

## 밀도검층에 있어서 자연감마 영향의 보정

김영화 · 김기주 (강원대학교 지구과학부)

### 1. 서 언

밀도는 가장 기초적인 물성의 하나로서 특히 토목지질학적 분야에서의 사용 빈도가 높다. 암석의 밀도 측정은 실험실에서 이루어지는 코어밀도 측정 방법과 현장시험 방법으로서의 밀도검층 방법으로 구분될 수 있다. 코어밀도 측정 방법이 선정된 일부 구간에서의 암석 단위 물성 값을 대표한다면, 밀도검층 방법은 암반 단위의 원위치 물성으로서 특히 연속적인 밀도 분포를 구할 수 있다는 사실이 큰 장점이 된다. 반면에 검층밀도는 얻어진 밀도 값이 측정시의 환경조건에 영향을 받기 쉽기 때문에 이에 대한 정확한 검증과 보정이 필요하며 그만큼 얻어진 밀도 값에 오차가 포함될 가능성이 큰 것이 단점으로 지적되고 있다. 밀도검층이 인공감마 소스를 사용하지만 궁극적으로 검출기에서 얻어진 감마반응 특성에 의하여 밀도가 구해지므로 주변 암석이 가지는 자연감마의 영향에 무관할 수가 없다. 특히 최근의 토목 및 지하수검층에 사용되는 검층기에서처럼 상대적으로 소스 강도가 감소하고 검출기의 민감도가 증대된 검층기에 있어서는 밀도결정에 미치는 암석 자연감마의 영향은 매우 클 수가 있다. 이 연구에서는 코어 밀도와 검층 밀도의 비교에 의한 간접적인 연구방법의 적용과 함께 검층밀도 결정에 미치는 자연감마의 직접적 영향 정도를 평가하고 이로부터 효과적인 자연감마 보정 방법을 찾고자하였다. 그 결과 검층밀도 결정에 있어서 현저한 신뢰성 향상이 가능함을 보였다.

### 2. 검층밀도의 결정과 오차

밀도검층에서의 밀도 값은 감마검층 값으로부터 다음과 같은 이론적 배경식 (Schlumberger, 1989)을 이용하여 구해진다.

$$r_{\text{obs}} = k / e \quad \text{---- (eq.1)}$$

$$b = e / (\text{Mol.Wt} / 2 Z's)$$

즉, 측정된 감마감마값( $V_{\text{obs}}$ )는 전자밀도( $e$ )에 역비례하며 전자밀도는 일반적으로 규산염 광물에서 원자번호의 합( $Z's$ ) 및 분자량( $\text{Mol.Wt}$ )의 비가 거의 일정하므로 체적밀도( $b$ )와 비례관계를 보인다. 따라서 다음과 같이 감마검층에서 얻어진 감마값으로부터 체

적밀도를 구하게 된다.

$$b = k / \Gamma_{\text{obs}} \quad \text{----- (eq.2)}$$

일반적으로 감마감마검층에서 얻어진 감마값은 소스로부터 지층 중에 방사된 감마선 중에서 되돌아 온 감마선의 양을 의미한다. 그러나 시추공 환경에 따라 인공소스에 의한 감마선 ( $\Gamma_{\text{source}}$ ) 이외의 감마선이 포함될 수가 있으며 이는 노이즈 역할( $\Gamma_{\text{noise}}$ )을 하게 된다.

$$\Gamma_{\text{obs}} = \Gamma_{\text{source}} + \Gamma_{\text{noise}}$$

사용된 밀도검층기(density sonde)에서는 LSD(Long Spaced Density), HRD(High Resolution Density), BRD(Bed Resolution Density)의 3개 채널을 통하여 감마감마 값이 측정되나 밀도 값은 LSD 채널 값을 사용하여 구해진다. 검층기에서의 검출기의 민감도는 BRD, HRD LSD의 순서로 증가하므로 밀도는 민감도가 가장 높은 채널을 사용하여 구해진다. 이러한 환경은 감마소스로부터의 입력( $\Gamma_{\text{source}}$ )이 감소와 노이즈 성분( $\Gamma_{\text{noise}}$ )의 증대를 수반하게 되며 암석이 가지는 자연감마는  $\Gamma_{\text{noise}}$  성분의 대표적인 요소로서 인공 감마소스의 감소와 검출기 민감도 증가에 비례하여 그 영향이 커진다.

## 2. 코어밀도와 검층밀도의 불일치

세일, 사암, 탄산염암으로 구성되는 제천지역의 갑산층 지층의 코어 시료에 30 개를 대상으로 한 밀도 측정의 결과는 사암이  $2.72 \text{ g/cm}^3$ 이고 세일과 석회암의 평균 밀도가 각각  $2.82 \text{ g/cm}^3$ 와  $2.74 \text{ g/cm}^3$  내외로서 사암이 가장 저밀도로 나타나고 세일의 밀도가 가장 높게 나타나는 현상을 보이고 있다. 한편 동일한 시추공 JC-1에서 얻어진 검층 검층밀도는 세일과 사암 및 석회암에서 각각 로 나타나 전반적인 밀도분포의 범위가 코어밀도에 비하여 크게 차이가 날 뿐만 아니라 상대적인 밀도분포 또한 저밀도의 세일, 중밀도의 사암 고밀도의 석회암으로서 코어밀도 측정 결과와 반대 현상을 보이고 있다.

이러한 불일치 현상은 밀도에서 국한되는 현상으로 자연감마와 비저항에서 나타나는 좋은 상관성과는 대조적이다(김영화 김기주, 1999). 즉, 자연감마와 비저항 반응특성은 코어측정과 검층측정에서 모두 자연감마가 저감마-중비저항의 사암, 고감마-저비저항의 세일, 및 저감마고비저항의 석회암으로 특징지워질 수 있어 대비에 어려움이 없다.

그러나 이 결과는 사암과 세일 및 석회암이 각각 저감마-중비저항-저밀도, 고감마-저비저항-고밀도, 및 저감마-고비저항-중밀도로 나타난 코어의 물성반응 특성과 차이를 보이고 있으며 불일치의 핵심은 세일과 석회암의 밀도 역전 현상으로 요약된다. 즉 코어밀도 측정에서 세일의 밀도가 가장 높게 나타났으나 검층밀도에서는 세일이 석회암보다 낮은 값을 보여, 밀도 분포의 관점에서는 세일과 석회암이 뒤바뀐 것 같은 현상이 나타나고 있다. 이러한

현상은 자연감마와 밀도값을 크로스 플롯한 경우, 코어밀도는 자연감마가 증가할수록 증가( $r=0.69$ )하는데 비하여 검층밀도는 자연감마가 증가함에 따라 밀도가 감소( $r=-0.84$ )하는 반대현상을 보이는 데에서 잘 나타나고 있다.

코어밀도와 검층밀도 사이에서 나타나는 밀도 불일치와 관련하여 가질 수 있는 일차적인 감은 검층밀도에서 나타난 석회암-고밀도, 셰일-저밀도의 관계가 일반적인 밀도분포의 경향(Carmichael, 1983, Keys, 1989)에 부합하는 반면에 코어밀도에서 나타난 셰일-고밀도 석회암-저밀도의 관계는 그렇지 못하다는 점이다. 이것은 코어밀도 측정에서의 잘못이 밀도 불일치의 원인일 것으로 예상하는 결과로 연결될 수 있다. 그러나 코어밀도 값 결정에 있어서 문제점은 없으며 셰일이 석회암보다도 높은 밀도를 나타내는 것은 갑산층 지층의 밀도 특성이므로 확인되었다. 따라서 잘못은 검층밀도에 있으며 이는 유도된 밀도 값에 암석의 자연감마 영향이 많이 포함되어 있음이 그 원인인 것으로 나타난다.

### 3. 자연감마 영향과 보정

감마 소스에 의한 영향 외에도 암석 자체의 자연 감마에 의한 영향을 받는지의 여부는 감마 소스를 제거한 밀도검층 손드를 시추공에 삽입시켜 검출기 반응을 체크함으로써 확인될 수 있다. Fig. 1은 LSD, HRD, BRD의 3 검출기의 자연감마 영향을 나타낸 것으로, 가장 낮게 나타난 BRD 곡선은 물론이고 HRD 곡선까지는 자연감마변동에 따른 영향이 미미하여 무시될 수 있는 수준임에 비하여 LSD 곡선의 경우에는 그 영향이 상당한 규모로서 자연감마(NGAM) 곡선과 거의 닮은 형태의 곡선을 보이고 있다. 고감마 구간에서 나타나는 자연감마값의 영향은 측정 LSD 값의 30% 수준까지 이르고 있다. 이와 같은 결과는 LSD 검출기의 높은 감도특성에 기인한 것으로 판단된다.

밀도검층에 있어서 자연감마 값이 미치는 영향을 보정하는 것은 바로 측정된 감마감마 값으로부터 자연방사능이 감마감마 검출기에 미친 영향만큼을 제거하는 일이다. 이는 동일한 시추공에서 기존의 감마감마검층과 함께 감마 소스를 부착하지 않은 상태에서 동일한 상태에서 자료를 얻어 기존의 감마감마 값으로부터 감마 소스가 없는 상태에서 얻어진 LSD 값을 빼 줌으로 가능하다. 보정 LSD 값으로부터 구해진 밀도 분포에서는 고감마 구간의 밀도 증대로 나타난다. 고감마 구간이 셰일 구간이며 저감마 구간이 석회암과 일부 사암에 해당됨을 감안한다면 이는 셰일에서의 고밀도와 석회암에서의 중밀도, 및 사암에서의 저밀도로 연결될 수 있어 코어시료의 밀도 특성과 일치하는 결과가 얻어진다. 밀도보정의 결과는 자연감마와 밀도 값간의 크로스 플롯 결과에서 상관계수 0.34의 산발적인 분포이나 마이너스 상관을 보인 보정 전에 비해서는 상관성이 현저히 개선되었음에서도 효과를 확인할 수

있다.

앞에서 제시된 방법은 통상적인 감마검층과정에 감마 소스를 부착하지 않은 상태에서의 밀도 측정과정이 부과되어야함을 의미한다. 그러나 밀도검층에서 자연감마 자료를 이용할 수 있고 자연감마와 LSD의 검출기 반응특성이 유도된다면 상당히 부담스러운 추가작업 없이 자연감마 영향에 대한 보정이 가능하다. 그림 2은 제천지역의 갑산층 시추공에서 동일 손드를 사용하여 얻은 자연감마 및 LSD 값이다. 회귀분석의 결과는 LSD검출기의 반응이 거의 완벽한 상관( $r=0.99$ )을 가지면서 자연감마(NGAM) 검출기의 반응에 비례하는 관계를 나타내고 있다. 그림 3는 자연감마와 밀도 검출기 반응간의 높은 상관성을 이용하여 기측정된 LSD 채널의 감마감마값에 대한 자연감마 영향을 보정한 결과(DENac(com))를 제시한 것이다. 얻어진 밀도분포가 앞서 제시된 감마소스 탈착상태에서의 추가측정을 거친 밀도 보정의 결과(DENac(ws))와 거의 동일하게 나타나고 있어 번거로운 추가검층 작업 없이도 자연감마 영향에 대한 보정이 가능함을 잘 보여주고 있다. 그림 4에서 보정된 밀도곡선을 미 보정 밀도곡선과 자연감마곡선, 그리고 지질 주상도와 함께 제시하였다.

#### 4. 토의 및 결론

암석의 자연감마 값이 밀도 검층에 미치는 영향은 매우 당연한 문제이지만 실제 밀도검층에 있어서 소홀히 다루기 쉬운 부분이다. 이는 석유검층에 기반을 가지고 있는 물리검층에서 자료획득과 해석 과정이 각기 분리되어 있음에도 원인이 있다고 할 수 있지만 비교적 큰 규모의 감마 소스를 사용한 과거의 검층에서는 결과적으로 별 문제가 되지 않았음에 기인된다고 할 수 있다. 그러나 최근의 토목 및 지하수 또는 환경분야에서의 밀도검층처럼 감마소스의 규모가 작아지고 상대적으로 검출기의 민감도가 커지는 경우에는 큰 영향 요소로 등장할 수 있는 문제로서 일부 검층기에 있어서는 심각한 수준으로 그 영향이 나타나고 있다. 따라서 정확한 밀도 값 자체를 요구하는 토목분야의 적용에 있어서는 이에 대한 정밀한 검토가 필요한 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 밀도측정에 미치는 자연감마의 영향을 추적하고 영향의 보정 방법을 제시하였다. 보정 방법으로는 기존의 밀도검층에서 감마감마 검출기에 기록되는 자연감마값을 얻어 보정하는 방법과 함께, 자연감마 검출기와 감마감마검출기의 자연감마 반응비를 이용하여 소프트웨어적으로 보정하는 방법이 제시되었으며 두 가지 방법의 선택적 적용에 의해서 자연감마 영향이 완벽한 수준으로 제거될 수 있음을 확인하였다.

## 사 사

이 연구는 학술진흥재단의 대학부설연구소 지원과제인 석회암 지역의 지하구조 규명 및 수리 특성에 관한 연구의 한 부분으로 이루어졌다.

## 참고문헌

- 김영화 · 김기주, 1999, 갑산층 석회암 지역에서의 코어물성과 검층 물성의 비교. 지질공학, 9, 3 253-265.
- Carmichael, R.S., 1983, Handbook of Physical properties of Rocks. Vol. 2, CRC Press, 331p.
- Keys, W. S., 1989, Borehole Geophysics applied to groundwater investigations. National Water Well Association, 313p.
- Schlumberger Educational Services, 1991, Log Interpretation Principles / Applications, 3rd ed, Schlumberger Ltd., 13-19p.

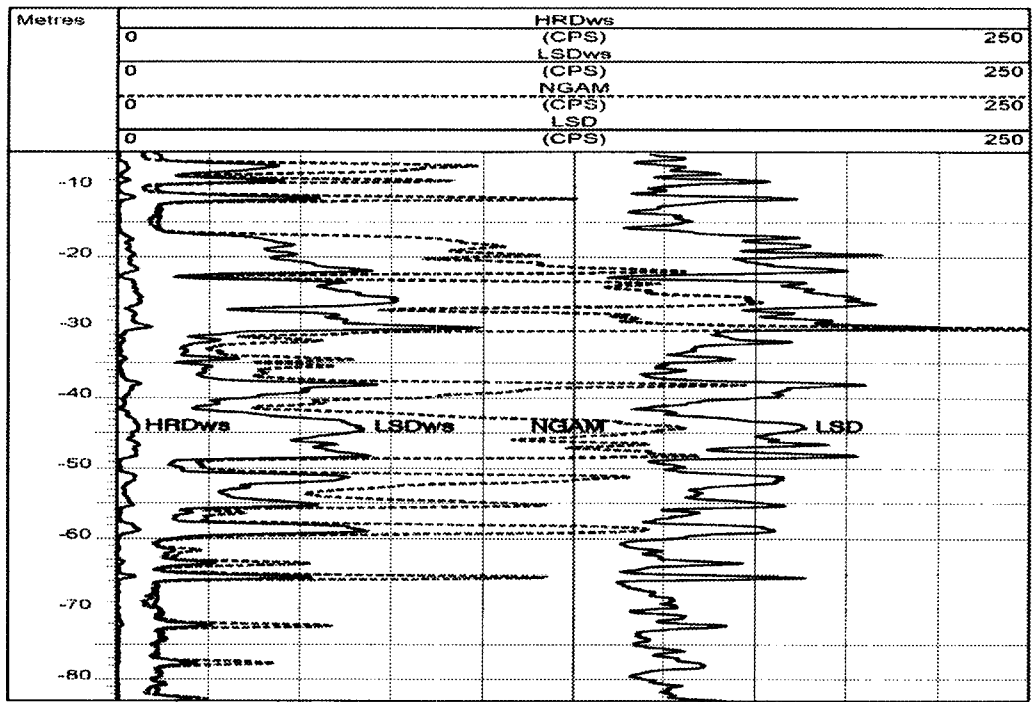


Fig. 1. Curves obtained from HRD and LSD channels without using gamma source (HRDws and LSDws). Natural gamma(NGAM) and long spaced density(LSD) curves are shown together for comparison.

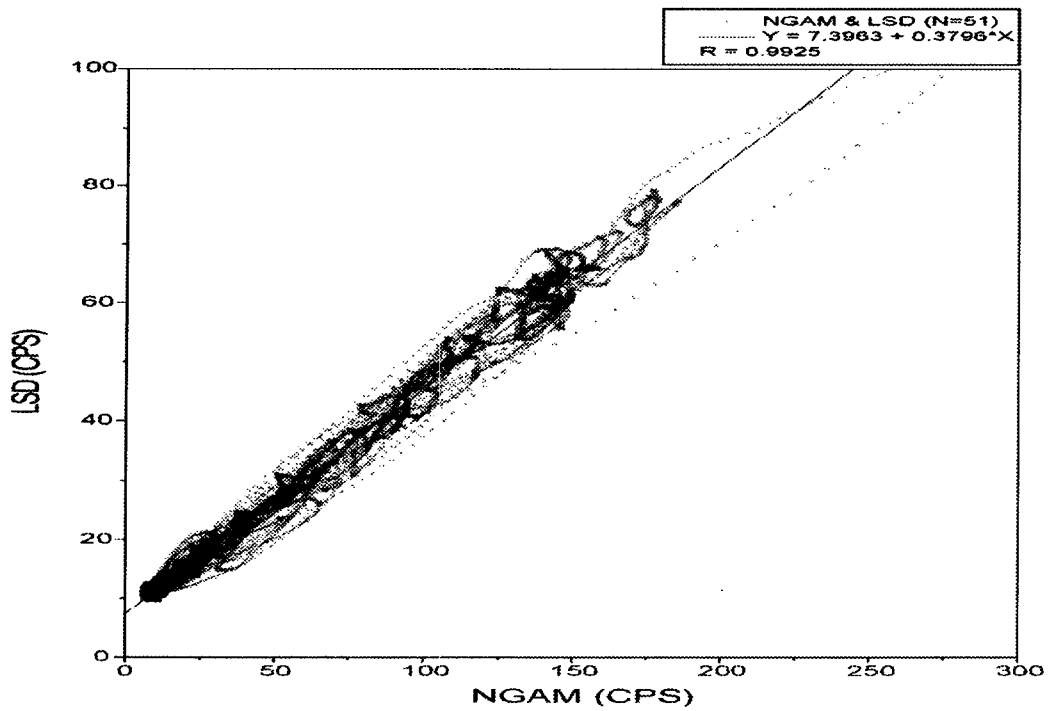


Fig. 2. Cross-plot of natural gamma and LSD channel values without gamma source.

Well Name: JC-1

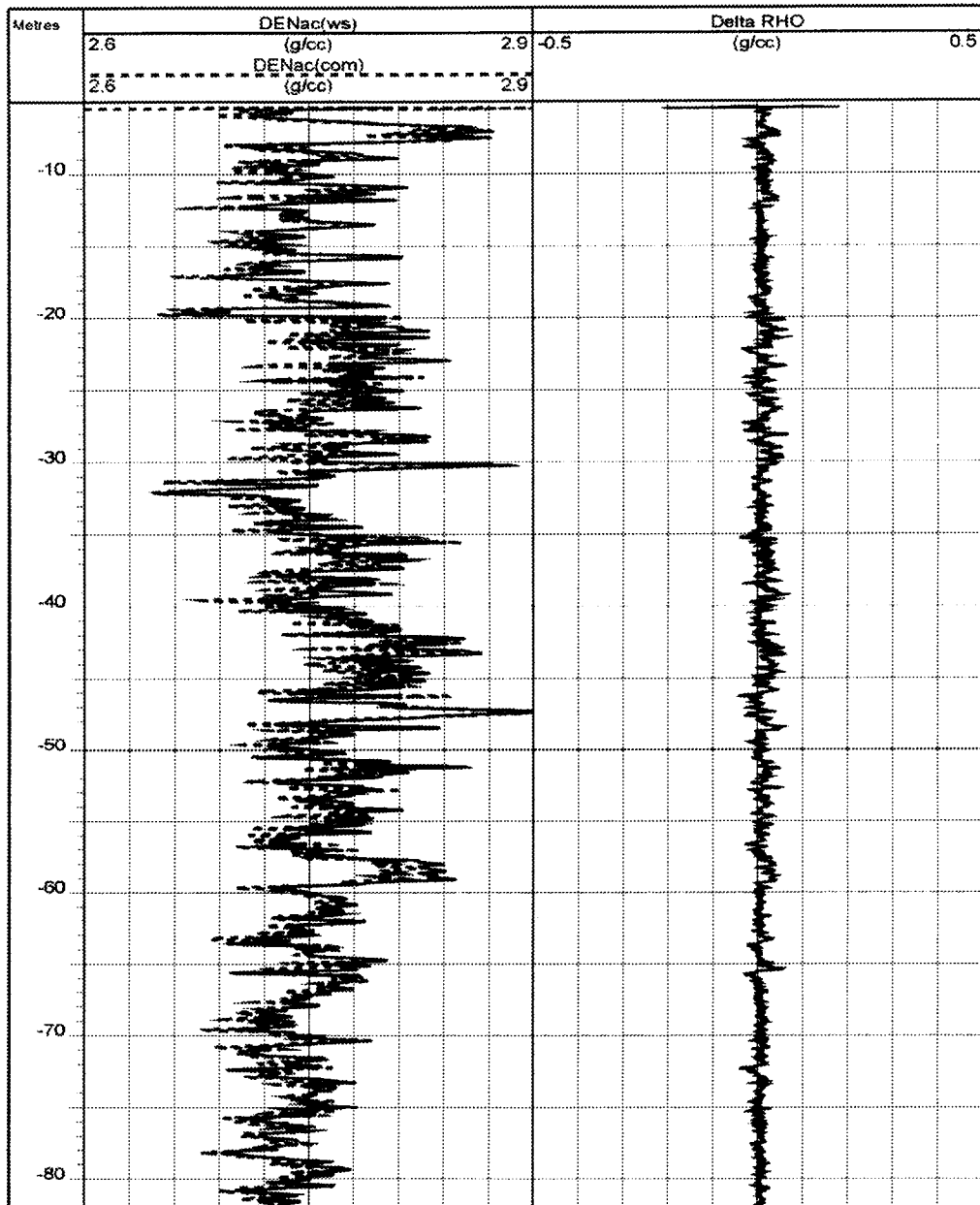


Fig. 3. Density curves after natural gamma correction by with-and-without source method(DENac(ws)) and computation method(DENac(com)).

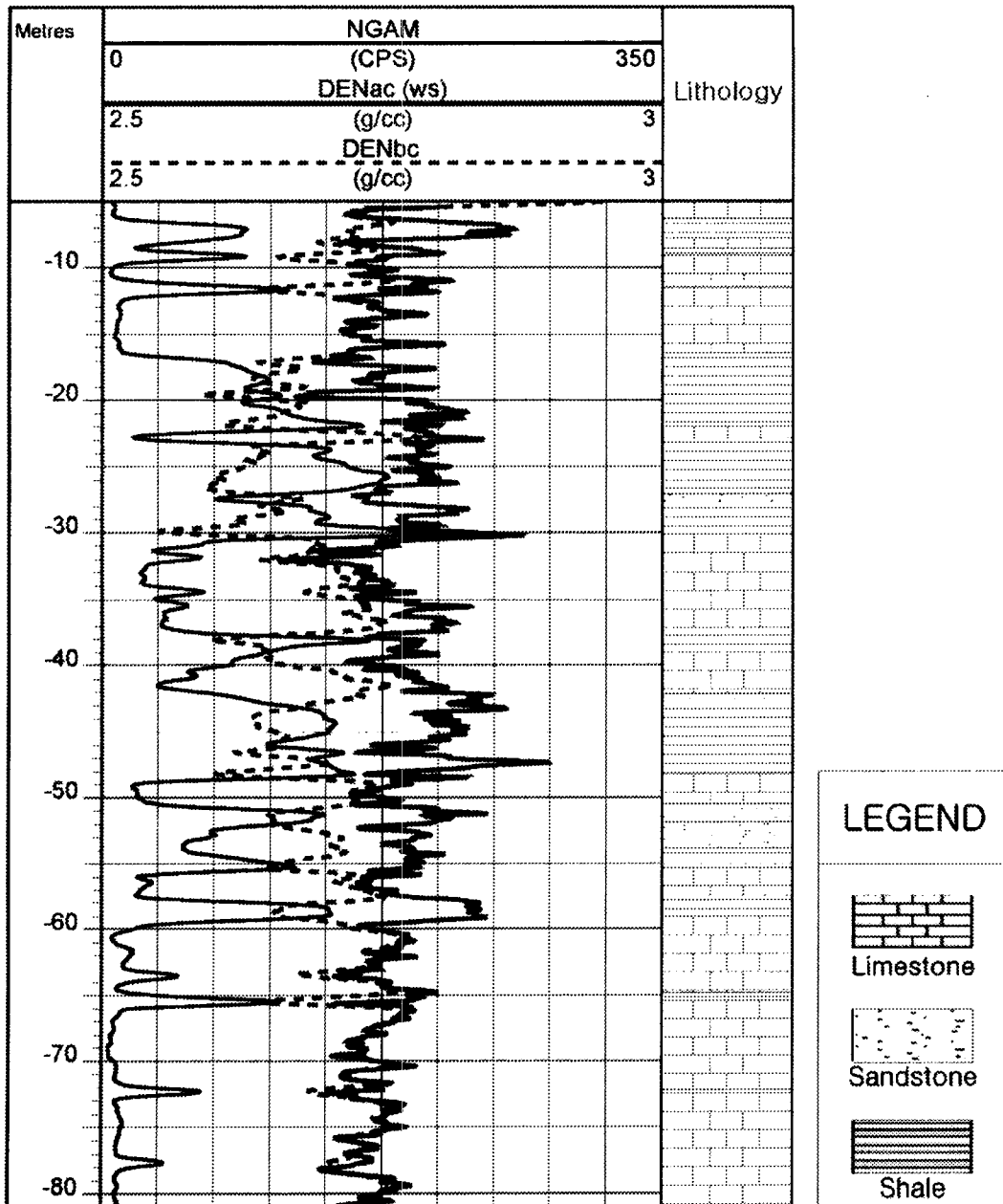


Fig. 4. The result of natural gamma correction in density determination.