

강도증진해석에 의한 한중콘크리트의 초기동해 방지기간 설정에 관한 검토

A Review on the Determination of the Protecting Duration of Frost Damage at Early Ages in Cold Weather Concreting Based on the Analysis of Strength Development

한민철^{*} 김효구^{**} 황인성^{**} 윤기원^{***} 한천구^{****}
Han, Min Cheol Kim, Hyo Goo Hwang, In Sung Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo

ABSTRACT

A protections from the frost damage at early ages is one of the serious problems to be considered in cold weather concreting. Frost damage at early ages brings about the harmful influences on the concrete structures such as surface cracks and the loss of strength. Therefore, in this paper, the protecting durations of frost damage at early ages according to the standard specifications provided in KCI(Korean Concrete Institute) are suggested by applying logistic curve, which evaluates the strength development of concrete with maturity. According to the results, as W/C and compressive strength for protecting from frost damages at early ages increased, longer protecting duration is required. It shows that the protecting durations of FAC(Fly Ash Cement) are longer than those of OPC(Ordinary Portland Cement).

1. 서론

최근 건설구조물이 대형화, 고층화됨에 따라 건설공사의 연중시공 활동이 점차로 증가하고 있다. 그런데, 이중 겨울철 한중콘크리트의 시공과 연관하여는 콘크리트 타설 후 응결·경화초기의 동결에 따른 초기동해 발생이 가장 큰 문제점으로 제기되고 있다.

한편, 이러한 초기동해의 방지와 연관하여는 콘크리트 표준시방서(1999년 개정)의 경우 구조물의 물과의 노출조건을 고려한 후 단면의 두께에 따라 소요의 압축강도가 얻어질 때까지로 규정하고 있지만, 단순히 사용 시멘트의 종류별 구조물 노출상태 및 5℃와 10℃ 양생인 경우의 일반적인 소요일수만을 규정해놓고 있는 상황으로 실제적으로 보다 양호한 품질관리를 위하여는 구조체 강도조건 및 예상 양생온도 단계별로 정확한 초기동해 방지기간의 결정이 요구된다.

그러므로, 본 연구에서는 시멘트 종류 및 W/C별 양생온도변화 강도증진을 실험한 후 적산온도에 따른 콘크리트의 강도증진을 해석한 다음, 이를 토대로 하여 시멘트의 종류, 초기동해 방지를 위한 목표강도, W/C 및 양생온도에 따른 콘크리트의 초기동해방지 기간을 설정·제안하므로써 한중콘크리트의 초기동해 방지와 연관한 품질관리에 한 참고자료를 제시하고자 한다.

*정회원, 청주대학교 건축공학부 박사과정

**정회원, 청주대학교 건축공학부 석사과정

***정회원, 주성대학 건설재료공학과 교수, 공학박사

****정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 보통포틀랜드 시멘트(OPC:비중:3.15, F_{28} :346kgf/cm²)는 국내산 S 사제를 사용하고, 플라이애쉬는 충남 보령화력산을 사용하는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다(단, 플라이애쉬를 30% 치환한 조건의 시멘트를 이하 FAC라 칭한다.). 유동성 및 공기량 확보를 위하여 사용되는 혼화제는 표 4와 같다.

골재로써 잔골재는 충남 병천산 강모래(비중:2.58, 조립율:2.43)를 사용하며, 굵은 골재는 충북 괴산산 20mm 화강암 부순돌(비중:2.61, 조립율:6.70)을 사용한다.

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합, 슬럼프, 공기량 시험 및 압축강도시험은 KS 규격에 의거 실시한다. 단, 압축강도 측정재령은 표 5와 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 적산온도에 따른 강도증진해석

본 연구에서 적용한 적산온도식은 식(1)과 같고, 강도증진해석 모델식은 鎌田에 의한 로지스틱 곡선식으로 식(2)와 같다.

$$M = \sum_0^n (\theta + 10) \Delta t \dots \dots \dots (1)$$

여기서, θz : Δt 시간중의 콘크리트온도(°C)
 Δt : 시간(일)

$$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-k \cdot \log M + m)} \dots \dots (2)$$

여기서, F_∞ : 최종도달강도

k, m : 계수

표 1. 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	결합재	3	보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC) 플라이애쉬 C종 시멘트(이하 FAC)
	W/C(%)	3	40, 50, 60
	목표 슬럼프	1	21 ± 1cm (W/C 40%) 18 ± 1cm (W/C 50~60%)
	목표 공기량	1	4.5 ± 1.5(%)
	양생온도(°C)	3	5, 10, 20
시험사항	근지않은 콘크리트	2	슬럼프, 공기량
	경화 콘크리트	1	압축강도

표 2. 콘크리트의 배합표

구분	W/C (%)	S/A (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	W (kg/m ³)	용적배합(ℓ/m ³)			
						C	F.A	S	G
OPC	40	39	0.002	0.84	179	146	-	244	382
	50	39	0.26*	-	182	116	-	256	401
	60	40	0.18*	-	181	96	-	264	414
FAC	40	38	0.003	1.00	178	105	62	231	377
	50	39	0.3*	-	182	81	49	251	392
	60	40	0.4*	-	180	67	40	267	401

*는 AE 감수제를 의미한다.

표 3. 플라이애쉬의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	압축강도비 (%)	SiO ₂ (%)	강열감량 (%)	습분 (%)
2.23	3,519	97	97	3.4	0.3

표 4. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	비중
고성능감수제	술폰산 멜라민계	분말	흰색	-
AE제	Synthetic Tensides	액상	암갈색	1.02
AE 감수제	나프탈렌계	액상	암갈색	1.14 ± 0.02

표 5. 압축강도측정 재령 및 적산온도

W/C(%)	양생온도(°C)	압축강도 측정재령 및 적산온도								
		일	2	6	14	28	42	56	110	182
40	5	일	2	6	14	28	42	56	110	182
		DD	30	90	210	420	630	840	1725	2730
	10	일	1.5	3	4.5	10.5	31.5	42	84	136.5
		DD	30	90	210	420	630	840	1680	2730
60	20	일	1	3	7	14	21	28	56	96
		DD	30	90	210	420	630	840	1680	2730

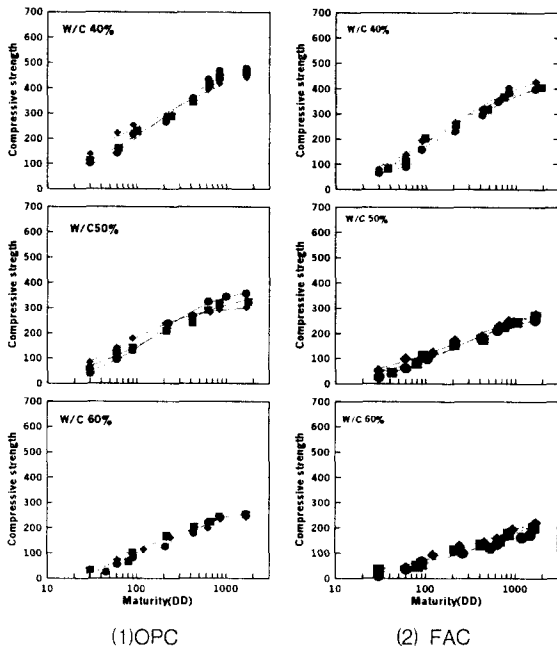


그림 1. 로지스틱곡선식에 의한 콘크리트의 강도증진

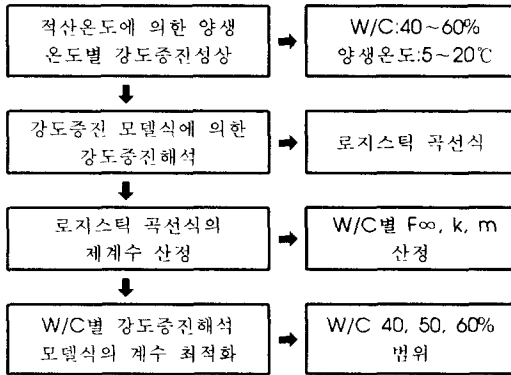


그림 2. 로지스틱 곡선식에 의한 강도증진해석절차

표 7. 심한 기상작용을 받는 콘크리트의 양생종료시의 소요 압축강도(kg/cm²)

단면 구조물의 노출	단면		
	얇은 경우	보통의 경우	두꺼운 경우
(1) 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분	150	120	100
(2) 보통의 노출상태에 있고 (1)에 속하지 않는 부분	50	50	50

표 8은 상기의 절차에 의하여 시멘트 종류를 구분한 다음, 소요압축강도를 발휘하기 위한 W/C 및 예상양생온도별 초기동해방지 일수를 나타낸 것이다. 먼저, 예상양생온도의 구분은 0℃에서 15℃의 3 단계로 하였는데, 현행 콘크리트 표준 시방서상에는 5℃ 이상을 규정하고 있으나, 실제적으로 초기양생

그림 1은 로지스틱 곡선식을 이용한 OPC 및 FAC 콘크리트의 강도증진성상을 나타낸 것이다. 전반적으로 로지스틱 곡선식을 이용한 강도증진 해석의 상관성은 시멘트 종류별로 약간의 차이는 있지만 결정계수 0.95~0.98, 표준오차는 5~25kgf/cm² 정도로 나타나, 실험에 의하여 측정된 값과 로지스틱 곡선식에 의해 예측된 값은 양호한 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

3.2 강도증진해석 모델식의 최적계수 도출

그림 2는 W/C별 강도증진해석 모델식의 최적 계수치를 산정하기 위한 일련의 절차를 도식화한 것이다.

또한, 표 6은 그림2의 절차에 의하여 산정된 로지스틱 곡선식의 계수치를 나타낸 것이다.

3.3 초기동해 방지기간의 설정

표 7은 현행 콘크리트 표준 시방서상의 초기동

표 6. 로지스틱 곡선식에서의 계수값

계수값	OPC			FAC		
	W/C(%)			W/C(%)		
	40	50	60	40	50	60
F _∞	499	379	300	492	382	309
k	2.11	2.31	2.45	1.85	1.87	1.88
m	4.38	5.06	5.51	4.29	4.68	4.94

해 방지에 필요한 소요 압축강도값을 나타낸 것이다. 먼저, 표 7에서 단면의 두께 및 물과의 접촉여부에 따라 구분되어진 강도값을 앞 절에서 최적화된 로지스틱 곡선식에 대입하여 해당강도가 발휘되는 적산온도를 산정한 후, 이를 다시 적산온도식을 변환한 식 (3)을 이용하여 양생온도별로 재령을 산정한 값이 초기동해방지에 필요한 강도를 얻는 소요의 일수가 된다.

$$D = \frac{M}{(\theta + 10)} \dots \dots \dots (3)$$

여기서, D ; 재령, M ; 적산온도, θ ; 양생온도

표 8. 소요의 압축강도를 얻기 위한 재령 및 적산온도

시멘트 종류	소요의 압축강도 (kgf/cm ²)	W/C (%)	소요의 압축강도를 얻을때까지 예상되는 양생온도(°C)			소요의 적산온도 (° DD)
			0≤t<5	5≤t<10	10≤t<15	
OPC	50	40	1.5	1.0	1.0	11
		50	2.5	1.5	1.5	23
		60	4.0	2.5	2.0	39
	100	40	3.0	2.0	1.5	26
		50	4.5	3.5	2.5	56
		60	9.5	6.0	4.5	92
	120	40	3.5	2.5	2.0	34
		50	7.5	5.0	4.0	72
		60	12.5	4.0	6.0	121
	150	40	5.0	3.5	2.5	48
		50	10.5	7.0	5.5	101
		60	18.0	12.0	8.5	177
FAC	50	40	1.5	1.0	1.0	14
		50	3.5	2.0	2.0	31
		60	6.0	4.0	3.0	56
	100	40	4.0	3.0	2.0	38
		50	9.0	6.0	4.5	88
		60	17.5	11.5	9.0	172
	120	40	5.5	3.5	3.0	51
		50	12.5	8.5	6.5	121
		60	24.5	16.5	12.5	243
	150	40	7.5	5.0	4.0	75
		50	19.0	12.5	9.5	186
		60	30.0	26.5	20.0	395

시의 온도는 0°C 이상이 되도록 유지하는 경우가 있으므로 이러한 점을 고려하여 0°C부터 기간을 산정하였다.

산정결과에 따르면, 전반적으로 W/C가 클수록, 소요의 압축강도가 증가할수록 그리고 양생온도 낮아질수록 초기동해 방지기간은 길어지는 것으로 나타났으며, FAC를 사용한 경우는 OPC의 경우보다 더욱길어지는 것을 알 수 있었다.

한편, 50kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 OPC를 사용한 경우 W/C 및 양생온도단계에 따라 약간의 차이는 있지만 1일에서 4일 정도가 소요되는 것으로 나타났고, 100kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 1.5일에서 9.5일 정도이며, 120kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 2일에서 12.5일 정도, 그리고 150 kgf/cm²를 얻기 위한 재령은 2.5일에서 18일 정도로 나타났다. 단, 이는 일본건축학회의 경우와 비교하여 보면 50kg/cm²를 얻기 위한 일수의 경우 W/C 50, 60%에서 OPC는 약 1.5일 정도, 그리고 FAC는 약 1.5~2일 정도 짧은 것으로 나타났으며, 기존의 콘크리트

표준시방서에 비하여 OPC의 경우 50kgf/cm²에서는 약 1일 정도, 120kg/cm²의 경우 1.5~2일 정도 짧아진 것으로 나타났다. 한편, 소요의 압축강도를 얻기 위한 적산온도의 경우는 W/C가 증가할수록, 소요의 압축강도가 증가할수록 그리고 FAC를 사용한 경우에서 커지는 경향으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 적산온도방법을 이용하여 한중콘크리트 시공시 초기동해방지에 요구되는 압축강도를 얻기 위한 기간을 산정하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 로지스틱 곡선식에 의한 강도증진해석의 결과 해석치와 측정치의 결정계수가 0.95~0.98, 그리고 표준오차가 5~20kg/cm² 정도로 양호한 상관성을 보이고 있었다.

2) 적산온도에 의한 강도증진해석에 의하여 초기동해 방지에 요구되는 소요의 압축강도를 얻기 위한 기간 및 적산온도를 산정한 결과는 표 8과 같은데, W/C가 커질수록, 예상 양생온도가 낮을수록, 그리고 FAC를 사용할수록 길어지는 것으로 나타났다.

3) 본 연구에 의한 초기동해방지 기간은 일본건축학회의 경우와 비교하여 보면 50kg/cm²를 얻기 위한 일수의 경우 W/C 50, 60%에서 OPC는 약 1.5일 정도, FAC는 약 1.5~2일 정도 짧은 것으로 나타났고, 기존의 콘크리트 표준시방서에 비하여 OPC의 경우 50kg/cm²에서 약 1일 정도 그리고 120kg/cm²에서 1.5~2일 정도 짧아진 것으로 나타났다.