이트	Estidama
뉴질랜드	Green Star NZ	말레이시아	GBI Malaysia
프랑스	HQE	파키스탄	IAPGSA
필리핀	BERDE	핀란드	PromisE

표 1.4.2 국내 친환경건축물 인증제도 정리

구분	국내 친환경건축물 인증제도
개요	건물 부분에서의 온실가스 감축을 위해 실시하는 인증제도
관련 근거	「건축법」 제 65조
주관 부서	국토해양부, 환경부
인증 및 평가기관, 검토기관	한국에너지기술연구원, LH공사 토지주택연구원, 한국교육환경연구원, (주)크레비즈 큐엠 외 7개 신규 기관
인증대상	공동주택, 업무용, 복합주거(주거), 학교, 숙박, 판매시설, 그 밖의 건축물, 복합건축물
평가항목	토지이용, 교통, 에너지, 재료 및 자원, 수자원, 환경 오염, 유지관리, 생태환경, 실내환경
제도성격	10,000㎡의 공공기관 발주 건축물의 경우 의무, 그 외 자발적
인센티브	지방세감면, 환경개선부담금경감, 건축기준완화, 서울시 인증비용지원, 서울시 용적률 완화

○ 최근 들어 친환경 건축물에 대한 인식 향상과 이와 관련된 각종 정책적 지침안들이 세계적으로 제시됨. 친환경 건축물의 규정은 저에너지형, 청정 환경 등에 대한 것들이 기준이 되고 있으며, 지속 가능한 주거공간을 제공하는 것을 기반으로 함. 친환경 건축물의 규정과 관련된 효과는 채실자의 유지 비용 절감과 청정 환경 구현에 따른 보건 안전 구현 등의 가치를 실현할 수 있음.

○ 국내 친환경건축물의 평가 기준에는 실내 환경과 관련된 평가 항목이 있다. 실내환경은

❖ 실내 공기질 관리법의 변천 과정



그림 1.4.1 실내 공기질 관리법의 변천 과정

재실자의 보건환경과 직결되어 있으며, 실내 환경을 측정하는 평가항목 중 실내공기오염물질 저방출 제품의 적용이 세부적인 관리 기준에서 통합적으로 관리되고 가장 높은 평가점수를 가지고 있음. 2014년에는 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법이 강화되어 기존 실내공기질 관리대상 범위에 대중교통차량과 국공립시설에서 민간 시설까지 확대되었음.

○ 실내 공기질의 관리는 건축물의 에너지 성능 향상과 같은 성능 향상에 따라 점차 기밀화 및 새로운 건축자재의 무분별한 보급 등으로 인하여 유해 화학 물질(휘발성 유기화합물, 포름알데히드 등)에 의한 건축물의 실내 공기 오염문제가 심각하게 대두되면서 강화되고 있는 실정임.

표 1.4.3 실내 공기질 관리법 상의 각종 물질 규제 기준안

항목	미세먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	포름알데히드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	일산화탄소 (ppm)	이산화탄소 (ppm)	라돈 (pCi/ ℓ)	휘발성 유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (개/CC)	오존 (ppm)
다중 이용 시설	유지기준(년1회측정)					권고기준(2년1회측정)				
지하역사, 지하도상가 여객자동차터미 널, 공항시설 항만시설, 철도역사의 대합실, 도서관, 미술관, 박물관, 대규모 점포, 지하상점가, 지하장례식장, 찜질방	150	1,000	100	-	10	0.05	4.0	500	0.01	0.06
의료기관, 보육시설, 노인복지시설, 산후조리원	100	1,000	100	800	10	0.05	4.0	400	0.01	0.06
실내주차장	200	1,000	100	-	25	0.30	4.0	1,000	0.01	0.08

※ 다중 이용 시설의 실내공기질 측정

- ① 측정의 횟수 : 유지기준은 년 1회, 권고기준은 2년에 1회 측정(시행규칙 제 11조 3항)
- ② 측정결과와 보고 및 보관: 매년 1월 31일까지 시, 도지사에게 보고, 3년간 보존
(시행규칙 제 12조 1항)
- ③ 측정의 항목 : 10개 항목 (시행규칙 별표 2, 별표 3)

○ 이와 관련하여 다중 이용시설물에서의 국민 보건환경과 관련하여 실내 공기질에 대한 법안이 점차 강화되고 있음. 1989년부터 시작된 공기질에 대한 환경 기준에 대한 법안은 2008년까지 오염물질의 종류와 관리 시설 범위가 확대되어 왔음. 이에 따라 다중 이용시설물에 대한 관리 규정은 년 1회에서 2년 1회의 측정을 의무화하고 있으며, 각 규정 물질에 대한 관리와 규제가 중요한 문제로 인식되고 있음.

○ 최근에는 서울시의 실내환경 관리시스템이 구축되면서 다중이용시설물의 실내공기질 측정결과가 공개되면서 실내 공기질의 관리에 대해 적극적인 형태로 이루어지고 있음.

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황

○ 다중이용시설 관리책임자의 경우 설비운영방법, 환기적정량, 공기질 측정방법, 법적 제도 등에 대한 관리지식이 필요하기 때문에 다중이용시설의 소유자 등은 실내 공기질 관리에 관한 교육을 환경부장관이 위탁하는 교육기관에서 받도록 의무화.

또한 장기적으로는 실내공기질, 오염특성, 발생원과 인체위해성 등에 대한 체계적인 중장기 연구를 추진하고, 실내공기오염 발생원제거, 환기 및 공기청정장치 등을 이용한 제거기술 개발에 대한 적극적인 지원

○ 그 외, 실내공기질 전문가 육성, 측정업체 능력제고 등 실내공기질 관리를 위해 제반 여건 구축. 국민들이 일상 생활 속에서 실내오염을 저감할 수 있는 베이크 아웃(Bake-Out), 적절한 환기 등에 대한 생활안내서를 제작·보급하는 등 적극적 홍보 추진

○ 해외 정부의 공기질 관리 사례를 보면 주택부분에 있어 미국 환경부(EPA)는 실내 공기질 관리를 위해서는 법규 제정보다 연구 및 개발, 기술적 도움과 교육을 통한 접근이 바람직하다고 밝힌 바 있어, 생활공간의 실내공기질 문제는 최소한의 규제와 단편적인 규제로 접근해 왔음. 이에 따라 직접적인 법적 규제는 사업장을 대상으로 시행되었으나 생활공간의 실내공기질 중요성이 부각되면서 작업장에 적용되는 직업안전보건법의 기준이 생활공간의 공기질 기준에도 영향을 주고 있음. 하지만, 개인 주택의 실내공기질에 대한 연방정부 차원의 법적 규제는 없음. 다만, 민간 차원의 환기 및 공기질 관련 자발적 기준과 미국 EPA가 주택의 실내공기질과 에너지절약형 건축의 조화를 도모하기 위해 실시하고 있는 Indoor air PLUS 프로그램, 친환경 건축자재 및 용품에 대한 인증제도 등이 있음

○ 독일의 건축자재법은 1992년 제정된 EU의 건축자재입법을 독일 국내법으로 전환입법한 것이며, 건축자재의 생산 및 유통, 수출·입 규제와 인체 건강 및 환경보호를 위하여 필요한 일반적인 요건을 규정하고 있고, 간접적으로 생활공간의 공기질 관리에도 기여하고 있음. 건축자재법은 일반적으로 건강보호, 작업장에서 발생하는 위험으로부터 근로자보호, 환경보호 등의 요건을 충족하기 위해 건축자재의 유통을 제한 및 금지하는 법률규정을 인용하고 있으며, 기술적 지속성, 안정성, 화재방지, 위생, 건강, 소음방지, 에너지 절약 등의 기본적인 사항이 부합되어야 건축자재를 사용할 수 있도록 지정하였음. CE마크는 자유로운 상품이동을 저해하는 문제점 해결을 위해 EU국가 간에 공통적으로 적용될 수 있는 표준기준을 제정하여 EU규격에 상품이 적합하다는 것을 인정하는 표식으로 상품이나 포장에 부착하도록 의무화한 제도임.

제 5절 연구개발의 역량, 환경 및 차별성 분석

1. 연구개발의 역량 및 환경 분석

시공력, 제조 설비 및 보유기술 등으로 신재료의 개발시 국내 및 해외 바이어에 대한 제품의 판매력 있는 강점이 있으며, 향후 디자인, 색상 등의 변화 추구로 소비자들의 다양한 요구를 충족시킬수 있다. 반면, 본 연구개발 제품의 제조에서 유기 화합물의 과량 사용에 따른 내장재료의 활용성이 약한 단점이 있다. 또한, 국내 건설사 등의 해외 건설 시장의 점유 및 활성화로 인한 제품의 수요가 증가하는 추세에 있으며, 친환경 소재에 대한 인식이 대두됨에 따라, 친환경 재료를 이용한 친환경 소재의 시장 경쟁력은 앞으로도 증가할 것으로 판단된다.

○ 내부역량 분석

Strengths(강점)	Weaknesses(약점)
※긍정적인 내부역량 - 시공력과 제조 설비 확보로 제품 판매력 강화 - 해외 바이어 다수 확보 - 제품의 다양성(디자인, 색상, 경화 성능) 추구로 소비자들의 Needs 요구 충족	※부정적인 내부역량 - 일반적인 재료의 사용으로 제품 차별성 미확보 - 경시 변화에 따른 방오성 개선력 약함 - 유기 화합물 과량 사용에 따른 내장재료의 활용성 약함

○ 외부환경 분석

Opportunity(기회)	Threat(위협)
※긍정적인 외부환경요인 - 해외 건설 시장 활성화로 인한 제품 수요 증가 - 국내 건설 관련 규정 및 법안의 친환경성 요구 증가 - 친환경 소재에 대한 소비자들의 인식 향상	※부정적인 외부환경요인 - 외단열 시장의 요구 증가로 시장 경쟁 치열화 - 격렬해지는 경쟁으로 인한 가격인하 가능성 - 국내 건설 시장의 둔화로 인한 제품 경쟁력 확보 요구 증가

2. 연구개발의 차별성 분석

표 1.5.1의 목재 부산 자원인 목초액 관련 국가 R&D사업 현황을 분석한 결과, 목초액의 살균 및 항균성에 대한 친환경기능 활용 연구는 농, 축산 및 식품 등 다양한 분야에서 진행되고 있으나, 건설 및 건축 친환경 내외장재 분야의 연구는 앞서 진행된 사례가 없으므로 기존 연구와의 차별성을 가질 수 있다.

표 1.5.1 목초액 관련 국가R&D사업 현황

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	비 고
중소기업청	산학연공동기술개발	목초액 함유 친환경기능성 축산사료개발과 고품질육류 및 활용	
중소기업청	산학연공동기술개발	친환경 목초액과 자연추출물을 이용한 살균효과에 관한 연구	
산림청	임업기술연구개발	사료 첨가제 및 친환경 축사 소독제로서 목초탄과 목초액의 가치평가	
중소기업청	산학연공동기술개발	대나무, 계피, 생강 등을 포함한 목초액의 소취 및 기초 화장품의 개발	
중소기업청	산학연공동기술개발	목초액함유친환경기능성 축산사료개발과 고품질육류 및 활용	
농림수산식품부	농림기술개발	목초액을 이용한 농약 감량 효과 및 작용기작 연구	
산림청	임업기술연구개발	사료 첨가제 및 친환경 축사 소독제로서 목초탄과 목초액의 가치평가	
중소기업청	산학연 공동기술개발	고성능 고효율 목탄 목초액 생산 시스템 개발	

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1절 연구개발 수행 전략

1. 최종목표

본 연구 개발의 목표는 목재부산자원인 목초액을 활용하여 항균성능을 갖는 내외장 공법을 개발하는 것임. 본 기술 개발은 1차년도 항균성을 갖는 아크릴수지 모르타르와 표면 코팅제를 개발하고자 하며, 2차년도는 외단열 공법에서 발생하는 벽체의 전도현상을 저감하고, 부착성능 개선하기 위하여 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르를 개발하고 이를 종합한 MOCK-UP 시험체를 제작하고자 함.

2. 최종목표의 성격 및 설정근거

본 기술 개발은 항균성 수지 모르타르의 시제품을 개발하기 위한 방안으로 목초액의 일반적인 성능을 확인하고, 이를 활용한 내외장재를 개발하기 위한 것임.

표 2.1.1 1차년도 연구목표 및 내용

연차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 목재 부산 자원을 사용한 아크릴계 수지 모르타르 제조	▪ 원재료 특성 분석 ▪ 목재 부산 자원을 침지한 최적 담체 및 침지 조건 도출 ▪ 침지 담체를 활용한 아크릴계 수지 모르타르를 제조하고자 함 ▪ 실란커플링제 개질 아크릴계 수지 모르타르의 성능향상
	▪ 항균성 표면 코팅제 제조	▪ 광촉매 입자의 선정 및 도출 (적용 개소 및 입도별) ▪ 아크릴 수지와 광촉매의 최적 배합 도출

가. 1차년도 연구개발 주요내용

1차년도 항균성을 갖는 아크릴 수지 모르타르를 제조하기 위해서 목초액을 대기정화 성능을 갖는 제올라이트 등의 골재를 함침하는 과정, 이 골재를 아크릴 수지와 함께 배합하는 과정과 이의 항균성을 확인하고자 함. 현재 기존 수지 모르타르 등의 제품에는 목초액을 수지에 직접 혼입하여 사용하는 것이 대부분이나 본 개발 제품은 목초액을 제올라이트와 같은 대기 정화성능의 골재에 함침함으로써 수지에서 씻김 현상에 의한 목초액의 유출을 방지하기 위한 것임. 또한 상부에 대하여 대기 정화 성능과 VOC제거 성능을 갖는 광촉매 함유 코팅제를 개발하고자 함.

○ 목초액

실험에 사용된 목초액은 C사의 것으로 국내 목초액의 규격 중 전통식 숯가마 또는 이를 응용한 장치 중 활엽수의 것을 사용하였다. 목초액은 “산림법시행규칙 제2조 임산물의 종류” 중 6항의 수액에 임산물로 규정되며, 환경농산물품질관리요령의 토양개량 자재로 농림부 고시 제 2000-63호에 표시되어 있으며, 그 규격은 아래 표 2.1.2와 같다.

표 2.1.2 국내 목초액의 규격

구분	원료	보메비중 (° Be)	산량 (%)	pH	용해타르 (%)	굴절률 (% Brix)	육안판별
전통식 숯가마 또는 이를 응용한 장치	침엽수	0.6~5.5	1.5~5.0	3.5이하	2.00이하	3.5이상	적갈색, 투명
	활엽수	0.6~2.5	3.0~6.5	3.5이하	1.5이하	3.5이상	적갈색, 투명
기계식 탄화로	침엽수	2.5~5.5	2.3~5.5	3.5이하	5.00이하	7.00이상	적갈색, 투명
	활엽수 (죽재류 포함)	2.5~5.5	4.5~9.0	3.5이하	5.00이하	7.00이상	적갈색, 투명
증류 목초액	침엽수	0.0~2.5	0.8 이상	3.5이하	0.30이하	0.80이상	담황색, 투명
	활엽수 (죽재류 포함)	0.0~2.5	1.0 이상	3.5이하	0.30이하	0.80이상	담황색, 투명

원료 목재는 침엽수인 참나무이고 고형분량 1%, 보메비중은 1.7, 산량 5.5%, pH3.1, 용해 타르(%) 0.51, 굴절률(%Brix) 5.5, 색상은 적갈색·투명한 것을 사용하였다. 아래 그림 2.4는 실험에 사용한 목초액이다.



그림 2.1.1 본 연구에 사용한 목초액

목초액의 화학적 성분을 분석하기 위하여 FT-IR(Fourier Transform Infra-Red Spectrophotometer)과 LC(Liquid Chromatograph)분석을 실시하였다. 측정결과는 그림 2.1.2와 표 2.1.3과 같다.

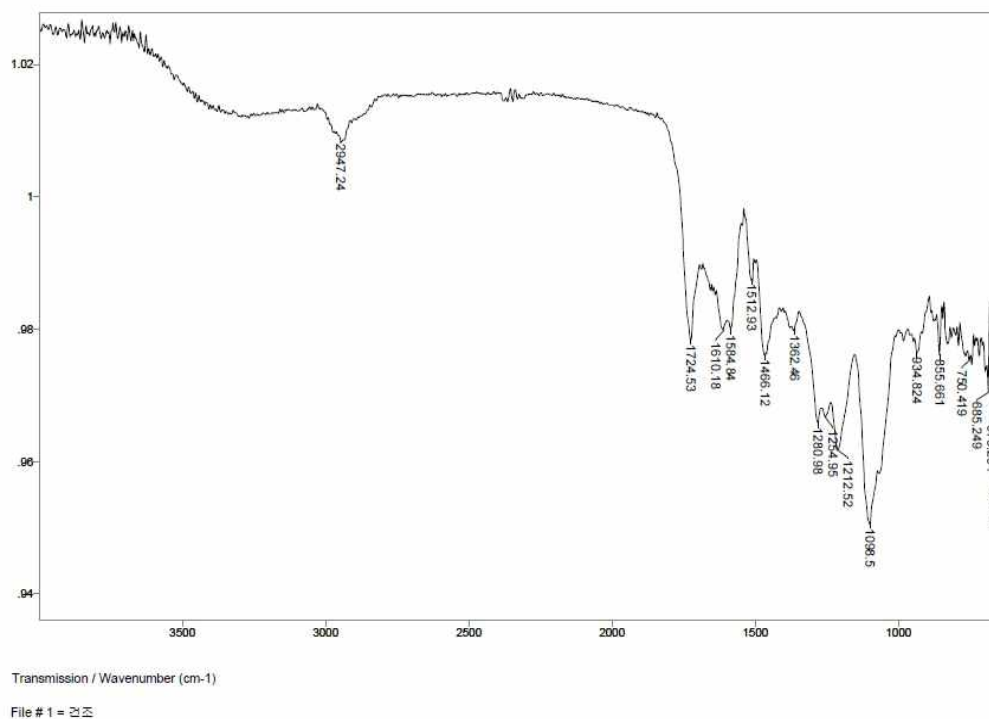


그림 2.1.2 목초액의 FT-IR

목초액의 주요성분인 아세트산(Acetic Acid)은 목재 내 헤미셀룰로스의 열분해에 의해 생성된 부산물로 가장 많은 성분을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이외에도 포름산(Formic Acid), 프로피온산(Propeonic Acid) 등의 조강성 유기산과 함께 아민(Amin)을 포함하고 있는 것으로 나타났다.

표 2.1.3 목초액의 LC분석 데이터

물질명	Qual
Propenoic acid	42
Acetic acid - 1	83
Acetic acid - 2	78
m-Dioxan-4-ol, 2,6-dimethyl-	72
3,7-octadiene-2-one 3,7-Octadien-2-one	59
Phenol, 2-methoxy-	53
2,4-Cyclopentadiene-1-ethanamine	46
Butanal, 3-hydroxy-	56
Phenol, 2,6-dimethoxy-	64
4,5-Dimethoxy-2-methylphenol	90
anhydride with formic Acid	74

ETHICS 공법에 사용되는 각 구성 재료는 KS F 4715인 얇은 바름재와 KS F 4716인 바탕조정재로 구성된다. KS F 4715인 얇은 바름재는 통상 아크릴계 수지 모르타르로 구성되어 있으며, 외장 재료로 사용될 경우에 내수성이 향상되어 있으며 내장재료로 사용될 경우에는 재료의 물리적 특성이 외장 얇은 바름재에 비하여 낮다.

KS F 4716은 바탕 조정재로 KS F 4715에 비하여 물리적 성능이 높다. KS F 4715의 얇은 바름재가 외장 마감으로 사용될 경우에는 KS F 4715 경화체가 표면의 내수성을 확보하고, KS F 4716 바탕 조정재가 물리적 부착성능을 확보해 준다.

ETHICS 공법 상의 시공하자 중 표면 마감 하자는 KS F 4716의 바탕 조정재가 물리적 성능이 충분하지 못하여 발생하는 경우가 많으며, 단열재 표면에서 바탕조정재가 표면의 부착력을 확보하지 못하거나 외부로 침투되는 수분에 의해 내부에서 동결융해에 의한 파괴가 발생하게 되어 외장 얇은 바름재의 탈락을 발생시킨다. 따라서 외장 마감에 있어 하자 요인을 저감하기 위한 재료적 성능의 개선은 KS F 4716 바탕조정재의 성능을 개선할 필요가 있다.

이외에도 외단열 공법에서 드러나고 있는 하자 요인을 분석해 보면, 다음과 같은 사례를 도출할 수 있었다. 구성 재료의 위치상 첫 번째 외부 얇은 바름재에서 발생하는 하자요인, 바탕조정재에서 발생하는 하자요인, 단열재와 외벽간의 부착력 약화에 의한 하자 요인 세 가지로 구성된다.

첫째, 외부 얇은 바름재에서 나타나는 하자 요인을 보면, 표면의 내수성 부족에 의한 수분 침투와 함께 나타나는 변색 및 변질 현상을 들 수 있다. 외부 얇은 바름재는 외부의 우수, 수증기, 오염물질 등이 표면에 부착되어 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 표면부의 내수성을 향상하거나 오염물질에 대한 분해성능이 요구된다.

둘째, 얇은 바름재의 물리적 성능의 기초가 되는 바탕조정재의 하자로는 얇은 바름재에서 1차 침투된 수분에 의한 동결융해 박락 현상과 부착력 저하로 인한 재료적 성능의 저하로 인한 하자 요인이 있다.

셋째, 단열재와 외벽간의 부착력문제로 나타나는 하자 요인은 일반적으로 외부로부터의 물리적·환경적 요인에 의해 발생하게 되며, 접착부의 내후성, 동결융해와 같은 요인들로 인해 접착부의 접착강도 저하가 발생되어 장기적으로 접착강도를 확보하지 못하는데 있다. 단열재와 외벽간의 부착재로 사용되는 모르타르는 단열재와 외벽사이에 있어 내수성 부족에 의한 하자 요인은 적으나 물리적 성능 저하에 의한 문제가 더 높다.

이에 외장 시스템 접합부에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점에 대한 해결방안과 성능 향상이 요구되고 있는 실정이다. 또한, 건물의 외부에 시공되는 외단열의 경우 강풍에 의한 강한 부압이 작용될 수 있으며, 그에 따른 외력으로 인해 접착강도가 저

하된 외단열 마감재가 탈락되어 물적 피해와 더불어 인적피해까지도 빈번히 발생하고 있는 실정이다.

(1) 아크릴계 수지 모르타르의 요구 성능 도출

상기 아크릴계 수지 모르타르의 외단열 공법상의 문제점을 고찰한 결과, 아크릴 수지계 모르타르의 낮은 부착력과 수분 침투에 의한 물리적 성능 저하 및 세균 번식 등에 의한 방오성 저하가 가장 큰 문제가 되는 것으로 나타났다.

아크릴계 수지 모르타르를 실내에 적용할 경우 외부에서 영향을 받는 열화인자가 적어 시공상 하자는 없을 것으로 판단되지만, 습기가 높은 실내 환경에서는 세균 번식의 우려가 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구개발의 1차년도에서는 아크릴계 수지 모르타르의 물리적 성능의 개선과 표면의 항균성을 향상하는 것에 대한 연구를 주요 목표로 진행하였다.

표 2.1.4 1차년도 연구개발의 성능 개선 항목

성능 개선 인자	아크릴계 수지 모르타르		항균성 코팅제
	아크릴 에멀전 모르타르 KS F 4715	아크릴 에멀전 시멘트 모르타르 KS F 4716	
부착강도	○	○	-
내수성	○	○	○
항균성	○	○	○

(2) 요구 성능 도달을 위한 기술적 과제

본 연구 개발에서는 주요한 성능 중 하나인 항균성을 도출하기 위하여 목재 산업 부산물인 목초액을 아크릴계 수지 모르타르와 항균성 코팅제에 혼입하여 이의 특성을 살펴보고자 하였다. 본 연구 개발에서는 아크릴계 수지 모르타르에 대하여 목초액을 활용하기 위한 방안으로 목초액의 단순 치환과 목초액을 경량 담체에 함침하여 골재로 활용하는 방안을 고안하였다. 또한 아크릴계 수지 모르타르의 물리적 성능 개선을 위하여 수지량의 변화 및 각종 첨가제를 사용하여 이의 성능을 살펴보고자 하였다.

나. 2차년도 연구개발 주요내용

2차년도는 외단열 공법에서 사용되는 EPS 보드의 벽면 부착용 모르타르의 전도현상을 억제하기 위하여 부착성능과 건조수축이 작은 에폭시 수지 모르타르를 제조하는 방법을 제시하고자 함. 또한, 목재 부산 자원을 활용한 석고계 내장 모르타르를 제조하고, 대기 정화 성능 및 VOC제거 성능을 갖는 내장 마감 제품을 제시하고자 함.

표 2.1.5 2차년도 연구목표 및 내용

연차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	목재 부산 자원을 이용한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르 제조	- 목재 부산 자원 종류에 따른 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 특성 - 목재 부산 자원의 혼입률에 따른 경화 성능 평가 - 목재 부산 자원을 혼입한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 내구성능 평가
	목재 부산 자원을 이용한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 내구성능 평가	- 동결융해, 내화학적, 내후성 - 건조수축특성 잔갈림 특성 등
	목재 부산 자원을 사용한 석고계 모르타르의 공기질 분석 및 평가	- 석고계 내장 모르타르의 부착특성 - VOCs(톨루엔) 흡착능력 평가 - 습도조절능력 평가 - 암모니아가스 최대 흡착능력 평가
	개발 모르타르의 MOCK-UP 성능 시험 및 공법 개발	- 뿔침 특성 평가 - 표면 마감 특성 평가(표면 마감도, 색상 발현성) - 시제품 제작

현재 바탕조정재 및 EPS 부착 모르타르로 사용 중인 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르는 표면의 내수성 등을 향상시켜 주는 특성을 가지고 있으나 외기로 노출될 경우 건조수축에 의한 외단열 시공 면의 박리 현상이 발생함.

경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르(EPMM)는 강도, 접착성 및 내구성 등이 매우 우수한 반면 경화제를 첨가하지 않은 EPMM 내의 자체적인 에폭시 수지 경화는 매우 더디게 진행되기 때문에 단기간에 강도 및 부착력을 확보하기 위해 에폭시 수지의 경화를 촉진시킬 경화제 개발이 필요한 실정임.

EPMM의 에폭시 수지의 경화제로는 폴리아민계 경화제가 주로 사용되며, 폴리아마이드, 산무수물, 페놀계 등 다양한 경화제가 존재함.

숯을 정제하는 과정에서 발생하는 목재 자원 부산물인 목타르는 에폭시 수지의 경화제로 사용되는 페놀의 함유량이 비교적 높아 에폭시수지의 경화에 기여할 것으로 판단되며, 현재 활용되지 않는 자원의 재활용이 가능할 것으로 판단됨. 따라서 습도의 영향을 덜 받고 건조수축이 적은 EPS 부착용 모르타르를 개발하고자 함.

○ 목타르 분석

목타르의 색상은 암갈색으로 목초액과 동일하며, 고형분율은 74%, pH 2의 산성을 나타내었다.



그림 2.1.3 본 연구에 사용한 목타르액

목타르의 화학적 성분을 분석하기 위하여 FT-IR(Fourier Transform Infra-Red Spectrophotometer)과 LC(Liquid Chromatograph)분석을 실시하였다. 측정결과는 그림 2.1.4와 표 2.1.6과 같다.

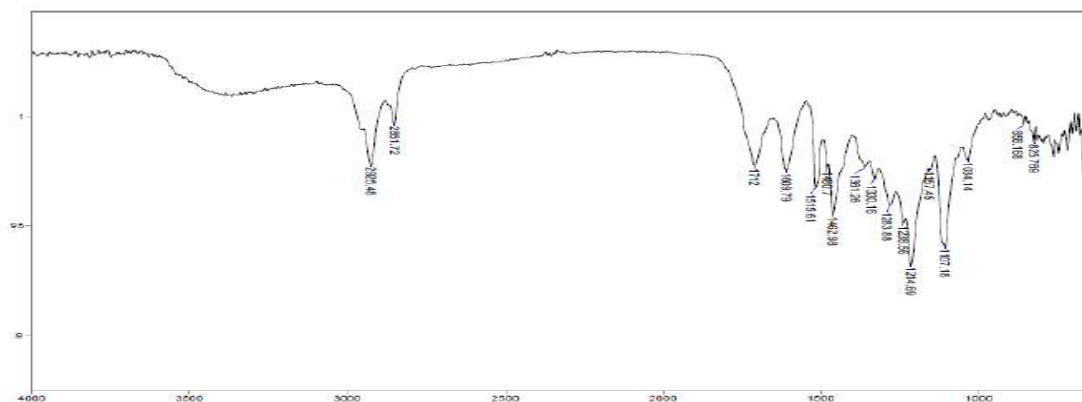


그림 2.1.4 목타르의 FT-IR 분석

목타르의 LC 분석 결과 주요 구성물질은 Acetic acid, Phenol, GUAIACOL, 2-propenyl, Methyl ester 등으로 나타났다. 페놀 성분은 목재 정유 내의 연소에 의해 기화되면서 목초액 제조과정 중 침전된 폴리페놀 성분으로 인한 것으로 판단된다.

표 2.1.6 목타르액의 LC분석 데이터

물질명	Qual
Acetic acid	90
Phenol	94
GUAIACOL	91
2-propenyl	94
Methyl ester	99

제 2절 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 목재 부산 자원을 활용한 외장재료의 개발

가. 아크릴계 수지 모르타르의 개발

(1) 아크릴계 수지 모르타르

① 아크릴 에멀전 모르타르

아크릴 에멀전 모르타르의 배합은 크게 수지 양의 비율을 11.6에서 12.6%로 변화하였으며, 경량 담체의 종류와 혼입률에 따른 특성을 살펴보고자 하였다. 아크릴 에멀전 모르타르는 경량 담체에 혼입하면 부착력을 발휘하는 아크릴 수지를 흡수하여 강도가 저하할 것으로 판단되어 수지 양을 증가시켜 실험을 실시하였다. 수지 내의 첨가제의 비는 동일하게 하였으며, 경량담체의 치환율은 백운석 골재에 대비하여 용적비로 환산하여 5, 10, 15, 20%로 하였다.

표 2.2.1 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 배합표

Type of Mortar	Mix Proportion (Wt%)							
	Dolomite	Binder	Vermiculite	Perlite I (3mm)	Perlite II (1.2mm)	Charcoal	Zeolite	W/B (%)
Plain	88.3	11.6	—	—	—	—	—	175.6
VL-5	87.5	12.1	0.33	—	—	—	—	175.6
VL-10	86.6	12.7	0.69	—	—	—	—	175.6
VL-15	85.6	13.02	1.08	—	—	—	—	175.6
VL-20	84.5	13.9	1.49	—	—	—	—	175.6
PL I -5	87.5	12.1	—	0.33	—	—	—	175.6
PL I -10	86.6	12.7	—	0.69	—	—	—	175.6
PL I -15	85.6	13.02	—	1.08	—	—	—	175.6
PL I -20	84.5	13.9	—	1.49	—	—	—	175.6
PL II -5	87.5	12.1	—	—	0.33	—	—	175.6
PL II -10	86.6	12.7	—	—	0.69	—	—	175.6
PL II -15	85.6	13.02	—	—	1.08	—	—	175.6
PL II -20	84.5	13.9	—	—	1.49	—	—	175.6
CC-5	87.15	12.1	—	—	—	0.74	—	175.6
CC-10	85.8	12.5	—	—	—	1.53	—	175.6
CC-15	84.4	13.1	—	—	—	2.4	—	175.6
CC-20	82.9	13.6	—	—	—	3.33	—	175.6
ZL-5	87.3	12.1	—	—	—	—	0.46	175.6
ZL-10	86.3	12.6	—	—	—	—	0.96	175.6
ZL-15	85.2	13.2	—	—	—	—	1.5	175.6
ZL-20	84	13.8	—	—	—	—	2.1	175.6

표 2.2.2 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 배합표

Type of Mortar	Mix Proportion (Wt%)							
	Dolomite	Binder	Vermiculite	Perlite I (3mm)	Perlite II (1.2mm)	Charcoal	Zeolite	W/B (%)
Plain	87.2	12.8	—	—	—	—	—	155
VL-5	86.3	13.3	0.32	—	—	—	—	155
VL-10	85.4	13.8	0.68	—	—	—	—	155
VL-15	84.3	14.5	1.06	—	—	—	—	155
VL-20	83.2	15.2	1.49	—	—	—	—	155
PL I -5	86.3	13.3	—	0.32	—	—	—	155
PL I -10	85.4	13.8	—	0.68	—	—	—	155
PL I -15	84.3	14.5	—	1.06	—	—	—	155
PL I -20	83.2	15.2	—	1.49	—	—	—	155
PL II -5	86.3	13.3	—	—	0.32	—	—	155
PL II -10	85.4	13.8	—	—	0.68	—	—	155
PL II -15	84.3	14.5	—	—	1.06	—	—	155
PL II -20	83.2	15.2	—	—	1.49	—	—	155
CC-5	86	13.2	—	—	—	0.73	—	155
CC-10	84.7	13.7	—	—	—	1.51	—	155
CC-15	83.2	14.3	—	—	—	2.36	—	155
CC-20	81.7	14.9	—	—	—	3.28	—	155
ZL-5	86.2	13.2	—	—	—	—	0.45	155
ZL-10	85.1	13.8	—	—	—	—	0.95	155
ZL-15	84	14.4	—	—	—	—	1.48	155
ZL-20	82.7	15.1	—	—	—	—	2.07	155

② 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 배합은 경량 담체의 종류와 혼입률에 따른 특성을 살펴보고자 하였다. 수지 내의 첨가제의 비는 동일하게 하였으며, 경량담체의 치환율은 백운석 골재에 대비하여 용적비로 환산하여 5, 10, 15, 20%로 하였다. 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르는 시멘트가 혼입되어 있어 목표 부착강도 도달이 용이하여 수지량의 변화는 실시하지 않았다.

표 2.2.3 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 배합표

Type of Mortar	Mix Proportion (Wt%)									
	Dolomite	Cement	Binder	Vermiculite	Perlite I (3mm)	Perlite II (1.2mm)	Charcoal	Zeolite	W/B (%)	W/C (%)
Plain	32.6	61.6	5.6	—	—	—	—	—	453.8	15.25
VL-5	31.5	62.6	5.6	0.11	—	—	—	—	453.8	15.25
VL-10	30.3	63.6	5.7	0.24	—	—	—	—	453.8	15.52
VL-15	29.1	64.6	5.8	0.36	—	—	—	—	453.8	15.79
VL-20	27.8	65.6	5.9	0.49	—	—	—	—	453.8	16.07
PL I -5	31.5	62.6	5.6	—	0.11	—	—	—	453.8	15.25
PL I -10	30.3	63.6	5.7	—	0.24	—	—	—	453.8	15.52
PL I -15	29.1	64.6	5.8	—	0.36	—	—	—	453.8	15.79
PL I -20	27.8	65.6	5.9	—	0.49	—	—	—	453.8	16.07
PL II -5	31.5	62.6	5.6	—	—	0.11	—	—	453.8	15.25
PL II -10	30.3	63.6	5.7	—	—	0.24	—	—	453.8	15.52
PL II -15	29.1	64.6	5.8	—	—	0.36	—	—	453.8	15.79
PL II -20	27.8	65.6	5.9	—	—	0.49	—	—	453.8	16.07
CC-5	31.4	62.5	5.6	—	—	—	0.26	—	453.8	15.25
CC-10	30	63.4	5.7	—	—	—	0.54	—	453.8	15.52
CC-15	28.9	64.3	5.8	—	—	—	0.82	—	453.8	15.79
CC-20	27.6	65.2	5.9	—	—	—	1.11	—	453.8	16.07
ZL-5	31.5	62.6	5.6	—	—	—	—	0.16	453.8	15.25
ZL-10	30.3	63.5	5.7	—	—	—	—	0.33	453.8	15.52
ZL-15	29	64.5	5.8	—	—	—	—	0.51	453.8	15.79
ZL-20	27.7	65.5	5.9	—	—	—	—	0.69	453.8	16.07

나) 항균성 코팅제

배합은 아래 표 2.2.4와 같이 아크릴 에멀전, 리튬실리케이트, 목초액, TiO_2 졸을 사용하여 고형분 15%의 코팅제를 제조하였다. 제조한 코팅제의 성상은 유백색을 띄고 있으며, 코팅 후 표면 색상은 투명한 색상을 나타낸다. 실험 배합은 외벽 마감재의 재질이 아크릴 에멀전이고 금속염의 균질한 분산을 위하여 아크릴 에멀전의 함량을 높여 다음과 같이 배합하였다. 먼저, 아크릴 에멀전의 양은 100%, 80%, 60% 수준으로 하였으며, 여기에 리튬실리케이트를 0%, 20%, 40%를 치환한 기본 배합을 바탕으로 아크릴 에멀전에 대하여 목초액을 5, 10, 15, 20% 치환하였을 때와 TiO_2 졸을 1, 2, 3, 4, 5% 치환하였을 때의 배합을 검토하였다.

표 2.2.4 항균성 코팅제의 배합

Mix No.	아크릴 에멀전	리튬실리케이트	목초액	TiO_2
1	100			
2	80	20		
3	75	20	5	
4	70	20	10	
5	65	20	15	
6	60	20	20	
7	60	40		
8	55	40	5	
9	50	40	10	
10	45	40	15	
11	40	40	20	
12	65	19	15	1
13	65	18	15	2
14	65	17	15	3
15	65	16	15	4
16	65	14	15	5
17	45	39	15	1
18	45	38	15	2
19	45	37	15	3
20	45	36	15	4
21	45	35	15	5
22	22	19	70	10
23	23	9	80	10
24	24	17	70	10
25	25	15	70	10
26	26	7	80	10
27	27	5	80	10

3) 실험 방법

가) 목초액 함침 경량 담체

① 목초액 함침 방법

경량 담체에 대하여 목초액을 함침하기 위하여 우선 경량 담체를 105℃에서 24시간 건조하여 절대건조상태로 유지하였다. 이후 5ℓ 용기에 2ℓ의 목초액을 부은 후 2ℓ의 경량 담체를 투입하여 30분간 교반 후, 체에 걸러 105℃에서 건조하였다.

② 목초액 함침률 측정

경량 담체의 목초액의 함침률을 측정하기 위하여 절건상태의 경량 담체와 함침 후 절건 상태의 경량 담체의 무게를 측정하고, 아래 식 1에 따라 함침률을 측정하였다.

$$\text{침률 \%} = \frac{\text{함침 후 절건 경량담체}(g) - \text{함침 전 절건 경량담체}(g)}{\text{함침 전 절건 경량담체}(g)} \times 100 \quad \text{---- (식1)}$$

나) 아크릴계 수지 모르타르

① 유동성

배합에 따른 모르타르의 유동성을 측정하기 위하여 KS L 5111에 규정되어 있는 플로 콘(Flow cone)에 시료를 채운 후 다짐을 하지 않은 상태에서 Flow cone을 일정한 속도로 수직으로 들어 올린 후 25회 낙하운동을 실시한 후 흘러 퍼짐이 멈추었을 때 중심을 지나는 대각선 3방향의 직경을 측정하여 그 평균값을 모르타르 플로 값으로 하였다.

② 부착강도

배합에 따른 시험체의 부착강도 시험은 40mm×40mm 시험체를 제작하여 표준양생 (20±2℃, R.H.60%)을 실시하고, KS F 4715의 규격에 따라 14, 28일의 부착강도를 측정하였다.

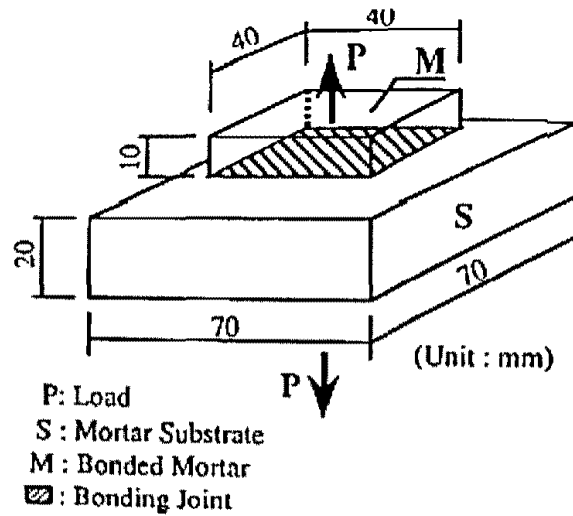


그림 2.2.1 부착강도 시험 방법

③ 물흡수계수

물흡수계수란 재료의 면적당 물흡수량(kg/m^2)과 시간()사이의 비례 계수를 말한다. 물흡수계수를 측정하기 위하여 KS F 4715와 KS F 4716의 기준에 따라 시험체를 제작하고, 그림 2.2.2와 그림 2.2.3과 같이 시험체를 제작하였다. 제작된 시험체를 물흡수계수 산정을 위하여 KS F 2609(건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 따라 측정하였다. 재료의 한면이 물과 접촉시 시간에 따른 면적당 흡수량은 다음과 같다.

$$= w \cdot t$$

여기서, m : 면적당 물흡수량(kg/m^2)

w : 물 흡수 계수($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)

t : 시간(h)



그림 2.2.2 물흡수계수 측정용 시험체 (KS F 4715)



그림 2.2.3 물흡수계수 측정용 시험체 (KS F 4716)

④ 잔갈림 특성

KS F 4715 규격에 따라, 초기 건조에 따른 내잔갈림성 시험을 실시하였다. 먼저, 2mm 두께가 되도록 바른 시험체를 풍속 $3\text{m/s} \pm 10\%$ 로 조정된 공기 흐름통 내에 넣어 시험체를 기류에 평행이 되도록 놓는다. 6시간 후에 꺼내어 표면에 잔갈림이 발생하였는지의 여부를 육안으로 관찰한다.



그림 2.2.4 내잔갈림성 시험

⑤ 내충격성

KS F 2221에 규정하는 모래 위 전체면지지 방법으로 수평하게 유지한 시편의 표면에 구형 추 W2-1000을 높이 50cm에서 낙하하여 시편의 잔갈림 및 밑판에서 이탈 유무를 육안으로 관찰하였고, 1개의 시험체에 대하여 5cm 이상 떨어진 3곳에 시행하였다.

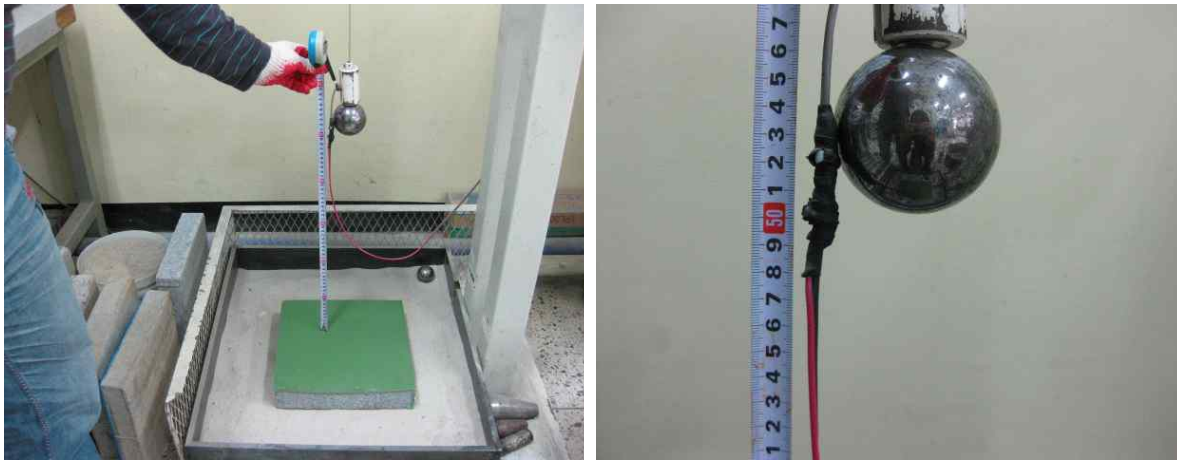


그림 2.2.5 내충격성 시험

⑥ 항균 성능 평가

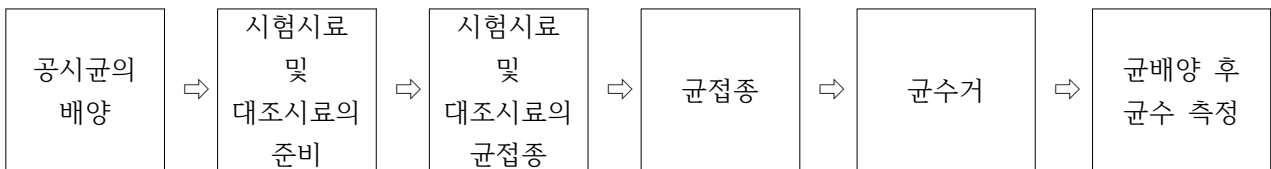


그림 2.2.6 항균성 시험 과정

항균성 평가 방법은 항균성 시험용기를 KS J 4206에 따라 시험체와 시험균을 처리하여 JIS Z 2801 : 2006 필름 밀착법으로 포도상구균(*Staphylococcus aureus*)과 대장균(*Escherichia coli*)의 두 종류를 사용하였다. 평가는 시험 균액을 시료에 올려 두고 PE 필름으로 덮은 후에 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$, RH 90%에서 24시간 정치 배양 후 균수를 측정하였다.

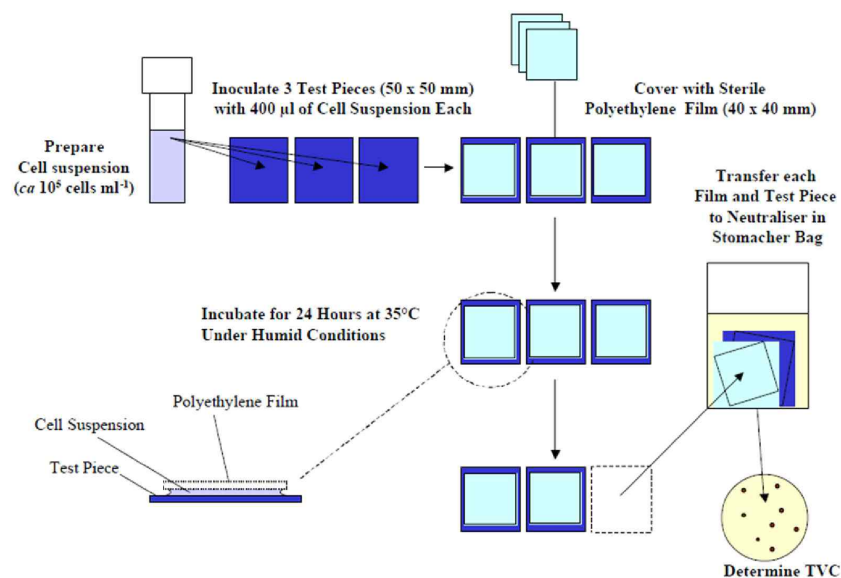


그림 2.2.7 JIS Z 2801 : 2006 필름 밀착법

공시균은 서울대학교 자연과학대학부속 미생물 연구소의 미생물 자원센터에서 황색 포도상구균 (*Staphylococcus aureus*)과 대장균 (*Escherichia coli*)을 분양받아 사용하였다.

배지의 경우 대장균은 LB배지(Tryptone 10.0g, NaCl 10.0g, Yeast extract 5.0g/Liter, pH 7.0)와 LB agar plate(LB + 15g Agar/Liter)를, 포도상구균의 경우 NB배지(Beef extract 3.0g, Peptone 5.0g/Liter, pH 6.8)와 Nutrient Agar Plate(NB + Agar 15.0g/Liter)를 고압멸균기를 이용하여 121℃에서 15분간 멸균하여 사용하였다.

배양 후 장기 보존을 위해서 20% 글리세롤을 첨가하여 -80℃의 초저온 냉장고를 사용하였다.



그림 2.2.8 희석한 배양세균의 흡광도 측정

흡광광도계를 이용하여 균수를 측정하기 위하여 24시간 동안 액체배지에 진탕배양한 세균배양액을 농도별로 희석($10^{-1} \sim 10^{-7}$)하여 흡광도(660nm)를 측정하고 고체배지에 도말한 뒤 24시간 동안 37℃ 배양기에서 배양하여 세균집락(colony)을 얻은 후, 집락수를 측정하였다.

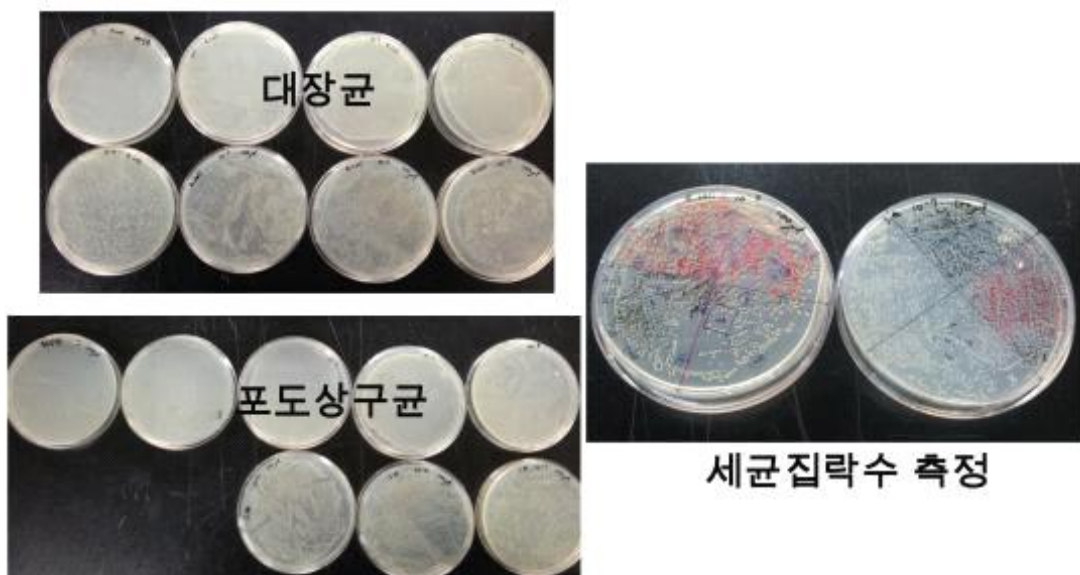


그림 2.2.9 세균 집락수 측정

얻은 세균집락의 수를 측정하여 흡광도에 따른 세균수를 확정한다. (예: 흡광도가 1인 세균 배양액을 10^{-2} 으로 희석한 뒤 0.1ml를 고체배지에 도말하여 얻은 세균집락(colony)수가 100개이었다면, 흡광도1의 세균수는 $= 100 \times 10^2 \times 10 = 1 \times 10^5$ /ml 이다.)

시험 시료와 대조시료의 준비는 그림 2.2.10과 같이 시험시료를 멸균된 페트리디쉬에 개별로 넣고 라벨링한 뒤 무균실험대(clean bench)안에서 뚜껑을 열어 UV-C 4시간 동안 살균한다(그림 2.2.11). 대조시료는 멸균된 빈페트리디쉬를 사용한다.

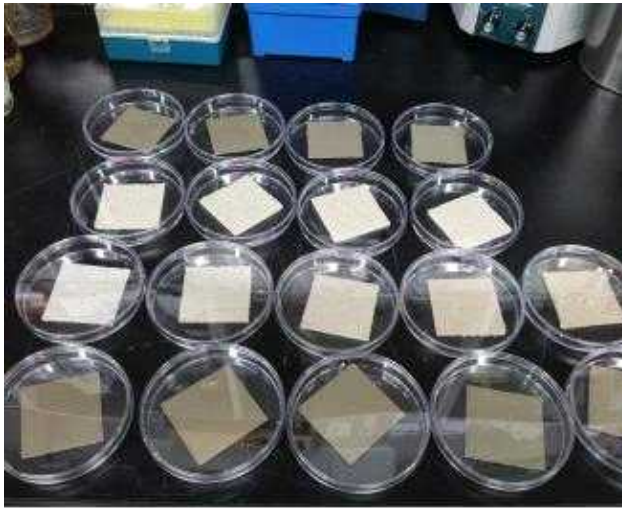


그림 2.2.10 시험 시료의 준비



그림 2.2.11 시험 시료의 살균

시험 시료와 대조 시료에 균을 접종하는 방법은 표준규격을 참조하여 시료당 1×10^5 /ml 의 세균농도를 시료표면에 골고루(0.2~1ml) 접종하였다(그림 2.2.12).



그림 2.2.12 시료에 균을 접종하는 모습



그림 2.2.13 접종된 시료를 배양기에 넣은 모습

균의 수거는 24시간 동안 배양한 시료에서 멸균된 생리식염수를 10ml 넣고 피펫을 이용하여 세균을 수거하여 멸균된 튜브에 모은다(Stomacher Bag을 이용한 세균수거와 같은원리) (그림 2.2.14).



그림 2.2.14 시료에서 세균수거 과정

수거한 세균을 배양액에 5×10^{-3} 배 희석(대조균은 1.5×10^{-4} 배 희석)하여 37℃, 250rpm으로 진탕 배양한다(그림 2.2.15). 이후 24시간 진탕배양 후 흡광계를 이용하여 흡광도를 측정한다.



그림 2.2.15 (좌)배양모습, (우)진탕배양기

나) 항균성 코팅제

① 수분 접촉각 측정

재료 표면의 젖음성은 물방울이 표면 위에 떨어졌을 때의 접촉각을 측정하여 나타낸다. 접촉각은 액체 및 고체의 표면장력(surface tension) 및 액체와 고체간의 계면장력의 균형에 의해 나타난다. 접촉각을 표면장력의 관점에서 보면 고체의 표면장력과 밀접한 관계가 있다. 이러한 힘의 상호관계는 고체의 표면장력을 γ_S , 고체, 액체, 공기의 경계로부터 액체에 대해 잡아당긴 접선방향에 있어서 액체의 표면장력을 γ_L , 고체, 액체의 계면장력을 γ_{SL} 이라 하면, 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

여기서, γ_{SL} 과 γ_L 이 이루는 각 θ 가 접촉각이다. 액체의 젖음 정도는 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 일 때는 젖으며, $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 일 때는 젖지 않는다.

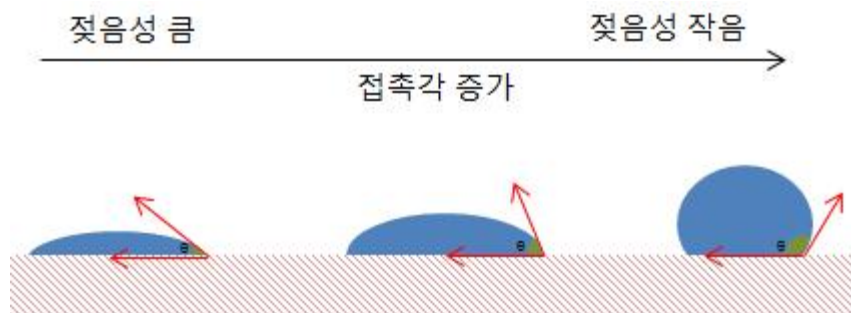


그림 2.2.16 수분표면접촉각과 젖음성의 관계

이 식을 통해서, 액체의 표면장력이 일정하면, 고체의 표면장력이 작을수록 접촉각은 크게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 표면 접촉각은 재료의 표면 상태에 따라 변화되는데, 표면에 손상이 많을 경우에는 공극의 형성으로 인해 표면접촉각이 줄어들고 액체가 재료에 흡수될 수 있다(그림 2.2.17).

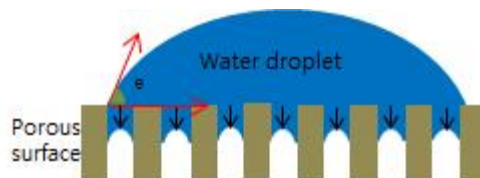


그림 2.2.17 다공질 표면에서의 물흡수

따라서 본 연구에서는 접촉각과 표면 장력 측정 장치를 이용하여 각각의 매움제 시험편에 대한 수분표면 접촉각을 측정하였다.



그림 2.2.18 수분접촉각 측정기

② 내세척성

내세척성 시험을 위한 실험 방법은 KS L 5114(섬유 강화 시멘트 판)가 규정하는 플렉시블판(크기:430x170x6mm)에 코팅제를 도포하고, 양생실에 14일간 놓아 둔 것을 시험체로 한다. 아래와 같은 시험 순서에 따라 실험을 실시하였다. 시험체의 코팅제 바름면이 위로 향하도록 세척시험기에 수평으로 고정시킨 후 브러쉬를 바름면에 올려놓고 약 4.4N(약450gr)의 압력을 브러쉬에 가하면서 왕복으로 표면을 문지른다. 문지르는 면은 항상 비눗물에 젖게 하고 외장 얇은 바름제는 500회 왕복시킨다. 그 뒤 시험체는 시험기에서 내려놓고 물로 씻은 후 브러시로 문지른 자국 중앙에 해당되는 길이 100mm의 부분에 대해서 벗겨짐 및 마모에 의한 밑판의 노출 유무를 확산 주광 아래서 육안으로 관찰하였다.

③ 유기물 분해 성능

코팅제의 유기물 분해 성능을 판별하기 위하여 메틸렌 블루(Methylene blue) 용액을 이용한 광활성 평가 방법을 사용하였다. 먼저, 메틸렌 블루 용액을 제조하기 위하여 물에 메틸렌 블루를 10ppm으로 희석하였다. 이후 메틸렌 블루 용액과 제조된 코팅제 별 10:1과 100:1의 비율로 희석한 후 8시간 후 색상 변화를 관찰하였다.

④ 항균성

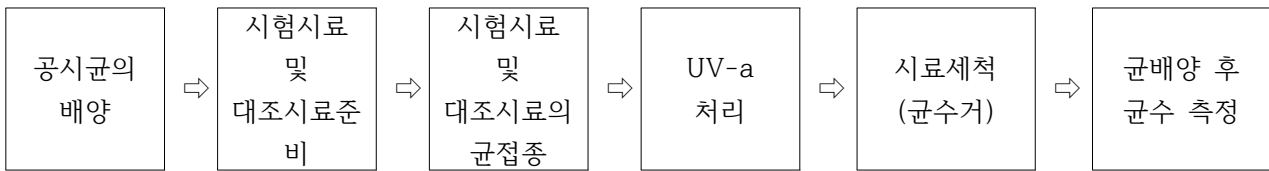


그림 2.2.19 항균성 시험 과정

항균성 코팅제의 항균성능 시험은 시험 대상 펠릿에 코팅제를 2회 도포한 후 건조시킨 이후에 자외선-B(ultraviolet-B, UVB)광에 약 30분간 노출하여 살균 처리하였다. 이후 코팅면에 균을 주입한 후 8시간 UV광을 조사하여 균을 채취한 후 배양한 후 항균성능을 평가하였다. UV광을 조사하는 과정을 제외한 모든 시험과정은 앞서 기술한 아크릴계 수지 모르타르의 항균성 시험 방법과 동일하게 실시하였다.

시험시료를 멸균된 원형배양접시 개별로 도말하고 라벨링한 뒤(그림 2.2.20) 무균실험대(clean bench)안에서 뚜껑을 열어 UV-C파장 램프를 이용하여 4시간 동안 살균한다(사진 2.2.21). 대조시료는 멸균된 빈 원형 배양접시를 사용한다.



그림 2.2.20 시험 시료의 준비



그림 2.2.21 시험 시료 살균 과정

시험 시료와 대조시료의 균접종은 표준규격을 참조하여 시료당 $1.0 \times 10^5/\text{ml}$ 의 세균을 시료표면에 골고루 접종하였다. 처음에 20W의 Black light blue 램프를 사용하였으나(그림 2.2.22), 8시간, 4시간 조사 시 대조균의 세균(대장균, 포도상구균 모두)이 모두 사멸하였다. 표준규격에 자외선의 강도조절을 위해 타공 금속판을 사용하도록 하고 있지만 여의치 않아 5W의 UV-a 조사장치를 사용하였다.



그림 2.2.22 20W의 Black light blue 램프

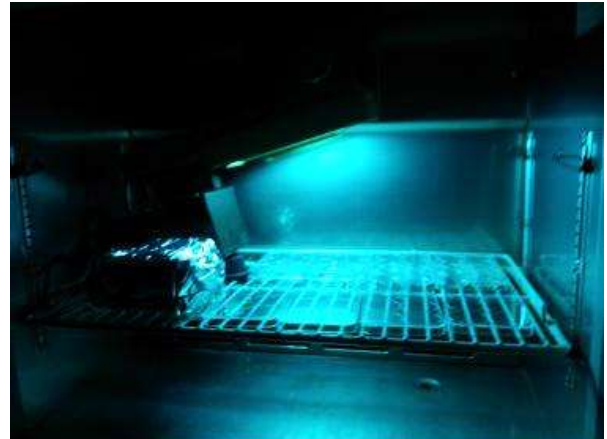


그림 2.2.23 접종한 시료에 자외선(UV-a)을 조사하는 과정

균을 접종한 시료를 상온($25 \sim 30^\circ\text{C}$)에서 UV-a 파장(350nm) 자외선을 4시간 동안 조사한다(그림 2.2.23). 또한 자외선 미처리 시료를 준비하기 위해 똑같은 조건의 시료를 준비하고 은박지로 싸서 자외선이 조사되지 않도록 한다. 대조균 시료는 자외선을 조사한 시료와 그렇지 않은 시료를 함께 준비하여 자외선의 영향을 비교한다. 시료 세척은 4시간 동안 배양한 시료에서 멸균된 생리 식염수를 $0.5 \sim 2\text{ml}$ 넣고 피펫을 이용하여 세균을 수거하여 멸균된 튜브에 모은다. 균을 배양 후 세균수의 측정을 아크릴계 수지 모르타르와 동일하게 실시하였다.

⑤ 물흡수계수

제조된 코팅제를 28일 양생된 KS F 4716 시험체에 대하여 코팅한 후 물흡수계수를 측정하였다. 코팅제의 고른 분포를 위해 시험체에 코팅제를 각각 3회 도포하여 코팅면의 분포도를 균질하게 하였다.

4) 실험 결과

가) 목초액의 아크릴 에멀전 모르타르 적용을 위한 기초 실험

아크릴 에멀전 모르타르에 목초액을 사용하는 방법을 결정하기 위하여 먼저 아크릴 에멀전 모르타르에 목초액을 각각 1, 2, 3, 4, 5% 첨가하여 각각의 성능을 평가하고자 하였다.

① 유동성

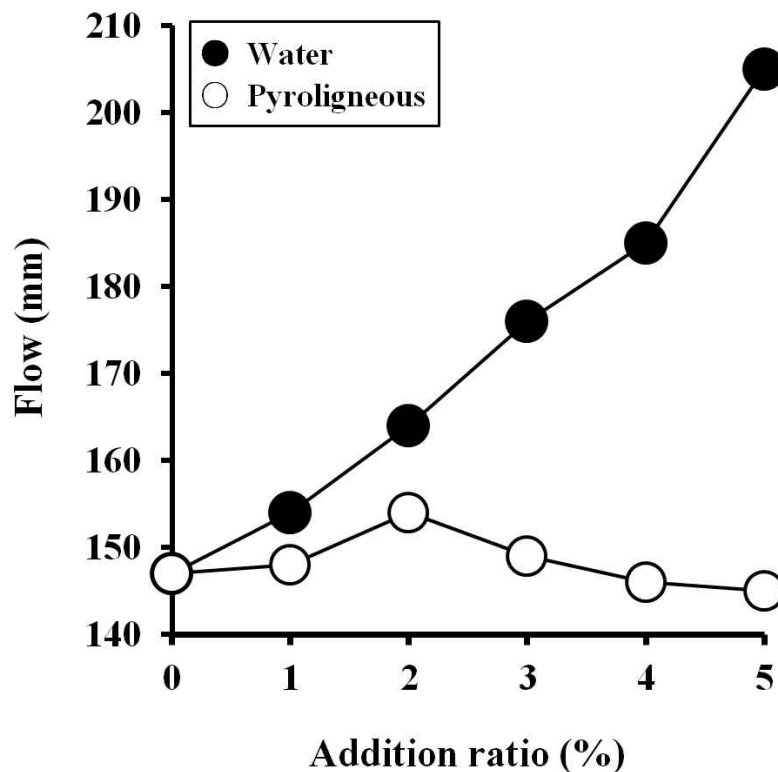


그림 2.2.24 물과 목초액 첨가에 따른 유동성

그림 2.2.24는 물과 목초액의 첨가에 따른 유동특성을 나타낸 그래프이다. 물과 목초액의 첨가에 따른 유동 특성을 살펴보면, 물의 경우, 물의 첨가량이 증가함에 따라 증진되는 것으로 나타났다. 그러나 목초액의 경우에는 유동성이 2% 첨가 배합까지 증가하는 경향을 보였으나, 3% 첨가 배합부터는 감소하였다. 이는 목초액의 고형분율이 낮아 수분량 증가에 따라 초기에는 유동성이 증진되나 목초액의 리그닌과 같은 섬유 계열의 유기화합물에 의하여 점성이 증가하면서 유동성이 저하한 것으로 판단된다.

② 부착강도

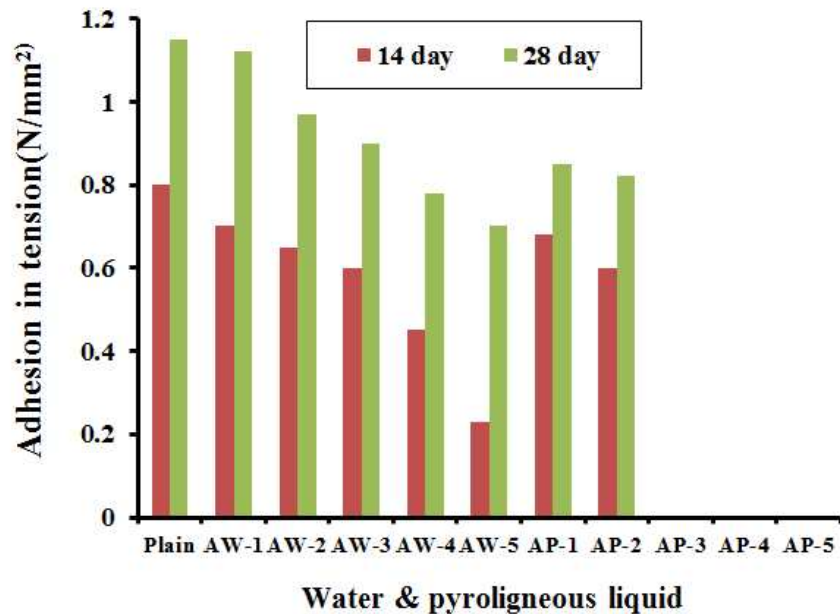


그림 2.2.25 물과 목초액 첨가에 따른 부착강도 특성

그림 2.2.25는 물과 목초액의 첨가에 따른 부착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 바인더에 물과 목초액을 첨가한 시험체의 부착강도를 측정한 결과 다음과 같이 나타났다. 물의 사용량이 증가할수록 부착강도는 저하하는 것으로 나타났으며, Plain의 초기 물비에 대하여 5% 가량 증가하였을 때에 약 0.42 N/mm^2 감소하는 것으로 나타났다. 얇은 바름재의 규격인 KS F 4715의 규정에 따라 내장 바름재의 부착강도 규정인 0.4 N/mm^2 이내에 만족하는 것으로 나타났다. 목초액을 수지 내에 직접 첨가하여 사용할 경우 강도는 첨가비 약 2%까지 감소하는 것으로 나타났으나 3% 이후부터는 박리·박락이 발생하여 측정이 불가능하였다. 아크릴 수지는 내약품성이 대체로 우수하나 케톤이나 에스테르, 염화탄화수소 등의 유기 용제에 의하여 녹고 알코올이나 페놀에 의하여 팽윤하는 성질을 갖는다고 알려져 있다. 따라서 목초액 내의 다량의 에스테르와 페놀이 아크릴 수지 필름을 약화 및 팽윤시켜 박리 박락이 발생한 것으로 판단된다.

③ 물흡수계수

그림 2.2.26은 물과 목초액의 첨가에 따른 물흡수계수를 나타낸 그래프이다. 물 및 목초액 첨가에 따른 물흡수계수를 살펴보면, 물의 첨가비가 증가하면 물흡수계수도 증가하는 것으로 나타났다. 목초액 첨가의 경우 또한 첨가비가 증가하면서 물흡수계수가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이는 목초액 첨가 시 필름의 약화와 팽윤에 의하여 필름의 수밀성이 저하되면서 물첨가의 경우보다 물흡수계수가 커진 것으로 판단된다.

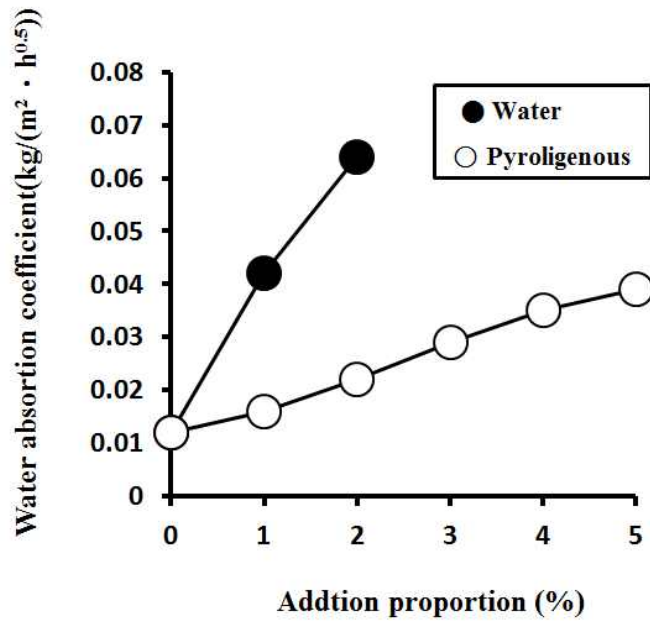


그림 2.2.26 물과 목초액 첨가에 따른 물흡수계수 특성

④ 내충격성

내충격성 시험 결과, 성형된 시험체의 경우 모두 이상 없음으로 나타났으나, 수지에 목초액 첨가량이 3% 이상인 시험체에서는 성형이 되지 않아 측정할 수 없었다.

표 2.2.5 내충격성 시험 결과

유형	Plain	W-1	W-2	W-3	W-4	W-5
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	
내충격성	이상없음	이상없음	측정불가	측정불가	측정불가	

⑤ 내잔갈림성

내잔갈림성 시험 결과 성형된 시험체의 경우 모두 이상 없음으로 나타났으나, 수지에 목초액 첨가량이 3% 이상인 시험체에서는 성형이 되지 않아 측정할 수 없었다.

표 2.2.6 내잔갈림성 시험 결과

유형	Plain	W-1	W-2	W-3	W-4	W-5
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	측정불가	측정불가	측정불가	

⑥ 소결

본 실험 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- a) 아크릴 에멀전 모르타르는 액상 재료의 첨가량에 따른 유동성 변화와 부착강도 변화가 민감하여 기능성 액상 재료의 혼입 시 별도의 처리가 요구됨.
- b) 또한 목초액을 혼입하여 성형체 성형의 안정성과 물리적 성능을 확보하기 위해서는 별도의 전처리 과정을 통해 첨가량을 조절하는 것이 요구됨.

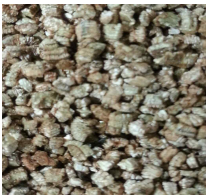
나) 목초액 함침 경량 담체의 제조 및 특성

본 실험에서는 아크릴 에멀전 수지에 목초액을 안정적으로 혼입하고 과량 혼입할 수 있는 방안으로 경량 담체에 미리 목초액을 혼입하여 목초액 함침 경량 담체를 제조하고자 하였다.

① 색상 변화

목초액을 함침한 후 경량 담체의 색상을 살펴보면, 백색의 펄라이트는 골재의 입형에 관계없이 담갈색으로 변화되었으며, 활성탄은 색상의 변화가 없었다. 제올라이트는 백색에서 연한 갈색으로 변화되었다.

표 2.2.7 함침 전 후 경량 담체의 색상 변화

	질석	펄라이트 (I)	펄라이트 (II)	활성탄	제올라이트
함침 전					
함침 후					

② 함침률

표 2.2.8은 골재 종류에 따른 목초액의 함침률을 나타낸 것이다. 실험 결과 목초액의 함침률이 가장 높은 것은 제올라이트가 8.75%로 나타났으며, 이후로 활성탄이 7.32%, 펄라이트 평균입경 3mm가 5.03%, 질석 1.52%, 펄라이트 평균입경 1.2mm 0.47%로 나타났다. 목초액의 고형분이 1%인 것을 감안할 때 목초액의 실제 함침률은 경량 담체 함침률의 약 100배가 된다. 제올라이트의 경우 목초액의 함침률은 875%에 달하는 것으로 나타났으며, 가장 낮은 펄라이트 1.2mm의 경우 47%의 목초액 함침률을 갖는 것으로 나타났다. 경량 담체의 목초액 함침 성능은 절건 상태로 시료를 제조하기 때문에 목초액의 함량을 조절하는데 용이할 것으로 판단된다. 제올라이트의 경우 1g 당 875g의 목초액을 함유하게 되어 아주 소량을 사용하더라도 과량의 목초액을 함유할 수 있다.

표 2.2.8 경량 담체 종류에 따른 목초액 함침률

유형	밀도(g/cm ³)	입형	목초액 함침률(%)	실제 목초액 함침률(%)
펄라이트	0.2	PL I : 1.2mm	0.47	47
		PL II : 3 mm	5.03	503
질석	0.2	1.2mm	1.52	152
활성탄	0.45	25 μ m	7.32	732
제올라이트	0.28	3.9 μ m	8.75	875

③ 소결

경량담체에 목초액을 함침시키면 색상은 담갈색으로 변화되며, 함침률이 가장 높은 재료는 제올라이트로 나타났다. 아크릴 수지계 모르타르를 제조할 때 과량의 목초액을 경량 담체 상태로 사용할 수 있는 것으로 나타났다.

다) 아크릴 에멀전 모르타르의 목초액 함침 경량 담체의 치환 특성

① 유동성

a) 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우

그림 2.2.27은 1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 유동특성을 나타낸 그래프이다. 경량 담체로 사용되는 펄라이트와 질석의 유동성을 측정하였다. 펄라이트 평균입경 1.2mm의 경우, 혼입률이 10%에서 유동성이 162mm로 최대값을 나타낸 후 점차 감소하는 것으로 나타났다. 펄라이트 평균입경 3mm의 경우 5%에서 유동성이 최대인 것으로 나타났으나 골재 치환율이 10% 이상에서부터 치환율이 증가할수록 유동성이 감소한다. 또한 15%에서부터는 Plain보다 유동성이 낮은 것으로 나타났다. 평균입경이 1.2mm인 질석의 경우는 동일 입경의 펄라이트 유동특성 경향과 같이 혼입률 10%까지 유동성이 점차 증가하다가 15% 이후로 감소하는 경향을 나타내었으나 혼입률 10%에서 최대값이 157mm로 나타나 펄라이트에 비하여 유동성 향상에는 취약한 것으로 나타났다. 이는 질석의 입형이 펄라이트에 비하여 불량하고 표면이 거칠어 유동성을 발현하는데 있어 불리한 것으로 판단된다. 따라서 1.2mm 이상의 경량 담체를 치환할 경우 입형이 양호하고 경량 담체가 작을수록 유동성 증가에 유리한 것으로 판단된다.

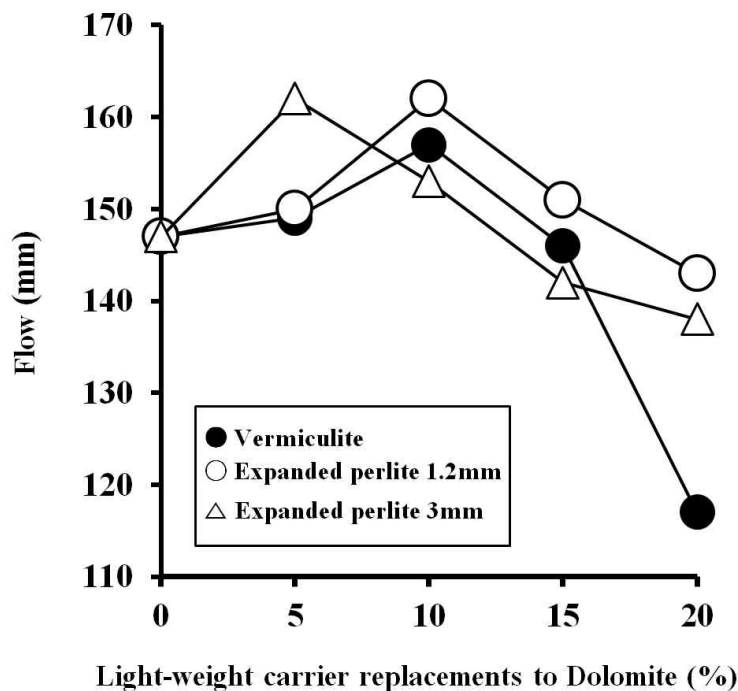


그림 2.2.27 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성

그림 2.2.28은 0.075mm 이하의 경량 담체 치환에 따른 유동특성을 나타낸 그래프이다. 기존 연구에 보고된 바에 의하면 제올라이트의 흡수율은 20% 정도이며, 활성탄의 흡수율 40% 정도로 두 골재 모두 흡수율이 높아 시험체 내의 수분을 흡수하여 유동성이 저하할 것으로 예상되었다. 실험결과, 제올라이트의 골재 치환 시 유동성은 치환율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 활성탄의 경우 골재 치환율이 증가함에 따라 점차 감소하다가 혼입률 20%에서는 유동성을 상실하여 측정이 불가능하였다. 제올라이트의 흡수율이 높음에도 유동성이 증가한 이유는 실험에 사용된 제올라이트의 합성 과정에서 가지고 있는 Na^+ 이온이 시험체 내에서 제올라이트 입자간의 양이온간 반발 작용을 나타내어 유동성이 증가한 것으로 판단된다. 활성탄은 표면에 별도의 전하를 가지고 있지 않으며 흡수율이 40% 이상으로 바인더 내의 수분을 과량 흡수함에 따라 유동성이 저하된 것으로 판단된다.

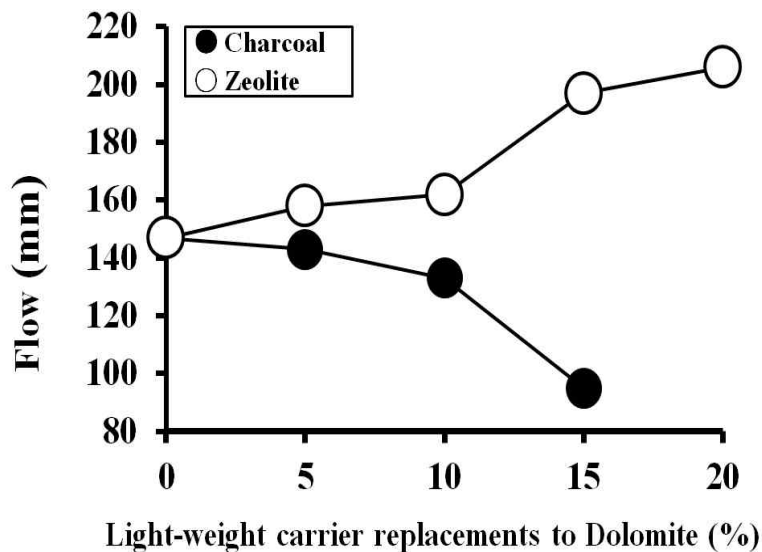


그림 2.2.28 평균 입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성

b) 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우

그림 2.2.29는 1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 유동특성을 나타낸 그래프이다. 경량 담체로 사용되는 펄라이트와 질석의 유동성을 측정하였다. 수지량이 증가됨에 따라 대체로 유동성은 증가하였으나 골재 특성으로 인해 유동성 경향 변화는 크지 않았다. 펄라이트 평균입경 1.2mm의 경우, 수지량 증가와 함께 유동성의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 펄라이트 평균입경 3mm의 경우 5%에서 유동성이 최대인 것으로 나타났다. 펄라이트 치환율이 10% 이상에서부터 치환율이 증가할수록 유동성이 감소한다. 또한 20%에서부터는 Plain보다 유동성이 낮은 것으로 나타났다. 평균입경이 1.2mm인 질석의 경우는 동일 입경의 펄라이트 유동특성 경향과 같이 혼입률 10%까지 유동성이 점차 증가하다가 15% 이후로 감소하는 경향을 나타내었으나 10% 혼입률의 최대값이 157mm로 나타나 펄라이트에 비하여 유동성 향상에는 취약한 것으로 나타났다. 이는 질석의 입형이 펄라이트에 비하여 불량하고 표면이 거칠어 유동성을 발현하는데 있어 불리한 것으로 판단된다.

그림 2.2.30은 0.075mm 이하의 경량 담체 치환에 따른 유동특성을 나타낸 그래프이다. 실험결과, 제올라이트의 골재 치환 시 유동성은 치환율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 활성탄의 경우 골재 치환율이 증가함에 따라 점차 감소하였으나 수지 양 11.6%에서 측정이 불가하였던 20%에서도 수지 양 증가로 인해 유동성이 발현되었다.

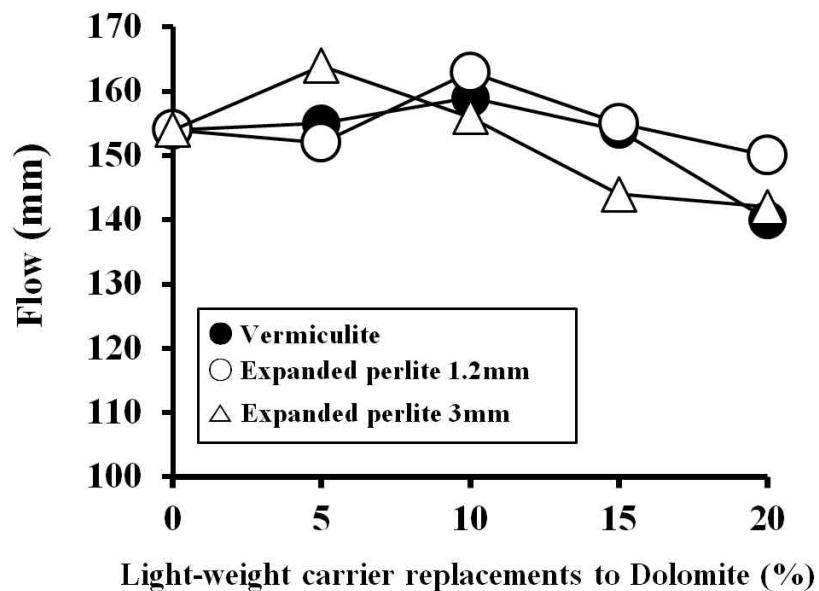


그림 2.2.29 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환 시 특성

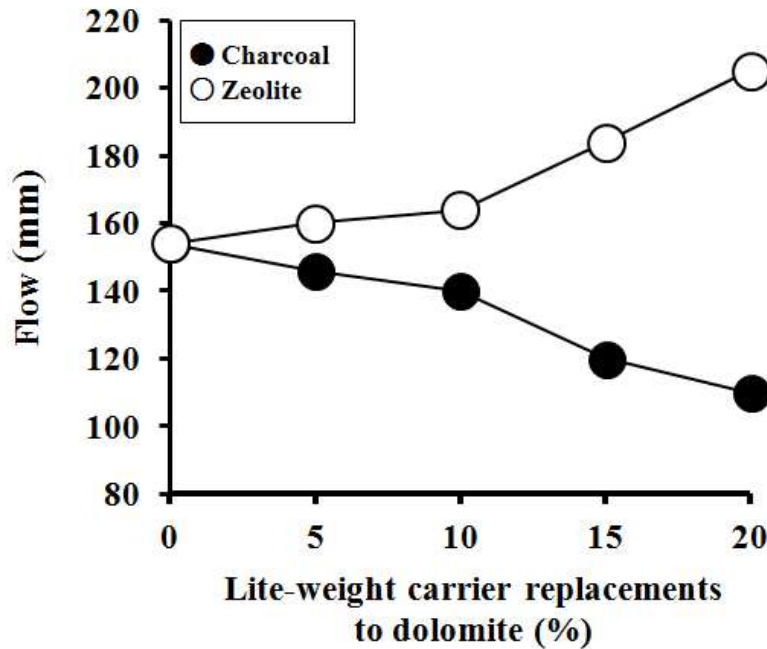


그림 2.2.30 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환 시 특성

② 부착강도

ㄱ) 상온 양생 조건에서의 골재 치환 시 부착강도 특성

a) 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우

그림 2.2.31은 1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 부착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 펄라이트의 입경에 따른 부착강도 특성을 측정한 결과 다음과 같이 나타났다. 펄라이트 평균입경 1.2mm에서는 유동성이 최대값을 나타내었던 치환율 10%에서 1.5 N/mm²로 가장 높은 강도를 보였으며, 이후 치환율 20%까지 1MPa로 저하하였다. 펄라이트 평균입경 3mm의 경우, 15%까지 부착강도가 증가하였으며, 최대 강도는 1.4 N/mm²로 나타났으나 20%에서 0.9 N/mm²로 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 바인더인 아크릴 수지 내의 수분이 펄라이트에 흡수되었음에도 골재의 입도가 굵어지면서 비표면적이 낮아지고 이에 따라 잉여 아크릴 수지의 양이 증가하고 필름의 밀도가 높아지면서 나타난 현상으로 판단된다.

평균입경 1.2mm인 질석의 경우, 경량 담체 치환율이 5%에서 펄라이트 10% 치환 시와 유사한 강도인 1.6 N/mm²로 최대값을 나타냈다. 이후 질석의 치환율이 증가할수록 점차 강도가 저하하나 그 감소율은 펄라이트에 비하여 낮았다. 이는 질석의 표면이 거칠어 내부 부착강도가 증대되면서 부착력 또한 증가한 것으로 판단된다.

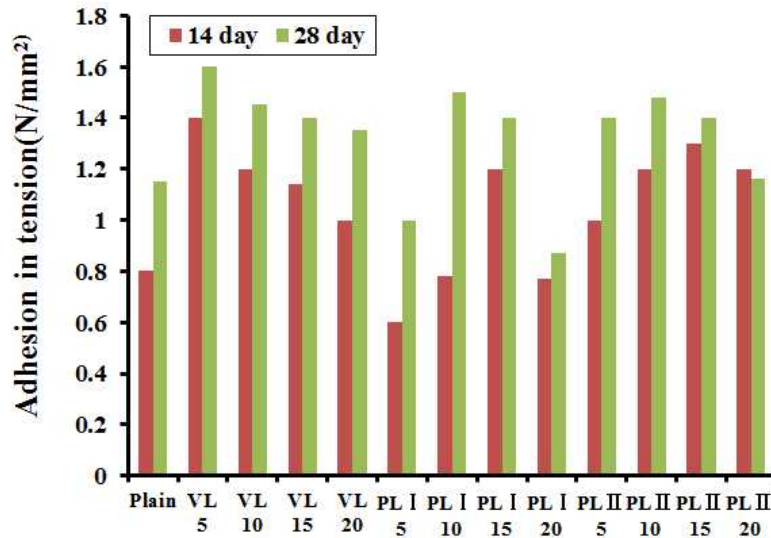


그림 2.2.31 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환 시 특성

그림 2.2.32는 0.075mm 이하의 경량 담체 치환에 따른 부착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 0.075mm 이하의 골재로 사용된 활성탄과 제올라이트의 강도 특성을 살펴보면 다음과 같다. 활성탄은 10% 치환 시 까지 강도가 증가하는 것으로 나타났으나 이후부터 감소하여 20%에서는 측정이 불가능한 것으로 나타났다. 아크릴 수지 필름은 건조경화에 의해 형성되므로 필름이 고르게 분포하여 형성되기 위해서는 매질인 물이 초기에 어느 정도 필요하거나 수지의 양이 충전 물질로 사용되는 골재의 표면에 피복되기 충분할 정도여야 한다. 그러나 활성탄의 흡수율이 과다하게 높고 표면적이 커 부착강도를 발현할 수 있는 충전 물질의 표면을 피복할 정도의 필름 형성이 불량해지면서 강도가 저하한 것으로 판단된다.

제올라이트의 경우 혼입률이 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 제올라이트의 입경이 활성탄보다 작음에도 불구하고 제올라이트의 확산성능과 충전성능이 우수하고 흡수율이 활성탄에 비하여 1/2가량 낮아 필름 형성이 양호한 것으로 판단된다.

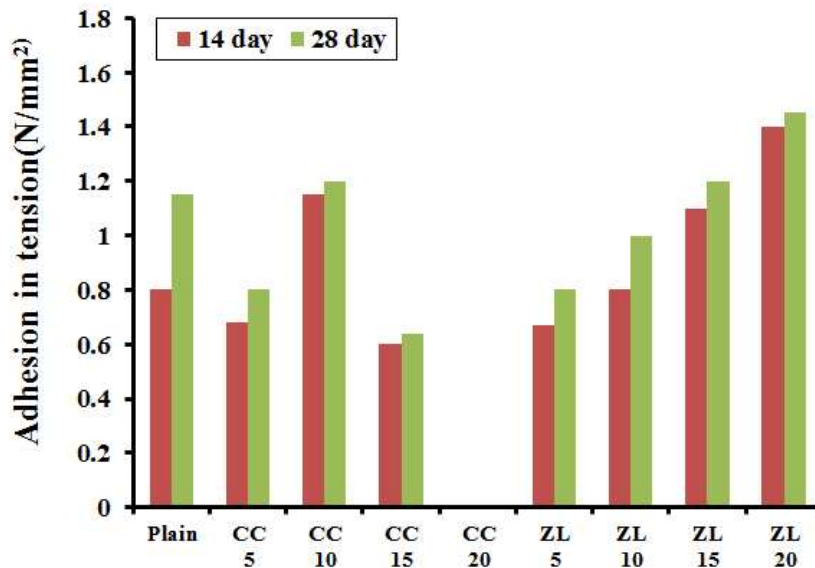


그림 2.2.32 평균입경 0.075mm이하 경량 담체 치환 시 특성

b) 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우

그림 2.2.33은 1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 부착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 먼저 Plain의 경우 상기 아크릴 에멀전 모르타르의 기준 배합에서 아크릴 에멀전이 11.6%일 때보다 1.1 N/mm²에서 2.5 N/mm²로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 아크릴 에멀전의 혼입률이 증가하면서 결합력이 강화되면서 부착력이 증대된 것으로 판단된다.

평균입경 1.2mm인 질석의 경우, 경량 담체 치환율이 10%에서 최대값을 나타내었으며, 2.0 N/mm²로 최대값을 나타내었으나 경량 담체 치환율 15%부터 치환율이 증가할수록 점차 강도가 감소였다. 이는 질석의 표면이 거칠어 내부 부착강도가 증대되면서 부착력 또한 증가한 것으로 판단된다.

펄라이트의 입경에 따른 부착강도 특성을 측정한 결과 다음과 같이 나타났다. 펄라이트 평균입경 1.2mm에서는 유동성이 최대값을 나타내었던 치환율 10%에서 2.0 N/mm²로 가장 높은 강도를 보였으며, 이후 치환율 20%까지 1.6MPa로 저하하였다. 펄라이트 평균입경 3mm의 경우, 10%까지 부착강도가 증가하였으며, 최대 강도는 2.6 N/mm²로 나타났으나 20%까지 강도 변화는 크게 나타나지 않았다. 이는 아크릴 에멀전 모르타르의 부착강도가 모재의 부착력보다 강하여 부착강도 측정 시 모재의 파괴에 의해 강도 변화가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

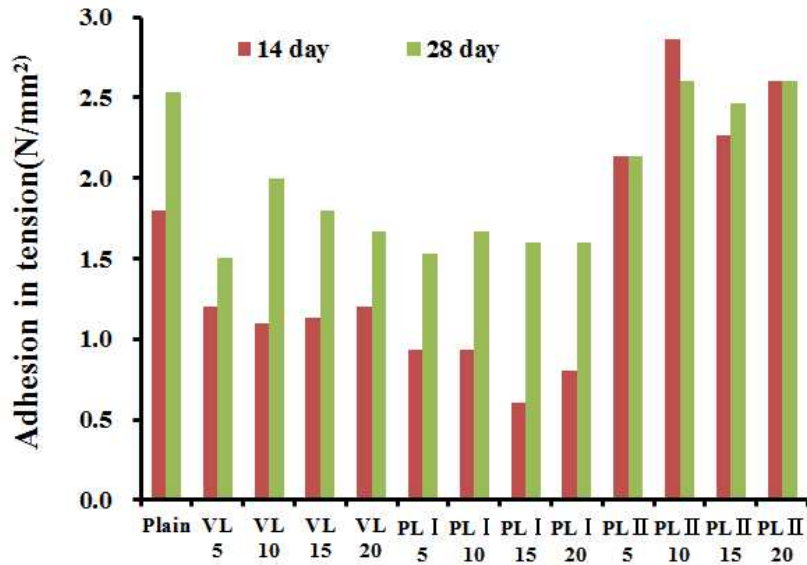


그림 2.2.33 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환 시 특성

그림 2.2.34는 0.075mm 이하의 경량 담체 치환에 따른 부착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 0.075mm 이하의 골재로 사용된 활성탄과 제올라이트의 강도 특성을 살펴보면 다음과 같다. 활성탄은 혼입률이 증가할수록 부착강도가 저하하는 것으로 나타났다. 수지 양의 증가로 인해 앞서 나타났던 성형 불량은 나타나지 않았다. 아크릴 수지 필름은 건조 경화에 의해 형성되므로 필름이 고르게 분포하여 형성되기 위해서는 매질인 물이 초기에 어느 정도 필요하거나 수지의 양이 충전 물질로 사용되는 골재의 표면에 피복되기 충분할 정도여야 한다. 그러나 활성탄의 흡수율이 과다하게 높고 표면적이 커 부착강도를 발현할 수 있는 충전 물질의 표면을 피복할 정도의 필름 형성이 불량해지면서 강도가 저하한 것으로 판단된다.

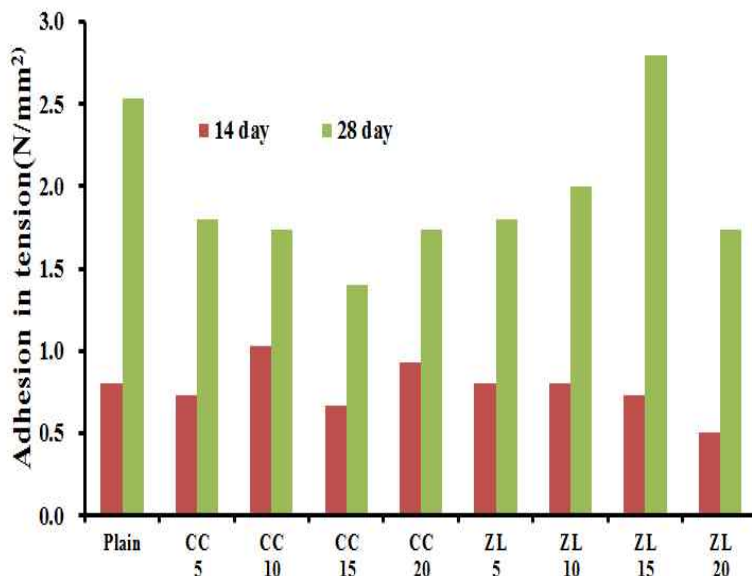


그림 2.2.34 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환 시 특성

제올라이트의 경우 초기에는 Plain보다 낮지만 혼입률이 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 제올라이트의 입경이 활성탄보다 작음에도 불구하고 제올라이트의 확산능력과 충전 성능이 우수하고 흡수율이 활성탄에 비하여 1/2 가량 낮아 필름 형성이 양호한 것으로 판단된다. 그러나 혼입률 20%에서는 수지량의 감소로 인해 강도가 저하하는 것으로 판단된다.

ㄴ) 고온 양생 조건에서의 골재 치환 시 부착강도 특성

고온 양생 조건에서의 부착강도 측정은 성능을 향상하기 위해 아크릴 에멀전 모르타르 기준 배합에서 12.6%의 아크릴 에멀전을 혼입한 경우의 것만 측정하였다. 고온 조건에서는 모든 경화체가 14일에 2N/mm^2 이상을 발현하는 것으로 나타났다. 이는 바인더인 아크릴 에멀전이 고온 하에서 빠르게 건조 경화되면서 필름의 생성이 양호하게 형성된 것으로 판단된다.

1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 부착강도 특성을 보면 아크릴 에멀전 모르타르에 펄라이트 평균 입경 3mm 골재를 치환하였을 때 가장 높은 부착 강도를 나타내었다. 그러나 혼입률 간의 편차는 나타나지 않는 것으로 나타났다. 이는 아크릴 에멀전 모르타르가 모재의 부착력을 상회하면서 모재 이탈에 의한 강도 측정 불능으로 보인다. 부착강도 시험 후 시험편의 사진을 관찰해 보면 대부분 모재의 쉼석이 파단 분리된 것을 관찰 할 수 있는데 시험체의 강도가 이미 2N/mm^2 이상에서는 파괴가 되어 정확한 측정이 불가능을 알 수 있었다.

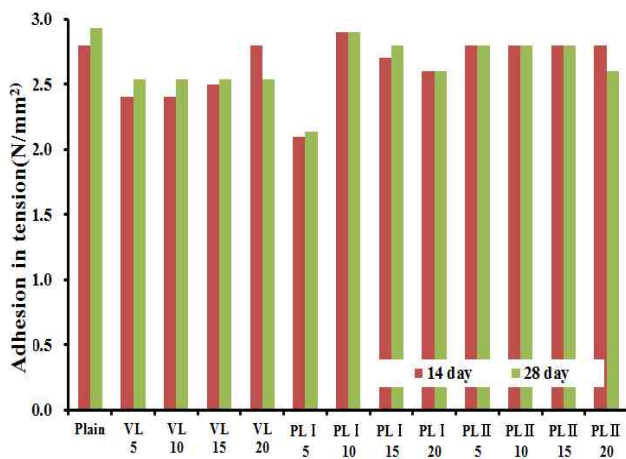


그림 2.2.35 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환 시 특성

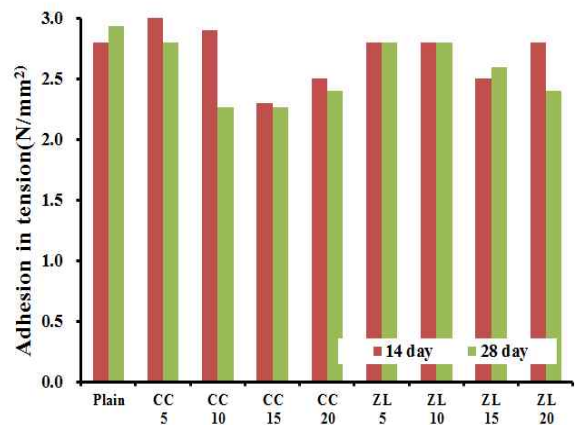


그림 2.2.36 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환 시 특성



Plain



VL5



VL10



VL15



VL20

그림 2.2.37 고온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(a)



PLI 5



PLI 10



PLI 15



PLI 20



PLII 5



PLII 10



PLII 15



PLII 20

그림 2.2.38 고온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(b)



CC 5



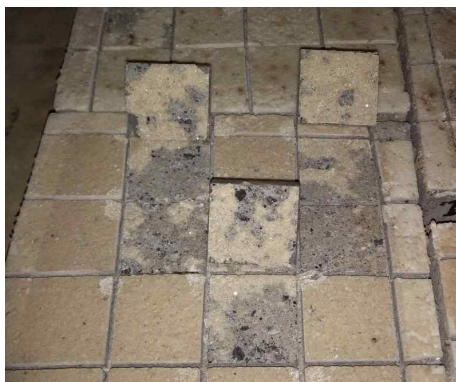
CC 10



CC 15



CC 20



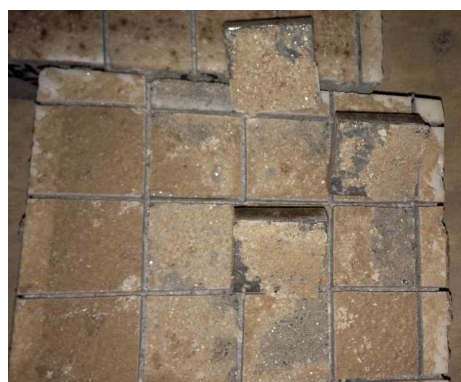
ZL 5



ZL 10



ZL 15



CC 20

그림 2.2.39 고온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(c)

ㄷ) 저온 양생 조건에서의 골재 치환 시 부착강도 특성

저온 양생 시험체의 고온 양생 시험체보다 강도가 낮은 것으로 나타났다. 저온 양생 시험체의 경우 온도가 낮아 수분의 증발이 고온의 경우보다 낮아 필름 생성 속도가 늦은 것으로 판단된다. 그러나 상온 양생의 경우보다 부착강도가 높은 것으로 나타났다. 저온 양생 조건의 습도가 40%이었고 상온 양생 조건의 경우 60%로 20%가 낮은 조건에서 실험이 실시되었다. 아크릴 에멀전 모르타르의 경화는 수분의 증발에 의한 필름의 생성 속도의 변화가 주를 이루고 있으므로 습도가 낮은 겨울철의 경우에도 우수한 성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

경량 담체 치환율에 의한 부착강도 변화는 상온 양생 조건과 달리 Plain과 비교하였을 때 경량 담체 치환 시 저하하는 것으로 나타났다. 이는 경량 담체가 초기 배합 시 수분을 흡수하여 지니고 있어 필름 생성을 위해 증발되는 수분을 방출하면서 필름 생성과 발달이 늦어진 것으로 판단된다. 그러나 저온 양생 시험체 모두 1.5N/mm^2 이상의 부착강도 성능을 나타내어 상온 양생 시험체보다 성능이 우수하고 본 연구개발의 목표 수치인 1.3N/mm^2 이상을 상회하였다.

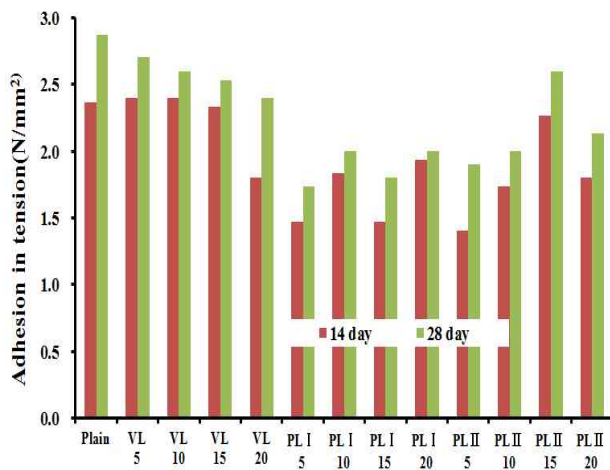


그림 2.2.40 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환시 특성

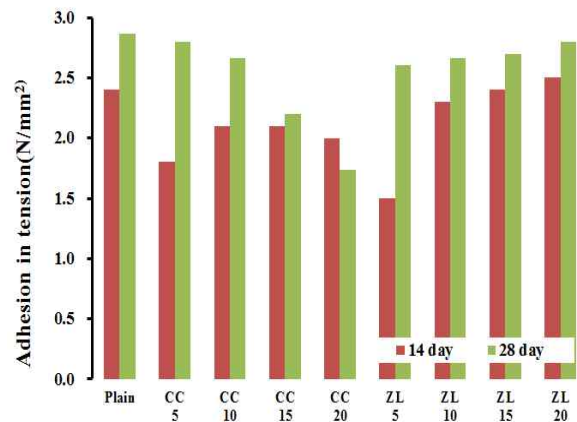


그림 2.2.41 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 특성



Plain



VL5



VL10



VL15



VL20

그림 2.2.42 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(a)



PLI 5



PLI 10



PLI 15



PLI 20



PLII 5



PLII 10



PLII 15



PLII 20

그림 2.2.43 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(b)



CC 5



CC 10



CC 15



CC 20



ZL 5



ZL 10



ZL 15



CC 20

그림 2.2.44 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(c)

③ 물흡수계수

a) 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우

그림 2.2.45는 1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 물흡수계수를 나타낸 그래프이다. 평균 입경 1.2mm의 펄라이트와 3mm 펄라이트의 물흡수계수를 살펴보면 두 골재 모두 부착강도와 상관없이 혼입률이 증가할수록 물흡수계수는 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 3mm 펄라이트에서의 물흡수계수는 15% 이상 혼입 시 급격히 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 Plain에 적용된 골재의 최대 치수가 0.85mm임을 감안할 때 흡수율이 높고 입형이 과다하게 큰 3mm의 펄라이트가 성형체 외부로 노출되면서 수분의 침투가 가속화된 것으로 판단된다. 질석은 평균 입경 1.2mm의 펄라이트와 유사한 경향을 나타냈다.

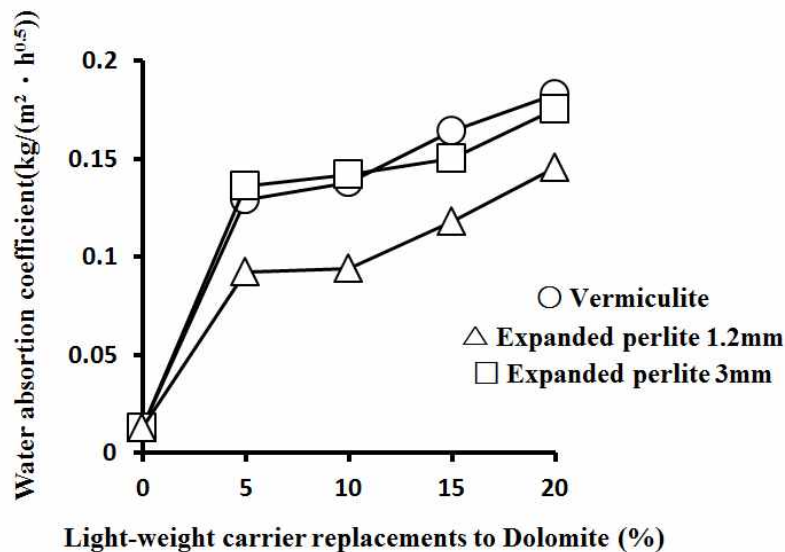


그림 2.2.45 평균입경 1.2mm이상 경량 담체 치환 시 물흡수계수

그림 2.2.46은 0.075mm 이하의 경량 담체 치환에 따른 물흡수계수를 나타낸 그래프이다. 활성탄과 제올라이트의 물흡수계수를 살펴보면 활성탄은 혼입률과 함께 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 이는 흡수율이 높은 활성탄의 양이 증가하면서 필름의 생성이 불량하여 외부로의 침투가 용이한 것으로 판단된다. 필름 생성이 양호한 1.2mm 이상의 골재보다 물흡수계수가 작은 이유는 골재의 입형이 작아 골재 자체가 외부로 노출되는 면적이 적어 필름에 의한 수밀성 자체는 높은 것으로 판단된다. 제올라이트의 물흡수계수는 활성탄에 비하여 낮은 것으로 나타났으며, 이는 필름 생성이 양호하고 흡수력이 활성탄에 비하여 낮기 때문이다. 그러나 제올라이트 또한 혼입률의 증가와 함께 물흡수계수가 증가하는 경향을 보이고 있다.

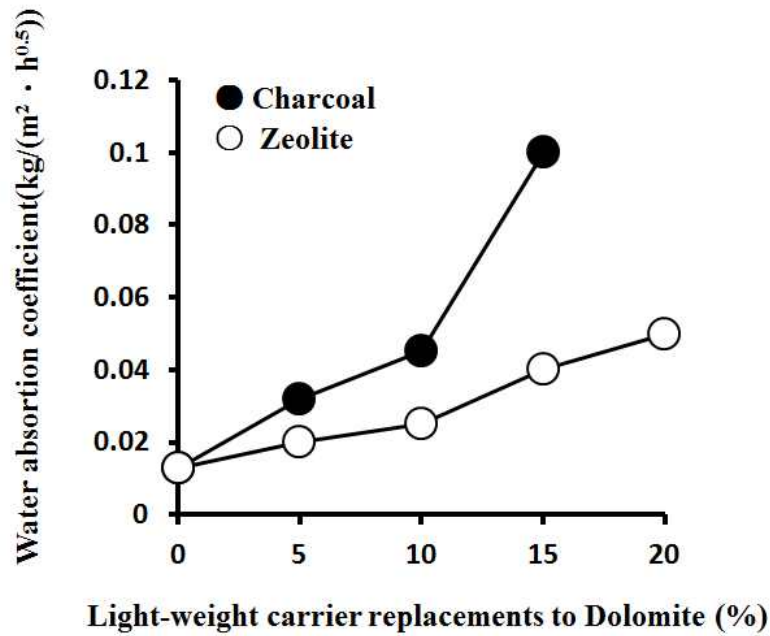


그림 2.2.46 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환 시 물흡수계수

b) 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우

그림 2.2.47은 1.2mm 이상의 경량 담체 치환에 따른 물흡수계수를 나타낸 그래프이다. 우선 수지량 증가에 따라 모든 배합에서 물흡수계수는 $0.1\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ 이하로 나타났다. 평균 입경 1.2mm의 펄라이트와 3mm 펄라이트의 물흡수계수를 살펴보면 두 골재 모두 부착강도와 상관없이 혼입률이 증가할수록 물흡수계수는 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 3mm 펄라이트에서의 물흡수계수는 완만하게 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 Plain에 적용된 골재의 최대 치수가 0.85mm임을 감안할 때 흡수율이 높고 입형이 과다하게 큰 3mm의 펄라이트가 성형체 외부로 노출되면서 노출량에 따라 완만한 물흡수계수 증가를 보인 것으로 판단된다. 질석은 평균 입경 1.2mm의 펄라이트와 유사한 경향을 나타냈다.

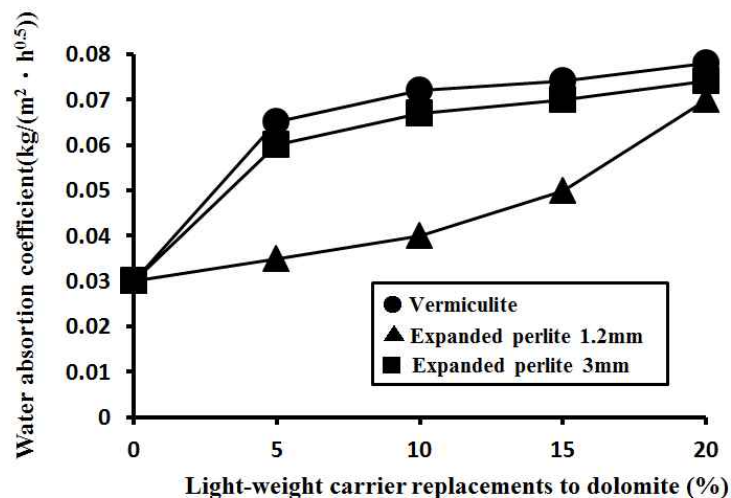


그림 2.2.47 평균입경 1.2mm 이상 경량 담체 치환 시 물흡수계수

그림 2.2.48은 0.075mm 이하의 경량 담체 치환에 따른 물흡수계수를 나타낸 그래프이다. 활성탄과 제올라이트의 물흡수계수를 살펴보면 활성탄은 혼입률과 함께 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 이는 흡수율이 높은 활성탄의 양이 증가하면서 필름의 생성이 불량하여 외부로의 침투가 용이한 것으로 판단된다. 필름 생성이 양호한 1.2mm 이상의 골재보다 물흡수계수가 작은 이유는 골재의 입형이 작아 골재 자체가 외부로 노출되는 면적이 적어 필름에 의한 수밀성 자체는 높은 것으로 판단된다. 제올라이트의 물흡수계수는 활성탄에 비하여 낮은 것으로 나타났으며, 이는 필름 생성이 양호하고 흡수력이 활성탄에 비하여 낮기 때문이다. 그러나 제올라이트 또한 혼입률의 증가와 함께 물흡수계수가 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 수지량 증가에 따라 모든 배합에서 물흡수계수는 $0.1\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ 이하로 나타났다.

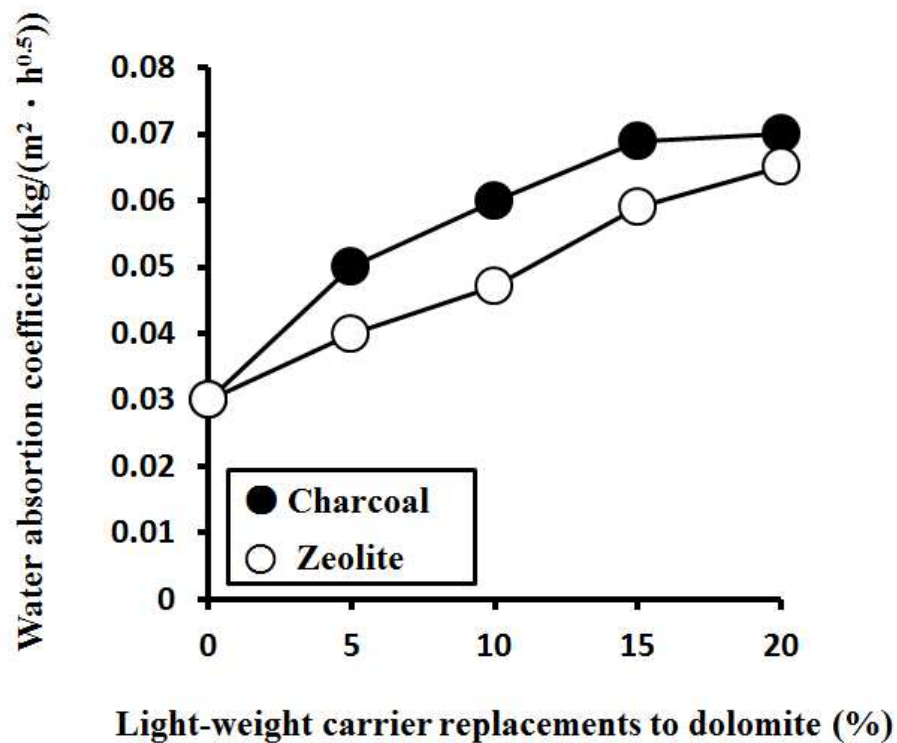


그림 2.2.48 평균입경 0.075mm 이하 경량 담체 치환시 물흡수계수

④ 내충격성

표 2.2.9, 표2.2.10은 배합에 따른 내충격성 시험 결과이다. 시험결과 모든 시험체에서 이상 없음으로 나타나 표면의 내충격성은 양호한 것으로 나타났다.

표 2.2.9 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우 내충격성 시험 결과

유형	Plain	VL5	VL10	VL15	VL20
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	PL I -5	PL I -10	PL I -15	PL I -20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	PL II -5	PL II -10	PL II -15	PL II -20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	CC-5	CC-10	CC-15	CC-20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	ZL-5	ZL-10	ZL-15	ZL-20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	

표 2.2.10 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우 내충격성 시험 결과

유형	Plain	VL5	VL10	VL15	VL20
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	PL I -5	PL I -10	PL I -15	PL I -20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	PL II -5	PL II -10	PL II -15	PL II -20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	CC-5	CC-10	CC-15	CC-20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	ZL-5	ZL-10	ZL-15	ZL-20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	

⑤ 내잔갈림성

표 2.2.11, 표 2.2.12는 배합에 따른 잔갈림 특성을 나타낸 표이다. 모든 시험체에서 표면의 잔갈림 현상은 나타나지 않았다.

표 2.2.11 기준 배합의 아크릴 에멀전이 11.6%인 경우 내잔갈림성 시험 결과

유형	Plain	VL5	VL10	VL15	VL20
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	PL I -5	PL I -10	PL I -15	PL I -20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	PL II -5	PL II -10	PL II -15	PL II -20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	CC-5	CC-10	CC-15	CC-20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	ZL-5	ZL-10	ZL-15	ZL-20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	

표 2.2.12 기준 배합의 아크릴 에멀전이 12.6%인 경우 내잔갈림성 시험 결과

유형	Plain	VL5	VL10	VL15	VL20
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	PL I -5	PL I -10	PL I -15	PL I -20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	PL II -5	PL II -10	PL II -15	PL II -20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	CC-5	CC-10	CC-15	CC-20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	ZL-5	ZL-10	ZL-15	ZL-20	
내잔갈림성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	

⑥ 골재 치환 시 색상 평가

아크릴 에멀전 모르타르는 외부의 치장용 모르타르로써 외장적인 연출을 요구하는 경우에 사용하는 경우에 사용되기 되므로 외부 색상의 심미적인 충족이 가능하여야 한다. 평균입도 1.2mm 이상의 경량 담체는 질석과 펄라이트이며, 이들 골재를 사용한 아크릴 에멀전 모르타르의 표면 상태를 관찰해 보면 경량 담체에 혼입된 목초액이 외부로 흘러 나와 골재 주변으로 확산되어 반점이 된 것을 확인할 수 있다. 경량 담체의 혼입률이 적을 경우, 분포도가 조악하여 이러한 색상의 균질도와 심미적인 충족도는 저하될 수 있는 문제점이 있다. 평균입경 0.075mm 이하의 골재는 활성탄과 제올라이트이며, 이들 골재는 입도가 작아 치환된 목초액이 분산되어도 색상이 균질한 것으로 나타났다.



Plain



VL5



VL10



VL15



VL20

그림 2.2.49 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(a)



Plain



PLI 5



PLI 10



PLI 15



PLI 20

그림 2.2.50 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(b)



Plain



PLII 5



PLII 10



PLII 15



PLII 20

그림 2.2.51 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(c)



Plain



CC 5



CC 10



CC 15



CC 20

그림 2.2.52 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(d)



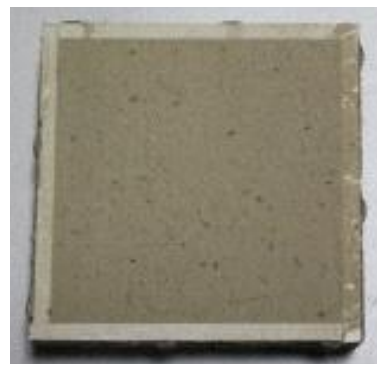
Plain



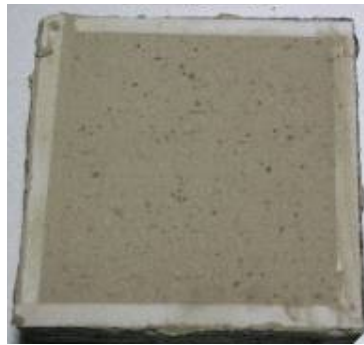
ZL 5



ZL10



ZL15



ZL 20

그림 2.2.53 경량 담체 치환에 따른 표면 색상(e)

⑦ 소결

아크릴 에멀전 모르타르의 목초액 함침 경량 담체의 치환 시 특성을 살펴보면, 다음과 같다.

ㄱ) 아크릴 수지 11.6%일 때 목초액 함침 경량 담체를 치환한 결과 경량 담체의 치환율이 증가함에 따라 강도는 감소하는 경향을 나타내었다.

ㄴ) 아크릴 수지 12.6%로 수지량을 증가시킨 배합에서는 모든 시험체에서 KS F 4715 규격 이상의 성능을 나타내었다.

ㄷ) 온도에 따른 부착강도 특성을 살펴보면, 아크릴 에멀전 모르타르는 저온과 고온 양생 조건에서 높은 부착성능을 나타내었다.

ㄹ) 물흡수계수 특성은 경량 담체의 치환율이 상승할수록 증가되는 경향을 나타내었으며, 내잔갈림성 및 내충격성은 양호한 것으로 나타났다.

ㅁ) 목초액 함침 경량 담체를 사용한 아크릴 에멀전 모르타르의 고른 색상분포도를 얻을 수 있는 입도 범위는 0.075mm 이하의 경량 담체에서 가능하였다.

라) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 목초액 함침 경량 담체의 치환 특성

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에 대하여 목초액 함침 경량 담체를 치환하였을 때의 특성을 살펴보고자 하였다. 이를 위하여 목초액을 함침한 경량 담체를 백운석 골재에 대비하여 5, 10, 15, 20%로 용적 치환하고 이의 특성을 알아보려고 하였다.

① 유동성

KS F 4716인 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 목초액 함침 경량 담체 혼입에 따른 유동성을 살펴보면 아래와 같다. 먼저 평균 입도 1.2mm 이상 경량 담체 치환에 따른 유동성을 살펴보면 모든 경량 담체에서 혼입률의 증가시 유동성은 저하한다. 펄라이트의 경우 입도에 관계없이 혼입률에 따른 유동성 저하가 유사하게 나타났으며, 질석은 유동성 저하는 5% 혼입률과 유사한 것으로 나타났다.

0.075mm 이하 경량 담체의 유동성을 살펴보면 제올라이트의 치환 시 유동성 저하는 비교적 선형성을 가지며 20% 치환 시 가장 낮게 나타났다. 활성탄의 경우, 치환율 15%까지 점차 감소하다가 20%에서 급격히 저하하는 것으로 나타났다. 이는 활성탄의 흡수율이 높아 유동성 발현에 필요한 과량의 수분을 흡수해 유동성이 저하한 것으로 판단된다. 유동성의 저하는 평균 입도 0.012mm 이하의 골재에서 많은 것으로 나타났다.

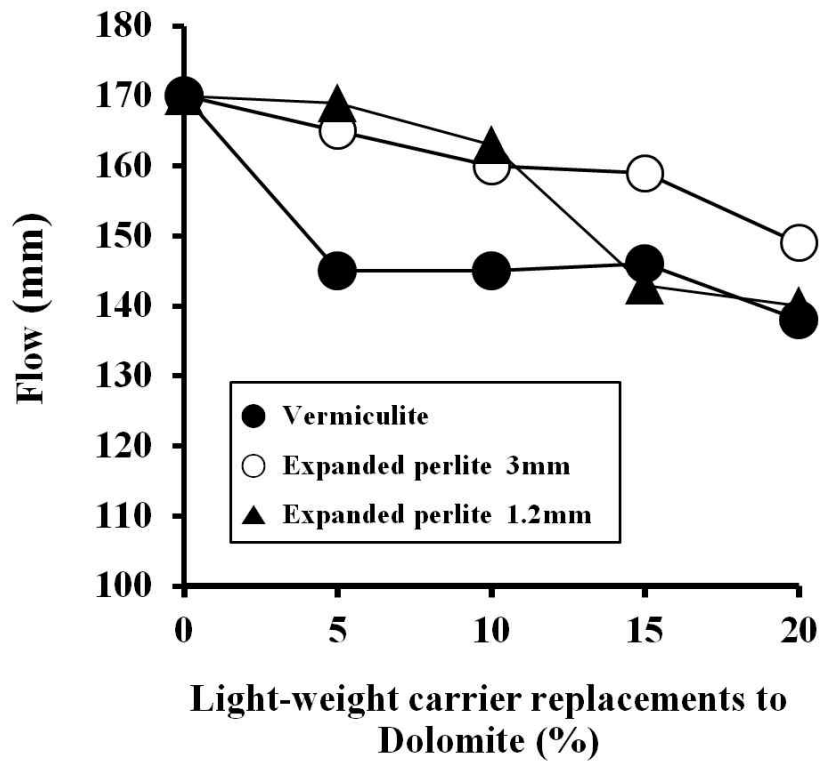


그림 2.2.54 평균입도 1.2mm 이상 경량 담체 치환에 따른 Flow 변화

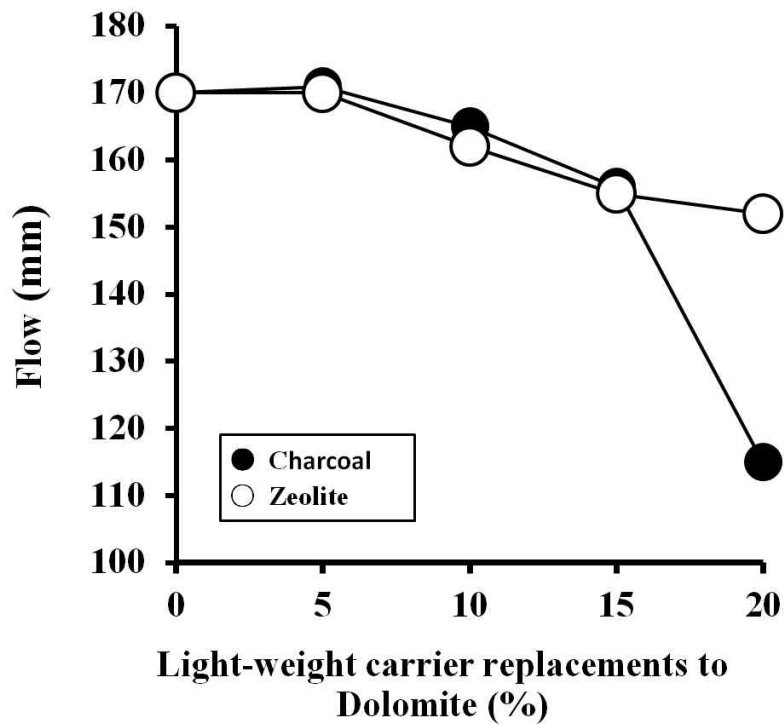


그림 2.2.55 평균입도 0.075mm 이하 경량 담체 치환에 따른 Flow 변화

② 부착강도

ㄱ) 상온 양생 조건에서의 골재 치환 시 부착강도 특성

1.2mm 이상 경량 담체 치환 시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 특성을 살펴보면 질석을 치환한 경우 질석 10%에서 가장 낮게 나타났다. 이후 15%에서부터 20%까지 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 펄라이트 1.2mm의 경우 20%까지 치환율의 증가와 함께 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 펄라이트 3mm에서는 10%까지 강도가 증가하는 경향을 나타내었다가 20%까지 감소하는 경향을 나타내었다.

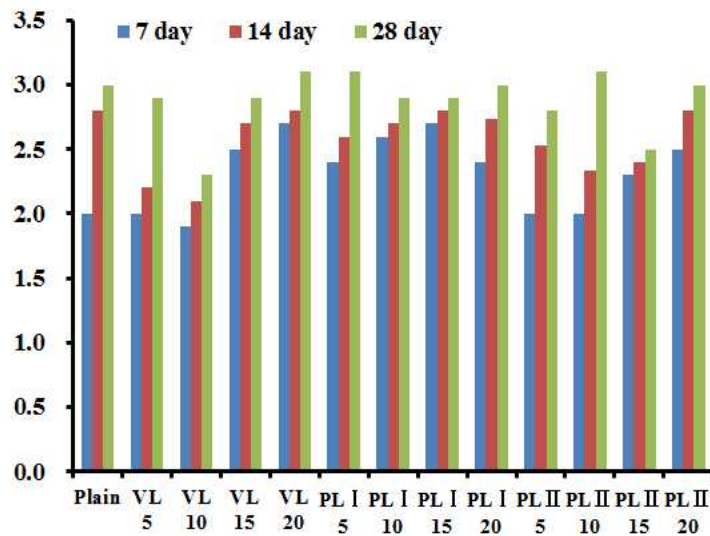


그림 2.2.56 1.2mm 이상 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도(상온 양생)

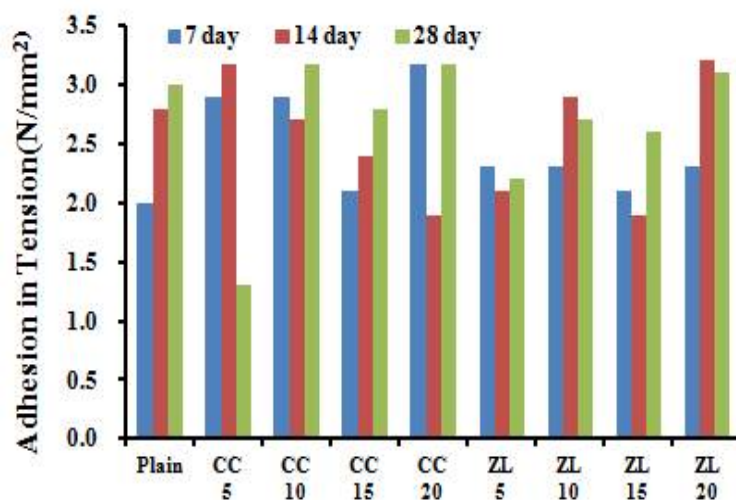


그림 2.2.57 0.075mm 이하 경량 담체 혼입시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도(상온 양생)

상온 양생에서 0.075mm 이하 경량 담체 혼입 시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도를 살펴보면 활성탄 10%까지 강도가 증가하였으나 15%에서부터 저하되었다. 제올라이트의 경우 5% 치환 시 강도가 가장 낮게 나타났으나 10%에서부터 Plain과 유사한 강도를 보였다가 이후 강도가 계속 상승하는 것으로 나타났다.

ㄴ) 고온 양생 조건에서의 골재 치환 시 부착강도 특성

고온 양생 조건에서의 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도 특성을 살펴보면 고온 하에서 7일 강도는 평균입경 1.2mm인 질석과 펄라이트 I 은 경량담체 치환율이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났다. 그러나 28일에서는 Plain보다 강도가 높게 나타났다. 이는 질석과 펄라이트의 혼입으로 초기 강도는 저하되나 경량 담체가 흡수한 수분을 천천히 공급하여 쪼름으로 건조 수축 저감을 통한 부착력 저하를 방지한 것으로 판단된다. 그러나 평균입경이 3mm인 펄라이트는 치환율 5%에서만 강도 개선 효과를 보였으며, 치환율이 상승하였을 때 28일까지 강도가 저하하는 것으로 나타났다.

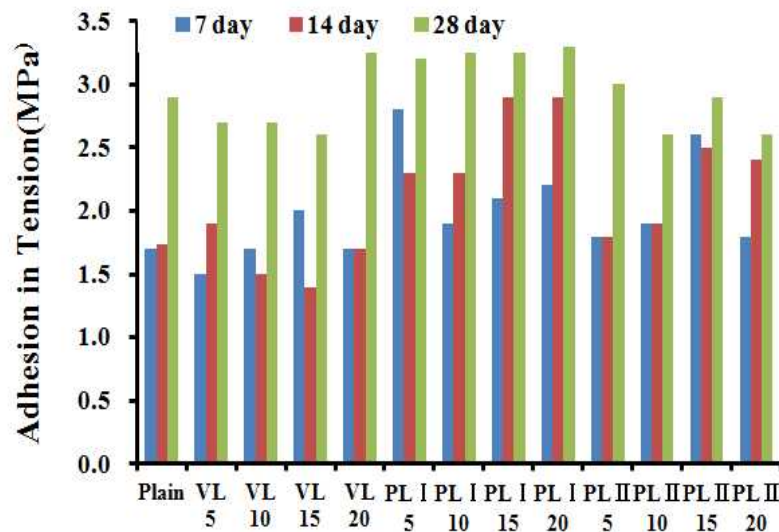


그림 2.2.58 1.2mm 이상 경량 담체 혼입 시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도(고온 양생)

0.075mm 이하의 경량 담체를 혼입할 경우를 살펴보면 다음과 같다. 활성탄의 경우, 7일 강도에서 치환율 10%까지 혼입률 증가와 함께 충전 성능 향상으로 강도가 증가하나 15%부터는 강도가 저하하는 것으로 나타났다. 그러나 28일 강도에서는 모든 시험체에서 Plain보다 강도가 높은 것으로 나타났다. 제올라이트의 경우 또한 활성탄과 유사한 경향을 나타내었으나 강도 증가가 활성탄에 비하여 적었다.

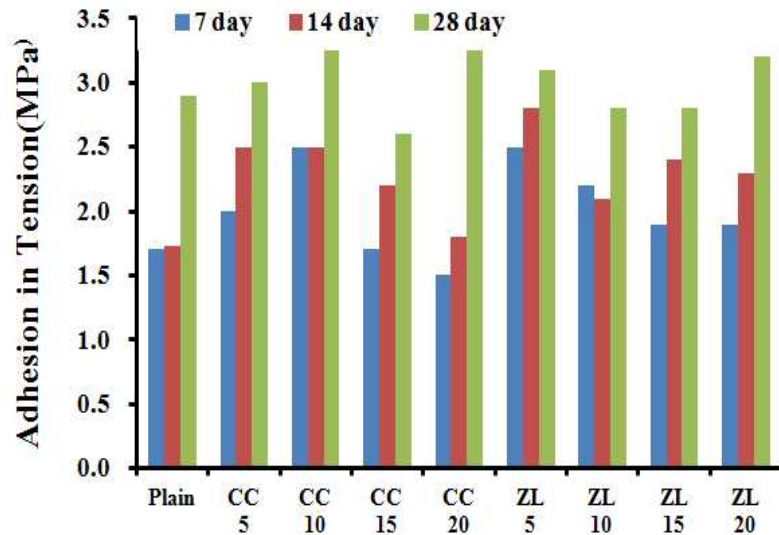
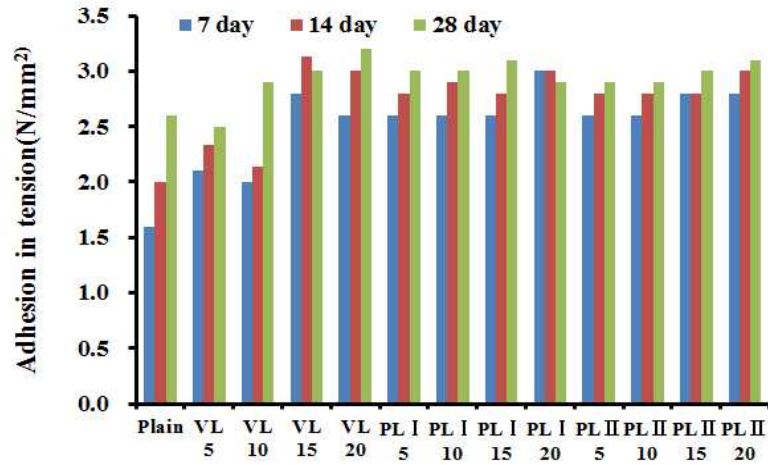


그림 2.2.59 0.075mm 이하 경량 담체 혼입 시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도(고온 양생)

ㄷ) 저온 양생 조건에서의 골재 치환 시 부착강도 특성

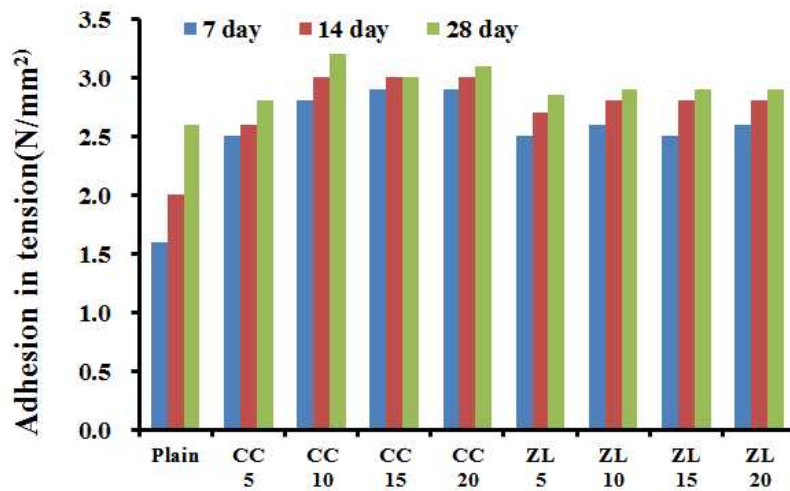
저온 양생 조건하에서의 목초액 함침 경량 담체를 치환한 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 강도 특성을 살펴보면 초기 강도 값이 모두 Plain보다 높은 것으로 나타났다. 상온 양생 조건에서는 골재의 종류에 따라 Plain 보다 낮은 강도 값을 보이는 시험체들이 있었으나 저온에서는 경량 담체 치환율과 부착강도가 비례하는 것으로 나타났다. 이는 목초액 내의 아민과 개미산 등에 의해 시멘트의 수화촉진으로 인해 강도가 증진된 것으로 판단된다.

경량 담체의 종류에 따른 부착강도를 살펴보면 1.2mm 이상의 골재가 0.075mm 이하의 골재보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 1.2mm 이상의 골재 중 가장 높은 강도를 나타내는 것은 질석이었으며, 0.075mm 이하의 골재에서는 활성탄인 것으로 나타났다. 강도발현이 높은 것부터 차례대로 나열하면, 질석, 펄라이트 1.2mm, 펄라이트 3mm, 활성탄, 제올라이트의 순으로 나타났다.



Light-weight carrier replacements to dolomite (%)

그림 2.2.60 1.2mm 이상 경량 담체 혼입 시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도(저온 양생)



Light-weight carrier replacements to dolomite (%)

그림 2.2.61 0.075mm 이하 경량 담체 혼입 시 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 부착강도(고온 양생)



Plain



VL5



VL10



VL15



VL20

그림 2.2.62 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(a)



PLI 5



PLI 10



PLI 15



PLI 20



PLII 5



PLII 10



PLII 15



PLII 20

그림 2.2.63 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(b)



CC 5



CC 10



CC 15



CC 20



ZL 5



ZL 10



ZL 15



CC 20

그림 2.2.64 저온 양생 시험체의 부착강도 시험 후 파괴 성상(c)

③ 물흡수계수

1.2mm 이상 경량 담체 치환에 따른 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수를 살펴보면 질석과 팽창펄라이트 1.2mm 골재의 물흡수 계수는 10%까지 저하하나 15% 치환부터 강도가 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 3mm의 팽창펄라이트는 초기에 물흡수계수가 약간 증가하나 점차 감소하는 것으로 나타나 15%에서는 물흡수계수가 Plain보다 감소하는 것으로 나타났다. 이는 입도가 큰 경량 담체는 치환율이 작을 때는 수분을 흡수하여 물시멘트비 저감에 따른 경화체의 밀도가 상승하나 치환율이 상승하면 외부로 접하는 면적이 커져 물흡수계수가 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 입도가 작은 경량 담체는 초기에 비표면적이 커 물흡수계수가 약간 증가하나 혼입률이 증가할수록 충전성을 향상하여 물흡수계수가 감소하게 된 것으로 판단된다.

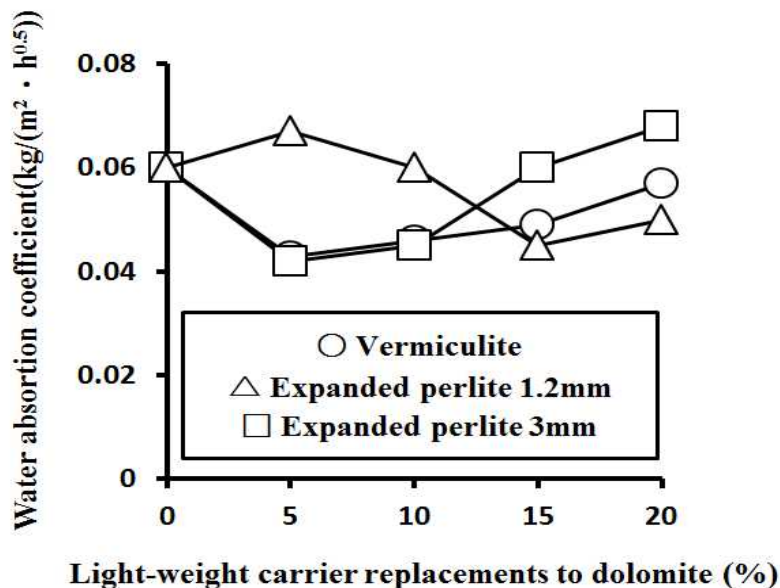


그림 2.2.65 1.2mm 이상 경량 담체 치환에 따른 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수

0.075mm 이하 경량 담체의 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수를 살펴보면 제올라이트의 경우 10% 혼입까지 물흡수계수가 감소하는 것으로 나타났으며, 활성탄의 경우 20%까지 물흡수계수가 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 3mm의 펄라이트와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 0.075mm 이하의 경량담체에서는 5% 혼입 시부터 충전성이 좋아 지속적으로 물흡수계수가 감소하는 것으로 나타났다.

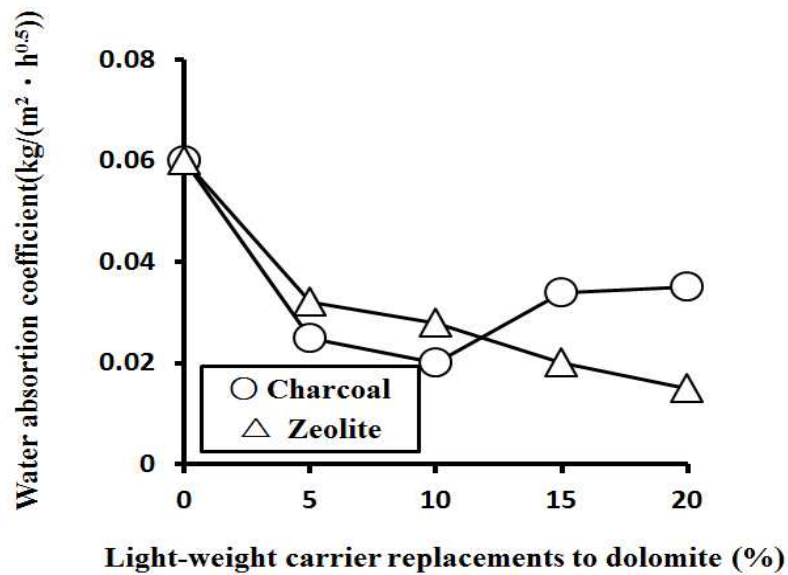


그림 2.2.66 0.075mm 이하 경량 담체 치환에 따른 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수

④ 내충격성

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 내충격성 시험 결과 모든 시험체에서 이상이 없는 것으로 나타났다.

표 2.2.13 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 내충격성 시험 결과

유형	Plain	VL5	VL10	VL15	VL20
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
유형	PL I -5	PL I -10	PL I -15	PL I -20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	PL II -5	PL II -10	PL II -15	PL II -20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	CC-5	CC-10	CC-15	CC-20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
유형	ZL-5	ZL-10	ZL-15	ZL-20	
내충격성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	

⑤ 내잔갈림성

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에서 내잔갈림성 시험 결과 표준 시험 조건에서는 잔갈림현상은 발생하지 않았다. 그러나 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르는 건조 경화되므로 습도 조건 변화에 따른 성능이 다를 것으로 예상되어 습도가 20% 조건에서 내잔갈림성 시험을 실시하였다. 그 결과 내잔갈림성은 급격히 악화되어 모든 시험체에서 균열이 발생하였다. 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르는 KS 규격 상의 조건에 부합하는 시험체의 개발은 가능할 수 있으나 현장의 기후 상황에 따라 하자가 발생될 우려가 높은 재료로 판별되었다. 시공 과정 상에서 외장에서는 아크릴 에멀전 모르타르를 상부에 도포함으로 완전 밀폐상태가 되어 이러한 초기 균열을 방지할 수 있을 것으로 판단되나 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르를 EPS 단열재의 부착재로 사용할 경우에는 수분 유실에 의한 초기 균열의 문제를 가지고 있어 재료적인 문제를 해결해야 할 필요성이 있음을 알 수 있었다.

표 2.2.14 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 내잔갈림성 시험 결과

유형	Plain	VL5	VL10	VL15	VL20
내잔갈림성 (표준 양생 조건)	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
내잔갈림성 (습도 20%)	균열발생	균열발생	균열발생	균열발생	균열발생
유형	PL I -5	PL I -10	PL I -15	PL I -20	
내잔갈림성 (표준 양생 조건)	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
내잔갈림성 (습도 20%)	균열발생	균열발생	균열발생	균열발생	
유형	PL II -5	PL II -10	PL II -15	PL II -20	
내잔갈림성 (표준 양생 조건)	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
내잔갈림성 (습도 20%)	균열발생	균열발생	균열발생	균열발생	
유형	CC-5	CC-10	CC-15	CC-20	
내잔갈림성 (표준 양생 조건)	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
내잔갈림성 (습도 20%)	균열발생	균열발생	균열발생	균열발생	
유형	ZL-5	ZL-10	ZL-15	ZL-20	
내잔갈림성 (표준 양생 조건)	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	
내잔갈림성 (습도 20%)	균열발생	균열발생	균열발생	균열발생	

⑥ 소결

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 목초액 함침 경량 담체의 치환 특성은 다음과 같다.

ㄱ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 온도에 따른 부착강도 특성은 저온에서 가장 높게 나타났으며, 이후로 고온과 상온의 순으로 부착강도가 높은 것으로 나타났다. 이는 경량 담체 내의 목초액의 초산 성분과 아민의 지연과 촉진 작용의 복합으로 인해 저온과 고온에서 높은 강도를 나타낸 것으로 판단된다.

ㄴ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 물흡수계수는 경량 담체의 혼입률이 증가할수록 치환율 10%까지는 저감되는 것으로 나타났으며, 0.075mm 이하의 골재를 사용할 경우 물흡수계수가 더 낮게 나타났다.

ㄷ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에서 질석과 펄라이트 2mm의 경량담체의 최적 혼입률은 20%였으며, 펄라이트 3mm와 활성탄, 제올라이트의 최적 혼입률은 10%인 것으로 나타났다.

마) 아크릴계 수지 모르타르의 성능 개선을 위한 첨가 배합 실험

본 절에서는 아크릴계 수지 모르타르의 성능 개선을 위하여 기본 배합에 대하여 첨가제를 혼입하여 성능을 개선하고자 하였다. 첨가제로서는 실란커플링제, 리튬실리케이트, 아크릴 수지를 혼입하였다.

① 유동성

ㄱ) 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 특성

아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 시 특성을 살펴보면, 첨가제의 혼입률이 증가할수록 유동성이 증가하는 것으로 나타났다. 아크릴 에멀전의 증가에서 가장 많은 유동성 증가를 보였으며, 실란커플링제의 혼입 시에는 다른 첨가제에 비해 가장 낮게 나타났다.

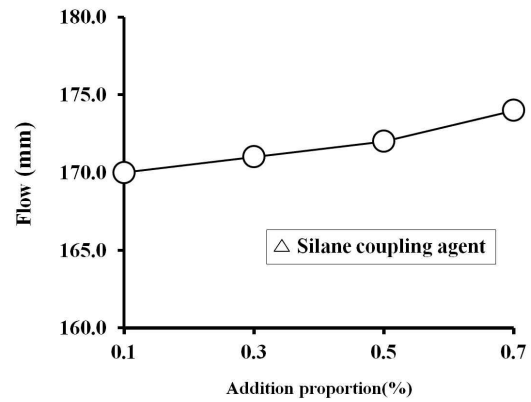
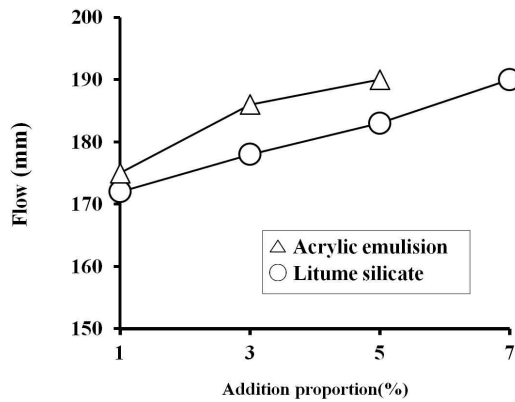


그림 2.2.67 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 특성

ㄴ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제 혼입 특성

리튬 실리케이트와 메톡시 첨가에 따른 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제 혼입 시 유동특성을 살펴보면 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에 대해 리튬실리케이트와 실란커플링제 및 아크릴 에멀전 모두 혼입률이 증가함에 따라 유동성은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이는 이들이 모두 액상 물질로 고형분을 제외한 물이 물시멘트비를 올려 주어 유동성이 향상된 것으로 판단된다.

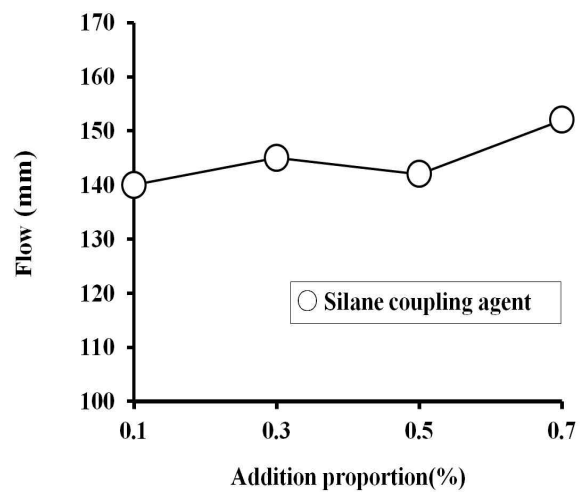
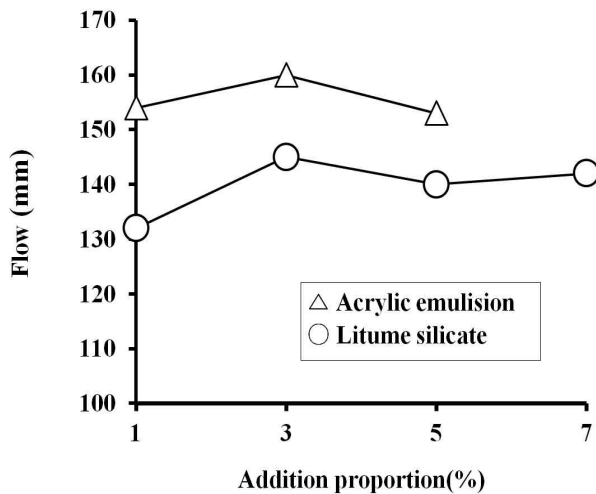
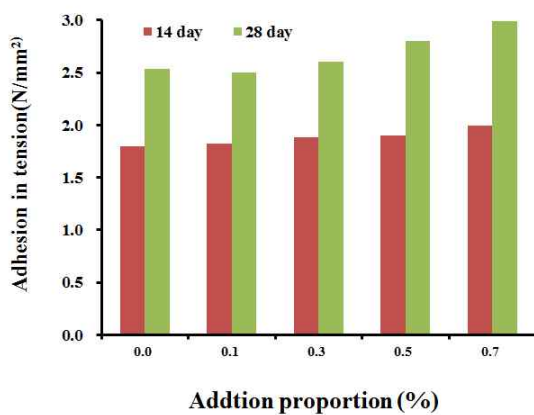


그림 2.2.68 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제 혼입 특성

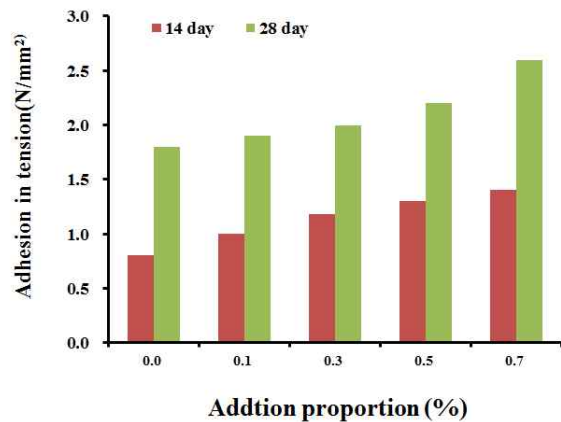
② 부착강도

ㄱ) 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 특성

아크릴 에멀전 모르타르에서 실란커플링제는 첨가율이 증가할수록 모든 재령에서 부착강도가 증가하였다. 아크릴 에멀전과 리튬실리케이트는 혼입률이 증가할수록 14일 강도는 약간 저하하였으나 28일 부착강도는 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 아크릴 에멀전과 리튬실리케이트의 수분이 많아 건조경화 시간을 지연시켜 초기 성능이 저하된 것으로 판단된다. 그러나 지속적으로 수분이 건조되어 필름 생성이 양호해짐에 따라 강도는 증가하는 것으로 판단된다.

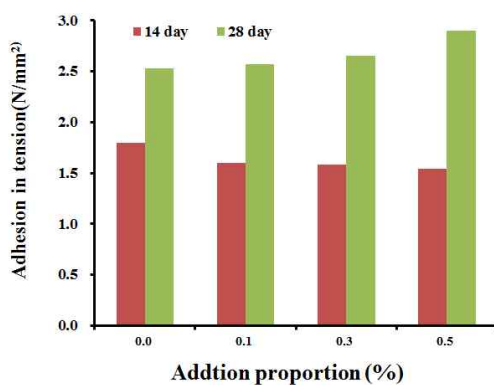


(a) Plain

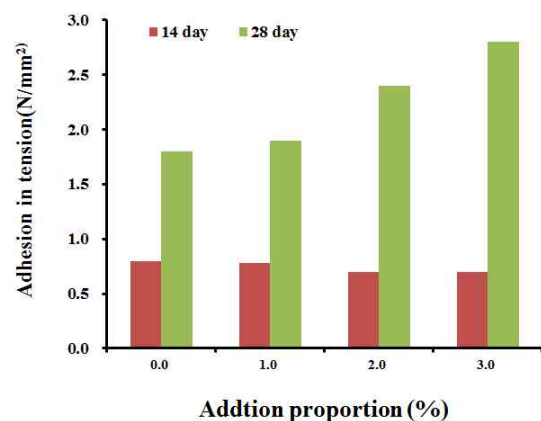


(b) 제올라이트 5% 치환

그림 2.2.69 실란커플링제 첨가에 의한 부착강도 변화

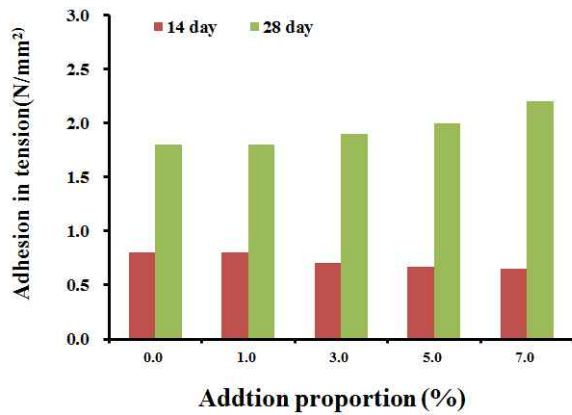


(a) Plain

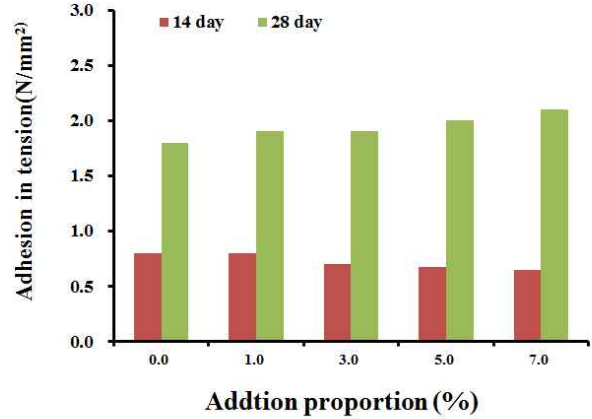


(b) 제올라이트 5% 치환

그림 2.2.70 아크릴 에멀전 첨가에 의한 부착강도 변화



(a) Plain

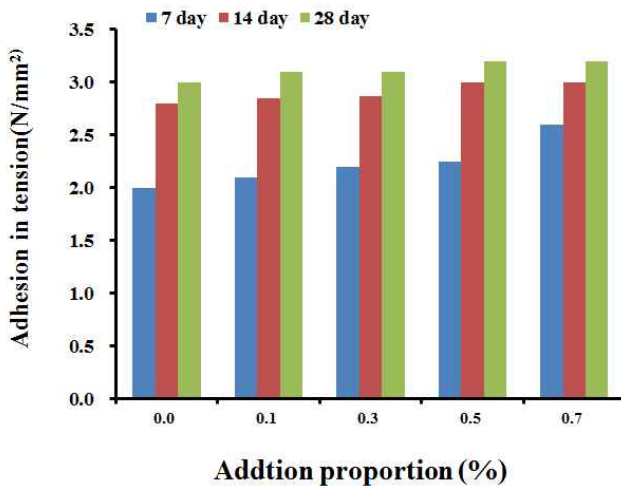


(b) 제올라이트 5% 치환 시

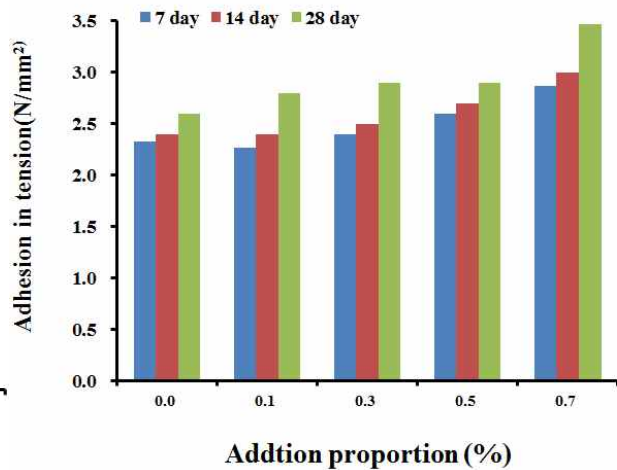
그림 2.2.71 리튬실리케이트 첨가에 의한 부착강도 변화

ㄴ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제 혼입 특성

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에서 실란커플링제는 첨가율이 증가할수록 모든 재령에서 부착강도가 증가하였다. 아크릴 에멀전 첨가는 시멘트 내 아크릴 에멀전의 증가와 함께 시멘트의 수화가 지연되어 부착력이 약간 낮게 나타나지만 재령 14일부터 무첨가에 비하여 부착강도가 상승하였다. 리튬실리케이트는 혼입률이 증가할수록 초기 강도가 증가하였으며, 이는 리튬실리케이트 내의 실리케이트가 수화를 촉진하여 강도를 증진시킨 것으로 판단된다.

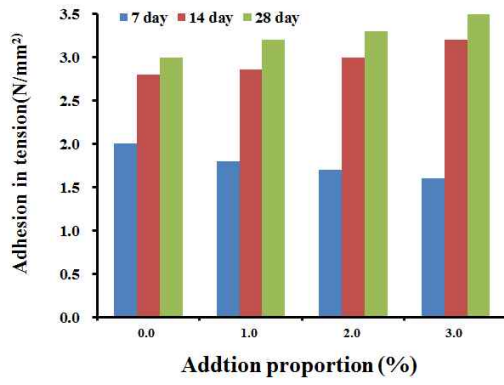


(a) Plain

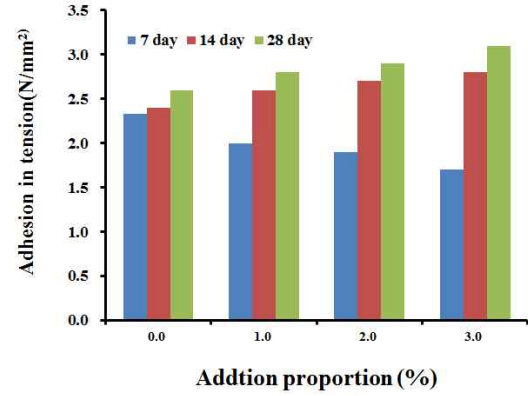


(b) 제올라이트 5% 치환 시

그림 2.2.72 실란커플링제 첨가에 의한 부착강도 변화

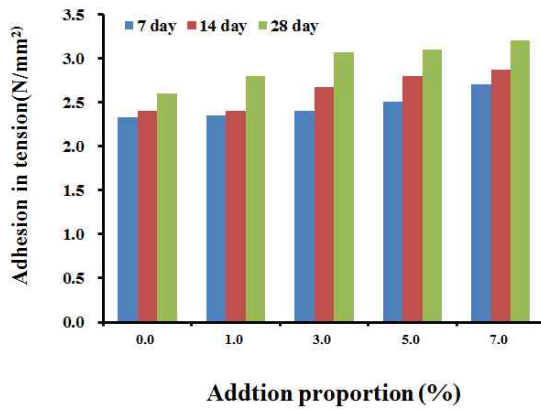


(a) Plain

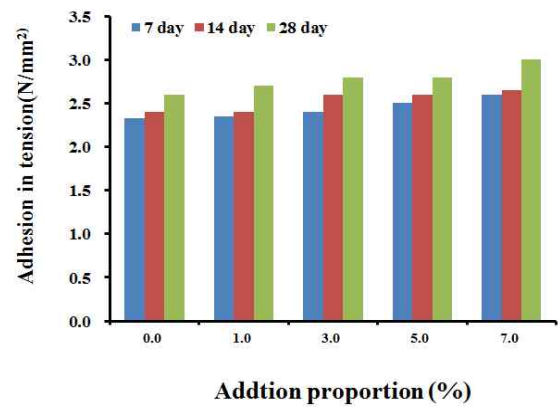


(b) 제올라이트 5% 치환 시

그림 2.2.73 아크릴 에멀전 첨가에 의한 부착강도 변화



(a) Plain



(b) 제올라이트 5% 치환 시

그림 2.2.74 리튬실리케이트 첨가에 의한 부착강도 변화

③ 물흡수계수

ㄱ) 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 특성

아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제 혼입 시 물흡수계수를 살펴보면 아래 그림과 같이 Plain 및 제올라이트 5% 첨가 두 경우 모두 첨가제의 혼입률이 증가할수록 물흡수계수는 점차 저하하는 것으로 나타났다. 실란커플링제와 리튬실리케이트는 경화체 내의 골재와 수지 간의 결합력을 향상하여 무첨가의 경우보다 좀 더 치밀한 구조를 나타내는 것으로 보인다. 수지량 증가의 경우, 필름 생성량이 증가됨에 따라 내수성이 향상된 것으로 판단된다.

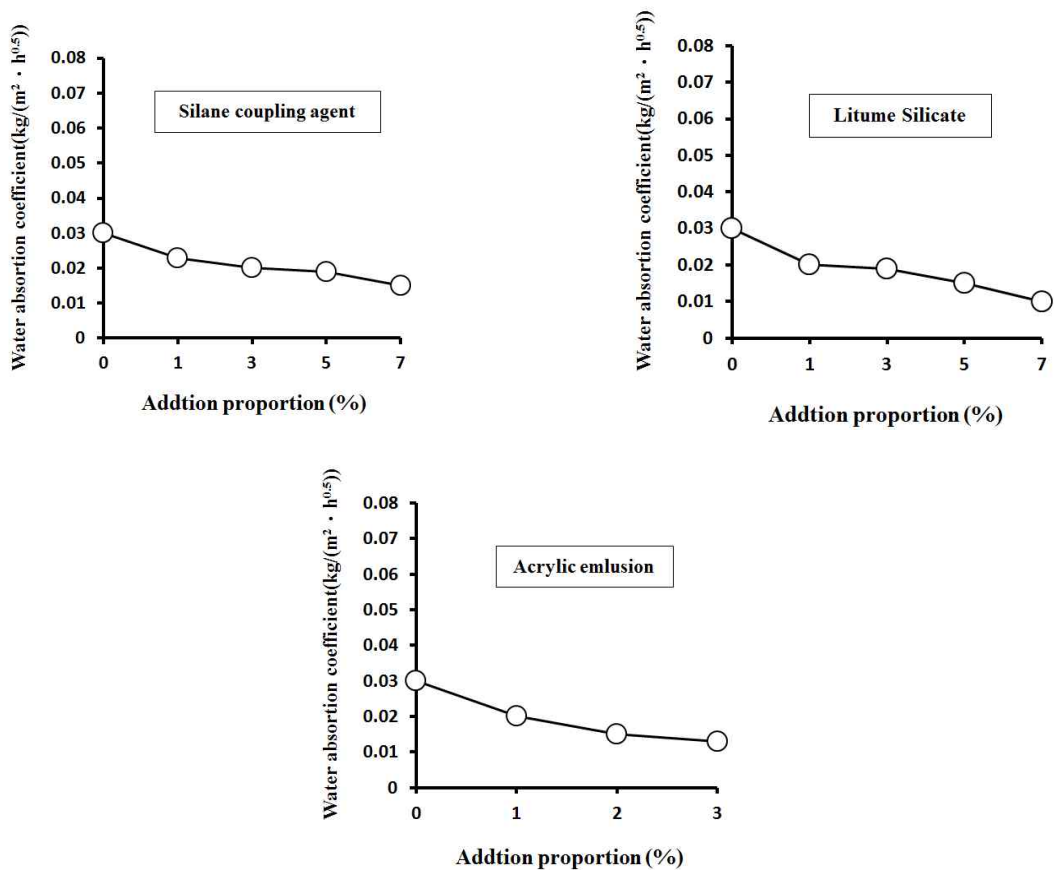


그림 2.2.75 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 (Plain)

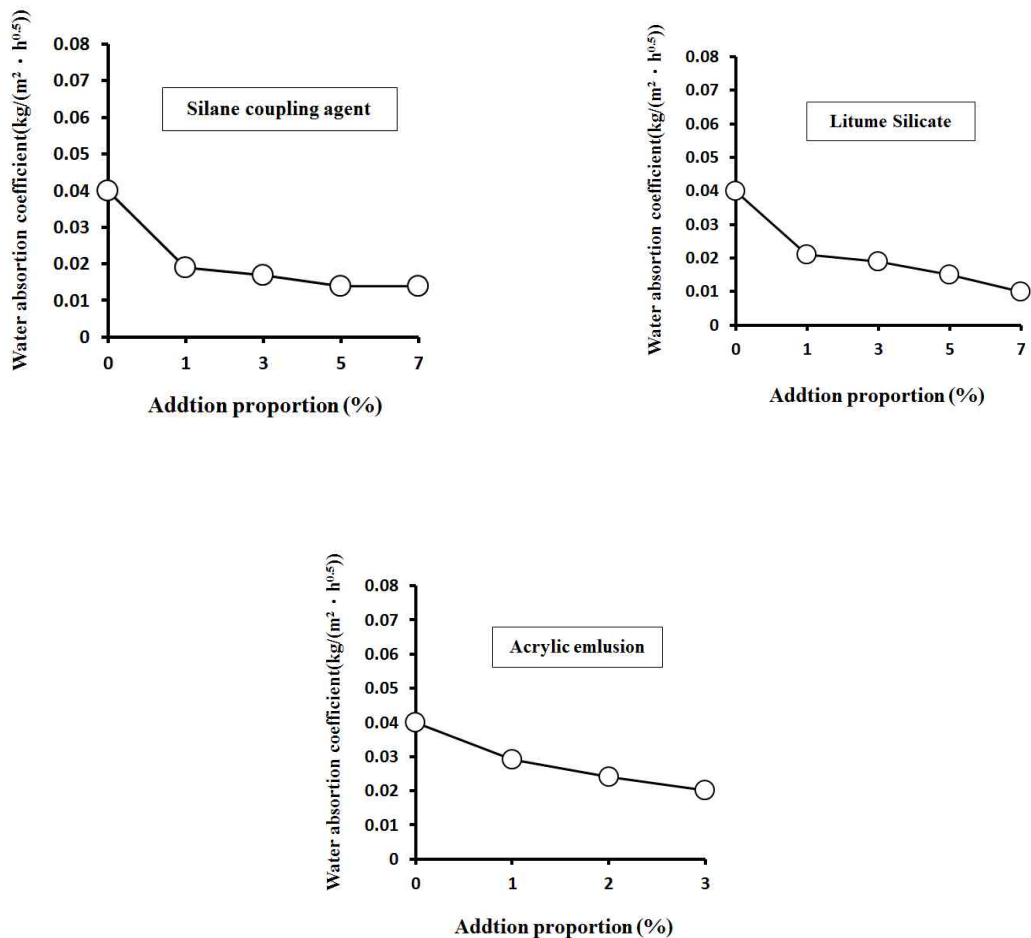


그림 2.2.76 아크릴 에멀전 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 (ZL - 5)

ㄴ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제 혼입 특성

아크릴 에멀전 혼입 모르타르의 첨가제 혼입 시 물흡수계수를 살펴보면, 아래 그림과 같이 Plain 및 제올라이트 5% 첨가 두 경우 모두 첨가제의 혼입률이 증가할수록 물흡수계수는 점차 저하하는 것으로 나타났다. 실란커플링제와 리튬실리케이트는 경화체 내의 골재와 수지 간의 결합력을 향상하여 무첨가의 경우보다 좀 더 치밀한 구조를 나타내는 것으로 보인다. 리튬실리케이트의 첨가가 가장 낮은 물흡수계수를 보였으며, 본 연구개발의 목표 수치인 물흡수계수 $0.01\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ 에 근접하는 것으로 나타났다.

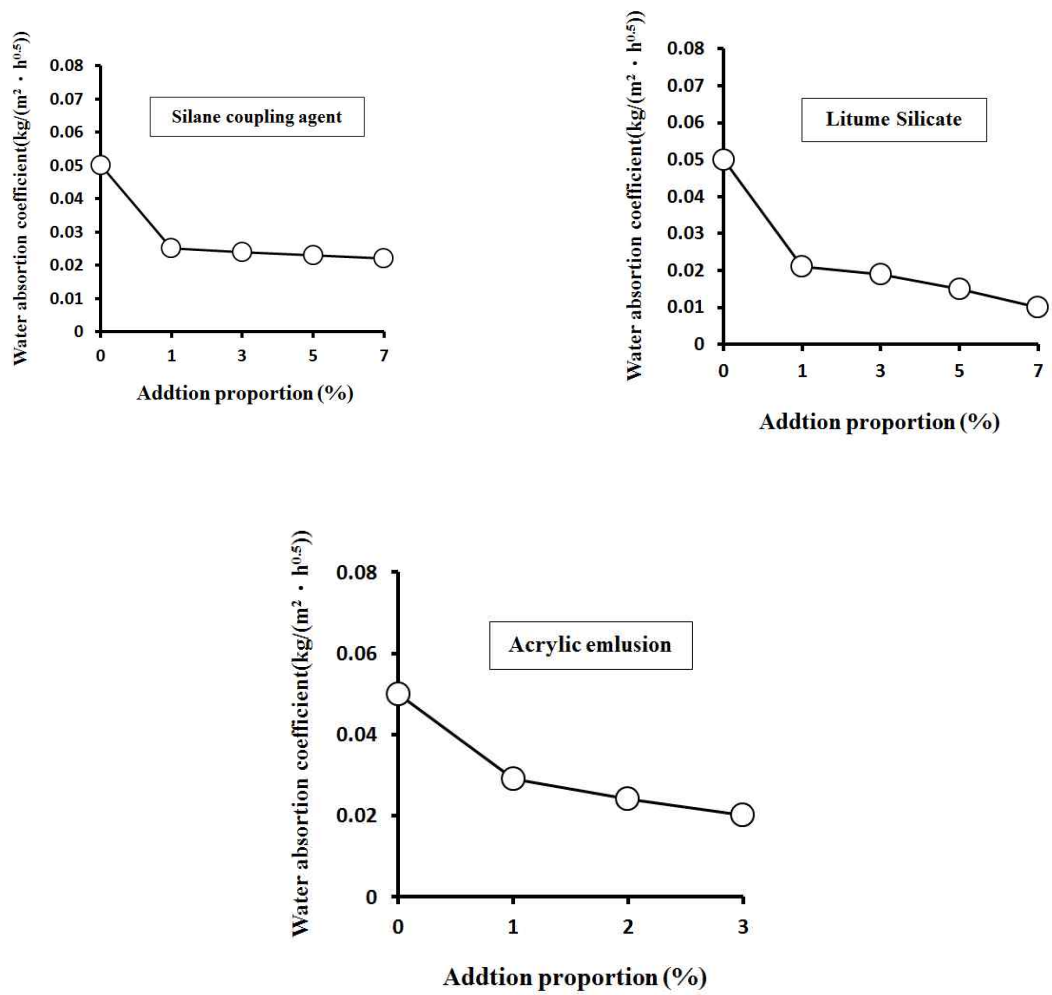


그림 2.2.77 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 (Plain)

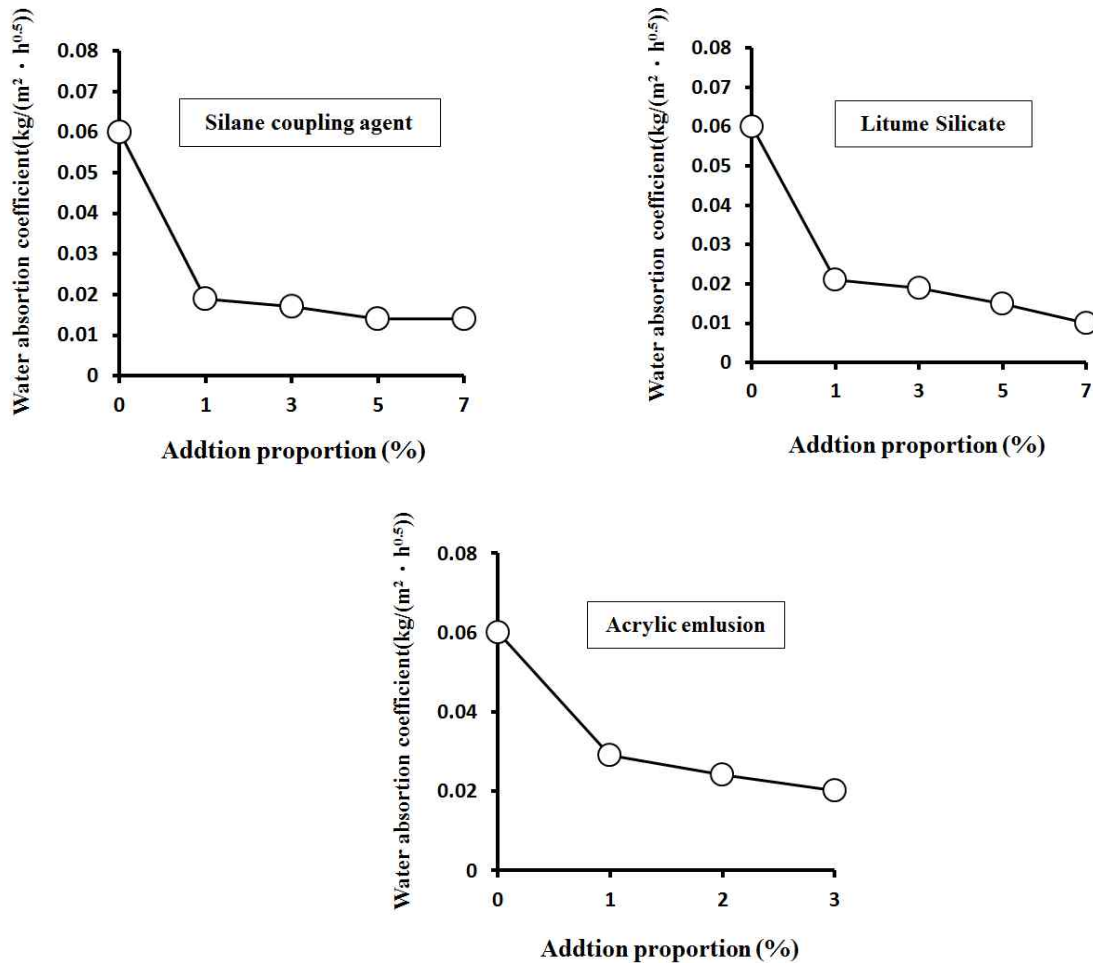


그림 2.2.78 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 첨가제에 따른 물흡수계수 - ZL-5

⑥ 소결

아크릴계 수지 모르타르의 첨가제 사용에 따른 특성을 살펴보면 다음과 같다.

ㄱ) 아크릴 에멀전 모르타르에서 첨가제 사용에 따른 부착강도 및 물흡수계수의 성능 개선은 유효한 것으로 나타났으며, 물흡수계수 등의 개선효과가 높은 것은 실란커플링제인 것으로 나타났다.

ㄴ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에서 첨가제 사용에 따른 부착강도 및 물흡수계수의 성능 개선은 유효한 것으로 나타났으며, 물흡수계수 등의 개선효과가 높은 것은 리튬실리케이트인 것으로 나타났다.

ㄷ) 각 첨가제의 사용은 경량 담체를 혼입한 경우에도 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타나 배합의 조정 시 첨가제를 사용한 성능 개선이 유효할 것으로 판단된다.

바) 아크릴계 수지 모르타르의 항균성능 평가

아크릴계 수지 모르타르의 항균성능을 확보하기 위하여 본 연구에서는 목초액 함침 골재 중 제올라이트계 함침골재를 주재료로 하여 아크릴 에멀전 모르타르와 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균 성능을 평가하고자 하였다. 또한 목초액 함침 제올라이트 경량 담체의 항균력의 강화를 위해 무기염계 항균제를 첨가하여 항균성의 변화를 관찰하였다. 항균성을 평가하기 위하여 다음과 같이 배합을 조정하였다.

실험에 사용된 배합은 KS F 4715와 KS F 4716 두 가지 형태의 시료의 골재의 용적에 대하여 각각 목초액 함침 제올라이트를 0, 5, 10, 15, 20% 혼입하고, 여기에 제올라이트 5% 혼입 시험체에 대하여 수지 무게에 비하여 무기항균제를 0.05, 0.1, 0.15, 0.2% 첨가하여 시험체를 제작하였다.

표 2.2.15 항균실험 변수

실험체규격	구분	목초액 함침 골재	무기항균제
아크릴 에멀전 모르타르 · 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르	Plain	0%	-
	ZL-5	5%	-
	ZL-10	10%	-
	ZL-15	15%	-
	ZL-20	20%	-
	ZL-5-0.05	5%	0.05%
	ZL-5-0.1	10%	0.1%
	ZL-5-0.15	15%	0.15%
	ZL-5-0.2	20%	0.2%

① 아크릴 에멀전 모르타르의 항균성능

아크릴 에멀전 모르타르에 대한 항균성능을 보면 우선 포도상구균에서는 Plain 시료는 대조군에 비하여 약 71% 가량 감소하였다. 제올라이트를 5% 치환 시부터 87.6%의 항균성을 나타내었으며, 제올라이트 치환율 10%에서부터 90% 이상의 항균성을 나타내었다. 무기항균제 첨가 시 세균 증식은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

대장균의 경우 또한 대조군 대비 Plain의 균 감소율은 80%로 포도상구균에 비하여 항균성이 높았다. 제올라이트의 치환에 따른 대조군 대비 감소율은 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 제올라이트 5%에서부터 항균성이 90% 이상인 것으로 나타났다. 무기항균제 첨가시 대장균은 검출되지 않았다.

표 2.2.16 포도상구균(*Staphylococcus aureus*)에 대한 아크릴 에멀전 모르타르의 항균성능

	최초접종균	시료 접종 후 배양균 수	대조군 대비 감소율	Plain 대비 감소율
대조군	1×10^5	1.70×10^{10}	-	-
Plain	1×10^5	4.84×10^9	71.5	-
ZL-5	1×10^5	2.1×10^9	87.6	56.4
ZL-10	1×10^5	1.29×10^9	92.4	73.3
ZL-15	1×10^5	7.8×10^8	95.4	83.8
ZL-20	1×10^5	1.7×10^7	99.9	99.6
ZL-5-0.05	1×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.1	1×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.15	1×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.2	1×10^5	$10 \leq$	-	-

표 2.2.17 대장균(*Escherichia coli*)에 대한 아크릴 에멀전 모르타르의 항균성능

	최초접종균	시료 접종 후 배양균 수	대조군 대비 감소율	Plain 대비 감소율
대조군	1.8×10^5	2.0×10^{10}	-	-
Plain	1.8×10^5	3.92×10^9	80.4	-
ZL-5	1.8×10^5	2.00×10^9	90.0	48.9
ZL-10	1.8×10^5	1.96×10^9	90.2	50
ZL-15	1.8×10^5	1.20×10^9	94.0	69.38
ZL-20	1.8×10^5	2.00×10^7	99.9	99.45
ZL-5-0.05	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.1	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.15	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.2	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-

② 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균성능 평가

아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르에 대한 항균성능을 보면 우선 포도상구균에서는 Plain 시료는 대조군에 비하여 약 80.4% 가량 감소하였다. 제올라이트를 5% 치환 시부터 90% 이상의 항균성을 나타내었으며, ZL-20에서는 99.9%의 항균성을 보였다.

대장균의 경우 또한 대조군 대비 Plain의 균 감소율은 81.7%로 포도상구균의 항균성과 유사하였다. 제올라이트의 치환에 따른 대조군 대비 감소율은 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 제올라이트 15%에서부터 항균성이 99%인 것으로 나타났다. 무기항균제 첨가 시 대장균은 불검출되었다.

표 2.2.18 포도상구균(*Staphylococcus aureus*)에 대한 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균성능

	최초접종균	시료 접종 후 배양균 수	대조군 대비 감소율	Plain 대비 감소율
대조군	1×10^5	1.70×10^{10}	-	-
Plain	1×10^5	3.43×10^9	80.4	-
ZL-5	1×10^5	1.80×10^9	91.0	47.5
ZL-10	1×10^5	1.96×10^9	90.2	42.8
ZL-15	1×10^5	9.20×10^8	95.4	73.1
ZL-20	1×10^5	2.01×10^7	99.9	99.4
ZL-5-0.05*	1×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.1*	1×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.15*	1×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.2*	1×10^5	$10 \leq$	-	-

Notes, * : Imorganic antibacterial replacements to binder

표 2.2.19 대장균(*Escherichia coli*)에 대한 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균성능

	최초접종균	시료 접종 후 배양균 수	대조군 대비 감소율	Plain 대비 감소율
대조군	1.8×10^5	2.0×10^{10}	-	-
Plain	1.8×10^5	3.70×10^9	81.5	-
ZL-5	1.8×10^5	2.00×10^9	90.0	45.9
ZL-10	1.8×10^5	1.10×10^9	94.5	70.2
ZL-15	1.8×10^5	6.00×10^7	99.7	98.37
ZL-20	1.8×10^5	2.00×10^7	99.9	99.45
ZL-5-0.05*	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.1*	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.15*	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-
ZL-5-0.2*	1.8×10^5	$10 \leq$	-	-

Notes, * : Imorganic antibacterial replacements to binder

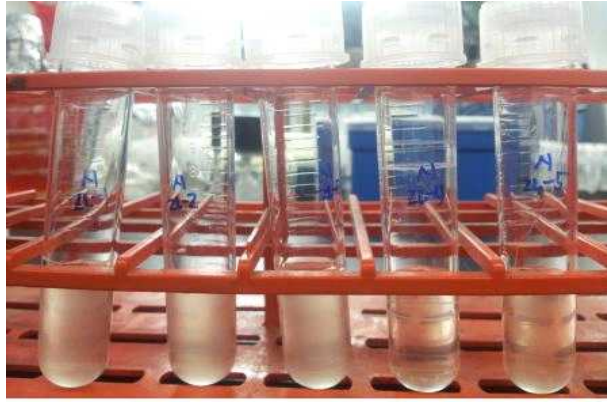


그림 2.2.79 대장균에 대한 항균성 실험 결과. 맨오른쪽이 대조군 시료



그림 2.2.80 대장균에 대한 항균성 실험 결과. 맨오른쪽이 대조군 시료

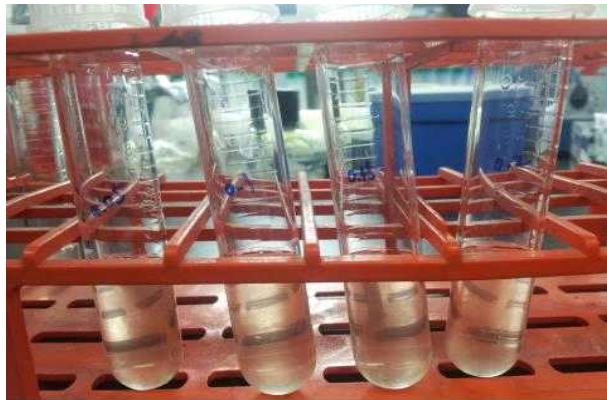


그림 2.2.81 시멘트혼입 방부제 1~4번 시료들 간 세균 증식 비교

③ 소결

아크릴 수지계 모르타르의 항균 성능을 살펴본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

ㄱ) 아크릴 에멀전 모르타르의 항균성능은 목초액 함침 경량 담체의 치환율 15%에서 90%이상으로 나타났다.

ㄴ) 아크릴 에멀전 혼입 시멘트 모르타르의 항균성능은 제올라이트 5% 치환에서부터 90%이상의 항균성을 갖는 것으로 나타났다.

사) 항균성 코팅제의 성능 평가

① 이론적 고찰

1980년대 후반부터 미국, 유럽, 호주 등에서 환경분야의 새로운 미래기술로써 본격적으로 연구되기 시작한 광촉매 관련 기술은 초기에는 광촉매의 강력한 산화력을 이용한 환경 오염물질 처리 기술 개발에 초점이 맞추어져 왔으나, 1990년 대 후반 광촉매 (특히 TiO_2)를 코팅한 재료 표면의 초친수성이 발견되면서 일본을 중심으로 각종 기능성 재료 개발이 대단히 활발하게 진행되고 있다. 특히 일본의 TOTO사는 2000년대 중반 광촉매를 이용한 기능성 재료의 시장이 세계적으로 수조원에 달할 것으로 보고 다양한 재료 개발에 부단한 노력을 하고 있다. 현재 일부 기능성 제품을 시판하고는 있으나 아직까지는 본격적으로 상업화를 하고 있지는 못한 형편이다. 우리나라에서는 많은 사람들이 광촉매에 대한 연구를 하고 있으나 대부분 환경오염물질 처리 기술로써 연구 중이며 기능성 재료로서의 연구는 선진국 특히 일본에 크게 뒤쳐져 있다.

TiO_2 광촉매를 코팅한 재료가 가지게 되는 두 가지 기능은 환경 오염물질 분해능과 자기 세정(self cleaning)기능이다. 환경오염물질 분해능은 TiO_2 광촉매에 태양에너지를 조사하게 되면 여러 가지 경로를 거쳐 강력한 산화력을 가지는 히드록시 라디칼(Hydroxyl radical)이 생성되는 데에 기인한다. 또한 자기 세정기능은 TiO_2 광촉매를 코팅한 재료의 표면이 초친수성을 띄게 됨에 따라 표면에 붙어 있는 먼지나 기름, 그을음 등이 빗물에 의해 쉽게 씻겨져 내려 인위적인 청소 등을 하지 않더라도 재료의 표면이 항상 깨끗하게 유지된다.

이러한 특성에 의해 광촉매를 코팅한 재료는 환경을 정화할 수 있을 뿐만 아니라 항상 깨끗한 외관을 유지할 수 있으므로 특히 건축분야에 그 용도가 광범위하게 응용될 수 있을 것으로 여겨지고 있다. 건축자재로서 이러한 기능성 재료가 이용될 경우, 대기 오염의 완화, 실내공기오염 제거, 유지관리 비용 절감, 건축물의 수명 연장 등 그 효과가 지대할 것이다.

a) 산화티탄 광촉매

① 광촉매 이론과 활용

반도체 물질에 일정 세기 이상의 빛을 쏘이면 전자가 여기(勵起, excitation)된다. 전자가 여기 되는데 필요한 에너지 값을 밴드갭 에너지(band-gap energy)라 부르며, 물질마다 밴드갭 에너지가 다르다. 고체 광촉매는 밴드갭 에너지가 상대적으로 적은 반도체이며, 액체 광촉매는 특정 빛에 여기될 수 있는 금속착제이다. 반도체에 밴드갭 이상의 에너지가 가해지면 가전자대(Valence band; V_b)에서 전도대(Conductionband; C_b)로 전자가 이동한다. 이때 V_b 에서 C_b 로 이동한 전자를 자유전자라고 하며 V_b 에 남아있는 전자가 비어 있는 자리를 정공(Electron hole)이라고 부른다. C_b 에 있는 자유전자를 제공받은 물질은 환원되며 V_b 의 정공에 닿은 물질은 산화된다.

산화·환원 전위차는 광촉매 종류에 따라 각각 다르다. 표 2.2.20에 광촉매로 사용할

수 있는 물질을 정리하였다. 산화 환원 반응으로 광촉매 반응이 시작되기 때문에 밴드 갭은 광촉매 활성을 결정하는 중요 인자이다. 산화티탄은 화학적 안정성과 광 안정성이 높으면서도 광촉매 활성이 높고 인체에 무해하여 광촉매로 가장 많이 사용한다. 산화티탄 입자에서 광촉매 반응을 그림 2.2.82에 나타내었다.

산화티탄 표면에 밴드갭 에너지 이상의 빛이 쏘여지면 Vb와 Cb에 정공과 자유전자가 생성된다. 정공은 산화제로 작용하여 물을 산화시켜 수산화기(OH Radical)를 생성한다. 자유전자는 공기 중의 산소를 환원시켜 O_2^- 등 활성산소를 생성하여 광분해반응에 참여한다. OH 라디칼과 활성 산소에 의해 유기물이 최종 생성물인 CO_2 와 H_2O 로 분해된다.

그림 2.2.83에 몇 가지 광촉매의 밴드갭 에너지를 나타내었다. 산화티탄의 밴드갭 에너지는 3.2 eV이며, 에너지를 빛의 파장으로 환산하면 약 380 nm에 해당한다. 산화티탄은 자외선이 6% 포함되어 있는 태양광을 이용할 수 있는 광촉매이어서 환경 친화적이며 에너지 절약 측면에서도 기대가 크다.

표 2.2.20 광촉매의 종류

분류	물질
고상 (Metal oxide and sulfides)	TiO_2 , ZnO , Nb_2O_5 , WO_3 , SnO_2 , ZrO_2 ,... $SrTiO_3$, $KTaO_3$, $Ni-K_4N_{66}O_{17}$,... CdS , ZnS ,... $CdSe$, GaP , $CdTe$, $MoSe_2$, WSe_2 ,...
액상 (homogeneous meta comlex etc.)	$[Ru(bpy)_3]^{2+}$, Cocomplex, Rhcomplex Porphyrin derivatives(Zn , Al , Mg ,...)

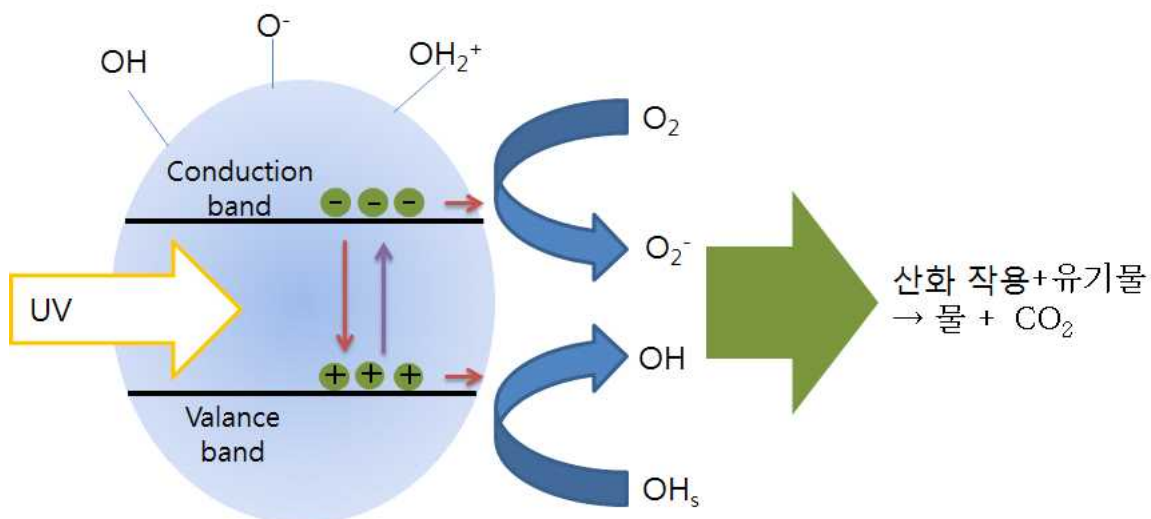


그림 2.2.82 광촉매의 반응

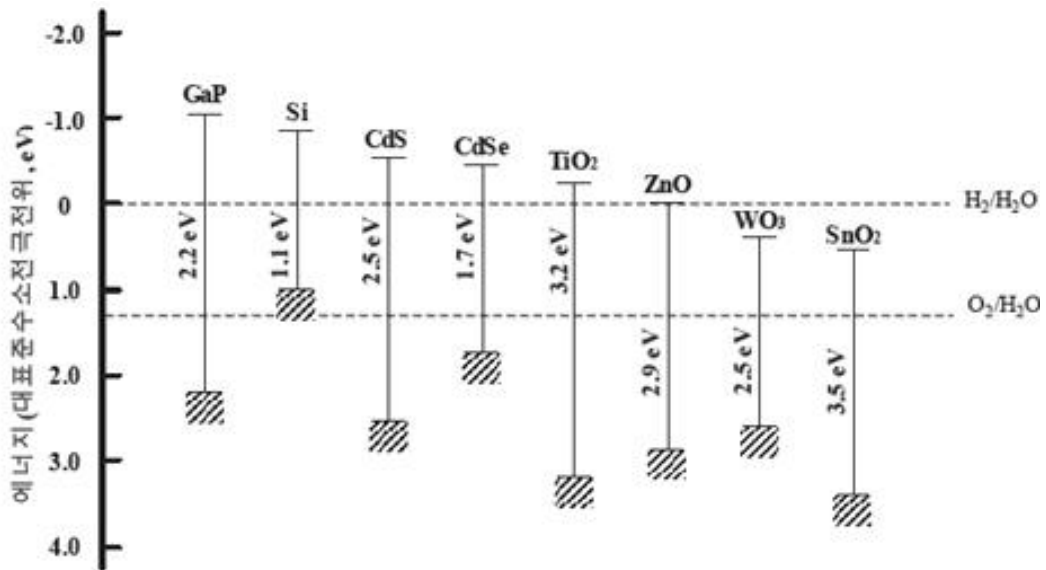


그림 2.2.83 광촉매의 밴드갭 에너지

산화티탄은 결정구조에 따라 아나타제, 루타일, 브루카이트로 구분한다. 브루카이트는 구조가 아주 불안하여 자연계에만 존재하며, 합성하기가 매우 어려워 많이 사용하는 산화티탄은 아나타제와 루타일이다. 아나타제를 고온에서 가열하면 루타일로 상전인다. 제조방법에 따라 차이가 있으나, 900℃ 이상에서는 루타일이 열역학적으로 안정하므로 고온에서 소성하면 모두 루타일로 상전이된다.

두 가지 산화티탄 모두 광촉매 활성이 있으나, 아나타제가 루타일보다 광활성이 우수하다. 표 2.2.21에 결정 구조가 다른 두 종류 산화티탄의 물성을 정리하였다. 광촉매의 활용 분야는 산화티탄 표면에서 발생하는 OH 라디칼과 활성산소의 이용방법에 따라 구분한다.

표 2.2.21 산화티탄 종류에 따른 물성

Property	Anatase	Brookite	Rutile
Crystal	Tetragonal	Orthohombic	Tetragonal
Density(g/cm ³)	3.9	4.0	4.23
Refractive index	2.55	—	2.76
Dielectric constant	48	—	114
Hardness(Mohs)	5.5~6.0	5.5~6.0	7.0~7.5

- 수질정화

광촉매를 이용하면 물 속의 세균과 유해 화학물질을 분해할 수 있어 폐수처리가 가능하다. 난분해성 물질인 유기 염소계 화합물, 질소 화합물, 폐늘계 화합물의 분해와 제초제, 살충제, 폴리염화비페닐(Polychlorinated biphenyl; PCB)의 독성을 낮춘다. 따라서 광촉매로 유해물질을 제거하고 살균한 물은 식수로 이용할 수 있다. 시중에서 일반적으로 사용하는 정수기에서 필터로 오염물질을 여과한다. 여과하여 깨끗한 물을 제조하나 사용기간이 길어지면 세균의 오염은 막기 어렵다. 필터에 오염물이 축적되면 세균 증식이 우려된다. 광촉매를 이용한 살균처리가 효과적이며, 필터와 냉각탑의 냉각수 살균에 적용할 수 있다. 특히 여름철 냉각탑은 세균증식의 온상으로 건물에 거주하는 사람은 세균 감염의 위험에 노출되는데 광촉매를 이용하여 해결할 수 있다. 군 작전지역 내 물은 오염 위험으로 식수로 활용할 수 없지만, 광촉매를 이용한 정수 장치는 살균과 함께 유해물질 제거 기능이 있어 식수 제조가 가능하다. 도심 공공시설에서 물이나 생활하수, 공업용수 등의 재활용에도 광촉매로 사용하여 수자원 확보에도 기여할 수 있다.

- 대기정화

주택 실내가 밀폐화되고 산업현장에 화학제품을 많이 사용하면서 유해 화학 물질에 의한 대기 오염이 심각하다. 생활공간의 오염 물질은 호흡 과정에서 몸에 들어와 해를 끼친다. 새로 입주한 아파트의 실내 벽지, 장판, 가구 등에서 포름알데히드, 아세트알데히드, 클로로포름, 톨루엔, 벤젠 같은 유기 용매가 끊임없이 배출되어 거주하는 사람의 건강을 크게 해친다. 이러한 유기용매 등 유해 화학물질을 광촉매로 제거하는 방법이 개발되었다. 광촉매를 실내의 벽지나, 블라인드, 장식품 등에 뿌려서 실내조명에서 나오는 빛으로 광촉매 반응을 일으켜 오염물질을 분해시킨다. 내부에 자외선 램프를 설치한 광촉매 대기 정화장치도 개발되었다. 광촉매는 실내에 있는 유해화학물질을 분해할 뿐만 아니라 세균이나 진드기 등을 죽이는 살균효과도 있다. 환기가 어렵고 많은 사람들이 거주하는 곳에서는 암모니아, 메틸메르캅탄, 황화수소 등 오염물질이 축적되는데, 이들 역시 광촉매로 분해 가능하다.

광촉매는 도시의 대기오염 방지 및 정화에도 도움을 준다. 자동차의 급증으로 도심 대기는 자동차 배기가스의 질소산화물과 황산화물로 오염되어 있다. 광촉매로 질소산화물과 황산화물을 질산이온이나 황산이온으로 산화시키면 물에 녹아 제거되므로 대기 오염을 줄일 수 있다. 건물 외벽이나 도로의 표지판, 가드레일 등에 광촉매를 설치하여 대기를 정화한다. 타일이나 유리, 석재 등 건축 외장재에도 광촉매를 적용할 수 있으며, 시멘트에 혼합하여 건축물 스스로 대기를 정화할 수도 있다.

광촉매에는 난분해성 환경호르몬을 분해하는 장점이 있다. 대기에 극미량 들어있어 사람의 건강을 위협하는 다이옥신이 있다. 대기 중 농도가 피코 단위 이하로 아주 낮지만, 독성이 아주 강하다. 내분비계 교란으로 치명적이나, 화학적으로 안정한 농도가 아주 낮아 제거하기가 어려우나 광촉매로 이를 제거할 수 있다.

- 친수·방오 기능

광촉매에는 친수(hydrophilic)·방오(anti-fouling) 기능이 있다. 광촉매 표면이 빛에 의해 초친수성이 된다. 대기 중 오염물질이 광촉매 표면에 부착하면 광촉매에 의해 분해되고, 분해되지 못한 물질은 초친수성 광촉매 표면에서 빗물로 쉽게 씻겨진다. 외장재 표면에 광촉매를 코팅한 건물은 광촉매의 방오 기능으로 깨끗한 상태가 오래 유지되므로 청소비용이 절감된다.

광촉매의 초친수 성질을 자동차 사이드 미러에 적용하면 효과적이다. 비오는 날에는 사이드 미러에 물방울이 맺혀 뒤차가 잘 보이지 않아 사고 위험이 높다. 그러나, 광촉매를 코팅한 사이드 미러에서는 물방울이 맺히지 않아 이런 위험을 막을 수 있다.

- 항균·살균·소취

광촉매 기술은 다양한 분야에서 응용할 수 있지만 특히 주목되는 효과는 항균 작용이다. 광촉매에서 발생한 OH 라디칼과 super-oxide 음이온이 박테리아 세포막에 달라붙어 산화 분해하면서 세포막을 파괴한다. 광촉매는 자체 한계로 한꺼번에 대량의 물질을 분해하기에 부적합하지만, 세균이나 바이러스처럼 처음에는 개수가 적으나 급격히 증가하는 물질을 처음 단계에서 제거하는데 효과가 크다.

일반적으로 항균제는 박테리아가 접촉하여야 효과가 나타나지만, 광촉매 표면에 빛을 쬐어주면 전자가 계속 이동하므로 정공이 특정 부위에 형성되지 않는다. 정공에서 생성된 OH 라디칼과 전자에 의해 생성된 super-oxide 음이온이 표면 전체에 퍼져 있으므로 박테리아와 접촉 가능성이 아주 높아 항균, 살균, 방취 성능이 아주 뛰어나다.

일반 항균제는 일정시간이 지나면 항균 효과가 떨어지지만, 광촉매는 그 기능이 반영구적이고 유지 보수가 필요하지 않다. 현재 사용 중인 은계 항균제는 세균을 죽일 수는 있으나, 그 잔존물이 그대로 남아 오염원이 된다. 이러한 2차 오염으로 표면이 더러워지면 살균작용이 떨어진다. 그러나 광촉매는 이러한 오염원도 모두 분해하므로 잔존물에 의한 오염을 막을 수 있다. 대장균이 죽으면 엔도톡신(endotoxine)이라는 독소가 나와인체에 발열을 일으키고, 최악의 경우 죽음에 이르게도 하지만 광촉매는 살균과 동시에 이 독소도 분해할 수 있다.

③ 광촉매 연구 동향

초기의 광촉매 연구와 실제 생활에 적용이 일본에서 활발하게 이루어졌으나, 현재는 세계 각국에서 진행되고 있다. 광촉매 시장이 생활 주변에서 점차 일차 산업으로 발전하여 전 산업 분야로 확대된다. 시장 규모는 2020년에는 약 3,000억엔 정도로 형성되리라 전망된다.

중국에서는 산업 전반에 걸쳐 다양하게 광촉매를 적용하고 있다. 광촉매 살균과 유기물 제거 단계에서는 최근 자정작용과 김서림 방지를 활용한 응용제품개발로 범위가 확대되고 있다. 중국 광촉매 산업은 정책적인 지원으로 매우 빠르게 산업화되고 있으며, 환경개선에 관련된 상품이 연이어 출시되고 있다. 현재 중국에서 시판되고 있는 응용제품은 공기청정기, 자정작용 타일, 김서림 방지 재료, 수처리 장치, 에어컨 탈취 재

료, 살균 재료 등으로, 광촉매의 발전 방향을 보여주고 있다.

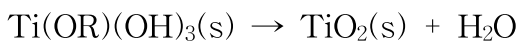
우리나라에서도 광촉매 기술 개발이 꾸준히 이루어지고 있다. 수처리 장치, 대기처리 장치, 조명 기구류, 청소 관련, 공기청정기, 유리 제품 등 응용제품이 많이 개발되었다. 국내 광촉매 시장은 초기에 중소기업 위주로 형성되었으나, 광촉매에 대한 관심이 커지면서 대기업도 속속 시장에 뛰어들고 있다. 대기업은 공기청정기 등 광촉매를 응용한 제품을 중소기업은 광촉매 코팅 및 원료 제조에 역점을 두고 있다. 실내 오염물질 제거와 응용제품 생산에 주력하였으나 점차 건축물 외부에 광촉매를 적용하는 방향으로 바뀌어 가고 있다. 일본에서 지방자치단체와 연계하여 도로 설비에 광촉매를 적용한 것처럼 우리나라에서도 비슷한 시도가 진행되고 있다.

최근에는 고유가로 인하여 에너지에 관심이 높아지면서 환경재료로 연구되던 광촉매가 초기에 각광을 받았던 물분해 재료로 연구되고 있다. 국내 광촉매 시장규모를 KISTI는 2004년에 약 520억원에서 2010년 1,157억원 시장으로 성장하리라 예상하였다. 산화티탄이 저렴한 가격으로 공급되면 응용 및 활용분야가 더욱 넓어져서 이러한 전망이 현실이 될 수 있다.

◎ 산화티탄 광촉매 제조

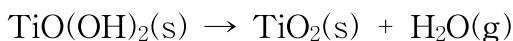
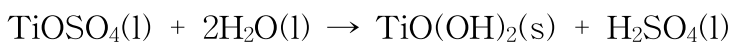
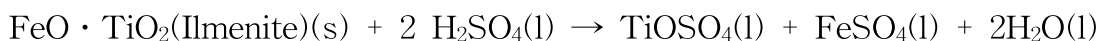
산화티탄 제조공정은 졸-겔법, 황산법, 염소법으로 매우 다양하다.

- 졸-겔 법



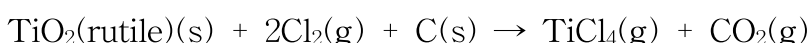
졸-겔법에서는 티타늄알콕사이드를 가수분해하여 졸을 만든 후 이들을 결합하여 산화티탄을 제조한다. 가수 분해된 졸을 지지체 표면에 담지하면 산화티탄 박막을 얇게 코팅할 수도 있다.

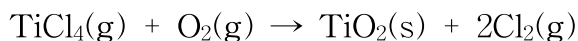
- 황산법



일메나이트 등의 티타늄 광석을 황산에 녹여 만든 황산티타늄을 중화하여 수화된 수산화 티타늄을 만든 후 소성하여 산화티탄을 만든다.

- 염소법





티타늄 광석에 염소가스를 반응시켜 제조한 TiCl_4 증기를 산소 분위기의 고온($700 \sim 1000^\circ\text{C}$)에서 연소하여 산화티탄을 제조한다. Evonik의 P-25는 이 방법으로 제조한 대표적 상용 산화티탄으로서, 광촉매 활성이 높고 안정성이 우수하여 널리 사용하고 있다.

④ 광촉매의 문제점

- 가시광 감응

산화티탄 광촉매는 최근 환경문제가 부각되면서 청정하고 무한정한 에너지원인 태양광을 이용하는 환경친화형 촉매로써 주목을 받고 있다. 그러나 기존 광촉매로 사용하는 산화티탄 광촉매는 자외선 영역 빛에 의해서만 광촉매 반응이 일어나는 한계가 있다. 대기권의 오존층을 통과하여 지표면에 도달하는 태양광에는 약 6% 정도만이 자외선 영역이고, 가시광선 영역은 약 52%이다. 따라서 태양광의 가시광선에도 활성화될 수 있는 방법이 다양하게 모색되었다. 가시광 영역에서는 광촉매 성능이 나타나도록 전이금속, 광감응제 염료, 음이온을 도핑한다.

Fe^{3+} , Cr^{3+} , Li^{3+} , In^{3+} , W^{6+} , Nb^{5+} 등 여러 가지 전이금속이온을 광촉매에 도핑하여 가시광선에 의한 활성화를 시도한다. 금속이온의 혼입되어 광촉매의 페르미 준위를 변화시켜 전자띠 굽힘 현상을 심화시켜 전자-정공의 재결합을 억제하는 효과도 있다. 효율을 더 높이기 위하여 Ru, Ni, Pt 등 금속이나 금속산화물을 광촉매에 담지한다. 이들이 광촉매에 담지되어 있으면 촉매 표면에선 전자와 정공의 전달을 촉진하여 반응성을 증대시킨다.

광감응체(Dye-Sensitizer) 염료를 담지하는 방법은 가시광선 영역의 빛을 흡수하여 여기하는 광감응 염료를 산화티탄 박막에 흡착시켜서 전자이동을 돕는다. 이들 광감응 염료는 500 ~ 600nm 대의 가시광선을 흡수하여 여기하므로 자신의 전자를 반도체 물질의 전도대로 전해주어 전자를 이동하게 한다.

음이온을 도핑하는 방법에서는 고온에서 아나타제 산화티탄을 질소, 탄소, 황, 불소가 함유하는 가스나 전구체를 같이 소성한다. 산소결함 형태의 생성물은 400nm 이상의 가시광 영역에 대해서도 광촉매 활성이 높다.

이러한 가시광 감응 광촉매 제조 방법으로는 산화티탄에 고가의 금속 이온 및 귀금속을 도핑하거나 추가 열처리하므로 가격이 아주 비싸지는 문제점이 있다.

- 기재 제한

산화티탄 광촉매를 섬유, 플라스틱이나 유기 바인더와 같이 사용하면 이들이 광촉매에 의해 분해되므로 같이 사용하지 못하는 문제점이 있다. 그러나 산화티탄 광촉매 표면에 세라믹을 부분적으로 붙여 만든 산화티탄 하이브리드 광촉매로 이를 해소할 수 있다. 대표적인 방법으로 마스크메론형과 별사탕형 광촉매가 있다. 마스크메론형 광촉매

매는 산화티탄 표면을 광촉매 활성이 없는 실리카 등 세라믹으로 덮어 씌운 것이다. 섬유, 플라스틱이나 유기 바인더가 광촉매 기능이 없는 실리카 때문에 산화티탄과 직접 접촉하지 못하므로 이들이 분해되지 않는다. 별사탕형 입자는 산화티탄 표면에 광촉매 활성이 없는 아파타이트 등 세라믹을 별사탕 모양으로 덮어 씌워 만든다. 섬유, 플라스틱이나 유기 바인더에 첨가하여도 광촉매 작용이 없는 아파타이트 때문에 산화티탄과 직접 접촉하지 못한다. 반면 악취물질, 균, 곰팡이는 산화티탄 표면에 접촉하여 분해되거나 살균된다.

- 고가의 산화티탄 광촉매

유럽 각국에서는 실외 공기의 질에 대한 관심이 매우 높아서 법제도를 구비하여 이를 개선하려고 노력한다. 1970~2002년에 걸쳐 유럽의회에서 5차에 걸쳐 환경 행동 계획을 채택하여 환경정책의 기준을 제시하였다. 2003년 6차 환경 행동 계획에서는 NOx 감소를 포함한 공기질 개선 방안을 채택하였다. 2008년 3월 21일 공기질 개선 관련 2008/50/EC Directive(훈령)을 채택하여, 2010년까지 참여 국가가 관련 훈령을 이행하기 위한 제반 수단을 구축하기로 합의하였다. 그러나, 이의 이행이 쉽지 않아서 2011년 2월 9일 유럽의회에서 NO₂를 단계적으로 줄이기 위해 2015년까지 이의 시행을 유예하였다.

유럽에서 실외 공기의 질적 개선에서 가장 중요한 대상은 대기 중의 NOx의 감축이다. 디젤자동차 등 도로수송 부분의 NOx 방출량 비율은 46%로 가장 높아, Euro Standard(자동차 배출가스 규제등급)을 시행하여 자동차의 NOx 방출량저감을 강력하게 유도하고 있다. 아울러 이미 방출된 NOx를 줄이기 위한 수단으로 광촉매 기술의 적용을 시도하고 있다. 시멘트 메이저 업체인 이탈시멘티에서는 광촉매가 혼합된 광촉매 시멘트와 이를 이용하여 제조한 건축 구조물과 보도 블록을 전 세계적으로 판매하고 있다. 다른 시멘트 업체나 보도블록 업체들도 광촉매 콘크리트 시장에 뛰어드려고 준비하고 있다. 그러나 산화티탄 광촉매의 가격이 25-30 EURO로 시멘트에 비해 매우 고가이어서 광촉매의 콘크리트 시장이 쉽지 않다. 중국의 산업 발달과 대기환경 규제로 인하여 SCR 촉매 시장이 급속도로 커지면서 산화티탄 가격이 지속적으로 상승하고 있다. 티타늄 금속의 수요도 많아져 광촉매 산화티탄의 가격도 동반 상승하고 있다. 광촉매 응용기술에 의한 보급을 극대화하기 위해서는 광효율이 좋은 값싼 광촉매 제조가 필수적이다.

② 수분 접촉각 시험 결과

표 2.2.22 코팅제의 배합과 수분 접촉각

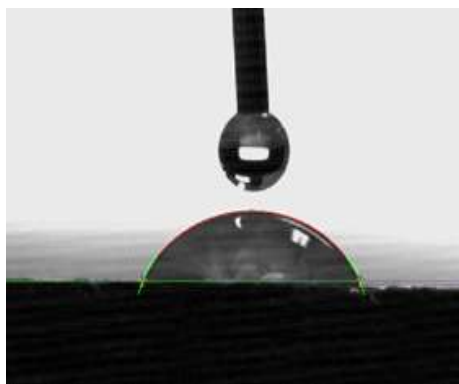
Mix No.	아크릴 에멀전	리튬실리케이트	목초액	TiO ₂	각도
1	100				75.6
2	80	20			61.7
3	75	20	5		61.4
4	70	20	10		60.0
5	65	20	15		49.5
6	60	20	20		51.4
7	60	40			56.2
8	55	40	5		55.7
9	50	40	10		53.2
10	45	40	15		51.9
11	40	40	20		48.7
12	65	19	15	1	59.4
13	65	18	15	2	58.1
14	65	17	15	3	44.5
15	65	16	15	4	47.1
16	65	14	15	5	46.9
17	45	39	15	1	42.1
18	45	38	15	2	49.7
19	45	37	15	3	50.4
20	45	36	15	4	47.9
21	45	35	15	5	42.8
22	19	70	10	1	36.4
23	9	80	10	1	30.1
24	17	70	10	3	28.7
25	15	70	10	5	27.4
26	7	80	10	3	26.5
27	5	80	10	5	25.3

실험 결과 먼저 아크릴 에멀전 수지의 수분 접촉각은 66.3°로 나타났으며 여기에 리튬 실리케이트의 비율이 각각 20%와 40%을 치환했을 경우, 61.7°, 56.2°로 나타났으며, 20% 치환 시 약 4~5°의 접촉각 차이가 나타났다.

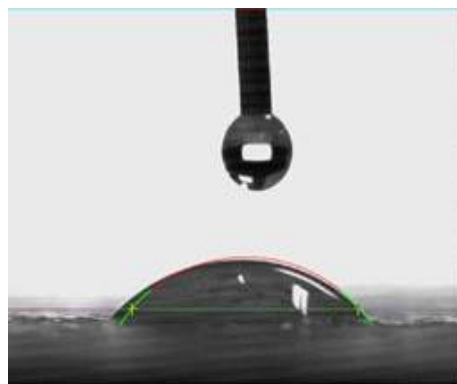
목초액을 아크릴 수지 대비 각 5%씩 혼입하였을 경우에는 리튬실리케이트 20%일 경우, 61.7°에서 61.4°, 60.0°, 49.5°, 51.4°로 수분접촉각이 감소하였으며, 리튬실리케이트 40% 일 때 56.2°, 55.7°, 53.2°, 51.9°, 48.7°로 수분접촉각이 감소하였다. 이는 산성의 목초액이 가지고 있는 아세트산 및 포름산이 리튬과 만나 리튬유기산을 생성하고 실리케이트가 졸 상태로 확산되면서 표면의 친수기가 상승한 것으로 판단된다.

TiO₂ 졸을 리튬실리케이트에 1%씩 치환하여 5%까지 치환하였을 때 수분 접촉각 특성을 살펴보았다. 아크릴 에멀전 65%일 때 TiO₂졸 1% 혼입 시 수분접촉각은 59.4°, 58.1°, 44.5°, 47.1°, 46.9°, 42.1°로 나타났으며, 아크릴 에멀전 45%일 때 42.1°, 49.7°, 50.4°, 40.9°, 30.8°로 나타났다. 리튬 실리케이트보다 TiO₂졸의 친수성능이 높은 것으로 나타났으며, 이는 단분자인 TiO₂졸이 무기 고분자인 리튬 실리케이트보다 비표면적이 크므로 동일 중량에서 표면의 친수기가 많아져 접촉각이 낮아지는 것으로 판단된다.

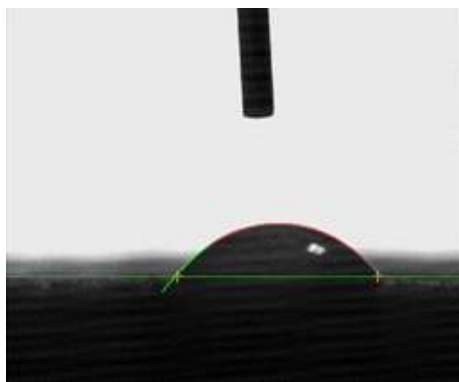
리튬실리케이트의 함량이 70% 이상일 때는 수분 접촉각이 40° 이하로 저하되면서 80% 이상까지 수분접촉각이 27.4°까지 저하되는 것으로 나타났다. TiO₂ 졸의 함량이 증가하면서 수분접촉각은 최소 25.3°까지 저하하는 것으로 나타났다.



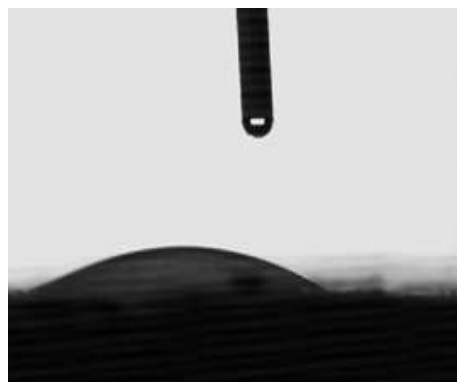
(a)아크릴 수지 100%일 경우



(b)아크릴 수지 45%, TiO₂졸 5%일 경우



(c)아크릴 수지 45%일 경우



(d)리튬 실리케이트 80%

그림 2.2.84 수분 접촉각 변화

③ 내세척성 시험

내세척성 시험에서 모재에 도포된 코팅제의 색상이 표면에 건조 후에는 완전히 투명하게 되어 별도의 색상 변화나 표면 상태의 정도를 사진으로 파악하는데 어려움이 있어 물방울을 떨어뜨리는 등의 방법에도 큰 차이가 없어 세척 도구가 표면에 쓸리고 난 후 촉감 변화를 통해 이를 고찰하였다. 내세척성 시험 결과, 대부분의 시험체에서 세척 실험에 의한 변화는 나타나지 않았으나 아크릴 수지가 10% 이하로 저하될 경우 세척성 실험 후 세척 시험 후의 자국이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 코팅제에서 리튬 실리케이트 및 TiO_2 졸을 물리적으로 안정화시켜 줄 수 있는 필름의 양이 부족하여 표면의 열화가 발생한 것으로 판단된다.

표 2.2.23 코팅제의 내세척성 시험 결과

No.	1	2	3	4	5
내세척성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
No.	6	7	8	9	10
내세척성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
No.	11	12	13	14	15
내세척성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
No.	16	17	18	19	20
내세척성	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
No.	21	22	23	24	25
내세척성	이상없음	이상없음	표면 열화	이상없음	이상없음
No.	26	27			
내세척성	표면 열화	표면 열화			

표 2.2.24 코팅제의 내세척성 시험 결과

시험 전	시험 후			상태변화
사진2	사진1	사진2 (브러쉬 가한면)	사진3	
				육안 관찰이 어려우며, 물방울 변화도 눈에 띄지 않음
				

④ 유기물 분해 성능 시험

본 실험에서는 유기물 분해 성능 시험을 위해 메틸렌블루 용액을 사용하여 색상 변화를 관찰하였다. 먼저 No.1인 아크릴 수지 100%일 경우 TiO_2 졸이 함유되어 있지 않아 3일간 색상의 변화가 나타나지 않았다. No.12인 아크릴 수지가 70%일 때와 No.17인 65%일 경우를 비교하여 보면 3일에서 No.17 농도가 낮아진 것을 확인할 수 있었다. No. 26, No.27의 경우 2일에서 농도가 가시적으로 감소하였으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

표 2.2.25 코팅제의 유기물 분해 성능

Mix.No	INI	1일	2일	3일
1				
12				
17				
26				
27				

⑤ 물흡수계수

본 연구개발에서 개발한 항균성 코팅제를 사용하여 물흡수계수의 개선을 살펴보고자 하였다. 이를 위하여 KS F 4715와 KS F 4716 두 개의 Plain 물흡수계수용 시험체를 제작한 후 이들의 물흡수계수 성능 개선 효과를 살펴보고자 하였다. KS F 4715 시험체와 KS F 4716 시험체에 코팅을 실시한 결과 대부분의 시험체에서 $0.01\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ 이하의 물흡수계수를 나타내었다. KS F 4715에서 물흡수계수는 아크릴 수지의 양에 크게 영향을 받았으며, 리튬실리케이트는 성능 저하시켰다. KS F 4716에서는 리튬실리케이트의 물흡수계수 저하가 유리하였다. 그러나 모든 시험체에서 목초액은 물흡수계수의 저감에 불리한 것으로 나타났다. 그러나 시험체의 물흡수계수가 과도하게 작은 것을 감안할 때 모든 코팅제의 배합에서의 시공면의 내수성 강화는 우수할 것으로 판단된다.

표 2.2.26 코팅제 처리에 따른 물흡수계수 변화

Mix No.	물흡수계수($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)	
	KS F 4715	KS F 4716
Plain	0.09	0.07
1	0.007	0.01
2	0.002	0.005
3	0.006	0.008
4	0.007	0.01
5	0.01	0.05
6	0.015	0.07
7	0.016	0.008
8	0.012	0.01
9	0.02	0.012
10	0.018	0.017
11	0.019	0.02
12	0.007	0.004
13	0.008	0.004
14	0.006	0.005
15	0.01	0.009
16	0.004	0.01
17	0.02	0.017
18	0.018	0.018
19	0.019	0.017
20	0.015	0.04
21	0.02	0.01
22	0.041	0.007
23	0.07	0.012
24	0.044	0.009
25	0.048	0.02
26	0.072	0.02
27	0.053	0.012

⑥ 항균 성능 시험

실험에 앞서 각종 균들의 UV-a광에 대한 변화를 측정하여 광원에 의한 항균성 차이를 알아보고자 하였다. UV광원의 효율이나 성능에 따라 살균 성능이 있을 수 있어 실험시간과 동일한 시간동안 UV광을 조사하였다. 먼저, 포도상구균의 경우 대조군에서 UV를 조사하면 조사하지 않은 대조군에 비해 약 30%의 세균이 감소하였으며, $0.001 \sim 0.25 \text{W/cm}^2$ 의 권장 조사량보다 강도가 높은 것으로 추정된다. 대장균의 경우 대조군에서 UV를 조사하면 조사하지 않은 대조군에 비해 약 80%의 세균이 감소하였다. 자외선에 대한 민감성은 포도상구균보다 대장균이 더 민감한 것으로 나타났다.

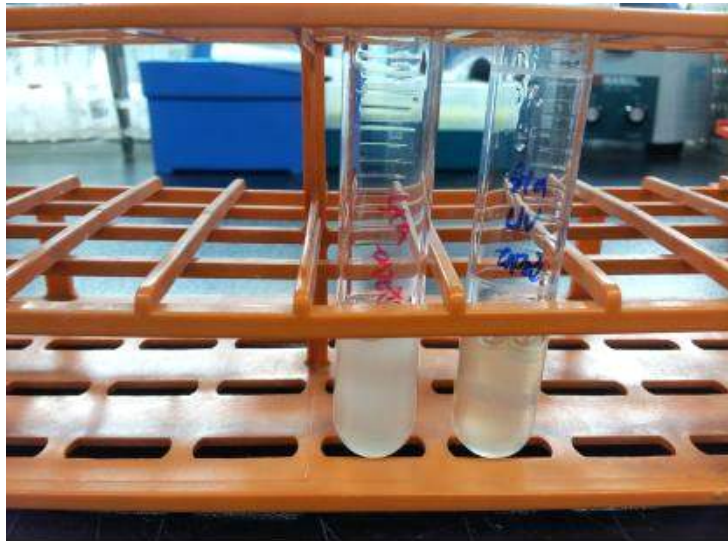


그림 2.2.85 자외선 조사 전(좌, 左)과 조사 후(우, 右)에 따른 포도상구균 대조군에서 UV-a의 영향

따라서 자외선에 민감성이 높은 포도상구균과 대장균의 특성상 실험 과정에서 대부분이 사멸할 수 있는 가능성이 있어 실험의 정확한 측정을 위하여 본 실험에서는 모든 시험체에서 자외선 조사 전 후의 특성을 판별하고자 하였다.

실험의 배합은 아크릴 수지만을 사용한 경우(No.1), 목초액 5%와 20%일 경우의 변화(No.3, 6), 아크릴 수지 함량이 65%일 때 TiO_2 졸이 1%와 5%의 변화(No.12, 16), 아크릴 수지 함량이 19%와 9%일 때 변화(No.22, 23), TiO_2 졸이 3%, 5%일 때의 변화(No.26, 27)를 고찰하고자 하였다.

실험 결과 자외선 조사 후 포도상구균의 경우 시료에서는 C1시료가 UV를 조사한 시료에서 세균의 수가 7.19×10^9 로 측정되었다. 하지만 나머지 시료에서는 UV를 조사하지 않은 시료에서도 세균이 검출되지 않았다. 대장균의 경우 UV-a를 조사하지 않은 시료에서는 대장균의 증식이 잘 이루어졌으나 UV-a 조사 후 대부분의 대장균이 사멸하여 균의 증식을 살펴볼 수 없었다. 다른 샘플에서도 대장균의 증식은 나타나지 않았다. 이는 목초액의 항균 작용으로 인해 모든 시험체에서 세균의 증식이 억제된 것으로 판단된다.

표 2.2.27 포도상구균(*Staphylococcus aureus*)에 대한 코팅제의 항균성능

Mix No.	최초접종균	접종 후 UV-a를 조사하지 않은 시료의 균수(a)	접종 후 UV-a를 조사한 시료의 균수(b)	(a)/(b)대비 감소율
대조군	1×10^5	1.70×10^{10}	1.16×10^{10}	-31.76%
1	1×10^5	1.70×10^{10}	7.19×10^9	-42.32%
3	1×10^5	불검출	불검출	-
6	1×10^5	불검출	불검출	-
12	1×10^5	불검출	불검출	-
16	1×10^5	불검출	불검출	-
22	1×10^5	불검출	불검출	-
23	1×10^5	불검출	불검출	-
26	1×10^5	불검출	불검출	-
27	1×10^5	불검출	불검출	-

표 2.2.28 대장균(*Escherichia coli*)에 대한 코팅제의 항균성능

Mix No.	최초접종균	접종 후 UV-a를 조사하지 않은 시료의 균수(a)	접종 후 UV-a를 조사한 시료의 균수(b)	(a)/(b)대비 감소율
대조군	1.2×10^5	1.80×10^{10}	3.5×10^9	-80.55%
1	1.2×10^5	1.80×10^{10}	불검출	-
3	1.2×10^5	불검출	불검출	-
6	1.2×10^5	불검출	불검출	-
12	1.2×10^5	불검출	불검출	-
16	1.2×10^5	불검출	불검출	-
22	1.2×10^5	불검출	불검출	-
23	1.2×10^5	불검출	불검출	-
26	1.2×10^5	불검출	불검출	-
27	1.2×10^5	불검출	불검출	-



그림 2.2.86 UV-a를 조사하지 않은 시료의 세균 배양 후 불검출 모습

⑦ 소결

항균성 코팅제의 실험 결과를 살펴본 결과는 다음과 같다.

ㄱ) 항균성 코팅제의 수분접촉각은 아크릴 수지의 비율이 저감됨에 따라 저감될 수 있으며, 수분접촉각 30° 이하의 코팅제를 얻을 수 있었다. 유기물 분해 실험에서는 TiO_2 졸의 양이 증가함에 따라 유기물 분해 정도가 증가하는 것으로 나타났다.

ㄴ) 이들 코팅제는 KS F 4715와 KS F 4716 시험체의 표면의 물흡수계수를 저감할 수 있었으며, 항균성은 항균성능을 갖는 목초액과 TiO_2 졸로 인해 높은 항균력을 갖는 것으로 나타났다.

ㄷ) 본 실험을 통해 코팅제의 최적 배합은 아크릴 수지 10% 이상 45% 이하, 목초액 10%, TiO_2 졸 1~5%, 리튬실리케이트 40~75%의 범위를 갖는 것으로 나타났다.

나. 목타르를 활용한 EPS 부착용 모르타르의 개발

(1) 개요 - 목타르와 에폭시 수지 혼입 모르타르의 활용 가능성

건설 산업에서 콘크리트 구조물의 내구 성능은 콘크리트의 내구성능, 구조물 외부에서 철근까지의 피복 두께 등에 영향을 받는다. 콘크리트 구조물의 내구성능을 향상하기 위한 방안으로 콘크리트 외부에 시멘트 모르타르를 덧씌워 보호피복을 하는 방법이 있다. 시멘트 모르타르는 콘크리트 구조물의 외벽면이나 바닥에 2~10mm의 얇은 층의 형태로 부착된다. 시멘트 모르타르 층은 외부로부터 콘크리트에 유해한 염분이나 산 등의 침식을 막는 보호체로서 구조적인 성능을 발휘하는 콘크리트 구조물을 보호한다. 시멘트 모르타르의 성능 향상은 콘크리트 구조물을 보호하는 효과적인 수단이기 때문에 시멘트 모르타르의 성능향상을 위하여 폴리머를 시멘트 모르타르에 혼입하는 방안이 제시되게 되었다.

폴리머 시멘트 모르타르는 시멘트 모르타르 내에 폴리머가 얇은 필름을 생성하여 시멘트 모르타르의 수축에 의한 균열 억제, 내수성 향상, 인장강도와 휨강도 향상의 목적으로 사용된다. 폴리머 시멘트 모르타르에 사용되는 대표적인 액상 폴리머는 에폭시수지이다. 이 에폭시 수지의 시멘트 모르타르에 혼입하는 시도는 1965년 J.H.Donnelly에 의해 최초로 시작되었다. 이 때는 경화제를 사용하여 시멘트 모르타르 내의 에폭시를 경화시키는 방법이었다.

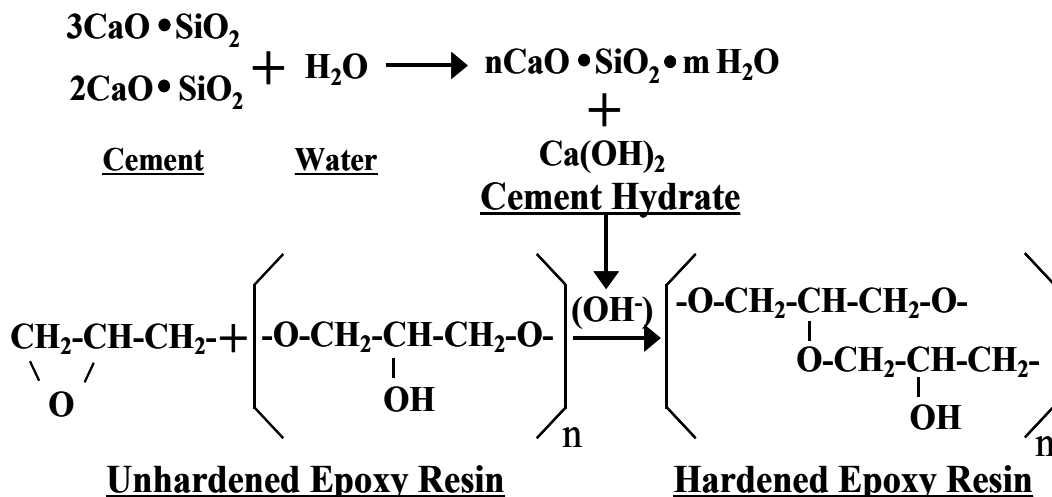


그림 2.2.87 경화제 무첨가 에폭시 수지 모르타르 내의 에폭시 경화기구

그러나 1992년 Ohama등에 의해 경화제를 첨가하지 않은 에폭시 수지 혼입 폴리머 시멘트에서 에폭시 수지가 시멘트에서 생성하는 OH⁻의 촉매 작용에 의해 경화한다는 것을 파악하고 경화제 무첨가 EMM(Epoxy Modified Mortar)의 개발에 성공하였다. 경

화제 무첨가 EMM은 경화제의 사용 없이 내구성의 개선과 낮은 가격으로 우수한 성질의 폴리머 시멘트 모르타르의 제조가 가능한 것으로 알려져 있다. 경화제 무첨가 EMM 내 에폭시 수지의 경화 기구는 그림 2.2.87과 같다.

한편, 목타르는 목초액을 제조할 때 발생하는 부산물로 과거에는 화학 산업에서 기초 원료로 사용되었으나 석유화학의 발달로 현재는 폐기물로 배출되고 있다. 목타르는 숯을 정제하는 과정에서 배출되는 연기를 액화시켜 액상의 조목초액이 얻어지고 이것을 정제하는 과정에서 목타르가 하층부에 다량으로 침전되어 발생되며, 목타르는 4~11% 정도, 목초액은 31~37% 정도가 생성되는 것으로 알려져 있다. 목타르의 주요 성분은 페놀로 구성되어 있다고 보고되고 있다. 과거에는 살균제, 방부제로서 사용되었지만 현재는 자원으로 활용이 되지 않아 대부분은 연소하거나 방치되고 있어 이를 활용하기 위해 목타르에 NaOH를 첨가하여 우수한 성능의 페놀계 접착제를 개발한 연구가 보고되고 있으며, 목타르의 재활용은 절실한 상황이다.

따라서 본 연구는 주요 성분이 페놀인 목타르의 재활용의 한 방안으로 경화제 무첨가 EMC에 혼입하여 에폭시 수지의 성능 개선하고자 하는 기초적 실험으로써 목타르를 에폭시에 대해 치환하여 경화제 무첨가 EMM을 제작하고 강도특성, 에폭시 수지의 경화 특성, 간이단열온도, XRD분석을 통해 각종 성능을 파악하고자 하였다.

2. 사용 재료 및 실험 방법

가. 사용재료

(1) 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201에 규정된 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학적 성분과 물리적 성능은 표 2.2.29, 표 2.2.30과 같다.

표 2.2.29 보통포틀랜드시멘트의 화학적 조성

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

표 2.2.30 보통포틀랜드 시멘트의 물리적 특성

비중 (20℃)	분말도 (cm ² /g)	응결시간		압축강도(MPa)		
		초결 (min)	종결 (h)	3일	7일	28일
3.15	3,400	240	7:00	20	23	38

(2) 골재

잔골재는 규사(크기: 0.25~0.6mm)를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2.2.31과 같다.

표 2.2.31 골재의 특성

최대치수 (mm)	단위용적중량 (kg/l)	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)
<1.2	1.5	2.62	0.40

(3) 에폭시 수지

시멘트 혼화용 에폭시 수지는 비스페놀 A형을 사용하였으며, 그 성질은 표 2.2.32에 나타내었다.

표 2.2.32 에폭시 수지의 특성

에폭시 당량 (g/eq)	점도 (mPa · s, 20℃)	분자량	비중 (20℃)	색상(G)
184-190	11,500~13,500	380	1.17	0.2-0.4

(4) 목타르

에폭시 수지의 치환용 목타르는 국내에서 생산되는 것 기계식 탄화로에서 목초액 생산 과정에서 발생한 목타르를 사용하였다.

나. 공시체의 제작

경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르(PMM)는 시멘트:잔골재 = 1:0.5(질량비), 에폭시 수지의 혼입은 폴리머 시멘트 비(P/C ; Polymer-cement ratio)를 0, 1, 3 및 5%로 하고, 시멘트 혼화용 메틸셀룰로오스는 시멘트에 대하여 1%로 균등하게 혼입하였다. 목타르의 혼입은 목타르/에폭시 수지 비(W/E; Wood tar-Epoxy resin ratio)를 0, 5, 10, 및 20%로 하였다.

물시멘트 비는 플로가 170±5mm의 범위가 되도록 결정하였다. 배합은 표 2.2.33에 나타내었다. 압축강도와 휨강도를 측정하기 위한 공시체의 제작은 40×40×160mm의 몰드에 성형하였으며, 부착강도를 측정하기 위한 공시체는 40×40×2mm 시험체를 성형하여 2일간 습윤양생(20℃, 80% R.H.)을 실시하고, 26일간 기중양생(20℃, 50% R.H.)을 실시하여 공시체를 제작하였다.

표 2.2.33 배합표

	시멘트 : 잔골재 (by weight)	폴리머-시멘트비 (%)	목타르 첨가율 (%)	W/C (%)
UMM	1 : 0.5	0	0	37.2
EP1 (E1)		1	0	
E3		3	0	
E5		5	0	
EP1PT5 (E1W5)		1	0.05	
EP1PT10 (E1W10)			0.1	
EP1PT15 (E1W15)			0.15	
EP1PT20 (E1W20)			0.2	
EP3PT5		3	0.05	
EP3PT10			0.1	
EP3PT15			0.15	
EP3W20			0.2	
EP5PT5		5	0.05	
EP5PT10			0.1	
EP5PT15			0.15	
EP5PT20			0.2	

다. 실험 방법

(1) 휨강도 및 압축강도 측정

경화제 무첨가 PMM의 휨 및 압축강도 시험은 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험방법)에 준하여 측정은 3, 7, 28일 재령에서 측정하였다.

(2) 부착강도 측정

부착강도 측정은 KS F 4716의 부착강도 측정법에 준하여 3, 7, 28일 재령에서 측정하였다.

(3) 경화도 측정

에폭시 수지 혼입 PMM 내의 경화도 측정은 28일 재령의 시험체를 미분쇄한 후 5g의 시료를 채취한다. 채취한 시료는 플라스크에 넣은 후 1-메톡시-2-프로판올 30g을 넣은 후 30분간 교반한 후 감압여과장치를 사용하여 여과하여 미경화 에폭시 수지를 채취한다. 채취된 미경화 에폭시 수지는 100℃가열 건조한 뒤 중량을 측정하여 아래식에 따라 경화도를 산출한다.

(가) 에폭시 수지의 중량 $\frac{TE}{M}$

(나) 미경화 에폭시 수지의 중량 $B = \frac{T_2 C}{S}$

(다) 경화도(%) = $\frac{A-B}{A} \times 100$

여기서, A: 에폭시수지의 중량(g)

B: 미경화 에폭시수지의 중량(g)

T₁: 습윤 양생 후의 중량(g)

T₂: 각 기중 양생기간 후의 중량 (g)

M: 시멘트+표준사+에폭시수지의 총 중량(g)

E: 시료에 포함된 에폭시수지의 중량(g)

S: 시료의 중량(g)

C: 증발 잔분(g)

(4) 간이단열온도

간이단열온도측정은 단열상자를 KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재의 비드법 1종 단열판 1호 규격으로서 두께 100mm인 것을 사용하여 시험체 300mm×300mm×300mm(27ℓ)의 크기로 그림 2.2.89와 같이 제작하였다. 온도 센서는 T형 열전대를 사용하였으며, 모르타르의 중심부의 온도를 측정할 수 있도록 설치하였다. 온도 측정 기간은 약 48시간으로 하였고 측정 간격은 10분으로 하였다. 측정기간 중

외기온 변화의 영향을 최소화하기 위하여 시험체를 항온항습실($20\pm2^{\circ}\text{C}$)에 위치시켰다.

(5) XRD 분석

건조가 완료된 시편을 200mesh 체를 모두 통과할 크기로 분쇄한 다음, SHIMADZU사의 X-ray 회절분석기(XD-R1)을 사용하여 45KV와 40mA에서 Cu Radiation으로 분석하였다. 스캔속도는 $5^{\circ}/\text{min}$ 이고, 범위는 $3\sim 20^{\circ}$ 이었다.

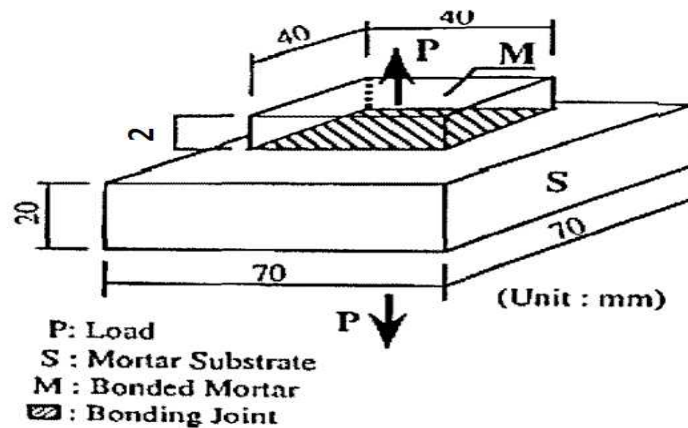


그림 2.2.88 부착강도 측정방법

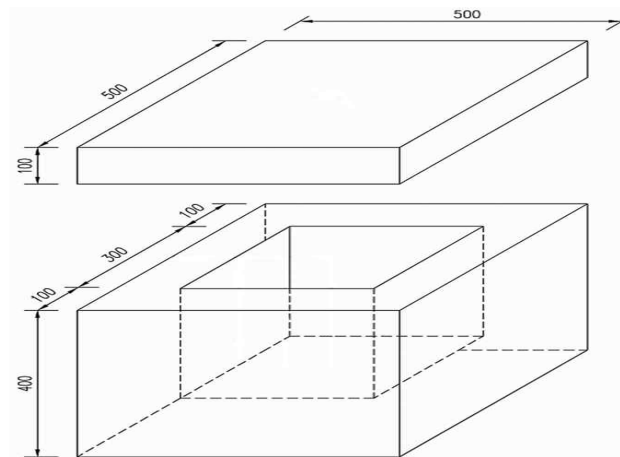


그림 2.2.89 간이 단일 수화열 상자 (unit : mm)

(6) 길이변화

공시체를 제작하여 응결이 종료되기 시작하였을 때와 공시체의 길이를 측정한 후 건조(20°C , 50%(RH))양생을 행하여 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험 방법)에 준하여 건조기간 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21 및 28일에서의 건조수축을 측정하였다.

(7) 동결융해

동결융해 저항성 평가실험은 KS F 2456의 B방법에 준하여 실시하였으며, 온도측정용 중심공시체의 온도가 4℃에서 -18℃를 거쳐 다시 4℃에 도달하는 과정을 1 사이클로 하여 총 300 사이클을 진행하였으며, 매 30 사이클마다 콘크리트의 동탄성계수를 측정하였다. 300 사이클 이후 파괴가 일어나지 않은 공시체에 대하여 520 사이클까지 측정하였다. 동결융해 반복작용을 받기 전 공시체의 동탄성계수에 대한 소정의 사이클에서의 동탄성계수를 아래 식과 같이 상대동탄성계수로 나타내었다.

$$\left(\frac{n_c^2}{n_0^2} \right) \times 100$$

여기서,

P_c = 동결 융해 C 사이클 후의 상대동탄성계수(%)

n_0 = 동결 융해 0 사이클에서의 변형 진동의 1차 공명진동수(Hz)

n_c = 동결 융해 C 사이클 후의 변형 진동의 1차 공명진동수(Hz)

3. 실험 결과 및 고찰

가. 에폭시 수지 혼입률에 따른 경화체의 특성

(1) 강도 특성

그림 2.2.90은 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도 특성을 나타낸 그래프이다. 에폭시 수지를 혼입한 모르타르의 압축강도는 3일 강도에서 에폭시 수지 혼입률에 따라 강도가 저하하는 것으로 나타났다. 7일 재령 이후로는 에폭시 수지 혼입률 1%에서 압축강도가 무혼입에 비하여 높은 것으로 나타났다. 3% 이상의 혼입에서는 강도 증진이 낮은 것으로 나타났다.

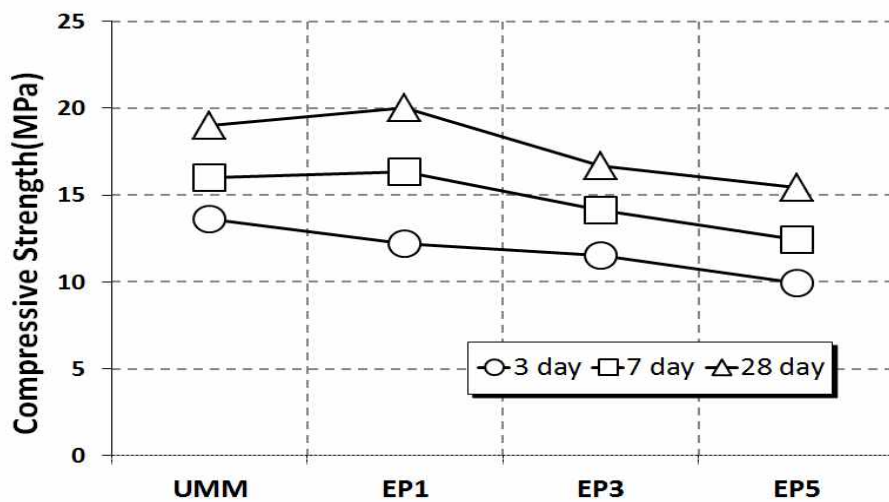


그림 2.2.90 에폭시 수지 혼입률에 따른 모르타르의 압축강도

그림 2.2.91은 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입률에 따른 모르타르의 휨강도를 나타낸 그래프이다. 3일 재령에서 에폭시 수지 혼입률 1%에서의 휨강도는 무혼입에 비하여 높은 것으로 나타났으며, 그 이상의 혼입률에서는 강도가 저하는 것으로 나타났다. 7일 재령 이후로 에폭시 수지 3%에서 최대를 나타냈으며, 무혼입의 경우보다 휨강도가 모두 높게 나타났다.

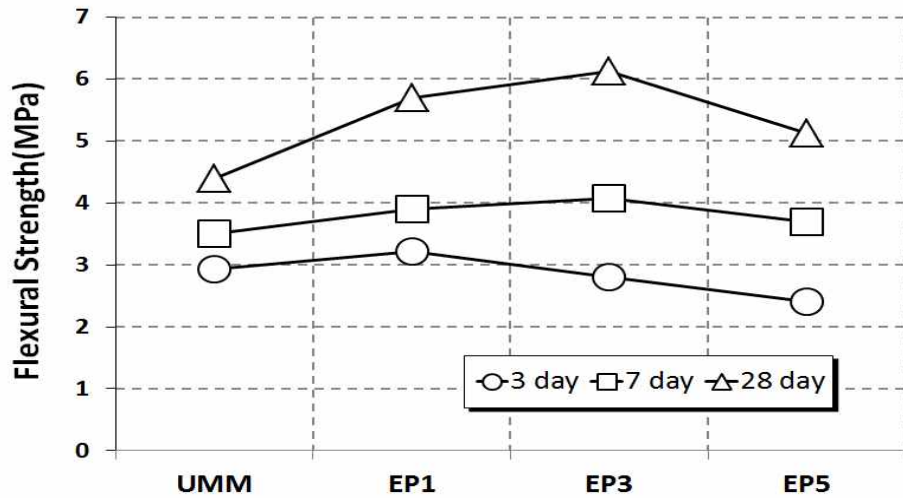


그림 2.2.91 에폭시 수지 혼입률에 따른 모르타르의 휨강도

휨압축강도비를 보면 에폭시 수지 혼입에 따른 에폭시 수지 혼입에 3일 재령에서 휨압축강도비가 1%에서 최대로 나타나고 있으나, 이후로는 3%에서 최대를 보이고 있다. 에폭시 수지 혼입은 압축강도 증진보다 휨강도 증진에 효과적인 것으로 판단된다.

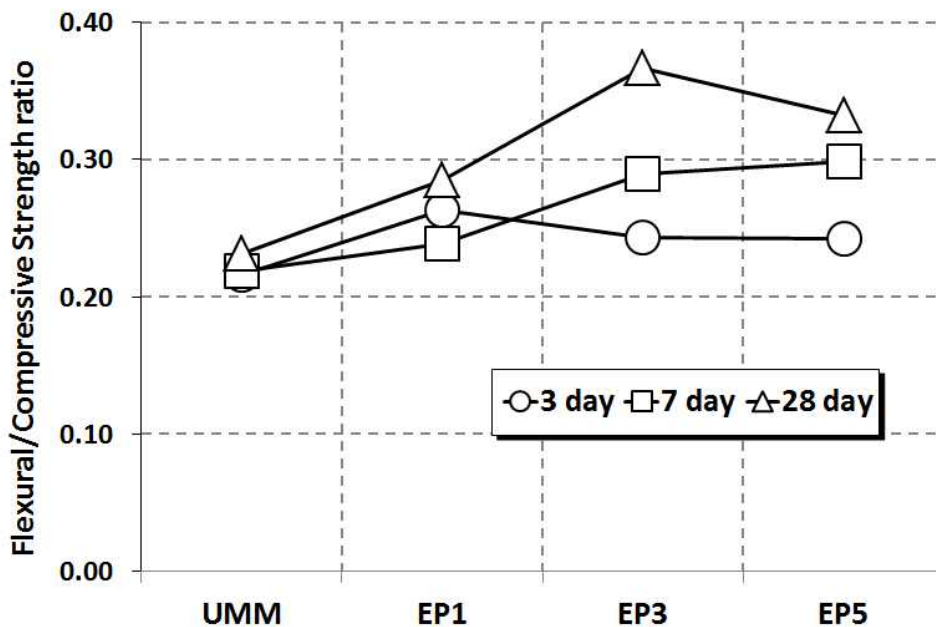


그림 2.2.92 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입에 따른 휨압축강도비

에폭시 수지 혼입에 따른 부착강도 특성을 보면 에폭시 수지 혼입 1%에서 최대를 보이고 있다. 경화제 무첨가 모르타르의 부착강도는 휨강도보다 압축강도 경향과 유사하게 나타나고 있어 수지의 혼입률을 증가시키는 것보다 초기에 적정 압축강도 성능을 확보할 수 있는 경화체를 제작하는 것이 부착강도 증진에 유리할 것으로 판단되었다.

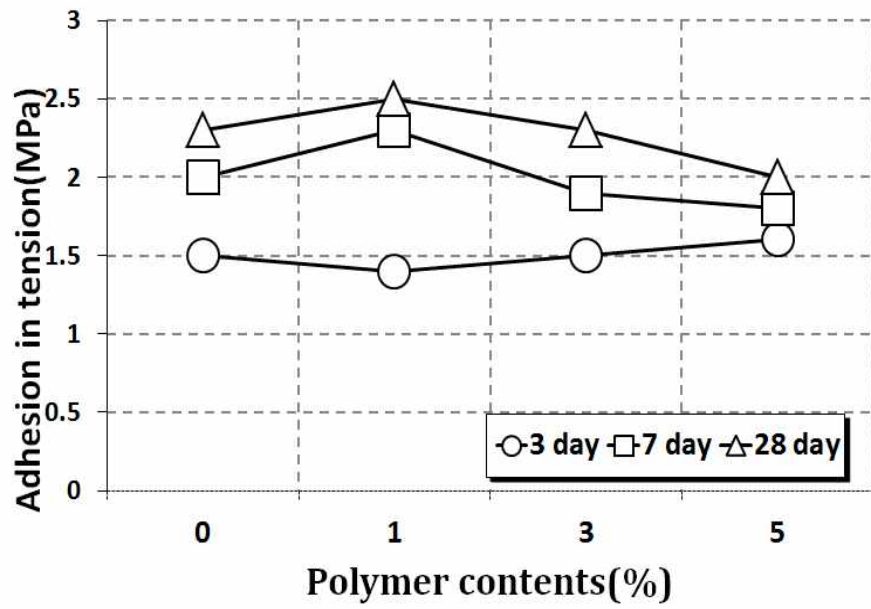


그림 2.2.93 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 부착강도

(2) 경화도와 경화수지량

경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 경화도는 에폭시 수지 혼입 1%에서 최대로 나타났다. 재령 28일의 경화수지량을 보면 에폭시 수지 혼입률 3%에서 최대로 나타났으나 강도를 발현할 수 없는 미경화 에폭시의 양이 많아 휨강도는 높았으나 압축강도가 낮았던 원인으로 판단된다. 에폭시 수지 혼입률 5%는 미경화 에폭시의 양이 60% 이상으로 강도 발현에 휨강도 및 압축강도가 낮은 것으로 판단된다.

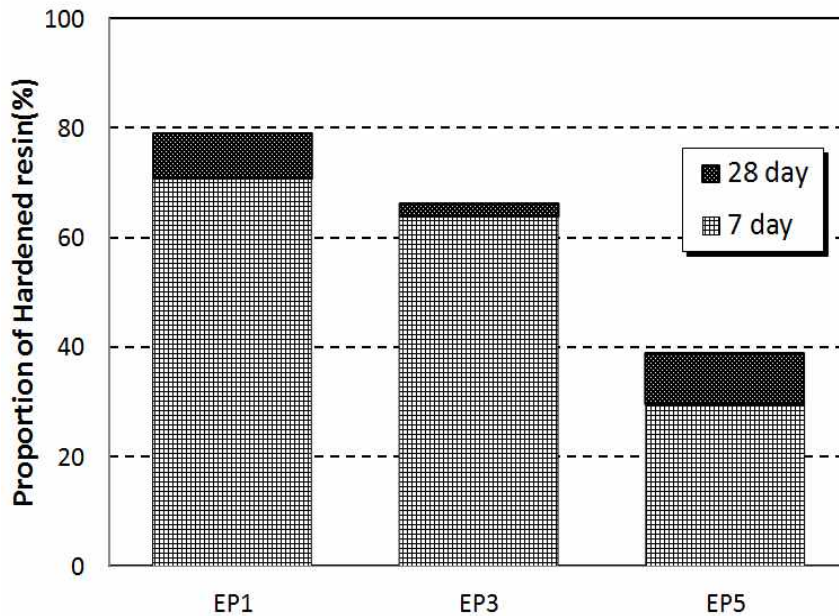


그림 2.2.94 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 경화도

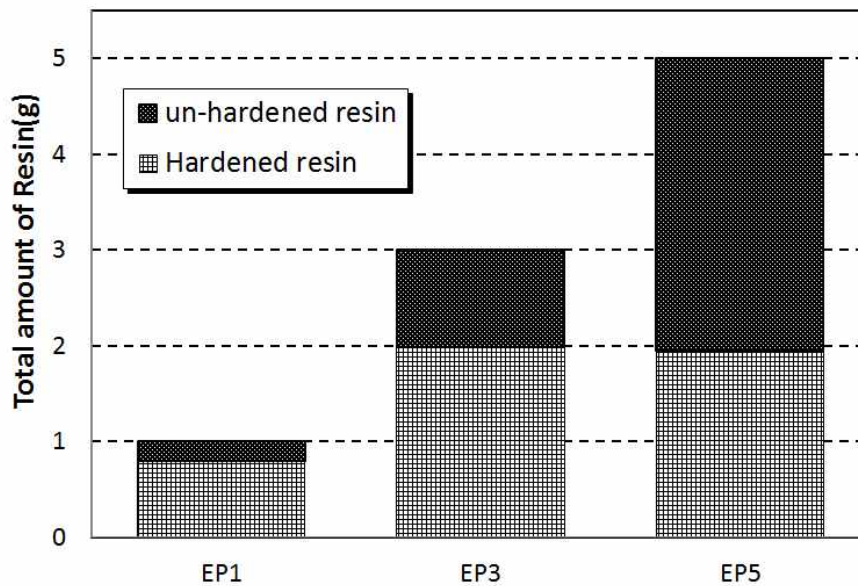


그림 2.2.95 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 경화수지량(재령 28일)

(3) 간이 단열 수화열 특성

에폭시 수지 혼입에 따른 간이단열수화열 특성을 살펴보면 에폭시 수지 혼입에 따라 수화열이 저감되는 것으로 나타났다. 에폭시 수지 혼입에 따라 모르타르의 수화열이 저감되는 것은 에폭시 수지가 시멘트 입자 주변을 둘러싸 시멘트와 물의 접촉을 억제하면서 수화지연이 발생하기 때문이라 사료된다.

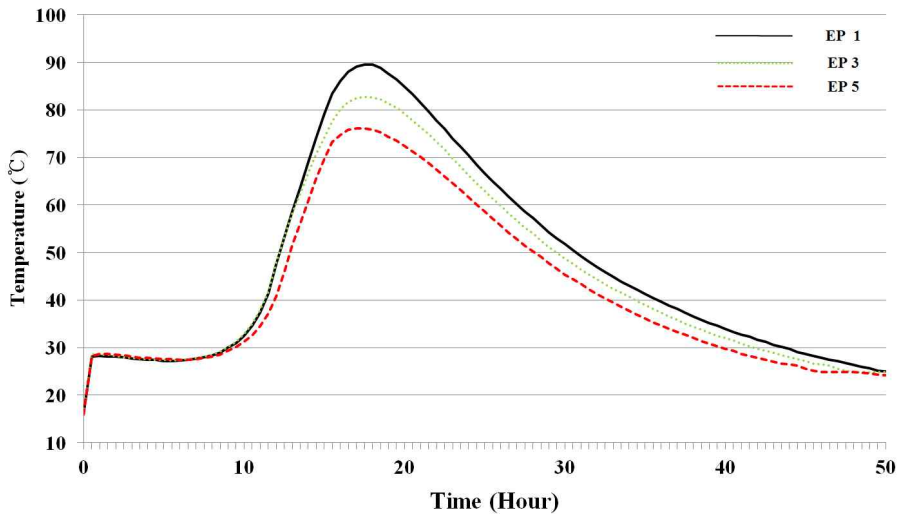


그림 2.2.96 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 수화열 특성

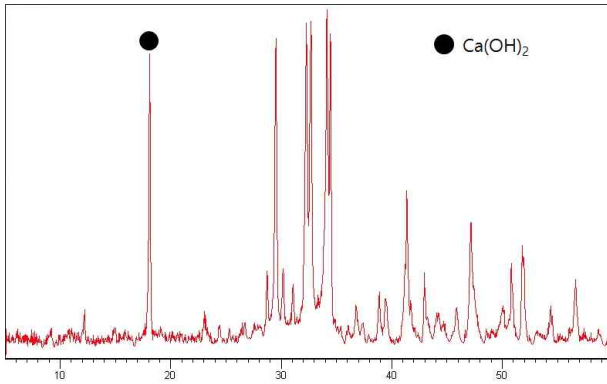
(4) XRD 분석

- UMM과 에폭시 수지 혼입 시 XRD특성

에폭시 혼입에 따른 초기 5h에서의 수화 특성을 보면 에폭시 수지 1%를 혼입한 페이스트의 XRD 피크를 관찰하여 보면 수산화칼슘 생성량이 UMM보다 낮은 것으로 나타났다. 에폭시 수지 혼입에 따른 C_3S 와 C_2S 의 수화물 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

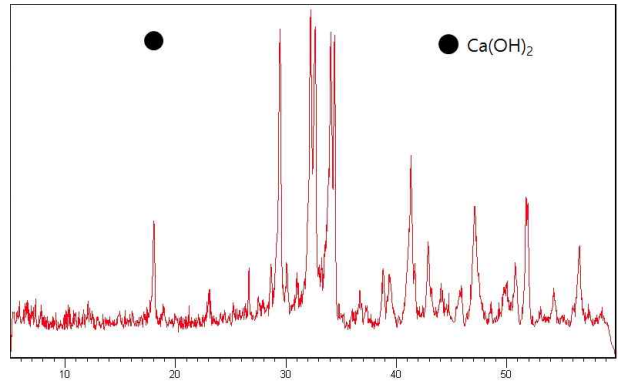
재령 3일에서 에폭시 수지 혼입 페이스트의 19° 부근의 수산화칼슘의 양은 증가한 것으로 나타났으나 34° 부근의 수산화칼슘 결정 피크는 UMM보다 낮은 것으로 나타났다. 약 29° , 32° , 34° 부근의 미수화광물인 C_3S , C_2S 상대강도 역시 UMM에 비하여 높은 점으로 미루어 초기 수화가 지연되는 것으로 나타났다.

재령 7일에서의 에폭시 수지 혼입 페이스트의 특성을 살펴보면 UMM은 19° 부근의 수산화칼슘을 소모하여 약 29° , 32° , 34° 부근의 C_3S , C_2S 와 반응하여 CSH겔로 전이된 것으로 판단된다. 에폭시 수지 혼입 1%의 경우 1일차의 UMM의 XRD 피크와 유사하게 나타나 수화지연을 확인할 수 있었다.

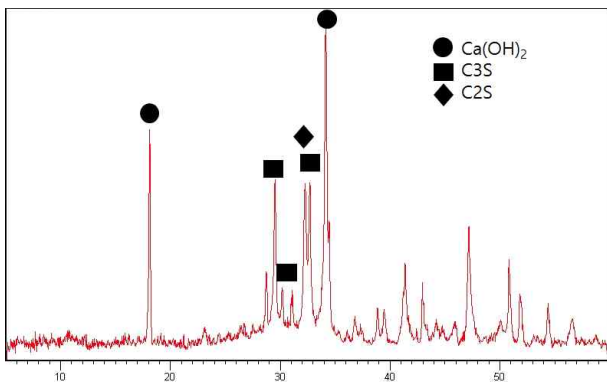


(a) UMM 페이스트의 XRD

그림 2.2.97 UMM과 에폭시 수지 혼입에 따른 XRD 특성(재령 5시간)

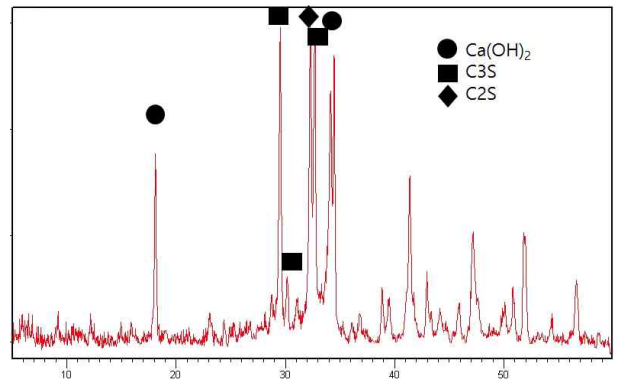


(b) 에폭시 수지 혼입 1% 페이스트의 XRD

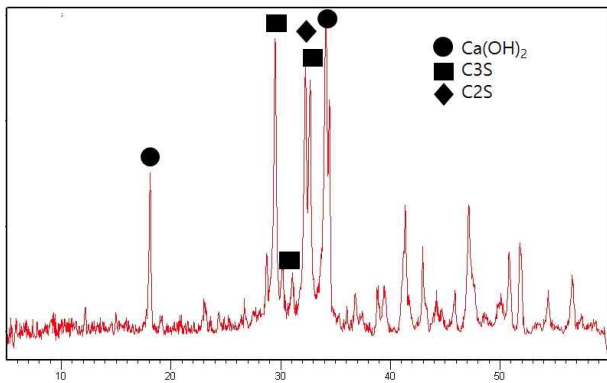


(a) UMM 페이스트의 XRD

그림 2.2.98 UMM과 에폭시 수지 혼입에 따른 XRD 특성(재령 1일)

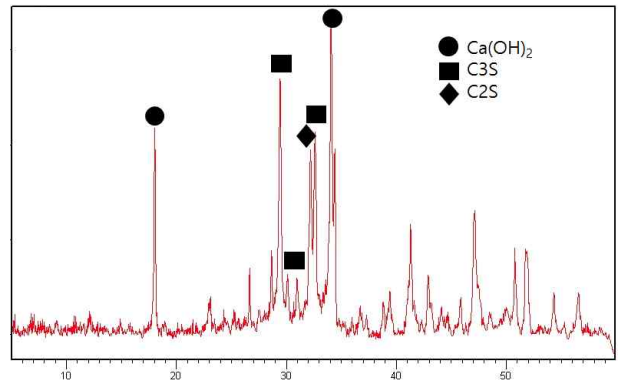


(b) 에폭시 수지 혼입 1% 페이스트의 XRD



(a) UMM 페이스트의 XRD

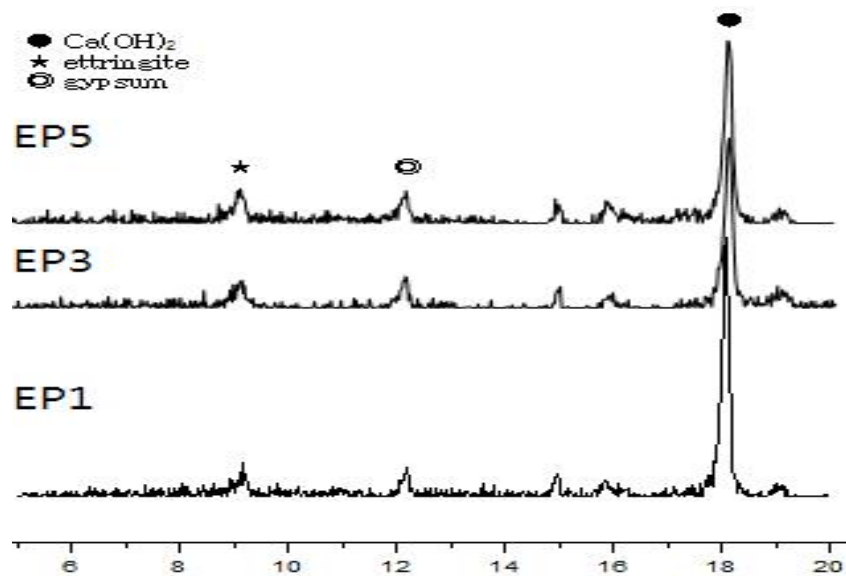
그림 2.2.99 UMM과 에폭시 수지 혼입에 따른 XRD 특성(재령 3일)



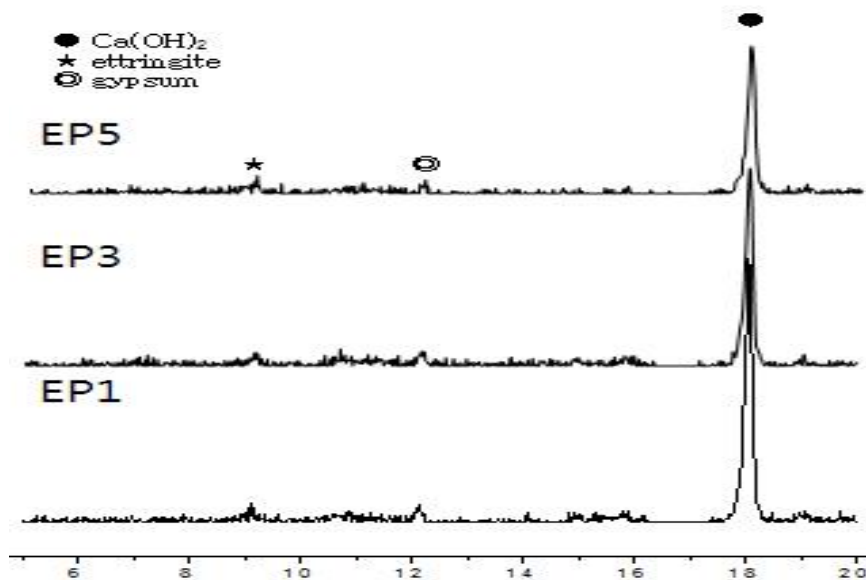
(b) 에폭시 수지 혼입 1% 페이스트의 XRD

- 에폭시 수지 혼입물에 따른 XRD특성

에폭시 수지 혼입에 따른 XRD특성 중 가장 크게 차이가 나는 것은 수산화칼슘 피크로써 에폭시 수지 혼입물에 따른 수산화칼슘 생성량은 에폭시 수지 혼입률에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 초기의 에트링가이트와 석고 피크는 큰 차이를 보이지 않았다.



(a) 재령 1일



(b) 재령 3일

그림 2.2.100 에폭시 수지 혼입률에 따른 페이스트의 XRD

나. 목타르 치환에 따른 경화제 무침가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 특성

(1) 강도 특성

그림 2.2.101, 2.2.102, 2.2.103은 목타르 치환에 따른 경화제 무침가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도 특성을 나타낸 그래프이다.

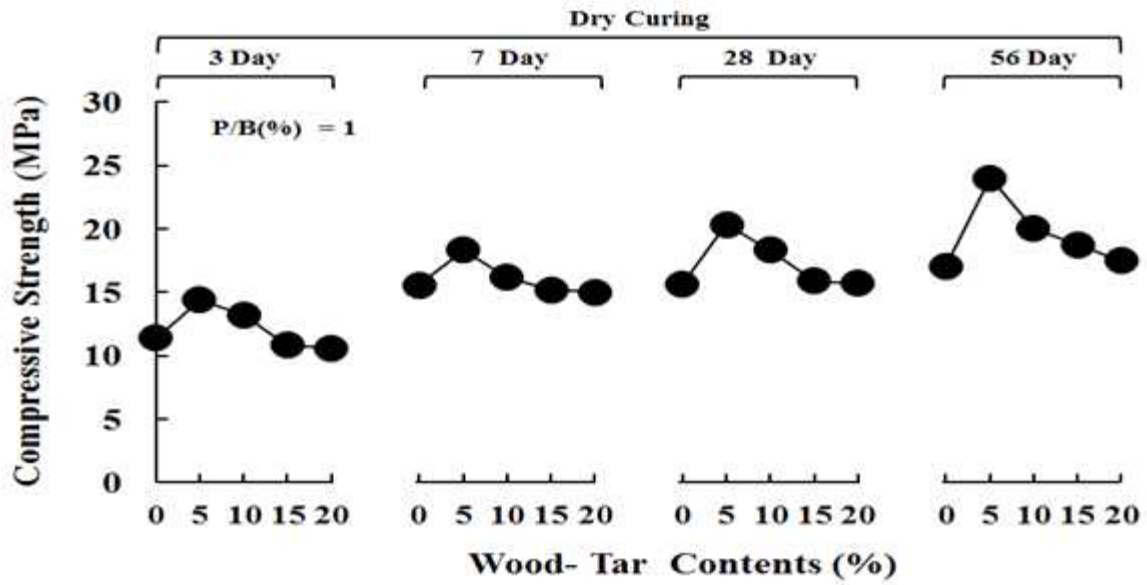
먼저 에폭시 수지 혼입 1%에서 목타르 치환에 따른 압축강도는 목타르 5%의 치환율에서 최대로 나타나며, 목타르 치환율 10%까지 무치환의 경우보다 높은 것으로 나타났다. 56일차의 압축강도에서는 모든 경화체의 압축강도가 무치환의 경우보다 높은 것으로 나타나 목타르 치환에 의한 강도 상승효과가 있는 것으로 나타났다.

양생조건별로 살펴보면 기중양생이 습윤양생에서 모든 경화체의 강도가 약간 높은 것으로 나타났다. 56일 재령의 압축강도를 보면 목타르 5% 치환할 경우 강도편차가 적은 것으로 나타나고 있어 양생 조건에 대한 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 그러나 10% 이상의 치환에서는 양생조건에 대한 편차가 큰 것으로 나타나고 있다.

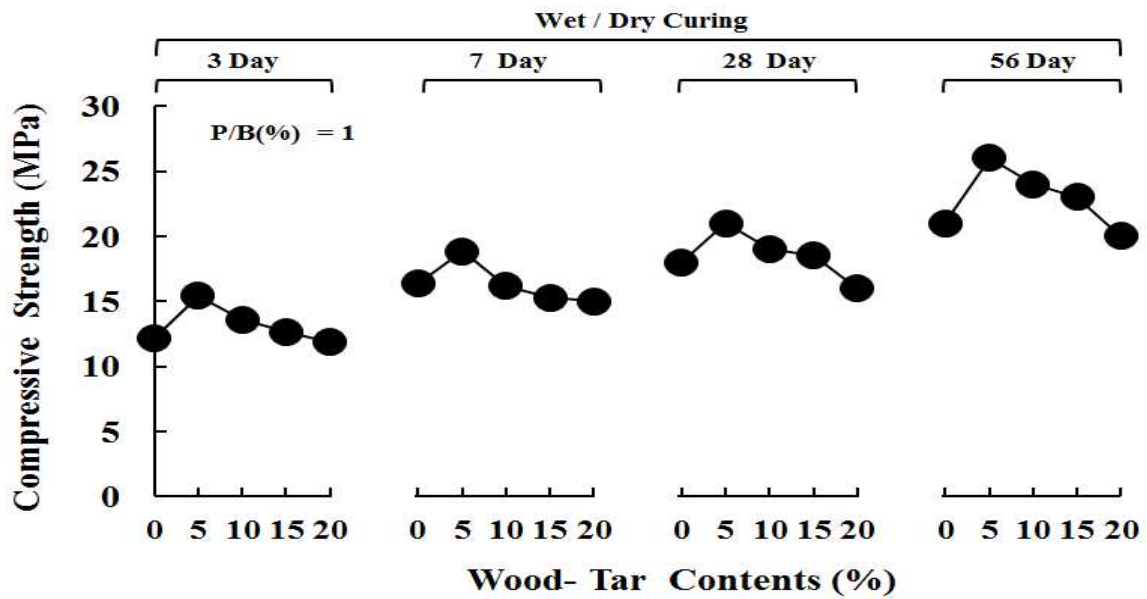
에폭시 수지 혼입률이 3%의 목타르 치환율에 따른 압축강도 특성을 보면 28일 재령까지의 압축강도는 목타르 치환율이 5%에서 최대인 것으로 나타나고 있다. 56일 강도에서는 기중 양생 조건에서 15%, 습윤양생에서는 20%까지 무치환보다 높은 것으로 나타났다. 에폭시 수지 혼입률 3%의 양생조건에 따른 편차는 목타르 치환율 5%를 제외하고 치환율 증가와 함께 상승하는 것으로 나타났다.

에폭시 수지 혼입률 5%에서의 목타르 치환율에 따른 압축강도 특성을 보면 28일 재령에서 5%의 목타르 치환율에서 가장 높은 강도를 나타내었으나 10%이상의 치환율에서는 강도가 무치환보다 낮은 것으로 나타났다. 56일 재령에서는 양생조건과 관계없이 15%까지 무치환의 경우보다 높은 것으로 나타났다. 56일 재령의 양생조건별 강도 특성을 보면 목타르 치환에 따른 강도 편차는 에폭시 수지 혼입률 3%일 때보다 적은 것으로 나타났다.

목타르의 치환율은 에폭시 수지 혼입률이 3%까지는 10%까지가 최적인 것으로 나타났으며, 에폭시 수지 혼입률 5% 이상의 치환율에서는 목타르 치환율 5%가 최적인 것으로 판단된다. 양생조건에 따른 영향을 살펴보면 에폭시 수지 혼입률이 증가하면서 양생조건에 의한 영향이 감소되며 목타르 치환율 5%에서 가장 적은 것으로 판단된다. 과량의 목타르 치환율은 양생 조건에 따른 영향을 크게 받으며, 양생조건에 따른 강도 편차가 증가하는 것으로 판단된다.

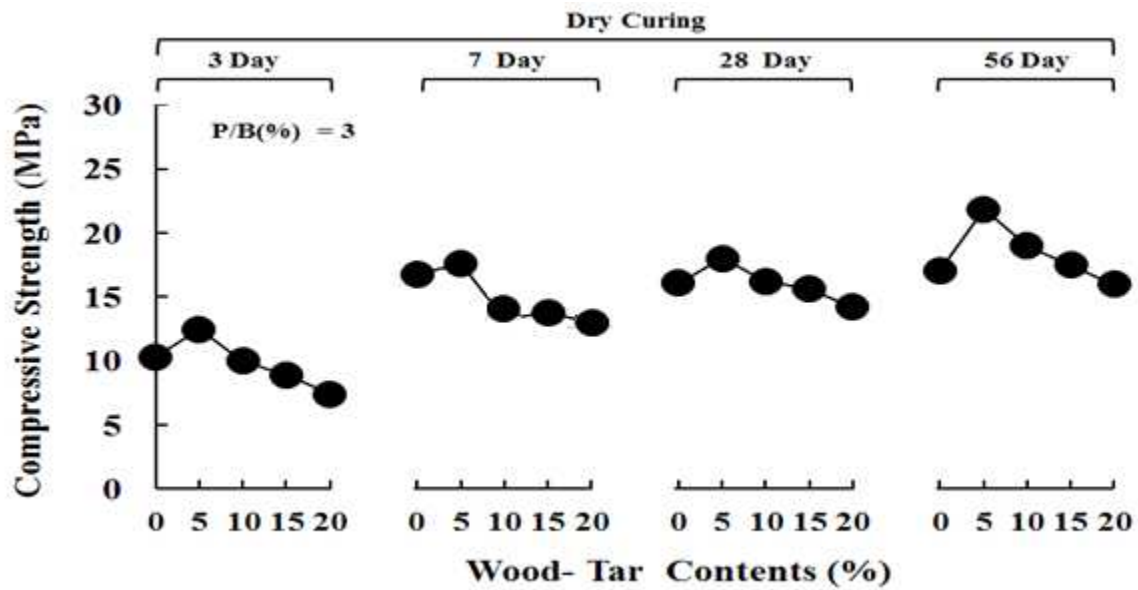


(a) 기중양생

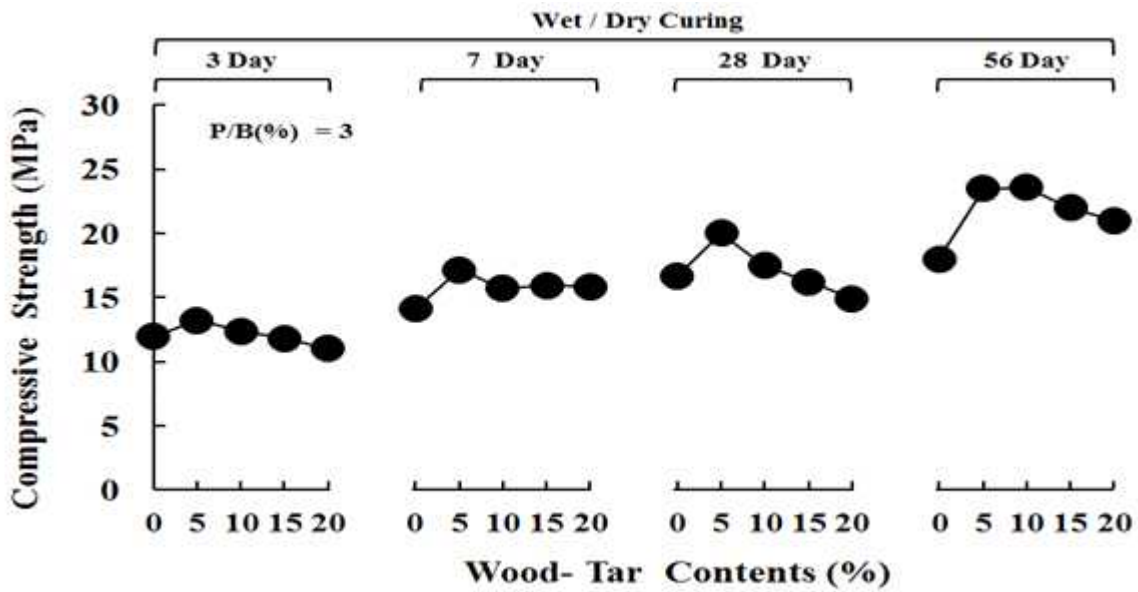


(b) 습윤양생

그림 2.2.101 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도
(에폭시 수지 1%)

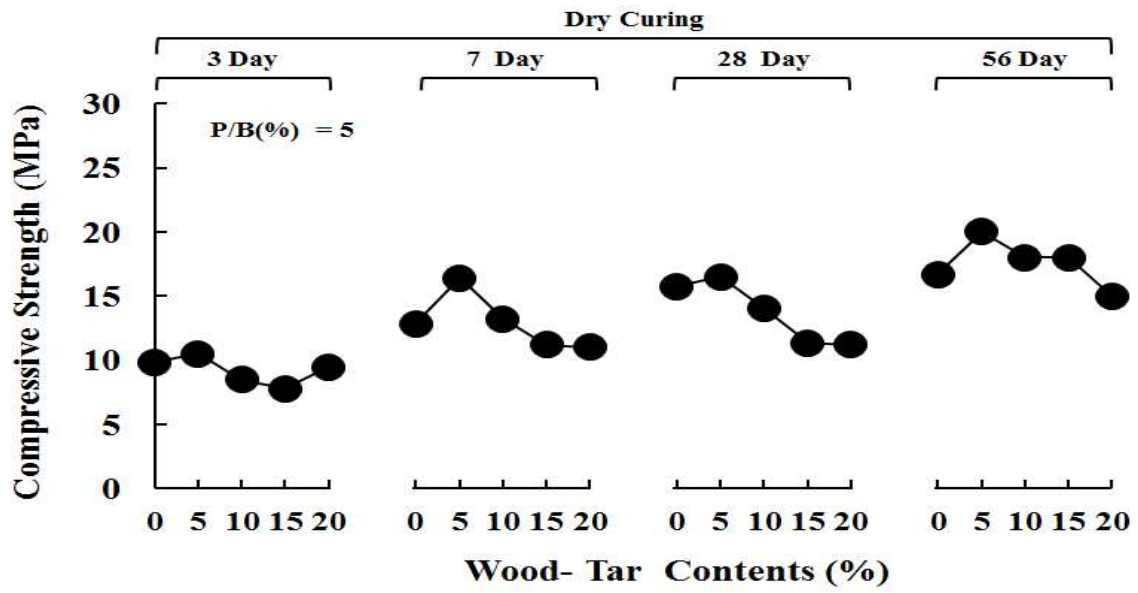


(a) 기중양생

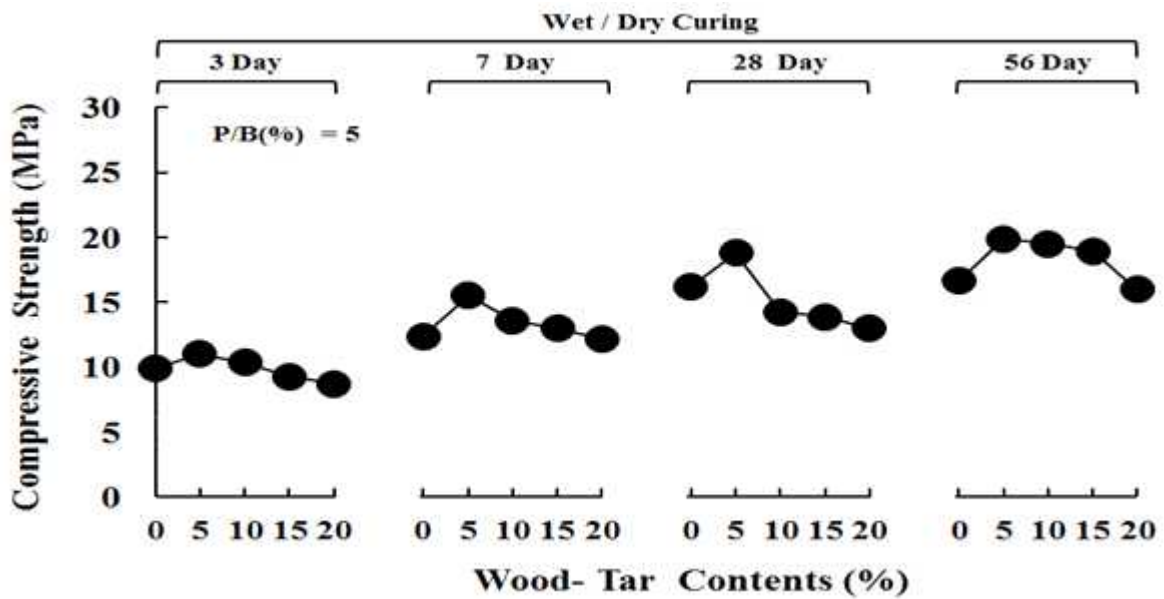


(b) 습윤양생

그림 2.2.102 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도
(에폭시 수지 3%)



(a) 기중양생



(b) 습윤양생

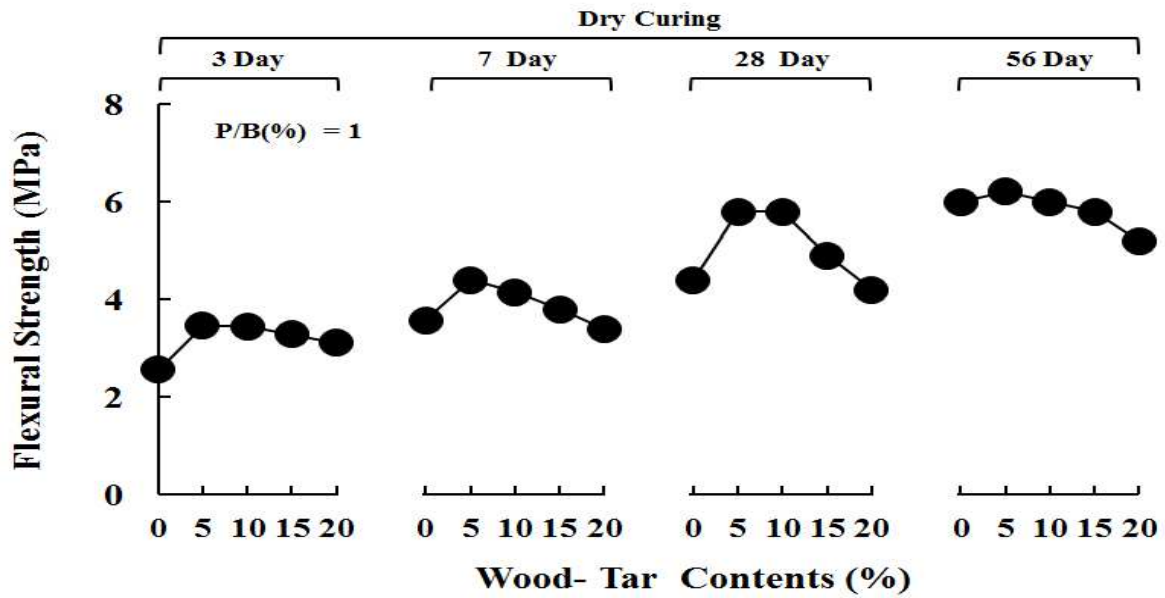
그림 2.2.103 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 압축강도
(에폭시 수지 5%)

그림 2.2.104, 2.2.105, 2.2.106은 에폭시 수지 혼입률과 목타르 치환율에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다.

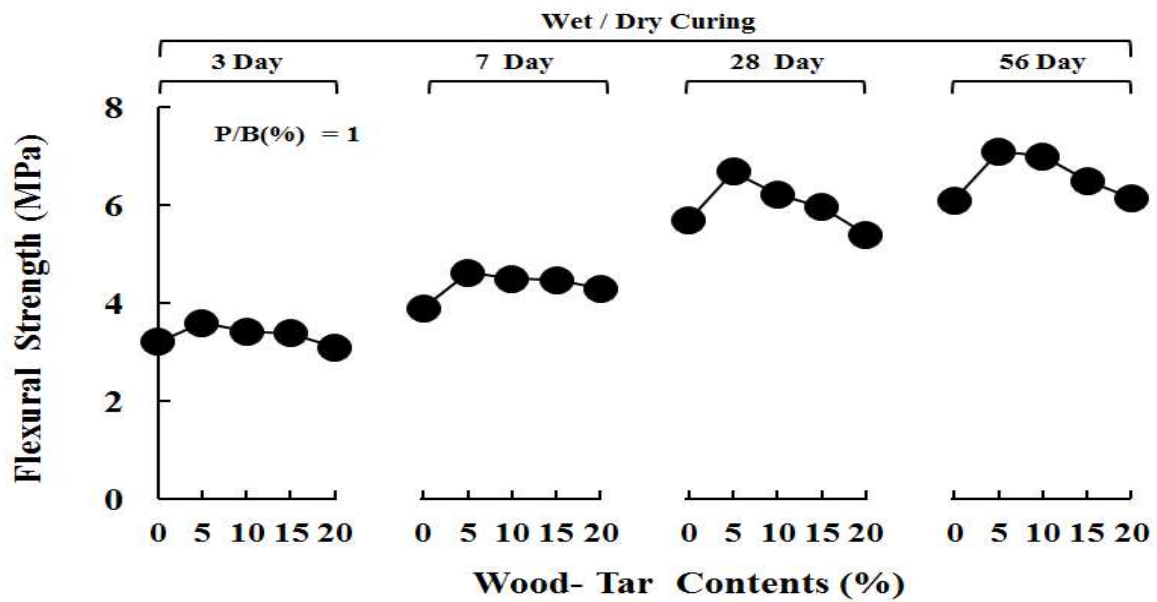
에폭시 수지 혼입 1%의 목타르 치환에 따른 특성을 살펴보면 재령 3일에서는 목타르 치환율에 관계없이 목타르 치환 경화체의 휨강도가 무치환보다 높은 것으로 나타났다. 이후 7일 강도에서는 기중양생에서 목타르 치환율 15%, 습윤양생에서는 20%까지 목타르보다 높은 것으로 나타났다. 56일 재령의 강도를 살펴보면 기중양생에서는 목타르 치환율 5%, 습윤양생에서는 15%까지 목타르 무치환 경화체보다 높은 것으로 나타나 목타르의 치환을 통한 강도 개선이 있는 것으로 나타났다. 양생조건에 따른 강도 편차를 보면 압축강도에서는 양생조건에 따른 강도 편차가 크지 않았던데 비해 습윤양생 조건이 기중양생보다 휨강도가 높은 것으로 나타났다.

에폭시 수지 혼입 3%의 목타르 치환에 따른 특성을 살펴보면 재령 3일에서는 목타르 치환율이 5%까지 최대 강도를 나타내었으며, 10% 이상에서는 감소하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 목타르 치환율 15%까지 무치환의 경우보다 높은 것으로 나타나고 있다. 재령 7일에서는 목타르 치환율 10%까지 휨강도 개선에 효과적인 것으로 나타나고 있으나 15% 이상에서는 무치환의 경우보다 강도가 감소된 것으로 나타났다. 28일 강도에서는 양생조건에 관계없이 목타르 치환율 10%까지 무치환의 경우보다 높은 것으로 나타났다. 기중양생조건에서는 목타르 치환율 15%일 때 무치환보다 강도가 낮아지는 것으로 나타났으나 습윤양생조건은 20%까지 무치환의 경우보다 높은 것으로 나타났다.

에폭시 수지 혼입률 5%에서의 목타르 치환율에 따른 휨강도를 보면 모든 재령에서 목타르 치환율 5%만이 강도 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 재령 7일까지에는 목타르 치환율 10%의 경우에는 무치환의 경우와 유사한 강도를 보이는 것으로 나타났으며 15% 이상의 치환율에서는 무치환보다 강도가 낮은 것으로 나타났다. 양생조건에 따른 강도 특성을 보면 56일 재령에서 기중양생이 습윤양생보다 목타르 치환율 5%를 제외한 모든 시험체의 목타르 치환율에 따른 강도 감소가 큰 것으로 나타나 목타르의 양생조건에 따른 강도 편차는 큰 것으로 나타났다.

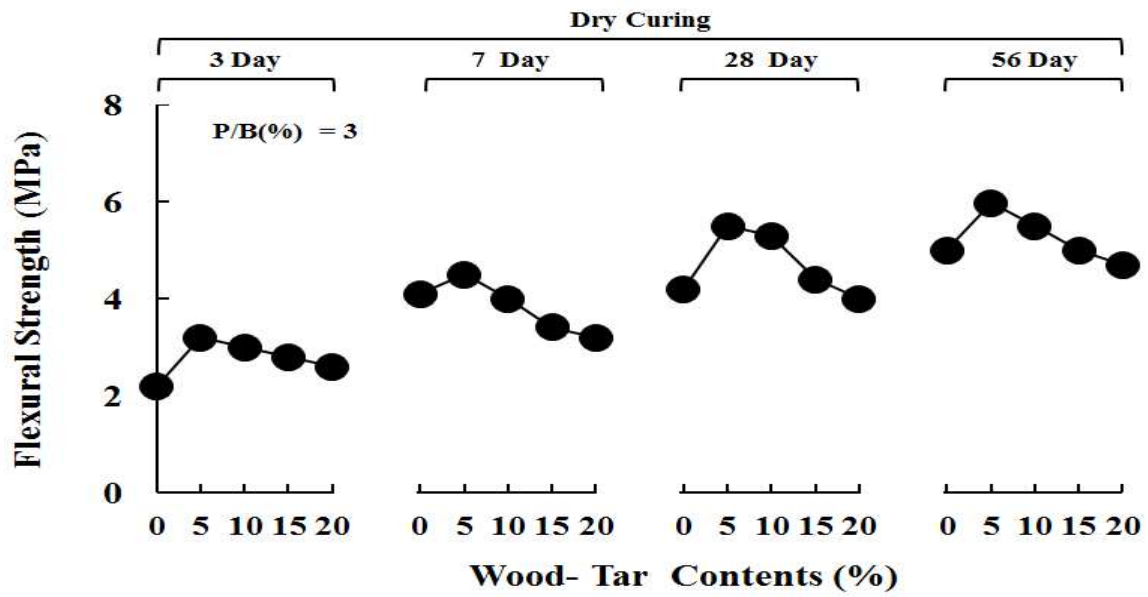


(a) 기중양생

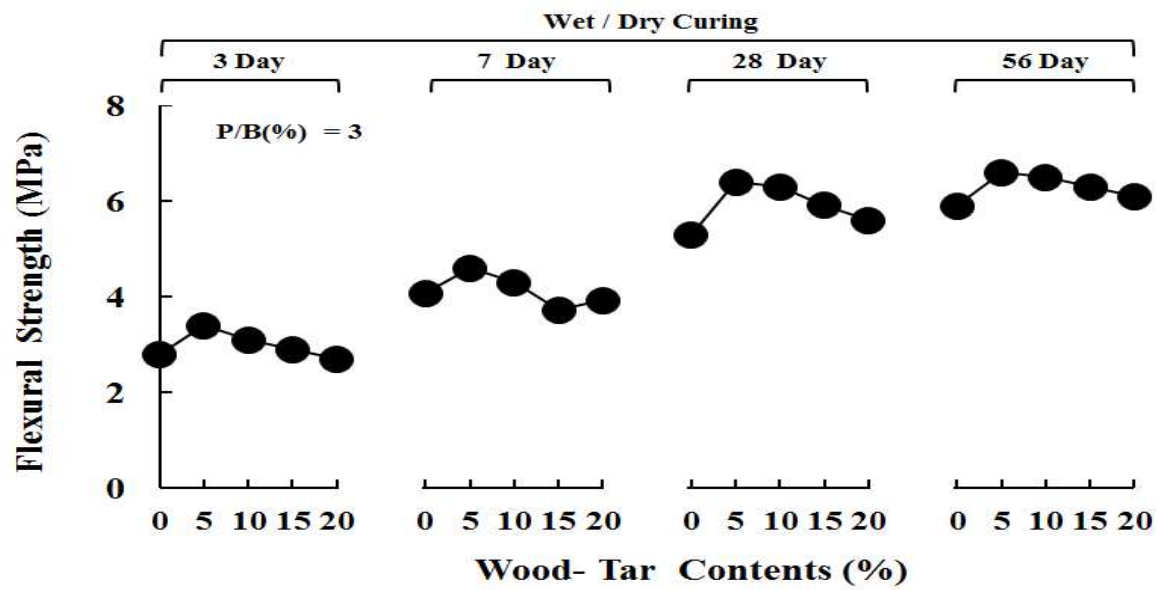


(b) 습윤양생

그림 2.2.104 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 휨강도
(에폭시 수지 1%)

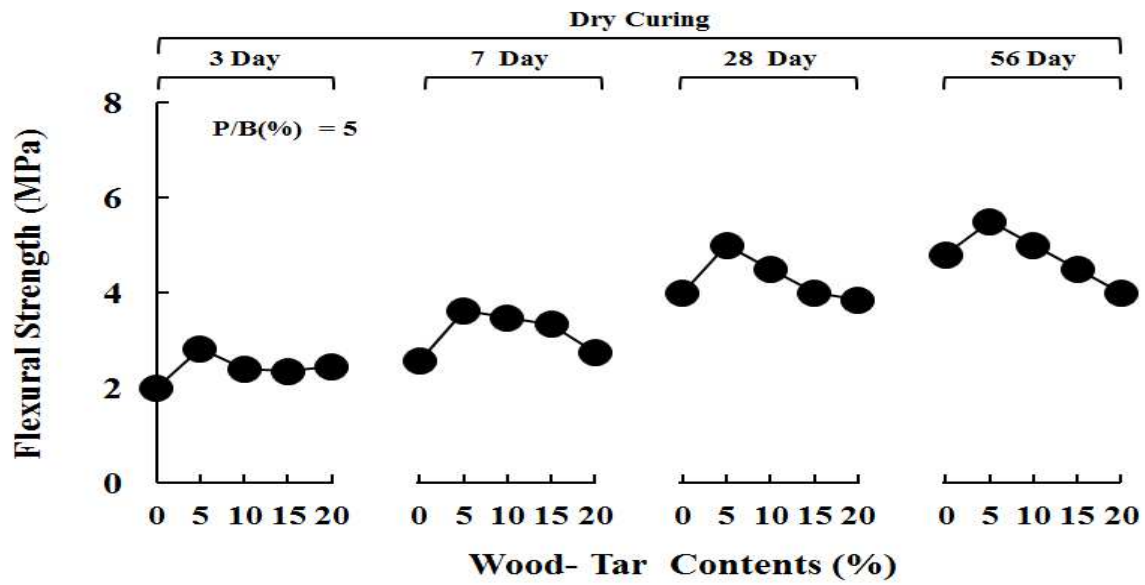


(a) 기중양생

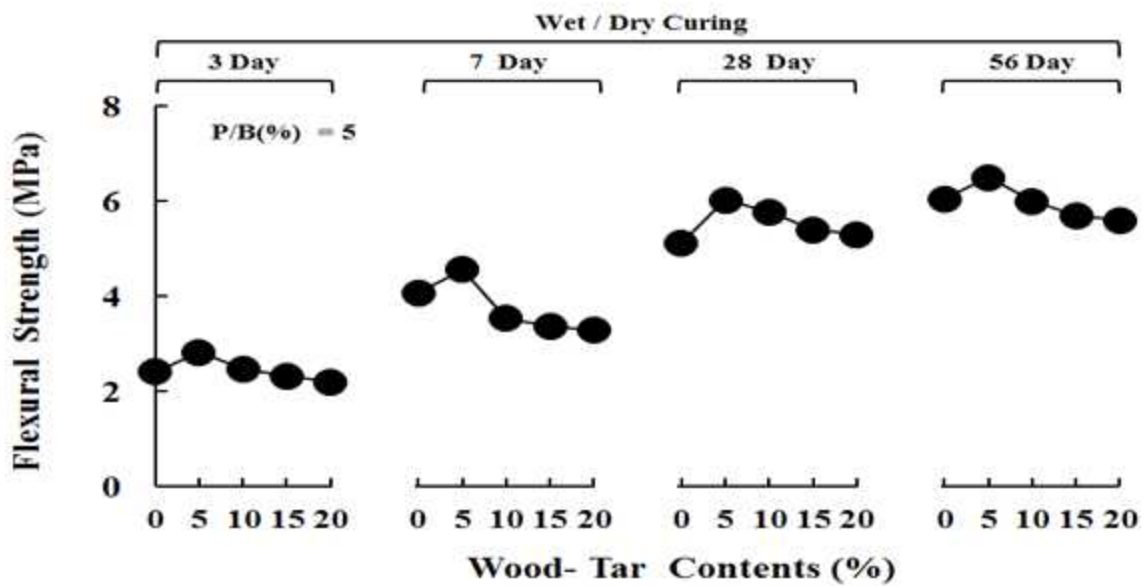


(b) 습윤양생

그림 2.2.105 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 휨강도
(에폭시 수지 3%)



(a) 기중양생



(b) 습윤양생

그림 2.2.106 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 휨강도
(에폭시 수지 5%)

그림 2.2.107, 2.2.108, 2.2.109는 에폭시 수지 혼입률과 목타르 치환율에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다.

에폭시 수지 혼입률 1%인 모르타르의 인장강도를 보면 3일 강도에서는 기중양생에서 습윤양생보다 강도가 낮은 것으로 나타났다. 기중양생에서 목타르 10% 치환까지 강도 개선이 있는 것으로 나타났으며, 습윤양생에서의 목타르 치환에 의한 효과는 적은 것으로 나타났다.

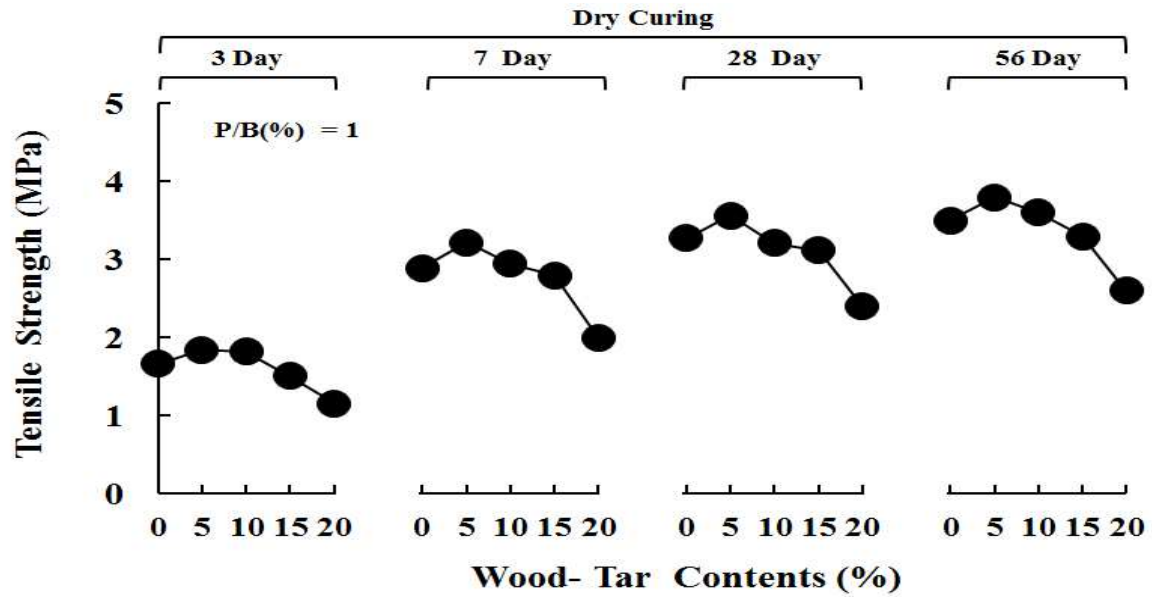
7일 강도에서 기중양생과 습윤양생의 강도 편차는 감소되고 있는 것으로 나타났으며, 양생방법에 관계없이 목타르 혼입률 10%까지는 강도증진이 되는 것으로 나타났다. 56일 강도에서는 습윤양생과 기중양생의 강도 편차는 적었으며, 목타르 치환율 10%까지 목타르 무치환에 비하여 강도가 높은 것으로 나타났다.

에폭시 수지 혼입률 3%의 경우에도 초기 강도는 습윤양생이 높은 것으로 나타났으며, 기중양생에서는 목타르 치환율이 10%까지 강도가 높은 것으로 나타났다. 목타르 치환으로 인해 양생조건의 영향이 감소된 것으로 판단된다. 56일 강도를 보면 목타르 치환율 10%에서는 습윤양생보다 기중양생의 강도가 높은 것으로 나타나 목타르 치환으로 양생조건의 영향을 감소시키고 장기 강도를 증진시킬 수 있는 것으로 나타났다.

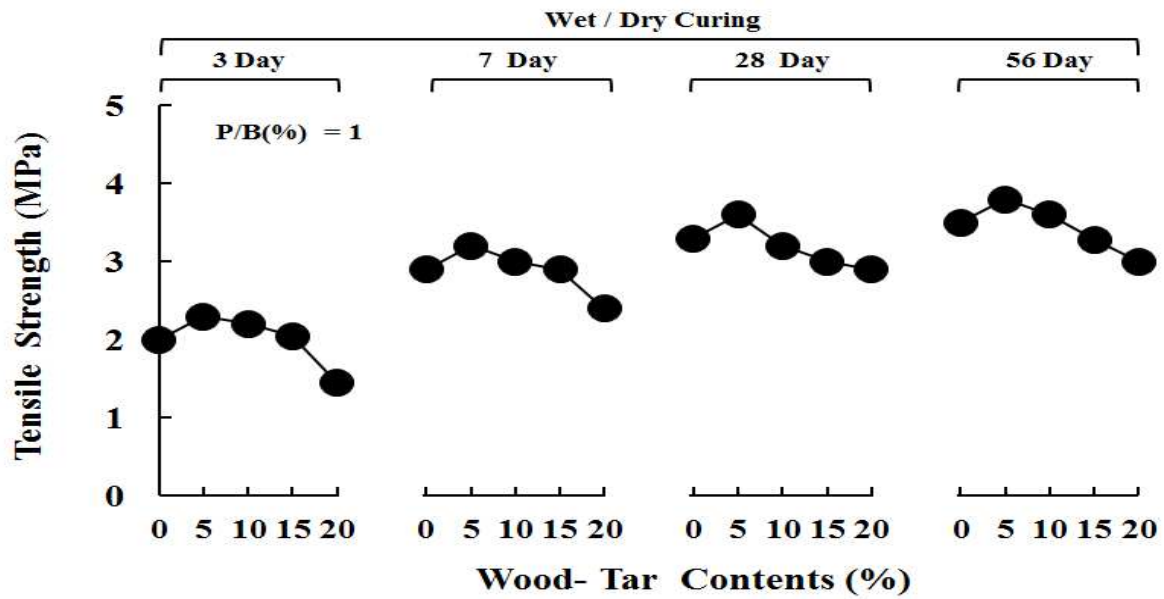
에폭시 수지 혼입률 5%에서의 목타르 치환을 살펴보면 초기 3일까지의 강도를 보면 목타르 치환을 하더라도 습윤양생의 강도가 기중 양생의 강도가 낮은 것으로 나타났다. 에폭시 수지 혼입률이 증가하면서 목타르 치환에 의한 효과가 감소되어 초기에 양생 조건의 영향이 커진 것으로 판단된다. 그러나 재령 7일에서는 습윤양생에서 목타르 치환에 의한 강도 개선효과가 적었으나 기중양생에서는 목타르 치환율 15%까지 인장 강도 개선효과가 높은 것으로 나타났다. 28일 강도 이후에는 기중양생의 목타르 치환율 15%까지 강도가 높은 것으로 나타났으며, 습윤양생에서는 10%까지 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 목타르 치환율 20% 혼입 시에는 장기 강도에서 저하되는 것으로 나타나 과량의 목타르 치환은 인장 강도 개선에 불리한 것으로 나타났다. 이는 목타르 치환에 의해 경화도 증진 및 수분의 공급을 통한 양생이 양호하게 나타나 강도 개선효과가 높은 것으로 나타났다.

목타르는 시멘트 내의 수산화칼슘과 만나 페놀레이트염과 수분을 생성하는 것으로 인해 건조수축에 의한 수분 손실을 보상할 수 있는 수분을 내부에서 공급하기 때문에 양생이 양호하게 나타나는 것으로 판단된다.



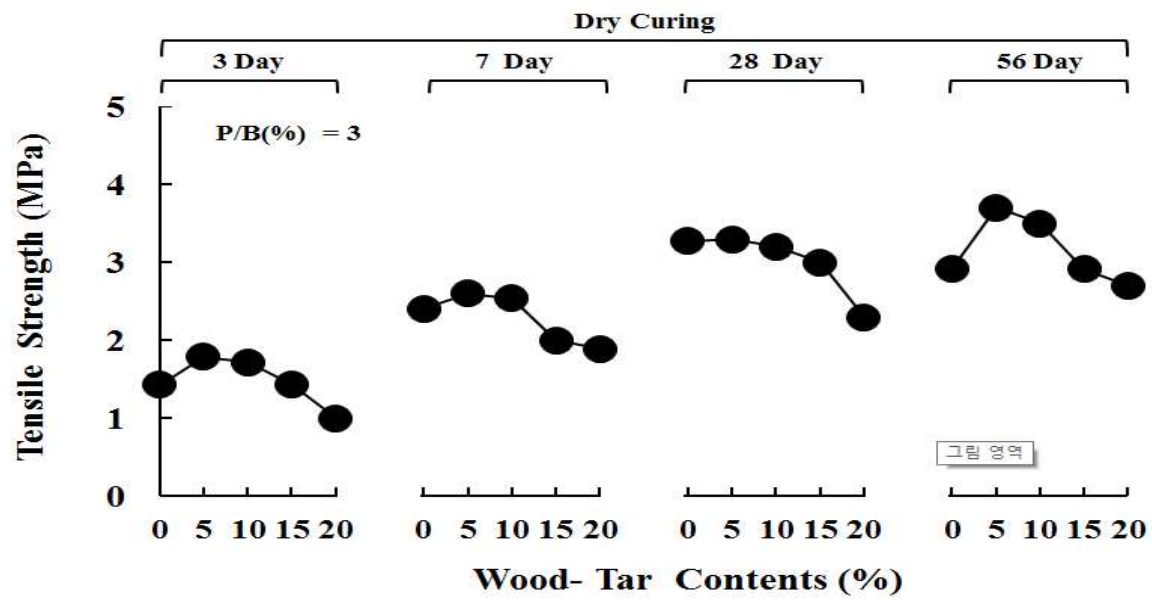


(a) 기중양생

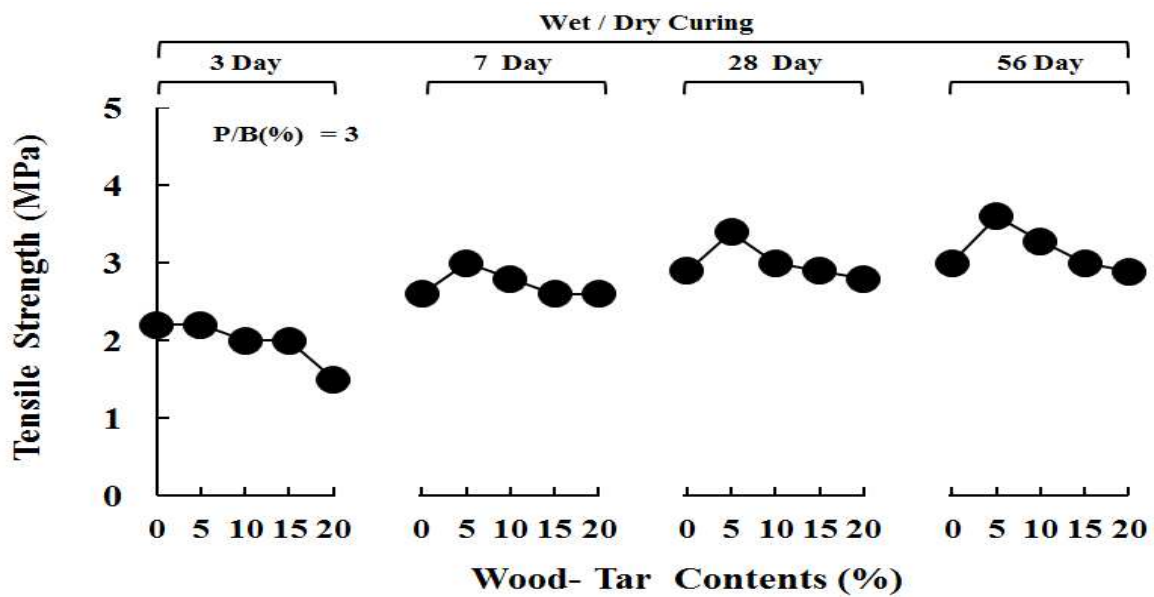


(b) 습윤양생

그림 2.2.107 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 인장강도
(에폭시 수지 1%)

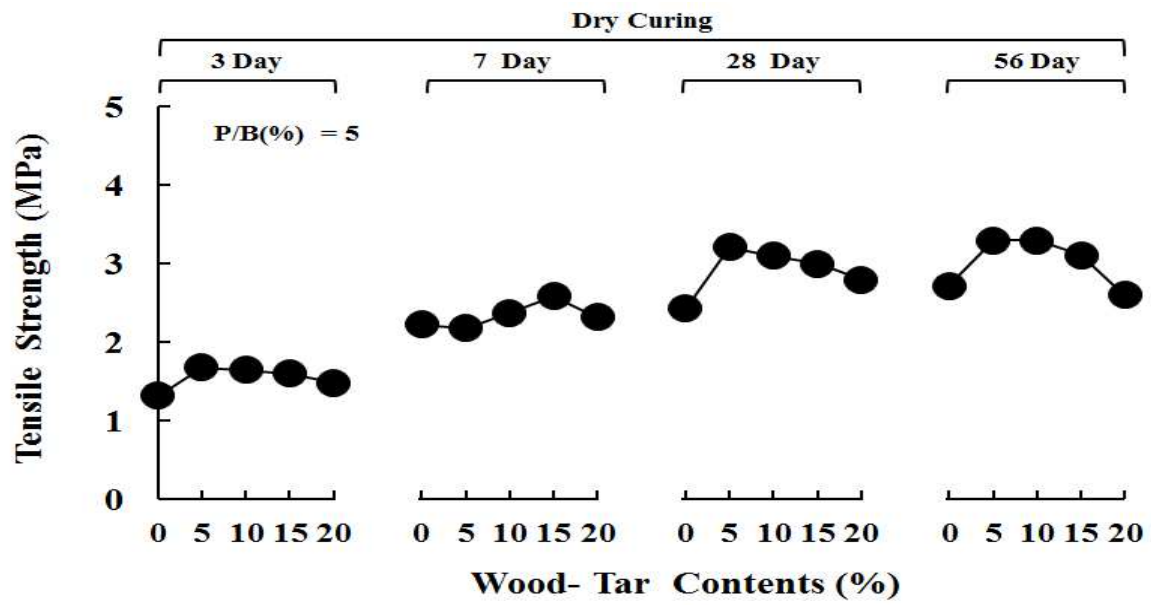


(a) 기중양생

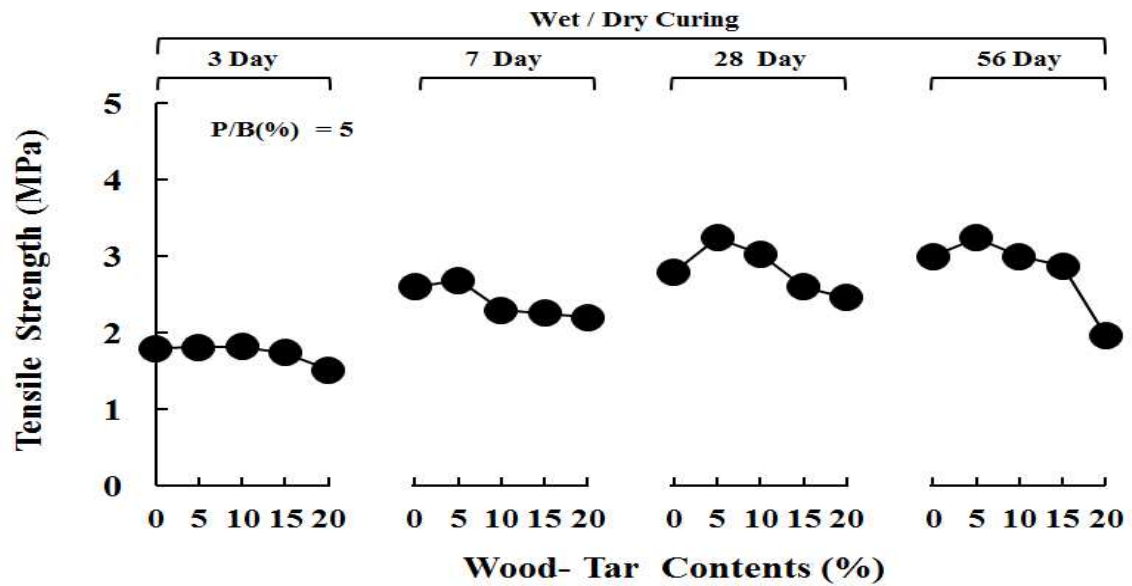


(b) 습윤양생

그림 2.2.108 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 인장강도
(에폭시 수지 3%)



(a) 기중양생



(b) 습윤양생

그림 2.2.109 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 인장강도
(에폭시 수지 5%)

(2) 경화도 특성

목타르 치환에 의한 에폭시 수지의 경화도를 살펴보면 목타르 치환율 5%에서 경화도가 최대인 것으로 나타났다. 7일까지의 경화도 또한 5%에서 가장 높았으며, 7일 재령에서 28일 재령까지의 경화도 변화가 가장 큰 것은 10% 혼입에서 가장 큰 것으로 나타났다. 28일 재령에서의 경화 수지량을 보면 10%까지 목타르 무치환보다 경화된 수지량이 큰 것으로 나타났으며 15% 이후로 감소하는 경향을 보이고 있다. 에폭시 수지의 경화를 최대로 할 수 있는 최적 혼입률은 5%이며, 10%까지 에폭시 수지의 경화도가 감소되는 것을 방지한 상태로 양생이 가능한 것으로 판단된다.

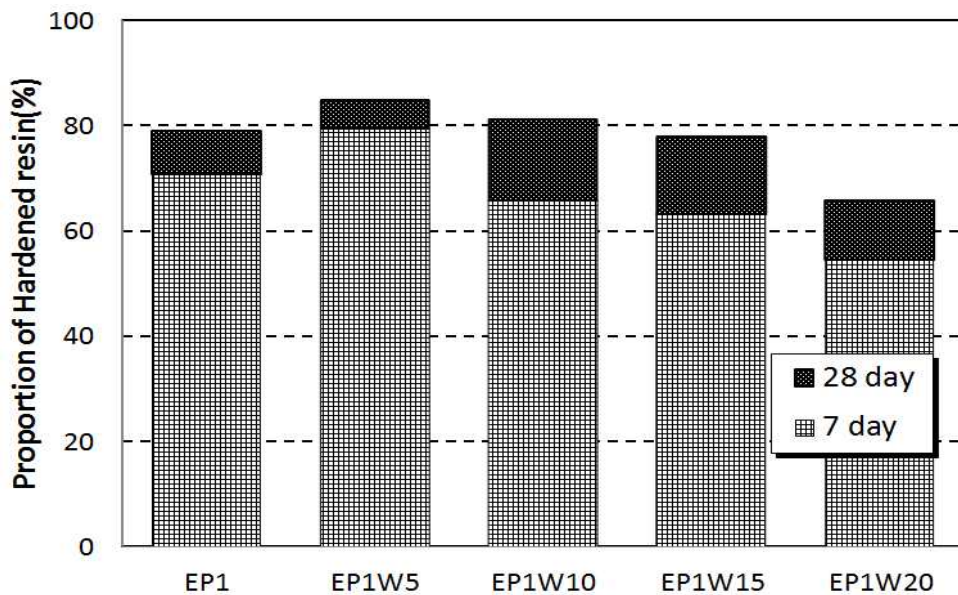


그림 2.2.110 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지의 경화도

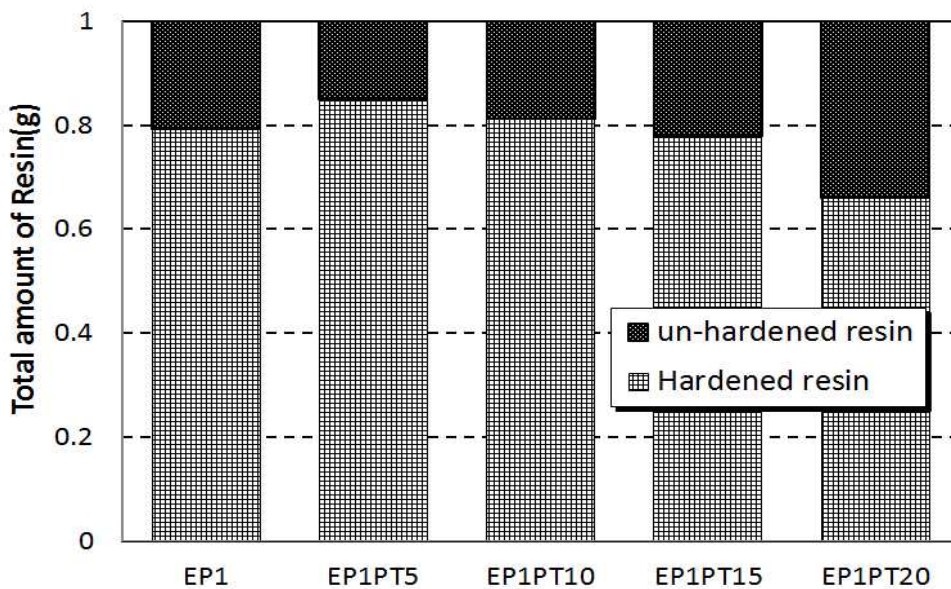


그림 2.2.111 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지의 경화수지량

(3) 간이단열온도특성

목타르 치환에 따른 간이단열 수화열 특성을 보면 목타르 치환율이 증가함에 따라 최대발열온도는 낮아지는 것으로 나타났다. 최대발열온도가 낮아지는 것은 목타르 치환율 15%에서 최소로 나타났으며, 목타르 치환율 20%에서는 크지 않은 것으로 나타났다. 최대발열온도가 나타나는 시간대는 목타르 치환율이 증가함에 따라 지연되는 것으로 나타났다. 목타르가 OPC의 수화를 지연시키는 것으로 판단된다. 에폭시 수지가 시멘트 입자 주변을 감싸 수화를 지연시키는 것에 반해 산성분의 목타르가 수화를 지연시키는 것으로 보인다.

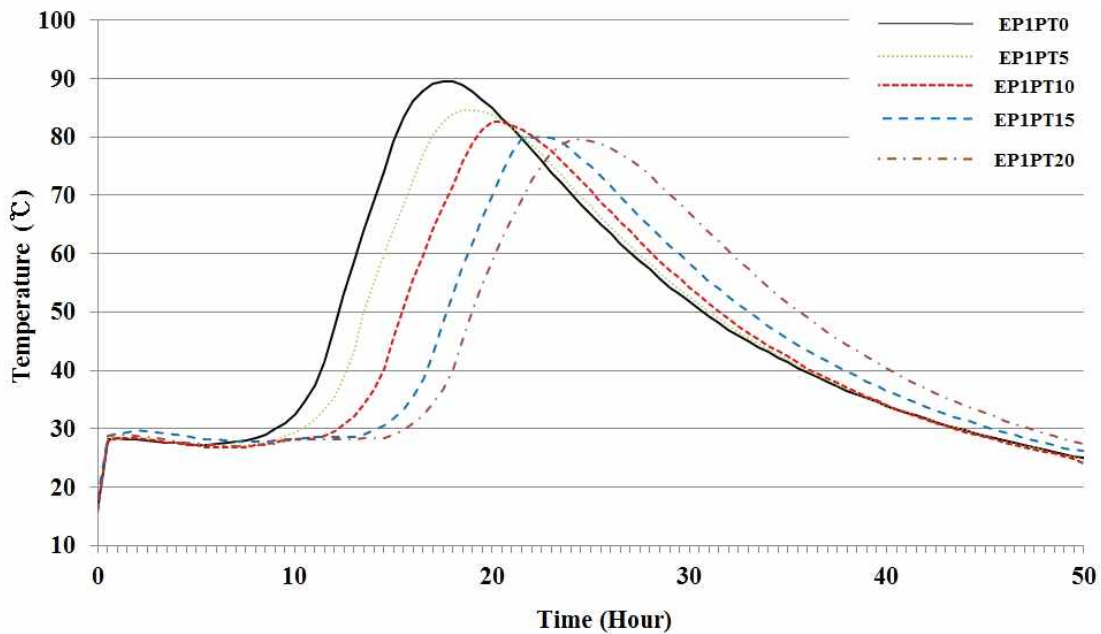
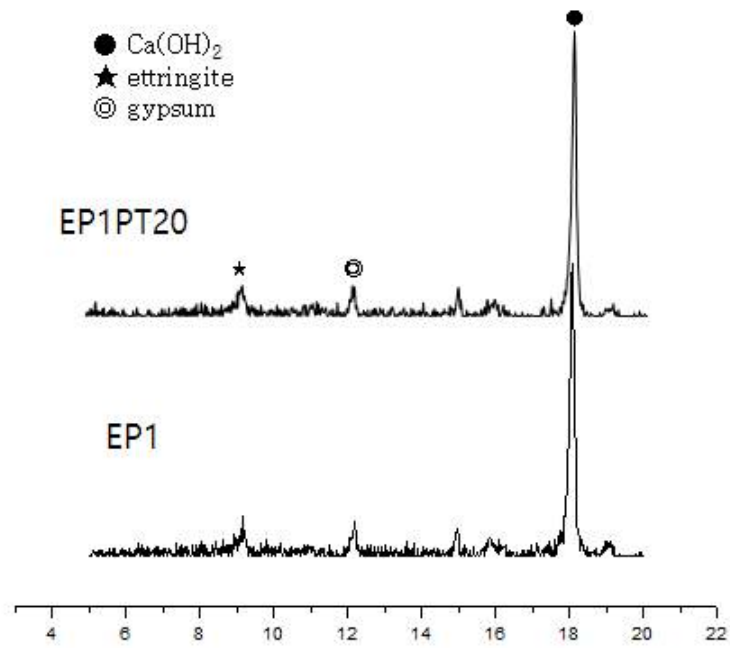


그림 2.2.112 목타르 치환에 따른 간이단열온도 특성

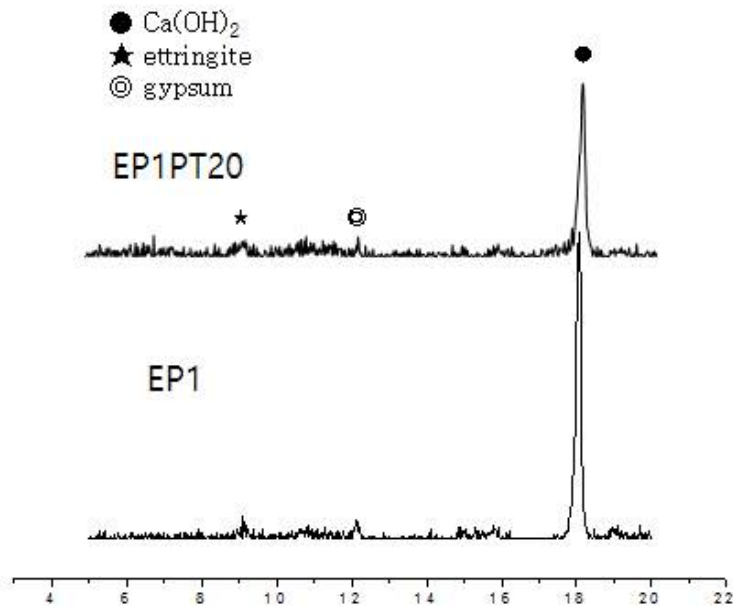
(4) XRD분석

목타르 치환에 따른 XRD를 보면 목타르 치환에 따른 수화물 조성을 보면 1일의 수산화칼슘 피크는 무치환의 경우와 유사한 것으로 나타났으나 재령 3일의 수산화칼슘량이 크게 감소한 것으로 나타났다. 이는 초기 수화시 목타르가 수산화칼슘을 소비하면서 수산화칼슘이 감소된 것으로 보인다. 목타르의 주요 성분은 페놀로써 수산화칼슘 중 칼슘이온과 만나 페놀레이트 염을 생성시키고 수분을 방출하는 특성을 가지고 있다.





(a) 목타르 치환에 따른 XRD (1일)



(b) 목타르 치환에 따른 XRD (3일)

그림 2.2.113 목타르 치환에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 XRD

(5) 공극률 분석

경화체 내의 공극은 크게 분류하여 물이 차지하였던 공극과 모르타르 또는 콘크리트의 혼합시 혼입되는 공기에 의한 공극이 있다. 또한 공극의 형상은 원통상 모델로 적용하는 것이 많기 때문에 공극의 크기는 직경으로 나타낸다. 이 때 수화물에 의해 채워지지 못하고 물의 증발에 의해 남은 부분을 모세관 공극이라고 하며 수화생성물인 시멘트 자체의 내부에 포함되어 있는 겔입자내의 공극을 겔공극이라고 한다. 수화된 시멘트 경화체는 C_2S 및 C_3S 페이스트 고체부분의 약 60~70%를 CSH겔이 점하고 있으며, 수산화칼슘이 약 20~30%를 점하고 있다.

겔공극과 모세관 공극의 크기에 대해서는 여러 견해가 있지만 H.Uchikawa 등은 1~3.2nm를 겔공극, 3nm~30 μm 를 모세관 공극으로 정의하였고, M. Daimon은 1.2nm 이하의 공극을 intracrystallite pore로 정의하며 3.2~200nm의 공극을 겔입자간 공극으로 정의하였다. 골재 주변을 확대하면 골재와 시멘트 페이스트 사이에 CaO가 풍부한 불연속인 포러스(Porous)한 영역이 존재한다. 이러한 천이대는 골재 표면으로부터 약 50 μm 이 내의 영역으로 생각되고 있다. 아래 그림 28은 P.K.Metha가 정의한 시멘트 경화체 중의 고체 및 공극의 크기를 나타낸다.

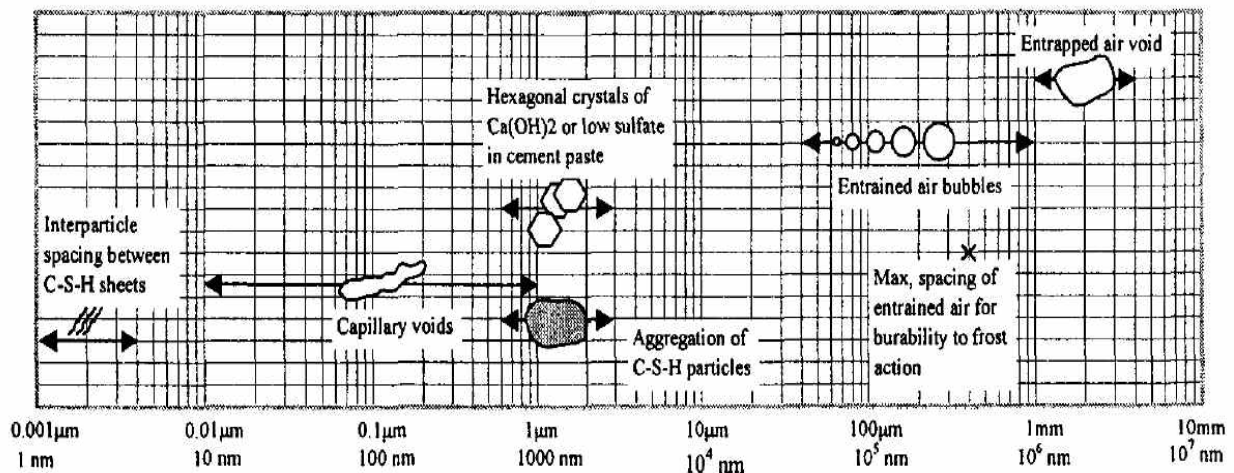


그림 2.2.114 시멘트 페이스트 내의 수화물과 공극 크기

미세구조에 있어서 공극크기 및 분포는 매우 중요하다. 공극크기 및 분포는 물리적 성질인 압축강도나 내구성에 큰 영향을 미치는 이온의 투과성과 같은 성질에 매우 중요하다.

표 2.2.34는 H.Uchikawa가 보고한 OPC경화체의 성질에 미치는 공극구조에 대해서 보고한 내용을 정리하였다.

표 2.2.34 시멘트 페이트의 공극 크기에 따른 영향

특성	인자
강도	Pore size 5nm to 2 μ m increase → getting worse 30 μ m to 1mm increase → getting worse
동결융해	Pore size 6 to 2nm increase → getting better 10nm to 1 μ m increase → getting worse 10 to 90 μ m increase → getting better
투기성	Pore size several hundreds nm or over increase → getting larger volume of paste parts increase → getting smaller
이온투과성	Total pore size increase → getting larger Gel pore increase → getting smaller
건조수축과 크리프	Pore size 6 to 60nm increase → getting larger 6 to 2nm increase → getting larger Hydrate(Calcium aluminate hydrate, Calcium sulfoaluminate hydrate) increase → getting smaller

에폭시 수지 혼입률 1%에서 목타르 치환율에 따른 공극률 변화를 보면 목타르 치환율 10%까지 전공극률은 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 목타르 치환율 10%까지는 1,000~5,000nm의 공극률이 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 100~1,000nm의 공극률은 약간 증가하는 것으로 나타났다. 목타르 치환율이 증가하면서 5,000nm 이상의 공극률은 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 목타르가 10%를 초과할 경우에는 내부의 공극률이 증가하는 것으로 나타났다. 모르타르 내의 에폭시 수지의 경화반응에 참여하지 못한 목타르의 성분이 시멘트와 반응하면서 내부의 수분을 생성하고 이에 따른 공극 증가 현상으로 보인다.

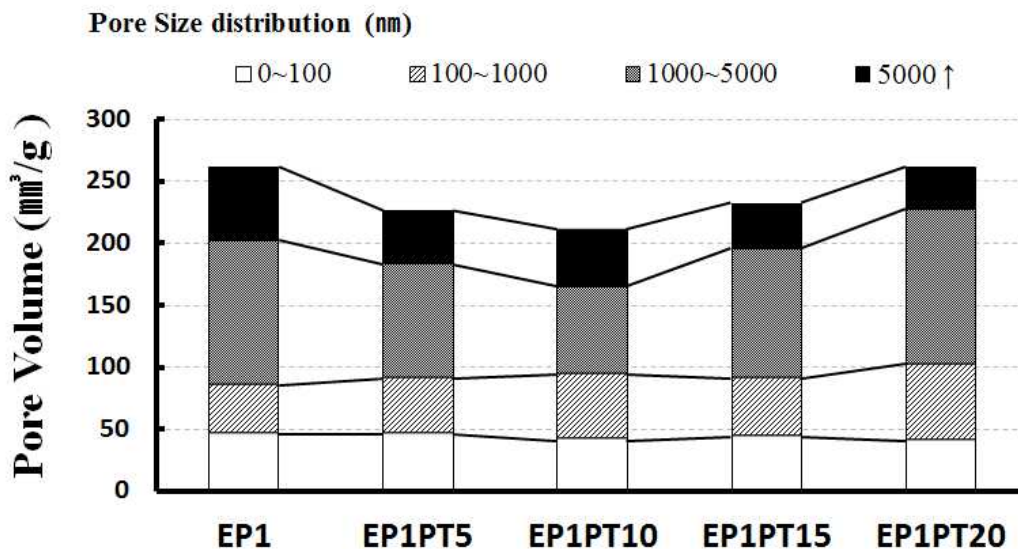


그림 2.2.115 목타르 치환에 의한 공극률 변화(에폭시 수지 1%)

에폭시 수지 혼입률 3%에서는 목타르 치환에 의해 전공극률은 감소하였으나 목타르 치환율 증가와는 큰 상관관계는 없는 것으로 나타났다. 목타르 치환율 10%에서 100~1,000nm의 공극이 과량 증가하는 것으로 나타나 동결융해에 취약할 것으로 예상되었다. 그러나 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 외부의 수분 침투가 억제되는 특성이 있어 공극 분포가 아래와 같더라도 내부 수분의 동결 현상이 적을 것으로 예상된다. 목타르 치환율이 10%를 초과하면서 내부 공극 중 1,000~5,000nm사이의 공극이 크게 증가하는 경향을 볼 수 있는데 에폭시와 미반응된 목타르로 인한 내부의 수분 생성으로 인한 공극 증가로 판단된다. 따라서 에폭시 수지 혼입률 3%에서 최적 반응을 위한 목타르의 혼입률은 10%로 판단된다.

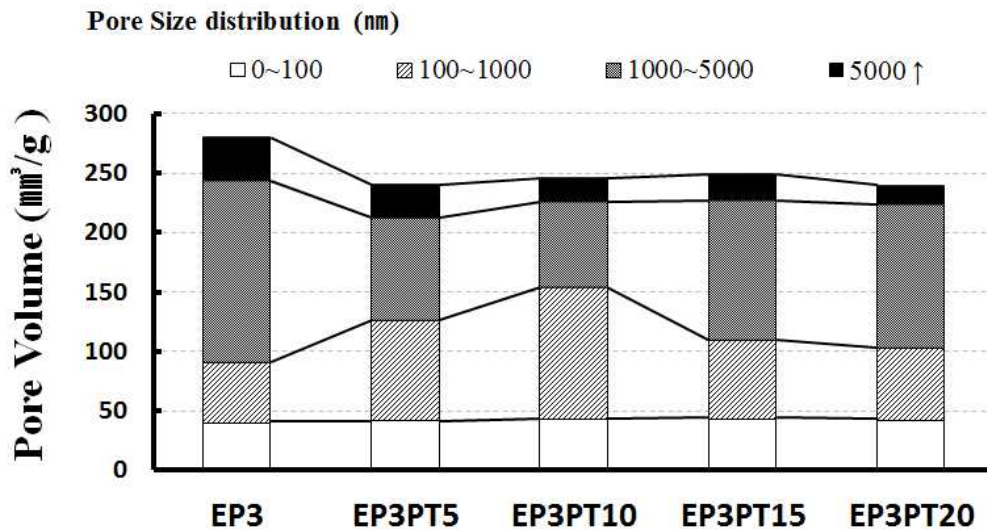


그림 2.2.116 목타르 치환에 의한 공극률 변화(에폭시 수지 3%)

에폭시 수지 혼입률 5%에서의 목타르 치환에 의한 공극률 변화를 보면 목타르 치환에 따라 전공극률을 감소하는 것으로 나타났다. 목타르 치환과 함께 반응한 에폭시 수지가 내부의 공극을 채워나감에 따라 공극률 감소가 큰 것으로 판단된다. 에폭시 수지 5%에서는 수지의 양이 크기 때문에 시멘트와 잉여 목타르의 접촉이 용이하지 않아 잉여 목타르에 의한 1,000~5,000nm사이의 공극변화가 균질하지 않은 것으로 판단된다.

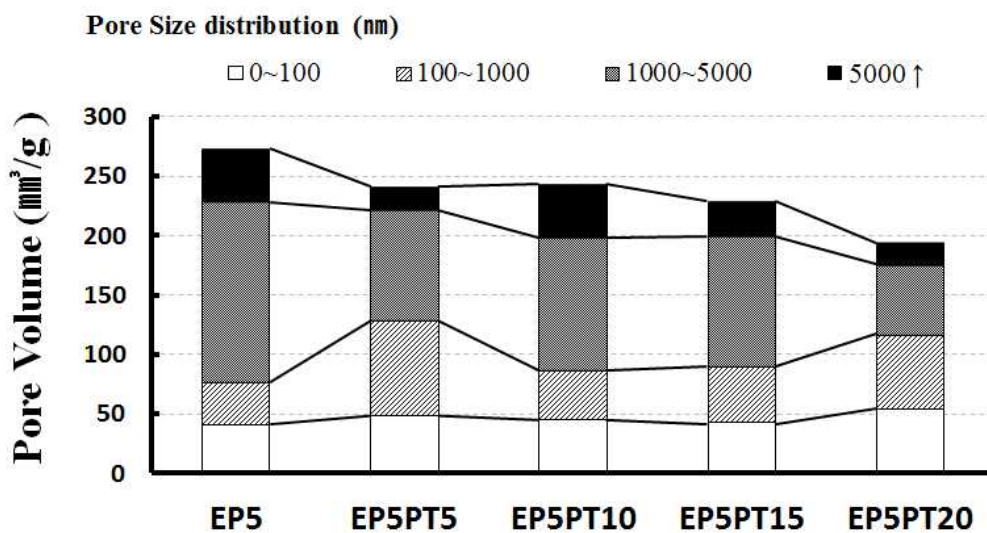


그림 2.2.117 목타르 치환에 의한 공극률 변화(에폭시 수지 5%)

(6) 길이변화 특성

그림 2.2.118, 2.2.119는 목타르 치환에 따른 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28, 56일 길이변화 특성을 나타낸 그래프이다.

먼저 28일 길이변화는 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르에 목타르를 첨가한 경우 에폭시 수지 혼입률 5% 및 목타르 치환율 20%의 배합을 제외한 모든 배합에서 길이변화 특성이 개선되는 것으로 나타나며, 56일 길이변화를 측정한 결과 목타르 치환에 따른 길이변화의 개선은 모든 배합에서 나타났다.

에폭시 수지를 1% 혼입한 경우, 목타르 치환율에 따른 28일 및 56일 길이변화 특성을 보면, 목타르 치환율이 0%에서 5, 10%까지 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났으며, 15% 이상 치환 시 길이변화율이 증가하는 것으로 나타났다.

에폭시 수지 혼입률이 3%인 목타르 치환 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28일 및 56일 길이변화 특성은 에폭시 수지 혼입률 1%와 마찬가지로 목타르 치환율 10%가 가장 적은 길이변화율을 나타냈으며, 치환율 10%부터 목타르 치환율이 증가할수록 길이변화율이 증가하는 경향을 나타내었다.

에폭시 수지 혼입률 5%에서의 목타르 치환율에 따른 28일 및 56일 길이변화 특성을 보면 목타르 치환율이 증가함에 따라 길이변화율은 감소하는 경향을 보이며, 15%에서 가장 작은 길이변화율을 나타내며, 15% 이상 치환 시 28일 및 56일 모두 길이변화율이 증가하였다.

목타르 치환에 따른 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28일 및 56일 길이변화율을 측정한 결과 에폭시 수지 혼입률 1, 3%인 경우, 길이변화 개선을 위한 최적의 목타르 치환율은 10%인 것으로 나타났으며, 에폭시 수지 혼입률 5%인 경우, 목타르 치환율 15%가 가장 적합한 것으로 나타났다. 목타르 치환 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28일 길이변화율은 모든 배합에서 UMM보다 적은 길이변화율을 나타냈으며 KS의 기준을 만족하였으며, 56일 길이변화율은 에폭시 혼입률 1%, 목타르 치환율 0%인 공시체를 제외한 모든 공시체에서 UMM보다 적은 길이변화율을 나타내었다.

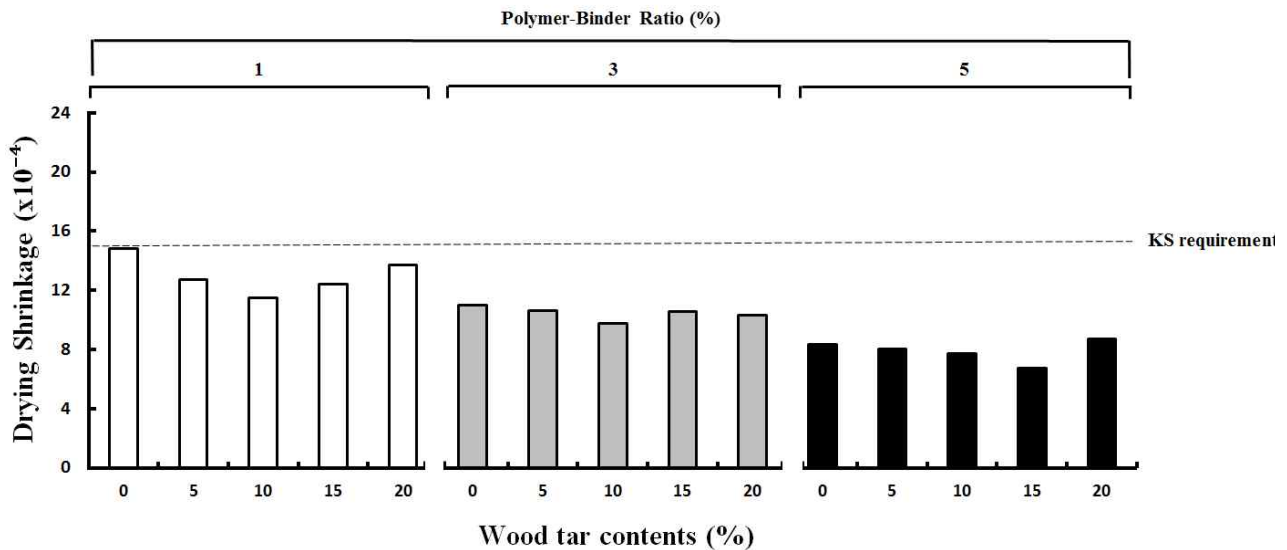


그림 2.2.118 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28일 길이변화

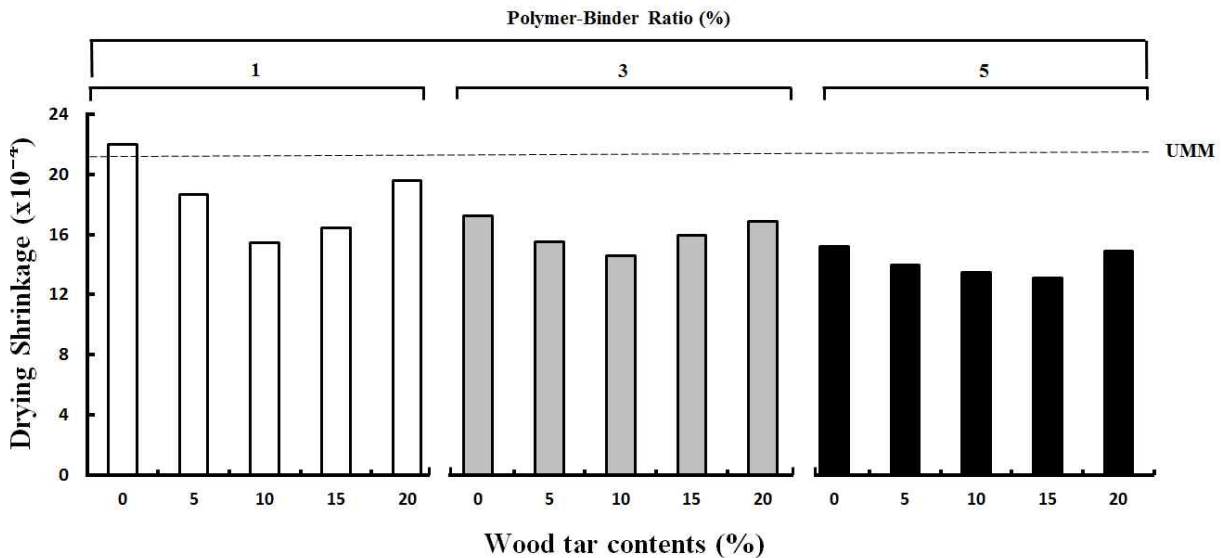


그림 2.2.119 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 56일 길이변화

그림 2.2.120, 2.2.121은 에폭시 수지 혼입률에 따른 28일 길이변화 및 목타르 치환율에 따른 에폭시 수지 혼입 모르타르의 28일간의 길이변화를 기간별로 나타낸 그래프이다.

에폭시 수지 혼입률에 따른 길이변화율은 에폭시 수지 혼입률이 증가 할수록 길이변화율은 확연히 감소하는 경향을 보이며, 에폭시 수지 혼입률 5%, 목타르 치환률 15% 일 때, 가장 작은 길이변화율을 보였다.

그림 2.2.121에서 초기 0일부터 7일까지의 길이변화율의 폭을 살펴보면 에폭시 수지 혼입률이 증가할수록 초기의 길이변화율이 현저히 작아지는 것을 나타낸다. 초기수축량의 증가는 경화시 피착체와의 부착력을 저하시킬수 있으며, 이는 모르타르의 탈락으로 이어지게 된다. 따라서 초기 경화 시의 치수안정성을 확보하기 위하여 에폭시 수지 및 에폭시 수지의 경화제로 작용할 수 있는 목타르의 적절한 혼입이 요구되는 것으로 판단된다.

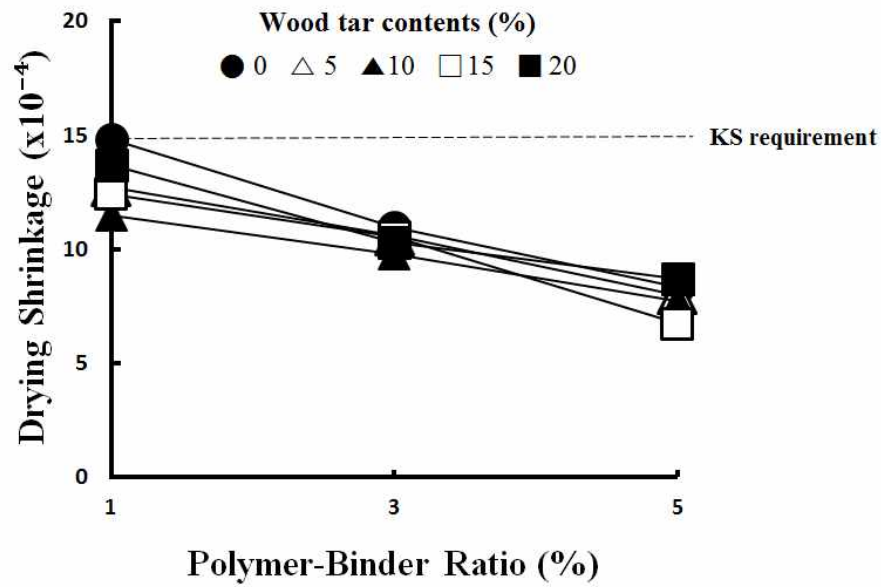


그림 2.2.120 에폭시 수지 혼입률에 따른 28일 길이변화

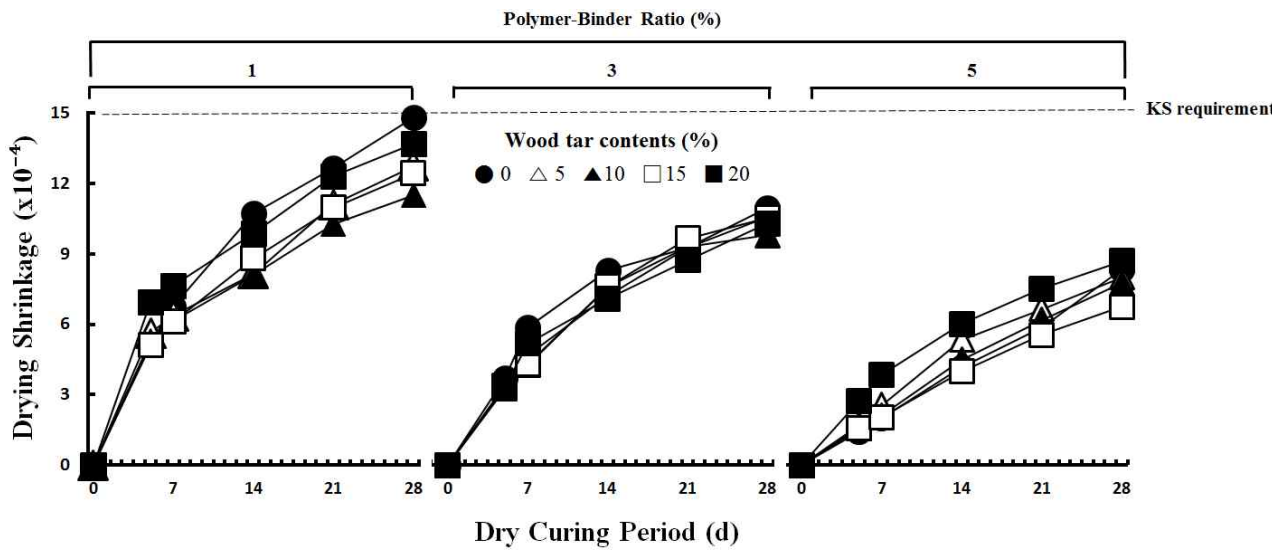
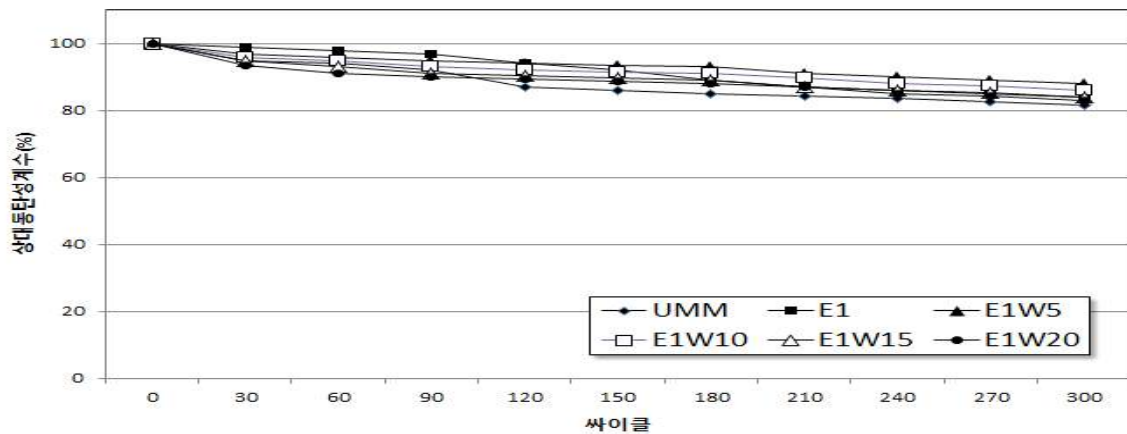


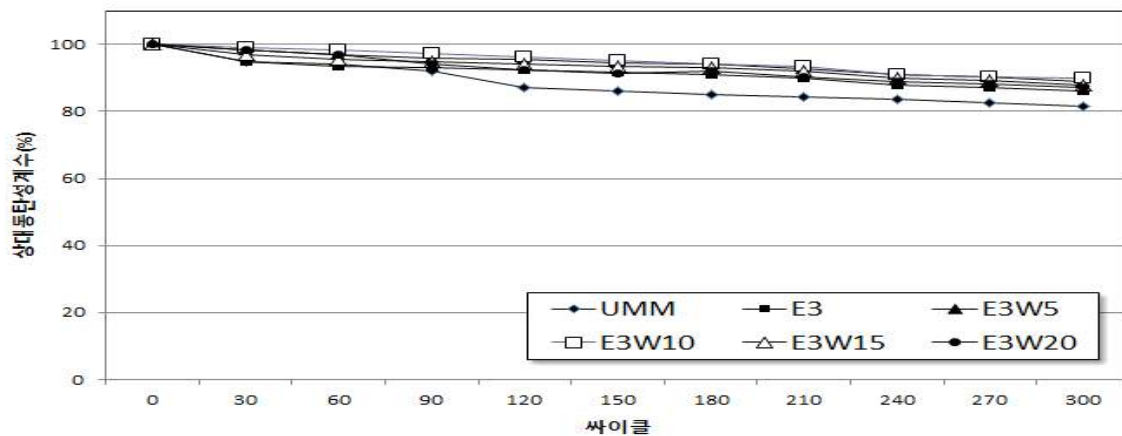
그림 2.2.121 건조기간에 따른 목타르 치환 에폭시 수지 혼입 모르타르의 길이변화

(7) 동결융해 특성

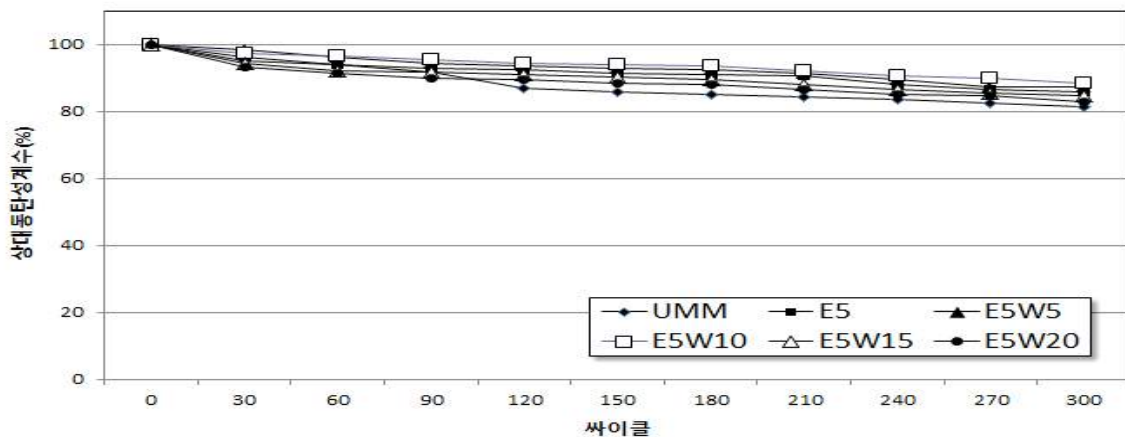
경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르 결과 300cycle까지의 상대동탄성계수는 모두 80% 이상으로 나타나 동결융해 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 에폭시 수지를 혼입한 시험체는 UMM보다 동결융해 저항성이 더 높은 것으로 나타났으며, 목타르 혼입률에 의한 동결융해저항성 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.



(a) 목타르 혼입률에 따른 에폭시 1%에서의 상대동탄성계수



(b) 목타르 혼입률에 따른 에폭시 3%에서의 상대동탄성계수



(c) 목타르 혼입률에 따른 에폭시 5%에서의 상대동탄성계수

그림 2.2.122 목타르 혼입률에 따른 에폭시수지 혼입 모르타르의 상대동탄성계수

표 2.2.35 동결 융해 시험 전후의 무게 변화

시험체명	무게(kg)		시험체명	무게(kg)		시험체명	무게(kg)	
	실험 전	실험 후		실험 전	실험 후		실험 전	실험 후
UMM	8.600	8.640	UMM	8.600	8.640	UMM	8.600	8.640
E1	6.400	6.460	E3	6.400	6.440	E5	6.020	6.080
E1W5	5.820	5.920	E3W5	6.280	6.300	E5W5	6.700	6.720
E1W10	6.200	6.280	E3W10	6.240	6.280	E5W10	6.300	6.340
E1W15	5.760	5.840	E3W15	6.480	6.540	E5W15	6.300	6.240
E1W20	6.300	6.340	E3W20	6.320	6.380	E5W20	6.260	6.320

(8) 규격 성능 검토를 위한 배합 도출

본 연구개발에서의 압축강도 및 보수성 검토는 KS L 5220 : 2007에 근거하여 실시하였으며, 기준배합은 보수성이 가장 낮을 것으로 예상되는 E1W5 배합을 선정하였다. 아래 표 2.2.36은 공인시험기관을 통한 E1W5 시험체의 압축강도 및 보수성 시험배합 및 결과 값을 나타낸 것이다. 7일 압축강도는 26.1MPa로 목표값인 6.0MPa를 크게 상회하였는데, 이것은 시멘트 대 잔골재비가 1 대 0.5로 잔골재보다 결합재가 더 많은 부 배합에 의한 결과라 판단된다. 그리고 E1W5 시험체의 보수성은 기준배합보다 약간 빈 배합인 시멘트 대 잔골재비가 1(100) 대 0.56(56)으로 실제 시험되었으며, 그 결과 95%의 보수성을 확보할 수 있었다. 이 값은 본 연구에서의 가장 빈 배합조건에서의 결과 값으로, 기타 배합 또한 95% 동등 이상의 보수성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

표 2.2.36 공인시험기관의 압축강도 및 보수성 시험배합 및 결과

시험 체명	배합사항	시멘트	규사	MC ** (%)	에폭시 수지 혼입률 (%)	목타르*** 치환율 (%)	물 시멘트 비 (%)	시험결과	
E1W5*	기준배합	100	50	1	1	5	37.2	압축강도	26.1 MPa
E1W5	기준배합	100	50	1	1	5	37.2	보수성	95 %
	시험성적 배합	① 100 (1120g)	② 56 (634g)	③ 1 (11.2g)	1 (10.5+ 목타르0.7)	5	37.2 (417g)		
		①+②+③ = 1765.2g							

주) * E1W5 : 에폭시수지 혼입률 1%+목타르 치환율 5%

** : 시멘트에 대한 메틸셀룰로오스(MC) 첨가율

*** : 에폭시수지에 대한 목타르 치환율

4. 소결

목타르 치환에 따른 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 모르타르의 특성을 살펴보면 아래와 같다.

가. 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 경화도는 에폭시 수지 혼입률이 1% 일 때 최대로 나타났으며, 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타낸다. 에폭시 수지 혼입률이 3%일 때 경화수지량이 최대로 나타났으며, 5%의 경우에는 3%와 유사하게 나타났다.

나. 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르에 목타르를 치환했을 때 5%의 치환율에서 경화도 향상, 에폭시 수지의 사용량 저감, 물리적 성능 개선이 가능하였다. 최적 배합비는 에폭시 수지 혼입 모르타르 3%에서 최적으로 나타났으며, 물리적 성능이 가장 높은 것으로 나타났다.

다. 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 에폭시 수지 혼입에 따른 간이단열온도 특성은 혼입률에 따라 저감하는 것으로 나타났으며, 목타르 치환 시에는 에폭시 수지 혼입의 경우보다 간이단열온도가 더 저감되는 것으로 나타났다. XRD상에서 에폭시 수지와 목타르는 수산화칼슘을 소비하는 경향을 나타내어 수화를 지연시키는 것으로 나타났다.

라. 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 길이변화 특성은 목타르 치환율 10~15%의 범위에서 길이변화율이 작았으며, 에폭시 수지 혼입률이 증가할수록 초기 길이변화율이 현저히 작아지는 것을 나타냈다.

마. 경화제 무첨가 에폭시 수지 혼입 모르타르의 동결융해 특성은 높은 단위시멘트량에 의해 우수하고 에폭시 수지 혼입 모르타르가 약간 우수한 것으로 나타났으나 배합비간 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

2. 목재 부산 자원을 활용한 석고계 내장 모르타르의 개발

가. 개요

본 절에서는 목초액 함침 골재를 사용하여 친환경 내장용 바름재를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 석고를 주요 바인더로 하고 목초액 함침골재를 사용하였다. 목초액 함침골재의 종류와 배합 조건에 따라 부착강도, 유해물질 방출 실험, 암모니아 흡착성능, VOC 흡착성능, 흡방습 성능 시험을 통해 실내 내장재로서의 특성을 검토하고자 하였다.

2. 실험 방법

가. 실험 배합

석고 바름재의 공기질 성능 평가를 위해 석고와 골재 비율에 따라 2:1, 1:1과 슬래그 혼입률 10, 20%, 무함침 경량 담체와 함침 경량 담체의 혼입률, 두께에 따라 배합을 구성하였다.

표 2.2.37 석고 바름재의 공기질 시험용 배합

	두께 (mm)	석고	슬래그	골재	비함침 경량담체		함침경량담체		증점제 (%)	폴리머 결합재 비 (%)	물 결합재 비 (%)
					제올라이트	활성탄	제올라이트	활성탄			
1	2	100		50					1	0.5	65
2		100		100							
3		90	10	50							
4		80	20	50							
5		90	10	100							
6		80	20	100							
7		90	10	49	1						
8		90	10	48	3						
9		90	10	47	5						
10		90	10	49		1					
11		90	10	47		3					
12		90	10	45		5					
13		90	10	49			1				
14		90	10	48			3				
15		90	10	47			5				
16		90	10	49				1			
17		90	10	47				3			
18		90	10	45				5			
19		90	10	95			5				
20		90	10	95				5			
21	4	90	10	45			5				
22		90	10	95			5				
23		90	10	45				5			
24		90	10	95				5			

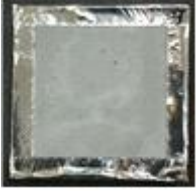
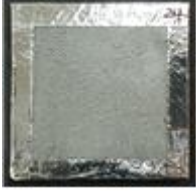
				
1	2	3	4	5
				
6	7	8	9	10
				
11	12	13	14	15
				
16	17	18	19	20
				
21	22	23	24	

그림 2.2.123 시험편 사진

(1) 습도조절능력 평가

(가) 실험개요

본 연구는 위의 표 2.3.36과 같은 배합표로 제작된 시험체를 대상으로 최대 흡습/방습성을 분석하였다. 시험은 항온항습조를 사용하여 습도제어를 하였고 질량변화를 측정하여 습도조절능력을 평가하였다. 본 연구에 사용된 시험장치는 항온항습조와 전자저울로 구성되어 있고, 항온항습조는 10~90℃, 50~98%까지의 온습도 제어가 가능하며 전자저울은 0.01g까지 측정이 가능하다.



그림 2.2.124 항온항습기



그림 2.2.125 시료의 측정

(나) 측정방법

65℃에 24시간 건조시켜 절대건조 상태인 시험체를 25℃, RH 90%의 항온항습기에 넣어 2시간마다 시험체의 질량을 측정하고 질량이 지속적으로 증가하다 시험체가 항량이 되었을 때를 최대 흡습상태로 정의한다. 최대 흡습상태와 절건 시험체의 질량 차를 단위 면적(cm^2)으로 나타낸 값을 최대 흡습량으로 한다. 최대 흡습상태의 시험체를 25℃, RH 70%의 실내에 방치하여 질량이 감소하다 항량이 되는 시점을 최대 방습상태로 하고 최대 흡습상태와 최대 방습상태의 질량 차를 단위 면적(cm^2)으로 나타낸 값을 방습량으로 정의한다.

표 2.2.38 습도조절능력 실험구성(고습영역)

	흡습과정	방습과정
실험 전 시료상태	절건상태	최대 흡습상태
온도	25℃	25℃
습도	RH 95%	RH 70%
측정간격	2시간(12시간)	2시간(12시간)

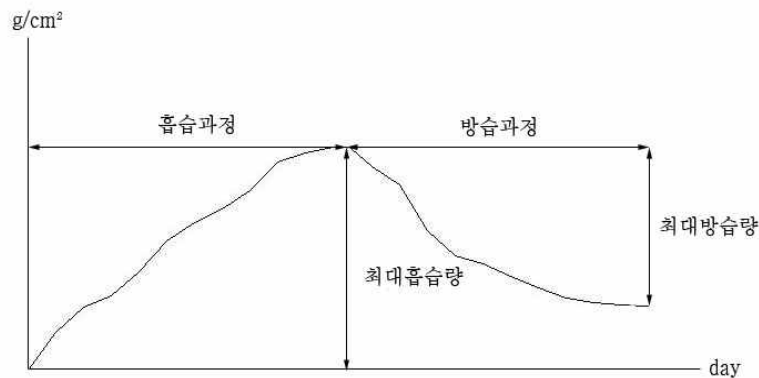


그림 2.2.126 습도조절 능력 시험과정

(2) 검지관법을 활용한 수화가스 정성분석

(가) 실험 개요

일반적으로 발생가스에 관한 정성분석방법은 원인물질에 대한 예측이 불가능한 상태에서 미지의 가스에 대한 정성분석만을 진행하는 방법과 원인물질에 대한 기초적 예측을 바탕으로 발생가스에 대한 개별 공정 시험방법을 시행하여 정성·정량 분석을 동시에 진행하는 방법으로 크게 나뉜다.

본 연구는 개발시료에서 발생 가능한 원인물질에 대한 예측이 불가능한 상황이며, 대기오염공정시험법 및 실내공기질 공정시험법 등에 명시된 수십여 가지 이상의 개별 시험방법을 적용한 수화가스의 정성·정량 분석은 비합리적으로 판단되었다.

이에 본 절에서는 분석방법이 비교적 간단하며 사용하는 검지기의 종류에 따라 정성분석뿐만 아니라 직독식 검지관의 눈금을 통하여 변색되는 정도에 따라 개략적인 정량분석이 가능한 한 검지관 시험법을 적용하여 시멘트 모르타르 수화가스에 대한 정성 분석을 포괄적으로 진행하여 수화가스 분석프로세스를 구성하는 기초 데이터로 활용하도록 하였다.

(나) 실험재료 및 방법

검지관 시험법

KSI 2218에서 규정한 검지관식 가스 측정기를 활용하여 직접 포집법으로 포집한 시멘트 모르타르 가스의 정성분석을 진행하였다.

(다) 사용 검지기 및 검지관

시료에서 발생된 챔버 내의 가스를 직접 검지관을 관통할 수 있도록 검지관을 접속시킨 가스 채취기의 실린더 내부를 피스톤에 의해 감압 상태로 하여 검지관을 통하여 시료가스를 흡인하는 방식인 진공방식의 실린더형의 측정기를 이용하였다. 가스채취기는 검지관 부착구에 검지관을 끼워 넣고 가스채취기의 내부를 가압상태 또는 감압상태에서 검지관 내에 일정량의 시료가스를 통기하는 기능을 갖는 구조로 KS I 2218 규격에 따라 내용적, 기밀성, 내구성에 적합한 G사의 가스채취기를 사용하였다.

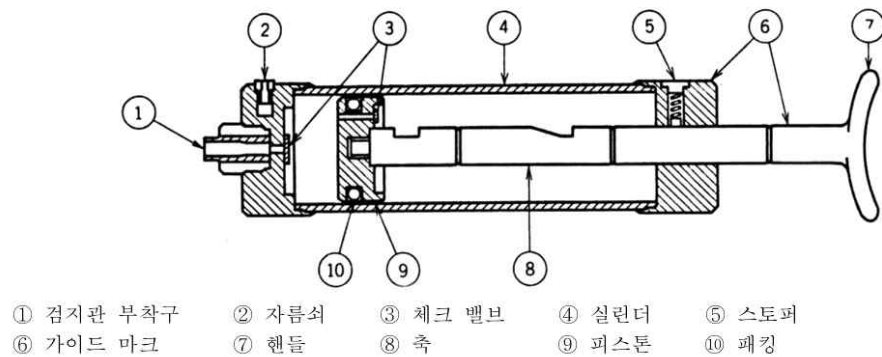
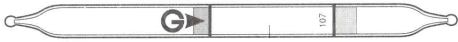
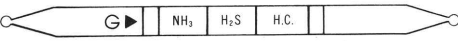
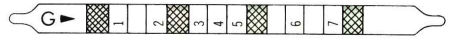


그림 2.2.127 진공식 가스채취기

측정기는 가스채취기 및 검지관으로 이루어지고, 검지관을 가스채취기에 부착하고 일정량의 시료가스를 통과시킴으로써 검지제를 변색시켜 정성분석이 가능한 Polytec 다중가스 분석검지관을 사용하여 미지의 가스를 정성 분석하였다.

표 2.2.39 사용 검지관 검출항목

	Substance	Pump Stroke	Sampling Time
Polytec I	 CO, CO ₂ , SO, Acetone, Acetylene, Ethylene, Gasoline, Styrene, Trichloroethylene, Toluene, Xylene, Propane, Propylene, Benzene	3	1 min
Polytec II	 NH ₃ , SO ₂ , H ₂ S, CO	1	1 min
Polytec III	 NH ₃ , H ₂ S, HC	1	20 sec
Polytec IV	 NH ₃ , HCl, H ₂ S, Cl ₂ , SO ₂ , NO ₂ , CO, CO ₂	1	30 sec

(3) 암모니아가스 최대 흡착능력

(가) 실험 개요

본 연구는 제작한 시험체를 대상으로 각 시험체의 암모니아가스 최대 흡착량을 분석하였다. 시험은 KS규준(KS I 2218, 검지관식 가스측정기)에 의거하여 비교 분석하였다. 검지관은 안지름 약 3mm, 길이 약 130mm인 유리관에 실리카겔 또는 알루미나 겔립(粒)에 흡착시킨 검지제(피검 기체 성분과 화학 반응을 통해 변화하여 착색 또는 변색하는 시약)를 60~80mm 길이에 충전한 것인데, 관의 양쪽 끝은 가늘게 되어 있다. 이 관을 일정한 용적(보통 100cm³)의 주사기 모양으로 된 기체 채취용 펌프 또는 진공펌프에 장치하고, 끝의 노즐에서 시료기체를 도입한다. 검지제의 변색은 입구에서 점점 안쪽으로 이므로 이 부분의 길이를 농도도표와 대조해서 피검 성분 기체의 농도를 구한다. 이 방법은 많은 종류의 피검 기체에 응용되며, 소형이면서도 분석 정밀도가 비교적 좋기 때문에 각 방면에서 널리 이용된다.

본 실험에서는 5L 챔버 안에 시험체를 설치한 후 고농도의 암모니아 용액에 노출시킨 후 시간이 경과했을 때의 챔버 내 공기의 농도를 측정하여 암모니아가스의 최대 흡착량을 비교하여 분석하였다.

(나) 측정방법

5L 챔버 안에 황산암모늄과 수산화나트륨을 이용한 암모니아 발생원과 시험체(바탕 농도 130ppm)를 담아 밀봉하였다. 챔버는 실험 시간 동안 25℃의 항온항습기에서 밀폐상태로 유지하며, 시간 경과 후 검지관과 가스채취기를 이용하여 챔버 내의 암모니아 농도를 측정하였다. 발생시킨 암모니아가스의 농도와 측정된 암모니아가스 농도의 차를 최대 흡착량으로 하였다.

암모니아가스 흡착량(ppm)

=발생시킨 암모니아가스 농도 - 측정된 암모니아가스 농도

표 2.2.40 챔버의 측정조건

챔버용량	20 l
암모니아용액	20 ml
챔버온도	25 ± 1 °C
상대습도	50 ± 5 %

챔버 내의 시료공기가 검지관을 통하여 진공가스 채취기에 흡인되면 시료공기 중의 암모니아가스와 검지관의 검지제와의 화학반응에 의하여 충전제는 변색한다. 시료공기를 흡인함으로써 변색되는 변색층의 길이에 따라 검지관에 인쇄되어 있는 눈금으로부터 농도를 읽는다.

표 2.2.41 암모니아 검지관의 특성

측정범위	2.5~200ppm
측정시간	30초
측정 한계치	0.5ppm
색상변화	Purple → Yellow
반응이론	$3\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$



시료 타설



표준용액 제조



표준용액 투입



항온 챔버 양생



암모니아 직독식 검지관 선택 및 측정
그림 2.2.128 암모니아 검지관 측정방법

(4) VOCs(톨루엔) 흡착능력 평가

(가) 실험 개요

본 연구는 분자량에 따른 황토의 흡착능력 평가를 위해 암모니아보다 분자량이 높은 toluene을 사용하여 제작된 시험체의 VOCs의 제거 성능을 분석하였다. 시험은 KS 표준(KS I 2218, 검지관식 가스측정기)에 의거하여 비교 분석하였다.

본 실험에서는 5L 챔버를 제작하여 시험체를 설치한 후 VOCs 용액을 휘발시켜 노출시킨 후 일정 시간이 경과했을 때 주입한 챔버 내의 VOCs 농도 변화에 따른 흡착 성능을 비교하여 분석하였다. 오염물질은 대표적인 VOCs인 toluene 용액을 주입하여 제조하였다.

방향족 탄화수소의 일종인 toluene은 유기용매로서 널리 이용되어 도료나 접착제 등에 사용되어 왔으며 체내에 과량 흡입될 경우 복통, 구토와 같은 위장관계의 기능장애를 초래할 뿐만 아니라 두통, 어지럼증 및 환각증세와 같은 신경장애를 일으킨다고 알려져 있다.

(나) 측정방법

5L 챔버 안에 톨루엔 발생원과 시험체(바탕농도 40ppm)를 담아 밀봉하였다. 챔버는 실험 시간 동안 25℃의 항온항습기에서 밀폐상태로 유지하며, 시간 경과 후 검지관과 가스채취기를 이용하여 챔버 내의 암모니아 농도를 측정하였다. 발생시킨 톨루엔 농도와 측정된 톨루엔 농도의 차를 최대 흡착량으로 하였다.

톨루엔 흡착량(ppm)

=발생시킨 톨루엔 농도 - 측정된 톨루엔 농도

표 2.2.42 챔버의 측정조건

챔버용량	20 l
암모니아용액	20 ml
챔버온도	25 ± 1 °C
상대습도	50 ± 5 %

표 2.2.43 toluene 검지관의 특성

측정범위	1 ~ 100ppm
측정시간	1분 30초
측정 한계치	0.5ppm
색상변화	White → Brown
반응이론	$C_6H_5CH_3 + I_2O_5 + H_2SO_4 \rightarrow I_2$



시료 타설



표준용액 제조



표준용액 투입



항온 챔버 양생



톨루엔 직독식 검지관 선택 및 측정
그림 2.2.129 톨루엔 검지관 측정방법

3. 실험 결과 및 고찰

가. 목재 부산 자원을 활용한 석고계 모르타르의 특성

(1) 접착강도

(가) 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 접착강도 특성

① 목초액 무함침 활성탄의 경우

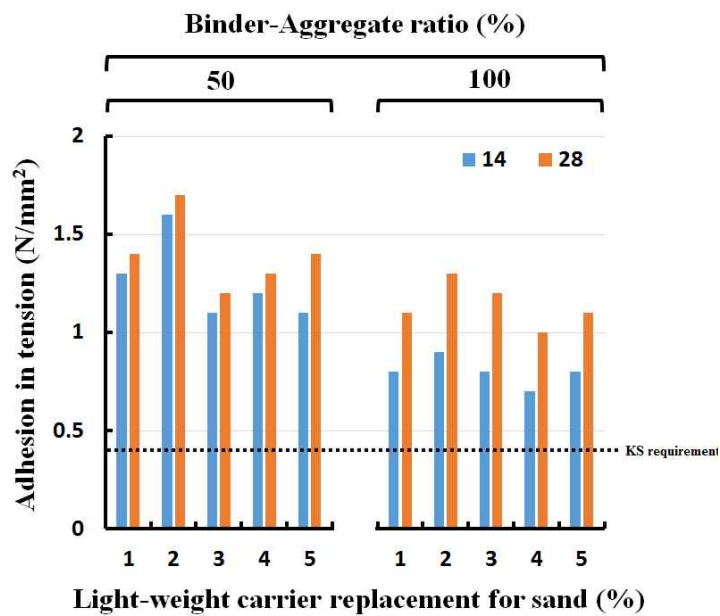


그림 2.2.130 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)

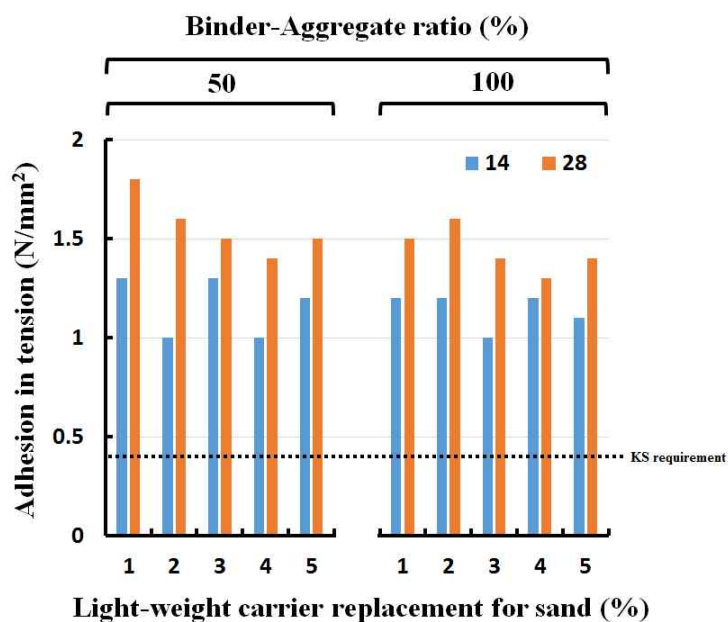


그림 2.2.131 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)

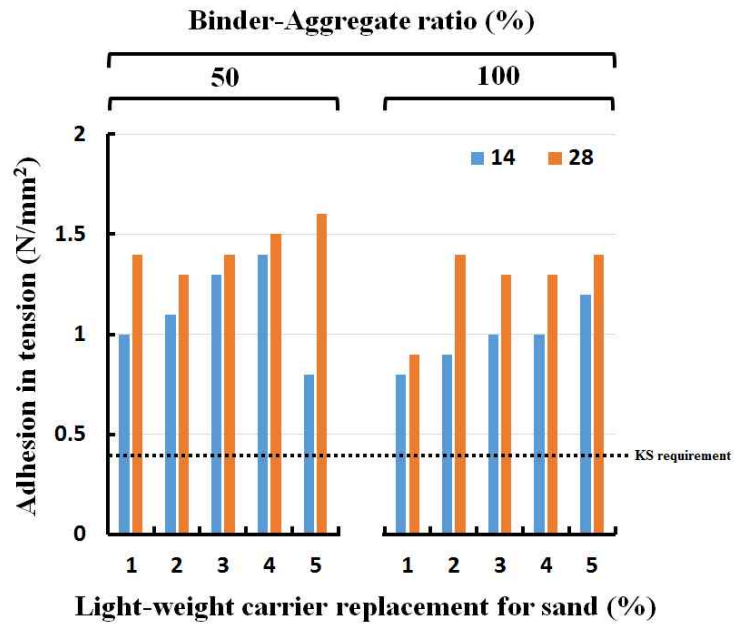


그림 2.2.132 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)

② 목초액 무함침 제올라이트의 경우

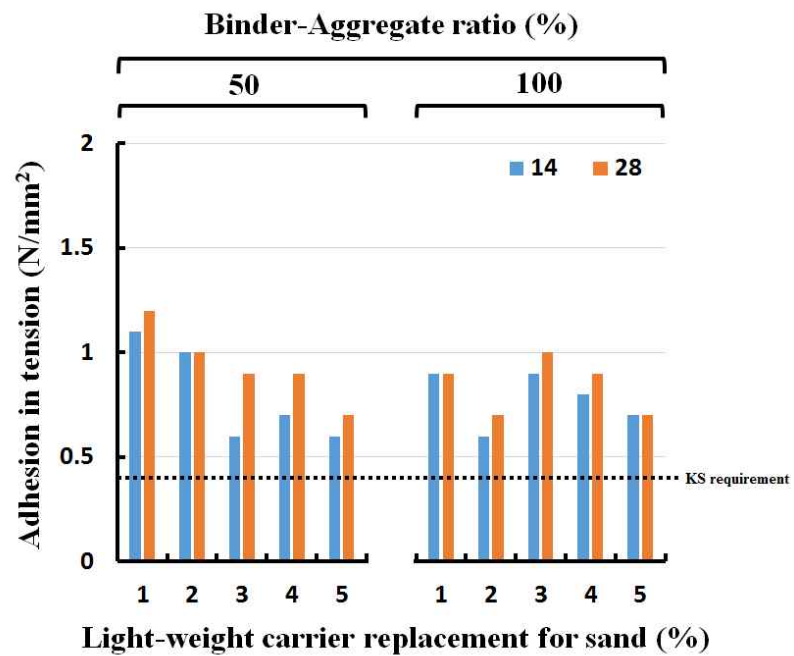


그림 2.2.133 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)

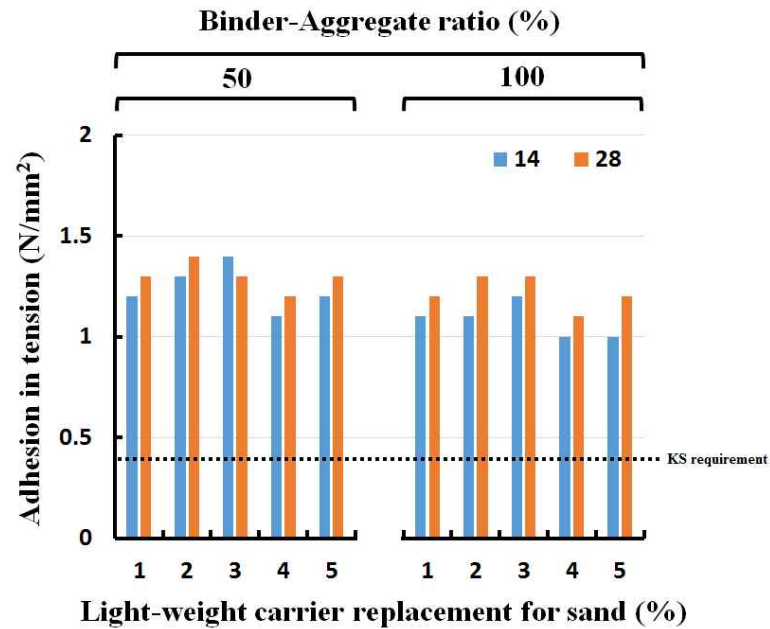


그림 2.2.134 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)

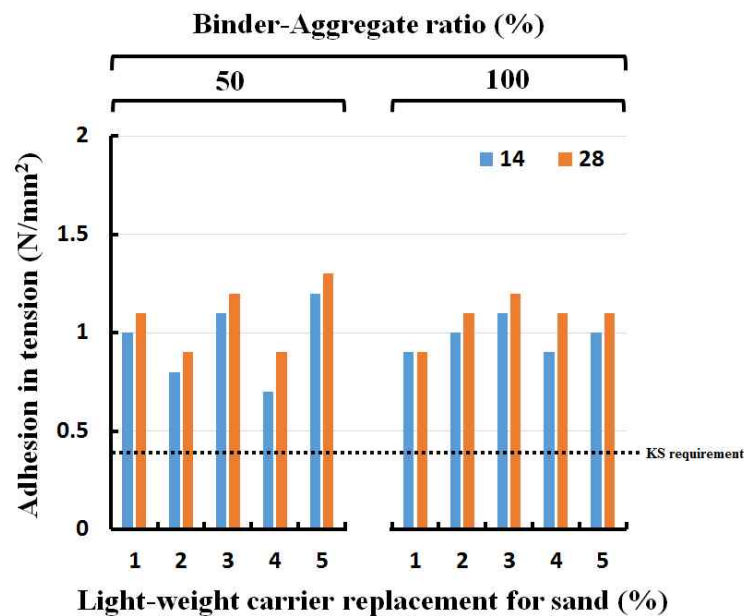


그림 2.2.135 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)

그림 2.2.133, 2.2.134, 2.2.135는 목초액을 함침하지 않는 제올라이트 치환율 및 바인더-골재비에 따른 접착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 대체적으로 바인더-골재비가 100보다 50일 때 접착강도 값은 대체적으로 높게 측정되었다. 활성탄 치환 석고계 모르타르에 비해 낮은 강도값을 보였으나 모든 배합에서 KS의 규정을 만족하였다.

③ 목초액 함침 활성탄의 경우

그림 2.2.136, 2.2.137, 2.2.138은 목초액 함침 활성탄의 치환율 및 바인더-골재비에 따른 접착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 바인더-골재비가 100일 때, 목초액 함침 활성탄 치환율이 3%일 때 가장 높은 접착강도 값을 나타내었다. 또한, 슬래그 치환 10%의 바인더-골재비가 50인 배합이 전체적으로 우수한 접착강도 값을 나타내었으며, 경량담체 치환율 2%에서 1.8N/mm^2 로 가장 높은 강도를 보였다.

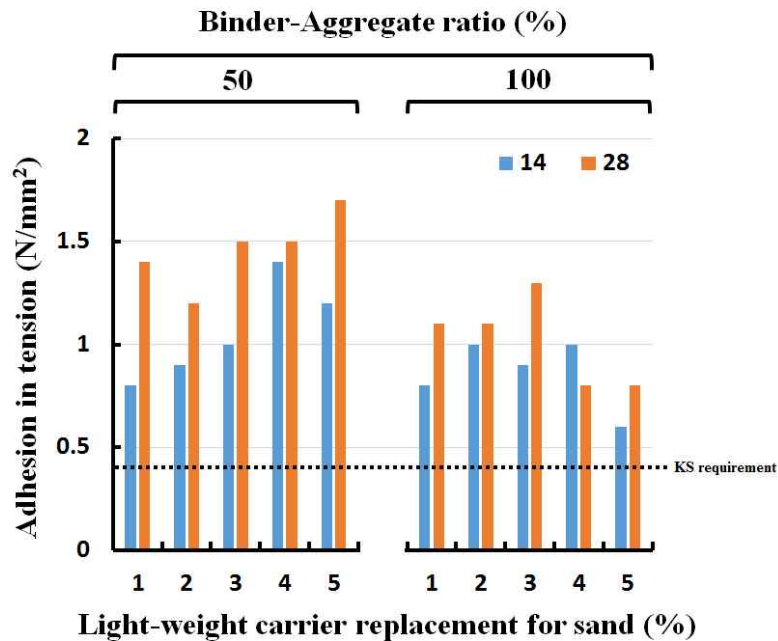


그림 2.2.136 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)

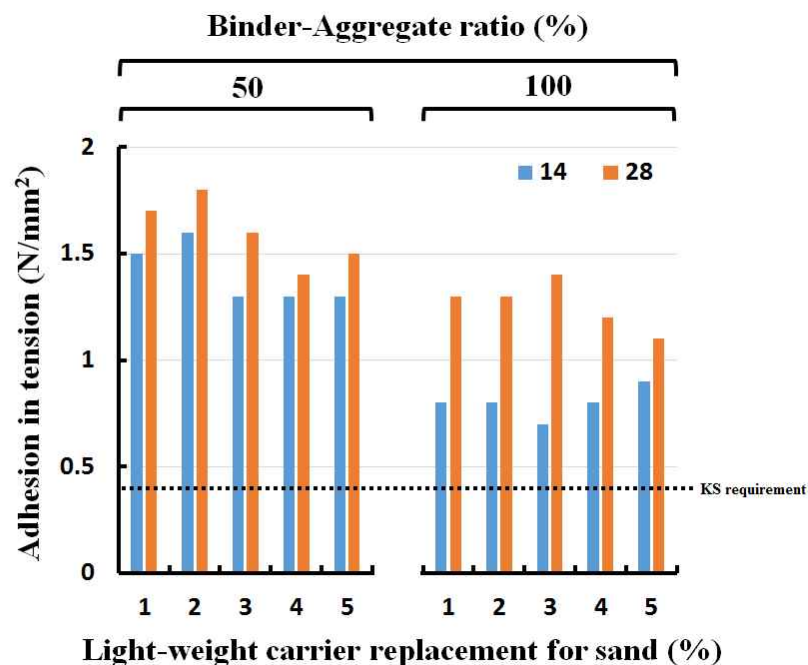


그림 2.2.137 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)

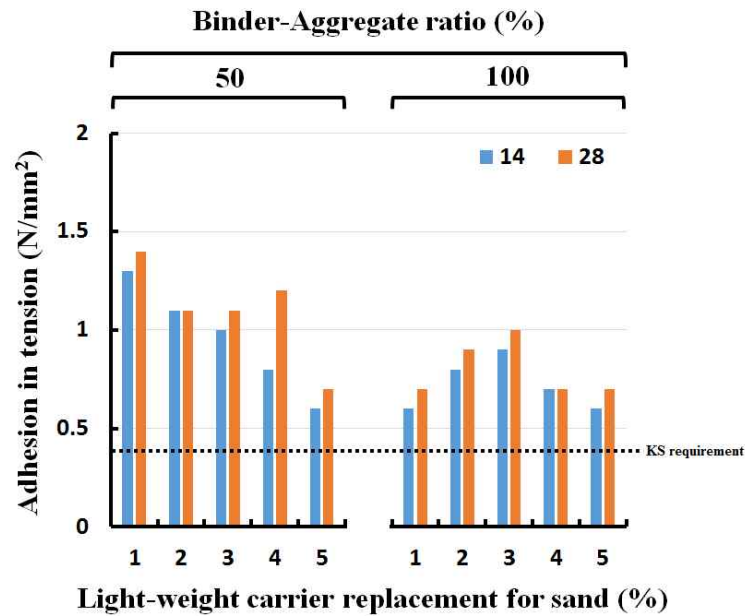


그림 2.2.138 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)

④ 목초액 함침 제올라이트의 경우

그림 2.2.139, 2.2.140, 2.2.141은 목초액 함침 제올라이트의 치환율 및 바인더-골재비에 따른 접착강도 특성을 나타낸 그래프이다. 바인더-골재비가 100에서 50으로 감소할수록, 접착강도 특성은 약간 증가하는 것으로 나타났으며, 모든 배합에서 KS F 4715에 규정을 만족하였다.

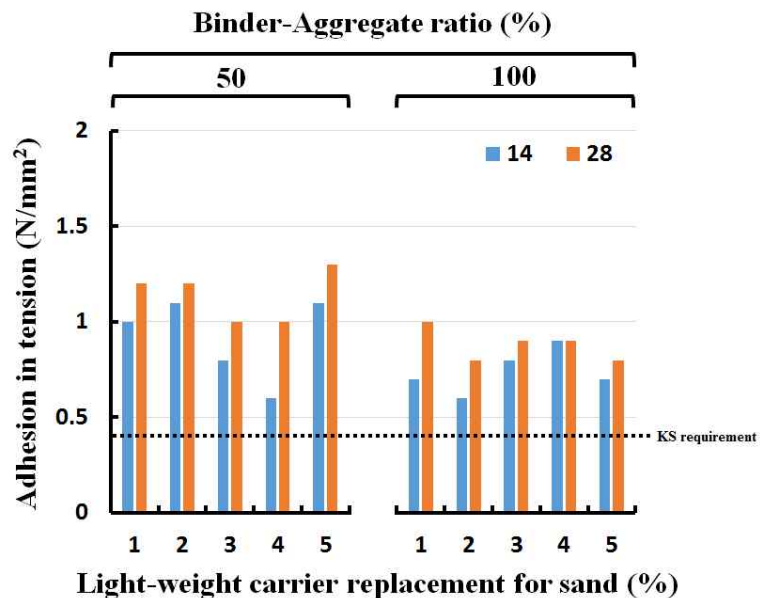


그림 2.2.139 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 0%)

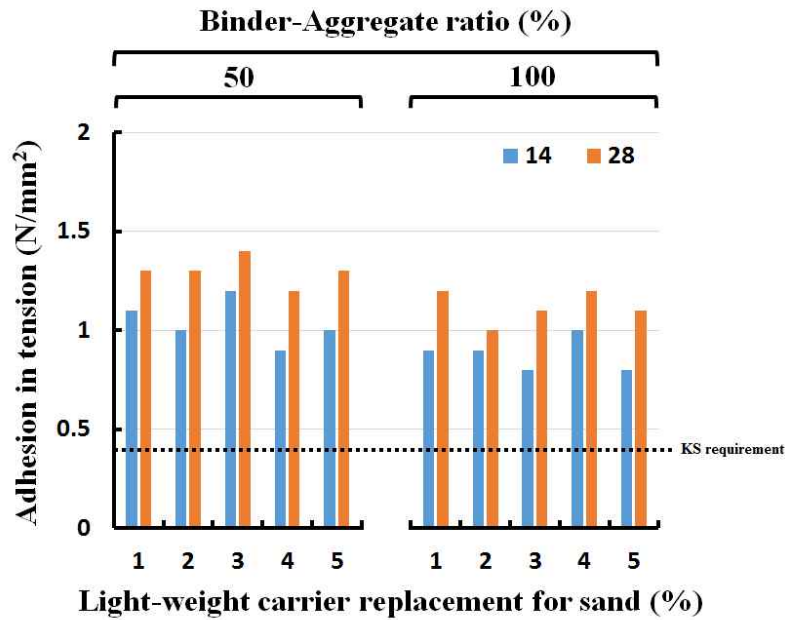


그림 2.2.140. 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 10%)

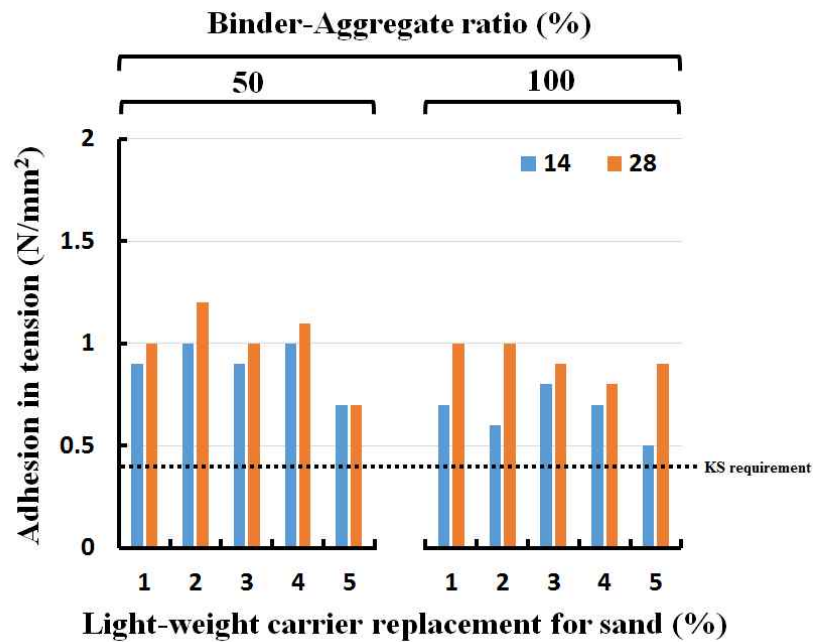


그림 2.2.141 바인더-골재비 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (슬래그 치환 20%)

(나) 슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 접착강도 특성

① 목초액 무함침 활성탄의 경우

그림 2.2.142, 2.2.143은 골재-바인더비가 각각 50, 100인 석고계 모르타르의 슬래그 및 목초액을 함침하지 않은 활성탄 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 슬

래그 치환율이 10%일 경우, 슬래그를 치환하지 않은 시편 및 슬래그 20% 치환한 것보다 높은 접착강도를 나타내는 경향을 보였으며, 경량담체 치환율 1%에서 1.8N/mm^2 로 가장 높은 강도를 보였다.

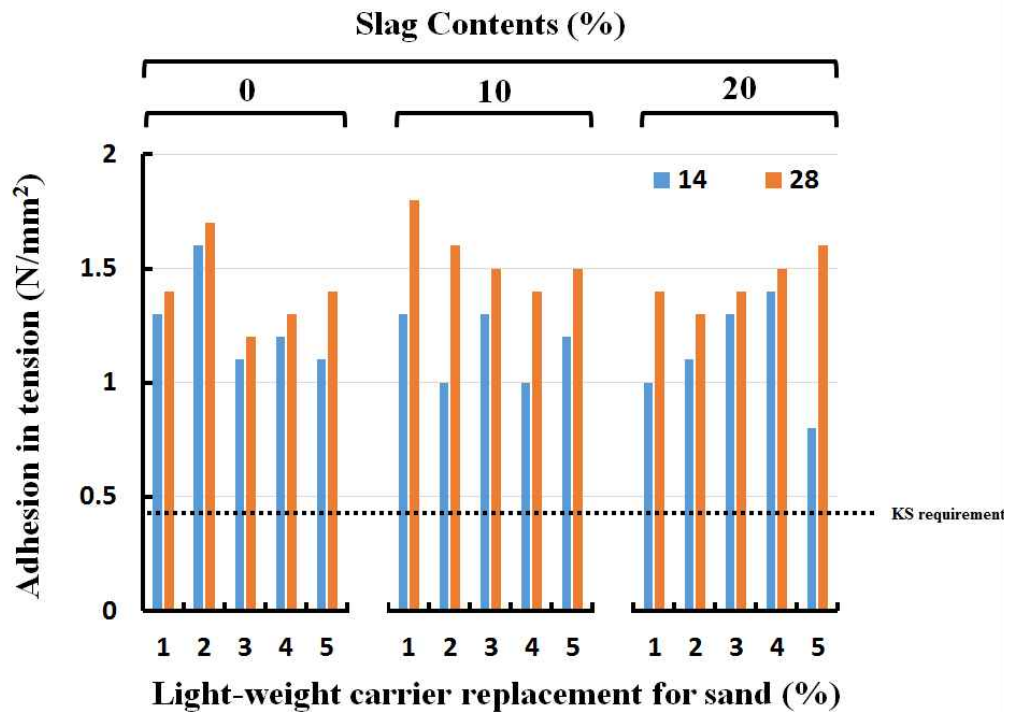


그림 2.2.142 슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)

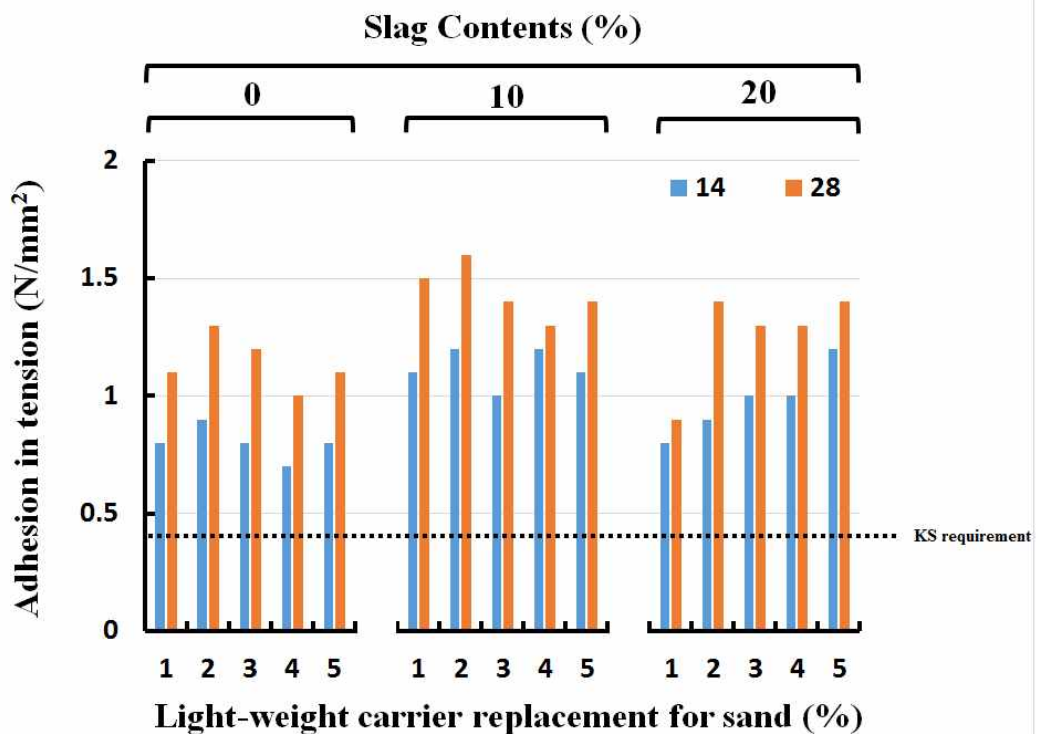


그림 2.2.143 슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)

② 목초액 무함침 제올라이트의 경우

그림 2.2.144, 2.2.145는 골재-바인더비가 각각 50, 100인 석고계 모르타르의 슬래그 및 목초액을 함침하지 않은 제올라이트 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 슬래그를 치환한 공시체가 슬래그를 치환하지 않은 공시체보다 높은 접착강도 값을 나타내었으며, 슬래그 10% 치환에 경량골재를 3% 치환 시 1.3N/mm^2 로 가장 높은 강도를 보였다.

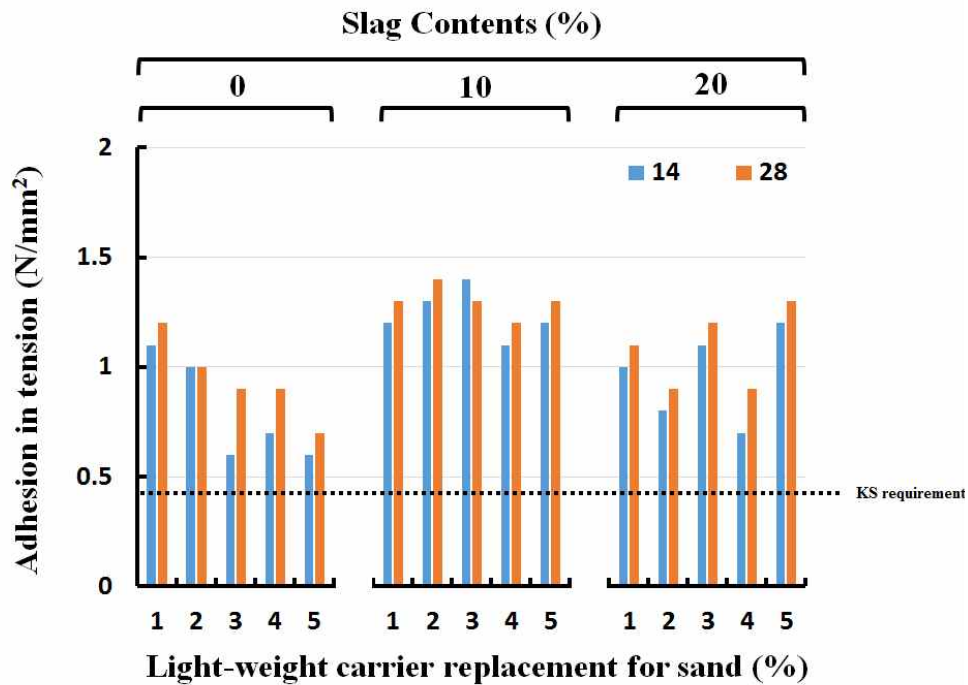


그림 2.2.144 슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)

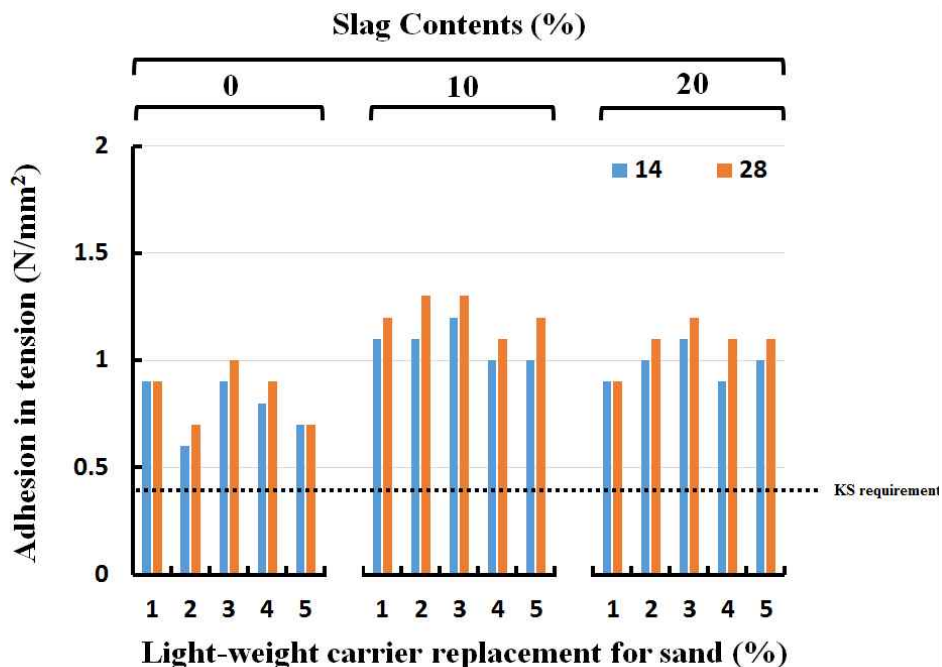


그림 2.2.145 슬래그 및 경량골재 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)

③ 목초액 함침 활성탄의 경우

그림 2.2.146, 2.2.147은 골재-바인더비가 각각 50, 100인 석고계 모르타르의 슬래그 및 목초액 함침 활성탄 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 슬래그의 치환율이 0%에서 10%로 증가하면서 접착강도는 높게 나타나나 20%까지 치환했을 경우 접착강도는 감소하는 경향을 보였으며, 경량담체 치환율 3%의 경우 접착강도 특성이 가장 우수하였다.

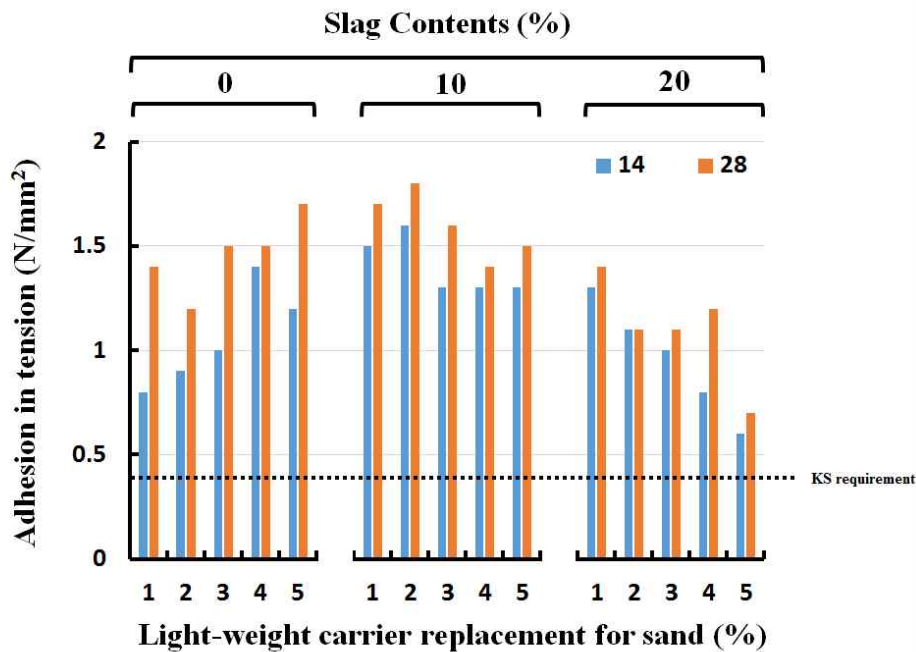


그림 2.2.146 슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)

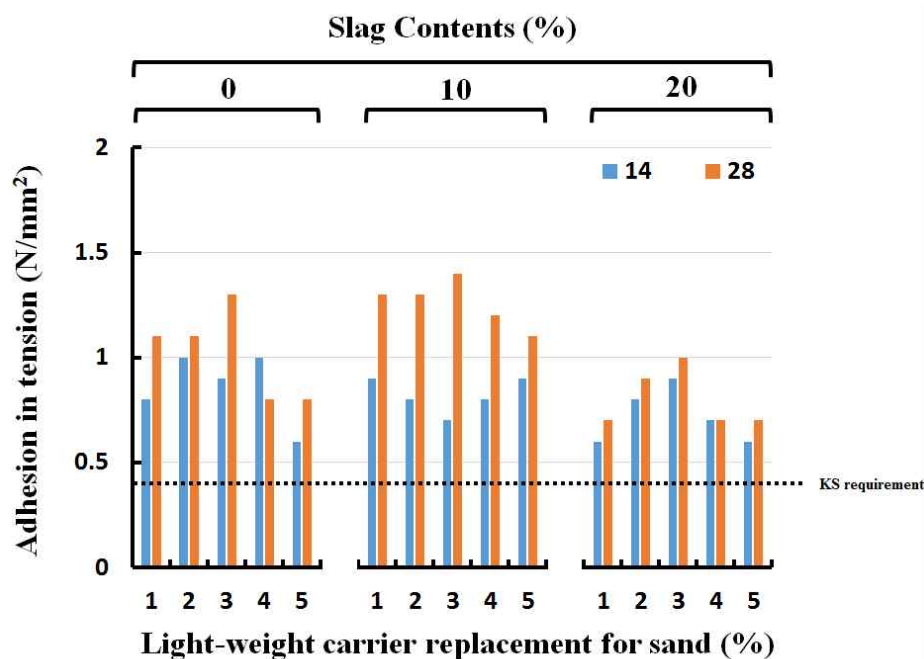


그림 2.2.147 슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)

④ 목초액 함침 제올라이트의 경우

그림 2.2.148, 2.2.149는 골재-바인더비가 각각 50, 100인 석고계 모르타르의 슬래그 및 목초액 함침 제올라이트 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 타 경량골재 및 경량담체와 마찬가지로 슬래그 치환율 10%일 때, 우수한 접착강도 특성을 나타내었다. 또한 모든 배합에서 KS규정 값을 상회하였다.

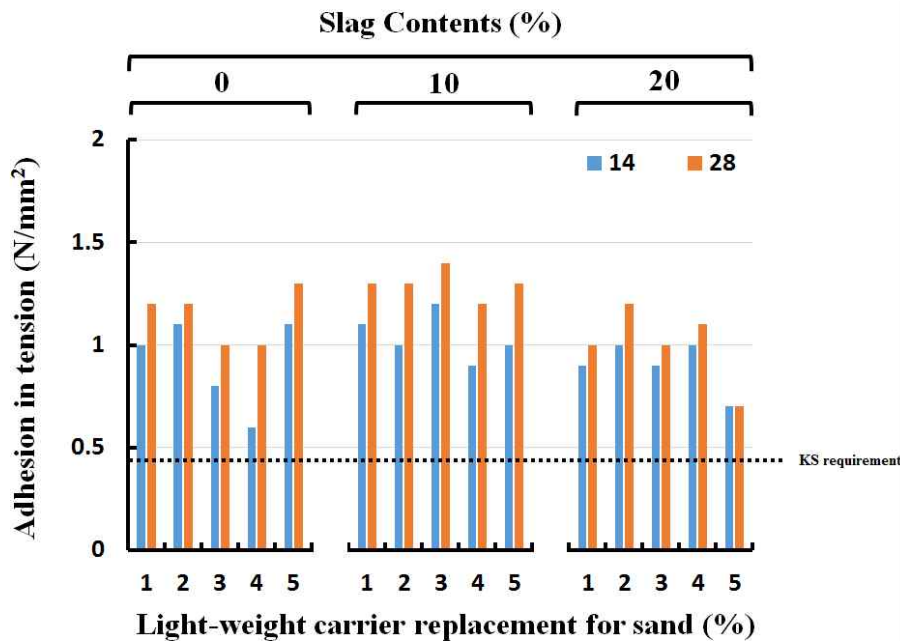


그림 2.2.148 슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 50)

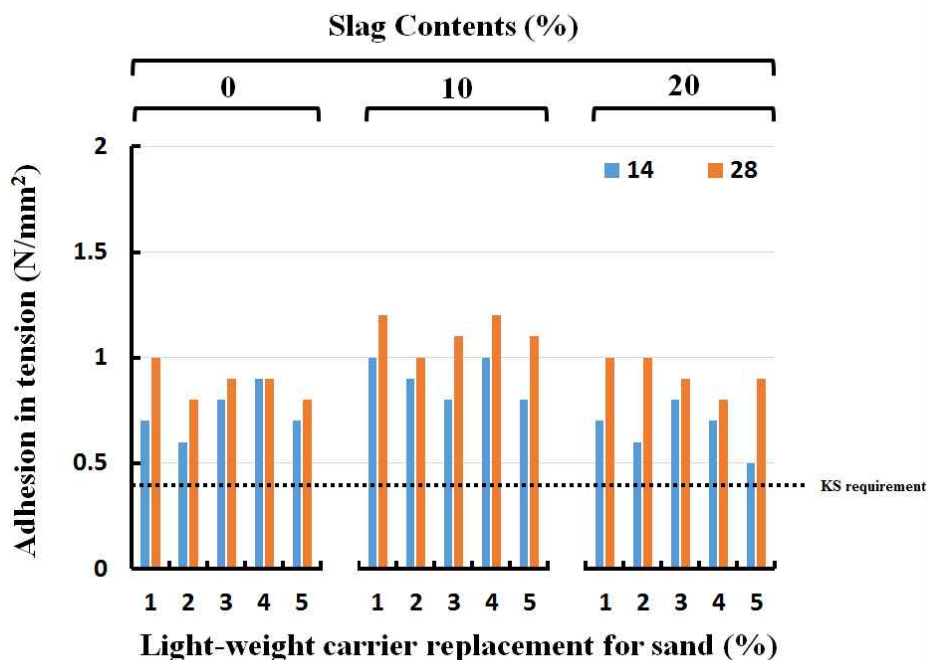


그림 2.2.149 슬래그 및 경량담체 치환율에 따른 특성 (골재-바인더비 100)

(다) 경량골재의 목초액 함침 여부에 따른 접착강도 특성

① 활성탄

그림 2.2.150, 2.2.151은 골재-바인더비가 각각 50, 100이며, 슬래그 치환율이 0%인 석고계 모르타르의 활성탄의 목초액 함침 여부 및 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 골재-바인더비 50에서 목초액 함침골재 치환율이 3, 4, 5%의 경우, 함침을 하지 않은 활성탄을 치환한 공시체보다 우수한 접착강도 값을 나타내었다. 그 외 배합은 함침 여부에 관계 없이 유사한 접착강도 값을 나타내었다.

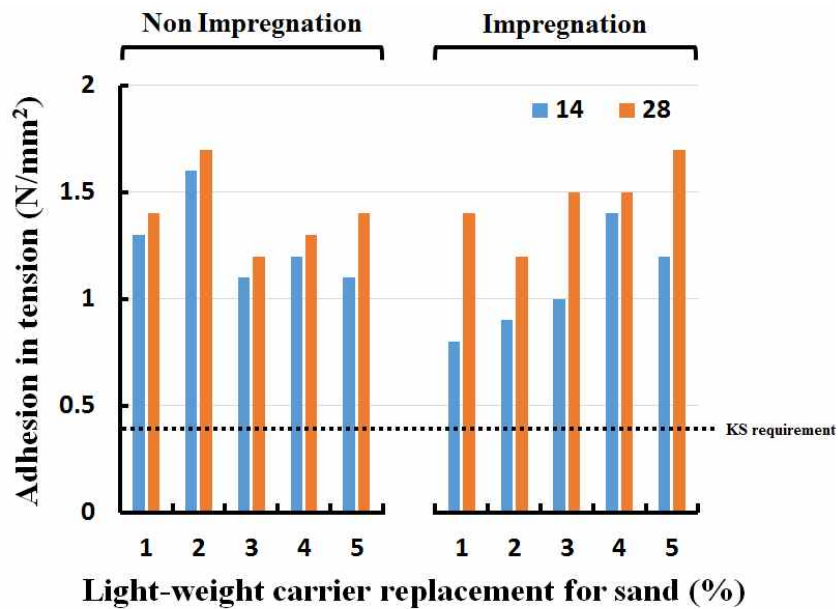


그림 2.2.150 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 50, 슬래그 치환 0%)

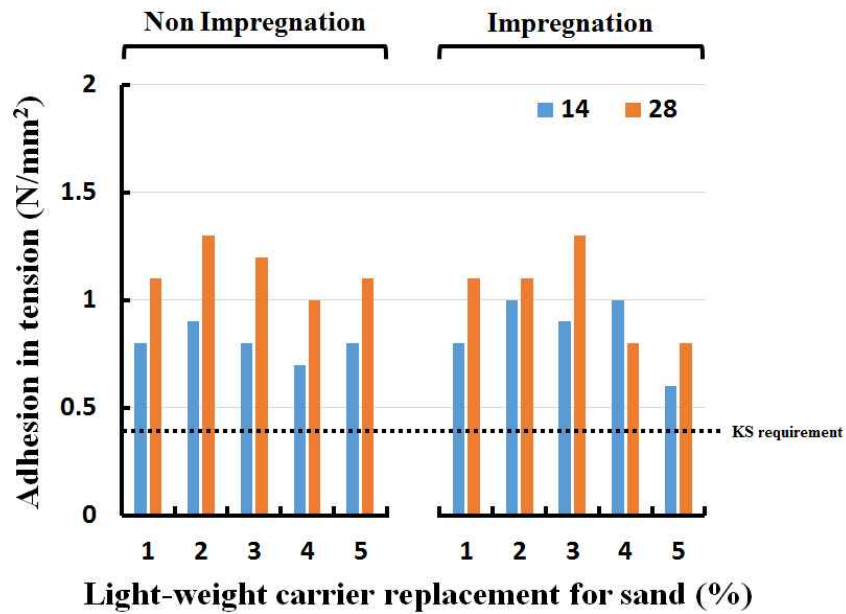


그림 2.2.151 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 100, 슬래그 치환 0%)

그림 2.2.152, 2.2.153은 골재-바인더비가 각각 50, 100이며, 슬래그 치환율이 10%인 석고계 모르타르의 활성탄의 목초액 함침 여부 및 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 바인더-골재비가 50인 목초액 함침 활성탄을 치환한 공시체는 함침을 하지 않은 활성탄을 치환한 경우보다 접착강도가 우수한 경향을 나타내었다. 그러나 바인더-골재비가 100인 경우, 목초액을 함침하지 않은 활성탄을 치환한 공시체가 접착강도 특성이 우수하였다.

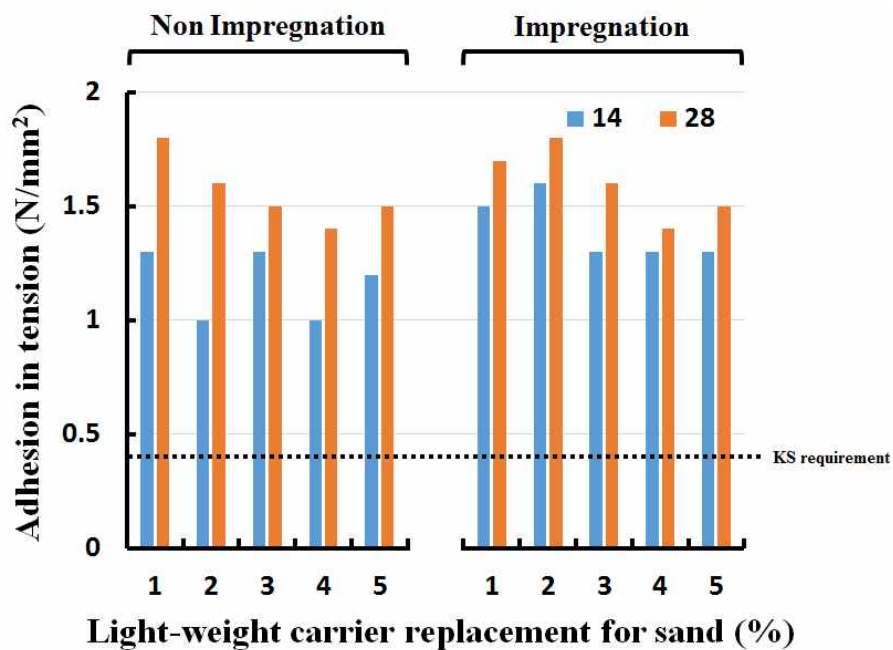


그림 2.2.152 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 50, 슬래그 치환 10%)

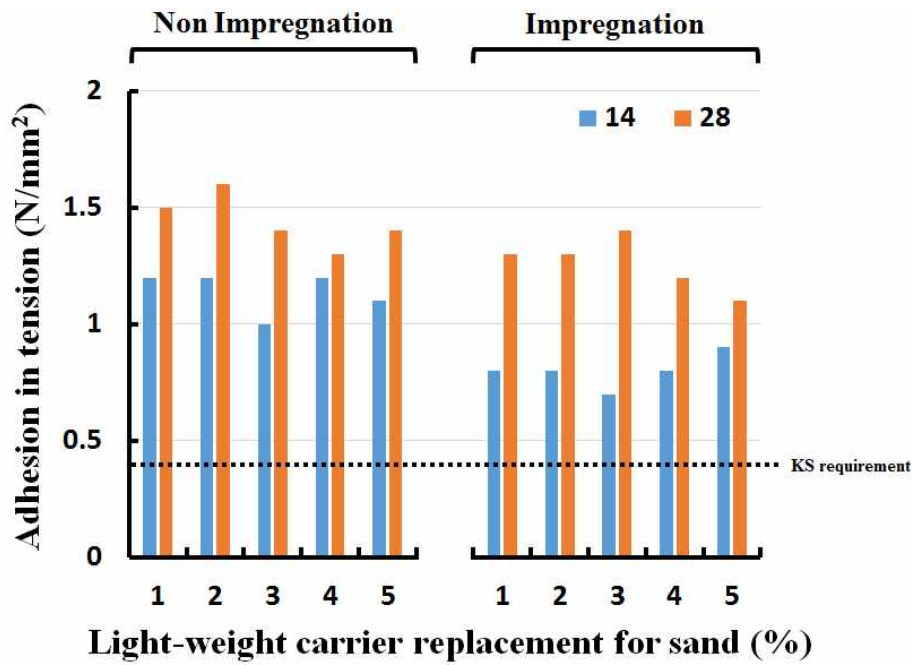


그림 2.2.153 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 100, 슬래그 치환 10%)

그림 2.2.154, 2.2.155는 골재-바인더비가 각각 50, 100이며, 슬래그 치환율이 20%인 석고계 모르타르의 활성탄의 목초액 함침 여부 및 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 골재-바인더비와 관계 없이 목초액을 함침하지 않은 활성탄의 치환율이 증가할수록 접착강도는 증가하는 경향을 보였고, 목초액 함침 활성탄을 치환함에 따라 접착강도는 감소하였으며, 골재-바인더비가 50인 경우는 함침 활성탄의 치환율이 증가

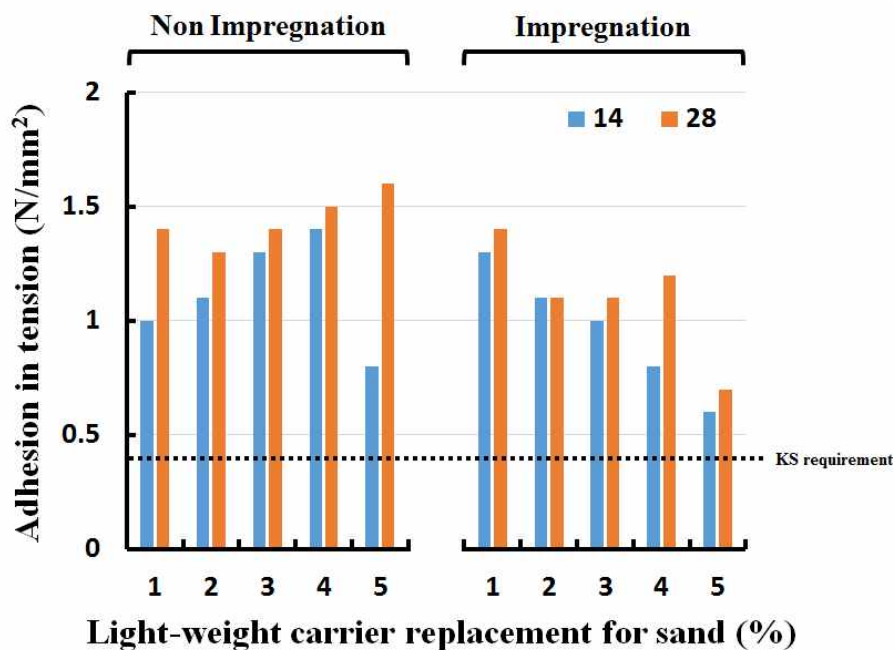


그림 2.2.154 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 50, 슬래그 치환 20%)

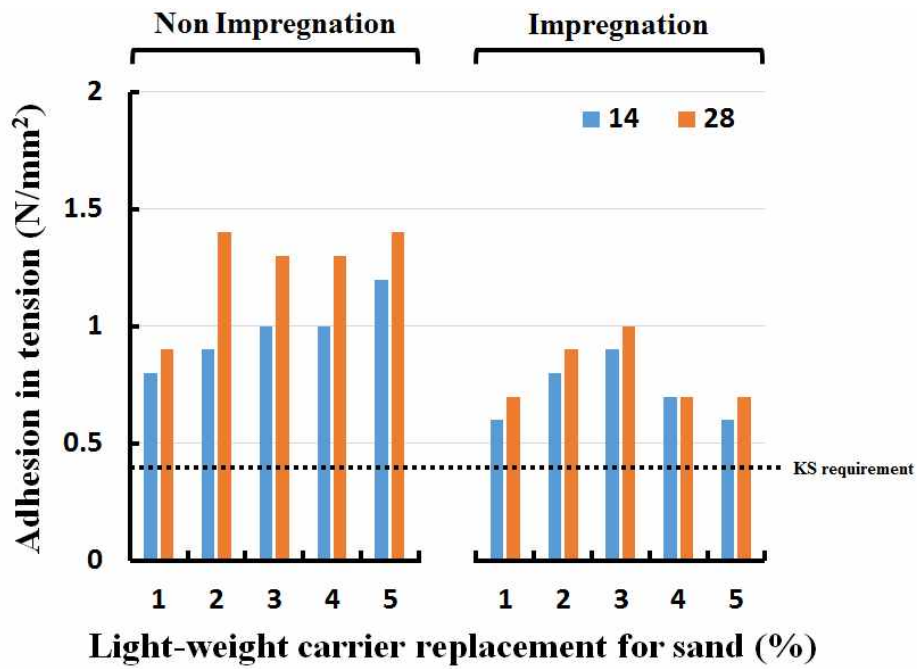


그림 2.2.155 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 100, 슬래그 치환 20%)

함에 따라 접착강도는 감소하는 경향을 보였다. 이는 목초액에 일부 성분인 초산이 수화를 지연시켜 구체와의 접착특성이 저하된 것으로 판단된다. 활성탄 및 함침 활성탄을 치환한 공시체 모두 KS F 4715가 규정을 상회하는 값을 보였다.

② 제올라이트

그림 2.2.156, 2.2.157은 골재-바인더비가 각각 50, 100이며, 슬래그 치환율이 0%인 석고계 모르타르의 제올라이트의 목초액 함침 여부 및 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 골재-바인더비가 50인 경우, 함침 골재를 치환한 공시체가 함침을 하지 않은 골재를 치환한 공시체에 비하여 접착강도가 우수하였다. 또한, 골재-바인더비가 100인 경우 함침 여부에 따른 접착강도의 특성은 크게 다르지 않았으며, 모든 배합에서 KS 규정 값을 만족하였다.

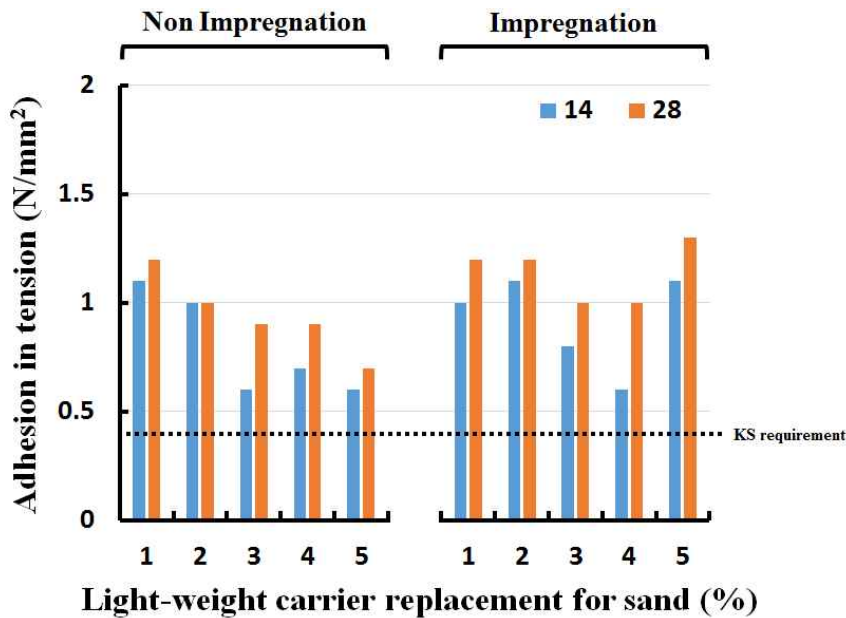


그림 2.2.156 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 50, 슬래그 치환 0%)

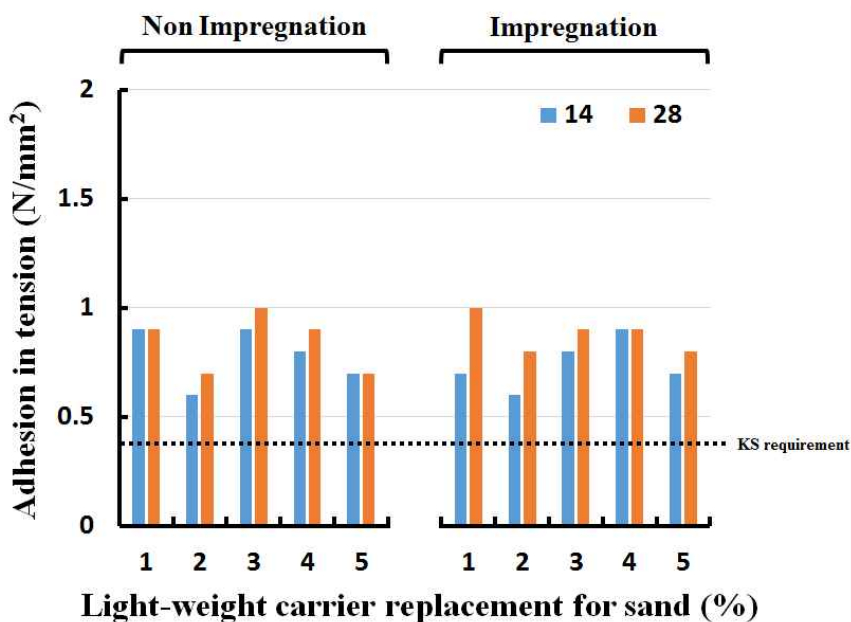


그림 2.2.157 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 100, 슬래그 치환 0%)

그림 2.2.158, 2.2.159는 골재-바인더비가 각각 50, 100이며, 슬래그 치환율이 10%인 석고계 모르타르의 제올라이트의 목초액 함침 여부 및 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 골재-바인더비와 관계없이 함침 여부에 따른 접착강도의 특성의 변화는 거의 나타나지 않았으며, 함침 골재를 치환한 경우 14일 접착강도가 낮게 측정되었다. 이는 함침에 사용된 목초액의 초산 성분에 의한 수화 지연에 따른 결과로 판단된다.

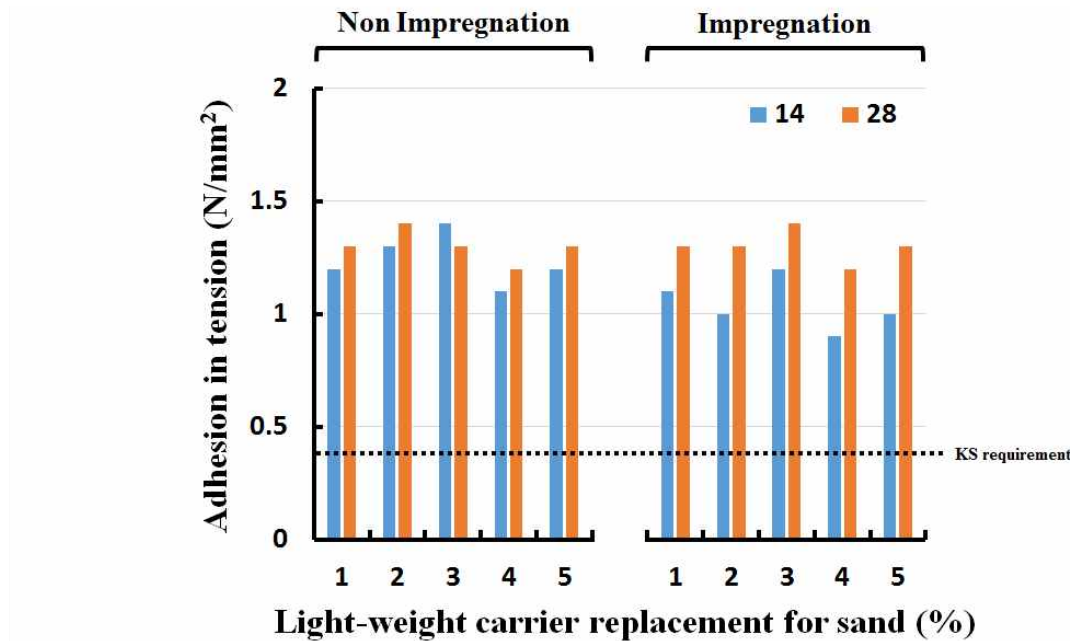


그림 2.2.158 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 50, 슬래그 치환 10%)

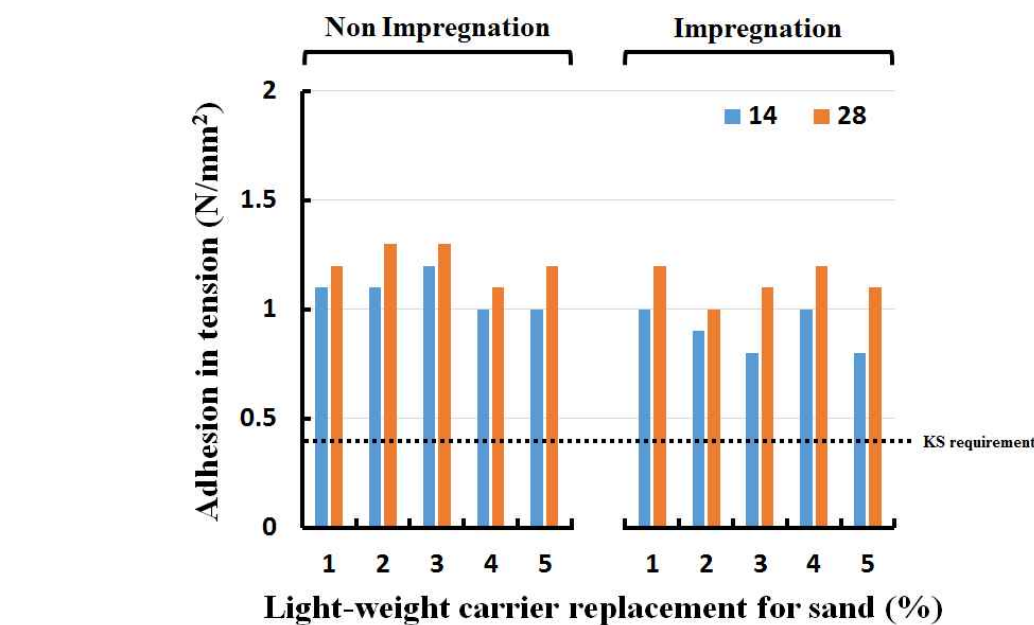


그림 2.2.159 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 100, 슬래그 치환 10%)

그림 2.2.160, 2.2.161은 골재-바인더비가 각각 50, 100이며, 슬래그 치환율이 20%인 석고계 모르타르의 제올라이트의 목초액 함침 여부 및 치환율에 따른 접착강도 특성을 나타낸 것이다. 골재-바인더비가 100일 때, 함침골재를 치환한 경우 전체적인 접착강도 특성은 낮게 측정되었으며, 14일 접착강도 또한 함침을 하지 않은 경량골재를 치환한 공시체에 비하여 낮은 값을 보였다. 이는 역시 초산에 의한 수화 지연으로 판단된다.

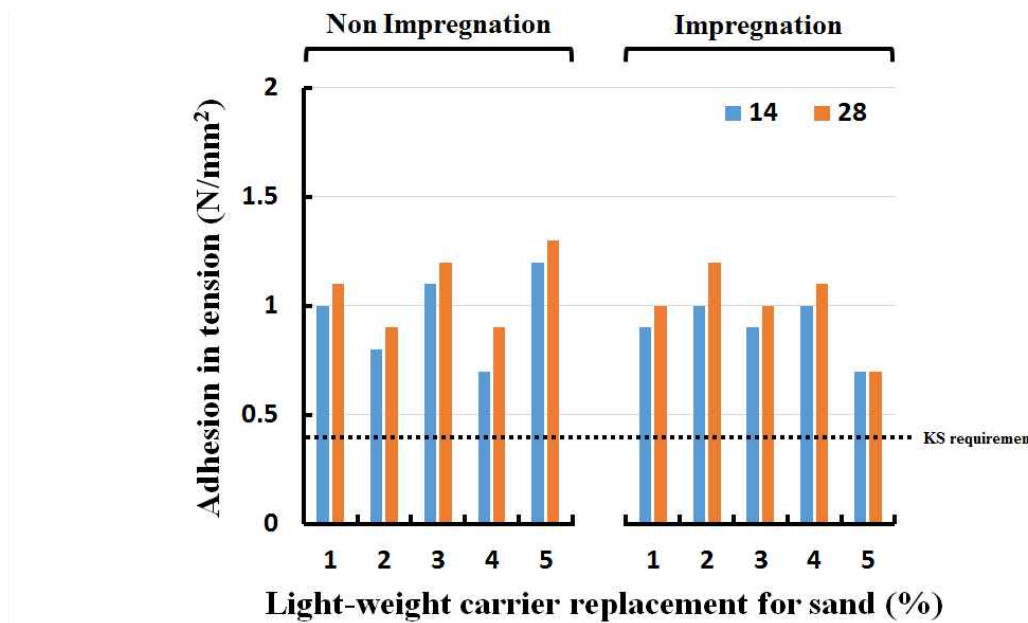


그림 2.2.160 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 50, 슬래그 치환 20%)

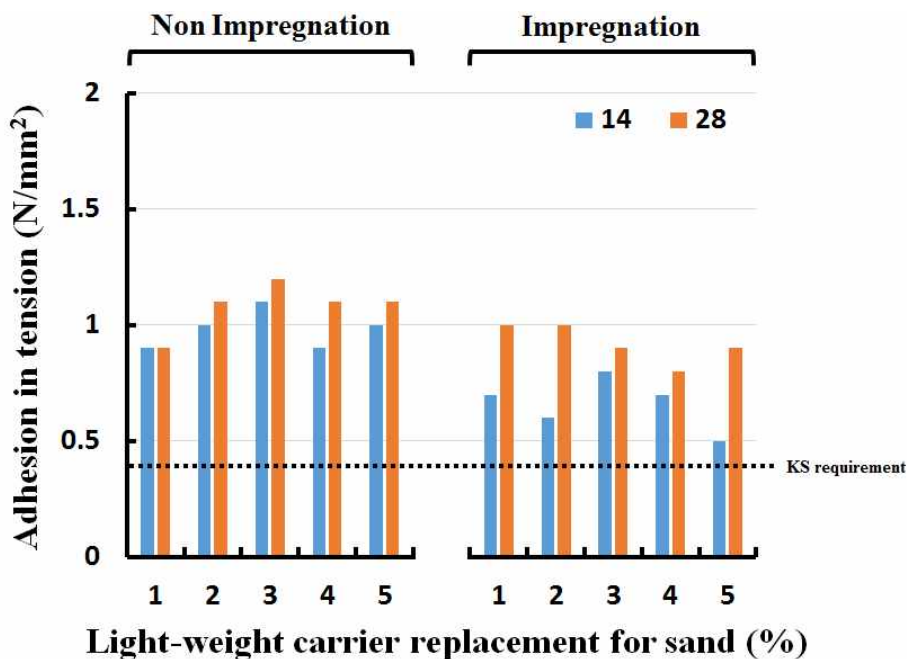


그림 2.2.161 목초액 함침 여부 및 경량담체 치환율에 따른 특성
(골재-바인더비 100, 슬래그 치환 20%)

(2) 공기질 성능 시험

(가) 석고 바름재의 흡방습 특성

석고 바름재의 흡습량과 방습량을 측정한 결과 아래 표 8과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 먼저 석고와 골재비에 따른 흡습량과 방습량은 석고와 골재비가 1:1일때보다 1:0.5인 경우에 흡습량과 방습량이 높은 것으로 나타났다. 석고바인더의 비가 높을수록 흡습능력이 향상되는 것으로 나타났다. 석고에 고로슬래그를 혼입하였을 경우에는 슬래그 10% 혼입 시 흡습량이 증가하는 것으로 나타났으며, 20% 혼입 시에는 다시 감소되는 것으로 나타났다. 과량의 슬래그 혼입 시에는 바름재의 내부의 흡습능력이 저하하는 것으로 나타났다.

석고바름재의 무함침 경량 담체인 제올라이트와 활성탄을 비교해보면 제올라이트의 흡습능력이 높은 것으로 나타났다. 활성탄의 경우 흡습량이 감소되는 것으로 나타났다. 활성탄의 경우에 입도가 작아 내부밀도를 높여 흡습성을 저하시키는 것으로 판단된다.

목초액 함침 경량 담체를 보면 제올라이트의 경우 무함침의 경우보다 흡습량이 약간 감소한 것으로 나타났다. 활성탄의 경우에는 무함침보다 흡습량이 증가한 것으로 나타났다. 바인더골재비가 1:1인 경우의 흡습량변화는 적은 것으로 나타났다.

바름재의 두께를 4mm로 하였을 때 흡습량 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 바인더와 골재비가 1:0.5, 1:1일 때의 흡습량 경향도 유사하게 나타나 석고 바름재의 두께에 따른 흡습량 변화는 적은 것으로 나타났다. 석고 바름재의 흡습량을 결정하는 것은 바름재의 면적당 흡습되는 재료의 성질에 관련된 것으로 판단된다.

표 2.2.44 석고 바름재의 흡습량과 방습량

Mix No.	흡습량(g/cm ²)	방습량(g/cm ²)
황토	0.06	0.0205
에코카라트	0.08	0.06
규조토벽	0.014	0.005
1번	0.0533	0.0278
2번	0.0433	0.0192
3번	0.0697	0.0311
4번	0.0561	0.0297
5번	0.0647	0.0186
6번	0.0497	0.0314
7번	0.0617	0.0297
8번	0.0689	0.0333
9번	0.0764	0.0356
10번	0.0467	0.0169
11번	0.0492	0.0122
12번	0.0469	0.0140
13번	0.0611	0.0219
14번	0.0678	0.0417
15번	0.0672	0.0328
16번	0.0581	0.0231
17번	0.0722	0.0364
18번	0.0625	0.0286
19번	0.045	0.0239
20번	0.0522	0.0264
21번	0.0619	0.0392
22번	0.0403	0.0211
23번	0.0689	0.0267
24번	0.0503	0.0331

(나) 검지관법을 활용한 수화가스 정성분석

검지관법을 활용한 수화 가스 정성분석에서 검지관별 측정 결과 모든 시험체에서 불검출로 나타났으며, 석고 바름재에서 외부로 방출되는 유해물질은 없는 것으로 나타났다.

표 2.2.45 석고 바름재의 수화가스 정성분석

Mix No.	Polytec I	Polytec II	Polytec III	Polytec IV
에코카라트	불검출	불검출	불검출	불검출
규조토벽	불검출	불검출	불검출	불검출
1번	불검출	불검출	불검출	불검출
2번	불검출	불검출	불검출	불검출
3번	불검출	불검출	불검출	불검출
4번	불검출	불검출	불검출	불검출
5번	불검출	불검출	불검출	불검출
6번	불검출	불검출	불검출	불검출
7번	불검출	불검출	불검출	불검출
8번	불검출	불검출	불검출	불검출
9번	불검출	불검출	불검출	불검출
10번	불검출	불검출	불검출	불검출
11번	불검출	불검출	불검출	불검출
12번	불검출	불검출	불검출	불검출
13번	불검출	불검출	불검출	불검출
14번	불검출	불검출	불검출	불검출
15번	불검출	불검출	불검출	불검출
16번	불검출	불검출	불검출	불검출
17번	불검출	불검출	불검출	불검출
18번	불검출	불검출	불검출	불검출
19번	불검출	불검출	불검출	불검출
20번	불검출	불검출	불검출	불검출
21번	불검출	불검출	불검출	불검출
22번	불검출	불검출	불검출	불검출
23번	불검출	불검출	불검출	불검출
24번	불검출	불검출	불검출	불검출

(다) 바인더 골재비에 따른 암모니아 흡착특성

석고 바름재의 암모니아 흡착특성을 살펴보면 골재비에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 슬래그 혼입률에 따른 암모니아 흡착량은 슬래그 혼입률에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

비함침 골재인 제올라이트와 활성탄의 암모니아 흡착량을 비교하여 보면 제올라이트가 활성탄보다 흡착량이 높았으며 경량담체의 혼입률에 따라 흡착량은 증가하는 것으로 나타났다. 함침 경량 담체의 경우 비함침에 비하여 암모니아 흡착량은 증가하는 것으로 나타났다. 목초액의 암모니아 흡착 효과로 인해 바름재의 암모니아 흡착 성능이 개선된 것으로 판단된다.

함침골재를 혼입한 경우 골재비에 따른 암모니아 흡착 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 두께가 증가되었을 경우에는 골재비가 작을 경우에 암모니아 흡착량이 높은 것으로 나타났으며, 함침 제올라이트 골재가 암모니아 흡착효과가 좋은 것으로 나타났다.

(라) 바인더 골재비에 따른 VOC 흡착특성

석고 바름재의 VOC 흡착특성을 살펴보면 골재비와 슬래그 혼입률에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

비함침 골재인 제올라이트와 활성탄의 VOC 흡착량을 비교하여 보면 활성탄의 흡착량이 높았으며 경량담체의 혼입률에 따라 흡착량은 증가하는 것으로 나타났다. 함침 경량 담체의 경우 비함침에 비하여 VOC 흡착량 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 목초액의 VOC 흡착효과는 적은 것으로 판단된다.

함침골재를 혼입한 경우에도 골재비에 따른 VOC 흡착 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 두께가 증가되었을 경우에는 골재비가 작을 경우에 VOC 흡착량이 높은 것으로 나타났으며, 함침 목초액 골재가 VOC 흡착성능이 양호한 것으로 나타났다.

표 2.2.46 석고 바름재의 암모니아 가스 흡착량 및 VOC 흡착량

Mix No.	암모니아(ppm)	VOC(ppm)
황토	120	40
에코카라트	120	100
규조토벽	96	60
1번	85	65
2번	86	62
3번	91	72
4번	106	73
5번	70	67
6번	102	70
7번	102	75
8번	104	78
9번	93	83
10번	92	95
11번	91	100
12번	99	100
13번	108	76
14번	111	79
15번	120	82
16번	95	90
17번	110	97
18번	115	100
19번	89	84
20번	91	100
21번	130	95
22번	96	80
23번	120	100
24번	91	100

4. 소결

가. 석고계 바름재의 최적 슬래그 혼입률은 10%로 나타났으며, 함침 골재보다 비함침 골재의 강도가 높은 것으로 나타났다. 경량 함침 골재를 혼입할 때 부착강도는 제올라이트보다 활성탄의 경우가 좋은 것으로 나타났다.

나. 석고 바름재의 흡방습 특성은 바름재의 두께에 대한 영향보다 적은 것으로 나타났으며, 석고와 골재비가 1:0.5이고 슬래그 혼입률 10%일 때 최적인 것으로 나타났다.

다. 석고계 바름재의 공기질 성능 중 암모니아 및 유해 물질의 방출은 모든 배합에서 나타나지 않았다. 암모니아 흡착 특성은 목초액 함침골재의 양이 증가할수록 향상되는 것으로 나타났다.

라. 석고계 바름재의 VOC 흡착 특성은 목초액에 의한 효과는 거의 없는 것으로 나타났으며, 함침골재의 종류에 따라 다르게 나타났다. 제올라이트보다 활성탄의 흡착능이 좋은 것으로 나타났다.

3. 개발 제품의 현장 적용을 실험

1. 개요

본 절에서는 목재 산업부산물을 활용한 시제품을 활용하여 시공특성, 항균내구성 등을 평가하고자 하였다. 시제품의 종류는 외부마감재로 EPS 부착용 에폭시 수지 혼입 모르타르, KS F 4716 바탕조정용 바름재, KS F 4715 외부마감재와 내부 마감재로 석고 바름재를 사용하여 제품의 시공특성과 외부 마감 상태 등을 검토하였다.

2. 시제품 제작 및 실험동 제작

가. 시제품 제작

시제품의 제작 순서는 목초액 함침 골재 제작, 원재료 투입, 믹싱 후 포장, 시제품의 순으로 이루어졌다. 목초액 함침 골재의 제작은 목초액 함침과 건조 과정으로 인해 주관기관에서 제작한 후 공동연구기관의 생산과정 시스템에 계량하여 투입하였다. 이후 제조된 시제품을 사용하여 MOCK-UP 테스트를 수행하였다.



① 목초액 함침골재 제작 및 건조



② 원재료 투입



③ 믹싱 후 포장



④ 시제품

그림 2.2.162 시제품의 제작과정

나. 시제품 적용을 위한 MOCK-UP 테스트 실험동 제작

(1) 실험동의 규격

- 크기 : 2m(가로)×2m(세로)×2.3m(높이)
- 개구부 : 창문 - 1.4m(너비)×1.4m(높이), 문 - 827mm(너비)×1990mm(높이)
- 구조방식 : 경량철골구조
- 실별 내장 마감 소재 : A실 - 석고바름재, B실 석고보드

(2) 실험동 제작 과정



① 재료 반입



② 뼈대 조립



③ 벽체 조립



④ 문틀 설치



⑤ 문 설치



⑥ 시공완료

그림 2.2.163 MOCK-UP시험용 실험동



① 시공 전



② EPS 보드 부착



③ EPS 보드 부착완료



④ 몰탈 시공



⑤ 몰탈 시공 완료



⑥ 마감재 시공



⑧ 마감재 시공 완료

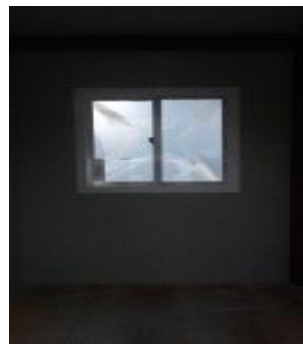


⑦ 외단열 시공완료

그림 2.2.164 외단열 시험 시공과정



① A실 석고바름재



② B실 석고보드 시공

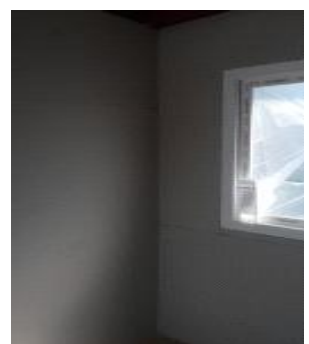


그림 2.2.165 내부 석고 바름재와 석고보드 시공

3. 실험 개요 및 방법

가. 시제품의 물리적 특성

시제품의 부착강도를 측정하여 물리적 특성에 대해 확인하였다.

나. MOCK-UP시험 공간의 온도 특성

A실(목초액 함침 골재 석고 바름재)과 B실(석고보드)로 나누어 온도와 습도를 측정하여 실내 환경 특성에 대해 고찰하였다.

다. 공기질 특성 평가 (Purge & Trap GC/MS 분석)

(1) 실험 개요

VOCs 성분 분석은 실험의 목적에 따라 기기적 측정을 하기 이전에 시료를 적절한 방법을 통하여 최적의 측정 조건을 만드는 과정이 필요하며 측정에 알맞은 조건이 되도록 처리하는 것이 가장 중요하다. 이러한 시료의 전처리 목적은 분석 대상물질의 분리 및 농축, 시료 내 간섭 물질의 제거 및 감소, 시료 매트릭스의 제거, 향상된 분석을 위한 시료 전처리로 볼 수 있다.

특히, VOCs의 분석을 위한 전처리 방법은 대부분 시료를 농축시키는 방법으로 액체-액체 추출법(Liquid-Liquid Extraction, LLE), 가스 추출법(Gas Extraction or static Headspace Extraction, HSE), 고체상 추출법(Solid Phase Extraction, SPE), 막 추출법(Membrane Extraction, ME), 그리고 직접 주입법(Direct Injection Aqueous, DIA) 등이 있다.

그러나 상기의 전처리 방법들은 반드시 농축 과정이 필요하며 대기 가스 상의 VOCs를 검출하기에 많은 문제점을 가지고 있다.

이에 본 장에서는 유기용매를 전혀 사용하지 않고 분석 실험에 의한 2차 오염 등을 막을 수 있는 Purge and Trap condensation(P&T)를 활용하여 시멘트 모르타르 및 콘크리트 수화가스 분석에 가장 적합한 측정 프로세서를 정립하고자 하였다.

(2) 실험 방법

(가) 기체 샘플링방법 선정

기체상태의 물질을 분석하는 과정에서 대상물질을 샘플링하는 방법은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 하나는 플라스크나 에어백, 또는 적절한 용기에 공기를 직접 샘플링하는 공기채집 방법이며, 다른 하나는 기체상태의 물질이 흡수제나 흡착제를 통과하는 동안 매개체에 흡수 또는 흡착되어 축적시키는 방법이다. 공기채집 방법은 샘플링 시

간이 불과 몇 초에서 수분 정도가 소요되며, 최대농도를 파악할 경우나 농도의 분포가 시간에 따라 일정한 경우에 적용하기 알맞은 방법이나, 특정한 화학물질을 분리하여 측정하지 않는 한 이러한 측정방법으로 낮은 농도의 VOCs 물질을 검출하기에는 어느 정도 한계가 있다. 또한, 오염물질의 농도가 시간에 따라 변화하는 경우나 공기중의 농도가 매우 낮은 경우, 장시간 동안의 평균 농도를 파악하고자 할 경우에는 적당하지 않으며, 이때에는 측정 대상물질을 흡수용액에 용해시키거나 흡착제와의 반응을 유도하여 고정시키고 이를 실험실에서 분리, 분석하여 샘플링시간 동안의 평균농도를 측정하는 방법으로 흡착제를 이용하는 방법이 적절하다.

(나) 고체 흡착제의 선정

흡착제 이용법은 우리나라 공정시험방법 및 미국 EPA TO-17에 규정된 방법으로 SUS나 Glass재질로 만들어진 흡착관에 적절한 흡착제를 충전하여 시료를 포집한 다음 용매로 추출하거나 열탈착을 이용해서 분석하는 방법이다. 이는 기존의 캐니스터(Canister)를 사용하여 기체를 연속포집 및 분석하는데 있어 어려움을 해결하기 위하여 개발된 방식이라고 볼 수 있다. 비교적 분자량이 크고 휘발성이 낮은 semi-volatile VOCs의 경우 안정되게 포집이 가능하고 오염물질의 농도가 시간에 따라 변화하는 경우나, 장시간 동안의 평균 농도를 파악하고자 할 경우 바람직 한 것으로 알려져 있다. 일반적으로 유해가스의 포집에 사용되는 흡착제는 흡착 보유능력이 크고 동시에 흡착된 시료를 100% 탈착시킬 수 있는 특징을 가져야 하며, 사용하는 흡착제의 종류와 성능에 따라 포집 대상물질이 다르게 나타나므로 분석에 적합한 흡착제 선정이 필요하다. 흡착제의 종류는 재질에 따라 고분자 흡착제와 탄소계 흡착제 등으로 분류되며, 피흡착제의 물리화학적 특성 즉, 휘발성, 극성, 용해성에 따라 흡착 강도가 다른데 초기 수화반응과정에 발생하는 기체 성분의 시료 포집은 공기 채집법을 대신하여 수분의 영향을 받지 않는 소수성의 고체 흡착제를 활용한 흡착튜브 포집법이 실험의 정확성을 높이기 위해 적합한 것으로 사료되었다.

표 2.2.47 흡착관 종류에 따른 측정대상물질

충전제명	구조	측정대상물질
Tenax-TA	2,6-diphenyl-p-phenylene oxide 구조의 내열성수지 표면적 35㎡/g 끓는점 100℃~400℃, n-C6~n-C26	알코올류, 아민류, 중취발성극성 화합물, 대기중의 유기물질
Tenax-GR	Tenax-TA에 23% 함침시킨 혼합충전제 표면적 35㎡/g 끓는점 100℃~450℃, n-C7~n-C30	Tenax-TA포집물질+알킬벤젠, VOCs

이에 본 연구에서는 다른 흡착제에 비하여 흡착효율은 떨어지나 물에 대한 친화력이 작아 대기중의 수분으로 인한 영향을 크게 줄일 수 있는 Tenax계의 흡착제를 선정하였다. 또한, 가스 포집에 있어서 Tenax계의 흡착제 중 2,6-diphenyl-p-phenylene oxide 구조의 내열성 수지인 Tenax-TA에 23% 함침시킨 혼합 충전제인 Tenax-GR 흡착제를 선택하였다. 이는 기존의 Tenax-TA 흡착제에 비하여 알킬벤젠 및 VOCs 물질에 대한 흡착이 가능하여, 가스 포집의 대상범위를 높일 것으로 사료되기 때문이다.

또한, 일반 흡착제의 경우 그 충전량이 많을 경우 탈착과정에서 불완전한 탈착이 일어날 수 있어 충전제의 양을 0.2~0.5g을 사용하여 미량의 Out Gas를 손실할 수밖에 없는 구조적인 모순이 있었다. 그러나 Purge & Trap Sampler의 직렬 유로 구성으로 Dead Volume을 줄이고 퀴리점(Curie Point) 가열방식으로 탈착부 전 영역을 일시에 고르게 가열함으로 불완전 탈착을 줄이므로, 충전량을 2.5g으로 늘려 실제 분석시 미량의 저비점 화합물도 손실 없이 Trap 할 수 있도록 하였다.

(다) 탈착방법 선정

흡착관을 사용하여 포집했을 때는 흡착된 시료의 탈착과정이 필요하며, 탈착방법으로는 용매추출법과 열탈착법이 주로 이용되고 있다. 용매추출법은 흡착된 VOCs를 CS₂ 등의 유기용매를 이용하여 추출한 다음 GC에 주입하여 분석하는 방법으로 사용되는 용매가 인체에 유해하고 저농도에 대한 탈착 효율이 낮으며 감도가 낮아 분석방법으로 적합하지 않다. 반면 열탈착법은 용매추출법에 비해 분석 감도가 뛰어나므로 일반 대기 중에 저농도로 존재하는 VOCs의 분석에 이용될 수 있으며, 탈착 과정의 자동화가 쉽고, 흡착 튜브의 탈착 효율을 쉽게 확인할 수 있어 시멘트 모르타르의 수화과정 상 발생 가능한 유기화합물에 대한 분석으로 가장 적합한 것으로 사료되었다.

이에 가스 포집을 위해 선정하였던 Tenax-GR 흡착관의 열탈착을 위한 Curie point automated Purge & Trap sampler 분석 프로세서를 구성하였다.

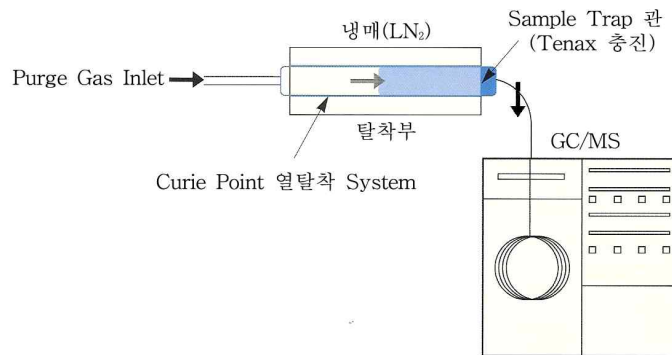


그림 2.2.166 Trap by curie point system

(라) GC/MS 분석조건

GC의 분석조건은 DB-624 컬럼을 사용하였으며, 온도 조건은 40℃에서 260℃까지 분당 10℃ 상승하여 분석 후 260℃를 5분 동안 유지하는 분석 조건을 사용하였다. 또한, Purge & Trap의 분석 조건은 표 2.2.48과 같다.

표 2.2.48 Analysis condition of gas chromatography

항 목	설 정 값
주입기 온도	280℃
운반기체	He, 1.0 ml/min
컬럼	DB-624 캐필러리컬럼 Length 30m × Dia 0.25mm × Film 0.25μm
온도 프로그램	40℃(3min Hold) - 10℃/min to 260℃(5min Hold) (모든 목표화합물이 용리될 때 까지)

표 2.2.49 Analysis condition of mass spectrometer

항 목	설 정 값
인터페이스 온도	250 ℃
이온원 온도	200 ℃
이온화 방법	전자이온화(70 eV)
질량범위	스캔, m/z 35 to m/z 300

표 2.2.50 Analysis condition of purge & trap

	Load	Air Purge	Purge& Trap	Stand by	Desorp	Analy
Time(min)		1	30	1	3	29
P.S (ml/min)	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
S.S (ml/min)	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
PAT (℃)	30	30	280	80	80	80
Cryo (℃)	-40	-40	-40	1	1	1



그림 2.2.167 Tenax-GR 흡착관

그림 2.2.168 Purge & Trap analyzer



① GC분석용 시료 채취용 검지관



② GC분석용 시료 채취



③ 검지관과 흡착 장치



④ 검지관 흡착

그림 2.2.169 MOCK-UP시험 공간의 VOC 채취 및 검지관 흡착



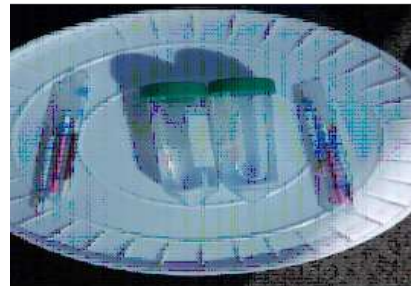
① 암모니아 흡착을 위한 용매 투입



② 암모니아 흡착 시험



③ 흡착 용매의 수집



④ 수집된 용매

그림 2.2.170 MOCK-UP시험 공간의 암모니아 채취 및 검지관 흡착

(마) 향균 내구성 평가

① 시험시료

8종의 고휘형 시료를 가로세로 3cm x 3cm로 잘라서 시험에 사용하였다. (두께 < 0.3cm)

② 실험장치 및 도구

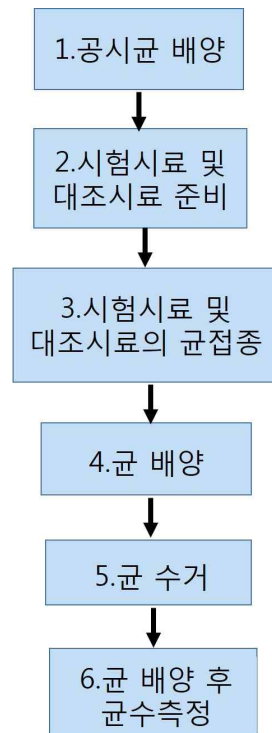
고압멸균기, 향온 배양기, 진탕 배양기, 자외선살균장치(클린벤치), 흡광광도계, 큐벳, 삼각플라스크, 알코올 램프, 배양관, 페트리디쉬, 1.5ml 튜브, 루프(세균집중), 피펫, 마이크로피펫, 팁, 세균배양액(LB배지-대장균용), 세균배양플레이트(agar plate, 자체제작), 생리식염수

③ 공시균

대장균 (*Escherichia coli*) - 그람 음성균, 황색포도상구균 (*Staphylococcus aureus*)

④ 실험과정 및 방식

KS J 4206 (진탕플라스크법), JIS Z 2801(필름 밀착법)



- 항균성 시험과정 -

□ 공시균 배양

- 공시균

공시균은 서울대학교 자연과학대학 부속 미생물 연구소의 미생물 자원센터에서 황색 포도상구균 (*Staphylococcus aureus*)과 대장균 (*Escherichia coli*)을 분양받아 사용하였다.

배지는 대장균은 LB배지(Tryptone 10.0g, NaCl 10.0g, Yeast extract 5.0g/Liter, pH 7.0)와 LB agar plate(LB + 15g Agar/Liter)를, 포도상구균의 경우 NB배지(Beef extract 3.0g, Peptone 5.0g/Liter, pH 6.8)과 Nutrient Agar plate(NB + Agar 15.0g/Liter)를 고압멸균기를 이용하여 121℃에서 15분간 멸균하여 사용하였다.

배양후 장기 보존을 위해서 배양균액에 20% 글리세롤을 첨가하여 -80℃의 초저온 냉장고에 저장하였다.

- 균 접종 초기 균수 측정

흡광광도계를 이용하여 균수를 측정하기 위하여 24시간동안 액체배지에 진탕배양한 세균배양액을 농도별로 희석($10^{-1} \sim 10^{-7}$)하여 흡광도(660nm)를 측정한 뒤(그림 2.2.171) 고체배지에 도말한 뒤 24시간 동안 37℃ 배양기에서 배양하여 세균집락(colony)를 얻은 후 집락수를 측정하였다.(그림 2.2.172)



그림 2.2.171 희석한 배양세균의 흡광도 측정

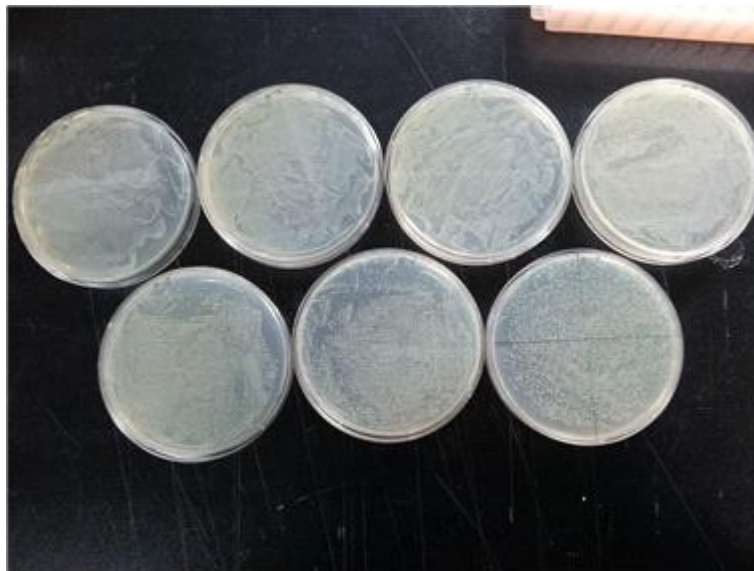


그림 2.2.172 세균집락수 측정

얻은 세균집락의 수를 측정하여 흡광률에 따른 세균수를 확정한다. (예: 흡광도가 1인 세균 배양액을 10^{-2} 으로 희석한 뒤 0.1ml을 고체배지에 도말하여 얻은 세균집락 (colony)수가 100개였다면, 흡광도1의 세균수는 $= 100 \times 10^2 \times 10 = 1 \times 10^5$ /ml 이다.)

- 시험시료 및 대조시료 준비

시험시료를 멸균된 페트리디쉬에 개별로 넣고 labeling한 뒤 clean bench안에서 뚜껑을 열어 UV-C 4시간동안 살균한다(그림 2.2.173). 대조시료는 멸균된 빈페트리디쉬를 사용한다.



그림 2.2.173 시험시료준비 및 살균

- 시험시료와 대조시료에 균점종

표준규격을 참조하여 시료당 $1 \times 10^5/\text{ml}$ 의 세균농도를 시료표면에 골고루 점종하였다. (0.2ml) 점종하였다.(그림 2.2.174)

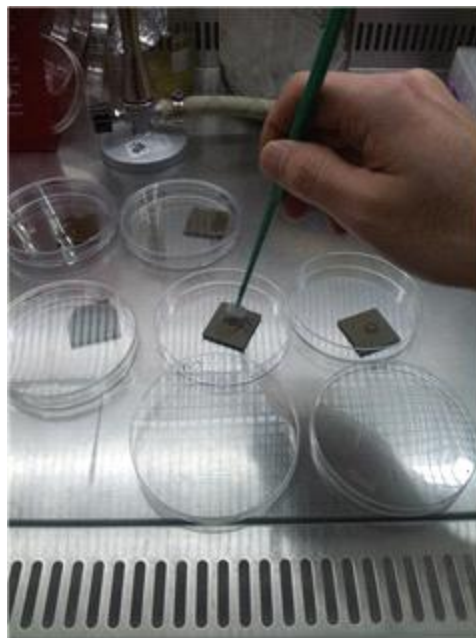


그림 2.2.174 시료에 균을 점종하는 모습

- 균배양

균을 접종한 시료를 37℃ 배양기에 24시간동안 정치 배양한다(그림 2.2.175).



그림 2.2.175 접종된 시료를 배양기에 넣은 모습

(바) 개발 제품의 경제성 평가

개발 제품의 실적용시 경제성을 평가하기 위하여 제품별 경제성을 평가하고자 하였다. 대상 품목은 EPS부착용 모르타르, KS F 4716, KS F 4715, 내부용 석고 바름재, 외부 코팅제이다. 경제성의 분석 항목은 원재료비에서만 실시하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

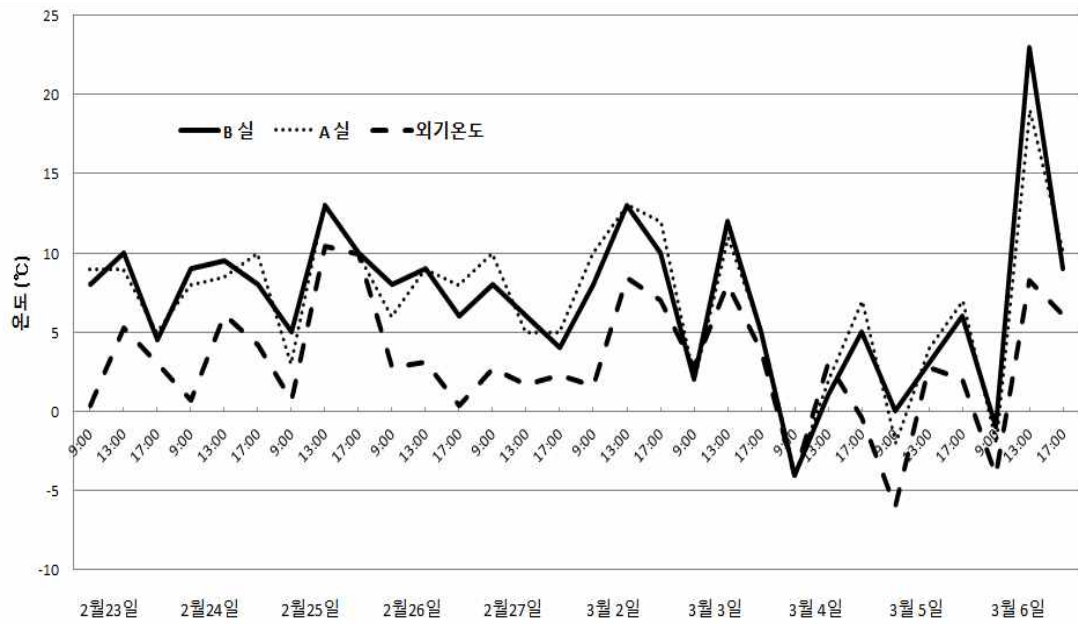
가. 시제품의 물리적 특성

표 2.2.51 시제품의 물리적 특성

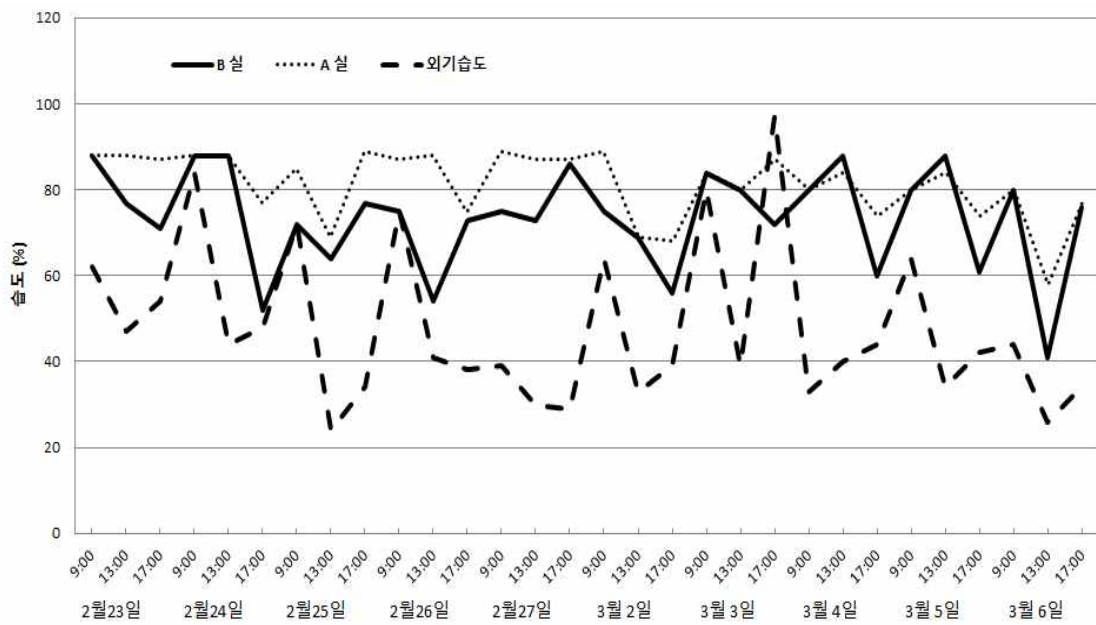
	부착강도(MPa)	표면 균열	표면 오염
석고바름재	0.5	이상없음	있음
EPS부착용 모르타르	1.3	-	-
KS F 4716	1.3	이상없음	-
KS F 4715	1.2	이상없음	표면 오염없음

나. MOCK-UP 시험공간의 온습도 특성

석고바름재 사용한 룸 A와 석고보드를 사용한 룸 B의 온습도를 측정한 결과 실별 온도차이는 크지 않은 것으로 나타났으나 습도 유지 성능은 석고바름재에서 높은 것으로 나타났다.



(A) 온도 변화 추이



(B) 습도 변화 추이

그림 2.2.176 석고바름재와 석고보드를 사용한 시험공간의 온도 및 습도 특성

다. 공기질 특성 평가

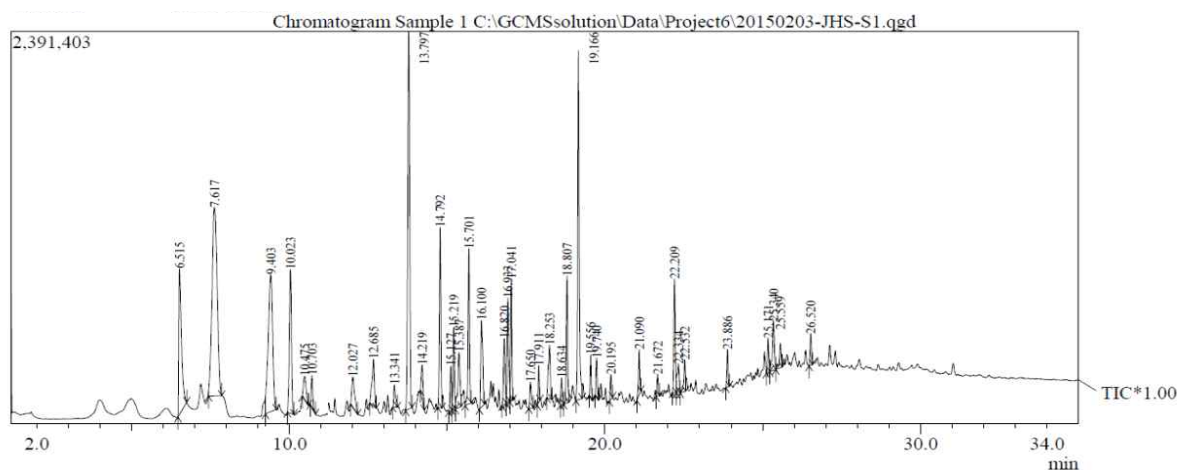
(1) 암모니아 흡착특성

암모니아 측정을 위해 검지관법과 암모니아 추출법 두가지 방법을 통해 측정한 결과 A실과 B실에서 모두 모두 불검출로 나타났다.

(2) VOC 측정 평가

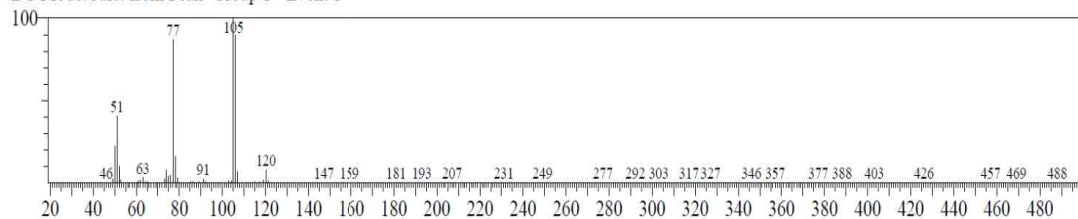
A실인 석고바름재와 B실인 석고보드에서 검지관을 사용한 VOC측정에 있어 톨루엔, 메탄올, 스티렌을 측정된 결과 불검출되었다. 그러나 A실의 석고바름재와 B실의 석고보드 양쪽에서 페놀성분이 검출되었다. A실과 B실의 페놀 종류는 석고바름재 쪽이 적은 것으로 나타났다. 이는 내부의 합판 등에서 방출되는 페놀 성분이 일부분 석고바름재에 의해 흡착되어 감소된 것으로 보인다. 특히, B실의 석고보드를 제조할 경우에 PNS(나프탈렌계 혼화제)를 사용하면서 PNS 내부에 있는 포름알데하이드의 성분 등의 방출로 인해 그 종류가 증가한 것으로 판단된다.

룸 A의 측정 데이터 - 석고바름재



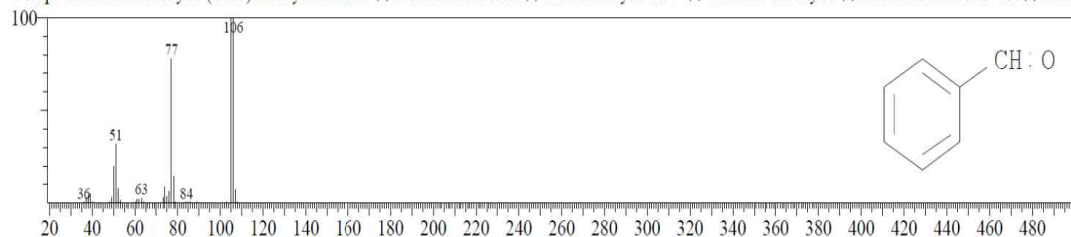
룸 A의 GC분석 데이터 - 석고바름재

Line#:12 R.Time:14.792(Scan#:1632) MassPeaks:265
 RawMode:Averaged 14.783-14.800(1631-1633) BasePeak:105.05(242811)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



원시료 peak 분석데이터

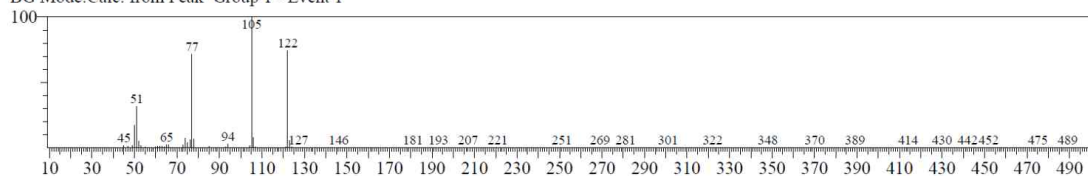
Hit#:1 Entry:8863 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C7H6O CAS:100-52-7 MolWeight:106 RetIndex:0
 CompName:Benzaldehyde (CAS) Phenylmethanal \$\$ Benzenecarbonal \$\$ Benzaldehyde FFC \$\$ Benzoic aldehyde \$\$ Artificial Almond Oil \$\$ Benz



매칭 데이터

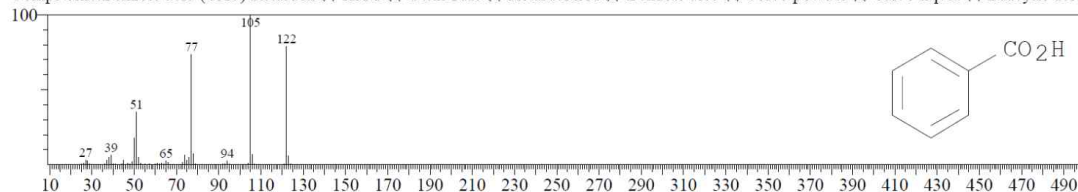
1. R. Time 14.792

<< Target >>
 Line#:26 R.Time:19.167(Scan#:2157) MassPeaks:290
 RawMode:Averaged 19.158-19.175(2156-2158) BasePeak:105.05(543584)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



원시료 peak 분석데이터

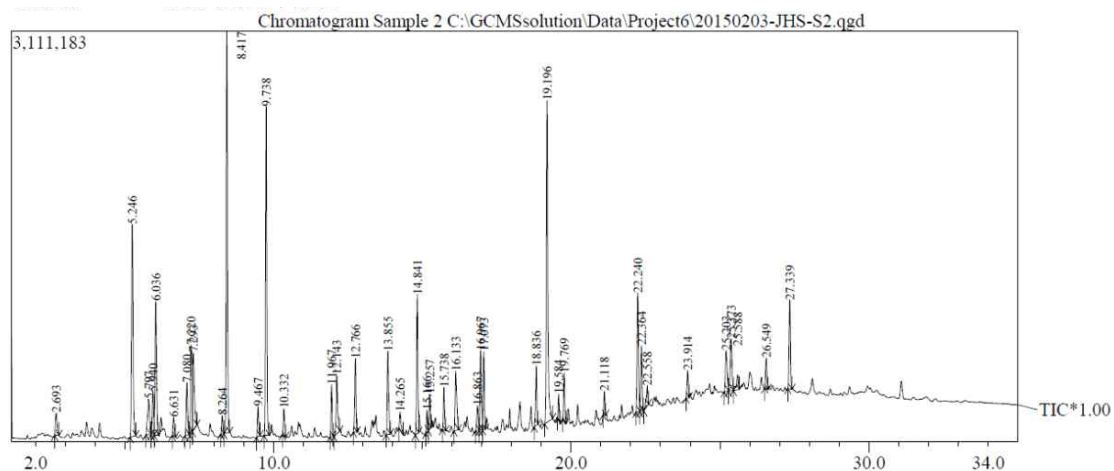
Hit#:1 Entry:16326 Library:WILEY7.LIB
 SI:98 Formula:C7H6O2 CAS:65-85-0 MolWeight:122 RetIndex:0
 CompName:Benzoic acid (CAS) Retardex \$\$ HA 1 \$\$ Tenn-Plas \$\$ Retarder BA \$\$ Benzoic acid \$\$ Solvo powder \$\$ Salvo liquid \$\$ Dracylie acid



매칭 데이터

1. R. Time 19.167

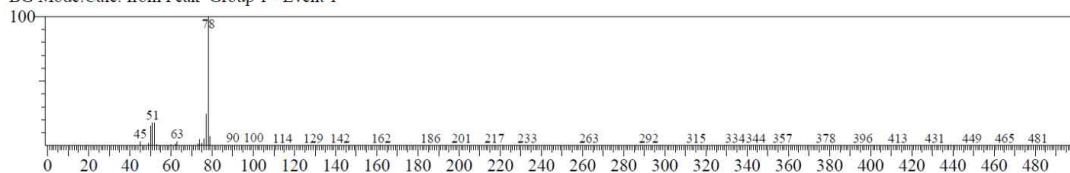
룸 B의 측정 데이터 - 석고보드



룸 B의 GC분석 데이터 - 석고보드

<< Target >>

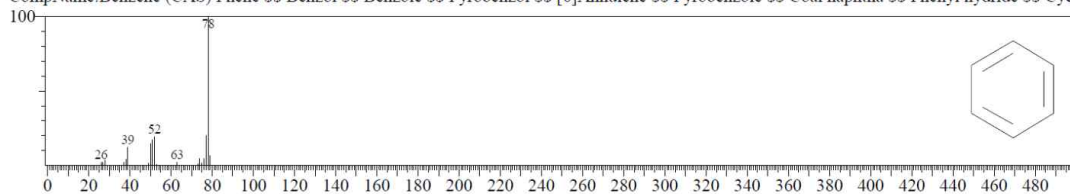
Line#:7 R.Time:7.083(Scan#:707) MassPeaks:205
RawMode:Averaged 7.075-7.092(706-708) BasePeak:78.05(184936)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#:1 Entry:2108 Library:WILEY7.LIB
SI:97 Formula:C6 H6 CAS:71-43-2 MolWeight:78 RetIndex:0

원시료 peak 분석데이터

Hit#:1 Entry:2108 Library:WILEY7.LIB
SI:97 Formula:C6 H6 CAS:71-43-2 MolWeight:78 RetIndex:0
CompName:Benzene (CAS) Phene \$\$ Benzol \$\$ Benzole \$\$ Pyrobenzol \$\$ [6]Annulene \$\$ Pyrobenzole \$\$ Coal naphtha \$\$ Phenyl hydride \$\$ Cycl



매칭 데이터

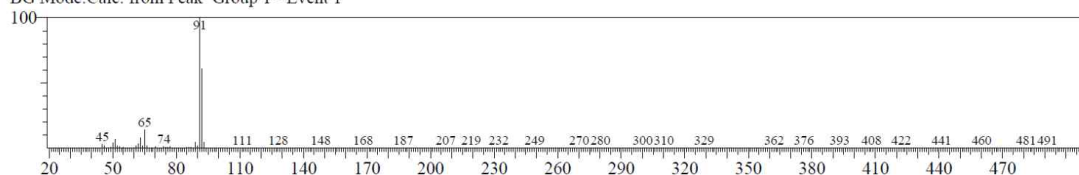
1. R. Time 7.083

<< Target >>

Line#:13 R.Time:9.742(Scan#:1026) MassPeaks:230

RawMode:Averaged 9.733-9.750(1025-1027) BasePeak:91.05(1045251)

BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1

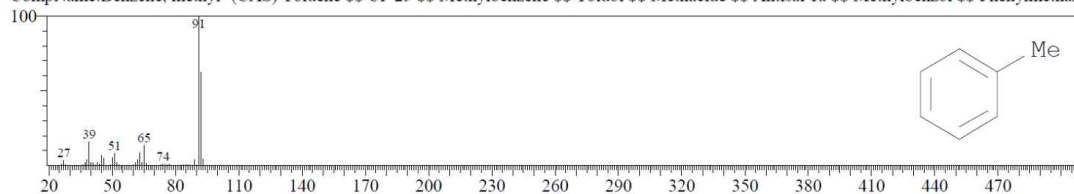


원시료 peak 분석데이터

Hit#:1 Entry:4670 Library:WILEY7.LIB

SI:97 Formula:C₇H₈ CAS:108-88-3 MolWeight:92 RetIndex:0

CompName:Benzene, methyl- (CAS) Toluene \$\$ CP 25 \$\$ Methylbenzene \$\$ Toluol \$\$ Methacide \$\$ Antisal 1a \$\$ Methylbenzol \$\$ Phenylmethane



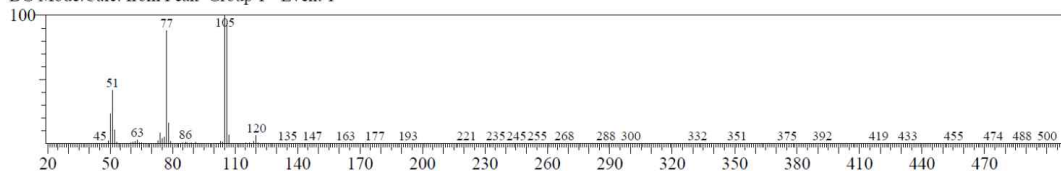
매칭 데이터

1. R. Time 9.742

Line#:20 R.Time:14.842(Scan#:1638) MassPeaks:236

RawMode:Averaged 14.833-14.850(1637-1639) BasePeak:105.05(222128)

BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1

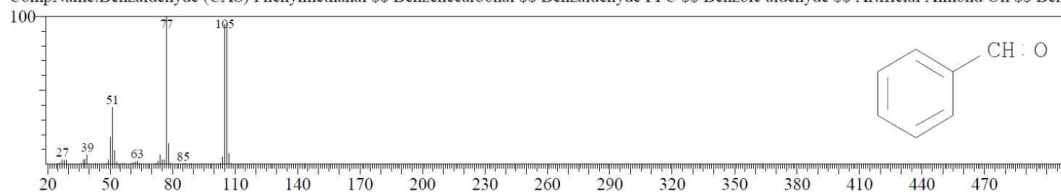


원시료 peak 분석데이터

Hit#:1 Entry:8859 Library:WILEY7.LIB

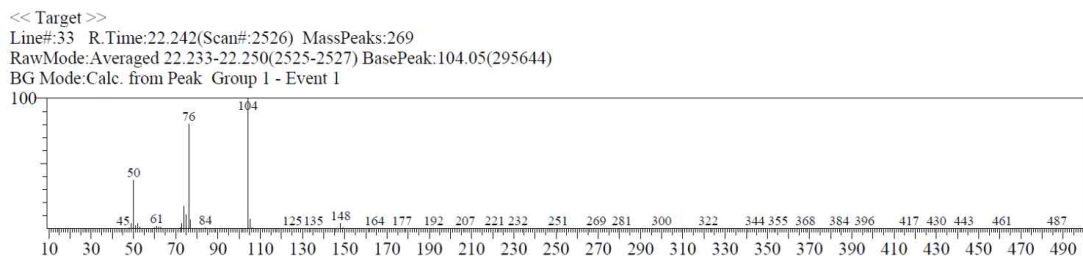
SI:96 Formula:C₇H₆O CAS:100-52-7 MolWeight:106 RetIndex:0

CompName:Benzaldehyde (CAS) Phenylmethanal \$\$ Benzenecarbaldehyde \$\$ Benzaldehyde FFC \$\$ Benzoic aldehyde \$\$ Artificial Almond Oil \$\$ Benz

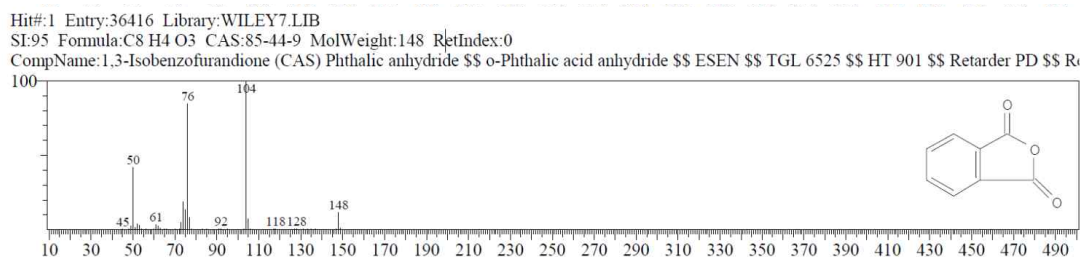


매칭 데이터

1. R. Time 14.842



원시료 peak 분석데이터



매칭 데이터

1. R. Time 22.242

(3) 항균 내구성 평가

항균 내구성을 측정한 결과 초기 실험값보다 항균성이 향상된 것으로 나타났다. 함침 경량 골재 5%만을 혼입하더라도 대조군 감소율이 -100%로 나타나 포도상구균 및 대장균의 감소율이 증가한 것으로 나타났다.

표 2.2.52 KS F 4716 시험체의 포도상구균 항균성 시험결과

포도상구균 (Staphylococcus aureus)			
	최초접종균수	시료접종후 배양균수	대조군 대비 감소율
대조군	1×10^5	1.7×10^{10}	-
ZL-1	1×10^5	4.23×10^9	-75.1%
ZL-2	1×10^5	불검출	-100%
ZL-3	1×10^5	불검출	-100%
ZL-4	1×10^5	불검출	-100%
ZL-5	1×10^5	불검출	-100%
방부제 0.05%	1×10^5	불검출	-100%
방부제 0.1%	1×10^5	불검출	-100%
방부제 0.15%	1×10^5	불검출	-100%
방부제 0.2%	1×10^5	불검출	-100%

표 2.2.53 KS F 4716 시험체의 대장균 항균성 시험결과

대장균 (<i>Escherichia coli</i>)			
	최초접종균수	시료접종후 배양균수	대조군 대비 감소율
대조군	1.8×10^5	1.7×10^{10}	-
ZL-1	1.8×10^5	4.5×10^9	-73.5%
ZL-2	1.8×10^5	불검출	-100%
ZL-3	1.8×10^5	불검출	-100%
ZL-4	1.8×10^5	불검출	-100%
ZL-5	1.8×10^5	불검출	-100%
방부제 0.05%	1.8×10^5	불검출	-100%
방부제 0.1%	1.8×10^5	불검출	-100%
방부제 0.15%	1.8×10^5	불검출	-100%
방부제 0.2%	1.8×10^5	불검출	-100%

(4) 개발 제품의 경제성 평가

함침골재를 사용한 개발제품인 KS F 4715와 KS F 4716제품의 경우 주요 재료인 백운석 골재를 대체하여 사용하였다. 목초액 함침골재의 m³당 가격은 400,000원 정도로 백운석 골재가 910,000원으로 1/2가격 이하인 것으로 나타나 목초액 함침골재를 사용함에 따라 원가 절감이 가능한 것으로 나타났다.

표 2.2.54 함침 골재의 경제성 분석

	기존 제품 (I 사)	개발 제품
골재	백운석	목초액 함침 골재
원재료비	350원/kg	목초액: 1000원/kg 제올라이트: 1000원/kg
원재료의 비중	2.65	0.2
배합비	백운석 : 1	배합비율 목초액 1 : 제올라이트 1 단가 2,000원/kg
용적당 무게	2,600kg/m ³	200kg/m ³
용적당 가격	910,000원/m ³	400,000원/m ³

이에 따라 본 배합인 KS F 4715와 KS F 4716에 대하여 함침골재를 치환하였을 때의 경제성을 살펴보면 아래와 같다. 함침 골재 사용에 따라 가격 절감 효과는 95 ~ 98%까지의 절감 효과가 있는 것으로 나타났으며, 항균성 등의 기능성을 확보할 수 있었다.

표 2.2.55 KS F 4715와 KS F 4716제품의 목초액 함침 골재 사용에 따른 가격비교

	KS F 4715		KS F 4716	
기존 제품 가격	700.23원/kg		573원/kg	
기존 제품의 골재 가격	262.50원/kg		183.40원/kg	
기타 재료 가격	437.73원/kg		388.6원/kg	
목초액 함침 골재 용적치환율별 가격 (원/kg)	5	255.14	5	178.26
	10	247.78	10	173.12
	15	240.43	15	167.98
	20	233.07	20	162.84
목초액 함침 골재 용적치환율별 가격 (원/kg)	5	692.87	5	566.86
	10	685.51	10	561.72
	15	678.16	15	556.58
	20	670.80	20	551.44
기존 제품 가격 대비 목초액 함침 골재 치환율별 가격 비율(%)	0	100	0	100
	5	98.95	5	98.93
	10	97.90	10	98.03
	15	96.85	15	97.13
	20	95.80	20	96.24

I사의 기존 제품인 KS F 4716의 시공시 단가는 약 321.5원으로 나타났으며, 개발 제품인 EPS부착용 모르타르의 가격은 약 147.03원으로 약 45.73%의 원가절감이 가능하였다.

표 2.2.56 KS F 4716제품의 EPS부착용 모르타르의 가격비교

	기존제품		EPS부착용 모르타르	
기존 제품의 구성	시멘트 + KS F 4716		시멘트 + 에폭시수지 + 목타르 + 규사 + MC	
기존 제품의 구성비	시멘트 : KS F 4716 5:5		시멘트:에폭시 수지:목타르:규사:MC 65.36 : 1.76 : 0.2 : 32.68 : 0.65	
구성재료의 단가 (원/kg)	시멘트	70	시멘트	70
	KS F 4716	573	에폭시수지	3,800
			목타르	0
			규사	90
			MC	7,800
구성재료비에 따른 가격(원)	시멘트	35	시멘트	45.75
	KS F 4716	286.5	에폭시수지	67.06
			목타르	0
			규사	29.41
			MC	5.09
합계(원/kg)	321.5		147.31	

I사의 기존 제품인 일반시멘트 몰탈과 황토몰탈을 비교하여 보았을 때 석고 내장용 모르타르의 가격은 약 300원 정도로 일반 시멘트 몰탈에 비하여 약간 높은 가격을 가지고 있으나 황토몰탈에 비하여 가격이 낮은 것으로 나타났다. 향후 제품으로 포장할 경우, 포장비용과 운송비등을 포함한다면 가격 상승은 좀 더 클 것으로 예상되는 단점이 있을 것으로 판단된다. 실용화를 위해서는 좀 더 낮은 가격의 바인더 선택과 규사의 비율이 높일 필요가 있을 것으로 판단된다.

표 2.2.57 내장용 바름재의 가격비교

	기존제품		석고 내장용 모르타르	
기존 제품의 구성	일반시멘트 몰탈	황토몰탈	석고 + 규사 + 목초액함침골재 + MC	
기존 제품의 구성비	일반시멘트 몰탈	황토몰탈	석고 : 골재 : 목초액함침골재 : 첨가제 66.23 : 26.49 : 6.62 : 0.66	
구성재료의 단가 (원/kg)	265	390	석고	70
	-	-	규사	3,800
	-	-	목초액함침 골재	2,000
	-	-	첨가제	7,800
구성재료비에 따른 가격(원)	-	-	석고	92.72
	-	-	규사	23.84
	-	-	목초액함침 골재	132.45
	-	-	첨가제	51.66
합계(원/kg)	-		300.66	

아래 표 2.2.58은 개발 제품에 대한 기존 I사 제품과의 일위대가를 비교 분석한 표이다. 본 개발 제품에 대한 원재료비 분석을 통해 생산원가를 분석한 것으로 개발 제품의 함침 골재의 외주 생산시 소요되는 비용을 포함하여 비용을 세분화하였다. 그 결과 KS F 4715의 경우, 기존제품 대비 1.9%의 원가절감효과가 있으며, KS F 4716의 경우, 기존제품에 비하여 4.1% 원가가 상승하였다. 또한, EPS부착용 모르타르의 경우 36.7%의 원가절감효과가 있었다. 내장바름재는 일반 시멘트 대비 17.7%가량 증가되었으나 황토몰탈에 비해 약 13.4%의 원가 절감 효과가 있었다.

표 2.2.58 개발 제품의 일위대가

제품종류	분류	명 칭	금 액								기존제품 대비 원가 (%)
			원재료비 (원/㎡)	노 무 비 (원/인 · ㎡)	장 비 비 (기존설치 전기비) (원/㎡)	포장용기 (원/㎡)	개발제품			계 (원/㎡)	
							인건비 (원/인 · ㎡)	전기료 (원/㎡)	포장 용기 (원/㎡)		
KS F 4715	기존제품		3,010	43.6	8	465.8	-	-	-	3,527.4	100
	개발제품		2,884.4	43.6	8	465.8	26.1	7	24	3,458.9	98.1 (1.9↓)
KS F 4716	기존제품		630.3	43.6	8	129.9	-	-	-	811.8	100
	개발제품		606.5	43.6	8	129.9	26.1	7	24	845.1	104.1 (4.1↑)
EPS 부착용 모르타르	기존제품		707.3	43.6	8	129.9	-	-	-	888.8	100
	개발제품		324	43.6	8	129.9	26.1	7	24	562.6	63.3 (36.7↓)
내장바름재	기존제품	일반시멘트 몰탈	583	43.6	8	129.9	-	-	-	764.5	100
		황토몰탈	858	43.6	8	129.9	-	-	-	1,039.5	100
	개발제품		661.4	43.6	8	129.9	26.1	7	24	900	117.7 (일반) (17.7↑) 86.6 (황토) (13.4↓)

5. 소결

가. 시제품을 제작한 결과 기존 공정에 제조된 목초액 함침골재만을 투입하여 제조하는 것이 가능하였으며, 실용화를 위해서는 목초액 함침 골재의 제조 공정 개발 등의 후속 연구 등이 요구될 것으로 판단된다.

나. 시제품의 강도는 실험실에서 측정한 수치들보다 적게 나타났으나, 모두 기준치 이상인 것으로 나타났다. 외단열 공법을 수행한 시험공간의 온습도 특성을 보면 시제품을 적용한 공간의 온습도 특성이 약간 우세한 것으로 나타났다.

다. 석고바름재의 실내 공기질 특성을 비교한 결과, 석고보드를 사용한 경우보다 오염물질의 종류가 감소한 것으로 나타났다. 목초액 함침골재를 사용한 시험체의 향균내구성을 측정한 결과 모두 불검출로 나타나 향균성은 초기 측정시보다 향상한 것으로 나타났다.

라. 개발 제품의 경제성을 평가한 결과 개발 원재료의 kg당 단가가 기존 제품에 비해 약 2~3배가량 고가였으나 비중이 약 1/8정도로 작아 오히려 생산단가는 감소되는 것으로 나타나 향후 제품을 생산할 경우에 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

제 3 장 최종연구성과 및 적용실적

제 1절 개별 연구성과

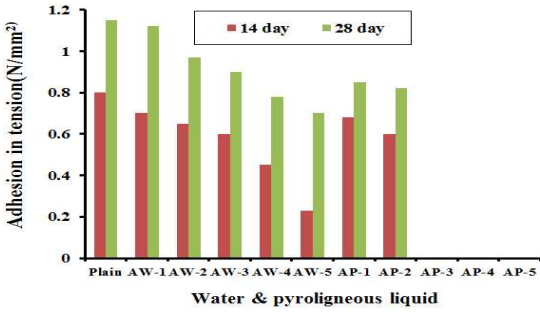
본 연구의 목적은 목재 산업부산물을 활용하여 항균성 내외장재를 개발하는 것이 주요 목적이다. 목재 산업부산물의 주요 대상은 목재를 탄화시킨 후 발생하는 목초액의 항균성능을 효과적으로 활용하기 위하여 목초액을 담지한 경량골재를 제조하고 이 경량골재를 사용하여 항균성의 내외장재를 개발하여 이의 성능을 규명하였다. 목초액의 주요 성분은 초산 성분으로 이를 원료 상태의 것으로 사용하였을 경우에는 액상 성분으로 소재를 다루기 어렵고, 외장 마감의 경우 빗물에 의해 표면이 씻겨 내려가 성능의 장기적인 안정성 등을 기대하기 어렵다. 본 연구에서는 목재 산업의 부산물로 발생하는 목초액을 효과적으로 사용함으로 건축물의 내외장재에 대하여 항균성을 부여할 수 있는 기술을 제공할 수 있다.

또한 외단열 공법에서 빗물에 의한 외부 오염 및 외부 단열재의 전도 현상으로 인해 재료적인 성능의 개선 요구가 대두되고 있다. 이는 외단열 공법에서 주로 사용되고 있는 아크릴 수지계 모르타르의 개별적인 성능 개선이 필요한 부분이다. 아크릴 수지계 모르타르의 외장용 모르타르인 KS F 4715의 경우, 세균에 의한 표면 오염성이 가장 큰 문제가 될 수 있으며, 바탕 조정재로 사용되는 KS F 4716의 경우, 인테리어적인 측면에서 내부 마감재로 사용되는 경향이 있다. 이를 감안하면 항균성을 갖는 내외장 마감재의 개발은 마감재의 본래 성능인 외장적인 효과의 지속성과 실내 공기질 유지 등의 목적성에 부합한다 할 수 있다.

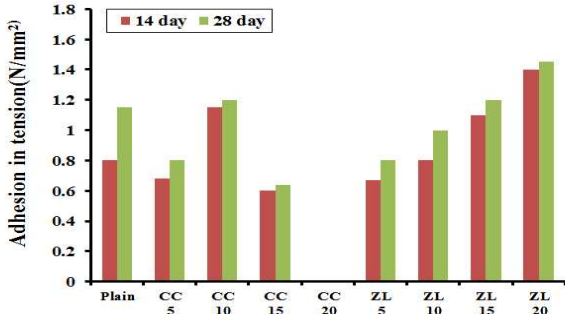
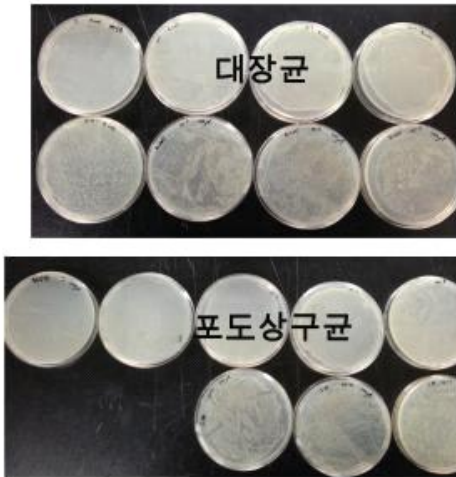
따라서 본 연구개발에서는 목재 산업부산물인 목초액을 사용하여 내외장재의 물리적 성능의 개선, 항균성, 공기질 성능의 개선 등을 위하여 외장재인 아크릴 수지계 모르타르의 목초액 함침 골재의 종류 및 사용량, 바인더의 종류 등에 따른 물리적 성능 평가, 항균성 평가를 통하여 기능성의 내외장 마감재를 개발하고자 하였다. 연구개발 계획에서의 설정한 연구목표는 연차별 계획대로 진행되었으며, 개별 연구 연구 성과에 대하여 항목별로 핵심 요소 기술 및 내용을 정리하면 다음과 같다.

나. 핵심성과별 세부 설명

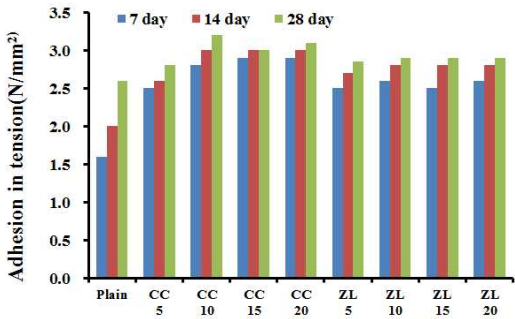
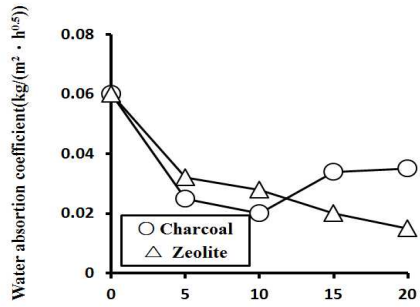
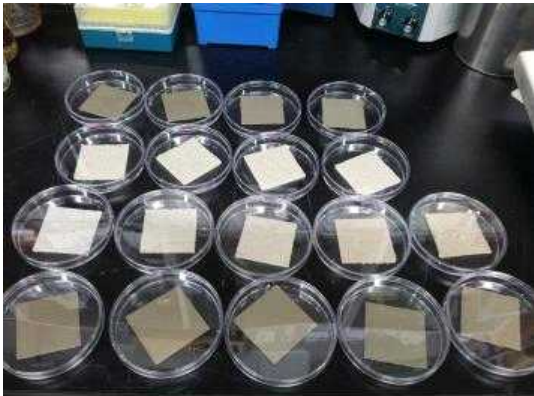
1) 목재 부산 자원을 활용한 경량 담체 제조 기술 개발 (재료 자체)

관련 그림 / 사진		질석	펄라이트 (Ⅰ)	펄라이트 (Ⅱ)	활성탄	제올라이트																												
	함침 전																																	
함침 후																																		
정의(설명)	목재 산업 부산물인 목초액 함침 골재를 제작하여 목초액 사용에 따른 물성 저하 현상 및 치환율 제한의 문제점을 극복할 수 있는 방안을 마련하고자 함.																																	
목 표	목재 산업 부산물인 목초액을 함유하는 목초액 함침 골재 제작																																	
목 적	1) 목초액 사용량 증대 2) 목초액 사용에 따른 물성 저하 현상 방지 3) 기능성 골재 사용을 통한 응용분야 확대 방안 마련																																	
핵심 요소 기술	 Adhesion in tension(N/mm²) Water & pyroigneous liquid ■ 목초액 사용에 의한 물성 저하 현상이 크고 과량 사용하는데 있어 물성 저하를 동반하여 사용에 문제점 발생 ■ 목초액의 사용량 증대와 물성 저하 방지를 위한 목초액 함침 골재 제작하였으며, 대량의 목초액 첨가 가능 <물과 목초액의 직접 치환 시 부착강도> <table><thead><tr><th>유형</th><th>밀도(g/cm³)</th><th>입형</th><th>목초액 함침률(%)</th><th>실제 목초액 함침률(%)</th></tr></thead><tbody><tr><td rowspan="2">펄라이트</td><td rowspan="2">0.2</td><td>PLⅠ: 1.2mm</td><td>0.47</td><td>47</td></tr><tr><td>PLⅡ: 3 mm</td><td>5.03</td><td>503</td></tr><tr><td>질석</td><td>0.2</td><td>1.2mm</td><td>1.52</td><td>152</td></tr><tr><td>활성탄</td><td>0.45</td><td>25μm</td><td>7.32</td><td>732</td></tr><tr><td>제올라이트</td><td>0.28</td><td>3.9μm</td><td>8.75</td><td>875</td></tr></tbody></table>						유형	밀도(g/cm ³)	입형	목초액 함침률(%)	실제 목초액 함침률(%)	펄라이트	0.2	PLⅠ: 1.2mm	0.47	47	PLⅡ: 3 mm	5.03	503	질석	0.2	1.2mm	1.52	152	활성탄	0.45	25μm	7.32	732	제올라이트	0.28	3.9μm	8.75	875
	유형	밀도(g/cm ³)	입형	목초액 함침률(%)	실제 목초액 함침률(%)																													
펄라이트	0.2	PLⅠ: 1.2mm	0.47	47																														
		PLⅡ: 3 mm	5.03	503																														
질석	0.2	1.2mm	1.52	152																														
활성탄	0.45	25μm	7.32	732																														
제올라이트	0.28	3.9μm	8.75	875																														
우수성 및 차별성	과량의 목초액을 혼입할 수 있는 기술을 개발하였으며, 이를 사용한 다양한 2차 제품 적용이 가능한 원천 소재 개발																																	

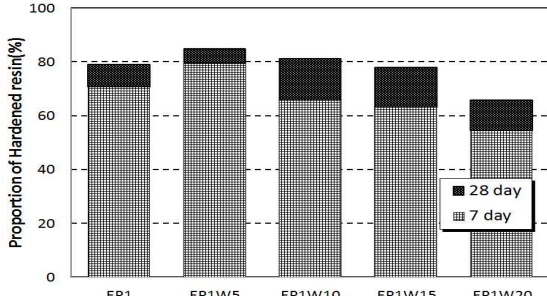
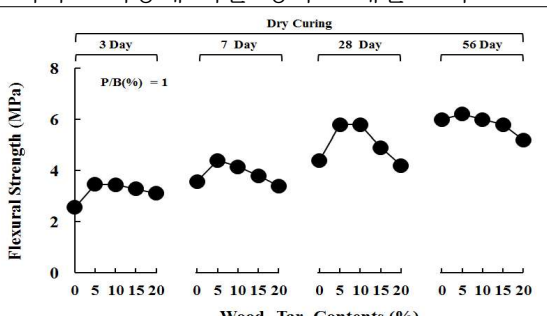
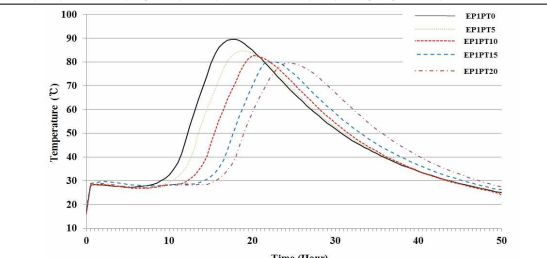
2) 목재 부산 자원을 활용한 아크릴계 수지 바름재 개발(재료 자재)

관련 그림 / 사진	 펄라이트계열 함침 골재 활성탄 계열 함침골재 제올라이트 계열 함침
정의(설명)	물리적 특성 및 항균특성이 우수한 목초액 함침 골재를 사용한 아크릴계 수지 바름재를 개발
목 표	목초액 함침 골재를 사용한 항균성의 아크릴 수지 바름재 개발
목 적	1) 최적 함침 골재 및 사용량 도출 2) 함침 골재 사용에 따른 물리적 특성 검토 3) 함침 골재 사용에 따른 항균성 평가
핵심 요소 기술	 Adhesion in tension(N/mm²) ■ 14 day ■ 28 day Plain CC 5 CC 10 CC 15 CC 20 ZL 5 ZL 10 ZL 15 ZL 20 <함침 골재 사용에 따른 부착강도 특성>  대장균 포도상구균  세균집락수 측정 ■ 목초액 함침 골재 사용에 따라 부착강도 성능이 개선된 아크릴계 수지 바름재를 개발 - 함침제올라이트 최적 ■ 목초액 함침 골재 사용에 따라 90% 이상의 우수한 항균성을 얻을 수 있었음.
우수성 및 차별성	목초액 함침 골재 사용에 따라 부착 강도 성능과 항균성이 개선된 아크릴계 수지 바름재를 제조할 수 있었음.

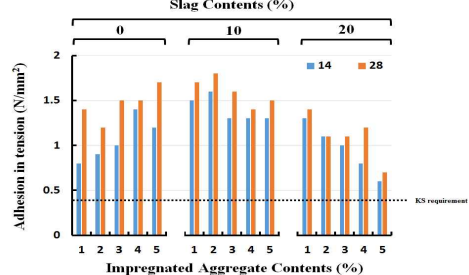
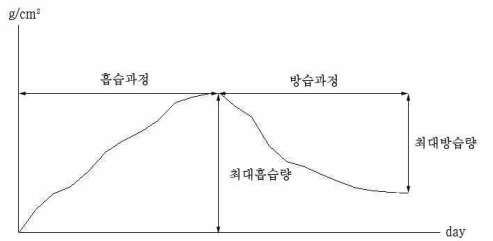
3) 목재 부산 자원을 활용한 아크릴계 시멘트 바탕조정재 개발(재료 자재)

관련 그림 / 사진	  Plain 제올라이트 계열 함침사용 바름재
정의(설명)	물리적 특성 및 항균특성이 우수한 목초액 함침 골재를 사용한 아크릴계 시멘트 바탕조정재 개발
목 표	목초액 함침 골재를 사용한 항균성의 아크릴계 시멘트 바탕조정재 개발
목 적	1) 최적 함침 골재 및 사용량 도출 2) 함침 골재 사용에 따른 물리적 특성 검토 3) 함침 골재 사용에 따른 항균성 평가
핵심 요소 기술	 Adhesion in tension(N/mm²) ■ 7 day ■ 14 day ■ 28 day Plain CC 5 CC 10 CC 15 CC 20 ZL 5 ZL 10 ZL 15 ZL 20 Light-weight carrier replacements to dolomite (%) <함침 골재 사용에 따른 부착강도 특성> ■ 목초액 함침 골재 사용에 따라 부착강도 및 물흡수계수가 개선된 아크릴계 수지 바름재를 개발(저온 및 고온에서 성능 우수) - 함침제올라이트 최적 ■ 목초액 함침 골재 사용에 따라 90%이상의 우수한 항균성을 얻을 수 있었음.  Water absorption coefficient(kg/(m² · h^{0.5})) ○ Charcoal △ Zeolite Light-weight carrier replacements to dolomite (%) 
우수성 및 차별성	목초액 함침 골재 사용에 따라 부착 강도 성능과 항균성이 개선된 아크릴계 시멘트 바탕조정재를 제조할 수 있었음.

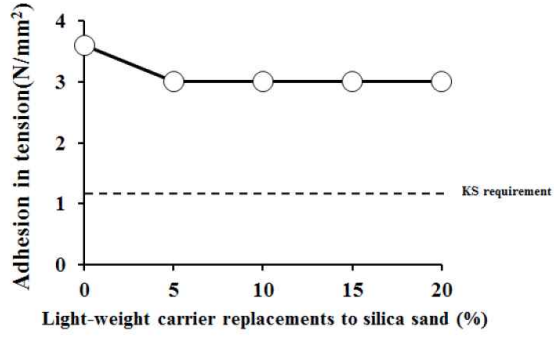
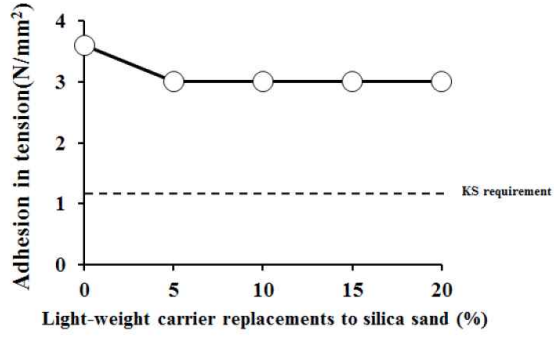
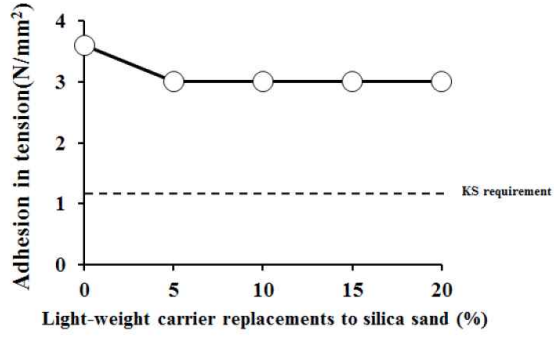
4) 목재 부산 자원을 활용한 에폭시 혼입 시멘트 모르타르 개발(재료 자재)

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	목재 부산 자원인 목타르를 사용하여 경화제 무첨가계열인 에폭시수지 혼입 시멘트 모르타르를 개발하고자 하였음.
목 표	목타르를 사용한 에폭시 수지의 경화도 개선 및 초기 물성 개선
목 적	1) 목타르의 최적 사용량 결정 2) 목타르 사용에 따른 에폭시 수지 모르타르의 물리적 성능 평가 3) 목타르 사용에 따른 에폭시 수지 모르타르의 경화도 평가
핵심 요소 기술	 <목타르 사용에 따른 경화도 개선 효과>  <목타르 사용에 따른 물리적 성능 개선>  <목타르 사용에 따른 수화열 특성> ■ 에폭시 수지의 경화도 개선 효과 - 에폭시 수지의 경화도 향상을 위한 촉매 역할 - 과량 혼입할 경우 경화도가 저하되는 문제 발생함 - 경화도 개선을 위한 최적 혼입률은 10% ■ 에폭시 수지 모르타르의 성능 개선 효과 - 10%까지의 목타르 혼입은 물리적 성능 개선 효과가 우수하며, 장기적인 성능도 우수한 것으로 나타났음. ■ 목타르 사용에 따라 초기 수화 지연이 되는 특성이 있음 ■ 목타르의 시멘트 수화 지연 원리는 목타르 내의 페놀 성분에 의한 페놀레이트 염 생성 $\text{Ca(OH)}_2 + \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{HOCaOC}_6\text{H}_5 + \text{Entrained Liquids}$
우수성 및 차별성	100%폐기물로 여겨지던 목재산업부산물인 목타르의 활용방안 도출하였으며, 경화제 무첨가 에폭시 수지 모르타르의 경화도를 조절할 수 있는 첨가제를 도출하였음..

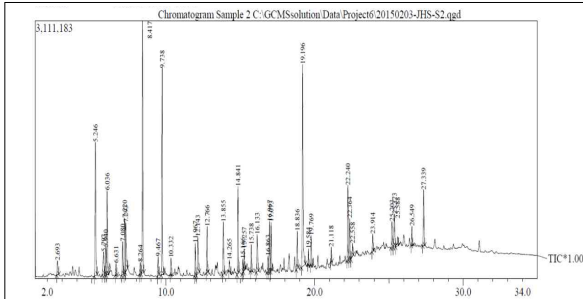
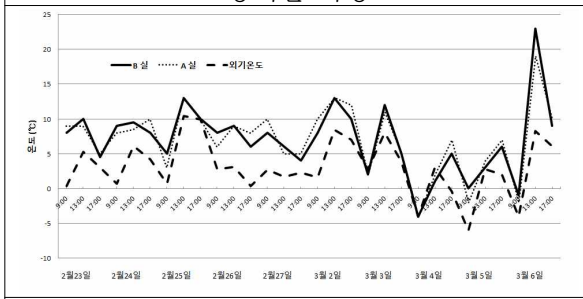
5) 목재 부산 자원을 이용한 석고계 모르타르 제조

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	목초액 함침 골재를 사용한 실내 공기질 성능 조절이 가능한 석고계 바름재를 개발하였음.
목 표	실내 내장용 목초액 함침 골재를 선정하고 공기질 성능을 검토 평가하고자 하였음.
목 적	1) 최적 함침 골재 선정 및 도출 2) 최적 배합비 도출을 통한 물리적 성능 확보 3) 함침 골재 사용에 따른 공기질 성능 평가
핵심 요소 기술	 <석고 배합비에 따른 강도 특성>  <흡방습곡선>  <챔버 사용에 따른 공기질 성능 평가> ■ 함침골재사용 석고 바름재 - 슬래그 10% 및 바인더 골재비 1:0.5에서 최적 배합 도출 - 활성탄 골재에서 최적 강도 도출 ■ 흡방습성능 - 황토와 유사한 흡방습량을 나타내며, 흡습량이 최대인 것은 제올라이트 골재에서 최대임. - 함침골재의 경우, 활성탄에서 흡습량도 증가하였음. ■ 함침 골재 사용에 따라 암모니아 흡착능력이 개선됨. ■ 함침골재 중 제올라이트보다 활성탄이 VOC 흡착능력이 우수함. ■ 내장용 마감재를 제조하기 위해서는 활성탄 함침골재를 사용하는 것이 유리함.
우수성 및 차별성	공기질 성능 조절을 위한 최적의 함침 골재를 도출..

6) 목재 부산 자원을 사용한 아크릴 수지계 모르타르의 내구성능 평가 (재료 자재)

관련 그림 / 사진							
정의(설명)	단열 효과를 얻을 수 없는 외단열 외부 마감재인 KS F 4716의 항균 내구성과 온냉 반복 시험						
목 표	항균 내구성과 온냉 반복 시험을 통해 물성 저하 현상 유무를 확인하고자 함.						
목 적	1) 1년간 외기에 노출한 KS F 4716 모르타르의 항균성 확인 2) 온냉 반복 시험에 의한 부착력 저하 성능 평가						
핵심 요소 기술	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="384 967 975 1267">  </td><td data-bbox="975 967 1410 1301"> ■ 항균 내구성 확인 - 강알칼리성의 KS F 4716 시험체를 1년간 외기에 존치 후 탄산화된 시험체의 항균성 확인 - 항균성은 90%이상으로 측정되어 항균 내구성을 확인할 수 있었음. </td></tr> <tr> <td data-bbox="384 1267 975 1653"> <항균성 측정>  </td><td data-bbox="975 1301 1410 1653"> ■ 온냉반복시험 - 온냉반복시험결과 부착력 저하 현상은 없었으며, KS 규격을 상회하는 것으로 나타났음. </td></tr> <tr> <td data-bbox="384 1653 975 1693"> <온냉 반복 시험 결과> </td><td data-bbox="975 1653 1410 1693"></td></tr> </table>		■ 항균 내구성 확인 - 강알칼리성의 KS F 4716 시험체를 1년간 외기에 존치 후 탄산화된 시험체의 항균성 확인 - 항균성은 90%이상으로 측정되어 항균 내구성을 확인할 수 있었음.	<항균성 측정> 	■ 온냉반복시험 - 온냉반복시험결과 부착력 저하 현상은 없었으며, KS 규격을 상회하는 것으로 나타났음.	<온냉 반복 시험 결과>	
	■ 항균 내구성 확인 - 강알칼리성의 KS F 4716 시험체를 1년간 외기에 존치 후 탄산화된 시험체의 항균성 확인 - 항균성은 90%이상으로 측정되어 항균 내구성을 확인할 수 있었음.						
<항균성 측정> 	■ 온냉반복시험 - 온냉반복시험결과 부착력 저하 현상은 없었으며, KS 규격을 상회하는 것으로 나타났음.						
<온냉 반복 시험 결과>							
우수성 및 차별성	시멘트계 마감재는 대부분 강알칼리성으로 표면의 OH⁻기에 의해 항균성을 발휘하나 시간이 지남에 따라 탄산화가 발생하면 항균성을 상실하게 되는 것으로 알려져 있다. 본 기술개발에서는 장시간 외기에 노출된 시험체도 항균 내구성을 확인하여 목재 부산 자원을 활용하여 항균성 발현의 장기성능을 확인할 수 있었음.						

7) 개발 모르타르의 MOCK-UP 성능 시험 (재료 자재)

관련 그림 / 사진																																									
정의(설명)	개발 모르타르의 시생산 과정을 통해 MOCK-UP시험용 제품을 제조하고 이를 활용한 시공 TEST하고 이의 성능을 평가하고 경제성을 분석하였음.																																								
목 표	시생산 및 MOCK-UP TEST와 경제성 평가																																								
목 적	1) 개발 제품의 시생산 2) MOCK-UP TEST 3) 개발제품의 경제성 평가																																								
핵심 요소 기술	 <공기질 특성>  <온습도 조절>		■ 물리적 성능 - 실험실급에서 측정했던 물리적 성능보다 감소된 것으로 나타났으나 KS 규격 이내의 물성을 나타내었음. ■ 공기질 특성 평가 - 실내 공기질을 평가한 결과 암모니아 방출은 없었으며, GC분석결과 페놀 성분이 검출되었으나 석고보드와 비교하였을 때 페놀 종류가 감소됨. ■ 온습도 성능 - 석고보드를 부착한 공간의 온습도 성능을 비교한 결과 석고보드와 유사한 것으로 나타나 기존 내장재를 대체할 수 있을 것으로 기대됨.																																						
	<table><tr><td></td><td colspan="2">KS F4715</td><td colspan="2">KS F4716</td></tr><tr><td>기존 제품 가격</td><td colspan="2">700.23원/kg</td><td colspan="2">573원/kg</td></tr><tr><td>기존 제품의 골재 가격</td><td colspan="2">262.50원/kg</td><td colspan="2">183.40원/kg</td></tr><tr><td>기타 재료 가격</td><td colspan="2">437.73원/kg</td><td colspan="2">388.6원/kg</td></tr><tr><td rowspan="4">목초액 함침 골재 용적치환율별 가격 (원/kg)</td><td>5</td><td>255.14</td><td>5</td><td>178.26</td></tr><tr><td>10</td><td>247.78</td><td>10</td><td>173.12</td></tr><tr><td>15</td><td>240.43</td><td>15</td><td>167.98</td></tr><tr><td>20</td><td>233.07</td><td>20</td><td>162.84</td></tr></table>					KS F4715		KS F4716		기존 제품 가격	700.23원/kg		573원/kg		기존 제품의 골재 가격	262.50원/kg		183.40원/kg		기타 재료 가격	437.73원/kg		388.6원/kg		목초액 함침 골재 용적치환율별 가격 (원/kg)	5	255.14	5	178.26	10	247.78	10	173.12	15	240.43	15	167.98	20	233.07	20	162.84
		KS F4715		KS F4716																																					
기존 제품 가격	700.23원/kg		573원/kg																																						
기존 제품의 골재 가격	262.50원/kg		183.40원/kg																																						
기타 재료 가격	437.73원/kg		388.6원/kg																																						
목초액 함침 골재 용적치환율별 가격 (원/kg)	5	255.14	5	178.26																																					
	10	247.78	10	173.12																																					
	15	240.43	15	167.98																																					
	20	233.07	20	162.84																																					
우수성 및 차별성	기존 내장재보다 실내 공기질 성능이 우수하고 목초액 함침골재를 사용함에 따라 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.																																								

제 2절 주요 연구성과 및 대외 기여도

최근 새집증후군과 같은 도시형 질병의 확대와 함께 청정 환경을 제공할 수 있는 실내 마감재의 개발이 요구되고 있다. 이러한 배경으로 인하여 관련 제품이 쏟아져 나오고 있으며, 많은 비용을 들인 기능성 제품들이 연구 개발되고 있다. 목재 산업 부산물인 목초액은 여러 연구과정에서 생리 활성 및 항균성 등의 효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

본 연구에서는 목재산업부산물인 목초액을 사용하여 항균성의 내외장재로 활용하기 위한 방안으로 내외장재에 사용되는 고가의 골재를 대체하고 실내외의 항균성 및 공기질을 조절할 수 있는 내외장 마감재 제조 기술이라 할 수 있다. 원천기술로 연구된 목초액을 사용한 경량 담체를 활용한 기술은 항균성과 암모니아 흡착성능, VOC 흡착성능 등을 가지고 있어 건축물의 외장재로 사용되는 모르타르나 시멘트 2차 제품 등과 내장재로는 사용 형태에 따라 벽지나 내장바름재 등에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 외단열 공법에 사용되는 모르타르와 내장 마감을 위한 석고 바름재에 목초액 함침골재를 적용하고 MOCK-UP 구조체를 제작하는 등의 평가 과정을 통해 우수한 결과를 도출하였다.

원천 소재인 목초액 함침골재를 사용하여 KS F 4715(중성 상태)와 KS F 4716(강알칼리)에 적용하여 각각의 조건에서 목초액 함침골재로 인한 항균성을 확인할 수 있었으며, KS 규격 이상의 물성을 확보할 수 있었다.

특히, 본 기술 개발에서 석고 바름재를 사용하여 실내 공기질 성능을 평가한 결과 목초액 함침 골재를 통해 유해가스 방출이 없으면서 암모니아 및 VOC 흡착성능이 우수한 내장마감재를 제조할 수 있었다. 그러므로 향후 다양한 형태의 건축마감재로 생산하기 위해서는 지속적인 연구 또한 필요할 것으로 판단된다.

본 연구를 진행과정 중 목초액 함침 경량 담체 제조 기술을 포함하는 원천기술 개발과 함께 관련 특허 3건 출원, 1건 등록 등, 국내 건의 학술발표 및 국내 3건의 학술지 게재, SCI논문 1건을 투고 중에 있으며, 그 세부 내용은 다음과 같다.

1. 특허 출원/등록

No.	특허명	등록/출원번호	등록/출원일	출원인 (등록권리자)
1	시멘트 모르타르용 골재, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 시멘트 모르타르	10-1393552	2014.05.02	협성대학교산학협력단 (주)인덱스코리아
2	시멘트 모르타르 조성물 및 이를 포함하는 시멘트 모르타르, 그 제조방법	10-2014-012 1919	2014.09.15	협성대학교산학협력단 (주)인덱스코리아
3	친환경 건축마감재용 바름재 조성물 및 이를 포함하는 친환경 건축마감재용 바름재	10-2015-001 2776	2015.01.27	협성대학교산학협력단 (주)인덱스코리아

2. 학술지 게재

No.	SCI/ 일반	논문명	학술지 명	ISBM ISSN	주저자 명	Vol. (No)	시작 페이 지	끝 페이 지	게재 일자
1	일반	목재 부산물인 목초액을 활용한 아크릴 에멀전 모르타르의 특성	한국폐 기물자 원순환 학회	pISSN 2093-2332 eISSN 2287-5638	김완기	31 (1)	70	78	2014 .01
2	일반	목초액 함유 경량담체를 이용한 시멘트계 바탕바름재의 성능 평가	대한건 축학회	1226-9107	김완기	31 (1)	37	44	2015 .01
3	일반	항균기능을 갖는 아크릴 에멀전 모르타르 마감재의 부착성 및 흡수저항성	한국폐 기물자 원순환 학회	pISSN 2093-2332 eISSN 2287-5638	김완기	32 (1)	94	103	2015 .01

3. 학술대회 발표 성과

No.	SCI/ 일반	논문명	학술 대회명	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
1	일반	목초액 담지체를 골재로 사용한 아크릴수지 모르타르 마감재의 부착강도 및 물흡수계수	한국건 축시공 학회	이채영	13 (6)	60	61	2013. 12
2	일반	목초액 담지체를 골재로 사용한 아크릴수지 모르타르 내장마감재의 기초적 성질	대한건 축학회	이채영	34 (1)	357	358	2014. 04
3	일반	목초액 담지체를 골재로 사용한 폴리머 시멘트계 내장마감재의 성능평가	한국건 축시공 학회	이채영	14 (1)	218	219	2014. 05
4	일반	목재 부산물인 목타르를 활용한 에폭시수지 혼입 PMM의 강도 및 경화특성	한국건 축시공 학회	함성민	14 (2)	21	22	2014. 11

4. 보고서 성과

No		보고서명	주관	의뢰기관	완료일자
1	보고서	동결융해 시험 평가	협성대학교 산학협력단	(주)한양이엔 씨	2014.11
2	보고서	석고 바름재의 암모니아 흡착 및 방출 평가	(주)인덱스코 리아	(주)한양이엔 씨	2014.12
3	보고서	석고마감재의 VOC흡착 및 방출 평가와 MOCK-UP 시험체의 공기질 평가	협성대학교 산학협력단	(주)한양이엔 씨	2014.12
4	보고서	아크릴 마감재의 항균성 평가	협성대학교 산학협력단	(주)한양이엔 씨	2014.11

5. 시제품 및 시작품 성과

No		보고서명	주관	의뢰기관	완료일자
1	보고서	목재 산업부산물을 활용한 시제품 제작	(주)인덱스코 리아	(주)인덱스코 리아	2014.12

제 3절 기술 개발 성과의 국내외 시장 전망

가. 항균제 시장과 건축 소재 개발 현황

	무기계 항균제	유기계 항균제	천연계 항균제
형태	은계 항생제가 중심으로 금속이온을 부착시킨 상태로 특히 은 이온 또는 금 이온 킬레이트 착화합물이 이용되고 있음.	유기계는 옛날부터 방부·곰팡이 방지제로 사용되어 왔으며, 농약의 유효 성분임 화학구조면에서 분류하면 알코올계, 페놀계, 에스테르계, 이미다졸계, 치아졸계, 트리아민계, 피리딘계, 유기화합물계 등 종류와 품종이 많음	안전성이 높으며 동물계 식물계 외에 천연유향, 산소, 미생물 등이 있음 유기계, 무기계와 비교하면 그 효과는 약간 떨어지지만 안전성이 높고, 보습성 등이 뛰어난 것이 많음 안전성이 높아 수요가 증가 중임
특성	① 내열성 우수 ② 플라스틱 제품용의 각종 첨가제 용해 우수 ③ 가공품의 물성에 대한 영향이 적음 ④ 지속성이 길다. ⑤ 온도와 습도에 잘 견딤 ⑥ 안전성이 높음	① 종류가 다양하여 목적에 맞는 항균제·방부제의 선택이 용이 ② 유기계는 농약 등 독성이 강한 품종이 대다수	① 무독성 혹은 적은 독성 ② 포장 재료용으로 최적이나 유기계나 무기계에 비교하면 항균효과가 떨어짐 ③ 내열성이 조금 약하기 때문에 용도분야가 한계가 있음
문제점	은과 같은 고가의 금속이 사용되고 있어 가격이 고가로 사용에 어려움	독성이 강한 물질이 많아 인체 접촉이 많은 소재에는 사용에 한계가 존재함	성능이 낮은 문제점과 지속성의 문제로 해결방안 요구됨.

일반적으로 항균이란 살균이나 곰팡이 방지제 등과는 달리 약사범 등의 범 규제가 없이 관련 단체나 협회 등이 독자적으로 정의해 두고 있다. 항균 곰팡이 방지제의 작용을 목적으로 하는 자외선이나 가스 살균 등과 같은 일시적인 효과만이 아니라, 유기계나 무기계 등의 화학약품 또는 천연 유래의 항균제를 사용하여 제품에 배합 또는 도포하는 것으로 그 제품에 살균 또는 곰팡이 등의 발생, 증식을 억제하는 효과를 갖게 하는 것이다.

일본에서는 1990년 내성황색포도상구균에 의한 병원 내 감염의 문제가 발생하고, 병원성 대장균 O-157의 식중독 문제가 2000년대에는 중증급성호흡기 증후군, 그 후 조류 인플루엔자 등이 잇따라 발생하여 큰 사회문제가 된 적이 있다. 그 때문에 항균, 곰팡이 방지제, 살균, 방부 등의 바이오관련 제품이 급증하여 이들 제품에 대한 항균 성능, 안전성, 항균내구성, 항균 가공 내용 등의 표시 등을 규정하게 되었다.

항균제의 종류는 크게 곰팡이 방지제, 방부제 등의 바이오관련 제품은 유기계와 무기계 및 천연계로 대별되고, 무기계는 은으로 대표되는 무기담체에 결합시킨 금속계와 광촉매 등의 산화물계가 있다. 이들의 용도는 목재, 종이, 펄프, 도료, 접착제, 금속가공유, 섬유제품, 플라스틱 제품 등 넓은 분야에 사용되어 왔지만, 최근에는 은계를 중심

으로 한 무기계 항균제가 등장하여 급속하게 시장이 확대되고 있다.

최근에는 위생적이고 쾌적한 환경을 요구하는 경향으로 인하여, 플라스틱 제품에도 항균, 곰팡이 방지제를 처리하는 경우가 많으며, 그 용도 및 범위도 산업용에서 가정용까지 넓어 앞으로 시장은 더욱 확대될 것이다. 플라스틱은 일반적으로 균에 오염되기 어려운 소재라고 생각하기 쉬우나 오염물이 부착되면 그것을 영양분으로 균이 생육하고 또 플라스틱 그 자체까지도 균에 의해서 열화되는 문제점이 있다.

기존 항균제들 중 가격이 저렴하고 지속성을 강화한 항균제의 도입이 요구되며 이를 위하여 본 기술 개발에서는 항균성을 갖는 목초액을 경량 담체에 함침하여 항균제를 혼입할 수 있으며, 항균성의 지속성을 향상함으로 저가의 항균제를 공급할 수 있는 기술을 제공할 수 있었다.

나. 기술 개발 성과물의 시장 확장성

○ 건설시장의 규모 및 건설 투자에서 전자재 부분의 점유비(2000년 기준 38%) 등으로 판단할 때, 전자재 시장규모는 2010년 현재 60.4조원, 2015년에는 65.1조원, 2020년에는 68.4조원, 2030년에는 71.9조원으로 전망됨.

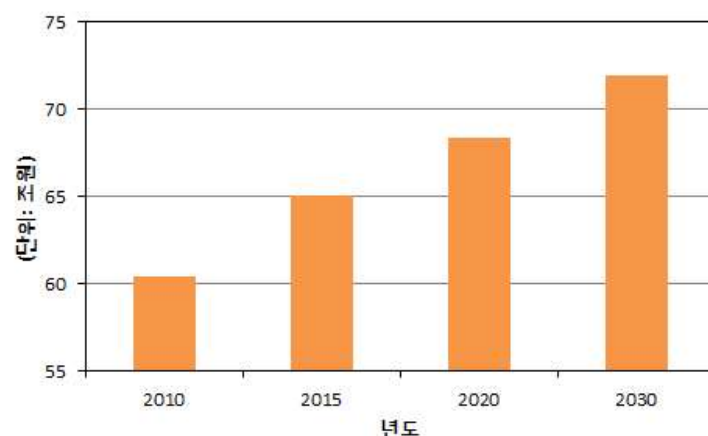


그림 3.3.1 국내 전자재 시장 규모 변화 추이

○ 국내 친환경제품 시장은 2005년 총 8조 3천억원의 규모로 2004년에 비하여 2.6배 성장하였고, 이중 친환경 건축자재는 1조 2천억원(전체의 15%)상당규모로 급속하게 성장함.(한국 환경 산업 기술원 국가환경정보센터 자료) 2010년 친환경상품 시장규모는 16조원에 달할 것으로 예상하므로 2005년의 친환경 건축자재 시장비율을 적용할 경우 2010년 친환경 건설재료는 2.4조원의 시장을 형성할 것으로 예측됨.(환경부 보도자료, 2005. 12) 친환경 건설 자재 시장은 친환경상품의 시장 규모 확대(친환경 시장의 15% 수준)에 비례하여 2025년까지 6.2조 규모로 성장할 것으로 예상됨.

제 4장 연구 목표 달성 및 효과

제 1절 최종 목표 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
목재 부산 자원을 사용한 아크릴 수지계 모르타르 제조	100%	- 원재료 특성 분석 - 목재 부산 자원을 침지한 최적 담체 및 침지 조건 도출 - 침지 담체를 활용한 아크릴 수지계 모르타르를 제조하고자 함. - 실란커플링제 개질 아크릴 수지계 모르타르의 성능 향상
항균성 표면 코팅제 제조	100%	- 광촉매 입자의 선정 및 도출 - 아크릴 수지와 광촉매의 최적 배합 도출
목재부산 자원을 사용한 EPS 부착용 에폭시 수지 모르타르 개발	100%	- 목재 부산 자원 종류에 따른 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 특성 - 목재 부산 자원의 혼입률에 따른 경화 성능 평가 - 목재 부산 자원을 혼입한 에폭시 수지 혼입 시멘트 모르타르의 내구성능 평가
목재 부산 자원을 사용한 석고 바름재 개발	100%	- 목재 부산 자원을 활용한 실내 공기 정화용 모르타르 개발 - 오염물질 방출 없음 - VOC방출량 억제 - 암모니아 저감 성능 평가
개발 모르타르의 MOCK-UP 성능 시험 및 공법 개발	100%	- 표면 마감 특성 평가(표면 마감도, 색상 발현성) - 시제품 제작
개발 제품의 경제성 평가	100%	개발 제품의 경제성 평가

제 2절 연구개발 성과의 기술적 효과 분석

현재 항균성 소재로 사용하고 있는 건축용 소재는 은나노 코팅이나 규불화염계 화합물 등을 사용하고 있다. 코팅제로 사용될 경우 시간이 지남에 따라 코팅면의 손상이나 마모 등에 의해 항균성이 저하되는 경우나 불화물과 같이 유해성을 가지고 있는 물질의 사용으로 마감재로 사용할 경우에는 안정성의 문제점이 있다. 목초액에 대한 생리활성 특성과 항균성 및 항진균성에 대한 기존의 다양한 연구사례를 토대로 인체 유해성이 없고 저가의 항균 소재를 공급할 수 있는 가능성을 검증할 수 있었다. 따라서 목초액을 사용한 건설 마감재의 주요 소재로 공급할 수 있는 기술을 제공할 수 있어 건식 및 습식 배합이 가능한 목초액 소재 기술을 제공할 수 있었다. 이와 관련된 선행기술 연구는 없었으며, 기 개발된 제품과의 차별적 우수성의 기술적 효과 측면은 다음과 같다.

- 친환경 항균 소재의 건자재 제조 기술 확립
- 목초액 함침 경량 골재 제조 기술 확립
- 친환경적이며, 무독성의 목초액을 대량 사용할 수 있는 기술 개발
- 드라이모르타르 등의 2차 제품으로 기술 확대 가능
- 목재산업부산물의 활용기술 개발

제 3절 연구개발 성과의 경제적 효과 분석

목재 산업 부산물의 하나인 목초액은 목재를 탄화시킬 때 발생하는 연기와 수증기를 포집하여 냉각·응축시켜 숙성과 정치과정 중에 얻을 수 있는 물질이다. 석유화학 산업이 발전되기 전에는 목초액은 알콜이나 초산 등의 공업용 화학물질의 원료였으나 석유화학 산업이 활성화되면서 그 경쟁력을 상실하고 방치되었다가 항균성, 항곰팡이성 등의 성능이 확인되면서 기능성 소재로 부각되기 시작하였다. 현재 약 12,000톤/년이 생산되고 있으며, 주요 생산 업체는 10여 개소로 증가하고 있다. 목타르는 목초액의 약 2배 이상의 규모로 생산되고 있으며, 약 24,000톤/년이 생산되고 있는데,, 목초액과 달리 전량 폐기되고 있는 실정이다.

- 목초액 건축 소재 활용 기술 개발을 통한 고부가치성 소재 개발
- 고가의 의장성 골재를 저가의 항균성 골재를 사용하여 원가 절감 및 기능성 확보
- 목타르 활용 기술 개발을 통해 원가 절감 및 신규 소재 개발

제 4절 연구개발 성과의 정책적 효과 분석

- 친환경적 건축 마감재 제공
- 실내공기질 관리법 관련 기술 제공
- 항균성을 갖는 외단열 공법의 개발을 통해 온실 가스 저감 관련 기술의 개선
- 오염물질 방출이 없는 마감소재 개발
- 실내 오염을 저감할 수 있는 기능성 소재 제공을 통한 국민보건 안전 기술의 제공
- 실내 공기질을 개선할 수 있는 다중 이용시설물 적용 가능 소재 개발

제 5장 연구성과의 활용 및 추가 연구 필요성

제 1절 연구성과 향후 활용방안

- 개발 제품의 상업화
병원, 관공서, 학교 및 노인 요양 시설 등에 대하여 영업력 확대
- 해외 시장 판로 확장을 위한 기능성 제품 출시
- 기존 ETHICS 공법의 문제점인 시공물의 전도·박리 현상을 억제할 수 있는 부착 모르타르 개발과 이를 통한 시공 하자 억제
- 아파트 단지와 같이 대단위 관리가 요구되는 외벽 마감재의 경우, 방오성의 향상을 통한 관리 비용 절감 기술 제공

1) 기대성과 및 파급효과

- 친환경 제품의 판로 확보
 - 국내 판로 확보를 영업망 확보
 - ① 국내의 친환경 제품 인식도를 고려하여 실내 내장재 관련 업체 공략
 - ② 실내 인테리어 회사 공략
 - ③ 소규모 주택 공사 업체 공략
 - 제품의 친환경성 입증 및 성능 자료 제공을 통한 영업력 증대
 - ① 기존 제품과의 성능 비교 자료 구성
 - ② 친환경 제품에 대한 중요도 자료 제공
 - 국내 목초액 제조 공장과의 연계를 통한 제품의 환경적 신뢰도 향상
 - ① 목초액 제조 공정과 개발 제품과의 연계성에 대한 인식 강화
 - ② 개발 제품 = 목초액 = 친환경성 제품
 - 목초액을 사용한 다양한 제품 개발 및 사업영역 확장

2) 연구결과의 기업 활용방안

(1) 참여기업의 현황분석

참여기업의 업종은 제조업으로 12명의 종업원으로 구성된 연매출 약 24억의 중소기업임. 다품종 소량 생산이 가능한 특성이 있어 기능성 제품의 개발을 통해 틈새 시장 공략이 가능할 것으로 판단됨.

(2) 참여기업별 연계방안 및 추진전략

- 개발 기술의 지재산 확보를 위해 기 출원 특허에 대한 등록 및 SCI논문 게재 완료
- 공동으로 특허를 출원하고 제품화를 위한 정보 제공과 기술 지도를 할 것임.
- 현장에서 발생하는 하자들에 대하여 제품의 하자요인 분석과 개선을 통해 개발 제품의 제품화에 초점을 맞추고자 함.
- 사업화를 위한 사업화 과제 및 추가 연구 실시

(3) 실용화 전략 수립

- 원료 소재인 목재 산업 부산물의 배출처 확보
- 개발 소재를 활용한 시공기술 개발

제 2절 추가 연구 필요성

본 연구개발을 통해 목초액의 항균 성능을 활용하여 친환경성의 건축 마감재의 개발 가능성을 확보하였으며, 연구 과정 중에 목초액에 의한 시멘트 수화지연 특성과 온도별 부착강도 특성 변화 고찰을 통해 기타 소재 연구로의 가능성을 확보할 수 있었다.

가. 목초액을 활용한 건설 소재 연구 방향

- 목초액의 시멘트 수화 지연 특성을 이용한 모르타르 및 콘크리트 적용기술 개발
- 목초액 함침 골재 제조 기법의 대량화 기법 연구
- 온도조건별 시멘트 모르타르의 부착강도 특성 영향 인자 규명 연구

나. 목초액 함침 경량 담체 활용기술 개발

- 목초액 함침 경량 담체를 활용한 건식 모르타르 및 기타 내장 마감 소재 연구 (셀프레벨링 모르타르, 벽지 등의 충전용 소재 적용 연구)
- 목초액 함침 경량 담체의 대량 생산 기술 연구

다. 목초액의 함침 및 경화기법에 대한 추가적인 연구

- 목초액의 함침 기술의 체계화 및 경화 기법 다양화

라. 목초액 함침 경량 담체 내장재료의 기능성 향상 연구

- 내화성능, 차음성, 단열성능 향상 연구

마. 실용화 연구를 위한 시공법 개발 연구

- 내외장 마감재료의 실용화를 위해 향후 화재에 대한 안전성을 파악하고, 단열 차음 성능에 대한 지속적 검토
- 원자재 안정적 공급 방안 및 효율적 시공방법 도출

참고문헌

1. 정일선, 김유정, 길상완, 최영주, 참나무 목초액의 항균 및 항산화 활성과 일산화 질소 합성 저해연구, Journal of Life Science 제 17권 제1호 통권 제 81호 pp.105-109, 2007. 1
2. 홍선희, 김완기, VA/E/MMA 터폴리머 분말수지 혼입 프리패키지드형 저수축 바탕조 정재의 성능 평가, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제 31권 1호(구조계) pp. 123~124, 2011. 4
3. 이지영, 박진철, 이연구, 실내공기질 개선을 위한 자연소재마감재의 오염물질 방출특성 및 저감에 관한 연구, 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집 pp.1174~1179, 2006
4. 이재화, 김완기, 증기 및 가열 조합양생에 의한 에폭시수지 혼입 모르타르의 강도 및 세공구조, 한국건축시공학회 추계학술발표대회 논문집, 제11권 제2호, pp.107~108, 2011
5. 이재화, 김주영, 김완기, 양생조건에 따른 경화제 무첨가 에폭시수지 혼입 PMM의 경화특성, 한국건축시공학회 추계학술발표대회 논문집, 제12권 제2호, pp.255~257, 2012
6. 울산대학교 산학협력단, 친환경 촉사 탈취 및 소독제 개발, 중소기업청, 2012
7. 전북대학교 산학협력단, 피톤치드를 활용한 새집증후군 완화제 제조 기술 개발, 중소기업청 보고서, 2010
8. 목포대학교 산학협력단, 친환경 목초액과 자연추출물을 이용한 살균효과에 관한 연구, 중소기업청 보고서, 2009
9. 이상재, 허근영. 2002. 목초액의 잔디 생육효과 - 용평 골프 코스 그린을 대상으로. 한국조경학회지. 30(2):95-104
10. 엄창득, Standard and Specification of Wood Products, 국립산림과학원, (2014)
11. 目黒貞利, 河内進策, 田中貴司. 1992. 酢酸および木酢液によるシイタケ害菌の防除. 日本 木材學會誌 68(11):1057-1062
12. 木嶋利男. 2001. 木酢液の生育促進効果と病害防除について. 特産情報 2001年 7月号:24~27
13. 三枝 敏郎. 1997. 有機農業への木酢液の利用ー農業による環境破壊の軽減. 特産情報 1997年 8月号:64~66
14. Lehmann, J., Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and B. Glaser. 2003. Plant and Soil. 249:343-357
15. Saito, M. and T. Marumoto. 2002. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi:the status quo in Japan and the future prospects. Plant and Soil. 244:273-279
16. 국립산림과학원, 목탄목초액 이용 세미나 발표 자료집, 국립산림과학원, (2004)
17. 여운홍, 조성택, 구자운, 박상범, 숯과 목초액의 이용 - 목초액의 산업용 탈취제

- 이용, 이도중, 2001, pp. 32 ~ 35, 임업연구원
18. 허광선, 정의덕, 백우현, 1999, 목초액을 이용한 쓰레기 매립지 침출수의 악취 제거에 관한 연구, 한국환경과학회지, vol. 8(5), pp. 607 ~ 610
 19. 三枝敏郎(Saiguma Toshiro), 1998, 木草液・炭과 有機農業(A Complete of Wood Vinegar for Organic Agriculture), pp. 127 ~ 134,
 20. 創森社監修 西田耕之助, 平成3年, 消・脱臭技術의 進歩와 實務, 綜合技術센터發行, pp. 192
 21. 공해대책기술동우회, 악취방지기술 Manual(Ⅱ), 1977, pp. 99 ~ 100, 일본환경청 대기보전국 특수공해과
 22. 악취관리제도와 측정기술, 일본에서의 악취문제와 규제・평가방법의 기본 방침, 일본국립환경연구소, 오사코마사히로(大道政浩), 2001, pp. 1 ~ 20, 환경부 지정 울산지역 환경기술개발센터
 23. 한국식품연구원, 왕겨탄화초액의 고부가가치 활용 기술개발, 농림수산식품부 (2010)
 24. 김유복, 목초액의 표재성진균증 치유에 관한 연구, 동방대학원대학교 박사학위논문 (2013)
 25. Harada.K. Determination of Maximum Inhibitory Dilutions of Bamboo Pyroligneous Acid Against Pathogenic Bacteria from Companion Animals: An in Vitro Study, Journal of Veterinaary Advances, Vol3(11), pp. 300~305 (2013)
 26. OHIRA Tatsuro, 木酢液の環境因子の変化による成分の変化, New Food Industry(日本) Vol.52(12), pp.42~51, 2010
 27. 최유진, 2012, 「서울시 주택의 실내공기질 개선 방안」, 서울연구원
 28. Sohn, J. R. : Present Condition and Improvement Plans of Environmental-Friendly Building Materials, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol.35, No.12, pp.4-15 (2006)
 29. Kwon, O. K., Kim, S. H., Park, S. H. and Min, B. G. ; Antimicrobial Polyurethane Film Manufacturing Complex Apatite, and the Characteristics, The Korean Society of Dyers and Finishers 45th Convention, November 04, pp.14-14 (2011)
 30. Jang, C. S. : A Study in Technical Development and Practical Use of Korean-type Mobile Carbonization Apparatus for the Field Utilization of Logging Residues, Korea Rural Economic Institute, pp. 4-30 (2004)
 31. Kim, J. S. : Physicochemical Characteristics and Physiological Activities of Oak Pyroligneous Liquor, Ph.D. Dissertation, Kyung-Buk National University, Republic of Korea, pp.24-53 (2007)
 32. Park, H. R. : An Experimental Study on the Moisture Heat Performance of Building Materials Using the Charcoal, Ph.D. Dissertation, In-Ha University, Republic of Korea, pp.19-71 (2004)

33. Kim, D. M., Lee, H. Y., Park, C. K., Mun, K. J. and Soh, Y. S. : Properties of Geo-Polymer Inorganic Binder Using KOH Alkali Activator, Journal of Korea Society of Waste Management, Vol.28, No.4, pp.385-391 (2011)
34. Kim, P. Y. : Acrylic Resin, Daekwangbook Co., Ltd, pp.20-30 (1995)
35. 서울시 실내환경관리시스템 사이트, <http://cleanindoor.seoul.go.kr>
36. 송승영, 열교로 인한 건물 에너지 손실 정도 및 단열규정 보완 필요성, 한국건축친환경설비학회 2009년 제도 및 기술발전심포지움, 2009
37. 김완기 외, 폴리머 콘크리트 복합체의 제조 및 시공, 기문당, 한국콘크리트학회, pp.77-83. 2013
38. 박상범, 숲을 이용한 실내공기질 개선방안에 대하여, 숲과 목초액의 과학기술문화통권 10호, 2003
39. 조경숙, 숲을 혼입한 미장용 모르타의 재료적 특성에 관한 연구, 건국대학교 산업대학원, 2005
40. 박동천, 대나무 활성탄을 이용한 친환경 시멘트계 건축마감재 개발을 위한 기초적 연구, 대한건축학회논문집(구조계), 제27권 제3호, pp.99-106. 2011
41. 김완기, 김득모, 목재 부산물인 목초액을 활용한 아크릴 에멀전 모르타르의 특성, 한국폐기물자원순환학회지, 제31권 제1호, pp.70-78. 2014
42. 서권일, 하기정, 배영일, 장진규, 심기환, 참나무 목초액의 항균효과, 한국식품저장유통학회지, 7(3), 2000
43. 소승영, 이민수, 장홍석, 소형석, 다양한 유/무기계 항진균제를 이용한 항균모르타르의 항곰팡이 성능 평가, 대한건축학회논문집 구조계, 제30권 제3호, pp81-88, 2014
44. 정창호, 장치원, 금동찬, 이구열, 김일훈, 심기환, 시판 목초액과 죽초액의 항산화 및 항균 활성, 농업생명과학연구 제47권 6호 pp.241-248, 2013년
45. 김순호, 배원태, 윤정배, 천연광물질을 활용한 건축용 벽 바름재의 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 제23권 제8호, pp183-190, 2007
46. Yoo, Y. J., Lee, C. W. and Kim, M. K. : Development of a building materials database; Volatile organic compounds, formaldehyde emission rates and chemical compositions, Analytical Science & Technology, Vol. 22, No. 1, pp. 57-64 (2009)
47. Noh, S. Y., Kim, K. H., Choi, J. H., Han, S. D., Gil, I. S., Kim, D. H. and Lee, Y. W. : Adsorption characteristics of VOCs in activated carbon beds, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 24, No. 4, pp. 455-469 (2008)
48. Kim, J. H., Kim, H. J. and Yoon, D. W. : Evaluation studies on the adsorption VOCs performance of the natural porous materials for the development of absorptive building materials, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 5, No. 3,

pp. 115-121 (2011)

49. Lee, C. Y., Kim, J. Y. and Kim, W. K. : Performance evaluation of polymer cementitious interior finish using light-weight aggregates containing pyroligneous liquid, Proceeding of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 14, No. 1, pp. 218-219 (2014)
50. Kim, W. K. : Properties of acrylic emulsion mortar using pyroligneous liquid of wood by-product, Journal of Korea Society of Waste Management, Vol. 31, No. 1, pp. 70-78 (2014)
51. 9. Kim, D. J. : A study regarding the method that reducing shrinkage cracks on mortar placed on concrete slabs in condominium, Master Thesis Department of Architectural Engineering, Master's degree, Kyungbook National University, Korea, p. 39 (2007)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 00000사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.