

# 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 방청효과에 관한 연구

이 상 수 · 박 상 준

〈(주) 대우건설 기술연구소〉

## 1. 서론

해상교량이나 방파제 등과 같은 각종 해양 콘크리트 구조물들은 해수와 직접적으로 접하게 되므로, 염화물 이온의 침투에 따른 심각한 염분 피해가 우려된다. 더욱이, 대부분의 해양 콘크리트들은 단면이 큰 토목 구조물로서 콘크리트의 수화열에 기인한 균열발생도 부가되는 경우가 있다. 따라서, 이를 방지하기 위한 각종 방안<sup>1),3)</sup>이 제시되고 있는데, 그 중 하나가 잠재수경성을 갖는 고로슬래그 미분말을 사용하여 고품질의 수밀콘크리트를 제조하는 방안<sup>2),6)</sup>이라 할 수 있다. 그러나, 실제 적용하고자 하는 각종 콘크리트 구조물의 특성이나 주변의 염해 환경조건 등에 따라 그의 적용방법이 매우 상이함에도 불구하고, 아직까지도 이에 대한 실무차원에서의 연구는 매우 미흡한 실

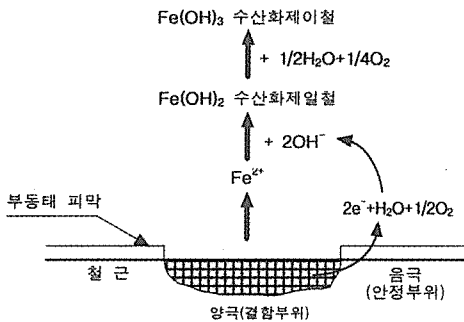
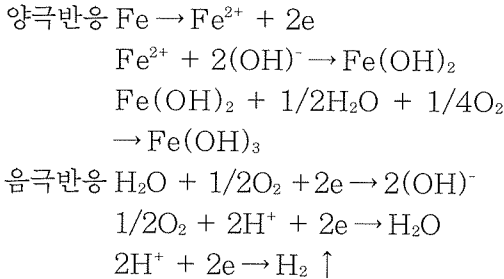
정이다.

따라서, 본 고에서는 기존의 연구결과<sup>4),5),7)</sup>를 바탕으로 철근의 부식 메카니즘과 각종 방청 대책에 대하여 간략하게 정리하였고, 아울러 실제 해안에 구축되는 콘크리트 구조물을 대상으로 고로슬래그 미분말의 수화열 저감 및 철근의 방청효과 등에 대하여 검토하였는데, 특히 철근의 방청성능을 검토함에 있어서는 실제 국내의 해수 및 토양시료를 채취하여 조사·분석하고, 이를 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트에 실제 적용함으로써 고로슬래그 미분말을 사용한 해양콘크리트를 실제 구조물에 활용하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 철근의 부식 메카니즘과 방청 대책

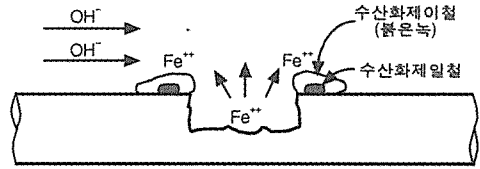
## 2.1 철의 부식

자연상태에 있어 철은 주로 산소와 결합하여 광석중에 안정한 상태로 존재하게 되는데, 여기에 전기적 에너지와 열에너지 등을 가하여 열역학적으로 불안정한 상태로 만든 것이 철금속이다. 이와 같이 불안정한 상태의 철금속은 그의 환경내에서 물이나 공기 등과 손쉽게 반응하여 원래의 안정한 상태로 되돌아가려는 성질을 갖게 되는데, 이러한 성질의 결과물이 철의 부식현상이다.



(그림 2.1) 철근부식의 반응기구

즉, 철의 부식반응은 [그림 2.1] 및 [그림 2.2]에서와 같이 먼저, 철이 이온화하여 산화된 양극(anode)반응과 산소가 환원하는 음극(cathode)반응이 진행됨으로서 수산화제일철(Fe(OH)<sub>2</sub>)이 철의 표면에 분출되고, 이어 용존 산소에 의해 산화되어 수산화제이철

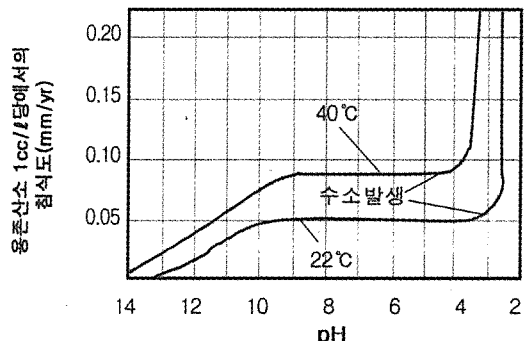


(그림 2.2) 철근의 발청

(Fe(OH)<sub>3</sub>)이 생성되는데, 더욱이 이 화합물은 물을 잃어 FeOOH 또는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 붉은 녹이 되며, 이 중 일부는 산화 불충분 상태로 검은 녹(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)이 되어 철의 표면에 녹층을 형성하게 된다.

한편, 콘크리트의 세공(細孔)용액은 포화 수산화칼슘용액과 그 속에 약간의 수산화나트륨 그리고, 수산화칼륨 등을 함유하고 있어 용액의 pH가 12~13 정도이기 때문에 일반적으로 콘크리트중의 철근은 부식하지 않는 것으로 알려져 있다. 즉, 철근은 콘크리트의 강알칼리성에 기인하여 그의 표면에 부동태 피막이라는 20~60 Å 두께의 얇은 피막(γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O)이 형성되어 부식작용으로부터 보호되고 있다. 그러나, 콘크리트가 각종 요인에 의해 알칼리 농도가 낮아지거나, 콘크리트 중에 각종 유해성분이 혼입 되면 철근은 활성화 상태로 되어 쉽게 부식하게 되는 것이다.

철근의 부동태 피막을 파괴하는 유해성분으



(그림 2.3) 연강의 부식과 물의 pH와의 관계

로는 할로젠이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 황이온( $\text{S}^{2-}$ ) 등이 있으며, 이중 콘크리트 중에 혼입 될 기회가 가장 많고, 가장 활발히 작용하는 염소이온의 경우가 철근 부식에 가장 유해한 이온이라 할 수 있다.

철근의 부식에 의해 생성된 녹은 원래 체적의 3~8배 정도로 팽창하고, 그 팽창압에 의해 피복 콘크리트에 균열이 발생하게 되며, 이 균열로 인해 철근의 부식은 더욱 가속되는 것이다.

한편, 철의 부식과 pH와의 관계는 [그림 2.3] 에서와 같이 콘크리트의 pH가 12~13 정도인 영역에 있다면 철근은 안정한 상태에 있다고 할 수 있다. 그러나 중성화(pH 10이하)상태에 존재하게 되면 부식속도는 크게 증가한다.

## 2.2 염화물 존재하에서 철근의 부식

일반적으로 콘크리트의 pH가 높다면 철근의 부식은 크게 억제될 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, 높은 pH 환경하에서도 다량의 염화물( $\text{Cl}^-$ )이 존재하게 된다면 부동태 피막이 파괴되거나, 또는 부동태화가 방해받게 된다는 연구결과도 있는데, 이와 관련된 몇가지 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 산화철피막으로 염소이온 해교 작용
- 흡착에 의한 철이온의 용해촉진
- 착체 생성에 의한 연속반응의 진행
- 아노드 반응에 대한 촉매작용
- 철과의 직접반응에 의한 중간생성물의 생성
- pH의 저하
- 전기전도도 증대

이상을 종합하여 볼 때 염화물의 작용은 간접적이며, 또한 촉매적인 것이라고 할 수 있는데, 이 점에 대해서는 아직까지 충분한 해명이

부족한 단계임으로 지속적인 연구가 필요하다.

한편, 콘크리트의 내부 또는 외부환경이 불균일하게 되면, 그 환경에 따라 커다란 부식전지(macro cell)가 구성되는데, 이는 일반적인 부식에서의 국부전지(micro cell)와는 다소 차이를 나타내는 것으로 이종(異種)금속의 접촉, 노출 철근과 피복철근간의 활성 및 부동태의 전리작용, 콘크리트내의 산소나 알칼리농도차에 의한 농담전지 등으로 구분된다<sup>8)</sup>. 또한, 콘크리트내에 염분이 존재하게 되면 아노드와 캐소드의 면적비가 작아져 부식의 형태가 깊고, 좁은 공식(pitching)형태의 부식이 발생하기도 하는 반면, 콘크리트내에서 일부 염화물이 고정화됨으로서 철근부식에 관여하는 가용성 염분이 감소하기도 하는데, 이는 주로 시멘트 성분의 한가지인 알루미늄산칼슘( $\text{C}_3\text{A}$ )과 염분이 반응하여 불활성의 Friedel 염( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )을 생성하기 때문이다.

## 2.3 염해 방지대책

### (1) 염분제거

철근의 부식환경요인을 콘크리트의 재료 단계에서 완전히 제거할 수만 있다면 가장 이상적이라 할 수 있지만, 경제적이거나 지역적 측면 그리고, 폐수처리 문제 등 많은 어려움이 있기 때문에 현실적으로, 철근부식에 무해하다고 판단되는 일정량의 염화물 이온량( $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ )을 허용하고 있는 실정이다. 현재까지는 수세제염법이 대부분을 이루고 있다.

### (2) 염분의 고정화

염분의 고정화는 염분과 화학적으로 결합함으로써 불활성을 갖는 안정한 화합물을 만들어 내는 것을 목적으로 하는데, 현재 무기화합물에 있어서는 초산은과 초산수은이 있으나,

유기화합물에 있어서는 아직까지 명확하게 제시된 것이 없는 실정이다.

### (3) 철근의 표면처리

철근의 표면을 부식에 강한 금속이나 합성수지 등으로 도포 하는 방법이 있지만 아직까지 크게 활용되지 못하고 있는 실정이며, 그 대표적인 것이 아연도금이다. 그러나, 아연도금 철근은 콘크리트의 밀실성이 낮은 경우, 덮개가 얇은 경우 또는 콘크리트에 균열이 발생하는 경우 등에 있어서는 큰 방식 효과를 기대할 수 없다. 즉, 상당히 심한 부식 환경하에서는 라이닝, 폴리머 콘크리트 또는 폴리머 함침 콘크리트 등 기타의 방식방법과 병용하는 것이 바람직하다.

### (4) 철근의 피복두께 증가

철근의 피복두께를 증가시키는 것은 그만큼 외부로부터의 염소, 물, 그리고 탄산가스 등의 보급에 대한 물리적 확산 장벽을 크게 하는 것을 의미함과 동시에 철근의 중성화로부터의 영향을 가능한 멀리하고자 하는 의미를 갖고 있다.

### (5) 부식억제제의 이용

부식억제제란 철의 부식 환경물질에 소량 가하는 것에 의해 금속의 부식속도를 효과적으로 감소시키는 화학물질을 이른다. 즉, 부식억제제는 콘크리트 뿐만 아니라 각종 화학장치, 구조, 보일러, 급수기관 및 각종 파이프라인 등의 방식에 사용되고 있고, 그 종류도 매우 다양하다.

### (6) 전기방청법

전기방청법은 강재의 덮개 혹은 콘크리트의 밀실정도에 관계없이 콘크리트에 결합부가 발생한 강재를 유효하게 방청할 수 있기 때문에 해양콘크리트의 방청법으로서 크게 기대되고 있다. 일반적으로 전기방청법에는 외부에서 방청전류를 공급하는 외부전원법과 이종금속 간의 전위차를 이용하여 방청전류를 공급하는 유전양극법으로 구분할 수 있다. 단, 양극의 종류와 수 그리고, 배치가 콘크리트 구조물을 방청하는데 유효한 전해질로 작용하기 위해서는 콘크리트가 어느 정도이상 습기를 갖는 환경하에 있어야 한다는 특징이 있다.

### (7) 콘크리트의 표면처리

일반적으로 사용되고 있는 라이닝은 콘크리트 표면에 밀착되어 시공되는 마감재로서 기밀성, 수밀성을 가지고 콘크리트의 중성화를 억제할 뿐만 아니라 철근부식의 주요원인이 되는 수분과 산소가 콘크리트 중으로 침투하는 것을 억제하기 때문에 콘크리트가 염분을 함유하고 있는 경우에 있어서도 유효한데, 특히 콘크리트의 표면으로부터 침입하는 산소, 탄산가스, 수분 및 염분 등을 방지할 목적으로 콘크리트 표면에 수지계의 도료를 바르거나, 타일을 붙이는 것은 더욱 효과가 크다. 또한, 바다로부터 해풍이 불어오거나 시공 후, 염분이 외부로부터 침입해오는 환경하에서도 효과적이다. 즉, 콘크리트의 표면처리법으로는 도장, 코팅, 라이닝, 함침 등의 방법이 있는데, 이중 표면라이닝은 일반적으로 유지, 보수가 용이한 경우에만 사용된다.

[표 1] 고로슬래그 미분말과 포틀랜드 시멘트의 주요화학적성분

구분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	염기도	ig.loss	유리질화율	비중
Slag	33.1	13.8	42.4	6.1	0.29	-	0.23	0.31	0.004	1.86	0.08	99.0	2.90
OPC	21.5	5.2	64.0	1.6	2.9	1.7	0.10	0.26	0.001	-	1.1	-	3.15

(8) 각종 혼화재를 이용한 수밀콘크리트 제조 콘크리트의 수밀성 향상에 매우 우수한 성능을 나타낸다고 보고되고 있는 무기질 혼화재의 종류로는 플라이애쉬, 실리카흙 및 고로슬래그 미분말 등이 있는데, 이중 고로슬래그 미분말의 경우는 화학저항성이 크고, 상대적으로 사용량이 많아 해양콘크리트나 매스콘크리트에 매우 유리한 것으로 보고<sup>6)</sup>되고 있다.

이러한 고로슬래그 미분말은 용광로의 선철 과정에 생성되는 용융슬래그를 물로 급냉시켜 얻은 입상의 수쇄슬래그를 건조·분쇄한 것으로서 사용목적에 따라 석고를 첨가하여 사용하기도 한다. 한편, 고로슬래그 미분말은 보통 포틀랜드 시멘트처럼 물과 접하는 것만으로 자기 촉발적 수화반응을 개시할 수 없는 잠재수경성 물질이다. 즉, 슬래그와 물이 접촉하게 되면 슬래그 입자의 표면에 치밀한 불투수성의 겔박막이 형성됨으로서 입자 속까지 물이 침입하는 것이 방해되기 때문에, 더 이상 반응이 일어나지 않는다. 그러나, 각종 알칼리(Ca(OH)<sub>2</sub>, KOH, NaOH)나 황산염(CaSO<sub>4</sub>) 등에 의해 자극을 받으면 이 박막이 파괴되면서 군도(群島)구조의 겔로 변화되고, 슬래그로부터 이온의 용출과 불용성의 물질이 석출되면서 경화되기 시작하는데, 이러한 수화기구를 잠재수경성이라 한다.

[표 1]은 고로슬래그 미분말의 주요 화학성분을 나타낸 것으로서 대부분이 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO 및 MgO 등이며, 이들은 전체 성분에 94~97% 정도를 차지하고 있다.

고로슬래그 미분말은 장기적으로 슬래그 질량의 10%에 상당하는 Ca(OH)<sub>2</sub>과 결합하게 되는데, 포틀랜드 시멘트는 약 25%의 Ca(OH)<sub>2</sub>을 생성·방출하기 때문에 이론적으로는 고로슬래그 미분말을 시멘트의 75%까지 치환하여 사용하여도 그 전량을 활성화시킬 수 있다. 또한, 고로슬래그 미분말은 사용하는

자극물질에 따라 생성되는 수화물의 종류와 양이 다소 상이하게 되지만, 어느 것이나 토버모라이트상의 칼슘실리케이트 수화물(C-S-H, 표면조성 C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub>)을 함유한다. 한편, 에너지 분산형 X선 마이크로 분석기를 이용해서 칼슘실리케이트의 주요성분을 조사해 보면, 포틀랜드 시멘트와 유사한 성분을 나타내면서 치밀하지만, 결정성은 좋지 않은 것으로 나타난다.

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 염해 저항성을 확인하기 위한 철근의 부식촉진 실험의 계획은 [표 2]와 같고, 콘크리트의 배

[표 2] 실험요인 및 수준

요인	수준		
	W/B(%)	43.2	45.6
슬래그 치환율(%)	50	30	15(Plain)
오토클레이브 반복횟수	1, 2		2
염화물 함유량(%/Wg)	0.6, 1.2		1.2
실험항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 압축강도(7, 14, 28일 재령)</li> <li>· 단열온도상승시험</li> <li>· 철근부식촉진시험</li> </ul>		

[표 3] 콘크리트의 배합

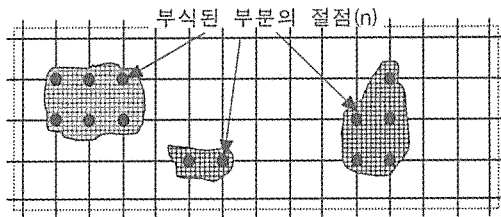
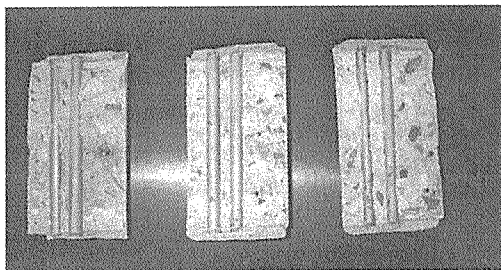
W/B (%)	슬래그 치환율(%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	SL	S	G	SP(%)
47.3	15	175	315	55	821	926	0.5
41.0	30	164	280	120	784	962	1.2
43.2			266	114	818	945	
45.6			252	108	844	936	
41.0	50	164	200	200	782	959	1.0
43.2			190	190	816	942	
45.6			180	180	842	934	

합은 [표 3]과 같다. 즉, 선행된 예비실험을 통해 정한 3개 수준의 W/B에 대하여 고로슬래그 미분말의 치환율, 오토클레이브 반복회수 및 염화물 함유량 등을 실험변수로 하였는데, 이때 염화물의 함유량은 실제 국내(부산지역) 해안의 염화물 환경을 조사한 후, 그 결과를 바탕으로 적용하였다.

실험사항으로는, 압축강도와 철근부식촉진 시험을 계획된 재령에서 실시하였으며, 아울러 해양 구조물의 대부분이 단면이 큰 매스구조물이라는 점을 고려하여 단열온도상승시험도 실시하였다.

### 3.2 사용재료 및 실험방법

본 실험에 사용한 재료로서 먼저, 시멘트는 비중 3.14의 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를, 고로슬래그 미분말은 전남 광양산(비중 2.91, 분말도 4,751 $\mu\text{m}^2/\text{g}$ , 염기도 1.70)을 사용하였으며, 잔골재(비중 2.56, 조립률 2.52)는 해사와 강사가 8 : 2의 비율로 혼합된 것을, 굵은



[그림 3] 부식촉진시험용 공시체의 형상 및 부식면적율 산정방법

골재는 비중이 2.59인 25mm 쇄석을 사용하였다. 고성능 감수제는 국내 D사의 제품을 사용하였다.

실험방법으로 먼저, 고로슬래그 미분말의 수화열 저감효과를 검토하기 위한 단열온도상승시험은 KSL 5121(포틀랜드 시멘트의 수화열시험방법), 철근부식촉진시험은 [그림 3]에서와 같이 KS F 2561(부속서 2 : 콘크리트중의 철근의 부식 촉진 시험방법)에 따라 실시하였는데, 이 때 철근의 부식 면적율은 부식된 부분에 포함된 절점수(n)를 철근의 전개도상에 포함된 전체 절점수(N)로 나누어 구하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 해수 및 토양 조사결과

채취한 해수와 토양을 대상으로 염화물 및 황산염 이온량을 분석한 결과 [표 4]에서와 같이 해수보다도 토양의 침출수가 다소 많은 염화물과 황산염 이온을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 염화물 이온은 1.2~1.6%, 황산염 이온은 3,400~3,600ppm인 것으로 나타나고 있어, 콘크리트 구조물의 내구성 저하에 커다란 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

[표 4] 해수 및 토양의 샘플링 조사결과

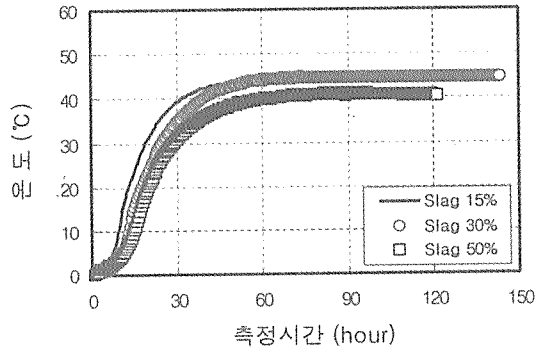
실험항목	해수	토양	토양 침출수
염화물이용량 (Cl%)	1.23	0.099	1.60
황산염(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )이온량 (ppm)	3,400	280	3,600

### 4.2 단열온도상승시험

[표 5]와 [그림 4]는 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 단열온도상승시험결과를

[표 5] 단열온도상승시험결과

Levels	K(°C)	$\alpha$	$\beta$
SL15	44.18	1.52	1.806
SL30	44.81	1.03	1.819
SL50	41.22	0.91	1.801

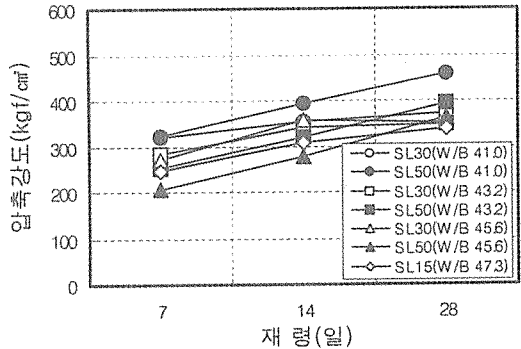


[그림 4] 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 단열온도상승시험결과

나타낸 것이다. 전반적으로, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 최고상승온도(K)와 상승속도( $\alpha, \beta$ )는 낮아지는 것으로 나타났는데, 특히 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%인 경우, 최고상승온도는 41.22°C, 상승속도는 각각 0.91과 1.801인 것으로 나타나, 수화열에 의한 온도균열발생 확률이 고로슬래그 미분말의 치환율 15%와 30%인 경우에 비해 상대적으로 매우 적은 것으로 나타났다.

한편, 슬래그 치환율이 30%인 경우는 치환율 15%인 경우에 비해 최고상승온도가 약간 높은 것으로 나타났는데, 이는 슬래그의 반응속도가 높고 즉, 슬래그의 염기도나 유리화율 그리고, 분말도가 높은 슬래그를 사용한 경우, 슬래그의 치환율이 적은 범위에서는 오히려, 수화열이 크게 된다는 기존의 연구결과<sup>2)</sup>와 일치하는 결과인 것이다.

#### 4.3 압축강도



[그림 5] 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 압축강도 특성

[그림 5]는 고로슬래그 미분말의 치환율 및 W/B 변화에 따른 강도특성을 각 재령별로 구분하여 나타낸 것이다.

즉, 상대적으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 적은 15%와 30%의 경우, 슬래그 치환율이 50%인 경우에 비해 재령 14일까지의 조기강도는 높고, 28일 재령에서는 다소 완만한 것으로 나타난 반면, 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%인 경우는 조기강도가 낮고, 28일 재령에서는 높은 강도발현특성을 나타내고 있었다. 특히, W/B 41.0%인 경우는 재령 28일에서 동일 W/B의 치환율 30%에 비해 85kgf/cm<sup>2</sup> 이상 높은 강도를 발현하고 있었다.

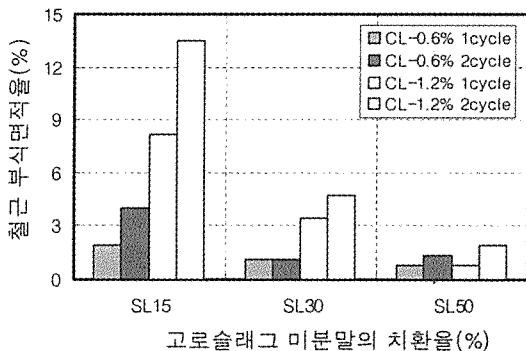
이러한 결과는 기존연구<sup>26)</sup>에서도 보고된 바와 같이, 고로슬래그 미분말의 잠재수경성에 기인하여, 상대적으로 낮은 pH를 나타내는 조기재령의 콘크리트가 단위시멘트량이 많은 다른 경우에 비해 수화반응속도 측면에서는 불리하나, 장기재령으로 갈수록 수산화칼슘 [Ca(OH)<sub>2</sub>]과의 지속적인 반응에 기인하여 강도가 크게 증진된 것으로 분석된다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트를 실제 구조물에 활용하고자할 경우에는 타설 후, 초기재령에서의 세심한 양생관리가 요구된다.

#### 4.4 철근부식촉진시험

[표 6]과 [그림 6]은 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 철근부식촉진시험의 결과를 염화물 함유량 및 오토클레이브 반복회수 별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 철근의 부식면적율은 감소하는 것으로 나타났으나, 염화물 함유량 및 오토클레이브의 반복회수가 증가할수록 부식면적율은 증가하는 것

[표 6] 철근부식촉진 시험결과

고로슬래그 치환율(%)	W/B (%)	CI (%)	Autoclave 반복회수	철근의 부식 면적율(%)
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



[그림 6] 슬래그 치환율 및 Autoclave 반복회수에 따른 부식면적율 측정결과

로 나타났다.

세부적으로는 염화물(Cl<sup>-</sup>) 함유량이 1.2%이고, 오토클레이브 반복회수가 2회이면서 고로슬래그 미분말을 각각 30%와 50%로 치환한 경우, 방청율이 각각 95.3%와 98.1%인 것으로 나타남으로서, 슬래그 치환율 15%의 방청효과 (86.6%)에 비해 매우 우수한 방청효과가 있는 것으로 평가되었다.

이러한 슬래그의 (치환율이 각각 30%와 50%인 경우)의 방청효과는 국내 철근 콘크리트용 방청제의 관련규준<sup>8)</sup>인 방청율 95% 이상을 모두 만족하고 있는 결과이다.

즉, 철근콘크리트 구조물에 있어 철근의 부식방지를 목적으로, 대부분의 해양구조물에 사용되고 있는 현행의 방청제와 비교해 볼 때 거의 유사한 방청성능을 발휘함과 동시에, 경제적 측면에서도 매우 효과적인 것으로 평가되었다.

#### 5. 결론

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

1) 국내해안(부산지역)에서 채취한 해수와 토양을 대상으로 염화물 및 황산염 이온량을 분석한 결과 해수보다도 토양의 침출수가 다소 많은 염화물과 황산염 이온을 함유하고 있는 것으로 분석되었는데, 세부적으로 해수의 염화물 이온은 1.23%, 침출수는 1.6%, 해수의 황산염 이온은 3,400ppm, 침출수는 3,600ppm인 것으로 분석되었다.

2) 슬래그의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 최고상승온도(K)와 상승속도( $\alpha, \beta$ )는 낮아지는 것으로 나타났는데, 특히 치환율 50%의 경우가 치환율 15%와 30%에 비해 수화열에



의한 온도균열발생 확률이 가장 적은 것으로 평가되었다.

3) 압축강도는 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 슬래그의 잠재수경성에 기인하여 동일 W/B인 조건에서 조기강도는 낮으나, 28일 재령에서는 오히려 크게 상회하는 것으로 나타났다.

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

## 참 고 문 헌

- 1) 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서", 1999, pp.187~192.
- 2) 이상수의 4인, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 방청성능에 관한 연구, 한국콘크리트학회가을학술발표논문집, 2001, pp. 529~532.
- 3) 김무한, 이상수, "해사를 사용한 콘크리트의 염해 미 방청대책", 철근콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 심포지움 논문집, 대한건축학회, 1995, pp.155~166.
- 4) 서울대학교 공학연구소, 해사활용기술연구 (I),(II), 1991~1992.
- 5) 서울대학교 신소재공동연구소, "염해물 전해제 (CI-R)의 내부식 성능 연구보고서", 1995, pp.38~42.
- 6) 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.
- 7) 岸谷, "鐵筋コンクリート構造物における鐵筋の腐蝕について", 콘크리트ジャーナル, Vol.12, No.2, 1972.
- 8) 한국표준협회, "KS F 2561(철근콘크리트용 방청제)", 1998. 6.