

전기 저항법을 이용한 콘크리트 조기 강도 판정에 관한 연구

The Study on Earlier Evaluation of Concrete Strength Using Electric Resistance Method

김화중*	이도현**	윤상천***	박정민****	최신호*****
W.J.Kim	D.H.Lee	S.C.Yun	J.M.Park	S.H.Choi

ABSTRACT

We can consider that the study on early evaluation of strength of concrete is useful to raise safety of building and utility of quality control of concrete.

In this paper, was proposed to method early to predict strength of concrete with key parameters, such as Water/Cement(W/C) ratio and Sand/Aggregate(S/A) ratio.

Through a series of experiment, the obtained results are summarized as follow.

- ① The ratio of resistance was decreased as the increase of W/C ratio.
- ② The maximum value for the ratio of resistance and compressive strength was presented in the case of 40% S/A ratio.
- ③ The relationship. of the ratio of resistance and compressive strength on 28 days according to the change of W/C and S/A ratio is to be :

$$F_{28} = -0.00104R^2 + 2.263R - 935.5 \text{ (W/C Ratio)}$$

$$F_{28} = 0.007R^2 - 10.693R - 4269.1 \text{ (S/A Ratio)}$$

1. 서 론

콘크리트는 현장 제작품이므로 건물이 완성되어, 콘크리트가 경화되기 전에는 그 품질을

즉시 확인할 수 없으므로 건물이 완성된 후에야 콘크리트의 완전한 성능평가가 이루어질 수 있다. 그러나, 콘크리트 타설, 양생 후 콘크리트가 소요 강도에 이르지 못할 경우 발생하는 문제는 곧 그 건물의 안전과 내구성에 영향을 미치게 되므로 심각하다고 할 수 있다. 또한, 이에 대한 대처방안을 세우는 것이 어려운 뿐만 아니라, 막대한 경제적 손실이 불가피하게 된다.

* 경북대학교 건축공학과 부교수
** 주택공사 주택연구소 선임연구원, 공박
*** 주택공사 주택연구소 주임연구원
**** 경북대학교 건축공학과 박사과정
***** 경북대학교 건축공학과 석사과정

콘크리트 강도 조기 판정을 위한 실험과 연구는 이미 선진외국에서 1920년대부터 시작되어 많은 방법이 제안되었고, 일부 국가에서는 실제 공사현장의 품질관리 수단으로 이용되고 있다. 그러나, 우리나라에서는 이 분야에 대한 연구가 상당히 미흡한 실정이며 경제성장에 따른 건설물량의 증가와 함께 우리의 공사현장의 이진들을 감안해 볼 때 많은 연구가 필요하다고 하겠다. 이는 건물의 안전성을 높이고 건물의 내구년수를 높여 경제적으로도 유리할 뿐만 아니라 콘크리트의 품질관리 면에서도 많은 잇점이 있다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 강도를 조기에 판정하기 위한 연구의 일환으로서 물·시멘트비와 잔골재율을 주요 변수로 하여 전기 저항법에 의한 전기 저항율을 측정하여 콘크리트의 품질에 대한 신속하고 간편한 판정을 할 수 있도록 하기 위하여 Fresh 콘크리트의 전기 저항율과 콘크리트 압축강도와의 관계를 분석하여 콘크리트 강도를 조기에 판정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1. 실험기기의 구성

본 실험에서 사용한 기기의 구성 회로와 실험 기기의 구성은 그림 1.와 같다.

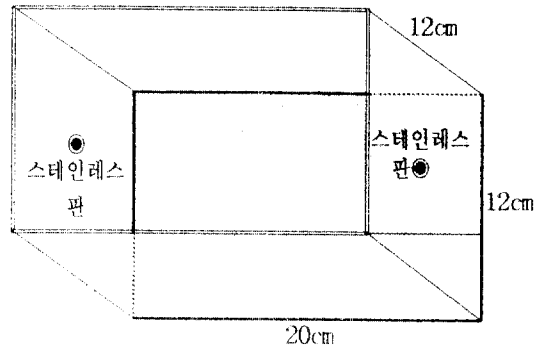
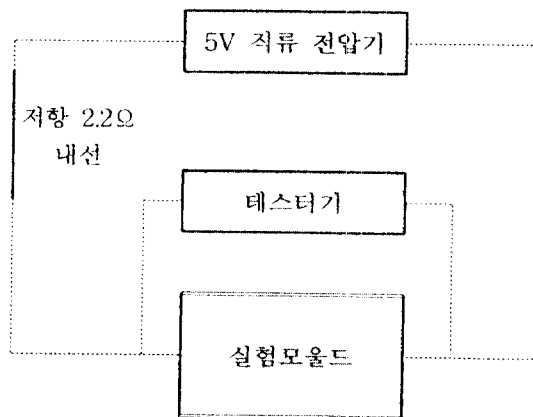


그림 1. 전기 저항율 측정의 구성 회로도와 실험 기기 (크기 12cm×12cm×20cm)

DC 5V의 전압 발생 장치는 가능한 한 인정하게 전압을 5V로 유지할 수 있는 기기를 사용하였고 전선에는 2.2Ω의 표준 저항체를 내부에 장착하였다. 또한, 실험에서는 실험 기기의 양단에서의 전압차를 측정하여 이 값을 사용하여 전기 저항율을 구하였다. Fresh 콘크리트는 저항율이 높으므로 전압차가 커서 초기의 전압차와 비교해 볼 때 전압차가 크지 않기 때문에 1/10000V까지 측정하여 정밀도를 높이려고 하였다. 전기 저항율의 계산식은 다음 표 1.과 같으며, 단위는 Ω·cm로 하였다.

표 1. 저항율의 계산방법

$$\rho(\text{저항율}) \text{의 계산법}$$

$$R_s = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad R_s = \frac{V_0}{V_s - V_0} \cdot R_0$$

$$\therefore \rho = \frac{V_0}{V_s - V_0} \cdot R_0 \cdot \frac{S}{L}$$

여기서 ρ :저항율 R_s :저항
 R_0 :저항체 L :길이(cm) S :단면적(cm²)
 V_s :초기 전압차
 V_0 :실험 기기 양단의 전압차

2.2. 실험 계획

본 실험에서는 콘크리트의 물·시멘트비와 잔

골재율의 변화에 따른 전기 저항율과 콘크리트의 압축강도와의 관계를 고찰하기 위한 것으로 실험인자 및 수준은 표 2와 같고 그 배합표는 표 3과 표 4와 같다.

표 2. 실험인자 및 수준

실험 인자	수 준
물·시멘트비	40%, 45%, 50%, 55%, 60%
잔골재율	35%, 37%, 40%, 42%, 45%

표 3. 물·시멘트비 변화에 따른 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/A (%)	잔골재최대치수(cm)	단위중량(kg/m ³)				
			C	S	G	W	
60	40	25cm	360	691.13	1109.05	216	
55				709.71	1138.86	198	
50				728.28	1168.57	180	
45				746.86	1198.47	162	
40				765.43	1228.28	144	

표 4. 잔골재율 변화에 따른 콘크리트 배합표

S/A (%)	W/C (%)	잔골재최대치수(cm)	단위중량(kg/m ³)				
			C	S	G	W	
35	50	25	360	634.7	1268.8		
37				673.7	1227.1		
40				728.3	1168.7	180	
42				764.7	1129.7		
45				819.3	1071.3		

주) 단위시멘트량은 360kg/m³(114.3ℓ)로 고정시켰다.

3. 실험 결과

본 연구는 물·시멘트비와 잔골재율을 주요 변수로 하며 콘크리트의 강도를 조기에 알 수 있는 방법을 제안하기 위한 것으로 물·시멘트비와

잔골재율의 변화에 따른 전기 저항율과 압축강도의 실험 결과를 표 4와 표 5에 나타낸다.

표 4. 물·시멘트비의 변화에 따른 전기 저항율의 변화와 콘크리트 압축강도의 측정 결과

구분 W/C	전기 저항율(Ω·cm)				3일 압축강도(kg/cm ²)				7일 압축강도(kg/cm ²)				28일 압축강도(kg/cm ²)			
	1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균
60%	719.4	720.1	717.2	718.9	91	83	94	89	124	108	124	119	153	167	149	156
55%	797.4	804.9	812.4	804.9	114	122	127	121	188	168	161	172	210	192	194	199
50%	834.3	842.4	848.9	841.9	140	143	136	140	211	207	199	206	222	237	255	238
45%	910.4	907.3	911.5	909.7	140	146	157	148	213	202	219	211	273	270	243	262
40%	1141.7	1279.2	1175.9	1198.9	178	172	163	171	218	264	228	237	293	269	274	279

표 5. 잔골재율의 변화에 따른 전기 저항율의 변화와 콘크리트 압축강도 측정의 결과

구분 S/A	전기 저항율(Ω·cm)				3일 압축강도(kg/cm ²)				7일 압축강도(kg/cm ²)				28일 압축강도(kg/cm ²)			
	1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균
35%	773.4	772.9	773.1	773.1	149	140	130	140	185	177	163	175	178	190	195	191
37%	785.2	785.4	785.8	785.5	144	142	160	149	197	157	190	181	207	229	205	214
40%	811.5	811.5	811.7	811.6	144	151	159	151	184	183	218	195	209	235	217	220
42%	757.7	757.1	757.7	757.5	129	148	152	143	188	184	198	190	197	205	230	211
45%	744.1	743.8	743.7	743.9	132	116	124	124	181	157	170	169	189	192	224	202

4. 실험 결과에 대한 고찰

4.1. 물·시멘트비와 전기 저항율의 관계

그림 2는 물·시멘트비와 전기 저항율의 관계를 나타낸 것이다. 물·시멘트비가 증가할수록 전기 저항율은 감소하였다.

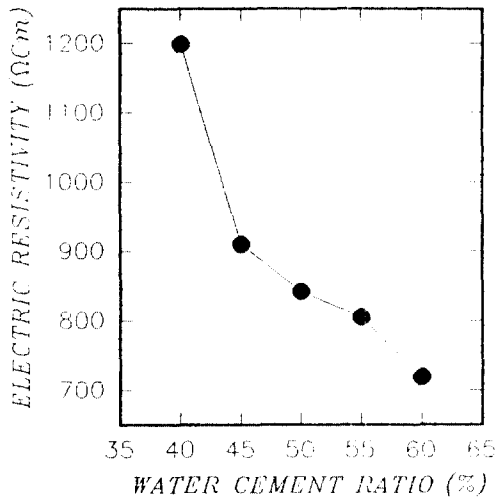


그림 2. 물·시멘트비와 전기저항율 관계

그림에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 물·시멘트비의 증가에 따라 전기 저항율은 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편 그 감소 양상을 살펴보면 물·시멘트비가 증가할수록 대체적으로 감소경향이 완만하게 나타났다.

4.2. 잔골재율과 전기 저항율의 관계

그림 3은 잔골재율과 전기 저항율의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 잔골재율이 증가하면 전기 저항율도 증가하지만 잔골재율이 40% 이후에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 잔골재율이 증가함으로써 콘크리트의 혼합에 문제가 있었던 것으로 사료되므로 잔골재율을 파라미터로 하여 전기 저항율과의 관계를 평가하기 위해서는 물·

시멘트를 증가시켜 배합조건을 조정함으로써 정량적인 평가가 이루어진 것으로 기대된다.

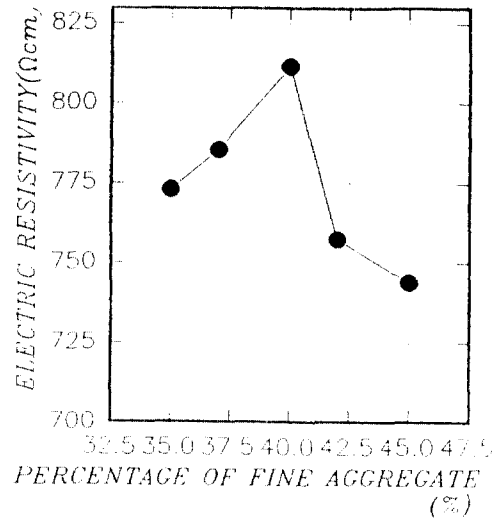


그림 3. 잔골재율과 전기 저항율의 관계

4.3. 물·시멘트비의 변화에 대한 전기 저항율과 콘크리트 압축강도의 관계

그림 4는 물·시멘트비의 변화에 대하여 전기 저항율의 변화와 콘크리트 압축강도와의 관계를 나타내었다.

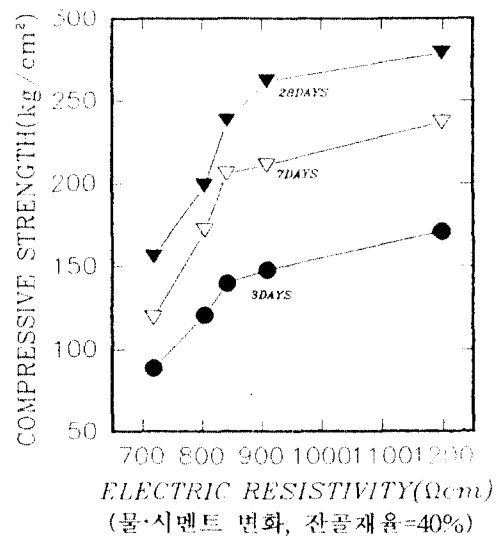


그림 4. 전기 저항율과 콘크리트 압축강도 관계

4.4. 잔골재율의 변화에 따른 전기 저항율과 콘크리트 압축강도의 관계

그림 5.는 잔골재율 변화에 따른 전기 저항율과 콘크리트 압축강도의 관계를 나타낸 것이다.

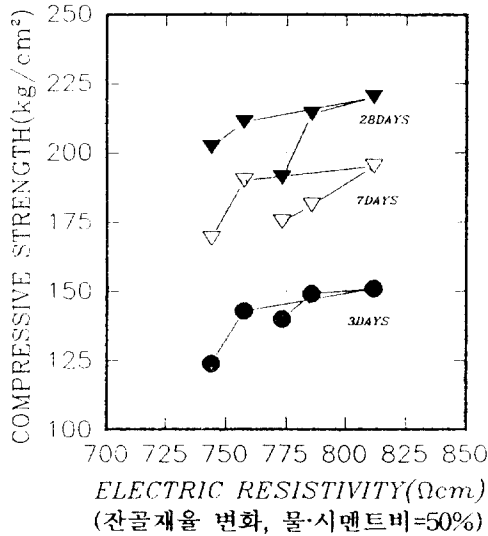


그림 5. 전기 저항율과 콘크리트 압축강도 관계

그림 5.를 살펴보면 잔골재율이 증가할수록 압축강도 및 전기저항율이 증가하는 것으로 나타났다는데 잔골재율이 40% 이후에서는 오히려 전기저항율과 강도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 잔골재율의 증가에 따라 콘크리트 배합이 부배합이 됨으로써 슬럼프 저하가 급격히 일어남으로써 정량적인 평가가 곤란한 것으로 사료되기 때문이다.

표 6. 콘크리트 압축강도 판정식의 검토

구분	압축강도 실험치(Pe)			압축강도 판정치(P _R)			Pe/P _R		
	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일
W/C의 변화에 대한 압축강도	89	119	156	90	121	153	0.99	0.98	1.02
	121	172	199	123	174	211	0.98	0.99	0.94
	140	206	238	134	193	231	1.04	1.07	1.03
	148	211	262	152	220	261	0.97	0.96	1.00
	171	237	279	171	236	279	1.00	1.00	1.00
S/A의 변화에 대한 압축강도	140	175	191	145	181	204	0.97	0.97	0.94
	149	181	214	149	184	207	1.00	0.98	1.03
	151	195	220	151	193	221	1.00	1.01	1.00
	143	190	211	136	177	203	1.05	1.07	1.04
	124	169	202	127	175	204	0.98	0.97	1.08

5. 콘크리트 강도 판정식의 제안

본 질에서는 물·시멘트비와 잔골재율을 파라미터로 하여 전기저항율과 압축강도의 관계에 대해 최소 자승법에 의한 회귀 분석을 행하여 아래와 같은 실험식을 제안한다.

5.1. 물·시멘트비 변화에 의한 전기 저항율 측정 결과에 의한 콘크리트 압축강도의 추정

$$F_3 = -0.00054W_c^2 + 1.2W_c - 494.9 (R=0.980)$$

$$F_7 = -0.00096W_c^2 + 2.0766W_c - 876.4 (R=0.972)$$

$$F_{28} = -0.00104W_c^2 + 2.263W_c - 935.5 (R=0.978)$$

여기서, R : 전기저항율

5.2. 잔골재율 변화에 의한 전기 저항율 측정 결과에 의한 콘크리트 압축강도 추정

$$F_3 = -0.0068S_A^2 + 10.868S_A - 4212.6 (R=0.980)$$

$$F_7 = 0.0021S_A^2 - 3.029S_A + 1254.0 (R=0.968)$$

$$F_{28} = 0.007S_A^2 - 10.693S_A + 4269.1 (R=0.958)$$

여기서, R : 전기저항율

5.3. 판정식의 검토

실험값과 회귀식에서 얻은 값을 비교하여 판정식의 적정성을 알아본다.

표 6은 제안된 회귀식과 실험에서 얻은 실험 값을 비교하여 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 회귀치와 계산치는 양호한 근사를 나타낸다고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 콘크리트 강도를 조기에 판정할 수 있는 방법을 제안하기 위한 것으로 물·시멘트비와 잔골재율을 주요변수로 하여 일련의 실험을 통하여 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 물·시멘트비가 증가할수록 전기 저항율은 감소하는 경향을 나타내었다.
2. 잔골재율이 증가할수록 전기 저항율도 증가하는 양상을 보였으나 잔골재율이 40% 이상 일 때는 전기 저항율이 감소하는 것으로 나타났다.
3. 물·시멘트비와 잔골재율의 변화에 따른 전기 저항율과 28일 압축강도의 관계는 아래에 나타내는 식과 같다.

$$F_{28} = -0.00104R^2 + 2.263R - 935.5$$

(물·시멘트비 변화에 대해서)

$$F_{28} = 0.007R^2 - 10.693R - 4269.1$$

(잔골재율의 변화에 대해서)

7. 참고 문헌

1. 仕入豊和 외 1인, 콘크리트 품질의 조기판정における強度判定式の一考察, 日本建築學會論文集, 制298號, 昭和 55年 12月, pp 1-9
2. 仕入豊和 외 1인, 콘크리트의 조기強度および溫度條件(20~90℃)の影響, 日本建築學會論文集, 制320號, 昭和 57年 10月, pp 1-11

3. 山田和夫 외 2인, 콘크리트의傳達關數に及ぼす各種要因の影響, セ技年報, 昭和 63年, pp 259-262
4. 大井孝和, 콘크리트供試體におけるセメント水和の進行と콘크리트強度發現の關係, 日本建築學會論文集, 第343號, 昭和 59年9月, pp 1-12
5. 池田尙治, 콘크리트強度即時判定方法의實用化に關する研究, 日本土木學會論文集, 第266號, 1977年 10月, pp 123-134
6. 全贊基, 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 연구(I), 레미콘, pp 47-59
7. 全贊基, 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 연구(II), 레미콘, pp 35-48
8. 全贊基, 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 연구(III), 레미콘, pp 45-58
9. 콘크리트強度早期判定のための一般式, 日本建築學會論文報告集, 第314號, 昭和57年 4月, pp 1-8