

잔골재로 폐주물사를 이용한 모르타르의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mortar Using Waste Foundry Sand as Fine Aggregate

박 보 열*
Park, Bo-Yeol

정 재 호**
Jung, Jae-Ho

류 현 기***
Ryu, Hyun-Ki

Abstract

Problem of the environmental pollution and pollution by vast quantity occurrence of industrial waste by progress of industry is risen recently. Is real condition that waste foundry sand to be industrial waste that happen in casting industry of them has much the occurrence amount and the processing method is depending on most simplicity reclamation and so on. Therefore, by using waste foundry sand in the world by fine aggregate for mortar in recycling side of industrial waste necessity of development for new principal parts aggregate is risen along with rise of aggregate price by exhaustion phenomenon of natural resources, wish to analyze physical and mechanical properties special quality and foretell practical use possibility availability.

키 워 드 : 산업폐기물, 폐주물사, 모르타르, 대체재료, 물리적 및 역학적 특성

Keywords : Industrial Waste, Waste Foundry Sand, Mortar, Replacement, Physical and Mechanical Properties

1. 서 론

우리나라의 산업이 경제성장과 더불어 급속히 발전함에 따라 산업폐기물의 다량 발생으로 인해 환경오염에 따른 많은 문제점이 대두 되고 있다. 이러한 산업체들은 다량의 산업폐기물 처리에 많은 노력을 하고 있고 있으며, 환경에 대한 인식을 바꾸어 친환경정책을 수립하고 산업활동에 따른 산업폐기물 처리에 막대한 설비 투자 및 처리에 많은 비용을 지출하고 있다. 특히 이러한 산업체중 주물산업은 국가 기간산업으로서 모든 산업의 근간이 되고 있는 부분 중 하나로 현재 우리나라에서 주물을 생산하고 있는 산업체 수는 전국적으로 580여 곳에 이르고 있다. 주물업체는 도금, 염색업체등과 더불어 대표적인 공해 및 산업폐기물 유발 업체 중 하나로서 주물공장에서의 생산활동 중에 발생하는 환경오염문제는 크게 2가지를 들 수 있는데 먼저 주물공장에서의 분진, 일산화탄소등의 대기오염 물질의 발생과 주물제조에 필요한 형틀을 제작하고 버려지는 폐주물사를 들수 있는데 이러한 산업폐기물의 일종인 폐주물사의 발생량은 하루에 3600여 톤 정도로서 매년 많은 양이 발생하고 있는 실정이며 산업폐기물의 처리과정에 따른 비용적인 측면, 매립후의 침출수 유출 등 환경오염에 많은 해를 끼치고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 산업폐기물의 재활용측면에서 골재자원의 고갈현상으로 인한 골재가격의 상승과 새로운 대체 골재의 필요성이 대두됨에 따라 산업부산물의 일종인 폐주물사를 모르타르용 대체 잔골재로서의 활용 가능성 여부를 판단하고자 함이 본 연구의 목적이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 표 1과 같이 실험 요인 및 수준으로 계획하고, 배합사항은 표 2와 같이 한다.

모르타르 실험의 배합비는 1:2.25의 배합비로 하여 목표플로우치가 150±10mm 범위를 만족하도록 W/C를 47%로 결정하고 폐주물사의 치환율은 0%(Plain), 10, 20, 30, 40, 50%까지 실험을 계획한다.(이하 폐주물사를 WFS: Waste Foundry Sand라 칭한다.)

실험사항으로 굳지 않은 모르타르에서 공기량과 플로우 및 단위용적질량을 측정하고 경화 모르타르에서는 재령 7일, 28일의 초기 및 표준재령과 56일, 91일의 장기 재령에서 압축강도 및 휨강도를 측정하고, 길이변화율은 1, 7, 28, 56, 91, 180일 까지 재령의 변화를 두어 측정하도록 한다. 또한 수밀특성을 분석하기 위해 계획된 재령변화에 따라 각각 1시간, 5시간, 24시간 경과 후 흡수, 투수실험을 실시하도록 계획한다.

* 충주대학교 석사과정

** 충주대학교 공학석사

*** 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 실험요인 및 수준

실험요인		수준	
배합사항	배합비	1	1:2.25
	W/C(%)	1	47
	목표 플로우	1	150±10mm
	폐주물사 치환율(%)	6	0(Plain), 10, 20, 30, 40, 50
실험사항	굳지 않은 상태의 모르타르	3	• 공기량 • 플로우 • 단위용적질량
	경화 상태의 모르타르	5	• 길이변화율(1, 7, 28, 56, 91, 180일) • 압축강도(7, 28, 56, 91일 재령) • 휨 강도(7, 28, 56, 91일 재령) • 투수시험(21, 56, 91일 재령 1, 5, 24시간) • 흡수시험(21, 56, 91일 재령 1, 5, 24시간)

2.2 실험방법

2.2.1 골재의 성질

본 연구의 사용재료로 선정된 골재의 물리적 시험으로 「KS F 2502 골재의 체가름 시험 방법」에 의해 조립률을 측정하고, 「KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법」 「KS F 2505 골재의 단위 용적질량 및 실적률 시험 방법」 「KS F 2511 골재에 포함된 잔 입자 시험방법」에 의한 No.200체 통과율을 측정하도록 한다.

표 2. 배합사항

배합사항				용적배합 (l/m ³)			질량배합 (kg/m ³)		
배합비	W/C (%)	WFS치환율(%)	단위수량 (kg/m ³)	C	S	WFS	C	S	WFS
1:2.25	47	0	279	189	522	0	594	1339	0
		10	279	188	469	54	593	1201	133
		20	278	188	416	108	592	1065	266
		30	278	188	363	161	591	930	399
		40	277	187	311	215	590	769	531
		50	277	187	259	268	589	662	662

2.2.2 굳지 않은 모르타르 실험

굳지 않은 모르타르의 유동성 평가 방법으로 기존의 시험방법에 따라 플로우 시험을 실시하고, 「KS F 2409 굳지 않은 콘크리트의 단위용적 질량 및 공기량 시험방법(질량법)」에 의거 실시하도록 한다.

2.2.3 경화 모르타르 실험

경화한 모르타르에 대해 「KS L 5105 수정성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법」 「KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법」에 의해 폐주물사의 각 치환율 변화에 따라 압축강도, 휨강도 및 길이변화율을 계획된 재령기간에 측정하고, 투수 및 흡수시험은 계획된 재령에서 1, 5, 24시간에 따른 측정을 하도록 한다.

2.3 사용재료

2.3.1 시멘트

연구에 사용된 시멘트는 국내 S사(주)의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하며 그 물리적 성질은 다음 표 3과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (g/cm ³)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3480	0.06	250	438	22.6	31.3	39.8

2.3.2 골재

잔골재는 충주시 양성면의 남한강산 강모래를 사용하고 물리적 성질은 다음의 표 4와 같다.

표 4. 골재의 물리적 성질

골재종류	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	입형판정 실적률 (%)	No.200체 통과율 (%)
강모래	2.56	2.67	2.06	1.475	58.75	2.94

2.2.3 폐주물사

폐주물사는 충북 충주시 가주동에 위치한 C주물공장에서 주형작업 후 버려지는 산업폐기물로서 물리적 성질은 다음의 표 5와 같다.

표 5. WSF의 물리적 성질

골재종류	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	입형판정 실적률 (%)	No.200체 통과율 (%)
WSF	2.52	2.43	2.21	1.338	54.15	3.0

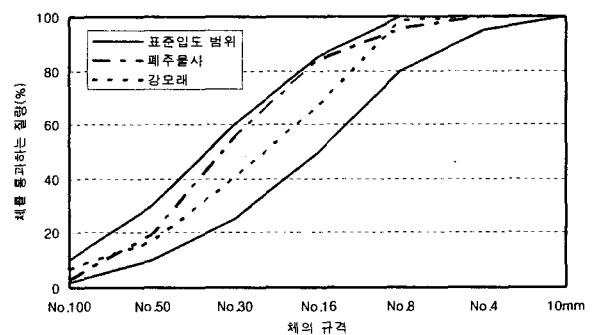


그림 1. 강모래 및 WSF의 입도곡선

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 모르타르의 특성

3.1.1 유동성 및 단위용적질량

그림 2는 폐주물사의 치환율 변화에 따른 유동성과 단위용적 질량을 나타낸 그래프이다. 먼저 유동성은 WSF의 치환율이 증가할수록 플로우치는 감소하는 경향으로 나타났는데, WSF의 치환율이 10%씩 증가함에 따라 플로우가 약 1cm씩 감소하

는 경향으로 나타났고, WSF 치환율 50%의 경우 Plain에 비해 약 4.5cm정도 플로우치가 저하하여 제일 작은 유동성을 나타내었다. 이는 WSF의 치환율이 클수록 폐주물사의 흡수율이 커으로써 단위수량의 부족으로 인한 유동성의 저하요인으로 분석된다.

단위용적질량은 플로우치와는 반대 경향으로 WSF 치환율이 증가할수록 증가하는 경향으로 나타났는데 WSF의 치환율이 10%씩 증가할수록 단위용적질량은 약 10kg/m³ 내외 정도로 증가하는 경향을 나타내고 있다.

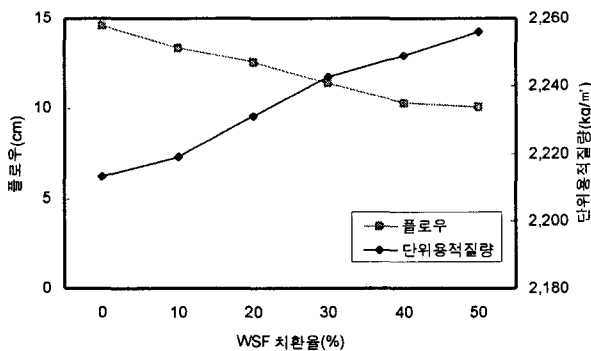


그림 2. WSF 치환율 변화에 따른 플로우 및 단위용적질량

3.1.2 공기량

그림 3은 폐주물사 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. WSF 치환율이 0%인 Plain에 비하여 WSF의 치환율이 증가할수록 공기량은 감소하는 경향으로 나타났고, 50%에서 3.4%의 제일 작은 공기량을 나타내었는데 KS의 허용한도범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

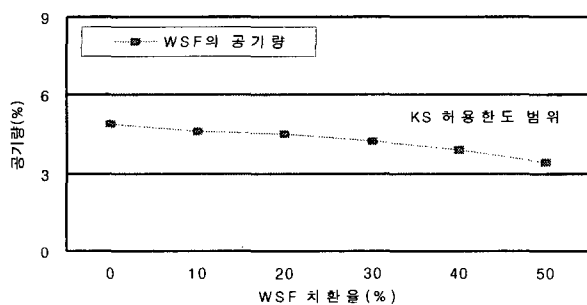


그림 3. WSF 치환율 변화에 따른 공기량

3.2 경화 모르타르의 특성

3.2.1 압축강도 및 휨강도

그림 4는 경화모르타르의 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프로서 Plain 및 WSF의 치환율에 따라 모든 시험체에서 재령이 증가할수록 강도가 증진되는 경향으로 나타났고 WSF의 치환율 10%에서 50%까지도 초기 재령 7일보다 28일의 표준재령으로 갈수록 압축강도가 11~13.5MPa 정도의 강도증진 경향을 나타내고 있고 28일 이후의 장기 재령으로 갈수록 강도 증진 폭은 WSF의 치환율 10, 20, 30%에서는 다소 작게 증가하는 경향이고 WSF 치환율 40, 50%에서는 다소 감소하는 경향

으로 나타나고 있다. 특히 WSF 치환율 20%의 경우 표준재령 이후의 압축강도가 32.9~36.6MPa정도로 제일 큰 압축강도를 나타냈었다.

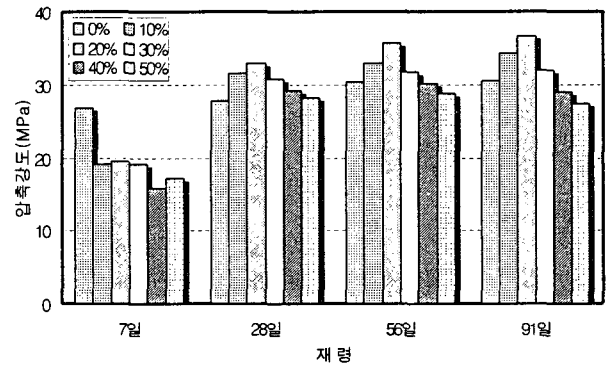


그림 4. 재령경과에 따른 압축강도

이와 같은 결과는 WSF 치환율이 10, 20, 30%에서는 적정량의 미립분이 모르타르 내 모세공극의 충전효과와 미수화 시멘트의 수화반응에 의한 결과로 분석되어 진다.

그림 5는 재령 경과에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다. 휨강도 역시 전반적으로 압축강도와 비슷한 강도발현현상을 나타내었는데 초기재령인 7일에서는 Plain강도 값이 제일 크게 나타났고 28일 및 이후의 장기재령에서는 WSF 치환율 20%에서 8~8.6MPa정도로 제일 큰 강도발현을 나타내었고 10%가 다음으로 크고 WSF 치환율 30, 40, 50%의 순으로 휨강도 발현이 작게 나타나고 있다.

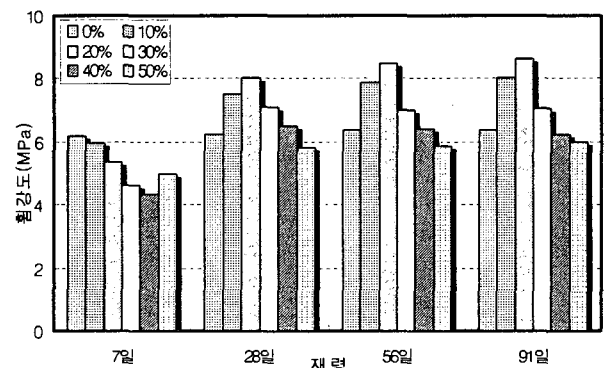


그림 5. 재령경과에 따른 휨강도

3.2.2 길이변화

그림 6은 WSF의 치환율 변화에 따른 길이변화특성을 나타낸 그래프로서 치환율 변화에 따라 초기 재령인 7일까지는 길이변화의 증가를 나타내다가 표준재령인 28일에서는 급격히 감소하는 경향을 나타내었는데 Plain에 비하여 WSF가 증가할수록 길이변화율의 감소 폭이 더 크게 나타났다. 56일 이후의 장기재령에서는 WSF의 치환율이 증가할수록 길이변화율이 다소 감소하였는데 전반적으로 치환율 변화에 따른 길이변화 감소율은 장기재령인 56일 이후 감소율이 적은 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 치환율이 증가할수록 다량의 미립분의 함유로 인한 시멘트의 수화반응에 필요한 수량의 부족 현상으로 총

분한 수화작용이 이루어지지 않은 결과로 사료된다.

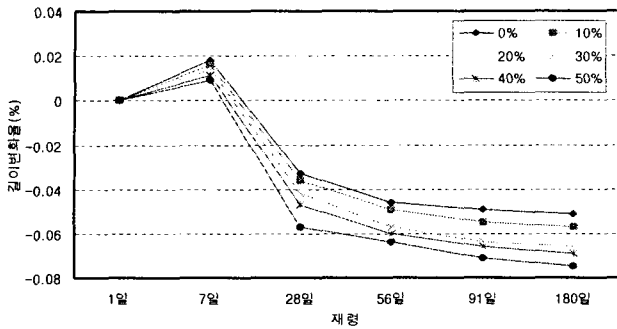


그림 6. 재령경과에 따른 길이변화

3.3 수밀특성

3.3.1 투수특성

그림 7은 WSF 치환율 변화에 따른 모르타르의 투수율을 나타낸 그래프이다. WSF 치환율 변화에 따른 투수시험 결과 21, 56, 90일로 재령이 경과할수록 1, 5, 24시간의 시간경과에 따른 투수율은 감소하는 경향으로 나타났고, WSF 치환율이 증가할수록 투수량은 증가하는 것으로 나타났다.

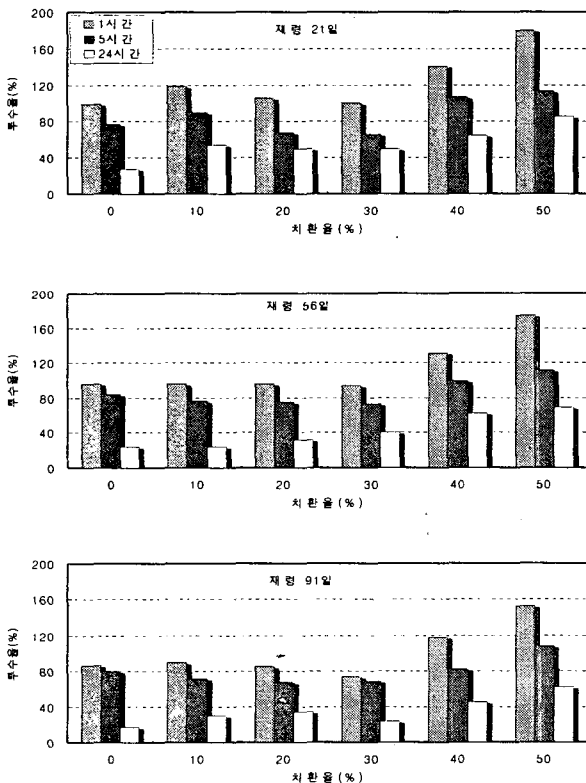


그림 7. WSF 치환율 변화에 따른 투수율

모든 재령에서 WSF 치환율이 30%일때 제일 작은 투수율을 나타내어 수밀성이 가장 우수한 것으로 나타났고, WSF의 치환율이 10%와 20%의 경우 장기재령인 56, 91일로 갈수록 Plain의 투수율 보다 작게 나타나고 있으며 40, 50%의 경우 모든 재령 및 시간경과에 따라 투수율이 크게 나타났고 50%의 WSF 치환율에서는 투수율이 가장 크게 나타났다. 이와 같은 현상은

WSF를 10, 20, 30% 치환한 경우 적정량의 미립분이 모르타르 내의 모세 공극충전효과에 따른 수밀성 증진효과에 기여한 결과로 사료되며, 40%와 50%의 경우는 WSF의 다량 치환에 따른 미립분 증가요인으로 시멘트의 부착강도를 저하하여 수밀성이 떨어진 것으로 사료된다.

3.3.2 흡수특성

그림 8은 WSF 치환율에 변화 따른 모르타르의 흡수율을 나타낸 그래프로써 투수시험 결과와 유사한 경향을 나타내고 있는데 전반적으로 재령과 흡수시간이 경과할수록 흡수율은 감소하는 경향을 나타내었다. WSF 치환율이 30%의 경우 제일 작은 흡수율을 나타내 가장 우수한 것으로 나타났고 치환율 50%에서 제일 큰 흡수율을 나타내어 불량한 것으로 나타났는데, 이 또한 투수시험 결과와 동일한 결과로 판단된다.

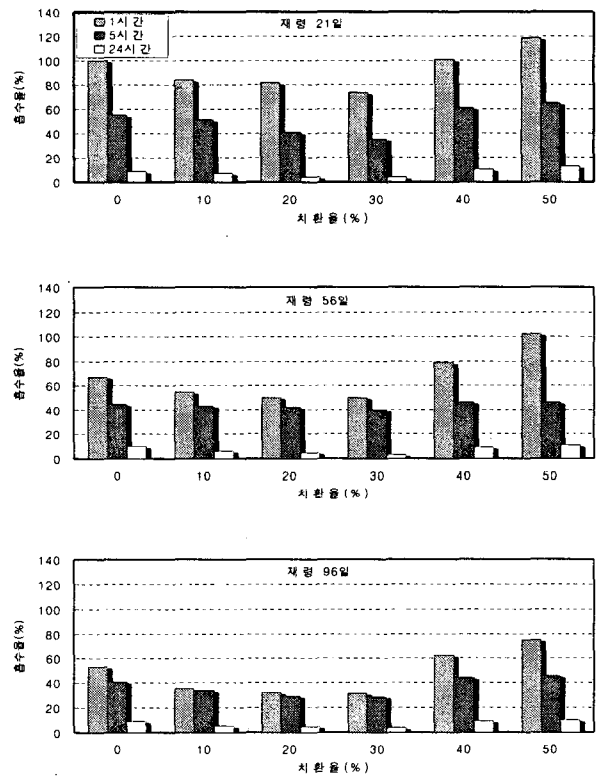


그림 8. WSF 치환율 변화에 따른 흡수율

4. 결 론

양호한 천연골재자원의 고갈현상으로 인한 새로운 대체 골재의 필요성이 대두됨에 따라 산업폐기물인 폐주물사를 자원 재활용 측면에서 폐주물사를 잔골재로 이용한 모르타르의 특성 분석 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굳지 않은 모르타르의 유동성 분석결과 플로우치는 WSF의 치환율이 10%씩 증가함에 따라 플로우치는 1cm씩 감소하는 경향으로 나타났다. 공기량은 WSF의 치환율이 증

가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈는데 WSF의 치환율 50%에서 공기량은 3.4%로 가장 작게 나타내었으나 KS의 허용한도 범위인 $4.5 \pm 1.5\%$ 의 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 단위용적질량은 공기량과는 반대의 경향으로 나타났는데 치환율이 증가할수록 점차 증가하는 경향을 나타내었는데 WSF 치환율이 10%씩 증가함에 따라 단위용적 질량이 약 10Kg/m^3 범위 내외로 증가하는 경향을 나타내었다.

- 2) 경화 모르타르의 특성에서 압축강도는 Plain에 비하여 초기 재령 7일에서는 WSF의 치환율이 증가함에 따라 강도가 저하하였으나 표준재령인 28일 및 그 이후의 장기재령에서는 치환율이 20%에서 32.7, 35.6, 36.6MPa로 가장 큰 강도를 나타냈고, 다음으로 10%와 30%의 순으로 Plain보다 압축강도가 크게 나타났으며, 40%, 50%에서는 Plain보다도 강도가 발휘가 늦게 나타났다. 휨강도 역시 전반적으로 압축강도와 비슷한 경향을 나타내었는데 초기 재령인 7일에서 WSF 치환율이 증가할수록 강도가 감소하였고 28일 재령과 장기재령에서는 Plain보다 WSF 치환율 10%, 20%, 30%순으로 크게 나타났고, 40%, 50%의 치환율에서는 Plain보다 낮게 나타났다.
- 3) 길이변화율은 초기 재령인 7일까지는 증가하는 경향을 나타내다가 표준재령인 28일에서 급격히 감소하는 경향으로 나타났는데 WSF 치환율이 증가할수록 길이변화율의 감소 폭이 크게 나타났으며 28일 이후의 장기재령에서는 길이 변화 감소율이 완만하게 저하하였다.
- 4) 수밀특성으로 투수율은 21, 56, 91일로 재령이 경과할수록 1, 5, 24시간으로 시간이 경과할수록 투수율은 감소하는 경향으로 나타났으며 WSF의 치환율이 30%일때 가장 작은 투수율을 나타냄으로서 수밀성이 가장 우수한 것으로 나타난 반면 치환율 40, 50%로 갈수록 투수율이 커져 수밀성이 불량한 것으로 나타났다. 흡수율 또한 투수시험 결과와 유사한 경향으로 나타났는데 치환율이 30%에서 가장 작은 흡수율을 나타내었고 치환율 50%에서 가장 흡수율을 나타내어 수밀성이 불량한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 지역혁신인력양성사업 과제인 “폐자원을 활용한 구조용 순환콘크리트의 개발 및 실용화” 수용과제의 일부임을 밝혀드리며, 산업자원부와 한국산업기술재단 관계자 여러분께 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국자원연구소, “폐기물 자원화·재활용 기술개발 연구개발 계획서”, 2000. 2
2. 한국콘크리트학회, “최신 콘크리트공학”, 1992, 10 pp.453-476
3. 한국콘크리트학회, “콘크리트 혼화재료”, 1997, 3
4. 고준길, “폐주물사를 대체 잔골재로 사용한 모르타르의 실험적 연구”, 충주대학교 대학원 석사학위논문, 2004. 2
5. 조도영, “방수제를 대체 잔골재로 사용한 모르타르의 실험적 연구”, 충주대학교 대학원 석사학위논문, 2002. 2
6. 한천구, 유승엽, “부순잔골재를 사용한 콘크리트의 품질 특성에 관한연구 “ 콘크리트학회 논문집, 17권 2호, 2005. 11, pp.455-458
7. ASTM c 1260-94, “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1994.
8. 김무한, 신한식, 김문한, “건축 재료학”, 2000, 1
9. 한천구, “콘크리트의 특성과 배합설계”, 1998, 7