

FRP 보강 폴리머 모르터를 이용한 돈사 바닥재 개발

Development of Polymer Mortar Floor Members for Swine Housing Reinforced by FRP

유 능 환* · 연 규 석*
Ryu, Neung Hwan · Yeon, Kyu Seok
김 기 성* · 이 윤 수**
Kim, Ki Sung · Lee, Youn Su

Abstract

The objective of this study is to develop a polymer mortar floor members for swine housing with high strength and durability using unsaturated polyester resin to complement defects of conventional cement concrete. Physical and mechanical properties of the polymer mortar floor members for swine housing are also investigated.

Specimens with different panel thickness and FRP reinforcement are prepared, tested, and analyzed with respect to structural behaviors. Cracking moment is mostly affected by the thickness and reinforced FRP. Data of the study can be applied to the designing and planning of floor members for swine housing.

I. 서 론

현재, 시멘트 콘크리트의 여러 가지 단점을 보완하기 위해 건설분야에서 폭넓게 사용되고 있는 폴리머 콘크리트 제품은 1950년대에 인조대리석의 제조로부터 개발이 시작되었으며, 1970년대에 이르러 건설분야에 부분적으로 적용되기 시작하였다. 그러나 최근 폴리머 콘크리트는 다양한 프리캐스트 제품 및 공장제품의 제조 등 그 사용범위가 광범위하게 확대되고 있다.

일반적으로 콘크리트의 결합재인 시멘트를 액상수지로 대체하여 제조되는 폴리머 콘크리트는 시

멘트 콘크리트와 비교할 때 초기에 고강도를 발휘할 뿐 아니라 접착성, 수밀성, 내약품성, 내동결융해성 등에 우수한 고성능 건설재료로서 그 용도가 확대되고 있다. 특히 액상수지의 비중은 시멘트 비중의 약 1/3로서 시멘트 콘크리트 보다 경량이면서 강도가 높은 콘크리트의 제조가 가능하다.

이와 같은 폴리머 모르터의 장점을 이용하여 개발 가능한 공장제품 중의 하나가 돈사이다. 기존의 돈사는 시멘트 콘크리트 및 철재를 이용하여 제조되고 있으나, 외압에 약하고, 흡수율이 높아 동절기에 동결융해에 따른 손상이 발생되고, 특히 축산분뇨로 인한 화학적 부식이 크며, 무거운 자

*강원대학교 농업생명과학대학

**주성대학교 제1공학부

키워드 : FRP, 폴리머 모르터, 돈사바닥재

중으로 인해 시공에 어려움을 겪는 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 강도적 특성이 우수하고 내화학적 및 내동결성에 우수한 폴리머 모르타⁴⁾에 양면 FRP(Fiberglass Reinforced Plastics)로 보강된 패널을 제작하고 이에 대한 역학적 특성을 구명하여 얇은 단면을 갖는 폴리머 모르타 둔사 바닥재를 개발하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 불포화 폴리에스터 수지

결합재로서 스틸렌 노모머가 38% 포함된 불포화 폴리에스터 수지(UP), 촉진제로서 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매로서는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO)가 사용되었으며, 사용된 불포화 폴리에스터 수지의 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of the unsaturated polyester resin

Specific gravity (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Acid value	Styrene content (%)
1.13	325	16.9	38.0

나. 충전재 및 골재

충전재로서는 중질 탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며, 잔골재는 하천모래를 사용하였다. 충전재 및 골재는 120±2°C에서 24시간 건조시킨 후 함수

Table 2. Properties of filler and fine aggregate

Type of filler and aggregate	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Water content (%)	
Filler	CaCO ₃	<2.5×10 ⁻³	2.75	≤0.1
Fine aggregate	Sand	<1.2	2.60	≤0.1

율을 0.1% 이하가 되도록 하여 사용하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

다. 유리섬유

본 연구에서 FRP층에 사용된 유리섬유의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of glass fiber

Specific gravity (20°C)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Modulus of tensile elasticity (kgf/mm ²)
2.55	2.75	7,400

2. 시험방법

가. 공시체 제작

폴리머 모르타의 역학적 성질을 구명하기 위해 예비시험을 통해 얻은 Table 4의 배합비를 사용하여 KS F 2481, F 2480, F 2482에 따라 공시체를 제작하여 실험을 실시하였다.

Table 4. Polymer mortar formulation

(Unit : wt%)

Binder			Heavy calcium carbonate	Aggregate
Unsaturated polyester resin(UP)	Shrinkage reducing agent (SR)	MEKPO		
12.6	1.4	1.0 (phus*)	17	69

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

FRP 보강 폴리머 모르타의 역학적 성질 구명에는 Table 5의 배합비로 시험체를 두께를 10, 20, 30, 40mm로 변화시켜 순시간이 450mm가 되도록 폴리머 모르타 시험체를 제작하고, FRP로 두께 1~9mm까지 1mm 간격으로 변화시켜 보강하였다. 시험체의 제조에는 강제식 믹서를 사용하였으며, 다짐에는 테이블 바이브레이터(3,000 vpm)를 사용하였다. 양생은 실내온도 20±2°C인 실험실내에서 24시간 상온 양생 후 85°C에서 15시간 가열

Table 5. Details of polymer mortar panel

Polymer mortar thickness	FRP reinforcement thickness	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm
	10mm									
20mm										
30mm										
40mm										

양생을 실시했다. 양생이 끝난 시험체는 FRP 제조기계를 이용하여 FRP 보강층을 형성시켰다. 치수별 시험체는 음영으로 Table 5와 같이 나타났다.

나. 폴리머 모르터의 강도시험

압축강도는 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), 인장강도는 KS F 2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법), 휨강도는 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 따라서 실시하였다. 이때 압축 및 인장강도용 공시체 치수는 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$, 휨강도는 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 로 하여 실험하였다.

다. FRP 보강 폴리머 모르터의 강도시험

KS F 2407(중앙점 하중법)에 규정된 방법에 따랐으며, 휨 강성은 휨모멘트-곡률 곡선에서 구하였다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 폴리머 모르터의 역학적특성

Table 6에는 폴리머 모르터의 압축, 인장 및

Table 6. Test results of strengths

Compressive strength (kgf/cm ²)		Splitting tensile strength (kgf/cm ²)		Flexural strength (kgf/cm ²)	
Measured values	Mean	Measured values	Mean	Measured values	Mean
1,085, 1,095, 1,105	1,095	108, 112, 116	112	232, 230, 231	231

휨강도의 실험 결과를 나타내었다. 시험결과 콘크리트의 압축강도는 1,095kgf/cm², 할렬인장강도는 112kgf/cm², 휨 강도는 231kgf/cm²로 나타났다.

2. FRP 보강 폴리머 모르터의 역학적 특성

가. 휨강도 특성

Table 7에는 FRP 보강 폴리머 모르터의 휨강도 시험결과를 사용하여 최대 휨모멘트를 계산하고 취성파괴를 나타낸 상판의 두께 및 보강두께를 음영으로 표시한 것이다.

휨강도 시험결과 폴리머 모르터에 FRP로 양면을 보강한 경우 단면 보강된 경우에 비해 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이러한 실험 결과로부터 폴리머 모르터의 FRP 보강효과는 인장축에서 발휘됨을 알 수 있었다. 또한 폴리머 모르터의 두께가 10, 20mm 일 경우에 있어서는 FRP 보강 두께를 3mm 이하로 보강하는 것이 적당함을 알 수 있었으며, 폴리머 모르터의 두께가 30, 40mm 일 경우는 FRP 보강두께를 5mm 이하로 하는 것이 적당함을 알 수 있었다.

나. 휨강성 특성

Table 8에는 FRP 보강두께에 따른 FRP 보강 폴리머 모르터의 최대 휨모멘트와 곡률의 관계를 나타낸 것이다.

Table 8에서 보는 바와 같이 폴리머 모르터의 패널두께가 일정한 경우 FRP의 보강두께가 1mm에서 4mm로 증가하면 휨모멘트는 폴리머 모르터

Table 7. Maximum bending moment of schematics

(Unit : kgf · cm)

Polymer mortar thickness	FRP reinforcement thickness	Control	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
		631	1,193	2,742	5,014		
10mm	one side	631	1,193	2,742	5,014		
	two side		1,285	2,880	5,106		
20mm	one side	2,754	3,281	5,439	9,300		
	two side		3,419	5,519	9,423		
30mm	one side	5,175	6,540	8,548	11,700	19,438	24,051
	two side		6,662	8,629	11,923	19,633	24,223
40mm	one side	10,189	11,300	12,500	17,717	21,917	29,203
	two side		11,452	12,720	17,809	22,069	29,307

의 패널두께가 얇을수록 크게 증가하고, 휨강성은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 패널두께가 증가할수록 이에 적당한 보강두께가 필요하다는 것을 보여주며, FRP를 보강함으로써 강성인 폴리머 모르타를 연성화 시킴을 알 수 있다.

Table 8. Maximum bending moment, curvature and flexural rigidity of panel with FRP reinforcement thickness

Series	Maximum bending moment (kgf · cm)	Maximum curvature ($\times 10^{-6} 1/cm$)	Flexural rigidity EI = M/ ϕ
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

Fig. 1~Fig. 4에는 폴리머 모르타의 두께가 일정할 경우 FRP 보강 폴리머 모르타의 FRP 보강 두께에 따른 휨모멘트-곡률 사이의 관계를 그림으

로 나타낸 것이다.

폴리머 모르타의 두께가 일정할 경우 FRP 보강 두께가 증가함에 따라 휨 강성이 감소함을 보였다.

이와 같은 결과를 볼 때 동일부재 상에서 FRP의 보강두께가 증가할수록 폴리머 모르타의 성질을 연성화 시킴을 알 수 있다.

이상의 실험 결과 FRP 보강 폴리머 모르타의 역학적 성질을 살펴본 바 매우 우수한 것으로 실험적으로 입증되었다. 본 연구에서는 이와 같은 FRP 보강 폴리머 모르타를 사용하여 지금까지 시멘트 콘크리트 제품에 비해 단면을 축소시킴으로써 중량감소는 물론 작은 단면으로 높은 휨강도를 가지며, 시공성이 우수한 돈사 바닥재를 개발하였다.

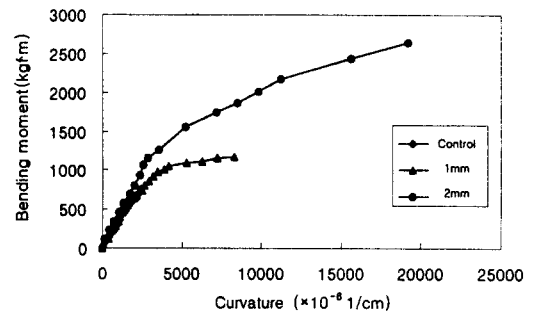


Fig. 1 Relationship between bending moment and curvature of 1cm thick panel specimen with respect to FRP reinforcement thickness on flexural side

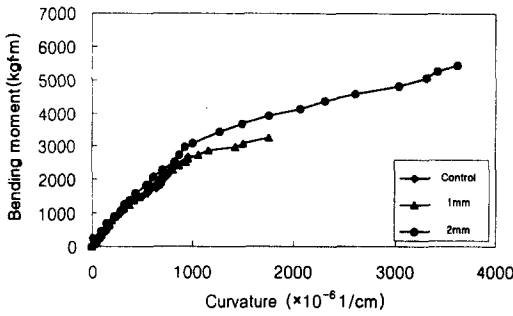


Fig. 2. Relationship between bending moment and curvature of 2cm thick panel specimen with respect to FRP reinforcement thickness on flexural side

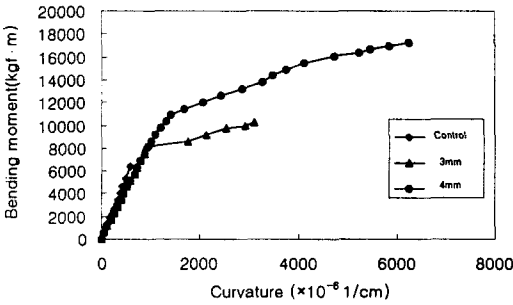


Fig. 3. Relationship between bending moment and curvature of 3cm thick panel specimen with respect to FRP reinforcement thickness on flexural side

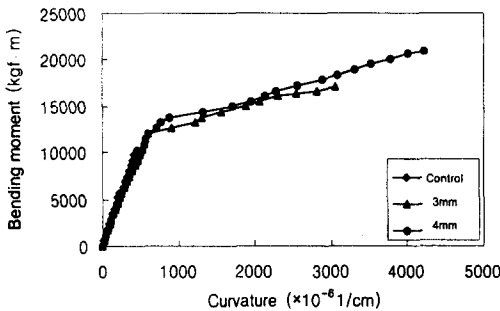


Fig. 4. Relationship between bending moment and curvature of 4cm thick panel specimen with respect to FRP reinforcement thickness on flexural side

3. 돈사 바닥재의 개발

기존에 사용하던 돈사용 시멘트 콘크리트 바닥재의 경우 어미돼지의 무게를 약 200kg로 가정하여 돈사 바닥재의 두께를 약 10cm로 제품을 제작하고 있으나, 본 연구에서 개발된 FRP 보강 폴리머 모르터를 이용하여 제작하였을 경우 폴리머 모르터에 FRP 층을 3mm로 보강하여 총두께를 3.5cm로 줄일 수 있다. 이것은 시멘트 콘크리트 제품과 비교할 때 중량이 시멘트 콘크리트의 1/3 정도로서 중장비를 사용하지 않고도 시공이 가능하여 우수한 시공성을 확보할 수 있으며, 제품의 특성상 내구성 뿐만 아니라 우수한 내약품성 및 내동결융해성 등을 갖고⁵⁾ 있어 장기 내구성에도 우수한 제품을 제작할 수 있다.

FRP 보강 폴리머 모르터를 이용한 돈사용 바닥재의 개발은 몰드를 준비하여 폴리머 모르터를 타설한 후, 제작된 폴리머 돈사바닥재의 인장측에 FRP를 보강하고 FRP로 보강된 바닥재를 끝손질하여 제작하였다. Fig. 5 및 Fig. 6은 돈사의 설계도면 및 완성된 실물사진을 나타낸 것이다.

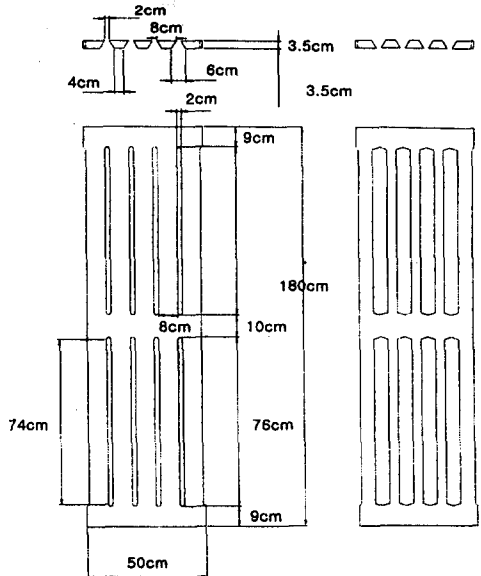


Fig. 5. Design of floor for swine housing



Fig. 6. Manufactured floor members of swine housing

IV. 결 론

본 연구는 FRP로 보강된 폴리머 모르터 패널의 역학적 특성을 실험적으로 구명하여 FRP 보강 폴리머 모르터를 이용한 돈사 바닥재를 개발한 것으로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. FRP 보강 폴리머 모르터의 모재로 사용된 폴리머 모르터는 압축강도 1.095kgf/cm^2 , 활렬인장강도 112kgf/cm^2 , 휨강도 231kgf/cm^2 , 탄성계수 $2.03 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 을 나타냈다.

2. FRP 보강 폴리머 모르터의 휨 강도 시험결과 양면보강은 단면보강과 별차이가 없었으며, FRP 보강효과는 인장측에서 나타남을 알 수 있었다. 판두께가 10, 20mm 일때 FRP 보강두께는 3mm 미만이 적당하며, 판두께 30, 40mm 일때 FRP 보강두께는 5mm 미만이 적당함을 알 수 있었다.

3. 동일한 부재에서 FRP의 보강 두께가 증가할수록 폴리머 모르터의 취성적 성질을 연성화 시킬 수 있다.

4. FRP 보강 폴리머 모르터를 사용한 돈사 바닥재를 개발함으로써 지금까지 사용되어 온 철재 및 시멘트 콘크리트 돈사 바닥재에 비해 경량이면서 내구성이 우수하고 휨 모멘트 증진 효과를 갖는 돈사 바닥재의 제작이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구는 농림부의 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

참 고 문 헌

1. 강신업, 문제길, 이규원, 김재영 공저, 구조역학, 경문출판사, P 457, 1988.
2. 연구석, 김성순, 이윤수, 장태연, 폴리머 콘크리트의 공장제품의 응용, 한국농공학회 발표논문집, pp. 146-150, 1994.
3. 연구석 외 1인, 폴리머 콘크리트를 이용한 공장제품의 개발, 한국과학재단 연구보고서, 1993.
4. 연구석 외 4인, 조립식 폴리머 콘크리트 맨홀 및 구조실험 연구(Ⅲ), 한국통신선로기술연구소, 연구보고서, pp. 31-41, 1994.
5. 연구석, 시멘트 콘크리트의 품질시험 및 품질관리, 한국콘크리트학회, pp. 331-376, 1999.
6. Fowler D. W., Status of concrete polymer materials, Proceedings of the Sixth ICPIC, Shanghai, China, pp. 10-27, 1990.
7. 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.
8. 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.