

# 석회석 미분말과 슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 내구성

## Durability in Concrete Containing Limestone Powder and Slag Powder

구봉근\*

Koo, Bong-Kuen

이재범\*\*

Lee, Jae-Bum

이현석\*\*\*

Lee, Hyoun-Sok

박주원\*\*\*

Park, Chu-won

### ABSTRACT

This study is to investigate durability in concrete containing slag powder and limestone powder. The variables are the substitution ratio of slag powder and limestone powder. In order to study the effect of slag powder and limestone powder, all mixtures were prepared at a fixed water/cement ratio, slump, and entrained air quantity. When concrete containing slag powder is mixing rate 40%, durability appeared the highest in general. When concrete containing limestone powder is mixing rate 10% in all experiments, the most suitable result appeared.

### 1. 서론

오늘날 대부분의 구조물에 사용되는 재료 중 가장 중요한 것으로 콘크리트를 들 수 있다. 콘크리트는 시멘트, 골재, 물 등이 혼합되어 만들어지는 복합재료로서, 형상이나 치수에 관계없이 원하는 구조물을 만들 수 있을 뿐만 아니라 일체적이고, 경제적인 구조물을 만들 수 있는 장점이 있다.<sup>1)</sup> 또한, 콘크리트는 반영구적인 건설재료로 토목·건축 분야에서 널리 사용하고 있으며, 철근콘크리트 구조물은 사회자산으로서도 큰 규모를 차지하고 있다.

그러나, 사용재료와 배합조건, 시공정도, 사용환경에 따라서 내구성이 크게 영향을 받고 있으며, 규정에 의해 시공된 구조물도 시간이 경과함에 따라 환경 요인 및 성능저하요인 등의 복합적인 상호작용에 의해서 서서히 노후화되고, 그 성능이 저하하게 된다.<sup>2)</sup> 최근에는 이러한 콘크리트 구조물의 내구성 문제가 중요하게 받아들여지고 있고, 자원의 고갈 문제까지 대두되고 있어 대체재료의 개발이 시급한 상황이고, 이에 따른 연구가 여러 분야에서 이루어지고 있다.<sup>3)</sup>

본 연구는 콘크리트 재료 중 시멘트에 대한 혼화제로 석회석 미분말, 슬래그 미분말을 사용하여 치환율에 따른 내구성 변화를 통해 콘크리트의 특성을 분석하고자 하였다. 실험은 압축강도, 동결융해, 건조수축에 대해 수행하였고, 이에 대한 분석결과를 가지고 내구적인 특성을 파악하고자 한다.<sup>4,5)</sup>

\* 정희원, 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정희원, 충북대학교 토목공학과 석사과정

\*\* 정희원, 충북대학교 토목공학과 박사과정

## 2. 실험조건

### 2.1 사용재료

시멘트 대체 혼화제로서 슬래그 미분말, 석회석 미분말 등을 첨가하였고, 혼화제로서 감수제, AE제 등을 적절하게 혼합하여 수량, 워커빌리티를 개선하였다. 그리고, 콘크리트 배합시에 조건에 맞는 공시체를 얻기 위해 슬럼프 시험, 공기량 시험을 수행하였다. 각 재료의 조성은 표 1~표 4에 나타내었다.

표 1 시멘트의 물리적 조성

분 류	분 말 도 (cm <sup>2</sup> /g)	안 정 도 (%)	경 화 시 간		압 축 강 도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			Initial (min)	Final (min)	3 일	7 일	28 일
측 정 값	3,437	0.08	202	385	241	316	407

표 2 골재의 물리적 조성

형 태	비 중	흡 수 율(%)	조 립 율
잔 골 재	2.58	1.01	2.73
굵 은 골 재	2.71	0.5	6.74

표 3 석회석 미분말의 물리적 조성

형 태	분 말 도 (cm <sup>2</sup> /g)	비 중
측 정 값	7,000	2.56

표 4 슬래그 미분말의 물리적 조성

형 태	분 말 도 (cm <sup>2</sup> /g)	비 중
측 정 값	4,300	2.96

### 2.2 실험방법

배합은 골재, 물과 함께 혼화제 없이 시멘트만을 첨가한 기준계열과 시멘트와 함께 슬래그 미분말을 20~50% 혼합한 계열, 시멘트와 함께 석회석 미분말을 10, 20% 혼합한 계열로 분류하였다.

건조수축변화는 항온항습기에 공시체를 양생하면서 일주일 단위로 길이변화율을 측정하였고, 동결융해는 동결융해시험기가 300사이클이 될 때까지 20~40 사이클 단위로 동탄성계수를 측정하고, 300 사이클이 되기 전 동탄성계수가 60% 이하로 내려가면 실험을 중단하였다. 압축강도는 재령에 따라 91일까지의 상태를 측정하고, 장기강도를 알아보기 위하여 1년 재령의 강도를 측정하였다. 배합설계에 대한 내용은 표 5에 나타낸 바와 같다.

표 5 배합설계

분 류	물-시멘트비 (%)	슬럼프길이 (cm)	잔골재율 (%)	공기량 (%)	AE제· 감수제 및 슬럼프와 공기량을 맞추기 위해 소량사용	치환율 (%)		단위 중량 (kgf/m <sup>3</sup> )					
						SP	LSP	W	C	SP	LSP	S	G
C100 SP0 LSP0	50	10 ± 2	43	4.5 ± 1.0	슬럼프와 공기량을 맞추기 위해 소량사용	0	0	185	370	0	0	710	997
C80 SP20 LSP0						20	0		296	68	0		
C70 SP30 LSP0						30	0		259	102	0		
C60 SP40 LSP0						40	0		222	136	0		
C50 SP50 LSP0						50	0		185	170	0		
C90 SP0 LSP10						0	10		333	0	31		
C80 SP0 LSP20						0	20		296	0	61		

※ W : 단위수량, C : 단위시멘트량, SP : 슬래그 미분말량, LSP : 석회석 미분말량, S : 잔골재량, G : 굵은골재량

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 압축강도

그림 1은 슬래그 미분말 치환율에 따른 압축강도를 나타내고 있으며, 압축강도의 초기값은 기준계열과 거의 비슷한 양상을 보이고 있으나, 재령이 길어질수록 기준계열과의 강도 편차가 커지는 것을 보여주고 있다. 그리고, 슬래그 미분말 40%까지는 혼입률이 증가할수록 강도값이 크게 나타나고 있으며, 50%에서는 기준계열보다 떨어지는 양상을 보여주고 있다.

그림 2는 석회석 미분말의 치환율에 따른 압축강도를 보여주는 것으로, 석회석 미분말 혼합시 압축강도는 약간 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 중 석회석 미분말 10% 혼합시, 초기에는 기준계열과의 강도차가 많이 나타나는 것을 볼 수 있는데, 재령이 길어질수록 강도발현이 좋아 1년 장기재령에서는 기준계열과의 강도편차가 거의 나타나지 않는다는 것을 볼 수 있다. 그러나, 20% 혼합시에는 초기재령의 강도와 장기재령의 강도 모두 기준계열보다 현저하게 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다.

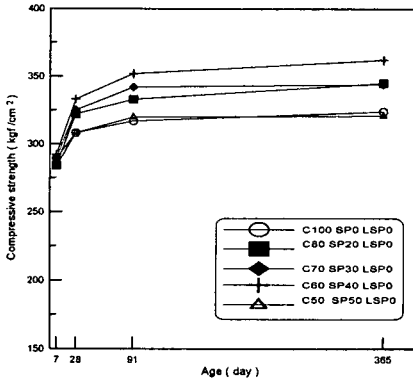


그림 1 압축강도 (슬래그 미분말 포함)

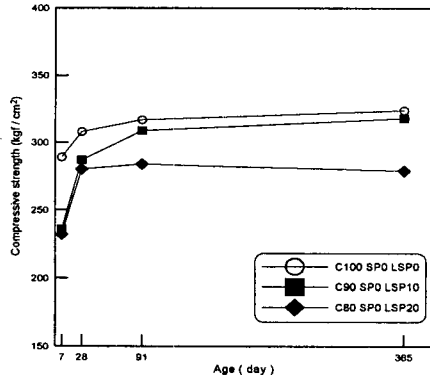


그림 2 압축강도 (석회석 미분말 포함)

### 3.2 동결융해

그림 3에서, 슬래그 미분말 20%를 포함한 계열에서는 기준계열보다 낮은 상대동탄성계수를 나타내었고, 30% 혼합한 계열에서는 기준계열보다 약간 높은 상대동탄성계수를 보이고 있다. 그리고, 40%, 50%에서는 기준계열보다 약간 낮은 상대동탄성계수를 보여주고 있다. 일반적으로, 슬래그 미분말 40%를 포함한 계열에서 내구적인 특성이 가장 높게 나타난 것에 비해 약간 차이가 나는 결과를 보여주고 있으나, 슬래그 미분말을 혼합한 계열에서는 기준계열과 거의 비슷한 상대동탄성계수를 보여주고 있어 동결융해에 대한 저항에 양호한 것으로 판단된다.

그림 4는 석회석 미분말을 포함한 콘크리트의 상대동탄성계수를 보여주고 있는데, 석회석 미분말을 10% 혼합한 경우에 기준계열보다 약간 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나, 석회석 미분말을 20% 혼합한 경우에는 상대 동탄성계수가 기준계열보다 많이 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나, 80% 이상의 상대 동탄성계수를 보여주고 있어 배합시에 그다지 큰 문제로 작용하지는 않을 것으로 분석된다.

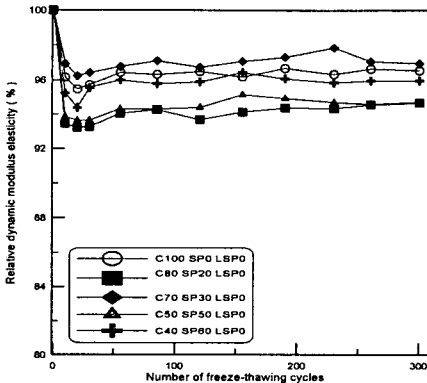


그림 3 상대동탄성계수 (슬래그 미분말 포함)

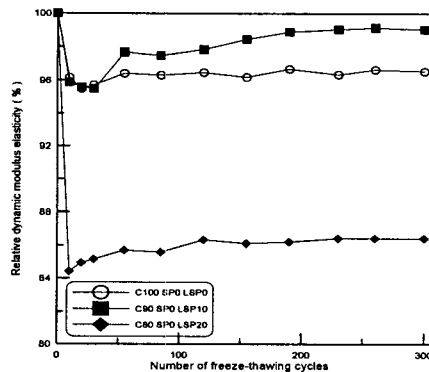


그림 4 상대동탄성계수 (석회석 미분말 포함)

### 3.3 건조수축

그림 5는 슬래그 미분말의 함유율 변화에 따른 건조수축 변화율을 나타내었다. 슬래그 미분말 함유율 20% 일 때, 건조수축 변화율이 가장 작게 나타났다. 그리고, 30%, 40%로 갈수록 건조수축 변화율이 약간씩 커지는 결과를 보여주고 있다. 50%일 때는 40%일 때와 거의 동등한 결과를 나타내고 있다. 초기에는 거의 모든 계열에서 기준계열보다 큰 건조수축 변화율을 보여주다가 약 30~40일 이후에 기준계열보다 작은 건조수축 변화율을 보여주고 있는데, 이는 슬래그 미분말이 물과 다소 느리게 결합하는 잠재수경성의 영향으로 판단된다.

그림 6은 석회석 미분말 함유율 변화에 따른 건조수축 변화율을 보여주고 있다. 석회석 미분말 함유율 10%일 경우, 초기에는 기준계열보다 약간 높은 변화율을 보이다가 약 30일 이후부터는 기준계열보다 약간 낮은 값을 보여주고 있다. 석회석 미분말 20%를 함유할 때도 마찬가지로 10% 함유할 때와 거의 비슷한 양상을 보여주고 있다.

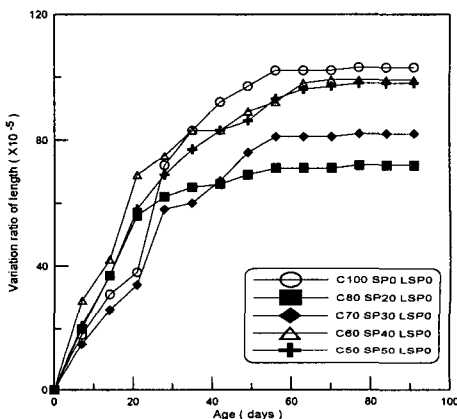


그림 5 건조수축 길이변화율(슬래그 미분말)

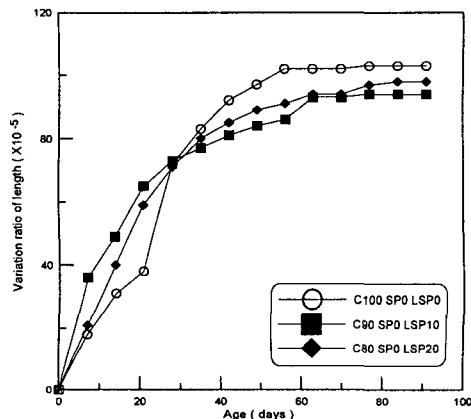


그림 6 건조수축 길이변화율(석회석 미분말)

### 4. 결론

- (1) 슬래그 미분말을 함유한 콘크리트의 압축강도는 40%를 함유할 때까지 함유량이 증가할수록 더 높은 값을 나타냈고, 재령이 길어질수록 기준계열보다 높은 값을 나타내었다. 그리고, 석회석 미분말은 기준계열보다 낮은 압축강도를 보여주고 있으나, 10%에서는 기준계열과 거의 동등한 값을 나타내었다.
- (2) 동결융해 실험에서 석회석 미분말 20% 혼입시에 다른 계열에 비해 상대적으로 낮은 계수값을 나타내고 있으나, 80% 이상을 나타내고 있으므로, 석회석 미분말·슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 양호한 것으로 분석된다.
- (3) 건조수축 실험에서 슬래그 미분말은 20%일 때 가장 낮은 값을 보여주고 있으나, 대체적으로 기준계열보다 낮은 길이변화율을 보여주었고, 석회석 미분말도 10%, 20% 혼입시에 기준계열과 거의 동등한 값을 보여주고 있어 두 혼화제를 적정량 혼입시 건조수축에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

1. 변동균, 신현목, 문재길, "철근 콘크리트", 도서출판 동명사, 2003, pp.3~4.
2. 이장화, "콘크리트 구조물 내구성 설계의 고려요인", 한국콘크리트학회 논문집, 2001. 11, pp.22~25.
3. Bijen, J., "Benefit of slag and fly ash", *Construction and Building Materials*, 1996., pp.309~314.
4. 오병환, 박대균, 박재명, 이중화, "석회석 미분말을 사용한 3성분계 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성능 연구", 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, 2002. 5, pp.569~574.
5. 日本石灰石微粉末専門委員会報告書, "Report of Committee on Limestone Filler", Japan Cement Association, 2001, pp.1~173.