

내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Effectiveness of Cold Weather Concreting Using Anti-freeze Agent and Insulating Form

김 경 민* 원 철** 김 기 철*** 오 선 교*** 한 천 구****
Kim, Kyoung Min Won, Cheol Kim, Gi Cheol Oh, Sun Kyo Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper presents the effectiveness of cold weather concreting by applying both anti-freeze agent and insulating forms developed through previous study investigating insulating effects on the concrete and the strength gain. According to test results, in -10°C of air temperature, when euroforms are applied, the temperature of plain concrete drops below 0°C and maintains its temperature during early 24 hours. However, when insulating forms are applied, the temperature of concrete keeps $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ during first 24 hours. Insulating forms has better performance on insulating effects than existing euroforms. Concrete containing anti-freeze agent shows temperature rising effects about 1°C compared to plain concrete. Strength gain of core concrete shows higher when insulating forms is applied.

1. 서론

최근 초고층 건물 등과 같은 현대 건축물인 경우는 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 한중콘크리트의 필요성이 중요하게 부각되고 있다. 그런데, 국내에서 한중콘크리트 시공 시 사용되었던 혼화제는 과거 염화물이 주성분인 방동제 이었으나, 염화물량의 제한규정으로 인해 현재는 주로 무염화물형 내한제가 사용되고 있다. 그러나, 이러한 무염화물형 내한제의 경우는 과거의 방동제와 비교하여 염화물이 포함되지 않아 철근 방청상 유리한점이 있지만, 효율저하, 고가 및 신뢰하기 어렵다는 이유로 보온양생 등 부가적인 조치를 강구해야 한다. 또한, 보온양생의 경우에 있어서도 단순히 가열 보온양생에만 의존 하므로써 지나친 공사비의 증가를 초래하는데, 이는 결국 실무현장에서 한중콘크리트 시공을 피하려는 원인 및 부실공사의 원인이 되어왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 선행된 연구에서는 폐부동액을 이용한 내한제의 개발과 기존의 일반 거푸집에 단열재를 보강한 단열거푸집을 개발한 바 있다.

그러므로, 본 연구에서는 선행 연구에서 개발된 내한제와 단열거푸집을 사용하여 한중 환경하에서의 콘크리트에 미치는 단열효과 및 강도증진 특성 등을 분석하므로써 한중콘크리트의 효율적인 시공 방안을 제안하고자 한다.

* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정
** 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정
*** 정회원, (주)선엔지니어링 종합건축사사무소, 공학박사
**** 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 단열거푸집에 부어넣는 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/C는 40% 1수준에 목표 슬럼프 15±1cm, 목표 공기량 4.5±1.5%로 하였고, 내한제 혼입률은 0, 8%의 2수준으로 하였으며, 거푸집 종류는 표 1 및 그림 1과 같이 5수준으로 변화시켜 실험계획하였다.

이때, 실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 적산온도별 압축강도, 거푸집 종류별 콘크리트의 온도이력과 7일 및 28일에서의 코아 압축강도를 측정하도록 실험계획 하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔·굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 20mm 부순 골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3, 4와 같다. 내한제는 선행 연구로 개발된 폐부동액을 이용한 내한제가 사용되었고, 혼화제는 나프탈렌계 AE감수제를 사용하였는데, 각 혼화제의 물리적 성질은 표 5와 같다. 거푸집 재료로 사용한 유로폼용 치장합판 및 단열거푸집용 재료는 국내에서 시판되는 것으로, 그 물리적 성질은 표 6과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였으며, 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421에 의거 실시하였다.

단열거푸집은 표면판 및 단열재 종류별로 그림 1과 같이 거푸집 패널로 조합하여 제작하였고, 단열거푸집 종류에 따른 시험체의 형태는 그림 2에 나타난 것처럼 일반적인 건물 벽체 두께 20cm인 것으로 가정하여 30×30×20cm로 제작하였는데, 이 때 상, 하부 및 측면은 벽체가 연속된다고 가정하여 T=100mm의 스티로폴로 밀봉하였다. 양생조건은 우리나라 겨울철의 매우 열악한 시공 조건을 고려하

표 1 실험계획

실험요인					실험사항	
W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	내한제 혼입률 (%)	거푸집 종류	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
40	15 ±1	4.5 ±1.5	0, 8	· 유로폼 · I: FRP+스티로폴+합판 · II: FRP+아이소핑크+합판 · III: PP+스티로폴+합판 · IV: PP+아이소핑크+합판	· 슬럼프 · 공기량	· 적산온도별 압축강도 (10, 20, 30, 60, 120, 180, 300, 840 D·D) · 온도이력 · 코아 압축강도 (7, 28일)

표 2 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	내한제 혼입률 (%)	용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
40	185	44	0.45	0	147	274	349	463	713	928
				8	147	274	349	463	713	928

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

표 4 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.6	1.94	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

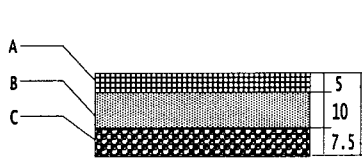
표 5 혼화제의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	주성분	비중 (20℃)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
내한제	진녹색 액상	폐부동액, 분말내한제	1.22	-	6~10
AE 감수제	암갈색 액상	나프탈렌	1.15	25	0.1~1.5

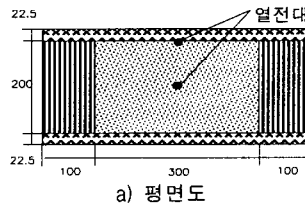
여 -10°C 의 항온조에서 7일 동안 양생하였고, 그 이후는 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 인 수중에서 표준양생 하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 적산온도별 압축강도는 KS F 2405에 의거 실시하였고, 단열거푸집 종류별 내부 온도이력은 시험체의 표면 및 중심부에 온도 측정용 열전대 (T-type)를 매입한 후 Data logger를 사용하여 10분 간격으로 측정하였다. 코아 압축강도는 7일 및 28일에 $\phi 10\times 20\text{cm}$ 로 코어를 채취하여 그 양쪽면을 공시체 연마기로 연마한 후 KS F

표 6 단열거푸집용 재료의 물리적 성질

용도	종류	두께 (mm)	열전도율 (Kcal/mh $^{\circ}\text{C}$)	비중
유로폼	치장합판	7.5	0.14	0.65
단열 거푸집	FRP	5	0.20	1.6
	PP	5	0.03	1
	스티로폼	10	0.031	0.02
	아이소핑크 합판	10	0.0083	0.03
		7.5	0.15	0.65



A : 표면판 B : 단열재 C : 합판
그림 1 단열거푸집 단열재 구성



A : 스티로폼 B : 단열거푸집
C : 콘크리트

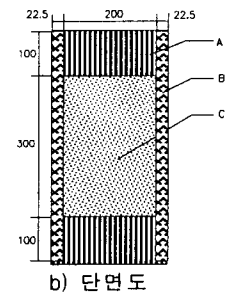


그림 2 단열거푸집별 열전대 위치 및 평·단면도



사진 1 단열 거푸집



사진 2 항온조 내부 모습



사진 3 코아채취 모습

2405에 의거 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

슬럼프 및 공기량은 실험 계획한 $15\pm 1\text{cm}$ 와 $4.5\pm 1\%$ 의 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

(1) 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

그림 3은 로지스틱 모델식을 이용하여 강도증진 해석을 실시한 것이다. 전반적으로 내한제를 혼입한 경

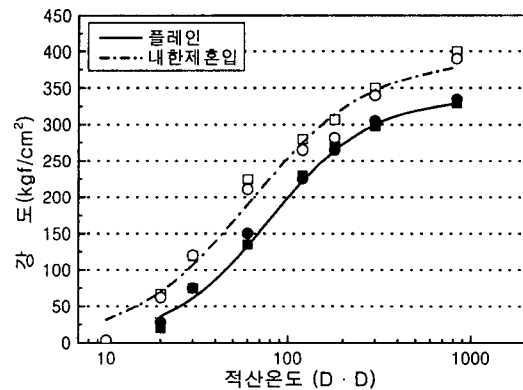


그림 3 플레인 및 내한제를 혼입한 경우의 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

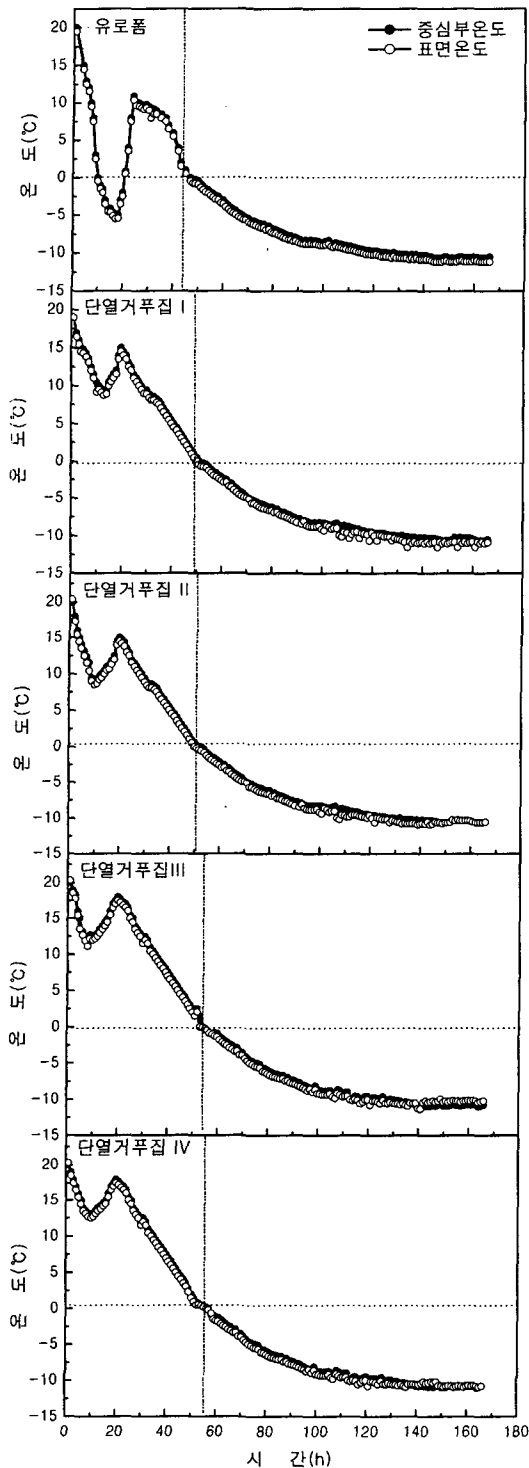


그림 4. 플레인 콘크리트의 거푸집 종류에 따른 온도이력

우가 동일한 적산온도에서 높은 강도값을 갖는 것으로 나타났으며, 플레인 배합과 내한제를 사용한 경우 공히 해석치와 실험치간에 결정계수 0.98이상, 표준편차 20kgf/cm^2 이하의 양호한 상관성을 나타내고 있었다. 표 8은 상기의 해석 결과치를 나타낸 것이다.

표 8. 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C (%)	내한제 혼입률(%)	실험 상수	양생온도		종합	결정 계수	표준 편차
			20℃	5℃			
40	0	F_{∞}	333	342	337	0.983	18.77
		k	3.75	3.43	3.59		
		m	7.2	6.43	6.81		
	8	F_{∞}	392	390	391	0.980	19.44
		k	3.2	2.92	3.0		
		m	5.7	5.3	5.5		

(2) 온도이력

그림 4 및 5는 내한제 혼입률 0과 8%에서 단열 거푸집 종류별 시간 경과에 따른 표면 및 중심부의 콘크리트 온도이력을 나타낸 것이다. 먼저, 거푸집 종류별 온도이력으로 단열제를 사용하지 않은 일반 유로폼의 치장합판인 경우는 시간이 경과함에 따라 콘크리트 내·외부 온도가 급격히 저하하는 것으로 나타났는데, 특히 콘크리트 타설 후 약 10시간 이후부터 0°C 이하로 저하하여 최저 -5.5°C 까지 저하한 후 시멘트의 수화열에 의해 다시 온도가 상승하였으며, 20시간을 전후로 시멘트 수화열에 의한 피크온도를 이루었다. 그 이후 다시 온도가 하강하여 46시간 이후부터는 다시 영하로 저하하였다. 단, 여기에 내한제를 혼입한 경우는 약 1시간 정도 늦게 0°C 이하로 저하하여 최저 -3°C 까지 저하하였는데, 플레인과 비교하면 약 1시간 늦은 시간에서의 영하 온도 및 최저온도 2.5°C 상승한 것으로, 이는 내한제의 초기 응결촉진에 기인한 것으로 분석된다. 따라서, 일반 유로폼인 경우는 초기 24시간 이전에 급속한 온도저하에 의해 0°C 이하의 지속기간이 약 10시간 정도 지속되어 내한제를 사용하지 않았을 경우 초기동해 피해가 발생하였을 것으로 사료된다.

반면, 단열거푸집을 사용한 경우는 콘크리트 내·외부 온도가 초기 24시간 이전에 0°C 이하로 내려가지 않았고, 최저온도가 $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ 로 영상을 유지하므로써, 일반 유로폼과 비교하여 우수한 단열 효과가 있음을 알 수 있었다.

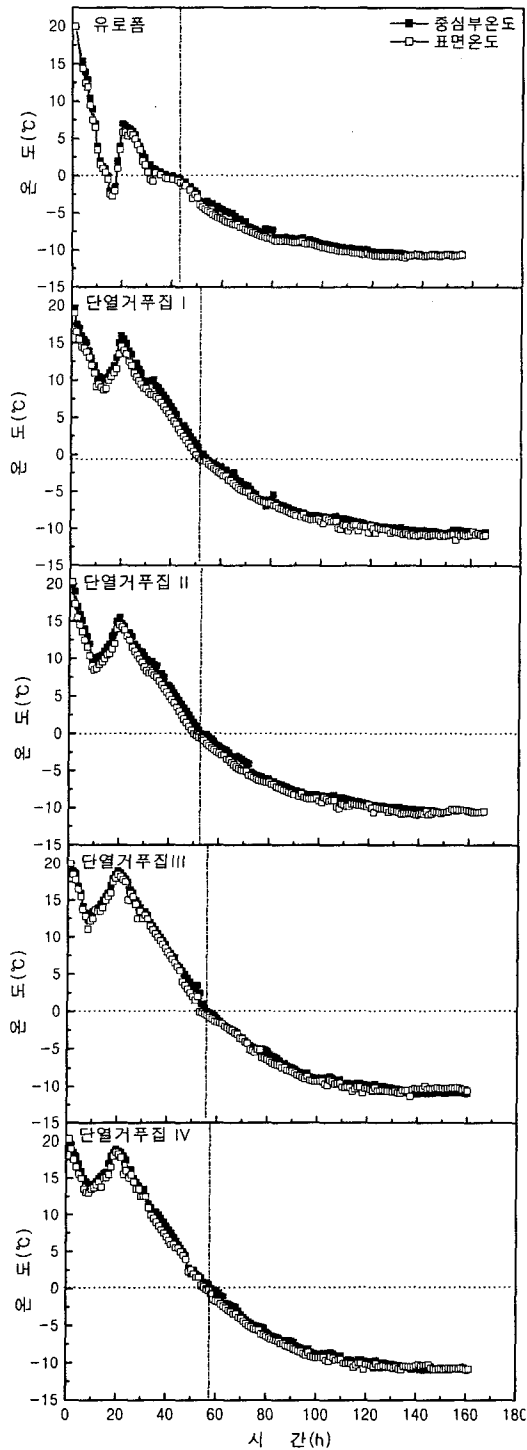


그림 5 내한제 혼입 콘크리트의 거푸집 종류에 따른 온도이력

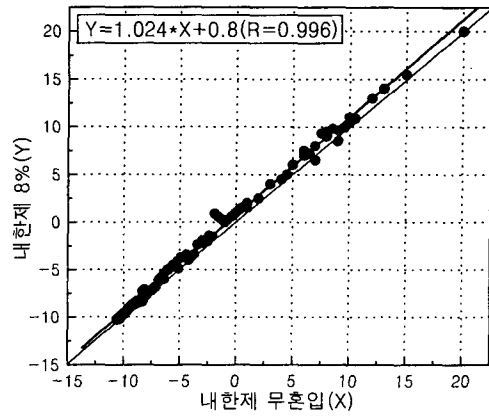


그림 6 플레인 콘크리트와 내한제 혼입 콘크리트의 온도비교

그림 6은 플레인 콘크리트와 내한제 혼입 콘크리트의 온도차를 회귀식으로 나타낸 것으로서, 동일한 조건에서 내한제를 혼입한 경우가 평균 약 1°C정도 상승하는 것으로 나타났다. 그러므로, 한중콘크리트 시공시 단열거푸집과 내한제를 병용한다면 단열거푸집 및 내한제의 효과에 의해 콘크리트의 초기동해를 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 단열거푸집 종류에 따른 24시간(피크온도) 이후 0°C의 도달시간을 보면 IV, III, II, I 순으로 도달시간이 늦어지는 것을 알 수 있는데, 이는 단열거푸집의 단열성능을 평가할 수 있는 것으로 즉, 단열재는 스티로폴 보다 아이소핑크, 표면판은 FRP보다 PP의 경우가 열전도율이 작음에 기인한 결과로 분석된다. 즉, 단열거푸집은 IV, III, II, I 순으로 단열효과가 우수한 것으로 나타났다.

(3) 코아 압축강도

그림 6은 단열거푸집 종류별 내한제 혼입 유무에 따른 7일 및 28일 코아 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저 7일 코아 압축강도에서 유로폼은 다른 단열거푸집과 비교하여 크게 저하하는 것으로 나타났다는데, 이는 초기 24시간 이전에 적산온도 저하 및 콘크리트가 초기동해를 입었기 때문이라고 사료된다. 플레인 콘크리트에 비해 내한제 혼입 콘크리트의 강도는 다소 크게 나타났는데, 이는 내한제를 혼입한 콘크리트의 경우는 초기 응결축진으로 인해 적산온도 증가로 플레인 콘크리트보다 강도가 크게 나타난 것으로 사료된다.

또한, 단열거푸집 중에서도 I, II보다 III, IV의 강

도가 다소 크게 나타났는데, 이는 단열거푸집 종류에 따른 단열효과의 차이에 의한 것으로 분석된다. 28일 코아 압축강도에서도 유로폼을 사용한 경우 여타의 단열거푸집과 비교하여 압축강도가 제일 작은 것으로 나타났는데, 이는 적산온도 저하 및 초기동해로 인한 강도증진 저하에 의한 것으로 분석된다.

그림 7은 플레인과 내한제를 혼입한 콘크리트에서 로지스틱 모델에 의한 해석치와 코아 압축강도 측정치를 비교한 것으로서 먼저 플레인 콘크리트의 경우 단열거푸집을 사용했을 때에는 해석치와 유사하거나 큰 값을 보이고 있으나, 유로폼의 경우는 해석치보다 낮은 강도를 보이고 있었다. 또한 내한제를 혼입한 콘크리트의 경우도 유로폼은 해석치를 크게 밑도는 강도를 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 선행 연구에서 개발된 내한제와 단열거푸집을 사용하여 한중콘크리트에 미치는 단열효과 및 강도증진 특성을 분석함으로써 한중콘크리트의 효율적인 시공 방안을 검토하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 내한제를 8% 혼입한 콘크리트는 플레인 콘크리트보다 빠른 압축강도 및 큰 압축강도 증진을 나타내었고, 거푸집 내에서는 평균 1℃ 정도 높은 온도값을 보였다.

2) 단열거푸집 종류별 내한제 혼입에 따른 콘크리트의 내·외부 온도이력을 측정된 결과, 먼저 플레인 콘크리트의 경우 유로폼의 치장합판일 때에는 초기 24시간 내에 온도가 영하로 내려가 약 10시간 동안 지속되었고, 단열거푸집의 경우에는 초기 24시간 내에 최저온도가 8~13℃로 영상을 유지하므로써, 일반 유로폼과 비교하여 우수한 단열효과임이 밝혀졌다.

3) 단열거푸집 종류별 내한제 혼입에 따른 콘크리트의 7일, 28일 코아 압축강도를 측정된 결과, 일반 유로폼의 치장합판을 사용한 경우보다 단열거푸집을 사용하였을 때 강도증진이 크게 나타났고, 내한제를 혼입한 경우 플레인 콘크리트 보다 특히 초기재령에서 높은 강도를 나타내었다.

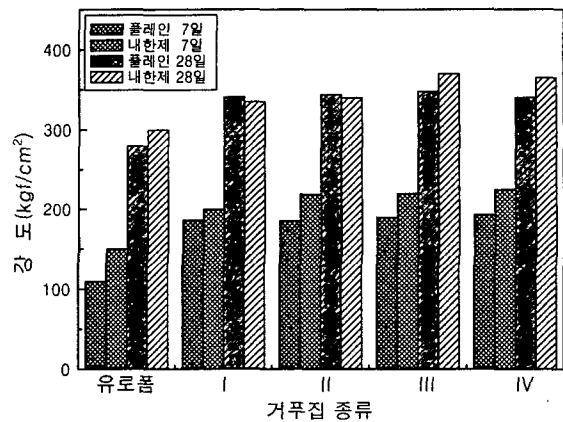


그림 6 거푸집 종류별 내한제 혼입한 경우의 7일, 28일 코아 압축강도 비교

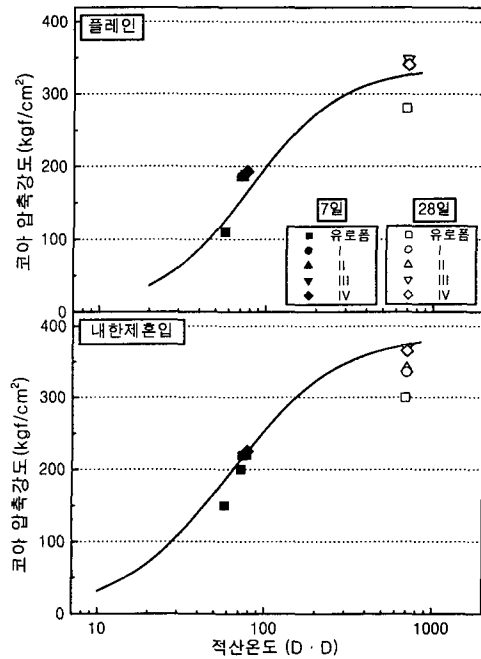


그림 7 로지스틱 모델에 의한 해석치와 코아 압축강도 측정치 비교

참고문헌

1. 韓國建設技術研究院 ; 寒中 및 霜中콘크리트에 관한 研究, 1986
2. 申永千 ; 한중 및 서중콘크리트의 온도양상에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1980
3. 日本建築學會 ; 寒中コン크리트施工指針 · 同解説, 1998