

최근의 경상분지 일원에서의 지진활동 Recent Earthquake Activity in and around Kyeongsang Basin

전정수* 전명순* 지현철*
Jeon, Jeong-Soo Jun, Myung-Soon Chi, Heon-Cheol

ABSTRACT

To understand the current seismic activity and regional tectonic status in and around Gyeongsang basin, Korea Institute of Geology, Mining, and Materials(KIGAM) has performed the earthquake monitoring around the Gyeongsang basin since early 1980's with portable analog seismic instruments for about two months every year. As a part of POSEIDON project, Korea-Japan joint observation around Gyeongsang basin in 1991 and 1992, was performed using by temporary seismic station. KIGAM has been continuously operated nine short-period 3-components digital seismic stations since the end of 1994.

During the observation period, 247 earthquakes were analyzed and their magnitude was less than 4.5. In general, we could not find any relationship between seismic activity and known surface geological features. But the epicenters were rather concentrated with NW-SE direction. The most active seismicity was found in Gyeongbuk Gyeongjugun Seokeupri and Hyodongri, and Yeongilgun Janggiri and Guryongpo in land, and in three region along the east coast which are 10km and 30km east off from Gampo and 30km east off from Jeongja in offshore.

1. 서론

유라시아판(Eurasia-Plate)의 동남쪽에 위치하는 한반도는 판경계(Plate boundary)로부터 수백 Km 떨어진 판내지역(Intraplate region)에 해당한다. 지진학적으로 판경계부에서 발생하는 지진들은 판경계지진(Interplate Earthquake)이라 부른다. 판 경계부에서는 판들 사이의 상호작용이 활발히 진행되고 있으므로 이에 의해 발생하는 지진의 크기도 크고 숫자도 많다. 판내지진의 특징은 지진발생이 시간 및 공간적으로 산만한 분포를 보이며, 판경계부에서 발생하는 지진에 비해 상대적으로 지진발생 빈도도 적고, 지진발생 주기도 길며, 지진의 규모도 작을 뿐만 아니라 발생 위치도 매우 불규칙한 편이다. 그러나 이들 판내지진에 대한 체계적인 연구는 판 내의 응력상태와 응력분포에 관한 정보를 제공하는 매우 희귀하고 중요한 자료가 되기도 하다.

세계적으로 발생하는 큰 지진은 판구조운동에 의해 판경계부에서 발생하는데 대부분의 판경계

* 한국자원연구소 방재지질연구센터, 정희원

부는 다행스럽게 바다에 위치하고 있어 인간에게 주는 피해가 적은 셈이다. 그러나 판내지진이 내륙에서 발생하는 경우 인간과 사회구조에 막대한 피해를 주기도 한다. 1995년 1월 일본에서 발생해 5000명 이상의 사망자를 낸 고베지진과 1976년 7월 중국 당산에서 발생해 공식발표로 24만 명이 사망한 (80만명 사망추정) 당산지진이 대표적인 피해를 낸 판내지진이다.

본 연구에서는 판내지역에 속하는 한반도 동남부 경상분지 일원에 분포하는 양산단층 등의 지질구조와 지진과의 관련성을 조사하여, 이 일대의 구조선들에 대한 지진안전성을 평가하기 위하여 1994년 12월부터 한국자원연구소에서 운영중인 경상분지 일원의 지진관측망에서 수집된 자료를 1차적으로 분석하는데 있다.

2. 경상분지 일원에서의 지진 활동

2-1. 1994년 이전의 지진관측

한반도 동남부는 울진, 월성 및 고리의 3개 원전부지에 현재 7기의 원자로가 가동중이고 9기가 건설 및 건설예정이다. 이들 원전의 지진안전성 문제는 인근 양산단층의 활동성 여부와 관련하여 국내외 학자들 간에 증대한 관심사로 대두되어 왔다. 이와 관련하여 한국자원연구소는 1980년대 초부터 양산단층 일대에서 매년 1-2개월씩 종이 위에 지진파형을 기록하는 아날로그(Analog) 방식의 지진관측을 수행하였고, 1991년과 1992년에는 POSEIDON (Pacific Orient SEismic Digital Observation Network) Project와 연계하여 한일공동으로 디지털 지진계에 의한 임시 지진관측을 실시하였다(전명순외 1992, 1993). 그림 1은 1988년부터 92년까지 5년 동안 임시 지진관측망 운영 결과를 표시한 것이다.

그림에서 진앙지 분포는 문경-상주를 중심으로 남남서 방향으로 지리산 동측으로 연장되면서 대략 경상분지의 서측 경계와 평행한 분포를 보인다. 이는 1936년 지리산 부근에서 발생해 피해를 발생시켰던 쌍계사 지진의 진앙이 속하는 지역이다. 이들 지리산 부근으로 연장성을 보이는 지진들은 현재 진행중인 조구조운동의 결과일 가능성이 있으므로 이 일대에 추가 지진관측망을 설치하여 정밀 자료 분석이 수행 되어야 할 것으로 판단된다.

다른 한 분포는 문경-상주에서 남남동 방향으로 대한해협을 지나 대마도까지 연장된다. 또다른 분포는 남동방향으로 울산 앞바다로 연장되는 경향을 보인다. 이 중 대한해협과 울산 남동쪽 앞 바다에서 발생하는 지진들은 내륙에서 발생하는 지진과는 달리 대한해협에 존재하는 대마도단층 (Tsushima Fault)의 최근의 활동과 관련된 것으로 판단된다. 동해 남서부에서 발생한 지진의 메카니즘 분석은 이 지역에서 발생한 지진들이 대마도단층의 북동 연장부에서 발생했고 진원깊이 (Focal Depth)가 비슷하고 메카니즘이 모두 수평이동단층(Strike-slip fault)인 것을 근거로 이들 지진이 쓰시마-고토 구조선(Tsushima-Goto Line)의 재활동에 의한 것으로 추측했다 (전명순 외, 1993).

그러나 이 기간동안 관측된 지진자료에 의하면 양산단층을 따라서 진앙이 집중되는 현상은 나타나지 않고, 양산단층 중앙부 동측에 진앙이 집중되며 이는 북북동 방향으로 연장되어 있다.

2-2. 1994년 이후 최근의 지진활동

한국자원연구소는 경상분지내 덕정, 학계, 방방골, 명계, 매곡, 청송, 김해, 거제, 구례등 9개소에 1년 365일 가동하는 3-성분 단주기 디지털 지진관측망을 구성하여 1994년 10월부터 지진자료를 획득 중에 있다. 관측망의 기록방법은 지진계에 입력되는 진동이 일정 크기(Threshold) 이상인 경우에 기록하기 시작하는 Trigger 방식을 적용하였으며, 이렇게 기록된 지진기록은 기록계 (Seismograph)에 저장되었다가 대전으로 매일 전화선을 통해 전송되어 분석된다. 각 지진관측소의 위치, 특성 및 운영방법은 표 1과 같다. 채석장등 위치가 알려진 진앙으로부터 확인된 진앙의

정확도는 관측망 내에서는 1Km 이내이고 관측망 밖에서는 수Km 에 이르는 것으로 밝혀졌다.

98년 5월까지의 양산단층 주변의 관측망에 관측되어 결정된 진앙의 분포는 그림 2에 표시되어 있다. 진앙의 분포는 대체로 북서-남동 방향으로 집중되고 있는 바, 이는 기상청(1992)에서 관측한 약 20년간의 결과와 일치한다. 양산단층을 따라서 진앙이 집중되는 현상은 보이지 않고, 양산단층 동측에 감포-울산사이와 동해 앞바다에 집중되어 나타난다. 또한 내륙에서는 문경-상주 일대에 다소 집중되어 나타난다.

조사기간 동안 경상분지 일대에서 밝혀진 지진발생의 특징은 다음과 같다. 내륙에서 지진발생이 가장 심했던 지역은 경북 경주군 양남면 석읍리, 석촌리 및 효동리 일대의 반경 약 1-1.5 Km 범위로 조사기간 동안 11회의 지진이 발생했다. 이 지역은 일부학자들(Okada et al., 1995, 경재복 외 1995)의 간이 트렌치 조사결과에 의해 활단층으로 제기된 경주군 외동읍 마방리 및 개곡리 지역에서 남동동 방향으로 약 5-6 Km 떨어진 곳으로 이들 두 지역간의 조구조적 연관성은 장래 규명해야 할 매우 중요한 과제이다. 이들 11개 지진 중 5개 지진은 96.01.25 - 96.02.05까지 약 10일에 걸쳐 집중적으로 발생했다. 이들 지진의 규모(M_L)는 1.8 - 2.7에 해당하고 이들의 진원깊이는 약 10 Km 정도이다. 이 지역은 1:50,000 울산도폭의 북부에 속하며, 경주-울산에 발달하는 울산단층의 동편에 속하고 월성 서편에 해당한다. 이 지역의 항공방사능/자력탐사 결과는 울산도폭의 서편은 저이상대로, 동편은 고이상대로 구별되며 중앙부에서 북동방향으로 고이상대가 위치한다(구성분외, 1995). 진앙이 집중되는 지역은 이 북동방향의 고이상대 동측경계 부근에서 측정값이 급속하게 변하는 지역에 해당한다. 1922년 발간된 1:50,000 감포도폭(당시 조양으로 명명)에는 이 일대에 북동 방향의 단층을 표시하고 있으며, 최근에 비교적 자세하게 조사된 1:25,000 어일도폭(최위찬외 1988)에서 북동방향으로 넓게 발달하는 파쇄대의 남쪽 연장부에 해당한다.

내륙에서 두번째로 지진발생 밀도가 높은 지역은 포항시 영일군의 장기면, 동해면 및 구룡포읍의 접경지역이다. 이 지역에서는 조사기간 동안 7회의 지진이 발생했는데 이들은 모두 96.02.22 - 96.02.28 사이의 일주일 동안에 발생했다. 이들 지진의 규모(M_L)는 1.9 - 3.0에 해당하고 이들의 진원깊이 역시 약 10Km 정도이다. 이 지역의 항공 방사능/자력탐사 결과도 울산지역 처럼 측정치가 높은 값에서 낮은 값으로 급하게 변하는 양상을 보이며, 이 지역은 지질학적으로는 포항분지의 남단(南端)에 해당한다.

한편 바다에서 발생한 지진들도 해역에 따라 다소 집중되는 현상을 보이는데 이는 감포(甘浦) 동쪽 앞바다 약 10Km 와 30Km 지점과 정자(亭子) 동쪽 앞바다 약 30Km 지점이다. 특이한 현상은 위에서 언급한 지진이 집중되는 지역의 경우 많은 지진들이 한정된 기간에 지진을 발생하고 그 활동을 멈추는 것이다. 특히 감포 앞바다 약 30Km 지점에서 발생한 지진의 경우는 같은날 규모(M_L) 2.0 - 2.7의 지진이 3회 연속 발생한 후 지진활동이 정지했다. 또한 감포 앞바다 10Km 지점에서 발생한 지진들도 10일 동안에 규모(M_L) 1.9 - 2.2 의 지진이 3회 발생한 후 지진활동이 정지했고, 정자 동쪽 앞바다 30Km 지점에서도 약 한달 동안에 규모(M_L) 2.4 - 4.6의 지진이 3회 발생한 후 지진활동이 정지하고 있다. 이렇게 지진이 한정된 기간에 집중적으로 발생하는 현상은 과거 POSEIDON Project에 의해 양산단층 일대에서 한일공동으로 한시적인 지진관측망을 운영했을 때도 나타났던 현상(전명순외 1993)으로 이 지역에서 발생하는 지진의 시간적 발생양상을 나타내는 것으로 판단된다. 이는 이 일대에 작용하는 조구조력(Tectonic Force)에 의해 축적된 에너지가 지진에 의해 한꺼번에 방출되지 않고 수회에 걸쳐 지진을 발생시키며 방출하는 것으로, 이는 진원지 부근의 지하 매질의 물성학적 특징을 반영하는 것으로 사료된다. 이런 현상은 이 지역에서 지진안전성 확보 및 지진예측에 중요한 근거를 제공하리라 판단된다.

또한 내륙에서는 문경, 상주 및 김천등 경상북도 서부의 넓은 지역에 다소 집중되는 현상을 보이나 특정 지질구조와의 관련성은 나타나지 않는다.

94년 12월부터 98년 5월까지 조사지역에서 발생한 지진들의 지역적인 분포는 1988년부터 1992년까지 한시적 지진관측망에 의해 관측된 자료들과 매우 흡사하여 이 지역의 지진발생 양상을 대표하는 것으로 추측되며, 이 일대에서 지진발생과 지질구조와의 구체적인 상관관계는 장기간에 걸

쳐 관측된 지진자료를 수집, 분석하면서 정밀 지구물리 탐사 등을 병행하여 규명하여야 할 것이다.

3. 결론 및 토의

양산단층 주변에서 관측된 지진자료의 분석 결과는 다음과 같다. 이 지역에서 지진발생은 한반도 남부전체에서 나타나는 북서-남동 방향을 따라 집중되며, 이 지진대는 양산단층 북부를 가로질러 동해로 연장된다. 양산단층을 따라서 진앙이 집중되는 현상은 나타나지 않으나 지역에 따라 다소 지진이 집중되는 현상이 인지된다. 조사기간 동안 양산단층 주변에서 발생한 247개 지진의 크기는 M_L 1.7 - 4.8의 범위를 보이고 이들의 지역적 발생 특징은 다음과 같다.

내륙에서 지진발생이 가장 심했던 지역은 경북 경주군 양남면 석읍리, 석촌리 및 효동리 일대의 반경 약 1-1.5 Km 범위로 조사기간 동안 11회의 지진이 발생했다. 이 지역은 일부학자들에 의해 활단층으로 제기된 경주군 외동읍 마방리 및 개곡리 지역에서 남동동 방향으로 약 5-6 Km 떨어진 곳으로 이들 두 지역간의 조구조적 연관성은 장래 규명해야 할 매우 중요한 과제이다. 내륙에서 두번째로 지진발생 밀도가 높은 지역은 포항시 영일군의 장기면, 동해면 및 구룡포읍의 접경지역으로 조사기간 동안 7개의 지진이 발생했다. 내륙에서 지진발생이 집중되는 지역의 항공 방사능/자력탐사 결과는 두 곳 모두 측정치가 높은 값에서 낮은 값으로 급하게 변하는 양상을 보이는데 이는 지표에 나타나지 않은 지하 심부단층의 존재나 지하물질의 대자율의 차이가 큰 암상의 차이에 의한 것으로 해석되어 이런 지역에서 비교적 작은 규모의 지진이 발생하는 것으로 추측된다.

바다에서 발생한 지진들도 해역에 따라 다소 집중되는 현상을 보이는데 이는 감포(甘浦) 동쪽 앞바다 약 10Km 와 30Km 지점과 정자(亭子) 동쪽 앞바다 약 30Km 지점이다. 이들 경상분지 및 동해 앞바다에서 발생한 지진들은 진원깊이가 약 10 Km 정도로 이는 세계적으로 대륙지각에서 지진발생이 상부지각에 집중되는 현상과 일치한다.

조사지역에서 나타난 지진발생의 특징 중 하나는 이들의 시간적 분포이다. 경주군 양남면에서 발생한 11개 지진중 5개 지진은 10일에 걸쳐 집중 적으로 발생했고, 포항시 영일군에서 발생한 7개 지진은 일주일 동안에 발생했다. 또한 동해 앞바다에서 발생한 지진들도 유사한 특징을 보이는데 감포 앞바다 10Km 지점에서 발생한 3개 지진들은 10일 사이에 발생했고, 감포 앞바다 30km 지점에서 발생한 3개의 지진은 같은 날 발생했다. 이런 지진의 시간적 발생특징은 진원지 근처의 매질의 물성학적 특성을 나타내는 것으로 지진이 집중되는 지역적 특징과 함께 앞으로 이 지역에서 지진안전성 확보 및 지진예측에 중요한 근거를 제공하리라 판단된다.

이 지역에서 발생한 지진의 복합단층면해로부터 구한 메카니즘은 경상분지 일대에서는 역단층 운동이 우세하며 약간의 주향이동단층 운동이 수반하는 것으로 나타났다. 또한 단층면 해로부터 구한 주응력의 방향은 거의 수평한 동서방향(P -axis = $N 87^\circ E$, $Plunge = 8^\circ$)으로 나타났다. 이는 울릉분지 근처에서 비교적 큰 지진들의 메카니즘에 의해 나타난 결과(Jun and Kim, 1990)와 매우 유사하여 이 일대에서 발생하는 지진들은 현재 작용하고 있는 조구조력(Tectonic Force)에 의한 영향으로 판단된다.

참고문헌

1. 구성분, 이태섭, 최종호, 이희일, 김광은, 1995, “의성, 길안, 군위, 화북지역 항공방사능/자력탐사 및 경상분지 자료종합”, 한국자원연구소 연구보고서 KR-95(C)-2, p54.
2. 경재복, Okada, A., 1995, “대지진 발생에 의한 역상화 현상 : 일본 중부와 한국에서의 사례”, 지질학회지, 31, 237-250.

3. 경재복, 김성균, 조화룡, Okada, A., Watanabe, M., Suzuki, Y. and Oike, K., 1995, “울산단층 중앙부의 단층노두와 대지진 발생의 지형적 증거”, 제50차 대한지질학회 학술발표회 (abstract).
 4. 기상청(1992), “1978-92 지진관측보고”, p.112.
 5. 전명순, 정승환, 지헌철, 전정수, 신인철, 1992, “지진연구-92년도 양산단층에서의 지진 연구”. 한국자원연구소 연구보고서 KR-92-1G-3, p53.
 6. 전명순, 지헌철, 전정수, 정승환, 1993, “지진연구”, 한국자원연구소 연구보고서 KR-93-1G-4, p41.
 7. 전명순, 최위찬, 박근필(1993), “한반도와 그 주변의 Neo-Tectonic에 관한 연구”, 한국자원연구소 연구보고서 KR-93-(B)-14, p.86.
 8. 최위찬, 황재하, 윤옥, 김동학, 1988, “어일(1/25,000)지질도폭 보고서”, 한국동력자원연구소 NI 52-2-07-4, p42.
 9. Jun, M.S. and Kim, W.Y., 1990, Source Mechanism of shallow intraplate earthquakes in the western Sea of Japan and their tectonic implication. in Souce parameters of shallow intraplate earthquakes in and around the Korean Peninsula and their tectonic implication, Doctoral thesis of seismological department, Uppsala University.
- Okada, A., Watanabe, M., Sato, H, Jun, M.S., Jo, W.R., Kim, S. K., Jeon, J.S., Okada, A., Watanabe, M., Suzuki, Y., Kyung, J.B., Jo, H.R., Kim, S.K., and Oike, K., 1995, Active fault topography and fault outcrops in the central part of Ulsan fault system, southeastern Korea. Proceeding of 1995 Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting(abstract).

Table 1. Configuration chart of local seismic stations of KIGAM.

Stat. Name	DKJ(덕정리)	HAK(학계리)	BBK(방방골)	MKL(명계리)	MAK(매곡리)	CHS(침송)	KMH(김해)	KJM(거제)	GPE(구례)
Latitude	129.1115	129.5030	129.4373	129.2436	129.1788	129.0910	128.9268	128.5930	127.4443
Longitude	35.9443	35.9265	35.5762	35.7295	35.3673	36.1785	35.3418	34.8295	35.2587
Bedrock	shale-siltstone 호중내	tuff	basaltic tuff	백악기-제3기 화강암	백악기 화강암	화강암	화강암	화강암	풍화된 화강 암질 편마암
Seismometer	JC-V100	JC-V100	JC-V100	JC-V100	PMK-110	JC-V200	JC-V200	JC-V200	JC-V200
Natural freq.	1 Hz	1 Hz	1 Hz	1 Hz	1 Hz	0.05 Hz	0.05 Hz	0.05 Hz	0.05 Hz
Sensitivity *	3.23 V/kine	3.23	3.23	3.23	1.72	5.20	5.20	5.20	5.20
Scismograph	16ACT 1-K	16ACT 1-K	16ACT 1-K	16ACT 1-K (revised)	16ACT 1-K	16ACT 1-K (revised)	16ACT 1-K (revised)	16ACT 1-K (revised)	16ACT 1-K (revised)
Time calibration	radio	radio	radio	GPS	radio	GPS	GPS	GPS	GPS
Sampling rate **	50	50	50	50	50	50	50	50	50
A/D bits ***	16	16	16	18 (16)	16	18 (16)	18 (16)	18 (16)	18 (16)
Delay time	30 sec	30	30	50	30	50	50	50	50
Record length	80 sec	80	80	100	80	100	100	100	100
Noise level ****	8 - 45 μ kine	20 - 160	15 - 120	6 - 40	15 - 140	50 - 300	80 - 450	60 - 350	50 - 400
Trigger level	60 μ kine	120	100	60	120	350	350	300	300

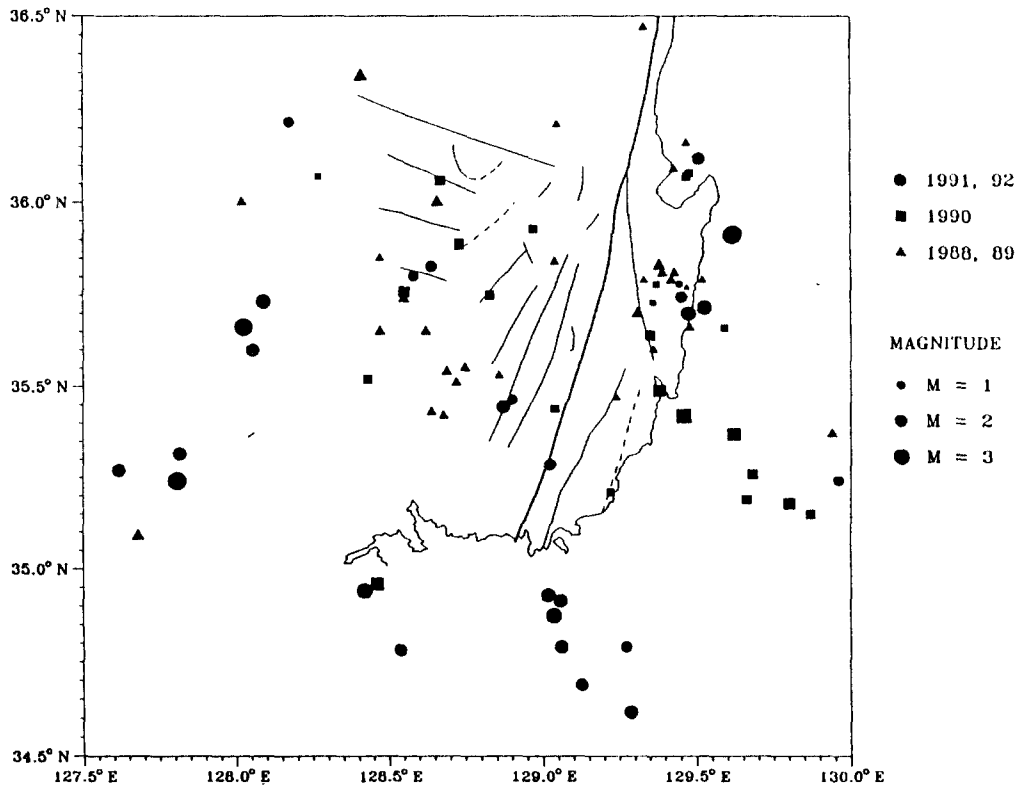


Fig. 1. Epicenter distribution map acquired by KIGAM and POSEIDON mobile network in and around Gyeongsang basin area during 1998-1992.

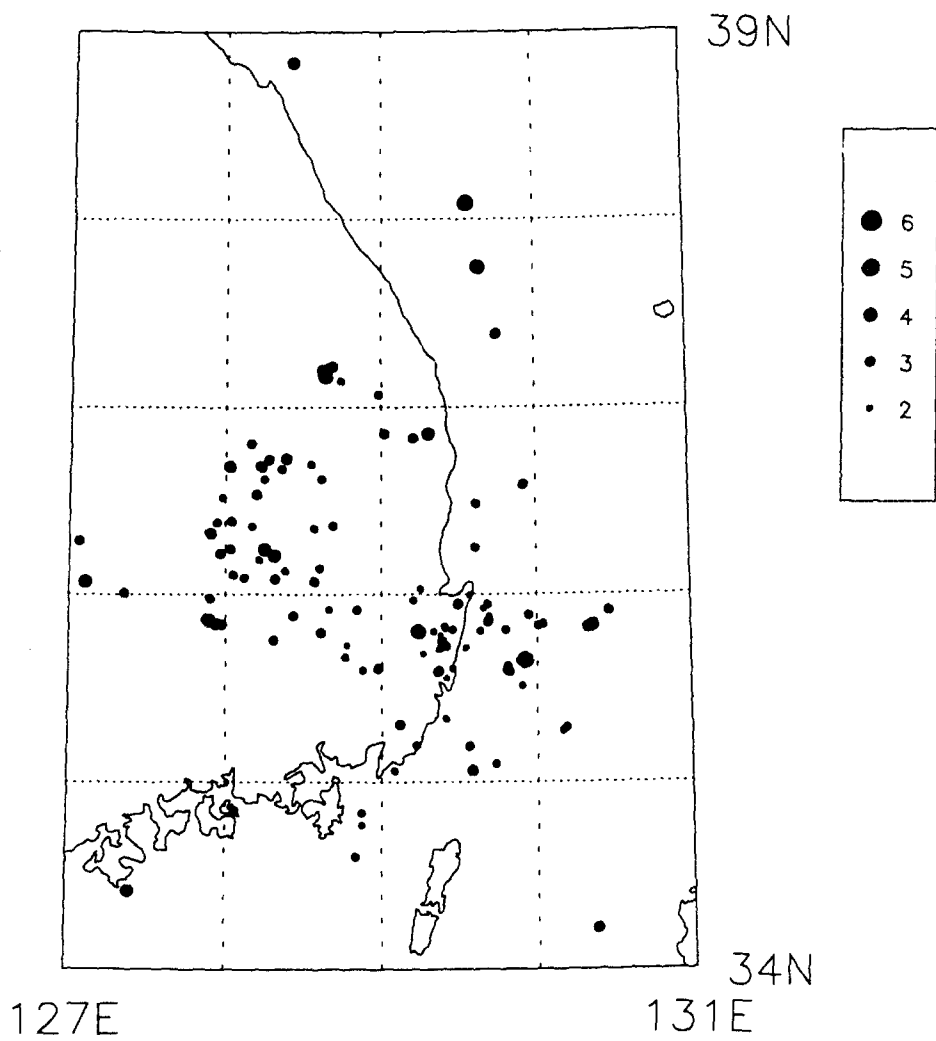


Fig. 2. Epicenter distribution map observed from 1994 December to 1998 May.