

# 비파괴 시험에 의한 지하연속벽의 근입심도 및 결함조사

우 제 윤  
한국건설기술연구원

# 비파괴 시험에 의한 지하연속벽의 근입심도 및 결함 조사

우 제 윤  
한국건설기술연구원

## 1. 서 론

근래에 우리나라에서도 지하연속벽, 현장타설 말뚝기초 등과 같은 현장타설식 콘크리트 기초구조물의 시공이 증대하면서 지반굴착/보강철근망 삽입/굴착안정액중의 콘크리트 타설·양생의 시공특성상, 기초구조물의 근입심도/결함부위 존재여부/양생강도의 파악으로 대표되는 시공품질 점검항목을 효율적으로 진단·평가할 수 있는 조사 방법에 대한 관심이 높아지고 있다.

이와 같은 현장타설식 기초구조물의 구조적·역학적 결함을 진단해낼 수 있는 방법에는 여러가지가 있으나, 시험의 간편성·경제성·신속성 측면에서 현재 가장 각광받고 있는 시험법은 아마도 비파괴 응력파 검측법 (nondestructive stress wave method)이라 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 이러한 비파괴 응력파 검측법의 다양한 시험기법을 적용하여 지하연속벽의 근입심도 및 결함조사를 수행한 사례를 통하여 각 시험기법들의 특성 및 적용성을 소개하고자 한다.

## 2. 조사개요

### 2.1 조사배경

조사 대상의 지하연속벽은 서울시 000동에 위치한 건물신축부지의 터파기 토류벽으로서 이미 오래전에 시공완료 된 것이다. 그 후 건물시공업체의 사정으로 오랜기간 공사가 중지되었고, 건물 시공자도 바뀌었다. 그리고 건물의 지하층이 당초 설계보다 더 깊게 설계 변경됨으로서 연속벽 하단부의 보강시공을 위해 기축조된 연속벽의 근입심도 및 건전도의 확인조사가 필요하게 되었다.

그런데 획득된 연속벽의 설계·시공 정보가 서로 일관성이 없고 특히 연속벽체를 이루는 단위 판넬 (panel)들의 실제 시공 심도에 대한 신빙성 있는 시공기록의 부재로 각 연속벽 판넬 실제 시공깊이 및 전반적인 양생상태에 대한 조사가 불가피하게 되었다.

여러가지 조사 방안이 검토되었으나, 연속벽 판넬의 총 수가 65개에 이르고, 촉박한 공사 일정 계획상 다소의 불확실성을 감수하고서라도 비파괴 시험법을 이용한 신속한 조사가 가장 바람직한 조사방법으로 선정되었다.

## 2.2 지하 연속벽

그림 1에는 조사대상 지하연속벽의 평면도를 나타내었으며, 그림 2에는 지하연속벽과 상부의 H-pile/토류판 및 보강 콘크리트 옹벽체를 포함한 토류벽 전체 시스템의 구조 개요도를 나타내었다. 그리고 그림 3에는 이와 같은 토류벽 시스템의 대표적 단면도를 나타내었고, 그림 4에는 시추조사에 의한 부지내 지반 성층특성을 나타내었다.

그림 1에서 각 연속벽 판넬 (검게 칠한 부분은 P-type, 흰색부분은 S-type 판넬) 외곽에 손으로 쓰여진 수치는 원설계·시공 도면의 검토를 토대로 추정되는 연속벽 길이를 나타낸 것이다. 이 길이는 그림 2에서 연속벽 상단의 cap beam 두께 (80cm)만을 더한 값이고 cap beam 위의 보강 콘크리트 옹벽의 바닥 슬래브 두께, 80cm 까지 포함한 수치가 아니다.

연속벽 하단은 그림 3에 나타내었듯이 당초 설계시의 최종 굴착 바닥심도 (지표하 약 -27.0m)이하 3m 지점까지 풍화암층내에 근입되도록 설계되어 있었다.

그런데 연속벽 하단이 근입되는 부지내 풍화암층은 추가 시추조사 결과 (그림 4 참조) 지표하 -17 m 부터 시작되는 경우도 있는 등 그 분포가 매우 불규칙하고, 하부 연암층에 가까운 곳은 비교적 강도도 큰 것으로 추정되었다. 따라서 이와 같은 지반조건에서 연속벽 시공시 트렌치(trench) 굴착에 재래식 크랩셸 (cram shell)을 사용했던 점을 감안할 때 근본적으로 실제의 트렌치 굴착심도가 설계심도에 못미쳤을 가능성이 높다는 의심이 제기되었다. 그리고 설계심도까지 굴착된 경우라도 트렌치 상부 주변 토층의 함몰로 인한 토사 충전 및 하부 풍화암층의 굴착 잔류토의 배토 불량으로 실제의 콘크리트 타설심도가 모자르거나, 토사혼입에 의한 연속벽 하단부 콘크리트 품질 불량으로 충분한 강성을 갖는 연속벽의 유효깊이가 부족할런지도 모른다는 의심도 제기되었다. 한편, 이와 같은 연속벽 하단의 실제 시공 근입심도(또는 유효깊이)의 확인

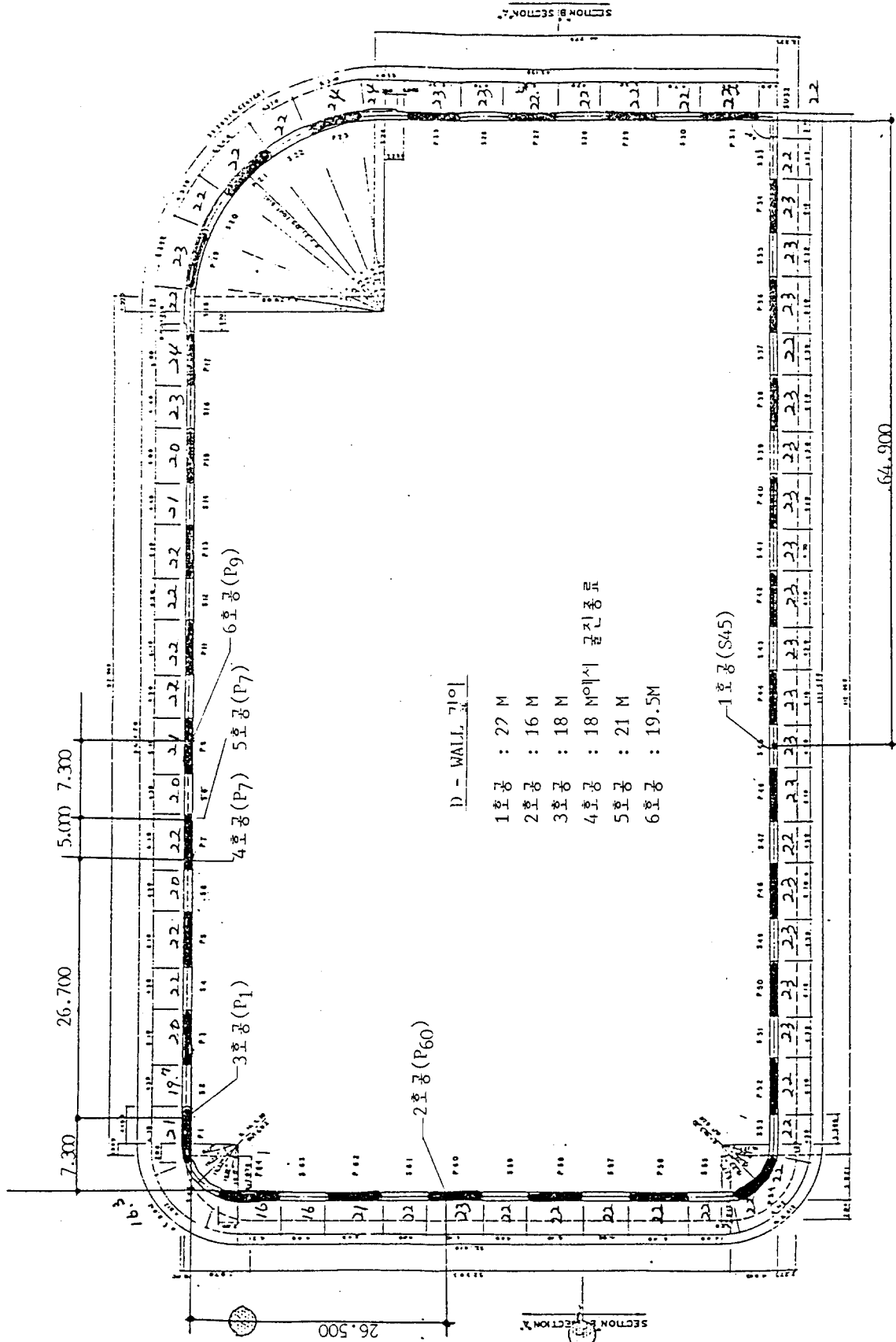


그림 1. 지하철속벽 배치 평면도

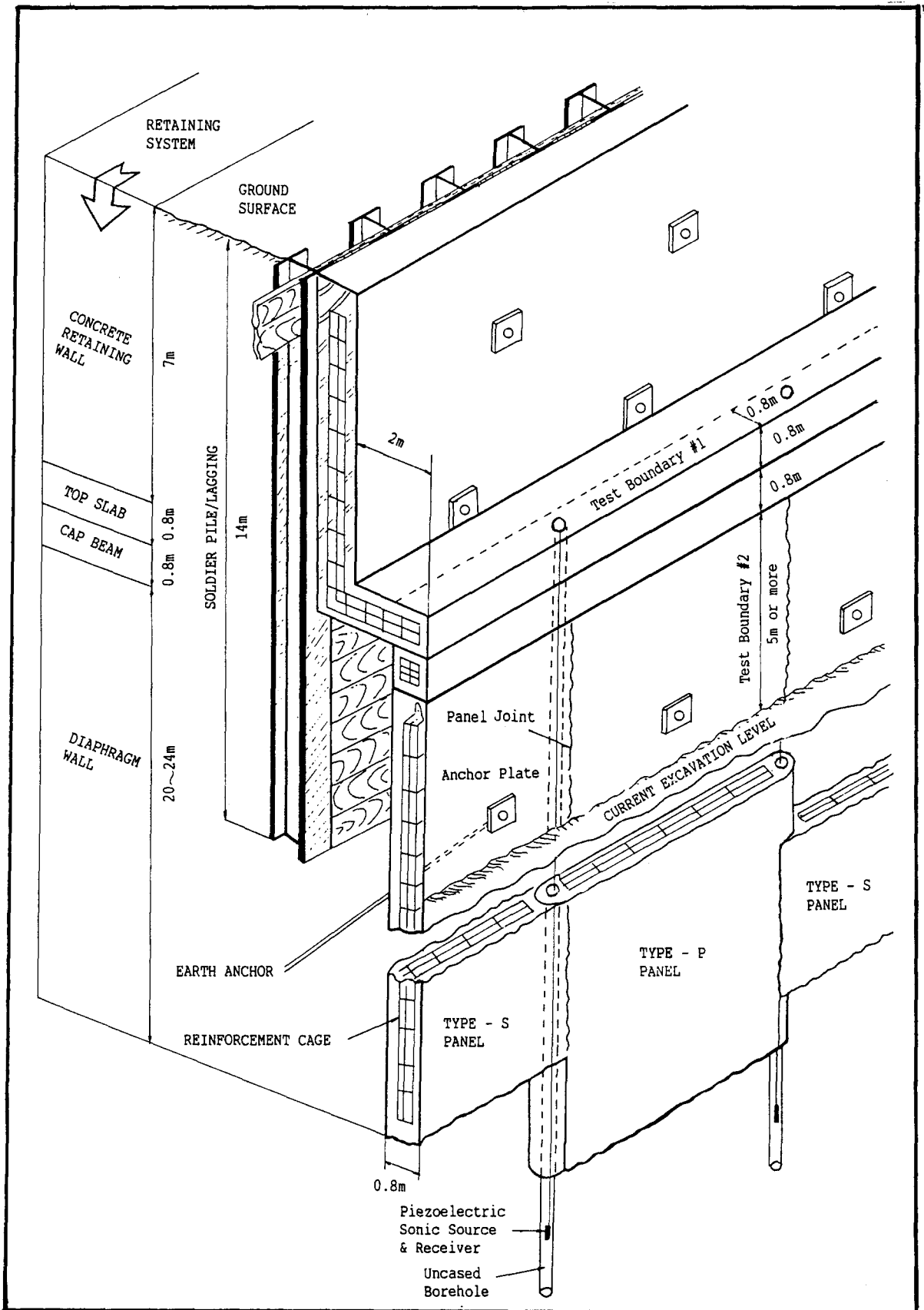


그림 2. 지하연속벽 구조 개요도

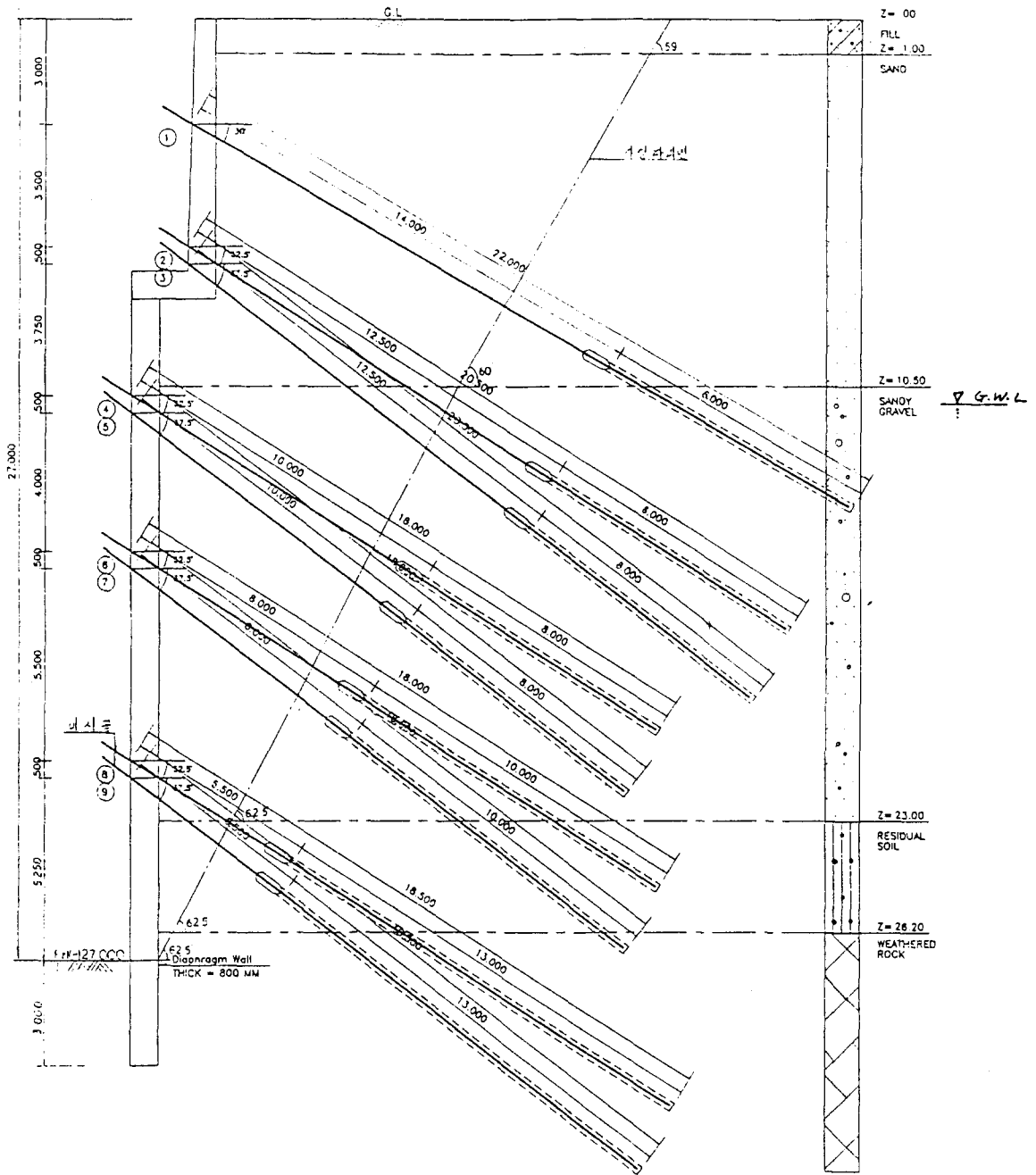


그림 3. 지하연속벽 단면도

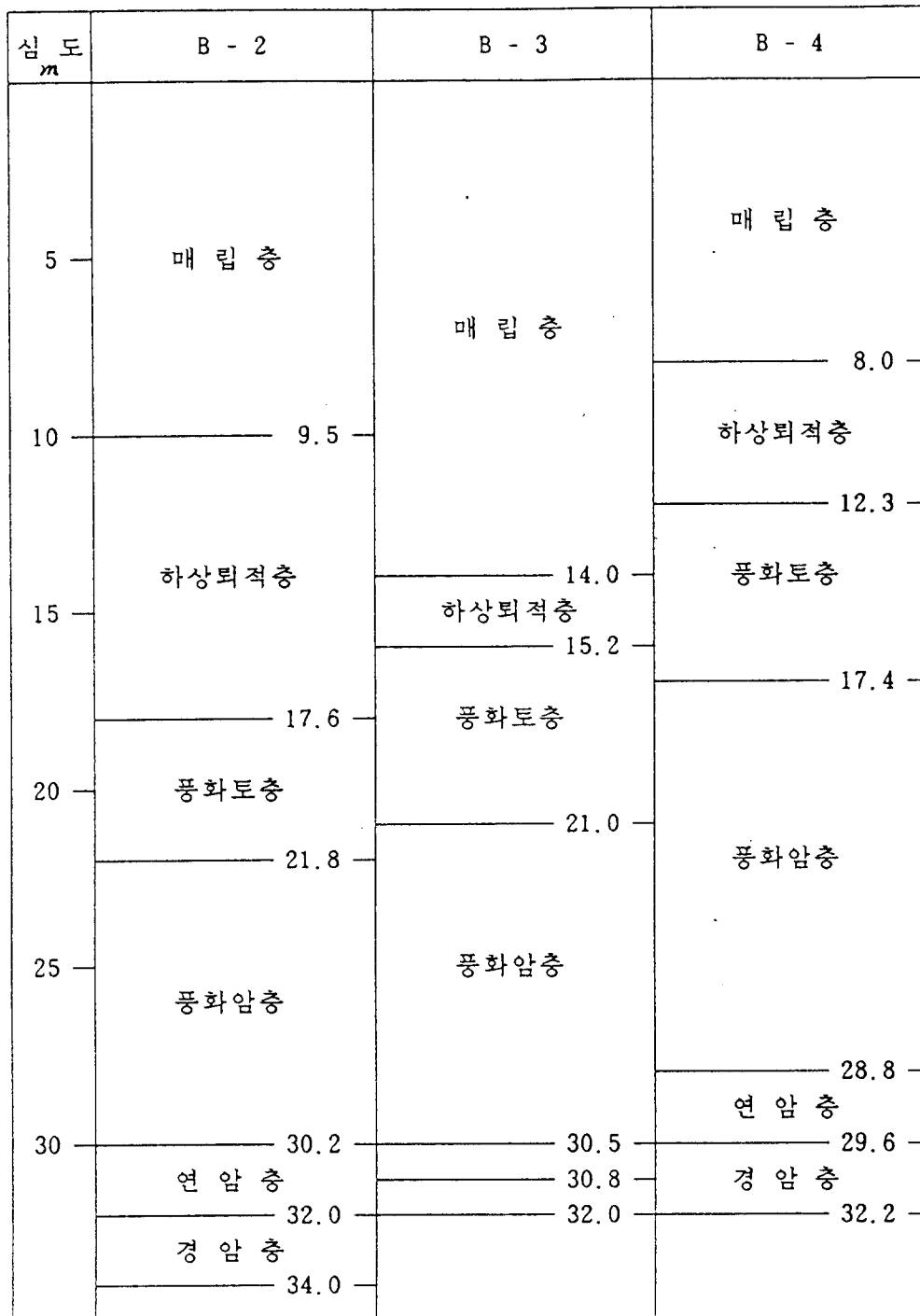


그림 4. 지반의 성층특성

문제는 최종 굴착바닥 심도가 당초의 지표하 -27m에서 -29m로 변경됨에 따라 더욱더 중요한 사항으로 대두되었다.

시간·경비적 제약상 조사 대상 판넬은 그림 1에 나타낸 바와 같이 동·서·남·북 방향의 연속벽 길이를 감안하여 각 방향에서 대표적인 판넬 3~6개만을 선택하여 총 65개의 판넬 중 25개만을 선택하고, 이들에 대한 조사성과를 토대로 원설계·시공 정보를 토대로 추정된 연속벽 시공길이의 신빙성을 전반적으로 판정하기로 하였다.

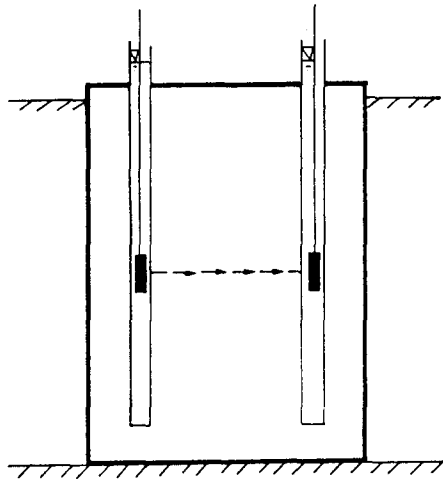
### 3. 비파괴 응력파 검측법

#### 3.1 시험방법 및 장비

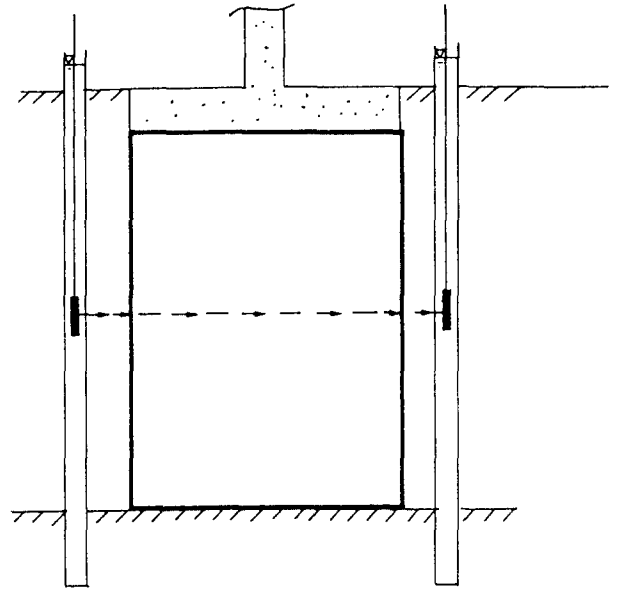
비파괴 응력파 검측법은 기초구조물의 한 지점에 진동이나 타격을 가하여 낮은 변형율(low strain) 조건의 응력파를 유발시키고, 이 응력파를 다른 한 지점에서 포착한 후 다양한 신호분석(signal analysis) 기법을 적용하여 응력파의 전파경로상에 놓이는 부위의 역학적 특성치(강성도, stiffness) 및 결함(공동, 균열)을 비파괴적으로 진단, 평가하는 시험법이다. 비파괴 응력파 검측법은 크게 검측공을 이용하는 방법과 검측공을 뚫을 필요없이 기초구조물의 노출표면에서 모든 시험이 이루어지는 비검측공 시험 방법으로 나뉘어진다. 그림 5와 그림 6에는 각각 검측공 시험법과 비검측공 시험법의 여러가지 시험기법을 나타내었다.

응력파의 유발에는 초음파원 (ultrasonic source)을 이용한 발진기나 손잡이 망치등의 충격용구를 사용하고, 응력파의 감지는 가속도계 (accelerometer)나 속도계 (velocity transducer)를 사용한다. 그리고 응력파의 분석에는 검파기 (oscilloscope) 및 신호분석기(signal analyzer)와 같은 전용 시스템이나, 마이크로 컴퓨터를 이용한 진동신호 획득 및 분석 시스템을 사용한다. 표 1에는 본조사에 적용한 시험장비 구성을 나타내었다.



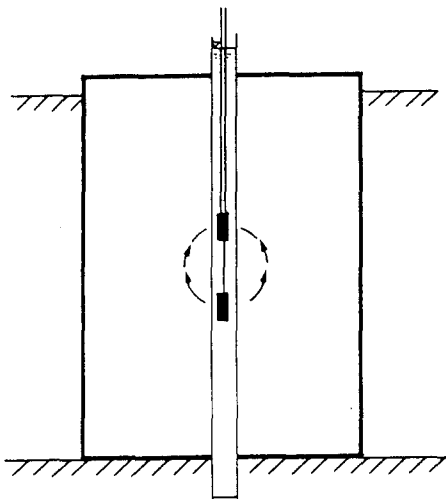


a) Direct

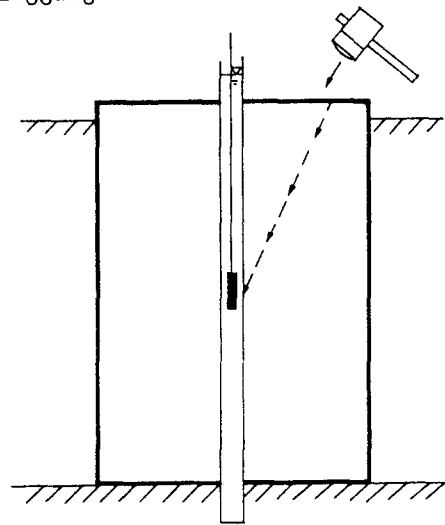


b) Parallel

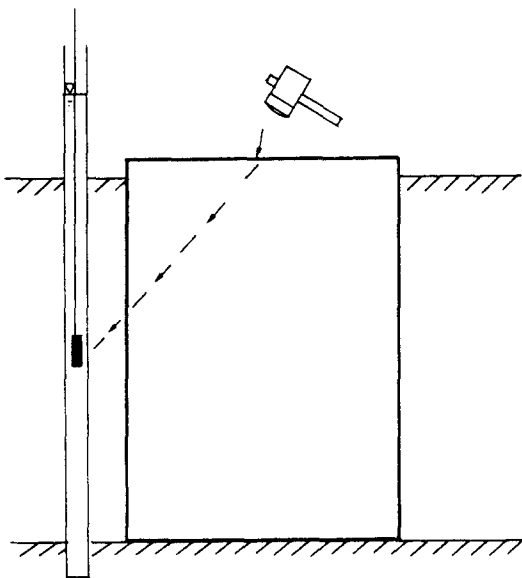
가) Crosshole Sonic Logging



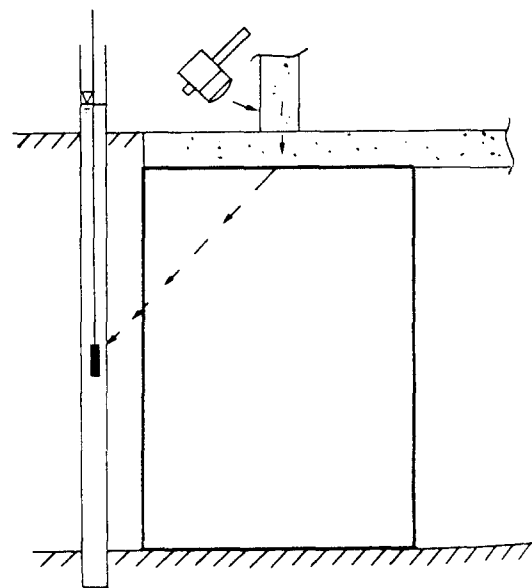
a) Direct (In-Hole-Source)



b) Direct (Out-Hole-Source)



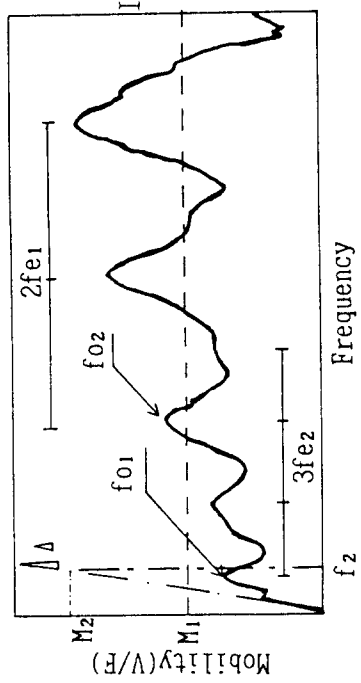
c) Parallel (Hit-on-Pile)



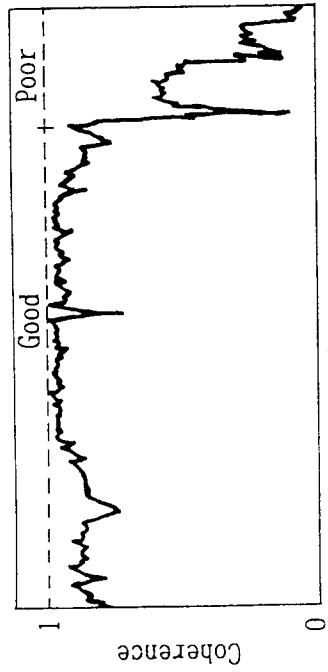
d) Parallel (Hit-on-Structure)

나) Singlehole Sonic Logging

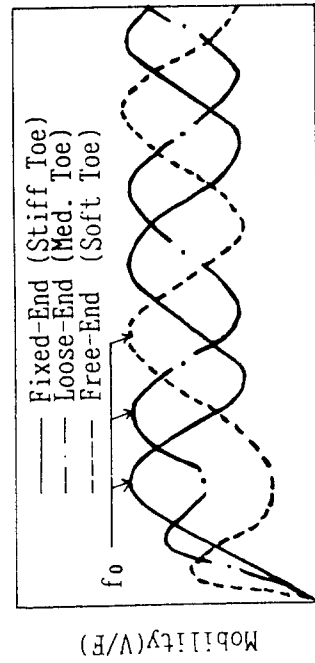
그림 5. 검측공 시험기법



a) Mobility Spectrum (Defect Pile)

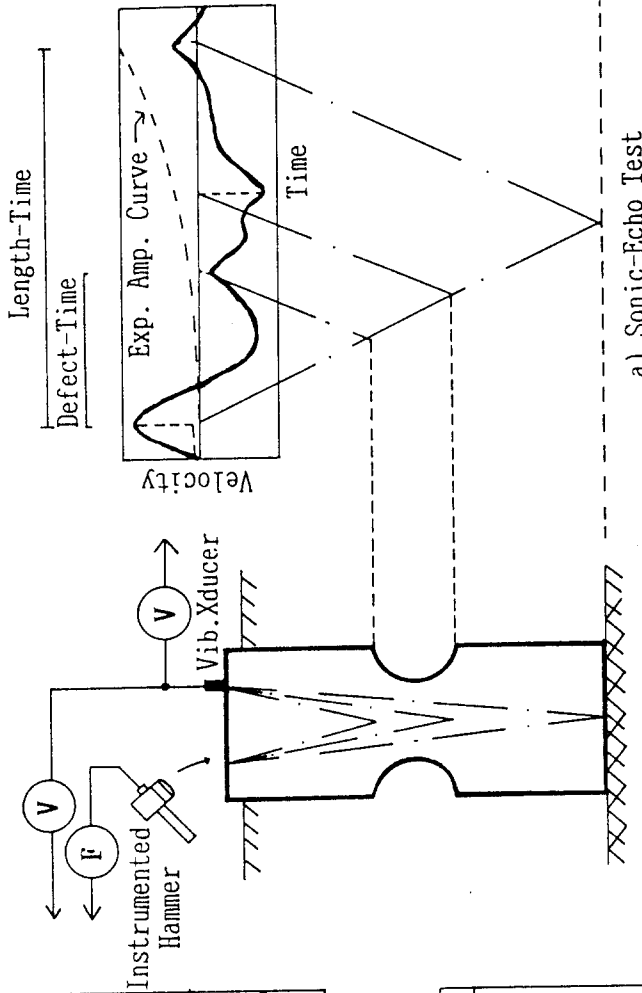


b) Coherence Spectrum (Defect Pile)

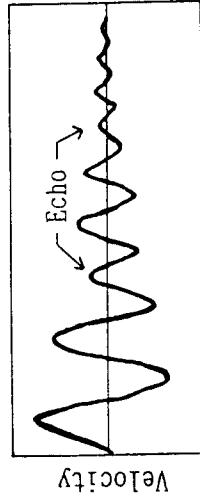


c) Mobility Spectrum (Sound Pile)

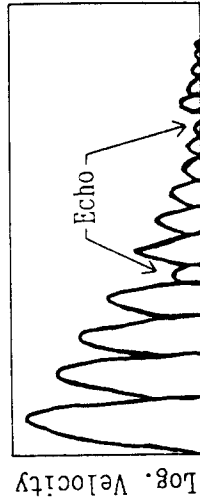
가) Impulse-Response Tests



a) Sonic-Echo Test



Time



Time

b) Pulse-Echo Test

가) Impulse-Echo Tests

그림 6. 비검측공 시험기법

표 1. 비파괴 응력파 검측법의 시험장비 구성

장비 시험법	응력파 유발장치	응력파 감지기	응력파 신호 획득/분석장치	비 고
검측공 시험법	압전식 펄스발진기* (piezoelectric pulse generator) 및 신호발생기 (signal generator) 또는 손망치	압전식 펄스감지기* (piezoelectric pulse sensor)	마이크로 컴퓨터 를 이용한 디지털 (digital) 진동 신호분석 시스템	* 펄스발진기 및 감지기 용 케이블 (cable)의 삽입깊이를 측정하여 발진기 및 감지기의 설치깊이를 자동계측할 수 있는 전 자식 자동 심도계측기 (depth meter)를 사용함.
비검측공 시험법	손망치 또는 계측해머	압전식 소형 가속도계 (accelerometer )		

주) \* 압전식 펄스 발진기와 펄스감지기는 동일한 제품이다. 압전원리의 특성상, 압전체는 외부전압에 비례하여 팽창하고, 반대로 일정한 전류조건하에서 외부압력을 받을 경우 압력의 크기에 비례하여 출력전압이 변화한다. 따라서 펄스 발진 및 감지 목적에 공통적으로 사용할 수 있어 편리하다.

이와 같은 비파괴 응력파 검측법의 시험원리 및 다양한 시험기술에 대한 상세한 내용에 대해서는 필자의 관련논문(1,2)을 참조하길 바라며, 여기서는 지면 제약상 본 조사에 적용한 각 시험기법들에 대한 개략적인 내용에 대해서만 약술하고자 한다.

### 3.2 시험원리

검측공 시험법에서는 그림 5에 나타내었듯이 기초구조물내 또는 인접지반에 한개 또는 두개의 검측공을 조성하고 검측공 내부에서 초음파 발진기나, 검측공 외부에서 손망치로 기초구조물을 타격할 때 발생하는 응력파를 감지공내에 설치된 진동 감지기를 이용하여 포착한다. 감지기의 검측공내 설치심도를 변화시켜 가면서 시험을 반복하여 얻은 일련의 시험 결과를 분석하면 기초구조물의 깊이에 따른 결함부위 분포 및 기초구조물의 근입심도를 판단해 낼 수 있다.

감지기와 발진기 (또는 타격점)간의 거리 (X)는 기지의 양이고, 실험으로부터 응력파의 도달시간 (arrival time, T)을 측정하면 응력파의 전파속도  $V_c = X/T$ 를 결정할 수 있다. 만일 응력파의 전파경로상에 기초구조물의 구성재료와 강성도가 다른 이질매질(즉 결함부위)이 존재하면  $V_c$  값이 변한다. 또한, 큰 공동과 같이 응력파의 전파를 사실상 차단시키는 결함부위가 존재하면 감지기에서 포착되는 응력파 신호의 에너지 레벨(signal energy level)이 낮아지므로, 이를 토대로 결함부위의 존재 여부를 판단할 수 있다.

한편 그림 6에는 비검측공 시험법의 개념도를 나타내었는데, 이 시험법에서는 기초구조물의 상단을 손망치로 타격했을때 발생하는 응력파가 기초구조물내의 결함부위 또는 하단을 만나 반사되어, 다시 기초구조물 상면으로 되돌아 오는 반사응력파를 진동감지기로 포착한다. 연속벽 하단의 심도 (L)는 측정된 응력파의 왕복주행시간 ( $T_r$ )과 기초구조물 구성재료 (콘크리트)의 응력파 (압축파)전파속도 ( $V_c$ )로 부터  $V_c = 2L/T_r$ 의 관계를 이용하여 결정한다. 이와 같은 반사 응력파의 왕복주행시간은 그림 6의 나-a)에 나타낸 바와 같이 응력파의 시간기록 (time record)으로 부터 반사파 성분을 검출하여 직접 측정하거나, 그림 6의 가-a)에서 나타낸 바와 같이 유동도 스펙트럼 (mobility spectrum)첨두의 평균 주파수 간격, ( $f_e$ : 이를 메아리 주파수, echo frequency 라고 함)을 측정하고  $T_r = 1/f_e$ 의 관계로부터 간접적으로 결정할 수도 있다.

## 4. 조사결과

### 4.1 검측공 시험결과

#### (1) 수평검측기법(crosshole sonic logging : CSL)

이 시험은 연속벽체의 근입심도 파악 목적에서가 아니라 전반적인 결함부위 유무 및 양생상태 파악을 목적으로 수행되었다. 연속벽 판넬상에 그림 5-a)에 나타낸 형태로 기조성된 한쌍의 코어링 (coring) 시추공을 검측공으로 활용하였다.

그림 7에는 CSL 법을 통하여 얻은 대표적인 측정결과의 일례를 나타내었는데 그림의 세로축은 측정깊이를, 세로축은 감지기에서 포착된 응력파의 도달시간 및 응력파 신호의 에너지 레벨을 나타낸다. 그림에 보이는 두 개의 곡선 중에서 오른쪽 것은 도달시간에, 왼쪽 것은 에너지 레벨에 각각 해당된다. 양생상태가 양호할수록 도달시간은 짧아지고, 신호에너지 레벨은 높아진다.

그림에서 신호레벨이 극히 낮은(거의 0) 깊이 5m (16ft)까지의 부위는 균열등이 존재하는 불량부위를 의미한다. 이는 연속벽 상단의 cap beam을 포함한 상층부는 시공시 콘크리트 타설 양생상태가 좋지 않은데 기인하는 것으로 추정된다. 이러한 결함부위에서는 응력파의 전달이 사실상 차단되므로 감지기에서 포착되는 응력파 신호강도는 특히 미약하게 된다. 또한 이때 도달시간 곡선은 그림에서 보듯이 불연속 상태를 나타낸다.

한편, 깊이 5m 이하의 부위는 신호레벨이 상대적으로 크고 확연한 도달시간 곡선이 형성됨을 알 수 있어 양생상태가 양호함을 알 수 있다. 그림에서 이 부위의 평균 응력파 도달시간은 약 1.22 msec 임을 알 수 있는데, 검측공간 거리가 5m 이므로, 응력파 속도,  $V_c = 5 \text{ m} / 1.22 \text{ ms} \approx 4100 \text{ m/sec}$ 임을 알 수 있다. 이와 같은 응력파 속도치는 콘크리트의 양생상태가 매우 양호한 경우에 해당하는 값으로서(3300~4120 m/sec이면 양호, 4120 m/sec 이상이면 극히 양호), 조사대상 연속벽 판넬은 충분한 강도를 같은 상태로 양생된 것으로 추정되었다.

## (2) 단일공 직접 검측기법(singlehole sonic logging: SSL 법)

그림 5의 나-a)에 나타난 바와 같이 발전기와 감지기를 0.91m (3ft)만큼 떨어뜨려 함께 묶은 상태에서 하나의 검측공내에 동시에 삽입하고 CSL법과 동일한 방법으로 시험을 수행하였다.

그림 8에는 SSL법을 통하여 얻은 대표적인 측정결과의 일례를 나타내었다. 그림에서 보듯이 깊이 17.4m (57ft)이하에서는 신호레벨이 급격히 낮아지고 도달시간도 증가하고 있음을 알 수 있는데 이 부분이 연속벽 하단에 상응한다. 발전기와 감지기간 거리 (0.9m, 3ft)를 보정하면 연속벽 하단 깊이는  $17.4 + 0.9 = 18.3 \text{ m}$ 로 추정되었는데, 이는 코어링을 통한 확인깊이 (18m)와 매우 잘 일치하는 것이다.

한편, 신호의 에너지레벨 및 도달시간 곡선의 형태를 보아 알 수 있듯이 깊이 약  $3.3\text{m}(11\text{ft}) = 2.4\text{m}(8\text{ft}) + 0.9(3\text{ft})$ 까지의 상단부는 콘크리트 양생상태가 불량함을 알 수 있으나, 나머지 하부는 양생상태가 양호하고 매우 균질함을 알 수 있다. 이러한 건전한 부위의 평균 응력파 도달시간은 약 270  $\mu\text{s}$ 인데, 발전기와 감지기간 거리 0.91m로부터 응력파 속도는  $0.91\text{m} / 270 \mu\text{s} = 3370 \text{ m/sec}$ 에 해당되므로 양생상태가 비교적 양호함을 알 수 있다.



JOB: 235	LOG: B3SSB	THRESHOLDS: 2.00 * MAXnse mV
DEPTH vs. THRESHOLD		RECORD: 46 DEPTH: -62.9 ft
DEPTH vs. NET ENERGY		It = 221 uS Ia = 87 mV
		Enet = 931 VuS Ense = 7 VuS

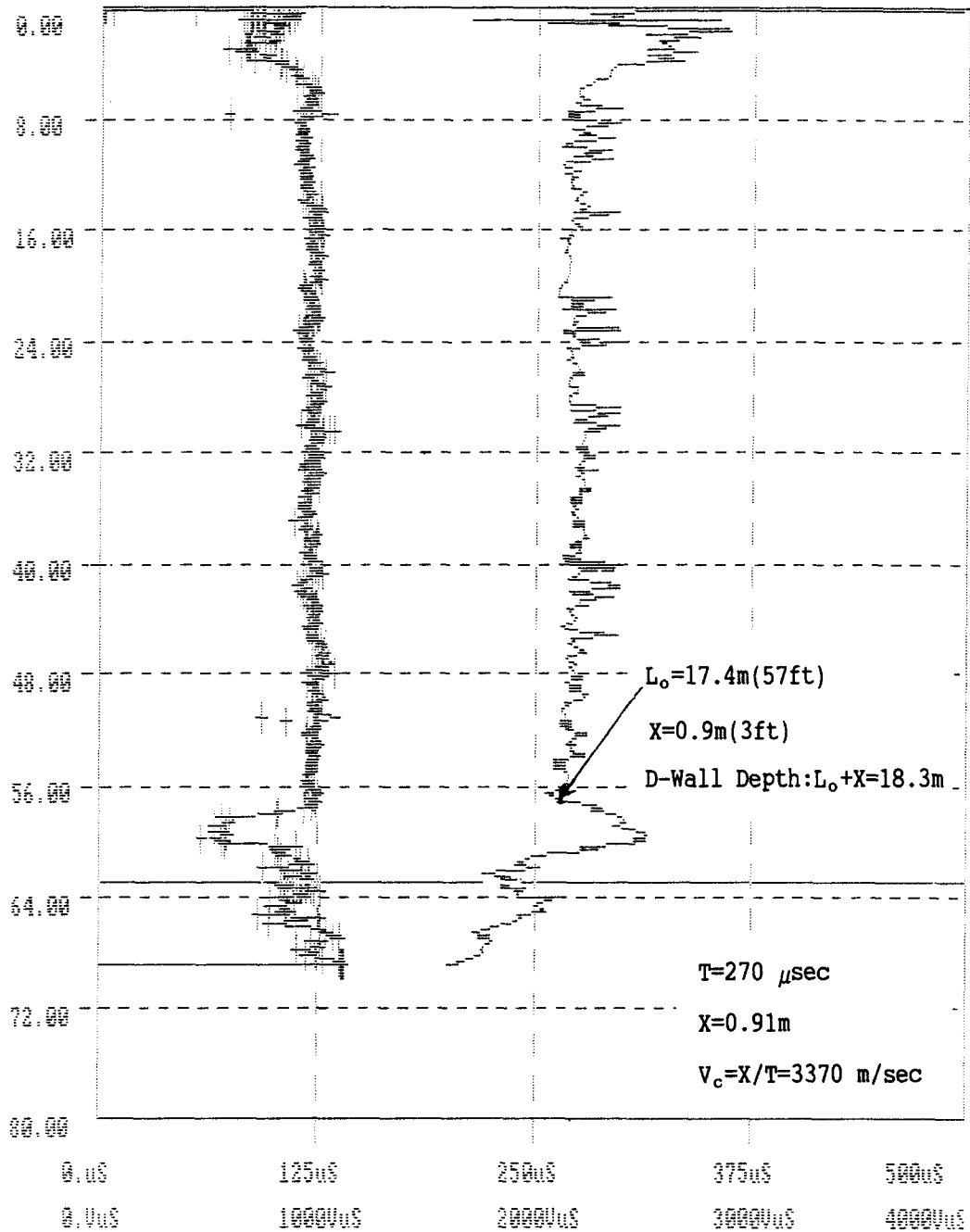


그림 8. 단일공 직접 검측기법의 측정결과 일례

### (3) 단일공 하향 검측기법(downhole sonic logging : DSL 법)

그림 3의 나-b)에 나타낸 바와 같이 검측공내에는 감지기만을 삽입하고, 응력파는 연속벽체 상면에서 검측공으로부터 30cm(1ft) 떨어진 지점을 타격하여 발생시켰다.

그림 9는 감지기 심도를 1.5m(5ft) 간격으로 변화시키면서 실험을 반복하여 얻은 응력파 도달시간의 측정결과를 나타낸 대표적 일례이다. 그림에서 보듯이 깊이 20.5m(67.4ft)지점을 경계로 측정점들은 기울기가 서로 다른 두개의 직선을 이루는데, 이들 직선의 교차점이 연속벽 하단에 해당된다. 이 판넬에 대하여 코어링을 통해 확인된 심도는 21m로서, 비교적 정확하게 근입심도를 파악할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 각 직선의 기울기는 응력파 속도에 해당하는데 그림에서 깊이 9.1m(30ft)일 때 도달시간 2250  $\mu\text{sec}$ 를 기준하면 응력파 속도  $V_c = 9.1\text{m}/2250\mu\text{s} = 4064\text{m/s}$ 로서 연속벽의 양생상태는 양호한 것으로 추정되었다.

### (4) 충격 반향법 (Impulse Echo: IE 법)

이 시험에서는 그림 6의 나-a)에 나타낸 바와 같이 연속벽 상단을 손망치로 타격했을 때 발생한 응력파가 연속벽 하단에서 반사된 후, 연속벽 상단으로 다시 되돌아오는데 걸리는 시간 (즉 왕복주행시간,  $T_r$ )을 감지기로부터 얻은 응력파 시간기록에서 반사파 성분을 직접 검측하여 결정한다. 그림 10에는 대표적인 측정결과의 일례를 나타내었는데 윗그림은 가속도계 (accelerometer)로 부터 포착된 원래의 가속도 신호기록이고, 아랫그림은 이를 한번 적분한 후 지수증폭(exponential amplification)하여 후속 시간대의 신호를 앞선 시간대의 신호성분보다 크게 증폭시켜 얻은 속도 (velocity) 신호기록이다. 그림에서 보듯이 원래의 가속도 신호기록에서는 연속벽 하단에 상응하는 반사파 성분의 신호레벨이 매우 미약하여 식별이 불가능하나, 지수증폭을 거친 속도신호기록에서는 반사파의 식별이 가능하게 됨을 알 수 있다. 그림에서 직접 도달파 성분 및 반사파 성분의 하향 첨두간의 시간차가 왕복경과시간  $T_r = 10.2\text{msec}$ 에 해당하는데, 조사대상 연속벽 판넬 콘크리트의 응력파 속도 ( $V_c$ )를 4000~4100 m/sec로 가정할 때 연속벽 하단까지 깊이 (L)는  $V_c = 2L/T_r$ 의 관계로부터 20.4~20.9m로 추정된다.

그런데 원설계 도면상 이 조사대상 판넬의 길이는 연속벽 상부의 보강 콘크리트 응력 바닥 슬래브 두께 80cm를 포함하여 22.8m로 추정되었는데, 실제 조사심도는 최대



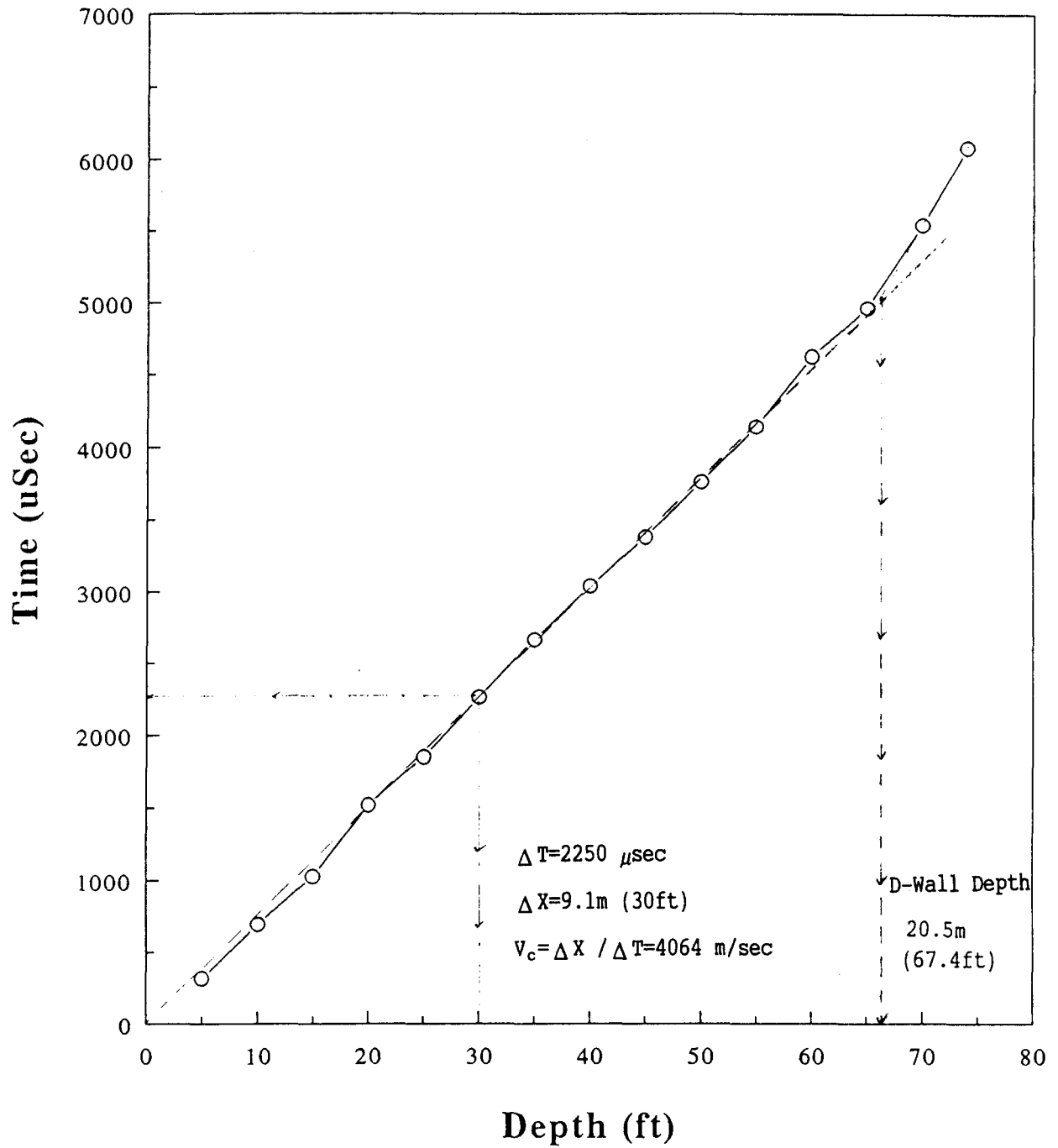


그림 9. 단일공 하향 검측기법의 측정결과 일례

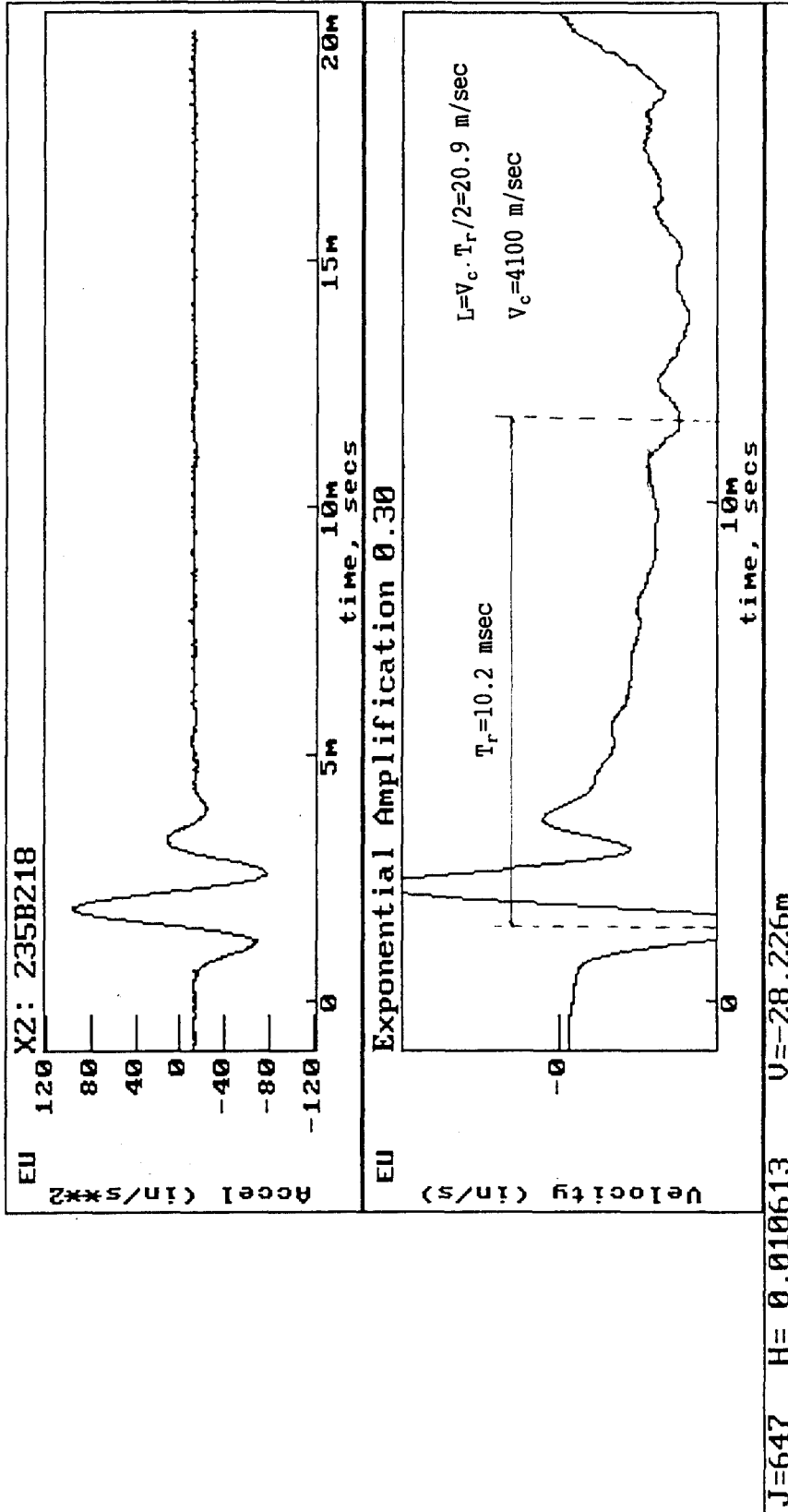


그림 10. 충격 방향법의 측정결과 일례

20.9m로서 연속벽 길이는 설계치보다 1.9m 작게 시공된 것으로 판단되었다.

#### (5) 충격 응답법 (Impulse Response: IR 법)

이 시험법은 충격강도를 측정할 수 있는 계측해머 (instrumented hamer)를 사용하고 응력파 신호의 분석을 그림 6의 가-a)에 나타낸 바와 같이 주파수 영역 (frequency-domain)에서 실시하여 얻는 유동도 스펙트럼을 이용하는 것이 다른 시험절차는 IE법과 동일하다. 연속벽 근입심도의 판단은 유동도 스펙트럼의 초기 첨두치 형성 부분을 기준하면 되는데, 그림 6의 가-a)에서 일련의 초기 첨두치가 형성되는 주파수 대역의 크기 ( $3f_{0z}$ )를 첨두치 간격수(3개)로 나누면 연속벽 하단에 상응하는 평균 메아리 주파수값 ( $f_0$ )을 결정할 수 있다. 그리고  $f_0 = 1/T_r$ 의 관계로부터 응력파의 왕복주행시간,  $T_r$ 을 산정하면 된다.

그림 11에는 이와 같은 IR법의 대표적인 측정결과를 나타내었는데 이 측정결과는 감지기를 타격점보다 2.2 m 낮은 위치에 설치하여 얻은 것이다. 이와같이 한 이유는 연속벽 본체와 상단의 cap beam 및 cap beam과 상부 보강 콘크리트 웅벽의 바닥 슬래브의 시공 이음 상태가 불량한 경우에는 응력파 에너지의 대부분이 반사되어 연속벽 하단까지 충분한 파에너지가 전달되지 못해 신호의 질이 떨어지기 때문이다. 감지기는 연속벽 본체의 상부에 어스앵커(earth anchor) 시공을 위해 천공한 구멍내에 설치하였다. 이와 같이 감지점과 충격점의 높이가  $H(=2.2m)$  만큼 차이가 나는 경우에는  $V_c = (2L-H)/T_r$ 의 관계식을 이용하여 연속벽의 근입심도를 계산하면 된다.

그림 11을 자세히 고찰하면 다소 식별하기 어려우나 그림에 표시한 바와 같이 연속벽 하단으로부터 반사된 응력파 성분에 의해 4개의 유동도 스펙트럼 첨두가 약 285.7 Hz의 주파수 대역에 걸쳐 형성됨을 알 수 있다. 따라서 메아리 주파수,  $f_0 = 285.7/3 = 95.2$  Hz가 되고, 이로부터 응력파의 왕복주행시간,  $T_r = 1/f_0 = 1/95.2 = 10.5msec$ 가 됨을 알 수 있다. 따라서 조사대상 판넬의 추정길이(L)는 콘크리트의 응력파 속도를 4100 m/sec로 간주할 때  $V_c = (2L-H)/T_r$ 의 관계로부터  $L = (V_c T_r + H)/2 = [(4100)(10.5 \times 10^{-3}) + (2.2)]/2 = 22.6m$  임을 알 수 있다. 그런데 이 판넬의 원설계 도면상 길이는 23.8m로서 실제 시공심도는 설계치 보다 약 1.2m가 짧은 것으로 판단되었다.

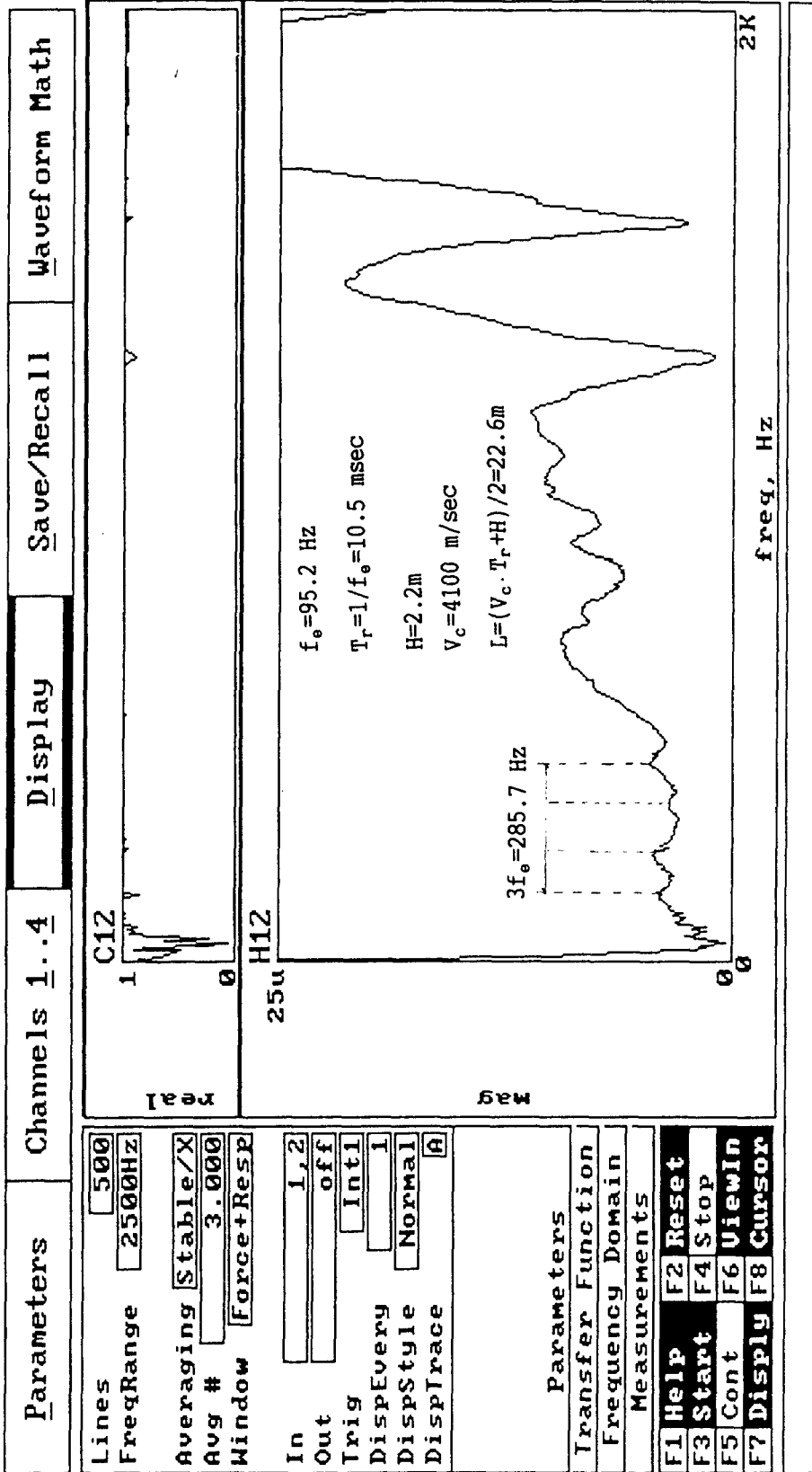


그림 11. 중계 응답법의 측정결과 일례

일반적으로 충격 반향법 및 충격 응답법은 조사대상 기초구조물의 세장비(길이/직경 비율)가 대략 30 이하 일때 신뢰성 높은 결과를 얻는 것으로 알려져 있다.(3) 조사대상 연속벽의 두께는 0.8m 이고 길이는 20~24m 이므로 세장비는 25~30의 범위에 놓인다. 따라서 시험성과는 전반적으로 신뢰성이 있다고 판단할 수 있으나, 획득되는 응력파 신호의 질은 세장비외에도 주변지반의 연경상태 및 연속벽의 내부결함의 정도에 크게 영향을 받으므로 경우에 따라서는 충격 반향법에서 반사파 성분의 식별이나, 충격 응답법에서 매아리 주파수 측정에 필요한 유동도 스펙트럼의 첨두부 식별이 곤란한 경우가 많았다.

그럼 10 및 11의 결과는 가장 양호한 측정성과 중의 하나인데, 전술한 바와 같이 연속벽체의 상단의 cap beam의 시공 이음이 불량한 판넬에서는 양질의 응력파 신호를 얻기가 매우 힘들었다. 이러한 경우에는 여러차례 실험을 반복하고 주파수 필터링(filtering) 기법등과 같은 특수한 신호처리 방법을 적용하여 데이터의 질을 높여야만 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 지하연속벽의 근입심도 및 결함·양생상태 조사를 목적으로 비파괴 응력파 검측법을 적용한 사례연구를 통하여 여러가지 시험기법들의 적용성 및 신뢰성을 살펴보았다. 본 사례연구를 통하여 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

- 1) 비파괴 응력파 검측법에 의한 연속벽 근입심도 추정 오차는 약 50cm 이다.
- 2) 검측공 시험법은 연속벽의 근입심도는 물론, 결함·양생 상태 파악에 가장 신뢰성 있는 시험방법이다. 그러나 검측공의 조성으로 인한 시간·경비적 부담으로 많은 수의 시험이 필요한 경우에는 비현실적이다.
- 3) 비검측공 시험법은 조사가 완전히 비파괴적으로 이루어지기 때문에 신속한 조사가 가능하여 효율적이거나 연속벽의 시공 특성상 상단의 cap beam과 연속벽 본체 사이에 틈이 발생하는 등 시공 이음 상태가 불량할 경우에는 시험성과의 신뢰성이 낮아진다. 이러한 경우에는 감지기를 cap beam 아래 연속벽 본체에 설치하는 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

## 감사의 글

줄고를 작성하는데 도움을 주신 여러분에게 감사드린다. 무엇보다 관련 현장 문제의 자문기회를 통하여 실무기술의 세부내용을 직접 체험할 수 있도록 배려하여 주신, (주)백산건설의 현대관 이사님과 권만근 소장님께 깊은 감사를 드린다. 아울러 (주)다산 컨설팅의 주재건 사장님과 조성하 실장님, (주)신풍계측산업의 안병훈 사장님, 그리고 기타 현장 기술진 여러분에게 충심의 감사를 드린다. 마지막으로 관련 기술자문 및 자료 제공에 큰 도움을 주신 미국 Olson Engineering, Inc.의 Larry D. Olson 사장님과 Dennis A. Sack 씨에게도 깊은 감사를 드린다.

## 참 고 문 헌

1. 우재윤(1993). "현장타설 콘크리트 말뚝기초의 비파괴 건전도 시험법," 건설기술정보, 통권 113호, 2월, pp.24-31.
2. 우재윤(1993). "현장타설 말뚝의 비파괴 검사," 말뚝기초, 한국지반공학회 말뚝기초위원회/대한건축학회 기초분과 위원회 학술발표집, 제 1집, 4월, pp.19-24.
3. Ellway K. (1987). "Pile Integrity Testing-a Misunderstood Technology", Ground Engineering, Vol. 20, No. 6, Sep., p.6 and p.8.
4. Olson, L.D. (1991). "Measurement of Subsurface, Deep Foundation and Slab/Subgrade Conditions with in Situ Seismic, Sonic and Vibration Methods," Proc. of Geotechnical Engineering Congress 1991, ASCE, Boulder, Colorado, USA, June, pp. 201-212.
5. Stokoe, K.H., II, Olson, L.D. and Reese, L.C. (1987). "Integrity Testing of Drilled Shafts," a paper presented for Geotechnical Engineering Faculty Workshop, International Association of Drilled Shaft Contractors, Fort Collins, Colorado, USA, July.