

# 후쿠오카 지진('05. 3. 20, $M_{JMA}=7.0$ )에 대한 일본 인근 지진관측소와 국내 지진관측소의 주파수응답특성 비교

연관희 · 박동희 · 장전중 · 최원학 · 이대수

한전 전력연구원 구조연구실

## Site Responses of Japanese Stations Near the Epicenter and Korean Stations for the Fukuoka Earthquake

Kwan-Hee Yun · Dong-Hee Park · Chun-Jung Chang · Weon-Hack Choi · Dae-Soo Lee

Structural Engineering Lab., Korea Electric Power Research Institute

**요 약** 2004년까지 국내에 축적된 지진파 스펙트럼 D/B를 기반으로 비교적 상세하게 추정된 국내 지진특성으로부터, 190 km < R < 500 km인 국내 지진관측자료를 이용해 후쿠오카 지진에 대한 점지진원 형태의 지진원스펙트럼 수준을 추정하였다. 지진원스펙트럼은 부지효과가 제거된 지진파기저면(seismic basement)에 대해 추정되었으며, 추정 결과는  $M_w=6.6$ , Stress drop=170bar를 갖는 Brune의 1-corner  $\omega^2$  지진원모델에 개략적으로 근사되었으나, 2-corner 지진원모델의 특성을 보다 뚜렷하게 보여주었다. 또한 지진원 인근 지역(R < 100 km) 일본 지진관측망(F-net, KiK-net 지중, Hi-net, K-net)별로 개략적인 지진원 스펙트럼을 추정하였으며, 국내 지진관측자료부터 추정된 지진원스펙트럼과 비교하였다. 비교 결과 KiK-net 지중 및 Hi-net 등의 심부시추공 관측자료로부터 추정된 지진원스펙트럼이 국내 지진파기저면 지진원스펙트럼과 1 Hz~30 Hz에서 유사한 수준을 나타내었다. 이러한 결과로부터 한반도 주변 해상 지진에 대해 국내 지진관측자료만으로 추정한 지진원스펙트럼의 적합성 및 추정에 사용된 국내 지진파전달, 관측소응답특성 등의 신뢰성을 입증할 수 있었다. 또한 지진원 인근 지역의 KiK-net 지중 및 Hi-net 관측소의 응답특성과 국내 지진파기저면 관측소응답특성이 유사함을 확인하였다.

**주요어** 후쿠오카 지진, 지진원스펙트럼, 관측소응답특성, 일본 지진관측망, 2-corner 지진원모델, 지진파기저면

**ABSTRACT** The apparent source spectrum of the Fukuoka earthquake is estimated at the seismic basement by removing from the observed spectra at Korean seismic stations the path and site responses that were previously revealed through inversion process applied to large spectral D/B accumulated until 2004. The approximate source spectrum is also estimated by using data recorded near the epicenter from various Japanese seismic networks and compared with the Korean source spectrum. The comparison result shows that there is good agreement among source spectra estimated based on the data from seismic networks of Korea at large distances (190 km < R < 500 km) and KiK-net downhole and Hi-net near the source region (R < 100 km). This fact validates not only the source spectrum estimated by using only the Korean earthquake data but also path and site responses used for the source estimation. The other implication is strong suggestion that the site response at the seismic basement of the Korean seismic network is similar to the site responses at KiK-net downhole and Hi-net stations near the epicenter.

**Key words** Fukuoka earthquake, Seismic source spectrum, Site response, Japanese seismic networks, 2-corner source model, Seismic basement

### 1. 서 론

본 연구의 목적은 현재까지 국내에 축적된 지진자료

를 기반으로 비교적 상세하게 추정된 국내 지진파전달 특성, 천부지각 고주파감쇠, 관측소응답특성을 근거로 후쿠오카 지진('05. 3. 20,  $M=7.0$ )에 대한 지진원 스펙

Corresponding Author : 연관희(kyun@kepri.re.kr)

원고접수일 : 2005년 1월 20일 게재승인일 : 2005년 2월 15일

트럼 수준을 추정하고, 진앙지 인근( $R < 100$  km) 일본 지진관측소 자료로부터 추정된 지진원 스펙트럼과의 비교를 통해 지진원 인근 지역의 일본 지진관측망(F-net, Hi-net, KiK-net 지중, K-net)에 대한 개략적인 관측소 응답특성을 평가함에 있다.

우리나라와 일본 지진관측소 자료로부터 각각 추정된 지진원스펙트럼 비교의 목적은 국내와 인접한 원거리(거리  $> 190$  km) 해상에서 발생한 지진에 대해 국내 지진관측자료만으로 지진원스펙트럼을 추정한 결과의 신뢰도를 평가하기 위해서이다. 국내에서 발생한 중규모 이상 지진에 대한 지진원스펙트럼 추정 결과는 내진설계의 기초자료로 활용되는 입력지진동을 모사하기 위해 필요한 지진의 중요한 특성이다. 국내에서는 과거에 해상에서 중규모의 지진(홍도지진( $M=4.9$ , '03. 3. 23), 백령도지진( $M=5.0$ , '03. 3. 30))이 발생하였으나 근거리 자료가 없어서, 비교적 원거리의 내륙 지역에서 관측된 자료만으로 추정한 지진원스펙트럼의 신뢰성이 의문시되었다. 이번 후쿠오카 지진의 경우는 진앙거리 190 km 이상인 국내 전 지진관측소에서 양질의 지진자료가 관측되었을 뿐만 아니라, 후쿠오카 인근 지역에 조밀하게 분포한 일본 지진관측소에도 양질의 많은 지진관측기록을 쉽게 확보할 수 있었다.

지진원 인근 일본 지진관측소 주파수응답특성 추정의 목적은, 한반도와 인접한 이들 관측소에서 계측된 강지진동 자료를 국내 강지진동평가에 활용하기 위한 판단근거를 마련하기 위한 것이다. 현재 전세계적으로 강지진동 자료가 상당히 많이 축적되어 있으나, 이들 자료를 국내에 적용하기 위해서는 국내 지진관측자료 특성과의 비교가 선행되어야 한다. 반면 한반도 인근 지역에서 발생한 강지진동 자료를 국내 지진관측자료 특성과 직접적으로 비교함으로써 한반도 내 강지진동 특성을 추정하는데 활용할 수 있다.

## 2. 관측소 주파수응답특성 평가 방법

### (1) 국내 지진관측소에 대한 스펙트럼 해석

후쿠오카 지진에 대해 국내 지진관측소  $i$ 에서 계측된 기록의 푸리에스펙트럼은 식 (1)과 같이 지진원(SRC), 전달(PATH), 관측소(STA)의 주파수응답특성의 곱으로 표현된다.

$$OBS_i(f) = SRC_i(f) \cdot PATH_i(f) \cdot STA_i(f) \quad (1)$$

식 (1)에서 SRC( $f$ )는 가상의 진원거리 1 km 지점에서의 점지진원 스펙트럼으로서 평가되며, 점지진원 가정은 지진원으로부터 원거리 지점( $2\pi fR/v \gg 1$ )에서 타당한 가정이나 근거리 관측자료에 대해서는 적용되지 않는다(Aki and Richards, 2002).

본 연구에서는 식 (1)의 전달특성을, 비매개변수법으로 추정한 스펙트럼 감쇠결과로부터 도출된 거리-주파수별로 변하는 경험적인 기하학적 감쇠모델(=GEO<sub>Kor</sub>( $R_i, f$ ), Yun *et al.*, 2004)과 한반도 남부지역에 대하여 약 0.4° 격자크기별로 서로 다른 Q 값을 갖는 모델(연관희, 2004)의 조합으로 표현하였다(식 (2)). 따라서 관측자료별로 파선경로에 따라 서로 다른  $Q_i (=Q_0 f^{\eta_i})$  및 PATH <sub>$i$</sub> 를 고려한다.

$$PATH_i(f) = \exp\left(\frac{-\pi f R_i}{\beta Q_i(f)}\right) \cdot GEO_{Kor}(R_i, f) \quad (2)$$

본 연구에서의 관측소 주파수응답특성은 식 (3)과 같이 지반을 포함한 지각구조내의 지층간 탄성임피던스 차이로 인한 탄성증폭특성( $A(f)$ )과  $\kappa$ 를 파라미터로 하는 지수함수로 표현되는 천부지각구조(지하 1~2 km)에 의한 비탄성 감쇠의 조합으로 고려하였다.

$$STAi(f) = Ai(f) \cdot \exp(-\pi \cdot f \cdot \kappa_i) \quad (3)$$

개별적인 지진관측자료 스펙트럼으로부터 전달특성과 관측소응답특성을 제거할 경우, 식 (1)에 의해 지진원스펙트럼을 계산할 수 있고, 다수의 국내 지진관측소 자료에 대해 평균적인 지진원스펙트럼을 계산할 수 있다(식 (4)).

$$\ln \overline{SRC}(f) = E\{\ln SRC(f)\} \quad (4)$$

$E(X)$ 는 식 (5)와 같이  $N$  개의 요소를 갖는 벡터  $X$ 에 대한 평균값이며, 식 (4)에서 SRC( $f$ )는 각 지진관측소 자료에 대해 개별적으로 추정되는 지진원스펙트럼( $SRC_i(f)$ )을 요소로 갖는 벡터이다.

$$E(X) = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N) / N, \quad X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) \quad (5)$$

한편 후쿠오카 지진에 대해 국내 관측소와 지진원 인근 일본 관측소에 대한 지진원특성 및 관측소응답특성을 비교하기 위해 식 (6)과 같은  $\bar{\kappa}$  파라미터를 도출하였다.

$$E[\ln\{\text{OBS}(f)/(\text{PATH}(f) \cdot A(f) \cdot \overline{\text{SRC}}(f))\}] = -\pi \cdot f \cdot \bar{\kappa} \quad (6)$$

이상에서 도출된  $\bar{\kappa}$ 를 이용하여 국내 지진관측소에 대한 (지진파)기저면(seismic base-ment) 지진원스펙트럼( $\text{SRC}_{\text{ref}}$ )과 (지진파)기저면 관측소응답특성( $\text{STA}_{\text{ref}}$ )을 식 (7)과 같이 각각 정의하였다. 식 (7)의 기저면 지진원스펙트럼은  $\bar{\kappa}$ 에 의해 표현되는 고주파수감쇠특성이 지진원특성으로서 반영되고, 지층의 임피던스 차이에 의한 증폭이 발생되지 않는( $A(f)=1.0$ ) 가상의 지층면(지진파기저면)에서  $R=1$  km에 대해 예상되는 지진파 스펙트럼 수준이다. 기저면 관측소응답특성은 기저면 지진원스펙트럼으로부터 지진원스펙트럼을 제거하고  $\bar{\kappa}$ 를 파라미터로 하는 천부지각의 평균적인 고주파수감쇠만을 고려한 지진파기저면에서의 관측소응답특성이다.

$$\begin{aligned} \text{SRC}_{\text{ref}}(f) &= \overline{\text{SRC}}(f) \cdot 1.0 \cdot \exp(-\pi \cdot f \cdot \bar{\kappa}), \\ \text{STA}_{\text{ref}}(f) &= 1.0 \cdot \exp(-\pi \cdot f \cdot \bar{\kappa}) \end{aligned} \quad (7)$$

## (2) 일본 후쿠오카 인근 지진관측소에 대한 스펙트럼 해석

일본의 지진관측자료에 대해서는 식 (1)처럼 개별적인 지진관측소를 고려하지 않고, 관측자료를 관측망별로 분리하여 각 관측망에 대한 유사지진원스펙트럼( $\text{PSRC}(f)$ )과 평균적인 관측소응답특성( $\overline{\text{STA}}(f)$ )을 추정하였다. 유사지진원스펙트럼은 관측자료 스펙트럼에 대해 지각의 탄성증폭과 고주파감쇠 등에 대한 보정을 하지 않고 지진파전달특성만이 보정된 스펙트럼으로 식 (8)과 같이 정의하였다. 각 관측망의 평균적인 관측소응답특성은 해당 지진관측망의 유사지진원스펙트럼으로부터 국내 지진관측소로부터 추정된 지진원스펙트럼을 제거시킨 스펙트럼으로부터 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{PSRC}(f) &= E(\text{OBS}(f))/\text{PATH}(f) = \overline{\text{SRC}}(f) \cdot \overline{\text{STA}}(f) \\ &= \overline{\text{SRC}}(f) \cdot \{\overline{A}(f) \cdot \exp(-\pi \cdot f \cdot \bar{\kappa})\} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)의 전달특성( $\text{PATH}(f)$ ) 중 기하학적 감쇠는 국내 기하학적 감쇠모델(식 (2)의  $\text{GEO}_{\text{kor}}(R,f)$ )을 그대로 사용하였고, 일본 후쿠오카 인근 지역의  $Q(f)$ 는  $120f^{0.74}$ 를 사용하였다. 이  $Q$  모델은 2004년까지 국내에서 계측된 지진자료를 이용하여 후쿠오카 인근지역을 포함하는 광범위한 지역에 대해 추정된 개략적인 모델이다. 이상과 같이 후쿠오카 인근 지역의 전달특성을 단순하게 모델링하고, 수립된 모델의 타당성을 엄격히 검증하지 않더라도 사용된 지진관측자료가 100 km 미만의 기록이기 때문에 스펙트럼 분석결과에는 큰 영향을 주지 않는다.

## 3. 지진자료

일본은 전세계적으로 지진활동이 가장 활발한 곳으로, 지진관측과 관련한 인프라가 잘 갖추어져 있는 나라이다. 특히, 1995년 1월 발생한 효고현남부지진( $M=7.2$ ) 이후에 지진관측 인프라를 재정비하기 시작하여 2005년 현재 일본 방재과학기술연구소(NIED, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention), 기상청, 각 대학 등에서 다양한 목적으로 조밀한 지진관측망을 운영중이다. 이 중에서도 이번 연구에 이용한 NIED의 관측망은 표 1과 같이 구성되어 있다.

Hi-net과 KiK-net은 동일한 관측소에 깊이를 달리하여 설치된 관측소이다. 본 연구에서는 KiK-net 지진관측망의 자료 중 진앙거리 100 km 이내 관측소의 심부(평균 심도 170 m, 표준편차 56 m) 시추공 가속도센서에서 기록된 자료를 분석에 이용하였다. Hi-net 자료역시 심부(평균 심도 166 m, 표준편차 85 m) 시추공 센서에서 기록된 200샘플링 단주기 속도자료로서, 20 Hz 이상의 관측스펙트럼에 대해서는 특별한 보정을 취하지 않았으나, 1Hz 미만에 대해서는 단주기속도계의 표준특성(감쇠=0.7, 고유주파수=1Hz)에 대해 계기응답 보정을 하였다. KiK-net, K-net 등은 각각 200, 100샘플링 가속도자료이며, 대략 30 Hz를 차단주파수로 갖는 계기응답 보정(그림 1(a))이 필요하다. F-net 자료는 20샘플링 광대역속도자료로서 KiK-net, K-net, Hi-net과는 다르게 고성능기록계에서 관측된 기록이다.

본 연구에서는 진원거리 계산을 위해 일본기상청 지진정보(진앙 33.739°E, 130.176°N, 깊이 9.2 km)를 이용하였다. 관측자료에 대한 스펙트럼 계산을 위해 거리

표 1 일본 지진관측소 현황.

관측망명	관측소수	센서위치	센서종류	기 타
강진동관측망 K-net	1000	자유장	가속도계	<ul style="list-style-type: none"> <li>일본 전역을 25 km 간격</li> <li>최대 2 g까지 기록가능</li> </ul>
고감도지진관측망 Hi-net	700	지하 100 m 이상의 시추공	속도계	<ul style="list-style-type: none"> <li>미소지진을 감지할 목적</li> <li>일본 전역을 약 20 km 간격 (1000개소를 구축할 목적)</li> <li>고감도 속도계 설치</li> </ul>
기반지진동관측망 KiK-net	700	자유장 및 시추공	가속도계	<ul style="list-style-type: none"> <li>강진계 3성분을 자유장 및 시추공에 설치</li> </ul>
광대역지진관측망 F-net	70	지하	가속도계 및 속도계	<ul style="list-style-type: none"> <li>Freesia(Fundamental Research on Earthquakes and Earth's Interior Anomaly)사업으로 시작</li> <li>2001년 F-net으로 개칭 (Full Range seismograph network of Japan)</li> <li>가속도계(VSE355G-2) 및 광대역속도계(STS-1, STS-2)로 구성</li> </ul>

에 따라 변화하는 S파 시간차 길이를 결정하였으며 양 끝 5%의 cosine tapering을 실시하였다. 스펙트럼은 수평성분의 푸리에 스펙트럼을 벡터합성하여 얻어졌으며 S/N비가 3~4배 이상 되는 주파수 구간을 선정하였다. 선정된 주파수 구간은 대개 0.05~30 Hz가 사용되었으며(그림 1(b)), 이 구간 내에서 0.4 옥타브간격 내의 스펙트럼을 평활화한 값을 분석에 이용하였다.

#### 4. 관측망별 지진원스펙트럼 및 주파수응답특성 비교 결과

국내 지진관측소에 대한 (지진파)기저면 지진원스펙

트럼( $SRC_{ref}(f)$ )은 식 (1)~(7)의 과정을 통해 추정되었다. 그림 2, 3(a)는 각각  $SRC_{ref}(f)$  추정에 사용된 국내 지진관측소별 탄성증폭특성 및 특정주파수에 대한 관측소별 전달특성(PATH<sub>i</sub>)이다. 후쿠오카 지진에 대한 국내 지진관측자료로부터 도출된 식 (6)의  $\bar{\kappa}$ 는  $0.015\text{sec}^{-1}$ 로 평가되었다. 한편 추정된 기저면 지진원스펙트럼에 대한 개략적인 지진원의 특성을 파악하기 위해 Brune의 단일주파수  $\omega^2$  지진원 모델에 적합시킨 결과,  $M_w=6.6$ , Stress drop=170bar ( $f_c=0.2\text{Hz}$ )로 계산되었다(그림 3(b)). 추정된  $M_w=6.6$ 은 NIED가 계산한 결과와 일치하며  $f_c$  이하의 지진원스펙트럼 수준이 합리적으로 추정되었음을 입증한다. 한편 기저면 지진원스펙트럼과

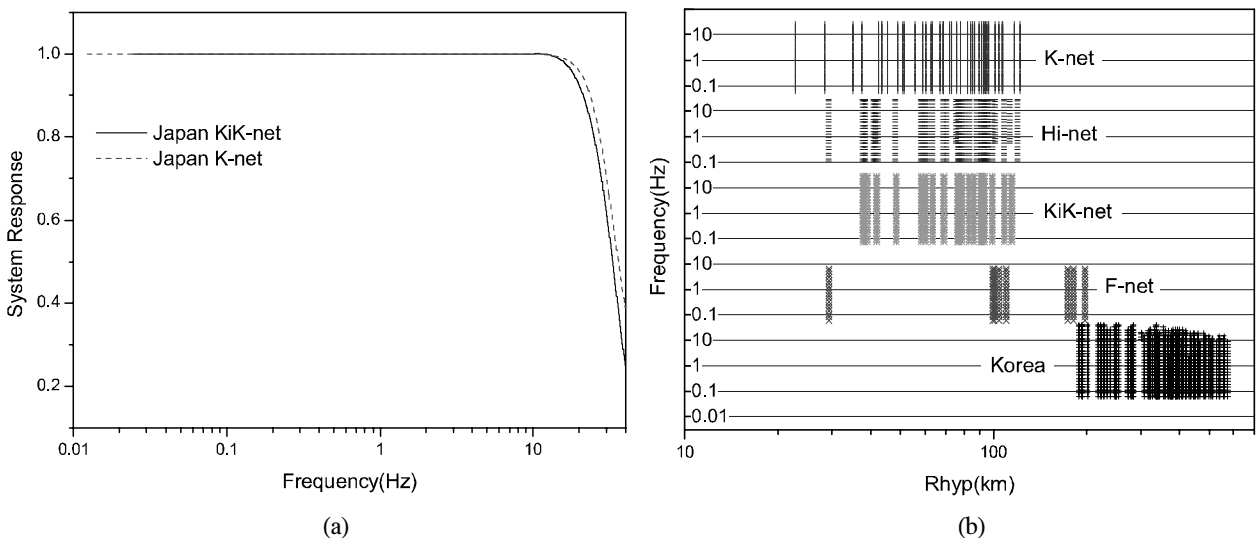


그림 1 지진관측망별로 사용된 자료의 거리-주파수분포(a) 및 KiK-net 자료의 계기응답특성.

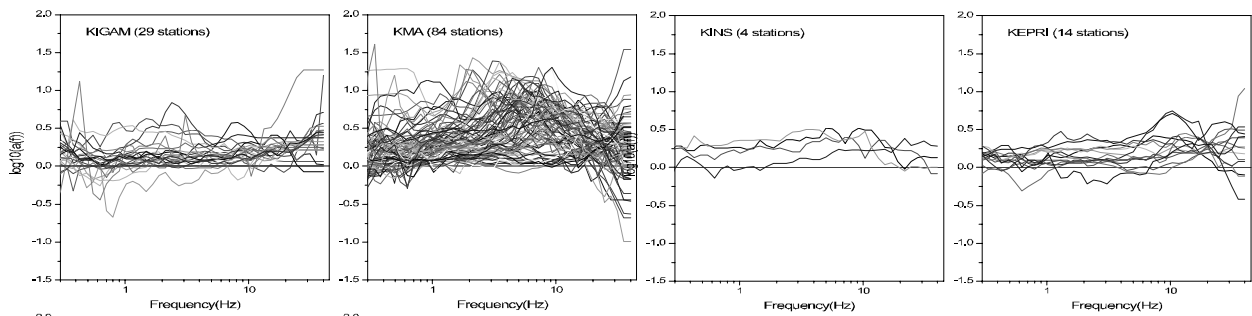


그림 2 국내 각 기관이 운영중인 관측소의 주파수응답특성(=A(f)). 좌로부터 한국지질자원연구원, 기상청, 원자력안전기술원, 한전전력연구원 자료임.

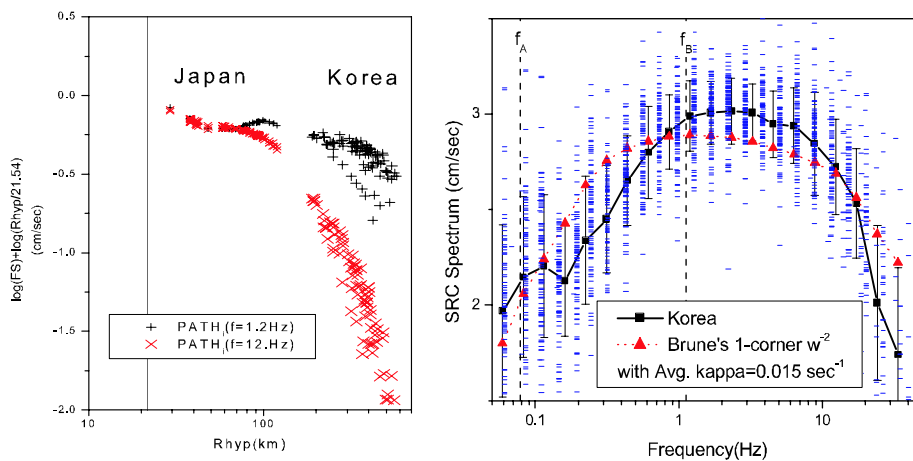


그림 3 지진원스펙트럼 보정에 사용된 지진관측소별 전달특성(=PATH(f))(a) 및 국내 지진관측자료를 통해 추정된 지진파기저면 지진원스펙트럼(b).

Brune의 단일주파수  $\omega^2$  지진원 스펙트럼 비교 결과 Jeon (2004)이 제시한 2개의 코너주파수( $f_A=0.08$  Hz,  $f_B=1.1$  Hz) 사이에서 Brune의 지진원스펙트럼이 관측치보다 큰 값을 나타내고  $f_B$  이상에서는 Brune의 지진원스펙트럼이 낮은 값을 나타내는 2-corner 모델의 전형적인 특징을 나타내고 있다.

진앙거리 190 km 이상인 국내 지진관측자료를 이용해 추정한 (지진파)기저면 지진원스펙트럼( $SRC_{ref}(f)$ )을 지진원 인근 일본 지진관측망별 지진자료에 대해 추정된 유사지진원스펙트럼(식(8)의  $PSRC(f)$ )과 비교하였다(그림 4(a)). 그림 4(a)로부터  $SRC_{ref}(f)$ 는 1 Hz ~ 30 Hz의 주파수대역에 대해 일본 KiK-net 지중 자료로부터 추정된 유사지진원스펙트럼보다 약간 크며, Hi-net 자료로부터 추정된 유사지진원스펙트럼 보다는 약간 작게 평가되나, 대체적으로 오차의 범위 내에서 잘 일치하고

있음을 알 수 있다.

이러한 결과에 의해 한반도로부터 비교적 원거리(>190 km)에서 발생한 지진에 대해 국내 지진관측자료만을 이용하더라도 정확한 지진원스펙트럼을 추정할 수 있으며, 지진원스펙트럼 추정시 고려하는 여러 입력자료(지역적으로 변하는 Q 모델, 기하학적감쇠모델, 관측소별 주파수응답특성) 역시 신뢰성이 있음을 확인하였다. 또한 후쿠오카 지진과 같이 비교적 규모가 큰 지진이라 하더라도 점지진원 스펙트럼 모델을 이용하면, 1 Hz 이상에서는 근거리부터 원거리까지 합리적인 스펙트럼 추정이 가능함을 알 수 있다.

한편 1 Hz 미만에 대해서는 KiK-net 지중, Hi-net 자료에 대한 유사지진원스펙트럼은 서로 잘 일치하나, 이들 유사지진원스펙트럼은 국내 기저면 지진원스펙트럼 보다는 큰 값을 나타내고 있다. 이렇게 1 Hz 미만에서 국

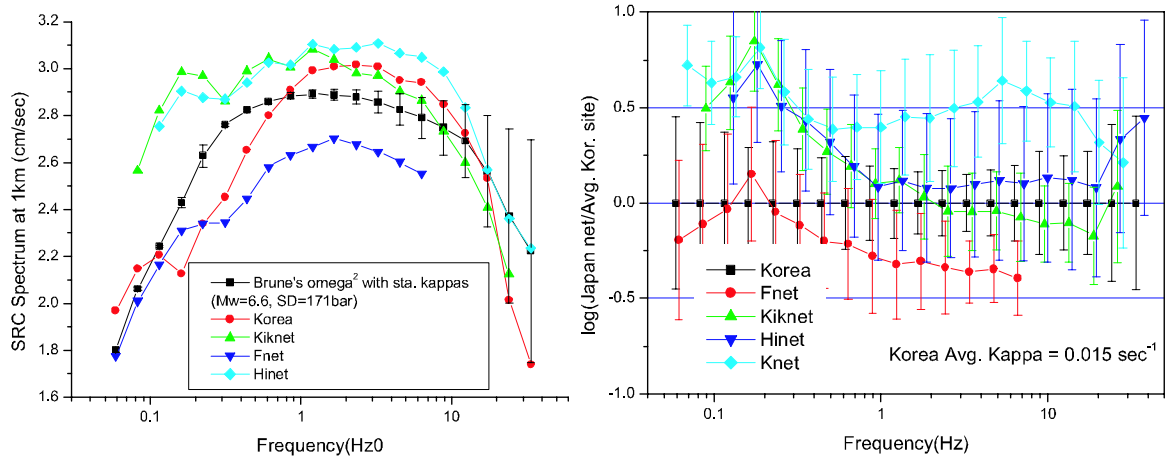


그림 4 국내 기저면 지진원스펙트럼( $SRC_{ref}$ )과 지진원 인근 일본 지진관측망별로 추정된 유사지진원스펙트럼(PSRC) 비교결과(a) 및 국내 기저면 관측소응답( $STA_{ref}$ )에 대한 지진원 인근 지진관측망별 관측소응답특성 비교결과(b).

내  $SRC_{ref}(f)$ 와 일본 관측자료의 유사지진원스펙트럼이 상이한 이유는 지진원스펙트럼을 점지진원으로 단순화하여 추정했기 때문으로 판단된다. 일반적으로 공간적인 크기가 고려된 면적지진원에 대해서는 파열진행 방향에 따라 근거리효과가 저주파 영역에서 발생하는 것으로 알려져 있으며(Stewart *et al.*, 2001), 후쿠오카 지진의 경우에는 파열이 일본 큐슈쪽으로 진행하였기 때문에 이러한 근거리 효과가 더욱 뚜렷하게 나타났을 것으로 추정된다. F-net 자료를 통해 계산된 유사지진원스펙트럼은 저주파에서 국내 지진관측소의 기저면 지진원스펙트럼과는 유사하나 고주파에서는 매우 낮은 수준을 나타내고 있다. 이러한 이유는 F-net의 자료가 Hi-net, KiK-net과는 다르게 비교적 원거리 자료까지도 사용되었기 때문이며(그림 1(a)), 원거리까지 고려한 Q는 후쿠오카 인근지역에 대해 사용된  $Q(=120f^{0.74})$  보다 낮은 것으로 추정된다.

한편 일본 지진관측망에 대한 유사지진원스펙트럼의 국내 기저면 지진원스펙트럼에 대한 상대적인 응답특성이 그림 4(b)에 도시되었으며, 이 결과는 국내 기저면 관측소응답( $STA_{ref}(f)$ )에 대한 일본 지진관측망별 응답특성이기도 하다. 그림 4(b)에서 K-net 자료는 매우 큰 증폭특성을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이는 K-net 관측소가 지표상에 위치하여 천부 연약지반에 의해 증폭되었기 때문이다.

이상의 결과로부터 지진원 인근지역의 KiK-net과 Hi-net 관측소 평균 주파수응답( $\overline{STA}(f)$ )이 국내의 지진

파기저면에서의 관측소 주파수응답( $=1.0 \cdot \exp(-\pi \cdot f \cdot \overline{\kappa})$ )과 유사한 수준을 갖는 것으로 판단된다. 이는 KiK-net 관측소와 Hi-net 관측소는 심부 지중에 있기 때문에 부지특성이 거의 없음( $A(f) \approx 1$ )을 고려할 때 매우 타당한 결과이며, 역으로 국내 지진파기저면 관측소응답특성 추정에 사용된 국내 지진관측소별  $A_i(f)$  역시 타당함을 간접적으로 입증한다.

### 5. 결론

2004년까지 국내에 축적된 지진자료를 기반으로 비교적 상세하게 추정된 국내 지진특성(지진파전달특성, 관측소응답특성)을 근거리, 190 km 이상의 진앙거리에 분포한 국내 지진관측자료를 이용하여 후쿠오카 지진('05. 3. 20,  $M_{JMA}=7.0$ )에 대한 지진원스펙트럼을 추정하였다. 추정된 지진원스펙트럼은 국내 지진관측소의 지진파기저면(seismic base-ment)에서  $R=1$  km일 경우 예상되는 지진파 스펙트럼 수준으로  $M_w=6.6$ , Stress drop=170bar를 갖는 Brune의 1-corner  $\omega^2$  지진원스펙트럼에 개략적으로 적합되었으나, 2-corner 지진원모델의 특성을 보다 뚜렷하게 보여주었다.

또한 지진원 인근지역( $R<100$  km)의 일본 지진관측망(F-net, KiK-net 지중, Hi-net, K-net)에 대해 전달특성만이 보정된 유사지진원스펙트럼을 추정하였으며, 국내 기저면 지진원스펙트럼과의 비교결과 KiK-net 지중 및 Hi-net 자료에 대한 유사지진원스펙트럼이 국내

기저면 지진원스펙트럼과 1 Hz 이상에서 유사한 수준을 나타내었다. 이는 한반도로부터 비교적 멀리 떨어진 해상에서 발생한 지진에 대해 국내 지진관측자료만으로 점지진원형태의 지진원스펙트럼을 추정하더라도 그 결과는 타당하며, 아울러 추정에 이용된 국내 지진파전달특성 및 관측소응답특성 등도 신뢰성이 있는 것으로 판단된다. 반면 1 Hz 미만에 대해서는 KiK-net 지중 및 Hi-net 자료가 국내 기저면 지진원스펙트럼보다 크게 평가되었으며, 이는 100 km 미만자료에 대해서는 1 Hz 미만의 저주파에 대해 점지진원 가정이 타당하지 않기 때문으로 추정된다. 또한 일본 후쿠오카 인근지역에 대한 KiK-net 지중 및 Hi-net 관측소응답특성과 국내 지진파기저면 관측소응답특성의 유사성으로부터, 일본 KiK-net 지중과 Hi-net 자료는 국내 지진파기저면 상의 자료로 동일하게 취급할 수 있다고 판단된다. 향후 이들 자료는 국내에서 축적된 지진자료 D/B가 갖는 규모, 진앙거리의 제한성을 극복하기 위한 유용한 지진관측자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 2005년도 원자력연구개발 중

장기계획사업 “원전부지 최대지진력 평가연구” 과제로 수행되었음을 밝히며, 자료제공에 협조해 준 국내 지진관측망 운영기관 및 일본방재과학기술연구소(NIED)에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Aki, K., and P.G. Richards, 2002, *Quantitative Seismology*, University Science Books, Sausalito, California.
- Stewart, J., Chiou, S., Bray, J. Graves, R., Somerville, P., and, Abrahamson, N., 2001, *Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design*, PEER Report 2001/09, University of California, Berkeley.
- Jeon Y., 2004, High Frequency Earthquake Ground Motion Scaling in Southeastern Canada and Korea, Dissertation of Saint Louis University in U.S.
- Yun, K., Park, D., and Seo, J., 2004, Broadband Non-parametric Ground Motion Evaluation Of Horizontal Shear-Wave Fourier Spectra, OECD/NEA Workshop on Seismic input motions, incorporating recent geological studies, NIED (Tsukuba, Japan), Nov. 15~17.
- 연관희, 2004, 한반도 지진관측자료를 이용한 울진앞바다 지진 ('04.5.29,  $M=5.2$ ) 스펙트럼 분석, 한국지진공학회 추계워크샵 발표논문집, 21-39.