

## 2000년 12월 9일 $M_L$ 3.7 영덕 해역 지진의 지진원 상수

최호선\*

한국원자력안전기술원 구조부지실  
서울대학교 지구환경과학부

### Source Parameters for the 9 December 2000 $M_L$ 3.7 Offshore Yeongdeok Earthquake, South Korea

Hoseon Choi\*

*Structural Systems & Site Evaluation Department Korea Institute of Nuclear Safety  
School of Earth and Environmental Sciences Seoul National University*

**요 약:** 2000년 12월 9일 경북 영덕 해역에서 국지규모( $M_L$ ) 3.7의 지진이 발생하였다. Chang and Baag (2006) 지각속 도구조 모델을 적용할 경우 진앙의 위치는  $36.4462^\circ\text{N}$ ,  $129.9789^\circ\text{E}$ 이며, 지체구조구상 한반도 대륙붕에 해당한다. 동해에서 대륙지각이 해양지각으로 변이되는 점을 고려하여 지각의 두께를 5 km 얇게 조정된 모델을 사용해도 진앙 위치의 변화는 거의 없었다. 파형역산을 두 모델에 적용하여 지진의 깊이와 발진기구를 계산하였다. 영덕 해역 지진의 깊이는 11 ~ 12 km로 계산되었다. 지진모멘트는  $1.0 \times 10^{15} \text{N}\cdot\text{m}$ 로 추정되었는데, 이 값은 모멘트규모( $M_w$ ) 3.9에 해당한다. 영덕 해역 지진은 2004년 5월 29일에 발생한 울진 해역 지진과 함께 전형적인 역단층 특성을 보여주며, P축의 방향은 동남동-서북서 방향이다. 스펙트럼 분석을 통해 추정된 모멘트규모는 4.0이며, 이는 파형역산에 의해 추정된 모멘트규모와 거의 비슷하다. 평균 응력강하는 3.4 MPa로 추정되었다.

**주요어:** 영덕, 파형역산, 발진기구, 스펙트럼, 역단층

**Abstract:** An earthquake with local magnitude ( $M_L$ ) 3.7 on December 9, 2000 occurred offshore Yeongdeok area, South Korea. In case of applying Chang and Baag (2006) crustal velocity model, the epicenter is  $36.4462^\circ\text{N}$  and  $129.9789^\circ\text{E}$ , which belongs to the inside of the Korean Peninsula Continental Shelf. Although we use the modified model reducing crustal thickness of Chang and Baag (2006) model by 5 km considering the transition from continental crust to oceanic crust in the East Sea, the epicenter was little changed. We carried out the waveform inversion analysis to estimate focal depth and focal mechanism of this event. The focal depth is estimated to be 11 ~ 12 km. The seismic moment is estimated to be  $1.0 \times 10^{15} \text{N}\cdot\text{m}$ , and this value corresponds to the moment magnitude ( $M_w$ ) 3.9. The offshore Yeongdeok event including May 29, 2004 offshore Uljin one show typical thrust faulting, and the direction of P-axis is ESE-WNW. The moment magnitude estimated by the spectral analysis is 4.0, which is similar to that by the waveform inversion analysis. Average stress drop is estimated to be 3.4 MPa.

**Key words:** Yeongdeok, waveform inversion, focal mechanism, spectrum, thrust fault

## 서 론

2000년 12월 9일 18시 51분경 경북 영덕 동쪽 약 90 km 해역에서 국지규모( $M_L$ ) 3.7의 지진(이하 영덕 해역 지진)이 발생하였다(Fig. 1). 기상청에 따르면 이 지진으로 포항, 울진, 영덕

등에서는 진도 III, 대구, 구미, 안동, 삼척 등에서는 진도 II, 그리고 충주 등에서는 진도 I이 기록되었다. 1978년부터 2009년 12월까지 국내에서 관측된 규모 3.0 이상 지진의 발생빈도는 연평균 약 9회, 규모 4.0 이상 약 1회, 규모 5.0 이상 약 0.1회 정도이므로, 영덕 해역 지진은 1년에 9회 정도 발생하는 중규모 지진 중의 하나라고 할 수 있다.

1998년 이전 국내의 광대역 지진관측소는 IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology)에서 운영하고 있었던 INCN (인천) 지진관측소 외에는 없었다. 그 이후 영덕 해역 지진이 발생하기까지 약 3년 동안 기상청과 한국지질자원연구원 등에서 15개소 이상의 광대역 지진관측소를 설치하였으며, 이

2010년 1월 12일 접수; 2010년 5월 14일 채택

\*Corresponding author

E-mail: hoseon@kins.re.kr

Address: Structural Systems & Site Evaluation Department,  
Korea Institute of Nuclear Safety, 19, Guseong-dong,  
Yuseong-gu, Daejeon, 305-338, Korea

지진관측소들은 모두 디지털 지진자료를 생산하였다. 다행히 영덕 해역 지진은 이 때 설치된 대부분 광대역 지진관측소에 기록되었다.

영덕 해역 지진은 지체구조상 한반도 대륙붕에 해당하는 곳에서 발생하였다. 한반도 대륙붕은 동해에서 최대 폭이 수 십 km로 좁은 편이나 황해와 남해에서는 수 백 km에 이르는 넓은 폭을 이루고 있다. 이 지체구조 내에서 발생한 가장 큰 지진은 2004년 5월 29일 발생한 규모 5.2의 울진 해역 지진으로, 비교적 규모가 큰 지진이었던 때문에 많은 연구가 수행되었으나(Kang and Baag, 2004; Park and Mori, 2005; Kim *et al.*, 2006; 김준경, 2007), 영덕 해역 지진에 대한 연구는 거의 이

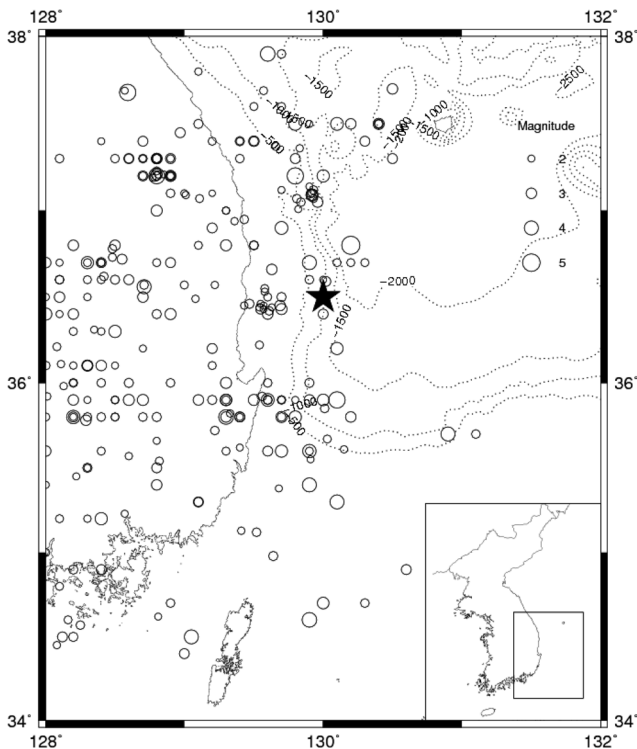
루어지지 않았다.

이 연구에서는 2006년 제안된 1차원 지각속도구조 모델(Chang and Baag, 2006)을 일관성 있게 적용하여, 영덕 해역 지진의 위치, 발진기구, 모멘트규모 등과 같은 지진원 상수를 추정하였다. 동해에서는 대륙지각이 해양지각으로 변이되므로(Cho *et al.*, 2004), Chang and Baag (2006) 모델의 지각 두께를 조정한 지진원 상수도 추정하였다. 또한 지진을 발생시키는 응력은 판과 판 사이의 상호작용과 밀접한 관계가 있으므로, 영덕 해역 지진의 발진기구를 통하여 이 지진의 근원이 되는 응력과 주변 판 운동과의 상호 관계에 대한 해석을 시도하였다.

### 지진의 위치

기상청은 영덕 해역 지진의 위치를 36.50°N, 130.00°E로, 한국지질자원연구원은 36.4590°N, 129.9883°E로 각각 발표하였다(Table 1). 기상청은 지진의 깊이에 대해서 별도로 발표하지 않고 있으며, 한국지질자원연구원은 지진의 깊이를 0.44 km로 발표하였는데, 자연 지진임을 감안한다면 타당성이 부족한 결과이다. 이번 연구에서는 Chang and Baag (2006) 모델(이하 CBO 모델, 여기에서 O는 original을 의미함; Fig. 2 참조)을 지각속도구조 모델로 사용하여 영덕 해역 지진의 진앙 위치를 재결정하였다. 이 모델은 광대역 지진파형과 경로시간을 함께 분석하여 구한 1차원 지각속도구조 모델이다. 또한 동해에서 대륙지각이 해양지각으로 변이되므로(Cho *et al.*, 2004), CBO 모델의 모호면 깊이를 5 km 줄인 모델(이하 CBM 모델, 여기에서 M은 modification을 뜻함; Fig. 2 참조)을 사용하여 진원의 위치를 계산하였다.

각 지진자료의 P파 초동시간을 선택하기 위해 기상청, 한국지질자원연구원의 디지털 지진자료를 수집하였다. HYPOINVERSE-2000 (Klein, 2002)을 이용하여 계산한 결과, 영덕 해역 지진은 CBO 모델의 경우 진앙의 위치는 36.4462°N, 129.9789°E, 지진 깊이는 11 km로 결정되었으며, CBM 모델의 경우 진앙의 위치는 36.4474°N, 130.0035°E, 지진 깊이는 5 km로 결정되었다(Table 1). 진앙의 위치는 기존 기상청 및 한국지질자원연구원의 결과와 크게 다르지 않았으며, CBO 모델과 CBM 모델의 경우에도 거의 비슷하다. 지진의 깊이가 다른 것은 진



**Fig. 1.** Epicenters of earthquakes in and around the offshore Yeongdeok event from 1978 to December 2009 reported by Korea Meteorological Administration (KMA). The star indicates epicenter of the offshore Yeongdeok event. The inset shows the corresponding area of this epicenter map. Bathymetry contours are also displayed by dotted lines at a 500 m interval.

**Table 1.** Event information\*.

	Ori.	Lat.	Lon.	Dep.	M	Station
KMA	09:51:00	36.50	130.00		3.7	-
KIGAM	09:50:47	36.4590	129.9883	0.44	3.9	-
CMO	09:51:00.83	36.4462	129.9789	11.10		AND BGD GSU HDB KMC KRA KUS PUS SND TAG
CMB	09:51:00.60	36.4474	130.0035	5.01		TEJ TJN UJA ULC ULS WSA WSB WSC YGB WON YOD

\*Ori.: origin time; Lat.: latitude; Lon.: longitude; Dep.: depth; M: local magnitude; Station: stations used for locationing in this study; KMA: Korea Meteorological Administration; KIGAM: Korea Institute of Geosciences And Mineral resources; CMO & CMB: crustal velocity models used for locationing in this study

원 결정에 단지 P파 초동시간만을 사용했다거나, 경로 시간 역산이 지각속도구조 모델과 지진 깊이의 상호 작용에 대해 민감하게 반응한다거나, 또는 영덕 해역 지진이 해역에서 발생하였기 때문에 지진관측소로부터 거리가 멀고 방위각이 편중되어 있는 등 다양한 이유가 있을 것이다. 이 연구에서는 CBO 모델이나 CBM 모델에 의한 진앙 위치가 거의 비슷하기 때문에, CBO 모델에 의한 진앙 위치를 고정 한 후 파형역산 (waveform inversion) 기법을 적용하여 영덕 해역 지진의 깊이를 결정하였다.

### 발진기구

CBO 모델을 적용하여 결정한 영덕 해역 지진의 진앙을 고정 한 후 파형역산 기법을 적용하여 발진기구를 계산하였다. 파형역산 기법은 합성 지진파형을 관측 지진파형과 최대한 가깝게 모사하여 그 지진과 관련한 규모, 깊이, 발진기구 등과 같은 지진원 상수를 추정하는 기술이다. 합성 지진파형은 다음의 간단한 식으로 표현할 수 있다.

$$U_n(x, t) = M_{ij} \cdot G_{ni,j}(x, z, t)$$

$U_n$ 는 합성 지진변위의 n번째 성분이고,  $G_{ni,j}$ 는 이중우력에 의한 그린함수의 n번째 성분이며,  $M_{ij}$ 는 지진모멘트 텐서이다. 관측 지진파형과 합성 지진파형간의 일치도를 상관계수로 표현하는데, 일치도가 좋을수록 그 값이 1에 가까워진다.

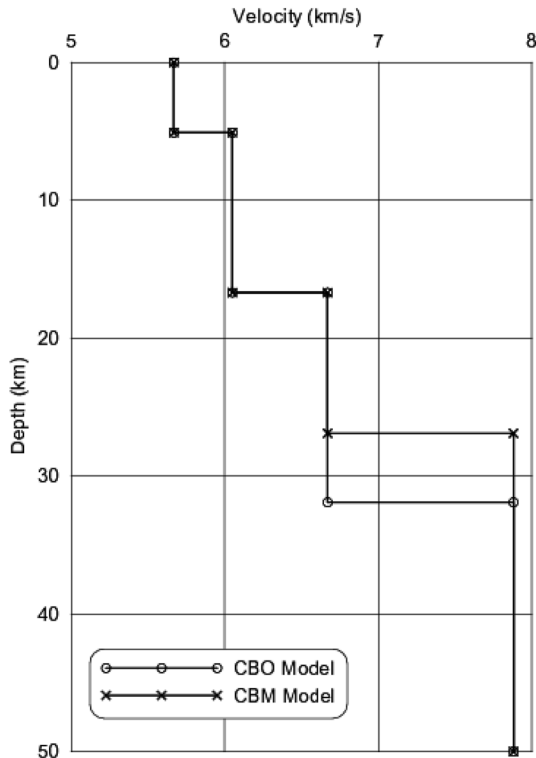


Fig. 2. Two crustal velocity models (CBO and CBM model)

일반적으로 파형역산을 이용하여 발진기구를 계산할 경우 저주파수 영역의 파형이 필요하기 때문에 장주기나 광대역 지진자료를 사용한다. 다행히 당시 기상청과 한국지질자원연구원에서 설치한 광대역 지진관측소가 다수 운영되고 있었으므로, 영덕 해역 지진의 광대역 지진자료를 확보할 수 있었다.

파형역산을 위해 사용된 지각속도구조 모델은 지진의 진앙을 결정할 때 사용된 CBO 모델과 CBM 모델을 사용하였으며, S파의 지각속도구조 모델을 위해 P파와 S파의 평균 속도비를 1.78로 가정하였다. 파형역산에 포함되는 지각속도구조 모델의  $Q_S$ 는 김성균 외(2002)에 의해 제시된 결과를 바탕으로 380으로 설정하였으나, 장주기 신호의 파형 모델링에는 큰 영향을 주지 않는다. 이상적으로는 단일 지진관측소 지진자료만으로도 발진기구와 지진 깊이를 계산하는데 충분하지만(Kubo *et al.*, 2002), 실제로는 파형역산에 입력되는 파라미터의 불확실성, 지진자료에 포함된 잡음 등의 영향으로 두 곳 이상에서 기록된 지진자료가 필요하다. 이 연구에서는 진앙으로부터 최소 50 km 이상 떨어져 있고, 자료의 품질이 양호한 광대역 지진관측소 6개소를 선정하였다(Fig. 3의 마름모 표시). 지진관측소가 진앙 주변에 방위각에 따라 고루 배치되어 있으면 좋겠지만, 이 지진은 해역에서 발생했기 때문에 지진관측소의 방위각이 육지 방향으로 편중되어있다. 시행오차를 거쳐 필터링 대역을 0.05~0.1 Hz로 적용하였다. 지진자료들은 지진계의 응답함수를 제거하고 적분하여 변위 지진파형으로 변환하였다. Green 함수 계산을 위해 Bouchon (1981)이 제안한 주파수-파수법을 적용하였다. 지진들은 단층작용에 의해 발생하므로, deviatoric 성분의 지진원으로 간주하여 파형을 모델링하였다. 파형역산을 위해 각 지진관측소 파형들의 상대적인 시간 이동 (time shift)을 허용하였다. 이러한 절차들은 ISOLA 소프트웨어

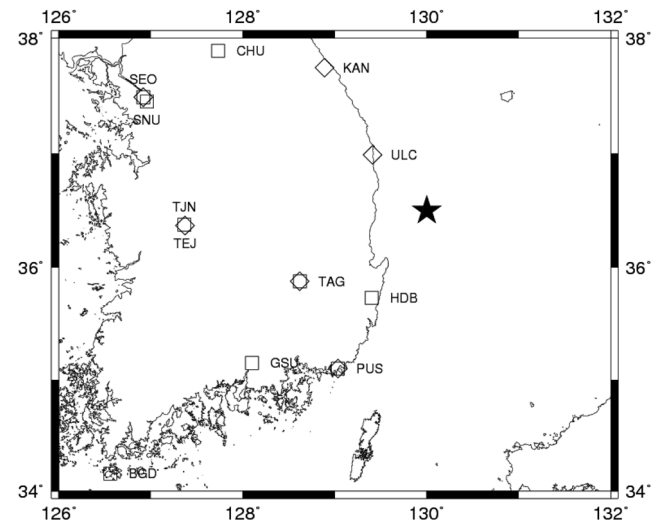
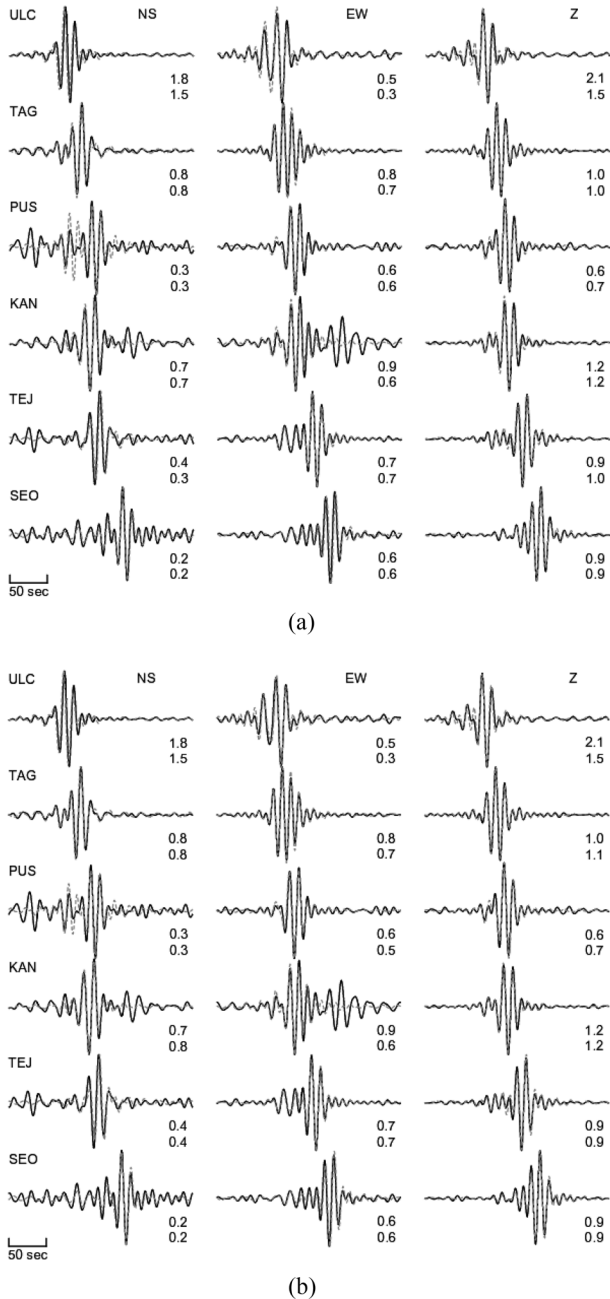


Fig. 3. The distribution of broadband stations used in this study. Diamonds represent the stations used for the waveform inversion analysis. Squares represent the seismic stations used for the spectral analysis.

어(Sokos and Zahradnik, 2008)에서 수행된다.

파형역산 결과 CBO 모델의 경우 지진모멘트는  $1.0 \times 10^{15}$  N·m로 계산되었으며, 이 값은 Kanamori (1977)에 의한 모멘트규모( $M_w$ ) 3.9에 해당한다. CBM 모델의 경우에도 지진모멘트는  $1.0 \times 10^{15}$  N·m로 계산되었다. Fig. 4 (a)와 4 (b)는 CBO 모델과 CBM 모델에 대해, 적용한 필터링 대역에 대한 관측 지진파형과 합성 지진파형을 최대진폭으로 정규화하여 비교한



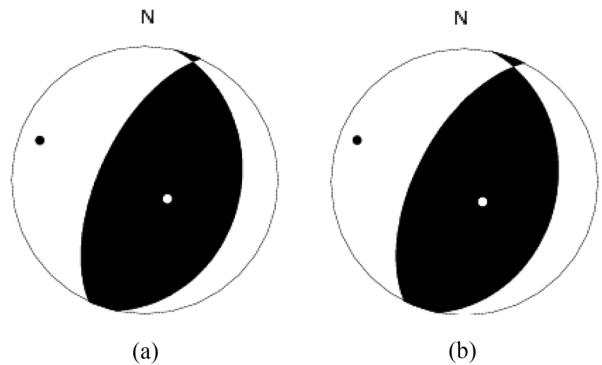
**Fig. 4.** The comparison between observed (thick lines) and synthetic waveforms (dotted lines) for (a) CBO model and (b) CBM model. Numbers under each waveform are maximum amplitudes of observed (upper) and synthetic (lower) waveforms in  $10^{-6}$  m, respectively.

것이다. 파형의 오른쪽 하단 숫자는 관측 지진파형(위)과 합성 지진파형(아래)의 최대진폭을 의미하며, 단위는  $10^{-6}$  m이다. 관측 지진파형과 합성 지진파형은 잘 일치하며, 각 모델에 따른 차이도 거의 없다. 따라서 영덕 해역 지진의 경우 지각속도 구조 모델이 파형역산에 큰 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 장주기 파형으로 파형역산을 수행하기 때문에 지각속도구조의 영향이 덜하다는 것을 의미할 수도 있고, 파형역산에 허용되는 시간 이동이 진앙 위치와 지각속도구조의 불확실성을 어느 정도 흡수한다는 것을 의미할 수 있다(Fig. 7. 참조).

Fig. 5(a)와 5(b)는 CBO 모델과 CBM 모델에 대해, 적용한 필터링 대역에 따른 영덕 해역 지진의 발진기구를 도시한 것으로, 주향이 북북동-남남서 방향인 전형적인 역단층의 특성을 보여준다. 한반도 및 주변에서 단층작용을 일으키는 주응력 방향은 대부분 동북동-서남서 방향이지만(김성균 외, 2006), 영덕 해역 지진의 주응력 방향은 이 방향으로부터 시계 방향으로 약간 돌아간 동남동-서북서 방향이다. 이러한 현상은 해저 기복면의 방향과 무관하지 않은 것처럼 보인다(Fig 1. 참조).

Fig. 6 (a)와 6 (b)는 CBO 모델과 CBM 모델에 대해, 지진의 깊이 변화에 따른 상관계수를 도시한 그래프이다. 관측 지진파형과 합성 지진파형간의 일치도가 상관계수이므로, 상관계수가 가장 큰 값에 대한 지진의 깊이를 확인하였다. 지진의 깊이를 1 km부터 20 km까지 1 km씩 증가시키면서 총 20개 깊이에 대한 상관계수를 구하였다. CBO 모델의 경우 지진의 깊이가 11 km에서 가장 큰 상관계수를 보이며, CBM 모델의 경우 지진의 깊이가 이와 비슷한 12 km에서 가장 큰 상관계수를 보인다. 이로부터 영덕 해역 지진의 깊이는 대략 11~12 km 사이일 것으로 추정된다. 영덕 해역 지진은 이 깊이의 기존 단층면이 접합되어 있다가 여기에 임계 이상으로 응력이 가해지면서 단층파열에 의해 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 7 (a)와 7 (b)는 CBO 모델과 CBM 모델에 대해, 허용



**Fig. 5.** The focal mechanism of the offshore Yeongdeok event analyzed by the waveform inversion analysis with the P-axis (black dot) and T-axis (white dot) for (a) CBO model and (b) CBM model. Each focal mechanism shows typical thrust faulting. In both cases, the seismic Moment is estimated to be  $1.0 \times 10^{15}$  N·m.

된 시간 이동 범위에 따른 상관계수를 도시한 것이다. 허용된 시간 이동 범위는 -9초부터 9초까지 설정하였다. CBO 모델의 경우 가장 큰 상관계수를 갖는 시간 이동은 -0.6초이며, CBM 모델의 경우는 -0.3초이다. 시간 이동이 마이너스라는 것은 사용된 지각속도구조 모델이 실제 지각속도구조보다 약간 느리다는 것을 의미한다.

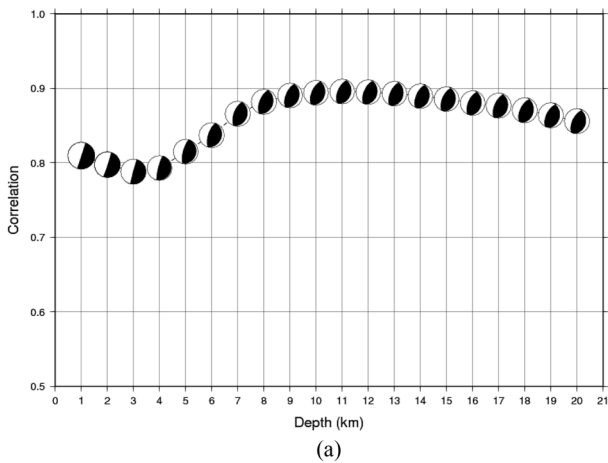
### 스펙트럼 분석

변위진폭스펙트럼 분석을 통해 영덕 해역 지진의 모멘트규모를 재계산하였다. 변위진폭스펙트럼은 진원, 비탄성 감쇄, 기하학적 감쇄, 지진계 전달함수 그리고 부지효과의 곱으로 표현할 수 있다. 변위진폭스펙트럼 분석을 위해 3성분 합성스펙트럼을 사용하였으며, 3성분 합성스펙트럼은 각 성분별 지진자료를 주파수 영역에서 벡터적으로 합성한 스펙트럼이다(노명현 외, 2003). 비탄성 감쇄와 기하학적 감쇄에는 파형역산 때와 마찬가지로 김성균 외(2002)에서 제시한 식을 적용하였다.

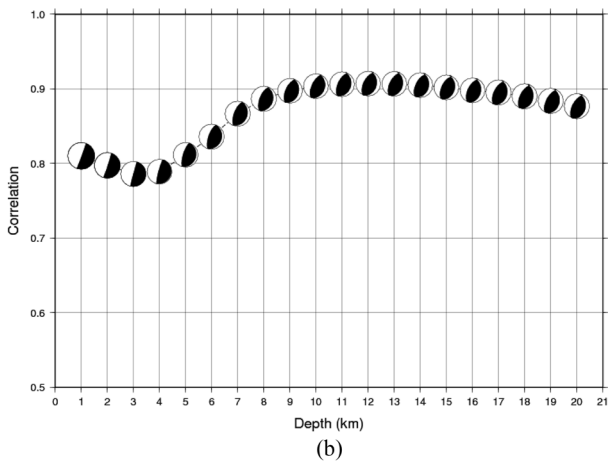
영덕 해역 지진의 스펙트럼 분석을 위해 9개 광대역 지진관

측소에 기록된 지진자료를 이용하였다(Fig. 3의 네모 표시). 육안으로 구분이 가능한 S파 도달시간 이후 약 164초 구간을 변위진폭스펙트럼을 구하기 위한 시간창(time window)으로 설정하였는데, 이 구간은 S파 계열의 파열들이 함께 공존하는 충분한 길이이다. 모멘트규모와 모서리주파수를 결정하기 위해서 격자탐색법(최호선 외, 2004)을 이용하였다. 격자탐색법 적용을 위해 모멘트규모는 3부터 6까지 구간에서 0.1 간격을 사용하였고, 모서리주파수는 0.2 Hz부터 20 Hz의 구간에서 0.1 Hz의 간격을 사용하였다.

지진관측소에서 구한 모멘트규모는 진원거리, 후방위각 그리고 지진관측소가 위치하고 있는 지역의 부지특성 등에 따라 달라질 수 있다. 이 연구에서는 각 지진관측소에서 얻어진 모멘트규모를 평균하여 모멘트규모를 재계산하였다(Fig. 8). 계산 결과 영덕 해역 지진의 모멘트규모는  $4.0 \pm 0.1$ , 모서리주파

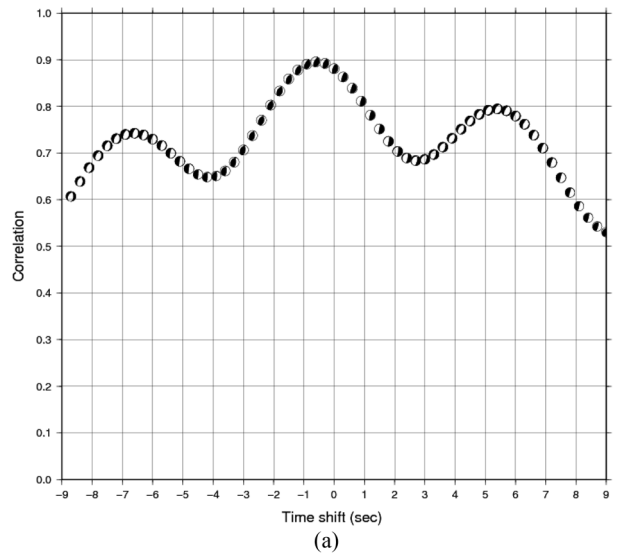


(a)

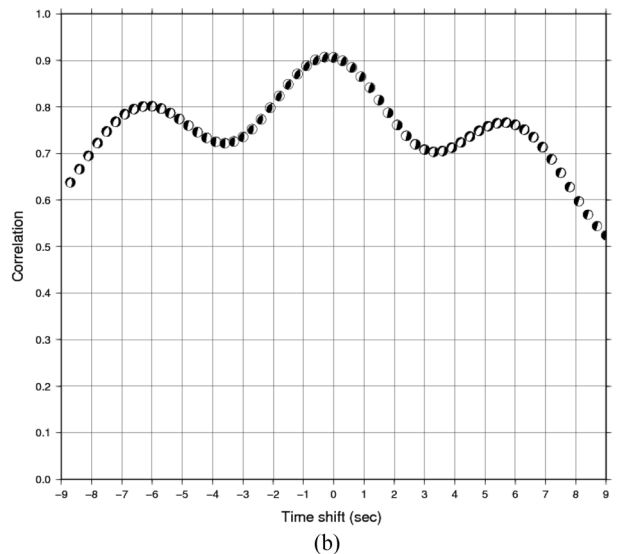


(b)

Fig. 6. The variation of correlation versus focal depth for (a) CBO model and (b) CBM model.



(a)



(b)

Fig. 7. The variation of correlation versus time shift for (a) CBO model and (b) CBM model.

결론 및 토의

2000년 12월 2일에 발생한 영덕 해역 지진에 대한 지진원 상수를 분석하였다. 동해에서 대륙지각이 해양지각으로 변이 된다는 점(Cho *et al.* 2004)을 고려하여 기존 Chang and Baag (2006) 모델의 지각 두께를 줄여서 진앙의 위치를 계산하였다. 계산 결과 진앙의 위치는 기존 결과와 크게 다르지 않았으나 지진의 깊이에서 차이를 보였다.

영덕 해역 지진의 발진기구를 분석하기 위해 두 가지 모델 (CBO 모델, CBM 모델)에 대해 파형역산을 수행하였다. 파형 역산 결과 두 가지 모델의 지각속도구조에 크게 영향을 받지 않는 결과를 보여주었다. 발진기구는 역단층 특성을 보였으며, 주응력 방향은 한반도의 공통 주응력 방향이라고 여겨지는 동 북동-서남서 방향(김성균 외, 2006)에서 시계 방향으로 약간 돌아가 있다. 파형역산에 의한 영덕 해역 지진의 깊이는 11~12 km로 결정되었다.

스펙트럼 분석에 의한 모멘트규모는 4.0으로 추정되어, 파형 역산에 의한 모멘트규모( $M_w$  3.9)와 거의 비슷하다. 평균 응력 강하는 약 3.4 MPa로 일반적인 판내 천발지진의 응력강하로 알려진 10 MPa (Ruff, 2002)보다 작다.

한반도에 발생하는 지진들의 대부분은 주향이동단층의 특성을 보이는 점을 감안할 때 역단층 특성을 보이는 영덕 해역 지진은 특별한 의미를 갖는 것으로 생각된다. 특히 같은 지체구조에서 발생한 2004년 5월 29일 울진 해역 지진의 발진기구는 영덕 해역 지진과 같은 전형적인 역단층 특성(Kang and Baag, 2004; Park and Mori, 2005; Kim *et al.*, 2006; 김준경, 2007)을 보여준다. 이 지진들은 모두 한반도 동해 연안에서 발생하였다. 동해의 서쪽 연안, 즉 일본의 서해안에서는 천발지진의 경우 대부분 발생하는 지진은 역단층 특성을 가지고 있다(Fig. 9). 동해의 형성 과정에는 다수의 논쟁이 있으나(민경덕과 이윤수, 2006), 동해의 열림과 닫힘 자체에 대해서는 큰 이견이 없다. 한반도와 일본이 하나의 대륙으로 붙어 있다가 어떤 요인으로 일본이 한반도로부터 떨어져나감으로써 동해가 생성되었으나, 현재는 닫히고 있는 상태이다. 동해 열림 과정에서 대륙 연변부에 발달했던 기존 정단층은, 동해가 닫히는 과정에서 태평양판이 유라시아판을 섭입하면서 발생한 응력에 의해 재활되면서 역단층 특성을 갖는 지진이 일본의 서해안을 따라 발생하는 것으로 보인다. 울진 해역 지진이나 영덕 해역 지진은 이러한 현상이 한반도 동해 연안 일부 해역에서 관측되는 것으로 추정되나, 이에 대한 추가적인 자료를 확보와 지속적인 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 한국원자력안전기술원 기관고유사업인 원전부지 지진감시 사업과 중장기 연구사업인 원전부지 설계지진 및 지

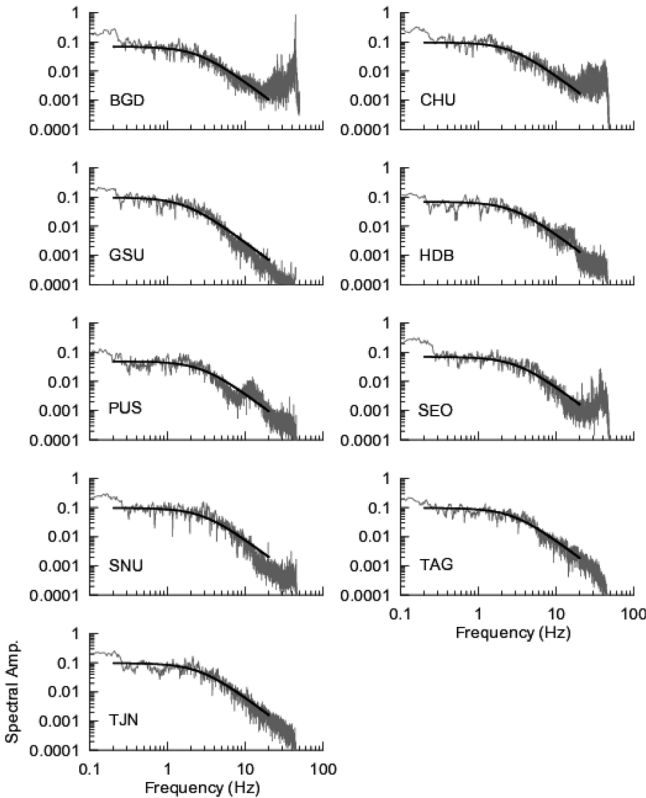


Fig. 8. Composite Fourier amplitude spectra of displacements from the offshore Yeongdeok event. Estimated model spectra are superimposed.

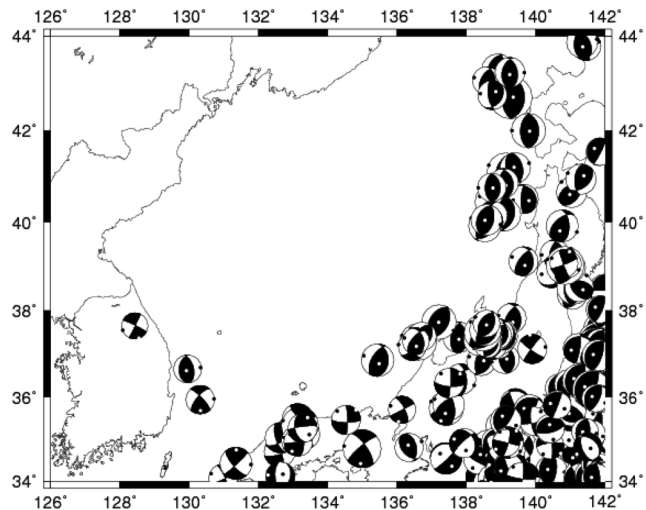


Fig. 9. Focal mechanisms of shallow earthquakes (focal depth  $\le 35\text{ km}$ ) in and around the East Sea from Centroid Moment Tensor (CMT) catalog. Global CMT web page is referenced (<http://www.globalcmt.org>).

수는  $2.5 \pm 0.5\text{ Hz}$ , 응력강하는  $3.4 \pm 1.7\text{ MPa}$ 로 추정되었다. 스펙트럼 분석에 의한 모멘트규모는 파형역산을 통해 계산된 모멘트규모( $M_w$  3.9)와 거의 비슷하다.

표변형 평가 규제기술개발 사업 연구의 일환으로 수행되었다.

### 참고문헌

- 김성균, 김수경, 지현철, 2002, 한반도 남부에서의 주파수별 가속도 최대진폭의 감소, *지질학회지*, **38**, 237-250.
- 김성균, 전명순, 전정수, 2006, 국내 지진활동 및 지각구조 연구 동향, *자원환경지질*, **39**, 369-384.
- 김준경, 2007, 울진지진(2004/05/29)의 지진원 특성에 관한 연구, *한국지진공학회 논문집*, **11**, 33-39.
- 노명현, 최강룡, 김태경, 2003, 3성분 지진기록 합성에 의한 퓨리에 진폭스펙트럼 분석, *대한지구물리학회*, **6**, 25-29.
- 민경덕, 이윤수, 2006, 한반도의 지구조 진화, *자원환경지질*, 353-368.
- 최호선, 노명현, 최강룡, 2004, 한반도 남부 지역의 지역규모와 모멘트규모의 관계, *대한지구물리학회*, **7**, 185-192.
- Bouchon, M., 1981, A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **71**, 959-971.
- Chang, S.-J. and Baag, C.-E., 2006, Crustal structure in southern Korea from joint analysis of regional broadband waveforms and travel times, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**, 856-870.
- Cho, H.-M., Kim, H.-J., Jou, H.-T., Hong, J.-K., and Baag, C.-E., 2004, Transition from rifted continental to oceanic crust at the southeastern Korean margin in the East Sea (Japan Sea), *Geophysical Research Letters*, **31**, L07606, doi: 10.1029/2003GL019107.
- Global CMT web page, <http://www.globalcmt.org/>.
- Kanamori, H., 1977, The energy release in great earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **82**, 2981-2987.
- Kang, T.-S. and Baag, C.-E., 2004, The 29 May 2004,  $M_W=5.1$ , offshore Uljin earthquake, Korea, *Geoscience Journal*, **8**, 115-123.
- Kim, W.-Y., Noh, M., and Choi, H., 2006, The 20 May 2004 offshore southeast coast of Korea earthquake sequence: shallow earthquakes in the Ulleung back-arc basin, East Sea (Sea of Japan), *Journal of the Korean Geophysical Society*, **9**, 249-262.
- Klein, F. W., 2002, User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes, Open File Report 02-171, U.S. Geological Survey.
- Kubo, A., Fukuyama, E., Kawai, H., and Nonomura, K., 2002, NIED seismic moment tensor catalogue for regional earthquakes around Japan: quality test and application, *Tectonophysics*, **356**, 23-48.
- Park, S.-C. and Mori, J., 2005, Source parameters of the May 29, 2004 South Korea earthquake ( $M_L$  5.2), *Earth, Planets and Space*, **57**, 471-475.
- Ruff, L. J., 2002, State of stress within the Earth, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Academic Press, 548-551.
- Sokos, E. N. and Zahradnik, J., 2008, ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data, *Computers and Geosciences*, **34**, 967-977.