

배합요인이 경량 폴리머 모르타의 강도에 미치는 영향

Influence of Mix Proportion Factors on Strength of Polymer Mortar

이 윤 수*
Lee, Youn Su

Abstract

Recently, polymer concrete has been widely used in the construction industry because of its quick setting, high strength, excellent adhesion, watertightness and chemical resistance compared to ordinary cement concrete. Its application is also increased.

In this paper, lightweight polymer mortars using unsaturated polyester resin and lightweight aggregate are prepared with various mix proportions, and tested for slump, working life, apparent specific gravity, flexural and compressive strengths. As a result, the slump and working life can be controlled, and their flexural and compressive strengths are 9.7 to 22.0 MPa, and 23.0 to 100.8 MPa respectively at apparent specific gravities of 0.86 to 1.73.

I. 서 론

현재, 건설분야에서 시멘트 콘크리트는 구조재료로서 널리 사용되고 있지만 다른 구조재료와 비교할 때 중량에 비해 강도가 작다는 것이 큰 결점으로 지적되고 있다. 따라서 구조물의 거대화, 고층화가 증가되는 현실에서는 경량이면서 고강도를 갖는 콘크리트의 개발에 대한 필요성이 증대되고 있다. 또한 구조재료의 경량화에 따른 기대효과로는 부재를 경량화 시킬 수 있고, 사하중을 줄일 수 있어 부가가치를 창출 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

일반적으로 시멘트 콘크리트의 구조를 골재와 결합재로 이루어진 2상계 복합재료로 생각한다면, 골재가 용적비로 약 65~80%,¹⁾ 나머지는 시멘트

페이스트로서 골재가 시멘트 콘크리트의 물리적 성질에 끼치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

그러나 시멘트 콘크리트를 경량화하기 위해 경량골재의 단위골재량을 증가시키면 콘크리트의 강도는 경량골재의 낮은 강도 때문에 저하되는 것이 일반적이다.^{2,3)} 따라서 경량이면서 고강도를 얻기 위해서는 비중이 작은 고강도의 골재와 접착성이 우수한 결합재를 사용하여 배합하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 경량과 고강도를 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 건설재료의 개발을 목적으로 골재로 인공 경량골재를 사용하고 결합재로 폴리에스터 수지를 사용한 경량 폴리머 모르타를 제조하고 결합재량 및 충전재-결합재비를 변화시켜 강도특성에 미치는 배합요인의 영향을 검토하고 배

*강원대학교 석재복합신소재제품연구센터
(전임연구원)

키워드 : 폴리머 모르타, 경량골재, 겔보기 비중,
비강도, 가사시간, 슬럼프

합설계의 기초자료를 마련하고자 한다.

사용하였다. 충전재 및 경량골재의 함수율은 0.1% 이하로 하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

II. 사용재료

1. 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머(St)를, 촉진제로 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매제로서 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)를 사용하였으며, 사용된 액상수지의 성질은 Table 1과 같다.

2. 충전재 및 경량골재

충전재로서는 중질탄산칼슘(CaCO₃), Hollow glass(HG), Hollow fly ash(HF)의 3종류를 중질탄산칼슘과 1:2(용적비)의 비율로 배합하여 사용하였으며, 골재는 KS F 2534(구조용 경량콘크리트 골재)의 품질규격에 맞는 인공경량골재로 Expanded shale(ES), Foamed glass(FG), Hollow fused alumina (HFA), Hollow mullite(HM)를

III. 시험방법

1. 모르터의 제조

모르터를 배합하기 전에 결합재의 양을 가능하게 하기 위하여 경량골재 종류별(ES, FG, HFA)로 JIS A 1104(골재의 단위용적중량 및 실적을 시험방법)에 따라 가장 작은 공극율을 갖는 비율을 찾아내었으며, 그 조성비를 용적비로 표시하면 다음과 같다.

- (1) ES-1 : ES-2 = 1 : 2 (ES)
- (2) FG-1 : FG-2 : FG-3 = 2 : 1 : 1 : 1 (FG)
- (3) HFA : HM = 4 : 1 (HFA)

위에서 제시한 3종류의 경량골재 조성비와 Table 3에 나타난 결합재 배합비를 사용하여 Table 4에 표시된 배합비의 모르터를 제조하였다. 모르터 제조방법은 KS F 2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체의 제작방법)에 준

Table 1. Properties of unsaturated polyester resin

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

Table 2. Properties of filler and lightweight aggregate

Type of filler and aggregate		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Water content (%)	Organic impurities	
Filler	Heavy calcium carbonate (CaCO ₃)	<2.5 × 10 ³	2.70	<0.1	Nil	
Fine aggregate	Expanded shale (ES)	ES-1	2.5-5.0	1.35	<0.1	Nil
		ES-2	<2.5	1.62	<0.1	Nil
	Foamed glass (FG)	FG-1	2.5-5.0	0.36	<0.1	Nil
		FG-2	1.2-1.5	0.42	<0.1	Nil
		FG-3	0.3-1.2	0.45	<0.1	Nil
	Hollow fused alumina(HFA)		0.1-5.0	0.70	<0.1	Nil
Hollow mullite (HM)		150-300 × 10 ³	0.40	<0.1	Nil	

Table 3 Formulation of binder

Formulations by mass (phr)			
UP	St	CoOc	MEKPO
100	12	0.5	0.5

Note, phr : Parts per hundred parts of resin.

Table 4. Mix proportions of lightweight polyester mortars

Mix proportions of by volume			Filler-binder ratio, Vf/Vb (by volume)
Binder (Vb)	Filer (Vf)	Fine aggregate	
23.6	8.7	67.7	0.37
	10.9	65.5	0.46
	14.6	61.8	0.62
24.4	9.0	66.6	0.37
	11.2	64.4	0.46
	15.1	60.5	0.62
25.2	9.3	65.5	0.37
	11.6	63.2	0.46
	15.6	59.2	0.62

Table 5 Formulation of binder

Formulations by mass (phr)			
UP	St	CoOc	MEKPO
100	12	0.25	0.25
			0.50
			0.75
		0.50	0.25
			0.50
			0.75
		0.75	0.25
			0.50
			0.75

2. 공시체의 제작

공시체를 40×40×160mm의 크기로 제조하여, 1 일건조(20°C, 50% R. H.)양생 후, 15시간 가열(80°C)양생하여 공시체를 제작하였다. 또한 가열양생 후의 공시체 질량을 용적(치수 40×40×160mm = 256cm³)으로 나누어 겉보기 비중을 구했다.

3. 슬럼프 시험

KS F 2474(폴리머 시멘트 모르터의 슬럼프 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 슬럼프 콘을 제거한 다음 60초 후의 값을 슬럼프 값으로 하였다.

4. 가사시간 측정

KS F 2484(폴리에스터 레진 콘크리트의 가사시간 측정방법)의 측정법에 의하여 10, 20 및 30°C의 온도에서 배합한 모르터의 가사시간을 측정하였다. 가사시간 측정에 사용된 결합재의 배합비는 Table 5와 같다.

5. 휨 및 압축강도 시험

KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법) 및 KS F 2483(보의 절편에 의한 폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 공시체의 휨 및 압축강도시험을 실시하였다. 또한 휨 및 압축강도를 겉보기 비중으로 나누어 비강도를 구하였다.

IV. 시험결과 및 고찰

Fig. 1에는 경량 폴리머 모르터의 슬럼프와 결합재량의 관계를 나타내었다. 결합재량의 증가에 따라 경량 폴리머 모르터의 슬럼프는 증가하는 경향을 보였으며, 경량골재의 종류에 따라 증가의 폭은 더욱 크게 나타났다. 또한, 경량골재 ES를 사용한 경우보다 경량골재 FG 및 HFA를 사용한

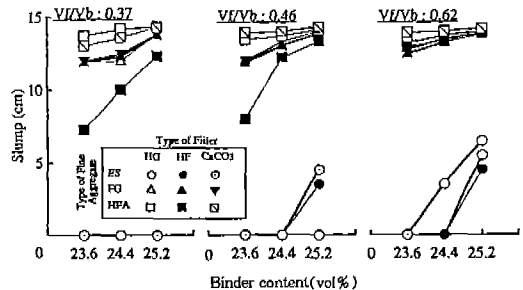


Fig. 1. Binder content vs. slump of lightweight polymer mortars

경량 폴리머 모르타의 슬럼프가 크게 나타났다. 이상의 결과를 볼 때, 경량 폴리머 모르타의 슬럼프는 경량골재의 종류와 결합재량에 크게 영향 받음을 알 수 있다.

Fig. 2~Fig. 4에는 10~30°C의 온도조건에서 각종 경량골재를 사용한 경량 폴리머 모르타의 가사시간과 촉진제 및 촉매제 첨가량의 관계를 나타내었다. 경량 폴리머 모르타의 가사시간은 온도의 상승, 촉진제 및 촉매제 첨가량의 증가에 따라 짧아지는 경향을 보였으며, 촉진제첨가량 보다 촉매제의 첨가량에 의해 가사시간의 변화가 크게 나타났다. 이러한 경향으로부터 경량 폴리머 모르타는 촉진제 보다 촉매제가 가사시간에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2 ~ Fig. 4까지의 경량 폴리머 모르타의 가사시간은 골재의 종류에 관계없이 촉진제 및 촉매제 첨가량을 변수로 실험

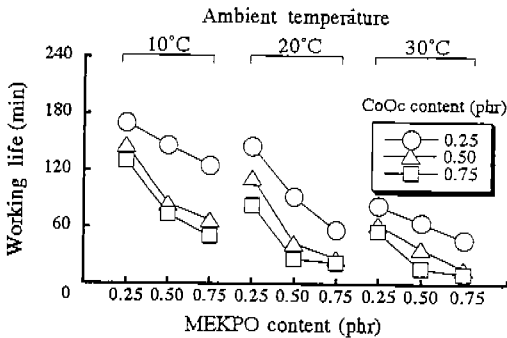


Fig 2. MEKPO content vs. working life of lightweight polymer mortars using fine aggregate ES

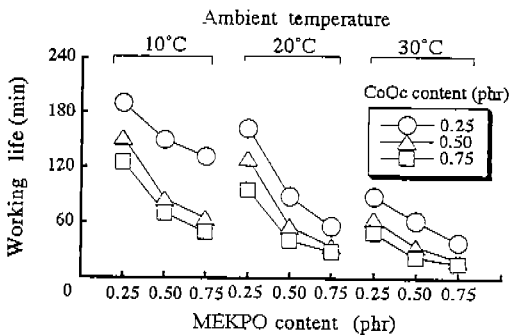


Fig. 3. MEKPO content vs. working life of lightweight polymer mortars using fine aggregate FG

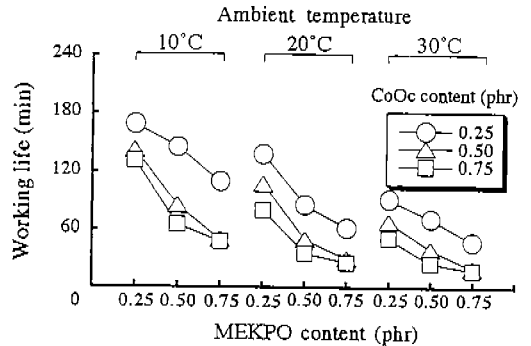


Fig. 4. MEKPO content vs. working life of lightweight polymer mortars using fine aggregate HFA

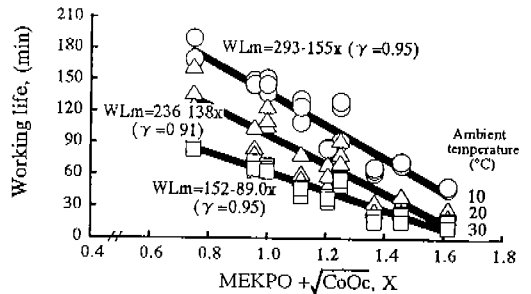


Fig. 5. MEKPO and CoOc contents vs. working life of lightweight polymer mortars

식을 유도하는 것이 가능하며, 그 결과는 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다. 경량 폴리머 모르타의 가사시간을 추정하기 위한 일반식은 다음과 같다.

$$WLM = a - bX$$

$$X = MEKPO + \sqrt{CoOc}$$

여기서,

WLM : 경량 폴리머 모르타의 가사시간(min)

MEKPO : 촉매 첨가량(phr)

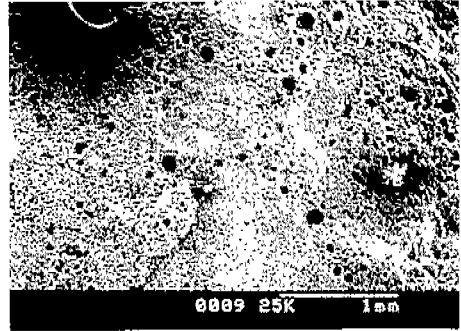
CoOc : 촉진제 첨가량(phr)

a, b : 실험상수

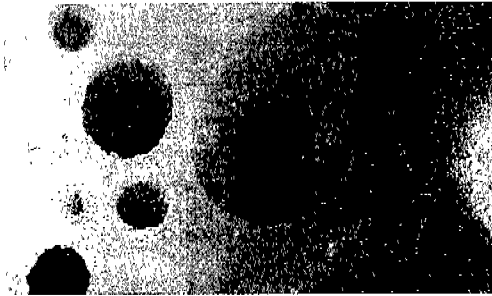
Photo. 1에는 경량골재 Expanded Shale(ES-1 및 ES-2), Foamed Glass(FG-1, FG-2 및 FG-3) 및 Hollow Fused Alumina(HFA)를 골재로 사용한 3종류의 경량 폴리머 모르타의 실제현미경사진을



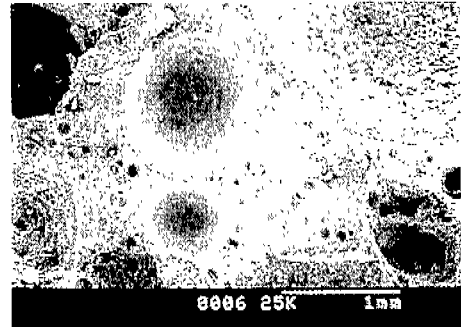
Expanded shale(ES)



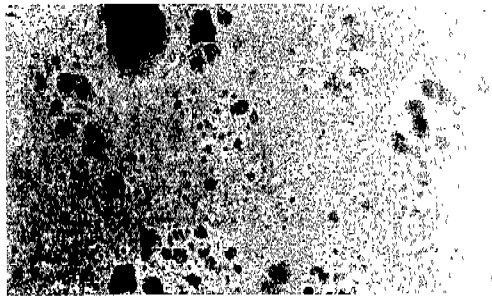
Expanded shale(ES)



Foamed glass(FG)

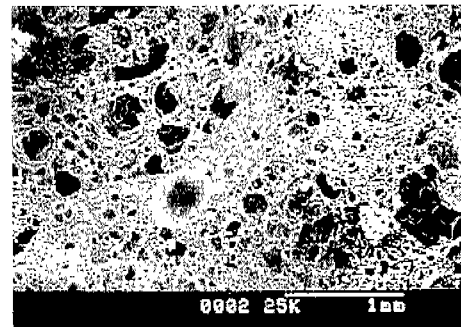


Foamed glass(FG)



Hollow fused alumina(HFA)

Photo 1. Sections of lightweight polymer mortars



Hollow fused alumina(HFA)

Photo 2. SEM of lightweight polymer mortars

나타내었다. 일반적으로 경량 시멘트 콘크리트는 경량골재의 비중이 결합재인 시멘트 보다 작아 타설시 경량골재와 결합재인 시멘트 페이스트 사이에 재료분리 현상이 일어나기 쉽다. 그러나 경량 폴리머 모르타의 단면을 보면, 경량골재와 폴리메스터 페이스트 사이에는 재료분리현상이 발생하지 않고 양호한 상태로 배치되었음을 알 수 있었는데 이것은 경량 폴리머 모르타의 결합재인 불포화

폴리에스터 수지의 경화가 시멘트보다 빠르고, 또 결합재의 점도가 시멘트 페이스트 보다 높아 재료 분리를 제어하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 Photo. 2에서 볼 수 있듯이 결합재로서 접착이 시멘트 보다 약 3배 가량 우수한 불포화 폴리메스터 수지가 많은 공극을 갖는 경량골재 표면의 내부까지

지 침투해 있으며, 이 때문에 시멘트 콘크리트에서 볼 수 있는 골재와 결합재 사이의 균열이 경량 폴리머 모르타르에서는 거의 발생하지 않았다.

Fig. 6~Fig. 8에는 경량 폴리머 모르타르의 충전재-결합재비에 따른 휨강도와 결합재량의 관계를, Fig. 9~Fig. 11에는 압축강도와 결합재량의 관계를 나타내었다. 충전재와 경량골재의 종류에 관계

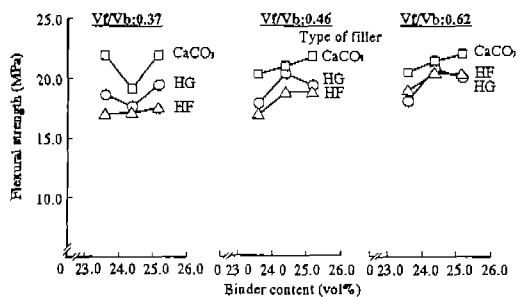


Fig. 6. Binder content vs. flexural strength of lightweight polymer Mortars using fine aggregate ES

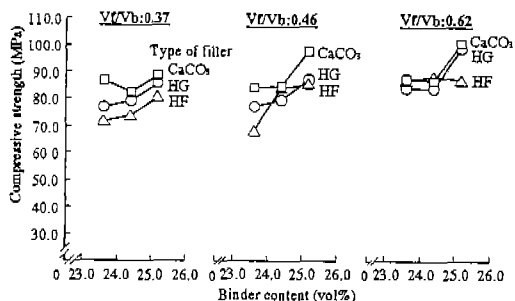


Fig. 9. Binder content vs. compressive strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate ES

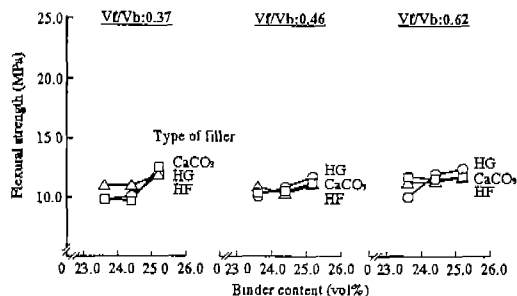


Fig. 7. Binder content vs. flexural strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate FG

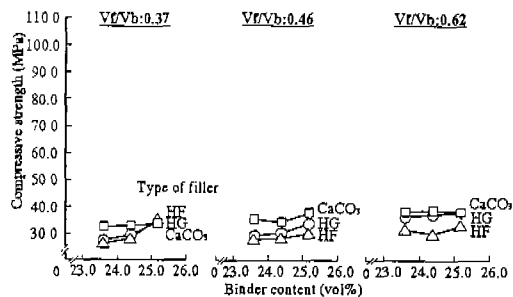


Fig. 10. Binder content vs. compressive strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate FG

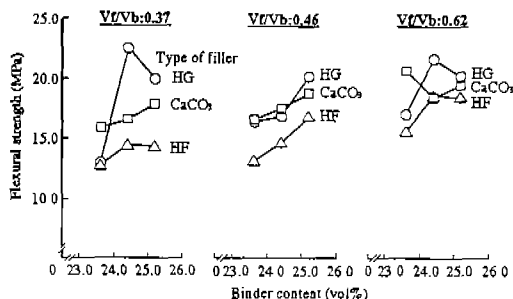


Fig. 8. Binder content vs. flexural strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate HFA

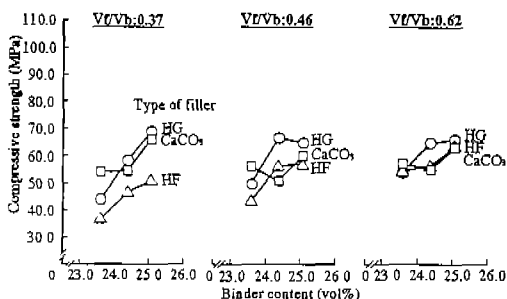


Fig. 11. Binder content vs. compressive strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate HFA

없이 경량 폴리머 모르타의 휨 및 압축강도는 일부를 제외하고 결합재량의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 결합재량의 증가에 따라 유동성이 향상되어 보다 치밀한 조직이 얻어지고 또 경량골재 보다도 높은 강도를 갖는 결합재의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 경량골재의 종류에 관계없이 경량 폴리머 모르타의 휨 및 압축강도는 충전재 조성으로서 CaCO₃를 사용할 경우에 가장 높게 나타났으며, 다음으로 HG, HF의 순으로 사용하는 충전재의 종류에 따라 강도의 차이가 나타났다.

Fig. 12~Fig. 14에는 경량 폴리머 모르타의 휨강도와 압축강도의 관계를 나타내었다. 시멘트 콘크리트와 폴리머 콘크리트에 대해 휨강도와 압축강도 사이의 관계를 지수함수로 회귀분석한 결과

상관계수는 매우 낮은 값을 나타냈다. 경량 폴리머 모르타의 휨강도와 압축강도의 관계는 경량골재 조성 ES의 경우, 휨강도는 압축강도의 약 1/4.3, 경량골재 조성 FG는 약 1/2.8, 경량골재 조성 HFA는 약 1/3.1로 산출되었다. 이것은 시멘트 콘크리트의 경우 1/5~1/7, 경량 시멘트 콘크리트의 경우 1/6~1/104)인 것에 비하면 경량 폴리머 모르타는 기타재료에 비해 압축강도에 비해 높은 휨강도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 15 및 Fig. 16는 경량 폴리머 모르타의 휨 및 압축강도와 겉보기 비중의 관계를 나타내었다. 경량 폴리머 모르타는 겉보기 비중이 0.86~1.73의 범위로, 9.7~22.0MPa의 휨강도(비강도 : 9.2~16.5MPa) 및 23.0~100.8MPa의 압축강도(비강도 : 27.6~63.0MPa)를 나타내었다. 일반적으로 경량 같이 사용하는 경량골재의 종류에 의해 좌우됨을

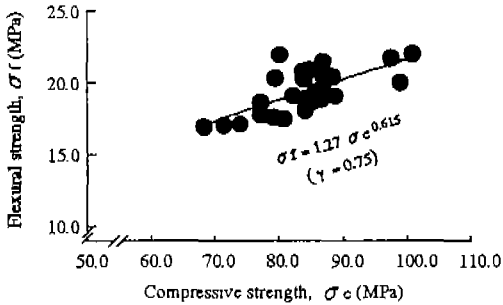


Fig. 12. Compressive strength vs. flexural strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate ES

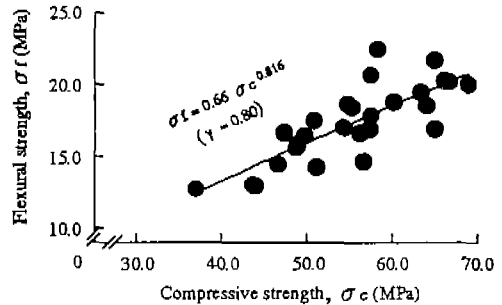


Fig. 14. Compressive strength vs. flexural strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate HFA

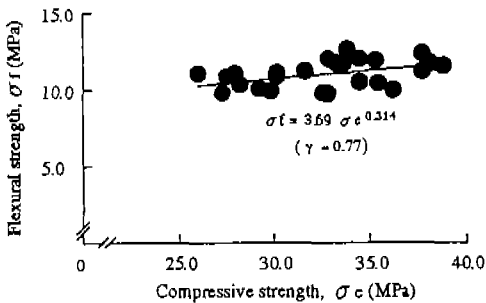


Fig. 13. Compressive strength vs. flexural strength of lightweight polymer mortars using fine aggregate FG

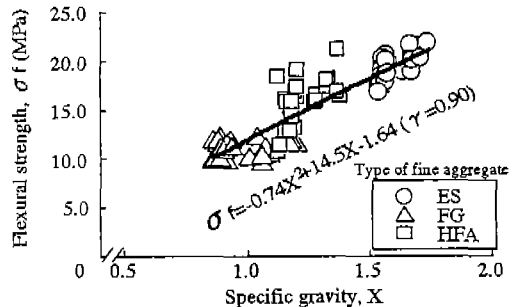


Fig 15. Specific gravity vs. flexural strength of lightweight polyester mortars

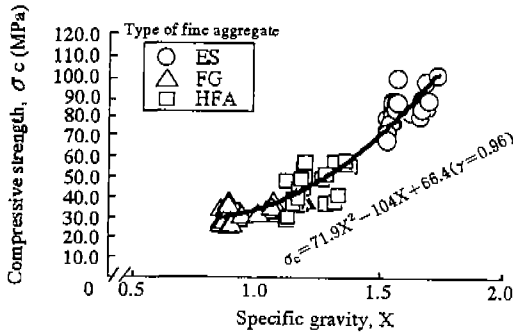


Fig. 16. Specific gravity vs. compressive strength of lightweight polymer mortars.

폴리머 모르타의 강도는 경량 시멘트 콘크리트와 알 수 있다. 경량 폴리머 모르타의 휨 및 압축강도는 일부를 제외하면 경량골재조성으로 ES를 사용할 때가 가장 높고, 다음으로 HFA, FG의 순으로 나타났다. 본 실험에서 사용한 경량골재의 비중은 ES>HFA>FG의 순으로서, 비중이 작을수록 강도가 작아졌다. 일반적으로 경량 시멘트 콘크리트의 강도는 경량골재의 강도에 지배되어 고강도를 발현하는 경량 시멘트 콘크리트를 얻기 위해서는 고강도의 경량골재를 사용할 필요가 있는데 경량 폴리머 모르타에 있어서도 같은 경향을 보였다.

Fig. 17은 기존의 경량 시멘트 콘크리트에 대한 연구결과⁵⁾ 및 본 연구결과에서 얻은 시험결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서 개발한 경량 폴리머 모르타의 압축강도는 겉보기 비중이 0.86~1.73의 범위로, 9.7~22.0MPa의 휨강도(비강도: 9.2~16.5MPa) 및 23.0~100.8MPa의 압축강도(비강도: 27.6~63.0MPa)가 발현되어 경량 시멘트 콘크리트 보다 60MPa정도 높은 압축강도를 보였다. 또한 지금까지의 경량 폴리머 모르타에 비해^{2,6)} 비슷하거나 그 이상의 압축강도를 보이고 있다. 따라서 결합재로서 불포화 폴리에스터수지를 사용함에 의해 높은 비강도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 액상수지의 특성을 감안할 때 우수한 내구성을 갖는 다기능성 경량 콘크리트의 제조가 가능하다고 생각된다.

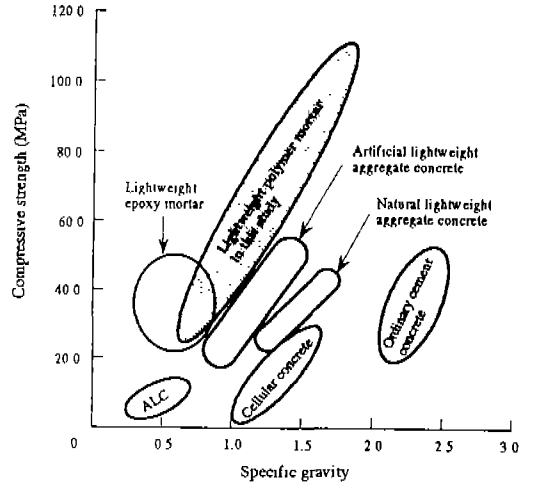


Fig. 17. Specific gravity vs. compressive strength of lightweight concretes and mortars

V. 결 론

본 연구는 경량 폴리머 모르타의 강도에 미치는 배합요인의 영향을 실험적으로 구명한 것으로서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 경량 폴리머 모르타의 휨강도대 압축강도의 비는 경량골재조성 ES의 경우 휨강도가 압축강도의 약 1/4.3, 경량골재조성 FG의 경우 약 1/2.8, 경량골재조성 HFA의 경우 약 1/3.1로서 시멘트 모르타나 콘크리트에 비해 높은 휨강도를 얻을 수 있었다.

2. 본 연구에서 개발한 경량 폴리머 모르타는 겉보기 비중이 0.86~1.73의 범위에서 휨강도가 9.7~22.0MPa(비강도: 9.2~16.5MPa), 압축강도가 23.0~100.8MPa(비강도: 27.6~63.0MPa)로 나타났다.

3. 경량 폴리머 모르타의 휨 및 압축강도는 결합재량 및 충전재-결합재 비의 증가에 따라 높아지는 경향이 있었으나, 본 연구의 배합범위 내에서 경량 폴리에스터 모르타의 강도는 충전재-결합재 비의 요인보다는 결합재량 및 경량골재의 종류에 따른 요인이 더 크게 나타났다.

4. 결합재로서 불포화 폴리에스터수지를 사용함에 따라 높은 비강도를 얻을 수 있을 뿐만 아니

라, 결합재의 특성을 감안할 때 우수한 내구성을 갖는 경량 콘크리트의 제조가 가능하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 日本建築學會, “콘크리트의調合設計指針・同解説”, 技報堂出版, 東京, Jan. 1997, p.158.
2. 川上 洵, 徳田 弘, 加賀谷 誠, 吉永昌三, “超輕量骨材を用いたレジンモルタルの2,3の實驗”, 第2回콘크리트工學年次講演會講演論文集, May 1980, pp.257-260.
3. 村田二郎, “人工輕量骨材콘크리트”, 콘크리트パンフレット, 第79号, セメント協會, 東京, July 1974, pp.51-52.
4. 日本建築學會, “輕量콘크리트의調合設計・施工指針案・同解説”, 技報堂出版, 東京, Feb. 1978, p.56.
5. 荒井康夫, “セメントの材料化學”, 大日本圖書, 東京, Mar. 1984, pp.225-234.
6. Kawakami, M., Tokuta, H., and Kagaya, M., “Some Physical Properties of Lightweight Polymer Concrete”, Plastics in Material and Structural Engineering, ICP/RILEM/IBK International Symposium, Part 1, Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Czechoslovak Academy of Science, Jan.1981, pp.311-315.