

콘크리트용 잔골재로서 폐기물 모래의 적용성에 관한 연구

A Study on Application of Waste Sand as Concrete Fine Aggregate

○ 윤 장 길* 김 호 열** 임 남 기***
Youn, Jang-Kil Kim, Hyo-Youl Lim, Nam-Gi

Abstract

To the development on reusing method of the heat-source waste at Daegu Bisan dyeing-complex, this study is aimed to application of it's crushing material (hereafter waste sand) as concrete fine aggregate.

The results are as follows ;

1. Flow and unit weight of mortar using waste sand as concrete fine aggregate are decreased.
2. At the results of compressive strength test and bending strength test, mortar using waste sand superior to plain mortar within 80% substitute ratio of waste sand. Because increasing rate of compressive strength is similar through increasing age, waste sand performs as filler's funtion of no-effect with cement only.
3. At the results of concrete application test, unit weight of concrete using waste sand is similar to plain concrete and compressive strength of concrete is superior to plain likewise the results of mortar test

키 워 드 : 열원 폐기물, 대구비산염색공단, 파쇄물, 잔골재, 적용성

Keywords : heat-source waste, Daegu Bisan dyeing-complex, crushing material, fine aggregate, application

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

콘크리트 구성재료 중 골재는 콘크리트 전체 용적의 65~85%를 차지하고 있으며, 골재의 품질은 콘크리트의 물성에 매우 큰 영향을 미친다. 현재 활용되고 있는 골재는 석석 자갈과 해사와 같은 천연 골재이므로 콘크리트 산업은 천연 자원에 대한 의존도가 매우 높다. 따라서 건설 산업의 발전에 따른 천연 골재의 고갈현상은 심화되고 있으며, 무분별하게 행해지는 골재자원의 개발은 심각한 환경문제를 유발하고 있는 실정이다.

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

한편 대구 비산 염색공단에서는 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 생성과

정은 화력발전소의 바텀 애쉬와 유사하나, 일반적인 화력발전소에서는 연료를 분말상태로 투입하는 것에 비하여 이곳에서는 과상의 연료를 이용함으로써 발생하는 폐기물의 성상은 큰 차이를 나타내게 된다. 또한 대구 비산 염색공단의 열병합 발전소 내부온도는 약 1400℃ 이상으로써 열원 폐기물이 로 내에서 재용융과정을 거치게 됨으로 그 조직이 매우 치밀하고 또한 연소 시 발생하는 가스로 인하여 열원 폐기물 내부에 다수의 공극을 내포하게 된다.

따라서 이들 과상의 폐기물을 파쇄 시 콘크리트용 잔골재 및 굵은 골재로서 재이용이 가능할 것으로 판단되며, 또한 내부공극으로 인한 콘크리트의 중량감에도 상당한 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 대구 비산 염색공단의 열원 폐기물의 새로운 처리방안 및 재활용 방안에 관한 연구의 일환으로서, 이의 파쇄물(이하 폐기물 모래)을 모르터 및 콘크리트용 잔골재로서의 활용가능성을 검토하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

콘크리트 및 모르터용 경량 잔골재로서 폐기물 모래의 활용가능성을 검토하기 위하여, 본 연구는 크게 폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 물성검토와 콘크리트 물성검토의 두 단계로 나누어 실시하였다.

폐기물 모래의 치환율은 콘크리트와 모르터 모두에서 강모래 중량에 대하여 0%~100%의 범위에서 20% 구간으로 변화하였다.

* 동명정보대학교 건축대학원 석사과정, 정희원

** 동명정보대학교 건축공학과 겸임교수, 정희원

*** 동명정보대학교 건축대학 조교수, 정희원

폐기물 모래를 사용한 모르터의 시험은 폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 단위용적중량, 재령별 압축강도·휨강도 및 열전도율 시험을 행하였으며, 콘크리트 시험은 단위용적 중량 및 압축강도 시험을 실시하였다.

이상의 결과를 비교·분석하여 콘크리트 및 모르터용 경량 잔골재로서 폐기물 모래의 적용성에 관한 기초 자료를 제시하는 것까지를 본 연구의 범위로 하였다.

2. 실험

2.1 실험 인자 및 수준

모르터 및 콘크리트용 잔골재로서 폐기물 모래의 적용성을 검토하기 위하여 설정한 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

구분	실험인자	수준
모르터 시험	배합비	1 : 3
	골재	강모래, 폐기물 모래
	치환율(%)	0, 20, 40, 60, 80, 100
	실험 항목	단위용적중량, 압축강도, 열전도율 시험
콘크리트 시험	W/C(%)	50
	치환율(%)	0, 20, 40, 60, 80, 100
	실험항목	단위용적중량, 압축강도

2.2 모르터 및 콘크리트의 배합

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터 및 콘크리트의 배합은 표 2와 같다

표 2. 모르터 및 콘크리트의 배합

모르터 배합	배합비	W/C (%)	치환율 (%)	배합량 (kg/m ³)			
				W	C	WS	S
1:3	55	270	490	0	-	-	1471
				20	239	-	1177
				40	478	-	883
				60	717	-	588
				20	956	-	294
				100	1195	-	-
콘크리트 배합	50	180	360	1014	0	-	790
					20	128	632
					40	257	474
					60	385	316
					20	514	158
					100	642	-

2.3 사용재료

1) 시멘트

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

표 3. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

화학 조성	화학성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.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) 잔골재

(1) 강모래

강모래는 경남 하동산으로서, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 또한 골재의 입도변화에 따른 모르터의 물성변화를 배제하기 위해, KS F 2502 「골재의 채가름 시험방법」에 준하여 입도조정 하였으며, 그 입도분포는 그림 1과 같다.

표 4. 잔골재의 물리적 성질

항목	비중	흡수율 (%)	조립률 (FM)	단위용적 중량(kg/m ³)	실적율
하동산 강모래	2.56	2.29	2.36	1575	61.0

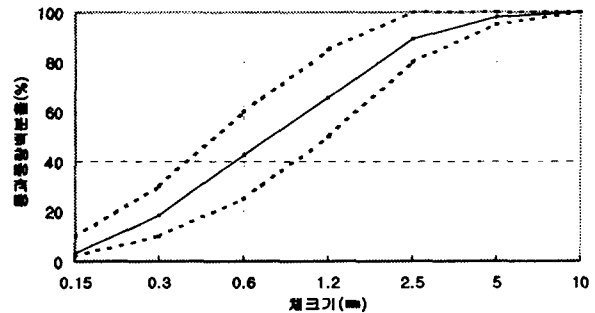


그림 1. 잔골재의 입도곡선

(2) 폐기물 모래

폐기물 모래는 대구비산 염색공단에서 열원으로 사용 후 발생하는 과량의 폐기물을 파쇄한 것을 이용하였으며, 그 화학조성 및 물리적 성질은 표 5와 같다. 또한 폐기물 모래의 입도는 일반 골재와 동일하도록 조정하여 사용하였다.

표 5. 폐기물 모래의 화학조성 및 물리적 성질

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
비중	흡수율 (%)	안정성 (%)	유기 불순물	단위용적중량 (kg/m ³)	0.08mm채 통과량(%)				
	2.08	14.40	7.1	양호	1301	5.0			

3) 굵은 골재

본 실험에 사용된 굵은골재는 경상남도 진해 석산의 쇄석으로 최대치수 19mm 이하로 입도 조정하였다. 굵은골재의 물리적 성질은 표 6과 같다.

표 6. 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질

비중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)	유기 불순물	단위용적 중량(kg/m)	실적율 (%)
2.69	1.05	6.09	양호	1461	58.7

4) 배합수

배합수는 부산시 상수도 물을 사용하였다.

2.4 시험체 제작 및 시험방법

1) 시험체 제작

모르터의 혼합은 모르터용 믹서를 사용하였으며, 재료 투입 전에 믹서의 표면에 동일 배합의 시멘트 모르터를 도포함으로써 시멘트 페이스트에 의한 실험 오차를 줄일 수 있도록 하였다.

모르터 압축강도 시험체는 5×5×5cm의 입방공시체, 콘크리트 압축강도 시험체는 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체를 제작하였다.

2) 실험항목 및 적용 기준

실험은 폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 플로우, 단위용적중량, 재령별 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하였으며, 콘크리트의 단위용적중량 및 재령 28일의 압축강도를 시험하였다. 실험항목 및 적용기준은 표 7과 같다.

표 7. 실험항목 및 적용 기준

실험항목	적용 기준
플로우 시험	KS L 5111
단위용적중량	KS F 2462
압축 및 휨강도 시험	KS L 5105
열전도율시험	ASTM D 2326, JIS R 2618

3. 실험결과 및 고찰

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 플로우, 단위용적중량, 압축강도·휨강도 및 열전도율시험, 콘크리트의 단위용적중량 및 압축강도시험을 실시한 결과는 표 8과 같다.

표 8. 시험결과

치환율 (%)	모르터 적용성 시험									콘크리트 적용성 시험	
	플로우 (cm)	단위용적중량 (t/m)	압축강도 (kgf/cm ²)			휨강도 (kgf/cm ²)			열전도율 (kcal/mh ² C)	단위용적중량 (t/m)	압축강도 (kgf/cm ²)
			3일	7일	28일	3일	7일	28일			
Plain	16.3	1.93	133	215	268	28	38	43	0.5256	2.29	340
20	16.2	1.90	129	217	279	26	38	41	0.4755	2.28	385
40	16.0	1.87	163	246	322	28	40	43	0.4518	2.25	373
60	14.9	1.79	149	216	286	30	41	44	0.4147	2.24	367
80	14.0	1.69	152	235	288	28	38	43	0.3944	2.21	357
100	12.9	1.61	137	210	266	26	35	37	0.3906	2.17	332

3.1 모르터 적용성 시험

1) 플로우

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 플로우 시험결과는 그림 2와 같다.

폐기물 모래를 치환함에 따라 모르터의 플로우는 감소하는 것으로 나타났으며 이는 사진 1과 같이 폐기물 모래의 다공질 구조에 의한 높은 흡수율과 강모래 입자표면 형상에 비하여 매우 거칠어 나타나는 현상으로 판단된다.

따라서 콘크리트용 잔골재로서 폐기물 모래를 적용할 경우, 일반적인 경량골재의 배합시 적용되는 Pre-wetting 등의 방안을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

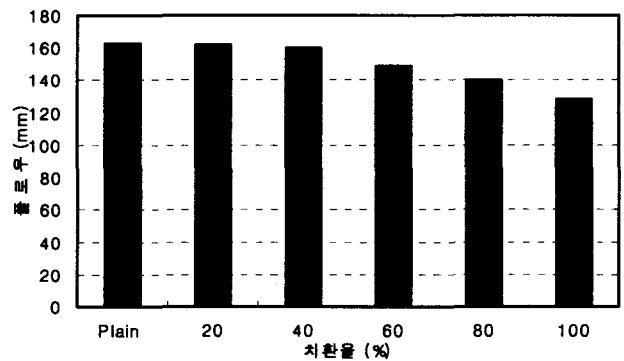
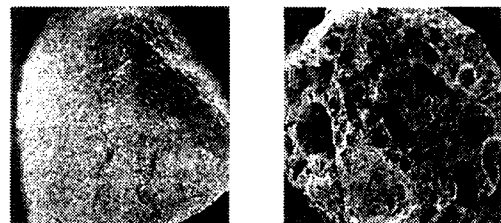


그림 2. 플로우



(가) 강모래 (나) 폐기물 모래

사진 1. 폐기물 모래의 표면현상(SEM, ×20)

2) 단위용적중량

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 단위용적중량 시험결과는 그림 3과 같다.

강모래만을 사용한 모르터(이하 플레인 모르터)의 단위용

적중량은 약 1.93t/m³로 측정되었으며, 폐기물 모래를 치환함에 따라 단위용적중량은 다소 감소하는 것으로 나타났다. 폐기물 모래의 치환율이 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 증가함에 따라 모르터의 단위용적중량은 각각 1.9t/m³, 1.87t/m³, 1.79t/m³, 1.69t/m³, 1.61t/m³로 변화하였으며, 폐기물 모래의 치환율의 증가에 따른 단위용적중량은 치환율 20%와 40%까지는 치환율이 20% 변할 때마다 약 2%, 3%정도 감소한 것으로 나타났지만, 플레인 모르터와 큰 차이가 없는 것으로 측정되었다.

그러나, 폐기물 모래의 치환율이 60%이상 일 경우 약 8%, 14%, 20% 정도 감소하는 것으로 측정되어, 단위용적중량의 감소폭이 비교적 큰 것으로 나타났다. 따라서 폐기물 모래의 치환율이 증가함에 따라 모르터의 단위용적중량도 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 폐기물 모래의 입자가 다양한 크기의 공극을 내포한 다공질 구조에 기인한 것으로 추정된다. 추후 콘크리트용 잔골재로서 폐기물 모래를 이용할 경우 콘크리트의 경량화가 가능할 것으로 판단되며, 치환율 60%이상을 적용할 경우 단위용적중량이 크게 감소할 것으로 예상된다.

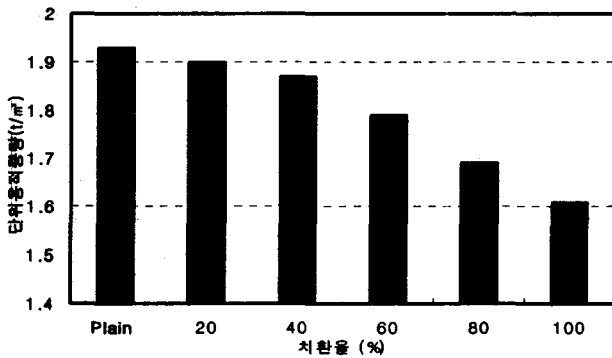


그림 3. 모르터의 단위용적중량

3) 압축강도

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 재령별 압축강도 시험결과는 그림 4와 같다.

폐기물 모래를 사용한 모르터의 압축강도는 치환율 20~80% 이내의 범위에서는 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 치환율 100%의 경우는 플레인 모르터와 유사한 것으로 측정되었다. 특히 폐기물 모래 치환율 40%의 경우는 플레인 콘크리트에 비하여 약 20%의 강도증진효과를 발휘하는 것으로 측정되어 압축강도의 발현특성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 일반적으로 다공질을 내포한 경량골재를 사용할 경우 플레인 콘크리트에 비하여 압축강도가 저하하는 것이 보편적이거나 폐기물 모래의 사용시 압축강도가 플레인 모르터보다 높게 나타난 것은 폐기물 모래가 고온용융과정을 통해 생성됨에 따라 그 조직이 매우 치밀하여 나타난 현상으로 판단된다.

또한 폐기물 모래를 사용한 모르터의 재령의 증가에 따른 압축강도 증가비율은 비교적 일정한 것으로 나타나 폐기물 모래는 시멘트 경화체와의 반응성이 전혀 없는 불활성 충전재로서의 역할만을 하는 것으로 나타났다.

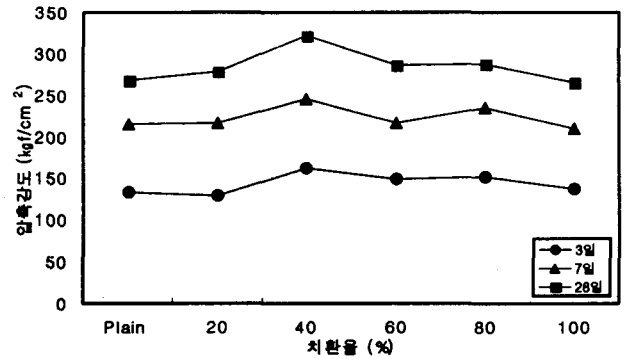


그림 4. 모르터의 압축강도

4) 휨강도

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 재령별 휨강도 시험결과는 그림 5와 같다.

폐기물 모래의 치환율에 따라 모르터의 휨강도는 플레인 모르터와 다소 차이를 나타내었으나, 그 변화폭은 매우 작았다. 또한 재령의 변화에 따른 휨강도의 발현비율은 비교적 일정한 것으로 측정되어 압축강도 시험결과와 마찬가지로 폐기물 모래는 모르터 내에서 불활성 충전재로서의 역할만을 발휘하는 것으로 나타났다.

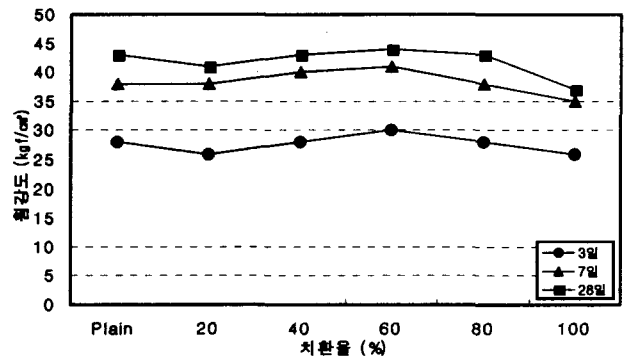


그림 5. 모르터의 휨강도

5) 열전도율

폐기물 모래의 치환율에 따른 모르터의 열전도율 시험결과는 그림 6과 같다.

폐기물 모래를 사용한 모르터의 열전도율은 플레인 모르터에 비하여 낮은 것으로 측정되었으며, 폐기물 모래의 치환율이 증가함에 따라 열전도율은 일정 비율로서 감소하는 것으로 나타났다.

폐기물 모래 치환율 80%이내의 범위에서는 폐기물 모래의 치환율이 20%씩 증가함에 따라 약 5.2% 정도 열전도율이 감소하는 것으로 나타났으며, 치환율 100%의 경우는 80%와 유사한 것으로 측정되었다.

폐기물 모래를 사용함에 따라 모르터의 열전도율이 감소하는 것은 폐기물 모래의 다공질 구조에 기인한 것으로 판단되며, 이를 콘크리트용 골재로서 활용할 경우 건축물의 단열성능 증가에 영향을 미칠 것으로 보인다.

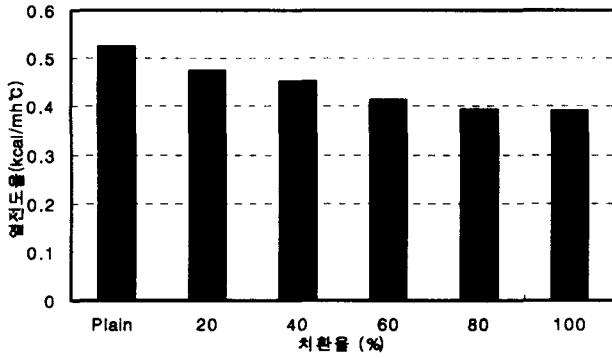


그림 6. 열전도율

3.2 콘크리트 적용성

1) 단위용적중량

폐기물 모래의 치환율에 따른 콘크리트의 단위용적중량은 그림 7과 같다.

폐기물 모래의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 단위용적중량은 다소 감소하는 것으로 나타났으나 플레인 콘크리트에 비하여 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 폐기물 모래를 잔골재로만 사용함에 따라 그 치환율이 매우 경미하여 나타나는 현상으로 판단된다.

추후 콘크리트용 굵은 골재로서도 폐기물 모래를 활용한다면 콘크리트의 단위용적중량을 큰 폭으로 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

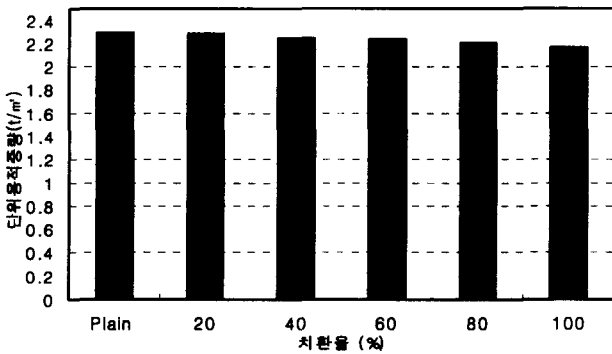


그림 7. 단위용적중량

2) 압축강도

폐기물 모래의 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 시험결과는 그림 8과 같다.

폐기물 모래를 사용한 콘크리트의 압축강도는 전 치환율에서 플레인 모르타의 압축강도를 상회하는 것으로 나타났다. 폐기물 모래의 치환율에 따른 압축강도의 변화는 치환율이 증가함에 따라 다소 감소하는 것으로 측정되었다.

폐기물 모래 치환율 20%의 경우에서 압축강도가 가장 높은 것으로 측정되었으며, 플레인 콘크리트에 비하여 약 13% 정도 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 치환율 100%의 경우는 플레인 콘크리트의 압축강도에 비하여 약 98% 정도의 강도를 발휘하는 것으로 나타나 콘크리트용 잔골

재로서 폐기물 모래를 활용하더라도 골재의 변화에 따른 압축강도의 영향은 매우 경미할 것으로 판단된다.

모르타 압축강도 시험결과와 마찬가지로 폐기물 모래를 사용함에 따라 경화체의 압축강도가 증가하는 것으로 측정되었으며, 이는 전술한 바와 같이 폐기물 모래의 치밀한 조직구조에 기인한 것으로 보인다.

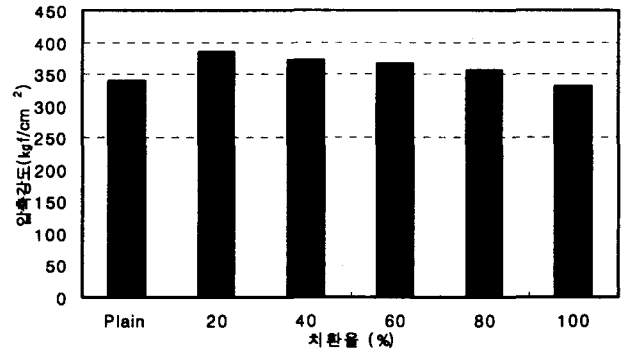


그림 8. 압축강도

4. 결 론

콘크리트용 잔골재로서 폐기물 모래의 활용가능성을 검토하기 위하여 모르타 적용성 시험과 콘크리트 적용성 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폐기물 모래를 사용함에 따라 모르타의 플로우는 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 폐기물 모래의 매우 거친 표면형상에 기인한 것으로 판단된다.
- 2) 폐기물 모래를 사용한 모르타의 단위용적중량은 폐기물 모래의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 폐기물 모래의 내부 공극에 기인한 것으로 판단된다.
- 3) 압축강도 및 휨강도 시험결과에서 폐기물 모래의 치환율 80%이내의 범위에서는 플레인 모르타에 비하여 압축강도가 높았다. 또한 재령의 증가에 따른 압축강도 증가비율은 비교적 일정하여 폐기물 모래는 시멘트 경화체와의 반응성이 전혀 없는 불활성 충전재로서의 역할만을 하는 것으로 나타났다.
- 4) 콘크리트 적용성 시험결과 폐기물 모래를 치환함에 따라 콘크리트의 단위용적중량은 큰 차이를 나타내지 않았으며, 압축강도는 모르타 시험결과와 같이 플레인 콘크리트의 압축강도를 상회하였다.

이상의 결과에서 폐기물 모래의 사용 시 콘크리트 및 모르타의 경량화가 가능할 것으로 보이며 특히 이를 사용함에 따라 시멘트 경화체의 강도증진 효과를 나타내어 콘크리트 및 모르타용 잔골재로서 활용성이 매우 우수한 것으로 판단된다. 추후 폐기물 모래의 활용성을 배가하기 위하여 굵은 골재로서의 활용방안에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 보이며 이를 통하여 대구 비산 염색공단 열원 폐기물의 새로운 처리방안 및 재활용 방안으로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 서치호, 구조용 경량콘크리트-경량콘크리트의 재료적 특성, 콘크리트학회지, 1998
2. 이한승, 구조용 경량콘크리트에 사용되는 경량골재의 국내 개발현황 및 문제점, 철콘회보, 2001
3. 서치호, 경량콘크리트의 발전과 전망, 콘크리트학회지, 1991
4. 박성무, 구조용 경량콘크리트-경량콘크리트의 역학적 특성, 콘크리트학회지, 1998
5. 정상진 외, 고강도 인공경량골재의 기초성상에 관한 연구, 한국레이콘공업협회, 레미콘지, 2002
6. 강 훈, 고강도-경량콘크리트의 배합설계 방안 및 역학적 특성에 관한 연구, 한국레이콘공업협회, 레미콘지, 2002
7. 서치호 외, 고유동 경량골재콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제17권 4호
8. 이충언, 폐기물 모래를 혼입한 모르타의 물성에 관한 실험적 연구, 동명정보대학교 석사논문, 2003
9. 신성우, 구조용 경량 콘크리트의 적용사례 및 전망, 콘크리트학회지, 1998
10. 광윤근, 구조용 경량 콘크리트의 연구동향, 콘크리트학회지, 1998
11. 김화중, 인공경량골재 콘크리트의 배합과 역학적 성상에 관한 실험적 연구, 봄 학술발표회 논문집, 1991
12. 서치호, 인공경량골재의 개발현황과 특성, 콘크리트학회지, 1991