최근 5년간 한반도 중서부 지역에서 발생한 지진의 진원 특성 분석

백진주¹ · 경재복^{1,*} · 최호선²

¹한국교원대학교 지구과학교육과, 363-791, 충북 청원군 강내면 다락리 산 7

²한국원자력안전기술원 구조부지실, 305-338, 대전광역시 유성구 과학로 34

Analysis on the Source Characteristics of the Recent Five-year Earthquakes Occurred in the Central and Western Areas of the Korean Peninsula

Jin Ju Back¹, Jai Bok Kyung^{1,*}, and Hoseon Choi²

¹Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,
Chungbuk 363-791, Korea

²Structural Systems and Site Evaluation Department, Korea Institute of Nuclear Safety,
Daejeon 305-338, Korea

Abstract: Focal mechanism solutions in the central and western areas of the Korean Peninsula (36-37.8°N, 126-128°E) were obtained from the analysis of the recent seventeen earthquakes ($M \geq 2.2$) which occurred from January, 2005 to May, 2010. The spatial differences between the epicenters recalculated by this study and those announced by the Korea Meteorological Administration are less than 0.03° , indicating a small deviation. Focal mechanism solutions were obtained from the analysis of P wave polarities, SH wave polarities and SH/P amplitude ratios. The focal mechanism solutions show dominant strike-slip faulting or oblique slip faulting with strike-slip components. The P-axes trends are mainly ENE-WSW or E-W directions. The direction of fault plane and auxiliary fault plane with NNE-SSW and WNW-ESE are almost parallel to the general trends of lineaments in the study area. The results also show that focal mechanism solutions and the main axis of stress field in the Kyonggi massif and Okchon belt are almost same.

Keywords: central and western areas, recalculated epicenters, focal mechanism solutions, lineaments, stress field

요약: 본 연구는 최근 2005년 1월부터 2010년 5월까지 발생한 한반도 중서부지역(36-37.8°N, 126-128°E)의 내륙 지진 중 규모 2.2 이상의 17개 지진에 대한 단층운동의 해를 구하여 분석하였다. 본 연구를 통해 각 지진의 진앙을 재결정하고, 이를 기상청의 진앙자료와 비교한 결과 대부분 0.03° 이내로 대체적으로 유사한 값을 보인다. 진원기구해는 P파 초동극성을 이용하는 방법과 SH파의 극성 및 SH/P 진폭비를 추가하는 방법으로 구하였다. 대부분 주향이동 운동 혹은 주향이동성분이 포함된 사교단층 운동의 특징을 보이며, 주응력장의 P축은 동북동-서남서 혹은 동서 방향이 우세하게 나타난다. 진원기구해는 주로 북북동-남남서와 서북서-동남동 방향의 단층면 혹은 단층보조면을 보이는데, 이는 지표 주 구조선의 전반적인 방향과 잘 일치한다. 따라서 진앙이 지표 선구조선과 잘 일치하지 않는다고 하더라도 소규모적으로 지표에 나타나지 않는 이 방향의 지각의 약대를 따라 활성화 했을 가능성이 크다. 또한 경기육괴와 옥천대의 지체구조에 따른 응력장이나 단층면해의 차이는 나타나지 않으며, 전반적인 한반도의 응력장 분포와도 일치한다.

주요어: 중서부 지역, 진앙재결정, 진원기구해, 선구조선, 응력장

*Corresponding author: jbkjung@knue.ac.kr

Tel: 82-43-230-3794

Fax: 82-43-232-7176

서론

지진은 지구 내부에서 탄성한계 이상으로 탄성에너지가 축적되어 물질이 취성 파쇄 형태로 파괴될 때 발생한다. 지구 내부에 축적된 탄성에너지는 판 내부 지역의 경우 주로 과거에 있었던 구조 운동의 결과로 발생한 기존의 단층이나 지각의 약대를 변위시키면서 지진과 형태로 방출된다. 이 때 지진원에서 지진이 발생할 때의 단층운동 특성을 구한 것이 단층면해이다. 이는 여러 관측소에 기록된 지진파의 P파 초동극성이나 진폭비, 파형분석 등을 통해 단층면해를 구할 수 있다. 특정 지역에서 발생한 여러 지진에 대한 단층면해를 구하게 되면 그 지역에서 지진발생을 유발하는 전반적인 응력장의 분포를 알 수 있고, 이런 자료를 종합하여 지체 구조 운동을 기술할 수 있다.

한반도 중서부 지역은 1978년 충남 홍성지진(규모 5.0)을 비롯한 중소규모 지진이 다수 발생한 지역으로 최근 2010년 2월 9일에는 경기도 시흥에서 규모 3.0의 지진이 발생하기도 하였다. 해당 지역은 인구 밀도가 높은 수도권에 포함하고 있어 규모가 작더라도 생활환경과 가까이 피해가 커질 수 있는 문제점을 내포하고 있다.

한반도와 그 주변지역에서 발생한 주요 지진 및 미소지진에 대한 단층면해를 보면 북북동-남남서 방향의 주향이동단층운동, 북북서-남남동 혹은 남북 방향의 역단층 성분이 우세한 주향이동단층운동의 특성을 보이며 주 압축응력장은 동북동-서남서 또는 동서 방향을 나타낸다(예: 박창업 외, 1998; 이기화와 정태웅, 1999; 정태웅과 김우한, 2000; Kang and Baag, 2004; Park, 2005; 경제복 외, 2006; Park et al., 2007; 전명순 외, 2010).

본 연구는 최근 2005년 1월부터 2010년 5월까지 발생한 한반도 중서부지역(36-37.8°N, 126-128°E)의 내륙 지진 중 규모 2.2 이상의 17개 지진에 대하여 진앙을 재결정하고 이들 지진에 대하여 지진발생 당시 진원에서의 지진 단층운동의 해를 구하고자 하였다. 또한 최근 발생지진의 단층면해와 과거 발생한 주요 지진의 단층면해를 비교하고 이 지역의 최근 지진 응력장에 대하여 알아보려고 하였다.

지진자료와 지진원 요소

진원요소의 결정은 지진 연구 중에서 가장 기본이

되는 일이며, 지진과 단층 운동의 특성을 규명하는데 필요한 과정이다. 진원요소는 지진발생시각, 진앙의 위치, 진원깊이 등으로서 정확한 파형 도달 시각과 실제 지각속도구조를 알지 못하면 신뢰도 높은 진원요소를 결정하기에는 어려움이 있다.

현재 지진을 목적으로 관측망을 운영 중인 주 기관은 기상청, 한국지질자원연구원, 한국원자력안전기술원, 대학교 등이 있으며 각 기관은 고유 목적에 따라 관측망을 운영하고 있다. 기상청의 속도 관측소는 49개소로 1개소는 초광대역 센서와 광대역 센서, 16개소는 광대역 센서, 32개소는 단주기 센서를 사용하고 있으며 가속도 관측소는 61개소로 전국에 걸쳐 설치되어 있다. 한국지질자원연구원 자체 운영 또는 지진연구 대학과 공동 운영되고 있는 지진연구망 관측소는 총 32개소로 광대역관측소 14개소(시추공형 5개소, 지표형 9개소), 단주기 관측소 15개소, 배열식 관측소 3개소로 구성되어 있으며 초광대역 관측소 1개소와 가속도 관측소 16개소는 광대역 및 단주기 관측소와 동일 장소에 운영되고 있다.

Fig. 1은 중서부 지역에서 발생한 지진의 진원요소 결정에 사용된 자료 획득 관측소의 위치를 나타내며, 기상청 관측소 39개소, 한국지질자원연구원 관측소 20개소이다. 본 연구는 수도권을 포함하는 중서부지역(36-37.8°N, 126-128°E)에서 2005년 1월부터 2010년 5월까지 발생한 지진에 대하여 국내 지진 관측망 운영기관 중 기상청과 한국지질자원연구원의 지진자료를 수집한 후 이들 기관의 관측소별 P파 초동시각을 선택하여 이 지진들의 진앙을 재결정하고자 하였다. 연구에 이용된 한반도 중서부지역에서 발생한 17개 지진들의 기상청(KMA)에서 발표한 각 지진의 발생시각, 진앙 위치와 규모는 Table 1의 좌측에 기술되어 있다.

진원지 재결정을 위해 거리에 따른 지진파의 분산 및 굴절효과를 배제하고 직접파의 초동을 선택하고자 진원지로부터 반경 100 km 이내에 있는 관측소 자료를 이용하였으며 관측소 자료가 다소 부족한 경우에 한하여 반경 120 km 까지의 관측소 자료를 이용하였다. 진원지 재결정에 이용된 관측소의 수는 각 지진별로 10-18개소에 해당된다. 지각 속도구조 모델은 광대역 지진파형과 경로시간을 함께 분석하여 구한 1차원 지각 속도구조 모델인 Chang and Baag(2006) 모델을 사용하였다. 지진파형 분석 자료를 HYPONVERSE-2000(Klein, 2002)에 입력하여 지진이 발생한 시각,

Fig. 1. Location of seismic stations of KMA and KIGAM used in this study.

진앙의 위치, 진원 깊이와 같은 지진원 요소를 얻었으며 그 결과를 Table 1의 우측에 제시하였다. Table

1의 우측에서 재결정된 발생시각이 기재된 지진의 발생 연월일은 좌측 기상청 자료와 동일하다.

기상청의 진앙자료와 재결정된 진앙자료를 비교해 본 결과 위도, 경도의 차이가 대부분 0.03° 이내이며 최대 0.11° 로 대부분의 지진에서 유사한 값을 얻었다. Fig. 2는 진원지 재결정을 통해 구한 진앙을 선구조선의 분포 위에 표시한 것이다. 다만 진원지가 서해안이나 남·북한 경계선에 가까울 경우 지진 관측소와 다소 떨어져 있으며 관측소의 방위각이 대륙 쪽에 편중되어 있어 진원지 위치의 불확실성이 커질 수 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 연구지역은 주로 북북동-남남서 방향의 선구조선이 우세하게 분포하며, 경기육괴와 옥천대의 경계는 북북동-남남서(북동부)와 북동-남서(남서부) 방향을 나타낸다. 또한 북서-남동 혹은 서북서-동남동 방향의 매우 짧은 선구조선이 단속적으로 분포하고 있다. 2005년 이후 발생한 지진의 진앙과 지표 주요 선구조선을 대비해 볼 때 상당수가 주요 선구조선상이나 인접 지역에 분포하고 있다. 그러나 구조선이 분포하지 않는 곳에도 진앙이 위치하는 지진도 있어 지표 선구조선과의 연관성을 확실하게 단정하기 어렵다.

Table 1. Source parameters of 17 earthquakes from the KMA catalog (left) and relocated hypocenters of these earthquakes (right)

No.	KMA catalog					Recalculated parameter			
	Origin time (KST*)		Epicenter		Magnitude	Origin time (KST*)		Epicenter	Depth (km)
	yy/mm/dd	hh:mm:ss	Latitude ($^\circ$ N)	Longitude ($^\circ$ E)		hh:mm:ss	Latitude ($^\circ$ N)	Longitude ($^\circ$ E)	
1	05/08/25	19:33:47	36.75	126.30	2.2	19:33:46.96	36.74	126.21	0.77
2	05/12/07	18:02:11	36.63	127.77	2.2	18:02:12.08	36.64	127.77	2.53
3	06/02/28	18:52:38	36.22	127.66	2.3	18:52:38.92	36.32	127.67	8.21
4	06/03/19	13:59:47	36.34	127.36	2.9	14:03:47.76	36.32	127.32	14.62
5	06/10/04	05:29:22	36.67	127.67	2.2	05:29:23.69	36.68	127.65	11.21
6	06/12/04	00:51:41	36.46	127.92	2.7	00:51:43.56	36.47	127.90	12.02
7	07/03/15	05:30:12	36.18	127.97	2.9	05:30:12.27	36.17	127.98	14.12
8	07/05/03	12:24:07	36.13	127.85	2.2	12:24:08.21	36.16	127.82	10.11
9	07/07/22	13:49:27	36.88	126.66	2.6	13:49:27.23	36.90	126.63	4.97
10	08/01/14	18:03:14	36.19	127.54	2.2	18:03:14.08	36.22	127.52	6.52
11	08/03/27	16:29:21	37.78	126.40	2.8	16:29:21.64	37.78	126.45	10.75
12	08/10/29	09:26:14	36.35	127.25	3.4	09:26:14.46	36.34	127.25	10.22
13	09/11/17	05:38:49	36.07	126.93	2.3	05:38:48.54	36.08	126.96	6.93
14	09/12/15	09:02:13	36.76	127.10	2.4	09:02:12.94	36.82	127.11	8.87
15	10/01/05	20:12:11	36.97	126.52	2.6	20:12:09.78	36.99	126.41	5.29
16	10/02/09	18:08:14	37.45	126.80	3.0	18:08:13.22	37.50	126.78	16.14
17	10/02/21	21:17:01	36.75	127.10	2.3	21:17:02.26	36.81	127.06	9.47

*Korea Standard Time

Fig. 2. Recalculated epicentral distribution of 17 earthquakes. The thick square line indicates study area.

발진기구

지체구조성 지진은 지구 내부에 작용하는 지질학적인 응력에 의해 발생하는 지진으로서 지구 내부에 작용하는 세 응력(σ_{max} , σ_{int} , σ_{min})의 대소 관계에 따라 주향이동단층, 역단층, 정단층 운동이 생긴다. 지진 발생 시 여러 관측소에서 기록된 지진 파형 자료를 해석함으로써 단층운동 특성과 응력장 분포를 추정할 수 있는데, 이를 단층면해(fault plane solution) 또는 발진기구해(focal mechanism solution)라고 한다. 단층면해는 진원 반구의 아래쪽을 진원구로 정의하여 진앙에서 P파가 관측소로 나아간 사출각(take-off angle)과 극성분포로부터 서로 수직한 두 절단면을 구한다. 이 두 면을 각각 단층면과 단층 보조면으로 해석하게 되며, 이는 단층면해를 구하는 간단하고 널리 쓰이는 방법이다.

지각 속도구조가 명확히 밝혀지고, 확실한 P파 초동극성이 잘 기록된 다수의 관측소가 진앙 주변에 고르게 분포한다면 해당 지진에 대한 단층면해는 신뢰할만하다. 그러나 일반적으로 자료의 수가 적고, 관측소가 고르게 분포되어 있지 않을 경우 가능한 단층면해의 수는 많아지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 S파의 극성 및 SH/P파의 진폭비를 추가하게 되면, 각 지진별 단층면해를 구하는데 필요한 관측소의 수가 증가하는 이점과 P파 초동 극성은 단순한 Up-Down 성분인데 비해 진폭비는 연속적인 값이

므로 관측소의 자료가 더 정확해질 수 있는 이점이 있어(Hardebeck and Shearer, 2003) 신뢰도가 높은 단층면해를 구할 수 있게 된다.

본 연구에서는 단층면해를 구하는 공개 프로그램인 FOCMEC(FOCal MECHANISM determination) (Snook, 2000)을 이용하였다. 이를 통해 B축(주 압력축 P축과 주 장력축 T축에 직교하는 축; 혹은 주 절단면을 만나는 Null축)의 trend와 plunge를 각각 0°에서 360°, 0°에서 90°의 범위에서 격자탐색하고, B축과 직교하는 A축(한 절단면의 축)을 0°에서 180°까지 격자탐색하여 결정되는 절단면 중에서 P파 초동 극성자료와 SH/P 진폭비를 만족하는 단층면해를 결정하였다. 지각 속도구조 모델은 진원지를 재결정할 때 사용한 것과 동일하게 Chang and Baag(2006) 모델을 이용하였다.

2005년 1월부터 2010년 5월까지 발생한 한반도 중서부지역의 내륙에서 발생한 17개 지진에 대해 재결정한 진원을 바탕으로 구한 단층면해의 결과는 Fig. 3과 Table 2와 같다. 이에 이용된 관측소의 수는 Table 2에서 보는 바와 같이 각각 9개소에서 최대 17개소로 P파 초동 극성을 이용하였다. 이 때 P파 초동이 약간 애매한 지진 자료는 모두 제외시켰다. 이 중 3개 지진(Table 2의 4, 15, 16번 지진)에 대해 SH/P 진폭비를 추가하여 해를 구하였다. 그 이유는 이들 지진의 경우 P파 초동만으로 해를 구할 경우 단층면해가 너무 분산되어 추가 정보를 입력할 필요성이 제기되었기 때문이다.

연구 결과

Table 2는 중서부 지역에서 발생한 17개 지진에 대하여 단층면으로 추정되는 2개의 절단면, P축, T축의 특성, 사용 자료수, SH/P 이용 유무를 정리한 것이다. Fig. 4는 각 지진의 진앙과 단층면해를 한반도 지질구조선 위에 종합하여 나타낸 것이다. 단층면해의 범위가 넓은 경우, 각 지진의 단층면과 응력축의 방향은 다수의 단층면해 중에서 중앙값을 선택하였다.

선구조선에 인접한 지진들의 경우 주로 북북동-남남서 방향의 구조선과 연관성을 보이며, 이들 지진의 단층면해도 지표 구조선의 방향과 잘 일치한다(예: Fig. 4의 5, 8, 9, 11번 지진). 하지만 단층면해와 구조선 방향이 다른 지진도 보인다(예: Fig. 4의 2, 13번 지진). 지진 발생 지역에 지표 주구조선이 나타나

Fig. 3. Focal mechanism solutions of 17 earthquakes obtained from P-wave polarities of first motion and SH/P amplitude ratios.

있지 않은 지진의 경우, 단속적으로 나타나는 짧은 구조선의 유무와 단층면해와의 관계를 규명해 보는 것도 의미가 있으리라 본다. 대부분 북북동-남남서와

서북서-동북동 방향의 주향이동 단층면해를 보인다 (예: Fig. 4의 4, 12, 16번 지진).

지체 구조구 별로 단층면해를 비교할 경우 경기육

Table 2. Parameters for focal mechanism solutions of seventeen earthquakes

No.	Plane 1			Plane 2			P-axis		T-axis		Data	Number of SH/P
	Strike	dip	rake	Strike	dip	rake	azimuth	dip	azimuth	dip		
1	341.33	39.67	-26.03	91.94	73.73	-126.69	322.84	47.94	208.70	20.25	9	-
2	323.43	75.52	26.57	226.31	64.34	163.90	93.06	7.44	187.19	28.88	13	-
3	97.81	26.81	-20.42	206.20	80.95	-115.34	89.35	47.94	316.95	31.32	13	-
4	294.94	81.46	34.07	199.20	56.36	169.73	62.63	16.67	162.49	29.78	13	1
5	291.70	63.05	-13.71	28.01	77.80	-152.38	252.80	28.02	157.50	9.85	15	-
6	94.53	48.36	-18.88	197.33	76.00	-136.78	65.17	39.86	320.01	17.36	15	-
7	277.38	81.46	34.07	181.64	56.36	169.73	45.07	16.67	144.93	29.78	17	-
8	307.88	84.28	34.59	213.95	55.61	173.07	75.94	19.21	176.62	28.02	12	-
9	296.57	75.52	-26.57	33.69	64.34	-163.90	252.81	28.88	346.94	7.44	11	-
10	123.12	80.95	64.66	14.74	26.81	159.58	233.87	31.32	6.27	47.94	11	-
11	105.79	86.60	19.72	14.57	70.32	176.38	238.54	11.31	331.89	16.27	12	-
12	107.89	62.67	-30.68	212.98	62.67	-149.32	70.43	40.00	160.43	0.00	13	-
13	121.98	58.68	60.35	349.58	42.06	129.11	232.72	9.05	341.11	63.19	14	-
14	268.61	68.53	-57.50	28.49	38.29	-143.80	219.43	54.47	335.17	17.23	14	-
15	295.87	54.60	-29.84	44.25	66.07	-140.68	264.59	44.14	167.70	7.05	13	1
16	107.59	52.84	16.01	7.75	77.30	141.74	62.52	15.76	320.84	35.63	15	1
17	112.63	76.00	43.22	9.82	48.36	161.12	235.31	17.39	340.46	39.86	17	-

Fig. 4. Epicentral distribution and focal mechanism solutions of 17 earthquakes. The broken lines indicate tectonic boundaries. K-Kyeonggi massif; O-Okcheon belt; Y-Yeongnam massif.

괴와 옥천대에서 단층면해의 방향성이나 단층운동의 유형은 차이점이 거의 없이 상당히 유사하다. 주로 북북동-남남서와 서북서-동북동 방향의 주향이동 사교 단층면해를 보인다. 특이하게 정단층성 사교단층 운동을 나타내는 경기육괴내 1번 지진의 경우 발생 위치가 서해안에 인접하며, 사용된 지진자료도 공간적으로 편중될 뿐만 아니라 자료수도 부족하여 결과

에 대한 신뢰성이 타 지진에 비해 떨어진다고 볼 수 있다.

Fig. 5는 본 연구에 이용된 17개 지진의 단층면해를 Frohlich(2001)이 제시한 삼각 다이어그램에 나타낸 것이다. Frohlich and Apperson(1992)은 다음 식 (1)에 기초하여 지진을 발생시킨 단층의 유형을 분류했다.

$$\sin^2\delta_T + \sin^2\delta_B + \sin^2\delta_P = 1 \quad (1)$$

δ_T , δ_B , δ_P 는 각각 T, B, P축의 경사각을 의미하며, δ_B , δ_B , δ_T 는 각각 50° , 60° , 60° 를 초과할 때 역단층, 주향이동단층, 정단층으로 정의하였다. 삼각 다이어그램의 세 꼭지점은 각각 순수한 역단층, 주향이동단층, 정단층을 의미한다. Fig. 5에 나타난 17개 지진의 단층운동은 주로 주향이동성분이 우세한 사교단층운동의 특징을 보여주고 있으며 4개는 주향이동단층, 1개(13번)는 역단층으로 해석되었다.

Fig. 6은 지진 응력장의 분포를 알아보기 위해 한 반도 중서부지역에서 발생한 17개 지진의 발진기구로부터 주 압력축인 P축의 방향을 각 진앙지에 나타낸 것이다. 흰색 원은 주향이동단층, 검은 원은 역단층을 의미한다. 주 압력축인 P축의 방향은 주로 동북동-서남서 방향이 우세하며 2개 지진이 북동-남서방향, 1개 지진은 동-서 방향으로 나타났다. 북북서-남남동 방향을 나타내는 1개의 지진(1번)은 발진기구 결과와 마찬가지로 신뢰성이 떨어진다고

Fig. 5. Ternary plot of the fault mechanism solution. The size of the circle is proportional to the local magnitude of an event.

한반도 및 주변부에서 발생한 지진의 단층면해는 Jun(1990) 이후 여러 연구자들에 의해 다양한 방법으로 연구되어 왔다. Jun(1990)은 1963년부터 1984년 사이에 한반도 주변부에서 발생한 주요 지진에 대해 파형 역산법(waveform inversion method)으로 단층면해를 구하여, 주향이동 단층운동이 우세하고, 주 압축력 방향은 동북동-서남서임을 밝힌 바 있다.

본 연구 지역 내에서 과거에 발생한 가장 큰 지진은 1978년 충남 홍성에서 발생한 홍성지진(규모 5.0)이다. 김준경(1991)은 이 지진에 대해, P파의 초동극성을 이용하여 단층면해를 구한 결과 역단층운동이 포함된 주향이동단층이 우세하고 주 압축력의 방향은 거의 동-서임을 밝힌 바 있다. Park et al.(2007)은 1999년부터 2004년까지 남한에서 발생한 71개 지진에 대해 구해진 단층면해 자료를 분석하여 대부분 사교성분을 포함한 주향이동단층운동의 특징을 보이며 역단층 성분을 일부 포함하고 있다고 하였다. 또한 남한에 작용하는 주 응력축은 동-서방향(269° - 275°)의 낮은 경사(10° - 25°)를 보인다고 밝혔다. 본 연구 범위 지역에 해당하는 경기육괴와 옥천분지 등에서 발생한 지진에 대한 단층면해의 분석 결과는 지체구조구에 따라 차이가 거의 없으며, 대체로 주향이동 단층 혹은 주향이동 성분이 포함된 사교단층 운동이 우세하며, 주 압축응력은 거의 동북동-서남서 방향을 보인다.

전명순 외(2010)는 20세기에 한반도 및 인근에서 발생한 지진 중 규모 4.5 이상의 18개 지진의 발생 원인을 분석하였다. 본 연구지역과 동일한 범위 안에

Fig. 6. Directions of principal pressure axis determined from focal mechanism solutions. Open and closed circles indicate strike-slip and reverse faults, respectively. The broken lines indicate tectonic boundaries. K-Kyonggi massif; O-Okcheon belt; Y-Yeongnam massif.

서 발생한 지진은 없었으며 한반도 및 인근에서 발생한 지진의 대부분은 주향이동단층운동에 의한 메카니즘에 다소의 역단층 운동이 첨가된 단층운동을 보여주고 단층작용을 일으킨 주응력 방향은 거의 수평한 동북동-서남서 방향을 나타낸다고 밝힌 바 있다.

본 연구를 통해 남한 중서부 지역에서 2005년 이후 발생한 최근 지진들에 대하여 구해진 단층면해와 기진 응력장 분포는 과거 이 지역에서 발생한 지진들과 비교할 때 큰 차이가 없으며 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 다만 국지적으로 소수의 지진들이 전체적인 경향을 벗어나는 지진들도 나타난다. 이것은 국지적인 요인이 타지역과 다르거나, 자료의 부족, 혹은 관측소의 공간적 편중 등의 영향도 있을 것으로 판단된다.

전반적으로 연구지역에서 발생한 지진들의 단층면해는 2개 지진(Fig. 4와 Fig. 6의 1번, 10번 지진)을 제외하고 주향이동 성분이 우세한 사교단층 운동을 나타내며, 주 압력축인 P축의 방향은 주로 동서 내지 동북동-서남서 방향이 우세하다. 또한, 경기육괴와 인접한 옥천대에서 지체구조구의 차이에 따른 지진 발생 메카니즘상의 차이는 거의 없다. 이는 Kyung et al.(1996)이 지적한 바와 같이 한반도에서 발생하는 지진이 광역적으로 유라시아판 남서부에서 인도-오스

트레일리아판과의 충돌에 의해 유라시아판 내부로 전달되는 응력과 태평양판 및 필리핀해판이 유라시아판 하부로 섭입하면서 전달되는 응력이 동북동-서남서 방향으로 상호 작용하여 한반도 내의 주요 약대를 국지적으로 재활성화시키는 것으로 추정된다.

결 론

본 연구를 통하여 최근 2005년 1월부터 2010년 5월까지 발생한 한반도 중서부지역의 내륙에서 발생한 17개 지진의 지진원 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 기상청과 한국지질자원연구원의 지진자료를 수집한 후 각 관측소별 P파 초동시간을 통해 각 지진의 진앙을 재결정한 결과 현저한 차이는 없으며, 기상청의 진앙 위치 자료와 비교했을 때 위도, 경도의 차이가 대부분 0.03° 이내이며 최대 0.11° 로 나타났다.

2. 진앙은 지표 주구조선상 혹은 인접하여 분포하고 있지만 서로 상관관계가 높다고 할 수 없다. 또한, 단층면해는 주로 북북동-남남서와 서북서-동남동 방향의 단층면 혹은 보조단층면을 보이는데, 이는 지표 주구조선의 전반적인 방향과 잘 일치한다. 따라서 진앙이 지표 선구조선과 잘 일치하지 않는다고 하더라도 소규모적으로 지표에 나타나지 않는 이 방향의 지각의 약대를 따라 활성화했을 가능성이 크다.

3. 중서부에서 발생한 지진들의 단층면해는 2개 지진을 제외하고 주향이동 단층운동 혹은 주향이동 성분이 우세한 사교단층 운동을 나타내며, 주 압력축인 P축의 방향은 주로 동북동-서남서 내지 동서 방향이 우세하다. 최근 지진의 단층면해는 기존에 이 지역에서 발생한 지진의 특성과 유사하다.

4. 단층면해와 응력장은 경기육괴와 옥천대에서 지체구조에 따른 차이를 나타내지 않는다.

사 사

본 논문 작성 시 단층면해 표시에 도움을 준 세종대 정태웅 교수와 논문 심사를 해주신 익명의 심사위원들에게 감사드립니다.

참고문헌

경제북, 정태웅, 이재구, 이덕기, 이은아, 2001, 남한 중부

지역에서 발생한 미소지진의 단층면해와 응력장 해석. 한국지구과학회지, 22, 292-300.

경제북, 조희규, 강태섭, 2006, 한반도 남서부에서 발생한 미소지진의 진원 기구해 분석. 한국지구과학회지, 27, 341-347.

김준경, 1991, 초동극성 분포를 이용한 홍성지진의 Focal Mechanism 연구. 지질공학, 1, 121-136.

박창엽, 신진수, 지현철, 강익범, 류용규, 1998, 1996년 12월 13일 영월 지진의 진원단층면 방향. 지구물리, 1, 23-30.

이기화, 정태웅, 1999, 1996년 양산단층 일대의 미소지진을 이용한 복합단층면해. 지구물리, 2, 235-240.

전명순, 전정수, 2010, 한반도 및 주변의 지진 메카니즘 특성. 지구물리와 물리탐사, 13, 198-202.

정태웅, 김우한, 2000, 1997년 6월 26일 경주지진의 단층면해 비교해석. 지구물리, 3, 245-250.

기상청(KMA), <http://www.kma.go.kr/weather/earthquake/domesticlist.jsp>.

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.

Frohlich, C. and Apperson, K.D., 1992, Earthquake focal mechanisms, moment tensors, and the consistency of seismic activity near plate boundaries. Tectonics, 11, 279-296.

Frohlich, C., 2001, Display and quantitative assessment of distributions of earthquake focal mechanisms. Geophysical Journal International, 144, 300-308.

Hardebeck, J.L. and Shearer, P.M., 2003, Using S/P amplitude ratios to constrain the focal mechanism of small earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, 6, 2434-2444.

Jun, M.S., 1990, Source parameters of shallow intraplate earthquake in and around the Korean Peninsula and their tectonic implication. Ph.D. thesis, University of Uppsala.

Kang, T.S. and Baag, C.E., 2004, The 29 May 2004, Mw=5.1, offshore Uljin earthquake, Korea. Geosciences Journal, 8, 115-123.

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 p.

Kyung, J.B., Oike K., and Hori T., 1996, Temporal variations in seismic and volcanic activity and relationship with stress fields in East Asia. Tectonophysics, 267, 331-342.

Park, J.C., 2005, A study on crustal thickness and focal mechanism in the southern Part of the Korean peninsula using phase identification method. Ph.D. thesis Gyeongsang National University, 131 p.

Park, J.C., Kim, W.H., Chung, T.W., Baag, C.E., and Ree

J.H., 2007, Focal mechanisms of recent earthquakes in the Southern Korean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 169, 1103-1114.

Snoke, J.A., 2000, FOCMEC: Focal mechanism determination. FOCMEC software manual (<http://www.iris.edu/software/>).

2011년 3월 7일 접수
2011년 3월 31일 수정원고 접수
2011년 4월 1일 채택