

냉동양생에 의한 광물질 혼합 콘크리트의 압축강도 추정

Early Estimation of Compressive Strength of Concrete Using Mineral Admixture by Refrigeration Curing Method

성 찬 용* · 조 일 호**

Sung, Chan Yong · Cho, Il Ho

Abstract

This study was performed to evaluate the early estimation of compressive strength of concrete using mineral admixture by refrigeration curing method. It was a method of early decision for the property of concrete after the curing age 28days through the refrigeration curing at $-18\pm 3^{\circ}\text{C}$ for five hours.

The test result was fixed connection between the curing age 28days and 31hours by the compressive strength test through the standard curing and refrigeration curing.

Accordingly, it can be reduced the mistake of construction work by forecasting the property of concrete through the refrigeration curing.

Keywords : Refrigeration curing method, Standard curing, Estimation equation of compressive strength

I. 서 론

최근 국내 건설산업의 급격한 위축에 따라 건설 경기는 침체되었지만, 건설 현장의 공사 감독부 및 감리 등의 현장 요구 품질은 한층 강화되었다. 이에, 관련 업계는 현장 요구 품질에 대하여 능동적으로 대처하지 않을 수 없게 되었으며, 이를 극복하기 위해서는 신뢰성이 높은 품질관리를 신속하게

확보하여야 한다.

콘크리트 강도 시험은 통상 KS F 2403에 근거하여 공시체를 제작 양생하고, KS F 2405에 따라 압축강도 시험이 이루어지나, KS F 2403에 따른 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 에서의 표준수증양생에서는 강도 시험 결과를 얻는데 28일이 걸리기 때문에, 그 결과를 콘크리트의 제조 공정에 피드백하여 강도 관리를 하려면 너무 시간차가 커서 공정 관리용 시험 방법으로는 적절하지 않다.⁴⁾ 이 때문에 일반적으로 표준수증양생 7일의 강도를 이용하여 28일의 강도를 추정하고 있지만, 정밀도가 떨어져 신뢰성이 결여된다고 지적되고 있다.^{1),2)} 또한, 3~4일 동안 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 의 온수양생하는 방법도 있는데, 이것은 온수

* 충남대학교 농업생명과학대학

** 충남대학교 대학원 농공학과

* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

Fax: +82-42-825-5791

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

양생조가 별도로 있어야 한다. 따라서, 이에 대한 방안과 현실적으로 대응하기 위한 새로운 패러다임의 하나로, 레디믹스트 콘크리트 생산공장에서 출하량이 비교적 많은 규격을 택하여 품질관리기법을 적용하여 레디믹스트 콘크리트 생산 공정관리에 적용하는데 연구의 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 H사 제품의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Physical properties of normal portland cement

Specific gravity (20°C)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
		Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3,265	4~12	5~31	244	299	388

Table 2 Chemical composition of normal portland cement (Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Others
20.74	5.19	61.95	2.40	2.32	3.16	4.24

Table 3 Physical properties of aggregate

Classification	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Fineness modulus	Absorption (%)	Unit weight (kgf/m ³)	Percentage of solids (%)
Coarse aggregate	5~25	2.62	6.88	0.35	1,500	57.5
Fine aggregate	< 5	2.58	2.64	1.20	1,450	58.3

Table 4 Physical properties and chemical composition of fly ash

Physical properties				Chemical composition (%)					
Unit weight (Kgf/m ³)	Grain size (mm)	Specific gravity (20°C)	Blaine (cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Others	Ig.loss
1,075	<0.15	2.20	3,569	52.3	25.2	7.5	6.04	4.46	4.5

나. 골재

굵은골재는 깐자갈을, 잔골재는 천연모래를 표면 건조포화상태로 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

다. 플라이 애시

보령화력발전소에서 부산되는 유연탄 플라이 애시(KS L 5405)로서 분급과정을 거친 것을 사용하였으며,^{5),6)} 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 4와 같다.

라. 고로슬래그 미분말

제철소에서 발생하는 분쇄한 고로슬래그 미분말(KS F 2563)을 사용하였으며,³⁾ 그 화학성분과 물리적 성질은 Table 5와 같다.

마. 혼화제

혼화제는 리그닌계 표준형 감수제와 소정의 공기량을 확보하기 위하여 빈졸레진계 공기연행제를 사용하였으며, 그 일반적 성질은 Table 6과 같다.

Table 5 Chemical composition and physical properties of blast furnace slag powder.

Chemical composition(%)								Physical properties			
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Ig.loss	Other	Unit weight (Kgf/m ³)	Blain (cm ² /g)	Specific gravity (20℃)	Grain size (mm)
48.48	27.16	9.34	5.90	3.40	2.00	0.18	3.54	1.066	4.411	2.91	<0.150

Table 6 General properties of chemical admixtures

Item	Main ingredient	Specific gravity(20℃)	Solid content(%)	pH	Appearance
Water reducing agent	Lignin sulfonate	1.18	32.0	7.1	Dark brown liquid
Air entraining agent	Vinsol resin	1.02	41.0	7.1	Dark brown liquid

2. 시험체 제작

가. 배합설계

시멘트, 플라이 애시, 고로슬래그 미분말 등 3성 분계를 사용한 콘크리트는 슬럼프 15 ± 2 cm, 공기량 4.5 ± 1.5%, 대표적 규격강도인 재령28일 목표압축강도 240 Kgf/cm²가 되도록 감수제와 공기연행제를 첨가하였으며, 이의 배합설계는 Table 7 과 같다.

나. 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 준하여 잔골재, 굵은골재, 결합재 및 혼화제를 혼합한 혼합수를 한 배치당 30리터, 50 rpm으로 1분30초 동안 혼합하여 ϕ 10 cm × 20 cm로 제작하였다.

냉동양생 시험체는 제작1일후 탈형하여 2시간 동안 표준수중양생(20 ± 3℃)을 한 후, 냉장고에서

-18 ± 3℃로 5시간 동안 냉동양생하였으며, 표준수중양생은 20 ± 3℃의 수중에서 재령28일까지 양생하였다.

3. 시험방법

시험은 KS에 규정된 방법에 준하여 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 슬럼프 및 공기량 시험

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421에 준하여 측정하였다.

나. 압축강도 시험

압축강도는 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 제작 1일후 탈형하여 2시간동안 표준수중양생(20 ± 3℃)하여 5시

Table 7 Mix design of mineral admixture concrete

W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kgf/m ³)							
		W	C	S	G	FA	BF	WR	AE
51.1	46.3~47.6	175~188	257~276	819~814	960~909	17~18	68~74	1.03~1.10	0.07~0.08

* W : water, B : binder, S/a : sand / aggregate, C : cement, G : gravel, FA : fly ash, BF : blast furnace slag powder, WR : water reducing agent, AE : air entraining agent

간동안 냉동양생 ($-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$)을 한 총 재령 31시간의 시험체와 표준수중양생($20 \pm 3^{\circ}\text{C}$)을 한 재령 28일 시험체의 압축강도를 측정하였으며, 냉동양생과 표준수중양생한 압축강도를 비교하여 재령28일 추정강도를 산출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 슬럼프와 공기량

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험결과는 Table 8에서 보는 바와 같이 슬럼프 치는 12~17.5 cm, 공기량은 3.2~5.0%로 나타났다. 이와 같은 결과는 목표 슬럼프 및 공기량을 각각 15 ± 2 cm 와 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 하기 위하여 콘크리트용 화학혼화제의 투입량을 조절하였기 때문에 적정 슬럼프 및 공기량을 확보할 수 있었다고 생각된다.

2. 압축강도

재령 31시간의 냉동양생과 재령 28일의 표준수중양생의 압축강도 및 재령 28일의 추정압축강도

시험결과는 Table 8 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 약 6개월 동안에 동일배치에서 출하 물량이 비교적 많은 레미콘 규격 25-240-12~15의 냉동양생 강도의 추정강도와 재령28일 된 표준수중양생한 압축강도는 상호 유사한 경향을 나타내었고,⁷⁾ 실측강도와 추정강도간에는 대체로 양호한 상관성을 보이고 있어, 냉동양생법에 의한 콘크리트의 강도 조기 추정에 활용할 수 있음을 입증할 수 있었다.

또한, 공시체의 온도가 빙점 이하로 내려가면 큰 공극속의 물로 부터 점점 작은 공극속의 물까지 얼게 된다. 그때 물의 체적은 약 9%정도의 체적팽창을 하므로 공극의 양은 줄어들게 된다.²⁾ 즉, 공극 내에 있는 얼음이 굳은 시멘트 페이스트 내에서 pc 강재와 같은 작용(internal prestressing)을 하기 때문에 공시체의 강도가 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 시멘트, 플라이 애시, 고로슬래그 미분말를 혼합 사용한 콘크리트의 냉동양생한 압축강도와 표준수중양생한 재령 28일의 압축강도와의 상관성은 0.9305로 유의성이 매우 높게 나타났다.⁴⁾ 한편, 일반적으로 표준양생의 재령 7일 강도에서 28일 강도에 대한 추정에는 각 공장의 독자적인 추정식이 필요하다고 생각되나,

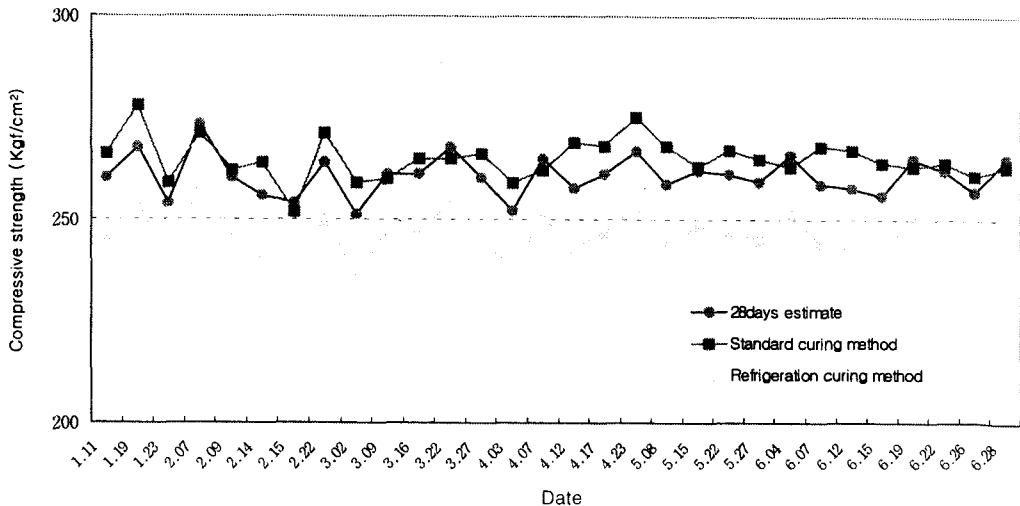


Fig. 1 Compressive strength versus measured date

Table 8 Test results of mineral admixture concrete

Measured date	Proportioning strength (kgf/cm ²)	Fresh concrete			Compressive strength (kgf/cm ²)		
		Slump (cm)	Air (%)	Tem. (°C)	Refrigeration curing	Standard curing	Estimation value
1. 11	240-12	12.5	4.7	12.2	246	266	260
1. 19	240-12	13.0	4.1	10.1	254	278	268
1. 23	240-12	12.5	3.7	11.3	239	259	254
2. 07	240-12	13.5	4.5	13.2	260	271	273
2. 09	240-12	13.5	4.2	12.4	246	262	260
2. 14	240-15	17.0	4.6	11.2	241	264	256
2. 15	240-15	14.0	3.8	10.6	239	252	254
2. 22	240-15	16.0	4.1	12.2	250	271	264
3. 02	240-15	17.5	4.8	10.6	236	259	251
3. 09	240-12	13.0	5.0	12.5	247	260	261
3. 16	240-15	17.0	4.5	12.2	247	265	261
3. 22	240-15	17.5	3.6	13.7	254	265	268
3. 27	240-15	17.0	3.9	13.3	246	266	260
4. 03	240-15	14.0	4.3	10.4	237	259	252
4. 07	240-15	14.5	4.7	14.3	251	262	265
4. 12	240-12	13.0	4.4	12.3	243	269	258
4. 17	240-15	15.0	4.3	12.2	247	268	261
4. 23	240-12	13.5	4.7	13.2	253	275	267
5. 08	240-12	12.0	4.7	12.7	244	268	259
5. 15	240-12	13.5	4.2	14.1	248	263	262
5. 22	240-15	15.5	4.4	14.7	247	267	261
5. 27	240-12	13.5	4.7	13.8	245	265	259
6. 04	240-15	16.5	3.6	12.7	252	263	266
6. 07	240-15	15.5	3.3	14.2	244	268	259
6. 12	240-15	13.5	3.6	16.6	243	267	258
6. 15	240-15	12.0	3.2	15.9	241	264	256
6. 19	240-12	13.5	4.6	15.3	251	263	265
6. 22	240-15	15.5	4.2	16.7	248	264	262
6. 26	240-12	13.5	3.7	16.4	242	261	257
6. 28	240-15	16.5	4.8	17.2	251	263	265

냉동양생법에서는 시멘트, 플라이 애시, 고로슬래그 미분말을 혼합 사용한 결합재에 한하여 일원화한 추정식의 사용이 가능하다는 것을 나타내고 있다.

또한, 상관관계가 높다는 점으로 보아 독자적인 추정식을 이용하면 보다 짧은 시간에 재령28일의 압축강도를 거의 근사하게 추정 할 수 있다고 판단 된다.

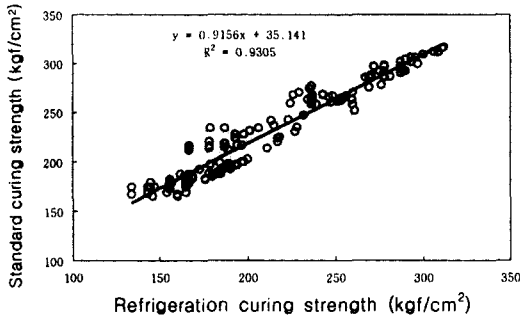


Fig. 2 Relationship of standard curing and refrigeration curing compressive strength

IV. 결 론

이 연구는 냉동양생법에 의한 콘크리트의 압축강도를 조기에 추정할 수 있는 방법을 구명하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 종래 공정관리에 이용되어 온 재령 28일의 압축강도를 제작 1일 후 탈형하여 2시간동안 표준수증양생한 후 5시간 냉동양생 한 총 재령 31시간만에 표준수증양생한 재령 28일의 강도로 추정하여 사용할 수 있다는 가능성을 나타내었다.

2. 냉동양생한 압축강도와 표준양생 강도간에는 $y = 0.9156x + 35.141$ 과 상관계수 0.9305로서 양호한 유의성을 나타내었다.

3. 냉동에 따른 압축강도 증가량은 함수량에 의하여 좌우되고, 시멘트, 골재, 공기량 및 혼화제의 사용 여부와는 무관한 것으로 나타났다.

4. 냉동양생을 통한 콘크리트의 강도를 예측함으로써 현장 시공에서의 오류를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 2003년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

References

1. Erbil Oztekin. 1986. Accelerated strength test results with pozzolanic cement concrete. *Proceedings Second International Conference. Madrid, Spain* (1) : 231-248.
2. Kazuya, K., and S. Yuukou. 1994. A study on early-stage judgment formula of 28days compressive strength. *Proceedings of the Japan Concrete Institute* 16(1) : 509-512.
3. Kenji, O., and U. Kaketo. 1993. Effect of blending ratio of OPC, BFS and flyash properties of cement paste. *Proceedings of the Japan Concrete Institute* 15(1) : 137-142.
4. Korean standards association. 1996. Method of test for production control of concrete. KS F 2405 : 1-9.
5. Sung, C. Y., and Y. I. Kim. 2002. Experimental study on pH reduction by neutralization treatment and curing methods of porous concrete for planting. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(2) : 99-106. (in Korean)
6. Sung, C. Y., and Y. I. Kim. 2002. Experimental study on physical and mechanical properties of Eco-concrete using rice straw ash. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(5) : 79-87. (in Korean)
7. Yoshitaka, K., and K. Toshiharu. 1994. Strength development model for concrete in early ages based on hydration of constituent minerals. *Proceedings of the Japan Concrete Institute* 16(1) : 503-508.