

폐콘크리트의 품질이 재생모르터의 특성에 미치는 영향

The Effect on the Properties of Recycled Aggregate Mortar with the Qualites of Waste Concrete

김 호 구^{*} 김 기 철^{**} 신 동 인^{***} 한 천 구^{****} 박 복 만^{*****}
Kim, Hyo Goo Kim, Gi Cheol Shin, Dong In Han, Cheon Goo Park, Bok Man

ABSTRACT

In this paper, the properties of cement mortar used recycled aggregate are analyzed and compared with river and crushed sand mortar. Recycled aggregates are made by crushing wasted concrete had various compressive strength, and test items are the properties of fresh mortar, hardened mortar and durability. According to the experimental results, flow, unitweight, strength and durability of cement mortar used recycled aggregates decrease compared with those of river and crushed sand mortar.

1. 서 론

최근들어 도시의 재개발, 환경정비, 건물의 노후화 및 기능저하로 인한 건물해체의 증가로 막대한 량의 폐콘크리트를 발생시켜 사회·경제적인 측면에서 큰 문제로 제기되고 있는데, 골재자원이 부족한 현시점에서 이러한 폐콘크리트의 재활용은 환경오염방지과 자원 및 에너지절약이라는 차원에서 많은 효과를 얻을 수 있다.

그러나, 폐콘크리트를 파쇄한 재생골재는 강골재·쇄석골재와 같은 천연 골재보다 물리적 성상이 취약하므로 콘크리트용 골재로 활용하기에 앞서 골재로서의 제반 품질을 확인하여야만 하고, 불량한 재생골재의 품질이 콘크리트에 미치는 영향을 충분히 구명하여 그 대책방안을 검토할 필요가 있다. 그러나, 이와 같은 실험은 콘크리트 상태로 많은량을 실험하는 것이 당연하지만 이 경우는 실험량이 막대함에 따라 어려움이 따르므로 먼저, 모르터실험을 통하여 기초 성상을 충분히 분석하는 것이 효과적이라고 판단된다.

그러므로, 본 연구에서는 폐콘크리트를 조크랏서로 파쇄한 재생산골재를 이용하여 재생모르터의 굳지않은 상태, 경화상태 및 내구특성을 강모래를 사용한 모르터와 비교·분석함으로써 재생콘크리트의 개발에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

- * 정희원, 청주대 건축공학과 석사과정
- ** 정희원, 청주대 건축공학과 박사과정
- *** 충주산대 건축공학과 교수, 명지대 박사과정
- **** 정희원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사
- ***** 정희원, 명지대 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 먼저, 모르타실험에서 모르타 배합비는 W/C 35, 45, 55%에서 강모래 배합의 목표플로우치가 $150 \pm 10\text{mm}$ 를 만족하는 배합비를 정하고, 골재의 종류는 강모래 (NS), 부순모래 (CS)와 재생골재 RS1(W/C 30%), RS2(W/C 35~40%), RS3(W/C 45~50%), RS4(W/C 55~60%)의 6개 수준으로 하여 총 18배치를 실험계획한다.

실험사항으로 굳지않은 모르타에서는 플로우치, 공기량 및 단위용적중량을 측정하고, 경화 모르타에서는 압축, 인장, 휨강도 및 동탄성계수를 7일 및 28일에서 측정한다.

건조수축에 의한 길이변화는 1, 3, 7일에서 측정하고 그 이후 7일 간격으로 91일 동안 측정하는 것으로 실험계획하고, 동결융해시험은 10사이클마다 동탄성계수를 측정하여 상대동탄성계수를 구한다. 또한, 투수시험은 19일 동안 수중양생한 후 투수시험을 실시하고, 내황산염 및 내산성 시험은 Na_2SO_4 및 HCl 5%용액에 침지하여 1, 2, 3, 4, 8, 12, 16주에서 길이변화율 및 56일 압축강도를 측정하는 것으로 실험계획한다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 재료로 시멘트는 국내산 S사의 1종 보통 포틀랜드시멘트로서 그 물리적 성질은 표 2와 같고, 골재로 강모래는 충남 병천산, 부순모래는 충북 괴산 W사의 부순모래를 사용하며, 재생골재는 페콘크리트 공시체를 W/C별로 분류하여 조 크랏서로 분쇄한 것을 각 체별로 채가름한 후 KS F 2558 규정의 표준입도 범위 안에 들도록 재혼합하여 사용하는데, 골재의 물리적 성질은 표 3과 같다.

물은 청주시 상수도를 사용한다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법은 KS의 각 해당규정에 의거 표준적인 방법으로 실시하는데, 먼저, 모르타의 혼합은 KS L 5109, 공시체 제작 및 양생은 KS L 5111, 공기량은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F

표 1. 실험 계획

실험 요인		실험 수준	
배합 사항	W/C (%)	3	35, 45, 55% (NS모르타의 목표 플로우치가 $150 \pm 10\text{mm}$ 를 만족하는 범위에서 3개수준의 배합비를 정한다.)
	골재 종류	6	NS, CS RS1(W/C 30%) RS2(W/C 35~40%) RS3(W/C 45~50%) RS4(W/C 55~60%)
실험 사항	굳지않은 모르타	3	플로우치, 공기량, 단위용적중량
	경화 모르타	4	압축, 인장, 휨강도, 동탄성계수
	내구성	5	건조수축에 의한 길이변화, 동결융해시험, 투수시험, 내황산염 시험, 내산성 시험

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm^2/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kg/cm^2)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.14	3,254	0.13	264	404	216	278	355

표 3. 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조입율 (FM)	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m^3)	입형관정실적율 (%)	No.200체 통과량 (%)	형상계수
NS	2.57	2.95	1.94	1,590	55.4	1.54	-
CS	2.56	2.71	2.15	1,589	53.8	3.30	-
RA1	2.29	3.48	12.5	1,338	45.3	5.90	-
RA2	2.21	3.42	15.7	1,314	45.5	7.70	-
RA3	2.16	3.35	16.5	1,300	45.7	8.30	-
RA4	2.14	3.31	16.8	1,297	46.3	8.60	-

2409, 플로우는 KS F 2402에 의거 실시한다. 경화상태에서의 실험으로 압축강도 및 인장강도는 KS L 5105 및 5104, 휨강도는 ASTM C 348, 동탄성계수는 KS F 2437의 규정에 의거 실시한다. 내구성에서 건조수축에 의한 길이변화는 KS F 2424, 동결융해시험은 KS F 2456, 투수시험은 KS F 2451, 내황산염 및 내산성 시험은 ASTM C 1012의 규정에 의거 실시한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르터의 특성

그림 1은 모르터 배합비별 재생골재 종류에 따른 플로우치, 공기량 및 단위용적중량 값을 막대 그래프로 나타낸 것이다. 플로우치는 각 배합에서 부순모래를 사용한 모르터가 강모래를 사용한 모르터보다 작게 나타났고, 재생골재를 사용한 경우는 폐콘크리트의 W/C가 커질수록 플로우치는 증가하는 경향으로 나타났다.

공기량은 각 배합에서 부순모래를 사용한 모르터가 강모래를 사용한 모르터보다 작게 나타났고, 재생골재를 사용한 경우는 모르터 배합비 1:3.5에서는 폐콘크리트의 W/C가 커질수록 공기량은 증가하는 것으로 나타났으나, 1:2.8 및 1:2는 작게 나타났다. 즉, 모르터 배합비가 큰 1:3.5의 경우는 강모래를 사용한 모르터보다 재생골재를 사용한 RS2 및 RS3의 경우가 공기량이 크게 나타났고, 폐콘크리트의 W/C가 커질수록 공기량이 증가하다 RS4는 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 재생골재의 혼입비가 클수록 폐콘크리트가 함유하고 있는 공기량의 영향에 기인한 결과로 사료된다.

단위용적중량은 전반적으로 부순모래가 2,197 ~ 2,248 kg/m³의 범위로 가장 큰 값을 보이고 있고, 재생골재 모르터는 폐콘크리트의 W/C가 큰 RS3로 갈수록 점점 작아지다가 RS4에서 다시 큰 값으로 나타났다. 이는 골재 자체의 비중과 입도의 영향 등에 기인하기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

3.2 경화모르터의 특성

그림 2는 배합비별 각 골재 종류에 따른 28일 압축, 인장, 휨강도 및 동탄성계수를 막대 그래프로 나타낸 것이다.

먼저, 압축강도는 재생골재를 이용한 모르터가 강모래 모르터보다 18~31%정도 작은 것으로 나타났으며, 재생골재에 있어서는 폐콘크리트의 W/C가 작은 RS1이 가장 크고 RS2, RS3, RS4의 순으로 점

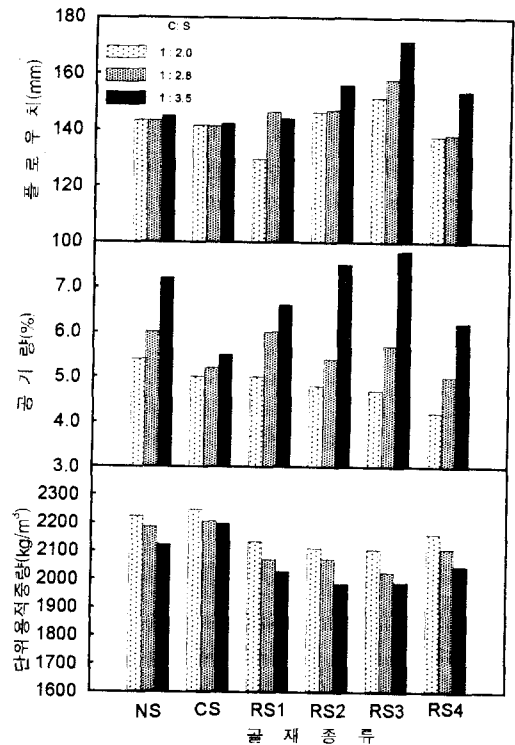


그림1. 골재 종류별 플로우치, 공기량 및 단위중량

점 작아지고 있다. 이는 재생골재의 골재자체 강도에 따른 결과로 분석되어진다.

인장강도는 압축강도와 마찬가지로 부순모래를 사용한 모르타가 가장 크게 나타났고, 천연사인 강모래를 사용한 모르타와 재생골재를 사용한 모르타를 비교할 경우는 커다란 차이는 없는 것으로 나타났다. 특히 배합비 1:3.5인 경우는 강모래보다도 재생골재를 사용한 모르타가 크게 나타났는데, 이는 골재자체의 형상 및 표면조직에 따른 시멘트 페이스트와의 부착력 증진 결과로 분석되어진다.

휨강도는 강모래, 부순모래, 재생골재의 순으로 그 값은 작아지는데, 재생골재를 사용한 모르타에 있어서 압축강도, 인장강도와 마찬가지로 휨강도 역시 페콘크리트의 W/C가 작을수록 그 값은 커지고 있다.

동탄성계수는 배합비 1:2인 경우 $3.05 \sim 3.79 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 1:2.8인 경우 $2.25 \sim 3.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 1:3.5인 경우 $2.29 \sim 3.01 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 의 범위를 나타내고 있으며, 강모래, 부순모래 및 재생골재의 순으로 작아지는 경향을 보이고 있다. 재생골재에 있어서는 RS1~RS4의 순으로 페콘크리트의 W/C가 클수록 그 값은 작아지고 있으나, RS4에서는 오히려 약간 증가하고 있다. 이는 페콘크리트를 조 크랏서로 파쇄시 재료자체의 경도 및 강도가 작고, 미립분이 많아서 그 차이가 다르게 나타나는 것으로 분석되어진다.

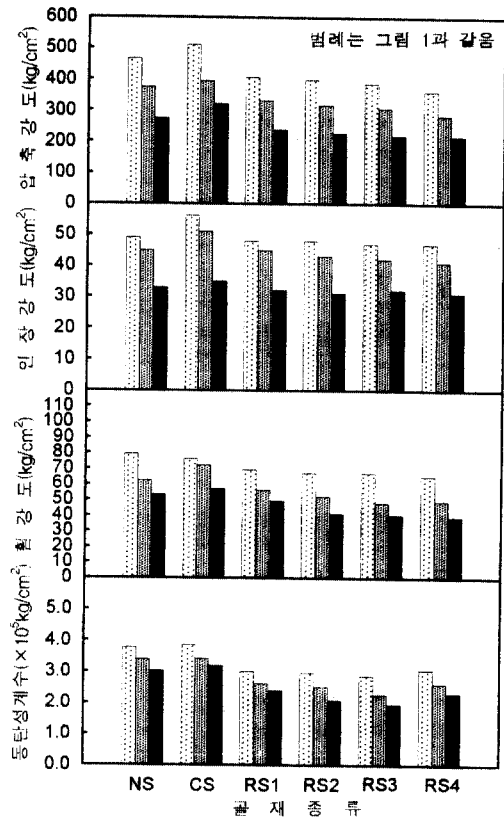


그림 2. 골재종류별 압축, 인장, 휨강도 및 동탄성계수

3.3 내구특성

그림 3, 4, 5는 배합비별 골재종류에 따른 건조수축률, 내동해성의 상대동탄성계수 및 Na_2SO_4 에 침지한 길이변화율을 나타낸 그래프로써, 먼저 건조수축에 의한 길이변화는 전반적인 경향으로 재령이 경과할수록 수축현상을 나타내고 있고 또한, 강모래, 부순모래보다도 재생골재의 건조수축률이 큰 것으로 나타나고 있는데, 이는 모르타 자체에 미립분이 많음과 공극률이 큰 것 및 부착된 시멘트 페이스트의 영향 등인 것으로 사료된다.

동결융해 작용에 대한 내구성시험으로 상대동탄성계수는 사이클횟수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났는데, 골재종류별로는 뚜렷한 경향이 있는 것은 아니지만, 재생골재를 사용한 모르타가 강모래나 부순모래를 사용한 모르타보다 내구성이 약간 지하하는 것으로 나타났다.

내황산염 시험결과는 재령이 경과함에 따라 꾸준히 팽창을 하고 있는데, 배합비별로는 1:2보다 1:2.8, 1:3.5의 경우가 팽창이 크게 나타났다. 골재종류별로는 재생골재가 강모래 및 부순모래보다 팽창이 크게 나타났으며, 재생골재 종류별로는 RS3가 팽창량이 가장 크게 나타났다.

그림 6은 배합비별 골재종류에 따른 투수량과 Hcl에 침지한 모르타의 압축강도를 막대 그래프로 나타낸 것이다.

투수량은 골재치환율이 많은 1:3.5배합에서 크게 나타났고, 골재종류별로는 재생골재 모르타가 강모

래나 부순모래를 사용한 모르터보다 투수량이 크게 나타났는데, 이는 재생골재의 흡수율이 큰 것 등에 기인한 결과로 분석된다.

HCl에 56일 침지한 모르터의 압축강도는 28일 표준양생한 모르터의 약 30~40% 정도로 매우 작게 나타났고, 폐콘크리트의 W/C가 클수록 작아지고 있는데 이는 모르터가 HCl에 의한 심한 화학적 부식을 받은 결과로 분석된다.

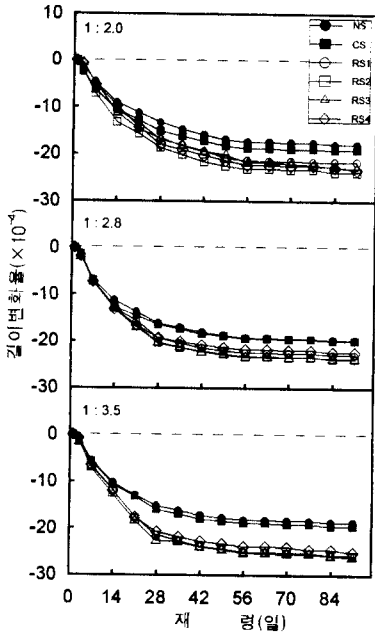


그림 3. 골재종류별 건조수축률

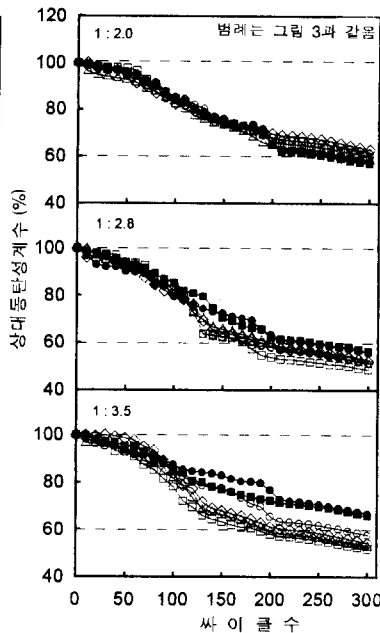


그림 4. 골재종류별 상대동탄성계수

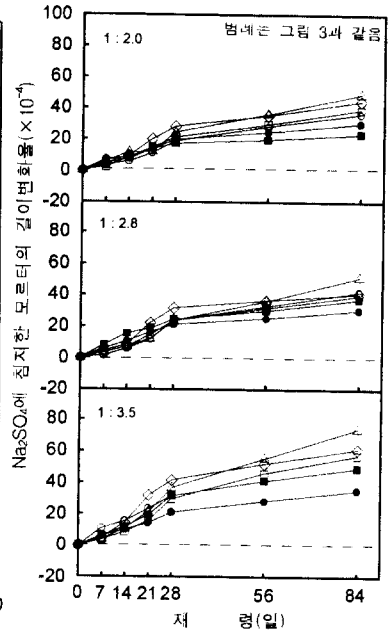


그림 5. Na₂SO₄에 침지한 모르터의 길이변화율

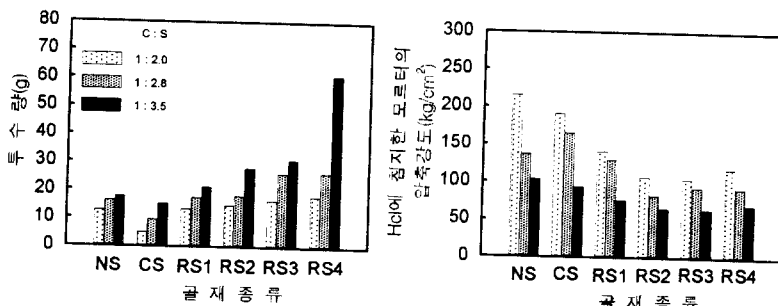


그림 6. 골재종류별 투수량 및 HCl에 침지한 모르터의 압축강도

4. 결 론

품질이 다른 폐콘크리트를 재생잔골재로 이용한 시멘트 모르터의 굳지않은 상태, 경화상태 및 내구 특성을 강모래 및 부순모래를 이용한 시멘트 모르터와 비교한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 재생골재를 이용한 모르터의 플로우치는 강모래 모르터보다 전반적으로 큰 값을 나타내었는데,

페콘크리트의 W/C가 클수록 플로우치가 증가하는 경향이었다.

또한, 단위용적중량과 공기량의 경우는 골재자체의 비중과 흡수율, 미립분 등의 영향으로 강모래보다 작게 나타났다.

2) 재생골재를 사용한 시멘트 모르타의 압축강도는 강모래를 사용한 시멘트 모르타의 압축강도와 비교할 때 약 60~70% 정도로서 페콘크리트의 W/C가 클수록 비례하여 작은 값을 나타내었다.

3) 재생골재를 이용한 시멘트 모르타의 건조수축은 재생골재가 모르타 자체의 미립분이 많음과 공극률이 큰 것, 부착된 시멘트 페이스트의 영향등으로 인해 강모래, 부순모래보다도 크게 나타났다.

4) 재생골재를 이용한 시멘트 모르타의 동결융해에 대한 저항성은 강모래나 부순모래를 사용한 모르타보다 내구성이 약간 저하하는 것으로 나타났다.

5) 재생골재를 이용한 시멘트 모르타의 투수시험에서의 투수량은 재생골재가 골재의 흡수율, 미립분 함유량 등의 영향으로 인해 강모래보다도 큰 것으로 나타났는데, 페콘크리트의 W/C가 클수록 크게 나타났다.

6) Na_2SO_4 에 침지한 재생골재 모르타는 강모래, 부순모래보다 팽창률이 크게 나타났고, Hcl에 침지한 경우는 압축강도가 재령 56일에서 강모래 모르타보다 30~40% 정도 저하하였는데, 페콘크리트의 W/C가 클수록 더욱 크게 나타났다.

참 고 문 헌

1) 道正泰弘, 菊池雅史, 増田 彰, 小山明男 ; 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, 第485号, 1996. 7

2) 道正泰弘, 菊池雅史, 増田 彰, 小山明男, 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, 日本建築學會 構造系論文集, 第502号, 1997. 12

3) Hansen, T.C. ; Recycling of demolished concrete and masonry, Part 1, report of technical committee, 1992

4) 김무한, 한천구, 류현기, 윤기원 ; 잔골재의 입도분포 변화에 따른 콘크리트의 특성 분석에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, Vol.10, No.1, 1990

5) 한천구, 류현기, 지덕기 ; 굵은골재의 입도분포 변화에 따른 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, Vol.10, No.2, 1990

6) 김기철, 윤기원, 한천구, 김무한 ; 재생골재 콘크리트의 강도 조기추정 및 비파괴 실험 적용성에 관한 연구(1) -제1보 : 역학적 성질 및 강도 조기추정-, 콘크리트학회 학술발표논문집, Vol.5, No.1, 1993

7) 김기철, 이권철, 신동인, 박복만, 한천구 ; 재생골재의 품질에 따른 재생콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 제18권 제1호, 1998