

내구성 해양 RC 구조물의 철근 피복적정성에 관한 연구

A Study on the Cover Property of Offshore Reinforced Concrete Structure

임 정 순* / 방 윤 석** / 조 재 병***
Im, Jung Soon / Bahng, Yun Suk / Jo, Jae Byung

Abstract

On this study, durability decreasing element caused by salt damage was analyzed elementally and studied with the data of the inside and outside in the country. The design strength and water-cement ratio according to diffusion coefficients of chloride were applied to Fick's diffusion equation. The required over depended on environmental conditions is estimated with endurance period, and the influences on cover according to the transformation of the each parameter were investigated. In consequence, if water-cement ratio decreases and design strength increases, it shows that slowing infiltration velocity of chloride ion can decrease required cover. Especially, it is more effective to use Portland blast-furnace slag cement into high strength concrete in the splash zone environmental conditions in blocking the diffusion of chloride ion. As the result, in the case of the offshore concrete structure needed high durability, it is needed to increase cover(3cm~8cm) than minimum standard cover(8cm) according to environmental conditions.

Key words : cover, salt damage, service life, diffusion coefficients, splash zone

요 지

본 연구에서는 염해에 대한 내구성 저하 요인을 국내의 자료에 의해 요인별 분석, 고찰하고 Fick의 확산 방정식을 적용하여 설계기준강도와 물-시멘트비에 따른 염화물의 확산계수와 내구년한에 의한 환경조건별 소요피복두께를 산출하여 각 변수들의 변화에 따른 영향을 고찰하였다. 물-시멘트비가 감소하고 설계강도가 증가되면 염화이온의 침투속도가 낮아져 소요피복두께를 줄이는 것으로 나타났다. 특히 비말대 환경조건에서 고강도 콘크리트에 고로슬래그 시멘트를 사용할 경우 염화이온의 확산을 막는데 더욱 효과적이었다. 결과적으로 고내구성을 필요로 하는 해양콘크리트 구조물의 경우 최소피복두께 기준인 8cm보다 환경조건에 따라 3~8cm의 피복두께가 증가되어야 1등급 내구년한을 만족시키는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 설계피복두께, 염해, 내구수명, 확산계수, 비말대

1. 서 론

최근 경제개발과 함께 섬과 육지간 또는 섬과 섬을 연결하는 교량, 해안 석유비축시설, 해상위탁시설 등의 해안 구조물이 다양화되고 향후 해안 구조물의 수와 규모가 급격하게 늘어날 것으로 전망된다. 그런데, 우리나라에서는 해안에 위치한 구조물의 비래염

분에 대한 내구성이 문제점으로 제기되고 있으나, 이에 대한 조사자료는 물론 내구성 설계에 대한 시방 규정도 없는 실정이다. 비래염분은 그 특성상 지역적 환경조건에 크게 영향을 받기 때문에 독자적인 비래염분 포집기술 개발 및 비래염분량을 조사할 필요가 있다. 염해에 대한 콘크리트 설계 피복두께는 목표수명에 따라 정해야 하고, 피복두께의 검증은 내구등급(내구수명)을 목표로 하여 설계내구수명 기간에 허

* 정희원, 경기대학교 토목환경공학부 교수·공학박사 (E-mail : jsim@kvonggi.ac.kr)

** 정희원, 경기대학교 토목환경공학부 토목공학과 박사과정 (E-mail : b8863@unitel.co.kr)

*** 정희원, 경기대학교 토목환경공학부 부교수·공학박사 (E-mail : ibi@kvonggi.ac.kr)

용 성능저하상태를 넘지 않도록 하는 것을 기본으로 한다. 또한, 이의 검증은 일반적으로 염해에 대한 내구성 설계수법으로 사용되고 있는 Fick의 확산법칙을 이용하여 확산계수 D , 콘크리트 표면 염소이온량 C_0 는 구조물 위치 실태조사 또는 신뢰할 수 있는 자료를 근거로 하여 설계하여야 한다. 본 연구에서는 Fick의 확산법칙을 이용하여 설계 기준강도와 물-시멘트 비에 따른 확산방정식의 변수변화를 고찰하여 해양 토목 구조물중 기둥에 해당하는 환경조건별 물-시멘트비에 따른 철근피복두께와 콘크리트 설계강도별 철근피복두께를 계산하여 국내외의 설계기준과 비교 검토하고자 한다.

2. 염해에 대한 해양 콘크리트 구조물

2.1 환경조건에 따른 염화물의 도입

석유굴착용 콘크리트 플랜트나 대형 해양구조물(offshore structure)이 만들어 지게 되면서 콘크리트 구조물이 가장 심한 부식을 받는 것은 비말대라고 하는 생각을 하기 시작하였다. 여기서 비말대란 일반적으로 최저조위에서 최고조위로 이와 같은 환경에 위치한 부분의 콘크리트 부재에 대해서는 콘크리트 피복두께의 품질, 균열에 대해서 상당히 엄격한 조건을 설정하고 있다. 그런데 해안부근에 설치되는 콘크리트 교량,

특히 교각이 상기와 같은 조건에 의한 비말대에서 떨어져 있음에도 불구하고 콘크리트 중의 염화물 부식에 따른 조기열화가 최근 집중적으로 발생하고 있다. 종래의 해양비말대의 정의는 주요한 외력으로서 파력을 고려하는 구조설계측면에서 정해지고 있으며 이 정의가 그대로 부식, 방식에 관해서도 적용되므로 종래의 콘크리트 구조물의 지침이나 기준으로는 상기와 같이 해안이나 내륙부에 존재하는 교량 등은 해양비말대에 포함되지 않았다. 이것은 콘크리트 구조물의 부식, 방식측면으로서 종래와는 다른 해양 비말대를 정의해야 함을 의미한다.

2.2 콘크리트 구조물의 염해

콘크리트 구조물의 염화물에 의한 성능저하손상 과정은 아래 그림 2와 같이 4단계로 나눌수 있다(정영수 등, 2001). 잠복기는 콘크리트 내부로의 염화물 이온 확산속도에 의해 지배되며, 진전기는 주로 용전산소와 수분의 공급량 및 콘크리트의 전기저항에 의해 지배된다. 가속기는 철근주변의 균열 발생에 의해 피복콘크리트가 박락되는 과정으로 높은 응력이 반복하중으로 작용시 내하력 및 인성의 저하가 발생된다. 성능저하는 철근의 부식이 진행되어 단면적의 감소가 현저히 되고 내하력 저하가 심한 과정이다.

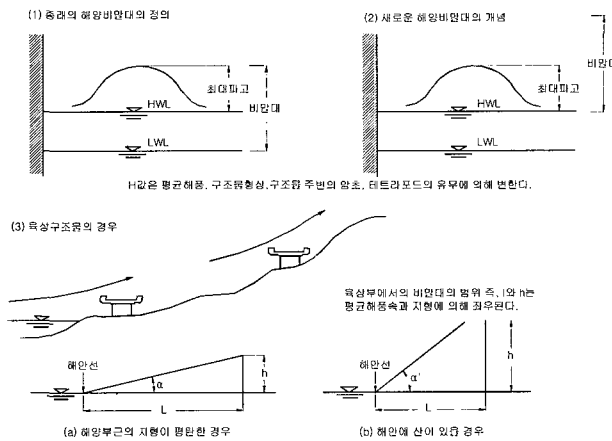


그림 1. 부식-방식에서 본 새로운 비말대의 개념

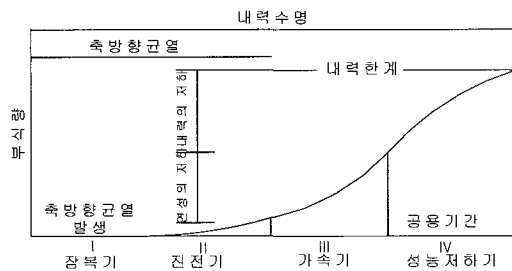


그림 2. 염화물에 의한 성능저하 손상 과정

3. 해양 콘크리트 구조물의 내구성 설계기준

3.1.1 목표내구수명 규정

3.1 국내외의 설계기준

표 1. 철근콘크리트 구조물 종류에 따른 목표내구수명<국내규정>

구 분	목표 내구수명	구조물의 종류(예)
내구 3등급	30년	공장건물, 가설건물, 창고, 주차장, 극장 등.
내구 2등급	65년	주택, 아파트, 학교, 미술관, 백화점 등 주로 건축 구조물을 대상으로 함.
내구 1등급	100년	교량, 고가도로, 지하철, 터널등 주로 토목 구조물을 대상으로 함

표 2. 철근콘크리트 구조물 종류에 따른 목표내구수명<외국규정>

국 가	목표 내구년수	구조물의 종류
일 본 (토목학회 및 콘크리트협회)	30년	목표내구수명이 짧아도 좋은 구조물
	50년	일반적인 구조물
	100년	높은 내구성이 요구되는 구조물
미 국	50-60년	보통 교량
	100년	주요 교량
	500년	방사능 폐기물 저장고

3.1.2 염해에 관한 외적 성능저하요인

표 3. 염해에 관한 외적 성능저하요인의 구분

구 분	해안에서 거리	염소이온의 침투 정도
중염해 지역	0m 부근	조수간만 및 파도에 의해 빈번히 해수에 접함.
염해 지역	50m 이내	강풍시에 해수적이 비래하고 콘크리트면이 해수에 젖는다.
준염해 지역	250m 이내	해염입자가 비래하고 콘크리트중에 유해량의 염화물이 축적된다.
염해영향이 없는지역	250m 초과	콘크리트중에 유해량의 염화물이 축적되지 않는다.

표 4. 표면에서의 염소이온 농도(kg/m³)

비 말 대	해안으로부터 거리 (km)				
	해안선 부근	0.1	0.25	0.5	1.0
13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5

3.1.3 구조부재별 철근 피복두께

표 5. 콘크리트의 설계피복두께 최소값(단위:mm) - 내구 1등급(내구수명 100년)

구조부재의 종별			준염해	염 해	중염해
바닥슬래브	옥 내	마감 있음	30	40	40
		마감 없음	40	50	50
옥상슬래브 비 내력벽	옥 외	마감 있음	60	70	90
		마감 없음	70 ¹⁾	2)	2)
기 둥 보 내력벽	옥 내	마감 있음	40	50	50
		마감 없음	50	60	60
	옥 외	마감 있음	60	70	90
		마감 없음	70 ¹⁾	2)	2)
옹 벽			70	80	100

[주] 1) 해풍을 직접받는 부재에는 차염성이 있는 마감재로 시공한다.
2) 염해지역 및 준염해 지역에서는 건축물 옥외면 부재는 차염성 있는 마감재로 시공 한다.

3.1.4 국내콘크리트 시방서의 특수환경에 노출되는 콘크리트 및 철근

고내구성이 요구되고 해안으로부터 250m이내에 위치하여 추가의 표면처리를 수행하지 않으며 유수등에 의한 심한 침식 또는 화학작용을 받을 경우에는 최소 80mm의 피복두께를 확보해야 한다.

3.2 염해에 대한 내구성 설계 이론

콘크리트 중의 염소이온 침투해석에서는 매크로적인 1차원 침투해석이 많고 일반적으로는 다음 식(2)에 나타내는 확산 방정식(Fick의 제2법칙)을 사용하는 경우가 많다.

$$\partial C_c / \partial t = D_{ap} \times \partial^2 C_c / \partial x^2 \quad (1)$$

여기서 D_{ap} : 콘크리트의 표면 염소이온 확산계수(cm^2/sec)

t : 시간(sec)

C_c : 콘크리트중의 염분량(kg/m^3)

x : 콘크리트 표면에서의 거리(cm)

$$\therefore C_{(x,t)} = C_0 (1 - \text{erf}(x / 2\sqrt{D \cdot t})) \quad (2)$$

여기서 $C_{(x,t)}$: 염화물량 (kg/m^3)

D : 염화물 이온 확산계수 (cm^2/sec)

C_0 : 콘크리트 표면 염화물 이온 농도 ($\text{kg}/\text{m}^3/\text{sec}$)

Clifton등은 Fick의 확산방정식의 일반해를 이용하여 일정량의 염소이온이 철근까지 도달하는데 걸리는 시간(t), 즉 구조물의 내구년한을 다음과 같이 산정하였다.

$$\frac{C_t}{\gamma_{ci} \cdot C_0} = 1 - \text{erf}\left(\frac{d}{2\sqrt{D_d \cdot t}}\right) \quad (3)$$

여기서, C_t : 임계염화물량($1.2\text{kg}/\text{m}^3$)

erf : 오차계수

γ_{ci} : 재료의 안전계수(1.3)

D_d : 염화물 이온 설계확산계수

C_0 : 콘크리트 표면 염화물 이온 농도

d : 피복두께 설정치(mm)

t : 염소이온이 철근까지 도달하는데 걸리는 시간

설계확산계수를 재설정할 경우를 고려하면 선정한 재료와 배합에 의해 콘크리트가 요구하는 성능 (강도 또는 염화이온 확산계수; D_k)을 만족하는가를 검토하여 검토

식을 충족시키는 물-시멘트비(w/c)의 값을 구한다.

3.2.1 강도 검토

$$\therefore \gamma_p \cdot f_{ck} / f_{cp} \leq 1.0 \quad (4)$$

콘크리트의 압축 설계기준강도 : $f_{ck}(\text{N}/\text{mm}^2)$

콘크리트의 압축강도 예측치 :

$$f_{cp}(\text{N}/\text{mm}^2) = -14.6 + 24.5(c/w)$$

(고로 슬래그 시멘트)

$$f_{cp}(\text{N}/\text{mm}^2) = -15 + 20(c/w)$$

(보통 포틀랜드 시멘트(AE감수제 사용 시))

그리고, 압축강도의 변동계수를 V 라 하면 안전계수 γ_p 는

$$\gamma_p = 1 / (1 - 1.645 V / 100) \quad (5)$$

이상과 같이 콘크리트의 물-시멘트(w/c)는 콘크리트의 압축강도와와의 관계식을 이용하면 계산 할 수 있다.

3.2.2 염화물 이온에 대한 확산계수의 검토

$$\therefore \gamma_p \cdot D_p / D_k \leq 1.0 \quad (6)$$

여기서, 확산계수 예측치(D_p)를 산출하고, 다음식을 이용하면 물-시멘트(w/c)비를 도출할 수 있다.

3.2.1의 강도검토와 3.2.2의 확산계수 검토에 의해 도출된 물-시멘트(w/c)비 중에서 양 값을 다 만족시킬수 있는 w/c로 해야 한다. 그리고, “콘크리트표준시방서” 2.2장의 물-시멘트비를 만족시켜야 한다.

3.2.3 물-시멘트비에 따른 확산계수를 산출하는 방법

i) 보통 포틀랜드 시멘트

$$\log D_p = [4.5(w/c)^2 + 0.14(w/c) - 8.47]$$

$$\therefore D_p = 10^{[4.5(w/c)^2 + 0.14(w/c) - 8.47]} \quad (7)$$

ii) 고로 슬래그 시멘트

$$\log D_p = [19.5(w/c)^2 - 13.8(w/c) - 5.74]$$

$$\therefore D_p = 10^{[19.5(w/c)^2 - 13.8(w/c) - 5.74]} \quad (8)$$

4. 염화물 침투 해석

4.1 물-시멘트비의 변화에 따른 염화물 확산계수

그림 3은 식(7),(8)의 관계식에 의한 물-시멘트비에 더 많은 연속공극을 형성하게 되며 콘크리트 표면에 있던 염화물의 내부 침투가 용이하게 되어 염화물의 확산계수가 증가하는 것으로 판단된다.

4.2 환경조건별 물-시멘트비에 따른 소요피복 두께 (내구년한 100년 기준)

그림 4에서와 같이 환경조건은 비말대, 해수중, 해양대기중(0.1, 0.25, 0.5, 1.0km)으로 구분하였으며, 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트로 나누어 물-시멘트비에 따른 소요피복두께를 산정하였다.

같은 물-시멘트비의 경우에서 보면 표면염화물량이 큰 비말대에서의 소요피복두께가 가장 크게 나타났다. 보통포틀랜드 시멘트의 경우 물-시멘트비가 0.4(설계강도 310kgf/cm²)일때 소요피복두께는 환경조건에 따라 비말대 14.83cm, 해수중 14.33cm, 해양대기중(0.1km) 12.69cm, 해양대기중(0.25km) 11.05cm, 해양대기중(0.5km) 8.60cm, 해양대기중(1.0km) 6.14cm로 나

다른 염화물 확산계수의 변화를 나타내었다. 콘크리트 배합에 사용된 물은 콘크리트가 경화한 후 남아있던 물들이 증발하는 과정에서 콘크리트 내부에 공극을 형성하게 된다. 물-시멘트비의 증가는 콘크리트 내부에 타났으며, 고로슬래그 시멘트의 경우 물-시멘트비가 0.4(설계강도 420kgf/cm²)일때 소요피복두께는 환경조건에 따라 비말대 8.88cm, 해수중 8.57cm, 해양대기중(0.1km) 7.59cm, 해양대기중(0.25km) 6.61cm, 해양대기중(0.5km) 5.14cm, 해양대기중(1.0km) 3.69cm로 각각 나타났다. 같은 물-시멘트비에서 고로슬래그 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트에 비해 환경조건과 관계없이 소요피복두께가 40%씩 감소하였다. 이는 고로슬래그의 분말도가 비표면적으로 2800~3500cm²/g이상으로써 콘크리트 내부가 밀실하게 되어 염화이온의 확산을 억제한 것으로 판단된다.

4.3 설계강도별 내구년한에 따른 소요피복두께

그림 5~8은 물-시멘트비에 따라 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트의 설계강도를 찾아내고, 각 강도별 내구년한과 이온농도의 침투깊이(소요피복두께)를 산정하였다. 내구년한 100년, 설계강도 350kgf/cm²일때

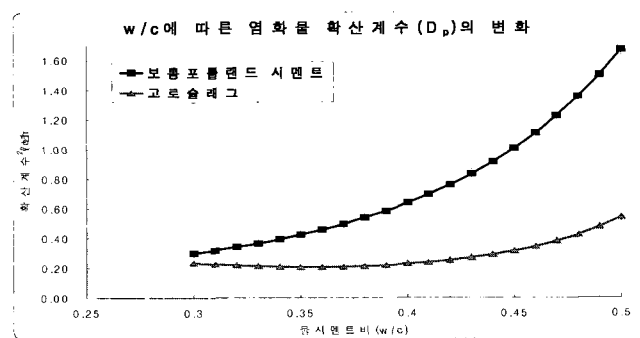


그림 3. w/c에 따른 염화물 확산계수 변화

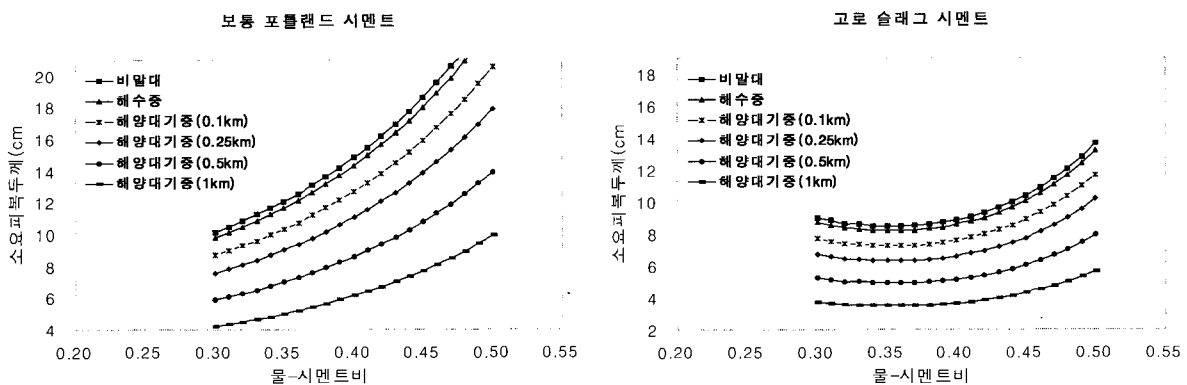


그림 4. 물-시멘트비에 따른 소요피복두께

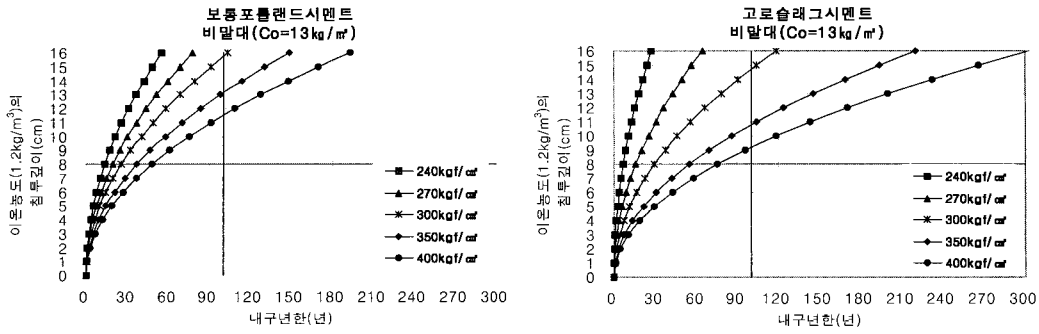


그림 5. 비말대에서의 내구년한과 소요피복두께

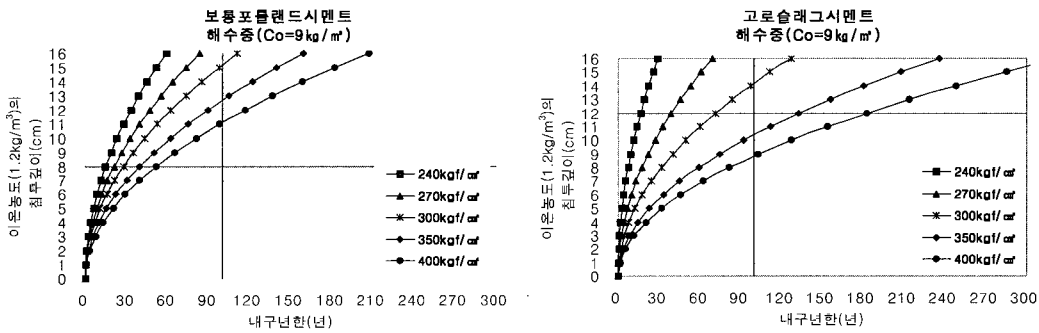


그림 6. 해수중에서의 내구년한과 소요피복두께

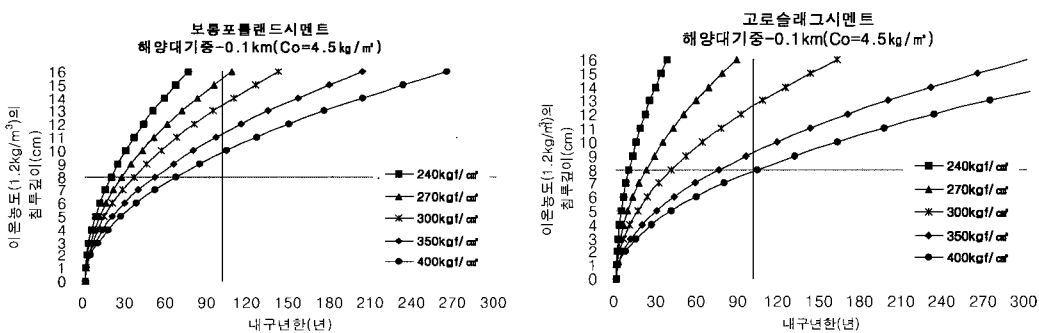


그림 7. 해양대기중(0.1km)에서의 내구년한과 소요피복두께

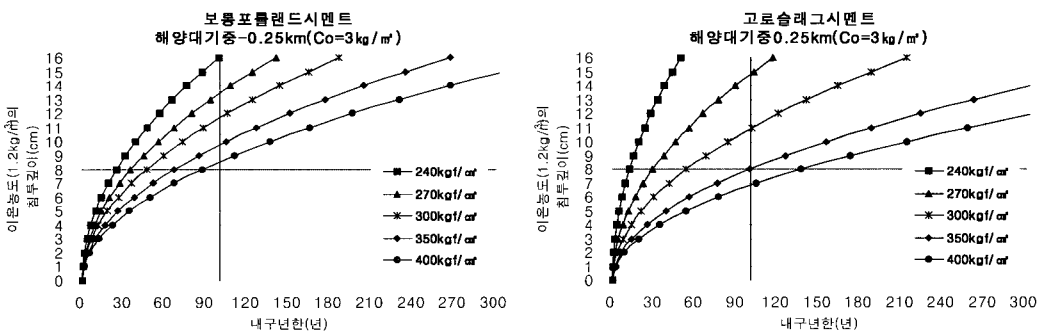


그림 8. 해양대기중(0.25km)에서의 내구년한과 소요피복두께

를 기준으로 살펴보면 보통포틀랜드 시멘트의 경우 소요피복두께가 비말대 13.2cm, 해수중 12.7cm, 해양대

기중(0.1km) 11.2cm, 해양대기중(0.25km) 9.8cm를 나타냈고, 고로슬래그 시멘트의 경우 비말대 10.8cm, 해

수중 10.4cm, 해양대기중(0.1km) 9.2cm, 해양대기중(0.25km) 8.0cm로 나타났다. 같은 설계강도에서 고로슬래그 시멘트의 사용은 20%의 소요피복두께 감소효과를 가져오는 것을 알 수 있다. 그림5~8의 모든 경우에서 보논바와 같이 설계강도의 증가에 따라서 소요피복두께가 급격히 줄어드는 것을 알 수 있는데 이는 결국 콘크리트의 설계강도를 산정할때 모든값을 고정

시킨 가운데 물-시멘트비만을 변수로 두었기 때문에 물-시멘트비의 감소가 설계강도의 증가로 이어지고 이때 소요피복두께는 감소하는 것을 알 수 있다.

내구년한 100년을 기준으로한 소요피복두께와 예측 내구년한을 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트로 구분하여 각각의 환경조건, 설계강도에 따라 나타내면 다음과 같다.

표 6. 염화물 침투해석 결과

구 분	환경조건 (표면염화물량)	설계강도 (kgf/cm ²)	W/C	염화물확산 계수(cm ² /년)	소요피복 두께(cm)	예측내구 년한(년)	
보통 포틀랜드 시멘트	비말대 (13kg/m ³)	240	0.48	1.3518	16초과	31	
		270	0.44	0.9510	16초과	44	
		300	0.41	0.7172	15.8	58	
		350	0.37	0.5002	13.2	83	
		400	0.34	0.3837	11.5	109	
	해수중 (9.0kg/m ³)	240	0.48	1.3518	16초과	33	
		270	0.44	0.9510	16초과	47	
		300	0.41	0.7172	15.3	62	
		350	0.37	0.5002	12.7	89	
		400	0.34	0.3837	11.1	116	
	해양대기중 - 0.1km (4.5kg/m ³)	240	0.48	1.3518	16초과	42	
		270	0.44	0.9510	15.6	60	
		300	0.41	0.7172	13.6	79	
		350	0.37	0.5002	11.3	114	
	해양대기중 - 0.25km (3.0kg/m ³)	240	0.48	1.3518	16초과	56	
		270	0.44	0.9510	13.6	79	
		300	0.41	0.7172	11.8	105	
		350	0.37	0.5002	9.9	150	
	고로 슬래그 시멘트	비말대 (13kg/m ³)	240	0.59	2.7223	16초과	15
			270	0.55	1.1457	16초과	36
300			0.51	0.6265	14.7	67	
350			0.46	0.3366	10.7	124	
400			0.41	0.2448	9.2	170	
해수중 (9.0kg/m ³)		240	0.59	2.7223	16초과	16	
		270	0.55	1.1457	16초과	39	
		300	0.51	0.6265	14.2	71	
		350	0.46	0.3366	10.4	133	
		400	0.41	0.2448	8.8	183	
해양대기중 - 0.1km (4.5kg/m ³)		240	0.59	2.7223	16초과	21	
		270	0.55	1.1457	16초과	50	
		300	0.51	0.6265	12.6	91	
		350	0.46	0.3366	9.2	169	
해양대기중 - 0.25km (3.0kg/m ³)		240	0.59	2.7223	16초과	28	
		270	0.55	1.1457	14.9	66	
		300	0.51	0.6265	11.0	120	
		350	0.46	0.3366	8.0	223	
			400	0.41	0.2448	6.9	307

4.4 시멘트종류에 따른 설계강도별 소요피복두께 같은 환경조건(비말대)의 경우, 설계강도의 변화에 따른 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트의 소요피복두께변화 추이를 살펴보았다. 3.2 염해에 대한

내구성 설계 이론의 식(3)을 이용하여 다음과 같은 그래프를 나타내었으며, 이온농도의 침투깊이는 식(3)의 피복두께 설정치와 같은 개념으로 사용되었다.

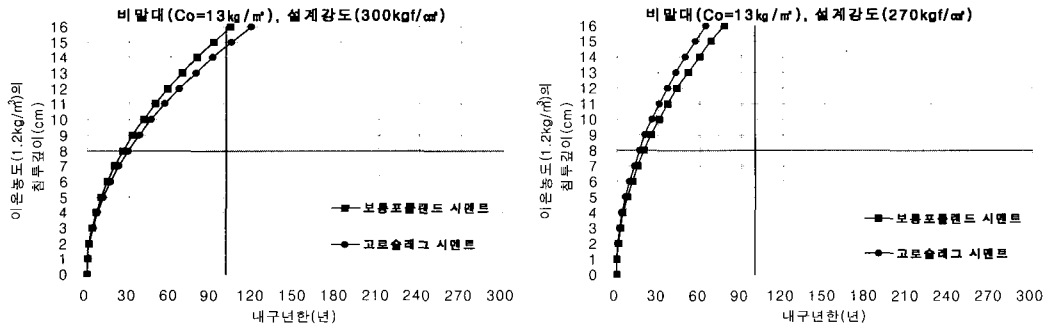


그림 9. 시멘트종류에 따른 설계강도별(270, 300kgf/cm²) 소요피복두께

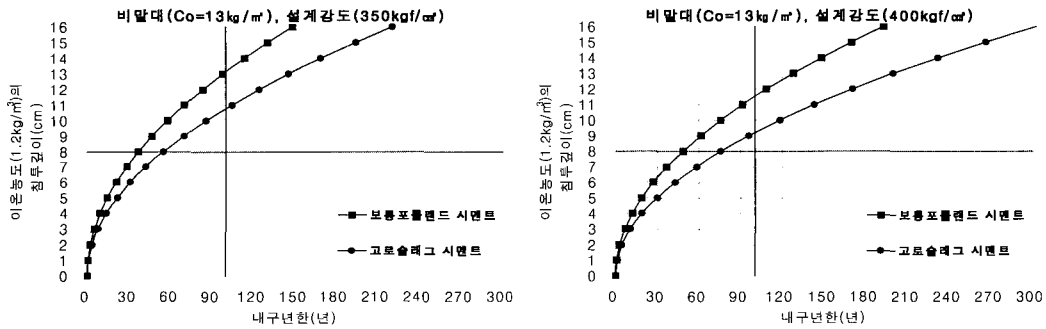


그림 10. 시멘트종류에 따른 설계강도별(350, 400kgf/cm²) 소요피복두께

5. 결론

1. 물-시멘트비의 증가는 콘크리트 내부에 더 많은 연속공극을 형성하게 되며, 콘크리트 표면에 있던 염화물의 내부 침투가 용이하게 되어 염화물의 확산계수가 증가하는 것으로 판단된다.
2. 같은 물-시멘트비의 경우에서 보면, 표면 염화물량이 큰 비말대에서의 소요피복두께가 가장 크게 나타났고 고로슬래그 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트에 비해 환경조건과 관계없이 소요피복두께가 40%씩 감소하였다.
3. 같은 설계강도에서 고로슬래그 시멘트의 사용은 20%의 소요피복두께 감소효과를 가져오는 것을 알 수 있다. 또한 설계강도의 증가에 따라서 소요피복두께가 급격히 줄어드는 것을 알 수 있는데 이는 물-시멘트비의 감소 때문으로 판단된다.
4. 설계강도 350kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트로 갈수록 고로슬래그 시멘트를 사용할 때 염화이온

5. 내구년한 100년을 기준으로 계산된 소요피복두께는 지방사에서 제시한 특수환경에 노출되는 콘크리트의 최소피복두께인 8cm를 모두 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 이는 단지 최소피복두께의 기준이며 고내구성을 필요로 하는 해양콘크리트 구조물(설계강도 300kgf/cm² 이상)에서는 보통포틀랜드 시멘트의 경우 환경조건에 따라 최소피복두께보다 4~8cm 정도의 소요피복이 추가로 요구되며, 고로슬래그 시멘트의 경우 최소피복두께보다 3~7cm 정도의 소요피복이 추가로 요구되는 것으로 나타났다. 또한 설계강도가 270kgf/cm² 이하인 경우, 모든 환경조건에서 고부식성에 필요한 내구년한을 만족하기 위해서는 소요피복두께가 기하급수적으로 늘어나기 때문에 고내구성을 요구하는 해양구조물에는 부적합한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김은겸, 신치범, 이윤환. (1997) 콘크리트 구조물의 염화물 이온 침투거동해석. 콘크리트학회지 제9권 6호, pp.233-241
- 오병환, 장승엽, 신용석. (1999) 콘크리트 내부염소이온에 의한 철근의 부식특성 및 임계 염소이온농도의 결정 연구. 콘크리트학회 논문집 제11권 3호, pp.193-203
- 오병환, 정원기, 강승희, 장승엽. (1996) 염소이온에 의한 철근부식에 관한 콘크리트 구조물의 내구년한 예측을 위한 수학적 모델. 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp.201-206
- 大郎信明. (1982) 해양환경하에 있는 콘크리트의 염분 함유량. 일본 콘크리트학회 No.421.
- 정영수, 배수호.(2001) 내염해 설계 방법 및 방식 대책. 콘크리트 학회지 제13권 6호, pp.26-35
- 사단법인 대한토목학회 (1996) 콘크리트 표준시방서
- 사단법인 한국콘크리트학회. (2001) 염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계/시공/유지관리 지침(안), pp. 13-24
- 사단법인 한국콘크리트학회 (2003) 콘크리트 구조설계 기준 해설
- 일본 콘크리트 표준시방서. (2001) 일본 토목학회.
- Clear, K.C.. (1974) Evaluation of Portland Cement Concrete for Permanent Bridge Deck Repair. Interim Report No. FHWA-RD-74-5.
- Clear, K.C .(1976). Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs. FHWA-RD 76-70. FAWA. Apr.
- Christiansen, R. M.(1979). Mechanics of Composite Materials. Wiley Interscience. New York.
- Eerke, N.S., Pfeifer, D.W., and Weil, T.G. (1988). Protection Against Chloride Induced Corrosion. Concrete International. Dec.
- J.G.M. Wood. (1995). Prediction of Concrete Durability . Achieving Durable Concrete. E&FN SPON. The Geological Society. London. U.K., Nov.
- J.R.Mackechnie and M.G.Alexander (1997). Exposure of Concrete in Diferent Marine Environments. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Feb.
- J.Zemajtis (1998). Mdeling the Time to Corrosion Initiation for Concretes with Mineral Admixtures and/or Corrosion Inhibitors in Chloride-Laden Environments. Thesis of Ph.D, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Jan.
- 金成秀. (1994) 海洋環境下에 방치한 콘크리트의 열화 및 철근의 부식, 방식에 대한 연구, 박사학위논문, 한양대학교.
- 김성욱외4인. (2001) 콘크리트 교량의 염해 내구성 평가 기술개발, 한국건설기술연구원.
- 이종석외 3인. 해사사용시 염화물이 콘크리트 내구성에 미치는 영향에 관한 조사연구.(연구보고서), 한국건설기술연구원.

◎ 논문접수일 : 2004년 7월 13일

◎ 심사의뢰일 : 2004년 7월 15일

◎ 심사완료일 : 2004년 9월 21일