

폐주물사를 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구

A study on the Strength Characteristics of Concrete Using Foundry Waste Sand

최연왕* 최재진** 김기형*** 김용직****
Choi, Yun Wang Choi, Jae Jin Kim, Ki Hyung Kim, Yong Jik

ABSTRACT

This study was performed to analyze strength characteristics of concrete using FWS(foundry waste sand), as a way of study for reusing the FWS disused in the foundry as the fine aggregate for concrete.

As the experimental results, the slump of concrete showed a decline with the increase of replacement ratio of FWS. The compressive strength of concrete made with FWS 25% replacement river sand showed higher value than that of concrete not containing FWS, but the flexural strength of concrete containing FWS was decreased 21% compared with that of concrete not containing FWS at age of 28days.

1. 서론

1980년대 이후 세계적으로 지구환경 보존에 대한 관심이 고조되기 시작하여 환경파괴에 대처하기 위한 구속력 있는 국제환경협약의 체결이 증가되고 있으며, 국내의 경우 산업의 급속한 발전과 더불어 이에 수반되는 산업폐기물의 양적증대 및 처리문제가 가장 시급한 환경문제로 인식되고 있는 실정이다. 산업폐기물은 주로 소각 및 매립에 의해 처리되고 있으나, 소각에 의한 공해문제와 매립에 의한 토양 및 지하수 오염과 같은 2차 환경오염 문제가 새롭게 대두되고 있어 근본적인 처리방법으로는 미흡하다고 판단된다. 이러한 관점에서 1996년부터 2001년까지를 대상으로 수립된 국가폐기물관리종합계획에 의하면 사업장 폐기물의 재활용 비율을 크게 증가시키는 것을 목표로 하고 있다.¹⁾

국내 주조산업 일반폐기물인 폐주물사는 국내외의 환경문제에 대한 상황변화에도 불구하고 현재 발생량의 6%정도만이 도로기층재 및 벽돌재료로 재활용되고 있고 94%는 단순매립에 의존²⁾하고 있어 폐주물사의 재활용에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 조교수
** 정회원, 천안공업대학 토목과 부교수
*** 정회원, 여주대학 토목과 조교수
**** 세명대학교 건설대학원 석사과정

본 연구는 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위한 기초 물성에 대한 연구를 통하여 얻어진 잔골재의 중량에 대한 25%, 35%, 및 45%의 폐주물사의 혼합률을 변화시켜 제조한 콘크리트의 제강도 특성에 대한 실험결과를 분석, 고찰하였다. 또한 분석방법의 신뢰성을 얻기 위하여 실험결과에 대하여 분산분석을 실시하여 통계적으로 유의한지의 여부를 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화재로 사용한 플라이애쉬(Fly Ash, 이하 FA로 약함)는 보령 화력발전소에서 포집하여 정제된 비중 2.13의 유연탄 플라이애쉬를 사용하였다. 골재는 충주산 강모래 강자갈을 사용하였으며, 잔골재와 대체하여 사용한 폐주물사(Foundry Waste Sand, 이하 FWS로 약함)는 폐주물사에 포함된 이물질 및 철분을 제거하고 원래 주물사의 입자크기로 환원시킨 시료를 사용하였다.

플라이애쉬 및 폐주물사의 화학성분은 표 1과 같으며, 사용골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 1 플라이애쉬 및 폐주물사의 화학성분

Component Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	unburned carbon(%)
F A	61.3	23.1	6.4	4.1	1.1	1.0	3.45
F W S	90.4	2.6	3.7	0.3	0.5	-	-

표 2 골재 및 폐주물사의 물리적 성질

Items Types	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m ³)	Solid(%) by weight
Coarse aggregate	25	2.64	0.86	7.15	-	1,692	64.6
River sand	-	2.62	1.82	2.94	O.K	1,641	63.8
FWS	-	2.62	1.12	1.40	O.K	1,539	58.7

2.2 실험방법

콘크리트 혼합에는 용량 60ℓ의 강제식 믹서를 사용하였으며, 콘크리트 혼합량은 30ℓ, 배합시간은 총 2분으로 결정하였다. 압축강도, 쪼갬인장강도 및 탄성계수 측정은 Ø10×20cm 원주형 공시체를 제조한 후 수중에서 표준양생하여 한국산업규격의 시험방법에 따라 압축강도는 재령 7일, 28일, 56일, 쪼갬인장강도 및 탄성계수는 재령 28일에 각각 측정하였으며, 휨강도 시험은 15×15×50cm의 장방형 공시체를 제작하여 재령 28일에 중앙점 하중법으로 측정하였다.

또한 실험결과가 통계적으로 유의한지를 검정하기 위하여 동일한 실험을 랜덤한 순서로 2회 반복 실험을 실시하여 얻어진 데이터를 SAS 프로그램을 이용하여 분산분석을 실시하였다.

2.3 콘크리트 배합

실험에 사용한 배합은 폐주물사 혼합률 및 플라이애쉬의 혼합률을 실험인자로 설정하여 폐주물사 혼합률 4수준(0, 25, 35, 45%), 플라이애쉬 혼합률 2수준(0, 15%)으로 배합을 정하였다.

한편 물-결합재비는 50%, 굵은골재 최대치수는 25mm, 잔골재율은 38%로 고정하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1 폐주물사 혼합률이 슬럼프에 미치는 영향

폐주물사를 강모래에 대한 중량비로 0, 25, 35 및 45%로 변화시킨 콘크리트의 유동특성을 알아보기 위하여 일원분산분석을 실시한 결과 유의수준 1.3%로 폐주물사 혼합률 변화가 슬럼프값에 현저한 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 유동성 향상을 위하여 플라이애쉬를 15%로 혼합한 경우에 있어 이원배치 실험을 실시한 결과 플라이애쉬의 혼합에 따른 유의수준이 3.4%로 플라이애쉬에 의한 영향이 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 1은 폐주물사의 혼합률 변화에 따른 슬럼프값을 나타낸 것으로 회귀분석결과 폐주물사의 혼합률과 슬럼프의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다

FA/(C+FA)=0(%) :

$$\text{Slump} = 11.14 - 0.08(\text{FWS}/(\text{S}+\text{FWS})) \quad (R^2=0.95)$$

FA/(C+FA)=15(%) :

$$\text{Slump} = 13.24 - 0.11(\text{FWS}/(\text{S}+\text{FWS})) \quad (R^2=0.94)$$

그림 1의 실험결과 폐주물사의 혼합률이 증가할수록 슬럼프는 비례적으로 감소하고 플라이애쉬를 혼합할 경우 약 13%정도 슬럼프값이 증가됨을 알 수 있다.

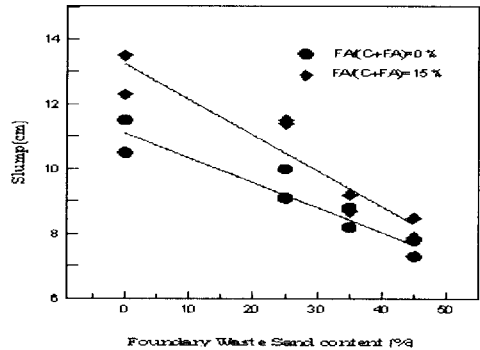


그림 1. 폐주물사 혼합률과 슬럼프의 관계

3.2 폐주물사 혼합률이 강도에 미치는 영향

폐주물사 혼합률이 콘크리트의 제강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 혼합률을 4수준으로 변화시켜 랜덤한 순서로 2회 반복하여 측정된 데이터를 분산분석을 실시한 결과 압축강도에 대한 폐주물사 혼합률의 영향은 유의수준이 재령 3일 13%, 재령 28일 1.4% 및 재령 56일에는 1.1%로 나타나 초기재령에서는 폐주물사 혼합률의 영향은 유의하지 않으나 재령이 증가할수록 폐주물사의 혼합률의 영향이 분명하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

폐주물사의 혼합률의 영향이 검정된 재령 28일 압축강도의 경우 폐주물사를 혼합하지 않은 수준의 모평균의 신뢰구간(신뢰율 95%)을 t검정을 통하여 분석한 결과 혼합률 25% 경우는 폐주물사를 혼합하지 않은 기준콘크리트의 신뢰구간을 상회하는 강도증진 효과가 나타났다.

또한 재령 28일에서의 쪼갬인장강도, 휨강도 및 탄성계수의 유의수준이 61%, 0.1% 및 5.8%로 나타나 쪼갬인장강도 및 탄성계수에 대한 폐주물사 혼합률의 영향은 유의하지 않았으며, 휨강도에 대한 혼합률의 영향은 명확함을 알 수 있다. 휨강도의 경우 폐주물사 혼합률 45%의 경우 기준콘크리트에 비해 21%의 강도감소가 나타났다.

다음은 폐주물사 혼합 콘크리트의 물성개선 및 자원재활용의 목적으로 플라이애쉬를 시멘트 중량에 대하여 15% 사용한 콘크리트의 영향을 분석하기 위하여 SAS 프로그램을 이용하여 분산분석을 실시한 결과를 정리한 것이 표 3이다.

표 3 분산분석 결과

Items	Source	DF	Sum of Squares	Mean of Squares	F Value	Pr > F
Compressive strength (7days)	FA/(C+FA) ratio	1	5005.56	5005.56	265.12	0.0001
	FWS/(S+FWS) ratio	3	356.19	118.73	6.29	0.0096
	Error	11	207.69	18.88		
	Corrected Total	15	5569.44			
Compressive strength (28days)	FA/(C+FA) ratio	1	2626.56	2626.56	13.46	0.0037
	FWS/(S+FWS) ratio	3	2166.19	722.06	3.71	0.0459
	Error	11	2141.19	194.65		
	Corrected Total	15	6933.94			
Splitting tensile strength	FA/(C+FA) ratio	1	0.95	0.95	0.40	0.5396
	FWS/(S+FWS) ratio	3	3.92	1.31	0.50	0.6577
	Error	11	26.08	2.37		
	Corrected Total	15	30.95			
Elastic modulus	FA/(C+FA) ratio	1	0.05	0.05	3.44	0.0906
	FWS/(S+FWS) ratio	3	0.16	0.05	3.67	0.0473
	Error	11	0.16	0.15		
	Corrected Total	15	0.37			

표 3의 분산분석 결과 재령 7일 및 28일의 압축강도에 대한 플라이애쉬의 혼합의 영향이 폐주물사의 혼합률 변화와 함께 나타나고 있음을 알 수 있으나 쪼갬인장강도에 대한 플라이애쉬의 영향은 유의한 차이가 없었다. 또한 탄성계수의 경우 플라이애쉬 혼합률의 변화는 유의한 차이가 없으나, 폐주물사의 혼합률의 변화는 콘크리트의 탄성계수에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

플라이애쉬를 혼합한 콘크리트 압축강도의 경우 재령 7일 및 재령 28일에 있어 폐주물사 혼합률 변화에 상관없이 플라이애쉬를 혼합하지 않은 콘크리트 비해 압축강도값이 감소하는 경향이 나타났다..

4. 결론

폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사를 혼합한 콘크리트의 제강도 특성을 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 폐주물사의 혼합률이 증가할수록 슬럼프는 비례적으로 감소하며, 플라이애쉬를 혼합한 경우 13% 정도 슬럼프 증진효과가 나타났다.
- (2) 압축강도에 대한 폐주물사 혼합률의 영향은 초기재령일 경우 유의한 차이를 보이지 않았으나, 재령이 증가할수록 혼합률의 영향이 유의하며, 혼합률 25%에서 강도증진 효과가 나타났다.
- (3) 휨강도에 대한 폐주물사의 혼합률의 영향은 유의수준 5%에서 유의하며, 혼합률 45%에서 21% 정도의 휨강도 감소가 나타났다.
- (4) 폐주물사를 혼합한 콘크리트의 압축강도에 대한 플라이애쉬의 영향은 유의수준 5%에서 유의하며, 재령 28일까지의 압축강도는 감소하는 경향이 나타났다.

참고문헌

1. “(녹색 환경의 나라) 건설을 위한 국가폐기물관리종합계획”, 환경부, 1996.
2. “주형종류별 폐주물사의 환경유해성 검토 및 적정 관리 방안 연구”, 한국자원재생공사, 1997.6.