

매스콘크리트의 強度發現

鄭 尙 鎭

〈檀國大學校 建築工學科 助教授 · 工博〉

1. 序 論

最近에 規模가 크고 大型화된 原子力發電所의 施設物, 工場등과 같은 콘크리트 構造物들이 增加하는 추세에 있다. 이에 따라 部材들은 設計, 施工, 品質管理에서 매스콘크리트로 취급되어야 할 것이다. 매스콘크리트는 部材의 斷面이 크기때문에 시멘트의 水和熱이 蓄積되어 콘크리트 內部の 溫度가 上昇한다. 그로 인하여 콘크리트의 強度發現에 지대한 影響을 미치고, 龜裂을 발생시키는 原因이 되기도 한다.

또한 콘크리트 內部的 溫度 上昇은 다른 條件이 동일하다면 部材의 치수가 큰 만큼 높게 된다. JASS 5¹⁾에서는 部材斷面の 最小치수가 80cm이상, 水和熱에 의한 콘크리트 中心 溫度와 表面溫度와의 차이가 25℃이상 예상되는 콘크리트를 매스콘크리트로 規定하고 있다. 지금까지 매스콘크리트의 強度 性狀을 파악할 경우에는 콘크리트 斷面內를 편의상 일정하게 假定하여 水中養生한 콘크리트 공시체의 強度를 채용하여 사용하고 있다. 그러나 시멘트의 水和熱에 의한 溫度上昇은 콘크리트 斷面內의 位置, 시멘트의 種類에 따라 相異하게 되므로, 콘크리트 部材內部的 強度分布를 크게 變化시킬 것으로 추측이 된다.

본 實驗에 관련한 既存의 研究로서, 테스트 피스實驗을 實施한 高野俊介²⁾, J·C Saemann³⁾, 塚山峰⁴⁾은 콘크리트 強度發現과 溫

度依存性の 關係, 즉 콘크리트의 溫度가 낮을 수록 強度增進이 크다고 서술하고 있으며, 地濃茂雄⁵⁾도 PC콘크리트의 物性 파악을 위하여 20℃-90℃ 溫度 範圍에서 실시한 實驗에서 콘크리트 打設 및 初期養生의 溫度가 높을수록 장기 強度에는 불리하다고 기술하고 있다.

한편, 콘크리트의 部材實驗을 실시한 烏田專右⁶⁾, 高橋久雄⁷⁾은 部材의 치수가 크고 打設 溫度가 높은 만큼 強度發現이 적다고 서술하고 있다. 以上の 既存 研究들은 콘크리트의 物性 자체를 파악할 목적으로 실시하였으며, 콘크리트 強度管理面에 중점을 두어 實驗을 하지 아니하였다.

筆者들은, 低溫期에 施工되고 있는 매스콘크리트의 水和熱에 의한 溫度履歷을 예측하고, 그 溫度履歷의 조건하에서 공시체(φ10cm × 20cm)의 強度發現을 檢討하여, 매스콘크리트 強度管理時에 필요한 기초 자료를 얻고자 한다.

2. 實驗概要

본 實驗의 概要는 다음과 같다.

- (1) 매스콘크리트의 溫度履歷을 슈미트(Schmidt)⁸⁾의 方法으로 해석하고, 水和熱에 의한 溫度履歷을 구한다.
- (2) (1)에서 구한 溫度履歷의 조건하에서 養生한 공시체의 強度發現과 水中에서 養

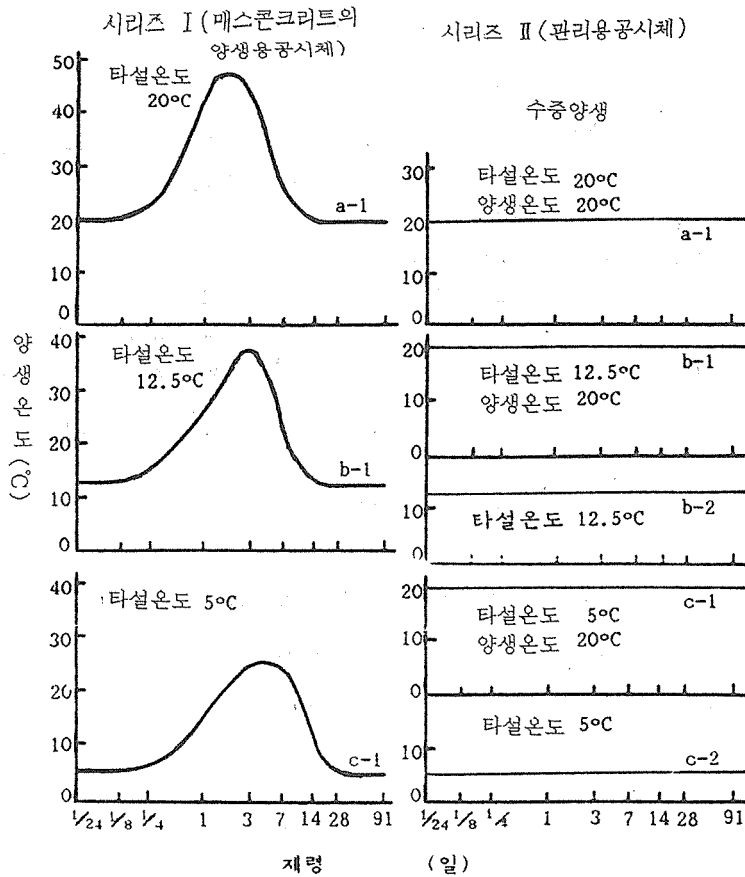


그림 1 콘크리트의 양생온도이력

생한 공시체의 強度發現을 比較하여 檢討한다.

- (3) 공시체의 強度發現과 積算溫度와의 關係로써 마스콘크리트의 強度管理에 對해서 檢討한다.

2. 1 溫度履歷의 條件

슈미트의 方法으로 콘크리트 部材의 溫度履歷을 해석할시에 假定한 條件은 다음과 같다.

- (1) 방열은 두 표면에서만 이루어진다.
- (2) 표면의 熱傳達을 고려하여 실제의 표면으로부터 0.2cm 외측을 假想表面으로 한다.
- (3) 콘크리트의 熱擴散係數를 0.08m/day

로 한다.

- (4) 시멘트 : 플라이애시 시멘트(Flyash cement) B종, 단위 시멘트량 340kg/m³
- (5) 外氣溫度와 打設溫度 : 20°C, 12.5°C, 5°C
- (6) 部材의 두께 : 1m

以上の 條件으로 구한 마스콘크리트의 中心 溫度履歷을 그림 1에서 시리즈 I로 표시하고 있다.

또한 溫度履歷의 養生공시체와 比較하기 위해서, 초기의 水和熱에 의한 溫度履歷이 없는 水中養生의 관리용을 그림 1에서 시리즈 II로 設定 提示하고 있다.

표 1 콘크리트배합

기호	항목 시멘트	공 기 량 (%)	슬 럼 프 (cm)	물 시 멘 트 비 (%)	세 골 재 율 (%)	단 위 량(kg /m ³)							
						물	시멘 트	쇄석 25mm	쇄석 10mm	碎砂	山砂	포졸 리스 8 (f)	AE제 No. 303A (g)
F55	플라이애시	4±1	10±1	55	43	170	309	724	311	517	234	618	34.0
F50	시멘트			50	43	170	310	744	306	538	231	680	37.4
F40	B종			40	42	176	440	686	294	497	213	880	60.5
N50	보통포틀랜드 시멘트			50	44	170	340	701	300	550	236	680	18.7
M50	중용열포틀 랜드시멘트			50	11	170	340	701	300	530	236	680	18.7

표 2. 굳지않은 콘크리트의 성질

기호	항목 온도	슬럼프(cm)			공기량(%)			단위용적중량(g/l)		
		20	12.5	5	20	12.5	5	20	12.5	5
F55		10.5	13.3	13.9	5.0	4.8	4.9	2,325	2,331	2,337
F50		9.5	13.1	14.7	4.7	5.0	4.3	2,322	2,328	2,349
F40		10.7	12.5	15.2	4.5	4.0	4.6	2,334	2,350	2,337
N50		9.1	12.5	14.0	4.2	4.8	4.7	2,364	2,334	2,353
M50		10.7	13.3	15.2	4.1	4.9	4.0	2,358	2,337	2,379

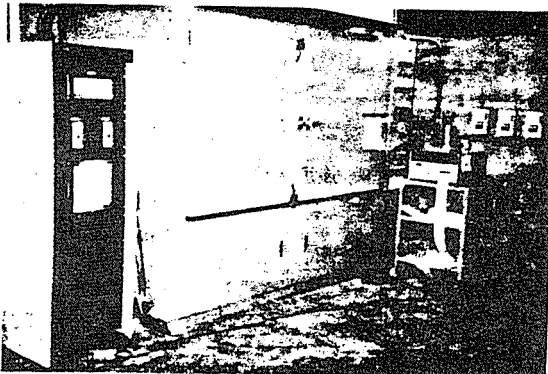


사진 1. 항온항습조



사진 2. 수분방지용 원형관

표 3. 타설온도가 강도에 미치는 영향

재령 (일)	7			14			28			91		
	20	12.5	5	20	12.5	5	20	12.5	5	20	12.5	5
F : 55	191	185	198	221	212	233	283	285	307	404	376	373
F : 50	241	233	239	298	291	282	356	355	357	472	460	438
F : 40	324	303	316	371	366	379	438	446	462	574	568	558
N : 50	301	282	314	379	360	351	434	428	423	496	470	479
M : 50	236	236	237	303	312	320	397	400	406	520	542	518

2. 2 使用材料

시멘트는 플라이애시시멘트 B종(기호, F), 보통 포틀랜드시멘트(기호, N), 중용열 포틀랜드시멘트(기호, M)로 하였다. 골재는 굵은 골재로써 硬質의 碎石(F.M 7.55, 비중 2.64)과 잔골재로서 硬質의 碎砂와 山砂를 혼합한 것(F.M 2.55, 비중 2.64)을 사용하였다. 混和劑는 포졸리스(Pozzolith)산의 遲延型減水劑 NO.8과 空氣連行 調節用的 NO.303A의 AE제를 사용하였다.

2. 3 實驗方法

본 실험은 매스콘크리트를 대상으로 하고 있기 때문에 굳은 비빔으로한 콘크리트 配合를 표1에 나타낸다.

또한 아직 굳지 않은 콘크리트의 性質을 표 2에 표시하고 있다.

공시체는 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 크기로 하여 몰드(Mold)에서 成型한 즉시 비닐로 포장하여 프로그램 컨트롤(Program Control)장치가 부착된 溫度·濕度可變形의 恒溫恒濕槽(사진 1 참조)에 저장하고, 시리즈 I의 溫度履歷으로 7일간 養生하였다.

그 이후는 수분방지를 위하여 銅으로 제작한 원형관(사진 2 참조)에 공시체(매스콘크리트의 養生用 공시체)를 넣어서 前述한 恒溫恒濕槽에서 所定の 재령까지 養生을 계속하였다. 또한 관리용을 캐핑(Capping), 脫形하여 所定の 재령까지 水中에서 공시체(관리용 공시체)를 養生하였다. 實驗은 콘크리트의 強度發現이라는 관점에서 壓縮을 主強度로 채택하였으며, 結果는 3개의 平均値로 표시하였다.

또한 비교용으로 구한 靜彈性係數는 콤푸레소 메타(Compresso-meter)로 測定하였다.

3. 實驗結果와 檢討

3. 1 管理用 공시체의 強度發現

콘크리트 打設후 초기의 水和熱에 의한 溫度上昇이 없는 시리즈 II에 있어서 관리용 공시체의 強度發現은 다음과 같다.

3. 1. 1 打設溫度와 強度와의 關係

打設후의 콘크리트 養生溫度가 20°C인 경우에 打設溫度가 強度에 미치는 影響을 표 3에 나타내고 있다.

표 4. 보통 포틀랜드시멘트를 100으로 한 경우의 강도비

배합	양생		수 중 양 생								
	양생온도(°C)		20			12.5			5		
	재령(일)		7	28	91	7	28	91	7	28	91
N : 50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F : 50	80	82	95	76	84	93	84	87	87	93	93
M : 50	78	91	105	83	99	108	84	88	88	112	112

표에서 알 수 있는 바와 같이, 實驗에서 사용한 小型의 공시체 범위에서는 打設溫度가 強度에 미치는 影響은 거의 없는 것으로 나타났다. 이 결과를 토대로 하여 以下에서 記述하는 實驗結果의 檢討는 打設溫度 20°C, 養生溫度 20°C의 관리용 공시체를 기준으로 하였다.

3. 1. 2 養生溫도와 強度와의 關係

打設溫도와 養生溫도가 동일한 경우의 強度發現을 그림 2에 나타낸다.

이 그림으로 시멘트 種類에 상관없이 養生溫도가 낮은 만큼 強度發現이 늦지만, 材令의 經過에 따라 이러한 경향이 적어짐을 알 수 있다. 또한 재령의 경과에 따른 強度증가는 低溫度인 만큼 현저하여 5°C의 경우는 다른 溫度보다 높은 비율을 보여주고 있다. 이것으로 높은 養生溫도가 장기 強度의 發現에 유리한 要因이 아님을 알 수가 있다.

3. 1. 3 시멘트種類과 強度와의 關係

보통 포틀랜드시멘트를 100으로 하였을 경우에 있어서 각종 시멘트의 強度比를 표 4에 나타내고 있다.

표에 의하면, 養生溫도가 낮은 경우에 中용 열 포틀랜드 시멘트는 약간 증가하고, 플라이 애시시멘트는 조금 低下하는 傾向을 알 수가 있다. 초기 재령에는 다른 2種類의 시멘트가 보통 포틀랜드시멘트보다 強度發現이 작으며, 장기 재령에서는 플라이애시시멘트가 작고, 中용

열 포틀랜드시멘트가 增加됨을 알 수 있다.

재령 28日 強度를 100으로 한 경우의 強度比를 표 5에 나타낸다.

표에 의하면, 재령의 경과에 따른 強度增加率은 커다란 차이를 나타내지 않지만, 打設溫度 5°C에서 中용열 포틀랜드시멘트가 큰 傾向을 보여주고 있다.

3. 2 매스콘크리트의 養生用 공시체의 強度發現

매스콘크리트의 養生用 공시체의 시험결과와 관리용 공시체의 시험결과와의 비교로부터 다음과 같은 傾向을 나타내고 있다.

3. 2. 1 打設溫도와 強度와의 關係

플라이애시시멘트를 사용한 콘크리트의 打設溫도와 재령 2주 이후의 溫度가 동일한 경우에 있어서 20°C 水中養生을 100으로 하였을 때의 強度比를 그림 3에 나타낸다.

이 그림에서 打設溫도가 낮은 만큼 재령 7일의 強度比가 적음을 알 수 있다. 그러나 재령이 경과함에 따라 溫度履歷 차이의 影響이 적어짐을 볼 수 있다. 물시멘트비는 초기 재령에는 強度比에 影響을 주지만 재령이 경과함에 따라 적어지는 傾向을 보여주고 있다. 前述한 傾向들은 보통 포틀랜드시멘트나 中용열 포틀랜드시멘트에서도 동일하게 나타나고 있다. 또한 打設溫度 20°C의 強度比는 재령이 경과함에 따라 낮은 打設溫도의 強度比와 거의 동일한 값이 되고 있다.

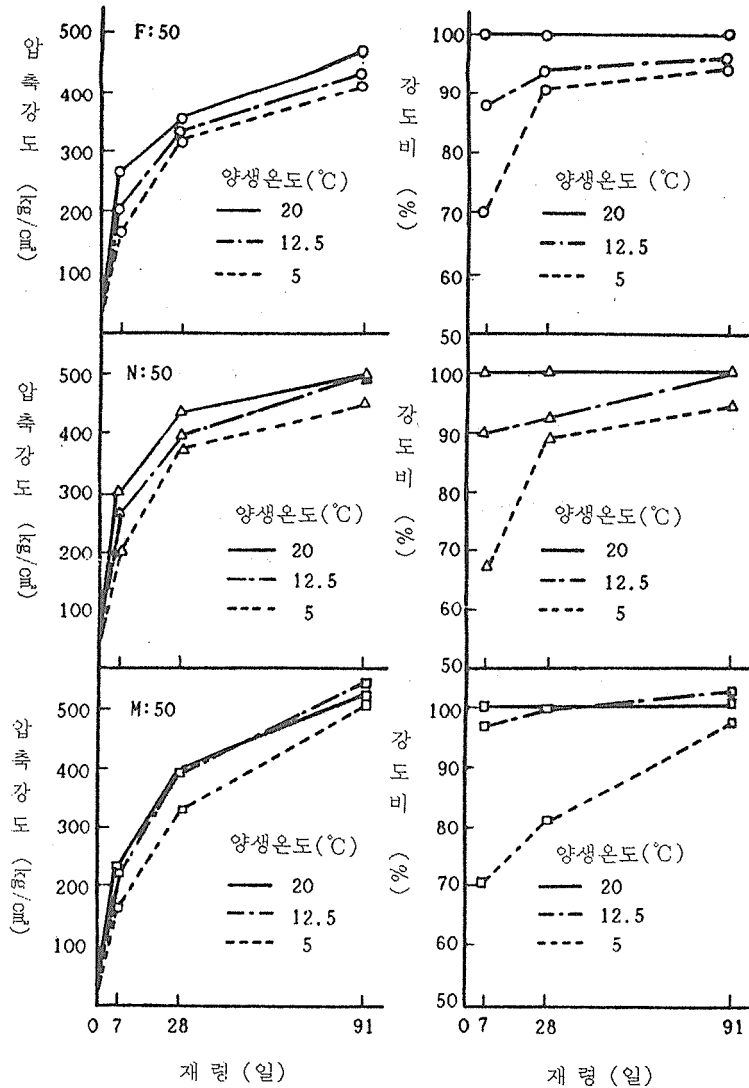


그림 2 양생온도에 의한 압축강도와 강도비

이것은, 초기재령에 받은 溫度上昇의 影響으로 인하여 장기재령의 強度發見이 정지하였기 때문으로 분석된다.

3. 2. 2 養生溫度와 強度와의 關係

재령 28일 強度를 100으로 한 경우의 強度比를 표 6에 나타낸다.

표에 의하면, 보통 포틀랜드시멘트, 플라이애시시멘트, 중용열 포틀랜드시멘트의 순

서로 재령이 경과함에 따라 증가율이 커지고 있다. 또한, 養生溫度가 낮은 만큼 強度比의 증가율이 커짐을 보여주고 있다.

3. 2. 3 시멘트種類와 強度와의 關係

보통 포틀랜드시멘트를 100으로 하였을 경우에 있어서 각종 시멘트의 強度比를 표에 나타낸다.

표 5. 재령 28일 강도를 100으로한 경우의 강도비

온도 재령(일) 배합	20				12.5				5			
	7	14	28	91	7	14	28	91	7	14	28	91
F : 55	83	91	100	117	85	92	100	125	74	92	100	125
F : 50	82	90	100	114	83	89	100	122	75	90	100	123
F : 40	85	94	100	118	84	93	100	119	75	93	100	117
N : 50	85	97	100	107	82	86	100	111	77	90	100	116
M : 50	78	87	100	124	71	87	100	122	65	89	100	131

표 6. 재령 28일 강도를 100으로한 경우의 강도비

양생 배합 재령(일)	수 중 양 생									
	20			12.5			5			
	양생온도(°C)	7	28	91	7	28	91	7	28	91
F : 55		67	100	143	63	100	133	50	100	133
F : 50		67	100	133	61	100	132	51	100	129
F : 40		74	100	131	64	100	127	60	100	132
N : 50		69	100	114	67	100	120	53	100	127
M : 50		59	100	131	58	100	130	51	100	154

이것으로 재령 7일에 있어서 각종 시멘트의 強度發現은 보통 포틀랜드시멘트, 플라이애시 시멘트, 중용열 포틀랜드시멘트의 순서로 작아짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 養生溫度가 낮은 만큼 현저하게 나타나고 있다. 재령 28일의 경우에서도 다른 시멘트는 보통포틀랜드시멘트보다 低下하여서 플라이애시시멘트 7%~14%, 중용열 포틀랜드시멘트 5%~7% 정도의 減少를 보여주고 있다. 재령 91일의 強度發現에서 플라이애시시멘트는 보통 포틀랜드보다 작음에 비하여 중용열 포틀랜드시멘트는 오히려 커지고 있다. 이러한 경향은 관리용 공시체의 경우와 거의 동일하다.

3. 2. 4 靜彈性係數와 壓縮強度와의 關係

壓縮強度와 靜彈性係數와의 關係를 그림 4에 나타낸다.

靜彈性係數는 壓縮強度의 1/3 應力点에 있어서 세컨트 모듈러스(Secant Modulus)로 표시한 것으로서, 시멘트種類에 상관없이 壓縮強度에 의해서 결정된다고 볼 수 있다. 여기서, 實驗에 이용한 공시체는 수분의 증발이 없는 조건이었다. 이러한 경향은 관리용 공시체의 경우에도 거의 동일하게 나타나고 있다.

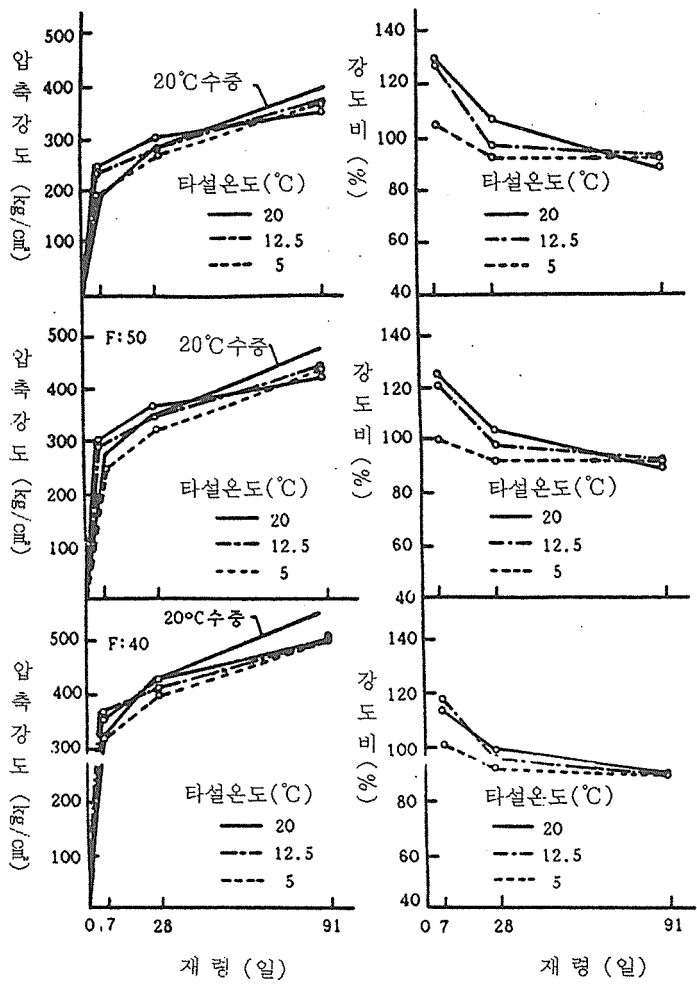


그림 3 타설온도에 의한 압축강도와 강도비

표 7. 보통 포틀랜드시멘트를 100으로한 경우의 강도비

온도 (°C)	20				12.5				5			
	7	14	28	91	7	14	28	91	7	14	28	91
배합	7	14	28	91	7	14	28	91	7	14	28	91
N : 50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F : 50	90	86	93	99	85	89	86	93	85	89	88	93
M : 50	85	84	93	107	83	95	93	104	79	94	95	107

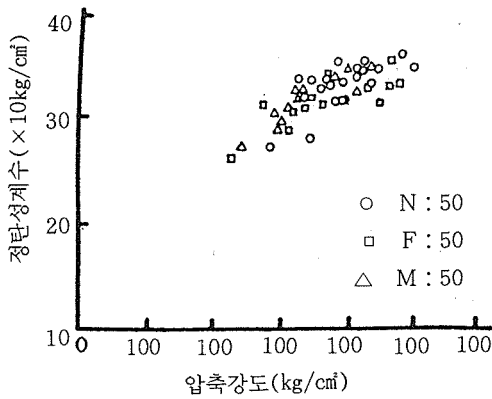


그림 4. 압축강도와 정탄성계수

3. 3 積算溫度

본 實驗에서 채택한 積算溫도의 算定式⁹⁾은

$$M = \sum_{d=1}^d (\theta d + 10) (0D \cdot D)$$
 (여기서, 시간의 단위 day, θd 는 공시체의 養生溫度로서 콘크리트의 中心溫度)에 의거하여 구한 積算溫도를 표8에 나타낸다.

표 8 적산온도

온도이력		재령(일)	7	14	28	91
매스콘크리트의	a	1	324	566	986	2,876
	b	1	280	480	795	2,213
	c	1	201	375	621	1,566
관리용공시체 II	a					
	b	1	210	420	840	2,740
	c					
	b	2	158	315	630	2,047
	c	2	105	210	420	1,365

각종 시멘트의 積算溫도와 強度比(매스콘크리트의 養生用공시체의 壓縮強度/재령 28일

의 관리용 공시체의 壓縮強度)와의 關係를 그림5에 나타낸다.

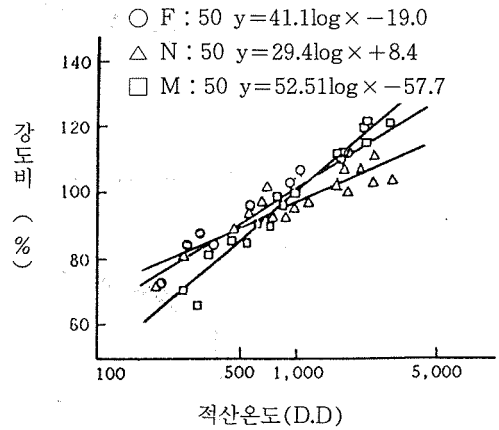


그림 5. 적산온도와 강도비

그림에서 알 수 있는 바와 같이 積算溫도와 強度比와의 關係는 직선관계로 표시할 수 있으므로 積算溫도를 구함에 따라 매스콘크리트部材의 強度를 추정할 수 있을 것으로 사료된다. 물시멘트비에 의한 積算溫도와 壓縮強度와의 關係를 그림 6에 나타낸다.

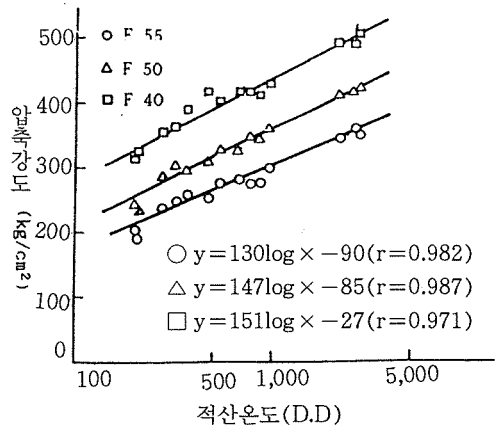


그림 6. 적산온도와 압축강도

물시멘트비가 적은 만큼 積算溫도의 影響이 커지는 것을 볼 수 있다.

3. 4 平均養生溫度

재령 28일까지 매스콘크리트의 養生用 공시체의 溫度를 養生期間으로 평균한 경우에 있어서의 平均養生溫도와 強度差와의 關係를 그림 7에 나타낸다.

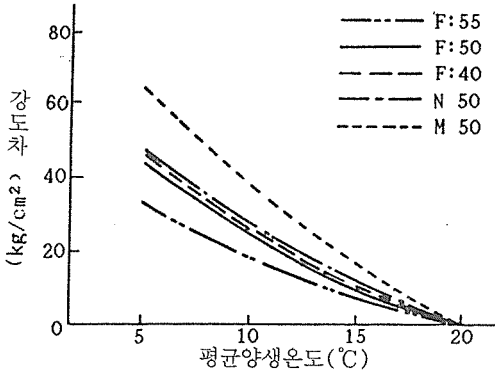


그림 7. 평균양생온도와 강도차

이것은 그림 5에서 표시한 회귀식으로 구한 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 재령 28일에서 強度管理를 할 경우에는 그림에서 표시한 정도의 強度補正이 필요하다고 추정할 수 있다.

4. 結 論

매스콘크리트의 強度管理에 필요한 자료를 얻기 위하여, 매스콘크리트의 溫度履歷의 조건으로 養生한 공시체와 水中養生한 공시체의 強度發現을 비교검토했던 결과, 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 매스콘크리트의 溫度履歷으로 養生한 콘크리트 공시체의 強度는 水中養生한 공시체의 強度보다 初期에는 增加하고, 장 기에는 低下한다.
- (2) 水分條件이 동일하다면 靜彈性係數는 壓縮強度에 의해서 결정된다.

(3) 매스콘크리트에서도 積算溫도와 壓縮強度, 靜彈性係數사이에는 直線關係에 있다.

(4) 低溫期에 시공되고 있는 매스콘크리트는 強度를 補正할 必要性이 있고, 強度를 補正할 시에는 積算溫度를 이용할 수 있다.

<참 고 문 헌>

1. 日本建築學會, “建築工事標準仕様書・同解説 JASS5鐵筋 콘크리트工事 1979.
2. 高野俊介, “打ち込み溫度か” マスコンクリートの強度, に及ぼす 影響の研究” 土木學會論文報告集, 第26號, 1955. 5
3. J.C Saemann, “Variation of Mortar and Concrete Properties with Temperature”, Journal of ACI No. 54, 1957.
4. 塚山降一, “マツシブな鐵筋 콘크리트の溫度 上昇なうびに溫度ひびねれに關する基礎研究”. 東京大學博士學位論文 1982.
5. 地濃茂雄, “コンクリートの 凝結硬化及び 強度發現性狀に及ぼす 溫度履歷條件 の 影響”, 東京工業大學博士學位論文, 1982.
6. 鳥田專右, “水和熱 による溫度上昇 を經た 콘크리트コアの性質”, 日本建築學會大會梗概集, 1968.10.
7. 高橋久雄, “マスコンクリートの 品質管理上の 問題點の檢討”, セメント・コンクリート, 1982. 5.
8. 塚山降一, “コンクリートの斷熱溫度上昇 推定”, セメント技術年報, Vol 30, 昭和51年.
9. 岡田 清外 1人, “コンクリート工學ハントブック”, 朝倉書店, 1981年.