

순환골재의 품질평가를 위한 시험방법 개선에 관한 실험적 연구

A Study for Improvement of the Testing Methods for Quality Control of Recycled Aggregate

정재동* 이도현**
Jae-Dong Jaung Do-Heun

Abstract

This study investigates the saturation level of surface dryness, quantity of adhesive mortar, and the alien substance content of recycled aggregates for concrete to develop an adequate quality testing method for understanding the properties of recycled aggregates, which differ greatly from preexisting aggregates. For tests that measure the saturation level of surface dryness, where detail methods are applied differently according to the tester, various testing methods from across world were compared and analyzed. This study revealed that when measuring the saturation level of surface dryness of a certain sample, aggregates must be supplemented immediately whenever the height of the sample becomes lower than the measuring mold, and allowing the tamper to free fall on the sample will provide the most accurate results.

When measuring the quantity of adhesive mortar of recycled aggregates for concrete, an acid solution was used, and since the quantity of adhesive mortar increases as the particle sizes gets smaller, the sample for testing should represent the entire granularity. Sulfuric acid solution is adequate for immersion, and the concentration should be 20% for best results. According to the alien substance content measurement, which was examined by the naked eye, the error range caused by the difference in particle size was neglectable, and therefore the sample should be 2.5~5.0mm in size concerning the accuracy and measuring time. Also, for coarse recycled aggregates, the sample should amount to 1kg for measuring alien substance content by the naked eye, which proves that assortment by the naked eye is the most adequate method for measuring the alien substance content of a recycled aggregate.

키 워 드 : 순환골재, 표건상태, 이물질 함유량, 황산, 염산

Keywords : Recyled Aggregate, Saturated Surface Dry, Impurity Content, sulfuric acid, hydrochloric acid

1. 서 론

최근 국내외에서는 산업화의 진행과 더불어 천연자원의 고갈 및 환경오염의 심화로 인하여, 천연자원의 절약과 보존 그리고 대체자원의 개발과 폐자원의 효율적인 재이용이 시급하며 이에 관련된 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 건설산업의 경우 대량의 천연자원을 소비하는 동시에 막대한 양의 건설폐기물을 발생시키고 있으나 이에 대한 효율적인 재이용은 아직 미비한 실정이다. 특히 건설폐기물 중에서는 폐콘크리트가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 천연골재의 공급 불안정 문제가 지속적으로 제기되고 있는 가운데 새로운 골재자원으로서 순환골재의 중요성은 더욱 크게 부각되고 있다.

또한 최근에 제정된 “건설폐기물 등의 재활용 촉진에 관한

법률안”에는 일정 규모 이상의 공사에 있어 순환골재의 사용을 의무화하고 있어, 순환골재의 사용은 점차 늘어날 것이다.

그러나 현재 순환골재의 사용은 적극 권장하고 있으나 다양하게 처리되는 순환골재의 품질평가를 위한 실험방법은 미비하여 순환골재의 품질확인 및 관리 방안에 관한 규정의 필요성은 더욱 증가되고 있다.

따라서 본 연구에서는 순환골재를 사용함에 있어 콘크리트용 순환골재 및 각종 공사에 사용되는 순환골재의 품질확인을 위한 실험방법을 개발함으로써 건설폐기물의 효율적 재활용에 기여하는 것을 목적으로 진행되었다.

2. 연구내용 및 목적

본 연구는 순환골재를 콘크리트용 골재로 사용함에 있어 그

* 대구대 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

** 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구위원, 공학박사, 정회원

품질기준을 결정하는 실험방법에 대하여 국내외의 관련 규격을 검토하여 문제점의 분석 및 현실을 고려한 새로운 실험방법을 제시하고 그 결과를 도출하고자 한다.

먼저, 순환골재의 가장 중요한 품질의 지표인 밀도와 흡수율을 판정하게 위해 수행되는 표면건조포화상태(이하, 표건상태) 판정방법에 대한 검토를 수행하여 기존 실험방법의 문제점 및 개선안을 제시하고자 하였으며, 강도 및 밀도, 흡수량에 큰 영향을 미치는 부착 모르타르량 측정방법은 국내외에 규격화된 실험방법이 전무하므로 순환골재의 특성 등을 고려한 다양한 실험을 통하여 그 측정방법을 개발하고자 한다.

또한 이물질함유량 측정방법에 대해서는 국내의 관련규격을 검토하여 문제점을 제시하고 다각적인 실험을 통하여 새로운 실험방법(안)을 제시하고자 한다.

3. 순환골재 품질평가 실험방법

3.1 순환골재의 표건상태 실험

본 연구에서는 국내·외에서 사용되고 있는 콘크리트용 골재의 표건상태 판정방법에 관한 규정을 조사하였으며, 잔골재의 표건상태 실험 관련 국내 규격인 “KS F 2504(잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)”, 일본의 JIS A 1109(細骨材の比重および吸水率試験), 미국의 ASTM C 128(Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate) 3가지 규격을 비교·분석하였으며, 국내의 현장 및 실험실에서 각기 달리 사용하고 있는(KS F 2504에 기술된 문장 해석상의 차이로 발생될 수 있는) 잔골재의 표건실험방법을 조사하여 표 1과 같이 다짐부의 위치(높이), 다짐방법, 다짐 중 시료의 보충 여부 등 다르게 하여 실험을 실시하였다.

표 1. 표건상태 판정방법 실험조건

실험 조건						
시료의 량	소복이 쌓은 경우			몰드의 뒷면을 짚은 경우		
	시료 표면	표면상부 2~3cm		시료 표면	표면상부 2~3cm	
다짐부 위치						
다짐 방법	자중	자유낙하	자유낙하	자중	자유낙하	자유낙하
시료 보충	즉시 보충			보충 안함		

3.2 순환골재의 부착모르타르량 실험

순환골재에 포함되어 있는 부착모르타르는 흡수율에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 순환골재의 표면에 부착되어 있는 모르타르를 최대한 제거하고 이를 정확하게 평가할 수 있는 실험방법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 순환골재의 품질을 직접 평가할 수

있는 방법으로서, 순환골재를 일정기간 산성용액에 침지시켜 모르타르부분을 용해시킴으로써 순환골재에 부착되어 있는 모르타르량을 산출하고자 하였으며 표 2에 실험요인 및 실험수준을 나타내었다. 순환골재의 표면에 부착되어 있는 모르타르의 양을 측정하기 위하여 모르타르를 제거할 산성용액으로는 일반적으로 그 효과가 알려져 있는 황산과 염산을 사용하였으며, 용액의 농도는 모르타르의 용해속도, 경제성, 실험자의 안전성 등을 고려하여 40% 이내의 4수준으로 설정하여 부착모르타르가 제거되는 효과를 비교분석하여 적정농도를 산출하고자 하였다. 또한 침지 후의 시료는 0.15mm 체 위에서 물로 세척하며 체가름한 후, 건조하여 그 중량을 측정하였으며, 침지용액은 pH 경시변화를 막기 위해 매 침지 실험마다 새로운 용액으로 교체하였다.

표 2. 실험요인 및 실험수준

실험요인	실험수준			
	황산		염산	
용액의 종류				
용액의 농도	10%	20%	30%	40%
침지 시간	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9(일)			
침지횟수 (총 침지시간)	1~9회 (1일, ..., 9일)	1~3회 (3일, 6일, 9일)	1회 (9일)	
입자의 크기	0.6~1.2mm	1.2~2.5mm	2.5~5.0mm	5.0~10mm

표 3. 부착모르타르량 실험조건

실험항목	실험조건
침지용액의 종류에 따른 질량감소율	-입자크기 : 전체입도 (단, 조립률은 2.75로 조정) -시료량 : 100g -침지용액 : 황산, 염산 -용액농도 : 10, 20, 30, 40%
입자크기에 따른 질량감소율	-입자크기 : 0.15~0.3, 0.3~0.6, 0.6~2.5, 2.5~5mm -시료량 : 100g -침지용액 : 황산, 염산 -용액농도 : 10, 20, 30, 40%

표 4. 실험요인 및 인자

실험대상	실험인자	실험수준
잔골재	대상 시료의 입경	1.2mm~2.5mm, 2.5mm~5mm
	시료의 질량	10~30g 채취
굵은골재	대상 시료의 입경	5mm~25mm
	시료의 질량	1kg, 2kg

3.3 순환골재의 이물질 함유량 실험

본 실험의 목적은 순환골재에 포함되어 있는 이물질 함유량을 신속, 정확하게 측정 가능한 방법을 개발하는 것을 목적으로 진행되었으며, 기존의 많은 비용과 시간이 소요되는 비중선별법의 대안으로서 육안에 의한 이물질 함유량 판정방법의

적합성에 대해서 검토하였다.

육안선별 방법의 적절성 및 정확도를 판단하기 위하여, ①이물질 분리선별이 가능한 입자크기, ②입자크기에 따른 이물질 측정량의 차이, ③측정 소요시간 및 적정 시료량, ④측정자가 다를 경우의 측정오차를 검토하였다.

표 5. 이물질의 종류

분류	이물질의 종류	콘크리트에 미치는 영향
G 1	모르타르가 50% 이하로 부착되어 있는 골재 및 석재	무해
G 2	모르타르 및 모르타르가 50% 이상으로 부착되어 있는 골재	
G 3	유기이물질 (목재, 천조각, 플라스틱, 종이류 등)	유해
G 4	무기이물질 (자기류, 타일류, 적벽돌, 유리 등)	
G 5	아스팔트콘크리트	

실험은 11명의 측정자가 시료를 각각 2회씩 측정토록 하였으며 측정대상의 순환골재는 먼저 0.15mm체에 넣어 물로 세척하여 건조시킨 후 체가름하여 측정시료를 채취하였다.

시료는 국내에서 생산중인 비교적 저품질의 순환굵은골재를 대상으로 하였으며 각각 시료량을 1kg, 2kg으로 하여 육안에 의한 순환굵은골재의 이물질 종류별 함유량과 측정소요시간을 2회 실험하여 산출하였다. 이 실험에서 선별하는 이물질의 종류는 표 5와 같이 크게 5개의 Group으로 분류하여 각각의 질량을 측정토록 하였다. 또한 본 실험에서는 주로 무기물을 대상으로 하였으나 유기 이물질의 경우에는 육안분류 후, 질량 혹은 부피측정이 가능할 것으로 사료된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 순환 잔골재의 표건상태 실험

4.1.1 관련 실험 규격 비교

콘크리트용 잔골재의 표건상태 실험에 대한 대표적인 관련 규격으로는 국내의 “KS F 2504(잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)”, 일본의 JIS A 1109(細骨材の比重および吸水率試験), 미국의 ASTM C 128(Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)이 있다. 또한 그림 1은 KS F 2504에 규정되어 있는 표건상태 판정실험을 도식화한 것이며, Table 5은 국내·외 실험규격(KS, ASTM, JIS)의 표건판정 방법에 따른 차이점을 비교한 것으로서, 시료를 채우는 방법, 다짐방법에 대한 내용이 부분

적으로 다르고, 실험몰드의 규격에도 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

현재 국내의 순환골재에 관한 규격은 “콘크리트용 순환골재(KS F 2573)”에 기존 실험방법 중 관련규격을 인용규격으로 규정되어 있으며 순환 잔골재의 밀도 및 흡수율 실험방법 또한 잔골재의 규격인 “KS F 2504”를 인용하도록 규정되어 있다.



그림 1. 잔골재의 표건상태 판정 실험과정(KS F 2504)

4.1.2 현행 표건상태 판정방법 (KS F 2504)의 실태 조사

현재 잔골재의 표건상태 판정에 사용되고 있는 규격은 KS F 2504의 “시료의 준비”에 서술되어 있으며, 그 내용 중 시료의 표건상태 판정에 관한 내용이 다소 모호하게 설명된 부분이 있어 실험자에 따라 다르게 해석되고 있으며, 현행 KS F 2504에 규정된 내용은 다음과 같다.

잔골재를 원뿔형 몰드에 다지는 일이 없이 서서히 넣은 다음, 윗면을 평평하게 한 후, 힘을 가하지 않고 다짐봉으로 25회 가볍게 다진다. 다짐한 후, 남아 있는 공간을 다시 가득 채워서는 안 되며, 원뿔형 몰드를 가만히 연직으로 들어 올린다.

현행 KS F 2504에 규정된 실험방법을 제시하여 실험자로 하여금 실험을 실시하였을 경우 대부분의 실험자가 그림 2에 도식화 한 것과 같이 해석을 하여 실험을 하였다. 표건상태 실험을 실시하는 도중 가장 문제가 된 점은 “윗면을 평평하게 한 후, 힘을 가하지 않고 다짐봉으로 25회 가볍게 다진다.”라는 문구이다.



그림 2. 잔골재의 표건상태 판정 실험과정

이 부분을 그대로 해석을 하여 실험을 할 경우 첫째, 시료를 다짐하면 점차 시료의 상면이 몰드의 윗면보다 낮아지게 되는데 이때 시료를 보충하는가의 여부, 둘째, 다짐봉의 자유낙하 또는 다짐봉의 자중에 의한 다짐 등의 차이에 의한 다짐에너지의 변동 등은 특히 실험결과에 미치는 영향이 클 것으로 명

확한 설명을 추가할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

표 6. 국내외 관련규격(KS, ASTM, JIS) 비교

KS F 2504	
시 료	표건 판정 실험기
-1000g(500g 이상) -105±5℃, 24시간 침수 -균일하게 공기 중 건조 -다짐 없이 서서히 시료를 채운 후 윗면을 평평하게 함 -다짐한 후 남아 있는 공간을 다시 가득 채워서 안됨	-몰드:40±3mm(상부), 90±3mm(하부) 75±3mm(높이), 4mm이상(최소두께) -다짐봉:340±15g(무게) 23±3mm(지름) -평평하고 원형인 다짐면을 지닐 것
다 짐	표건 판정
-힘을 가하지 않고 다짐봉으로 25회 가볍게 다짐	-원뿔이 처음 흘러내릴 때

ASTM C 128	
시 료	표건 판정 실험기
-1000g(500g 이상) -105±5℃, 24시간 침수 -균일하게 공기 중 건조 -원추형 몰드 상부를 손으로 컵 모양으로 감싸고 시료 채움 -다짐 시 시료 보충하지 않음	-몰드:38mm(상부), 89mm(하부) 74mm(높이), 4mm이상(최소두께) -다짐봉: 340±15g(무게) 25±3mm(지름) -평평하고 원형인 다짐면을 지닐 것
다 짐	표건 판정
-시료 상부 표면에서 5mm 높이 -다짐방법 : 자유낙하	-잔골재의 원추가 약간이라도 흘러내릴 때

JIS A 1109	
시 료	표건 판정 실험기
-1000g(500g 이상) -105±5℃, 24시간 침수 -균일하게 공기 중 건조 -다짐 없이 서서히 시료 채움 -다짐 시 시료추가 언급 없음	-몰드:40±3mm(상부), 90±3mm(하부) 72±3mm(높이), 0.8(최소두께) -다짐봉:340±15g(무게) 25±3mm(지름) -평평하고 원형인 다짐면을 지닐 것
다 짐	표건 판정
-시료상부 표면에서 25회 다짐 -다짐방법 : 자중	-잔골재의 원추가 처음 흘러내릴 때

또한 표 7은 국내 레미콘 업체의 품질관리실에 근무하는 실험자가 실제로 실시하고 있는 잔골재의 표건실험방법을 조사한 것 중 대표적인 사례로서 각 레미콘 업체의 실험자들 간에 규격내용의 해석을 다르게 하고 있는 것으로 나타났다.

표 7. KS F 2504의 해석 차이에 의한 대표적인 방법

다짐시 다짐봉 최초 위치	소복이 쌓은 경우		표면을 깎은 경우	
	시료 표면	표면상부 2~3cm	시료 표면	표면상부 2~3cm
다 짐 방 법	자중 자유 낙하	자유 낙하	자중 자유 낙하	자유 낙하
다 짐 중 시 보 여				
표 건 상 태				

* 다짐봉을 자유낙하 시키지 않으며, 또한 힘을 가하지 않도록 하고, 다짐봉 자중의 힘이 전달되도록 서서히 다짐

4.1.3 표건상태 판정 실험 결과

동일한 실험자로 하여 동일한 실험조건을 적용하여 표건측정 실험을 실시하였다. 다짐봉의 위치(높이), 다짐방법, 다짐중 시료의 보충 여부 등을 다르게 하여 실험을 실시하였으며 실험결과를 표 8에 나타내었다.

표 8. 표건상태 판정방법에 따른 실험조건 및 흡수율 실험 결과

실험 조 건	시료의 량	소복이 쌓은 경우			몰드의 윗면을 깎은 경우		
		다짐봉 위치	시료 표면	표면상부 2~3cm	시료 표면	표면상부 2~3cm	
	다짐 방법	자중	자유 낙하	자유 낙하	자중	자유 낙하	자유 낙하
	시료 보충	즉시 보충			보충 안함		
실험 결 과	흡수율(%)	2.25	1.69	1.08	1.20	1.07	0.87
	표준편차	0.21	0.12	0.32	0.20	0.12	0.12

표건상태 측정방법의 실태조사를 바탕으로 실험조건을 설정하여 실험한 결과, 실험조건에 따라 흡수율이 최소 0.78에서 최대 2.25까지 약 2.5배 이상의 매우 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 시료를 전혀 보충하지 않은 경우에는 시료를 몰드의 윗면 이상으로 소복이 쌓은 경우보다 흡수율이 낮게 측정되었으며 다짐 중에 시료의 높이가 몰드의 높이보다 낮아지게 되어 시료의 물리적 특성에 따라서 몰드를 들어 올릴때의 시료의 높이가 다르게 되며, 또한 몰드 안쪽 가장자리 부분의 시료가 제대로 다져지지 않게 되는 폐단이 있다. 그러므로

다짐 중 시료가 몰드의 윗면 이하로 낮아질때 마다 시료를 몰드의 높이 이상으로 보충할 필요가 있다.

다짐봉의 다짐위치 및 다짐방법이 다른 경우에도 동일한 함수상태의 시료이더라도 다짐에너지의 변화로 인하여 흡수율의 측정치는 다르게 나타나 시료의 수분량은 차이가 생기게 되어 다짐봉의 자중만으로 다진 경우가 흡수율이 가장 높게 나타났으며 시료의 표면에서 다짐봉을 자유 낙하시켜 가속도가 부가된 경우에는 자중만으로 다진 경우보다 흡수율이 낮게 측정되었다. 시료 표면의 상부 20~30mm의 높이에서 자유낙하 시킨 경우에는 가속도가 더욱 증대되어 가장 밀실하게 다져지게 되므로 흡수율이 가장 낮게 측정되었다.

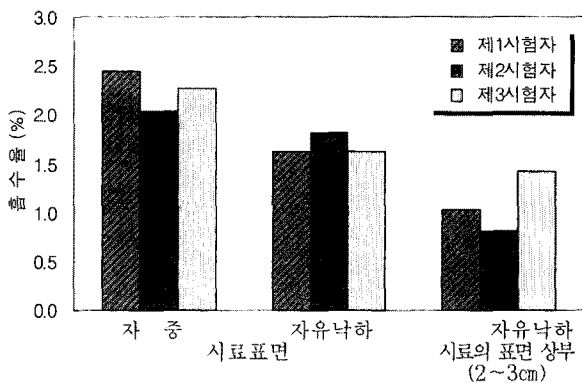


그림 3. 표건 측정방법의 차이에 의한 흡수율 실험 결과 (시료를 소복어 쌓은 경우)

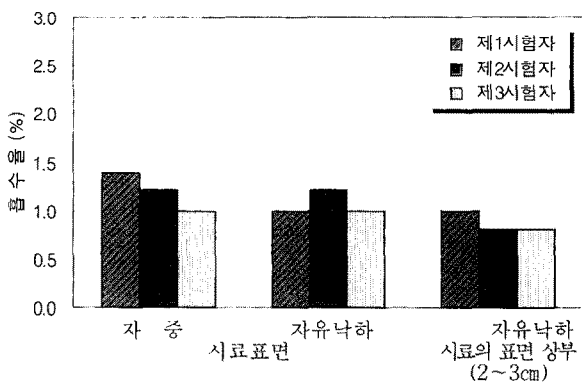


그림 4. 표건 측정방법의 차이에 의한 흡수율 실험 결과 (윗면을 평평하게 한 경우)

4.2 순환골재의 부착모르타르량 측정 실험

4.2.1 순환골재의 부착모르타르량의 입자 크기의 영향

순환골재의 입자 크기에 따른 부착모르타르량의 차이를 실험하기 위하여 순환골재를 입경에 따라 4수준으로 구분하여 실험하였으며, 실험결과 동일 군의 순환골재라도 골재의 입경

의 차이에 따라 부착모르타르량의 차이를 보였으며, 동일 입경이라도 침지용액인 황산과 염산에 의해서도 순환골재에 부착되어 있는 모르타르량의 차이를 보였다. 이는 순환골재의 입경의 차이에 따라 부착되어 있는 모르타르량이 다름을 나타낸 것이며, 침지용액의 종류에 따라 그 용해도가 다르다는 것을 의미한다.

그림 5~그림 8은 순환골재의 입경에 따른 부착모르타르량을 나타낸 것으로 입경의 변화에 따라 최종 안정화된 부착모르타르의 양에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 입경이 작을수록 순환 잔골재에 포함 있는 부착모르타르량은 많은 것으로 나타났다. 또한 산성용액에 침지하였을 때의 초기 부착모르타르의 용해도는 염산이 우수하였으나, 최종 부착모르타르의 용해도는 황산이 더 큰 것으로 나타나 산성용액의 종류에 따라 부착모르타르의 용해속도 및 용해도가 차이를 보였다.

따라서 부착모르타르량 실험에 있어 대표적 입도를 적용하기에는 입경에 따른 부착모르타르량의 차이가 심하여 부적합한 것으로 판단되며, 부착모르타르량 실험을 위한 시료는 그 순환골재의 대표성을 갖는 전체 입도를 대상으로 하여야 할 것으로 판단된다.

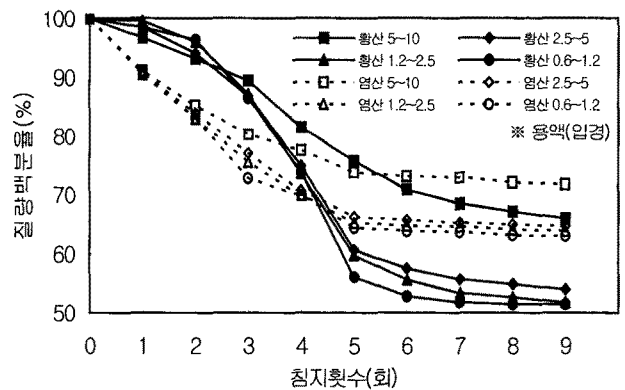


그림 5. 입자 크기에 따른 부착모르타르량의 차이(농도 10%)

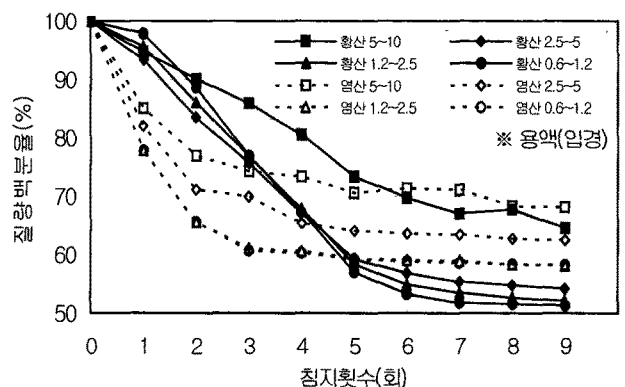


그림 6. 입자 크기에 따른 부착모르타르량의 차이(용액농도 20%)

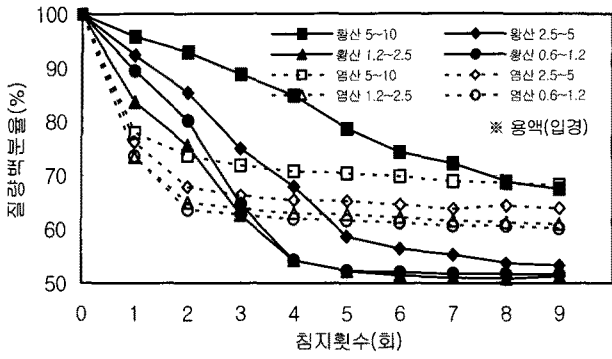


그림 7. 입자 크기에 따른 부착모르타르량의 차이(용액농도 30%)

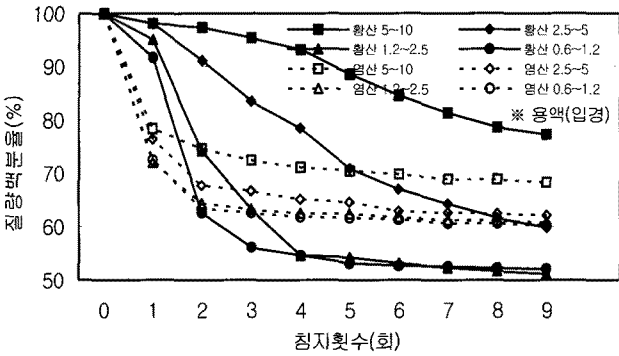


그림 8. 입자 크기에 따른 부착모르타르량의 차이(용액농도 40%)

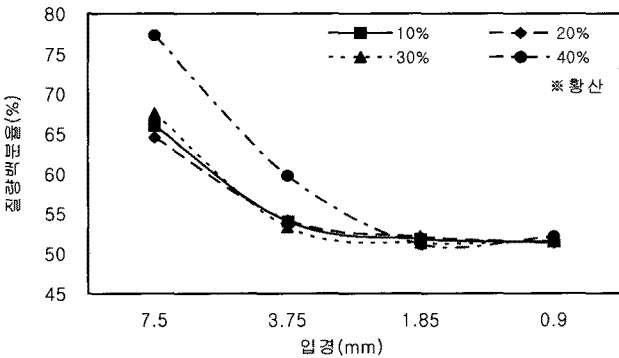


그림 9. 순환골재의 입경(농도)에 따른 부착모르타르의 관계

그림 9는 순환골재의 입경에 따른 부착모르타르량을 나타낸 것으로서, 침지용액으로는 농도 10%, 20%, 30%, 40%의 황산용액을 사용하였으며, 황산용액에 침지하였을 때의 질량변화가 안정되는 시점(1회 침지시간 : 1일, 침지횟수 : 9회)의 질량감소율을 그 순환골재의 부착모르타르량으로 평가한 것이다.

실험 결과 순환골재의 입경이 작아질수록 부착모르타르량은 증가하였으며, 황산용액 40%의 경우 용해물이 응고되는 현상이 발생하여 실험오차가 크게 나타나 이 경우를 제외하면 입경에 따른 질량감소율이 거의 동일하게 나타났다. 특히 굵은골재 크기의 입경과 잔골재 크기의 입경의 순환골재의 부착모르타르량은 현저한 차이를 보이고 있으나, 잔골재의 입경에서는 입경에 따른 부착모르타르량의 차이는 그다지 크기 않은 것

로 나타났다.

4.2.2 침지시간 및 침지횟수의 차이에 따른 질량감소율 변화

산성용액에 의한 부착모르타르 실험을 행함에 있어, 순환골재의 침지시간 및 침지횟수에 따라 순환골재에 부착되어 있는 모르타르의 용해속도 및 산성용액의 용해도에 따른 질량감소율의 변화를 실험하였다.

그림 10~그림 12는 침지시간을 1일(24시간, 9회 측정), 3일(72시간, 3회 측정), 9일(216시간, 1회 측정)로 측정한 경우의 질량감소율 변화를 나타낸 것으로서, 침지시간 및 침지횟수가 변화함에 따라 질량감소율에 미치는 영향을 검토하였다.

그 결과, 총 침지시간이 같더라도 측정횟수가 9회에서 3회 및 1회로 감소하면 질량감소율도 약 5%~30%로 질량감소율의 변화 및 질량차가 크게 나타났으며, 입경이 작아질수록 측정횟수에 따른 최종 부착모르타르량의 변화폭도 큰 차이를 보인다.

이는 측정간격 및 산성용액의 교환 횟수에 따라 순환골재에 부착된 모르타르가 용해되는 수준이 다르다는 결과로써 본 연구에서는 산성용액에 의한 질량감소율은 24시간 침지시마다 매회 측정함이 바람직하며 산성용액의 교환 또한 같이 이루어지는 것이 실험의 정확성 및 측정시간을 단축할 수 있을 것으로 판단된다.

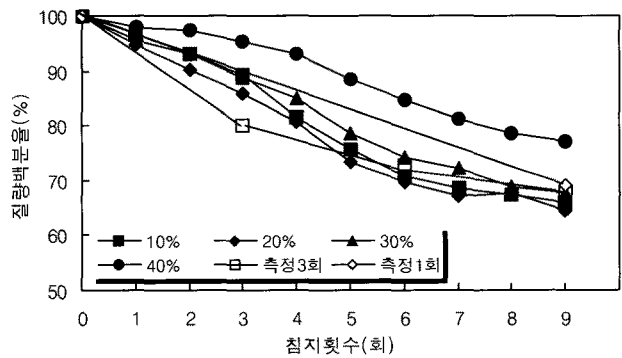


그림 10. 침지시간 및 침지횟수에 따른 질량감소율 (5.0~10mm : 황산, 농도 %)

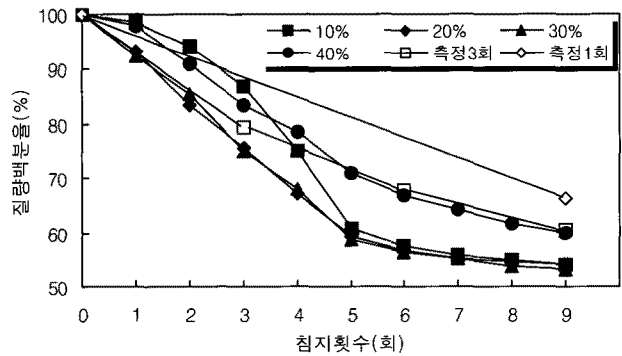


그림 11. 침지시간 및 침지횟수에 따른 질량감소율 (2.5~5.0mm : 황산, 농도 %)

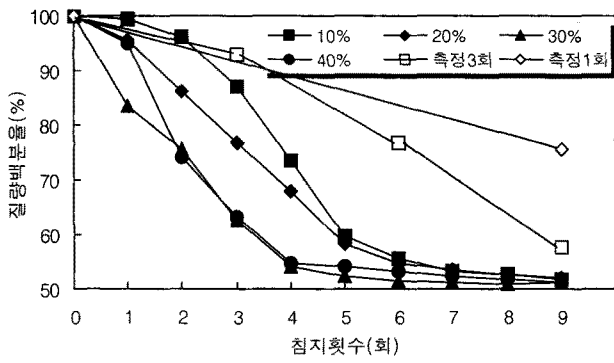


그림 12. 침지시간 및 침지횟수에 따른 질량감소율 (1.2~2.5mm : 황산, 농도 %)

4.2.3 산성용액의 종류 및 농도에 의한 질량감소율 변화

순환골재에 부착되어 있는 모르타르를 제거하기 위하여 대표적인 산성용액 황산 및 염산을 사용하여 각 산성용액의 농도에 따른 부착모르타르량의 질량 감소율을 측정하였으며, 사용된 순환골재는 실험을 위하여 임의로 입도를 2.75로 조정하였다.

그림 13에 나타낸 바와 같이 염산의 경우 침지횟수 초기에는 용해속도가 빠르나 총 부착모르타르량에 관한 최종 침지횟수 시점에서의 질량감소율은 황산보다 낮게 나타났다. 반면에 황산의 경우는 초기 용해속도는 다소 느리나 안정화되는 시점이 빠르고 최종 질량감소율도 염산의 경우보다 크므로 부착모르타르량을 충분히 용해시킨 것으로 판단된다. 또한 염산의 경우는 농도에 따라서 안정화 시점에서의 질량변화율이 다르지만, 황산의 경우에는 농도에 관계없이 최종 질량변화율이 거의 동일하게 나타났다.

용액의 농도가 40%인 경우에는 질량감소율이 오히려 작게 나타나는 경우도 있었으나, 이것은 농도가 너무 높아서 용해된 물질이 응고되어 미립분으로 제거되지 않았기 때문이므로, 농도가 너무 높은 것은 실험 오차의 중대한 원인이 될 수 있다.

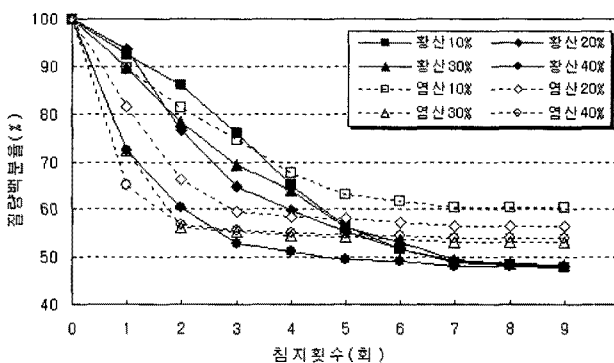


그림 13. 침지용액의 농도에 따른 질량감소율

또한 용액의 농도가 10%인 경우에도 20%의 경우보다는 다

소 용해속도가 느린 것으로 나타났으나, 최종 질량감소율 실험 결과에 큰 무리가 없는 것으로 판단된다. 그러나 실험결과와 안정성을 증대시키기 위하여 용액의 농도는 20%로 하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

농도가 다른 황산용액에 의한 질량변화가 안정된 상태에서의 최종 질량감소율은 모두 모르타르 부착량을 나타낸다고 볼 수 있으므로, 이들 4개 실험결과를 분석하면 표 9와 같다. 그러므로 4개의 최종 질량변화율을 하나의 측정근으로 하여 보면 표준편차가 0.25, 변동계수가 0.5%로써 매우 작은 값을 나타내어, 황산에 의한 부착모르타르량 실험방법은 높은 정밀도 확보가 가능하다고 판단된다.

표 9. 황산용액에 의한 최종 부착모르타르량

평균(%)	표준편차	변동계수
48.125	0.25	0.5%

4.3 육안에 의한 순환골재의 이물질 함유량 실험

4.3.1 순환골재의 이물질 함유량 실험

1) 순환골재의 이물질 분리선별이 가능한 입자

표 10은 순환골재별 입경에 따른 선별여부를 나타낸 것이다. 본 실험에서 사용한 순환골재의 입경은 0~5.0mm의 입도 분포를 가진다. 그러나 육안관찰에 의하여 이물질을 분리할 경우에는 입경이 너무 작을 경우 선별하기 어려울 뿐만 아니라 선별에 소요되는 시간도 너무 많이 소요되어 실용적이지 못하게 된다. 본 연구에서 입경별로 이물질을 선별해본 결과로는 입경이 1.2mm 이상이면 육안관찰에 의해서 선별이 가능한 것으로 밝혀졌다.

표 10. 순환골재의 입경에 따른 선별여부

입 경	적 용	선 별 방 법
5mm이상	순환골재, 순환골재	육안선별
2.4mm이상~5mm미만	순환골재	육안선별
1.2mm이상~2.4mm미만	순환골재	육안선별, 확대경 사용
1.2mm미만	순환골재	선별 어려움

2) 순환골재의 입자크기에 따른 이물질량

그림 14는 3종류의 순환골재 시료를 대상으로 육안관찰에 의한 이물질 선별 실험결과이다. 이들 결과를 보면, 각 대상 시료에 따라서 이물질의 종류에 따른 비율은 차이가 있으며, 이들 결과로부터 순환골재에는 골재 이외의 다른 이물질

이 25.8%~58.4%가 포함되며 있으며 모르타르, 적벽돌, 아스팔트, 기타 순으로 많이 포함되어 있다(도표 내용 중 RS는 순환골재, G는 순환굵은골재의 종류를 나타냄).

또한 동일 시료에서 입경의 차이에 의한 함유량 측정값의 차이는 무시할 수 있는 정도로 정밀도가 높고 각각의 측정값이 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 실험대상 시료의 입경은 실험의 편의성 및 시료의 용이성을 고려하여 입경이 큰 것을 대상으로 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

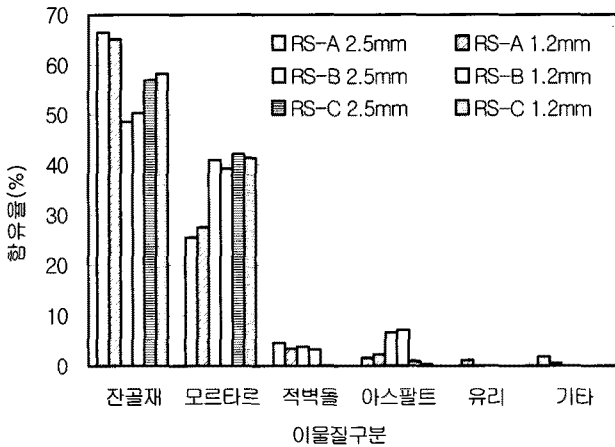


그림 14. 순환골재에 포함된 이물질 종류별 함유량

3) 이물질 선별 측정소요시간 및 적정 시료량

그림 15는 측정시료의 입경에 따른 시료량과 소요시간과의 관계를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 평균 시료량이 거의 동일함에도 불구하고 입경이 작으면 선별에 소요되는 측정시간이 대폭 증대됨을 알 수 있다.

입경이 2.5~5.0mm인 시료는 15분 이내가 소요되어 현장에서도 충분히 측정이 가능하다고 판단된다. 그러나 입경이 1.2~2.5mm의 경우에는 소요시간이 1시간 30분이 소요되어 현장에서의 측정은 곤란할 것으로 사료된다.

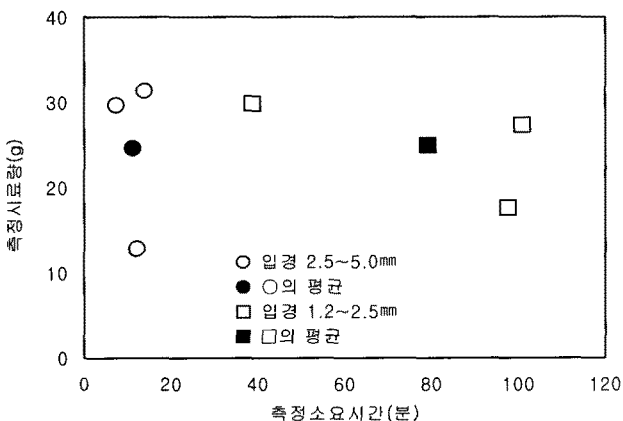


그림 15. 측정시료의 입경에 따른 시료량과 소요시간의 관계

그림 16은 시료 10g 측정 소요시간에 대하여 입경에 따른 차이를 나타낸 것이다. 2.5~5.0mm의 경우에는 1.2~2.5mm의 경우보다 측정시간이 평균 6~7배가 소요되는 것으로 나타나, 측정정밀도가 확보된다면 입경이 큰 시료를 사용하는 것이 크게 유리할 것으로 판단된다.

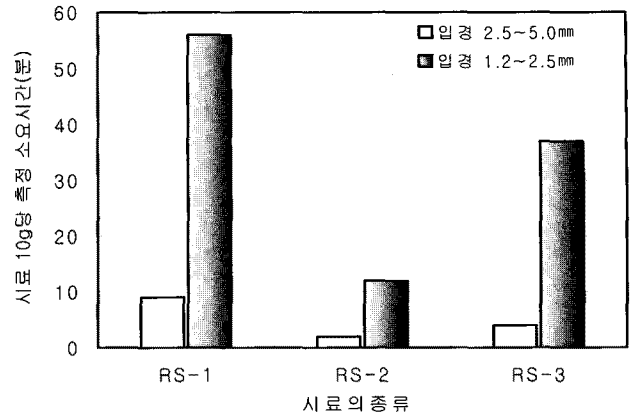


그림 16. 입경의 크기에 따른 이물질 함유량 측정소요시간

4) 이물질 선별 실험 측정자가 다른 경우의 실험 측정 오차

그림 17은 입경의 크기에 따른 이물질 함유량 측정결과와의 정밀도를 판단하기 위하여 이물질 함유량이 가장 많은 골재를 대상으로 11명의 측정자간 표준편차를 나타낸 것이다. 여기에서, RS-A 및 RS-B는 입경이 작을수록 표준편차가 작으나, RS-C는 반대의 결과가 나타났으며, 전체적으로는 표준편차가 약 5%에 불과하므로 육안관찰에 의한 이물질 함유량 측정 방법이 유용할 것으로 판단된다. 또한, 입경 2.5~5.0mm의 시료 30g 정도를 사용하면 육안선별에 의한 이물질 함유량 측정값은 신뢰성 확보가 가능할 것으로 여겨진다.

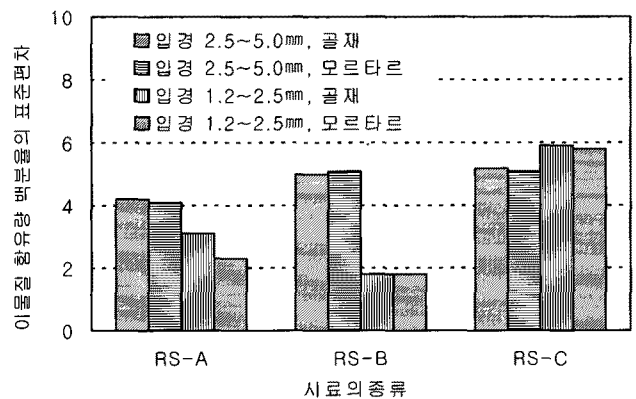


그림 17. 입경의 크기에 따른 이물질 함유량 측정 표준편차

4.3.2 순환굵은골재 이물질 함유량 실험

1) 측정 소요시간 분석

표 11은 순환굵은골재의 시료량에 따른 이물질 육안선별에 소요되는 시간을 나타낸 것으로써, 시료량은 실험자간에 약간의 차이가 있어 2kg 또는 1kg으로 환산하였을 때의 소요시간 및 질량백분율로 나타내었다. 또한, 그림 18은 실험 결과를 토대로 시료량의 차이에 따른 측정소요시간을 그림으로 나타낸 것이다.

이 결과를 보면, 시료량이 1kg인 경우의 측정소요시간은 평균 10분이 소요된 것에 비하여 2kg인 경우는 약 33분이 소요되었다. 이와 같이 이물질 선별에 소요되는 측정시간은 시료량의 증가율보다 기하급수적으로 증가되는 결과를 나타냈는데, 이는 실험자의 피로도에 의한 것으로 생각된다.

따라서, 측정소요시간이 시료량이 2kg에서 약 30분정도가 소요되어 실험의 편리성면에서는 비교적 무리가 없을 것으로 판단되나, 측정소요시간의 차이에 따른 실험결과의 정밀도를 동시에 고려하여 실험에 필요한 적정 시료량을 결정하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

표 11. 시료량에 따른 이물질 선별 소요시간

시료량	구분	환산량		선별된 재료의 질량백분율(%)						
		시료질량 (kg)	소요시간 (분:초)	G1	G2	G 1+2	G3	G4	G5	G 3+4+5
2kg	최소	2	12:24	42.5	42.2	84.6	0.2	4.5	10.7	15.4
	최대	2	50:18	50.0	58.0	-	1.5	9.9	14.5	-
	평균	2	32:38	25.7	31.3	-	0.0	1.4	6.9	-
	편차	-	10:10	6.2	5.9	2.2	0.4	1.6	2.1	2.2
1kg	최소	1	06:30	34.9	48.9	83.8	0.1	4.8	11.3	16.2
	최대	1	13:40	38.6	54.3	-	0.4	7.0	13.1	-
	평균	1	10:13	26.1	44.3	-	0.0	2.6	7.2	-
	편차	-	02:01	3.6	2.9	1.8	0.1	1.3	1.6	1.8

2) 측정데이터의 정밀도 분석

그림 18~그림 20은 시료량의 차이에 따른 이물질 함유량의 표준편차를 나타낸 것으로 콘크리트의 물성에 큰 영향을 미치지 않는 이물질(G1, G2) 각각의 표준편차보다 G1, G2를 합한 것의 표준편차가 더 낮게 나타났으며 이와는 반대로 순환골재 중의 함유량이 적은 유해물질(G3, G4, G5) 각각의 표준편차가 이들을 합한 것보다 크게 나타났다. 또한 전체적인 표준편차가 낮게 나타나 순환굵은골재의 육안에 의한 이물질 선별방법의 정밀도 확보는 가능할 것으로 판단된다.

또한, 시료량의 차이에 따른 이물질 종류별 함유량 측정결과의 표준편차는 시료량이 많을수록 증대하는 것으로 나타났다. 이는 시료량이 많을수록 실험에 소요되는 시간이 증가되어 실

험자의 피로도가 누적되어 실험의 집중도 저하로 인하여 정밀한 선별이 이루어지지 못하였기 때문에 사료된다.

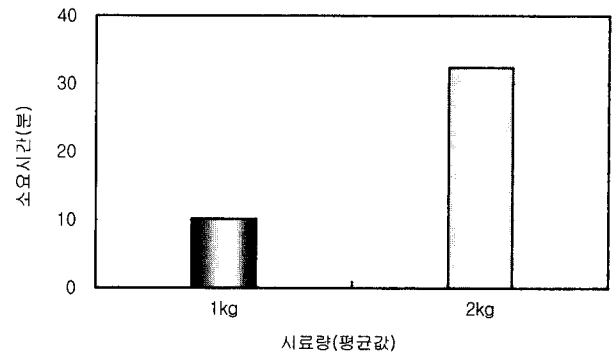


그림 18. 시료량과 측정소요시간과의 관계

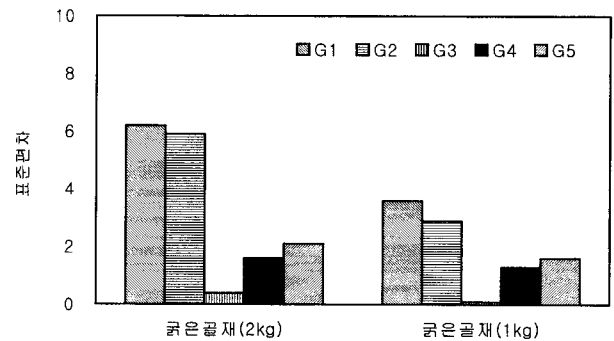


그림 19. 시료량에 따른 이물질 종류별 함유량 표준편차

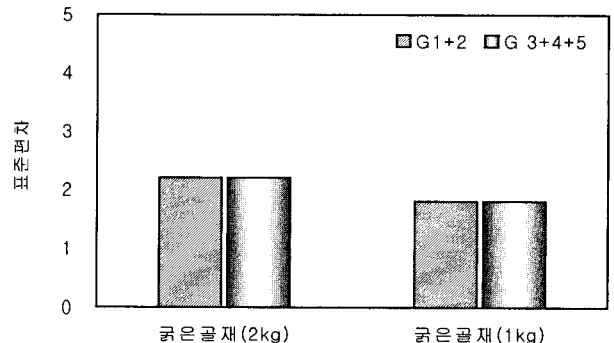


그림 20. 시료량의 차이에 따른 무해/유해 성분의 함유량 표준편차

6. 결 론

6.1 순환잔골재의 표건상태 판정 실험

1) 잔골재의 밀도 및 흡수율 실험방법으로써, 국내외 관련규격(KS F 2504, JIS A 1109, ASTM C 128)을 비교분석한 결과, 표건상태 판정방법에 대한 규정내용이 서로 다르고, 이를 해석하는 방법에 따라 실험결과의 차이는 매우 크게 발생된다.

- 2) 레미콘 업체의 품질관리사들은 현행 KS F 2504의 잔골재 표건상태 판정 방법에 대한 내용을 각각 다르게 적용하고 있어, 규격의 내용에 대한 명확한 설명 및 교육이 필요하다.
- 3) KS, JIS, ASTM의 규격에 의한 비교실험 결과, 표건실험 도중 시료의 높이가 몰드의 윗면보다 낮아지면 즉시 시료를 보충하여야 하며, 다짐방법은 시료표면에서 자유낙하시키는 방법이 정밀도가 가장 높게 나타나 표건 측정방법으로 적합한 방법이라 판단된다.
- 4) 따라서, 상기 2), 3)항의 내용을 반영한 KS F 2504의 보완이 요망된다.

6.2 순환골재의 부착모르타르량 실험

- 1) 순환골재의 부착모르타르량은 입경이 작을수록 증가하는 것으로 나타나 부착모르타르량 실험을 위한 시료는 전체입도를 대상으로 하는 것이 바람직하다.
- 2) 황산용액을 사용하면 초기의 용해속도는 느리나 최종적인 용해량은 염산용액의 경우보다 크고 실험결과의 편차가 적으므로, 순환골재의 부착모르타르량 측정을 위해서는 염산용액보다 황산용액을 사용하는 것이 좋다.
- 3) 산성용액의 농도가 높을수록 순환골재 부착모르타르의 용해속도가 빠르나, 최종 질량감소율은 유사하게 나타나 실험의 용이성 및 실험자의 안전성을 고려하여 황산용액의 농도 20%가 적정하다고 판단된다.
- 4) 순환골재의 질량감소율은 총 침지시간이 동일하더라도 1회당 침지시간 및 침지횟수에 따라 다르게 나타나며, 부착모르타르량 측정을 위해서는 1회당 1일간 침지하여 9회까지 측정하는 것이 적절하다.

6.3 순환골재의 이물질 함유량 실험

- 1) 순환잔골재의 입자크기에 따른 이물질함유량 측정결과 측정 오차는 무시할 수 있을 정도이므로, 일정 크기의 입자를 대상으로 육안선별에 의한 이물질함유량 측정이 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 육안선별에 의한 순환잔골재의 이물질함유량은 입경 2.5~5mm의 시료 30g을 대상으로 할 경우 약 30분 이내로 측정이 가능하고, 실험의 정밀도도 확보할 수 있다.
- 3) 순환굵은골재의 이물질 육안선별에는 시료량이 1kg인 경우보다 2kg인 경우 측정소요시간의 증가로 인하여 실험자의 피로도가 증대되고 정밀도가 저하되어, 육안선별 시료량은 1kg으로 하는 것이 적절하다.
- 4) 본 실험결과의 일부는 개정된 KS F 2576-2006 해설편에 반영되었습니다.

감사의 글

본 연구는 대구대학교 교내연구비 지원사업 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 송지흡, 조현대, 최현수, 전명훈, 이도현, 정재동, 잔골재 표건상태 판정방법 개선에 관한 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 제17권1호, pp.153-156, 2005.05
2. 이도현, 전명훈, 정재동, 조현대, 송지흡, 재생골재 이물질 함유량 시험방법 개발, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제25권1호, pp.109-112, 2005.10
3. 정재동, 조현대, 이도현, 전명훈, 재생(순환)잔골재의 부착모르타르량 측정에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제16권2호, pp.189-192, 2004.
4. 정재동, 조현대, 공민호, 전명훈, 이도현, 재생잔골재의 이물질 함유량 시험방법에 관한 고찰, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제24권2호, pp.471-474, 2004.10
5. ASTM C 128 (Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)
6. JIS A 1109 (細骨材の比重および吸水率試験)
7. KS F 2504 (잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)

(접수 2008. 7. 11, 심사 2008. 7. 30, 게재확정 2008. 8. 15)