

# Type III 고로슬래그 미분말의 품질이 콘크리트의 중성화에 미치는 영향에 관한 분산분석

## Variation Analysis on the Quality of Blast Furnace Slag Type III that affects Carbonation of Concrete

민 정 욱\*      박 승 범\*\*      이 병 재      윤 의 식\*\*\*  
Min, Jeong Wook    Park, Seung Bum    Lee, Byoung Jai    Yoon, Eui Sik

---

### ABSTRACT

We have studied statistically about quality difference of Blast furnace slag Type III that affects carbonation of concrete. According to KS F 2563 blast furnace slag was classified 3 types. Type III blast furnace slag(specific surface area is  $4000\text{cm}^2/\text{g}$ ) from different providers with Type A, the B and the C. The statistical technique was applied to exclude error of engineering judgement.

T test and F test were used among 3 groups to investigate statistical meaning. The effect which on the quality of blast furnace slag type III that affects carbonation of concrete is significant.

### 요 약

콘크리트용 혼화제로 사용량이 날로 증대되고 있는 고로슬래그 미분말의 품질 차이가 콘크리트의 중성화에 어떠한 영향을 미치는지를 통계적으로 분석해 보았다. 현행 KS F 2563에 의하면 고로슬래그 미분말을 1종, 2종, 3종으로 구분하는데 3종에 해당하는 분말도  $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 급 고로슬래그 미분말을 3곳으로부터 입수하여 Type A, B, C로 하여 다른 모든 조건은 동일하게 하고 혼입하였다. 본 연구에서는 기존의 그래프간의 단순비교를 통해 공학적 판단을 하는 오류를 배제하고자 평균값과 분산을 동시에 고려하는 통계적인 기법을 적용하였다. 분석기법에는 A, B, C 3개 집단간의 F검정과 각각의 쌍체비교를 위해 T검정 기법을 적용하여 통계적인 의미를 고찰해 보았다. 그 결과 유의수준 5%에서 중성화에 미치는 영향이 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

---

\* 정희원, 충남대학교 대학원 박사과정

\*\* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 정희원, 한국원자력안전기술원 책임연구원

## 1. 서론

콘크리트 구조물의 내구성에 관한 관심이 커지면서 내구성 향상을 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 콘크리트의 내구성을 경제적으로 확보하기 위한 방안 중 하나로 배합설계 단계에서 콘크리트용 혼화재료의 사용을 고려하는 경우가 많다. 콘크리트 공학자나 엔지니어의 입장에서는 high volume으로 시공되는 광물질 혼화재의 사용을 통해 경제적이며 내구적인 콘크리트 구조물을 건설하고자 하는 욕구를 가지게 된다. 콘크리트의 각종 내구성능 향상에 기여 하는 광물질 혼화재의 종류는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서 다루고자 하는 주요 관심사는 고로슬래그 미분말로써 여러 연구에 의하면 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 내구성 증진에 현저한 효과가 있는 것으로 보고<sup>1)</sup>되었다.

특히 본 연구에서는 KS F 2563 콘크리트용 고로슬래그 미분말에 대한 규격에서 고로슬래그 미분말 3종에 해당하는 국내산 시판제품 중 품질특성이 서로 다른 3가지 Type의 제품에 대한 비교를 수행하였고, 분말도가 4000급인 동급의 제품간에도 콘크리트의 내구성에 미치는 영향이 유의미한지를 통계적으로 분석해 보고자 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사 제품의 제 1종 보통포틀랜드 시멘트로 KS L 5201을 만족하며 KS L 5120에 의해 분석한 시멘트의 화학조성 및 물리적 성분은 KS 규격을 모두 만족하였다.

#### 2.1.2 골재

본 연구에 사용한 잔골재는 천연 잔골재로 체가름시험 결과 표준입도를 만족하였으며, 굵은골재는 골최대치수 25mm인 쇄석을 사용하였다. 잔골재와 굵은골재의 밀도는 각각 2.60g/cm<sup>3</sup>, 2.65g/cm<sup>3</sup>였고, 조립률은 각각 2.83 및 6.80으로 나타났다.

#### 2.1.3 고로슬래그 미분말

본 연구에서는 국내산 고로슬래그 미분말 3종의 품질 차이가 콘크리트의 중성화에 미치는 영향을 판단하기 위하여 국내에서 시판되는 대표적인 제품 3가지 Type을 입수하였으며 모두 분말도가 4000cm<sup>2</sup>/g급에 해당하며, 기본적인 성질은 다음의 표 1과 같다.

표 1 Types of blast furnace slag in this experiment

수준	밀도(g/cm <sup>3</sup> )	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	SO <sub>3</sub> (%)	강열감량 (%)	45 $\mu$ m 잔류분 (%)	활성도지수 (7day) (%)
A	2.90	4500	2.2	0.1	0.8	85
B	2.91	4650	0.3	3.0	0.4	80
C	2.87	4590	2.0	2.9	3.8	77

#### 2.1.4 화학 혼화제

본 실험에서 사용한 혼화제는 고성능 유동화제로서 국내 K사의 EZCON F이다. 유동화제는 ASTM C494의 규정을 만족하였다.

## 2.2 실험 방법

콘크리트의 중성화 시험은 KS F 4042 중 중성화 저항성 시험방법에 따라 측정하였다.

## 2.3 배합

본 연구에서는 KS F 2563의 규격상으로 동급인 국내산 고로슬래그 미분말 3종(type 3)의 품질 차이가 굵은 콘크리트의 압축강도와 중성화에 유의미한 영향을 주는지를 관심 대상으로 설정 하였으므로 실험수준은 표 2에 나타난 것과 같이 미분말의 Type별로 총 3개 수준으로 구성하였다.

표 2 기본 배합표

배합수준	물-시멘트비 (%)	재료의 단위량(kg/m <sup>3</sup> )					고성능 유동화제(%)
		시멘트	고로슬래그	물	잔골재	굵은골재	
A	50%	220	140	180	876	967	1
B	50%	220	140	180	876	967	1
C	50%	220	140	180	875	966	1

## 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 사용한 3가지 종류의 고로슬래그 미분말의 품질이 콘크리트의 중성화에 영향을 주는 정도를 판단하기 위해 통계검정 기법을 도입하였다. A, B, C 3가지 변수의 시험결과를 비교하기 위해 F검정을 이용하였으며, 귀무가설은 A=B=C라고 하였다. 표 3의 검정 결과표는 재령 56일에서의 분산 분석 결과이다. 재령 56일에서 F비가 47.02로 F 기각치 3.4보다 월등히 커서 A=B=C라는 가설이 기각되었다. 따라서, 3가지 변수는 통계적으로 유의수준 5%의 조건에서 유의미한 차이를 가진다고 볼 수 있다.

표 3 재령 56일 중성화 깊이의 분산분석 결과 (유의수준=0.05)

변동의 요인	제곱합	자유도	제곱평균	F비	P값	F-기각치
처리	75.294074	2	37.647037	47.020701	4.99E-09	3.4028261
잔차	19.215556	24	0.8006481			
합	94.50963	26				

그럼 이번에는 두 집단간의 각각의 상호비교를 위해 T-test라고 하는 T검정을 이용하였다. T검정을 하기 위해 먼저 A=B라고 가정하고 A와 B, B와 C, A와 C에 대해 각각 쌍체비교를 하였다. 다음의 표 4는 A와 B에 대한 상호 비교 결과이다. T검정에서는 먼저 양측 검정인지 단측 검정인지를 정해야 하는데, 안전율을 높이고 가설의 신뢰성을 높이기 위해 양측검정을 채택하였다.

A와 B의 비교를 위한 양측검정에 의한 T기각치(t Reject two-tailed test)가 2.306004이고 T통계량은 -4.48014(절대값을 취해야 함)이므로 “T기각치<T통계량”이 되어 귀무가설이 기각(A≠B)된다. 따라서 유의수준 5%에서 미분말 A의 중성화 저항성능이 우수하다는 것이 통계적으로 입증되었다. 마찬가지로 방법으로 B와 C를 비교해 보면 T기각치>T통계량이 되어 귀무가설이 채택되므로 B=C라는 결론을 얻을 수 있었다. A와 C를 비교해 보면 귀무가설이 역시 기각되어 A≠C가 된다. 즉, 결과적으로 A≠B, B≠C, A≠C가 되므로 9개의 공시체에 대한 분산값을 고려한 통계검정 결과 변수별로 중성화 저항성에 차이가 있다는 결론을 도출할 수 있었다.

표 4 재령 56일에서의 중성화 측정깊이에 관한 t 검정 결과 (유의수준  $\alpha=0.05$ )

Statistics \ Level	A	B	B	C	A	C
Average	11.3	12.66667	12.66667	15.32222	11.3	15.32222
Variation	0.2	0.48	0.48	1.721944	0.2	1.721944
Measured Data	9	9	9	9	9	9
Correlation Coefficient	-0.25416		0.453268		0.117152	
Difference Average of Hypotheses	0		0		0	
Degree of Freedom	8		8		8	
t Statistics	-4.48014		-6.78714		-9.03308	
P(T<=t) one-tailed test	0.001028		6.98E-05		9.02E-06	
t Reject one-tailed test	1.859548		1.859548		1.859548	
P(T<=t) two-tailed test	0.002055		0.00014		1.8E-05	
t Reject two-tailed test	2.306004		2.306004		2.306004	

#### 4. 결론

KS F 2563의 구분상 3중에 해당하는 동급 고로슬래그 미분말의 품질 차이가 콘크리트의 내구성<sup>2)</sup> 중 특히 중성화에 영향을 주는지를 파악하기 위해 고로슬래그 미분말의 Type을 A, B, C로 구분하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구에서는 건설현장에서 가장 많이 사용하는 고로슬래그 미분말 3중에 대한 연구를 주제로 선정하였다. KS F 2563의 고로슬래그 미분말의 규격을 만족하는 3가지 Type의 미분말을 사용한 결과, 축진 재령 56일에서 중성화 깊이에 주는 영향은 통계적으로 유의수준 5%에서 유의함을 확인하였고, 동급 고로슬래그 미분말이라도 그 품질에 의해 중성화에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 고로슬래그 미분말이 KS 규격품이라고 해도 콘크리트의 내구성에 미치는 영향이 다르게 나타난다고 추정할 수 있으므로, 현장 적용시에는 시험성적서의 확인과 더불어 시험배합을 통한 재료선정이 중요하다.

2) 결론적으로 고로슬래그 미분말 3중에 대한 중성화 시험 결과를 통계적 기법 중 T검정을 이용한 쌍체검정 분석 결과, 중성화 저항성의 크기는 산술평균과 마찬가지로 유의수준 5%에서 A>B>C 순서라는 결론을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 한국과학재단 특정기초연구지원사업(R-01-2007-000-10692-0)에 의하여 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 민정욱, 박승범, 김윤용 "광물질 산업부산물을 혼입한 콘크리트의 염소이온 투과저항성 개선에 관한 연구", 한국폐기물학회지 제24권 제8호, pp.677-688, 2007
2. Xiong Zhang, Keru Wu and An Yan, "Carbonation property of hardened binder pastes containing super-pulverized blast-furnace slag", Cement and Concrete Composites, Vol.26, Iss.4, pp.371-374, 2004