

부순모래를 사용한 超流動 콘크리트의 配合特性

The Properties of the Super Flowing Concrete using manufactured sand

權 寧 鎭* 李 相 洙** 安 宰 鉉*** 朴 沘 林****
Kwon, Yeong-Ho Lee, Sang-Soo Ahn, Jae-Hyun Park, Chil-Lim

Abstract

In this paper, we described the basic elements(relative flowing area ratio and funneling velocity ratio in mortar, flowability and self-compactibility in concrete, and etc.) required for the maximum mix design of the super flowing concrete(SFC) using manufactured sand. Also, manufactured sand and fly ash were used for investigating characteristics of SFC through various experiments(replacement ratio of manufactured sand, optimum mix condition) before producing the concrete in batch plant.

As the result of this project, the SFC using manufactured sand up to 50% showed high flowability and self-compactibility in fresh concrete. Furthermore, its compressive strength is higher than normal concrete without manufactured sand. From now on, this study may suggest how to apply manufactured sand in the SFC

Keywords : Manufactured sand, β_p , S_r , Γ_p , R_m , maximum replacement ratio

1. 序 言

최근, 천연골재의 고갈에 따라 굵은골재는 부순돌(碎石)의 사용이 일반화되고 있으며, 잔골재는 세척모래를 많이 사용하고 있는 실정이다. 특히, 建設廢棄物의 재활용 차원에서 재생골재의 사용도 검토되고 있다. 이러한 국내실정을 감안할 때, 본 연구에서는 부순모래(碎砂)를 超流動 콘크리트에 적용하기 위한 실험을 수행하고자 한다. 부순모래에 대한 기존의 연구는 주로 粒形¹⁾, 잔입자 含有量²⁾ 등에 따른 콘크리트 특성 또는 配合補正을 검토한 것인데 비해, 본 연구에서는 초유동 콘크리트의 배합 설계상 필요한 流動性, 充填性, 材料分離 抵抗性의 관점에서 부순모래의 영향을 검토하고 이를 반영한 초유동 콘크리트의 제조 및 현장적용을 연구목표로 한다.

따라서, 부순모래의 특성이 초유동 콘크리트의 모르타르, 콘크리트에 미치는 영향을 실험적으로 규명하여 부순모래의 最適置換率, 잔골재 용적비(S_r) 및 굵은골재 용적비(G_v)를 선정하고 제조 및 현장 적용을 위한 레미콘 품질관리의 기본자료를 확보하고자 한다.

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원

** 정회원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원

*** 정회원, (주)대우건설기술연구소 책임연구원

**** 정회원, (주)대우건설기술연구소 소장, 공박

2. 사용재료 및 성능평가 방법

2.1 使用材料 特性

초유동 콘크리트 재료는 二成分系 플라이애쉬를 사용하였으며, 이외의 재료는 래미콘 공장에서 사용되는 재료를 그대로 사용하였다. 시멘트는 H社의 보통 포틀랜드 시멘트(1종)로 품질시험 결과는 표1.과 같으며, 플라이애쉬는 보령 화력발전소에서 생성되는 F급 플라이애쉬로 품질시험 결과는 표2.와 같다.

표1. 시멘트의 품질시험 결과

강열감량 (%)	분말도 (cm/g)	안정도 (%)	응결시간 (hr:min)		압축강도 (kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
1.03	3,185	0.24	4:00	5:30	172	244	355

표2. 플라이애쉬의 품질시험 결과

화학적 성분 (%)							물리적 특성	
산화물	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	lg. loss	비중	분말도 (cm/g)
90.29	1.13	1.44	0.33	0.05	3.65	3.6	2.23	3,124

* 산화물은 SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃의 총량을 의미

굵은골재는 議政府産 25mm쇄석이며, 잔골재는 남양만 세척모래 및 의정부산 부순모래로 품질시험 결과는 표3.과 같다. 본 연구에서 사용한 부순모래는 KS 및 JIS규준에서 제시한 품질규준을 만족하고 있다. 또한, 일반적으로 초유동 콘크리트용 굵은골재는 25~15mm범위에서 20mm를 勸奨하고 있지만, 국내의 골재사정을 고려하여 래미콘 공장에서 사용되는 25mm로 결정하였다.

2.2 초유동 콘크리트용 부순모래의 성능평가 방법

부순모래의 레오로지 성능을 평가하기 위하여 기존에 제안된 試驗裝置³⁾로 표4.와 같은 항목에 대해 부순모래의 치환율에 따른 재료특성, 모르타르 및 콘크리트 특성을 측정하였다.

표3. 골재의 품질시험 결과

종류 구분	세척 모래	잔골재 (부순모래)			굵은 골재 (25mm)
		측정 결과	KS F 2558	JIS A 5005	
비중	2.60	2.64	2.5이상	2.5이상	2.61
조립율 (F.M)	2.66	2.90	-	-	6.71
흡수율 (%)	0.93	0.48	3.0이하	3.0이하	1.12
마모율 (%)	-	-	-	-	21.4
실적율 (%)	58.1	64.8	-	53이상*	58.3
단위중량(kg/m ³)	1,498	1,710	-	-	1,525
안정성 (%)	-	1.56	10이하	10이하	-
씻기감량 (%)	-	2.97	7.0이하	7.0이하	-

* 임평판정 실적율 (부순모래의 임평판정 실적율 54.6%)

표4. 부순모래의 성능평가 방법

재료특성 (치환율)	모르타르 특성 (치환율)	초유동 콘크리트 품질성능
- 입도	- 상대플로우 면적비	- 배합설계
	- 상대깎대기 속도비	- 슬럼프 플로우 (60±5cm)
	- 유동성평가	- 깎대기 유하시간 (10±5초)
- 조립율	- 점성평가	- Box간극 통과성 (5cm이하)
	- 레오로지 성능평가	- 최적조건 선정

3. 부순모래의 치환율에 따른 실험적 고찰

3.1 실험개요

초유동 콘크리트의 배합에서 가장 중요한 것은 流動性·充填性·材料分離 抵抗性을 만족하는 최적 배합 조건을 도출하는 것이며, 부순모래를 혼합하여 사용할 경우에는 부순모래의 치환율에 따른 잔골재의 재료특성 변화와 이에 따른 모르타르 특성을 실험적으로 규명하고자 한다.

3.2 부순모래의 치환율에 따른 재료특성

부순모래의 치환율에 따른 체가름 시험 및 조립율은 그림1.과 같다. 혼합모래에 대한 부순모래의 치환율이 증가할수록, 微粒粉이 증대하는 경향을 나타내고 있으나 중간크기(#30~8체)의 입자는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 조립율은 치환율이 60%까지는 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다.

따라서, 모르타르 및 콘크리트의 배합특성을 고려하여 초유동 콘크리트의 요구성능에 만족하는 치환율을 결정해야 할 것으로 사료된다.

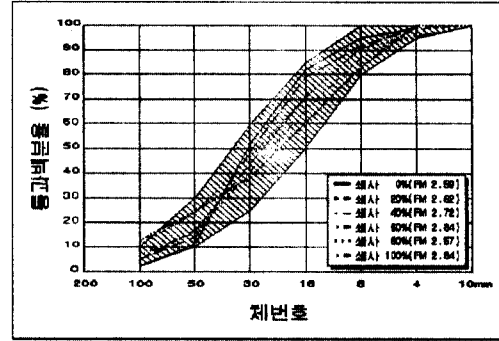


그림1. 부순모래 치환율에 따른 입도곡선

3.3 부순모래의 치환율에 따른 모르타르 특성

초유동 콘크리트의 配合設計法⁴⁾에서 제시한 방법에 따라 부순모래의 치환율에 따른 모르타르 시험을 실시하였다. 이때, F급 플라이애쉬를 30% 치환한 결합재의 拘束水比(β_p)는 0.96으로 나타났다.

참고로 F급 플라이애쉬의 치환율이 증대할수록, 구속수비는 감소하기 때문에 流動性 측면에서는 유리하지만, 초기강도 발현에는 불리하기 때문에 플라이애쉬의 치환율을 30%로 제한하였다. 부순모래의 치환율에 따른 모르타르의 특성을 검토하기 위하여 표5.와 같은 배합조건으로 모르타르의 상대플로우 面積比(Γ_p) 및 상대갈대기 速度比(R_m)를 측정하였다.

여기서, 물/결합재비(W/B)는 페이스트의 상대플로우 면적비에서 산정한 구속수비와 유동성을 고려하여 정한 값이며, S_r 은 모르타르에서 잔골재가 차지하는 용적비를 나타낸 것이다.

표5. 부순모래의 치환율에 따른 모르타르의 레오로지 특성

부순모래 치환율	구속수비 (β_p)	W/B (%)	S_r (%)	단위재료량(g)				고성능 감수제 (B:%)	실험결과				압축강도 (kg/cm ²)		
				W	C	FA	부순모래		세척모래	Flow (cm)	면적비 (Γ_p)	유하시간 (T_r :sec)	속도비 (R_m)	7일	28일
0%	0.96	37	40	409	950	407	0	1566	1.6	27.2×27.3	6.43	7.5	1.33	440	611
20%							313	940		26.5×26.1	5.92	9.0	1.11	486	626
40%							626	1253		25.1×25.0	5.27	10.5	0.95	517	633
60%							940	626		20.6×20.4	3.20	12.8	0.78	540	669
80%							1253	313		16.2×16.0	1.59	21.4	0.47	512	631
100%							1566	0		11.0×11.2	0.23	막힘	-	-	-
100%											2.1	25.3×25.5	5.45	16.0	0.63

이때, 상대플로우 面積比(Γ_p) 및 流下速度比(R_m)는 다음식에 의해서 산정하였다.

$$\Gamma_p = \frac{\pi(F_p/2)^2 - \pi(F_0/2)^2}{\pi(F_0/2)^2} = (F_p/F_0)^2 - 1 \quad (1) \quad R_m = \frac{10}{T_r} \quad (2)$$

여기서, F_p 는 페이스트의 플로우 값(mm), F_0 는 플로우-콘의 단면직경(100mm)을 의미하며, T_r 은 모르타르용 깔대기 시험장치에서 측정된 시료의 流下時間(sec)를 나타낸 것이다.

실험결과, 표5.에서 보듯이 配合條件이 동일할 때, 부순모래의 치환율이 증대할수록 상대플로우 면적비는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 부순모래의 입형이 매우 거칠고 각진 입자가 증대되기 때문에 유동성이 감소한 것으로 평가된다. 반면에 부순모래의 치환율이 증대할수록 모르타르용 깔대기 유

하시간은 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 점성의 변화이기 보다는 부순모래 입자간의 맞물림 저항 및 마찰저항의 증대로 사료된다. 또한, 재령별 모르타르의 압축강도 측정결과, 부순모래의 치환율이 증대할수록 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서, 高性能 減水劑의 첨가량이 1.6%인 범위에서 流動性 및 充填性을 만족하는 부순모래의 치환율은 40~50%범위가 바람직할 것으로 사료된다.

4. 초유동 콘크리트의 적용성 실험결과

4.1 초유동 콘크리트의 배합설계

초유동 콘크리트 배합설계의 基本概念은 콘크리트에 유동성·충진성·재료분리 저항성을 부여하기 위한 것으로, 이에 적합한 배합수, 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 공기량의 比率 및 필요한 高性能 減水劑와 AE제의 사용량을 합리적으로 산정해야 한다.

따라서, 물/결합재비(W/B) 외에 결합재의 拘束水比(β_F), 잔골재 용적비(S_r), 굵은골재 용적비(G_V)와 같은 새로운 개념을 도입하여, 레오로지 측면에서 초유동 콘크리트의 배합설계를 다음과 같이 수행하였다.

4.1.1 잔골재 容積比(S_r)

잔골재 용적비(S_r)는 전체 모르타르에서 잔골재가 차지하는 容積比로 미립잔골재의 비율(S_m)을 고려하여 다음식으로 산정한다. 여기서, S는 잔골재 용적, M은 모르타르 용적, S_m 은 잔골재 용적에서 0.06mm 미만 입자의 비율을 나타낸 것이다.

$$S_r = \frac{S/M}{1 - S_m} \quad \text{----- (3)}$$

4.1.2 물/결합재 容積比

물/결합재 용적비는 시멘트 또는 분체입자가 구속하는 단위수량, 즉 유동에 기여하지 않는 水量比(구속수비)로부터 상대플로우 면적비(Γ_F)의 관계에 따라 回歸分析으로 정하며, 다음식과 같은 관계로 나타낸다.

여기서, E_p 는 물/시멘트 용적비와 상대플로우 면적비의 직선 기울기를 나타내는 變形係數로 구속수비와 함께 결합재의 유동성을 판단하는 기준이다. 따라서, 물/결합재 용적비는 여기서 산정한 결합재 또는 시멘트의 拘束水比에 적당한 상수(K_p)를 곱하여 산정한다.

$$W/P = E_p \cdot \Gamma_F + \beta_F \quad \text{----- (4)}$$

4.1.3 굵은골재 용적비(G_V)

굵은골재는 초유동 콘크리트의 充填性에 영향을 미치기 때문에, 골재의 최대크기, 입도분포, 입형, 실적을 고려하여 充填性試驗으로 결정한다. 굵은골재의 최대크기는 20mm일 때, 일반적으로 공기량을 제외한 콘크리트 용적에 대해 굵은골재 용적비는 실적율의 50%정도로 한다.³⁾

4.1.4 콘크리트 배합계산

초유동 콘크리트의 배합계산은 앞에서 선정한 잔골재 용적비, 물/시멘트 용적비, 굵은골재 용적비, 공기량 및 굵은골재의 실적율(G_a)에 따라 다음식으로 재료용적(ℓ)을 산정한다. 여기서, 산정된 각각의 재료량은 容積이기 때문에 比重을 곱하면 필요한 重量을 구할 수 있다. 또한, 이성분계 초유동 콘크리트에서는 치환율에 따른 결합재(C+FA)의 식 또는 각각의 산정식으로 계산한다. 이 경우에도 비중 및 구속수비를 함께 고려해야 한다.

$$A = \text{목표공기량(Air)} \quad \text{----- (5)}$$

$$G = G_a \times G_g \times (1 - A) \quad \text{----- (6)}$$

$$S = S_r \times (1 - A - G) \quad \text{----- (7)}$$

$$W = (1 - A - G) \times (1 - S_r) \times \frac{K_p \times \beta_p}{1 + (K_p \times \beta_p)} \quad \text{----- (8)}$$

$$C = (1 - A - G) \times (1 - S_r) \times \frac{1}{1 + (K_p \times \beta_p)} \quad \text{----- (9)}$$

4.2 부순모래 치환율에 따른 콘크리트 특성

부순모래의 치환율에 따른 초유동 콘크리트의 配合特性을 검토하기 위하여 물/결합재비(W/B), 잔골

재 용적비(S_r), 굵은골재 용적비(G_v)가 일정한 조건에서 시험배합을 실시하였으며, 배합조건 및 실험결과는 표6.과 같다. 이때, 굵은골재의 실적율은 58.2%이다.

표6. 부순모래 치환율에 따른 콘크리트의 특성시험 결과

배합조건(%)			단위 재료량(kg/m ³)					S.P (%)	부순모래 치환율 (%)	슬럼프 플로우 (cm)	50cm 도달 시간 (초)	유동속도 (cm/sec)		공기량 (%)	유하시간 (sec)		BOX 간극통과성 (cm)	압축강도 (kg/cm ²)	
W/B	Gv	Sr	C	F/A	W	S	G					50cm	최종		○형	□형		7일	28일
37	50	40	392	168	207	709	727	1.5	0	64×61	5.6	2.7	1.6	4.0	7.2	9.4	2.2	245	360
								1.5	20	62×60	5.1	2.9	1.5	3.8	8.3	11.3	2.5	250	-
								1.6	50	65×64	4.9	3.1	1.0	4.2	14.2	15.6	2.0	254	-
								1.8	100	66×64	4.4	3.4	1.3	3.2	15.0	-	14.0	248	-

모르타르의 결과와 마찬가지로 초유동 콘크리트에서도 부순모래의 치환율이 증대할수록 유동성은 저하되는 반면에, 流下時間은 치환율이 증대할수록 증대하였으나, 최종 유동속도와 공기량, 압축강도는 뚜렷한 차이를 나타내지 못하였다. 따라서, 부순모래의 치환율은 50%以下로 하는 것이 바람직하다.

4.3 잔골재 용적비에 따른 콘크리트 특성

부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 최적배합 조건을 도출하기 위하여 잔골재 용적비(S_r)에 따른 초유동 콘크리트의 특성을 측정하였으며, 결과는 표7. 및 그림2. 그림3.과 같다.

표7. 잔골재 용적비에 따른 배합조건 및 실험결과

구분 배합명	배합조건(%)			단위 재료량(kg/m ³)					S.P (%)	슬럼프 플로우 (cm)	유동속도(cm/s)		공기량 (%)	유하시간 (초)	BOX 간극통과성 (cm)
	W/B	Gv	Sr	W	C	FA	S	G			50cm	최종			
FA-37-S40	37	50	40	207	392	168	709	727	1.6	65×64	3.1	0.9	4.2	14.2	2.0
FA-37-S42			42	200	379	162	744	727	1.8	65×62	2.4	0.6	4.3	13.6	1.5
FA-37-S44			44	193	366	157	780	727	1.7	62×62	2.8	0.6	4.6	8.8	1.5
FA-37-S46			46	186	353	151	815	727	1.7	63×61	2.8	0.7	5.1	7.9	1.0

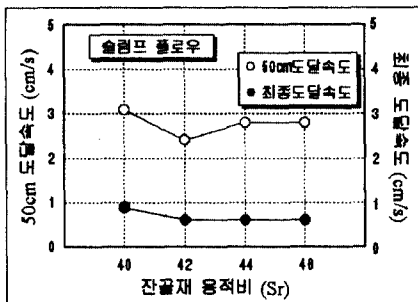


그림2. 잔골재 용적비에 따른 유동속도

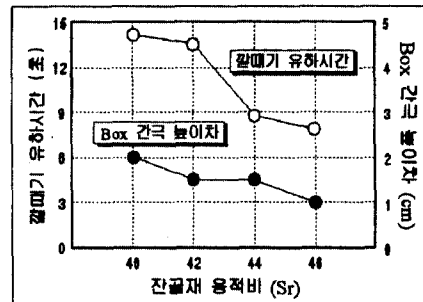


그림3. 잔골재 용적비에 따른 유하시간 · 간극통과성

실험결과, 잔골재 용적비에 따른 50cm도달속도는 최종도달속도에 비해 빠른 것으로 나타났는데, 이는 초기 위치에너지에 따른 變形性의 증대로 사료되며, 깔대기 유하시간 및 Box 간극통과성 높이는

잔골재 용적비가 증대할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 결합재 페이스트의 점성, 입자간의 부착력 및 마찰저항이 증대하였기 때문으로 사료된다. 따라서, 잔골재 용적비를 46%로 결정하였다.

4.4 배합강도 산정 및 B/P 시험배합 결과

초유동 콘크리트의 배합강도는 다음식에서 큰 값으로 산정하였다. 여기서, F는 배합강도, F_q 는 품질기준강도로 설계기준강도에 30kg/cm²를 더한 값이다. 또한, 압축강도의 최소보증값은 품질기준강도와 온도보정값(T)의 85%로, 정규편차는 1.73(불량율 4%)을 적용하였으며 標準偏差(σ)는 35kg/cm²로 하였다. B/P의 시험배합은 삼표레미콘 성수공장에서 실시하였으며, 시험배합 결과는 표8.과 같다.

$$F \geq 0.85 \cdot (F_q + T) + 3 \cdot \sigma \quad \text{----- (10)}$$

$$F \geq F_q + T + 1.73 \cdot \sigma \quad \text{----- (11)}$$

부순모래를 50% 치환한 초유동 콘크리트의 B/P 최적배합은 표8.에서 보듯이 유동특성을 만족하지만, 배합강도(360kg/cm²)를 고려하여 물/결합재비를 35%로 선정하였다.

표8. B/P 시험배합 결과 (부순모래 50%)

배합명	구분	Sr (%)	W/B (%)	S.P (%)	슬럼프 플로우 (cm)	유동속도(cm/s)		공기량 (%)	유하 시간 (초)	BOX 간 통과성 (cm)
						50cm	최종			
FA-37-S46	46		37	1.6	64×63	7.5	1.6	3.0	3.0	2.5
FA-35-S46			35	1.6	65×63	2.5	1.5	3.7	5.1	2.0

따라서, 부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 B/P 최적배합 조건은 잔골재 용적비 46%, 굵은골재 용적비 50%가 가장 적합한 것으로 나타났다. 이때, B/P의 믹서는 180m³/hr의 One Shaft이며, 배합방법은 一括投入方法, 배합시간은 50초로 하였다. B/P 최적배합 결과, 압축강도는 340~390kg/cm²으로 부순모래의 적용 가능성을 확인하는 계기가 되었으며, 이 결과를 통해 현장에 적용하도록 하였다.

5. 結 言

부순모래를 초유동 콘크리트에 사용하기 위하여 수행한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 부순모래의 사용성 확인

재료특성·모르타르 및 콘크리트 실험결과, 부순모래를 50%까지 초유동 콘크리트 제조에 사용하여도 유동성·충진성·재료분리 저항성 및 배합강도를 확보할 수 있었다.

(2) 레미콘 기술이전

초유동 콘크리트의 제조경험이 없는 레미콘 공장과 협동시험으로 자연스런 기술이전을 이루었다.

(3) 초유동 콘크리트의 배합설계법 검증

配合設計法 S/W를 활용하여 부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 현장 수정배합 및 최적배합을 원활히 도출할 수 있었으며, 현장적용을 위한 기본자료를 확보할 수 있었다.

참고문헌

- 1) 韓千求, 尹起源 外 4人., “부순모래의 微粒粉 含有量 및 粒形이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 研究”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제8권2호, pp.17~23, 1996.11
- 2) 李利衡, 池南龍, 李道憲 外 4인., “잔입자 및 입형을 고려한 부순모래 콘크리트의 配合補整 方法에 관한 研究”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제9권1호, pp.10~16, 1997.5
- 3) 岡村 甫., “ハイパフォーマンスコンクリート”, 技報堂, 1992.
- 4) 朴泚林, 安宰鉉, 權寧鎭, 李相洙., “超流動 콘크리트의 配合設計에 관한 研究”, 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 제8권2호, 1996.11, pp.283~289