석회석 미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 침투 저항 특성

Characteristic on the Resistance of Chloride Infiltration in Concrete Containing Limestone Powder

구봉근* 라재웅** 류택은*** 이재범*** 이현석*** 이기호****
Bong-Kuen Koo Jae-Woong Ra Taek-Eun Ryu Jae-Bum Lee Hyoun-Sok Lee Ki-Ho Lee

ABSTRACT

This study is to investigate the characteristic on the resistance of chloride infiltration concrete containing limestone powder. The variables are the substitution ratio of slag powder and limestone powder. In order to study the effect slag powder and limestone powder, all mixtures were prepared at a fixed water/cement ratio, slump, and entrained air quantity. As results show that the strength and the resistance of chloride infiltration in concrete substitution 10 %, 20 % limestone powder, and 30 %, 40 % slag powder are positive.

1. 서론

최근까지도 콘크리트는 다른 건설재료에 비해 내구성이 우수하여 영구적인 재료로 인식되어 왔으나, 콘크리트의 성능저하로 인한 콘크리트 구조물의 안전에 대한 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있어 콘크리트 내구성에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.[1,2] 최근 국내에서도 해양 환경하에 콘크리트 구조물들이 건설되면서 해양 환경하에서의 콘크리트 내구성에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 동안 우리나라에서는 해양 구조물 건설에 내황산염 포틀랜드 시멘트가 사용되어 왔으나, 해수의 침식을 받는 구조물의 피해사례를 조사한 결과, 해양콘크리트 구조물은 열화의 주된 요인이 황산염에 의한 콘크리트의 침식이 아니라 염화물에 의한 철근 부식임이 밝혀졌다. 현재는 해양 구조물에 슬래그와 플라이애시를 혼입한 콘크리트가 주로 사용되고 있으나, 슬래그는 수요량이 공급량을 초과한 상태이고, 슬래그와 함께 사용하고 있는 플라이애시는 사용된 원탄의 종류 및 발전소의 연소장치 등에 따라 품질편차가 매우 커지는 문제점을 가지고 있다.[3]

* 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 정회원, 한국도로공사 과장
*** 정회원, 충북대학교 토목공학과 박사과정
**** 정회원, 충북대학교 토목공학과 석사과정

외국에서는 석회석 미분말을 함유한 시멘트의 사용량이 점차 늘고 있고, 석회석 미분말에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.[4] 국내에서도 점차 석회석 미분말에 대한 관심을 가지고 연구가 진행중이나 아직 미흡한 실정이다.[5] 따라서, 본연구는 석회석 미분말을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성 및 염소이온 투과 특성을 고찰하여 석회석 미분말의 실용화를 넓히는데 목적이 있다.

2. 실험조건

2.1 사용재료

본 연구에서는 결합재로서 사용되는 시멘트를 슬래그 미분말과 석회석 미분말로 대체하여 각각의 혼입률에 따른 특성을 알아보았다. 사용한 시멘트는 국내 S사 제품으로 비중은 3.15 이다. 슬래그 미분말과 석회석 미분말은 각각 비중이 2.96, 2.56이고, 분말도는 각각 4,300cm^2/g, 7,000cm^2/g 인 것을 사용하였다.

표 1 은 사용한 슬래그 미분말의 화학적 조성을 나타낸 것이고, 표 2는 석회석 미분말의 화학적 조성을 나타낸 것이다.

표 1 슬래그미분말의 화학적 조성

성분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	lg-loss
함량(%)	33.3	15.3	0.4	42.1	5.3	2.1	0.7	0.7

표 2 석회석미분말의 화학적 조성

성분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	lg-loss
함량(%)	3.6	2.6	2.1	50.6	1.4	0.3	0.8	37.5

2.2 실험방법

표 3 . 배합설계

Type	*W/C* (%)	slump (cm)	*S/a* (%)	Air (%)	혼화제	결합재대체율 (%)		단위중량(kgf/m^3)					
						SP	*LSP*	*W*	*C*	*SP*	*LSP*	*S*	*G*
C100 SP0 LSP0	50	16 ± 2	43	4.5 ± 1.0	슬럼프와 공기량 맞추기 위해 소량의 AE제와 감수제 사용	0	0	185	370	0	0	710	997
C80 SP20 LSP0						20	0		296	68	0		
C60 SP40 LSP0						40	0		222	136	0		
C40 SP60 LSP0						60	0		148	204	0		
C90 SP0 LSP10						0	10		333	0	31		
C80 SP0 LSP20						0	20		296	0	61		
C70 SP0 LSP30						0	30		259	0	92		
C60 SP30 LSP10						30	10		222	102	31		
C60 SP20 LSP20						20	20		222	68	61		
C60 SP10 LSP30						10	30		222	34	92		
C50 SP40 LSP10						40	10		185	136	31		
C40 SP40 LSP20						40	20		148	136	61		
C30 SP40 LSP30						40	30		111	136	92		

주) *SP* : 슬래그 미분말(slag powder) *LSP* : 석회석 미분말(limestone powder)

또한 흡수율의 경우 약 13~18%로 미국의 ASTM 및 일본의 JIS의 규정인 경량골재의 흡수율(10~30%)을 만족하는 것으로 나타났다. 산업부산물을 혼입한 경우 다소 높은 흡수율을 보여주었으며 표면 코팅에 의해 흡수율이 대폭 저감할 것으로 기대되었으나, 큰 차이를 보이지는 않았다.

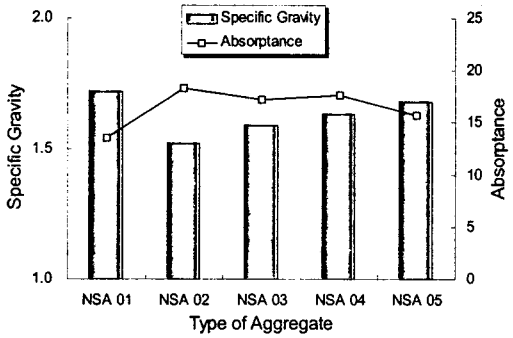

그림 2 골재의 종류에 따른 비중 및 흡수율

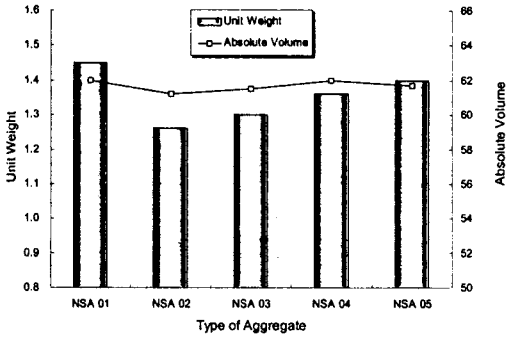

그림 3 골재의 종류에 따른 단위용적중량과 실적률

3.1.2 단위용적중량 및 실적률

골재의 단위용적중량과 실적률은 최대치수, 입도분포, 입형 등에 따라 변화하게 되는데, 본 실험에는 5~9㎜로 입도 분급하여 측정한 결과 단위용적중량은 결합재로 시멘트만을 사용한 경우 다른 타입의 골재보다 약간 증가하였으며 전반적으로 비중과 유사한 경향을 나타내고 있다. 또한 실적률은 전반적으로 60%를 상회하는 것으로 나타났는데 이는 제조된 NSA의 입형이 구형이며 크고 작은 입자가 골고루 섞여 있기 때어 충전효과가 좋기 때문으로 사료되었다.

3.1.3 파쇄율 시험

골재의 강도를 직접 측정하는 것은 극히 어려우므로 KS F 2541에 의한 파쇄시험에 의해 골재강도를 추정하고 있다. 본 실험의 파쇄시험 결과 산업부산물인 BFS와 PG를 혼입한 경우 시멘트만을 결합재로 사용한 경우보다 우수한 강도특성을 나타내었는데 이는 PG와 BFS의 수화반응을 통해 에트린가이트($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, ettringite)를 생성시키고 슬래그 중의 남은 성분은 서서히 CSH와 AH_3계의 겔상의 수화물을 형성함으로서 강도를 발현하기[8] 때문으로 사료되었다. 또한 BFS의 일정량을 FA로 치환함에 따라 NSA의 파쇄강도는 약간씩 저하하는 특성을 보였는데 이는 FA가 강도발현을 위한 수화물을 충분히 형성하지 못한 상태로 존재하여 단지 충전역활만 하기 때문으로 사료되었다. 그러나 시멘트만을 사용한 경우와는 파쇄강도 특성이 거의 동등하게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 시멘트 코팅을 실시한 경우 코팅하지 않은 NSA보다 약 10~15%정도 우수한 강도특성을 나타내었다.

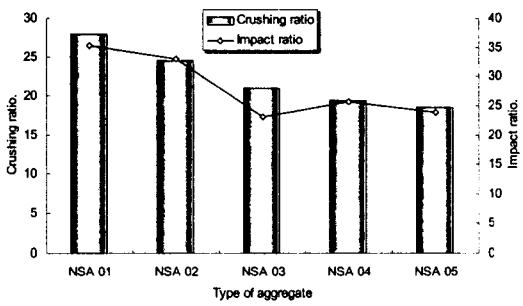

그림 4 골재의 종류에 따른 파쇄율과 충격률

3.1.4 충격률 시험

충격률 시험은 충격에 대한 골재의 저항성을 나타내는 한 방법으로, 골재의 견고한 정도를 판정한

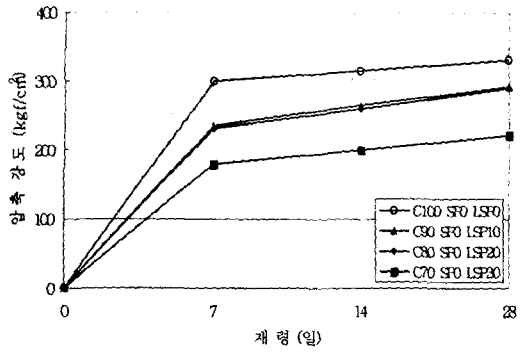

그림 2 석회석 미분말을 혼입한 콘크리트의 압축강도

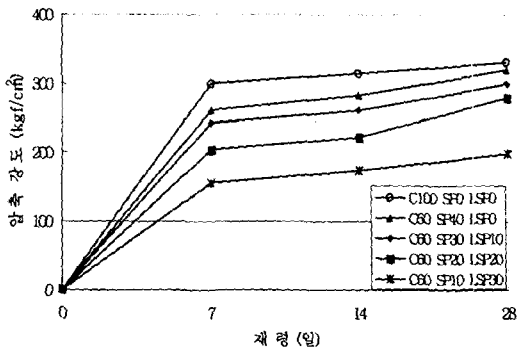

그림 3 시멘트 60 % 콘크리트의 압축강도

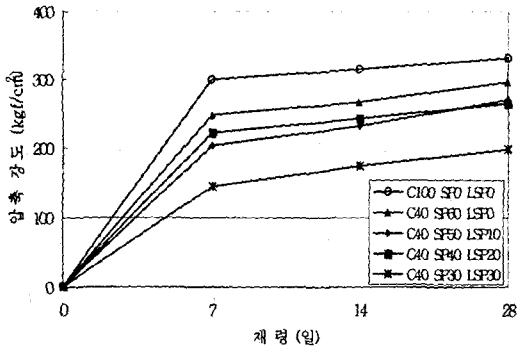

그림 4 시멘트 40 % 콘크리트의 압축강도

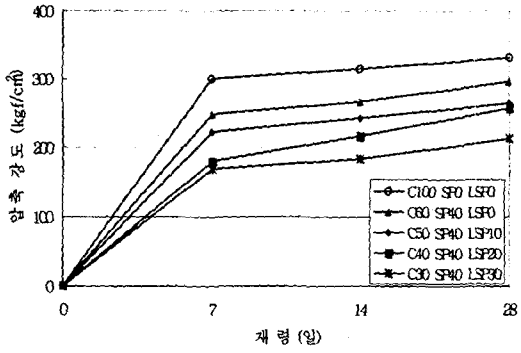

그림 5 슬래그 미분말 40 % 콘크리트의 압축강도

그림 4 는 시멘트의 사용량을 40 %로 고정하고 시멘트와 석회석 미분말의 혼입률을 변화시킨 것이고, 그림 5는 슬래그 미분말의 사용량을 40 %로 고정시킨 것이다.

측정결과 모든 계열에서 석회석 미분말의 사용량이 많아 질수록 강도가 낮게 나타났고, 석회석 미분말의 혼입률이 30%일 경우 현저히 낮은 강도값을 보였다.

3.2 염소이온 투과 저항특성

본 연구에서는 ASTM C 1202 방법에 의해 염소이온 투과성 시험을 하였다. 측정된 통과전하량을 표 4에 제시된 범위구간과 비교하여 염소이온에 대한 투과성을 판단하였다.

그림 6~그림 10은 슬래그 미분말과 석회석 미분말의 혼입률에 따른 염소이온 투과성 측정 결과를 나타낸 것이다. 기준계열의 경우 재령 28일에 측정한 통과전하량 값이 4000C 보다 크게 나타나 염소이온 투과성이 높음을 보였다. 그림 6에서 슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 염소이온 투과성이 낮아짐을 알 수 있다. 석회석 미분말만을 혼입한 경우는 10 %, 20 % 혼입시 투과성이 약간의 감소가 있었고, 30 % 혼입시 오히려 투과성이 증가하였다.

3성분계 콘크리트에서는 그림 8~그림 10에서 알 수 있듯이 슬래그만을 혼입한 경우보다 석회석 미분말을 10%, 20% 혼입한 경우에 염소이온 투과성이 낮게 나타났다.

표 4 통과전하량에 따른 염소이온 투과성

총 통과전하량(Coulomb)	염소이온 투과성
> 4000	높음
2000 ~ 4000	보통
1000 ~ 2000	낮음
100 ~ 1000	매우 낮음
< 100	무시

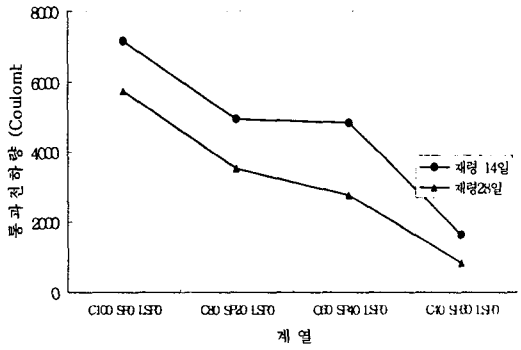

그림 6 슬래그 미분말 혼입한 염소이온 투과성

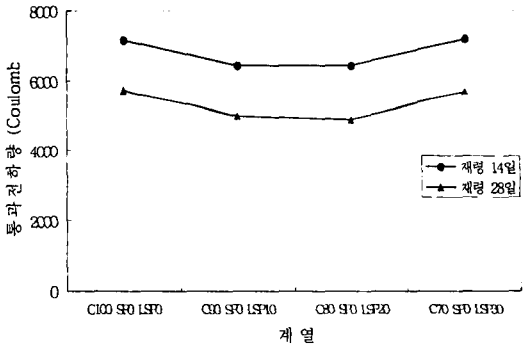

그림 7 석회석 미분말 혼입 콘크리트의 염소이온 투과성

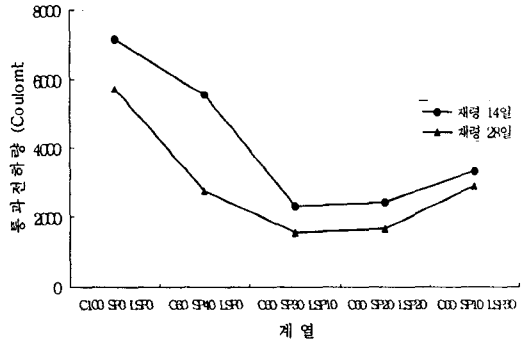

그림 8 시멘트 60% 콘크리트의 염소이온 투과성

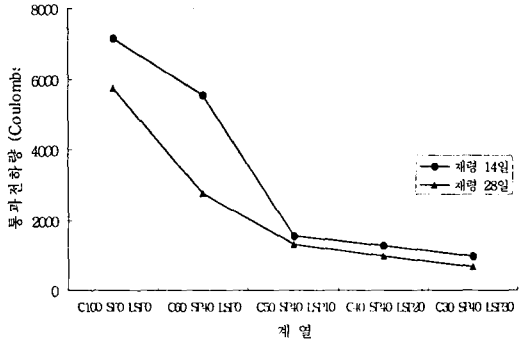

그림 9 시멘트 60% 콘크리트의 염소이온 투과성

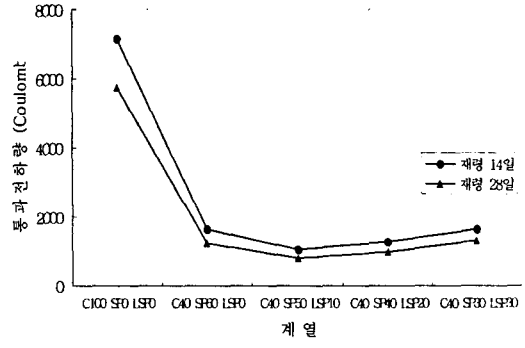

그림 10 슬래그 미분말 40% 콘크리트의 염소이온 투과성

4. 결론

(1) 슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 경우 압축강도는 재령이 길어질수록 기준 콘크리트보다 커지거나 거의 비슷한 값을 보였고, 염소이온 투과성은 혼입률이 증가할수록 낮아짐을 알 수 있었다.

(2) 석회석 미분말 10%, 20% 혼입한 콘크리트는 재령 28일에서 기준 콘크리트의 약 90% 강도를 보였고, 염소이온 투과성은 약간 감소했다. 석회석 미분말 혼입률이 30%인 경우, 강도가 60% 정도였고 염소이온 투과성은 오히려 기준 콘크리트보다 높아진 결과를 보였다.

(3) 3성분계 콘크리트에서 석회석 미분말을 10%, 20% 혼입한 경우 염소이온 투과성이 현저히 낮아졌고, 기준 콘크리트에 비해 90%정도의 강도를 보였다. 따라서 염소이온 침투 환경하에 있는 구조물에 슬래그 미분말 30%, 40%와 석회석 미분말 10%, 20%를 함께 혼입한 콘크리트를 사용하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Hornain, H., Marchand, J., Duhot, V., and Moranville-Regourd, M., "Diffusion of Chloride Ions in Limestone Filler Blended Cement Pastes and Mortars", *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 8, 1995, pp. 1667~1678.
2. Kropp, J., and Hilsdorf, H. K., *"Performance Criteria for Concrete Durability"*, Rilem Report 12, E & FN Spon, London, 1995, pp. 138~141.
3. 박일용, 백민수, 손종규, 최수, 정상진, "플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트 품질변화에 관한 실험적 연구", *한국콘크리트학회 학술발표회 논문집*, 제 11권 1호, 1999. 5, pp. 147~152.
4. 日本石灰石微粉末專門委員會報告書, *"Report of Committee on Limestone Filler"*, Japan Cement Association, 2001, pp. 1~173.
5. 박대균, 오병환, 박재명, 이종화, "석회석 미분말을 사용한 3성분계 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성능 연구", *한국콘크리트학회 학술발표회 논문집*, 제 14권 1호, 2002. 5, pp. 569~574.