2단계 인천국제공항 건설을 위한 콘크리트 결합재 사용 조건에 따른 적용성 평가

Evaluation and Application of Concrete Using Different Types of Binders for 2nd Construction in IIA

신 도 철* 김 영 웅** 김 동 철*** 신 윤 정****
Shin, Do-Chul Kim, Young-Ung Kim, Dong-Chul Shin, Yun-Jung

ABSTRACT

In this Paper, concrete durability, coefficient variation of compressive strength, and hydration heat development characteristics of concrete using different types binder for 2nd Phase Construction in IIA were investigated. The experimental results show that the coefficient variation of compressive strength decreased with the slag cement when compared with the replacement of granulated blast furnace slag powder. And the diffusion coefficient of chloride ion decreased with use of a blended cement when compared with using a only portland cement. Also the type of low heat cement is very suitable to reduce the thermal crack caused by hydration heat development.

1. 서론

인천국제공항 2단계 건설사업과 관련하여 1 단계 공항건설 경험을 토대로 보다 내구적인 콘크리트 공사를 위해 1단계 구조물의 염해영향 조사를 콘크리트학회 용역을 통해 수행하였으며, 2단계 건설공사를 위한 시공지침을 작성하게 되었다. 본 연구에서는 시공지침에서 제안된 여러가지 결합재 사용방안에 대하여 염해환경에 적용되는 대표적인 배합조건을 대상으로 각 결합재 조건별로 현장 Mock up 부재시험을 통해 수화열에 의한 온도균열특성, 내구성, 현장 적용성 및 생산품질을 비교평가 하였다. 이를 통해 2단계 건설공사에 적합한 콘크리트 결합재 사용조건을 정립하여 본 공사시 양질의 공사를 원활히 추진될 수 있도록 시행하는데 그 목적이 있다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 콘크리트 결합재 사용조건

검토대상 콘크리트 배합조건은 준설매립지에 직접 거치되어 염분에 직접적으로 노출되는 지하구조물용 배합조건(25-27-15)을 대상으로 하였으며, 검토대상이 되는 결합재 사용조건과 각 조건에서 설계한 콘크리트 배합비는 표 1과 같다.

* 정회원, 한국건설품질시험원 건재연구팀 부장 ** 정회원, 인천국제공항공사 건설시험소 소장
*** 정회원, 인천국제공항공사 건설시험소 품질과장 **** 정회원, 신공항레미콘(주) 상무

표 1 결합재 사용조건별 콘크리트 배합비

조 건.	W/C (%)	S/A (%)	단위 재료량(kg/m³)										
			결 합 재 사 용 조 건					물	잔골재		굵은 골재	방청제	고성능 AE 감수제
			1종 시멘트	Slag 시멘트	저발열 시멘트	Fly-ash	Slag 분말		세척사	부순 모래			
1종+FA 20	41.1	43.0	296	-	-	70	-	152	650	124	1037	3.9	2.22
슬래그시멘트	40.8	44.5	-	368	-	-	-	150	679	130	1020	3.9	2.21
1종+슬래그 40	41.6	45.0	221	-	-	-	147	153	685	131	1008	3.9	2.21
저열+FA 10	40.2	46.6	-	-	338	38	-	151	709	136	978	3.9	2.26

* 공장 배출 목표 슬럼프 : 18cm, 공기량 : 4.5~5.5 %, 배합강도 : 355 kgf/cm²

2.2 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 2와 같이 하였다. 콘크리트는 수화열과 온도균열 시험을 위한 Mock up 부재 제작과 현장 생산품질과 레미콘플랜트 적용성등을 검토하기 위하여 영종도에 소재한 레미콘 공장에서 표1의 결합재 사용조건별 배합으로 시험생산을 하였다.

표 2 생산 콘크리트의 평가항목

시험구분	평가항목	
시험생산 레미콘 품질	굳지않은 Con'c	. 슬럼프, 공기량,경시변화(60분) . 단열온도
	경화 Con'c	. 압축강도(3,7,28,56,91일) . 인장강도(7,28,91일) . 건조수축(양생: 3일수중, 6일수중) . 중성화깊이 . 염소이온 투과성 및 확산계수
레미콘 Batch Plant 적용성	방법	압축강도(재령:3,7,28일) 변동계수
	채취방법	B/P Mixing 후 배출시
	채취주기	3등분(처음, 중간, 마지막 배출)
	Mold 수량	채취주기당 63조, 총 252조
Mock up 부재 (4조)	. 콘크리트 수화열, Icr . 부재크기: 1차) 6x1.2x2m, 2차) 3x1.2x1.5m . 박리제 종류별 콘크리트 표면상태	

2.3 시험방법

콘크리트 압축강도와 인장강도는 KS F 2405와 KS F 2423에 따라 시행하였으며 길이변화는 양생조건을 현장 조건과 유사하게 하기 위해 각 3일, 6일 수중 양생 후 부터 콤파레터메타로 길이변화를 측정하였다.

염소이온 투과성은 전기전도도에 의한콘크리트 염소이온침투저항성(ASTM C 1202)방법에 따라 수행하였으며, 염화물 이온확산계수는 짧은 시간에 콘크리트 확산특성을 평가하기 위해 확산전위차 촉진 시험법으로 평가하였다. 촉진시험에 의한 확산계수의 추정은 식 1(Andrade's method)을 이용하여 산출하였다.

또한 레미콘 플랜트 적용성은 각 결합재 사용별로 생산된 레미콘에 대해 각 채취 위치별로 압축강도의 변동계수를 통해 품질산포를 비교하였다. 이때 믹서의 혼련시간은 기존의 적용시간 보다 1.4배 정도 더 길게주어 현장여건에서는 최대한의 혼합이 될 수 있게 하였다.

$$D_{Andrade} = \frac{RT}{nF^2}\ \frac{it_{cl}}{\Delta E}\ \frac{l}{A}\ \frac{1}{C_{cl}Z} \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (1)$$

여기서, R : 기체상수(J/molK), T : 절대온도(K), F : 패러데이 상수(J/Vmol), i : 총 통과전류, tcl : Cl 이온의 수율 (Transport number), ΔE : 전위차(V), l : 시편의 두께(m), A : 단면적(m²), Ccl : Cl 이온의 농도, Z : 이온의 원자가

수화열 측정 및 콘크리트 외관상태 평가를 위한 Mock up부재시험은 사진1과 같이 레미콘 타설한 후 Data logger(UCAM-70A)로 5개소(중앙 상부,중부,하부,중앙측면,측면중부)에 대하여 수화열을 측정하였다. 이때 Mock up 부재시험은 2차에 걸쳐 수행하였는데, 처음 1차 시험에 사용된 슬래그시멘트의 슬래그 함량은 50% 였으며, 2차 시험에서는 40% 함유된 시멘트로 시험을 수행하였다.

2. 실험결과 및 고찰

2.1 결합재 사용조건별 레미콘 압축강도의 변동성

1차 및 2차에 걸쳐 수행된 Mock up 부재 타설을 위해 레미콘 플랜트에서 생산된 콘크리트에 대하여 품질변동성을 압축강도의 변동계수(V)로 비교하였다. 변동계수(V)가 크게 되면 배합설계 과정에서 증가계수(α)가 커져 동일 배합조건에서 단위 시멘트량이 많아지므로 전체적인 품질과 경제성에서 불리하게 된다.

그림 1은 압축강도의 변동계수를 분석결과로서, 결합재로 [1종+슬래그 분말 40%] 사용조건이 변동계수가 9% 수준이었으며, [슬래그 시멘트 단독], [1종 + 플라이애쉬 20%], [저열+플라이애쉬 10%] 등은 5%로 동등한 수준으로 나타났다. 따라서 40%대의 동일 첨가량의 슬래그분말을 사용하는 조건이라면 슬래그 시멘트로 사용하는 것이 품질변동을 줄이는 측면에서 양호한 것으로 나타났다.

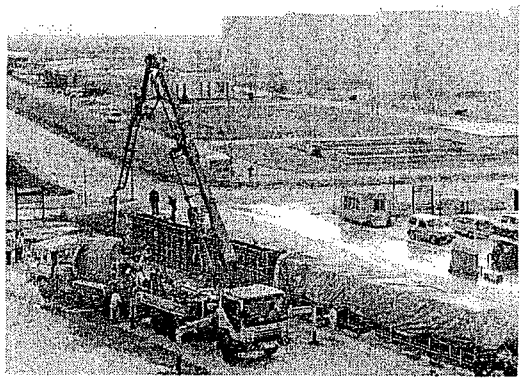

사진 1 수화열 측정을 위한 Mock up 부재타설

2.2 염화물이온 침투 저항성

ASTM C 1202-94 시험방법에 따라 56일간 양생된 공시체에 대하여 통과전하량을 측정하였으며, 염화물이온 촉진 투과성 시험방법에 의해 추정한 확산계수 결과를 표 3에 나타내었다. 콘크리트 염소이온 침투저항성은 "슬래그"를 혼합사용하는 조건이 염화물에 대한 저항성이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 시멘트 단독 사용보다 플라이애쉬를 혼합사용하는 것이 염화물에 대한 저항성 향상에서 유리한 것으로 나타났다.

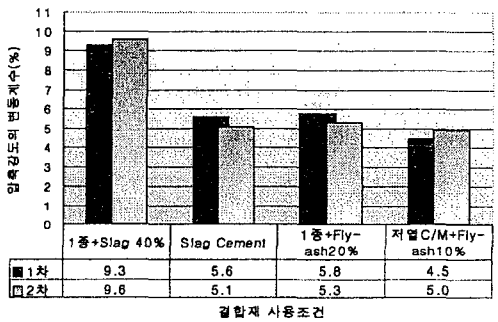

그림 1 결합재 조건별 압축강도 변동계수

2.3 염화물이온 확산계수를 통한 임계농도 도달시기

염해환경에 노출된 철근콘크리트의 부식시기를 추정하기 위하여 각 결합재 사용조건별로 구한 확산계수를 이용하여 철근의 부식이 일어나는 염화물이온의 임계농도(Cl^- : 0.052%) 도달시기를 추정하였다. 콘크리트 표면의 염화물량을 상수로 하여 염소이온의 확산계수가 시간에 대해 일정하다고 가정하고 Browne 식에 의해 다음과 같이 예측하였다.

표 3 결합재 조건별 염화물 이온침투성능

조 건	통과전하량 (Coulomb)	확산계수 ($x10^{-12}m^2/sec$)
1종+Slag 40	1,930	1.73
Slag Cement	1,853	1.21
1종+Fly ash 20	3,105	1.87
저열+Fly ash 10	3,210	2.60
1종 시멘트	3,164	-

$$C(x, t) = Co[1-erf(\frac{x}{2\sqrt{Dapp \cdot t}})]$$

여기서, D_{app}는 염화물이온 이온확산계수, x 는 거리(m), t는 시간(sec), Co는 표면염화물 함량

이다. 이때 C(x, t)는 콘크리트 표면 염화물량(Co)에 크게 영향을 받는데 해양이나 지하수에 접하여 염화물의 직접적인 영향을 받는 구조물은 "콘크리트 염해영향조사 용역보고서-콘크리트학회,'01.12"의 결과에서와 같이 외방수(또는 도장조건)조건에 따라 표면 염화물량(Co)차이가 크게 나타나기 때문에 어느 한부위의 측정값을 대표로 적용하기는 어려우므로, 본 연구에서는 외부처리 조건에 따라 측정된 값을 평균한 표면 염화물량(Co)값 0.1131%로 임계농도 도달시기를 추정하였다.

표 4에서와 같이 모든 결합재 사용조건이 본 공항구조물의 공용설계기준인 100년을 만족하고 있다. 그러나 이러한 특성은 콘크리트의 균열이나, 외부 방수재와 도장재의 성능과 시공에 따라 저하될 수 있어 세밀한 검토가 필요하다

표 4 결합재 사용조건별 철근부식이 발생되는 임계농도 도달시기

표면 염화물함량 C_o (%)	조 건	확산계수,D ($x10^{-12}m^2/sec$)	임계농도 도달시기 (피복두께 : 10cm)
0.1131	1종 + Slag 40	1.73	167 년
	Slag Cement	1.21	239 년
	1종 + Fly ash 20	1.87	154 년
	저열 + Fly ash 10	2.60	111 년

2.4 수화발열 의한 온도균열특성

1,2차에 걸친 Mock up 부재 시험을 통해 각 결합재 사용조건에서의 온도균열지수를 그림 2와 같이 산출하였으며, 이를 통해 결합재 사용조건별로 지하차도,공동구, IAT/BHS 등 Box 구조물의 유해한 온도균열(Icr)의 발생을 저감시킬 수 있는 한계를 표 5와 같이 추정하였다.

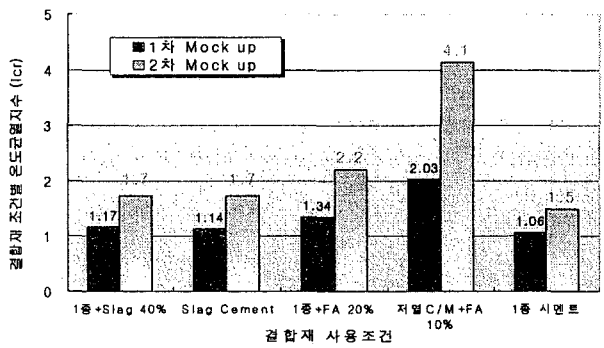

그림 2 결합재 사용조건별 온도균열지수
(1차 Mock up : t =1.2m, L =3m, 2차 : t =1.2m, L =6m)

표 5 결합재별 온도균열 발생 저감한계 추정치

결합재 사용조건	타설두께,d	타설길이,L
1종+슬래그 40%, 슬래그시멘트, 1종시멘트,	0.5m 이내	18m 이내
1종 + Fly ash 20%	0.5m 이내	18~24m
저열 + Fly ash 10%	0.5m	24m 이상
	1.0m	12m
	1.5m	6m

표 5의 추정값은 '02년 콘크리트학회에서 수행한 "지하철 구조물의 재료, 설계, 시공 통합시스템 구축에 관한 연구" 보고서에서 결합재 사용 조건별 타설크기에 따른 온도균열지수 분석결과를 이용하여 도출한 것이다. Mass 콘크리트 부재에서 슬래그 시멘트나 1종+Fly ash 20 등의 혼합시멘트를 사용 할 경우 타설시 *L/H*의 비를 낮게 하거나, 타설연장(L)을 줄이기 위해 균열유발줄눈이 많이 도입되어야 한다.

4. 결 론

(1) 레미콘 공장에서 시험 생산된 콘크리트 압축강도 변동계수 분석을 통해, 슬래그분말을 다량 첨가(40%)하는 조건에서는 슬래그시멘트로 사용하는 조건이 변동성이 작은 것으로 나타났다.

(2) 염소이온 침투저항성은 "슬래그"를 혼합사용하는 조건이 염화물에 대한 저항성이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 본 결합재 사용조건별로 철근부식이 일어나는 시기를 추정한 결과에서는 공항의 공용설계기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

(3) 지하차도와 IAT/BHS와 같은 Mass 콘크리트 Box부재는 온도균열 제어는 슬래그시멘트나 혼합계시멘트로는 어려우므로 저발열형 시멘트의 도입이 바람직한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김홍삼,"전기화학적 기법에 의한 콘크리트 중의 염소이온 확산평가 및 철근부식 시기 예측", 한양대학교 박사학위 논문, 2000.12, pp 85~101
2. 한국콘크리트학회,"지하철 구조물의 재료, 설계, 시공 통합시스템 구축에 관한 연구", 2002.