

〈자 료〉

초음파에 의한 콘크리트 시험법 펀디트의 사용(1972)

1. 서 론

초음파시험은 수많은 종류의 생산품, 특히 금속제품의 훌륭한 검사방법으로써 각광을 받아왔다. 이 방법은 트랜스듀서(Transducer)에서 발신한 초음파 진동펄스(pulse)가 시험체 내부의 결함과 마주쳐 그곳에서 에코(echo)가 반사되어 돌아오기까지의 요하는 시간을 측정하면 이 결함의 크기와 위치를 측정할 수가 있다.

그러나, 이러한 사실이 콘크리트에도 그대로 적용된다고는 할수 없다. 그것은 다음과 같은 3가지의 이유 때문이다.

- 1) 에코(Echoes)는 펄스가 콘크리트 내부를 통과할 때에 마주치는 많은 골재경계에서 발생한다.
- 2) 콘크리트의 내부를 통과하는 경우의 초음파 펄스속도는 금속내부를 통과하는 경우처럼 일정하지 않고 품질 혹은 조성에 의해 달라진다.
- 3) 대체로 금속중을 관통할 때처럼 초음파 펄스의 집중 Beam을 콘크리트 내부에는 관통시킬 수가 없다. 그 이유의 하나는 집중된 Beam을 만들어 내는데 필요하고 주파 펄스가 콘크리트의 내부를 통과할 경우에는 극도로 감쇄된다. 또한 골재경계에 있어 다중반사가 되기 때문에 진동 Beam이 산란하는 것도 그 이유중의 하나이다. 따라서 콘크리트에 초음파시험을 적용하면 콘크리트 내부를 통과하는 하지만 비교적 주파수가 낮은 펄스의 속도를 측정하는 수 밖에 없다. 일반적으로 펄스속도가 높은만큼 콘크리트의 품질이 좋다고 할 수 있다.

2. 펄스속도에 의한 측정종류

진동이 고체(Solid) 중을 통과하는 동안 이 고체 중에는 세 종류의 초음파가 발생한다, 즉 종파(Longitudinal Waves), 횡파(Shear Waves) 레일리파(Rayleigh Waves)가 그것이다.

여기서는 종파만을 취급하기도 한다. 그것은 종파가 다른 두 종류보다도 빠르기 때문이다. 탄성고체내부를 진행하는 초음파진동펄스의 속도는 다음과 같은 식으로 구할 수가 있다. 이것은 이론적으로 실증이 가능하다.

$$\sqrt{\frac{E}{P} \frac{(1-U)}{(1+U)(1-2U)}}$$

여기서, E : 탄성계수

P : 밀 도

U : 포아손비

사실상 상기와 같이 콘크리트 내부를 관통하는 펄스의 속도는 탄성계수와 대단히 밀접한 관계를 갖고 있다고 하

는 것은 밀도 및 포아손비의 변화에 비례하여 탄성계수에도 큰 변화가 생기기 때문이다(그림 2 참조).

콘크리트의 탄성계수는 그 기계적 강도가 증가함에 따라 증가한다. 따라서 펄스의 속도는 실험적으로 입방체, 강도, 또는 인장강도에 관계있다고 해도 좋을 것이다. 그러나 일정한 시멘트 함유량과 골재의 Type에 대해서는 물시멘트비, 공기간주비, 또는 시험당시의 재령의 변화에 따라 달라지기 때문에 속도와 입방체 강도와와의 사이에는 합당한 상관관계가 존재는 하지만 펄스속도와 콘크리트 강도와와의 관계를 분명히 하는 단일곡선은 없다.

3. 시험방법

초음파 펄스속도 측정에 의해 콘크리트 품질을 평가하기 위해서는 대단히 높은 정밀도가 요구된다. 그러기 위해서는 측정에 이용되는 기기가 적당한 펄스를 발생하여 콘크리트 내부를 전달하는 시간(전달시간)을 정밀하게 측정이 되어져야 한다. 뿐만아니라, 시험체내부를 펄스가 진행하는(관통하는)거리 즉, 주행거리도 정확하게 측정하지 않으면 안된다.

$$\text{Pulse Velocity} = \frac{\text{PATH LENGTH (관통거리)}}{\text{TRANSIT TIME (전달시간)}} \quad (\text{펄스속도})$$

관통거리와 전달시간은 각각 약 1% 이내의 정밀도로 측정되어야 한다.

이 시험기기는 펄스의 가장 초기의 부분이 수신용 Transducer에 도달하는데 요하는 시간을 나타내는 것이지만 그 시간은 발진용 Transducer에서 펄스가 발진되어진 순간부터 측정되도록 되어있다.

그림 1은 시험체의 표면에 Transducer를 Setting하는 방법, 즉 직접, 간접 및 반직접의 전달방식을 나타낸 것이다.

이중 이는 직접전달방법이 가장 좋다. 그 이유는 이 방식의 경우 Transmitter에서 송출되는 종파의 전달은 transducer가 서로 마주 볼때(직접전달) 가장 강력하게 진행된다. 간접전달방식도 또한 가능하다. 이 경우 초음파진동 Beam이 시험체의 내부에 여러가지 장애요인 때문에 산란된다. 그리고 이 경우에 탐지되는 펄스의 강도는 통로로 직접전달방식으로 탐지되는 펄스강도의 약 1~2%에 지나지 않는다. 물질내부에 커다란 VOID가 있으면 펄스가 전달되지 않는다.

따라서 만일 이같은 VOID가 직접 펄스 통로선상에 있으면 계기가 나타내는 시간은 가장 빠른 길로 우회해서 돌아오는 펄스의 전달시간이 될 것이다. 이를 이용해서 이러한 VOID가 있는 곳에서 속도 측정을 하면 큰 VOID를 발견할 수가 있다.

4. 펀디트(PUNDIT) 기기에 대해서

이 시험기의 정식명칭은 (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicator Tester) 이고 약칭 PUNDIT이다. 본 기기는 특히 현장시험용으로서의 기능을 갖고 있어 휴대하기 편리하고 조직이 간편하여 정밀도와 안정성이 높게 설계되어 대단히 신뢰할만하다. 저주파의 초음파 펄스를 발생하여 그 펄스가 시험체를 끼운 2개의 Tr-

ansducer사이를 왕복하는 시간을 측정하는 것이 본기기 작동원리이다.

전달시간은 3 자리수의 숫자인디케이터로 나타낸다. 2 가지 종류의 절환이 가능하다. 즉 다음과 같다.

- a) 0.1 microsecond 단위로 0.1-99.9 microsecond
- b) 1 microsecond 단위로, 1-999 microsecond

본 기기는 우선 영점조정을 해야한다. 이것은 다른 Transducer를 사용하는 경우와 길이가 다른 케이블을 교체하는 경우 영점조정이 안될 수가 있기 때문이다.

이 영점조정은 본기기에 딸린 표준조정 BAR를 이용하면 된다. 수신용 증폭기는 20KHz에서 250KHz의 주파수 범위에 유효한 피에조 엘렉트릭 Transducer를 함께 사용할 수 있다. 보통 50KHz의 주파수의 Transducer가 표준으로써 본기기와 함께 공급된다. 그리고 그밖의 주파수로 증폭기의 범위내의 Transducer도 이용할 수 있다. Transducer용 케이블에는 각각 길이가 4m가 표준이지만 필요할 경우는 약 30m 및 이것보다 더 긴 케이블을 사용할 수 있다.

또한 PUNDIT에는 충전식 니켈 카드뮴 전지가 내장되어 있어 연속 7시간은 갈지않고 전력을 공급할 수 있다. 더우기 본기내에는 충전기도 갖추어져 있어 전기공급선을 통해 충전할 수 있다.

5. 콘크리트 시험에의 응용

이 초음파시험법은 Precast 콘크리트 및 현장타설콘크리트의 시험에 응용할 수 있다. 초음파 시험은 다음과 같은 특성의 판정에 이용된다.

- 1) 콘크리트의 균일성
- 2) Void, 균일 또는 이외의 결함
- 3) 시간의 경과에 따라 생기는 (세멘트 수화작용에 의한) 콘크리트의 변화 또는 화재, 결빙, 화학적 침해에 따른 콘크리트의 변화
- 4) 콘크리트 강도 일반에 관한 표준적 콘크리트 품질이 초음파시험기를 시험에 운용하기 위해서는 펄스의 속도가 대단히 정밀하게 측정이 되어야 한다.

펄스속도의 변화는 비교적 작지만 그것이 반영하는 콘크리트 상태의 변화가 대단히 크기 때문이다.

이를 위해 속도측정치를 좌우하는 2 개의 수치 즉 전달시간과 관통거리를 가급적 정확하게 측정하는 것이 중요하다.

따라서, 펄스의 속도는 정밀도 $\pm 2\%$ 의 이내에서 측정하는 것이 바람직하다. 이것은 결국 펄스 전달시간과 펄스 관통거리의 측정허용오차를 $\pm 1\%$ 이내로 해야한다. 강철 또는 매끄러운 목재 형틀에 성형된 콘크리트의 표면에는 먼지 입자 및 작은 모래가붙어있어 Light grease 또는 Medium grease를 발라주면 양호한 케플링 효과를 얻을 수 있다. 또 표면이 젖어있는 경우라면 별로 지장이 없다. 만일 표면이 중간정도로 거칠다면 비교적 고형Grease을 사용하는 것이 좋지만 표면이 대단히 거친 경우에는 Transducer의 접촉부위를 연마하든가 또는 시멘트, 모르타르, 에폭시 수지와 같은 적당한 재료를 최소한으로 얇게 발라 표면을 광활하게 해주어야 한다.

Transducer를 콘크리트 표면에 2회-3회를 적용한 결과 표시된 전달시간이 $\pm 1\%$ 이내에 있으면 케플링이 만족한 상태이다.

6. Transducer 배치의 선택

그림 1은 콘크리트 시험시, 3 종류의 Transducer 배치 형태를 나타낸 것이다.

가급적이면 직접전달배치를 사용하는 것이 좋다. 왜냐하면 이방법에 의한 감도가 가장 좋고 콘크리트내부의 품질을 가장 정확하게 반영한다.

그러나 경우에 따라서는 대각선 배치와 반직접 배치방법을 사용해야 할 경우도 있다. 간접전달배치는 비교적 감도도 낮지만 펄스속도의 측정에 있어 콘크리트의 표면층에 의한 영향이 생기기 때문에 이 표면층의 품질로 콘크리트 심부층의 품질을 대표할 수는 없기 때문에 3 형태의 배치방법 중에서는 가장 만족도가 낮은 것이다. 이외에도 관통거리의 결정이 불확실해서 2개의 Transducer의 중심간의 거리로써 보는것이 정확하다고 말하기 어렵기 때문이다. 이것을 대신해 그림 3에 나타난 방법을 취하는 것이 바람직하다. 이방법은 발진 Transducer를 콘크리트 표면상의 적당한 점에 놓고 수신 Transducer는 일직선상에 일정한 간격으로 놓아 중심에서 중심까지의 거리를 전달시간에 대하여 구분한다. 이 점들에 의해서 나타난 직선의 기울기가 평균 펄스의 속도이다.

만일 여러점들이 일직선상에 나타나지 않을 경우에는 그 콘크리트 표면의 품질이 일정하지 못하거나 또는 그 시험 위치의 어딘가에 콘크리트 내부 균열이 있다는 것을 알수 있다. 이것은 또 콘크리트 표면부근의 펄스의 속도가 콘크리트 심부의 펄스속도보다도 낮은 것을 나타내는 경우도 있다.

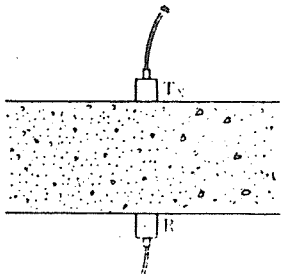
7. 시험조건의 영향

콘크리트 내부의 펄스속도에 미치는 영향에 대해서는 다음과 같은 것이 있다.

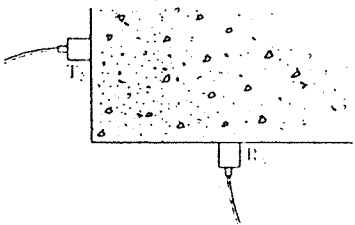
- 1) 펄스의 관통거리
- 2) 철근의 유무
- 3) 콘크리트의 함수량
- 4) 공시체의 크기

관통거리에 의한 영향은 직경20mm 골재가 사용되어 있으면 관통거리 100mm 이상이어야 하고 직경40mm 골재가 사용되어 있으면 관통거리 150mm 이상이라야 그 영향을 무시할 수가 있다.

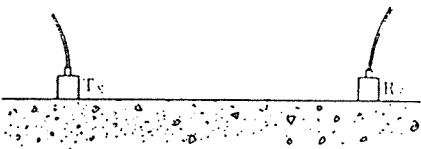
펄스속도는 펄스가 관통할 공시체의 크기가 펄스 진동의 파장을 상회하는 것이라면 공시체의 크기에 의한 영향은 받지 않는다. 50KHz의 펄스의 경우 이것은 약 80mm의 최소한의 크기에 상당한다. 만일 이상의 조건에 맞지 않는다면 펄스의 속도가 감소하기 때문에 펄스속도 측정 결과에는 세심하게 주의할 필요가 있다. 금속(철근)을 통한 펄스의 속도는 보통 콘크리트보다도 빠르다. 이 때문에 철근의 가까운 곳에서 펄스속도 측정을 하게 되면 측정치가 높아져 콘크리트의 원래의 측정치를 대표하지 않는 경우도 있다. 이것은 펀디트가 나타내는 전달시간이



직접법

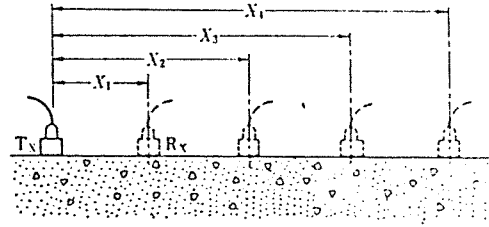


반직접법



간접법

그림 1. 초음파 펄스전달방법



펄스전달시간 (μS)

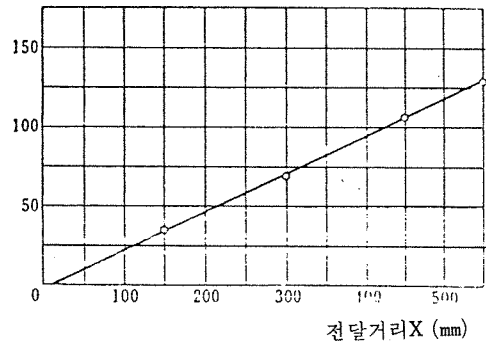
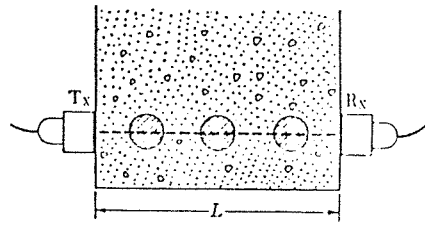


그림 3 간접에 의한 펄스속도의 측정방법



철근직경의 합계

콘크리트의 품질

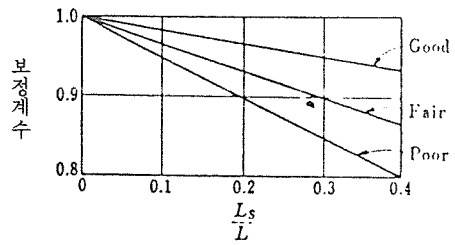


그림 4. 펄스속도에 미치는 횡철근의 영향

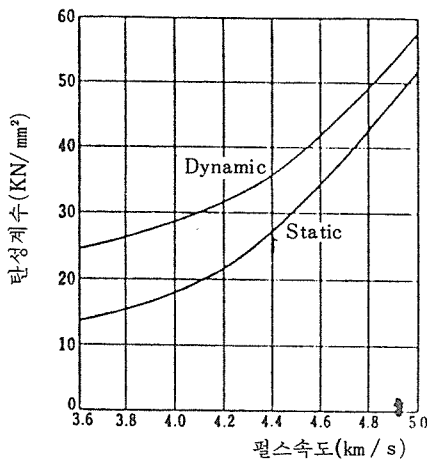


그림 2. 펄스속도와 정·동탄성계수의 관계

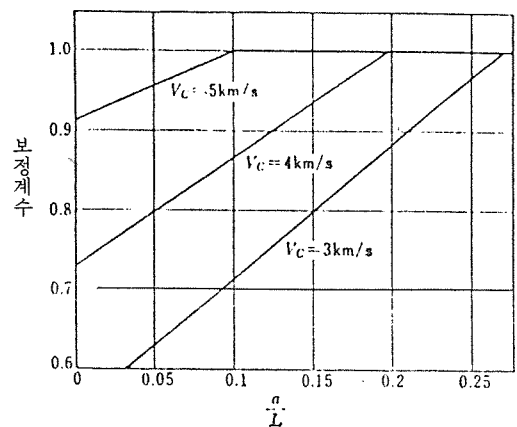
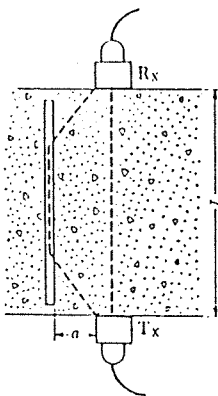


그림 5. 펄스속도에 미치는 종철근의 영향

수신 Transducer에 최초로 도달한 펄스의 것이기 때문이다. 철근이 펄스에 대하여 직각으로 지나가고 철근량이 펄스통로의 길이에 비해 비교적 적다면 철근에 의한 영향은 일반적으로 작은 것이라고 생각해도 좋다.

그림 4는 철근의 직경이 직접 펄스통로에 연해서 지나가고 있는 경우, 이 영향의 허용범위를 나타내고 있다.

Ls/L의 비율을 알고 있으면 측정된 펄스의 속도는 이 비율과 콘크리트의 품질에 상당하는 보정계수를 곱하여 보정할 수 있다. 그러나 될 수 있는 한 이러한 통로를 피해서 시험하는 것이 바람직하고 철근이 직접 통로선상에 오지 않도록 펄스의 통로를 선택하는 것이 중요하다. 만일 철근이 펄스통로에 평행하게 지나가고 있는 경우에는 철근의 영향은 그림 4에 나타난 경우처럼 피하기가 어려운 경우도 있다. 그러나 이 경우의 철근의 영향에 대한 보정치를 구하는 것은 쉽지가 않고 그림 5에 나타난 보정계수는 조사적인 것에 지나지 않는다고 볼 수 있다.

일반적으로 이들의 수치는 철근에 의한 영향의 상한치를 나타낸 것이다.

가급적이면 철근의 영향을 피할 수 있는 펄스의 통로를 택하는 것이 좋다.

콘크리트의 함수량은 펄스의 속도에 대하여 대단히 중요한 영향을 미친다.

일반적으로 펄스의 속도는 함수량의 증가에 따라 증대하고 이 영향은 품질이 나쁜 콘크리트에 대해서는 더욱 뚜렷하게 나타난다. 수분포화 콘크리트의 펄스속도는 동일한 성분과 품질의 건조 콘크리트에 비해 최고 2%까지 빨라진다. 단 강도가 높고 콘크리트에 있어서는 수분에 의한 영향을 작게 받는다. 초음파 시험법을 품질검사의 한 수단으로서 시행하는 경우에는 가급적이면 오랫동안 콘크리트를 습한 상태로 두도록 권장한다.

이것은 펄스의 수치를 높게는 하지만 결국은 양호한 양생을 하기 위한 자극이 될 수도 있기 때문이다. 콘크리트 온도에 의한 영향은 섭씨 5도에서 30도까지는 무시해도 좋다. 단 극단적인 온도의 경우에는 예외로 한다.

8. 콘크리트의 균일성

콘크리트의 구조물 표면에 바둑판무늬처럼 규칙적인 점을 선택해서 펄스속도를 측정하는 것은 콘크리트의 균일성을 측정하는 데 있어 대단히 좋은 방법이다. 또한 선택된 여러점에 의해 구성된 바둑판무늬의 크기는 구조물의 크기와 가변용량에 의해 결정된다. 더욱 펄스속도의 고저도를 구성해 나가면 여러 변화의 범위를 명료하게 나타낼 수 있기 때문에 이것은 대단히 유익한 방법이다.

그 예를 그림 6에서 나타낸다. 이것에 의하면 통로의 길이가 기록된 변화의 범위에 영향을 미칠 가능성이 있는 것을 보아서 알 수 있지만 이것은 펄스속도의 측정치가 펄스통로의 선상에 연한 콘크리트의 품질의 평균에 일치하는 것이고 또한 각 측정할 때에 시험한 콘크리트시료의 크기가 펄스통로의 길이와 직접적인 연관을 갖고 있기 때문이다.

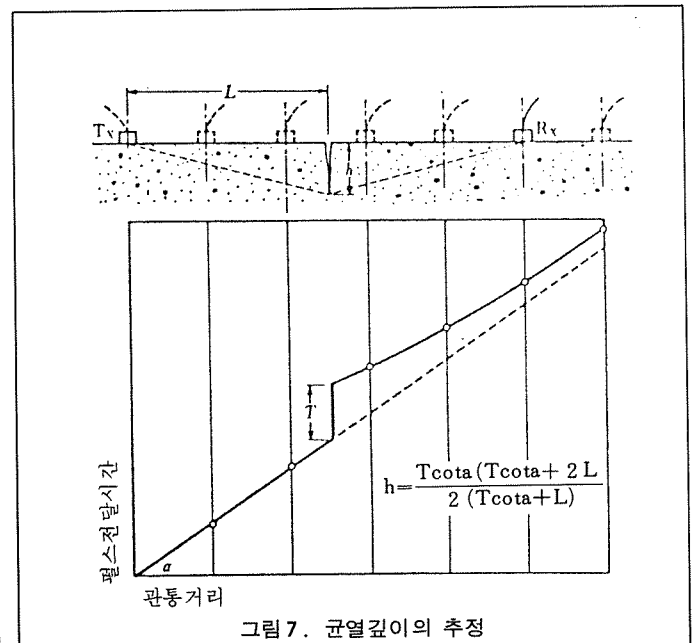
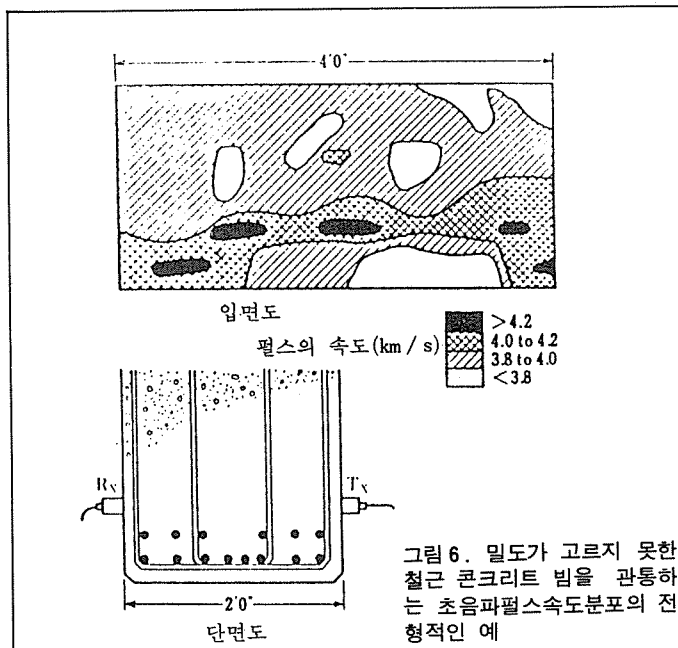
9. 결함의 탐지

초음파 펄스가 콘크리트 내부를 통과할 때 콘크리트와 공기접촉면 즉 공기로 채워져 있는 틈을 만나거나 Transducer 사이에 직접 존재하는 균열 또는 공동이 Transducer면의 면적보다 크면 초음파 빔을 방해한다. 수신용 Transducer에 도달한 펄스는 콘크리트 내부의 결함주위를 회절하여 진행하기 때문에 결함이 없는 같은 종류의 콘크리트보다 전달시간이 길어진다.

때로는 이러한 효과를 결함의 장소를 탐지하기 위해 이용할 수도 있다. 단 결함이 있는 부위가 Transducer의 면보다 작을 경우 전달시간에의 영향이 작거나 아예 나타나지 않는 경우도 있다.

10. VOID 및 공동의 탐지

큰 공동은 Transducer사이의 직선 통로상에 오도록 적당한 위치에 놓였을때 전달되는 시간을 측정함으로써 탐지될 수 있다. 이러한 공동의 위치와 크기는 펄스가 Transducer 사이를 공동주위를 돌아 최단거리를 지나온다



고 하는 가정과 함께 추정할 수가 있다. 이렇게 구한 결과는 공동이 균일한 밀도의 콘크리트에서 확실한 경계가 있다면 보다 한층 신뢰할 수 있는 추정치를 얻을 수 있다.

11. 표면균열의 깊이 추정

콘크리트 표면의 균열의 깊이를 추정하려면 균열의 선과 직각으로 달리는 콘크리트 표면의 선을 따라서 연속적인 관통시간을 측정하면 된다. 이 순서는 간접전달 측정 방식에 의해 연속적으로 펄스속도를 측정하는 방법과 비슷하다. 이것을 그림 7에 나타냈다.

전달시간을 Transducer 사이의 거리에 대하여 구분하면 그래프상의 균열 위치에 해당하는 점에 불연속이 생긴다. 이 균열의 깊이는 그림 7에 나타난 공식에 의해 구할 수 있다.

이상의 균열 깊이 추정방식은 균열에 물이 들어가지 않는 경우에 한해 유효하다.

12. 시간경과에 따른 콘크리트 변화의 감시

콘크리트의 구조물에 시간경과에 의한 수화작용, (강도를 증가한다) 결빙 등의 공격적인 환경 또는 황산염에 의한 변화가 생긴 경우에는 다른 때에 펄스속도의 반복측정을 함으로써 이것을 평가할 수 있다.

펄스속도의 변화는 강도의 변화를 뜻하는 것으로서 변화의 측정은 동일 공시체 또는 콘크리트 제품을 대상으로 하여 시간의 경과에 따라 측정한다.

이 편리한 방법은 특히 타설후 최초의 2일간의 경화경과를 추적하는 데는 가장 적당한 방법이 될 수 있다. 때로는 가급적 빨리 형틀을 떼어낼려고 할때 그전에 형틀을 통해서 측정할 수 있다.

그림 8에 조기 시령에 펄스속도의 측정을 한 실험결과 중에서 대표적인 것을 나타냈다. 이것은 형틀을 떼어내는 시기 및 프레캐스트(Precast) 작업을 개시할 시기를 결정하는데 대단히 유익하게 응용할 수 있다.

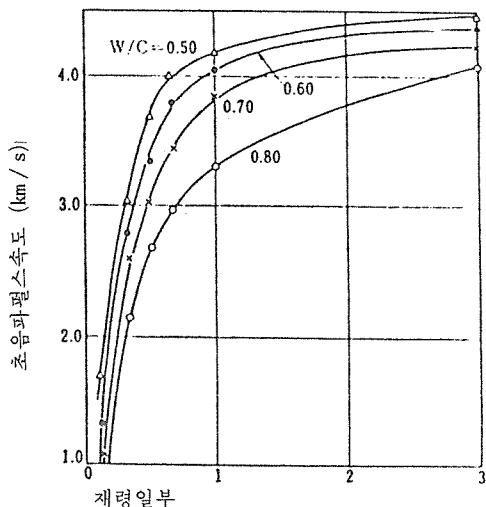


그림 8. 콘크리트내부에 있어 초음파펄스속도의 초기전개

13. 화재손상후의 콘크리트 강도 추정

초음파시험법은 화재후의 콘크리트를 대상으로 손상범위의 판정에 응용할 수 있다.

그림 9 및 10은 콘크리트가 받은 최고온도와 가열로 인한 펄스속도의 감소 비율과의 사이에 양호한 상관관계가 성립하는 것을 발견했다. WATKEYS에 의해 얻어진 전형적인 결과를 나타낸 것이다.

그림 9에 있어 2개의 곡선은 가열된 2조의 공시체에 물을 뿌리거나(급격수냉) 또는 공기중에서 냉하여 냉각된 때의 온도-초음파 펄스속도의 관계를 나타낸 것이다. 그림 10은 열에 침해된 콘크리트가 손상을 받지 않은 콘크리트 보다도 펄스속도가 작아진 것을 알 수 있다. 이것들의 결과는 보통 콘크리트의 전형적인 즉 자갈골재를 이용한 콘크리트를 대상으로 한 것이다.

14. 강도의 추정

콘크리트의 품질은 일반적으로 그 입방체(또는 시린더)의 파괴강도의 측정에 따라 판정된다. 지금까지의 경우에는 입방체 강도와 펄스속도와의 사이에 단순한 상관관계는 인정되지는 않고 다음과 같은 영향을 받는 것으로 되어 있다.

- 1) 골재의 종류
- 2) 골재-시멘트 비
- 3) 콘크리트의 재령
- 4) 골재의 크기 및 입도분포
- 5) 양생조건

실제로 펄스속도를 이것에 상응하는 입방체의 강도로써 적용하려면 혼합비율이라든가 골재의 종류와 같은 일정한 변화를 준 일련의 공시체를 만들어 줌으로써 사용되는 일정한 콘크리트를 보정하는 것이 좋다.

펄스속도를 이용하면 파괴강도를 측정할 때 실패로 판정된 각 공시체에 대해서도 다시 측정이 가능하다.

강도의 범위를 구하려면 시험시 재령을 달리한다든가 물-시멘트의 비를 알고 있으므로써 얻어질 수가 있다. 펄

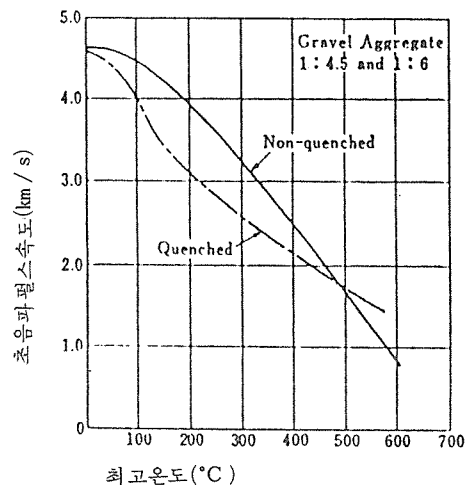


그림 9. 화재온도가 콘크리트의 펄스에 미치는 영향

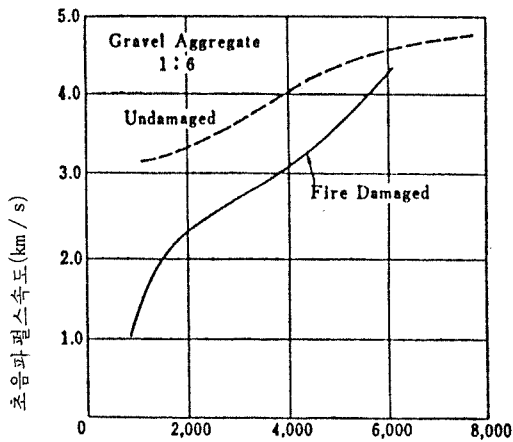


그림10. 화재사고 콘크리트에 있어 열에 손상된 콘크리트의 강도와 펄스속도의 관계

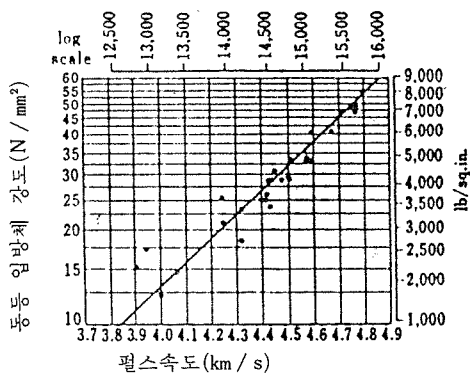


그림11. 콘크리트의 대표적인 강도·속도 상관관계

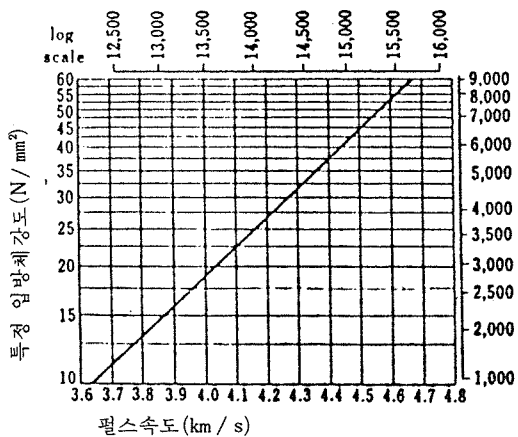
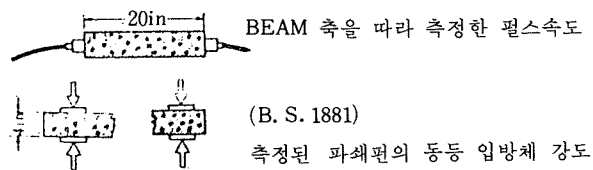


그림12. 특정입방체 강도의 구조물중에 있어 최소허용 펄스속도에 대한 관계를 나타낸 시준곡선

* 주 - 이곡선은 표준적으로 또한 이 설계의 경우에 허용된 콘크리트 입방체 강도와 구조물중 콘크리트와의 사이에 강도차를 고려한 것이다.

스속도에 대한 입방체의 강도곡선은 강도에 변화를 주는 이 두가지 방법과 똑 같이 적용되지는 않는다. 그러나 선택된 방법은 시험목적의 요구에 부응해야 한다. 시간의 경과에 따른 강도변화를 측정할 경우에는 재령을 변화시키는 것이 보정곡선을 얻는 데에 가장 적합한 방법이다. 단 품질시험을 각 재령에 대하여 시행하는 경우에는 물-시멘트의 비를 변화시켜 그 상관관계를 명확히 할 필요가 있다. 또한 입방체시험에서 그러한 상관관계가 얻어지고 하여도 B. S1881(METHOD OF TESTING CONCRETE)에 기재된 콘크리트 파괴계수의 시험에 사용된 것과 같은 그러한 Beam을 이용하는 것이 바람직하다. 이 Beam은 길이가 500mm이고 펄스통로로써 길이 방향의 축을 이용하면 한층 더 정도가 높은 펄스속도의 측정치를 얻을 수 있다. 초음파시험을 한 후 이 Beam의 파괴계수를 구하기 위해 Flexure 시험을 한다. 그리고 부러진 Beam을 가지고 동등의 입방체 강도를 구하기 위해 파괴시험을 행한다. 이 모든 자세한 것은 B. S 1881에 기재되어 있다.

그림11은 강변의 자갈골재를 사용한 콘크리트에서 얻어진 대표적인 곡선으로 이 Beam을 사용하여 Calibrating한 것이다. 구조물 중의 콘크리트의 시험을 할 경우에는 펄스속도 측정에 의해 추정된 입방체 강도치를 현장에서 제작한 콘크리트 입방체의 강도와 같다고 할 수 없다. 왜냐하면 콘크리트 구조물은 콘크리트 입방체의 강도가 구조물중의 콘크리트 강도보다도 높다고 하는 사실을 고려하여 설계되어 있기 때문이다. 따라서 적당한 허용오차라는 것이 필요하게 된다. 지정된 입방체 강도 혹은 특정 입방체강도의 구조물중에 있어 측정된 펄스속도 최소 허용치에 대한 관계를 명확히 하는 시준 곡선을 그림12에 나타냈다. 이것은 자갈골재를 이용한 철근 콘크리트 Beam을 대상으로 한 시험에서 얻어진 것이다.



아래의 상관 그래프는 펄스속도와 상기 Beam의 동등 입방체강도와와의 측정에 의해서 얻어진 것이다.

입방체 강도라는 용어로 강도를 표현하는 대신 가능한 구조물 구성요소의 강도와 펄스속도와와의 사이에 존재하는 직접적 상관관계를 구하는 편이 바람직하다.

그러한 상관관계는 그대로 Precast 제품에 응용할 수 있고 또한 펄스속도와 적당한 기계적 시험(Bending시험 등)과의 관련을 명확하게 하는 곡선을 얻을 수도 있다.

15. 탄성계수의 추정

탄성계수의 추정은 강도의 추정만큼 복잡하지 않기 때문에 경량골재 콘크리트를 포함하는 범위의 콘크리트에 대해서 단일곡선으로 펄스속도와 탄성계수와의 관련을 나타낼 수가 있다. 그림 2는 펄스속도 측정에 의해 정탄성계수 및 동탄성계수를 결정하기 위해 사용하는 곡선을 나타내주고 있다.

16. 결 론

디지털표시식 초음파시험기의 개발에 의해 종래의 시험 기기를 사용하여 왔던 것보다 훨씬 간단하게 현장이나 공장에서 초음파 시험이 가능하게 되었다.

과거 4반세기에 이르는 초음파 시험의 가능성을 위한 개척적 연구가 현재 공업계에서 실용화하는데 도움이 되어 왔다.

콘크리트 비파괴 시험법의 종류 및 특징

(1)

종	류	추정내용	적용범위	장 점	단 점	비 고	
타 격 법	표면경도법	<ul style="list-style-type: none"> • 낙하식 할마법 • 스프링식 할마법 • 회전식 할마법 • 피스톨 강구 타격법 	이상과 같은 각종 기기를 이용하여 콘크리트 표면을 타격하여 압입 자국의 깊이, 직경 면적 등을 측정	압축 강도의 추정	<ul style="list-style-type: none"> • 측정이 비교적 용이함 • 피측정물의 형상 크기에 관계없이 적용할 수 있다 	<ul style="list-style-type: none"> • 측정부위가 콘크리트의 표층부에 한정됨 • 일단 시험을 한 부위는 다시 적용할 수 없음 	최근 그다지 사용되지 않고 있음
	반발 경도법	<ul style="list-style-type: none"> • 슈미트 할마법 등 	좌기의 기기에 의해 콘크리트 표면을 타격하여 그 반발 정도를 측정	압축 강도의 추정	<ul style="list-style-type: none"> • 측정이 간편 • 피측정물의 형상, 크기에 관계없이 적용 	상 동	최근 가장 많이 실용화되고 있다. 슈미트할마의 기종은 풍부
진 동 법	공 진 법	<ul style="list-style-type: none"> • 종 공진법 • 다와미 공진법 • 네지리 공진법 	특정형상, 크기의 콘크리트공시체의 공진진동수, 대수 감쇄율의 측정	<ul style="list-style-type: none"> • 동적특성(동탄성계수, 동전단탄성 계수, 동포아손비 등)의 측정 • 동결융해지향성의 측정 • 압축 강도의 추정 	<ul style="list-style-type: none"> • 측정은 비교적 간단 • 동일 공시체에 되풀이해서 적용할 수 있다 	<ul style="list-style-type: none"> • 피측정물의 형상, 크기에 제약이 있다 • 동적특성을 단독으로 이용한 경우 	이미 JISS, ASTM 등으로 규격화되어 널리 사용되고 있다
공 진 법	음 속 법	<ul style="list-style-type: none"> • 초음파법 • 충격파법 • 위상법 	<ul style="list-style-type: none"> • 초음파 펄스(종파)의 전달속도의 측정 • 충격파(종파, 횡파)의 전달속도의 측정 • 표면파(래-래파)의 전달속도의 측정 	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 두께의 측정 • 콘크리트 내부의 결함추정 • 동탄성 계수의 측정 • 압축강도 추정 • 압축강도의 추정 	<ul style="list-style-type: none"> • 피측정물의 형상의 크기에 그다지 제약이 없다 • 동일한 곳에 반복해서 재시험이 가능하다 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용주파수가 높게 되는 만큼 지향성은 좋아지지만 음파의 감쇄가 커진다 • 단독으로 사용환경우 강도추정 정도는 그다지 좋지 않다 	초음파법을 최근 많이 이용되고 있지만, 충격파법 및 위상파법은 그다지 이용되고 있지 않다
전 - 자기법	전 기 법	전기저항법 유전율법 자연전극전위법	<ul style="list-style-type: none"> • 전기저항의 측정 • 유전율의 측정 • 자연전극 전위의 측정 	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트의 두께 밀도, 함수율 등을 측정 • 콘크리트 중의 철근의 부식 상황의 추정 	<ul style="list-style-type: none"> • 측정은 비교적 용이 • 동일한 곳에 반복해서 시험이 가능 	추정정도는 그다지 좋지 않다	연구중에 있기 때문에 적용에는 비교적 적다
	자 기 법	파코 메타법 커버메타법 등 Profometer를 사용	철근의 존재에 의한 자기의 변화	철근 탐사	<ul style="list-style-type: none"> • 측정은 비교적 용이 • 동일한 곳에 반복해서 적용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 철근이 밀집된 경우 탐사가 • 깊은 위치에 있는 철근에는 적용 곤란 	기기가 시판중에 있고 상당히 실용되고 있다
방 사 선	방 사 선 법	x-선법, r선 라디오그	방사선투과상 황의 촬영	• 내부 결함의 탐사	콘크리트 내부의 상황이 직	• 방사선에 의한 위험이 수	방사선, 중성자 등의 취급에 제

		라피법, r선 라디오메 트리법		• 철근탐사	접 관찰될 수 있 다.	반 • 장치가 대형	한이 따르고 그 다지 실용화 안 됨.
	중성자법	중성자함수량 측정법 중성자활성화 분석법	중성자 감쇄상 황의 측정	• 콘크리트 함 수량의 추정 • 단위 세멘트 량의 추정	측정정도가 비 교적 좋다	• 위험이 수반 • 장치가 대형	상 동
국부 파괴법	관입법	신비햄버법, 스핏트핀법, 와인저 프로법 등	관입깊이의 측 정	압축강도의 추 정	• 측정이 비교적 용이	• 화약을 이용 하기 때문에 위험이 따른 다. • 시험후 보수 가 필요	사용한 예는 그 다지 없다
	인발법	못, 볼트 등의 인발법	미리 콘크리트 층에 못, 볼트 등을 묻어두고 인발하여 그 내 력을 측정	압축강도의 추 정	강도추정정도 가 비교적 좋 다	콘크리트 타설 전에 준비를 필 요로 한다. 시험후 보수필 요	소련에서는 이 미 규격화 되어 있고 미국에서 도 규격화중이 다.
	국부 압축법	—	φ15mm 정도의 강관에 의한 국 부의 압축내력 의 측정	압축강도의 추 정	강도추정정도 가 비교적 좋 다	실시가 약간 곤 란 시험후 보수 필요	적용이 많지 않 다.
조 합 법	초음파, 슈밋 트램머의 조합 법	—	초음파 음속과 슈밋트램머반 발경도의 측정	압축강도의 추 정	초음파법, 슈밋 트램머법을 단 독으로 이용하 는 경우보다도 추정정도가 훨 씬 좋아진다	강도 판정식이 확립되어 있지 않다.	강도추정의 향 상을 기대할 수 있고 유망시 되 고 있다.
	음속, 음파감쇄 율법 동탄성계수, 대 수감쇄율법		초음파의 음속 과 감쇄율의 측 정 동탄성 계수와 대수 감쇄율의 측정	압축강도의 추 정 압축강도의 추 정	음속단독으로 시행했을 때 보 다도 강도추정 정도가 좋다 동탄성 계수의 것보다도 강도 추정정도가 좋 다.	감쇄율의 측정 이 곤란 피측정물의 형 상, 크기에 제 약이 있다	연구단계 최근 그다지 이 용되고 있지 않 다.
그 외	마이크로 웨이 브 흡수법		라장0.3-300 mm의 마이크로 웨이브의 물에 의한 감쇄율의 측정	콘크리트함수 율의 측정	측정이 비교적 용이	추정정도가 반 드시 다 좋지는 않다	연구단계
	표면흡수성법		콘크리트 표면 에 채운물 (수 심 약 20cm)의 흡수속도와 흡 수량의 측정	공극율에서 동 결융해저항성 을 추정	특별한 기구를 필요로 하지 않 는다.	수평부재의 상 면 밖에는 적 용할 수 없다	적용예는 그다 지 많지 않다.
	수화도, 공극율법		수온압입법에 의한 공극율과 화학분석법에 의한 수화도의 측정	압축강도의 추 정	콘크리트 파편 이 있으면 강 도추정이 가능, 강도 추정정도 가 좋다	측정이 곤란	연구단계
	어코우스틱, 에미션법		재하에 따른 콘 크리트 내부의 발생음의 계측	• 콘크리트 품 질의 추정 • 재하이력의 추정	가이저-효과 를 이용하여 그 콘크리트의 과 거의 재하력을 추정할 수 있다.	• 추정이 곤란 • 측정 장치가 고가이다	연구단계