

## 물리검층공에서의 심도오차에 대한 분석과 보정 A Study on the Errors in Depth from a Geophysical Logging Well

김영화 (Yeonghwa Kim)

강원대학교 지구물리학과

장승익 (Seung Ik Jang)

강원대학교 지구물리학과

### 요약 / ABSTRACT

효율적인 검층해석을 위한 기초연구의 일환으로 검층에서의 심도 오차의 원인과 범위를 추적하고 심도보정을 실시하였다. 이를 위하여 강원도 홍천군 서석면 일대를 중심으로한 소규모 퇴적분지의 하나인 풍암분지 내의 한 시험시추공을 대상으로 물리검층 예비시험과 물리검층, 코어검층, 그리고 코어물성측정을 실시하고 그 결과를 종합적으로 분석하였다. 연구결과 물리검층 자체에서 나타나는 심도오차의 크기는 무시할 수 있는 수준임이 밝혀졌으며 이로부터 물리검층에서의 심도를 시추공 조사의 심도기준으로 정할 수 있었다. 아울러 코어물성측정 결과는 코어시료의 심도 보정에 효과적으로 적용될 수 있음을 보였다.

Multiple logging techniques consisting of geophysical logs, core logs, physical property measurements on core samples have been adopted on a test borehole drilled in the Pungam basin ; a small Cretaceous sedimentary basin located in Sosok area, Hongchon-gun, Kangwon Province, Korea. This study has been made to solve the problem of mismatches between the results of geophysical log and core log analyses. And the cause and range of depth errors as well as logging responses were studied. The result shows that the depth error caused by geophysical log is so small that it can be used as a reliable depth criterion in the borehole. The analysis of physical property measurements is also shown as very effective in determining the real depth and the geology of the borehole.

### 서론

물리검층과 시추코어 관찰(이하 코어검층) 결과 사이에는 정도의 차이가 있으나 일반적으로 심도 차이가 존재하고 있다. 강원도 홍천군 서석면 일대

를 중심으로한 소규모퇴적분지의 하나인 풍암분지 내에 있는 실험시추공에서도 물리검층과 코어 검층 결과 사이에 상당한 심도 차이가 나타나고 있으며 이 지점에서의 정확한 지질상태 해석에 장애가 되고 있다(김영화, 정대교, 1996). 물리검층과 시추코

어 관찰 결과 사이에 나타나는 심도차는 코어검층과 물리검층이 지나는 특성차로부터 충분히 예상될 수 있다. 우선 코어검층은 암석학적 판단에 근거하고 있는 반면에 지구물리학적 검층은 암석, 공극 내 유체, 시추공의 상태 등 다양한 요인에 의한 물리특성을 반영하고 있음이 이유가 될 수 있다. 시추코어가 대부분의 경우 단속적인 자료를 제시하고 있는 반면에 물리검층은 시추공에서의 연속적인 자료들을 제공하고 있는 점도 또 다른 차이점이다. 물리검층에서는 시추코어 관찰에서 염려되는 조사자의 주관적인 판단을 배제할 수 있는 장점을 가지고 있는 반면에 검층반응이 유일반응(unique response)이 되지 못한다는(Keys, 1989) 단점도 함께 가지고 있다. 물리검층에서의 검층반응이 여러 암상들에 대하여 독특한 양상을 보이긴 하지만, 동일 퇴적분지 안에서도 물리검층 반응양상이 달라 나타날 수 있으며 이것이 잘못된 검층해석의 요인이 될 수도 있다.

따라서 물리검층의 해석은 잘 계획된 시추조사와 물리검층 외에도 코어검층, 체계적인 물성측정 및 물성분포의 특성 분석 등 다양한 방법의 적용과 종합적 비교분석이 전제된 경우에 성공적인 결과를 기대할 수 있다. 이러한 사항들은 모든 물리검층과정에서 언제나 염두에 두어야 할 기본적인 접근방법이며 복잡한 지질구조 지역일수록 그 필요성이 커진다. 따라서 효과적인 물리검층 해석을 위해서는 검층기기의 물성반응특성 및 측정의 반복성 유지 여부에 대한 체크와 각 물성반응이 지시하는 심도에 대한 신뢰성 확보가 우선되어야 한다. 사용자 측면에서 검층기 물성반응에 대한 고려란 바로 적절한 보정(calibration)과 표준화(standardization) 문제로 귀결되며 이는 제조회사가 추천하는 방법에 따르거나 또는 일반적인 이론에 준하여 해결이 가능하다. 특히, 측정값에 절대적인 의미를 부여하는 경우 물리검층자료의 보정 또는 표준화는 필수적이라 할 수 있다.

물리검층에 있어서 심도값이 가지는 의의는 절대적이며 엔코더(encoder) 작동의 적정성을 비롯한 검층심도의 신뢰성 문제는 물리검층에서 가장 먼저 해결되어야 할 과제이며 아울러 매 측정마다 고려되어야 할 대상이다. 풍암퇴적분지에 있는 시험시추공에서의 검층결과와는 코어검층결과와 2-4미터의 심

도차이를 보이고 있으며 두 심도 간에는 평행이동적인 특성과 신축적 특성을 함께 가지고 있어 코어검층 결과와의 대비가 쉽지 않음을 보였다(김영화, 정대교, 1996). 대비의 어려움은 이 지역 암석에 대한 물성반응 특성이 알려져 있지 않은 점과 상대적으로 박층의 지층이 빈번히 교대되고 있음에도 기인하지만 기본적으로는 심도자료에 대한 불확실성에 가장 크게 기인하고 있다. 심도불일치 문제는 특정 지역의 물성반응 특성을 확인하는 기본적인 연구과정에서 최대 장애요인으로 등장하고 있다. 따라서 본 연구에서는 물리검층과 시추조사 사이에서 나타나는 심도 불일치 문제를 추적하고 특정 검층현장에서의 검층 심도의 신뢰성을 확인하는 과정을 제시하고자 하였다. 이러한 관점에서 퇴적분지 내의 한 실험시추공을 대상으로 물리검층과 물리검층을 위한 예비시험, 코어검층, 그리고 코어물성측정 등을 실시하고 그 결과를 종합적으로 분석하였다.

## 지 질 개 요

시험시추공은 중생대 백악기에 형성된 것으로 판단되는 경상계 소퇴적분지의 하나인 풍암분지 속에 위치하고 있다(Fig. 1). 주변의 지질은 편마암과 화강암, 안산암, 그리고 각종 퇴적암류 및 암맥류 등을 포함하는 다양한 분포를 보이고 있다(강필중, 진명식, 1972).

시험 시추공의 지질구성은 화강편마암의 기반 위에 이암, 역암, 사암의 복잡한 호층으로 구성되는 경상계퇴적암이 발달하고 있으며 퇴적암 사이에 화성암의 관입 내지 분출의 흔적이 인지되고 있는 등 매우 복잡한 지질 구성을 보인다(Cheong and Kim, 1997; 이희권, 1997). 상부로부터 하부로 정리된 실험시추공의 지질구성은 조립질퇴적암, 세립질퇴적암, 세립질 및 조립질퇴적암의 호층대, 조립질퇴적암, 관입변질대, 및 변성암으로 구분될 수 있다(Fig. 2).

심도 18미터까지의 최상부 조립질퇴적암 구간은 주로 회색 내지 회갈색의 조립사암으로 이루어져 있으며 상부 일부 구간에서 적색이암이 협재되고 있다. 풍화정도는 상부가 풍화토 내지 풍화암(Completely Weathered to Highly Weathered)의

상태이며 하부에서는 풍화암의 상태를 보인다. 18미터 하부에 있는 세립질퇴적암 구간은 국부적으로 적색 실트질역암을 협재하는 적색이암의 주 분포 구간으로 풍화암 또는 보통암(Moderately Weathered) 정도의 풍화등급을 보이고 있다.

심도 36미터부터는 세립질과 조립질 퇴적암이 호층으로 나타나고 있다. 적색이암과 적색 실트질 역암이 매우 자주 교대되고 있으며 부분적으로 회갈색 사암이 협재되고 있다. 보통암 이상의 풍화등급을 보이고 있다. 73-89미터 구간의 세립질과 조립질 퇴적암의 호층대는 녹회색의 색조가 특징적으로 상부의 적색퇴적암과 쉽게 구분되며 조립사암 내지 역질사암과 사질이암으로 구성되어 있다. 이 구간의 퇴적암은 약간풍화(Slightly Weathered)의 풍화등급으로 화학적 풍화의 흔적은 거의 발견되지 않는다. 하부의 조립질 퇴적암(89-111미터) 구간은 상부에서 조립사암 또는 역질사암이 발달하는 반면

에 하부로 내려갈수록 점차 세립화하는 경향을 보여 역질이암과 사질이암이 분포하며 매우 자주 박층의 이암이 협재되는 구간이다. 이 구간에서는 녹회색이 전반적인 색조를 대표하고 있으나 적회색의 색조도 함께 관찰된다. 분급이 불량한 편이나 하부로 갈수록 세립화하는 경향을 보인다.

관입변질대(111-121m)는 장식반암으로 판단되는 암석과 변질 사암류가 함께 나타나는 구간으로 화성활동에 의한 변질의 영향을 가장 많이 받은 구간으로 판단된다. 특히 하부구간에 있어서는 거의 화강암의 조직을 보이고 있으며 파쇄 변질의 정도가 매우 심하다. 심도 121미터 이하의 최하부층은 화강암질 편마암이며 소규모의 경상계퇴적분지인 풍암퇴적분지의 퇴적기반(Basement)으로 판단되고 있다. 이 구간 역시 상부에서는 심한 파쇄의 흔적이 나타나고 있다.

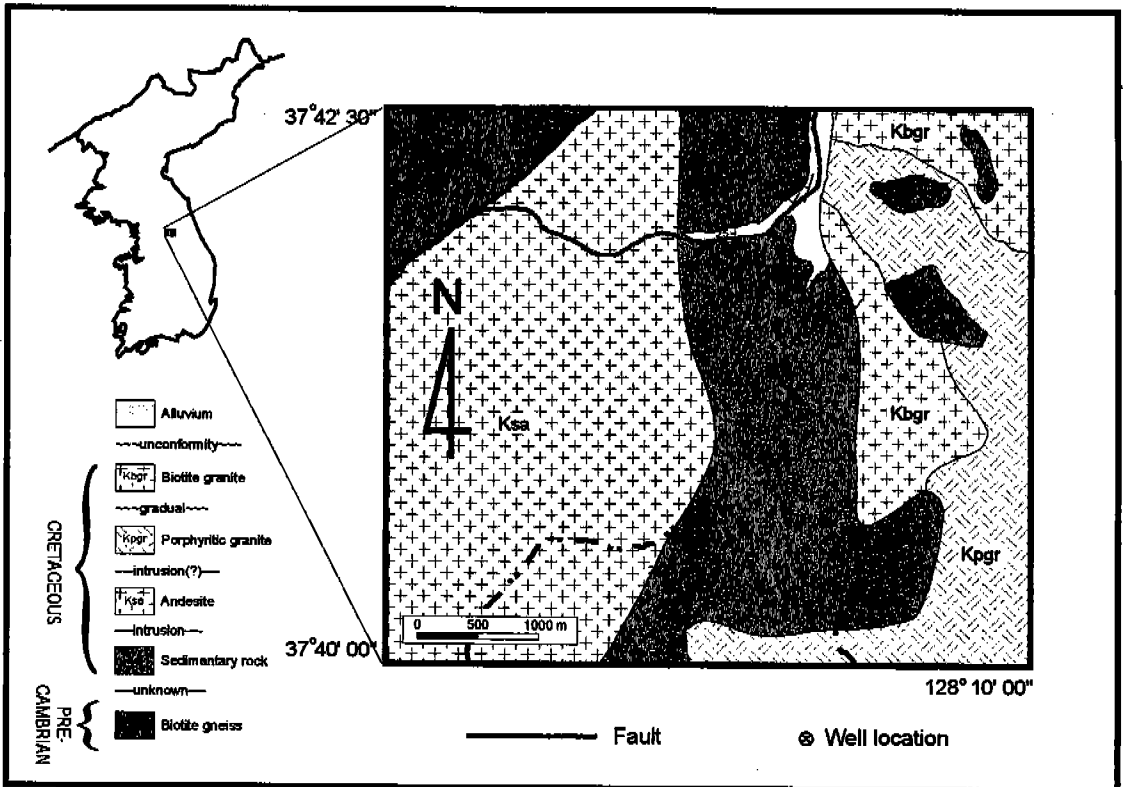


Fig. 1. Geologic map and well location.

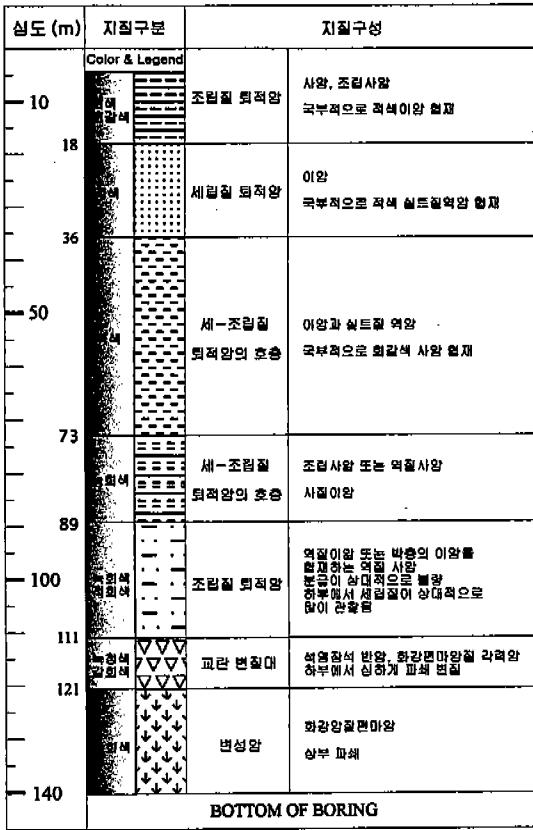


Fig. 2. Schematic representation of the geology of the well.

## 방 법

### 1. 지구물리검층

물리검층기는 영국 Robertson Geologging Ltd.의 Portalog System을 사용하였다. 검층기는 Portalog III을 비롯하여 윈치(Winch), 엔코더(Encoder), 전지(Battery) 및 sonde로 구성된다(Fig. 3). Sonde로서는 온도(TEMP), 전기(ELOG), 지향식(FOCU) 및 밀도(FDGT)의 4가지가 사용되었다. TEMP sonde를 통하여 온도와 전기전도도 검층곡선이 얻어졌으며 이로부터 전기검층자료의 보정에 이용되었다. ELOG sonde에서는 짧은 이극법(Short Normal), 긴 이극법(Long Normal), 단전극법(SPR) 검층곡선이 얻어졌으며 자연감마검층이 함께 이루어졌다. ELOG Sonde의 이동속도는 6 m/min를 기준으로 삼았다. FOCU sonde로는 지향식전기검층

(Focussed resistivity log)과 자연감마 검층곡선이 얻어졌으며 6 m/min를 기준으로 자료를 획득하였다. 한편 FDGT Sonde로는 BRD(Bed Resolution Density), HRD(High Resolution Density), 및 LSD(Long Spaced Density)의 자료를 획득하였으며 자연감마자료도 함께 얻어졌다. Sonde 이동속도는 2.4-3m/min를 유지하였으며 UP Mode로 측정이 이루어졌다. FDGT 검층장비는 Scintillation type의 감마탐지기와 Cs137 감마선 인공소스(artificial source), 그리고 공경측정장치로 구성되어있다. Merge작업과 자료보정작업 등 물리검층 자료의 처리는 PCL2를 사용하여 수행되었으며 그래픽작업 및 자료편집작업은 LOGCAD VERSION 2.6 (Robertson Geologging Ltd., 1995)이 사용되었다. 필터링은 이동평균법(Moving Average Method)을 사용하였으며 N값으로 11 또는 17을 주로 사용하였다. 또한 타 자료와의 비교분석의 경우에는 획득된 검층자료를 ASCII 형태로 변환하여 사용하였다.

### 2. 코어물성측정

코어시료의 자연감마측정에는 GRS-500 Differential Gamma Ray Spectrometer (EDA Instrument Inc.)가 사용되었으며, 주변 방사능 효과에 의한 오차를 없애고 좀더 신뢰성 있는 데이터를 획득하기 위해 측정작업은 3mm 두께의 납판으로 된 차폐장치 속에서 이루어졌다. 감마측정은 지속시간 10초에 400KeV이상의 감마선을 측정 대상으로 하고 한 시료에 대하여 5회 평균값을 취하였으며, 측정자료는 배경치 측정을 통하여 보정되었다.

밀도측정에서는 성형된 코어시료를 진공상태에서 일주일 이상 포화시킨 뒤 수중포화중량을 구하고, 섭씨 60도의 진공상태에서 70시간 이상 건조 후 건조중량을 측정하는 방법을 사용하였다. 중량의 측정은 Ohaus사의 상평저울 GT410이 사용되었다. 수침법에 의한 부피측정 동안 10분 간격으로 온도를 측정하여 온도변화에 따른 유체밀도값을 보정하였다. 전기비저항 측정은 시료를 진공펌프와 수중에서 3주 이상 포화시킨 후 실시하였으며 장비는 Portable Wheatstone Bridge(Yokogawa Electric Works, Ltd.)를 사용하였다.

물성측정을 위한 시료의 선정에서는 각 암상구간이 골고루 포함되면서 적당한 심도 간격이 유지



Fig. 3. Geophysical logging system used in the study.

될수 있도록 유의하였다. 자연감마의 경우에는 50 cm 내외의 샘플링 간격으로 별도의 시편 성형작업 없이 수행되었으며 시편성형 작업이 필요한 밀도와 전기비저항측정은 1-2 미터의 샘플링 간격이 유지되었다.

### 지구물리검층 결과

본 연구에서의 대상은 물리검층에서 얻어진 검층곡선 중 암석의 고유한 물리적 성질을 반영하고 있는 자연방사능, 전기비저항 짧은 이극법, 긴 이극법, Focussed, 감마감마 및 밀도 곡선을 대상으로 하였다. Fig. 4에는 획득된 물리검층 자료 중에서 64-124m 심도의 자료가 제시되어있다.

Fig. 4의 트랙 1에 나타난 감마검층곡선(N GM)의 특징은 약 90미터 심도를 기준으로 상부에서는 고감마(130 cps이상)와 저감마(95 cps이하)의 반복이 현저한 반면에 하부구간에서는 전반적으로 중간 정도의 자연감마값(95-130 cps)에 매우 복잡한 커브형태로 대조를 이루고 있으며 시추공 하부에서

다시 증가하는 경향(120 cps이상)을 보이고 있다. 상부에서 나타난 고감마와 저감마는 각기 세립질과 조립질 퇴적암의 존재를 반영하는 것으로 판단된다(김영화외, 1998). 90미터 하부의 복잡한 감마커브에 대해서는 정밀분석이 필요한 형편이나 시추공 바닥에 접근함에 따라 나타나는 비교적 높은 감마값은 퇴적분지의 기반인 화강편마암으로 판단되고 있다.

전기비저항검층의 결과는 짧은 이극법(SHN)과 긴 이극법(LON), 그리고 지향식검층(FOCU)곡선이 트랙 2에 제시되어 있다. 긴 이극법, 짧은 이극법 그리고 지향식검층곡선 순으로 해상도가 크게 향상되고 있으며 해상도가 좋은 짧은 이극법과 지향식검층곡선이 암층구분에 효과적으로 이용될 수 있었다. 이극법비저항곡선에서 1000 ohm-m 이하의 낮은 비저항값은 일단 세립질퇴적암층인 이암으로, 그리고 1200 ohm-m 이상의 높은 비저항값은 조립질퇴적암층인 사암 또는 역암에 해당될 것으로 판단되고 있다. 하부 120.5m 이하에서 2000 ohm-m 이상의 높은 비저항의 존재는 화강편마암에 대비되

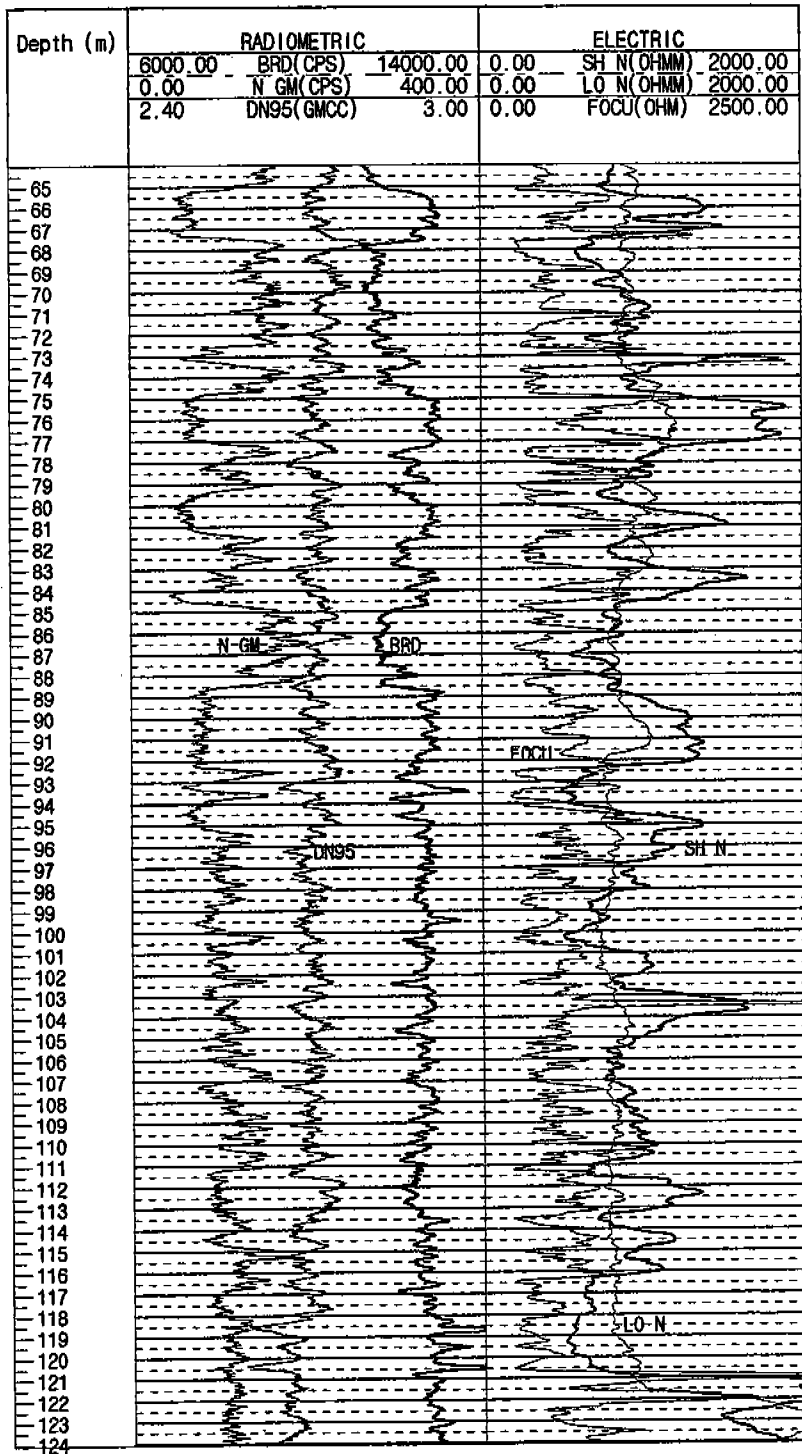


Fig. 4. Geophysical logging curves obtained from the test borehole.

고 있다.

밀도검층의 결과로는 BRD, HRD, 및 LSD 곡선이 얻어졌으며 LSD곡선으로부터 밀도(DN95)곡선이 구해졌다. BRD곡선은 획득된 감마감마검층 자료를 중 가장 해상도가 좋은 자료로서 자연감마곡선의 변화와도 가장 큰 연관성을 가지므로 암상비교에 주로 이용되었다. BRD곡선은 밀도값과 역의 관계를 보여주므로 결과적으로 세립질 퇴적암인 이암 구간에서는 높은 밀도값을, 조립질퇴적암인 사암, 역암층에서는 낮은 밀도값을 보이는 것으로 해석된다. 전구간에 걸쳐 2.5-2.8g/cm<sup>3</sup>의 밀도분포를 보이고 있으며 117-120미터 구간에 나타나는 2.6g/cm<sup>3</sup> 내외의 값은 파쇄대의 영향으로 보인다.

코어시료의 암석특성을 감안한 시험시추공의 물리검층곡선에서의 물성반응은 세립질퇴적암에서의 고감마-저비저항-고밀도와 조립질퇴적암에서의 저감마-고비저항-저밀도 및 화강편마암에서의 고감마-고비저항-저밀도로 뚜렷이 구분된다. 전술한 3종류의 물성기준층(key bed)은 Fig. 2에서의 시추결과와 개략적으로 잘 대비되고 있으나 실제로 2내지 4미터의 심도오차가 나타나고 있다.

## 심도 오차와 보정

### 1. 물성대비와 심도 오차

물리검층과 코어검층 사이에서 나타나는 심도 오차의 정도는 Fig. 5에서 제시된 65-90미터 구간에서의 물리검층과 코어검층의 결과 비교에서 잘 나타나고 있다. 64-92미터 구간은 조립질과 세립질의 교대 발달현상이 현저하고(Fig. 2) 물리검층곡선에서 고감마-저비저항-고밀도와 저감마-고비저항-저밀도로 대비되는 물성구분이 특히 뚜렷하여 물리검층과 코어검층의 상호 비교 구간으로 선정되었다. 물리검층과 코어검층의 상호 비교의 결과는 Fig. 6부터 9에 나타나 있다.

Fig. 6은 자연감마측정의 코어물성자료와 물리검층자료를 심도에 따라 대비시킨 결과를 나타내고 있다. Fig. 6의 좌측은 코어시료의 감마값과 감마검층값을 심도에 따라 도시한 것으로 둘 사이에 어긋남 현상이 나타나고 있다. 양자간의 어긋남의 정도 및 형태가 Fig. 5에서의 물리검층(GP LOG)과 코어

검층(CORE LOG)의 비교에서 나타나는 양상과 비슷한 점이 주목되었으며 이것을 중심으로 심도값의 보정(표1)을 시도하였다. 표 1에서의 심도별 보정의 내역은 Fig. 5 외에도 물성에 의한 암상판정과 각종 절리연구기법의 적용결과(김영화외, 1998)에 의하여 가능하였다. 심도보정은 물리검층 심도를 고정하고 코어심도를 평행 이동시키는 방법을 사용하였다. Fig. 6의 우측이 바로 심도 보정 후의 코어시료 감마값을 감마검층값과 비교한 것으로 매우 좋은 일치를 보임을 알 수 있다.

Fig. 7은 코어비저항값과 전기비저항 짧은이극법 검층(SH N)자료를 이용하여 동일한 심도 보정을 수행한 결과로서 심도보정을 전후한 비교 결과가 각기 좌측과 우측에 제시되어 있다. 자연감마자료와 마찬가지로 표 1에서 제시된 값에 따라 심도보정을 한 후에 두 곡선간에 매우 좋은 일치를 얻었다. Fig. 8은 지향식비저항검층(FOCU)자료를 이용한 경우로서 이극법검층 자료에 비하여 향상된 상관관을 보이고 있다. 이러한 현상은 FOCU곡선의 높은 해상도를 감안할 때 예상된 결과로서 심도보정이 적절하게 이루어졌음을 보여주는 간접적인 증거라고 볼 수 있다. Fig. 9에 제시된 밀도자료는 자연감마와 비저항 자료에 비하여 상관의 정도가 약간 떨어지고 있으나 역시 심도보정을 거친 자료에서 보정 전과 비교해 현저한 상관성 증가를 보여주고 있다. 이와같은 결과는 결과적으로 심도보정 작업이 적절하게 수행되었음을 말해주고 있다.

Table 1. Summary of depth correction applied to the core data.

Core-Log Depth (m)	68.70	76.00	79.00	81.60	83.60
심도보정치 (m)	1.20	1.40	1.75	1.85	2.25
Core-Log Depth (m)	87.00	91.00	98.10	114.20	120.00
심도보정치 (m)	2.45	2.70	2.70	3.20	3.50

### 2. 심도오차의 원인 규명

물리검층과 연관된 심도오차는 부정확한 시추코어자료 또는 물리검층자료에 그 원인이 있으며 경우에 따라 양쪽에서 모두 오차를 발생시킬 수도 있다. 물리검층에서 심도오차는 1) 심도기준면(datum level) 오차 2) 시추공의 휘어짐(hole deviation) 3)

엔코더의 문제 4)케이블의 늘어남(cable stretching) 등에 기인하는 것으로 예상된다.

본 연구에서는 모든 물리검층작업이 시추공의 케이싱 상단을 심도기준으로 삼아 동일하게 실시되

었으므로 심도기준면과 연관된 오차는 적어도 물리검층 상호간에는 존재하지 아니하며 혹시 물리검층과 코어검층의 기준면이 달랐다면 이는 평행이동적인, 즉 동일한 크기의 오차발생을 의미하게 된다. 그

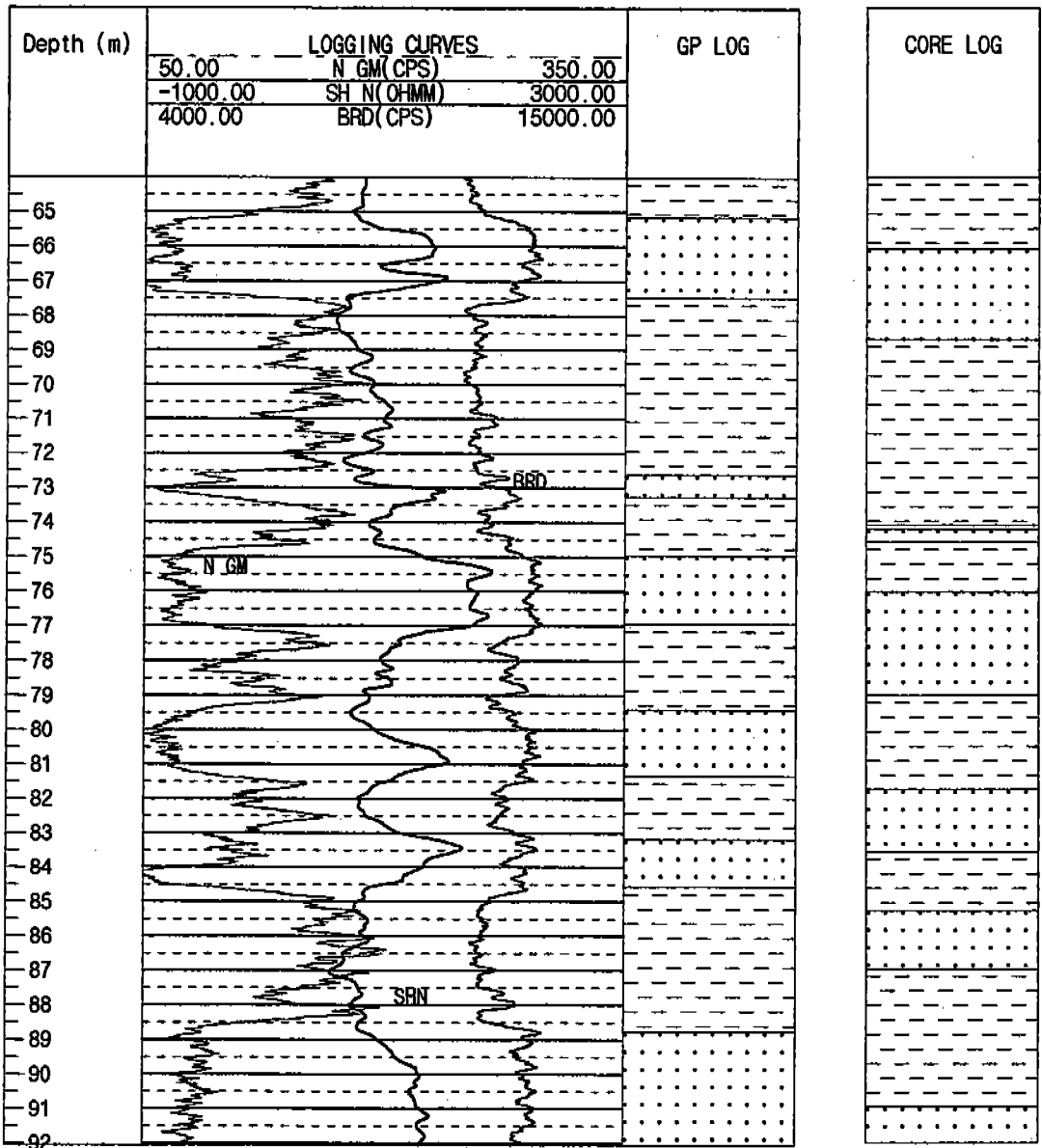


Fig. 5. Comparison between geophysical log(GP LOG) and core log(CORE LOG) analyses. Dashed and dotted symbols both in GP and CORE tracks represent fine and coarse sedimentary rocks, respectively.



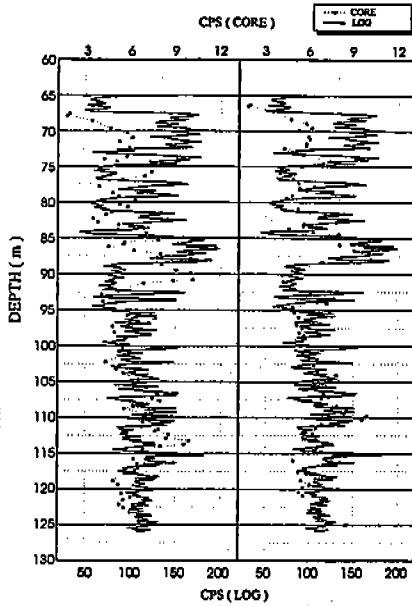


Fig. 6. Comparison of natural gamma responses obtained from core analyses and geophysical log before(left) and after (right) the depth correction.

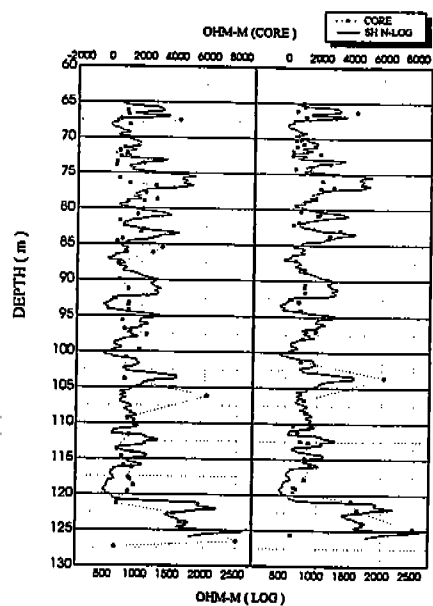


Fig. 7. Comparison of resistivity responses obtained from core analyses and short normal log before(left) and after (right) the depth correction.

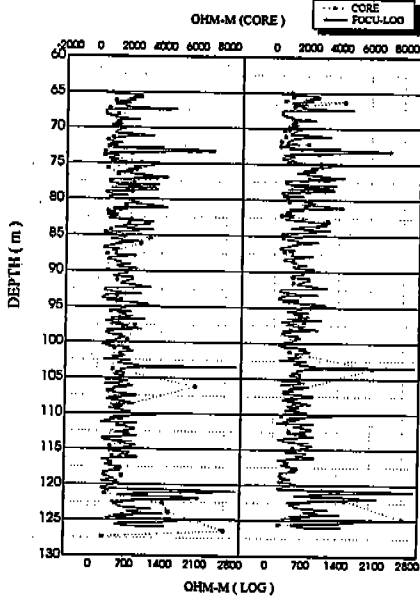


Fig. 8. Comparison of resistivity responses obtained from core analyses and focussed log before(left) and after (right) the depth correction.

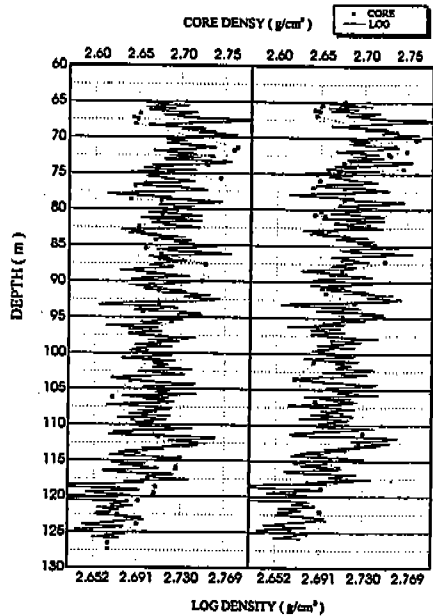


Fig. 9. Comparison of density responses obtained from core analyses and geophysical log before(left) and after (right) the depth correction.

러나 본 연구에서는 신속적인 오차 즉 심도에 따라 크기가 달라지는 오차를 대상으로 하고 있으며 시추공 상부 구간의 해석이 완료되지 못한 상태를 감안하여 본 연구의 논의 대상에서 제외시켰다. 시추공의 휘어짐은 본 시험공에서 실시된 시추공텔레뷰어 및 시추공카메라 검증결과(김영화 외, 1998)로부터 그 가능성이 배제되었다. 엔코더의 문제는 보정파일의 적정성과 현장에서의 엔코더 운용조건에 따라 달라질 수 있는 오차문제로 구분될 수 있다. 그러나 엔코더의 표준화를 위해 시행된 예비시험에서 엔코더 표시심도와 실측심도 간의 차이가 100m에 10cm 즉 오차범위 0.1% 미만으로 나타나 엔코더합수에 문제가 없음을 확인하였다. 따라서 심도오차는 현장에서의 엔코더 운용 또는 케이블

늘어남에서 유발되는 오차의 가능성에 집중되고 있다.

이 두가지 가능성의 추적에는 run time을 달리 하는 자연감마검층곡선의 비교가 효과적이다. 즉 암석의 자연감마반응은 절리나 풍화 그리고 함수비의 변화에 영향이 적어 주로 지질학적 특성만을 반영하는 장점이 있으며 시추공 내에서는 높은 해상도에다 측정의 반복성도 좋다(Schlumberger Educational Service, 1989). 이러한 성질은 자연감마반응이 검층에 있어서 효과적인 심도지시자(depth indicator)로서의 특성을 가졌음을 시사하고 있다.

본 연구에서는 동일한 자연감마 측정장치(detector)를 포함하고 있는 3개의 sonde 즉 ELOG(전기), GLGG(지향식비저항) 및 FDGT(밀도)를 동

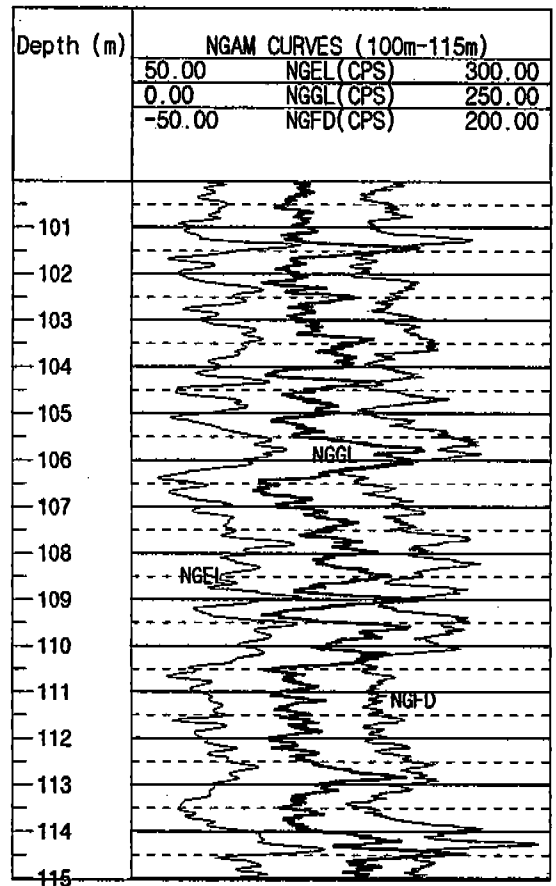
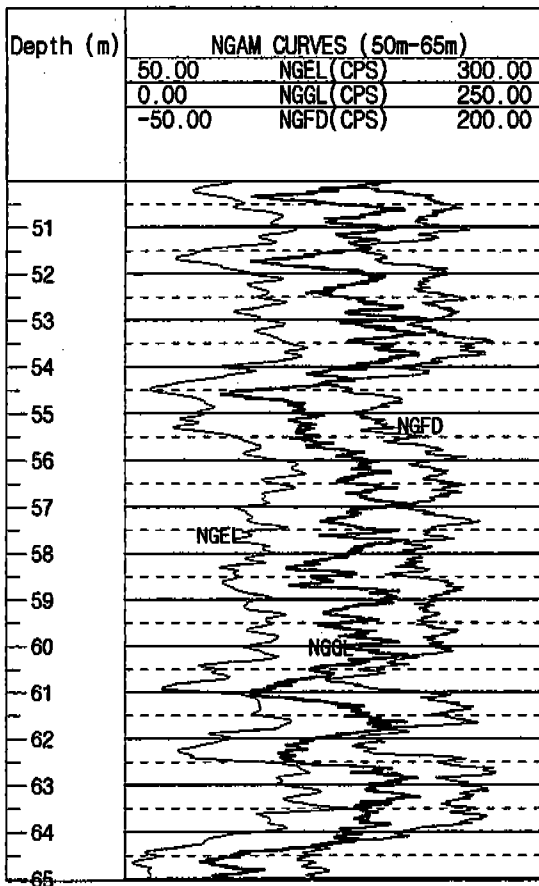


Fig. 10. Comparison of 3 sorts of natural gamma curves obtained between 55 and 65 meters(left), and between 100 and 115 meters(right).

일한 시추공 구간에 적용하므로써 3종류의 자연감마검층곡선이 얻어졌다(Fig. 10). Fig. 10의 좌측에서는 심도 50미터와 65미터 사이의 세 자연감마 곡선(NGEL, NGGL 및 NGFD)을 제시하고 있다. NGEL, NGGL 및 NGFD는 각기 ELOG, GLOG 및 FDGT sondes에서 구해진 자연감마를 표시한다. 세 자연감마 곡선은 방사성붕괴의 통계변위특성(statistical fluctuation) 범위 내로 수렴하면서 거의 동일한 진폭을 보이고 있으며 약간의 심도 불일치 현상이 관찰되고 있다. 곡선간의 효율적인 대비를 위해서 이동평균법에 의해 필터링(N=11) 한 자료를 평행 이동시켜 표시하였다. 현저한 peak를 기준으로 볼 때 심도 오차는 대체로 0.20미터 이내임을 보인다. Fig. 10의 우측에서는 상대적으로 심부인 100미터와 115미터 심도 사이에서의 결과를 제시한 것으로 50-65미터 사이의 경우와 거의 동일한 0.2미터 이내의 심도오차를 보이고 있다.

이와 같이 각기 다른 측정(Run)에서 얻어진 세 감마곡선이 무시 가능한 오차 범위 이내의 동일한 결과를 보이고 있음은 엔코더 자체의 기기적 오차가 이 시험공에서 크게 영향을 미치지 않았음을 보여주는 증거라고 할 수 있다. 또한 심도변화에 관계없이 동일한 오차를 보이고 있음은 검층 케이블의 스트레칭 문제가 영향을 미치지 않고 있음을 의미하고 있다. 특히 sonde의 중량과 패드(pad) 마찰에 의한 추가하중으로 매우 큰 인장력이 케이블에 작용된 상태에서 얻어진 NGFD 곡선에서도 거의 같은 경향을 보이고 있음은 스트레칭이나 엔코더와 관련된 심도오차가 없음을 뜻한다. 따라서 이 시추공에서의 물리검층자료에 한해서는 심도오차가 무시 가능한 것으로 결론지을 수 있다.

## 결 언

엔코더 확인시험을 비롯한 각종 검층예비시험, 검층곡선 특히 자연감마곡선의 비교분석, 코어물성반응과 검층물성반응의 비교 등에 의하여 이 시험시추공에서의 물리검층으로부터 유발된 심도오차는 무시될 수 있는 수준인 것으로 밝혀졌다. 아울러 연구결과는 이 시추공에서 획득된 코어자료의 심도가 보정의 대상이 되어야함을 지시하고있다. 결과적으로 코어검층에서 발생된 심도오차는 최대오차

의 경우 3.5미터를 상회하고 있으며 이는 관찰구간 60미터에 대하여 약 2.5미터의 순수오차 발생에 해당되고 있다. 이 결과는 정밀한 지질정보가 요구되는 경우에 시추가 잘못된 지질조사의 가장 큰 원인이 될 수 있음을 시사하고 있다.

실제로 이 시험시추공의 경우는, 다이어비트(double tube core barrel)를 사용하여 90% 이상의 코어회수율이 얻어진 곳으로 시추과정에서부터 코어로깅에 이르기까지 각별한 주의와 노력이 이루어진 모범적인 조사 케이스에 해당된다. 그러나 모범적인 조사 케이스란 관점에서 볼 때 이 결과는 의외라고 할 정도로 매우 큰 오차규모라 할 수 있으며, 따라서 일반적인 시추에서 나타날 수 있는 심도오차의 범위는 이보다 훨씬 더 심각한 수준이 될 수 있음을 의미하고 있다. 사실 많은 경우에 있어서 잘못된 조사결과가 단지 확인되지 않고 덮여지고 있을 뿐이라고 할 수 있다.

본 연구에서 물리검층의 역할은 지층에 대한 정확한 판정 외에도 지층심도의 정확한 결정을 위해서도 효과적인 수단이 될 수 있는 것으로 나타났다. 물론 물리검층자료가 완벽한 심도지시자가 되기 위해서는 물리검층 전 과정에서 예상될 수 있는 모든 영향요소에 대한 검토가 거의 완벽하게 이루어져야 하겠지만 일단 한번 체크한 이후에는 조사자의 최소한의 노력으로 충분히 가능한 것으로 나타났다. 특히 물리검층에서는 숙련된 1인의 기술자에 의해서도, 짧은 시간 내에 동일조건으로, 여러 종류의 자료가 동시에 획득되며 최소한의 노력으로 다음 측정에서의 반복성 유지가 가능하므로, 그 오차의 여부와 범위를 객관적으로 체크 할 수 있음이 큰 장점이며 향후 이러한 장점의 활용이 요구되고 있다. 금번에 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 향후의 효율적인 검층해석을 위한 기초연구의 성격에서 검층에서의 심도 오차의 원인을 분석하였으며 특히 자연감마검층곡선을 이용하여 물리검층오차의 원인과 오차 범위를 결정하였다.
- 2) 물리검층에서 나타나는 심도오차의 크기는 무시할 수 있는 수준임이 밝혀졌으며 이로부터 물리검층에서의 심도를 심도기준으로 정할 수

있었다.

- 3) 코어시료의 심도는 각별한 주의가 기울여지는 경우에도 예상외의 큰 오차가 발생될 수 있으며 정밀지질조사의 경우 이에 대한 대비가 필수적인 것으로 나타났다.
- 4) 코어물성측정 결과는 코어시료의 심도 보정에 효과적으로 적용될 수 있음을 보였으며 일반적으로 낮은 코어회수율의 토목, 지하수 또는 환경목적의 검증해석에서도 효과적으로 활용될 수 있음을 보였다.

## 사 사

먼저 시험시추공의 시추작업을 주선해 주시고 물심 양면으로 도와주신 남원산업의 정사용 사장님과 자연감마측정기를 사용하게 해주신 서울대학교 사범대학 지구과학교육학과의 권병두 교수님께 감사사를 드린다. 아울러 검증에비시험과 지구물리검층자료 획득과정에서 도와준 강원대학교 지구물리학과 의 여러 학생들에게 고마움을 표한다. 이 연구는 강원대학교부설 자원개발연구소의 일부지원으로 수행되었다.

## 참 고 문 헌

강필중, 진명식, 1972, 한국지질도 풍암도폭(1:50,000), 국립지질조사소.

김영화, 정대교, 1996, 풍암퇴적분지에서 얻어진 물리검층곡선의 특성분석. 대한지질공학회 학술발표회, 31-32.

김영화, 김중열, 현혜자, 장승익, 1998, 시추공 물리검층 결과의 종합 해석. 대한지질공학회 학술발표회 11-17

정대교, 김경희, 1997, 강원도 홍천 일대의 백악기 풍암분지 퇴적층에 대한 퇴적학적연구, 대한지질학회 학술발표회(요약문), 13p.

이회권, 1997, 강원도 홍천지역 풍암분지에 대한 구조지질학적 연구. 강원대학교, p. 12-37.

Cheong, D. and Kim, K., 1997, Sedimentary basin analysis of the tectonic-controlled Cretaceous Poongam Basin in mid Korea, Crustal

Evolution in Northeast Asia : Proceeding on 4th Korea-China Joint Geology Symposium, The Research Institute for Development of Earth Resources, Kangwon National University, p. 133-139.

Keys, W. S., 1989, Borehole Geophysics applied to groundwater investigations, National Water Well Association. 297p.

Robertson Geologging Ltd., 1995, LogCAD Version 2.6 Introduction and user guide. Digital Geologging Systems and Services, 26p.

Schlumberger Educational Services, 1991, Log Interpretation Principles and Applications. 3rd ed., Schlumberger Ltd., 13-19p.

---

김 영화 장승익  
 강원대학교 자연과학대학 지구물리학과  
 200-701 강원도 춘천시 효자동  
 Dept. of Geophysics, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwondo 200-701 Korea  
 Tel : 0361-250-8582  
 Fax : 0361-244-8580  
 Email : yhkim@cc.kangwon.ac.kr