

積算溫度方式에 의한 콘크리트 強度增進解析에 있어 限界溫度範圍의 檢討

An Investigation on the Limit Temperature for Applying Maturity Method in Analyzing Strength Development of Concrete

한 민 철* 전 충 근* 이 건 철* 윤 기 원** 한 천 구***

Han, Min Cheol Jun, Chung Keun Lee, Gun Cheol Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo

Abstract

In this paper, the limit temperature for applying maturity method are discussed. 4 kinds of W/C in combination of 7kinds of curing temperature are selected as experimental parameters. According to the experimental results, high curing temperature and low W/C gain in strength rapidly. And maturity rule can be applied less than 30°C in W/C of 30~60% in the conditions of this experiment.

1. 서 론

콘크리트의 강도는 일반적으로 수분이 충분히 존재하는 환경에서 온도와 재령의 함수인 적산온도에 의하여 표현할 수 있다. 따라서, 많은 연구자들은 이러한 적산온도방식에 의한 강도증진성상의 해석방법으로 일반강도 및 고강도영역과 한중 및 서중조건등에 그 적용성을 다양한 방법으로 검토하여 왔다.¹⁾

그러나 기존의 본연구팀에 의하여 연구된 결과에 따르면¹⁾, 적산온도방식을 적용함에 있어 고강도 영역 및 일부 고온양생조건에서는 일반강도 영역 및 표준양생조건과는 다른 경향을 보이고 있어 적산온도방법의 적용에 부적절함이 제기되는 등 타당성에 다수의 의문이 제기되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 W/C 30~60%의 다양한 양생온도 조건하에서 각각의 변수변화에 따른 콘크리트의 강도증진성상을 파악하므로써 궁극적으로는 정확한 적산온도방식에 의한 콘크리트 강도증진 해석에 있어 한계온도범위를 설정하는 것에 대하여 제안하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 표 1과 같다. 먼저 실험계획으로 W/C는 30~60%의 10%간격으로 4수준으로 하고, 양생온도는 -10°C부터 65°C까지 15°C 간격의 6개 수준으로 한다. 먼저, 실험사항

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사

*** 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

표 1. 실험계획 및 배합사항

W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	양생 온도 (°C)	S/A (%)	AE/C (%)	S·P /C (%)	단위량 (kg/m ³)	용적배합 (ℓ/m ³)		
								C	S	G
30	21±1	4.5±1.5	-10	40	0.075	1.2	184	195	233	348
40			5	37	0.07	0.7	183	145	234	398
50	18±1		20	38	0.12*	-	180	114	253	413
60			35	40	0.11*	-	182	96	276	406
			50							
			65							

* 는 AE감수제를 의미한다

으로 굳지않은 콘크리트의 경우는 목표 슬럼프 및 공기량을 만족하는지 확인하고 경화콘크리트의 경우는 양생온도별로 재령 28일까지의 압축강도를 측정하는 것으로 한다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내 A사의 1종 보통포틀랜드 시멘트 (비중:3.15, F₂₈:352kg/cm²)를 사용하고, 골재로써 굵은 골재는 충북 옥산산 20mm 화강암 부순 돌(비중:2.69, 조립율:6.70)을 사용하며, 잔골재는 충남 병천산 강모래(비중:2.58, 조립

표 2. 혼화제의 물리적 性質

종류	형태	색상	주 성분	비중	표준사용량
AE 감수제	액상	암갈색	나프탈린계	1.14±0.02	시멘트중량의 0.15~0.5%
고성능 감수제	분말	흰색	술폰산 멜라민계	-	시멘트중량의 0.3~1.2%
AE제	액상	암갈색	Synthetic tensides	1.02	시멘트중량의 0.02~0.04%

율:2.43)를 사용하는 것으로 한다. 혼화제로서 AE감수제는 국내산 J사제품을 사용하며 AE제는 국내산 I사의 AE제를 사용하고, 고성능 감수제는 독일 펙스터사의 Melment계를 사용하는데, 그 화학 및 물리적 성질은 표 2와 같다.

2.3 실험방법

먼저, 사용재료로 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 KS F의 표준적인 방법으로 실시한다. 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하는데, 그림 1은 콘크리트의 혼합방법을 나타낸 것이다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프시험은 KS F 2402 규정, 또한, 공기량은 KS F 2421 규정의 공기실 압력법에 의거 측정한다. 공시체 제작으로 압축강도시험용 공시체는 KS F 2403의 방법으로 실험계획된 온도에서 기중양생 후 탈형하여 실험계획된 온도에서 수중양생을 실시한후 소정의 재령에서 KS F 2405의 방법에 의거 실시한다. 단 -10°C의 경우는 초기동해 방지를 위해 5°C에서 3일간 양생후 -10°C의 냉동고에 저장하는 것으로 하는데, 역시 압축강도 시험시에는 20°C의

표 3. 압축강도 측정 적산온도 및 재령

W/C (%)	양생온도 (°C)	압축강도 측정재령(일)					
		6	12	36	-	-	-
30	-10	6	12	36	-	-	-
	5	1	2	6	14	28	-
40	20	1	3	7	14	21	28
50	35	2	4.7	9.3	14	18.7	37.3
60	50	1.5	3.5	7	10.5	14	28
	65	1.2	2.8	5.6	8.4	11.2	22.4

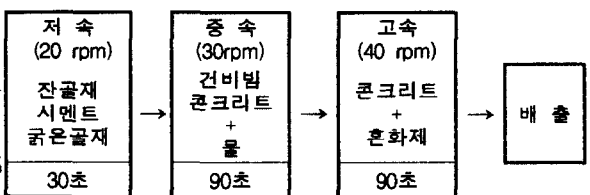


그림 1. 콘크리트의 혼합

수중에서 2~3시간정도 해동한후 측정한다. 참고로 표 3은 양생온도별 압축강도의 측정재령을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 W/C별 양생온도에 따른 강도증진성상

그림 1은 재령경과에 따른 양생온도별 압축강도를 W/C별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 재령 28일까지는 W/C가 낮아질수록 압축강도가 커지는 것으로 나타났다. 양생온도별 강도증진 경향으로는 W/C별로 약간의 차이는 있으나 양생온도 5℃부터 20℃의 경우 유사한 경향을 나타내고 있으나 35℃부터 65℃까지의 경우는 초기에 높은 강도증진을 보이나 재령이 경과함에 따라 강도증진 경향이 둔화됨을 알 수 있다. 이는 초기에 고온으로 촉진된 수화반응에 의하여 생성된 초기의 수화생성물이 시멘트 입자주변에 두껍게 층을 형성하여 더 이상의 수화반응이 진행되지 못하기 때문으로 판단된다.

단, -10℃로 양생한 경우 W/C 50, 60%에서는 재령이 경과하여도 강도의 증진이 아주작은 것으로 나타났으나, W/C 30%에서는 재령이 경과함에 따라 어느정도 강도증진이 나타나고 있다. 이는 콘크리트 내부에 동결되지 않은 미세공극 속의 자유수가 미약하나마 미수화 시멘트와 수화반응을 일으켜 강도가 발휘된 것으로 판단된다. 그런데, 이는 기존의 적산온도 이론에서의 기준온도(Datum temperature)의 개념과는 다르게 나타나고 있어 고강도 범위에서 이부분에 대한 다각적인 검토가 필요함을 시사해 주고 있다.

3.2 W/C별 적산온도 적용의 한계온도범위 검토

표 4는 그림 1을 또다른 각도에서 분석한 것인데, 재령경과에 따른 압축강도 증진을 회귀식으로 유도하여 나타낸 것으로써 각 양생온도별 회귀식의 상관계수는 W/C별로 차이는 있지만 0.95이상의 양호한 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

한편, 각 회귀식에 있어서 회귀계수 a는 콘크리트의 강도증진경향을 나타내는 것으로써 본 연구조건에서 W/C 30%의 경우는 양생온도 5℃에서 가장 높게 나타났고, W/C 40, 50, 60%에서는 20℃에서 가장 높게 나타났다. 이러한 회귀계수 a를 적산온도와 강도증진과의 관계에 적용할 경우 그림 3 및 4의 모식도와 같이 표현할 수 있는데, 즉, 그림의 포물선 정점으로부터 좌측부

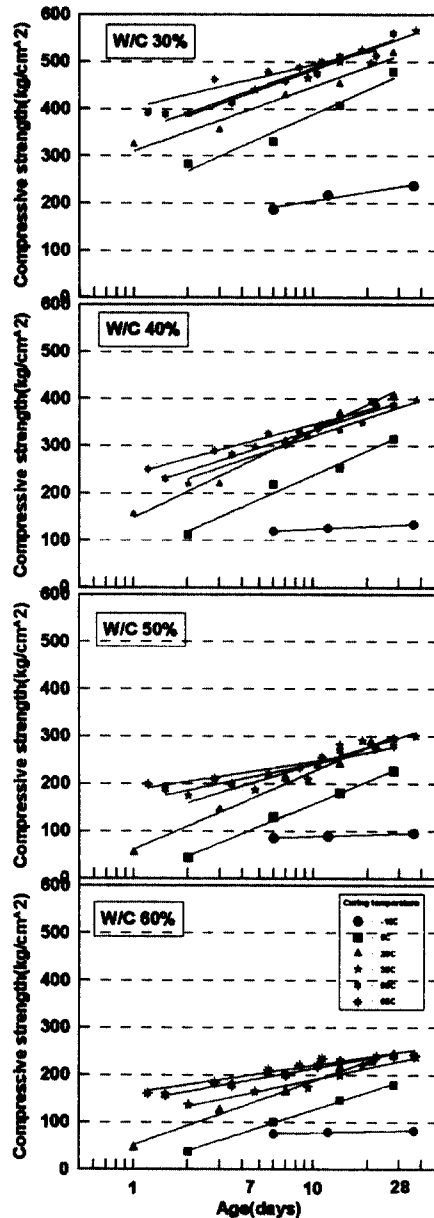


그림 2. 재령경과에 따른 압축강도

표 3. W/C 및 양생온도별 회귀식도출 결과

양생 온도 (°C)	회귀계수 및 상관계수 (Y=logx+b)											
	W/C 30(%)			W/C 40(%)			W/C 50(%)			W/C 60(%)		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
-10	26.94	141.41	0.964	8.27	104.66	0.995	5.57	75.07	0.998	3.79	68.71	0.994
5	74.37	217.54	0.980	64.64	93.09	0.984	61.64	8.44	0.997	48.34	12.05	0.996
20	68.45	298.24	0.991	76.43	158.53	0.991	68.06	70.87	0.968	58.61	52.17	0.985
35	62.36	322.39	0.991	66.78	186.67	0.984	57.61	108.03	0.929	43.62	95.29	0.994
50	52.12	349.79	0.992	54.29	208.74	0.992	34.60	161.71	0.942	30.57	143.39	0.992
65	40.14	400.83	0.960	38.88	257.38	0.984	25.81	193.29	0.987	19.29	177.92	0.964

높은 양생온도가 높아지고, 재령이 경과하여 적산온도가 커짐에 따라 강도가 증가하여 회귀계수 a가 증가하는 구간으로 최소한 이정점까지가 적산온도 적용의 한계범위가 될 수 있다.

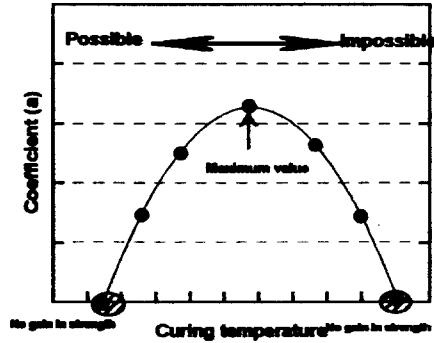


그림 4는 그림 3의 모식도를 이용하여

양생온도변화에 따른 강도증진 계수의 변화경향을 W/C별로 구분하여 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 강도증진계수 a는 W/C별로 약간의 차이는 있지만 양생온도 -20°C 전후부터 증가하여 30°C 정도에서 최대값을 가진 후 70~80°C에서 정지하는 경향으로 나타났다.

한편, W/C별로는 W/C가 작아질수록 강도증진 계수값은 증가하는 경향으로 나타났는데, 각 경우 공히 30°C에서 최대점을 나타내어 W/C 30~60%인 본 연구조건하에서 적산온도 적용의 한계온도는 30°C 전후임을 알 수 있었다.

또한 표 4는 각 W/C별 강도증진의 한계온도 및 피크온도에 대하여 그림 3의 회귀선을 이용하여 구한 것이다. 즉, 각 회귀식에 있어서 적산온도방식에 의한 콘크리트 강도증진 해석의 적용한계 온도범위인 포물선 정점위치값과 표 3의 회귀계수 a가 0이 되는 2개의 점이 존재하는데, 이는 강도증진이 이루어지지 않는 점을 의미하는 것으로서 이중 작은값은 저온에 의하여 강도증진이 이루어지지 않는 점이고 큰값은 강도증진이 1일에서 이미 이루어져 더 이상의 증진이 없는 점을 의미한다.

한편, 각 회귀식을 분석한 결과에 따르면, 강도증진이 이루어지는 범위는 W/C 30%의 경우에는 -25°C부터 80°C이고, W/C 40%, 50%, 60%에서는 약간의 차이는 있으나 -14°C 전후의 범위부터 70°C~75°C의 범위까지이고 그이상의 온도에서는 1일 이후에는 강도증진이 이루어지지 않는 것으로 나타났

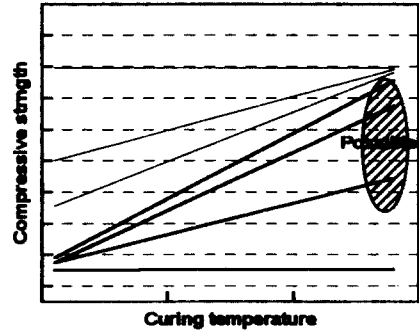


그림 3. 적산온도 개념에 대한 모식도

다.

4. 결 론

본 연구는 W/C30~60% 범위의 콘크리트 강도증진 해석에 있어 적산온도 적용의 한계 온도 범위에 관하여 검토한 결과로써 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 본 연구조건에서 검토된 적산온도 적용의 한계온도는 W/C 30%의 경우 27℃ 정도로 나타났고, W/C 40, 50, 60%의 경우는 28~30℃의 범위로 나타나고 있었다.

2) 재령이 경과하여도 강도증진이 이루어지지 않는 즉, 적산온도의 개념에서 다루어지고 있는 기준온도의 경우는 본 연구조건에서 W/C

30%의 경우는 -25℃ 정도로 나타났고, W/C 40~60%의 범위에서는 -14~-15℃ 정도로 나타나고 있었다.

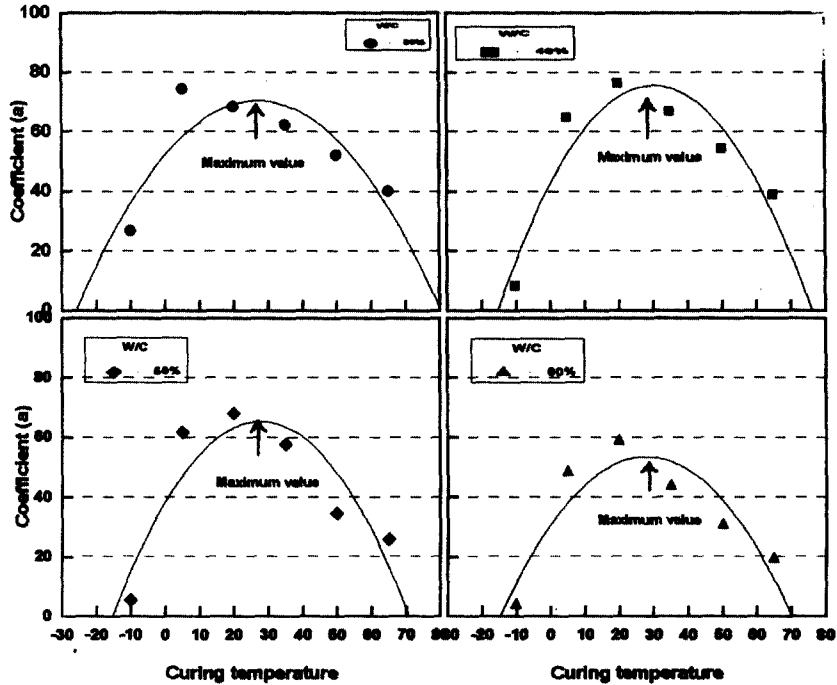


그림 4. W/C별 양생온도변화에 따른 회귀계수와와의 관계

표 4. 회귀계수를 이용한 강도증진한계온도의 산정

W/C (%)	Y=ax ² +bx+c			좌측식에서 y=0이 되는 x (강도증진 없는 온도(℃))		최대점에서의 온도(℃)
	a	b	c	x1	x2	
30	-0.025	1.36	51.93	-25.91	80.49	27.28
40	-0.036	2.20	42.04	-15.27	76.49	30.61
50	-0.035	1.95	38.20	-15.37	71.00	27.81
60	-0.029	1.64	30.61	-14.54	72.58	29.02

참고문헌

1. Cheon. Goo. Han et al. Investigation on the limit temperature of maturity method for analyzing strength development. Proceeding of joint symposium on architectural materials between Japan and Korea, 1997.8.21.
2. A M Neville, Properties of Concrete, Pitman, 1981
3. 暑中コンクリート施工指針・同解説, 日本建築學會, 1992

4. 寒中コンクリート施工指針・同解説, 日本建築學會, 1989
5. 韓千求外3人, 耐寒劑を使用したコンクリートの積算溫度關數式の検討, 自然環境とコンクリート性能に関するシッポジウム論文集, 1993.5
6. 韓千求, 기온과 콘크리트, 한국 전자재시험 연구원, 1996
7. 韓千求의 5인, 부순모래 콘크리트의 配合設計에 관한 實驗的 研究, 콘크리트학회 學術發表 論文集, 제 7권 2호, 1995.11