

## 밀도검층 이격보정에 있어서의 기법 개선에 관한 연구

김종만<sup>1,3</sup> · 박성근<sup>2</sup> · 정다빈<sup>3</sup> · 김영화<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 지구환경연구본부, <sup>2</sup>주지오메카이엔지, <sup>3</sup>강원대학교, 지구물리학과

### Improving the Standoff Compensation in a Density Log

Jongman Kim<sup>1,3</sup>, Sung Geun Park<sup>2</sup>, Dabin Jung<sup>3</sup>, and Yeonghwa Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>2</sup>Geomecca Engineering Inc.

<sup>3</sup>Department of Geophysics, Kangwon National University

Received 4 November 2015; received in revised form 15 December 2015; accepted 17 December 2015

---

강원대학교 지구물리검층 보정용 시추공에서 2007, 2008년 및 2009년에 수행된 연차별 이격보정 자료를 이용하여 기존 이격보정 기법의 효과를 비교 검토하고 보다 효과적인 이격기법 마련을 위한 연구를 실시하였다. 먼저 이격보정의 두 축을 이루고 있는 일반이격보정과 밀도변환이격보정 기법을 적용하고 그 보정 효과를 비교한 결과, 적용의 편의성이 돋보이는 밀도변환이격보정에서 일반이격보정보다 보정 오차가 2배 이상 높게 나타남을 확인하였다. 방사능감쇠 이론곡선을 적용하는 방법에서는 밀도변환이격보정의 경우보다도 더 큰 오차가 나타나 활용의 이점을 찾을 수 없었다. 이러한 결과 위에서 일반이격보정과 밀도변환이격보정 기법을 효과적으로 결합시켜 편의성과 정확성을 겸비한 역변환이격보정 방법을 제안하였다.

**주요어:** 이격보정, 밀도, 기준선, 이격선

After comparing the effectiveness of standoff compensation between current techniques using data obtained from a series of borehole model experiments for standoff compensation in 2007, 2008, and 2009, a follow-up study was conducted to find a more effective standoff compensation algorithm. Comparing the results of the application of the conventional spine and ribs technique, and the spine and ribs technique in terms of apparent density shows that the standoff compensation error obtained from the latter method is more than twice that obtained from the former. The larger size of the compensation error from the spine and ribs plot using the radioactive decay equation indicates that there are no benefits in using this equation in standoff compensation. Based on these results, we propose a reverse transform spine and ribs technique by essentially combining the conventional spine and ribs technique and the spine and ribs technique in terms of apparent density.

**Key words:** standoff compensation, density, spine, rib

---

---

\*Corresponding author: yhkim@kangwon.ac.kr

© 2015, The Korean Society of Engineering Geology

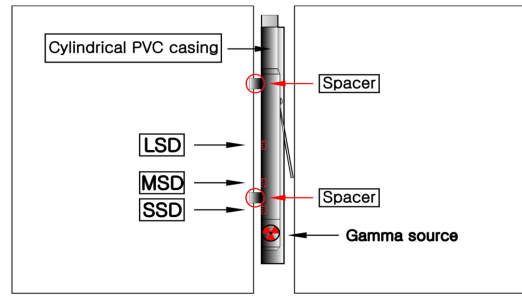
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서 론

밀도검층은 감마선원으로부터 방출되어 지층 속 전자와 콤프턴 산란을 거친 후 검출기에 도달하는 감마선량이 지층의 체적밀도에 반비례하는 특성을 이용하여 지층의 밀도를 측정하는 방법이다(Schlumberger, 1989). 지반의 원위치 밀도 측정을 대표하는 방법이지만 밀도검층은 감마선량과 매질의 검출기 반응특성(Pickell and Heacock, 1960; Hearst and Carlson, 1969; Hwang and Lee, 1999) 외에도 시추공경(Tittman and Wahl, 1965), 지하수위, 자연감마(Kim, 2001), 케이싱여부(Flaum et al., 1987; Kim et al., 2006), 공벽의 이격(lee et al., 2008)등 매우 다양한 요인들에 의하여 영향을 받는다는 문제점을 가지고 있다. 그 중에서도 검층봉과 공벽과의 이격 문제는 아직까지도 완전히 해결되지 못한 대표적인 영향 요인이며 특히 케이싱 시추가 일반화된 최근의 시추 환경에서 시급히 해결되어야 할 중요한 과제로 남아 있다.

지금까지의 이격 보정에 관한 모든 접근(Scott, 1977; Stoller et al., 1999; Mickael, 2003; Schneider et al., 2006)은 공벽의 거침이나 머드케이크 상태에서의 적용을 위하여 고안된 기준선-이격선(spine and ribs) 기법(Wahl et al., 1964)의 범주를 벗어나지 못하고 있다. 본 연구 또한 기본적으로 기준선-이격선 기법에 바탕을 두고 있다. 최근 국내에서는 지하수 상부와 하부에서의 선원과 검출기의 이격에 따라 나타나는 감마 반응값의 변화 및 겉보기 밀도값의 변화 양상이 얇은 플라스틱 케이싱공에서의 이격실험에서 확인되었다(Kim et al., 2006; Lee et al., 2008; Kim et al., 2009; Kim and Kim, 2012).

그러나 일반이격보정은 방사성동위원소인  $^{137}\text{Cs}$ 과  $^{60}\text{Co}$ 와 같은 인공 감마선원을 사용하는 밀도검층의 속성상, 반드시 측정 시점에서의 밀도 기준선(이하 기준선)과 이격선을 필요로 하며 그 중에서도 특히 이격선 획득의 어려움이 이격보정에서의 큰 장애 요소로 나타나고 있다. 이를 감안하여 Scott (1977)은 시간의 경과에 따른 선원 강도 감소에 무관하게 동일한 기준선-이격선 차트를 사용할 수 있는 밀도변환 보정기법(Spine and ribs plot in terms of apparent density)을 제안하였으며 같은 관점에서 방사능 감쇠이론을 이용한 이론곡선법의 적용도 고려할만하다. 그러나 이격보정 수행과정 전반의 어려움으로 제시된 보정기법들이 아직까지도 거의 기법 제기 수준에 머물러 있는 안타까운 상황이다.



**Fig. 1.** Schematic plan for standoff compensation experiment in a cased borehole. LSD, MSD, and SSD represent long, medium, and short spaced detectors, respectively.

다행히 이 연구의 참여자들이 소속된 연구실에는 장기간에 걸친 풍부한 시간경과 이격 측정 자료가 있어 이격보정 기법들의 일률적인 적용과 그 효과 분석에 좋은 환경이 되고 있다. 따라서 이 연구에서는 2007년부터 2009년 사이에 매년 측정된 이격측정 자료에 일반이격보정 기법과 밀도변환이격보정 기법을 적용하여 그 효과와 한계를 알아보고 보다 효과적인 유형의 보정기법을 찾아보고자 하였다.

## 방 법

연구에 사용된 자료는 강원대학교 내 설치된  $1.90\text{ g/cm}^3$  (KLW-1),  $2.18\text{ g/cm}^3$  (KLW-2),  $2.59\text{ g/cm}^3$  (KLW-3) 및  $2.84\text{ g/cm}^3$  (KLW-4)의 서로 다른 밀도로 구성된 4개의 NX 공경 지구물리검층 보정용 시추공에서 2007, 2008년 및 2009년에 걸친 3년간의 이격보정 측정 결과이다. 이격 상태는 Fig. 1에서 도시된 바와 같이 반원통형 PVC 케이싱의 외벽 두 지점에 PVC 케이싱 조각을 부착하여 구현하였다. 2007년 자료의 경우는 0 mm, 3 mm, 6 mm, 9 mm의 이격 자료로 구성되며 2008년과 2009년의 이격선은 2.5 mm씩 이격하여 12.5 mm까지의 이격자료가 획득되었다. 이격을 제외한 다른 모든 측정은 기존의 밀도측정 과정과 동일하다. 관측의 결과는 대부분 시추공이 물로 충전된 상태에서 수행된 것이며 필요한 경우 일부 시추공 상부에서의 측정 자료도 포함되어 있다. 또한 2007년과 2008년도 자료는 수평방향을 조절하지 않고 측정하여 방향에 따른 측정값의 변화를 고려하지 않은 결과인 반면에 2009년 자료는 검출기 반응이 가장 안정되게 나타난 방향을 선택하여 수행된 실험의 결과이다.

2007년, 2008년, 2009년의 3년 동안에 얻어진 이격보정 측정 자료를 이용하여 먼저 기존의 보정방법인 일반이격보정 기법(Wahl et al., 1964)과 밀도변환이격보정 기법(Scott, 1977)을 적용하고 추가적으로 방사능감쇠 이론식을 적용하여 그 보정 효과를 비교 검토하고 그 결과를 새로운 기법 연구로 연결시켰다. 방사능감쇠 이론식 적용에서는 Eq. 1의 감쇠방정식이 적용되었으며 2007년 감마 측정값을 초기 값으로 잡고 2008년과 2009년의 기준선과 이격선을 산출하였다.

$$G_t = G_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) \quad (1)$$

단,  $G_t$  : 경과시간  $t$ 에서의 감마값

$G_0$  : 초기 감마값

$t$  : 경과시간

$T_{1/2}$  : 반감기

### 기존 이격보정 기법의 적용과 효과

#### 일반이격보정곡선과 밀도변환이격보정곡선

Fig. 2는 2007, 2008, 및 2009년에 얻어진 일반이격보정의 밀도 기준선 및 이격선을 하나의 차트위에 함께 도시한 것이다. 기존의 기준선-이격선 기법(Wahl et al., 1964)에 따라 대수 스케일로 표시되었으며 긴 거리(Long Spaced Detector, LSD), 중 거리(Medium Spaced Detector, MSD), 짧은 거리(Short Spaced Detector, SSD) 검출기반응 중에서 거리 차가 가장 큰 조합인 긴 거리-짧은 거리 산점도를 사용하였다. 기준선(Spine)은 4개의 서로 다른 밀도를 가진 시추공에서 이격 거리 0 mm 상태에서의 검출기 반응 값으로부터 구해졌으며 다항회귀 분석을 통하여 2차 방정식 형태로 결정되었다. 반면에 이격선(Rib)은 각기 다른 이격거리에서 획득한 반응값들의 궤적으로부터 선형방정식의 형태로 구해졌다.

이와 같이 구해진 3년간의 모든 이격 측정값들이 기준선과 이격선 궤적과 함께 Fig. 2에 도시되어 있으며 시간경과에 따른 변화 양상을 잘 보여주고 있다. 시간 경과에 따른 인공감마선의 세기 감소로 각 이격 거리에서의 이격 측정값들은 긴 거리 및 짧은 거리 측정값이 함께 감소함을 보인다. 긴 거리에 비하여 짧은 거리 측정값의 감소가 크게 일어나 결과적으로 시간의 경과에 따른 서남서 방향으로의 이동 현상으로 나타나며, 각 밀도공에서의 이격 거리 0 mm 측정값을 대표하는 기준선은 서쪽 방향으로 이동하는 것처럼 보인다. 반면에 이격

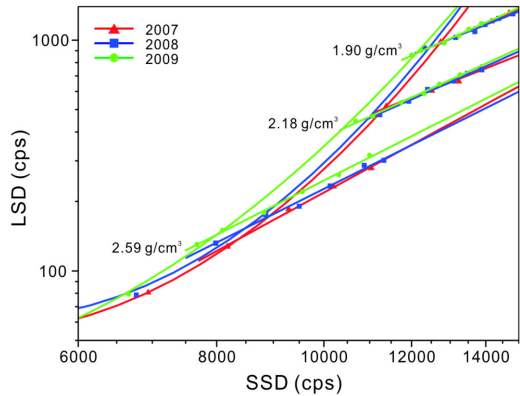


Fig. 2. Composite of conventional spines and ribs; obtained in 2007 (triangle), 2008 (square) and 2009 (circle).

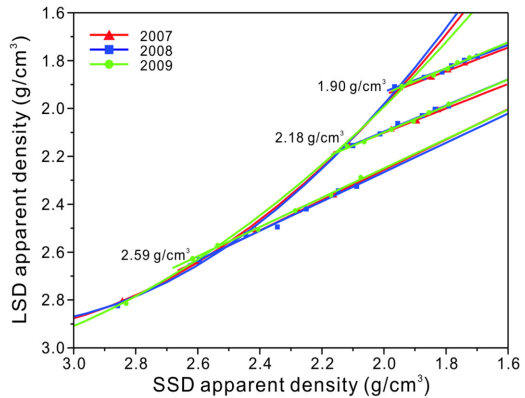


Fig. 3. Composite of spines and ribs in terms of apparent density; obtained in 2007 (triangle), 2008 (square) and 2009 (circle).

선의 경우는 기준선에 비해 서쪽으로의 겹보기 이동 경향이 약하게 나타나 특히 중밀도와 저밀도 시추공에서는 이격선이 겹쳐지는 현상까지 보인다. 이와 같이 저밀도와 중밀도의 이격선에서 시간에 따른 이격선의 변화가 약하게 나타나는 현상은 이격선의 방향이 측정값의 시간에 따른 변화 방향과 거의 일치하고 있음에 기인한 것으로 보인다.

한편 Fig. 3은 2007년부터 2009년까지의 3년간에 걸친 이격 측정 자료를 Scott (1977)이 제시한 방법에 따라 겹보기 밀도로 변환시켜 종축과 횡축을 각기 긴 거리와 짧은 거리 측정값으로 표시하고, 이를 회귀분석하여 구한 기준선 및 이격선(이하 밀도변환 기준선 및 이격선)을 함께 도시한 결과이다. 일반이격보정에서의 기준선과 이격선과는 달리, 밀도변환 기준선과 이격선은 측정 오

차나 변환과정에서 적용된 방정식의 차이 등에 기인된 미세한 차이만을 보일뿐 시간 경과에 따른 선원감쇠의 영향이 나타나지 않음을 보여준다. 즉, 시간 경과에 따라서 긴 거리 및 짧은 거리 측정값이 감소되었지만 그 감소경향이 반영된 밀도보정식의 적용에 의하여 긴 거리 및 짧은 거리 겉보기 밀도는 측정 시간에 상관없이 거의 같은 값을 보임을 확인할 수 있다.

이러한 특성은 밀도변환이격보정 차트를 사용하는 경우 일반이격보정 차트에서와 같이 매 측정마다 기준선이나 이격선을 새로 얻어야 하는 번거로움에서 벗어날 수 있다는 이점 외에도 동일 밀도구간에서의 시간 경과에 따른 측정 자료의 통합을 가능케 함으로써 보다 정확하고 안정적인 기준선과 이격선을 도출하게 하는 추가적인 장점까지 가진다. 기준선과 이격선의 형태는 일반이격보정과 밀도변환이격보정에서 거의 비슷하게 나타나며, 저밀도에서 고밀도로 갈수록 이격선의 기울기가 증가하는 경향도 동일하게 나타나고 있다.

#### 이격보정 및 효과

이격보정은 일반이격보정과 밀도변환이격보정 모두 기준선과 이격선의 교점 밀도를 구하는 단순한 과정으로 이루어진다. 일반이격보정에서는 교점의 좌표를 측정값의 형태로 구해서 밀도 교정방정식을 이용하여 밀도값으로 환산하는 반면에 밀도변환이격보정에서는 교점의 좌표가 바로 밀도로 나타나는 차이가 있을 뿐이다. 따라서 두 보정기법의 적용에서 기준선과 이격선의 교점이 나타내는 밀도와 시추공 밀도의 차이를 산출하여 이를 보정 효과 검증의 기준으로 삼았다.

Table 1은 일반이격보정과 밀도변환이격보정에서 나

타난 오차의 크기를 비교한 것이다. 일반이격보정의 경우 최소  $0.001 \text{ g/cm}^3$ 로부터 최대  $0.037 \text{ g/cm}^3$ 의 오차를 보였다. 시추공 밀도가 클수록 이격보정 오차도 함께 증가하는 경향을 보인다. 측정 연도별 차원에서 보면 2009년의 경우가  $0.001\sim 0.014 \text{ g/cm}^3$  범위로 가장 낮은 오차를 보이며 이는 보정공 내 수평적인 반응값 변화를 고려한 측정방법의 차이가 영향을 미친 것으로 보인다. 일반이격보정에서의 전체 평균 오차는  $0.022 \text{ g/cm}^3$ 로 나타난다.

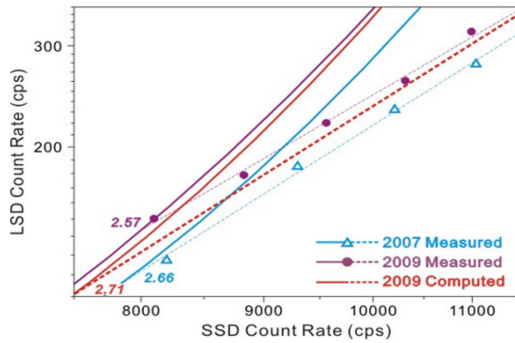
반면에 밀도변환이격보정의 경우는  $0.015 \text{ g/cm}^3$ 에서  $0.10 \text{ g/cm}^3$  범위의 상대적으로 큰 오차를 보였다. 저밀도 시추공에서 중밀도, 고밀도 시추공으로 갈수록 이격보정 오차가 증가하는 경향이 반복되고 있다. 일반이격보정과 마찬가지로 2009년의 경우에서 보정 오차가 가장 낮게 나타났다. 밀도변환이격보정에서 나타난 전체 평균 오차는  $0.049 \text{ g/cm}^3$ 이다.

이상의 결과는 어떠한 경우이든 일반이격보정에 비하여 밀도변환이격보정에서의 오차가 크며 평균적으로 2배 이상 높은 오차 수준임을 보여주고 있다. 즉, 밀도변환이격보정이 보정의 편의성 측면에서 장점을 가지는 반면에 정확성에 있어서는 기존의 일반이격보정에 비하여 뒤떨어지는 것으로 나타난다.

한편 매 시점마다 기준선과 이격선 측정이 선행되어야 하는 번거로움에서 벗어날 수 있는 밀도변환이격보정이 가진 장점은 방사능감쇠 이론식으로 구해진 기준선과 이격선을 이용하는 경우에도 가능하다. 이러한 측면에서 2007년에 측정된 자료로부터 유도된 기준선과 이격선을 이용하여 이격 보정을 한 결과 중의 하나가 Fig. 4로 제시되었다. 즉 Fig. 4에서는 밀도  $2.59 \text{ g/cm}^3$

**Table 1.** Comparison of compensation errors obtained between the conventional spine and ribs technique and the spine and ribs technique in terms of apparent density (unit in  $\text{g/cm}^3$ ).

| Borehole density | Year | Conventional spine and ribs |       | Spine and ribs in terms of apparent density |       |
|------------------|------|-----------------------------|-------|---|-------|
|                  |      | Compensated density         | Error | Compensated density                         | Error |
| 1.90             | 2007 | 1.922                       | 0.022 | 1.952                                       | 0.052 |
|                  | 2008 | 1.909                       | 0.009 | 1.951                                       | 0.051 |
|                  | 2009 | 1.901                       | 0.001 | 1.929                                       | 0.029 |
| 2.18             | 2007 | 2.203                       | 0.023 | 2.165                                       | 0.015 |
|                  | 2008 | 2.168                       | 0.012 | 2.134                                       | 0.046 |
|                  | 2009 | 2.194                       | 0.014 | 2.164                                       | 0.016 |
| 2.59             | 2007 | 2.657                       | 0.067 | 2.505                                       | 0.085 |
|                  | 2008 | 2.558                       | 0.032 | 2.490                                       | 0.100 |
|                  | 2009 | 2.573                       | 0.017 | 2.544                                       | 0.046 |



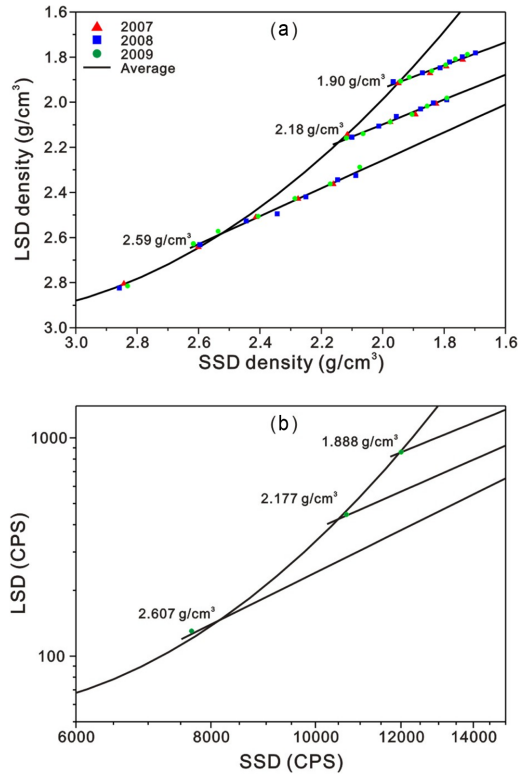
**Fig. 4.** Comparison of the standoff compensation results between measured and computed spines and ribs plotted with conventional spine and ribs technique for borehole model of  $2.59 \text{ g/cm}^3$ .

인 시추공에서 감쇠이론식을 이용하여 산출된 2009년 이격보정 밀도가  $2.71 \text{ g/cm}^3$ 로서 2007년과 2009년의 일반이격보정 결과인  $2.66 \text{ g/cm}^3$ 와  $2.59 \text{ g/cm}^3$ 에 비하여 매우 큰 보정오차를 보인다. 아울러 이 감쇠이론식으로부터 구한 보정밀도 값은 밀도변환이격보정의 경우보다도 큰 보정오차를 보이는 것으로 나타난다.

### 새 보정기법의 적용과 결과

감쇠방정식을 이용한 보정에서 나타난 오차의 규모는 이론식 이용 방법이 밀도변환이격보정에 비해 유리한 측면이 전혀 없음을 의미한다. 반면에 밀도변환이격차트에서 기준선과 이격선이 시간의 경과에 상관없이 동일한 밀도 값으로 표시될 수 있는 특성은 시간 경과 측정 자료가 축적되었을 경우에 사용할 수 있는 데이터의 증가로 이격보정 오차의 감소 및 결과값의 신뢰성이 향상될 수 있는 측면에서 매우 큰 장점이 될 수 있다. 이는 Fig. 5a에서 나타난 바와 같이 측정된 시간경과에 따른 이격 측정 자료가 밀도변환이라는 과정을 거쳐 동일 차트 위에 함께 도시됨으로써 기존의 연도별 측정 자료에서 개별적으로 얻어지는 기준선 또는 이격선에 비해 보다 더 정밀한 기준선 및 이격선 방정식이 얻어지는 결과로부터 설명될 수 있다. 그러나 동일한 기준선과 이격선 자료를 적용한 경우의 정확도 측면에서는 분명히 일반이격보정 차트의 사용이 밀도변환이격보정 차트의 사용에 비하여 우수한 것으로 나타난다.

이러한 결과는 이격보정의 적용은 일반이격보정 차트에서 더 효과적이지만 기준선과 이격선의 결정은 밀도변환이격차트 위에서 하는 것이 유리함을 시사하고 있



**Fig. 5.** Averaged spine and ribs curves obtained from 2007, 2008, and 2009 data (a) and standoff compensation result obtained from the reverse transform spine and ribs chart (b).

다. 따라서 이 연구에서는 밀도변환이격보정 차트를 이용하여 측정 시간을 달리하는 모든 측정 자료로부터의 평균화된 기준선과 이격선을 구한 후 이를 다시 감마반응 값으로 역변환시킨 이격차트 위에서 보정 처리하는 방법을 시도하였다. 이와 같이 밀도변환이격보정과 일반이격보정 차트의 장점을 효과적으로 결합하여 이격보정에서의 안정성과 정확성까지 함께 기대할 수 있는 새로운 기법을 역변환이격보정으로 명명하였다.

역변환이격보정은 (1) 모든 기준선 및 이격선 자료를 겹보기 밀도로 변환된 차트 위에 도시, (2) 평균 기준선 및 이격선 결정, (3) 결정된 평균 기준선과 이격선을 임의 시점에서의 감마반응 값(CPS)으로 변환시킨 역변환 기준선과 이격선으로 도시, (4) 기준선과 이격선의 교점 좌표로부터 이격 보정된 밀도를 산출하는 과정으로 구성된다. Fig. 5는 이와 같은 역변환이격보정의 과정과 결과를 함께 제시하고 있다. 2007년부터 2009년까지의 기준선의 측정값들을 겹보기 밀도로 환산하여 동일 보

**Table 2.** Comparison of compensated errors between the conventional spine and ribs (conventional), the spine and ribs in terms of apparent density (apparent), and the reverse transformed spine and ribs (reverse transform) techniques.

| Model density (g/cm <sup>3</sup> )     |                   | 1.90  | 2.18  | 2.59  | Average |
|--|-------------------|-------|-------|-------|---------|
| Compensated error (g/cm <sup>3</sup> ) | Conventional      | 0.011 | 0.016 | 0.038 | 0.022   |
|  | Apparent density  | 0.044 | 0.026 | 0.077 | 0.049   |
|  | Reverse transform | 0.012 | 0.003 | 0.017 | 0.010   |

정차트에 함께 도시된 시추공 밀도별로 구해진 평균 기준선과 이격선의 모습이 Fig. 5a로 제시되어 있으며 이로부터 만들어진 역변환이격보정 차트의 모습과 이격 보정된 결과가 Fig. 5b로 나타나 있다.

Fig. 5b에서 얻어진 이격보정 밀도는 Fig. 5a에서 나타난 시추공밀도와 비교할 때 저밀도 시추공에서는 0.012 g/cm<sup>3</sup>, 중밀도 시추공에서 0.003 g/cm<sup>3</sup>, 그리고 고밀도 시추공에서 0.017 g/cm<sup>3</sup>의 오차로 나타난다. Table 2는 각 밀도공에서 역변환이격보정에서의 오차 크기를 일반이격보정 및 밀도변환이격보정에서 나타난 오차와 비교한 결과로서 역변환이격보정에서의 오차 크기가 밀도변환이격보정은 물론이고 일반이격보정에서의 오차보다도 현저하게 작은 값을 보여준다. 이는 역변환이격보정이 안정성, 편이성과 함께 정확성의 측면에서도 우수한 보정방법임을 증명하고 있다.

## 토 의

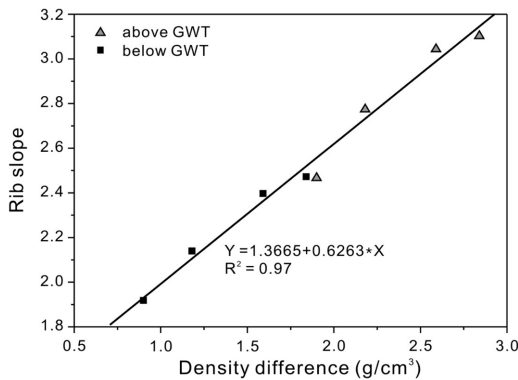
제시된 역변환이격보정은 시간 경과와 무관하게 사용이 가능한 밀도변환이격보정의 장점을 가지면서도 기존의 어떠한 이격보정 기법보다도 정밀도가 높은 보정방법으로 밝혀졌다. 이는 무엇보다도 시간에 따라 변하는 감마반응(CPS) 자료들을 밀도변환을 통해 통합함으로써 기준선 및 이격선의 결정에 반복 측정된 다수의 자료가 활용될 수 있게 된 덕분이다. 결과적으로 방사능붕괴의 불규칙성에 기인된 측정 오차의 문제점을 많이 제거할 수 있게 되었으며 현장 이격보정 적용에서의 용이성과 정밀성을 함께 도모할 수 있는 기초가 마련된 것으로 평가된다.

기존의 두 이격보정 방법을 비롯하여 이번 연구에서 제시된 역변환이격보정 방법 모두가 기준선-이격선 도시에 근거한 이격보정으로서 기준선과 이격선이 결정이 되면 그 교점이 보정밀도가 되는 매우 단순한 과정으로 구성된다. 따라서 이격보정의 성패는 전적으로 기준선과 이격선을 얼마나 정밀하게 구할 수 있는가에 달려있다. 공벽에 밀착된 상태에서 얻은 감마-감마반응값

으로 산출된 기준선과는 달리 이격선은 시추공벽과 검층봉 사이의 간격을 인위적으로 변화시키면서 얻어지는 감마-감마반응이라는 점에서 양자 간에는 큰 차이가 있다. 더욱이 기준선은 모든 밀도검층에서 필수적으로 이루어지는 교정 작업에 수반되어 부수적으로 얻어지는 자료인 반면에 이격선은 이격 거리를 달리하기 위한 특별한 노력이 요구되는 어려운 실험의 결과이며 일반적인 현장 시추공에서는 획득 자체가 불가능한 경우가 대부분이다. 따라서 이격선이 이격보정에서 결정적 존재라고 할 수 있다.

한편 기준선과 이격선은 모두가 현장 시추공에서 구할 수 있는 성격이 아니라 밀도가 알려진 보정 실험공 등으로부터 획득되어야 하는 대상이라는 공통점을 가지고 있다. 따라서 역변환이격보정 기법 또한 실험공을 이용한 이격보정 차트의 마련 과정에서 역할이 기대되는 존재로서 특히 시간경과에 따른 감마-감마반응 자료들을 통합함으로써 보다 정확하고 효과적인 이격보정차트를 만드는데 있어서 크게 기여할 것으로 기대된다. 이격보정 차트가 만들어지고 현장 시추공 밀도자료에 대한 실질적인 이격보정에 진입하면 이격보정 차트 위에는 기준선과 심도별 측정 자료만이 존재하게 되며 이격보정은 여기에 이격선 기울기가 추가됨으로써 가능해진다. 역변환이격보정기법은 이 과정에서도 밀도별 이격선의 정밀도 향상과 CPS 반응 차트의 사용으로 보정의 정밀도 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

남은 과제는 검층 공벽밀도, 이수 밀도, 이격 거리에 따라 이격선의 기울기가 달라지는 현상 속에서 각 측정별로 적용되어야 할 이격선의 기울기를 결정하는 문제이다. 이를 위해서는 이격선의 기울기가 시추공 밀도에 비례하는 경향(Lee et al., 2008; Kim et al., 2009)을 이용하는 것이 가장 가능성 높은 접근 방법이 될 것으로 판단된다. 지하수면 상부와 하부 구간 모두에서 이격선 기울기가 지층밀도에 비례하는 경향이 보고되어 있으며(Kim et al., 2009), 아울러 시추공과 이수의 밀도 차를 변수로 삼아 도시해도 이격선기울기가 시추공과 이수의 밀도 차와 좋은 선형관계를 형성함을 보여(Fig. 6)



**Fig. 6.** Application of least square fits for rib slope determination in the plot of rib slope versus density difference between borehole fluid and wall. Data obtained from below and above ground water tables are plotted together.

지하수면 상부와 하부에 있는 이격 자료들을 하나의 식으로 처리할 수도 있음을 보인다.

이격보정의 나무리는 지층밀도와 이격선의 기울기 관계를 이용한 이격보정 차트(Kim et al., 2009)를 사용하는 것이 가장 안정적인 방법이 될 것이며 컴퓨터 사용자의 편의를 위해서라면 겉보기밀도를 사용해서 참밀도에 가까운 보정밀도를 찾아가는 해석학적 방법도 가능할 것이다. 단, 겉보기밀도에 이격의 영향이 과도하게 들어 있거나 경사 상태에서의 측정 및 케이싱의 밀도가 물의 밀도와 크게 차이가 나는 경우에는 그만큼 큰 규모의 오차를 예상해야 할 것이다.

### 결 론

강원대학교 내에 위치한 4개의 NX 공경 지구물리검층 보정용 시추공에서 측정된 3년간의 이격보정 자료를 이용하여 이격보정 기법에 관한 연구를 실시하였다. 기존의 일반이격보정 기법과 밀도변환이격보정 기법의 적용으로부터 시간 경과에 따른 기준선과 이격선의 변화 특성을 알아보았다. 밀도변환이격보정에서 기준선과 이격선의 시간 경과에 따른 변화가 무시될 수 있어 일반 이격보정에서의 매 보정 마다 기준선과 이격선을 새로 측정해야 하는 번거로움을 해소할 수 있음을 확인할 수 있었다. 반면에 보정 오차는 밀도변환이격보정이 일반이격보정의 경우에 비해서 2배 이상 크게 나타났다. 밀도변환이격보정과 마찬가지로 보정작업의 번거로움을 줄일 수 있는 방사능감쇠 이론곡선의 적용에서는 밀도변

환이격보정에서보다 더 큰 규모의 보정 오차를 보여 적용의 이점이 나타나지 않았다. 이러한 결과 위에서 (1) 밀도변환 보정기법을 이용한 시간 경과에 따른 모든 이격보정 자료를 밀도변환 보정기법을 이용하여 동일 차트에 함께 도시하여 평균 기준선과 이격선을 구한 후 이를 다시 (2)감마반응 값으로 역변환 시켜 일반이격보정 기법을 적용하는 두 단계의 새로운 보정 방식인 역변환이격보정기법을 적용하고 그 효과를 검증하였다. 그 결과 밀도변환이격보정에서의 편의성을 가지면서 일반 이격보정에서 기대되는 것보다 더 높은 안정성과 정밀성을 보임을 확인하였다. 따라서 역변환이격보정 기법은 향후 일반이격보정 기법과 밀도변환이격보정 기법보다 더 효과적으로 활용될 이격보정 기법으로 기대된다.

### 사 사

이 연구는 2015년도 강원대학교 학술연구 조성비(과제번호:520150421)로 연구되었다.

### References

Flaum, C., Galford, J. E., and Hastings, A., 1987, Enhanced vertical resolution processing of dual detector gamma-gamma density logs, SPWLA Twenty-Eighth Annual Logging Symposium, M1-25.

Hearst, J. R. and Carlson, R. C., 1969, The RIDS-A density logger for rough holes, *Geophysics*, 34(2), 222-234.

Hwang, S. and Lee, S. K., 1999, Application of geophysical well logging to fracture identification and determination of in-situ dynamic elastic constants, 2nd Conference of Korean Society of Exploration Geophysicists, 161-162 (in Korean with English abstract).

Kim, K., 2001, Experiment for determining calibration coefficients and natural gamma correction in gamma gamma log, MSc thesis, Kangwon National University, 45p (in Korean with English abstract).

Kim, Y. and Kim, J., 2012, A study on spine and rib properties for standoff compensation, density log, *Geophysics and Geophysical Exploration*, 15(4), 190-198 (in Korean with English abstract).

Kim, Y., Hwang, B. C., Park, S. G., and Kim, J., 2009, A comparative study of density compensation in gamma-gamma log in PVC casings above and below ground water table, *The Journal of Engineering Geology*, 19(2), 217-225 (in Korean with English abstract).

Kim, Y., Kim, J. H., and Lee, S., 2006, A preliminary study on correction for density log in cased boreholes, *Journal of Engineering Geology*, 16(4), 429-435 (in Korean with English abstract).

Lee, S., Kim, Y., and Hwang, B. C., 2008, An experimental study on density log correction for plastic

- cased slim boreholes, The Journal of Engineering Geology, 18(2), 127-134 (in Korean with English abstract).
- Mickael, M. W., 2003, Standoff compensation for nuclear measurements, United States Patent, Patent No. US 6590202 B2.
- Pickell, J. J. and Heacock, J. G., 1960, Density logging, Geophysics, 25(4), 891-904.
- Schlumberger, 1989, Log interpretation principles/applications, Schlumberger Educational Services, Houston, 13-19.
- Schneider, D. M., Efremov, S. V., and Sale, M. J., 2006, Method of processing data from a dual detector LWD density logging instrument coupled with an acoustic standoff measurement, United States Patent, Patent No. US 7129477 B2.
- Scott, J. H., 1977, Borehole compensation algorithms for a small-diameter, dual-detector density well-logging probe, SPWLA Eighteenth Annual Logging Symposium, 431p.
- Stoller, C., Urmi, D. G., Philip, O. G., Nihal, I. W., and Wraight, P. D., 1999, Method for determining formation density photo-electric factor with a multi-detector-gamma-ray tool, United States Patent, Patent No. US 5912460.
- Tittman, J. and Wahl, J. S., 1965, The physical foundations of formation density logging (gamma-gamma), Geophysics, 30(2), 284-294.
- Wahl, J. S., Tittman, J., Johnstone, C. W., and Alger, R. P., 1964, The dual spacing formation density log, Journal of Petroleum Technology, 16(12), 1411-1416.

### 김종만

한국지질자원연구원 지구환경연구본부  
대전광역시 유성구 과학로 124번지  
Tel: 010-7188-5322  
E-mail: jm9899@naver.com

### 박성근

(주)지오메카이엔지  
경기도 용인시 수지구 현암로 95, 207호  
(죽전동 현대프라자)  
Tel: 010-8492-4288  
E-mail: butterbear22@hanmail.net

### 정다빈

강원대학교 지구물리학과  
강원도 춘천시 강원대길 1번지, 효자동  
Tel: 010-4198-0975  
E-mail: jdabin1004@naver.com

### 김영화

강원대학교 지구물리학과  
강원도 춘천시 강원대길 1번지, 효자동  
Tel: 010-9204-5417  
E-mail: yhkim@kangwon.ac.kr