

**JHD를 이용한 경상분지 일원에서 발생한 지진의  
진원위치 재결정 (II)**  
**Relocation of Hypocenters, occurred in and around  
Kyeongsang basin, using by  
Joint Hypocenter Determination(JHD) method**

진정수\*                      박윤경\*  
Jeon, Jeong-Soo      Park, Yun-Kyung

-----  
**ABSTRACT**

Crustal velocity model is very important to determine the hypocenters of the local earthquakes, because the real crust is more complex and heterogeneous than simple homogeneous layered model. But the exact crust model in and around Kyeongsang basin area is not fixed till now. To solve this problem, Joint Hypocenter Determination(JHD) method is applied to the 151 local earthquakes, that is recorded at KIGAM local network from Mar. 25, 1999 to Dec. 16, 2001. According to the comparison of earthquake locations and depths for the conventional procedure and JHD relocation procedure, each locations is very similar, but depth distributions are different. An initial depth distribution derived from the conventional methods is irregular and does not show the general trends. JHD relocations reduce scatter and define a dipping plane.

-----

**1. 서론**

각각의 지진에 대해 독립적으로 진원위치를 결정하는 지금까지 수행해온 기존의 방식으로는 진원위치 결정시 포함된 오차를 제거할 방법은 없다. 그러나 다수의 지진과 다수의 관측 자료에 대해 진원위치와 일관성(Coherence) 오차를 동시에 계산하므로써 진원위치의 정확도를 향상시키는 Joint Hypocenter Determination(JHD) 방법이 Douglas (1967)에 의해 최초로 제안된 이후 많은 학자들에 의해 수정 및 보완되어 왔다(Pujol, 1996 ; Ratchkovsky et al., 1997 ; Viret et al., 1984). JHD 방법은 적용한 속도구조 모델과 실제 지각구조와의 차이에 의한 오차뿐만 아니라 각 관측소별 지하부의 지질구조 차이 등 진원위치 결정에 영향을 줄 수 있는 모든 오차에 대한 관측소보정치(Station Correction)를 구하여 정확한 진원위치를 결정할 수 있게 해 준다. 따라서 지각구조가 복잡하고 명확하게 지질구조가 규명되어 있지 않은 경상분지 일원에서 발생한 지진에 대해 JHD 방법을 적용하여 진원위치를 재결정하고, 이

-----

\* 한국지질자원연구원 지진연구센터, 정회원

지역에서의 지진발생특성과 지구구조와의 관련성을 일차적으로 규명하였다.

1차적으로 1994년부터 1998년까지의 156개 지진에 대해 JHD 분석을 통해 진앙의 위치와 심도를 재계산하였으며, 금번에는 1999년부터 2001년까지의 151개 지진에 대해 JHD 분석을 수행하였다. 그림 1은 이들 151개 지진의 진앙분포도이다.

## 2. JHD를 이용한 진원위치 재결정

한반도 동남부는 울진, 월성 및 고리의 3개 원자력발전소가 가동중이고 추가적으로 원자로가 건설 및 건설예정이다. 이들 원전의 지진안전성 문제는 인근 양산단층의 활동성 여부와 관련하여 국내외 학자들 간에 중대한 관심사로 대두되어 왔다. 이와 관련하여 한국지질자원연구원에서는 경상분지내 덕정, 학계, 방방골, 명계, 매곡, 청송, 김해, 거제, 구례, 청도, 무안, 김천 등 12개소의 3-성분 단주기 관측망과 경북대, 대전, 서울대, 상동, 효동리, 경상대 등 6개소의 3-성분 광대역 관측소 등 총 18개 관측소에서 1년 365일 가동하는 3-성분 디지털 지진관측망을 구성하여 1994년 12월부터 지진자료를 획득 중에 있다. 1차적으로 1994년부터 1998년까지의 156개 지진에 대해 JHD 분석을 통해 진앙의 위치와 심도를 재계산하였으며(전정수의, 1999), 금번에는 1999년부터 2001년까지의 151개 지진(전명순의, 1999; 전명순의 2000; 전명순의 2001)에 대해 JHD 분석을 수행하였다. 그림 1은 이들 151개 지진의 진앙분포도이며, 대부분의 지진은 남한 지역에 골고루 분포하나 특징적으로 경주 남부와 포항 앞바다에 집중중으로 지진이 집중되어 나타나고 있다.

JHD 분석시 가장 중요한 요소는 Master Event의 선정과 각 관측소별 보정치(Station correction)를 구할 때 적용될 25개 이내의 양질의 Event를 선정하는 것이다. 금번 분석에서는 경상분지 일원의 관측소 분포와 지질학적 중요도를 고려하여 1997년 6월 26일 경주에서 발생한 규모 4.3의 지진을 Master Event로 선정하였다. 관측소별 보정치를 구하기 위한 Event 선정은 본 연구의 주 관심지역이 경상분지 일원 특히 경상분지 양산단층과 울산단층 지역이므로, 진앙의 위치는 위도는 35.5°- 36.5°, 경도는 129.0°- 130°사이로 분포하며, 최소한 6개 관측소에 이상에서 관측된 22개 지진을 선정하였다.

그림 2는 위와 같이 경주지진을 Master Event로 하고, 비교적 신뢰도가 높은 22개 지진으로부터 구한 관측소 보정치를 이용하여 151개 지진에 대해 새롭게 진앙의 위치와 심도를 재계산한 결과이다. 그림의 상단은 보정 전이며, 하단은 보정 후이다. 또한 지도상의 실선은 한국지질자원연구원에서 발행한 1:1,000,000 지질도상의 구조선이다. 전체적으로 JHD 보정 후 진앙이 집중되어 분포하거나 선상 배열의 패턴을 보여주고 있으며, 심도가 깊게 나타나는 경향을 보인다. 이는 Master Event의 심도를 다시 한번 정밀 평가하여야 할 것이다.

전술한 바와 같이 JHD보정을 수행하면 Master Event를 기준으로 관측소 보정치가 결정되고, 이를 바탕으로 모든 지진의 위치와 심도를 재결정하게 된다. 따라서 Master Event의 위치와 특히 심도의 정확성이 보정결과의 절대치에 영향을 미친다. 그러나 Master Event의 위치나 심도가 틀릴 경우 보정된 결과는 대략 Master Event의 오차 방향으로 편이가 일어난다. 그림 2를 보면 보정전과 보정후의 대체적인 진앙의 위치는 변화가 없으나 심도의 변화가 상대적으로 많이 나타나고 있는 것으로 보아, Master Event 선정에는 커다란 애러는 없는 것으로 판단된다. 그러나 더욱 정밀한 보정결과를 획득하기 위해서는 발파와 같은 정확한 지진요소가 확인된 Event가 필요하다.

경주남쪽, 울산단층 북동부 및 포항 앞바다에 소규모이지만 많은 지진이 집중적으로 분포하는 것을 명확하게 확인할 수 있다. 경주 남쪽의 경우 보정 후에는 북북동-남남서 방향의 뚜렷한 선상배열 형태를 보인다. 특히 포항 앞바다의 경우 보정 전에는 집중되어 분포하지만 특별한 패턴은 나타나지 않았으나, 보정 후에는 많은 지진이 한 곳으로 집중되어 분포하며, 지진발생 심도도 매우 일정한 변화양상을 보여주고 있다. 또한 울산단층 북동부의 진앙이 집중된 지역도 분포 지역이 집중되어 나타나며, 진앙의 변화도 일정한 형태를 보이고 있다. 이는 1994년부터 1998년사이의 지

진자료에 대한 분석결과와 유사한 양상을 보여주고 있다.

### 3. 결론 및 토의

1차적으로 1994년부터 1998년까지의 156개 지진에 대해 JHD 분석을 통해 진앙의 위치와 심도를 재계산하였으며, 금번에는 1999년부터 2001년까지의 151개 지진에 대해 JHD 분석을 수행하였다. 전체적으로 JHD 보정 후 진앙이 집중되어 분포하거나 선상 배열의 패턴을 보여주고 있으며, 심도가 깊게 나타나는 경향을 보인다.

특히 경주 남쪽의 경우 보정 후에는 북북동-남남서 방향의 뚜렷한 선상배열 형태를 보인다. 포항 앞바다의 경우 보정 전에는 집중되어 분포하지만 특별한 패턴은 나타나지 않았으나, 보정 후에는 많은 지진이 한 곳으로 집중되어 분포하며, 지진발생 심도도 매우 일정한 변화양상을 보여주고 있다. 또한 울산단층 북동부의 진앙이 집중된 지역도 분포 지역이 집중되어 나타나며, 진앙의 변화도 일정한 형태를 보이고 있다. 이는 1994년부터 1998년사이의 지진자료에 대한 분석결과와 유사한 양상을 보여주고 있다.

따라서 1998년 이전의 지진자료와 1999년 이후의 자료를 합하고, 확보 가능한 지진자료를 포함시켜 좀 더 종합적인 JHD 보정을 수행하면 더욱 신뢰도가 높은 진앙의 위치와 심도를 구할 수 있을 것이다. 이와 더불어 경상분지 일원에서의 지진파 속도구조에도 활용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 전명순, 전정수, 강익범, 지현철, 이희일, 신인철, 박동창, 김동균, 1999, 원주 KSRS 지진관측망 운영, 한국자원연구소, '99 기관고유연차보고서, p.333.
2. 전명순, 전정수, 강익범, 지현철, 이희일, 지현철, 박동창, 신인철, 이범규, 제일영, 2000, 원주 KSRS 지진관측망 운영, 한국자원연구소, KR-00(연차)-08, p.428.
3. 전명순, 전정수, 강익범, 지현철, 이희일, 신인철, 박동창, 2001, 원주 지진관측기지 및 지진망 운영, 한국지질자원연구원, KR-01(연차)-08, p.276.
4. 전정수, 전명순, 1999, JHD를 이용한 경상분지 일원에서 발생한 지진의 진원위치 재결정(II), 한국지진공학회, 1999년도 춘계 학술발표회 논문집, Vol.3 No.1, p.49-56.
5. Douglas, A., 1967, Joint hypocenter determination, Nature, Vol. 215, p.47-48.
6. Pujol, Jose, 1996, An integrated 3D velocity inversion - Joint Hypocenter Determination relocation analysis of events in the Northridge area, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 86, No. 1B, p.s138-s155.
7. Ratchkovsky, N. A., Pujol, J., and Biswas, N. N., 1997, Relocation of earthquakes in the Cook Inlet area, South Central Alaska, Using the Joint Hypocenter Determination method, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 87, No. 3, p.620-636.
8. Viret, M., Bollinger, G. A., Snoke, J. A., and Dewey, J. W., 1984, Joint hypocenter relocation studies with sparse data sets - a case history : Virginia earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 74, No. 6, p.2297-2311.

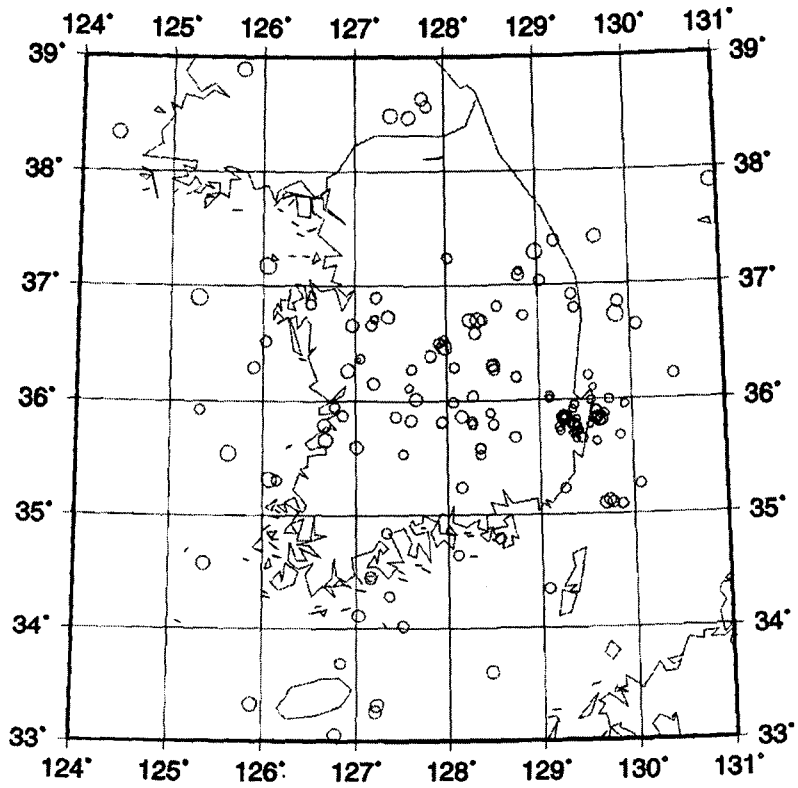
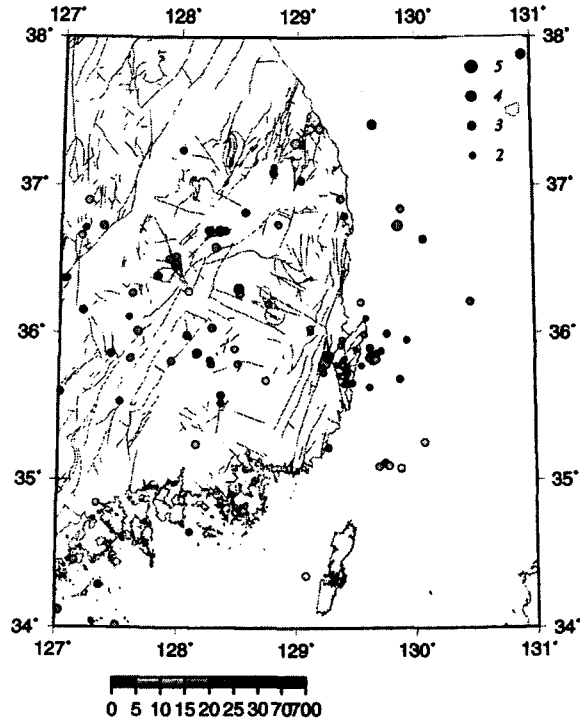
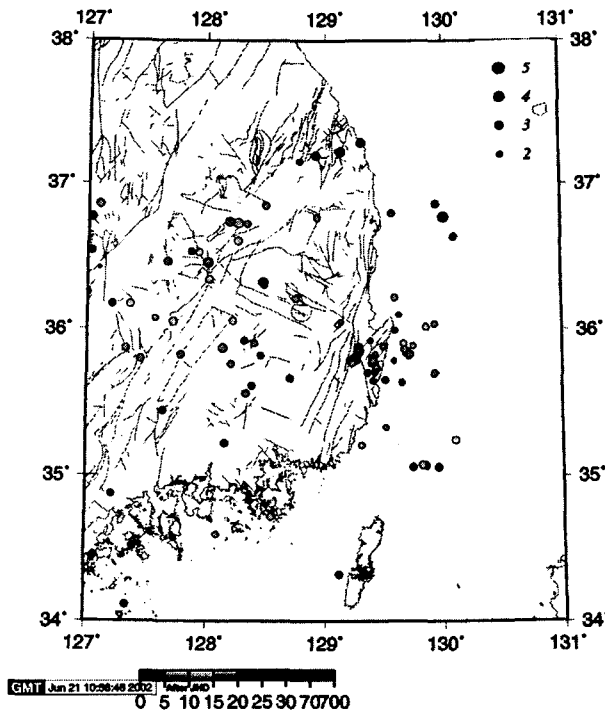


그림 1 1998년부터 2001년까지 경상분지 일원의 지진관측망에 관측된 151개 지진의 진앙 분포도



(a)



(b)

그림 2 그림 2. JHD 보정 전(a)과 후(b)