

초음파 시험에 의한 콘크리트의 조기 강도 판정에 관한 연구

The Study on Earlier Evaluation of Concrete Strength Using Ultra Sonic Velocity Method

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

ABSTRACT

The early evaluation on strength of concrete is useful to achieve on quality control and improvement of properties of concrete. Especially, we could say that the confidence of construction is increased by the increase durability and safety building, due to early evaluation.

In this study, was proposed to ultra-sonic pulse method as a early evaluation method for strength of concrete with main parameter, such as W/C ratio and S/A ratio.

The experiment results are summarized to follow as :

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

$$F_{28} = -209193R^2 + 384417R - 176344 \quad (\text{W/C ratio})$$

$$F_{28} = 1726R^2 - 774R - 502 \quad (\text{S/A ratio})$$

1. 서 론

콘크리트는 타설 초기에 내재된 결함에 의한 연화현상이 외적으로 인식되기까지는 장시간의 시간이 걸리며, 이에 대해서 막대한 비용을 들여 보수하더라도 원천적인 원인 제거는 거의 불가능하다. 특히, 최근 국내에서 대두되고 있는 콘크리트 연화손상은 비록 국부적으로 발생

하더라도 보수 및 교환이 곤란하여 결국에는 구조물 전체의 내구년도를 단축시키는 결과를 초래하기 때문에 콘크리트의 품질관리 및 콘크리트 강도의 조기 판정의 중요성에 대한 인식이 점차 고조되고 있다.

그러나 우리나라에서는 아직까지 이 분야의 연구가 상당히 미흡한 상태이다. 따라서 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 연구는 콘크리트 품질 관리의 표준화와 효율성이라는 관점에서 매우 중요한 과제이며 시급하다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 초음파 측정법에 의한 초음파 속도를 측정하여 콘크리트의 품질에 대한 신속하고 간편한 판정을 할 수 있도록 하기

*경북대학교 건축공학과 부교수

**주택공사 주택연구소 선임연구원, 공박

***주택공사 주택연구소 주임연구원

****경북대학교 건축공학과 박사과정

*****경북대학교 건축공학과 석사과정

위해서 물·시멘트비와 잔골재율의 변화를 주요 변수로 하여 초음파 속도법에 의한 초음파 속도를 측정하여 콘크리트 강도를 조기에 판정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 실험

2.1. 실험기기의 구성

본 실험에서 사용한 기기는 사진 1에 나타내었으며 본 실험에서 사용한 실험 기기의 크기는 12cm×12cm×20cm의 자유면체 Box를 사용하였다.

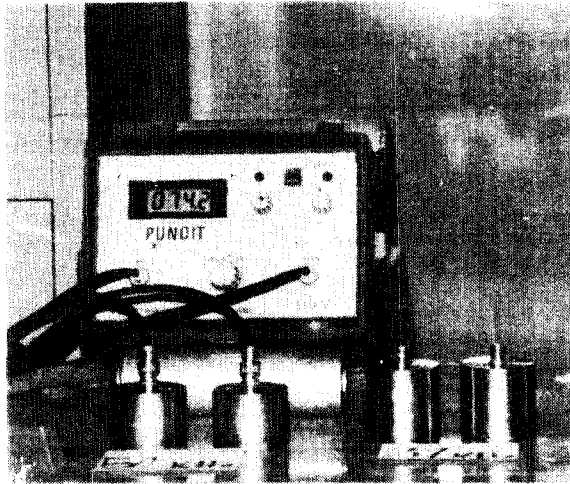


사진 1. 초음파 속도 측정기기.

초음파 펄스는 37kHz의 주파수를 사용하였으며 초음파 기기는 PUNDIT를 사용하였다. 초음파 속도는 초음파 기기의 송신부에서 출발하여 Fresh 상태의 12cm 두께의 콘크리트를 지나 수신부까지 도착하는 데 걸리는 시간을 측정하여 거리(12cm)를 시간(μ s)으로 나누어서 구하였으며 단위는 km/sec로 하였다.

2.2. 실험 계획

본 실험에서는 콘크리트의 물·시멘트비 변화와 잔골재율의 변화에 따른 강도를 측정하여 물·시멘트비와 잔골재율이 초음파 속도에 끼치는 영향과 강도에 끼치는 영향을 살펴보고자 한다.

본 실험의 실험인자 및 수준은 표 1에 나타내었고 물·시멘트비 변화에 따른 콘크리트 배합표를 표 2에, 잔골재율의 변화에 따른 콘크리트 배합표를 표 3에 각각 나타내었다.

표 1. 실험인자 및 수준

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

표 2. 물·시멘트비 변화에 따른 콘크리트 배합표

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

표 3. 잔골재율 변화에 따른 콘크리트 배합표

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

3. 실험 결과

본 연구는 물·시멘트비와 잔골재율을 주요 변수로 하여 콘크리트의 강도를 조기에 알 수 있는 방법을 제안하기 위한 것으로 물·시멘트비의 변화에 따른 초음파 속도와 압축강도의 실험 결과를 표 4와 표 5에 나타내었다.

표 4. 물·시멘트비의 변화에 따른 초음파 속도의 변화와 콘크리트 압축강도의 측정 결과

구분	초음파 속도 (km/sec)				3일 압축강도(kg/cm ²)				7일 압축강도(kg/cm ²)				28일 압축강도(kg/cm ²)			
	1회	2회	3회	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균
60%	0.896	0.897	0.899	0.897	91	83	94	89	124	108	124	119	153	167	149	156
55%	0.900	0.901	0.903	0.901	114	122	127	121	188	168	161	172	210	192	194	199
50%	0.909	0.911	0.913	0.911	140	143	136	140	211	207	199	206	222	237	255	238
45%	0.917	0.917	0.917	0.917	140	146	157	148	213	202	219	211	273	270	243	262
40%	0.913	0.913	0.911	0.912	178	172	163	171	218	264	228	237	293	269	274	279

표 5. 잔골재율의 변화에 따른 초음파 속도의 변화와 콘크리트 압축강도 측정의 결과

구분	초음파 속도 (km/sec)				3일 압축강도(kg/cm ²)				7일 압축강도(kg/cm ²)				28일 압축강도(kg/cm ²)			
	1회	2회	3회	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균
35%	0.900	0.899	0.903	0.901	149	140	130	140	185	177	163	175	178	190	195	191
37%	0.904	0.903	0.903	0.903	144	142	160	149	197	157	190	181	207	229	205	214
40%	0.907	0.909	0.910	0.909	144	151	159	151	184	183	218	195	209	235	217	220
42%	0.905	0.904	0.902	0.904	129	148	152	143	188	184	198	190	197	205	230	211
45%	0.900	0.898	0.898	0.899	132	116	124	124	181	157	170	169	189	192	224	202

4. 실험 결과에 대한 고찰

4.1. 물·시멘트비와 초음파 속도의 관계

그림 1은 물·시멘트비와 초음파 속도의 관계를 나타낸 것이다. 물·시멘트비가 증가할수록 초음파 속도는 감소하는 경향을 나타낸다. 다만, 물·시멘트비가 40%인 경우에는 물이 너무 적은 이유로 다짐이 곤란으로 발생한 실험 오차로 사료된다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 물·시멘트비의 증가에 따라 초음파 속도는 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

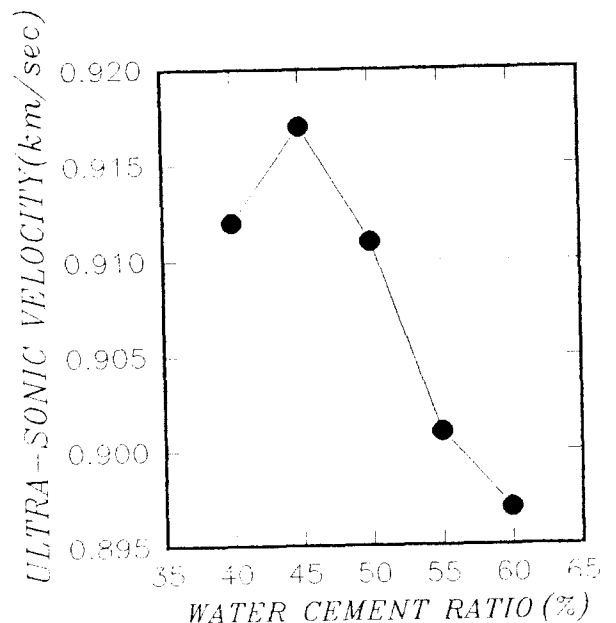


그림 1. 물·시멘트비와 전기저항율 관계

4.2. 잔골재율과 초음파 속도의 관계

그림 2는 잔골재율과 초음파 속도의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 잔골재율이 증가하면 초음파 속도도 증가하지만 잔골재율이 40% 이후에서는 다시 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

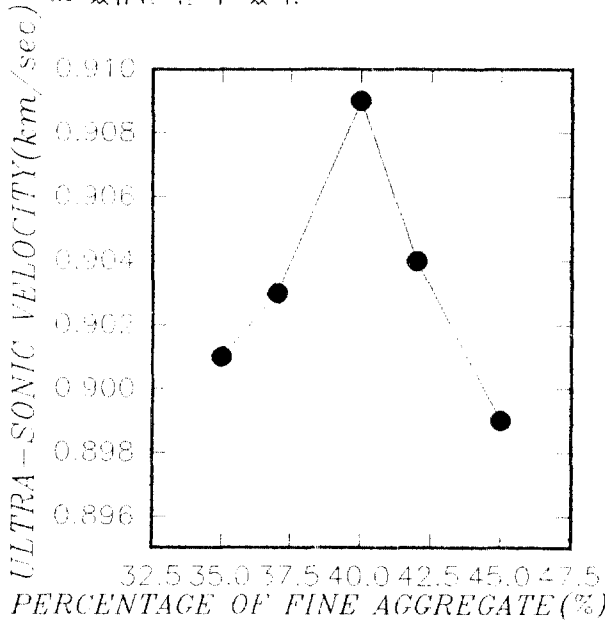


그림 2. 잔골재율과 초음파 속도의 관계

4.3. 물·시멘트비의 변화에 대한 초음파 속도와 콘크리트 압축강도의 관계

그림 3은 물·시멘트비의 변화에 대하여 초음파 속도의 변화와 콘크리트 압축강도와의 관계를 나타내었다. 콘크리트 압축강도는 제령에 관계없이 초음파 속도가 증가할 때 증가 양상을 보인다. 그림에서 반대 양상을 보이는 것은 물·시멘트가 40%인 집으로써 다짐이 어려워서 정확한 초음파 속도 측정이 어려웠다. 그러므로, 이 값은 계산에 넣지 말아야 할 것으로 사료되며 단지, 다짐이 콘크리트의 초음파 속도에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해서 고려해야 할 것이라 생각한다.

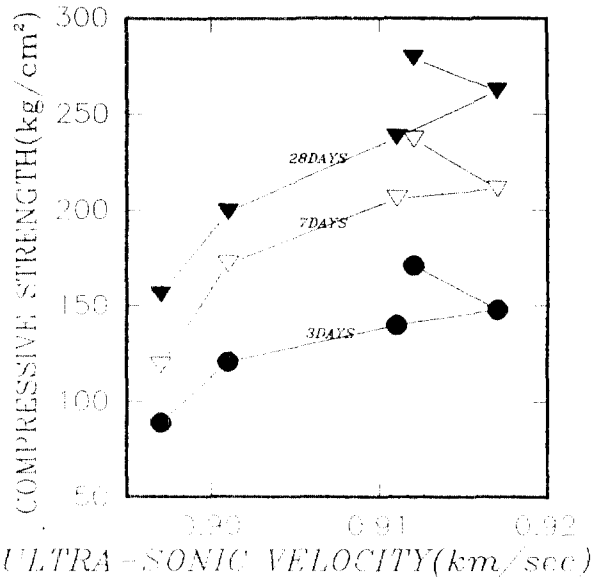


그림 3. 초음파 속도와 콘크리트 압축강도 관계

4.4. 잔골재율의 변화에 따른 초음파 속도와 콘크리트 압축강도의 관계

그림 4는 잔골재율을 변화시켰을 경우에 대한 초음파 속도와 콘크리트 압축강도의 관계를 나타내었다.

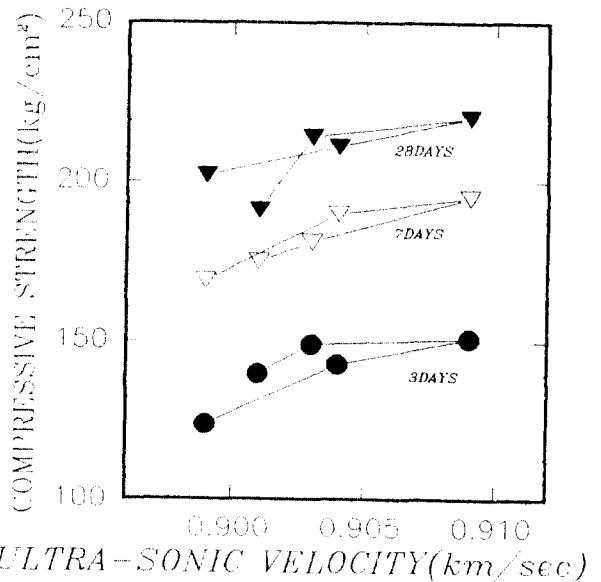


그림 4. 초음파 속도와 콘크리트 압축강도 관계

5. 콘크리트 강도 판정식의 제안

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

5.1. 물·시멘트비 변화에 의한 전기 지항율

추정 결과에 의한 콘크리트 압축강도의 추정

$$F_{3s} = -1709.46R^2 + 312760.8R - 142908.4 (R=0.966)$$

$$F_{7s} = -276023.1R^2 + 504922.6R - 230698.1 (R=0.972)$$

$$F_{28s} = -209193.1R^2 + 384417.1R - 176344.4 (R=0.978)$$

여기서, R : 전기지항율

5.2. 잔골재율 변화에 의한 전기 지항율 추정 결과에 의한 콘크리트 압축강도 추정

$$F_{3s} = 1669.6R^2 - 704.0R - 584.8 (R=0.964)$$

$$F_{7s} = 2165.0R^2 - 1243.5R - 461.0 (R=0.986)$$

$$F_{28s} = 1726.3R^2 - 774.1R - 501.5 (R=0.978)$$

여기서, R : 전기지항율

5.3. 콘크리트 압축강도 검토

표 6.에는 본 실험에서 얻은 콘크리트 압축강도 실험치와 제안식에서 구한 판정치의 값을 서로 비교하여 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 실험치와 회귀치는 양호한 근사를 나타낸다고 할 수 있다.

표 6. 콘크리트 압축강도 판정식의 검토

구분	압축강도 실험치(P _e)			압축강도 판정치(P _R)			P _e /P _R		
	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일
W/C의 변화에 대한 압축강도 (kg/cm ²)	89	119	156	93	127	159	0.96	0.94	0.98
	121	172	199	114	161	192	1.06	1.07	1.04
	140	206	238	146	209	246	0.96	0.99	0.97
	148	211	262	152	211	258	0.97	1.00	1.02
	171	237	279	171	236	279	1.00	1.00	1.00
S/A의 변화에 대한 압축강도 (kg/cm ²)	140	175	191	136	176	202	1.03	0.99	0.95
	149	181	214	141	181	207	1.06	1.00	1.03
	151	195	220	155	198	221	0.97	0.98	1.00
	143	190	211	143	184	209	1.00	1.03	1.01
	124	169	202	132	171	198	0.94	0.99	1.02

6. 결 론

본 연구는 콘크리트 강도를 조기에 판정할 수 있는 방법을 제안하기 위한 것으로 물·시멘트비와 잔골재율을 주요 변수로 하여 일련의 초음파 속도법에 의한 실험을 통하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 물·시멘트비가 증가할수록 초음파 속도는 감소하였다.
2. 잔골재율이 증가할수록 초음파 속도는 증가하는 양상을 보였으나 잔골재율이 40% 이상일 때는 초음파 속도가 다시 감소하는 양상을 나타내었다.

3. 물·시멘트비와 잔골재용의 변화에 따른 초음파 속도와 28일 압축강도의 관계는 아래에 나타내는 식과 같다.

$$F_{28} = -209193.1R^2 + 384417.1R - 176344.4 (R=0.978)$$

(물·시멘트비 변화에 대해서)

$$F_{28} = 1726.3R^2 - 774.1R - 501.5 (R=0.978)$$

(잔골재용의 변화에 대해서)

10. 各種コンクリートの 超音波傳播特性, セメント技術年報 37, 昭和 58年(1983)

7. 참고 문헌

1. 仕入豊和외 1인, 콘크리트品質의 早期判定における 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 早期強度および 溫度條件(20~90℃)의 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의 影響, 七技年報, 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의 進行と 콘크리트 強度發現의 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에 關する의 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 強度의 초기 판정에 關한 연구(I), 레미콘, pp 47-59
7. 全贊基, 콘크리트 強度의 초기 판정에 關한 연구(II), 레미콘, pp 35-48
8. 全贊基, 콘크리트 強度의 초기 판정에 關한 연구(III), 레미콘, pp 45-58
9. 콘크리트 強度 早期判定의 ための 一般式, 日本建築學會論文集報告集, 第314號, 昭和57年 4月, pp 1-8