

고유동의 내해수성 콘크리트에 관한 연구

A Study on Durable Concrete for Marine Environment with Flowing Property

최광일*	박춘근**	하재담***
Choi, Kwang Il	Park, Choon Keon	Ha, Jae Dam
정해문****	강민호*****	김종우*****
Cheong, Hai Moon	Kang Min Ho	Kim, Jong Woo

Abstract

Concrete structure which placed aggressive marine environment must have proper durability. Portland cement type V has been used for this purpose.

However, besides this, flowability was required in specific part. (highly congested reinforced part, hard to vibrating part, etc.) For this purpose concrete mixtures were made with portland type V and specific amount of pozzolan material and tested structural properties including flowability and durability.

1. 서 론

우리나라는 3면이 바다로 되어있는 환경에서, 각종 SOC 사업 및 항만공사 등이 여러 구조물의 형태로 시공되고 있다. 이런 해양 환경에서 내해수성 시멘트로서 포틀랜드시멘트 5종이 넓게 사용되어 왔다. 5종의 내해수성 기능에 대해서는 각국의 시멘트 국가 규격중 내황산염 시멘트에서 출발하고 있다. 각국에서 내황산염 시멘트의 사용 용도는 해양개발공사, 공해방지공사, 온천지대등 다양하다. 근래에 와서는 각종 구조물의 형상이 다양하며 고유동을 요하는 장소도 있고, Mass 콘크리트에서는 저

* 정회원, 쌍용중앙연구소 시멘트콘크리트연구실 수석연구원

** 정회원, 쌍용중앙연구소 시멘트콘크리트연구실장

*** 정회원, 쌍용중앙연구소 시멘트콘크리트연구실 선임연구원

**** 정회원, 쌍용중앙연구소 시멘트콘크리트연구실 주임연구원

***** 정회원, 쌍용중앙연구소 시멘트콘크리트연구실 연구원

***** 정회원, 쌍용중앙연구소 건설재료연구실 연구원

발열성이 필요한 곳도 있어, 콘크리트에 요구되는 성능이 고기능화 되고 있다고 하겠다.

본 연구는 내황산염 시멘트(5종)에 포조란 물질을 적정량 첨가함으로써, 해양성 환경에 적합하면서, 고유동성을 가지는 콘크리트의 제조 가능성을 확인하였다. 이러한 콘크리트는 장기 재령에서의 내구성 평가와 더불어 부가된 특성을 면밀히 검토하므로써 다양한 요구특성에 대처할 수 있는지의 가능성을 평가할 수 있다.

2. 연구범위 및 목적

- 1) 내해수용 시멘트로 범용적으로 사용되고 있는 5종시멘트에 포조란 물질(Fly Ash)을 적절히 조합하여, 유동성을 가진 내해수용 Cement를 제조하여, 설계강도 240kg/cm² 범위에서 콘크리트의 시방배합을 도출하고
- 2) 콘크리트 제특성 중에서 fresh concrete의 성질을 slump flow 및 U관을 통해 평가하고, 경화 콘크리트의 강도특성 및 내구성을 평가하였다.
- 3) 상기와 같은 콘크리트의 물성을 확인하여, 콘크리트의 다양한 요구를 만족할 수 있는가를 평가함에 있다.

3. 내해수성과 유동성에 관한 이론

1) 시멘트 화합물의 성질

표 1 시멘트 화합물의 성질

성 질		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
강도발현	초기 장기	대 중	소 대	중 소	소 소
수화열 내화학적 건조수축		중 중 중	소 특대 소	대 소 대	중 대 소

2) 해수에 의한 콘크리트 열화기구

a) 콘크리트의 화학적 침식

-C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O : 조직의 팽창파괴 (3.2배 부피팽창)
(Ettringite) 열화의 가속화 (가장 심각, 장기재령)

→ C₃A 함량최소화 : 내황산염 시멘트

-C₃A · CaCl₂ · 10H₂O : 조직의 팽창유도, 불안정화합물
(프리텔씨염)

-CaCl₂ : 수용성, 조직의 다공화, 철근부식

-C₃MSH : 불안정 수화물, 조직의 다공화

b) Cl⁻에 의한 철근부식 제요인

-Cl⁻의 화학적 고정, 물리적 고정 (cement 수화 생성물)

- 중성화 (pH 의 영향)
- 균열크기, 폭
- 콘크리트의 조성
- 콘크리트 중의 수분 즉 주위환경조건

c) 물리적 작용에 의한 열화

- 동결융화
- 건습반복
- 중성화
- 표층마모

3) 포졸란 물질(Fly Ash) 첨가에 의한 치밀구조형성 및 유동성 발휘

- Fly Ash 등의 물질을 적정량 혼합함으로써, 수화열을 보다 낮출 수 있게 되고, Pore solution 내의 OH⁻ 이온농도가 낮아지고, 재령이 경과할수록 포졸란반응에 의한, C-S-H 수화물의 생성에 따라 경화체가 치밀해져 결과적으로 염분환경하에서 Cl⁻ 이온의 확산침투를 억제하는등 내구성의 증진이 기대된다.
- 또한 Fly Ash는 비중이 낮고, 구형입자로 이루어져, 시멘트와 혼합시 동일 cement량을 사용하는 plain concrete에 비해 유동성을 향상시킬 수 있다.(분체 용적 증대)

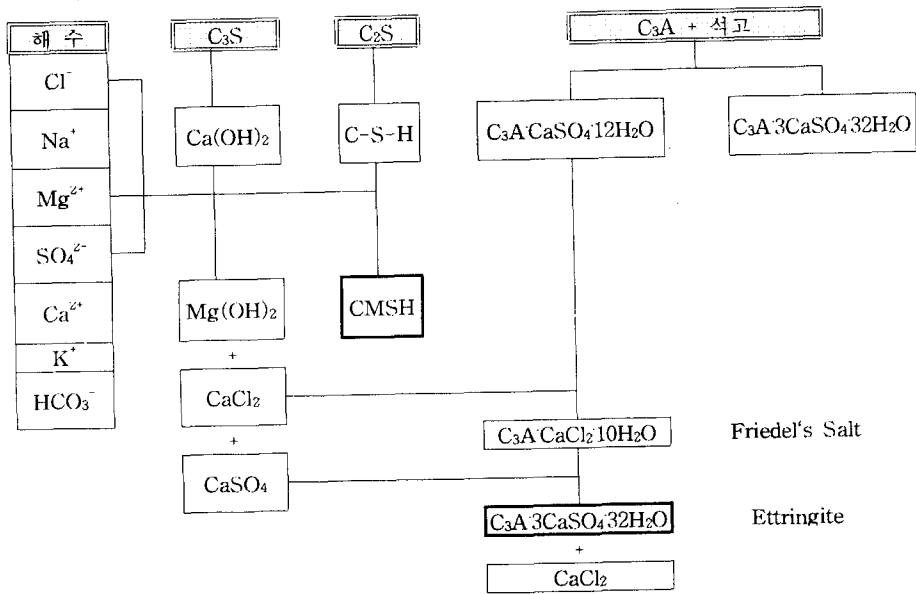


그림 1 콘크리트의 화학적 침식

4. 사용재료 및 실험내용

1) 사용재료

- Cement : 5종 포틀랜드시멘트 (내황산염 시멘트)
+ Fly Ash (10~30% 내할 첨가)

-골 재 : 19mm 쇄석(아산 서두석산산), 모래 (아산만산)

-혼화제 : M-2000(폴리카본산계)

2) 실험방법 (콘크리트 배합)

-설계기준강도를 28일기준 240kg/cm²으로 하였다.

(7일재령에서 190kg/cm² 목표)

-W/C비는 해양구조물에서 내구성을 가져야하므로, 콘크리트 표준시방서에서 해상 또는 해당 대기중 조건에서 타설되는 기준으로하여 수밀성을 고려 45% 이하로 검토하였으며

-단위 Cement량을 내구성 있는 단위 Cement량의 최소량중, 해상 대기중 구조물 기준 330kg/cm² 이상이나, 고유동성을 위해 19m/m 골재감안, 400kg/cm² 이상 수준에서 검토함

-S/a는 실험을 통하여 정하며, 재료분리가 없는 고유동콘크리트를 얻기 위해 최소의 단위수량을 갖는 잔골재율을 검토하였다.

3) 평가방법

-Fresh concrete : slump flow, U관, 공기량

-경화콘크리트 : 압축강도, 동결융해, 길이변화, 중성화, 내화학적

4) 재료배합

-재료배합은 다음 표와 같다.

표 2 재료배합

배합	W/C(%)	S/a(%)	단위재료량(kg/m ³)		
			W	C	혼화제(%)
MV1*	46	54	190	420	1.8
MV2*					
MV3*					
MV4*	45				
MV5*					
MV6*					
MV7*	44				
MV8*					
MV9*					

*MV1, MV4, MV7 : FA 10%
 MV2, MV5, MV8 : FA 20%
 MV3, MV6, MV9 : FA 30%

5. 실험결과

1) 배합별 Fresh 콘크리트성상 및 압축강도

표 3 배합별 Fresh 콘크리트성상 및 압축강도

배합	W/C (%)	특성치				
		slump flow(cm)	U관 단차(cm)	압축강도(kg/cm ²)		공기량 (%)
MV1	46	51×55	6	66	202	
MV2		58×58	3	32	192	3.5
MV3		59×63	2	16	153	4.3
MV4	45	56×56	5	63	255	3.9
MV5		60×60	4	49	214	3.6
MV6		60×62	2	29	196	4.6
MV7	44	59×63	2	51	237	3.4
MV8		60×65	3	29	217	3.9
MV9		59×61	2	25	202	4.5

표 4 시방배합

배합내용	WC (%)	S/a (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	Ad (%)
시멘트					
고유동·저발열 내해수성 시멘트	45~46	54	410~420	190	1.8

2) 영향인자분석

a) W/C

압축강도와 W/C와의 관계에서 유동성과 소요강도를 동시에 만족하는 최적의 물시멘트비는 45% 인것으로 분석된다.

b) 단위 Cement량 : 410kg/cm²이상 범위

c) 잔골재율

S/a slump flow 와의 관계에서 잔골재율을 51.54.57로 변화시켜본 결과 54%가 가장 만족스러운 결과를 나타내었다.

압축강도 (7d)

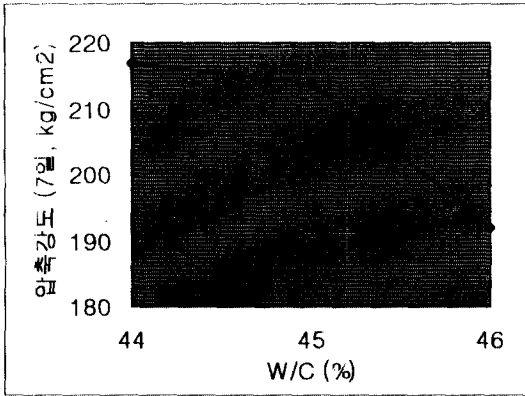


그림 2 압축강도

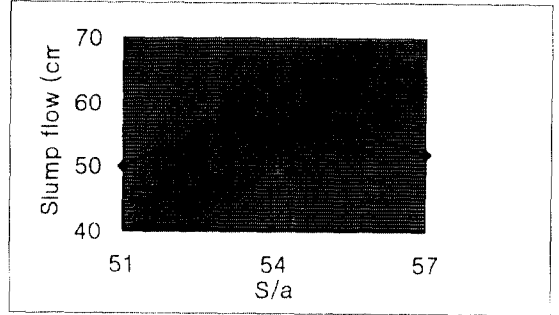


그림 3 잔골재율

표 5 기본특성

배합	W/C (%)	특성치				
		slump flow (cm)	U관 단차 (cm)	압축강도(kg/cm²)		공기량(%)
				3d	7d	
MV2	46	58×58	3	32	192	3.8
MV5	45	60×60	4	49	214	3.6

표 6 경시변화

배합	W/C (%)	시간별 Slump flow(cm)		
		0분	30분	60분
MV2	46	58×58	58×58	59×60
MV5	45	60×60	60×60	62×60

표 7 강도 및 내구성

시험항목	관련 규격	측정 재령과 결과							
		재령 (일)		강도 (kg/cm²)		중량감소율 (%) (14일침전)		동결융해	
압축강도	KSF 2405	3	7	28	56				
		75	176	326	425				
내화학적	-	MgCl ₂	3.7	H ₂ SO ₄	5.0	MgSO ₄	1.7		
			4.2		6.5		2.3		
동결융해	KSF 2456	동결융해 횟수	30	60	90	120			
		동탄성계수 감소율(%)	3.9	8.0	13.8	26.5			
길이변화	KSF 2424	재령 (주)	4	8					
		건조수축 (×10 ⁻⁴)	-2.78	-3.33					
중성화	-	재령 (주)	2	4					
		중성화 깊이 (mm)	9.7	16.3					

분석) --강도 수준은 당초 설계강도 240kg/cm²을 훨씬 상회하고, 장기재령에서 강도증진이 계속되고 있음을 알 수 있다.

--내화학적에서도 치밀한 구조가 형성되어 우수한 성능을 보이는 것으로 판단되고

--동결융해, 길이변화, 중성화에서도 추가재령을 보아야하나, 양호한 상태로 평가된다.

3) 시방배합선정

4) 기본특성 및 경시변화

5) 강도특성 및 내구성 평가

공시체 제작방법) 상기 시방배합에서 시멘트량을 420kg/cm³, FA 30% 첨가 (MV6 배합), S/a를 54%→52로 하향조정하여, 공시체를 제작하고 강도특성(3, 7, 28, 56d 재령별) 및 내구성을 평가하였다.

6. 결 론

- 1) 해양환경에 있어서 포틀랜드시멘트 5종(내황산염 시멘트)은 규격시멘트로써 넓게 쓰이고 있으며 내해수성에 대한 이론을 배경으로 하고 있다.
- 2) 다양한 콘크리트 구조물의 요구에 대응하기 위해, 분체량을 증가시킨 콘크리트 배합을 하여, 고유 동성의 콘크리트를 만들 수 있었고, 포조란 물질의 첨가에 의한 조직의 치밀성도 기대할 수 있다.
- 3) 단위 분체량, W/C를 변동시켜 콘크리트 실험을 하여본 결과, slump flow, U관 평가에서 양호한 fresh 콘크리트를 얻을 수 있었고, 여러 가지의 내구성 평가를 실험실적으로 하여본 결과, 만족할 수 있는 수준의 콘크리트를 확인 하였다.
- 4) 향후 다양한 콘크리트의 요구에 대응키 위한 본연구는, 종합적 장기재령에서 의 평가를 통하여, 면 밀히 추후 검토가 되어야 한다고 본다.