

재생골재 품질특성 및 평가시스템 개발

1. 서론

1960년대 중반부터 시작된 산업화 이후 현재, 약 30~40년이 경과된 철근콘크리트 구조물들은 경제적, 기능적 노후화로 재개발, 재건축이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 재개발, 재건축 사업의 과정에서 필연적으로 발생하는 건설폐기물은 그 양이 급증하고 있으며, 건설폐기물 전체 발생량의 약 70%를 차지하고 있는 폐콘크리트는 2005년도 약 3,600만톤 정도 발생할 것으로 예상되고 있다.

폐콘크리트는 산업폐기물의 40%를 차지하는 건설부산물중 60~70%를 차지하고 있으며, 현재 97%이상이 건설공사의 성토·복구용과 같이 저부가가치 형태로 재활용되고 있으나, 이는 현 업계에서 느끼고 있는 바와 같이 상당히 부가가치가 낮은 것으로써, 향후 늘어날 폐콘크리트의 양적 팽창에 비해 그 재활용 용도가 턱없이 부족한 실정이다.

이와 같이 재생골재가 저부가가치 형태로 이용되고 있는 이유는 보조기층재로 사용시 품질관리가 용이한 점, 재생골재 생산비용과 품질 관계로부터 그 이용이 제한된 점, 레디믹스트 콘크리트로서의 일반적인 공급이 어려운 점등을 들 수 있지만 향후 증가될 폐콘크리트의 발생량을 예측하면 국내에서 생산되는 재생골재 품질등급에 적합한 새로운 폐콘크리트 재활용 용도를 개발하는 것이 절실한 실정이다.

하지만, 재생자원화시설(중간처리업체)에서 만들어진 재생골재는 시설의 처리기계(방법) 및 지역별 콘크리트의 특성 차이에 따라 품질이 달라진다. 이 때문에 이용자들은 사용 용도에 적합한 품질의 재생골재를 얻기 위하여 소정 품질의 재생골재를 제조하고 있는 재생자원화시설을 찾지 않으면 안 된다. 재생골재 품질의 불규칙성을 고려하여 볼 때 재생골재의 재활용이 원활하게 진행되기 위해서는 제조자측 즉, 재생자원화 시설에 있어서 제조하고 있는 재생골재의 품질을 명시하는 것이 필요하고, 소비자 측에서는 신속한 품질관리시험이 필요하다. 왜냐하면 일상의 공정관리 시험으로서 현재 사용되는 골재시험을 활용하는 것은 시간적·경제적으로 실용적이지 못하기 때문에, 일상의 공정관리 시험용으로 현재 사용되는 골재시험방법 대신에 간단한 시험방법의 개발·도입이 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 각 지역별·업체별 콘크리트의 특성에 따른 재생골재의 품질특성을 실험적으로 규명하여, 사용환경 및 특성에 적합한 재생콘크리트의 품질기준을 도출하기 위한 기초자료를 제공하고 재생골재 제조공정 관리용 신속 시험방법의 개발과 같은 연구를 통하여, 재생골재에 대한 소비자의 인식전환을 유도하고 신뢰성을 높임으로써, 재생골재의 새로운 용도개발 및 적극적 재활용의 기반을 마련하는데 있다.

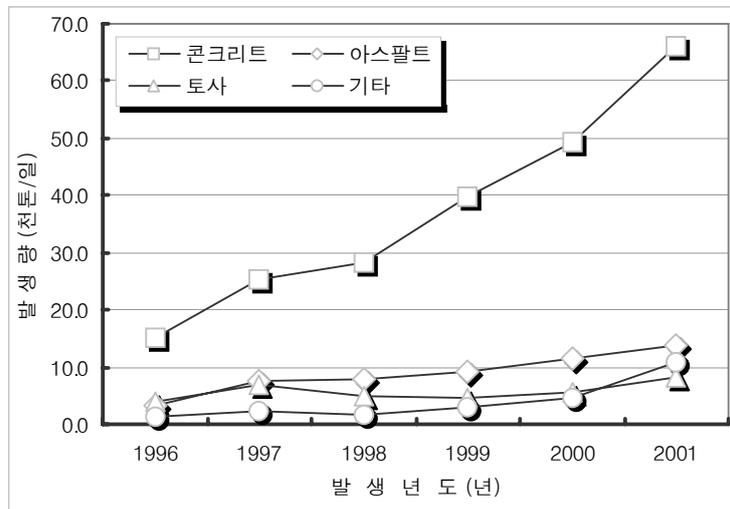
2. 본 론

가. 국내 재생골재 생산량

1) 폐콘크리트 발생량

국내에서 발생하는 건설폐기물의 양은 환경부에서 발표하는 환경통계연감에 따르면, 건설폐기물 일평균 발생량은 1996년 28,425톤에서 2001년에는 약 4배인 108,520톤으로 급격하게 증가되고 있다.

[그림-1]에서 보는바와 같이 콘크리트용 재생골재로 재활용이 가능한 콘크리트류는 2,411만톤으로 67%를 차지한다. 이와 같은 증가추세를 선형적 증가로 가정하면 11년 후인 2020년에는 폐콘크리트의 연간 발생량이 9천만톤이 될 것으로 추정된다. 건설기술연구원의 연구보고서에서도 2020년도의 폐콘크리트 발생량이 1억톤을 넘어설 것으로 예측한 바 있으므로, 국내의 폐콘크리트 발생량 저감 및 재활용은 환경보전과 부존자원의 해결측면에서 시급해 해결해야 할 사안이다.



[그림-1] 건설폐기물의 연도별 발생량

2) 재생골재 발생량

재생골재는 업체의 설비규모에 따라 제조할 수 있는 제품의 품질이 달라지므로 사용용도 또한 다르게 된다. 재생골재 생산업체의 설비규모와 용도별 생산현황을 살펴보면 [표-1]과 같다.

1단계 파쇄설비를 갖추고 있는 업체 생산량 합계는 약 260천 톤으로써, 성토용 및 매립용이 전체의 약 60%, 도로용이 40%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다. 4개 업체 모두 성토 및 매립용 재생골재를 생산하고 있으며, 그 중 전체 생산량의 절반이상을 생산하는 1개업체는 도로용 재생골재도 생산하고 있는 것으로 나타났다.

2단계 파쇄설비를 갖춘 업체의 총생산량은 약3,640천 톤으로써, 성토용 및 매립용이 전체의 약 74%를 차지하며, 도로용 16%, 바닥용 7%, 2차 제품용 및 기타가 3%정도로 1단계 파쇄업체보다 다양한 용도로 사용되고 있으나, 2차 제품용과 기타 용도로 사용되는 소량을 제외하면 1단계 파쇄

업체에서 생산하는 제품과 용도면에서는 큰 차이가 없는 것으로 보고되고 있다.

3단계 파쇄설비를 갖추고 업체별의 총생산량은 3,595천 톤으로 이 중 성토 및 매립용이 약 69%를 차지하고 있으며, 바닥용이 5%, 도로용이 13%, 2차제품과 레미콘용 그리고 기타등이 약 12%정도를 생산하고 있으며 3단계 이상부터는 레미콘용 재생골재를 생산하고 있는 것으로 보고되고 있다.

[표-1] 파쇄공정 시설규모와 용도별 생산량 및 업체수(2002년)

구 분	연간 생산량		생산업체수		업체당 연평균 생산량(톤)	
	생산량(톤)	비율(%)	업체수	비율(%)		
1단계 파쇄	성토/매립용	154,500	59.5	4	100.0	38,625
	도로용	105,000	40.5	1	25.0	105,000
	계	259,000	100	4	-	64,875
2단계 파쇄	성토/매립용	2,685,900	73.8	27	100.0	99,478
	바닥용	267,000	7.3	10	37.0	26,700
	도로용	571,000	15.7	10	37.0	57,150
	2차제품용	22,000	0.6	2	7.4	11,000
	기타	93,000	2.6	6	22.2	15,500
	계	3,639,400	100.0	27	-	134,793
3단계 파쇄	성토/매립용	2,469,000	68.7	22	91.7	112,227
	바닥용	189,500	5.3	7	29.2	27,071
	도로용	462,000	12.9	12	50.0	38,500
	2차제품용	120,000	3.3	1	4.2	120,000
	레미콘용	2,500	0.1	1	4.2	2,500
	기타	352,000	9.8	7	29.2	50,286
	계	3,595,000	100	24	-	149,792
4단계 파쇄	성토/매립용	1,168,000	40.3	10	76.9	116,800
	바닥용	94,500	3.3	2	15.4	47,250
	도로용	610,000	21.1	5	38.5	122,100
	2차제품용	136,500	4.7	2	15.4	68,250
	레미콘용	835,000	28.8	8	61.5	104,375
	기타	55,500	1.9	2	15.4	27,750
계	2,900,000	100	13	-	223,077	
총계 (평균)	10,393,900	-	68	-	(152,851)	

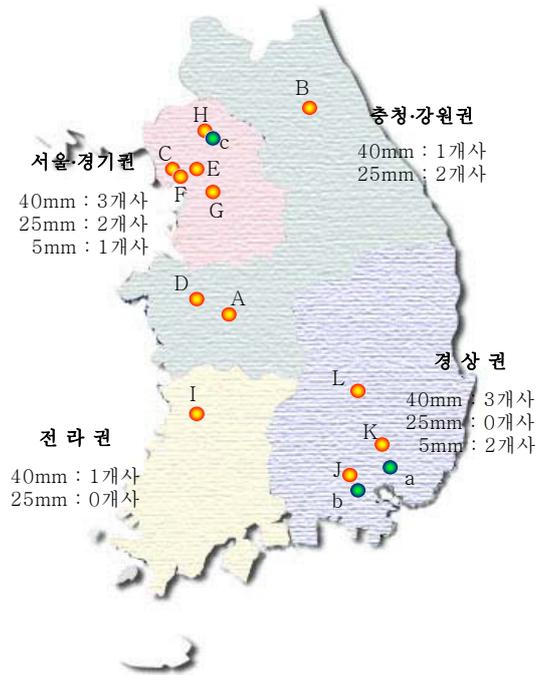
4단계 이상의 파쇄설비를 갖추고 업체별의 총생산량은 2,900천 톤으로 이 중 성토 및 매립용이 40%를 차지하고 있으며, 바닥용이 3%, 도로용이 21%, 2차제품, 레미콘 및 기타등이 36%로 나타났으며, 레미콘용의 생산이 약 29%정도로 크게 증가하는 것으로 보고되고 있다.

나. 지역별 재생골재 품질특성

재생골재의 국내 품질 현황을 파악하고자 전국적으로 일정규모 이상의 생산설비 시스템을 갖춘 재생굵은골재 생산업체 12개회사, 재생 잔골재 생산업체 3개회사를 선정하여, KS F 2573 (콘크리트용 재생골재)의 품질기준 항목에 준하여 굵은골재는 25mm~5mm, 잔골재는 5mm 이하로 조정한 후 골재 품질을 검토한 결과는 다음과 같다.(단 입도시험시, 40mm 골재는 크기를 조정하지 않았음)

1) 실험 개요

가) 재생골재 Sampling 현황



[그림-2] 재생골재 Sampling 현황

[그림-2]에서와 같이 전국을 서울·경기권, 충청·강원권, 전라권, 경상권 등 4개 광역권으로 나눈 후, 연구기관별 위치 및 특성에 맞춰서 지역권을 선택하고, 업체를 조사하여 시험대상 Sample을 1회 이상씩 채취하였고, 잔골재는 3개 회사의 Sample을 채취하였다.

나) 실험 방법

KS F 2573 (콘크리트용 재생골재), 도로공사 표준시방서, 콘크리트 표준시방서 및 JIS, 일본 건설성 잠정 기준(안)을 바탕으로한 재생 굵은/잔 골재의 실험항목 및 관련 근거는 [표-2]와 같다.

[표-2] 재생골재의 실험항목 및 관련 KS규격

구분		실험항목	관련 시험 방법	
종별	특성		규격 번호	규격 명
재생 굵은 골재	기본 물성	비중&흡수율	KS F 2503	굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험방법
		단위용적질량	KS F 2505	골재 단위용적질량 및 공극률 시험법
	역학 물성	파쇄율(100KN)	KS F 2451	굵은 골재의 파쇄시험 방법(TS A 0006)
		마모감량	KS F 2508	굵은 골재의 마모 시험 방법
		충격율	BS 812-112	Method for determination of aggregate impact value (AIV)
		안정성	KS F 2507	골재의 안정성 시험 방법
재생 잔골 재	기본 물성	비중&흡수율	KS F 2504	잔 골재의 비중 및 흡수율 시험방법
		단위용적질량	KS F 2505	골재 단위용적질량 및 공극률 시험법
		안정성	KS F 2507	골재의 안정성 시험방법

2) 재생골재의 품질기준

[표-3]은 재생골재에 대한 한국산업규격, 일본공업규격 및 일본 건설성 잠정 기준(안)의 품질기준을 상호 비교 검토한 내용을 나타내고 있다.

KS F 2537(콘크리트용 재생골재)에 따르면 모든 재생골재의 절건비중은 2.2이상으로, 미립분량은 굵은 골재의 경우 1.5%이하, 잔 골재의 경우 5, 7%이하로, 실적률은 굵은 골재의 경우 55%이상, 잔골재의 경우 53%이상으로, 마모감량을 굵은 골재의 경우 40%이하로 규정하고 있으나, 일본 건설성 잠정 기준(안)에서는 흡수율과 안정성손실질량만으로 재생골재의 품질을 규정하고 있다.

[표-3] 각종 재생골재의 품질기준

구분			밀도(g/cm ³)		흡수율 (%)	미립분량 (%)	안정성 손실 (%)	실적률 (%)	마모감량 (%)
			절건	표건					
KS	굵은 골재	1종	≥2.2	—	≤3	≤1.5	≤12 ¹⁾	≥55	≤40
		2종	≥2.2	—	≤5	≤1.5	≤12 ¹⁾	≥55	≤40
		3종	≥2.2	—	≤7	≤1.5	—	≥55	≤40
	잔 골재	1종	≥2.2	—	≤5	≤5, ≤7 ²⁾	≤10 ¹⁾	≥53	—
		2종	≥2.2	—	≤10	≤5, ≤7 ²⁾	≤6 ¹⁾	≥53	—
TS	굵은골재	—	—	—	≤7	≤2 ⁴⁾	—	—	—
	잔골재	—	—	—	≤10	≤10 ^{4), 5)}	—	—	—
일본 잠정 (안)	굵은 골재	1종	—	—	≤3	—	≤12	—	—
		2종	—	—	≤3	—	≤40 ³⁾	—	—
			—	—	≤5	—	≤12	—	—
	3종	—	—	≤7	—	—	—	—	
	잔 골재	1종	—	—	≤5	—	≤10	—	—
		2종	—	—	≤10	—	—	—	—

3) 재생골재의 비중 및 흡수율

가) 재생 굵은 골재의 비중, 흡수율 및 단위용적질량

① 재생굵은골재

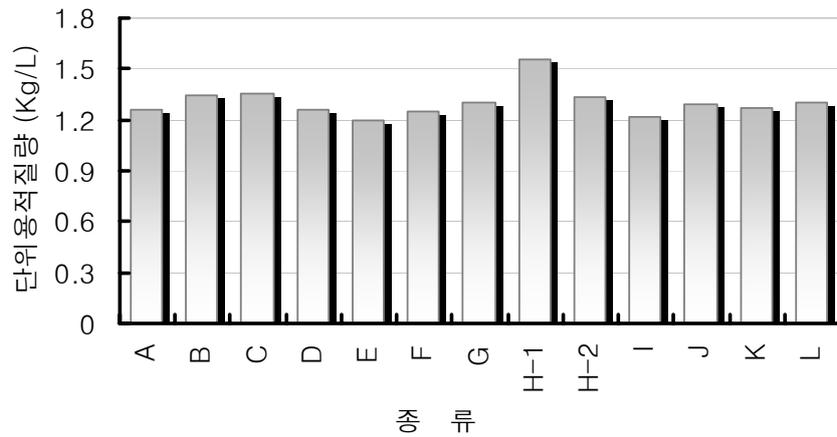
비중 및 흡수율 시험결과를 [표-4]에 나타내었으며, H사의 25mm 골재는 절건비중이 2.58, 흡수율이 1.75%로 KS F 2573에 규정된 1종 골재의 품질기준을 만족하고 있으며, 2종 골재의 품질기준에 근접한 B사와 C사의 골재를 제외하면 대부분의 골재들은 3종 수준 및 그 이하의 골재들로 나타났다.

또한, A사, E사 및 F사의 골재들은 KS F 2573에 규정된 비중(절건비중) 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 전체적으로 G_{max} 가 40mm로 생산된 골재보다 25mm로 생산된 골재들의 비중 및 흡수율이 우수한 것으로 나타난 것을 알 수 있으며, 이로부터 파쇄공정에 따라 골재의 품질이 영향을 받는다는 사실을 파악할 수 있었다.

[표-4] 재생굵은골재의 밀도 및 흡수율

구 분	G_{max} (mm)	1st			2nd		
		절건밀도	표건밀도	흡수율(%)	절건밀도	표건밀도	흡수율(%)
A 사	25	2.17	2.34	7.93	2.15	2.32	8.16
B 사	25	2.26	2.38	5.68	2.27	2.39	5.57
C 사	25	2.30	2.42	5.32	2.30	2.42	5.35
D 사	40	2.22	2.35	6.18	2.18	2.33	6.47
E 사	25	2.11	2.28	7.72	2.11	2.27	7.86
F 사	40	2.13	2.29	7.86	2.18	2.31	5.99
G 사	40	2.22	2.33	5.19	2.19	2.34	6.80
H 사	25	2.58	2.62	1.75	2.57	2.62	1.88
	40	2.24	2.36	5.28	2.22	2.34	5.49
I 사	40	2.10	2.27	8.03	2.13	2.29	7.95
J 사	40	2.18	2.33	6.87	2.18	2.33	6.89
K 사	40	2.16	2.30	6.60	2.16	2.30	6.51
L 사	40	2.32	2.46	5.93	2.30	2.43	5.97

[그림-3]에서 보는 바와 같이 재생굵은골재의 단위용적질량은 1.2~1.56kg/L의 범위이고 평균은 1.30kg/L이며, 전체적으로 생산입경 40mm골재에 비해 실적률이 높을 것으로 추측되는 25mm 골재가 대략 0.1~0.3kg/L정도 큰 경향을 보이고 있다.



[그림 3] 업체별 재생굵은골재의 단위용적질량

② 재생 잔골재

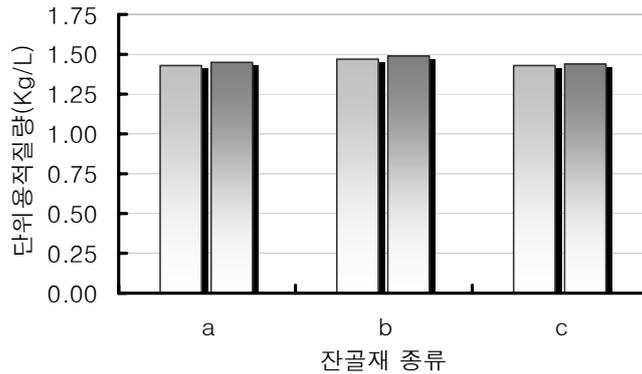
폐콘크리트에서 재생된 잔골재의 품질특성은 원콘크리트가 저·중강도인 경우 잔골재내에 혼입된 모르타르와 시멘트 페이스트의 혼입율에 따라서 영향을 받고, 고강도인 경우에는 시멘트 페이스트와 모르타르의 혼입율에 의한 영향을 덜 받는 것으로 보고되고 있다.

잔골재의 비중 및 흡수율 시험결과는 [표-5]에 나타내었으며, 보는바와 같이 a사 잔골재는 절건 비중이 2.34, 흡수율이 4.29정도로 KS F 2573의 1종 재생 잔골재 품질기준에 근접한 값들을 나타내고 있으며. b사와 c사는 흡수율이 6.76~7.93% 정도로 2종 재생 잔골재의 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

[표-5] 재생굵은골재의 밀도 및 흡수율

구분	G _{max} (mm)	1st			2nd		
		절건밀도	표건밀도	흡수율(%)	절건밀도	표건밀도	흡수율(%)
A 사	5	2.34	2.44	4.29	2.30	2.43	5.50
B 사	5	2.21	2.36	6.76	2.20	2.37	7.62
C 사	5	2.20	2.37	7.93	2.20	2.37	7.84

이와 같이, 현재 국내에서 생산되는 재생잔골재의 품질특성은 콘크리트에 적용하는데 많은 어려움이 없을 것으로 판단된다. 하지만, 재생잔골재를 적용한 구조물의 장기내구성에 관한 보고가 거의 없는 현실에서는 명확한 적용용도 구분이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 4] 업체별 재생잔골재의 단위용적질량

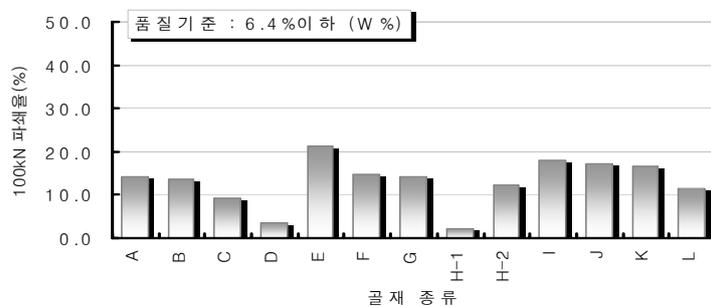
[그림-4]에서 보는바와 같이 재생 잔골재의 단위용적질량은 1.41 ~ 1.50Kg/L으로 일반 자연산 잔골재의 단위용적질량 1.55 ~ 2.00Kg/L 보다 0.09 ~ 0.50Kg/L 정도 작은 것으로 나타났다.

4) 재생골재의 역학적 특성 및 내구성 검토

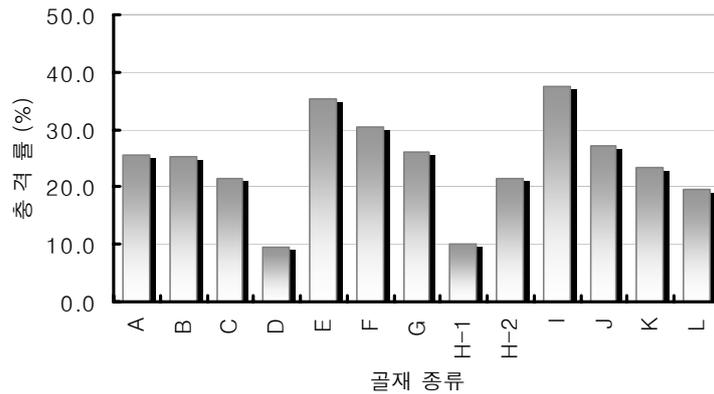
① 재생굵은골재의 강도적 특성

재생굵은골재의 마모율, 충격률, 100kN 파쇄율 결과는 [그림-5] ~ [그림-7]과 같다. 실험결과 마모율은 16.1 ~ 50.90% 범위이고 평균은 38%정도로 E, F, G, H-2사의 골재들은 콘크리트용 재생골재 마모율 기준인 40%이하를 만족하지 못하는 것으로 나타났고, H사의 재생골재는 일반 쇄석 골재의 마모율과 비슷한 것으로 나타났다. 전체적으로 재생골재의 마모율은 H사 골재만을 제외하고는 35% 이상으로서 ASTM C 33의 기준과 KS F 2573의 기준을 대부분 만족하지만 마모 특성에 매우 약한 특성을 나타내었다.

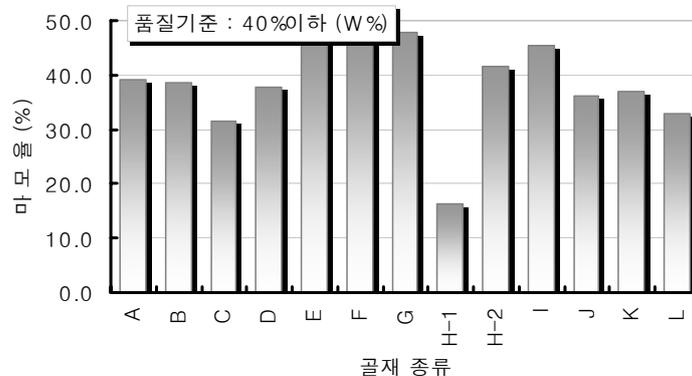
[그림-6]에서 보는 바와 같이 BS 812 Part 112에 의한 골재의 충격에 대한 저항성은 8.77 ~ 36.97% 범위이고, 평균 24% 정도로서 전체적으로 마모율과 비슷한 강도 특성을 나타내고 있다. 또한, 100kN 파쇄율은 1.91 ~ 22.25%의 범위이고, 평균은 13%정도로서, H-1사 골재만을 제외한 모든 골재들은 일본 건설성 잠정 기준인 6.4%이하를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.



[그림-5] 업체별 재생굵은골재의 100kN파쇄율



[그림-6] 업체별 재생굵은골재의 총격률



[그림-7] 업체별 재생굵은골재의 마모율

마모율과 100kN 파쇄율의 기준을 모두 만족하는 골재는 H사 단독으로, 전체적인 재생골재의 강도적 특성은 일반 골재에 비하여 매우 열악한 것으로 나타났기 때문에, 장기적인 내구성이 매우 중요시되는 콘크리트에 재생골재를 적용하기 위해서는 재생골재의 특성을 고려한 콘크리트 용도를 한정짓거나, 재생골재 생산관련 기술의 발전이 필수적이라 하겠다.

② 재생골재의 안정성 시험

재생골재의 안정성 시험은 기상작용에 대한 골재의 내구성을 조사하는 시험으로 골재를 사용한 콘크리트의 기상작용에 대한 내구성을 판단하기 위하여 실시한다. 일반 골재의 경우 굵은골재는 12%이하, 잔골재는 10%이하로 정하고 있으며, 『건설폐기물처리 및 재활용 요령』에 의하면 재생골재의 경우도 1종 재생골재의 경우 굵은골재는 12%이하 잔골재는 10% 이하로 규정하고 있다.

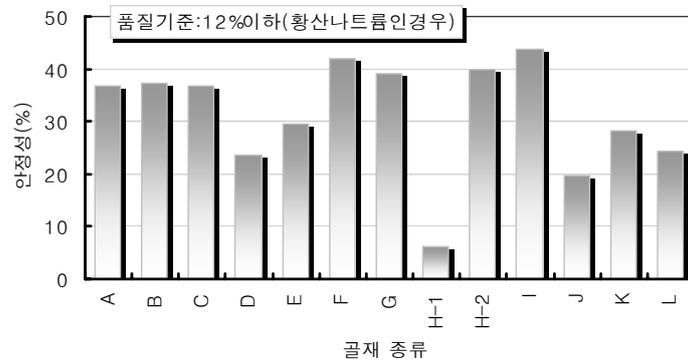
㉠ 재생굵은골재

[그림-8]에서와 같이 재생굵은골재의 안정성은 4.8 ~ 43.9%의 범위이고, 평균은 31.1%, 안정성

손실질량의 표준편차는 10.8로써 분포 범위가 매우 넓은 것으로 나타났다. KS F 2536과 『건설폐기물 처리 및 재활용요령』에 규정되어 있는 12%이하의 기준을 만족하는 경우는 H-1사 25mm 골재 밖에 없는 것으로 나타났다.

위와 같은 사실로부터, 국내에서 생산되고 있는 재생골재의 동해에 대한 저항성이 매우 취약한 것을 알 수 있었으며, 앞으로 이를 콘크리트에 적용하기 위해서는 동해 피해를 받지 않는 용도로 한정하거나, 양질의 재생골재를 생산할 수 있는 기술 확보가 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.

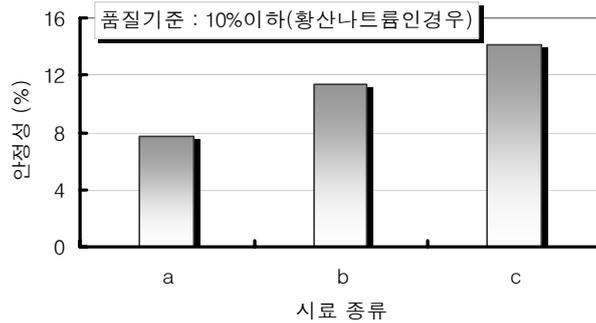
일반적으로 재생골재의 흡수율은 골재표면에 부착되거나 혼입된 모르타르양에 의해서 영향을 받기 때문에, 흡수율이 높은 재생골재는 겨울철 동해의 영향을 받기가 쉬운 것으로 알려져 있으나, 국내 재생골재의 안정성 시험결과 흡수율과 안정성은 서로 비례하지 않으며, 일정한 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다.



[그림-8] 업체별 재생굵은골재의 안정성

㉞ 재생 잔골재

국내 재생잔골재의 안정성손실질량 백분율은 [그림-9]에서와 같이 6.11 ~ 14.08%의 범위이고, 평균은 10.22%정도의 범위로 나타났으며, 『건설폐기물처리 및 재활용요령』에 의한 품질기준을 만족하는 것은 a사 골재 밖에 없는 것으로 나타났으나, 나머지 회사의 골재도 거의 품질기준 부근에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 사실로부터, 국내에서 생산되는 재생잔골재는 동결융해에 대한 저항성, 즉 안정성이 평균적으로 품질기준에 근접하고 있기 때문에, 안정성 측면에서 바라본 재생잔골재의 콘크리트 적용가능성은 재생굵은골재에 비하여 상당히 높은 것으로 판단된다.



[그림-9] 업체별 재생골재의 안정성손실질량

다. 재생골재의 추정흡수율 시험 방법

1) 개요

재생자원화시설(중간처리업체)에서 만들어진 재생골재는 시설의 처리기계(방법) 및 지역별 콘크리트의 특성 차이에 따라 품질이 달라진다. 이 때문에 이용자측은 사용용도에 적합한 품질의 재생골재를 얻기 위하여 소정 품질의 재생골재를 제조하고 있는 재생자원화시설을 찾지 않으면 안 된다. 재생골재 품질의 불규칙성을 고려하여 볼 때 재생골재의 재활용이 원활하게 진행되기 위해서는 제조자측 즉, 재생자원화 시설에 있어서 제조하고 있는 재생골재의 품질을 명시하는 것이 필요하고, 소비자 측에서는 재생골재의 신속한 품질검사가 필요하다.

하지만 일상의 공정관리 시험으로서 현재 사용되는 골재시험을 활용하는 것은 시간적·경제적으로 실용적이지 못하기 때문에, 일상의 공정관리 시험용으로 현재 사용되는 골재시험방법 대신에 간단한 품질관리시험이 필요하다. 따라서 본 절에서는 콘크리트용 재생골재를 제조하는 재생자원화시설 및 재생골재 재활용업체에 있어서 재생골재의 신속한 품질관리 방법에 대해서 기술하기로 한다.

2) 재생 굵은 골재의 흡수율 추정시험방법 (안)

가) 시험의 목적

재생골재는 재생자원화시설에서 콘크리트 해체재(폐콘크리트)를 파쇄하는 것으로부터 제조된다. 콘크리트 해체재는 그 발생원에 따라 다르고, 이로부터 제조된 재생골재의 품질 또한 수시로 변동하기 때문에 골재의 품질관리를 빈번하게 할 필요성이 높지만, 품질관리시험에 3일을 필요로 하는 흡수율시험이나 1주일을 필요로 하는 안정성시험은 실용적이지 못할뿐더러, 이 사이 재생골재 야적장의 확보가 필요하게 되지만 현실적으로는 곤란하다. 따라서, 본 시험방법은 이와 같은 문제점들을 해결할 수 있는 신속·간편한 시험방법이다.

나) 시험의 개요

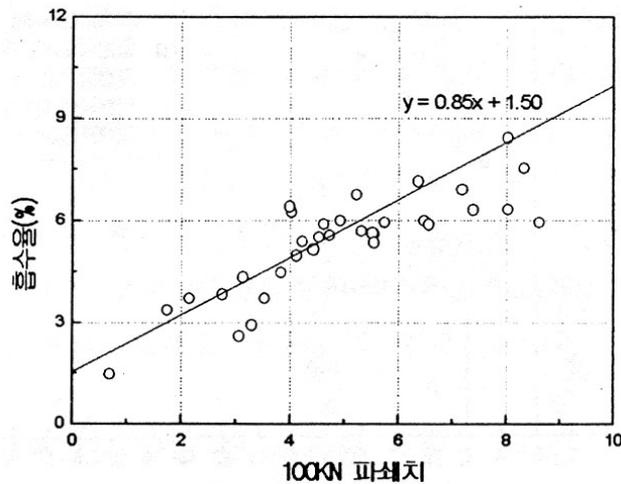
이 시험방법은 「BS 812 Part 110 Testing aggregates. Method for determination of aggregate

crushing value (ACV)」에 준하는 것이며, 재생골재의 원골재에 부착해 있는 모르타르(부착 모르타르)는 파쇄시험을 하면 원골재에 비하여 강도가 상대적으로 작기 때문에 저하중으로도 원골재가 깨지기 전에 박락하는 특성을 가지고 있으므로 파쇄시험을 적절히 설정함으로써 모르타르의 부착량을 비교적 쉽게 추정할 수 있는 원리를 이용한 것이다.

다) 재생굵은골재의 100kN 파쇄값과 흡수율 및 안정성손실질량 사이의 관계

① 관련 시험방법의 국외 현황

[그림-10]은 일본 재생골재에 있어서 100kN 파쇄값과 흡수율의 관계를 나타내고 있다.



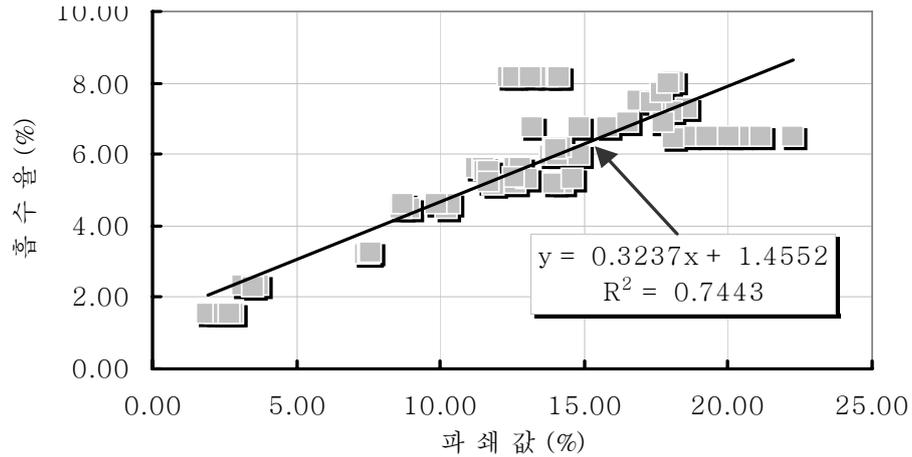
[그림-10] 100kN 파쇄값과 흡수율과의 관계

일본은 재생골재에 부착된 모르타르의 저하중에 의한 박리 특성을 응용하여 100kN 파쇄값과 흡수율사이의 상관관계를 분석하여, 100kN 파쇄값에 0.85를 곱하고 여기에 1.50을 더한 값으로 흡수율을 추정할 수 있는 방법을 개발하였다. 또한, 이와 같은 측정방법을 응용하여 일본은 2001년에 일본공업규격(JIS) 제정의 바로 전 단계인 Technical Specification 0006을 제정하였다.

② 국내 재생골재의 100kN 파쇄값과 흡수율과의 관계

국내 재생골재의 100kN 파쇄값은 1.91 ~ 20.39%의 범위이고, 흡수율은 1.53 ~ 8.03%의 범위이며, 안정성손실질량은 최대 43.90% 까지 나타났다. 이를 외국의 재생골재와 비교하여 보면 전체적으로 품질정도의 수준이 낮은 것으로 나타났다.

[그림-11]은 국내 재생굵은골재의 파쇄값과 흡수율의 관계를 나타내고 있다. 국내 재생굵은골재의 100kN 파쇄값과 흡수율의 상관관계를 분석한 결과, 100kN 파쇄값과 흡수율의 상관식은 상관계수 0.74 정도인 $y = 0.3273X + 1.4552$ 의 일차 방정식으로 나타남.



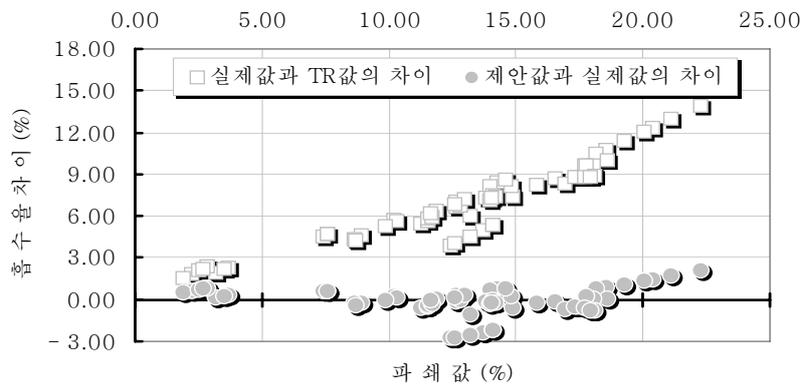
[그림-11] 국내 재생굵은골재의 100kN파쇄값과 흡수율과의 관계

따라서, 본 연구에서는 위의 실험결과를 바탕으로 신뢰수준 74%정도인 다음과 같은 추정 흡수율 식을 제안한다.

$$y = 0.32x + 1.45 \quad (\text{식 1})$$

[그림-12]는 외국 TS A 0006에 따른 추정 흡수율값과 실제흡수율의 차이와 국내 재생골재의 상관관계 분석을 바탕으로 제안된 식에 의한 실제흡수율과의 차이를 나타내고 있다.

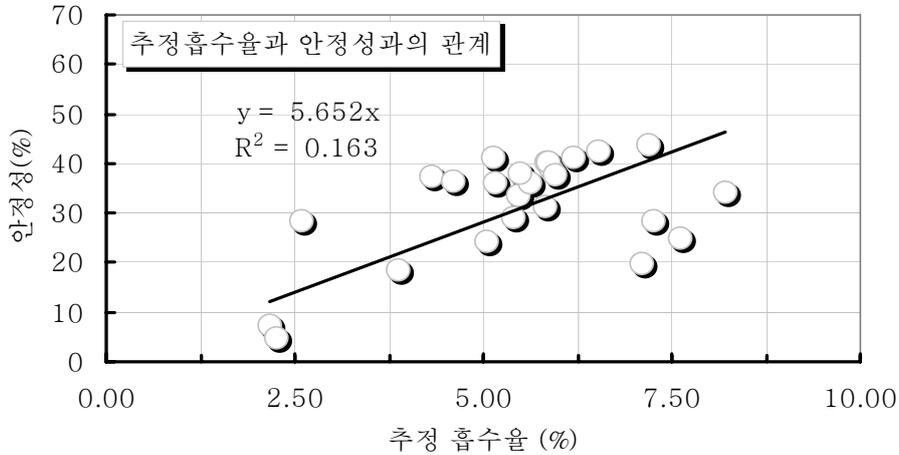
국내산 재생골재에 있어서 TS A 0006의 추정식에 따른 추정흡수율과 실제흡수율과의 차이의 절대값은 1.59 ~ 13.93%의 범위이고 차이값의 절대값 표준편차는 2.87정도를 나타내고 있으며, 제안식에 따른 추정흡수율과 실제흡수율과의 차이는 각각 0.01 ~ 2.74%까지의 범위이고 차이값의 절대값 표준편차는 각각 0.70과 0.69를 나타내고 있다. 따라서, 국내 재생굵은골재의 흡수율 추정방법에 관련된 추정식에 있어서는 TS A 0006에 의한 방법보다는 제안식에 의한 방법이 데이터의 신뢰도가 높은 것으로 판단되지만, 보다 다양한 재생골재의 적용이 요구되어 진다.



[그림-12] 추정흡수율과 실제흡수율 차이의 분포도

③ 국내 재생골재의 흡수율과 안정성손실질량의 관계

국내 재생굵은골재의 안정성손실질량은 4.80 ~ 43.90% 범위이고, 평균은 31.8%로 데이터의 분산도를 나타내는 표준편차는 10.15 정도로 상당히 큰 것으로 나타났다.



[그림-13] 재생굵은골재의 추정흡수율과 안정성과의 관계

[그림-13]은 국내 재생굵은골재의 추정흡수율과 안정성손실질량의 관계를 나타내고 있다. 국내 재생굵은골재의 추정흡수율과 안정성손실질량 사이의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수가 0.16정도 인 $y = 5.652x$ 의 추세 방정식을 얻을 수 있다.

하지만, 본 연구의 실험에 의하여 도출된 추정식과 TS A 0006의 추정식에 의한 추정안정성손실 질량값과 실제값사이에는 많은 차이를 나타내고 있다. TS A 0006의 추정식에 의한 실제값과의 차이는 6.14 ~ 41.16% 범위이고, 제안식에 의한 실제값과의 차이는 0.47 ~ 19.38% 범위로 나타났다. 따라서 추정 안정성손실질량값은 실제값과 비교하여 볼 때 데이터값의 신뢰도가 매우 떨어질 것으로 예상되고, 동해에 대한 골재의 내구성은 콘크리트 적용시에 콘크리트에 큰 영향을 미치기 때문에 좀더 심도 있고 폭넓은 연구가 필요하리라 사료되고 재생골재의 안정성실험의 신뢰도에 대한 문제가 제기되고 있는 현 시점에서 추정안정성에 관한 항목은 시험방법(안)에 포함시키지 않는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

3) 재생 잔골재의 흡수율 추정값 시험방법

가) 시험의 목적

재생잔골재의 품질은 흡수율로 규정되고 있는데, 재생굵은골재와 마찬가지로 절건질량과 표건질량을 파악하는데에 3일이 소요되는 보통의 품질관리시험을 재생잔골재에 적용하는 경우는, 품질이 수시로 변동하는 제품에 있어 실용적이지 못한 것으로 판단되며 또한, 재생잔골재의 콘크리트 적용 시에도 신속·명확한 품질검토가 필요하게 되지만 현실적으로는 곤란한 실정이다. 따라서, 이들을 대

신할 신속·간편한 시험방법에 대하여 고찰하여 본다.

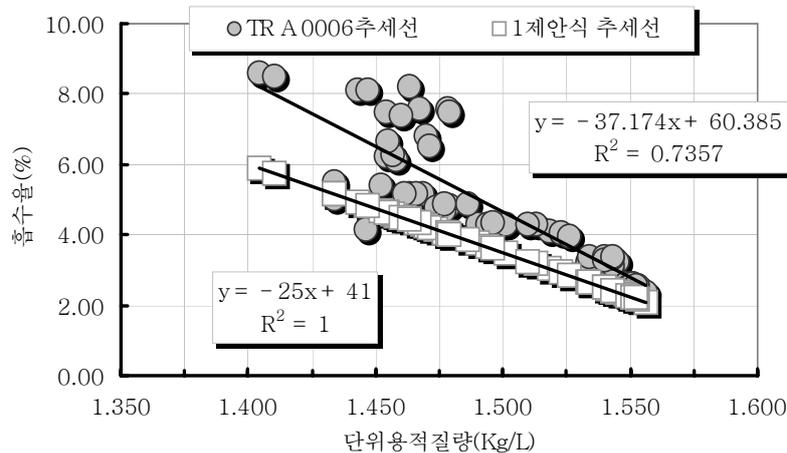
나) 시험의 개요

이 시험방법은 「KS F 2505 골재의 단위용적질량 및 공극률 시험방법」에 준하는 것으로, 재생 잔골재의 흡수율은 원콘크리트의 강도와 잔골재중에 혼입되어 있는 모르타르 및 시멘트 페이스트의 양에 영향을 받는다. 모르타르와 시멘트 페이스트의 밀도 및 단위용적질량은 일반 잔골재와 다르기 때문에, 재생 잔골재중에 모르타르와 시멘트 페이스트의 혼입량에 따라서 단위용적질량은 변하게 된다.

본 시험은 위와 같은 성질을 이용한 것이고, 재생골재의 제조플랜트에 있어서의 일상의 공정관리 및 재생콘크리트의 생산공정관리를 시험으로서 재생잔골재의 단위용적당 질량을 측정하는 것으로부터 간접적으로 재생잔골재의 흡수율을 추정하는 것이다. 국내에서는 재생 잔골재가 한정된 몇 개회사 내에서만 생산되기 때문에, 폭 넓은 범위의 단위용적 질량 및 흡수율을 나타내는 시료를 시험함으로써 시험의 신뢰성을 높이도록 하기 위하여 a사 잔골재를 중심으로 재생자원화시설(중간처리업체)에서 재생골재 생산시 발생하는 5mm 이하의 석분으로 재생잔골재를 100, 80, 60, 40, 20, 0% 치환하고 표준사를 이용하여 재생잔골재를 20, 40, 60%씩 치환하여 제조한 시료에 대하여 단위용적질량 및 흡수율 상관관계를 분석하였다.

다) 재생잔골재의 단위용적질량과 흡수율과의 관계

시험대상 시료의 단위용적질량과 흡수율은 각각 1.404~1.556Kg/L, 2.36~8.60%의 범위이고, 평균은 각각 1.493Kg/L, 4.87정도이며, 표준편차는 각각 0.042, 1.814정도로 나타났다.



[그림-14] 재생잔골재의 단위용적질량과 흡수율과의 관계

[그림-14]는 국내산 재생잔골재의 단위용적질량과 실제흡수율의 관계를 나타내고 있다. 국내 재생잔골재의 단위용적질량과 흡수율의 상관관계를 분석한 결과, 단위용적질량과 흡수율의 상관식은 상관계수가 0.73정도인 $y = -37.174x + 60.385$ 의 일차방정식으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 위의 실험결과를 바탕으로 다음과 같은 추정 흡수율 식을 제안한다.

$$y = 60 - 37x \quad (2)$$

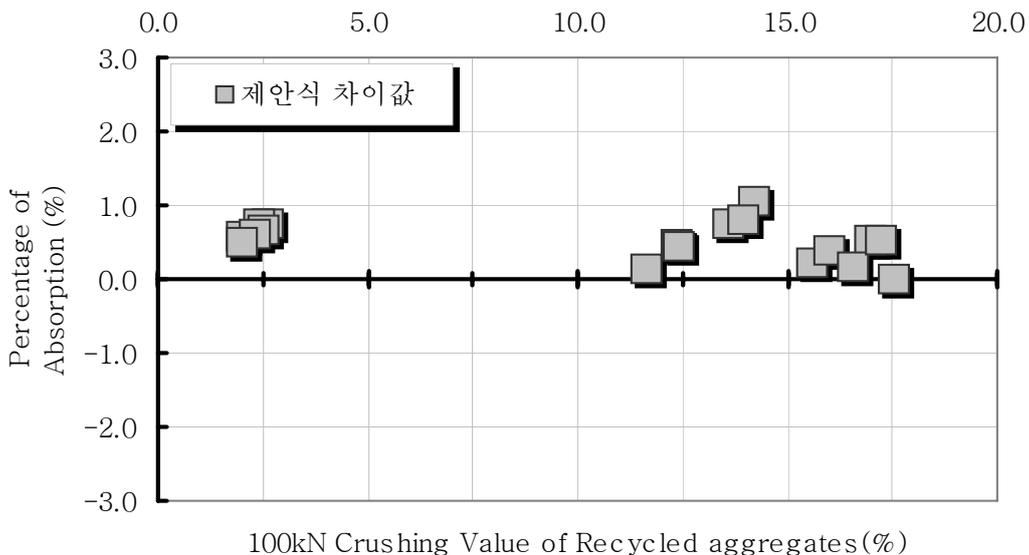
일본의 TS A 0006에 따른 추정 흡수율값과 실제흡수율의 차이와 국내 재생잔골재의 상관관계 분석을 바탕으로 제안된 (2)식에 의한 추정흡수율값과 실제흡수율의 차이는 먼저 TS에 의한 차이값은 0.045 ~ 3.775%의 범위에 평균은 1.232%, 표준편차 1.029로 나타났으며, 제안식에 의한 추정흡수율과 실제흡수율의 차이의 절대값은 0.006 ~ 2.358%의 범위이고, 평균은 0.673, 표준편차는 0.658로 나타났다.

제안식에 의한 추정흡수율과 TS A 0006의 추정식에 의한 추정흡수율에 대하여 최대, 최소값의 범위 및 데이터의 분산도를 중심으로 비교 분석한 결과, 국내 재생잔골재에 있어서는 제안식에 의한 추정값의 신뢰도가 더 높은 것으로 판단된다.

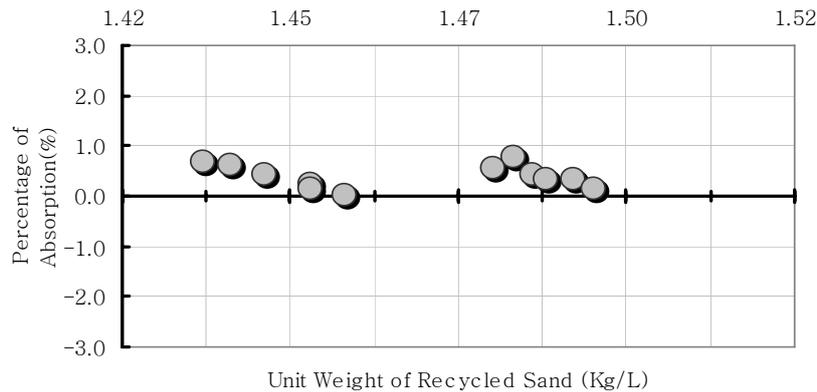
4) 비교시험결과

재생골재 원골재에 부착되어 있는 모르타르가 일정 하중하에서 먼저 박리 되는 특성을 이용하여 제안한 재생굵은골재의 추정흡수율 시험방법과 골재중에 포함되어 있는 모르타르 및 페이스트에 의하여 단위용적질량과 흡수율이 변화는 특성을 이용하여 제안한 잔골재의 추정흡수율 시험방법의 합리적인 검토를 위하여 H대학교, J대학교, A업체의 협력을 통하여 비교시험을 실시한 결과는 [그림-15], [그림-16]과 같다.

[그림-15]에서는 보는 바와 같이 재생굵은골재의 흡수율에 상관없이 추정흡수율값과 실제흡수율의 차이값은 0.01 ~ 1.06%의 값을 나타내었고 [그림-16]에서 보는 바와 같이 재생잔골재의 추정흡수율값과 실제흡수율의 차이값은 0.02 ~ 0.80%를 나타내었다.



[그림-15] 제안식에 의한 실제흡수율과 추정흡수율 차이 값(재생굵은골재)



[그림-16] 재생잔골재의 실제흡수율과 추정흡수율 차이 값

상기와 같은 실험결과를 통하여 제안된 추정흡수율식의 양호한 결과값을 확인할 수 있었지만, 재생굵은골재의 경우 실제흡수율이 8% 이상인 경우에는 실제흡수율과 추정흡수율과의 절대값 차이가 2% 이상이고, 실제흡수율이 8% 미만인 경우에는, 실제흡수율과 추정흡수율과의 절대값 차이가 평균적으로 1% 미만인 경향을 나타내고 있으며, 재생잔골재의 경우 단위용적질량은 입도분포에 의한 영향도 크고, 단위용적질량 1.450 ~ 1.475kg/L사이에서의 분산도가 매우 크기 때문에 향후 좀 더 신뢰성 있는 시험방법으로 확립되기 위하여 재생굵은골재의 100kN 파쇄값과 흡수율사이의 관계, 재생잔골재의 단위용적질량과 흡수율 사이의 관계에 대한 폭 넓은 실험결과의 축적과 세밀한 분석이 요구되어 진다.

3. 결론

국내에서 생산되는 재생골재의 품질특성 분석결과 및 재생골재의 품질특성에 따른 흡수율과의 상관관계를 이용한 추정흡수율 시험방법에 대한 연구결과는 다음과 같다.

가. 재생골재 품질특성

재생골재의 주요품질요소인 절건비중과 흡수율의 결과중 먼저 재생굵은골재 및 재생잔골재의 절건비중은 각각 2.10 ~ 2.58, 2.19 ~ 2.34 범위이고, 재생굵은골재는 전체시험대상시료중 54%정도 이상, 재생잔골재는 모든 시료의 골재가 KS F 2537에 규정되어 있는 절건비중 2.2 이상을 만족하고 있는 것으로 나타났으며 흡수율은 재생굵은골재가 1.75 ~ 8.42% 범위로 KS F 2573에 규정된 흡수율 기준에 따르면 1종 재생골재 생산업체가 1개사, 2종 골재에 근접한 재생골재를 생산하는 업체가 2개사, 3종 재생골재 생산업체가 5개사로 나타났으며 재생잔골재는 4.29 ~ 8.01%의 범위로서, KS F 2573에 규정된 1종 재생골재 생산업체가 1개사, 나머지 2개사는 2종 재생골재를 생산하는 업체로 나타났다.

나. 재생굵은골재의 100kN파쇄값과 흡수율의 관계

재생굵은골재의 흡수율은 골재에 부착되어 있는 모르타르의 양에 의하여 좌우되고, 원래 골재보다 저항도인 모르타르는 일정하중(100kN 정도)에서 골재보다 먼저 파쇄 되는 원리를 응용하여 국내 재생골재의 100kN 파쇄값과 흡수율의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수 0.74 정도인 $y = 0.32x + 1.45$ 라는 상관관계식을 구할 수 있었다. 이와 동일한 원리를 응용한 TS A 0006의 상관관계식인 $y = 0.85x + 1.5$ 에 의한 추정흡수율과 본 연구에서 제안된 식에 의한 추정흡수율을 실제 흡수율과 비교하여본 결과, 제안식에 의한 추정값의 신뢰도가 높은 것으로 나타났고 국내 연구기관과의 비교실험결과 또한 0.01 ~ 0.06%로 양호한 결과값을 보이는 것으로 나타났다.

하지만, 좀더 신뢰성 있는 시험방법의 확립을 위하여 보다 폭 넓은 시료의 적용연구와 세밀한 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

다. 재생 잔골재의 단위용적질량과 흡수율과의 관계

재생잔골재의 흡수율은 재생골재내에 포함되어 있는 모르타르나 시멘트 페이스트의 양에 의하여 좌우되고 천연 잔골재와 비중이 다른 모르타르나 시멘트 페이스트의 혼입에 의하여 재생골재의 단위용적질량이 변한다는 원리를 응용하여, 재생잔골재의 흡수율과 단위용적질량과의 상관관계를 분석한 결과 상관계수 0.73 정도인 $y = -37x + 60$ 인 상관관계식을 구할 수 있었다. TS A 0006의 $y = -25x + 41$ 에 의한 추정흡수율과 본 연구의 제안식에 의한 추정흡수율을 실제 흡수율과 비교하여본 결과 제안식에 의한 추정흡수율값의 신뢰도가 더 높은 것으로 나타났으며 비교실험 결과도 0.02 ~ 0.80%를 나타내고 있어 이를 근간으로 한 흡수율 시험방법의 제안은 가능할 것으로 판단되지만, 보다 신뢰성 있는 시험방법의 확립을 위하여 보다 폭 넓은 시료의 적용연구와 세밀한 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. (財)建築業協會 建設廢棄物處理再利用委員會 : 再生骨材および再生コンクリートの使用規準(案), 1976, 콘크리트工學, Vol. 16, No. 7, pp.42 ~ 46
2. 建設省, 總プロ建設事業への廢棄物利用技術の開発報告書, 1986, pp.82 ~ 84
3. 建設省, 콘크리트副産物の再利用に關する用途別暫定品質基準(案), 建設省技術調査 第88号, 4月 1994
4. 阿部道珍, 南波篤志 (1995), “再生骨材の生産比率と品質に及ぼす製造方法の影響”, セメント・コンクリート論文集, No. 49, pp.330 ~ 335
5. TS A 0006, 再生骨材の利用なコンクリート, 2004

6. 건설교통부, 건설폐기물 리사이클의 품질기준 및 촉진방안, 한국건설기술연구원, 2002
7. 김무한, “재생골재의 현황 및 재활용방안”, 한국콘크리트학회지, 제9권 6호, 1997
8. 이도현, “국내 재생(순환)골재의 생산 및 활용현황”, 재생(순환)골재 및 재생(순환)골재 콘크리트 정책·기술 세미나, 2004, pp. 11-5 ~ 11-12
9. 한국건자재시험연구원, “재생콘크리트 품질기준 및 시험방법 표준화연구 중간보고서”, 2003

출처: 제9회 폐기물처리 및 재활용심포지움, 한국건자재시험연구원 최 재석