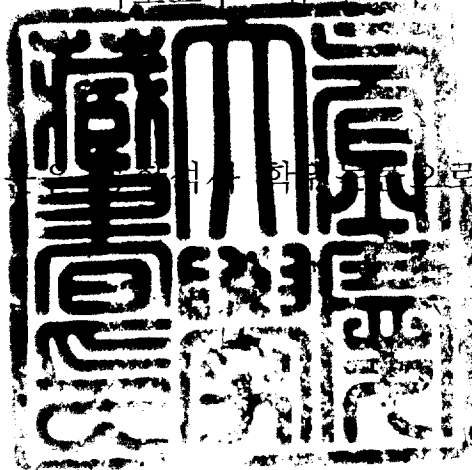


공 학 석 사 학 위 논 문

콘크리트 구조물의 균열 및 균열 위치 비파괴 탐지에
관한 연구

지도교수 김 천 덕

이 논 문 은 석 사 학 위 논 문 으 로 제 출 함



2005 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

음향진동공학과(협동과정)

이 미 현

이미현의 공학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월

주 심 공학박사 윤 중 락



위 원 공학박사 하 강 렬



위 원 공학박사 김 천 덕



목 차

Abstract	2
I. 서 론	3
II. 콘크리트 구조물내의 균열 위치의 추정 방법	5
II-1. 임펄스 햄머의 타격에 의한 진동신호의 획득	8
II-2. A/D 데이터의 데이터 보간	11
II-3. 구조물내 전파하는 P파의 음속추정	14
II-4. 최소자승법에 의한 표면파의 추정과 제거	17
II-5. 근거리 음장의 지향성 합성법	21
III. 콘크리트 구조물 타격에 의한 실험	27
III-1. 실험환경	27
III-2. 실험결과	28
III-2-1. 콘크리트 구조물내에 균열이 없는 경우	28
III-2-2. 콘크리트 구조물내에 균열이 있는 경우	30
IV. 결 론	32
Reference	33

A Study on Non-Destructive Detection of a Defect and it's Position in a Concrete structure

Mi-Hyun Lee

Department of Interdisciplinary Program
of Acoustics and Vibration Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

This paper describes a method to estimate the position of a crack in a concrete block using several vibration pick-ups. An array of vibration pick-ups is attached on the concrete block, and a vibration pulse is forced by using a small hammer. If there is a crack, a reflection wave is generated from the position of the crack. However, since the concrete block is elastic, there are three wave propagation modes; the primary wave mode, the secondary wave mode and the surface wave mode. Since the necessary primary wave mode is not significant in magnitude, we cannot estimate the position of crack in concrete block. To increase the S/N, we had proposed a method to eliminate the first-coming surface wave. However, the method was insufficient to achieve a higher S/N. Therefore, this paper proposes a new method to achieve a better location of a crack. Some experiments were carried out, and good results were obtained.

I. 서 론

도시내 콘크리트 구조물로 건설되는 대형 빌딩이나 아파트는 대형화 및 고층화 되는 추세이다. 콘크리트로 건축된 구조물은 붕괴와 같은 예상하지 못한, 예를 들면 성수대교 붕괴와 같은 대형사고가 발생 할 수 있으므로, 이를 사전에 방지하기 위하여 콘크리트 구조물의 품질관리와 이미 준공된 구조물에 대해서는 정기적인 유지관리의 안전성 검사가 요구된다. 그러므로, 일정규모 이상의 대형 콘크리트 구조물에 대한 안정성 진단은 지속적인 안전점검 및 진단을 의무화하는 특별법이 시행되고 있어, 안전진단에 관련된 몇가지 조사 방법들이 개발되어 사용되고 있다. 이들 방법 중, 비파괴적 검사법은 대형 콘크리트 구조물을 손상하지 않고 내부상태를 조사하는 것으로 구조물의 내부 결함 유무와 결함 위치를 동정하는데 널리 사용되고 있다.

대형 콘크리트 구조물내에 있는 균열등의 결함을 탐지하는 비파괴적 탐지 방법은 X-ray법과 진동신호원법이 있다. X-ray법은 많은 비용이 요구되어 일반적으로 사용하기 어려우므로, 진동신호원법이 주로 사용되고 있다.

이 연구에서는 콘크리트 구조물의 내부 균열의 유무와 균열 위치를 정확하게 탐지하기 위하여 저주파수의 진동신호원으로써 사용한 비파괴 탐지법에 대하여 기술한다. 그리고 종래부터 진동신호원으로 사용한 초음파를 대신한 저주파수의 진동신호원을 사용한 방법은 구동신호를 탐지 대상인 콘크리트 구조물을 관통시켜 콘크리트 구조물의 공진주파수를 추정하여 균열 위치를 탐지하였다. 이 방법은 (1)콘크리트 구조물의 내부 균열이 시트와 시트사이처럼 콘크리트 구조물 표면에 평행하고 있을 때,

(2)균열의 크기가 공진주파수의 이동거리보다 큰 경우에만 사용하는 제한적으로 사용되어왔다.

이 연구에서 제안하는 방법은 저주파수의 진동신호원으로써 선배열시킨 픽업(pick-up) 센서 사이를 임펄스 햄머로 타격하므로 발생하는 콘크리트 구조물내 결함 위치로부터 반사 되어오는 1차 반사파의 위치를 사용하여 종전의 공진주파수를 대신하여 균열의 위치를 찾는다. 그리고 콘크리트 구조물내 균열이 1개 이상일 때도 추정할 수 있다. 반면에 종래부터 사용되고 있는 방법은 다수의 균열이 있을 경우에는 균열 위치의 탐지는 대단히 복잡하고 어렵다.

본 연구에서 제안한 저주파수 진동신호원을 생성하는 임펄스 햄머는 고주파수 성분과 비교하여 파워가 감소하지 않는 저주파 성분을 생성하여 콘크리트 구조물내에 애매한 균열 위치에서 반사되는 반사파도 탐지할 수 있다. 콘크리트 구조물은 탄성적이기 때문에 3개의 전파모드인 표면파 모드, P파 모드, S파 모드가 있으며 직접 전달된 표면파를 제거한 P파에 의해 균열의 위치를 추정한다. 그리고 S/N비를 증가시키기 위해 진동 픽업 센서에 선착(先着)한 표면파의 제거에 대해서도 기술한다.

따라서, 본 연구에서 제안하는 방법으로 콘크리트 구조물을 만들어 콘크리트 구조물내 결함 위치를 탐지하는 실험을 한 결과 정확하게 결함 위치를 동정하고 있어, 본 연구의 유효성이 확인되었다.

II. 콘크리트 구조물내의 균열 위치 추정 방법

이 연구에 적용되는 콘크리트 구조물내 균열 위치에 대한 비파괴 탐지 방법은 그림 1과 같이 대상 콘크리트 구조물에 먼저 임펄스 해머로 타격하여 진동 펄스를 구동한 후, 구조물에 장착한 다수의 진동 픽업 센서의 출력신호를 획득하여 콘크리트 구조물내의 균열과 균열의 위치를 탐지한다. 진동 픽업 센서의 배열을 콘크리트 구조물에 등간격으로 배열하고, 구동신호인 진동펄스는 작은 임펄스 해머를 타격하므로 생성된다. 임펄스 해머를 타격함으로써 발생하는 저주파수의 진동신호는 콘크리트 구조물내를 경유하여 전파하므로 콘크리트 구조물 내부의 정보를 포함하게 될 것이다.

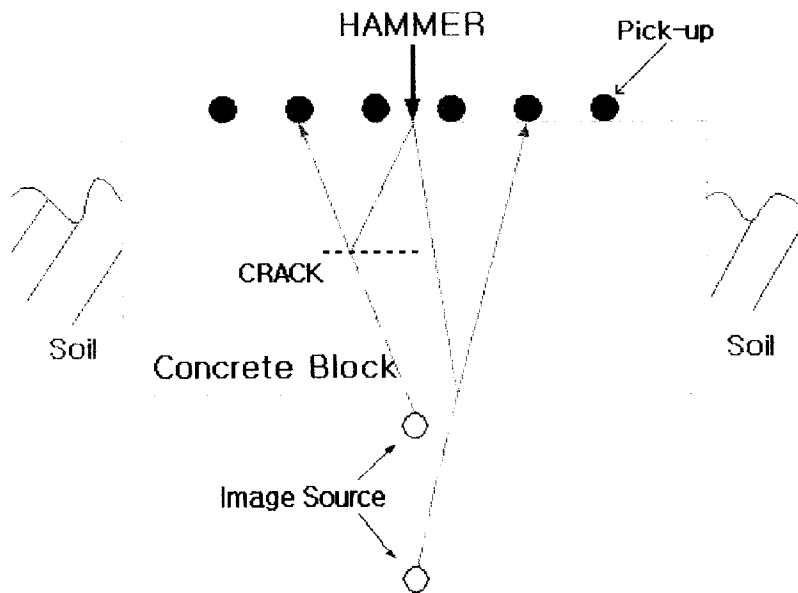


그림 1. 콘크리트 구조물의 균열 및 균열 탐사 개략도

Fig 1. The crack and detected outline diagram cracked for the structure of concrete

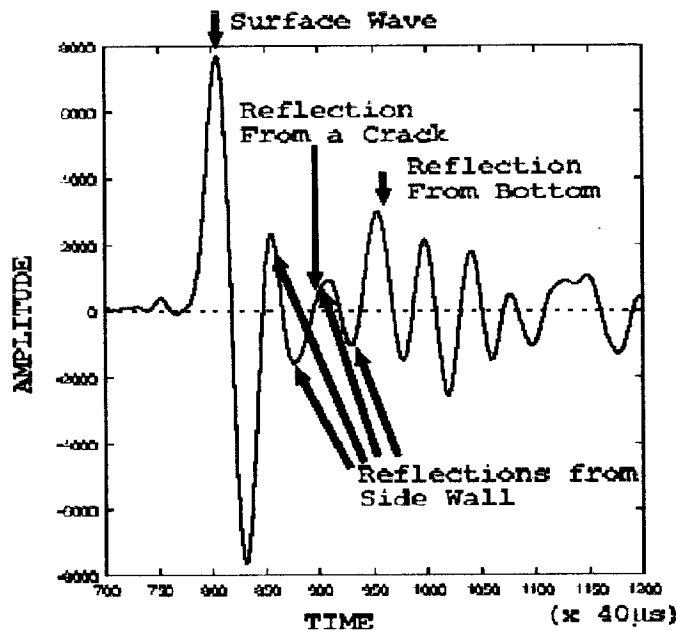


그림 2. 진동 픽업 센서의 출력 신호예

Fig. 2. The example of output vibration pick sensor

실제로, 콘크리트 구조물 내부를 검사하고자 할 때 대상 구조물에 균열이나 주변 배질과 다른 물체(예, 철근 구조, 통신 케이블 등)가 있다면, 그 위치에서 반사파가 발생되고, 반사파는 그림 2와 같은 형태의 파형이 진동 픽업 센서의 출력신호로 나타난다.

그림 3은 콘크리트 구조물의 균열 위치 추정을 위한 처리 순서도이다.

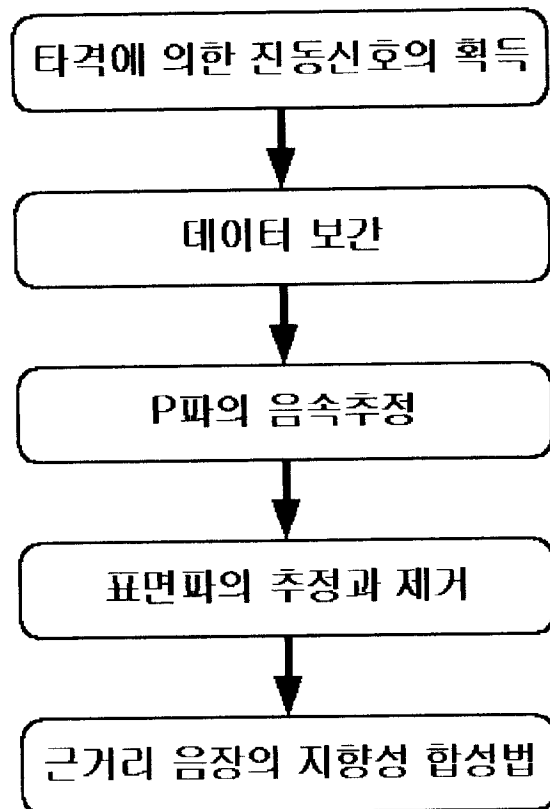


그림 3. 처리 순서도

Fig. 3. Process Flowchart

II-1. 임펄스 햄머의 타격에 의한 진동신호의 획득

지면상에 설치한 실험대상 구조물은 그림 4의 콘크리트 구조물이다. 콘크리트 구조물 표면에는 다수개의 진동 픽업 센서를 동일 간격으로 부착시키고 임펄스 햄머로 수회 타격한다. 이 때, 그림 4와 같이 콘크리트 구조물내에서 균열이 없는 구조물에서의 반사파는 끝단(bottom) 부분에서만 생긴다. 그림 5와 같이 콘크리트 구조물의 내부에 균열이 있으면, 임펄스 햄머로 타격한 신호가 진행하다가 결함이 있는 위치에서 반사되어 오는 반사파는 진동 픽업 센서에 의해 파형을 획득한다. 다음으로 이 연구에서 개발한 근거리 음장의 지향성 합성 알고리즘에 의해 구조물내 균열의 위치를 추정한다.

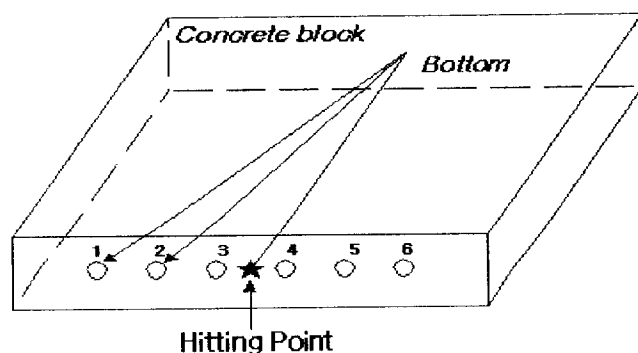


그림 4. 균열 없는 콘크리트 끝단으로부터의 반사파 경로

Fig. 4. The path of reflected wave without crack of bottom of concrete

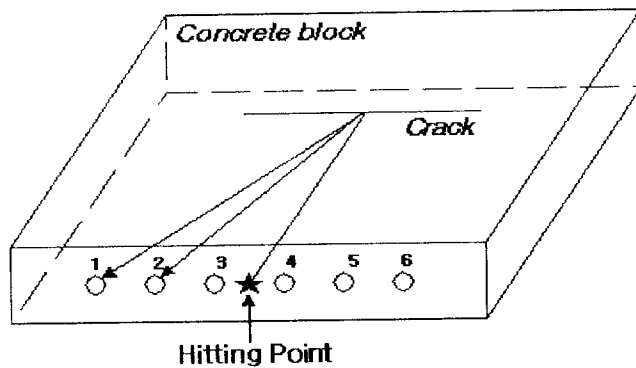


그림 5. 내부에 균열 있는 콘크리트에 균열로부터 반사파 경로

Fig. 5. The path of reflected wave having crack of the inner part concrete

콘크리트 구조물에 부착시킨 선배열 진동 센서의 중앙 센서 사이에 임펄스 햄머에 의해 수회 타격시켜 진동 펄스가 구동되도록 한다. 진동 픽업 센서의 출력신호인 진동 펄스는 Amp에 증폭되고, A/D변환기에 의해 이산화신호로 변환되고 컴퓨터의 하드디스크에 저장한다. 하드디스크에 저장된 신호는 PC의 하드디스크에 저장하고 수회분의 타격 응답파형 중에서 1회분의 타격응답만을 사용한다. 초기에 얻어진 파형은 그림 7의 파형과 같다. A/D변환 시스템은 TMS320C6711DSK 보드 제어에 의해 다채널 A/D보드에 의해 진동신호를 획득하였다. 그리고 진동 신호의 유효대역은 5 kHz로 하고 샘플링주파수는 25 kHz로 데이터를 획득하였다.

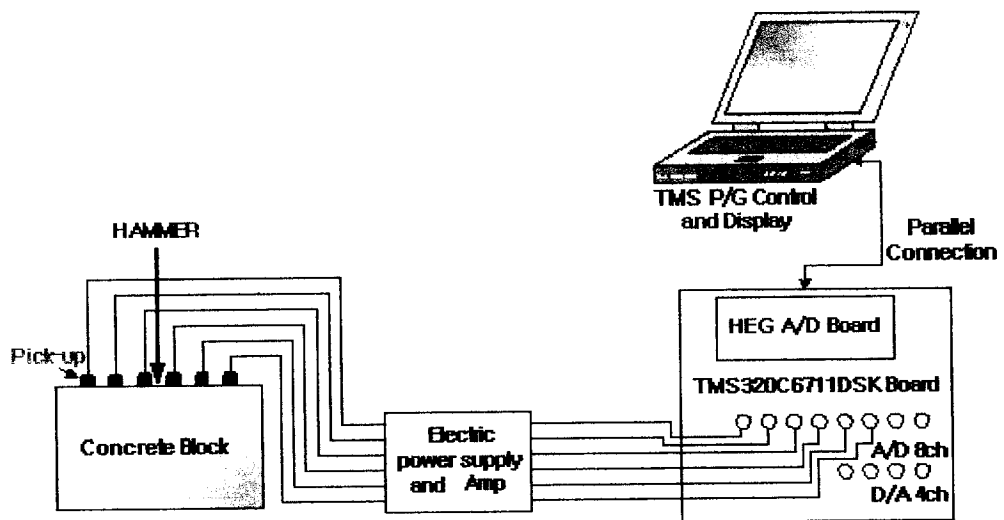


그림 6. A/D변환시스템

Fig. 6. System for A/D conversion

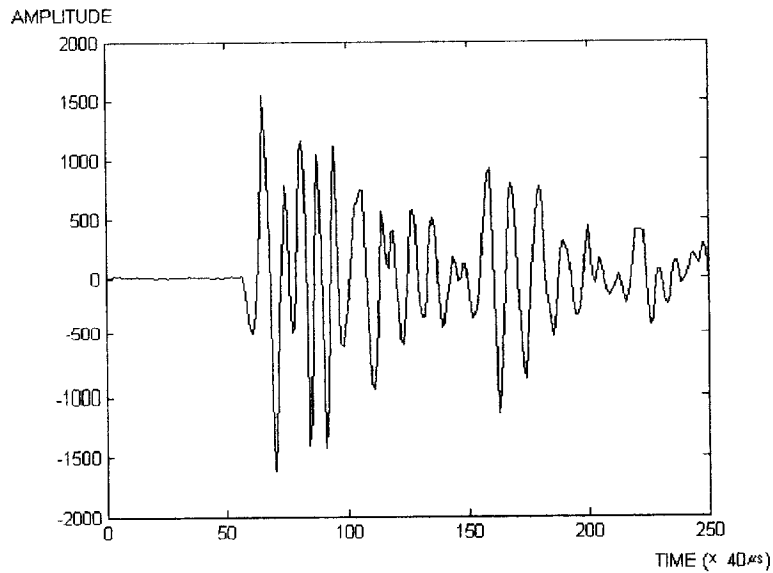


그림 7. A/D변환 후 첫 번째 파를 출력한 파형

Fig. 7. The express the first waveform after A/D conversion

II-2. A/D 데이터의 데이터 보간

A/D변환으로 얻어진 파형은 그림 8과 같이 파형의 피크(peak)가 샘플링시각과 일치하지 않은 경우가 있다. 진동신호의 유효주파수 성분은 5 kHz정도이므로 파형의 피크 위치를 알기 위하여 샘플링주파수를 높이면 data량이 많아져 데이터 처리에 불필요한 작업이 된다. 그러므로, 낮은 샘플링주파수로 획득한 파형 데이터를 더 정확한 파형의 피크 위치를 구하는 보간법의 신호처리를 한다. 샘플링 간격을 1/16로 하는 것은 샘플링주파수를 16배한 것과 동등하게 되도록, A/D변환으로 얻어진 데이터 보간 방법은 FFT 보간법을 사용한다.

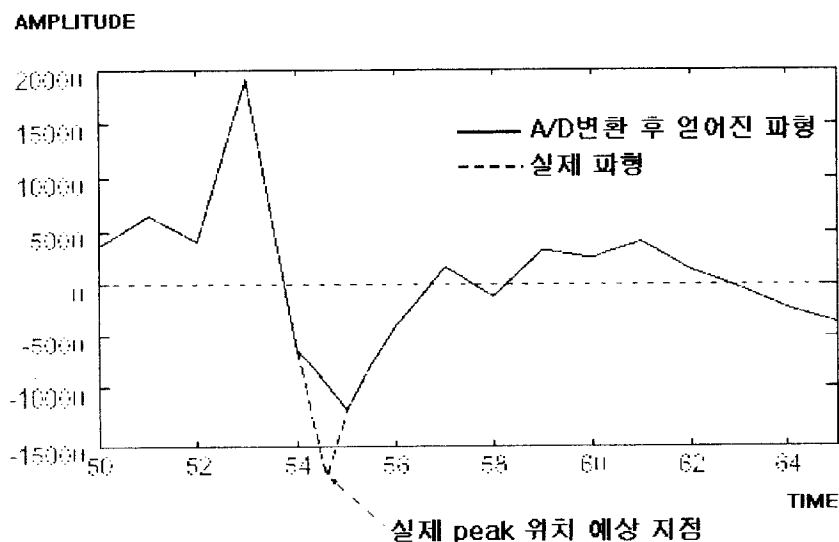


그림 8. peak가 샘플링시각과 일치하지 않은 예

Fig. 8. The example of inconsistency between peak value and sampling time

여기에서 FFT 보간의 순서는 다음과 같다.

- (1) 데이터 길이는 1024 점으로 푸리에 변환한다. (그림 9. 상)
- (2) 실수부와 허수부의 각각에 관하여 513 ~ 15872 점 사이에 0을 넣고, 주파수 영역의 데이터의 길이는 16×1024 점의 데이터로 한다. (그림 9. 하)
- (3) (2)에서 얻어진 주파수 영역의 데이터를 역 푸리에 변환시켜 시간 신호로 변환한다. (그림 10)

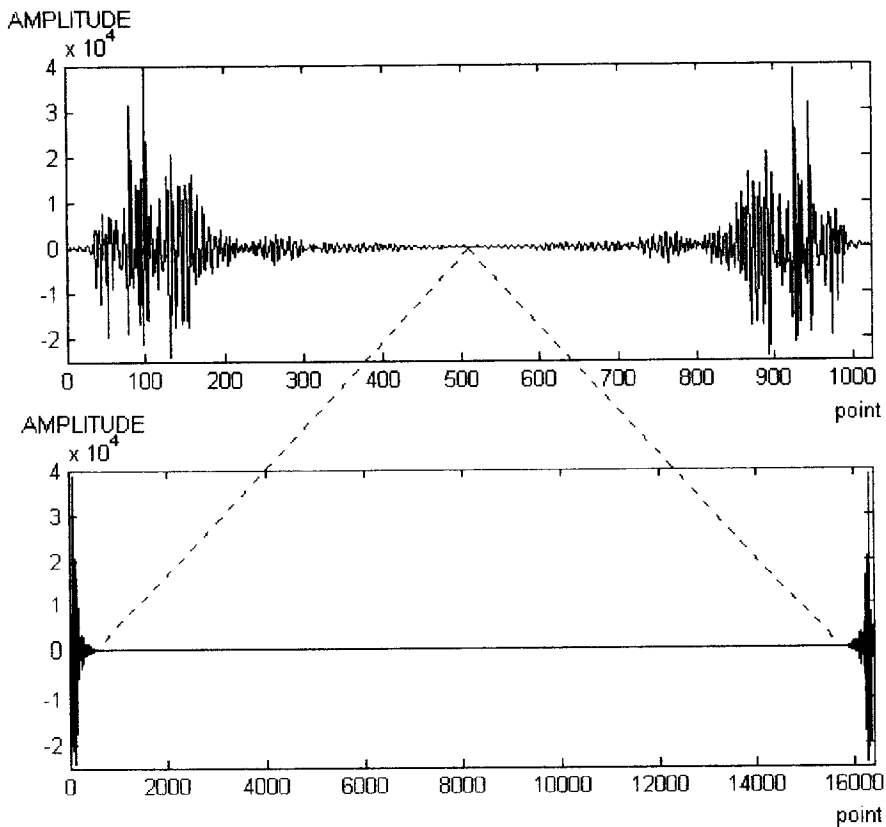


그림 9. 순서 (1), (2) 과정의 예

Fig. 9. The example of the sequence (1), (2)

그림 10은 그림 7과 같은 파형을 데이터 보간 처리로 얻어진 파형으로 시간축으로 16배한 파형이다. 그림 7에서는 피크 위치를 쉽게 알 수 없지만, 데이터 보간 처리를 하므로써 그림 10에서와 같이 경사가 완만하게 되어 피크 위치를 쉽게 추출할 수 있다.

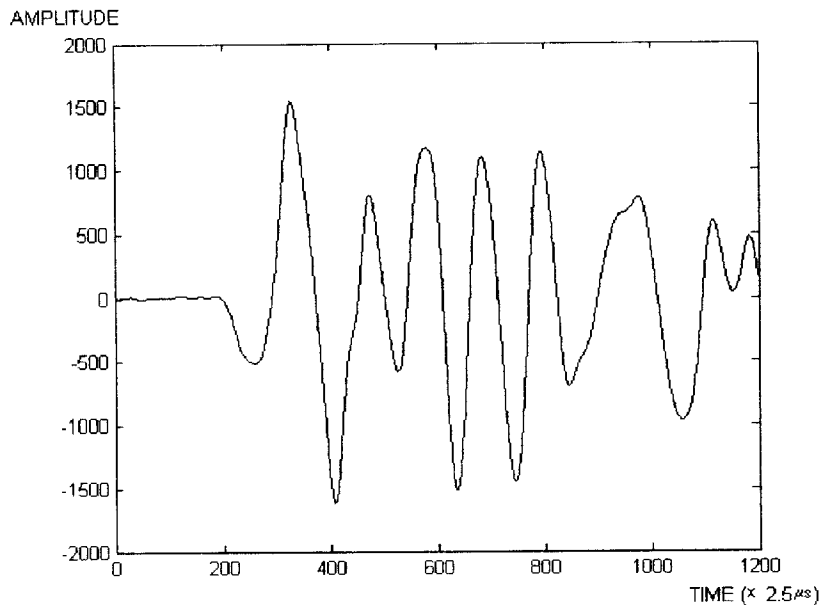


그림 10. 순서3. 그림7 파형의 시간축을 16배로한 파형

Fig. 10. Sequence 3. the waveform of 16 times by time axis from Fig. 7

II-3. 구조물내 전파하는 P파의 음속추정

임펄스 햄머 타격에 의해 생성되는 파는 P파, S파 및 표면파가 생성되지만, P파 및 S파는 전파거리의 자승에 비례하여 감쇠하는데 반해, 표면파는 전파 거리에 비례하여 감쇠하므로, 타격점에서 가까운 위치에서는 표면파의 영향이 다른파에 비해 지배적으로 크다. 한편, 콘크리트 구조물 내에 균열이나 끝단에서의 반사파에 관해서는 P파와 S파의 파형이 크지만, 타격점 바로 아래로부터의 반사파는 P파가 크게 작용한다.

콘크리트 구조물 내부를 전파하는 P파의 속도는 약 4000 m/s, 구조물의 표면을 전파하는 표면파의 속도는 약 2000 m/s로 통용되고 있다. 이 값은 콘크리트 구조물의 성분(콘크리트 중에 포함된 수분의 양이나 모래, 자갈 등의 양)에 따라 미소하게 변화한다. 콘크리트 구조물내의 균열 위치 추정에는 정확한 음속 값이 필요하므로, 이 연구에서는 실제로 센서에서 얻어진 파형 data를 사용하여 P파의 음속을 추정한다. 즉 P파는 타격점에서 콘크리트 구조물의 내부를 전파시 끝단면에서 반사하여 각 센서에 도달한다. 여기에서 반대측의 아래면(bottom)에서의 반사파가 크

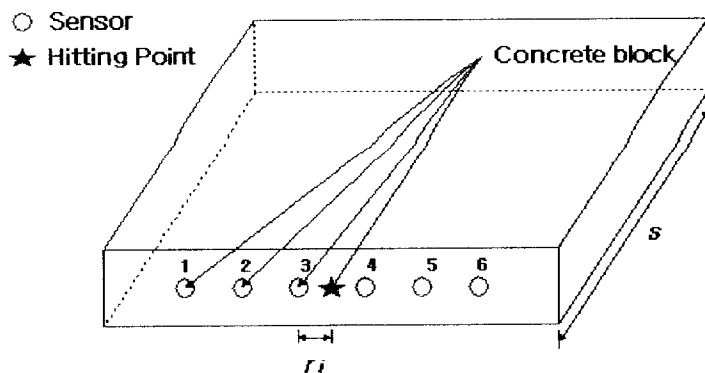


그림 11. P파의 전파경로

Fig. 11. The path of propagation of P wave

기 때문에 이 아래면에서의 반사파의 피크로부터 콘크리트 구조물의 첫 수(size)를 고려하여 음속을 추정한다.

콘크리트 구조물의 첫수, 진동 센서의 설치위치 타격위치를 이미 알고 있으므로 P파의 전파거리 r_{p_i} 는 다음식에 의해 계산할 수 있다.

$$r_{p_i} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{r_i}{2}\right)^2 + s^2} \quad (1)$$

r_{p_i} : P파의 전파거리

r_i : 타격점과 센서 i 까지의 거리

s : 구조물의 세로길이

여기에서 r_i 는 임펄스 햄머 타격점과 센서 i 까지의 거리, s 는 콘크리트 구조물의 세로길이를 나타낸다. P파의 음속을 c_p 로 하면 센서 i 에서 P파의 아래 면에서의 반사파에 전파지연 r_{τ_i} (타격시각으로부터 몇 점 지연되지만)는 다음식으로 계산할 수 있다.

$$r_{\tau_i} = \frac{r_{p_i}}{c_p} \times f_s \quad (2)$$

r_{τ_i} : 전파지연

c_p : P파의 음속

f_s : 샘플링주파수

따라서, 진동 센서 출력파형의 어떤 피크가 P파의 아래 면에서의 반사파에 의해 생성된 파형의 피크인지를 추정할 수 있다. 즉, 실제로 얻어진 센서 출력파형에 있어서 타격시각으로부터 앞에서 미리 추정한 r_{Ti} 지연된 위치의 부근에 나와 있는 파형의 피크가 구조물 아래면에 의해 생성된 반사파로 인하여 생긴 피크인 것으로 생각된다.

파형에 피크가 나타나면, 예측된 시각부근에 나타난 피크로부터 측면에 반사한 P파의 전파지연시간을 계산한다. 이와 같이, 전파시간과 전파거리로써 다수개 센서의 data로부터 음속을 구하고 다음으로 평균한 것을 P파의 음속으로 추정한다.

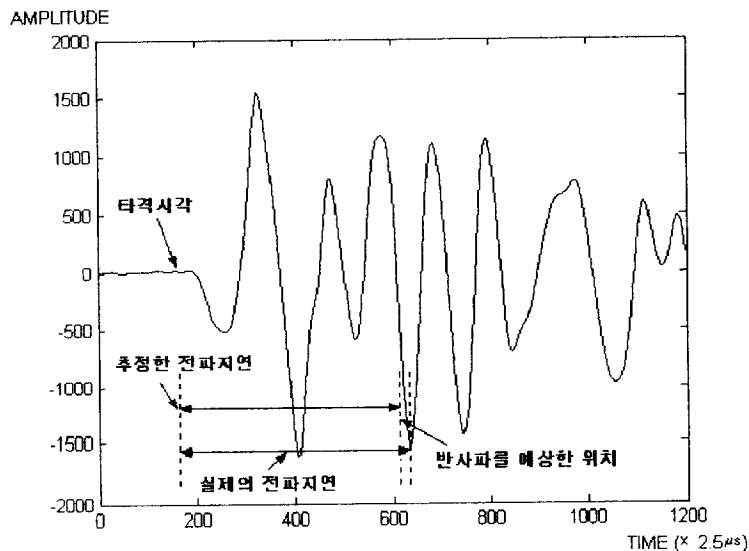


그림 12. P파의 타격면과 반대측의 측면에서의 반사파의 피크 위치의 추정

Fig. 12. The estimation of reflected wave located in peak between reverse side and hitting side of P wave

II-4. 최소자승법에 의한 표면파의 추정과 제거

콘크리트 구조물내에 균열이 없다고 가정한 구조물에 대하여 타격실험을 했다. 이때 임펄스 햄머의 타격으로 생긴 응답신호의 타격력과 진동 픽업 센서 및 Amp의 주파수특성에 영향을 받아 그림 13과 같이 파형이 생성된다.

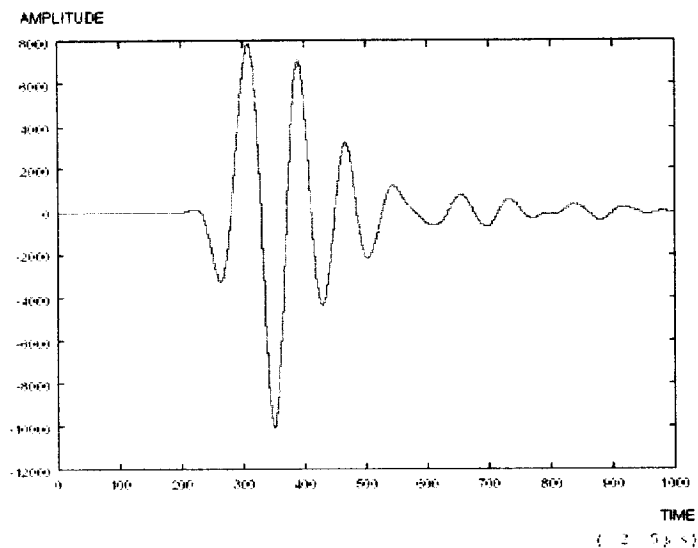


그림 13. 센서 1의 출력파형

Fig. 13. Output waveform of sensor 1(huge dam)

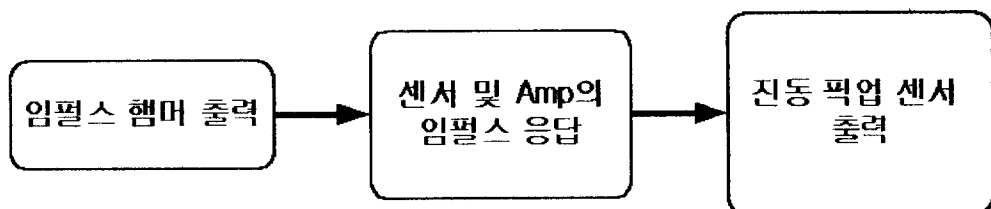


그림 14. 임펄스 햄머의 타격력과 진동 픽업 센서 출력의 관계

Fig. 14. The relation of the vibration pick-up sensor's output and hitting of impulse hammer

이 파형은 근사적으로 지수함수적으로 감쇠하는 정현파라고 간주할 수 있다. 그런 이유로 센서 및 Amp의 임펄스응답은 지수함수적으로 감쇠하는 정현파로 가정할 수 있다. 한편 센서는 진동 픽업을 사용하므로 임펄스 햄머의 출력은 속도파형이므로, 임펄스 햄머의 출력은 시간 미분한 타격력에 해당된다. 그러므로 그림 14에 그려진 시간 미분한 임펄스 햄머 출력과 앞에서 기술한 필터 및 Amp의 임펄스응답 신호를 콘볼루션한 신호이다. 이 임펄스응답을 구하기 위하여 지수함수적으로 감쇠하는 정현파의 진폭, 주기, 감쇠율을 파라메타로 하여 고려한 파와 실제의 센서출력파형과의 최소 자승합을 구한다. 이 자승합을 최소로 하는 파라메타가 진동 센서 및 Amp의 주파수특성을 나타내는 파라메타가 된다. 이 방법을 실제로 균열이 있는 작은 콘크리트 구조물 실험 data내 최초의 표면파 부분에 적용하고 각 파라메타를 구하여 표면파를 추정한다. 이와 같이 하여 추정한 표면파의 예를 그림 15에 나타낸다. 이 추정한 표면파를 실제 실험으로 얻어진 파형으로부터 빼면 잡음으로 간주되는 표면파의 영향이 제거되고 그림 16에 그린바와 같이, 나머지는 균열 또는 콘크리트 구조물의 끝단으로부터의 반사파가 된다. 그러므로 이 잔차파형에 대하여 근거리 음장의 지향성 합성을 사용하는 것에 의해 균열 위치를 추정할 수 있다. 그림 15, 16는 타격으로부터 37.5 cm 떨어진 센서 1의 출력이다. 이 센서는 타격점으로부터 비교적 멀어지기 때문에 표면파의 영향이 크게 작용한다. 이 때문에 파형의 처음의 방법에서는 실제의 파형과 추정한 파형이 상당히 일치하고 있다. 한편 타격점으로부터 7.5 cm에 있는 센서 4의 파형에서는 그림 17, 18에 나타낸 것과 같이 P파나 S파의 성분이 그다지 감쇠하지 않으므로 오차가 크다. 그래서 지향성 합성에서는 타격점 가까이의 센서는 사용하지 않는다.

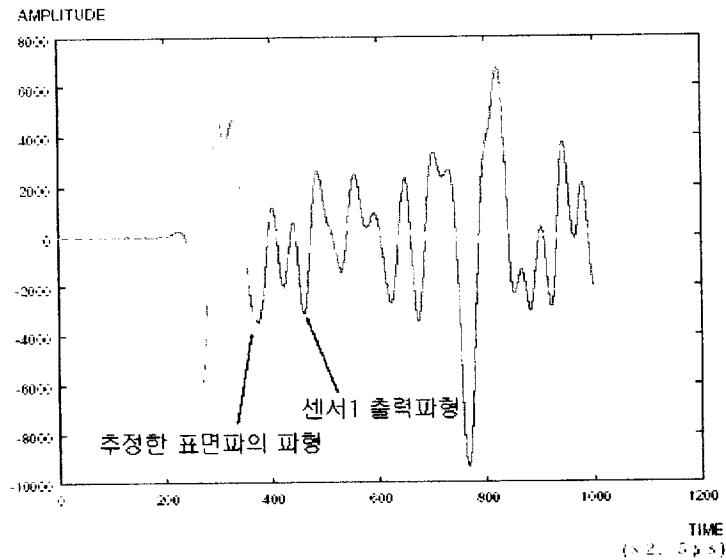


그림 15. 실제 작은 콘크리트의 센서 1의 출력파형과 추정파형
 Fig. 15. The output waveform and estimated waveform in sensor 1 if is located in real concrete of segments

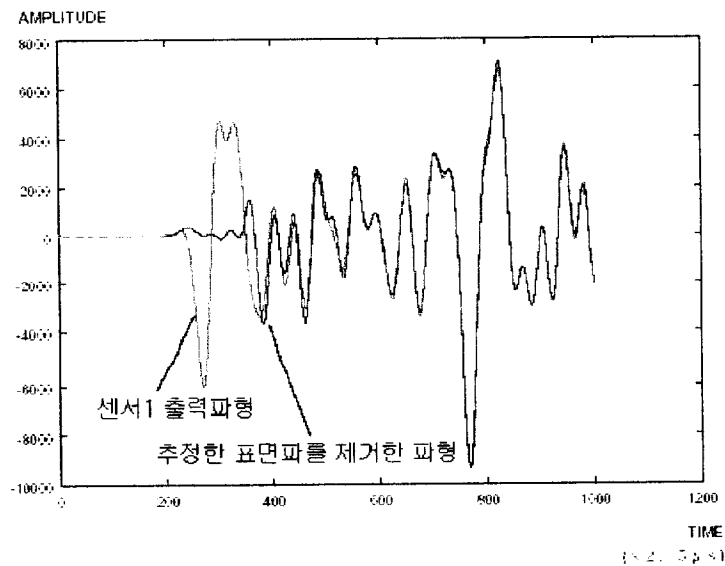


그림 16. 센서 1의 출력파형과 추정된 표면파를 제거한 파형
 Fig. 16. The waveform eliminated surface wave which is estimated by sensor 1

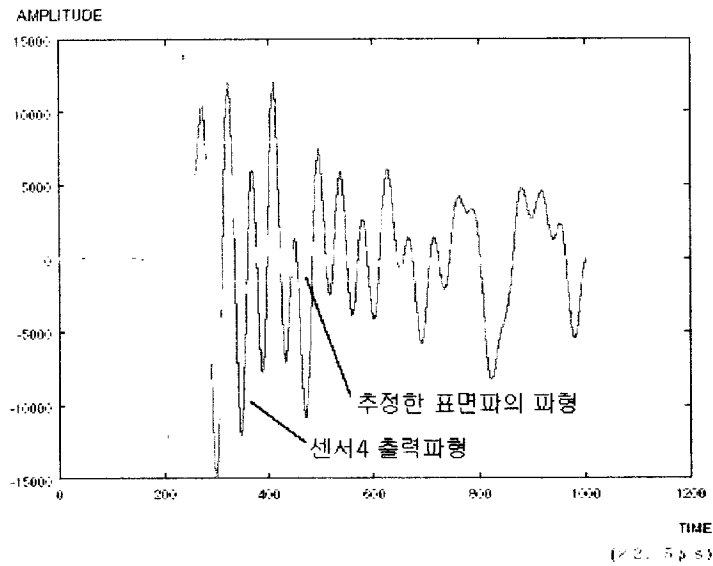


그림 17. 실제 작은 콘크리트의 센서 4의 출력파형과 추정파형
 Fig. 17. The output waveform and estimated waveform in sensor 4 if is located in real concrete of segments

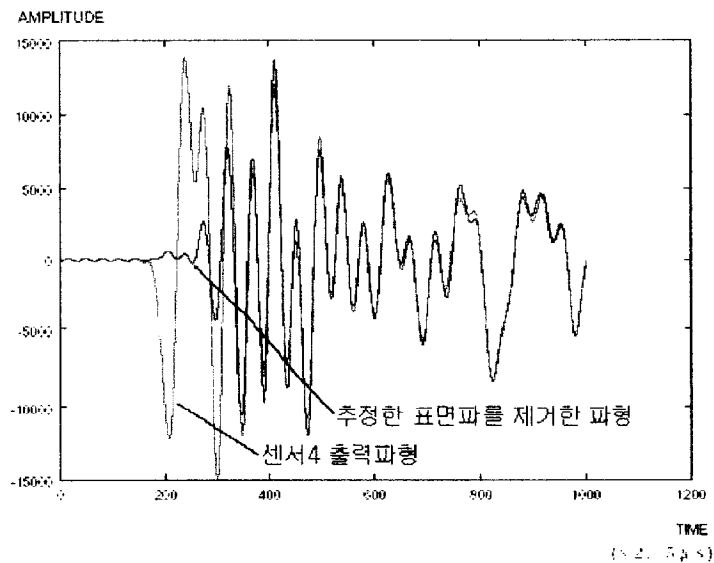


그림 18. 타격점에 가까운 센서 4의 출력파형과 추정한 표면파를 제거한 파형
 Fig. 18. The waveform eliminated surface wave which is estimated by sensor 1 near hitting point

II-5. 근거리 음장의 지향성 합성법

본 연구에서는 콘크리트 구조물 내부의 결함 위치를 추정하기 위하여, 근거리 음장의 지향성 합성을 사용하고 있다. 임펄스 햄머에 의한 타격과의 콘크리트 구조물 내부의 균열로부터 반사파를 사용하여 결함 위치를 추정하고 있다. 그 때문에 반사위치, 즉 균열의 위치를 음원으로 고려하여 근거리 음장의 지향성 합성을 한다.

종래의 연구에서는 그림 19에 그린바와 같이 균열로부터의 반사파를 경상음원(mirror form sound source)을 놓고 직접파로 균열 위치를 추정한다.

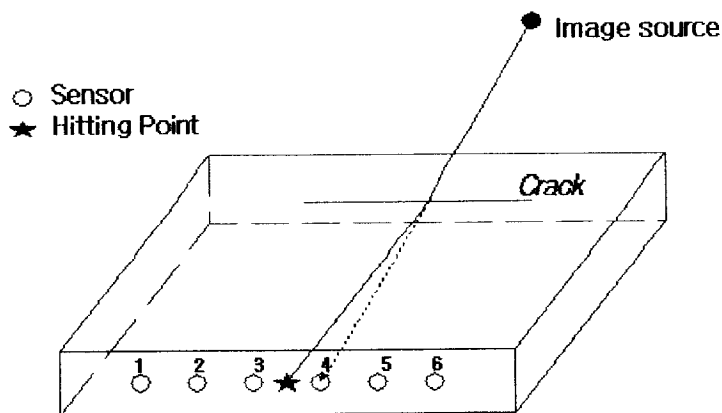


그림 19. 경상음원으로부터의 직접파

Fig. 19. Direct wave from mirror form sound source

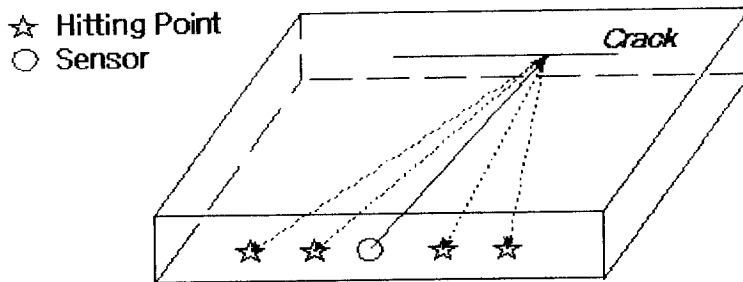


그림 20. 방사상으로 전파하는 반사파

Fig. 20. Reflected wave to propagational radiation

실제 파형의 전달은 그림 20에 그린바와 같이 타격파는 균열 위치에서 반사하고, 구면파와 같이 방사상으로 전파한다고 알려져 있다. 이런점을 고려하면 균열이 표면에 대하여 경사하더라도 균열 위치를 추정할 수 있다고 생각되어진다. 이 논문에서는 이 개념을 두고 근거리 음장의 지향성합성을 한다.

임펄스 햄머의 타격점과 센서의 위치를 이미 알고 있으므로, 표면파와 P파의 음속은 각 센서출력에 있어서 파크의 위치로부터 추정할 수 있다. 그러므로 결함 위치는 근거리 음장의 지향성합성에 의해 추정할 수 있다. 이 방법에서는 먼저 가상음원을 고려하고, 자유공간상에 있어서 이 가상음원으로부터 각 진동픽업까지의 거리 L_n 을 계산하고, P파의 음속 c_p 를 사용하여 전파거리차에 해당하는 시간지연 r_{T_n} 을 보정한다. 즉 각 센서출력으로부터 추정한 파형을 감산한 파형을 r_{T_n} 시간 시프트하고 그 후 모든 센서에 대하여 감산한 파형의 평균을 취한다. 다수의 진동픽업을 사용하면, 이 평균값은 만약 가상음원의 위치가 실음원의 위치에

일치하면 그림 23의 좌측 그림과 같이 모든 센서출력에 있어 피크 위치가 중첩되므로 그 평균값은 변하지 않는다. 한편 일치하지 않으면 그림 23의 우측 그림과 같이 센서마다 피크 위치가 다르기 때문에 그 평균값은 적게 된다. 더 나아가 그림 24과 같이 햄머의 타격위치에 시간차를 주는 것에 의해 예를 들면, 다른 잡음이나 균열 이외로부터의 반사파가 혼입하더라도 그 영향을 제거할 수가 있다. 따라서 가상음원의 위치를 콘크리트 구조체가 존재하는 범위로 조작하는 것에 의해 평균값이 큰 위치에 실음원이 있다는 것으로 추정한다.

$$r_{\tau_n} = \frac{L_n}{c_p} \quad (3)$$

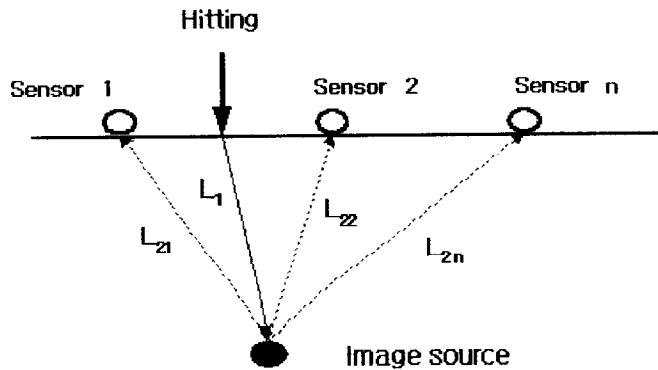


그림 21. 반사파의 전파거리

Fig. 21. The distance of propagation of the reflected wave

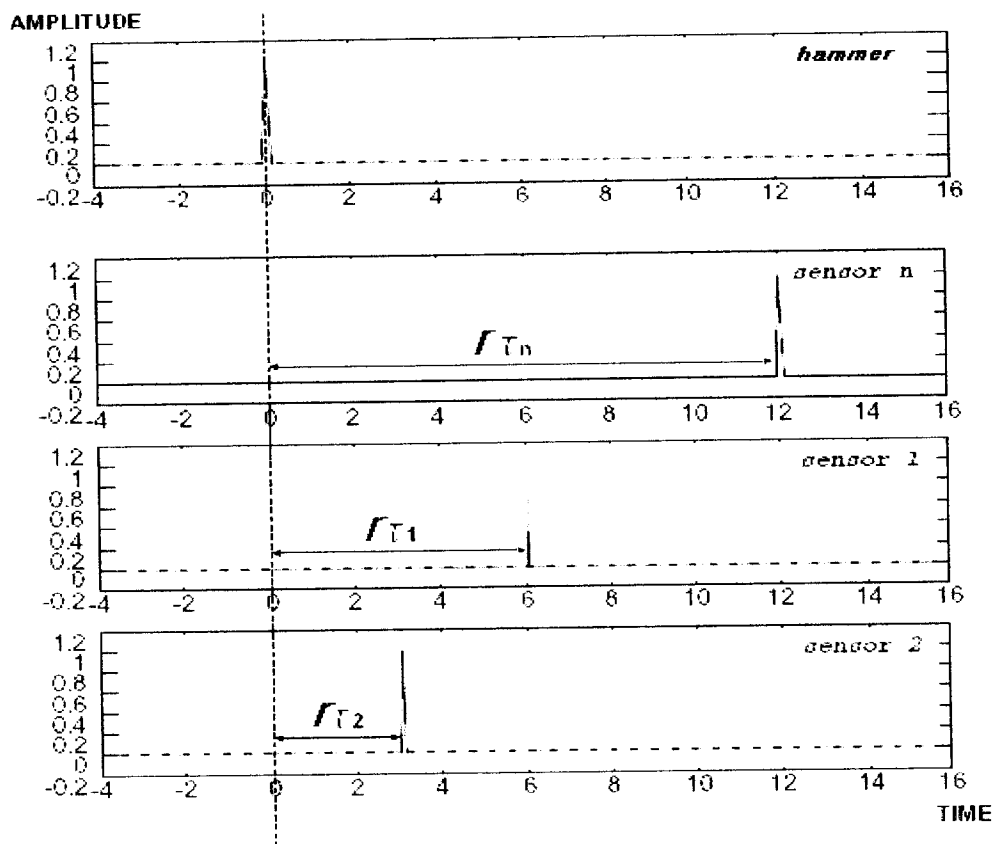


그림 22. 타격시각으로부터 센서까지의 전파지연

Fig. 22. The delay of propagation from hitting time to sensor

가상음원과 반사파의 peak 위치가
일치하는 경우

가상음원과 반사파의 peak 위치가
일치하지 않는 경우

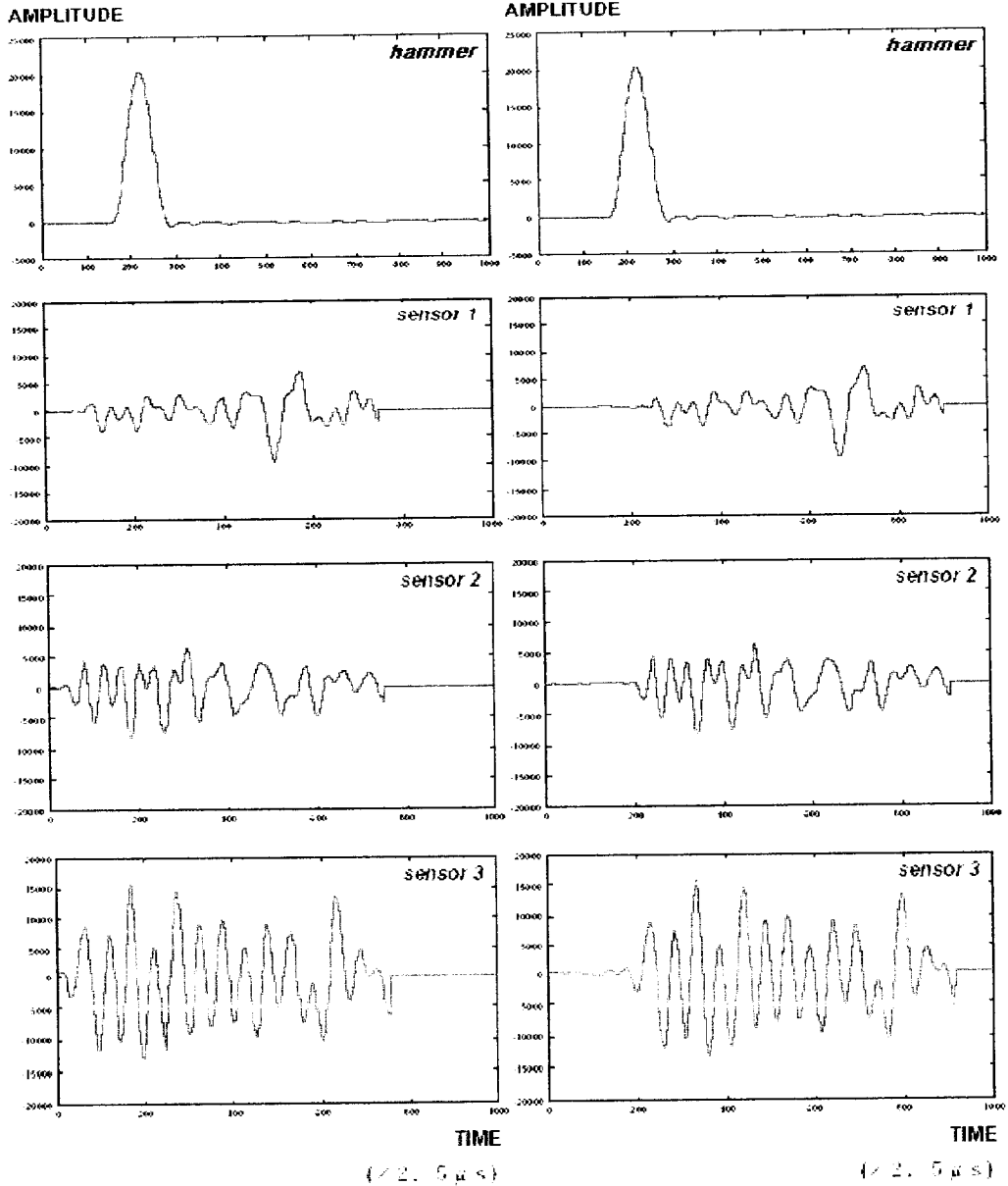


그림 23. 가상음원이 반사파의 피크 위치와 일치하는 경우와
일치하지 않는 경우

Fig. 23. In case of consistency and inconsistency in the
reflected wave position through image source

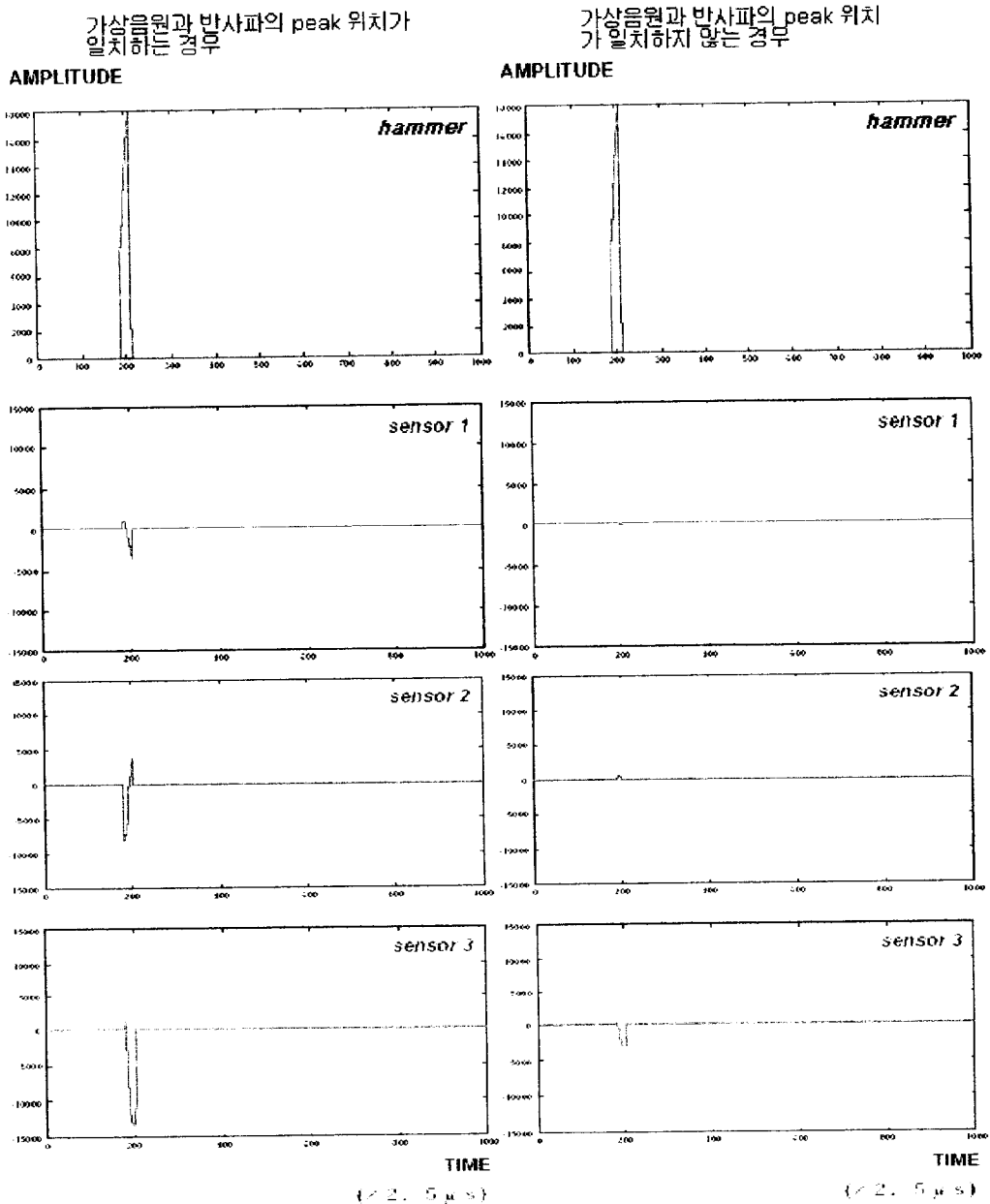


그림 24. 그림 23의 파형에 대하여 시간창을 걸었을 때 가상음원이
반사파의 피크 위치와 일치하는 경우와 일치하지 않는 경우
Fig. 24. In case taking window fig. 23, the case of consistency
and inconsistency in the reflected wave point of peak

III. 콘크리트 구조물 타격에 의한 실험

III-1. 실험환경

실제로 지면위에 놓여진 2 종류의 콘크리트 구조물을 만들어, 타격실험을 하였다. 그림 25는 콘크리트 구조물의 치수 및 균열 위치, 센서의 설치 위치를 나타냈다. 균열의 두께는 7 mm의 나무판을 삽입하였다.

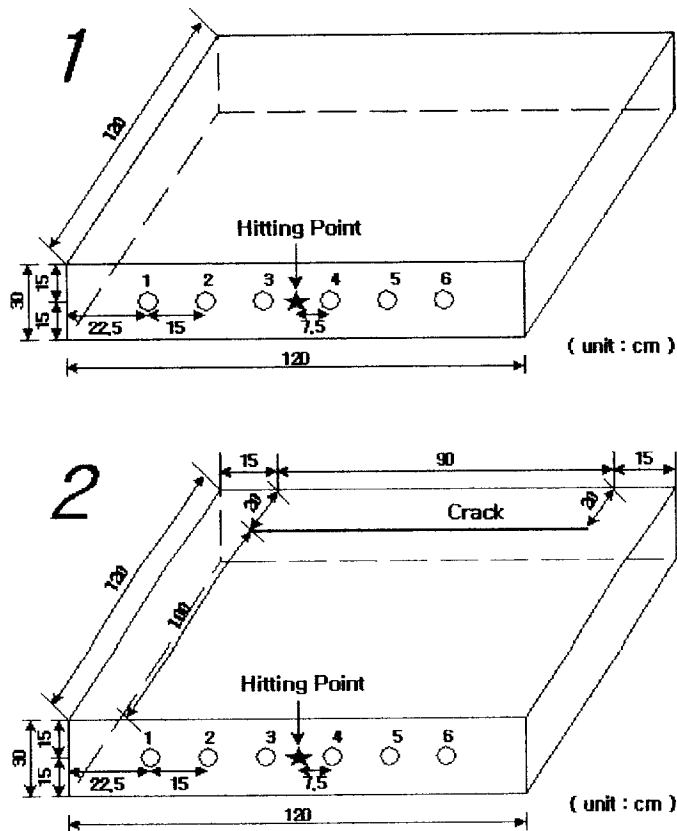


그림 25. 실제로 실험에 사용한 콘크리트 구조물

Fig. 25. The using concrete structure in experiment

III-2. 실험결과

III-2-1. 콘크리트 구조물내에 균열이 없는 경우

그림 26에 콘크리트 구조물내에 균열이 없는 경우로써 임펄스 햄머의 타격위치가 콘크리트 구조물에 부착한 선배열 센서의 중앙일 때 임펄스 햄머 신호의 파형과 각 센서의 출력파형을 나타냈다.

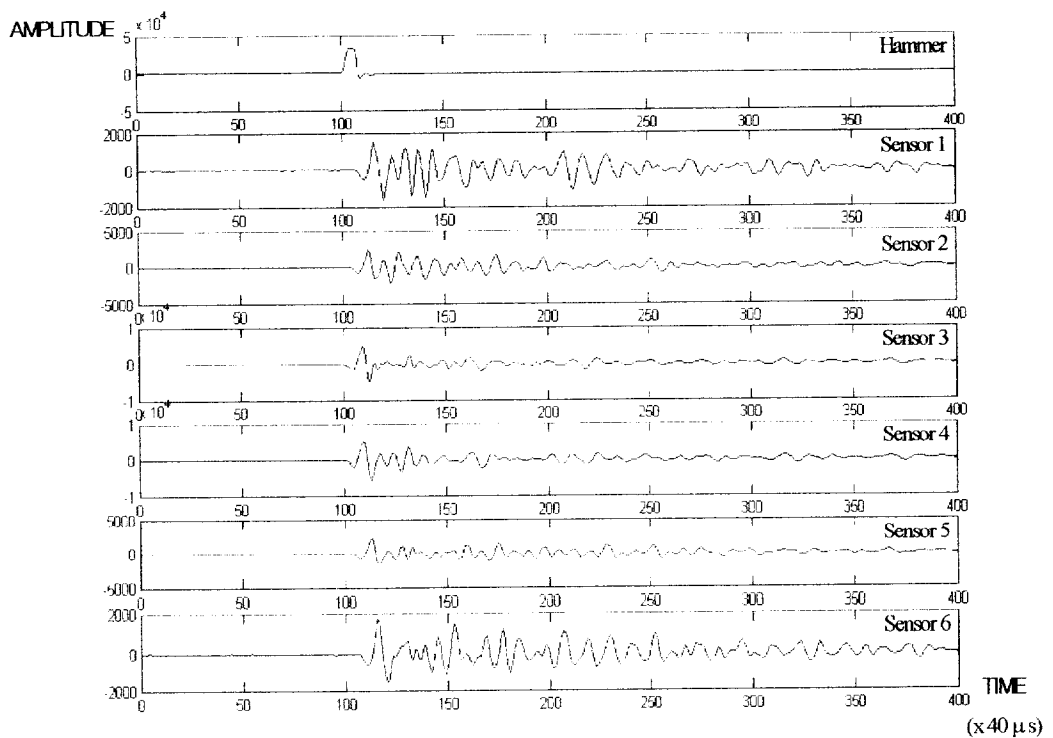


그림 26. 콘크리트 구조물 1의 A/D변환하여 얻은 임펄스 햄머 출력 및
센서 출력 파형

Fig. 26. Impulse hammer and sensor output wave get A/D
conversion of concrete structure 1

표면파를 제거한 각 센서의 파형은 콘크리트 구조물의 측면이나 끝단만의 반사파로써 형성되어진다. 그러므로 이 파형으로부터 근거리 음장의 지향성 합성을 적용했다. A/D변환된 각 센서의 신호에서 시간창을 걸어 시간 보정한 각 센서 출력을 평균한 파형의 파워의 분포를 그림 27에 그렸다. 그림 27에 있어서, 파워의 분포는 3 dB 간격으로 등고선으로 표시하였다. 또 콘크리트 구조물의 아랫면의 위치에 91 dB 인 큰 피크가 나타나고 다른 피크는 3 dB 이상 적다. 원호상의 패턴이 나타나고 있지만, 이것은 시간창을 걸어 시간 보정한 신호로써 처리했기 때문에 센서 수가 6개로 1차원 선배열 센서의 수가 적어 정확한 지향성 특성을 얻기 어려워 아랫면으로부터의 반사면 피크 영향이 남아있는 것으로 고려된다.

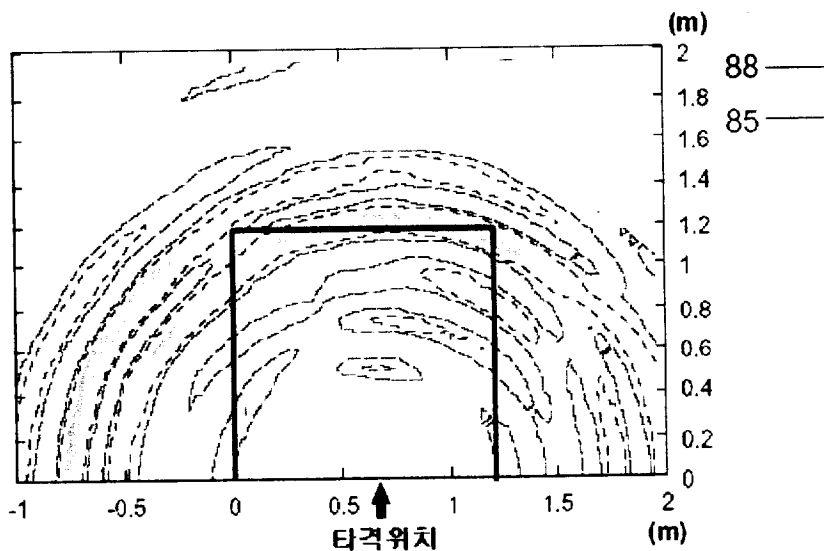


그림 27. 근거리 음장의 지향성 합성을 사용한 균열 없는 콘크리트 구조물의 균열 위치 추정 결과

Fig. 27. The results of used near field beamforming without crack Concrete structure

III-2-2. 콘크리트 구조물내에 균열이 있는 경우

그림 28은 콘크리트 구조물내에 균열이 있는 경우 A/D변환에 의해 얻어진 파형이다. 파형에서 타격위치가 콘크리트 구조물 중앙일 때 임펄스 햄머 및 각 센서의 출력파형을 나타내었다.

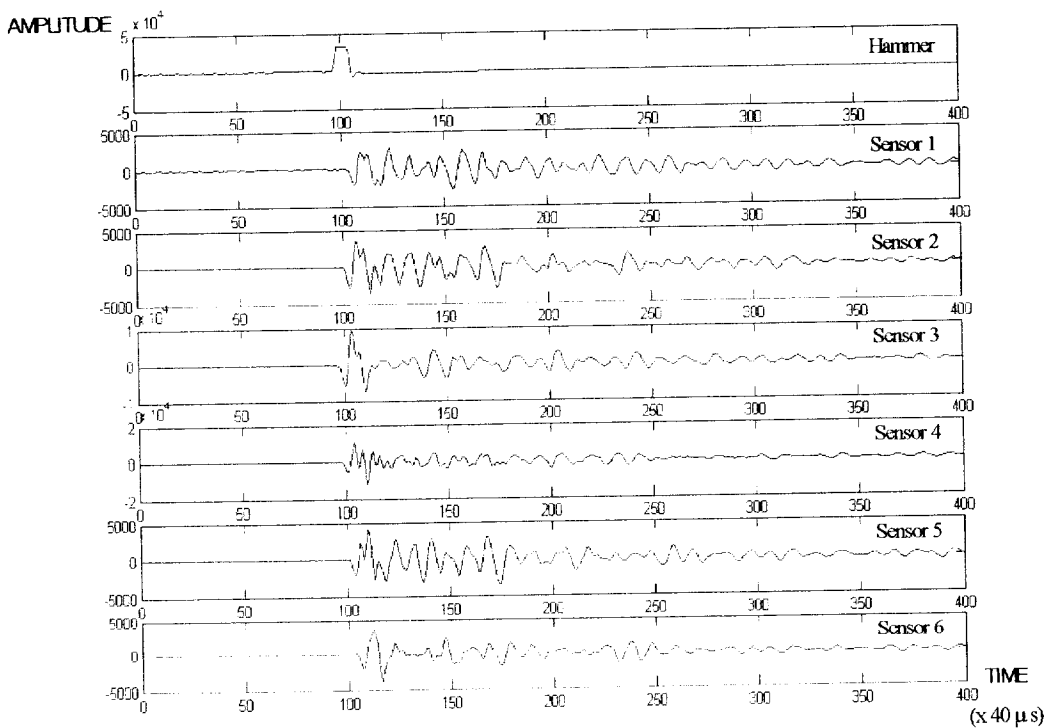


그림 28. 콘크리트구조물2의A/D변환하여 얻은 임펄스 햄머 출력 및 센서 출력 파형

Fig. 28. Impulse hammer and sensor output wave get A/D conversion of Concrete structure 2

표면파를 제거한 각 센서의 파형은 측면이나 끝단, 콘크리트 구조물의 내부에 균열로부터의 반사파만으로 형성되어 이 파형 데이터로 시간보정을 한 근거리 음장의 지향성 합성법을 적용했다. 시간창을 걸어 각 센서 출력신호를 평균한 파워의 분포를 그림 29에 그렸다. 그림 29에 있어서 균열의 위치에 94 dB 인 큰 피크가 나타났다.

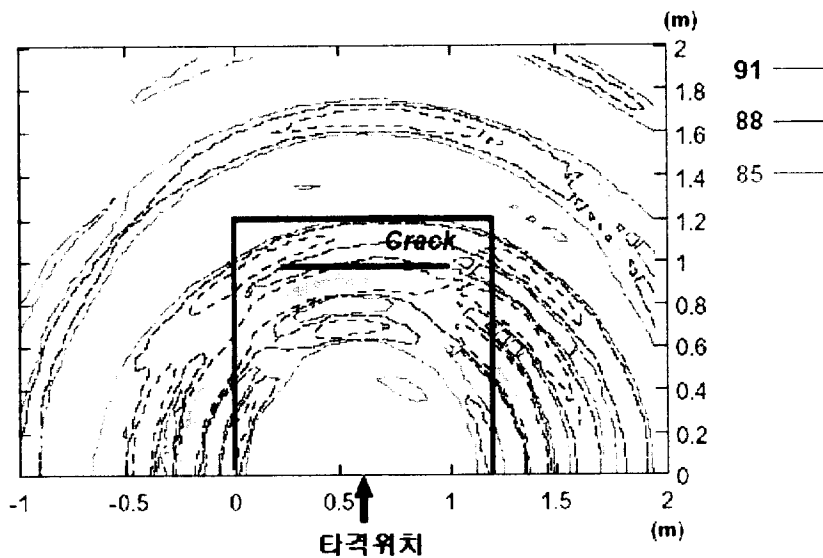


그림 29. 근거리 음장의 지향성 합성을 사용한 균열 있는 콘크리트 구조물의 균열 위치 추정 결과

Fig. 29. The results of used near field beamforming without crack concrete structure

IV. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 구조물에 대하여 균열이 없는 것과 균열이 있는 것에 대하여 균열 위치를 추정하는 타격 실험을 하였다. 그 실험 결과에서 선배열 센서의 중앙 센서 사이에 임펄스 햄머로 타격했을때 콘크리트 표면에서 발생하는 표면파가 먼저 진동 픽업 센서에 도달하고 그 파위가 다른파에 비해 월등하게 크므로, 진동 픽업 센서의 출력파형에서 콘크리트 구조물내의 균열 및 끝단에서 오는 반사파를 분별하기 어려웠다. 진동 픽업 센서에 가장 먼저 도착하는 표면파를 제거하므로 S/N비가 향상되어 진동 픽업 센서의 출력파형에서 임펄스 햄머의 타격에 의한 직접파인 표면파를 제거함으로써, 콘크리트 구조물 내부의 균열과 끝단에서 오는 정보의 데이터를 획득하였다. 진동 픽업 센서의 출력파형에서 표면파 성분을 제거한 P파의 성분으로 근거리 음장의 지향성 합성법의 알고리즘으로 처리한 결과 균열이 없는 콘크리트 구조물에서는 아랫면의 위치인 1.2m에 91 dB 인 큰 피크의 파워분포를 형성하여 나타났고, 균열이 있는 콘크리트 구조물내에 균열이 있는 것은 균열 위치인 1m에 94 dB 인 큰 피크의 파워분포가 나타났다. 이로써 실험 대상인 콘크리트에 대하여 정확하게 균열 위치를 탐지할 수 있었다.

따라서, 본 연구에서 제안한 저주파수의 진동신호원을 사용한 비파괴 탐지법은 실제 대형 건축구조물인 콘크리트 구조물의 내부 결함등으로 인하여 구조물이 파손되는 것을 사전에 방지하기 위한 안전진단에 결함 유무와 그 위치를 정확하게 측정할 수 있어 적용 할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] 韓國콘크리트學會, “콘크리트구조물의 非破壞檢査 및 安全診斷”, 사단법인 한국콘크리트학회, 2001.
- [2] Masato Abe, Toyota Fujioka, and Yoshifumi Nagata, "Location of a defect in a concrete block by a non-destructive technique", Acoust. Soc. Jpn, Acoustical Science Technology, Vol. 23, No. 6, pp. 308-313, 2002.
- [3] 고진현, 국정환, 권호영, 박종건, “최신 비파괴검사개론”, 원창출판사, 2002.
- [4] SAEED V. VASEGHI, *"Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction"*, Sencond Edition, John Wiley & Sons, 2000.
- [5] Kiyoyuki Kaito, Masato Abe, Yozo Fujino and Kazuhiro Kumasaka, *"Detection of internal voids in concrete structures using local vibration information"*, J. Materials, Concrete structures and pavements, No.690/V-53, pp.121-132, 2001 (in Japanese)
- [6] Mary Sansalone and Nicholas J. Carino, *"Detecting delaminations in Concrete slabs with and without overlays using the*

impact-echo methods", ACI materials Journal No. 86-M18, pp.175-184, 1989

- [7] M. Abe, Y. Nagata and K. Kido, "*A new method to locate vibration sources by searching the minimum value of error function*", Proc. IEEE INTERNATIONAL CONF. ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, pp. 18B.2.1-2.4, April 7-11, 1986.

감사의 글

더 나은 발전을 위해 대학원 석사과정에 진학하면서부터 이 논문이 완성되기까지 저에게 많은 도움을 주신 여러분들께 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

먼저, 대학원과정 2년동안 끊임없는 격려와 학문적 지도로 이러한 성과를 얻게 해주신 김천덕 교수님께 무한히 감사드립니다. 그리고 아낌없는 지도와 관심으로 부족한 논문에 많은 조언을 주신 윤종락 교수님, 하강렬 교수님, 김무준 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 충고와 관심을 가져주신 전기과 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

연구실 생활을 하면서 저의 인생에 빼놓을 수 없는 정신적 지주이자 학문적 가르침으로 이 자리에 설 수 있게 해주신 박순종 선생님께 부족하지만 진심어린 마음을 전합니다. 그리고 따뜻한 격려와 충고를 아낌없이 베풀어주신 음향진동공학과와 김정호 선생님과 김정순 선생님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 2년동안 8공학관에서 보내면서 힘들때 같이 나눠주고 도와준 김중원, 이기수 선배를 비롯한 전력전자연구실의 친구들에게도 고마운 마음 전합니다. 슬픔과 고난을 함께했던 20년지기 소중한 친구 진희와 보경, 민정리와 함께 이 기쁜 마음 전하며, 누나 뒤에서 마음 고생 많았던 동생에게도 고마운 마음을 전합니다. 더위와 추위에도 아랑곳하지 않고 논문의 실험을 도와준 DSP 연구실의 성원, 두환, 현곤, 병두와 이제 대학원 생활을 시작하는 호림, 영규, 수열이에게 이 고마운 마음 전합니다.

마지막으로, 끝까지 딸을 믿어주고 후원해주신 부모님 사랑합니다.