

# 초기 재령에서의 양생 온도 조건에 따른 고유동 콘크리트의 조기강도 발현 성상에 관한 실험적 연구

## Experimental Study of Strength Development in High Flow Concrete as following of Curing Temperature

이 도 범\*  
Do-Bum Lee

김 효 락\*\*  
Hyo-Rak Kim

박 지 훈\*\*\*  
Ji-Hoon Park

최 일 호\*\*\*  
Il-Ho Choi

### ABSTRACT

This study is carried out (1) checking the development of compressive strength of high flowing concrete at early age, changing water-binder ratio, curing temperature, and type of aggregate, and (2) suggesting basic date that helping cost and schedule plan in future construction.

As the result of this study, we find that high curing temperature is effective for the development of compressive strength of concrete at early age on the condition of each water-binder ratio, and after making the compressive prediction formula related to the curing temperature by maturity, the result of the formular is similar to the temperature-compressive strength-age measured data

### 1. 서론

최근 철근콘크리트 구조물의 고층화, 복잡화에 따라 공기 단축, 인력 절감, 시공성 향상 등을 위해 고유동 콘크리트를 제조, 사용되고 있다. 이러한 고유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 결합재와 고성능감수제의 사용량이 증가할 뿐만 아니라, 혼화재의 양도 증가하는 것이 일반적이다. 혼화재 및 감수제를 다량으로 사용하는 경우에는 응결시간이 늦어질 수 있으며, 초기재령에서의 압축강도의 발현이 상대적으로 저하될 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다. 한편 콘크리트의 강도발현은 시멘트 수화반응에 의하여 나타나는 것으로 콘크리트의 강도는 재령과 온도의 함수로 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다.

이에 본 연구에서는 ACS 거푸집의 적용을 통한 공사의 원활한 진행을 목적으로 후행 작업을 수행할 수 있는 초기 재령에서의 최소강도 발현 시점 및 배합을 확인하기 위해 봄-가을, 겨울철 타설을 가정하여 양생온도를 설정하고, 초기 강도 발현 성상을 파악한 후 재령별 강도데이터를 통한 적산온도 방식을 이용해 각 경우에 대한 요구강도 발현 시점 및 배합을 찾아내어, 초기 재령에서의 조기강도

\* 정회원, (주)대림산업 기술연구소 책임연구원

\*\* 정회원, (주)대림산업 기술연구소 선임연구원

\*\*\* 정회원, (주)대림산업 기술연구소 연구원

발현 가능 여부를 확인하고, 조기강도를 확보하기 위한 최소 재령을 확인하여 공정 및 원가 계획에 참고할 수 있는 기초적 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험 계획은 표 1과 같다. 실험은 크게 부순모래와 강모래를 혼합 사용한 경우(Case 1)와 바다모래를 사용한 경우(Case 2)로 구분하여 물결합재비를 변동시키며 목표 유동성을 확보하는 배합을 결정하였다. 실험요인으로는 양생온도를 7℃, 12℃, 17℃로 설정하였는데, 이는 실험 적용 예정인 부산 지역의 5년간의 봄·가을, 겨울의 평균 기온을 계산하여, 봄·가을 양생 조건(17℃), 겨울 양생조건(보온양생 안함 7℃, 보온양생 실시 12℃)을 가정한 것이다. 물결합재비는 37% ~ 49%까지 5 수준으로 설정하였다. 측정 항목으로는 굳지 않았을 경우에는 슬럼프 플로우, 공기량을 측정하였으며, 경화 후에는 압축강도를 측정하였는데 조기재령(1.5일, 2.5일, 3.5일)에서는 일정 온도가 유지되는 항온습기에서 양생시키고, 7일, 28일 강도는 표준양생 조건하에서 해당 재령에 강도를 측정하였다. 또한 측정된 강도는 적산온도 방식을 적용하여 적산온도와 강도관계를 검토하였으며, 회귀식을 도출하여 요구강도의 필요 재령을 계산하였다.

표 1 실험계획

구분	W/B(%)	양생온도(℃)	F/A(%)	측정항목
CASE 1 (부순모래+강사)	37	7	7	· 슬럼프 플로우
	40			· 공기량
	43			· 압축강도
CASE 2 (바다모래)	46	17		(1.5일, 2.5일, 3.5일-항온양생, 7일, 28일-표준양생)
	49			· 적산온도

### 2.2 사용재료 및 배합

본 실험에 사용한 각종 재료의 물리적 성질은 시멘트(C)는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트, 혼화재(F/A)로서 보령산 플라이애시, 잔골재로서 바다모래(S<sub>1</sub>), 강모래(S<sub>2</sub>)+부순모래(S<sub>3</sub>)를 사용하였으며, 굵은골재(G)는 최대크기 25mm의 부순자갈, 혼화제는 Naphthalene계 고성능 감수제(표준형)를 사용하였다. 한편 본 실험에서 적용한 배합은 표 2와 같다.

표 2 적용 배합

W/B (%)	Case 1							Case 2					
	S/A (%)	단위 중량(kg/m <sup>3</sup> )						S/A (%)	단위 중량(kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	F/A	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	G		W	C	F/A	S <sub>1</sub>	G
37	45.5	170	427	32	268	498	932	46.0	168	422	32	782	928
40	45.5		395	30	273	506	947	46.0		391	29	795	944
43	45.5		367	28	277	514	962	46.5		364	27	815	949
46	46.5		344	36	286	532	956	46.5		339	26	825	960
49	46.5		323	24	289	537	966	46.5		319	24	834	971

### 2.3 적산 온도 방식

본 실험에서 적산온도 계산은 Nurse-Saul의 식을 사용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$M = \int_0^t (T - T_0) dt$$

(M : 적산온도, T : Δt 기간의 콘크리트 양생온도, T0 : 기준온도(-10℃), Δt : 시간간격)

또한 본 실험의 강도 결과를 이용한 강도에측도모델식은 기존의 강도에측식 중 일반적으로 사용되고 있는 Plowman의 예측식을 적용하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$S = a + b \cdot \log(M)$$

(S : 콘크리트 압축강도, M : 콘크리트 적산온도, a, b : 회귀계수)

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 성상

본 실험에서 행한 굳지않은 콘크리트의 측정결과는 표 3에 나타난 바와 같다. 실험 결과 기준 플로우값 범위(55±5cm)를 만족시키기 위한 고성능 감수제의 사용량은 부순모래+강모래를 사용한 경우가 바다모래를 사용한 경우에 비해 동일 물결합재비에서 약 0.3%정도의 추가투입이 필요하였으며, 물결합재비가 감소할수록, 즉 고성능 감수제의 투입량이 거의 동일하고 단위수량이 고정된 상태에서 결합재량이 증가할수록 초기 플로우값은 다소 증가하는 것을 볼 수 있으나 전체적으로 거의 비슷한 수준으로 나타났다.

표 3 굳지않은 콘크리트의 시험결과(직후)

W/B (%)	Case 1			Case 2		
	Flow (cm)	Air (%)	S.P (%)	Flow (cm)	Air (%)	S.P (%)
37	56×56	4.0	1.6	54×53	4.4	1.3
40	55×56	4.5	1.6	52×51	5.0	1.3
43	53×52	5.0	1.6	51×50	4.7	1.25
46	53×52	4.6	1.5	51×51	5.2	1.25
49	52×52	4.5	1.5	50×51	5.0	1.25

#### 3.2 압축강도 발현성상 및 분석

표 4는 물결합재비별로 양생온도의 변화에 따른 재령별 압축강도 측정 결과를 나타내었다.

여기에서 동일 물결합재비의 조건하에서 양생온도가 높을수록 초기 재령에서의 압축강도가 높게 발현되고 있는데 이는 양생온도가 높아짐에 따라 수화에 따른 화학반응이 촉진되어 나타난 결과로 보인다.

한편 동일 W/B 및 양생온도에서 Case 1의 압축강도가 Case 2의 압축강도보다 높게 나타나고 있는데, 이는 배합시 각 경우에 투입된 잔골재의 차이로 동일 유동성을 확보하는데 단위수량 및 단위결합재량이 Case 1의 경우가 Case 2의 경우보다 많게 되었는데, 이는 동일 물결합재비에서 골재함유율이 증가하면 입자간 거리가 축소되어 페이스트 파괴길이가 감소되어 콘크리트의 강도가 감소하게 된다는 Gilkey의 데이터에 어느 정도 부합되나<sup>1)</sup>, 이에 대한 정확한 이론이 정립되지 않았으므로, 정확한 원인 규명을 위해 이에 대한 추가 검토 및 확인이 필요할 것이다.

표 4 양생온도에 따른 각 재령별 압축강도 측정 결과

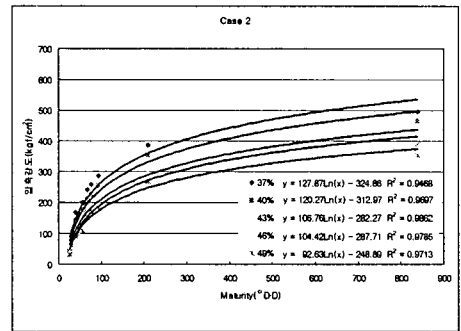
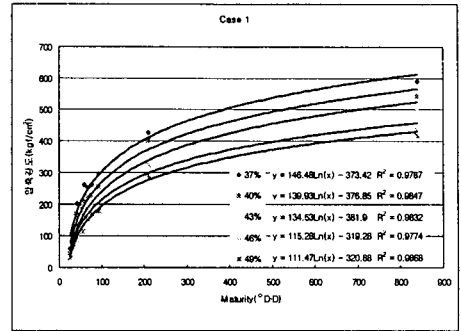
W/B (%)	양생 온도	Case 1(kgf/cm <sup>2</sup> )					Case 2(kgf/cm <sup>2</sup> )				
		재령(日)					재령(日)				
		1.5	2.5	3.5	7	28	1.5	2.5	3.5	7	28
37	7℃	62	201	260			46	115	198		
	12℃	121	210	261	426	591	106	199	257	386	495
	17℃	167	251	296			168	241	286		
40	7℃	49	169	201			44	117	175		
	12℃	110	186	228	404	544	98	177	226	354	466
	17℃	135	219	252			143	211	255		
43	7℃	33	108	184			39	108	161		
	12℃	84	144	196	362	501	92	164	182	299	422
	17℃	124	207	241			112	176	207		
46	7℃	32	101	181			34	91	158		
	12℃	79	131	183	323	433	69	130	172	297	392
	17℃	110	173	214			95	163	193		
49	7℃	30	99	162			31	98	152		
	12℃	64	112	168	291	418	63	111	168	266	352
	17℃	87	152	179			90	150	178		

### 3.3 적산온도 분석 및 해당 재령 예측

그림 1은 물결합재비별 적산온도와 압축강도와의 관계를 각 Case 별로 나타낸 그래프이다. 본 그래프는 각 양생온도에서 계산된 적산온도와 압축강도를 물결합재비로 합하여 계산된 결과를 나타낸 것으로 도출된 식의 결정계수  $R^2$ 의 값은 0.95이상으로 높은 상관성을 보이고 있다. 이러한 적산온도에 의한 추정식을 이용하여 계산된 양생온도별 ACS 거푸집의 작업에 필요한 요구강도  $150\text{kgf/cm}^2$ 에 해당되는 성숙도(M)와 재령은 다음 표 5와 같다.

표 5 양생온도별  $150\text{kgf/cm}^2$  해당 성숙도 및 재령

Case	W/B	M	7°C	10°C	12°C	15°C	17°C	20°C
1	37%	36	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2
	40%	43	2.5	2.2	2.0	1.7	1.6	1.4
	43%	52	3.1	2.6	2.4	2.1	1.9	1.7
	46%	59	3.4	2.9	2.7	2.3	2.2	2.0
	49%	68	4.0	3.4	3.1	2.7	2.5	2.3
2	37%	41	2.4	2.1	1.9	1.6	1.5	1.4
	40%	47	2.8	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6
	43%	57	3.4	2.9	2.6	2.3	2.1	1.9
	46%	66	3.9	3.3	3.0	2.6	2.4	2.2
	49%	74	4.4	3.7	3.4	3.0	2.7	2.5



한편  $150\text{kgf/cm}^2$  발현 재령에 대하여 표 4와 표 5를 비교하면 거의 일치된 결과를 보이고 있는데, 표 5가 각 양생온도별 압축강도를 종합하여 계산된 결과임을 고려한다면, 산출된 강도예측식을 이용한 W/B, 양생온도, 발현 재령을 종합하여 봄·가을, 겨울철의 배합 결정, 양생 계획 및 공정 계획이 가능할 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 유동기준을 만족하는 고유동콘크리트를 제조한 후, 각 W/B에 있어서 양생온도에 따른 조기강도 발현 성상을 파악해본 결과 양생온도가 높을수록 조기강도 발현에 유리함을 확인할 수 있었고, 적산온도 방식을 이용하여 양생온도에 따른 강도예측식을 각 W/B별로 도출하였으며, 데이터를 실제 양생 온도-재령-강도 데이터와 비교한 결과, 상호 유사한 결과를 보이고 있어, 향후 공사 적용시 원가 및 공정 계획에 참고할 수 있는 기초 자료로 사용 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 윤제환, 세진사, “포틀랜드 시멘트 및 콘크리트”, 2000
2. 김무한 외, “시스템 거푸집 적용을 위한 고강도 콘크리트의 양생온도별 조기강도 발현성상”, 한국콘크리트학회논문집 제 13권 6호, 2001
3. 권영진 외, “적산온도방식을 이용한 고성능콘크리트의 강도측정방법”, 한국콘크리트학회논문집 제 7권 5호, 1995
4. 한천구 외, “적산온도방식에 의한 콘크리트 강도증진해석에 있어 한계온도범위의 검토”, 한국콘크리트학회 추계학술대회논문집, 1997