

플라이애시를 混入한 再生骨材콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 관한 實驗的 研究

-제 1보 아직굳지않은 콘크리트의 성상을 중심으로-

An Experimental Study on the Workability and Engineering Properties
of Recycled Aggregate Concrete Mixed Fly ash.

- Part 1, In the case of fresh concrete -

오남 상 일* 김진 만* 김무한**
Nam Sang Il Kim Jin Man Kim Moo Han

ABSTRACT

Recycling of waste concrete will contribute not only to the solution of a growing waste disposal problem, also help to conserve natural resources of aggregate and to secure future supply of reasonably priced aggregates for building construction purpose within large urban areas.

But these recycled aggregates are more porous and less resistant to mechanical actions. In comparison with natural aggregate concrete, recycled aggregate concrete shows reductions in strength and other engineering properties. And it may also be less durable due to increase in porosity and permeability.

Economical ways of improving the quality of recycled aggregate concrete are: (1)by reducing the water-cement ratio; (2)by reducing the water content using a superplasticizer without affecting the workability; (3)addition of pozzolan, such as fly ash; and (4)blending of recycled aggregate with the natural aggregates.

1. 序論

최근 건설폐기물의 일종인 각종 폐기 콘크리트는 도시재개발과 건물의 노후화 및 기능저하에 의한 건물의 해체가 증가함에 따라 다량으로 배출되고 있다. 따라서, 폐기 콘크리트의 재활용을 위한 연구는 자원 및 에너지 절약이라는 측면에서 뿐만 아니라 환경보호의 측면에서도 그 중요성이 증대되어 선진국에서는 이미 그 연구의 성과로 재생골재 콘크리트를 실용화하고 있는 단계에 있으나 국내의 경우 거의 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

한편, 국내의 폐기 콘크리트의 발생량은 정확히 파악되어 있지는 않으나 매년 약 500만³ 정도가 폐기 콘크리트로 발생된다고 추정된다. 그런데, 이러한 폐기 콘크리트는 사용상 자연산 골재보다 여러가지 물리적 성상이 취약하므로 재생골재 콘크리트의 실용화를 위해 혼화재료로써 고성능감수제 및 플라이애시를

혼입하여 아직굳지않은 콘크리트에서의 단위수량 저감효과 및 경화콘크리트에서의 포졸란효과에 의한 콘크리트의 강도 및 내구성향상을 도모하는 방법등이 제안되고 있다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

이에 본 연구는 재생골재 콘크리트의 품질향상을 통하여 재생골재 콘크리트의 사용에 따른 제반 문제점을 줄이고 재생골재를 유효하게 이용하기 위하여 '재생골재의 혼합조건에 따른 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적특성에 관한 실험적연구⁸⁾'에서 가장 양호한 물성을 보인 재생 조골재 대체율을 30, 50, 100(%) 대체한 재생골재 콘크리트에 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적특성의 개선을 목적으로 플라이애시를 각각 10, 20, 30(%) 혼입, 재생골재와 플라이애시의 적절한 혼합조건을 구명하여 재생골재를 사용한 재생콘크리트의 실용화를 위한 참고자료를 제시한 것으로 그중 아직굳지않은 콘크리트의 성상을 중

표 1. 실험계획

W/B (%)	FA의 혼입율 (%)	목표 슬럼프 (cm)	SP계 첨가율 (%)	재 생 조골재 대체율 (%)	아직 굳지않은 콘크리트						경시변화	경화콘크리트의 시험
					공기 량 (%)	블리 딩량 (cc/cm ²)	슬 럽 프 (cm)	플 로 우 (cm)	다짐 계 수 (C.F)	단위용 적중량 (kg/l)	비빔 온도 (°C)	슬럼프 (cm)
40	0, 10, 20, 30	18	*	30, 50, 100	○	○	○	○	○	○	0, 15, 30, 45, 60, 90, 120 (분)	7, 28, 60, 90, 180 (일)

* 正會員, 忠南大 大學院(博士課程)
** 正會員, 忠南大 教授 工博

주) W/B: 물결합재비, FA: 플라이애시, SP계: 고성능감수제
* 목표 슬럼프를 얻기 위한 소정의 첨가량

심으로 고찰한 것이다.

2. 實驗概要 및 實驗方法

2.1 실험계획

플라이애시를 혼입한 재생골재콘크리트의 시공성 개선 및 공학적 특성을 실험요인 및 수준별로 비교 검토하기 위한 본 연구의 실험계획은 표 1 과 같이 물결합재비는 40(%), 재생조골재의 대체율은 30, 50, 100(%) 로 하고 플라이애시의 혼입율은 10, 20, 30(%) 의 3종류로 하여 아직끝지않은 상태에서 슬럼프, 광기량, 블리딩, 플로우, 다짐계수, 비빔온도, 단위용적중량 및 슬럼프경시변화를 측정하였다.

2.2 사용재료

실험에서 사용된 시멘트, 고성능감수제, 플라이애시의 물리적성질은 다음 표 2, 3, 4와 같으며, 골재의 물리적 성질은 표 5 및 그림 1과 같이 재생골재의 경우 강모래 및 강자갈에 비하여 비중은 약 0.2정도 낮고 흡수율은 6.58로써 강모래, 강자갈에 비하여 4-5 배 정도 크며, 단위용적중량은 약 0.2정도 낮은 것으로 나타나 보통골재에 비하여 골재자체의 물성이 상대적으로 열악한 것으로 나타났다.

2.3 콘크리트의 조합과 비빔

콘크리트의 조합설계는 대한건축학회의 「건축공사 표준시방서」 및 일본건축협회 폐기물 처리 재이용 위원회의 「재생골재 및 재생골재 콘크리트 사용 규준 안·동해설」의 참고 조합표⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾를 기초로 하여 수차례의 시험비빔을 행한후 표 5와 같이 결정하였으며, 비빔은 3분 비빔(1분비빔-1분휴지-2분비빔)하였다.

2.4 공시체의 제작, 양생 및 각종 시험방법

압축강도, 탄성계수등 제특성 시험용 공시체는 ϕ 10x20cm, 반발도 시험용은 ϕ 15x30cm의 실린더형 몰드

표 2. 시멘트의 물리적 성질

종 류	비중	분말도	안정성	용 결 (h-m)		압 축 강도 (kg/cm ²)		
				초결	종결	3일	7일	28일
보통 포틀랜드시멘트	3.15	3.240	양호	5-7	7-20	194	216	323

표 3. 혼화재료의 물리·화학적 성질

고성능 감수제	유형	색상	주 성분		특성	PH	비중
	액상	혹색	Synthetic Polymers		무	—	
플라이애시	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Mn	비중
	68.55	1.20	28.5	4.20	0.76	—	2.1

표 4. 골재의 물리적 성질

구 분	입 경 (mm)	조입율 (FM)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	비 고
강 모 래	5	2.87	2.57	1.21	63.8	1.520	심천산
강 자 갈	20	4.69	2.59	1.68	60.6	1.569	심천산
재생자갈	20	6.86	2.38	6.58	55.9	1.330	—

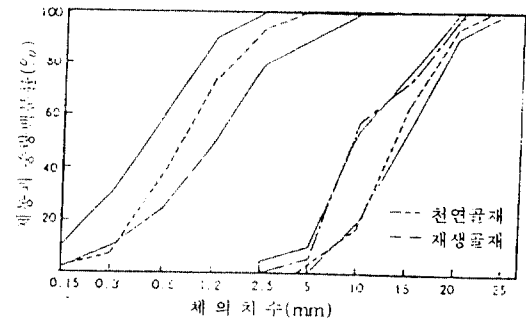


그림 1. 골재의 입도 분포 곡선

표 5. 콘크리트의 조합

구 분	물결합재 비 (°/wt)	재생골재 대체율 (°/vl)	FA의 대체율 (°/wt)	목표 슬럼프 (cm)	SP제의 첨가율 (°/wt)	잔골재율 (°/vl)	단위 수량 (kg/l)	절대용적(1/m ³)					단위중량(kg/m ³)						
								결합재		세골재		조골재	결합재		세골재		조골재		
								C	FA	S	G	R	C	FA	S	G	R		
R1-P			0		0.0			173	0				545	0					
R1-F1		10	10		0.0			156	26				490	55					
R1-F2			20		0.1			138	52		282	121	436	109			703	288	
R1-F3			30		0.2			121	78				381	164					
R2-P			0		0.0			173	0				545	0					
R2-F1		40	10		0.0			156	26				490	55					
R2-F2			20	18	0.1	32.8	217	138	52	197	202	202	436	109	506	523	481		
R2-F3			30		0.2			121	78				381	164					
R3-P			0		0.0			173	0				545	0					
R3-F1			10		0.0			156	26				490	55					
R3-F2			20		0.2			138	52		0	403	436	109			0	959	
R3-F3			30		0.3			121	78				381	164					

표 6. 아직굳지 않은 콘크리트의 물성

구분	물결 합재 비 (%/wt)	재생 골재 대체율 (%/v)	FA의 대체 율 (%/wt)	SP제 첨가 율 (%/wt)	공기 량 (%)	블리딩량 (cc/cm ²)	플로우치 (cm)	다짐 계수 (CF)	단위용 적중량 (kg/l)	비빔 온도 (°C)	슬럼프의 경시변화(cm)							
											첨가 전	직후	15M	30M	45M	60M	90M	120M
R1-P	40	30	0	0.0	2.0	0.05	50.0 (96.9)	0.99	2.34	26.0	20.3	20.3	14.9	12.9	12.0	10.9	9.5	9.2
R1-F1			10	0.0	1.0	0.15	40.5 (59.4)	0.99	2.33	27.0	18.5	18.5	11.7	11.5	10.3	10.8	8.6	8.2
R1-F2			20	0.1	0.8	0.13	45.0 (77.2)	0.99	2.30	27.5	12.8	15.7	8.0	7.5	6.7	6.1	5.5	4.2
R1-F3		30	0.2	0.9	0.09	44.0 (73.2)	0.99	2.28	27.5	11.0	17.8	13.3	9.4	8.7	7.2	5.4	4.2	
R2-P		50	0	0.0	1.0	0.04	52.5(106.7)	0.99	2.32	26.0	19.8	19.8	14.4	11.3	9.4	10.0	8.2	8.1
R2-F1			10	0.0	0.8	0.15	43.0 (69.3)	0.99	2.31	27.5	18.0	18.0	12.3	9.9	9.7	8.0	7.5	6.5
R2-F2			20	0.1	0.9	0.10	43.0 (69.3)	0.95	2.28	27.5	11.8	18.0	9.5	6.5	6.0	5.5	5.3	3.4
R2-F3		30	0.2	0.8	0.06	44.0 (73.2)	0.97	2.25	28.0	12.5	18.5	13.2	9.3	8.5	7.5	5.4	4.6	
R3-P		100	0	0.0	1.8	0.02	56.5(122.4)	0.99	2.27	26.0	20.5	20.5	13.4	12.0	10.7	7.8	7.0	6.4
R3-F1	10		0.0	0.7	0.11	42.0 (65.4)	0.98	2.28	27.5	17.9	17.9	11.4	9.2	6.9	6.6	5.1	4.6	
R3-F2	20		0.2	0.9	0.11	44.5 (75.2)	0.97	2.25	27.5	13.0	19.0	10.3	7.9	7.4	6.8	5.3	4.4	
R3-F3	30		0.3	0.5	0.04	44.0 (73.2)	0.93	2.23	28.0	5.5	19.5	14.4	9.2	8.2	5.6	4.2	4.0	

* ()은 ASTM 플로우치임.

를 제작하여 소정의 재령까지 20±3 의 수중표준양생
을 목표로 하였다. 또한 아직굳지않은 콘크리트 및
경화 콘크리트의 각종 시험은 KS, ASTM, BS 등의 각
종 규준에 준하여 실시하였다.¹¹⁾

3 實驗結果의 分析 및 檢討

3.1. 공기량, 블리딩량, 단위용적중량의 검토

3.1.1. 공기량

표 6 및 그림 2에 나타난 바와같이 공기량의 변화
는 플라이애시를 사용한 콘크리트는 플레인 콘크리트
(plain concrete)에 비하여 낮은 공기량을 보이고 있
으며, 플라이애시 대체율의 증가에 따른 공기량의 변
화는 거의 없는 것으로 나타났다.

또한 재생조골재의 대체율이 증가함에 따라서는 공
기량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으나 재생조
골재의 대체율 30, 100(%)의 플레인 콘크리트를 제외
하면 전반적으로 공기량은 0.5-1.0(%)의 수준을 유지
하고 있어 재생조골재의 열악한 품질을 고려할 때 동
결융해 저항성 확보를 위해서는 현장적용시 AE제의

사용이 필요할 것으로 사료된다.

3.1.2. 블리딩량

그림 3에서 알 수 있는 바와같이 재생조골재 대체
율별 플라이애시 대체율에 따른 블리딩량의 변화성상
은 플레인 콘크리트의 상태에서 재생조골재 대체율에
관계없이 비교적 낮은 양의 블리딩량을 나타냈으나
플라이애시 10(%)를 대체한 상태에서는 플레인 콘크
리트보다 3-5배정도의 많은 블리딩량을 보이고 있고,
플라이애시 대체율이 증가하면서 블리딩량도 감소하
여 플라이애시의 혼입율 30(%)에서는 플레인 콘크리
트의 2배정도로 블리딩량이 감소하고 있다.

또한 재생조골재의 대체율이 증가함에 따라 감소하
는 현상을 보이고 있는데 이는 재생조골재의 비중이
작고, 입형이 거칠어서 골재 상호간의 가교작용으로
침강이 저하되어 블리딩수가 골재 하부에 남는 비율
이 보통 콘크리트보다 큰 경향을 나타낸다는 보고와
유사하다.¹²⁾

3.1.3. 단위용적중량의 변화

그림 4는 플라이애시와 재생조골재의 혼합조건에

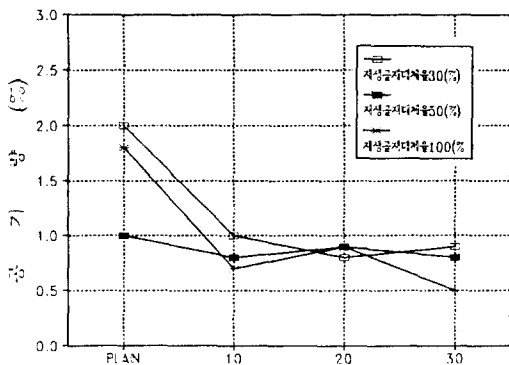


그림 2. 공기량의 변화

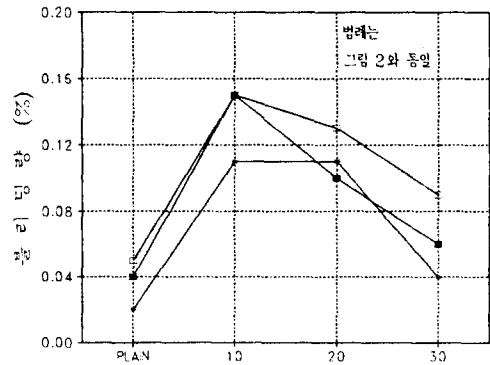


그림 3. 블리딩량의 변화

다른 단위용적중량의 변화를 나타낸 것으로 플라이애시의 대체율과 재생조골재의 대체율이 증가할수록 단위 용적중량은 감소하는 경향을 보인다. 이는 재생조골재와 플라이애시의 비중이 천연골재 및 시멘트에 비해 적기 때문이라 판단된다.

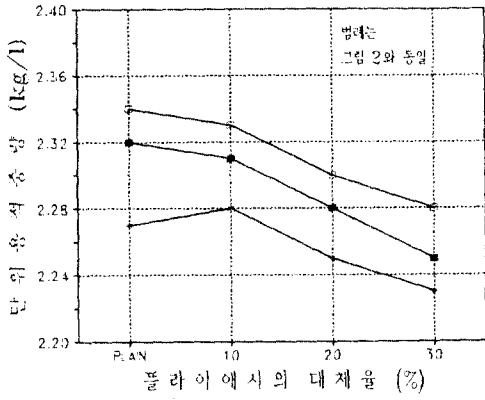


그림 4. 단위용적중량의 변화

3.2. 초기 슬럼프치, 초기 다짐계수치, 초기 플로우치 변화

3.2.1. 초기 슬럼프치의 변화

그림 5는 초기슬럼프치의 변화를 나타낸것으로써 고성능감수제 첨가전의 베이스 슬럼프를 살펴보면 플라이애시의 대체율이 증가함에 따라 슬럼프는 저하하고 있다. 플레인 콘크리트의 초기 슬럼프치에 비하여 플라이애시의 대체율 10(%)의 경우에는 평균 2cm정도 낮은 슬럼프치를 보이고 있으나, 플라이애시의 대체율 20(%)의 경우에는 평균 약 8cm, 플라이애시의 대체율 30(%)의 경우에는 평균 10cm 정도 낮은 슬럼프를 보이고 있어 플라이애시의 사용에 의하여 슬럼프의 저하가 큰 것으로 나타나 현장사용시 주의가 요망된다. 기존의 연구에 의하면 양질의 플라이애시는 콘크리트의 워커빌리티를 증진시킨다는 보고가 있으나 본실험에서 상반된 결과를 보인것은 본실험에서 사용한 플라이애시의 형태가 구형이 아닌 침상형이고 분

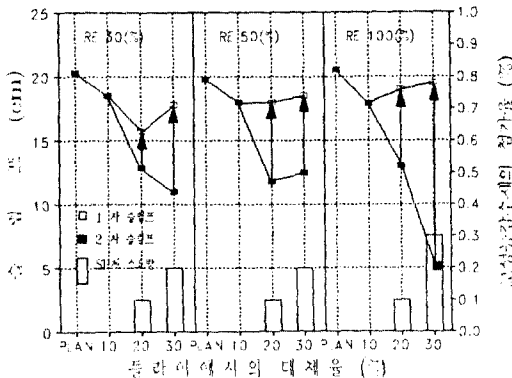


그림 5. 재생조골재의 대체율별 플라이애시의 대체율에 따른 슬럼프치의 변화

말도가 낮은 저품질의 것이기 때문에 볼베어링 작용에 의한 콘시스턴시의 증진효과 보다는 시멘트에 비하여 상대적으로 비중이 낮아 조합내의 시멘트계 재료(시멘트+플라이애시)의 양이 증가하여 수분이 접촉해야하는 면적을 증가시킴으로써 콘시스턴시를 저하시킨 효과가 크기 때문에 발생한 현상으로 생각된다.

이와 같이 플라이애시의 사용은 콘크리트의 콘시스턴시를 저하시키나 0.1-0.3(%)의 고성능감수제의 사용으로 플레인 콘크리트와 동등한 수준의 슬럼프를 가진 콘크리트를 제조할 수 있는 것으로 나타나 재생골재 콘크리트에서도 고성능 감수제를 적절히 사용하면, 플라이애시의 사용에는 큰 어려움이 없을 것으로 사료된다.

3.2.2. 초기 다짐계수치의 변화

그림 6에서 나타난 바와같이 다짐계수는 플레인콘크리트를 제외하고는 플라이애시의 대체율 증가와 재생조골재의 대체율의 증가에 따라서 낮아지는 경향을 보이고 있으나 모든 조합에서 공히 0.93이상의 매우 우수한 다짐계수를 보이고 있다.

3.2.3. 초기플로우치의 변화

초기플로우치의 변화를 살펴보면 그림 7에서 알 수

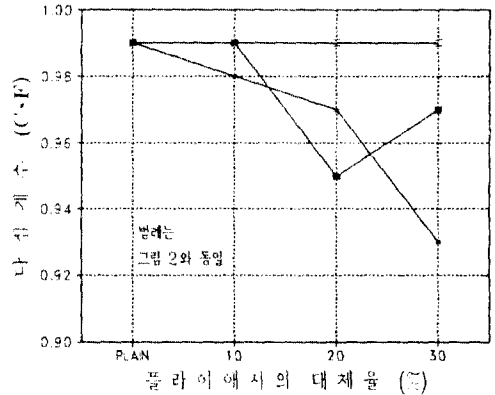


그림 6. 다짐계수의 변화

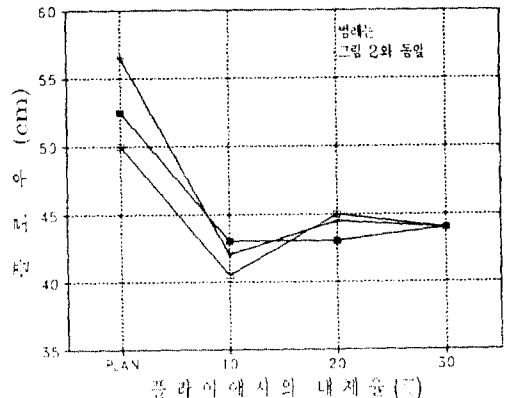


그림 7. 플로우치의 변화

있는 바와같이 플레인 콘크리트는 50cm 이상의 높은 플로우치를 보이고 있으나, 플라이애시를 대체한 경우에는 40-45cm의 수준을 보이고 있다. 이와같이 슬럼프는 동등한 수준을 유지하였는데도 플로우치가 많은 차이를 보이고 있는 것은 플라이애시를 혼입할 경우 점성이 증가하여 낮은 플로우치를 보인것으로 사료된다.

3.2.4. 슬럼프치와 ASTM플로우치의 상관관계

그림 8은 슬럼프치와 ASTM플로우치의 상관관계를 나타낸 것으로 슬럼프와 플로우의 시험치의 차이를 알아보면 재생조골재를 사용한 본 실험에서는 고강도 콘크리트에서 나타나는 경향과 유사하게 동일 슬럼프 치에서 낮은 플로우치를 보이고 있다. 이는 본실험의 조합이 물결합재비 40(%)로서 고강도 콘크리트의 범위로써 재생골재의 유동성이 저하하는 것을 보상하기 위하여 단위 시멘트량 545kg/m³로 부조합을 선정하여 콘크리트의 점성이 증가하였고, 또한, 재생조골재의 비중이 낮아 플로우 실험에서 조골재의 수직 방향의 낙하 에너지가 작기 때문으로 사료된다.

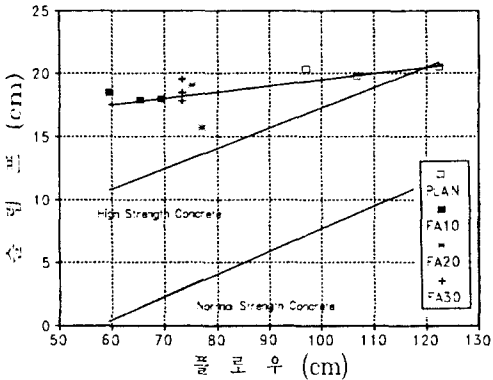


그림 8. 슬럼프와 ASTM플로우치의 상관관계

3.3. 슬럼프의 경시변화

그림 9는 경시 15분의 슬럼프(Hf)와 유동화 직후의 슬럼프(Hf)의 차이를 나타낸 것으로 전반적으로 JASS의 유동화제 품질규준치¹⁰⁾인 4cm를 상회하는 것으로 나타나 재생골재 콘크리트의 경우 초기 슬럼프로스가 현저함을 알 수 있는데 특이한 사항은 초기의 슬럼프 치가 큰 경우 경시 15분의 슬럼프 로스는 작아지는 경향을 보여 재생조골재를 사용할 경우 현장적용성을 확보하기 위해서는 가능한한 초기의 슬럼프를 높게 확보하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 플라이애시의 대체율에 따른 경시 15분의 슬럼프로스의 변화를 살펴보면 플라이애시의 대체율 20(%)까지 슬럼프로스가 증가하나 플라이애시 30(%)에서는 오히려 작아지는 현상을 보이고 있다.

슬럼프 10cm 유지 시간을 각 조건별로 살펴보면 표 7 및 그림 10에 나타난 바와같이 재생조골재 및 플

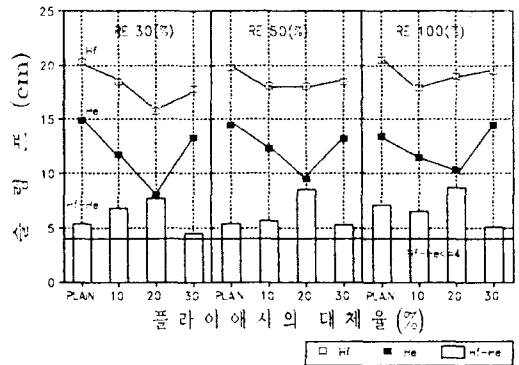


그림 9. 플라이애시의 대체율에 따른 경시 15분의 슬럼프로스

표 7. 각 조건별 경시에 따른 슬럼프 10cm 유지시간

재생조골재의 대체율(%)	30				50				100				
플라이애시의 대체율(%)	p	10	20	30	p	10	20	30	p	10	20	30	
슬럼프 10cm 유지시간(분)	60	60	0*	15	45	15	15	15	15	30	30	0	15

*유동화 직후의 슬럼프가 15cm로 다른 조합에 비하여 낮았음.

라이애시의 대체율이 증가함에 따라 줄어드는 경향을 보이고 있어 재생조골재와 플라이애시가 콘크리트의 콘시스턴시를 저하시키는 것을 알 수 있다. 그러므로 재생골재 콘크리트에서 플라이애시를 사용할 경우 적절한 시공성 확보를 위해서는 고성능감수제의 사용이 반드시 필요할 것으로 사료된다. 그렇지만 재생조골재의 대체율 30(%), 플라이애시 10(%)의 경우에는 다른 혼화제의 사용없이도 플레인 콘크리트와 동일한 수준의 콘시스턴시를 확보할 수가 있었으며 경시 120분까지도 플레인 콘크리트와 같이 10cm에 근접하는 슬럼프를 보이고 있어 재생조골재에서도 시멘트량의 10(%)까지 플라이애시를 대체하여 사용하는 데에는 어려움이 없을 것으로 사료된다.

4. 結論

플라이애시를 혼입한 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 본 실험의 결과 중 아직까지 않은 콘크리트의 시공성을 중심으로 고찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 재생골재의 경우 천연골재에 비하여 비중 및 단위 용적중량은 0.2정도 낮으며, 흡수율은 4-5배 정도 큰 것으로 나타나 보통골재보다 골재자체의 물성이 상대적으로 열악한 것으로 나타나고 있어 재생골재콘크리트의 제조시 많은 주의가 요망된다.
2. 플라이애시를 혼입한 콘크리트의 공기량은 플레인

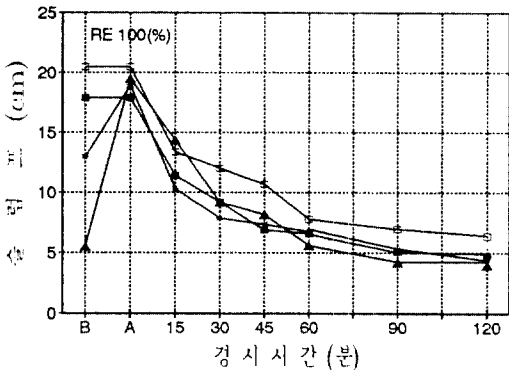
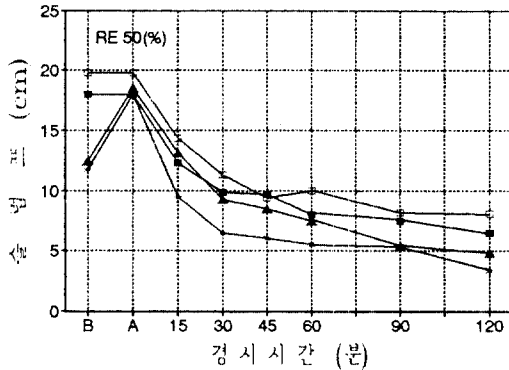
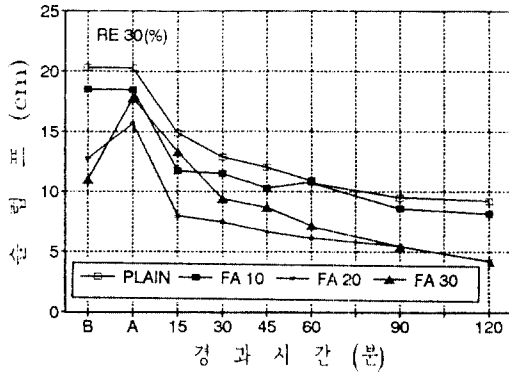


그림10. 슬럼프의 경시변화

콘크리트보다 낮게 나타나고 있으며, 재생조골재의 대체율에 따른 공기량의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 전반적으로 0.5-1%내외의 수준을 유지하고 있으며, 플라이애시를 혼입한 콘크리트의 블리딩량이 플레인 콘크리트보다 높게 나타나고 있으며 그 경향은 플라이애시의 혼입율이 증가할수록 블리딩량은 감소하는 경향이다.

3. 재생골재 콘크리트에서 플라이애시의 사용에 의하여 초기슬럼프가 저하하는 경향을 보이고 있으나 0.1-0.3(%)의 소량의 고성능감수제를 첨가함으로써 목표슬럼프 18±2cm의 수준을 유지할 수 있어 적절한 고성능감수제의 사용으로 시공성의 확보가 가능함을 보여주고 있다.

4. 경시 15분 후의 슬럼프프로스는 5-9cm의 범위로 나타나 유동화제에 대한 JASS의 품질 기준이 4cm를 상회하고 급격한 후기슬럼프 손실량을 보이고 있어 재생콘크리트의 현장적용시에는 초기의 슬럼프를 높게 확보하거나 고성능감수제의 분할 또는 반복첨가등의 방법을 적용하여야 할것으로 사료된다.
5. 플라이애시의 사용량의 증가에 따라서 콘시스턴시의 저하를 보이고 있으나 재생조골재의 대체율 30(%), 플라이애시 10(%)인 경우 플레인 콘크리트와 동등한 수준의 콘시스턴시를 보이고 있다.

참고 문헌

1. 竹島宏侑, 콘크리트廢棄物を用いた再生骨材及び再生콘크리트, 第8回콘크리트工學年次講演會論文集, 1986, pp. 861-864
2. 福士勲ほか, 再生骨材を用いた콘크리트의性質, セメント・콘크리트, No. 480(1987.2), pp. 10-19
3. Torben C. Hansen and Soren E. Hedeg rd, Properties of Recycled Aggregate Concretes as Affected by Admixtures in Original Concretes, ACI JOURNAL, V. 81, No. 1, Jan.-Feb. 1984, pp. 21-26
4. ALAN D. BUCK, Recycled Concrete as a Source of Aggregate, ACI JOURNAL, V. 74, NO. 5, MAY 1977, pp. 212-219
5. 奥平聖, 콘크리트塊とリサイクル, セメント・콘크리트, No. 550(1992.12), pp. 1-8
6. 笠井芳夫, 加賀秀治, 콘크리트破砕物の再利用 その1 콘크리트破砕骨材의 性状, セメント・콘크리트, No. 347(1976.1)
7. 河野廣隆, 再生骨材を用いた콘크리트의 特性とその利用, セメント・콘크리트, No. 490 (1987.11), pp. 23-30
8. 金武漢, 再生骨材의 混合조건에 따른 再生骨材콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 관한 實驗的 研究, 大韓建築學會 論文集, 제9권 제11호, 1993.11.
9. 日本建築學會建設廢棄物處理再利用委員會, 再生骨材および再生콘크리트의 使用規準(案), 콘크리트工學, VOL.16, No.7, 1978, pp. 42-46
10. Japanese Architectural standard specification for reinforced concrete work JASS 5 T-402, AIJ, 1993, pp 123-130
11. 金武漢: 構造 材料 實驗 方法論, 學文社, 1992. PP 194 - 270
12. 日本建設省, 建設事業への 廢棄物利用技術의 開發, pp91-95, 1986.11
13. Kashino Norimoto, 廢棄物의 建築用콘크리트への 再利用, 콘크리트 工學, Vol. 25, No. 5, 1987.5.