

최 종
연구보고서

GOVP 12001068

631.2
L 293 L

농업기반 시설용 전자재 개발

Development of Construction Materials for
Agricultural Structures

연구기관
강원대학교

농 립 부



여 백

요 약 문

I. 제목 : 농업기반시설용 전자재 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

농업용 기반시설은 농촌이라는 광범위한 지역에 불특정한 상태로 건설되고 가혹한 자연조건에서 사용되므로 구조물의 유지관리에 특히 어려움이 많다. 특히, 시공 초기단계부터 구조적 결함이 나타나는 경우도 있어서 시설물의 구조성능 내구성 확보 문제는 경제적·기술적 측면에서 대단히 중요한 사항으로 대두되고 있다.

뿐만 아니라 농촌의 각종 환경시설은 물론 생산기반시설에도 콘크리트 구조물이 차지하는 비중이 날로 커짐에 따라, 경제적이며 내구성을 가진 전자재의 개발이 절실히 요구되고 있다. 새로운 소재에 의한 전자재 개발이 이루어져야 한다.

이에 따라 본 연구에서는 건설 신소재인 석재-폴리머 복합소재를 이용하여 농업기반시설용 전자재를 개발코자 한다. 특히 본 연구는 그 동안의 기초연구 결과를 토대로 실용성이 있는 농업기반시설용 제품자재를 체계적으로 연구 개발하여 농업 및 농촌현장에 적용코자 함을 최종 목적으로 하고 있다.

본 연구의 특징은 전자재 개발과 제품의 제조기술은 물론 상업적 생산을 위한 기반 구축이라는 점이다.

특히, 개발 제품은 농촌현장에서의 요구도가 모두 다르므로, 각각의 제품마다 구조, 색상·형태 등을 새로 고안하여 제품의 고급화에 기여토록 한다.

이를 위해 본 연구에서는 각종 제품의 특성을 정밀히 조사분석하고 문제점들을 찾아내어 개선함으로써 효율적인 제품이 개발될 수 있도록 체계적인 연구를 수행한다.

새로 개발하는 소재로 각종기반시설용 구조물을 제작하면 작은 단면으로 큰 하중에 견딜 수 있으며, 내구성이 우수하여 영구적인 시설을 경제적으로 구축할 수 있다. 또한 제품의 색채·형상 등 디자인이 다양하여 농촌의 자연 환경과 조화를 이루게 되어 농촌경관 개선 및 보존에도 기여하게 된다.

광의적으로 볼 때, 농업기반 시설은 공공적 사회간접자본이며, 이것은 농업의 생산성과 직결되는 것이어서 기능의 극대화 및 유지관리의 효율화가 매우 중요하다. 특히, 강도저하, 반복하중에 의한 피로, 산성비, 염해, 동결융해 등 구조물의 성능저하 요인이 다양하기 때문에 이에 대한 새로운 대책이 시급한 실정에 있다.

따라서 본 연구는 현재 농촌에 널리 보급·이용되고 있는 기존의 콘크리트 제품에 비해 강도적 특성, 시공성과 기능성이 우수한 제품을 개발하기 위해 수행되었다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

총 4년의 연구기간 중 1차년도에는 농업생산기반시설 제품을 개발하기 위한 소재개발 및 성능평가를 수행하였다. 2차년도에는 농업수리시설용 제품을 개발하였고, 3차년도에는 농촌경관 시설용 제품을 개발하였으며, 최종연구 단계인 4차년도에서는 농·축산 시설용 제품을 개발하였다.

본 과제에서 행한 주요내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

구 분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1996)	· 소재개발 및 성능평가	· 고강도 폴리머 콘크리트 개발 · 고성능 폴리머 시멘트 콘크리트 개발
2차년도 (1997)	· 농업수리시설용 제품 개발	· 플룸 개발 · 조립식 낙차공 개발 · 경량 폴리머 복합체 개발
3차년도 (1998)	· 농촌경관 시설용 제품 개발	· 사면보호재 개발 · 농촌공원 제품 개발 · 내구성 콘크리트 재료개발
4차년도 (1999)	· 농·축산 시설용 제품개발	· 둔사 및 우사 바닥재 개발 · 분뇨저장조 개발 · 플룸 및 낙차공의 내구성 검토

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

1. 연구개발 결과

농업기반 시설용 전자재 개발을 위하여 건설 신소재인 석재-폴리머 복합소재를 사용하였다. 특히, 농업발전 및 농촌환경개선을 위해 널리 보급·이용되고 있는 기존 콘크리트 제품에 비해 강도적 특성, 시공성, 내구성이 우수한 제품을 개발하였다. 얻어진 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 소재개발 및 성능 평가

실용화가 가능 공장제품을 개발키 위해 내구성이 우수하고 고강도이며, 단면 및 중량 감소를 소재의 중요한 요소로 설정하였다.

연구결과, 비중은 평균 2.34이며, 흡수율은 0.41%, 가사시간은 평균 63분으로서 재료적 성질이 우수한 것으로 나타났다. 또한 압축강도는 평균 1,212kgf/cm², 휨강도는 224kgf/cm² 으로 매우 높게 나타나, 이는 공장제품용 소재로서 유리함을 알 수 있었다.

또한, 단위용적 중량, 건조수축, 열팽창계수, 탄성계수, 충격강도, 부착강도 시험에서도 상당히 우수한 성능을 보여, 농업용 기반시설용 소재로서 효율적임을 확인 할 수 있었다.

나. 농업수리시설용 제품개발

- (1) 수로용 플룸과 낙차공을 개발하기 위하여 철근으로 보강된 얇은 폴리머 콘크리트판의 특성을 구명하였다. 그 결과 20~30mm의 얇은 두께로 50mm의 두께로 낙차공을 제작하였다. 이는 기존제품의 1/2~1/3에 해당되는 두께로서 기존의 시멘트 콘크리트 플룸이나 낙차공에 비해 경량이므로 운반과 시공이 편리하고 방수성이 매우 우수하였다.

- (2) 농업수리시설용 제품에 적용하기 위해 폴리머와 인공경량 조·세골재를 사용한 경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 실험적으로 구명하였다. 단위중량, 압축강도, 휨인장강도 시험결과 높게나타났으며, 특히 휨인장강도가 크게 증가한 것은 고분자 재료인 폴리머 매트릭스의 물리·역학적 특성에 기인한 것이다. 또한 동탄성계수, 정탄성 계수, 내구성 시험을 실시하였던바, 모두 시멘트 콘크리트보다 유리한 것으로 나타났다.

다. 농촌경관 시설용 제품개발

- (1) 폴리머 모르터를 이용한 사면보호재를 개발기 위해 소재에 대한 물리, 역학적 특성 및 제품의 성능을 실험적으로 구명하였다. 소재의 흡수율은 0.87%로 매우 작아 방수성이 우수하였으며, 동결융해 저항성도 우수한 것으로 나타났다. 또한 압축, 휨, 인장강도 모두 높은 값을 보였으며, 충격강도는 기존 시멘트 모르타 제품보다 4배에 달하였다. 또한 편리한 시공성의 확보가 가능하고, 부재의 단면 축소로 자연경관의 손상을 최소화하는 등 실용적 가치가 매우 높은 것으로 평가되었다.
- (2) 농촌공원 제품으로 마을 사인보드, 공원용 벤치, 휴지통, 경계석 등을 개발하였다. 개발된 제품은 기존 콘크리트 제품이 약한 내식성, 낮은 동결융해 저항성과 같은 단점을 크게 개선하였다. 특히, 내구성이 우수하며, 중량이 가벼워 운반과 시공이 편리하고 유지관리가 용이하여 농촌공원시설로서 적합한 것으로 나타났다.
- (3) 보통 포틀랜드 시멘트와 천연골재 및 농업부산물인 볏짚재를 혼입한 내구성 콘크리트의 공학적 특성을 실험적으로 구명하였다. 단위중량은 2,250~2,335kgf/m³ 정도로 보통 시멘트 콘크리트에 비해 1~5% 정도 감소한 반

면, 압축강도, 휨강도, 내구성은 높게 나타났다. 따라서 벚짚재 콘크리트의 물리·역학적 성질이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수하며, 농업부산물의 재활용에도 기여할 수 있음을 확인하였다.

라. 농축산 시설용 제품 개발

(1) 돈사용과 우사용 바닥재의 소재 특성 및 제품의 성능을 구명하였다. 폴리머 모르타르는 흡수율이 매우 낮고, 내약품성이 우수하며, 압축강도 1,095kgf/cm², 할열인장강도 112kgf/cm², 휨강도 231kgf/cm²를 나타냈다. 기존 제품에 비해 내구적이며, 부재의 자중을 1/3정도로 줄여 경량화 시킴으로써 편리한 시공성을 확보할 수 있고, 단열재 삽입에 의해 단열성을 확보할 수 있어 우사바닥재로서 적합한 것으로 평가되었다.

(2) 폴리머 모르타를 이용한 분뇨 저장조를 개발하고 소재에 대한 물리·역학적 특성 및 제품의 성능을 실험적으로 구명하였다. 분뇨저장조에 사용된 폴리머 모르타르는 압축강도, 할열인장강도, 휨강도, 탄성계수 모두 높게 나타났다. FRP 보강 폴리머 모르타를 사용함으로써 기존 제품에 비해 경량이며 우수한 휨 모멘트 증진 효과를 갖는 제품제도가 가능한 것으로 평가되었다.

마. 내구성 및 경제성 평가

(1) 내구성 실험결과, 수밀성과 동결융해 저항성이 매우 우수하였으며, 산, 알칼리, 염류에 대한 내약품성이 우수하였다. 내열 및 내화성은 기존의 시멘트 콘크리트 제품에 비해 불리하나, 농촌현장의 설치조건으로 보아 문제가 없다고 하겠다.

(2) 기존 제품의 소재인 시멘트 모르타와 본 연구에서 사용한 소재인 폴리머 모르타를 사용하여 제품을 제조하였을 때, 원가, 유지보수비, 내구연수 등을 고려하여 경제성을 분석하여 본바, 유리한 것으로 나타났다. 따라서 농업수리시설용이나, 농축산시설용 제품에 적용할 경우 경제적으로 불리하지 않음을 알 수 있었다.

2. 활용에 대한 건의

농업기반시설은 농업생산성 향상을 위한 것과 생활환경 개선을 위한 것으로 대별할 수 있다. 이러한 시설들은 국제경쟁력을 갖춘 농업생산을 영위하기 위한 필수시설이므로 소재의 선택, 구조물의 설치 및 유지관리 상태에 따라 농업발전에 직접적인 영향을 미치게 된다. 또한, 농업과 농촌생활환경의 발전은 불가분의 관계에 있으므로 기반시설들을 지속적이며 효율적으로 발전시켜야 한다.

본 연구결과에 따르면, 농업기반시설용 제품개발에 사용한 폴리머 콘크리트는 구조물이 가져야 하는 제반 특성, 즉 물리, 화학적성질, 내구성, 방수성 등이 기존 재료보다 대단히 우수한 것으로 나타났다. 특히, 이 소재는 국내의 일반건설 산업분야에도 이용되기 시작하고 있어 범용성과 경제성이 서서히 입증되고 있다.

농업수리시설, 농촌경관시설, 농축산시설 등 본 연구에서 개발한 각종 제품은 연구결과에 나타난 바와 같이 강도가 높아 경량화 시킬 수 있고, 내구성이 우수한 반영구적인 구조물로서, 유지관리가 용이할 뿐 아니라 경제성도 충분한 것으로 분석되었다.

따라서, 본 연구를 통하여 개발된 제품을 농업 및 농촌 현장에 활용될 수 있도록 하기 위해서는 각종 농업관련 매체에 홍보하고 설계지침이나 자료 등에 반영하는 등 적극적인 대책이 요구된다고 하겠다.

3. 현재까지 본 과제와 관련된 연구실적

가. 국내외 전문 학술지

- 1) 1997. 초경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성, 한국농공학회지 제39권 제4호, 한국농공학회, pp.75~81
- 2) 1997. 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지 제39권 제5호, 한국농공학회, pp.55~63
- 3) 1998. 농업수리시설용 플립개발, 농촌개발연구 2집, 강원대학교 농촌개발연구소, pp.109~116
- 4) 1998. 벚지재 콘크리트의 물리역학적 특성, 한국농공학회지 제40권 제4호, 한국농공학회, pp.103~108
- 5) 1998. 폴리머 모르터를 이용한 사면보호재의 개발, 한국농공학회지 제40권 제5호, pp.52~58
- 6) 1998. 적산온도법에 의한 경량 폴리머 모르터의 초기강도 예측에 관한 연구, 한국콘크리트학회지 제10권 제 6호, pp.191~202
- 7) 1999. 플라이 애시와 탄산칼슘을 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 물리역학적 특성, 한국농공학회지 제41권 제2호, 한국농공학회, pp.104~109
- 8) 1999. 벚지재 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지 제41권 제3호, pp.66~72
- 9) 1999. 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 재료적 특성, 한국농공학회지 제41권 제3호, pp.73~80
- 10) 1999. 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 강도특성 및 휨인성에 관한 연구, 한국콘크리트학회지 제11권 제4호, pp.137~145

- 11) 1996, Tensile Reinforcement of Asphalt Concrete Using Polymer Concrete, Construction & Building Materials, Vol.10, No.2, pp.141~146
- 12) 1997, Research Trends of Concrete Polymer Composites in Korea, Proceedings of the EASPIC '97, pp.13~20
- 13) 1997, An Empirical Approach for Predicting Compressive Strength of Lightweight Polyester Mortars by the Maturity Method, Proceedings of the EASPIC '97, pp.75~84
- 14) 1997, Physical and Mechanical Properties of Polymer Concrete Using Coal Mine Waste, Proceedings of the EASPIC '97, pp.217~228
- 15) 1997, Flexural Performance of Singly/Doubly Reinforced Polymer Concrete Beams, Proceedings of the 3rd Southern Africa Conference on Polymers in Concrete, pp.352~361
- 16) 1997, Development and Evaluation of Precast Polymer Concrete Flume, Proceedings of the 5th Japan International SAMPE Symposium, pp.1409~1414
- 17) 1998, Shear Performance of Reinforced Polymer Concrete Beams with High Strength, Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products, pp.261~273
- 18) 1998, Shear Performance of Reinforced Polymer Concrete Beams with High Strength, Proceedings of the IXth ICPIIC '98, pp.303~312
- 19) 1998, An Experimental Study on Fundamental Properties of Polymer-Modified Mortars for Concrete Repair, Proceedings of the 4th Beijing International Symposium on Cement and Concrete, pp.698~702

- 20) 1999, Material Mechanical and Properteies of Steel Fiber Reinforced Polymer Concrete, Proceedings of the 2nd Asia-Pacific Specialty Conference on Fiber Reinforced Concrete, pp.243~248
- 21) 1999, Adhesion Properties of Polymer Composite Materials for Concrete Repair, Proceedings of the 2nd International RILEM Symposium ISAP '99, pp.339~347
- 22) 1999, Compressive Strength prediction of Polyester Mortars by The Maturity Method, Infrastructure Regression and Rehabilitation Improving the Quality of Life Through Better Construction/A Vision for the Next Millennium, pp.465~474
- 23) 1999, An Improving Effect of a Strength Characteristics and Chemical Resistance of Polymer Cement Concrete Using Metral-Mine Tailing, Proceedings of the 6th Japan International SAMPE Symposium, pp.843~848

나. 학술회의 Proceedings

- 1) 1996. 초경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.108~112
- 2) 1996. 왕겨재 콘크리트의 개발, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.113~117
- 3) 1997. 프리캐스트 폴리머 콘크리트 플럼의 개발을 위한 기초연구, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.77~82
- 4) 1997. S.E.M에 의한 초경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성 규명, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.87~92
- 5) 1997. 벧짚재 콘크리트의 물리역학적 특성, 농공학회 학술발표회 논문

- 집, 한국농공학회, pp.105~109
- 6) 1997. 왕겨재를 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 물리역학적 특성, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.110~115
 - 7) 1997, 프리믹스 타입 폴리머 시멘트 모르타의 기초적 성질, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.641~646
 - 8) 1998. 폴리머 모르타를 이용한 사면보호재의 개발, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.107~112
 - 9) 1998. 벚짚재 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.161~166
 - 10) 1998, 온도와 결합재의 점도가 경량폴리에스터 모르타의 컨시스턴시에 미치는 영향, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.713~718
 - 11) 1998, 얇은 폴리머 콘크리트 패널의 단면 결정을 위한 기초연구, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.243~248
 - 12) 1998, 콘크리트 보수용 폴리머 복합재료의 접착강도 특성, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.330~335
 - 13) 1999. 벚짚재 콘크리트의 탄성특성, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.324~329
 - 14) 1999. 폴리머 복합재료를 이용한 유도블럭의 개발, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.330~335
 - 15) 1999. FRP보강 폴리머 모르타 패널의 역학적 특성, 농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, pp.342~347
 - 16) 1999, 폐석 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트의 내약품성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.355~360

- 17) 1999, 콘크리트 보수용 폴리머 복합재료의 접착강도 특성, 콘크리트 구조물의 보수·보강 기술 Seminar, pp.14~29
- 18) 1999, 적산온도법에 의한 에폭시 수지 모르타의 초기강도 예측에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.325~330

다. 기타

- 1) 1997, 폴리머 콘크리트를 이용한 제품 개발, 시사건설158호, 서울데이터뱅크, pp.15~19
- 2) 1997, 고강도 폴리머 콘크리트의 제조 및 역학적 특성, 레미콘, 아스콘, 플재17호, pp.53~59
- 3) 1998, 콘크리트 보수용 폴리머 시멘트 모르타의 기초적 성질에 관한 연구, 한국레미콘공업협동조합연합회48호, 한국레미콘공업협동조합연합회, pp.13~19
- 4) 1998, 신건설재료로서의 콘크리트 폴리머 복합재, 철콘회보 창간호, pp.45~48
- 5) 1999. 폴리머 모르타를 이용한 사면침식 보호재의 개발, 농공기술64호, 농어촌진흥공사, pp.114~121

Summary

I. Title : Development of Construction Materials for Agricultural Structures

II. Objectives and Importance of the Research and Development

Agricultural infrastructures have been constructed over the wide rural areas, have various forms and conditions, and have used intensively for a long time, resulting in difficulties specially in the maintenance of the functionality and management and maintenance. Due to the lack of durability and structural defects at the beginning of the construction of the infrastructures, it is urgently required to reinforce the structures and extend the durability. And the reinforcement technology must be both technically and economically viable.

Use of cement concrete in agricultural infrastructures and environmental facilities has increased and the function of the cement concrete structures has also increased in rural areas. However, cement concrete structures have many defects to secure the structural stability and durability in rural areas. And new construction materials need to be developed for a stable agricultural production and the maintenance and conservation of rural landscapes to supplement the defect of cement concrete structures.

The research team has been engaged in developing new construction materials with the stone-polymer compound material which is relatively a

new material in construction fields. The stone-polymer compound was developed by this research team and has been tested for field applications for a long time. The compound showed many advantages over the cement concrete material and development of new products for agricultural uses with the stone-polymer compound was proposed in the research. Based on the research experiences and know-how with the stone-polymer compound, the research team planned to develop practical stone-polymer compound products for agricultural production system and to apply the products.

The development of stone-polymer compound products was intended to consider both the production techniques and the design of the products including colors and shape. Beautiful colors and shapes in addition to strength and durability are necessary to improve the image and promote the sales of the products. And because each product may have a different function and role in rural areas, new functional design concepts on color and shape to promote functionality and quality were applied. The research implementation plan was made to meticulously investigate and analyze the characteristics of each product, to predict and correct problems on the shape and color of each product and, to consider an effective production process to meet this design concepts.

Agricultural infrastructures which may be assembled and constructed with the new construction members and materials developed in this research can have a less cross-sectional area, bear higher external loads, and have higher chemical resistance, leading to economically build durable structures. The colors and shapes of the new materials can be easily changes to go well with the rural landscapes and thus, contributing to form and conserve rural

landscapes.

Agricultural infrastructures are a part of public infrastructures and are closely related to agricultural production. So, maximization of functionality and effectiveness of maintenance and management of the infrastructures are very important. Especially, various factors such as strength degradation, fatigue load, acid rain, salt intrusion, freeze-and-thaw etc cause the function degradation of the structures. It is required to develop techniques to prevent the function degradation of the infrastructures. Therefore, the objective of this research was to develop stone-polymer compound products which can replace existing cement concrete construction members and materials which are widely used in rural areas. The new compound products were designed to have higher strength, easier workability and better functionality than cement concrete products.

III. Contents and Scope of the Research and Development

Of the 4 year-study, the first year was planned to develop new stone-polymer compound material development and evaluation of the material. The second year was devoted to develop and assess stone-polymer products for agricultural hydraulic structures. Newly developed agricultural products were proved to have better functionality and economic efficiency than cement concrete products. The third year was to develop stone-polymer compound products for rural landscape construction. And stone-polymer compound products for livestock facilities were developed at the last year. The summary of this research and development was shown in the following table.

Year	Research Objective	Contents and Scope
1st year (1996)	· Stone-polymer compound development and evaluation	<ul style="list-style-type: none"> · Development of high strength stone-polymer compound material · Development of high functionality stone-polymer compound material
2nd year (1997)	· Products development for agricultural hydraulic structures	<ul style="list-style-type: none"> · Development of flumes · Development of assemblable drop structures · Development of light weight stone-polymer compound material
3rd year (1998)	· Products development for rural landscape construction	<ul style="list-style-type: none"> · Development of protection blocks for erosion control works · Development of small park utilities · Development of durable concrete material
4th year (1999)	· Products development for agricultural and livestock facilities	<ul style="list-style-type: none"> · Development of floor members for swine and cow housing · Development of waste storage tank · Durability evaluation of flume and drop structure

IV. Results of Research and Development and Suggestions for Application

1. Results of Research and Development

Stone-polymer compound which is a relatively new construction material was developed and used to develop construction members and materials for agricultural infrastructures. Especially, newly developed polymer compound members and materials were proven to have far better strength characteristics, assemblage and functionality than cement concrete ones which are used and supplied to rural areas to build agricultural infrastructures and rural environment. Major research results are summarized below.

A. Development and evaluation of stone-polymer compound material

Characteristics of stone-polymer compound material was evaluated with respect to field applicability and factory productivity while maintaining high strength, long durability, and small cross-sectional area of the construction members to reduce the weight. The test showed very favorable physical characteristics with average specific gravity of 2.34, adsorption of 0.41%, average life time of 63 minutes, average workability of 29%. Average compressive and flexural strengths were very high and measured 1,212 kgf/cm² and 224 kgf/cm², respectively. Compressive and flexural strengths cured in both a room temperature (20 °C) and a high temperature (70 °C) were similar each other, respectively, which proves as a good material for factory products. Stone-polymer compound material also showed a good physical properties in unit weight, drying shrinkage, thermal expansion, elastic modulus, impact strength and adhesive strength, and was proven to be an

effective material for agricultural infrastructures.

B. Product development for agricultural hydraulic structures

- (1) For the development of a flume and a drop structure, physical properties of thin polymer concrete plates were prepared and tested. 20 to 30 mm thick polymer concrete plates which are 1/2 to 1/2.3 in thickness of existing cement concrete plates can be easily made to the official size of 200 to 700 as specified in KS. A flume developed in this study with $50 \times 32 \times 2$ cm in cross-sectional size and 200 cm long in length weighed only 1/3 of an existing cement concrete flume of the same flow capacity. The newly developed stone-polymer concrete flume is light weight and water tight and thus, has an advantage in transportation and field application.

- (2) Engineering properties of polymer concrete with artificial lightweight fine and coarse aggregates were tested for use in agricultural hydraulic structures. In a series of unit weight, compressive strength and flexural strength tests, flexural strength were significantly improved with the lightweight aggregates. It was thought that the physical and mechanical properties of polymer resin which is a high molecule material contributed to the strength increase. Ultrasonic vibration velocity, static elastic modulus, durability were all proven to be very favorable.

C. Product development for rural landscape facilities

- (1) Physical and mechanical properties of material for polymer concrete erosion control blocks were experimentally tested. Adsorption of the material was 0.87% which is very small compared to cement concrete material. The material is practically water-tight. Freeze-thaw resistance of the material was proven to be very high by dynamic elastic modulus tests. Compressive, tensile and flexural strengths were also high and impact strength was about 4 times higher than that of cement concrete material, indicating an excellent adoptability to a harsh rural environment. It was also proven that the material could reduce the cross-sectional size of many products, indicating a high practical value in easy application, minimization of landscape disruption and others.

- (2) For rural park utilities, village information panels, park benches, trash drums, and border stones were developed. These polymer concrete park utilities can complement the defects of cement concrete utilities of heavy weight, corrosion, weakness in freeze-and-thaw, resulting in difficulties in management, construction and protection of breakage. The new park utilities are light-weight, water-tight, durable and thus, transportation, handling and field application are relatively easy and maintenance and management are also very effective.

- (3) Engineering properties of durable cement concrete made of portland cement, natural aggregates and rice straw ash were experimentally

tested. The unit weight of the concrete ranged between 2,250 and 2,335 kgf/m³, which is 1 to 5 % less than that of normal portland cement concrete. However, compressive and flexural strengths and durability were improved. It was concluded that the properties of rice straw ash concrete were better than those of normal cement concrete and thus, can contribute to reuse of agricultural byproducts.

D. Product development for agricultural and livestock facilities

- (1) Stone-polymer compound floor members for cow and swine housing were developed and the properties were tested. FRP reinforced polymer mortar was used to develop the floor members. Because of the low adsorption, water-tightness property of the members was excellent. Compressive, split tensile and flexural strengths of the polymer mortar were 1,095 kgf/cm², 112 kgf/cm² and 231 kgf/cm², respectively. The floor members are less heavier than existing cement concrete ones, have low adsorption and high impact strength. The weight of the members are about 1/3 of the existing members. Because of the lightweight, field application was relatively easy.

- (2) Stone-polymer compound manure storage tank was developed and the tank material was tested with respect to physical and mechanical properties. Compressive, split tensile and flexural strengths and elastic modulus were very high. Because of the use of FRP reinforced polymer concrete, lightweight but high flexural moment storage tank could be developed.

E. Evaluation of durability and economic efficiency

- (1) Watertightness and freeze-and-thaw resistance were very excellent and resistance to acid, alkali and salt was also strong. Heat and fire resistances are weak compared to cement concrete products. However, considering that these stone-polymer compound products are placed outside in the fields or where there is no fire or heat source, heat and fire resistances may not be a problem in applying the products.

- (2) The analysis of economic efficiency of stone-polymer compound and conventional cement concrete mortar in which production cost, maintenance and repairing cost, durability and field life were assessed showed that stone-polymer compound products were very competitive to or better than existing cement concrete products. Therefore, it was thought that if the analysis is applied to the stone-polymer compound products developed in this study, the economic efficiency of the products may be favorably analyzed.

2. Suggestions for Application

Agricultural infrastructures can be classified to 2 categories; structures for improvement of agricultural production and facilities for improvement of rural life and environment. Structures for agricultural production are necessary to secure international competitiveness in producing food and fiber and thus, the condition of construction, maintenance and management and use of the structures may directly affect agricultural productivity. Also, because agricultural development and rural life improvement are closely related each

other, facilities for rural life improvement should be continuously and effectively improved.

According to the results studied by this research team for the past 4 years, stone-polymer compound which is used to develop the agricultural infrastructures has all the properties that a structure should have such as physical and mechanical properties, durability, and watertightness. These properties were proven to be far better than those of existing cement concrete mortar. Because stone-polymer compounds are widely used in other construction areas, applicability and economic efficiency of these products are considered to be good.

As can be seen from research and development results, these stone-polymer products for agricultural infrastructures, rural landscape, and rural life and livestock facilities possess good properties. Once installed or constructed, these products can last very long, maintenance and management are easy, and economic efficiency is also very competitive. Therefore, it was suggested that application of these products need to be politically boosted by the central and local governments and supports for the advancement and improvement of these products be continuously made.

Content

Chapter 1. Introduction	31
Section 1. Objectives and Importance of Research and Development.....	33
Section 2. Scope and Content of Research and Development.....	35
Chapter 2. Development and Assessment of Stone-Polymer Compound	37
Section 1. Introduction	39
Section 2. Development of High Strength Polymer Concrete	41
Section 3. Development of High Functional Polymer Concrete	53
Chapter 3. Product Development for Agricultural Hydraulic Structures	71
Section 1. Introduction	73
Section 2. Development of Flume and Drop Structure	74

Section 3. Development of Lightweight Polymer Concrete.....	88
Chapter 4. Product Development for Rural Landscape	111
Section 1. Introduction.....	113
Section 2. Development of Erosion Control Block.....	114
Section 3. Development of Utilities for Rural Park	132
Section 4. Development of Material for Durable Concrete	137
Chapter 5. Product Development for Livestock Facilities	153
Section 1. Introduction.....	155
Section 2. Development of Floor Members and Trough for Swine and Cow.....	156
Section 3. Development of Manure Storage Tank.....	185
Chapter 6. Evaluation of Durability and Economic Efficiency of the Products.....	199
Section 1. Evaluation of Durability	201
Section 2. Evaluation of Economic Efficiency.....	206

Chapter 7. Conclusion of the Research and Development	213
References	221

여 백

목 차

제1장 서론.....	31
제1절 연구개발의 목적 및 중요성	33
제2절 연구개발 내용 및 범위	35
제2장 소재개발 및 성능평가	37
제1절 서론	39
제2절 고강도 폴리머 콘크리트 개발	41
제3절 고성능 폴리머 시멘트 콘크리트 개발.....	53
제3장 농업수리시설용 제품개발.....	71
제1절 서론	73
제2절 플룸 및 낙차공 개발	74
제3절 경량 폴리머 콘크리트 개발	88
제4장 농촌경관시설용 제품개발	111
제1절 서론	113
제2절 사면보호재 개발.....	114
제3절 농촌공원 제품개발.....	132
제4절 내구성 콘크리트 재료개발	137

제5장 농축산시설용 제품개발	153
제1절 서론	155
제2절 돈사, 우사 바닥재 및 구유 개발.....	156
제3절 분뇨저장조 개발	185
제6장 시설제품의 내구성 및 경제성 평가.....	199
제1절 내구성 평가.....	201
제2절 경제성 평가.....	206
제7장 종합결론.....	213
참고문헌	221

제 1 장 서 론

여 백

제1장 서론

제1절 연구개발의 목적 및 중요성

현재 전국 농촌에 광범위하게 산재해 있는 수많은 농업용 기반시설은 기능발휘는 물론 시공 및 유지·관리 면에서 많은 문제점이 있으며, 이는 앞으로 경쟁력 있는 농업기반 구축에도 많은 영향을 미치게 될 것이다.

농업용 기반시설은 농촌이라는 광범위한 지역에 불특정한 상태로 건설되었고, 가혹한 자연조건에서 성능이 저하됨에 따라 유지관리에 특히 어려움을 겪고 있다. 특히, 시공 초기단계부터 구조적 결함이 나타나는 등 시설물의 구조성능 보강 및 내구성 확보는 경제적·기술적 측면에서 적극적으로 모색되어야 할 시점에 있다.

뿐만 아니라 농촌의 각종 환경시설은 물론 생산기반시설에도 콘크리트 구조물이 차지하는 비중이 날로 증가함에 따라, 그 역할도 비례해서 커지게 되므로 농촌을 보전시키고 안정적인 농업생산을 영위하기 위해서는 새로운 소재에 의한 건전재 개발이 적극적으로 이루어져야 한다.

농업기반 시설용 건전재 개발을 위하여 본 연구에서는 건설분야의 신소재인 석재-폴리머 복합소재에 대한 기초연구와 함께 실용성이 있는 농업기반시설용 제품을 체계적으로 연구 개발함을 최종 목표로 하고 있다.

본 연구의 특성은 소재 및 제품 제조기술개발은 물론 상업화를 위한 디자인을 최대한 고려한다는 점이다.

특히, 개발될 제품은 농촌현장에서의 요구도가 다르므로, 각각의 제품마다 색상·형태 등을 고려함으로써 제품의 고급화에 기여토록 할 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 각각 제품의 특성을 면밀하게 조사분석하고 가장 효율적인 제품이 개발·생산될 수 있도록 체계적인 연구를 수행한다.

새로 개발하는 신소재로 각종 기반시설을 제작할 경우 작은 단면으로 큰 하

중에 견딜 수 있으며, 화학적 저항성이 높아 우수한 내구성을 확보할 수 있다. 제품의 색채·형상 등 디자인 역시 다양하게 할 수 있어 농촌경관 형성 및 보존에도 기여하게 된다.

또한, 산업화·도시화와 함께 농산물 수입개방에 따라 농촌의 생활환경은 물론 우리나라 농가의 영농형태 및 규모도 큰 변화를 보이고 있다. 즉, 농업의 집약화와 대규모화에 따른 농업용 수리시설과 축산업의 전업화 및 대규모화에 따라 축사시설의 현대화가 시급히 요구되고 있다.

광의적으로 볼 때, 농업기반 시설은 공공적 사회간접자본이며, 이것은 농업의 생산성과 직결되는 것이어서 기능의 극대화 및 유지관리의 효율화가 매우 중요하다. 특히, 강도저하, 반복하중에 의한 피로, 산성비, 염해, 동결융해 등 시설의 성능저하 요인이 다양하기 때문에 이에 대한 새로운 대책이 시급한 실정에 있다.

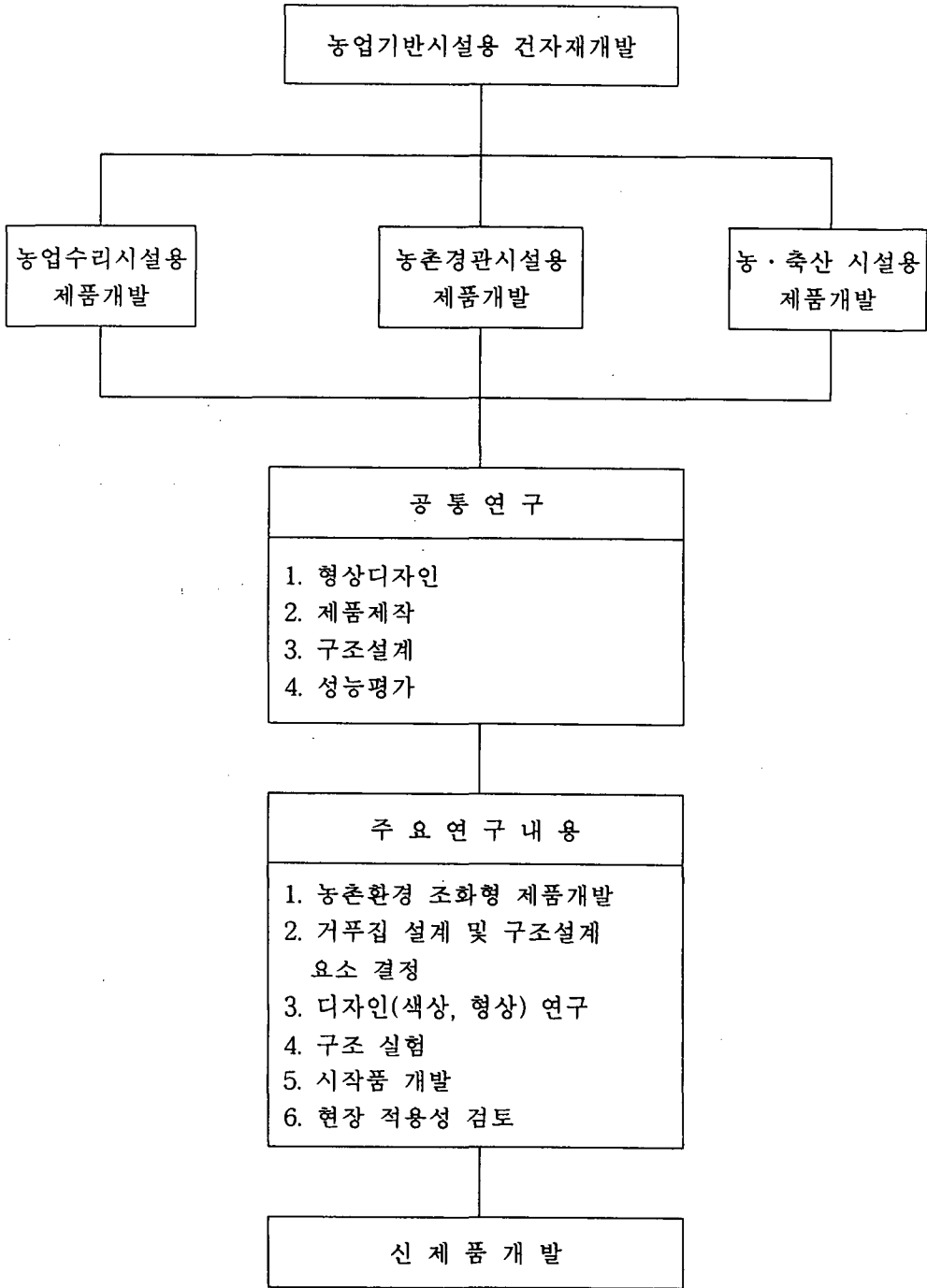
연구 개발코자 하는 전자재는 고성능 신건설 재료로서 세계적으로 볼 때 수리시설용이나 농축산시설 분야에의 응용이 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 농촌에 널리 이용되고 있는 기존의 콘크리트 제품에 비해 강도 특성, 내구성, 시공성이 우수한 제품을 개발보급함으로써 농업기반시설의 발전에 기여코자 한다.

제2절 연구개발내용 및 범위

총 4년의 연구기간 중 1차년도에는 농업생산기반시설 제품을 개발하기 위한 소재개발 및 성능평가이고, 이 결과를 바탕으로 2차년도에는 농업수리시설용 제품개발, 3차년도에는 농촌경관 시설용 제품개발, 4차년도에는 농축산 시설용 제품을 개발하였던 바, 수행한 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

구분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1996)	· 소재개발 및 성능평가	· 고강도 폴리머 콘크리트 개발 · 고성능 폴리머 시멘트 콘크리트 개발
2차년도 (1997)	· 농업수리시설용 제품 개발	· 플룸 개발 · 조립식 낙차공 개발 · 경량 폴리머 복합체 개발
3차년도 (1998)	· 농촌경관 시설용 제품 개발	· 사면보호재 개발 · 농촌공원 제품 개발 · 내구성 콘크리트 재료개발
4차년도 (1999)	· 농·축산 시설용 제품개발	· 돈사 및 우사 바닥재 개발 · 분뇨저장조 개발 · 플룸 및 낙차공의 내구성검토

본 연구과제의 제품개발을 위한 세부과제 및 연구항목은 다음 그림에 나타낸 바와 같으며, 이 내용은 개발된 모든 제품에 공통적으로 적용할 수 있다.



제 2 장

소재개발 및 성능평가

여 백

제2장 소재개발 및 성능평가

제1절 서론

근년 석유화학의 발달과 함께 점차적으로 많은 고분자 재료가 개발되고 있는 가운데 종래의 시멘트 콘크리트를 대신할 수 있는 폴리머 콘크리트가 등장하여 관심을 불러일으키고 있으며, 그 이용 기술 또한 비약적인 발전을 가져오고 있다.

폴리머 콘크리트는 결합재인 폴리머와 골재로 조성되며, 시멘트와 물을 전혀 사용하지 않는 고강도 콘크리트이다. 고분자 재료를 사용하기 때문에 시멘트 콘크리트와는 현저히 다른 성질을 갖고 있다. 즉, 경화 속도의 조절 가능, 조기 강도의 발현, 높은 압축·휨·인장 강도 특성, 양호한 내구성과 방수성 등의 장점을 가지고 있는 반면, 낮은 내화성 및 내열성, 경화시 큰 수축 등과 같은 단점도 갖고 있다.

이와 같은 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트라든가 강재로서 시공이 불가능한 구조물에 효과적으로 이용될 수 있기 때문에 신건설재료인 폴리머 콘크리트를 구조물에 응용키 위한 연구가 다각적으로 이루어지고 있다. 즉, 폴리머 콘크리트가 가진 고강도, 내약품성, 전기적 특성 등의 장점을 이용한 제품 개발이 활발히 전개되고 있다.

외국의 경우 과거에는 모르타나 페이스트 형태로서 시멘트 콘크리트 방식 라이닝재 및 보수재, 접착재로 이용되어 왔으나, 근년에는 기계 장치의 기초, 폐액 탱크, 전해조, 온천지 건축물의 기초등의 경구조재 등을 위시하여 수리구조물, 터널용, 농업용 사일로, 전기·통신 맨홀 등에 적극적으로 이용되고 있다. 이와 같은 이용에 있어서 제약 조건으로 대두되고 있는 것이 폴리머의 높은 가격으로 인한 과도한 생산 단가 문제이다. 그러나 근년에는 노임이나 운반·설치 비용의 상승 등으로 시멘트 콘크리트 구조물에 대한 설치비용이 크게 높아짐에 따라 상

대적으로 폴리머 콘크리트 구조물의 가격 경쟁이 유리하게 전개되고 있다.

이에 따라 외국에서는 폴리머콘크리트의 장점을 이용한 공장 제품이 개발되어 건설 산업용 구조물로서 이미 실용화 된지 오래이며, 우리 나라에서도 이와 같은 공장 제품의 개발이 다각적으로 시도되고 있다. 폴리머 콘크리트가 공장제품의 개발에 있어서 적극적으로 응용 될 수 있는 것은 내구성이 좋을 뿐만 아니라 고강도로서 단면의 치수를 줄일 수 있고, 중량 감소를 통해 재료비나 운반·설치비의 절감을 가져올 수 있기 때문이다. 이같이 공장제품의 개발에는 강도가 매우 중요하므로, 본 연구에서는 고강도를 갖는 폴리에스터 폴리머 콘크리트를 개발하고 이에 대한 역학적 성질을 구명하고자 한다.

한편, 폴리머 복합체에는 콘크리트 배합시 혼화재로서 폴리머를 사용하는 폴리머 시멘트 콘크리트, 결합재로 폴리머만을 사용하는 폴리머 콘크리트, 경화한 시멘트 콘크리트에 폴리머를 함침시켜 제조하는 폴리머 함침 콘크리트가 있다.

이와 같은 폴리머 복합체에서 조골재를 사용하지 않으면 시멘트 모르터, 폴리머 모르터 및 폴리머 함침 모르터를 제조할 수 있다. 이 가운데에서도 폴리머 시멘트 모르터는 보통 시멘트 모르터에 비해 휨 및 인장강도, 접착성, 방수성, 염화물 이온 침투 및 중성화에 대한 저항성 등이 우수하기 때문에 철근 콘크리트 구조물의 보수재로서 많이 사용되고 있는데, 주로 시멘트 모르터에 혼화재로서 SBR(Styrene butadiene rubber), EVA(Ethylene vinyl acetate)를 사용하여 제조하고 있다.

따라서 본 연구에서는 보수용으로 많이 사용되고 있는 수용성 폴리머 가운데 2종을 선정하여 모르터를 제조한 후, 이에 대한 물리·역학적 특성을 시멘트 모르터와 비교 구명하고자 한다.

제2절 고강도 폴리머 콘크리트 개발

1. 사용재료

가. 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지(unsaturated polyester resin)란 그 구성분자인 모노머(monomer)가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말한다.

본 실험에서 사용할 불포화 폴리에스터 수지는 국내 A사의 올소타입(ortho type)으로서 코발트계 경화 촉진제(CoOc)가 첨가되어 있으며, 성분은 다음의 표 2-1과 같다.

표 2-1. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa·s)	산 가	스틸렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

나. 개시제

촉진제가 첨가된 불포화 폴리에스터 수지는 개시제만 첨가되면 경화반응이 일어난다. 개시제에는 속경형, 표준경화형, 지연형의 3종류가 있다. 국내 A사 제품으로서 MEKPO 55%, DMP 45%로 구성된 표준경화형 개시제를 사용하며, 그 성질은 표 2-2와 같다.

표 2-2. 개시제의 성질

구 성	비 중 (25℃)	활성 산소
MEKPO 55% DMP 45%	1.12	10.0

다. 수축감소제

불포화 폴리에스터 수지는 경화시 7~10% 정도의 수축을 일으키게 되는데, 이것은 수지 중에 함유되어 있는 스티렌 모노머(styrene monomer)의 함량에 따라 변화한다. 이러한 수축을 감소시키기 위하여 열가소성인 폴리스틸렌을 스티렌 모노머에 용해시킨 수축저감제를 사용하며, 그 성질은 표 2-3과 같다.

표 2-3. 수축감소제의 성질

점도 (25°C, mPa·s)	폴리스틸렌 (%)	스티렌모노머 (%)	외관
350	36	64	투명

라. 충전제

충진제는 무기질로서 흡수성이 작아야 하며, 비교적 고가인 폴리머의 사용량을 줄일 목적으로 사용한다. 입자크기는 1~30 μ m 정도, 분말도는 2,500~3,000 cm²/g, 수분함량 0.1 % 미만인 것을 사용한다.

표 2-4. 충전제의 성질

종류	비중 (gr/cc)	수분 (%)	PH	평균입자 크기(μ m)	325번체 잔부(%)
HC-1	0.75	0.3이하	8.8	13	0.03

마. 골재

폴리머 콘크리트에서도 자갈과 모래를 필요로 하는 것은 시멘트 콘크리트와 마찬가지로이다. 이밖에도 인공골재는 고가이지만 소재 자체의 특성을 인위적으로

조정할 수 있어 특수목적에 사용된다. 천연골재의 선정조건은 시멘트 콘크리트의 경우와 같다. 다만, 함수율이 커지면 강도가 저하하기 때문에 인위적으로 건조시켜 함수율이 0.3%이하가 되도록 하여야 한다.

폴리머 콘크리트용 세골재는 보통의 강모래를 사용할 수 있으나 유기 불순물을 함유하지 않아야 함, 함수율이 0.1%이하이어야 한다.

본 실험에서 사용된 세골재는 강원도 홍천강에서 채취한 하천 모래이며, 조골재는 강원도 춘천군 남면 광판리에서 생산되고 있는 입경 13mm이하인 화강암 쇄석이다. 이들에 대한 물리적 성질의 시험 결과는 표 2-5와 같다.

표 2-5. 골재의 물리적 성질

구분	최대치수	비중	단위중량 (kgf/m ³)	실적율 (%)	조립율	흡수율 (%)
조골재	13mm	2.62	1,652	57.2	6.42	0.65
세골재	-	2.60	1,500	62.5	2.73	0.75

2. 배합비

폴리머 콘크리트에 있어 최적 배합비는 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위내에서 골재와 충전재의 양을 최대로 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화하는 것이 가장 경제적이다. 그러나 이와 같은 배합비는 시멘트 모르타에서와 같이 규정되어 있지 않으므로 본 연구에서는 반복실험에 의해 얻어진 결과를 사용하였으며, 결정된 배합비는 표 2-6과 같다.

표 2-6. 폴리머 콘크리트의 배합비

(단위 : wt.%)

결합재 (UP+ST)	충전재	조골재		세골재	
		10-13mm	5-10mm	1.2-5mm	<1.2mm
11	11	10.9	16.4	10.1	40.6

3. 시험방법

가. 시험체 제작

KS F 2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 규정된 방법에 의하여 제작하였으며, 이 때 배합은 콘크리트용 믹서로 하였으며, 다짐은 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 각각 나누어 붓다짐 한 후 테이블 바이브레이터(3,000rpm)로 충분히 다졌으며, 캐핑은 타설 후 6~10 시간 지난 다음 표준사를 사용한 폴리머 모르타르 하였다. 시험체는 온도 $25\pm 3^{\circ}\text{C}$, 습도 50~60% 에서 7일간 양생시킨 후 시험에 사용하였다.

나. 비중 및 흡수율

KS F 2518(석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 측정하였다. 단위용적중량은 기건상태의 중량을 체적으로 나누어 구하였으며, 흡수율은 오븐에서 $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 24시간 건조한 후 48시간 동안 물속에서 완전 침적시킨 다음 표면의 물기를 제거한 상태에서 무게를 측정하였다. 이 때 시험체의 치수는 $5\times 5\times 5\text{cm}$ 으로 하였다.

다. 가사시간

가사시간은 KS F 2484(폴리에스터 레진 콘크리트의 가사시간 측정방법)에 의

해 측정하였다. 이 때의 경화시간은 재료를 혼합시부터 측정된 것이며, 시험시의 온도는 12~16℃, 습도는 50~60%였다.

라. 작업성

콘크리트 작업성 시험방법에는 슬럼프 시험과 플로우 시험이 주로 이용되며, 본 연구에서는 플로우 시험을 통해 작업성을 측정하였다.

마. 경화수축

경화수축 실험에는 Ohama-Demura 방법을 이용하였으며, 시험체의 크기는 7×7×32cm 로 하였으며, 시험은 온도 12~16℃, 습도 50~60%인 실험실내에서 실시하였다

바. 압축강도

압축강도는 $\varnothing 7.5 \times 15$ cm 크기의 시험체를 제작항 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 시험하였다.

사. 휨강도

휨강도는 6×6×24cm 크기의 시험체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 시험하였다.

아. 인장강도

인장강도는 $\varnothing 7.5 \times 15$ cm 크기의 시험체를 KS F 2480(폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 시험하였다.

자. 정탄성 계수 및 포아손비

탄성계수 및 포아손비는 $\varnothing 7.5 \times 15$ cm 크기의 시험체에 스트레인 게이지(67mm

및 30mm)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아슨비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 파괴강도의 1/3까지 반복적으로 가해 얻어진 값으로 하였다.

차. 충격강도

충격강도 시험방법에는 KS에도 몇가지 규정이 있으나, 주로 금속재료에 대한 것으로 콘크리트에 적용이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 강구낙하법에 의해 재령 3. 7 14. 28일에서 시험하였으며, 시험체의 치수는 6×6×24cm, 강구의 무게는 1kg으로 하였다.

이때 충격강도(kgf·cm/cm²)는 강구의 무게(kg)×낙하높이(cm)÷파괴단면적(cm²)으로 구하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 물리적 특성

(1) 비중 및 흡수율

폴리머 콘크리트에 대한 비중 및 흡수율 시험결과는 표 2-7과 같다. 이 결과에서 볼 때, 폴리머 콘크리트의 비중은 2.34으로서 시멘트 콘크리트와 거의 비슷한 값을 보였다. 그리고 폴리머 콘크리트의 흡수율은 0.41%로서 시멘트 콘크리트의 4~6% 보다 훨씬 작을 뿐 아니라 일반 콘크리트용 골재의 흡수율 0.5~4.0% 보다도 작은 값을 보였다. 이것은 폴리머 콘크리트의 방수성이 우수함을 나타내 주는 것으로서 시멘트 콘크리트 제품에서와 같은 동결융해 현상은 생기지 않을 것임을 보여주는 결과라고 하겠다.

표 2-7. 비중 및 흡수율 시험결과

비 중			흡 수 율(%)					
시 험 치			평 균		시 험 치			평 균
2.32	2.36	2.34	2.34		0.36	0.45	0.43	0.41

(2) 가사시간

항은 경화법으로 폴리머 콘크리트 제품을 제조하는 경우, 가장 중요한 것 중의 하나가 가사시간의 설정이다. 즉 가사시간은 제품의 형상, 크기, 생산공정 등에 적합한 것이라야 한다. 이와같은 가사시간은 촉진제(CoOc) 및 개시제(MEKPO)의 양과 온도에 영향을 받는다. 그러나 비교적 균일한 온도로 조절될 수 있는 장소이면 가사시간의 조절이 가능하다.

본 실험에서 측정된 폴리머 콘크리트의 가사시간은 표 2-8와 같다.

표 2-8. 폴리머 콘크리트의 가사시간

구 분	시 험 치			평 균
가사시간 (분)	62	64	65	64

(3) 작업성

일반적으로 폴리머 콘크리트의 작업성은 결합재의 점도 및 양에 영향을 받는다. 특히 폴리머 콘크리트는 결합재의 점도로 인해 시멘트 콘크리트 보다 작업성이 현저히 저하되며, 가사시간이 짧아 작업성 확보에 주의를 기울여야 한다.

본 실험에서 측정된 플로우 값은 표 2-9과 같다.

표 2-9. 폴리머 콘크리트의 플로우 시험결과

구 분	시 험 치	평 균
플로우 값 (%)	29.7 28.3 28.9	29.0

(4) 경화수축

콘크리트는 건조에 수반하여 수축을 일으키고, 이러한 건조수축은 균열 및 체적 변화의 원인이 되며, 이는 콘크리트 구조물에 있어서 유해한 요소로 작용한다.

이와 같은 수축현상은 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 폴리머 콘크리트에서도 경화시 발생되며, 그 값은 재령 24시간에 있어서 약 $30 \times 10^{-4} \sim 60 \times 10^{-4}$ 정도로 매우 큰 편이며, 이는 불포화 폴리에스터 수지가 경화시에 7~10%정도의 큰 수축을 일으키는 데 기인하는 것이다.

이러한 경화수축 현상은 폴리머 콘크리트의 큰 단점이라 할 수 있으며, 치수의 정밀도가 요구되는 경우라든가 폴리머 콘크리트를 라이닝재나 보온재로서 사용하는 경우에 문제가 되며, 폴리머 콘크리트 제품에 있어서는 균열발생의 원인이 되어 품질을 저하시키는 등의 문제를 유발할 수 있다.

본 실험에서 측정된 결과는 표 2-10과 같다.

표 2-10. 폴리머 콘크리트의 경화수축 시험결과

구 분	시 험 치	평 균
경화수축 (1/1,000)	1.90 1.86 1.85	1.87

나. 역학적 특성

(1) 압축·휨강도

실험결과에서 볼 때 폴리머 콘크리트는 재령 6시간에서 압축강도가 재령 7일

강도의 40%를 나타내며, 휨강도는 43%를 나타내 초기강도가 일반 시멘트 콘크리트보다 크며, 또한 재령 7일만에 완전한 강도를 나타내 일반 시멘트 콘크리트에 비해 양생기간이 빠르며 고강도를 낼 수 있다 하겠다.

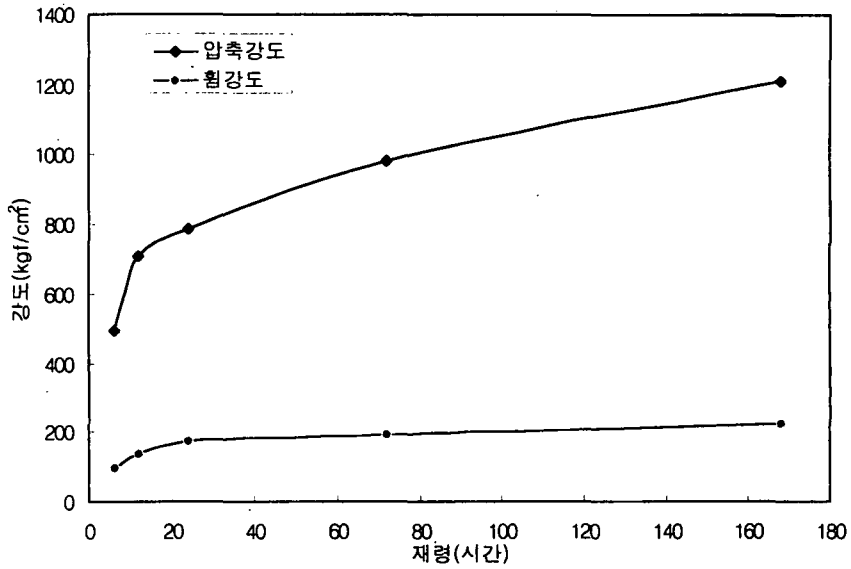


그림 2-1. 폴리머 콘크리트의 재령일별 압축 및 휨 강도

표 2-11. 폴리머 콘크리트의 재령일별 압축 및 휨강도

재령	압축강도		휨강도	
	시험치	평균	시험치	평균
6시간	488	492	90	97
	492		98	
	496		104	
12시간	698	709	126	135
	710		134	
	719		144	
1일	783	789	181	174
	789		173	
	795		167	
3일	992	985	198	191
	985		189	
	978		186	
7일	1,219	1,212	216	224
	1,211		222	
	1,205		235	

(2) 탄성계수 및 포아슨비

본 연구에서 사용된 폴리머 콘크리트의 탄성계수 및 포아슨비는 표 2-12와 같다.

표 2-12. 폴리머 콘크리트의 탄성계수 및 포아슨비

구분	실험치			평균
탄성계수 (E, $\times 105\text{kgf/cm}^2$)	2.58	2.62	2.64	2.61
포아슨비 (ν)	0.28	0.30	0.32	0.3

(3) 충격강도

그림 2-2와 표 2-13은 폴리머 콘크리트의 충격강도 실험 결과이다.

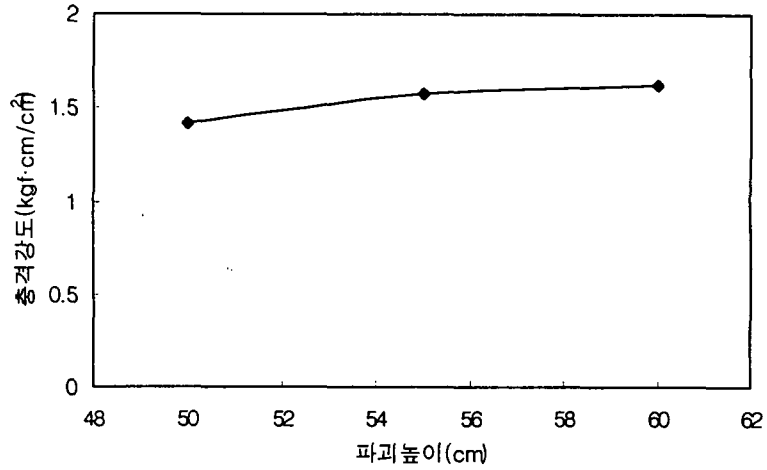


그림 2-2. 폴리머 콘크리트의 충격강도

표 2-13. 폴리머 콘크리트의 충격강도

구분	추의 무게 (kg)	파괴높이 (cm)	파괴단면적 (cm ²)	충격강도 (kgf·cm/cm ²)
시험치	1	50	36cm ²	1.42
		55		1.58
		60		1.62
평균		55		1.54

5. 결론

가. 물리적 특성

- (1) 폴리머 시멘트의 비중은 평균 2.34 이었고, 흡수율은 0.41%로 나타났다. 따라서, 단위중량은 시멘트 콘크리트와 큰 차이는 없으나, 낮은 흡수율은 지하수가 있는 지역에 사용할 경우 매우 유리함을 보여주는 결과이다.
- (2) 가사시간은 경화제 비율, 사용온도 등에 따라 다른데, 본 실험에서는 평균 63분으로 나타났다.
- (3) 플로우 시험에 의해 작업성을 시험한 바, 평균 29.0% 로서 비교적 워커빌리티가 좋지 않은 것으로 나타났으나 제품제조에는 무리가 없다.
- (4) 경화수축은 무보강의 경우 평균 1.87/1,000이었으며, 종방향 철근으로 보강한 경우 종방향 변형은 0.3/1,000으로 작았으나 횡방향 변형은 2.2/1,000로 오히려 크게 나타났다.

나. 역학적 특성

- (1) 본 실험에서 제조된 폴리머 콘크리트의 압축강도는 평균 1,212 kgf/cm², 휨강도는 224 kgf/cm² 으로 매우 높게 나타났다.
- (2) 압축강도 및 휨강도는 상온(20℃)에서 7일간 양생시킨 것과 24시간 상온(20℃), 16시간 고온(70℃) 양생시킨 것이 비슷하게 나타났으며, 이는 공장 제품용 재료로서 유리함을 보여주는 결과이다.
- (3) 폴리머 콘크리트의 탄성계수는 평균 2.61×10^5 kgf/cm², 포아손 비는 0.3이었으며, 충격강도는 1.54 kgf · cm/cm² 이었다.

제3절 고성능 폴리머 시멘트 콘크리트 개발

1. 사용재료

가. 시멘트

본 실험에서 사용된 보통 포틀랜드 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 1종 보통 포틀랜드 시멘트로서 국내 H사에서 제조한 제품이며, 그 화학적 성분은 표 2-14와 같다.

표 2-14. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 성분

(단위 : %)

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

나. 혼화재

본 실험에서 사용된 시멘트 혼화용 폴리머는 유기 혼화재인 polymer latex계의 SBR(styrene-butadiene rubber)과 EVA 파우더로 SBR은 국내 H사에서 제조한 것이고, EVA 파우더는 일본 E사에서 제조한 것으로 세골재가 포함된 pre-mix형태이다. 표 2-15, 2-16은 본 실험에서 사용된 혼화재의 일반적 성질을 나타낸 것이다.

표 2-15. SBR 라텍스의 성질

형태	색상	전고형분 (%)	pH	점도 (25℃, Pa·s)	비중 (20℃)
액상	유백색	45	8	15	1.0

표 2-16. EVA 파우더의 성질

형태	색상	평균입경 (μm)	pH	비중(20℃)
분말	백색	45	8	0.45

다. 세골재

본 실험에서 사용된 잔골재는 홍천강에서 채취한 모래가 사용되었으며, 그 물리적 성질은 표 2-17과 같다.

표 2-17. 잔골재의 물리적 성질

비중	흡수율 (%)	단위중량 (kgf/cm^3)	200번체 통과율 (%)	조립율
2.60	0.75	1,500	0.68	2.73

2. 시험체 제작

본 연구에서는 시멘트 모르터를 기준재료로 하고, 액상 SBR 라텍스와 EVA 파우더를 비교재료로 사용하였으며, 이들의 특성 비교를 용이하게 하기 위해 KS F 2476(실험실에서 폴리머 시멘트 모르타르를 만드는 방법)에 규정된 방법에 의해 제작하였다.

혼화재의 교반에는 전동식 핸드믹서를 사용하였고, 모르터의 혼합에는 강제식 믹서를 사용하였으며, 다짐에는 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 나누어 다짐봉으로 25회씩 다짐한 후 테이블 바이브레이터(3,000 vpm)로 충분히 다졌다.

폴리머 시멘트 모르터는 양생방법에 따라 강도차가 크게 나타나는데, 초기에

습윤양생을 시킨 후 건조양생하는 것이 바람직하나, 본 연구에서는 보수현장의 상황을 고려하여 별도의 양생처리를 하지 않고 온도 12~15℃, 상대습도 50~60% 인 실험실 내에서 재령별(3, 7, 14, 28일)로 건조양생 시킨 후 시험에 사용하였다.

시험재료의 종류에 따른 배합비는 다음의 표 2-18과 같다.

표 2-18. 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합비

종류	시멘트:모래 (중량비)	폴리머-시멘트비 (%)	물-시멘트비 (%)
시멘트	1 : 3	0	55
SBR	1 : 3	10	44
EVA	1 : 3	10	40

3. 시험방법

가. 비중 및 흡수율

KS F 2518(석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 측정하였다. 단위용적중량은 기건상태의 중량을 체적으로 나누어 구하였으며, 흡수율은 오븐에서 105±2℃로 24시간 건조한 후 48시간 동안 물속에서 완전 침적시킨 다음 표면의 물기를 제거한 상태에서 무게를 측정하였다. 이 때 시험체의 치수는 5×5×5cm으로 하였다.

나. 경화시간

경화시간은 KS F 2436(관입저항에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법)에 의해 측정하였다. 이때의 경화시간은 재료를 혼합시부터 측정된 것이며, 실험실의 온

도는 12~16℃, 습도는 50~60%였다.

다. 작업성

콘크리트 작업성 시험방법에는 슬럼프 시험과 플로우 시험이 주로 이용되며, 본 연구에서는 KS F 2474(폴리머 시멘트 모르타르의 슬럼프 시험방법)에 규정된 슬럼프 시험을 통해 작업성을 측정하였다.

라. 건조수축

건조수축 실험에는 Ohama-Demura 방법을 이용하였으며, 시험체의 크기는 7×7×32cm 로 하였으며, 시험은 온도 12~16℃, 습도 50~60%인 실험실내에서 실시하였다 수축량은 경화초기와 재령 3, 7, 14, 28일에서 측정되었다.

마. 열팽창계수

보수재료로서 기존 콘크리트와 성질이 상이한 것을 사용하면 열에 의한 팽창, 수축의 차이가 커 보수재료로서 역할을 제대로 못할 경우가 있다 따라서 본 실험에서는 열팽창성을 비교키 위해 각 시험체에 Strain gauge를 부착한 후 온도 상승에 따른 열팽창계수를 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\alpha = \epsilon / \Delta T$$

α : 열팽창계수

ϵ : 변형률

ΔT : 온도변화량(℃)

바. 압축, 휨 및 인장강도

재령을 3, 7, 14, 28일로 하여 재령별 압축, 휨, 할열인장강도 시험을 하였으며, 강도시험은 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도시험방법)에 규정된 방법에 의

해 실시하였다. 또한 시험체의 크기는 압축강도 및 인장강도 시험용이 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$, 휨강도 시험용이 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 였다

사. 정탄성 계수 및 포아손비

탄성계수 및 포아손비는 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아손비 시험방법)에 규정된 2가지 방법 중 와이어 스트레인 게이지법을 이용하여 구하였다. 정탄성계수는 파괴하중의 40%까지 반복적으로 가해 얻어진 응력-변형을 곡선의 기울기로 부터 얻어진 세컨트계수로 하였으며, 시험체의 치수는 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 이고, 사용된 스트레인 게이지의 크기는 30mm였다.

아. 충격강도

충격강도 시험방법에는 KS에도 몇가지 규정이 있으나, 주로 금속재료에 대한 것으로 콘크리트에 적용이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 강구낙하법에 의해 재령 3, 7, 14, 28일에서 시험하였으며, 시험체의 치수는 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$, 강구의 무게는 1kg으로 하였다.

이때 충격강도($\text{kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$)는 강구의 무게(kg) \times 낙하높이(cm) \div 파괴단면적(cm^2)으로 구하였다.

자. 부착강도

부착강도 시험은 휨부착시험법과 대각선 압축부착시험, 즉 ASTM C 882(콘크리트와 에폭시 수지의 부착강도 시험방법)에 제시된 방법을 사용하였다. 시험에 사용된 시험체는 휨부착 시험용의 경우 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 크기의 각주형이었고, 대각선 압축부착 시험용의 경우 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 크기의 원주형이었다. 제작은 보통 포트랜드 시멘트 모르터를 절반 타설하여 28일간 양생시킨 후, 폴리머 시멘트 모르터를 타설하여 재령별(3, 7, 14, 28일)로 시험하였다. 부착강도는 휨강도(M/Z),

압축강도(P/A)를 산출하는 것과 동일한 방법으로 구하였으며, 부착단면적은 썸부착 시험의 경우 36cm², 압축부착의 경우 91cm²이었다.

4. 결과 및 고찰

가. 물리적 특성

(1) 단위용적중량 및 흡수율

단위용적중량 및 흡수율에 대한 시험결과는 표 2-19와 같고, 이 때의 실내 온도는 20±2 °C 였다.

이 결과에서 볼 때 단위용적중량은 시멘트 모르타가 2,251kgf/m³, SBR 모르타가 2,257kgf/m³, EVA모르타가 2,248kgf/m³으로 거의 같은 값을 보였으나, 흡수율은 시멘트 모르타가 8.9%, SBR 모르타가 2.53%, EVA 모르타가 8.05%로서 SBR 모르타가 작고 EVA 모르타는 시멘트 모르타와 비슷한 값을 보여, SBR 모르타의 방수성이 우수함을 알 수 있다.

표 2-19. 폴리머 시멘트 콘크리트의 단위용적 중량 및 흡수율

종류	단위용적중량 (kgf/m ³)			흡수율 (%)				
	시험치			평균	시험치			평균
시멘트 모르타 (UM)	2,251	2,259	2,242	2,251	9.12	8.55	9.03	8.90
SBR 모르타 (LM)	2,249	2,263	2,260	2,257	2.37	2.58	2.64	2.53
EVA 모르타 (EM)	2,246	2,249	2,250	2,248	8.07	7.84	8.24	8.05

(2) 응결시간

응결시간은 현장에서의 사용가능 시간을 결정하는데 있어서 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 일반적으로 시멘트는 물과 접하여도 곧 굳지 않는데 이것은

응결반응을 일으키기 때문이다. 그러나 이와 같은 반응속도는 시멘트의 종류와 품질, 기온이나 시공조건, 혼화재의 사용 유·무에 따라 큰 영향을 받는다.

표 2-20은 실내온도 12~16 ℃, 습도 50~60%에서 재료별 응결 시간을 측정한 것으로 초기 응결시간이 시멘트 모르타가 420분, SBR 모르타가 480분, EVA 모르타가 360분이었고, 최종 응결시간은 시멘트 모르타와 SBR 모르타가 720분, EVA 모르타가 600분으로서 EVA 모르타가 시멘트 모르타와 SBR 모르타에 비해서 조금 빠른 응결시간을 나타냈다.

표 2-20. 폴리머 시멘트 콘크리트의 응결시간

종류	초기응결시간(분)	최종응결시간(분)
시멘트 모르타 (UM)	420	720
SBR 모르타 (LM)	480	720
EVA 모르타 (EM)	360	600

(3) 건조수축

일반적으로 시멘트 경화체는 다공질로서, 그 수화물의 겔공극 또는 모세관공극 중에는 유리수가 흡착되어 있어 건조에 의해 일부 유리수가 휘발하면 그 간극을 좁히려고 하는 모세관 장력이 발생하여 수축을 일으킨다. 콘크리트의 건조수축에 영향을 미치는 요소로서는 시멘트량과 품질, 골재량과 품질 그리고 단위수량, 공기량, 양생방법 및 부재의 모양과 크기 등을 들 수 있다.

표 2-21은 실내온도 12~16 ℃, 습도 50~60 %인 실험실 내에서 재령별로 건조수축율을 측정한 결과로서 시멘트 모르타가 9.1×10^{-4} , SBR 모르타가 7.8×10^{-4} , EVA 모르타가 10.4×10^{-4} 으로 나타나 SBR 모르타가 가장 작은 반면 EVA 모

르터는 시멘트 모르터보다 약간 크게 나타났다. 이는 SBR 라텍스를 사용한 경우 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 건조수축이 감소하나, EVA나 VA/VeoVA와 같은 파우더계를 사용하였을 때에는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 겹수축도 증가하여 EVA 파우더의 경우 폴리머-시멘트비 20%일 때 건조수축이 약 20×10^{-4} 에 이른다는 연구와 깊은 관련성이 있다고 할 수 있겠다.

따라서 라텍스계나 파우더계 혼화재를 모르터 제조에 사용할 때에는 시멘트 모르터와 비슷한 건조수축량을 갖도록 배합비를 결정하는 것이 바람직 할 것이다.

표 2-21. 폴리머 시멘트 콘크리트의 건조수축

재령(일) 종류	3	7	14	28
시멘트 모르터 (UM)	0.00025	0.00063	0.00082	0.00091
SBR 모르터 (LM)	0.00019	0.00036	0.00065	0.00078
EVA 모르터 (EM)	0.00028	0.00075	0.00086	0.00104

(4) 열팽창계수

구조물에 있어서 그 구조물 전체가 같은 재료로 이루어져 있다면 온도변화에 따라 균일한 팽창, 수축을 일으킬 것이다. 그러나 구조물을 이루고 있는 콘크리트나 모르터는 시멘트, 물, 골재, 혼화재 등을 혼합하여 만들어지기 때문에 구성 재료의 종류, 재료의 품질, 배합비 등에 따라 열팽창계수가 달라지게 된다. 만일 보수재료로서 열팽창이 큰 재료를 사용하였을 경우에는 보수부분이 솟아오르게 되어 다시 균열이 발생하는 등 보수재료로서의 역할을 하지 못하게 된다.

표 2-22은 온도변화에 따른 변형율을 측정된 결과로 이를 이용해 열팽창계수

를 구한 결과이다. 이 결과를 보면 시멘트 모르타가 $1.17 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, SBR 모르타가 $1.37 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, EVA 모르타가 $1.51 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 로서 폴리머 시멘트 모르타의 열팽창계수가 시멘트 모르타의 열팽창계수보다 약간 크게 나타남을 알 수 있다.

표 2-22. 폴리머 시멘트 콘크리트의 열팽창계수

종류	열팽창계수 ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)
시멘트 모르타 (UM)	1.17
SBR 모르타 (LM)	1.37
EVA 모르타 (EM)	1.51

나. 역학적 특성

(1) 압축, 휨, 인장강도

콘크리트의 역학적 특성을 나타내는 항목에는 여러가지가 있으나 그 중에서 대표적인 것이 강도라 할 수 있다. 일반적으로 시멘트 콘크리트의 강도발현에 미치는 조건으로서는 재료의 품질, 배합비, 양생조건, 공기량, 재령, 시공방법 등이 있다.

본 연구에서 사용된 모르타의 재령별 압축, 휨 및 할열인장강도 시험을 실시한 결과는 표 2-23, 2-24 및 2-25와 같다.

압축강도 시험결과를 보면 시멘트 모르타가 $264.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ 인데 비해서 EVA 모르타가 1.8배인 $479.3\text{kgf}/\text{cm}^2$, SBR 모르타는 1.4배 정도인 $378.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 나타났고, 휨강도의 경우에는 시멘트 모르타가 $39.9\text{kgf}/\text{cm}^2$ 인데 비해 SBR 모르타가 2.3배인 $92.6\text{kgf}/\text{cm}^2$, EVA 모르타는 2.1배인 $82.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 나타났으며, 할열인장강도는 시멘트 모르타가 $27.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ 인데 비해서 SBR 모르타가 1.9배 정도인 $51.9\text{kgf}/\text{cm}^2$, EVA 모르타는 1.5배 정도인 $48.1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 나타났다.

전체적으로 볼 때 양생 10일까지의 강도 발현이 뚜렷했으나 양생 10일 이후부터는 강도증가가 둔화되었고, 재료에 따라 약간의 차이는 있지만 재령 28일을 기준으로 할 때 재령 10일 강도는 약 80% 정도로 나타났다.

이 결과에서 볼 때 압축강도는 EVA 모르터가 가장 크고, 휨이나 할열인장강도에서는 SBR 모르터가 가장 큰 값을 보였는데, 이는 폴리머-시멘트비 10%일 때 EVA 모르터가 압축강도가 SBR 모르터의 90% 정도, 휨강도는 80% 정도라는 선행연구 결과와 부합되지 않는다. 즉, 본 연구에는 EVA 모르터가 SBR 모르터보다 압축강도는 크고, 휨강도는 90% 정도로 나타났는데 이러한 결과는 EVA 모르터가 pre-mix 형태로 강도증진제가 첨가되었기 때문인 것으로 판단된다.

표 2-23. 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도 시험결과

(단위 : kgf/cm²)

재령(일) \ 종류	3	7	14	28
시멘트 모르터 (UM)	77.3	188.5	241.3	264.4
SBR 모르터 (LM)	150.3	284.7	347.3	378.6
EVA 모르터 (EM)	298.3	365.0	430.9	479.3

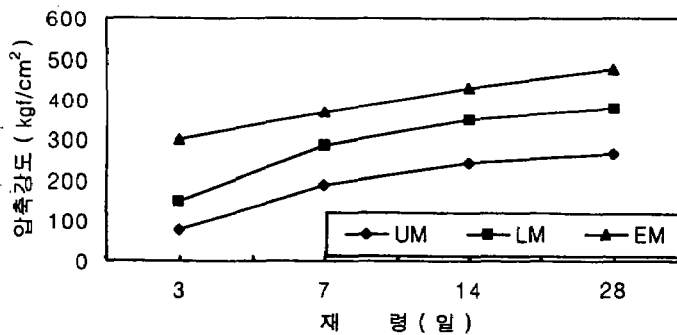


그림 2-3. 시멘트 종류별 재령과 압축강도와의 관계

표 2-24. 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도 시험결과

(단위 : kgf/cm²)

재령(일) \ 종류	3	7	14	28
시멘트 모르터 (UM)	25.2	31.0	35.6	39.9
SBR 모르터 (LM)	35.8	62.0	79.4	92.6
EVA 모르터 (EM)	29.6	55.3	70.1	82.4

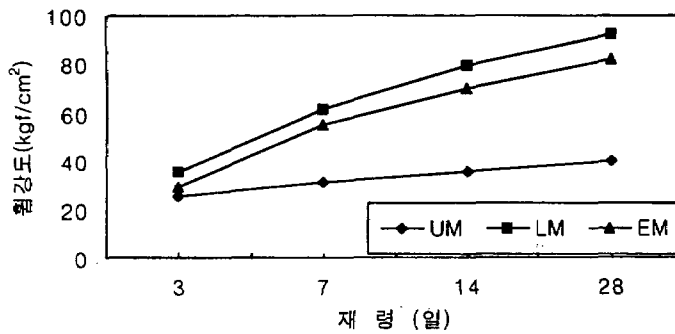


그림 2-4. 시멘트 종류별 재령과 휨강도와와의 관계

표 2-25. 폴리머 시멘트 콘크리트의 활열인장강도 시험결과

(단위 : kgf/cm²)

재령(일) \ 종류	3	7	14	28
시멘트 모르터 (UM)	8.3	18.7	24.6	27.5
SBR 모르터 (LM)	18.9	36.5	46.3	51.9
EVA 모르터 (EM)	17.5	32.6	42.4	48.1

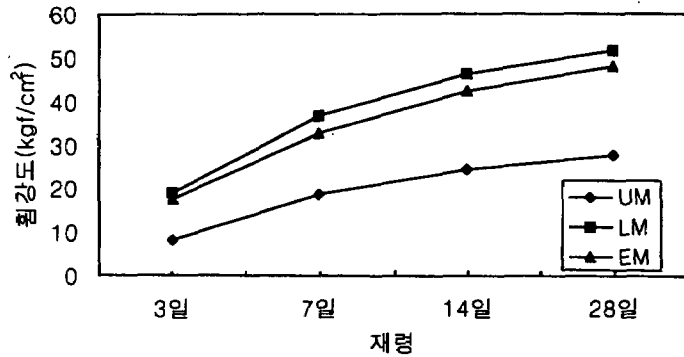


그림 2-5. 시멘트 종류별 재령과 활렬인장강도와의 관계

(2) 탄성계수 및 포아슨비

탄성계수는 응력-변형도 곡선으로 부터 구하고, 포아슨비는 세로변형율에 대한 가로변형율의 비로 구해진다. 탄성계수 및 포아슨비의 산출결과는 표 2-26과 같다. 이 결과에서 보면 탄성계수는 시멘트 모르타가 $2.18 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$, SBR 모르타가 $2.35 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$, EVA 모르타가 $2.37 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 으로 보통 콘크리트의 경우 압축강도 및 강도가 클수록 탄성계수가 크게 나타나는 경향과 일치하였다. 또한 포아슨비는 시멘트 모르타가 0.15, SBR 모르타가 0.25, EVA 모르타가 0.25로 나타났는데, 이것은 SBR 모르타나 EVA 모르타와 비슷한 $400 \sim 500 \text{kgf/cm}^2$ 정도의 압축강도를 가진 시멘트 콘크리트의 탄성계수가 $3 \sim 3.5 \text{kgf/cm}^2$ 이고, 포아슨비가 0.2 내외인 것과 비교하면 SBR 모르타와 EVA 모르타가 탄성계수는 작고 포아슨비가 큼을 알 수 있다. 한편 극한변형도는 시멘트 모르타가 0.0014인데 반해 SBR 모르타가 0.0019, EVA 모르타가 0.0021로 높은 값을 보였다. 이러한 결과들로부터 SBR 모르타와 EVA 모르타의 변형성은 시멘트 모르타 보다 크다는 것을 알 수 있는데, 이는 혼화제인 SBR 라텍스와 EVA 파우더의 연성에 기인하기 때문인 것으로 사료된다.

표 2-26. 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄성계수 및 포아슨비

종류	탄성계수(E, $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)			포아슨비(ν)				
	실험치			평균	실험치			평균
시멘트 모르터 (UM)	2.16	2.17	2.21	2.18	0.15	0.17	0.14	0.15
SBR 모르터 (LM)	2.37	2.34	2.35	2.35	0.24	0.27	0.25	0.25
EVA 모르터 (EM)	2.35	2.37	2.38	2.37	0.25	0.24	0.25	0.25

(3) 충격강도

일반적으로 시멘트 콘크리트는 충격에 약한 취성재료로서, 충격강도는 말뚝의 향타, 충격하중을 받는 기계의 기초, 프리캐스트부재의 충돌 등과 같은 경우에 중요하다. 보수재료로 사용시에도 구조물이나 포장의 표면에 얇게 타설되는 경우가 많아 충격강도는 중요하다. 본 연구에 사용된 모르터의 재령별 충격강도 시험결과는 표 2-27과 같다. 이 결과를 보면 시멘트 모르터의 충격강도가 $0.83 \text{kgf} \cdot \text{cm/cm}^2$ 에 비해 SBR 모르터는 1.8배인 $1.53 \text{kgf} \cdot \text{cm/cm}^2$, EVA 모르터는 1.3배인 $1.11 \text{kgf} \cdot \text{cm/cm}^2$ 으로 높게 나타났는데, 이는 보수재료로 사용시 탄성증진면에서 유리함을 보여주는 결과라 할 수 있다. 그리고 압축, 휨 및 할열인장강도와 마찬가지로 양생 10일까지의 충격강도의 발현이 크게 나타나 재령 28일을 기준으로 할 때 약 80% 정도의 충격강도를 보였다.

표 2-27. 폴리머 시멘트 콘크리트의 재령일별 충격강도 시험결과

종류	중량(kg)	재령(일)	낙하높이(cm)	범위(cm)	충격강도 (kgf · cm/cm ²)
시멘트 모르터 (UM)	1	3	17.5	36	0.49
		7	20		0.56
		14	25		0.69
		28	30		0.83
SBR 모르터 (LM)		3	35		0.97
		7	47.5		1.32
		14	50		1.39
		28	55		1.53
EVA 모르터 (EM)		3	27.5		0.76
		7	32.5		0.90
		14	35		0.97
		28	40		1.11

(4) 부착강도

보수재료를 현장에 적용할 때 부착강도가 낮으면 보수효과를 발휘할 수 없기 때문에 부착강도는 매우 중요하다. 이와 같은 부착성을 본 연구에서는 휨과 대각선 압축에 의한 부착강도 시험을 통해 구명하였다.

휨부착강도 시험결과는 표 2-28과 같다. 이결과를 살펴보면 시멘트 모르터가 7.0kgf/cm²인데 비해 SBR 모르터는 53배인 36.9kgf/cm², EVA 모르터는 3.5배인 24.3kgf/cm²으로 매우 높게 나타나 폴리머 시멘트 모르터의 부착강도가 우수함을 알 수 있다.

휨부착시험 후의 파괴양상을 살펴보면 거의 모든 시험체의 부착계면에서 분

리가 일어났는데, SBR 모르터의 시험체에서만 간혹 시멘트 모르터의 일부가 남아 있었다.

한편 표 2-29는 대각선 압축부착강도를 시험한 결과이다. 이 결과에서도 SBR 모르터가 95.5kgf/cm², EVA 모르터가 91.4kgf/cm²으로 시멘트 모르터의 78.8kgf/cm²에 비해 높게 나타났는데, 파괴는 모두가 시멘트 모르터와 폴리머 시멘트 모르터의 계면에서 일어났다. 이와 같은 부착강도는 압축, 휨 및 할열인장 강도와 마찬가지로 재령 28일을 기준으로 할 때 재령 10일에서 약 80% 정도로 나타났다.

이상의 결과와 같이 부착성이 현저히 개선되는 것은 폴리머를 시멘트 모르터의 혼입함으로써 미세공극이 감소되고 co-matrix상 형성으로 인하여 치밀한 조직구조가 형성되기 때문인 것으로 분석된다.

표 2-28. 폴리머 시멘트 콘크리트의 재령일별 휨부착강도 시험결과

종류	재령(일)	부착강도 (kgf/cm ²)
UM-UM	3	3.2
	7	4.6
	14	6.3
	28	7
UM-LM	3	19.1
	7	28
	14	33.5
	28	36.9
UM-EM	3	15.4
	7	18.7
	14	21.1
	28	24.3

표 2-29. 폴리머 시멘트 콘크리트의 재령일별 대각선 압축부착강도 시험결과

종류	재령(일)	부착강도 (kgf/cm ²)
UM-UM	3	33.5
	7	60.1
	14	73.6
	28	78.8
UM-LM	3	49.9
	7	75.4
	14	88.5
	28	95.5
UM-EM	3	45.8
	7	70.4
	14	87.5
	28	91.4

5. 결론

- 가. 단위용적중량 시험결과 시멘트 모르터와 비슷하게 나타났으며, 흡수율은 SBR모르터가 가장 작고 EVA 모르터는 시멘트 모르터와 비슷한 값을 보여 방수성을 개선할 목적으로 혼화재를 사용할 경우는 EVA 파우더 보다는 SBR 라텍스를 사용하는 것이 유리한 것으로 나타났다.
- 나. 건조수축을 측정한 결과, SBR 모르터가 가장 작은 반면 EVA 모르터는 오히려 시멘트 모르터보다 크게 나타나 EVA 파우더를 사용할 때에는 건조수축이 크다는 점을 충분히 고려해야 한다.
- 다. 열팽창계수는 시멘트 모르터가 $1.17 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, SBR 모르터가 $1.37 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, EVA 모르터가 $1.51 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 으로 나타나 SBR 모르터와 EVA 모르터가 시멘트 모르터보다 약간 크게 나타났다.
- 라. 강도시험 결과 SBR 및 EVA 모르터가 시멘트 모르터에 비해 압축강도는 1.4~1.8배, 휨강도는 2.1~2.3배, 할열인장강도는 1.5~1.9배로서 높은 값을 보였다.
- 마. 탄성계수는 시멘트 모르터가 $2.18 \times 10^5 \text{kgf}/\text{cm}^2$, SBR 모르터가 $2.35 \times 10^5 \text{kgf}/\text{cm}^2$, EVA 모르터가 $2.37 \times 10^5 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 였고, 포아슨비는 시멘트 모르터가 0.15, SBR 모르터가 0.25, EVA 모르터가 0.25로 나타났다.
- 바. 충격강도 시험결과 시멘트 모르터의 $0.83 \text{ kg} \cdot \text{cmf}/\text{cm}^2$ 에 비해 SBR 모르터는 1.8배인 $1.53 \text{ kg} \cdot \text{cmf}/\text{cm}^2$, EVA 모르터는 1.3배인 $1.11 \text{ kg} \cdot \text{cmf}/\text{cm}^2$ 으로 높게 나타났다.
- 사. 부착강도 시험결과 시멘트 모르터의 $0.83 \text{ kg} \cdot \text{cmf}/\text{cm}^2$ 에 비해 SBR 모르터가 5.3배, EVA 모르터는 3.5배 정도로 매우 크게 나타났고, 대각선 압축 부착강도시멘트 모르터에 비해 SBR 모르터와 EVA 모르터가 매우 높게 나타났다.
- 아. 이상의 결과로부터 구조물의 전자재로서 폴리머 시멘트 모르터의 이용은 효과적임을 확인 할 수 있었다.

여 백

제 3 장

농업수리시설용 제품개발

여 백

제3장 농업수리시설용 제품개발

제1절 서론

우리나라 농업이 국제경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 안정적이고 효율적인 농어생산활동을 통하여 생산성을 향상시키는데 있다. 특히, 장기적인 농업용수 확보 대책이 절실히 요구되는 가운데, 앞으로는 기존 수자원을 효율적으로 이용할 수 있는 농업수리시설용 집·배수 시설의 개발을 통한 농업용 수리구조물의 안정화가 시급한 과제로 대두되고 있다.

농업수리시설은 농촌이라는 광범위한 지역에 불특정한 상태로 건설되고 집약적으로 장기간 이용함에 따라 기능성의 유지 및 유지관리에 특히 어려움을 나타내고 있다. 특히, 시공 초기단계부터 각종 결함이 나타나고 있어서 시설물의 구조성능 보강 및 내구성 확보는 경제적·기술적 측면에서 적극적으로 모색되어야 할 시점에 있다.

본 연구에서는 최근 신소재로 크게 각광을 받고 있는 석재-폴리머 복합소재를 사용하여 농업수리시설용 플룸 및 낙차공을 개발하는데 있다. 기존의 시멘트 콘크리트를 사용한 플룸 및 낙차공은 강도저하, 염해, 동결융해 등 성능저하가 나타나며 용수를 효율적으로 집수·배수하는데 한계를 나타내고 있다. 본 연구 개발에서 개발한 석재-폴리머 복합소재는 역학적 특성, 내구성, 내염성 등이 기존의 구조물용 재료보다 대단히 우수하여 전국의 농촌에 설치되어 있는 각종 농업용 수리시설물을 내구성이 우수하고 경제성이 있는 제품으로 대체가 가능하여 농업생산은 물론 농촌환경의 개선에도 기여할 수 있다.

제2절 플룸 및 낙차공 개발

1. 재료

가. 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지(unsaturated polyester resin)란 그 구성분자인 모노머(monomer)가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말한다.

본 실험에서 사용할 불포화 폴리에스터 수지는 국내 A사의 올소타입(ortho type)으로서 코발트계 경화 촉진제(CoOc)가 첨가되어 있으며, 성분은 다음의 표 3-1과 같다.

표 3-1. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa·s)	산 가	스틸렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

나. 개시제

촉진제가 첨가된 불포화 폴리에스터 수지는 개시제만 첨가되면 경화반응이 일어난다. 개시제에는 속경형, 표준경화형, 지연형의 3종류가 있다. 국내 A사 제품으로서 MEKPO 55%, DMP 45%로 구성된 표준경화형 개시제를 사용하며, 그 성질은 표 3-2와 같다.

표 3-2. 개시제의 성질

구 성	비 중 (25℃)	활성 산소
MEKPO 55% DMP 45%	1.12	10.0

다. 수축감소제

불포화 폴리에스터 수지는 경화시 7~10% 정도의 수축을 일으키게 되는데, 이것은 수지 중에 함유되어 있는 스티렌 모노머(styrene monomer)의 함량에 따라 변화한다. 이러한 수축을 감소시키기 위하여 열가소성인 폴리스틸렌을 스티렌 모노머에 용해시킨 수축저감제를 사용하며, 그 성질은 표 3-3과 같다.

표 3-3. 수축감소제의 성질

점 도 (25°C, Pa · s)	폴리스틸렌 (%)	스티렌모노머 (%)	외 관
35	36	64	투 명

라. 충전재

충진재는 무기질로서 흡수성이 작아야 하며, 비교적 고가인 폴리머의 사용량을 줄일 목적으로 사용한다. 입자크기는 1~30 μ m 정도, 분말도는 2,500~3,000 cm²/g, 수분함량 0.1 % 미만인 것을 사용한다.

표 3-4. 충전재의 성질

종류	비중 (gr/cc)	수분 (%)	pH	평균입자 크기(μ m)	325번체 잔부(%)
HC-1	0.75	0.3이하	8.8	13	0.03

마. 골재

폴리머 콘크리트에서도 자갈과 모래를 필요로 하는 것은 시멘트 콘크리트와 마찬가지로이다. 이밖에도 인공골재는 고가이지만 소재 자체의 특성을 인위적으로 조정할 수 있어 특수목적에 사용된다. 천연골재의 선정조건은 시멘트 콘크리트의 경우와 같다. 다만, 함수율이 커지만 강도가 저하하기 때문에 인위적으로 건조시켜 함수율이 0.3%이하가 되도록 하여야 한다.

폴리머 콘크리트용 세골재는 보통의 강모래를 사용할 수 있으나 유기 불순물을 함유하지 않아야 함, 함수율이 0.1%이하이어야 한다.

본 실험에서 사용된 세골재는 강원도 홍천강에서 채취한 하천 모래이며, 조골재는 강원도 춘천군 남면 광판리에서 생산되고 있는 입경 13mm이하인 화강암 쇄석이다. 이들에 대한 물리적 성질의 시험 결과는 표 3-5와 같다.

표 3-5. 골재의 물리적 성질

종류	골재의 최대크기	비 중	흡 수 율 (%)	조 립 율 (%)
조골재	13 mm	2.62	0.62	6.42
세골재	-	2.60	0.75	2.73

2. 시험체 제작

플름의 두께는 바닥판의 휨 시험에 의해 결정하도록 KS에 규정되어 있다. 따라서 본 연구에서는 플름 전체를 제작하지 않고 판상시험체를 제작하여 시험을 간소화 하였다. 압축강도, 휨강도, 활열인장강도 및 탄성계수 등을 구하기 위해 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 크기의 원주형과 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 크기의 각주형 시험체를 제작하였다.

이와 같은 시험체는 온도가 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 이고, 습도가 $60 \pm 5\%$ 인 항온항습실에서 7

일간 양생시킨후 시험하였다.

표 3-6. 폴리머 콘크리트의 배합비

(단위 : wt.%)

결 합 재	충진재	플 재	
		쇄 석	모 래
15.0	15.0	30	40

표 3-7. 결합재의 조성

불포화 폴리에스터 수지	수축감소제	CoOc	MEKPO
80%	20%	수지의 0.5%	수지의 1%

표 3-8. 휨시험 시험체의 세부사항

(단위 : mm)

종 류	길 이	폭	두께	철근지름	격자 크기
D20- \emptyset 3.2	500	300	20	3.2	100×100
D20- \emptyset 4.0	500	300	20	4.0	100×100
D20- \emptyset 6.0	500	300	20	6.0	100×100
D25- \emptyset 3.2	500	300	25	3.2	100×100
D25- \emptyset 4.0	500	300	25	4.0	100×100
D25- \emptyset 6.0	500	300	25	6.0	100×100
D30- \emptyset 3.2	500	300	30	3.2	100×100
D30- \emptyset 4.0	500	300	30	4.0	100×100
D30- \emptyset 6.0	500	300	30	6.0	100×100

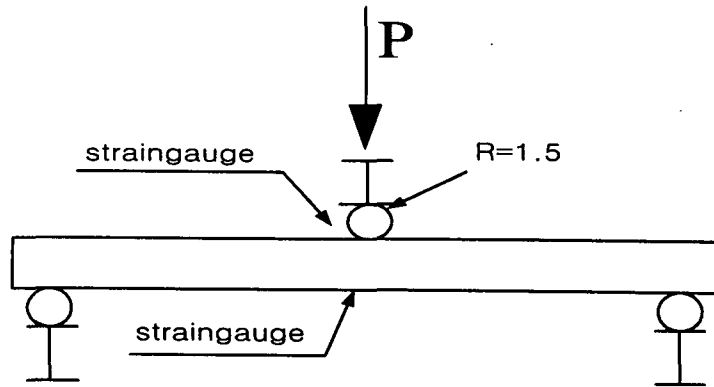


그림 3-1. 3점 휨 시험 개요도

3. 시험방법

압축, 할열인장, 휨 및 탄성계수 시험은 KS F 2481, KS F 2480, KS F 2482 및 KS F 2438에 준하여 실시하였다.

한편 판상시험체의 휨 시험은 그림 3-1과 같이 지간 25cm($a/d=6$ 이상)로 모두 휨파괴가 일어나도록 하였으며, 철근의 인장방향과 시험체의 압축 및 인장 측에 각각 스트레인게이지를 부착하여 변형율을 측정하였다.

4. 실험결과

소재로 사용된 폴리에스터 폴리머 콘크리트의 역학적 성질에 대한 시험결과이다. 이 결과로부터 각종 강도는 시멘트 콘크리트에 비해 높은 반면에 탄성계수는 오히려 작게 나타났고, 극한 변형율은 시멘트 콘크리트에 비해 2.3배 정도 크게 나타났다. 또한 판상시험체에 대한 휨시험에 의해 얻어진 균열모멘트와 KS 기준에 제시된 균열모멘트이다.

이 결과로 부터 철근을 사용한 얇은 폴리머 콘크리트판은 그 두께 (20~

30mm)를 적당히 조절함으로써 비교적 넓은 범위(0.83~3.25kN·m)의 균열모멘트를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 KS에 규정되어 있는 플룸을 개발하는데 있어서 단면치수의 결정에 중요한 자료라고 할 수 있다. 즉, 판 두께 20mm일 경우는 폭이 200~300mm 판 두께 25mm일 경우는 폭이 350~500mm, 판 두께 30mm일 경우는 폭이 550~700mm인 플룸을 제조할 수 있다.

표 3-9. 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

압축강도 (kgf/cm ²)	휨 강도 (kgf/cm ²)	할열인장강도 (kgf/cm ²)	정탄성계수 (×10 ⁵ kgf/cm ²)
750	192	103	2.25

표 3-10. 폴리머 콘크리트 판의 휨시험 결과

종 류	균열하중 (kNf)	균열모멘트 (kNf·m)	KS 규정 (L=1m)	
			Width of Flume (mm)	Cracking moment (kNf·m)
D20-Ø3.2	13.42	0.83	200	0.74
D20-Ø4.0	11.83	0.74	250	0.73
			300	0.97
D20-Ø6.0	12.73	0.79	350	1.20
			400	1.49
D25-Ø3.2	24.52	1.53	450	1.51
			500	1.82
D25-Ø4.0	24.81	1.55	550	2.15
			600	2.12
D25-Ø6.0	28.42	1.77	650	2.51
			700	2.91
D30-Ø3.2	47.93	2.99	700	2.91
D30-Ø4.0	49.44	3.09		
D30-Ø6.0	52.09	3.25		

그림 3-2는 판두께가 30mm(20, 25, 30mm중에서 30mm만 선택)인 시험체의 철근지름별 모멘트-곡률관계를 나타낸 것이다. 곡률은 판의 인장측과 압축측 변형률($\varphi = \frac{\text{압축변형률} + \text{인장측변형률}}{D}$)에 의해 구해졌다.

이와 같은 관계도로부터 철근비는 부재의 강성 및 균열모멘트 증가에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

모멘트-곡률 관계도에서 볼 때 취성과파괴가 일어난 것처럼 나타난 것은 실험조건에 기인하는 것이며, 실제로는 균열이 발생(인장측 변형률 1200 μ 정도)된 후에도 철근의 구속작용에 의해 상당한 연성을 나타냈다.

이 결과로 부터 얇은 판에서 철근비의 증가에 따른 부재의 휨 저항성 개선 효과는 기대하기 어렵지만 부재의 연성 증진에 효과적임을 알 수 있다.

그림 3-3는 철근비(철근 지름 $\phi=3.2, 4.0, 6.0\text{mm}$ 중에서 $\phi=3.2\text{mm}$ 만 선택)가 같고 두께가 다른 판의 모멘트-곡률 관계를 나타낸 것이고, 그림 3은 판상 시험체의 균열모멘트-두께 관계를 나타낸 것이다.

그림 3-4에서 볼 때 균열발생시 곡률의 60~70%의 범위($\varphi=400\sim 500\mu$)에서 거의 직선적인 관계($R=0.99$ 이상)를 나타냈다. 여기에서 $D=20, 25, 30\text{mm}$ 일 때 휨 강성($EI = \frac{M}{\varphi}$)을 산출해 보면 각각 12.5, 20.1, 47.4kNf \cdot m²로서 두께가 클 수록 크게 나타났다.

즉, 그림 3-4에서 보면 얇은 판의 균열모멘트는 판의 두께에 따라 거의 직선 관계로 상승됨을 알 수 있다.

또한 그림 3-5는 균열모멘트-변형률의 관계곡선으로서 폴리머 콘크리트판의 균열은 인장측 변형률이 1200 μ 정도에서 발생하여 급격히 전체 단면으로 확산되었다.

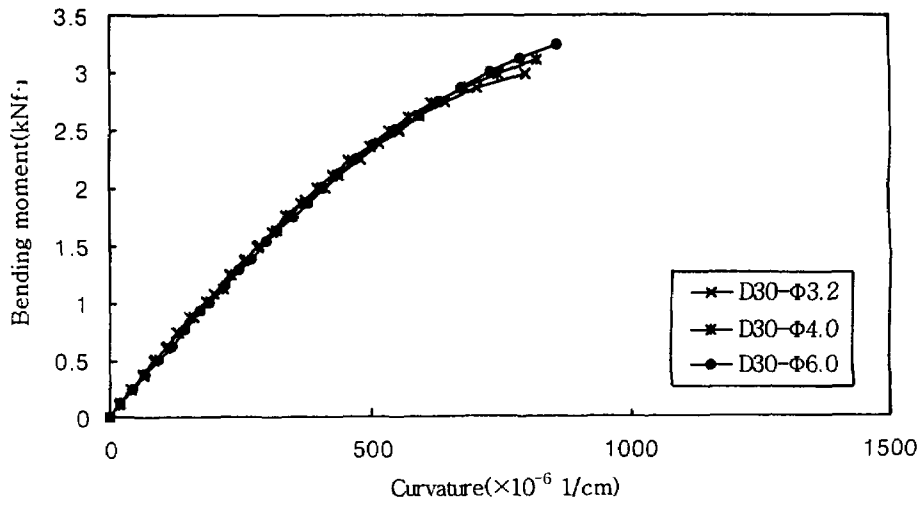


그림 3-2. 철근지름에 대한 곡률과 휨모멘트와의 관계

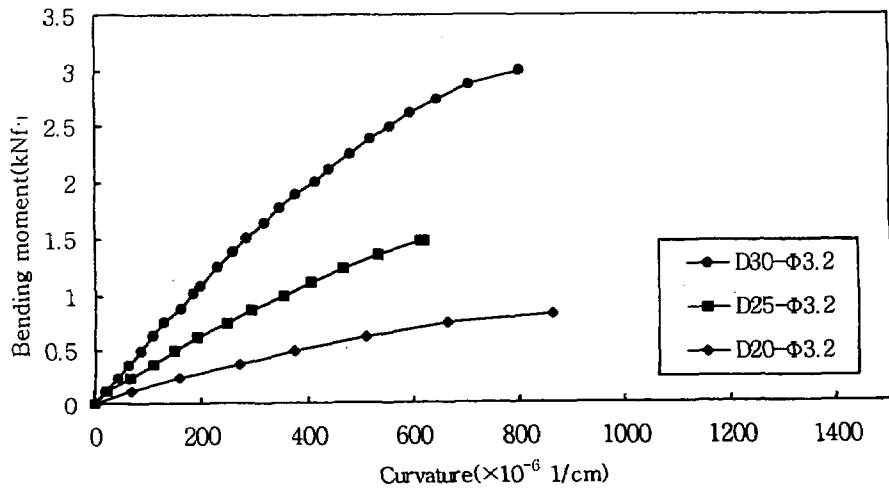


그림 3-3. 판 두께에 대한 곡률과 휨모멘트와의 관계

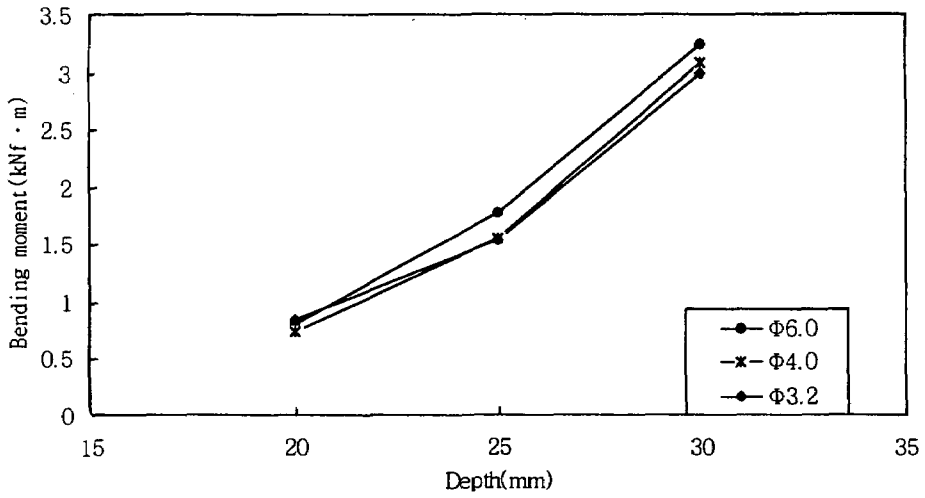


그림 3-4. 철근 지름에 대한 시험체 두께와 휨 모멘트와의 관계

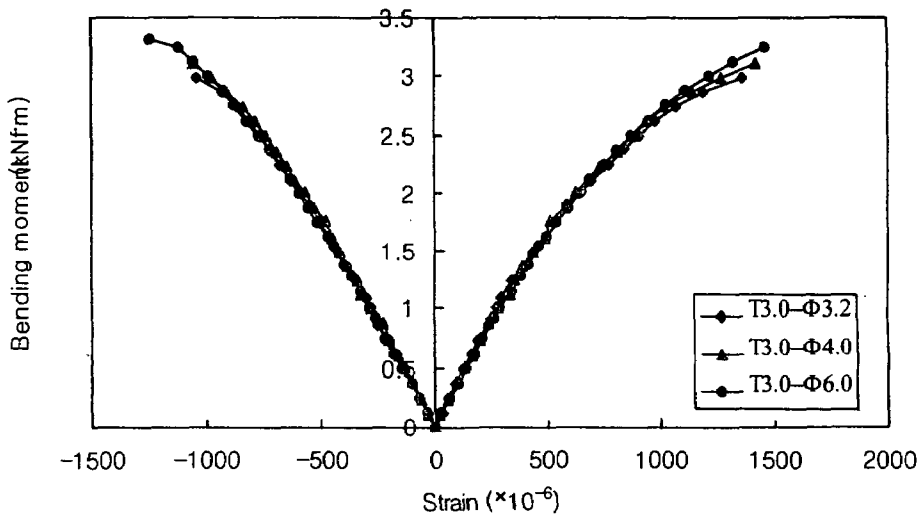


그림 3-5. 철근 지름에 대한 변형율과 휨 모멘트와의 관계

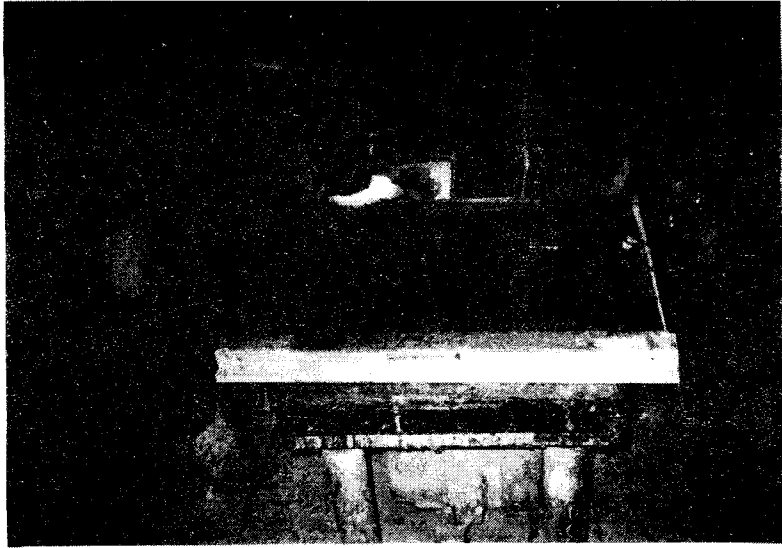


사진 3-1 판상 시험체 제작광경



사진 3-2. 판상 시험체 휨시험 준비광경

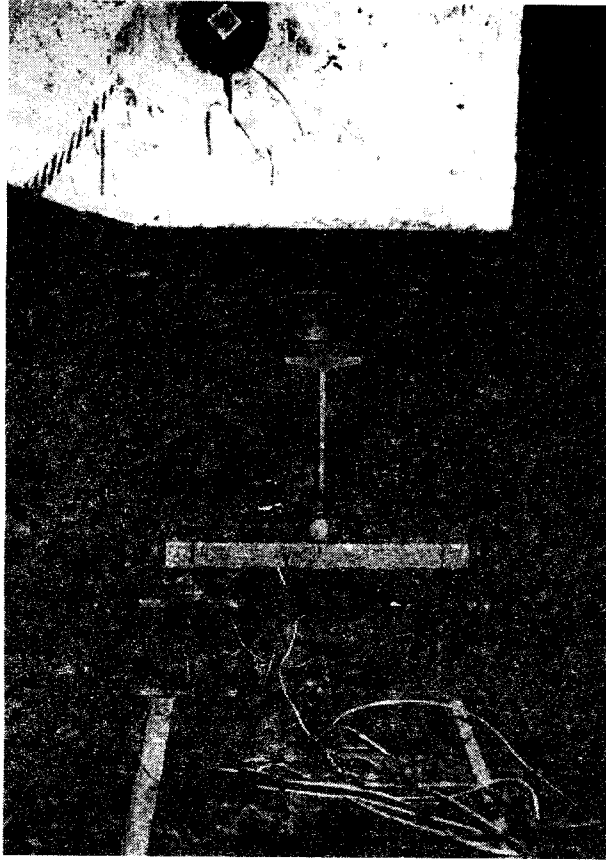


사진 3-3. 펌 시험광경

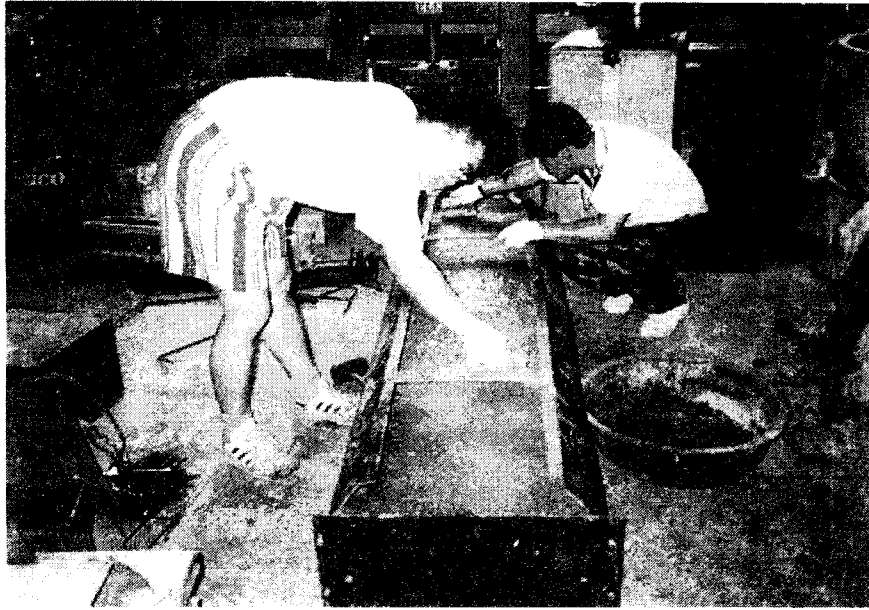


사진 3-4. 수로용 플름 타설광경

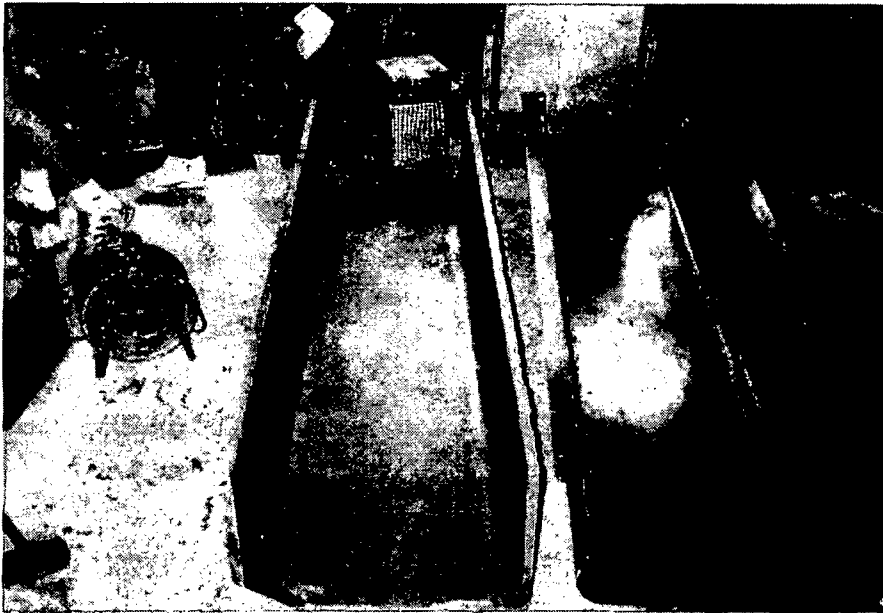


사진 3-5. 제작 완료된 수로용 플름

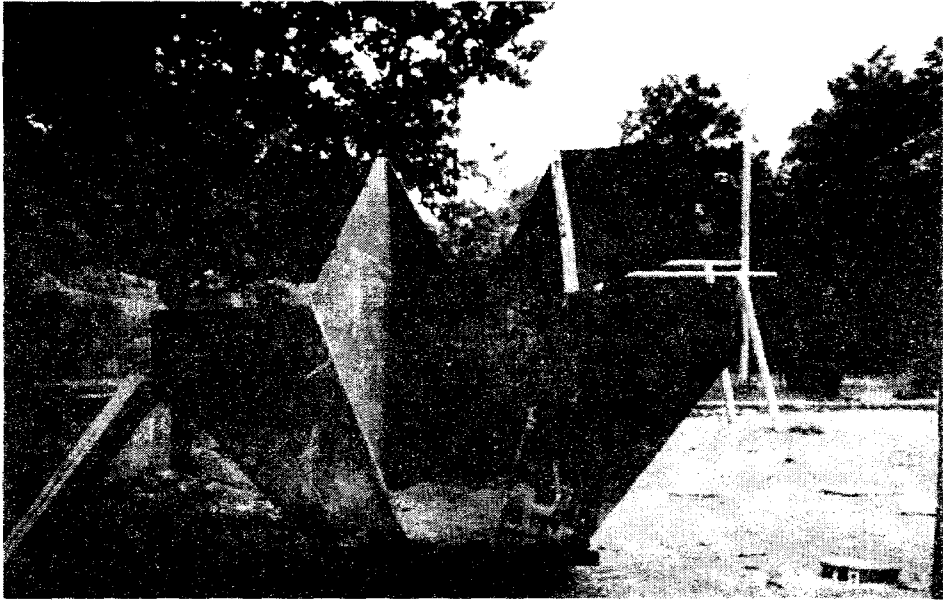


사진 3-6. 제작 완료된 낙차공

5. 결 론

이 연구는 수로용 플룸 및 낙차공을 개발하기 위하여 철근으로 보강된 얇은 폴리머 콘크리트 판의 휨 특성을 구명한 것으로써 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 폴리에스터 폴리머 콘크리트의 강도는 시멘트 콘크리트 강도보다 높게 나타났다으나 탄성계수는 작게 나타나 얇은 단면의 공장제품의 개발에 유리할 것으로 판단된다.
- 나. 철근으로 보강된 배근한 얇은 폴리머 콘크리트 판에서 균열하중에 영향주는 주된 요인은 판의 두께이며 철근은 부재의 연성 증가에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 다. 본 실험의 결과로부터 20~30mm의 얇은 두께로 플룸 및 낙차공을 제조할 수 있는데 이는 기존의 동일한 규격을 갖는 시멘트 콘크리트의 1/2~1/2.3에 해당되는 두께이다.
- 라. 제작된 플룸 및 낙차공은 기존의 시멘트 콘크리트 플룸 및 낙차공에 비해 중량이 1/3정도로서, 경량이므로 운반과 시공이 편리하고 방수성이 우수하여 수리구조물로서 최적인 것으로 나타났다.
- 마. 앞으로 완벽한 설계의 지침을 마련하기 위해서는 피로시험 등 더 많은 실험적연구가 필요한 것으로 사료된다.

제3절 경량 폴리머 콘크리트 개발

경량이면서 성능이 우수한 콘크리트를 개발하기 위하여 폴리머와 인공경량 세골재 및 인공경량조골재를 사용한 초경량 폴리머 콘크리트의 단위중량, 압축강도, 휨인장강도, 초음파진동속도, S.E.M.(Scanning electron microscope)을 이용한 공극구조, 정탄성계수, 포아손비, 포아손수, 중변형율, 횡변형율, 응력-변형율 관계도 및 내구성등의 공학적 특성을 실험적으로 구명함으로써 농업수리시설용과 해상부유구조물에 사용하기 위한 기초자료를 마련하는데 목적이 있다.

1. 재료

가. 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지(unsaturated polyester resin)란 그 구성분자인 모노머(monomer)가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말한다.

본 실험에서 사용할 불포화 폴리에스터 수지는 국내 A사의 올소타입(ortho type)으로서 코발트계 경화 촉진제(CoOc)가 첨가되어 있으며, 성분은 다음의 표 3-11과 같다.

표 3-11. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa·s)	산 가	스틸렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

나. 개시제

촉진제가 첨가된 불포화 폴리에스터 수지는 개시제만 첨가되면 경화반응이 일어난다. 개시제에는 속경형, 표준경화형, 지연형의 3종류가 있다. 국내 A사 제품으로서 MEKPO 55 %, DMP 45 %로 구성된 표준경화형 개시제를 사용하며, 그 성질은 표 3-12와 같다.

표 3-12. 개시제의 성질

구 성	비 중 (25℃)	활성 산소
MEKPO 55% DMP 45%	1.12	10.0

다. 골재

인공경량 세골재는 퍼라이트로서 이의 화학적 및 일반적 성질은 표 3-13 및 표 3-14와 같고, 인공경량 조골재는 점토를 고온으로 가열하여 팽창·냉각시켜 만든 골재로서 그 물리적 성질은 표 3-15와 같다.

표 3-13. 인공경량 세골재의 화학적 조성

(단위 : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
75.5	15.2	0.9	0.12	0.08	3.5	4.0

표 3-14. 인공경량세골재의 일반적 성질

단위용적중량 (tf/m ³)	입 경 (mm)	색	PH	방 음 률 (%)
0.08	0.15~1.2	순 백 색	7	90 <

표 3-15. 인공경량 조골재의 물리적 성질

입 경 (mm)	비 중 (20℃)	흡 수 율 (%)	조 립 율	단위용적중량 (tf/m ³)
8 >	0.68	21	5.60	0.386

2. 공시체제작

가. 콘크리트배합

경량 폴리머 콘크리트의 배합은 결합재와 골재와의 중량비로 3 : 1과 4 : 1 배합 2종류로 하였고, 골재의 배합비는 세골재만 넣은 경우와 세골재와 조골재의 배합비 5:1, 4:1, 3:1, 2:1, 1:1등 각각 6종류로써 총 12배합으로 하였으며, 재령7일의 압축강도를 210kgf/cm² 이상, 휨인장강도는 42kgf/cm²이상, 단위중량이 1t/m³ 이하가 되도록 한 배합설계를 나타내면 표 3-16 및 표 3-17과 같다.

재료투입 광경 및 강제식 믹서를 사용하여 혼합하는 광경은 사진 3-7 및 3-8과 같다.

표 3-16. 경량 폴리머 콘크리트의 배합설계

(단위 : wt.%)

배 합	결 합 재	인공 경량 골재		합 계
		세 골 재	조 골 재	
B1	75.0	25.0	-	100
B2	75.0	20.8	4.2	100
B3	75.0	20.0	5.0	100
B4	75.0	18.8	6.2	100
B5	75.0	16.7	8.3	100
B6	75.0	12.5	12.5	100
B7	80.0	20.0	-	100
B8	80.0	16.7	3.3	100
B9	80.0	16.0	4.0	100
B10	80.0	15.0	5.0	100
B11	80.0	13.3	6.7	100
B12	80.0	10.0	10.0	100

표 3-17. 결합재의 조성

(단위 : wt.%)

폴리머 종류	타 입	수 지	경 화 제
불포화 폴리에스터 수지	올 소	100	1

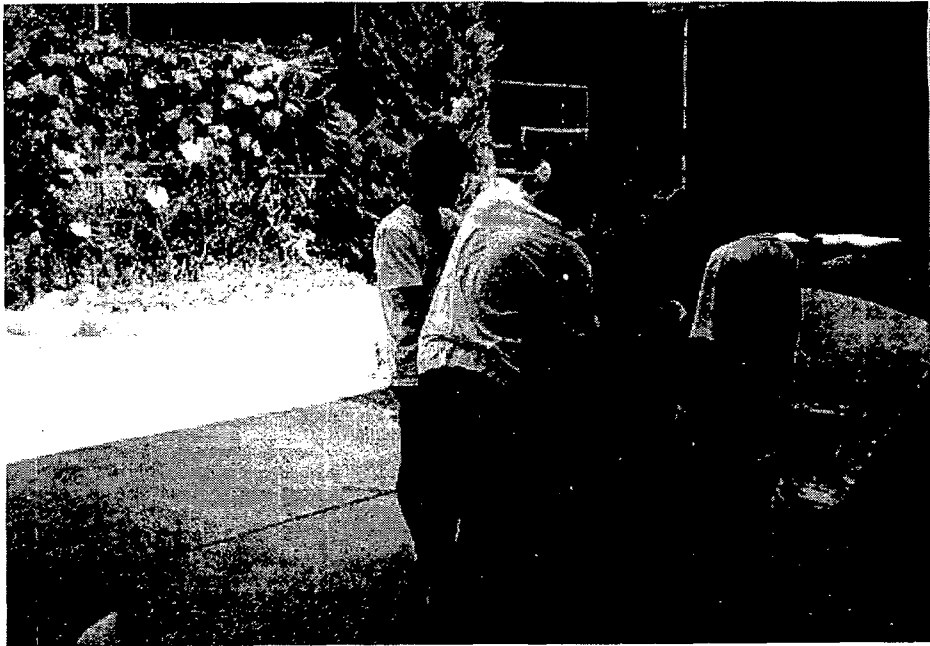


사진 3-7. 재료 투입 광경

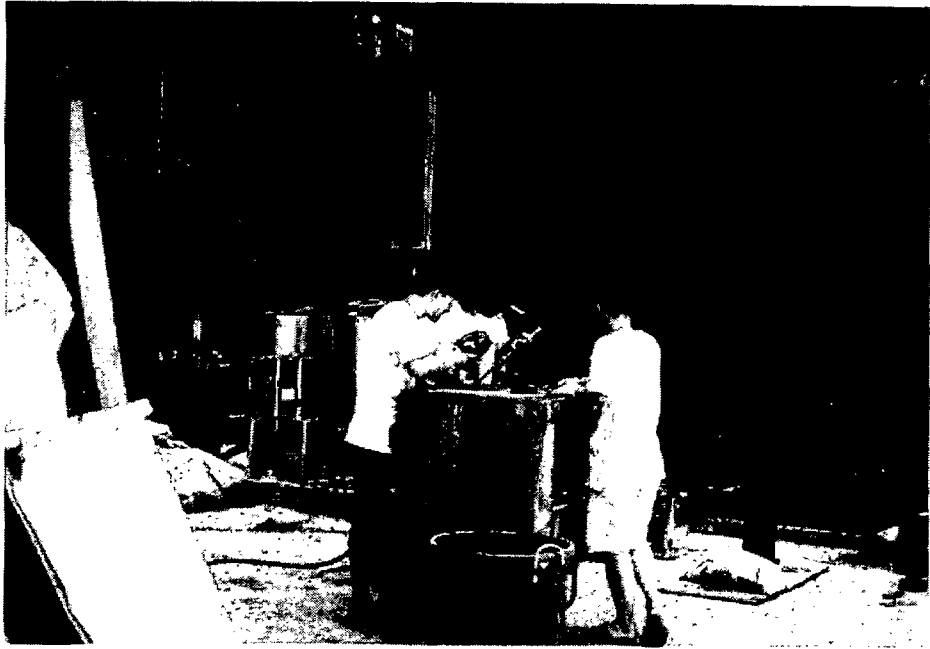


사진 3-8. 강제식 믹서를 사용하여 혼합하는 광경

나. 공시체 제작 및 양생

경량 폴리머 콘크리트의 제작은 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 준하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 3시간후 탈형하여 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 습도 $60\pm 2\%$ 인 실험실에서 소정의 재령까지 기건양생하였다.

또한, SEM 측정용 샘플은 $\phi 10\times 5\text{mm}$ 이하의 얇은 시편이 되도록 제작하였으며, 공시체 제작 광경은 사진-3과 같다. 한편, 폴리머 콘크리트는 경화시간이 짧기 때문에 타설이 끝난 후, 즉시 믹서를 비롯한 모든 기구를 아세톤으로 닦아 내었으며 믹서 세척 광경은 사진 3-10과 같다.



사진 3-9. 공시체 제작 광경



사진 3-10. 믹서 세척 광경

3. 시험방법

다음과 같은 시험을 KS에 규정된 방법에 준하여 재령 7일에 실시하였다.

가. 단위중량시험은 $\varnothing 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체를 기건상태의 중량과 체적을 구하여 산출하였다.

나. 압축강도시험은 $\varnothing 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체를 제작하여 KS F2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

다. 휨인장강도시험은 $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 시험체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 의해 측정하였다.

라. 초음파 진동속도는 $\varnothing 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체 아래와 위의 중앙에 직경 50mm의 변환기를 부착하여 BS 4408 (콘크리트의 초음파 진동속도 측정방법)에 규정된 방법에 따라 측정하였다.

마. SEM 측정은 $\varnothing 10 \times 5\text{mm}$ 이하로 제작된 시편을 금속 코팅을 한 후, 분석에 필요한 배율로 각각 실시하였다.

바. 정탄성계수, 포아손비, 포아손수, 종변형율, 횡변형율은 $\varnothing 150 \times 300\text{mm}$ 인 공시체에 컴프레소 미터(compresso meter)와 엑스텐소 미터(extenso meter)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주공시체의 정탄성계수 및 포아손비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 극한 하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종·횡변형율 및 종변형율이 0.00005 일때의 응력과 횡변형율을 측정하여 구하였다.

사. 내구성시험은 $\varnothing 100 \times 200\text{mm}$ 의 시험체를 표건상태로 하여 황산(H_2SO_4) 5% 용액에 침적한 후 부식된 표면을 칫솔로 다까아내어 표면건조상태의 중량 차이로 내구성을 비교하였다. 콘크리트는 중량이 25%이상 감소하면 원래의 제기능을 발휘할 수 없으므로(failure limit) 본 실험에서 보통 시

멘트 콘크리트의 중량이 25%이상 감소하였을 때를 기준으로 하여 각각의 경량 폴리머 콘크리트에 대한 내구성을 비교하기 위하여 1주일에 2회 측정하였으며, 용액의 균질성을 위하여 1주일마다 용액을 교체하여 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

각 배합방법에 따른 단위중량, 압축강도, 휨인장강도 및 초음파진동속도 시험 결과는 표 3-18과 같다.

표 3-18. 경량 폴리머 콘크리트의 시험결과

배합	단위용적중량 (tf/m ³)	압축강도 (kgf/cm ²)	휨인장강도 (kgf/cm ²)	초음파진동속도 (m/s)
B1	0.964	619	170	2301
B2	0.925	486	162	2275
B3	0.913	376	160	2217
B4	0.909	346	141	2192
B5	0.880	338	134	2165
B6	0.819	271	106	2117
B7	0.944	541	127	2158
B8	0.884	418	125	2111
B9	0.876	363	119	2105
B10	0.858	310	110	2093
B11	0.835	289	103	2083
B12	0.797	250	87	2039

가. 단위중량

경량콘크리트의 성질중에서 가장 중요한 요소중의 하나가 단위중량이라고 할 수 있는데 이는 사용골재의 종류와 배합조건에 따라 큰 차이가 있다.

표 3-18에서 알 수 있듯이 각 배합별 단위중량은 0.797~0.964tf/m³로서, 보통

시멘트 콘크리트의 단위중량 $2.3\text{tf}/\text{m}^3$ 의 35~42%로서 58~65%의 단위중량이 감소되었다. 이와같이 단위중량이 감소된 주요원인은 세골재와 조골재 모두 경량골재를 사용하였기 때문이다.

또한, 일반적인 경량콘크리트의 기준치인 $2.0\text{t}/\text{m}^3$ 와 비교해도 1/2이하의 중량으로 매우 가벼운 경량콘크리트라 할 수 있다.

한편, 조골재의 혼입량이 증가할수록 단위중량이 감소하였는데, 이러한 원인은 세골재는 결합재를 흡수하는 반면 조골재는 표면이 거의 불투수층일 뿐만 아니라 결합재를 흡수하기 전에 이미 결합재가 경화하기 때문이라고 생각된다.

나. 강도

(1) 압축강도

콘크리트의 공학적 성질을 나타내는 대표적인 것 중의 하나가 압축강도이다.

압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨인장강도, 탄성계수 등을 추정할 수 있고, 타설시 거푸집의 제거시기를 결정할 수 있는 기준이 된다.

보통 시멘트 콘크리트와 역학적 특성이 다소 다른 것으로 알려진 경량골재 콘크리트의 압축강도는 사용한 인공경량골재의 강도, 배합조건에 따라 다르며, 그 배합방법에 따른 압축강도 시험결과를 비교하면 표-8과 같다. 이 결과에서 각 배합별 압축강도는 $250\sim 619\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도 $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 119~294%로써 19~194%의 압축강도가 증가되었다. 이와같이 경량골재를 사용하였음에도 불구하고 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 크게 나타난 것은 인공경량세골재가 미세립이고 폴리머가 강도증진 효과를 가져왔기 때문이라 하겠다.

또한, 압축강도는 결합재와 골재와의 배합비 3:1과 4:1 다같이 세골재만 사용한 B₁과 B₇에서 $619\text{kgf}/\text{cm}^2$ 과 $541\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 가장 크게 나타났으며, 재령28일의

보통 시멘트 콘크리트 압축강도 210kgf/cm^2 의 194%와 157%가 증가 되었고, 모든 배합비에서 목표강도인 210kgf/cm^2 을 상회하였으며, 조골재의 혼입량이 증가할수록 압축강도는 감소하였다.

한편, 단위중량과 압축강도를 비교해 보면, 단위중량이 작을수록 압축강도가 작게 나타나는 경향을 보여는데, 이는 조골재로 사용된 인공경량골재가 일반적으로 사용되는 천연골재보다 강도가 약하기 때문에 골재 자체의 강도는 기대할 수 없고, 단지 골재를 피복하고 있는 폴리머나 충전재에 전적으로 의존하기 때문이다.

(2) 휨인장강도

인공경량 세골재와 인공경량 조골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 휨인장강도 시험결과를 나타내면 표 3-18과 같이 모든 경량 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 휨인장강도가 크게 나타났는데, 이는 사용한 폴리머와 인공경량 세골재가 복합적으로 콘크리트의 밀도가 높아졌기 때문이라 생각된다.

또한, 각 배합별 휨인장강도는 $87\sim 170\text{kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 휨인장 강도 42kgf/cm^2 의 207~404%로써 107~304%의 휨인장강도가 증가되었으며, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도의 증가보다 휨인장강도의 증가가 더 크게 나타났는데, 이는 폴리머 콘크리트가 갖는 특수한 물성에 기인한 결과라 하겠다.

한편, 휨인장강도는 결합재와 골재와의 배합비 3:1과 4:1 다같이 세골재만 사용한 B₁과 B₇에서 170kgf/cm^2 과 127kgf/cm^2 으로 가장 크게 나타났으며, 재력28일의 보통 시멘트 콘크리트 휨인장강도 42kgf/cm^2 에 비해 각각 304%와 202%가 증가되었다.

또한, 모든 배합비에서 목표강도인 42kgf/cm^2 을 2배이상 상회하였으며, 압축강도와 마찬가지로 팽창점토의 혼입량이 증가할수록 휨인장강도는 감소하였다.

(3) 강도비

경량 폴리머 콘크리트의 압축강도와 휨인장강도에 대한 배합별 강도비를 나타내면 표 3-19와 같다.

강도비는 역학적 성질을 구명하는데 필요한 것 중의 하나이다. 표 3-19에서 보는 바와같이 경량 폴리머 콘크리트의 강도비($\sigma_b/\sigma_c=0.234\sim0.425$)는 보통 시멘트 콘크리트의 강도비($\sigma_b/\sigma_c=0.125\sim0.2$) 보다 크게 나타났는데, 이러한 결과는 경량 폴리머 콘크리트의 압축강도가 높기는 하지만 휨인장강도가 보통 시멘트 콘크리트의 그것보다 상대적으로 높게 나타났다는 것을 알 수 있다. 이와같은 원인은 결합재인 폴리머가 갖는 특수한 물성에 기인한 것으로서 폴리머 콘크리트의 취성이 보통 시멘트 콘크리트보다 크다는 것을 증명해 주는 결과이다. 또한, 경량 폴리머 콘크리트의 강도는 폴리머 자체에도 영향을 받으나 잔골재와 조골재의 영향도 있음을 알 수 있었으며, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도의 증가보다도 휨인장강도의 증가가 크게 나타나 구조물에 응용될 경우 다양하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 휨을 받는 부재에 사용하면 경량성 뿐만 아니라 역학적인 면에서도 많은 효과가 기대된다.

표 3-19. 경량 폴리머 콘크리트의 강도비

배 합	σ_b/σ_c
B1	0.274
B2	0.333
B3	0.425
B4	0.407
B5	0.396
B6	0.391
B7	0.234
B8	0.299
B9	0.327
B10	0.354
B11	0.356
B12	0.348

* σ_b =압축강도 (kgf/cm²)

* σ_c =휨인장강도 (kgf/cm²)

(4) 초음파진동속도

초음파진동속도 시험은 비파괴시험 방법의 일종으로서, 초음파를 부재나 구조물에 방사해서 그 전파시간으로부터 얻어지는 전파속도에 의해 콘크리트의 성능을 평가하는 방법으로써 수cm에서 수m의 규모에 이르기까지 적용할 수 있다. 또한, 오래된 구조물이나 화재를 입은 구조물의 내구성을 측정할 수도 있으며, 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데도 사용하는 등 광범위하게 이용할 있는 비파괴시험 방법이다.

한편, 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도에 대한 시험결과를 비교하면

표 3-19와 같다. 이 결과에서 알 수 있듯이 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동 속도는 인공경량 조골재의 양이 증가할수록 약간 감소하는 경향을 나타냈으며, 2,039~2,301m/s의 범위로써, 일반적으로 알려진 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도 3,000m/s의 68~76% 정도이다.

이와같이 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도가 모든 배합에서 보통 시멘트 콘크리트의 것보다 작게 나타난 것은 경량 폴리머 콘크리트 속에 있는 인공경량골재 자체내의 공극이 많아 초음파의 속도를 저해했기 때문이며, 단위중량, 압축강도, 휨인장강도가 클수록 초음파진동속도가 크게 나타났다.

또한, S.E.M.(Scanning electron microscope : 주사전자현미경)을 사용하여 공극구조를 살펴보면 다음과 같다.

사진 3-11은 실물을 205배 와 500배 확대한 인공경량 세골재만 넣은 경량 폴리머 콘크리트(B₁)의 공극구조이며, 사진 3-12은 34.9배와 100배 확대한 인공경량 조세골재를 반반 넣은 경량 폴리머 콘크리트(B₆)의 공극구조이고, 사진 3-13은 100배와 1000배 확대한 인공경량 조골재의 공극구조이다.

사진 3-11, 3-12, 3-13에서 알 수 있는 바와같이 세골재 자체내에도 미세한 수많은 공극이 있음을 볼 수 있으며, 조골재 자체내에도 세골재 자체내의 공극보다 큰 공극이 있음을 알 수 있다. 이러한 공극 때문에 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도와 단위중량이 보통 시멘트 콘크리트의 것보다 작게 나타난 원인이라고 할 수 있다.

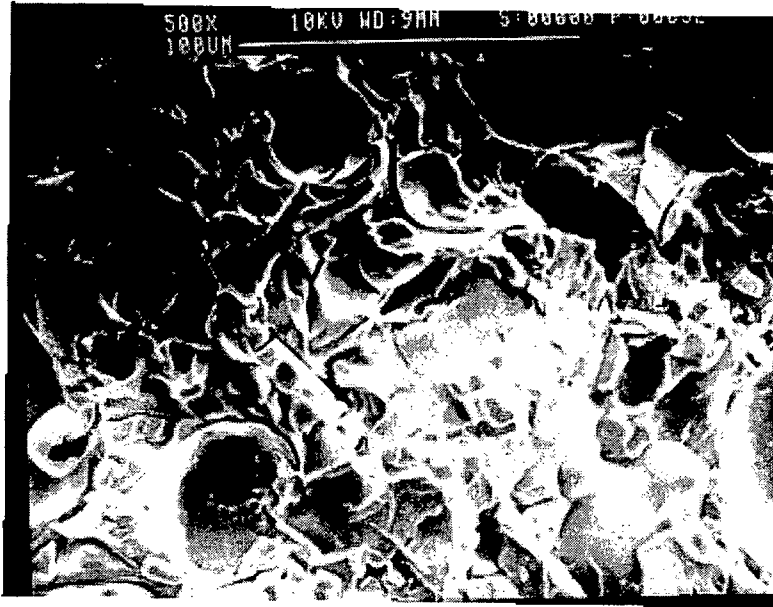


사진 3-11. S.E.M.에 의한 경량폴리머 콘크리트(B₁)의 공극구조

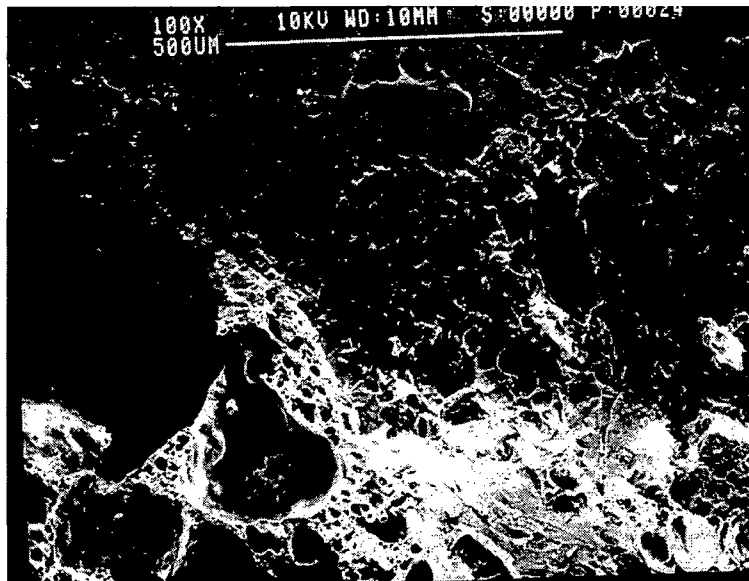


사진 3-12. S.E.M.에 의한 경량 폴리머 콘크리트(B₆)의 공극구조

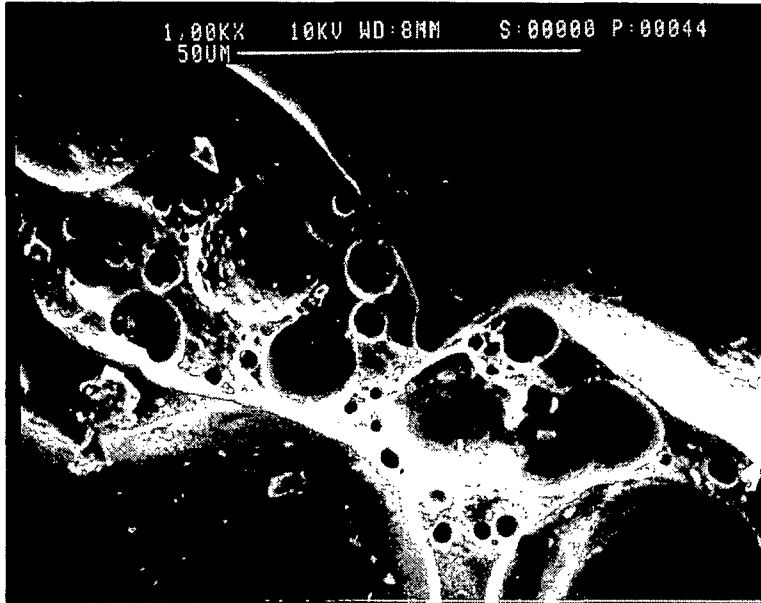


사진 3-13. S.E.M.에 의한 인공경량조골재의 공극구조

(5) 정탄성계수, 포아손비 및 변형을

경량 폴리머 콘크리트의 정탄성계수, 포아손비, 포아손수, 종변형을 및 횡변형에 대한 시험결과를 나타내면 표 3-20과 같다.

표 3-20. 경량 폴리머 콘크리트의 정탄성계수 시험 결과

배 합	정탄성계수 ($\times 10^5 \text{kgf/cm}^2$)	포아손비 (1/m)	포아손수 (m)	종변형을 ($\times 10^{-3}$)	횡변형을 ($\times 10^{-3}$)
B1	2.60	0.323	3.093	0.365	0.118
B2	2.26	0.302	3.304	0.380	0.115
B3	2.14	0.300	3.324	0.389	0.117
B4	2.10	0.293	3.411	0.406	0.119
B5	2.06	0.291	3.433	0.412	0.120
B6	1.99	0.278	3.596	0.428	0.119
B7	1.80	0.326	3.059	0.517	0.169
B8	1.68	0.323	3.089	0.550	0.178
B9	1.65	0.307	3.248	0.562	0.173
B10	1.58	0.301	3.313	0.570	0.172
B11	1.54	0.295	3.382	0.575	0.170
B12	1.51	0.290	3.437	0.581	0.169

가) 정탄성계수

표 3-20에서 알수 있듯이 경량 폴리머 콘크리트의 정탄성계수는 B₁~B₄의 경우, $210 \times 10^3 \sim 260 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 의 100~123% 수준에 이르고 있어 변형성이 작다는 것을 알 수 있으며, B₅~B₁₂의 경우는 $151 \times 10^3 \sim 206 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 72~98%정도로서 보통 시멘트 콘크리트의 것보다 작아 변형성이 비

교적 크다는 것을 알 수 있다.

또한, 정탄성계수는 단위중량, 압축강도, 휨인장강도 및 초음파진동속도가 클수록 크게 나타났고, 배합비에 따라 정탄성계수가 매우 달라짐을 알 수 있다.

따라서, 배합비 선택에 중요한 자료가 될 수 있을 것을 생각된다.

사진 3-14는 정탄성계수를 시험하는 광경이다.

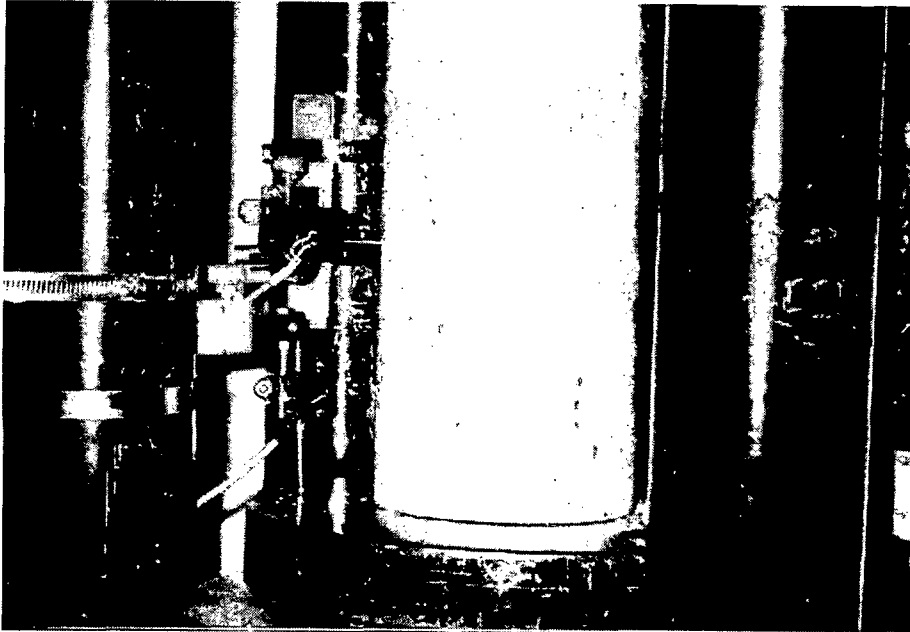


사진 3-14. 정탄성계수시험 광경

나) 포아손비 및 포아손수

종변형율에 대한 횡변형율의 비를 포아손비(poisson's ratio)라고 하며, 일반적으로 ν 또는 $1/m$ 로 표시한다. 여기서 m 은 포아손수이고, 보통 금속재료 및 시멘트 콘크리트의 m 은 각각 3~4와 6~12정도이다.

한편, 표 3-20에서 보는 바와같이 경량 폴리머 콘크리트의 포아손수는 3.0~

3.5정도로써 보통 시멘트 콘크리트 보다 작게 나타났는데, 이러한 결과는 종변형율과 횡변형율의 시험결과에서 알 수 있듯이 보통 시멘트 콘크리트에 비해 경량 폴리머 콘크리트는 종변형율에 대한 횡변형율의 비가 크고 압축하중을 횡방향으로 가할때가 종방향으로 가할 때 보다 변형성이 크게 나타났기 때문이다.

또한, 경량 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트보다 적정량의 경량골재를 혼입할 경우, 압축강도도 증가하지만 휨인장강도의 증가가 더 크게 나타난것도 포아손수가 작게 나타난 원인이라 할 수 있다.

사진 3-15는 포아손비와 포아손수를 시험하는 광경이다.



사진 3-15. 포아손비와 포아손수시험 광경

다) 응력-변형을 관계도

결합재와 골재와의 중량배합비 3 : 1과 4 : 1의 시험결과 나타난 각 배합별 응력-변형을 관계도를 제시하였다.

여기서 보는 바와같이, 응력-변형을 곡선은 응력의 증가와 함께 기울기가 증

가하여 파괴응력에 거의 도달하면 응력이 급격히 감소하는 경향을 나타내었으며, 초기응력 재하시 곡선의 기울기는 상당히 크게 나타났으나 파괴응력에 가까워지는 영역에서의 기울기는 상당히 완만하게 나타났다. 그리고 파괴응력하에서의 변형은 크게 나타나지 않았으며, 최대응력의 일정량을 지속적으로 지탱하면서 변형이 진행되는 것으로 나타났다. 이는 사용된 인공경량 조골재가 콘크리트의 강도 발현에 기여하지 못하고, 단지 조골재가 차지한 영역이 공극의 형태로 존재함으로써 나타난 결과라 생각된다.

즉, 응력의 증가에 의한 콘크리트의 파괴현상은 골재와 시멘트 페이스트의 결합파괴가 표면으로부터 생기고, 이런 파괴가 콘크리트의 내부로 진행되어 가는 과정에서 이미 파괴된 부분에서는 골재의 압밀이 생겨서 내부응력이 증가한다는 것을 의미하는 것으로, 최대응력하에서 콘크리트는 파괴가 되나 내부에서 결합재와 인공경량골재는 아직 견고한 결합력을 가지고 있다는 것을 의미하는 것으로 생각된다.

(6) 내구성

경량 폴리머 콘크리트의 내구성 시험은 1주일에 2회 측정하였으며, 재령7일된 공시체를 황산 5%용액에 35일, 70일, 105일, 침적한 후의 중량감소 시험결과를 나타내면 표 3-21과 같다.

표 3-21. 황산 5%용액에 콘크리트 공시체를 침적한 후의 중량 감소량(%)

배 합	침 적 기 간 (일)		
	35	70	105
B1	-	-	-
B2	-	-	-
B3	-	-	-
B4	-	-	-
B5	-	-	-
B6	-	-	-
B7	-	-	-
B8	-	-	-
B9	-	-	-
B10	-	-	-
B11	-	-	-
B12	-	-	-

※ -의 기호는 경량 폴리머 콘크리트의 중량감소가 0임을 나타냄.

표 3-21에서 보는 바와같이 경량 폴리머 콘크리트의 내구성은 황산 5%용액에 105일간 침적하여도 중량손실이 없었으며, 이는 成의 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구에서 보통 시멘트 콘크리트는 황산 5%용액에 침적한 후 21일만에 최초중량의 25%이상이 감소하였다는 시험결과와 비교할 때 내구성이 매우 우수한 것으로 입증되었다.

따라서, 내구성을 요구하는 농업수리 시설용 구조물과 경량성과 내구성을 다 함께 필요로 하는 해상 부유 구조물 및 높은 강도와 경량성을 요하는 고층건조

물등에도 이용할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 사진 3-16은 황산 15%용액에 공시체를 침적한 내구성시험 광경이다.

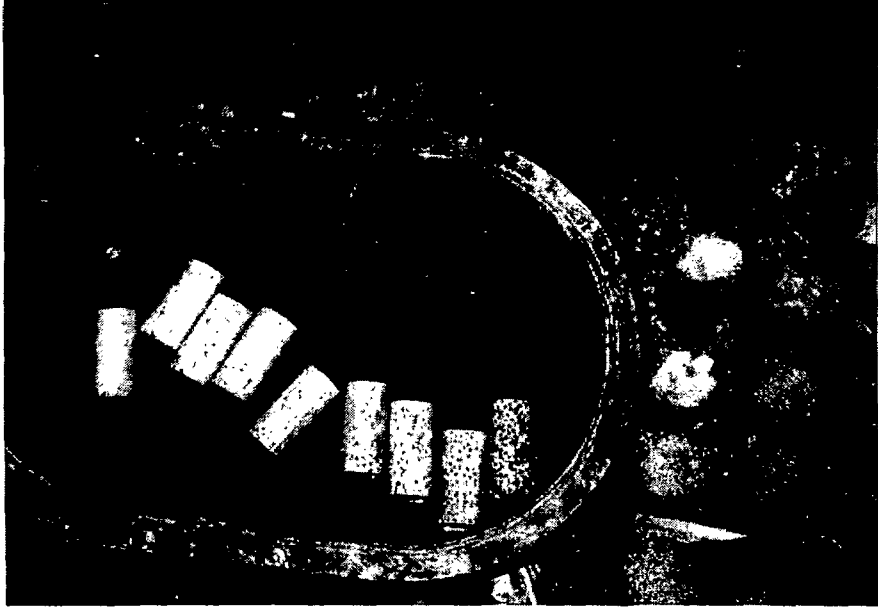


사진 3-16. 내구성시험 광경

5. 결론

농업수리 시설용 구조물 등에 사용하기 위해 폴리머와 인공령량 조·세골재를 사용한 경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 구명한 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 단위중량은 배합비의 종류에 따라 0.797~0.964t/m³로서, 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 2.3t/m³의 35~42%로 58~65%의 단위중량이 감소되었다.

나. 압축강도는 결합재와 골재와의 배합비 3 : 1 과 4 : 1 다같이 세골재만 사용한 B₁과 B₇에서 619kgf/cm²과 541kgf/cm²으로 가장 크게 나타났으며, 재령 28일의 보통 시멘트 콘크리트 압축강도 210kgf/cm²에 비해 각각 194%와 157%가 증가되었다. 또한, 모든 배합비에서 목표강도인 210kgf/cm²을 상회하였으며, 팽창점토의 혼입량이 증가할수록 압축강도는 감소하였다.

다. 휨인장강도는 결합재와 골재와의 배합비 3 : 1과 4 : 1 다같이 세골재만 사용한 B₁과 B₇에서 170kgf/cm²과 127kgf/cm²으로 가장 크게 나타났으며, 재령 28일의 보통 시멘트 콘크리트 휨인장강도 42kgf/cm²에 비해 각각 304%와 202%가 증가되었다. 또한 모든 배합비에서 목표강도인 42kgf/cm²을 2배 이상 상회하였으며, 압축강도와 마찬가지로 팽창점토의 혼입량이 증가할수록 휨인장강도는 감소하였다.

라. 모든 배합비에서 경량 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도의 증가보다는 휨인장강도의 증가가 크게 나타났는데, 이러한 결과는 고분자 재료인 폴리머의 물리·역학적 특성에 기인한 결과라 할 수 있다.

마. 초음파 진동속도는 배합설계에 따라 2,039~2,301m/s의 범위로서 보통 시멘트 콘크리트의 것보다 다소 작게 나타났으며, SEM을 사용하여 공극구조를 살펴봐도 초음파 진동속도가 작게 나타난 원인이 경량 폴리머 콘크리트 조세골재 자체내에 미세한 많은 공극을 가지고 있어 초음파의 속

도를 저해하였기 때문이라는 것이 입증되었다.

바. 정탄성계수는 배합설계에 따라 $151 \times 10^3 \sim 260 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 정도로 보통 시멘트콘크리트의 72~123%로 변화의 폭이 크게 나타났으며, 펄라이트만 혼입한 콘크리트에서 가장 크고, 포아손수는 모든 배합에서 3.0~3.5 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 6~12보다 작게 나타났다.

사. 응력-변형을 곡선은 응력의 증가와 함께 기울기가 증가하여 파괴응력에 거의 도달하면 응력이 급격히 감소하는 경향을 나타내었으며, 초기응력 재하시 곡선의 기울기는 상당히 크게 나타났으나, 파괴응력에 가까워지는 영역에서의 기울기는 완만하게 나타났다.

아. 내구성은 황산 5%용액에 105일 이상 침적하여도 중량감소가 없었으며, 보통시멘트 콘크리트는 21일만에 25%이상의 중량감소가 있었던 것과 비교할 때, 경량 폴리머 콘크리트의 내구성은 매우 우수한 것으로 입증되었다.

자. 경량 폴리머 콘크리트는 내구성을 필요로 하는 농업수리 시설용 구조물과 고강도와 경량성 및 내구성을 요구하는 농업용 건축물 등에도 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 경제적인 측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

제 4 장

농촌경관시설용 제품개발

여 백

제4장 농촌경관시설용 제품개발

제1절 서론

폴리머 모르터는 다른 건설재료에 비하여 초기에 높은 강도를 발현하고, 접착성, 수밀성, 내약품성, 내마모성 및 내동결융해성 등이 우수할 뿐만 아니라, 공장제품 제조시에는 개시제 및 촉진제의 첨가량이나 가열에 의해 경화시간을 단축시킬 수 있어 거푸집의 회전율이 높고 대량생산이 가능하다. 따라서 폴리머 모르터는 콘크리트 구조물의 보수용으로부터 공장제품 제조용에 이르기 까지 그 용도가 점점 다양화되어 가는 추세에 있으며, 이에 착안하여 지금까지 시멘트 콘크리트로 사용되어온 사면 보호제도 폴리머 콘크리트로 개발될 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 사면보호재 및 각종 농촌공원제품은 플라스틱이나 시멘트 모르터를 이용하여 제조되고 있으나, 플라스틱 제품의 경우 외압에 약해 파손되는 경우가 많으며, 시멘트 모르터 제품 역시 외압에 약하고 흡수율이 높아 동절기에 동결융해에 따른 손상이 발생되며, 무거운 자중으로 인해 시공에 어려움을 겪을 뿐 아니라 부재의 치수가 주위 자연환경을 해치는 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

본 연구에서는 시멘트 모르터나 콘크리트를 사용한 사면보호재에 비해 고강도이고, 경량이며, 동결융해 저항성이 우수한 폴리머 모르터를 사용한 사면보호재와 농촌공원 제품을 개발하고 그 특성을 실험적으로 구명하였다.

제2절 사면보호재 개발

1. 재료 및 방법

가. 사용재료

시멘트 모르타 사면보호재는 시중에서 유통되는 공장제품을 구입하여 시험하였으므로, 여기서는 폴리머 모르타 사면보호재 제작시 사용된 재료에 대해서만 기술한다.

(1) 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스터 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머(St), 촉진제로 옥탄산 코발트 8%를 함유하는 mineral turpentine 용액(CoOc), 개시제로서 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)을 첨가하여 사용하였다. 사용된 액상불포화 폴리에스터 수지의 성질은 표 4-1과 같다.

표 4-1. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa·s)	산 가	스티렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

(2) 충전재 및 골재

충진재는 가격이 저렴하고 구입이 용이한 중질탄산칼슘(CaCO_3)을 사용하였으며, 골재는 홍천강에서 채취한 강모래를 사용하였다. 이들 충전재 및 골재의 함유율은 0.1% 이하로 하였으며, 그 성질은 표 4-2 와 같다.

표 4-2. 충전재와 골재의 성질

종 류	치 수 (mm)	비 중 (20℃)	함수율 (%)	유기불순물
충진재	$\leq 2.5 \times 10^{-3}$	2.7	≤ 0.1	없음
골 재	≤ 1.2	2.6	≤ 0.1	없음

나. 시험방법

(1) 모르터의 배합

폴리머 모르터에 있어 최적 배합비는 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위내에서 골재와 충전재의 양을 최대한 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화하는 것이 가장 경제적이다. 그러나 이와 같은 배합비는 시멘트 모르터에서와 같이 규정되어 있지 않으므로 본 연구에서는 반복실험에 의해 얻어진 결과를 사용하였으며, 결정된 배합비는 표 4-3과 같다.

표 4-3. 폴리머 모르터의 배합비

(단위 : wt%)

결 합 재			충진재	세골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	개시제 (*phus)		
13.5	1.5	2.0	15	70

Note, *phus : Parts per hundred parts of UP and SR

(2) 시험체의 제작

시험용 사면보호재의 치수는 폴리머 모르터의 강도가 시멘트 모르터 강도의

약 4배 이상을 나타낼 수 있는 점을 고려하여 부재의 단면을 5×10cm로 하였다.

폴리머 모르타의 비빔에는 강제식 믹서를 사용하였고, 다짐에서 테이블 바이브레이터(3,000 vpm)를 사용하였다. 양생은 실내온도 20±2℃인 실험실내에서 24시간 상온 양생하여 탈형한 후, 85℃에서 15시간 가열 양생 하였다.

제작된 시험체의 형상은 그림 4-1과 같으며, 시험체의 치수에 따른 중량은 표 4-4와 같다.

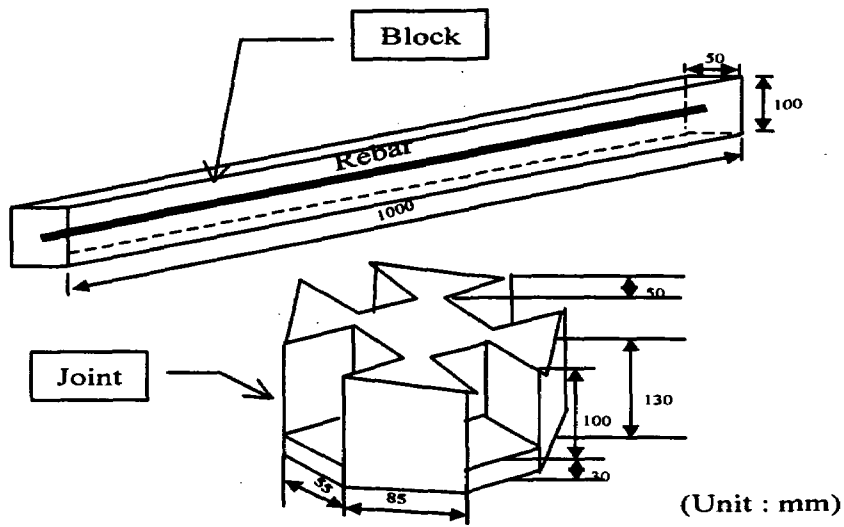


그림 4-1. 폴리머 모르타 사면보호재의 형태

표 4-4. 사면보호재의 치수

종 류	b × h × l (mm)
P.D.B.	50 × 100 × 1000
C.D.B.	120 × 130 × 1000

Note, P.D.B. : Polymer mortar defensive block
C.D.B. : Cement mortar defensive block

(3) 폴리머 모르타의 물리·역학적 특성시험

(가) 비중 및 흡수율

비중 및 흡수율 시험은 KS F 2518 (석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 준하여 실시 하였으며, 이때 시험체는 직접적인 자료의 획득과 성능 비교·분석을 위해 폴리머 모르타 사면보호재와 시멘트 모르타 사면보호재의 일부분을 각각 5×5×10cm 로 절단하여 사용하였다.

(나) 가사시간

가사시간은 KS F 2484(폴리에스터 레진 콘크리트의 사용가능시간 측정방법)에 제시된 방법중 관입법 및 감촉법을 병용하여 측정하였다. 이때 가사시간은 액상수지에 개시제(MEKPO)를 첨가했을 때의 시각부터 측정된 것이며, 시험시의 실내온도는 20℃, 상대습도는 60%였다.

(다) 동결융해 저항시험

동결융해 저항시험은 KS F 2415(급속동결융해에 대한 콘크리트 저항성 시험방법)에 의해 측정하였으며, 시험체는 $\varnothing 10 \times 20$ cm 크기의 원주형 시험체를 사용하였으며, 사이클 수는 300회로 하였다.

(라) 압축, 휨, 인장강도

강도는 압축강도, 휨강도 및 인장강도를 측정하였으며, 각각 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트 압축강도 시험방법), KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법), KS F2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정된 방법에 의해 실시하였다.

이때 시험체는 압축 및 인장강도용으로 $\varnothing 7.5 \times 15$ cm 크기의 원주형을, 휨강도용으로 6×6×24cm 크기의 각주형을 사용하였다.

(마) 탄성계수 및 포아손비

탄성계수 및 포아손비는 KS F 2438 (콘크리트 원주형 공시체의 정탄성계수 및 포아손비 시험방법)에 규정된 방법 중 와이어 스트레인 게이지(wire strain gauge)법을 이용하여 구하였다.

(4) 사면보호재의 중량 및 강도시험

(가) 중량

사면보호재의 중량은 105±5℃에서 24시간 건조한 후 실물의 중량을 계량하여 산출하였다.

(나) 충격강도

충격강도 시험방법은 KS에 몇가지의 규정이 제시되어 있으나, 이는 주로 금속 재료에 대한 것으로서 본 시험체에는 적용이 불가능하다. 따라서 본 시험에서는 그림 4-2와 같이 강구낙하법에 의해 측정하였으며, 폴리머 모르타르 사면보호재 및 시멘트 모르타르 사면보호재에 대해 시험체에 대해 각각 3회 실시하였다. 이때 사용된 추의 무게는 6.7kgf이고 낙하높이는 5cm단위로 증가시켰으며, 충격강도 ($\text{kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$)는 강구의 무게(kgf) × 낙하높이(cm) ÷ 파괴단면적(cm^2)으로 구하였다.

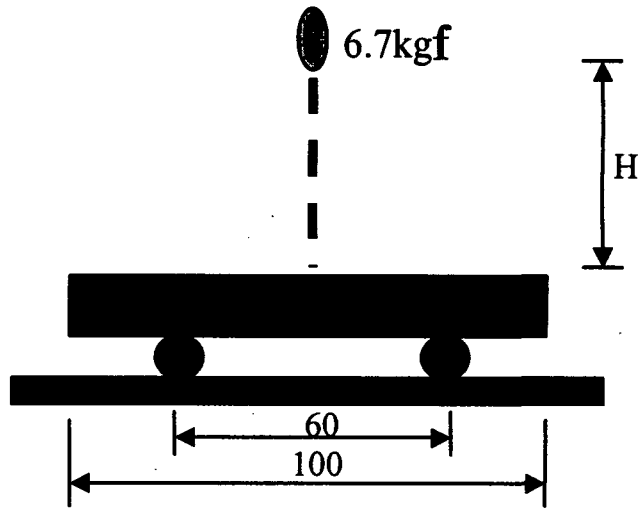


그림 4-2 충격강도 시험의 개략도

(다) 휨시험

KS F 4006 (콘크리트 경계블록)에 규정된 방법에 준하여 실험을 하였으며, 시험장치의 개략도는 그림 4-3과 같다.

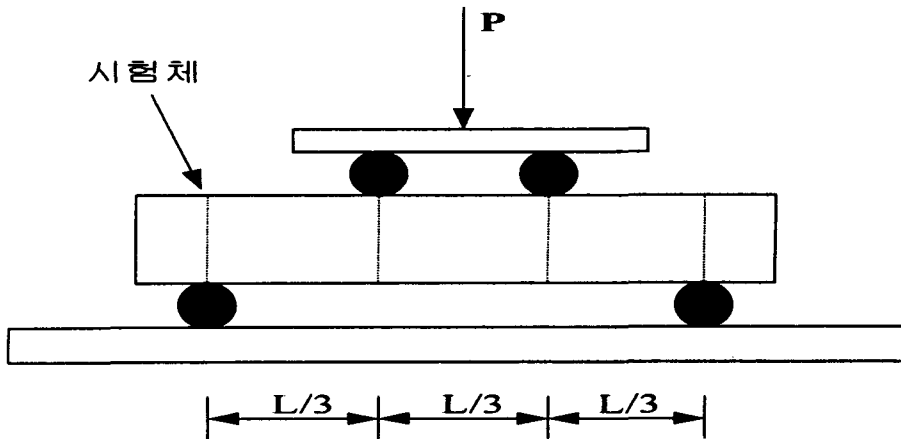


그림 4-3. 휨강도 시험의 개략도

다. 결과 및 고찰

(1) 폴리머 모르타의 물리·역학적 성질

(가) 비중 및 흡수율

폴리머 모르타 사면보호재 및 시멘트 모르타 사면보호재에 대한 비중 및 흡수율을 시험결과는 표 4-5 및 표 4-6과 같다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 모르타 사면보호재의 비중은 2.29로서 시멘트 모르타 사면보호재에 비해 약간 낮게 나타났다. 또한, 흡수율을 비교한 결과 폴리머 모르타 사면보호재의 흡수율은 0.87%로서 시멘트 모르타 사면보호재의 7.75%보다 훨씬 작은 값을 보였다. 이것은 폴리머 모르타 사면보호재의 방수성이 우수함을 나타내 주는 결과로서 기존의 시멘트 모르타 사면보호재의 가장 큰 문제점인 동결융해에 의한 블럭의 손상을 방지할 수 있는 것으로 기대된다.

표 4-5. 비중시험 결과

종 류	측 정 치			평균치
P.D.B.	2.28	2.28	2.30	2.29
C.D.B.	2.26	2.31	2.33	2.30

표 4-6. 흡수율시험 결과

(단위 : %)

종 류	측 정 치			평균치
P.D.B.	0.85	0.87	0.88	0.87
C.D.B.	7.56	7.67	8.01	6.75

(나) 가사시간

일반적으로 폴리머 모르터의 가사시간은 시멘트 모르터와 달리 결합재로 사용되는 불포화 폴리에스터 수지, 개시제, 촉진제 등의 혼합량에 큰 영향을 받는다. 이것은 결합재인 불포화 폴리에스터 수지의 중합반응이 수지 중의 불포화 결합과 스티렌모노머와의 부가중합에 의해 가교가 연쇄반응으로 일어나고 이 반응은 개시제와 촉매제의 양에 따라 그 반응속도에 차이가 있기 때문이다. 이러한 차이는 곧 가사시간의 차이를 가져오게 되므로 현장시공이나 공장제품 제조에 적절하게 결정해야 한다.

본 실험에서 사용된 개시제(MEKPO)의 양은 결합재량의 2%이며 온도 20℃, 상대습도 60%에서 폴리머 모르터의 가사시간을 측정하였던 바, 가사시간은 약 30분 정도로 나타났다.

(다) 동결융해 저항성

그림 4-4는 각 시험체에 대해 동결융해 시험을 실시하여 상대 동탄성계수를 측정한 결과이다.

이 결과에서 보면 상대 동탄성계수는 폴리머 시멘트 모르터의 경우가 300사이클에서 92.8%(내구성지수 93)였으며, 시멘트 모르터의 경우는 120사이클에서 48.3%(내구성지수 49)로 폴리머 시멘트 모르터가 시멘트 모르터에 비해 동결융해 저항성이 우수함을 알 수 있었으며, 이것은 사용 재료의 흡수성과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

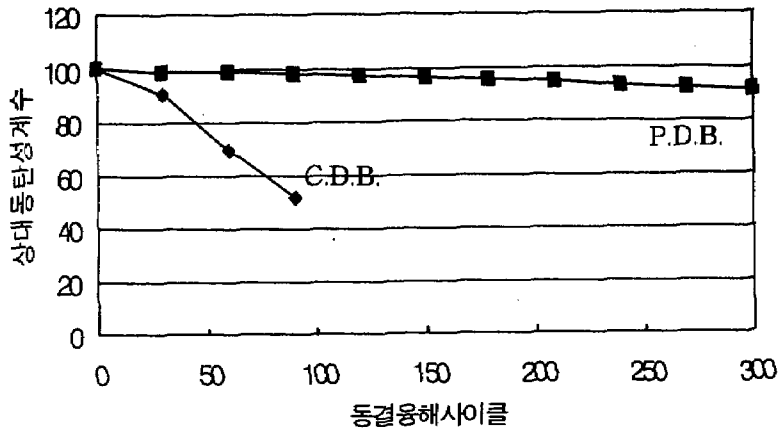


그림 4-4. 동탄성계수와 동결융해사이클의 관계

(라) 압축, 휨 및 인장강도

사면보호재용 폴리머 모르타에 대한 압축, 휨 및 인장강도 시험 결과는 표 4-7 과 같다.

표 4-7. 각종 강도시험 결과

(단위 : kgf/cm^2)

압축강도		휨 강도		할렬인장강도	
측정치	평균치	측정치	평균치	측정치	평균치
1025	1042	214	217	98	101
1042		216		100	
1060		220		105	

이 결과에서 볼 때 시멘트 모르타의 압축강도가 약 260kgf/cm^2 인데 비해 본 연구에서 사용한 폴리머 모르타의 압축강도는 1042kgf/cm^2 으로 약 4배 정도 높은 값을 보였으며, 휨 및 인장강도의 경우에도 시멘트 모르타에 비해 상당히 높은 값을 보였다.

을 나타냈다.

이 결과로 부터 기존의 시멘트 모르터 또는 프라스틱 재료를 사용한 사면보호재보다 부재단면의 축소에 의해 자중의 감소가 가능함을 알 수 있다.

(마) 탄성계수 및 포아슨비

본 연구에서 사용된 폴리머 모르터의 탄성계수 및 포아슨비의 시험결과는 표 4-8과 같다. 시멘트 모르터의 탄성계수가 $2.18 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 정도인데 비해 폴리머 모르터는 1.72 kgf/cm^2 로 다소 낮은 값을 보였으며, 포아슨비에 있어서는 0.15인 보통 시멘트 모르터에 비해 0.20으로 다소 큰 나타냈다.

표 4-8. 탄성계수와 포아슨비 시험결과

탄성계수 ($E, \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)		포아슨비 (ν)	
측정치	평균치	측정치	평균치
1.68	1.72	0.18	0.20
1.73		0.20	
1.75		0.21	

(2) 사면보호재의 중량 및 강도특성

(가) 사면보호재의 중량

폴리머 및 시멘트 모르터 사면보호재의 중량시험 결과는 다음의 표 4-9와 같다

표 4-9. 사면보호재의 중량비교

종 류	중 량 (kg)
P.D.B.	11.2
C.D.B.	30.4

이 결과로 부터 폴리머 모르터 사면보호재는 시멘트 모르터 사면보호재에 비해 그 중량이 약 0.34배로 매우 경량이며, 이로 인해 운반 및 시공상의 편리성을 도모할 수 있음을 알 수 있다.

(나) 사면보호재에 대한 충격강도

표 4-10은 폴리머 모르터 및 시멘트 모르터 사면보호재의 충격강도 실험결과이다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 모르터 사면보호재는 시멘트 모르터 사면보호재에 비하여 충격강도가 약 4배 정도가 높다. 이는 폴리머 모르터 사면보호재가 외부 충격하중에 대한 저항성이 뛰어난을 보여주는 결과라 할 수 있다.

표 4-10. 사면보호재의 충격강도 시험결과

종 류	치 수 b×h×ℓ (mm)	충격높이 (cm)		충격강도 (kgf·cm/cm ²)
		측정치	평균치	
P.D.B.	50×100×1000 A=50cm ²	40	41.7	5.59
		40		
		45		
C.D.B.	120×130×1000 A=156cm ²	30	30.0	1.29
		30		
		30		
	130×150×1000 A=195cm ²	35	36.7	1.26
		35		
		40		

(다) 사면보호재의 휨강도

폴리머 모르타 및 시멘트 모르타 사면보호재의 휨시험 결과는 표 4-11과 같다.

폴리머 모르타 사면보호재는 시멘트 모르타 사면보호재에 비해 부재단면을 약 1/3로 축소했음에도 불구하고 최대 휨모멘트 값이 20,900 kgf·cm으로 시멘트 모르타 사면보호재와 비슷한 값을 보였다.

이 결과로 보아 본 연구에서 개발된 폴리머 모르타 사면보호재는 부재와 부재 사이를 조인트에 의해 연결하는 조립식으로서 가볍고 시공이 간편하면서도 충분한 강도를 지녔을 뿐 아니라, 부재단면의 축소로 인해 경량화가 가능하고, 노출 단면을 줄여 자연경관과의 조화를 이루는데도 유리하다고 판단된다.

표 4-11. 사면보호재의 휨강도 시험결과

종 류	치 수 b×h×l (mm)	파괴하중 (kgf)		최대 휨 모멘트 (kgf·cm)
		측정치	평균치	
P.D.B.	50×100×1000	1993	2090	20,900
		1995		
		2282		
C.D.B.	120×130×1000	1510	1740	20,300
		1787		
		1923		
	130×150×1000	2004	2310	25,030
		2289		
		2637		

(라) 기존 사면보호재의 문제점

기존의 플라스틱 및 시멘트재료를 사용하여 시공한 사면보호재의 파괴유형을 현장조사하여 본 바 아래와 같이 많은 문제점이 있는 것으로 나타났다.

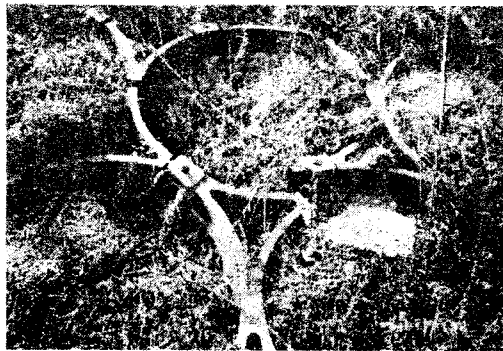


사진 4-1. 플라스틱재료를 사용한 기존 사면보호재의 파괴유형 (1)

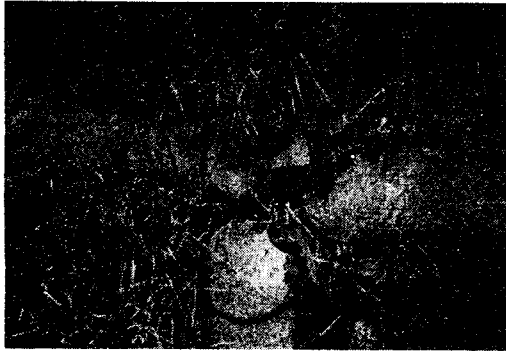


사진 4-2. 시멘트재료를 사용한 기존 사면보호재의 파괴유형 (2)

(3) 사면보호재의 경제성 및 시공방법

(가) 사면보호재의 경제성

사면보호재를 폴리머 모르타르로 제작하였을 시 기존의 시멘트 콘크리트의 두께를 1/2~1/3로 감소가 가능하다. 따라서 단면의 축소효과로 재료비의 약점을 충분히 보완하므로써 표 4-12와 같이 폴리머 모르타르의 사면보호재가 매우 경제적인임을 알 수 있다.

표 4-12 사면보호재의 경제성 평가

내 용	P.M.B	C.M.B
1. 재료비	△	△
2. 제작비	○	△
3. 운송비	△	×
4. 시공비	△	×
5. 취급·운반의 용이성	○	×
6. 미숙련공의 시공가능성	○	△
7. 환경친화	○	×
8. 사면보호효과	△	△
총 합	○	△

(나) 사면보호재의 시공방법

새로 개발된 폴리머 모르타르 사면보호재의 시공방법은 기존의 시멘트 모르타르 사면보호재의 경우 사면보호재의 조인트 부위가 따로 없이 각기 상반된 형상들을 끼워 맞춤에 따라 미숙련공에게 시공의 불편함을 주었으나, 폴리머 모르타르 사면보호재는 조인트 부분과 블록부분을 따로 제작함에 따라 끼워서 맞추는 방법이 매우 간단하다. 사진 4-1, 4-2는 기존의 사면보호재의 파괴형태이고, 사진 4-3은 새로 개발된 폴리머 모르타르 사면보호재의 시공과정을 나타낸 것이다.

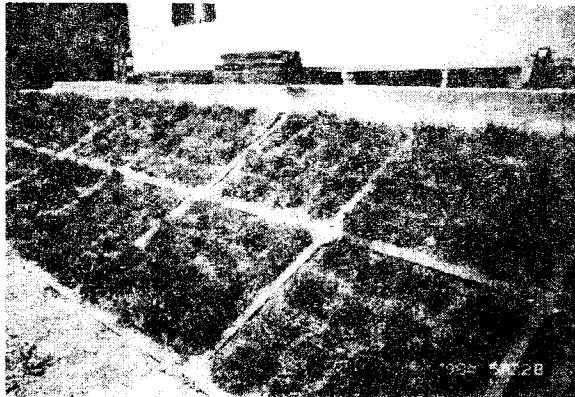


사진 4-3. 개발된 사면보호재의 시공과정

라. 결론

본 연구에서 폴리머 모르터를 이용한 사면보호재를 개발하고 소재에 대한 물리, 역학적 특성 및 제품의 성능을 실험적으로 구명하였던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폴리머 모르터의 비중은 2.29로서 시멘트 모르터에 비해 약간 작은값을 보였으나, 흡수율은 0.87%로서 7.75%의 시멘트 모르터 보다 훨씬 작은 값을 보여 제품의 방수성이 우수함을 알 수 있었다. 또한 동결융해시험 결과 상대 동탄성계수는 폴리머 시멘트 모르터의 경우가 300사이클에서 92.8%(내구성지수 93), 시멘트 모르터의 경우 120사이클에서 48.3%(내구성지수 49)로 나타나 폴리머 시멘트 모르터가 시멘트 모르터에 비해 동결융해 저항성에 있어서도 우수함을 알 수 있었다.
- (2) 압축강도는 1042kgf/cm^2 으로 시멘트 모르터의 약 4배정도의 높은 강도값을 보였으며, 휨 및 인장강도에 있어서도 각각 217kgf/cm^2 , 101kgf/cm^2 으로 높은 값을 보였다. 또한 시멘트 모르터의 탄성계수가 $2.18 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 정도인데 비해 폴리머는 $1.72 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 로 낮은 값을 보이고 있으며, 포아슨비에 있어서는 0.15인 보통 시멘트 모르터에 비해 0.20으로 높은 값을 나타냈다.
- (3) 폴리머 모르터 사면보호재에 있어 충격강도는 시멘트 모르터 사면보호재보다 약 4배 정도로 높아 폴리머 모르터 사면보호재의 충격하중에 대한 저항성이 우수함을 알 수 있었다.
- (4) 폴리머 모르터 사면보호재의 최대 휨저항모멘트 값은 $20,900 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 이

며 시멘트 모르터 사면보호재는 단면적이 3배일 때 20,300 kgf·cm, 4배일 때 25,030 kgf·cm로 부재단면적을 1/3정도로 축소가능함을 알 수 있었다.

- (5) 이상의 결과로 부터 폴리머 모르터의 사면보호재는 시멘트 모르터 사면보호재에 비해 낮은 흡수율과 높은 충격강도 및 휨저항모멘트 값을 갖는 것으로 나타나 폴리머 모르터 사면보호재의 성능이 우수함을 알 수 있다. 또한 부재의 자중을 1/3정도로 줄임으로써 편리한 시공성을 확보할 수 있었고, 부재의 단면 축소로 자연경관의 손상을 최소화 할 수 있는 등 그 실용적 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

제3절 농촌공원 제품 개발

1. 마을 사인보드

사인보드에 사용된 재료는 사면보호재 재료와 동일하며, 배합비는 표 4-13과 같다.

표 4-13. 폴리머 모르타의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			총 진 재	잔 골 재	
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		페석	모래
13.6	1.4	1.0 (plus*)	15	30	40

Note. * plus : Parts per hundred parts of UP and SR

사인보드의 단면은 70×5cm, 50×5cm를 표준으로 하며, 길이는 250cm이다.

이 제품은 기존의 철재 사인보드가 부식 및 충격에 의한 형태변형이 있는데 반해 주위경관과 조화를 이루도록 디자인 되었으며, 재질이 석재이므로 부식의 염려가 없고 강도가 높아 파손의 염려가 적다.

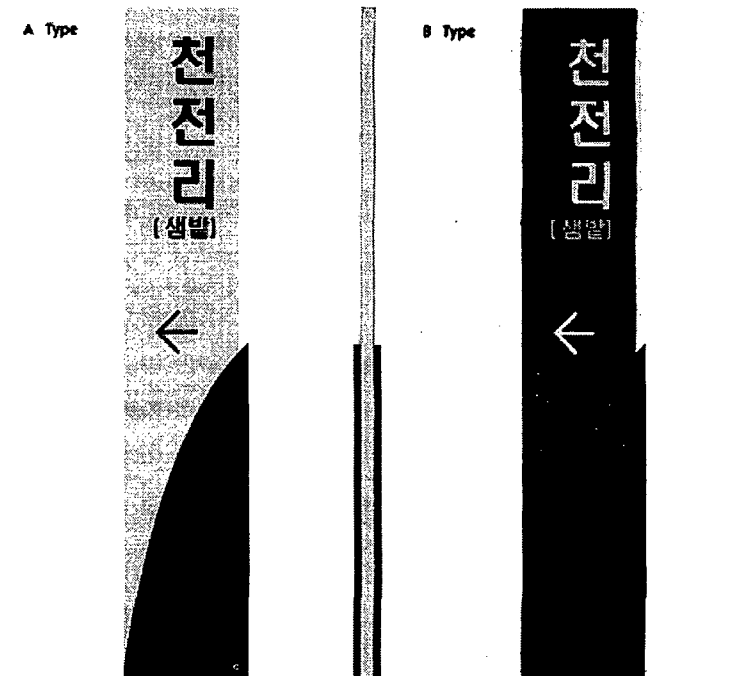


사진 4-4. 마을 사인보드

2. 공원용 벤치

공원용 벤치에 사용된 재료는 사면보호재 재료와 동일하며, 배합비는 표 4-14와 같다.

표 4-14. 폴리머 모르터의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	잔골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		
13.6	1.4	1.0 (phus*)	15	70

Note. * phus : Parts per hundred parts of UP and SR

기존 콘크리트 제품이 무거워 시공이 불편하고, 또한 동결융해 저항성이 약해 제품이 쉽게 손상되는데 비해 이 제품은 내구성과 방수성이 우수하여 반영구적이며, 중량이 가벼워 운반과 시공이 편리하다.

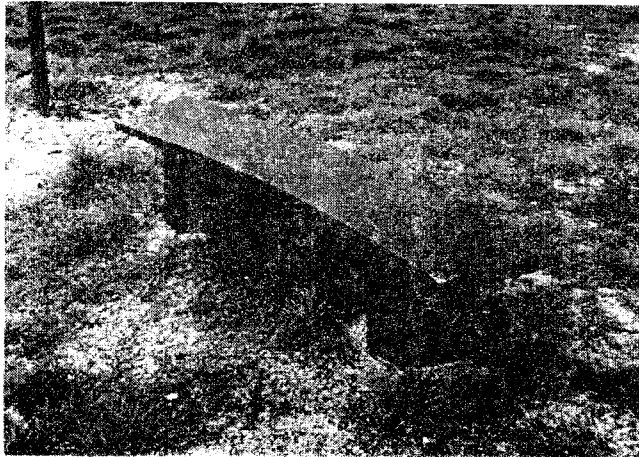


사진 4-5. 공원용 벤치

3. 공원용 휴지통

공원용 휴지통에 사용된 재료는 사면보호재 재료와 동일하며, 배합비는 표 4-15와 같다.

표 4-15. 폴리머 모르타의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	잔골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		
13.6	1.4	1.0 (plus*)	15	70

Note, * plus : Parts per hundred parts of UP and SR

제작된 공원용 휴지통의 지름은 $\varnothing 40\text{cm} \sim \varnothing 60\text{cm}$ 이며, 길이는 100cm이다.

이 제품은 기존 제품이 쉽게 부식되거나 파손되는데 비해 견고하고, 주위경관과 조화를 이룰 수 있으며, 중량이 가벼워 운반과 시공이 편리하다.

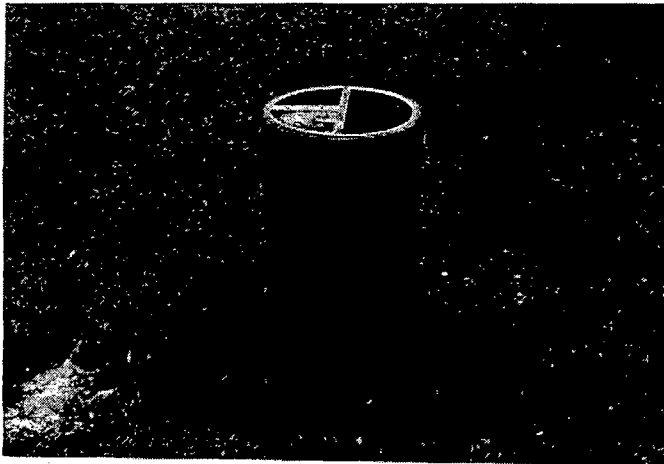


사진 4-6. 공원용 휴지통

4. 공원용 경계석

공원용 경계석에 사용된 재료는 사면보호재 재료와 동일하며, 배합비는 표 4-16과 같다.

본 연구에서 폴리머 콘크리트를 이용하여 개발한 경계석은 기존 제품에 문제점을 충분히 해결할 수 있고, 높은 강도 및 우수한 내동결융해성을 지닌 것으로 한랭지역에서도 사용 가능하며, 중간부분이 빈 유평보 행태로 제작되어 가볍고 시공성이 우수한 제품으로 판단된다. 제작된 폴리머 콘크리트 경계석의 모양은 사진 4-8과 같다.

표 4-16. 폴리머 모르타의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	세골재	조골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO			
10.6	1.4	1.0 (phus*)	12	40	36

Note, * phus : Parts per hundred parts of UP and SR

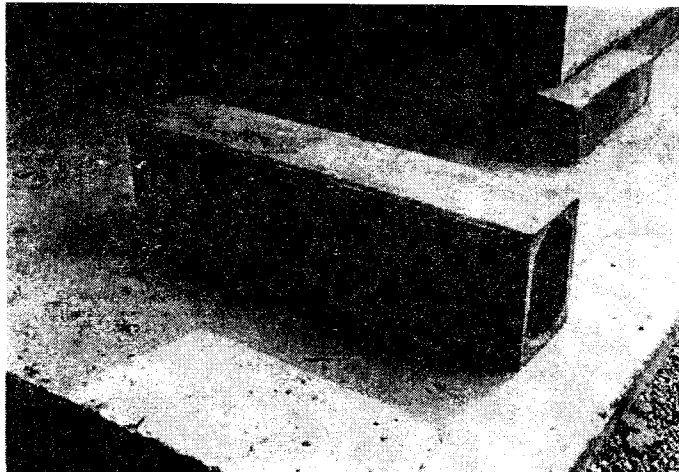


사진 4-7. 공원용 경계석

제4절 내구성 콘크리트 재료개발

농촌의 소득증대와 천연자원을 보존할 수 있으며, 내구성이 우수한 콘크리트를 개발하기 위하여 시멘트량의 일부 대용으로 벚짚재를 혼입한 벚짚재 콘크리트의 단위중량, 압축강도, 휨강도, 정탄성계수, 종변형률, 횡변형률, 포아손비, 포아손수, 응력-변형률 관계도 및 내구성 등의 공학적 특성을 실험적으로 구명하였다. 특히, 본 연구는 각종 콘크리트의 시설물 뿐만 아니라 특히 내구성을 요하는 농업토목구조물(농업수리 시설물, 농업용 도로구조물 등)등에 적용하기 위하여 연구를 수행하였다.

1. 재료 및 방법

가. 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 S회사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학성분은 표 4-17과 같다.

표 4-17. 사용된 시멘트의 화학성분

(단위 : %)

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

(2) 골재

조골재와 세골재는 금강유역에서 채취한 천연골재를 사용하였으며, 사용된 골재의 일반적 성질은 표 4-18과 같다.

표 4-18. 사용된 천연골재의 일반적 성질

골재	비중	치수 (mm)	단위중량 (kgf/m ³)	흡수율 (%)	조립율
조골재	2.64	4.75~10	1,449	2.62	7.28
세골재	2.62	0.595~4.75	1,471	2.35	2.35

(3) 벧짚재

벧짚을 태워 분쇄기로 미세한 입자를 만든후 체분석을 하여 사용하였으며, 그 물리적 성질 및 화학성분은 표 4-19 및 표 4-20과 같다.

표 4-19. 벧짚재의 물리적 성질

입경 (mm)	단위중량 (kgf/m ³)
0.15>	275

표 4-20. 벧짚재의 화학성분

(단위 : %)

SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
88.6	0.85	0.73	6.20	3.58



사진 4-8. 벚짚 태우는 광경

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

벚짚재 콘크리트의 배합은 강도를 고려하여 벚짚재의 첨가량에 역점을 두었으며, 실용화할 수 있는 강도를 나타내는 동시에 보통 시멘트 콘크리트보다 월등한 내구성을 발휘할 수 있는 배합비로 하였다. 이와 같은 방법에 의하여 시멘트, 벚짚재, 세골재 및 조골재 등의 배합비를 결정하였다. 벚짚재를 시멘트 대응으로 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15% 혼입한 S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇ 등 7 가지 종류의 배합비로 하였고, 슬럼프는 8±1cm로 하였으며, 배합설계는 표 4-21과 같다.

표 4-21. 벚짚재 콘크리트의 배합설계

(단위 : wt %)

배 합	시멘트	세골재	조골재	벚짚재	물-결합재비	슬럼프 (cm)
S ₁	16.62	33.33	50.05	0.00	53	8±1
S ₂	16.07	33.41	50.12	0.40	54	
S ₃	15.25	33.61	50.34	0.80	55	
S ₄	14.41	33.77	50.52	1.30	60	
S ₅	13.66	33.89	50.75	1.70	65	
S ₆	12.93	34.03	50.94	2.10	71	
S ₇	12.20	34.15	51.15	2.50	78	

나. 공시체 제작 및 양생

벚짚재 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준

하여 조골재와 세골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 베타재를 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(21℃, 습도 96±2%)에서 24시간 정지 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1℃)을 하였다.

3. 시험방법

다음과 같은 시험을 KS에 규정된 방법에 준하여 재령 28일에 실시하였다.

가. 단위중량시험

단위중량시험은 각 배합비별로 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체의 기건중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

나. 휨 및 압축강도시험

압축강도시험은 $\phi 150 \times 300\text{mm}$, 휨강도시험은 $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 시험체를 제작하여 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)와 KS F 2408 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

다. 탄성계수 및 포아손비

정탄성계수와 포아손비는 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체에 스트레인게이지(67mm)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주공시체의 정탄성계수 및 포아손비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 극한하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종 · 횡변형률 및 종변형률이 0.00005일때의 응력과 횡변형률을 측정하여 정탄성계수와 포아손비를 구하였다.

라. 내구성시험

내구성시험은 재령 28일된 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 시험체를 표건상태로 하여

황산(H₂SO₄) 5%용액에 침적한 후 2주일간은 1주일에 2회, 그 이후로는 매일 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량차이로 내구성을 비교하였다. 콘크리트는 중량이 25%이상 감소하면 원래의 제기능을 발휘할 수 없으므로 보통 시멘트 콘크리트의 중량이 25%이상 감소하였을 때를 기준으로 하여, 각각의 벚짚재 콘크리트에 대한 내구성을 비교하였으며, 용액의 균질성을 위하여 1주일마다 용액을 교체하여 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 단위중량

벚짚재 콘크리트는 결합재량의 일부를 단위중량이 가벼운 벚짚재로 사용하였기 때문에 단위중량이 감소하게 되며, 각 배합방법에 따른 단위중량 시험결과를 비교하면 표 4-22와 같다.

표 4-22에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 2,365kg/m³의 95~99%정도로 1~5%정도 감소되었는데, 이와 같은 단위중량 감소의 주요 원인은 결합재량의 일부로 단위중량이 월등히 가벼운 벚짚재를 사용하였기 때문이며 벚짚재의 사용량이 많을수록 크게 감소하는 경향을 보였다.

표 4-22. 벚짚재 콘크리트의 단위중량

배 합	단위중량 (kg/m ³)
S ₁	2,365
S ₂	2,335
S ₃	2,308
S ₄	2,302
S ₅	2,282
S ₆	2,265
S ₇	2,250

나. 강 도

(1) 압축강도

압축강도는 골재의 종류와 배합조건에 따라 다르며, 콘크리트의 역학적 성질을 나타내는 대표적인 것 중의 하나이다. 또한, 압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도, 탄성계수, 내구성 등을 추정할 수 있고, 타설 시 거푸집의 제거시기를 결정할 수 있는 기준이 된다. 보통 시멘트 콘크리트와 역학적 성질이 다소 다른 벚짚재 콘크리트의 압축강도는 벚짚재의 혼입량에 따라 다르게 나타났으며, 각 배합방법에 따른 압축강도 시험결과를 비교하면 표 4-23과 같다.

표 4-23에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 압축강도는 217~320kgf/cm²로 벚짚재의 혼입량에 따라 큰 차이를 보였다.

또한, 벚짚재 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도 274kgf/cm²에 비해 S₂와 S₃가 크게 나타났으나, 결합재량의 일부로 벚짚재를 12.5%이상 혼입한 S₆와 S₇은 작게 나타났다. 이것은 벚짚재를 결합재량의 일부로 사용할 경우, 혼입량을 결정하는데 매우 중요한 결과라 할 수 있다.

한편, 결합재량의 일부로 벚짚재를 5% 혼입한 S₃에서 압축강도가 가장 크게 나타났고, 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도보다 17%정도 크게 나타났는데, 이러한 결과는 벚짚재가 적절히 공극을 채워주고 강도증진에 기여했기 때문이며, 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도가 작게 나타난 S₆와 S₇은 결합력이 없는 벚짚재의 혼입량이 많았기 때문에 강도가 저하되었다고 판단된다.

표 4-23. 벚짚재 콘크리트의 강도

배 합	강 도 (kgf/cm ²)	
	압 축	휨
S ₁	274	61
S ₂	285	65
S ₃	320	74
S ₄	272	58
S ₅	255	54
S ₆	249	53
S ₇	217	47

(2) 휨강도

벚짚재 콘크리트의 휨강도 시험결과를 비교하면 표 4-23에서 보는 바와 같이 휨강도는 모든 배합조건에서 압축강도와 유사한 경향을 나타내었다.

또한, 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도 61kgf/cm²에 비해 S₂와 S₃는 크게 나타났고 S₆와 S₇은 작게 나타났다.

한편, 휨강도가 가장 크게 나타난 S₃은 74kgf/cm²으로써, 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도보다 21%정도 크게 나타났는데, 이와 같이 벚짚재를 결합재량의 5% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 압축강도도 증가하지만 휨강도가 더 크게 증가함을 알 수 있다.

(3) 강도비

강도비는 콘크리트의 역학적 성질을 구명하는 데 필요한 요소중의 하나이며, 벚짚재 콘크리트의 압축강도와 휨강도에 대한 배합별 강도비를 나타내면 표 4-24와 같다. 표8에서 보는 바와 같이 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 크게 나타난 S₂와 S₃의 강도비($\sigma_b/\sigma_c = 0.228 \sim 0.231$)는 보통 시멘트 콘크리트의 강

도비($\sigma_b/\sigma_c = 0.222$)보다 크게 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 작게 나타난 S₄, S₅, S₆, S₇의 강도비($\sigma_b/\sigma_c = 0.211 \sim 0.216$)는 보통 시멘트 콘크리트의 강도비보다 작게 나타났는데, 이러한 결과는 벚짚재를 적정량 혼입한 콘크리트의 경우, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도도 증가하지만 휨강도의 증가가 상대적으로 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

한편, S₃, S₂, S₄, S₅, S₆, S₇ 순으로 압축강도와 휨강도가 크게 나타나 휨을 받는 구조물에 이용할 경우 매우 유익하게 활용할 수 있을 것으로 생각되며, 벚짚재의 배합비 결정에 중요한 자료가 될 수 있다 하겠다.

표 4-24. 벚짚재 콘크리트의 강도비

배 합	σ_b/σ_c
S ₁	0.222
S ₂	0.228
S ₃	0.231
S ₄	0.213
S ₅	0.211
S ₆	0.212
S ₇	0.216

※ σ_c = 압축강도 (kgf/cm²), σ_b = 휨강도 (kgf/cm²)

다. 정탄성계수와 포아손비

탄성계수는 강도 뿐만 아니라, 재료의 역학적 성질을 나타내는 요소의 하나로 대체적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형성이 크다는 것을 의미한다.

콘크리트의 탄성계수는 콘크리트가 고강도이고, 공기량이 적을수록 탄성계수는 커진다.

벚짚재 콘크리트의 탄성계수와 포아손비에 대한 시험결과를 나타내면 표 4-25와 같다.

표 4-25. 벚짚재 콘크리트의 정탄성계수 시험결과

배 합	정탄성계수 ($\times 10^5 \text{kg/cm}^2$)	포아손 비 (1/m)	포아손 수 (m)
S ₁	3.01	0.160	6.250
S ₂	3.06	0.164	6.094
S ₃	3.35	0.236	4.235
S ₄	2.93	0.170	5.882
S ₅	2.79	0.225	4.452
S ₆	2.74	0.154	6.507
S ₇	2.68	0.151	6.604

(1) 정탄성계수

표 4-25에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 정탄성계수는 S₃와 S₂의 경우 $3.06 \times 10^5 \sim 3.35 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 으로써, 보통 시멘트 콘크리트의 정탄성계수 $301 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 의 102~111% 수준에 이르고 있어 변형성이 작다는 것을 알 수 있으며, S₆~S₇의 경우는 $2.68 \times 10^5 \sim 2.74 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 89~91%정도으로써 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타나 변형성이 비교적 크다는 것을 알 수 있다. 또한, 정탄성계수는 단위중량, 압축강도 및 휨강도가 클수록 크게 나타났다.

(2) 포아손비

탄성한도내에서 탄성체의 외력이 축방향으로 작용하면, 그 외력이 작용하는 방향인 종방향 뿐만 아니라, 횡방향에도 변형이 생기는데, 종변형률에 대한 횡변형률의 비를 포아손비(Poisson's ratio)라고 하며, ν 또는 1/m로 표시하고, m은 포아손수이며, 보통 금속재료와 시멘트 콘크리트의 m은 각각 3~4와 6~12 정도이다.

한편, 표 4-25에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 포아손수는 4.2~6.6 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 포아손수 6.2보다 대체적으로 작게 나타났는데, 이러한 결과는 종변형률과 횡변형률의 시험결과에서 알 수 있는 바와 같이, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 벚짚재 콘크리트는 종변형률에 대한 횡변형률의 비가 크고, 압축하중을 횡방향으로 가할 때가 종방향으로 가할 때보다 공극의 영향을 더 많이 받아서 변형률이 크게 나타났기 때문이라고 판단된다.

또한, 벚짚재 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 적정량의 벚짚재를 혼입할 경우 압축강도도 증가하지만, 휨강도의 증가가 더 크게 나타난 것도 포아손수가 작게 나타난 원인이라 할 수 있다.

라. 응력-변형률 관계도

재료가 외력을 받으면 변형하여 형상과 치수가 변한다. 이 변형량과 변형전의 치수와의 비를 변형률이라 하는데, 벚짚재 콘크리트의 종변형률과 횡변형률의 시험결과를 나타내면 표 4-26과 같고, 응력-변형률 관계를 도시하면 그림 4-5과 같다. 표 4-26과 그림 4-5에서 보는 바와 같이 종변형률은 S_5 가 가장 작게 나타났고, S_6 의 변형량이 가장 크게 나타났는데, 이러한 결과는 배합설계에 매우 중요한 자료가 될 수 있다 하겠다.

표 4-26. 벚짚재 콘크리트의 변형률

배합	변형률 ($\times 10^{-2}$)	
	중	횡
S ₁	0.425	0.068
S ₂	0.390	0.064
S ₃	0.343	0.081
S ₄	0.400	0.068
S ₅	0.325	0.073
S ₆	0.475	0.073
S ₇	0.350	0.053

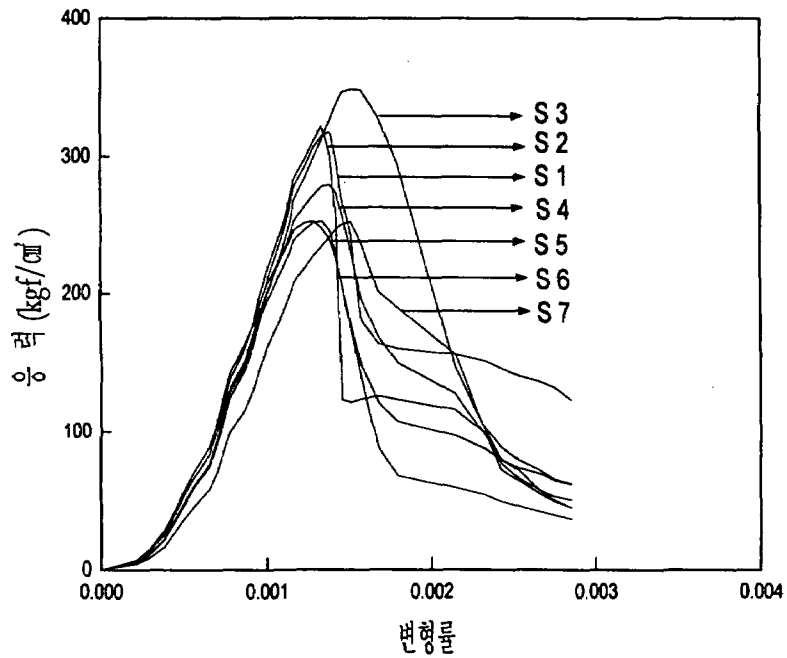


그림 4-5. 벚짚재 콘크리트의 응력-변형률 곡선

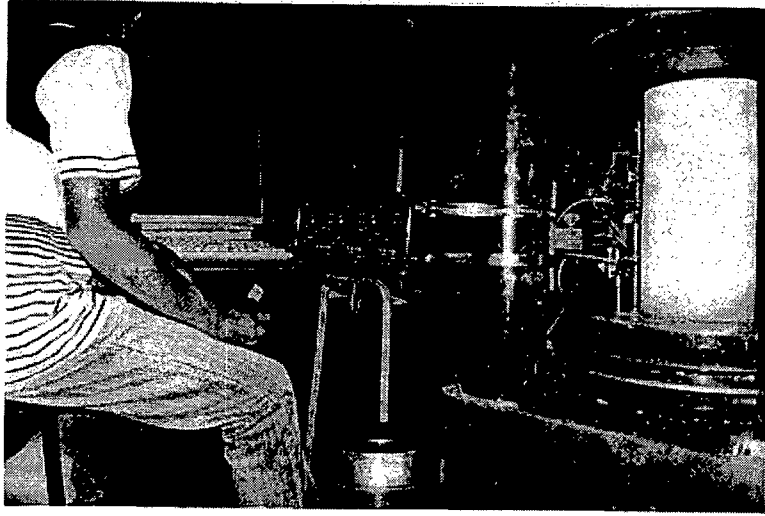


사진 4-9. 정탄성계수와 포아슨비 시험 광경

마. 내구성

벚짚재 콘크리트의 내구성 시험은 1주에 2회 측정하였으며, 보통 시멘트 콘크리트인 S₁과 벚짚재를 결합재량의 5%를 혼입한 S₃, 10% 혼입한 S₅ 및 15%를 혼입한 S₇의 중량감소가 25% 이상인 때의 시험결과를 나타내면 표 4-27과 같다.

표 4-27. 황산 5%용액에 콘크리트 공시체를 침적한 후의 중량감소율 (%)

배 합	침적기간 (일)			
	20	23	29	32
S ₁	25.10	35.07	46.52	57.85
S ₂	22.97	30.49	43.09	53.61
S ₃	20.81	27.84	40.00	48.78
S ₄	16.83	24.69	36.50	43.12
S ₅	11.96	18.00	27.31	35.38
S ₆	11.01	13.63	23.09	30.05
S ₇	7.74	11.00	19.36	25.69

표 4-27에서 보는 바와 같이 내구성은 벚짚재의 혼입량이 많을수록 증가되었으며, 벚짚재를 혼입하지 않은 보통 시멘트 콘크리트는 황산 5%용액에 침적한 후 20일만에 최초 중량의 25%이상이 감소하였고, 벚짚재를 5% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 23일만에, 10% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 29일만에, 15% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 32일만에 최초중량의 25% 이상이 감소하였다.

따라서, 벚짚재 콘크리트의 내구성은 보통 시멘트 콘크리트보다 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트는 1.15배, 10% 혼입한 콘크리트는 1.45배, 15% 혼입한 콘크리트는 1.6배 정도 크기 때문에 적정량의 벚짚재를 혼입하여 콘크리트를 제조 사용할 경우 내구성을 비롯한 물리·역학적 성질이 우수한 콘크리트를 제조할 수 있을 뿐만 아니라, 농업부산물의 재활용으로 인한 경제적 측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

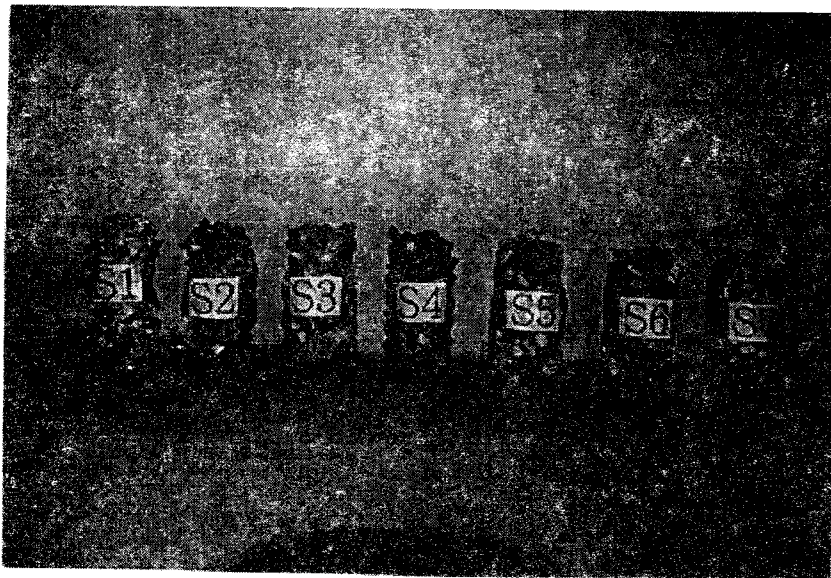


사진 4-10. 내구성 시험후 공시체가 변화된 모습

5. 결 론

본 연구는 보통 포틀랜드 시멘트와 천연골재 및 농업부산물인 벚짚재를 혼입한 내구성 콘크리트의 공학적 특성을 실험적으로 구명한 것으로써, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 단위중량은 $2,250 \sim 2,335 \text{kgf/m}^3$ 정도의 범위로써 보통 시멘트 콘크리트에 비해 1~5% 정도 감소되었다.

나. 각 강도는 벚짚재를 결합재량의 5%를 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도는 17%, 휨강도는 21% 증가되었다.

다. 정탄성계수는 $268 \times 10^3 \sim 335 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 정도로 보통 시멘트 콘크리트와 유사하게 나타났으며, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났고, 포아손수는 보통 시멘트 콘크리트보다 대체적으로 작게 나타났다.

라. 내구성은 벚짚재의 혼입량이 많을수록 증가되었으며, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트와 10% 및 15% 혼입한 콘크리트의 내구성은 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.15배, 1.45배 및 1.6배 정도 크게 나타났다.

마. 적정량의 벚짚재를 혼입하여 콘크리트를 제조할 경우, 벚짚재 콘크리트의 물리·역학적 성질이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아니라, 농업부산물의 재활용으로 인한 경제적 측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

여 백

제 5 장

농 · 축산시설용 제품개발

여 백

제5장 농·축산시설용 제품개발

제1절 서론

산업의 발달과 함께 농축산에 있어서도 생산성을 높이기 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 생산성과 직결되는 시설에도 투자가 이루어지고 있다. 이러한 시설중의 하나가 돈사와 우사로서, 기존의 돈사 및 우사 바닥재는 철재나 시멘트 모르터를 이용하여 제조되고 있으나, 철재의 경우 부식이 되는 문제점이 있으며, 시멘트 모르터는 외압에 약하고 흡수율이 높아 동절기에 동결융해에 따른 손상이 발생되며, 무거운 자중으로 인해 시공에 어려움을 겪는 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

본 연구에서는 시멘트 모르터나 콘크리트를 사용한 돈사 및 우사 바닥재에 비해 고강도이고, 경량이며, 동결융해 저항성이 우수한 폴리머 모르터를 사용한 돈사 및 우사 바닥재를 개발하고 그 특성을 실험적으로 구명한다.

한편, 기존의 분뇨 저장조는 시멘트 콘크리트를 이용하여 현장타설식으로 제작되고 있으나, 시멘트 콘크리트의 경우 외압에 약하고 흡수율이 높아 동절기에 동결융해에 따른 손상이 발생하는 등 많은 문제점을 내포하고 있다. 또한 분뇨에서 발생하는 독성은 내약품성에 대한 저항성이 요구, 시멘트 콘크리트로는 오랜 시간 유지되기 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 시멘트 콘크리트를 사용한 분뇨 저장조에 비해 고강도이고, 경량이며, 동결융해 저항성이 우수하여, 내약품성을 가진 폴리머 모르터를 사용한 분뇨 저장조를 개발하고 그 특성을 실험적으로 구명한다.

제2절 돈사, 우사 바닥재 및 구유 개발

1. 돈사바닥재 개발

가. 재료 및 방법

(1) 사용재료

(가) 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스터 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머(St), 촉진제로 옥탄산 코발트 8%를 함유하는 mineral turpentine 용액(CoOc), 개시제로서 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)을 첨가하여 사용하였다. 사용된 액상불포화 폴리에스터 수지의 성질은 표 5-1과 같다.

표 5-1. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa·s)	산 가	스티렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

(나) 충전재 및 골재

충진재는 가격이 저렴하고 구입이 용이한 중질탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며, 골재는 홍천강에서 채취한 강모래를 사용하였다. 이들 충전재 및 골재의 함수율은 0.1%이하로 하였으며, 그 성질은 표 5-2와 같다.

표 5-2. 충전재 및 골재의 성질

종 류	치 수 (mm)	비 중 (20℃)	함수율 (%)	유기불순물
충진재	$\leq 2.5 \times 10^{-3}$	2.7	≤ 0.1	없음
골 재	≤ 1.2	2.6	≤ 0.1	없음

(다) 유리섬유

본 연구에서 FRP층에 사용된 유리섬유의 물리적 성질은 표 5-3과 같다.

표 5-3. 유리섬유의 물리적 성질

비 중	인장강도 (kgf/mm ²)	인장탄성계수 (kgf/mm ²)	비 고
2.55	350	7,400	

(2) 시험방법

(가) 폴리머 모르타의 배합

폴리머 모르타에 있어 최적 배합비는 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위내에서 골재와 충전재의 양을 최대로 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화하는 것이 가장 경제적이다. 그러나 이와 같은 배합비는 시멘트 모르타에서와 같이 규정되어 있지 않으므로 본 연구에서는 반복실험에 의해 얻어진 결과를 사용하였으며, 결정된 배합비는 표 5-4와 같다.

표 5-4. 폴리머 모르타의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	잔 골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		
12.6	1.4	1.0 (plus*)	17	69

Note, * plus : Parts per hundred parts of UP and SR

(나) 시험체의 제작

돈사 슬롯패널의 역학적 특성을 검토하기 위하여 500×150mm 시험체를 두께 10, 20, 30, 40mm로 변화시켜 폴리머 모르타 시험체를 제작하여, FRP(Fiberglass Reinforced Plastics)로 두께 1~9mm까지 1mm 간격으로 변화시켜 보강한 후 역학적 특성을 실험적으로 구명하였다.

시험체의 제작에는 강제식 믹서를 사용하였고, 다짐에는 테이블 바이브레이터 (3,000 vpm)를 사용하였으며, 양생은 실내온도 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인 실험실내에서 24시간 상온 양생 후 85°C 에서 15시간 가열 양생 하였다. 양생이 끝난 시험체는 사진 5-1과 같은 FRP 제조기계를 이용하여 FRP보강층을 형성시켰다.

제작된 시험체의 형상은 그림 5-1과 같으며, 치수별 시험체수는 표 5-5와 같다.

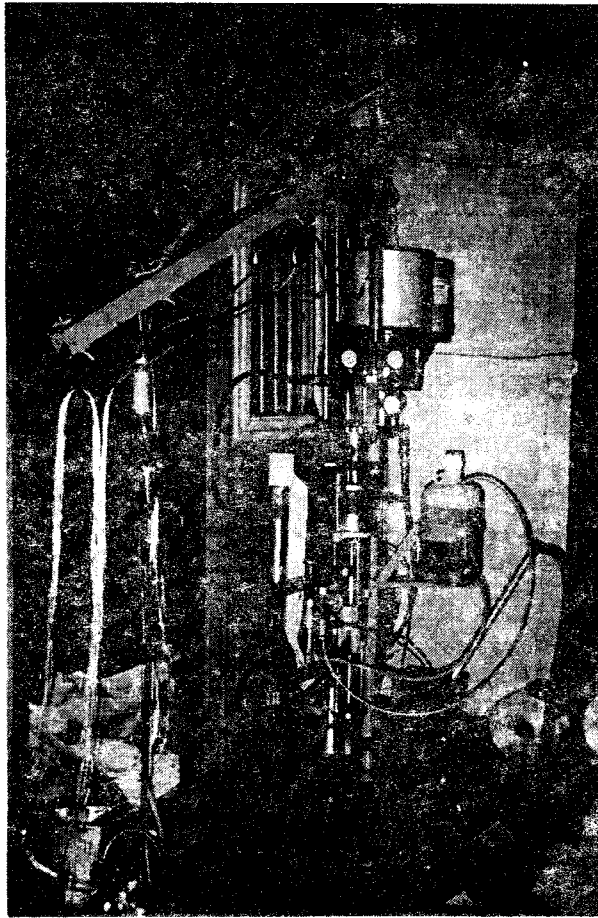


사진 5-1. FRP 제조기계

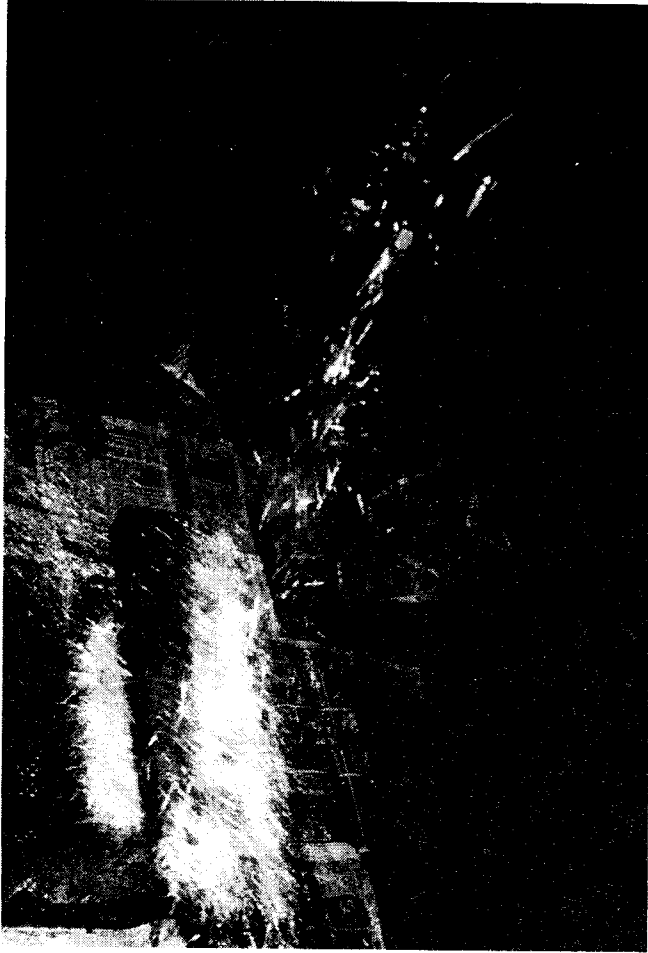


사진 5-2. FRP 보강층 제조광경

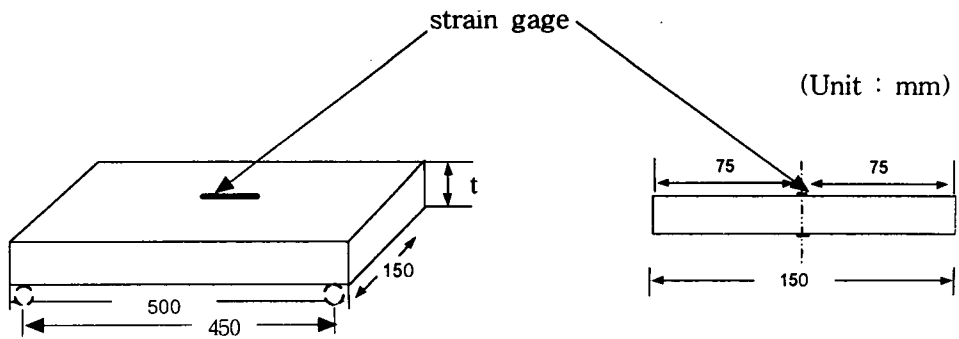


그림 5-1. 시험체 개략도

표 5-5. 시험체의 제작

FRP 보강두께 폴리머 모르타 상판 두께	FRP 보강두께								
	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm
10mm									
20mm									
30mm									
40mm									

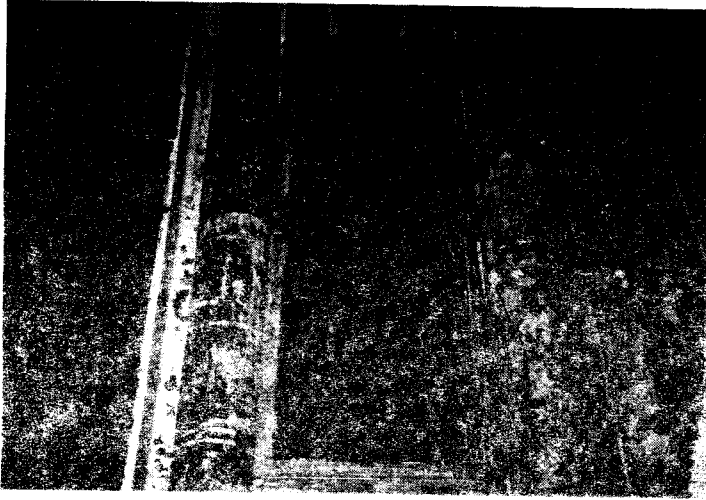


사진 5-3. 시험체 제조용 몰드

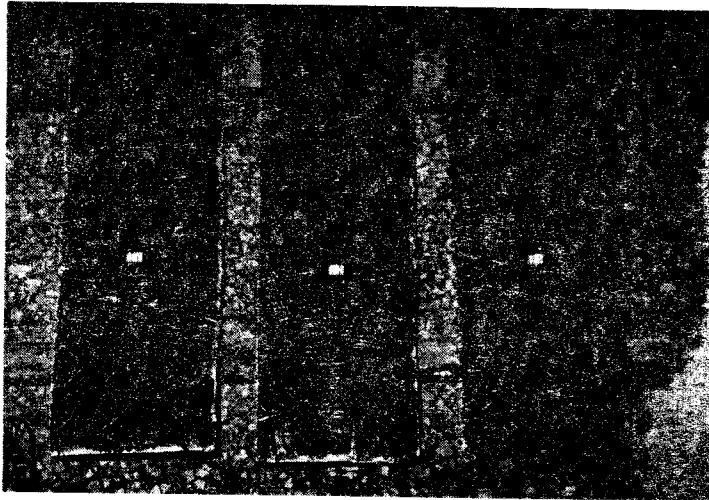


사진 5-4. 휨 시험용 시험체

(다) 폴리머 모르타의 물리·역학적 특성 시험방법

1) 비중 및 흡수율

비중 및 흡수율 시험은 KS F 2518(석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 준하여 실시하였다.

2) 가사시간

가사시간은 KS F 2484(폴리에스터 레진 콘크리트의 사용가능시간 측정방법)에 제시된 방법중 관입법 및 감촉법을 병용하여 측정하였다. 이때 가사시간은 액상수지에 개시제(MEKPO)를 첨가했을 때의 시각부터 측정된 것이며, 시험시의 실내온도는 20℃, 상대습도는 60%였다.

3) 압축, 휨, 인장강도

강도는 압축강도, 휨강도 및 인장강도를 측정하였으며, 각각 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트 압축강도 시험방법), KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법), KS F2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정된 방법에 의해 실시하였다.

이때 시험체는 압축 및 인장강도용으로 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 크기의 원주형을, 휨강도용으로 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 크기의 각주형을 사용하였다.

4) 탄성계수 및 포아손비

탄성계수 및 포아손비는 KS F 2438 (콘크리트 원주형 공시체의 정탄성계수 및 포아손비 시험방법)에 규정된 방법 중 와이어 스트레인 게이지(wire strain gauge)법에 준하여 구하였다.

5) 휨강성

휨을 받는 부재의 구조적 성능을 나타내는 휨강성(EI)은 하중-처짐의 관계로 나타내는 간접적인 방법과 휨모멘트-곡률로 나타내는 직접적인 방법이 있다. 본 연구에서는 아래 식 (1)과 같이 휨모멘트-곡률 곡선의 구배로 휨강성(EI)을 나타냈다.

$$EI = M/\varphi \dots\dots\dots (1)$$

여기서 φ 는 패널이 휨변형을 일으켰을 때의 곡률로서 인장측과 압축측에 strain gauge를 부착하여 변형율을 측정 후 식 (2)에 의해 구해졌다.

$$\text{곡률}(\varphi) = \frac{\text{압축변형율} + \text{인장측변형율}}{\text{판의두께}} \dots\dots\dots (2)$$

(3) 결과 및 고찰

(가) 폴리머 모르타의 물리·역학적 성질

1) 비중 및 흡수율

본 실험에 사용한 폴리머 모르타의 비중 및 흡수율 시험결과는 표 5-6 및 표 5-7과 같다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 모르타의 비중은 2.29, 흡수율은 0.87%로서 일반적인 시멘트 모르타 보다 훨씬 작은 값을 보였다.

표 5-6. 비중 시험 결과

측 정 치			평 균
2.28	2.28	2.30	2.29

표 5-7. 흡수율 시험 결과

(Unit : %)

측 정 치			평 균
0.85	0.87	0.88	0.87

2) 가사시간

상은 경화법으로 폴리머 모르터 제품을 제조하는 경우, 가장 중요한 것 중의 하나가 가사시간의 설정이다. 즉 가사시간은 제품의 형상, 크기, 생산공정 등에 적합한 것이라야 하는데, 폴리머 모르터의 경우 30~50분 정도가 설정되어야 한다. 이와같은 가사시간은 촉진제 및 개시제의 첨가량과 온도에 영향을 받는다. 그러나 비교적 균일한 온도로 조절될 수 있는 장소이면, 제품의 성격에 따라 가사시간의 조절이 가능하다. 본 실험에서 측정된 폴리머 모르터의 가사시간은 표 9와 같다.

표 5-8. 폴리머 모르터의 가사시간 시험 결과

단 위	측 정 치	평 균
시(분)	48, 50, 52	50

3) 압축강도, 휨강도 및 인장강도

본 연구에서 사용된 폴리머 모르터의 압축, 휨 및 인장강도 시험을 실시한 결과는 표 5-9와 같다. 본 연구에서 사용한 폴리머 모르터의 압축강도는 1095kgf/cm²으로서 높은 강도값을 보였으며, 휨 및 인장강도도 상당히 높은 값을 나타냈다.

표 5-9. 강도시험 결과

압축강도 (kgf/cm ²)		할렬인장강도 (kgf/cm ²)		휨 강도 (kgf/cm ²)	
측 정 치	평균	측 정 치	평균	측 정 치	평균
1085, 1095, 1105	1095	108, 112, 116	112	232, 230, 231	231

4) 탄성계수 및 포아슨비

본 연구에서 사용된 폴리머 모르타의 탄성계수 및 포아슨비의 시험결과는 표 11와 같다.

표 5-10. 탄성계수 및 포아슨비 시험 결과

탄 성 계 수 (E, ×10 ⁵ kgf/cm ²)		포아슨비 (ν)	
측 정 치	평균	측 정 치	평균
2.01, 2.06, 2.02	2.03	0.19, 0.21, 0.20	0.20

(나) FRP 보강 폴리머 모르타의 역학적 성질

1) 휨강도 시험

표 5-11에는 FRP 보강 폴리머 모르타 휨강도 시험결과 최대 휨모멘트를 계산하여 취성과파괴를 나타낸 상판의 두께 및 보강두께를 검은 블럭으로 표시하였다.

이 결과로부터 휨강도 시험에서 판두께가 10, 20mm 일때 FRP 보강두께는 3mm 미만이 적당하며, 판두께 30, 40mm 일때 FRP 보강두께는 5mm 미만이 적당함을 알 수 있었다.

표 5-11. 시험체별 휨강도 시험결과

(Unit : kgf · cm)

FRP 보강 두께 폴리머 모르타 상판 두께	무보강	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
10mm	631	1,193	2,742	5,014		
20mm	2,754	3,281	5,439	9,300		
30mm	5,175	6,540	8,548	11,700	19,438	24,051
40mm	10,189	11,300	12,500	17,717	21,917	29,203

2) 휨강성 시험

휨을 받는 부재의 구조적 성능을 나타내는 휨강성은 하중-처짐의 관계로 나타내는 간접적인 방법과 휨모멘트-곡률로 나타내는 직접적인 방법이 있다. 본 연구에서는 휨모멘트-곡률 곡선의 구배로 휨강성을 구하였다.

표 5-12에는 FRP 보강두께에 따른 FRP 보강 폴리머 모르타의 최대 휨모멘트와 곡률을 나타낸 것이다.

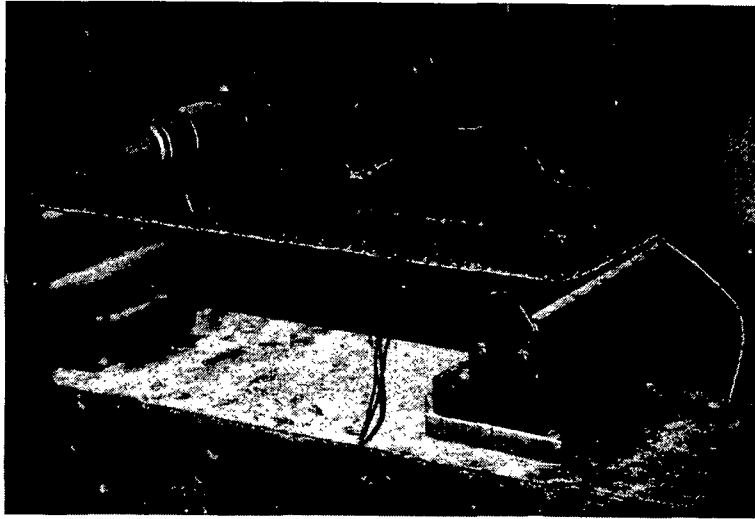


사진 5-5. 휨강성 시험 광경



사진 5-6. 시험체 파괴 형태

표 5-12. FRP 보강 두께에 따른 최대 휨모멘트와 곡률

구 분	최대 휨모멘트 (kgf · cm)	최대 곡률 ($\times 10^{-6}1/cm$)
T30	6,400	593
T30-R3	10,200	3,137
T30-R4	17,200	6,251
T40	10,300	453
T40-R3	17,000	3,063
T40-R4	20,900	4,223

그림 5-2와 그림 5-3은 동일한 두께를 갖는 FRP 보강 폴리머 모르터의 FRP 보강두께에 따른 휨모멘트-곡률 사이의 관계도를 나타낸 것으로 파괴점 곡률의 20~30% 정도까지는 거의 직선적인 형태를 보였다. 여기서 휨강성을 비교하면 두께가 증가할때 휨강성도 증가하며, 패널의 두께가 휨강성에 매우 민감한 변수로 적용함을 알 수 있다. 또한, 동일한 두께를 갖는 패널의 FRP 보강두께 증가에 의해 휨강성이 감소함을 보였다.

이와같은 결과로 보아 동일부재 상에서 FRP의 보강두께가 증가할 수록 폴리머 모르터의 취성적 성질을 연성화 시킴을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발코자하는 돈사의 슬롯패널 재료로 FRP 보강 폴리머 모르터를 사용함으로써 지금의 시멘트 콘크리트 제품에 비해 경량이며 우수한 휨 모멘트 증진 효과를 갖는 제품제조가 가능한 것으로 나타났다.

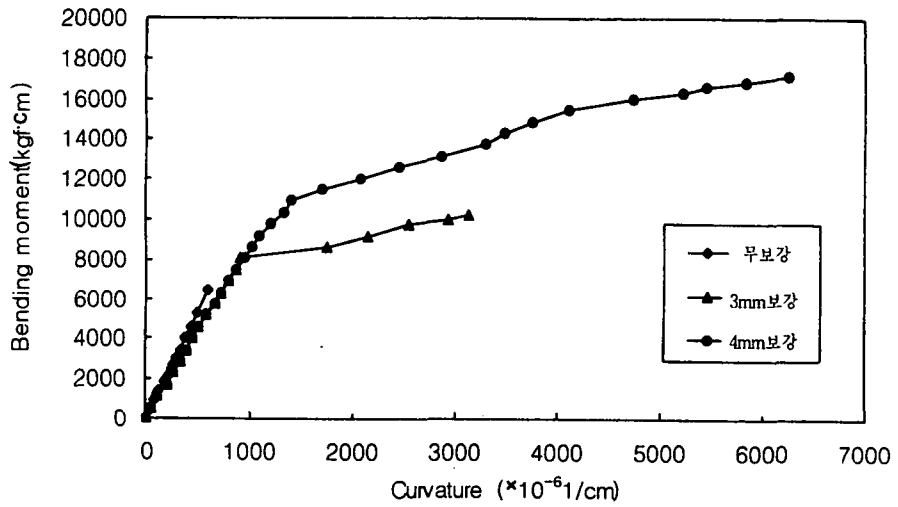


그림 5-2. 시험체 두께 3cm 일때 FRP 보강 두께에 따른 휨모멘트와 곡률과의 관계

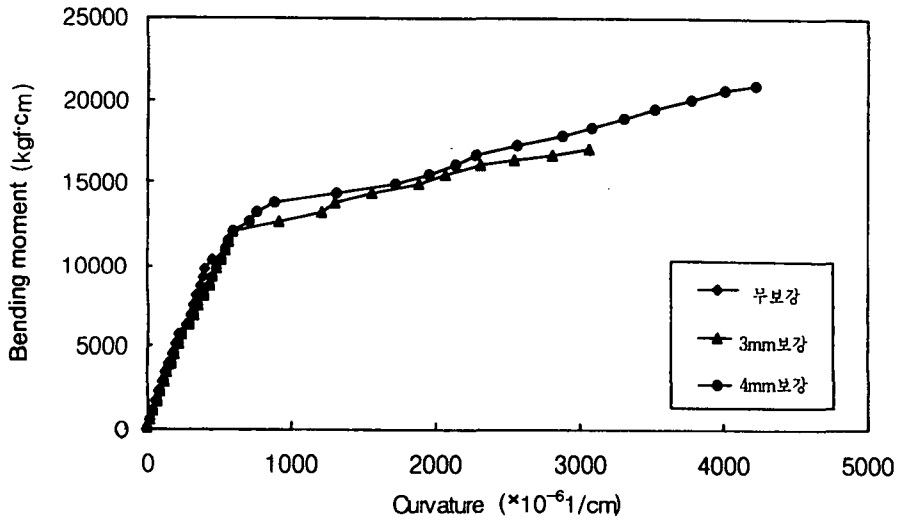


그림 5-3. 시험체 두께 4cm 일때 FRP 보강 두께에 따른 휨모멘트와 곡률과의 관계

앞에서 FRP 보강 폴리머 모르터의 우수한 역학적 특성이 실험적으로 입증되었다. 본 연구에서는 이와같은 FRP 보강 폴리머 모르터를 사용하여 지금까지 시멘트 콘크리트 제품에 비해 단면을 축소 시킴으로써 중량감소는 물론 작은 단면으로 높은 휨강도를 가지며, 시공성이 우수한 돈사용 바닥재 개발을 목적으로 실험을 실시하였다.

(4) 돈사용 슬롯패널 실물 제작

기존 돈사용 시멘트 콘크리트 슬롯패널을 FRP 보강 폴리머 모르터를 이용하여 제작하였을 경우 어미돼지 무게를 200kg로 가정하면, 시멘트 콘크리트 제품에서는 두께가 10cm이나, 폴리머 모르터에 FRP층을 3mm로 보강할 경우 두께를 3.5cm로 줄일 수 있어(시멘트 콘크리트의 1/3정도 두께임) 우수한 시공성 확보와 내구성이 높은 제품을 제작할 수 있는 장점이 있음을 알 수 있었다.

그림 5-4, 5-5는 돈사용 바닥재의 제작순서와 돈사용 바닥재의 형상 및 치수를 나타내었고, 사진 5-7과 5-8에는 돈사용 바닥재의 실물제작 광경과 완성된 바닥재의 모양을 나타내며, 사진 5-9는 FRP로 보강된 바닥재를 나타냈다.

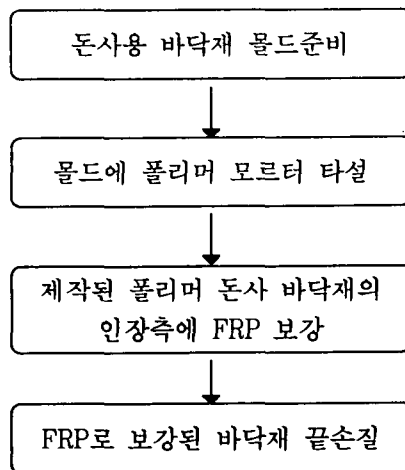


그림 5-4. 돈사용 바닥재의 제작순서

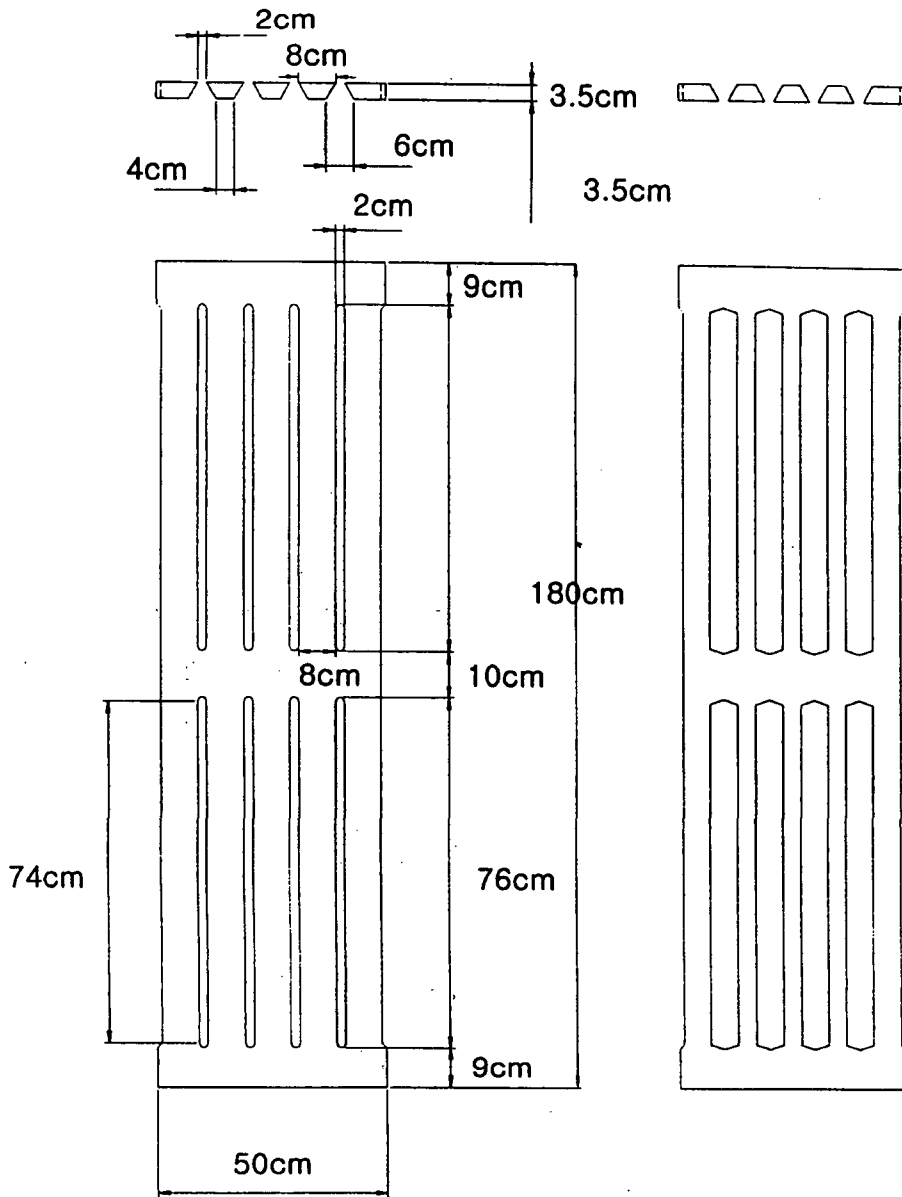


그림 5-5. 돈사용 바닥재의 형상 및 치수

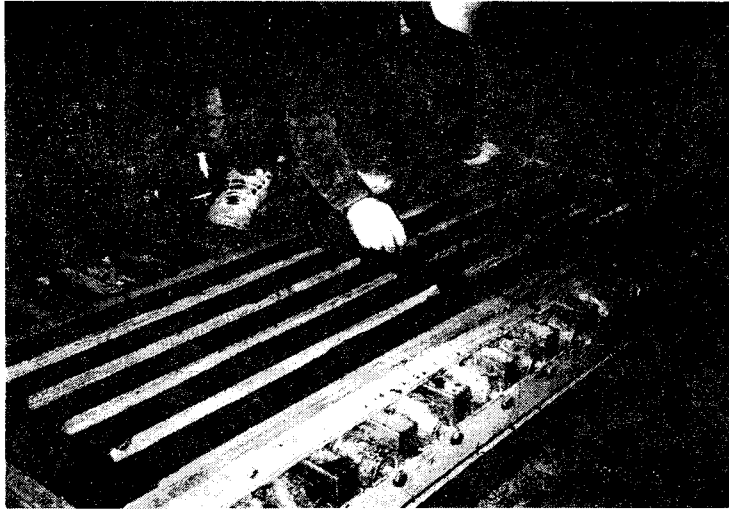


사진 5-7. 돈사용 바닥재의 제작 광경



사진 5-8. 제작된 돈사용 바닥재

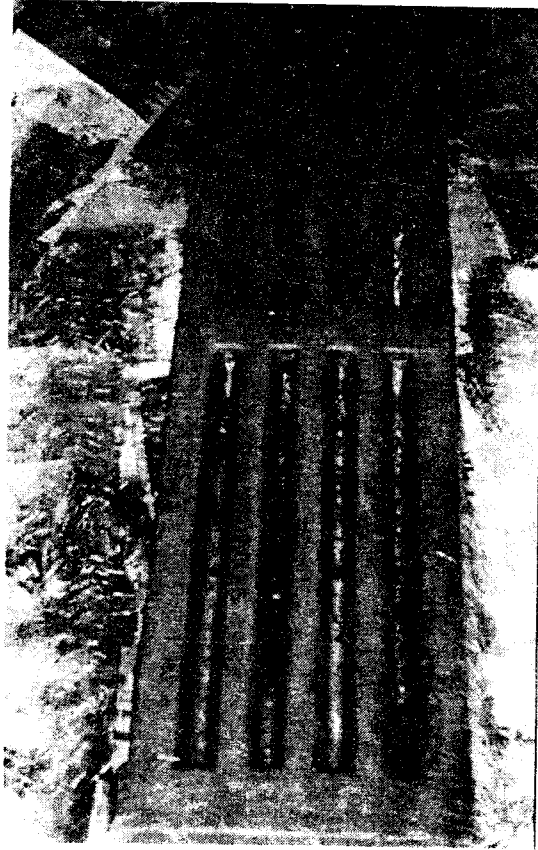


사진 5-9. FRP로 보강된 바닥재

(5) 결 론

본 연구에서 폴리머 모르터를 이용한 돈사용 바닥재를 개발하고 소재에 대한 물리·역학적 특성 및 제품의 성능을 실험적으로 구명하였던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 폴리머 모르터의 비중은 2.29로서 시멘트 모르터에 비해 약간 작은값을 보였으나, 흡수율은 0.87%로서 7.75%의 시멘트 모르터 보다 훨씬 작은 값을 보여 제품의 방수성이 우수함을 알 수 있었다.

(나) FRP 보강 폴리머 모르터의 모재로 사용된 폴리머 모르터는 압축강도 1,095kgf/cm², 할열인장강도 112kgf/cm², 휨강도 231kgf/cm², 탄성계수 2.03×10^5 kgf/cm² 을 나타냈다.

(다) 판두께가 10, 20mm 일때 FRP 보강두께는 3mm 미만이 적당하며, 판두께 30, 40mm 일때 FRP 보강두께는 5mm 미만이 적당함을 알 수 있었다.

(라) 동일부재 상에서 FRP의 보강두께가 증가할 수록 폴리머 모르터의 취성적 성질을 연성화 시킴을 알 수 있다.

(마) 따라서 본 연구에서는 FRP 보강 폴리머 모르터를 사용함으로써 지금의 시멘트 콘크리트 제품에 비해 경량이며 우수한 휨 모멘트 증진 효과를 갖는 등 그 실용적 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

2. 우사 바닥재 개발

가. 재료 및 방법

(1) 사용재료

(가) 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스터 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머 (St), 촉진제로 옥탄산 코발트 8%를 함유하는 mineral turpentine 용액(CoOc), 개시제로서 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)을 첨가하여 사용하였다. 사용된 액상불포화 폴리에스터 수지의 성질은 표 5-13과 같다.

표 5-13. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa·s)	산 가	스티렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

(나) 충전재 및 골재

충진재는 가격이 저렴하고 구입이 용이한 중질탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며, 골재는 홍천강에서 채취한 강모래를 사용하였다. 이들 충전재 및 골재의 함수율은 0.1%이하로 하였으며, 그 성질은 표 5-14와 같다.

표 5-14. 충전재 및 골재의 성질

종 류	치 수 (mm)	비 중 (20℃)	함수율 (%)	유기불순물
충진재	$\leq 2.5 \times 10^{-3}$	2.7	≤ 0.1	없음
골 재	≤ 1.2	2.6	≤ 0.1	없음

(다) 발포 폴리스티렌

본 연구에서 사용된 발포 폴리스티렌은 비드법에 의해 제조된 보온판 4호 이며, KS에 규정된 일반적인 특성은 표 5-15와 같다.

표 5-15. KS에 규정된 발포 폴리스티렌의 성질

종 류	밀도 (kg/m ³)	열전도율 (평균온도 20±5℃, kal/ m·h·℃)	굽힘강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	흡수량 (g/100cm ²)	투수계수 (두께 25mm당 g/m ² ·h·mmHg)
보온판	30이상	0.031이하	3.5이상	1.6이상	1 이하	0.07이하
	25이상	0.032이하	3.0이상	1.2이상		0.01이하
	20이상	0.034이하	2.2이상	0.8이상		0.12이하
	15이상	0.037이하	1.5이상	0.5이상	1.5 이하	0.14이하

(2) 시험방법

(가) 폴리머 모르타의 배합

폴리머 모르타에 있어 최적 배합비는 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위내에서 골재와 충전재의 양을 최대로 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화하는 것이 가장 경제적이다. 그러나 이와 같은 배합비는 시멘트 모르타에서와 같이 규정되어 있지 않으므로 본 연구에서는 반복실험에 의해 얻어진 결과를 사용하였으며, 결정된 배합비는 표 5-16과 같다.

표 5-16. 폴리머 모르타의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	잔골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		
12.6	1.4	1.0 (phus*)	17	69

Note, * phus : Parts per hundred parts of UP and SR

(나) 시험체의 제작

우사 바닥재 단면은 50×50cm으로 두께 3cm의 발포 폴리스티렌 윗면에 1cm의 폴리머 모르터를 타설하여 제작하였다. 그림 5-6은 우사 바닥재의 형상 및 치수를 나타냈다.

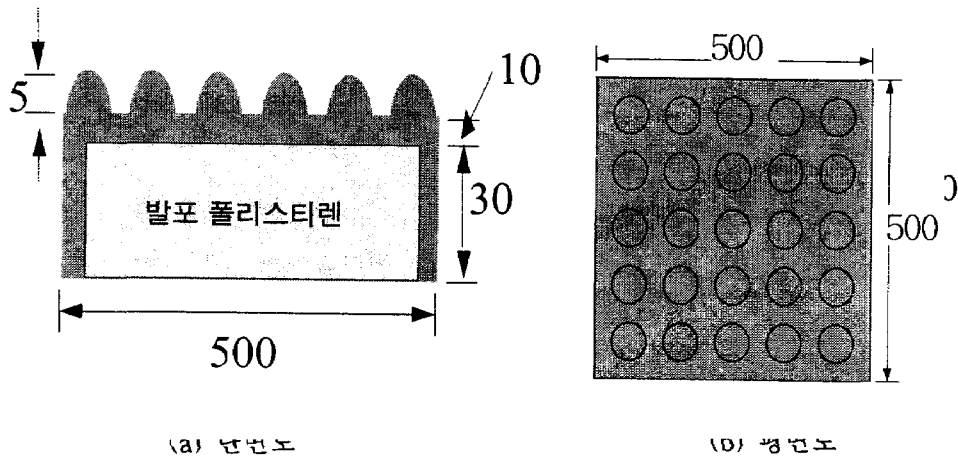


그림 5-6 우사 바닥재의 형상 및 치수

(다) 우사 바닥재의 시험방법

우사 바닥재로 사용되는 폴리머 모르터에 관해서는 앞에서 모든 기본시험을 거쳤으며, 여기서는 분뇨의 흡수와 충격에 관한 시험을 실시하는 것으로 한다.

1) 비중 및 흡수율

비중 및 흡수율 시험은 KS F 2518(석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 체적과 무게비로 산출하였다.

2) 충격강도

충격강도 시험은 시험체를 강구낙하법에 의해 측정하였으며, 사용된 추의 무게는 6.7kg, 낙하높이는 5cm단위로 증가시켰다. 충격강도 ($\text{kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$)는 강구의 무게(kg) × 낙하높이(cm) ÷ 파괴단면적(cm^2)으로 구하였다.

(3) 결과 및 고찰

(가) 비중 및 흡수율

본 실험에 사용한 폴리머 모르타의 비중 및 흡수율 시험결과는 표 5-17 및 표 5-18과 같다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 모르타의 비중은 1.65, 흡수율은 0.95%로서 일반적인 시멘트 모르타 보다 훨씬 작은 값을 보였다. 이것으로 단열을 고려한 형식으로 발포 폴리스티렌을 사용하여도 흡수율은 변함이 없음을 알 수 있었다.

표 5-17. 비중 시험 결과

측 정 치			평 균
1.66	1.67	1.62	1.65

표 5-18. 흡수율 시험 결과

(Unit : %)

측 정 치			평 균
0.92	0.96	0.97	0.95

(나) 우사 바닥재의 충격강도

표 5-19는 폴리머 모르터 우사 바닥재의 충격강도 실험결과이다.

이 결과에서 볼 때 폴리머 모르터 우사 바닥재는 시멘트 모르터 블록에 비하여 충격강도가 높다. 이는 폴리머 모르터 우사 바닥재가 외부 충격하중에 대한 저항성이 뛰어난을 보여주는 결과라 할 수 있다.

표 5-19. 우사 바닥재의 충격강도 시험결과

종류	크기 a×b×h (cm)	파괴높이 (cm)		충격강도 (kgf·cm/cm ²)
		측정치	평균	
P.M.B	50×50×1 A=50cm ²	18	18	2.41
		19		
		17		
C.M.B	30×30×3 A=90cm ²	20	21.7	1.6
		20		
		25		

* Note. P.M.B : 폴리머 모르터 블록, C.M.B : 시멘트 모르터 블록

앞에서 폴리머 모르터의 우수한 역학적 특성이 실험적으로 입증되었다. 본 연구에서는 이와같은 폴리머 모르터를 사용하여 지금까지 시멘트 콘크리트 제품에 비해 단면을 축소 시킴으로써 중량감소는 물론 작은 단면으로 높은 충격강도를 가지며, 시공성이 우수한 우사용 바닥재 개발을 목적으로 실험을 실시하였다.

(나) 우사용 바닥재 실물 제작

그림 5-7은 우사용 바닥재의 제작순서를 나타냈고, 사진 5-10은 완성된 우사 바닥재의 모양을 나타낸 것이다.

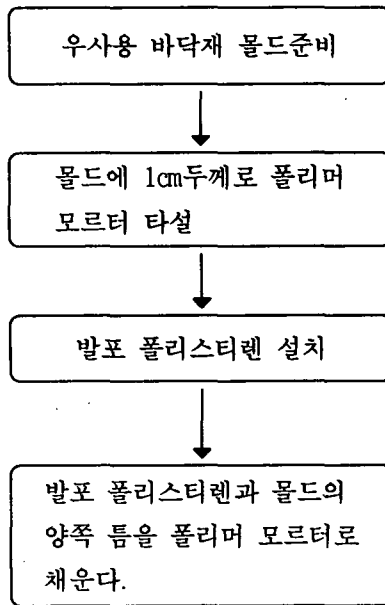


그림 5-7. 우사용 바닥재의 제작순서

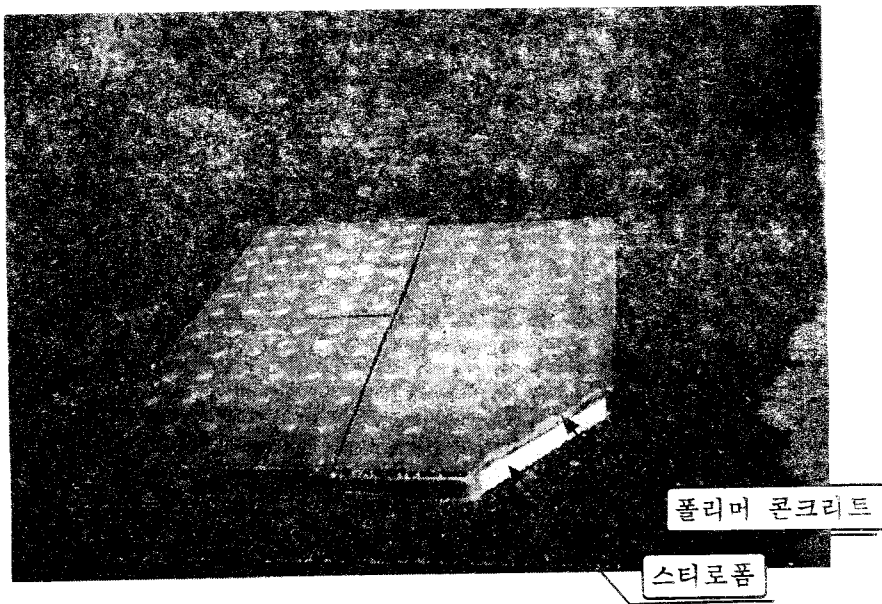


사진 5-10. 우사 바닥재

(5) 결 론

본 연구에서 폴리머 모르터를 이용한 우사용 바닥재를 개발하고 소재에 대한 물리·역학적 특성 및 제품의 성능을 실험적으로 구명하였던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 폴리머 모르터의 비중은 1.65로서 시멘트 모르터에 비해 약간 작은값을 보였으나, 흡수율은 0.95%로서 7.75%의 시멘트 모르터 보다 훨씬 작은 값을 보여 제품의 방수성이 우수함을 알 수 있었다.

(나) 폴리머 모르터 우사용 바닥재의 충격강도는 시멘트 모르터 바닥재보다 약 1.5배 높게 나타나 충격하중에 대한 저항성이 큼을 알 수 있었다.

(다) 이상의 결과로 부터 폴리머 모르터 우사용 바닥재는 시멘트 모르터 우사용 바닥재에 비해 낮은 흡수율과 높은 충격강도 값을 갖는 것으로 나타나 폴리머 모르터 우사용 바닥재의 성능이 우수함을 알 수 있다. 또한 부재의 자중을 1/3정도로 줄임으로써 편리한 시공성을 확보할 수 있었고, 중심부 재료로 발포 폴리스티렌을 삽입함으로써 어느 정도의 단열성도 기대할 수 있으며, 부재의 단면 축소로 자연경관의 손상을 최소화 할 수 있는 등 그 실용적 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

3. 구유 개발

구유에 사용된 재료는 돈사, 우사 바닥재 재료와 동일하며, 배합비는 표 5-20과 같다.

표 5-20. 폴리머 모르타의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	잔골재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		
12.6	1.4	1.0 (plus*)	17	69

Note, * plus : Parts per hundred parts of UP and SR

구유의 단면형상은 반원통으로써 바닥에 고정용 받침대와 함께 제작되었다.

본 제품은 내구성과 방수성이 우수해 반영구적이며, 중량이 가볍고 조립식으로 시공이 편리하다. 또한 기존의 나무 구유와 같이 무겁거나, 흡수성이 없어 청소 및 유지관리가 쉽다. 사진 5-11은 완성된 구유를 나타낸 것이다.

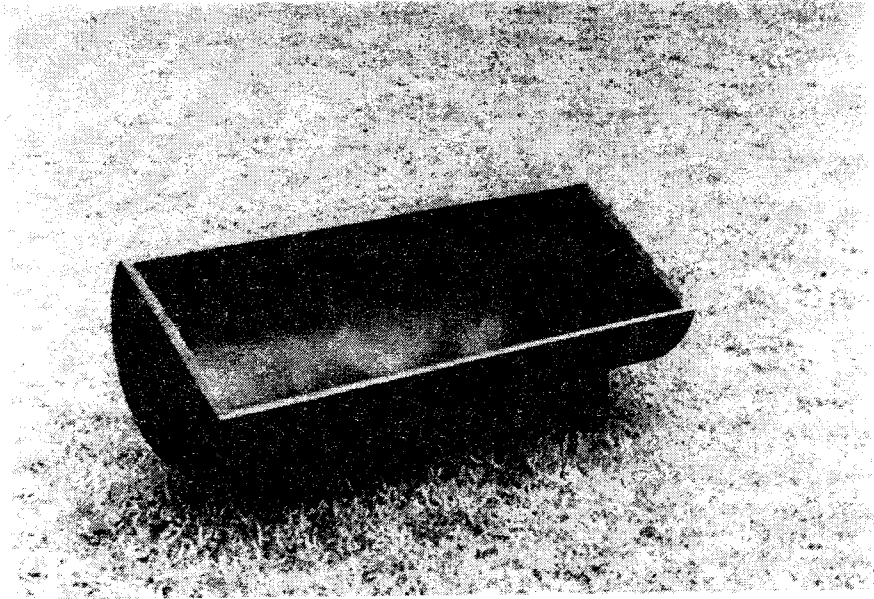


사진 5-11. 구유

제3절 분뇨 저장조 개발

1. 재료 및 방법

가. 사용재료

(1) 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스터 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머 (St), 촉진제로 옥탄산 코발트 8%를 함유하는 mineral turpentine 용액(CoOc), 개시제로서 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)을 첨가하여 사용하였다. 사용된 액상불포화 폴리에스터 수지의 성질은 표 5-21과 같다.

표 5-21. 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (20℃)	점 도 (20℃, mPa · s)	산 가	스티렌 함량 (%)
1.13	325	16.9	38.0

(2) 충전재 및 골재

충진재는 가격이 저렴하고 구입이 용이한 중질탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며, 골재는 홍천강에서 채취한 강모래를 사용하였다. 이들 충전재 및 골재의 함유율은 0.1%이하로 하였으며, 그 성질은 표 5-22와 같다.

표 5-22. 충전재 및 골재의 성질

종 류	치 수 (mm)	비 중 (20℃)	함수율 (%)	유기불순물
충진재	$\leq 2.5 \times 10^{-3}$	2.7	≤ 0.1	없음
골 재	≤ 1.2	2.6	≤ 0.1	없음

(3) 유리섬유

본 연구에서 FRP층에 사용된 유리섬유의 물리적 성질은 표 5-23과 같다.

표 5-23. 유리섬유의 물리적 성질

비 중	인장강도 (kgf/mm ²)	인장탄성계수 (kgf/mm ²)	비 고
2.55	350	7,400	

나. 시험방법

(1) 폴리머 모르터의 배합

폴리머 모르터에 있어 최적 배합비는 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위내에서 골재와 충전재의 양을 최대로 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화하는 것이 가장 경제적이다. 그러나 이와 같은 배합비는 시멘트 모르터에서와 같이 규정되어 있지 않으므로 본 연구에서는 반복실험에 의해 얻어진 결과를 사용하였으며, 결정된 배합비는 표 5-24와 같다.

표 5-24. 폴리머 모르터의 배합비

(Unit : wt%)

결 합 재			충진재	잔 골 재
불포화 폴리에스터 수지(UP)	수축저감제 (SR)	MEKPO		
12.6	1.4	1.0 (plus*)	17	69

Note, * plus : Parts per hundred parts of UP and SR

(2) 시험체의 제작

분노 저장조의 역학적 특성을 검토하기 위하여 $500 \times 150 \text{mm}$ 시험체를 두께 (Unit : mm) 10, 20, 30, 40mm로 변화시켜 폴리머 모르타 시험체를 제작하여, (Fiberglass Reinforced Plastics)로 두께 1~5mm까지 1mm 간격으로 변화시켜 보강한 후 역학적 특성을 실험적으로 구명하였다.

시험체의 제작에는 강제식 믹서를 사용하였고, 다짐에는 테이블 바이브레이터 (3,000 vpm)를 사용하였으며, 양생은 실내온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 인 실험실내에서 24시간 상온 양생 후 85°C 에서 15시간 가열 양생 하였다. 양생이 끝난 시험체는 사진 1과 같은 FRP 제조기계를 이용하여 FRP보강층을 형성시켰다.

제작된 시험체의 형상은 그림 5-8과 같으며, 치수별 시험체수는 표 5-25와 같다.

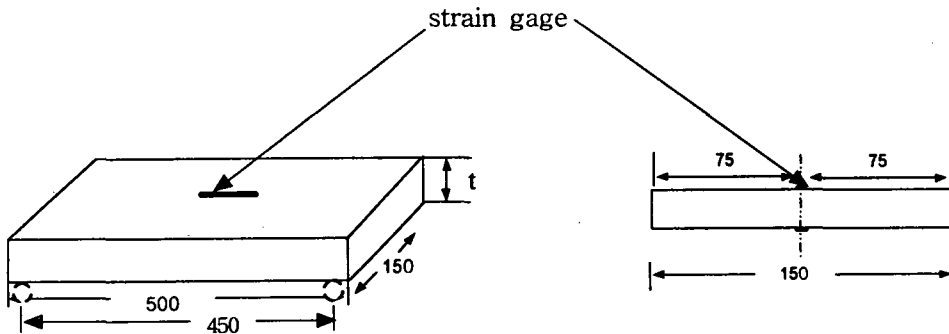


그림 5-8. 시험체 개략도

표 5-25. 시험체의 제작

FRP 보강두께 폴리머 모르터 상판 두께	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm
	10mm	■	■	■					
20mm	■	■	■						
30mm	■	■	■	■	■				
40mm	■	■	■	■	■				

(3) 폴리머 모르터의 물리·역학적 특성시험

(가) 비중 및 흡수율

비중 및 흡수율 시험은 KS F 2518(석재의 비중 및 흡수율 시험방법)에 준하여 실시하였다.

(나) 가사시간

가사시간은 KS F 2484(폴리에스터 레진 콘크리트의 사용가능시간 측정방법)에 제시된 방법중 관입법 및 감촉법을 병용하여 측정하였다. 이때 가사시간은 액상수지에 개시제(MEKPO)를 첨가했을 때의 시각부터 측정된 것이며, 시험시의 실내온도는 20℃, 상대습도는 60%였다.

(다) 압축, 휨, 인장강도

강도는 압축강도, 휨강도 및 인장강도를 측정하였으며, 각각 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트 압축강도 시험방법), KS F 2482 (폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법), KS F2480(폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시

험방법)의 규정된 방법에 의해 실시하였다.

이때 시험체는 압축 및 인장강도용으로 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 크기의 원주형을, 휨강도용으로 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 크기의 각주형을 사용하였다.

(라) 탄성계수 및 포아슨비

탄성계수 및 포아슨비는 KS F 2438 (콘크리트 원주형 공시체의 정탄성계수 및 포아슨비 시험방법)에 규정된 방법 중 와이어 스트레인 게이지(wire strain gauge)법을 이용하여 구하였다.

(마) 휨강성

휨을 받는 부재의 구조적 성능을 나타내는 휨강성(EI)은 하중-처짐의 관계로 나타내는 간접적인 방법과 휨모멘트-곡률로 나타내는 직접적인 방법이 있다. 본 연구에서는 아래 식 (1)과 같이 휨모멘트-곡률 곡선의 구배로 휨강성(EI)을 나타냈다.

$$EI = M/\varphi \dots\dots\dots (1)$$

여기서 φ 는 패널이 휨변형을 일으켰을 때의 곡률로서 인장측과 압축측에 strain gauge를 부착하여 변형율을 측정 한 후 식 (2)에 의해 구해졌다.

$$\text{곡률}(\varphi) = \frac{\text{압축변형율} + \text{인장측변형율}}{\text{판의두께}} \dots\dots\dots (2)$$

다. 결과 및 고찰

(1) 폴리머 모르타의 물리·역학적 성질

(가) 비중 및 흡수율

본 실험에 사용한 폴리머 모르타의 비중 및 흡수율 시험결과는 표 5-26 및 표 5-27과 같다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 모르타의 비중은 2.29, 흡수율은 0.87%로서 일반적인 시멘트 모르타 보다 훨씬 작은 값을 보였다.

표 5-26. 비중 시험 결과

측 정 치			평 균
2.28	2.28	2.30	2.29

표 5-27. 흡수율 시험 결과

(Unit : %)

측 정 치			평 균
0.85	0.87	0.88	0.87

(나) 가사시간

상은 경화법으로 폴리머 모르터 제품을 제조하는 경우, 가장 중요한 것 중의 하나가 가사시간의 설정이다. 즉 가사시간은 제품의 형상, 크기, 생산공정 등에 적합한 것이라야 하는데, 폴리머 모르터의 경우 30~50분 정도가 설정되어야 한다. 이와같은 가사시간은 촉진제 및 개시제의 첨가량과 온도에 영향을 받는다. 그러나 비교적 균일한 온도로 조절될 수 있는 장소이면, 제품의 성격에 따라 가사시간의 조절이 가능하다. 본 실험에서 측정된 폴리머 모르터의 가사시간은 표 5-28과 같다.

표 5-28. 폴리머 모르터의 가사시간 시험 결과

단 위	측 정 치	평 균
시(분)	48, 50, 52	50

(다) 압축강도, 휨강도 및 인장강도

본 연구에서 사용된 폴리머 모르타의 압축, 휨 및 인장강도 시험을 실시한 결과는 표 5-29와 같다. 본 연구에서 사용한 폴리머 모르타의 압축강도는 1095kgf/cm^2 으로서 높은 강도값을 보였으며, 휨 및 인장강도도 상당히 높은 값을 나타냈다.

표 5-29. 강도시험 결과

압축강도 (kgf/cm^2)		할렬인장강도 (kgf/cm^2)		휨 강도 (kgf/cm^2)	
측 정 치	평균	측 정 치	평균	측 정 치	평균
1085, 1095, 1105	1095	108, 112, 116	112	232, 230, 231	231

(라) 탄성계수 및 포아손비

본 연구에서 사용된 폴리머 모르타의 탄성계수 및 포아손비의 시험결과는 표 5-30과 같다.

표 5-30. 탄성계수 및 포아손비 시험 결과

탄 성 계 수 ($E, \times 10^5\text{kgf/cm}^2$)		포아손비 (ν)	
측 정 치	평균	측 정 치	평균
2.01, 2.06, 2.02	2.03	0.19, 0.21, 0.20	0.20

(마) 휨 강도 시험

표 5-31에는 FRP 보강 폴리머 모르타 휨강도 시험결과 최대 휨모멘트를 계산하여 취성파괴를 나타낸 상판의 두께 및 보강두께를 검은 블럭으로 표시하였

다.

이 결과로부터 휨 강도 시험에서 양면보강은 단면보강과 별차이가 없었으며, 이로부터 FRP보강효과는 인장측에서 발휘함을 알 수 있었고, 판두께가 10, 20mm 일때 FRP 보강두께는 3mm 미만이 적당하며, 판두께 30, 40mm 일때 FRP 보강두께는 5mm 미만이 적당함을 알 수 있었다.

표 5-31. 시험체의 최대 휨 모멘트

(Unit : kg · cm)

FRP 보강 두께		무보강	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
폴리머 모르타르 두께							
10mm	단면	631	1,193	2,742	5,014		
	양면		1,285	2,880	5,106		
20mm	단면	2,754	3,281	5,439	9,300		
	양면		3,419	5,519	9,423		
30mm	단면	5,175	6,540	8,548	11,700	19,438	24,051
	양면		6,662	8,629	11,923	19,633	24,223
40mm	단면	10,189	11,300	12,500	17,717	21,917	29,203
	양면		11,452	12,720	17,809	22,069	29,307

표 5-32에는 FRP 보강두께에 따른 FRP 보강 폴리머 모르타르의 최대 휨모멘트와 곡률을 나타낸 것이다.

표 5-32. FRP 보강 두께에 따른 최대 휨모멘트, 곡률, 휨강성

종 류	최대 휨 모멘트 (kgf · cm)	최대 곡률 ($\times 10^{-6}1/cm$)	EI = M/ ϕ (휨강성)
T10	755	2,410	0.31
T10-R1	1,170	8,321	0.14
T10-R2	2,658	19,214	0.13
T20	2,662	958	2.77
T20-R1	3,247	1,762	1.84
T20-R2	5,439	3,622	1.50
T30	6,400	593	10.79
T30-R3	10,200	3,137	3.25
T30-R4	17,200	6,251	2.75
T40	10,300	453	22.73
T40-R3	17,000	3,063	5.55
T40-R4	20,900	4,223	4.95

동일한 두께를 갖는 FRP 보강 폴리머 모르터의 FRP 보강두께에 따른 휨모멘트-곡률 사이의 관계도를 나타낸 것으로 FRP 보강두께가 증가함에 따라 휨 강성이 감소함을 보였다.

이와같은 결과로 보아 동일부재 상에서 FRP의 보강두께가 증가할 수록 폴리머 모르터의 취성적 성질을 연성화 시킴을 알 수 있다.

앞에서 FRP 보강 폴리머 모르터의 우수한 역학적 특성이 실험적으로 입증되었다. 본 연구에서는 이와같은 FRP 보강 폴리머 모르터를 사용하여 지금까지 시멘트 콘크리트 제품에 비해 단면을 축소 시킴으로써 중량감소는 물론 작은 단면으로 높은 휨강도를 가지며, 시공성이 우수한 분뇨 저장조 개발을 목적으로 실험을 실시하였다.

라. 분뇨 저장조 실물 제작

그림 5-9은 분뇨 저장조의 형상 및 치수를 나타내고, 사진 5-12에는 제작된 FRP 보강 폴리머 모르터 분뇨 저장조 바닥부분의 제작광경이고, 사진 5-13은 측벽제작광경이다.

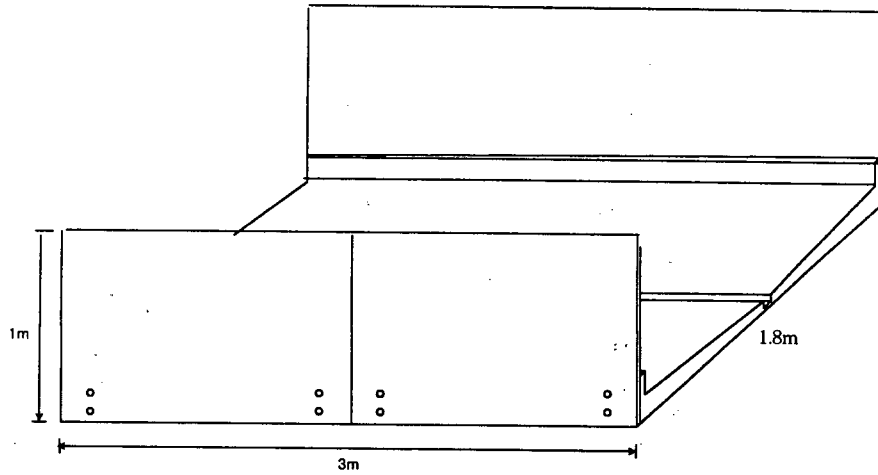


그림 5-9. 분뇨 저장조의 형상 및 치수

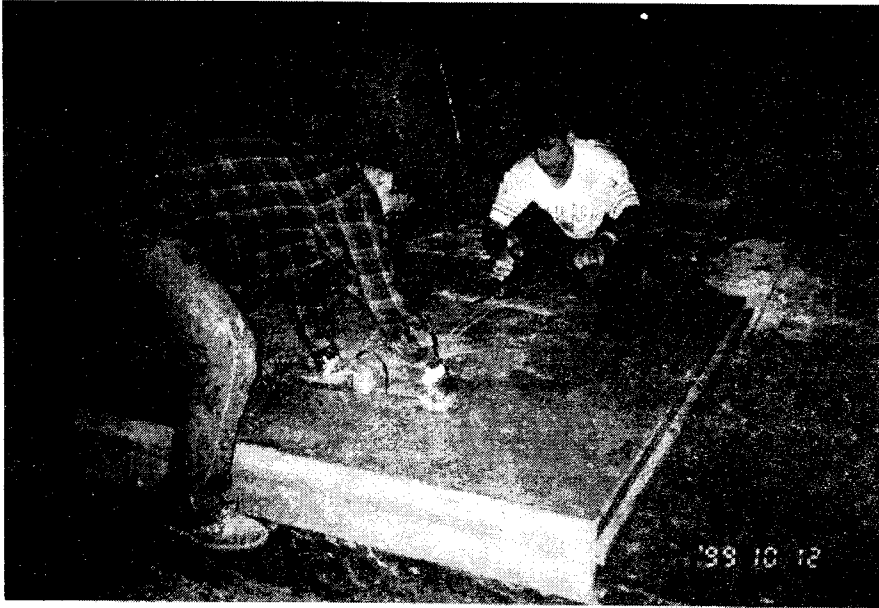


사진 5-12. 분뇨 저장조의 바닥부분 제작광경

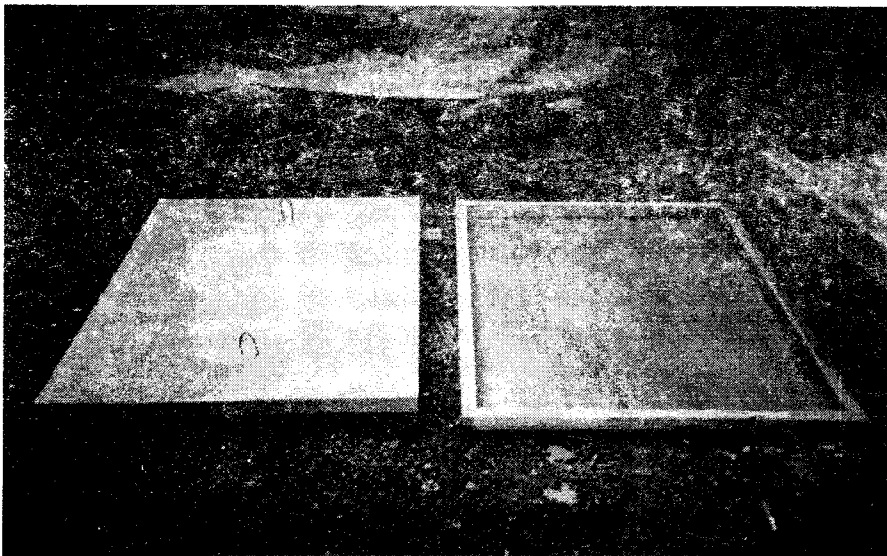


사진 5-13. 분뇨 저장조의 측벽몰드와 완성된 상태

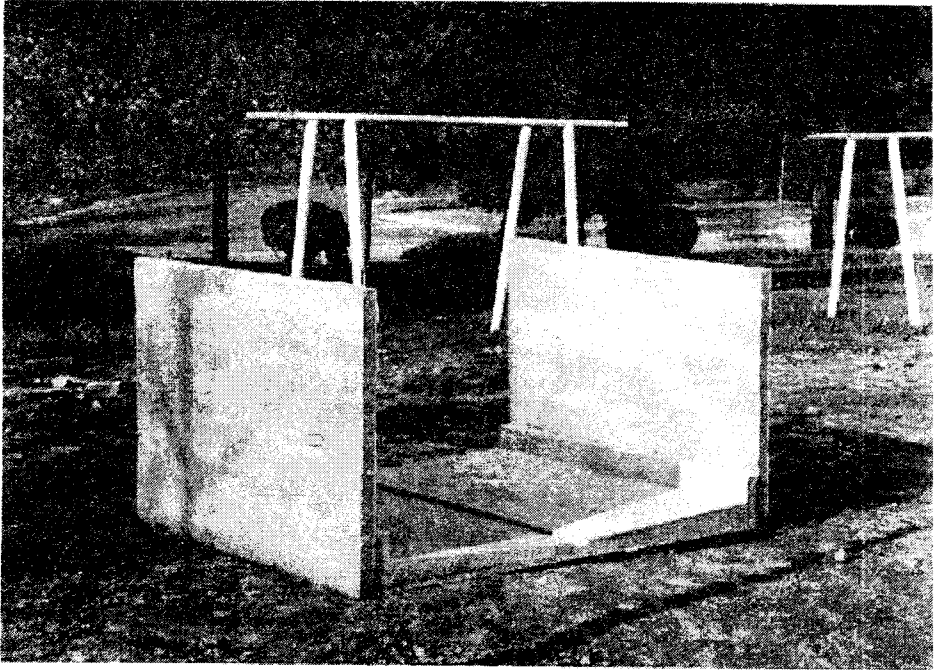


사진 5-14. 완성된 분뇨 저장조

마. 결 론

본 연구에서 폴리머 모르터를 이용한 분뇨 저장조를 개발하고 소재에 대한 물리·역학적 특성 및 제품의 성능을 실험적으로 구명하였던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폴리머 모르터의 비중은 2.29로서 시멘트 모르터에 비해 약간 작은 값을 보였으나, 흡수율은 0.87%로서 7.75%의 시멘트 모르터 보다 훨씬 작은 값을 보여 제품의 방수성이 우수함을 알 수 있었다.
- (2) 분뇨 저장조의 모재로 사용된 폴리머 모르터는 압축강도 1,095kgf/cm², 할열인장강도 112kgf/cm², 휨강도 231kgf/cm², 탄성계수 2.03×10^5 kgf/cm² 을 나타냈다.
- (3) FRP 보강 폴리머 모르터의 휨 강도 시험결과 양면보강은 단면보강과 별차이가 없어 FRP보강효과는 인장측에서 나타남을 알 수 있었고, 판두께가 10, 20mm 일때 FRP 보강두께는 3mm 미만이 적당하며, 판두께 30, 40mm 일때 FRP 보강두께는 5mm 미만이 적당함을 알 수 있었다.
- (4) 동일부재 상에서 FRP의 보강두께가 증가할 수록 폴리머 모르터의 취성적 성질을 연성화 시킴을 알 수 있다.
- (5) 따라서 본 연구에서는 FRP 보강 폴리머 모르터를 사용함으로써 지금의 시멘트 콘크리트 제품에 비해 경량이며 우수한 휨 모멘트 증진 효과를 갖는 제품제조가 가능한 것으로 나타났다.

여 백

제 6 장

시설제품의 내구성 및 경제성 평가

여 백

제6장 시설제품의 내구성 및 경제성 평가

제1절 내구성 평가

1. 시험방법

가. 수밀성

수밀성 측정은 out put method에 의하여 수행하였다. 이것은 일정한 압력으로 공시체에 가한 물이 단위시간에 단위면적으로 부터 유출하는 양을 측정, 압력과 유출량의 관계로부터 콘크리트 투수성을 구하는 것이다. 이 방법은 콘크리트 투수성을 시험하기 위한 가장 합리적인 방법으로 투수의 해석도 용이하다. 이 시험에는 중공원통형 공시체($\varnothing 15 \times 30\text{cm}$)를 사용하였다.

나. 동결융해 저항성

동결융해 저항성은 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 의해 시험하였으며, 이때 시험체는 $7.65 \times 7.65 \times 35.6\text{cm}$ 크기의 각주형이고 사이클수는 600회로 하였다.

다. 내약품성

내약품성 시험은 산, 알칼리, 염류의 성질을 갖는 대표적인 약액에 침적시킨 후 2주, 4주, 8주에서의 색상 및 중량 변화를 측정하여 조사하였다.

라. 열적특성

내열성 시험에서는 80°C , 100°C , 120°C 의 건조오븐에서 공시체를 24시간 처리한 후 색상의 변화를 관찰하였다. 여기서 색상 변화는 폴리머 콘크리트의 변화상태를 파악하기 위한 것이다. 또한 압축강도 및 휨강도를 측정하여 내열성을 시험하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 수밀성

미국 개척국의 방법에 따라 $\varnothing 15\text{cm}$ 이고 중심공 지름 2cm인 중공 공시체에 대하여 600시간까지 28kg/cm^2 의 수압을 가하여 투수량을 측정하였으나 투수량은 zero였다. 이를 골재 최대치수 40mm인 보통 시멘트 콘크리트에서 물-시멘트비 60%인 경우 투수계수 40×10^{-12} 이고, 최대 골재치수 50mm인 모르타르에서 물-시멘트비 60%인 경우 투수계수 5×10^{-12} 임에 비해 볼 때 폴리머 콘크리트의 수밀성은 극히 양호한 것으로 나타났다.

나. 동결융해 저항성

폴리머 콘크리트에 대한 600사이클까지의 동결융해시험을 실시하여 상대동탄성계수를 측정된 결과는 그림 6-1, 그림 6-2에 나타난 바와 같다. 이 결과에서 볼 때 상대동탄성계수는 600사이클에 이르렀을 때 평균 74%(내구성 지수 74)로서 보통 시멘트 콘크리트(슬럼프 7cm, 물-시멘트비 64%)인 경우 약 120사이클에서 상대동탄성계수가 60% 이하임을 감안할 때 폴리머 콘크리트의 동결융해 저항성이 매우 우수함을 알 수 있으며, 이는 시설제품에 있어서 매우 유리할 것으로 판단된다.

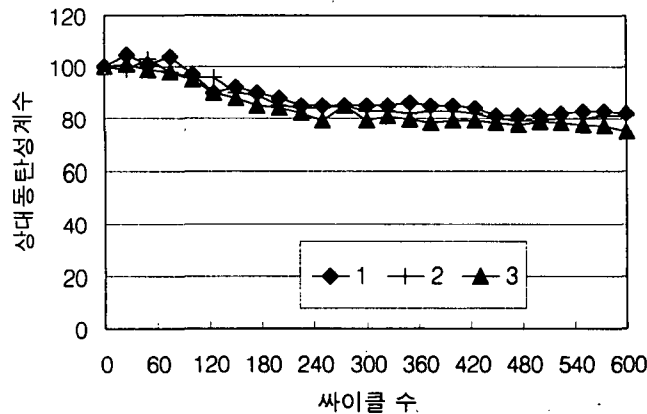


그림 6-1. 사이클 수에 따른 상대동탄성계수 변화

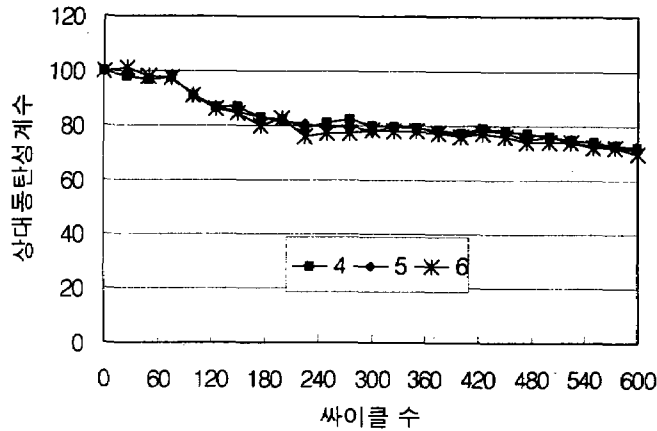


그림 6-2. 사이클 수에 따른 상대동탄성계수 변화

다. 내약품성

산성분인 10% HCl(염산) 수용액에 침적시켰을 경우 시간이 지남에 따라 수용액은 옅은 황색으로 변하였다. 꺼낸 즉시 그리고 상온에서 48시간 건조 후 중량의 증감은 표 2.2에서 보듯이 거의 변하지 않았다. 알칼리 성분에 대한 내약품성 조사는 10% NaOH(수산화 나트륨) 수용액을 사용하였다. 침적시킨 후 시간이 지나도 수용액의 색상변화는 거의 일어나지 않았으며, 중량의 변화도 표 6-1에서 볼 수 있듯이 거의 일어나지 않았다. 또한 염류 성분에 대한 내약품성 시험을 위해 $MgSO_4$ (마그네슘 설페이트)로 포화된 수용액을 사용하였다. 이 경우 색상의 변화는 산·알칼리와는 달리 옅은 갈색으로 변하였을 뿐 중량의 증감은 거의 일어나지 않았다. 시멘트 수화물이 규산, 알루미늄 등의 칼슘염과 수산화 칼슘으로 구성되어 있기 때문에 화학약품(특히 산류), 해수 등에 의해 부식작용이 쉽게 일어남에 비추어 볼 때 폴리머 콘크리트의 내약품성은 매우 양호함을 알 수 있다.

표 6-1. 내약품성 시험결과

(단위 : g)

약액	침적기간	무게구분	2주	4주	8주	8주 후	색상변화 (8주 후)
			$\Delta(W_B \text{ or } W_C - W_A)^d$	$\Delta(W_A - W_B \text{ or } W_C)$	$\Delta(W_B \text{ or } W_C - W_A)^d$		
10% HCl 수용액	W _A	132.27	-	147.83	-	161.80	엷은 황색으로 변함
	W _B	132.85	+0.58	147.33	-0.5	161.01	
	W _C	131.52	-0.75	146.36	-1.47	159.67	
10% NaOH 수용액	W _A	142.28	-	163.77	-	137.82	색상불변
	W _B	142.53	+0.25	164.15	+0.38	138.55	
	W _C	141.87	-0.41	161.64	-2.31	135.03	
포화 MgSO ₄ 수용액	W _A	158.79	-	138.51	-	171.63	엷은 갈색으로 변함
	W _B	159.19	+0.4	138.77	+0.26	171.96	
	W _C	158.24	-0.55	138.32	-0.19	171.31	

라. 열적특성

80℃, 100℃, 120℃에서 24시간 가열하여도 색상 변화는 육안으로 판별할 수 없었다. 또한 압축강도와 휨강도는 가열온도의 증가에 따라 약간씩 감소하였으나 120℃까지는 압축강도 1,000kg/cm², 휨강도 200kg/cm²을 상회하는 것으로 나타나 큰 문제는 없을 것으로 생각된다.

결과적으로 폴리머 콘크리트를 사용하여 제작한 공시체는 120℃까지의 온도에서 외관의 큰 변화를 보이지 않았으며 압축강도나 휨강도의 변화가 크지 않은 것으로 보아 시설제품의 내열성에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 시멘트 콘크리트의 경우 온도 200℃까지는 강도가 저하되지 않는다는 연구결과와 비교해 볼 때 내열성은 낮다고 할 수 있다.

내화성 시험은 LPG 불꽃을 200℃로 조절하여 공시체를 20분간 가열한 후 폴리머 콘크리트의 변화 양상을 관찰한 것으로 연기발생, 점화, 연소 등을 조사하였다.

폴리머 콘크리트의 연소점은 380℃로서 시멘트 콘크리트의 경우 온도 500℃에서 잔존강도가 60% 이하로 된다는 연구결과와 비교해 볼 때, 시멘트 콘크리트 만큼의 내화성을 갖지 못하는 것으로 나타났다.

이와같은 내열·내화성이 낮은 이유는 결합제로 불포화 폴리에스터 수지를 사용하

기 때문인데 폴리머 콘크리트는 무기질인 충전재와 골재가 90% 정도 차지하므로 극난연성으로서, 실제로 시설제품이 주로 접하게 되는 토치램프에 의한 열에 대해서는 전혀 문제가 없다.

표 6-2. 내열성 시험결과

(단위 : kg/cm²)

온도(℃)	압축강도		휨강도		색상
	시험치	평균	시험치	평균	
80	1240	1226	218	223	큰변화 없음
	1225		223		
	1215		229		
100	1215	1201	221	212	큰변화 없음
	1160		215		
	1230		200		
120	1050	1113	201	203	큰변화 없음
	1180		202		
	1110		208		

3. 결론

이와 같은 실험 결과 수밀성과 동결융해 저항성이 매우 우수하였고, 산, 알칼리, 염류에 대한 내약품성이 양호하였다. 그리고 내열 및 내화성은 시멘트 콘크리트 보다 불리하였으나, 농업기반 시설제품으로는 문제가 없는 것으로 구명되었다.

제2절 경제성 평가

1. 평가방법

투자사업에 대한 효과분석은 국민경제적관점에서 보느냐 또는 사경제적관점에서 보느냐에 따라 경제분석과 재무분석으로 구분된다. 경제분석은 특정사업의 시행으로 인한 혜택을 누가 받든가 또는 누가 기여했는가에 관계없이 당해사업이 전체국민경제에 얼마만큼이나 기여했는가의 경제적 기여도, 즉 투자자본의 경제적 효율만을 측정할 뿐이지 자본의 소유관계나 소득분배문제는 다루지 않는다. 반면 재무분석은 자본의 소유관계나 소득분배상황을 중요시하며 경제분석의 경우와 마찬가지로 투자자본의 효율을 측정하나 사회전체적 입장에서 본 자본효율이 아니라 사업참여단위가 투자한 사적자본의 수익성을 측정한다.

이와 같이 경제분석에서는 경제적 효율성 그리고 재무분석에서는 재무적 효율성이 주요 평가지표로 사용되고 있다. 품질향상을 위한 시설투자나 복리후생시설의 투자, 그리고 신제품 개발을 위한 투자는 일반적으로 평가가 용이하지 않다. 그러나 생산량 증가와 원가절감을 위한 투자에 대해서는 경제성의 검토가 가능하며 또한 필요하다. 시설투자에 대한 경제성의 계산방법에는 원가비교법, 이익비교법, 투자리익율법, 자본회수기간법 등이 있다. 그리고 각각의 방법에 따라 시간적 가치를 고려하지 않는 방법과 고려하는 방법이 있다. 시간적 가치를 고려하지 않는 방법과 고려하는 방법의 차이는 할인율을 단리로 하느냐 복리로 계산하느냐의 차이이다.

본 내용에서는 시멘트 모르터와 폴리머 모르터의 경제성 타당성을 비교 분석하기 위해서 시간적 가치를 고려한 원가비교법에 의한 계산방법을 적용하기로 한다. 원가비교법은 원가액이라고 하는 「금액」의 대. 소로 경제성을 비교하는 방법이다.

2. 평가결과

표 6-3은 농촌경관시설 제품을 대상으로 시멘트 모르터와 폴리머 모르터의 제조원가 및 연간유지보수비 등을 비교한 것이다. 제조원가(P)는 재료비와 인건비 등이 포함된 가격이며, 잔존가액(D)은 내구연수가 경과한 후에는 가치가 전부 소멸되는 것으로 간주하여 0원으로 처리하였다. 그리고, 연간유지보수비(S)는 5년에 1회씩 도장공사와 기타 보수 등을 하는 것으로 간주하여 소요되는 경비는 시멘트 모르터를 기준으로 10%(1년에 2%를 적용)로 산정하였다. 또한 내구연수(n)는 세멘트 모르터는 10년, 폴리머 모르터는 50년(반영구적)으로 하였으며, 할인율(i)(또는 기회비용)은 IMF체제 이후 국내 은행금리의 폭등으로 실제금리를 적용하여야 하나 상기의 제품을 복리후생시설 또는 신제품 개발을 위한 투자로 간주하여 정책금리인 8%를 각각 적용하여 원가를 비교분석 하였다.

표 6-3. 제품별 제조원가 비교표(개당)

(단위 : 원, 년, %)

제 품 명	구 분	시멘트 모르터 (X)	폴리머 모르터 (Y)
사 면 보 호 재	제 조 원 가(P)	1,200	1,900
	잔 존 가 액(D)	0	0
	연간유지보수비(S)	24	24
	내 구 년 수(n)	10	50
	할 인 율(i)	8	8
마 을 사 인 보 드	제 조 원 가(P)	17,000	28,280
	잔 존 가 액(D)	0	0
	연간유지보수비(S)	340	340
	내 구 년 수(n)	10	50
	할 인 율(i)	8	8
공 원 용 벤 치	제 조 원 가(P)	3,870	6,580
	잔 존 가 액(D)	0	0
	연간유지보수비(S)	77	77
	내 구 년 수(n)	10	50
	할 인 율(i)	8	8
공 원 용 휴 지 통	제 조 원 가(P)	4,200	7,140
	잔 존 가 액(D)	0	0
	연간유지보수비(S)	84	84
	내 구 년 수(n)	10	50
	할 인 율(i)	8	8

원가비교법을 적용하여 어떤 시설투자의 경제적 타당성을 비교분석하는 경우에 현가법과 연가법이 있으나 내구연수가 각각 10년과 50년으로 다르기 때문에, 그 경우에 적용하기 편리한 것이 연가법이다. 원가비교법의 연가법에 의한 계산식은 다음과 같다.

<계산식 >

$$R = S + P \times [i(1+i)^n / (1+i)^n - 1]$$

여기서 ; R = 연말등가지출액

S = 연간유지보수비

P = 제조원가

n = 내구연수

i = 할인율(또는 기회비용)

$[i(1+i)^n / (1+i)^n - 1]$ = 자본지출계수(자본단위당 자본지출액)

상기의 계산식에 의하여 시멘트 모르타와 폴리머 모르타 제품의 경제적 타당성을 분석한 결과는 다음과 같다.

<분석결과> : X = 시멘트 모르타, Y = 폴리머 모르타

$$\begin{aligned} \text{벤 치 의 자} : X &= 77 + 3,870 \times [0.08(1+0.08)^{10} / (1+0.08)^{10} - 1] = 77 + \\ &3,870 \times 0.14903 \\ &= 654(\text{원}) \end{aligned}$$

$$Y = 77 + 6,580 \times [0.08(1+0.08)^{50} / (1+0.08)^{50} - 1] = 77 +$$

$$6,580 \times 0.08174$$

$$= 615(\text{원})$$

차액 : $X - Y = 654 - 615 = 39$ (원) Y 제품이 유리

사 면 보 호 재 : $X = 24 + 1,200 \times 0.14903 = 203$ (원)

$$Y = 24 + 1,900 \times 0.08174 = 179(\text{원})$$

차액 : $X - Y = 203 - 179 = 24$ (원) Y 제품이 유리

휴 지 통 : $X = 84 + 4,200 \times 0.14903 = 710$ (원)

$$Y = 84 + 7,140 \times 0.08174 = 668(\text{원})$$

차액 : $X - Y = 710 - 668 = 42$ (원) Y 제품이 유리

건 물 안 내 판

(소) : $X = 340 + 17,000 \times 0.14903 = 2,874$ (원)

$$Y = 340 + 28,280 \times 0.08174 = 2,651(\text{원})$$

차액 : $X - Y = 2,874 - 2,651 = 223$ (원) Y 제품이 유리

(중) : $X = 520 + 26,000 \times 0.14903 = 4,395$ (원)

$$Y = 520 + 44,100 \times 0.08174 = 4,125(\text{원})$$

차액 : $X - Y = 4,395 - 4,125 = 39$ (원) Y 제품이 유리

(대) : $X = 1,360 + 68,000 \times 0.14903 = 11,494$ (원)

$$Y = 1,360 + 114,800 \times 0.08174 = 10,744(\text{원})$$

차액 : $X - Y = 11,494 - 10,744 = 750$ (원) Y 제품이 유리

상기의 분석결과를 제품별로 정리한 것이 표 6-4이다.

분석결과에 의하면, 벤치의자의 경우에 제조원가가 Y(폴리머 모르터)제품이 X(시멘트 모르터)제품보다 년가(1년단위)로 39원이나 싸게 생산할 수 있다는 결론이다. 그리고, 타제품의 경우에도 폴리머 모르터가 년가(1년단위)로 사면보호재는 24원, 공원용 휴지통은 42원, 마을 사인보드는 223원씩 싸게 생산할 수 있어 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었다. 또한 폴리머 모르터 제품의 직접적인 경제효과 이외에도 환경영향평가 등의 간접적인 경제효과 까지도 고려한다면 그 효과는 더욱 커질 수도 있을 것이다.

그러나, 본 분석결과는 어디까지나 할인율을 정책금리인 8%를 적용하였을 때의 결과이며, 할인율을 10% 이상 적용하였을 경우에는 그 분석결과가 다르거나 나올 수도 있다는 점에 주의할 필요가 있다.

표 6-4. 시멘트와 폴리머 모르터 제품의 경제적 타당성 비교

(단위 : 원)

제0 품 명	시멘트 모르터 (X)	폴리머 모르터 (Y)	차 액 (경제적타당성)
사 면 보 호 재	203	179	24
마 을 사 인 보 드	2,874	2,651	223
공 원 용 벤 치	654	615	39
공 원 용 휴 지 통	710	668	42

3. 결론

본 평가에서는 농업기반시설용 제품에 사용되는 재료, 즉 기존 제품의 경우 시멘트 모르터를 사용하며, 본 연구에서 신소재로 사용된 폴리머 모르터와의 제조 원가 및 연간유지보수비, 제품의 내구연수를 대용하여 원가를 비교 분석하였다.

평가결과에서는 농촌경관시설용 제품을 대상으로 분석하여 보았던 바, 본 연구 개발제품이 기존제품에 비해 경제적 타당성이 우수한 것으로 나타났다. 본 평가 결과를 토대로 농업수리시설용 제품, 축산시설 제품의 경우에도 같은 결과가 나올 것으로 예상되는 바, 본 연구결과인 농업기반시설 제품의 우수한 경제성을 입증할 수 있었다.

여 백

제 7 장

종 합 결 론

여 백

제7장 종합결론

농업기반 시설용 구조물의 개발을 위하여 건설분야의 신소재인 석재-폴리머 복합소재를 사용하여 각종 제품을 개발하였다. 특히, 본 연구에서는 현재 많이 이용되고 있는 기존 시멘트 콘크리트 제품에 비해 강도 특성, 내구성 및 시공성이 우수한 제품 개발을 목표로 하였다.

세부과제는 신소재 개발 및 성능평가, 농업수리시설용, 농촌경관시설용 및 농축산시설용 제품개발로 구성되어 있으며, 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소재개발 및 성능 평가

농업기반 시설용 구조물의 공장제품화를 전제로, 내구성 확보와 단면 및 중량 감소를 통한 시공성 및 경제성 향상이 가능한 소재를 개발하여 재료·물리·역학적 특성을 실험적으로 구명하였다.

개발된 소재는 폴리머 콘크리트로서 비중은 평균 2.34이며, 흡수율은 0.41%, 가사시간은 평균 63분으로 나타나는 등 재료적 특성이 우수하였다. 또한 압축강도는 평균 1.212kgf/cm^2 , 휨강도는 224kgf/cm^2 으로서 매우 높아, 공장제품용 소재로서 유리함을 확인하였다.

또한, 단위용적 중량, 건조수축, 열팽창계수, 탄성계수, 충격강도, 부착강도에 대한 성능도 상당히 우수하여, 농업용 기반시설용 구조물의 소재로서 효과적임을 확인할 수 있었다.

2. 농업수리시설용 제품개발

(1) 농촌현장에 광범위하고 불특정하게 설치되며 가혹한 조건에 놓인다는 시설의 특성을 고려하여 구조적 성능과 내구성이 우수한 농업수리시설용 제품의 개발을 시도하였다.

이를 위해 수로용 플룸과 낙차공을 개발을 목표로 철근으로 보강된 얇은 폴리머 콘크리트 판의 구조적 특성을 구명하였다. 실험 결과 20~30mm의 얇은 두께로 플룸을 제작하였고 50mm의 두께로 낙차공을 제작하였는데 이는 기존의 동일한 규격을 갖는 시멘트 콘크리트의 1/2~1/3 정도에 해당되는 두께로서 경량이므로 운반과 시공이 편리하고 방수성이 우수하여 수리구조물로서 충분한 내구성을 확보할 수 있는 것으로 평가되었다.

(2) 농업수리 시설용 구조물이나 해상 부유 구조물 등에 사용할 수 있는 인공 경량 조·세골재를 사용한 경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 실험적으로 구명하였다.

단위중량, 압축강도, 휨강도 등에 대한 강도특성 시험결과 특히 강도가 크게 증가한 것은 고분자 재료인 폴리머 매트릭스의 높은 인성에 기인한 것으로 분석되었다. 또한 동탄성계수 및 정탄성 계수 시험을 실시하였던 바, 내구성 지수도 높은 것으로 나타났다.

따라서, 경량 폴리머 콘크리트는 내구성이 요구되는 농업수리 구조물과 경량성과 내구성을 함께 요구되는 부유 구조물에 적합함을 알 수 있었다.

3. 농촌경관 시설용 제품개발

(1) 폴리머 모르터를 이용한 사면보호재를 개발하고 소재에 대한 물리, 역학적 특성 및 제품의 구조적 성능을 실험적으로 구명하였다.

소재의 흡수율은 0.87%로 매우 작아 동결융해 저항성이 우수하게 나타났다. 또한 압축, 휨, 인장강도 모두 높은 값을 보였으며, 충격강도는 기존 시멘트 모르터 제품보다 4배정도 높았다. 그리고 보호재에 대한 휨시험을 통해 휨저항 모멘트가 높음을 확인할 수 있었다.

이와같이 폴리머 모르터의 사면보호재는 시멘트 모르터 사면보호재에 비해

낮은 흡수율이 낮고, 높은 충격강도 및 휨저항모멘트가 높아 폴리머 모르터 사면 보호재의 성능이 우수한 것으로 나타났다. 또한 부재의 자중을 1/3 정도로 줄임으로써 편리한 시공성을 확보할 수 있고, 부재의 단면 축소로 자연경관의 손상을 최소화 할 수 있는 등 그 실용적 가치가 매우 높은 것으로 평가되었다.

(2) 농촌공원 제품으로 마을 안내판, 공원용 벤치, 휴지통, 경계석을 개발하였다. 개발된 제품은 기존 콘크리트 제품이 무거워 시공이 불편하고, 쉽게 부식되며 동결융해작용에 약해 손상되는 단점을 크게 개선하였다. 특히, 중량이 가벼워 운반과 시공이 편리하고 내구성과 방수성이 우수하여 유지관리가 용이한 사면보호재임을 확인할 수 있었다.

(3) 보통 포틀랜드 시멘트와 천연골재를 사용한 콘크리트에 농업부산물인 벚짚재를 혼입한 내구성 콘크리트의 공학적 특성을 실험적으로 구명하였다. 단위중량은 $2,250 \sim 2,335 \text{kg/m}^3$ 정도로서 보통 시멘트 콘크리트에 비해 1~5% 정도 낮았으나, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도는 17%, 휨강도는 21% 증가 하였다. 내구성 지수는 벚짚재의 혼입량이 많을수록 증가되었으며, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트와 10% 및 15% 혼입한 콘크리트의 내구성은 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.15배, 1.45배 및 1.6배 정도 크게 나타났다. 이와같이 적정량의 벚짚재를 혼입하여 콘크리트를 사용할 경우, 시멘트 콘크리트보다 우수한 물리·역학적 성질을 확보할 수 있을 뿐 아니라, 농업부산물의 재활용에도 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 농·축산 시설용 제품 개발

(1) 폴리머 모르터를 이용한 돈사 및 우사용 바닥재 소재에 대한 물리·역학적 특성 및 제품의 구조적 성능을 실험적으로 구명하였다.

폴리머 모르타의 흡수율은 시멘트 모르타 보다 훨씬 낮은 값을 보였으며, 바닥재의 모재로 사용된 폴리머 모르타는 압축강도 1,095kgf/cm², 할열인장강도 112kgf/cm², 휨강도 231kgf/cm², 탄성계수 2.03×10^5 kgf/cm²을 나타냈다.

바닥재의 중심부 두께가 일정할 경우 FRP층의 두께가 증가할수록 폴리머 모르타의 취성적 성질을 보완하여 인성이 증가되었다. 따라서 FRP 보강 폴리머 모르타를 사용함으로써 시멘트 콘크리트 제품에 비해 경량이며 휨 모멘트가 크게 증진하는 등 그 실용적 가치가 매우 높음을 알 수 있었다. 또한, FRP보강 폴리머 모르타 바닥재는 흡수율이 낮고, 충격강도가 높은 것으로 나타나 우사용 바닥재로서 적합함을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 부재의 자중을 1/3정도로 줄임으로써 편리한 시공성의 확보가 가능하고, 중심부에 발포 폴리스티렌을 사용함으로써 단열성도 양호하고, 부재의 단면 축소 가능하여 경제성의 향상을 꾀할 수 있는 등 그 실용적 가치가 매우 높은 것으로 나타났다.

(2) 폴리머 모르타를 이용한 조립식 가축분뇨 저장조개발을 위해 소재에 대한 물리·역학적 특성 및 제품의 구조적 성능을 실험적으로 구명하였다. 분뇨 저장조의 모재로 사용된 폴리머 모르타는 압축강도, 할열인장강도, 휨강도, 탄성계수 모두 대단히 높았으며 특히, 내약품성이 우수하였다.

FRP보강 폴리머 모르타의 휨 시험결과 양면보강을 한 경우가 단면보강을 한 경우와 별차이가 없어 FRP보강효과는 인장측의 보강이 좌우함을 알 수 있었고, 판두께가 10, 20mm 일 때 FRP 보강두께는 3mm 미만이 적당하며, 판두께 30, 40mm 일 때 FRP 보강 두께는 5mm미만이 적당함을 알 수 있었다. 따라서 가축분뇨 저장조에는 FRP 보강 폴리머 모르타를 사용하는 것이 시멘트 콘크리트를 사용하는 것보다 효과적인 것으로 확인되었다.

5. 내구성 및 경제성 평가

(1) 농업기반시설용 제품의 내구성 실험을 한 결과, 수밀성과 동결융해 저항성이 매우 우수하였으며, 산, 알칼리, 염류에 대한 내약품성이 우수한 것으로 나타났다. 내열 및 내화성은 준불연성으로 다소 불리하나, 농업현장에 설치되는 조건으로 보아 문제가 없을 것으로 사료된다.

(2) 기존의 재료인 시멘트 모르타와 본 연구에서 개발한 폴리머 모르타를 사용하여 제품을 제조하였을 때의 원가, 유지보수비, 내구연수 등을 적용하여 경제성을 비교 분석하였다. 농촌경관시설제품을 대상으로 비교분석한 바, 본 연구에서 개발된 제품이 유리한 것으로 나타났다. 따라서 농업수리시설용 제품, 농축산시설용 제품에 적용할 경우도 마찬가지로 충분한 경제성이 있을 것으로 판단된다.

여 백

참 고 문 헌

여 백

참 고 문 헌

- (1) 김성완외 3인, 1995, 경량 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 37(5) : 90~100.
- (2) 문한영, 1990, 건설재료학, 동명사 : 99~137.
- (3) 변근주, 1994, 고성능 콘크리트의 연구동향 및 전망, 한국콘크리트학회지, 6(1) : 2~23
- (4) 성찬용, 1988, 기포 모르타의 제특성에 관한 실험적 연구(I), 한국농공학회지, 30(1) : 73~80
- (5) 성찬용, 1988, 기포 모르타의 제특성에 관한 실험적 연구(II), 한국농공학회지, 30(3) : 106~113.
- (6) 성찬용외 2인, 1993, 양생조건이 경량골재 콘크리트의 ARS에 미치는 영향, 한국농공학회지, 35(4) : 38~46.
- (7) 성찬용외 2인, 1994, 초경량 골재를 사용한 경량콘크리트의 공학적 특성, 한국농공학회지, 36(4) : 48~55.
- (8) 성찬용, 1995, 고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지 37(3·4) : 72~81.
- (9) 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트의 개발 및 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지 37(4) : 2~11.
- (10) 성찬용외 4인, 1996, 왕겨재 콘크리트의 개발, 국제 심포지엄 및 학술발표회 발표논문집, 한국농공학회 : 113~117.
- (11) 성찬용외 2인, 1994, 초경량골재를 사용한 경량콘크리트의 공학적 특성, 한국농공학회지, 36 (4) : 48~55.
- (12) 성찬용, 1995, 고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 37 (3,4) : 72~81.

- (13) 성찬용외 1인, 1996, 석분과 플라이애쉬를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 공학적 성질, 한국농공학회지, 38 (4) : 147~154.
- (14) 연구석, 1990, 폴리머 모르터를 이용한 강화복재보의 개발, 한국농공학회지 32(3) : 79~86.
- (15) 연구석외 3인, 1993, 충전재가 폴리머 콘크리트의 배합과 역학적 성질에 미치는 영향, 한국농공학회지 35(2) : 81~91.
- (16) 연구석, 김관호, 이필호, 김동수, 박윤제, "불포화 폴리에스터 수지를 이용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성", 한국콘크리트학회지, Vol. 6, No. 3, pp. 131-141, 1994
- (17) 연구석, 김성순, 이윤수, 장태연, "폴리머 콘크리트의 공장제품의 응용", 한국농공학회 발표논문집, pp. 146-150, 1994
- (18) 연구석외 1인, "폴리머 콘크리트를 이용한 공장제품의 개발", 한국과학재단 연구보고서, 1993
- (19) 연구석 외 4인, "조립식 폴리머 콘크리트 맨홀 및 구조실험 연구(I)", 한국통신 선로기술연구소 연구보고서, 1993
- (20) 연구석 외 4인, "조립식 폴리머 콘크리트 맨홀 및 구조실험 연구(II)", 한국통신 선로기술연구소 연구보고서, 1994
- (21) 한국건설기술연구원, 1989, 국내 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 조사연구, 한국건설기술연구원 연구 보고서 : 110~124.
- (22) 한국콘크리트학회, 1995, 최신콘크리트공학 : 631~654.
- (23) 홍사천, 1977, 경량골재콘크리트 및 기타에 관한 각국의 발명특허, 대한건축학회지, 21(74) : 45~48.
- (24) Andrew Short, 1976, Lightweight concrete, Applied Science Publishers, KTD.
- (25) ASTM C 277-81, 1986, Standard test method for potential alkali

- reactivity of cement aggregate combinations(mortar bar method), ASTM, Philadelphia : 157~162.
- (26) BS 1881, 1970, Method of testing hardened concrete for other than strength, British Standards Institution, (Part 5) : 38.
- (27) Lenzner, D. and U. Ludwig. 1979. The detection of alkali-silica reaction in concrete structures, *Zement-Kalk-Gips*. 10 : 222~226.
- (28) Neville, 1981, Properties of concrete, Pitman Publishing Limited, London : 605~635.
- (29) Paturoyer, V. V., et al, 1986, Recommendations on polymer concrete mix design, NIZHB, Moscow : 18.
- (30) Stanton, T. E. 1940, Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, ASCE : 1781~1811.
- (31) Sung, Chan Yong., 1992, Influence of alkali-silica reaction of the engineering properties of synthetic lightweight concrete, Proceedings of the 3th International Joint Seminar on the Future of Agricultural Science in Korea and Japan, Taejon, Korea, May : 111~121.
- (32) Sung, Chan Yong., 1994, Engineering properties of permeable polymer concrete, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete Chunchon, Korea, May 2-3, pp.271~281.
- (33) Swamy, R. N. and G. Righy., 1971, Dynamic properties of hardened past mortar and concrete. *RILEM*, 4(19), pp.13~40.
- (34) Swamy, R. N. and G. H. Lambert., Righy., 1983, Mix design and properties of concrete made from PFA coarse aggregates and sand, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 5(4), pp.263~275.

- (35) Swamy, R. N. and A. H. Al-Hamed., 1984. The Use of pulse velocity measurements to estimate strength of airdried cubes and hence in situ strength of concrete. *Journal of the ACI*. 81(2), pp.247~276.
- (36) Swamy, R. N. and M. M. Al-Asali, 1988, Expansion of concrete due to alkali-silica reaction, *ACI Materials Journal*. 85(1) : 33~40.
- (37) Swamy, R. N. and M. M. Al-Asali, 1988, Engineering properties of concrete affected by alkali-silica reaction, *ACI Structural Journal*. 85(5) : 367~374.
- (38) Al-khalaf, M.N. and Yousif, H. A., 1984, Use of rice husk ash in concrete, *J. Cement Composites*, 6 : 1177-1180.
- (39) Boateng, A. A and Skeete, D. A., Incineration of rice hull for use as a cementitious material : The Guyana Experience, *Cem. Concrete Research*, 20 (5) : 795~802.
- (40) Cook, D. J., Pama, R. P. and Damer, S. A., 1976, Behavior of concrete and cement paste containing rice husk ash, *Proc. Conference on Hydraulic Cement Pastes*, Cement and Concrete Association, London : 268~282.
- (41) Chopra, 1979, Utilization of rice husk for making cement and cement-like binders, *Proc. UNIDO/ESCAPE/RCTT Workshop on Rice Husk Ash Cement*, Peshawar, Pakistan : 135~149.
- (42) Cook, D. J. and Suwanvitaya, P., 1981, Rice husk ash based cements - a state-of-the-art review, *Proc. ESCAPE/RCTT Workshop on Rice Husk Ash Cement*, New Delhi.
- (43) Cook, D. J., 1986, Rice husk ash, *Cement Replacement Materials*, Surrey Univrstity Ptrss : 171~196.

- (44) Houston, D. F., 1972, Rice hulls, Rice Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, Minnesota : 301~352.
- (45) Hwang, C. L. and Wu, D. S., 1989, Production of cements containing rice husk ash, ACI SP-114 : 733~765.
- (46) James, J. and Subba Rao, M., 1986, Characteristic of silica in rice husk ash, Amer. Ceram. Soc. Bulletin, 65 (8) : 1177~1180.
- (47) Kapur, P. C., 1983, Tube-in-basket rice husk burner for producing energy and reactive rice husk ash, Proc. ESCAPE/RCTT Workshop on Rice Husk Ash Cement, New Delhi.
- (48) Mehta., P. K. and Pitt, N., 1976, Energy and industrial materials from crop residues, J. Resource Recovery and Conservation, 2 : 23~28.
- (49) Mehta., P. K., 1977, Properties of blended cements made from rice husk ash, J. Amer. Con. Inst., 74 (9) : 440~442.
- (50) Mehta., P. K., 1979, The chemistry and technology of cements made from rice husk ash, Proc. UNIDO/ESCAPE/RCTT Workshop on Rice Husk Ash Cement, Peshawar, Pakistan : 113~122.
- (51) Manmohan, D. and Mehta., P. K., 1981, Influence of pozzolanic, slag, and chemical admixtures on pore size distribution and permeability of hardened cement paste, ASTM J. Cement, Concrete, and Aggregate, 3 : 63~67.
- (52) Mehta., P. K., 1983, Technology alternatives for the use of rice husks, Jour. Appropriate Technology, 9 (4) : 7~9.
- (53) Mehta., P. K., 1989, Rice husk ash as a mineral admixture in concrete, Proc. Intl. Conf. on Durability of Concrete, Chalmers

University of Technology : 131~137.

- (54) Sandberg, P., 1995, Resistance of non-air-entrained RHA concrete to freezing and thawing in saline environment, Fifth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, WI.
- (55) Yamamoto, Y. and Lakho, S. M., 1982, Production and utilization of active rice husk ash as a substitute for cement, Proc. Japan Soc. of Civil Engineers, 322 : 158~166.
- (56) Yeon K. S., "Production and Evaluation of Road Curb Stone Made of Polymer Concrete", Proceeding of the 5th International SAMPE Symposium, Japan, pp. 1415~1420, 1997
- (57) Yeon K. S., "Development of Polymer Mortar Ondol Panel", Proceedings of the Second East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Japan, pp. 291~302, 1997