

양생온도 이력이 콘크리트 강도발현에 미치는 영향

The Effects of Curing Temperature History on Concrete Strength Development



고훈범*

Ko, Hune-Bum



양은익**

Yang, Eun-Ik



음성우***

Eum, Seong-Woo

ABSTRACT

The effects of the curing temperature history on concrete compressive strength development were examined with water cement ratios of 0.60, 0.45 and 0.26. Compressive strength tests were executed in specimen cured at constant temperatures of 5, 10, 20, 30, 40, and 50°C and also at varying temperature history at early age due to hydration heat. Test results were evaluated by using the Maturity Concept to estimate the effect of curing age, w/c, and temperature on strength.

For constant curing temperature cases, the lower w/c was used, the higher strength was developed. For every case except for the 50°C, as the curing temperature increased, the strength was developed during the first week of curing. For varying curing temperature cases, the development of strength was strongly dependent on w/c ratio. Also, the temperature affected strongly the development of strength during the first week. However, after first week, the curing temperature influenced little the development of strength.

Saul-Bergstrom and Ooi function in the Maturity Concept were used to simulate the test results. Especially, the Saul-Bergstrom function showed small deviation from the measurements. However, both functions showed higher values than test results in higher maturity. This implies that further studies of maturity functions are recommended to assess the development of ultimate strength properly.

Keywords : Strength development, Curing temperature history, Heat of hydration, Maturity, High-strength concrete

* 정회원, 인하공업전문대학 건축과

** 정회원, 한국해양연구소

*** 정회원, 건설기술교육원

·본 논문에 대한 토의를 1999년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 1999년 4월 호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 연구목적

최근 콘크리트 구조물의 대형화, 고층화가 진행됨에 따라 고강도 콘크리트에 대한 관심과 수요가 높아지고 있다. 고강도 콘크리트의 경우 단위시멘트량이 많아 초기재령에서의 수화발열이 증가되며 부재크기가 클수록 온도상승은 커져 부재내부에서는 초기재령에서 고온도이력을 받는다. 이와 같은 수화열에 의해 초기재령시에 고온도이력을 경험하는 콘크리트는 일반적으로 초기강도는 촉진되지만 장기강도발현은 저해 받는 경향이 있다. 또한 이러한 고온이력을 경험한 경우에는 부재내부와 표면부와의 온도차, 최고온도로 부터 외기온과 평행할 때 까지의 온도강하량이 원인이 되어 온도응력이 잔류하고 균열발생을 촉진시킬 수 있다. 결과적으로 이 온도균열은 수밀성저하 및 철근부식 등 내구성상의 문제와 구조물전체의 강도저하 등을 일으킬 수 있다.

현재 콘크리트 구조체의 강도는 KS F 2403, 2405의 규정에 따라 추정되고 있으나 실제적으로 공시체와 구조체의 온도이력이 다르기 때문에 이 공시체의 강도로서 구조체의 콘크리트 강도를 평가하고 구조물의 품질을 관리하는 것은 부적절하다고 할 수 있다. 따라서 온도이력을 받은 콘크리트 구조물이 소정의 구조성능을 만족하고 소요품질 및 내구성확보를 위해서는 콘크리트 구조물 내부 온도이력에 따른 발현강도를 합리적으로 정도 높게 평가하는 방법이 필요하다.

콘크리트 강도를 평가하는 하나의 방법으로서 Maturity라고 하는 개념이 사용되어 왔으며 이것은 콘크리트 경화에 대한 물리량으로서 정의되어진다. Maturity에 대해서는 많은 제안과 실험이 수행되었으며 이로 인하여 콘크리트 강도발현 성향의 평가에 대한 정확도도 많이 향상되었다. 그러나 이러한 기존의 Maturity법칙을 고강도 콘크리트에 적용하는 경우나 장기재령에서도 적절하게 강도를 평가할 수 있는가에 대한 실험적 검토는 아직까지 매우 부족하다고 할 수 있다.

이 연구에서는 보통강도를 포함한 고강도 콘크리트에 대하여 항온양생과 변동온도 양생이력을 경험케 하여 양생온도가 콘크리트 강도에 미치는

영향을 평가하고자 하였다. 또한 강도평가방법인 기존의 Maturity개념을 도입하여 콘크리트 강도평가에 미치는 온도이력과 물시멘트비의 영향을 평가하고 장기강도 예측에 대한 적용성을 분석하였다.

2. 항온양생 실험

2.1 배합 및 공시체의 제작

실험에는 보통강도(N), 고강도(H), 초고강도(S) 콘크리트를 제작하기 위하여 물시멘트비 60, 45, 26%인 배합을 선택하였다. 선택된 배합은 Table 1과 같다. 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 조골재는 최대입경이 10mm인 쇄석을 사용하였다. 세골재는 강모래와 호수모래의 혼합사를 사용하였다. 혼화제는 고성능 AE감수제를 물시멘트비 26%인 배합에만 사용하였다.

시멘트 및 혼화제는 20℃로 유지되는 항온실에 보관된 것을 사용하였으며 배합은 10리터용량의 확산혼합형 중력식믹서를 이용하여 실시하였다. 배합시간은 배합종류에 따라 30초에서 120초사이에서 결정하였으며 콘크리트의 콘시스턴시를 측정하기 위하여 슬럼프시험대신에 플로우시험을 실시하였다. 공시체형틀에 콘크리트는 2회로 나누어 타설하였으며 다짐은 다짐봉을 이용하여 각 25회, 진동대를 이용하여 배합종류에 따라 30~60초를 할애하였다. 타설시의 콘크리트 온도는 w/c=60, 45%인 경우 24℃, w/c=26%인 경우 28℃을 나타내었으며 플로우값은 18cm(60%), 13cm(45%), 14cm(26%)를 나타내었다.

이 실험에서는 공시체의 크기를 $\phi 5 \times 10$ cm로 정하였으며, 공시체의 크기가 작으면 온도축열용량이 작아서 콘크리트 타설직후 양생수조에서 양

Table 1 Mix proportions of concrete

Mix Name	Unit Content (kg/m ³)				W/C (%)	Air (%)	Ad (%)
	W	C	S	G			
N	212	353	840	840	60.0	4.0	0.0
H	190	422	840	840	45.0	4.0	0.0
S	177	682	784	784	26.0	2.0	3.5

생시킬 경우 수화열에 의한 온도상승을 방지하고 양생수온과 동일하게 될 때까지의 시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 압축강도에 대한 변동은 크게 나타날 수 있다고 예상되어 실린더의 크기에 따른 강도차이에 대하여 실험으로 확인한 결과 크기 차이에 의한 압축강도 보정은 필요하지 않다는 결론을 얻을 수 있었다. 공시체는 물시멘트비(60,45,26%)에 따라 각 72개(4채령 × 6양생조건(5,10,20,30,40,50℃) × 3개), 총 216개를 제작하였다.

2.2 양생

실험변수인 양생온도 조건은 6종류(5,10,20,30,40,50℃)로서 콘크리트 타설후 압축강도시험시까지 일정한 온도로 공시체를 양생하였다. 양생은 실제 부재내의 조건과 가까운 봉합양생을 하였으며 공시체 전체에 일정한 양생온도가 유지될 수 있도록 온도조절 수조를 사용하였다. 봉합양생은 콘크리트 타설직후 스폰지로 포장하고 비닐백에 넣어 봉합하는 방법으로 이루어졌다.

채령 3일,7일에 압축강도시험을 행한 공시체는 탈형후 바로 시험을 실시하였으며 채령 28일,91일에 압축강도시험을 행한 공시체는 채령 7일에 탈형하고 다시 에어쿠션과 비닐백으로 봉합하

Table 2 Results of compressive strength test

W/C (%)	Age (day)	Curing Temperature(°C)					
		5	10	20	30	40	50
60	3	73	96	149	220	218	220
	7	150	203	206	260	281	286
	28	272	294	294	329	317	324
	91	345	383	377	401	356	346
45	3	182	230	325	350	393	385
	7	303	365	391	401	438	416
	28	495	488	553	517	518	533
	91	559	600	586	586	605	496
26	3	410	490	669	697	694	688
	7	571	642	690	781	786	765
	28	784	824	867	905	924	881
	91	838	899	928	1006	1012	933

여 시험채령까지 정하여진 소정의 온도로 양생을 실시하였다.

2.3 실험결과

압축강도시험은 3일, 7일, 28일, 91일의 채령에서 실시하였으며 재하면은 자동연마기로 연마하였다. 압축강도 시험결과를 나타내면 Table 2와 같다.

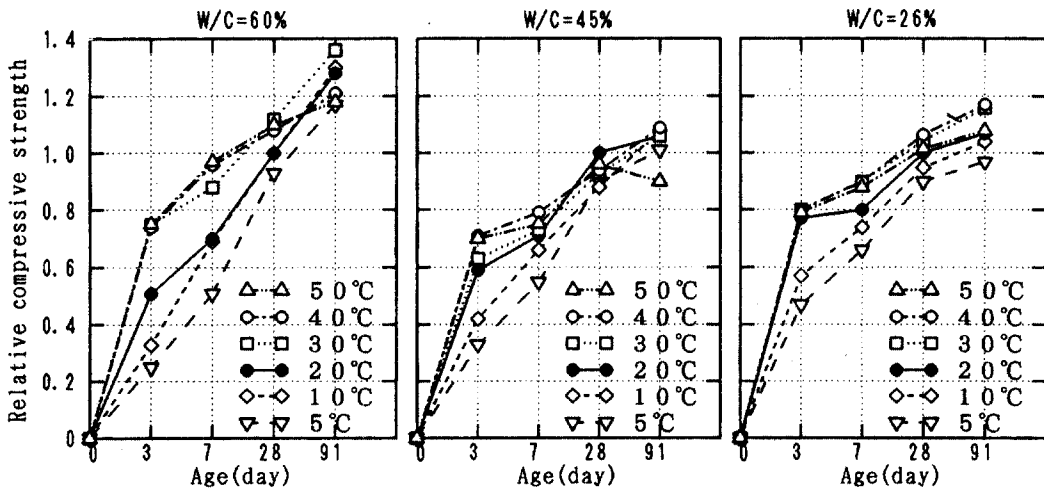


Fig.1 Effect of w/c on strength of concrete

2.4 실험결과 검토

Fig.1은 강도발현성향에 미치는 각 양생온도의 영향을 물시멘트비에 따라 나타낸 것으로 가로축은 시험재령을 세로축은 20℃의 양생조건인 재령 28일 압축강도와와의 비를 의미한다. $w/c=60\%$ 인 경우 양생온도가 높을수록 재령 28일까지의 강도발현이 크게 나타나는 경향이 있으나 재령 28일 이후에는 그 경향이 없어지며 양생온도가 낮을수록 강도발현구배가 크게 되는 경향을 보여주고 있다. 그리고 재령 3일, 7일에서 양생온도 50℃인 경우가 최고강도를 보여주고 있으며 재령 28일, 91일에서는 양생온도 30℃인 경우가 최고강도를 나타내고 있다. $w/c=45\%$ 인 경우 양생온도 50℃인 경우를 제외하고 양생온도가 높을수록 재령 7일까지의 강도발현은 크게 나타나고 있으나 재령 7일 이후에는 그러한 경향이 없어지고 있다. 그리고 재령 28일을 제외한 모든 재령에서 양생온도 40℃인 경우가 최고강도를 나타내고 있다. $w/c=26\%$ 인 경우 양생온도 50℃인 경우를 제외하고 전체적으로 양생온도가 높을수록 강도는 높게 나타나는 경향을 보여주고 있으며 양생온도에 의한 재령 7일 이후의 강도발현구배는 일정한 값을 가리키고 있다. 그리고 각 재령에서 양생온도 30℃, 40℃인 경우가 전체적으로 높은 강도를 나타내고 있다.

이러한 결과를 종합해 보면 물시멘트비가 낮을수록 초기재령에서의 강도발현은 높게 나타나며 양생온도 50℃인 경우를 제외하고 재령 7일까지 강도발현은 양생온도가 높을수록 강도발현은 크게 나타나고 있다. 결과적으로 양생 온도 50℃인 경우의 강도발현은 다른 양생온도의 경우와 조금 다른 경향을 보여주고 있으며 콘크리트의 강도발현에 유해한 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig.2는 같은 실험결과를 이용하여 강도발현성향에 미치는 양생온도의 영향을 압축강도와 양생온도로 표현한 것이다. 전체적인 경향으로서 $w/c=60\%$ 인 경우 재령 3일에서의 압축강도는 양생온도 30℃까지 온도가 높을수록 높은 값을 보여주고 있으나 30℃이상에서는 거의 차이가 보이지 않는다.

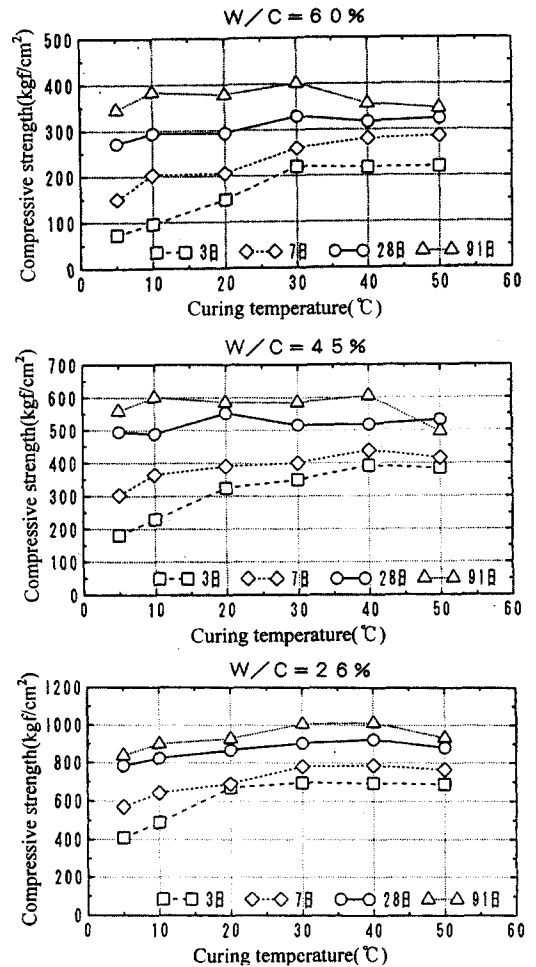


Fig.2 Effect of curing temperature on strength of concrete

7일 이후의 재령에서는 온도가 낮을수록 강도증가는 크게 나타나며 40℃, 50℃인 높은 양생 온도에서는 강도증가가 둔화되는 경향을 보여주고 있다. $w/c=45\%$, 26%인 경우에도 마찬가지로 온도가 낮을수록 재령에 따른 강도증가율이 큰 경향을 나타낸다. 그러나, 28일 이후부터는 온도상승에 따른 압축강도 증가가 크지 않으며, 재령 91일 까지의 압축강도는 $w/c=60\%$ 인 경우 양생온도 30℃에서, $w/c=45\%$, 26%인 경우 양생온도 40℃에서 가장 높게 나타나는 경향을 보여주고 있다.

3. 변동온도양생 실험

3.1 배합 및 공시체의 제작

실험에 사용된 배합은 항온양생 실험에서 사용된 배합과 동일한 Table 1의 배합을 사용하였다. 전체적으로 타설시의 콘크리트 온도는 w/c=60%인 경우 17~20℃, 45%인 경우 17~21℃, w/c=26%인 경우 20~24℃, 플로우값은 13~18cm(60%), 13~14cm(45%), 11~13cm(26%)로 나타났다.

공시체의 크기는 항온 양생실험시와 같은 크기인 $\Phi 5 \times 10$ cm이다. 공시체는 변동온도 이력중 최고온도(40, 50, 60, 70℃) 및 물시멘트비(60, 45, 26%)에 따라 각 36개를 제작하여 결과적으로 3종류의 물시멘트비와 4종류의 최고온도에 따라 총 432개를 제작하였다.

3.2 양생

실험변수인 양생온도조건은 수화열에 의한 초기온도이력을 모델화한 변동온도양생이며 이러한 변동온도의 이력은 여러종류의 부재단면에 대하여 온도해석을 실시한 결과를 참고로 하여 Fig.3 과 같이 결정하였다. 일반적으로 콘크리트 부재는 타설 이후 초기에는 수화열에 의한 변동온도 이력을 나타내다가 일정재령 이후에는 외기온과 같아지는 경향을 보여주므로 양생수조온도는 재령 7일까지는 변동온도이력을 7일 이후에는 항온이 되도록 가정하였다. 구체적으로 타설온도는 20℃로 공통이며 타설후 3일까지는 최고온도 T1

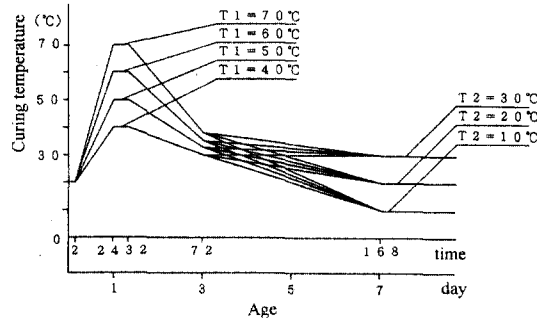


Fig.3 Varying temperature curing

(4종류 : 40, 50, 60, 70℃)으로, 7일 이후는 T2(3종류 : 10, 20, 30℃)가 되도록 12종류의 온도이력을 양생조건으로 정하였다. 또한 배치간 강도보정을 위해 20℃의 항온양생도 실시하였다. 1종류의 T1에 대한 3종류 T2의 변동온도양생을 위해서 컴퓨터로 제어되고 제어오차가 1℃인 온도제어수조가 이용되었으며 20℃ 항온양생 조건에는 항온항습실이 사용되었다. 공시체의 양생방법은 항온양생 실험과 동일한 봉합양생을 하였다. Fig.4는 자동온도제어 수조에 대한 양생온도제어 매커니즘을 나타낸 것이다.

3.3 실험결과

압축강도시험 재령과 시험방법은 항온양생 실험과 동일하며, Table 3에 압축강도시험결과를 나타내었다. Table 3의 결과값은 20℃로 항온양생한 재령 28일 강도에 대한 비율을 나타낸 것으로 배치간의 보정도 이루어진 값이다.

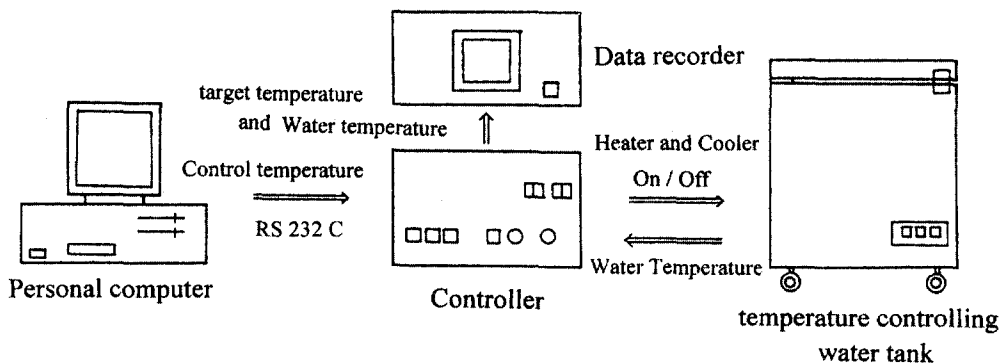


Fig.4 Control mechanism of curing temperature

Table 3 Results of Compressive Strength Test(Relative Compressive Strength)

No.	T1 (°C)	T2 (°C)	Water Cement Ratio(%)											
			60				45				26			
			Age(day)				Age(day)				Age(day)			
			3	7	28	91	3	7	28	91	3	7	28	91
1	70	10	-	0.75	0.82	0.95	0.64	0.76	0.90	1.00	0.85	0.89	1.01	1.09
		20	0.67	0.70	0.85	1.03	0.64	0.84	0.97	1.03	0.85	0.90	1.00	1.13
		30	-	0.81	0.92	1.08	0.64	0.79	0.98	1.00	0.85	0.94	1.10	1.27
2	60	20	-	0.66	1.00 (365)	-	-	0.76	1.00 (516)	-	-	0.78	1.00 (807)	-
		10	-	0.79	0.95	1.13	0.82	0.92	0.85	1.09	0.83	0.83	0.94	1.06
		20	0.70	0.81	0.91	1.09	0.82	0.85	0.95	1.15	0.83	0.92	0.98	1.13
3	50	30	-	0.77	0.98	1.13	0.82	0.87	1.06	1.20	0.83	0.90	1.07	1.16
		20	-	0.68	1.00 (365)	-	-	0.73	1.00 (516)	-	-	0.79	1.00 (807)	-
		10	-	0.78	0.92	1.17	0.82	0.86	0.96	1.03	0.78	0.86	0.86	1.00
4	40	20	0.76	0.79	0.99	1.16	0.82	0.83	1.00	1.10	0.78	0.87	0.95	1.11
		30	-	0.81	0.97	1.22	0.82	0.83	1.12	1.22	0.78	0.80	1.02	1.23
		20	-	0.70	1.00 (365)	-	-	0.76	1.00 (516)	-	-	0.68	1.00 (807)	-
4	20	10	-	0.73	0.84	1.05	0.74	0.75	0.89	0.99	0.72	0.85	0.97	1.08
		20	0.67	0.73	0.92	1.20	0.74	0.79	0.98	1.12	0.72	0.88	1.04	1.15
		30	-	0.74	0.89	1.14	0.74	0.86	1.03	1.17	0.72	0.91	1.06	1.37
20	-	-	1.00 (365)	1.40	-	-	1.00 (516)	1.34	-	-	1.00 (807)	1.16		

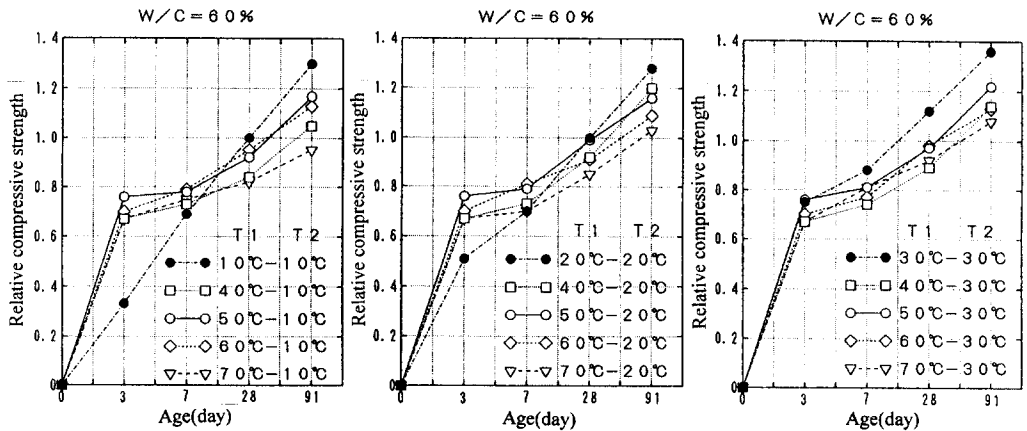


Fig.5 Effect of T1(w/c=60%)

3.4 실험결과 검토

변동온도 양생조건에 의한 강도발현 과정을 Table 2의 항온양생실험 결과(●)와 함께 Fig.5 Fig.7에 나타내었다. 압축강도비는 20°C로 항온 양생한 재령 28일 강도에 대한 비를 나타낸다. T1은 콘크리트 타설 후 1주일간의 변동온도 양

생조건(최대양생온도)을 의미하며 T2는 콘크리트 타설 후 1주일 이후의 항온 양생조건을 의미한다. Fig.5에 나타난 결과에 따르면 초기 양생온도가 높은 경우에 초기강도는 증가하지만 장기강도의 증진현상은 둔화하며, 이러한 현상은 온도차이가 클수록 현저하게 나타난다. 또한 초기재령에서의 강도증가는 양생온도에 크게 의존되지만

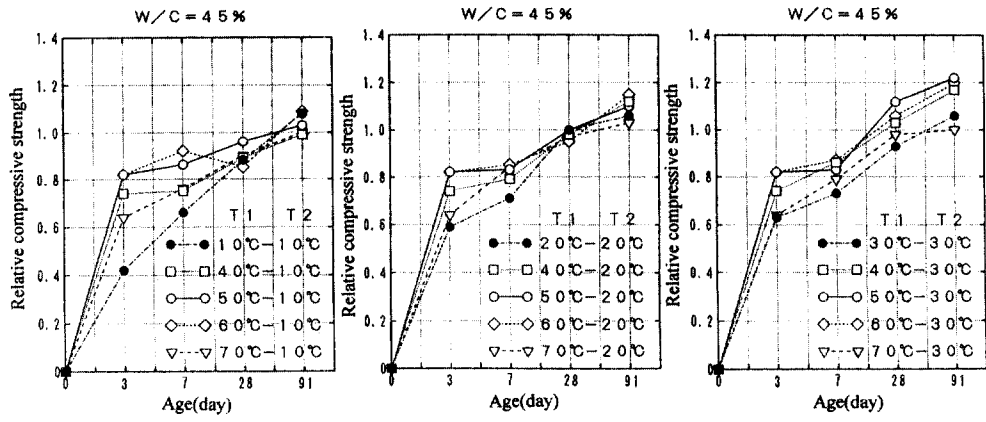


Fig.6 Effect of T1(w/c=45%)

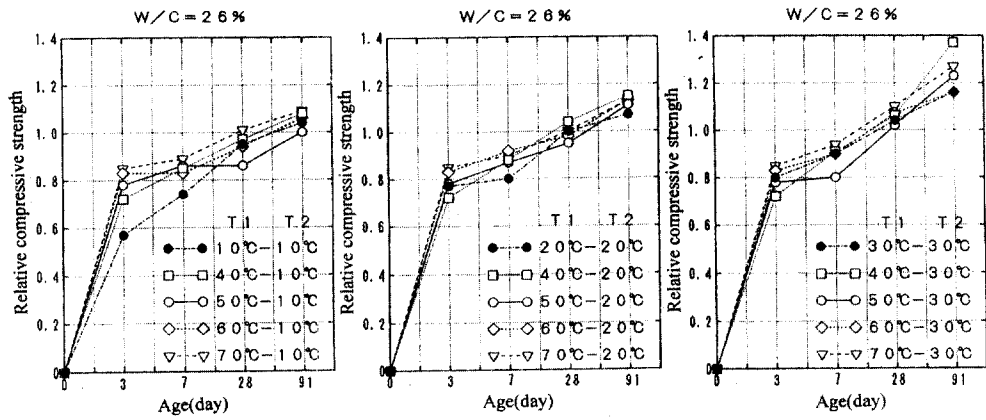


Fig.7 Effect of T1(w/c=22%)

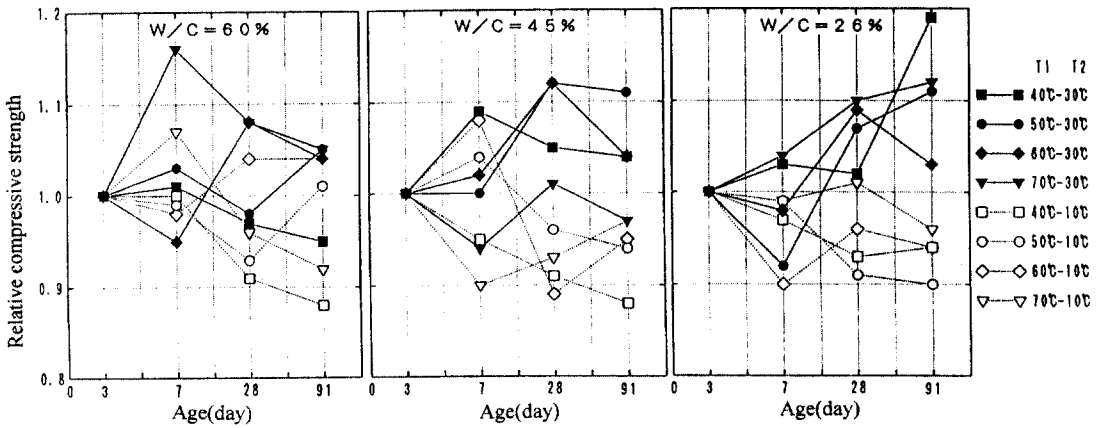


Fig.8 Effect of T2

비례적 관계를 갖는 것은 아니며 너무 높은 양생 온도에서는 초기강도가 저하하는 한계 양생온도가 존재함을 보이고 있다.

한편 $w/c=45\%$ 인 Fig.6의 결과를 살펴보면 $w/c=60\%$ 인 경우와 동일한 경향을 나타내어 강도발현이 양생온도에 크게 의존하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 초기 고온양생으로 인하여 발생하는 장기강도 저하가 둔화되는 경향을 나타내고 있다. 특히 T1과 T2의 온도차이가 작을수록 변동이력에 의한 강도 감소 현상이 적어져 T2가 30℃인 경우에는 전 재령에서 변동온도 양생한 콘크리트의 강도가 항온양생한 경우를 상회하고 있다. 즉 물시멘트비가 낮아짐에 따라 초기 고온양생에 의한 장기강도 저하 효과가 작아지고 있음을 알 수 있다. 또한 물시멘트비 감소에 따라 한계 양생온도가 높아져 $w/c=45\%$ 에서는 T1=60℃인 경우까지 온도 증가에 따라 초기강도가 증가되는 결과를 보여주었다. Fig.7의 $w/c=26\%$ 인 경우에는 물시멘트비 저하에 따른 효과가 더욱 현저하게 나타나 고온양생일수록 초기강도가 증가하였으며 전체적으로 변동온도 양생한 콘크리트의 강도가 항온양생한 경우에 비하여 크게 되는 것을 알 수 있으며 T1과 T2의 차이에 의한 효과가 더욱 뚜렷하게 나타났다.

콘크리트 타설 1주일 이후의 양생온도가 강도발현에 미치는 영향을 검토하기 위하여 동일한 T1에 대한 압축강도 변화를 Fig.8에 나타내었다. Fig.8의 상대강도는 T2=20℃인 경우의 각 재령별 강도에 대한 비율을 나타내고 있다. Fig.8에서 알 수 있는 바와 같이 T2온도가 높을수록 강도발현이 크며 이러한 경향은 $w/c=45\%$, 26%에서 뚜렷하게 나타났다. 즉 물시멘트비가 낮을수록 T2온도의 강도발현에 미치는 영향이 커짐을 보여준다. 그러나 전체적인 콘크리트 강도의 온도 의존성 결과를 분석해 보면 1주일 이후의 양생온도 영향은 1주까지의 양생온도이력 영향에 비교하여 2차적인 것으로 판단된다.

4. Maturity개념을 통한 분석

4.1 Maturity함수

시험에 의하지 않고 재령과 온도와의 함수로서 콘크리트의 강도를 예측하려고 하는 연구가 이전부터 많이 이루어져 왔으며, 그 수학적 함수를 Maturity라고 표현해 왔다. 즉 Maturity라고 하는 것은 콘크리트 경화와 깊은 관계를 갖는 하나의 물리량으로서 정의되어지는 것으로 콘크리트의 수화량을 나타내는 일종의 변환이라고 할 수 있으며 콘크리트의 온도이력을 시간축에 대해 적분한 것으로 표현한다.

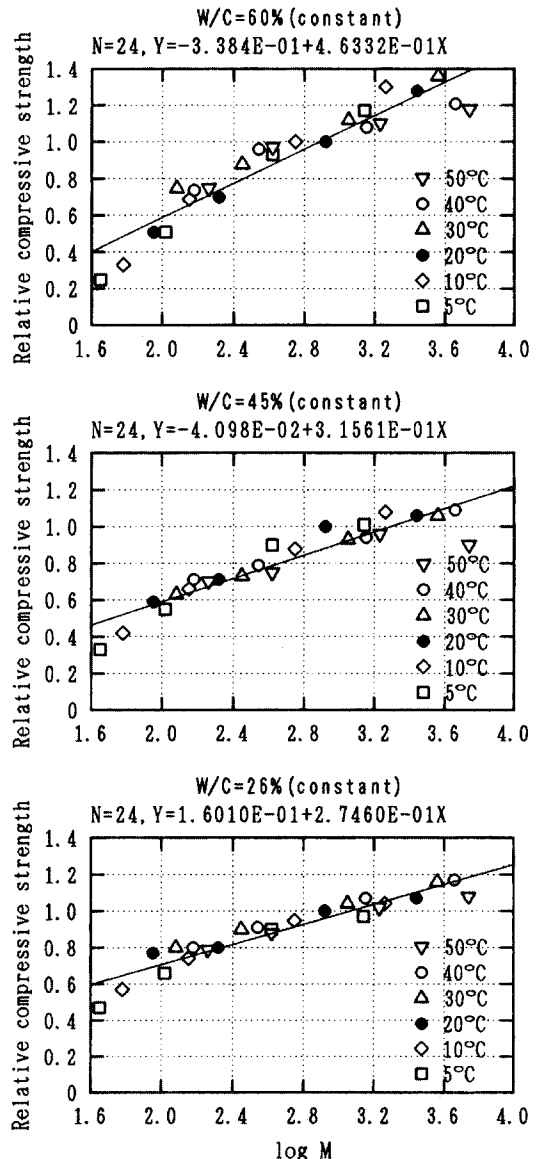


Fig.9 Relation between strength and maturity

Maturity는 일반적으로 다음식으로 정의된다.⁽¹⁾

$$M = \int_T^0 f[\theta(t)] dt \quad (1)$$

여기에서 M은 Maturity를 나타내며 θ 는 양생온도, t는 시간을 가리킨다. 그리고 T는 재령을 의미하며 $f(\theta)$ 는 Maturity함수를 나타낸다. 이러한 Maturity의 개념은 1940년대에 당시 증기양생 콘크리트와 한중콘크리트의 연구에서 처음으로 등장한 것으로 Maturity에 대한 개념에 대해서는 지금까지 여러 각도에서 연구되고 있다.^{(2)~(10)}

4.2 항온양생 실험결과에 대한 검토

Fig.9는 실험결과를 Saul-Bergstrom의 Maturity 대수^{(2),(3)}에 대하여 나타낸 것으로 세로축은 압축강도를 20℃ 항온양생한 재령 28일 압축강도에 대한 비로 나타내고 있다.

전체적인 경향으로서 기존의 연구에서도 보여지는 바와 같이 Maturity가 클수록 강도와 Maturity와의 상관 관계는 옳고 있으며 물시멘트비에 따른 적합성의 차이는 거의 보이지 않는다. 그리고 같은 크기의 Maturity에서는 양생온도가 높을수록 발현강도는 작게 나타나고 있다.

Fig.10, Fig.11은 Plowman이 제시한 압축강도와 Maturity 직선관계식($S = a + b \log M$)⁽⁸⁾에

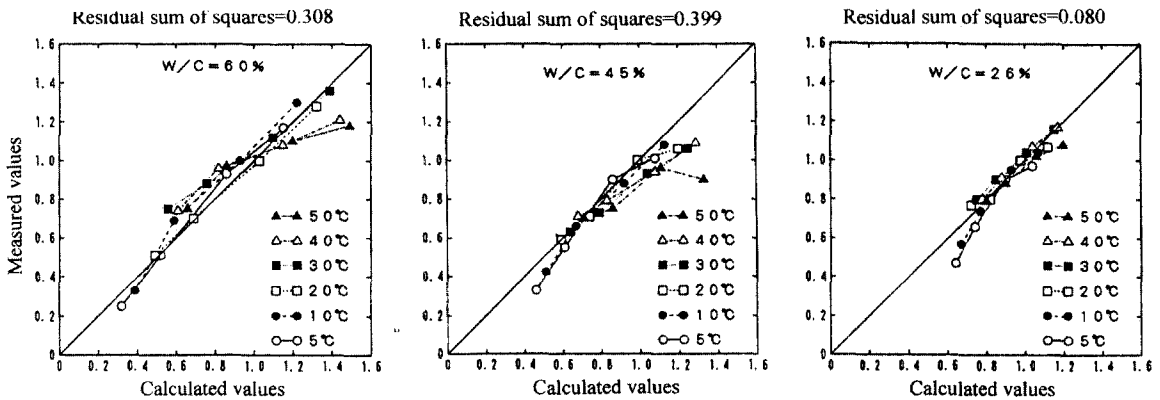


Fig.10 Comparison between calculated and measured values(Saul-Bergstrom)

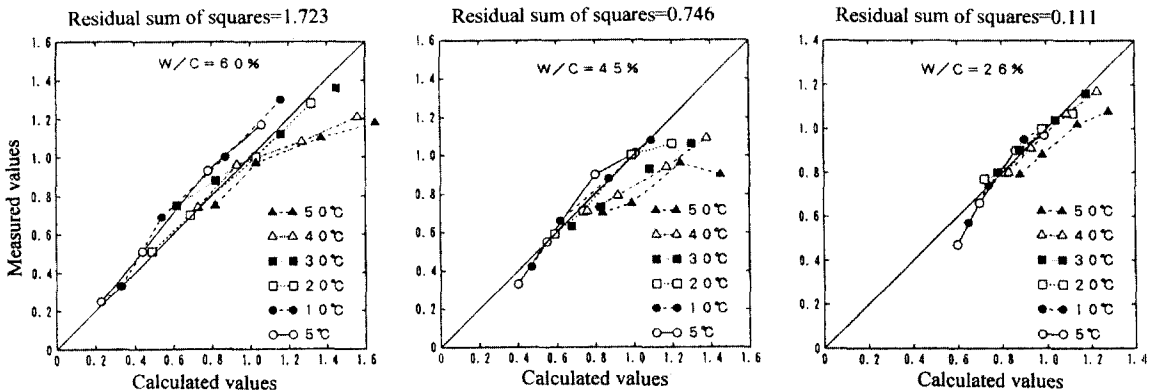


Fig.11 Comparison between calculated and measured values(Ooi)

각각 Saul-Bergstrom의 함수($M=(\theta+10)\Delta t$)와 Ooi의 Maturity함수($f(\theta)=\beta(\theta+10)$, $\beta=0.0003(\theta+10)^2+0.006(\theta+10)+0.55$)⁽¹⁰⁾를 가지고 계산한 계산값과 항온 양생실험 결과값과의 비교를 나타내었다. Fig.10의 Saul-Bergstrom의 Maturity인 경우 물시멘트비에 관계없이 Maturity가 작은 경우에는 계산값이 실험값보다 높으며 w/c=60%, 45%에서는 Maturity가 클수록 또한 양생온도가 높을수록 계산값이 크게 평가되어 있다. 그리고 물시멘트비가 낮을수록 전체적으로 계산값과 실험값의 차가 적어지는 경향을 관찰할 수 있다.

Fig.11에서 Ooi의 Maturity인 경우 w/c=60%에서는 Maturity가 작은 경우 계산값과 실험값이 거의 일치하고 있지만 물시멘트비가 낮을수록 계산값이 높게 나타난다. 그리고 물시멘트비에 관계없이 Maturity가 큰 경우에는 계산값이 크게 나타나고 있으며 양생온도에 의한 차가 두드러진다.

이상의 결과로 부터 Maturity가 작은 경우를 제외하면 전체적으로 Saul-Bergstrom식에 의한 경우가 실험값과의 차이가 작고 물시멘트비가 낮은 26%에서는 실험값을 잘 평가하고 있다. 이것은 실험값을 평가할 때 Ooi함수의 온도효과보정은 Maturity가 작은 경우에는 유효한 것처럼 보이지만 Maturity가 큰 경우에는 불리하게 작용하기 때문이라고 판단된다. 그러나 두식 모두 Maturity가 큰 경우에는 계산에 의한 값과 실험값과의 차이가 크게 나타나고 있어 Maturity의 특성이라고 할 수 있는 장기재령시의 강도평가는 가능하지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 변동온도 양생실험결과에 대한 검토

Fig.12는 20℃ 항온양생한 재령28일 강도와 비와 Maturity의 관계를 나타낸다. Maturity는 4.6의 항온양생 실험결과에 대한 검토에서 사용한 Saul-Bergstrom의제안을채용하였다. w/c=60%의 경우 Maturity가 작은 초기재령과 비교하여 장기재령에 있어서의 강도 변동은 크게 나타나는데 이것은 초기온도이력이 장기재령에서의 강도발현에 미치는 영향이 반영

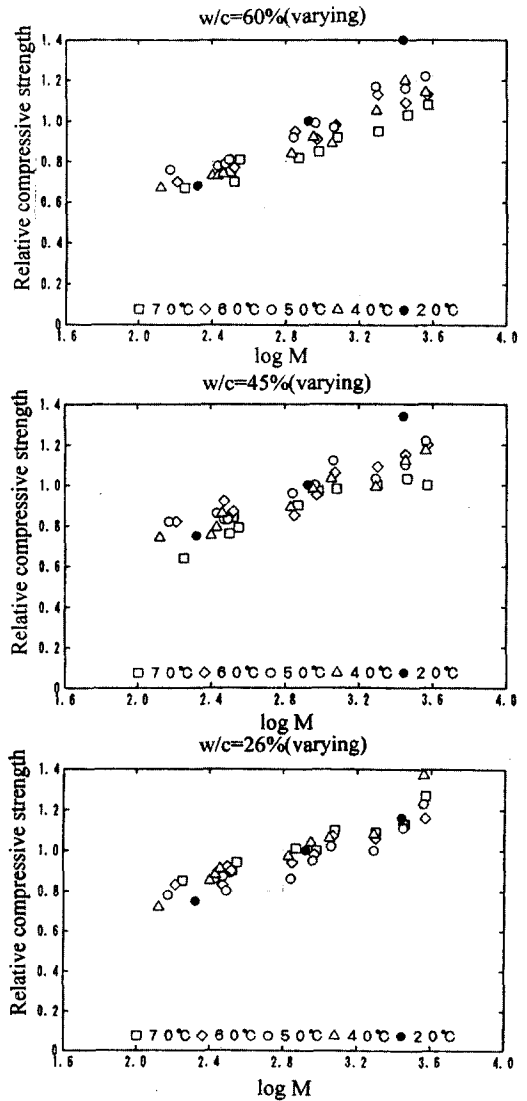


Fig.12 Relation between strength and maturity

되지 않기 때문으로 판단된다. w/c=45%의 경우에도 같은 경향을 찾아 볼 수 있으나 초기재령에서의 고온도이력에 대한 영향은 작게 나타난다. w/c=26%의 경우에는 20℃ 항온양생을 포함한 하나의 발현강도-Maturity관계로 표현된다는 것을 알 수 있다.

Fig.13, Fig.14는 Saul-Bergstrom과 Ooi의 Maturity함수에 의한 계산값과 실험값과의 비교를 나타낸 것이다. 전체적으로 고온에서의 Maturity를 크게 평가하는 Ooi식에 의한 경우

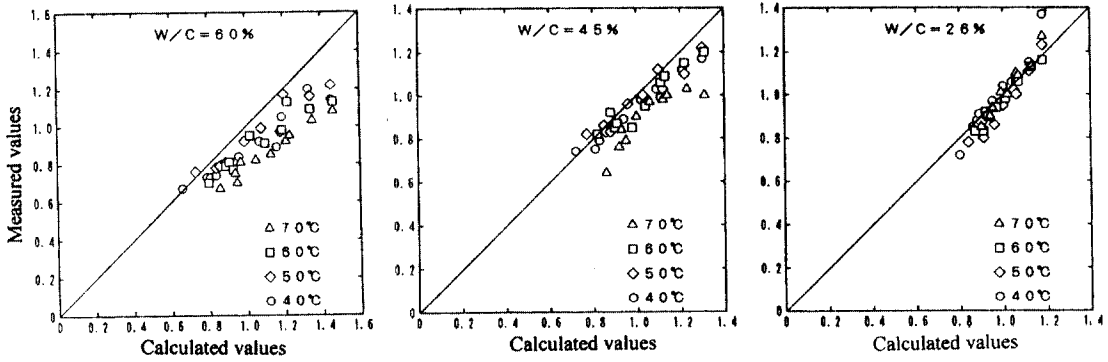


Fig.13 Comparison between calculated and measured values(Saul-Bergstrom)

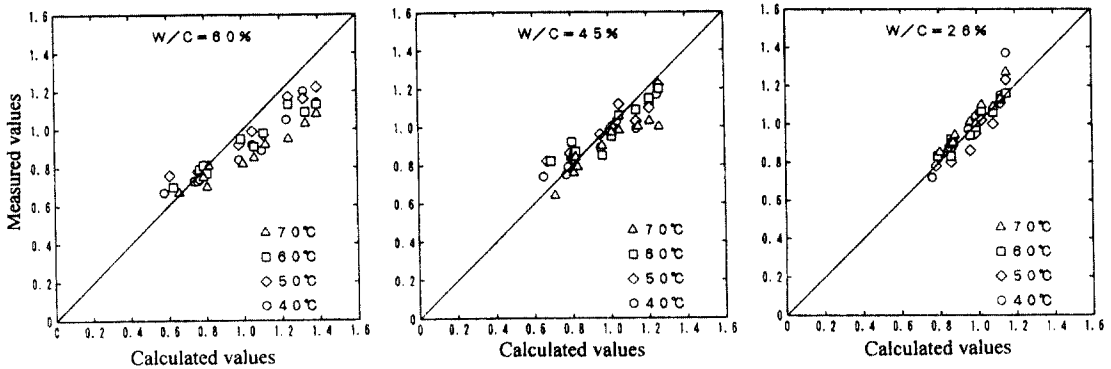


Fig.14 Comparison between calculated and measured values(Ooi)

보다는 Saul-Bergstrom식에 의한 경우가 실험값과의 차이가 적으며, 두식 모두 물시멘트비가 작을수록 실험값을 잘 평가하고 있다. 그러나 두식 모두 Maturity가 큰 경우에는 실험값과 차이가 크게 되며 전반적으로 항온 양생실험의 경우와 같은 경향을 보여주고 있다.

따라서 Carino⁽⁹⁾ 등에 의한 한계강도개념을 고려한 새로운 Maturity함수의 도입과 이에 대한 적용성 검토가 필요한 것으로 사료된다.

5. 결론

보통강도를 포함한 고강도 콘크리트에 대하여 양생온도가 콘크리트 강도에 미치는 영향과 기존 Maturity개념을 가지고 그 실험결과에 대한 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 항온 양생실험에서는 물시멘트비가 낮을

수록 초기재령에서의 강도발현은 높게 나타나며 양생온도 50°C인 경우를 제외하고 재령 7일까지 강도발현은 양생온도가 높을수록 강도발현은 크게 나타나고 있다.

(2) 변동온도 이력을 받는 경우, 초기재령에서의 고온양생이 강도발현에 미치는 영향은 물시멘트비에 따라 매우 다르게 나타나며 물시멘트비가 낮을수록 초기 고온에 의한 장기강도 저하효과가 작아진다. 또한 초기재령에서의 최고온도가 같은 경우 1주이후의 온도가 고온일수록 강도는 높게 되고 물시멘트비가 낮을 수록 이 경향은 명확하게 나타난다. 그러나 1주 이후의 양생온도 영향은 1주까지의 고온이력 영향에 비교해 2차적이다.

(3) 기존의 Maturity개념인 Saul-Bergstrom의 함수와 Ooi의 함수를 가지고 양생실험 결과를 분석한 결과를 살펴보면 Maturity가 작은 경우

를 제외하면 전체적으로 Saul-Bergstrom의 함수에 의한 경우가 실험값과의 차이가 작고 몰시멘트비가 낮은 26%에서는 실험값을 잘 평가하고 있다. 그러나 두식 모두 Maturity가 클 경우에는 계산에 의한 값과 실험값과의 차이가 크게 나타나고 있어 Maturity의 특성이라고 할 수 있는 장기재령 시의 강도평가는 가능하지 않다.

(4) 기존의 Saul-Bergstrom의 함수는 항온 및 변동온도 이력을 받는 초기재령에서의 강도발현을 잘 설명해 주고 있으나 장기재령에서의 강도발현은 설명하지 못하고 있으므로 Carino등에 의한 한계강도 등의 개념을 고려한 새로운 Maturity 함수도입이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Nurse, R. W. , "Steam Curing of Concrete. Magazine of Concrete Research" , V.1, No.2, June 1949. pp.79-88
2. Saul, A.G. A., Principles Underlying The Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure" , Magazine of Concrete Research, V.2, No.6, Mar. 1951, pp. 127-140
3. Bergstrom, Sven G., " Curing Temperature, Age and Strength of Concrete" , Magazine of Concrete Research, V.5, No.14, Dec. 1953, pp.61-66
4. Rastrup, Erik , " Heat of Hydration in Concrete" , Magazine of Concrete, V.6, No.17, Sept. 1954, pp.79-92
5. Copeland, L.E. , Kantro, D. L. and Verbeck, G., "Chemistry of Hydration of Cement" ,Proceedings, 4th International Symposium on The Chemistry of Cement (Washington, D. C. , 1960). Monograph 43, National Bureau of Standards, Washington, D. C. , 1962, pp.429-465
6. Freiesleben, H. P. , and Pedersen, J., "Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete" , Nordisk Betong(Stockholm), V. 21, 1977, pp.19-34
7. Weaver, J. and Sadgrove, B. M. , "Striking Times of Formwork-Tables of Curing periods to Achieve Given Strengths" , CIRIA Report No. 36, Construction Industry Research and Information Association, London, Oct. 1971
8. Plowman, J. M., "Maturity and The Strength of Concrete" , Magazine of Concrete Research, March 1956, pp. 13-22.
9. Tank, R. C. and Carino, N. J., "Rate Constant Functions for Strength Development of Concrete" , ACI Journal, No. 1, Jan. - Feb. 1991, pp. 74-83
10. 大井 孝和, "養生温度の變動がコンクリート強度發現におよぼす影響" , 日本建築學會論文報告集, 第 307 號, 1981年, pp. 1-11

요 약

본 연구는 양생온도이력이 콘크리트 강도에 미치는 영향을 평가하기 위한 것으로 몰시멘트비가 60%, 45%, 26%인 3종류의 콘크리트에 대하여 5℃부터 50℃까지의 항온양생과 초기재령에 고온도이력을 변수로 한 변동온도 양생을 실시한 공시체의 압축강도를 측정하였다. 또한 그 실험결과에 강도평가 방법의 하나인 Maturity개념을 도입하여 강도평가에 미치는 재령, w/c, 온도이력 등에 대한 영향을 평가하였다.

항온양생 실험결과에 따르면, 몰시멘트비가 낮을수록 초기재령에서의 강도발현은 높게 나타나며 양생온도 50℃인 경우를 제외하고 재령 7일까지의 강도발현은 양생온도가 높을수록 크게 나타나고 있다. 한편, 변동온도 양생실험결과에 의하면, 초기재령에서 고온양생한 콘크리트의 강도발현은 몰시멘트비의 영향을 크게 받으며, 1주 이후의 양생온도가 강도발현에 미치는 영향은 1주까지의 고온도이력에 대한 영향에 비교해 2차적이다.

기존의 Maturity개념인 Saul-Bergstrom의 함수와 Ooi의 함수를 가지고 항온 및 변동온도 양생실험결과를 분석한 결과, 전체적으로 Saul-Bergstrom식에 의한 경우가 실험값과의 차이가 작게 나타났으나 두식 모두 Maturity가 큰 경우에는 계산에 의한 값이 실험에 의한 값보다 크게 나타나고 있어 장기재령시 강도평가는 한계강도 개념을 고려한 새로운 Maturity함수를 제안할 필요가 있다.

(접수일자:1997.12.1)