

플라이애시를 사용한 유동화재생콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Engineering Properties of Flowing Recycled Concrete using Fly-ash

박 선 규* 박 유 신* 강 석 표*
Sun-Gyu Park* Yoo-Shin Park Suk-Puo Kang
신 흥 철* 김 규 용* 김 무 한**
Hong-Chol Shin* Guy-Yong Kim* Moo-Han Kim**

ABSTRACT

As the waste concrete is increased by demolition according to the plan of city-reconstruction and preperation of city-environment etc, the production of waste concrete in the country is being very increased every years. Because the use of recycled aggregate is low, the cases of unlawful reclamation and disuse are increased. These occur the social and economic problems.

This experimental study is to investigate the fluidity, compressive strength and durability of flowing recycled aggregate concrete using the river sand and recycled coarse aggregate according to the replacement rate of fly-ash and to present the fundamental data for the using of flowing recycled aggregate concrete.

키워드 : 재생골재, 플라이애시, 유동화재생콘크리트, 유동성, 압축강도, 내구성
Keyword : Recycled Aggregate, Fly-Ash, Flowing Recycled Concrete, Fluidity,
Compressive strength, Durability

1. 서론

최근 도시재개발 계획 및 도시환경정비 등에 의해 해체되는 콘크리트구조물이 증가함에 따라 폐기콘크리트의 발생량은 해마다 증가하고 있으며, 이러한 건설폐기물의 발생량을 감소시키기 위해 재생골재를 구조체 콘크리트에 적용하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.¹⁾ 또한, 재생골재콘크리트를 고품질화하기 위해서는 재생골재를 사용한 유동화콘크리트의 개발이 필요할 것이다.²⁾

이에 본 연구에서는 골재로서 강모래 및 재생골재를 사용하고 산업부산물인 플라이애시를 첨가하여 유동화재생콘크리트를 제조한 후, 각종 유동특성, 압축강도, 내구성 및 장기거동 특성등을 실험·실증적으로 검토·분석하여 재생골재콘크리트의 실용화를 위한 기초적인 자료를 제시하고자 하였다.

* 정회원, 충남대학교 공과대학 건축공학과 대학원

** 정회원, 충남대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사

표 1(a). 실험계획 및 콘크리트 조합

W/B	골재의 구성 조건	FA (%wt)	잔골재율 (%M)	목표 슬럼프-플로우 (cm)	단위수량 (kg/m ³)	절대용적(ℓ/m ³)				단위중량(kg/m ³)				측정항목	
						C	FA	S	G	C	FA	S	G	아직굳지않은 콘크리트	경화콘크리트
0.35	강모래, 재생굼은골재	0	50	50±5	175	159	0	313	313	500	0	804	745	1. 공기량(%) 2. 단위용적중량(kg/l) 3. 슬럼프, 슬럼프-플로우(cm) 4. L형플로우 (cm)	1. 압축강도(kgf/cm ²) 2. 인장강도(kgf/cm ²) 3. 동탄성계수 (x10 ⁵ kgf/cm ²) * 재령 1, 4, 8주측정
		10				143	23	310	310	450	50	797	738		
		20				127	46	306	306	400	100	786	728		
		30				111	70	3020	302	350	150	776	719		

표 1(b). 실험계획 및 콘크리트 조합

W/B	골재의 구성 조건	FA (%wt)	잔골재율 (%M)	목표 공기량 (%)	단위수량 (kg/m ³)	절대용적(ℓ/m ³)				단위중량(kg/m ³)				측정항목	
						C	FA	S	G	C	FA	S	G	경화콘크리트	
0.35	강모래, 재생굼은골재	0	50	1~2	175	159	0	328	328	500	0	843	781	1. 건조수축에 의한 길이변화 2. 동결융해 저항성	
		10				143	23	325	325	450	50	835	774		
		0		159		0	313	313	500	0	804	745			
		10		143		23	310	310	450	50	797	738			

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획 및 조합

본 연구는 유동화재생콘크리트의 공학적 특성을 구명하기 위해, 표 1(a), (b)의 실험계획 및 콘크리트 조합에 나타난 바와 같이 골재는 강모래와 재생굼은골재를 사용하였고, 플라이애시 대체율은 각각 0, 10, 20, 30% 4수준으로 설정하여 목표 슬럼프-플로우치 50±5cm의 영역의 콘크리트를 제작하였다.

측정항목으로는 아직굳지않은 상태에서 공기량, 단위용적중량, 슬럼프, 슬럼프-플로우, L플로우를 측정하였으며, 경화콘크리트에서는 각 규준에 준하여 압축강도(KS F 2405), 인장강도(KS F 2423), 동탄성계수(KS F 2438)를 1, 4, 8주별로 측정하였고, 내구특성으로서 동결융해저항성 시험(KS F 2456)과 장기거동특성으로서 건조수축(KS F 2424)에 의한 길이변화 시험을 행하였다.

2.2. 사용재료 및 콘크리트의 비빔방법

본 실험에 사용된 시멘트, 플라이애시, 고성능감수제, 골재의 물성은 표 2와 같다. 잔골재는 조립율 2.64, 비중 2.57의 강모래를 사용하였으며 KS 및 JIS A 5308의 규준에 만족하였다. 또한, 굵은골재로서는 압축강도 150~210kgf/cm²내외로 추정되

표 2. 사용재료

시멘트	모룡포틀랜드 시멘트, 비중: 3.15	
혼화재	플라이애시, 비중: 2.13, 분말도: 3.228(kg/g)	
혼화재	고성능감수제, 나프탈렌계, 비중: 1.20	
잔골재	강모래	비중: 2.57, 조립율: 2.64, 흡수율: 1.01(%)
KS 및 JIS A 5308 (잔골재의 품질규준)		
비중: 2.5이상, 흡수율: 3.0이하(%)		
굵은골재	재생굼은골재	비중: 2.38, 조립율: 7.08, 흡수율: 5.73
재생굼은골재의 일본규준		
비중: 2.2이상, 흡수율: 7.0이하(%)		

는 콘크리트구조물을 해체한 폐기콘크리트를 파쇄·제조하여 만든 비중 2.38, 흡수율 5.73%의 재생굵은골재를 사용하였다. 이는 천연굵은골재에 비해 물성이 상대적으로 열악하지만 日本 建設省 建築研究所의 「再生粗骨材 品質基準(案)·同解説」³⁾에서 제안하는 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

콘크리트의 비빔방법은 100ℓ 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 (시멘트+플라이애시+잔골재)→(물+고성능감수제)→(굵은골재)의 단계별로 구성재료를 분할 투입하여 균질성을 확보하고자 하였으며, 총 비빔시간은 210초가 소요되었다.

3. 실험결과 및 검토

3.1. 아직 굳지 않은 콘크리트의 성상 및 검토

그림. 1은 플라이애시 대체율에 따른 공기량과 단위용적중량의 변화를 나타낸 것으로서, 공기량은 플라이애시 대체율이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보이고 있으며, 단위용적 중량은 2.28~2.32kg/l의 범위로 플라이애시 대체율에 따른 유의할 만한 경향은 보이지 않고 있다.

그림 2는 플라이애시 대체율에 따른 초기 슬럼프, 슬럼프-플로우와 고성능감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로서, 슬럼프-플로우 50±5cm를 만족하기 위한 고성능감수제의 첨가율은 플라이애시 대체율에 관계없이 1%로 적용하였다. 슬럼프는 플라이애시 대체율에 관계없이 25cm내외의 높은 유동성을 보이고 있으며, 플라이애시 대체율 증가에 따른 유의할 만한 경향은 보이지 않고 있다.

또한, 슬럼프-플로우는 50±5cm를 만족하는 수준을 보이고 있어 재생골재콘크리트의 유동성향상에 의한 현장 적용가능성을 크게 시사하고 있다.

그림. 3은 플라이애시 대체율에 따른 L-플로우의 변화를 나타낸 것으로서, 플레인 콘크리트의 경우 60cm를 나타내고 있으며, 플라이애시 대체율 10, 20%에서는 64cm로 유동성이 다소 향상되는 경향을 보였으나 30%에서는

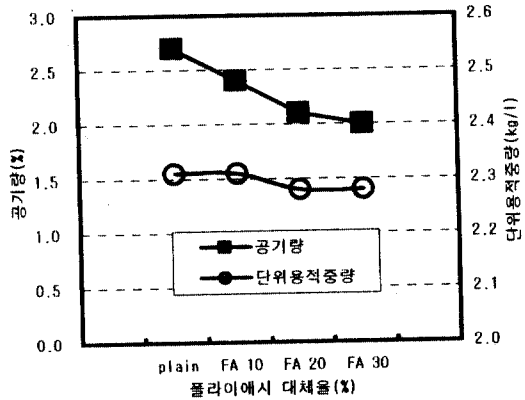


그림 1. 공기량과 단위용적중량의 변화

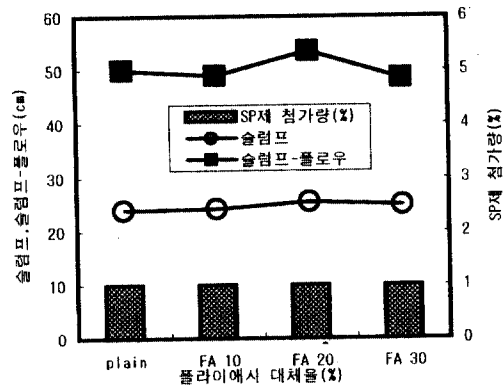


그림 2. 초기 슬럼프, 슬럼프-플로우와 고성능감수제 첨가율의 변화

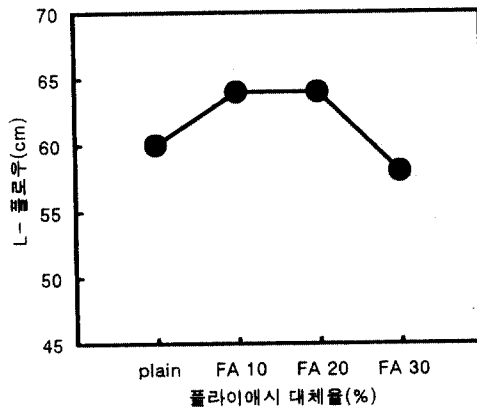


그림 3. 초기 L-플로우의 변화

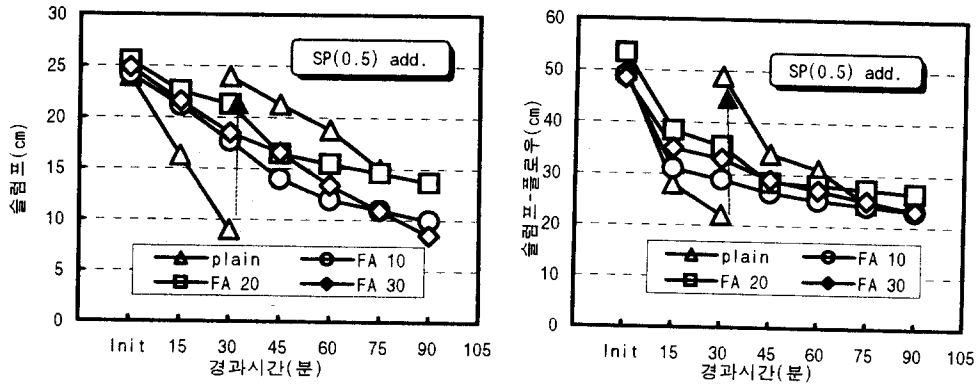


그림 4. 경시에 따른 유동성의 변화

58cm로 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 플라이애시 대체율이 증가함에 따라 콘크리트의 점성이 증가하였기 때문으로 사료된다.

3.2. 경시에 따른 유동성 변화의 분석 및 검토

그림. 4는 경시에 따른 유동성의 변화를 나타낸 것으로서, 먼저 슬럼프의 경시 변화를 살펴보면 플레인 콘크리트의 경우 유동성의 저하가 급격히 발생하며 비법 직후와 비교해 경시30분에는 슬럼프가 9cm로 나타나 급격한 유동성의 손실을 보였다. 그러나 고성능감수제를 0.5% 재첨가할 경우, 슬럼프 24cm의 양호한 유동성을 재확보할 수 있었으며, 재첨가 후 45분까지도 슬럼프 15cm를 유지하고 있어 재첨가전보다 경시에 따른 유동성의 저하가 완만하게 나타나고 있다. 따라서 재생골재콘크리트의 현장적용시 고성능감수제의 분할첨가가 콘크리트의 시공성 및 작업성을 확보하는데 유리할 것으로 사료된다. 또한, 플라이애시 대체율 10, 20, 30%의 경우에는 경시 90분까지도 슬럼프 10cm내외의 유동성을 보이고 있어 플레인 콘크리트에 비하여 상대적으로 경시에 따른 유동성의 저하가 완만하게 진행되었으며, 특히 플라이애시 대체율 20%은 경시에 따른 양호한 성상을 보이고 있다. 또한 슬럼프-플로우의 경시변화도 이와 유사한 경향을 보이고 있다.

3.3. 경화콘크리트의 성상 및 검토

3.3.1. 압축강도의 변화 및 검토

그림. 5는 플라이애시 대체율별 재령에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로서, 플레인 콘크리트의 경우 재령 1주에서 압축강도 446kgf/cm²로 높은 강도발현율을 보이고 있으며 플라이애시 대체율이 증가함에 따라 압축강도는 낮아지는 경향을 보이고 있지만 모두 300kgf/cm²이상의 높은 강도 수준

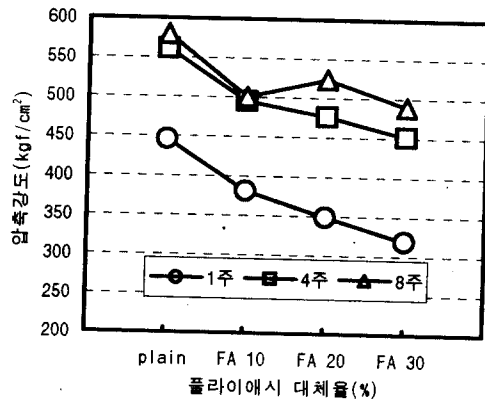


그림 5. 재령에 따른 압축강도의 변화

을 나타냈다. 또한 재령 4주, 8주로 갈수록 플레인콘크리트와 플라이애시를 첨가한 콘크리트의 압축강도 차이가 적어지는 것을 알 수 있는데, 이는 플라이애시의 포졸란반응에 의하여 장기재령으로 갈수록 강도가 증진되었기 때문으로 판단된다.

3.3.2. 인장강도의 변화 및 검토

그림. 6은 플라이애시 대체율별 재령에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것으로서, 재령 1주의 경우에는 플라이애시 대체율에 관계없이 27~28kgf/cm²로 유사한 수준을 나타내고 있다. 그러나, 재령 4, 8주의 경우 플레인 콘크리트에 비하여 플라이애시를 대체한 경우가 인장강도가 약 5kgf/cm²정도 더 높게 발현되고 있는 것으로 나타났다.

3.3.3. 압축강도에 대한 동탄성계수의 상관관계 검토

그림.7은 압축강도와 동탄성계수의 상관관계를 나타낸 것으로서, British Standard와 비교하여 동일 압축강도에서 약 0.5x10⁵kgf/cm² 정도 낮게 나타나고 있는데 이는 천연골재에 비하여 재생골재의 1차 공명진동수 값이 낮기 때문인 것으로 사료된다.

3.3.4. 동결융해 시험결과

그림 8은 재생골재콘크리트의 동결융해 사이클에 따른 상대동탄성계수를 나타

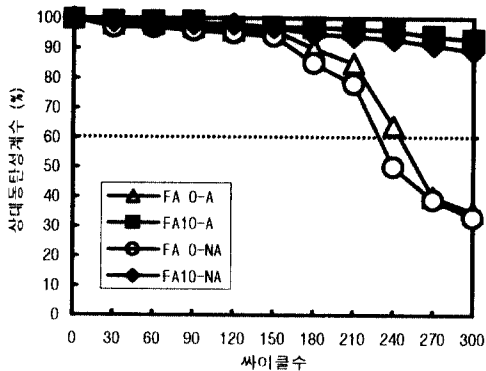


그림 8 동결융해 사이클수에 따른 내구성 지수

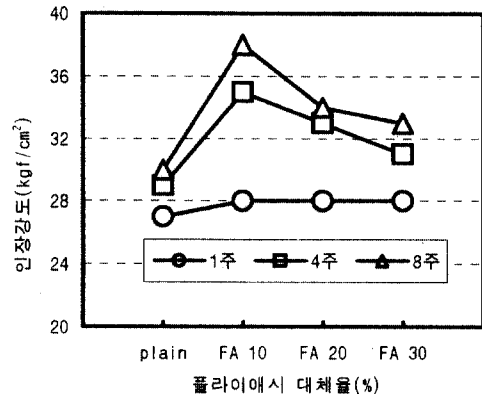


그림 6 재령에 따른 인장강도의 변화

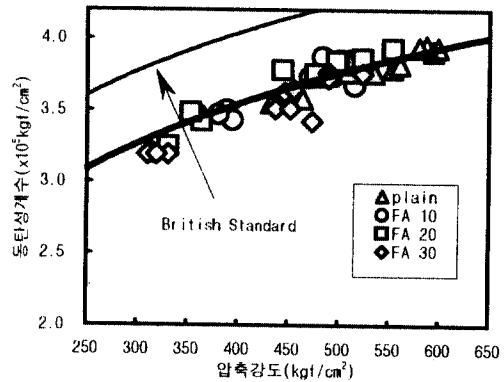


그림 7 압축강도와 동탄성계수의 상관관계

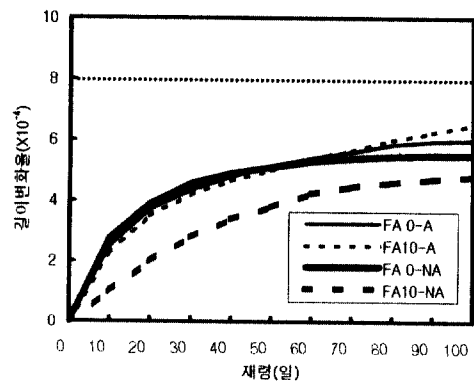


그림 9 재생골재콘크리트의 건조수축 특성

낸 것으로, 플라이애시 대체율 0%인 경우 공기연행제의 유무에 관계없이 240싸이클에서 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지고 있으며, 플라이애시를 10%로 대체한 것보다 상대동탄성계수가 낮게 측정되었다. 따라서 재생골재콘크리트의 내구성을 확보하기 위해서는 플라이애시를 적정수준 혼합하여 사용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3.3.5 건조수축 시험 결과

그림 9는 재생골재콘크리트의 건조수축의 실험결과를 나타낸 것으로 플라이애시 대체율과 공기량의 수준에 관계없이 보통콘크리트의 규준치인 8×10^{-4} 의 이하의 범위인 $4 \sim 7 \times 10^{-4}$ 의 수준으로 나타나고 있어 비교적 양호한 것으로 나타났다.

4. 결론

플라이애시를 사용한 유동화재생콘크리트의 각종 공학적 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 재생골재를 사용하여 슬럼프-플로우 $50 \pm 5\text{cm}$ 의 높은 유동성을 갖는 콘크리트를 제조하는 것이 가능할 것으로 판단되며, 플라이애시를 대체함으로 유동성을 개선할 수 있었으며 특히 플라이애시 20%의 경우가 가장 양호한 성상을 보였다.
- (2) 유동화 재생골재콘크리트의 경시에 따른 유동성의 변화에서 플레인 콘크리트의 경우 급격한 유동성의 저하를 보였으나 고성능감수제를 재첨가할 경우 유동성을 재확보할 수 있어 유동화 재생골재콘크리트를 구조물에 적용할 경우 고성능감수제를 분할투입함으로써 시공성 및 작업성을 확보하는데 유리할 것으로 사료된다.
- (3) 압축강도는 플라이애시 대체율이 증가할수록 낮게 발현되고 있으나, 재령 4주의 압축강도는 $450 \sim 561\text{kgf/cm}^2$ 의 고강도를 발현하고 있다. 따라서, 재생골재를 사용하여 고강도영역의 콘크리트를 제조할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.
- (4) 유동화 재생골재콘크리트의 동결융해시험결과 플라이애시를 대체하는 것이 내구성 확보측면에서 유리할 것으로 판단되며, 건조수축의 경우 보통콘크리트와 유사한 수준인 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) (財) 國土開發技術研究センター : 再生コンクリートの利用技術の開発 (平成7年 3月)
- 2) 入田雅文 外 3人 ; 再生骨材を用いた流動化コンクリートの諸性質に関する實驗的研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 19, No. 1, 1997, pp 1093~1098
- 3) 建設省建築研究所 : 廢棄物の建設事業への再利用技術に関する研究 (昭和61年 3月)
- 4) 金武漢 외 : 再生骨材의 混合條件에 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 論文報告集, 제9권 제11호, pp.109~120(1993. 11)