

굵은골재의 편장석 함유량이 콘크리트의 성능에 미치는 영향

Effect of Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregates on Properties of Concrete

원종필* · 조용진** · 박광수*** · 신수균***

Won, Jong Pil · Cho, Yong Chin · Park, Kwang Su · Shin, Su Gyun

Abstract

Generally, the properties of aggregate greatly affect the physical and mechanical properties of concrete. Flat and elongated particles in coarse aggregates, for some construction uses, may interfere with consolidation and be difficult to place.

In this study, an experiment to evaluate properties of flat and elongated particles as coarse aggregate in concrete was conducted. The experiments include slump test, air content test and compressive strength test. The test result of slump and change of slump was rapidly decreased by percentage of flat and elongated particles. But it had not a trend by increasing percentage of flat and elongated particles. Compressive strength of hardened concrete does not make any differences in comparison.

Keywords : Coarse aggregate, Flat and elongated particles, Slump, Air content, Compressive Strength

I. 서 론

콘크리트 전체 체적의 70% 이상을 차지하고 있는 굵은 골재는 그 종류와 품질에 따라 콘크리트의 물리·역학적 성능에 큰 영향을 미치므로 콘크리트

의 품질관리에 있어 매우 중요한 요소이다. 콘크리트용 골재는 경질이고 입형이 좋은 하천자갈이 매우 우수한 성능을 발휘하지만 1970년대 이후 건설공사의 급격한 증가로 공급부족 현상을 초래하였다. 따라서 현재 사용되고 있는 대부분의 굵은 골재는 쇄석이며, 쇄석은 암석의 분쇄 당시 암석의 성분 및 분쇄 장비에 의하여 물리·역학적 특성의 변화를 가져올 수 있다.

특히, 쇄석의 생산과정에서 균질한 입형의 골재를 생산하는 것은 콘크리트의 품질관리에 있어 매우 주요한 인자이다. 그러나 현재 굵은 골재용 쇄

* 건국대학교 지역건설환경공학과
** 건국대학교 대학원
*** 농업기반공사 농어촌연구원
* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3750
Fax: +82-2-2201-0907
E-mail address: jpwon@konkuk.ac.kr

석의 생산에 사용되는 장비의 노후화로 인하여 굵은 골재내의 편장석 함유량이 급격히 증가하는 경우가 발생하고 있으며 이를 콘크리트에 그대로 적용하는 것은 콘크리트의 성능에 영향을 미칠 수 있다.^{1),3),6)}

일부 국가에서 쇄석의 편장석 함량을 중량의 15%~25%이하 또는 장석의 경우 10~15%이하 편석의 경우 40%이하를 권장하고 있으나 편석과 장석, 두 특성을 모두 가진 형태의 분류와 기준이 모호하며 국가별 차이도 큰 실정이다. 우리나라의 경우 생산되는 골재의 대부분이 다량의 편장석을 포함하고 있으며 노후화된 장비에서 생산된 골재의 경우 그 양은 더 큰 것으로 나타나고 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재 굵은 골재로 널리 사용되는 쇄석의 편장석 함유량이 콘크리트의 물리·역학적 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위해 굵은 골재의 편장석 함유량에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 측정하였으며 역학적 특성으로 재령별 압축강도의 변화를 측정하였다. 본 연구에서는 이와 같은 편장석 함유량에 따른 물리·역학적 특성을 분석하여 콘크리트의 품질관리를 위한 기초자료로 제시코자 한다.

II. 실험계획 및 방법

1. 실험계획

본 연구에서 편장석 함유량에 따른 물리·역학적 성능의 평가를 위하여 적용한 실험 변수 및 항목은 Table 1과 같다.

굵은 골재의 편장석 함유량은 굵은 골재의 일정량을 편장석으로 치환하여 사용하였다. 편장석은 그 특성상 편석과 장석뿐 아니라 두 특성을 모두 가진 골재가 존재하므로 본 연구에서는 이를 통틀어 굵은 골재의 전체 중량에 대하여 중량비로 치환하였으며, 함유량을 26%, 30%, 42%, 50%, 60%로 결정하였다. 또한 배합시 목표 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위하여 편장석 치환율이 가장 적은 26%를 치환한 배합을 기준으로 하여 혼화제량을 결정하였다.

2. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 최근 대형화되고 있는 구조물의 수화열 문제를 해결하기 위하여 사용되고 있는 저발열 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 화학적 성분 및 조성 광물은 Table 2 및 Table 3과 같다.

Table 1 Design of experiment

| | | | |
|-------------------|--|---|--|
| Experiment factor | Percentage of flat and elongated particles | 26, 30, 42, 50, 60% | |
| Experiment | Physical properties of aggregate | Sieve analysis, Specific gravity, Absorption, Unit weight | |
| | Concrete | Fresh | Slump, Air content, Change of slump, Change of air content |
| | | Hardened | Compressive strength (28, 91days) |

Table 2 Chemical compositions of cement

| Cement type | Chemical composition | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-------------------|------------------|-----------------|---------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₃ | lg.Loss |
| Low heat portland cement | 24.9 | 3.2 | 3.6 | 61.5 | 3.1 | 0.1 | 0.55 | 2.0 | 0.8 |

Table 3 Mineral compositions of cement

| Cement type | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₄ AF | C ₄ S+C ₃ A |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Low heat portland cement | 30 | 48 | 4 | 10 | (-) |

나. 골재

굵은 골재는 최대치수가 25 mm인 2종류의 쇄석을 사용하여 편장석과 일반석을 분류한 뒤 각각의 치환율을 인위적으로 조절하여 사용하였다. 굵은 골재의 체가름 시험 결과는 Fig. 1 과 같다. 또한 잔골재는 비중 2.60인 것을 사용하였다.

본 연구에서 사용된 잔골재와 굵은 골재의 물리적 특성은 Table 4 및 Table 5와 같다.

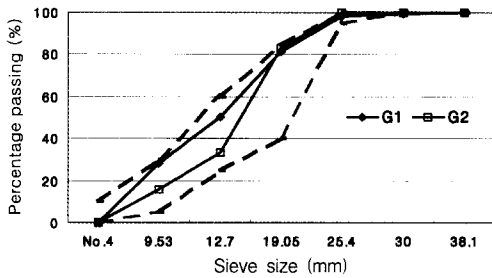


Fig. 1 Grading curve of coarse aggregate

3. 실험방법

가. 굵은 골재 편장석을 시험

굵은 골재의 편장석 함유량을 결정하기 위하여 KS F 2575의 방법에 따라 2회 반복 시험을 실시하였으며 Fig. 2 및 3은 편석과 장석을 분류하기 위한 시험 모습이다. 현재 KS F 2575 규정에 따르면 편장석은 골재 입자의 두께에 대한 폭의 비 혹은 폭에 대한 길이의 비가 3배 이상인 것을 각각 편석과 장석으로 분류하고 있다. Fig. 4는 길이와 폭과 두께를 분간하기 어려운 골재 입자를 외접하는 육면체로 표현하여, 각각의 두께 (*t*), 폭 (*b*), 길이 (*l*)를 정하기 위한 방법을 보여준다.

나. 콘크리트 배합

굵은 골재의 편장석 함유량에 따른 콘크리트의 물리·역학적 성능을 분석하기 위하여 편장석 함유량을 굵은 골재 중량의 26%, 30%, 42%, 50%, 60%로 치환하였다. 인위적으로 치환된 골재는 다량의 편장석을 함유하고 있는 G1(42%)의 골재를 일반석과 편장석으로 분류하여 이를 중량비로 혼합하였으며 26%의 골재를 기준배합으로 시험을 실

Table 4 Physical properties of fine aggregate

| Specific gravity | Absorption (%) | Unit weight (kg/m ³) | | No.200 sieve passing (%) | Fineness modulus (F.M) |
|------------------|----------------|----------------------------------|----------------|--------------------------|------------------------|
| | | Disturbed sample | Tamping sample | | |
| 2.60 | 1.14 | 1,411 | 1,578 | 2.61 | 2.32 |

Table 5 Physical properties of coarse aggregate

| Type of coarse aggregate | Maximum size (mm) | Specific gravity | Absorption (%) | Unit weight (kg/m ³) | | Abrasion (%) | Fineness modulus (F.M) |
|--------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------------------------|----------------|--------------|------------------------|
| | | | | Disturbed sample | Tamping sample | | |
| G1 | 25 | 2.58 | 1.44 | 1,294 | 1,488 | 8.4 | 7.22 |
| G2 | | 2.61 | 0.95 | 1,308 | 1,463 | 6.6 | 7.14 |



Fig. 2 Flat particle test



Fig. 3 Elongated particle test

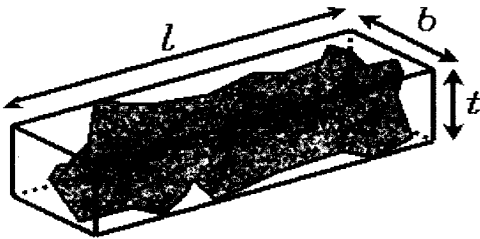


Fig. 4 Determination of dimension

시하였다. 이에 대한 배합설계는 Table 6과 같다.

콘크리트는 팬형 강제식 믹서를 사용하여 배합을 실시하였으며 재료투입 순서 및 혼합은 시멘트와 골재를 투입하여 30초간 건비빔을 실시한 뒤 물과 혼화제를 첨가하여 2분 30초간 비빔을 실시하여 총 3분에 걸쳐 혼합하였다.

다. 슬럼프 및 공기량

공기량 시험은 KS F 2421에 준하여 실시하였으며 슬럼프 시험은 KS F 2402에 의하여 2회 반복 실시하였다.

라. 경시변화

편장석 함유량에 따른 특성을 평가하기 위하여 공기량과 슬럼프 변화를 측정하였다. 슬럼프의 측정간격은 비빔을 실시한 후 15분 간격으로 실시하였으며 공기량은 비빔 후 공기량 측정후 1시간이 경과한 후 시험을 2회 반복 실시하였다.

마. 압축강도

압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 실시하였으

Table 6 Mix proportion of concrete

| Mix type | f _{ck} (MPa) | Slump (cm) | Air content (%) | W/C | S/a (%) | Unit weight (kg/m ³) | | | | | | |
|----------|-----------------------|------------|-----------------|------|---------|----------------------------------|-------|-------|------------------------------|---------------------|------|-------|
| | | | | | | W | C | S | G | | SP* | AE** |
| | | | | | | | | | Flat and elongated particles | Irregular particles | | |
| F&E-26 | 30 | 21±3 | 5±1.5 | 39.2 | 46.7 | 156.0 | 398.0 | 792.1 | 897.1(G2) | | 5.17 | 0.099 |
| F&E-30 | | | | | | | | | 269.13 | 627.97 | | |
| F&E-42 | | | | | | | | | 897.1(G1) | | | |
| F&E-50 | | | | | | | | | 448.55 | 448.55 | | |
| F&E-60 | | | | | | | | | 538.26 | 358.84 | | |

*SP : Superplasticizer, **AE : Air entraining admixture

며 ø100 × 200 mm의 원추형 공시체를 제작하여 재령 28, 91일에 각각 3개씩 압축강도 시험을 2회 반복 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 편장석 함유량 시험결과

편장석 함유량 시험결과는 Table 7과 같다.

체가름 시험결과 잔량률이 10% 이하인 경우 편장석을 계산에서 제외하였다. 시험결과 G2골재의

Table 7 Result of flat and elongated particles test

| Sieve size | | 1) | | 2) | | 3) | | 4) | | 5) | |
|--|---------------|-------|------|-------|------|-----------|-------|------|------|-------|-------|
| Passing (mm) | Retained (mm) | (kg) | | (%) | | (kg) | | (%) | | (%) | |
| | | G1 | G2 | G1 | G2 | G1 | G2 | G1 | G2 | G1 | G2 |
| | 50.80 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50.80 | 38.10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 38.10 | 30.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 30.00 | 25.40 | 0.043 | 0.01 | 0.860 | 0.2 | 0.030 | - | 69.8 | - | 0.60 | - |
| 25.40 | 19.05 | 0.861 | 0.84 | 17.22 | 16.8 | 0.278 | 0.162 | 32.3 | 19.2 | 5.56 | 3.2 |
| 19.05 | 12.70 | 1.543 | 2.49 | 30.86 | 49.8 | 0.543 | 0.629 | 35.2 | 25.2 | 10.86 | 12.57 |
| 12.70 | 9.53 | 1.117 | 0.88 | 22.34 | 17.6 | 0.526 | 0.241 | 47.1 | 27.4 | 10.52 | 4.82 |
| 9.53 | 4.75 | 1.407 | 0.78 | 28.14 | 15.6 | 0.745 | 0.263 | 52.9 | 33.7 | 14.90 | 5.26 |
| Average percentage of flat and elongated particles | | | | | | | | | | | |
| 41.9 % (G1) | | | | | | 26.4%(G2) | | | | | |

1) : Mass retained

2) : Percentage retained

3) : Mass of flat and elongated particles

4) : Percentage of flat and elongated particles

5) : Conversion percentage of flat and elongated particles

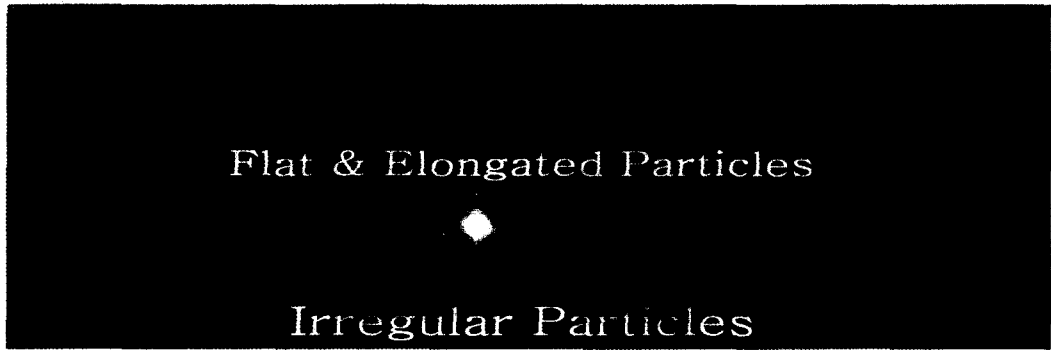


Fig. 5 Particle shape classification after flat and elongated particles test

편장석률은 26%이며 G1골재의 편장석률은 42%로 나타났다. Table 7의 결과는 다음식들을 이용하여 산출하였다. Fig. 5는 분류된 편석과 장석의 형상을 나타낸다.

$$P = \frac{M_1 + M_2}{M} \times 100, \quad C_p = \frac{P_r \times P}{100}$$

where, M = Mass retained

M_1 = Mass of flat particles

M_2 = Mass of elongated particles

P_r = Percentage retained

P = Percentage of flat and elongated particles

C_p = Conversion percentage of flat and elongated particles

2. 공기량

편장석 함유량에 따른 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험결과는 Fig. 6과 같다. 시험결과 G1과 G2 골재의 종류에 따른 공기량의 차이는 확인할 수 있었으나 편장석 함유량에 따른 공기량의 변화는 없었다. 편장석 함유량이 증가할수록 공기량의 증감이 있을 것으로 예상되었으나 콘크리트에 존재하는 연행 공기량은 편장석 함유량에 큰 영향을 받지 않아 공기량의 변화에 영향을 미치지 않았다.

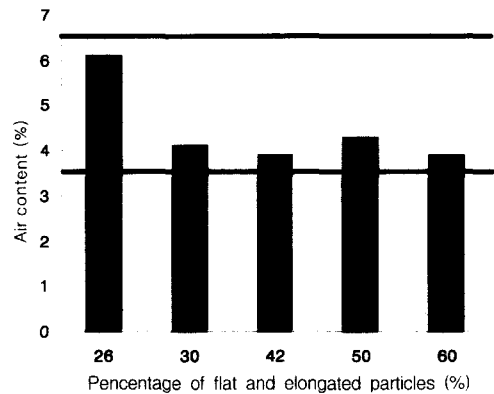


Fig. 6 Air content by percentage of flat and elongated particles

Table 8 Change of air content by percentage of flat and elongated particles (%)

| Time (min.) | Percentage of flat and elongated particles (%) | | | | |
|-------------|--|-----|-----|-----|-----|
| | 26 | 30 | 42 | 50 | 60 |
| 0 | 6.5 | 3.8 | 4.5 | 4.3 | 3.9 |
| 60 | 2.5 | 3.2 | 3.1 | 1.5 | 2 |

3. 경시변화 (공기량)

시간에 따른 공기량의 변화는 Table 8과 같다. 실험 결과 편장석률 26%(G1) 배합이 가장 큰 감소율을 나타내었다. 또한 1시간 경과 후 치환율이

42%(G2)인 배합보다 26%인 배합의 공기량이 더 작아지는 결과를 나타냈다. 공기량 감소경향은 편장석 치환율 26% 배합에서 급격한 감소를 보였으나 나머지 배합에서는 현저한 감소는 나타나지 않았다. 그러나 1시간 후의 공기량은 모든 배합에서 허용치를 벗어나는 결과를 나타내었다.

4. 슬럼프

굵은 골재의 편장석 함유량에 따른 슬럼프의 변화는 Fig. 7과 같다. 편장석의 함유량이 증가할수록 슬럼프는 일정하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 편장석의 형태에 따른 특성에 의한 것으로 판단된다. 편장석은 동일한 체적의 구형 골재의 비하여 상대적으로 큰 표면적을 가지고 있어 작업성 확보를 위한 수분의 필요량이 더 많다. 가장 낮은 26%와 가장 많은 함유량인 60% 사이에서는 약 3 cm 정도의 차이를 나타내었다. 그러나 목표 슬럼프는 모든 배합에서 만족하는 것으로 나타났다.

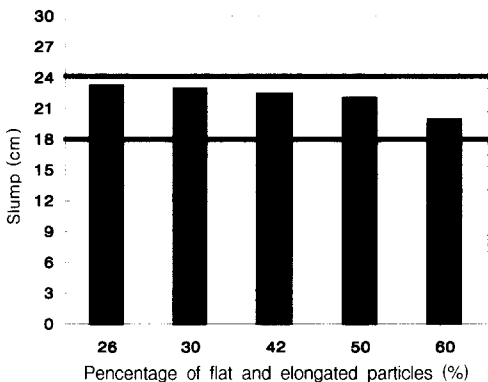


Fig. 7 Slump by percentage of flat and elongated particles

5. 경시변화 (슬럼프)

굵은 골재의 편장석 함유량에 따른 슬럼프의 경시변화 결과는 Table 9와 같다. 시험결과 편장석

Table 9 Change of slump by percentage of flat and elongated particles (cm)

| Time (min.) | Percentage of flat and elongated particles (%) | | | | |
|-------------|--|------|------|------|------|
| | 26 | 30 | 42 | 50 | 60 |
| 0 | 23.0 | 22.1 | 23.0 | 22.0 | 19.6 |
| 15 | 22.0 | 9.0 | 8.1 | 11.0 | 18.6 |
| 30 | 20.5 | 7.2 | 7.5 | 7.2 | 17.8 |
| 45 | 20.0 | 5.4 | 5.4 | 6.3 | 17.2 |
| 60 | 16.0 | 4.3 | 4.7 | 4.5 | 12.7 |
| 75 | 13.0 | 4.2 | 4.2 | 3.3 | 8.1 |
| 90 | 10.0 | 3.2 | 3.2 | 2.7 | 4.5 |

률이 증가함에 따라 초기값에서 약간의 감소를 보였으나 허용치를 벗어나지는 않았다. 초기값과 달리 시간경과에 따른 슬럼프의 변화는 15분 경과 후 편장석률이 26%와 60%인 배합을 제외하고 편장석 치환율의 모든 범위의 배합에서 급격한 감소를 나타냈다. 편장석률이 60%인 배합은 초기 슬럼프 값은 다소 작게 나타났으나 기준배합과 유사한 경향을 나타냈다. 이는 동일한 입형의 양이 많아짐에 따라 골재 맞물림 현상의 감소로 인하여 편장석 함유에 따른 슬럼프 감소량이 줄어든 것으로 판단된다. 편장석률이 30~50% 배합에서는 15분 후 급격한 슬럼프 감소가 나타났다. 90분 경과 후의 슬럼프 변화 값은 30%~60% 모두 26%의 배합의 값에 50%에도 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 타설시 작업성 저하가 크게 나타남을 보여준다.

5. 압축강도

편장석 함유량에 따른 압축강도 시험결과는 Table 10과 같다. 편장석 함유량에 의한 강도특성의 변화는 편장석 자체의 쪼개짐이나 깨짐 발생률이 높은 특성과 편석의 표면에 다량의 블리딩수와 갇힌 공기로 인한 물리적 취약부분이 생김으로서 강도에 영향을 미칠 것으로 예상하였으나 시험결과 재령 28일 및 91일 강도에 있어 골재의 입도와 형

Table 10 Compressive strength by percentage of flat and elongated particles (MPa)

| Percentage of flat and elongated particles (%) | Curing age (days) | |
|--|-------------------|-------|
| | 28 | 91 |
| 26 | 43.78 | 46.78 |
| 30 | 39.45 | 51.36 |
| 42 | 38.62 | 49.79 |
| 50 | 40.12 | 47.93 |
| 60 | 36.65 | 54.95 |

상에 대한 어떠한 영향이나 경향을 찾아볼 수 없었다. 따라서 압축강도 시험결과 편장석 함유량은 강도특성에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 그러나 편장석의 함유량이 많아질수록 강도의 편차가 심하게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며 시험과정에서 편장석의 함유량이 많아질수록 콘크리트의 파괴가 매우 취성적으로 나타남을 알 수 있었다. 이와 같은 결과 편장석의 경우 골재 자체가 체적에 비하여 표면적이 넓게 나타나기 때문에 콘크리트의 파괴특성상 급속한 파괴가 일어나는 것으로 판단된다. 강도 발현율에 있어서 재령 28일에서 91일까지 강도 증가 특성이 유사하였으나 26%의 골재를 사용한 것만이 강도 증가율이 완만한 것으로 나타났다. 그러나 편장석의 영향으로는 보이지 않으며 골재의 물리·역학적 특성의 차이로 인한 결과로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 굵은 골재의 대부분에 사용하고 있는 쇄석중 편장석의 함유량이 콘크리트의 성능에 미치는 영향을 평가하기 위한 것으로서 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 편장석 함유량에 따른 공기량의 변화는 없었다.
2. 편장석의 함유량에 따른 슬럼프 시험 결과 편장석 함유량이 증가할수록 슬럼프는 일정하게 감소하였다.

3. 경시변화 시험결과 슬럼프는 15분 경과 후 편장석을 30%~50%를 가지는 콘크리트의 경우 급격히 감소하였다. 편장석률이 50%를 넘는 60%의 경우 편장석의 증가에 따른 슬럼프의 급격한 감소는 나타나지 않았으나 최종적으로 30~50%의 배합과 유사한 값의 결과를 나타내었다. 이는 장석에 비하여 편석이 상대적으로 많이 포함되어 있는 골재의 특성으로 인하여 다수의 동일한 입형이 골재 맞물림에 의한 저항을 줄여주는 것으로 판단된다.

4. 공기량의 경시변화는 편장석 함유량이 26%일 때 가장 크게 나타났으나 편장석의 함유량과는 무관한 것으로 판단된다.

5. 압축강도 시험결과 편장석 함유량의 증가에 따른 영향은 발생하지 않았다.

이와 같은 실험결과로 보아 굵은 골재로 사용되는 쇄석의 편장석 함유량의 증가는 26%~60%의 범위에서 초기 공기량과 시간의 변화에 따른 공기량의 감소에 영향이 없는 것으로 사료된다. 또한 역학적 특성인 압축강도에서도 그 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 콘크리트의 작업성 확보에 있어서는 편장석 함유량이 증가함에 따라 현장타설시 운반중 슬럼프 감소량이 크게 나타날 것으로 예상되며 콘크리트 품질관리를 위하여 작업성 확보와 관련된 허용범위를 결정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

References

1. A. M Neville, 1997, Properties of Concrete, John Wiley & sons, pp.108-177, pp.182-186
2. ASTM D 4791-99, 2000, Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particle, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate.
3. Byung-Hwan Oh etc., 1999, Concrete Engineering, Korea Concrete Institute.
4. Han-Young Moon, 1992, Construction Mate-

- rial, Dong Myoung Sa, pp.78-93
5. P. Kumar Merta, Paulo J. M. Monteiro, 1993, Concrete structure, Properties and Materials, Prentice-Hall, pp.226-254
6. Sidney Mindess, J. Francis Young, David Darwin, 2002, Concrete, Pearson Education, pp.193-219