

## 연속 굴절파 중합 방식을 활용한 충적층 지하수위 조사기법 소개 및 현장 응용

김형수, 김종열\*, 김유성\*

한국수자원공사 수자원연구원, \* (주)소암컨설팅  
(e-mail : hskim@kowaco.or.kr )

### <요약문>

본 연구는 고해상도의 충적층 지하수위 분포 조사를 위한 탄성과 굴절법 조사 방법을 소개하고 부여 군수리 충적층 일대에서 이 기법을 통해, 획득된 실제 충적층내의 지하수위 조사 결과를 제시한다. 기본적으로 본 연구에서 활용된 연속 굴절파 중합 방식은 동일 공심점(common mid point; 이후 CMP)을 갖는 굴절파 신호를 취합하고, 이격 거리(offset)에 대한 시간 지연 효과 보정을 수행한 후, 이들 신호를 중합하여, 충적층의 지하수위면에서 굴절된 신호를 보다 뚜렷이 부각시켜 정확한 지하수위 정보를 획득하는 방식으로 일명 CMP 굴절법이라고도 한다. 이 방식은 독일에서 최초 개발되었으나(Gebrande, 1986; Orlovsky 등, 1998), 국내에서 적용되기는 본 연구가 최초이다. 이러한 탄성파의 굴절 신호를 사용하는 방식은 우선, 기존의 일반적인 고해상도 반사법 탐사에서 잡음으로 여겨졌던 굴절파 신호를 활용할 수 있으며, 고해상도 반사법 탐사와 동일한 배열과 운영 방식으로 획득된 자료에서 원하는 정보를 획득할 수 있으므로, 고해상도 반사법에 의한 기반암 조사와 함께 적용될 경우, 정확한 충적 대수층의 분포를 조사할 수 있게 하여주는 획기적인 조사 신기술이다. 개발된 기법은 부여 군수리 충적층 지역을 대상으로 적용되었으며, 그 결과 기존의 어떠한 지구물리 조사 방법보다 정확하고 분명한 지하수위 분포를 보여주었다.

**Key words** : 고해상도 지구물리탐사, 탄성파, 굴절법, CMP, 충적층, 지하수

### 1. 서론

최근 들어 충적층은 국가의 취수원 다변화 노력에 힘입어, 새로운 지하수자원의 확보와 관리에 중요한 역할을 하는 지질매체로 주목받고 있다. 이러한 충적층내의 정확한 대수층 분포 특성을 밝혀내고, 그 분포 특성에 따른 충적층 지하수 개발 및 관리 계획의 수립은 앞으로 국가의 수자원 관리 측면에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 따라서 정확한 충적층 조사 방법의 개발과 현장 조사는 앞으로 지하수 분야의 중요한 과제로 부각될 것이다.

탄성파를 이용한 지하 조사는 전통적인 지구물리학의 한 분야이다. 이러한 탄성파를 활용한 조사 기법은 크게, 반사파, 굴절파 및 표면파를 이용한 방식 등으로 구분된다. 그러나 실제적으로 탄성파를 활용한 조사를 수행하여 양질의 지하 정보를 획득하기 위해서는 많은 어려움이 뒤따른다. 특히 인접 지표

에 대한 조사는 지형 조건, 지표의 피복 조건 등에 매우 민감한 결과를 보여주므로, 단순한 이론적인 접근만을 통해서 원하는 지하 정보를 획득하지 못한다. 또한 지구물리 기법은 근본적으로, 물리적 특성의 충분한 대비, 해석의 비유일성, 지하 분해능력 및 잡음 등에 의한 제한성을 가지므로(Burger, 1992), 조사 대상에 대한 충분한 이해 및 적합한 조사 현장 조건이 갖추어지지 못한 경우, 불필요한 시간과 비용 투자로 끝날 수 있다.

본 연구는 이러한 사항들을 충분히 감안하여, 충적층 지하수위에 대한 정확한 정보를 획득하기 위하여, 탄성파적인 입장에서 분명한 물성의 대비를 보이는 불포화 충적층과 포화 충적층의 경계인 지하수면을 굴절파를 활용하여 조사하는 기법을 소개하고 이 기법을 통해 획득된 결과를 검증하여 본 기법의 우수성을 보여주하고자 한다.

## 2. 연속 굴절파 중합 방식(CMP법)의 기본 원리

전통적으로 탄성과 굴절법 탐사는 충적층 지하수위 조사 및 기반암 심도 조사에 널리 적용되어온 탐사이다. 기존의 굴절법 탐사는 그 획득 방식 및 해석 방법에 따라 Plus-Minus법, Hales법, 일반 호환법, Thornburgh 법 등으로 구분된다. 그러나 이러한 방법들은 기본적으로 그 운영 방식이 수진기가 설치된 측선에 대해 가격점을 전방, 후방, 중앙 등으로 이동 시켜 조사를 수행하므로, 일반적인 반사법 탐사에서 활용되는 roll-along 방식(발생원-수진기 배열이 설정된 후, 이 배열이 연속적으로 평행 이동되면서 자료를 획득하는 방식)과 병행될 수 없다는 단점을 갖는다. 그러나 본 연구의 연속 굴절파 중합 방식은 기본적으로 동일 CMP를 갖는 자료를 취합하여 처리하므로(이러한 이유로, 이후 연속 굴절파 중합 방식을 CMP법으로 명명), 기본적으로 탐사 후 자료의 재배열이 일반적인 반사법 탐사의 과정 중에 필요한 CMP 재취합과 동일하다. 따라서 roll-along 방식에 의해 획득된 자료를 그대로 사용할 수 있다는 장점을 갖는다.

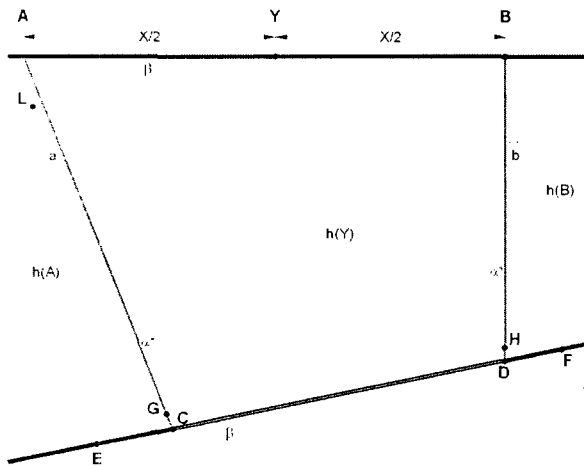


그림 1. CMP 굴절파 해석을 위한 2층 모형

그림 1과 같은 2층 모형의 경우 지표 중심이 Y 인 지점에 대한 AB간의 굴절파 주시는 다음과 같이 표현된다.

$$T(Y, m(\overline{AB})) = T(Y, X) = \frac{2h(Y)}{V_1} \sqrt{1 - (V_1/V_2)^2} + \frac{X}{V_2} \cos \beta$$

- v. 이 식의 첫 번째 항이 실제 주시-거리 도표에서 절단 시간(intercept time)에 해당되며,  $\cos \beta / V_2$
- v. 가 두 번째 층에 대한 굴절파의 겉보기 속도의 역수가 된다. 그러나 실제로 지하수면의 경우  $\beta$  값이 크지 않으므로 현장 주시-거리 도표를 통해 구해낸 두 번째 층의 속도는 거의 실제 속도와 같다

고 가정하여도 크게 문제가 되지 않는다. 이러한 2층 구조에 대한 주시는 모든 굴절파 해석법에서 동일하게 적용되는 방식이며, CMP법 역시 기본적으로 같은 주시-거리 관계를 활용한다.

roll-along 방식으로 획득된 굴절파 신호는 가격 모음 방식을 약간의 기하학적 재배치를 통해 CMP 모음 방식으로 전환할 수 있으며, 실제 CMP 모음 방식으로 정렬된 자료의 실제 파선의 기하학적 분포는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

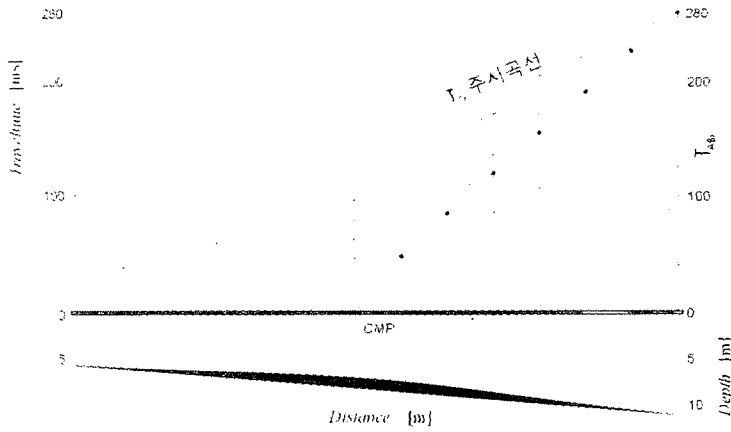


그림 2. Roll-along 측정시의 CMP 굴절파의 주사곡선

10개의 가격 모음에 대한 초동 주시시간을 선별하여 동일 주사곡선에 도사한 후, 이들 자료를 최소자승법으로 직선화하여, 이들이 지나온 파선의 지표 중앙부를 대표하는 1층과 2층의 속도 및 대표부의 심도(그림 1의  $h(Y)$ )를 우선적으로 추정하고, 다시 이들 자료들간의 보간을 통해 전단면에 대한 이격 거리 지연 보정을 수행할 수 있는 자료를 생성한다. 그림 3은 실제 자료에 대해 10개씩의 가격점 모음 방식을 통한 속도 및 심도를 구하는 과정을 설명한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 직접 도달파를 통한  $V_1$ 의 추정이 어려운 구간인 경우, 초동 선별을 제외할 수 있으며, 제외된 이 구간은 좋은 신호를 보인 주변부의 자료를 보간하여 사용할 수 있다.

만약 이러한 굴절파 주시 신호에서 실제 이격 거리(offset)에 따른 시간 지연을 보정하면(반사파의 normal move-out과 같은 방식으로 굴절파 주시에 대한 normal move-out 보정), 굴절파 신호는 2층의 심도를 반영하는 형태를 나타낸다. 또한 1층과 2층의 속도 구조는 주사 곡선의 기울기에 해당되므로 이 정보를 통해 시간 지연 보정이 가능하다. 한편 실제적인 속도 구조 분석을 위해서는 우선적으로 몇 개(본 연구에서는

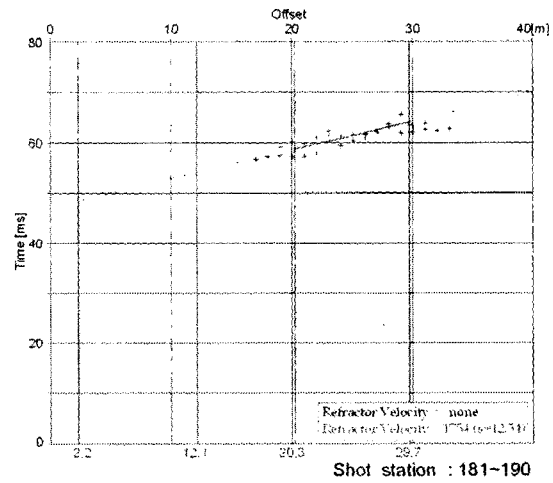
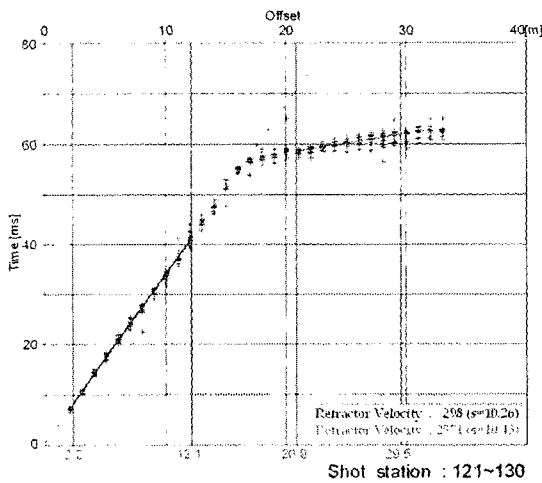


그림 3. 가격 모음군의 주사곡선을 통한 속도 및 심도 기본 자료 추출 과정

이러한 속도 분포 자료가 획득되면, CMP 정렬된 굴절파 자료에 대한 지연시간 보정을 수행한 후 이를 중합하여 단면을 완성하게 된다. 그림 4는 CMP 정렬 굴절파 자료에 대한 지연시간 보정 및 중합 과정을 보여준다.

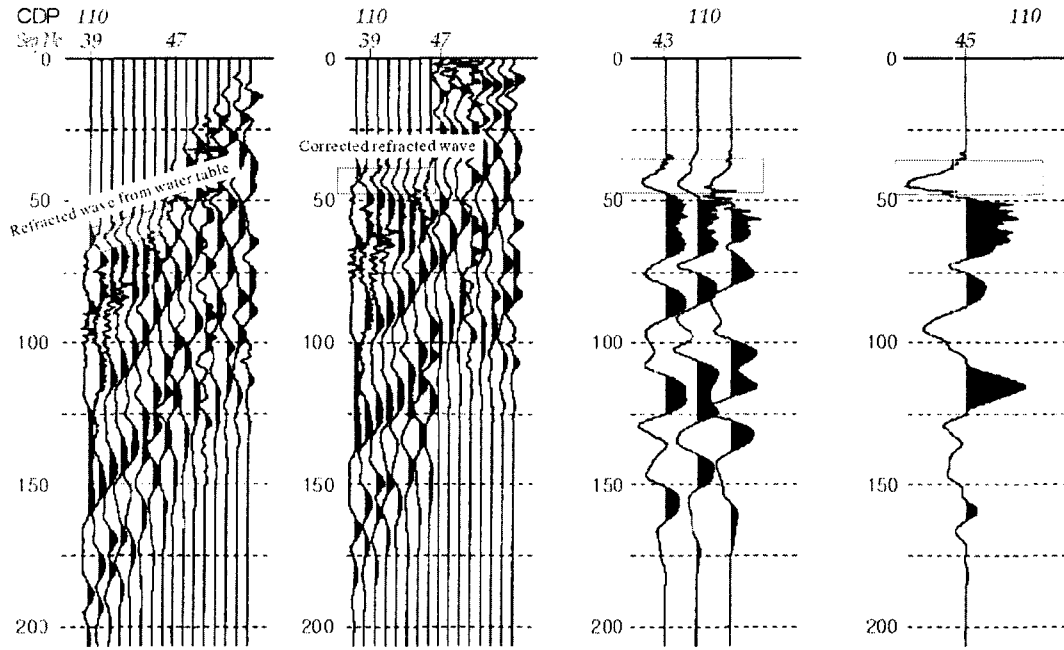


그림 4. 굴절과 신호에 대한 NMO 보정, 최적 자료 편집 및 중합 과정

### 3. 부여 군수리 측적층 일대에서의 CMP 굴절법 현장 적용 및 결과

부여 군수리 일대의 측적층에서 CMP 굴절법 기법을 이용한 지하수위 조사를 수행하였다. 총 5개 축선, 연장길이 1,350m에서 자료가 획득되었으며, 모든 축선에서 CMP 굴절법 기법에 의해 지하수위가 분명하게 조사되었다. 이들 축선에 대한 전체 결과는 김형수 등(2003)을 참조할 수 있으며, 본 발표에서는 이들 축선 중 가장 긴 연장길이 430m를 갖는 SUR7222 조사축선의 결과를 소개한다.

현장 조사가 시행된 시기는 2003년 10월이며, 사용된 채널수는 32개, 수신기 간격과 가격점 간격은 1m, 최근접 수신기와 가격점 간격은 2m로 설정하였다. 현장 자료획득은 원격 자동제어 측정 시스템 중 하나인 SUMMIT SYSTEM(독일 DMT사)이 사용되었으며, 탄성과 발생원은 하중 낙하형인 “뽀저”(전용 실시권 설정등록 제0180987호)가 사용되었다. 자료처리를 위해서는 공개용 탄성과 분석용 프로그램인 Seismic Unix와 상업용 탄성과 전산처리 시스템인 “FOCUS”(Paradigm Geophysical사)가 주로 이용되었다.

그림 5는 왕복주시시간에 대한 CMP 굴절법 중합 단면을 보여주며, 그림 6은 속도 모형에 의해 실제 심도로 환산된 심도 단면을 보여주고 있다. 지하수위가 강측으로 기울어져 있는 형태가 분명하게 나타나며, 이는 이 지역의 금강이 주변 지하 대수층에서 물을 공급받는 이득하천의 형태를 띄고 있음을 시사한다.

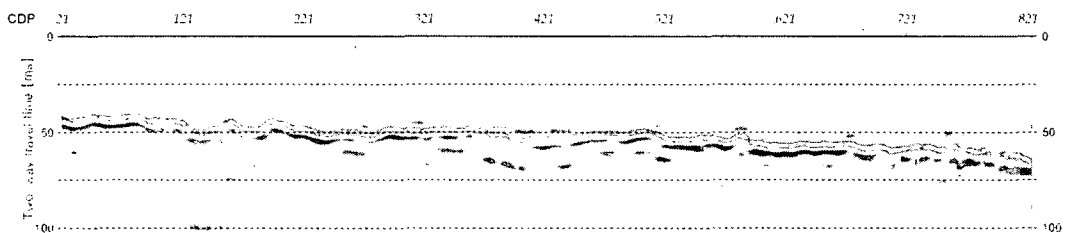


그림 5. 부여 군수리 SUR7222 축선의 굴절법 중합 단면 (CDP간격은 0.5m)

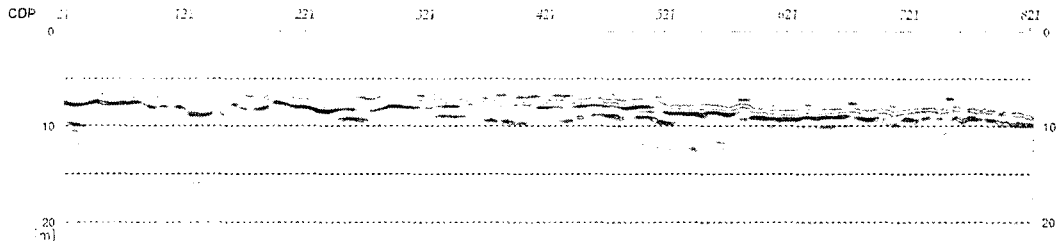


그림 6. 부여 군수리 SUR7222 축선 지하수위 심도 단면 (CDP간격은 0.5m)

#### 4. 결론 및 의견

탄성과 연속 굴절 신호 중합 방식(일명 CMP 굴절법)을 이용하여 충적층의 지하수위를 조사하는 기법을 소개하였으며, 이에 대한 현장 적용성을 함께 검토하였다. CMP 굴절법은 기존의 일반적인 고해상도 반사법 탐사에서 잡음으로 여겨졌던 굴절파 신호를 활용할 수 있으며, 고해상도 반사법 탐사와 동일한 배열과 운영 방식으로 획득된 자료에서 원하는 정보를 획득할 수 있으므로, 고해상도 반사법에 의한 기반암 조사와 함께 적용될 경우, 국내 충적 대수층의 상부 및 하부 경계를 정확히 조사할 수 있는 획기적인 조사 신기술임이 검증되었다. 본 기법을 통해 부여 군수리 충적층 지역의 지하수위를 조사하였으며, 그 결과, 기존의 어떠한 조사보다도 정확하고 효과적인 지하수위 분포 조사를 할 수 있음이 밝혀졌다. 앞으로 충적층의 지하수 조사에 있어, 본 기법을 적용할 경우, 특별한 시추 없이 지하수위를 조사하는데 매우 효과적일 것이다. 본 연구는 21세기 프런티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다.

#### 참고문헌

- Burger, H. R., 1992, Exploration geophysics of the shallow subsurface, Prentice Hall, 489p.
- Gebrande, H., 1986, CMP-Refraktionsseismik. In: Dresen, L., Fertig, J., Rüter, H., Budach, W. (Eds.), Seismik auf neuen Wegen, 6, Mintrop-Seminar, Unikontakt, Ruhr Universität Bochum, 191-264.
- Orlowsky, D., Rüter, H., Dresen, L., 1998, Combination of common-midpoint-refraction seismics with the generalized reciprocal method, Journal of Applied Geophysics, 39, 221-235.
- 김형수 등, 2003, “지속가능한 지하수 개발 및 함양 기술 개발” 보고서, 한국수자원공사 보고서, KIWE-DRC-03-1, 21세기 프런티어 연구개발사업 ‘수자원의 지속적 확보기술개발’ 세부과제(3-4-1) 중간보고서.