물시멘트비 및 단위수량에 따른 순환콘크리트의 강도 특성과 내구성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength Properties and Durability Performance of Recycled Concrete with Water to Cement Ratio and Unit Water Content

(Received August 31, 2011 / Revised October 10, 2011/ Accepted October 18, 2011)

김영선[1)*] 김정진[1)] 석원균[1)] 이주호[1)] 김규용[2)]
롯데건설, 기술연구원 충남대학교, 건축공학과
Young-Sun Kim[1)*] Jung-Jin Kim[1)] Won-Kyun Seok[1)] Joo-Ho Lee[1)] Gyu-Yong Kim[2)]
LOTTE E&C, R&D Institute, Seoul, 140-846, Korea
Chungnam National University, Department of Architecture Eng., Daejeon, 305-764, Korea

Abstract

To resolve the problem which is demand and supply imbalance of fine aggregate by the shortage of natural fine aggregate and the environment regulations, the studies for the application of recycled fine aggregate made from waste concrete have been recently carried out. The objective of this study is to shed light on the mechanical properties and durability performance of concrete using recycle fine aggregate with various water to cement ratios and unit water contents. And it is intend to propose the fundamental data for structural application of recycled concrete.

In particular, the effects according to the variations of water to cement ratios and unit water contents in recycled concrete with recycled fine aggregate replacement of 100 percent are discussed by the test results, such as air content, slump, time of set, compressive strength, tensile strength, carbonation, chloride penetration.

키워드 : 재생잔골재, 재생콘크리트, 강도특성, 내구성능
Keywords : Recycled fine aggregate, Recycled Concrete, Strength Properties, Durability Performance

1. 서 론

국내 건설현장의 잔골재 수급상황은 천연골재자원의 고갈 및 환경규제 강화에 따른 골재채취 제한에 의해 콘크리트용 잔골재의 품귀현상이 일어날 정도로 심각한 문제로 대두되어 왔으며 새로운 잔골재 자원으로 순환잔골재의 활용이 주목되고 있는 상황이다.

이러한 배경에서 순환골재 및 이를 활용한 순환콘크리트에 대한 정부의 재활용 촉진정책으로 순환골재 사용을 의무화한 법률 및 시행령이 제정되었고 이에 공공구조물에 있어서 순환골재의 사용을 적극적으로 장려하고 이를 적용할 수 있도록 다양한 법적 제도를 모색하고 있다[1,2,3].

한편 순환골재를 실제구조물에 적용하기위해서는 국가정책을 바탕으로 한 사회적인 인식변화, 다양한 실험데이터를 바탕으로 활용성 및 역학적 성상에 있어서 안전성을 확보하여 다양한 구조물에 적용할 수 있도록 해야한다.

따라서 본 연구에서는 순환잔골재를 구조체 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위하여 W/C 및 단위수량 등의 다양한 배합요인에 따른 굳지않은 성상, 경화성상, 내구성상에 관하여 검토·분석하여 순환잔골재를 사용한 순환콘크리트의 배합설계 및 역학적 성능향상을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

* Corresponding author
E-mail: kimys@lottenc.com

Table 1. Experimental outline

시리즈	W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	순환잔골재 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m^3)	측정항목		
						굳지 않은 성상	경화성상	내구성상
Plain	45	21±2	0	46	175	■ 공기량(%) ■ 슬럼프(cm) ■ 응결시간 (h : m)	■ 압축강도(MPa) ■ 쪼갬인장강도(MPa) (재령 3, 7, 28, 56, 91일)	■ 탄산화깊이(mm) ■ 염화물이온 침투깊이(mm) (촉진재령 1, 4, 8, 13주)
I	35 45 55	21±2	100	46	175			
II	45				165 175 185			

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 시리즈 I 에서는 W/C를 35, 45, 55%의 3수준, 순환잔골재 대체율을 100%로 설정하여 W/C에 따른 순환잔골재를 사용한 순환콘크리트의 굳지않은 성상, 경화성상 및 내구성상을 검토·분석하고자 하였다. 또한 시리즈II 에서는 W/C 45%, 순환잔골재 대체율 100%에서 단위수량을 (165, 175, 185) kg/m^{3}의 3수준으로 설정하여 단위수량에 따른 순환잔골재를 사용한 순환콘크리트의 굳지않은 성상, 경화성상 및 내구성상을 검토·분석하고자 하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에서 보는 바와 같이 시멘트는 밀도 3.15g/cm^{3}의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였다. 또한 굵은골재는 밀도 2.63 g/cm^{3}의 부순자갈을 사용하였고, 순환골재는 밀도 2.44 g/cm^3, 조립율 3.06, 흡수율 3.43%로서 전반적인 품질이 국토해양부「순환골재 품질기준」의 콘크리트용 순환골재의 품질기준에 만족하는 순환잔골재를 사용하였다[4,5,6].

2.3 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 표 3에서 보는 바와 같이 시리즈 I 에서는 W/C에 따른 순환콘크리트의 굳지 않은성상, 경화성상 및 내구성상을 검토·분석하기 위하여 W/C를 35, 45, 55%의 3수준, 순환잔골재 대체율을 100%, 단위수량을 175 kg/m^{3}로 설정하였으며, 시리즈 II 에서는 단위수량에 따른 순환콘크리트의 굳지 않은 성상, 경화성상 및 내구성상을 검토·분석하기 위하여 W/C 45%, 순환잔골재 대체율 100%에서 단위수량을 (165, 175, 185) kg/m^{3}의 3수준으로 설정하였다.

Table 2. Properties of used materials

사용재료	물리적 성질
시멘트	1종 포틀랜드시멘트 (밀도 3.15g/cm^3, 분말도 3,200cm^2/g)
혼화제	폴리카르본산계 고성능AE감수제
굵은골재	부순자갈 (최대치수 25mm, 밀도 2.65g/cm^3, 퇴촌산)
잔골재	천연잔골재 (밀도 2.56g/cm^3, 조립율2.84, 흡수율 1.42%)
	순환잔골재 (밀도 2.44g/cm^3, 조립율 3.06, 흡수율 3.43%)

2.4 비빔방법 및 시험체 제작

콘크리트의 비빔은 100 l 의 강제식 팬타입믹서를 이용하여 시멘트, 순환잔골재를 투입하고 30초간 건비빔한 후 물과 고성능AE감수제를 투입하여 60초간 비빔을 실시하였다. 이후 굵은골재를 투입하여 60초간 비빔을 실시하였으며 총 비빔시간은 2분 30초가 소요되었다.

시험체 제작은 압축강도 및 인장강도를 측정하기 위하여 Ø100×200 mm의 원주형 시험체를 제작하고 약 24시간 후 몰드를 탈형하여 측정재령까지 수중양생을 실시하였다. 평가시에는 콘크리트용 연마기를 사용하여 시험체 양면을 평활하게 만들었다. 또한 탄산화 깊이 및 염화물이온 침투깊이 측정용 시험체는 각각 75×100×400 mm와 100×100×400 mm의 시험체로 제작하고 28일 수중양생을 실시한 후 14일간 기건양생을 실시하였다.

Table 3. Mix proportions of concrete

시리즈	W/C (%)	재생 잔골재 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m^3)	절대용적 (l /m^3)				단위질량 (kg/m^3)				
					시멘트	천연 잔골재	재생 잔골재	굵은 골재	시멘트	천연 잔골재	재생 잔골재	굵은 골재	AE 감수제
Plain	45	0	46	175	123	302	0	355	389	773	0	940	0.97
I	35	100		175	159	0	286	335	500	0	697	889	3.00
	45				123	0	302	355	389	0	737	940	1.17
	55				101	0	312	367	318	0	762	972	0.95
II	45			165	116	0	310	364	367	0	756	964	1.47
				175	123	0	302	355	389	0	737	940	1.17
				185	131	0	294	345	411	0	718	915	1.23

2.5 시험방법

굳지않은 콘크리트의 공기량(KS F 2421), 슬럼프(KS F 2402) 및 응결시험(KS F 2436)과 경화콘크리트의 압축강도(KS F 2405) 및 쪼갬 인장강도시험(KS F 2423)은 각각의 KS 표준에 준하여 실시하였다.

탄산화 시험(KS F 2584)은 온도 20℃, 상대습도 50%, CO_2농도 5%의 조건에서 탄산화 촉진을 실시하였으며, 탄산화 깊이의 측정은 페놀프탈레인 1% 알코올용액을 분무하여 표면으로부터 적자색으로 변화하지 않는 부분을 탄산화깊이로 하여 측정하였다.

또한 염화물이온 침투깊이 측정(KS F 2737)은 3%의 NaCl 수용액에 측정재령까지 침지한 후 소정의 두께로 할렬하여 0.1N $AgNO_3$용액을 분무하여 시험체 표면으로부터 변색된 부위 중 5개소의 평균값을 침투깊이로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 성상

그림 1은 W/C 및 단위수량에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로 W/C에 따른 공기량은 W/C 35, 45 및 55%에 있어서 각각 7.0,5.5 및 5.3%로 W/C가 높을수록 감소하는 것으로 나타났으며, 단위수량에 따른 공기량은 단위수량 (165, 175, 185) kg/m^{3}에 있어서 각각 6.5, 5.5, 5.0%로 단위수량이 클수록 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 고성능 AE감수제 첨가율에 기인하는 것으로 사료된다.

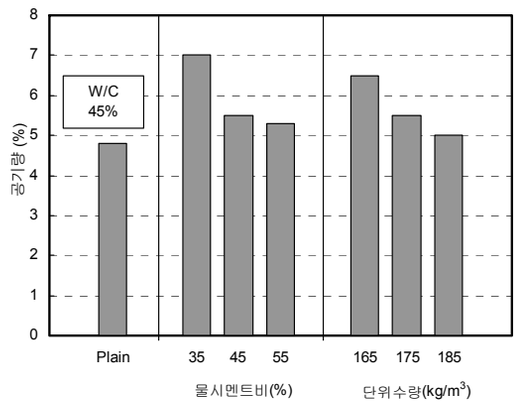


Fig. 1 Air content with W/C and unit water

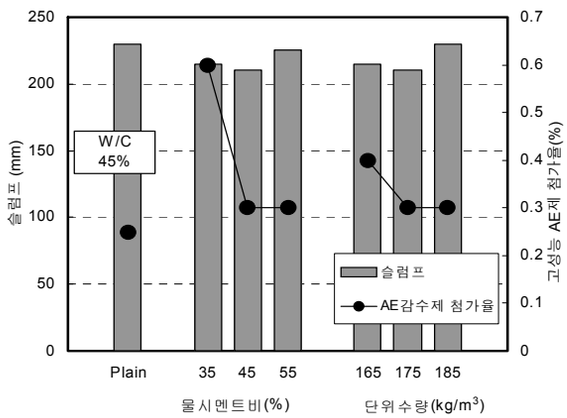


Fig. 2 Superplasticizer contents with target slump

또한 순환골재를 첨가할 경우 W/C 45%의 Plain 콘크리트와 비교하여 공기량이 증가하는 것은 순환골재의 품질이 천연

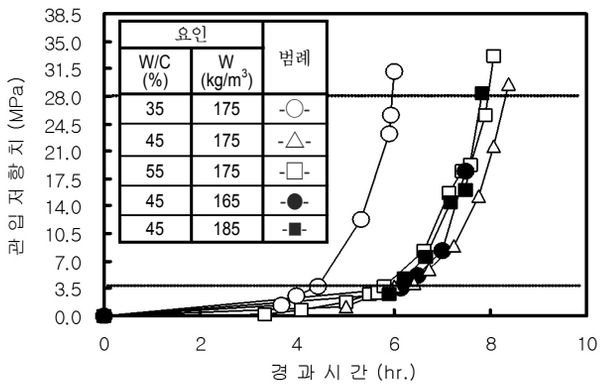
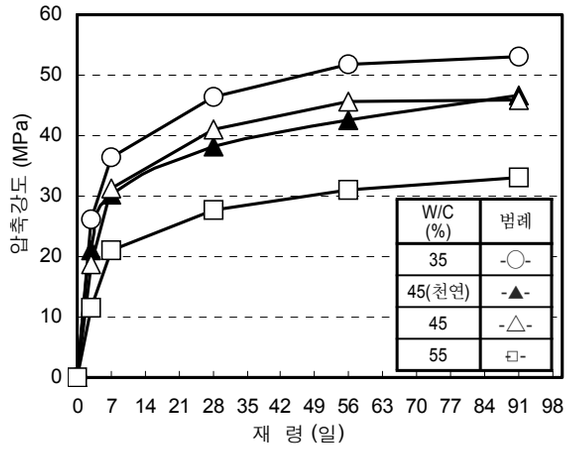
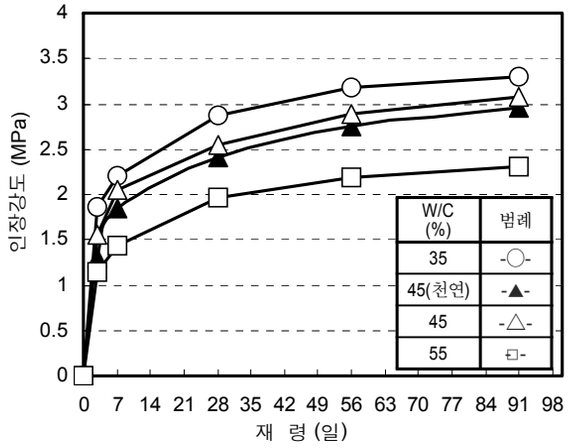


Fig. 3 Setting time with W/C and unit water

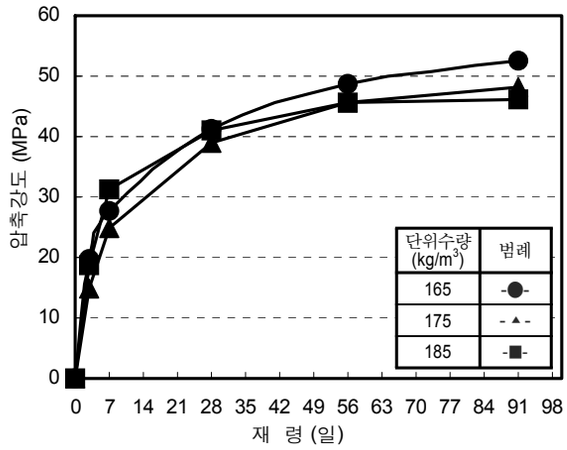


(a) Compressive strength

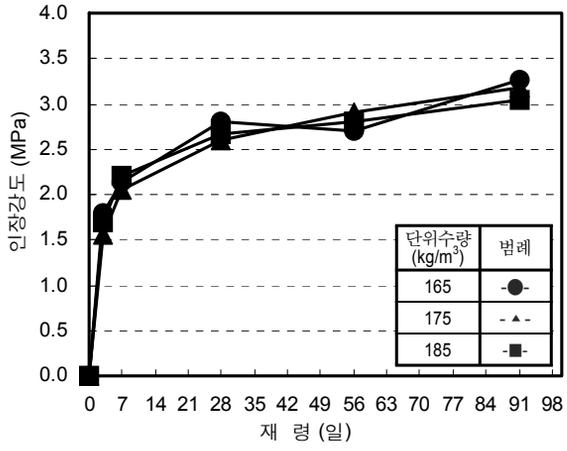


(b) Tensile strength

Fig 4. Compressive and tensile strength with W/C and ages



(a) Compressive strength



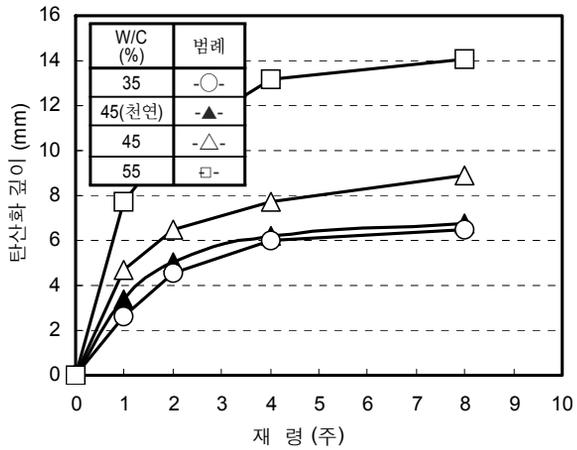
(b) Tensile strength

Fig. 5 Compressive and tensile strength with unit water and ages

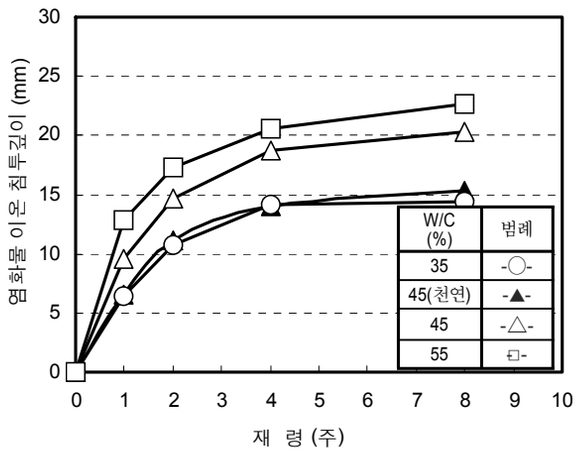
골재에 비해서는 떨어지고, 골재표면의 페이스트와의 계면 상태, 높은 흡수율에 기인한 결과로 판단된다.

그림 2는 목표 슬럼프 210±20 m를 만족시키기 위한 고성능AE감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로 W/C가 높을수록 고성능AE감수제 첨가율은 감소하는 경향으로 나타났으며, 단위수량이 클수록 첨가율은 감소하는 것으로 나타났다.

그림 3은 W/C 및 단위수량별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 W/C 35%를 제외하고 초결시간은 5~6시간, 종결시간은 7~8시간 정도로 유사한 수준으로 나타났다. 일반적으로 동일시멘트를 사용할 경우 슬럼프가 적을수록, W/C가 적을수록 응결이 빨리되는 경향이 나타는 것으로 알려져 있다. 본 실험결과의 경우 W/C 35%에서 다소 빠르며 그 외의 경우는 유사한

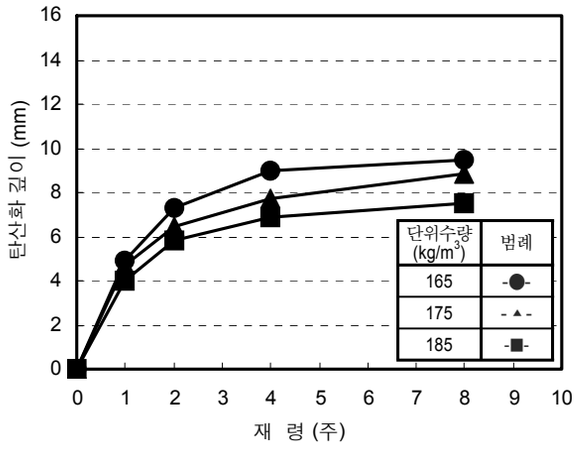


(a) Carbonation depth

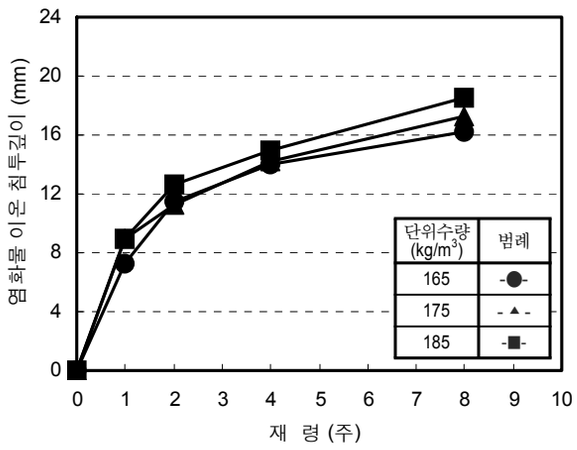


(b) Chloride ion penetration depth

Fig. 6 Carbonation and Chloride ion penetration depth with W/C



(a) Carbonation depth



(b) Chloride ion penetration depth

Fig. 7 Carbonation and Chloride ion penetration depth with unit water

것으로 나타났다. 이는 순환골재의 흡수율이 높고, 공기량의 차이 등이 콘크리트의 응결시간에 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.2 경화성상

그림 4는 W/C별 재령에 따른 압축강도 및 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 재령이 증가할수록 압축 및 인장강도는 증가하는 것으로 나타났으며, W/C가 낮을수록 압축 및 인장강도는 높게 발현되는 것으로 나타났다.

또한 그림 5는 단위수량별 재령에 따른 압축강도 및 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 재령이 증가할수록 압축 및 인장강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 단위수량이 작을수록 압축 및 인장강도는 다소 높게 발현되었으나 큰 차이는 보이고 있지 않아 단위수량이 강도에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

3.3 내구성상

그림 6은 W/C에 따른 탄산화깊이 및 염화물이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로 경화성상과 유사하게 W/C가 높을수록 재령에 따른 탄산화 깊이와 염화물이온 침투깊이는 크게 나타나고 있어, W/C 55%의 순환콘크리트 경우 상대적으로 W/C 35, 45%의 순환콘크리트에 비해 탄산화 및 염해 저항성이 작은 것으로 나타났다.

또한 천연골재를 사용한 W/C 45%의 경우 순환골재를 사용한 전수준의 콘크리트에 비하여 탄산화 및 염해저항성이 뛰어난 것으로 나타났다.

그림 7은 단위수량에 따른 탄산화 깊이 및 염화물이온 침투 깊이의 변화를 나타낸 것으로 탄산화 깊이 및 염화물이온 침투깊이는 단위수량에 관계없이 유사한 수준을 보이고 있다. 순환골재를 사용한 콘크리트의 경우에 있어서 단위수량에 의한 차이보다는 W/C에 따른 저항성이 차이가 있고, 내구성상을 비교해 보았을때 압축강도 성상은 동등하였지만 내구성상에 있어서는 W/C를 낮추어야만 천연골재와 동등한 내구성상을 발현하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

순환잔골재를 구조체 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위하여 W/C 및 단위수량 등의 다양한 배합요인에 따른 굳지않은 성상, 경화성상, 내구성상에 관하여 검토·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 공기량은 W/C가 높을수록, 단위수량이 클수록 감소하는 경향으로 나타났으며, 목표슬럼프를 만족시키기 위한 고성능 AE감수제 첨가율은 W/C가 높을수록, 단위수량이 클수록 감소하는 것으로 나타났다.

2) 압축강도 및 인장강도는 W/C가 낮을수록 높게 나타났으며, 단위수량에 관계없이 유사한 수준을 보이고 있다.

3) 탄산화 깊이 및 염화물이온 침투깊이는 W/C가 높을수록 크게 나타났으며, 단위수량에 관계없이 유사한 수준으로 나타났다. 또한 천연골재 대비 압축강도 성상과는 달리 동일한 내구성상을 위해서는 W/C를 낮추어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1) 이도헌, 김효진, 전명훈, 정종석, 콘크리트용 순환골재의 기술 개발 현황, 한국콘크리트학회지, Vol.18, No.2, pp.34-41, 2007

2) 서치호, 김병윤, 순환골재콘크리트의 특성, 한국콘크리트학회 전문위원회 연구발표집, pp.153-169, 2004

3) 이세현, 순환골재의 활용과 건설폐기물 재활용 정책, 한국콘크리트학회지, Vol.17, No.3, pp.14-16, 2005

4) 국토해양부, 순환골재 품질기준, 2009. 5

5) 김무한, 순환골재 제조시스템에 따른 골재의 품질개선 방안에 관한 기초적 연구, 한국폐기물학회 추계학술발표회 논문집, pp. 245-250, 1998. 11

6) 日本建築學會, 建築工事標準仕様書·同解說 (JASS 5 鐵筋コンクリート工事), 2003

7) 菊地雅史, 道正泰弘, 安永亮, 江原恭二, 增田彰, 再生骨材の品質が再生コンクリートの品質に及ぼす影響, 日本建築學會構造系論文集, pp.11~20, 1995. 8

8) 道正泰弘, 菊地雅史, 增田彰, 小山昭男 原コンクリートの性質が再生コンクリートの品質に及ぼす影響, 日本建築學會構造系論文集, pp.1~10, 1996. 7

9) 道正泰弘, 菊地雅史, 增田彰, 小山昭男, 三浦隆広, 再生細骨材を用いたコンクリートの構造用コンクリートへの適用<原モルタルの性質が再生細骨材および再生コンクリートの品質に及ぼす影響>, 日本建築學會構造系論文集, pp.15~22, 1997. 12

10) 江口清, 寺西浩司, 成川匡文, 再生コンクリートの乾燥收縮と水分逸散の機構に關する研究, 日本建築學會構造系論文集, pp.1~8, 2003. 11

물시멘트비 및 단위수량에 따른 순환콘크리트의 강도 특성과 내구성능에 관한 실험적 연구

천연골재의 고갈 및 환경규제에 의한 건설용 잔골재의 수급불균형 문제를 해결하기 위해 폐기콘크리트로부터 생산된 순환잔골재의 적용성을 위한 연구들이 수행되어 왔다. 본 연구의 목적은 W/C 및 단위수량의 변화에 따른 순환잔골재를 사용한 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성능에 관한 이해를 높이는 것이다. 또한, 순환콘크리트의 구조적 적용을 위한 기초자료를 제시하는데 의미가 있다.

특히, 순환잔골재를 100% 대체한 순환콘크리트에 대하여 W/C 및 단위수량의 변화에 따른 영향은 공기량, 슬럼프, 응결시간, 압축강도, 인장강도, 탄산화 및 염화물 침투와 같은 항목에 대한 시험결과에 의해 분석·제시되었다.