

C급 플라이애쉬를 사용한 超流動 콘크리트 특성

The Properties of Super Flowing Concrete using Class C Fly Ash

원 철* 권영호** 김동석*** 박칠림****
Won, Cheol Kwon, Yeong Ho Kim, Dong Seok Park, Chil Lim

Abstract

This study dealt with the properties for fly ash of combined heat power plant and application for concrete industry. For this purpose, fly ash of ulsan combined heat power plant was analyzed for physical and chemical properties and tested the properties of the super flowing concrete.

As results of fly ash, contents of SiO₂ and Al₂O₃ in the fly ash of Ulsan were less than those of thermal power plant(Boryung), but contents of CaO were ten times as much as those of Boryung.

In order to satisfy the properties of the Super Flowing Concrete using class C fly ash, mixing conditions were determined the optimum water binder(w/b), volume ratio of fine aggregates(Sr) and coarse aggregates(Gv).

1. 서 언

1.1 연구배경

최근들어 공업단지내 입주업체 공장의 신·증설 및 가동을 증가로 안정적인 증기 및 전기를 저렴한 가격으로 공급하기 위하여 유연탄을 주원료로 하는 열병합발전소가 울산, 인천, 반월 등지에서 段階的으로 건설되고 있다.

이러한 열병합발전소의 건설은 계속적으로 늘어날 것으로 전망되지만, 화력발전소와 마찬가지로 열병합발전소의 연소 보일러에서 생성되는 애쉬의 처리문제가 해결해야 할 當面課題로 직면해 있다. 특히, 資源節約과 再活用 促進에 관한 法律(제 30조)에 따라 산업부산물물의 연도별 재활용율이 명문화되

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원

** 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원

*** 정회원, (주)대우건설기술연구소 연구원

**** 정회원, (주)대우건설기술연구소 소장·광파

어 '98년부터는 발생량의 35% 이상을 재활용하지 않으면 안된다.

따라서, 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 건설산업에 활용하기 위한 일환으로 일반 콘크리트⁽¹⁾에 이어 超流動 콘크리트에 사용할 수 있는 방안을 검토하게 되었으며, 이에 대한 검토 및 콘크리트 특성에 대한 연구가 필요한 실정이다.

1.2 연구목적 및 범위

본 연구의 목적은 열병합발전소에서 생산되는 플라이애쉬를 건설산업에 재활용하기 위한 것으로, 이러한 적용성의 檢證을 통해 자원 재활용은 물론 환경보존, 경제성, 신재료의 개발측면에서 보다 적극적인 활용방안을 마련하기 위한 것이다. 특히, 화력발전소에서 생성되는 F급 플라이애쉬에 비해 우수한 특성을 갖고 있음에도 불구하고 KS規準조차도 없는 C급 플라이애쉬의 활용범위 및 효과적인 재활용을 위한 자료축적에 寄與할 것으로 사료된다.

열병합발전소의 플라이애쉬를 초유동 콘크리트에 활용하기 위하여 울산석유화학 공단내의 열 병합 발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 대상으로 化學的·物理的 特性을 분석하였으며⁽²⁾, 초유동 콘크리트에 사용할 수 있는 가능성을 검토하기 위하여 지금까지 제시된 시험장치를 통해 배합변수를 평가하여 최적배합비를 도출하고자 하였다.

배합변수는 플라이애쉬의 치환율을 30%로 정하고, 이에 따른 물/결합재비(w/b), 잔골재 용적비(S), 그리고 굵은골재 용적비(G_v)를 대상으로 각각의 특성을 분석하였다.

2. 실험개요

2.1 초유동 콘크리트의 평가방안

초유동 콘크리트의 流動特性을 레오로지적 측면에서 접근하기 위하여 본 연구에서는 주로 슬럼프 플로우 시험, L형 플로우, 깔대기 流下時間, 간극통과성 BOX시험 등으로 평가하였으며, 실내실험은 강제식 믹서로, 현장시험은 쌍용레미콘 울산공장에서 실시하였다.

2.2 유동성 및 충전성 평가성능

본 연구에서 목표로 하는 초유동 콘크리트의 評價性能은 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1 초유동 콘크리트의 목표성능

구분	슬럼프 플로우 (cm)	○형 깔대기 유하시간 (초)	BOX 충전성 (cm)	L형 플로우 (cm)	과밀배근 충전성
목표성능	65±2	10±5	5이하	유동속도	관찰

2.3 사용재료 특성

본 연구에 사용된 시멘트는 쌍용양회의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 굵은골재는 울산 함월석산의 25mm 쇄석, 잔골재는 혼합모래(양북, 양남, 왜관, 현대 등)를 사용하였다. 골재의 품질시험 결과는 표 2와 같다.

고성능 감수제는 국내에서 시판되는 진웅화학의 나프탈렌계를 사용하였으며, 플라이애쉬는 울산 석유화학단지의 열병합 발전소에서 생성되는 것으로 품질시험 결과는 표 3과 같다.

표 2 골재의 품질시험 결과

항 목 종 류	비 중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	조립율 (%)	마모율 (%)	염화물 (%)	실적율 (%)
잔골재	2.61	0.92	1,665	2.59	-	0.004	63.98
굵은골재	2.72	0.51	1,536	6.70	7.04	-	56.60

표 3 플라이애쉬의 품질성능

화학적 성분 (%)									물리적 특성	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	비중	분말도 (cm ² /g)
41.3	16.1	7.30	26.4	0.90	5.60	0.85	0.32	0.57	2.69	2,740

열병합 플라이애쉬는 ASTM C 618의 기준²⁾에 따라 C급으로 분류할 수 있으며, 강열감량이 평균 10% 범위로 높은 편이나, 燃焼溫度가 800~900℃ 정도로 낮기 때문에 미연탄소 성분에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

3. 초유동 콘크리트의 시험배합 및 결과분석

열병합 플라이애쉬를 사용한 초유동 콘크리트의 배합설계를 위해 拘束水比 試驗 및 이에 따른 물/결합재비(w/b), 굵은골재 용적비(G_v), 그리고 잔골재 용적비(S_r)의 특성시험을 실시하였다. 시험배합의 플라이애쉬 치환율은 시멘트의 重量比로 30%이며, 결과는 다음과 같다.

3.1 플라이애쉬의 구속수비 시험결과

플라이애쉬를 30% 치환한 결합재의 拘束水比 시험결과, 구속수비는 1.08로 화력발전소 플라이애쉬(0.99)에 비해 높은 것으로 나타났다. 이는 모르타르 특성시험에 나타난 경향과 유사한 것으로 流動性에 기여하지 못하는 單位水量이 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 단위수량 또는 고성능 감수제의 첨가량을 증가시켜야 할 것으로 사료된다.

3.2 물/결합재비(W/B)에 따른 시험결과

물/결합재비에 따른 초유동 콘크리트의 시험배합 결과는 표 4과 그림 1과 같다.

물/결합재비가 45% 이상일 경우, 流動性은 만족하지만 粘性이 부족하기 때문에 充填性能이 매우 저하되는 것으로 나타났다. 따라서, 페이스트의 粘度를 높이기 위해서는 결합재량을 증대시켜야 하며, 물/결합재비가 42% 이하의 범위에서 최적비를 도출해야 할 것으로 사료된다. 또한, 물/결합재비에 따른 강도발현은 42%이하에서 일반강도 범위(240~270kg/cm²)의 초유동 콘크리트 생산이 가능할 것으로 사료된다.

3.3 잔골재 용적비(S_r)에 따른 시험결과

물/결합재비가 42%일 때, 잔골재 용적비(S_r)에 따른 초유동 콘크리트의 배합시험 결과는 표 5 및 그림 2와 같다.

동일한 물/결합재비 및 굵은골재 용적비(G_v)에서 잔골재 용적비에 따른 유동성 및 점성차이가 큰

표 4 물/결합재비에 따른 유동특성 결과

구분 시험체명	W/B (%)	S _r (%)	G _v (%)	S/a (%)	S.P (AE제) (%)	측 정 결 과				
						슬럼프 플로우 (cm)	유하 시간 (sec)	BOX 높이차 (cm)	L형 플로우 (cm)	공기량 (%)
CF-39-G51	39	45	51	52.6	1.70 (0.1)	66.5	7.8	1.0	83.5	5.9
CF-42-G51	42				1.55 (0.1)	63.4	7.7	5.0	75.6	5.5
CF-45-G51	45				1.40 (0.1)	65.5	9.8	10.5	68.0	4.5
CF-50-G51	50				0.95 (0.1)	52.0	6.7	18.0	42.0	5.5

표 5 S_r에 따른 초유동 콘크리트의 배합실험 결과

구분 시험체명	W/B (%)	S _r (%)	G _v (%)	S/a (%)	S.P (AE제) (%)	측 정 결 과				
						슬럼프 플로우 (cm)	유하 시간 (sec)	BOX 높이차 (cm)	L형 플로우 (cm)	공기량 (%)
CF-42-S43	42	43	51	51.4	1.49 (0.1)	66.5	8.5	2.5	83.0	6.3
CF-42-S45		45		52.6	1.55 (0.1)	63.4	7.7	5.0	75.6	5.5
CF-42-S47		47		53.7	1.70 (0.1)	63.0	10.0	3.0	76.0	6.4

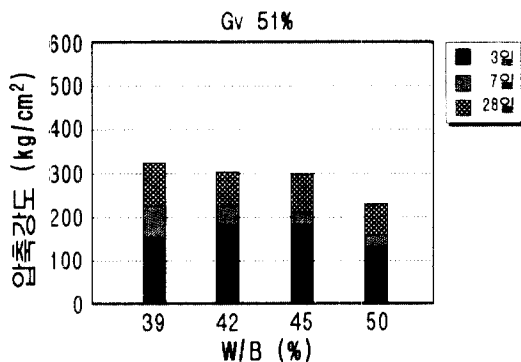


그림 1 물/결합재비에 따른 강도발현 특성

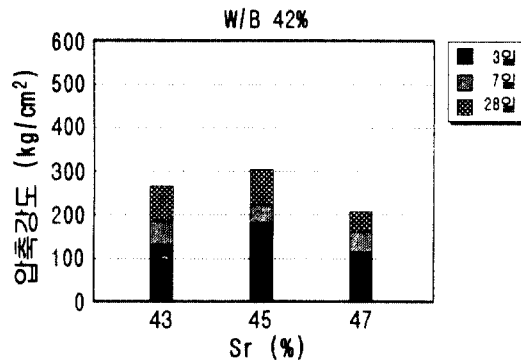


그림 2 잔골재 용적비에 따른 강도발현 특성

것으로 나타났다. 잔골재 용적비가 증대할 수록 유동성이 저하되는 반면에, 잔골재 용적비가 감소하면 점성이 증대하는 것으로 나타났다. 따라서, 점성 및 유동성을 확보하기 위하여 잔골재 용적비를 43~45% 범위로 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 또한, 물/결합재비가 42%이상인 배합에서는 점성을 확보하기 위하여 잔골재 용적비를 감소시키는 것이 필요하다.

잔골재 용적비가 강도에 미치는 영향은 그림 2에 나타난 바와 같이 물/결합재비의 영향보다 큰 것으로 나타났다. 초유동 콘크리트 배합에서 잔골재 용적비에 따른 재료의 재분배로 페이스트의 매트릭스 구조가 45% 범위에서 가장 치밀하고 적합한 영향이 있을 것으로 사료되며, 따라서 강도의 영향을 고

려하여 잔골재 용적비를 정하는 것이 바람직하다.

3.4 굵은골재 용적비(G_v)에 따른 시험결과

동일한 물/결합재비 및 잔골재 용적비에서, 굵은골재 용적비에 따른 초유동 콘크리트의 배합시험 결과는 표 6 및 그림 3과 같다.

표 6 굵은골재 용적비에 따른 초유동 콘크리트의 배합시험 결과

구 분 시험체명	W/B (%)	Sr (%)	Gv (%)	S/a (%)	S.P (AE제) (%)	측 정 결 과				
						슬럼프 플로우 (cm)	유하 시간 (sec)	BOX 높이차 (cm)	L형 플로우 (cm)	공기량 (%)
CF-39-G49	39	45	49	54.0	2.10 (0.1)	66.0	11.5	4.0	74.0	3.6
CF-39-G51			51	52.6	1.70 (0.1)	66.5	7.8	1.0	83.5	5.9
CF-39-G53			53	51.2	1.65 (0.1)	64.5	8.7	2.5	76.0	6.0

동일배합 조건에서 굵은골재 용적비가 증대하면 粘性이 감소하고 충전성능을 확보하지 못하며, 반면에 감소하게 되면 粘性은 증대하지만 유동성을 확보하기 어렵다. 시험결과에서 보듯이 동일 슬럼프 플로우를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량과 유하시간, Box 통과성 시험결과로부터 이러한 현상을 확인할 수 있다. 따라서, 열병합발전소의 플라이애쉬를 사용한 초유동 콘크리트의 굵은골재 용적비는 51±1% 범위가 바람직할 것으로 사료된다.

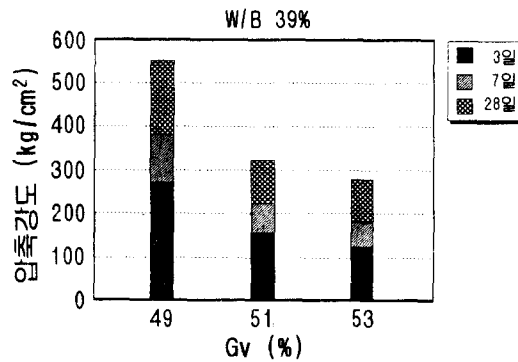


그림 3 굵은골재 용적비에 따른 강도발현 특성

동일 배합조건에서 굵은골재 용적비에 따른 강도발현 성상은 매우 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 초유동 콘크리트 배합설계에서 굵은골재 용적비가 변하면, 동일비율로 재료의 재분배가 발생한다. 그러나 기존 콘크리트 배합설계는 잔골재율을 변동시키면, 페이스트 부분은 변하지 않고 골재간의 용적이 변화된다. 따라서, 굵은골재의 용적비가 감소하게 되면, 페이스트-모르타르의 용적비가 증가하기 때문에 강도발현에 미치는 영향이 크게 된다. 시험결과, 굵은골재 용적비가 감소할 수록 강도발현이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나, 초유동 콘크리트의 특성 자체가 流動性能이기 때문에 굳지않은 콘크리트 상태를 고려하여 최적배합을 선정하는 것이 바람직하다.

3.5 레미콘 플랜트의 시험배합

실내 시험배합에서 나타난 최적배합비를 대상으로 울산석유화학 단지의 쌍용레미콘 공장에서 플랜트 시험배합을 실시하였으며, 결과는 표 7과 같다.

표 7 레미콘 플랜트의 시험배합 결과

구 분 시험체명	W/B (%)	S _r (%)	G _v (%)	S/a (%)	S.P (AE제) (%)	측 정 결 과					비 고
						슬럼프 플로우	유하 시간	BOX 높이차	L 형 플로우	공기량 (%)	
CF-39-G51	39	45	51	51.9	1.8 (0.1)	66.5cm	2.7초	4.5cm	68cm	4.5	- FA비중 2.61
CF-37-G51	37	47	51	52.1	1.9 (0.1)	64.3cm	2.4초	1.0cm	85cm	4.7	- FA치환율 30%

시험배합 결과, 유동특성은 요구성능을 만족하였으며, 운반시간에 따른 경시변화 특성의 경우 60분 까지 슬럼프 플로우값의 감소가 2~3cm로 매우 적게 나타났다. 또한, 강도시험 결과 28일 재령에 평균 340kg/cm² 정도를 나타내었다. 이러한 시험결과를 토대로 현장적용을 예정이며, 크리프, 乾燥收縮, 長期強度, 耐久性 및 水和熱 등에 관한 연구가 진행중에 있기 때문에 향후 汎用化 및 再活用に 대한 범위를 확대시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

열병합 플라이애쉬를 사용한 초유동 콘크리트의 특성시험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- ① 열병합발전소 플라이애쉬의 拘束水比는 1.08로 화력발전소의 플라이애쉬(0.99)에 비해 높기 때문에 동일 유동성을 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 증대한다. 이는 낮은 온도에서 연소되기 때문에 생성되는 입자형태 및 입형의 영향이며, 콘크리트의 粘性은 매우 높다.
- ② 물/결합재비는 42%이하에서 선정하는 것이 좋으며, 설계기준강도 240~270kg/cm² 범위의 일반 콘크리트 생산이 가능하다.
- ③ 잔골재 용적비는 유동성 및 점성에 미치는 영향이 크기 때문에, 45±2% 범위에서 골재의 입도를 고려하여 선정하는 것이 바람직하다.
- ④ 굵은골재 용적비는 51±1% 범위에서 선정하는 것이 바람직하며, 레미콘 플랜트 시험배합 결과 도 최적배합 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구의 현장시험을 지원해 주신 울산석유화학지원(주)의 임직원 여러분과 쌍용레미콘 울산공장의 품질관리실 고두봉 실장 외에 직원 여러분께 감사드립니다.

● 참고문헌 ●

1. 朴七林, 安宰鉉, 權寧鎬, 李相洙, 元 澈. "高강속 플라이애쉬의 特性 및 活用方案", 한국콘크리트학회, 논

문집 제 7권 5호, 1995.10. pp.155~163.

2. ASTM C 618, Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.