

2015년 12월 22일 발생한 익산지진의 단층면해와 진도 분석

김진미¹ · 경재복^{1,*} · 김광희²

¹한국교육원대학교 지구과학교육과, 28173, 충북 청주시 강내면 태성탑연로 250

²부산대학교 지질학과, 46241, 부산광역시 금정구 부산대학로 63

An Analysis of the Fault Plane Solution and Intensity on the Iksan Earthquake of 22 December 2015

Jin-Mi Kim¹, Jai Bok Kyung^{1,*}, and Kwang-Hee Kim²

¹Department of Earth Science Education, Korea National University of Education, Chungbuk 28173, Korea

²Department of Geological Sciences, Pusan National University, Pusan 46241, Korea

Abstract: Fault plane solutions of the Iksan earthquake ($M_L=3.85$) and two aftershocks were obtained using the FOCMEC (FOCal MECHANISM determination) program. The main event showed the characteristic of strike slip faulting with reverse component. It has the fault planes with NE-SW or NW-SE direction. This is similar to the fault characteristics of earthquake pattern in the inland area of the Korean Peninsula. In order to detect micro-earthquake events, continuous seismic waveform data of the thirteen seismic stations within a radius of 100km from epicenter were analyzed by PQLII program (PASSCAL, 2017) for the period from December 15, 2015 to January 22, 2016. The epicenters of nineteen micro-events were newly determined by Hypoinverse-2000 program. They are not concentrated along some lineaments or fault lines. The intensity of the Iksan earthquake was obtained by estimating the telephone inquiries, the degree of ground shaking or damage all around the southern peninsula. The instrumental intensity was also obtained using PGA (Peak Ground Acceleration) records. As a result, the maximum MM intensity was estimated to be V near the epicenter.

Keywords: Iksan earthquake, fault plane solutions, intensity, micro-earthquake

요약: 2015년 12월 22일 전북 익산시 북쪽 지역에서 발생한 익산지진($M_L=3.85$)의 본진 및 2개 여진에 대해 FOCMEC (FOCal MECHANISM determination) 프로그램을 이용하여 단층면해를 구하였다. 본진의 단층면해는 북동-남서 또는 북서-남동 방향의 단층면을 가지는 역단층성 주향이동단층운동의 특성을 보이며, 이는 남한 내륙지진의 단층운동 특성과 거의 유사하다. 익산지진 전후 발생한 미소지진 이벤트를 검출하고자 2015년 12월 15일~2016년 01월 22일 진앙으로부터 반경 100 km 이내에 위치한 13개 관측소에 기록된 연속 지진파형 자료를 PQLII 프로그램(PASSCAL, 2017)으로 분석하고, 19개 지진의 진원지를 새로 결정하였다. 미소지진의 진앙 분포는 특정 단층 혹은 구조선에 집중되는 현상은 나타나지 않았으나, 익산지진과 3개의 여진은 한곳에 집중 분포한다. 익산지진의 진도 분포는 전화 문의 및 피해 접수 자료를 수집하여 구하였으며, 또한, 각 관측소에 기록된 PGA (Peak Ground Acceleration)를 이용하여 계기 진도를 도출하였다. 그 결과 익산지진의 MMI 진도등급은 최대 V로 평가된다.

주요어: 익산지진, 단층면해, 진도, 미소지진

*Corresponding author: jbkjung@knue.ac.kr

Tel: +82-43-230-3742

Fax: +82-43-232-7176

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.

서론

익산 지진은 2015년 12월 22일 전북 익산시 함열읍 다송리 일대에서 발생한 규모(M_L 3.85)의 지진으로, 2015년 우리나라 내륙에서 발생한 지진 중 가장 큰 규모의 지진이다. 익산지진은 1978년 홍성 지진(규모 5.0) 이후 큰 규모의 지진이 발생한 기록이 없고

Table 1. Source parameters of the Iksan earthquake (No. 1) and three aftershocks (No. 2~4)

No.	KMA(NECIS) catalog					Relocated hypocenter				
	Origin time (KST)		Epicenter		Mag.	Origin time (KST)		Epicenter		Depth
	yy/mm/dd	hh:mm:ss	Latitude (N)	Longitude (E)		hh:mm:ss	Latitude (N)	Longitude (E)	(km)	
1	15/12/22	04:31:25	36.03	126.96	3.85	04:31:25.18	36.0259	126.9484	10.31	
2	15/12/22	17:29:10	36.02	126.95	1.16	17:29:11.25	36.0182	126.9513	11.18	
3	15/12/22	21:20:58	36.03	126.96	1.69	21:20:59.33	36.0256	126.9529	7.53	
4	15/12/22	05:02:47	36.02	126.96	0.84	05:02:48.20	36.0238	126.9553	10.56	

그동안 지진 발생이 상대적으로 적었던 남한 내륙의 서부지역에서 발생하였다. 과거에 비해 지진 관측망이 조밀하게 설치되어 있어 발생한 지진의 진원요소를 정확히 파악하는 것이 가능해졌다.

본 연구에서는 기상청(KMA)의 국가지진종합정보시스템(NECIS: <http://necis.kma.go.kr/>)을 통해 제공하는 지진파형 자료를 활용하여 진원을 재결정하여 보다 정확한 진원 요소를 찾고자 하였다. 재결정된 진원 요소를 바탕으로 P파의 초동 극성을 명확하게 구분할 수 있는 본진과 2개의 여진에 대한 단층면해를 구하여 익산지진을 발생시킨 단층 운동 특성, 응력장, 주변 지질구조와의 관련성을 알아보하고자 하였다.

지질구조와의 관련성을 파악하기 위해서는 여진 분포나 미소지진의 분포를 규명하는 것이 매우 중요하다. 본 연구는 익산지진의 진앙으로부터 반경 100 km 이내에 위치한 지진 관측소에 기록된 연속파형 자료를 분석하여, 기상청에서 공표한 지진 이외에도 규모 2.0 이하의 미소지진 이벤트를 검출하고자 하였다. 자료 분석 대상 기간은 익산지진 발생(12월 22일) 일주일 전부터 본진 발생 1개월 후 까지, 즉, 2015년 12월 15일부터 2016년 1월 22일까지로 하였다. 이들 지진의 분포와 지질구조와의 관련성 등을 분석해보고자 하였다.

또한, 지진피해 상황 조사를 기반으로 구한 진도 및 PGA를 이용하여 계산된 진도를 비교, 분석하여 익산지진의 등진도도를 구하고자 하였다.

익산지진의 진원요소

일반적으로 진원의 위치는 분석방법이나 지각모델에 따라 약간씩 달라지며, 진앙위치의 차이는 적으나 진원 깊이에 대한 오차는 비교적 클 수 있다. 오차를 줄이기 위해서는 관측소 수를 늘려 관측망을 조밀하게, 그리고 방향에 따라 고른 분포망을 구성해야 한다. 기상청에서 지진 발생 후 발표하는 진원요소는 신속

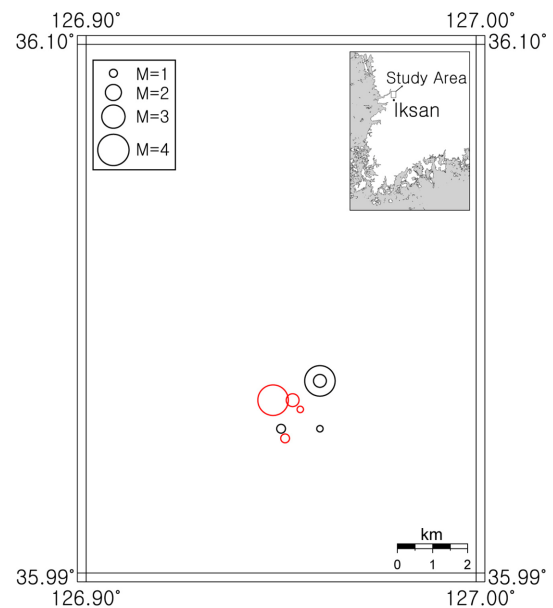


Fig. 1. Epicentral distribution of Iksan main event and three aftershocks. Black and red line circles indicates the KMA and relocated epicenters by this study, respectively.

통보에 중점을 두고 결정하므로 추후 충분한 관측자료를 더하여 진원 재결정을 통해 그 결과를 상호 비교 검토할 필요가 있다.

본 연구에서 진원지 재결정은 NECIS에서 제공하는 지진파형 자료를 다운받아 Analyst 프로그램으로 P파 초동도달시각을 결정하고, 이 정보와 함께 지각속도구조모델 Chang and Baag(2006)을 Hypoinverse-2000(Klein, 2002) 프로그램에 입력하여 진원 요소를 구하였다. 이렇게 구한 재결정 결과와 진원 요소를 기상청 발표 자료(KMA 혹은 NECIS)와 비교하였다 (Table 1).

Fig. 1은 기상청(KMA)과 본 연구로 재결정된 본진과 여진의 분포를 함께 나타낸 것이다. 상호 비교 결

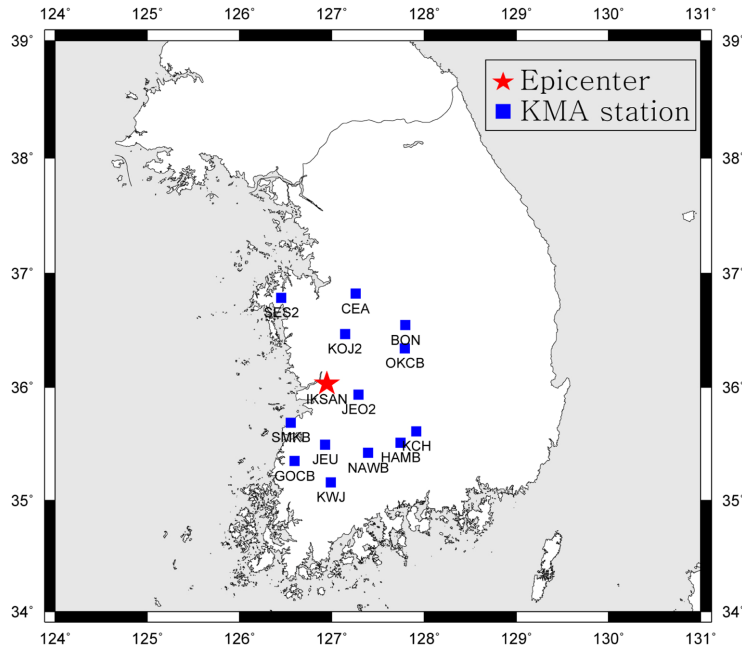


Fig. 2. Location of seismic stations for the analysis of continuous seismic waveform data.

과, 본진은 1.1 km, 2번 여진은 597.7 m, 3번 여진은 231.8 m, 4번 여진은 804.4 m의 차이를 각각 보인다. 재결정된 지진의 진원깊이는 7.53~11.18 km로서 각각의 얇은 깊이이다.

여진은 본진 후 약 18시간 이내에 3회 발생하고 멈추었으며, 본진의 진앙위치로부터 1.5 km 이내의 거리에 모두 분포한다. 여진 발생횟수가 적어 지하 단층 파쇄면을 지시하는 배열이나 분포를 유추하기는 어렵다.

익산지진 전후 미소지진 검출

지진은 대부분 기존의 단층면이 재활성화 하면서 발생하는 경우가 많다. 규모가 1.0 이하로 작아 기상청에서 발표하지 않는 익산지진 발생 전후로 일어난 미소지진까지 검출함으로써 익산지진 진앙 인근의 지진 발생 특성과 지질구조와의 관계를 파악하고자 하였다.

미소지진 이벤트 검출 시기는 익산지진이 발생하기 일주일 전부터 발생 후 1개월(2015. 12. 15~2016. 01. 22)까지 약 37일간 하였으며, 공간적인 조건은 익산지진의 진앙에서 반경 100 km 이내로 제한하였다. 이 기간 동안 발생한 지진의 기상청 지진 목록은 본진 포함 8개이다.

규모가 좀 더 작은 미소지진 이벤트 검출을 위해 익산지진의 진앙에서 반경 100 km 이내에 위치한 13 개 관측소(Fig. 2)의 지진 연속파형 자료를 NECIS에서 다운받아 PQLII 프로그램(PASSCAL, 2017)으로 분석하여 지진이벤트를 검출하였다. PQLII 프로그램은 IRIS PASSCAL (Incorporated Research Institutions for Seismology, Portable Array Seismic Studies of the Continental Lithosphere)에서 제공하는 시계열 자료 가시화 프로그램으로서 MSEED, SEGY, SAC, AH 등 지진학 연구에 사용되는 다양한 형식의 자료를 가시화 할 수 있으며, 초동 도착시간 도착 측정과 필터 등 기초적인 자료 처리 또한 가능하다. PQLII 프로그램은 WINDOWS, MAC OS X, LINUX, SOLARIS 등 다양한 운영체제에서 구동 가능하다.

또한, Hypoinverse-2000 (Klein, 2002) 프로그램을 통해 27개 지진이벤트의 진원 위치를 결정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 5개의 지진이벤트는 익산지진이 발생하기 전에 일어난 지진으로서, 진앙의 위치는 익산지진의 본진에서 비교적 멀리 떨어져 있어 전진으로 판단되지 않는다. 나머지 22개 지진이벤트는 익산지진 이후 발생한 지진이다. 익산지진 본진으로부터 1km 이내에서 동일한 날짜에 발생한 지진이벤트는 3개로 여진에 해당한다. 본 연구에서 검출된

Table 2. List of earthquakes recorded around the Iksan region. The micro- earthquakes except the main and shaded events are newly detected in this study

No.	Origin time(KST)		Epicenter		Depth (km)	M_L
	yyyy/mm/dd	hh:mm:ss	Latitude(N)	Longitude(E)		
1	2015/12/15	12:01:00.53	35.6362	126.7473	9.75	
2	2015/12/17	21:48:06.97	35.5279	127.0804	20.01	
3	2015/12/19	17:05:14.58	35.8341	127.2500	10.00	
4	2015/12/20	12:46:40.26	36.7804	127.2746	9.81	
5	2015/12/21	03:54:00.41	35.4145	127.0395	34.56	
6	2015/12/22	04:31:25.18	36.0259	126.9484	10.31	3.85 (main)
7	2015/12/22	05:02:48.20	36.0238	126.9553	10.56	0.84*
8	2015/12/22	17:29:11.25	36.0182	126.9513	11.18	1.16*
9	2015/12/22	21:20:59.33	36.0256	126.9529	7.53	1.69*
10	2015/12/24	17:58:24.00	36.1824	127.1850	10.89	
11	2015/12/26	01:45:01.63	36.2834	127.6917	8.26	
12	2015/12/26	04:22:25.71	36.1755	126.7863	14.07	
13	2015/12/27	06:18:28.57	35.9020	127.6748	13.05	
14	2015/12/28	01:50:28.43	35.4184	126.8747	0.14	
15	2015/12/28	03:58:33.33	35.6742	127.5725	17.26	
16	2015/12/28	20:08:27.66	35.8314	127.1262	13.84	
17	2015/12/29	02:13:10.78	35.8409	127.1169	9.97	
18	2015/12/30	21:59:23.80	36.0371	127.4874	9.99	
19	2016/01/02	13:24:14.85	36.5196	127.2234	10.01	
20	2016/01/06	07:03:56.14	35.7921	127.6331	30.48	
21	2016/01/06	20:39:05.26	36.0091	128.0516	5.16	3.01
22	2016/01/12	02:10:53.09	36.5713	127.5219	13.01	
23	2016/01/12	02:23:14.09	36.2222	127.2111	6.17	1.77
24	2016/01/12	22:45:41.75	35.9200	127.8595	5.58	1.45
25	2016/01/13	14:40:17.26	35.8194	127.2609	10.02	
26	2016/01/13	18:43:22.40	36.1852	126.9229	10.00	1.38
27	2016/01/14	12:28:29.85	36.4569	127.4523	12.25	

Star (*) means after shocks.

19개의 미소지진이벤트와 기상청 발표지진 자료(8회)를 합한 27개 지진이벤트의 진앙 분포를 이 지역의 선구조선 분포에 함께 나타내면 Fig. 3과 같다.

37일간의 발생분포는 전체적으로 지진발생이 공간적으로 고르게 분포하며, 특정 구조선을 따라 집중적인 분포는 보이지 않고 있다. 다만 익산지진 본진과 3차례의 여진은 한 지역에 집중 분포한다.

익산지진이 발생한 이 일대의 지질구조는 십자가 단층(F1)과 함열단층(F2)이 북서쪽으로 지나고 있다. 십자가 단층과 함열 단층은 기존의 우수향 연성전단대가 백악기 동안에 재활성화되어 형성된 좌수향의 주향이동단층으로서 기하학적으로 좌향의 오버스텝 구조를 이루고 있으며, 부여분지의 형성과 성장, 분지내 퇴적층의 변형작용을 주도한 것으로 밝혀졌다(Kim et al., 1994). 이들 두 단층의 광역적인 주향은 N35°E이며, 단층면의 경사는 남동방향으로 약 70° 내

외의 급한 경사각을 이룬다(Kim et al., 1994). 특히, 함열단층은 익산지진 진앙으로부터 약 5 km 북서쪽을 북동-남서 방향으로 지나면서, 긴 선구조선을 나타내는 가장 진앙으로부터 근접한 단층이다. 그러나, 여진이나 본진 분포로 보아 함열단층과의 직접적인 관련성을 설명하기에는 불충분하다.

단층면해 분석

한반도 내륙에서 발생하는 지진의 상당수는 중생대 지각변동에 의해 생성된 단층이 부분적으로 재활성화하면서 발생한다고 볼 수 있다. 한반도 및 인근 지역의 중규모 이상 지진은 주향이동단층 또는 역단층을 포함한 주향이동단층의 특성을 보인다(Jun & Jeon, 2010). 남한 중서부 내륙지역에서 발생한 미소지진의 단층면해도 북북동-남남서 또는 서북서-동남동 방향의 단층면을 가지는 주향이동단층 또는 역단층성 주

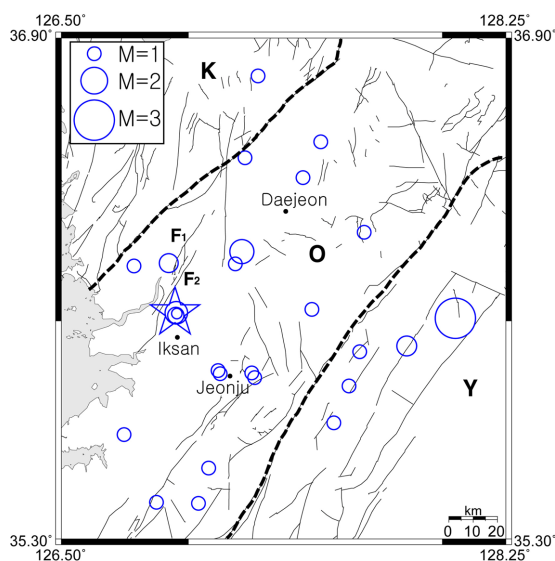


Fig. 3. Distribution of earthquake epicenters (☆: epicenter of Iksan earthquake). K: Kyonggi massif, O: Okcheon fold zone, Y: Yeongnam massif, F1: Shipiaga fault, F2: Hamyeol fault.

향이동단층의 특성을 보인다(Kyung et al., 2001).

본 연구에서는 익산지진의 발생 메커니즘을 이해하기 위해 각 관측소에 기록된 P와 초동 도달시간 및 극성에 대한 정보를 얻은 후, 이를 Chang and Baag (2006) 지각속도구조모델과 함께 FOCMEC (Snook, 2000) 프로그램에 입력하여 단층면해를 구하였다. 본 연구에서는 진원을 중심으로 다양한 방위각의 관측소들로부터 지진파형 분석이 가능하였으며, 단층면해 분석은 P와 초동을 명확하게 구분할 수 있는 익산지진 본진과 2개의 여진에 대해서만 실시하였다.

익산지진 본진 및 2개의 여진에 대해 구한 단층면해와 사용 자료수는 Table 3과 Fig. 4와 같다.

익산지진 본진의 단층면해는 북동-남서 또는 북서-남동 방향의 단층면을 가지는 역단층성 주향이동 단층운동을 나타내며, 2개 여진의 단층면해는 각각 남북 또는 북북동-남남서 주향의 수직 단층 운동을 나타낸다. Fig. 5는 재결정된 진앙의 분포와 함께 단층

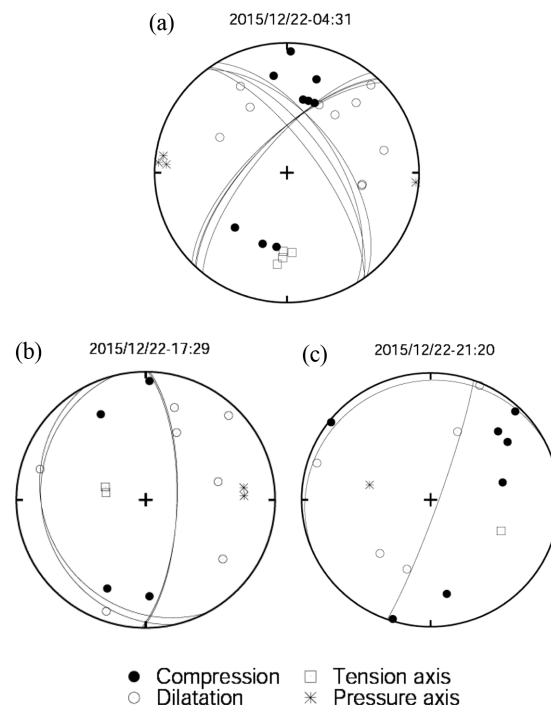


Fig. 4. Fault plane solutions of main event (a) and two aftershocks (b, c) obtained from P-wave polarities of first motion.

면해를 beach ball로 나타낸 것이다. beach ball의 진한 부분은 압축, 흰 부분은 확장 영역을 나타낸다.

익산일대에는 뚜렷한 선구조선이나 단층발달이 적은 지역이다. 익산지진의 진앙으로부터 북서쪽으로 약 5 km 떨어져 함열단층(F2)이 통과하고 있다. 익산지진이 북북동-남남서 방향의 단층면을 가지는 것으로 추정한다면 함열단층의 단층선 방향과 유사하다고 볼 수 있다. 즉, 단층선구조의 방향이 익산지진의 단층면해의 주향 및 경사와 유사하므로 그 연관성을 검토할 필요가 있다고 판단된다. 그러나 3회에 불과한 미소지진의 분포나 단층면해만으로 익산지진이 함열단층과 직접적인 연관이 있다고 판단하기에는 현재의 자료로는 어려움이 따른다.

Table 3. Parameters for focal mechanism solution of 3 events

No.	Plane 1			Plane 2			P-axis		T-axis		Data	
	Strike	dip	rake	Strike	dip	rake	azimuth	dip	azimuth	dip	P	SH
1	328.08	58.23	25.70	223.86	68.37	145.50	277.96	6.41	182.69	39.27	19	-
2	166.53	20.59	75.65	1.82	70.08	95.32	87.67	24.90	280.59	64.54	11	-
3	244.89	7.07	-44.89	19.56	85.02	-95.02	284.07	49.74	114.18	39.82	12	-

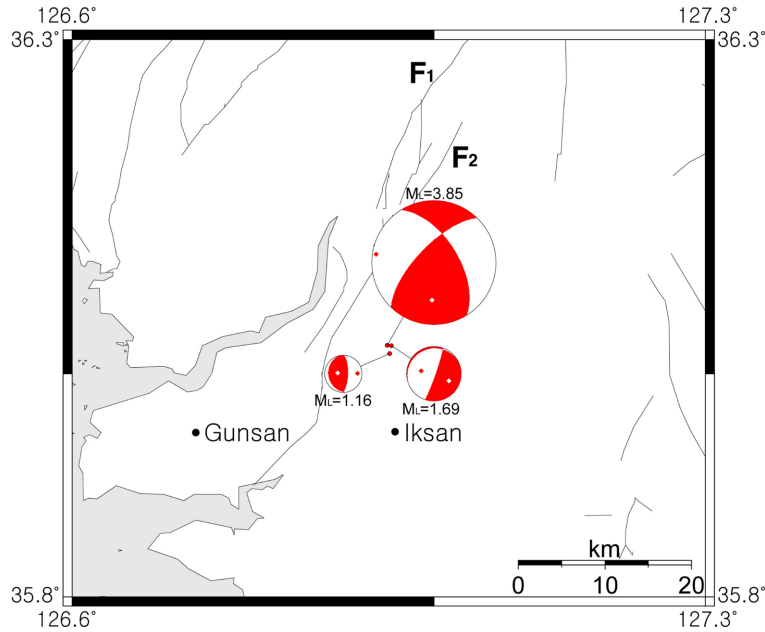


Fig. 5. Focal mechanism solutions of 3 events and lineament distribution. F1: Shipjaga fault, F2: Hamyeol fault.

진도 분포 분석

2015년 12월 22일 전북 익산시 함열읍 다송리 일대에서 발생한 익산 지진은 규모가 3.85이지만, 진앙에서 멀리 떨어진 지역까지도 지진동이 감지되었다. 익산지진의 진도는 크게 두 가지 방법 즉, 피해 및 감진자료 수집을 통한 방법과 PGA를 통한 계기진도 평가방법으로 실시하였다. 첫째, 공공기관(동사무소,

군청, 시청 등)이나 마을회관 전화문의, 주민들과의 인터뷰, 지역 신문 및 인터넷 블로그 등에 게시된 피해 접수 자료를 수집하여 각 지역별 감진정도 및 피해 상황을 정리하고, 수정메르칼리 진도 (MMI) (Richter, 1958) 등급을 적용하여 진도 평가를 실시하였다. 총 21개 지역의 진도 평가 결과 MMI 진도는 최소 II에서 V까지로 평가되었다.

Table 4. Summary of damage and shaking due to the Iksan earthquake

MMI	Felt Area	Description of Felt Degree
V	Cheonbuk Iksan (Hamra-myon, Yongan-myon, Keumma-myon, Osan-myon, Hwangdeung-myon, Nangsan-myon, Wanggung-myon, Mangseong-myon, Sangji-myon, Yongdong-myon, Deukgi-dong, Busong-dong, Mohyon-dong, Songhak-dong, Inhwa-dong, Ma-dong, Dongsan-dong, Namjung-dong, Eoyang-dong, Hamyeol-eup, Seokam-dong), Chungnam Buyeo (Imchon-myon, Yanghwa-myon, Buyeo-eup)	Almost everyone awoken surprisingly. Bowls broken or doors of storage fall apart. A lot of people heard a crash of thunder. Some people evacuated their homes due to ground motion. Strong ground motion was felt for several seconds
IV	Cheonbuk Kunsan, Jeonju (Seoseohak-dong, Jang-dong, Seoshin-dong, Deokjin-dong, Inhu-dong, Songcheon-dong), Wanju-gun (Samrye-eup), Kimje (Keumsan-dong), Chungnam Nonsan (Daegyo-dong, Kanggyong-eup, Yeonmu-eup)	A lot of people awoken because of the shaking of ground or bed at dawn. Some one heard the noise like passing of tank or airplane.
III	Daejeon (Doma-dong, Kung-dong, Jangdae-dong) Chungnam Seosan (Yechon-dong, Seoknam-dong, Eupnae-dong), Sejong	At dawn a few person wake up due to the booming sound or the shaking of bed or doors.
II	Chungbuk Cheongju (Sachang-dong, Kangnae-myon, Sugok-dong, Yongam-dong), Chungnam Asan (Baebang-eup), Chungju (Angseung-myon), Jeongpyong-gun), Kangwon Wonju (Isan-dong), Kyungbuk Kumi, Kyungnam Keochang-gun (Keochang-eup), Chonnam Kwangyang (Kwangyang-eup), Kyunggi (Suwon, Namyangju, Hawseong), Seoul (Eunpyong-gu), Pusan (Myongjang-dong, Chung-dong)	A few person wake up due to the shaking of bed or doors, but most people didn't feel it.

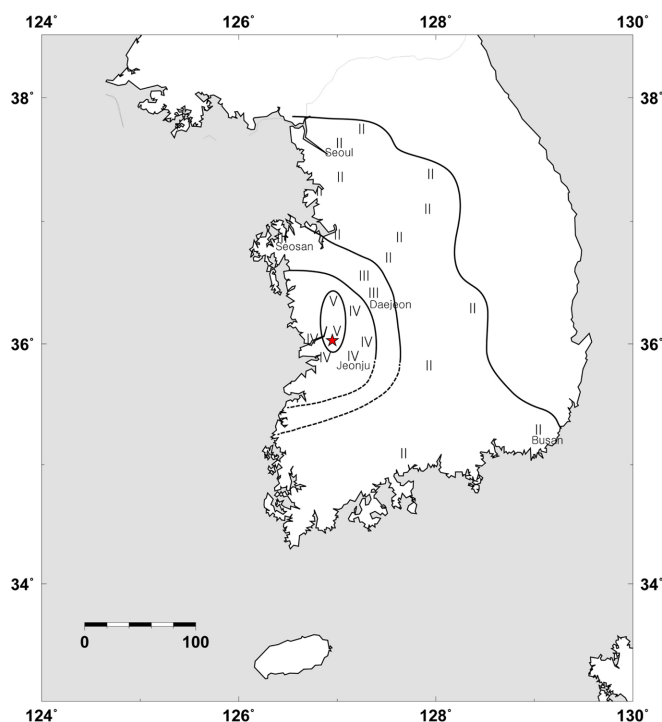


Fig. 6. Modified Mercalli Intensity distribution of the Iksan earthquake (☆: epicenter of the Iksan earthquake).

Table 4는 조사된 지역별 감진 정도 및 피해 상황에 대한 요약 내용이며, Fig. 6은 이를 바탕으로 구한 등진도도 분포이다. 최대 MMI 등급은 진양 인근에서 V로 높게 나타났으며, 등진도선은 지질구조와 연관된 어떤 방향성을 나타내지는 않는다. 진도 V인 지역에서는 구조물에 직접적인 피해가 발생하지는 않았으나 물체의 강한 흔들림, 가벼운 물건들이 깨지거나 떨어지고, 진양과 가까운 익산, 부여 등지에서는 대부분의 지역 주민들이 지진동에 의해 잠에서 깨고, 놀라서 밖으로 대피하는 사람들이 많았다.

진도를 구하는 두 번째 방법으로는 지반이 흔들리는 정도를 나타내는 척도인 PGA (Peak Ground Acceleration, 최대 지반가속도)를 이용하여 계기진도를 구하였다. PGA를 통한 계기진도 산출은 국가별 지역에 따라 여러 경험식들이 개발되었다(예: Gutenberg & Richter, 1956; Wald et al., 1999; Linkimer, 2008; Gama-García & Gómez-Bernal, 2008; Kim et al., 2006; USGS home page).

본 연구에서는 24개 관측소별 PGA 자료를 NECIS로부터 다운받고, Kim et al.(2006)가 도출한 국내의 PGA-MMI 등급 관계식인 아래의 식을 적용하여 계

기진도 등급을 구하였다.

$$\ln(\text{PGA}(\text{gal}))=0.58*\text{MMI}+1.0$$

그 결과 MMI 등급은 최소 I에서 최대 V까지로 평가되며, Fig. 7은 MMI 분포를 칼라코드화하여 나타낸 것이다. 그 결과 계기진도의 분포는 지진피해 조사를 통해 구한 진도 분포치와 상당히 유사함을 보인다.

PGA와 진도 사이의 관계는 그 지역의 지질, 지반 상태, 구조물의 양식 등에 의해 상당히 달라질 수 있다. 국내의 경우 PGA-진도 관계식에 대한 선행연구가 아직 부족하여 한반도에 적용 가능한 관계식 설정 및 정확한 계기진도 산출에는 어려움이 있어 향후 관계식에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 본다.

결론

2015년 12월 22일에 전북 익산시 북쪽 지역에서 발생한 익산지진의 전반적인 특성에 대해 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 익산지진의 본진 및 여진의 진원지 분석 결과,

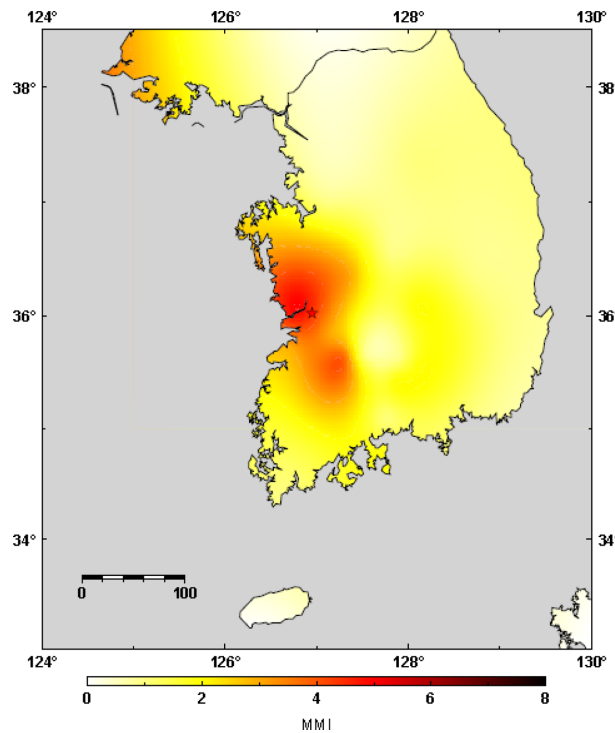


Fig. 7. Instrumental intensity distribution obtained from the relationship between PGA and instrumental intensity by Kim et al. (2006).

여진은 본진 후 약 18시간 이내에 3회 발생하고 멈추었으며, 본진의 진앙위치로부터 1.5 km 이내의 거리에 모두 분포한다. 여진 발생횟수가 적어 지하 단층 파쇄면을 지시하는 배열이나 분포를 유추하기 어렵다.

2. 익산지진의 진앙으로부터 반경 100 km 이내에 위치한 관측소의 연속 지진파형 자료를 분석하여 27회의 지진이벤트를 검출하였고, 이 중 기상청이 발표하지 않은 19회의 미소지진을 검출하였다. 약 37 일간의 발생분포는 공간적으로 고르게 분포하며, 특정 구조선을 따라 집중적인 분포는 보이지 않고 있다. 다만 익산지진 본진과 3차례의 여진은 한 지역에 집중 분포한다. 진앙 분포와 인근에 발달한 함열단층과의 관계는 직접적인 연관성을 밝히기 위해서는 좀더 보충 자료가 필요하다.

3. 익산지진의 단층면해 분석 결과, 북동-남서 또는 북서-남동 방향의 단층면을 가지는 역단층 성분을 포함한 주향이동단층 운동의 특성을 보인다. 이는 남한 내륙에서 발생한 대부분의 지진들의 북북동-남남서 주향의 역단층성 주향이동 단층운동 특성과 유사하다. 주 응력축의 방향은 거의 동서 방향을 보였다.

4. 익산지진의 피해상황 및 사람들의 감진정도를 파악하여 진도 평가 결과 MMI 등급이 최소 II에서 최대 V까지로 나타났다. PGA-MMI 진도 관계식을 적용하여 계기진도 분포 결과 MMI 최대등급은 V이며, 등진도선 분포는 지진피해 조사를 통해 구한 분포와 상당히 유사함을 보인다. 등진도선 패턴은 지질구조와 연관된 어떤 방향성을 나타내지는 않는다.

사 사

본 논문에 조언을 해주신 익명의 심사위원들께 감사드립니다. 이 논문은 김진미의 석사학위 논문을 수정한 것임.

References

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.
 Gama-García, A. and Gómez-Bernal, A., 2008, Relationships between instrumental ground motion parameters, and

- modified mercalli intensity in guerrero, mexico, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 1-8.
- Gutenberg, B. and Richter, C., 1956, Earthquake magnitude, intensity, energy and accelerations with intensity ratings, Bulletin of the Seismological Society of America, 46, 317-320.
- Jun, M.S. and Jeon, J.S., 2010, Focal mechanism in and around the Korean peninsula, Jigu-Mulli-wa-Mulli-Tamsa, 13, 198-202.
- Kim, J.W., Lee, J.Y., and Kee, W.S., 1994, Structural evolution of the cretaceous Puyo basin, Korea, Journal of Geological Society of Korea, 182-192.
- Kim, U.H., Kim, S.K., and Baag, C.E., 2006, Optimization plan research on network of accelerometer and instrumental intensity map, Earthquake Engineering Society of Korea, Korea Meteorological Agency Report, 3-107.
- Klein, F.W., 2002, User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes, U. S. Geological Survey, Open File Report 02-171, 123.
- Kyung, J.B., Cheong, T.W., Lee, J.G., Lee, D.K., and Lee, E.A., 2001, Analysis of fault plane solution and stress field using the micro-earthquakes in the central region of south Korea, Journal of Korean Earth Science Society, 22, 292-300.
- Linkimer, Lepolt, 2008, Relationship between peak ground acceleration and Modified Mercalli Intensity in Costa Rica, Revista Geológica de América Central, 38, 81-94.
- PASSCAL, 2017, PQL II-Program for viewing data, Retrieved from <https://www.passcal.nmt.edu/content/pql-ii-program-viewing-data>.
- Richter, C.F., 1958, Elementary seismology, San Francisco, W.H. Freeman and Company, 768 pp.
- Snoke, J.A., 2000, FOCMEC: focal mechanism determination, FOCMEC software manual (<http://www.iris.edu/software/>).
- USGS home page, (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/background.php#intmaps>).
- Wald, David J., Vincent Quitarano, Thomas H. Heato, and Hiroo Kanamori, 1999, Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and Modified Mercalli Intensity in California, Earthquake Spectra, 15, 557-564.

Manuscript received: November 9, 2017

Revised manuscript received: November 30, 2017

Manuscript accepted: December 14, 2017