



# 콘크리트 품질관련 표준 및 관련 비파괴 시험법 기술동향 - 응결시간 -

An Introduction to Korea Standards and Relevant Nondestructive Testing for Concrete - Setting Time -

오탈근 Tae-Keun Oh  
인천대학교 안전공학과 교수

## 1. 머리말

콘크리트의 응결시간(초결 및 종결 시간)을 결정하기 위해 널리 사용되어 온 관입 저항에 의한 콘크리트 응결시간 시험 방법은 고유동 콘크리트, 고강도 콘크리트와 같이 점성이 큰 경우 적용하는데 어려움이 따른다. 이런 이유로 최근 콘크리트의 응결 거동을 시험하는데 있어 KS 시험법 이외로 다양한 비파괴 시험법에 대한 연구가 이루어지고 있으며 그 중 압축파 또는 전단파의 초음파 속도 및 반발계수 측정을 통한 방법에 대한 연구가 가장 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 본 고에서는 콘크리트 타설 시 참조가 되는 응결시간 측정을 위한 표준 시험법과 관련 비파괴 기술동향에 대해서 소개하고자 한다.

## 2. 콘크리트 응결시간

시멘트에 물을 섞어 비벼 두면 시멘트 페이스트는 서서히 굳어져 일정한 압축력에 견딜 수 있는 경도로 된다. 이것을 시멘트가 응결했다고 하며 응결이 시작하는 때를 초결, 끝나는 때를 종결이라 한다. 시멘트의 응결시간을 측정함으로써 콘크리트의 응결시간도 추정 할 수 있기 때문에 운반, 타설, 다짐 등의 시공계획을 세울 때 참고가 된다. 콘크리트 공사에서 시멘트 응결시간이 너무 길거나, 너무 짧으면 실제 공사에 문제가 발생할 수 있기 때문에 시멘트 응결 개시 및 종결시간을 측정할 필요가 있다. 예를 들어 시멘트의 풍화와 이물의 혼입 등에 의해 비정상적으로 된 경우 시멘트의 응결시험으로 이것을 알 수 있다. 또한 혼화제를 혼입함에 따라 시멘트는 응결시간에 영향이 크며 이런 경우 응결시간을 측정하여 실제 타설 작업 시 참고할 필요가 있다.

표 1. 굳지 않은 콘크리트 및 시멘트 응결시간측정 관련 한국산업규격(KS)

표준번호	표준명	개정일
KS L 5102	수경성 시멘트의 표준 주도 시험방법	2011-12-23
KS F 2436	관입 저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법	2012-12-17
KS L 5103	길모아 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법	2011-05-16
KS L 5108	비카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험방법	2012-09-14
KS L ISO9597	시멘트의 응결 및 안정성 시험방법	2014-12-24

### 3. 응결시간 측정관련 표준현황 및 주요 시험방법

시멘트 응결시간에 관한 규격은 KS L 5102의 수경성 시멘트의 표준 주도 시험방법에 의해 제작한 표준반죽질기의 시멘트풀을 <표 1>에 따른 다양한 관입 저항 시험방법에 따라 규정하고 있다. 여기서는 KS L 5103의 길모아 침에 의한 측정 방법 및 KS L 5108의 비카트침에 의한 시멘트 응결시간 시험 방법에 대하여 소개하도록 하겠다.

#### 3.1 수경성 시멘트의 표준 주도 시험방법 (KS L 5102)

##### 3.1.1 시험방법

- 1) 시멘트 시료 650g을 KS L 5109에 따라 반죽한다..
- 2) 준비한 시멘트 반죽은 고무장갑을 낀 손으로 속히 구형으로 만들고, 두 손을 15cm 간격으로 벌려 한 손에서 다른 손으로 6번 던진다.
- 3) 한쪽 손바닥 위에 올려놓은 구를 다른 손에 진 원뿔형 링의 큰 쪽으로 밀어 넣고, 링을 반죽으로 완전히 채운다.
- 4) 큰 쪽 끝에 있는 여분의 손바닥으로 한 번에 떼어낸다.
- 5) 링의 큰 쪽 끝을 밑으로 하여 유리판 위에 놓고, 작은 쪽 끝에 있는 여분의 반죽은 링의 윗면에 대해서 조금 기울여 잡은 예리한 흙손 날로 한 번에 경사지게 문질러 링 윗부분을 잘라낸다. 필요하다면 흙손의 뾰족한 끝을 몇 번 가볍게 대어 윗면을 매끄럽게 한다.
- 6) 판 위에 올려놓은 링 안의 반죽은 로드의 밑에 중심을 맞추고, 그 플런저의 끝을 반죽의 표면에 접촉시켜 멈춤 나사를 친다.
- 7) 가동지침을 눈금자 위쪽에 있는 O표 맞추든가, 또는 처음 위치의 눈금을 읽어 놓고 혼합이 끝난 30초 뒤에 로드를 풀어 놓는다.
- 8) 로드를 풀어 놓은 30초 뒤에 처음 면에서 10 ± 1mm의 점까지 내려갔을 때의 반죽 상태를 표준주도로 한다.

##### 3.1.2 주의사항

- 1) 반죽을 잘라내고 매끄럽게 하는 작업 중 시편을 압축하지 않도록 주의하여야 한다.
- 2) 시험하는 동안 진동이 없어야 한다.

- 3) 표준주도를 얻을 때까지 물의 양을 변경하여 시험 반죽을 만들어야 하며 각 시험반죽은 새로운 시멘트로 만들어야 한다.

#### 3.2 비카트 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법(KS L 5108)

##### 3.2.1 시험방법

- 1) 비카트 장치의 표준침을 지름 1mm의 침으로 바꾼다.
- 2) 시험체는 성형한 다음 30분 동안 움직이지 않고, 습기함에 넣어두어 응결할 시간을 준다.
- 3) 30분 후부터 15분마다(3종 시멘트는 10분마다) 1mm의 침으로 25mm의 침입도를 얻을 때까지 시험한다. 반죽 후 이때까지의 시간을 응결시간이라 한다.
- 4) 침입도 시험에 있어서는 로드 아래에 있는 침의 끝을 시멘트 반죽의 표면에 접촉시킨다.
- 5) 멈춤 나사를 조이고, 눈금자의 지침을 눈금자의 위쪽 끝에 맞추든지 처음 위치의 눈금을 읽어둔다.
- 6) 멈춤 나사를 늦추어 빨리 로드를 풀어 놓고 30초 동안 바늘이 내려가도록 하여 침입도를 결정한다.
- 7) 매번 시험한 침입도의 결과를 기록하고, 25mm의 침입도가 되었을 때까지의 시간을 초결시간으로 하고 완전히 침의 흔적이 나타나지 않을 때를 종결시간으로 한다.

##### 3.2.2 주의사항

- 1) 초기에 반죽이 너무 연할 경우 바늘이 휘어지게 되므로, 로드의 낙하를 뒤로 미루어야 하며, 로드는 실제 응결 시간을 측정할 때에만 멈춤 나사를 풀어 놓는다.
- 2) 침입도 시험은 이미 시험한 곳의 어떤 곳에서도나 6mm 이내로 접근시키면 안 되며, 몰드 내면에 9mm 이내로 접근시켜도 안 된다.

#### 3.3 길모아 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법(KS L 5103)

##### 3.3.1 시험방법

- 1) 표준반죽질기의 시멘트 반죽으로 약 10cm 정사각형의 깨끗한 유리판 위에 밑면 지름이 약 7.5cm, 윗면 지름이 약 5.0cm, 중앙면의 두께가 약 1.3cm이고, 바깥쪽으로 갈수록 점점 얇은 패드를 만든다.

- 2) 패드를 만드는 데는 처음에 시멘트 반죽을 유리판 위에 평편하게 놓고 패드를 바깥쪽에서 안쪽으로 훑는 것 같이 흠손질을 하여 만든 뒤 뒷면을 편편하게 한다. 이와 같이 하여 만든 패드는 습기함이나 습기실 안에 넣고 응결시간을 측정하는 시간 이외에는 정치하여 둔다.
- 3) 응결 시간을 측정하는 데는 침을 수질 위치로 놓고 패드의 표면에 가볍게 댄다. 알아 볼만한 흔적을 내지 않고 패드가 길모어의 포결 침을 받치고 있을 때를 시멘트의 초결로 하고, 길모어 종결 침을 받치고 있을 때를 시멘트의 종결로 한다.

### 3.3.2 주의사항

- 1) 반죽판, 건조시멘트 및 길모어 침 부근의 공기 온도는 20~27.5℃로 유지하여야 한다.
- 2) 혼합수 및 습기함이나 흡기실의 의 온도는 23±2.0℃의 범위 내에 있어야 한다.
- 3) 시험실의 상대습도는 50% 이상이어야 한다.

## 4. 비파괴 시험법을 통한 응결시간 측정

시멘트의 응결시간을 측정할 수 있는 방법은 위에서 소개한 관입 시험에 의한 방법, 칼로리미터에 의한 방법 등이 있으나 이런 시험법들은 시험자의 기술과 정확도에 영향을 많이 받으며 시험결과의 해석이 다소 임의적이라는 단점을 지닌다. 이런 단점들을 극복하기 위해 핵자기 공명법, 전기적 방법, 초음파법, 음향방출법, 성숙도법 등의 다양한 비파괴 시험법들이 개발되고 있으며 가장 시험하기 쉽고 정확한 방법이 초음파를 이용한 방법이다. 초음파를 이용하는 방법은 크게 초음파 투과법, 초음파 반사법, 2 가지로 구분된다.

### 4.1 초음파 투과법

#### (Ultrasound Wave Transmission, USWT)

초음파 투과법의 기본원리는 시멘트 시편(Cement Based Material, CBM)을 통과하는 초음파(압축파) 펄스의 신호를 분석하여 초음파 속도를 계산하는데 있다. 즉, 시편의 한쪽에서는 송신기에 의해 초음파 신호를 발생하고 다른 쪽에서는 그 신호를 받아들여 신호의 시간이력을 기록하고 분석하여 초음파 속도를 계산하는 것이다. 시멘트가 수화반응을 일으키는 동안 초음파 속도는 시간에 따라 변하며 재료 결정 구조의 변화를 모니터링 할 수 있다.

초음파 투과법의 장비는 일반적으로 두 개의 트랜스듀서(송신기, 수신기)로 구성되는 펄스-리시버(pulser-reciever), 초음파 신호를 기록하고 분석하는 소프트웨어로 구성된다. 몰드의 형태와 재료, 시편의 크기, 트랜스듀서의 주파수 영역대에 따라 형태에 따라 측정 시스템에서의 차이가 존재한다. 일반적으로 20~500 kHz 주파수 영역대가 사용되며 고주파를 이용할 경우 짧은 파장으로 인한 에너지 감쇠로 인하여 수신부에서의 신호의 크기가 작아 외부의 잡음과의 구별이 어려운 단점을 지닌다. 또한 시편의 크기가 작을 경우 송신기와 수신기의 거리가 짧아져 트랜스듀서 사이의 신호를 구별하기 어려울 수 있다. 보통 신호의 이동거리가 15cm일 때 54kHz, 10cm일 때 82kHz 정도가 사용된다. 시편 몰드의 재료가 철로 이루어질 경우 실제의 시편의 투과속도 보다 빨라질 수 있으며 이를 보완하기 위해 압출성형된 폴리스티렌, 알루미늄, 목재 거푸집 등을 이용하고 있다. 일반적인 초음파 투과법의 시험장비 구성은 <그림 1>과 같다.

초음파 투과법을 시행하는데 있어서는 트랜스듀서와 시편과의 완벽한 접촉을 유지하여야 하고 송·수신기 사이에서의 초음파 신호를 정확하게 구분하여 이를 기록하고 분석하는 것이 중요하다. 송·수신기 탐촉자와 시편

사이에 그리스 등의 접촉매질을 이용하는 것이 좋으며 측정된 신호로부터 잡음을 제거하는 데 다양한 신호처리방법등이 개발되고 있다.

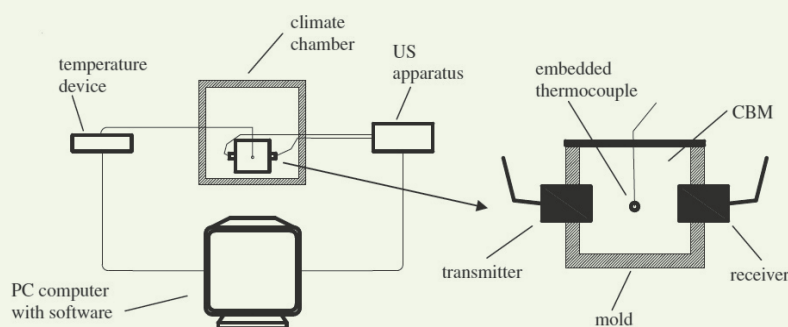
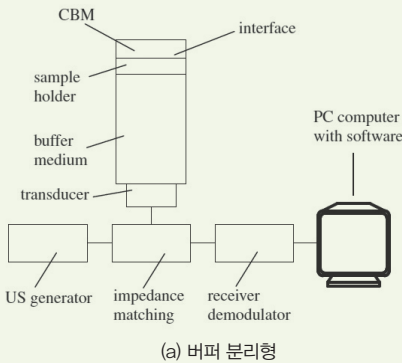


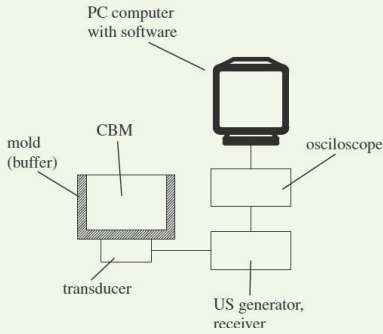
그림 1. 초음파 투과법을 위한 시험장비 구성

### 4.2 초음파 반사법(Ultrasound Wave Reflection, USWR)

초음파 반사법의 기본원리는 시편 접촉면에서의 초음파(전단파)의 반사를 측정하는 것이다. 무차원의 전단파 반사계수( $r$ )는 연속된 반사 신호의 진폭의 감소로부터 계산할 수 있다. 시멘트 수화반응에 의해 고상이 형성됨에 따라 재료의 음향임피던스 및 초음파 속도가 증가하게 되며 이는 전단파의 반사계수의 증가를 일으킨다. 초기 초음파 반사법에서의 버퍼 물질로는 용융수정이 사용되었으나 최근에는 시험의 간편성을 위해 몰드 하단을 철, PMMA(polymethylmethacrylate), 폴리스티렌 등으로 구성하여 버퍼매체로 사용하고 있다. 초음파 반사법의 대표적인 시험장비 구성은 <그림 2>와 같다.




(a) 버퍼 분리형



(b) 버퍼 몰드형

그림 2. 초음파 반사법을 위한 시험장비 구성

## 5. 맺음말

콘크리트 응결시간을 측정하는 방법은 관입 저항에 의한 표준시험 및 초음파법을 통해서 가능하다. 표준시험법의 경우 시험자의 기술과 정확도, 분석의 주관성 등에 영향을 받는 단점을 가지지만 초음파법의 경우는 쉽고 정확한 측정이 가능하며 현장에서의 적용성도 뛰어나다. 굳지 않은 콘크리트 상태에서의 응결시간을 정확하게 측정하는 것은 콘크리트 구조물의 완벽한 타설 및 시공을 위해 꼭 필요한 절차라고 할 수 있다. 따라서 굳지 않은 콘크리트의 응결시간의 보다 정확한 측정을 통해 양질의 콘크리트 구조물 건설이 될 수 있도록 노력해야 할 것이다. 

담당 편집위원 : 이준(한국건설생활환경시험연구원) lj4923@nate.com  
이병재((주)제이엔티아이엔씨) lbjae80@hanmail.net  
오태근(인천대학교) tkoh@incheon.ac.kr

### 참고문헌

1. 한국표준협회(<http://www.ks.or.kr>), “한국표준정보당 디지털라이브러리”.
2. 박승범, 「최신건설재료실험(제2판)」, 문운당, 2010
3. 한국콘크리트학회, 「2015개정 특수콘크리트공학」, 기문당, 2015.
4. C. Trtnik & M. Gams, “Recent advances of ultrasonic testing of cement based materials at early ages,” Ultrasonics, Vol. 54, pp. 66–75, 2014.



**오태근 교수**는 University of Illinois at Urbana-Champaign 토목공학과에서 콘크리트 구조물에 대해서 초음파를 활용한 균열탐지 및 손상파악에 대한 연구로 2012년 박사학위를 취득하였다. 현재 인천대학교 안전공학과에 재직하고 있으며, 관심분야는 토목 및 건축 구조물에 있어서 다양한 비파괴 방법을 이용한 구조물 건전성 모니터링이다.  
tkoh@inu.ac.kr