

충격반향시험에 의한 콘크리트 터널 라이닝 내부결함 및 두께 조사

김영근¹⁾ · 이용호²⁾ · 정한중³⁾

Inspection for Internal Flaw and Thickness of Concrete Tunnel Lining Using Impact Echo Test

Y.-G. Kim, Y.-H. Lee and H.-J. Jung

ABSTRACT As concrete structure is getting old and decrepit, its inspection and diagnosis is getting important. Therefore, it is necessary to estimate the soundness of structure using non-destructive tests for effective repairs and maintenances. But, applications of non-destructive tests in tunnel have been used restrictively, due to accessibility only from one side in tunnel lining and presence of tunnel installations. Recently, the various non-destructive techniques have been studied. Especially, ground penetrating radar (GPR) and impact echo (IE) methods have been researched for tunnel inspection. In this study, the applicability of impact echo test in tunnel lining inspection has been investigated. This paper described the tunnel inspection for lining thickness and internal flaw using impact echo tests. Model tests were carried out using impact echo test systems on two concrete models, Model I is measuring for lining thickness, Model II is detecting for internal flaw. Also, the test were applied for lining inspections in a tunnel constructed by NATM. From the results of impact echo tests, we have concluded that impact echo test is a very useful and effective technique for inspecting the concrete tunnel linings.

1. 서 론

각종 콘크리트 구조물이 노후화됨에 따라 효과적인 보수·보강을 통한 안전관리가 중요한 문제가 되고 있으며, 이를 위해서는 구조물내에 존재하는 결함의 정도나 크기를 효율적으로 조사하고 평가하여야만 한다. 또한 신설 구조물에서도 안전을 확보하기 위해 보다 철저한 품질관리가 요구되어 있어, 비파괴 조사(Non-Destructive Test, NDT)는 중요한 시험항목이 되고 있다.

특히 터널과 같은 지하구조물에서 터널내부에 대한 평가가 어려워, 전전도 및 내구성 평가는 외관조사에 의한 경험에 의존하고 있어 아직까지 체계적인 조사·진단기법이 확립되어 있지 못한 실정이다.

터널에 대한 안전진단시 전자파를 이용한 방법, GPR(Ground Penetrating Radar)이 터널 라이닝 배면공동조사 등에 활발히 적용되고 있으며 이에 대한 연구도 진행되고 있다.¹⁾ 그러나 GPR 조사법은 터널 라이닝 배면공동 조사나 철재지보재, 철근과 같은 지보재 조사에는 매우 효율적이거나, 터널 라이닝 두께 및 내부

결함 조사에는 한계를 갖는다. 특히, 지반과 라이닝이 잘 밀착되어 있거나, NATM터널의 경우 1차 라이닝(Shotcrete)과 2차 라이닝(Concrete)이 잘 부착되어 있는 경우에는 더욱 정확한 결과를 얻기가 매우 어렵다고 알려져 있다.^{2,3)}

1980년대 중반 콘크리트 내부결함을 조사하기 위한 충격반향법(Impact echo method)이 Sansalone와 Carino⁴⁾ 등에 의해 연구되어 왔고, 콘크리트 빔과 기둥, 콘크리트 포장두께 조사 등에 적용되었으며, 콘크리트 구조물내에 다양한 종류의 결함^{5,6)}을 조사하는데 매우 효과적으로 사용되고 있다.

본 연구에서는 터널에서의 보다 효율적인 비파괴 조사·진단기법을 확립하고 구축하려는 목적의 일환으로 충격반향법을 터널 라이닝의 비파괴 조사에 적용하고자 하였다. 이를 위해서 두종류의 비파괴 모델시험체를 제작하여 충격반향시험을 실시하였다. 또한 실제 터널

*1997년 8월 9일 접수

1) (주)대우건설기술연구소 토목연구실, 선임연구원

2) (주)대우건설기술연구소 토목연구실, 주임연구원

3) (주)대우건설기술연구소 토목연구실장

현장에서 충격반향시험을 수행하여 터널 라이닝 비파괴 조사에서의 충격반향법의 적용성과 유용성을 검증하고자 하였다.

2. 충격반향법

2.1 충격반향법의 원리

충격반향법의 원리가 Fig. 1에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 시험체 표면의 한점에서 순간응력과 (transient stress pulse)가 기계적 충격에 의하여 생성되면, 이 펄스파는 P파와 S파로서 시험체내부로, R파로서 표면으로 전달된다. P파와 S파가 구형파형(spherical wavefront)으로 시험체내로 전파되고, 시험체내의 내부균열, 공극 또는 경계면에서 반사하게 된다. 충격점 가까이에 위치한 변위 트랜스듀서(transducer)는 반사파의 도달에 의한 표면변위를 측정할 수 있다. 이 반사파는 차례로 자유면에서 반사되고 다시 시험체내로 전파되고 또다시 반사된다. 따라서 순간공명조건(transient resonance condition)이 자유면과 내부결함 또는 외부 경계면사이에서 다중반사에 의해 형성된다.

충격반향시험에서 P파에 의해 생긴 표면변위는 S파에 의해 생긴 것보다 크기 때문에 중요하며, 기록된 시간영역신호를 Fast Fourier Transform(FFT)에 의해 주파수영역신호로 변환시킴으로서 P파 도달시의 주파수를 구할 수 있다.

최종 진폭스펙트럼(amplitude spectrum)에서 최고치에 해당하는 주파수는 변위파형에서 지배주파수(dominant frequency)를 나타낸다. 만약 시험체에 대한 P파속도를 안다면 내부공극이나 외부경계면의 깊이(d)는 다음과 같이 계산된다.

$$d = \frac{C_p}{2f_p} \tag{1}$$

여기서 C_p 는 시험체의 P파 속도, f_p 는 P파 반사의 주파수

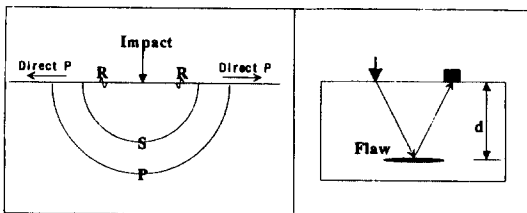


Fig. 1. Principle of impact echo method.

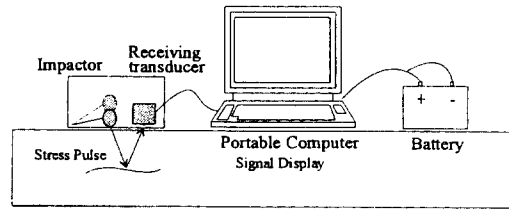


Fig. 2. Schematic view of impact echo test system.

2.2 충격반향 시험장치

충격반향시험 장치(Impact echo test system)는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 충격원(impactor)과 수신기(receiving transducer), 데이터를 획득하고 처리하는 포터블 컴퓨터로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 충격반향시험장치는 Fig. 3에 나타나 있다.

충격반향시험에서 충격원의 선택은 매우 중요한데, 본 연구에서는 스프링에 달린 단단한 강철구를 충격원으로 사용했다. 구형 충격원의 탄성충격의 힘-시간함수는 Fig. 4에서 보는바와 같이 반주기 사인(half-cycle sine)곡선으로 나타낼 수 있다. 충격지속시간(duration) 또는 접촉시간(contact time), t_c 는 생성된 응력파(stress pulse)의 주파수의 내용을 결정한다. 본 시험 장치의 충격지속시간은 10~80 μ s이다.

응력파에서 대부분의 에너지는 $1.5/t_c$ 이하의 주파수에 포함되었다고 할 수 있는데, 짧은 충격지속시간은 보다 높은 주파수를 생성하나 주파수의 변위는 낮다. 충격지속시간은 시험에 의해 조사할 수 있는 결함의 크기를 결정한다. 충격지속시간이 감소함에 따라 응력파는 높은 주파수 성분(짧은 파장)을 갖게 됨으로써 보다 작은 결함을 탐지할 수 있다. 또한 짧은 충격지속시간은 얇은 깊이의 결함을 조사할 수 있다. 그러나 짧은 충

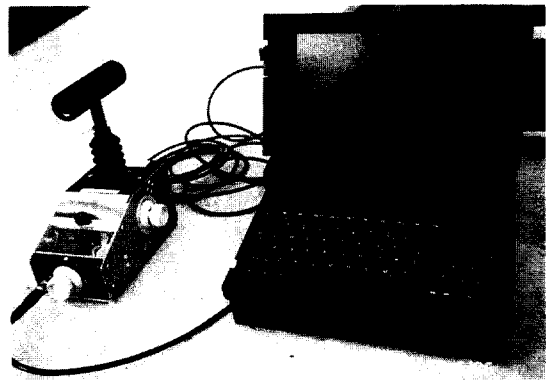


Fig. 3. Impact echo test system.

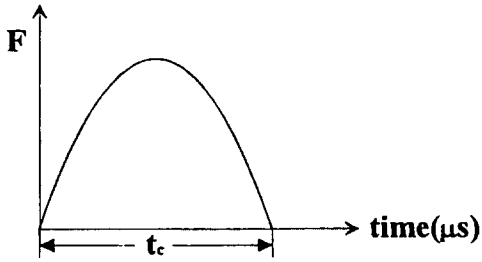


Fig. 4. Half-cycle sine curve.

격지속에 의해 생긴 파는 콘크리트에서 투과하는 능력의 한계를 갖게 된다. 따라서 충격지속시간은 결함의 길이와 결함이 존재하는 깊이의 2배 보다 다소 작거나 같은 파장을 가진 파를 생성할 수 있는 충격원을 선택하여야 한다.

Table 1에는 본 시험장치에 달린 구형 충격원과 충격지속시간 그리고 유용한 주파수범위를 나타낸 것이다.

수신기는 작은 콘모양의 압전소자로 구성된 밴드형 변위 수신기이다. 수신기에 의해 생성된 신호는 수직표면변위에 비례한다. 얇은 납이 수신기와 거친 콘크리트면과 잘 밀착되도록 사용되었다. 본 시험장치는 충격원과 수신기는 수평 수직 또는 천정면에서 사용할 수 있도록 충격시험장치(hand held unit)내에 장착되어 있다. 충격원과 수신기의 거리는 30 mm이다. 포터블 컴퓨터는 데이터 획득카드가 부착되어 있어 수신기에서 보내온 신호를 획득, 파형을 기록하고 이를 처리한다.

본 연구에서 나타난 측정결과는 2 μsec의 자료획득간격(sampling interval)에서 기록된 1024개점을 포함하며, 최종 진폭스펙트럼은 0.488 kHz의 정밀도(resolution)를 갖는다.

2.3 측정 방법

시험을 시작하기 전 먼저 전원을 연결하고 컴퓨터를 켜후 충격시험장치를 주 케이블로 컴퓨터에 연결한다.

Table 1. Impactor, duration and the useful frequency range

Sphere No.	Diameter (mm)	Impact duration (μsec)	Useful frequency range (kHz)
1	4.8	25	0~50
2	6.4	35	0~35
3	7.9	45	0~30
4	9.5	55	0~25
5	11.1	65	0~20
6	12.7	75	0~15



Fig. 5. A view of impact echo test on concrete model.

데이터 파일을 초기화하고 적절한 변수를 설정하여야 한다.

그리고 선택 손잡이를 돌려 적절한 충격원 크기를 선택한후, 충격시험장치 측면에 있는 손잡이를 가지고 충격력(impact force)을 선택한다. 일반적으로 중간에 놓고 시험을 실시한다. 표면에 장치를 놓고 부드럽게 일정하게 핸들을 잡고 아래로 곧바로 누른다. 충격원이 충격을 일으킨 후 핸들을 즉시 원상태로 한다. 삐소리가 컴퓨터로부터 들리고 파형과 주파수 스펙트럼 그리고 정규화된 스펙트럼이 기록되며, 측정결과는 파일로 저장된다.

시험체상에 시험망(test grid)을 만들고 표시한다. 즉, 종방향의 선을 a, b, c, d ..., 횡방향의 선을 1, 2, 3, 4 ... 일정하고 체계적인 방법으로 시험체에 대한 시험을 실시한다.

Fig. 5는 콘크리트 라이닝 모델시험체에서의 시험장면을 보여주고 있다.

3. 비파괴 모델시험

3.1 비파괴 모델시험체

3.1.1 라이닝두께 측정용 모델

라이닝두께 측정용 모델은 터널 라이닝의 두께를 측정하기 위한 것으로 평면도 및 단면도가 Fig. 6(a)에 나타나 있다. 라이닝 두께는 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm의 네종류로 구성되어 있으며 계단모양으로 만들어져 있으며, 시험체의 폭을 3m로 하였다.

3.1.2 내부결함 조사용 모델

내부결함 조사용 모델은 터널 라이닝 내부의 다양한

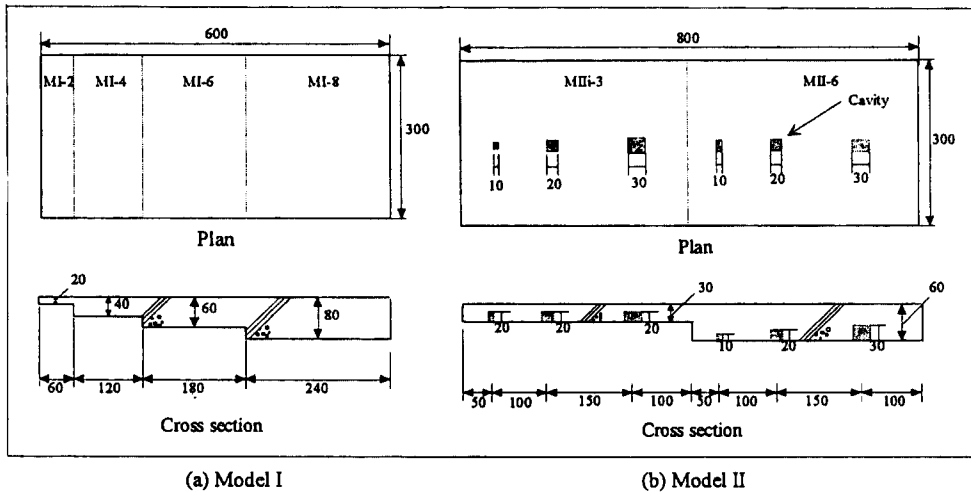


Fig. 6. Plan and cross section view of test models.

크기의 결합(공동)을 조사하기 위한 것으로 평면도 및 단면도가 Fig. 6(b)에 나타나 있다. 왼쪽의 경우 라이닝 두께는 30 cm로 높이×가로×세로가 20×10×10 cm, 20×20×20 cm, 20×30×30 cm인 세종류의 공동이 매설되어 있다. 이 모델은 내부결합의 높이가 20 cm로 일정하여 콘크리트 표면에서 내부결합의 거리가 동일한 경우로서 내부결합의 크기를 조사하고자 하는 것이다. 오른쪽의 경우 라이닝 두께는 60 cm로, 높이×가로×세로가 10×10×20 cm, 20×20×20 cm, 30×20×20 cm인 세종류의 공동이 매설되어 있다. 이 모델은 내부결합의 높이가 달라 콘크리트 표면에서 내부결합의 거리가 변하는 경우이다. 공동은 두께 1 cm의 아크릴로 제작되었다.

3.2 측정결과 및 분석

Fig. 7은 두께 20 cm의 콘크리트 라이닝 모델(MI-2)에서 실시된 충격반향시험으로부터 얻어진 결과를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 표면변위 파형을 보여준다. P파의 1차 및 2차 반사(2P) travel path는 두께의 2배와 같으며, 4P와 6P는 화살표로 나타냈다. Fig. 7(b)는 파형으로부터 얻어진 진폭스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼은 8.75 kHz에서 최대 피크를 보여준다. 식 (1)에서 P파 속도 3,600 m/s로부터 두께는 20.6 cm로 계산되었으며, 모델시험체의 두께를 정확히 측정하였다.

Fig. 8은 두께 40 cm의 콘크리트 라이닝 모델(MI-4)에서 실시된 충격반향시험으로부터 얻어진 결과를 나

타낸 것이다. Fig. 8(a)는 표면변위 파형을, Fig. 8(b)는 진폭스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼은 4.38 kHz에서 단일 피크를 보여주며, 식 (1)으로부터 두께는 41.1 cm로 계산되었으며, 모델시험체의 두께를 정확히 측정하였다.

Fig. 9는 두께 30 cm의 콘크리트 라이닝 모델내에

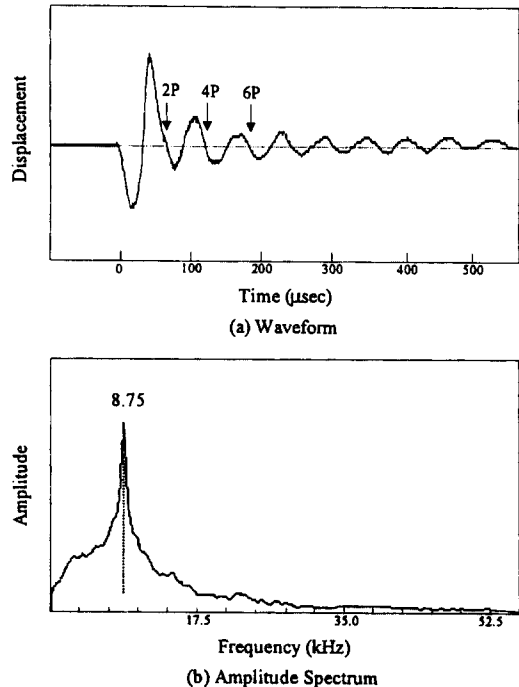


Fig. 7. Impact echo results obtained from a test on Model I (t=20 cm).

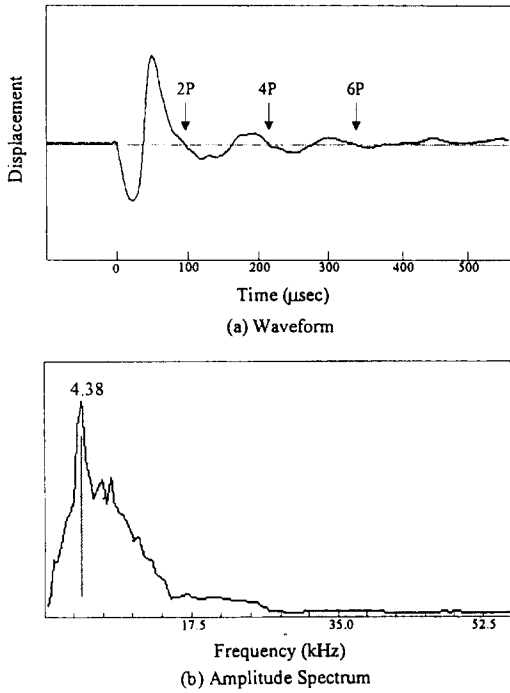


Fig. 8. Impact echo results obtained from a test on Model I (t=40 cm).

두께 20 cm의 내부결함이 존재하는 경우에서 실시된 충격반향시험으로부터 얻어진 결과를 나타낸 것이다. Fig. 9(a)는 표면변위 파형을, Fig. 9(b)는 진폭스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼은 17.72 kHz에서 최대 피크를 보여주며, 식 (1)으로부터 두께는 10.2 cm로 계산되었다. 그러나 내부결함의 두께의 영향으로 라이닝 모델 시험체의 두께(30 cm)에 대한 반응은 나타나지 않았다.

Fig. 10은 두께 60 cm의 콘크리트 라이닝 모델내에 두께 30 cm의 내부결함이 존재하는 경우에서 실시된 충격반향시험으로부터 얻어진 결과를 나타낸 것이다. Fig. 10(a)은 표면변위 파형을, Fig. 10(b)는 진폭스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼은 5.94 kHz에서 최대 피크

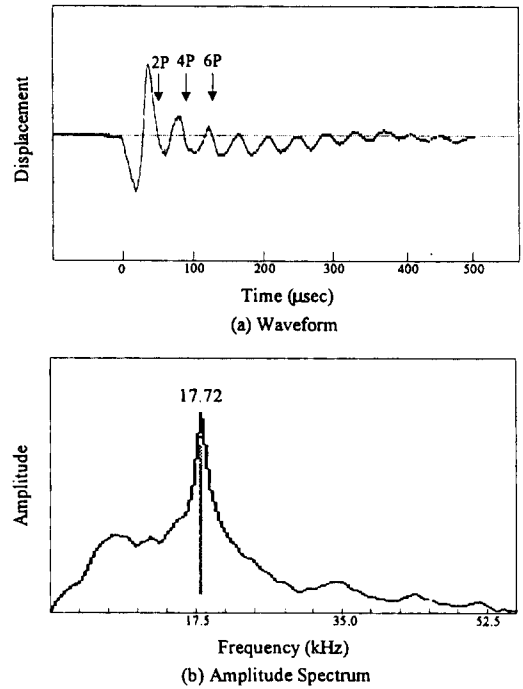


Fig. 9. Impact echo results obtained from a test on Model II (t=30 cm).

를 보여주며, 식 (1)으로부터 두께는 30.3 cm로 계산되었다. 그러나 위와 마찬가지로 내부결함의 두께의 영향으로 라이닝 모델 시험체의 두께(60 cm)에 대한 반응은 나타나지 않았다.

이상의 충격반향법을 이용한 비파괴모델 시험결과를 Table 2에 정리되어 있다.

표에서 보는 바와 같이 라이닝 두께조사를 위한 Model I에서 두께 20 cm와 40 cm의 경우, 좋은 결과를 보였으나, 두께 60 cm 이상의 경우(MI-6, MI-8), 오차가 커서 측정할 수 없었다. 내부결함조사를 위한 Model II에서 라이닝 두께 30 cm인 경우, 내부결함의 위치는 정확히 측정되었으나 결함의 두께(20 cm)가 커

Table 2. Summary of impact echo test result on concrete model

Type of model	MI-2	MI-4	MI-6	MI-6	MII-31	MII-32	MII-33	MII-61	MII-62	MII-63
Lining thickness	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	30 cm			60 cm		
Internal flaw	No	No	No	No	Width of flaw			Height of flaw		
					10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
Test result	Thickness	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	Flaw Position				○	○	○	△	○	○
Remark	○: Good result, △: Possible by interpretation, ×: No result									

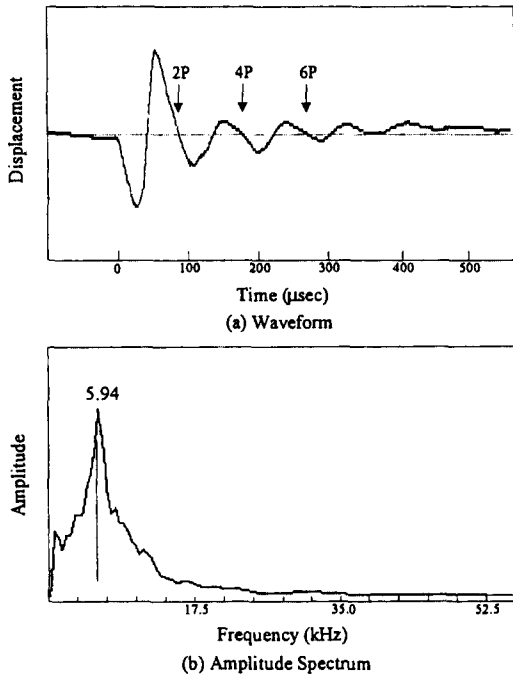


Fig. 10. Impact echo results obtained from a test on Model II (t=60 cm).

서 라이닝 두께에 대한 결과는 나타나지 않았다. 라이닝 두께 60 cm의 경우도 동일한 결과를 보였으며, 표면으로부터 결함까지의 깊이가 50 cm인 경우(MII-61)에는 측정결과가 좋지 못했다. 또한 결함의 크기(좌우폭)을 조사하기 위해서는 보다 세밀한 측선을 설정하여야만 가능할 것으로 판단된다.

4. 터널 현장적용

4.1 터널개요 및 시험

본 터널단면은 복선반원형 표준단면으로, NATM 공법을 적용하여 터널막장의 지반상태와 시공성을 고려하여 5종의 표준지보패턴으로 구분, 설계되었으며, 대표적인 지보패턴인 TYPE II의 단면도가 Fig. 11에 나타나 있다. 본 터널에서의 콘크리트 터널라이닝의 두께는 40 cm~60 cm이며, 터널의 입출구부는 철근콘크리트로 시공되었다. Fig. 12에는 천단부에서 본 터널의 모습이 나타나 있다.

본 연구에서는 기 시공된 콘크리트 터널 라이닝의 설계두께를 확인함으로써 터널시공의 품질관리와 안전성 평가에 대한 자료를 제공하기 위하여 충격반향시험을

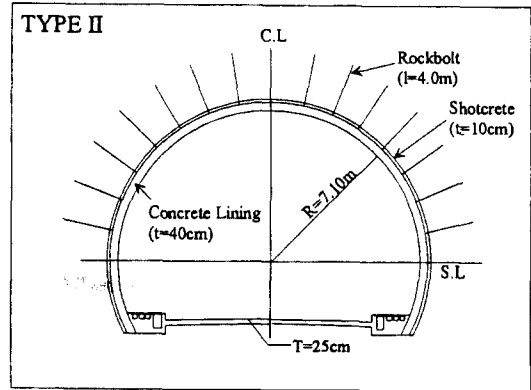


Fig. 11. The standard support pattern of A-tunnel.

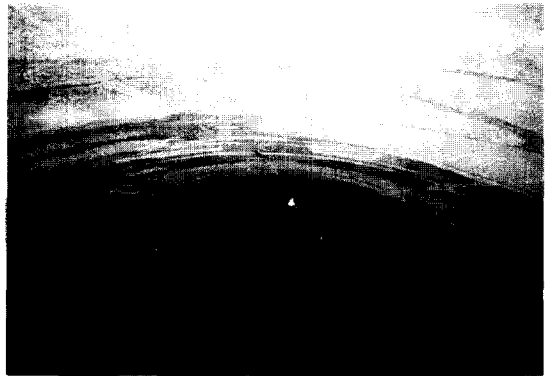


Fig. 12. A view of A-tunnel (seen from crown).

실시하였다. Fig. 13에는 터널 천단부에서 충격반향시험장치를 이용하여 시험을 실시하는 모습이다.

본 시험에서는 현장에 타설된 콘크리트에 대한 P와 속도를 파악하기 위하여 두께를 알고있는 지점에서 예비시험을 실시하였다. 그결과 P와 속도는 3700 m/sec로 조사되었다.

4.2 시험결과 및 분석

Fig. 14는 XX7K 486지점에서 실시된 충격반향시험으로부터 얻어진 결과를 나타낸 것이다. Fig. 14(a)는 표면변위 파형을, Fig. 14(b)는 진폭스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼은 4.38 kHz에서 최대 피크를 보여주며, 식(1)으로부터 두께는 42.2 cm로 계산되었다.

이 지점의 콘크리트 라이닝은 설계두께는 40 ± 4 cm로, 충격반향시험결과 설계두께를 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 콘크리트 라이닝은 내부결함이 없는 건전한 것으로 판단되었다.

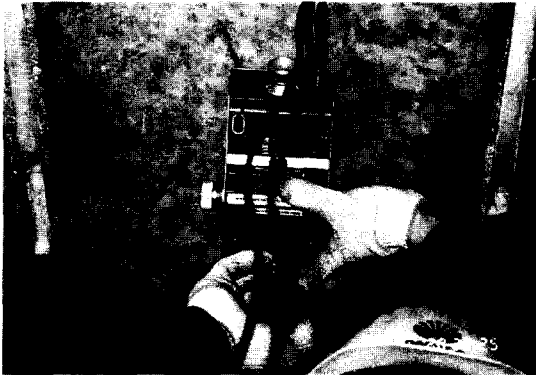


Fig. 13. A test view of impact echo test in A-tunnel.

Fig. 15는 X10K 206 지점에서 실시된 충격반향시험으로부터 얻어진 결과를 나타낸 것이다. Fig. 15(a)는 표면변위 파형을, Fig. 15(b)는 진폭스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼은 7.70 kHz에서 최대 피크를 보여주며, 식 (1)으로부터 두께는 24.0 cm로 계산되었다.

이 지점의 콘크리트 라이닝 설계두께는 40 ± 4 cm로, 충격반향시험결과 라이닝 두께가 24.0 cm로 나타나 설계두께를 확보하고 있지 못하고 있거나, 콘크리트 라이닝내에 결함이 있을 것으로 판단되었다.

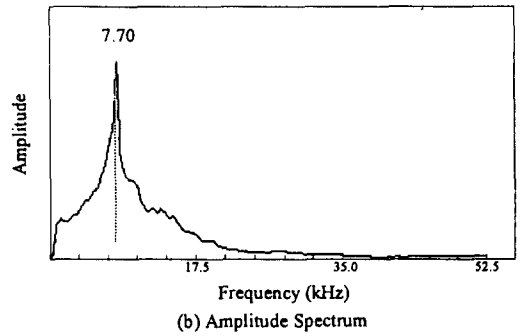
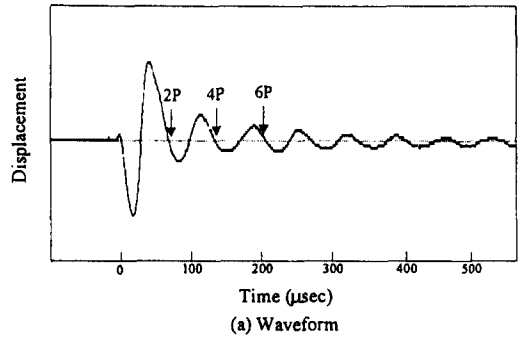


Fig. 15. Impact echo results obtained from a test on a lining within a flaw.

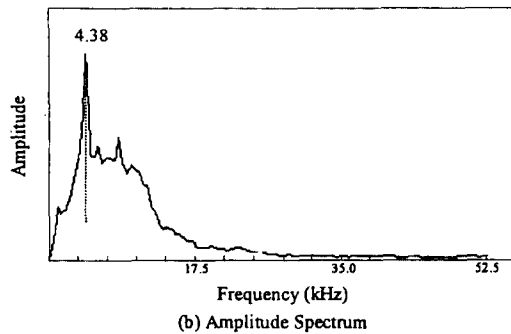
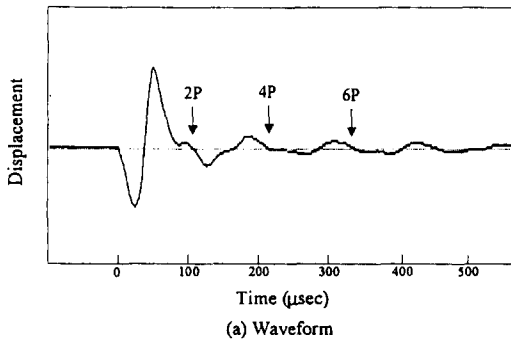


Fig. 14. Impact echo results obtained from a test on a sound lining (no flaw).

본 터널에서 실시한 충격반향시험결과는 Table 3에 정리되어 있다. 표에서 보는바와 같이 대부분의 구간에서 라이닝의 설계치를 확보하고 있으나, 일부구간에서 두께가 부족한 것으로 조사되었으며, 특히 X10K 206 지점에서는 내부결함이 존재할 가능성이 있는 결과가 나타났다.

이상의 결과로부터 터널공사에서 품질 및 안전관리의 콘크리트 터널라이닝 두께 및 결함여부를 조사하기 위한 비파괴 조사법으로서의 충격반향시험은 정량적인 결과를 나타냈으며, 조사방법의 간편성과 자료획득 및 해석의 용이성으로 해서 본 시험법의 터널에서의 적용성은 유용한 것으로 판단된다. 그러나 이러한 시험결과는 비파괴 결과의 하나로서 조사지점에 대한 공학적인 결론을 도출하기 위해서는 타설된 콘크리트에 대한 정확한 자료를 바탕으로 시공상의 여건 등을 감안하여야 하며, 가능한 코어링과 같은 직접적인 자료와 비교검증하여야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 터널에서의 보다 효율적인 비파괴 조

Table 3. Summary of impact echo test result in a tunnel

NO.	조사지점	조사위치	라이닝 설계치	조사결과	비 고
1	XX3K 521	좌측 SL	400±40 mm	362 mm	양 호
2	XX3K 821	좌측 SL	400±40 mm	460 mm	양 호
3	XX7K 486	우측 천단 45°	400±40 mm	423 mm	양 호
4	XX7K 626	좌측 SL상 2 m	400±40 mm	423 mm	양 호
5	XX7K 924	좌측 천단 45°	400±40 mm	407 mm	양 호
6	XX9K 732	우측 천단 45°	400±40 mm	352 mm	양 호
7	X10K 206	우측 SL	400±40 mm	240 mm	내부 결함
8	X11K 265	우측 SL	400±40 mm	320 mm	두께 부족

사·진단시스템을 구축하기 위하여 충격반향법에 대한 비파괴 모델시험을 실시하고, 이를 터널현장에 적용하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 콘크리트 라이닝 두께에 대한 비파괴 모델시험결과, 측정결과와 콘크리트의 P파 속도를 이용하여 그 두께를 정확히 측정할 수 있었다.

2. 콘크리트 라이닝 내부결함에 대한 비파괴 모델시험결과, 결함이 존재하는 위치를 정확히 조사할 수 있었으나, 결함의 크기(폭, 두께)를 파악할 수 없었다.

3. 비파괴 모델시험으로부터 콘크리트 두께가 50 cm 이하인 경우, 충격반향 시험결과는 매우 정확하였으나, 두께가 50 cm 이상인 경우 측정오차가 커서 시험결과를 신뢰할 수 없었다.

4. 터널현장에서 충격반향시험법을 적용한 결과, 천단부와 벽면등에서 라이닝 두께 및 내부결함여부에 대한 비교적 양호한 결과를 획득할 수 있었으며, 터널 비파괴 조사법으로서의 적용성도 우수한 것으로 판단된다.

5. 충격반향시험은 비파괴조사의 일종으로 가능한 코아링과 같은 직접적인 자료와 비교검증하여야 하며, 조사대상인 콘크리트 특성을 파악하기 위하여 충분한 예비시험이 실시되어야 할 것으로 사료된다.

향후, 다양한 터널현장에서의 적용성을 확보하기 위해서, 본 시험법에 의해 탐지할 수 있는 내부결함(공극, 균열)의 크기, 철근의 유무 그리고 라이닝 배면의 상태

(숏크리트, 암반 등)에 따른 측정결과의 영향을 평가하기 위한 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

1. Maekawa, S. and Fenner, T. J., 1994, Study of Cavity Depth Estimation Behind Concrete Tunnel Lining Using GPR, Proc. of the 5th Int. Conf. GPR (GPR '94), Vol. 3, 895-905.
2. Haack, A., Schreyer, J. and Jackel, G., 1995, State-of-the-art of Non-destructive Testing Methods for Determining the State of a Tunnel Lining, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 10, No. 4, 413-431.
3. 김영근, 장정범, 정한중, 조철현, 1996, 터널라이닝 건전도 평가를 위한 비파괴 조사법의 적용연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 383-386.
4. Sansalone, M. and Carino, N. J., 1986, Impact Echo: a Method for Flaw Detection in Concrete Using Transient Stress Waves, Report No. NBSIR 86-3452.
5. Sansalone, M. and Lin, J. M., 1994, Impact Echo Response of Hollow Cylindrical Concrete Structures Surrounded by Soil and Rock: Part I-Numerical Studies, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 17, No. 2, 207-219.
6. Sansalone, M. and Lin, J. M., 1994, Impact Echo Response of Hollow Cylindrical Concrete Structures Surrounded by Soil and Rock: Part II-Experimental Studies, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 17, No. 2, 220-226.