

인천국제공항의 한중 콘크리트 시공 및 품질관리

Cold Weather Concreting and Quality Control of Incheon International Airport



김영웅*

1. 서론

최근 대형 국책사업에 대한 부실사례가 다수 적발되어 사회적으로 물의를 일으킨 바 있으며, 특히 콘크리트 구조물에서 부실시공이 발생할 경우 인적, 물적으로 큰 재난이 예상되므로 이에 대한 근본대책이 시급한 실정에 있다.

현재 인천 영종도와 용유도 사이를 매립하여 건설 중인 인천국제공항 건설사업은 2000년 개항목표에 차질이 없도록 하기 위해서 동절기 기간에도 활발한 콘크리트 공사가 진행될 예정이며 특히 '97하반기부터 IAT/BHS 터널구조물공사, 여객터미널공사와 같은 대형 콘크리트 공사가 본격 추진됨에 따라 부실시공 방지를 위한 보다 철저한 시공과 품질관리 대책이 요구되고 있다.

동절기의 콘크리트 공사는 다양한 품질불량 요인을 안고 있어 구조물에 치명적인 결함을 줄 수 있는

므로 시공관리에 있어서 보다 각별한 주의가 요구된다. 이에 우리 공단에서는 동절기에 타설되는 콘크리트의 품질관리를 위해 공단이 보유하고 있는 첨단 검사장비와 자체 및 외부의 콘크리트 전문인력을 활용하여 집중적으로 콘크리트 구조물에 대한 타설 시공상태와 시공품질을 점검하고 있다. 본 고에서는 공항 건설 착공 후 최초로 동절기 콘크리트 공사가 진행된 '97년 11월 부터 '98년 2월까지 타설된 한중 콘크리트에 대하여 본 현장의 시공품질관리 현황을 소개함으로써 향후 한중과 관련된 콘크리트 공사에 일부나마 도움이 되었으면 한다.

2. 한중콘크리트 시공규준

2.1 한중콘크리트의 정의 및 시공규준

가. 한중콘크리트의 정의

한중콘크리트란 "콘크리트를 부어넣은 후의 양생

* 신공항건설공단 건설시험소장

기간에 콘크리트가 동결할 염려가 있는 경우에 시공되는 콘크리트”를 말하며 한중콘크리트 타설시기에는 소정의 재령에서 설계기준 강도가 얻어지도록 초기 동해방지를 위해 양생온도 및 보온양생방법에 특별한 고려가 필요하다. 현재 한중 콘크리트에 대한 적용기간은 한국과 일본의 토목학회에서 “하루 평균 기온이 4℃ 이하로 예상되는 기간” 미국 ACI는 “일 평균 온도가 4.5℃이하로 예상되는 기간”으로 규정하고 있으나 국내의 건축공사 시방서에서는 “한중콘크리트의 적용을 받는 기간은 특기시방에 따른다”라고 되어 있으며 대부분의 현장은 이 부분에 대하여 명확한 특기시방이 없다. 이에따라 한중에서의 콘크

리트 타설은 감리나 시공사의 주관적인 판단하에 시공되는 일이 많고 대부분이 동절기 콘크리트 공사는 중지해야 하는 것으로 알고 있는 것이 일반 현장의 상식이다.

나. 인천국제공항 한중 콘크리트 타설기준

인천국제공항의 콘크리트 시방서에서는 “3일 이상 일평균 기온이 5℃이하로 예상되는 기간”으로 적용하고 있으며 콘크리트 온도관리와 보온·급열양생을 기본으로 적용하고 있다.

표1은 기본적인 본 현장의 한중콘크리트 시공관리 기준을 나타내었다.

표 1 인천국제공항의 한중콘크리트 관리시방 개요

공 종	시 공 관 리 대 책				
타 설	○ 한중 콘크리트 타설시 최소온도				
	구 분	단면 최소치수 (cm)			
		30 이하	30~90	90 ~ 180	180이상
타설시 최소 온도(℃)	13℃	10℃	7℃	5℃	
양 생 (초기동해 방지)	○ 양생방법 : 보온양생, 급열양생 ○ 주위설비 : 보온/급열 양생시 콘크리트 타설부위는 차단막 설치 ○ 초기 보온/급열양생 종료시점 - 종료기준 : 초기동해를 방지할 수 있는 강도를 확보할 때 까지 지속 - 초기 보온/급열 양생시 콘크리트 온도 : 최소 5~10℃ 유지 ○ 초기 보온/급열양생 종료를 위한 요구 압축강도 기준				
	구조물 노출상태	단면두께	30cm이하	30~180cm	180cm이상
	1) 계속 또는 자주 물로 포화되는 부분		150kg/cm ²	120kg/cm ²	100kg/cm ²
	소요 압축강도 확보를 위한 양생 일수(양생온도 : 5~10℃)		9~7일		
	2) 보통의 노출 상태에 있고,(1)에 속하지 않는 부분		50kg/cm ²	50kg/cm ²	50kg/cm ²
	소요 압축강도 확보를 위한 양생 일수 (양생온도 : 5~10℃)		4~3일		
양 생 (보온/급열 양생 후)	○ 초기 보온/급열양생 종료 후의 관리 - 초기 보온/급열양생 완료 후 노출면은 시트나 양생포로 보호 - 콘크리트 온도 : 보온/급열 양생 후 2일간 이상 0℃ 이상유지 - 보온/급열 양생 후 콘크리트의 급격한 온도저하에 따른 균열발생 방지를 위한 콘크리트 온도 저하 허용수치(1일간)				
	조 건	단 면 치 수			
		30cm이하	30~90cm	90~180cm	180cm이상
보온/급열양생후 1일간 콘크리트 온도저하 허용치	28℃ 이하	22℃ 이하	17℃ 이하	11℃ 이하	

2.2 인천국제공항 건설현장 기상현황

가. 우리나라 지역별 한중 콘크리트 적용기간

1961년 부터 1990년 까지의 30년간 국내 주요지역에 대한 기상청의 기상통계자료를 참고로 한중 콘크리트의 적용기간을 산정한 결과를 표 2에 나타내었다. 표에는 적용기간을 각 지방기준에 따라 구분하였는데 전반적으로 11월 상반기에서 2월 말까지가 그 기간에 해당되며, 토목학회 규정을 적용할 경우 서울, 인천지역은 10.9~11.2월 간격, 부산은 5.3월, 대전지역은 11월 등으로 나타난다.

표 2 각 규정에 따른 국내 주요지역의 한중콘크리트 적용기간

지역구분	토목학회 규정		건축학회 규정(일본)		ACI 규정		
	기간 (월/일)	일 (월)	기간 (월/일)	일 (월)	기간 (월/일)	일 (월)	
경기도	서울	11/24~3/12	10.9	11/21~2/28	10	11/21~3/12	11.2
	인천	11/28~3/17	11.2	11/21~2/28	10	11/24~3/18	11.5
	양평	11/17~3/16	12.0	11/11~2/28	11	11/14~3/18	12.5
강원도	속초	12/11~3/7	8.8	12/1~2/28	9	11/28~3/13	10.6
	원주	11/16~3/17	12.2	11/11~2/28	11	11/14~3/18	12.5
충청남도	대전	11/24~3/13	11.0	11/21~2/28	10	11/21~3/13	11.3
	대전	11/28~3/15	10.8	12/1~2/28	9	11/27~3/18	11.2
충청북도	청주	11/21~3/13	11.3	11/21~2/28	10	11/17~3/17	12.1
	계천	11/17~3/18	12.2	11/11~3/10	12	11/13~3/19	12.7
경상북도	대구	11/30~3/1	9.2	12/1~2/20	8	11/29~3/3	9.5
	포항	12/12~2/28	7.9	12/11~2/10	6	12/12~3/1	8.0
경성남도	부산	12/25~2/16	5.3	12/21~1/31	4	12/22~2/16	5.6
	울산	12/12~2/28	7.9	12/1~2/20	8	12/12~3/1	8.0
전라북도	전주	11/29~3/10	10.2	12/1~2/28	9	11/29~3/11	10.3
	군산	12/7~3/13	9.7	12/1~2/28	9	11/28~3/18	11.1
전라남도	광주	12/6~3/7	9.2	12/1~2/20	8	11/29~3/8	10
	목포	12/21~3/1	7.0	12/11~2/20	7	12/13~3/7	8.4

나. 인천국제공항 동절기 기상현황

'97.11~'98.2월 까지 본 현장의 동절기 기상상태는 표 3과 같다.

인천국제공항의 한중콘크리트의 적용개시일은 대략 11월말부터 3월 초순으로 예상되며 과거 인천지역의 기상조건과 비교해 볼 때 세월이 경과되면서 다소 짧아지는 추세를 보이고 있다.

3. 한중콘크리트 타설

3.1 콘크리트 구조물 공사내용

공항건설에 사용되는 콘크리트 특징은 내염성 향

상을 위한 물/시멘트비 41%의 수밀배합과 슬럼프 18~15cm의 고유동화 배합을 기본으로 설계되었으며 내염특성의 보완측면에서 염해에 강한 5종 시멘트와 슬래그 분말, 방청제 등을 콘크리트 재료로 사용하고 있다. 본 현장은 콘크리트사용재료 특성상 초기에서의 강도가 다소 늦게 발현되기 때문에 동절기 타설공사시 초기양생과정에 동해를 받지 않도록 각별한 주의가 필요하다.

표 3 인천국제공항 동절기 기상상태

구 분		기온(℃)			평균상대 습도(%)	바람 (m/s)		
		최고	최저	평균		평균	최대풍속	순간 최대풍속
97.	1~10월	17.5	-1.0	9.2	71	1.9	2.9~6.4	3.7~8.1
	11~20월	17.4	-3.0	7.3	71	3.2	3.5~13.6	4.0~16.3
11월	21~30일	14.3	-0.8	7.5	77	3.7	3.3~12.8	4.1~16.3
	평균	-	-	8.0	73	2.9	-	-
12월	1~10일	8.6	-9.5	-0.7	63	4.3	4.8~9.5	6.5~14.0
	11~20일	12.3	-6.8	2.0	78	2.9	2.8~11.0	2.9~15.4
	21~30일	9.5	-4.8	2.5	78	2.9	3~7.2	3.2~9.3
	평균	-	-	1.3	73	3.4	-	-
'98.	1~10일	8.0	-7.2	1.2	76	3.3	3.7~12.1	4.0~14.5
	11~20일	6.0	-12.0	-0.7	68	4.2	3.7~12.5	4.1~15.1
1월	21~30일	5.8	-15.2	-4.0	57	3.8	3.9~10.8	4.1~13.7
	평균	-	-	-1.3	67	3.8	-	-
2월	1~10일	7.6	-7.8	-1.3	65	4.0	3.7~12.8	4.3~16.0
	11~20일	13.7	-2.0	3.7	71	3.5	4.2~12.0	5.2~15.2
	21~30일	11.7	-2.5	4.8	71	3.4	4.2~7.5	5.0~9.8
	평균	-	-	2.2	69	3.7	-	-

표 4 주요 콘크리트 구조물의 타설내용

공사명	배합조건	콘크리트 타설량(m ³)					비 고
		'97.10월	11월	12월	'98.1월	계	
역객터미널	25-280-18sp	10,191	11,183	15,408	10,988	47,770	타설배합 : 5종시멘트 -슬래그분말 -방청제 -유동화제 사용
IAT/BHS 터널구조물	25-280-15sp	-	3,259	3,251	1,855	8,399	
배수갑판	25-280-15sp	924	448	690	-	2,062	
	25-240-15sp						
총 계		11,115	14,920	19,349	12,847	58,231	

3.2 콘크리트의 양생

가. 양생관리

한중 콘크리트의 타설은 밀폐된 양생상속을 설치하여 레미콘을 타설한 후 스팀과 급열기를 이용한 급열·보온양생을 실시하고 있다. 한중콘크리트 양생설비로 열풍기에 의한 급열양생이 많이 이용되고 있으나 열풍기 단독사용은 수분의 급격한 증발과 내·외부 온도차의 심화, 가동중의 관리부실에 의한 가동중

단 등의 요인에 따라 양생초기 plastic shrinkage에 의한 균열과 콘크리트 표면 내·외부 온도차에 따른 균열 발생위험이 높아 사용에 주의가 필요하다.

표 5는 본 현장의 양생관리 방법을 나타낸 것으로 구조물의 두께와 부위에 따라 공구별로 양생방법을 달리하여 적용하였다. 특히 급열양생중에는 수분의 증발방지와 양생상옥 내부의 온도를 균일하게 하기 위해 스팀발생기를 같이 가동시켜 주었으며, 타설면에 비닐포와 보온용 부직포를 이중으로 덮어 콘크리트 표면의 수분증발을 방지하고 급열양생 후의 급격한 온도저하를 방지하였다.

표 5 한중콘크리트 양생관리 현황(기간: '97.11월 말~ '98.2월)

공 종	한중 콘크리트 구조물 타설공구		
	여객청사 (삼성, 대우, 한진)	IAT/BIHS (한진/한라)	동축 배수갑문 (현대)
생산 콘크리트 온도(B/P)	12 ~ 17 ℃		
현장 타설 콘크리트 온도	10 ~ 14 ℃		
구조물 특성	· 타설부위: 바닥 Mat. · 지중보 벽면 · 타설두께: 40 ~ 50cm	· 타설부위: 바닥 Mat. · 타설두께: 140 ~ 150cm	· 타설부위: 교량 슬라브 · 타설두께: 50 ~ 60cm
양생방법	양생상옥 (천막) 설치 및 상부내부에서의 급열/보온양생		
양생설비	· 열풍기 + 스팀발생기	· 열풍기 + 스팀 발생기 · 살수기	· 보일러 배관 - 스팀기 (슬라브 상단 타설면) · 열풍기 (교량 슬라브 밑면)
양생포	· 보온 양생포	· 1단: 비닐포 · 2단: 보온 양생포	· 1단: 비닐포 · 2단: 보온 양생포
급열양생기간	3 ~ 5일	4 ~ 6일	4 ~ 5일
양생상옥 내부온도 (℃)	· 상부: 32 ~ 36℃ · 중간: 22 ~ 26℃ · 바닥: 16 ~ 20℃	· 상부: 33 ~ 37℃ · 중간: 17 ~ 19℃ · 바닥: 14 ~ 16℃	· 상단 타설면: 18 ~ 21℃
양생시 수분공급	스팀	스팀 + 살수기	스팀
균열양생 종료후 양생관리	7일 이상 양생상옥거치	7일 이상 양생상옥 거치	양생상옥 철거 후 2일간 보온용 시트

사진 1, 2, 3은 본 현장의 한중 콘크리트 양생설비를 나타낸 것이다.

양생상옥을 설치하더라도 양생상옥이 밀실한 차단이 안되었을 경우 외곽부위의 온도가 관리기준 이하로 떨어지므로 양생상옥의 설치시 밀실한 차단과 타설 외곽부위도 충분한 덮개공간을 확보해서 고품질의 시공을 할 수 있었다. 한중의 양생이라도 스팀과 살수를 병행한 공구가 스팀단독으로 사용한 공구에 비해 콘크리트의 품질이 양호한 것으로 나타나고 있



사진 1 한중콘크리트 보온양생을 위한 양생상옥 시설장면(여객터미널)

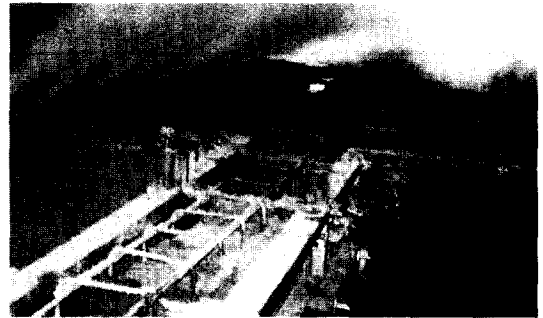


사진 2 양생상옥내에서의 스팀양생 장면(여객터미널)



사진 3 보온양생을 위한 상부타설면의 보일러 배관(에셀파이프) 작업

어 동절기라도 보온양생중에는 콘크리트에 충분한 수분을 공급하는 것이 품질향상에 필요한 것임을 확인 할 수 있었다.

나. 양생중의 콘크리트 온도이력 특성

콘크리트의 양생초기에 발생하는 균열은 앞에서 언급한 바와 같이 주로 급격한 수분증발에 따른 건조 수축과 콘크리트 내·외부 온도차에 따른 내부 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과할 때 발생되는

thermal stress가 주요 원인으로 작용하고 있다. 특히 동절기에는 mass 콘크리트 타설시 양생종료 후 콘크리트 외부가 바로 외기와 접촉하는 경우 급격히 냉각되어 내·외부간의 온도차가 크게 발생되므로 thermal stress 에 의한 균열발생 확률이 높게된다.

이에따라 본 현장에서는 콘크리트 타설후 양생중의 콘크리트의 온도를 주기적으로 측정하여 균열발생 위험도를 예측하여 보았다. 현장타설 콘크리트 타설시점 부터 양생중에 측정한 콘크리트 온도이력을 표 6에 나타내었다.

표 6 양생시간에 따른 콘크리트 내,외부의 온도이력

구분	타설 부위	타설 일자	측정 부위	양생시간에서의 콘크리트 평균온도(℃)										
				12hr	24hr	36hr	48hr	60hr	72hr	84hr	96hr	108hr	134hr	
여객터미널	con.c	97.11.27	표면	9	17	18	19	18	17	12	-	-	-	-
			내부	19	25	29	31	33	34	34	-	-	-	-
			온도차	10	8	11	12	15	17	22	-	-	-	-
	Mat.	97.12.6	표면	7	21	27	21	19	18	16	16	15	-	
			내부	16	27	29	32	34	35	35	35	34	-	
			온도차	9	6	2	11	15	17	19	19	19	-	
con.c	97.12.20	표면	4	9	7	25	24	25	24	23	22	21		
		내부	10	18	26	30	34	36	39	39	40	39		
		온도차	6	9	19	5	10	11	15	16	18	18		
동백수갑문	교량 Slab Mat	97.12.8	표면(내)	26	26	25	26	25	23	21	21	20	20	
			표면(외)	23	22	22	21	21	19	17	16	15	14	

동절기 타설된 콘크리트 온도는 급열양생에 따라 동해를 받지 않고 정상적인 양생온도를 유지하고 있으나 일부 야간이나 새벽에 급격한 온도변동도 관찰되고 있어 열풍기 가동에 대한 세심한 관리가 필요하였다. 바닥 Mat 콘크리트 내부의 수화열에 의한 온도는 타설 후 3~4일에 최고 피크(35~40℃)를 나타내며 이때 콘크리트 표면내부의 온도차가 최대에 도달하고 있다. 교량슬라브는 구조물 특성상 하부로의 열손실이 크므로 바닥 Mat 콘크리트에 비해 절대 온도가 낮으며, 최대 온도피크 발현시기가 1~2일 정도 단축되는 것으로 나타났다.

일반적으로 콘크리트 내·외부 온도차에 따른 내부구속응력에 의한 온도균열 발생은 다음의 온도균열 지수(Ic)로 나타낼 수 있다.

$$\text{온도균열지수 (Ic)} = f(t) / \sigma t$$

$$\sigma t = 2 / 3 \times (\alpha \cdot E_c / 1 - \nu) \times T$$

$$E_c = (1 / 1 + \Phi_c) \cdot E_c$$

- 여기서 σt : 재령 t 에서 수화열에 기인하는 내부 구속응력(kg/cm²)
- α : 콘크리트 열팽창계수
- E_c : 재령 t 에서의 유효탄성계수(kg/cm²)
- ν : 콘크리트 Possion 비
- T : 재령 t에서 콘크리트 중심부 최대온도와 표면온도차(℃)
- Φ_c : 콘크리트 Creep 계수
- E_c : Creep을 고려하지 않은 탄성계수(kg/cm²)
- f(t) : 콘크리트 인장강도(kg/cm²)

콘크리트 표면 내·외부온도차에 따른 온도균열 발생확률을 구하기 위하여 타설 후 재령 3일에서의 온도차 T와 사용 콘크리트 배합의 재령 3일 인장강도, 탄성계수를 각각 측정된 후(다른 수치는 설계에 적용되는 일반상수 대입) 온도균열 지수(Ic)를 측정하여 그림 1과 같이 산출하였다. 측정결과 표면 내·외부 온도차가 20℃일 경우 온도균열 발생확률은 약 25% 수준으로 나타났으며 온도차가 30℃ 일 경우 70% 수준으로 증가되기 때문에 내·외부 온도차를 감소시키는 것이 중요하다. 본 현장의 급열양생을 하는 현장 콘크리트 내·외부의 온도차는 양생종료 시점에서 18~22℃로 나타나고 있어 비교적 안전한 수준으로 볼 수 있으나 급열양생 종료 후(타설 3~4일 후) 한냉의 외기에 바로 노출시킬 경우 콘크리트 표면의 급격한 온도저하로 내·외부 온도차가 증가될 위험이 있으므로 급열양생 종료 후에도 콘크리트 타설표면을 보온성이 좋은 양생포로 덮어 단열을 시킴으로써 온도에 의한 균열발생 방지를 도모할 수 있었다.

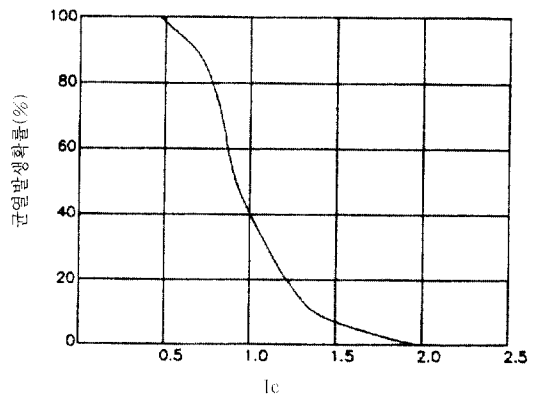


그림 1 온도균열지수와 균열발생확률

4. 한중 콘크리트 구조물의 비파괴 강도시험

동절기에 타설된 콘크리트 구조물의 강도특성 평가를 통해 인천국제공항 건설의 한중 콘크리트 품질관리 상태를 평가 하고자 '97.10월 말부터 '98.1월 도 까지 타설된 콘크리트 구조물에 대한 비파괴 강도시험을 20여일에 걸쳐 실시하였다.

4.1 비파괴강도 판정기법 고찰

가. 반발경도를 이용한 슈미트해머법

콘크리트 구조물에 대한 비파괴강도를 측정하는 다양한 기법중 반발경도를 구하는 슈미트해머법은 콘크리트의 강도에 따라 반발경도가 변화하는 원리를 이용하는 방법으로서 시험방법이 간편하고 국제적으로 표준화되어 있어 널리 사용되어 왔다. 일반적으로 타격시의 반발도는 타격 Energy 및 피타격체의 형상, 크기, 재료의 성상 등에 따라 상이하기 때문에 반드시 재료의 강도와 일률적인 관계가 있는 것은 아니다. 특히 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트해머로 표면에 국부적인 타격을 하는 경우 반발도는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트 재령 등에 따라 차이가 난다. 또한 반발경도를 이용할 때에는 콘크리트 품질관리 및 구조물 내력진단을 목적으로한 압축강도의 추정으로 대별하여 실시하는데 구조물의 내력진단을 목적으로 할 때는 반발경도와 압축강도와의 상관관계식을 이용하는 것이 일반적인 방법이나, 해당 구조물에서 채취한 콘크리트 코아의 압축강도 실험치와 비교하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. 따라서 금번 한중 콘크리트에 대한 비파괴점검에서는 전술한 슈미트해머법에 의하여 구한 강도추정치가 비교적 낮은 부위에 대하여 코아를 채취하여 구조물의 안정성을 검토하였다.

나. 반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도 추정

슈미트해머로 경화 콘크리트면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(Fc)와의 상관관계에 대한 추정식으로 다음과 같은 것이 있다.

- 일본 건축학회식 : $F_c = 7.3R + 100$ (kg/cm²)
- 일본 재료학회식 : $F_c = 13R - 184$ (kg/cm²)
- 東京都 건축재료 검사소식 : $F_c = 10R - 110$ (kg/cm²)

• 슈미트해머기기 자체 추정표(table)

• 여기서, F_c : 추정압축강도, $R = R_0 + 4R$

(R : 기준경도, R_0 : 측정경도)

상기식 외에도 일본 木材의 재령 50년 정도의 장기재령하의 추정식이나 루마니아, 헝가리, 불가리아 등의 수중 및 기건양생별 추정식 등 각국마다 매우 다양한 식들이 제안되어 있다. 이 때문에 동일 반발경도라 하더라도 적용하는 추정식마다 상이한 값을 나타내므로 실제 구조물의 설계기준강도 발현유무를 판단하는 내력진단과 같은 중요한 시험에서는 반드시 구조물에서 채취하는 코아강도로 판단하는 것이 바람직하다.

4.2 공사별 비파괴강도 점검결과

가. 점검내용

구조물별로 동절기 기간동안 공사된 한중콘크리트에 대하여 경화상태를 알아보기 위하여 슈미트해머를 사용하여 타설시점, 부위별로 각각 비파괴강도를 측정하였다. 이때 측정빈도는 해당 시공사의 타설대장을 참고하여 아래 표 7과 같이 당해분기별 타설량과 타설회수 또한 측정이 가능한 부위 등을 고려하여 선정, 무작위 시험을 실시하였다.

사진 4에 현장의 비파괴 강도시험 장면을 나타내었다.

표 7 공구별 및 타설시점별 측정빈도

공구명	한중콘크리트 공사량 (m ³)	타설시점별 비파괴 검사개소				계
		'97.10	'97.11	'97.12	'98.1	
여객터미널	47,770	9	27	35	5	76
IAT/BHS	8,399	-	4	-	4	8
농축배수암문	2,062	1	2	3	-	6
계	58,231	10	33	38	9	90



사진 4 슈미트해머에 의한 비파괴 강도시험

- 여객터미널 공사 : 지중보, Mat 구조물
(설계강도 280kg/cm²)
- IAT/BHS 공사 : 바닥 Mat
(설계강도 280kg/cm²)
- 동측배수갑문 : 유입부 옹벽, 옹벽 지수벽, 교량 슬래브, 차수벽 등
(설계강도 240~280kg/cm²)

나. 점검결과

3개 현장에 대하여 비파괴시험을 실시한 결과를 표 8과 9에 요약하였다. 지중보와 Footing 부위중 동일 부위에서 상,중,하단으로 측정된 곳은 3개의 평균치로 산정하였으며, 동일 부위에서 반복 측정된 개소와 '97.9월분을 측정한 것은 실제강도가 초과되므로

표 8 여객터미널 현장 비파괴시험 측정결과

공사명	위 치	구조물명	타설일자	설계강도 (kg/cm ²)	비파괴강도* (kg/cm ²)	대비 (%)
여객터미널	E8-N10	지중보	97/12/31	280	347	123.9
	E11.4-N11	MAT	97/11/24		321	114.6
	E13-N11	MAT	97/11/24		304	108.6
	E8-N3	MAT	97/12/25		292	104.3
	E13.6-N11	MAT	97/12/30		308	110.0
	E13.4-N9	MAT	98/01/14		302	107.9
	E11.6-N7	MAT	98/01/18		331	118.2
	E8-N12	지중보	97/10/23		285	101.8
	E8-N8	지중보	97/11/11		288	102.9
	E11.5-N9	지중보	97/11/21		261	93.2
	E14-N13	지중보	97/11/30		285	102.0
	E12.5-N12	지중보	97/12/15		283	101.1
	E10.5-N14	지중보	97/10/13		284	101.4
	E9-N9	MAT	97/11/03		285	101.8
	W9.6-N14	지중보	97/11/24		351	125.4
	W13-N14	지중보	97/11/24		248	88.6
	W14.5-N14	지중보	97/12/17		262	93.6
	W14.5-N14	지중보	97/12/17		306	109.3
	W17-N14	지중보	97/12/27		120	42.9
	W8.5-N13	MAT	97/10/29		231	82.5
W9.4-N6	MAT	97/11/11	284	101.4		
W14.5-N14	MAT	97/11/20	238	85.0		
W16.5-N14	MAT	97/12/04	289	103.2		
W17-V14	MAT	97/12/04	252	90.0		
W11.7-N6	MAT	97/12/14	285	101.8		
W11-N6	MAT	97/12/14	304	108.6		
W13-N6	MAT	97/12/15	302	107.9		
W9.4-N6	지중보	97/11/27	285	101.8		
E6-N10	지중보	97/10/31	280	269	96.1	
E6-N11	지중보	97/11/13		280	100.0	
W5-N8	지중보	97/12/20		292	104.3	
W5-N9	지중보	97/12/20		301	107.5	
W2.5-N15	Footing	97/12/20		295	105.4	
W3-N12	Footing	97/01/15		335	119.6	
E1-N14	Footing	97/12/05		273	97.5	
E5-N10	MAT	97/10/08		309	110.4	
W6-N8	MAT	97/11/04		238	85.0	
W6-N10	MAT	97/11/20		289	103.2	
E5-N13	MAT	97/11/28		284	101.4	
W7.4-N12	MAT	97/12/30		288	102.9	
W6.5-N12	MAT	97/12/30		289	103.2	
E7-N14	지중보	97/12/16		283	101.1	

표 9 IAT/BHS 및 동측 배수갑문의 비파괴 강도 측정결과

공사명	위 치	구조물명	타설일자	설계강도 (kg/cm ²)	비파괴강도* (kg/cm ²)	대비 (%)
IAT/BHS	708.5-722.2(R)	바닥 Mat	98/01/23	280	361	128.9
	708.5-722.2(L)		98/01/21		374	133.6
	0.9-33(L)		97/11/26		289	103.2
	0.9-33(R)		97/11/29		303	108.2
	0+15-30(R)		98/01/21		365	130.4
30-45	98/01/24	382	136.4			
동측배수갑문	교량슬래브	배수갑문	97/12/05	280	289	103.2
	교량차수벽		97/12/16	240	285	122.9
	유입부옹벽(L)		97/12/16	240	285	122.9
	유입부옹벽(R)		97/10/16	240	278	115.8
	바닥보호공		97/11/11	240	280	116.7
옹벽지수벽	97/11/08	240	285	123.8		

* 자체 기기식과 일본 건축학회식을 이용하여 구한 평균치

로 표에서 제외하였다.

구조물공사 3개 현장에 대하여 비파괴시험을 실시한 결과, 일부개소를 제외하고는 대부분 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타나고 있어 이상부위에 대해서는 코아강도를 측정할 필요가 있다고 판단하였다. 슈미트헤머 강도가 적게 나타나는 부위에 대해 표면조사를 한 결과 구조체 표면에 AIR POCKET 이 일부 발생되어 표면타격시 타격에너지가 분산되어 영향을 주었을 것이라고 판단된다.

4.3 구조물 코아강도 측정결과

구조물 공사 3개 현장에 대하여 비파괴시험을 실시한 결과를 토대로 설계기준강도 발현율이 낮게 측정된 개소를 대상으로 총 24개의 코아를 채취하여 강도를 측정하였다(사진 5). 구조물 코아채취 강도의 합부판정은 건축공사 표준시방서에서는 "구조체 콘크리트의 압축강도검사"항에 의하면 코아공시체 압축강도 시험결과(3개 이상) 평균값이 설계기준강도의 85%에 도달하고 그 중 하나의 값이 설계기준강



사진 5 현장 코아채취 장면

도의 75%보다 작지 않으면 합격으로 한다" 고 규정되어 있으며, 또한 일본 건축기준법 시행령에서는 "코아의 재령 28일 평균강도가 설계기준강도의 70% 이상, 재령 91일 평균강도는 설계기준강도에 만족해야 한다"고 정하고 있다

코아채취 샘플에 대한 외관조사 결과 공시체 밀도는 2.30~2.33으로 정상상태의 콘크리트와 동일하게 나타났으며 재료분리현상은 관찰되지 않았다(사진 6). 강도와 비파괴강도 측정치간의 상관계수는 0.3이하로 낮게 나타나며 이는 전술한 바와 같이 슈미트헤머에 의한 비파괴시험의 정밀도가 낮은데 기인한 것으로 생각된다. 그러나 한중 타설 콘크리트의 코아강

도는 평균적으로 슈미트 강도보다 약 30%정도 크게 나타나며 콘크리트의 다짐과 충전성에서 유리한 바닥 부위가 벽체보다 큰 특성을 보여주고 있다. 일반적으로 코아강도는 슈미트 강도보다 15~20% 높은 것으로 알려지고 있는데, 본 시험에서 평균 30%로 다소 높게 나타나는 것은 동절기에 타설된 콘크리트 구조물을 대상으로 시험을 한 결과 표면이 내부보다 저온인 영향과 외기에 노출된 요인으로 인해 조직의 치밀성이 내부보다 떨어져 표면의 반발경도에 의존하는 슈미트 강도가 타 계절에 비해 적게 나타나기 때문이라고 판단된다. 코아강도 확인결과 콘크리트 강도는 모두 양호하게 나타나고 있음을 확인 할 수 있었다.

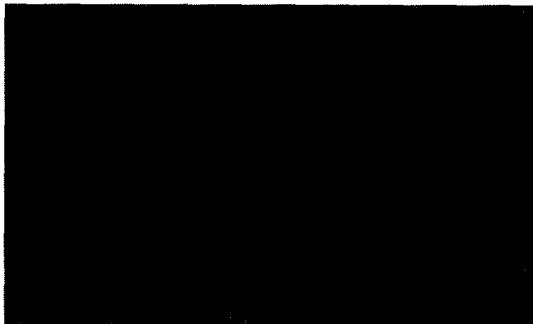


사진 6 코아 채취시편의 외관상태

표 10 현장별 구조물의 코아강도 측정결과

현장명	위치	부위	재령 (일)	비파괴강도* (kg/cm ²)	코아강도 평균* (kg/cm ²)	판정
여 객 터 미 널	W14.5-N14	지중보	49	262	298	합격
	W13-N14	지중보	72	248	320	합격
	W8.5-N13	Mat	97	231	368	합격
	W14.5-N14	Mat	76	238	388	합격
	W17-N14	Mat	62	252	357	합격
	E6-N10	지중보	97	269	338	합격
	E11.5-N9	지중보	78	261	291	합격
	E1-N14	Foot- ing	60	273	290	합격

* 코아강도 : 각 3개에 대한 평균치

5. 맺음말

한중에서의 콘크리트 공사는 다른 계절보다 시공과 현장 품질관리에 있어서 많은 노력과 경비가 소요되는 것이지만 실제로 이러한 원칙준수와 투자를 하지 않고 무리한 시공을 함으로써 동절기 콘크리트 공사는 부실이라는 인식이 많은 사람들의 뇌리에 심어져 와 있었다. 그러나 일년 중 약 4개월 정도가 동절기에 들어가는 국내의 기후특성을 볼 때 한중의 콘크리트 공사는 필연적이며 특히 IMF 체제하에서 국내 건설경기의 활성화와 유흥자원의 활용측면에서 보다 적극적인 지원과 추진이 필요하다. 이러한 취지하에서 한중에서도 지속된 인천국제공항의 콘크리트 공사는 초기 보온·급열 양생관리와 경화제 콘크리트의 수화온도를 세밀하게 관리함에 따라 양호한 품질의 콘크리트 구조물을 시공 할 수 있었다. 동절기라도 콘크리트 타설에서 중요한 것은 보온이 확보된 상태에서 양생중 충분한 수분공급이 필요하고 양생후에도 콘크리트 내·외부 온도가 안정화 될 때까지 보온을 시켜주는 것이 필요하다는 것을 다시 확인 할 수 있었다.

앞으로는 활주로 포장, 지하차도, 관제탑과 같은 mass 콘크리트의 시공이 본격화 될 예정에 있으며 이러한 공사들의 타설시기가 서중에 포함되어 있어 구조물별로 콘크리트 수화열과 양생온도관리, 타설 방법 등에 대한 시공대책을 강구 할 예정에 있다. □