

# 내구수명 100년 해양 콘크리트의 배합사례

## Case Study on the Mixing Proportions of 100 Year Life Time Concrete

장봉석\*

안정환\*\*

Jang, Bong-Seok

Ahn, Jeong-Hwan

---

### Abstract

This study shows some results of concrete mixing design has 100 years life time. The ratios of ternary blended cement are 4 types. the ratios of blast furnace slag cement are 3 types. In this case study, 40%, 50% and 60% replacement ratio of blast furnace slag(BSF) to OPC are used, also 35:45:20, 30:35:35, 30:40:30 and 35:40:25 ratio of OPC:BSF:FA are used. The mixing design tests include slump, air content, compressive strength and thermal properties of concrete. The compressive strength tests are executed at the age of 3, 7, 28, 56, and 91 days. The coefficient of chloride diffusion is determined by NT Build 492 method.

The purpose of this study is to shows the results of case studies as the ratio of blended cement varies.

### 요 약

본 연구는 100년 내구수명을 갖는 해양 콘크리트의 배합설계를 위한 단계에서 실시된 물성 시험값을 제시하였다. 배합설계시에 검토한 시멘트는 삼성분계시멘트와 고로슬래그시멘트의 두 가지 종류였으며, 삼성분계시멘트는 1종시멘트(OPC), 고로슬래그(BSF) 그리고 플라이애쉬(FA)의 세 가지를 혼합한 것이며, 그 혼합비로 네 가지(35:45:20, 30:35:35, 30:40:30, 35:40:25)를 변수로 하였고, 고로슬래그시멘트는 1종시멘트에 고로슬래그의 치환율을 세 가지(40%, 50%, 60%)를 변수로 하였다.

주요 검토 사항으로는 제1종시멘트와 고로슬래그 그리고 플라이애쉬를 사용한 삼성분계시멘트를 이용한 콘크리트 배합과 고로슬래그시멘트를 이용한 콘크리트 배합에 대하여, 염해환경하에서 내구수명 100년을 확보할 수 있도록 콘크리트의 최종 배합비를 결정하기 위하여 기본 물성시험(슬럼프, 공기량, 강도 등) 및 염소이온확산계수시험(NT Build 492)을 수행하였다. 그 결과로부터 100년 내구수명을 확보할 수 있는 콘크리트의 배합을 결정하였으며 또한 다른 프로젝트에서 참고 자료로 활용할 수 있는 사항들을 제시하고자 하였다.

---

\* 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, 정회원, 공학박사

\*\* 한국수자원공사 시화호조력발전소건설단, 공학사

## 1. 서 론

최근 들어 국가 중요 기반시설물의 내구수명 100년을 확보하기 위한 설계와 시공 노력들이 이루어지고 있다. 특히, 해양 환경에 노출된 철근 콘크리트 구조물의 경우에는 염소이온 침투에 따른 철근부식시기가 내구수명과 직접 영향을 미치므로, 최근의 많은 대형 사회기반 시설물들은 100년 내구수명 확보를 위하여 염해 저항성을 갖는 콘크리트로 설계 시공되고 있다. 또한 콘크리트의 내구수명 100년 확보 여부를 검증하기 위하여 다양한 품질관리 기준의 수립 또는 검증 작업들이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 제1종시멘트(OPC)와 고로슬래그(BSF) 그리고 플라이애쉬(FA)를 사용한 콘크리트 배합의 염해에 대한 내구수명 100년을 확보할 수 있는 콘크리트 배합을 결정하기 위하여 기본 물성시험 및 염소이온 확산 실험을 실시하였으며, 이로부터 100년 내구수명을 확보할 수 있는 콘크리트의 배합을 결정한 사례를 다루고자 한다.

## 2. 실험 변수 및 실험방법

### 2.1 사용재료

본 연구에서는 1종시멘트와 국내 K 제철소의 3종 고로슬래그, D 화력발전소의 플라이애쉬를 사용하였으며, 그 기본물성은 표 1~표 2에 나타내었다.

표 1 시멘트 기본 물성

밀 도 (kg/m <sup>3</sup> )	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	45 $\mu$ m체잔량 (%)	수분 (%)	강열감량 (%)	응결시간		안정도 (%)	압축강도(MPa)		
					초결(분)	종결(시간)		3일	7일	28일
3.12	4,032	2.28	0.61	2.31	205	7:55	0.00	29.2	39.6	53.1

표 2 고로슬래그와 플라이애쉬 기본 물성

	밀 도 (kg/m <sup>3</sup> )	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	45 $\mu$ m체잔량 (%)	수분 (%)	강열감량 (%)	플로우비 (%)	활성도지수(%)		
							2.91	28일	91일
고로슬래그	2.91	4,557	0.98	0.11	0.12	105	78	108	122
플라이애쉬	2.25	4,403	5.4	0.17	3.70	106	75	82	105

### 2.2 배합 변수

본 연구에서는 각각의 혼합시멘트에 대하여 예비 실험을 수행하여 목표 슬럼프 18 $\pm$ 2.5cm, 공기량 4.5 $\pm$ 1.5%를 만족하는 배합을 결정한 표 3의 배합비를 이용하여 각각의 특성실험을 수행하였다.

표 3 배합 변수

	굵은골재 최대치수 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(/m <sup>3</sup> )					비 고	
				물 (kg)	시멘트 (kg)	잔골재 (kg)	굵은 골재 (kg)	혼화제 (g)		
삼성분계배합 (OPC:BFS:FA)	35:45:20	20	39.0	46.5	165	423	793	948	4,230	
	30:35:35	20	39.0	46.5	165	415	777	928	3,943	
	30:40:30	20	39.0	46.5	162	415	779	931	3,943	
	35:40:25	20	39.0	46.5	162	415	783	935	3,943	
고로슬래그배합 (OPC:BFS)	60:40	20	39.0	47.0	162	415	796	929	3,942	
	50:50	20	39.0	46.5	165	423	792	946	4,230	
	40:60	20	39.0	46.5	165	423	790	944	4,230	

## 2.2 실험방법

슬럼프시험, 공기량시험, 압축강도(3일, 7일, 28일, 56일, 91일) 시험은 KS 시험규격에 준하여 실시하였으며, 염소이온 확산계수 시험(28일, 56일, 91일)은 NT Build 492에 준하여 수행하였다. 또한 각 배합의 발열특성 확인을 위하여 단열온도상승시험을 실시하였다.

## 3. 실험 결과 분석

### 3.1 콘크리트의 기본 물성

굳지 않은 콘크리트의 기본 물성과 압축강도 발현 특성은 표 4에 나타내었다. 표 4에서 알 수 있듯이 목표슬럼프 및 공기량은 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한 목표설계강도 35MPa을 크게 상회하는 것으로 나타나, 설계 압축강도 기준만을 고려하는 경우는 단위시멘트량의 감소가 가능한 것으로 나타났다. 그러나, 목표내구수명의 만족을 위하여 이는 종합적으로 검토하여야 하는 사항이다.

표 4 기본 물성 시험 결과

		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	염화물 (%)	압축강도(MPa)					비 고
					3일	7일	28일	56일	91일	
삼성분계배합 (OPC:BFS:FA)	35:45:20	19	4.8	0.003	-	28.6	41.4	50.4		
	30:35:35	19	4.1	0.017	11.7	26.8	42.4	48.6	50.9	
	30:40:30	18	4.3	0.016	10.7	27.8	45.1	50.1	46.2	
	35:40:25	18	4.7	0.005	12.8	28.9	45.5	51.7		
고로슬래그배합 (OPC:BFS)	60:40	18	3.7	0.001	-	33.9	48.5	56.1		
	50:50	19	5.2	0.004	20.7	38.8	54.0	59.8	59.8	
	40:60	18	3.7	0.004	19.8	39.5	52.5	60.1	58.4	

### 3.2 염소이온확산계수

염소이온 확산계수 실험결과는 표 5에 나타내었다. 표 5에서 알 수 있듯이 재령 28일에서 고로슬래그 배합은 고로슬래그 치환율이 50%인 경우에 염소이온확산계수가 가장 낮게 나타났으며, 고로슬래그와 플라이애쉬 배합의 경우에는 OPC:BSF:FA가 30:40:30인 경우에 가장 작게 나타났다. 그러나 재령이 56일 91일로 증가함에 따라 OPC:BSF:FA가 30:35:35의 염소이온확산계수가 더 크게 감소하여 가장 낮은 값을 나타내었으며, 고로슬래그 배합은 28일 재령의 결과와 마찬가지로 치환율 50%인 경우가 가장 낮은 값을 나타내었다.

표 5 염소이온확산계수 및 단열온도발현 특성

		염소이온확산계수 ( $\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ )			단열온도발현특성 (타설온도 20℃)		비 고
		28일	56일	91일	$Q_{\infty}$	$\gamma$	
삼성분계배합 (OPC:BFS:FA)	35:45:20	6.7338	-	-	43.8	0.703	
	30:35:35	3.4700	1.8485	1.5485	41.6	0.572	
	30:40:30	3.0730	1.6854	2.0608	41.6	0.561	
	35:40:25	3.2911	1.9234	2.0177	45.5	0.636	
고로슬래그배합 (OPC:BFS)	60:40	5.8539	-	-	56.1	0.849	
	50:50	4.0177	2.1878	1.4416	51.1	0.827	
	40:60	4.1010	2.5632	1.4512	45.8	0.724	

### 3.3 발열 특성

단열온도 상승시험 결과 고로슬래그 배합의 경우에는 고로슬래그 치환율이 클수록 최대단열온도상승량( $Q_{\infty}$ )이 작았으며 발열속도계수( $\alpha$ ) 또한 작은 결과를 보였다. OPC:BSF:FA 배합의 경우 30:40:30과 30:35:35 배합의 경우가 최종단열온도상승량( $Q_{\infty}$ ) 41.6°C로 가장 작은 최대단열온도상승량을 보였으나 온도상승속도 정수( $\gamma$ )는 30:40:30 배합이 다소 작게 나타났다.

표 5에서 알 수 있듯이 삼성분계시멘트 배합이 고로슬래그 시멘트 배합보다 최대단열온도상승량이 작게 나타나고 있으므로 온도발현특성에서 대규모 구조물의 시공시에는 삼성분계 배합이 고로슬래그 시멘트 배합보다 유리하다고 할 수 있다.

## 4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서 내구성 100년을 만족하는 배합을 결정하고자 수행한 다양한 혼합시멘트를 이용한 콘크리트의 특성 실험 사례를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 고로슬래그 배합은 재령 28일에서 고로슬래그 치환율이 50%인 경우에 염소이온확산계수가 가장 작았으며, 삼성분 배합은 OPC:BSF:FA가 30:40:30인 배합이 가장 작은 값을 나타내었다.
- 2) 재령이 56일 91일로 증가함에 따라 OPC:BSF:FA가 30:35:35의 염소이온확산계수가 현저히 감소하여 가장 작았으며, 고로슬래그 배합은 치환율 50%인 경우가 가장 작은 값을 나타내었다.
- 3) 단열온도상승시험에서는 고로슬래그 배합은 치환율이 클수록 단열온도상승량( $Q_{\infty}$ )이 작았고 온도상승속도 정수( $\gamma$ ) 또한 작게 나타났다. 삼성분계 배합은 OPC:BSF:FA가 30:40:30과 30:35:35인 경우에 단열온도상승량( $Q_{\infty}$ )이 41.6°C로 가장 작게 나타났으나 발열속도계수( $\alpha$ )는 30:40:30 배합이 다소 작게 나타났다.
- 4) 삼성분계 배합이 고로슬래그 배합보다 단열온도상승량( $Q_{\infty}$ )이 작게 나타나 대규모 구조물의 시공시에는 삼성분계 배합이 고로슬래그 시멘트 배합보다 온도발현특성에서 우위에 있다고 할 수 있다.
- 6) 본 연구를 통하여 강도와 염소이온확산계수 모두 만족할 수 있는 100년 수명 콘크리트를 확인하였으며, 이는 향후 국내 다른 project의 배합결정에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 장봉석, 안정환, “내구수명 100년 확보를 위한 해양환경 콘크리트의 배합 특성 연구”, 한국구조물진단유지관리학회 가을학술발표회 논문집, 2007. 11, pp.231-234.
2. “고내구성 해양콘크리트 개발 및 실용화에 관한 연구”, (주)대우건설기술연구소, 2004.
3. 유재강, “시멘트 종류 및 혼화제 치환에 따른 해양콘크리트의 내염성능 향상효과”, 레미콘, 제85호, 2005, pp.22~33.
4. “NT Build 492: Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials-Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments,” NORDTEST, 1999.