

비파괴검사에 의한 파일결함탐사

Integrity Testing of Piles by Sonic Coring Method



권 상 수*

기초 파일에 대한 비파괴결함 탐사가 오늘날에는 통상적이고도 실제적인 시험 방법으로 자리를 잡았으나 이것의 운용이나 시험방법에 대한 뚜렷한 기준은 아직까지 없는 형편이다. 또한 가장 적합한 시험방법의 선택도 쉽지 않을 뿐더러 모든 상황에 전부 부합될 수 있는 유일한 검사 방법은 없는 실정이다. 본 원고에서 필자는 각 검사 방법에 대한 활용의 한계와 장점을 비교함으로써 적절한 시험의 선택방법을 제시하고자 한다.<필자註>

1. 머리 말

비파괴 시험이 파일지지 기초에 대한 품질관리의 한 수단으로써 처음 사용된지 20년이 지났다. 이러한 20년동안 새로운 검사기법이 개발되어 왔고 기존의 검사기법들은 개선되어 왔다. 그리고 이것의 발전이 대개는 전자 분야의 기술향상에 기인된 바가 크다. 그러나 관련 분야의 기술자들은 이러한 의심할 나위없는 기술의 향상이나 시험

방법의 점증하는 요구에도 불구하고 이러한 시험의 적용한계나 또한 기술자 자신들이 요구하는 바에 따라 가장 적절한 시험방법을 제대로 선택하지 못하고 있다. 그리고 이러한 시험방법의 선택이 종종 시험 비용에 의해 결정되는 경향이 있다.

시험 비용이 시험 방법을 선택하는 데 있어 중요한 요소이기는 하지만 그러나 반드시 비용만의 문제로 시험방법이 결정되어서는 안된다. 예를 들어, sonic coring 시험은 보다 시험 비용이 저렴한 반사파(impulse) 시험 방법에 비해서는 사용빈도에 있어 떨어지는 것은 사실이지만 심도가 깊은 기초의 결함을 확인하는 데 있어서는 여전히 기술적으로 가장 확실하고도 결정적인 방법으로 인식되고 있다. 그럼에도 불구하고 모든 시험 방법은 그 시험이 가지는 한계성을 늘 가지게 마련이고 또한 기술자들은 이러한 인식의 바탕위에서 가장 적합한 시험 계획을 세워야 할 것이다.

다음 항목에서 기술된 것은 실제적으로 관련분야의 기술자들에게 도움을 주고자 하는 것이 목적이다.

(1) 현재 시행되고 있는 시험방법의 장점과 한

*정회원, 한국콘크리트 비파괴검사 대표

계성

- (2) 시험되어야 할 파일의 갯수와 시험 방법 선정
- (3) 시험의 대표적인 사례

여기에서 말하고자 하는것은 주로 sonic coring 시험 방법에 대해서이고 특히 대구경 pile에 관한 것이다.

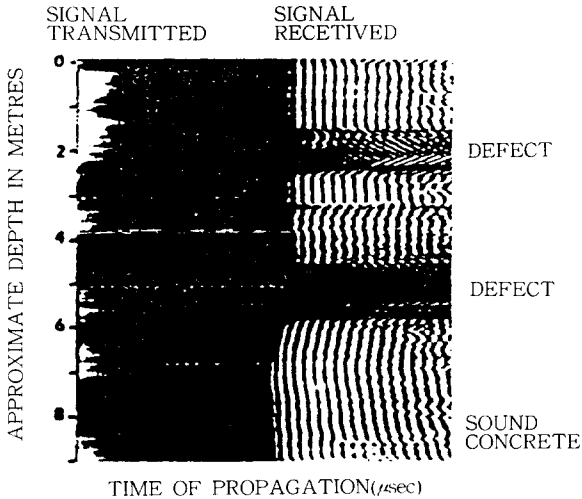


Fig. 1 Sonic coring profile

파일기초에 대한 결함탐사는 흔한 것은 아니라고 할지라도 시각적으로 확인이 가능한 것때문에 결함탐사기법이 우선적으로 개발되었다고 해도 과언이 아니다. 가장 이상적이고 완전한 시험방법은 아마도 사람의 눈으로 볼 수는 없지만 파일의 형태 및 크기를 알 수 있을 뿐만 아니라 콘크리트의 밀도 및 강도를 판단할 수 있는 레이더와 같은 시험 장치가 될 것이다. 그러나 아직까지는 그러한 시험 방법이 존재하지도 않을뿐더러 가까운 장래에도 있을 것같지 않다. 그러나 그러한 완전한 방법을 찾기 위해 근 20년간이나 여러가지 시험방법이 시도되어 왔으며 그 방법은 대략 다음과 같다.

- 초음파법(sonic coring)
- 반사파(충격파)법
- 진동 시험
- 전기 저항법

- 방사선법

이것들 중 가장 널리 사용되고 있는 충격파법과 초음파법에 대해 간단히 소개하기로 한다.

2. 시험 법

2.1 충격파(반사파) 시험법

이 시험의 원리는 파일 머리부분에 햄머로 충격을 주면 콘크리트 내부에서 발생한 응력파가 pile toe를 거쳐 들어오는 반사 시간을 기초로 한 것이다. (Fig. 2 참조)

파일 머리 부분을 먼저 플라스틱 망치로 가격한다. 그리고 이것에 의해 발생된 응력파를 파일 toe까지 압축파(응력파)를 내려보낸 다음 그곳에서 다시 파일 머리로 반사되며 부착된 센서(ceophone or accelerometer)를 통해 그러한 반

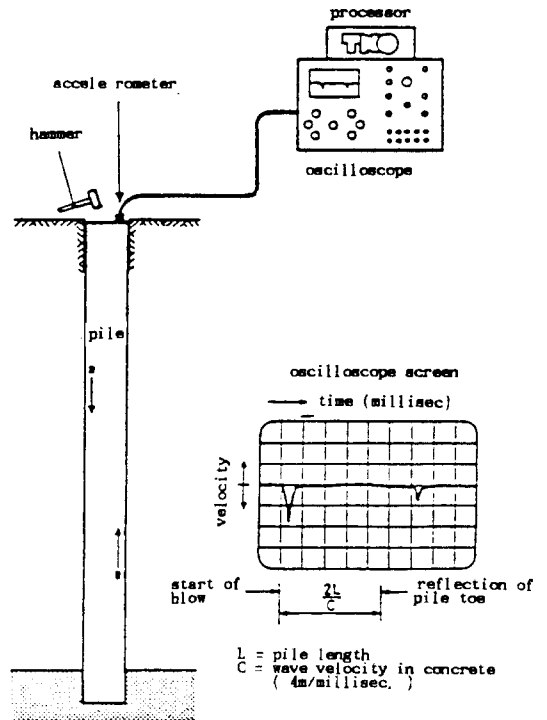


Fig. 2 Typical echo test result

사파의 움직임을 감지할 수 있다. 파일 머리부분의 반사파속도에 대한 대표적인 trace가 fig. 3에 나타나 있다. 거기에서 pile toe에서 반사된 파형을 뚜렷하게 볼 수 있고 그것은 또한 파일 자체의 균일성을 보여주고 있다. 만일, 이 파일의 중간에 결함이 있다거나 부러져 있다면 전파시간도 절반으로 줄어들뿐만 아니라 감소된 감쇄 효과 때문에 반사파의 진폭이 훨씬 더 작아지게 될것이다. 역설적으로 말하면 대단히 심도가 깊은 파일이 단단한 지반에 설치될 경우 감쇄효과때문에 반사파가 미처 파일 머리 부분에 도달하지 못할 경우도 있고 또한 적어도 반사파의 진폭이 너무 작아 일반 noise에서 분리 추출하기가 어렵다고 하는 점이다. 여러가지의 선별적인 signal 증폭 기술이 반사파 강화에 시도되어왔으나 중요한 점은 noise가 아니라 꼭 필요한 반사파에 대한 증폭이라는 것을 확실히 할 필요가 있다.

파일을 세게 칠수록 반사파의 크기가 반드시 커지는 것은 아니다. 그러므로 이러한 기술은 파일 축을 따라 선형 형태, 즉, pile necking 현상이라든지 fattening에 대한 정보는 줄 수 있지만 파일 단면에 따른 결함에 대해서는 아무런 정보를 줄 수 없다.

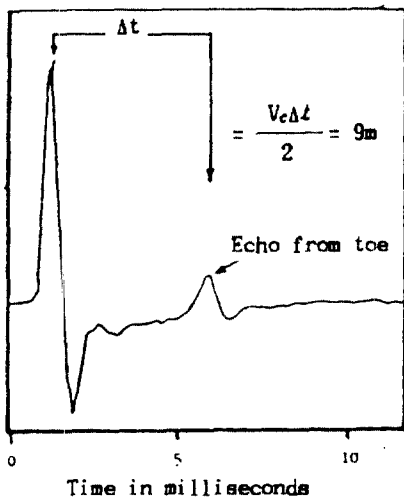


Fig.3 Typical Echo Test result

2.2 초음파 시험법(sonic coring)

결함이 없는 균질한 콘크리트에 있어서의 초음파 유속은 거의 4km/sec로써 일정하나 콘크리트 속에 흙을 함유하고 있거나 자갈, 벤토나이트, 공동(honeycomb) 등이 내재되어 있으면 유속이 훨씬 떨어지기 때문에 그러한 결함이 콘크리트속에 존재할 경우 즉시 알게 된다.

Sonic coring은 파일 콘크리트 타설시에 probe guiding tube가 pile 철근에 미리 부착되어 설치된다. 철근 주근 방향으로 설치된 4개의 tube를 통해 초음파 probe가 드리워져 초음파 전파시간을 측정하게 된다. tube 속은 물로 채워지며 물은 probe의 펄스를 전달하는 coupling으로써 작용한다. 기기 구성은 음파 발생기, 오실로스코프, 2개의 probe, 즉 하나는 발신 probe이고 다른 하나는 수신 probe로써 기기의 일반적인 구성은 Fig. 4에 나타나 있으며 그에 따른 시험 결과는 Fig. 5에 나타난 바와 같다.

Sonic coring시험은 충격파법(반사파법) 시험보다 비용은 다소 많이 들지만 주요한 장점이 있다. 그것은 전혀 signal이 감쇄한다거나 측정깊이에 제한이 없다. 심도가 2m인 파일을 측정할 때나 100m인 파일을 측정할 때나 정확도에 있어 똑같다는 점이다.

Pile toe 부분에서 결함이 발견되면 파일지지 암반까지 천공하여 시험할 수 있다. 이외에도 기

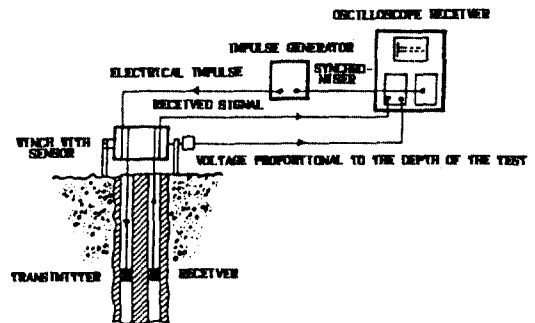
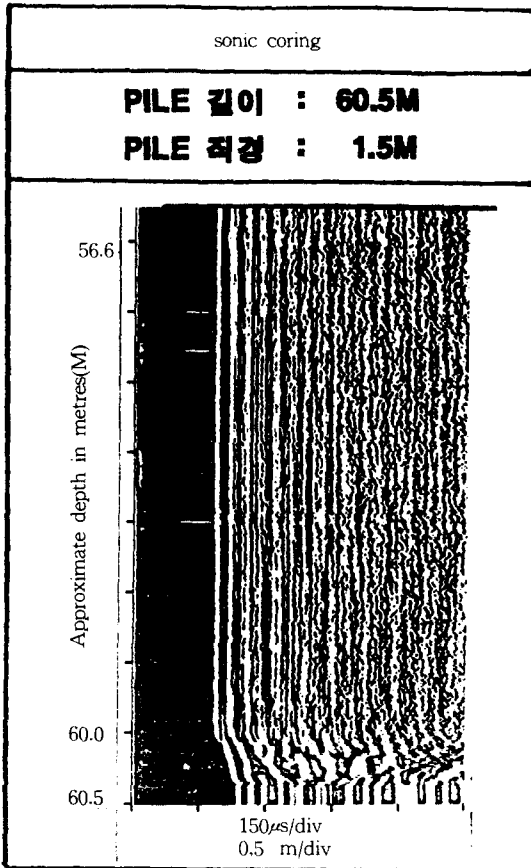


Fig. 4 Sonic coring 시험 기기 구성도



상기의 시험 RECORD는 ○○지역 해안에 세워진 저대용량 탱크기초 PILE의 SONIC CORING 시험결과로서 PILE 길이 60.0M~60.5M 사이(PILE BASE 부위)에서 콘크리트가 압반위에 완벽하게 타설되지 못하고 부분적으로 물로 채워진 자갈층(결함두께: 0.5M)이 존재하고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 5 Typical sonic coring result

설치된 song coring tube 자체가 철근 대신을 할 수 있고 파일 결함을 보수하는데 있어 grouting 주입로로 이용될 수 있다. 또한 파일 콘크리트를 타설한지 48시간만에 시험을 개시할 수 있으며 sonic coring 시험에 있어 충격과 시험과 차이가 있는 또 하나의 장점은 파일 축을 따라 결함의 위치 즉 파일 횡단면상의 결함의 방향 및 크기, 종단면상의 결함의 수직적 크기 및 위치를 확인할 수

있다. 이것은 파일의 결함을 보수할 시 결함의 크기, 위치, 방향이 정확하게 확인되어야만 현실적인 보수가 가능하고 또한 해당결함부위에 천공을 한 후 그라우팅량을 결정할 수 있다.

마지막으로 가장 중요한 장점은 시험결과를 분석하는데 있어 간단하고 모호한 점이 거의 없다.

상기의 장점에 비해 sonic coring의 주요한 단점은 다음과 같다.

a) 별도의 시험용 tube 설치 비용이 든다(전체 파일공사 비용에 비해서는 극히 적은 부분이지만)

b) 이시험의 특성상 파일의 fattening현상(파일 몸통이 굵어진 현상)에 대해서는 확인이 불가능하다.

3. 시험 방법 선정 및 계획

하나의 결함시험 방법만으로는 모든 종류의 파일결함을 찾는 요건을 충족시킬 수는 없다. 그러한 시험 방법의 선택은 파일의 크기나 종류, 지반의 조건, 요구되는 자료의 질에 따른 몇가지 요인에 달려 있다.

표 1 및 표 2는 가장 적합한 시험방법의 선택과 시험할 파일의 갯수를 선정할 단계를 보여주고 있다.

표 1. 시험 파일의 갯수 선정

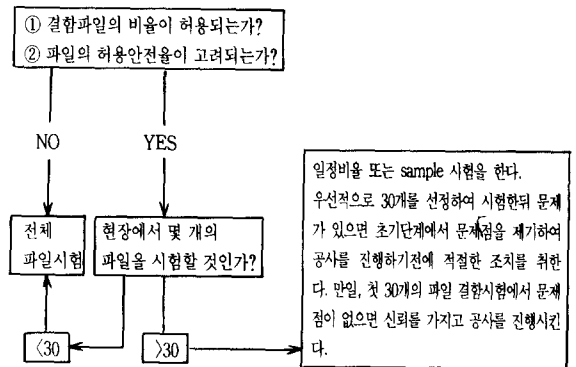
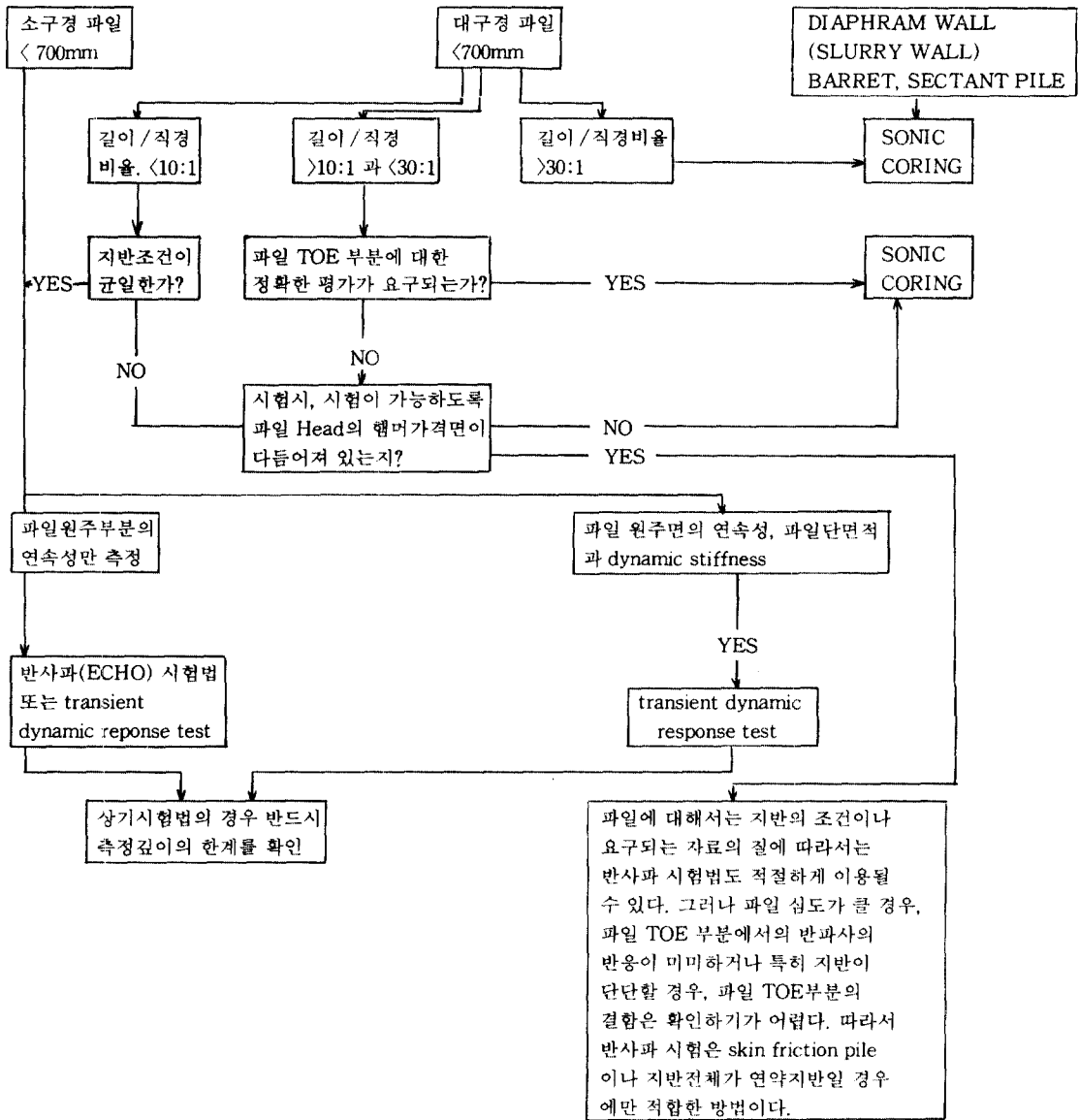


표 2. 시험방법의 선정



충격파 시험은 재령이 최소한 7일이 경과되어야만 가능하다. 그리고 보다 정확한 signal이 얻어질 수 있도록 파일 head의 표면을 잘 다듬어야 한다. 실제로 파일공사도중이라도 시험을 시행해야 할

경우가 있다. 이것은 보다 빨리 정보를 입수하여 사태에 대처하기 위한 필요성 때문이다. 그러한 경우, 햄머(파일 머리의 충격면) 가격면이 좋지 않을 경우 역으로 잘못된 시험결과가 얻어질 위험

이 있다.

4. 시험사례

■ 미국 와싱턴주, 스포케인 수력발전소 보수 사례

미국 와싱턴주 스포케인 강둑 바로 밑에 발전소가 자리잡고 있었다. 발전소 건물은 조립질 모래층위에 대용량의 콘크리트와 다량의 철근을 배근한 슬라브를 기초로 하여 건설되었다.

1986년 여름날 밤 댐수문이 작동하지 않아 물길이 발전소 기초 바닥 아래를 훑고 지나갔다. 그 여파로 구조물 전체가 옆으로 300mm 가량 움직였고 또 수직 방향에서 400mm정도 어긋나버렸다. 그럼에도 불구하고 건물에는 아무런 피해가 없었다. 아마도 철근 콘크리트 바닥슬라브의 시공이 대단히 잘되어 있었던 것으로 보인다. 이 구조물에 대한 보수계획은 슬라브 바닥을 통해 구멍을 낸 후 대구경 파일로 받친 다음 원래의 위치로 jacking하여 구조물이 제대로 자리를 잡도록 하는 것이었다.

파일은 수면에서 20feet 아래 물막이담에 설치되어야 했으며 설치위치는 지형상 가장 악조건을 가지고 있었다. 그렇기 때문에 모든 파일에 대한 결함시험이 실시되어야 했으며 파일결함 시험을 할 구조물이 물속에 있었기 때문에 sonic coring 시험법이 채택되었다.

제 1번 파일은 물막이담에서 100mm가량 떨어져서 설치되었다. 그다음 48시간이내에 파일재하시험을 할 수 있도록 500톤 중량의 강괴가 없을 수 있는 frame이 준비되었다. sonic coring 시험은 재하시험하기 바로전에 시행되었다. 그리고 시험결과, 파일측을 따라 파일 길이 0.5m~1.5m의 위치에서 중대한 결함이 발견되었다. (Fig. 6참조) 그래서 재하시험은 보류되었고 그 부위에 대한 천공작업을 실시하여 본 결과 파일전단면에 걸쳐 1m 두께의 자갈층이 있음이 확인되었다.

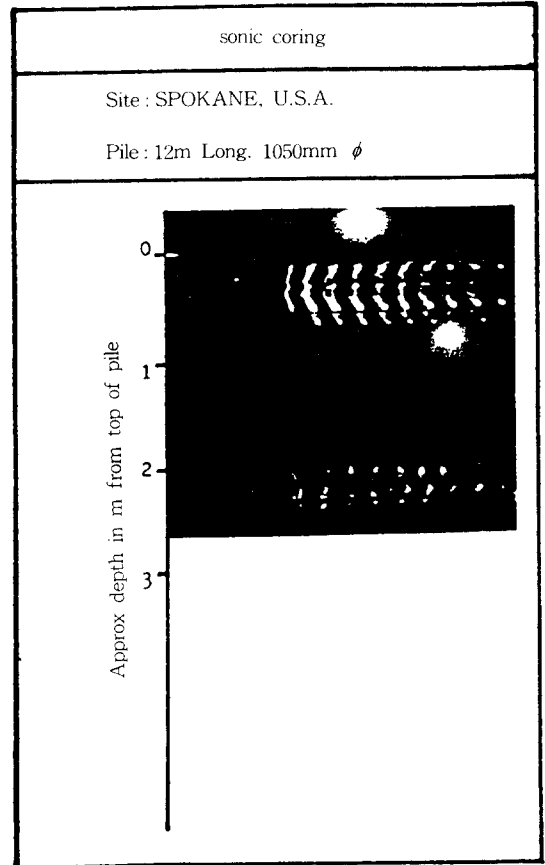


Fig. 6 Sonic profile T.P.I

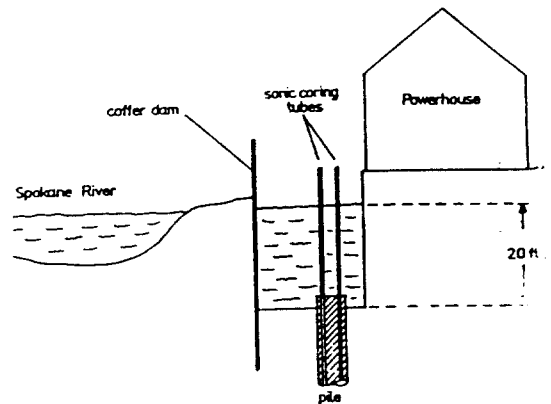


Fig. 7 Site arrangement—Spokane

2번 시험 파일은 1번 시험 파일만큼 심각하지는 않았지만 파일 콘크리트중에 이물질이 많이 혼입되어 있었다. 상기와 같은 시험과정을 거치고 난 다음 파일에 대한 재하 시험이 성공적으로 수행되었다.

이 시점에서 많은 기술상의 문제점이 논의되었다. 결국 sonic coring 시험은 파일 콘크리트 타설한지 48시간 후에 working pile에 대한 충분한 시험이 이루어지고 결합이 확인되어 보안을 한 후 공사를 성공적으로 수행할 수 있었다.

5. 맺음 말

구조물이 점점 대형화되고 크기와 깊이에 따른 기초의 중요성이 한층 더 커지게 되었다. 이것은 강변이나 해변 또는 늪지에서 파일이 시공될 경우 파일의 비중은 한층 더 커지게 되며 파일이 유일한 해결책일 수도 있다. 그러므로 관련분야 기술자들은 자신이 설계한 파일이 과연 설계 적재 하중을 지탱할 수 있겠는가를 확인하는 것은 주요한 책임중의 하나이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 반드시 파일에 대한 시험이 실시되어야 한다. 현재 우리나라의 경우 파일에 대한 적재 하중시험은 가끔 실시되고 있으나 그 시험 비용이 과다하여 겨우 1~2본정도의 극히 제한적인 개소에 한해 실시하고 있는 형편이다. 이러한 것들은 지반 조건이 동일한 상황이라면 선별적으로 행한

시험이 어느 정도 품질에 대한 확신을 줄 수가 있으나 대개는 다양하거나 복잡한 지반조건을 가지고 있기 때문에 여러가지 문제점이 야기될 수가 있다. 따라서 현장 타설 파일에 대해서는 파일 자체의 시공성으로 인한 품질 확인(결합 탐사)과 더불어 파일의 구조적 특성에 비추어 다양한 하중 시험(static load test, dynamic load test, pile driving analysis, driveability prediction, hammer monitoring)을 통해 최적의 경제성과 안전성이 조화가 되는 설계가 될수 있도록 이제는 국내에서도 파일에 대한 시험이 보다 활성화되어야 하겠다.

참고 문헌

1. Stain, R.T. Integrity Testing. Civil Engineering, April 1982.
2. Davis, A. G. and Dunn, C.S., From Theory to Field Experience with the Non-destructive Vibration Testing of Piles, Proc. Instn. Civ. Engineers, Part 2, 57, 1974, pp 571-593.
3. Paquet, J. Etude Vibratoire des Pieux en Beton : Reponse Harmonique, Annis Inst Tech Batim., 21st year, 1968, No.245, May
4. Preiss, K. and Shapiro, S., Statistical Estimation of the Number of Piles to be Tested on a Project, R. I. L. E. M. Commission, Stockholm, June 1979.