



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位請求論文

진동신호법을 이용한
콘크리트의 균열 추정에 관한 연구



2007 年 2 月

釜慶大學校 一般大學院

電氣工學科

金 榮 奎

工學碩士 學位請求論文

진동신호법을 이용한
콘크리트의 균열 추정에 관한 연구

指導教授 장 윤 석

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2007 年 2 月

釜慶大學校 一般大學院

電氣工學科

金 榮 奎

金榮奎의 工學碩士 學位論文을 認淮함

2006 年 12 月

주심 공학박사 노 의 철 (印)

부심 공학박사 장 윤 석 (印)

부심 공학박사 박 규 철 (印)

목 차

목차	I
그림 목차	II
Abstract	III
제 1 장 서 론	1
제 2 장 Concrete Block내의 균열 위치 추정방법	4
2.1 임팩트 햄머를 이용한 타격으로 진동신호의 획득	7
2.2 A/D 데이터의 데이터 보간	11
2.3 구조물내 전파하는 P파의 음속추정	14
2.4 표면파의 추정과 제거(최소자승법)	17
2.5 균열 위치의 추정(근거리 음장 지향법)	21
제 3 장 구조물 타격에 의한 실험	27
3.1 실험 구성	27
3.2 실험 결과	29
3.1.1 균열 없는 콘크리트 블록의 경우	29
3.1.2 균열 있는 콘크리트 블록의 경우	31
3.1.3 흠이 파진 콘크리트 블록의 경우	32
제 4 장 결 론	34

참 고 문 헌	35
---------------	----



그림 목차

Fig. 1. The crack and detected outline diagram cracked for the structure of concrete	3
Fig. 2. The example of output vibration pick sensor	4
Fig. 3. Process Flowchart	5
Fig. 4. The path of reflected wave without crack of bottom of concrete	6
Fig. 5. The path of reflected wave having crack of the inner part concrete	7
Fig. 6. The path of reflected wave having groove of concrete	8
Fig. 7. System for A/D conversion	9
Fig. 8. The express the first waveform after A/D conversion	10
Fig. 9. The example of inconsistency between peak value and sampling time	11
Fig. 10. The example of the sequence (1), (2)	12
Fig. 11. Sequence 3. the waveform of 16 times by time axis from Fig. 8	13
Fig. 12. The path of propagation of P wave	14
Fig. 13. The estimation of reflected wave located in peak between reverse side and hitting side of P wave	16
Fig. 14. Output waveform of sensor 1(huge dam)	17
Fig. 15. The relation of the sensor's output and hitting of impulse hammer	17
Fig. 16. The output waveform and estimated waveform in sensor 1	

if is located in real concrete of segments	19
Fig. 17. The waveform eliminated surface wave which is estimated by sensor 1	19
Fig. 18. The output waveform and estimated waveform in sensor 4 if is located in real concrete of segments	20
Fig. 19. The waveform eliminated surface wave which is estimated by sensor 1 near hitting point	20
Fig. 20. Direct wave from mirror form sound source	21
Fig. 21. Reflected wave to propagational radiation	22
Fig. 22. The distance of propagation of the reflected wave	23
Fig. 23. The delay of propagation from hitting time to sensor	24
Fig. 24. In case of consistency and inconsistency in the reflected wave position through image source	25
Fig. 25. In case taking window fig. 24, the case of consistency and inconsistency in the reflected wave point of peak	26
Fig. 26. The using concrete in experiment	28
Fig. 27. Impulse hammer and sensor output wave get A/D conversion of concrete block 1	29
Fig. 28. The results of used near field beamforming without crack Concrete block	30
Fig. 29. Impulse hammer and sensor output wave get A/D conversion of Concrete block 2	31
Fig. 30. The results of used near field beamforming without crack concrete block	32
Fig. 31. The results of used near field beamforming without crack concrete block	33

A Study on Non-Destructive Inspection of a concrete crack using
vibration signal method

Young-Kyu Kim

Department of Electrical Engineering, The 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-up sensors. An array of vibration pick-up sensors is attached on the concrete block, and a vibration pulse is forced by using an impact hammer. If there is a crack or groove, a reflection wave is generated from the position of the crack. However, since the concrete block is springy, 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.

제 1 장 서 론

현대 사회에서는 콘크리트 건축물로 건설되는 빌딩이나 아파트 등의 건물들이 점차 대형화되고 고층화되는 추세를 보이고 있다. 하지만 콘크리트로 건축된 구조물은 부실공사나 시일이 지남에 따라 내부균열이 생기고 이로 인해 최악의 상황으로 건물 붕괴에 까지 이르고 있다. 이를 사전에 대비하기 위해서 콘크리트 구조물의 품질관리와 이미 준공된 건축물에 대해서 정기적인 안전검사와 체계적인 유지관리가 필요하다. 그러므로 일정규모 이상의 대형 콘크리트 구조물에 대해 정기적인 안전점검을 의무화하여 제도적 틀이 갖춰져 있으므로 여러 가지 안전점검 방법들이 개발되어 사용되어지고 있다.

본 논문에서 다룰 방법은 건물 내부에 충격이나 손상을 가하지 않고 콘크리트 내부의 균열이나 결함등을 탐지하는 방법이다. 이러한 비파괴적 탐지방법은 측정의 목적에 따라 여러 가지로 나뉠 수 있다. 여기서는 콘크리트 내부결함 및 균열의 깊이를 측정하는 방법을 사용한다. 그러한 여러 방법들에는 진동신호법, 방사선법, 전자파법, 레이저법 등이 있다. 방사선법은 콘크리트 내부의 상황을 직접볼 수 있으나 장치가 대형일뿐 아니라 방사선에 의한 법규제가 수반되어 잘 사용되어지지 않고 있다. 전자파법은 판두께가 연속적으로 도시되고 지중의 매설물, 공동검출등에 사용되거나 주파수가 낮으면 안테나가 대형화 되는 단점이 있다. 레이저법은 아직도 여러방면에서 개발중에 있으며 균열의 위치나 폭은 측정되나 깊이의 측정에는 무리가 있다고 한다.

본 논문에서 쓰여질 진동신호법은 콘크리트내 균열 위치 탐지에 저주파수인 진동신호를 사용한다. 종래의 사용 방법은 저주파수 진동신호가 콘크리트 구조물을 관통한다. 그래서 콘크리트 구조물의 균열 위치를 추정함으로

서 진동에너지와 공진주파수를 추정한다. 그러나 이 방법은 다음의 경우의 작업에 적합하다. 첫째, 균열은 시트와 시트사이처럼 콘크리트 구조물 표면에 평행하거나(이 경우 고정된 파를 발생시킨다), 둘째, 균열이 공진주파수의 이동으로 생기는 것보다 큰 경우이다. 본 논문에서는 여러 개의 진동픽업(pick-up)소자를 사용하여 콘크리트 블록에 균열 위치를 추정할 수 있는 종전의 방법과 다른 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 진동력으로 인하여 생기는 균열로부터의 1차 반사파의 위치는 공진주파수를 대신하여 균열의 위치를 찾는 데 사용된다. 그리고 콘크리트 블록내 균열이 1개 이상일 때도 추정할 수 있다. 반면에 종래부터 사용되는 방법은 다수의 균열이 있을 경우 균열 위치를 탐지하는 것은 매우 어렵고 표면파를 확실히 제거할 수 없으므로 아직도 부족한 점이 있다. 본 논문에서의 방법은 진동 픽업 소자의 배열을 콘크리트 블록에 부착했고 진동 펄스는 임팩트(impact) 햄머로써 가한 힘이다. 임팩트 햄머는 고주파 성분과 비교하여 파위에 감소하지 않는 저주파 성분을 생성하여 구조물내의 알기 어려운 균열로부터의 반사도 탐지할 수 있다. 콘크리트 구조물은 탄성이기 때문에 3개의 전파모드(표면파 모드, P파 모드, S파 모드)가 있으며 필요한 P파 모드는 진폭에서 중요하지 않다. 이 문제는 공진주파수의 추정이나, 제안한 방법에서는 중요하다. S/N비를 증가시키기 위해 선착(first-coming)하는 표면파를 제거하는 방법은 종전에 이미 제안되었다. 왜냐하면 이 방법은 벽면으로부터 다수의 반사 때문에 표면파의 정확한 파형을 추정하기에 불충분하다.

따라서, 본 연구에서 제안하는 방법으로 결함 위치를 탐지하는 실험을 행한 결과 정확하게 결함 위치를 동정하고 있어 제안한 방법의 유효성이 확인되었다.

제 2 장 Concrete Block내의 균열 위치 추정 방법

본 연구에서 비파괴 탐지 방법은 대상 콘크리트 구조물에 진동 펄스를 가한 뒤, 여러개의 진동 픽업(pick-up)소자를 사용하여 구조물의 균열 및 그 균열의 위치를 탐지한다. 진동 픽업센서는 일정한 간격으로 배열하고, 임팩트 해머를 이용하여 입력신호인 진동펄스를 얻어내어 사용한다. 이 저주파수의 진동신호는 콘크리트 구조물을 경유하여 통과하므로 콘크리트 구조물 내부의 정보를 포함하게 될 것이다.

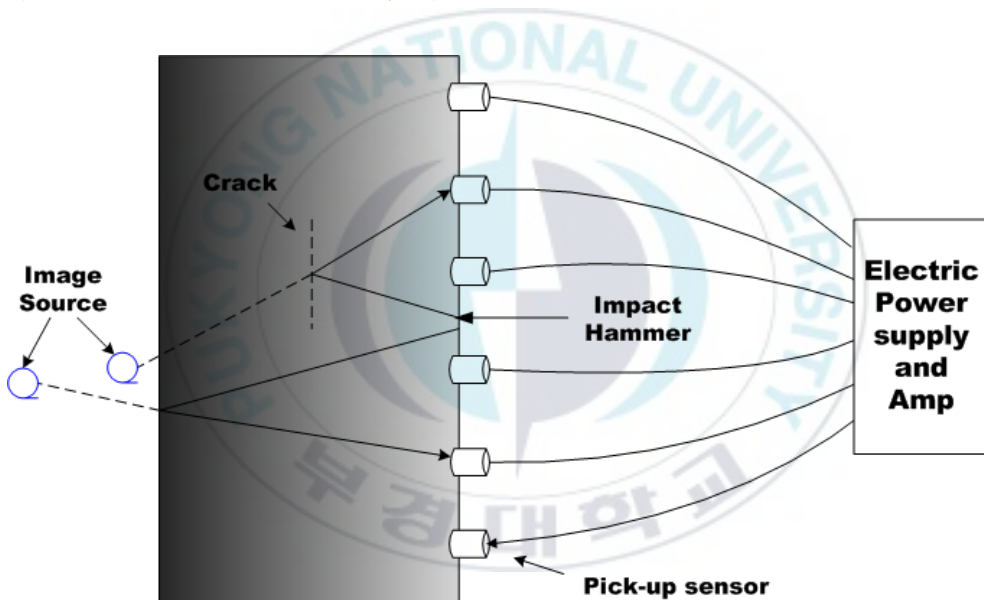


Fig 1. The crack and detected outline diagram cracked for the structure of concrete

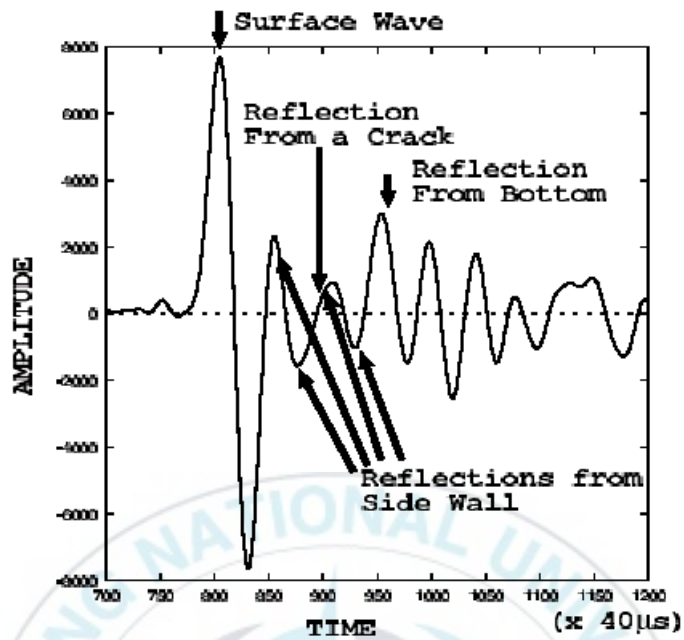


Fig. 2. The example of output vibration pick sensor

만약 검사하고자 하는 대상 구조물에 균열이나 주변 매질과 다른 물체(예, 철근 구조, 통신 케이블 등)가 있다면, 그 위치로부터 반사파를 발생시키며, 이 반사파는 그림 2와 같은 형태의 신호로서 진동 픽업 센서의 출력신호로 나타난다.

그림 3은 콘크리트 블록의 균열 위치 추정을 위한 처리 순서도이다.

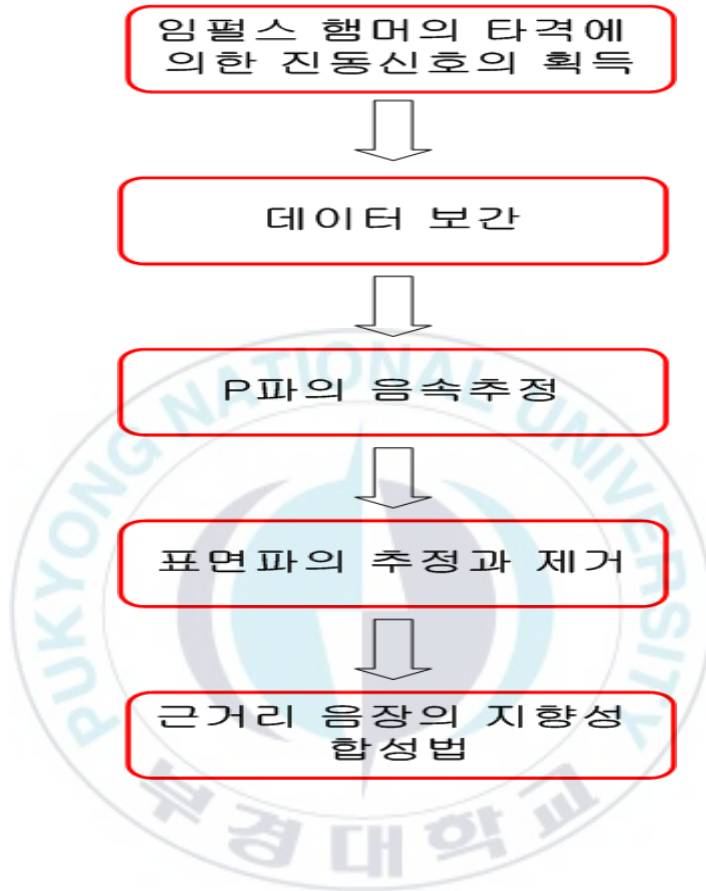


Fig. 3. Process Flow chart

II-2. 임팩트 햄머를 이용한 타격으로 진동신호의 획득

지면상에 놓여진 실험대상 구조물은 그림 1과 같은 콘크리트 블록을 만들어 실험을 한다. 콘크리트 표면에는 다수개의 픽업센서를 같은 간격으로 붙이고 임팩트햄머로 수회 타격한다. 이 때, 그림 4와 같이 균열이 없는 콘크리트에서는 바닥(bottom)으로부터만 반사파가 생긴다. 그림 5와 같이 콘크리트 내부에 균열(crack)이 있으면 그 위치에서 반사파가 생기므로 픽업센서로 얻어지는 파형을 사용하여 균열의 위치를 추정할 수 있다. 마찬가지로 그림 6과 같이 콘크리트에 홈(proove)이 있으면 홈이 파진 위치에서 반사파가 생긴다.

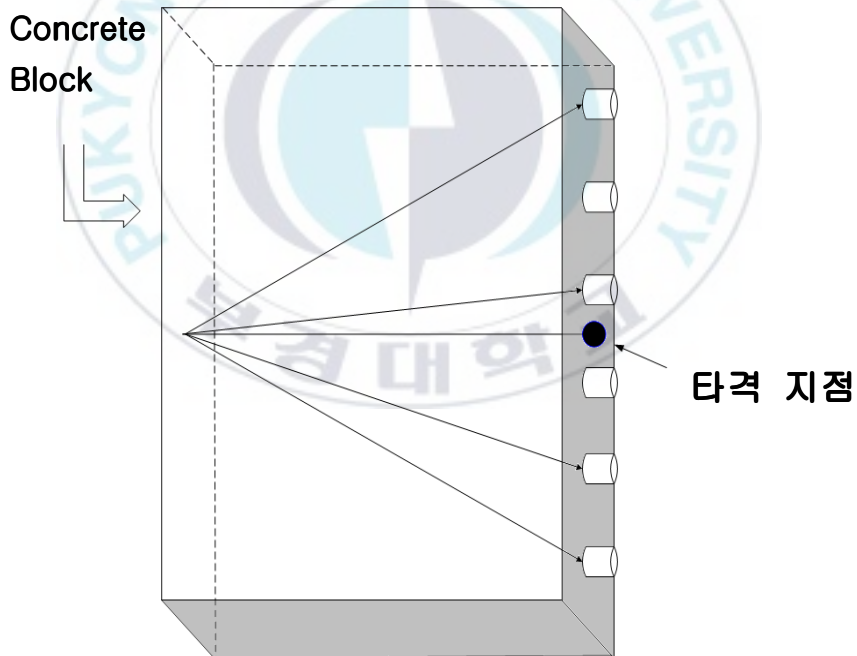


Fig. 4. The path of reflected wave without crack of bottom of concrete

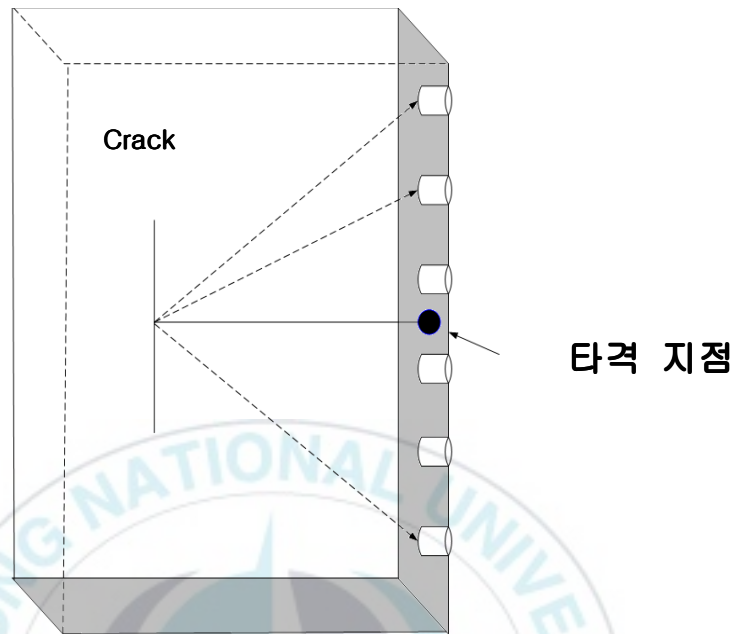


Fig. 5. The path of reflected wave having crack of the inner part concrete

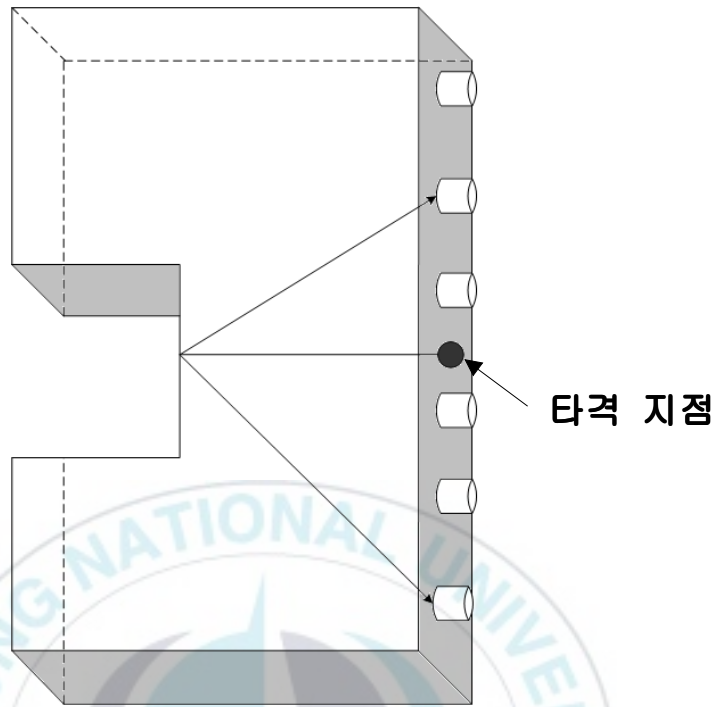


Fig. 6. The path of reflected wave having groove of concrete

여기서 임팩트해머에 의해 수회 타격하여 진동 픽업센서에 의해 얻어진 진동 펄스는 Amp에 증폭되고 A/D변환기에 의해 이산화신호로 변환되고 PC의 하드디스크에 저장한다. 그 후 PC의 하드디스크에 저장된 수회분의 타격 응답파형 중에서 1회분의 타격응답만을 사용한다. 파형은 그림 8에 나타낸다. A/D변환 시스템은 TMS320C6711DSK 보드 제어에 의해 다채널 A/D보드를 사용했다. 그리고 진동 신호의 유효대역은 5 kHz로 하고 샘플링주파수는 25 kHz로 했다.

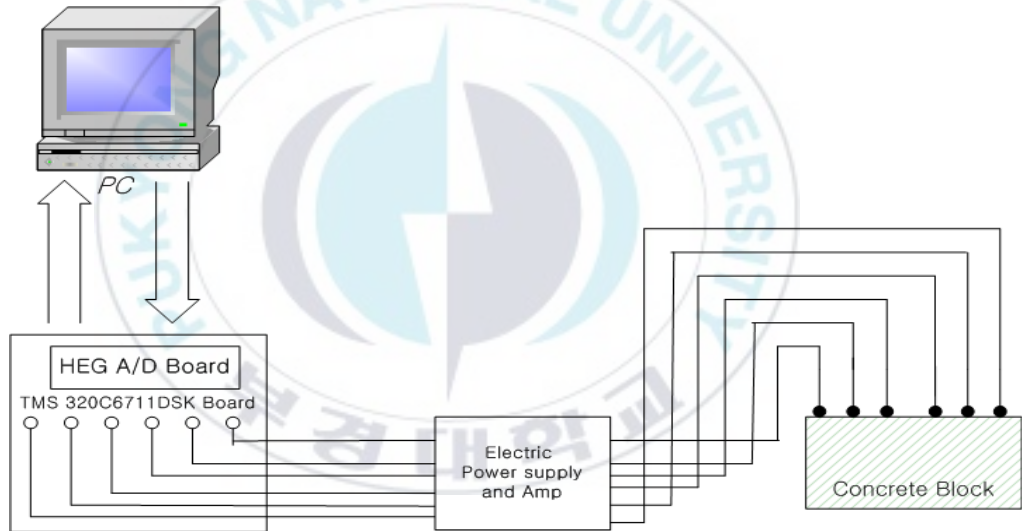


Fig. 7. System for A/D conversion

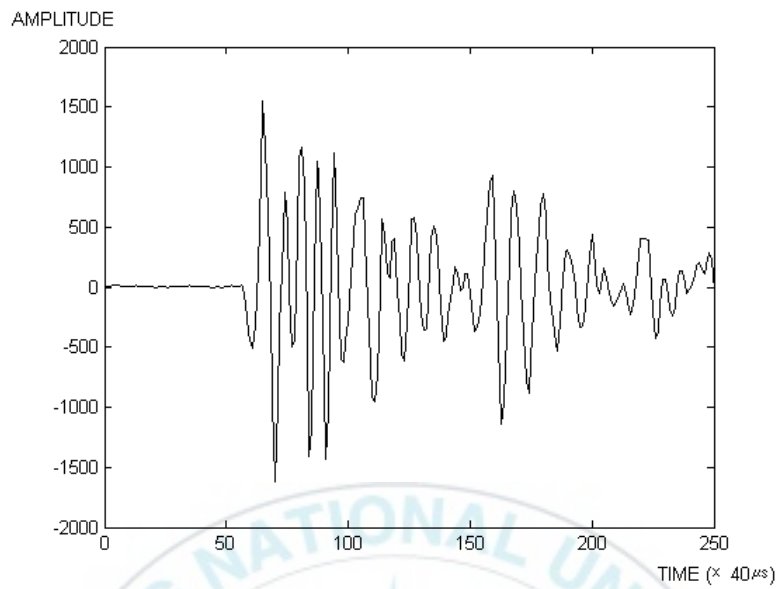


Fig. 8. The express the first waveform after A/D conversion

II-2. A/D 데이터의 데이터 보간

A/D변환후 얻어진 파형은 그림 9와 같이 피크(peak) 위치가 샘플링시각에 일치하지 않은 경우가 있다. 그러나 진동의 유효주파수성분은 5 kHz정도이므로 피크 위치를 알기위하여 샘플링주파수를 높여서도 DATA량이 많아지는 것만으로 쓸모없다. 그러므로 보다 정확한 파형 피크의 위치를 구하기 위하여 신호처리를 한다. 샘플링 간격을 1/16로 한(샘플링주파수를 16배) 것과 동등하게 되도록 DATA 보간한다. DATA 보간에는 FFT 보간을 사용한다.

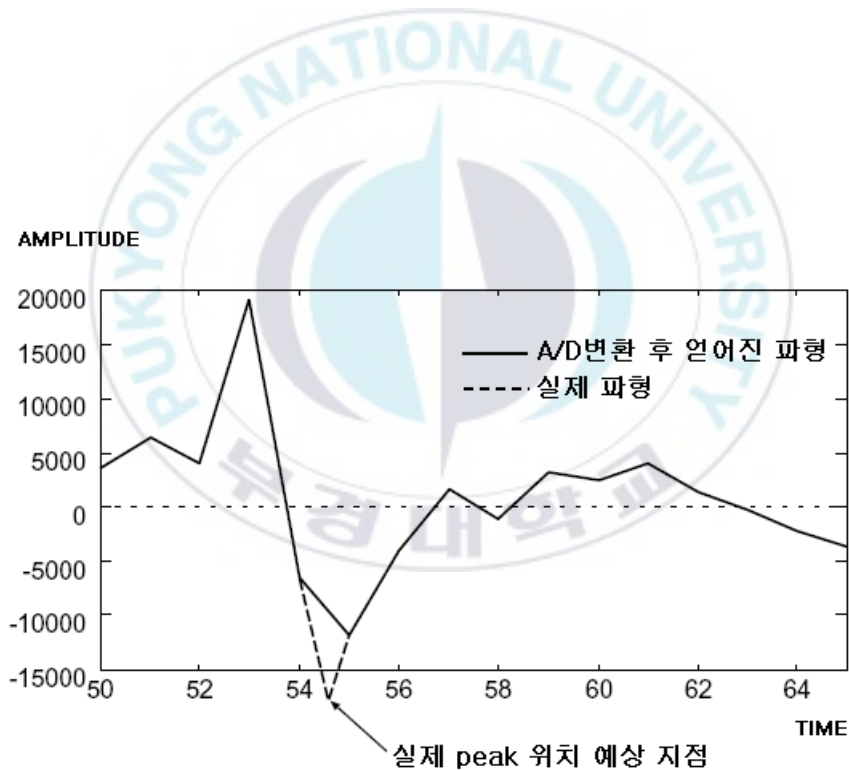


Fig. 9. The example of inconsistency between peak value and sampling time

여기에서 FFT 보간의 순서는 다음과 같다.

- (1) 1024 point의 DATA길이로써 푸리에 변환한다. (그림 10. 상)
- (2) 실수부와 허수부의 각각에 관하여 513 ~ 15872 point 사이에 0을 넣고 DATA 길이 16×1024 point의 DATA로 한다. (그림 10. 하)
- (3) 상기에서 얻어진 DATA를 역 푸리에 변환한다. (그림 11)

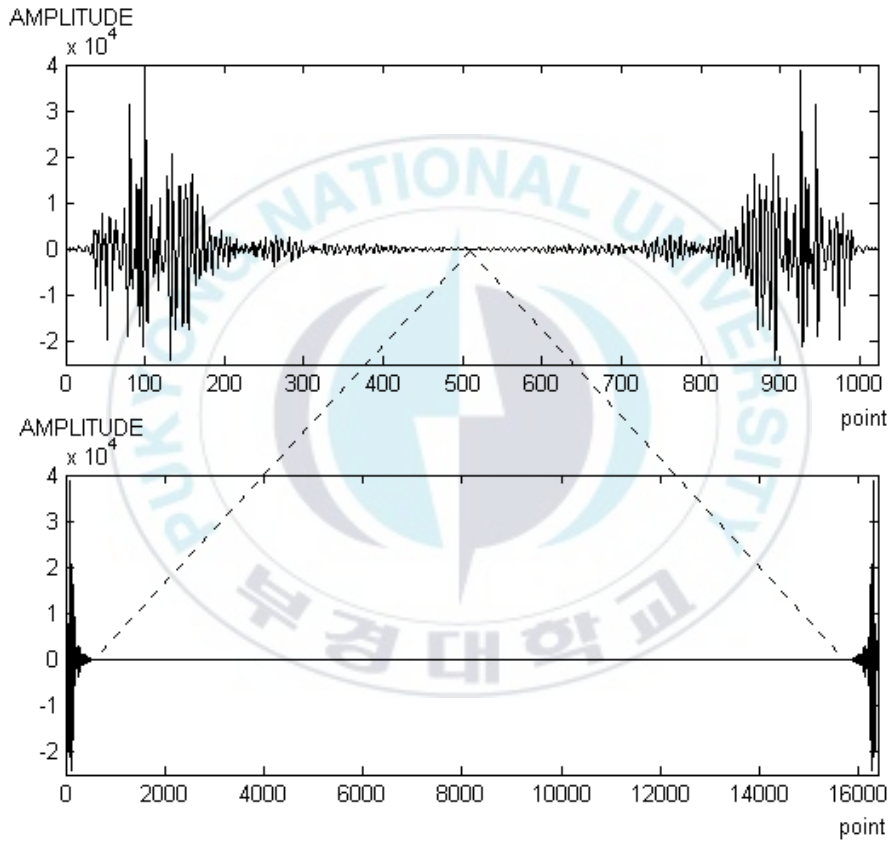


Fig. 10. The example of the sequence (1), (2)

그림 11은 DATA 보간된 결과 파형으로 그림 8에서 시간축으로 16배한 파형이며 그림 8에서는 피크 위치를 쉽게 추출할 수 없지만, DATA 보간을 함으로써 그림 11에서와 같이 경사가 완만하게 되어 피크 위치를 쉽게 추출할 수 있다.

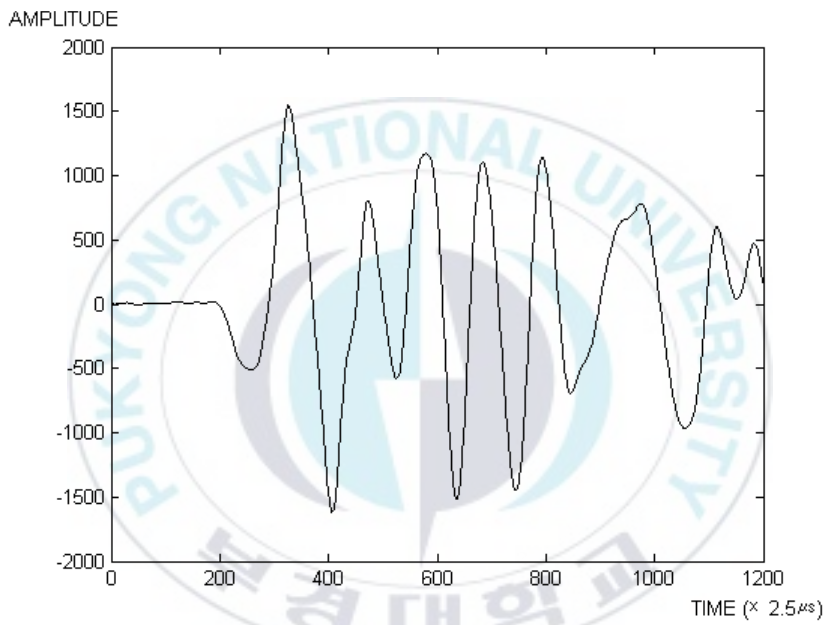


Fig. 11. Sequence 3. the waveform of 16 times by time axis from Fig. 8

II-3. 구조물내 전파하는 P파의 음속추정

타격에 의해 직접파로한 P파, S파 및 표면파가 생성되지만, P파 및 S파는 전파거리의 2승에 비례하여 감쇠하는 것에 대하여 표면파는 전파거리에 비례하여 감쇠하므로 타격점으로부터 떨어진 위치에서는 표면파가 지배적이 된다. 한편, 균열이나 끝단에서의 반사파에 관해서는 P파와 S파가 지배적이지만 타격점 바로 아래에서의 반사파에 관해서는 P파가 특히 지배적이다.

콘크리트 내부를 전파하는 P파의 속도는 약 4000(m/s), 표면을 전파하는 표면파의 속도는 약 2000(m/s)라는 것이 알려져 있지만[1], 이 값은 콘크리트의 성분(콘크리트 중에 포함된 수분의 양이나 모래, 사리 등의 양)에 의해 미소하게 변화한다. 균열 위치 추정에는 정확한 값이 필요하므로 여기에서는 실제로 센서에서 얻어진 DATA를 사용하여 P파의 음속을 추정한다. 즉 P파는 타격점에서 콘크리트의 내부 전파시 끝단면에서 반사하여 각 센서에 도달한다. 여기에서 반대측의 아래면(bottom)에서의 반사파가 크기 때문에 이 아래면에서의 반사파의 피크로부터 콘크리트블록에 치수(size)를 고대하고 음속을 추정한다.

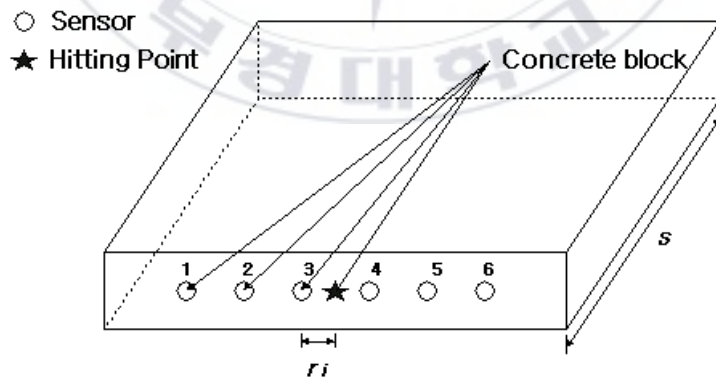


Fig. 12. The path of propagation of P wave

콘크리트블록의 치수(size), 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 : 블록의 세로길이

여기에서 r_i 는 타격점과 센서 i 까지의 거리, s 는 블록의 세로길이를 나타낸다. P파의 음속을 c_p 로 하면 센서 i 에서 P파의 아래 면에서의 반사파에 전파지연 r_{τ_i} (타격시각으로부터 몇 point 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, 센서출력파형의 어떤 피크가 P파의 아래 면에서의 반사파에 기인하는 피크인 가를 추정할 수 있다. 즉, 실제로 얻어진 센서출력파형에 있어서 타격시각으로부터 상기에서 미리 추정한 r_{Ti} 지연된 위치의 부근에 나와 있는 피크가 피크의 아래면으로부터의 반사파에 기인하는 피크인 것이라 생각된다.

피크가 나타나면 예측된 시각부근에 나타난 피크로부터 측면에 반사한 P파의 전파지연시간을 구한다. 이와 같이 전파시간과 전파거리를 고대하고 다수개 센서의 DATA로부터 속도를 구하고 평균한 것을 P파의 음속으로 추정한다.

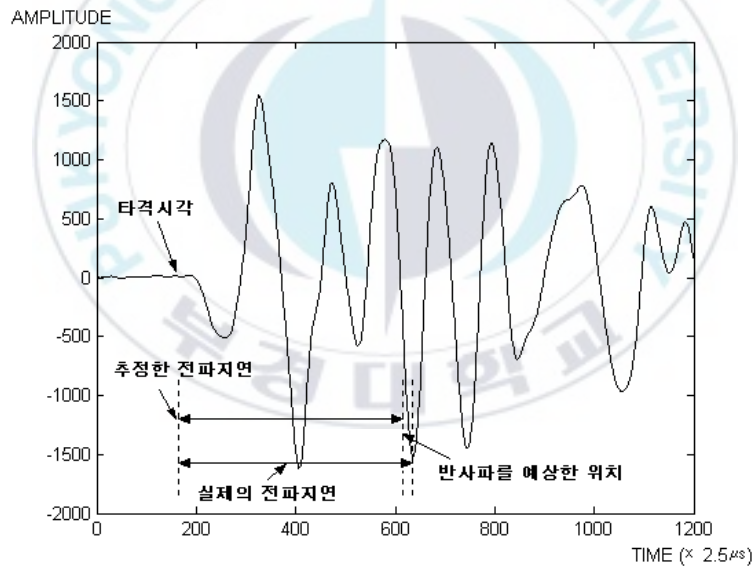


Fig. 13. The estimation of reflected wave located in peak between reverse side and hitting side of P wave

II-4. 표면파의 추정과 제거(최소 자승법)

반사파나, 균열이 없다고 생각되는 콘크리트 구조체에서 타격실험을 했다. 이때 타격에 대한 응답은 타격력, 센서 및 Amp의 주파수특성에 영향을 받아 그림 14의 파형이다.

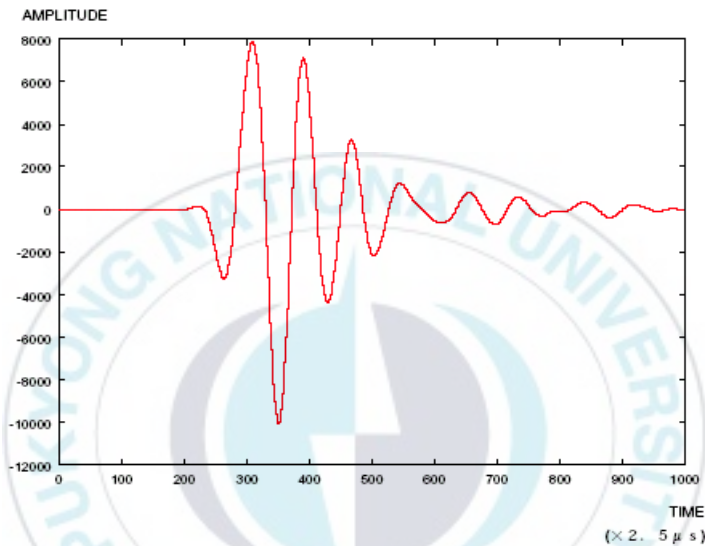


Fig. 14. Output waveform of sensor 1(huge dam)

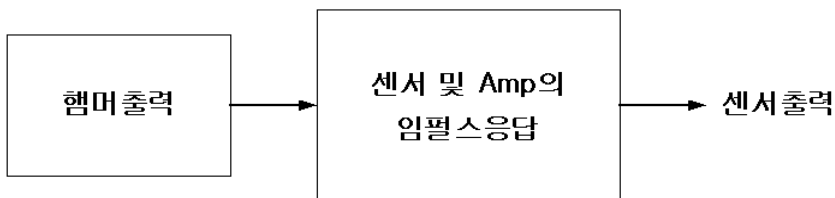


Fig. 15. The relation of the sensor's output and hitting of impulse hammer

이 파형은 근사적으로 지수 함수적으로 감쇠하는 정현파라고 간주할 수 있

다. 그런 이유로 센서 및 Amp의 임펄스응답은 지수 함수적으로 감쇠하는 정현파로 가정할 수 있다. 한편 센서는 가속도진동 픽업을 사용하는 것에 대하여 임팩트햄머의 출력은 속도파형이므로 임팩트햄머의 출력을 시간미분한 타격력으로 했다. 그러므로 그림 15에 그려진 시간미분한 임팩트햄머출력에 상기의 필터 및 Amp의 임펄스응답을 컨볼루션한 것이 각 센서출력으로 간주할 수 있다. 이 임펄스응답을 구하기 위하여 지수함수적으로 감쇠하는 정현파의 진폭, 주기, 감쇠율을 파라메타로 하여 고려한 파와 실제의 센서출력파형과의 자승합을 구한다. 이 자승합을 최소로 하는 파라메타가 센서 및 Amp의 주파수특성을 나타내는 파라메타가 된다. 이 방법을 실제로 균열이 있는 작은 콘크리트 시험체의 실험 DATA 내 최초의 표면파 부분에 적용하고 각 파라메타를 추정하여 표면파를 추정한다. 추정한 표면파의 예를 그림 16에 나타낸다. 이 추정한 표면파를 실제 실험으로 얻어진 파형으로부터 빼면 잡음으로 간주되는 표면파의 영향이 제거되고 그림 17에 그린 바와 같이 나머지는 균열 또는 콘크리트블록 끝단으로부터의 반사파가 된다. 그러므로 이 잔차파형에 대하여 근거리 음장의 지향성합성을 사용하는 것에 의해 균열 위치를 추정할 수 있다. 그림 16, 17은 타격으로부터 37.5 cm 떨어진 센서 1의 출력이다. 이 센서는 타격점으로부터 비교적 멀어지기 때문에 표면파의 영향이 지배적이다. 이 때문에 파형의 처음의 방법에서는 실제의 파형과 추정한 파형이 상당히 일치하고 있다. 한편 타격점으로부터 7.5 cm 에 있는 센서 4의 파형에서는 그림 18, 19에 나타난 것과 같이 P파나 S파의 성분이 그다지 감쇠하지 않으므로 오차가 크다. 그래서 지향성합성에서는 타격점 가까이의 센서는 사용하지 않는다.

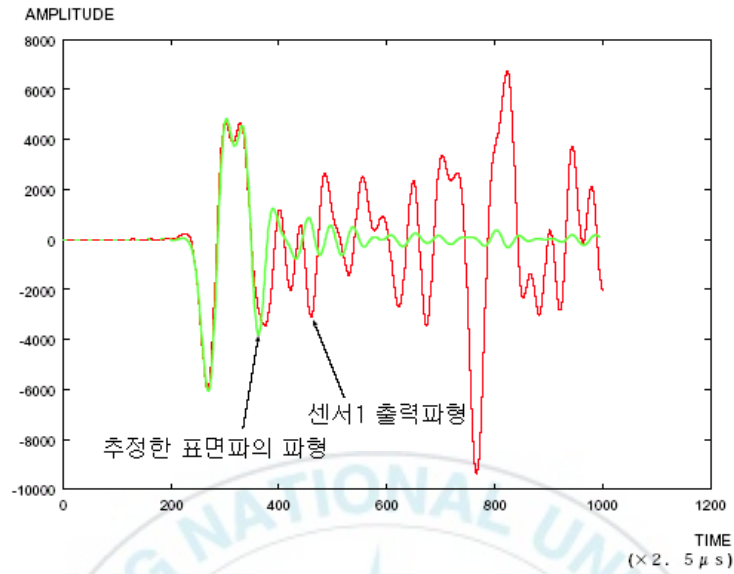


Fig. 16. The output waveform and estimated waveform in sensor 1 if is located in real concrete of segments

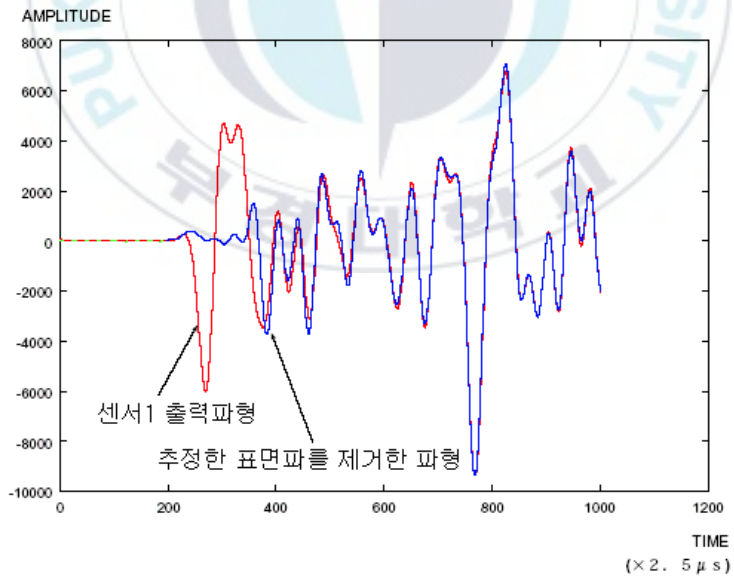


Fig. 17. The waveform eliminated surface wave which is estimated by sensor 1

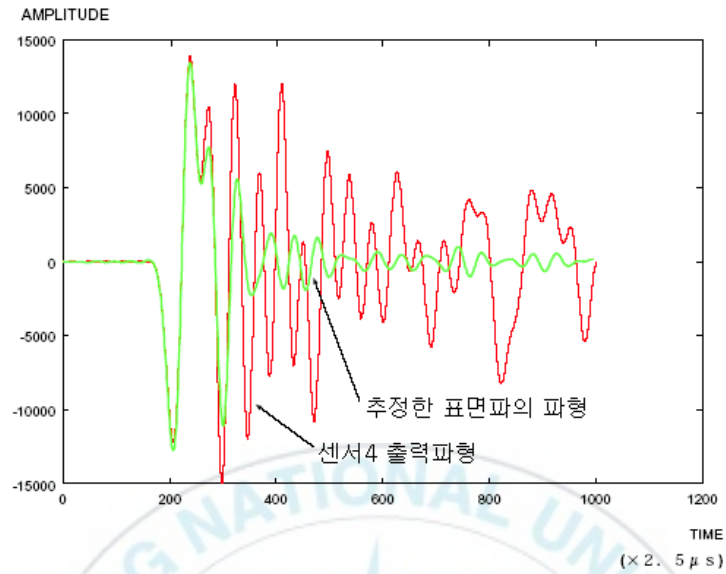


Fig. 18. The output waveform and estimated waveform in sensor 4 if is located in real concrete of segments

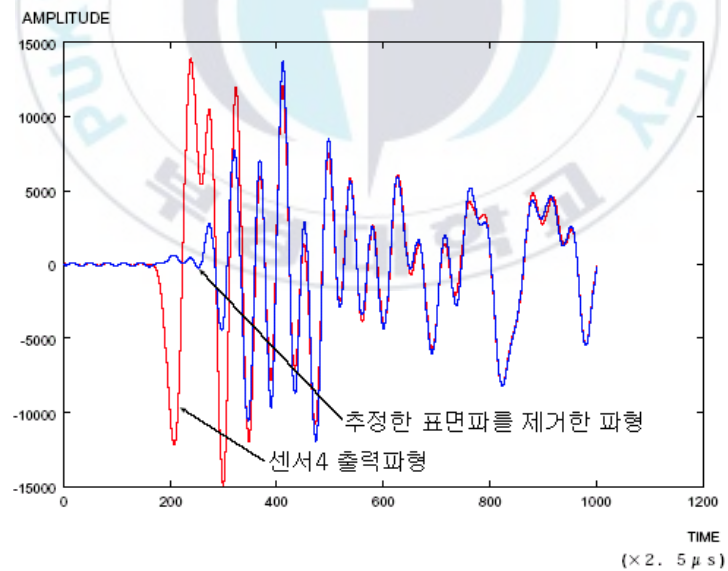


Fig. 19. The waveform eliminated surface wave which is estimated by sensor 1 near hitting point

II-5. 균열위치 추정(근거리 음장 합성법)

본 연구에서는 콘크리트블록 내부의 결여된 위치를 추정하기 위하여 근거리 음장의 지향성합성을 사용하고 있다. 본 연구의 경우 햄머에 의한 타격파의 콘크리트블록 내부의 균열로부터 반사파를 사용하여 결여위치를 추정하고 있다. 그 때문에 반사위치, 즉 균열의 위치를 음원으로 고려하여 근거리 음장의 지향성합성을 한다.

종래의 연구에서는 그림 20에 그린바와 같이 균열로부터의 반사파를 경상음원(mirror form sound source)으로부터 직접파로 하여 고려하고, 균열 위치를 추정하여 왔다[2]. 경상음원이란 타격위치와 경상이 되는 위치, 즉 균열의 위치에 관해서 타격위치와 대상이 되는 위치이다. 그러나 이 방법에서는 균열이 표면에 대하여 평행하지 않는 문제가 있다.

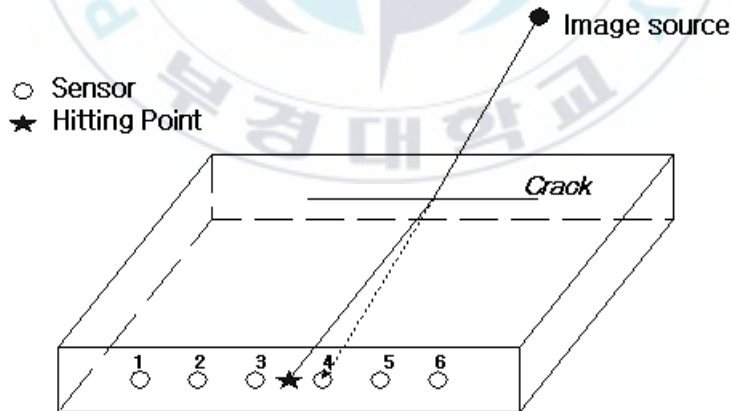


Fig. 20. Direct wave from mirror form sound source

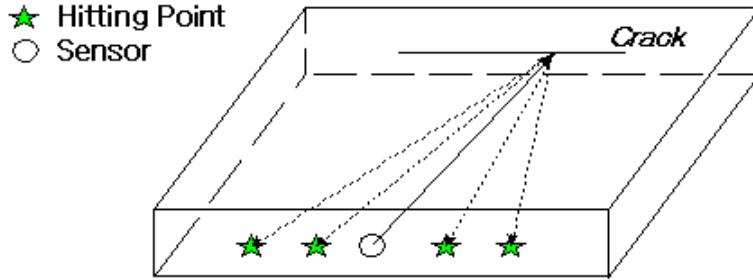


Fig. 21. Reflected wave to propagational radiation

이것에 대해 그림 21에 그린바와 같이 타격파는 균열 위치에서 반사하고, 구면파와 같이 방사상으로 전파한다고 알려져 있다. 이것을 사용하면 균열이 표면에 대하여 경사하더라도 균열 위치를 추정할 수 있다고 생각되어진다. 본 논문에서는 이 개념을 두고 근거리 음장의 지향성합성을 한다.

타격점과 센서의 위치를 이미 알고 있으므로, 표면파와 P파의 음속은 각 센서출력에 있어서 피크의 위치로부터 추정할 수 있다. 그러므로 결여된 위치는 근거리 음장의 지향성합성에 의해 추정할 수 있다. 이 방법에서는 먼저 처음 가상음원을 고려하고 자유공간상에 있어서 이 가상음원으로부터 각 진동픽업까지의 거리 L_n 을 계산하고, P파의 음속 C_p 를 사용하여 전파거리차에 해당하는 시간지연 r_{τ_n} 을 보정한다. 즉 각 센서출력으로부터 추정한 파형을 감산한 파형을 r_{τ_n} 시간 시프트하고 그 후 모든 센서에 대하여 감산한 파형의 평균을 취한다. 다수의 진동픽업을 사용하면, 이 평균값은 만약 가상음원의 위치가 실음원의 위치에 일치하면 그림 24의 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 25와 같이 햄머

의 타격위치에 시간차를 거는 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 것을 안다.

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

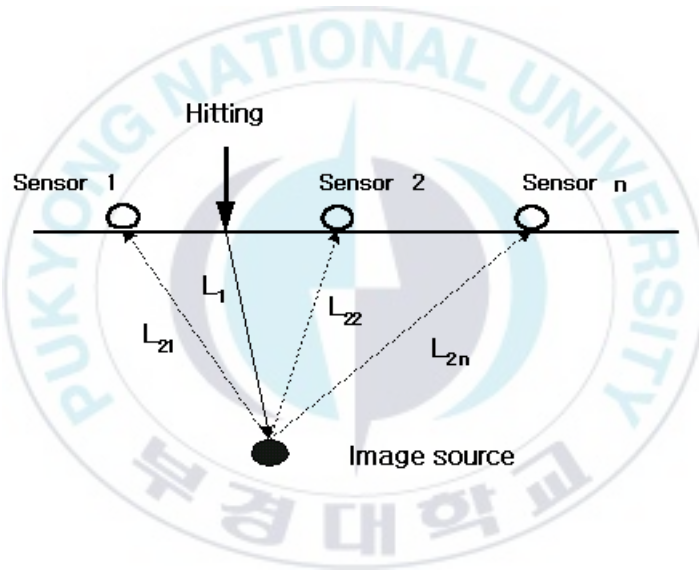


Fig. 22. The distance of propagation of the reflected wave

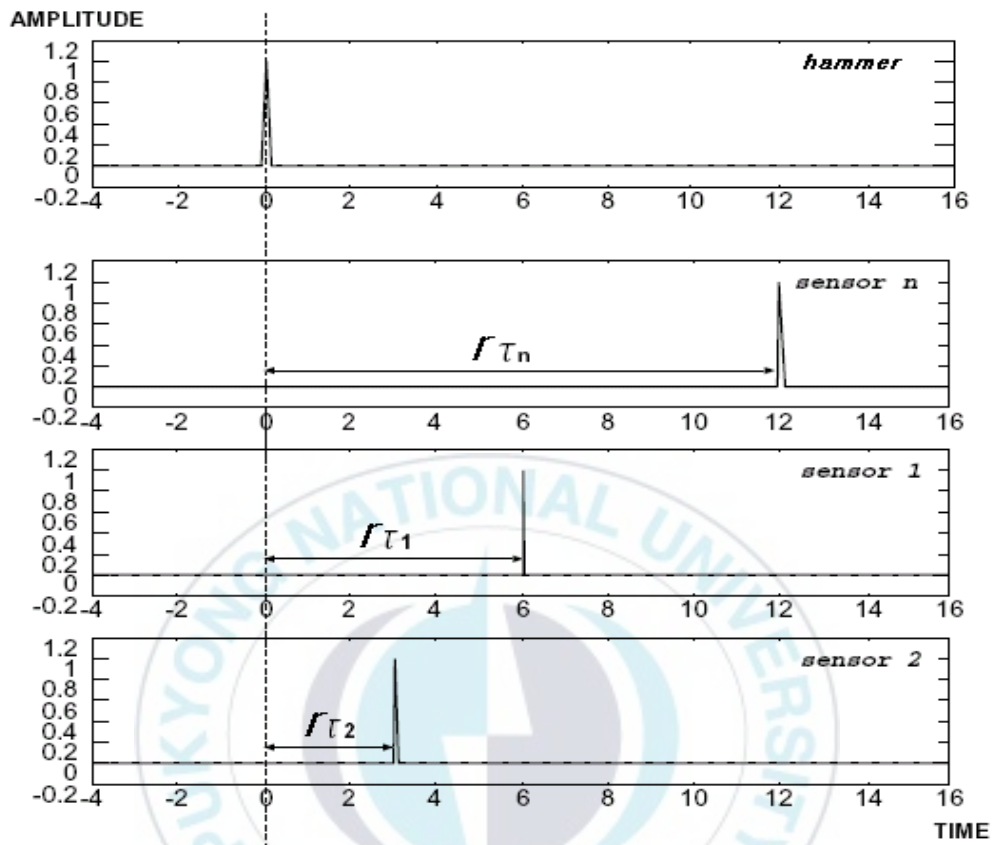


Fig. 23. The delay of propagation from hitting time to sensor

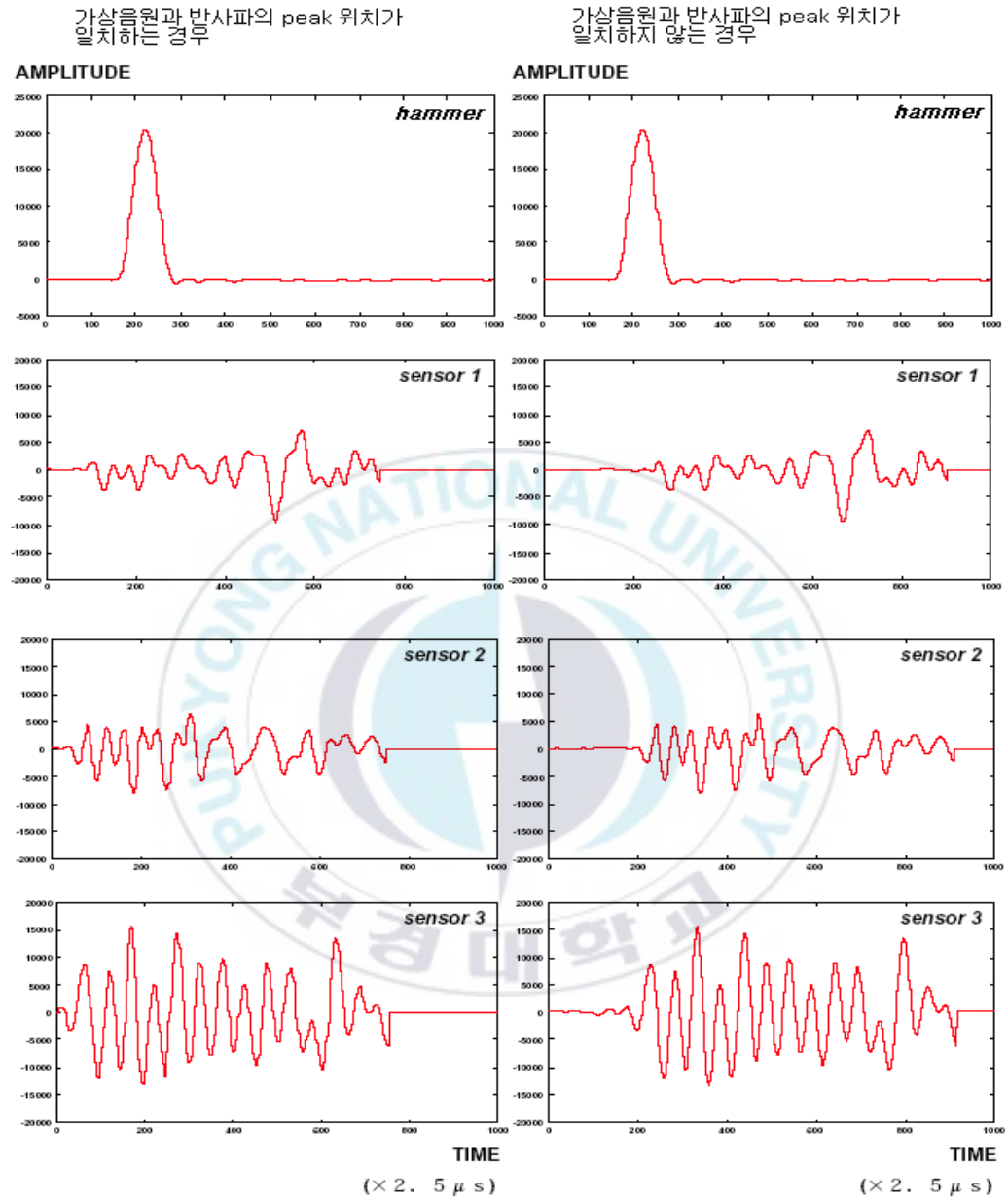


Fig. 24. In case of consistency and inconsistency in the reflected wave position through image source

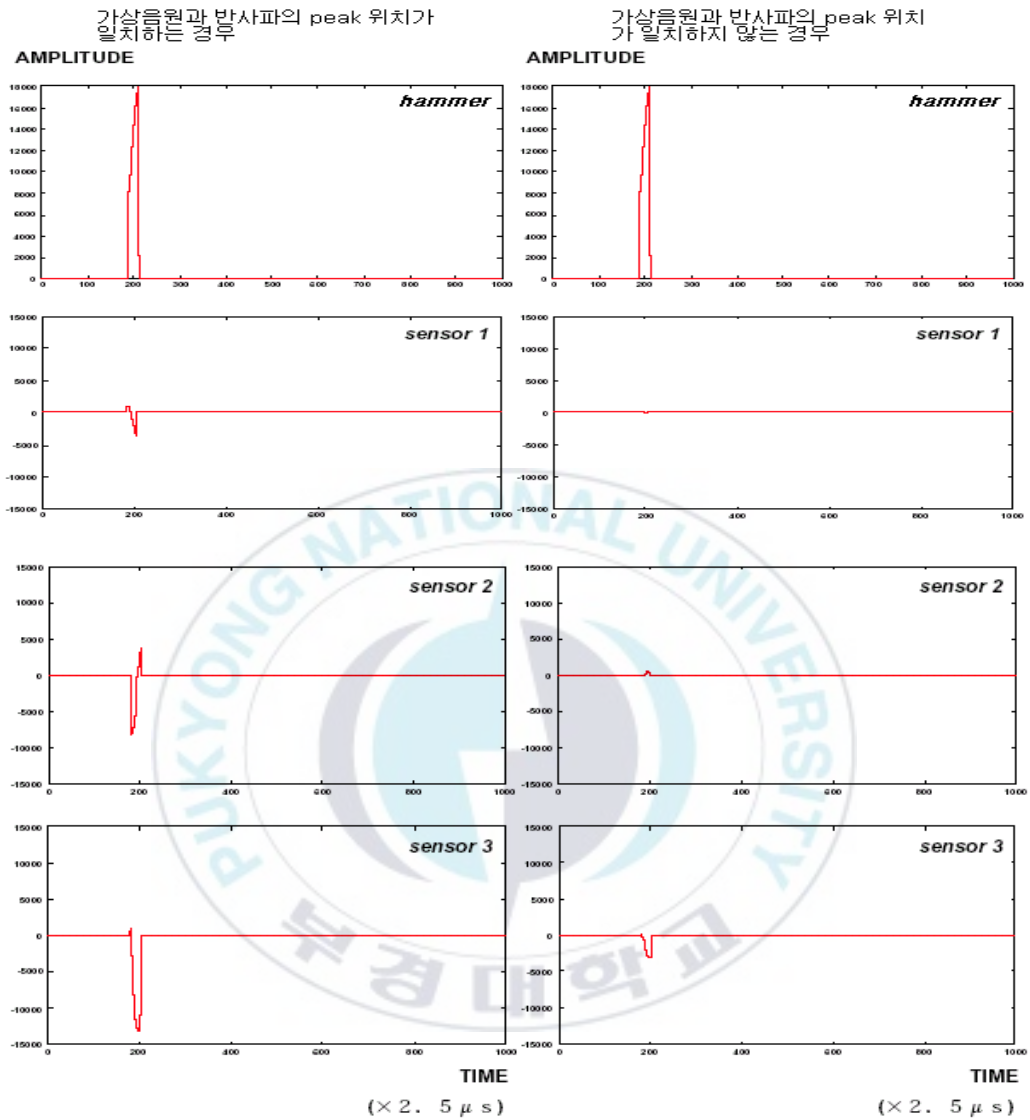
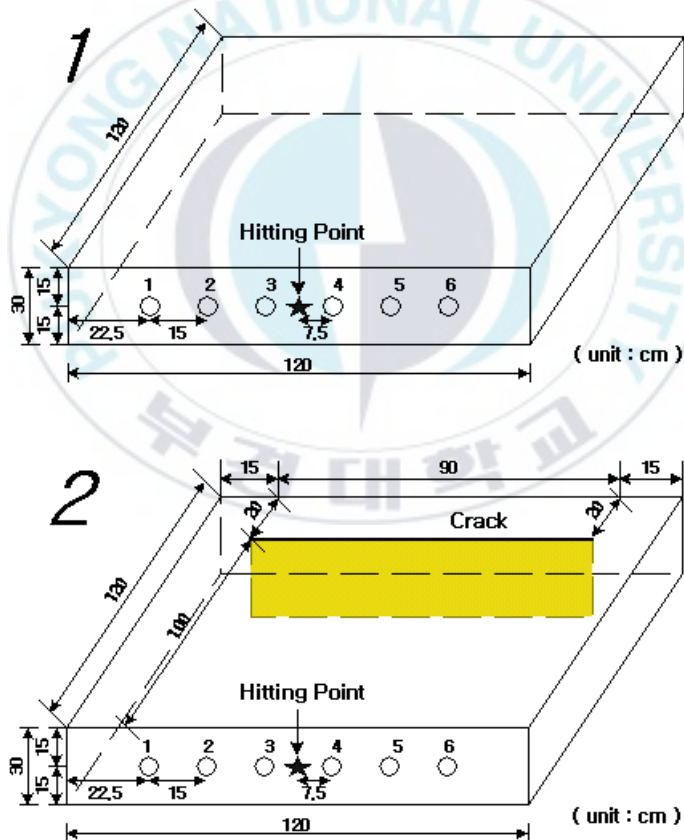


Fig. 25. In case taking window fig. 24, the case of consistency and inconsistency in the reflected wave point of peak

Ⅲ. 구조물 타격에 의한 실험

Ⅲ-1. 실험구성

실제로 지면위에 놓여진 3 종류의 콘크리트를 시작하고, 타격실험을 하였다. 그림 26 콘크리트블록의 치수 및 균열 위치, 센서의 설치 위치를 나타낸다. 균열의 두께는 7 mm의 나무판으로 모델화 되었으며 3번째 모델은 흠이 파진 콘크리트를 실험하였다.



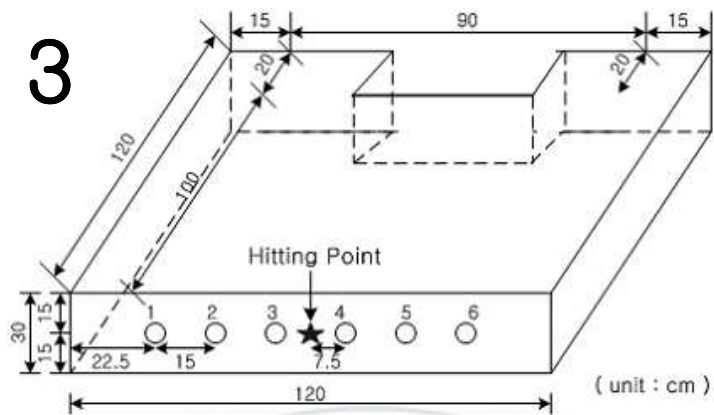


Fig. 26. The using concrete in experiment

3-2. 실험결과

3-2-1. 균열 없는 콘크리트블록의 경우

그림 27에 균열 없는 콘크리트블록에서 타격위치가 콘크리트블록의 중앙일 때 임팩트햄머 및 각 센서의 출력파형을 나타내었다.

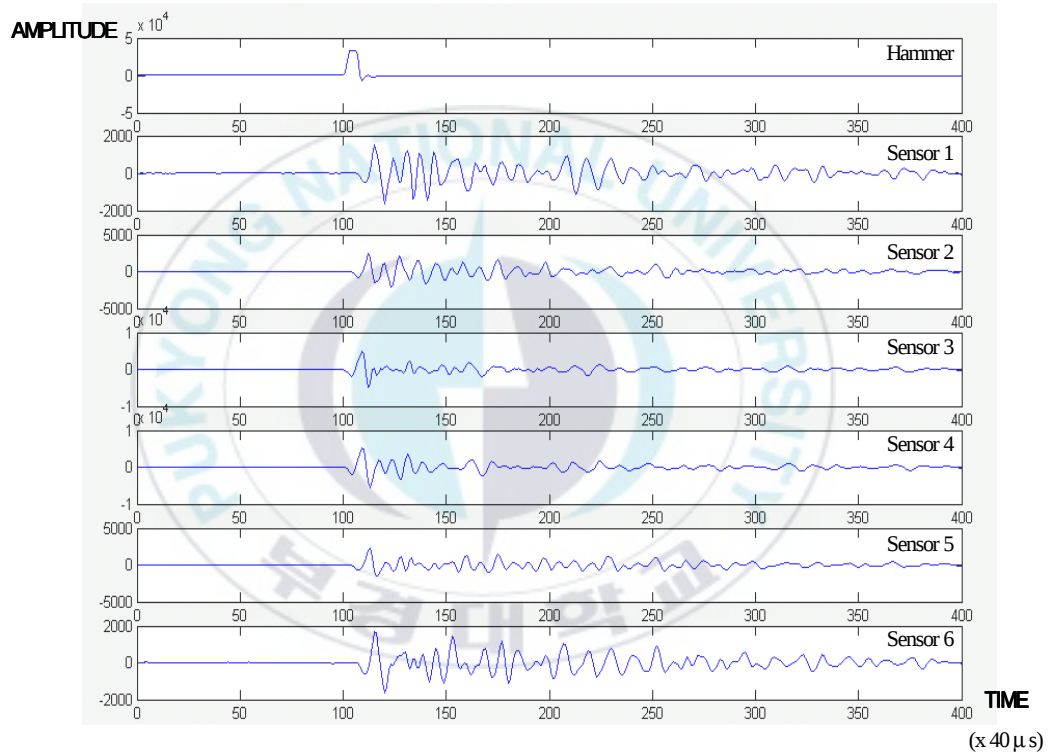


Fig. 27. Impulse hammer and sensor output wave get A/D conversion of concrete block 1

표면파를 제거한 각 센서의 파형은 측면이나 끝단만의 반사파로써 형성되어 있다고 생각되어 진다. 그러므로 이것에 근거리 음장의 지향성합성을 적용했다. 즉 시간 보정한 시간창을 건 각 센서출력을 평균한 파형의 파워의 분포를 그림 28에 그렸다. 그림 28에 있어서, 파워의 분포는 3 dB 간격으로 등고선 표시하고 있다. 또 아랫면의 위치에 91 dB 라고 하는 큰 피크가 나타나 있고 다른 피크는 3 dB 이상 적다. 원호상의 패턴이 나타나고 있지만, 이것은 시간 보정한 신호에 시간창을 걸고 있기 때문에 센서 수가 6개로 적게한 1차원 어레이로써 지향성특성이 충분하지는 않지만 아래면으로부터 반사면의 피크 영향이 남아있기 때문이다.

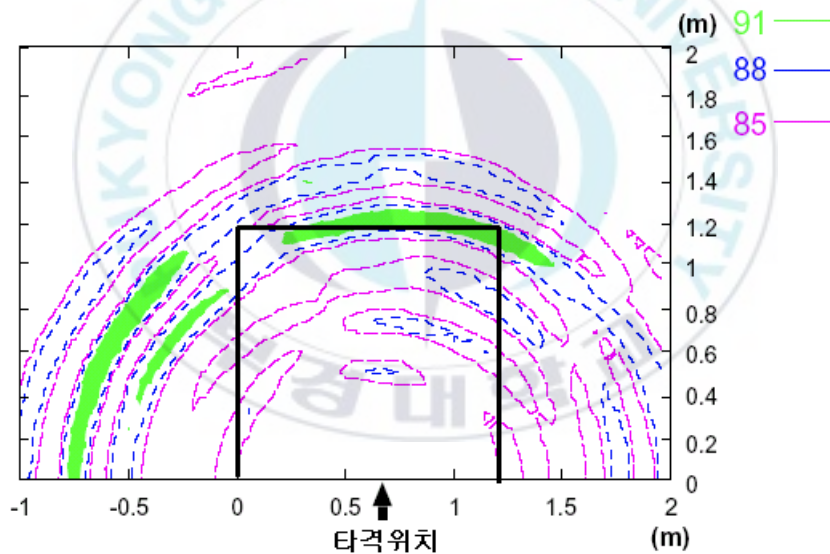


Fig. 28. The results of used near field beamforming without crack Concrete block

3-2-2. 균열 있는 콘크리트 블록의 경우

그림 29에 균열 있는 콘크리트블록에서 타격위치가 콘크리트블록의 중앙일 때 임팩트햄머 및 각 센서의 출력을 나타내었다.

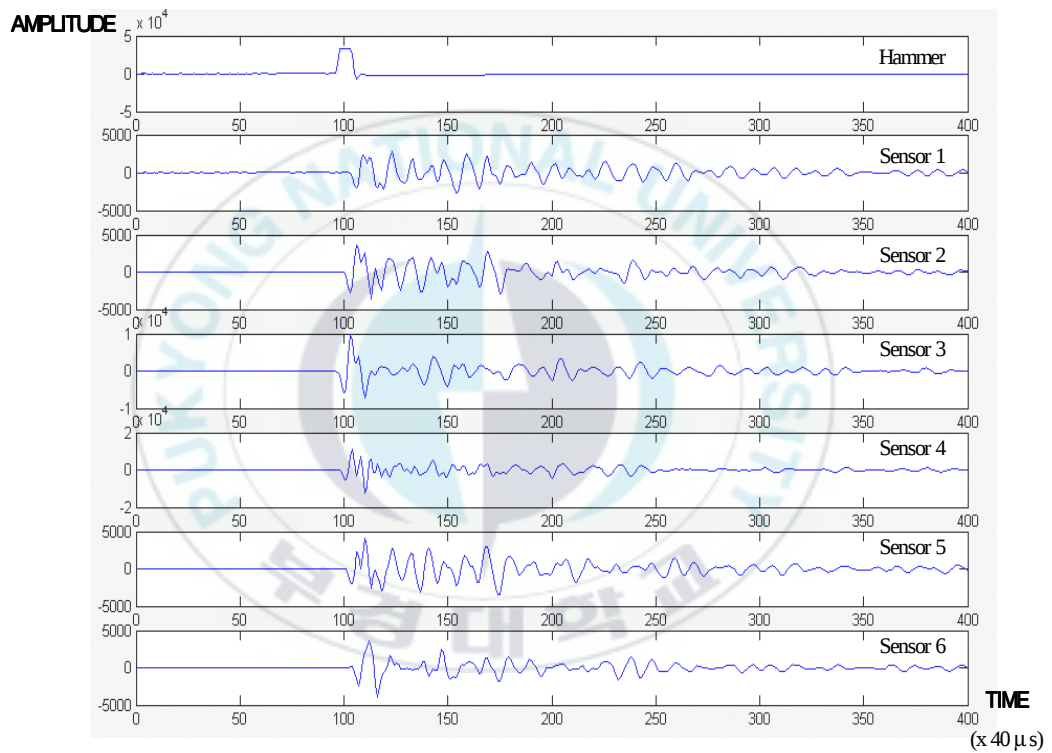


Fig. 29. Impulse hammer and sensor output wave get A/D conversion of Concrete block 2

표면파를 제거한 각 센서의 파형은 측면이나 끝단, 균열로부터의 반사파만으로 형성되어 있다고 고려되어지므로 이것에 근거리 음장의 지향성합성을 적용했다. 시간보정하고 시간창을 건 각 센서출력을 평균한 파형의 파워의 분포를 그림 30에 그렸다. 그림 30에 있어서 균열의 위치에 94 dB 라고하는 큰 피크가 나타나고 있다.

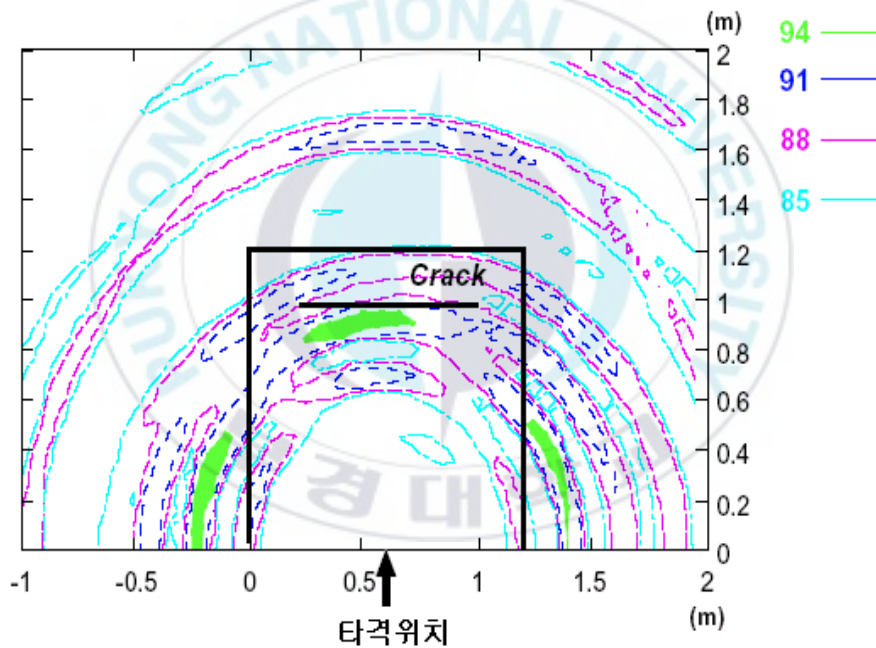


Fig. 30. The results of used near field beamforming without crack concrete block

3-2-3. 흠이 파진 콘크리트 블록의 경우

흠이 파진 콘크리트도 앞서 말한 방법과 같이 근거리 음장의 지향성 합성법을 적용하여 나타내었다. 그림 31에 있어서 균열의 위치에 92 dB 라고 하는 피크가 나타나고 있다. 이로써 근거리의 균열뿐만 아니라 흠의 위치추정에 있어서도 보다 명확하게 파악할 수 있음을 알 수 있다.

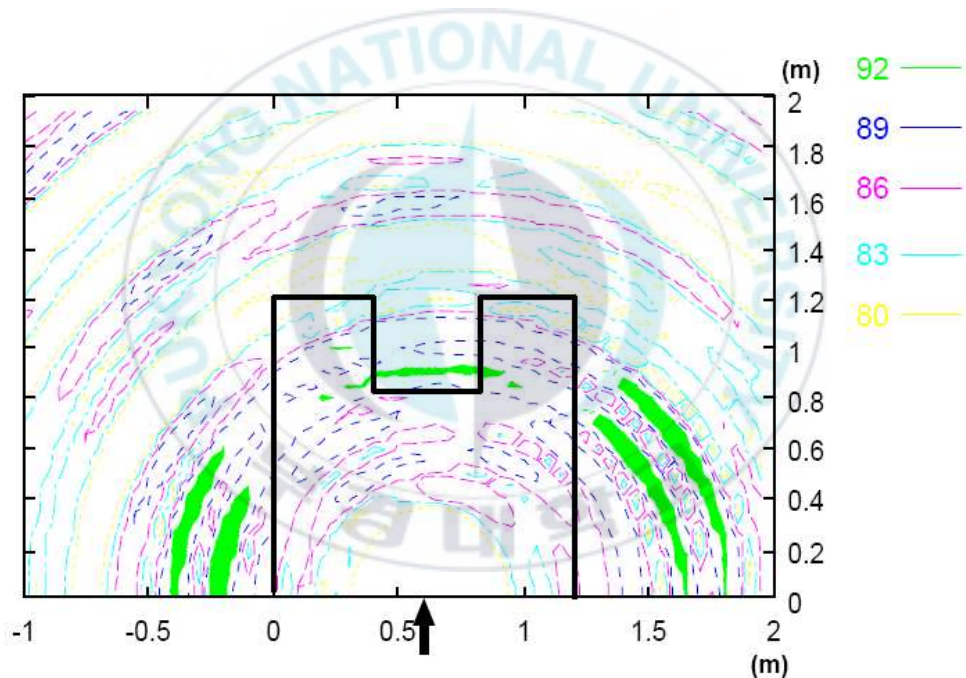


Fig. 31. The results of used near field beamforming without crack concrete block

4 장 결 론

본 논문에서는 균열이 없는 콘크리트 블록과 균열이 있는 콘크리트 블록 그리고 흠이 파진 콘크리트 블록에 대하여 균열 위치를 추정하기 위하여 최소자승법과 근거리 음장의 지향성합성법을 적용하여 균열 위치를 추정하였다. 표면파의 제거는 정확한 음속을 추정하는데 필요하다. 또한 최소자승법에 의한 표면파의 추정과 제거하는데 있어 타격점에 가까운 센서는 P파 S파의 영향에 그다지 감쇠하지 않고 남아있기 때문에 타격에 의한 직접파의 영향을 제거하는 것이 곤란하였다. 하지만 타격점에서 멀리 있는 센서에 대해 정확한 표면파의 추정으로 S/N비가 향상되었고, 이 센서만으로 근거리 음장의 지향성합성법을 적용한 결과 실험 대상인 콘크리트에 대하여 정확하게 균열 위치를 탐지할 수 있었다.

따라서, 콘크리트 구조물의 균열 및 균열 위치 비파괴 탐지 시스템을 구현하고 측정 알고리즘을 사용하여 실제 실험 대상에 균열 위치를 탐지하였다. 그 결과 균열이 없는 콘크리트 블록에서는 아랫면의 위치에 파워분포가 91 dB 라고 하는 큰 피크가 나타나 있고 균열이 있는 콘크리트 블록에서는 균열의 위치에 파워분포가 94 dB 라고하는 큰 피크가 나타나고 있다. 따라서 본 논문에서 소개하는 진동신호법은 실제 대형 건축구조물인 콘크리트 블록 내부 결함등으로 인하여 생기는 파손을 사전에 방지하기 위한 결함유무를 찾을수 있다. 그리고 저주파 진동신호를 사용한 그 위치를 정확하게 파악할 수 있는 비파괴 탐지에 관한 연구에 적용 가능한 것을 확인하였다.

Reference

- [1] 비파괴 검사공학(Engineering of nondestructive testing) 고준빈, 인터뷰전, 2005
- [2] 韓國콘크리트學會, “콘크리트구조물의 非破壞檢査 및 安全診斷”, 사단법인 한국콘크리트학회, 2001.
- [3] 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.
- [4] 고진현, 국정환, 권호영, 박종건, “최신 비파괴검사개론”, 원창출판사, 2002.
- [5] SAEED V. VASEGHI, "*Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*", Sencond Edition, John Wiley & Sons, 2000.
- [6] 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)

[7] 이의중 번역, "콘크리트의 비파괴시험", 도서출판 골드, 1996

[8] 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

[9] 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

어느덧 석사과정을 이 논문으로서 마무리 할려고 합니다. 2년이라는 결코 짧지 않은 기간동안 저의 더 나은 발전을 위해 끊임없이 지도와 질책으로 많은 도움을 주신분들에게 직접 찾아 뵙고 인사를 드려야 마땅하나 미흡하지만 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전합니다.

먼저 2년동안 끊임없는 관심과 애정으로 저를 지도해주신 김천덕 교수님께 감사의 말씀을 전합니다. 그리고 어려운 여건 속에서도 저를 친절하게 지도해주시고 살피주신 장윤석 교수님께 감사드립니다. 또한 평소 많은 지도와 격려를 해주신 노의철 교수님, 김인동 교수님, 김영학 교수님, 박규철 교수님께도 감사 드립니다. 그리고 항상 제 실험할 때 옆에서 성심성의껏 도와준 수열이에게도 감사의 뜻을 전합니다.

그리고 항상 대학원생활을 함께하며 서로 격려와 지원을 아끼지 않았던 기영이 형, 형경이, 대권이, 성대, 또한 우리 실험실에서 여러모로 짚꿍은 일을 도맡아 하며 도와준 상우, 진우, 정훈이에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 여기까지 올수 있게 아낌없이 지원을 해주신 부모님과 누나 형님에게도 감사와 존경의 마음을 전합니다.