

# 콘크리트 균열측정에 대한 비파괴시험의 적용

## The Application of Non-destructive Method in Measuring of Concrete Crack

민 정 기(충남대) · 김 성 완(충남대) · 성 찬 용(충남대) · 조 일 호(동양시멘트)

Min, Jeong Ki · Kim, Seong Wan · Sung, Chan Yong · Cho, Il Ho

### Abstract

The ultrasonic pulse measurements can be used to detect the development of cracks in concrete structures and to check deterioration due to frost or chemical action. An estimate of the depth of a visible crack at the surface can be obtained by measuring the transit times that across the crack for two different arrangements of the transducers placed on the surface.

In this paper, the concrete cracks that artificially introduced crack of width 1, 2mm and depth 20, 40, 60, 80mm were measured by Tc-To, Direct and Indirect Method.

The test results indicate that the Tc-To Method is the most useful in measuring crack of concrete structures. And the crack depth calculated by the Direct and Indirect Method is shown bigger than artificially introduced real crack depth.

### 1. 서 론

콘크리트에 발생하는 균열은 심각한 구조적 문제를 야기시킬 수 있으며, 내구성의 저하와 외관의 손상은 물론 균열로 인하여 철근이 대기나 습기에 노출 될 경우 부식이 발생할 수도 있다. 콘크리트 구조물에 균열이 발생하면 그것이 구조물의 안전도와 사용성에 미치는 영향을 분석하여야 하며, 이를 위해서는 우선 그 균열의 정확한 원인을 규명하고 그에 적절한 대책을 강구하는 것이 바람직하다.

균열의 위치와 크기 등은 육안검사나 비파괴검사 또는 코아채취시험으로 부터 알아낼 수 있다. 육안검사는 간단히 휴대할 수 있는 균열측정기를 이용하여 측정할 수 있으며, 코아검사는 의심이 가는 부분의 코아를 채취하여 결함을 알아내거나 균열의 크기 및 깊이 등을 비교적 정확하게 조사할 수 있다. 그리고 비파괴검사는 현장에서 구조물에 손상을 주지 않고 이루어지기 때문에 검사대상물에 대한 손상이 없다.

현재까지 개발되어 콘크리트에 적용되는 비파괴 시험법은 적용 목적에 따라 크게 콘크리트의 강도추정을 목적으로 하는 것과 콘크리트 강도 이외의 물성 또는 상태를 조사하기 위한 목적을 가진 두 가지 유형으로 분류할 수 있다.

---

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

그러나 국내에서 콘크리트 구조물의 결함탐사나 강도예측에 비파괴검사가 제한적으로 사용되고 있으나, 다양한 비파괴검사기법에 대한 이해가 부족하고 각각의 사용용도에 따른 장단점을 파악하지 못하거나 얻어진 결과에 대한 신뢰성에 문제가 있는 것으로 판단되는 등 기술이 초보단계에 머물러 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 현재 기존 콘크리트 구조물에 발생된 균열을 초음파에 의한 비파괴 측정법중 Tc-To와 Direct 및 Indirect method를 채택하여, 이 측정된 전달속도로 균열깊이를 계산하고 이를 실제 균열깊이와 비교하여, 콘크리트의 균열측정을 위한 비파괴시험의 적용성 및 측정치의 신뢰성을 검증하기 위하여 실시되었다.

## II. 사용재료 및 시험방법

### 1. 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 세골재는 금강유역에서 채취된 강모래이고, 조골재는 충남 공주군 장기면에서 생산되는 쇄석이다.

### 2. 공시체 제작 및 양생

콘크리트 배합은 실제 현장에서 가장 널리 사용되고 있는 국내 레미콘 회사의 배합비를 채택하였으며, 균열측정을 위한 공시체는 15×15×55cm의 빔몰드를 제작하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 24시간 정치 후 탈형하여 재령 28일까지 일정온도(20±1℃)에서 수중양생을 실시하였다.

### 3. 시험방법

균열측정의 대표적인 방법으로 Tc-To Method와 Direct Method(수정 BS법) 및 Indirect Method가 있는데, 각각의 시험방법을 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) Tc-To Method

Tc-To Method는 발, 수신자를 Fig. 1과 같이 균열로부터의 거리 a에 놓고 측정된 전파시간 Tc와 균열이 없는 부근 2a 사이의 전파시간 To로부터 균열깊이 y를 (1)식으로 계산한다.

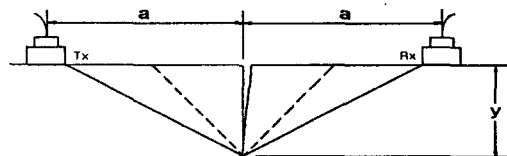


Fig. 1. Tc-To Method

$$y = a\sqrt{(T_c/T_o)^2 - 1} \text{ ----- (1)}$$

2) Direct Method

Direct Method는 발, 수신자를 Fig. 2와 같이 균열로부터 대칭되게 설치하고,  $a_1=5\sim 15\text{cm}$ ,  $a_2=2a_1$ 에 놓았을 때의 전파시간  $T_1, T_2$ 를 측정하여 (2)식으로부터 균열깊이( $y$ )를 구한다.

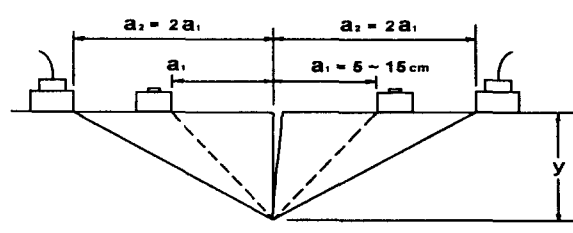


Fig. 2. Direct Method

$$y = a_1 \sqrt{(4T_1^2 - T_2^2) / (T_2^2 - T_1^2)} \quad \text{----- (2)}$$

3) Indirect Method

Indirect Method는 Fig. 3과 같이 발신자는 고정시키고 수신자를 이동하면서 각 측정에서의 전파시간을 측정하면 균열이 없는 경우는 실선과 점선의 그래프로 나타나고, 균열이 있는 경우는 균열 전·후에서의 전파시간은  $T$ 만큼의 차이가 발생하는 그래프로 나타난다. 이 그래프에서 균열 전·후의 전파시간의 차  $T$ 와 발신자에서 균열까지의 거리 및 그래프의 기울기를 등을 사용하여 (3)식으로 균열깊이( $h$ )를 구하는 것이다.

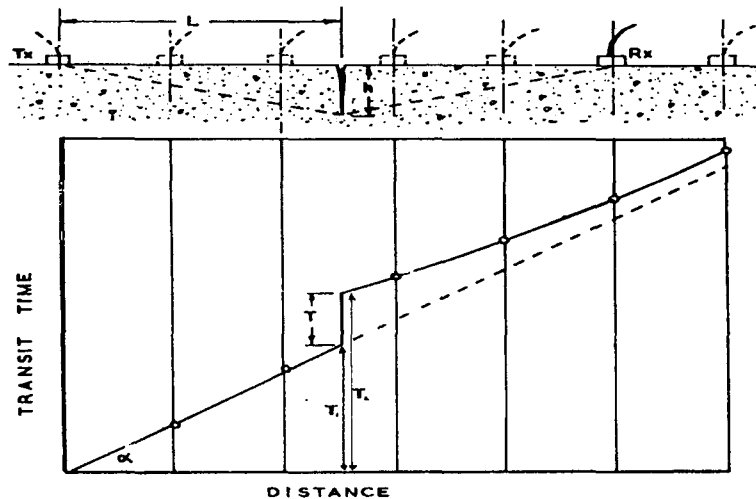


Fig. 3. Indirect Method

$$h = \frac{T \cot \alpha (T \cot \alpha + 2L)}{2(T \cot \alpha + L)} \quad \text{----- (3)}$$

그러나 식(3)은 계산이 복잡하기 때문에 최근에는 (4)식과 같은 간편식으로 균열깊이(h)를 구한다.

$$h = \frac{L}{2} \left( \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right) \text{----- (4)}$$

균열도입은 몰드 내에 콘크리트를 타설하여 다짐을 한 후 표면마무리를 하고, 공시체의 중앙부에 미리 제작한 균열 도입용 아크릴 판을 소정의 위치에 매설하고 1일 후 콘크리트가 경화한 후 제거하는 방법으로 실시하였으며, 도입된 균열의 종류는 폭 1mm에 깊이가 20, 40, 60, 80mm인 것과 폭 2mm에 깊이는 20, 40, 60, 80mm로 하였다.

그리고 초음파 전달시간의 측정절차는 균열에 수직한 방향으로 초음파 전달시간 측정점을 표시한 후, 발진자와 수신자를 각 측점에 설치하여 초음파의 전달시간을 측정하여 균열깊이를 계산한다.

### III. 결과 및 고찰

각각의 균열 폭과 깊이에 대한 실험결과를 나타내면 다음과 같다.

Table 1. Test results calculated by Tc-To Method

Introduced Crack		Transit Time (μ sec)				Calculated Depth (cm)			
Width (mm)	Depth (mm)	a=5cm	a=10cm	a=15cm	a=20cm	a=5cm	a=10cm	a=15cm	a=20cm
0	0	24.7	49.7	74.3	96.0	0	0	0	0
1	20	26.8	50.9	75.2	96.6	2.12	2.21	2.34	2.24
	40	32.5	53.7	77.3	98.1	4.28	4.09	4.31	4.21
	60	41.2	58.6	80.9	101.2	6.68	6.25	6.46	6.67
	80	51.2	64.6	85.3	104.5	9.08	8.30	8.46	8.60
2	20	28.5	51.2	76.8	97.1	2.88	2.48	3.03	3.04
	40	37.2	55.4	78.4	99.4	5.63	4.92	5.05	5.37
	60	44.1	59.7	82.1	101.9	7.40	6.66	7.05	7.11
	80	53.0	66.3	86.5	105.3	9.49	8.83	8.94	9.01

※ a는 Fig. 1참조

Table 2. Test results calculated by Direct Method.

Introduced Crack		Transit Time ( $\mu$ sec)		Calculated Depth (mm)
Width (mm)	Depth (mm)	$a_1 = 10\text{cm}$	$a_2 = 20\text{cm}$	
0	0	49.7	96.0	0 (31.4)
1	20	50.9	96.6	39.1
	40	53.7	98.1	53.3
	60	58.6	101.2	71.6
	80	64.6	104.5	92.5
2	20	51.2	97.1	39.4
	40	55.4	99.4	59.3
	60	59.7	101.9	75.4
	80	66.3	105.3	98.5

※  $a_1, a_2$ 는 Fig. 2 참조

Table 3. Test results calculated by Indirect Method.

Introduced Crack		Transit Time ( $\mu$ sec)					Calculated Depth (mm)
Width (mm)	Depth (mm)	10cm	20cm		30cm	40cm	
			Before crack	After crack			
0	0	20.8	49.2		73.2	96.0	0
1	20	20.9	41.7	58.3	78.2	96.6	68.3
	40	21.4	41.7	63.4	80.4	98.1	86.3
	60	21.9	41.7	68.1	82.6	101.2	102.3
	80	21.6	41.7	73.3	87.1	104.5	118.9
2	20	21.7	41.7	60.7	80.3	97.1	76.9
	40	22.8	41.7	65.4	82.7	99.4	93.1
	60	21.5	41.7	71.2	88.5	101.9	112.2
	80	21.5	41.7	76.8	89.7	105.3	129.9

※ 균열전면의 수치는 기준시편의 측정치를 사용하였고, 균열후의 수치는 동일기울기를 가지는 그래프의 연직 선상에서 구하였다.

#### IV. 결 론

본 연구는 균열이 발생된 실제 구조물에 있어서 그 균열깊이를 비교적 용이하게 측정하기 위한 비파괴시험의 일종인 초음파진동속도의 적용성을 검증하기 위하여 실시되었으며, 이의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Tc-To Method는 균열 폭이 작을수록 균열깊이의 측정결과에 대한 신뢰성이 좋은 것으로 나타났으며, 실제값보다 크게 나타나는 경향을 보였다.
2. Direct Method에 의하여 계산된 균열깊이는 실제 도입된 균열 깊이보다 크게 나타났고, 균열 폭이 크고 균열깊이가 작을수록 오차의 범위는 증가하는 경향을 보였다.
3. Indirect Method에 의하여 계산된 균열 깊이는 도입된 각각의 균열 폭 및 깊이에 대하여 실제값보다 상당히 크게 나타났고, 측정에 있어서도 상당히 번거로운 단점이 있는 것으로 나타났다.
4. 실제 구조물의 균열 깊이를 측정함에 있어서 가장 이상적인 방법은 Tc-To방법으로 나타났으며, 이것은 다른 방법과 비교하여 측정 및 계산이 간단하고 측정치에 대한 신뢰성이 크다는 장점을 가지고 있다.

#### V. 참고문헌

1. 민정기, 1997, Tc-To법에 의한 콘크리트 균열측정, 한국농공학회지, 39(3) : 108~114
2. 최완철, 1994, 콘크리트 구조물의 균열체계에 따른 균열제어와 대책, 콘크리트학회지, 6(4) : 17~24.
3. ACI Committee 224, 1989, Control of Cracking in Concrete Structures, ACI, Detroit : 42.
4. Neville., 1981, Properties of concrete, Pitman Publishing Limited, London : 389, 585.
5. P. Kumar Mehta, 1986, Concrete Structure, Properties and Materials, Prentice-Hall Inc. : 334~342.