

# 굵은골재 체적에 따른 고유동 콘크리트의 유동특성에 관한 실험적 연구

최 성 우 (유진기업(주) 전자재연구소, 선임연구원)

유 득 현 (유진기업(주) 전자재연구소 소장)

## 1. 서론

고유동콘크리트는 종래의 보통콘크리트에 비하여 높은 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 가지고 있기 때문에, 건설현장에서 노동력 절감효과와 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 재료로서 주목을 받고 있다. 특히 최근 건축 구조물의 대형화, 고층화에 따라 기존의 콘크리트를 사용한 시공에는 한계가 발생하고 있으며, 이러한 시공성 개선방법으로 고유동콘크리트의 사용이 증가하고 있는 추세이다.

그러나, 고유동콘크리트는 사용 원재료 및 배합설계 방법에 따라 콘크리트의 성능 변화가 심하게 발생하며, 품질관리 측면에서 기존의 콘크리트에 비해 품질변동 발생 요인이 다양하게 작용하며, 제조과정에서의 경제성 등에 의해 건설현장에서의 적용은 제한되어 있는 것이 현실이다.<sup>1),2)</sup> 특히 고유동콘크리트는 일반 콘크리트의 작업성에 비해 콘크리트 자체의 유동성, 충전성, 재료분리저항성 및 간

극통과성 등의 성능을 개선시킨 특수 콘크리트로서, 이러한 특성은 콘크리트의 점성을 증대시킴으로서 고유동화가 가능하지만, 지나친 점성의 증가는 실제 시공현장에서의 펌프 압송 및 타설 등에 있어서 장애 요인으로 작용하고 있다.

이렇듯 고유동콘크리트는 다양한 배합요인에 의해 고유동화가 가능하며, 일반적으로 ①단위시멘트량 증대, ②물결합재비 저하, ③혼화재의 다량 사용, ④고성능감수제의 사용량 증대, ⑤잔골재율 저하, ⑥굵은골재의 최대치수 저하 등의 방법이 사용되고 있으나, 이들 각각의 배합요인의 변동에 따른 유동특성의 변화에 대해 체계적인 관리시스템은 아직 확립되어 있지 못한 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 고유동콘크리트의 유동특성에 영향을 미치는 요인으로서, 굵은골재의 체적 변화에 따른 콘크리트의 유동특성 변화를 검토하고, 또한 혼화재 종류에 따른 유동특성의 변화를 상호 비교·검토하여 보다 경제적이고 고품질의 고유동콘크리트를 제조

하는데 있어 기초자료의 제시를 목적으로 하고 있다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2-1 실험계획 및 사용배합

본 연구는 혼화재 종류에 따른 영향과 굵은골재 최대치수 변화에 따른 영향 2가지의 시리즈로 실험을 진행하였으며, 실험 계획은 [표 1]에 나타내었다.

I 시리즈에서는 혼화재를 사용한 경우에 있어서 굵은골재 체적변화에 따른 유동특성을 검토하여, 혼화재의 종류 및 굵은골재의 체적변화가 유동특성에 미치는 영향을 검토하였다. 혼화재의 종류는 혼화재를 사용하지 않은 경우와 플라이애시와 고로슬래그미분말을 사용한 경우, 3수준에 대해 검토를 진행하

였다. 혼화재는 시멘트 중량 대체 사용하였으며, 각각의 혼화재 대체율은 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 대체율을 적용하여 플라이애시는 20%, 고로슬래그미분말은 40% 대체하여 실험을 진행하였다.

II 시리즈에서는 굵은골재의 최대치수 및 체적변화가 콘크리트의 유동특성에 미치는 영향을 검토하였으며, 굵은골재의 최대치수는 20, 25mm, 2가지 수준에 대해 실험을 진행하였다.

굵은골재의 체적변화에 따른 고유동콘크리트의 유동성능을 평가하기 위해 유동특성으로는 슬럼프-플로우, 공기량, L형 플로우, V-Lot 유하시험 등을 실시하였으며, 제조직후에서 30분 단위로 최대 90분까지의 경과시간에 따른 유동특성의 변화를 검토하였다. 또한 강도특성을 평가하여, 유동특성과 강도발현특성의 상관성을 검토하였다.

모든 시리즈에서 굵은골재의 체적 변화는, 최저 체적을  $280\ell / m^3$ , 최대 체적을  $330\ell / m^3$ 로 하였으며, 체적변동폭을  $10\ell / m^3$ 로 하여, 총 6수준의 굵은골재의 체적변화에 따른 고유동콘크리트의 유동특성을 검토하였다

[표 1] 실험계획

I 시리즈	혼화재 종류	무혼입 (Non)
		고로슬래그 40 (BFS 40)
		플라이애시 20 (FA 20)
	단위굵은골재체적	$280, \sim 330 (\ell / m^3)$ : $10(\ell / m^3)$ 단위로 변화
II 시리즈	굵은골재 최대치수	20mm, 25mm
	단위굵은골재체적	$280, \sim 330 (\ell / m^3)$ : $10(\ell / m^3)$ 단위로 변화
시험항목	굳지않은 성상	슬럼프-플로우, 공기량 L형 플로우, V-Lot유하시험 경과시간에 따른 변화 (제조 직후, 60, 120분)
	경화 성상	압축강도 (3, 7, 28, 91일) 인장강도 (3, 7, 28, 91일)

### 2-2 콘크리트 배합

본 연구에 사용된 콘크리트 배합을 [표 2]에 나타내었다.

콘크리트 배합은 물결합재비 35%, 단위결합재량  $485kg/m^3$ 을 적용하여 배합설계를 진행하였으며, 혼화재를 사용한 경우에 있어서도 굵은골재의 체적은 혼화재를 사용하지 않은 경우와 동일하게 적용하였기 때문에 잔골재의 체적은 혼화재의 종류 및 사용량에 따라 다소 차이가 나타나고 있다.

고성능AE감수제의 사용량은 혼화재 종류

[표 2] 콘크리트 배합

W/B (%)	Binder (kg/m³)	목표 슬럼프 플로우 (cm)	목표 공기량 (%)	절대용적( $l/m^3$ )					AD (%)	
				W	C	혼화재		G		S
						FA	BFS			
35.0	485	60±5	4.5±1.5	170	154	-	-	280	356	1.4
								290	346	
								300	336	
								310	326	
								320	316	
								330	306	
					123	44	-	280	343	1.1
92	-	67	280	351	0.9					

주) II 시리즈의 경우 I 시리즈의 무혼입 배합과 동일 용적 적용

[표 3] 사용재료의 물리적특성

결합재	1종보통 포틀랜드	분말도 3454cm <sup>2</sup> /g 밀도 3.15
	고로슬래그	분말도 4201cm <sup>2</sup> /g 밀도 2.90
	플라이애시	분말도 3,740cm <sup>2</sup> /g 밀도 2.19
잔골재	바다모래	밀도 2.61, 조립율 2.94 흡수율 : 0.64
굵은골재	부순골재	최대치수 25mm, 밀도 2.62 조립율 6.62, 흡수율 0.68
혼화재	고성능 AE감수제	폴리카르본산계

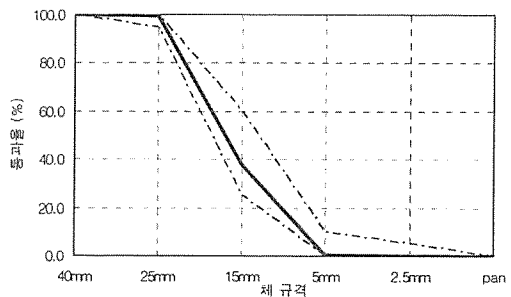
에 따라 예비실험을 실시하여 각각 다르게 사용량을 결정하였으며, 굵은골재의 체적변화에 따라서는 동일하게 사용하였다.

굵은골재의 최대치수에 따른 고성능AE감

수제의 사용량은 25mm 및 20mm 모두 동일하게 적용하였다.

### 2-3 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서 시멘트는 1종보통포틀랜드 시멘트, 혼화제는 2종 고로슬래그 미분말과 3종 플라이애시를 사용하였으며, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능AE감수제를



[그림 1] 굵은골재의 입도 분포

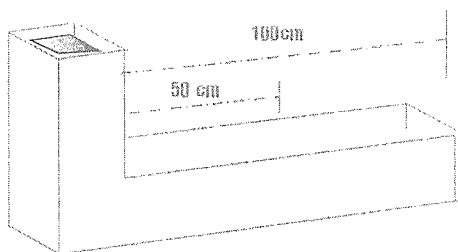
사용하였다.

골재의 경우 잔골재는 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 부순자갈을 사용하였다.

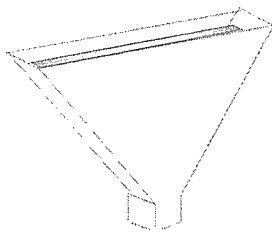
사용재료의 물리적특성은 [표 3]에, 사용 굵은골재의 입도분포는 [그림 1]에 나타내었다.

### 2-4 실험방법

본 연구는 굵은골재의 체적 변화 및 혼화재 종류에 따른 고유동 콘크리트의 유동특성을 검토한 것으로서, 측정항목으로서 [표 2]에 나타낸 바와 같이 슬럼프-플로우, 공기량 변화를 측정하였다. 또한 고유동성을 평가하기 위해 [그림 2]와 같이 L형 플로우 시험 및 V-Lot 유하시간을 측정하였으며, 각각의 항목에 대한 경과시간 60분 단위로 120분까지의 경과시간에 따른 유동특성의 변화를 검토하였다.



(a) L형 플로우 시험



(b) V-Lot 유하시험

[그림 2] 고유동 성능 평가 시험 방법

L형 플로우의 경우에는 50cm 도달시간과 최종 도달시까지의 경과시간을 각각 측정하였으며, V-로트 유하시간의 경우 최종 토출 완료시간을 측정하였으며, 경과시간 20초를 유하시간 한계범위로 설정하여, 토출완료시간 20초를 경과하는 경우에는 이후 경과시간에 따른 유동특성은 검토를 진행하지 않았다.

## 3. 실험결과 및 분석

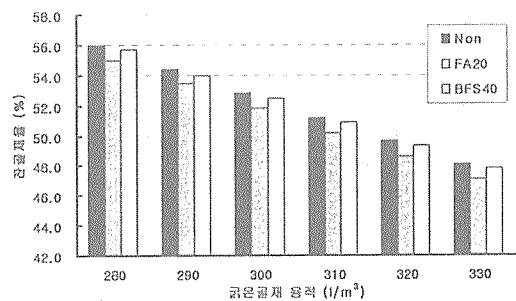
### 3-1 I 시리즈 시험 결과 및 고찰

#### 3-1-1 체적변화에 따른 잔골재율의 변화

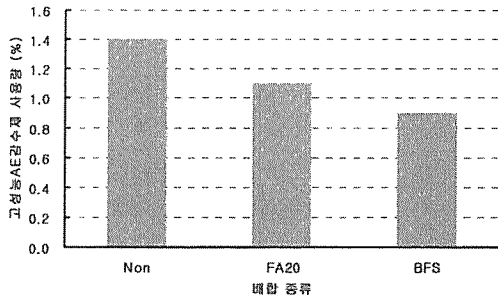
결합재 조건에 따른 잔골재율의 변화를 [그림 3]에 나타내었다.

배합조건에 따른 잔골재율의 변동은 결합재의 밀도 차이에 따라 다소 변동이 발생하는 것으로 나타났다. 밀도가 가장 낮은 플라이애시를 사용한 경우 잔골재율은 Non배합에 비해 약 1.6% 정도 저하하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그미분말을 사용한 경우에는 1% 정도 저하하는 것으로 나타났다.

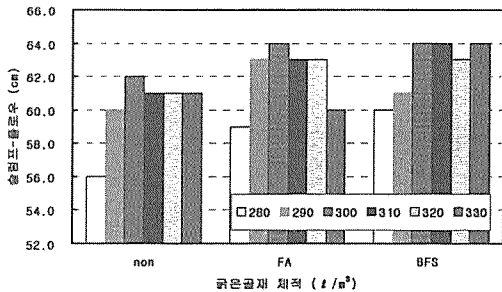
동일 잔골재율을 고려할 경우 굵은골재의 체적은 Non에 비해 FA는 약  $6\text{l/m}^3$ , BFS는 약  $4\text{l/m}^3$  정도 감소하는 것으로 나타났으며, 따라서 실제 고유동콘크리트 배합설계시



[그림 3] 잔골재율의 변화



[그림 4] 고성능AE감수제 사용량 (×B wt. %)



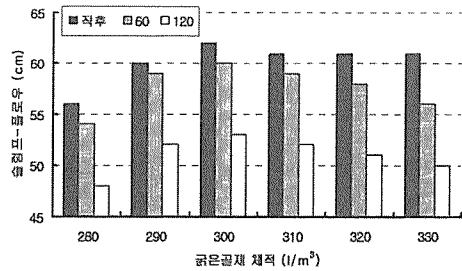
[그림 5] 제조 직후의 슬럼프-플로우의 변화

혼화재의 사용에 따라 적정 잔골재율의 변동이 필요할 것으로 판단된다.

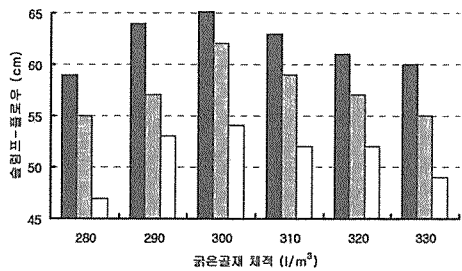
### 3-1-2 제조 직후의 유동특성 변화 검토

혼화재 종류에 따른 고성능AE감수제의 사용량의 변화를 [그림 4]에 나타내었다.

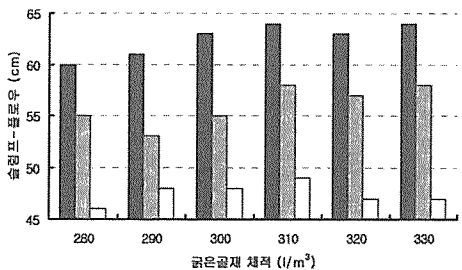
혼화재 종류에 따라서 고성능AE감수제의 사용량은 Non배합이 1.4m BFS배합이 0.9%로 결합재 중량 대체율로 최대 0.5%의 차이가 발생되고 있다. 이는 혼화재의 특성에 의해 플라이애시 및 고로슬래그미분말을 사용할 경우 유동성 개선 효과를 기대할 수 있기 때문에 동일 유동성을 확보하기 위한 혼화재의 사용량은 감소하며, 특히 고로슬래그미



(a) Non 배합



(b) FA 배합



(c) BFS 배합

[그림 6] 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화

분말에 의한 유동성 개선 효과가 가장 탁월한 것으로 나타나고 있다.

혼화재 종류에 따른 콘크리트 제조 직후의 굵은골재 체적별 슬럼프-플로우의 변화를 [그림 5]에 나타내었다.

혼화재의 종류와 관계없이 모든 배합에서 굵은골재 체적이 300 l/m³인 경우, 즉 잔골재율이 51~52%의 범위에서 슬럼프-플로우

가 가장 증가하는 것으로 나타났으며, 280ℓ /m<sup>3</sup>에서는 가장 유동성이 저하하는 것으로 나타나고 있다.

혼화제 종류에 따라 유동특성에 미치는 굵은골재의 체적변화의 영향은 Non배합에서는 굵은골재의 체적이 300ℓ /m<sup>3</sup> 이상에서는 비교적 양호한 슬럼프-플로우값을 나타내고 있으며, FA는 290~320ℓ /m<sup>3</sup>의 범위에서, BFS는 300ℓ /m<sup>3</sup> 이상의 범위에서 슬럼프-플로우가 높게 나타나고 있다. 이는 굵은골재의 체적이 증가할수록 잔골재의 사용량이 감소하여, 고유동콘크리트의 점성을 저하시키는 효과로 인해 슬럼프-플로우가 증가하는 것으로 판단되며, 적정 범위 이상의 굵은골재 체적에서는 오히려 굵은골재 자체의 맞물림 작용에 의해 유동성이 저하하는 것으로 사료된다.

또한 BFS배합에서는 일정 굵은골재 체적 이상의 범위에서는 슬럼프-플로우가 굵은골재의 체적변화와 상관없이 유사한 수준을 나타내고 있으나, 굵은골재 체적이 증가할수록 재료분리의 경향이 나타나는 것을 확인하였다. 이는 혼화제의 사용량의 변화에서와 같이 고로슬래그미분말의 입자 특성에 의해 유동성이 개선효과와 더불어 잔골재량의 감소에 따른 콘크리트 자체의 점성 저하 효과가 상호 작용하여 유동성이 증진되지만, 과도한 점성

저하는 재료분리를 유발시키는 것으로 사료된다.

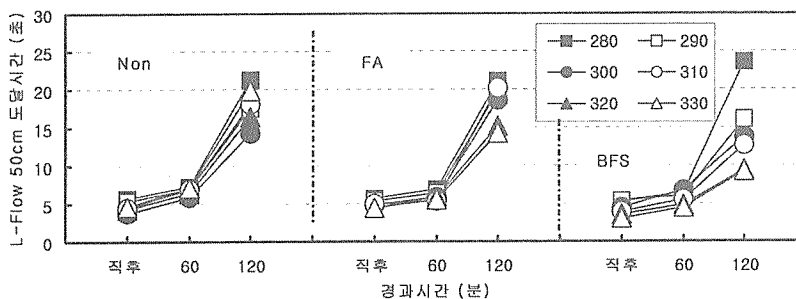
경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화를 [그림6]에 나타내었다.

경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화는 시멘트만을 사용한 Non배합이 가장 경시변화가 적은 것으로 나타났으며, 고로슬래그미분말을 사용한 BFS가 가장 경시변화가 심한 것으로 나타났다. 이는 동일 유동성을 확보하기 위한 고성능AE감수제의 사용량이 Non배합에 비해 BFS배합이 매우 적게 소모되기 때문에, 상대적으로 혼화제 영향이 가장 크게 작용하는 경과시간에 따른 유지성능에 있어서는 오히려 품질 저하가 발생하는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 고유동콘크리트의 배합 설계시에는 재료분리가 발생되지 않는 범위 내에서 혼화제의 사용량을 최대로 설계하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

### 3-1-2 L형 플로우의 변화

[그림 7]에 경과시간에 따른 L형 플로우 50cm 도달 시간을 나타내었다.

동일 굵은골재 체적에서의 혼화제 종류에 따른 도달시간의 변화는, BFS배합이 다소 Non배합 및 FA배합에 비해 도달시간이 단축되는 경향을 나타내고 있으나, 뚜렷한 차이는



[그림 7] 경과시간에 따른 50cm 도달 시간 (L-플로우)

발생하지 않고 있으며, 대부분 경과시간 60분 까지도 거의 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 그러나, 경과시간 120분에서는 굵은골재 체적 280ℓ /m<sup>3</sup>를 제외한 경우 BFS배합이 동일 굵은골재 체적에서 다른 배합에 비해 도달 시간이 상대적으로 단축되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 경향은 고로슬래그미분말의 입자특성에 의한 유동성 개선 효과와 더불어 혼화제의 사용량이 다른 배합에 비해 상대적으로 적어 콘크리트 자체의 점성이 높아 50cm 도달시간은 단축되는 것으로 사료된다.

콘크리트의 점성은 과도할 경우, 콘크리트의 압송성 및 작업성 등을 오히려 저해시키는 요인으로 작용하지만, 적정 점성을 유지할 경우에는 충전성 등의 개선에 의해 실제 부재내의 다짐작용이 용이해질 가능성이 높기 때문에 혼화제의 적정 사용에 의한 점성 증대를 유도하는 것이 고유동콘크리트의 배합설계에 고려되어야 할 것으로 사료된다.

### 3-1-3 V-Lot 유하시간

[그림 8]에 경과시간에 따른 V-Lot 유하시간의 변화를 나타내었다.

V-Lot 시험결과 L형-플로우 시험결과와 동일한 경향으로서, 고로슬래그 미분말을 사

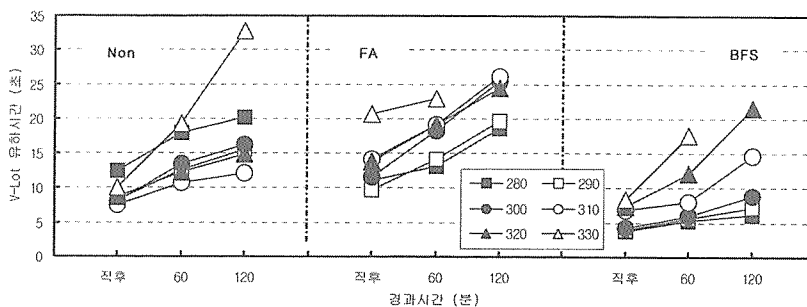
용한 BFS배합이 Non배합 및 FA배합에 비해 유하시간이 단축되는 것으로 나타났다. V-Lot 시험은 콘크리트의 점성에 의한 간극통과성을 평가할 수 있는 시험으로서, BFS배합이 다른 배합에 비해 점성이 상대적으로 높기 때문인 것으로 사료된다.

굵은골재 체적에 따른 V-Lot유하시험의 경향을 살펴보면, 굵은골재의 체적이 낮을수록 유하시간은 단축되고 있으며, 굵은골재 체적이 330ℓ /m<sup>3</sup>의 경우에는 굵은골재의 양이 너무 많아 혼화제를 사용하여 콘크리트의 점성을 증가시켜도 고유동 특성을 기대하기 곤란한 것으로 나타났다.

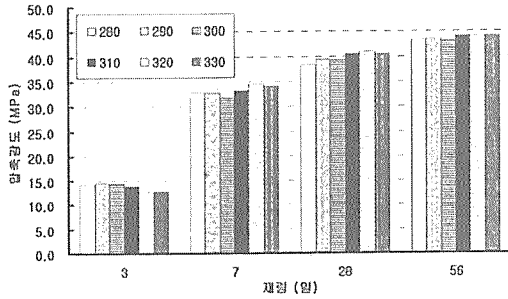
### 3-1-4 강도발현특성

[그림 9]에 Non배합에서의 굵은골재의 체적변화에 따른 압축강도발현특성을 나타내었다.

굵은골재 체적변화에 따른 강도발현특성은, 체적변화에 따른 뚜렷한 차이는 나타나지 않고 있으나, 초기재령 3일에서는 굵은골재의 체적이 낮을수록 압축강도는 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 재령이 경과함에 따라 초기재령의 강도특성과 달리 굵은골재의 체적이 증가할수록 압축강도도 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 재령 56일에서는



[그림 8]에 경과시간에 따른 V-Lot 유하시간의 변화



[그림 9] 굵은골재 체적변화에 따른 압축강도 발현 특성 (Non배합)

거의 유사한 수준을 발현하고 있는 것으로 나타났다.

굵은골재 체적변화가 콘크리트의 압축강도 발현성능에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 사료되지만, 본 연구실험에서 골재 체적에 따라 다소 강도발현에 차이가 발생하는 경향이 나타나는 것은, 초기재령에서는 모르터 부분에 의한 강도발현에 미치는 영향이 높게 작용하지만, 재령이 경과함에 따라 굵은골재가 압축강도에 미치는 영향이 증대되기 때문에 체적변화에 따라 압축강도가 다소 차이가 발생되는 것으로 사료된다.

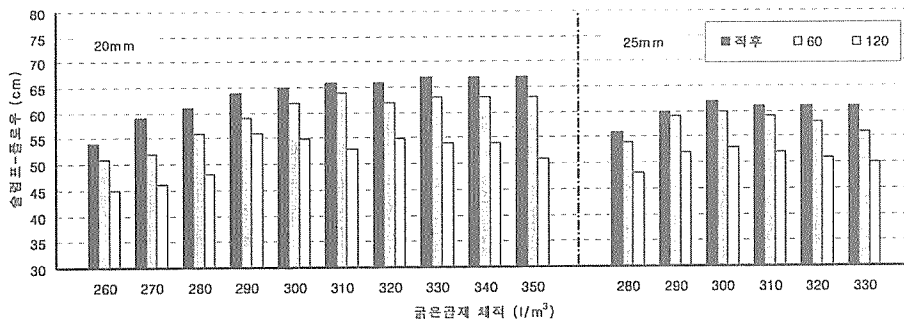
### 3-2 II시리즈 시험 결과 및 고찰

#### 3-2-1 굵은골재 최대치수에 따른 슬럼프-플로우의 변화

굵은골재의 최대치수에 따른 슬럼프-플로우의 변화를 [그림 10]에 나타내었다.

굵은골재 최대치수에 따른 슬럼프-플로우의 차이는, 최대치수가 낮을수록 슬럼프-플로우는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 최대치수 20mm에서는 요구 슬럼프-플로우 범위를 만족시키는 굵은골재 체적을 I 시리즈에서 검토되었던 범위인 280~330ℓ /m<sup>3</sup>를 초과하여 260~350ℓ /m<sup>3</sup>까지 검토하였다.

굵은골재 최대치수 20mm의 경우에서도 체적이 증가할수록 슬럼프-플로우도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 25mm의 경우와 동일하게, 굵은골재의 사용량이 감소할수록 잔골재양이 증가하며 이는 콘크리트의 점성을 부여하는 모르터부분의 증가하여 과도한 점성으로 인한 유동성능 저하가 발생하기 때문인 것으로 사료되며, 최대치수 20mm의 경우 골재 자체의 입자가 25mm에 비해 작기 때문에 유동성이 개선되어 목표 슬럼프-플로우를 만족시키는 적정 잔골재율은 상



[그림 10] 굵은골재 최대치수별 굵은골재 체적에 따른 슬럼프-플로우의 변화



향시켜 배합설계가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

혼화재 종류 및 굵은골재 체적변화가 고유동 콘크리트의 유동특성에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굵은골재 체적에 따른 슬럼프-플로우의 변화는 체적이  $300\ell / m^3$  내외에서 양호한 유동성을 발현하는 것으로 나타났다.
- 2) 혼화재 종류에 따른 슬럼프-플로우의 변화는 혼화재를 사용한 경우가 유동능이 개선되며, 특히 고로슬래그미분말을 사용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.
- 3) 고유동콘크리트의 충전성, 간극통과성을 고려한 성능 평가 결과, 콘크리트의 점성 증대에 따른 충전성 개선으로 인해 적정 굵은골재의 체적이 슬럼프-플로우의 범위보다 상향되는 것으로 나타났다.
- 4) 굵은골재의 최대치수에 따라 적정 유동성을 확보하는 체적은 차이가 발생하며, 최대치수가 작아질수록 적정 굵은골재의 체적은 증가하는 것으로 나타났다.
- 5) 고유동 콘크리트의 경우 현재 슬럼프-플로우에 의해서만 작업성을 평가하고 있으나, 본 실험 결과 콘크리트의 점성 등을 고려할 경우에는 슬럼프-플로우에 의해서만 평가하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김무한 외, “조골재 크기 및 용적비에 의한 고유동콘크리트의 각종 유동특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, Vol.10 No.2, 1998, pp.258-261.
2. 김무한 외, “굵은골재 최대치수 및 용적비에 따른 고유동 콘크리트의 유동특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 Vol.17, No.1, 2001.4, pp.107-112.
3. 日本建築學會編, “高遊動コクリートの材料・製造・施工指針(安)”, 日本建築學會, 1997.1
4. 超流動コンクリート研究委員會, “コクリート・ポジウム 論文報告集”, 日本コンクリート工學協會, 1993.5
5. 김무한 외, “고유동콘크리트의 콘시스턴시 특성 및 각종 영향요인에 관한 고찰”, 레미콘지, 1996.4