

가스 하이드레이트 부존양상 도출을 위한 해양 전자탐사 자료의 겉보기 비저항 계산

노규보¹⁾, 강서기¹⁾, 설순지¹⁾, 변중무¹⁾

¹⁾한양대학교 자원환경공학과, innisfree2@hanyang.ac.kr

A calculation of Apparent Resistivity from marine controlled-source electromagnetic data for deducing the geometric distribution of Gas Hydrate

Kyubo Noh¹⁾, Seogi Kang¹⁾, Soon Jee Seol¹⁾, and Joongmoo Byun¹⁾

¹⁾Dept. of Natural Resources and Geoenvironmental Engineering, Hanyang University

1. 서론

우리나라 동해지역의 가스 하이드레이트는 미래의 석유 대체에너지원으로 주목받고 있으며, 3차원 탄성파탐사와 물리검층, 코어분석 등을 통해 부존이 확인 되었다. 그러나 정확한 가스 하이드레이트의 부존양상 도출과 자원량 산정을 위해서는 가스 하이드레이트의 포화도와 직접적인 관계를 갖는 탐사방법이 필요하며, 최근 국외에서는 해저지층의 전기 비저항을 대상물성으로 하는 해양 전자탐사(marine controlled-source electromagnetic method; mCSEM) 자료의 2.5차원 역산이 수행되어 효과적으로 가스 하이드레이트 부존지역의 전기비저항을 영상화 한 바 있다(Weitemeyer et al., 2010). 그러나 국내에서는 아직 까지 가스 하이드레이트 탐사를 위한 해양 전자탐사의 탐지가능성을 고찰하는 수준에 머물러 있다(강서기 등, 2010; Lee et al., 2011). 따라서 국내에서도 지하매질의 정확한 영상화를 위한 역산기법이 적용되어야 하며, 이에 대한 기초연구로써 취득된 해양 전자탐사 자료의 겉보기 비저항을 구하는 것은 현장자료의 검증과 역산시 초기모형설정의 측면에서 매우 중요하다. 이 연구에서는 해양 전자탐사 자료의 겉보기 비저항을 도출하는 수치알고리즘을 작성하고, 이를 2.5차원 합성 해양 전자탐사 자료에 적용하여 가스 하이드레이트 부존양상의 도출 가능성을 고찰하였다.

2. 해양 전자탐사 자료의 겉보기 비저항 계산 알고리즘

전자탐사에서는 측정된 전기장 혹은 자기장의 실수 성분(real component)과 허수 성분(imaginary component) 그리고 진폭(amplitude)과 위상(phase)이 겉보기 비저항 계산에 사용 될 수 있다. 효과적인 겉보기 비저항 계산법을 찾아내기 위해 1차원 층서 가스 하이드레이트 모형에 대한 전자기 반응을 이용하였다. 사용된 1차원 모형은 Fig. 1과 같으며 EM1D 코드(Kim et al., 1997)를 사용하여 층서 모형의 반응을 분석하였다. 또한 전기 쌍극자 송신원(J_x)에 대한 합성전기장 성분(total E_x field)을 사용하였고, 송신주파수는 5, 15, 25 Hz이며 잡음수준(10^{-15} V/Am²)이하의 값은 제외하였다.

계산된 1차원 층서 모형의 수평 전기장 성분값에, 공기, 바다, 반 무한매질의 3층 구조로 이루어진 층서모형에서의 수평 전기장 성분값을 대응시켜 겉보기 비저항 계산을 위한 특성분석을 수행하였다. 이때 공기, 바다 층의 전기비저항 값을 각각 $10^8 \Omega\text{m}$, $0.33 \Omega\text{m}$ 로

고정하였고 해저지층의 전기비저항 값을 변화시켰다. 실수 성분과 허수 성분은 지질학적으로 타당한 범위 내에서 2개의 해를 갖는 경우가 나타나며 두 성분을 복합적으로 사용해도 안정적으로 해를 구하지 못한다. 또한 위상은 송수신기 거리가 500 m 이상인 구간에서 특정 전기비저항의 반 무한매질과 거의 유사한 반응을 보이며 그 값은 모형과 송신주파수에 의존한다. 이는 실수와 허수 성분 그리고 위상이 겉보기 비저항 계산에 적합하지 않음을 의미한다. 한편 진폭의 경우 특정 범위 이상의 송수신기 거리에서 하부 매질의 전기비저항 변화에 따른 진폭 변화가 나타나는데, 송신주파수가 커짐에 따라 진폭의 변화가 없는 범위는 작아진다. 낮은 송신주파수와 가까운 송수신기 거리에서, 하부 매질의 전기비저항의 변화에 따라 진폭의 변화가 나타나지 않는 것은, 하부 매질에 의해 발생하는 2차장의 영향이 수신된 신호에 거의 포함되어있지 않다는 것을 의미한다. 그러나 가스 하이드레이트 탐사에 사용되는 주파수가 5 Hz 이상의 비교적 고주파수이고 실제 탐사 시 500 m 이하의 송수신기 거리에서 측정이 불가능하다는 점을 고려하면 진폭을 이용하여 겉보기 비저항을 계산하는 것이 가장 적합하다.

가스 하이드레이트 함유 지층 경우의 겉보기 비저항이 특정한 범위(약 0.8 ~ 10.0 Ωm)를 가지므로 정해진 구간 내에서 안정적으로 해를 찾는 구간탐색법(grid search)을 이용하였다. 진폭을 이용하여 겉보기 비저항을 구하는 알고리즘의 순서도는 Fig. 2와 같다. 작성한 구간탐색법은 우선 넓은 구간에 대해 대수적인(logarithmic) 간격으로 나누어 최소오차를 갖는 반 무한매질의 전기비저항을 저장한 후 그 값을 중심으로 축소시킨 구간을 선형적(linear)으로 분할하여 해를 구하였다.

3. 1차원 층서 가스 하이드레이트 모형을 이용한 알고리즘의 검증

개발한 겉보기 비저항 계산 알고리즘의 검증을 위해 1차원 층서 가스 하이드레이트 모형의 송신주파수, 가스 하이드레이트층의 심도, 전기비저항, 두께에 따른 겉보기 비저항 계산결과를 비교하였다. 가스 하이드레이트 층의 두께의 변화에 따른 겉보기 비저항 계산결과를 Fig. 3에 나타내었다. 송신주파수로 5 Hz를 사용한 Fig. 3(a)의 겉보기 비저항 계산결과를 보면, 가까운 송수신기 거리 영역에서는 송수신기 거리의 증가에 따라 겉보기 비저항이 증가하다가, 먼 송수신기 거리 영역에서는 송수신기 거리의 증가에 따라 겉보기 비저항이 감소한다. 또한 가스 하이드레이트 층의 두께가 증가할수록 겉보기 비저항이 증가한다. 반면 송신주파수가 15 Hz일 때의 결과인 Fig. 3(b)를 보면, 가스 하이드레이트 층의 두께가 증가할수록 겉보기 비저항은 증가하고 가까운 송수신기 거리 영역에서 송수신기 거리의 증가에 따른 겉보기 비저항의 증가는 보이지만, 먼 송수신기 거리 영역에서는 송수신기 거리의 증가에 따라 겉보기 비저항은 거의 감소하지 않는다.

4. 동해 울릉분지 가스 하이드레이트의 2차원 모형 반응 분석

동해 울릉분지에서 수행된 다채널 탄성과 탐사자료(강동효 등, 2009)와 물리검층자료(김길영 등, 2010)를 참조하여 2차원 가스 하이드레이트 수치모형을 구성하였다. Fig. 4는 탄성과탐사단면에서 나타나는 칼럼구조를 2차원 모형으로 모사한 것이다. 이 모형에서 수신기는 200 m 간격으로 31개이며 송신기는 수신기 배열의 좌측 1000 m부터 우측 1000 m까지 200 m 간격, 총 41개로 해저면 상부 50 m에 위치시켰다. 계산된 겉보기 비저항을 겉치레 단면(pseudo-section)으로 도시하여 결과를 해석하였다(Fig. 5). 겉치레 단면을 통해 중간점 5000 m부근에 고 비저항 이상대가 나타나는 것을 확인 할 수 있으며 고립 이상체의 겉보기 비저항을 겉치레 단면상에 도시할 때 나타나는 “pant-leg” 현상 또한 확인할 수 있다.

5. 결론

가스 하이드레이트 탐사시 해양 전자탐사 자료의 성분에 따른 반응분석을 통해 진폭성분을 이용한 해양 전자탐사 자료의 겔보기 비저항 계산 알고리즘을 개발하였으며, 층서 가스 하이드레이트 모형 반응을 이용하여 알고리즘을 검증하였다. 또한 우리나라 동해지역의 가스 하이드레이트 부존양상에 따른 해양 전자탐사 자료의 겔보기비저항을 계산하여 겔치레 단면에 도시하였다. 이를 통해 가스 하이드레이트의 부존에 따른 고비저항 이상대가 영상화 되는 것을 확인하였으며, 겔치레 단면도를 이용하면 이상대의 기하학적인 형태에 대한 정보도 나타낼 수 있음을 알았다. 그러나 겔치레 단면도를 통해 얻을 수 있는 정보는 정성적이며, 실제의 부존양상과 자원량 산정을 위해 필요한 정량적인 정보를 얻기 위해서는 역산의 적용이 필요하다.

6. 참고문헌

강동효, 유동근, 박장준, 류병재, 구남형, 김원식, 박관순, 박근필, 김지수, 2009, 동해 울릉분지의 가스하이드레이트 부존 형태, *지질학회지*, **45**, 143-155.
 강서기, 설순지, 변중무, 2010, 가스하이드레이트 탐사를 위한 해저 CSEM탐사 설계변수 고찰, *한국지구시스템공학회*, **47**, 139-150.
 김길영, 유동근, 류병재, 2010, 물리검층 자료를 이용한 동해 울릉분지 가스하이드레이트 함유지층의 물성특성 해석, *지질학회지*, **46**, 275-290.
 Lee, K. H., Jang, H., Jang, H., and Kim, H. J., 2011, Sensitivity analysis of marine controlled-source electromagnetic methods to a shallow gas-hydrate layer with 1D forward modeling, *Geosciences Journal*, **15**, 297-303.
 Kim, H. J., Song, Y., and Lee, K. H., 1997, High-frequency electromagnetic inversion for a dispersive layered earth, *J. Geomag. Geoelectr.*, **49**, 1439-1450.
 Weitemeyer, K., Gao, G., Constable, S., and Alumbaugh, D., 2010, The practical application of 2D inversion to marine controlled-source electromagnetic data, *Geophysics*, **75**, 199-210.

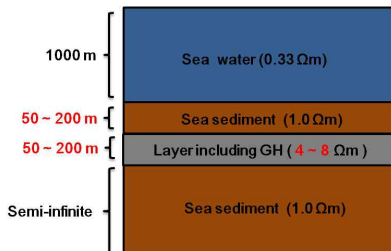


Fig. 1. Conceptual diagram of the gas hydrate model.

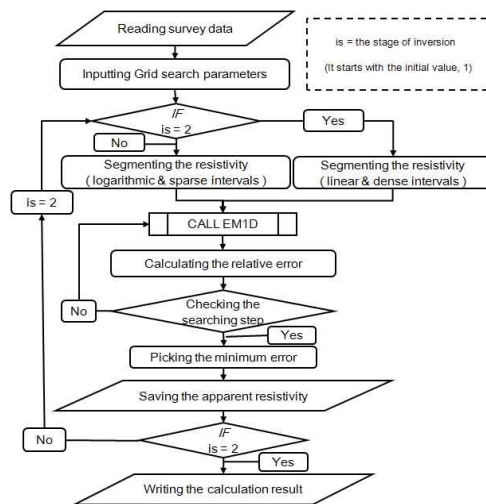


Fig. 2. Flow chart of the apparent resistivity calculation scheme.

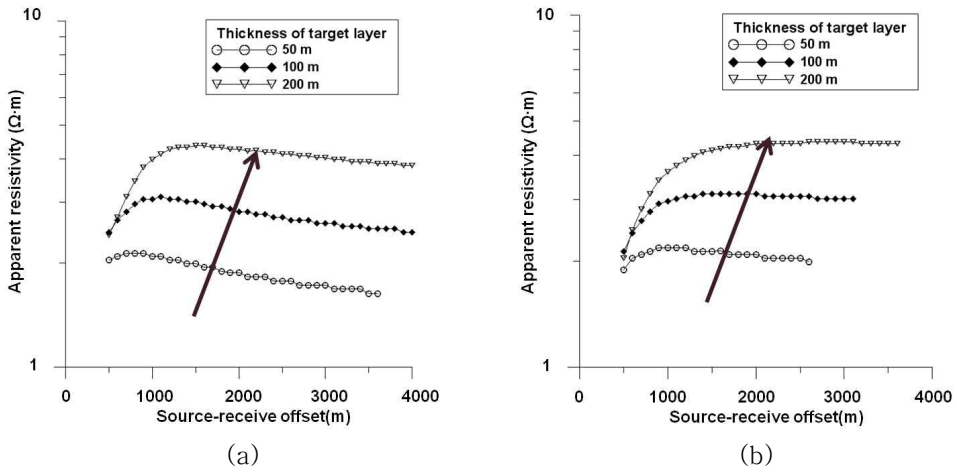


Fig. 3. Calculated apparent resistivity by using amplitudes of E_x fields when the thickness of the gas hydrate layer varies. The depth and resistivity of the gas hydrate layer are set to 100 m and 8.0 $\Omega\cdot\text{m}$. The transmitted frequency is 5 Hz (a) and 15 Hz (b), respectively.

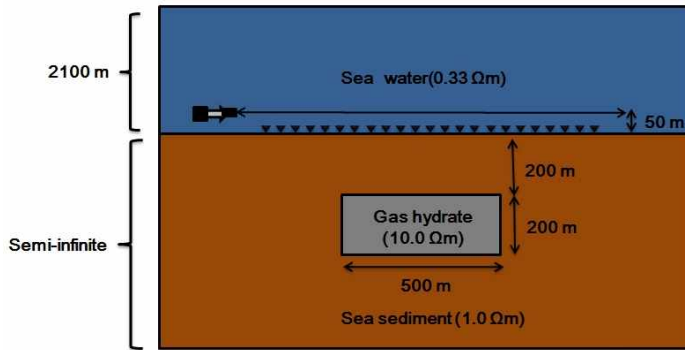


Fig. 4. Conceptual diagram of the 2D gas hydrate model.

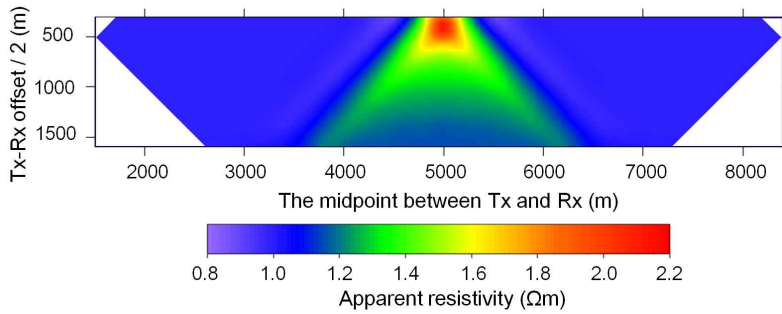


Fig. 5. Pseudo-section of the apparent resistivity for 2D gas hydrate model (Fig. 4). The transmitted frequency is 5 Hz.