

초동 전파시간과 진앙거리의 경험적인 관계를 이용한 진앙 추정

신동훈¹⁾, 박창엽²⁾, 황의홍³⁾, 전영수¹⁾

¹⁾국립기상연구소 지구환경시스템연구팀, dhsheen@kma.go.kr

²⁾서울대학교 지구환경과학부

³⁾기상청 지진정책담당관실

Estimation of epicenter using an empirical relationship between epicentral distance and traveltime of the first arrival

Dong-Hoon Sheen¹⁾, Chang-Eob Baag²⁾, Eui-Hong Hwang³⁾, Young-Soo Jeon¹⁾

¹⁾Global Environment System Research Lab., METRI

²⁾School of Earth and Environmental Sciences, SNU

³⁾Director for Earthquake Policy, KMA

Abstract: The classic graphical method to determine the epicenter uses differences between the arrival times of P and S waves at each station. In this research, a robust approach is proposed, which provides a fast and intuitive estimation of earthquake epicenters. This method uses an empirical relationship between epicentral distance and traveltime of the first arrival P phase of local or regional earthquake. The relationship enables us to estimate epicentral distances and draw epicentral circles from each station with P-traveltimes counted from a probable origin time. As the assigned time is getting close to the origin time of the earthquake, epicentral circles begin to intersect each other at a possible location of the epicenter. Then the possibility of the epicenter can be expressed by a function of the time and the space. We choose the location which gives the minimum standard deviation of the origin time as an estimated epicenter. In this research, 918 P arrival times from 84 events occurring from 2005 to 2006 listed in the KMA earthquake catalog are used to determine the empirical P-traveltime function of epicentral distances.

Keywords: epicenter estimation, P arrival, empirical function

1. 서론

지진의 진원요소인 진원 위치와 진원시간의 결정은 지진기록 분석의 가장 기본적인 것이며 중요한 과정이다. 진원 요소 결정을 위해 일반적으로 사용하는 방법은 최소자승법에 근거하여 관측된 지진파형의 도달시간과 계산된 도달시간과의 차이를 최소화시키는 해를 구하는 것이다. 특히 최소자승법에 근거한 Geiger법을 이용하는 HYPO71 (Lee and Lahr, 1975)은 진원 결정을 위해 오랫동안 사용되어 왔다. 그 외에도 다양한 새로운 기법을 적용하여 HYPOINVERSE (Klein, 1978), HYPOCENTER

(Leinert et al., 1986) 등의 방법이 개발되어 진원 결정에 사용되고 있다. 하지만 최소 자승법에 의한 진원 결정법은 초기 조건에 크게 영향을 받으며, 정확한 지각 속도구조를 반영할 수 없기 때문에 유일해의 문제를 가지고 있다. 최근 개발된 GA-MHYPO (Kim et al., 2006)는 유전자 알고리즘을 사용하여 진원 결정을 하기 때문에 유일해의 문제로부터 자유롭다는 장점이 있지만 오차를 포함한 자료를 이용한 진원 결정 문제를 개선하기 위해 계속 연구를 진행하고 있다.

이와 같은 해석적인 방법에 의한 진원 결정법 이전에 보다 고전적인 방법에 의해 진앙을 결정하기 위해 사용한 방법이 도식적인 방법에 의한 진앙 결정이다. 이 방법은 P파와 S파의 도달 시간 차이로부터 관측소와 진앙 사이의 거리를 추정할 수 있음을 이용한 것이다. 즉 3개 이상의 관측소에서 관측된 지진파들로부터 얻은 각각의 진앙 거리를 반지름으로 하는 원을 그리게 되면 이 원들이 만나는 지점이 진앙의 위치가 되는 것이다.

Sheen and Baag (2006)은 시간 역행법을 이용한 국지지진의 진원 영상화를 소개한 바 있으며, P파의 도달 시간만으로도 진원을 영상화 할 수 있음을 보여주었다. 또한 신동훈 등(2007)은 P파 도달시간을 이용한 도식적인 방법에 의해 정성적으로 진앙 위치와 진원시를 추정할 수 있는 방법을 소개한 바 있다. 이번 연구에서는 관측된 P파의 도달 시간만으로 정량적으로 진앙의 위치와 진원시를 추정하는 방법을 개발하였다.

2. 본론

2.1. P파 전파시간과 진앙거리의 상관관계

한반도에서 P파 전파시간과 진앙거리의 상관관계를 도출하기 위해 2005년과 2006년에 발생한 87개의 지진 중 84개의 지진기록으로부터 얻은 918개의 P파 도달시간을 이용하여, Fig. 1(a)와 같은 P파 전파시간과 진앙거리의 분포를 얻었다. P파 전파시간과 진앙거리의 상관관계를 설명하는 함수는 회귀분석을 통해 구하였으며 P파 전파시간과 진앙거리의 관계를 5차 다항식의 함수로 표현하였다. 상관관계의 비교를 위해 미국 캘리포니아 남부의 2005년과 2006년에 발생한 167개의 국지지진자료로부터 얻은 11140개의 상관관계도 도시하였다(Fig. 1b). 이로부터 한반도에서 발생한 지진과 캘리포니아 남부의 지진기록의 상관관계 차이를 관찰할 수 있다. 캘리포니아 남부의 기록은 P_g 의 전파시간이 한반도의 기록보다 대체로 빠르며, P파의 초동이 P_g 에서 P_n 으로 바뀌는 진앙거리가 더 멀다. 이는 캘리포니아 남부의 평균적인 지각 속도가 한반도 보다 빠르며 모호면의 깊이가 더 깊다는 것을 의미하는데, 이는 다른 연구결과와도 잘 일치한다 할 수 있다(Hadley and Kanamori, 1975; 김성균 등, 2006).

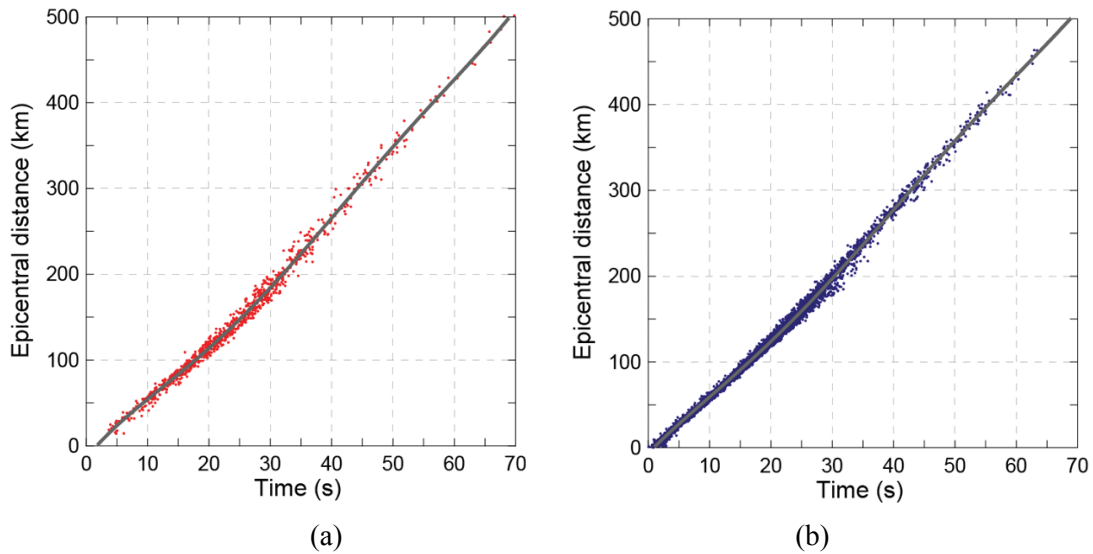


Fig. 1. Empirical relationships between P arrival time and epicentral distance of (a) Korea and (b) Southern California.

2.2. P파 전파시간과 진앙거리의 상관관계를 이용한 진앙 추정 기법

도식적인 방법에 의한 진앙 위치 추정에서는 임의의 기준시간을 시간의 역순으로 진행시키면서 각 관측소에서부터 진앙거리를 반지름으로 하는 원을 그림으로써 진앙의 위치를 추정하였다(신동훈 등, 2007).

진앙의 위치와 진원시를 정량적으로 추정하기 위해 2단계를 거친다. 첫 번째 단계에서는 기준 시간을 역으로 진행시키면서 진앙거리를 반지름으로 하는 원을 각 관측소를 중심으로 그린다. 두 원의 교점을 지나는 직선들이 3개 이상 생기는 순간까지 진행시키는데, 이 3개의 직선들의 교점이 최초의 진앙으로 추정된다. 두 번째 단계에서는 추정된 진앙을 중심으로 하는 지역을 작은 격자들로 나누고, 나눠진 각 격자점을 진앙으로 했을 경우 각 관측소의 진원시를 추정한다. 이렇게 추정된 진원시의 표준편차가 제일 작은 지점을 새로운 진앙의 위치로 결정한다. 그 다음은 이 지점을 중심으로 좀더 작은 지역에 대해 더 작은 격자 간격으로 세분하여 진원시의 표준편차를 계산한다. 이와 같은 격자 추적 방법을 통해 진원시의 표준편차가 제일 작은 지점을 진앙으로 추정하며, 각 관측소 별 진원시의 평균을 해당 지진의 진원시로 판단하였다.

2.3. 진앙 추정법의 적용

P파 도달시간과 진앙거리의 함수를 이용한 진앙 추정 기법의 검증을 위해 2004년 5월 29일 울진해역에서 발생한 규모 5.2의 지진을 이용하였다(Fig. 2). 첫 번째 단계에서 구한 진앙의 위치는 위도 36.6710° , 경도 129.3463° 이었고, 반복적인 계산을 통해 최종적으로 구한 위치는 위도 36.7066° , 경도 130.2477° 이다. 이 계산의 결과로 얻어진 진원시의 표준편차 분포는 Fig. 2a에 도시하였다. Kang and Baag (2004)에서는 이 지진의 진원을 위도 36.626° , 경도 130.054° 로 분석하였으며 기상청은 위도 36.80° , 경도 130.20° 으로 분석하였다(Fig. 2b). 그리고 추정된 진원시는 한국 시간으로 각각 19:14:22.364, 19:14:25.82, 그리고 19:14:24.00이었다. 이러한 분석 결과를 비

교해 볼 때 본 연구에서 제안한 방법으로 추정된 진앙이 기존의 분석된 결과와 어느 정도 잘 일치함을 알 수 있었으며, 계산에 필요한 시간이 수 초 밖에 걸리지 않는 장점이 있다.

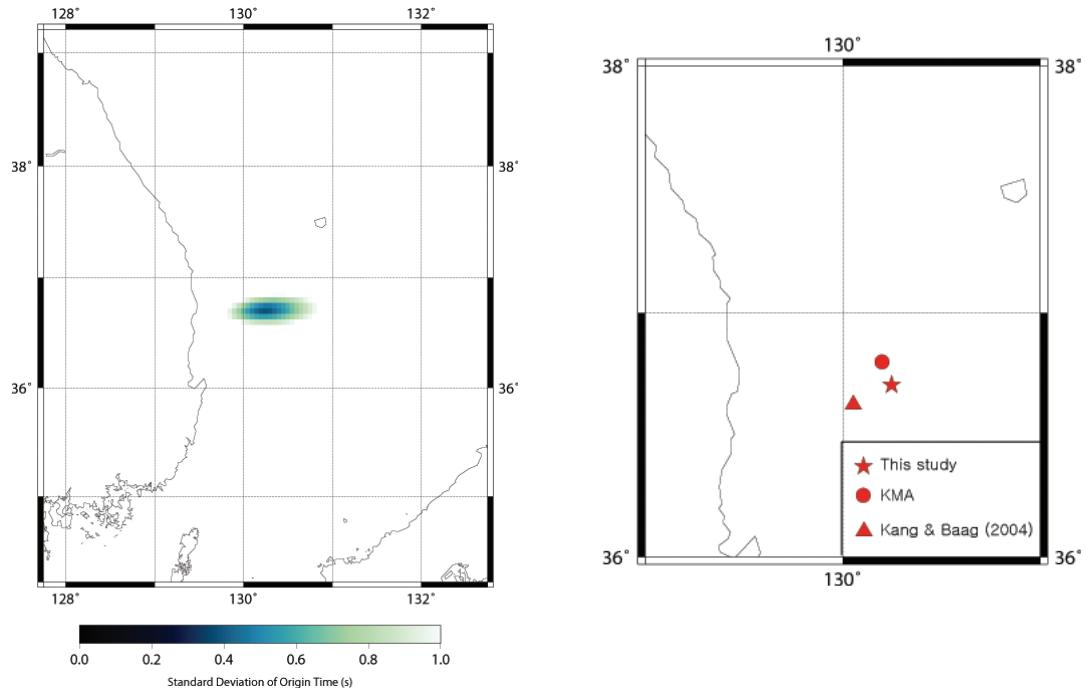


Fig. 2. Distribution of standard deviation of origin time (a) and estimated location of the 29 May 2004 offshore Uljin earthquake (b).

3. 결론

본 연구에서는 P파 도달시간과 진앙거리의 경험적인 상관관계를 이용해 진앙을 추정하는 방법에 대해 살펴보았다. 도식적인 방법에 의한 진앙 추정법을 개선하여 2단계의 계산과정을 거쳐 진앙의 위치와 진원시를 정량적으로 계산할 수 있는 방법을 개발하였다. 기존의 분석된 결과와 비교해 볼 때 진앙의 위치가 잘 일치하는 것을 알 수 있었으며, 계산시간 또한 수초밖에 걸리지 않는 장점이 있어 신속한 지진 정보를 생산하는데 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 기상연구소 “한반도 지진관측환경 및 지진해일 예측 연구” 과제의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

- 김성균, 전명순, 전정수, 2006, 국내 지진활동 및 지각구조 연구동향, 자원환경지질, **39**, 369-384.
- 신동훈, 황의홍, 남성태, 전영수, 2007, P파 도달시간을 이용한 도식적 진앙 추정, 2007년도 한국지진공학회 학술발표회 논문집, 한국지진공학회, 한양대학교 안산캠퍼스, 2007년 3월 16일, 23-30.

- Kim, W., Hahm, I.-K., Ahn, S. J., and Lim, D. H., 2006, Determining hypocentral parameters for local earthquakes in 1-D using a genetic algorithm, *Geophys. J. Int.*, **166**, 590-160.
- Klein, R. W., 1978, Hypocenter Location Program HYPOINVERSE Part I: Users Guide to Versions 1, 2, 3 and 4, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.* 78-694.
- Lee, W.H.K. & Lahr, J.C., 1975. A computer program for determining local earthquake hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, *US Geol. Surv. Open file Rep.*, 75-311.
- Lienert, B. R., Berg, E., and Frazer, L. N., 1986, Hypocenter: An Earthquake Location Method Using Centered, Scaled, And Adaptively Damped Least Squares, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **76**, 771-783.
- Sheen, D. -H. and Baag, C. -E., 2006, Imaging of seismic sources using local earthquake data, *Eos Trans. AGU*, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract S41C-1339.