

# GPR을 이용한 세굴 측정

윤병만\* 여운광\*\* 김학수\*\*\*

## 1. 서론

홍수기간 중에 발생하는 교각이나 교대 주위의 세굴현상은 교량붕괴의 가장 중요한 원인이라고 알려져 있다. 따라서 최대 세굴심을 결정하는 일은 기존 교량의 안정성 평가 및 신설 교량의 설계에 있어서 매우 중요한 부분을 차지하게 된다 (Crumrine, 1991).

최대 세굴심을 구하는 공식은 여러 학자들에 의해서 많이 개발되어 왔으나 이용된 자료의 제한성 때문에 서로 많은 차이를 보이고 있다 (Miller 등, 1992). 따라서 좀더 보편적인 공식을 얻기 위해서는 다양한 조건에서 측정된 세굴심 자료가 더 필요하다. 그러나 심각한 수준의 세굴을 유발하는 홍수의 발생빈도가 그리 많지 않고, 또 그러한 홍수시에는 측정환경이 매우 나쁘기 때문에 홍수기간 중에 세굴심을 측정하는 일은 그리 쉬운 일이 아니다. 이런 이유로 기존의 세굴자료들은 홍수가 지나간 후에 측정되어 얻어진 것이 대부분이다. 그러나 홍수가 지나간 후에는 퇴채움 현상이 일어나기 때문에 세굴심을 과소평가하게 되는 위험이 있다.

이러한 단점들을 보완하기 위해 최근에는 현장 접근이 용이한 평수기나 갈수기에 직접 코아를 채취하거나 물리탐사 기법들을 사용해 퇴적층의 이력을 분석하여 최대 세굴심을 측정하는 방법이 많이 개발되고 있다. 세굴측정을 위해 사용되는 물리탐사 기법들은 수심측정기(fathometer), 고주파 탄성파탐사, GPR등이 널리 이용되고 있으며(Crumrine, 1991), 국내에서는 수심측정기가 주로 사용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 방법 중 GPR을 이용해 세굴심을 측정하는 방법을 소개하고자 한다.

## 2. GPR의 기본원리

지하레이다(Ground Penetrating Radar 혹은 Ground Probing Radar; GPR)탐사법이란 고주파 대역(수십 MHz~수 GHz)의 전자파인 레이더파(Radar Wave)를 지표에서 송신안테나를 통해 지

---

\* 명지대학교 공과대학 토목공학과 조교수

\*\* 명지대학교 공과대학 토목공학과 부교수

\*\*\* 동부기술단 지반연구실 선임연구원

하로 방사시킨 후 지표하부의 지층경계, 파쇄대(Fracture Zone), 공동(Cavity), 매설관(Buried Pipe) 등과 같은 지하의 불균질층으로부터 반사된 반사파를 수신안테나를 통해 기록하고 기록된 수신파형을 처리, 분석하여 지하 하부의 상태에 대한 정보를 얻는 물리탐사기법중의 하나이다.

지하레이다 탐사법은 이용하는 송신원의 성격으로 볼 때는 전자탐사의 범주에 들지만 고주파 대역의 전자파는 파의 거동 송. 수신파형의 형태가 석유나 천연가스등 지하 자원탐사에서 널리 사용되는 탄성파(Seismic Wave)와 유사하기 때문에 탄성파신호의 자료처리(Data Processing)단계에서 사용되는 일반적인 처리 기법을 이용하여 탐사결과를 개선시킬 수 있으며(설운지 등, 1995), 타 물리탐사법에 비해 상대적으로 고주파대역을 이용하므로 뛰어난 분해능을 보인다. 또한 이 방법은 비파괴적인 방법(Non-Destructive Method)으로 지하에 대한 각종 유익한 정보를 얻을 수 있으며 기존의 물리탐사법에 비해 장비의 운용과 자료수집 및 처리가 비교적 간단하고 결과자료의 정밀도와 해상도가 뛰어나다는 장점이 있다.

전자파의 일종인 레이더(Radar)는 원래 1940년대 이후 미국에서 적의 비행기나 군함 등의 탐지를 위해 군사적 분야에서 처음 사용되었고 현재는 군사용뿐만 아니라 항공분야를 비롯해 여러 상업적 용도로 광범위하게 사용되고 있는데 이러한 레이더를 지상이 아닌 지하에 적용시켜 지하의 대상을 탐지하는 것을 지하레이다 탐사법(변중무, 1993)이라고 한다. 일반적으로 알고있는 지상 레이더의 원리는 송신안테나에서 파가 방사된 후 공기중의 반사체에 반사되어 수신안테나를 통해 기록되는 수신파의 주시(走時 : travel time)로부터 반사체의 거리, 방향과 같은 정보를 파악하게 된다.

지하레이다의 기본원리는 지상레이다와 같지만, 지상레이다는 파의 전달 매질이 균질한 공기이고 탐지목적이 단순히 탐지대상의 위치파악에 목적을 두고 있는 반면 지하레이다에서는 전달 매질이 불균질하기 때문에 신호와 잡음의 구별을 위한 매우 정밀한 자료처리 및 해석기법이 필요하고 탐사목적도 단순히 대상물의 위치를 파악하는 것 뿐만 아니라 연속적인 탐사를 통해 지하단면의 영상을 획득하는데 있다.

Fig.1은 반사법에 의한 지하레이다의 탐사원리를 송수신되는 파선(ray)으로 간략하게 나타낸 것으로서 S는 송수신기간의 거리이고,  $\Delta x$ 는 송수신기의 이동거리를 의미한다.

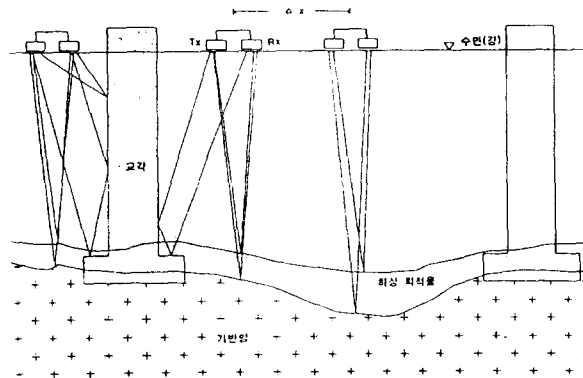


Fig.1 지하레이다 탐사 원리

### 3. GPR탐사를 이용한 교량세굴조사

본 조사의 목적은 GPR의 적용성 검증 차원에서 이루어졌으며 사용된 방법은 수심측정기(echo sound)와 GPR을 병행하여 탐사를 수행하였다. 국내에서는 각 방법들의 장단점 비교를 위해 복합 탐사를 시도한 적은 없으며 GPR를 이용한 하상조사도 본 조사가 최초인 것으로 안다.

측정은 영동고속도로상의 남한강교를 대상으로 2차에 걸쳐 실시하였다. 조사방법은 모터 보우트를 이용한 연속탐사(continuous mode) 방법과 기준선에 의한 단속탐사(step mode) 방법을 병행하였다. 연속탐사는 횡단측정에만 적용하였으며 단속탐사는 횡단측정 및 교각주변 회전탐사에 적용하였다. 1차탐사는 100MHz 안테나를 이용하여 단속탐사만을 실시하였다. 2차탐사는 1차탐사 후 4개월 뒤에 실시하였으며 echo sound를 이용한 수심측정과 GPR탐사를 병행 하였다. 2차탐사시에는 1차때와는 달리 연속탐사와 단속탐사를 모두 실시하였으며, 안테나도 200MHz와 100MHz의 두 종류를 사용해 결과를 비교하여 보았다.

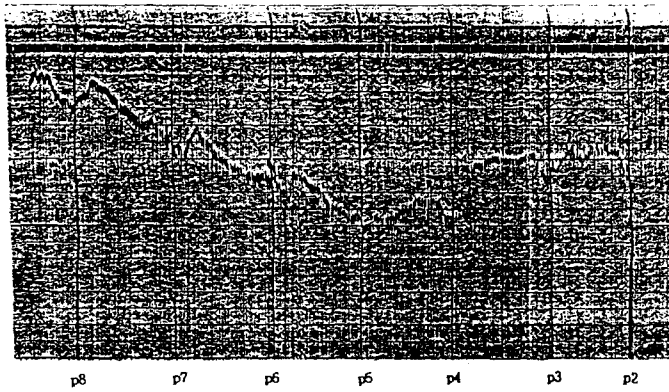


Fig.2 교각 상류 횡단 수심측정 결과

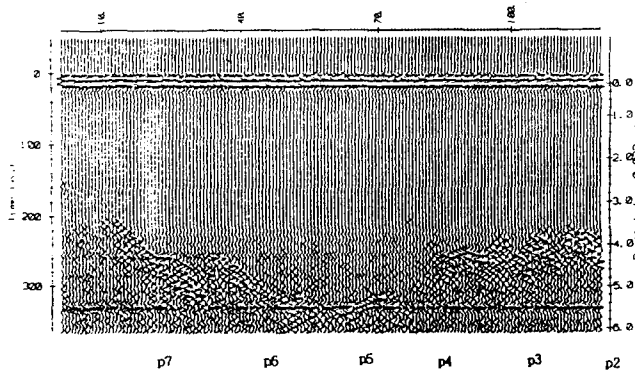


Fig.3 교각 상류에서 획득된 GPR 연속탐사 결과(200MHz)

Fig.2는 교량을 중심으로 3m 상류 쪽에서 2차 탐사시 측정된 수심측정 결과로 2m~6m의 수심 변화를 보이고 있으며, 교각 4번 상부 위치에서 수심이 2m 정도 크게 변하는 것이외에는 평이

한 구조를 보인다. 이와 비슷한 위치에서 200MHz에 의한 연속탐사를 실시한 결과는 Fig.3과 같으며, 탐사의 시작점은 7번 교각 위치와 일치된다. 전체적인 양상이나 수심은 수심측정 결과와의 일치되며 수심측정 결과에서는 볼 수 없는 하상하부의 반사신호를 가진다. 그러나, 연속측정 시 보우트의 속도로 인하여 측정간격이 75cm정도로 매우 넓고, stacking 횟수도 32로 작아 하상하부의 정보를 추출하기는 힘들 것으로 판단된다. 따라서, 하상하부의 정밀해석을 위해서는 측정에 있어 번거로움은 있으나 기준선에 의한 단속측정이 필요하다고 판단된다.

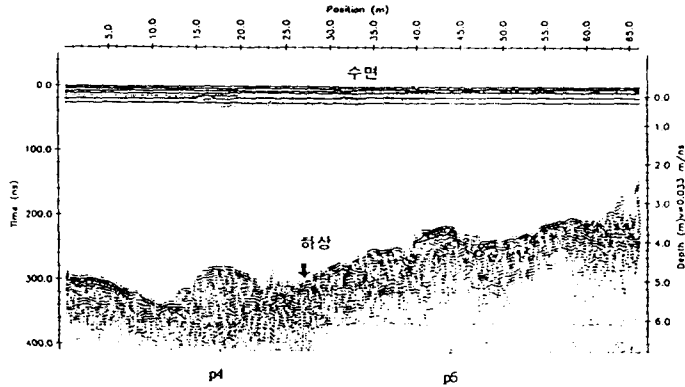
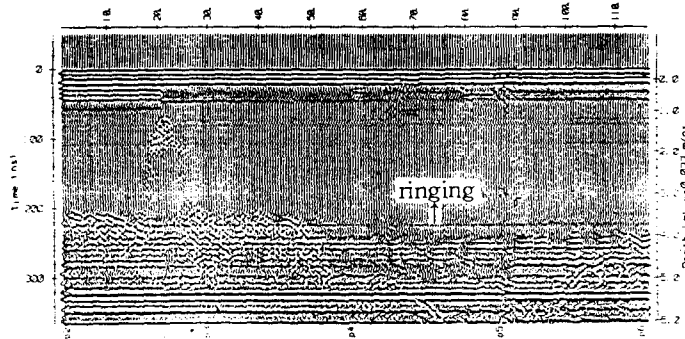
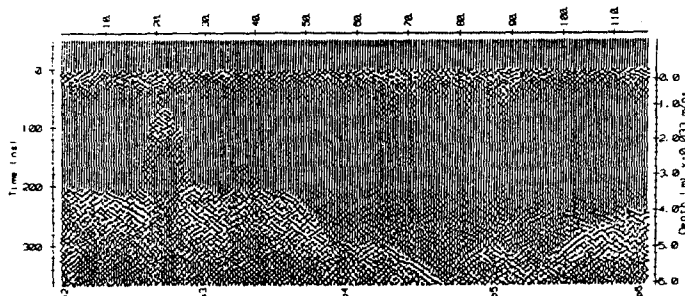


Fig.4 1차 탐사에서 획득된 GPR 단속탐사 결과(200MHz)



(a) 대역통과 필터 적용결과



(b) 수평성분 제거후 결과

Fig.5 2차 탐사에서 획득된 GPR 단속탐사 결과(200MHz)

Fig.4는 1차 탐사시기인 동절기에 비교적 수심이 얇은 시기에 행해진 단속탐사 결과로 탐사선은 교각에 가장 근접하게 설정되었다. 전체적인 양상은 교각 4번에서 수심이 5m로 제일 깊으며 좌우로 갈수록 얕아지는 경향을 보이고 있고, 기반암으로 판단되는 신호는 구분하기 힘들으나 하상 하부에 일관된 반사신호는 확인할 수 있다.

2차 단속탐사 결과는 Fig.5 및 Fig.6과 같다. Fig.5는 200MHz 안테나를 사용한 결과이며, Fig.6은 100MHz의 안테나를 사용한 결과이다. Fig.5(a)는 수신신호에 대역통과 필터 등 기본 자료 처리만을 적용한 결과로 Fig.4와는 달리 수평반사신호(ringing)가 강하게 나타나 있다. 이러한 ringing 현상이 강하게 일어나는 이유를 정확하게 제시하기는 힘들지만 안테나와 수면과의 coupling이 잘 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 따라서, 하상하부 정보의 추출을 위해 인위적으로 수평성분을 제거한 결과가 Fig.5(b)이다.

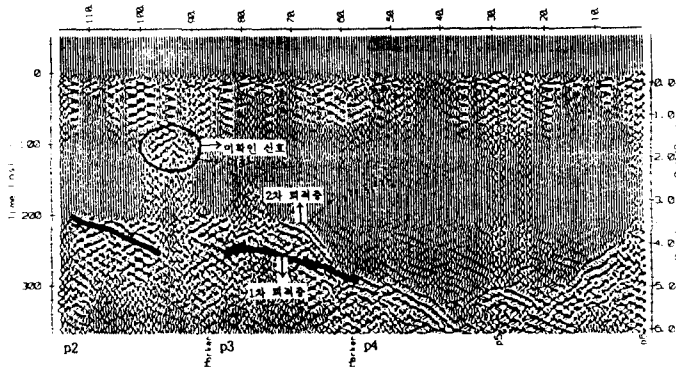


Fig.6 2차 탐사에서 획득된 GPR 단속탐사 결과(100MHz)

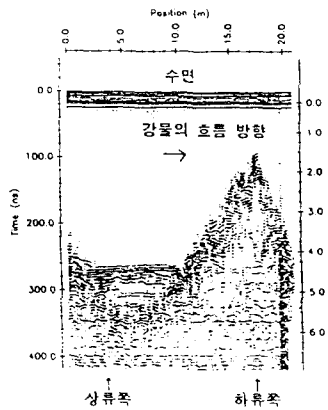


Fig.7 교각 4번의 원주방향으로 획득된 GPR 단속탐사결과(200MHz)

Fig.6은 100MHz 안테나를 사용하여 얻은 결과를 Fig.5(b)와 같이 수평성분을 제거한 것으로 200MHz의 결과와 전반적으로 동일하나 200MHz 안테나에 비해 100MHz 안테나의 결과가 양호한 것으로 판단된다. 교각 상류 3m에서 실시된 연속탐사의 결과(Fig.3)와는 50cm 이상의 심도 차를 보이고 있고, 또 1차 탐사 결과(Fig.4)와는 전혀 다른 하상면을 가지고 있는 것으로 판단된다. 즉,

교각 4번을 중심으로 교각 2번 방향으로 퇴적물이 높이 쌓여있고 교각 5번과 6번 사이는 1차 때보다 1m 정도 파인 것으로 판단된다.

교각 주변부의 하상탐사를 위해 교각을 중심으로 회전하여 탐사를 수행한 결과는 Fig.7과 같다. Fig.7은 1차 탐사시에 4번 교각에서 원주 방향으로 행해진 탐사결과로서 퇴적시기가 다른 두 개의 층을 확인 할 수 있었다. 위에 토적된 것은 좀 더 정밀한 분석을 해 봐야 정확한 결과를 알 수 있겠지만, 홍수시 세굴된 후에 퇴적으로 인해 형성된 것으로 판단된다. 윗 층이 퇴적으로 형성된 층이라면 실제로는 단순히 수심측정만으로 측정된 것보다 약 1m 더 세굴되었다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 GPR의 하상탐사 적용성을 검증할 목적에서 수행된 것으로 수심측량자료와의 비교 검토에 의해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수심의 측정은 물이라는 균질 매질의 영향으로 GPR과 수심측량기에서 거의 동일한 결과를 얻을 수 있다.
- 2) 1차에 비해 2차의 탐사의 결과에서 ringing의 양상이 강해진 이유는 안테나와 수면과의 coupling이 1차에 비해 나빠진 결과로, 이는 공기 주입 고무 보우트에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서, GPR 탐사에 의한 세굴조사에서는 전기전도도가 없으며, coupling의 조건이 좋은 배의 선택도 자료의 질 향상에 중요하다.
- 3) GPR 탐사에서 일반적으로 사용되는 연속탐사와 단속탐사 중 세굴조사에서는 단속탐사가, 측정간격을 작게 유지할 수 있으며 교각에 좀 더 근접하여 탐사할 수 있으므로, 유리하다고 판단된다.
- 4) GPR 탐사에서는 하상 하부의 반사신호를 획득할 수 있으며 이로 부터 퇴적층의 구조를 파악하여 홍수시 발생한 최대 세굴심을 구할 수 있다.

#### 참고문헌

1. 변중무 (1993), 시추공데이터 탐사자료의 자료처리에 관한연구, 서울대학교 석사학위논문
2. 설운지, 서정희, 김학수 (1995), 지오레이다의 송신파형 및 모형반응 계산에 관한 연구, 자원공학회, Vol. 32, No. 3
3. Crumrine, M. D. (1989), Results of a reconnaissance bridge-scour study at selected sites in oregon using surface-geopisical methods, USGS
4. Miller, A. J., Jhonson, d. and steinhart, R. (1992), Bridge scour prediction methods applicable to streams in Pennsylvania, Enviromental Resources Research InSTITUTE, The Pensylvania state University.