Journal of the Korea Concrete Institute
Vol.13, No.6, pp.536~543, December 2001

시스템 거푸집 적용을 위한 고강도 콘크리트의 양생온도별 조기강도 발현성상

김무한[1] · 이승훈[2] · 강석표[1] · 길배수[3] · 주지현[1]*

[1]충남대학교 건축공학과 [2]삼성물산(주) 건설부문 [3]R&F Tech, R&D Center

(2001년 3월 27일 원고접수, 2001년 9월 20일 심사완료)

Development of Early-Strength of High-Strength Concrete According to Curing Temperature for Application of System Form

Moo-Han Kim[1], Seung-Hoon Lee[2], Suk-Pyo Kang[1], Bae-Su Khil[3], and Ji-Hyun Joo[1]*

[1] Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejon, 305-764, Korea
[2] Samsung Construction Co., Ltd, Seoul, 134-030, Korea
[3] R & F Tech, R & D Center, Daejon, 300-716, Korea

(Received on March 27, 2001, Revised on September 20, 2001)

ABSTRACT

Nowadays, with high-storied and large-sized of structures, high-strength concrete is applicable to various methods. When high-strength concrete is used jointly with system form, seizing on the development of compressive strength at early age is very important in aspect of construction process. Because system form is stripped more faster than ordinary form. But, we have little data of compressive strength before system-form is stripped, and it isn't yet established that decision criterion of the time when system-form is stripped. So this paper deals with the development of compressive strength at early age before system-form is stripped.

In this study, the experimental results indicate the boundary of curing temperature and mixing factor that is able to get needful early-strength in the application of slip-form method, and curing temperature must be kept over 15 degrees in winter season.

Keywords : high-strength concrete, system-form, early-strength, curing temperature

1. 서 론

철근콘크리트 구조물이 고층화, 초고층화 됨에 따라 고강도콘크리트가 각종 콘크리트 구조물로의 적용이 활발하게 이루어지고 있다[1].

또한 철근콘크리트 구조물의 거푸집 공사에 있어 기존의 유로폼을 사용할 경우, 숙련기능공 확보의 어려움으로 인하여 숙련도가 떨어져 콘크리트 구조체의 시공품질 확보가 힘든 실정이다. ACS(auto climbing system)폼 및 슬립폼 등과 같은 시스템거푸집의 사용은 이러한 숙련기능공 확보의 어려움 해결과 구조체의 시공품질 유지 및 공기단축에 따른 공사비 절감을 가능하게 하는 수단이라는 것에 대한 공감이 확산되고 있어 특히, 사일로, 피어 등 특수 구조물에 일반적으로 사용되어온 시스템 거푸집이 고강도콘크리트를 이용한 주상복합고층아파트, 빌딩의 코어 등 건설산업현장에서의 활용이 증가되고 있는 추세다.

이와 같이 고강도콘크리트를 시스템 거푸집 공법에 적용하는데 있어 거푸집 탈형시기가 일반 거푸집과 비교하여 상대적으로 빠르기 때문에 공기단축을 위해서는 조기재령에서의 압축강도 발현성상을 파악하는 것이 중요하다.

그러나, 아직까지 시스템거푸집 탈형시점에 대한 정량적인 판단기준이 확립되어 있지 않고 있으며, 거푸집 탈형이 이루어지는 재령 1일 이전의 압축강도 발현성상에 대한 충분한 데이터가 확보되어 있지 않은 실정이다.

이를 위해서 조기재령에서의 압축강도 발현성상에 영향을 미치는 양생온도, 배합조건, 사용재료 등의 수많은 요인들 중, 특히 사계절의 변화가 뚜렷한 우리나라의 경우 양생온도에 따른 조기재령에서의 압축강도 발현성상을 파악하는 것은 매우 중요하다. 또한, 구조체 콘크리트의 조기강도예측을 통하여 거푸집제거시기 등의 강도관리가 가능하게 되어 공기단축을 도모할 수 있는 방안으로 콘크리트 강도예측 방법의 하나인 적산온도 방식이 제안되고 있다[2].

따라서, 본 논문에서는 양생온도별 배합조건에 따른 고강도콘크리트의 응결성상 및 시스템 거푸집 탈형이 이루어지는 조기재령에서의 압축강도 발현성상을 비교·분석함으로써 실제 건설생산현장에서 고강도콘크리트를 시스

* Corresponding author
Tel : 042-821-7731 Fax : 042-823-9467
E-mail : ks04@cnu.ac.kr

템 거푸집공법에 적용하는데 있어 거푸집 탈형시점에 대한 정량적인 판단기준을 확립할 수 있는 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 Table 1에서 보는 바와 같다.

실험요인으로서 I 시리즈의 경우, 양생온도 (10, 15, 20, 30, 40 ℃) 5 수준, II 시리즈의 경우, 플라이애시 대체율 (5, 15 %) 2수준, 저온영역 양생온도 (10, 15, 20 ℃) 3 수준, 그리고 고성능감수제 촉진형, 표준형 2 수준, III 시리즈의 경우, 플라이애시 대체율 (5, 15 %) 2수준, 고온영역 양생온도 (20, 30, 40 ℃) 3수준을 설정하여 고강도콘크리트의 응결성상 및 압축강도 발현성상을 비교·분석하였다.

측정항목으로서는 압축강도 시험의 경우, 고강도콘크리트의 조기강도 발현성상을 검토하기 위하여 모든 시리즈에서 기존의 일반적인 재령 외에 14시간 강도를 부가하여 측정하였다. 특히, III 시리즈의 경우, 고온영역에서 고강도콘크리트의 압축강도가 매우 빠르게 발현되기 때문에 물 투입부터 14시간까지의 압축강도시험을 추가하여 실시하였다.

분석적인 부분으로서 적산온도 방식을 이용하여 적산온도-강도관계 검토 및 강도예측모델 적용을 통해 고강도콘크리트의 강도예측성능을 검토하였다.

2.2 배합 및 사용재료

2.2.1 배합 및 비빔방법

본 실험의 콘크리트 배합은 Table 2에 나타낸 바와 같이 W/B 29.5 %의 고강도콘크리트를 대상으로 각 시리즈에서 플라이애시 대체율 및 고성능감수제 종류에 따라 배합수준을 설정하였다.

또한 콘크리트의 비빔은 100 ℓ 강제식 팬타입 믹서를 사용하였으며, 재료를 일괄투입하여 건비빔을 30초간 실시한 후, 물과 고성능감수제를 첨가하여 2분 30초간 비빔을 실시하였다. 총 비빔시간은 3분이 소요되었다.

2.2.2 사용재료

본 실험에 사용한 각종 재료의 물리적 성질은 Table 3에 나타낸 바와 같이 시멘트는 국내 A사의 보통포틀랜드 시멘트, 혼화재로서 보령산 플라이애시, 잔골재로서 강모래, 굵은골재로서 최대크기 20 mm의 부순자갈, 고성능감

Table 2 Mix proportions of concrete

W/B (%)	Repla. pro. of fly-ash (%)	S/A (%)	Unit weight (kg/m^3)				
			Water	Cement	FA	Sand	Gravel
29.5	5	39	171	551	29	641	1008
	15	39	171	493	87	632	994

Table 3 Physical properties of used materials

Cement	· Kinds : Ordinary portland cement · Specific gravity : 3.15	
Sand	· Kinds : River sand · Specific gravity : 2.62	
Gravel	· Kinds : Crushed gravel · Specific gravity : 2.65 · Maximum size : 20 mm	
Flyash	· Brain : 2,976 cm^2/g · Specific gravity : 2.17	
SP	Standard	· Principle component : Naphthalene · Specific gravity : 1.18
	Acceleration	· Principle component : Naphthalene · Specific gravity :1.19

Table 1 Experimental plan

Series	Mix sign	W/B (%)	Curing temp.(℃)	Repla. pro. of fly-ash (%)	SP	Measurement	Analysis item
I	-	29.5	10, 15, 20, 30, 40	15	Standard	· Setting time · Compressive strength (14hrs, 1, 3, 7, 14, 28days)	· Nurse-Saul · Plowman curve
II	FA15ST	29.5	10, 15, 20	15	Standard	· Setting time · Compressive strength (14hrs, 1, 3, 7, 14, 28days)	· Nurse-Saul · Plowman curve
	FA5AC			5	Acceleration		
	FA15AC			15			
III	FA5	29.5	20, 30, 40	5	Standard	· Setting time · Compressive strength (initial~14hrs, 1, 3, 7, 14, 28days)	· Nurse-Saul
	FA15			15			

* ST : Standard, AC : Acceleration, FA : Fly Ash, SP : Superplasticizer

수제는 표준형, 촉진형 고성능감수제 두 종류를 사용하였다.

2.3 시험방법

본 실험에서 실시한 응결시험 및 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2436 및 KS F 2405에 준하여 실시하였다. 공시체의 양생은 온도조절이 가능한 chamber에서 각각의 양생온도에서 측정재령까지 수중양생을 실시하였다.

또한, Ⅲ 시리즈에서 행한 물 투입부터 14시간까지의 조기 압축강도시험은 日本「コンクリトの試驗方法」[3]에 준하여 실시하였으며, 그 시험방법은 다음과 같다.

공시체를 제작하고 30~60분 후에 미리 준비한 물-시멘트비 28 %의 시멘트페이스트를 이용하여 상면 캡핑을 행한 후, 소요시간에서 압축강도 시험을 실시하는 것으로 하였다.

특히 초기의 것은 공시체 탈형시 시험체의 박리·박락을 방지하기 위하여 공시체 내부를 비닐로 코팅을 한 후, 공시체를 제작하였다.

2.4 분석방법

본 실험에서 사용한 온도와 시간의 함수인 Nurse-Saul[4]의 기본적인 식은 식(1)과 같다.

$$M = \int_0^t (T - T_0) \cdot \Delta t \quad (1)$$

M : 적산온도(℃·h, ℃·day)
T : Δt 기간의 콘크리트 양생온도(℃)
T_0 : 기준온도(일반적으로 -10 ℃)
Δt : 시간 간격(hr 또는 day)

또한 본 시험에서의 강도예측에 이용된 강도예측모델식은 기존의 강도예측식 중 가장 일반적으로 사용되고 있는 Plowman[5]의 예측식을 이용하였으며, 식(2)와 같다.

$$S = a + b \log(M) \quad (2)$$

S : 콘크리트 압축강도
M : 콘크리트의 적산온도
a, b : 회귀계수

3. 실험 결과의 분석 및 검토

3.1 굳지않은 콘크리트의 시험결과

본 실험에서 행한 굳지않은 콘크리트의 측정결과는 Table 4에 나타낸 바와 같다.

3.2 양생온도별 고강도콘크리트의 결과 및 분석

3.2.1 응결성상 검토 및 분석

Fig. 1은 양생온도별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 양생온도가 높을수록 초결 및 종결도달시간이 빠르게 나타나고 있다.

특히 이러한 경향은 고온영역인 양생온도 40, 30, 20 ℃의 경우, 각각 초결도달시간이 7시간 53분, 10시간 44분, 13시간 26분으로 나타나 양생온도 40 ℃와 양생온도 20 ℃ 사이에 초결도달시간이 5시간 33분의 차이가 나타났다.

Table 4 Test results of fresh concrete

Series	Mix sign	Curing temp. (℃)	S.P (%)	Slump-Flow (cm)	Air con. (%)
Ⅰ	-	10	1.4	50×51	3.5
		15	1.4	52×53	3.8
		20	1.5	51×53	4.0
		30	1.3	54×56	2.2
		40	1.3	58×60	2.6
Ⅱ	FA5AC	10	1.5	50×52	3.6
		15	1.4	50×53	3.7
		20	1.4	52×54	4.0
	FA15AC	10	1.5	53×54	3.6
		15	1.3	51×52	4.0
		20	1.4	53×55	3.8
	FA15ST	10	1.4	50×51	3.5
		15	1.4	52×53	3.8
		20	1.5	51×53	4.0
Ⅲ	FA5	20	1.5	51×53	4.0
		30	1.3	54×56	2.2
		40	1.3	58×59	2.6
	FA15	20	1.4	52×53	4.0
		30	1.3	54×55	2.8
		40	1.3	56×57	3.4

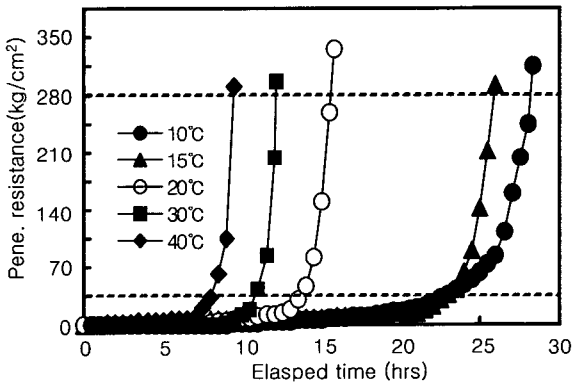

Fig. 1 Variation of penetration resistance

그러나, 양생온도 20 ℃ 이하의 저온영역 양생온도 15, 10 ℃의 경우, 초결도달시간이 약 23시간이 소요되고 있는 것으로 나타나 양생온도 20 ℃와 비교하여 약 9시간 30분 차이가 나타나고 있다.

따라서, 양생온도가 저하함에 있어 양생온도 40 ℃에서 양생온도 20 ℃로 저하할 때 지연되는 응결시간과 비교하여 양생온도 20 ℃에서 양생온도 15, 10 ℃로 저하할 때 응결시간이 현저하게 지연되는 것으로 나타나고 있어, 동절기 시스템 거푸집 적용시 공기단축을 위해서는 양생온도 15 ℃ 이상 유지해야 할 것으로 사료된다.

3.2.2 압축강도 발현성상 검토 및 분석

Fig. 2와 Table 5는 양생온도에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로 초기재령 14시간, 1일에서는 저온영역 양생온도 10, 15 ℃와 고온영역 양생온도 20, 30, 40 ℃ 사이의 압축강도 차이가 크게 나타나고 있으나, 재령 28일에서는 양생온도에 관계없이 거의 유사한 압축강도 발현 수준을 보이고 있다.

특히, 14시간의 경우, 저온영역 양생온도 10, 15 ℃에서 압축강도가 거의 발현하지 않고 있으나, 고온영역에서는 양생온도 40 ℃, 30 ℃, 20 ℃에서 각각 146 kgf/cm^2, 77 kgf/cm^2, 50 kgf/cm^{2}의 압축강도가 발현하고 있어 큰 차이를 보이고 있다.

이는 양생온도 20 ℃까지는 14시간 이전에 초결에 도달하여 압축강도를 발현하고 있으나, 저온영역 양생온도 15, 10 ℃에서는 초결도달시간이 압축강도 측정시간 14시간보다 9시간 지연되어 도달하기 때문에 압축강도가 거의 발현하지 않는 것으로 사료된다.

3.2.3 압축강도-적산온도 관계 검토 및 분석

양생온도별 압축강도 발현성상 고찰결과를 바탕으로 임의 재령에서 고강도콘크리트의 강도예측성능을 검토하기 위하여 Plowman의 예측식을 이용하여 압축강도를 예측한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Plowman 예측식에 의한 강도예측결과 본 실험의 적산온도 범위 내에서 상관성이 높게 나타나고 있어 임의 재령에서 고강도콘크리트의 강도예측이 가능할 것으로 사료된다.

3.3 동절기 고강도콘크리트의 결과 및 분석

3.3.1 응결성상 검토 및 분석

양생온도 및 배합조건에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 양생온도가 높을수록, 배합조건에 따라 FA5AC, FA15AC, FA15ST의 순으로 빠른 응결성상을 나타내고 있다.

배합조건 및 양생온도에 따른 초결도달시간을 살펴보면,

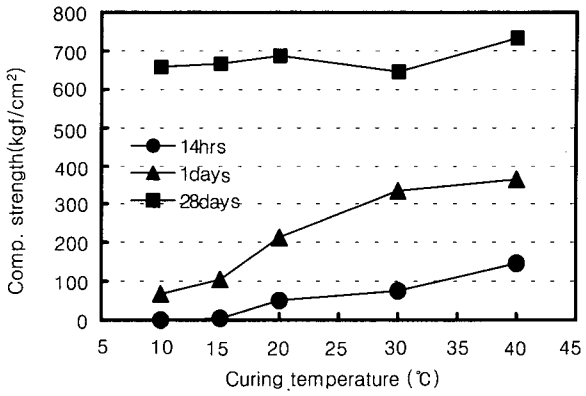

Fig. 2 Variation of compressive strength

Table 5 Test results of compressive strength(kgf/cm^2)

Age	Curing temperature (℃)				
	10	15	20	30	40
14hrs	0	4	50	77	146
1day	65	105	212	335	363
3days	321	378	486	451	492
7days	473	480	575	520	552
14days	542	559	627	576	669
28days	656	665	689	646	734

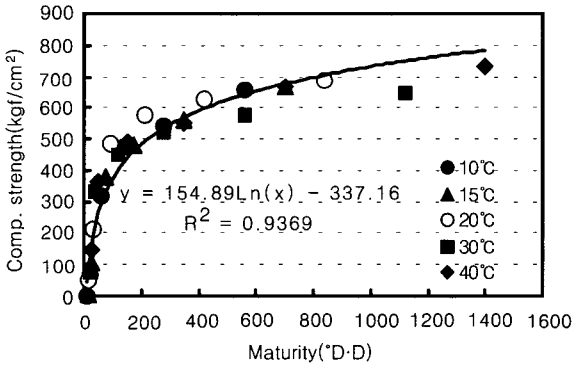

Fig. 3 Prediction results of strength by Plowman curve

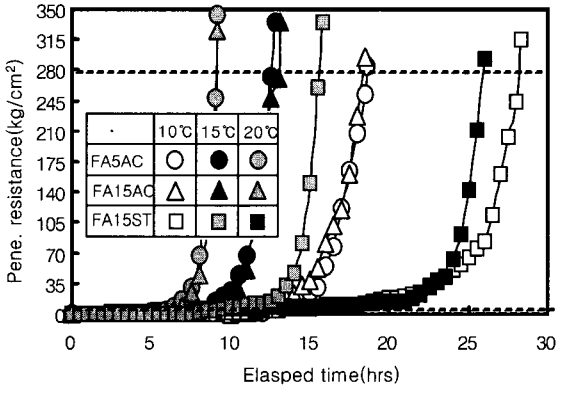

Fig. 4 Variation of penetration resistance

FA15ST의 경우, 양생온도 20 ℃와 비교하여 양생온도 15, 10 ℃는 약 9시간 지연되는 것으로 나타났고, 양생온도 15 ℃와 양생온도 10 ℃ 사이에는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

FA5AC, FA15AC의 경우, 양생온도 20 ℃와 비교하여 양생온도 15 ℃는 4~5시간 지연되고 있으며, 양생온도 10 ℃는 7~8시간 지연되고 있어, 양생온도 15 ℃와 양생온도 10 ℃ 사이에 약 3시간의 차이를 보이는 것으로 나타나 FA15ST와 차이를 보이고 있다.

그러나, 양생온도 20 ℃에서 양생온도 15℃로 저하할 때, 양생온도 15 ℃에서 양생온도 10 ℃로 저하할 때 보다 약간 큰 폭으로 응결시간이 지연되고 있어 FA15ST와 유사한 경향을 보이고 있다.

따라서, 배합조건별 양생온도에 따른 응결성상은 FA15ST에서는 동절기 양생온도 15, 10 ℃ 사이에는 거의 차이가 없고, 양생온도 20 ℃와 현저한 차이를 보이고 있다.

FA15AC 및 FA5AC에서는 양생온도 20 ℃와 양생온도 15 ℃ 사이에서 FA15ST와 같이 차이를 나타내고 있지만, 양생온도 15 ℃와 양생온도 10 ℃ 사이에서도 약 3시간 초결도달시간이 지연되는 차이를 나타내고 있어 FA15ST와는 다른 경향을 보이고 있다.

배합조건에 따라서는 동일한 고성능감수제를 사용하고, 플라이애시 대체율이 변화한 FA15AC, FA5AC의 경우, 응결성상의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

그러나, 고성능감수제 종류가 다른 FA15ST와 FA15AC의 경우, 촉진형 고성능감수제를 사용한 FA15AC가 표준형 고성능감수제를 사용한 FA15ST와 비교하여 양생온도 10 ℃에서 약 7시간, 양생온도 15 ℃에서 약 10시간, 양생온도 20 ℃에서 약 6시간 빠르게 나타나고 있다. 따라서, 응결시간 단축을 위해서는 촉진형 고성능감수제를 사용하는 것이 매우 효과적인 것으로 나타났다.

따라서 동절기 시스템 거푸집 적용시 공정의 단축을 위해서는 양생온도를 15 ℃이상 유지하고, 고성능감수제의 사용에 유의해야 할 것으로 사료된다.

3.3.2 압축강도 발현성상 검토 및 분석

동절기 압축강도 시험결과를 나타낸 Table 6 및 Fig. 5에 나타난 바와 같이 양생온도가 높을수록 초기재령에서 압축강도가 높게 발현하고 있으나, 재령 28일에서는 유사한 강도발현수준을 보이고 있다.

재령에 따라 14시간의 경우, 양생온도 10, 15 ℃에서는 응결지연으로 인하여 압축강도가 거의 발현하지 않고 있다. 그러나, 양생온도 20 ℃에서는 FA5AC, FA15AC, FA15ST에서 각각 96 kgf/cm^2, 74 kgf/cm^2, 50 kgf/cm^{2}의 압축강도가 발현하고 있어 플라이애시 대체율이 낮고, 촉

Table 6 Test results of compressive strength(kgf/cm^2)

Mis sign	Age	Curing temperatrure (℃)		
		10	15	20
FA5AC	14hrs	0	16	96
	1day	150	242	278
	3days	382	422	464
	7days	420	501	550
	14days	556	598	616
	28days	576	633	640
FA15AC	14hrs	0	13	74
	1day	137	208	232
	3days	362	311	495
	7days	475	460	584
	14days	569	549	635
	28days	629	629	666
FA15ST	14hrs	0	4	50
	1day	65	105	212
	3days	321	378	486
	7days	473	480	575
	14days	542	559	627
	28days	656	665	689

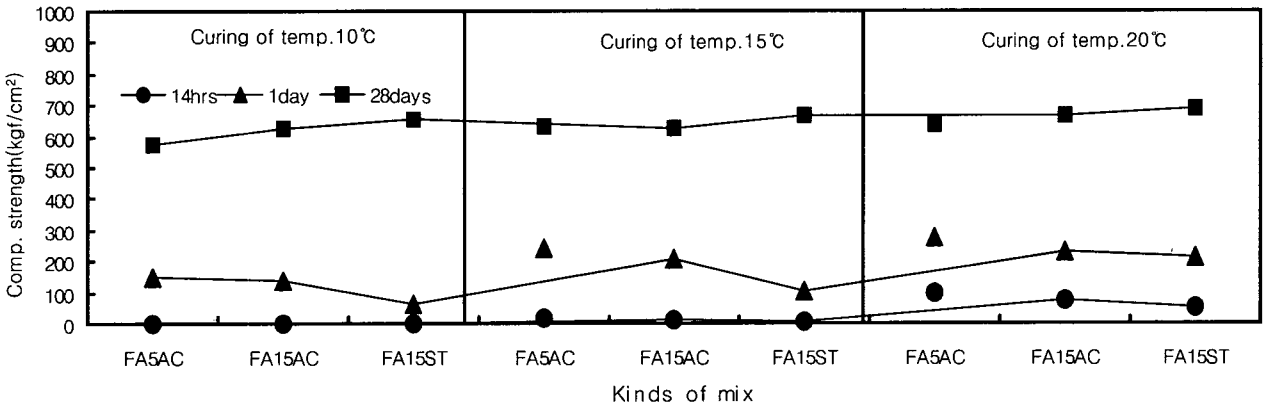

Fig. 5 Variation of compressive strength

진형 고성능감수제를 사용한 배합에서 압축강도가 높게 나타났다. 그러나, 재령 28일에서는 배합에 따라 거의 유사한 강도수준을 발현하고 있는 것으로 나타났다.

플라이애시 대체율 및 고성능감수제 종류에 따른 압축강도 발현성상의 차이를 살펴보기 위하여 Fig. 6은 FA15AC에 대한 FA5AC의 강도비로서 플라이애시 대체율에 따른 강도발현성상을 비교한 것이고, Fig. 7은 FA15AC에 대한 FA15ST의 강도비로서 고성능감수제 종류에 따른 강도발현성상을 비교한 것이다.

초기재령 3일 이전의 경우, Fig. 6에서는 강도비가 1이상으로 FA5AC가 높은 강도를 발현하고 있으며, Fig. 7에서는 강도비가 1 이하로서 FA15AC가 높은 압축강도를 발현하고 있는 것으로 나타나 각각 플라이애시 대체율이 낮고, 촉진형 고성능감수제를 사용한 경우 조기강도 확보에 유리한 것으로 나타났다. 이는 플라이애시가 포졸란재료로서 반응속도가 느리고, 촉진형 고성능감수제는 시멘트 수화과정에서 C_3A와 석고와의 반응을 촉진시켜 에트링가이트에서 모노설페이트로의 전이를 촉진시킴으로서 시멘트의 수화를 빠르게 하기 때문으로 사료된다.

특히 양생온도 20 ℃의 경우, Fig. 6과 Fig. 7에서 나타낸 강도비 차이가 유사하게 나타나고 있지만, 양생온도 15, 10 ℃의 경우 Fig 6과 비교하여 Fig. 7에서 상대적으로 낮은 강도비를 나타내고 있어 저온영역에서는 고성능감수제 종류에 따라 압축강도 발현성상에 미치는 영향이 보다 큰 것으로 나타났다.

따라서, 동절기 시스템 거푸집 적용시 공기단축을 위해서는 고성능감수제의 사용에 유의해야 할 것으로 사료된다.

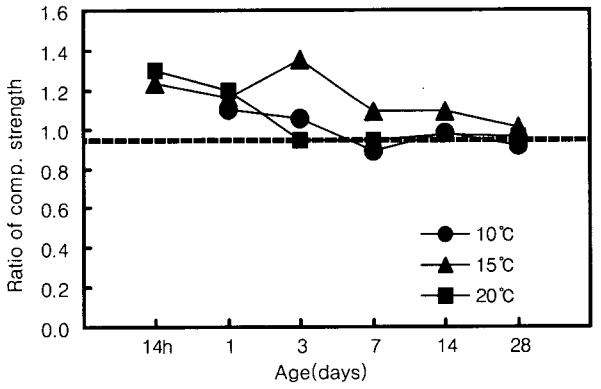

Fig. 6 Proportion of comp. strength-FA5AC/FA15AC

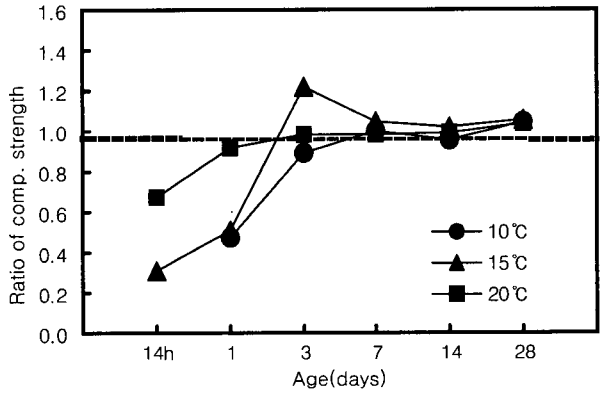

Fig. 7 Proportion of comp. strength-FA15ST/FA15AC

3.3.3 압축강도-적산온도 관계 검토 및 분석

Fig. 8은 동절기 강도예측성능을 검토하기 위해 Plowman의 예측식을 이용하여 강도예측을 한 결과를 나타낸 그림으로 FA15ST, FA15AC, FA5AC의 순으로 높은 상관성을 보이고 있다.

본 연구의 적산온도 범위 내에서 도출된 결정계수 R^2값이 FA15ST에서 0.9623, FA5AC에서 0.9303, FA15AC에서 0.9448로 높게 나타나고 있어 동절기에서 적산온도를 이용한 강도예측이 가능할 것으로 사료된다.

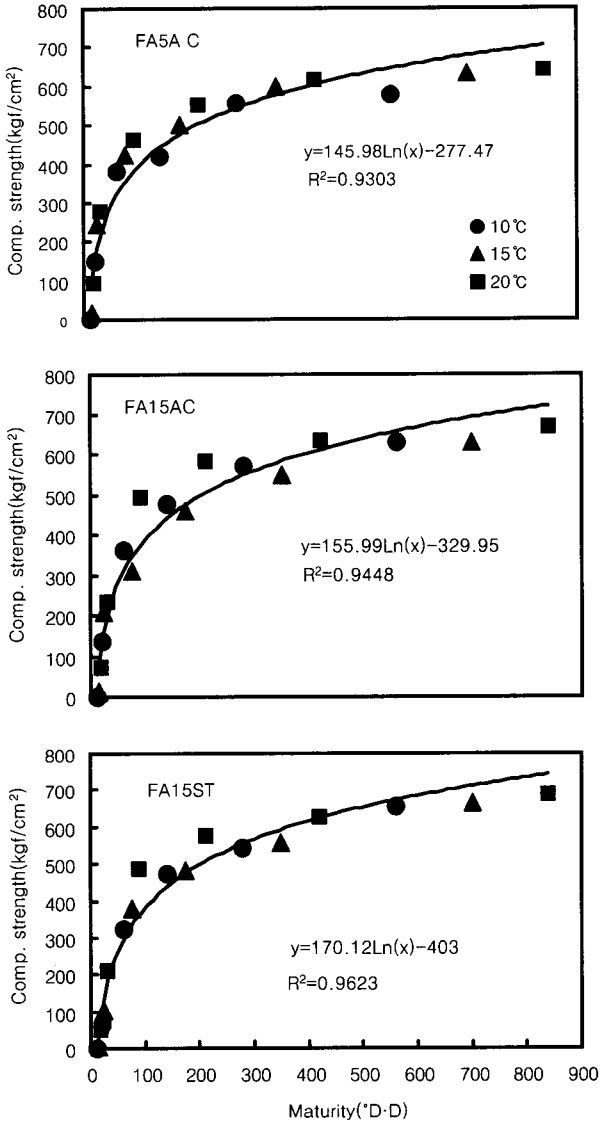

Fig. 8 Prediction result of strength by plowman curve

3.4 하절기 고강도콘크리트의 결과 및 분석

3.4.1 응결성상 검토 및 분석

Fig. 9는 양생온별 플라이애시 대체율에 따른 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 양생온도가 높을수록 플라이애시 대체율이 낮을수록 빠른 응결성상을 보이고 있다.

배합조건에 따라 초결도달시간이 FA15의 경우, 양생온도 40 ℃, 30 ℃에서 양생온도 20 ℃와 비교하여 각각 약 5시간, 3시간 빠르게 나타나고 있으며, FA5의 경우, 양생온도 40 ℃, 30 ℃에서 양생온도 20 ℃와 비교하여 각각 약 3시간, 2시간 빠르게 나타났다.

따라서, FA5의 경우 FA15와 비교하여 양생온도에 따른 초결도달시간의 차이가 상대적으로 적게 나타났다.

또한, FA5의 경우 FA15와 비교하여 초결도달시간이 양생온도 40 ℃에서 약 1시간 30분, 양생온도 20 ℃에서 약 4시간 빠르게 나타났으며, 양생온도가 낮을수록 그 차이가 커지는 것으로 나타났다. 이는 플라이애시 포졸란 반응속도는 온도가 높아질수록 증가하기 때문에 동절기에 비해 상대적으로 온도가 높은 하절기에서 플라이애시 대체율에 따른 응결성상의 차이가 크게 나타났기 때문으로 사료된다.

3.4.2 압축강도 발현성상 검토 및 분석

Fig. 10은 물 투입부터 14시간까지의 압축강도 발현성상을 나타낸 것으로 플라이애시 대체율이 낮을수록 양생온도가 높을수록 압축강도가 높게 나타나고 있다.

경과시간에 따라 시스템 거푸집 탈형이 가능한 압축강도 20 kgf/cm^{2}을[6] 발현하는데 소요되는 시간은 FA15의 경우, 대략 양생온도 40 ℃에서 8시간 30분, 양생온도 30 ℃에서 11시간, 양생온도 20 ℃에서 13시간 정도로 나타났고, FA5의 경우, 대략 양생온도 40 ℃에서 7시간, 양생온도 30 ℃에서 8시간 30분, 양생온도 20 ℃에서 11시간 정도로 초결도달시간과 유사한 것으로 나타났다.

또한 압축강도 발현성상은 초결도달시점을 기점으로 초결도달시간 전과 비교하여 급격하게 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 11은 재령 1일에서 28일까지의 압축강도 발현성상을 나타낸 것으로 양생온도가 높을수록 압축강도가 높게 나타나고 있으며, 재령 3일에서 그 차이가 감소하고 있는 것으로 나타났다. 또한 재령 28일에서 압축강도가 600~800 kgf/cm^{2}를 발현하고 있는 것으로 나타났다.

3.4.3 압축강도-적산온도 관계 검토 및 분석

Fig. 12는 하절기 조기재령에서의 강도예측성능을 검토하기 위하여 물 투입부터 14시간까지의 압축강도-적산온도 관계를 나타낸 것으로 사용된 적산온도는 식 (1)에 의하여 구하였다.

FA5, FA15 모두 동일 적산온도에서 양생온도 30, 40 ℃와 비교하여 양생온도 20 ℃의 경우 적산온도 400 ℃·h 이후에서 높은 압축강도를 나타내고 있다. 이는 Nurse-Saul 함수를 이용한 적산온도가 양생온도 20 ℃의 경우, 양생온도 30, 40 ℃와 비교하여 강도를 과대평가하기 때문으로 사료된다.

따라서, 하절기 적산온도 적용시 양생온도 20 ℃에서의 적산온도에 대한 보완이 필요할 것으로 사료된다.

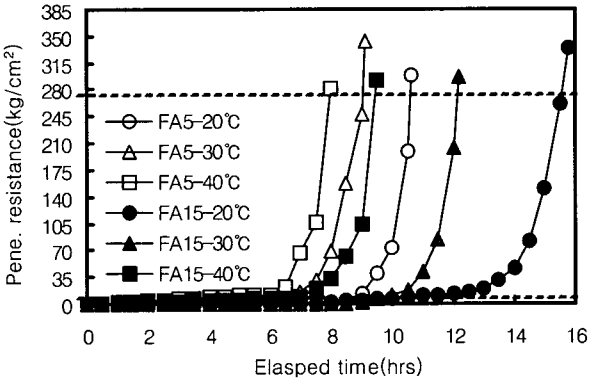

Fig. 9 Variation of penetration resistance

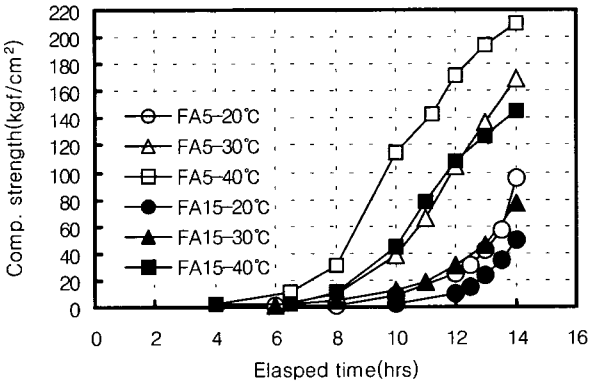

Fig. 10 Variation of compressive strength(initial~14hrs)

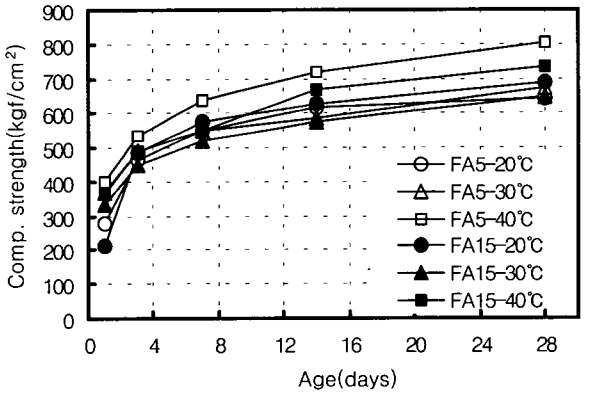

Fig. 11 Variation of compressive strength(14hrs~28days)

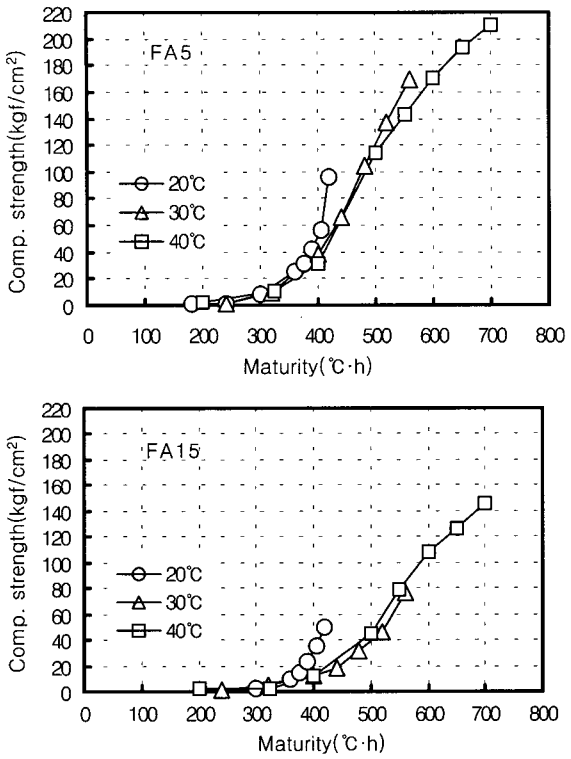

Fig. 12 Relationship between strength and maturity

4. 결 론

양생온도에 따른 고강도콘크리트의 시스템 거푸집 적용을 위한 조기강도 발현성상에 관한 실험적 연구를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 양생온도에 따른 고강도콘크리트의 응결성상 및 조기강도 발현성상은 양생온도 20 ℃와 비교하여 양생온도 15 ℃에서 상대적으로 큰 저하폭을 나타내고 있어 공기단축을 위해서는 동절기 시스템 거푸집 적용시 양생온도 15 ℃ 이상 유지해야 할 것으로 사료된다.

2) 동절기 고강도콘크리트의 응결시간 단축 및 조기강도 확보를 위해서는 플라이애시 대체율의 변화보다는 고성능감수제 종류에 따라 큰 영향을 받는 것으로 나타나 동절기 시스템 거푸집 적용시 공기단축을 위해서는 고성능감수제 사용에 유의해야 할 것으로 사료된다.

3) 하절기 고강도콘크리트의 조기강도 발현성상은 초결도달시점에서 강도발현율이 급격하게 증가하기 시작하는 것으로 나타났으며, 초결도달시간과 유사한 시점에서 압축강도 20 kgf/cm^2 이상의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다.

4) 고강도콘크리트의 강도예측성능 검토 결과 높은 강도예측성 및 압축강도-적산온도 관계를 잘 설명하고 있는 것으로 나타나 적산온도 방식을 이용한 시스템 거푸집 제거 등의 강도관리가 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 충남대학교와 삼성물산(주) 건설부문과 산·학협동에 의해 수행되어진 연구의 일부분임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 삼성물산(주) 건설부문 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 日本建築學會, "高强度コンクリートの技術の現狀," 1991, pp.25~26.
2. 김무한 외, "적산온도 방식에 의한 고강도콘크리트의 강도예측에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권 1호, 1999, 4, pp.385~390.
3. 笠井芳夫, 池田尙治, "コンクリートの試驗方法," 技術書院, 1993, 4, pp.271~273.
4. Nurse, R. W., "Steam Curing of Concrete," *Magazine of Concrete Research*, London, Vol. 1, No. 2, 1949, 6, pp.79~88.
5. Plowman, J. M., "Maturity and the Strength of Soncrete," *Magazine of Concrete Research*, London, Vol. 8, No. 22, 1956, 3, pp.13~22.
6. 一瀨賢一, "若材齡時における高强度コンクリートの力學的性質に關する硏究," 日本コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 22, No. 2, 2000, pp.385~390.

요 약

고강도콘크리트를 시스템 거푸집 공법에 적용하는데 있어 거푸집 탈형시기가 일반 거푸집과 비교하여 상대적으로 빠르기 때문에 공기단축을 위해서는 조기재령에서의 압축강도 발현성상을 파악하는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 양생온도별 배합조건에 따른 고강도콘크리트의 응결성상 및 시스템 거푸집 탈형이 이루어지는 조기재령에서의 압축강도 발현성상을 비교·분석함으로써 실제 건설생산현장에서 고강도콘크리트를 시스템 거푸집공법에 적용하는데 있어 거푸집 탈형시점에 대한 정량적인 판단기준을 확립할 수 있는 기초적 자료를 제시하고자 한다.

본 실험결과 슬립폼 공법을 적용하는데 있어 필수적인 조기강도 확보를 위한 양생온도 범위 및 배합조건을 알 수 있었고, 조기재령에서의 압축강도 발현성상 고찰을 통해 시스템 거푸집 탈형시점을 결정하는데 있어 기초자료를 제시할 수 있었다.

핵심용어 : 고강도콘크리트, 시스템 거푸집, 조기강도, 양생온도