

순환골재 및 순환골재 콘크리트에 관한 각국의 규정

Regulations of Various Countries on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete



김진만 Jin-Man Kim
공주대학교
건축학부 교수
E-mail : jmkim@kongju.ac.kr

1. 개요

최근 부족한 골재의 수요에 대응하기 위한 대체골재의 연구가 활발히 진행되고 있다. 유력한 대체골재원인 폐콘크리트, 제강슬래그, 바텀애시는 각각 4,000만톤, 1,000만톤, 200만톤 정도가 매년 발생하므로, 이들을 모두 골재원으로 활용한다면 연간 골재소비량의 약 30% 수준에 상당하는 골재원을 확보하는 효과가 있고, 동일한 양의 천연골재자원을 절약하게 되므로 환경적 측면에서 높은 가치를 가지게 된다. 그러므로 이들 대체 골재원에 대한 연구는 매우 중요하며, 지속적으로 연구될 필요성이 있다.

본 특집호에서는 폐콘크리트를 재활용하여 제조한 순환골재에 관한 국내외의 제도적 환경을 검토하여, 국내에서 순환골재를 좀 더 활발하게 활용하기 위하여 개선하여야 할 것들을 제안하고자 한다.

2. 콘크리트용 순환골재의 품질 규정

2.1 국내의 콘크리트용 순환골재에 관한 품질 규정

순환골재를 제조할 때 처리횟수를 증가시키면 부착물이 더 많이 제거되고, 부착물이 제거될수록 골재로서의 품질은 향상되지만 에너지(결국은 비용)와 부산물인 미립분이 증가한다. 순환골재를 이용하는 경우 이러한 모순된 조건에서 공학적인 타협점을 찾아야 한다.

국내의 순환골재 품질 기준은 2003년에 제정된 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”에 근거하여 설정되었으며, 동법 제35조에 “순환골재의 품질기준”을 건설교통부장관이 정하도록 규정되어 있다. 건설교통부장관이 정한 “순환골재의 품질기준”은 2005년 8월에 제정되어 몇 차례의 개정을 거쳐 2009년 8월에 최신본이 개정 공포되었다. 동 기준은 콘크리트용 골재의 품질기준으로 일반 구조용 콘크리트에 관한 것과 도로기층 중 빈배합콘크리트 기층용의 2가지를 포함하고 있다. 두 규정 중 일반 콘크

리트용은 2011년에 제정된 “KS F 2573 : 2011 콘크리트 용 순환골재”¹⁾에 포함되었으나, 빈배합콘크리트 기층용은 KS 기준화 되어 있지 않다. “순환골재의 품질기준”에 포함된 일반콘크리트용 및 빈배합콘크리트 기층용에 관

한 규정을 국내의 다른 콘크리트용 골재와 비교하여 [표 1]에 나타내었다.

일반 콘크리트용 순환굵은골재의 품질규정을 보통골재 및 쇄석골재와 비교하여 보면, 절건밀도, 흡수율, 안정

[표 1] 국내의 콘크리트용 골재 품질 기준 비교

| 항목 | 구분 | 보통 골재 | 쇄석골재 | 구조용 경량골재 | | 순환골재 | |
|---------------------------|------|----------------------|--------|------------|------------------|----------|--------------------------|
| | | | | 인공·천연 경량골재 | 바텀애시 경량골재 | 일반 콘크리트용 | 빈배합 콘크리트 기층용 |
| 절건밀도 (g/cm ³) | 굵은골재 | 2.5 이상 | 2.5 이상 | | | 2.5 이상 | 2.2 이상 |
| | 잔골재 | 2.5 이상 | 2.5 이상 | | | 2.2 이상 | |
| 흡수율(%) | 굵은골재 | 3.0 이하 | 3.0 이하 | | | 3.0 이하 | 7.0 이하 양질의 페콘 파쇄시 8.0 이하 |
| | 잔골재 | 3.0 이하 | 3.0 이하 | | | 5.0 이하 | |
| 안정성(%) | 굵은골재 | 12 이하 | 12 이하 | | 10 이하 | 12 이하 | |
| | 잔골재 | 10 이하 | 10 이하 | | | 10 이하 | |
| 마모율(%) | 굵은골재 | 40 이하 | 40 이하 | | | 40 이하 | 50 이하 |
| | 잔골재 | - | - | | | - | |
| 단위용적 질량 | 굵은골재 | - | - | 880 이하 | 1,040 이하 (혼합 골재) | 1,200 이하 | 40 이하 |
| | 잔골재 | - | - | 1120 이하 | | | - |
| 점토덩어리(%) | 굵은골재 | 0.25 이하 | - | 2.0 이하 | 2.0 이하 | 0.2 이하 | 0.25 이하 |
| | 잔골재 | 1.0 이하 | - | | | 1.0 이하 | |
| 연학석편(%) | 굵은골재 | 5.0 이하 | | | | | 5.0 이하 |
| | 잔골재 | - | | | | | |
| 실적률(%) | 굵은골재 | | 55 이상 | | | 55 이상 | |
| | 잔골재 | | 53 이상 | | | 53 이상 | |
| 0.08mm체 통과량(%) | 굵은골재 | 1.0 이하 | 1.0 이하 | | 5.0 이하 | 1.0 이하 | |
| | 잔골재 | 5.0 이하 마모 작용시 3.0 이하 | 7.0 이하 | | | 7.0 이하 | |
| 염화물량 (NaCl환산량)(%) | 굵은골재 | - | - | | | - | |
| | 잔골재 | 0.04 이하 (RC에만 적용) | - | | 0.025 | - | |
| 알칼리골재 반응성 | | 무해 | 무해 | | | 무해 | |
| 강열감량 | 굵은골재 | - | - | 5.0 이하 | 5.0 이하 | - | |
| | 잔골재 | - | - | | | - | |
| 삼산화황(SO ₃) | 굵은골재 | - | - | - | 0.8 이하 | - | |
| | 잔골재 | - | - | - | - | - | |

1) 한국산업표준 “KS F 2573 : 2011 콘크리트용 순환골재”, 대한민국 지식경제부 기술표준원

| 항목 | | 보통 골재 | 쇄석골재 | 구조용 경량골재 | | 순환골재 | |
|---------|--------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | 인공·천연 경량골재 | 바탕애시 경량골재 | 일반 콘크리트용 | 빈배합 콘크리트 기층용 |
| 이물질 함유량 | 유기(용적) | - | - | - | - | 1.0 이하 | 1.0 이하 |
| | 무기(중량) | - | - | - | - | 0.0 이하 | 5.0이하 /페아스콘 10이하 |
| 기타 | | 점토덩어리와 연한 석편의 합은 5%이하. | | 단위용적질량은 느슨한 상태로 측정 | | | 부유물 (밀도 2.0g/m ³ 의 액체) (%) 0.5% 이하 굵은골재 연한석편 5.0%이하 잔골재 소성지수 90이하 |
| 기준 | | KSF2526 : 2007 콘크리트용 골재 | KSF2527 : 2007 콘크리트용 부순 골재 | KSF2534 : 2009 구조용 경량 골재 | | KSF2573 : 2011 콘크리트용 순환골재 | 순환골재의 품질 기준 (2005)-KS 기준 없음 |

성, 마모율(굵은골재에 한함), 점토덩어리, 실적률, 미립분량, 알카리골재반응성에서는 동등한 수준으로 설정되었고, 이물질함유량 기준이 포함된 대신 염화물량의 규정은 포함되어 있지 않다. 이러한 기준으로부터 콘크리트용 순환굵은골재는 이미 천연골재와 동등 이상의 품질기준을 설정하고 있음을 알 수 있다. 순환잔골재의 경우에는 기술적 한계로 인하여 절건밀도와 흡수율에서 약간 낮은 품질기준을 설정하고 있고, 기타의 항목은 모두 천연골재와 유사한 수준으로 설정되어 있다. 골재 품질의 가장 중요한 지표인 절건밀도와 흡수율의 기준이 낮기 때문에 순환잔골재는 천연골재에 비하여 열등하게 품질수준이 정해졌다고 할 수 있다.

한편, 순환골재와 구조용 경량골재의 특성을 비교하면, 구조용 일반 경량골재에 단위용적질량, 점토덩어리량, 강열감량의 3가지 항목만이 기준화되어 있고, 바탕애시 경량골재에 한하여 이것에 안정성, 미립분량, 염화물량, 삼산화황의 기준을 추가하였을 뿐이고, 구조용에서 가장 중요하게 취급되어야 할 절건밀도, 흡수율, 마모율 등을 포함하고 있지 않은 것과 비교하면, 콘크리트용 순환골재에 관한 기준은 매우 엄격한 것으로 보인다.

순환골재에 관한 구 규정인 “KS F 2573 : 2002 콘크

리트용 재생골재”에서는 순환골재의 흡수율에 따라 고품질에 해당하는 1종, 중품질에 해당하는 2종, 저품질에 해당하는 3종으로 등급을 구분하였으나, 순환골재를 등급에 따라 각각의 품질에 상응하는 용도를 구분하여 적용하는 것은 현실적으로 관리가 곤란하다는 이유로, 국토부에서 신규로 제정한 “순환골재의 품질기준”에서는 콘크리트용 순환 굵은골재 및 잔골재의 품질을 각각 하나로 통일하여 규정하고 있다.

콘크리트용 순환 굵은골재는 “KS F 2573 : 2002 콘크리트용 재생골재”²⁾에서 규정하는 1종의 품질을 기본으로 하되, 현실적인 용도와 안전성 등을 종합적으로 고려하여 전반적으로 기준을 강화하였다. 국토부의 이러한 취지가 반영되어 2011년에 개정된 “KS F 2573 : 2011 콘크리트용 순환골재”에서는 “순환골재의 품질규정”과 동일한 내용으로 만들어지게 되었다.

한편, 순환골재의 이물질 함유량을 측정하고 이를 일정 비율로 규정하는 이유는 순환골재에 포함된 이물질이 골재의 흡수율을 상승시켜 워커빌리티를 저하시키거나 유

2) 한국산업표준 “KS F 2573 : 2002 콘크리트용 재생골재”, 대한민국 지식경제부 기술표준원

해한 성분의 함유로 인해 콘크리트 강도 등 전반적인 품질이 저하되기 때문이다. 순환골재의 이물질 함유량을 측정하는 방법은 “KS F 2576 순환골재의 이물질 함유량 시험방법”에 따라 시험을 실시하여 유기이물질 함유량 기준(용적 1%)과 더불어 무기이물질 함유량 기준(질량 1%)을 새로이 추가하여 규정하고 있다.

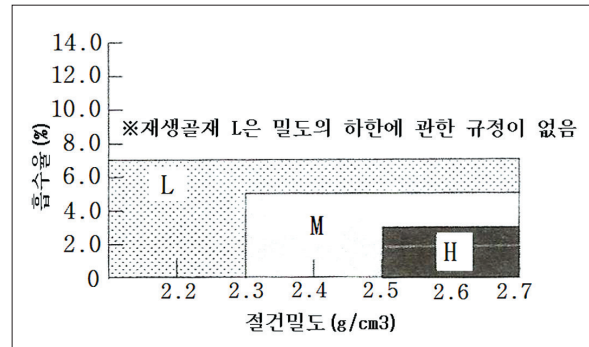
순환 굵은골재나 잔골재를 사용하여 콘크리트를 제조할 경우, 천연골재와 혼합하여 사용하는 것을 원칙으로 하며, 종류가 다른 골재를 혼합 사용할 경우에는 혼합전의 골재가 각각의 품질기준을 만족하여야 한다. 또한, 염화물량은 혼합 후에도 [표 1]의 품질기준을 적용하고 있다.

2.2 각국의 순환골재에 관한 품질 규정 비교

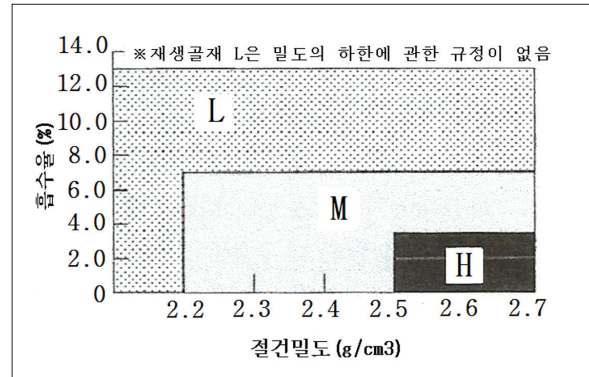
한국, 일본, 독일의 순환골재에 관련된 규정을 [표 2]에 비교하여 나타내었다.

일본에서는 1974년에 2년간에 걸쳐 건축업협회의 주관으로 “파쇄콘크리트”에 관한 연구를 수행한 것이 순환골재 연구의 시작이었다. 이어 1981년부터 5년간 그리고 1992년부터 5년간의 두 번에 걸쳐 “부산물 총프로”라는 국가적인 프로젝트를 수행함으로써 저품질에서 고품질까지 건축 및 토목의 각 분야에 적용하기 위한 기준을 마련하였다. 이 과제에 의한 구체적인 성과로 2011년에 “JIS A 5201 콘크리트용 재생골재 H”를 제정하고, 이어 2012년에 “JIS A 재생골재 M을 사용한 콘크리트”의 부속서 A에 “콘크리트용 재생골재 M”과 “JIS A 5203 재생골재 L을 사용한 콘크리트”의 부속서 A에 “콘크리트용 재생골재 L”을 제정하기에 이르렀다. 3종류의 순환골재의 흡수율과 절건밀도의 관계를 도식적으로 비교하면 <그림 1>과 같다.³⁾

한편, 용어상에서 우리가 순환골재로 부르는 것에 반하여 일본은 아직까지도 재생골재라는 명칭을 사용하고 있다. 일본기준의 골격은 품질에 따라 고품질(H), 중품질



(a) 재생굵은골재



(b) 재생잔골재

그림 1. JIS 규격에 의한 재생골재의 흡수율과 절건밀도의 관계³⁾

(M), 저품질(L)로 구분하여 품질 수준에 따라 재활용될 수 있도록 하였으며, 각각의 품질에 따라 절건밀도, 흡수율, 입자모양판정 실적률, 미립분량, 알카리골재 반응성, 안정성, 이물질함유량의 기준을 가지고 있다. 국내의 기준에 포함된 마모율과 점토정어리에 관한 규정은 없다. 또한 이물질의 종류를 7개의 그룹(A, B, C, D, E, F, G)으로 분류하여 각 그룹의 이물질 총량이 규정을 만족할 뿐만 아니라 이물질의 총량도 규정을 만족하도록 하여 이물질에 관한 규정이 매우 까다롭게 규정되어 있다.

독일의 경우에는 [표 3]에 나타난 바와 같이 순환골재의 품질을 콘크리트 및 골재 이외 재료의 혼입률에 따라 1, 2, 3, 4종으로 분류하고 있다. 상대적으로 고품질에 해당하는 1종 및 2종의 경우에는 콘크리트 및 골재의 혼입률을 70%

3) 일본건축공사표준시방서·동해설 JASS 5, 철근콘크리트공사, 28절 재생골재콘크리트, 2009년. 103-105, 633-642

[표 2] 국가별 콘크리트용 순환골재 관련 기준의 비교

| 항목 | | 국내 | 일본 | | | 독일 |
|-------------------------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| | | 콘크리트용 | 고품질(Class H) | 중품질(Class M) | 저품질(Class L) | |
| 절건밀도 (g/cm ³) | 굵은골재 | 2.5 이상 | 2.5 이상 | 2.3 이상 | 2.2 이상 | 1, 2종 : 2 이상 3종 : 1.8 이상 4종 : 1.5 이상 |
| | 잔골재 | 2.2 이상 | 2.5 이상 | 2.2 이상 | 2.2 이상 | |
| 흡수율(%) | 굵은골재 | 3.0 이하 | 3.0 이하 | 5.0 이하 | 7.0 이하 | 1종 : 10 이하 2종 : 15 이하 3종 : 20 이하 4종 : - |
| | 잔골재 | 5.0 이하 | 3.5 이하 | 7.0 이하 | 13.0 이하 | |
| 마모율(%) | 굵은골재 | 40 이하 | | | | |
| | 잔골재 | - | | | | |
| 입자모양판정 실적률(%) | 굵은골재 | 55 이상 | 55 이상 | 55 이상 | 55 이상 | |
| | 잔골재 | 53 이상 | 53 이상 | 53 이상 | 53 이상 | |
| 0.08mm체 통과량 (%) | 굵은골재 | 1.0 이하 | 1.0 이하 | 미립분량(%) : 2.0 이하 | 미립분량(%) : 3.0 이하 | |
| | 잔골재 | 7.0 이하 | 7.0 이하 | 미립분량(%) : 8.0 이하 | 미립분량(%) : 10.0 이하 | |
| 알칼리골재 반응성 | | 무해 | 무해, 무독 | 무해, 무독 | 무해, 무독 | |
| 점토덩어리(%) | 굵은골재 | 0.2 이하 | | | | |
| | 잔골재 | 1.0 이하 | | | | |
| 안정성(%) | 굵은골재 | 12 이하 | 12 이하 | 12 이하 | 12 이하 | |
| | 잔골재 | 10 이하 | 10 이하 | 10 이하 | 10 이하 | |
| 이물질함유량 (%) | 유기 (용적) | 1.0 이하 | 불순 물량의 합계 : 2.0 | 불순 물량의 합계 : 2.0 | 불순 물량의 합계 : 3.0 | 산가용성 염화물- 1, 2, 3종 : 0.04 미만 |
| | 무기 (질량) | 1.0 이하 | 개개 불순물의 최대 함유량에 관하여 별도로 규정함 | 개개 불순물의 최대 함유량에 관하여 별도로 규정함 | 개개 불순물의 최대 함유량에 관하여 별도로 규정함 | 산가용성 염화물- 4종 : 0.15 미만 |
| 부유물(밀도 2.0g/m ³ 의 액체)(%) | 굵은골재 | 1.0 이하 (0.50이하) | | | | |
| | 잔골재 | 1.0 이하 (0.50이하) | | | | |
| 기타 | | | 개개 불순 물량의 상한치(%) A - 타일, 벽돌, 도자기류, 아스콘덩어리 : 1.0(저급은 2.0) B - 유리파편 : 0.5 C - 석고 및 석고보드 조각 : 0.1 D - C이외의 무기계 보드조각 : 0.5 E - 플라스틱 조각 : 0.2(저급은 0.5) F - 나무, 대나무, 천, 휴지 조각, 아스팔트덩어리 : 0.1 G - 금속조각 : 1.0 | | | |
| 기준 | | KSF2573 : 2011 콘크리트 용순환 골재 | JISA5021 : 2011 콘크리트용 재생골재 H | JISA5022 : 2012 재생골재 M을 사용한 콘크리트 부속서 A | JISA5023 : 2012 재생골재 L을 사용한 콘크리트 부속서 A | DIN4226-100 : 2002 |

으로 제한하고 있지만, 절건밀도 기준값은 2.0g/m³ 이상
으로 규정되어 있어, 국내 및 일본의 저품질 기준인 2.2g/

m³ 보다 낮은 수준이다. 이러한 정황을 고려하면, 독일의
경우 폐콘크리트로 고품질의 순환골재를 제조하는 것이 그

[표 3] 독일의 순환골재 종류 구분⁴⁾

| 성분 | 골재 종류에 따른 최대 또는 최소 함유량 (질량 %) | | | |
|-------------------------|----------------------------------|------|------|-----|
| | 1종 | 2종 | 3종 | 4종 |
| 콘크리트와 골재 | ≥90 | ≥70 | ≤20 | ≥80 |
| 클링커, 벽돌 | ≤10 | ≤30 | ≥80 | |
| 석회질 사암 | | | ≤5 | |
| 다른 광물계 재료 ¹⁾ | ≤2 | ≤3 | ≤5 | ≤20 |
| 아스팔트 | ≤1 | ≤1 | ≤1 | |
| 이물질 ²⁾ | ≤0.2 | ≤0.5 | ≤0.5 | |

주1) 다공성 벽돌, 경량 콘크리트, 노출콘크리트, 다공성 콘크리트, 회반죽, 모르타, 다공성 슬래그, 경석.

주2) 유리, 세라믹, 비철 슬래그, 석고, 고무, 플라스틱, 금속, 나무, 식물잔해, 종이와 유사한 재료들.

다지 환경적으로 유리하지 않은 것으로 판단하고 있는 듯하다.⁴⁾

3. 순환골재 콘크리트의 사용기준

3.1 국내

“순환골재 품질기준”에 의하면 순환골재를 사용한 콘크리트는 설계기준강도에 따라 21MPa 미만과 21~27MPa인 콘크리트로 분류하고 있다. 이 방법에 따라 순환골재의 사용방법 및 적용가능 부위를 [표 4]에 나타내었다. 동 기준은 순환골재가 특수콘크리트에 대하여 미치는 영향에 대해서는 아직까지 관련 기술적 안전성 확인이 미진하므로 서중 및 한중콘크리트가 아닌, 특수한 골재나 섬유 등의 보강

재료 등을 사용하는 특수콘크리트에 대한 순환골재의 사용은 차후에 고려하도록 규정하고 있다. 순환골재를 사용한 콘크리트도 설계기준강도 30MPa 이상의 강도발현이 가능한 것으로 알려져 있으나, 현재까지 국내에서는 순환골재를 사용한 콘크리트의 적용사례가 많지 않고 장기적인 내구성 등의 기술적 확인이 더욱 요구되므로 기준에서는 최대 설계기준강도를 27MPa 이하로 규정하고 있다.

순환골재를 사용하여 21MPa 이상 27MPa 이하의 콘크리트를 제조할 경우, 순환 굵은골재와 천연 잔골재를 사용하여 제조하며, 순환 굵은골재의 치환율은 기존의 순환골재를 사용한 콘크리트의 연구결과 및 장기적 내구성 등을 고려하여 사용되는 총 굵은골재 용적의 약 30% 이하 수준이 일반 콘크리트의 특성과 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 또한, 순환 굵은골재의 사용량을 30% 이하로 권장한 것은 순환골재가 콘크리트용으로 사용된 사례나 실적이 적고, 순환골재를 생산하는 과정에서의 품질관리, 레미콘 플랜트에서 콘크리트 제조, 운반, 타설, 시공 및 품질검사 등에 이르는 전반적인 품질관리 사례가 많지 않으므로 신중하게 사용하는 것이 필요하기 때문이다.⁵⁾

순환골재를 사용하여 21MPa미만의 콘크리트를 제조하고자 할 경우는 순환골재의 품질, 설계기준강도 또는 제조 활용하고자 하는 조건에 따라 강도 및 요구성능을 만족시킬 수 있는 수준에서 치환율을 적절하게 결정하여 사용할 수 있도록 하되, 가능한 순환골재 사용량을 총 골재 용적의 30% 이하로 권장하는 것이 바람직한 것으로 분석된다. 그러나 향후 순환골재에 대한 사용실적이 축적되고 품질관리

[표 4] 순환골재 사용방법 및 적용 가능 부위

| 설계기준강도 (MPa) | 사용골재 | | 적용 가능 부위 |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 굵은골재 | 잔골재 | |
| 21이상 27이하 | 천연굵은골재 및 순환 굵은골재 | 천연 잔골재 | 기둥, 보, 슬래브, 내력벽, 교량하부공, 옹벽, 교각, 교대, 터널 라이닝공 등 |
| 21미만 | | 천연 잔골재 및 순환 잔골재 | 콘크리트 블록, 도로 구조물 기초, 측구, 집수받이 기초, 중력식 옹벽, 중력식 교대, 막콘크리트, 강도가 요구되지 않는 채움재 콘크리트, 건축물의 비구조체 콘크리트 등 |

4) 독일산업표준, “DIN 4226-100 Aggregate for mortar and concrete Part 100 : Recycled aggregate”, February 2002.

5) 국토해양부 공고 2009-772호, 순환골재 품질기준, 2009. 8.

가 원활히 이루어 질 경우, 순환골재의 사용량 및 적용범위를 점차 확대하는 것이 필요하다.

콘크리트용 순환골재는 [표 5] 또는 KS F 2526(콘크리트용 골재)에서 규정하는 입도를 만족시키는 범위 내에서 사용하여도 무방하지만, 가능한 굵은골재의 최대치수는 20mm 이하로 할 것을 권장하고 있다.

순환골재를 사용한 콘크리트는 AE콘크리트로 하고 KS F 2421(압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법)에 따른 공기량 시험 결과, KS F 4009(레디믹스트콘크리트)의 경량 콘크리트 공기량 규정과 동일한 $5.0 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 하며, 이 값을 이용했을 때는 공기량 시험에서 골재 수정계수에 의한 공기량 수정은 실시하지 않고 있다.

순환골재를 사용한 콘크리트에 사용되는 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트, KS L 5210(고로 슬래그 시멘트)에 적합한 슬래그 시멘트 또는 KS L 5211(플라이애시 시멘트)에 적합한 플라이애시 시멘트를 사용한다. 또한 혼화재료로서 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등을 레디믹스트콘크리트 제조 공장에서 직접 혼합하여 사용할 경우, 각각 KS L 5405(플라이애시), KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그 미분말)의 품질을 만족하여야 한다.

콘크리트 구조물을 해체한 폐콘크리트로부터 생산되는 순환골재에는 알칼리 골재반응 등 콘크리트 품질에 유해한 성분이 혼입될 수 있으며, 이를 완벽히 제거하는 것은 현실적으로 곤란하다. 또한, 과거 알칼리량이 많은 시멘트를 사용하여 제조된 콘크리트에서 추출한 순환골재는 일반 천연골재보다 많은 알칼리량을 가지고 있을 수 있다. 따라서 이에 대한 대책으로서 가능한 플라이애시 시멘트, 고로슬

래그 시멘트를 사용하거나 시멘트의 일부를 플라이애시 또는 고로슬래그 미분말을 혼합 사용하는 것이 가능하며, 다른 종류의 시멘트에 대해서는 그 품질과 사용방법을 신중히 검토·확인한 후 사용한다.

순환골재를 사용한 콘크리트에 사용되는 각종 혼화재료(혼화제, 혼화재)는 “KS F 4009 레디믹스트콘크리트” 규정에 적합하고 콘크리트 및 강재에 영향을 주지 않는 것으로 선택하고 구입자의 승인을 얻은 후 사용한다.

물-시멘트비는 순환골재에 부착된 모르타르의 품질에 따라 콘크리트의 특성이 달라질 수 있으므로, 순환골재를 사용한 콘크리트의 최대 물-시멘트비는 일반 콘크리트의 최대 물-시멘트비 65%보다 5% 작은 60%로 하고 단위시멘트량은 280kg/m^3 이상, 단위수량은 185kg/m^3 이하로 한다.

순환골재를 사용한 콘크리트는 “KS F 2402 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법”에 따라서 슬럼프 시험을 실시하고, 표준범위를 50~180mm으로 정하지만, 슬럼프는 작업에 알맞은 범위 내에서 가능한 작은 것으로 한다. 또한, 순환골재를 사용한 콘크리트의 염화물 이온 함유량 시험결과는 0.3kg/m^3 이하여야 한다. 다만, 구입자의 승인을 얻은 경우에는 0.6kg/m^3 이하로 할 수 있도록 규정하고 있다.

순환골재를 사용한 콘크리트 제조업체는 시멘트의 품질에 대하여 “KS L 5201 포틀랜드 시멘트”, “KS L 5210 고로슬래그 시멘트”, “KS L 5211 플라이애시 시멘트”에 규정하는 항목에 대해 직접 시험을 실시하거나 시멘트 제조회사의 최근 시험성적서를 확인하는 것으로 대신할 수 있으며, 시공업체는 콘크리트 공사 개시 전 및 공사기간 중 1개월에 1회 이상 그 품질을 확인한다.

[표 5] 콘크리트용 순환골재의 입도

| 체의 호칭 | | | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) | | | | | | | | | | |
|----------------|------------------|----|----------------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | | 40mm | 25mm | 20mm | 15mm | 10mm | 5.0mm | 2.5mm | 1.2mm | 0.6mm | 0.3mm | 0.15mm |
| 순환 굵은 골재 | 최대 치수 (mm) | 25 | 100 | 95~100 | | 25~60 | | 0~10 | 0~5 | | | | |
| | | 20 | | 100 | 90~100 | | 20~55 | 0~10 | | | | | |
| 순환 잔골재 | | | | | | | 100 | 90~100 | 80~100 | 50~90 | 25~65 | 10~35 | 2~15 |

3.2 일본의 기준

일본에서는 재생골재콘크리트에 있어서 골재의 사용방법으로서 세골재, 조골재와 함께 재생골재를 사용하는 경우, 세골재만을 재생골재를 사용하는 경우, 조골재만을 재생골재를 사용하는 경우, 또한 보통골재의 일부를 재생골재를 사용하는 경우 등 몇 가지의 조합을 고려하고 있다. 재생골재의 품질 및 그 사용방법이 재생골재콘크리트의 품질에 미치는 영향은 크기 때문에 일본의 건축공사표준시방서 “JASS 5 철근콘크리트 공사” 편에서는 [표 6]과 같이 재생골재 콘크리트의 종류와 골재의 조합을 제시하고 있다.⁶⁾

또한, 재생골재 콘크리트의 설계기준강도는 국내와 달리 사용하는 재생골재의 품질에 따라서 차이가 있도록 하고 있다. 재생골재 H는 고도한 처리에 의해 골재에 부착된 페이스트분이 크게 제거되었으므로 절건밀도와 흡수율이 보통골재와 동등한 품질을 가지고 있다. 또한 재생골재 H를 사용한 콘크리트의 강도특성은 일반적인 강도영역에서 보통콘크리트와 동등하거나 약간 저하하는 정도이다. 그러므로 재생골재 H를 사용한 경우에는 그 사용량의 제한이 없을 뿐만 아니고, 보통 콘크리트와 동등한 수준인 36MPa까지의 설계기준강도를 적용할 수 있도록 하고 있다.

[표 6] 일본의 재생골재의 조합에 의한 재생골재 콘크리트의 분류

| 재생골재 콘크리트의 종류 | 조골재 | 세골재 |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| 재생골재콘크리트 H 1종 | 골재의 전부 또는 그 일부가 재생 조골재 H | 보통세골재 |
| 재생골재콘크리트 H 2종 | 조골재의 전부 또는 그 일부가 재생조골재 H | 세골재의 전부 또는 그 일부가 재생세골재 H |
| | 보통골재 | |
| 재생골재콘크리트 M 1종 | 조골재의 전부 또는 그 일부가 재생조골재 M | 보통세골재 |
| 재생골재콘크리트 M 2종 | 조골재의 전부 또는 그 일부가 재생조골재 M | 세골재의 전부 또는 그 일부가 재생세골재 M |
| | 보통골재 | |

6) 일본건축공사표준시방서·동해설 JASS 5, 철근콘크리트공사, 28절 재생골재콘크리트, 2009년. 103-105, 633-642.

한편 재생골재 M은 재생골재 H보다도 페이스트가 많이 부착되어 있어 이것을 사용한 콘크리트의 강도특성은 재생골재 콘크리트 H와 보통콘크리트에 비하여 약간 열등하게 된다. 또한 시공실적이 작고, 사용되는 부위도 한정되어 있는 것이 고려되어 재생골재 콘크리트의 설계기준 강도는 30N/mm²으로 한정하고 있지만, 골재의 사용량을 제한하고 있지는 않다.

재생골재콘크리트의 중성화와 염화물이온의 침투에 관한 정향성은 재생골재의 종류에도 영향을 받지만, 동일의 물시멘트비에서는 보통콘크리트와 동일하거나 약간 작다. 또한 재생골재에 부착한 페이스트가 많을수록 보통 건조수축이 크게 된다. 따라서 특기가 없는 경우 재생골재 콘크리트의 내구설계기준강도는 [표 7]과 같이 요구하고 있다.

4. 결론

국토부에서 제정한 순환골재의 품질 규정에 의하면 콘크리트용으로 사용할 수 있는 순환골재의 품질은 굵은골재와 잔골재로 구분하여 확립적으로 하나씩만 규정되어 있고, 그 뿐만 아니라 순환골재의 사용량도 전체 골재 사용량의 30-50%로 제한하고 있다. 또한 순환골재의 품질 규정 항목은 경량골재가 몇 개의 기본적인 특성만을 규정한 것에 비하여 매우 까다롭고 다양하다. 이러한 제반 규정들은 순환골재의 활용 활성화에 제한적인 요인으로 작용하고 있다. 앞으로 순환골재에 관한 지속적인 기술 개발과 품질의 신뢰성 확보를 전제로 좀 더 다양한 품질을 갖는 순환골재가 콘크리트용으로 활용될 수 있기를 희망한다.

[표 7] 일본의 재생골재 콘크리트의 설계기준강도(N/mm²)

| 설계기준강도 (MPa) | 사용골재 | | 적용 가능 부위 | | |
|--------------|---------|----|----------|------------------|------------------|
| | 1종 | 2종 | 1종 | 2종 | |
| 일반구조물 | 36 | | 30 | | |
| 내구설계기준 | 공용등급 단기 | 18 | 18 | 21 | 21 |
| | 공용등급 표준 | 24 | 24 | 27 ¹⁾ | 27 ¹⁾ |
| | 공용등급 장기 | 30 | 30 | - | - |

1) 건조수축에 대한 요구가 없는 경우에 적용