

해양콘크리트 구조물의 내염성에 관한 연구

김 은 겸 (서울산업대학교 토목공학과 교수)

1. 서 론

해양콘크리트 구조물은 환경적 요인에 따른 철근 부식이 구조물의 내구성에 영향을 주는 주된 요인으로 인식되고 있다. 현재 철근 부식으로 인한 피해를 줄이기 위해 많은 대책이 다각적인 방면에서 제시되고 있으며, 내구성 증진을 위한 보수·보강 및 유지관리 방안 또한 다각적으로 연구되고 있다. 이들 연구를 종합하면, 해양 구조물의 내구성을 증진하기 위해서는 염해 환경에서 유입되는 유해물질에 대한 저항성이 강한 재료의 개발과 사용이 절실하다는 점에 의견을 같이하고 있다. 최근에는 해양을 통한 국제교역의 증가로 인하여 항만시설물을 중심으로 더 많은 콘크리트 구조물의 건설이 요구되고 있기 때문에, 해양환경에 대한 저항성이 우수한 콘크리트 구조물의 건설은 구조물의 안전성뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 중요한 사안이 되고 있다.

해양콘크리트의 내구성을 향상시키기 위한 방안으로 시멘트 경화체 조직을 치밀하게 하여 염화물이온 등과 같은 환경인자의 침입을 차단하는데 유효하다고 알려져 있는 고로슬래그 미분말이나 플라이에쉬 등과 같은 혼화재를 활용하는 방법이 제시되고 있다. 특히, 시멘트의 일부를 고로슬래그 미분말로 치환하여 사용할 경우, 잠재수경성 반응에 의한 콘크리트의 세공조직의 치밀화로 인해 염화물이온의 침투를 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다.

한편, 해양콘크리트의 황산염에 대한 내구성을 증

진시키기 위한 대책으로서 내황산염시멘트가 사용되고 있다. 그러나, 내황산염시멘트는 해수 중의 황산염과 C_3A 의 반응성에 의해 형성되는 에트링가이트의 양을 규제하기 때문에 이상팽창에 대한 저항성은 우수하지만, 시멘트의 C_3A 양의 감소로 콘크리트에 대한 염화물침투 속도가 빨라져 철근부식을 촉진시킬 수가 있다는 연구결과가 제시되고 있다.

본 연구에서는 1종 보통포틀랜드시멘트와 5종 내황산염시멘트에 고로슬래그 미분말을 치환하여 치환율에 따른 염화물이온 투과성과 확산계수의 영향을 평가하기 위해 실험을 실시하였다. 또한 콘크리트 내부로 유입된 염화물의 거동을 정량적으로 평가할 수 있는 수학적 모델을 설정하여, 실험에서 구한 확산계수를 이 모델에 도입한 후 시간의 변화에 따른 염화물 이온의 이동량을 유한요소법을 통해 정량적으로 평가하고 철근의 부식 개시 시점을 해석하였다. 이들 실험과 해석을 통해 얻은 결과들을 종합하여 각 시멘트 종류별 염화물의 침투 현상을 분석하고 재료적인 측면에서 고로슬래그 미분말이 콘크리트의 내구성에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 사용재료 및 배합선정

가. 사용재료

실험에 사용된 시멘트의 화학조성 및 물리성질은 <표-1>에 나타낸 바와 같다. 잔골재는 완전히 제염

〈표-1〉 Chemical compositions and physical properties of cements

Cements	Chemical compositions(%)										Physical properties	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss	Specific gravity	Blaine(cm ² /g)	
Type I	21.0	5.9	3.2	62.5	3.02	0.12	0.78	2.1	1.61	3.15	3,200	
Type V	22.7	4.1	4.4	62.7	2.54	0.09	0.59	1.8	1.40	3.15	3,250	

〈표-2〉 Chemical compositions and physical properties of ground granulated blast-furnace slag

Chemical compositions(%)											Physical properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	TiO ₂	S	Cl	Specific gravity	Blaine(cm ² /g)
33.31	14.60	0.40	41.63	7.21	0.164	0.316	0.034	1.40	0.82	0.006	2.92	4,000

한 바다모래와 부순모래를 7:3으로 혼합하여 사용하였으며, 비중은 2.6이고 표준입도를 유지하였다. 굵은골재는 비중 2.63의 부순돌이며, 최대치수는 10mm이다.

혼화제는 슬럼프를 조절하기 위해 폴리카르본산계를 주성분으로 하는 코리아 마스터 빌더사의 RHEOBUILD SD-8N 유동화제를 사용하였다. 〈표-2〉는 실험에 사용된 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 시험결과를 나타낸 것으로서 분말도는 4000g/cm²이다.

나. 배합의 선정

콘크리트의 염화물이온 침투저항성 실험을 실시하기 위해 각각의 콘크리트 시험체를 제작하였으며, 이 때 사용한 배합을 〈표-3〉에 제시하였다.

시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트 및 5종 내황산

염시멘트 2종류에 대하여 동일한 양을 사용하였으며, 염해 저항성 효과의 분석을 위해 시멘트 대신에 각각 25%, 40% 및 55%의 고로슬래그 미분말을 치환하여 사용하였다.

3. 염화물의 침투저항 실험 및 수치해석방법

가. 염화물이온 투과성 및 시험 방법

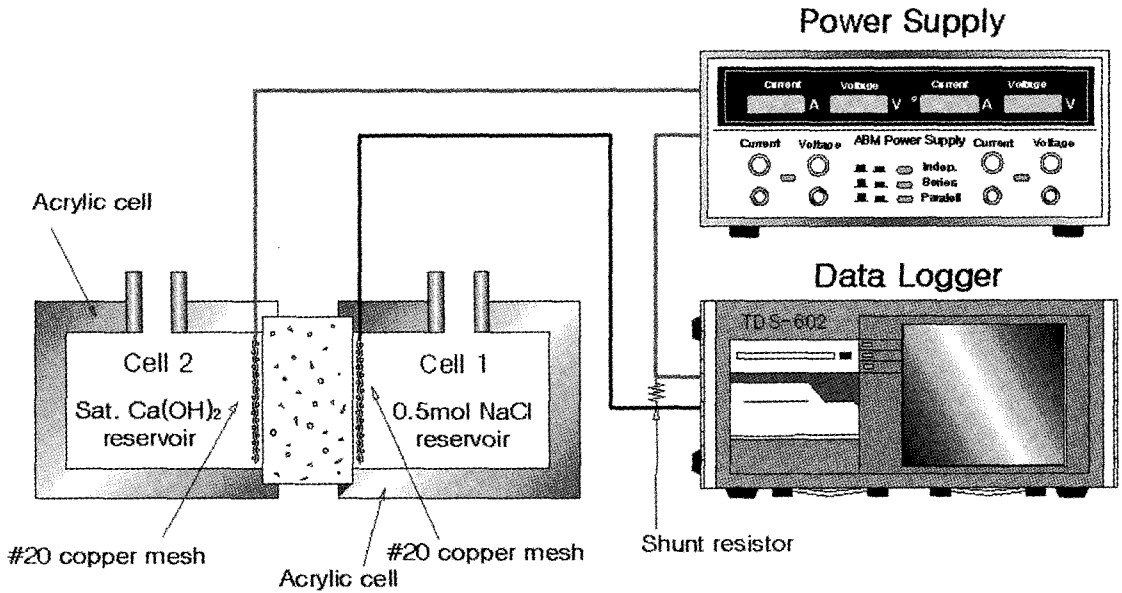
(1) 염화물이온 통과전하량

〈그림-1〉은 ASTM C1202-97의 규정에 의한 염화물이온 투과성 시험용 확산의 개요도를 나타낸 것이다. 확산 cell 1에는 0.5mol의 NaCl 용액을 넣고 확산 cell 2에는 포화 Ca(OH)₂ 용액을 채웠으며, 60V의 인가 전압을 가하여 염화물이온 촉진 투과 시험을 수행하였다. 수집된 데이터는 적산에 의해 전하량(Coulomb)을 산정하고, 〈표-4〉에 나타낸 바

〈표-3〉 Concrete mix design

Blast furnace slag rate(%)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg)	C (kg)	Slag (kg)	Crushed aggregate (kg)	Sea sand (kg)	Crushed sand (kg)	Plasticizer (kg)
0%	41.8	46	161	385	0	977	573	247	1.60 (1.70)
25%				289	96				1.60 (1.20)
40%				231	154				1.55 (1.70)
55%				173	212				1.55 (1.20)

Note) () : cement type V



〈그림-1〉 Schematic view of diffusion cell and experimental set-up

와 같이 ASTM C 1202-97 규정에 의하여 염화물 이온 투과성을 평가하는 것으로 하였다.

(2) 염화물이온 확산계수 산정방법

염화물이온의 확산계수는 ASTM C 1202-97에서 규정하고 있는 〈그림-2〉의 확산 cell로부터 시간 변화에 따른 염화물이온의 투과량을 측정하여 구하는 것으로 하였다. 즉, 염화물이온의 농도변화는 확산 cell에 30V의 직류전압을 인가하여 (-)극으로부터 (+)극으로 이동한 염화물량을 선택성 이온전극으로 측정하였다.

확산 cell 1에 있던 염화물 이온은 전기적 이동을

따라 일정 시간이 경과한 후 콘크리트 내부를 투과하여 확산 cell 2 측에 도달하게 되며, 그 이후부터 확산 cell 2의 염화물이온 농도는 거의 직선적으로 변화하게 된다.

본 연구에서는 염화물이온의 농도가 직선적으로 변화하기 시작하는 직선 부분 즉, 통용 가능한 초기 직선부분의 기울기를 식 (1) 즉, 전기적 이동항을 고려한 $D_{migration}$ 의 확산계수식에 적용하여 염화물 이온의 확산계수를 산정하는 것으로 하였다.

$$D_{Cl} = \frac{RT}{Z_{Cl}FC_{Cl}} \frac{1}{\Delta E} \frac{V}{A} \frac{dC}{dt} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (1)$$

여기서,

R : 기체상수 (8.31 J/K·mol)

T : 절대온도 (K)

Z_{Cl} : 염화물 이온의 원자가

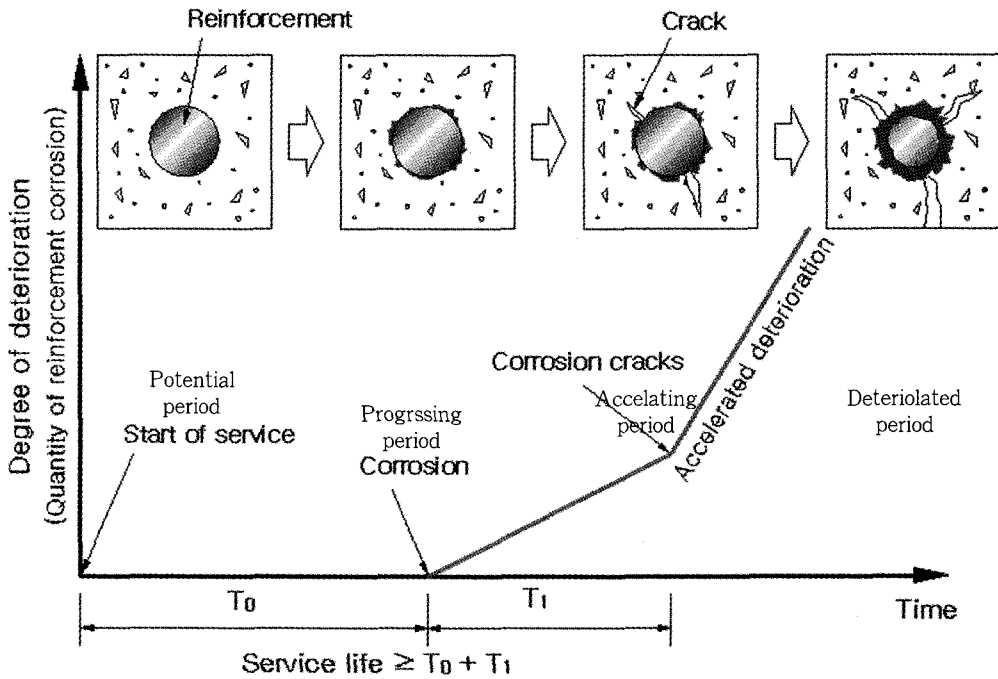
F : 페러데이 상수 ($9.65 \times 10^4 \text{C/mol}$)

C_{Cl} : 셀의 염화물 이온농도 (mol/cm^3)

ΔE : 전위차 (Volt)

〈표-4〉 Chloride ion penetrability based on charge passed (ASTM C1202)

Charge passed (Coulombs)	Chloride ion penetrability
>4000	High
2000 ~ 4000	Moderate
1000 ~ 2000	Low
100 ~ 1000	Very low
<100	Negligible



〈그림-2〉 Progress of chloride-induced deterioration

- l : 시험체 길이(cm)
- V : 확산셀 용적(cm³)
- A : 시험체 면적(cm²)
- dC/dt : 염화물이온 농도변화(mol/l·sec)

나. 수치해석 방법

외부로부터 콘크리트 내부로 염화물 이온이 침입함으로써 발생하는 해양구조물의 열화 과정은 〈그림-2〉에 나타난 바와 같다. 염화물 침투에 의한 해양구조물의 열화과정은 염화물 이온이 철근 표면에 도달하여 철근부식이 발생하기 직전까지의 기간인 잠복기, 철근부식이 시작되어 내부균열이 발생하기 전까지의 기간인 진전기, 균열이 발생하고 철근의 부식이 가속화되는 기간인 가속기, 구조물에 외향적으로 내구성에 문제가 발생하는 열화기 등 크게 4가지로 구분된다. 여기서 철근부식이 발생하는 진전

기로부터 구조물의 내구성에 문제가 되는 열화기까지의 내구성 저하 문제에 대한 대처 방안은 피복의 도장 및 보강, 덮개의 보수, 전기적인 방식 방법 등 추가의 소요 비용을 요구하는 반면에 철근이 부식하기 전까지의 기간인 잠복기는 구조물 건설 당시에 재료적인 측면으로 고로슬래그 미분말이나 플라이애쉬 등과 같은 혼화재를 사용함으로써 그 기간의 연장이 가능하다.

본 연구에서는 구조물의 사용시로부터 철근부식 개시시점까지의 기간 T₀에 대한 해석을 실시하였다. 이것은 외부로부터 유입된 염화물이온이 콘크리트 구조물의 내부로 확산되어 철근의 위치에 도달하게 된 후 철근의 부식을 유발시키는 시간까지를 말한다. 일반적으로 콘크리트 내부로 유입된 염분은 시멘트 페이스트와 결합하여 콘크리트 내부에 흡착되는 고정염과 콘크리트의 공극수를 통해 이동되는 가용성 염으로 구분된다. 이들 염중 가용성염만이

$$r = k_a \epsilon f [Cl^-(aq)] ([Cl^-(s)]_{sat} - [Cl^-(s)]) - \frac{k_a}{K_{eq}} [Cl^-(s)] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\epsilon f [Cl^-(aq)])}{\partial t} = \nabla^2(D_{e,Cl} [Cl^-(aq)]) - r \quad \text{in } \Omega \quad (3)$$

$$\frac{\partial [Cl^-(s)]}{\partial t} = r \quad \text{in } \Omega \quad (4)$$

$$[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_1 \quad \text{at } \Gamma_1 \quad (5)$$

$$[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_2 \quad \text{at } \Gamma_2 \quad (6)$$

$$\frac{d[Cl^-(aq)]}{dn} = 0 \quad \text{at } \Gamma_3, \Gamma_4 \quad (7)$$

철근부식에 직접적으로 관여를 하고, 고정염은 철근의 부식에 직접적으로 관여하지 않는다. 가용성 염의 침투는 일반적으로 Fick의 확산법칙을 통해 추정할 수 있지만, 고정염의 경우는 시멘트 성분과 염화물 이온의 화학반응을 고려한 특별한 식을 통해 구해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 염분 침투 확산에 대한 정확성을 기하기 위해서 Fick의 확산식 뿐만 아니라 식(2)~(4)에 나타낸 고정염에 관한

〈표-5〉 Parameters used in calculations

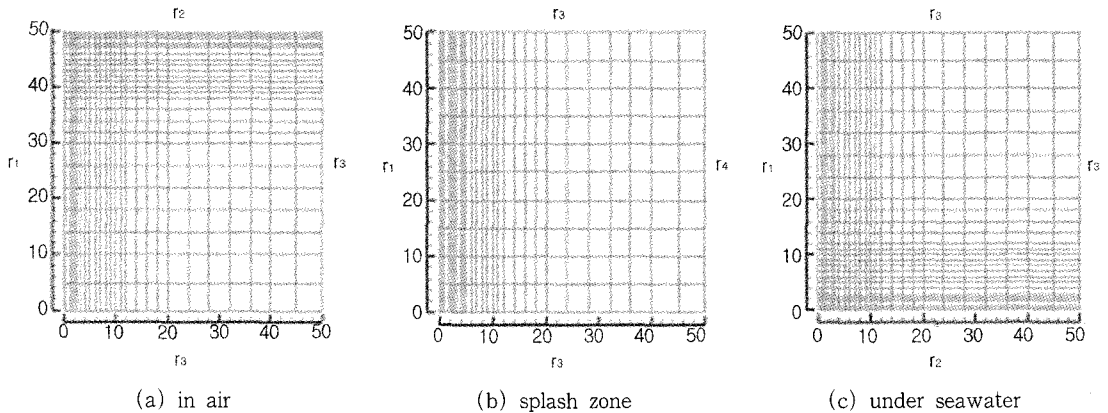
Parameter	Value
pore ratio of concrete ϵ	0.106
friction of pore water f	1
effective absorption constant K_a	$1 \times 10^5 (\text{m}^3/\text{mol s})$
maximum fixed Cl volume $[Cl^-(s)]_{sat}$	$214 (\text{mol}/\text{m}^3)$
equilibrium constant K_{eq}	$1.64 \times 10^2 (\text{m}^3/\text{mol})$

화학반응식을 고려한 물질수지식을 사용하였다. 또한 해석에 사용한 경계조건으로 식(5)~식(7)과 같이 설정하였으며, 파라미터는 〈표-5〉와 같다.

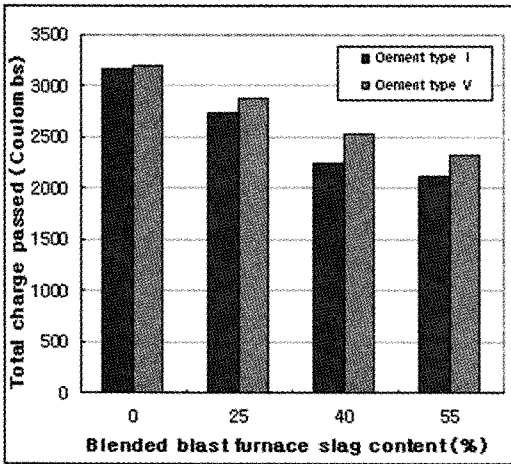
4. 시험결과 및 고찰

가. 염화물 이온의 투과성 평가

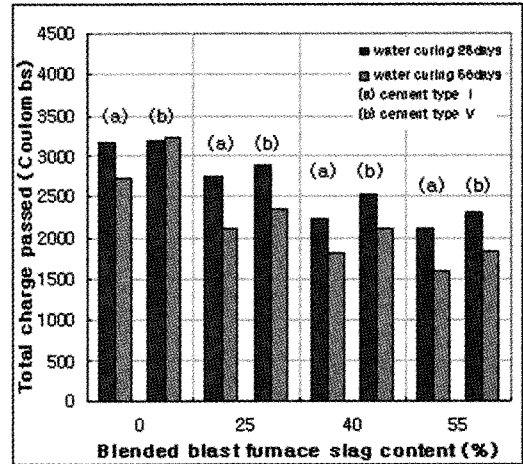
〈그림-4〉는 재령 28일에서 1종 및 5종 시멘트를 사용한 콘크리트의 고로슬래그 미분말 치환률에 따른 총통과 전하량을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 고로슬래그 미분말의 치환률이 높아질수록 시험체를 투과하는 총 통과 전하량은 작아지고 있으며, 이와 같은 현상은 1종 및 5종 시멘트를 사용한 시험체에서 서로 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수



〈그림-3〉 Finite element mesh used



〈그림-4〉 Total charge passed of concrete containing blast furnace slag content powder



〈그림-5〉 Total charge passed and curing period of concrete containing blast furnace slag content powder

있다. Hussain은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 시험체의 평균적인 공극의 크기가 고로슬래그 미분말을 혼합한 것에 비해 약 1.57배 정도 크다고 하며 보고하고 있으며, Kumar의 실험에서는 약 2배정도 큰 값을 얻었다고 전하고 있다. 본 실험에서는 1종 시멘트에 고로슬래그 미분말을 55% 치환하면 무치환의 경우에 비해 총 통과 전하량은 33% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 고로슬래그 치환에 의한 잠재수경성 반응으로 시멘트 경화체 조직이 치밀해짐으로서 공극의 크기도 작아지고 염화물이온의 통과 길이도 길어지게 되었기 때문이다. 이와 같은 결과는 Hussain과 Kumar의 실험 결과와도 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단된다. 따라서, 고로슬래그 미분말에 의한 시멘트 경화체 조직의 치밀화와 그로 인한 염화물 이온 투과 저항성의 증가로 인해 염화물 이온의 확산계수 또한 감소할 것으로 예상된다.

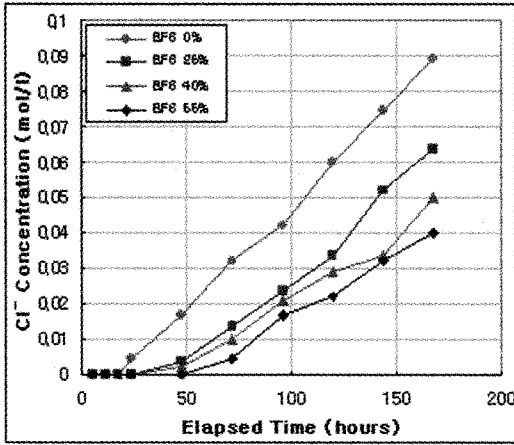
1종 시멘트를 사용한 콘크리트가 5종 시멘트를 사용한 경우 보다 총 통과 전하량이 낮게 나타나는 것은 5종 시멘트에 비해서 1종시멘트의 C₃A 생성량이 상대적으로 더 커서 시멘트 경화체의 조직이

치밀해지고, 염화물 이온의 고정화 현상도 증진되기 때문이다. 수중양생기간에 따른 총 통과 전하량 분포는 〈그림-5〉에 표시하였다. 여기서 염화물이온의 총 통과 전하량은 수중양생 기간이 길어질수록 현저하게 감소하며, 이와 같은 현상은 고로슬래그 치환률이 높을수록 커지고 있다.

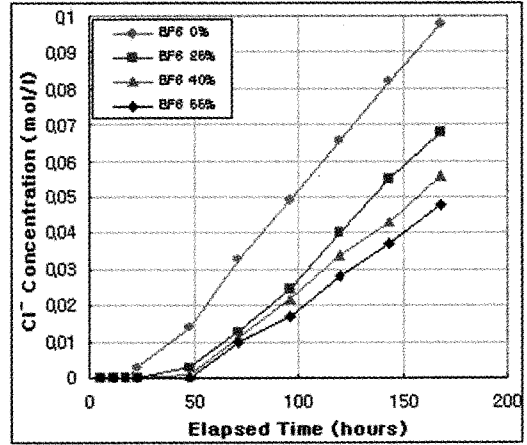
이상의 결과로부터 Table 4의 ASTM C 1202-97 규정에 의해 염화물의 투과성을 판단해 보면, 1종 시멘트나 5종 시멘트를 사용한 시험체는 고로슬래그 사용 유무에 관계없이 재령 28일에서 「moderate」 정도의 염화물이온의 투과성을 나타내고 있다. 특히, 1종 시멘트에 고로슬래그 미분말을 40에서 50% 정도로 다량 함유한 시험체는 재령 56일에서 「low」 정도 수준의 염화물 투과성을 보이고 있다. 그러나, 5종 시멘트를 사용한 시험체는 고로슬래그를 55% 치환하여 사용한 경우에만 염소이온의 투과성이 「low」의 수준에 도달되는 것으로 관찰되었다.

나. 염화물이온 확산계수 산정 및 평가

〈그림-6〉과 〈그림-7〉은 재령 28일에서의 고로슬



〈그림-6〉 Influence of chloride ion penetration in concrete containing blast furnace slag powder (type I cement)

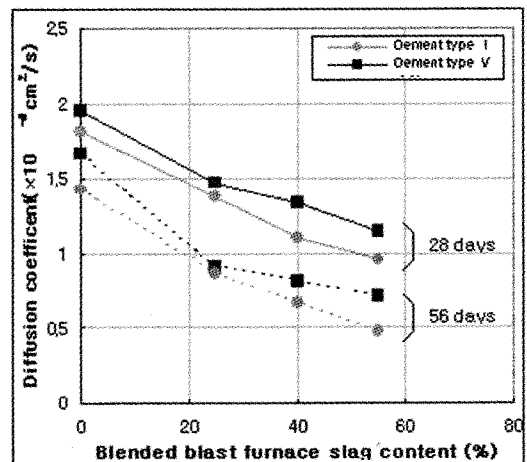


〈그림-7〉 Influence of chloride ion penetration in concrete containing blast furnace slag powder (type V cement)

래그 미분말 치환률에 따른 염화물 이온의 농도변화를 시간별로 나타낸 것이다. 염화물 이온의 농도는 3% NaCl 용액이 〈그림-1〉의 cell 1에서 콘크리트 시편을 투과하는 시험초기에는 측정되지 않으며, 일정한 시간이 경과된 후 cell 2로 정상적인 이동이 이루어진 이후에 측정된다. 이와 같은 지연시간은 고로슬래그의 치환율이 높아질수록 길어지는 경향을 보이고 있다. 지연 시간이 길다는 것은 염화물 이온이 콘크리트 시편을 통과하는 시간이 상대적으로 더 늘어난다는 것을 의미하므로 이 결과는 치환율이 높을수록 콘크리트 조직이 더 치밀하다는 것을 대변하고 있다. 염화물 이온은 콘크리트 시험체를 통과한 후 시간의 증가와 더불어 일정한 기울기를 유지하면서 증가하고 있으며, 이들 기울기는 5종 시멘트에 비하여 1종 시멘트를 사용한 경우가 다소 낮은 경향을 나타내었다.

〈그림-8〉은 사용 시멘트 및 고로슬래그의 치환율에 따른 염화물 이온의 확산계수를 나타낸 것이다. 1종 시멘트를 사용한 콘크리트보다는 5종 시멘트를 사용한 경우의 확산계수가 큰 것으로 나타났으며 또한, 고로슬래그 미분말의 치환이 높아질수록 거의 비례적으로 확산계수는 감소하고 있다. 특히, 1종

시멘트에 고로슬래그를 40% 이상 치환하여 사용할 경우, 염화물 이온의 확산계수는 5종 시멘트를 사용한 경우에 비해 감소하는 경향이 커지고 있다. 또한, 수중양생기간을 28일에서 56일로 증가시킬 경우 염화물 이온의 확산계수는 상당히 감소하는 것으로 나타나고 있어 수중양생 기간과 내염 저항성의 관계는 매우 밀접한 것으로 판단된다.



〈그림-8〉 Diffusion coefficient of chloride ion in concrete containing blast-furnace slag powder

시멘트 내에 C_3A 함량에 따른 콘크리트 내부 염화물의 고정량 상태를 평가한 Rasheeduzzafar의 연구에 의하면 C_3A 의 양이 많은 시멘트를 사용한 콘크리트 시험체일수록 공극 내부의 가용성 염화물량은 줄어드는 반면에 염화물의 구속량이 늘어나는 것으로 보고하고 있다. 이와 같은 보고는 외부로부터 콘크리트 내부로 유입되는 염화물량은 시멘트 내에 C_3A 함량이 증가함에 따라 줄어든다는 것을 의미한다. 본 실험의 결과에서도 1종 시멘트를 사용한 콘크리트는 5종 시멘트를 사용한 콘크리트에 비해 염화물이온의 확산계수가 작게 나타났는데 이는 5종 시멘트의 C_3A 량이 1종시멘트의 것보다 작기 때문인 것으로 판단된다. 특히 고로슬래그를 다량 치환하여 사용할 경우 잠재수경성 반응에 의한 시멘트 경화체 조직의 치밀화 진행으로 염화물이온에 대한 확산계수의 감소를 가져와 해양 환경의 영향을 받는 콘크리트 구조물의 내구성 증진에 효과가 클 것으로 예상된다.

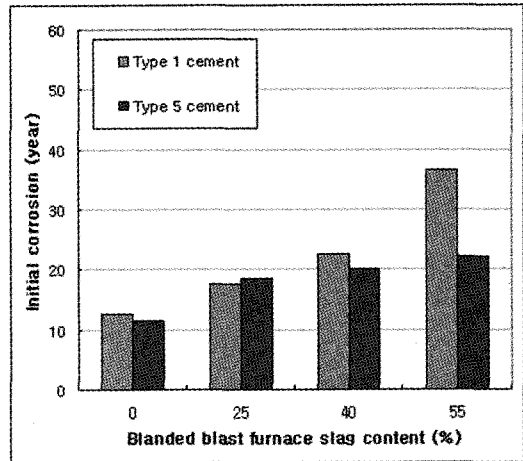
다. 철근 부식시점 해석 및 평가

염화물 이온 확산 실험으로부터 계산된 확산계수를 사용하여 대표적인 해양구조물인 케이슨 콘크리트에 대하여 염화물 이온의 침투해석을 실시하였다. 이때 여러 가지 염해환경의 영향을 살펴보기 위해 해상대기중, 비말대, 해수중을 해석 조건으로 선정하였다.

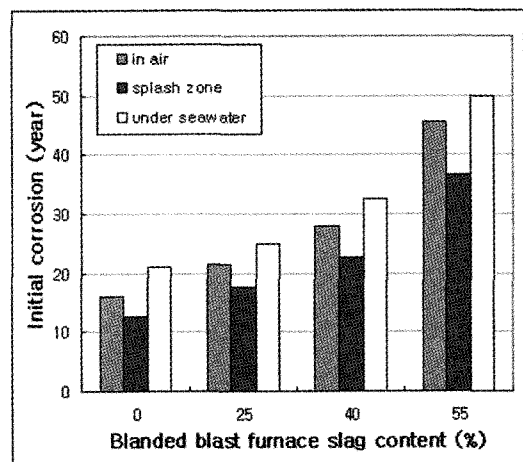
〈그림-9〉은 각각 1종과 5종 시멘트에 고로슬래그 미분말을 치환하여 사용한 구조물의 철근부식시기를 나타낸 것이다. 해석결과에 따르면, 1종 시멘트를 사용한 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 높아질수록 철근 부식시기는 늦게 나타나는 반면에 5종 시멘트를 사용한 경우에는 고로슬래그 미분말 치환에 따른 부식지연효과가 1종을 사용한 경우에 비해 작은 것으로 나타났다. 따라서 염해의 피해가 지배적인 지역에 건설되는 구조물의 경우에는 1종 시멘트를 사용하는 것이 철근 부식에 있어서 더 효율

적인 것으로 판단된다.

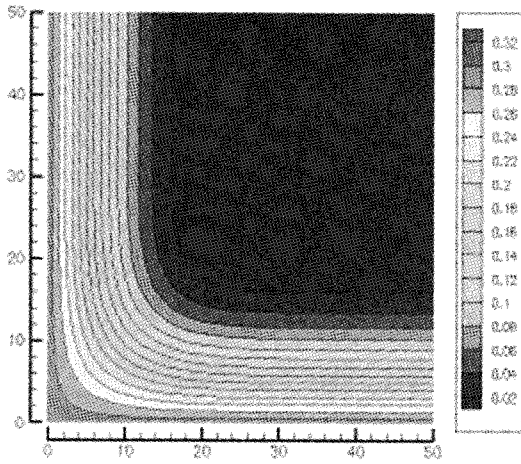
〈그림-10〉은 1종 시멘트를 사용한 경우에 해양환경 조건에 따른 고로슬래그 미분말 치환율별 철근부식시기를 나타낸 것이다. 해석결과로부터 동일한 조건으로 제작된 구조물이라 할지라도 염해환경의 정도에 따라 해상대기중이나 해수중에 위치한 구조물



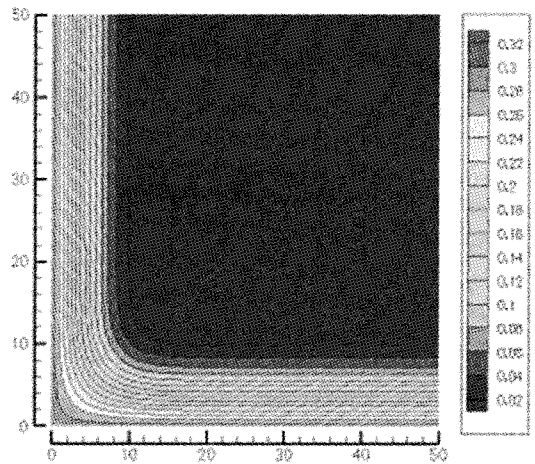
〈그림-9〉 Blended blasted furnace slag versus initial corrosion time of RC structures with cement type 1 and 5



〈그림-10〉 Blended blasted furnace slag versus initial corrosion time of RC structures according to environment



〈그림-11〉 Contour plot of chloride ion concentration in aqueous phase of concrete without GGBFS



〈그림-12〉 Contour plot of chloride ion concentration in aqueous phase of concrete with GGBFS 55%

보다 비말대에 위치한 구조물이 철근부식시기가 빠르게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 고로슬래그 미분말의 치환율이 높을수록 철근부식 시기가 지연되는 결과는 환경적인 조건에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

〈그림-11〉과 〈그림-12〉는 각각 1종 시멘트를 사용한 경우와 고로슬래그 미분말을 55% 치환한 경우에 대해서 염화물 이온의 침투분포를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 고로슬래그 미분말의 치환율이 0%일 때 16cm 깊이까지 염분이 침투한 반면 55%일 때는 10cm 정도의 깊이로 고로슬래그 미분말이 염화물이온의 침투를 억제하는데 상당한 효과가 있음을 시각적으로 확인할 수 있다.

〈그림-13〉은 재령 30년이 경과한 구조물 비말대 부분에서의 염화물 이온 침투 상황을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 고로슬래그 미분말의 치환율이 적을수록 염화물의 침투깊이는 증가하는 것을 알 수 있다.

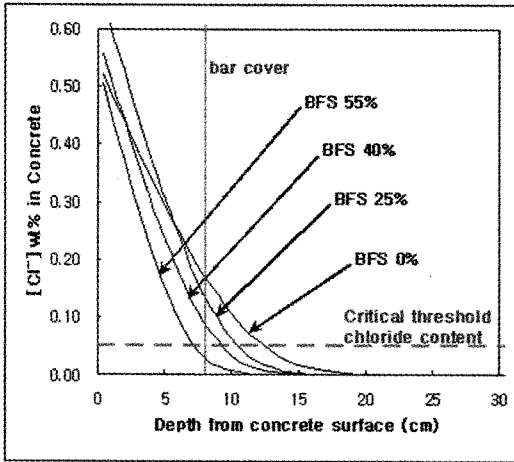
또한 고로슬래그 미분말을 55% 치환한 콘크리트의 경우 아직 철근부식을 발생하지 않고 있음을 확인할 수 있다. 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른

철근 부식시기를 정확히 산정하기 위해서 철근 위치(피복두께 8cm)에서의 염화물이온의 변화를 해석하였으며, 그 결과를 〈그림-14〉에 나타내었다.

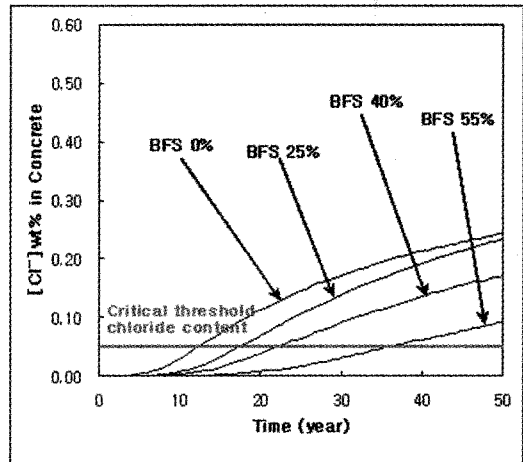
이 그림으로부터 철근의 부식시기를 판단해보면, 고로슬래그 미분말을 치환하지 않은 구조물의 경우 12.5년에 철근이 부식하는 반면에 고로슬래그를 25, 40, 55% 치환한 경우에는 각각 17.5, 22.5, 36.5년에 철근이 부식하는 것으로 해석되었다. 즉, 고로슬래그 미분말을 55%치환한 콘크리트는 무치환 콘크리트에 비해 3배정도 늦게 부식되는 것으로 평가되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 1종 시멘트와 5종 시멘트에 고로슬래그 미분말을 치환하여 치환율에 따른 염화물이온 확산계수를 실험적으로 구하였다. 또한 이 결과를 해석에 도입하여 시간의 변화에 따른 염화물이온의 이동량을 정량적으로 평가하였다. 본 연구에서 얻은 결과들을 요약하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.



〈그림-13〉 Variation of chloride ion concentration in aqueous phase with distance from the surface after 30 years



〈그림-14〉 Variation of chloride ion concentration in aqueous phase of RC structure with time

1. 양생기간에 따른 총통과 전하량의 영향은 재령 28일의 경우 모든 시험체에서 「moderate」 정도의 염화물이온의 투과성을 나타내고 있는 반면에 재령 56일의 경우에는 1종 시멘트에 고로슬래그 미분말을 40에서 55%로 다량 함유한 시험체와 5종 시멘트에 고로슬래그를 55% 치환하여 사용한 경우에 「low」수준의 투과성에 도달되는 것으로 관찰되었다.
2. 1종 시멘트를 사용한 콘크리트보다는 5종 시멘트를 사용한 경우의 확산계수가 큰 것으로 나타났으며 또한, 고로슬래그 미분말의 치환이 높아질수록 거의 비례적으로 확산계수는 감소하고 있다.
3. 염화물 침투 해석결과, 1종 시멘트를 사용한 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 높아질수

- 록 철근 부식시기는 늦게 나타나는 반면에 5종 시멘트를 사용한 경우에는 고로슬래그 미분말 치환에 따른 부식지연효과가 적은 것으로 해석되었다.
4. 비말대 지역에서 피복두께 8cm에 위치한 철근의 부식시기를 해석해보면 고로슬래그 미분말을 치환하지 않은 구조물의 경우 12.5년에 철근이 부식하는 반면에 고로슬래그를 25, 40, 55% 치환한 경우에는 각각 17.5, 22.5, 36.5년에 철근이 부식하는 것으로 나타났다.
5. 따라서, 해양환경에 철근콘크리트 구조물을 건설할 때는 고로슬래그 미분말을 50% 이상 혼합한 1종시멘트를 사용하는 것이 염분침투 억제 및 철근부식 지연에 상당히 큰 효과가 있을 것으로 판단된다. ▲