

순환골재 및 고로슬래그 시멘트를 사용한 증기양생 콘크리트의 강도 특성

이명규^{1)*}·김광서²⁾·이근호²⁾·정상화¹⁾

¹⁾ 전주대학교 토목환경공학과 ²⁾ 원광대학교 건축공학과

(2005년 4월 18일 원고접수, 2005년 7월 10일 심사완료)

Strength of Recycled Concrete with Furnace Slag Cement under Steam Curing Condition

Myung-Kue Lee^{1)*}, Kwang-Seo Kim²⁾, Keun-Ho Lee²⁾, and Sang-Hwa Jung¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Jeonju University, Jeonju, 560-759 Korea

²⁾ School of Architecture, Wonkwang University, Iksan, 570-749 Korea

(Received April 18, 2005, Accepted July 10, 2005)

Abstract

There are some problems in utilizing recycled concrete aggregate for structural use because of the difficulties concerning about quality control and durability. It seems to be possible to utilize recycled concrete aggregate for making concrete products because quality control of concrete products is easier than ready-mixed concrete, but there are little studies about the properties of the steam-cured recycled aggregate concrete. In this study, various tests were performed such as compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, bonding strength and chloride ion penetration test to evaluate the effect of substitution of recycled concrete aggregate. The results of strength test showed that the concrete strength decreased with the increase of the substitution ratio of recycled concrete aggregate, but it was in the reasonable range and almost equal to that of normal concrete below the substitution ratio of 50%. On the other hand, strength test of furnace slag cement concrete shows that the strength of recycled concrete with furnace slag cement under curing condition lower than that of recycled concrete with ordinary portland cement under same condition. From the result of this study, it can be concluded that recycled concrete aggregate is able to be utilized for structural use but substitution ratio should be decided with care in each case. The result of this study could be used as the basic data for the structural use of recycled concrete aggregate.

Keywords : recycled aggregate, substitution ratio, strength characteristic, steam curing, furnace slag

1. 서 론

최근에는 구조물의 재개발 및 재건축 사업비 중에서 콘크리트 폐기물의 처리 비용이 차지하는 비중이 증대하고 있으므로 구조물 재개발 사업의 성공적인 수행을 위해서는 콘크리트 폐기물의 효율적인 재활용 기술이 필수적으로 요구되게 되었다고 할 수 있다. 이에 따라 국내의 경우 1999년에는 KS F 2573(콘크리트용 재생골재에 관한 규격)을 제정하여 우수한 품질의 콘크리트용 순환골재 생산을 통한 콘크리트 폐기물의 처리 문제 해결을 유도하였고, 2003년 12월 건설폐기물의 재활용 촉진을 위한 법률을 시작으로 시행령과 시행지침이 공포되었으며, 재활용 용도별 순환골재의 품질 기준을 정하였다. 그러나, 순환골재의

경우는 천연골재에 비해 품질이 다소 떨어지는 문제가 있기 때문에 순환골재를 사용한 콘크리트 구조물은 아직까지는 본격적으로 건설된 사례가 없으며, 특히 순환골재의 경우 97% 이상이 부가가치가 적은 성토재 및 도로보조기 충용으로 사용되고 있는 실정이다. 따라서, 소비자의 인식 전환 및 신뢰성 확보를 통해 재생 콘크리트의 활용 측면에서 새로운 용도개발 및 적극적 재활용 기반 확충이 필요하며 콘크리트 2차 제품의 경우 이러한 목적을 위해 가장 현실적인 대안이 될 수 있을 것으로 기대된다.

이에 따라, 본 연구에서는 폐 콘크리트 재활용 가능성에 대한 일환으로 순환 굵은골재 및 잔골재를 사용한 콘크리트를 증기양생한 후 압축강도, 인장강도 및 휨강도 특성을 분석하였다. 또한, 수중양생한 재생 콘크리트에 대해서도 동일한 강도 특성 실험을 수행하였으며 동시에 증기양생 및 수중양생한 재생 콘크리트에 대한 부착강도 실험을 수행하였다. 이와 함께 본 연구에서는 고로슬래그 시멘트와

* Corresponding author

E-mail : concrete@jj.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

순환골재를 사용한 증기양생 콘크리트에 대해서도 강도실험을 수행하였다.

2. 순환골재 콘크리트의 강도 특성 문헌 고찰

2.1 압축강도

Hansen의 연구에 의하면 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 원 콘크리트의 압축강도에 달려있으며, 다른 요소가 동일하다면 원 콘크리트의 물-시멘트비와 재생콘크리트의 물-시멘트비를 조합함으로써 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도를 적절히 얻을 수 있다¹⁾. 이 경우 원 콘크리트의 물-시멘트비가 재생골재 콘크리트의 물-시멘트비보다 같거나 높다면, 순환골재 콘크리트의 압축강도는 원 콘크리트의 압축강도와 같거나 높을 수 있다. 또한, 순환 잔골재를 콘크리트 제조에 사용하는 경우에는 순환 굵은골재와 50%의 순환 잔골재를 섞어 만든 순환골재 콘크리트의 압축강도는 순환 굵은골재와 100%의 자연모래로 만든 순환골재 콘크리트의 압축강도보다 10~20% 낮으며, 순환 굵은골재와 100%의 순환 잔골재로 만든 순환골재 콘크리트의 압축강도는 20~40% 정도 낮은 결과도 있다²⁾.

Soshiroda는 순환 잔골재를 다양한 비율로 치환하여 순환 잔골재가 콘크리트 압축강도에 미치는 영향에 대한 실험결과 2mm이하의 순환 잔골재의 사용은 순환골재 콘크리트의 압축강도를 크게 감소시키고, 여러 가지 문제점을 야기 시키기 때문에 2mm이하의 순환 잔골재는 제거하여 버리는 것을 추천하고 있고, 가능하면 4~5mm의 순환 잔골재 사용은 피해야 한다고 보고했다³⁾.

2.2 쪼갬인장강도 및 휨강도

Mukai et al.의 실험에 의하면 순환 굵은골재와 자연모래로 만든 순환골재 콘크리트의 쪼갬인장강도는 보통 콘크리트와 별다른 차이는 없으나, 순환 굵은골재와 순환잔골재로 만들 경우에는 순환골재 콘크리트의 쪼갬인장강도가 보통 콘크리트보다 20% 낮다고 보고 되었다⁴⁾. 반면, Coquillat는 순환잔골재를 사용해도 순환골재 콘크리트와 보통 콘크리트의 쪼갬인장강도 차이는 없다고 주장하였다⁵⁾. B.C.S.J.는 순환골재 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 대략 1/5~1/8로 보통 콘크리트와 비슷하다고 하였다²⁾. 한편, Ikeda의 실험에 의하면 순환 굵은골재 사용에 따른 강도감소는 원 콘크리트와 비교해 볼 때 쪼갬인장강도는 6% 감소하고 휨강도는 거의 차이가 없으며, 순환 잔골재와 순환 굵은골재를 모두 사용한 경우에는 쪼갬인장강도와 휨강도가 각각 10% 및 7% 감소하는 결과를 보고한 바 있다⁶⁾.

Table 1 Properties of aggregates

Type of aggregate	Specific weight	Absorption ratio	F.M.
Fine aggregate	2.50	3.43 %	2.55
Recycled fine aggregate	2.26	9.22 %	3.26
Coarse aggregate	2.56	0.73 %	6.51
Recycle coarse aggregate	2.33	6.66 %	7.29

3. 실험 개요

3.1 사용 재료

본 연구에 사용한 순환골재는 전주시내에 위치한 재활용업체에서 채취하였고, 분쇄, 세척 및 분류과정을 통하여 생산된 순환 굵은골재 중 본 실험에서는 30mm를 통과하고 5mm체(No. 4번체)에 남는 골재를 사용하였다. 또한, 순환골재에 포함된 유해한 불순물(벽돌, 아스팔트, 유리, 인조석, 타일, 종이, 나무 등)은 가능한 한 제거 후 사용하였다. Table 1에는 본 연구에서 사용한 골재들의 물리적 성질을 나타내었다. 일반적으로 잔골재의 비중은 보통 2.5~2.65정도이며, 굵은골재의 비중은 보통 2.55~2.70정도이다. 또한, 잔골재와 굵은골재의 조립률은 각각 2.3~3.1과 6~8정도이다. 따라서 본 실험에서 사용된 순환 골재의 비중은 낮고 흡수율은 보통 골재보다 상대적으로 높았지만, 조립율은 양호한 편이다.

3.2 배합 및 실험 변수

본 연구에서는 골재의 재료적 특성(비중, 골재 상태 등)을 고려하여 순환골재 치환율에 따라 배합설계를 수행하였으며, 순환골재의 낮은 비중과 높은 흡수율 때문에 순환골재 치환율이 증가할수록 단위수량은 증가하고 단위부피당 골재의 양은 감소하였다. Tables 2 및 3은 보통 포틀랜드시멘트 및 슬래그가 50% 혼입된 S사 슬래그 시멘트를 사용한 경우 순환골재 치환율에 따른 콘크리트 시방배합을 나타낸 것이다.

한편, 천연골재에 대한 순환골재 치환율을 주요 실험 변수로 하여 굵은골재 치환율 0%, 50%, 100%의 3가지 수준에 대해 각각 잔골재 치환율 0%, 100%의 2가지 수준으로 나누어 실험을 실시하였다. 이 경우 증기양생을 실시한 시편은 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 각각 SRG0-0, SRG0-1, SRG50-0, SRG50-1, SRG100-0, SRG100-1로, 슬래그 시멘트를 사용한 경우는 각각 SSRG0-0, SSRG50-0, SSRG100-0, SSRG100-1로 나타내었다. 또한, 수중양생을 한 경우에는 각각 RG0-0, RG0-1, RG50-0, RG50-1, RG100-0, RG100-1로 표시하였다. 압축강도, 쪼갬인장강도 및 염소이온투과 실험을 위해 총 180

Table 2 Mix proportions for test specimen with ordinary portland cement

Proportions Sub. ratio		W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kgf/m ³)					
G	S			W	C	S		G	
						Nomal	Recycled	Normal	Recycled
0	0	50	38	162	324	651	0	1087	0
	100					0	588	1087	0
50	0					651	0	544	495
	100					0	588	544	495
100	0					651	0	0	990
	100					0	588	0	990

Table 3 Mix proportions for test specimen with furnace slag cement (50 % substitution slag)

Proportions Sub. ratio		W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kgf/m ³)					
G	S			W	C	S		G	
						Nomal	Recycled	Normal	Recycled
0	0	50	44	171	328	737	0	984	0
50	0					737	0	492	439
100	0					737	0	0	878
100	100					0	655	0	878

개의 원주형공시체(φ10×20 cm)를 제작하였으며, 휨강도 실험을 위해 총 48개의 각주형 공시체(7.5×7.5×40 cm)를 제작하였다. 또한 중앙에 철근이 매입된 25×25×25 cm의 시편 48개를 제작하여 부착실험을 실시하였다. 제작된 공시체는 24시간 후 몰드를 탈형하여 28일 동안 20±2 °C로 유지되는 수조에 침지한 수중양생의 경우와 24시간 동안 60±2 °C의 온도로 증기양생한 후 몰드를 제거하는 두 가지 방법으로 양생하여 양생방법에 따른 강도특성 변화를 살펴보았다.

3.3 실험 방법

3.3.1 기본강도 실험

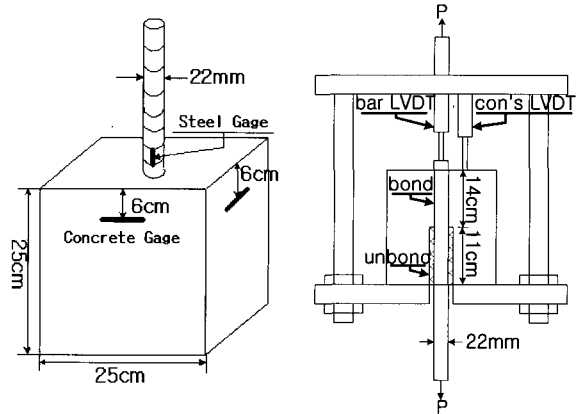
콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 하중을 매초 0.06±0.04 MPa로 일정한 속도로 가하면서 수행하였다.

콘크리트의 쪼갠 인장강도 및 휨강도 실험은 각각 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험) 및 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험)의 규정에 따라 수행하였으며, 실험 시편은 각각 10×20 cm 원주형공시체와 7.5×7.5×40 cm의 각주형공시체를 사용하였다.

3.3.2 부착강도 실험

철근과 콘크리트의 부착강도를 측정하기 위한 일반적인 방법으로는 ASTM C234에 규정된 인발시험법(Pull Out Test Method)등이 있다.

Fig. 1(a)에는 본 실험에서 사용된 부착강도 실험시편 규격 및 콘크리트 게이지 부착방법이 나타나 있으며,



(a) Bond test specimen (b) Method of pull-out test
Fig. 1 Bond test by pull-out method

Fig. 1(b)에는 실험방법이 제시되어 있다. 인발실험을 통한 평균부착응력은 식(1)에 따라 계산한다⁷⁾.

$$\tau = \frac{F}{\sum_0 \cdot L} \quad (1)$$

여기서, τ : 부착응력(MPa)

F : 철근에 가해진 인장하중(MPa)

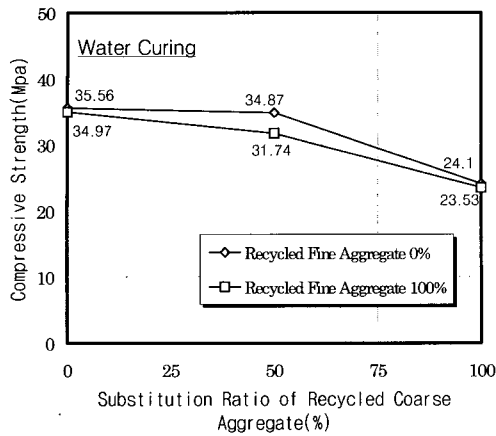
Σ_0 : 철근의 원둘레(cm)

L : 부착 길이(cm)

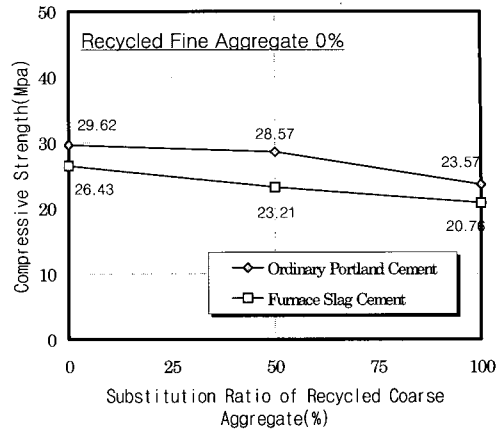
4. 실험 결과 및 고찰

4.1 압축강도

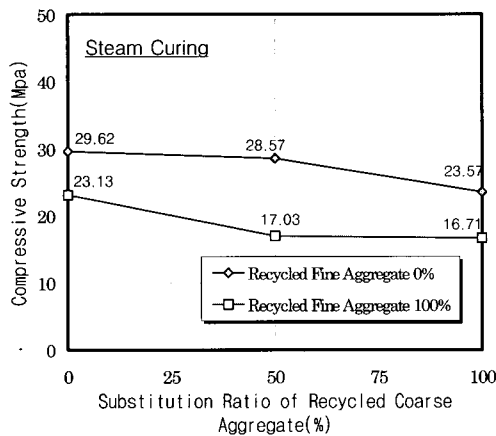
Fig. 2에는 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 양생방법 및 순환골재 치환율에 따른 압축강도 실험 결과가 나타나 있다. 이 경우 증기양생 시편의 압축강도는 몰드를 제거한 후 1주일 후 측정하였다. Fig. 2에 따르면 양생방법 및 순환 잔골재 사용여부에 관계없이 순환 굵은골재 치환율이 증가할수록 압축강도가 저하되는 경향을 보이는 것을 알 수 있으며 최대 감소율은 수중양생의 경우 순환 잔골재 사용에 관계없이 약 33%, 증기양생의 경우 순환 잔골재를 100% 치환한 경우 약 28%로 나타났다. 한편, 일반적으로 순환 굵은골재 치환율 50%인 경우는 순환 굵은골재 치환율이 0%인 콘크리트와 압축강도에 있어 큰 차이를 보이지 않았지만 순환 잔골재를 100% 치환하여 증기양생한 경우는 압축강도가 순환 굵은골재를 치환하지 않은 콘크리트에 비해 73%정도로 작게 나타났다. 또한, 순환 잔골재를 100% 치환한 경우에는 순환 잔골재를 사용하지 않은 경우와 비교하여 수중양생시 압축강도가 순환 굵은골재 치환율에 따라 각각 1.7%, 9.0%, 2.4% 감소하는 결과를 보였다. 이것은 2.1.1절에서 언급한 모든 골재



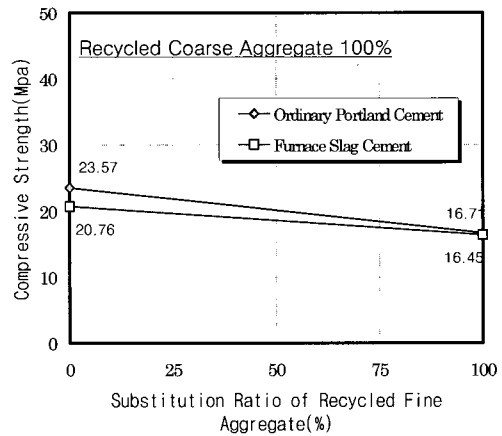
(a) Water curing



(a) Recycled fine aggregate 0%



(b) Steam curing



(b) Recycled coarse aggregate 100%

Fig. 2 Compressive strength according to substitution ratio of recycled aggregate(1)

Fig. 3 Compressive strength according to substitution ratio of recycled aggregate(2)

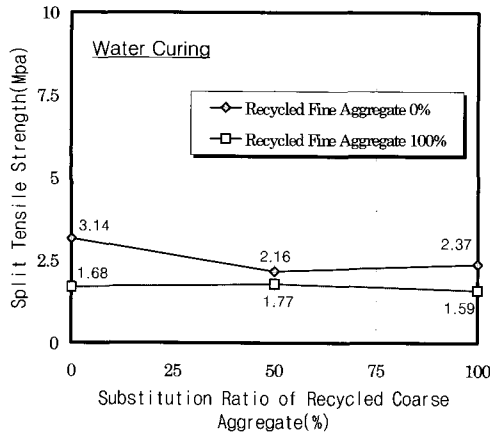
를 순환골재로 사용한 경우 굵은골재만을 순환골재로 100% 치환한 경우에 비해 20~40%정도 압축강도가 낮다는 연구결과와는 일치하지 않는 결과이다²⁾. 반면, 증기양생의 경우에는 순환 잔골재를 100% 치환한 경우 순환 잔골재를 전혀 사용하지 않은 경우에 비해 순환 굵은골재 치환율에 따라 약 60%(SRG50-1)~78%(SRG0-1) 정도로 압축강도 저하가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 3에는 고로슬래그 시멘트를 사용한 증기양생 콘크리트의 순환골재 치환율에 따른 압축강도 실험 결과가 증기양생 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 압축강도 실험 결과와 비교하여 제시되어있다. 이 경우 증기양생 7일 경과 후 발휘되는 압축강도는 순환골재 치환율에 상관없이 고로슬래그시멘트 콘크리트가 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 82~89%로 작게 나타나고 있다. 이것은 고로슬래그시멘트의 경우 물과 직접적인 수화반응을 일으키지 않고 포졸란반응에 의해 강도가 발휘되기 때문에 단기강도가 저하되고 장기강도가 커지는 특성을 가지기 때문인 것

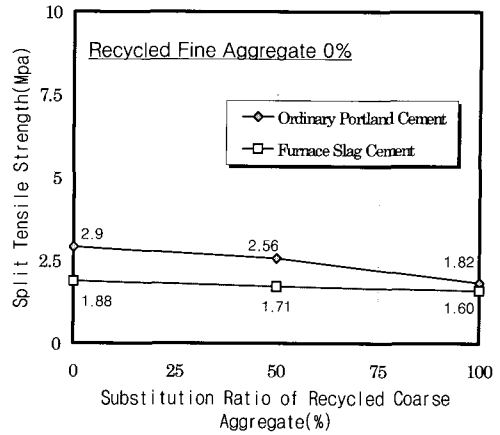
으로 판단된다. 즉, 증기양생의 경우 고온상태에서 조기강도를 크게 하는 양생방법이지만 고로슬래그를 비롯한 포졸란 계통 광물질 혼화재료의 강도 발현 과정에서 나타나는 조기강도 저하 현상을 근본적으로 극복하지는 못하는 것으로 판단된다. 한편, Fig. 3(b)를 보면 굵은골재 및 잔골재를 모두 순환골재로 치환한 경우에는 다른 경우와 비교하여 압축강도가 크게 감소하고 있지만 시멘트 종류에 따른 압축강도 차이는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 이것은 모든 골재를 순환골재로 치환한 경우에는 순환골재의 잔존 모르타르가 콘크리트의 강도 발현 과정에 크게 영향을 미쳐서 고로슬래그 시멘트의 강도 발현 특성이 상대적으로 작게 나타나는 것으로 판단된다.

4.2 쪼갬인장강도

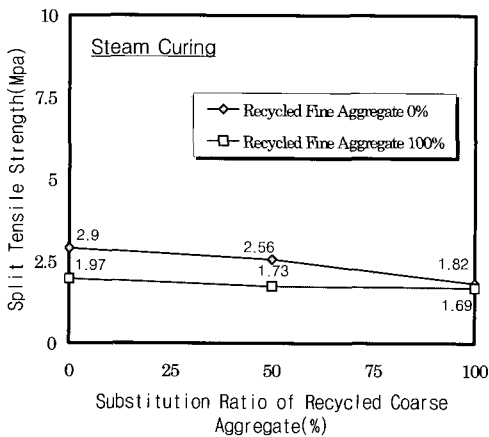
Fig. 4를 보면 순환 잔골재를 사용하지 않은 경우에는 순환 굵은골재 치환율이 커짐에 따라 쪼갬인장강도가 감



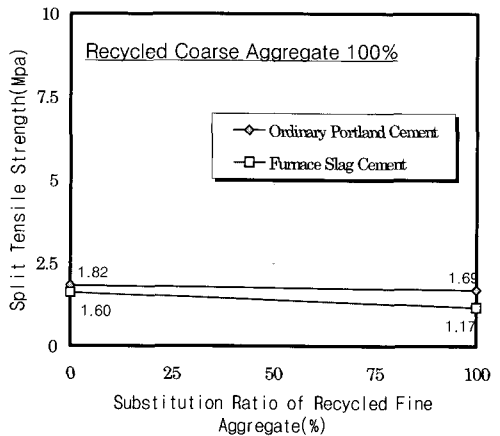
(a) Water curing



(a) Recycled fine aggregate 0%



(b) Steam curing



(b) Recycled coarse aggregate 100%

Fig. 4 Split tensile strength according to substitution ratio of recycled aggregate(1)

Fig. 5 Split tensile strength according to substitution ratio of recycled aggregate(2)

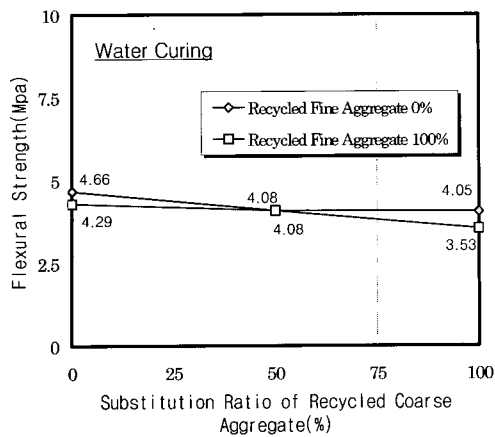
소하여 순환 굵은골재 치환율이 100%인 경우는 순환골재 치환율 0%인 보통 콘크리트에 비해 수증양생시 약 25%, 증기양생시 37%의 쪼갬인장강도가 감소하였다. 한편, 순환 잔골재를 100% 치환한 경우에는 순환 굵은골재 치환율이 100%인 상태에서 순환골재 치환율 0%인 경우와 비교하여 수증양생시 약 51%, 증기양생시 42%의 쪼갬인장강도가 감소하였다. 이것은 2.1.2절에서 언급한 Mukai et al.이나 Coquillat 등의 실험결과와는 다르게 순환 굵은골재의 치환율 및 순환 잔골재 사용 유무에 따라 쪼갬인장강도가 많은 영향을 받는 결과를 나타내는 것이다⁴⁵⁾.

Fig. 5에는 증기양생 고로슬래그 시멘트 콘크리트의 쪼갬인장강도 실험 결과가 나타나 있다. 이에 따르면, 증기양생 고로슬래그시멘트 콘크리트의 쪼갬인장강도는 증기양생 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 64%~86% 범위인 것을 알 수 있다. 이것은 압축강도 실험 결과와 비교해서 고로슬래그 시멘트 콘크리트의 단기적인 쪼갬인장강도 저하 경향이 더욱 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

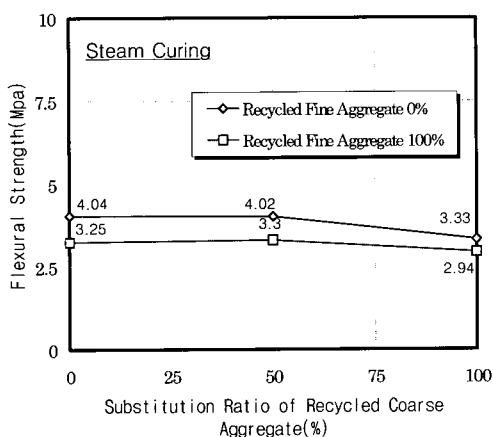
4.3 휨강도

Fig. 6에는 순환골재 치환율 및 양생 방법에 따른 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 휨강도 실험 결과가 나타나 있다. Fig. 6에 따르면 휨강도는 순환 굵은골재 치환율이 50%인 경우 순환 굵은골재 치환율이 0%인 보통 콘크리트와 큰 차이를 보이지 않고 있으며 이러한 경향은 압축강도 실험과는 대조적으로 증기양생을 한 경우에 더욱 뚜렷이 나타난다. 한편, 순환 굵은골재 치환율이 100%인 경우에는 치환율이 0%인 경우에 비해서 휨강도가 약 10~19%정도 감소하였다.

Fig. 7에는 증기양생 고로슬래그 시멘트 콘크리트의 휨강도 실험 결과가 나타나 있다. Fig. 7(a)를 보면 고로슬래그시멘트 콘크리트의 휨강도는 순환 굵은골재 치환율이 0%, 50%, 100%인 경우에 각각 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 92.8%, 96.8%, 108.1%를 나타내고 있으며 이것은 압축강도 및 쪼갬인장강도 실험과 비교하면 상대적으로



(a) Water curing



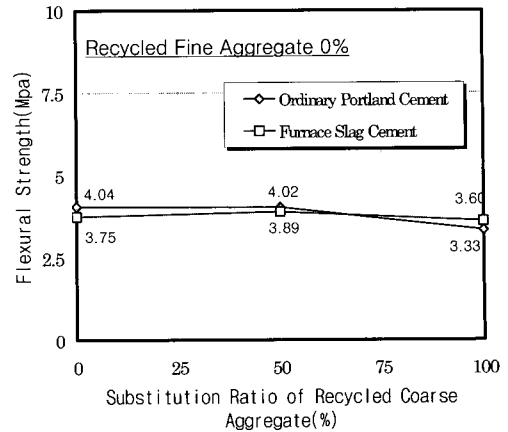
(b) Steam curing

Fig. 6 Flexural strength according to substitution ratio of recycled aggregate(1)

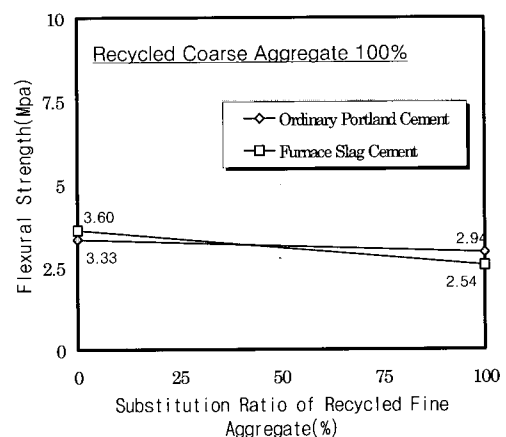
로 시멘트 종류에 따른 강도 차이가 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 한편, Fig. 7(b)에서 순환 잔골재를 100% 치환한 경우에는 고로슬래그시멘트 콘크리트의 휨강도가 작게 나오고 있으며, 이것과 압축 및 조깅인장강도 시험 결과로부터 Fig. 7(a)의 순환 굵은골재 치환율 100%인 경우에 고로슬래그 시멘트 콘크리트의 휨강도가 크게 나오는 것은 일반적인 결과는 아닐 것으로 추정된다.

4.4 부착강도

Fig. 8은 각 시편의 부착강도를 양생방법 및 순환골재 치환율에 따라 도시한 것이다. 순환 굵은골재 치환율에 따른 부착강도는 0%와 50%의 경우에 큰 차이를 보이지 않았으며 순환 굵은골재를 100% 사용한 경우에는 치환율 0%에 비해 71%(RG100-0)~85%(RG100-1) 수준의 부착강도를 나타내었다. 또한, 각각의 순환 굵은골재 치환율에 대해 순환 잔골재를 100% 사용한 경우에는 순환 잔골



(a) Recycled fine aggregate 0%

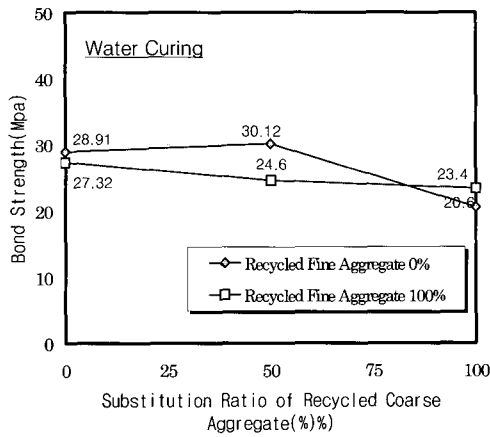


(b) Recycled coarse aggregate 100%

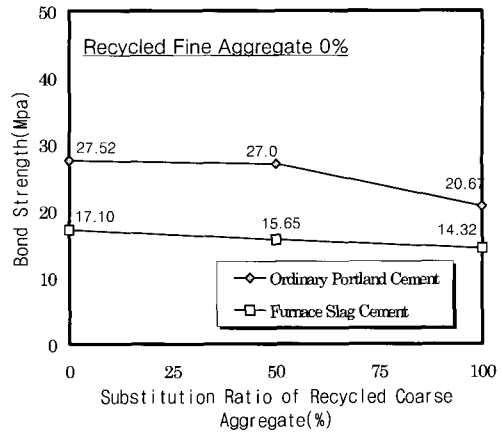
Fig. 7 Flexural strength according to substitution ratio of recycled aggregate(2)

재를 사용하지 않은 경우에 비해 부착강도가 약 12~18% 정도 저하되고 있다.

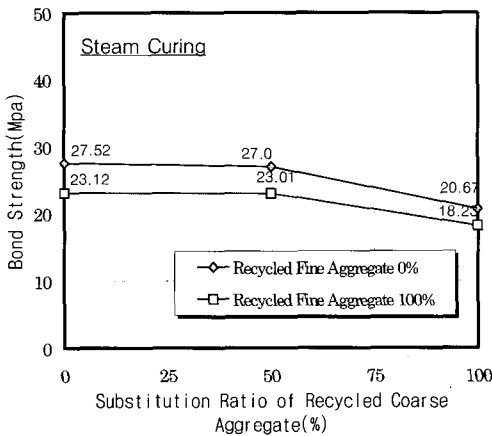
Fig. 9를 보면 증기양생 고로슬래그시멘트 콘크리트의 7일 부착강도는 증기양생 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 58%~73%로 압축강도 및 조깅인장강도 실험의 경우에 비해서 고로슬래그시멘트 콘크리트의 단기적인 부착강도 저하 경향이 더욱 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이 경우 콘크리트와 보강철근 사이의 부착강도가 충분히 확보되지 않는 경우에는 철근콘크리트 역학의 주요 기본가정 중의 하나인 콘크리트와 내부 보강철근이 일체로 거동한다는 가정을 만족시키지 못할 가능성이 나타나며, 이것은 기존의 역학적인 이론에 근거한 해석 및 설계를 만족하지 못해 구조적인 문제가 발생할 가능성이 생긴다. 다만 본 실험 결과는 단기적인 결과를 나타내고 있기 때문에 좀 더 장기적인 부착강도 실험결과를 통해 증기양생 고로슬래그시멘트 콘크리트의 적용성을 평가할 필요가 있는 것으로 판단된다.



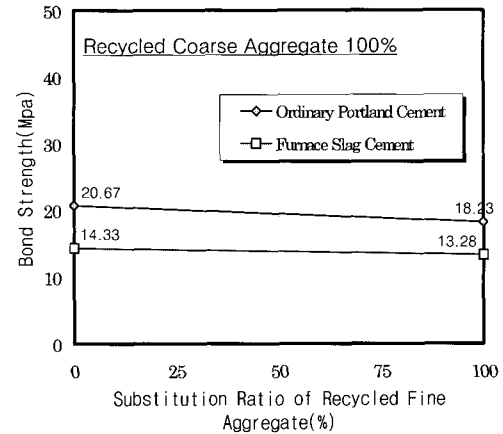
(a) Water curing



(a) Recycled fine aggregate 0%



(b) Steam curing



(b) Recycled coarse aggregate 100%

Fig. 8 Bond strength according to substitution ratio of recycled aggregate(1)

Fig. 9 Bond strength according to substitution ratio of recycled aggregate(2)

5. 결론

본 연구는 국내에서 생산되는 순환골재 및 고로슬래그 시멘트를 사용한 증기양생 및 수중양생 콘크리트의 여러 가지 강도와 관련된 특성에 대한 성능평가를 수행하였으며 이를 통해 순환골재를 콘크리트 블록 및 콘크리트 하수관 등의 콘크리트 2차 제품에 본격적으로 활용하기 위한 기본자료를 축적하였다. 본 연구에서 수행한 실험을 통한 구체적인 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 순환 굵은골재 치환율이 증가함에 따라서 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도 및 부착강도는 모두 감소하였다. 이 경우 순환 굵은골재 치환율 50%에서는 강도감소 폭이 작지만 순환 굵은골재 치환율 100%인 경우에는 강도감소 폭이 크게 나타난다.
- 2) 순환 잔골재를 100% 치환하는 경우 자연모래 만을 사용하는 경우에 비해 대부분의 강도특성이 저하되었으며, 특

히 증기양생 콘크리트의 경우 순환 잔골재 사용에 따른 강도저하 현상이 뚜렷하게 나타났다. 이 경우, 수중양생 콘크리트의 압축강도 및 휨강도는 순환 잔골재를 100% 치환한 경우 상대적인 강도 감소량이 작게 나타났다.

- 3) 증기양생 고로슬래그 시멘트 콘크리트에 대한 강도실험결과 압축강도, 쪼갬인장강도 및 부착강도의 순서로 증기양생 보통포틀랜드 시멘트 콘크리트에 비해 7일 강도가 낮게 나타났다. 이것은 수화반응 대신 포졸란 반응에 의해 강도를 발휘하는 고로슬래그 시멘트의 특성에 따른 것으로 판단된다. 다만, 휨강도실험의 경우 상대적으로 고로슬래그 시멘트 콘크리트의 강도저하가 작은 결과를 나타냈다.
- 4) 본 연구 결과 순환골재를 활용한 콘크리트 2차 제품을 생산하는 경우 순환 굵은골재는 50% 이하로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구에서는 순환 잔골재를 100% 치환한 경우 수중양생 콘크리트에 비해 증기양생 콘크리트의 강도저하

현상이 크게 나타났다. 이 경우 증기양생을 수행하는 콘크리트 2차 제품에 순환 잔골재를 활용하기 위해서는 추가적인 연구를 통해 순환 잔골재의 적절한 치환율을 제시가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Hansen, T. C. and Narud, H., "Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate", *Concrete International-design and Construction*, Vol.5, No.1, 1983, pp.79~83.
2. B.C.S.J., "Study on recycled aggregate and recycled aggregate concrete", *Building contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste*, Summary in *Concrete Journal*, Japan, Vol.16, No.7, 1978, pp.18~31.
3. Soshiroda, T., "Recycled concrete", *Proceedings 9th Congress of CEB*, Stockholm, 1983.
4. Mukai, T. et al., "Study on reuse of waste concrete for aggregate of concrete", *Paper presented at seminar on Energy and Resources Conservation in Concrete Technology*, Japan-US Cooperative Science Programme, San Francisco, 1979.
5. Coquillat, G., "Recycled de materiaux de demolition dans la confection de Beton", *CEBTP-service d'Etude des Materiaux Unite: Technologie des Beton*(in French), Marche No.80-61-248, Saint Remy les Chevreuse.
6. Ikeda, T., Yamans, S., and Sakamoto, A. *Strength of concrete containing recycled aggregate*, Ibid, Ref. 135, 1995, pp.585~594.
7. 오병환, "철근콘크리트 부재의 뽐힘부착특성 연구", *콘크리트학회지*, 4권, 3호, 1992, pp.113~121.

요 약

순환골재를 구조용 콘크리트에 이용하는 것은 품질관리 및 내구성에 대한 논란으로 활성화가 현실적으로 어려운 실정이다. 이 경우 상대적으로 요구되는 품질 수준이 낮은 콘크리트 2차 제품에 순환골재를 활용하는 것이 유력한 대안이 될 수 있지만 증기양생시 순환골재 콘크리트의 특성에 대한 연구성과는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 순환골재의 콘크리트 2차 제품 적용성을 검토하기 위하여, 다양한 순환 굵은골재 및 순환 잔골재 치환율에 따라 증기양생 및 수중양생을 통하여 제작된 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 조깅인장강도, 부착강도 실험을 실시하였다. 강도 실험결과 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 강도가 약간 감소하는 결과를 보이고 있으며, 순환 잔골재를 100% 치환한 경우에는 증기양생 콘크리트의 강도특성 저하가 뚜렷이 나타났다. 순환 굵은골재의 치환율이 50%인 경우에는 압축강도, 휨강도, 부착강도가 보통 콘크리트와 거의 같게 나타나 일반 콘크리트와 동일하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 순환골재와 고로슬래그 시멘트를 사용한 증기양생 콘크리트의 경우 증기양생 후 7일 시점에서 증기양생 보통포틀랜드 시멘트 콘크리트에 비해 강도가 낮게 나타났다. 양생방법에 따른 순환골재 콘크리트의 역학적 차이는 일반 콘크리트와 유사하게 나타나 실제 2차제품의 생산에 순환골재 적용이 가능한 것으로 나타났지만 최적의 치환율을 결정하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 순환골재, 치환율, 강도특성, 증기양생, 고로슬래그