

열병합발전소의 열원폐자재를 골재로 활용한 콘크리트특성에 관한 연구

The Study on Application of a Heat annexation power plant Source Waste Aggregate as Concrete Aggregate

이 명 효* 김 호 열** 임 남 기***
Lee, Myoung-Hyol Kim, Hyo-Youl Lim, Nam-Gi

Abstract

This study is as a part of the new disposal and recycling plans of heat-resource waste of Daegu dyeing industrial center we tried to examine applicable possibility of crushed thing(waste aggregate) as aggregates for mortar and concrete.

To examine applicable possibility of waste aggregate as a lightweight-aggregate for concrete and mortar, we carried this study by mainly property examination of concrete according to replacement ratio of waste aggregate.

We carried slump, unit weight, compressive strength and bending strength test according to replacement ratio of waste aggregate.

As the result of that, if we use waste aggregate, lightweight of concrete and mortar will be possible. Specially it shows a strength improvement effect of cement hardening according to using this so it is judged that applicable possibility as aggregate for concrete and mortar is very excellent.

키 워 드 : 열원 폐기물, 대구비산염색공단, 콘크리트용 골재, 적용성

Keywords : heat-source waste, Daegu Bisan dyeing-complex, aggregate for concrete, application

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

현재 활용되고 있는 콘크리트용 골재는 쇠석자갈과 해사와 같은 천연 골재로서 콘크리트 산업은 천연자원에 대한 의존도가 매우 높은 실정이다. 그러나 건설 산업의 발전에 의한 천연 골재의 고갈현상이 더욱 심화되고 있으며, 부분별한 골재자원의 개발은 심각한 환경문제를 유발하고 있는 실정이다.

이에 따라 천연 골재의 대체물을 개발하기 위한 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 특히 다양한 산업에서 발생하는 폐기물을 콘크리트용 골재로서 재활용하기 위한 연구는 폐기물의 재자원화를 통한 환경문제의 감소와 새로운 부가가치 창출의 측면에서 매우 유용한 방안으로서 평가되고 있다.

대구 비산 염색공단의 경우 발전(發電)을 위하여 열병합 발전소를 운영하고 있으며, 이곳에서 발생하는 열원 폐기물은 염색 산업의 발전과 함께 지속적으로 증가하는 추세에 있다.

이러한 열원 폐기물은 유·무연탄의 소각재로써 그 생성과정은 화력발전소의 바텀 애쉬와 유사하나, 일반적인 화력발전소에서는 연료를 분말상태로 투입하는 것에 비하여 이곳에서

는 피상의 연료를 이용함으로써 발생하는 폐기물의 성상은 큰 차이를 나타내고 있다. 또한 대구 비산 염색공단의 열병합 발전소 내부온도는 약 1400℃이상이므로 열원 폐기물이 로 내에서 재용융과정을 거치게 됨으로 그 조직이 매우 치밀하고 또한 연소 시 발생하는 가스로 인한 다수의 공극을 내포한 열원폐기물을 발생시킨다.

이를 분쇄하여 입도조정을 할 경우 콘크리트용 골재로서 활용 할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 잔골재로 활용한 연구는 이미 진행된 바 있다.

따라서 본 연구에서는 대구 염색공단의 열원 폐재 파쇄물의 활용 가능성을 검토하기 위하여, 본 연구에서는 열원 폐기물을 수거하여 조분쇄기를 이용하여 분쇄한 후 입도 조정된 폐기물 골재를 이용하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

콘크리트용 굵은 골재로서 대구 염색공단 열원 폐재 파쇄물의 활용 가능성을 검토하기 위하여, 본 연구에서는 열원 폐기물을 수거하여 조분쇄기를 이용하여 분쇄한 후 입도 조정된 폐기물 골재를 이용하였다.

시험체는 폐기물 잔골재의 치환율을 0%와 100%로 구분하여 쇠석골재의 체적에 대하여 폐기물 굵은 골재의 치환율을 각각 0%~100%의 범위에서 20% 구간으로 변화하여 제작한 콘크리트를 이용하여 실험을 실시하였다.

실험은 폐기물 골재를 사용한 콘크리트의 유동성 평가를 위한 슬럼프 시험과 경화 콘크리트의 단위용적중량 및 압축

* 동명정보대학교 건축대학원 석사과정, 정희원

** 동명정보대학교 건축공학과 겸임교수, 정희원

*** 동명정보대학교 건축대학 조교수, 정희원

인장강도 시험을 실시하였다.

이상의 결과를 비교분석하여 폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 물성을 비교검토하여 콘크리트용 굵은 골재로써 폐기물 골재의 활용가능성을 제시하는 것까지를 본 연구의 범위로 한다.

2. 실험

2.1 실험 인자 및 수준

콘크리트용 골재로서 폐기물 골재의 적용성을 검토하기 위하여 설정한 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험인자	수준	수준수
W/C(%)	50	1
치환율(%)	잔골재	0, 100
	굵은골재	0, 20, 40, 60, 80, 100
총 수준수		12

2.2 콘크리트의 배합

폐기물 잔골재 및 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 배합은 표 2와 같다

표 2. 콘크리트의 배합

치환율(%)		배합량(kg/m ³)					
잔골재	굵은골재	C(kg)	W(kg)	WG	G	WS	S
0	0	360	180	-	1011	-	820
	20			137	809	-	820
	40			274	607	-	820
	60			410	404	-	820
	80			547	202	-	820
	100			684	-	-	820
100	0	360	180	-	1011	666	-
	20			137	809	666	-
	40			274	607	666	-
	60			410	404	666	-
	80			547	202	666	-
	100			684	-	666	-

2.3 사용재료

1) 시멘트

국내 S사에서 생산한 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학조성 및 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 시멘트의 화학조성 및 물리적 성질

화학 조성	화학성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
	함량(%)	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58
물리적 성질	비표면적 (cm ² /g)	비중	응결시간		압축강도(kg/cm ²)			
			초결	종결	3일	7일	28일	
	3,112	3.15	4시간	6시간	198	272	389	

2) 골재

① 천연골재

잔골재 및 굵은 골재는 하동산 강모래와 경남 진해산 쇄석 자갈을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4. 잔골재의 물리적 성질

항목 종류	비중	흡수율 (%)	조립률 (FM)	단위용적 중량(kg/m ³)	실적율
잔골재	2.56	2.29	2.36	1575	61.0
굵은골재	2.69	1.05	6.09	1461	-

② 폐기물 골재

폐기물 골재는 대구 비산 염색공단에서 발생하는 과상의 열원 폐재를 수집하여 조분쇄기로 파쇄한 분쇄물을 입도조정한 것으로 그 화학조성 및 물리적 성질은 표 5, 표 6과 같다. 폐기물 골재의 입도는 천연골재와 동일하도록 조정하여 사용하였다.

표 5. 폐기물 골재의 화학조성

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	L.O.I
함량(%)	54.12	11.46	5.21	11.26	0.35	0.35	1.08	0.41	15.76

표 6. 폐기물 골재의 물리적 성질

항목 종류	비중	흡수율 (%)	안정성 (%)	유기 불순물	단위용적 중량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.08	14.40	7.1	양호	1301	5.0
굵은골재	1.82	7.82	-	양호	0.822	0.7

3) 배합수

배합수는 부산광역시 상수도 물을 사용하였다.

2.4 시험체 제작 및 시험방법

1) 시험체 제작

콘크리트의 배합 및 시험체의 제작은 KS F 2403에 준하여 실시하였으며, 시험체의 양생은 24시간 기건양생 후 탈형하여 재령 28일까지 20±3℃의 수중양생 하였다.

2) 실험항목 및 적용 기준

실험은 폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 물성을 검토하기 위한 실험항목 및 적용기준은 표 7과 같다.

표 7. 실험항목 및 적용 기준

실험항목	적용 기준
슬럼프 시험	KS F 2402
단위용적중량	KS F 2462
압축강도 시험	KS F 2405
인장강도 시험	KS F 2423

3. 실험결과 및 고찰

폐기물 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 슬럼프, 단위용적중량 및 압축인장강도 시험을 실시한 결과는 표 8과 같다.

표 8. 시험결과

잔골재	치환율(%)	슬럼프 (cm)	단위용적중 량(t/m ³)	압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
	굵은골재				
0	0	11.3	2.31	25.5	2.6
	20	11.5	2.25	25.8	2.7
	40	11.9	2.19	25.7	2.6
	60	10.2	2.13	28.4	2.6
	80	9.5	2.06	28.3	2.4
	100	9.5	2.00	28.1	2.3
100	0	11.5	2.17	25.4	1.9
	20	9.8	2.10	25.9	2.4
	40	9.5	2.04	27.7	2.6
	60	10.4	1.98	24.5	2.2
	80	10.4	1.92	22.5	2.1
	100	9.5	1.85	19.6	1.8

3.1 슬럼프

폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 슬럼프 시험결과는 그림 1, 그림 2 및 그림 3과 같다.

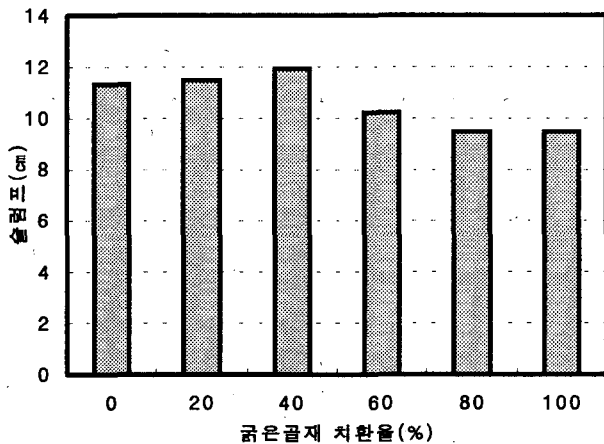


그림 1. 슬럼프 (잔골재 치환율 0%)

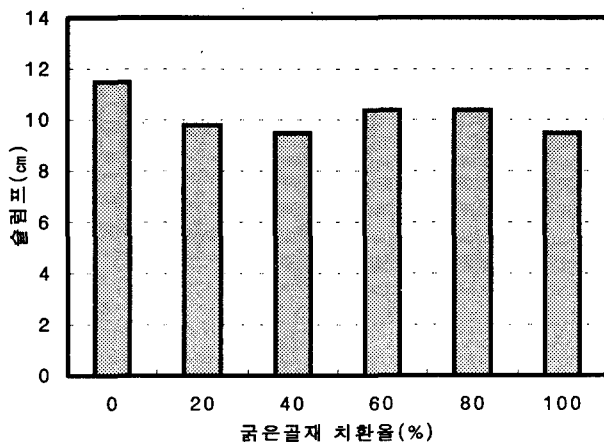
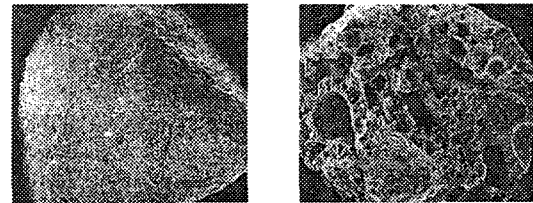


그림 2. 치환율에 따른 슬럼프(잔골재 치환율 100%)

폐기물 잔골재 치환율 0%의 경우, 폐기물 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 슬럼프 값은 굵은 골재의 치환율 40% 이내의 범위에서는 다소 증가하는 양상을 나타내었다. 그러나 치환율 60% 이상의 범위에서는 굵은 골재의 치환율이 증가함에 따라 슬럼프 값은 감소하는 것으로 측정되었다.

폐기물 잔골재 치환율 100%의 경우, 폐기물 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 슬럼프 값은 플레인 콘크리트에 비하여 모든 조건에서 낮은 것으로 측정되었다. 폐기물 굵은 골재 치환율 60%와 80%의 경우는 비교적 우수한 것으로 나타났으나 타 조건과 비교할 경우 그 차이는 크지 않은 것으로 측정되었다.

폐기물 골재를 사용함에 따라 콘크리트의 유동성이 감소하는 현상은 사진 1과 같이 폐기물 골재가 다량의 공극을 내포하고 있고 또한 표면형상이 매우 불량하여 나타나는 현상으로 판단된다.



(가) 강모래 (나) 폐기물 모래

사진 1. 폐기물 모래의 표면형상(SEM, ×20)

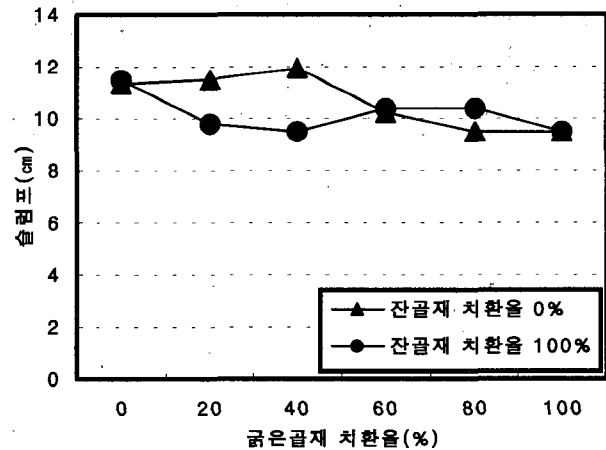


그림 3. 잔골재 치환율에 따른 슬럼프

콘크리트 잔골재를 강모래를 사용한 경우와 폐기물 잔골재를 사용한 경우의 폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 슬럼프 시험결과는 폐기물 굵은 골재의 치환율이 변화함에 따라 다소 상이한 결과를 나타내었다. 폐기물 굵은 골재의 치환율 40%이내의 범위에서는 강모래만을 사용한 경우가 폐기물 잔골재를 사용한 경우보다 슬럼프 값이 높았으며, 그 이상의 범위에서는 유사한 것으로 측정되었다.

이상과 같이 폐기물 골재를 사용함에 따라 콘크리트의 유동성은 감소하는 것으로 나타나, 콘크리트용 골재로서 폐기물 골재를 사용할 경우 Pre-wetting 등의 방안을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 단위용적중량

폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 단위용적중량 시험결과는 그림 4, 그림 5 및 그림 6과 같다.

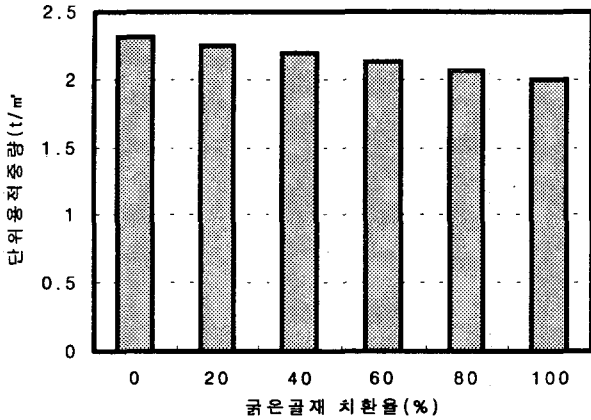


그림 4. 단위용적중량(잔골재 치환율 0%)

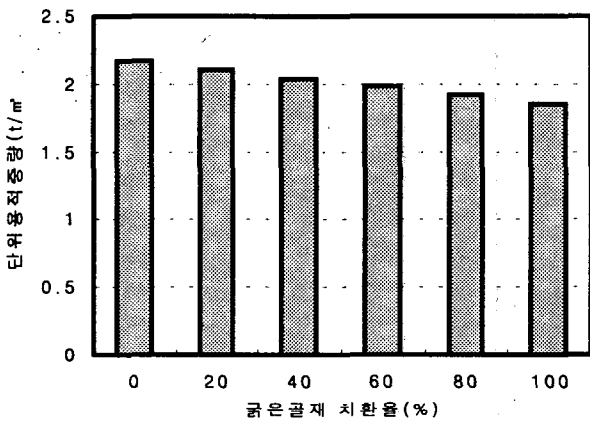


그림 5. 단위용적중량(잔골재 치환율 100%)

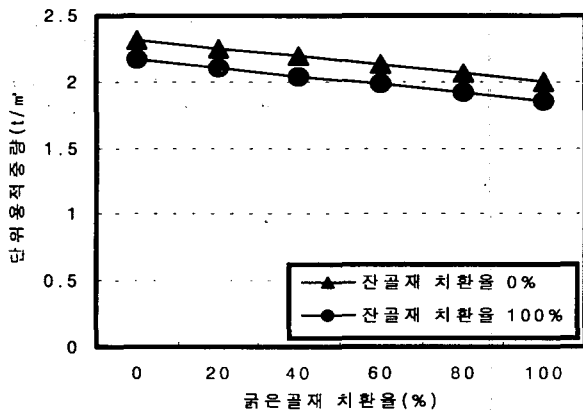


그림 6. 잔골재 치환율에 따른 단위용적중량

콘크리트용 잔골재로서 강모래를 사용한 경우, 폐기물 굵은 골재의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 단위용적중량은 감소하는 것으로 측정되었으며, 이러한 양상은 폐기물 잔골재를 사용한 경우도 유사한 것으로 나타났다.

폐기물 굵은 골재의 치환율이 20%씩 증가함에 따라 콘크리트

리트의 단위용적중량은 폐기물 잔골재 치환율 0%와 100% 모두에서 약 3% 정도 콘크리트의 단위용적중량이 감소하는 것으로 나타났다. 콘크리트의 단위용적중량의 감소효과는 폐기물 모래의 치환율 0% 보다 100%의 경우가 더욱 큰 것으로 나타났다.

일반적으로 콘크리트의 단위용적중량이 2.0t/m³ 이하인 콘크리트를 경량 콘크리트라 하며, 경량콘크리트의 단위용적중량 1.7~2.0의 범위는 경량 콘크리트 1종, 1.4~1.7의 범위를 나타내는 콘크리트는 경량 콘크리트 2종으로 명명하고 있다. 폐기물 잔골재의 치환율 0%의 경우는 폐기물 굵은 골재의 치환율 100%의 경우만이 경량 콘크리트 1종의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 폐기물 잔골재의 치환율 100%의 경우는 폐기물 굵은 골재의 치환율 60% 이상의 범위에서 경량 콘크리트의 제도가 가능한 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 폐기물 골재는 콘크리트의 단위용적중량 감소효과를 발휘하는 것으로 나타났으며, 경량콘크리트를 제조하기 위한 경량 골재로 활용하기 위해서는 폐기물 잔골재와 굵은 골재를 병용하여 사용하는 것이 더욱 효과적일 것으로 판단된다.

3.3 압축강도

폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 시험결과는 그림 7, 그림 8 및 그림 9와 같다.

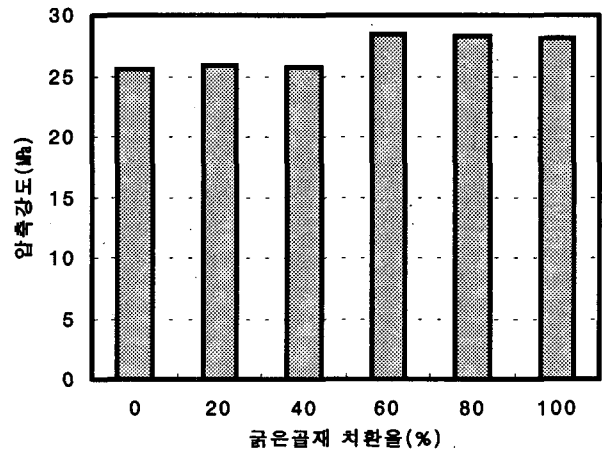


그림 7. 압축강도 (잔골재 치환율 0%)

폐기물 잔골재의 치환율 0%의 경우, 폐기물 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 폐기물 굵은 골재의 치환율 40% 이내의 범위에서는 플레인 콘크리트와 유사한 것으로 측정되었다. 그러나 치환율 60% 이상의 범위에서는 플레인 콘크리트의 압축강도에 비하여 높은 것으로 측정되었으며 치환율의 증가에 따른 차이는 적은 것으로 나타났다. 폐기물 굵은 골재의 치환율 60% 이상의 범위에서의 압축강도는 플레인 콘크리트에 비하여 평균 약 11% 정도 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

폐기물 잔골재 치환율 100%의 경우는 폐기물 굵은 골재의 치환율 40%이내의 범위에서는 플레인 콘크리트의 압축강도에 비하여 높은 것으로 측정되었으나, 60%이상의 범위에서는

감소하는 것으로 나타났다. 폐기물 굵은 골재를 40% 치환하여 제작한 콘크리트의 압축강도가 가장 높은 것으로 측정되었으며, 플레인 콘크리트의 압축강도 대비 약 9% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

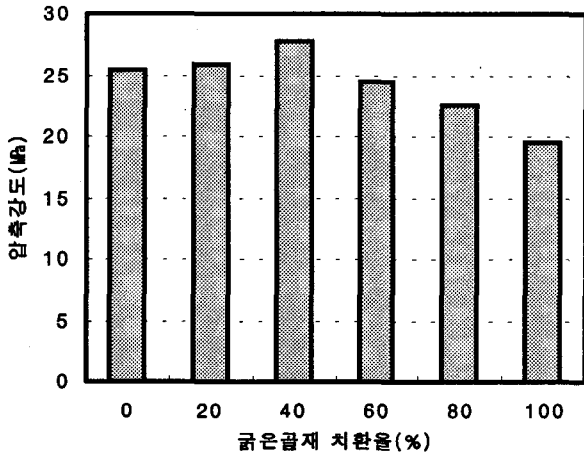


그림 8. 압축강도 (잔골재 치환율 100%)

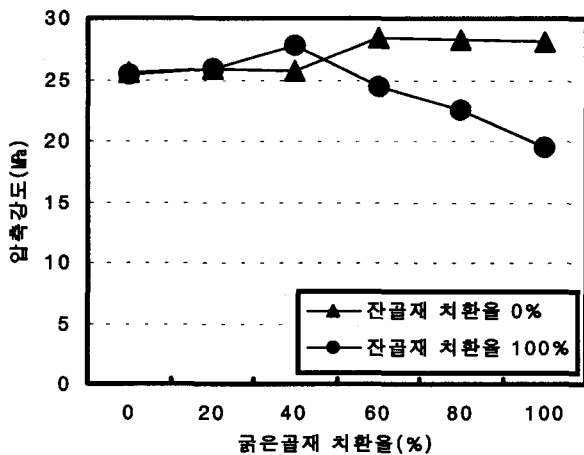


그림 9. 치환율에 따른 압축강도

폐기물 잔골재 치환율 0%와 100%의 경우 폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 압축강도 시험결과를 비교하여 볼 때, 폐기물 잔골재 치환율 100%의 경우는 폐기물 굵은 골재의 치환율이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 폐기물 굵은 골재만을 치환하여 사용한 경우는 플레인 콘크리트의 압축강도에 비하여 높은 것으로 측정되었다.

따라서 콘크리트의 압축강도를 유지하는 범위에서 폐기물 골재를 사용한다면 폐기물 잔골재의 치환율 0%에서는 천연 굵은 골재를 모두 폐기물 골재로 치환하여 사용하더라도 무방할 것으로 판단된다. 그러나 폐기물 잔골재 치환율 100%의 경우에는 폐기물 굵은 골재의 치환율이 최대 40%를 넘지 않는 범위에서 사용되어야 할 것으로 판단된다.

일반적으로 다공질을 내포한 경량골재를 사용할 경우 플레인 콘크리트에 비하여 압축강도가 저하하는 것이 보편적이나 폐기물 골재의 사용 시 압축강도가 증가하는 것은 폐기물 골

재가 고온용융과정을 통해 생성됨에 따라 그 조직이 매우 치밀하고 또한 표면 형상이 천연골재에 비하여 매우 거칠어 시멘트 페이스트와의 부착강도가 증가하여 나타나는 현상으로 판단된다.

3.4 인장강도

폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 인장강도 시험결과는 그림 10, 그림 11 및 그림 12와 같다.

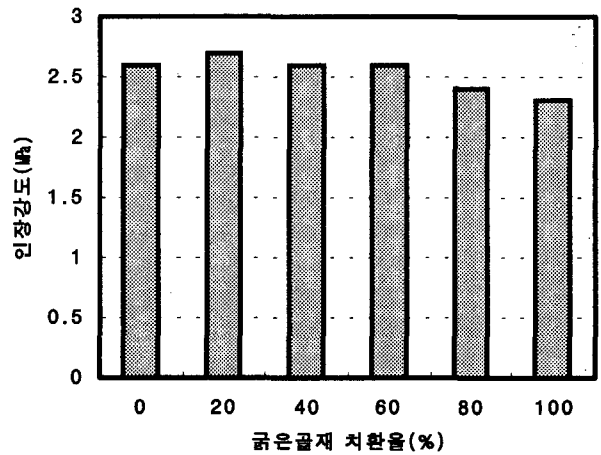


그림 10. 인장강도 (잔골재 치환율 0%)

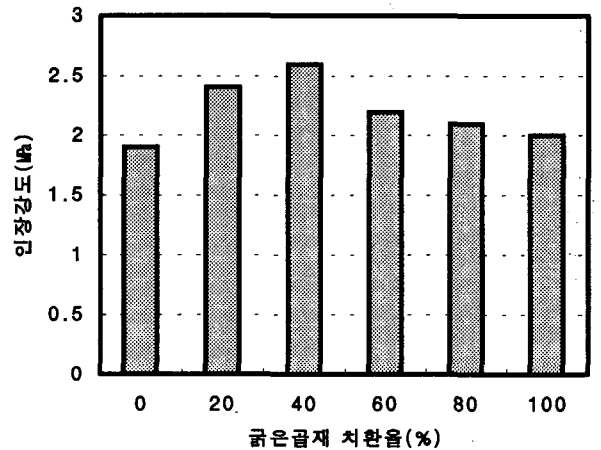


그림 11. 인장강도 (잔골재 치환율 100%)

폐기물 잔골재의 치환율 0%의 경우, 폐기물 굵은 골재의 치환율 60% 이내의 범위에서는 플레인 콘크리트와 인장강도가 유사한 것으로 나타났다. 그러나 치환율 80%와 100%의 경우는 플레인 콘크리트에 비하여 낮은 것으로 측정되었다. 폐기물 굵은 골재 치환율 80%와 100%인 경우의 인장강도는 플레인 콘크리트 대비 각각 약 92%, 88%로서 천연 골재를 폐기물 굵은 골재로 전량 치환함에 따라 각각 약 8%와 12% 정도 인장강도가 감소하는 것으로 나타났다.

폐기물 잔골재의 치환율 100%의 경우, 폐기물 굵은 골재의 치환율 80% 이내의 범위에서는 인장강도가 플레인 콘크리트에 비하여 높은 것으로 측정되었으나, 100%의 경우는 플레인 콘크리트 보다 낮은 것으로 나타났다. 인장강도는 쉐석 자갈

에 대하여 폐기물 굵은 골재를 20%와 40% 치환하여 제작한 콘크리트의 경우가 비교적 우수한 것으로 나타났으며, 치환율 20%의 인장강도는 약 2.4Mpa, 치환율 40%는 약 2.6Mpa로서 플레인 콘크리트에 비하여 각각 약 26%, 37% 정도 높은 것으로 측정되었다.

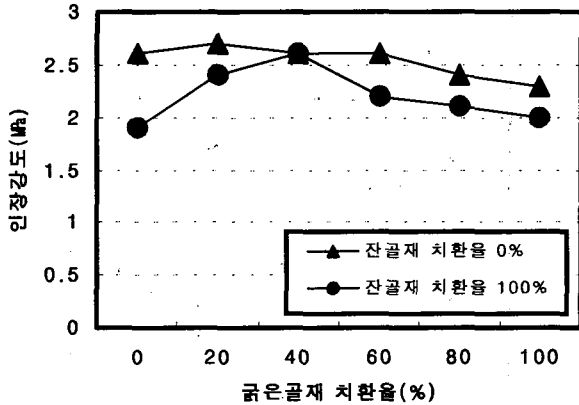


그림 12. 잔골재 치환율에 따른 인장강도

폐기물 잔골재 치환율 0%와 100%의 경우 폐기물 굵은 골재의 치환율에 따른 콘크리트의 인장강도는 상이한 결과를 나타내었다. 그러나 대체로 폐기물 골재를 사용한 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 비하여 약 8~10% 정도의 범위를 나타내고 있어 보통 콘크리트의 강도발현 특성과 유사한 것으로 나타났다. 폐기물 굵은 골재와 잔골재 모두를 사용한 경우, 인장강도가 다소 증가하는 현상은 폐기물 골재 내부의 공극이 재하 충격에 대한 완화효과를 발휘함으로써 나타나는 현상으로 판단되며, 이에 대해서는 추후 면밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다.

4. 결론

콘크리트용 골재로서 폐기물 골재의 활용가능성을 검토하기 위하여 콘크리트의 적용성 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폐기물 골재를 사용한 콘크리트의 유동성이 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 폐기물 모래의 매우 거친 표면형상에 기인한 것으로 판단된다
- 2) 폐기물 골재를 사용함에 따라 콘크리트의 단위용적중량은 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 폐기물 모래의 내부 공극에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트용 골재로 활용함에 따라 콘크리트의 중량 감소 효과를 발휘 할 것으로 기대된다.
- 3) 압축강도 시험결과, 폐기물 잔골재 치환율 100%의 경우는 폐기물 굵은 골재의 치환율이 증가함에 따라 압축강도는 감소하였으나 잔골재 치환율 0%는 플레인 콘크리트의 압축강도에 비하여 높았다.

4) 폐기물 잔골재의 치환율 0%에서는 폐기물 굵은 골재 치환율 100%, 폐기물 잔골재 치환율 100%는 굵은 골재 치환율 40%이내의 범위에서 압축강도가 플레인 콘크리트와 유사하거나 높았다.

5) 폐기물 골재를 사용한 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 비하여 약 8~10% 정도의 범위를 나타내고 있어 보통 콘크리트의 강도발현 특성과 유사한 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 폐기물 골재를 사용함에 따라 콘크리트의 경량화가 가능할 것으로 보이며, 특히 소정의 조건에서 압축강도 및 인장강도의 증가 효과를 나타내어 콘크리트용 골재로서 활용성이 매우 우수한 것으로 판단된다.

향후 폐기물 골재에 대한 다양한 연구가 이루어진다면 대구 비산 염색공단 열원 폐기물의 새로운 처리방안 및 재활용 방안의 수립이 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 서치호, 구조용 경량 콘크리트-경량 콘크리트의 재료적 특성, 콘크리트학회지, 1998
2. 이한승, 구조용 경량 콘크리트의 발전과 전망, 콘크리트학회지, 1991
3. 서치호, 경량 콘크리트의 발전과 전망, 콘크리트학회지, 1991
4. 박성무, 구조용 경량 콘크리트-경량 콘크리트의 역학적 특성, 콘크리트학회지, 1998
5. 정상진 외, 고강도 인공경량골재의 기초성상에 관한 연구, 한국레미콘공업협회, 레미콘지, 2002
6. 강 훈, 고강도-경량 콘크리트의 배합설계 방안 및 역학적 특성에 관한 연구, 한국레미콘공업협회, 레미콘지, 2002
7. 서치호 외, 고유동 경량 골재콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제17권 4호
8. 이충언, 폐기물 모래를 혼입한 모르타의 물성에 관한 실험적 연구, 대한 건축학회 논문집, 제17권 4호
9. 신성우, 구조용 경량 콘크리트의 적용사례 및 전망, 콘크리트학회지, 1998
10. 박윤근, 구조용 경량 콘크리트의 연구 동향, 콘크리트 학회지, 1998
11. 김화중, 인공경량골재 콘크리트의 배합과 역학적 성상에 관한 실험적 연구, 봄 학술 발표회 논문집, 1991
12. 서치호, 인공경량골재의 개발현황과 특성, 콘크리트학회지, 1991