

# 화산재를 대량 사용한 콘크리트의 특성

## A Study on the Engineering Properties of Concrete Using High Volume of Volcanic Ash

조 병 완      구 자 갑      박 승 국      이 연 진  
Jo, Byung Wan\*      Koo, Ja Kap\*\*      Park, Seung Kook\*\*\*      Lee, Yeon Jin\*\*\*\*

---

### ABSTRACT

Recently, the use of volcanic-ash as a part of cement content in concrete is very common. But, it has been indicated that the compressive strength of concrete using large amount of volcanic-ash as a part of cement content in early age is low and carbonation velocity is fast. To solve those problems, High Volume Volcanic-Ash Concrete which contained large amount of volcanic-ash as a part of fine aggregate has been proposed.

This is an experimental study to compare and analyze the properties of High Volume Volcanic-Ash Concrete according to the replacement method and ratio of volcanic-ash. For this purpose, the mix proportion of concrete according to the replacement method(PL, C10, C150, A10, A100, A150) And then slump, setting time, bleeding, compressive strength, tensile strength and carbonation test were performed.

According to test results, it was found that the compressive strength of the concrete using the volcanic-ash as a part of fine aggregate(A) was higher than that of the concrete using the volcanic-ash as a part of cement content(C). And, the compressive strength of the A concrete increased in early age as well as in long term age as the volcanic-ash content increased.

---

### 1. 서론

포틀랜드 시멘트는 콘크리트에서 보편적으로 사용되는 결합재로써 철강이나 폴리머에 비해 가격이 낮고, 내구성 등 많은 장점 때문에 건설 재료로서 널리 이용되고 있다. 화산재같은 천연 자연 재료나, GGBS(ground granulated blast furnace slag), PFA(pulverized fuel ash) 같은 산업적 부산물 등이 콘크리트 건설공사에서 포틀랜드 시멘트의 대체재로 널리 쓰이고 있다. 이것의 이점은 향상된 기술적 향상, 낮은 가격, 폐기물 축적 감소를 통한 환경적 문제의 감소 등이 있다. 그리고 특히 환경적인 관점에서 시멘트의 5%만 대체해도 약  $75 \times 10^6$  tons의 CO<sub>2</sub>의 절감을 얻을 수 있다. 대체 결합재나 시멘트 대체재에 대한 조사는 지난 30년 동안 계속 되었으며, 경제적, 기술적, 생물학적 관점에서 시멘트 대체재는 건설 산업에서 절실히 요구 되고 있다.

---

\* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 한양대학교 대학원 박사과정

\*\*\* 한양대학교 대학원 박사과정

\*\*\*\* 한양대학교 대학원 석사과정

표1. 실험계획 및 측정항목

| 배합<br>요인 | W/C<br>(%) | 단위수량(kg/m <sup>3</sup> ) | 목표슬럼프<br>(cm) | 단위중량(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | 측정항목  |  |
|----------|------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----|-----|------|---|--|
|          |            |                          |               | C                        | VA  | S   | G    | 굳지 않은<br>콘크리트   | 경화 콘크리트                                |
| PL       | 35         | 123                      | 15 ±2         | 350                      | 0   | 983 | 1017 | 공기량 (%)<br>슬럼프 (cm)<br>응결시간 (hr)<br>블리딩량<br>(cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> ) | 압축강도 (MPa)<br>인장강도 (MPa)<br>탄성계수 (MPa) |
| C 10     | 35         |                          |               | 315                      | 35  | 982 | 1016 |   |  |
| C 20     |            |                          |               | 280                      | 70  | 980 | 1014 |   |  |
| C 35     |            |                          |               | 228                      | 123 | 978 | 1012 |   |  |
| C 50     |            |                          |               | 175                      | 175 | 976 | 1009 |   |  |
| C 70     |            |                          |               | 105                      | 245 | 973 | 1006 |   |  |
| A 10     |            |                          |               | 35                       | 350 | 35  | 951  |   |  |
| A 20     | 70         |                          |               |                          |     | 951 | 1017 |   |  |
| A 35     | 123        |                          |               |                          |     | 872 | 1017 |   |  |
| A 50     | 175        |                          |               |                          |     | 824 | 1017 |   |  |
| A 70     | 245        |                          |               |                          |     | 760 | 1017 |   |  |

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

화산재를 단위 시멘트량의 일부로 치환한 콘크리트와 잔골재의 일부로 치환한 콘크리트의 공학적 특성을 비교, 검토하기 위하여 물시멘트비 0.35인 플레인 콘크리트(PL)를 기준으로 치환 방법에 따라 화산재의 양을 각각 10, 20, 35, 50, 70% 로 치환한 콘크리트에 대하여 실험을 실시하였다. 그림1은 화산재의 치환방법에 따른 콘크리트 배합의 기본 개념도로서 치환 방법별 중량 백분율을 나타내고 있다. 공기량, 슬럼프, 블리딩량, 응결시간, 압축강도등을 측정하였다. 또한 목표 슬럼프는 15 ±2 cm로 설정하고 이를 만족시키기 위한 소정의 고성능 감수제를 사용하였다.

표2 화산재의 물리·화학적 성질

| 비중   | 분말도(cm <sup>2</sup> /g) | 강열감량(%) | 습분(%) | 단위수량비(%) | SiO <sub>2</sub> (%) | 28일<br>압축강도비(%) |
|------|-------------------------|---------|-------|----------|----------------------|-----------------|
| 2.85 | 3.610                   | 4.0     | 0.1   | 101      | 53.2                 | 93.1            |

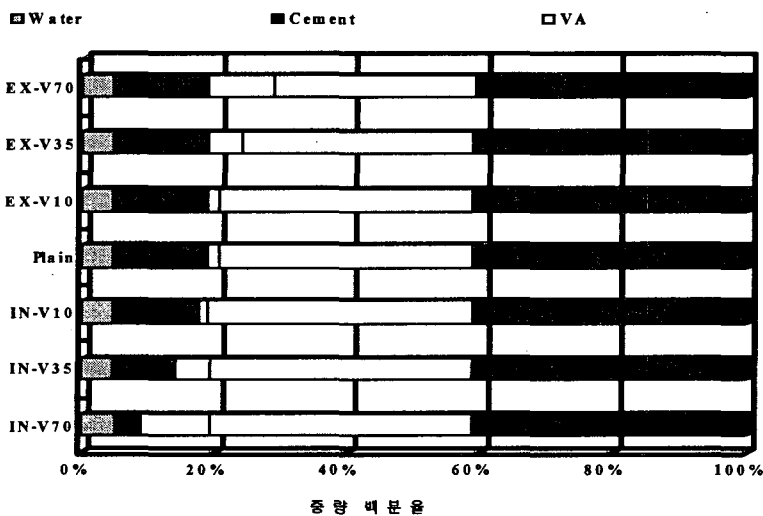


그림 1. 치환방법별 콘크리트 배합의 기본개념도

2.2 실험방법(굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 시험은 각종 KS규준에 준하여 실시하였다.)

응결시간: 화산재의 첨가량에 따른 응결시간의 차이를 알아보기 위하여 KS F 2436의 관입 저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법에 준하여 온도 25 C, 습도 65% 의 항온 항습실에서 응결시간을 측정하였다.

블리딩: KS F2414 에 따라 블리딩이 일어나지 않는 시간 까지 계속 측정하였다.

압축강도: 수중 양생한 Ø10\*20cm 의 공시체의 압축강도를 KS F 2405에 따라 만능 시험기를 사용하였다.

할열 인장강도: 할열 인장강도를 KS F 2423 에 따라 측정하였다.

수화열: 미소수화열 측정기 및 단열 온도 상승 시험기(Concrete calorimeter)를 이용하여 수화열을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 화산재치환방법에 따른굳기전 콘크리트의 특성

3.1.1. 응결시간의 변화

치환방법별 경과시간에 따른 관입 저항치의 변화를 나타냄으로서 EX 배합은 PL보다는 응결시간이 다소 지연되었으나 IN 배합에 비하여 초결 및 종결 도달시간이 빠르게 나타났다.

3.1.2. 블리딩

보통 콘크리트는 약 1.5 %이며 화산재 양이 증가할 수록 블리딩률이 증가하여 270-VA50은 약 4.8 % 증가였다.

3.2 화산재 콘크리트에 따른 경화된 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도 및 인장강도의 검토

그림 2 및 그림 3는 치환방법별 재령에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, EX배합의 경우 초기 재령에서도 높은 압축강도를 발현하고 있음을 알 수 있다. 특히 장기재령의 경우 IN 배합의 경우에는 PL 정도의 강도를 발현하고 있으며 화산재 치환량에 따른 강도차이도 거의 나타나지 않고 있다.그러나 EX배합의 경우에는 재령이 증가함에 따라 PL배합보다 더 큰 폭으로 강도가 증가하고 있으며, 화산재의 치환량이 많은 배합의 강도가 더욱 높은 강도를 발현하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

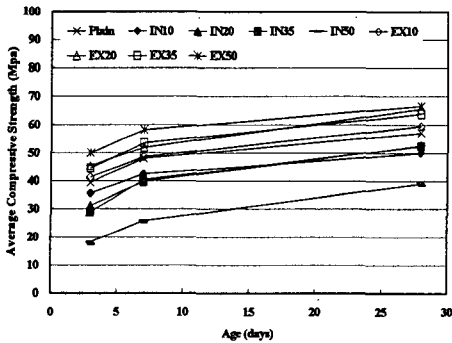


그림 2 치환방법별 재령에 따른 압축강도의 변화

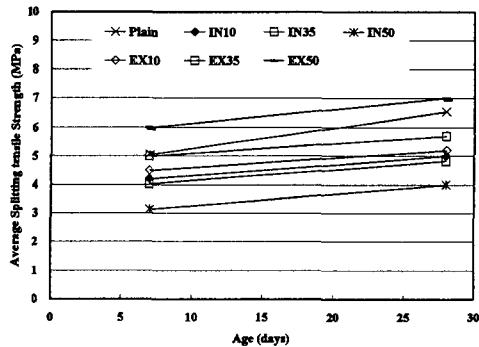


그림 3 치환방법별 재령에 따른 인장강도의 변화

3.3 수화열

Table 1은 24 시간에서 72 시간 사이에 시멘트-화산재 분말의 누적 발열량을 나타낸 것으로 화산재의 양이 많아지고, 시험 시간이 길어질 수록 누적 발열량이 감소하는 것을 나타내고 있다.

| Concrete mix | 24 Hours   | 48 Hours   | 72 Hours   |
|--------------|------------|------------|------------|
| 270-VA0      | 43.3 cal/g | 54.9 cal/g | 62.4 cal/g |
| 270-VA10     | 42.4 cal/g | 52.9 cal/g | 59.5 cal/g |
| 270-VA20     | 35.0 cal/g | 45.7 cal/g | 49.0 cal/g |
| 270-VA30     | 31.8 cal/g | 40.7 cal/g | 45.8 cal/g |
| 270-VA40     | 28.5 cal/g | 37.5 cal/g | 42.8 cal/g |
| 270-VA50     | 23.9 cal/g | 31.7 cal/g | 36.2 cal/g |

Table 1 Heat evolution of cement-volcanic ash paste

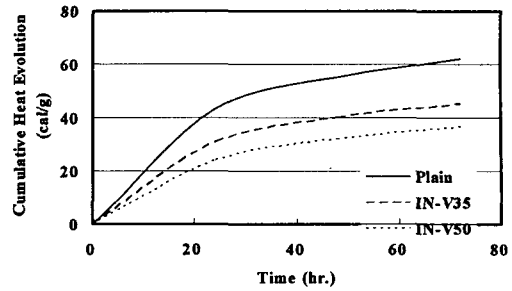


그림 4. 치환율에 따른 수화발열량

#### 4. 결론

화산재의 치환 방법 및 치환율에 따른 화산재를 대량 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 화산재 치환 방법에 따른 응결시간의 경우, EX 배합이 PL 보다는 다소 지연되었으나 IN 배합보다 초결 및 종결 도달 시간이 빠르게 나타나, 화산재를 사용한 콘크리트에서의 응결 지연 현상을 다소 저감시킬 수 있는 것으로 판단된다. 또한, 화산재 치환율에 따른 응결시간의 경우 VA 10~50 으로 화산재의 치환율이 증가함에 따라 초결 및 종결 도달시간이 다소 느리게 나타났으나, VA35 까지는 PL과 비교하여 큰 차이는 보이지 않았다.

2) 화산재 치환 방법에 따른 압축강도의 경우, EX배합에서는 PL에 비하여 모두 높은 압축강도를 보이며 화산재의 치환량이 증가함에 따라 높은 강도를 발현하였으며, 재령이 증가함에 따라 PL과의 강도차이가 더욱 현저하게 나타났다. 반면 IN 배합의 경우에는 화산재의 치환율이 증가함에 따라 낮은 압축강도를 발현하였으며 재령이 증가함에 따라 PL과 유사한 수준의 강도를 발현하는 것으로 나타났다.

3) 화산재 치환율에 따른 압축강도를 살펴본 결과, 재령 3일에 화산재를 사용한 모든 배합에서 VA 비해 122~154%의 압축강도를 발현함으로써, 화산재를 대량 사용한 콘크리트의 초기강도 저하 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. V. M. malhotra et al , Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash from Source in the U.S., ACI material V. 90, No. 6, 1993, PP 535~544.
2. D.M. Roy, M.R Silsbee, Alkali activated cementitious materials: An over review, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., p245
3. A. Katz, Microstructures study of alkali-actibated fly ash, Cem. Concr. Res. 28(2) ,1998,p197-208
4. W. Aiqin, Z. Chengzhi, T. Mingshu, Z.Ninsheng, ASR in mortar bars containing silica glass in combination with high alkali and high fly ash contents, Cem. Concr. Compos. 21,1999,p375-382
5. W. Ma, C. L. Liu, P.W. Brown, S. Lomameni, Pore structuresof fly ash activated by Ca(OH)2 and CaSO4 2H2O, Cem. Concr. Res. 25 (2) ,1995, p417-425
6. C. Shi, Early microstructure development of activated lime-fly ash pastes, Cem. Concr. Res 26(9) ,1996, p1351-1359
7. C.S. Poon, S.C. Kou, L. Lam, Z.S.Lin, Activation of fly ash/cement systems using calcium sulfate anhydrite(CaSO4), Cem. Concr. Res. 31 (6), 2001, p873-881
8. C.Y.Lee, H.K.Lee, K.M.Lee, Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly ash -cement systems. Cem.Concr.Res33,2003,p425-423