

# 골재의 종류에 따른 고강도 콘크리트의 시공 특성에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Workability of High Strength Concrete according to Kinds of Aggregate

○ 최 희 용\* 김 규 용\*\* 최 민 수\*\* 김 진 만\*\*\* 심 옥 진\*\*\*\* 김 무 한\*\*\*\*\*  
Choi, Hee-Yong Kim, Gyu-Yong Choi, Min-Soo Kim, Jin-Man Sim, Ok-Jin Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

It is true that aggregate strength is usually not a factor in normal concrete strength because, the aggregate particle is several times stronger than the matrix and the transition zone in concrete. In other words, with most natural aggregates the strength of the aggregate is hardly utilized because the failure is determined by the other two phases. But aggregate characteristics that are significant to concrete technology include porosity, grading or size distribution, moisture absorption, shape and surface texture, crushing strength, elastic modulus, and the type of deleterious substances present. Therefore, in the area of high strength concrete, concrete is much more influenced by properties of aggregate.

This experiment is performed to investigate how kinds of aggregate influence on the workability of high strength concrete. In this experiment, four types of aggregate is used, that is crushed river aggregate, crushed stone, recycled aggregate of low strength and recycled aggregate of high strength. In this study, we scrutinize a fundamental study on the workability of high strength concrete according to kinds of aggregate.

### 1 서 론

보통강도 콘크리트에 있어서 골재는 콘크리트 응력의 60-80%를 차지하고 있으며, 콘크리트의 건조수축과 크리프에 많은 영향을 주고 있다. 또한, 압축강도가 낮은 경우에는 골재의 종류에 따른 압축강도의 차이는 작으나, 고강도화된 경우에는 골재의 종류에 따라 콘크리트의 압축강도는 큰 차이를 나타나게 된다.<sup>1)</sup> 이는 골재의 비중이나 흡수율에 의한 것이 아니고, 골재의 강도나 부착성능의 영향에 따른 것이다. 따라서, 고강도콘크리트에

사용되는 골재는 비중, 흡수율 등의 품질외에 골재 자체의 강도나 부착성능이 중요한 요구 성능이라 말할 수 있다.

이에 본 실험에서는 고강도영역에서 4가지 종류의 골재를 다음과 같은 4가지 수준을 설정하여 골재의 물리적 성질 및 특징을 시방서

- ① 천연골재로써 쟁강자갈
- ② 천연골재로써 쇠석을 사용
- ③ 재생골재로써 압축강도400~500kgf/cm<sup>2</sup> 수준의 고강도영역재생골재
- ④ 실구조물을 파쇄하여 제조한 압축강도150~210kgf/cm<sup>2</sup>수준의 저강도영역재생골재

와 비교하여 논하고, 콘크리트를 제조하여 아직 궁지않은 상태에서의 재 공학적 특징을 분석하였다.

\* 충남대 대학원 (석사과정)  
\*\* 정희원, 충남대 대학원 (박사과정)  
\*\*\* 정희원, 충남대 공학박사  
\*\*\*\* 정희원, 현대건설기술연구소장, 부사장  
\*\*\*\*\* 정희원, 충남대 건축공학과 교수, 공·박

## 2 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획

고강도영역 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 골재종류의 영향을 실험적으로 비교·검토하기 위한 본 연구의 실험계획은 표 1과 같이 물시멘트비는 0.25 수준으로 선정하고, 골재의 종류는 깐강자갈, 쇠석, 고강도영역재생골재, 저강도영역재생골재의 4수준을 선정한 후, 모두 동일조건에서 콘크리트를 제조하여, 아직 굳지 않은 상태에서 슬럼프, 플로우, 슬럼프-플로우, 공기량, 단위용적중량, 다짐계수 및 비빔온도를 측정하고 슬럼프, 플로우 및 슬럼프-플로우는 경시에 따른 변화를 측정하여 고강도영역에서 골재의 고유물성이 콘크리트의 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 비교·검토·분석하였다.

표 1. 실험계획

골재의 종류	물결합비 (w/b)	목표 슬럼프 (cm)	SP제 첨가율 (%)	아직 굳지 않은 콘크리트 시험					
				단위용적중량 (kg/l)	공기량 (%)	비빔온도 (°C)	다짐계수 (CF)	슬럼프-플로우 및 경시변화	슬럼프-플로우의
깐강자갈	0.25	10±2 (1차) 21±2 (2차)	소정의 첨가량	○	○	○	○	1차, 직후, 15, 30, 45, 60, 90, 120(분)	
쇠석									
고강도 재생골재									
저강도 재생골재									

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트 및 혼화제

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 보통포틀랜드 시멘트로써, 그 물리적 성질은 표 2와 같으며, 고성능감수제의 물성은 표 3과 같다.

표 2. 시멘트의 물리적성질

시멘트의 종류	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간 (h:m)		안정성	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결 (분)	종결 (시간)		3일	7일	28일
보통포틀랜드 시멘트	3.11	3355	240	6:20	0.10	241	334	425

표 3 고성능감수제의 물리적 성질

혼화제의 종류	유형	색상	주성분	독성	pH	비중
고성능 감수제	액상	흑색	Synthetic Polymers	무	-	1.15

#### 2.2.2 골재

본 실험에서 사용한 골재의 물리적 성질은 그림 1, 그림 2 및 표 4에 나타난 것과 같다. 세골재는 경북 울진에서 채취한 해중사를 제염한 제염사를 사용하였고, 천연 조골재는 한강 미사리에서 채취한 강자갈을 최대치수 25mm로 파쇄한 깐강자갈과 대전산 쇠석을 사용하였다. 건축공사표준시방서(KASS)에서 제시한 비중 2.5이상 및 흡수율 3.0이하에 2수준 모두 만족하고 있다. 고강도재생골재는 물시멘트비 35%내외, 압축강도 400-500kgf/cm<sup>2</sup> 수준의 콘크리트 공시체를 제조한 후, 임팩트크러셔를 사용하여 최대치수 25mm로 파쇄한 것으로 천연골재에 비해 비중, 실적율, 단위용적중량은

표 4 골재의 물리적 성질

골재종류	골재종류	입경 (mm)	조립율 (FM)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	산지
세골재	제염사 (SS)	2.5	2.68	2.59	0.91	65.1	1.685	울진산
조골재	깐강자갈 (CRA)	25	7.24	2.60	1.68	59.8	1.550	미사리
	쇠석 (CS)	25	7.22	2.59	2.39	64.1	1.566	대전
	고강도 재생자갈 (HSRA)	25	7.14	2.65	4.30	54.5	1.443	실험실조
	저강도 재생자갈 (LSRA)	25	7.22	2.40	5.81	57.1	1.371	대전
	건축공사표준시방서(KASS)	-	-	2.5 이상	3.0 이하	-	-	-
일본의준 (JASS)	-	-	2.2 이상	7.0 이하	53.0 이상	-	-	

\*일본건설청 건축연구소 「재생조골재의 품질기준(안)·동해상」 참조.

작고, 흡수율은 4.30으로 현저히 커 보통골재에 비하여 골재자체의 물성이 상대적으로 열악한 것으로 나타났으나, 일본 건설성 건축연구소의 「再生粗骨材의 品質基準(案)·同解説」에서 제안하고 있는 재생골재의 품질기준(비중 2.2이상, 흡수율 7.0%이하, 실적율 53%이상)에 적합한 것으로 나타났다. 또한 압축강도 150~210kgf/cm<sup>2</sup> 수준의 실구조물을 파쇄하여 제조한 저장도 재생골재의 경우에는 비중 2.40, 흡수율 5.81, 실적율 57.1로써 꺾강자갈 및 채석에 비하여 매우 열악한 물리적성상을 보이고 있으나 상기한 일본의 기준에 벗어나지 않는 것으로 나타났다.

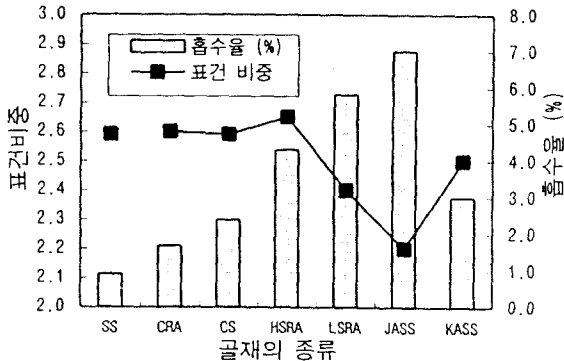


그림 1. 골재의 종류에 따른 비중 및 흡수율의 변화

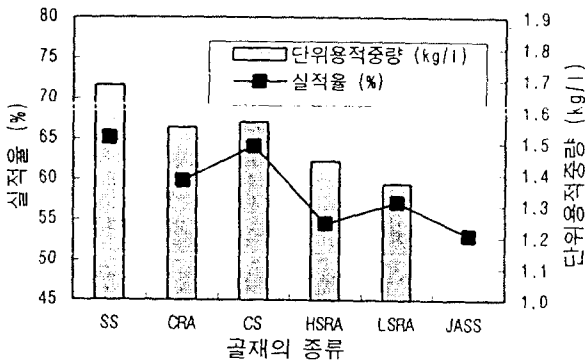


그림 2. 골재의 종류에 따른 실적율 및 단위용적중량의 변화

## 2.3 콘크리트의 조합과 비법

### 2.3.1 콘크리트의 조합

콘크리트의 조합설계는 대한건축학회의 「건축공사 표준시방서」 및 일본건축업협회 廢棄物 처리 재이용 위원회의 「再生骨材 및 再生骨材

표 5. 콘크리트의 조합

골재의 종류	물결합재비 (%wt)	잔골재율 (%V)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	절대용적 (l/m <sup>3</sup> )			단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
				C	S	G	C	S	G	
강자갈	0.25	37.0	150	190	240	600	618	409	1060	
채석								409		
고강도 재생골재								409		1084
저강도 재생골재								409		

콘크리트의 사용 기준(안)·동해설」의 참고조합표를 기초로 하여 수차의 시험비법을 통하여 표 5와 같이 결정하였다.

### 2.3.2 콘크리트의 비법

높은 물시멘트비의 영역에서 일반적으로 사용되는 콘크리트의 비법방법인 각 구성재료의 일괄투입법을 사용할 경우 저물시멘트비 영역에서는 구성재료의 균질한 분산이 어려울뿐만 아니라 믹서의 부하량도 증대되어 콘크리트의 '균질성 및 품질확보에 어려움이 발생하게 된다. 따라서 저물시멘트비를 채택한 고강도 영역 재생골재콘크리트의 제조를 위한 본 연구에서는 그림 3에 나타난 바와 같이 구성재료를 분할 투입하는 방법 즉, 모르터 제조 후 골재를 투입하여 콘크리트를 제조함으로써 콘크리트의 균질성 및 시공성을 확보하고자 하였다.

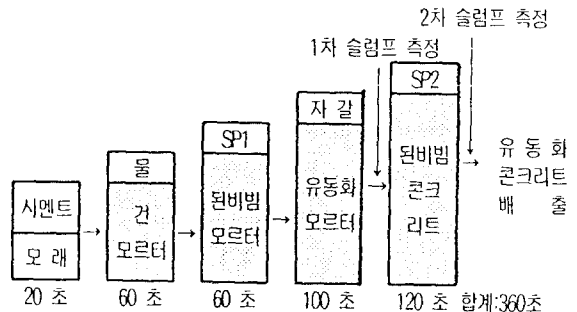


그림 3. 콘크리트의 비법방법

### 2.4 콘크리트의 각종 시험방법

아직굳지않은 콘크리트시험은 KS F 2402, 플로우 시험은 ASTM C 124, 다짐계수의 시

험은 BS 1881, 공기량시험은 KS F 2412에 의해 실시하였다.

### 3 실험결과의 분석 및 검토

#### 3.1 아직굳지않은 콘크리트의 비빔직후 시험치의 분석 및 검토

##### 3.1.1 공기량 및 단위용적중량의 검토

아직굳지 않은 상태에서의 콘크리트의 공기량을 변화시켜 보면 표 6 및 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 골재의 종류에 따라서 쇄석 및 저강도의 재생골재에서 약간 낮은 수준의 공기량을 보이고 있으나 전반적으로는 1.6~2.3%의 공기량을 보이고 있어 골재의 종류에 따른 유의할 만한 변화는 없는 것으로 사료된다.

표 6. 아직굳지 않은 콘크리트의 비빔직후 시험치의 변화

W/B	골재의 종류	SP제 공기량 (%)	비빔 온도 (°C)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/l)	다짐 계수 (CF)	슬럼프 (cm)		슬럼프-플로우 (cm)	플로우 (cm)
							1차	2차		
0.25	꺾강자갈 (CRA)	1.2	19	2.3	2.45	0.98	10.4	20.5	36.6	44.0
	쇄석 (CS)	1.4	19	1.6	2.43	0.99	8.5	23.3	48.8	57.5
	고강도재생골재 (HSRA)	1.4	19	2.2	2.46	0.99	8.2	21.8	48.7	58.8
	저강도재생골재 (LSRA)	1.4	19	1.9	2.38	0.99	5.7	21.3	42.8	50.8

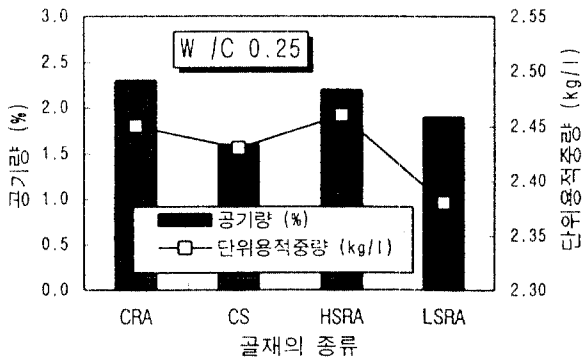


그림 4. 골재의 종류에 따른 아직굳지않은 콘크리트의 공기량 및 단위용적중량의 변화

또한, 단위용적중량의 변화는 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 고강도재생골재 콘크리트 (HSRA)→꺾강자갈 콘크리트(CRA)→쇄석 콘크리트(CS)→저강도재생골재 콘크리트(LSRA)의 순으로 단위용적중량의 값이 저하하고 있는데 이는 사용된 조골재의 비중의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

##### 3.1.2 초기 슬럼프, 초기 슬럼프플로우 및 초기 플로우치의 변화

표 6 및 그림 5에서 알 수 있는 바와같이 초기슬럼프치에서 1차슬럼프의 경우 꺾강자갈→쇄석→고강도재생→저강도재생의 순으로 슬럼프치가 저하하고 있는데 이는 앞의 순서에 따라서 골재표면의 거칠기가 증가하기 때문에 나타난 현상으로 사료되며, 특히 저강도 재생골재를 사용한 경우의 저하율이 높은 것으로 나타나고 있다. 2차 슬럼프치의 경우에는 골재의 조건에 관계없이 20.5~23.3cm의 수준을 보이고 있어 목표슬럼프치 21±2cm의 범위를 잘 만족하고 있으나 꺾강자갈을 사용한 경우에 비하여 쇄석 및 재생골재를 사용한 경우에서 고성능감수제의 첨가율이 0.2% 정도 높은 것으로 나타나고 있다.

초기 슬럼프플로우치의 경우에는 상대적으로 슬럼프치가 낮은 꺾강자갈을 사용한 콘크리트에서 슬럼프플로우치가 6~12cm 정도 낮은 값을 보이고 있으며, 저강도 재생골재를 사용한

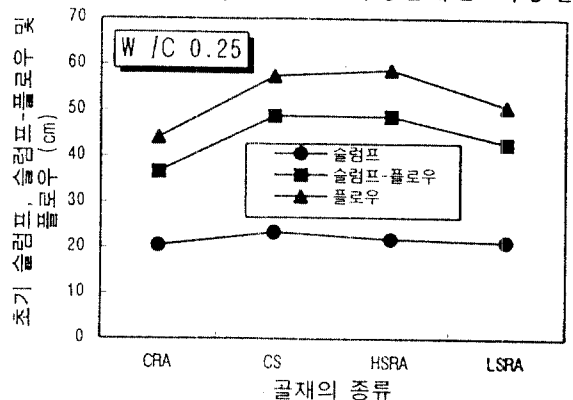


그림 5. 골재의 종류에 따른 초기 슬럼프, 초기슬럼프-플로우 및 초기 플로우치의 변화

콘크리트의 경우에는 고강도 재생골재를 사용한 경우와 동일한 슬럼프값을 보였으나 슬럼프 플로우치의 경우에는 약 6cm 정도 낮은 값을 보이고 있다. 초기 플로우의 경우에는 전반적으로 초기 슬럼프플로우의 경우와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타나고 있다.

(3) 슬럼프, 슬럼프-플로우 및 플로우의 경시 변화 시험결과의 분석 및 검토

슬럼프치의 경시에 따른 변화를 살펴보면, 표 7 및 그림 6에서 알 수 있는 바와같이 저강도 재생골재를 사용한 경우에는 경시 15분에서 경시 45분, 해석을 사용한 콘크리트의 경우에는 경시 15분에서 경시 60분 사이에 급격한 슬럼프로스를 보여 깎강자갈 및 고강도 재생골재를 사용한 콘크리트에 비하여 경시에 따른 슬럼프의 저하가 크게 나타나고 있다.

또한, 슬럼프 10cm 유지시간을 살펴보면, 저강도 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우에는 경시 30분, 깎강자갈을 사용한 콘크리트와 고강도 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우에는 경시 45분, 해석을 사용한 콘크리트의 경

표 7. 슬럼프, 슬럼프-플로우 및 플로우의 경시변화 시험결과

시험 항목	조골재 종류	첨가 전	첨가 직후	15분	30분	45분	60분	90분	120분
슬럼프	깎강자갈	10.4	20.5	17.3	14.0	11.3	7.8	6.6	4.4
	해석	8.5	23.3	22.3	18.7	13.4	10.5	8.8	5.0
	고강도 재생골재	8.2	21.8	20.2	17.7	14.0	8.1	6.1	4.0
	저강도 재생골재	5.7	21.3	18.0	11.8	7.1	5.3	2.7	2.5
슬럼프 플로우	깎강자갈	21.5	36.6	27.3	24.2	24.2	21.2	20.5	20.0
	해석	21.0	48.8	38.7	31.5	23.2	22.5	21.1	20.0
	고강도 재생골재	21.1	48.7	40.6	37.3	23.5	22.2	21.2	20.0
	저강도 재생골재	21.0	42.8	32.9	23.0	20.8	20.5	20.0	20.0
플로우	깎강자갈	-	44.0	39.8	37.0	35.5	35.0	33.5	32.0
	해석	-	57.5	45.8	42.0	36.8	36.5	32.5	31.5
	고강도 재생골재	-	58.8	46.8	44.8	38.8	33.8	33.0	32.0
	저강도 재생골재	-	50.8	40.5	37.3	31.5	28.8	26.5	26.0

우에는 경시 60분으로 나타나고 있다. 이와 같이 저강도 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우에는 경시에 따른 컨시스턴시의 저하가 초기에 급격하게 발생하므로 실구조물에서의 적용시 주의가 필요할 것으로 사료된다.

슬럼프-플로우치의 변화를 살펴보면 슬럼프치에 비하여 경시 초기에 매우 급속한 로스를 보여 초기 슬럼프-플로우치가 상대적으로 낮은 깎강자갈을 사용한 콘크리트와 저강도 재생골재를 사용한 콘크리트에서는 경시 30분, 고강도 재생골재를 사용한 콘크리트와 해석을 사용한 콘크리트에서는 경시 45분에 슬럼프-플로우치 25cm 이하를 보이고 있다.

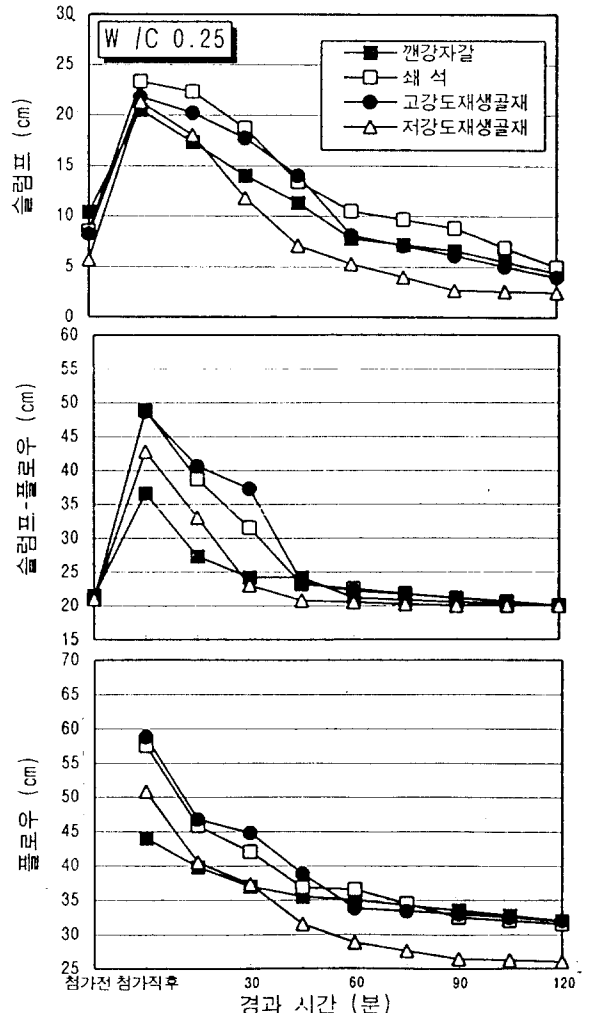


그림 6. 골재의 종류별 슬럼프치, 슬럼프-플로우치 및 플로우치의 경시변화

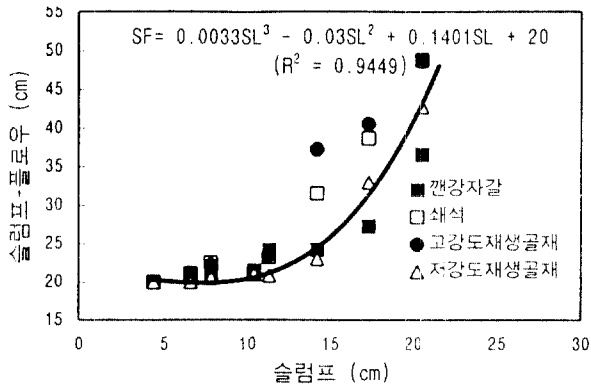


그림 7. 슬럼프와 슬럼프-플로우와의 상관관계

플로우치의 경시에 따른 변화를 살펴보면 켄강자갈을 사용한 콘크리트의 경우를 제외하면 경시 15분까지 매우 급속한 경시저하를 보이고 있으며, 또한 켄강자갈·쇄석·고강도 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우에 경시 45분 이후 경시에 따른 플로우치의 저하가 완만한 반면에 저강도 재생골재를 사용한 콘크리트는 경시 45분 이후에도 상대적으로 급속한 경시저하를 보이는 것으로 나타나고 있다.

또한 슬럼프치와 슬럼프-플로우치의 상관관계를 나타낸 그림 7에서 알수 있는 바와같이 두 측정치의 관계는 3차식에 회귀되는 것을 나타나고 있으며 슬럼프치 15cm이상의 경우에는 슬럼프치의 변화보다 슬럼프-플로우치의 변화가 큰 경향을 보이고 있다.

#### 4. 결론

고강도 영역 콘크리트의 시공특성에 미치는 골재의 종류의 영향에 관한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 공기량의 변화에 있어 골재의 종류에 따른 유의할 만한 변화는 없는 것으로 나타났으며, 단위용적중량의 경우에는 고강도 재생골재 콘크리트(HSRA)→켄강자갈 콘크리트(CRA)→쇄석 콘크리트(CS)→저강도 재생골재 콘크리트(LSRA)의 순으로 저하하고 있는데, 이는 사용된 조골재의 비중의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

2) 초기슬럼프치의 변화에서 1차슬럼프의

경우 켄강자갈→쇄석→고강도재생→저강도재생의 순으로 슬럼프치가 저하하고 있는데, 이는 골재표면의 거칠기가 증가하기 때문에 나타난 현상으로 사료되며, 특히 저강도재생골재를 사용한 경우의 저하율이 높은 것으로 나타나고 있다. 2차 슬럼프치의 경우에는 골재의 조건에 관계없이 20.5~23.3cm의 수준을 보이고 있어 목표슬럼프치를 잘 만족하고 있으나, 고성능감수제의 첨가율에 있어서는 쇄석 및 재생골재를 사용한 경우에 첨가율이 0.2% 정도 더 첨가되었다.

3) 슬럼프 경시변화에 있어서는 저강도재생골재를 사용한 경우에 경시 15분에서 경시 45분 사이에 급격한 슬럼프로스를 보였으며, 슬럼프 10cm 유지시간도 경시 30분까지로 나타나 저강도 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우 경시초기에 급격한 유동성 손실이 발생하므로 실구조물への 적용시 주의가 필요할 것으로 사료된다

#### 참 고 문 헌

- 1) 友澤史紀ほか; 高強度コンクリートの調査と基礎的物性, 建設省建築研究所年報, 1987, pp. 49~54
- 2) 김무한 외, 고강도영역의 재생골재콘크리트의 개발에 관한 연구(제1보, 실험개요 및 Fresh콘크리트를 중심으로), 일본건축학회 학술강연경개집(북해도), 1995, pp. 867~868
- 3) 김무한 외, 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 실험적 연구(제1보, 실험개요 및 Fresh콘크리트의 경우), 일본건축학회 학술강연경개집, 1993, pp. 415~416
- 4) 김무한 외, 실콘크리트 구조물을 파쇄한 재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구(제1보), 대한건축학회 창립 50주년 학술발표대회 기념논문집, 1995. 10, pp. 685~690