

콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 파이넥스 슬래그의 물리적 특성에 관한 연구

A Study on Physical Properties of FINEX Slag to Utilize Fine Aggregate for Concrete

(Received November 26, 2012 / Revised December 13, 2012 / Accepted December 13, 2012)

최연왕^{1)*}, 오성록¹⁾, 최병걸¹⁾, 이훈하²⁾, 최 옥³⁾

¹⁾세명대학교 토목공학과, ²⁾포항산업과학연구원 에너지자원연구본부, ³⁾한국시설안전공단 재난예방팀

Yun-Wang Choi¹⁾, Sung-Rok Oh¹⁾, Byung-Keol Choi¹⁾, Hoon-Ha Lee²⁾, Wook Choi³⁾

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Je-Cheon, 390-711, Korea

²⁾Research Institute of Industrial Science & Technology, Po-Hang, 790-330, Korea

³⁾Korea Infrastructure Safety Corporation, Go-Yang, 411-758, Korea

Abstract

Recently, Development of substitution aggregate is urgently needed because aggregate shortage is continuing due to the exhaustion of natural aggregate and strict restrictions of environment in construction industry. Therefore, This paper was examined the fundamental properties for application of FINEX slag by finex process as fine aggregate for concrete. Through this study, we propose the practical method of FINEX slag as fine aggregate for concrete.

키워드 : 파이넥스 슬래그, 잔골재, 콘크리트, 산업 부산물, 물리적 물성

Keywords : FINEX Slag, Fine Aggregate, Concrete, Industrial By-products, Physical Property

1. 연구의 목적

건설산업은 60년대 이후 급속한 산업화 정책과 막대한 사회기반시설 확충 및 주택건설이 추진됨으로써 국가경제에서 건설산업이 차지하는 비중이 지속적으로 증가되어 왔다.¹⁾ 이러한 건설산업에서 콘크리트는 성형성 및 경제성이 우수한 구조재료이기 때문에 현재까지 그 수요가 증가하고 있는 실정이며, 콘크리트를 대체할 수 있는 구조재료가 개발되지 않는 이상 지속적인 수요급증이 예측된다. 그러나 콘크리트의 구성요소인 골재는 현재 부족현상이 지속되고 있으며, 향후 20년 이내에 천연골재가 고갈될 것으로 예측되고 있다.²⁾ 이에 따라 부순모래, 바다모래 및 수입모래 등이 대체하여 사용되고 있으나 이마저도 부존량이 한계 수준에 다다르고 있기 때문에 지속적인 수요가

예측되는 콘크리트용 골재의 원활한 공급을 위해서는 대체 골재 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

한편 국내에서는 철강업체의 철강 제조 기술 개발로 선철 제조시 기존 고로 공법과 함께 파이넥스 공법에 의하여 선철이 제조하고 있다. 일반적으로 알려진 고로슬래그는 고로 공법을 통하여 선철을 생산하는 경우에 발생하는 부산물이다. 그러나 고로공법의 경우 원료 및 연료로 사용되는 철광석 및 석탄이 천연상태에서 다양한 입경으로 이루어진 분광(粉鑛) 형태로 존재하기 때문에 일정한 입경으로 만드는 사전 가공처리가 이뤄지지 않는다면 서로 밀집하여 반응가스가 원활하게 통과하지 못하게 되어 용융상태를 만드는데 어려움이 따른다. 즉 고로 공법은 사전 가공처리 설비가 추가적으로 필요할 뿐만 아니라 처리과정에서의 환경오염물질 배출 등의 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제가 해결된 것이 파이넥스 공법이다. 파이넥스 공법은 기존 고로 공법과 다르게 분광 형태의 철광석 및 유

* Corresponding author

E-mail: crete77@semyung.ac.kr



Blast furnace process



Finex process

Fig. 1 Iron manufacturing process of domestic

연탄을 고체 덩어리로 만들어 주는 소결광 및 코크스 공정을 거치지 않고 선철 제조가 가능한 세계 최초의 선철 제조 공법을 말한다. Fig. 1은 각 공법의 개념도를 나타낸 것이다.

따라서 파이넥스 공법을 통하여 선철을 제조하는 경우에는 파이넥스 슬래그가 발생하게 된다. 파이넥스 슬래그는 현재 국내에서만 발생하는 슬래그로써 2007년 5월부터 현재까지 연간 약 90만톤이 발생되고 있으며, 친환경성 및 원가 절감 등의 이유로 파이넥스 공법의 해외 기술 수출 및 해외 공장 신설 등으로 인한 그 발생량은 급격히 증가할 것으로 예측된다. 그러나 현재 파이넥스 슬래그는 관련 연구 및 검토가 이루어지지 않았기 때문에 급격한 증가가 예상되는 파이넥스 슬래그의 안정적인 처리에 대한 재활용 방안이 새롭게 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 파이넥스 슬래그를 보다 고부가가치인 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 기초연구로써 파이넥스 슬래그의 물리적 특성을 평가하였으며, 콘크리트용 잔골재로써 활용방안을 제안하고자 한다.



Fig. 2 Image video microscopy

는 슬래그로 벌크상태에서 입수한 파이넥스 슬래그의 원석 (이하, FS로 약함)과 분쇄 가공처리한 파이넥스 슬래그 (이하, FS-M으로 약함)를 사용하였으며, 일반잔골재로써 낙동강산 강모래(이하, RS로 약함)를 사용하여 비교하였다. Table 1은 사용된 잔골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다. 또한 KS 규격에는 파이넥스 슬래그와 관련된 규격이 없기 때문에 각 실험에 따라 적합한 KS 규격에 준하여 검토를 수행하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 잔골재

실험에 사용된 파이넥스 슬래그는 국내 P사에서 발생되

2.2 실험방법

2.2.1 입형 및 표면조직

잔골재의 입형 및 표면조직은 2,400배까지 관찰이 가능한 산업용 화상 비디오 현미경(Model : EGVM 35B)을 사용하여 RS, FS 및 FS-M 잔골재의 입형 및 표면조직을 100배 확대하여 관찰하였다. Fig. 2는 사용된 화상 비디오 현

Table 1 Physical properties of aggregate

| Type | Density (g/cm) | Absorpt-ion (%) | Fineness modulus (F.M.) | Unit mass (kg/L) | Solid volume percentage (%) | Passing content of 0.08 mm(%) |
|------|----------------|-----------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| RS | 2.59 | 1.56 | 2.70 | 1.67 | 65.27 | 2.43 |
| FS | 2.69 | 0.32 | 3.12 | 1.42 | 52.94 | 0.54 |
| FS-M | 2.73 | 0.29 | 2.45 | 1.61 | 60.04 | 1.56 |

Table 2 Standard grading of aggregate (KS F 2544)

| Type (mm) | Nominal size of sieve | | | | | | |
|--------------|-------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| | Percentage of Passing mass(%) | | | | | | |
| | 10mm | 5mm | 2.5mm | 1.2mm | 0.6mm | 0.3mm | 0.15mm |
| 5.0 | 100 | 90~100 | 80~100 | 50~90 | 25~65 | 10~35 | 2~15 |
| 2.5 | 100 | 95~100 | 85~100 | 60~95 | 30~70 | 10~45 | 5~20 |
| 1.2 | - | 100 | 95~100 | 80~100 | 35~80 | 15~50 | 2~20 |
| 5-0.3 | 100 | 95~100 | 65~100 | 10~70 | 0~40 | 0~15 | 0~10 |

Table 3 Standard grading of blended aggregate (JIS A 5011)

| Type | Nominal size of sieve | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | Percentage of Passing mass(%) | | | | | | |
| | 10mm | 5mm | 2.5mm | 1.2mm | 0.6mm | 0.3mm | 0.15mm |
| blended aggregate | 100 | 90~100 | 80~100 | 50~90 | 25~65 | 10~35 | 2~10 |

미경을 나타낸 것이다.

2.2.2 입도 및 조립률

잔골재의 입도 및 조립률은 KS F 2502 “골재의 체가름 시험방법”에 준하여 수행하였으며, 잔골재의 표준입도 및 조립률 평가는 KS F 2544 “콘크리트용 고로슬래그 골재”에 준하여 실시하였다. Table 2는 KS F 2544 에서 제시된 잔골재의 표준입도 범위를 나타낸 것이며, Table 3은 혼합 잔골재의 경우 국내 규격에 제정되어 있지 않기 때문에 일본산업규격 JIS A 5011 “콘크리트용 슬래그 골재”에서 제시된 슬래그 잔골재의 표준입도 범위를 나타낸 것이다.

2.2.3 밀도 및 흡수율

잔골재의 절대건조상태의 밀도와 흡수율은 KS F 2504 “잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법”에 준하였으며, 20회 반복실험을 실시하여 신뢰성을 확보하였다.

2.2.4 0.08mm 체 통과량

잔골재는 잔골재의 0.08mm 체 통과량 시험은 KS F 2511 “골재에 포함된 잔입자(0.08mm 체를 통과하는)시험방법”에 준하였으며, 20회 반복실험을 실시하였다.

2.2.5 단위용적질량 및 실적률

잔골재의 단위용적질량 및 실적률 시험은 KS F 2505 “골재의 단위용적질량 및 실적률 시험 방법”에 준하였으며, 20회 반복실험을 실시하였다.

2.2.6 유기 불순물

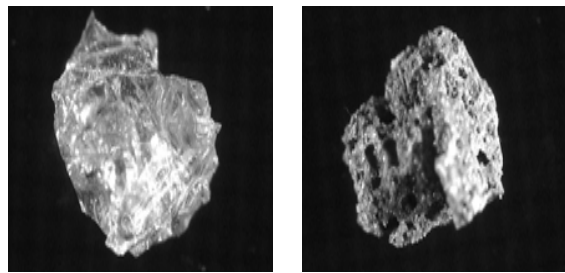
잔골재의 유기 불순물 시험은 KS F 2510 “콘크리트용 모래에 포함되어 있는 유기 불순물 시험 방법”에 준하여 실험을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

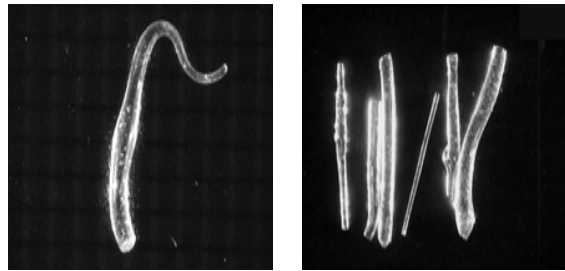
3.1 입형 및 표면조직

Fig. 3은 FS 및 FS-M의 입형 및 표면조직을 화상 비디오 현미경을 사용하여 확대 관찰한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3 (a)의 결과 FS의 입형은 요철이 많고 각이진 형태이며, 표면조직은 기공을 포함하는 경우가 있어 치밀하지 못하지만 대부분 매끄러운 상태로 되어있음을 알 수 있다. 일반적으로 입형이 모가 진 경우 둥근 형태보다 전단저항이 커지는 특징이 있으므로³⁾ 급경사면이나 연약지반의 개량 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

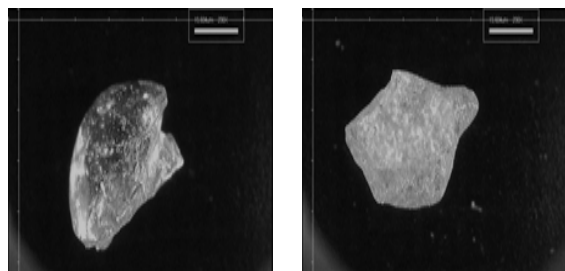
Fig. 3 (b)와 같은 침상형 비결정 유리는 FS의 경우 약 0.7% 포함하는 것으로 나타났으나 FS제조시 급냉 처리하였기 때문에 발생된 것으로 판단되며, 이러한 침상형 비결정 유리가 골재의 많은 부분에서 포함하는 경우 콘크리트의 작업성 및 사용성을 저하시키고 유동성, 역학 및 내구적 특성에 불리한 조건이 될 수 있으므로 제거공정이 필요할 것으로 판단된다.



(a) FS



(b) Acicular amorphous glass



(c) FS-M

Fig. 3 Particle shape and Surface texture

Fig. 3 (c)의 결과 FS-M은 FS보다 각진 부분 및 요철이 상당부분 제거되었으며, 침상형 비결정질 유리의 경우 약 0.1% 미만으로 육안관찰로써 찾아보기 어려운 것으로 나타났다.

3.2 입도 및 조립률

Table 5는 RS, FS 및 FS-M의 체가름 실험결과 및 조립

Table 5 Result of sieve analysis test

| Type | Passing mass percentage (wt.%) | | | | | | | F.M. |
|------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| | 10mm | 5.0mm | 2.5mm | 1.2mm | 0.6mm | 0.3mm | 0.15mm | |
| RS | 100.0 | 98.2 | 94.9 | 73.6 | 51.36 | 19 | 2.73 | 2.60 |
| FS | 100.0 | 99.7 | 93.1 | 64.0 | 22.9 | 4.8 | 1.2 | 3.12 |
| FS-M | 100.0 | 100.0 | 99.8 | 89.6 | 45.0 | 15.4 | 4.42 | 2.45 |

률을 나타낸 것이다. Table 5의 결과 RS, FS 및 FS-M의 조립률은 2.60, 3.12 및 2.45로 나타났다. FS의 조립률은 RS와 비교하여 0.6mm 이상의 큰 입자가 많아 약 20% 큰 경향이 나타났으며, 일반적인 잔골재의 조립률 범위에서 다소 큰 편에 만족하는 것으로 나타났다. 일반적으로 조립률이 큰 경우는 미립분 또는 잔입자보다 굵은 입자를 대체적으로 많이 포함한 경우이므로 조립률의 영향을 고려할 때 FS를 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 RS를 사용한 경우와 비교하여 유동성 및 작업성 등이 증가할 것으로 예측되며, 소요 유동성을 확보하는데 있어서 단위수량 감소 및 혼화제 사용량이 감소 할 것으로 예측된다.

한편 FS-M의 경우 분쇄 가공처리를 하였기 때문에 큰 입자들이 Fig 3 (c)와 같이 감소하여 조립률이 작아진 것으로 판단된다. 또한 FS-M의 입도분포의 경우 FS와 비교하여 크고 작은 입자가 고르게 분포된 좋은 입도가 된 것으로 판단된다.

Fig. 4는 RS, FS 및 FS-M의 입도분포곡선을 나타낸 것이다. FS의 경우 1.2mm 이하의 입자가 RS와 비교하여 적은 것으로 나타났으며, FS-M의 경우 2.5mm 이상의 입자가 감소하고 1.2mm 이상의 입자가 증가한 것으로 나타났다. 이에따라 FS 및 FS-M을 콘크리트용 잔골재로 활용하고자 하는 경우 단독 사용이 가능한 것으로 판단되지만 RS와 같은 강모래 또는 기타 골재 등과 혼합하여 입도를 개선한다면 콘크리트의 유동성 및 작업성 개선에 효과적일 것으로 판단된다.

또한 FS-M의 경우 미립분량이 상당히 증가하였으므로 고로슬래그 미분말과 같은 잠채수경성에 의한 강도 증진 효과를 기대해 볼 수 있을 것으로 예측된다.⁴⁾

Fig. 5 및 Fig. 6은 FS 및 FS-M의 각 입도분포가 해당하는 표준입도곡선의 종류를 나타낸 것이다. KS F 2544에서는 총 4가지로 구분하고 있으며, FS 입도분포는 5-0.3mm 범위에 만족하는 것으로, FS-M 입도분포는 2.5mm 또는 1.2mm 범위에 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 FS를 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 조립률이 크고 미립분 및 작은 입자량이 적은 경향이 있기 때문에

치밀한 콘크리트를 제조하고 안정적인 품질을 확보하는데 있어 다소 불리한 조건이 될 수 있으므로 KS 기준범위에 만족하지만 표준범위 내에서 FS-M과 같이 크고 작은 입자의 고른 분포로 가공처리 및 입도조정을 실시하거나 Table 3과 같이 입도 조절이 가능한 다른 잔골재를 혼합하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

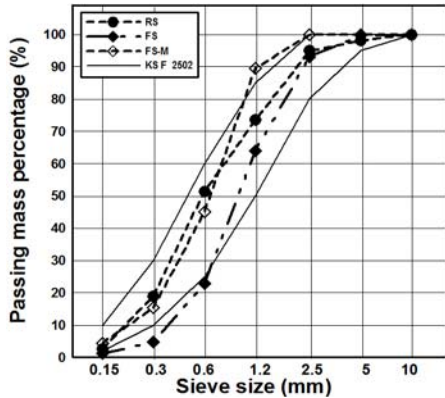


Fig. 4 Grading of aggregate

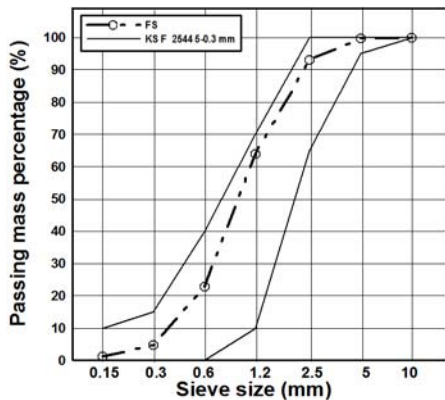


Fig. 5 Grading of FS

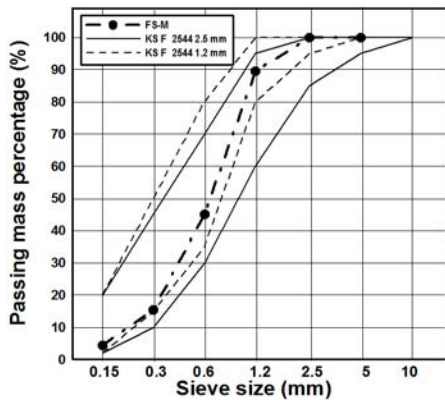


Fig. 6 Grading of FS-M

3.3 밀도 및 흡수율

Fig. 7은 RS, FS 및 FS-M의 절건밀도를 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과 RS, FS 및 FS-M의 절건밀도는 2.59, 2.69 및 2.73g/cm³ 으로 나타났다. FS의 밀도는 RS와 비교하여 약 6.0% 큰 것으로 나타났으나 이러한 결과는 FS 자체가 선철 제조시 발생하는 용융슬래그를 급냉하여 제조된 것이기 때문에 철성분이 분리되는 과정에서 일부 철성분이 포함되었을 가능성이 있으며, Fig. 3 (a)와 같이 입형이 모가나고 요철이 많지만 RS와 비교하여 내부조직이 보다 치밀하고 골재자체의 강도가 크기 때문에 콘크리트의 강도증진 효과가 있을 것으로 판단된다. 그러나 큰 밀도로 인하여 RS와 동일한 조건배합에서 사용하는 경우 밀도차이에 의한 재료분리 및 블리딩 증가 등의 영향이 있을 것으로 예측된다. FS-M의 경우 FS와 비교하여 약 1.5% 증가하는 것으로 나타났으나 이러한 결과는 Fig. 3 (c)의 결과와 같이 분쇄 가공처리로 인하여동일한 질량일 경우 부피가 감소하였기 때문에 밀도가 증가하는 것으로 판단된다. 일반적으로 잔골재 밀도가 클수록 내부가 치밀하고 흡수량이 낮으며 내구성이 커지는 경향이 있기 때문에 콘크리트 단위용적질량의 증가가 요구되는 구조물 또는 내구성이 요구되는 구조물에 FS 또는 FS-M을 단독 또는 RS와 같은 일반 잔골재 등과 혼합하여 사용하는 경우 단위용적질량 증가 및 내구성 증진효과가 있을 것으로 판단된다. 또한 FS 및 FS-M은 KS F 2544에서 규정한 2.50g/cm³ 이상을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 RS, FS 및 FS-M의 흡수율을 나타낸 것이다. Fig. 8의 결과 RS, FS 및 FS-M의 흡수율은 1.56, 0.32 및 0.29%로 나타났다. FS의 흡수율은 평균 흡수율 값을 나타낸 것이지만 편차가 RS 및 FS-M과 비교하여 큰 경향이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 FS의 경우 3.1절 및 3.2 절의 결과와 같이 입자표면에 공극, 요철 및 유리표면이 불규칙적으로 존재하며, 침상형 비결정질 유리를 일부 포함하고 있으므로 흡수율 시험을 위한 표면건조포화상태를 만드는데 있어 채취한 시료내 내부 흡수량이 변화하고, 요철 및 공극 등에 갇혀 있던 수량이 더해짐과 동시에 불투수성인 유리의 포함여부에 따라 변동이 심하게 나타난 것으로 판단된다. FS-M의 경우 흡수율 변동이 적은 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 3.3절의 밀도가 증가되는 원인에 기인하여 분쇄 가공처리 과정에서 조립물이 작아짐과 동시에 표면 요철의 감소 및 침상형 비결정 유리가 같이 파괴되었기 때문인 것으로 판단된다. FS-M의 흡수율은 FS와 동일한 수준으로 나타났으며 RS와 비교하여 약 20%

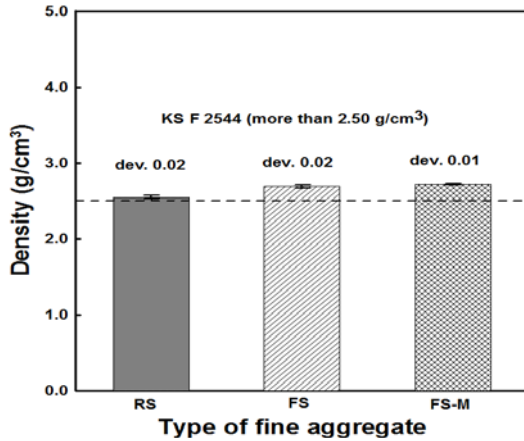


Fig. 7 Result of density test

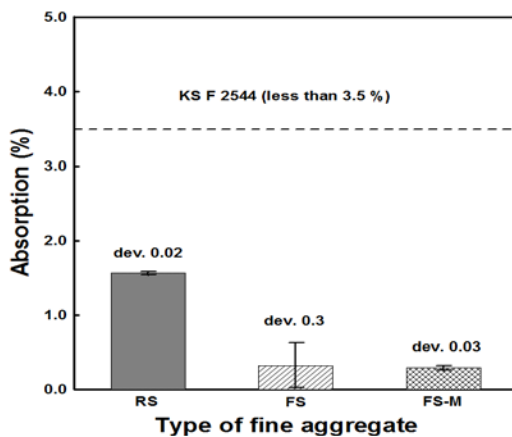


Fig. 8 Result of Absorption test

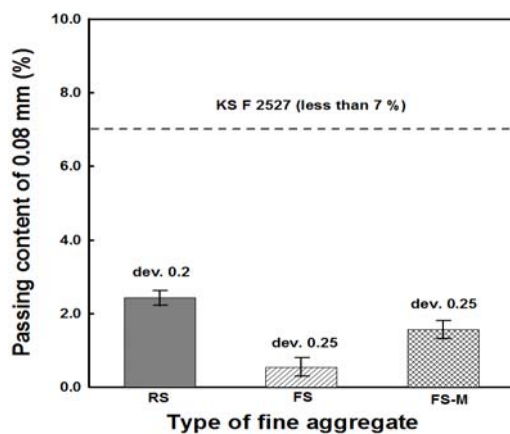


Fig. 9 Result of passing content of 0.08 mm test

작아지는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 FS 및 FS-M 자체가 용융슬래그를 급냉시켜 제조된 것이기 때문에 표면 조직이 유리질로 매끄럽고 보수성이 떨어져 흡수율이 낮아진 것으로 판단된다. 또한 FS 및 FS-M의 흡수율은 KS

F 2544에서 규정한 흡수율 상한값 3.5% 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 FS를 콘크리트용 잔골재로 사용하는 경우 흡수율에 따른 소요 단위수량 산정시 품질변동이 예상되므로 충분한 시험을 통하는 등의 주의가 필요할 것으로 판단되며, FS-M과 같이 가공처리를 하여 사용하는 경우에는 RS보다 소요 단위수량 감소, 유동성 향상 등의 효과가 다소 있을 것으로 예측된다.

3.4 0.08mm 체 통과량

Fig. 9는 RS, FS 및 FS-M의 0.08mm 체 통과량을 나타낸 것이다. Fig. 9의 결과 RS, FS 및 FS-M의 0.08mm 체 통과량은 2.43, 0.54 및 1.56%로 나타났다. FS의 0.08mm 체 통과량은 RS와 비교하여 약 65% 적은 경향이 나타났으며, 이러한 결과는 3.2절의 결과와 같이 FS는 입도가 좋지 않고 조립률이 크며 0.15mm 이하의 미립분은 거의 없는 것으로 나타났기 때문인 것으로 판단된다. FS-M의 경우 FS와 비교하여 0.08mm 통과량이 약 15% 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 FS-M의 경우 분쇄가공 처리하였기 때문에 Table 5 및 Fig. 5의 결과와 같이 0.3mm 이하 또는 0.15mm 이하의 미립분이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 FS 및 FS-M의 0.08mm 통과량은 모두 KS F 2544 “콘크리트용 고로 슬래그 골재”에서 규정되어 있지 않지만 KS F 2527 “콘크리트용 부순 골재”에서 규정한 7% 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 FS를 콘크리트용 잔골재로 사용하는 경우 FS가 큰 조립률과 거의 단일 입자로 구성된 입도 분포를 가지고 있기 때문에 RS와 비교하여 밀실하게 채우는데 있어 다소 어려움이 따를 수도 있으며, 이에 따른 내부 공극 또는 갇힌공기가 증가될 것으로 예측된다. 또한 FS-M의 경우 RS 및 FS와 비교하여 미립분을 더 많이 포함하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 0.3mm 또는 0.15mm 체를 통과하는 총량에 의하여 공기량이 변화하고 연행공기를 포함하는 것으로 알려져 있기 때문에⁵⁾ FS-M을 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 공기량뿐만 아니라 슬럼프, 건조수축 등의 품질변화가 발생할 가능성이 있으며, AE제가 요구되는 콘크리트 배합의 경우 소요 AE제 사용량은 RS보다 감소하는 경향이 있을 것으로 예측된다.

3.5 단위용적질량 및 실적률

Fig. 10은 RS, FS 및 FS-M의 단위용적질량 시험결과를 나타낸 것이다. Fig. 10의 결과 RS, FS 및 FS-M의 1.67, 1.42 및 1.61kg/L 로 나타났다. FS의 단위용적질량은 RS와 비교하여 약 15% 작은 경향인 것으로 나타났으며, KS F 2544에서 규정한 단위용적질량 하한치 1.45kg/L 이하인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 FS의 경우 3.2절의 결과와 같이 RS와 비교하여 입도 및 입형이 좋지 않고 모가난 표면조직을 가지고 있기 때문에 밀실하게 채워지지 못한 것으로 판단된다. 그러나 FS-M의 경우 Fig. 3, Fig 6 및 Table 4의 결과와 같이 분쇄 가공되었기 때문에 입형의 요철부분이 상당부분 제거되어 RS와 같이 둥근 입형으로 변화됨과 동시에 0.06mm 이상의 큰 입자가 줄고 조립률이 약 21% 감소되는 등 좋은 입도가 되어 보다 밀실하게 채워질 수 있기 때문에 단위용적질량이 증가한 것으로 판단된다. 이러한 결과를 통하여 FS는 KS F 2544에서 규정한 단위용적질량의 최소 하한치를 만족하지 못하므로 이를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 FS-M과 같이 가공처리를 실시하거나 입도보정이 가능한 다른 잔골재와 혼합하여 단위용적질량을 증가시킨 다음 사용하여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 11은 RS, FS 및 FS-M의 실적률을 나타낸 것이다. Fig. 11의 결과 RS, FS 및 FS-M의 실적률은 65.27, 52.94 및 60.04% 로 나타났다. FS의 실적률은 RS와 비교하여 약 18.9% 작은 것으로 나타났으며, KS F 2544에서 규정한 실적률 하한치 53% 이하인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선행분석한 단위용적질량의 결과와 동일한 원인에 기인한 것으로 판단되며, 이와 같은 결과에 의하여 공극률의 경우 동일한 결과가 나타날 것으로 예측된다.

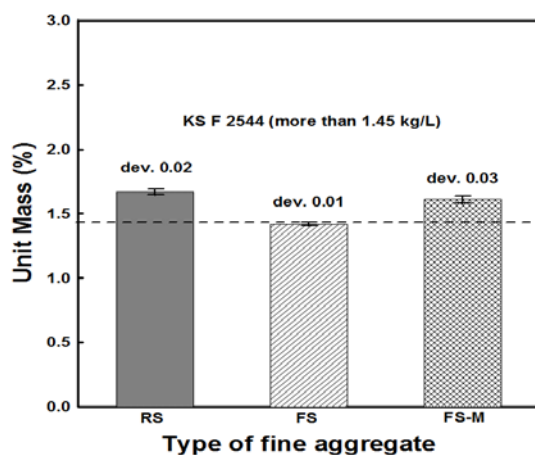


Fig. 10 Result of unit mass test

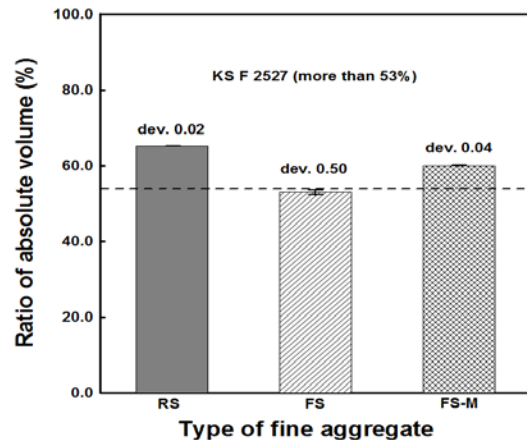


Fig. 11 Result of ratio of absolute volume test

또한 FS-M의 실적률의 경우에는 KS F 2544에서 규정한 최소 실적률 이상으로 나타났으며, 이러한 결과는 선행분석한 결과와 동일한 원인에 기인한 것으로 판단된다. 이같은 결과를 통하여 FS를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 단위용적질량의 결과와 마찬가지로 FS-M과 같이 가공처리를 실시하거나 입도보정이 가능한 다른 잔골재와 혼합하여 실적률을 증가시킨 다음 사용하여야 할 것으로 판단된다.

3.6 유기 불순물

Fig. 12는 RS, FS 및 FS-M의 유기 불순물 시험결과를 나타낸 것이다. Fig. 11의 결과 RS, FS 및 FS-M의 시험용액의 색상은 담황색, 무색 및 무색으로 나타나 FS 및 FS-M을 콘크리트에 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 골재자체가 고온의 용융슬래그 상태에서 제조된 것이기 때문에 냉각 이후에도 유기 불순물이 존재하지 않는 것으로 판단된다.



Fig. 12 Result of organic impurities test

4. 결론

본 논문에서는 파이넥스 슬래그를 보다 고부가가치인 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 기초연구로써 파이넥스 슬래그의 기초 물성을 강모래와 비교하여 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) FS의 입형은 요철이 많아 각이진 형태이며, 표면조각은 기공을 포함하는 경우가 있어 치밀하지 못하지만 대부분 매끄러운 상태로 되어있음을 알 수 있었으며, 일부 침상형 비결정질 유리를 포함하는 것으로 나타났다. 또한 가공 처리를 실시한 FS-M의 경우 각진 부분 및 요철이 상당부분 제거되었으며, 침상형 비결정질 유리의 경우 대부분 제거된 것으로 나타났다.

2) FS의 조립률은 일반 잔골재의 조립률 범위에서 다소 큰 편에서 만족하는 것으로 나타났으며, FS-M의 경우 RS 및 FS보다 조립률이 작아지고 크고 작은 입자가 고르게 분포된 좋은 입도가 된 것으로 나타나 콘크리트의 유동성 및 작업성 개선에 효과가 있을 것으로 판단된다.

3) FS의 밀도는 RS보다 밀도가 큰 경향이 있으며 내부 조직이 보다 치밀하고 골재자체의 강도가 크기 때문에 콘크리트의 강도 증진 효과가 있을 것으로 판단되지만 큰 밀도로 인한 재료분리 및 블리딩 증가 등의 영향이 있을 것으로 판단되며, FS-M과 같이 가공처리를 하여 사용한 경우에는 RS 및 FS와 비교하여 소요 단위수량 감소, 유동성 향상 및 펌프압송시 프리웨팅 등의 효과가 다소 있을 것으로 예측된다.

4) FS의 0.08mm 통과량은 KS 규격은 만족하지만 큰 조립률과 거의 단일 입자로 구성된 입도 분포를 가지고 있기 때문에 RS와 비교하여 밀실하게 채워지지 못할 가능성이 있으며, 이에 따른 내부 공극 또는 갭공기가 증가될 것으로 예측된다.

FS-M의 경우 RS 및 FS와 비교하여 미립분이 더 많이 포함하고 있으며, 특히 0.3mm 또는 0.15mm 체를 통과하는 양이 많이 때문에 공기량, 슬럼프 및 건조수축 등의 품질변화가 다소 발생할 것으로 예측된다.

5) FS의 단위용적질량 및 실적률은 KS 규격을 만족하지 못하므로 FS-M과 같이 가공처리를 실시하여 사용하거나 입도보정이 가능한 다른 잔골재와 혼합하여 단위용적질량 및

실적률을 증가시킨 다음 사용하여야 할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통하여 파이넥스 슬래그 잔골재를 콘크리트용 잔골재로 활용하고자 할 경우 파이넥스 슬래그를 단독사용 한 경우라도 일반 잔골재와 유사한 콘크리트 품질을 얻을 수 있을 것으로 예측되지만 입도분포, 단위용적질량 및 실적률을 고려할 때 보정이 가능한 다른 잔골재와 혼합하여 사용하는 것이 콘크리트 품질향상에 보다 효과적인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 (재)포항산업과학연구원의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 임남기의, 고로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 강도 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 제15권 제6호, pp. 87~94, 1999
- 2) 최연왕외, 콘크리트용 잔골재로서 수쇄페로니켈 슬래그의 품질 특성, 대한토목학회 정기학술발표회 학술발표논문집, pp. 1~4, 2010
- 3) 류득현외, 콘크리트용 골재 자원으로서 고로슬래그의 활용 현황, 한국건설순환자원학회논문집, 제5권 제1호, pp. 24~32, 1999
- 4) 이근재, 파이넥스 슬래그 미분말을 혼합한 시멘트의 물성, 단국대학교 석사논문, pp. 39~40, 2009
- 5) 국토해양부, 시멘트 콘크리트 포장 배합설계 지침, 국토해양부, pp. 21~22, 2011
- 6) 정상경, 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 특성에 미치는 단위수량 변화의 영향에 관한 실험적 연구, 한밭대학교 석사논문, 2005
- 7) 문한영외, 고로슬래그 골재, 한국콘크리트학회, 논문집, 제9권 제6호, pp. 18~22, 1997

- 8) 최연왕외, 최신 토목재료학, 기문당, pp. 53-91, 2007
- 9) 한국산업규격, KS F 2544 콘크리트용 고로 슬래그 잔골재, 지식경제부 기술표준원, 2002
- 10) JIS A 5011, 콘크리트용 슬래그골재— 第1部:高炉スラグ骨材, 2003
- 11) 日本建築学会, 高炉スラグ細骨材を用いる コンクリート施工指針・同解説, 日本建築学会, 2000
- 12) 日本土木学会, 高炉スラグ骨材コンクリート 施工指針, 日本土木学会, 2007
- 13) Metha, P.K. and Monterio, P.J.M, Concrete : Structure, Properties, and Materials, 3rd Ed., McGraw Hall, 2006
- 14) Sidney Mindess, J. Francis Young, and David Darwin, Concrete 2nd Ed., Prentice Hall, 2002
- 15) 네이버블로그, 차세대 철강생산기술 파이넥스 공법, <http://blog.naver.com/fortuneajh/120029317673>, 2006

콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 파이넥스 슬래그의 물리적 특성에 관한 연구

최근 건설산업에서는 천연 골재 고갈과 엄격한 환경 규제로 인하여 골재 부족 현상이 지속되고 있기 때문에 대체 골재 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 파이넥스 공정에 의하여 발생되는 고로슬래그를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위하여 기초물성을 검토하였다. 본 연구를 통하여 콘크리트용 잔골재로써 파이넥스 슬래그의 활용 방안을 제안하고자 한다.