

# GPR을 이용한 교각 주변의 국부세굴과 단기 하상변화 추정

박인찬<sup>1)</sup> · 이상국<sup>2)</sup> · 조원철<sup>3)</sup> · 이종국<sup>4)</sup>

## 1. 서론

GPR 탐사법은 다른 물리탐사방법과 마찬가지로 시간과 경제적인 면 그리고 사용의 간편성 등에서 많은 장점을 보유하고 있기 때문에 그 적용분야가 점차 확산되고 있는 추세이다. Beres and Haeni(1991)는 미국 내의 세굴현상이 많이 발생하는 6개의 교각에 대해서 80 ~ 300 MHz의 안테나를 활용하여 흐름에 따른 하상 변화와 하상의 형상에 따른 GPR 자료의 형태 등을 파악하였다. Forde(1999)는 영국에서 교량 교각 주변의 퇴매움, 세굴 현상을 파악하여 하상의 지질학적 구조를 파악하였고, Joseph R. Olimpio(2000)는 GPR을 이용하여 New Hampshire의 7개 교량에서 1996 ~ 1998년 사이에 발생한 세굴 현상을 분석하였다. 현재 국내 GPR 관련 탐사기술 수준은 일부 대학과 기업에서 장비를 도입하여 연구를 수행하는 정도이며 외국에 비해 미진한 상태이나 특히 세굴과 하상 변화의 특성을 파악하기 위한 연구는 타 분야에 비해서 전무한 상태라고 할 수 있다. 본 연구에서는 국내에서 적용된 100 MHz와 비교적 해상도가 큰 400 MHz 안테나를 새롭게 적용한 GPR 시스템을 도입하여 홍수가 발생하기 전·후에 각각 교각 주변에 하상 조사를 실시하여 홍수량에 따른 하상의 변화 양상을 파악함으로써 기왕의 방법 등에서 측정하기 어려운 홍수 후의 퇴매움(infilled scour hole)현상이나 국부 세굴심의 평가를 가능하게 하여 교각 주위의 세굴 현상을 정확하게 파악하는데 큰 도움을 줄 수 있게 된다. 이와 같은 특성을 활용하여 본 연구에서는 천호대교 ~ 토평동 강변도로 연결구간의 교각 우물통 기초를 대상으로 GPR 탐사를 실시하여 홍수기 전·후의 하상 변화 양상을 파악하여 세굴 가능성 및 하상 변화 양상을 분석하였다. 이를 통해 GPR 탐사 분야 중에서도 하천 탐사 분석에 기여도가 클 것으로 판단된다.

## 2. 하상 탐사를 위한 GPR 시스템

GPR 시스템은 넓은 대역폭 전자파 에너지의 짧은 펄스 신호를 송신 안테나로부터 방사시켜 전자기적 물성이 다른 매질에 의해 발생하는 반사, 회절, 감쇠, 분산 등의 파동현상을 수신하여 지질 구조 및 성질에 대한 정보를 제공하기 위해서 개발되었다. 송신안테나(Transmitter)로부터 방출된 전자기파가 공간상의 목표물에 반사되어 되돌아오는 파의 속도와 파장을 수신안테나(Receiver)가 탐지함으로써 그 물체의 위치 및 성질 등을 파악할 수 있게된다. 전자파는 매질 특성이 달라지는 경계면에서 반사되거나 투과하게 되는데, 매질의 특성을 결정짓는 중요한 요소가 유전율(dielectric permittivity)과 전기전도도(electrical conductivity)이다. 매질의 유전율과 전기전도도에 따라서 전자기파가 매질을 통과할 때 전자기파의 전파속도, 파장이 달라지게 되며, 반사특성은 두 매질간 유전상수차에 의존하게 된다. 그러므로 유전상수와 전자기파의 매질 통과 시간을 알 수 있다면 매질층의 두께 및 위치를 파악할 수 있고, 두 매질간 경계면, 심도, 위치, 규모 등을 밝혀 낼 수 있다. 물과 하상 퇴적물을 통과하는 전자기파의 전파를 지배하는 전기적 성질인 전기전도도와 유전상수는 각각의 매질 특성에 결정된다(Forde 등, 1999). 전기전도도는 파의 감쇠에 가장 큰 영향을 주는 요소이다. 하상 퇴적물의 전기전도도에 따라서 전자파의 투과 심도가 결정이 된다. 전기전도도가 크면 클수록 감쇠는 더욱더 많이 발생하고 투과할 수 있는 깊이는 감소하게 된다. 송신안테나로부터 방사되는 에너지 또한 투과 가능 깊이의 중요한 인자이다. 저주파 안테나의 경우 방출되는 에너지가 고주파에 비해서 상대적으로 크기 때문에 투과할 수 있는 깊이가 고주파안테나에 비해서 크다. 그러나 안테나의 투과 가능 심도가 깊어 질 경우 해상도는 낮아지는 단점이 있다.

1) 정회원, 연세대학교 대학원 토목공학과

icpark@yonsei.ac.kr

2) 정회원, (주)DATAPCS

skyi75@hotmail.com

3) 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수

4) 정회원, (주)DATAPCS 대표이사

### 3. GPR 자료의 획득과 계측 장비

본 연구는 천호대교 ~ 토평동 강변도로 연결구간에 시공된 교각 중에서 하행선 교각 27번에서 시작하여 하행선 교각 3번까지 약 1 km 구간에 대하여 유수의 흐름방향으로 교각 우물통 기초 우측에서 약 1 m 가량 떨어질 거리에서 계측을 수행하였다. 하행선 27번 교각에서 18번 교각까지의 구간거리는 50 m, 18번 교각의 우물통 기초에서 3번 교각의 우물통 기초 구간거리는 25 m를 기준으로 하였다. 탐사지점 및 계측선과 경로는 <그림 1>과 같으며, 유수의 흐름이 비 이상적으로 발생하거나, 수층현상이 크게 발생할 가능성이 있는 구간에 대해서 DATAPCS의 초음파 교량 세굴 측정 센서 및 압력식 수위계, 도플러 효과를 이용하여 유속을 계측할 수 있는 초음파유속계(Argonaut-SL)를 설치하여 실시간 수리량을 검토하였다.

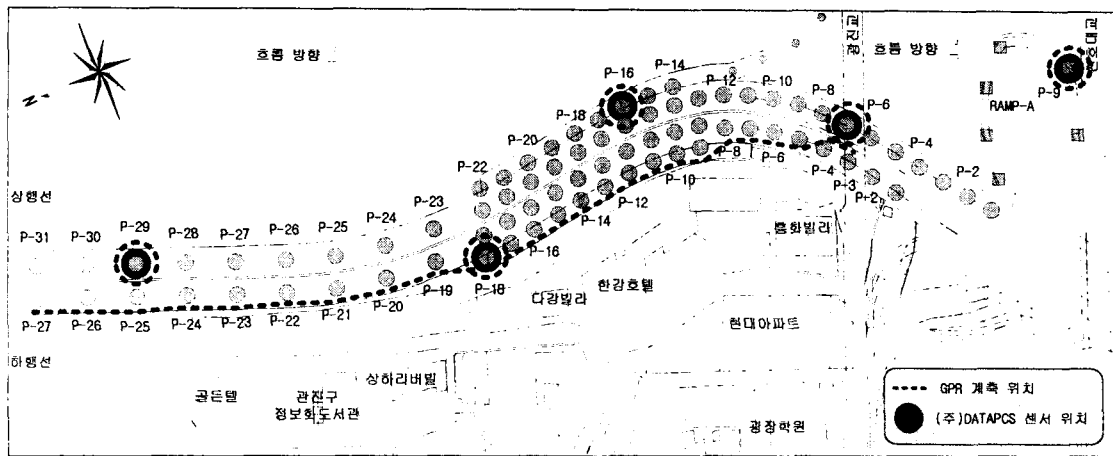


그림 1. GPR 탐사 위치

사용된 GPR 계측 장비는 GSSI(Geophysical Survey Systems, Inc.)에서 제작한 SIR-2000(Subsurface Interface Radar-2000) 시스템이다. GSSI에서 제작된 다양한 안테나 중에서 본 연구에서는 100 MHz 안테나와 400 MHz 안테나를 이용하였으며, 이들 안테나를 이용하여 대상구간에 대해 예비적 작업을 수행한 결과 일부구간(최대수심 7 ~ 9 m)의 하상을 탐측하지 못함을 발견하였다. 이와같은 결과와 해상도가 높은 하상의 자료를 취득하기 위해서는 될 수 있는 한 고주파 안테나를 사용하는 것이 바람직하다고 판단하여, 일부구간(비교적 얇은 수심)에서는 100 MHz 안테나를 사용하였고, 대부분의 구간에 대해서는 400 MHz 안테나를 활용하여 탐사하였다. 400 MHz 안테나의 심도는 일반적으로 100 MHz보다 낮을 수밖에 없으므로 가능한 하상과 가까운 거리에서 이미지를 얻기 위해 안테나를 수중에 넣어 사용할 수 있는 장비를 이용하였다.

### 4. 탐사 결과 및 자료 처리

전 구간의 결과 해석을 위해서 GSSI가 개발한 Window RADAN NT 3 (1998)을 이용해서 후처리를 수행하였으며, 수행된 데이터 처리 방법은 저진폭의 신호를 증폭시키고 고진폭의 신호를 감쇠시켜서 신호들을 일정 범위 이내에 포함시키는 과정으로서 이득 조정(gain control), 고주파 및 저주파의 잡음(noise)을 제거하기 위하여 특정 대역의 주파수만을 통과시키는 필터링(filtering), 신호의 분해능을 향상시키고 다중 반사파(multiple reflection)를 제거하기 위한 과정인 디콘볼루션(deconvolution), 전자파의 속도, 거리, 시간과의 상호관계를 이용하여 왕복주기를 수면 아래의 심도로 변환하게되는 심도보정(depth conversion), 측정점 사이의 자료를 수평적으로 보간(interpolation)하면 단면을 구성하는 트레이스가 증가되어 부드러운 단면도를 얻을 수 있는 수평 스케일링(horizontal scaling)을 수행하였다. 다양한 자료 처리과정을 거친 후의 결과가 <그림 2>와 같다. Beres and Haeni (1991)가 수행한 GPR 결과에 따른 하상 해석 연구 결과, 시공 초기에 실시된 지질 주상도, 그리고 현장 조사에 의해 얻어진 표본 조사를 바탕으로 물과 하상 매질에서 계측된 파의 신호 양상을 이해하는데 기초 자료로 활용하였다. 기본적으로 Beres and Haeni (1991)에 따르면 “무질서한 반사 형태(chaotic reflection configuration)”와 “반사가 자유로운 형태(reflection free configuration)”의 범주에 속한

단단한 점토(till) 혹은 굵은 호박돌(massive boulder)의 형태와 비슷한 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 이는 사전에 현장 조사와 하상 샘플링 결과와 비교해 볼 때 전 구간에 대해서 호박돌(교각의 우물통 기초 보호공)의 경향을 보이는 것과 비슷한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 일부구간[凹]의 경우 모래(sand)나 미사(silt)의 경향으로 보이는 것도 확인할 수 있다. 그러나 전체 구간에 대해서 되메움 현상이나 심각한 세굴의 영향을 받는 구간은 없었다. 이는 우물통 기초 시공 이후에 홍수에 의한 영향이 미비하였고, 세굴의 영향을 많이 받을 수 있는 점토나 모래가 아닌 쇄석으로 우물통 주변을 보호하였기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

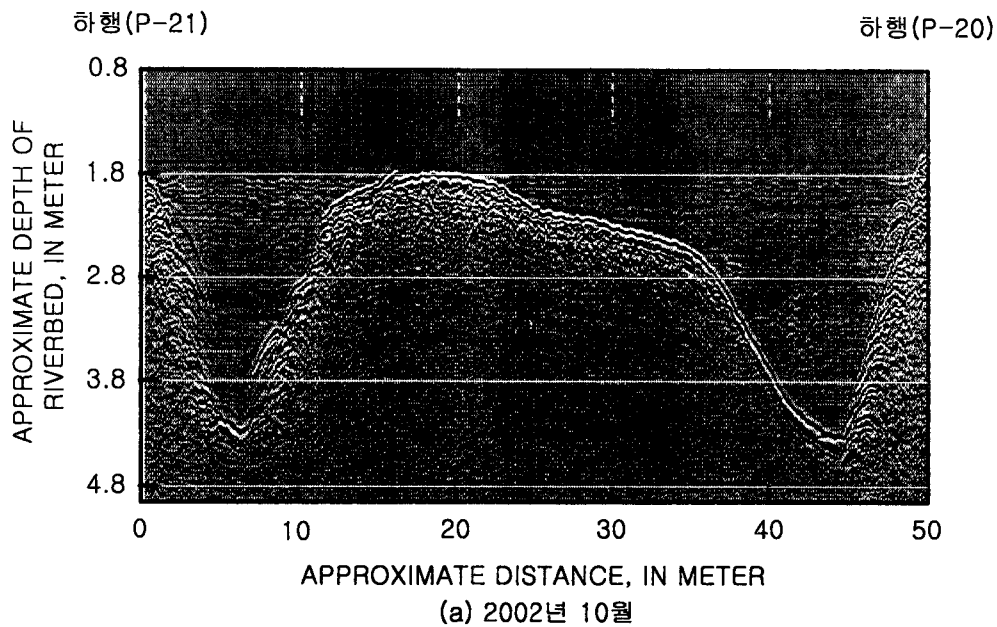
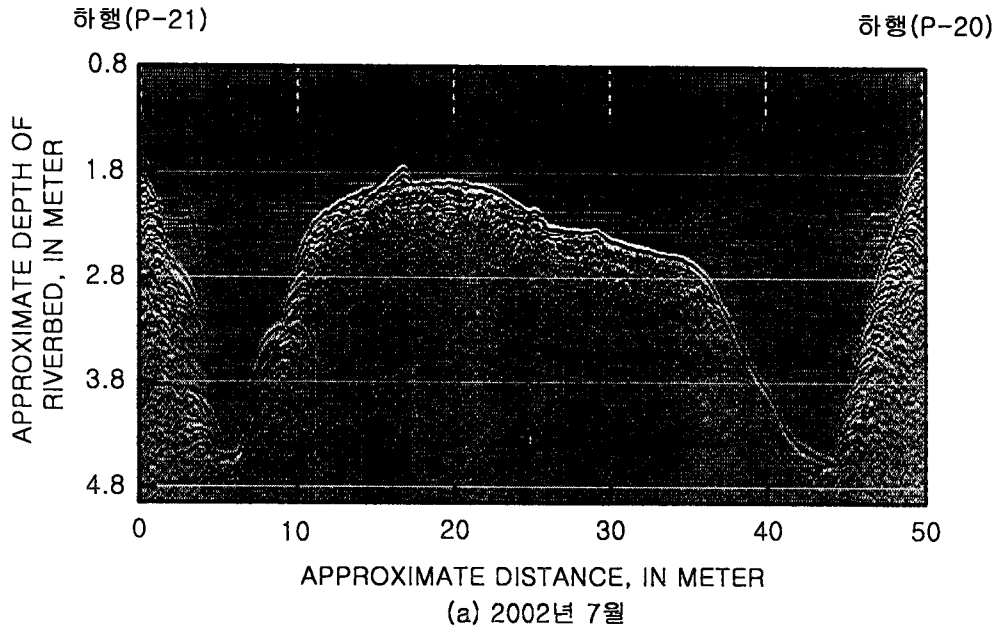
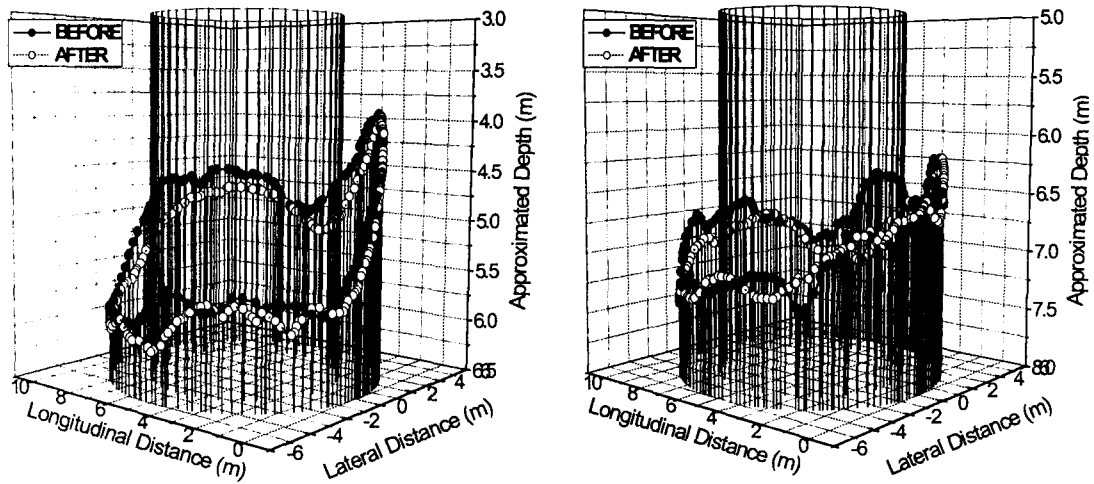


그림 2. 하행선 교각 21번과 교각 20번 사이의 홍수 전후의 GPR 탐사결과

<그림 3>은 상·하행선 교각 우물통 기초 주변에서 조사된 결과를 바탕으로 도시한 결과 나타내고 있다.

하행선 교각 사이의 하상 변화 양상과 비슷하게 교각 주변의 유수에 의한 영향이 두드러지게 나타나는 지점은 발견할 수가 없다. 전반적으로 7월과 10월의 하상 변화는 수십 cm 미만의 차이를 보이고 있음을 확인하였다. 이는 GPR 시스템의 탐사 오차를 고려할 경우 미소한 변화라고 판단된다. 이상과 같이 조사 구간의 하상은 교각 우물통 주변의 굽은 쇄석의 영향으로 변화가 크게 일어나지 않고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 GPR은 심도에 대한 하상 측선에 관한 정보를 제공하는 데 그치고 있으므로, 관측선 밖의 주변 하상 변화는 예측하기는 어려운 부분이 있다.



(a) 상행선 PIER 7

(b) 상행선 PIER 16

그림 3. 홍수 전후의 우물통 기초 주변의 하상 변화

## 5. 결론

본 연구에서는 천호대교 ~ 토평동 강변도로 연결구간 내 교각의 우물통 기초 주변의 하상변화와 세굴 현상을 파악하기 위한 심도추정 심도에 따른 하상 매질의 변화 추정 방법으로 GPR 탐사기법을 사용하였다. 수집된 자료를 다양한 보정 과정과 처리 과정을 실행하였으며, 각각의 구간에 대해서 7월과 10월에 관측된 두 개의 자료를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 대상 구간에 대해서 퇴매움이나 퇴적층의 변화 양상이 나타나지 않았다. 이는 대상구간의 교각이 시공된 후 홍수로 인한 영향을 받지 않았기 때문이라고 판단되어지며, 지속적인 GPR 탐사를 수행하게 될 경우 교각 주변 하상의 퇴적구조 파악이 가능하게 되고, 구간 내의 홍수량에 의한 최대 세굴심 예측을 용이하게 할 수 있을 것이다.
2. GPR 탐사를 활용하여 교각 주변의 세굴과 퇴매움 현상을 조사하는 방법은 기왕의 다양한 탐사에 비해 간편하고 효과적인 자료를 제공해 줄 수 있을 것이며, 지속적으로 교각 주변에 대해 GPR 탐사를 실시함으로써 교각의 세굴에 의한 안전도 문제를 해결하는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 6. 참고문헌

1. Beres, M., and Haeni, F. P. (1991). "Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies.", *Ground water*, 29(3), 375-386.
2. Davis, J. L., and Annan, A. P. (1989). "Ground-Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy", *Geophysical. Prospecting.*, V.37, pp. 531- 551.
3. Geophysical Survey Systems Inc. (1998). "RADAN for windows NT version 3.0 User's Manual".
4. Forde, M. C., McCann, D. M., Clark, M. R., Broughton, K. j., Fenning, P. J., and Brown, A. (1999). "Radar Measurement of Bridge Scour", *NDT&E International* 32, 481-492, Elsevier.