急速硬化에 의한 콘크리트 強度 早期判定法

金松虎 · 李炯斗*
〈東洋시멘트 技術硏究所〉

1. 머리말

콘크리트의 품질특성 중에는 내구성, 강도, 작업성 등 여러 가지가 있으나, 현장 콘크리트의 품질을 일반적으로 표준양생을 행한 재령 28일 압축강도를 기준으로 한다. 그러나 이 경우 시료채취에서부터 압축강도를 얻기까지 장시간을 요하게 되므로 품질관리상의 측정치로 취급하기엔 곤란한 문제가 야기된다.

그래서 콘크리트의 품질, 특히 압축강도를 단시간내에 파악하려는 연구가 많이 이루어져 있고, 또 거의 실용화단계에 있는 것도 있다.[1,2]

이러한 연구의 목적은 콘크리트 28일 강도를 수시간내에 손쉽게 알아내어 레미콘의 품질을 판정함은 물론, 그 결과를 레미콘 배합설계에 즉시 feed back함으로써 합리적인 품질관리 및 품질보증에 만전을 기하고자 하는 것이다.

본 연구는 池田尙治의 "급속경화에 의한 콘크리트강도의 즉시 판정법"이라는 논문[3]에 기초하여 fresh콘크리트 중의 mortar를 분리(wet screening)하여 급속경화시킨 다음 그 강도로서 콘크리트 압축강도를 추정하였다.

현재 혼화재별, 골재산지별 시험이 진행 중이며 중도이긴 하나 그 결과를 논하고자 한다.

2. 급결제 및 고온양생에 의한 급속경화

일반적으로 시멘트 수화반응은 여러 성분이 복잡하게 반응하며 온도, 압력, 수량 등 많은 요인에 따라 다르게 변화한다. 양생온도는 수화속도에 변화를 주며 100℃ 이하에서는 온도가 높을수록 초기수화가 촉진되고 장기적으로는 복잡한 경향을 보인다. 그러나 100℃ 이하에서는 수화생성물의 물리화학적 성질은 본질적으로 양생온도와 무관하다.[4]

콘크리트에 급결제를 첨가하면 상온에서도 순식간에 응결이 끝나고 경화가 시작된다. 그러나 상용의 급결제로 수시간내에 콘크리트강도 추정에 용이할 정도의 충분한 강도를 얻을 수는 없다.

또한 급결제를 첨가하지 않고 고온양생을 해보면 수시간내에 충분한 강도는 얻어지나 양생시간에 따라 강도증가율이 높기 때문에 양생시간 및 온도를 정확히 조절해야 하는 기술적 문제가 따른다.

따라서 본 실험에서는 급결제를 적당량 첨가하고 고온고습 양생하여 급속경화를 시켰다.

급속경화를 돕기 위하여 fresh콘크리트를 Wet screening(No.4 Sieve)하여 얻은 Mortar용 급속경화 공시체로서 KS시멘트 몰탈강도 규격인 5×5×5cm의 공시체를 사용하여 단시간내에 공시체 내부가 일정한 고온으로 되도록 하였고, 이 공시체를 사용하는 경우 또하나의 잇점은 Capping 작업이 생략된다고 하는 것이다.

급결제로 백색 분말형의 Alkali metal carbonates를 사용하고 70℃ 95% 상대습도에서 양생한 결과 재령 28일 강도의 30% 정도를 수시간내에 얻을 수 있었다.

3. 실험방법

3.1 실험재료

실험에 사용된 재료는 다음과 같다.

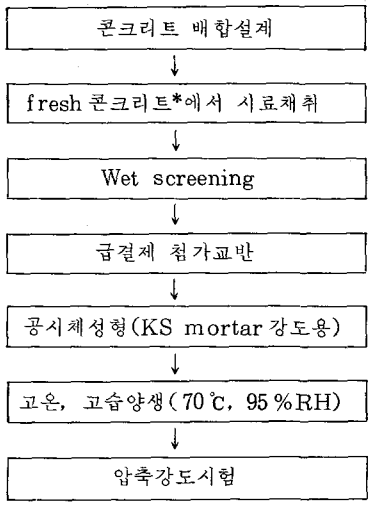
실 험 재 료

〈표－1〉

	구 분	비 중	비 고
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트	3.15~3.14	
모 래	강모래	2.58	FM=2.89
조골재	쇄석(25 mm)	2.72	FM=6.74
물	상수도	1.00	
혼화제	AE 감수제	1.18	
급결제	alkali metal carbonates	백색분말	

3.2 실험순서

급속경화에 의한 콘크리트강도의 조기판정 실험순서는 〈그림-1〉과 같다.



* fresh concrete: 굳지 않은 콘크리트

〈그림－1〉 실험순서도

실험은 연속적으로 행해져야 하며 시료채취에서부터 공시체를 성형하는데까지 소요되는 시간은 30분 이내로 한다.

3.3 급결제 최적첨가량 결정시험

본 실험은 급속경화에 의한 콘크리트 28일 강도 조기판정시험의 예비실험으로 급결제를 첨가하여 고온고습 양생한 콘크리트의 강도가 ① 양생온습도, ② 양생시간, ③ 급결제 첨가량 등의 영향에 변동이 적은 구간을 판정하여 실험의 정도를 높이는데 그 목적이 있으며 콘크리트 배합설계는 상용의 레미콘배합 즉, W/C=60%인 fresh 콘크리트를 5mm체(No.4)로 Wet screening(조골재와 mortar의 분리)하고 분리된 mortar에 적당량의 급결제를 첨가, 교반한 다음 시멘트몰탈 압축강도용 공시체를 제작하고 70℃, 95%RH에서 수시간 양생하여 급속경화강도와 급결제 첨가량과의 관계를 파악한다.

3.4 급속경화에 의한 콘크리트강도 조기판정 시험

3.4.1 실험개요

강도차가 있다고 인정되는 W/C=45~70%의 레미콘 배합으로부터 얻은 fresh 콘크리트를 5mm체로 Wet screening 한 mortar에 최적급결제량을 첨가하고 급속경화(70℃, 95%RH)시킨 급속경화강도와 실제 콘크리트 28일 강도와의 상관관계에서 추정 회귀직선식을 구한다.

3.4.2 실험의 진행

① 강도차가 있는 각종의 fresh콘크리트에 대하여 콘크리트 재령 28일 압축강도용 공시체를 제작한다.

② 압축강도용 공시체를 제작하고 남은 여분의 fresh콘크리트를 5mm체로 Wet screening 한다.

③ 첨가할 급결제량을 계산한다.

$$\text{급결제량} = \frac{\text{시멘트}}{\text{시멘트}+\text{물}+\text{모래}} \times \text{몰탈중량} \times \text{최적급결제 첨가비}$$

④ 분리된 몰탈에 급결제를 대략 시멘트중량의 5.5%(최적급결제 첨가비)를 첨가하고 시멘트몰탈 믹서에 1속 15초, 2속 60초(rpm 160)로 충분히 교반한 다음 시멘트몰탈 강도용 공시체(5×5×5cm)를 성형한다.

⑤ 70℃, 95%RH±5에서 4시간(최적시간) 양생하고 즉시 탈형한 다음 압축강도시험을 행

한다(급속경화강도라 칭함).

4. 실험의 결과 및 고찰

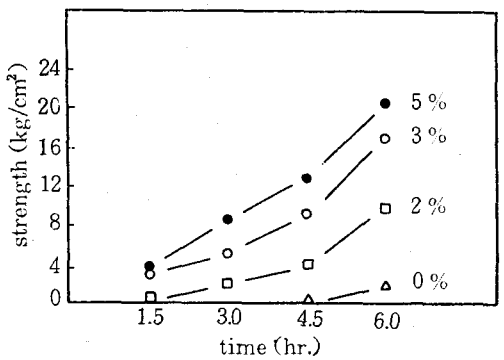
4.1 급결제 최적첨가량 결정

급결제를 시멘트 중량의 0, 2, 3, 5% 첨가하고 23℃, 95%RH에서 1.5, 3.0, 4.5, 6.0시간 동안 각각 양생한 후 강도시험한 결과 〈표-2〉의 데이타를 얻었으며, 〈그림-2〉와 같다.

급결제 첨가에 따른 강도변화(23℃)

〈표-2〉 (단위 : Kg/cm^2)

양생시간(hr) \ 급결제 량(%)	0	2	3	5
1.5	0	0	3	3.8
3.0	0	2.2	5.2	8.5
4.5	0	4.0	9.6	12.9
6.0	2	10.4	17.7	21.1



〈그림-2〉 **Accelerated strength vs. time (23°C)**

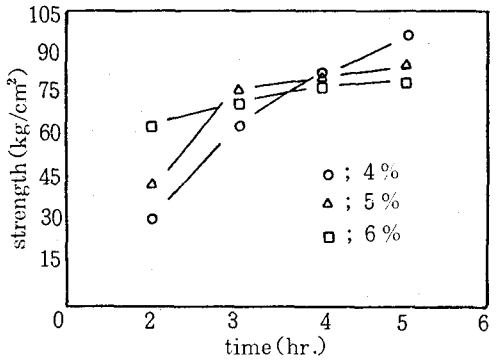
양생온도 70℃, 95%RH에서 급결제를 시멘트 중량의 4, 5, 6%를 첨가하고, 2, 3, 4, 5시간 양생한 시험결과는 〈표-3〉 및 〈그림-3〉,〈그림-4〉이다.

〈그림-2〉를 보면 23℃에서 급결제를 첨가하고 6시간이 경과할 때까지의 급속경화 강도가 양생시간에 따라 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 1.5~6.0시간 내에 발현된 강도가 콘크리트강도를 추정하기에는 너무 작아서 양생온도를 23℃로 하는 것은 부적합하다고 할 수 있다. 콘크리트 재령 28일 강도 조

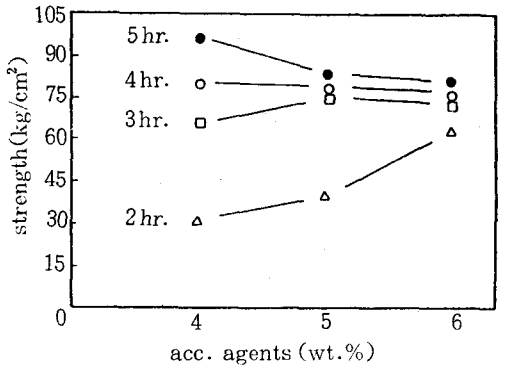
급결제 최적첨가량 시험(70℃)

〈표-3〉 (단위 : Kg/cm^2)

양생시간(hr) \ 급결제 량(%)	4	5	6
2	30.7	42.8	64.4
3	65.2	76.6	73.7
4	81.7	81.5	77.9
5	96.3	84.4	79.2



〈그림-3〉 **Accelerated strength vs. time (70°C)**



〈그림-4〉 **Optimum content of accelerating agents (70°C)**

기 추정에 관한 여러 논문들이 콘크리트의 강도에 손상을 주지 않는 양생온도범위(5℃~100℃)에서 70℃를 적정온도로 추정하고 실험을 하였다.

그 결과 〈그림-3〉과 같이 급결제 첨가량이 4%에서 6%로 다가갈수록 2시간 이후 강도증가율이 현저히 둔화되고 특히 3시간 이후 5~6

%에서는 강도증가가 거의 없다. 또 〈그림-3〉의 좌표축을 변환하여 그린 〈그림-4〉를 보면, 급결제 첨가량이 증가할수록 2시간 양생강도는 급격히 증가하며 양생시간이 길수록 점차 둔화되다가 5시간 양생한 급속경화 강도는 완만하게 감소함을 알 수 있다. 즉, 양생시간 및 급결제 첨가량에 대하여 강도변동이 적은 구간은

① 양생시간 : 3～5시간(70℃, 95%RH)

② 급결제 첨가량 : 시멘트 중량의 5～6%이며 최적급속경화 양생시간은 4시간, 급결제 최적첨가량도 시멘트 중량의 약 5.5%이다.

참고적으로 급결제량이 7%를 넘게되면 응결이 가속화되어 공시체 성형이 어려워진다.

4.2 급속경화에 의한 콘크리트 28일 강도 조기판정 시험결과

25mm쇄석 골재를 사용한 콘크리트의 재령 28일 강도추정을 위한 4시간 급속경화강도 및 콘크리트강도시험 데이타는 〈표-4〉와 같다.

〈표-4〉의 데이타를 산포도로 표시하고 회귀선을 그은 것은 〈그림-5〉이다.

〈그림-5〉에서 콘크리트 28일 강도와 4시간 급속경화강도에 따른 추정식은 $Y = -11.45 + 3.686X$이고 결정계수 $r^2 = 0.938$이다. 또한 추정식에 의한 95% 신뢰구간은 〈표-5〉와 같다.

이상으로 보아 Standard error = 17.94 kg/cm² 인 이 추정식은 경험적으로 7일 강도로서 28일 강도를 추정하는 방법에 비하여 정확도가 거의 비슷하며 오차의 발생요인으로는 실험오차외에 급결제 고온양생시의 메카니즘 및 조골재 제외 등이라고 사료된다.

5. 결 론

급속경화에 의한 25mm쇄석 사용 콘크리트의 재령 28일 강도추정식은 $Y = -11.45 + 3.686X$이며 회귀식의 검출력은 $r^2 = 0.938$, $S = 17.94$ kg/cm² 이다.

이 식은 기술적으로 충분한 정확도를 갖고 있으나 골재규격 및 산지가 달라질 경우 AE감수제가 아닌 여타의 혼화제 및 각종 시멘트를 사용한 콘크리트에 대해서는 회귀식 사용에 대한 신중한 검토 및 유의차 검정시험을 행할 필요가 있다.

4시간 급속경화강도 및 콘크리트강도 데이타
(조골재 최대치수 25 mm)

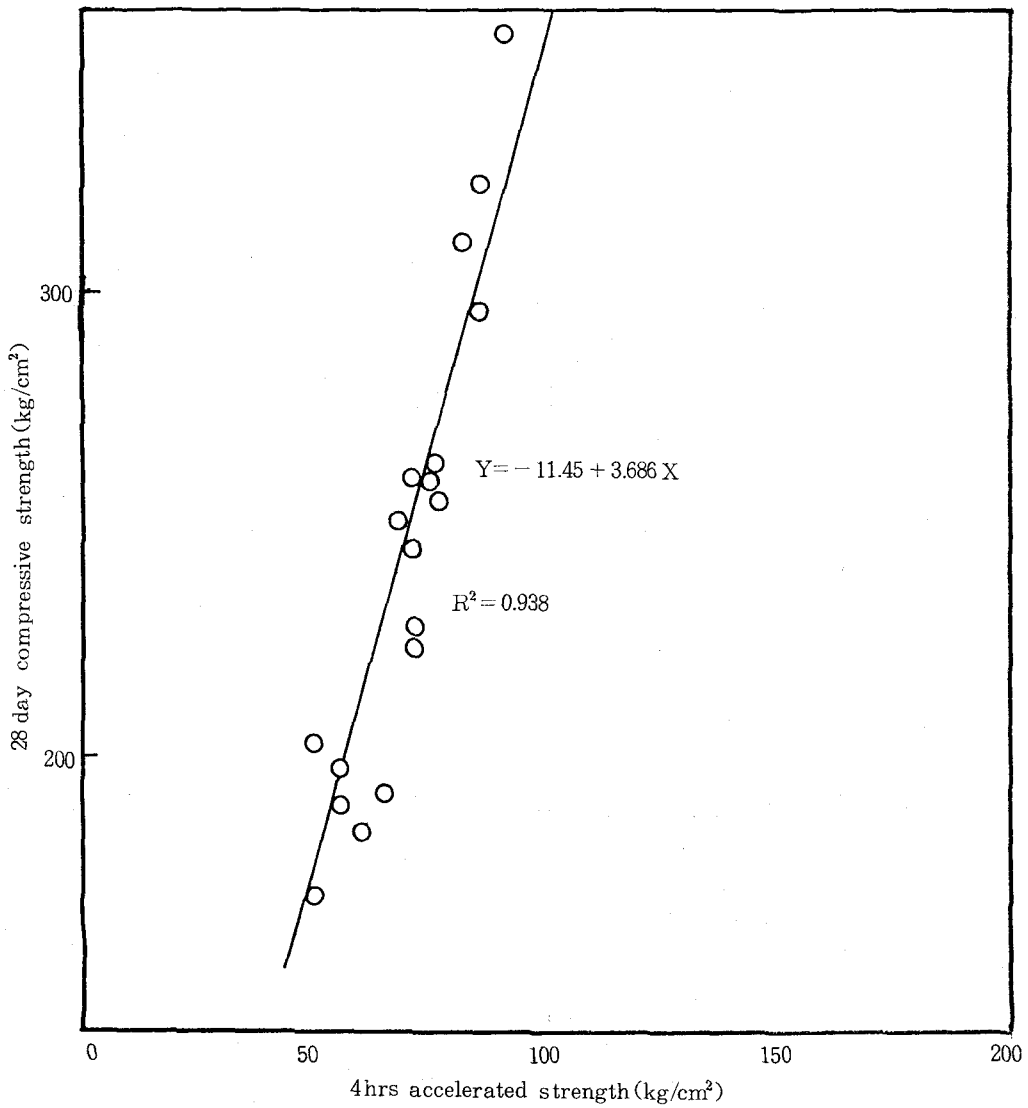
〈표-4〉

	W/C	Slump	급속경화 강 도	콘 크 리 트 28일 강도
1	70	14	60.5	183.2
2	70	14.5	57.3	192.0
3	70	12	51.9	201.8
4	70	16.5	50.0	189.6
5	65	14	71.0	224.2
6	65	16	60.8	226.8
7	65	14	57.0	197.6
8	65	18	60.3	192.2
9	60	15	71.3	244.0
10	60	13	73.0	258.8
11	60	15	66.8	-
12	60	18	69.0	250.8
13	55	17	76.0	258.6
14	55	16	76.3	264.6
15	55	15	86.3	323.8
16	50	17	86.0	294.6
17	50	18	82.7	310.6
18	50	16	90.9	355.6
19	45	17	105.5	392.6
20	45	12	119.0	397.8
21	45	14.5	103.0	368.6

추정식의 95% 신뢰구간

〈표-5〉

	절 편	기울기	X=50	60	70	80	90	100	110	120
상한	23.73	4.14	187	220	255	292	331	371	412	453
하한	-46.63	3.23	159	199	238	275	310	343	376	409



〈그림-5〉 **Correlation between 4hrs accelerated strength and 28 day compressive strength.**

〈參 考 文 獻〉

1. B. S. N. Reddy and A Kamasundara Rao compressive strength of cement as a criterion for prediction of compressive strength of concrete Indian concr. J. November 1985, Vol. 59, pp 301-304.
2. C. B. Shah Estimation of compressive strength from accelerated strength tests. Indian concr. J. March 1980. Vol. 160, pp. 75-78.
3. 池田尚治, 급속경화에 의한 콘크리트강도의 즉시판정법, 시멘트콘크리트 No.366, 1977. 8.
4. 寺田米男, 콘크리트강도의 추정식에 관한 연구, 일본건축학회 구조계논문보고집, 제 361 호, 1986. 3.
5. 笠井順一, 시멘트를 급결시키는 원리. 시멘트화학잡론, 1985. 5.
6. 須藤儀一, 秋葉德二, 상온양생, 증기양생 및 오토클레이브양생, 시멘트화학잡론, 1985. 5.