

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 방청성능에 관한 연구

A Study on the Rust-protection Performance of Concrete using Ground Granulated Blast-furnace Slag

박 상 준* 김 동 석* 원 철* 이 상 수** 김 영 진***
Park, Sang Joon Kim, Dong Seok Won, Cheol Lee, Sang Soo Kim, Young Jin

ABSTRACT

In this paper, rust-protection performance of concrete using ground granulated blast-furnace slag are discussed. 4 kinds of W/B in combination with 3 kinds of replacement ratio of ground granulated blast-furnace slag and 2 kinds of chloride ion contents of are selected as experimental parameters. According to the experimental results, as the replacement ratio of ground granulated blast-furnace slag is increased, the corrosion area of steel bar tends to be decreased. However, as the autoclave cycle and chloride ion contents are increased, the corrosion area of steel bar is increased. In conclusion, when the replacement ratio of ground granulated blast-furnace slag is 50%, the strength and rust-protection performance appear to be most excellent.

1. 서 론

해상교량, 방파제 등과 같은 해양구조물들은 해수와 직접적으로 접하게 되거나, 염분의 침투에 노출되어 심각한 염해 피해가 우려되며(Fig 1참조), 부재단면이 큰 경우에는 수화열 발생도 부가되는 경우가 있다. 따라서, 이를 방지하기 위한 여러가지 대책¹⁾이 제안되고 있는데, 그 중 하나가 잠재수경성을 갖는 고로슬래그 미분말을 사용하여 고품질의 수밀콘크리트를 제조하는 방안이라 할 수 있다. 그러나, 실제 적용하고자 하는 콘크리트 구조물의 특성이나 주변의 염해 환경조건 등에 따라 이의 적용방법이 상이함에도 불구하고, 아직까지 이에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 해안이나 해안가 등에 구축되는 각종 콘크리트 구조물을 대상으로 하여 물결합재비 및 고로슬래그 미분말의 치환율 등을 변화시켜 수화열 저감 및 철근의 방청효과 등을 검토하였는데, 특히 철근의 방청성능을 검토함에 있어서는 실제 해수의 염화물 함유량을 적용함으로써 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트를 활용하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

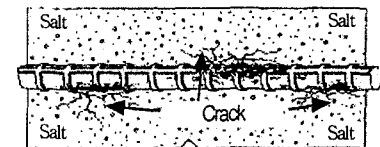


Fig 1 Salt damage of RC structures

* 정회원, (주)대우건설 기술연구소, 주임연구원
** 정회원, (주)대우건설 기술연구소, 선임연구원
*** 정회원, (주)대우건설 기술연구소, 책임연구원

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 방청 효과를 검토하기 위한 철근의 부식촉진실험의 계획은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합은 Table 2와 같다. 즉, 예비실험을 통하여 선정된 3개 수준의 W/B에 대하여 고로슬래그 미분말의 치환율, 오토클레이브 반복회수 및 염화물 함유량 등을 실험변수로 하였다.

실험사항으로는, 압축강도와 철근부식촉진시험을 계획된 재령에서 실시하였으며, 아울러 해양구조물의 대부분이 매시브한 점을 고려하여 단일온도상승시험도 실시하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 먼저, 시멘트는 비중 3.14의 국내산 보통포틀랜드 시멘트를, 고로슬래그 미분말은 전남 광양산(비중 2.91, 분말도 4,751 $\mu\text{m/g}$, 염기도 1.70)을 사용하였으며, 잔골재(비중 2.56, 조립률 2.52)는 해사와 강사가 8:2의 비율로 혼합된 것을, 굵은골재는 비중이 2.59인 25mm 쇄석을 사용하였다. 고성능 감수제는 국내 D사의 제품을 사용하였다.

2.3 실험방법

실험방법으로 먼저, 고로슬래그 미분말의 수화열 저감효과를 검토하기 위한 단일온도상승시험은 KS L 5121(포틀랜드 시멘트의 수화열 시험방법), 철근부식촉진시험은 Fig 2, 3에서와 같이 KS F 2561(부속서 2 : 콘크리트중의 철근의 부식 촉진 시험방법)에 따라 실시하였다.



Fig 2 Shape of the mould

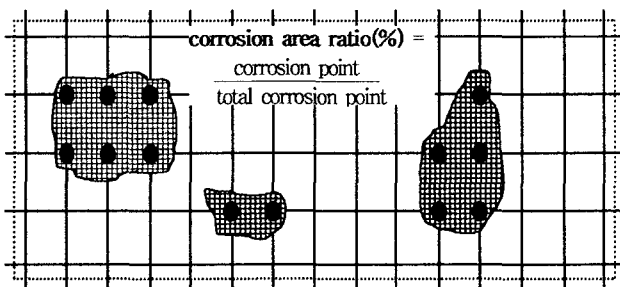


Fig 3 Decision of steel bar corrosion

Table 1 Design of experiment

Variable	Properties according to the replacement ratio of Ground Granulated Blast-furnace Slag		
W/B(%)	43.2	45.6	47.3
Slag replacement ratio(%/Cg)	50	30	15(Plain)
Autoclave Cycle	1, 2		2
Chloride contents (%/Wg)	0.6, 1.2		1.2
Experiment	<ul style="list-style-type: none"> Compressive strength(7, 14, 28days) Adiabatic temperature rising test Steel bar corrosion acceleration test 		

Table 2 Mix proportion

W/B (%)	Slag replacement ratio(%/Cg)	Unit weight(kg/m ³)						
		W	C	SL	S	G	SP(%)	AE(%)
47.3	15	175	315	55	821	926	0.5	0.015
41.0	30	164	280	120	784	932	1.2	0.030
43.2			266	114	818	945		
45.6			252	108	844	936		
41.0	50	164	200	200	782	959	1.0	0.020
43.2			190	190	816	942		
45.6			180	180	842	934		

3. 실험결과 및 분석

3.1 단일온도상승시험

Table 3 및 Fig 4 는 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 수화열 특성을 나타낸 것이다. 전반적으로, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 최고상승온도(K)와 상승속도(α, β)는 낮아지는 것

으로 나타났는데, 특히 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%인 경우, 최고상승온도는 41.22℃, 상승속도는 각각 0.91과 1.801인 것으로 나타나, 상대적으로 수화열에 의한 온도균열발생 확률이 고로슬래그 미분말의 치환율 15%와 30%인 경우에 비해 매우 적을 것으로 기대된다.

3.2 압축강도

Fig 5는 고로슬래그 미분말의 치환율 및 W/B 변화에 따른 강도특성을 각 재령별로 구분하여 나타낸 것이다. 즉, 고로슬래그 미분말의 치환율이 상대적으로 적은 15%와 30%의 경우 재령 14일까지의 조기강도는 높고, 28일 재령에서는 다소 완만한 것으로 나타난 반면, 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%인 경우는, 재령 28일에서 높은 강도발현 특성을 나타내고 있었다. 특히, W/B 41.0%인 경우는 재령 28일에서 동일 W/C의 치환율 30%에 비해 85kgf/cm²이상 높은 강도를 발현하고 있었다.

이는 기존연구²³⁾에서도 보고된 바와 같이, 고로슬래그 미분말의 잠재수경성에 기인하여, 상대적으로 낮은 pH를 나타내는 조기재령의 콘크리트가 상대적으로 단위시멘트량이 많은 다른 경우에 비해 수화반응속도 측면에서는 불리하나, 장기재령으로 갈수록 수산화칼슘[Ca(OH)₂]과의 지속적인 반응으로 강도가 크게 증진되었기 때문인 것으로 분석되었다. 따라서, 이를 실제 현장에 활용할 경우에는 조기재령에서의 철저한 양생관리가 요구된다.

3.3 철근부식촉진시험

Table 4와 Fig 6은 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 방청효과를 검토하기 위한 철근부식 촉진시험결과를 염화물 함유량 및 오토클레이브 반복회수별로 구분하여 나타낸 것으로서, 전반적으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 철근의 부식면적율은 감소하는 것으로 나타났으나, 염화물 함유량 및 오토클레이브의 반복회수가 증가할수록 부식면적율은 증가하는 것으로 나타났다.

즉, 염화물(Cl⁻) 함유량이 1.2%이고, 오토클레이브 반복회수가 2회이면서 고로슬래그 미분말을 30%와 50%로 치환한 경우, 방청율이 각각 95.3%와 98.1%인 것으로 나타남으로서, 치환율 15%의 방청율 86.6%에 비해 매우 우수한 방청효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 고로슬래그 미분말(치환율 30%와 50%)의 방청효과는 철근 콘크리트용 방청제의 관련규준⁴⁾인 방청율 95%이상을 모두 만족하는 결과로서, 철근의 부식방지를 목적으로 현재 사용되는 고가의 방청 혼화제와 비교해 볼 때 거의 유사한 방청성능을 나타내는 것이다.

이상을 종합하여 볼 때, 고로슬래그 미분말과 같이 콘크리트 구조물에 높은 수밀성을 부여하는 혼화재료를 염해피해가 예상되는 각종 철근콘크리트 구조물에 적절히 활용한다면 수화열 제어, 장기강도 및 철근의 방청성능향상 등의 품질확보 효과가 있어 기존의 방청혼화제 사용보다는 경제적인 측면에서도 매우 효과적이라고 판단된다.

Table 3 Test results of adiabatic temperature rising

Levels	K(℃)	α	β
SL15	44.18	1.52	1.806
SL30	44.81	1.03	1.819
SL50	41.22	0.91	1.801

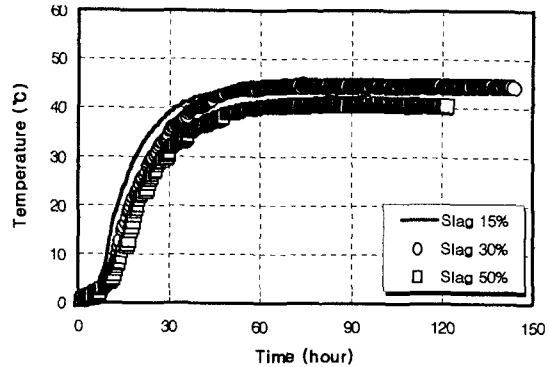


Fig 4 Properties of hydration heat

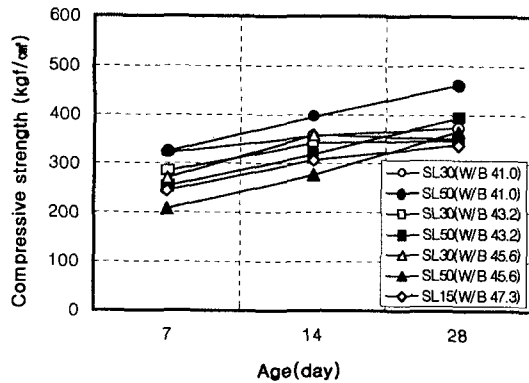


Fig 5 Properties of compressive strength

Table 4 Test results of corrosion acceleration

Replacement of slag(%)	W/B (%)	Cl ⁻ (%)	Autoclave Cycle	Corrosion area ratio(%)
15	47.3	0.6	1	1.9
			2	4.0
		1.2	1	8.1
			2	13.4
30	45.6	0.6	1	1.1
			2	1.2
		1.2	1	3.4
			2	4.7
50	43.2	0.6	1	0.8
			2	1.3
		1.2	1	0.9
			2	1.9

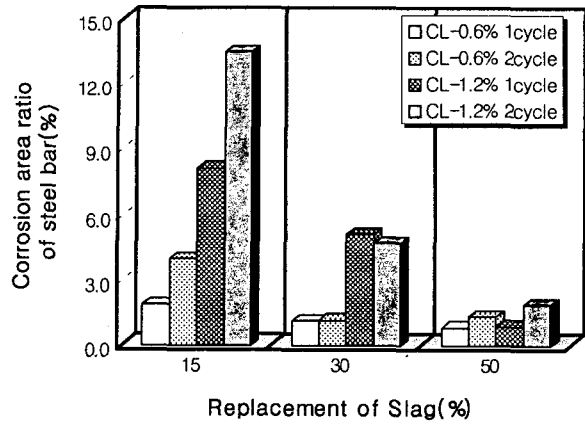


Fig 6 Corrosion area of steel bar

4. 결 론

철근콘크리트 구조물의 염해방지를 목적으로 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 수화열, 강도 및 철근의 방청성능 등을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 최고상승온도(K)와 상승속도(α, β)가 크게 낮아지는 것으로 나타났으며, 고로슬래그 미분말의 치환율이 15%와 30%인 경우에 비해 50%인 경우가 수화열에 의한 온도균열발생 확률이 가장 적을 것으로 예상되었다.

2) 압축강도는 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 고로슬래그의 잠재수경성에 기인하여 동일 W/B 인 조건에서의 조기강도는 낮으나, 28일 재령에서는 오히려 상회하는 것으로 나타났다.

3) 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 철근의 부식면적은 감소하고, 염화물 함유량 및 오토클레이브의 반복회수가 증가할수록 부식면적은 증가하였다. 그러나, 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%인 경우는 방청율이 98.1%인 것으로 나타나, KS F 2561의 방청기준 95%를 만족하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서," 1999, pp.187~192.
2. 이상수, "해사를 사용한 콘크리트의 염해와 방청대책에 관한 실험적 연구," 충남대 석사학위논문, 1994. 12.
3. 日本建築學會, "高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術現況," 1992. 6.
4. 한국표준협회, "KS F 2561(철근콘크리트용 방청제)," 1998. 6. 30.