

## 차세대 진도 측정 체계를 위한 한국형 Did You Feel It (DYFI)에 대한 연구

천화성<sup>1</sup> · 이준기<sup>2</sup> · 김성룡<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 기초과학연구원

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

<sup>3</sup>충남대학교 지질환경과학과

### 요 약

진도는 지진의 유감과 피해의 정도를 정량화한 값으로, 재해적 관점에서 중요하다. 일반적으로 진도는 현지 조사 또는 지진계 기록을 경험적으로 변환하여 얻어진다. 1990년대 초반부터 시작된 USGS Did You Feel It (DYFI)은 기존의 방법과 달리 주민들을 대상으로 하는 실시간 온라인 설문조사를 기반으로 진도 정보를 수집하는 체계이다. 2016년 경주지진과 2017년 포항지진 이후 한반도에서도 강진동에 대한 진도정보를 빠르게 수집할 필요성이 제기되었으며, DYFI가 차세대 진도수집체계에 있어 중요한 역할을 할 수 있다. 본 연구에서는, 한반도 지진에 대한 DYFI 체계의 유효성을 검증하고 최적화를 수행하였다. USGS DYFI에 보고된 경주와 포항지진 응답자료의 지역가중치합(CWS)과 기상청이 보고한 진도값과의 관련성을 분석하여, 지역가중치합(CWS)과 한반도 적합 지역소수진도(KCDI) 사이의 관계식을 도출하였다( $KCDI \approx 0.47 + 0.27 \times CWS$ ). 이를 적용하여 얻은 진도-거리 관계는 DYFI의 원시자료보다 높은 선형도를 가지며, 포항지진의 경우 USGS의 값(6.6)에 비해 현지조사에 의한 최대진도 VIII에 더 가까운 값(7.2)을 보여주었다. 또한, 도출된 진도분포도는 기존의 유감진도 보고에 의한 결과에 비해 방사패턴과 부지효과에 의한 공간적인 변화를 측정하며, 이를 통해 충분한 응답이 확보된다면 관측소가 조밀하지 않은 진앙 부근에서는 계기관측보다 더 신뢰도 높은 분포도를 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

**주요어:** 진도, DYFI, 주민응답진도, 경주지진, 포항지진

**Hwasung Cheon, Junkee Rhie and Seongryong Kim, 2020, Groundwork on Did You Feel It (DYFI) in the Korean Peninsula toward a new generation system of earthquake intensity estimations. Journal of the Geological Society of Korea. v. 56, no. 4, p. 469-480**

**ABSTRACT:** Seismic intensity is important in terms of seismic hazard because it categorizes felt ground shaking and damage. In general, the intensity is obtained through field investigation or by instrumental intensity converted from seismograph observations, empirically. Unlike the conventional approach, USGS Did You Feel It (DYFI) system has collected intensity information based on real-time online surveys for the community since the early 1990's. After the 2016 Gyeongju and 2017 Pohang earthquakes, quicker compiling has been requested for intensity information of strong ground motion in the Korean Peninsula. This suggests that DYFI can play an important role in a next-generation intensity collection system. In this work, we test applicability of the DYFI system to earthquakes in the Korean Peninsula with additional modifications. We derived a relationship between community responses in the USGS DYFI (i.e., Community Weighted Sum; CWS) and the Korean-peninsula-optimized Community Decimal Intensity ( $KCDI \approx 0.47 + 0.27 \times CWS$ ), by comparing the CWS with intensity values reported by the Korea Meteorological Administration for Gyeongju and Pohang earthquakes. The intensity-distance relationship from this study shows a higher linearity than raw data of the USGS DYFI. In addition, the maximum intensity ( $KCDI=7.2$ ) is more comparable to that from the field measurement (VIII) than the USGS's original value (6.6). Intensity distribution maps from the KCDI values are more reliable presenting radiation patterns and site effects compared to results using the conventional felt intensity reporting. From this, we confirm that the community response-based intensity distributions can be even more useful near the epicenter than instrumental observations in the case of regions with enough community responses though the lack of seismic stations.

\* Corresponding author: +82-42-821-6429, E-mail: [srkim@cnu.ac.kr](mailto:srkim@cnu.ac.kr)

**Key words:** intensity, DYFI, community intensity, Gyeongju earthquake, Pohang earthquake

(Hwasung Cheon, The Research Institute of Basic Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea; Junkee Rhie, School of Earth and Environmental Science, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea; Seongryong Kim, Department of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea)

## 1. 서론

지진원을 규정하는 요소에는 규모, 위치, 깊이, 발생시간 등이 있으며, 지진원 요소는 아니지만 해당 지진의 효과를 나타내는 중요한 요소로 진도가 있다. 진도는 각 지역에서 사람이 느낀 흔들림과 그에 따른 피해 정도를 지시하며, 깊이 파악된 지역의 수와 측정된 값의 분포에 기반하여 특정 지진에 의한 지역별 피해 정도를 파악할 수 있다(Wald *et al.*, 1999a). 일반적으로, 각 지역의 진도 값을 추정하는 방법에는 크게 두 가지 방법이 있는데, 하나는 전통적인 진도 추정 방법이며, 다른 하나는 지진계 관측자료를 이용한 계기진도 추정 방법이다. 전통적인 진도 추정 방법은 지진 피해 지역에서 기존의 보고체계를 이용하거나 설문조사를 실시하여 사람들의 유감("felt") 정도를 파악하거나(본 논문에서는 이를 유감진도라 칭함), 건축 구조물들에 대한 현장 조사로부터 지진 전문가가 주관적으로 결정하는 방법이다(Musson *et al.*, 2010; KMA, 2017b, 2018b). 이 방법은 실제 피해가 발생한 지역에 대한 상세한 진도 추정이 가능하나 많은 인적자원과 시간이 소요된다는 한계가 있다(Wald *et al.*, 1999a). 반면, 계기진도 추정 방법은 지진 관측소의 지진계에 기록된 지진동 값(예: 최대 지반속도와 가속도)을 경험적으로 만들어진 지진동-진도 변환식(Ground Motion-Intensity Conversion Equation; GMICE)에 대입하여 진도 값을 추정하는 방법으로, 지진 발생 직후 거의 실시간으로 진도를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 이를 한반도 지진에 적용하는 연구들이 수행되어 왔으며(Yun *et al.*, 2009a, 2009b, 2018b; Yun and Lee, 2018a), 기상청에서는 지역별 최대 진도와 최대지반가속도를 제공하고 있다(KMA, 2020). 이러한 장점에도 불구하고, 계기진도는 지진동-진도 변환식의 정확도에 크게 의존하기 때문에 보다 정확한 지진동-진도 변환식을 얻기 위하여 지진 피해 양상을 직접 관측한 신뢰도 높은 진도 관측자료가 필요하다. 또한, 지진동-진도 변환식

은 많은 관측자료에 대한 평균적인 특성만을 반영하고 있기 때문에, 계기진도는 실제 진도의 편차를 반영하지 못하는 근본적인 한계를 가진다. 일반적으로, 수 십 미터-수 킬로미터 크기의 천부구조와 지진 발생 메커니즘에 의한 지진동의 변화 정도는 매우 클 수 있으며(Geli *et al.*, 1988; Paul *et al.*, 1996; Park and Hong, 2017), 따라서 동일한 진앙거리의 서로 다른 지점에 대해 실제 진도는 크게 다를 수 있다. 계기진도는 지진관측소의 위치에서만 얻을 수 있기 때문에 관측소가 높은 밀도로 분포하지 않거나 관측기록 품질을 보장하기 어려운 고주파 배경잡음 수준이 높은 대도시 지역의 경우 진도의 공간적인 분포를 완전하게 측정하기 어렵다. 이러한 이유로 인해 오늘날에도 여전히 전통적인 방법으로 유감진도 관측을 수행하여야만 한다.

앞에서 언급한 전통적인 진도 추정 방법이 가지는 여러 한계들을 극복하기 위해서 다양한 시도들이 존재하며, 그 중에서 U.S. Geological Survey (USGS)에서 개발한 "Did You Feel It?" (DYFI) 시스템은 인터넷 웹 기반의 설문조사방법을 이용하여 지진 발생 이후 약 3 분 이내에 유감진도를 수집하기 시작하여, 자동으로 수 분 이내에 주민 응답 기반 진도분포도(Community Intensity Map)로 보여주며, 매 5분마다 이를 갱신한다(Wald *et al.*, 1999a). 이러한 특성은 전통적인 진도 추정 방법의 한계를 극복 하면서, 계기진도가 갖는 단점들을 보완함과 동시에 적은 비용으로 사람을 통한 진도 관측 정보를 이전과는 비교할 수 없을 정도로 획기적으로 늘릴 수 있는 방법을 제시한다. 특히, 만약 지진이 대도시 근처에서 발생한다면, 다수의 인터넷 사용자로부터 다량의 유감진도 정보를 획득할 수 있으며, 건물들과 인구가 밀집된 대도시에서 행정 구역 단위로 진도분포도를 나타내는 것도 가능해진다. 또한, 계기진도 측정을 위해 관측소를 유지할 필요가 없으며 따라서 진도정보 산출체계에 있어 비용 대비 효율성이 매우 높다.

국내(한반도 남부)의 경우 상대적으로 고밀도의 지진관측망이 운영되고 있으나 지진 발생빈도가 낮고 중규모 이상의 지진이 드물어 유감진도를 효과적으로 측정하기 어려운 환경이다. 이러한 특성은 결국 신뢰도 높은 지진동-진도 변환식을 산정하는 것을 어렵게 하여 계기진도의 신뢰도를 떨어뜨리는 결과를 초래할 수 있다. 게다가, 한반도에서 관측된 최대 규모(~M5.5) 지진의 단층의 길이가 평균적으로 10 km에 못 미치는 점(Wells and Coppersmith, 1994)을 고려할 때, 30~50 km의 간격을 가지는 현재의 지진관측망이 진앙 주변의 지진동을 적절히 측정하지 못하여 최대진도를 저평가할 가능성도 존재한다. 2017년 포항지진에 대하여 기상청에서 발표한 진도 분포도의 최대진도(VI)와 현지조사에 의한 최대진도(VIII) 사이에 차이가 존재하는 것이 이러한 경우의 예시가 될 수 있으며(KMA, 2018a, 2018b), 본 논문의 3.2절에서도 관측소의 이격으로 인해 지진동의 공간적 분포가 낮아질 수 있음을 확인하였다. 이와 동시에, 반대로 국내의 경우 대부분의 지역에 주민이 상당히 높은 밀도로 거주하고 있다는 점은 미국에 비해 오히려 DYFI와 같은 주민응답 기반의 진도 정보 수집체계가 매우 유용하게 사용될 수 있음을 시사한다.

인터넷 웹 기반의 설문 조사 시스템이 성공적으로 운영되기 위해서는 무엇보다도, 지진 발생 시 얼마나 많은 사람들로 부터 일관된 설문응답 데이터를 수집할 수 있는지가 중요하다. 인터넷의 개방성으로 인해, 누구나 접속할 수 있고, 설문조사에 응답할 수 있다는 장점은 의도적이든 아니든 잘못된 설문응답을 줄 수 있는 가능성을 내포한다. 이러한 오류를 제거하기 위해서 USGS DYFI 체계에는 자동화된 필터들(예: 설문응답 일관성과 진앙 거리에 따른 진도 값 크기 확인과정)(Wald *et al.*, 2011)을 내장하고 있다. 이러한 장치들을 정교화하기 위해서는 본 연구 외적인 측면의 고려가 필요하며 지진학적 방법만으로 다루기 어렵다. 그러나, USGS DYFI 수준의 적절한 고려를 통해 주민 응답을 정량적인 수치로 얻었다고 가정할 때, 이로부터 진도를 추출하는 과정을 우선적으로 수립하는 것이 가능하다. 실제로 USGS DYFI에는 많은 수의 주민 응답이 2016 Mw 5.4 경주지진과 2017 Mw 5.5 포항지진에 대하여 수집되었다. 해당 자료는 이전 연구(Yun and Lee, 2018a)

에서 지진동-진도 변환식 도출 과정에서 국내 유감진도 자료와 비교된 바 있으나, 추가적인 연구가 진행되지는 않았다.

본 연구에서는 진도 정보 산출에 있어 기존 유감진도 자료(KMA, 2017a, 2018a)에 대비하여 DYFI 시스템을 통하여 수집된 자료의 유용성을 검증함으로써 한반도에서 주민 응답 기반 체계 수립을 위한 기반연구를 수행하였다.

## 2. 배경 이론 및 자료

### 2.1 USGS DYFI 배경 및 이론

1990년대 초, USGS에서 개발한 “Did You Feel It?”(DYFI)은 지진을 감지한 인터넷 사용자들의 설문조사 보고들을 바탕으로 자동으로 진도분포도를 생성하고 보여주는 시스템이다(Wald *et al.*, 2011). 이와 같은 인터넷 웹 기반의 설문조사를 통한 진도 추정 방법은 지진 발생 이후에 다수의 인적자원이 필요하며 많은 시간이 소모되는 전통적인 진도 추정 방법의 단점을 획기적으로 극복 할 수 있었다. 뿐만 아니라, 대량의 진도 관측 데이터 확보는 이전 방법으로는 할 수 없었던 높은 정확성으로 진도분포도를 보여주는 것을 가능하게 하였다(Wald *et al.*, 2011).

미국 USGS DYFI 웹사이트(USGS, 2020a)는 2004년부터 전 세계 인터넷 사용자로부터 주요 지진에 대한 데이터를 수집하였다(Wald *et al.*, 2011). 수집된 응답자료를 바탕으로 주민응답소수진도(Community Decimal Intensities; CDI)(Dengler and Dewey, 1998; Wald *et al.*, 1999a)를 도출한다. 이를 위해 각 지역(communitiy)에서 사용자들의 인터넷 설문조사 응답 결과들을 대표하는 수치화된 값이 필요하다. 이 값을 지역가중치합(Community Weighted Sum; CWS)라 부른다(Dengler and Dewey, 1998; Wald *et al.*, 1999a). CWS 값은 각 지역에서 인터넷 사용자들이 설문조사표에 답변한 값들을 대표하는 값을 의미한다. USGS DYFI 시스템에서 인터넷 사용자들로부터 각 지역의 진도 값을 얻어내기 위해 사용하는 설문조사표는 (USGS, 2020b)에 제시되어 있으며, 본 연구에서는 이를 번역하고 각 질문에 해당하는 색인(index)과 답변에 대한 점수는 기존의 연구(Wald *et al.*, 1999a)를 참고하여 부록 1에 정리하였다. 이 설문조사표는 개별 연구(Dengler and Moley, 1994; Dengler

and Dewey, 1998)에 의해 개발된 전화 인터뷰 설문 조사 방법을 근간으로 한다. 이 전화 또는 인터넷 설문조사 방식을 사용하여 진도 값을 추정하는 방법은 다음과 같다(Dengler and Dewey, 1998; Wald *et al.*, 1999a). 먼저, 수정메르컬리 진도(Modified Mercalli Intensity; MMI)에 바탕을 두고 있는 각 질문들의 답변들을 숫자 값으로 할당한다. 그리고 인터넷 사용자들이 지진을 감지한 지역을 각 지역코드 별로 묶은 후, 각 지역에서 다음 식 1을 사용하여 사용자들의 설문조사 답변들을 정량화한 CWS 값을 얻어 낸다(Dengler and Dewey, 1998; Wald *et al.*, 1999a).

$$\begin{aligned} \text{CWS} = & 5 \times \text{Felt index} + \text{Motion index} + \\ & \text{Reaction index} + 2 \times \text{Stand index} + \\ & 5 \times \text{Shelf index} + 2 \times \text{Picture index} + \\ & 3 \times \text{Furniture index} + 5 \times \text{Damage} \\ & \text{index}, \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 각 index는 지진동 지표 범주를 의미하며, 설문응답의 각 문항 들은 이들 index 중 하나에 속하게 된다. 위의 식 1을 보면, 각 index 마다 다른 특정 가중치 값을 주고 있는데, 그 값들은 MMI 진도 값, III 에서부터 IX까지의 값의 범위에 상응하여 CWS 값들이 증가하도록 주관적으로 선택되어진 값이다(Dengler and Dewey, 1998). 물론 설문조사의 각 index에 해당하는 답변의 결과 값이 적절한 진도 값에 상응하는 올바른 CWS 값의 증가를 나타낼 수 있다면, 다른 가중치 값을 사용하여 CWS 값을 얻는 것도 가능하다. 보통 우편번호와 같은 지역코드로 한정된 어느 특정 지역에 대한 CWS 값은 그 지역 내에서 설문조사에 참여한 사용자들의 각 질문 답변 값들의 평균값들을 식 1에서 보여주고 있는 것처럼, 각 index 마다 다른 가중치를 부여하여 모두 합한 값으로 결정이 된다. CWS 값을 수치 진도 값, 즉 MMI 값들로 전환하기위해, Dengler and Dewey (1998)는 Northridge 지진(Dewey *et al.*, 1995)에 대하여 식 1로 부터 얻은 CWS 값과 그 값에 해당하는 지역에서의 USGS MMI 값(Stover and Coffman, 1993) 사이에 대한 CDI 관계식을 선형회귀분석을 사용하여 개발하였다.

$$\text{CDI} = 3.3 + 0.13 \times \text{CWS} \quad (2)$$

여기서 CDI 진도는 정수로 표기되는 전통적인 진도 값과는 달리 보통 소수 점 두 자리까지 계산되며, 진도분포도를 나타낼 때는 소수 점 첫 자리로 반올림 한 진도 값을 사용하여 나타낸다. 그리고 기존의 MMI 값과 비교 할 때는, 정수 값으로 반올림 된다. 식 2를 얻기 위해 사용된 지진의 자료만을 고려할 때(Dengler and Dewey, 1998), 이 식은 작겨(<V)나 아주 큰(>VIII) 진도를 추정하기에는 적합하지 않을 수 있다. 따라서, 큰 진도 값을 보였던 1994년 Northridge (Mw 6.7, 최대 진도 IX, 응답수 800개 이상)(Wald *et al.*, 1999a), 1991년 Sierra Madre (Mw 5.6, 최대 진도 VII, 응답수 30개), 1987년 Whittier Narrows (Mw 5.9, 최대 진도 VIII, 응답수 100개) 지진의 진앙 인접지에 대한 응답 자료를 추가하고, 더 낮은 진도에 대해서는, DYFI 시스템을 사용하여 수집한 CWS 값들을 계기진도값(Wald *et al.*, 1999b)과 관계시켜 Wald *et al.* (1999a)는 식 3의 로그 CDI-CWS 관계식을 얻었다.

$$\text{CDI} = \begin{cases} 3.40 \times \log_e(\text{CWS}) - 4.38, & \text{CWS} \geq 6.53 \\ 2.00, & \text{CWS} < 6.53 \\ 1.00, & \text{felt} \end{cases} \quad (3)$$

현재 USGS DYFI 시스템은 식 3을 사용하여 CWS 값으로부터 USGS MMI 값에 상응하는 CDI진도를 할당하게 된다.

## 2.2 한반도 지진 DYFI 자료

아직까지 한국은 USGS의 DYFI 시스템과 같은 인터넷 웹 기반의 설문조사 시스템을 보유하고 있지 않다. 그러나, 미국 USGS DYFI 웹사이트는 전세계 주요지진을 대상으로 운영되고 있으며, 2016 경주와 2017년 포항 지진 당시 다수의 주민참여에 의해 유감진도 정보가 수집되었다. 경주지진의 경우 설문 응답자 481명이 참여하였고 그 중 478개의 데이터가 사용 되었으며, 포항지진은 406명이 참여하였고, 그 중 391개의 데이터가 사용되었다(2020년 2월 12일 현재 기준). 이 정도의 응답 수는 미국에서 비슷한 규모의 도시 근방에서 발생한 지진에 대하여 일반적으로 얻을 수 있는 응답 수(대략 만 명 이상)에 비해 적다. 하지만, 두 지진의 설문응답 수의 합은 식 2을

언을 때 사용한 1994년 M6.7 Northridge 지진의 진화 설문응답 수(Dengler and Dewey, 1998; Wald *et al.*, 1999a)와 비슷하며, 더 작은 경주와 포항지진의 규모를 고려할 때, 해당 응답수는 통계적인 의미를 가진다고 볼 수 있다.

DYFI 시스템에서 제공하는 정보 중 본 연구에서는 진원거리 별 CDI 값과 해당 위치 값을 수집하여 사용하였다. USGS DYFI는 각 설문에 대한 개별 응답과 CWS값을 제공하지는 않으나, 각 개별 응답에 대한 CWS값은 USGS 기준인 식 3을 역으로 적용하여 자명하게 구할 수 있다. 앞에서 설명한 것과 같이, CWS값은 특정 지역에 대한 가중치평균에 해당하며, CWS가 구해진 대표 지역의 수는 경주지진과 포항지진 각각 142개와 129개 지점이다.

본 연구에서는 설문조사를 직접 실시하여 CWS 값을 추정하는 방법, 즉 각 index별 가중치를 부여하는 방법에 대해서는 다루지 않는다. 이러한 과정은 다양한 측면의 고려가 필요하며(Dengler and Moley, 1994; Dengler and Dewey, 1998) 따라서 연구의 범위를 벗어나기 때문에, 식 1에 의해 결정된 CWS를 한반도 지진에 적용할 수 있다고 가정한다. 참고로, 식 1의 각 index 별 가중치는 응답의 신뢰도와 관련되어 있으며, 응답자 개개인의 주관적 판단(예: Reaction index)이나 지진동에 대한 다양한 반응을 보이는 사물의 움직임(예: Motion index) 보다는 응답자의 수(Felt index), 무거운 물체의 움직임 여부나 건물의 피해(Shelf index, Furniture index, Damage index)와 같이 보다 객관적인 설문문항(부록 1 참고)에 대한 응답에 높은 가중치를 부여하는 것을 볼 수 있으며, 이는 응답자가 큰 규모의 지진에 대한 경험이 적어 지진동 수준에 대한 상대적 판단이 어려울 수 있는 국내 상황과도 유사하다고 판단할 수 있다.

식 2와 3과 같이 CWS-CDI 관계식을 새롭게 도출하기 위해 DYFI CWS를 경주와 포항 지진에 대한 기상청 지진연보(KMA, 2017a, 2018a)에서 보고된 유감진도(KMA MMI) 자료와 비교한다. 경주지진의 진도는 기상청 지방 기상청(대) 또는 인접 위치에서 측정되었다고 가정하였으며, 포항지진의 경우는, 기상청 진도분포도(KMA, 2018a)를 바탕으로, 경주 지진에서 진도 값을 관측한 곳과 같은 위치에서 관측된 것으로 가정하였다.

### 3. DYFI 자료를 사용한 한반도 지진 진도 정보 산출

#### 3.1 한반도 적합 DYFI 진도 관계식

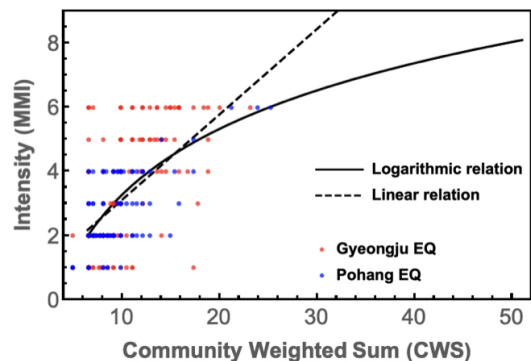
각 지역에서의 CWS 값과 KMA MMI의 자료를 이용하여(그림 1) 식 2를 새로 유도하여 다음 식을 얻었다.

$$\text{Korea CDI (KCDI)} \approx 0.47 + 0.27 \times \text{CWS} \quad (4)$$

여기서, 새롭게 유도된 식은 한반도 자료를 사용하였기 때문에 편의상 한반도 적합 지역소수진도(Korean-Peninsula-optimized CDI: KCDI)관계식으로 부른다. 식 3에 해당하는 로그함수 관계식은 다음과 같다.

$$\text{KCDI} \approx 2.95 \times \log_e(\text{CWS}) - 3.50, \text{ for } \text{CWS} \geq 6.46 \quad (5)$$

USGS의 CWS 자료를 사용하였기 때문에, 최소 CWS값 기준이 존재하며, 본 연구에서는 6.46으로 결정되었다. 즉, 식 5는 CWS 값이 6.46 이상일 때 사용하며, 6.46 보다 작으면서 지진을 “감지”했다고 응답했다면, CDI값은 2.00이 되고, “감지되지 않음”으



**Fig. 1.** Comparative plot of Community Weighted Sum (CWS) and felt intensity for the 2016 Gyeongju and 2017 Pohang earthquakes. Information on the felt intensity of those earthquakes is provided by Korea Meteorological Administration, which is estimated as the modified Mercalli intensity (MMI). Red and Blue dots represent data reported by the USGS DYFI for Gyeongju and Pohang earthquakes, respectively. Dashed and solid lines are from the linear relationship in Eq. 4 and the logarithmic function in Eq. 5, respectively.

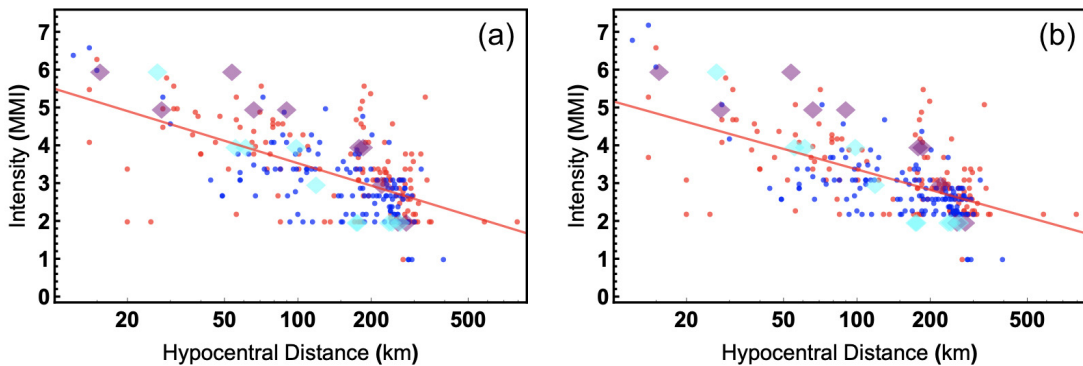
로 답을 하였다면, CDI 값은 1.00이 된다. 본 연구에서는 경주와 포항지진을 대상으로 하였으며, VI을 초과하는 진도자료는 사용하지 않았다. 식 5는 최대 CWS 값인 약 52 정도에서 진도 VIII에 수렴하는 것을 확인할 수 있다(그림 1). 이는 DYFI 인터넷 설문 조사 방식에서 가능한 최대 진도 값인 IX보다 작은 값이다. 실제 기상청 현지조사(KMA, 2017b, 2018b)에 의하면 경주와 포항 지진의 진앙에 인접한 지역의 진도는 VI보다 클 수 있다. 따라서, 식 5는 V보다 큰 진도의 경우 값을 과소평가할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 식 4를 적용하여 분석을 진행하였다.

유감진도 정보는 자연현상에 대한 정성적 관측에 기반 하기 때문에 얻어진 KCDI의 유효성을 검증하기 어렵다. 그러나, 지진파 전파에서 기하학적 확장(geometrical spreading)이 가장 큰 영향을 미친다고 가정할 때, 지진동은 거리에 따라 지수함수 적으로 감쇠하며(Aki and Richards, 2002) 따라서 KCDI 값을 각 DYFI 응답위치-진원거리의 대수로 나타내면 이론적으로는 선형관계를 보여야 한다. 이 특징을 이용하여 경주와 포항지진에 대하여 얻어진 각 지역의 KCDI (식 4)를 USGS의 CDI (식 3)와 선형회귀분석을 통해 비교하였다(그림 2). 각각의 경우에 대하여 선형 회귀함수를 구하고, 이에 대한 R-square 값을 계산하였다. USGS DYFI에서 제공하는 CDI를 직접 사용한 것에 비해 KCDI를 사용한 경우 회귀선은 서로 거의 동일하지만 R-square 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다(CDI: 0.368, KCDI: 0.387). 실

제로 시각적으로도 KCDI의 경우가 더 밀집하는 것을 볼 수 있다(그림 2). 동시에, 포항지진의 경우, KCDI를 사용하는 경우 진앙으로부터 가까운 거리에서 USGS CDI (~6.60)보다 더 높은 진도(~7.20)를 보여주며, 이는 기상청 현지조사 자료에 근거한 최대 진도 값 VIII이 주로 진앙에서 15 km 이내에서 보여주는 것과 매우 유사하다(KMA, 2018b).

### 3.2 DYFI 기반 진도분포도

USGS DYFI 설문응답 값에 기반한 CWS와 KMA MMI 사이의 선형 관계식(식 4)을 이용하여 한반도 적합 DYFI 응답 기반 진도(KCDI)를 얻었다. 이렇게 얻은 각 지역의 KCDI 진도 값을 내삽(interpolation)하여 경주와 포항지진의 DYFI 기반 진도분포도를 얻을 수 있다. 그림 3과 4는 각각 2016년 경주와 2017년 포항지진에 대한 진도분포도를 나타낸다. 여기서 각 그림의 원은 자료가 관측된 위치에서의 진도를 색으로 표현한 것이다. 여기서는 KCDI 진도분포를 계기진도(그림 3, 4a)와 유감진도(그림 3, 4b) 자료를 이용한 진도분포도와 비교한다. 계기진도를 구하기 위해 기상청 가속도관측소에 기록된 수평성분 가속도파형을 계기보정 후 최댓값을 측정하여 최대지반가속도(PGA)를 측정하였으며, 특별한 자료 선택과정은 거치지 않았다. 사용한 지진관측소의 수는 경주지진이 170개이며, 포항지진은 153개 이다. PGA 값으로부터 진도 값을 추정하기 위해 사용한 지진동-진도 변환식은  $MMI=2.36 \times \log_{10}PGA+1.44$ 을 사용

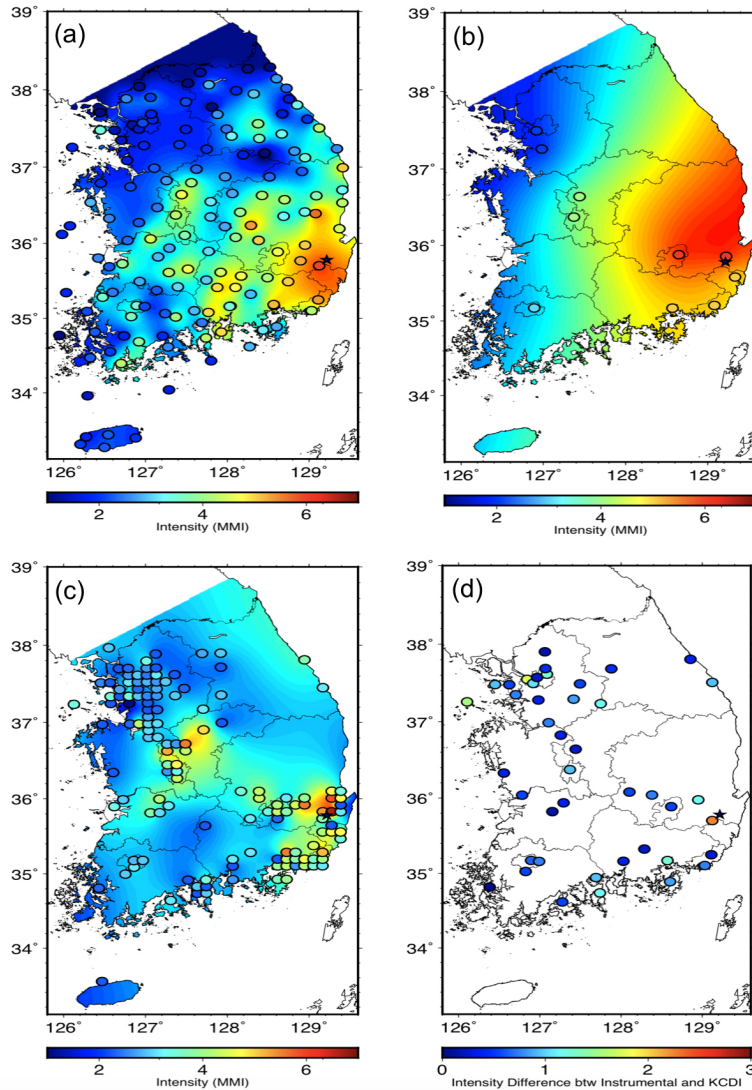


**Fig. 2.** Distributions of intensity data with respect to hypocentral distances for (a) USGS Did You Feel It (DYFI) Community Decimal Intensities (CDI) and (b) Korean-peninsula-optimized CDI (KCDI) (this study). Dots indicate responses by the community for the 2016 Gyeongju (red) and 2017 Pohang (blue) earthquakes. The Reported KMA MMIs are presented with purple and cyan diamonds for the Gyeongju and Pohang earthquakes, respectively. Line in each panel shows an optimum linear-fitting from the regression analysis.



하였다(PGA 단위: gal; Yun and Lee, 2018a). KMA MMI 유감진도 분포는 2.2절에서 서술한 자료를 기반으로 작성하였으며 각각 그림 2에서 제시된 값과 동일하다. KCDI 진도분포도(그림 3, 4c)는 각 지진에 대한 USGS의 모든 CWS 자료를 이용하며, USGS CDI값 대신에 KCDI값을 적용하였다. 경주와 포항 지진 모두, 인구가 밀집되지 않은 지역에서는 계기

진도 만큼의 자료를 확보할 수 없었지만, 인구 밀집 지역에서는 더 많은 데이터를 확보할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 특히 진앙 근처에서는 계기진도보다 훨씬 높은 밀도의 자료를 얻을 수 있었다. 이는 진앙 근처의 인구밀도가 높을수록 DYFI 체계를 통해 더 상세한 진도 분포 정보를 얻을 수 있음을 지시한다.



**Fig. 3.** Interpolated intensity distributions for the 2016 Gyeongju earthquake: (a) instrumental intensity, (b) reported MMI by KMA (KMA, 2017a), (c) KCDI values obtained from Eq. 4 (this study), and (d) difference between instrumental intensities in (a) and KCDI in (c) at locations with both measurements exist simultaneously at the same location or nearby (<10 km). Circles in (a)-(c) indicate locations where intensities were measured using different methods, and their colors represent intensity values as in the scale bar. The black star in each map is the location of the earthquake.

경주지진 KCDI 진도분포도(그림 3c)는 대충으로부터 수집한 자료만을 사용하여 나타냈음에도 불구하고, 많은 수의 지진계를 사용하여 나타낸 계기진도분포도(그림 3a)와 공간적 분포 특성이 상당히 유사하다. 특히 대전을 포함한 충청권과 광주를 포함한 전라권의 진도 분포와 그 지역의 상대적으로 높은 계기진도의 크기가 서로 유사함을 확인할 수 있다. 이는 지진동에 대한 경주지진의 방사패턴과 국지적인 부지증폭의 영향을 지역주민의 응답을 통해 감지할 수 있음을 지시한다. 또한, 계기진도분포도에서(그림 3a) 진앙에 인접한 1개 관측소의 상대적

으로 높은 진도 값이 넓은 범위에 걸쳐서 나타난다. 그에 반해, DYFI 기반 KCDI 진도분포도(그림 3c)는 진앙에 가까워 질수록 더 많은 자료가 수집될 가능성이 높고, 결과적으로 수집된 많은 데이터로 인해 진도 분포를 더 자세히 보여줄 수 있음을 확인할 수 있다. 추가적으로, 진앙 위치와 그 주변의 진도 분포에서 진앙의 북북동 방향에서 높은 진도를 보여준다. 이는 DYFI를 통해 관측된 진도분포가 단층파열의 방향성(Uchide and Song, 2018)에 따른 높은 지진동을 감지하였을 가능성을 지시한다. 관측지점이 동일하거나 인접한 지역(<10 km)에서 계기진도와

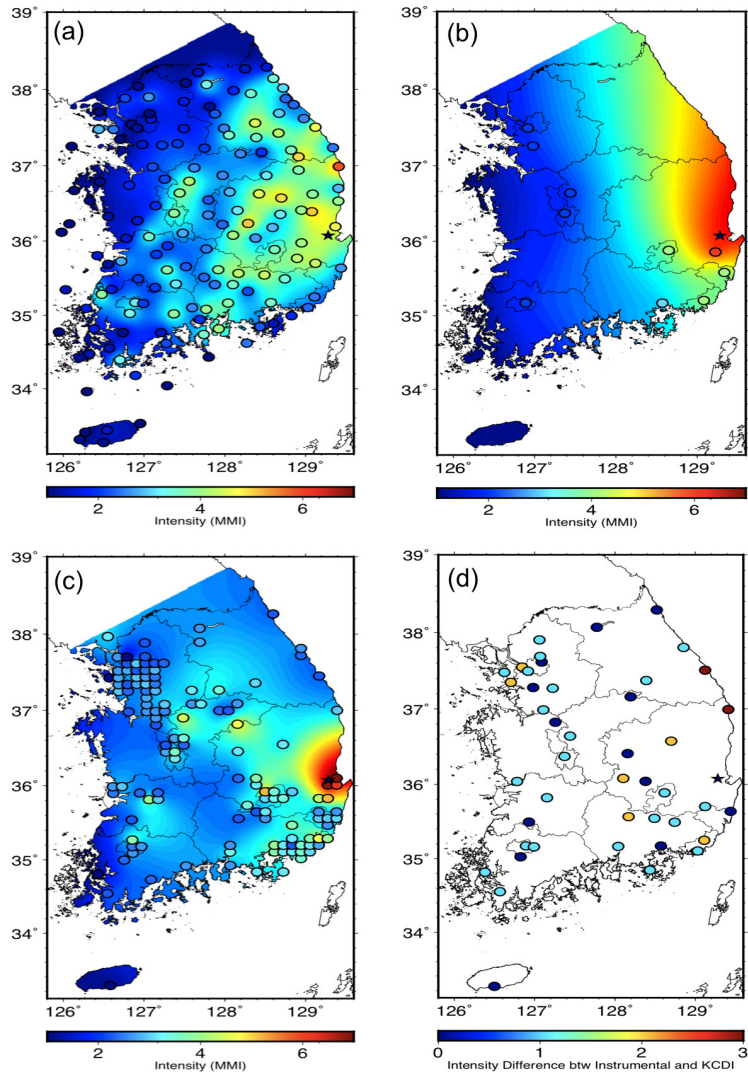


Fig. 4. The same maps as in Fig. 3, but for the 2017 Pohang earthquake.



KCDI의 차이(그림 3d)는 수도권과 진양 근처의 일부 지역을 제외하고 한반도 전역에서 값 1 이내로 매우 유사하다. 반면 전문가 보고에 의존하는 KMA MMI 자료를 사용한 진도분포도(그림 3b)는 극히 적은 수의 진도 관측 때문에 높은 진도 값이 넓은 범위에 분포하고 있어서, 거리에 대한 진도의 감소 정도는 추정해 볼 수 있지만, 상세한 진도 분포의 차이 등을 보여주지 못하는 것을 알 수 있다.

그림 4는 2017년 포항지진에 대한 진도분포도를 보여준다. 경주지진의 경우와 마찬가지로, KMA MMI를 사용한 진도분포도(그림 4b)는 적은 수의 관측지점으로 인해 진도분포의 세밀한 특성이 잘 나타나지 않는다. 경주지진과 마찬가지로 포항지진의 KCDI 진도분포도(그림 4c)도 계기 진도분포도(그림 4a)에 상응하는 진양 부근과 방사패턴, 부지중폭에 의한 지역에 따른 진도 변화를 상당히 정확히 보여준다. 두 값의 차이를 보면 경상남북도와 강원도 일부의 인구밀도가 낮은 지역과 진도의 절대값이 낮으면서 고층빌딩이 많은 수도권 일부지역을 제외하면, 대체로 진도 차이가 1 이내로 서로 유사함을 확인할 수 있다. 주목할 점은, 포항지진의 경우 계기 진도분포도에서 진양 부근에 낮은 진도(약 V)를 보여주나, 이는 현지조사에 의해 보고된 피해정도(약 VIII)에 비해 낮은 값이다(KMA, 2018b). 이는 본 연구에서 사용한 기상청 관측소가 포항지진 당시 진양 주변지역에 많이 분포하지 않았으며, 어떠한 원인으로 진양 주변에 위치한 하나의 관측소가 상당히 낮은 지진동을 기록하였기 때문이다. 이러한 상황에서, DYFI에 기반한 KCDI 진도 정보는 진양지 주변 자료의 수가 계기관측보다 더 많으며 결과적으로 더 정확한 진도 값을 보여준다(그림 4c). KCDI 진도분포도는 진양에서 약 10 km 이내에서 최대 진도 값, 7.20를 보여주며, 이는 현지조사와 매우 유사한 값이다. 또한, 계기 진도분포도에서 진양에서 100 km 이상 떨어진 지점에서 더 높은 진도(VI)를 보여주는 경우도 있으며, 이는 계기진도 자료를 이용하여 진도분포도를 구하는 경우에 관측소 부지의 적절성이나 계기의 신뢰도 등을 고려하여야 하며, 지진동예측식 등에 기반하여 자료를 선별할 필요가 있음을 보여준다. 결과적으로, 포항지진과 같은 상황에서는 KCDI 진도 정보가 계기 관측 기반 진도분포도의 정확성을 향상시키는 데 이용될 수 있음을 보여준다.

#### 4. 토의 및 결론

USGS DYFI 시스템은 인터넷 웹 기반의 설문조사 방식을 사용하여 대중들로부터 진도정보를 수집한다. 이러한 이유로, 대중의 접근이 용이하며, 지진 발생 후, 적은 비용으로 빠른 시간 안에 기존의 현지 조사와 전화설문을 통한 방법 보다 훨씬 더 많은 자료를 수집하고 자동으로 처리하여 진도분포도를 사용자들에게 보여준다(Wald *et al.*, 2011). 이와 함께 USGS DYFI 시스템은 미국뿐만 아니라 전 세계에서 발생하는 지진에 의한 설문응답 자료를 수집하고 이를 이용한 진도분포도를 제공하고 있다(Wald *et al.*, 2011). 본 연구에서는, 진도분포도 비교를 통해 이러한 기존의 USGS DYFI 체계를 통해 수집된 자료가 한반도에서 발생한 지진의 진도정보를 제공하는데 있어 유용함을 보였다. 이를 위해, USGS DYFI 시스템에서 제공하는 2016년 9월 12일 경주와 2017년 11월 15일 포항지진 자료와 함께 기상청 유감진도 자료를 동시에 사용하여, 한반도 적합 지역소수 진도(KCDI) 관계식(식 4)을 유도하였고, 그 관계식을 사용한 각 지역 진도(KCDI)를 내삽하여 DYFI 기반 진도자료가 한반도 지진의 진도분포도 신뢰도 향상에 기여할 수 있음을 보였다. 이러한 대중응답 기반 진도분포도는, 다수의 비전문가로부터 얻은 설문조사에 바탕을 두고 있음에도, 자료의 양과 질의 측면 모두에서 소수의 전문가 보고체계에 기반한 기존의 유감진도 자료를 대체할 수 있을 뿐만 아니라 계기관측 기반 진도정보를 보완할 수 있음을 확인하였다. 특히, 지진관측망이 유효하지 않으면서 인구가 밀집한 진양근처에서는 계기 진도분포도에 비해 더 정확한 진도 분포 정보를 제공할 잠재력이 있음을 확인하였다(그림 3, 4).

한반도 지진을 대상으로 독립적인 대중응답 기반 진도수집체계를 운영한다고 할 때, 본 연구는 USGS DYFI 체계를 통해 수집한 자료를 그대로 이용하여 효과적인 진도분포도를 생산할 수 있었다는 점에서 큰 의미를 가진다. 즉, USGS DYFI 체계의 설문내용과 CWS 계산식(식 1)을 단순히 벤치마킹함으로써 경주와 포항지진 사례와 유사한 수준의 유감진도 정보를 수집할 수 있을 가능성이 크다. 특히, 인구밀집도가 높은 한반도의 특수성을 고려할 때, 적절한 홍보가 병행된다면, 더 많은 수의 자료를 획득하게 될

수 있다. 이를 위해, 관련 기관의 조기경보 모바일 애플리케이션 등에 지진 발생 경보 발송 이후 설문을 유도하는 등의 체계를 탑재하는 것은 극히 저비용으로 효율적인 대중응답 기반 진도정보 수집하는 방법이 될 수 있다.

대중응답을 이용하는 DYFI 체계의 특성상, 산출되는 진도정보의 신뢰도를 높이기 위해서는 홍보와 접근성을 높이는 노력을 통해 가능한 많은 응답 수를 확보하는 것이 필요하다. 이와 함께 정량적인 측면에서 대중의 지역당 응답 수에 따른 자료의 신뢰도를 판단할 수 있으며, USGS DYFI 체계에서는 신뢰할 수 있는 지역당 최소 응답 수를 통계적으로 추정하였다. 미국 캘리포니아에서 약 10년 동안 수집한 자료를 바탕으로 2 km 반경의 지역 단위에서 응답 수에 따른 진도의 표준편차를 추정하였다(Worden *et al.*, 2011). 표준편차의 평균은  $0.09 + 0.25 \times \exp(-\text{응답수}/24.02)$ 의 추세로 표현되며, 1개의 응답 수에 대해서 진도 표준편차의 평균값은 약 0.33, 3개의 경우 약 0.31이다. MMI 진도 등급이 정수 단위라는 점을 고려할 때 상당히 낮은 표준편차 값으로, USGS에서는 진도분포도를 산출하기 위해서는 모든 응답 자료를 사용하고, 계기진도를 위한 지진동-진도 변환식 도출을 위해서는 응답 수 3개 이상인 지역의 값을 유감진도 자료로 사용하였다(Wald *et al.*, 2011). 본 연구에서 USGS DYFI에 보고된 자료가 유의미함을 보였기 때문에, 한반도에서 DYFI 체계를 적용하는 경우 초기에는 USGS의 경우와 같이 모든 응답을 사용하거나 3개의 최저 기준을 적용하고, 자료가 축적됨에 따라 동일한 방식으로 자료의 편차를 고려하여 응답 수 최저 기준을 결정하는 과정을 통해 DYFI 자료의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

DYFI 체계는 기본적으로 대중의 응답에 의존하기 때문에, 인구밀도와 그에 따른 응답 수의 차이에 의해서 지역에 따른 진도 값의 편차가 발생할 수 있다. 각 지역 별 신뢰도 문제는 앞에서 서술한 통계에 기반한 최소 응답 수 기준을 적용하여 우선적으로 해결할 수 있다. 각 지역 별 최소 응답 수 기준을 산출하여 지역에 따라 다른 기준을 적용할 수 있으며, 현지조사 등의 유관기관 산출자료와 비교를 통한 DYFI 진도값의 통계적 편향을 보정하는 등의 접근이 가능하다. 공간적인 해상도 차이가 발생하는 것은 인구 밀도에 따라 지역단위크기를 어떻게 설정하느냐에

의해 달라지는 DYFI 체계의 근본적인 한계에 해당한다. 본 연구에서는 DYFI 진도의 유효성을 증점적으로 검증하기 위해서 수행되지 않았지만, 최종 진도분포도 계산을 위해서는 계기진도와 기타 현지조사 및 유감진도 정보를 통합하여 최종 진도분포도를 산출하는 것이 필요하다(Wald *et al.*, 2011; Worden *et al.*, 2011). 이를 위해, 적절한 분포도 내삽 방법과 각 자료별 가중치를 결정하는 것이 필요하며, 이를 위한 추후 연구가 필요하다.

USGS DYFI 체계를 단순 도입하는 것을 넘어 대중응답 기반 진도 정보 수집체계를 국내 상황에 더 적합하도록 고도화하기 위해서는 CWS (식 1) 계산을 위한 각 설문 index에 대한 가중치를 보정할 필요가 있다. 이 과정은 USGS DYFI에 기반한 초기단계의 체계를 운영하여 축적된 자료를 바탕으로 지진학적 고려뿐만 아니라 대중 심리학, 사회학, 통계학 등의 추가 연구가 필요할 수 있다.

현재 국내 지진 유관기관은 계기진도 정보를 제공하는 체계를 개발 및 활용 중이다. 계기진도의 정확도를 보장하는 것은 지진동-진도 변환식을 이용하여 얼마나 정확하게 PGA와 같은 계기 관측치를 진도로 변환할 수 있는가에 달려있다. 결국, 이러한 지진동-진도 변환식의 신뢰도는 이를 개발하는데 사용된 유감진도 자료의 신뢰도에 크게 의존하게 된다. 이러한 관점에서, 본 연구에서 확인한 대중응답 기반 진도 정보의 신뢰도가 큰 의미를 가지며, 적절하게 구성된 체계를 바탕으로 수집된 진도정보는 향후 정확한 계기진도 정보제공에 중요한 역할을 할 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 기상청 <기상·지진 See-At 기술개발연구> (KMI 2017-01010)의 지원으로 수행되었습니다. 세심하게 본 논문을 검토하고 건설적인 조언을 제시해서 이 논문의 완성도를 높이는데 도움을 주신 익명의 두 심사위원님께 감사드립니다.

## REFERENCES

- Aki, K. and Richards, P.G., 2002, Quantitative Seismology, 2nd Edition. University Science Books, Sausalito, 123-175.

- Dengler, L.A. and Dewey, J.W., 1998, An Intensity survey of households affected by the Northridge, California, earthquake of 17 January, 1994. *Bulletin of Seismological Society of America*, 88, 441-462.
- Dengler, L.A. and Moley, K., 1994, Toward a quantitative, rapid response estimation of intensities. *Seismological Research Letters*, 65, 48 p.
- Dewey, J.W., Reagor, B.G., Dengler, L. and Moley, K., 1995, Intensity Distribution and Iseismal Maps for the Northridge, California, Earthquake of January 17, 1994. U.S. Geological Survey Open-File Report 95-92, 35 p.
- Geli, L., Bard, P.Y. and Jullien, B., 1988, The Effect of Topography on Earthquake Ground Motion: A Review and New Results. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 42-63.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2017a, [http://www.kma.go.kr/download\\_01/earthquake/earthquake\\_2016.pdf](http://www.kma.go.kr/download_01/earthquake/earthquake_2016.pdf) (February 12, 2020) (in Korean).
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2017b, [https://www.weather.go.kr/w/download/earthquake\\_912.pdf](https://www.weather.go.kr/w/download/earthquake_912.pdf) (February 12, 2020) (in Korean).
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2018a, [http://www.kma.go.kr/download\\_01/earthquake/earthquake\\_2017.pdf](http://www.kma.go.kr/download_01/earthquake/earthquake_2017.pdf) (February 12, 2020) (in Korean).
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2018b, [https://www.weather.go.kr/w/download/earthquake\\_pohang.pdf](https://www.weather.go.kr/w/download/earthquake_pohang.pdf) (February 12, 2020) (in Korean).
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2020, [https://www.weather.go.kr/weather/earthquake\\_volcano/domesticlist.jsp](https://www.weather.go.kr/weather/earthquake_volcano/domesticlist.jsp) (February 12, 2020) (in Korean).
- Musson, R.M.W., Grünthal, G. and Stucchi, M., 2010, The Comparison of macroseismic intensity scales. *Journal of Seismology*, 14, 413-428.
- Park, S. and Hong, T.K., 2017, Regional Seismic Intensity Anomalies in the Korean Peninsula and Its Implications for Seismic-Hazard Potentials. *Pure and Applied Geophysics*, 174, 2561-2579.
- Paul, A., Jongmans, D., Campillo, M., Malin, P. and Baumont, D., 1996, Amplitudes of regional seismic phases in relation to crustal structure of the Sierra Nevada, California. *Journal of Geophysical Research*, 101, 25243-25254.
- Uchide, T. and Song, S.G., 2018, Fault Rupture Model of the 2016 Gyeongju, South Korea, Earthquake and Its implication for the Underground Fault System. *Geophysical Research Letters*, 45, 2257-2264.
- USGS (U.S. Geological Survey), 2020a, <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/earthquakes> (February 12, 2020).
- USGS (U.S. Geological Survey), 2020b, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/tellus> (February 12, 2020).
- Stover, C.W. and Coffman, J.L., 1993, Seismicity of the United States, 1568-1989. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1527, 418 p.
- Wald, D.J., Quitoriano, V., Dengler, L. and Dewey, J.W., 1999a, Utilization of the Internet for Rapid Community Intensity Maps. *Seismological Research Letters*, 70, 680-697.
- Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., Kanamori, H., Scrivner, C.W. and Worden, C.B., 1999b, TriNet "ShakeMaps": Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California. *Earthquake Spectra*, 15, 537-555.
- Wald, D.J., Quitoriano, V., Worden, B., Hopper, M. and Dewey, J.W., 2011, USGS "Did You Feel It?" Internet-based macroseismic intensity maps. *Annals of Geophysics*, 54, 6 p.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.
- Worden, C.B., Gerstenberger, M.C., Rhoades, D.A. and Wald, D.J., 2011, Probabilistic Relationships between Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102, 204-221.
- Yun, K.H. and Lee, K.R., 2018a, Study on the Relations to Estimate Instrumental Seismic Intensities for the Moderate Earthquakes in South Korea. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 22, 323-332 (in Korean with English abstract).
- Yun, K.H., Lee, K.R. and Lee, I.T., 2018b, Development of Key-technologies for Rapidly Disseminating Earthquake Ground-motion Effects. Final Report of Korea Meteorological Institute Project (KMIPA2016-3020) in the Earthquake and Volcano Research, Korea Electric Power Cooperation Research Institute, c2018, 334 (in Korean).
- Yun, K.H., Park, D.H. and Park, S.M., 2009a, The Statistical Model of Fourier Acceleration Spectra according to Seismic Intensities for Earthquakes in Korea. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 13, 11-25 (in Korean with English abstract).
- Yun, K.H., Park, D.H. and Park, S.M., 2009b, Instrumental Seismic Intensity based on Fourier Acceleration Spectra of the earthquake ground-motion. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 13, 27-37 (in Korean with English abstract).

---

Received : March 31, 2020

Revised : June 15, 2020

Accepted : June 15, 2020

**Appendix 1. 설문조사표**

USGS (2020b)에 나와 있는 지진유감을 보고하는 설문조사표를 한글로 번역한 것이다. 각 질문에 해당하는 Index와 답변에 대한 점수(괄호)는 Wald *et al.* (1999a)의 Appendix에 나와 있는 설문조사표를 참고하였다. 부여된 점수가 없거나 확인할 수 없는 설문은 제외하였다.

**당신은 지진을 느꼈습니까? [Felt Index]**

- ① 네 [1]
- ② 아니오 [0]

**다른 사람들도 근처에서 지진을 느꼈습니까?**

**[Felt Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다. [0.72]
- ② 다른 사람들은 지진을 느끼지 않았다. [0.36]
- ③ 어떤 사람들은 지진을 느꼈지만, 대부분은 그렇지 않았다. [0.72]
- ④ 대부분은 그것을 느꼈다. [1.00]
- ⑤ 모든 사람들 또는 거의 모든 사람들이 지진을 느꼈다. [1.00]

**어느 정도의 흔들림을 느꼈습니까? [Motion Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다.
- ② 느끼지 못했다. [0]
- ③ 약한 흔들림 [1]
- ④ 가벼운 흔들림 [2]
- ⑤ 적당한 흔들림 [3]
- ⑥ 강한 흔들림 [4]
- ⑦ 표현하기 힘들 정도의 아주 강한 흔들림 [5]

**당신은 어떤 반응을 보였습니까? [Reaction Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다.
- ② 반응하지 않았다. 또는 느끼지 않았다. [0]
- ③ 거의 반응하지 않았다. [1]
- ④ 무섭지는 않았지만 놀랐다. [2]
- ⑤ 다소 무서웠다. [3]
- ⑥ 매우 무서웠다. [4]
- ⑦ 극히 무서웠다. [5]

**당신은 서 있거나 뛰는 것이 힘들었습니까?**

**[Stand Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다.

- ② 아니다. [0]
- ③ 그렇다. [1]

**물체들이 달가닥 거리거나 넘어지거나 선반에서 떨어졌습니까? [Shelf Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다.
- ② 아니다. [0]
- ③ 약간 달가닥 거렸다.
- ④ 크게 달가닥 거렸다.
- ⑤ 약간 넘어지거나 떨어졌다. [1]
- ⑥ 많은 것들이 떨어졌다. [2]
- ⑦ 거의 모든 것이 떨어졌다. [3]

**벽에 걸려있는 그림들이 움직이거나 삐딱하게 걸려 있었습니까? [Picture Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다.
- ② 아니다. [0]
- ③ 그렇다, 그러나 떨어지지 않았다. [1]
- ④ 그렇다, 그리고 어떤 것들이 떨어졌다. [1]

**어떤 가구나 기기들이 미끄러지거나 넘어지거나 위치가 바뀌었습니까? [Furniture Index]**

- ① 특정 지을 수가 없다.
- ② 아니다. [0]
- ③ 그렇다. [1]

**건축물에 어떤 손상이 있습니까? [Damage Index]**

- ① 손상이 없다. [0]
  - ② 벽 등에 실금이 발생했다. [0.5]
  - ③ 벽 등에 약간 큰 갈라짐이 발생했다. [0.75]
  - ④ 벽 등에 매우 큰 갈라짐이 발생했다. [1]
  - ⑤ 천장 타일들이나 가벼운 설비들이 떨어졌다. [1]
  - ⑥ 굴뚝에 갈라짐이 발생했다. [1]
  - ⑦ 하나 또는 여러 개의 유리창에 금이 발생했다. [0.5]
  - ⑧ 많은 유리창들에 금이 발생하거나, 어떤 것들은 깨졌다. [2]
  - ⑨ 담에서 석조부분들이 떨어지거나 벽들이 깨졌다. [2]
  - ⑩ 낮은 굴뚝에 큰 피해가 입거나 떨어지거나 갔다. [2]
  - ⑪ 현대식 굴뚝에 큰 피해가 입거나 떨어지거나 갔다. [3]
  - ⑫ 외부 벽들이 완전히 무너져 내렸다. [3]
  - ⑬ 현관, 발코니나 건물에 붙여진 다른 구조물들이 분리되었다. [3]
  - ⑭ 건물이 토대를 넘어 영구적으로 한쪽으로 몰렸다. [3]
- 덧붙여진 언급 사항 :