

2원배치법에 의한 재생골재 혼합물과 빈배합콘크리트의 물성평가

Evaluation of Lean Concrete Properties using Recycled Concrete Aggregate due to 2nd Factorial Experiment

김진철*
Kim, Jin-Cheol

1. 서론

건설용 자원의 고갈 및 환경보존 문제가 사회적으로 큰 관심사로 떠오르면서 건설폐기물로부터 생산된 재생골재의 품질향상 및 용도에 관한 연구가 관계, 산업계, 학계, 연구소 등이 단독 또는 공동으로 참여한 가운데 진행되고 있다. 특히 건설폐기물 재활용에 대한 국책연구사업은 건설교통부, 환경부 및 산업자원부 지원으로 활발히 전개되고 있으며, 각 용도에 적합한 품질기준의 제정, 시범사업을 통하여 단순 폐기물에서 활용 가능한 자원으로 재인식시키기 위한 사업이 진행 중에 있다.

현재 진행중인 대부분의 연구사업은 주로 콘크리트용 골재로서 재활용에 초점이 맞추어져 있으며, 품질기준을 만족하기 위하여 2, 3차 파쇄, 선별 작업의 효율화, 생산된 제품의 고품질화 등 주로 재생골재 생산시스템의 보완과 생산된 재생골재를 활용한 재생콘크리트의 물성 및 내구성에 관한 연구가 주류를 이루고 있다.

그러나 재생골재의 품질은 원콘크리트의 품질에 따라 큰 차이를 나타내며, 체계적인 생산공정을 보유한 재생골재 생산업체는 전체 중간처리업체중 소수이고 분별해체가 이루어지지 않고 있는 상황에서 소요 품질기준을 만족하는 콘크리트용 재생골재의 원활한 생산을 기대하기는 아직 시기 상조인 것으로 판단된다. 또한 양질의 재생골재를 생산하기 위해 건설폐기물의 운반, 생산, 야적, 재생골재의 재운반 및 재활용 측면에서의 경제성은 관점에 따라 차이는 있겠으나 발생 그대로 재활용하거나, 최소의 비용에 의해 생산된 제품을 재활용하는 방법보다 고비용을 필요로 할 것이다. 이러한 재활용 정책보다는 재활용 대상 구조물 및 용도를 선별하고 각 용도에 맞는 재생골재 품질기준을 설정하여 건설폐기물 재활용을 극대화시키는 정책적 배려가 필요하다. 우리나라의 건설환경을 고려할 때 현재시점에서 건설폐기물을 재활용한 제품이 가장 많이 사용될 수 있는 분야는 도로포장분야이며, 이 분야에 대한 재활용 방안의 적극적인 투자와 관리가 필요하다고 생각된다.

본 연구는 건설폐기물 관련법령의 제정으로 재활용 분야에서 새로운 전기를 마련하고 있으며, 건설폐기물을 저비용으로 용이하게 재활용할 수 있으며, 재활용 용도 중 가장 많은 양을 차지하는 도로용 재료로서 활용성을 고찰하기 위하여 빈배합콘크리트를 대상으로 재생 굵은골재(이하 RCA) 및 재생 잔골재(이하 RS) 혼합물이 빈배합콘크리트의 물성에 미치는 영향을 고찰한 것이다.

* 정회원 · 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3351(E-mail:jckim@freeway.co.kr)



2. 시험개요

2.1 사용재료

보통포틀랜드시멘트(비중 3.15)를 사용하였으며, 재생 굵은골재 및 잔골재는 중간처리업체에서 생산한 제품을 대상으로 하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 골재의 물리적 성질을 정리한 것이다. 천연골재는 고속도로 건설현장에서 일반적으로 사용되는 골재를 대상으로 하였으며, 생산중 크기에 의한 분리를 방지하기 위하여 32 및 19mm로 구분하여 사용하였다. 각 골재의 혼합률은 각각 36 및 64%이었다.

KS F 2573에서는 재생골재의 종류를 흡수율로 정하고 있으며¹⁾, 이에 따르면 본 연구에 사용된 재생 굵은골재는 흡수율 7.19%로서 3종 골재보다 흡수율이 크게 나타났으며, 재생 잔골재는 흡수율 4.87%로서 1종 골재에 속하는 제품이다.

표 1. 골재의 물리적 성질

구분		표견비중	흡수율	단위용적증량	비고
천연골재	32mm(NCA)	2.70	0.66	-	
	19mm(NCA)	2.74	3.20	-	
	잔골재(NS)	2.61	0.65	-	
재생골재	굵은골재(RCA)	2.36	7.19	1297	
	잔골재(RS)	2.45	4.87	1477	

2.2 실험계획

재생 굵은골재 및 잔골재 혼합률을 두 개의 모수인자(母數因子)로 하여 2원배치법에 의한 실험계획으로 빈배합콘크리트의 물성을 평가하였다²⁾. 재생 굵은골재 및 잔골재의 혼합률은 혼합골재의 입도를 크게 변화시키지 않는 범위에서 0, 30, 60 및 100% 4수준으로 변화시켰으며, 각 혼합률에 대하여 단위시멘트량 150kg/m³로 설계된 빈배합 콘크리트의 최적함수비, 최대건조밀도를 측정하였다.

2.3 빈배합콘크리트 배합설계

빈배합콘크리트 기층의 배합설계는 고속도로공사 품질편람³⁾에서 제시하고 있는 건식 다짐방법을 사용하였다. 본 시험방법은 KS F 2312⁴⁾의 E 다짐방법을 사용하여 4.5kg 램머로 각층을 92회 다짐한 공시체의 습윤밀도와 함수율 측정결과로부터 건조밀도를 계산하고 함수율과 건조밀도의 관계로부터 최적함수비 및 최대 건조밀도를 계산하였으며, 표 2와 같이 재생골재 혼합률에 따른 빈배합콘크리트의 배합설계 결과를 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재생골재 혼합률별 최적함수비

표 3은 2원배치법에 의한 빈배합콘크리트의 최적함수비 측정결과에 대한 분산분석결과이다. 이 표에서 재생 굵은골재 혼합률은 1% 유의수준에서도 유의하지만 재생 잔골재 혼합률은 10% 유의수준에서도 유의하지



않음을 알 수 있다. 그림 1 및 2는 재생 굵은골재 및 잔골재의 혼합비에 따른 10% 유의수준에서 신뢰구간을 정리한 것이다. 이 그림에서 재생골재 혼합비가 증가함에 따라 최대밀도를 얻기 위한 최적함수비가 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 재생 굵은골재의 혼합비에 의한 최적함수비 변동폭이 크게 나타났다.

표 2. 재생골재 혼합률별 빈배합콘크리트 배합설계 결과

RCA 혼합률 (%)	RS혼합률 (%)	OMC(%)	$\gamma_d \text{ max}$ (g/cm ³)	단위중량(kg/m ³)				
				32mm	19mm	RCA	NS	RS
0	0	6.391	2.294	429.5	773.1	-	944.9	-
	30	6.750	2.252	420.0	756.0	-	646.8	277
	60	7.329	2.248	416.7	750.0	-	266.7	550
	100	8.221	2.205	404.8	728.5	-	-	890
30	0	6.692	2.358	308.0	554.5	370.0	968.1	-
	30	7.200	2.311	300.3	540.4	360.0	660.5	283.0
	60	7.466	2.277	295.0	531.0	354.0	370.8	556.0
	100	8.551	2.252	288.3	519.0	346.0	-	906.0
60	0	7.616	2.249	166.2	299.2	698.0	914.2	-
	30	7.227	2.196	163.0	293.4	685.0	627.5	269.0
	60	8.068	2.450	180.2	324.3	757.0	396.4	595.0
	100	6.951	2.858	212.8	383.0	894.0	-	1,170
100	0	8.718	2.168	-	-	1,108	870.8	-
	30	9.464	2.157	-	-	1,094	601.5	258.0
	60	9.009	2.248	-	-	1,145	360.0	540.0
	100	12.116	2.174	-	-	1,070.0	-	841.0

표 3. 최적함수비에 따른 분산분석결과

변동요인	제곱합	자유도	제곱평균	F비	F(0.1) 기각치	F(0.05) 기각치	F(0.01) 기각치
A(RS 혼합률)	5.831	3	1.944	2.717	2.813	3.86	6.99
B(RCA 혼합률)	17.205	3	5.735	8.017	2.813	3.86	6.99
잔차	6.438	9	0.715	-			
계	29.474	15					

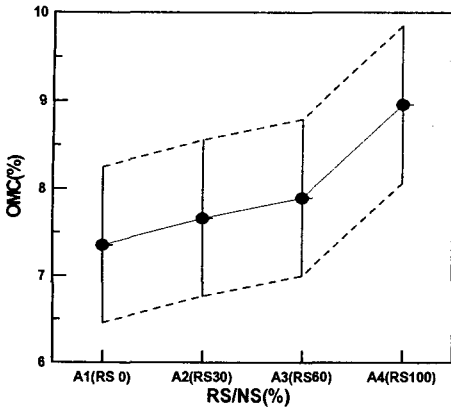


그림 1 재생잔골재 혼합률별 90% 신뢰구간

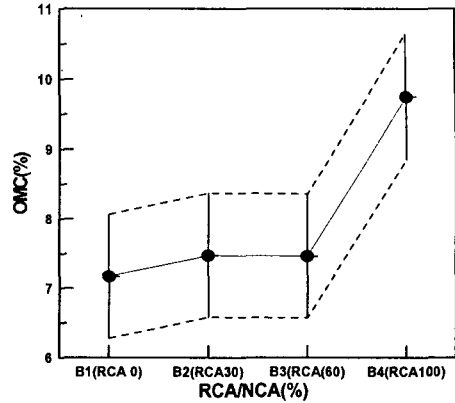


그림 2 재생굵은골재 혼합률별 90% 신뢰구간

3.2 재생골재 혼합률별 최대건조밀도

표 4는 2원배치법에 의한 빈배합콘크리트의 최대 건조밀도 측정결과에 대한 분산분석결과이다. 이 표에서 재생 굵은골재 혼합률은 1% 유의수준에서도 유의하지만 재생 잔골재 혼합률은 10% 유의수준에서도 유의하지 않음을 알 수 있다. 또한 최적함수비 분산분석결과와 비교할 때 재생 굵은골재 혼합률이 최대건조밀도에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다. 그림 3 및 4는 재생 굵은골재 및 잔골재의 혼합률에 따른 10% 유의수준에서 신뢰구간을 정리한 것이다. 이 그림에서 재생골재 혼합률이 증가함에 따라 최대건조밀도는 감소하는 경향을 나타내었으며, 특히 재생 굵은골재의 혼합률에 따른 최대건조밀도 변동폭도 크게 나타났다.

표 4 최적함수비에 따른 분산분석결과

변동요인	제곱합	자유도	제곱평균	F비	F(0.1) 기각치	F(0.05) 기각치	F(0.01) 기각치
A(RS 혼합률)	0.0044	3	0.00147	1.984	2.813	3.86	6.99
B(RCA 혼합률)	0.0385	3	0.01283	17.354	2.813	3.86	6.99
잔차	0.0067	9	0.00074				
계	0.0496	15					

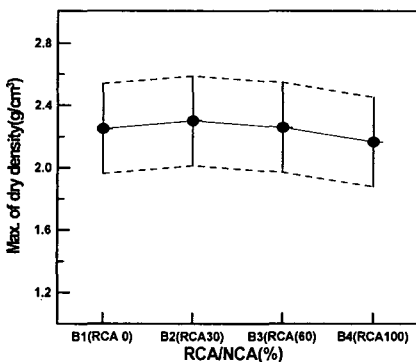


그림 3 재생굵은골재 혼합률별 90% 신뢰구간

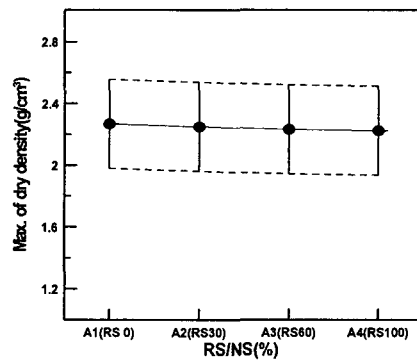


그림 4 재생잔골재 혼합률별 90% 신뢰구간



3.3 재생골재 혼합률별 압축강도

표 5는 재생 굵은골재 및 잔골재 혼합률에 따른 빈배합콘크리트의 재령 7일 압축강도 측정결과를 정리한 것이다. 이 표에서 재생 굵은골재 100%의 경우 재생 잔골재 0 및 100% 조합의 경우 빈배합콘크리트의 관리강도인 57.5kgf/cm² 미만의 강도를 나타내었다. 또한 각 요인별 평균강도를 살펴보면 재생 굵은골재 혼합률이 증가함에 따라 빈배합콘크리트의 압축강도는 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

표 5. 2원배치법에 의한 빈배합콘크리트의 재령 7일 압축강도

RCA/NCA RS/NS		B1	B2	B3	B4	합계	평균
		0	30	60	100		
A1	0	96.0	73.4	73.5	51.5	294.4	73.6
A2	30	99.8	88.3	86.3	61.8	336.2	84.1
A3	60	100.8	87.7	74.3	85.4	348.2	87.1
A4	100	94.9	74.1	57.4	41.8	268.2	67.1
합계		391.5	323.5	291.5	240.5	1247	
평균		97.9	80.9	72.9	60.1		77.9

표 6은 빈배합콘크리트의 압축강도 측정결과로부터 계산된 분산분석결과를 정리한 것이다. 재생굵은골재 혼합률의 경우 1% 유의수준에도 유의한 것으로 나타났으나 재생 잔골재 혼합률은 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 재생골재를 혼합한 경우 재생 굵은골재 혼합률의 영향요인이 더 크게 작용하지만 재생 잔골재 혼합률도 압축강도에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

그림 5 및 6은 각각 재생 잔골재 및 재생 굵은골재 혼합률이 압축강도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 10% 유의수준에서 신뢰구간을 나타낸 것이다.

표 6 재령 7일 압축강도에 대한 분산분석결과

변동요인	제곱합	자유도	제곱평균	F비	F(0.1) 기각치	F(0.05) 기각치	F(0.01) 기각치
A(RS 혼합률)	1031	3	343.7	4.6	2.813	3.86	6.99
B(RCA 혼합률)	2996	3	998.7	13.4	2.813	3.86	6.99
잔차	671	9	74.6				
계	4698	15					

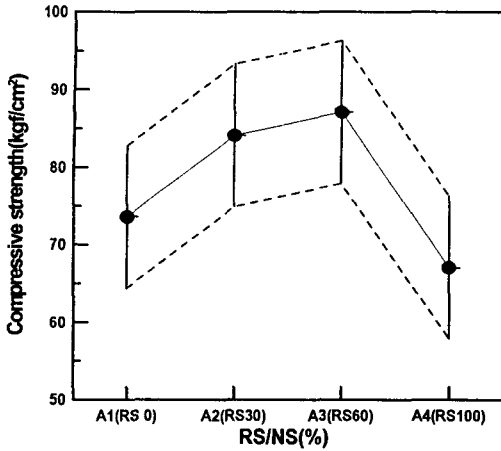


그림 5 재생 잔골재 혼합률별 90% 신뢰구간

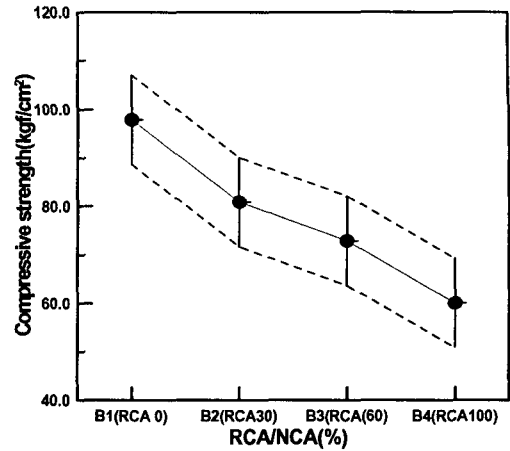


그림 6 재생굵은골재 혼합률별 90% 신뢰구간

이 그림에서 재생 잔골재를 혼합한 빈배합콘크리트의 압축강도는 혼합률 증가에 따라 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 나타내었으나 그 이유는 명확하지 않으며, 최대 압축강도를 나타내는 재생 잔골재 혼합률은 60%임을 알 수 있다. 또한 재생 굵은골재의 경우 혼합률 증가에 따라 압축강도가 선형적으로 감소하였으며, 혼합률 0%의 경우 최소 90kgf/cm² 정도이지만 재생 굵은골재 혼합률 100%인 경우 평균압축강도 60kgf/cm², 최소 50kgf/cm²을 나타내어 시방규정을 만족하지 못하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

- (1) 재생골재 혼합률에 따른 빈배합콘크리트의 최적함수비 및 최대건조밀도를 측정된 결과 굵은골재 혼합률은 1% 유의수준에서도 유의하였으나 잔골재 혼합률은 10% 유의수준에서도 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한 재생골재의 흡수율이 큰 관계로 혼합률 증가에 따라 최적함수비는 증가하고 최대 건조밀도는 감소하였으며, 재생잔골재보다 재생굵은골재 혼합률이 최적함수비 및 최대 건조밀도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- (2) 재생골재를 혼합한 빈배합콘크리트의 압축강도는 굵은골재 혼합률의 경우 1% 유의수준에서 유의하였으나 잔골재는 5% 유의수준에서 유의한 것으로 분석되었으며, 90% 신뢰구간에서 혼합률별 압축강도를 분석한 결과 재생 굵은골재는 혼합률 증가에 따라 선형적으로 감소하는 반면 재생 잔골재의 경우 혼합률 60%에서 최대 압축강도를 나타내었다. 향후 재생 잔골재 혼합에 따른 강도변화에 대한 다각적인 검토가 필요하였다.

참고문헌

- 1) KS F 2573, 콘크리트용 재생골재
- 2) 박성현, 현대실험계획법, 민영사, 1991.
- 3) 한국도로공사, 공사현장 품질관리 실무, 2000, pp. 418~439
- 4) KS F 2312, 흙의 다짐시험방법