

증기양생 재생콘크리트의 강도특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Strength of Recycled Concrete with Steam Curing

이 명 규*
Lee, Myung-Kue김 광 서**
Kim, Kwang-Seo이 근 호***
Lee, Keun-Ho정 상 화****
Jung, Sang-Hwa

Abstract

Various tests are performed with the recycled concrete including compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, bonding strength and chloride ion penetration test. The basic data obtained from the presented test could be accumulated for the purpose of utilization in concrete structure. Most of the strength tests show that strength decrease a little extent with increasing substitution ratio of recycled coarse aggregate except splitting tensile test for the concrete with 100% recycled fine aggregate. But in case of the 50% substitution of recycled coarse aggregate, compressive strength, flexural strength and bonding strength are almost equal to the normal concrete. Chloride ion penetration test shows that the penetration amounts of chloride ion becomes more in proportion to the substitution ratio of recycled aggregate. But most of the results show that the permeability of recycled concrete is proper to use. The results of present study may imply that the use of recycled aggregate for steam curing concrete is possible but the substitution ratio of recycled aggregate should be determined through further studies.

키 워 드 : 재생골재, 재생골재 치환율, 강도특성, 증기양생

Keywords : Recycled Aggregate, Substitution Ratio, Strength Characteristic, Steam Curing

1. 서 론

최근에는 구조물의 재개발 및 재건축 사업비 중에서 콘크리트 폐기물의 처리비용이 차지하는 비중이 증대하고 있으므로 구조물 재개발 사업의 성공적인 수행을 위해서는 이러한 환경 및 경제적인 요인으로 인해 콘크리트 폐기물의 효율적인 재활용 기술이 필수적으로 요구되게 되었다고 할 수 있다. 이에 따라 국내의 경우 건설교통부를 중심으로 콘크리트 폐기물로부터 건설공사에 필요한 골재를 재생하여 활용하는 방안 관련 연구를 수행하였으며, 1999년에는 KS F 2573(콘크리트용 재생골재에 관한 규격)을 제정하여 우수한 품질의 콘크리트용 재생골재 생산을 통한 콘크리트 폐기물의 처리문제 해결을 시도하였다. 그러나, 현재까지 재생골재의 경우 천연 골재에 비해 품질이 다소 떨어지는 문제가 있기 때문에 재생 골재를 사용한 콘크리트 구조물은 아직까지는 본격적으로 건설된 사례가 없으며, 재생골재의 경우 97% 이상이 부가가치가 적은 성토재 및 도로보조기층용으로 사용되고 있다. 따라서, 소비자의 인식전환 및 신뢰성 확보를 통해 재생골재의 재활용을 촉진할 수 있는 재생콘크리트의 활용으로서 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 폐콘크리트 재활용 가능성에 대한 일환으로 재생 굵은골재 및 잔골재를 사용한 콘크리트를 증기양생한 후 압축강도, 인장강도 및 휨강도 특성을 분석하였다. 또한, 수증양생한 재생콘크리트에 대해서도 동일한 강도특성 실험을 수행하였으며 증기양생 및 수증양생한 재생콘크리트에 대한 부착강도 실험을 통해 향후 콘크리트 2차 제품 이외에 일반적인 구조체용 철근콘크리트에 적용하기 위한 기본적인 사항을 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 재생골재 콘크리트의 강도특성

1) 압축강도

Hansen의 연구에 의하면 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 원 콘크리트의 압축강도에 달려있으며, 다른 요소가 동일하다면 원 콘크리트의 물/시멘트 비와 재생콘크리트의 물/시멘트 비를 조합함으로써 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도를 폭넓게 관리할 수 있다고 보고되었다. 이 경우 원 콘크리트의 물/시멘트 비가 재생골재 콘크리트의 물/시멘트 비보다 같거나 높다면, 재생골재 콘크리트의 압축강도는 원 콘크리트의 압축강도와 같거나 높을 수 있

* 전주대학교 토목환경공학과 교수, concrete@jeonju.ac.kr

** 원광대학교 건축공학과 교수

*** 원광대학교 건축공학과 박사과정

**** 전주대학교 토목환경공학과 객원교수

다¹⁾.

재생 잔골재를 콘크리트 제조에 사용하는 경우에는 재생 굵은 골재와 50%의 재생 잔골재를 섞어 만든 재생골재 콘크리트의 압축강도는 재생 굵은 골재와 100%의 자연모래로 만든 재생골재 콘크리트의 압축강도보다 10~20% 낮으며, 재생 굵은 골재와 100%의 재생 잔골재로 만든 재생골재 콘크리트의 압축강도는 20~40% 정도 낮다는 연구결과가 있다²⁾. 또한, Soshiroda는 재생 잔골재를 다양한 비율로 치환하여 재생 잔골재가 콘크리트 압축강도에 미치는 영향에 대한 실험을 수행한 후 2mm이하의 재생 잔골재의 사용은 재생골재 콘크리트의 압축강도를 크게 감소시키며, 여러 가지 문제점이 발생하기 때문에 2mm이하의 재생 잔골재는 제거하여 버리는 것을 권유하며 되도록 4~5mm의 재생 잔골재 사용은 피해야 한다고 보고했다³⁾.

2) 조깅, 휨 및 전단강도

B.C.S.J. 및 Mukai et al.의 실험에 의하면 재생 굵은 골재와 자연모래로 만든 재생골재 콘크리트의 조깅인장강도는 보통 콘크리트와 별다른 차이는 없으나, 재생 굵은 골재와 재생 잔골재로 만들 경우에는 재생골재 콘크리트의 조깅인장강도가 보통 콘크리트보다 20% 낮다고 보고 되었다^{2,4)}. 반면, Coquillat는 재생 잔골재를 사용해도 재생골재 콘크리트와 보통 콘크리트의 조깅인장강도 차이는 없다고 주장하였다⁵⁾.

한편, B.C.S.J.는 재생골재 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 대략 1/5~1/8로 보통 콘크리트와 비슷하다고 하였으며¹⁾, Ikeda의 실험에 의하면 재생 굵은 골재 사용에 따른 강도감소는 원콘크리트와 비교할 때 조깅인장강도는 6%, 휨강도는 0%, 전단강도는 약 26% 감소했으며, 재생 잔골재와 재생 굵은골재 모두 사용한 경우에는 인장강도, 휨강도, 전단강도가 각각 10%, 7%, 32% 감소하는 결과가 나타났다⁶⁾.

3) 투수성

Rasheeduzzafar와 Khan는 BS 1881-Part V에 제시된 시험방법에 따라 재생골재 콘크리트와 보통 콘크리트의 투수성(water absorption)을 비교하였다⁷⁾. 이에 따르면, 일반적으로 재생골재 콘크리트의 물/시멘트 비를 원 콘크리트의 물/시멘트 비보다 높게 하면 일반 콘크리트와 별다른 차이가 없지만, 물/시멘트 비가 낮은 경우에는 재생골재 콘크리트의 투수성은 보통 콘크리트보다 약 3배 높은 것으로 나타났다.

2.2 사용재료 및 배합

1) 사용재료

본 연구에 사용한 재생골재는 전주시내에 소재한 재활용업체에서 채취하였다. 분쇄, 세척 및 분류과정을 통하여 생산된 재생 굵은 골재 중 본 실험에서는 30mm를 통과하고 4번체에 남는 골재를 사용하였으며, 재생골재에 포함된 유해한 불순물(벽돌, 아스팔트, 유리, 인조석, 타일, 종이, 나무 등)은 육안으로 가능한 한 제거하였다. 표 1에는 본 연구에서 사용한 골재들의 물리적 성질이 나타나있다.

표 1. 골재의 물리적 성질

골재종류	비중	흡수율(%)	조립률(FA)
보통 잔골재	2.50	3.43	2.55
재생 잔골재	2.26	9.22	3.26
보통 굵은 골재	2.56	0.73	6.51
재생 굵은 골재	2.33	6.66	7.29

일반적으로 잔골재의 비중은 보통 2.5~2.65정도이며, 굵은 골재의 비중은 보통 2.55~2.70정도이다. 또한, 잔골재와 굵은 골재의 조립률은 각각 2.3~3.1과 6~8정도이다. 따라서 본 실험에서 사용된 재생 골재의 비중은 낮고 흡수율은 보통 골재보다 상대적으로 높았지만, 조립율은 양호한 편이다.

2) 배합 및 실험변수

본 연구에서는 골재의 재료적 특성(비중, 골재 상태 등)을 고려하여 재생골재 치환율에 따라 배합설계를 수행하였으며, 재생골재의 낮은 비중과 높은 흡수율 때문에 재생골재 치환율이 증가할수록 단위수량은 증가하고 단위부피당 골재의 양은 감소하였다. 표 2에는 재생골재 치환율에 따른 콘크리트 시방배합이 제시되어있다.

한편, 천연골재에 대한 재생골재 치환율을 주요 실험변수로 하여 굵은 골재 치환율 0%, 50%, 100%의 3가지 수준에 대해 각각 잔골재 치환율 0%, 100%의 2가지 수준으로 나누어 실험을 실시하였다. 이 경우 증기양생을 실시한 시편은 각각 SRG0-0, SRG0-1, SRG50-0, SRG50-1, SRG100-0, SRG100-1로, 수중양생을 한 경우에는 각각 RG0-0, RG0-1, RG50-0, RG50-1, RG100-0, RG100-1로 표시하였다. 압축강도, 조깅인장강도 및 염소이온투과 실험을 위해 총 156개의 원형 몰드($\phi 10 \times 20$ cm)를 제작하였으며, 휨강도 실험을 위해 총 36개의 빔몰드($7.5 \times 7.5 \times 40$ cm)를 제작하였다. 또한 중앙에 철근이 매입된 $25 \times 25 \times 25$ cm의 시편 36개를 제작하여 부착실험을 실시하였다. 제작된 공시체는 24시간 후 몰드를 제거하여 28일 동안 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지되는 수조에 침지한 수중양생의 경우와 24시간 동안 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도로 양생한 후 몰드를 제거하는 증기양생의 두 가지 방법으로 양생하여 양생방법에 따른 강도특성 변화를 살펴보았다.

표 2. 재생골재 치환율에 따른 콘크리트 배합

배합	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)						
			물(W)	시멘트(C)	잔골재(S)		굵은골재(G)		
					자연	재생	자연	재생	
G	S								
0	0	50	38	161.9	323.8	650.8	0	1087.2	0
	100					0	588.3	1087.2	0
50	0					650.8	0	543.6	494.8
	100					0	588.3	543.6	494.8
100	0					650.8	0	0	989.6
	100					0	588.3	0	989.6

2.3 실험방법

1) 기본강도실험

콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405 콘크리트의 압축강도시험의 규정에 따라 수행하였다. 압축강도시험은 만능시험기로 KS L 5105 규정에 따라 2.0kgf/cm²의 압축속도로 재하하였다.

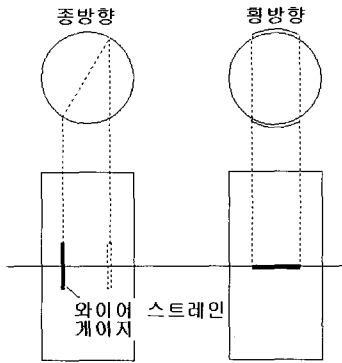


그림 1. 와이어 스트레인 게이지

콘크리트의 휨강도시험은 KS F 2407 콘크리트의 휨강도시험(단순보의 중앙점 하중법)의 규정에 따라 수행하였으며, 실험시편은 7.5×7.5×40cm의 몰드를 재생 굽은골재 치환율에 따라 각각 3개씩 제작하였다.

이때 공시체의 휨강도는 다음 식에 따라 계산한다.

$$f_b = \frac{3Pl}{2bd^2} \quad (1)$$

여기서, f_b : 휨강도(kgf/cm²)

F : 시험용 계기에 나타난 최대하중(kgf)

l : 지간의 길이(cm)

b : 평균폭(cm)

a : 평균두께(cm)

콘크리트의 쪼갬 인장강도시험은 KS F 2423 콘크리트의 인장강도시험의 규정에 따라 수행하였으며, 실험시편은 10×20cm 원형공시체이고, 재생 굽은골재 치환율에 따라 각각 3개씩 제작하였다. 이 경우 공시체의 쪼갬인장강도는 다음 식으로 계산한다.

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi di} \quad (2)$$

여기서, f_{sp} : 쪼갬인장강도(kgf/cm²)

F : 시험기에 나타난 최대하중(kgf)

l : 공시체의 길이(cm)

a : 공시체의 지름(cm)

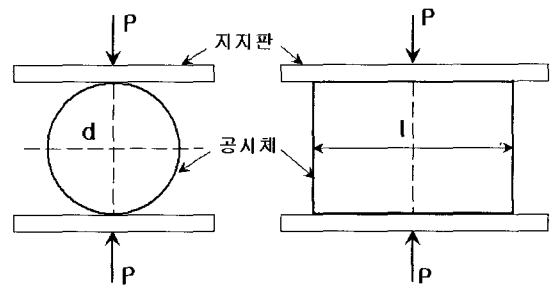
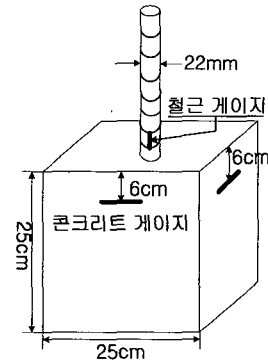


그림 2. 콘크리트 쪼갬인장강도 시험 방법

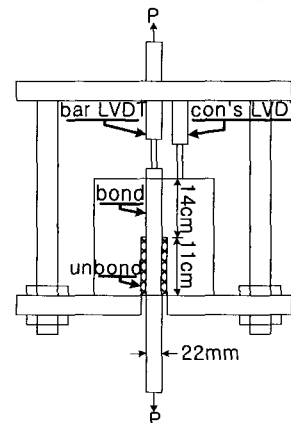
2) 부착강도실험

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

그림 3(a)에는 본 실험에서 사용된 부착강도 실험시편 규격 및 콘크리트 게이지 부착방법이 나타나있으며, 그림 3(b)에는 실험방법이 제시되어 있다.



(a) 실험시편 형상 및 콘크리트 게이지



(b) 부착강도 실험방법

그림 3. 인발에 의한 부착강도 실험

인발시험을 통한 평균부착응력은 식(3)에 따라 계산한다.⁸⁾

$$\tau = \frac{F}{\sum o \cdot L} \quad (3)$$

여기서, τ : 부착응력(kgf/cm²)
 F : 철근에 가해진 인장하중(kgf/cm²)
 Σ_0 : 철근의 원둘레(cm)
 L : 부착 길이(cm)

3) 염소이온 투과실험

콘크리트의 투수성은 내부식성, 내황산염 저항성 등의 여러 가지 다른 내구성능과 밀접한 관련을 가지고 있으며 투수성이 높은 콘크리트는 상대적으로 성능저하가 촉진되는 경향을 보인다. 이러한 콘크리트의 투수성을 결정하는 방법은 높은 압력으로 물을 강제 투수시켜 Darcy의 법칙에 의하여 투수계수를 결정하는 방법이 있으나 조적이 치밀한 콘크리트의 경우 투수되는 수량이 극히 적으며 실험에 장시간이 요구되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 ASTM C1202-91 (Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration)에 규정된 염소이온 투과시험법을 이용하여 재생 콘크리트의 투수성에 대한 실시하였다.

전기적인 방법에 의한 염소이온 투과실험은 10×20cm공시체를 28일간 수중양생한 후 5cm 두께로 절단하여 그림 4에 나타나있는 것과 같이 염소이온 투과셀에 고정시킨 후 직류 회로를 구성한다. 이 회로에서 전원은 60±0.1V의 직류를 ±0.1V 정도로 안정적으로 공급되어야 하며 전압에 미치는 영향을 적게 하기 위해 0.2Ω 정도로 작은 저항을 사용한다. 콘크리트의 투과성을 평가하기 위해서는 매 시편마다 6시간 동안 30분 간격으로 전압값을 측정 후 전류로 환산하여 식 (4)와 같이 총 전하량을 산정한다. 이후 총 전하량을 ASTM의 규정과 비교하여 실험 시편의 투과성을 평가한다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (4)$$

여기서, Q = 회로를 통과한 전하량(coulomb)

I_n = 실험시작후 n 분이 경과하였을때의 전류
(amperes)

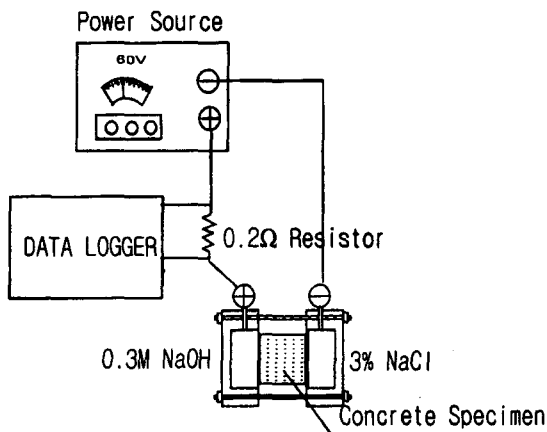


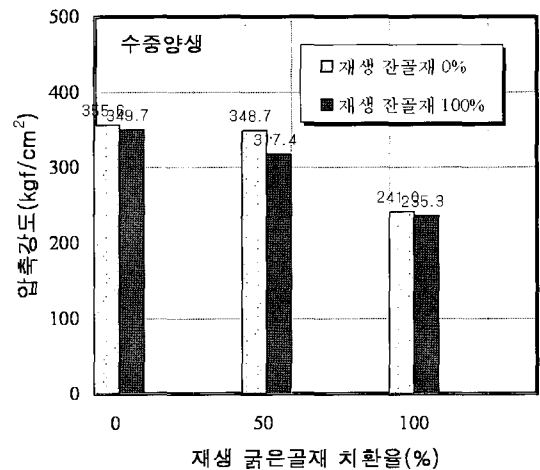
그림 4. 염소이온 투과실험의 직류회로

3. 실험결과 및 고찰

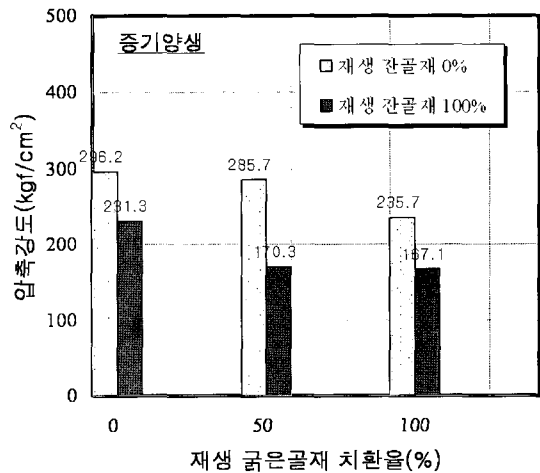
3.1 기본강도실험

1) 압축강도

그림 5에는 각각의 양생방법에 대해 재생골재 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도가 나타나있다. 이 경우 증기양생 시편의 압축강도는 몰드를 제거한 후 1주일 후 측정하였다. 그림 5에 따르면 양생방법 및 재생골재 사용여부에 관계없이 재생 굵은골재 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 보였으며 최대 감소율은 수중양생의 경우 재생 잔골재 사용에 관계없이 약 33%, 증기양생의 경우 재생 잔골재를 100% 치환한 경우 약 28%로 나타났다. 한편, 일반적으로 재생 굵은골재 치환율 50%인 경우는 치환율이 0%인 보통콘크리트와 압축강도에 있어 큰 차이를 보이지 않았지만 재생 잔골재를 100% 치환하여 증기양생한 경우는 압축강도가 보통콘크리트에 비해 73%정도로 작게 나타났다. 또한, 재생잔골재를 100% 사용할 경우에는 압축강도가 수중양생의 경우에는 재생잔골재를 사용하지 않는 경우와 비슷하지만 증기양생의 경우에는 재생 굵은 골재 치환율에 따라 약 60%(SRG50-1)~78%(SRG0-1)로 압축강도 저하가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.



(a) 수중양생의 경우

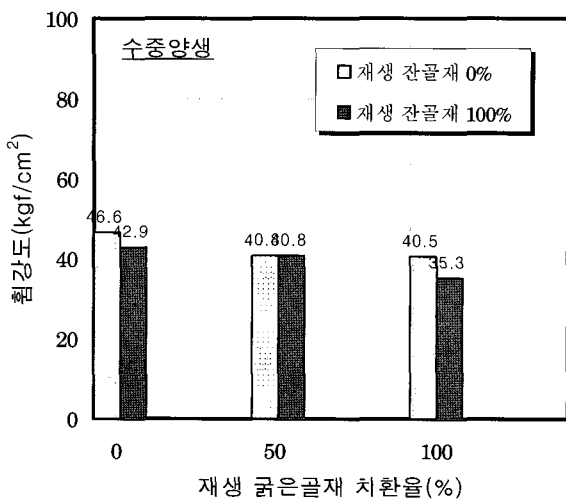


(b) 증기양생의 경우

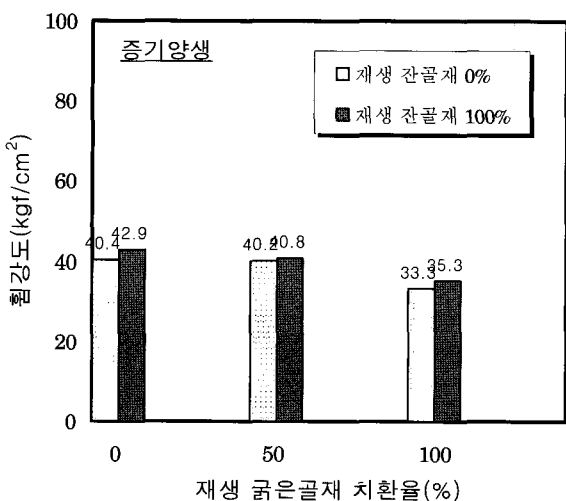
그림 5. 재생 골재 치환율에 따른 압축강도 변화

2) 휨강도 및 조깅인장강도

본 연구에서는 재생콘크리트의 강도 특성을 폭넓게 평가하기 위해 KS F 2407과 KS F 2423에 따라 각각 휨강도 및 조깅인장강도 시험을 수행하였으며 그 결과는 그림 6 및 그림 7에 제시되어있다. 이에 따르면 휨강도는 재생 굵은 골재 치환율이 50%인 경우에는 치환율이 0%인 보통콘크리트와 큰 차이를 보이지 않았으며 재생 굵은 골재 치환율이 100%인 경우에는 치환율이 0%인 경우에 비해서 약 18%정도 감소하였다. 이 경우 증기양생을 한 경우에는 재생 잔골재를 100% 치환한 경우가 치환하지 않은 경우에 비해 휨강도가 다소 크게 나오고 있지만 그 차이는 5%내외로 콘크리트의 변동성을 고려하면 무시할만한 수준인 것으로 판단된다.



(a) 수중양생의 경우

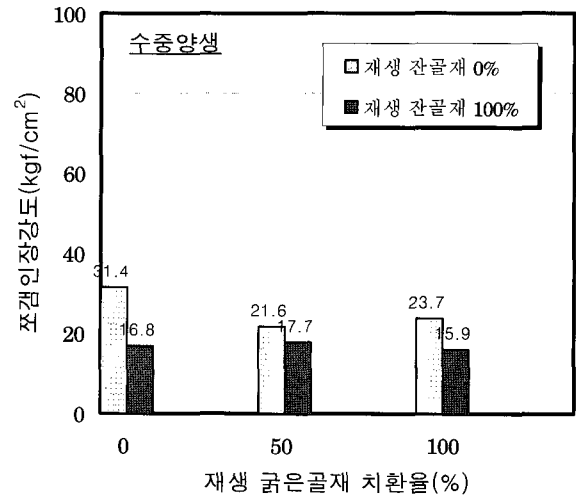


(b) 증기양생의 경우

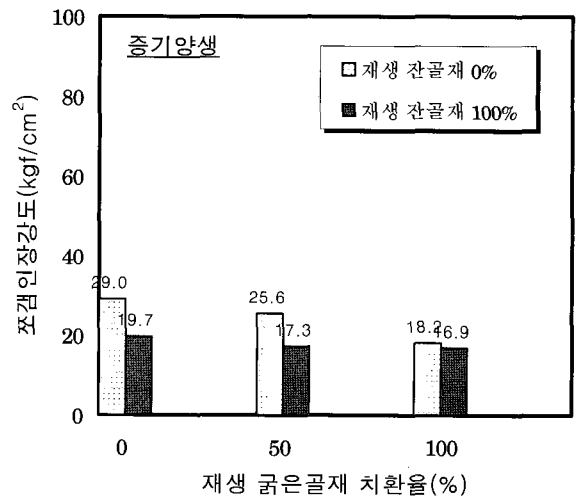
그림 6. 재생 골재 치환율에 따른 휨강도 변화

그림 7에 제시되어있는 조깅인장강도 실험결과를 보면 재생 잔골재를 사용하지 않은 경우에는 재생 굵은 골재 치환율이 커짐에 따라 조깅인장강도가 감소하는 경향을 보이지만 재생 잔골재를 100% 치환한 경우에는 재생 굵은 골재 치환율에 상관없이 거의 일정하게 나타나고 있다. 이것은 조깅인

장에 의한 파괴양상이 휨인장 실험에 비해 직접인장에 가깝고 이 경우 시편의 파괴에 미치는 잔골재의 영향이 상대적으로 커지기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 수중양생의 경우



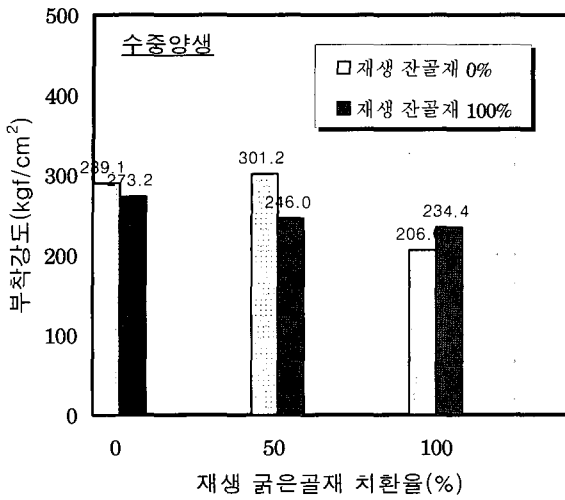
(b) 증기양생의 경우

그림 7. 재생골재 치환율에 따른 조깅인장강도 변화

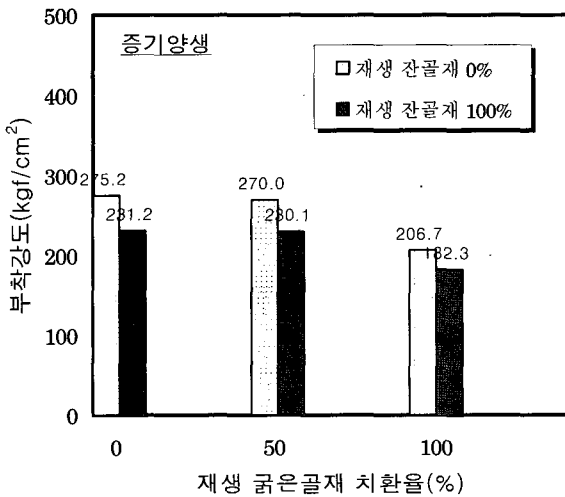
3.2 부착강도 및 염소이온 투과 실험

1) 부착강도

그림 8은 각 시편의 부착강도를 양생방법 및 재생골재 치환율에 따라 도시한 것이다. 재생 굵은골재 치환율에 따른 부착강도는 0%와 50%는 큰 차이를 보이지 않았으며 재생 굵은골재를 100% 사용한 경우에는 치환율 0%에 비해 71%(RG100-0)~85%(RG100-1) 수준의 부착강도를 나타내었다. 또한, 각각의 재생 굵은 골재 치환율에 대해 재생 잔골재를 100% 사용한 경우에는 재생 잔골재를 사용하지 않은 경우에 비해 부착강도가 약 12~18%정도 저하되고 있다.



(a) 수중양생의 경우



(b) 증기양생의 경우

그림 8. 재생골재 치환율에 따른 부착강도 변화

2) 염소이온 투과량

그림 9에 제시된 염소이온 투과량 실험결과에 의하면 재생 굵은골재 치환율이 증가할수록 재생 굵은골재 콘크리트 통과 전하량은 대체적으로 증가했으며, 통과 전하량 범위는 실험변수에 따라 1908~4408C 이었다. 이를 ASTM C1202의 규정과 비교해 볼 때 재생골재를 사용하지 않은 경우에는 2000C 이하의 염소이온이 통과하여 내투수성이 우수하게 나타나고 있으며, 모든 골재를 재생 골재로 사용한 경우를 제외하고는 염소이온 통과 전하량이 2000~4000C 사이로 판정등급 보통수준의 결과를 보였다. 다만 굵은 골재 및 잔골재를 모두 재생 골재로 사용한 경우에는 통과전하량이 4000C이상으로 투수성이 크게 나타나고 있다.

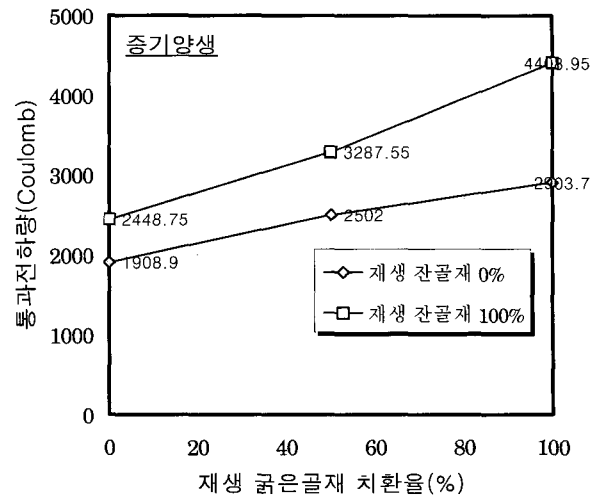


그림 9. 재생골재 치환율에 따른 염소이온 투과량

4. 결 론

본 연구는 국내에서 생산되는 재생골재를 사용한 증기양생 및 수중양생 콘크리트의 여러 가지 강도와 관련된 특성 및 투수성에 대한 성능평가를 수행하였으며 이를 통해 재생골재를 콘크리트 블록 및 콘크리트 하수관 등의 콘크리트 2차 제품에 본격적으로 활용하기 위한 기본자료를 축적하였다. 본 연구에서 수행한 실험을 통한 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 24시간 증기양생 후 7일 경과 및 28일간 수중 양생한 시편에 대해 다양한 강도특성을 검토하였으며, 위의 조건에서 수중양생 시편의 경우 압축강도 및 부착강도가 증기양생 시편보다 크게 나왔다. 그러나, 휨강도 및 쪼갬인장강도의 경우 두 가지 양생조건에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.
- 2) 재생 잔골재를 100% 사용한 시편에 대한 쪼갬인장강도 실험을 제외한 경우 대부분의 강도특성 실험에서 재생골재 치환율이 클수록 강도가 저하되었다. 그러나, 재생잔골재를 사용하지 않은 경우에는 재생 굵은 골재 치환율 50%의 경우 0%와 비교하여 강도저하가 작게 발생하는 경향을 보였다.
- 3) 압축강도, 쪼갬인장강도 및 부착강도 실험의 경우 재생 잔골재를 100% 사용한 경우 재생 잔골재 치환율 0%와 비교하여 강도저하 현상이 뚜렷이 발생하였으나 휨강도 실험의 경우 재생 잔골재 치환율은 강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.
- 4) 증기양생 시편에 대한 염소이온 투과실험 수행결과 재생 굵은 골재 및 재생 잔골재를 100% 치환한 SRG100-1을 제외

하고는 모두 내투수성이 양호한 것으로 나타났다. 그러나, 재생 굵은 골재 치환율에 비례하여 염소이온 투과량이 커지는 경향이 명확하며, 재생 잔골재를 사용하는 경우 약 30%정도 염소이온 투과량이 증가하였다. 이와 같이 염소이온 투과실험 결과가 재생골재 치환율을 명확히 반영하는 것은 콘크리트 내부의 물질이동 정도가 콘크리트의 조직구조와 직접적으로 연관되었기 때문인 것으로 판단된다.

- 5) 본 연구결과 재생골재를 활용한 콘크리트 2차 제품을 제조하는 경우 재생 굵은 골재는 50% 이하로 하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 이 경우 재생 잔골재의 사용량에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Hansen, T.C., and Narud, H. (1983) Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *concrete International - design and Construction*, 5, No. 1, pp.79-83.
2. B.C.S.J (1978), 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. 16. No. 7. pp. 18-31.
3. Soshiroda, T, (1983), Recycled concrete. *Proceedings 9th Congress of CIB*, Stockholm.
4. Mukai, T., et al. (1979), 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.
5. Coquillat, G. (1982), Recycled de matériaux de demolition dans la confection de Beton. CEBTP-service d'Etude des Matériaux Unite: *Technologie des Beton* (in French). Marche No. 80-61-248, Saint Remy les Chevreuse.
6. Ikeda, T., Yamans, S. and Sakamoto, A. (1995) strength of concrete containing recycled aggregate, *Ibid*, Ref. 135, pp. 585-594.
7. Rasheeduzzafar, and Khan, A. (1984), Recycled concrete - a source of new aggregate. *Cement, Concrete, and Aggregates (ASTM)*, 6. No. 1, pp.17-27.
8. 오병환(1992), 철근콘크리트 부재의 뿔뿔부착특성 연구, 한국콘크리트학회지, 제 4권 3호.