

# GPR과 GPS를 이용한 하상지반조사

손강희<sup>\*1</sup>, 최진수<sup>\*2</sup>

## 1. 서론

음파를 이용한 수심측정 장비를 사용하여 수심을 손쉽게 구할 수 있으나 12KHz 내외의 주파수를 사용하는 이들 장비로는 침투력의 한계로 인하여 하상 퇴적층을 조사하기는 어려우며, 3.5KHz 내외의 주파수를 사용하여 해저면 하부 천부퇴적층을 조사하는 SBP(Sea Bottom Profiler)는 장비의 규모가 커서 중소 규모의 하천퇴적물을 조사하기에는 적절하지 않다.

본 고는 과학기술부에서 시행한 21세기 프론티어 연구개발사업 '수자원의 지속적 확보기술개발사업'의 일환으로 개발된, 지반탐사레이다(GPR)와 위성위치정보시스템(GPS)을 이용하여 하상퇴적물을 효율적으로 조사할 수 있는 시스템을 소개하며, 개발된 조사시스템을 사용하여 남한강 지류인 섬강 유역에서 취득한 현장자료에 대해 퇴적층 분석단면도, 하상지형도 및 퇴적물분포도 작성을 통하여 하상지반조사 결과를 보여준다.

## 2. 조사 시스템 구성

### 2.1 GPR

GPR은 전자파를 지표면이나 수면의 표면으로부터

터 입사시킨 후, 연속적으로 매질 경계면에서 반사되어 되돌아오는 파를 수신하는데, 전자파는 매질 특성이 달라지는 경계면에서 그 일부가 반사되고 나머지는 다음 매질 층을 투과하여 계속 진행한다. 이 전자파의 전파속도, 파장은 전자파가 통과하는 각 매질의 특성(유전상수)에 따라 달라지고, 반사특성은 두 매질 간 유전상수 차에 의존한다. 그러므로 매질의 특성과 전자파가 매질을 통과한 시간을 알 수 있다면 매질 층의 두께, 형상 등을 파악할 수 있다. 그림 1은 하상조사의 기본적인 개념을 보여준다.

GPR 시스템으로는 라트비아 Radar Systems사에 의해 제작된 Zond 12c를 사용하였다. 시스템은 송수신 신호를 발생/수신하는 본체와, 자료를 취득/저장하는 소프트웨어인 Prism이 내장된 노트북 컴퓨터, 송수신 센서인 안테나로 구성되어 있다.

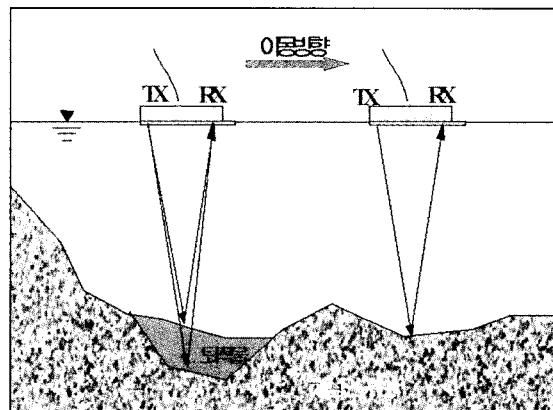


그림 1. 하상탐사 개념도

<sup>\*1</sup> 특별회원사, 지오글로버스(주) 대표이사

<sup>\*2</sup> 특별회원사, 지오글로버스(주) 특수계측팀장

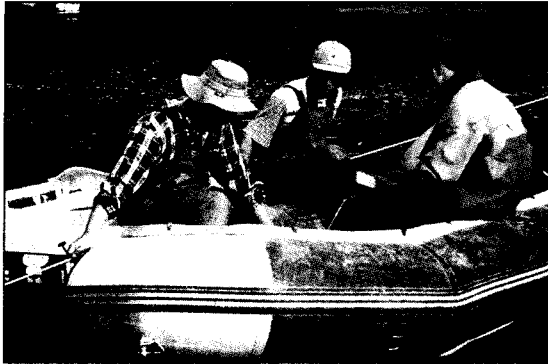


그림 2. 현장 자료취득 장면

## 2.2 GPS

미국 Trimble 사의 제품인 Pathfinder ProXR 시스템을 사용하였다. GPS 및 비콘(Beacon) 일체형 수신기 및 안테나로 구성되어 있으며, 실 시각 오차 보정을 통하여 수평거리 50cm의 정확도를 갖는다.

그림 2는 개발된 조사시스템에 의한 현장 자료취득 장면을 보여준다.

## 2.3 소프트웨어

### 2.3.1 반자동 반사면 추출

GPR 단면도를 얻기 위해서는 측점을 수평방향으로 연속적으로 이동하며 자료를 취득하여, 수평거리를 나타내는 수평축과, 깊이 또는 시간을 나타내는 수직축에 반사파 강도를 색상으로 표시한다. 하저면이나 기반암층 등 현저한 반사면은 단면도 상에서 일정한 반사강도를 가진 연속된 수평 프로파일로 나타나게 된다. 일정한 반사강도를 가진 연속된 반사면을 확인하여 디지털 파일로 만들어야 하상지형도 및 퇴적물 분포도의 작성이 가능하다.

반자동 반사면 추출 프로그램은, 사용자가 GPR 단면도 상의 한 측점에서 지정한 반사층을 따라, 자

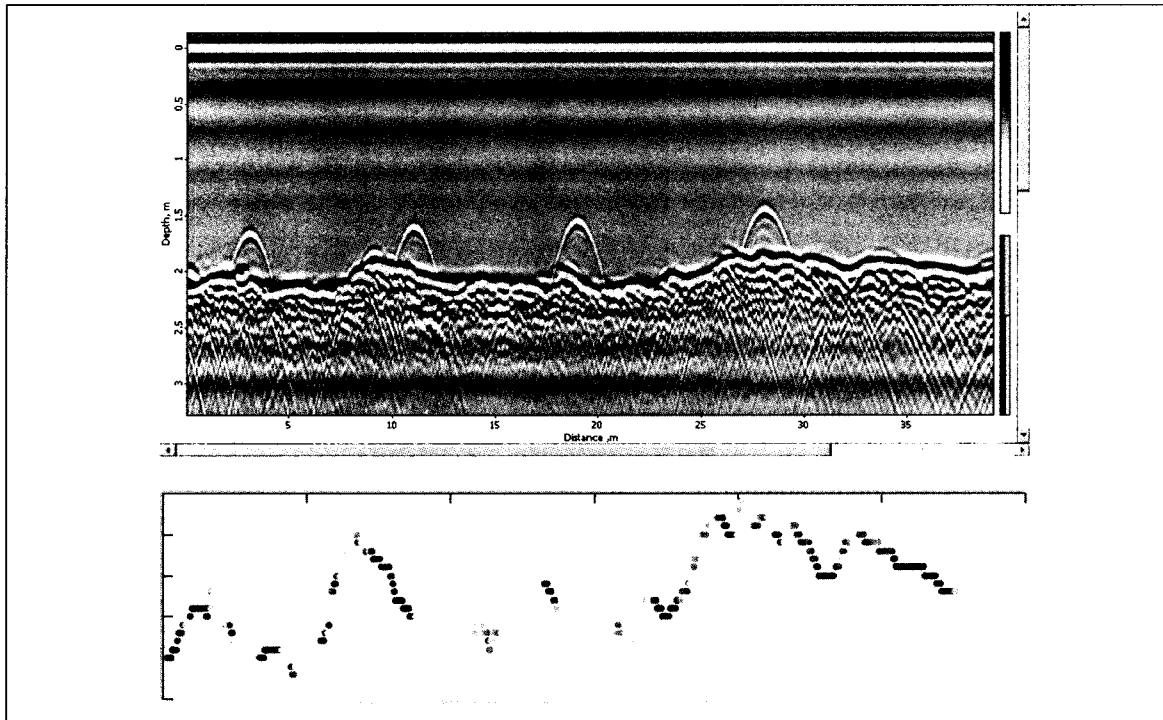


그림 3. 반자동 반사면 추출 예

동으로 수평 프로파일을 생성한다. 반사파가 수평적으로 비연속일 때는, 사용자가 비연속 지점에서 다시 반사 층을 확인해 주어야한다. 이렇게 생성된 디지털 파일은 반사파의 시간과 강도를 포함하기 때문에, 시간으로부터 반사 층까지의 거리를 계산할 수 있고, 강도는 퇴적물의 종류를 유추할 수 있는 단서를 제공한다.

현장에서 취득된 GPR 자료에 대해 하저면을 추출한 예를 예시하였다(그림 3). 하저면은 최초 반사파로 표시되는 곡면인데 이 중 밝은 부분(Peak)은 물과 하상퇴적물의 경계이다. 그림 3은 추출된 하저면 지형을 나타내는 반사파 수평 프로파일이다. 상부 단면도에서 볼 수 있는 하저면의 모양을 재현하며 명암은 반사강도를 표시한다. 프로그램은 포트란 언어로 쓰여졌으며, GPR 단면도 파일을 읽어서 지정된 반사파의 반사시간과 강도를 Ascii 파일로 생성한다.

### 2.3.2 GPS, GPR 데이터의 동시화

1초 간격으로 기록된 GPS 위치정보와 초당 7개를 기록한 GPR 자료를 매 10초 마다 동시에 마크하여 두 종류의 자료를 동시화 하였고, 포트란 프로그램을 통하여 1초 간격(약 30cm)으로 디지털화한다.

### 2.3.3 합성파(Radargram) 작성

송신안테나에서 펄스 형태로 방출된 전자파가 대상매질을 통과하여 수신안테나에 수신되는 파형을 파소(wavelet)라고 하는데, 수신 시그널은 이론적으로 파소와 각 반사경계면에서의 반사계수간의 컨볼루션(convolution)으로 주어진다. 포트란 프로그램을 통하여 합성파를 작성한다.

## 3. 조사 지역

조사는 강원도 원주시 지정면 월송리 월호교 남단 1km 지점 섬강 강상에서 이루어졌다. 섬강은 남한강의 제1지류로 사행이 발달되고 하상 및 하안이 비

교적 자연 상태로 유지되고 있다.

유역은 대보화강암 지역으로 화강암과 약한 변성 작용을 받은 변성암으로 구성되어 있으며, 충적하천 지역으로 하상은 주로 각이 지고 마모가 덜된 화강암 변성암의 각력암들로 구성되어 있다. 곳곳에 모래섬이 발달해 있으며 하폭은 50m~100m, 수심은 1~2m 이내이나, 비가 온 후에는 모래섬이 물에 잠기고 하폭 및 수심에 변화가 생긴다.

## 4. 자료취득

약 1 km 구간에서 50~100m 길이 8개의 횡단면 자료를 취득하였다. GPS를 통한 위치정보는 GPR 안테나와 동시에 이동하면서 취득이 이루어졌다. 그림 4는 측선위치를 보여준다.

모터보트, GPR, GPS 각 운용인원 1인씩 총 3명이 모터보트에 탑승한 후, 미리 준비된 소규모 고무보트에 안테나를 싣고 대상 측선별로 이동하면서 이루어졌다. 수심이 낮아 모터보트의 접근이 어려운 구간에서는 데이터 취득의 최대화를 위하여 소형 고무보트에 안테나와 장비일체를 싣고 걸어서 측정하였다. 탐사안테나 및 탐사심도는 300MHz, 300nsec로 설정하였다. GPR 측정 시작과 함께 1초 간격으로 GPS 위치정보를 취득하였으며, 매 10초 마다 동시에 마크를 하여 두 종류의 자료를 동시화 하였다.

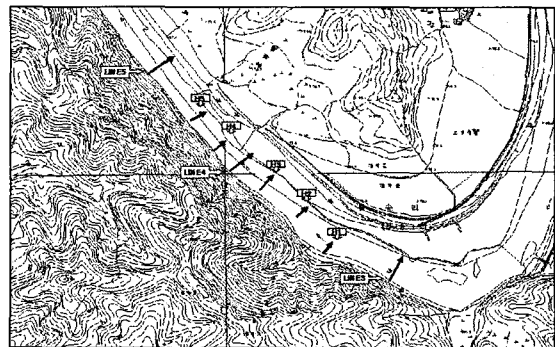


그림 4. 측선 위치 (Line 3-5, H1-H5)



그림 5. 섬강 유역의 각력암

## 5. 자료 분석

### 5.1 단면도 해석 방법

섬강은 남한강의 상류 지류의 하나로 원주시 인근 유역은 대보화강암 지역으로 화강암과 약한 변성작용을 받은 변성암으로 구성되어 있다. 조사대상 구간은 충적하천 지역으로 하상은 주로 각이 지고 마모가 덜된 화강암 변성암의 각력암들로 구성되어 있으며(그림 5), 하폭은 평균 50~100m, 수심은 대부분의 지역이 1m 이내이다. 하상은 주로 각력암으로 구성

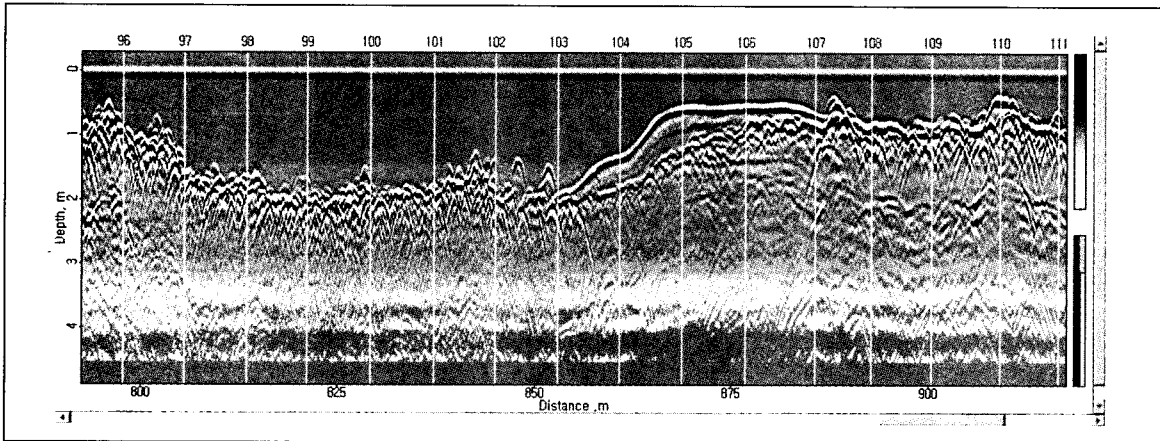


그림 6. 섬강 유역의 대표적 GPR 단면도

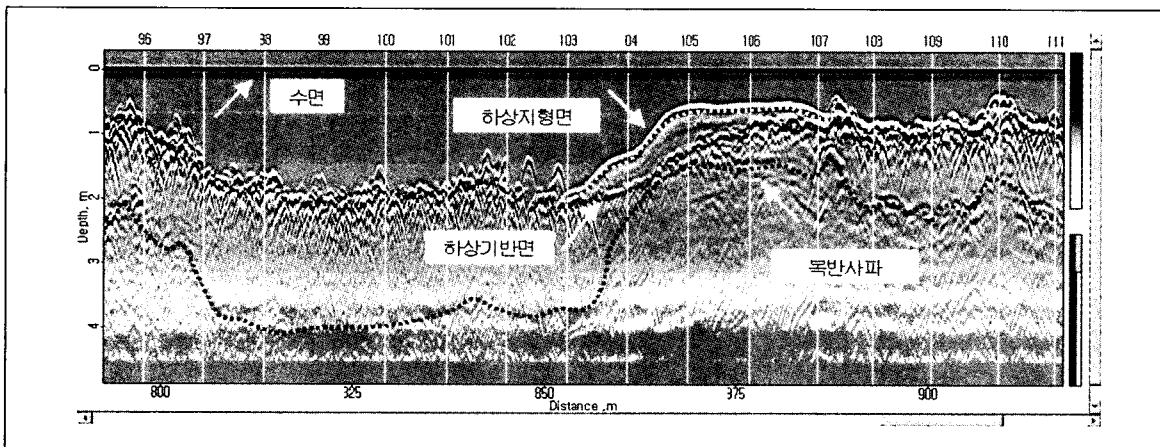


그림 7. 해석 단면도

되어 있으며 곳곳에 모래퇴적지(Point Bar)가 발달해 있다.

그림 6은 원주시 인근 섬강 유역에서의 대표적인 GPR 단면도이다. 상부 깊이 0 지점의 수평선이 수면을 나타내며, 1~2m 사이의 최초 반사파로부터 하상지형을 선명히 볼 수 있다. 하상지형 중 왼쪽부분은 작은 포물선들이 중첩되어 있으며, 중앙부분은 부드러운 곡선, 오른쪽부분은 곡선과 포물선이 혼재되어 있음을 볼 수 있다. 그림 왼쪽부분은 하상이 각력암으로 구성되어 있기 때문에 각각 암석으로부터의 반사파인 포물선이 중첩되어 나타나고 있으며, 그림 중앙부분은 각력암의 하상기반위에 모래가 퇴적되어 있고, 그림 우측부분은 각력암과 모래가 혼재되어 있음을 알 수 있다(Overmeeren, 1998).

그림 7은 상기단면도를 해석한 해석단면도이다. 수면, 하상지형면, 하상기반면, 수면과 하상지형면 사이에 두 번 반사가 일어난 복반사면을 표시하였다. 복반사면은 하상지형면과 같은 형태를 지닌다. 암상의 수평적 구분이 가능하며, 모래퇴적층 하부의 기저암층을 볼 수 있다.

### 5.2 합성파(Radargram) 작성과 퇴적층 분석

송신안테나에서 방출된 전자파는 방사상으로 하부로 진행하다가, 서로 다른 두 매질의 경계면에서 에너지의 일부는 반사되고 나머지는 투과하여 전파를 진행한다. 수신안테나에서는 반사파를 수신하게 되는데, 반사파의 강도는 반사계수에 비례하며, 반사계수는 두 매질의 유전상수의 제곱근의 차이에 비례한다. 식 (1)은 두 매질의 유전상수로부터 반사계수를 계산하는 식이다.

$$R = (\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}) / (\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}) \quad (1)$$

여기서, R은 반사계수,  $\sqrt{\epsilon_1}$  및  $\sqrt{\epsilon_2}$ 는 두 매질의 유전상수이다.

송신안테나에서 펄스 형태로 방출된 전자파가 대상매질을 통과하여 수신안테나에 수신되는 파형을 파소(wavelet)라고 하는데, 수신 시그널은 이론적으로 파소와 각 반사경계면에서의 반사계수간의 컨볼루션(convolution)으로 주어진다(Yilmaz, 1987). 식 (2)는 시그널, 파소, 반사계수간의 관계식을 나타낸다.

$$f(t) = \int_0^\infty R(\tau) \times w(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

여기서, f(t)는 시그널, R은 반사계수열, w는 파소를 나타낸다.

상기 관계식 (1)과 (2)를 이용하여 합성파를 구하고 측정자료와 비교함으로써 정량적인 퇴적층 분석을 할 수 있다. 그림 8은 그림 7의 GPR 단면도 상부에 기록된 마크 104.5 위치에서 작성된 합성파를 보여준다. 그림에서 실선은 측정자료이며, 점선은 합성파, 점선은 반사계수이다. 측정자료와 합성파가 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 표 1은 합성파 작성에서

표 1. 합성파 작성을 통하여 도출된 변수

층	유전상수	두께(cm)
물	81	85
모래(합수)	40	95
지갈, 기반암(합수)	30	-

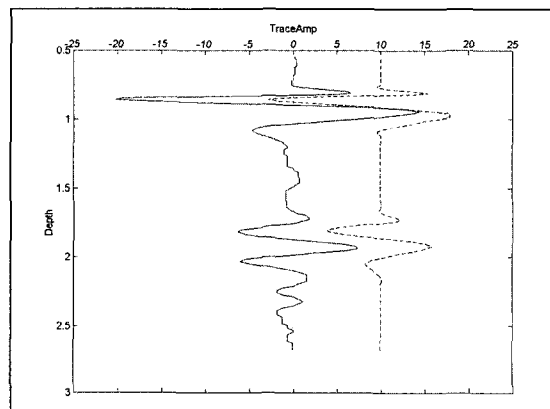


그림 8. 합성파 (실선: 측정자료, 점선: 합성파, 점선: 반사계수)

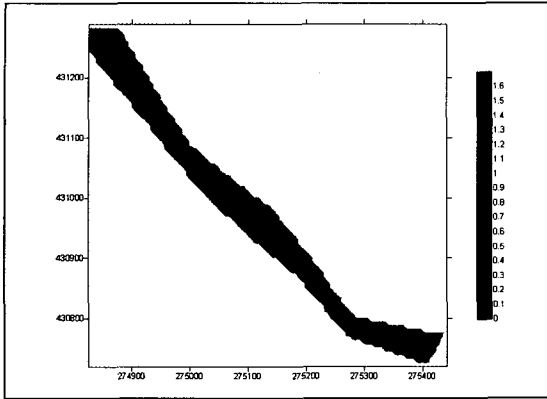


그림 9. 하상지형도

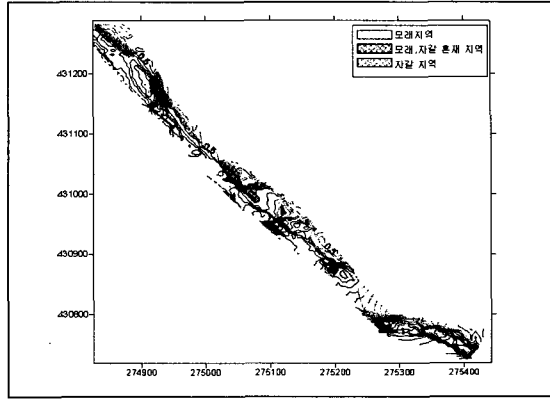


그림 10. 퇴적물 분포도

도출된 변수이다. 측정 지점에서 수심은 85cm, 퇴적된 모래층의 두께는 약 95cm이다.

### 5.3 하상지형도 및 퇴적물분포도

총 8개의 GPR 단면을 이용하여 하상지형도를 작성하였다(그림 9). 그림 10은 5.1절의 자료분석 방법을 이용하여 작성된 하상퇴적물 분포도이다.

강물은 그림의 우하에서 좌상 쪽으로 흐르고 있다. 좌하변이 수심이 깊고 자갈지역이며, 모래퇴적층은 우상변에 발달해 있음을 볼 수 있다. 중간 지역에는 모래와 자갈이 혼재한다.

## 6. 결론

GPR 시스템 Zond 12c와 위성위치정보시스템 ProXR을 결합한 하상지반조사 시스템을 사용하여 원주시 섬강 유역에서 하상조사를 실시하였다. 취득된 GPR 단면도를 분석하여(Radar Stratigraphy) 하상퇴적물의 수평분포를 파악하고 합성과 작성을 통하여 암상의 수직분포를 파악하였으며, 복수의 GPR 단면도를 분석하여 3차원의 하상지형도와 퇴적물분포도를 작성하였다.

이로 인하여, 하상 기반암까지의 깊이를 계산할 수

있으며, 하상에 존재하는 골재의 분포 파악 및 준설 가능한 양을 계산하는 것이 가능하게 되었다.

본 하상조사 시스템은 하상변동연구, 하천지반조사에 의한 하상 교량건설 등 토목분야, 저수지 퇴적물조사에 의한 저수지 기능조사, 건설골재 채취 등의 상업적 용도에 활용될 것이다.

## 7. 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행한 21세기 프론티어 연구개발사업 '수자원의 지속적 확보기술개발사업'의 연구결과입니다.

### 참고문헌

1. Overmeeren R.A. von, 1998, Radar facies of unconsolidated sediments in the Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology: Journal of Applied Geophysics, 40, 1-18
2. Yilmaz O., 1987, Seismic Data Processing: Society of Exploration Geophysicists, Investigation in Geophysics series, v. 2, 498-499