

온도와 결합재의 점도가 경량 폴리에스터 모르터의 컨시스턴스에 미치는 영향

Effects of Temperature and Binder Viscosity on Consistency of Lightweight Polyester Mortars

이 운수*
Lee, Youn Su

大濱嘉彦**
Ohama Yoshihiko

出村克寛**
Demura Katsunori

연 규석***
Yeon, Kyu Seok

ABSTRACT

This paper deals with the consistency of fresh lightweight polyester mortars as high-performance or multifunctional building materials. Fresh lightweight polyester mortars using an unsaturated polyester resin, lightweight fillers and aggregate are mixed with various mix proportions, and tested for slump-flow and slump as a measure of consistency. At 10, 20 and 30°C, the influences of mix proportioning factors on the slump-flow and slump of the lightweight polyester mortars are examined, and the empirical equations for the slump predictions are successfully proposed.

1. 서론

일반적으로 경량 폴리에스터 모르터의 결합재로 사용되는 불포화 폴리에스터 수지의 점도는 불포화 폴리에스터의 분자량 및 스티렌 모노머의 종류와 양에 의해 결정된다. 특히 폴리머 콘크리트에 있어 결합재의 점도는 배합시 결합재가 충전재와 보강재의 미세한 부분까지 침투시키기 위한 지표가 되는 중요한 물리량의 하나가 된다¹⁾. 또한 결합재의 점도는 모르터의 컨시스턴스에 영향을 미치는 것으로 점도가 낮을수록 슬럼프 플로우 및 슬럼프값이 크게되며^{2),3)} 결합재의 점도가 극단적으로 낮게되면 재료분리를 일으키기 쉽게 된다.

본 연구에서는 경량 폴리에스터 모르터의 컨시스턴스에 영향을 미치는 결합재의 점도에 대하여 검토하고, 10~30°C의 온도범위에서 경량 폴리에스터 모르터의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값의 실험식을 제안코저 한다.

* 정회원, 강원대학교 농공학과 강사

** 일본대학 공학부 건축학과 교수

*** 정회원, 강원대학교 농공학과 교수

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 결합재용 재료

결합재로는 불포화 폴리에스터수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머(St)를, 촉진제로서는 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc)을, 촉매로 메틸에틸케톤 퍼옥사이드 (MEKPO)를 첨가하여 사용하였다. 불포화 폴리에스터 성질은 Table 1과 같다.

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

2.1.2 충전재 및 골재

충진제로는 중질탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며, 경량골재로서는 Expanded Shale(ES), Foamed Glass(FG), Hollow Fused Alumina (HFA) 및 Hollow Mullite(HM)를 사용하였다. 충전재 및 경량골재의 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of Filler and Lightweight Aggregates

Type of filler and aggregate		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Water content (%)	Organic impurities	
Filler	Ground 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	

2.2 실험방법

2.2.1 공시모르터의 제조

공시모르터를 배합하기 전에 결합재 량을 될수록 적게 하기 위해서 경량골재 Expanded Shale (ES-1 및 ES-2), Foamed Glass(FG-1, FG-2 및 FG-3) 및 Hollow Fused Alumina (HFA)을 주성분으로 한 각종 경량골재 조성에 대하여 JIS A 1104(골재의 단위용적 질량 및 실적을 실험방법)에 의해 단위용적 중량을 산출하여 공극율을 구하였으며 공극율이 가장 작은 경량골재 조성을 사용하여 모르터를 제조하였다. 경량골재 조성을 용적비로 표시하면 다음과 같다.

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

다음에 JIS A 1181 (폴리에스터 레진콘크리트의 강도시험용 공시체의 제작방법)에 근거하여 위에서 제시한 3종류의 경량골재 조성비와 Table 3에 표시한 결합재 배합비를 사용하여 Table 4에 표시된 배합의 모르터를 제작했다.

Table 3. Formulations of Binders

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 by volume			Filler-Binder ratio Vf/Vb' (by volume)
Binder (Vb)	Filler (Vf)	Fine aggregate	
25.2	15.6	59.2	0.62

Note. * : Filler-binder ratio calculated by volume

2.2.2 결합재의 점도시험

결합재의 점도는 20℃, 50℃(RH)의 조건에서 JIS K 6901(액상불포화 폴리에스터 수지 실험방법)의 Brookfield 방법에 의해 측정했다.

2.2.3 슬럼프플로우 및 슬럼프시험

JIS A 1173(폴리머 시멘트모르타의 슬럼프 실험방법)에 준하여 모르타의 슬럼프 시험을 실시하였다. 슬럼프 시험을 할 때 모르타 하부의 넓이를 측정하여 이것을 슬럼프 플로우 값으로 하였다. 슬럼프콘을 제거하고 나서 60초까지 매 15초 간격으로 슬럼프 플로우 값을 측정하고, 60초 후 슬럼프 값을 측정하였다. 이때 밑판은 JIS R 3202에 규정된 유리판을 사용하였다.

3. 시험결과 및 고찰

Fig. 1에 본 연구에서 결합재로 사용된 (불포화 폴리에스터수지(UP) : 스티렌모노머(St) = 100 : 12) 수지의 점도와 온도와의 관계를 나타내었다.

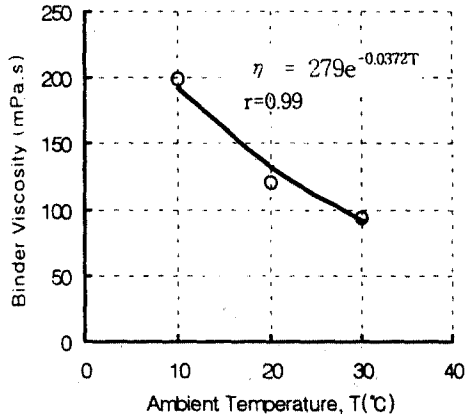


Fig. 1 Ambient Temperature vs. Viscosity of Binder with Styrene-Unsaturated Polyester Ratio of 0.12

결합재 점도는 온도의 상승에 따라 감소하는 경향이 있고⁴⁾, 온도의 저하에 따라 현저하게 증가하는데, 20℃에서 122mPa·s인데 비해 10℃에서는 200mPa·s로 약 2배정도 높은 경향을 나타냈다. 시험결과로 부터 결합재의 점도와 시험시 온도의 관계는 다음의 실험식으로 표시할 수 있다.

$$\eta = 279e^{-0.0372T} \quad (r=0.99) \quad (1)$$

여기서, η : 결합재의 점도 (mPa·s)

T : 시험시온도 (℃)

Fig. 2 및 Fig. 3은 슬럼프콘을 제거한후 60초까지의 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값에 미치는 결합재의 점도와 온도의 영향을 나타낸 것이다. 경량골재의 종류, 결합재의 점도에 관계없이 온도상승에 따라 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값은 증가했다. 이 결과에서 경량 시멘트 콘크리트와 마찬가지로 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값도 10~20℃의 사이에서 크게 증가하고 20℃이상의 온도에서는 그 증가율이 감소함을 알 수 있다⁴⁾.

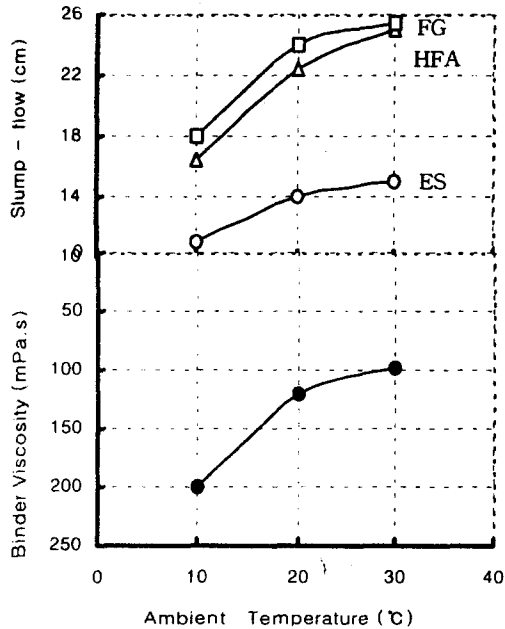


Fig. 2 Binder Viscosity and Slump-flow of Lightweight Polyester Mortars with Different Ambient Temperatures

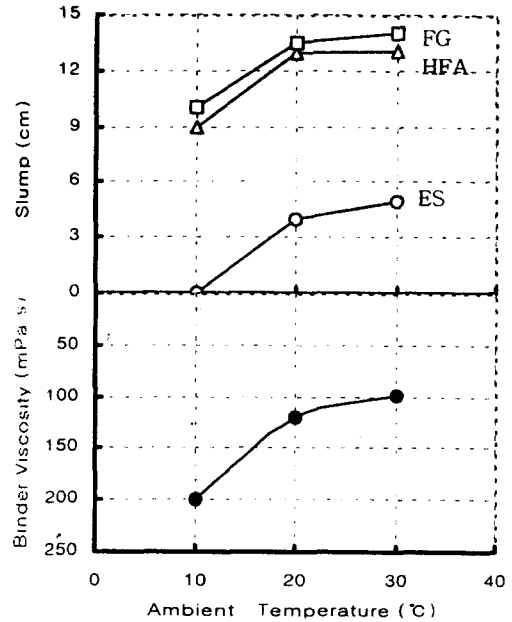


Fig. 3 Binder Viscosity and Slump of Lightweight Polyester Mortars and Different Ambient Temperatures

이에 따라 불포화 폴리에스터수지를 결합재로 사용하는 경우에 결합재의 점도는 물론 온도의 영향도 중요함을 알 수 있다. 또 동일한 온도 및 점도를 가진 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값은 경량골재의 종류에도 크게 의존한다. 이것은 사용되는 경량골재 흡수특성에 기인하는 것으로서 경량골재 조성 ES의 흡수율이 14.0~15.0%인 것에 비해 경량골재 조성 FG 및 HFA의 흡수율은 2.6~10.1과 5.7%이기 때문에 경량폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값에 차이가 있다고 판단된다.

일반적으로 시멘트 콘크리트에 있어서 워커빌리티는 단위수량, 단위시멘트량, 시멘트의 성질, 골재의 흡수율, 온도 등의 영향을 받는데⁶⁾ 경량 시멘트 콘크리트에 있어서는 경량골재 자체의 비중이 작기 때문에 워커빌리티가 동일한 경우에는 경량시멘트 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값은 경량골재의 비중에 영향을 받아 시멘트 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값 보다 작게 된다^{7), 8)}. 그러나 경량 폴리에스터 모르터에 있어서는 경량골재의 비중보다는 결합재인 불포화 폴리에스터 수지의 점도, 시험온도 및 결합재 양에 더 큰 영향을 받는다. 특히 폴리에스터 모르터의 워커빌리티가 주로 시험온도에 좌우되며 이상적인 온도 범위가 10~30℃인 점⁹⁾을 감안하면 경량골재의 종류에 관계없이 슬럼프 플로우 및 슬럼프값을 제어할 수 있다고 사료된다. 이러한 슬럼프 플로우 및 슬럼프값과 결합재의 점도와의 관계는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같으며, 이들의 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Sf(Sl) = \alpha \cdot \log(\eta) + \beta \quad (2)$$

여기서, Sf(Sl) : 슬럼프 플로우 및 슬럼프 (cm)

η : 결합재의 점도 (mPa · s)

α, β : 실험상수

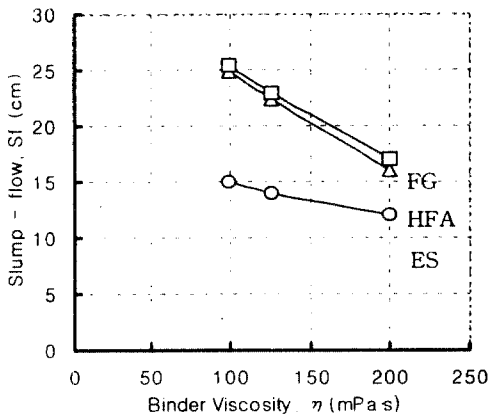


Fig. 4 Binder Viscosity vs. Slump-flow of Lightweight Polyester Mortars

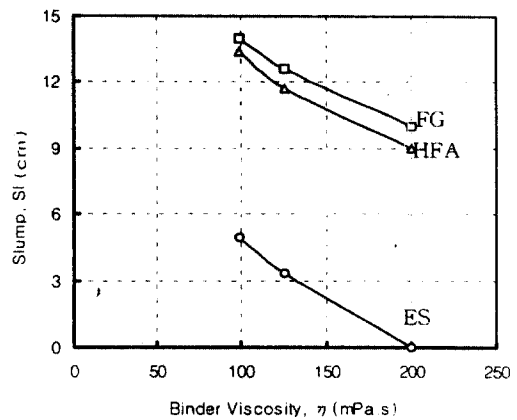


Fig. 5 Binder Viscosity vs. Slump of Lightweight Polyester Mortars

경량골재별 관계식(2)의 실험상수는 Table 5와 같다. 식(2)에서 결합재의 점도(η)는 식(1)로 구할 수 있고 결합재의 점도 및 시험온도에 의해 변화하는 경량 폴리에스터 모르터의 슬럼프 플로우 및 슬럼프 값은 식(1) 및 식(2)에 의해 구할 수 있다.

Table 5. Constants α and β of Equation (2)

Type of fine aggregate	$Sf^* = \alpha \cdot \log(\eta^{***}) + \beta$			$Sl^{**} = \alpha \cdot \log(\eta) + \beta$		
	Constant α	Constant β	Coefficient of correlation	Constant α	Constant β	Coefficient of correlation
ES	-11.43	37.83	0.99	-16.61	38.37	0.99
FG	-27.70	80.33	0.99	-14.37	42.34	0.96
HFA	-24.91	75.55	0.99	-13.48	41.22	0.97

Notes, Sf^* : Slump - flow of lightweight polyester mortars(cm).

Sl^{**} : Slump of lightweight polyester mortars(cm).

η^{***} : Binder viscosity(mPa · s)

4. 결 론

이상의 시험결과를 종합해 보면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 결합재의 점도는 온도의 상승에 따라 감소하고 온도의 저하에 따라 현저하게 증가하여 온도의존성이 높았다.

(2) 동일한 온도 및 점도를 가진 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프 값은 경량골재의 종류에도 크게 좌우된다. 이것은 사용되는 경량골재의 흡수율에 기인한 것이다.

(3) 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값은 경량골재의 비중보다도 결합재의 점도, 시험 온도 및 결합재량에 의해 크게 변화한다. 결합재의 점도 및 시험온도를 고려한 경량 폴리에스터 모르타의 슬럼프 플로우 및 슬럼프값은 다음식에 의해 추정할 수 있다.

$$Sf(SI) = \alpha \cdot \log(\eta) + \beta$$
$$\eta = 279e^{-0.0372T}$$

여기서, Sf(SI) : 슬럼프 플로우 및 슬럼프 (cm)

η : 결합재의 점도 (mPa·s)

α, β : 실험상수

5. 참고문헌

- 1) 滝山榮一郎, 「ポリエスチル樹脂ハンドブック」, 日刊工業新聞社, 東京, June 1998, pp. 87-89
- 2) 山崎竹博, 「レジンコンクリートの配合とワーカビリティーに関する研究」, 土木學會第41會年次學術講演梗概集, Nov. 1986, pp. 517-518
- 3) 出村克宣, 「建築用レジンコンクリートの開發に 關する研究」, 日本大學博士學位論文, March 1982, pp. 113-119
- 4) 飛内圭之, 古賀康男, 鳴瀬浩康, 「超輕量コンクリートの強度等に与える溫度の影響」, 第43會技術大會講演集, 1989, pp. 490-495.
- 5) 小林忠司, 「建築用レジンコンクリートの開發に關する究」, 日本大學博士學位論文, March 1982, pp. 17-31.
- 6) 後等幸正, 尾坂芳男, 「ネビルのコンクリートの特性」技報堂出版社, 東京, Nov. 1979, pp. 163-167.
- 7) 櫻正紀郎, 壺阪祐三, 宮坂慶男, 「特殊コンクリートの施工」 共立出版, 東京, June 1976, pp. 185-186
- 8) 日本建築學會, 「鐵筋工事, 建築工事標準仕様書・同解説 5」, 技報堂出版社, 東京, March 1997, p. 380