

국내 콘크리트의 품질개선을 위한 각 방면에서의 제안

콘크리트용 부순돌과 부순모래의 생산 및 품질

Production and Quality of Crushed Stone
and Manufactured Sand for Concrete



김 병 환*

〈편집자 주〉

국내 콘크리트의 품질에 관해서, 비판적으로 생각하는 부분도 있을 것이며, 현재 수준에 만족하는 부분도 있으리라 생각합니다. 주지의 사실입니다만, 국외 현장에서는 콘크리트와 품질에 대한 시시비비가 적음에도 불구하고 국내에서는 그렇지 못한 점에 대해서 다시 한번 생각할 필요가 있지 않을까 합니다.

이에 4월 특집에는 “국내 콘크리트의 품질 개선을 위한 각 방면에서의 제안”이란 주제를 정하기로 하였습니다. “품질” 및 “품질 개선”이란 매우 광범위한 영역에 걸쳐 관계되는 내용입니다만, 본 특집에서는 주로 “콘크리트의 사용 재료와 시공 측면”에서 접근하여 개선책을 도출해 보고자 합니다. 이에 5개의 주제(골재, 시멘트, 제조 플랜트(제조 및 운반), 현장(타설 및 양생), 시방서)에 대하여 각 분야에 종사하시는 실무자를 집필진으로 하여 국내 현장의 콘크리트를 품질 개선을 위한 제안을 하고자 하였습니다. 건축공사 표준시방서에서의 제안은 현재 건축공사 표준시방서가 개정되고 있는 관계로 본 특집에서는 다루지 않기로 하였습니다. 양해있으시기를 바랍니다.

빠듯한 시간에도 옥고를 작성해주신 집필진께 감사드리고, 국내 현장에서 콘크리트의 품질 개선에 많은 도움이 되었으면 하는 마음입니다.

특집주간 : 지남용(한양대 건축공학부 교수)

1. 서 론

콘크리트는 시멘트와 골재로 이루어진 복합재료의 일종으로 그 구성 성분의 대부분을 골재가 차지하고 있다. 따라서 콘크리트에 미치는 골재의 영향이 매우 큼에도 불구하고, 양질의 골재가 풍부하였던 관계로, 콘크리트에 미치는 골재의 영향에 대해서는 거의 간과하다시피 하였다. 그러나 80년대 말 건설 경기의 급격한 성장으로 대도시 주변에서 양질의 천연 골재가 고갈되었고, 현재 천연적으로 얻을 수 있는 골재도 그 품질이 저급화되면서, 근래 들어야 골재의 품질에 대하여 관심을 갖게 되었다.

현재 수도권의 경우 굵은골재의 사용량 중 산림골재(부순자갈)가 90% 이상을 차지하고 있으며, 안정된 수급균형을 위해서도 산림골재의 개발이 시급한 실정이다. 그리고 부순자갈의 안정적인 생산을 위해서는 필연적으로 부순모래의 생산이 수반되어야 한다.

* 삼표산업 이사

국내의 잔골재 부족 현상은 이미 심각한 상황에 직면해 있으며, 향후의 전망도 불투명한 상태이다. 강모래 품질의 악화와 함께, 현실적으로 양질의 강골재를 입수하기가 불가능한 것으로 여겨진다. 한편 해사는 다량의 염분을 함유하고 있어 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 콘크리트 내부 철근 부식을 유발하는 등의 많은 문제가 발생한다. 또한 염분 세척에 소모되는 과도한 시설 투자, 공업용수의 절대부족 및 어업 환경 보전 문제 등 사용상 많은 어려움이 따른다. 이런 현실에서 강모래를 대체할 수 있는 콘크리트용 잔골재 개발이 절실하며, 이의 일환으로 부존자원이 풍부하고, 잔골재의 품질을 일정하게 유지할 수 있는 부순 모래의 개발 및 사용이 시급히 이루어져야 할 것이다.

국내와 비슷한 처지에 있는 외국의 경우를 보더라도, 콘크리트용 잔골재로 부순모래가 사용되고 있고, 그에 대한 연구가 많이 이루어져 있으며, 이에 대한 사용 기준 또한 보편화되어 있으나, 국내의 경우 부순모래에 대한 인식 부족으로, 그 사용을 기피하고 있다.

부순골재는 공장 생산 제품으로 품질 관리가 가능하여, 균일한 품질의 제품을 공급할 수 있어, 콘크리트 제조상의 품질관리면에서 유리하다. 부순골재는 골재와 시멘트골과의 부착강도가 커, 콘크리트 강도를 증가 시키고, 천연모래의 미분말과 달리 부순모래의 미분말은 암석질의 미분말로, 미분말 효과에 의해 콘크리트 강도를 증가 시키는 등, 여러 장점이 있다.

국내에서도 92년 경부터 일부 골재 업체에서 부순모래 개발과 함께 제품 품질 향상을 위하여 노력 해 온 결과, 천연모래에 머금가는 품질의 부순모래를 생산하기에 이르렀다.

그러나 현재까지 부순모래에 대한 국내의 연구 실적이 미비하고, 그에 대한 연구도 단순히 석분(screenings)을 입도 조정하여, 콘크리트 적용 실험을 행한 연구 실적으로, 국내 골재 수급의 여건에 따라, 부순모래를 적극 활용하기 위한 부순모래 품질 개선과 콘크리트 적용에 대한 연구는 거의 전무한 형편이었고, 그에 따른 부순모래 품질 규정 또한 미비하였다. 따라서 본고에서는 부순모래 품질 확보를 위한 생산 설비상 필요한 몇가지 고려 사항 및 본사에서 행한 연구 결과들과 외부 연구기관과 공동연구한 결

과를 중심으로 부순자갈 및 부순모래 품질을 생산 설비면과 콘크리트용 골재 품질면에서 간략히 제시하고자 한다.

2. 골재 생산 시스템

2.1 부순자갈

2.1.1 분쇄기

분쇄기는 석산에서 채굴한 발파원석, return 원석과 퇴적 자갈을 원료로 하여, 굵은 골재 및 잔골재를 생산하는 골재생산설비로, 필요로 하는 입도, 입형을 만족하도록 기계적인 힘을 가하여 돌을 분쇄, 가공하는 것을 목적으로 사용되는 기계이다. 그 기계적인 힘은 압축(compression), 꺾임(bending), 충격(impact), 전단(shearing), 마찰(friction) 등이 있으며, 이러한 힘들을 몇가지 조합한 분쇄기가 개발, 실용화되어 있다. 또한 최근들어, 생산공정의 합리화와 에너지 절감을 목적으로 한 개량 및 개발이 활발하여, 다양한 종류의 분쇄기가 판매되고 있으며, 여기에 각종 센서와 컴퓨터를 사용하여, 분쇄기의 능력을 최대한 발휘하도록 하는 시스템도 실용화되고 있다. 따라서 분쇄기의 설정은 원석의 특성을 고려하여, 제품 용도와 생산량에 적합한 최적의 분쇄기를 선정하여야 한다.

2.1.2. 분쇄기 종류

분쇄기는 그 원료와 제품의 입도에 따라 아래와 같이 분류한다.

1) 조분쇄기(1차 분쇄기)

500mm 이상의 원석을 투입하여, 50~500mm 정도로 분쇄하는 것으로, 주로 1차 분쇄에 사용되는 골재 생산 설비이다. 대표적인 기종으로는 죠 크레샤, 자이레토리 크레샤 등이 있다.

2) 중분쇄기(2차 분쇄기)

150~500mm 정도 크기의 암석을 투입하여, 20~150mm 정도로 분쇄하는 것으로, 주로 2차 분쇄에 사용되는 골재 생산 설비이다. 대표적인 기종으로는 콘 크레샤와 임팩트 크레샤, 자이레토리 크레샤 등이 있다.

3) 세분쇄기(3차 분쇄기)

20~100mm 정도의 작은 암석을 투입하여, 약 20mm 이하로 분쇄하는 골재 생산 설비로, 대표적인 기종으로는 콘 크레샤, 임팩트 크레샤와 롤 크레샤 등이 있다.

4) 입형 개선용 분쇄기(입형조정기)

2차 또는 3차 분쇄기의 생산품을 원료로 하여, 골재의 각을 둥글게 만들어, 입형을 개선할 목적으로 사용하는 골재 생산 설비로, 최종 제품을 생산하는 진동 screen 전단계에서 사용된다. 대표적인 것으로는 임팩트 크레샤 등이 있다.

5) 제사기

10~60mm의 원료를 10mm 이하로 분쇄하여, 부순모래를 생산할 목적으로 사용하는 것으로, 그 대표적인 기종은 로드밀, 제사용 콘크레샤, 임팩트 크레샤 등이 있다.

이상과 같이 생산 공정 단계별로 분쇄기를 분류하였지만, 반드시 골재 생산 단계가 위에서 언급한 1, 2, 3차 분쇄과정을 통하여 이루어지는 경우도 많다.

2.1.3. 부순자갈 생산용 분쇄기 기능 및 용도

골재 생산 설비 중 1차 분쇄기로 사용되는 조 크레샤는 압축작용으로 원료를 분쇄하는 기종으로, Double toggle형과 Single toggle형 두종이 있으며, Double toggle형은 경질 및 마모성이 높은 암석에 주로 사용되고, Single toggle형은 비교적 연질의 마모성이 낮은 암석의 1차 분쇄 및 페콘크리트 자재나 페아스콘 자재의 골재 재생용으로 주로 사용 된다.

콘 크레샤는 충격과 압축작용을 동시에 가하여 원료를 분쇄하는 것으로 2차 분쇄용 뿐만 아니라, 3차 분쇄 및 제사용으로도 개발되어 많이 사용되고 있는 기종이다.

임팩트 크레샤는 횡축형과 종축형이 있으며, 원료에 충격을 주어 분쇄를 수행한다. 임팩트 크레샤는 다른 압축식 분쇄기에 비하여, 분쇄비가 크고, 입형이 개선되는 등의 장점이 있으며, 2차·3차 분쇄용 및 입형개선용, 제사용으로 사용된다.

주로 제사용으로 사용되는 로드밀(rod mill)은 로드의 회전과 낙하에 의한 충격과 마찰력 등에 의하여 원료를 분쇄하는 것으로, 주로 경질 및 마모성이 높은 암석으로 부순모래를 생산할 때 주로 사용되나, 임팩트 크레샤를 사용한 경우보다 입형은 약간 떨어지지만, 산골재의 입도 개선을 위하여 많이 사용되고 있다.

2.2 부순모래

2.2.1 부순모래 생산 공정 및 설비

부순모래 생산 방식은 크게 건식(Dry type)과 습식(Wet type)으로 구분할 수 있다. 건식 생산 방식은 분쇄 공정에서 발생한 0.074mm 이하의 미립자를 공기 분급기로 제거하여 최종 제품을 얻는 방식으로, 시설 투자비가 적게 들고, 용수 확보가 필요 없어, 생산 공정 관리가 유리하다. 그러나 급광 산물 함유율에 따라 미립자 분급 효율이 변하고, 급광산물 함유율 또한 기후와 채석 조건 등에 따라 크게 변화하기 때문에, 함유율을 조절하기가 상당히 어렵다. 따라서 0.074mm 이하 미분 함유량을 7% 이하로 규정하고 있는, KS 규격의 품질조건을 만족하는 제품을 생산하기 어렵고, 현재 실제 조업을 기준으로, 건식 생산방식으로 생산한 제품은 0.074mm 이하 미분량 함유량이 10~12% 정도로 미분량의 미분율 함유하고 있다.

일본에서도, 분쇄 설비 제작사에서 건식 제사 방식에 대한 연구 및 보고가 발표되어 있고, 습식 방식이 건식에 비해 설비비와 운영비가 높음에도 불구하고, 製砂 품질면에서 우월하고, 제품 공급이 원활하여, 대부분의 부순모래 생산자들이 습식 생산 방식을 선호하고 있으며, 기존의 건식 설비를 갖고 있는 회사도 건식 처리한 부순모래를 재차 세척하여, 판매하고 있다. 그리고 건식 생산방식에 의해 생산된 모래는 미분량 조절이 어려워 도로용 및 아스콘용 원재료로 사용되어지고 있는 실정이다.

국내에서도 삼표산업(주)·쌍용양회에서 건식 생산 방식을 도입했으나, 거의 생산을 중단하고, 습식 생산 방식에 의해 부순모래를 생산하고 있으며, 현재 김해 연지 광석에서 원석을 건조기에서 건조시켜 함유율을 3% 미만으로 유지시킨 다음 급광하는 방식으로, 부순모래를 건식 생산 방식으로 생산하고 있으나, 경제성 및 생산성 관계는 더 검토할 필요가 있다.

2.2.2 습식 생산 공정 및 분쇄 설비

습식 생산 공정은 그림 1에 나타난 type의 생산 방식으로 대별할 수 있고, 이러한 생산 방식의 차이는 분쇄기의 기종에 따라 구분할 수 있다.

분쇄기는 표 1에서 보여주는 것 같이, 그 특성이

표 1 제사기 특징 비교

| 파쇄기 | | "A" Type | "B" Type | 비고 |
|--------------|-----------|-------------------------------------|--|----------|
| 항 목 | | Impact Crusher | Rod mill | |
| 분쇄 방식과 회로 방식 | | 습식 | 습식 | |
| 공급 입도 | | 10mm 이하 | 25mm 이하 | |
| 품 질 | 산물 입도 | 입도조정 기능에 의해 조립율 유지 (경암일 경우 불리) | 입도 조정 기능에 의해 조립율 유지 | |
| | 입형 | 입형이 좋다. | 질감이 Impact Crusher 에 비해 다소 떨어진다. (단, 경암에라는 반대) | |
| 입도조정기능 | | Cascade와 Rotor Speed 조정 | Rod 직경과 강입량 | |
| 암석물성 적용성 | Soft | ● | | ●: 매우 좋다 |
| | Medium | ○ | • | ○: 좋다 |
| | Hard | • | ○ | •: 보통 |
| | Very Hard | | ● | |
| 생 산 성 | | 설비규모 대비 제사 능력이 뛰어나다 | 제사능력 대비 설비규모가 크다 | |
| 경 제 성 | | 타설비에 비해 초기 투자비가 낮고 소비 전력도 낮아 경제적이다. | 초기 투자비가 높고, 소비 전력 또한 높아 운전비가 높다 | |
| 유지관리 난이도 | | 소모품의 교환은 간단하다. 교환주기가 빠르다. | 소모품의 교환 주기는 가나, 설비가 크므로 교환, 보충이 어렵다 | |
| 기 조 구 조 | | 간단하다. | 크고 복잡하다 | |

일반화되어 있기 때문에, 분쇄설비 선정 기준은 결국, 대상 암석의 물성에 의해 결정되고, 일반적인 경우 골재의 마모감량 값만으로도 어느 정도의 설비 선택은 가능하다. 지금까지 본사에서 실행한 콘크리트 실험 결과, 부순모래의 입도와 입형에 따라 콘크리트의 작업성 및 경화 콘크리트에 크게 영향을 미치는

것으로 나타났으며, 그 품질은 입형 판정 실적율은 56% 이상, 입도는 조립율이 2.65~2.75 사이로, 정 입도 곡선에 가까운 부순모래를 사용하여 콘크리트를 제작하였을 때, 콘크리트의 품질 특성이 개선되었다. 따라서 부순모래는 입형의 개선 및 입도 조정을 통하여 양질의 제품을 생산하여야 한다.

이러한 양질의 제품을 생산하기 위해서는 2.5~1.25mm 사이의 입자 형상을 특히 개선해 주어야 하는데, 이를 위해서는 3.0mm 이상의 over size 입자의 분쇄를 어떤 설비로 해주어야 하는지가 관건이고, 설비 선정의 결과는 곧바로, 생산 현장의 생산성 원가와 직결되므로, 암석의 물성에 적합하고 양호한 품질의 부순모래를 생산할 수 있는 설비를 결정하는 것이 생산공정의 효율성 및 부순모래의 품질을 높일 수 있는 주된 인자가 된다.

예를 들면, 우리나라 화강암은 대부분 마모감량이 20% 이상으로, impact crusher를 적용할 수 있으나, 규석, 안산암처럼 경도가 높고, 치밀한 조직을 갖는 암석에 대해서는 rod mill을 채택하는 것이 좋다.

3. 설비검토시 고려할 사항

3.1 금광산물

생산하려고 하는 금광산물의 종류와 입도에 따라 최적의 분쇄기를 결정해야 한다. 일반적으로 암석조직이 조립인 화강암인 경우에는 impact crusher가 좋으며 규석과 같은 치밀한 조직을 갖는 암석에서 impact crusher와 rod mill을 동시에 사용하는 공정을 생각해 볼 수 있다.

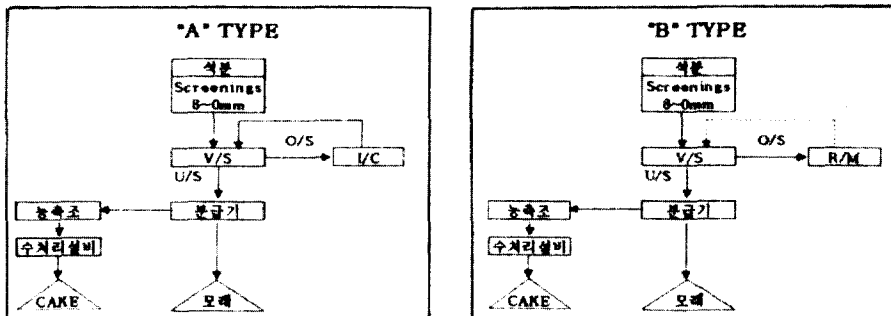


그림 1 생산 공정

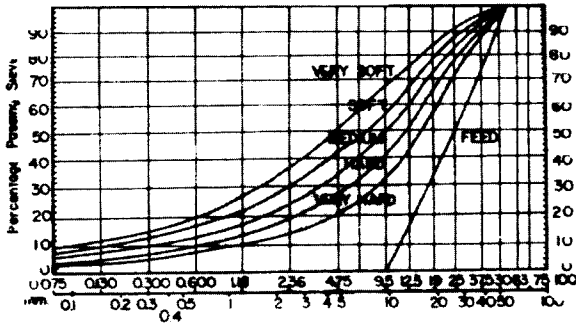


그림 2 Impact crusher

즉 그림 2에서와 같이 경질 암석인 규석을 impact crusher에 통과시키면 입도가 굵은 쪽으로 치우치고, 재투입량이 늘어나 입도조정 및 생산성이 떨어지게 된다. 따라서 입형 정형율은 다소 떨어져도 2.5mm 이하의 산물을 얻기 쉬운 rod mill을 보완하여 사용하면 좋을 것으로 생각된다.

3.2 진동 스크린 망목 크기 결정

모래의 조립을 및 입형관정실적을 조건을 만족하는 제품을 얻기 위해서는 사전에 생산하려고 하는 급광산물에 따라, 분쇄기(impact crusher or rod mill) 특성 곡선을 (그림 3) 충분히 검토하여, 스크린의 망목 크기를 결정하는 것이 중요하다.

일반적으로 화강암은 3~5mm 범위에서 스크린 망목의 크기를 결정하고 있다.

3.3 분급기 결정

시판되고 있는 분급기는 여러 종류가 있으나, 분급

표 2 분급기 종류별 처리수량과 분급점

| 구 분 | 생산량 (T/H) | 순환수량(m ³ /hr) | | | | 상·단점 | 비 고 |
|---------------------|-----------|--------------------------|----------|----------|----------|---|-----|
| | | 분 급 점 | | | | | |
| | | 250 mesh | 300 mesh | 150 mesh | 100 mesh | | |
| Fine Classifier | 180 | | 320 | 430 | 700 | - 설비가 간편, 보수용이, 운전비 저렴 - 처리용량이 작다 | |
| Cyclone (sand Unit) | 200 | 400 | | | | - 처리 용량이 작다 - 분급능력이 우수하다 - 고장시 보수비용이 미약하다 | |

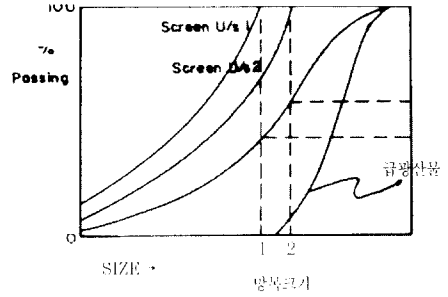


그림 3 망목 크기 결정

기를 결정하기 위해 고려해야 할 점은 첫째, 분급 효율이 우수해야 하며, 둘째는 운전경비가 저렴한 기계를 선정해야 한다. 분급효율이 저하되면 부순모래의 조립율 및 입도를 맞추기 위해 앞 공정의 진동 스크린의 망목 크기를 줄여, 재투입되는 양을 증가시켜야 되므로, 전체적인 생산 능력이 떨어지고 슬러지 발생량이 많아진다.

분급기 종류별 분급점과 처리수량과의 관계와 생산능력을 표 2에 나타내었다.

3.4 부순모래의 최적 품질 확보에 따른 process balance 검토

부순모래의 생산량과 품질을 만족하는 최적의 입도분포를 얻기 위해서는 우선, 투입물(석분)의 물성과 입도분포가 어떤 특성을 갖고 있는지 파악한 뒤 진동 스크린의 망목을 결정하여야 한다.

설비의 process balance 검토는 모래의 입형 정

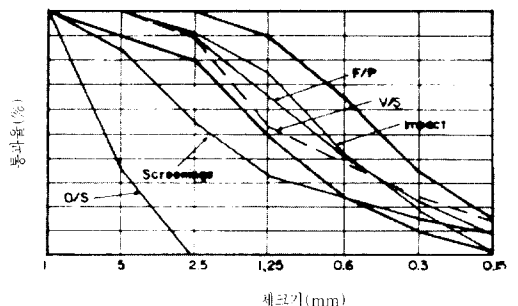


그림 4 Process balance에 따른 최적 입도분포

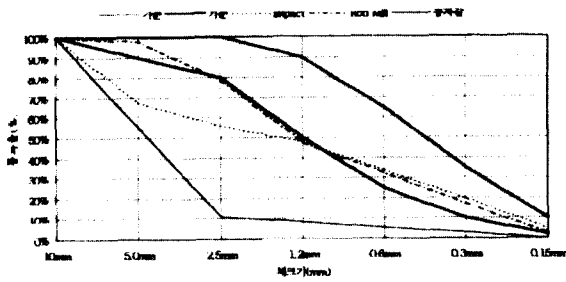


그림 5 "D"석산 impact crusher 와 rod mill의 입도조정

형을 위해 재투입되는 양과 투입분중 over size 양을 충분히 고려하여, 진동스크린의 면적과 관련 운반설비인 belt conveyor 용량을 결정해야 한다.

특히 입형 정형 설비가 impact crusher일 경우에는 그림 4와 같은 입도분포를 갖는 제품을 생산하기 위해서는 impact crusher 통과량, 즉 투입밀도가 대단히 중요하다. 그 이유는 impact crusher의 crushing chamber내에서 형성된 dead stock과 투입물간의 i)impacting, ii)cleavage, iii)attrition, iv)abrasion 효과를 극대화하기 위한 것으로서, 관련 설비의 사양 결정에 특히 주의해야 한다.

최적의 설비 선정은 부순모래 생산 설비에서 발생하는 석분(Screenings, 8mm~0)을 사용하였을 때, 2.5mm 이하의 산물을 많이 제조하고, 입형을 개선할 수 있는 설비를 선택하는 것이 최적이다.

그러나 비중이 높고 치밀한 암석일 경우에는 입형은 개선할 수 있다 하더라도, 입도 조정이 어렵고, 충전 밀도가 떨어져 품질 뿐만 아니라, 생산성 또한 저하되어 경제성이 떨어진다. 이런 경우에는 입형 개선보다는 우선, 입도조정을 최우선 품질 목표로 삼고, 분쇄기를 선택해야 한다.

그동안 국내업계의 사용 실태 및 각 암종별로 pilot 시험을 하여, 입도조정 및 입형개선 설비로서 로드밀의 적합성을 분석한 결과, 경질의 암석일 경우 입도 조정 능력이 좋고, 입형 또한 개선되는 것으로 나타났다.

마모감량이 17% 정도이고, 비중이 2.64인 "D"석산의 석분을 사용하여, 임팩터 크래셔와 로드밀에서 부순모래를 제조하여, 입도조정한 예(그림 5)를 참조하면, 로드밀의 분쇄 효율이 상당히 높음에도 불구하고, 미분발생량은 큰 차이가 없었다. 그러나 소요 동

력이 다소 높아 운전비에 따른 경제적인 면을 재고할 필요가 있으나, 큰 문제는 없을 것으로 생각된다.

3.5 수처리 설비

습식 방식으로 부순모래를 생산할 때 발생하는 폐수는 생산량의 증가와 입도 조정을 위한 분급점의 위치에 따라 그 발생량이 변하고, 이 폐수는 환경 보호 차원 뿐만 아니라, 부순모래를 세척하는데 필요한 용수의 양에도 문제가 된다. 따라서 폐수를 정제하여, 폐수중의 미분을 제거하고, 정제된 물은 다시 부순모래를 세척하는 용수로 재활용하여야만 한다. 이처럼 폐수를 재활용하기 위해서는 수처리 설비가 필수적으로 설치되어야 하고, 그 용량 또한 충분하여야 한다.

수처리 설비 용량은, 부순모래 생산량에 따른 미분량(0.07mm 이하)을 마모감량 실험 등을 통하여, 면밀하게 검토하여, 분급점에 따른 순환수량과의 관계로부터 폐수 발생량을 산출한다. 수처리 설비용량은 폐수처리 산출양에 대하여 20% 정도의 여유를 두고 용량을 결정하여야 한다.

일반적으로 제사 과정에서 발생하는 미분량은 원 투입량의 약 10~12% 정도이나, 암석 결정립이 굵은 화강암에서는 보통 15% 정도의 미분이 발생된다.

분급기의 분급점과 投入原水와의 관계에서, 순환수량을 적절하게 조절하는 것이 중요하다. 순환수량을 적절하게 조절해 주어야만, 부순모래 품질을 향상시킬 수 있고, 수처리 설비 효율 및 폐수 재활용율을 높일 수 있다.

분급점 이상으로 순환수량을 증가시키면, 부순모래의 미분량과 폐수량이 증가하고, 순환수량이 감소하면, 미분함유량과 폐수량은 감소하지만, 슬러지 발생량은 증가한다. 따라서 부순 모래의 품질과 슬러지 발생량 사이에서 최적 분급점을 찾아, 슬러지 발생량을 최대한 줄일 수 있도록, 순환수량을 조절하여야 한다.

4. 콘크리트용 부순골재 품질

4.1 입도 · 조립율

천연산 콘크리트용 굵은 골재는 고갈된 상태로 수도권 지역의 경우 그 사용량의 90% 이상을 산림골재

즉, 부순자갈에 의해 충족되고 있다.

그리고 잔골재의 경우에서도, 강모래가 고갈되어 양질의 강모래를 구입하기는 거의 불가능한 실정이다. 그에 따라 수도권 지역에서 채취하는 자연산 모래의 입도는 산지에 따라 천차만별이고, 그 품질도 떨어진다.

그러나 부순모래의 경우, 제조설비 조건과 설비 성능이 변하지 않는 한, 거의 균일한 품질의 제품을 생산할 수 있으며, 암질에 따라 제조설비 조건은 변한다 하여도, 전국적으로 거의 동등한 입도를 갖는 제품을 생산할 수도 있다.

부순자갈의 입도분포 및 조립율은 KS F 2527에, 부순모래의 입도분포 및 조립율은 KS F 2558과 KS F 2526에 각각 규정되어 있고, 이 조건을 만족시키는 품질의 제품이면 콘크리트의 특성에 큰 문제가 되지 않으나, 가급적 입도 규정 범위의 중심을 지나는 입도 분포 곡선을 갖는 입자로 제작하는 것이 바람직하다. 부순모래의 경우, 입도분포선이 KS규정의 중앙부를 지나는 정입도(5mm 잔류량은 제외)곡선에서 일부 영역의 입도가 기준 내에서 많아지거나 작아져도, 조립율의 변화는 크지 않다. 그리고 분사에서 행한 부순모래 모르타르 유동성 시험결과, 조립율의 변화는 크지 않다. 그리고 분사에서 행한 부순모래 모르타르 유동성 시험결과, 부순모래의 조립율이 2.2 ~ 2.9 사이에 있으면, 모르타르의 유동성과 동일 유동성을 얻는 데 필요한 W/C비는 거의 유사하였다. 따라서 정입도곡선을 기준(조립율 2.7)으로 2.6 ~ 2.8 정도의 조립율을 갖는 부순모래를 생산하도록 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

그리고 0.15 ~ 0.3mm 세립분이 많으면 모르타르 점성 증가로 인하여 컨시스턴시가 작아지고, 적으면 블리딩이 증가한다. 그리고 1.2 ~ 0.15mm 의 세립분의 양을 적절하게 조절하면, 콘크리트의 재료분리를 줄일 수 있다. 따라서 미경화 콘크리트의可操作性에 큰 영향을 미치는, 부순모래의 0.15mm ~ 1.2mm 세립분 양을 적절하게 조정하는 것이 바람직하다.

4.2 입형

부순자갈과 부순모래는 천연산 자갈과 하천사나 해사에 비하여, 모가 나있고 표면의 요철이 커, 콘크

리트의 작업성이 떨어지고, 필요한 소정의 작업성을 얻기 위해서는 단위수량을 증가시켜야만 한다. 따라서 부순골재를 사용하여 최소한의 단위수량 증가만으로 필요로 하는 콘크리트의 작업성을 확보하기 위해서는 부순골재의 입형을 개선할 필요가 있다.

골재는 입형이 둥글수록 골재간의 마찰 현상 및架橋 현상이 작아져, 동일 입도 조건에서 콘크리트의 유동성 증진과 충전성을 개선할 수 있으므로, 골재의 입형은 가능한 둥글거나, 정육면체에 가까운 것이 좋다. 따라서, 부순자갈 및 부순모래의 입형 또한 가능한 둥글게 제작하는 것이 좋다.

부순자갈 및 모래의 입형에 대해서는 KS F 2527과 KS F 2558에 규정되어 있으며, 부순자갈은 입형 판정실적율이 55%, 부순모래는 53% 이상이 되어야 하는 것으로 규정되어 있으나, 부순모래의 경우 KS에 규정된 방법으로는 부순모래의 입형을 나타내는데는 무리가 있으며, 입형을 나타낼 수 있는 새로운 방법이 제시되어야 할 필요성이 있다.

부순자갈 및 부순모래의 입형은 투입 원석의 물성 즉, 비중, 강도 등과 밀접한 관계가 있으나, 제조 설비에 따라 개선할 수 있는 요인이 더욱 강하다. 즉 어떤 설비를 사용하여 제조하느냐에 따라, 동일 물성의 원석으로도 입형이 개선된 제품을 생산할 수 있다. 콘크레샤를 사용하여 부순모래를 제조할 경우, 골재는 전단력에 의해 분쇄되기 때문에 각이 지고, 길쭉한 형상을 갖기 쉽다.

부순자갈의 경우, 콘크레샤로 분쇄한 제품을 임팩트 크레샤로 입형을 개선하여 생산하면, 각진 부분이 제거되어, 둥근 형태로 입형이 개선된 부순자갈을 얻을 수 있다. 부순모래는 충격에 의한 분쇄작용과 마멸작용으로 원료를 분쇄하는 로드밀이나 임팩트 크레샤를 사용하여, 입형이 개선된 부순모래를 생산할

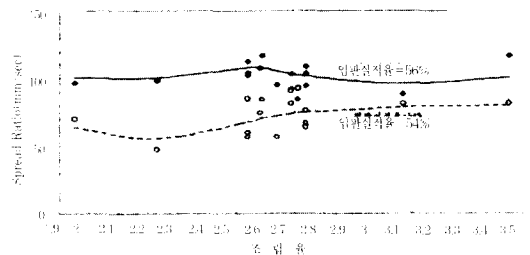


그림 6 부순모래 모르타르 유동성

수 있다.

그림 6은 조립율 변화에 따른 부순모래를 사용한 모르타르의 유동성을 입관실험이 다른 부순모래를 비교하여 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 것 처럼, 조립율의 차이에 따른 유동성 변화 추이는 특별히 구별할 수 없었지만, 입형 판정 실험이 크면 모르타르의 유동성이 증가함을 알 수 있었다.

4.3 미분량

부순모래에서 미분은 천연사의 토분과는 달리 유해하지 않고, 오히려 미분말 효과에 의해 시멘트의 수화 속도를 증진 시키고, 콘크리트의 강도를 증가시킨다. 그러나 미분량이 많아지면 단위수량이 증가되어, 오히려 콘크리트 강도가 저하되는 원인이 된다. KS F 2558에서 콘크리트용 부순모래의 미분량(200번체 통과량)을 7% 이하로 규정하고 있다.

그러나 미분에 의한 영향을 제거하기 위하여 부순모래를 세척하여, 미분을 전혀 함유하지 않은 부순모래를 사용한 콘크리트는 입형의 粗惡함에 크게 영향을 받아, 다소 분리되는 경향이 있으나, 미분이 약 3~4%정도 포함되어 있으면 미경화 콘크리트의 작업성이 좋아진다. 그러나 미분량이 일정값 이상 증가하면, 미경화 콘크리트의 可塑性이 과다해지고, 이를 단위수량만으로 슬럼프를 조정하고자 하면, 많은 양의 수량을 필요로 한다.

균열발생에 대한 미분말의 혼입량은 부순모래의 압질과 생산 방법의 차이에 따라 다르고, 재령 24시간에서 균열 길이, 균열 폭은 미분말의 혼입량이 많아짐에 따라 커지는 경향이 있으나, 미분 함유량이 KS규정을 충족하는 부순모래를 사용하면, 초기에 발생하는 균열에 대한 특별한 문제는 없을 것으로 생각된다.

부순모래의 미분량이 규정된 범위를 넘지 않기 위해서는 세척 설비와 분급기의 관리가 필수적이며, 가능하면 3~4%로 조정하는 것이 바람직하다. 이와 함께 부순자갈 생산시에 부순자갈을 세척하여 생산할 경우, 부순자갈에 의해 혼입되는 미분을 억제할 수 있어, 콘크리트 제작시에 미분함량에 따른 콘크리트 품질을 조정하기가 용이할 것으로 생각된다.

4.4 부순자갈 및 부순모래 품질

부순모래는 공장에서 생산되는 제품으로, 천연적으로 산출되는 골재와는 달리 균등한 제품을 생산할 수 있으며, 품질 또한 생산 설비 개선과 설비관리를 통하여, 천연산 골재의 품질에 비급가는 제품을 생산할 수 있다. 이처럼 잘 관리된 소정의 특성을 만족하는 품질의 제품을 사용하면, 콘크리트 제품 품질의 균일성을 기할 수 있을 것으로 생각된다.

부순자갈의 품질은 KS규정상 품질 조건을 충족하면 콘크리트 제품에 아무 문제가 없으나, 골재의 각을 제거하여 가능한 동글게 생산하면, 콘크리트 품질을 향상할 수 있을 것으로 생각된다. 이와 함께 현재 주로 사용되는 25mm 골재보다는 20mm 골재를 사용하면 철근과의 부착력을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 충전성 또한 향상되어 구조물의 안정성 및 내구성을 향상 시키는 효과가 있을 것으로 생각된다.

부순모래 품질은 KS규정상에서 비중이 2.5이상, 흡수율 3% 이하, 조립율 2.3~3.1, 입형판정 실험을 53% 이상, 씻기손실율 7% 이하, 입도는 KS F 2558의 입도 범위에 들어가면, 콘크리트용 골재로서의 조건을 충족한다. 그러나 보다 양질의 콘크리트를 만들기 위해서는, 일차적으로 양질의 골재가 공급되어야 하며, 이를 위해 양질의 강모래를 사용하면 되지만, 수도권 및 대도시 일원에서 양질의 강모래를 사용하는 것은 거의 불가능한 실정이다.

따라서 이에 대한 대책의 하나로써, 조립의 부순모

표 3 부순모래 품질 규격

| 시 험 항 목 | 시 험 규 격 | 품 질 규 격 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|-----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----------|-----|-----|-----|----|----|----|----|--|
| (1) 입 도 | KS F 2502 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <tr> <td>개의 조립사(%)</td> <td>10</td> <td>5</td> <td>2.5</td> <td>2.5</td> <td>0.6</td> <td>0.3</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>계급 통과량(%)</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>90</td> <td>50</td> <td>65</td> <td>25</td> </tr> </table> | 개의 조립사(%) | 10 | 5 | 2.5 | 2.5 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 계급 통과량(%) | 100 | 100 | 100 | 90 | 50 | 65 | 25 | |
| 개의 조립사(%) | 10 | 5 | 2.5 | 2.5 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | | | | | | | | | | | |
| 계급 통과량(%) | 100 | 100 | 100 | 90 | 50 | 65 | 25 | | | | | | | | | | | |
| | *인입하는 체에 남은 양과의 차이 : 45% 이하 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (2) 조 립 율 | KS F 2502 | 2.3 ~ 3.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (3) 철 질 비 중 | KS F 2504 | 2.5 이상 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (4) 흡 수 율 (%) | KS F 2504 | 3.0 이하 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (5) 입형판정실험(%) | KS F 2505 | 53 이상 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (6) No.200체통과량(%) | KS F 2511 | 5.0 이하 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (7) 유 기 불 순 분 | KS F 2510 | 합 격 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (8) 안 정 성 (%) | KS F 2507 | 10 이하 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (9) 알가리 골재 반응성 | KS F 2545 | 무해 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | KS F 2546 KS F 2825 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

래와 미립의 강모래를 혼합한 혼합사를 사용하는 방법이 있으나, 부순모래와 강모래를 혼합하여 사용하기 위해서는 별도의 설비가 필요하고, 부순모래를 단독으로 사용하기 위해서는 양질의 콘크리트를 제조할 수 있는 품질여건을 구비하여야 한다.

표 3은 본사와 대한주택공사 주택연구소와 공동 연구한 결과로부터 얻은 부순모래의 일반적 품질 지침(안)중 부순모래의 품질 규격을 나타낸 것이다. 이러한 기준을 충족하는 부순모래를 사용하여 콘크리트를 제작하면, 콘크리트로서 필요로 하는 품질 특성을 충분히 충족시킬 수 있을 것으로 생각된다.

그러나, 보다 양질의 콘크리트를 만들기 위해서는 부순모래의 품질이 비중 2.55 ~ 2.65, 흡수율 1.5% 이하, 정입도에 가까우면서 5mm체를 100% 통과하고, 2.5mm체 통과량이 90 ~ 95%, 조립율이 2.6 ~ 2.8인 입도 분포를 갖는 것, 입형판정실적을 55%이상, 씻기 손실율 3 ~ 5%인 것이 바람직하다.

5. 결 언

국내 골재 자원의 고갈로 양질의 강모래는 이미 고갈된 상태로, 양질의 자연산 콘크리트용 잔골재를 얻을 수 있는 방법은 해사를 채취하는 방법 이외에는 없는 실정이다. 그러나 해사가 갖고 있는 염분에 의한 콘크리트의 염해 문제와 어족 자원 및 해양 환경 보호 등의 각종 제반 문제로 해사를 채취하는데 어려움이 있고, 내륙 지역으로 해사를 운반하는데 따르는 수송상의 어려움 등이 있다. 따라서 해사만으로 잔골재의 수요를 충족시키기에는 어렵다. 또한 잔골재 수요를 충족시키기 위하여, 개답사로 불리우는 육사가 생산 유통되고 있으나, 육사에 포함된 다량의 토분을 세척하는 문제와 골재 내부의 2차상 즉, 규석 결정은

서로 결합시켜주는 장식질은 풍화되고 풍화에 강한 규석 결정만이 잔존하는 마사 성분이 다량 혼합되어 있을 경우, 발생할 수 있는 콘크리트 내구성 등에 영향을 미칠 가능성이 있다.

그리고 수도권 및 대도시의 콘크리트용 굵은골재는 그 사용량의 대부분을 산림골재인 부순자갈에 의해 그 수요가 충족되는 상황에서, 산림 골재의 개발은 필연적으로 계속될 수 밖에 없는 것이 현실이다. 굵은 골재로서 부순자갈을 사용할 수 밖에 없는 상황에서, 부순모래사용을 기피하는 것은 부순자갈을 사용하지 않겠다는 것과 같은 의미로, 부순자갈의 수요를 충족시키기 위해서도 그 부산물인 석분을 부순모래로 제조하여 사용되지 않으면 안될 상황이고, 입형에 의한 몇가지 잔존하는 문제점이 있으나, KS규정을 만족시켜도 콘크리트 품질에 문제될 것이 없으며, 현재 생산되고 있는 저급의 강모래를 사용하여 제작한 콘크리트보다 부순모래를 사용한 콘크리트의 품질이 오히려 우수하다.

그리고 부순모래 생산 업계에서도 꾸준한 기술개발 및 설비 개선으로 양질의 콘크리트용 부순모래를 생산하고 있으며, 자연사에 버금가는 제품의 부순모래를 만들고자 지속적으로 노력하고 있으며, 현재 그에 준하는 제품도 생산되고 있다. 그리고 부순모래 및 부순자갈은 공장에서 인위적으로 생산하므로, 균일한 품질을 유지·확보하는 것이 가능하고, 이로써 콘크리트 품질 특성을 균일하게 유지하는데 유리한 것으로 생각된다.

따라서 막연한 의혹만으로 부순모래의 사용을 기피하여서는 안될 것이며, 부순모래 생산자도 양질의 제품을 안정적으로 생산·공급하고, 사용자들에게 제품에 대한 신뢰감을 주도록, 지속적인 연구·개발 및 설비 개선을 통한 자구적인 노력을 하여야 할 것이다. 