

혼합모래를 사용한 시멘트 모르타의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Cement Mortar Using Blended Sand

박 용 규* **김 민 호**** **윤 기 원***** **류 현 기****** **한 천 구*******
 Park, Yong-Kyu Kim, Min-Ho Yoon, Gi-Won Ryu, Hyun-Gi Han, Cheon-Goo

Abstract

This paper investigated the engineering properties of cement mortar mixed with more than 2 kinds of sand. For fresh mortar properties, unit volume weight is constant regardless of mixing content and type of sand. An increase in contents of river and crushed sand resulted in an increase in flow, whereas an increase in recycled sand contents reduced flow. Gap between maximum flow in N3COR0 and minimum flow in N0COR3 exhibited about 12%. Compressive strength at 28 days ranged from 32 to 36 MPa in order for crushed sand, river sand and recycled sand. Mortar with mixed sand along with river sand and crushed sand showed compressive strength comparable to crushed sand. An increase of fraction of recycled sand in mixed sand resulted in a decrease in compressive strength. For drying shrinkage, N0COR3 had the largest drying shrinkage among various mixture type. The combination of large contents of recycled sand and small contents of river and crushed sand had a large amount of drying shrinkage.

키 워 드 : 모르타, 혼합모래, 강모래, 부순모래, 재생모래
 Keywords : Mortar, Blended Sand, River Sand, Crushed Sand, Recycled Sand

1. 서 론

최근 우리나라 건설공사현장에서는 골재자원의 감소로 인하여 원활한 골재 공급이 점점 어려워지고 있는 실정이다. 즉, 양질의 강모래는 이미 대부분 고갈되었고, 저급 강모래마저도 부족한 상태로써, 대체골재인 바닷모래는 채취가 금지되는 추세이며, 부순 모래나 재생 모래는 불안정한 품질에 기인하여 적극적인 사용에 한계를 보이고 있다. 현재 대부분의 레미콘사에서는 저급의 천연잔골재에 입도와 입형을 개량할 목적으로 부순 모래를 일부 치환하여 사용하고 있으나, 이 또한 시간이 지나면 공급의 부족에 시달릴 것으로 전망된다. 또한, 2005년 1월부터 관급공사의 건축현장에서는 반드시 재생골재를 30%이하로 사용하도록 규정됨으로써 앞으로 부순모래나 재생모래의 사용은 현저히 증가할 것으로 전망되어진다.

결국 부순모래와 재생모래의 적극적인 사용을 검토하여야 하는데, 골재 품질 및 공급의 문제점들로 인하여 단독사용보다는 두 종 이상의 골재를 혼합 사용하는 것이 장기적으로 유리할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 국내에서 사용되는 강모래, 부순 모래 및 재생 모래를 2종 이상 혼합 사용한 모르타를 대상으로 잔골재 혼합 비율의 변화에 따른 모르타의 물리적 특성을 검

토하여 2종 이상의 혼합모래에 대한 활용가능성을 검토하는데 그 목적이 있다.

2. 실험계획 및 실험방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같으며 그림 1은 잔골재 혼합방법에 대하여 나타낸 것이다.

먼저 실험계획으로써 잔골재 혼합은 강모래, 부순모래, 재생모래의 3수준에 대하여 다양한 혼합 비율을 검토하도록 하였는데, 즉 1종류의 잔골재만을 사용한 3수준, 2종류의 골재를 2:1로 혼합한 6수준 및 3종류의 골재를 1:1:1(플레인 배합)로 혼합한 혼합사 1수준으로 총 10배치를 실험계획하였다. 이때 플레인 배합에 대하여 목표 플로우가 150±10mm가 만족하도록 배합설계한 후 잔골재 종류에 따라 동일하게 배합하였다.

실험사항으로는 굳지 않은 모르타에서 플로우와 단위용적 질량을 측정하였고, 경화 모르타에서는 압축강도, 휨강도, 길이변화율을 계획된 재령에서 측정하였다.

* 제주대학교 건축공학과 학부과정, 정회원
 ** (주)원전건설건축사 사무소 사장, 정회원
 *** 주성대학 건축공학과 교수, 정회원
 **** 제주대학교 건축공학과 교수, 정회원
 ***** 제주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

표 1. 실험계획

시험체 기호**	실험 사항	
	굳지않은 모르터	경화 모르터
N0-C0-R3	• 플로우 • 단위용적질량	• 압축강도 (3일, 7일, 28일, 91일, 180일) • 휨강도 (3일, 7일, 28일, 91일, 180일) • 길이변화율 (· 1~14일 (1일간격) · 15~56일(1주일간격) · 56~180일(한달간격))
N0-C1-R2		
N0-C2-R1		
N0-C3-R0		
N1-C0-R2		
N1-C1-R1		
N1-C2-R0		
N2-C0-R1		
N2-C1-R0		
N3-C0-R0		

* W/C는 강모래(1), 부순모래(1) 및 재생모래(1)의 배합 설계시(모르타르 플로우치 150±10mm) 요구되는 W/C를 정한 다음 전 배합에 동일하게 적용하는 것으로 함.

** N0 - C1 - R2 : 여기에서 N은 강모래 C는 부순모래 R은 재생모래이고 첨자 0,1,2,3은 분모 3을 공제한 혼합 비율을 의미함

표 2. 모르터의 배합

W/C (%)	배합비 (c:s)	잔골재 혼합비	단위수량 (kg/m ³)	절대용적배합 (ℓ/m ³)		질량배합 (kg/m ³)	
				C	S	C	S
44.44	1:3	N ₀ -C ₀ -R ₃	218	157	615	492	1476
		N ₀ -C ₁ -R ₂	222	159	609	499	1497
		N ₀ -C ₂ -R ₁	225	161	604	506	1518
		N ₀ -C ₃ -R ₀	228	163	599	513	1539
		N ₁ -C ₀ -R ₂	221	158	611	496	1489
		N ₁ -C ₁ -R ₁	224	160	606	504	1512
		N ₁ -C ₂ -R ₀	227	163	600	510	1532
		N ₂ -C ₀ -R ₁	223	159	608	501	1504
		N ₂ -C ₁ -R ₀	226	161	603	508	1525
		N ₃ -C ₀ -R ₀	225	161	605	505	1516

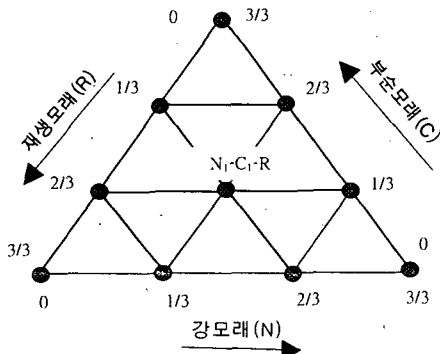


그림 1. 잔골재 혼합방법

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드시멘트이고, 골재로써 강모래는 충북 옥산산, 부순모래는 경기 양

주산을 사용하였으며 재생모래는 경기 고양시 I사의 2종의 재생모래를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 표 3~4와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,483	0.15	208	351	20.4	29.4	-

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량 (%)
N	2.51	2.90	2.33	1,490	2.84
C	2.57	2.66	1.50	1,774	3.60
R	2.40	2.80	5.44	1,437	4.62

2.3 실험방법

모르터의 혼합은 KS L 5109에 의한 방법으로 실시하였다. 굳지 않은 모르터의 실험으로 플로우 시험은 KS L 5105, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다. 경화 모르터의 실험으로 압축강도 및 휨강도의 실험은 ASTM C 348의 규정에 의거 40×40×160mm의 공시체를 제작한 후 UTM을 이용하여 측정하였고, 길이변화율은 KS F 2424 규정의 다이얼 게이지법에 의거 실시하였다.

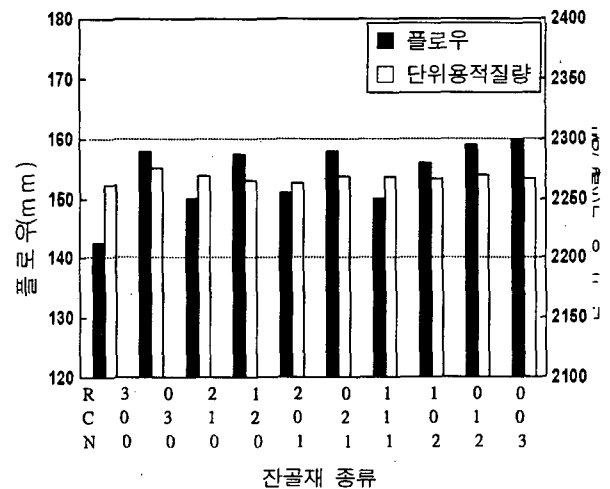


그림 2. 잔골재 종류 및 혼합 비율별 플로우 및 단위용적질량

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 모르터의 특성

그림 2는 잔골재 종류 및 혼합 비율에 따른 시멘트 모르터의 플로우 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

먼저, 잔골재 혼합에 따른 시멘트 모르터의 플로우는 플레인(N₁C₁R₁)의 경우 목표 플로우 150±10mm의 범위를 만족하였고 전반적인 경향으로 잔골재 종류에 따른 시멘트 모르터의 플로우는 강모래(N₃C₀R₀)가 가장 크고 부순모래(N₀C₃R₀)

및 재생모래(NoCoR_3)의 순으로 나타났으며, 잔골재 혼합에 따른 시멘트 모르타르의 플로우치는 강모래 또는 부순모래의 혼합율이 많은 $\text{N}_2\text{C}_1\text{R}_0$, $\text{N}_0\text{C}_2\text{R}_1$, $\text{N}_1\text{C}_2\text{R}_0$, $\text{N}_1\text{C}_2\text{R}_0$ 등이 큰 것으로 나타났고, 재생모래의 치환율이 많은 $\text{N}_0\text{C}_1\text{R}_2$, $\text{N}_1\text{C}_0\text{R}_2$ 등이 작게 나타났다.

이의 원인으로는 강모래의 입형이 가장 양호하고 재생모래가 가장 불량하기 때문에 나타난 결과로 분석되며, 또한 입형의 원인 이외에도 미립분 함유량에 따른 잉여수량의 차이와 입도의 차이 등에 의한 복합적인 결과로 분석된다.

특히, 재생모래의 경우 시멘트 모르타르의 플로우치를 크게 저하시키는 것으로 나타났는데, 이는 입형 및 미립분의 원인 이외에도 골재에 부착된 시멘트 페이스트의 조적이 거칠음으로 인한 마찰증가에 의한 것으로 판단된다.

단위용적질량은 플로우와 유사한 경향을 보이고 있으며, 이는 골재간의 비중차이에 의한 당연한 결과로 판단된다.

3.2 경화 모르타르의 특성

그림 3은 잔골재 종류 및 혼합비율로 3일, 7일, 28일 재령에서의 압축강도를 막대그래프로 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 재령이 경과할수록 큰 강도를 나타내고 있었으며, 각각의 잔골재 및 계획된 비율에 따라 혼합 제조한 모르타르의 재령 28일의 압축강도는 32~36MPa의 범위를 보였는데, 단일골재를 사용한 배합에서는 부순모래($\text{N}_0\text{C}_3\text{R}_0$)를 사용한 모르타르의 압축강도가 가장 큰 것으로 나타났고, 천연골재($\text{N}_3\text{C}_0\text{R}_0$) 및 재생모래($\text{N}_0\text{C}_0\text{R}_3$)를 사용한 모르타르의 순으로 나타났다. 압축강도의 차이로는 $\text{N}_0\text{C}_3\text{R}_0$ 경우가 $\text{N}_0\text{C}_0\text{R}_3$ 보다 약 4MPa 정도 크게 나타났다.

또한, 강모래, 부순모래, 재생모래를 비율에 따라 혼합한 배합에서는 $\text{N}_1\text{C}_2\text{R}_0$, $\text{N}_2\text{C}_1\text{R}_0$ 가 $\text{N}_0\text{C}_3\text{R}_0$ 와 유사한 강도를 나타냈지만, 그 외의 $\text{N}_0\text{C}_1\text{R}_2$, $\text{N}_0\text{C}_2\text{R}_1$, $\text{N}_1\text{C}_0\text{R}_2$, $\text{N}_2\text{C}_0\text{R}_1$ 의 재생모래가 혼합된 배합에서는 재생모래의 비율이 증가할수록 강도가 저하하는 것으로 나타났다.

이상의 원인으로는 부순모래를 사용한 모르타르의 경우 부순모래의 입자 표면이 거칠음으로 인해 부착성능이 향상되어 가장 높은 강도를 나타낸 것으로 사료되며, 재생 모래의 경우 재생모래에 포함된 다공성 모르타르 자체의 강도가 시멘트 페이스트의 강도보다 저하한 점 및 시멘트 페이스트와의 결합력 저하에 따른 복합적인 작용에 기인한 결과로 분석되어진다.

본 연구조건의 범위에서는 강모래를 사용한 모르타르의 압축강도를 기준으로 할 때 재생모래만을 사용($\text{N}_0\text{C}_0\text{R}_3$)한 경우일 지라도 약 92.2%의 강도를 발휘하고 있으므로 잔골재의 대체 사용에 큰 문제점은 없을 것으로 사료된다.

혼합골재를 사용하면서 강도저하를 최소화하기 위하여는 부순모래의 치환율을 크게하거나 재생골재의 치환율을 30% 이하로 제한하는 것이 가장 바람직한 것으로 사료된다.

특히 본 연구에서 플레인 배합으로 설정한 $\text{N}_1\text{C}_1\text{R}_1$ 의 경우 강모래만을 사용한 배합($\text{N}_3\text{C}_0\text{R}_0$)과 거의 동일한 압축강도를 발휘하는 것으로 나타났다.

그림 4는 잔골재 종류 및 혼합비율로 3일, 7일, 28일 재령에서의 휨강도를 막대그래프로 나타낸 것이다.

재령 28일의 휨강도 결과 또한 압축강도 결과와 유사한 경

향으로 나타났고, 강모래, 부순모래의 혼합율이 증가할수록 재생모래의 혼합율이 낮을수록 휨강도가 높게 나타났다. 일반적으로 휨강도는 섬유 등의 보강이 없는 조건에서는 압축강도와 유사한 추이를 보이는 것으로 알려져 있으며 본 연구 결과에서도 유사하게 나타났다.

그림 5는 잔골재 혼합비율별 재령경과에 따라 건조수축에 따른 길이변화율을 나타낸 것이다.

전반적으로 시멘트 모르타르의 건조 수축은 초기재령에서는 급격히 증가하고 재령이 경과함에 따라 완만한 경향을 보였다.

또한, 각 잔골재 종류별 및 혼합비율에 따른 배합별 건조수축으로는 미분량이 가장 적은 강모래 모르타르의 배합($\text{N}_3\text{C}_0\text{R}_0$)이 가장 적은 건조수축을 보였으며, 미분량이 가장 많고 흡수율이 큰 재생모래를 사용한 모르타르의 배합($\text{N}_0\text{C}_0\text{R}_3$)이 가장 큰 건조수축을 나타내고 있었다.

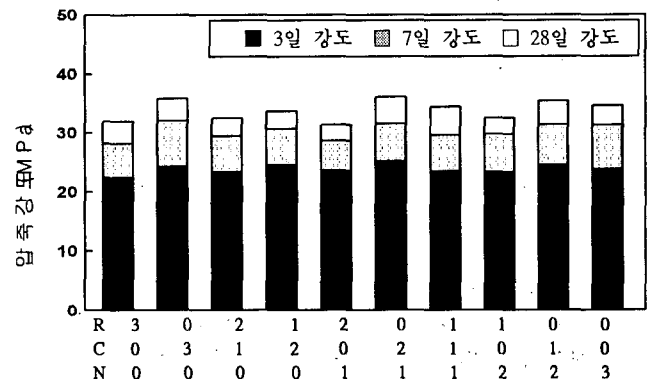


그림 3. 잔골재 종류 및 혼합 비율별 재령경과에 따른 압축강도

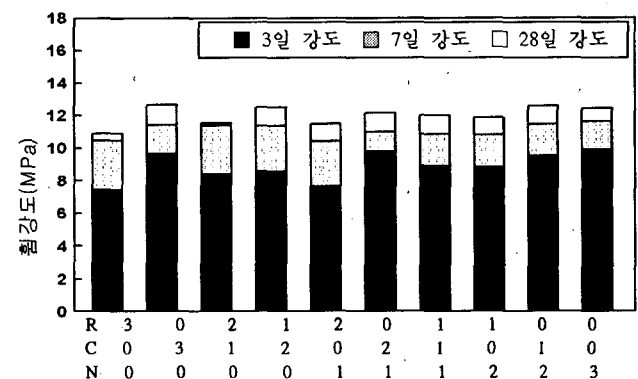


그림 4. 잔골재 종류 및 혼합 비율별 재령경과에 따른 휨강도

상기 이외의 혼합모래를 사용한 모르타르의 건조수축율은 각 골재별 모르타르의 건조수축 대소에 따라 강모래가 많이 혼합될수록 건조수축율이 작은 것으로 나타났고, 재생모래가 많이 혼합될수록 건조수축율이 큰 것으로 나타났다.

이의 원인으로는 강모래의 경우에 비하여 부순모래의 경우는 미립분이 많은 것에 기인한 결과로 분석되며, 재생모래의 경우는 미립분의 과다 및 흡수율이 큰 조적이 기인한 결과의 복합으로 분석된다.

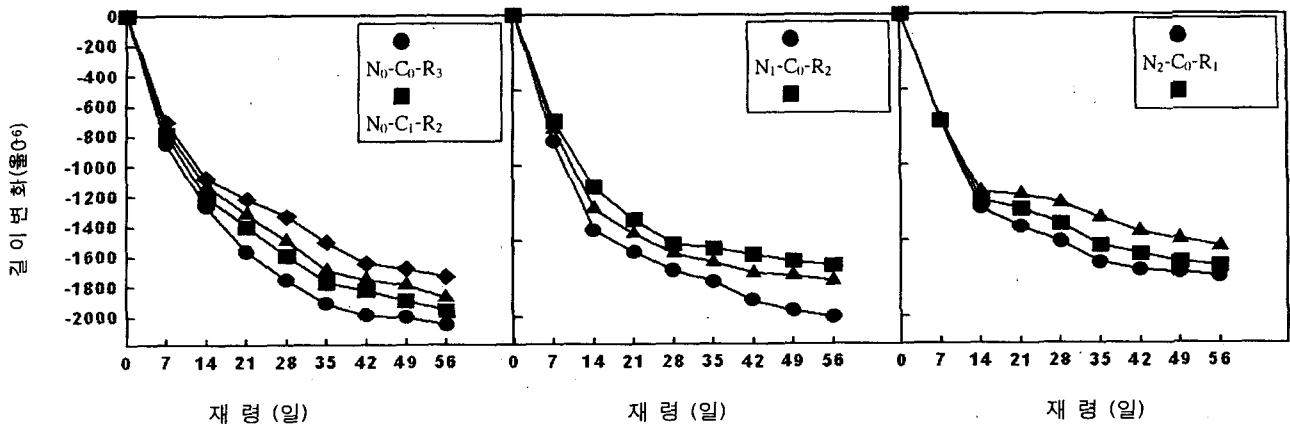


그림 5. 잔골재 혼합 비율별 재령경과에 따른 길이변화

4. 결 론

본 연구에서는 강모래, 부순모래, 재생모래의 잔골재 혼합별 시멘트 모르타르의 강도발현 및 길이변화에 관한 기초적 특성을 검토한 것으로, 그 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 잔골재 혼합에 따라 제조한 모르타르의 플로우 실험결과, 대부분 목표 플로우값 $150 \pm 10\text{mm}$ 의 범위를 만족하였고 강모래의 혼합 비율이 클수록 플로우는 높게 나타났고, 재생모래의 혼합 비율이 클수록 낮게 나타났다. 최대 플로우값의 $N_3C_0R_0$ 와 최소 플로우값의 $N_0C_0R_3$ 는 약 12%의 차이를 보였다.
- 2) 잔골재를 혼합한 모르타르의 압축강도는 재령 28일의 압축강도에서 32~36MPa의 범위를 보였고, 부순모래가 가장 크고 강모래 및 재생모래 순으로 크게 나타났다. 강모래와 부순모래를 일정 비율로 혼합한 혼합사는 부순모래와 유사한 강도를 나타냈지만, 재생모래가 혼합된 배합에서는 강도가 조금씩 저하되었다. 휨강도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났다.
- 3) 건조수축은 $N_0C_0R_3$ 가 가장 많았는데, 전체적으로 강모래에 부순모래의 혼합량이 작고 재생골재의 혼합량이 많을수록 건조수축이 크게 나타났다.
- 4) 강모래, 부순모래, 재생모래 3종의 혼합사 실험결과 플로우, 강도발현 및 건조수축 변화에서 $N_3C_0R_0$ 와 $N_0C_0R_3$ 와 유사한 경향임을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하면 강모래와 부순모래의 혼합사용은 여전히 문제가 없는 것으로 나타났지만 재생골재를 혼합하여 사용할 경우는 재생골재의 품질에 신경을 써야 할 것으로 보이는데, 3종의 혼합사의 사용은 1종의 고품질 재생골재가 사용되어야 양호한 품질의 혼합골재가 생산 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 이세현 외, "싸이클론 건식공정으로 생산된 재생 잔골재가 콘크리트의 기초특성에 미치는 영향", 대한건축학회논문집 구조계 21권 2호, 2005, 2
2. 최영화 외, "재생골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집 23권 2호, 2003, 10
3. 심종우 외, "습식 생산에 의한 재생 잔골재 및 이를 사용한 모르타르 특성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 구조계 20권 7호, 2004, 7
4. 한국건설기술연구원, "대체골재를 사용한 콘크리트의 고품질화 기술개발", 2004, 8
5. 이세현 외, "습식 생산된 재생 잔골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계 20권 12호, 2004, 12
6. 서치호 외, "재생골재 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 구조계 21권 2호(통권196호) 2005, 2
7. 한천구, 尹起源, 백두환, 전중근; 부순모래 콘크리트의 유동화제 종류에 따른 유동화 효과 분석, 大韓建築學會論文集; 제16권 제3호, pp.53-59, 2000.3
8. 韓千求, 尹起源, 白斗煥; 플라이애쉬를 이용한 부순모래 콘크리트의 특성분석에 관한 연구, 大韓建築學會論文集; 제15권 제1호, pp.71-78, 1999.1
9. 한천구 외, 잔골재 종류 변화에 따른 콘크리트의 품질 특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술 발표 대회 논문집, 제24권 제2호, pp.407-410
10. 前田弘美 他 "再生コンクリートの力学特性および乾燥収縮に及ぼす再生粗骨材の品質の影響", 콘크리트工学年次論文集, 1996
11. 菊池雅史 他 "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" 日本建築學習構造系論文集 pp.11-20, 1995, 8