한국지하수토양환경학회 추계학술발표회
2002년 9월 13일~14일 부 산 대 학 교

창원시 강변 여과 취수 지역 충적 대수층 탄성파 조사

김형수, 백건하, 이대근, 오선환*
*한국수자원공사 수자원연구소, *현대엔지니어링 지하수토양환경팀*
e-mail : hskim@kowaco.or.kr

요 약 문

창원시 북면과 대산면 강변 여과 취수 지역에서의 탄성파 조사를 통한 충적 대수층의 특성 규명은, 탄성파 조사가 충적 대수층의 수리지질학적 정보를 획득하는데 매우 유용한 방법임을 보여주었다. 특히 굴절법 탐사는 충적층 지하수위 추정에 뚜렷한 효과가 있음을 보여주었으며, 고해상도 반사법 탐사의 경우도 퇴적 구조를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 조사된 지역의 지하수위는 하천 수위에 비해 약 2m 이상 높은 것으로 나타났으며, 이는 조사된 시기의 지하수가 하천 방향으로 거동하고 있음을 시사한다. 하천 방향의 지하수위 최대 경사는 약 2/100 였으며, 실제 전반적인 조사 지역내의 충적층 지하수위 수두 경사는 이보다 작은 값일 것으로 사료된다. 또한 점토 및 실트질 지층이 조사 지역에 협재하고 있으나 이들의 수평적인 연속성은 한계가 있어 대표적인 대수층인 자갈 혼재층이 부분적으로만 피압 상태에 있을 것으로 판단된다. 한편, 햄머 진원을 이용한 고해상도 반사법 탐사의 경우, 약 40m 전후 심도의 충적층 하부 기반암의 상부를 뚜렷하게 보여주기에는 한계가 있다고 판단되며, P파의 속도와 주파수 문제로 인한 수직 해상력의 한계는 S파 등을 활용한 조사를 통해 보완할 필요가 있다고 사료된다.

key word : 창원, 강변여과수, 탄성파 탐사, 충적층 지하수, 퇴적 구조, 지하수위

1. 서론

본 연구는, 2002년 8월 현재 강변 여과 방식의 취수가 수행되고 있는 창원시 북면과 대산면의 충적 대수층의 특성을 규명하기 위한 목적으로 수행되었다. 현장 탄성파 조사는, 창원시의 강변 여과수 취수가 본격적으로 수행되기 이전인 2000년 4월에 수행되었으며, 그 이후 일차적인 예비 해석과 이차적인 정밀 해석을 통해 충적 대수층의 특성을 고찰하였다. 조사가 수행된 창원시 대산면과 북면 지역은 국내에서 충적층 발달이 가장 현저한 낙동강 중하류에 해당되며, 국내의 타 하천 유역의 충적층에 비해 그 평면적인 발달 분포 매우 넓으며, 충적층의 두께 역시 30 m 이상의 국내의 대표적 충적층 발달 지역이다. 대산면 지역의 지질은 중생대 백악기 유천층군의 화산암류가 기반암인 것으로 알려져 있으며, 이 들 화산암류는 팔용산 응회암 및 주산 안산암질암에 해당되는 것으로 보고되고 있다. 한편, 북면 지역의 지질 역시, 유천층군의 화산암류 및 퇴적암류로 이루어져 있는 것으로 알려져 있으며, 일부, 이들 중생대 유천층군은 중생대 말기 불국사 관입암류에 의해 부분적으로 관입 받은 것으로 보고되어 있다(김남장, 이홍규, 1964).

탄성파 조사는, 지층 속을 통과하는 탄성파의 특성을 활용하여 지하의 정보를 획득하는 방법으로, 전통적으로 굴절법 조사와 반사법 조사로 구분된다. 아직까지 국내에서는 이러한 탄성파 조사를 충적 대수층의 특성을 규명하기 위하여 본격적으로 적용하고 있지는 못한 실정이지만, 지하수에 의해 포화된 지층과 포화되지 않은 지층 사이의 현저한 탄성파 투과 속도 차이, 충적 대수층에서 나타나는 수평적인 퇴적 구조 등으로 미루어 볼 때, 탄성파 조사를 통한 충적 대수층의 특성 연구는 다른 지구물리 조사와 비교하여 충분히 좋은 성과를 보여줄 수 있을 것으로 기대된다.

2. 현장 조사 및 자료 처리

탄성파 조사는 전통적인 방법인 굴절법 및 반사법 조사가 적용되었으며, 이 때, 현장 조사의 효율성을 높이기 위하여, 한 번 설치된 수진기 펼침(spreading)에 대해 굴절법과 반사법을 동시에 획득하는 방법으로 수행되었다. 탄성파 신호 획득 장비는 일본 OYO사의 McSeis (MODEL-1125E), 탄성파 진원 발생은 4.5kg 햄머(sledge hammer)가 사용되었다. 수진기의 고유 주파수는 100Hz로 고해상도 신호 감지가 가능토록 하였으며, 사용된 총 채널은 굴절법의 경우, 24 채널, 반사법의 경우, 12채널이다. 주변의 잡음 발생을 고려하여, 필요한 경우 수직 중합(vertical stack)이 적용되었다. 전체 조사 측선은 총 6개 측선으로, 북면에서 2개 측선(BM-1, BM-2), 대산면에서 4개 측선(DS-1, DS-2, DS-3 및 DS-4)에서 조사가 수행되었다. 이들 각각의 조사 측선에 대해서는 굴절법 및 반사법 조사가 모두 수행되었다.

굴절법 탄성파 조사는 지하수면의 심도를 조사하기 위한 목적으로 수행되었으며, 특히 비포화 지층과 포화 지층의 탄성파 투과 속도가 5배 내외로 현저하므로, 뚜렷한 굴절 신호가 나타날 것으로 예상되었으며, 실제 조사 자료에서도 뚜렷한 굴절 신호가 관찰되었다. 굴절파 조사는 수진기 간격을 1m로 고정하였으며, 근거리 옵셋 0m 양단 타격, 옵셋 12m 및 24m 원격(phantoming) 양단 타격 및 펼침 중심부 타격의 7개의 가격 모음(그림 1 참조)을 우선적으로 수집하여 이들 신호에 대한 초동을 정밀하게 선별하여 주시-거리 시간 도면을 작성하였다. 굴절파의 해석은 지연 시간 방법을 활용하여 수진기 하부의 굴절 경계면의 변화를 감지할 수 있도록 하였다.

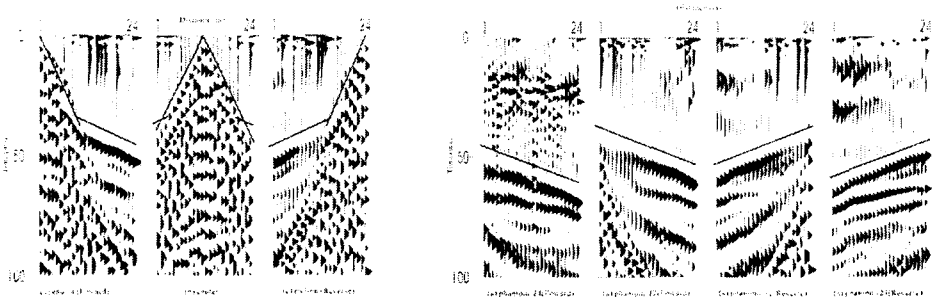

그림 1. 탄성파 굴절법 취합 자료 예(양단 및 중심 가격, 원격점 가격)

반사법 탄성파 조사는 공심점 중합이 600%가 될 수 있게 12채널 방식으로 운영되었으며, 수진기 간격은 1m, 가격점-최근접 수진기 거리는 24m, 가격 후에 가격점을 측선내(in-line)에서 첫 번째 수진기 방향으로 1m 간격으로 따라가는 밀기 방식(pushing the cable)을 적용하였다. 반사법 탄성파 자료의 해석은 일반적인 탄성파 탐사법 해석 과정인 이득 조절, 주파수 필터링, 주파수-파수 필터링, 공심점 취합, NMO(normal moveout) 보정, 잔여 정보정, 중합, 필요시의 구조 및 시간-깊이 변환 등의 일련의 과정을 거쳐 수행되었다.

3. 탄성파 해석 결과

그림 2는 북면 및 대산면 지역에서 획득된 탄성파 굴접법 자료를 시간 지연 방식으로 해석한 결과를 보여준다.

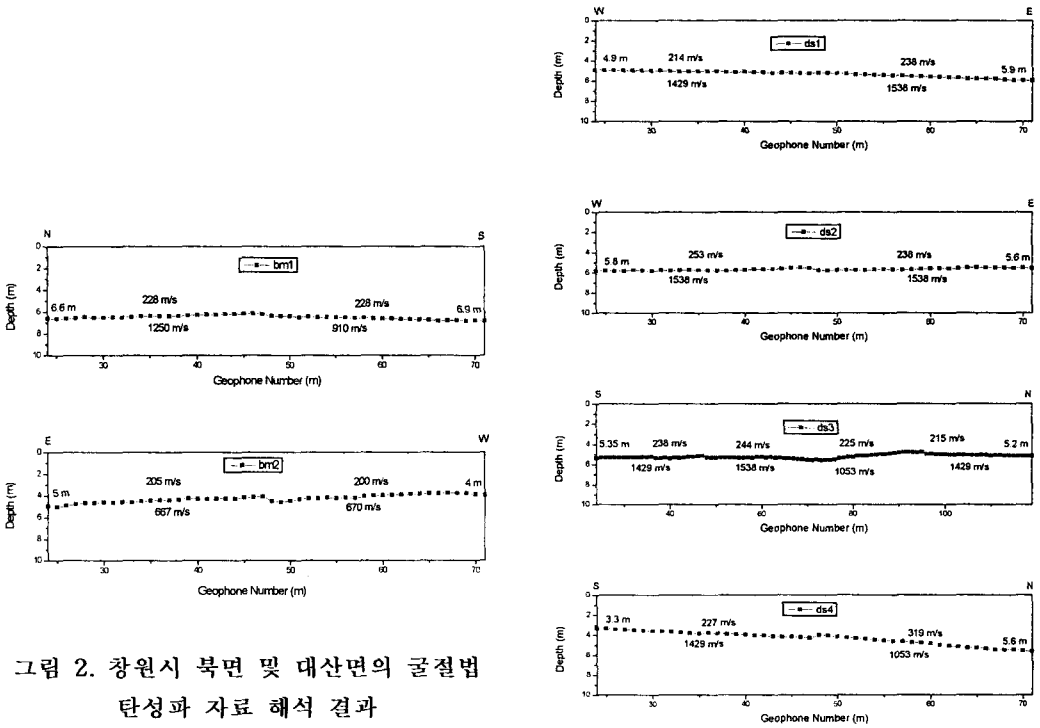

그림 2. 창원시 북면 및 대산면의 굴절법 탄성파 자료 해석 결과

BM-1 측선은 하천의 직교 방향인 북측에서 남측으로 수행되었으며, BM-2는 하천의 평행 방향인 동측에서 서측으로 조사가 수행되었다. 북면 조사 지역의 지표면 고도는 해발 고도 기준의 약 7.5m이며, 조사된 지표로부터의 지하수위 심도는 4 내지 7m이므로 지하수위의 절대 고도는 해발고도 기준 3.5 내지 0.5m 인 것으로 조사되었다. 특히, 조사지역에 가장 인접한 임해진 수위관측소의 조사 당일의 하천수위 자료는 해발고도 기준 0m 내외로 지하수위에 비해서는 약 2m 내외 낮은 것으로 나타났다. 이 지역의 경우, 조사 지역의 북측은 낙동강 본류가, 조사 지역의 남측으로는 작은 규모의 개천인 상천천이 위치하며, 조사 지역내에서 뚜렷한 지하수위의 변화 양상은 관찰되지 않았다. 다만, BM-2 측선 하부의 지하수위가 BM-1 측선 하부의 지하수위에 비해 약 3m 내외 더 높게 나타나므로 BM-2 측선에서 BM-1 측선 방향인 북동 방향으로의 지하수위 거동 가능성을 인지할 수 있다. 그러나 BM-2의 경우, 포화 대수층에 대한 속도가 일반적인 포화 대수층의 속도에 비해 낮으므로 실제로는 해석된 결과보다 지하수위가 다소 낮을 가능성도 배제할 수 없다. 1997년 4월에 시추된 인접 지역의 시추 주상도는 지하수위가 지표로부터 4m 내외에 존재하였다는 기록을 보여준다. DS-1 및 DS-2는 낙동강에 평행한 방향인 서측에서 동측으로, DS-3 및 DS-4는 낙동강에 수직인 남측에서 북측으로 조사가 수행되었으며, 이들 지하수위의 분포는 하천으로 가까워질수록 지하수위의 절대고도가 낮아지는 현상이 일부 구간을 제외하고는 잘 관찰되며, 특히 비포화대와 포화대에 뚜렷한 탄성파 속도 차이를 보여준다. 이러한 현상은 하천 방향으로 지하수가 거동하고 있음을 시사하며, DS-4의 경우 수두 경사가 개략적으로 2/100 정도 내외임을 알 수 있다. 탄성파 조사가 수행되던 시점의 대산 지역에 가장 인접한 수산 수위관측소의 자료는 하천 수위가 해발고도 1m 전후이며, 대산면 조사 지역의 지표 고도는 8.5m 전후이므로, 지하수위의 절대고도는 해발고도 기준 약 2 내지 3m 인 것으로 평가되었다. 1997년 5월에 인접 지역에서 조사된 지하수위는 지표로부터 7.8m로 금번 탄성파 굴절법 조사에 비해 약 2m 정도 깊었던 것으로 기록되어있다.

반사법 해석 단면에서는 뚜렷한 반사 신호(seismic reflection events)가 거의 수평 구조를 보

이면서 관찰된다. 이러한 현상은 북면과 대산면에서 비슷한 양상을 보인다. 이러한 탄성파 사건은 충적 대수층내의 뚜렷한 퇴적 구조를 보여준다고 사료되며, 특히 그 사건들이 심도 30m 이내에 많이 나타나는 것으로 미루어 시추에서 나타나는 실트질 및 점토질 지층과 연관되어 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 반사 신호의 수평적인 연속성이 50m 이상을 넘는 경우는 드물며, 부분적으로 절단된 형상이 뚜렷이 관찰되어 완벽한 피압 지층의 역할을 하고 있다고 판단되지는 않는다. 또한 시추 자료에서 자갈 혼재층이 나타나는 25m 이하 하부의 경우는 수평적으로 연속적인 반사 신호가 미약해지며, 실제 조사된 기반암과 충적층의 경계부위에서도 매우 미약한 반사 신호만이 감지되는 것으로 나타났다. 천부 반사법 탐사의 성격상 속도 정보에 의해 매우 민감한 변화가 반사 신호 변화가 나타나므로 이에 대해서는 많은 주의와 노력이 요구되었다. NMO 보정후의 정보정은 어느정도의 반사 신호 부각에 도움이 되는 것으로 나타났으며, 특히, 파수-주파수 필터링에 의한 표면파 제거가 반드시 요구되는 것으로 나타났다.

4. 결론 및 의견

창원시 북면과 대산면에서의 탄성파 조사를 통한 충적 대수층의 특성 규명은 특히 굴절법에 의한 지하수위 추정에 효과가 있음을 보여주었다. 또한 고해상도 반사법 탐사의 경우도 퇴적 구조를 잘 반영하는 것으로 나타나 충적 대수층 특성 규명에 도움이 되는 것으로 밝혀졌다. 그러나 P파를 이용한 고해상도 반사법의 경우, 탄성파의 전달 속도 및 기본 주파수 문제로 수십 센티미터 이하의 퇴적상을 분해하는 것은 곤란하므로 추후, S파를 이용한 고해상도 반사법 탐사의 시도가 요구된다.

조사된 지역의 지하수위는 하천 수위에 비해 약 2m 이상 높은 것으로 나타났으며, 이는 조사된 시기의 지하수가 하천 방향으로 거동하고 있음을 시사한다. 하천 방향의 지하수위 경사는 가장 현저한 경사를 보여준 DS-4번 측선의 경우, 약 2/100이므로, 실제 전반적인 조사 지역내의 충적층 지하수위 수두 경사는 이보다 작은 값일 것으로 사료된다. 또한 점토 및 실트질이 조사 지역에 협재하고 있으나 이들의 수평적인 연속성은 한계가 있어 조사 지역의 대표적인 대수층인 자갈 혼재층이 부분적으로만 피압 상태에 있을 것으로 판단된다. 그러나 햄머를 이용한 고해상도 반사법 탐사의 경우, 약 40m 전후 심도의 충적층 하부 기반암의 상부를 뚜렷하게 보여주는 것은 한계가 있으며, 또한 P파의 속도와 주파수 문제로 인한 퇴적층에 대한 해상력도 수 미터 정도이므로 이에 대한 보완이 요구된다.

5. 사사

본 연구는 한국수자원공사에서 수행한 "낙동강권역 광역 지하수 조사 연구"의 일환으로 현장 자료가 획득되었으며, 창원시 강변 여과 취수 지역에 대한 수리지질학적 평가를 위한 자료 재분석 및 해석은 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 한국수자원공사와 수자원의 지속적 확보기술 개발 사업단 측에 감사드린다.

6. 참고문헌

김남장, 이홍규, 1964, 한국지질도 영산도폭 (1:50,000), 국립지질조사소, 31p.