

## 지구물리검층 보정시설 건설을 위한 설계 및 시공상의 고려

김영화, 박정빈, 김지훈

강원대학교 지구물리학과

### 1. 서론

최근 국내에서의 물리검층, 특히 밀도검층 수요가 급격히 확대되고 있다. 현재 3,7GBq 수준의 standard source를 쓰는 검층 장비가 2대, 3.7 MBq 수준의 소위 small source를 사용하는 밀도검층 장비가 6대로서 괄목할만한 장비보유 증대와 함께 많은 밀도 검층자료가 얻어지고 있다. 그러나 믿을만한 보정시설이 없는 관계로 소스 규모가 작은 small source 밀도장비는 말할 필요도 없고 standard source 밀도검층장비까지도 자료의 신뢰성을 충분히 보장해 주지 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제점은 특히 풍화암, 풍화토 및 미고결퇴적층 구간에 있어서 심각하다.

밀도검층이란 감마선의 콤프턴 산란효과를 이용하여 지층의 체적밀도를 구하는 검층 방법이다. 그러나 밀도검층으로부터 암석의 밀도 결정은 시추공경의 굴곡 및 밀도가 다른 매질에 따른 검출기의 반응 특성(Pickell and Heacock, 1960, Hearst and Carlson, 1969), 시추공속의 유체의 유무, 자연감마의 영향(김영화, 김기주, 1999)등에 대한 보정을 통하여 얻을 수 있다. 그 중에서 밀도 검출기의 보정은 가장 기본적인 요소로서, 국제 원기에 해당되는 소수의 calibration pit을 이용하는 보정과 제조 회사에서 보정 및 소규모의 알루미늄 블록과 물을 이용하는 일반 사용자 보정이 있다.

김기주(2001)와 김영화외(2004)는 상용의 알루미늄블록과 수조를 이용하는 보정의 문제점을 지적하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 국내에서도 검층관련 학교, 연구소 및 회사차원에서 보정시설을 염두에 둔 시추공 확보에 노력해 왔다(김영화 외, 2004, 유영철 외 2004). 그러나 본격적인 보정시설과는 거리가 멀다고 할 수 있다. 따라서 보다 근원적인 보정문제의 해결을 위하여 국내 물리검층관련회사의 지원하에 강원대학교 교정에 국제규모의 밀도검층 보정시설을 마련하는 계획을 세웠다.

본 연구는 밀도검층을 중심으로한 지구물리검층보정시설을 마련하기 위해 행해진 그간의 연구결과들을 제시하고 그 과정에서 제시된 문제점들을 함께 논의하기 위하여 이루어졌다.

### 2. 기존의 검층보정공

미국, 캐나다, 헝가리, 일본 등 세계 여러나라에서 물리검층을 위한 보정시설을 운영하고 있으며 그 중에서 특히 미국의 휴스턴대학과 Denver Federal Center에 있는 보정시설과 캐나다 지질조사소의 물리검층 보정공 시설이 가장 잘 알려져 있다.

Univ. Houston에 있는 Test pit은 석회암괴를 채석하여 형성된 모형지층에 생성된 시추공으로 density검층, neutron logging, Gamma검층 등에서 국제원기의 역할을 수행하는 중요한 보정시설이다. 그러나 이는 석유검층을 대상으로 4인치 이상의 대구경 시추공으로 구성되어 일반적으로 3인치 시추공으로 이루어지는 지반공학용에 적용하기에 적절하지 못한 문제점이 있다. 이에 비하여 콜로라도 덴버에 있는 Denver Federal Center의 test pit은 애당초 광업과 지반공학분야에서 검층시스템의 보정을 위하여 76.3 mm의 시추공을 중심으로 설계되었다. 밀도, 음파, 대자율, 전기전도도 검층장치의 보정을 목적으로 설계되었으나 밀도와 대자율이 가장 중요한 요소이다. 저밀도-저대자율 모델, 중밀도-중대자율 모델, 고밀도-고대자율 모델 및 마그네타이트 모델로 이루어지는 4개의 NX시추공이 기본이며 이외에도 2인치, 5인치 및 8인치 시추공을 추가적으로 마련하여 시추공 보정에 대비하였다 (Snodgrass, 1976).

캐나다 지질조사소의 보정공은 자연감마와 밀도 보정을 대상으로, 실내에서 정밀하게 물성을 콘트롤하여 만들어진 콘크리트 실린더를 캐나다의 각 권역 중심에 옮겨 설치한 것으로 수직 보정공 외에도 수평 보정공도 운영하고 있다. Ottawa(76mm, 6공)와 Dartmouth(76mm 3공) 및 Calgary(100mm, 3공) 등에 여러곳에 있으나 검층보정공의 크기가 작고 밀도가 1.52-2.5 g/cm<sup>3</sup>의 범위로서 일반적인 암석밀도에 비하여 낮게 콘트롤되어 있다.

한편 국내에서는 강원대학교 캠퍼스에 모형시추공이 있다. University of Houston에서의 검층보정공과 같이 채석된 석재시료를 인위적으로 쌓아 만든 6m 깊이의 모형시추공으로 석회석과 화강암, 사암 셰일 등의 다양한 지질을 포함하고 있다. 인접한 봉명시추공과 함께 밀도보정에 활용되고 있다. 캐나다 지질조사소 보정공 설계시의 nominal radius of investigation과 nominal zone thickness를 감안하여 만들어진 것으로 본격적인 보정장치로서는 규모가 부족한 문제점이 있다.

이외에도 강원대학교 지구물리학과는 풍암분지에 퇴적암과 화산암 및 화강암을 관통한 시험검층공 1공(김영화, 1998)과 춘천시 동면 봉명수련원에 변성암 지역에 3개의 시험시추공(지오택컨설팅, 2001)을 운영하고 있다. 지질자원연구소, 충남대학교 및 공주대학교 교정 등에서도 화강암 지역에서의 시험시추공을 운용하고 있으며 편마암 지역인 (주)동아콘설팅트 야외실험동 내에서도 3개의 시추공을 시험공으로 운용하고 있다(유영철 외, 2004).

### 3. 검층보정공 설계상의 고려

검층보정공의 설계를 위하여 다음과 같은 것들이 기본 사항으로 고려되었다.

(1) 보정 검층공은 밀도검층을 주 목적으로하며 음파검층, 전기비저항, 대자율 검층의 보정을 감안한다. 특히 밀도검층자료의 보정에 가장 큰 비중이 두어지며 고밀도(2.8-3.0 g/cm<sup>3</sup>), 중밀도(2.2-2.4 g/cm<sup>3</sup>), 저밀도(1.5-1.8 g/cm<sup>3</sup>)의 밀도분포를 가지게하며 고밀도는 고대자율-고속도-저비저항의 구조로, 저밀도는 저대자율-저속도-고비저항의 구조로 만들도록 한다.

- (2) 검층보정시설은 3개의 NX 공경 실험공과 2개의 100cm 공경 실험공으로 구성된다.
- (3) 각 보정 검층공의 최소 규격은 직경 160cm, 높이 200cm의 원기둥으로 판단되며 지름 200cm, 높이 3 미터 이상을 유지하는 것이 바람직하다. 특히 음파검층의 보정을 감안하면 별도의 footing 구조없이 높이 4미터 내외의 원기둥 또는 4각기둥의 구조가 바람직하다.
- (4) 보정 검층공은 시멘트콘크리트로 형성하는 것을 기본으로하며, 필요에 따라서는 시멘트콘크리트공과 석재시료공을 함께 사용할 수 있다.
- (5) 실험공 형성시에 채취된 시료에 대한 실내 물성 및 역학실험을 실시하고 향후 보정작업의 수행을 위한 기초자료를 완벽하게 확보할 필요가 있다.

#### 4. 검층보정공 건설 시공상의 고려

지구물리검층 보정공 건설의 성패는 설계된 물성분포를 정확하게 그대로 실현할 수 있는가의 여부에 달려 있다. 특히 밀도의 반영이 가장 중요하게 간주되고 있으므로 사용될 재료의 밀도와 그 재료의 감마선 산란특성에 관한 고려가 매우 중요하다. 이를 위해 경량골재와 중량골재, 그리고 사용될 시멘트에 관한 종합적 고려가 필요하다. 경량골재와 중량골재의 선정시 밀도를 중심으로한 골재의 물성값 외에도 구성화학생분의 Z/A ratio에 대한 고려가 함께 필요하다.

고밀도-고대자율-고속도-저비저항의 실현은 중량골재, 자철석, 조강시멘트의 조합으로, 저밀도-고대자율-저속도-고비저항은 경량골재의 효과적인 선택으로 가능할 것으로 판단된다. 이것은 특히 중량골재와 경량골재의 선택이 중요한 변수가 될 것으로 나타난다. 중량골재는 자철골재가 가장 바람직스러우나 국내에서의 자철골재의 생산이 가능할지 불투명한 것이 문제점이다. 자철골재의 사용이 불가능한 경우, 가능한 밀도가 높은 골재를 사용하고 분산제 및 실리카흄을 사용함으로써 콘크리트내 공극 발생을 최소화하는 방법이 대안이 될 수 있다. 여기에 자철석 가루와 증점제를 첨가하는 방안이 추가될 수 있다.

경량골재는 표 1에서 제시된 바와같이 현재 국내에서 다양한 종류의 인공경량골재를 활용할 수 있다. 이 중에서 기포콘크리트는 일단 기포의 균질성 유지측면에서 문제가 있을 것으로 예상되어 제외되었으나 균질성 문제만 확보되면 좋은 방안이 될 수 있다. 톱밥콘크리트는 경제성과 밀도조절의 용이성에서 만족스러우나 Z/A ratio 측면에서 불리점을 감수해야 하며 장기적으로 밀도값 유지에 어려움이 있을 것으로 보인다. 신더콘크리트는 시멘트 몰타르와의 배합 이후에 밀도가 증가될 가능성이 있음이 장애 요인으로 등장하며 이점은 Perlite콘크리트에서도 비슷한 입장이다. 문헌조사의 결과만으로는 국내에서 포리스콘크리트의 이름으로 생산되고 있는 합성수지콘크리트와 폐유리를 이용하는 다공질 실리케이트콘크리트가 비교적 목적에 적합할 것으로 판단되고 있다. 합성수지 계열은 Z/A ratio 측면에서 불리한 점이 있으나 그 영향의 정도는 크지 않으며 흡수율이 낮은 경우에는 오히려 Z/A ratio 측면에서도 강점이 될 수 있다. 그러나 시멘트 몰타르와 결합하였을 때 밀도와 흡수율의 정도가 자료에 나타난대로 될지는 사전실험에 의하여 확인되어야 할 것이다. 실리케이트콘크리트는 무엇보다 Z/A ratio 측면에서 밀도보정공 골재로 가장 유리한 재료이다. 강도와 경제성 부분이 장애요인으로 나타난다. 현재로서는 합성수지콘크리트, 실리케이트콘크리트, 펄라이트 콘크리트, 신더콘크리트에 모두 가능성을 두고 재료시험 결과에 따라 최종결정을 하고자 한다.

시멘트콘크리트에 의한 보정시설 건설에서 예상되는 최대의 문제점은 균질성 유지이다. 이는 재료의 선정에서 골재와 시멘트의 효율적인 배합, 타설과정에서의 골재분리현상 등 여러면에서 세심한 배려가 필요한 일임을 시사한다. 특히 경골재의 부유나 중량골재의 침전에 의한 골재분리 현상 방지를 위해서는 함수비의 감소와 분산제 사용의 결합, 점중제 사용, 경화촉진제의 사용 등을 강구할 필요가 있다. 그러나 문제는 현재로서는 어느 것 하나도 결과를 확실하게 보증하지 못하고 있으며 시공 경험없이 수행되어야 한다는 점이다. 보다 완벽한 사전조사와 신중한 대처가 필요한 형편이다. 정확한 밀도값의 구현과 Concrete mixture의 균질성 유지를 위하여 보다 세심한 재료연구와 사전 시험의 필요가 요구되고 있다.

Table 1. 경량콘크리트의 종류 및 특성

구분	종류	내역	특징
천연경량 콘크리트	천연경량 콘크리트	화산암, 자갈등 천연골재 이용	현실적으로 공급 불가능
인공경량 콘크리트	펠라이트 콘크리트	진주암을 1000℃ 이상에서 고온팽창	저밀도(0.032-0.4g/cm <sup>3</sup> ) 시멘트모르타르와 결합시 밀도 변화 불확실
	신더 콘크리트	석탄재를 골재로 활용	시멘트모르타르와 결합시 밀도변화에 대한 예측 곤란
	합성수지 콘크리트	Ethyren, Vinil, Acetate, Poly Scrap 등	초저밀도(0.06-0.08 g/cm <sup>3</sup> ) 낮은 흡수율
	실리케이트 콘크리트	페유리로 만든 다공성 silicate aggregates	낮은 흡수율, 고가
기타특수 경량 콘크리트	톱밥 콘크리트	시멘트, 모래, 톱밥의 배합	저밀도 0.65-1.15 g/cm <sup>3</sup> 시간경과에 따른 밀도안정성 불명
	기포 콘크리트	콘크리트 함유시킨 기포의 양으로 밀도조절	정확한 밀도 구현과 균질성 유지에 한계
	다공질 콘크리트	잔자갈과 몰시멘트로 구성	구체적인 자료 없음

## 5. 결론

지구물리검층에 있어서 보정시설의 현황을 살펴보고 특히 국내 밀도검층에서 보정의 문제점을 짚어보고 검층 보정공의 설계에 필요한 자료들을 수집하였다. 검층 보정공 건설은 기본시설로 76mm 규격의 시추공 3개와 보조 시설로 100mm 규격 시추공 2개가 바람직한 것

으로 나타났다. 3개의 76mm 검층보정공은 각기 고밀도 - 고대자율 - 고속도 - 저비저항의 물성과 중밀도- 저대자율 - 중속도 - 고비저항의 물성, 그리고 저밀도 - 고대자율 - 저속도 - 고비저항의 물성으로 계획되었다. 2개의 100cm 검층보정공은 공경변화에 대한 영향 체크를 비롯한 향후 각종 시추공 시험에서 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

고밀도-고대자율-고속도-저비저항의 실현은 중량골재, 자철석, 조강시멘트의 조합으로, 저밀도 - 고대자율 - 저속도 - 고비저항은 경량골재의 사용으로 가능할 것으로 기대되며, 미국과 캐나다에 있는 기존의 검층보정공 보다도 효과적인 보정공 시공이 가능할 것으로 예상된다. 그러나 시공 경험 없이 국내에서 처음 시공되는 검층보정공 시설이니만큼 정확한 밀도값의 실현과 균질성 유지 측면에서 보다 세심한 배려가 필요하며 특히 사전 재료시험의 중요성이 부각되고 있다.

### 참고문헌

- 김기주, 2001, 밀도검층에서의 보정계수 산출을 위한 기초실험과 자연감마보정, p.53
- 김영화, 김기주, 1999, 갑산층 석회암에서의 코어물성과 검층물성 비교, 지질공학, 9권 3호, 253-265.
- 김영화, 발정빈, 김지훈, 김기주, Weijun Zhao, 밀도검층을 중심으로한 보정검층공의 특성과 설계, 2004대한지질공학회정기학술발표회, 21-26.
- 유영철, 이상태, 송무영, 2004, 다목적물리검층 및 시험용 공개시험공 프로젝트 소개, 2004대한지질공학회정기학술발표회, 39-44.
- 지오택 컨설파트(주). 2001. 강원대학교 연습립 지반조사 보고서, 105p
- Hearst, J. R. and Carlson, R. C., 1969, The RIDS - A density logger for rough holes: Geophysics, 34, no. 02, 222-234.
- Pickell, J. J. and Heacock, J. G., 1960, Density logging: Geophysics, vol.25, no 4, 891-904.
- Schock, L.D., Killeen, P.G., Elliot. B.E., and Bernius G.R., 1991, A review of Canadian calibration facilities for borehole geophysical measurement. Proc. of the 4th International MGLS/KEGS Symposium on Borehole Geophysics for Minerals, Geotechnical and Groundwater Application, Toronto, 191-202.
- Schlumberger Educational Services, 1989, Log Interpretation Principles Applications, p.13-19.
- Snodgrass, J.J., 1976, Calibration Models for Geophysical Borehole Logging. USDI Report 8148
- Tittman, J. and Wahl, J. S., 1965, The physical foundations of formation density logging (gamma-gamma): Geophysics, 30, no. 02, 284-294.