

금강 부여 군수리 충적 대수층 조사를 위한 고해상도 지구물리탐사  
- 탄성파 탐사 및 GPR 조사를 중심으로 -

김형수, 서만철\*, 이철우\*\*, 진세화\*

한국수자원공사 수자원연구소 지질지하수팀, \*공주대학교 지질환경과학과, \*\*충북대학교 지구환경과학과  
e-mail : hskim@kowaco.or.kr

**Abstract** : To delineate the internal structures of alluvial aquifer, high resolution seismic and GPR methods were adopted in Buyeo Gunsu-Ri area. The result of seismic refraction survey shows the water table of the aquifer and the result of seismic reflection reveals the basement and somewhat dominant internal structures of alluvial aquifer. The internal heterogeneity due to variations in channel behavior can be delineated using GPR survey. GPR profiles for the point bar deposits near Buyeo county reveals two different stratigraphic units: the lower inclined heterogeneous strata and the upper horizontally stratified strata. According to the increase of demand for water resource using artificial recharge in alluvium, it is believed that the information acquired by high resolution geophysical methods will have an important roles for the effective and sustainable development and usage of groundwater in alluvial aquifer.

**Key words** : Alluvium, groundwater, artificial recharge, sedimentary structure, near surface, high resolution, seismic method, GPR(ground penetration radar)

1. 서 론

최근 들어 지속 가능한 수자원 확보 노력의 일환으로, 강변 여과 방식, 지하수담 활용 방식, 직접 인공함양 방식 등의 적극적인 충적층 지하수 활용 방안이 대두되고 있다. 이러한 충적 대수층을 활용한 수자원 확보가 성공적이며, 효율적으로 수행되기 위해서는 무엇보다도 충적 대수층 자체에 대한 지질학적 특성의 규명이 필요하며, 이를 위해서는 기본적으로 충적 대수층의 층서퇴적학적 구조, 지구화학적 조성, 충적층 지하수의 화학적 조성 및 충적 대수층 내의 생태적 변화 고찰 등, 다양한 조사와 연구가 요구된다. 충적층에 대한 지구물리학적 기법을 통한 조사 및 연구는 전기 비저항 또는 굴절법 조사 등이 국내외적으로 가장 일반적으로 수행되어 왔으며, 조사의 목적은 주로 기반암의 심도 파악 및 충적층 지하수 부존 여부를 위한 것이었다. 한편 충적 대수층의 정밀한 층서퇴적학적 구조 파악을 위한 고해상도 지구물리 탐사는 외국의 경우 활발히 수행되어 왔으나(Beres and Haeni, 1991; Corbeanu et al, 2001; Fielding et al., 1999; Neal and Roberts, 2001, Steeples et al., 1990) 국내의 경우 아직까지 관련된 조사와 연구가 활발하지 못한 편이다(김형수 등, 1998). 또한 고해상도 탄성파 탐사와 GPR(ground penetrating radar)을 동시에 활용한 충적 대수층의 조사는 국내뿐 아니라 국외에서도 매우 드물지만, 이들 두 가지 탐사 방법의 적절한 조합은 충적층 지하 50 m 이내에 대해 상대적으로 깊은 심도와 낮은 심도에 대한 정보를 모두 획득 할 수 있는 가능성이 높아 앞으로 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구는, 고해상도 탄성파 탐사와 GPR을 활용하여, 충적층의 층서퇴적학적 구조 파악 및 이들 탐사 방법의 충적층 정밀 조사 적용성 여부를 판단하기 위한 목적으로 수행되었다.

## 2. 연구 대상 지역 일반

금강변 부여 군수리 지역의 층적층인 하천둔치 퇴적층은, 사행고리의 단속적인 이동에 의해 형성된 여러 개의 둔치층 구성요소로 구성된다. 현재의 범람원 중간 중간에 남아있는 우각호의 흔적은 사행고리의 이동을 지시하며 이는 범람원에서 하도의 이동이 활발했었음을 가리킨다. 이러한 둔치퇴적층은 일반적으로 하도 퇴적물인 모래가 주를 이루나 하도 주변부의 범람원이나 자연 제방에 집적되는 세립질 퇴적물이 협재한다. 따라서 하천 둔치의 퇴적층은 매우 복잡한 내부 불균질성을 띤다. 이와 같은 불균질성은 퇴적층 내에 포함된 유체의 흐름에 커다란 영향을 미치므로(e.g. Tyler and Finley, 1991), 하성 퇴적암층 내의 유정에서 원유생산 과정을 지배해 왔다. 마찬가지로 이러한 지층 내의 지하수를 이용하거나 강변 여과 방식 취수 등을 위해 하천둔치 퇴적층을 활용하려면 퇴적층내의 수직방향 및 수평방향 비균질성이 밝혀져야 한다. 본 연구는 군수리 지구에서 고해상도 탄성과 및 GPR 조사를 수행하여, 하천둔치 퇴적층을 층서적으로 구별하고 전체적인 비균질성을 파악하고자 하였다.

조사 지역은 행정상 충청남도 부여군 부여읍 군수리 및 왕포리에 해당되는 지역이다. 본 지역은 금강이 부여읍 북쪽의 부소산 서측으로부터 반원형으로 사행하면서 형성한 둔치 층적층 지역이다(그림 1 참조).

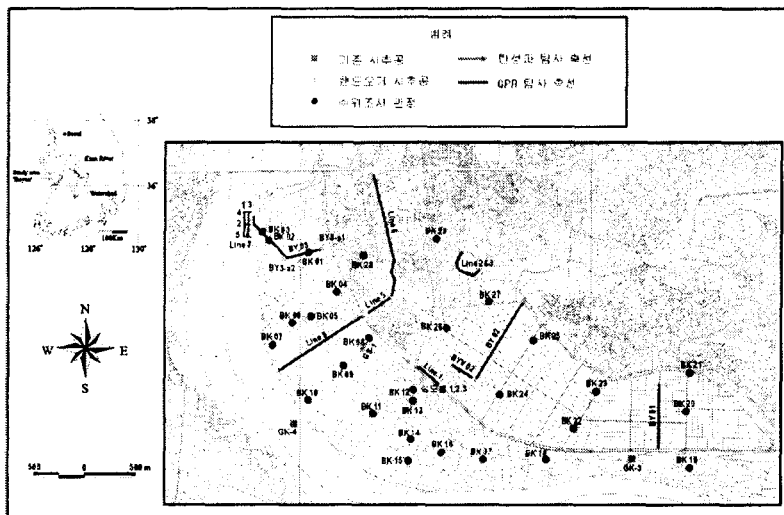


그림 83. 부여 군수리 조사 위치도

1971년에 조사된 이 지역의 토양 분포는, 사행 하도가 군수리로부터 현재의 하도 위치로 옮겨가면서 적어도 3개의 둔치 퇴적 단위층을 형성하였으며, 북동쪽에서 유입되는 왕포천에 의해 둔치 퇴적층의 일부가 재동되거나 피복되었음을 시사하고 있다. 또한 부여읍 군수리를 지나는 우회도로 공사에서 얻은 시추자료 단면에 의하면, 층적층 하부 기반암 형태는 침식곡의 형태를 이루고 있는 것으로 나타났다.

## 3. 조사 방법 및 결과

연구 대상 지역에서 수행된 지구물리조사 방법은 크게 고해상도 탄성과 및 GPR 탐사로 구분된다. 탄성과 탐사는 고해상도 정밀 탐사를 위해 1개 측선, 120m 대해 1m 간격의 수신기를 설치한 후, 굴절법 방식 및 반사법 방식을 활용하여 탐사를 수행하였으며, GPR 탐사는 총 15개 측선, 연장 길이 약 5,200m에 대하여 0.5m 간격의 자료를 취합하였다. 실제로 고해상도 탄성과 탐사는 전체 측선길이가 부족한 것으로 판단되어, GPR 탐사 측선의 결과를 참조하여, 추가적인 조사 계획을 수립 중이다. 한편 본 지역 조사 결과에 대한 정밀한 층서퇴적학적 평가는 별도의 연구로 수행 중이다.

고해상도 탄성과 탐사에 활용된 장비는 미국 Geometric의 장비며, 탄성과 발생은 해머를 이용한 강판 가격을 통해 수행되었고, 수신기의 고유 주파수는 50 Hz, 사용된 채널수는 총 48개이다. 표 1은 탄성과 탐사와 관련된 현장 자료 획득 변수를 보여준다. GPR 탐사는 PulseEKKO사의 100시리즈 기기를 활용하였으며, 사용된 GPR 안테나의 중심주파수는 50 Mhz이다. 수신 기록의

수직 중합은 기본적으로 32회로 설정 하였으며, 안테나의 송신부와 수신부의 간격은 2m로 고정하고 측정의 중심부를 0.5m 씩 이동하는 수직 레이 다 단면 조사를 수행하였다. 각 지점 당 총 기록 시간은 300 ns이며, 총적 층 주요 구성 매체인 점토 또는 모래의 전자기파 투과 속도(포화된 모래 0.06, 마른 모래 0.15, 실트, 0.07, 점토 0.06 m/ns; Annan, 1992 참조)를 감안하면, 본 GPR 조사의 최대 탐사 심도는 개략적으로 약 15m 전후일 것으로 평가되었다.

표 1. 부여 군수리 지역 탄성과 탐사 현장자료 획득변수

Acquisition Parameters		Values
Source Type		7kg sledge hammer
Number of Channel		24
Natural Frequency of Geophone		50 Hz
Geophone Interval		1 m
Record Length		250 ms
Sample Rate		0.125 ms
Notch Filter		Out
refraction method	Relative Geophone Position	0, 1, 2, ... , 46, 47 m
	Relative Shot Position	-24, -12, 0, 11.5, 23, 35, 47 m
reflection method	Near trace offset	12 m
	Spread type	End-on Shot, Pushing the Cable

그림 2는 탄성과 측선 GS-1에서 수행된 굴절법 조사의 결과를 보여주며, 그림 3은 동일한 측선에서 획득된 반사법 조사 단면을 보여준다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 굴절법 탐사의 경우, 지표 하부 약 7m 부터 포화된 지층의 존재를 시사하여 주며, 이 지층의 상부가 지하수위면으로 해석된다. 지하수위면은 실제 남측 방향, 즉 하천 방향으로 갈수록 완만하게 낮아지는 형상을 보여준다. 한편 그림 3의 반사법 단면은 수평적인 몇 개의 지층 구조와 기반암 추정선을 보여준다. 또한 측선 52m 전후와 85m 전후에 수평층이 부분적으로 단속되는 현상이 관찰된다. 그림 4는 BY02 및 BY03 GPR 측선에 대한 조사 결과 해석도를 보여준다. 조사된 모든 GPR 측선은 지표에서부터 약 1 내지 2m까지는 측선 방향에 상관없이 수평층이며, 그 하부의 총적층은 현재의 하도층으로 기울어진 전형적인 둔치퇴적층 또는 구하도곡을 나타낸다. 지표의 수평층은 경작 또는 토양화 과정을 통해 재배치된 것으로 추정되지만 최대 3m 깊이에는 이르는 광범위한 수평층의 발달은, 하부 경사층 퇴적 이후의 환경 변화를 암시한다. 다시 말해, 마을쪽에서 현재의 하도쪽으로 하도가 이동하면서 하부경사층이 형성된 이후, 이 지역의 퇴적 작용은 주로 홍수시 하도 범람에 의해 둔치 지역에 세립퇴적물이 유입 침전하는 방식으로 국한되는 것으로 해석된다.

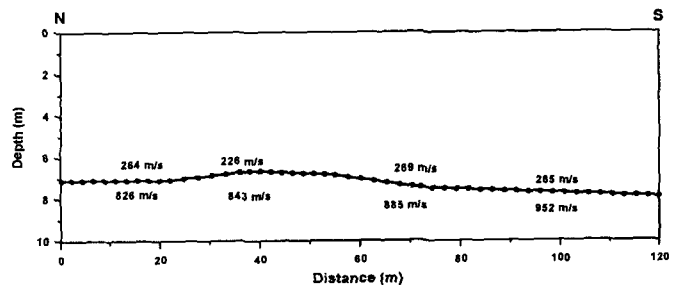


그림 2. 부여 군수리 탄성과 굴절법 해석 단면

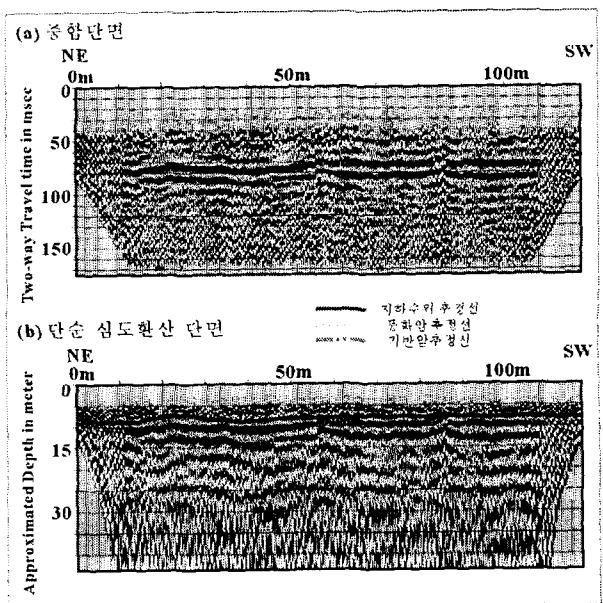


그림 3. 부여 군수리 반사파 굴절법 해석 단면

#### 4. 결론 및 의견

부여 군수리 지역에서 수행된 인접 지표 고해상도 지구물리 조사 결과, 하천 둔치 총적층은 1

내지 2m 깊이의 불연속면을 기준으로 상하층으로 나눌 수 있음이 밝혀졌다. 상부 지층과 하부 경사층의 퇴적 환경이 뚜렷이 구분됨을 알 수 있다. 층적 대수층에 대해 수행된 고해상도 탄성과 GPR 조사는 층서퇴적학적 정보를 양호하게 제공하는 것으로 나타났다. 특히 1m 간격의 굴절법 탐사는 층적층 지표 인접부에 위치하는 지하수위면을 조사하는 데 유용하였으며, 반사법 탐사의 경우, 정밀한 내부 퇴적구조를 평가하는 것은 어려웠으나 개략적인 퇴적상 및 기반암을 평가하는 데는 큰 무리가 없는 것으로 나타났다. GPR 탐사의 경우, 조사 심도가 제한적이지만 정밀한 지하 층서 및 퇴적구조를 보여주었다.

그러나 탄성과 탐사의 경우는 해상력을 높이기 위한 방법으로 S파 반사법 탐사 등을 적용할 필요가 있으며, 또한 동일 축선에서 탄성과와 GPR을 동시 수행하여 상호 보완, 비교하는 방식에 의해 천부 및 심부의 퇴적 구조를 모두 밝힐 수 있는 방식의 연구가 수행될 필요가 높다. 또한 대상 지역에 전기 비저항 탐사 등 다양한 지구물리 조사를 적용하여 종합적인 결과 분석의 노력이 요구된다. 이러한 인접지표에 대한 고해상도 지구물리 조사 방법은 층적층 지하수에 대한 효율적인 이용과 개발을 위한 조사 및 평가 수단으로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 평가된다.

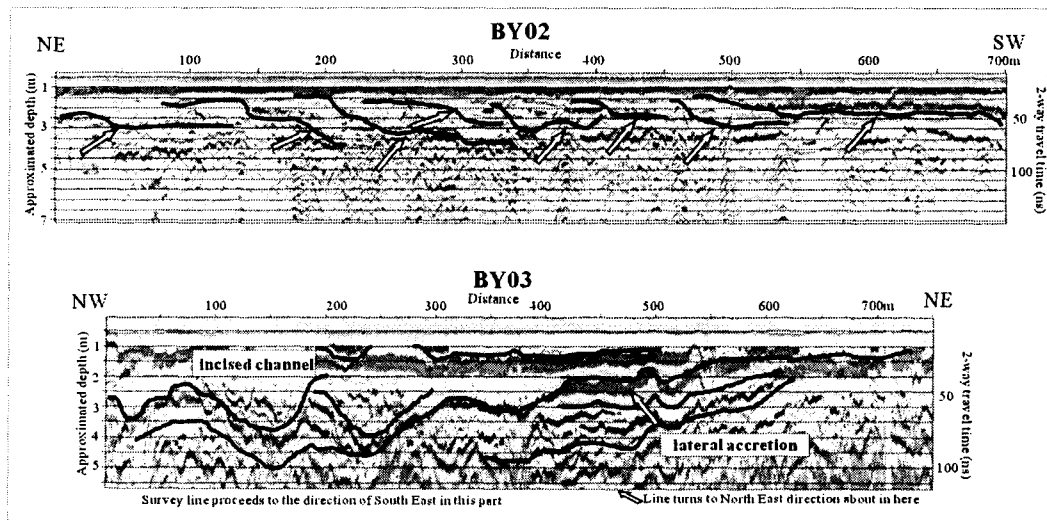


그림 4. 부여 군수리 지구 GPR 해석 단면 사례 (BY02 및 03)

## 5. 사 사

본 연구의 현장 자료는 한국수자원공사의 “금강권역 광역 지하수 조사 연구”(김형수 등, 2002)의 일환으로 획득되었으며, 조사 자료의 처리 및 퇴적상에 대한 해석은 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 한국수자원공사 및 사업단 측에 감사 드린다.

## 6. 참고 문헌

- 김형수, 안경환, 백건하, 1998, 정밀 지질-지하수 조사를 위한 고해상도 지구물리탐사법 개발에 관한 연구, WRI-GG-98-1, 한국수자원공사, 144p.
- 김형수, 백건하, 원이정, 2002, 금강권역 광역 지하수 조사 연구, WRI-GG-02-1, 한국수자원공사, 387p.
- Annan, A. P., 1992, Ground penetrating radar workshop notes, Sensors & Software Inc.
- Berea, M. Jr and Haeni, F. P., 1991, Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies, *Groundwater*, 29, p375-386.
- Corbeanu, R. M., Soegaard, K., Szerbiak, R. B., Thurmond, J. B., McMechan, G. A., Wang, D., Snelgrove, S. Forster, C. B., and Menitove, A., 2001, Detailed internal architecture

- of a fluvial channel sandstone determined from outcrop, cores, and 3-D ground-penetrating radar: Example from the middle Cretaceous Ferron Sandstone, east-central Utah, AAPG Bulletin, 85(9), p.1583-1608.
- Fielding, C.R., Alexander, J. and McDonald, R., 1999. Sedimentary facies from ground-penetrating radar surveys of the modern, upper Burdekin River of north Queensland, Australia: consequences of extreme discharge fluctuations. Spec. Publs Int. Ass. Sediment. 28, 347-362.
- Neal, A. and Roberts, C. L., 2001, Internal structure of a trough blowout, determined from migrated ground-penetrating radar profiles, Sedimentology, 48, p791-810.
- Steeple, Don W., and Miller, Richard D., 1990, Seismic reflection methods applied to engineering, environmental, and groundwater problems in Ward, Stanley H., ed. Geotechnical and environmental geophysics: V. 1, Society of Exploration Geophysicists Investigations in Geophysics, v.5, p. 1-30.
- Tyler, N. and Finley, R.J. 1991. Architectural controls on the recovery of hydrocarbons from sandstone reservoirs. In: Miall, A.D. & Tyler, N. (eds), The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology v.3, p.1-5.