

콘크리트 강도 조기 판정기의 개발에 관한 연구

(1) 실험 계획 및 실험기기의 적합성 검토

The Study for Development on Earlier Evaluation Instrument of Strength of Concrete - Outline of Experiment and Investigation on Suitability of Instrument -

김 화중* 이 도현** 윤상천*** 박 정민****
W. J. Kim D. H. Lee S. C. Yun J. M. Park

Abstract

It is considered to pressing problem that the development of the rapid and simple method and measuring instrument, can evaluate for quality of concrete at early period.

Accordingly in this paper proposed to earlier evaluation method on quality of concrete using resistance method and ultra-sonic pulse velocity test.

It was found to the possibility of development on test method and instrument through a series of fundmental investigation.

1. 서론

1-1. 연구 배경 및 필요성

콘크리트는 목재나 강재 등과 같은 건축 재료와는 달리 완제품이 아니기 때문에 품질을 즉시 확인할 수 없으므로 인해 콘크리트의 시험결과를 실제 현장 공사에 있어서 신속히 반영할 수 없는 결점을 수반하게 되며, 이런 이유로 시험 결과가 소요 강도에 이르지 못할 때는 안전의 문제뿐만 아니라 경제적 손실 문제까지 발생하게 된다. 특히 콘크리트 타설 초기에 내재된 각종 결함에 의한 열화현상이 외적으로 인식되기까지는 장시간의 시간을 필요로 하게 되며 이를 인지하였을 경우에도 결함에 대한 대처 방안을 강구하는 것도 어려울뿐만 아니라 막대한 비용을 들여 보수하더라도 원천적인 원인 제거는 불가능하다.

최근 국내에서 대두되고 있는 콘크리트의 열화손상은 비록 국부적으로 발생하더라도 보수 및 교환이 곤란하여 결국에는 구조물 전체의 내구년도를 단축시키는 결과를 초래하기 때문에 콘크리트의 품질 관리 및 콘크리트 강도의 조기 판정의 중요성에 대한 인식이 점차 고조되고 있다.

콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 실험과 연구는 이미 선진제외국에서는 1920년대부터 시작하여 그동안 많은 방법이 제안 되었으며, 일부 국가에서는 표준화하여 실제 공사 현장의 품질 관리 수단으로 이용하고 있다.

그러나 우리나라에서는 아직까지 이 분야의 연구가 상당히 미흡한 상태이며, 관심있는 학자들에 의한 연구 성과도 단순한 제안에 그쳤기 때문에 제안된 방법 및 실험식들에 대한 상호 복합적인 회귀식이나 회귀식의 확률론적 고찰 등과 같은 조기 판정의 기본 요건을 고려한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 콘크리트 강도의 조기 판정 방법에 대한 적절한 시험 방법을 개발하는 것은 콘크리트 품질 관리의 표준화

* 경북대학교 건축공학과 교수, 공박

** 주택공사 주택연구소 선임연구원, 공박

*** 주택공사 주택연구소 주임 연구원

**** 경북대학교 건축공학과 박사과정

와 효율성이라는 관점에서 매우 중요한 과제이며 시급하다고 할 수 있다.

1-2. 연구의 목적

콘크리트 품질의 조기 판정을 실시하기 위해서는 적절한 조기 시험방법을 개발하는 것과 함께 조기 강도 시험결과와 적절한 판단 방법을 정해 둘 필요가 있다. 이 중 조기 시험 방법에 대해서는 종래에 연구 성과에서 다수 제안되고 있지만, 조기 시험 결과의 판단 방법에 대해서는 조기 시험결과와 28일 강도 시험 사이에 성립하는 확률적 관계를 고찰한 관계가 주류를 이루고 있으며 조기 시험 결과의 적절한 판단 방법은 명료하게 되어 있지는 않다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 품질의 조기 판정을 위한 적절한 시험방법을 개발하여 조기시험 결과를 통한 재령에 따른 경화 콘크리트의 강도 판정뿐만 아니라, 콘크리트 자체의 구성 재료인 시멘트, 모래, 자갈 등이 콘크리트의 품질에 미치는 영향과 콘크리트의 조기 판정을 위한 여러가지 영향 인자들의 상호 작용 관계를 반복실험을 통하여 파악하고, 상호 복합적인 변수를 고려한 콘크리트 강도의 조기 판정을 위한 방법을 제안하여 골재나 다른 재료의 품질을 조기 판정하는데도 이용할 수 있고 배합 결정을 위해서 시험 배합을 할 때도 이용할 수 있는 보다 간편하고 신속한 품질관리를 할 수있는 콘크리트 조기 강도 판정기와 방법을 제안하는 것이 본 연구의 목적이라 할 수 있으며, 개발 대상 판정기의 성능 목표는 표 1과 같다.

표 1. 개발 대상 판정기의 성능목표

측정 대상	물시멘트비 : 40~60% 단위시멘트량 : 300~500 kg/m ³ 잔골재율 : 40~60% 공기량 : 3~5%		
장치 크기	휴대·운반이 간편할 것		
측정 소요 시간	10~15분(3회 측정)		
측정 방법	측정치만으로 강도 판정		
가 격	약 1,000만원		
조기 판정치의 신뢰성	<table border="1"> <tr> <td>생 콘크리트에 대한 3회 측정치 평균값</td> <td>경화 콘크리트 공시체 3개의 28일 압축강도 평균값</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">→ 비교 ← ± 10% (기기 오차 포함)</p>	생 콘크리트에 대한 3회 측정치 평균값	경화 콘크리트 공시체 3개의 28일 압축강도 평균값
생 콘크리트에 대한 3회 측정치 평균값	경화 콘크리트 공시체 3개의 28일 압축강도 평균값		

1-3. 연구 방법 및 내용

본 연구에서는 기존의 방법을 탈피하여 건설 현장에서 직접 레미콘을 채취 콘크리트의 품질에 대해 신속하고 간편하게 판정할 수 있는 방법과 기기를 개발하고자 하는 것으로서, 기존의 물시멘트비 등에 의존하는 조기강도 판정법과는 다른 차원에서 콘크리트의 강도에 영향을 미치는 요인중 물시멘트비와 단위시멘트량, 잔골재율, 공기량, 혼화제량과 같은 몇 가지의 파라미터와 시멘트 수화 과정 양상, 콘크리트 내부의 구조상태(골재 분포상태, 공극상태 등) 등과 같은 정량적인 평가로는 곤란한 요인을 전기저항, 초음파 펄스의 속도와 스펙트럼 파장분석 및 진동에 의한 점도 특성 등을 통해 평가해 보기 위한 것으로 연구 방법 및 내용은 표 2와 같다.

2. 문헌분석에 의한 이론적 검토

콘크리트의 품질관리를 위한 강도조기 추정법은 물-시멘트비 분석법에 의한 연구로서 1931년 W. M. Dunagan에 의해 제안된 굳지 않은 콘크리트의 각 재료를 구하는 씻기분석법을 필두로 1948년에는 L. J. Murdock이 비중계를 이용한 시멘트량 측정 방법을 발표 하였으며, 1955년에는 W. G. Hime가 원심 및 증액분리에 의한 물시멘트비 측정방법을 제안 하였다.

또한 1962년에는 D. O. Covault가 중성자 활성화 분석에 의해 Ca로 시멘트량을 측정하는 방법을 발표 했으며, 1971년에 R. T. Kelly는 염광 광도계를 이용한 시멘트 량을 측정하는 방법을 발표했다.

한편 1972년에는 神田衛에 의해 염산반응열 측정에 의한 시멘트량 측정 방법과 공기중 수증 중량 측정에 의한 수량 측정을 조합한 물-시멘트비 측정법을 발표 하였다.

이러한 분석법들은 시험결과와 정확성에 대한 객관적 평가가 이루어지지 않았으며 시험결과를 콘크리트

3. 실험기기의 적합성 검토

본 연구에서는 기존의 방법을 탈피하여 건설 현장에서 직접 레미콘을 채취 콘크리트의 품질에 대해 신속하고 간편하게 판정할 수 있는 방법과 기기를 개발하고자 하는 것으로서, 기존의 물시멘트비 등에 의존하는 조기강도 판정법과는 다른 차원에서 콘크리트의 강도에 영향을 미치는 요인중 물시멘트비와 단위시멘

트량, 잔골재율, 공기량, 혼화재량과 같은 몇 가지의 파라미터와 시멘트 수화 과정 양상, 콘크리트 내부의 구조상태(골재 분포상태, 공극상태 등) 등과 같은 정량적인 평가로는 곤란한 요인을 전기저항, 초음파 펄스의 속도와 스펙트럼 파장분석 및 진동에 의한 점도 특성 등을 통해 평가하기 위한 것으로 전체적인 실험 기기의 개요도는 그림 2와 같다.

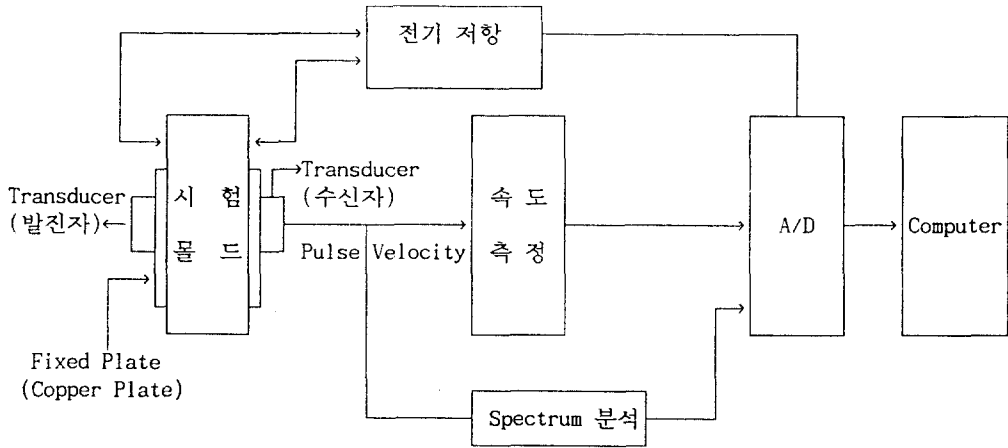


그림 2. 실험기기의 개요도

3-1. 초음파를 이용한 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 검토

3-1-1. 연구 개요

초음파를 이용해서 콘크리트의 강도를 응결 되기 전인 반죽 상태에서 조기에 평가할 수 있는 계측 시스템을 개발하기 위한 것으로 물질의 강도와 같은 특성치는 초음파의 전파 속도와 밀접한 관계를 가지므로 본 연구에서는 초음파 속도를 Pulse-Transmission

법으로 측정하여 이용하고자 한다.

3-1-2. 계측기기의 원리 및 구성

20×10×10(cm)인 용기를 아크릴로 제작해서 용기의 세로방향(초음파 전파경로)의 단면에 직경 5cm 및 2cm의 구멍을 내어 각각에 송신기와 수신기를 고정하였다. 용기의 단면에 54Hz, longitudinal mode의 초음파 변환기를 설치하여 초음파 펄스의 전파 시간을 PUNDIT와 C.R.O를 거쳐 디지털 오실로스코프

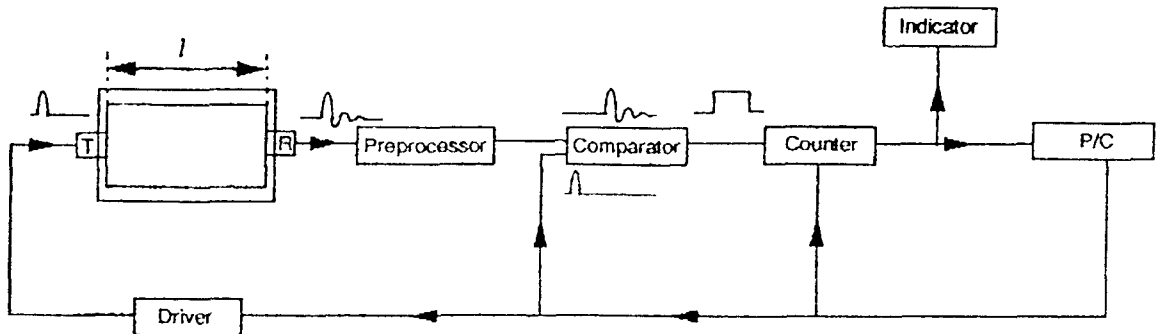


그림 3. 시스템의 구성

(Leeroy7200)에 연결 측정 하였다.

초음파 음속은 전파 시간으로 송수신 거리를 나눔으로써 얻어진다.

또한 시스템의 동작은 P/C 제어 S/W에 의하여 초음파 송신 Trigger 신호를 발하여 주면 초음파 송신기(T)로부터 펄스가 발사되고 이를 수신기(R)로 수신하여 Noise Filtering, Amp, Digitizing 등의 Preprocessing을 수행한다.

Comparator에서는 송신 Trigger 펄스와 수신펄스를 이용하여 시간차에 해당하는 펄스를 만들어주며 이것의 폭을 Counter에서 계수하여 7 segment LED로 표시함과 동시에 P/C에서는 입력된 Counter계수 정보로부터 전파시간을 계산하고 전파 거리와의 비로써 음속을 계산한다.

3-3. 기초 실험 및 결과

시멘트와 골재의 배합 중량비 변화에 대한 초음파 음속의 변화를 PUNDIT(C.N.S Electronic LTD, London) 장비를 이용하여 확인코자 하였다. 실험 인자 및 수준을 표 3에 나타낸다.

표 3. 실험인자 및 수준

실험 인자	수 준
시멘트 : 물 비	50, 55, 60 %
시멘트:모래비	1 : 3
잔골재의 종류	표준사, 강모래, 쇄사

그 결과를 살펴보면 시멘트를 섞지 않고 물만의 초음파 전파 속도를 측정한 결과는 음속 전파 시간 = 67 μ s, 전파 속도 = 1492m/s로 나타났으며 이로 미루어 일반적인 수중 초음파의 전파 속도와 일치하는 결과를 나타낸다고 할 수 있다.

또한 그림 4에서 알수 있는 바와 같이 물시멘트비의 변화에 따른 초음파의 전파 속도를 살펴보면 잔골재의 종류에 관계 없이 물시멘트비가 증가할수록 전파 속도는 늦어지는 것으로 나타났다.

향후 미약한 수신 펄스를 추출하기 위해 증폭한 후에 bandlimited된 변환기(54Hz)의 주파수 대역에 해당들만 Bandpass Filter를 거칠게하는 회로를 구성해서 수신 펄스 신호를 관찰할 예정이다.

4. 전기 저항법을 이용한 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 검토

4-1. 연구 개요

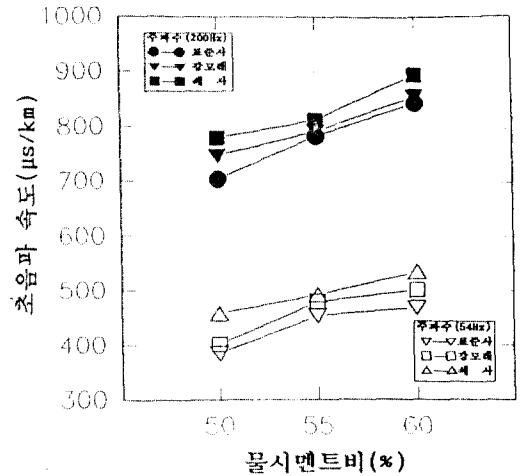


그림 4. 물시멘트비와 초음파속도의 관계

콘크리트 강도 이론인 물시멘트비설에 기초하여 시멘트의 수화반응시 시멘트 화학성분중 일부가 조기에 이온화함에 착안, 이를 전기 저항으로 측정 콘크리트의 강도를 분석하기 위한 것으로서 그림 4의 측정 회로도에 나타낸 바와 같이 peak detector 앞단에서 교류 전압을 측정하여 그 측정 전압과 표준저항의 관계로부터 물시멘트의 저항을 산출하여 이 물시멘트비의 저항값에다 측정 용기의 크기를 곱하여 저항율을 얻어내는 방법을 사용한다.

4-2. 계측 기기의 원리 및 구성

전기저항법에 의한 조기강도 판정기의 구성 회로도 는 그림 5와 같다.

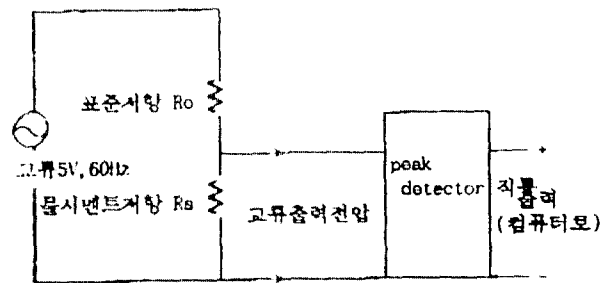


그림 5. 전기저항법 구성 회로도

4-3. 기초실험 및 결과

① 실험

본 실험에서는 향후 Fresh 콘크리트의 조기 강도 판정을 위한 기초 실험으로서 전기 저항법에 의한 측정 기기를 사용하여 콘크리트를 구성하는 구성재료들에 대해서 기초실험을 실시하였다. 실험 인자 및 수준은 표 4와 같다.

표 4. 실험인자 및 수준

실험 인자	수 준
시멘트 : 물 비	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 %
모래 : 물 비	0, 5, 10, 15, 20%
입자의 분류	강모래 (5 mm, 2 mm, 1 mm)

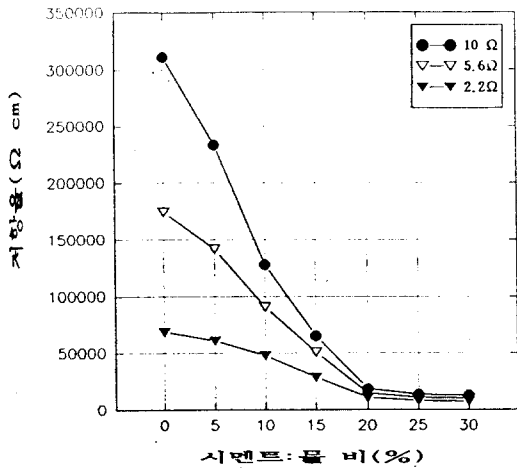


그림 6. 시멘트물비와 저항율의 관계

② 고찰

먼저 시멘트와 물만을 혼합하여 전기 저항율을 측정하는 결과를 살펴보면 물시멘트비가 증가할수록 저항율은 감소하고 있으며 모래와 물만을 섞은 경우도 비슷한 양상을 나타내었다. 또한 강모래를 사용하여 입도에 따른 저항율의 변화를 살펴보면 약간씩의 차이는 있지만 모래의 입도는 저항율에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

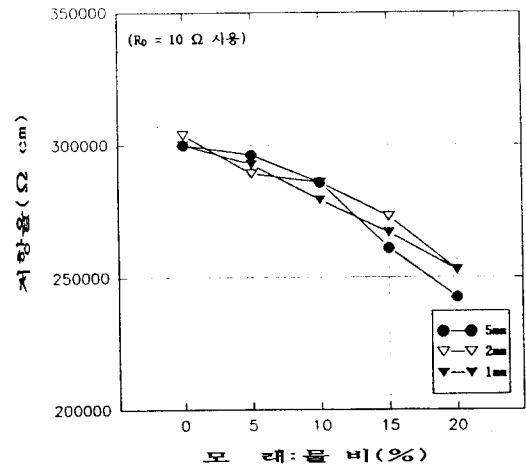


그림 7. 모래물비와 저항율의 관계

5. 결론

본 연구는 전기저항법, 초음파 시험을 상호 복합적인 변수로 하여 콘크리트 강도를 조기에 판정할 수 있는 방법을 제안하는 것으로, 각각의 시험법에 의해 기초 실험을 수행한 결과 충분히 그 가능성을 확인할 수 있었으며, 추후 본 연구가 완전히 수행될 경우 다음과 같은 효과를 기대할 수 있겠다.

- ① 콘크리트 강도의 조기 판정에 의해 콘크리트의 품질성능을 향상 시킬수 있다.
- ② 콘크리트 강도의 측정 및 생산과정에서 강도 보정에 의한 신속하고 간편한 품질 관리를 할 수 있다.
- ③ 각종 건설 공사 등에서 거푸집의 제거시기를 정확하고 신속하게 판정할 수 있으며 공기의 단축 및 공사의 안전성을 기대할 수 있다.

본 연구를 수행함에 있어서 실험 기기 제작에 많은 도움을 주신 한양대 장 경영 박사님과 청주대 김 광 호 박사님께 감사 드립니다.

6. 참고 문헌

1. 仕入豊和의 1인, 콘크리트品質의 早期判定における 強盜判定式の一考察, 日本建築學會論文集, 第298號, 昭和55年12月, pp 1-9
2. 仕入豊和의 1인, 콘크리트의 早期強度および 温度條件(20~90°C)의 影響, 日本建築學會論文集, 第320號, 昭和57年10月, pp 1-11
3. 山田和夫의 2인, 콘크리트의 傳達關數に及ぼす 各種要因의 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 水とセ멘트 水和의 進行と 콘크리트 強度發現의 關係, 日本建築學會論文集, 第343호, 昭和59年9月, pp 1-12
5. 콘크리트 強度即時判定方法의 實用化에 關する 研究, 日本土木學會論文集, 第266호, 1977年10月, pp 123-134
6. 全 贊基, 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 연구(1), 레미콘, pp 47-59
7. 全 贊基, 콘크리트 강도의 조기 판정에 관한 연구(2), 레미콘, pp 35-48