

再生잔골재를 프리캐스트 콘크리트用 骨材로 活用하기 위한 實驗的 研究[†]

中文大重·文翰英*·金良培**·林南熊**

世明大學校 土木工學科, *漢陽大學校 土木工學科, **中央大學校 建設大學院 環境工學科

Experimental Study for Utilizing of Recycling Fine Aggregate as Precast Concrete Aggregate[†]

Dae-Joong Moon, Han-Young Moon, Yang-Bae Kim* and Nam-Woong Lim**

Department of Civil Engineering, Semyung University

**Department of Civil Engineering, Hanyang University*

***Department of Environmental Engineering Graduate School of Construction Engineering Chungang University*

요 약

폐콘크리트 파쇄시 발생하는 재생잔골재의 품질을 검토하였으며, 재생잔골재를 활용한 모르타르의 압축강도, 휨강도 및 흡수율을 검토하였다. 또한, 프리캐스트 콘크리트 제품용 골재로서의 적용성에 대하여 평가하였다. 재생잔골재의 밀도 및 흡수율은 각각 2.31 g/cm³ 및 8.07%로 KS F 2573의 2종에 해당되는 품질이었다. 혼합시멘트 MRS1, MRS2 및 MRS3 사용 모르타르의 재령 28일 압축강도는 물-시멘트비 35%, 양생온도 40°C의 조건에서 각각 15.8, 27.4 및 48.7 MPa로 최대값을 발현하였다. 모르타르의 최대휨강도는 혼합시멘트 MRS1 및 MRS2 사용시 물-시멘트비 35.0%, 양생온도 40°C, 혼합시멘트 MRS3 사용시 물-시멘트비 37.5%, 양생온도 40°C의 조건에서 발현하였다. 혼합시멘트 MRS1, MRS2 및 MRS3를 사용한 모르타르의 흡수율의 범위는 각각 8.3~7.3%, 6.5~8.8% 및 3.5~6%의 범위로 나타났다. 그러므로 혼합시멘트와 재생잔골재의 비율을 적절히 조절함으로써 MRS1은 저강도용, MRS2는 보통강도용, MRS3는 고강도용으로 다양한 프리캐스트 콘크리트 제품에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 재생잔골재, 혼합시멘트, 압축강도, 흡수율, 프리캐스트 콘크리트 제품용 골재

Abstract

The quality of recycled fine aggregate (RS) which was produced at the waste concrete crushing was investigated. The compressive strength, flexural strength and absorption of mortar utilized with RS were examined. It was evaluated on the application of RS as precast concrete aggregate. The density and absorption of RS were 2.31g/cm³ and 8.07% respectively, the quality of RS was satisfied with the criterion of KS F 2573 type 2. The maximum 28days compressive strength of mortar mixed with blended cement MRS1, MRS2 and MRS3 were developed with 15.8, 27.4 and 48.7MPa respectively, in condition to curing temperature 40°C and water-cement ratio 37.5%. When blended cement MRS1 and MRS2 were used, the maximum flexural strength of mortar was developed at curing temperature 40°C and water-cement ratio 35.0%. When blended cement MRS3 was used, the maximum flexural strength of mortar was developed at curing temperature 40°C and water-cement ratio 37.5%. The absorption of mortar mixed with blended cement MRS1, MRS2 and MRS3 were indicated the range of 8.3~7.3%, 6.5~8.8% and 3.5~6% respectively. Therefore, when the ratio of blended cement and RS is appropriately controlled, it would be expected that MRS1, MRS2 and MRS3 will be able to apply the variable low strength, medium strength and high strength precaste concrete.

Key words : Recycled fine aggregate, Blended cement, Compressive strength, Absorption, Precast concrete aggregate

[†] 2005년 11월 7일 접수, 2006년 1월 20일 수리

* E-mail: moondaejoong@yahoo.co.kr

1. 서 론

최근 경제발전에 힘입어 생활수준이 크게 향상되므로써 이로 인하여 발생하는 쓰레기, 생활 및 산업 폐기물이 크게 증가하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 특히 건설폐기물중 콘크리트구조물의 노후화, 성능저하, 용도 및 목적의 변경 등으로 인하여 구조물의 해체에 의해 발생하는 폐콘크리트량이 급증하고 있는 실정이다. 환경부의 통계연감에 의하면 2002년 건설폐기물 발생량은 약 120,140톤/일 정도 발생하는 것으로 집계되어 있으며, 건설폐기물 중 불연성폐기물은 114,089톤/일로 전체의 95%를 차지하고 있다. 이러한 불연성폐기물 중 96.9%가 건설폐기류이며, 이중 폐콘크리트량은 건설폐기류의 66.9% 정도 차지하고 있다. 이러한 통계는 5년 전인 1997년과 비교하면 건설폐기물량은 약 2.7배, 폐콘크리트량은 약 2.8배 증가된 수치이다¹⁾.

그러나 현재까지 폐콘크리트는 도로 포장용 또는 매립용 재료 등으로 사용 내지는 폐기되어 왔을 뿐, 부가가치가 높은 자원으로서 재활용되지 못하고 있는 실정이다. 또한, 점차 급증하는 건설폐기물을 처리할 수 있는 매립지의 부족뿐만 아니라 폐기물의 처리비용이 큰 부담이 되고 있다.

특히, 현재 철거중인 저밀도 아파트 재건축에서 폐콘크리트 등 건설폐기물이 약 100만톤이라는 엄청난 양이 한꺼번에 발생될 것으로 추정됨에 따라 건설폐기물의 효율적인 처리 및 재활용 촉진기술 개발을 위하여 공공기관의 건설시공시 건설폐기물을 재활용하는 의무사항이 2005년부터 시행되고 있다.

폐콘크리트는 일정한 처리과정을 통해 다시 콘크리트용 골재로 재활용이 가능하므로 일부 선진국에서는 폐콘크리트를 지구환경보전 및 자원 유효이용의 차원에서 재활용하기 위하여 콘크리트용 골재로 환원하고자 하는 리사이클링 연구^{2,4)}가 활발히 진행되고 있다. 우리나라에서도 양질의 골재부족 현상 극복 및 무분별한 석산채굴을 방지할 목적으로 이에 대한 연구^{5,6)}에 관심이 고조되고 있다.

특히, 폐콘크리트를 파쇄하게 되면, 굵은골재, 잔골재 및 분말로 만들어지며, 이들 중 재생잔골재는 폐콘크리트 중량의 약 40% 정도가 발생된다. 즉, 재생잔골재는 재생굵은골재와 마찬가지로 콘크리트용 골재로서 재활용하면 고부가가치를 창출할 수 있으므로 재생잔골재의 품질을 한국산업규격의 품질규격에 만족하도록 향상시킬 뿐만 아니라 재생잔골재를 재활용할 수 있는 다양한

용도를 개발하고자 하는 연구노력이 절실히 필요하다⁷⁾.

본 연구에서는 폐콘크리트에서 발생하는 5 mm 이하 재생잔골재의 품질에 대하여 검토하였다. 이 재생잔골재를 프리캐스트 콘크리트 제품용 골재로 재활용하기 위하여 혼합시멘트의 비율 3단계, 물-시멘트비 3단계 및 양생온도를 3단계로 변화시켜 재생잔골재를 활용한 모르타르의 압축강도, 휨강도 및 흡수율을 검토하였다. 또한, 프리캐스트 콘크리트 제품용 골재로서의 적용성에 대하여 평가하였다.

2. 실험개요

2.1. 사용재료

시멘트는 밀도가 3.15 g/cm³이고, 비표면적이 3,539 cm²/g인 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 초조강포틀랜드시멘트(HPC)를 사용하였으며, 포졸란 재료로는 플라이애시(FA), 고로슬래그 미분말(SG)을 사용하였다. 시멘트계 재료의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다. 잔골재는 밀도 2.31 g/cm³, 흡수율 8.07%인 재생잔골재(RS)를 사용하였다. 혼화제는 밀도 1.2 g/cm³인 폴리카본산 감수제, 초기 수화반응을 촉진하기 위하여 CaCl₂를 사용하였다.

Table 1. Chemical composition of cementitious materials

Composition	OPC (%)	HPC (%)	SG (%)	FA (%)
CaO	61.4	60.9	33.5	4.2
SiO ₂	20.5	20.6	44.2	55.0
Al ₂ O ₃	6.4	6.1	14.0	21.1
MgO	3.0	2.7	4.9	1.2
Fe ₂ O ₃	2.9	2.9	0.8	10.9
SO ₃	2.1	4.7	1.4	0.06
K ₂ O	0.8	-	0.4	0.6
Na ₂ O	1.2	-	0.9	0.98
L.O.I	0.8	0.7	0.1	5.0

2.2. 실험항목

시멘트 및 혼화재료의 화학성분은 XRF(Phillips사, PW1400)를 이용하여 분석하였다. 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험과 유기불순물 시험은 KS F 2503 및 KS F 2510에 준하여 실시하였다. 체가름 및 단위용적 중량 시험은 KS F 2502 및 KS F 2505에 준하여 실시하였

Table 2. Mixture proportions of mortar

Type	W/C(%)	OPC	HPC	SG	FA	RS
MRS1	32.5	6.75	0.25	0.50	2.5	90
MRS2	35.0	13.5	0.50	1.00	5.0	80
MRS3	37.5	27.0	1.00	2.00	10.0	60

다. 모르타르의 강도는 190×90×57cm의 공시체를 제작하여 모르타르의 재령 7일, 28일 및 56일에서 실시하였다.

2.3. 배합 및 성형

재생잔골재를 사용한 모르타르(MRS)의 배합은 Table 2와 같이 시멘트계 재료(OPC + HPC + SG + FA)와 잔골재의 비율은 중량에 대한 비율로 10%:90%, 20%:80% 및 40%:60%의 3단계로 하였다. 이 때 OPC:HPC:SG:FA는 27:1:2:10로 하였으며, 물-시멘트비는 32.5, 35 및 37.5%로 정하였다. 감수제 및 반응촉진제는 시멘트량에 0.5%를 사용하였다. 공시체의 성형은 몰드에 모르타르를 채운 후, 2회 다짐하여 0.5 ton으로 가압성형하여 22°C, 40°C 및 80°C에서 소정의 재령까지 양생하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 재생잔골재의 품질

재생잔골재의 밀도 및 흡수율 등을 측정하여 부순골재 및 재생잔골재의 KS 규격과 비교, 정리한 것이 Table 3이다. 이 표에서 재생잔골재의 밀도 및 흡수율은 각각 2.31 g/cm³ 및 8.07%로 KS 규격의 부순골재보다 열악하였으며, 단위용적질량은 1,343 kg/m³으로 본 실험에 사용한 재생잔골재는 KS F 2573의 2종을 만족하는 품질이었다. 즉, 재생잔골재의 품질이 좋지 않은

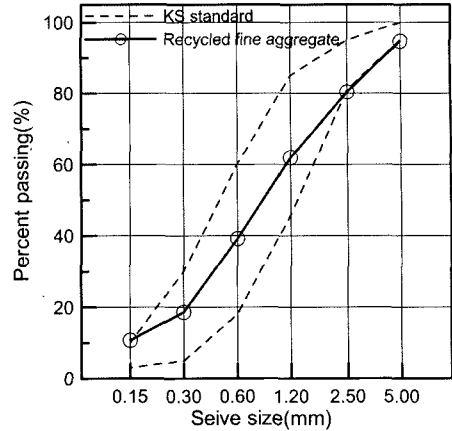


Fig. 1. Grade curve of recycled fine aggregate.

이유는 재생잔골재에 부착된 모르타르의 양, 강도 등에 의해 크게 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. Fig. 1은 해체구조물에서 발생하는 폐콘크리트를 파쇄한 재생잔골재의 입도분포이다. 이 그림에서 재생잔골재의 입도는 표준입도 범위에 만족하는 좋은 입도이다.

3.2. 모르타르의 압축 및 휨강도

3.2.1. 압축강도

MRS1, MRS2, MRS3를 물-시멘트비 3단계(32.5%, 35.0%, 37.5%)로 변화시켜 모르타르를 제조하였다. 이 모르타르를 양생온도 22°C, 40°C 및 80°C의 조건으로 달리하여 재령 7일, 28일 및 56일의 압축강도를 측정한다. 결과가 Table 4이다.

이 표에서 혼합시멘트의 비율이 10%인 MRS1을 물-시멘트비를 32.5%하여 제조할 경우 성형이 되지 않았으나, 나머지 배합에서는 성형이 가능하므로 프리캐스트 제품 제조시 가압성형에 필요한 수량이 존재함을 알 수 있었다. 재령 28일에 대한 재령 7일의 압축강도 증가비율은 양생온도 70% 이상을 발휘하고 있으며, 재령

Table 3. Physical properties of recycled fine aggregate

Items	Test results	KS F 2527 (general)	KS F 2573 (recycled sand)	
			Type 1	Type 2
Density (g/cm ³)	2.31	>2.5	>2.2	>2.2
Absorption (%)	8.07	<3	<5	<10
Passing of 0.08 mm (%)	6.4	<7	<5	<5
Unit mass (kg/m ³)	1,343	-	-	-
F.M.	2.97	-	-	-

Table 4. Compressive strength of mortar with RS (MPa)

Type	Curing tem. (°C)	22			40			80		
	W/C(%) Age(day)	32.5	35.0	37.5	32.5	35.0	37.5	32.5	35.0	37.5
MRS1	7	-	10.9	11.5	-	11.2	12.9	-	12.6	11.3
	28	-	12.5	14.6	-	15.8	15.5	-	13.4	13.3
	56	-	12.7	16.3	-	21.4	15.6	-	15.1	14.7
MRS2	7	16.1	20.9	19.5	17.2	22.4	27.6	16.7	22.0	24.8
	28	18.4	22.7	26.8	23.1	27.4	28.2	19.3	22.5	24.9
	56	21.2	27.7	32.8	28.1	29.3	29.7	20.3	30.6	30.0
MRS3	7	34.6	44.8	35.5	31.2	44.4	40.1	29.0	33.9	32.8
	28	44.0	48.7	45.8	43.1	48.7	47.0	38.7	38.7	37.9
	56	45.3	49.0	46.1	43.6	49.7	48.1	41.6	44.0	42.8

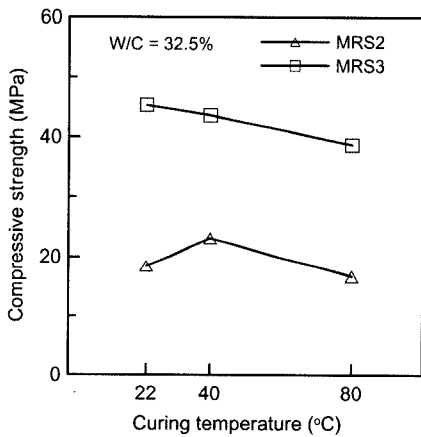


Fig. 2. Compressive strength of mortar with RS (W/C=32.5%)

28일에 대한 재령 56일의 압축강도 증가비율은 MRS1을 물-시멘트비 35%로 제조하여 양생온도 40°C에서 양생한 경우 15.8 MPa에서 21.4 MPa로 약 35%, MRS2를 물-시멘트비 35%로 제조하여 양생온도 80°C에서 양생한 경우 22.5 MPa에서 30.6 MPa로 약 36%의 강도 발현을 하였다.

Fig. 2는 물-시멘트비를 32.5%로 하여 제조한 모르타르의 재령 28일 압축강도로서 혼합시멘트양이 많은 MRS3가 MRS2에 비하여 압축강도가 2배정도 큰 값을 나타내고 있다. 한편, 양생온도에 따른 압축강도는 MRS2의 경우 양생온도 40°C에서 최대압축강도 23.1 MPa를 발현하였으나, MRS3는 양생온도 80°C에서는 양생온도가 높을수록 압축강도가 감소하였다.

Fig. 3은 물-시멘트비를 35.0%로 하여 제조한 모르타르의 재령 28일 압축강도로서, 양생온도에 따른 압축강도는 MRS2 및 MRS3는 Fig. 2와 비슷한 경향을 나타내었으며, MRS1은 양생온도에 따른 영향은 나타나지

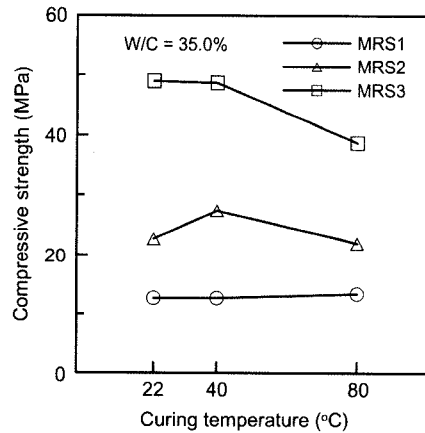


Fig. 3. Compressive strength of mortar with RS (W/C=35.0%)

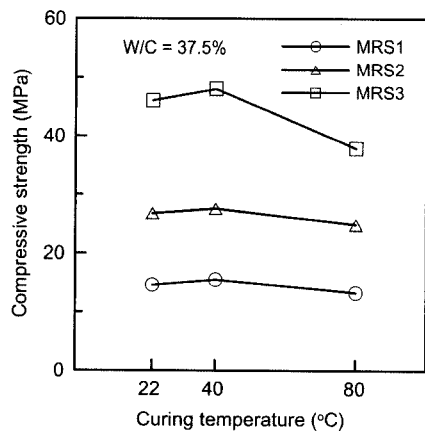


Fig. 4. Compressive strength of mortar with RS (W/C=37.5%)

않았다. 또한, 물-시멘트비 32.5%에 비하여 약 10% 정도의 강도증진이 있었다.

Fig. 4는 물-시멘트비를 37.5%로 하여 제조한 모르타르의 재령 28일 압축강도로서, MRS1 및 MRS2는 양생 온도에 따라 압축강도에 큰 차이는 없었으나, MRS3는 양생 온도 40°C에서 최대압축강도 48.1 MPa를 발현하였다. 물-시멘트비 35.0%로 제조한 모르타르(Fig. 3)와 비교하면, 약간 감소하는 경향이 있다.

즉, 모르타르의 최대압축강도를 발현하는 조건은 물-시멘트비가 35%이며, 양생온도가 40°C였다.

3.2.2. 휨강도

Table 5는 양생온도에 따른 모르타르의 재령별 휨강도를 정리한 표이다. 이 표에서 혼합시멘트가 10%인 MRS1를 사용하여 제조한 모르타르를 양생 온도 22°C로 양생한 경우 재령 28일에 대한 재령 7일 휨강도비는 1.94 MPa에서 2.99 MPa로 60% 이상을 발현하였다. 또한, 재령 28일에 대한 56일의 휨강도비는 2.99 MPa에서 3.23 MPa로 10% 이하의 강도발현을 하여 압축강도 증가에 비하여 크지 않았다.

MRS1, MRS2, MRS3를 물-시멘트비 3단계(32.5%, 35.0%, 37.5%)로 변화시켜 제조한 모르타르의 재령 28일 휨강도를 양생온도와의 관계로 정리한 것이 Fig. 5-7이다.

재령 28일에서 물-시멘트비를 32.5%로 제조한 경우 MRS2를 사용한 모르타르는 양생 온도 40°C에서 4.56 MPa로 최대값을 나타내었으며, MRS3를 사용한 모르타르는 양생온도가 증가할수록 오히려 강도가 감소하는 결과를 얻었다(Fig. 5). 물-시멘트비를 35.0%로 제조한 경우 MRS1, MRS2, MRS3를 사용한 모르타르 모두 양생 온도 40°C에서 최대값 2.93 MPa, 4.62 MPa 및 7.33 MPa를 얻었다(Fig. 6). 물-시멘트비를 37.5%로

하여 제조한 경우도 물-시멘트비를 35.0%로 제조한 모르타르 비슷한 경향으로 양생 온도 40°C에서 최대값

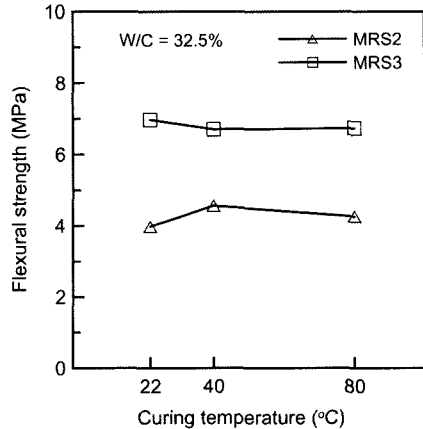


Fig. 5. Flexural strength of mortar with RS (W/C=32.5%)

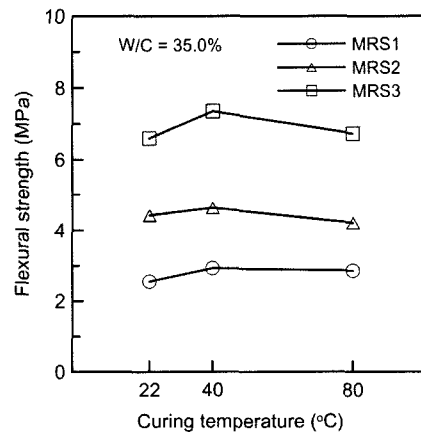


Fig. 6. Flexural strength of mortar with RS (W/C=35.0%)

Table 5. Flexural strength of mortar with RS(MPa)

Type	Curing tem. (°C)	22			40			80		
		W/C(%)			W/C(%)			W/C(%)		
	Age(day)	32.5	35.0	37.5	32.5	35.0	37.5	32.5	35.0	37.5
MRS1	7	-	1.97	1.94	-	2.01	2.93	-	2.42	2.32
	28	-	2.55	2.99	-	2.93	3.06	-	2.86	2.96
	56	-	2.76	3.23	-	3.19	4.32	-	3.04	3.17
MRS2	7	2.55	3.06	3.33	2.93	3.40	4.08	3.81	4.21	3.09
	28	3.98	4.42	5.51	4.56	4.62	5.10	3.88	4.29	4.69
	56	4.56	4.86	5.78	4.97	5.03	5.60	4.26	4.59	5.51
MRS3	7	4.52	5.44	5.20	4.56	5.26	5.42	4.18	5.48	5.31
	28	6.73	6.60	6.43	6.36	7.33	7.20	6.43	6.73	6.52
	56	6.97	6.82	6.56	6.70	7.35	7.52	6.73	6.73	6.53

3.06 MPa, 5.10 MPa 및 7.20 MPa를 얻었으며, 양생온도 80°C에서는 표준양생온도 22°C에서 양생한 모르타르보다 작은 휨강도가 나타났다(Fig. 7). 즉, 최대휨강도를 발현시킬 수 있는 배합 및 양생온도 조건은 MRS1 및 MRS2는 물-시멘트비 35.0%, 양생온도 40°C이며, MRS3는 물-시멘트비 37.5%, 양생온도 40°C임을 알 수 있다.

이와 같이 양생온도 40°C 범위에서 모르타르의 압축강도 및 휨강도가 가장 크게 발현되는 결과는 시멘트 수화생성물인 C₃S 및 C₃A의 의해 지배적인 영향으로 즉, 양생온도가 4~40°C로 증가할수록 C₃S 및 C₃A의 수화반응은 활발하게 진행되기 때문이다. 반면, 양생온도를 80°C로 하게 되면, C₃S 및 C₃A의 초기수화반응이 촉진되지만, 초기재령에서 수화생성물이 과다하게 발생하게 되어 모르타르 내부조직을 손상시키게 되어 재령 28일 이후의 강도발현은 감소하게 된다⁸⁾.

따라서, 프리캐스트 제품용 모르타르의 최대압축강도 및 최대휨강도를 얻기 위해서는 혼합시멘트양에 따라 적절한 물-시멘트비를 선정할 필요가 있으며, 양생온도의 관리가 필요하다고 판단된다.

3.2.3. 압축강도와 휨강도와의 관계

Fig. 8은 재생잔골재를 사용한 모르타르의 재령 28일의 압축강도와 휨강도와의 관계를 정리한 그림이다. 이 그림에서 재생잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도와 휨강도는 선형관계로서 압축강도는 휨강도에 비하여 약 7.87배 정도 큰 값을 보이고 있다. MRS1을 사용한 모르타르는 압축강도 12 MPa, 휨강도 2.5 MPa 이상, MRS2를 사용한 모르타르는 압축강도 15 MPa, 휨강도 4 MPa 이상, MRS3를 사용한 모르타르는 압축강도

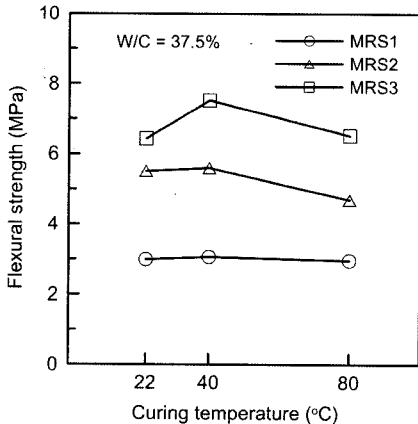


Fig. 7. Flexural strength of mortar with RS (W/C=37.5%)

35 MPa, 휨강도 6 MPa 이상이 발현되었다. 즉, 재생잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도와 휨강도의 비(f_{ck}/f_{br})는 약 8 정도로 일반골재를 사용한 모르타르의 압축강도와 휨강도의 비(약 $f_{ck}/f_{br}=6$) 보다 크게 나타나는 것은 재생잔골재와 시멘트페이스트 사이의 친이영역이 증가하여 압축강도에 비하여 휨강도가 작게 발현되기 때문이다⁹⁾.

3.3 모르타르의 흡수율

MRS1, MRS2, MRS3를 물-시멘트비 3단계(32.5%, 35.0%, 37.5%)로 변화시켜 모르타르를 제조한 후, 재령 28일 동안 양생온도별로 양생하여 측정된 흡수율의 범위를 정리한 것이 Fig. 9이다

MRS1, MRS2, MRS3를 사용한 모르타르의 흡수율

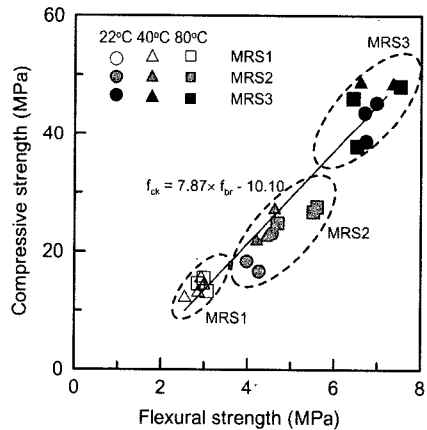


Fig. 8. Relationship between flexural and compressive strength of MRS.

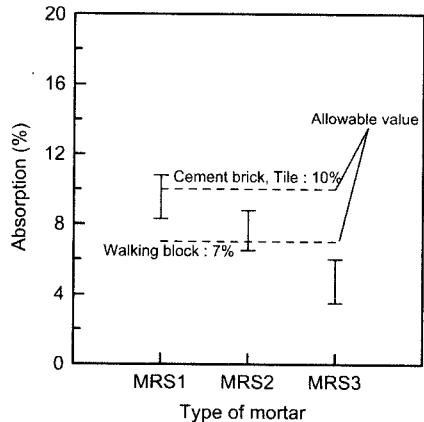


Fig. 9. Absorption of mortar with RS.

Table 6. Required properties of precast concrete and application of mortar with RS

Items	Cement brick	Tile	Shore Block	Soundproofing Wall	Walking Block	Hume Pipe	PC Culvert	Segment
Comp. Strength (MPa, 28day)	>8.2 (Type C-2)	>15	>21 (Type 1)	>24	-	>35	>35	>45
Flexural Strength (MPa, 28day)	-	-	-	-	>5	-	-	-
Absorption (%)	<10	<10	-	-	<7	-	-	-
Application	MRS1	MRS1	MRS2	MRS2	MRS2	MRS3	MRS3	MRS3

의 범위는 각각 8.3~10.3%, 6.5~8.8% 및 3.5~6%로 나타났다. 즉, 재생잔골재를 사용한 모르타르의 흡수율은 재생잔골재의 자체 흡수율이 크므로 대체적으로 크게 나타나는 경향이 있었으나, 혼합시멘트의 비율이 증가할수록 시멘트경화체의 내부조직이 치밀해지므로써 재생잔골재를 활용한 모르타르의 흡수율이 감소하는 효과를 얻을 수 있었다.

이와 같이 재생잔골재를 사용한 모르타르의 흡수율 결과로 판단하여 보면, 한국산업규격에서 정하고 있는 프리캐스트 제품 중 시멘트 벽돌 또는 기와의 흡수율은 10% 이하로 규정하고 있으므로 모든 배합의 조건에서 제품생산이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 보도블럭의 흡수율은 7% 이하로 규정하고 있으므로, MRS2를 사용할 경우 물-시멘트비 35% 및 37.5%의 배합조건과 MRS3를 사용하는 배합에서 보도블럭의 제조가 가능할 것으로 판단된다.

3.4. 프리캐스트 제품용 재생잔골재의 적용성 평가

한국산업규격에서 정하고 있는 프리캐스트 콘크리트 제품의 압축강도, 휨강도 및 흡수율의 요구성능을 정리한 것이 Table 6이다.

시멘트 벽돌 C중 2급의 규격조건은 압축강도 8.2 MPa 이상과 흡수율 10% 이하의 성능을 요구하므로 혼합시멘트, 물-시멘트 비 및 양생온도 조건은 MRS1을 사용하고 22°C로 양생하는 것이 바람직하다고 평가된다. 기와의 규격조건은 15 MPa 이상과 흡수율 10% 이하의 성능을 요구하므로 혼합시멘트는 MRS1을 사용하고 양생온도는 40°C로 하는 것이 바람직하다고 평가된다. 호안블럭 1종의 규격조건은 압축강도 21 MPa 이상을 요구하므로 혼합시멘트는 MRS2를 사용하고 물-시멘트비는 35% 및 37.5%, 양생온도는 22°C로 하는 것이 경제성으로 유익하다고 판단된다. 방음벽의 규격조건은 압축강도 24 MPa 이상을 요구하므로 혼합시멘트의 배합조건은 MRS2로 하고 물-시멘트비 37.5%로 제조하여 22°C로 양생하는 것이 가장 유익하다고 판단된다.

보도블럭의 규격조건은 휨강도 5 MPa 이상과 흡수율 7% 이하의 성능을 요구하므로 혼합시멘트는 MRS2를 사용하고 물-시멘트비는 37.5%, 양생온도는 22°C로 하는 것이 경제성으로 유익하다고 판단된다. 휴관 및 PC 압거의 압축강도 규격조건은 35 MPa 이상을 요구하므로 혼합시멘트는 MRS3를 사용하고 양생온도는 22°C로 하는 것이 바람직하다고 평가된다. 또한, 세그먼트의 압축강도 규격조건은 45 MPa 이상을 요구하므로 혼합시멘트는 MRS3, 물-시멘트비 35% 및 양생온도는 22°C로 하는 배합조건이 가장 바람직하다고 평가된다. 이와 같이 MRS3의 배합은 고강도 제품에 사용이 가능하다.

이상의 실험결과를 종합해 보면, 재생잔골재의 품질을 보완하기 위해서는 시멘트경화체의 성능을 향상시킬 필요가 있었으며, 혼합시멘트의 배합조건에 따라 적절한 물-시멘트비 및 성형에 필요한 물-시멘트가 존재함을 알 수 있었다. 또한, 혼합시멘트의 배합조건을 조절하므로써 재생잔골재를 다양한 프리캐스트 콘크리트 제품용 골재로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

(1) 재생잔골재의 품질은 부착된 모르타르에 의해 지배적인 영향을 받으므로 재생잔골재의 밀도 및 흡수율은 각각 2.31 g/cm³ 및 8.07%였으며, 단위용적질량은 1,343 kg/m³으로 KS F 2573의 2중에 해당되는 품질로서 부순모래의 품질보다 좋지 않았다. 재생잔골재의 입도는 표준입도 범위를 만족하는 좋은 입도분포를 나타내었다.

(2) 혼합시멘트의 비율에 따라 모르타르를 제조하기에 적합한 물-시멘트비 및 양생온도가 필요하였으며, 혼합시멘트 MRS1 사용시 물-시멘트비 32.5%에서는 성형이 불가능하였다. 또한, 혼합시멘트 MRS1, MRS2 및 MRS3 사용 모르타르의 재령 28일 압축강도는 물-시멘트비 35%, 양생온도 40°C의 조건에서 각각 15.8, 27.4 및 48.7 MPa로 최대값을 발현하였다.

(3) 재생잔골재 사용 모르타르의 최대휨강도는 혼합 시멘트 MRS1 및 MRS2 사용시 물-시멘트비 35.0%, 양생온도 40°C이며, 혼합시멘트 MRS3 사용시 물-시멘트비 37.5%, 양생온도 40°C의 조건에서 발현하였다. 재생잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도와 휨강도의 비 (f_{ck}/f_{br})는 약 8 정도로 일반골재를 사용한 모르타르의 압축강도와 휨강도의 비보다 크게 나타났다.

(4) 재생잔골재를 사용한 모르타르의 흡수율은 재생 잔골재의 흡수율에 의해 지배적인 영향을 받았으나, 혼합시멘트의 비율이 증가할수록 시멘트경화체의 내부조직이 치밀해져서 모르타르의 흡수율이 감소하는 효과가 있었다. 혼합시멘트 MRS1, MRS2 및 MRS3를 사용한 모르타르의 흡수율의 범위는 각각 8.3~7.3%, 6.5~8.8% 및 3.5~6%의 범위로 나타났다.

(5) 혼합시멘트 MRS1은 시멘트벽돌이나 기와 같은 저강도용, MRS2는 방음벽 및 보도블럭과 같은 보통강도용, MRS3는 흙관, PC 암거와 같은 고강도 프리캐스트 콘크리트 제품에 적용이 가능할 것으로 평가된다. 즉, 혼합시멘트와 재생잔골재의 비율을 적절히 조절함으로써 재생잔골재를 다양한 프리캐스트 콘크리트 제품에 재활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 산업폐기물재활용기술개발사업단(사) 2004: 한국자원리사이클링학회, 리사이클링백서, 청문각, pp.326-331.

2. Sagoe-Crentil, K. K., Brown, T., Taylor, A. H., 2001: Performance of Concrete Made with Commercially Produced Coarse Recycled Concrete Aggregate, Cement and Concrete Research, No.31, pp.707-712.

3. Ahmad Shayan and Aimin Xu, 2003: Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate, ACI Mater. Jour. 100(5), pp.371-380.

4. Henrichsen, A. 2000: Use of Recycled Aggregates in Europe, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, pp.1-8.

5. 서치호, 김병윤, 2005: 재생골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회 논문집 17(3), pp.385-392.

6. 심재원, 김진철, 조규성, 최강식, 2004: 현장파쇄 재생골재를 사용한 부체도로 콘크리트 포장, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집 16(1), pp.348-351.

7. Nagataki, S., Gokce, A. and Watanabe, T., 2000: Dae-Joong Moon, Characterization of Recycled Fine Aggregate Mortar Regarding Frost Resistance, Cement Science and Concrete Technology, No.54, Japan Cement Association, pp.305-311.

8. Sndor Popovics, 'Strength and Related Properties of Concrete', "Effect of the Curing Temperature on Concrete Strength", John Wiley & Sons, INC., pp.214-229.

9. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro, 田澤榮一, 佐伯昇 監, 'コンクリ[A]ト工學-微視構造と材料力學', 技報堂出版, 1998, pp.36-41.



文 大 重

- 1998년 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 세명대학교 토목공학과 겸임교수



文 翰 英

- 1975년 일본 동경공업대학 공학박사
- 현재 한양대학교 토목공학과 명예교수



金 良 培

- 현재 한양대학교 토목공학과 박사과정



林 南 熊

- 1981년 호주NSW주립대, 공학박사
- 현재 중앙대학교 건설대학원 환경공학과 교수