

폐주물사의 치환율 변화에 따른 모르타르의 특성 분석

An analysis of the properties of mortar according to the change of the replacement rate of waste foundry sands

(2009년 11월 29일 원고접수, 2009년 12월 15일 심사완료/ Received November 29, Accepted December 15, 2009)

류현기^{1)*}, 권용주¹⁾.

¹⁾충주대학교 건축공학과

Hyun-Gi Ryu¹⁾, Yong-Ju Kwon¹⁾

Dept. of Architectural Engineering Chungju National University, Chungju, 380-702, Korea

Abstract

For recycling of waste foundry sands, researchers recently try to recycle them rather than depend on reclamation, and are studying on how to combine waste foundry sands with cement and use them for various kinds of construction material as the effective recycling method of waste foundry sand. In this research, The ways to find the proper replacement rate of waste foundry sands and to make use of them were suggested through the experiments on the range to apply waste foundry sands with two levels of 1:3 mixture rate of W/C 43% and 50%. The research result showed that in terms of liquidity as the characteristic of unhardened mortar, as the replacement rate of waste foundry sands increased, its flow tended to decrease. The amount of air also displayed a similar tendency to that of liquidity in that the higher the replacement rate of waste foundry sands became, the lower it became. With regard to the solidity trait of hardened mortar, it increased when the waste foundry sands were replaced more, and the replacement of waste foundry sands caused increased initial solidity. As for the amount of water permeated and that of water absorbed as the water tight proofing properties, the amount of permeated water was proved to decrease because of the gap recharge effect by the fine powder of waste foundry sands, and the replacement of waste foundry sands in the structures requiring watertightness is concluded to be very effective.

키워드 : 폐주물사, 치환율, 산업폐기물 재활용, 모르타르

Keywords : Waste Foundry Sand, Replacement rate, Recycling of Industrial waste, Morter

1. 서 론

최근 콘크리트용 골재는 우리 나라의 많은 건설공사에서 주로 하천골재에만 의존하여 왔었으나, 신도시 건설 등 대규모 건설공사에 양질의 하천골재가 다량 사용되어짐에 따라 점차 가격상승, 저품질화 등 고갈현상이 심화되면서 해가 거듭될 수록 부순골재, 육지골재, 바다골재 등 종류가 다양화 되고¹⁾ 대체골재의 필요성이 증대되어 연구개발이 이루어지면서 산업폐기물을 재활용 자원으로 활용 할 수 있는 방안이 많은 연구자들에 의하여 검토되고 있는 실정이다.

천연골재 자원의 고갈현상을 해소하기 위한 대책으로 환경보존과 함께 산업부산물인 폐기자원을 재활용할 필요

성이 증대되면서 주물공장의 부산물인 폐주물사는 산업의 발달과 함께 배출량이 급속히 증가하고 있으며 우리나라에서 폐주물사의 약 90% 이상이 단순 매립되고 발생량의 일부분만 도로기층재 및 시멘트 2차 제품등으로 재활용되고 있는 실정이다. 폐주물사를 재활용하기 위하여 유해성이 없는 것은 매립하지 않고 활용하는 방안은 콘크리트용 골재로 사용하는 것을 제안하고 있으나, 폐주물사의 입도가 과도하게 작은 것에 따른 문제와 폐주물사의 안정적인 수급 등 산업폐기물의 유해물질 배출 및 사용불가능성 등의 잘못된 인식으로 실용화되고 있지 못하는 실정이다. 그러나 폐주물사의 성분조사 결과 유해물질이 검출되지 않음에 따라 일반 폐기물로 분류되어 단순매립되기 시작하였다. 또한 실리카질의 함량이 높은 고급모래이며, 건설재료로 활용이 가능하고 콘크리트용 강모래보다 입도가 작고 미립분이 많이 함유되어 있어 콘크리트 잔골재로 사용

* Corresponding author

E-mail : hgryu@cjnu.ac.kr

할 때 모래에 일부 대체 잔골재로 사용이 가능 할 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서는 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 사전실험으로 모르타르특성을 분석하여 폐주물사를 잔골재로 치환 할 경우에 혼입율을 검토하고 양호한 강모래에 대한 폐주물사의 치환을 변화에 따른 모르타르의 기초적 특성을 비교 분석 하므로써 폐주물사를 대체 잔골재로써 재활용 할 수 있는 기초자료를 제시 하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같으며 , 먼저 실험요인 및 수준으로 예비실험을 통해 폐주물사의 성상을 검토한 결과 폐주물사를 적용 할 수 있는 범위를 모르타르 배합비 1:3으로 하여 목표 플로우치를 $150 \pm 10\text{mm}$ 를 만족할 수 있는 W/C 43%, 50%의 2수준으로 계획하였으며, 폐주물사의 적정 치환율을 비교한 결과 10, 30, 50%까지 치환을 결정하여 4수준으로 실험을 계획한다. 실험사항으로는 굳지 않은 모르타르에서 3수준, 경화 모르타르에서 4수준으로 각각 계획된 재령에 의하여 실시하도록 하며 이에 따른 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1. Experiment Factor and Types

Experiment factor		Types			
Mixture Item	Mixing proportion	1	1:3		
	W/C	2	43%, 50%		
	Fine aggregate	Type	2	Natural Sand	Waste Foundry Sand
		F.M	2	2.765	2.38
	AE Water-reducing agent	1	Melamine Type		
	Replacement of Waste Foundry Sand(%)	4	0(Plain), 10, 30, 50		
Experiment Item	Fresh Mortar	3	· flow test · Air quantity · Unit weight		
	Hardening Mortar	3	· compressive and Flexural Tensile strength (7, 28days) · Mount of Water absorption (28days) (1, 5, 24Hours)		
	Water permeability test	1	·28days (1, 5, 24Hours)		

Table 2. Mix proportions and test plan

W/C (%)	Replacement of WFS (%)	AE Ratio (%)	W	Absolute volume (l/m^3)			Unit weight (kg/m^3)		
				C	S	WFS	C	S	WFS
43	WFS- 0	3	221	164	605	-	514	1542	-
	WFS- 10		221	164	554	61	514	1388	154
	WFS- 30		221	163	423	183	514	1079	463
	WFS- 50		220	162	302	306	512	767	767
50	WFS- 0	-	248	158	574	-	497	7490	-
	WFS- 10		248	157	525	61	495	1337.4	148.6
	WFS- 30		247	157	406	181	493	1035.3	443.7
	WFS- 50		245	156	289	300	491	735.8	736.2

* Waste Foundry Sand(폐주물사): WFS로 표기

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 재료로 시멘트는 국내산 H사 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고, 잔골재는 충북 충주시 양성면 남한강 일원의 강모래를 사용한다. 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 Table 3, 4와 같다. 또한 산업폐기물인 폐주물사는 충북 충주시 주물공장인 C주물공장에서 제품을 만든 후 폐기되는 폐기물을 사용하며, 폐주물사의 화학적 성질은 Table 5와 같으며, 물리적성질은 Table 6과 같다.

Table 3. Physical properties of normal portland cement

specific gravity (g/cm^3)	specific surfacearea (cm^2/g)	stability (%)	setting time(min)		compressive strength (MPa)		
			Initial	Final	3day	7day	28day
3.14	3,214	0.13	221	328	27.9	32.8	40.2

Table 4. Physical properties of aggregate

Item	specific gravity (g/cm^3)	Finess modulus	Absorption Ratio (%)	Unit weight (kg/m^3)	0.08mm sieve volume of pass (%)
Fine aggregate	2.55	2.76	1.68	1.539	2.06

Table 5. Chemical compositions of Waste Foundry Sand(Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	TOTAL
64.99	19.3	7.04	3.99	2.62	2.06	100

Table 6. Physical properties of Waste Foundry Sand

Item	specific gravity (g/cm^3)	Finess modulus	Absorption Ratio (%)	Unit weight (kg/m^3)	0.08mm sieve volume of pass (%)
KS Standards	2.50 above	2.3~3.1	3.0 and less	-	7.0 and less
WFS	2.52	2.38	2.31	1.332	2.6

2.3 실험방법

굳지 않은 모르타르 시험으로는 KS L 5105 모르타르의 플로우 시험방법, KS F 2409 굳지 않은 콘크리트의 단위용적 질량 및 공기량 시험 방법, KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트 공기량 시험방법에 의거 실시하고, 경화 모르타르의 실험에서는 KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르 압축강도 시험방법, KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법, 투수시험방법은 습기함속에서 양생시킨 시험체를 80℃ 항량에서 건조한 후 시멘트 모르타르 투수시험기를 이용하여 실시하고, 흡수시험방법은 강도시험용 공시체를 습기함속에서 양생시켜 데시케이터 속에서 실온으로 항량시킨 후 무게를 기록하는 방법으로 실시한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 모르타르 특성

3.1.1 플로우

Fig 1은 WFS-치환율에 따른 플로우를 나타낸 그래프이다.

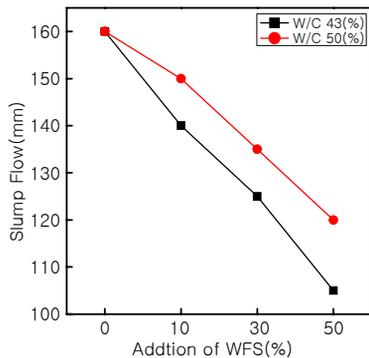


Fig 1. Added WFS changes to Flow

굳지 않은 모르타르의 플로우치는 W/C 43%와 50% 모두 첨가율 0%가 가장 크게 나타났고, 폐주물사의 첨가율이 10~50%까지 대체율이 높을수록 플로우는 감소하는 것으로 나타났다. W/C 43%의 경우는 WFS첨가율 0%에서 160mm로 가장 크고 50%에서는 105mm로 가장 작게 나타났는데 첨가율 변화에 따른 플로우 감소는 약 20mm 정도의 차이로 감소경향이 나타났다. W/C 50%의 경우는 WFS첨가율 0%에서 가장 큰 플로우를 나타냈고, 첨가율이 높을수록 플로우는 감소하여 WFS 첨가율 50%의 경우 플로우는 120mm로 많이 감소하였다. 이는 폐주물사의 미립분의 영향에 의한 것으로 분석되며 초기에 다량의 미립분에 의한 수분의 흡수로 인해 유동성을 크게 저하

시키는 것으로 판단된다.

3.1.2 공기량

Fig 2는 WFS-치환율에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다.

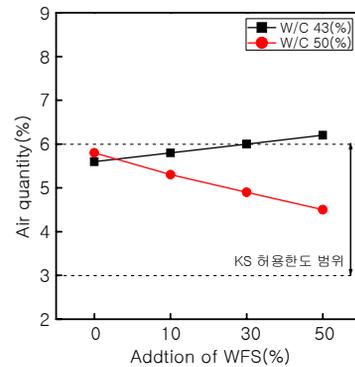


Fig 2. Added WFS changes to Air quantity

W/C 43%의 경우 첨가율이 증가 할수록 공기량도 증가 하는 것으로 나타났다. 그러나 WFS첨가율 50%에서 6.2%의 공기량을 나타내어 KS의 허용한도 범위를 0.2% 초과하였고, 그 이하의 첨가율에서는 5.6~6%의 공기량을 나타내어 KS규정에 적합하게 나타났다. 이러한 결과는 폐주물사의 미립분의 영향으로 된 비빔이 되어 수분의 흡수로 공극이 커지고 조적이 치밀하지 못하게 된 결과라 판단된다. 또한 W/C 50%의 경우는 WFS 첨가율이 증가 할수록 공기량은 감소하는 경향으로 나타났고, 모두 KS 허용한도 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 적정 단위수량으로 폐주물사의 미립분의 공극충전효과에 의한 것으로 판단된다.

3.1.3 단위용적질량

Fig 3은 WFS-치환율에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다.

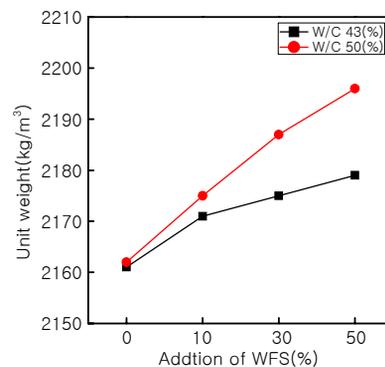


Fig 3. Added WFS changes to Unit weight

단위용적질량은 공기량과 반대의 경향으로 나타났으며, 전반적으로 W/C 43%에서는 약 2161-2179kg/m³으로 W/C 50%에서는 약 2162-2196 kg/m³정도로 각 시험체별 질량 차이는 미미한 것으로 나타났다.

3.2 경화 모르타르의 특성

3.2.1 압축강도

Fig 4는 WFS-치환율에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

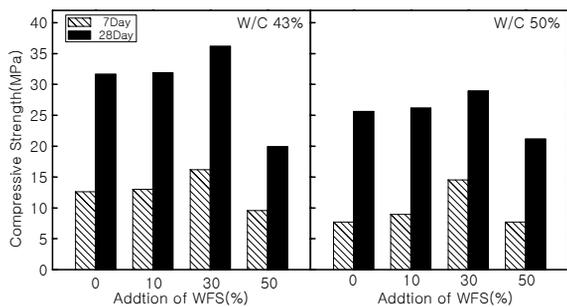


Fig 4. Added WFS changes to Compressive Strength

W/C별 초기 및 표준재령에서 WFS첨가율 0%~30%까지는 강도증진 경향이 나타났다. 또한 WFS 첨가율 50%에서는 급격한 강도저하 경향이 나타났으며, WFS 첨가율 0%보다도 오히려 강도가 작게 나타났다. 조기재령 7일에서는 W/C 43% WFS 첨가율 30%에서 16.19MPa로 제일 큰 강도발현을 나타내었고, WFS 첨가율 0%를 기준으로 비교해 보면, W/C 50%에서는 W/C 43%보다 약 강도발현의 차가 약 2배정도로 크게 나타남을 알 수 있다. 표준재령 28일의 경우는 WFS 첨가율이 30%로 증가 할수록 조기재령의 경우보다 다소 완만한 강도증진 경향을 나타내고 있으며 WFS 첨가율 0%에서 10%까지는 W/C 43%의 0.25MPa와 W/C 50%에서 0.56MPa 정도의 아주 작은 강도 증진 경향으로 나타났다. WFS 첨가율 30%의 경우에는 W/C 43% 및 50%에서 0%로 비교할 때 W/C 43%의 경우는 4.53MPa와 W/C 50%에서는 3.32MPa의 차이로 강도 증진 경향을 나타내었는데 조기재령의 강도증진경향보다 W/C 43%에서는 약 1MPa정도 증가하였으나 W/C 50%에서는 오히려 약 1/2정도 강도증진 경향이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 다량의 미립분으로 첨가된 폐주물사의 미립분과 시멘트의 미립분이 함께 수분을 흡수하여 수화반응에 충분한 수량의 부족현상에 기인된 결과로 분석된다.

3.2.2 휨강도

Fig 5는 WFS-치환율에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다.

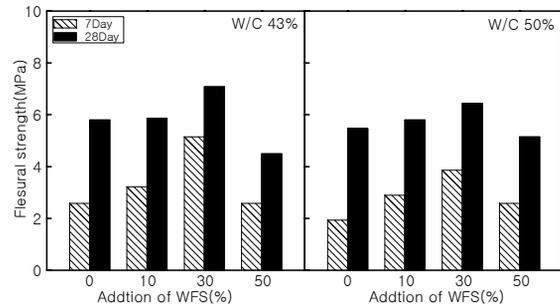


Fig 5. Added WFS changes to Flexural strength

휨강도 역시 전반적으로 압축강도 발현현상과 유사한 경향으로 나타났는데 W/C 43%와 50% 모두 WFS 첨가율 0%에서 WFS 첨가율 30%로까지는 증가하는 것으로 나타났고 WFS 첨가율 50%에서는 오히려 급격한 강도 저하 경향을 나타내었다.

3.2.3 투수량

Fig 6은 1, 5, 24시간 경과에 따른 투수량을 나타낸 그래프이다.

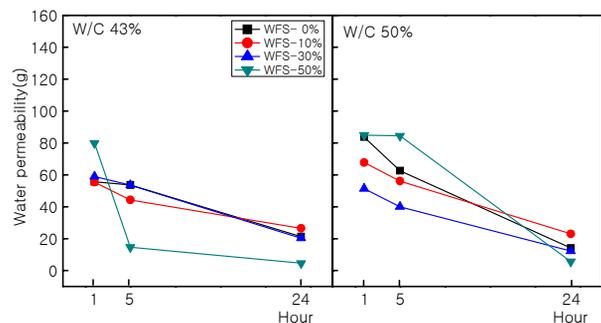


Fig 6. Added WFS changes to Water permeability

전반적으로 W/C별로 시간이 경과 할수록 투수량은 감소하는 경향으로 나타났다. W/C 43%의 경우는 WFS 첨가율 50%에서 1시간 투수량이 79.8g으로 제일 많은 투수량을 나타내었고 5시간에서는 14.6g의 투수량을 나타내어 그 차이가 65.2g으로 급격한 투수량의 차이를 나타 내었으며 24시간 경과 후에는 4.6g으로 제일 작은

투수량 감소 결과를 나타내었다 WFS 0%~30% 첨가율의 투수량은 시간이 경과 할수록 거의 유사한 경향으로 투수량의 감소 결과를 나타내었다. W/C 50%에서 WFS 첨가율 50%의 경우에 1시간의 투수량은 84.9g 정도로 나타났고 5시간 경과 후에는 84.4g으로 나타나 W/C43%의 경우와는 정 반대로 제일 작은 투수량의 감소 효과를 나타내었다. 5시간부터 24시간 경과 후에 투수량의 차이는 78.8g으로 제일 큰 차이의 투수량을 나타내어 W/C 43%와는 반대 경향으로 제일 많은 투수량의 감소차이를 나타내었다. 또 한 초기시간의 투수량은 각 시험체 별 다소 차이가 크게 나타났으나 24시간 경과 후의 투수량의 차이는 다소 작은 차이로 감소 하는 경향을 나타냈다. 투수량의 측정결과 WFS 첨가율 50%의 경우는 수밀 성능에 문제가 있는 것으로 나타났으며 WFS 첨가율 30%까지는 투수량은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 폐주물사의 미립분으로 인한 공극충전효과에 기인하여 모세관 공극이 감소하고 조직이 치밀해져 나타난 결과로 분석된다. 공기량과 투수량의 상호관계를 분석해보면 공기량이 증가할수록 투수량도 증가하는 것으로 나타났다.

3.2.4 흡수량

Fig 7은 1, 5, 24시간 경과에 따른 흡수량을 나타낸 그래프이다.

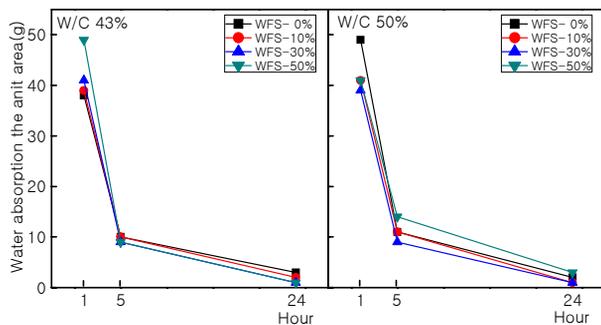


Fig 7. Added WFS changes to Water absorption the anit area

흡수량은 시간이 경과함에 따라 모두 증가하는 것으로 나타났으며, W/C 43%와 W/C 50%에 WFS의 첨가율 변화에 따라 1시간 경과에서 흡수량이 제일 많게 나타났고 5시간, 24시간으로 시간이 경과 할수록 흡수량은 감소하는 경향으로 나타났다. 특히 1시간에서 5시간의 흡수량의 차이는 20g에서 40g정도의 큰 차이를 나타내어

급격한 흡수량의 감소 효과를 나타내었고 그 이후에는 다소 완만한 감소효과를 나타내었다. 이는 상온에서 수압을 가하지 않은 상태의 실험 결과로 미립분의 공극충전효과에 의한 결과로 분석 된다.

4. 결론

양호한 천연골재자원의 부족으로 환경보존과 함께 산업부산물인 폐자원을 재활용차원에서 주물공장의 부산물인 폐주물사를 대체 잔골재로 재활용의 가능성 여부를 판단하기 위해 폐주물사의 첨가율 변화에 따른 모르타르의 굳지 않은 상태와 경화 상태를 분석하여 골재로서의 사용가능성을 판단하기 위한 실험연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 굳지 않은 모르타르의 특성으로 유동성의 측정결과 플로우치는 W/C별 폐주물사의 첨가율이 증가 할수록 유동성은 감소하는 경향으로 나타났다. 이는 폐주물사의 미립분의 영향으로 인한 것으로 분석되며 초기에 다량의 미립분에 의한 수분의 흡수로 인해 유동성을 크게 저하시키는 것으로 판단된다. 따라서 W/C 43%에서 소요의 유동성을 확보하기 위해서는 필요한 단위수량을 증가시키거나 고성능 감수제의 사용량을 다소 증가시켜야 될 것으로 사료된다.

2) 공기량은 KS의 허용한도범위를 만족하나 W/C 43%의 경우 첨가율이 증가 할수록 공기량도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 WFS 첨가율 50%에서 7.4%의 공기량을 나타내어 KS의 허용한도 범위를 1.4%초과 하였고, 그 이하의 첨가율에서는 KS규정에 적합하게 나타났다. 이는 적정 단위수량으로 폐주물사의 미립분의 공극충전효과에 의한 것으로 판단된다. 단위용적질량은 공기량과 반대의 경향으로 나타났다.

3) 경화 모르타르의 강도특성으로 압축강도는 조기 및 표준재령에서 W/C별 WFS 첨가율은 10%까지 완만한 증가 경향이 나타났고, 30%에서는 급격한 강도 증가 현상을 나타내다가 50%에서는 오히려 급격히 감소하는 경향으로 나타났다. 제일 양호한 강도 발현은 WFS 0%보다 첨가율 30%에서 재령 7일은 0%첨가율보다도 3.56MPa정도, 재령 28일은 4.53MPa정도의 더 큰 강도발현을 나타내었는데, 이는 시멘트 입자와 첨가 된 WFS의 적당량 미립분이 시멘트화하여 수화반응을 촉진시켜 강도 증진에 기여한 결과로 분석 된다.

4) 휨강도 역시 전반적으로 압축강도와 유사한 경향

을 나타내었으며, WFS첨가율 0%보다 30%에서 재령 7일은 2.57MPa정도와 재령 28일은 1.28MPa정도의 더 큰 강도발현을 나타내었다. WFS 첨가율30%이상의 다량으로 첨가시킬 경우 다량의 미립분으로 인해 강도 저하 경향을 나타냄을 알 수 있다.

5) 수밀특성으로 투수량은 W/C 43%의 경우 WFS 첨가율 0, 10, 30%까지는 시간경과에 다른 투수량의 감소경향이 작게 나타났고, WFS첨가율 50%에서는 1시간의 초기 투수량이 139.8g으로 제일 크게 나타났다. 5, 24시간 경과 후에는 오히려 WFS 0, 10, 30%보다도 더 낮은 투수량을 나타내었으며, W/C 50%경우에는 시간이 경과할수록 투수량은 감소하는 경향으로 나타났는데 WFS 50%첨가율에서 장시간 투수시에 많은 차이를 나타내었다.

흡수량은 시간이 경과 할수록 감소하는 것으로 나타났는데 초기시간에 다소 급격히 저하하는 경향으로 나타났다.

본 실험을 통하여 유동성 측면에서는 WFS 첨가율이 증가할수록 폐주물사의 미립분의 영향으로 감소하는 경향이 나타났으나, 공기량 및 강도특성, 수밀특성에서 양호한 결과를 얻어 고성능 감수제를 병행하여 사용할 경우 폐주물사가 잔골재 대체 자원으로 사용 가능할 것으로 판단된다. 또한 폐주물사의 미립분에 의한 공극충전 효과로 인하여 투수량이 감소하는 것으로 나타나 수밀성이 요구되는 구조물에 폐주물사의 치환은 효과적인 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 김무한, 신현식, 김문한, “건축재료학”, 문운당, 2003, pp.125~318
- 2) 김동주, 조홍준, 김진만, “낮은 W/C비를 갖는 콘크리트 제품에 대한 폐주물사의 적용”, 콘크리트학회 가능 학술발표회 논문집, 2001. 11 pp.79~84
- 3) 대한건축학회, “건축재료”, 기문당, 1998, pp. 63~79
- 4) 류현기, “콘크리트용 골재로서 광산폐석의 활용에 관한 연구”, 한국콘크리트 학회지 제 6권 9호, 1997, pp.23~28
- 5) 신명철, “폐주물사를 이용한 방식사의 색상 및 품질향상 방안 기술지도” 정맥산업개발(주)기술지도, 2002. 6
- 6) 신희덕 외 6명, “주물사 재활용 기술개발에 관한 연구”, 산업기술정보원, 1995. 12
- 7) 이철호, “폐기물 재활용현황 및 관련제도”, 공주대학교 자원재활용 신소재연구센터, 2001
- 8) 최연왕, “폐주물사를 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구”, 콘크리트학회 가을 학술발표 논문집, 1999. 11, pp237~240
- 9) 반주환, “혼화재료로 폐주물사 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구”, 충주대학교 석사학위 논문, 1999. 06, pp16

폐주물사의 치환을 변화에 따른 모르타르의 특성 분석

폐주물사의 재활용을 위하여 최근 연구자들은 매립에 의존하지 않고 리사이클링하기 위해 노력하고 있으며, 폐주물사의 효율적인 재활용방법으로 시멘트와 결합하여 각종 건설용 자재로 사용하는 방법을 연구하고 있다.

본연구에서는 폐주물사를 대체 잔골재로 사용하여 1:2, 1:3, 1:5의 배합으로 부·빈배합의 예비실험을 통해 폐주물사의 성상을 실험적으로 검토하여 폐주물사를 적용할 수 있는 범위를 배합비 1:3의 W/C 43%와 50%의 2개 수준에 대한 실험으로 폐주물사의 적정 대체율을 찾아 활용할 수 있는 방안을 제안한다.

실험결과 굳지않은 모르타르의 특성으로 유동성은 폐주물사의 대체율이 증가 할수록 플로우는 감소하는 것으로 나타났으며, 공기량도 유동성과 유사한 경향으로 폐주물사의 대체율이 증가 할수록 감소하는 것으로 나타났다. 경화모르타르의 강도특성은 폐주물사를 치환 할수록 강도는 증가하는 것으로 나타났고, 폐주물사를 치환함으로써 초기강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 수밀특성으로 투수량과 흡수량은 폐주물사의 미립분에 의해 공극충전효과로 투수량이 감소하는 것으로 나타나 수밀성을 요구하는 구조물에 폐주물사의 치환은 효과적인 것으로 사료된다.