

# 초음파법에 의한 콘크리트 응결시간 측정에 관한 연구

## Study on the Setting time of Concrete Using Ultrasonic Test

구본창\*      강민호\*\*      이대근\*\*\*      김종우\*\*\*\*      하재담\*\*\*      박석균\*\*\*\*

Koo, Bon Chang Kang, Min Ho Lee, Dae Keun Kim, Jong Woo Ha, Jae Dam Park, Seok Kyun

### ABSTRACT

Ultrasonic test usually was used for defect detection, crack depth measurements and strength estimation of hardened concrete. The essence of the pulse velocity method is that the transition time of an ultrasonic longitudinal pulse is measured in concrete. Ultrasonic velocity was propagated to the age of concrete, made a radical change at that time when concrete was setted. This study which monitored the change in a concrete by ultrasonic test was performed to estimate initial setting and final setting

### 1. 서 론

현재 건설현장에서의 콘크리트의 수요가 다양해져, 고유동, 초속경등의 특수 콘크리트가 요구되고 있으며 이들 콘크리트에 대한 초기작업과정에서의 거동평가는 효율적인 양질의 콘크리트 타설을 위해서는 중요한 요소이다. 특히 슬립폼용 콘크리트인 경우엔 시공법의 특성상 응결시간이 매우 중요하다. 그러나 이를 위해서는 콘크리트의 특성평가가 요구된다. 특히, 이들 콘크리트에 대한 초기작업과정에서의 거동평가는 효율적인 타설을 위해서는 필수 불가결한 요소이다. 이의 거동평가시의 대표적인 시험항목은 콘크리트 응결시간을 측정하는 일이다. 그러나, 현장에서 콘크리트 응결시험을 기존의 관입 저항 시험법에 의한 경우, 시험시 별도의 설비와 인력 그리고 매시간 실시해야 하는 번거움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 초음파법을 이용한 응결시간 측정을 통해, 콘크리트 응결 상태를 파악할 수 있는 방법에 대하여 검토하였다.

콘크리트의 응결은 시멘트의 품질뿐만 아니라 콘크리트의 배합, 골재나 물에 포함된 성분, 기상조건, 시공조건에 의해서 영향을 받으며 콘크리트는 시멘트가 물과 수화반응을 통해 경화함에 따라 초음파의 속도의 변화를 가져온다. 특히 초결이나 종결의 상태에 도달하면 콘크리트 상태변화를 초래하여 초음파의 속도의 급격한 변화를 일으킨다. 그러므로 초음파의 속도 측정을 통해 경화정도도 예측할 수가 있다. 아직 국내에서는 이에 대해 정립된 초음파 측정 방법이 없기 때문에 본 연구에서는 콘크리트의 응결시간을 초음파법을 이용하여 기존의 관입저항법(KS F 2436)과 비교하여 기준을 설정하고, 그 타당성을 검토해 보고자 하였다.

\* 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

\*\* 정희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

\*\*\* 정희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원

\*\*\*\* 정희원, 대전대 토목공학과 전임강사

## 2. 실험방법 및 실험재료

초음파를 이용한 비파괴 검사는 인간의 귀로는 들을 수 없는 영역의 고주파수(20Khz)의 초음파를 정보의 매체로 하여 물체내부의 정보를 얻어내는 방법이다. 초음파법의 일반적 응용부분은 구성분자가 작고, 고밀도로서 밀도분포가 안정되어있지만 콘크리트의 경우는 재질의 구성분자가 크고 밀도가 불균질하며 불특정하여 초음파의 적용시에 어려움이 있다. 현재까지의 연구는 주로 강도측정에 국한되어 활용을 해왔지만 초음파의 특성을 이용하면 각종 물성치를 추정도 가능할것으로 판단된다.

### 2.1 초음파를 이용한 응결시간측정 실험

초음파는 일정한 밀도하에서 탄성계수가 높아짐에 따라 속도가 빨라진다. 그러므로 초음파속도는 콘크리트의 상태, 응결경화의 과정에 따라 변하게 된다. 실험장치는 그림 1 과 같다. 콘테이너는 30mm두께의 스티로폼으로 제작하였고 용기에 콘크리트를 부은후 바닥과 위에 PUNDIT의 초음파센서를 설치하여 굳지않은 콘크리트에 접촉하게 하였고, 탐촉자는 54Khz의 초음파를 발생시켜 초음파를 송신하고 수신을 한다. 초음파탐사기의 아날로그 출력신호를 2GS/s의 샘플 레이트를 가진 오실로스코프를 통해 데이터를 입력받아서 Parameter Analysis로부터 신호를 검출하여 PC에서 데이터 후처리로 GPIB 보드와 LabVIEW(신호처리용 S/W)를 이용하여 원하는 시간동안 정해진 시간마다 데이터를 저장하고 처리하였다. 여기서 시편의 크기는 5cm인데 초음파 속도개념을 가지고 응결시간을 측정하기 때문에 시편의 크기는 큰 영향을 미치지 않는다.

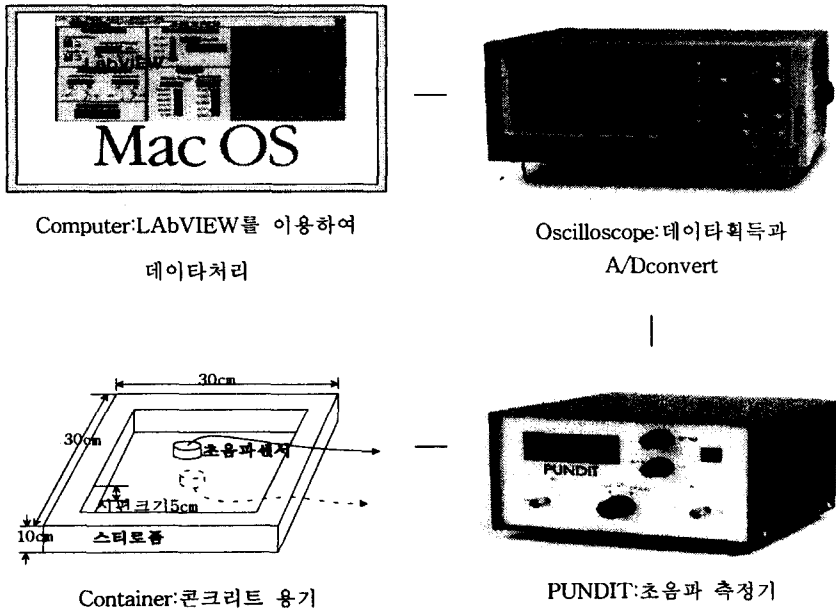


그림 1 초음파법을 이용한 응결시간측정을 위한 실험장치

## 2.2 실험재료

실험에서는 여러 종류의 시멘트를 사용하여 각 종류에 따라 달라지는 응결시간의 변화추이를 파악하고자 하였다. 시멘트를 고정해 놓고 W/C비나 혼화제 첨가를 통해서 응결변화를 측정하기보다는 종류를 달리하여 추이의 변화를 크게 하여 각 시멘트에 대해 초음파법의 타당성을 증명하려고 하였다. 10배합 정도를 하여 특징이 두드러진 대표적인 배합만을 선택하여 그 결과를 비교하였다. 콘크리트의 배합비는 표 1에 주어졌다.

표 1 시멘트종류별 콘크리트 배합 (모래비중:2.63 자갈비중:2.73)

Mix	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (Kg/m <sup>3</sup> )					Slump (cm)	Air (%)	Cement Type
			W	C	S	G	Ad			
A	54	45	181	335	810	1010	0.503	4.0	4.0	OPC
B	42	43	170	400	735	980	0.72	3.5	3.5	LHC
C	41	43	165	400	740	990	0.6	4.1	4.1	SRC

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 관입저항법의 경우

표2는 시멘트 종류별 관입저항법에 의한 콘크리트 응결시간 측정결과를 나타낸다. 관입저항법에 의한 응결시간은 물시멘트비가 크고 잔골재율이 작고 슬럼프가 클수록 응결하는데 걸리는 시간이 증가한다. 하지만 여기서는 시멘트의 종류가 달라지므로 다른 개념의 결과를 갖는다.

표 2 관입저항법에 의한 응결시간

종류	응결시간	
	초결	종결
A	11:10	13:50
B	9:20	13:50
C	13:00	16:40

### 3.2 초음파법의 경우

콘크리트의 두께 거리를 초음파가 그대로 도달하는데 걸리는 시간으로 나누면 초음파의 속도가 되는데, 그림 2는 초음파법에 의한 경시변화과정의 초음파속도를 나타낸다. 배합후의 상태변화를 각 시멘트에 따라 각각의 배합조건을 가지고 초음파 속도 변화와 관입저항법에 의한 초결과 종결을 각각 나타내었다.

초음파속도는 굳지않은 콘크리트의 배합이나 굵은 골재 최대치수, 투과거리 등에 따라 전파하는 초음파 속도가 변한다. 투과거리는 굵은 골재 최대치수가 작을때는 증가하고 굳어가면서 매질을 통과하는데 걸리는 시간은 짧아진다. 하지만 배합후 경과시간이 1시간 내에서는 전파속도 측정이 불가능하였다. 콘크리트는 어떤 경과 기간까지는 시멘트 수화속도가 급속도로 증가하는 시기가 있고, 이 시기에 초음파 전파속도의 큰 변

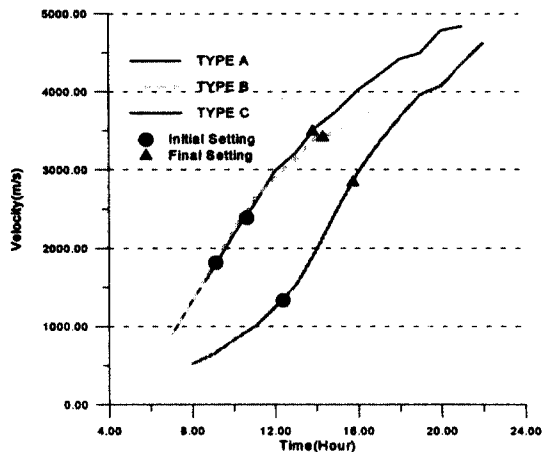


그림 2 TYPE A,B,C 초음파속도 경시변화

화를 초래한다. 즉 콘크리트 구성재료간의 미시적인 시멘트 페이스트의 수축이나 혹은 재료입자사이에 존재하는 자유수 등에 의해 콘크리트 내부조직의 변화가 생긴다고 생각된다. 이를 이용하여 변화량의 추이를 파악하면 콘크리트의 응결시간을 추정해 볼 수 있다

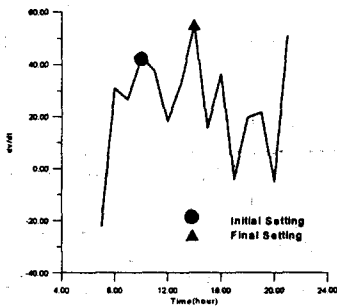


그림 3 TYPE A  
초음파속도의 미분치

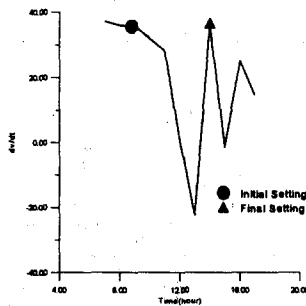


그림 4 TYPE B  
초음파속도의 미분치

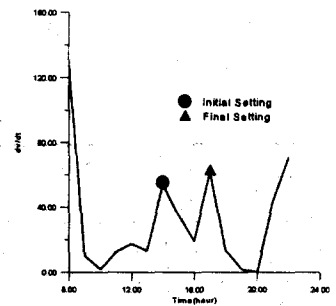


그림 5 TYPE C  
초음파속도의 미분치

### 3.2.1 속도 미분치 극대값분석을 통한 초음파법

초음파를 이용하여 응결시간을 결정하기 위해서는 속도의 변화량(그림 3,4,5)이 크게 변동되는 변곡점을 찾아야한다. 이를 위해서는 속도의 미분치의 극대값을 찾아 응결의 초결과 종결시간을 추정할 수 있다. 표 3의 초음파법에 의한 응결시간은 이와 같은 방법으로 추정된 것이다. 그림 3,4,5는 3가지 TYPE의 시멘트에 대한 속도변화량을 나타낸 것으로 그래프상의 극대값의 첫 번째에 해당하는 것이 초결이고, 두번째에 해당하는 것이 종결에 해당한다. 추정된 결과는 표3에 정리하였다.

### 3.2.2 기준 속도분석을 이용한 초음파법

초음파법을 이용한 콘크리트 특성평가의 측정 방법을 확립하기 위해서는 그 나름의 기준이 필요하다. 초음파속도 변화양상을 분석을 통해 응결시간을 임의로 설정하였다. 이 방법을 기준 속도분석이라하여 그림6과 같이 초결(2000m/s)과 종결(3500m/s)의 초음파 기준 속도값으로 정해놓고 각각 기준 속도에 도달했을때를 초결과 종결시간으로 추정하는 방법이다. 관입저항법에 의한 방법 자체도 엄밀해를 찾는 방법이 아닌 보간법에 의해 추정하는 방법으로 자체에 오차를 수반하고 있다. 표 3에서는 각각의 방법을 비교하여 보았다. 실제 10 배합중에서 몇 개만을 선택하여 결과를 관입저항법과 비교해보았다. 표 3, 그림 7,8를 참조하면 관입저항법에 의한 방법이나 초음파법이 비슷한 응결시간을 나타냄을 알 수 있다.

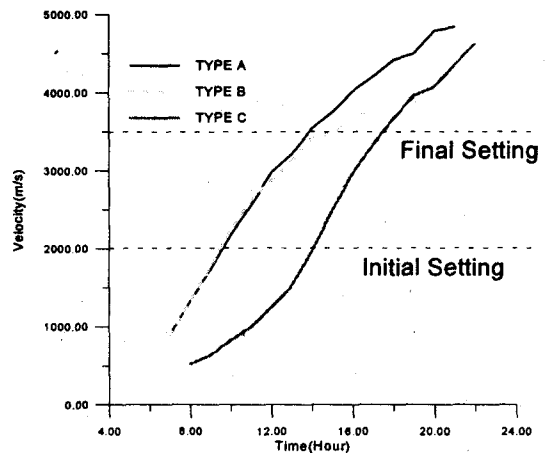


그림 6 TYPE A,B,C의 기준 속도분석

표 3 초음파법의 2방법과 관입저항법의 비교 (관입저항법을 기준으로 오차계산)

종류	초결시간 (hr)					종결시간 (hr)				
	관입 저항법	초음파법 (속도미분치의 극대값분석)	오차*	초음파법 (기준 속도분석)	오차*	관입 저항법	초음파법 (속도미분치 극대값분석)	오차*	초음파법 (기준 속도분석)	오차*
A	11:14	10:25	9.6%	9:50	11.4%	13:50	14:00	1.2%	13:30	2.3%
B	9:20	9:00	3.5%	9:30	1.8%	13:50	14:00	1.2%	15:00	8.4%
C	13:00	14:00	7.7%	13:30	3.8%	16:40	18:00	8.0%	17:00	2.0%

오차: 관입저항법을 기준으로 오차계산

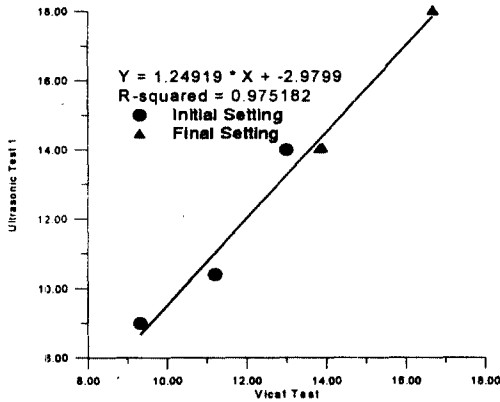


그림 7 초음파법의 속도미분치의 극대값을 이용한 방법과 관입저항법의 응결시간 관계

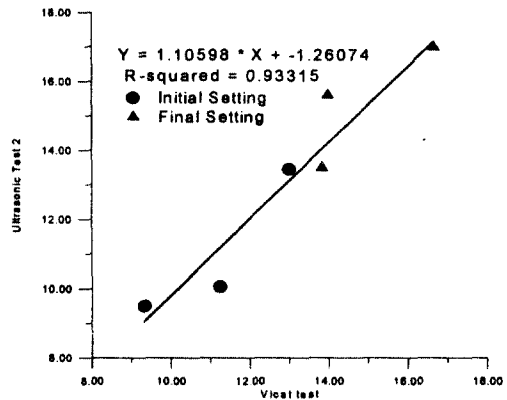


그림 8 초음파법의 기준속도를 이용한 방법과 관입저항법의 응결시간 관계

#### 4. 결 론

굳지 않은 콘크리트에 초음파를 발생시키면 경화되어감에 따라 초음파의 속도는 증가하는 경향을 갖게된다. 특히 초결이나 종결의 시점에 도달하면 초음파속도가 급격하게 증가하게 된다. 이런 경향을 이용하여 초결과 종결의 시간을 추정해 보았다. 관입저항법에 의한 콘크리트의 관입저항법에 의한 응결시간 측정법 보다 편리하고 자동화된 초음파법을 사용하여 기존의 측정방법과 비교해 본 결과 12%의 오차 내에서 속도변화의 관찰만으로도 응결시간을 예측해낼 수 있었다.

초음파법에 의한 응결시간측정을 통해서 건설현장이나 도로포장은 작업현장에서 공기단축을 통한 생산성향상에 도움을 주리라 생각하고, 향후 다양한 콘크리트의 요구에 대응키 위해 다각적인 평가를 통한 추후 검토가 필요하다고 생각된다.