

결합재의 종류 및 치환율에 따른 구속수비의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of the Confined water ratio for Binder type and Replacement ratio

權 寧 鎬 李 賢 浩 李 華 振 河 在 潭
Kwon, Yeong-Ho Lee, Hyun-Ho Lee, Hwa-Jin Ha, Jae-Dam

ABSTRACT

This research investigates the rheological behavior and the confined water ratio of the cement paste and binder condition in order to predict mix design proportion of the high flowing concrete. The purpose of this study is to determine the optimum replacement ratio of binders including fly ash, and lime stone powder by the cement weight. For this purpose, belite cement, blast furnace slag cement and ordinary portland cement are selected.

As test results, the confined water ratio shows the following range ; OPC>blast furnace slag cement>belite cement. Therefore, belite cement is proved very excellent cementitious materials in a view point of the flowability. The optimum replacement ratio of lime stone powder is shown over 30% in case of belite cement and about 10% in case of slag cement type. Also, the optimum replacement ratio of fly ash is shown 30% by the cement weight considering the confined water ratio and deformable coefficient of the paste condition.

1. 서 론

지금까지 제안된 고유동 콘크리트의 배합설계 방법은 각 기관의 경험과 축적된 자료를 분석하여 제시한 것이기 때문에 어떤 하나를 표준으로 적용하기는 어렵지만, 비교적 이론적으로 충실한 東京大學의 제시안을 표준으로 하고, 그 외의 제시안을 보조적으로 활용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 일반적으로 분체계 고유동 콘크리트의 경우에는 동경대학의 배합설계 방법을, 병용계 고유동 콘크리트의 경우에는 증점제의 영향을 평가할 수 있는 후찌다 및 대성건설의 배합설계 방법을 국내의 실정에 맞게 활용하는 것이 바람직할 것으로 평가된다.⁽¹⁾

특히, 분체계의 경우에는 시멘트(또는 결합재)-페이스트, 모르타르 및 콘크리트의 단계로 각각 나누어 특성을 평가하는 것이 필요하며, 이는 콘크리트의 배합설계 조건을 확정하기 전에 시멘트-페이스트의 단계에서 성능을 예측할 수 있기 때문에 콘크리트의 최적배합을 도출하는 단계 및 시험에서의 시행착오를 줄이는데 도움이 될 것으로 기대된다.

따라서, 본 논문에서는 분체계 고유동 콘크리트의 특성을 사전에 예측하기 위한 방안으로 시멘트-페이스트 상태에서 분체의 치환율에 따른 구속수비의 평가를 통해 배합설계에 반영하기 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

* 정희원, 동양대학교 건축공학과 교수

** 정희원 쌍용중앙연구소 책임연구원

2. 사용재료 및 실험개요

2.1 사용재료

페이스트 상태에서 구속수비 시험을 통해 각각의 결합재에 따른 최적 치환율을 결정하기 위하여, 비교적 사용실적이 많은 보통 포틀랜드 시멘트, 슬래그 시멘트 및 低發熱 시멘트(Belite) 등을 선정하였다. 결합재는 플라이애쉬 및 석회석 미분말을 선정하였으며, 각각의 품질시험결과는 다음과 같다.

2.1.1 시멘트의 품질특성

보통 포틀랜드 시멘트, 슬래그 시멘트 및 벨라이트 시멘트의 화학적·물리적 특성은 [표 1]과 같다.

[표 1(a)] 고유동 콘크리트용 시멘트의 화학적 특성 (단위 : %)

시멘트 종류		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	강열감량	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	비 고
보통포틀랜드 시멘트	S사	21.3	4.7	3.1	63.1	3.0	2.2	0.70	-	-	-	KS L 5201 (Type I)
	T사	20.7	5.4	3.2	61.2	3.1	2.2	0.76	-	-	-	
슬래그 시멘트(T사)		-	-	-	-	-	2.5	0.6	-	-	-	KS L 5210
Belite 시멘트 (S사)		-	-	4.1	-	1.8	2.1	0.8	28.7	51.5	1.1	KS L 5201(Type IV)

[표 1(b)] 고유동 콘크리트용 시멘트의 물리적 특성

시멘트 종류	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(hr:min)		수화열(cal/g)		압축강도(kg/cm ²)			비 고	
			초결	종결	7일	28일	3일	7일	28일		
보통포틀랜드 시멘트	S사	3,200	0.05	230	6:10	-	-	195	293	397	KS L 5201 (Type I)
	T사	3,031	0.40	205	4:37	-	-	180	278	382	
슬래그 시멘트(T사)		3,787	0.05	270	8:15	64.8	74.8	186	267	443	KS L 5210
Belite 시멘트(S사)		3,504	0.03	330	9:10	54.0	63.0	110	144	307	KS L 5201(Type IV)

2.1.2 결합재의 품질특성

시멘트의 구속수비 개선을 위한 플라이애쉬 및 석회석 미분말의 품질시험 결과는 [표 2]와 같다.

[표 2] 플라이애쉬의 화학적·물리적 특성

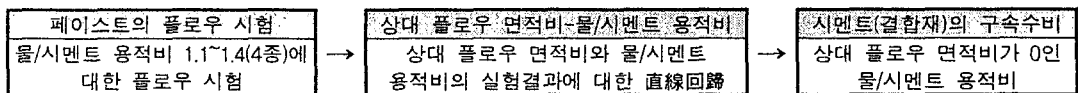
구 분	화학적 특성			물리적 특성				비 고
	SiO ₂ (%)	습분(%)	강열감량(%)	분말도(cm ² /g)	비 중	단위수량비(%)	압축강도비(%)	
측정결과	53.9	0.2	3.1	3,149	2.16	99	85 (28일)	KS L 5405

[표 3] 석회석 미분말의 화학적·물리적 특성

구 분	화학적 성분(%)						물리적 특성				비 고	
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	강열감량	분말도(cm ² /g)	비중	습분(%)	75 μ m		150 μ m
측정결과	1.2	0.2	0.7	53.4	1.6	42.4	6,570	2.61	0.1	100	100	JIS A 5008

2.2 실험방법

고유동 콘크리트에 필요한 단위수량을 결정하기 위해서는 먼저 시멘트 또는 결합재의 구속수비(즉, 유동에 기여하지 않는 수량)를 [그림 1]과 같이 산정한다.

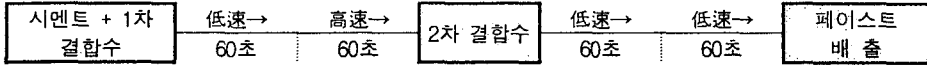


[그림 1] 시멘트(또는 결합재)의 구속수비 산정방법

2.2.1 페이스트의 플로우 시험

제시된 물/시멘트(또는 물/결합재) 용적비를 대상으로 [그림 2]와 같이 1ℓ의 페이스트를 만들어 플로우 시험을 실시한다. 플로우 시험은 KS R 5201에 준용하지만, 플로우 판에 낙하운동을 가하지 않고

플로우 콘을 제거한 후, 페이스트의 변형이 종료된 시점에서 2방향의 직경을 측정한다.



[그림 2] 구속수비 측정을 위한 페이스트의 배합방법

2.2.2 구속수비의 산정

연속 2회 실시한 플로우 시험의 결과로부터 (식 1)을 이용하여 상대 플로우 면적비를 산정한다.

$$\text{상대플로우 면적비}(\Gamma_p) = \frac{\pi(F_p/2)^2 - \pi(F_0/2)^2}{\pi(F_0/2)^2} = (F_p/F_0)^2 - 1 \quad \text{..... (식 1)}$$

여기서, F_p 는 페이스트의 플로우 값(mm), F_0 는 플로우-콘의 단면직경(100mm)을 의미한다. 상대플로우 면적비와 물/시멘트 용적비를 선형관계로 回歸分析하여 상대 플로우 면적비가 0이 되는 물/시멘트 용적비, 즉 직선의 切片값인 구속수비(β_p) 및 기울기인 변형계수(E_p)를 산정하여 평가한다.

2.3 실험변수 및 계획

선정된 재료 및 실험방법에 따라 각각의 시멘트에 대하여 결합재의 치환율을 변동시키면서 [표 4]와 같은 실험변수에 대한 구속수비 시험을 실시하였다.

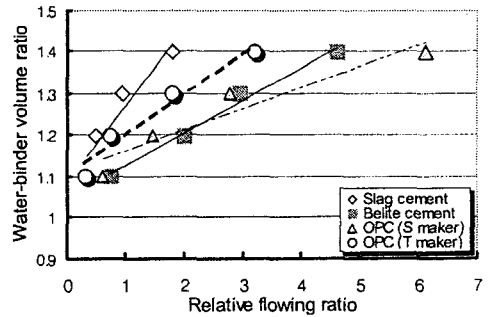
[표 4] 구속수비 평가를 위한 실험변수 및 계획

시멘트 종류		결합재의 치환율(內割 : %)				비고
보통포틀랜드 시멘트	S사	0	15	30	-	
	T사	0	15	30	-	
슬래그 시멘트		0	5	10	15	석회석 미분말
Belite 시멘트		0	15	30	45	

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 시멘트 종류에 따른 구속수비 평가

각각의 시멘트에 대하여 고유동 콘크리트의 유동성에 기여하지 못하는 구속수량을 평가하기 위한 拘束水比 試驗을 실시하였으며, 실험결과는 [그림 3]과 같다. 시멘트의 구속수비는 OPC₁(S사) > OPC₂(T사) > 슬래그 시멘트 > 벨라이트 시멘트의 순으로 측정되었다. 여기서, 구속수비가 높다는 것은 시멘트-페이스트의 유동성에 기여하지 못하고 시멘트의 입자에 흡착되는 수량이 크다는 것을 의미한다.



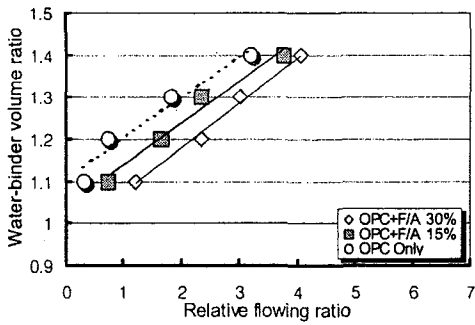
[그림 3] 시멘트 종류에 따른 구속수비 시험결과

3.2 플라이애쉬의 치환율에 따른 구속수비 평가

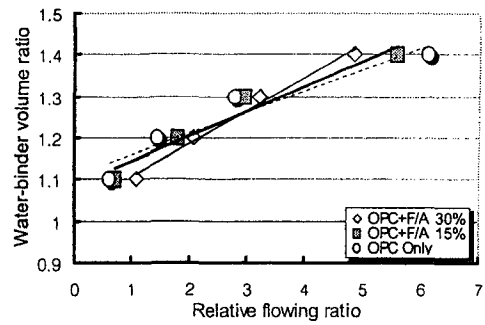
구속수비를 개선시키기 위하여 시멘트의 중량비(內割)로 플라이애쉬를 각각 0, 15, 30% 치환한 혼합시멘트의 구속수비 시험결과는 [그림 4] 및 [그림 5]와 같다. 실험결과, 치환율이 증가할수록 구속수비는 감소하는 반면에, 변형계수는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 시멘트 입자간극에 존재하는 플라이애쉬의 입자는 시멘트의 구속수량을 저감시키는 역할을 하는 것으로 사료된다.

3.3 석회석 미분말의 치환율에 따른 구속수비 평가

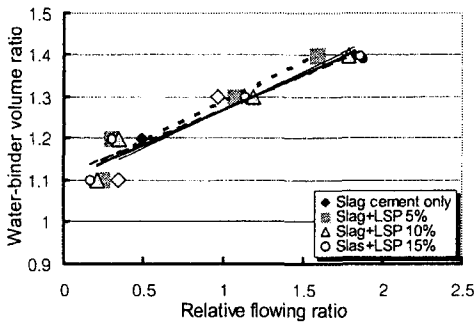
석회석 미분말의 치환에 따른 구속수비의 변동을 측정하기 위하여 벨라이트 시멘트 및 슬래그 시멘트에 대한 구속수비 시험을 실시하였으며, 실험결과는 [그림 6] 및 [그림 7]과 같다.



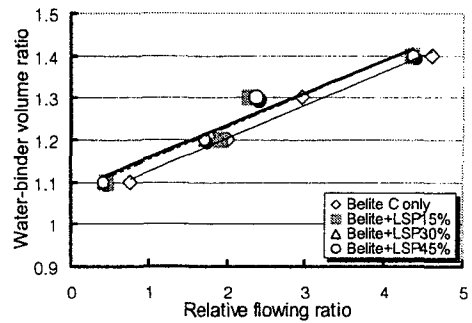
[그림 4] 플라이애쉬 치환율에 따른 구속수비 (S사)



[그림 5] 플라이애쉬 치환율에 따른 구속수비 (T사)



[그림 6] L.S.P 치환율에 따른 슬래그 시멘트의 구속수비



[그림 7] L.S.P 치환율에 따른 벨라이트 시멘트의 구속수비

시험결과, 석회석 미분말을 치환한 경우에는 구속수비의 저감효과가 나타나지 않았다. 즉, 시멘트의 종류에 관계없이 석회석 미분말의 치환율이 증가할수록 구속수비는 증가하는 반면에, 변형계수는 감소하는 경향을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론을 정리하면, 시멘트 종류에 따른 구속수비는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 벨라이트 시멘트가 가장 우수한 것으로 나타났기 때문에, 고유동 콘크리트의 시멘트로 적합할 것으로 사료된다. 플라이애쉬의 치환은 구속수비를 감소시키는데 매우 효과적이기 때문에, 30%정도까지 사용해도 유동성, 충전성, 재료분리 저항성의 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 석회석 미분말은 분말도가 높기 때문에, 입자에 흡착되는 구속수량은 증가하지만 변형계수가 낮은 것으로 나타났다. 따라서, 슬래그 시멘트의 경우 10%, 벨라이트 시멘트의 경우 30%이상 사용하더라도 유동성 및 점성의 개선에 효과적일 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 지역대학 우수과학자 육성지원연구의 일환으로 수행된 것임을 밝혀드립니다.

참고문헌

1. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅, “하이퍼포먼스콘크리트”, 技報堂出版, 1993.