가열방법을 이용한 고품질 순환골재 제조를 위한 실험적 연구

유성원† · 민경완* · 허 윤* · 하헌재* · 문재흠*
우석대학교 토목환경공학과 · *한국건설생활환경시험연구원
(2011. 7. 15. 접수 / 2011. 10. 25. 채택)

An Experimental Study for Manufacture of High Quality Recycled Aggregate by Heating

Sung Won Yoo† · Gyeong Oan Min* · Yoon Her* · Heon Jae Ha* · Jae Heum Moon*
Department of Civil and Enviromental Engineering, Woosuk University
*Korea Conformity Laboratories
(Received July 15, 2011 / Accepted October 12, 2011)

Abstract : The use of waste concrete can resolve the environmental pollution and shortage of natural aggregate. However, recycled aggregate includes substantial amount of cement paste. So, these aggregates are more porous, and less resistant to mechanical actions than natural aggregates. So, recently, the new manufacture processes of high quality recycled aggregates were suggested such as heating and solving to acid liquid. But the method of solving to acid liquid is not economical and produces additional environmental pollution. In this paper, for the purpose of manufacture of high quality recycled aggregates, the heating processes was added to the existing process of recycled aggregates. To find the optimum process, the experiment was performed by using the method of statistical experiment design, and the heating temperatures(4 levels : 300, 450, 600 and 750℃) and heating times(4 levels : 5, 20, 40, 60 minute) were main experimental variables. By the test results, the optimum manufacturing condition of coarse recycled aggregate was 600℃ and 40 minute, and for the fine recycled aggregate, a little heating made a satisfaction to the KS standard quality code.
Key Words : recycled aggregate, heating, optimum condition

1. 서 론

최근 국내의 경우, 천연골재의 고갈 현상이 심각하게 발생되어지고 있다. 이러한 이유로 폐콘크리트를 분쇄하여 콘크리트용 골재로 재활용하는 것은 고갈된 천연 골재의 대체, 자원 및 에너지 절약, 폐콘크리트의 불법 매립 또는 폐기에 따른 건설 공해 방지 측면에서 매우 중요한 사항이다. 이러한 순환골재는 일반적으로 파쇄되어 생산되므로 형상, 입형 등은 쇄석, 쇄사 골재와 유사하지만, 순환골재 표면에 부착되어 있는 기존 시멘트 패이스트에 의해서 비중, 흡수율, 씻기손실량 및 불순물 함유량 등에서 상대적으로 불리하다.[1] 따라서, 고품질의 순환골재의 제조기술에서 가장 중요한 기술은 순환골재 표면에 부착되어 있는 기존 시멘트 패이스트의 제거 기술이라고 할 수 있다. 종래의 기술을 보면, 대체적으로 파쇄하고, 크기별로 분류하며, 세척하는 정도의 범위 에서 한정되는 것이 대다수이다. 최근에는 단순 파쇄 기술로는 고품질의 순환골재를 제조할 수 없다는 인식이 확산되어 가열, 용해 등의 기술이 제안되기 시작하고 있는 실정이다.[2] 이론적으로 가장 확실한 시멘트 패이스트 제거 방법은 염산 등의 산용액에 순환골재를 침지시켜 시멘트 패이스트를 제거하는 방법이 가장 확실할 것으로 추정되나, 생산기간의 장기화, 경제성 결여 및 산용액에 의한 환경오염 부담 증가 등의 이유로 비현실적인 제조 방법으로 알려져 있다.[3]

이에 반해서 가열에 의해서 시멘트 패이스트를 제거하는 방법은 기존 방법에 비하여 다소 경제성이 떨어지지만, 제조공정이 상대적으로 단순하며 그 효과도 어느 정도 확실할 것으로 추정된다. 왜

† To whom correspondence should be addressed.
imysw@woosuk.ac.kr

냐하면, 시멘트 수화물은 350~750℃에서 제거되는 특성을 가지고 있기 때문에 이러한 온도 분위기를 경험한 순환골재를 추가 분쇄한다면 기존의 시멘트 패이스트 제거는 상당히 용이한 방법일 것이다.[4)]

이러한 가열에 의한 새로운 순환골재 제조 기술에 대한 실험적 연구는 현재까지 국내에서는 수행된 적이 없어, 적정 제조 조건 설정이 필수적으로 요구되고 있는 실정이다.

따라서 가열에 의한 고품질 순환 골재 제조 조건 설정을 위해서 본 연구에서는 적정 가열 온도, 가열 시간 및 적정 첨가제량 등에 대하여 통계적 이론에 근거하여 실험을 실시하였고, 적정 제조 조건 및 제조된 순환 골재의 품질을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험 방법

2.1. 순환골재의 제조

본 연구에 사용된 순환골재의 제조 공정은 Fig. 1과 같고, 제조공정은 대략 다음과 같다.

① 해체현장에서 500 mm 정도로 파쇄된 폐콘크리트를 죠크러셔로 150 mm 정도로 분쇄한다.

② 분쇄물에 섞여 있는 흙, 목재, 금속, 플라스틱 등의 이물질을 분리, 제거한다.

③ 임팩트 크러셔로 파쇄하고 자선기 등으로 철근 조각을 제거한다.

④ 각체의 치수별 체분석을 수행한 후, 크기별로 골재를 분류한다.

⑤ 분류된 골재를 가열로에 투입하여 소정의 온도, 시간으로 가열한다.

⑥ 가열된 골재에 벤토나이트 분말을 첨가한다.

⑦ 벤토나이트 분말이 첨가된 골재를 볼밀(ball mill)로 분쇄한 후 세척하여 고품질 골재를 제조한다.

상기 제조공정에서 ①~④ 단계는 기존의 일반적인 순환골재 생산과 동일한 공정이며, ⑤~⑦ 단계가 새롭게 추가된 가열 및 분쇄 공정이다.

최종 분쇄된 물질을 열처리하는 단계는 열처리 장치에 의해 이루어진다. 즉, 600℃ 내지 750℃ 정도에서 1시간 가량 열처리를 한 후 합성기를 통해 첨가제인 벤토나이트를 합성하는데 이는 표면 이물질이 제거된 순환골재의 강도를 강화시키기 위해서 이다. 첨가제를 합성하는 단계는 합성기에서

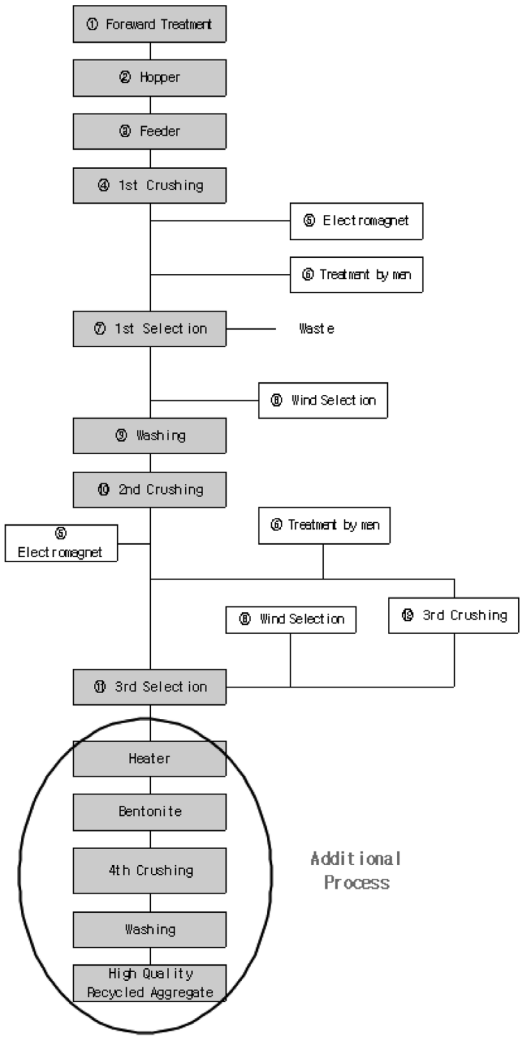


Fig. 1. Production process of recycled aggregates.

이루어진다. 오랫동안 건축물속에 있었거나 기타 용도에 사용되었던 폐모래 및 폐자갈 등은 그 강도가 약해지기 마련이다. 이러한 강도가 약한 모래 및 자갈 등은 그 표면에 첨가제를 입힘으로써 재활용의 가치를 극대화 시킬 수 있다.[4)]

종래에는 규산알칼리 수용액을 재생골재의 외주면에 도포 침투시킴으로써 암모늄이온과 할로겐이온의 존재 하에서 규산칼슘과 콜로이드(Colloid) 규산을 생성시켜 골재표면의 공극이 밀실하게 채워지도록 한 물유리 코팅방법을 사용하기도 했지만, 이러한 방법에서 발생되는 문제점은 알칼리 성분이 모래의 강도를 저하시킨다는 점이다.[3,4)] 따라서, 본 연구에서는 폐모래 및 폐자갈 등에 함유된

알칼리 성분과 반응하여 알칼리의 양을 감소시키고 재활용 시 모래 및 자갈의 강도를 강화시킬 수 있는 입자성 점토를 혼합하였다.

입자성 점토는 순환골재의 입자크기보다 작은 것이 바람직하므로 약 1 mm 내외가 바람직하고 이러한 입자성 점토는 벤토나이트, 고령토, 스멕타이트 등이 적당하여 본 연구에서는 벤토나이트 분말을 사용하였다. 이러한 벤토나이트 분말의 첨가비율은 중량대비 0.05~2% 범위가 적당한 것으로 알려져 있다.

2.2. 실험 변수, 항목 및 방법

실험변수는 가열 온도, 가열 시간 및 벤토나이트 첨가율로 결정하였으며, 가열 온도는 300, 450, 600 및 750℃ 4수준(변수명 A), 가열 시간은 5, 20, 40, 60 분 4수준(변수명 B) 그리고 벤토나이트 첨가율은 중량비율로 0, 1, 2% 3수준(변수명 C)으로 정하여 굵은 골재 및 잔골재에 대하여 각각 48 경우, 총 96 경우(= 4 × 4 × 3 × 2)로 실험계획법 중 3원배치법을 이용하였다.[5)]

건조로를 이용한 실험 장면 및 가열실험 전후의 시료에 대한 사진을 다음 Fig. 2에 나타내었다.

실험 항목은 순환골재의 물성 중 가장 중요한 흡수율 및 절대건조 비중으로 결정하였고, 실험방법은 KS F 2573-2006 “콘크리트용 순환골재” 규정에 준하여 수행하였다. 한편 순환골재의 흡수율 및 절대건조비중에 대한 KS 품질 규준은 다음 Table 1과 같다.[6)]

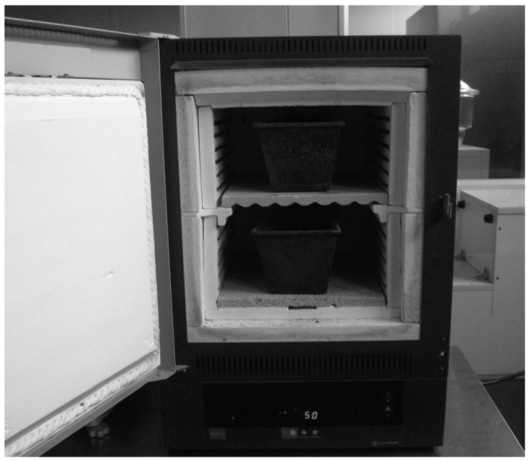
3. 실험결과의 분석 및 검토

3.1. 기존 생산 방식 순환골재의 물성

가열공정을 실시하지 않은 기존 생산 방식으로 제조된 순환골재를 생산공장에서 시료채취하여 흡수율, 절대건조 비중 실험을 실시하였으며,[7)] 그 결과는 다음 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 알 수 있듯이 본 연구에서 사용된 시료의 경우, 기존 방식으로 제조된 순환골재의 물성은 잔골재의 경우 KS 규준을 겨우 만족하며, 굵은 골재의 경우에는 KS 규준을 만족하지 않는 것으로 나타났다.

Table 1. Standard of recycled aggregates[6)]

Item	Water absorption(%)	Oven-dry gravity
Recycled coarse aggregate	≦ 3.0	≧ 2.5
Recycled fine aggregate	≦ 5.0	≧ 2.2



(a) heating furnace

(b) sample before heating

(c) sample after heating

Fig. 2. Photos of experiments.

3.2. 순환굵은골재의 흡수율

가열공정을 실시하지 않은 기존 생산 방식으로 제조, 채취된 순환굵은골재 시료에 대하여 전 절

Table 2. Quality of recycled aggregates manufactured by old process

Item	Water absorption(%)	Oven-dry gravity
Recycled coarse aggregate	4.19	2.37
Recycled fine aggregate	3.43	2.26

에서 기술한 실험변수들에 대하여 48 경우의 가열실험을 수행하여 순환굵은골재의 흡수율을 구하였으며, 그 결과는 다음 Table 3에 나타내었으며 KS 규준을 만족하는 경우는 표 내부를 음영 처리하였다.

Table 3에서 알 수 있듯이 가열을 실시하면 처리 전보다 우수한 물성을 가짐을 알 수 있으며, 가열온도가 300℃(A1)인 경우는 KS 규준을 어느 경우에도 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 가열시간도 최소 20분(B2) 이상이어야 함을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통계적으로 처리한 내용이 다음 Table 4~6이다. 3원배치법에 의한 분산분석표[5]를 Table 4에 나타내었으며, 이 내용을 고찰해 보면 신뢰도 95% 수준에서는 A, B 및 A × C(교호작용)이 유의한 영향인자이며, 신뢰도 99%에서는 A, B만이 유의한 영향인자인 것으로 나타나, 유의하지 않은 인자를 제거한 수정된 분산분석표[5]를 Table 5에 나타내었으며, 그 결과, A, B인자만이 매우 유의한 것으로 나타나고 있다. 즉, 가열온도와 가열시간만이 매우 유의한 인자임을 알 수 있다. 또한 벤토나이트 첨가효과는 기존 문헌과는 달리 중요 인자가 아닌 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 실시한 실험에서의 가열온도가 벤토나이트 효과가 나타나는 600~750℃ 이하인 이유로 판단된다.

Table 3. Test result of water absorption of recycled coarse aggregates (unit : %)

Item		A1	A2	A3	A4
B1	C1	4.44	3.92	2.74	3.80
	C2	5.02	3.82	4.06	4.26
	C3	4.53	4.53	4.47	3.48
B2	C1	3.76	3.63	2.78	3.01
	C2	3.52	3.04	2.72	2.45
	C3	3.55	3.93	2.81	2.44
B3	C1	3.35	2.04	2.02	1.90
	C2	3.39	2.52	2.17	2.01
	C3	3.33	2.83	2.01	2.21
B4	C1	3.22	2.22	1.67	1.83
	C2	4.07	2.65	1.70	1.86
	C3	3.08	3.61	1.87	1.78

Table 4. Deviation analysis for the water absorption of recycled coarse aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	11.81	3	3.94	41.1	3.16	**effective**	5.09	**effective**
B	21.05	3	7.02	73.3	3.16	**effective**	5.09	**effective**
C	0.56	2	0.28	2.9	3.55		6.01	
A × B	1.52	9	0.17	1.8	2.46		3.6	
A × C	1.83	6	0.30	3.2	2.66	**effective**	4.01	
B × C	0.98	6	0.16	1.7	2.66		4.01	
Error	1.72	18	0.10					
Total	39.47	47						

* S : sum of square, DOF : degree of freedom, V : mean square, F0 : ratio of mean square to error
F(0.05), F(0.01) : F-distribution value at cumulative probability of 95% and 99%

Table 5. Pooled deviation analysis for the water absorption of recycled coarse aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	11.81	3	3.94	24.4	2.83	**effective**	4.3	**effective**
B	21.05	3	7.02	43.5	2.83	**effective**	4.3	**effective**
Error	6.61	41	0.16					
Total	39.47	47						

Table 6. Estimated value for the water absorption of recycled coarse aggregates at confidence level 95%

	A1	A2	A3	A4
B1	4.51~5.13	3.96~4.58	3.32~3.94	3.32~3.94
B2	3.56~4.18	3.01~3.63	2.37~2.99	2.37~2.99
B3	2.90~3.52	2.36~2.98	1.71~2.33	1.71~2.33
B4	2.88~3.50	2.34~2.96	1.70~2.32	1.70~2.32

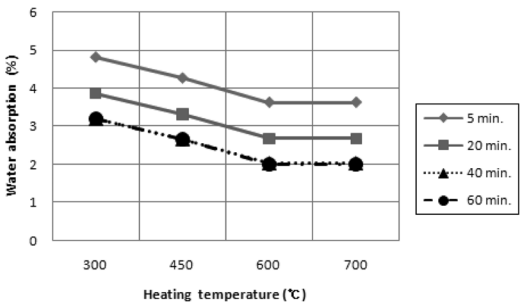


Fig. 3. Point estimated value for the water absorption of recycled coarse aggregates at confidence level 95%.

상기와 같은 결과를 95% 신뢰도의 T분포 검추정을[5] 수행한 결과를 Table 6, 점추정값을[5] Fig. 3에 나타내었다. Table 6에서 알 수 있듯이 현행 KS 규준을 만족하는 순환굵은골재의 흡수율은 최소 600℃, 20분 이상 가열 또는 450℃, 40분 이상 가열을 실시하여야 KS의 흡수율 규준을 만족하는 순환굵은골재를 제조할 수 있는 것으로 나타났다.

3.3. 순환잔골재의 흡수율

가열공정을 실시하지 않은 기존 생산 방식으로 제조, 채취된 순환잔골재 시료에 대하여 전 절에서 기술한 실험변수들에 대하여 48 경우의 가열 실험을 수행하여 순환잔골재의 흡수율을 구하였으며, 그 결과는 다음 Table 7에 나타내었으며 KS 규준을 만족하는 경우는 표 내부를 음영 처리하였다.

Table 7에서 알 수 있듯이 가열을 실시하면 처리 전보다 우수한 물성을 가짐을 알 수 있으며, 일부 경우를 제외하고는 대부분의 경우 KS 규준을 항상 만족하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과를 통계적으로 처리한 내용이 다음 Table 8~10이다. 3원배치법에 의한 분산분석표를 Table 8에 나타내었으며, 이 내용을 고찰해 보면 신뢰도 95 및 99% 수준에서는 A, B 및 A × B(교호작용)가 유의한 영향인자인 것으로 나타나, 유의하지 않은 인자를 제거한 수정된 분산분석표를 Table 9에 나타내었으며, 그 결과, A, B 및 A × B인자들이 매우 유의한 것으로 나타나고 있다. 즉, 가열온도와 가열시간 및 그 교호작용이 매우 유의한 인자임을 알 수 있다.

Table 7. Test result of water absorption of recycled fine aggregates (unit : %)

Item		A1	A2	A3	A4
B1	C1	3.49	2.84	4.56	4.22
	C2	3.86	4.41	4.74	5.05
	C3	4.16	4.03	4.85	4.30
B2	C1	5.06	4.04	3.19	2.19
	C2	5.76	3.81	3.60	4.08
	C3	5.18	3.71	3.77	4.00
B3	C1	4.50	3.12	2.38	4.00
	C2	4.27	3.98	2.31	2.70
	C3	4.40	4.40	2.68	3.15
B4	C1	3.51	2.89	3.24	2.46
	C2	3.06	2.87	3.09	1.94
	C3	3.47	2.71	3.46	1.77

Table 8. Deviation analysis for the water absorption of recycled fine aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	5.81	3	1.94	9.2	3.16	**effective**	5.09	**effective**
B	12.89	3	4.30	20.5	3.16	**effective**	5.09	**effective**
C	0.60	2	0.30	1.4	3.55		6.01	
A × B	12.66	9	1.41	6.7	2.46	**effective**	3.60	**effective**
A × C	0.34	6	0.06	0.3	2.66		4.01	
B × C	1.80	6	0.30	1.4	2.66		4.01	
Error	3.77	18	0.21					
Total	37.85	47						

Table 9. Pooled deviation analysis for the water absorption of recycled fine aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	5.81	3	1.94	9.5	2.90	**effective**	4.46	**effective**
B	12.89	3	4.30	21.1	2.90	**effective**	4.46	**effective**
A × B	12.66	9	1.41	6.9	2.19	**effective**	3.02	**effective**
Error	6.50	32	0.20					
Total	37.85	47						

Table 10. Estimated value for the water absorption of recycled fine aggregates at confidence level 95%

	A1	A2	A3	A4
B1	3.31~4.37	3.14~4.20	4.19~5.25	3.99~5.05
B2	4.80~5.86	3.32~4.38	2.99~4.05	2.89~3.95
B3	3.86~4.92	3.18~4.24	1.93~2.99	2.75~3.81
B4	2.82~3.88	2.29~3.35	2.73~3.79	1.53~2.59

이 결과를 95% 신뢰도의 T분포 검추정을 수행한 결과를 Table 10에 나타내었다. Table 10에서 알 수 있듯이 현행 KS 규준을 만족하는 순환잔골재의 흡수율은 어느 정도의 가열을 실시한다면 KS의 흡수율 규준을 만족하는 순환잔골재를 제조할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 가열 전 물성이 어느 정도 KS규준을 만족하며 가열 후 추가되는 분쇄공정 및 세척공정의 효율이 크기 때문일 것으로 판단된다.

3.4. 순환굵은골재의 절대건조 비중

가열공정을 실시하지 않은 기존 생산 방식으로 제조, 채취된 순환굵은골재 시료에 대하여 본 연구의 실험변수들에 대하여 48 경우의 가열 실험을 수행하여 순환굵은골재의 절대건조 비중을 구하였으며, 그 결과는 다음 Table 11에 나타내었으며 KS 규준을 만족하는 경우는 표 내부를 음영 처리하였다.

Table 11에서 알 수 있듯이 가열을 실시하면 처리 전보다 우수한 물성을 가짐을 알 수 있으며, 가열온도 600℃, 가열시간 40분 이상이어야 KS 규준을 만족함을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통계적으로 처리한 내용이 다음 Table 12~14이다. 3원배치법에 의한 분산분석표를 Table 12에 나타내었으며, 이 내용을 고찰해 보면 신뢰도 95%수준에서는 A, B 및 A × B(교호작용)이 유의한 영향인자이며, 신뢰도 99%에서는 A, B만이 유의한 영향인자인 것으로 나타나, 유의하지 않은 인자를 제거한 수정된 분산분석표를 Table 13에 나타내었으며, 그 결과, 가열온도와 가열시간만이 매우 유의한 인자임을 알 수 있다.

이 결과를 95% 신뢰도의 T분포 검추정을 수행한 결과를 Table 14, 점추정값을 Fig. 4에 나타내었다. Table 14에서 알 수 있듯이 현행 KS 규준을 만족하는 순환굵은골재의 절대건조 비중은 최소 600℃, 40분 이상 가열을 실시하여야 KS의 규준을 만족하는 순환굵은골재를 제조할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 11. Test result of oven-dry gravity of recycled coarse aggregates

Item		A1	A2	A3	A4
B1	C1	2.35	2.40	2.48	2.40
	C2	2.32	2.40	2.39	2.37
	C3	2.35	2.42	2.36	2.42
B2	C1	2.40	2.42	2.48	2.46
	C2	2.42	2.45	2.48	2.50
	C3	2.43	2.40	2.48	2.50
B3	C1	2.43	2.48	2.56	2.55
	C2	2.44	2.50	2.54	2.55
	C3	2.44	2.47	2.56	2.54
B4	C1	2.43	2.52	2.57	2.55
	C2	2.40	2.49	2.55	2.57
	C3	2.45	2.42	2.56	2.55

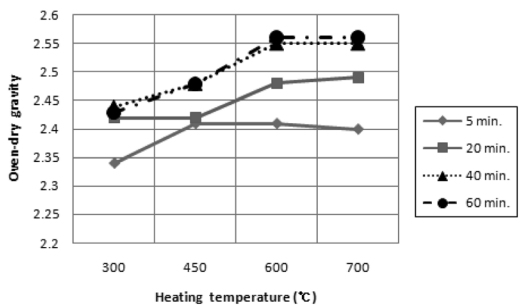


Fig. 4. Point estimated value for the oven-dry gravity of recycled coarse aggregates at confidence level 95%.

Table 12. Deviation analysis for the oven-dry gravity of recycled coarse aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	0.07	3	0.02	48.1	3.16	**effective**	5.09	**effective**
B	0.11	3	0.04	72.1	3.16	**effective**	5.09	**effective**
C	0.00	2	0.00	0.1	3.55		6.01	
A × B	0.01	9	0.00	3.1	2.46	**effective**	3.60	
A × C	0.01	6	0.00	2.1	2.66		4.01	
B × C	0.00	6	0.00	1.5	2.66		4.01	
Error	0.01	18	0.00					
Total	0.22	47						

Table 13. Pooled deviation analysis for the oven-dry gravity of recycled coarse aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	0.07	3	0.02	38.9	2.90	**effective**	4.46	**effective**
B	0.11	3	0.04	58.3	2.90	**effective**	4.46	**effective**
A × B	0.01	9	0.00	2.5	2.19	**effective**	3.02	
Error	0.02	32	0.00					
Total	0.22	47						

Table 14. Estimated value for the oven-dry gravity of recycled coarse aggregates at confidence level 95%

	A1	A2	A3	A4
B1	2.31~2.37	2.38~2.44	2.38~2.44	2.37~2.43
B2	2.39~2.45	2.39~2.45	2.45~2.51	2.46~2.52
B3	2.41~2.47	2.45~2.51	2.52~2.58	2.52~2.58
B4	2.40~2.46	2.45~2.51	2.53~2.59	2.53~2.59

3.5. 순환잔골재의 절대건조 비중

가열공정을 실시하지 않은 기존 생산 방식으로 제조, 채취된 순환잔골재 시료에 대하여 본 연구의 실험변수들에 대하여 48 경우의 가열 실험을 수행하여 순환잔골재의 절대건조 비중을 구하였으며, 그 결과는 다음 Table 15에 나타내었으며 KS 규준을 만족하는 경우는 표 내부를 음영 처리하였다. Table 15에서 알 수 있듯이 가열을 실시하면 처리 전보다 우수한 물성을 가짐을 알 수 있다. 이러한 결과를 통계적으로 처리한 내용이 다음 Table 16~17이다. 3원배치법에 의한 분산분석표를 Table 16에 나타내었으며, 이 내용을 고찰해 보면 신뢰도 95, 99%수준에서는 A, B 및 A × B(교호작용)이 유의한 영향인자인 것으로 나타나, 유의하지 않은 인자를 제거한 수정된 분산분석표를 Table 17에 나타내었으며, 그 결과, A, B 및 A × B인자만이 매우 유의한 것으로 나타나고 있다.

Table 15. Test result of oven-dry gravity of recycled fine aggregates

Item		A1	A2	A3	A4
B1	C1	2.42	2.42	2.37	2.38
	C2	2.41	2.34	2.35	2.30
	C3	2.39	2.34	2.36	2.36
B2	C1	2.35	2.38	2.44	2.49
	C2	2.33	2.39	2.42	2.38
	C3	2.34	2.38	2.41	2.37
B3	C1	2.37	2.42	2.50	2.40
	C2	2.36	2.39	2.51	2.47
	C3	2.39	2.36	2.49	2.46
B4	C1	2.44	2.46	2.45	2.47
	C2	2.45	2.46	2.45	2.47
	C3	2.42	2.48	2.44	2.55

4. 결 론

본 논문에서는 최근 시도되고 있는 가열에 의한 새로운 순환골재 제조에 대한 연구는 현재까지 국내에서는 수행된 적이 없어, 적정 가열 온도, 가열 시간 및 적정 첨가제량 등에 대하여 통계적 이론에 근거하여 실험을 실시하였고, 적정 제조 조건 및 제조된 순환 골재의 품질을 평가하였다. 이러한 일련의 과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 16. Deviation analysis for the oven-dry gravity of recycled fine aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	0.02	3	0.01	5.8	3.16	**effective**	5.09	**effective**
B	0.07	3	0.02	22.9	3.16	**effective**	5.09	**effective**
C	0.00	2	0.00	0.7	3.55		6.01	
A × B	0.05	9	0.01	5.1	2.46	**effective**	3.6	**effective**
A × C	0.00	6	0.00	0.2	2.66		4.01	
B × C	0.01	6	0.00	1.5	2.66		4.01	
Error	0.02	18	0.00					
Total	0.16	47						

Table 17. Pooled deviation analysis for the oven-dry gravity of recycled fine aggregates

	S	DOF	V	F0	F(0.05)	check	F(0.01)	check
A	0.02	3	0.01	6.2	2.9	**effective**	4.46	**effective**
B	0.07	3	0.02	24.6	2.9	**effective**	4.46	**effective**
A × B	0.05	9	0.01	5.5	2.19	**effective**	3.02	**effective**
Error	0.03	32	0.00					
Total	0.16	47						

1) 기존 방식으로 제조된 순환골재의 물성은 KS 규준을 만족하거나, 일부에서는 KS 규준을 만족하지 않는 것으로 나타났다.

2) 순환굵은골재의 흡수율 측면에서 보면, 최소 600℃, 20분 이상 가열 또는 450℃, 40분 이상 가열을 실시하여야 KS의 흡수율 규준을 만족하는 순환굵은골재를 제조할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 순환굵은골재의 절대건조 비중 측면에서 보면, 최소 600℃, 40분 이상 가열을 실시하여야 KS의 흡수율 규준을 만족하는 순환굵은골재를 제조할 수 있는 것으로 나타났다.

4) 본 연구에서 사용된 순환잔골재의 경우, 가열공정을 거치지 않아도 어느 정도 KS 규준을 만족하므로 추가적인 공정이 불필요하나, 안정적인 고품질 확보가 필요한 경우에는 가열을 실시하는 방안을 고려할 수 도 있을 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 2011학년도 우석대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1) 김규용 외 4인, "폐기콘크리트를 활용한 재생골재의 각종 물성에 관한 실험적 연구", 한국폐기물학회지, 15권 3호, pp. 203~209, 1998.
2) 建設省建築研究所, "廢棄物の建設事業への再利用技術に關する研究", pp. 117~167, l987.
3) (財)國土開發技術研究センタ-, "再生コソヨリ-トの利用技術の開發", pp. 351~369, 1994.
4) 윤병원, "건축폐기물을 이용한 고순도 강화 재생모래 및 자갈 제조방법 및 장치", 대한민국특허청, 10-383569, 2003.
5) 박성현, "현대실험계획법", 대영사, pp. 195~206, 1990.
6) 한국표준협회, "한국공업표준규격 F 2573", 2006.
7) 문한영외 1인, "토목재료학", 구미서관, pp. 366~371, 2006.