

그림 4.4 대형 콘크리트 시험체내의 인공결합 배치도 (II)

4.2.2 탄성파 속도의 측정

콘크리트 내부 결합의 길이를 계산하기 위해 절합이 없는 부위에 대하여 충각 탄성파의 속도를 측정하였다. 그 대표적인 측정 결과가 그림 4.5에 나타나 있다. 그 시간대의 신호로 부터 FFT 분석을 실시한 결과 4.1KHz에서 뿐만 아니라 주파수 신호가 얻어졌다. 콘크리트 표면에서 바닥까지 왕복하는 fundamental resonant frequency 라 하면, 콘크리트의 탄설도가 40cm이므로 속도는 3280m/sec가 된다. 그러나 콘크리트의 탄설상태와 품질상태등에 따라 속도에 다소의 변동은 예상되며 그 폭은 약 ±100m/s 이내로 추정된다.

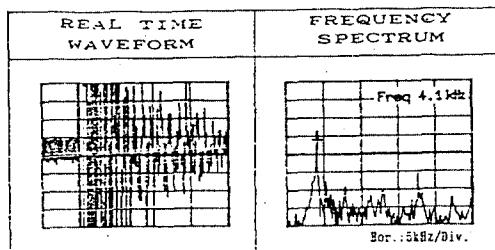


그림 4.5 결합이 없는 콘크리트부 탑상시의 시간대파형과 주파수 스펙트럼

4.2.3 각 결합 유형별 탑상분석

각 결합이 매설되어 있는 위치의 콘크리트 표면을 연마한 후, 결합의 형상을 표면에 표시하였다.

탑상은 수평 위치를 x, y 방향으로 양분한 후 그림 4.6에 나타내었다. 이때의 탑상 point는 양 결합의 선정하였는데, point간의 중심부분은 5cm 단위로 크게 하였고, 그림 4.6에 나타내었다. 이의 경계는 2.5cm 단위로 세분하였다. 그림 4.6에 따른 강철구의 낙하지점은 이동축의 수직 방향 위치로 하였다.

특히 탑축자는 piezoelectric element부를 x, y의 해당 point에 맞추어 이동시켰고, 이에 따른 강철구의 낙하지점은 이동축의 수직 방향 위치로 하였다.

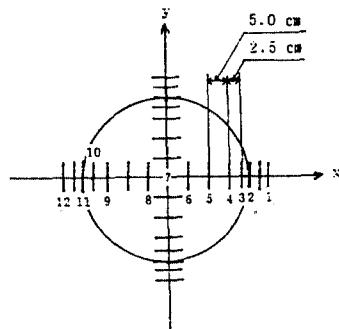


그림 4.6 결합 (직경 40cm) 위 콘크리트 표면의 x, y방향 횡단 탑상도

이상의 조건 하에 실시된 각 결합 유형별 탑상 분석 결과는 다음과 같다. 여기서 결합의 측정점에서마다 일어진 시간대 파형과 FFT spectrum 자료의 분석에서는 각 경우에서의 탑상 분석 경향이 유사하여 대표적인 예에 대해서만 일부 언급하였고, y축 방향의 분석도 x축 방향의 결과와 유사하게 나타나 생략하였다.

1) 결합 크기 변화에 따른 탑상 특성

본 탑상법에 의해 탑상이 가능한 원판형 결합의 크기 변화를 본래하기 위해 탑상에 결합의 크기 변화 탑상 분석을 실시하였다. 본 결합의 크기는 10cm로 일정하게 유지하고 각 결합 크기는 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 40cm의 6종으로 변화시켜 실험을 실시하였다.

직경 40cm의 결합에 대하여 그림 4.6에서와 같이 x축 방향으로 15개 위치 점에서 탑상을 실시하였고, 이 탑상 위치 번호 11, 12에서는 4.2 ~ 4.3 KHz의 저주파가 주체하고, 이를 깊이로 환산하면 38 ~ 39cm 가 되어 콘크리트의 시험체의 설계깊이 40cm 보다 1 ~ 2cm 작게 나타난다. 또한 결합의 윗면에 해당하는 번호 10 ~ 3까지는 14.6 ~ 14.9KHz의 두렷이 나타나는 11cm의 깊이에 해당하는 주파수는 noise 특이로 되고 있다. (17.4Hz의 주파수는 noise) 특히 결합대에 탄나고 있다. 해당하는 번호 2의 위치에서는 결합대에의 경계에는 해당하는 주파수 (15.1KHz) 와 콘크리트 바닥에 주파수 (4.2KHz)가 약하게 나마 공존하고 있어 본 위치가 결합의 경계에 해당함을 알 수 있다.

그리고 결합이 있는 위치에서 두렷이 나타나는 2 ~ 4KHz의 주파수는 결합과 콘크리트 표면 사이에서 원형 막의 차주파수로 유전동현상으로 일으켜 나타나는 주파수에 해당된다.

이상과 같은 방법에 의해 얻어진 각 결합 크기 변화별 탑상분석 결과를 횡단면 mapping하여 그림 4.8과 그림 4.9의 일부에 나타나 있다.

(-실제 결합, * 탑상결과)

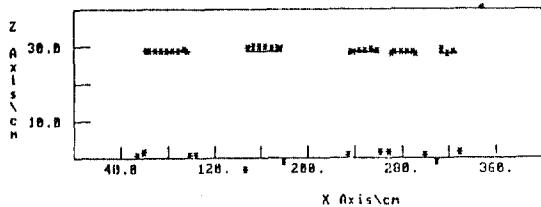


그림 4.8 결합 크기변화별 탐상결과의 횡단면 mapping

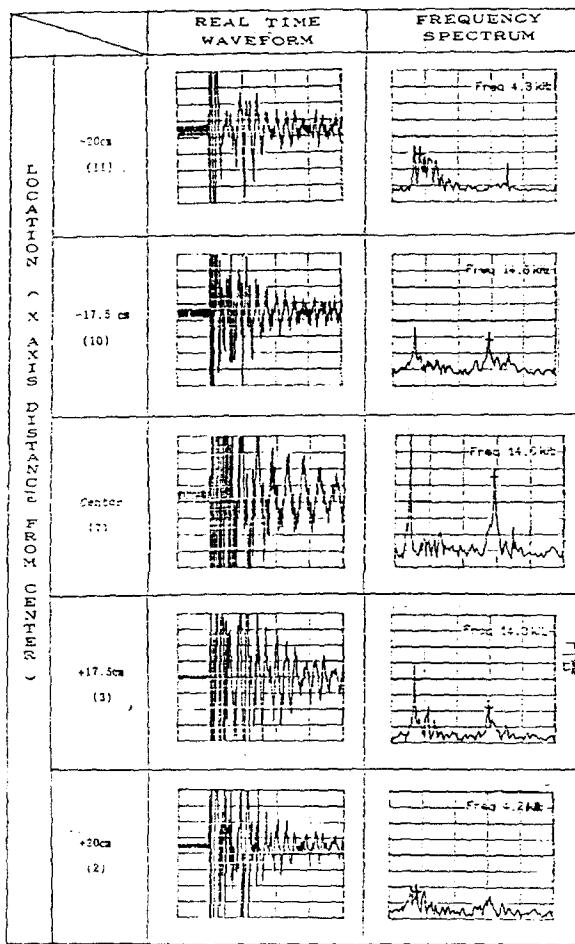


그림 4.7 결합 크기변화별 탐상시의 시간대 파형과 주파수 스펙트럼 (대표위치)

따라서 각 결합 크기변화별 결합의 깊이 탐상결과, 결합의 깊이에 대한 진경비 (D/H)가 1이상인 경우, 본 탐상법에 의한 결합탐상은 가능한 것으로 판단되며 그 비가 커질수록 탐상精度는 향상 되었다.

2) 결합 깊이변화에 따른 탐상특성

동일 크기의 결합에 대하여 깊이변화에 따른 탐상특성을 검토하기 위해 원판형 결합의 깊이변화별 탐상본석을 실시하였다. 결합 깊이는 50 cm로 일정하게 유지하고 각 종 3종으로 변화시켜 실험을 실시하였다. 이의 탐상결과를 앞서와 같은 방법을 통하여 횡단면 mapping하여 그린 것이 그림 4.9이다.

본 조건에서의 탐상결과 깊이는 탐상시는 약 1~2 cm의 오차로, 그기 탐상시는 약 1~5 cm의 오차로 탐상되었고, 역시 결합이 표면으로부터 깊을 경우 즉 바닥에 가까운 경우는 바닥신호의 영향에 의해 탐상精度는 저하되었다.

(- 실제결합, * 탐상결과)

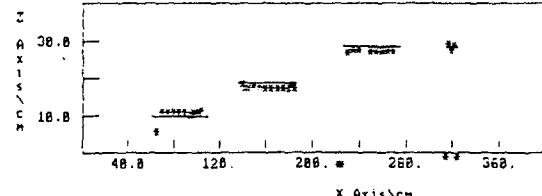


그림 4.9 결합 깊이변화별 탐상결과의 횡단면 mapping

3) 결합 경사도 변화에 따른 탐상특성

결합이 경사져 있을 때의 탐상특성을 검토하기 위해 결합의 경사도를 변화시켰다. 결합의 경사도는 각 경사도 15°와 30°의 총 2종으로 변화시켰다. 결합의 경사도는 15°와 30°의 총 2종으로 변화시켰다.

이의 탐상결과를 그림 4.10, 4.11에 나타내었다.

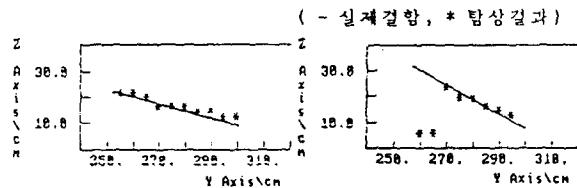
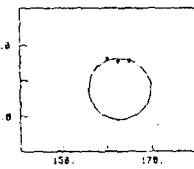


그림 4.10 경사도 15° 결합에 그림 4.11 경사도 30° 결합에 탐상결과의 횡단면 mapping에 대한 탐상결과의 횡단면 mapping

본 조건에서의 탐상결과, 결합의 경사도 변화에 따른 탐상정밀도는 경사도에 따라 차이가 있다. 경사도가 15°인 경우 탐상精度는 높았지만 경사도가 30°인 경우 탐상精度는 저하되었다. 그러나 탐상법에 의한 경우 경사진 결합에 대해서도 탐상은 가능하다고 판단된다.

4) 球形 결합의 탐상특성

지금까지는 원판형 결합에 대한 탐상본석을 실시하였으나, 결합의 경사도가 15°의 경우를 이용하여 본 탐상본석을 실시하였다. 역시 같은 본석방법에 의해 이의 탐상결과를 횡단면 mapping하여 나타내면 그림 4.12에서와 같다.



(- 실제결합,
* 탐상결과)

그림 4.12 球形 결합에 대한 탐상결과의 횡단면 mapping

5) 수직형 결합, 얇은 결합, 평판형(사각) 결합

결합이 표면에 수직으로 나 있는 경우와 50 mm의 얕은 두께를 갖는 경우, 그리고 평판형(사각) 결합의 경우에 대한 탐상본석을 실시하기 위하여 각 결합에 대처하는 탐상본석을 사용하였다. 결합의 각 직각은 50 mm의 비율을 사용하여 각 결합과 직각이 25 cm, 폭 30 cm의 사각형결합으로 하였다. 또 깊이 50 cm의 경우 25 cm, 폭 30 cm의 원판형결합으로 하였다. 또 판형(사각) 결합은 깊이 10 cm에 폭 40 cm의 정사각형 스티로폼으로 제작하였다.

탐상실험은 먼저 표면에 수직한 깊이의 결합탐상 경우 그림 4.13에서와 같은 탐상방법으로 하였다.

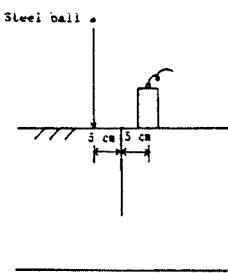


그림 4.13 표면에 수직한 깊이의 결합탐상 개략도

이에 의해 탐상된 시간대 파형과 FFT 스펙트럼 대비하는 그림 4.14에서와 같다. 본 자료에 의해 해석된 결과, 결합의 깊이는 약 23cm로 실제 깊이 25cm보다 2cm 작게 나타났다 (17.4Hz의 주파수는 noise)

결국 본 탐상방법에 의해서도 비교적 깊은 깊이의 수직결합에 대한 탐상이 가능하여, 일정한 충음파 pitch-catch법 (PUNDIT사용)에 의한 수직결합 시의 제작성을 확보할 수 있을 것으로 판단되므로, 이러한 경우 탐상결합에 대해 더욱 양호한精度의 탐상이 기대된다. 다음으로 나머지 두 결합에 대한 탐상은 기존의 실증 및 본 탐상결과를 통일하게 실시하였다. 그림 4.15이다.

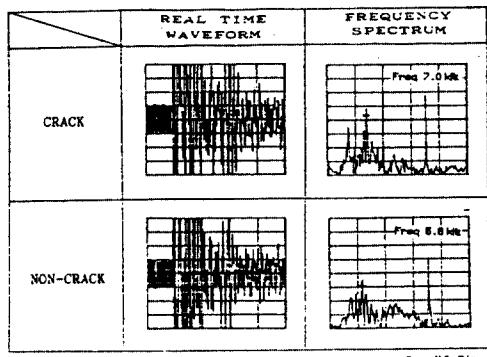


그림 4.14 표면에 수직한 결합 탐상시의 시간대파형과 주파수 스펙트럼
(-실제결합, * 탐상결과)

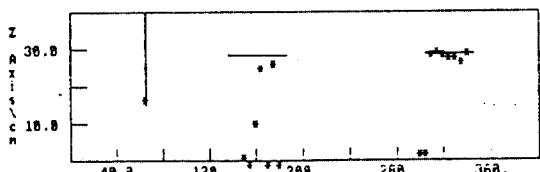


그림 4.15 수직형결합, 얕은결합, 평판형(사각) 결합 탐상결과의 횡단면 mapping

이 결과로 부터 두께가 얕은 비닐 원판으로 결합을 시도한 경우에 비닐이 한쪽 방향으로 표면에 더러운 경향으로 탐상된 것으로 보여지며, 이에 따른 경향대로 탐상되는 것으로 점되었거나, 일부의 측정점에서는 설계깊이에서 와 같은 점되거나 두께가 얕은 경우에서도 탐상은 가능할 것으로 사료된다.

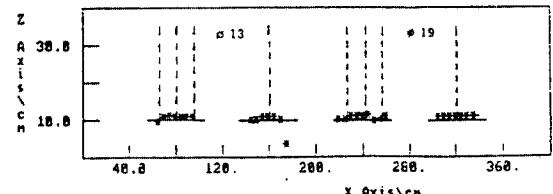
또한 평판형(사각) 결합은 원판형 결합에 비하여 탐상精度는 저하되나, 비교적 양호한 탐상화에 따라서도 탐상이 가능함을 보여졌다.

6) 철근비금속 영향에 따른 결합탐상 및 철비관의

실제 콘크리트 구조물은 구조체의 경우 대부분 철근이 배근되어 있다. 따라서 배근된 경우의 결합 탐상 특성을 검토하는 것은 매우 중요하다. 배근형태에 따른 탐상에서는 철근의 경이 13mm, 19mm의 2종류로 결합면에 대해서 각각 중방향, 횡방향 결합은 각각 50cm의 원반면에 30cm의 깊이에 대해서 각각 3개당 5개, 5개당 25cm의 경우는 각각 3개당 5개로 철근의 수평으로 가로 세로 각각 3개당 5개로 철근을 배치하였다.

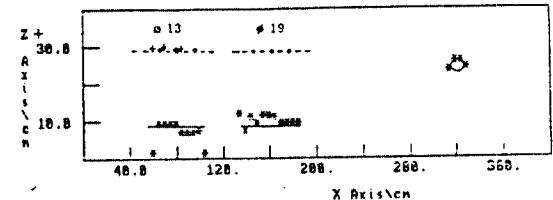
또한 철비관의 탐상특성을 검토하기 위하여 속이 빙어 직경 12cm의 steel pipe를 표면에서 배관 중심 깊이 19cm 위치에 매설하였다. 이의 탐상결과를 횡단면 mapping하여 그림 4.16, 17에서와 같다.

(--- 철근, - 실제결합, * 탐상결과)



4.16 종방향 철근배근 영향에 따른 결합탐상 결과의 횡단면 mapping

(--- 철근, +,* 탐상결과)



(球의 그림은 x축 배율기준)

그림 4.17 횡방향 철근배근 영향에 따른 결합탐상 및 철비관 탐상결과의 횡단면 mapping

탐상결과 종방향 배근의 영향은 거의 없다고 판단되나, 횡방향 배근시에는 철근과 콘크리트의 탄성률에 따라 철근영향을 받는 것으로 판단되며, 탐상精度도 낮았다.

따라서 횡방향으로 배근된 콘크리트 구조물의 탐상시에는 실증 및 해석시 주의가 필요하다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 비교적 깊이가 얕은 콘크리트 충간 경계깊이를 탐상한 결과 충격탄성파 (Impact-echo) 법이 초음파 pitch-catch법보다 훨씬 양호하게 나타났으며, 검출깊이도 0.5cm의 오차로 측정되었다.

2) 현장에 타설된 대형 콘크리트 블럭시험체에 대하여 내부에 총 22종의 각 유형별 결함을 인공제설하여 탐상한 결과,

· 결함의 직경과 깊이의비 (D/H)가 1이상이면 매우 양호하게 검출되었다.

· 결함이 기울어진 경우에 대해서도 검사도에 따른 탐상정향성이 뚜렷이 나타났으나, 비정사형에 비해 탐상精度는 저하하였다.

· 탐상과 평판형(사각) 결함도 비교적 양호히 검출되었으나, 원판형 결함에 비해 탐상精度는 저하하였다.

· 깊이 20cm 이상의 표면에 수직으로 나있는 비닐 결함(균열)도 깊이가 양호히 검출되어, 일부 초음파 Pitch-catch 법이 갖는 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단되었다.

· 철근의 배근영향에 따른 결합탐상특성은 결합면에 수직한 중방향 배근의 경우 결합근수나 두께에 상관없이 결합탐상에 영향을 받지 않았으나, 결합면에 평행한 횡방향 배근의 경우 철근과 콘크리트의 타설상태에 따라 탐상精度가 저하되어 실험 및 해석시 별도의 주의가 필요하다.

결론적으로 충격탄성파법에 의한 콘크리트의 저주파 탐상은 고주파 탐상법으로는 불가능한 내부결함에 대한 탐상도 가능하다.

감사의 글

본 연구에 많은 도움을 주신 한국표준연구소
김영환 박사님과 안동대학 운석수 박사께 깊은
감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이세경, 김영환, "콘크리트 구조물에 대한 초음파 탐상법개발 (I ~ III)", 과학기술처, 한국표준연구소, 1987~1989
2. Young Hwan Kim, "Effects of attenuation and dispersion on frequency spectrum of vibration in multiphase materials", KAIST, 1990.
3. Nicholas J. Carino, Mary Sansalone, and Nelson N. Hsu, "A point source-point receiver, pulse-echo technique for flaw detection in concrete", ACI Journal title no.83-20, March-April 1986
4. Nicholas J. Carino, Mary Sansalone, and Nelson N. Hsu, "Flow detection in concrete by frequency spectrum analysis of impact-echo waveforms", International Advance in Nondestructive Testing
5. Robert Resnick, David Halliday, "Sound wave PHYSICS for students of science and engineerig.