

실시간 지진 P파 검출 알고리즘 Autopicking algorithm of P wave by real-time

류용규* 김명수**

RYOO, Yong Gyu KIM, Myung Su

ABSTRACT

A new picking algorithm has been developed on real-time basis for finding the onset of P wave as well as discriminating the micro seismic signal from artificial noise.

Unlike the previous methods which have used the STA/LTA ratio for discriminating the P arrivals, we have adopted the slope discrimination methods for identifying the P onset. As result, this algorithm has been turned out to be efficient in both accuracy and computation in on-line system.

1. 서 론

과거 50년 동안 지진활동을 감지하기 위한 지진파형의 자동적 검출은 많은 지진관측망이 구축 되면 발전하게 되었다. 지진계에 기록된 지진파형은 지진관측소의 배경잡음, 미소지진기록을 포함하고 있기 때문에 지진파형을 검출하는 것이 어렵다. 노이즈 레벨은 낮으면 낮을수록 관측환경이 좋아 미소지진을 잘 관측할 수 있다. 또한 지진의 규모크기에 따라 지진발생 횟수가 기하급수적으로 증가한다. 그러므로 미소지진의 경우에도 실시간·자동적으로 결정할 수 있도록 해야 한다.

실시간적인 지진파형 검출은 지진관측소의 배경잡음이나 관측망 여건에 따라서 매우 많은 파형을 분석해야 하고 이들을 이용하여 빠르게 지진요소를 결정하여야 한다. 기상청은 지진관측망의 확충 사업으로 많은 지진계가 설치되어 양질의 지진자료가 산출되고 있으나, 이들 자료를 실시간적으로 분석하는 도구들은 외국 지진분석 프로그램을 이용하고 있다. 기상청에서는 실시간적으로 지진파형을 분석하기 때문에 단시간의 요소계산과 정확성이 높은 계산 알고리즘이 필요하다. 이들 위하여 미소지진의 경우에도 실시간적으로 지진 P파를 검출할 수 알고리즘을 개발하였다.

대부분의 지진파형검출은 시간영역에서 이루어진다. 시간영역에서 구간별의 변화의 양상을 가지고 검출할 수 있다. 지진파형은 균질하지 않은 지각 경로를 통하여 지진파형으로 기록됨으로 이들 양상은 매우 복잡하고 다양하다. 그러나 지진요소를 실시간적으로 결정하기 위해서는 단순화된 지진파형만을 검출하여 신속하게 결정할 수 있겠다.

*기상청/기상연구소 해양기상지진연구실, 정회원

**케이아이티밸리(주)

실시간 지진파형 분석방법에는 일반적으로 Short-Term-Average (STA)/Long-Term-Average (LTA) 방법을 주로 사용한다. 또한 AutoRegressive(AR) Filter를 이용하여 배경잡음을 제거하고 지진파형을 검출하는 방법인 Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike 1973) 방법이 사용되고 있다.

2. 본 론

2.1 실시간 지진 P파 검출 방법

지진자료 획득장비에서 아날로그신호를 디지털신호로 변환된 자료로부터 임의의 샘플간격을 이용하여 두지점간의 기울기를 구할 수 있다. 배경잡음 구간에서는 그 기울기 평균적인 기울기 값과 비교하여 비슷하게 0.5~1.5 배 정도로 나타난다. 만일 그 이상의 평균 기울기를 갖는다면 지진관측소는 지진자료의 신뢰성에 문제가 있을 것이다.

어떤 지진관측소에서 배경잡음 시에는 일정한 기울기 변화를 갖는다. 그림 1에서와 같이 사각형 끝점을 갖는 기울기와 지진파형이 도달되는 순간의 원 끝점의 직선과 같이 이들 두 지점에서 기울기는 약 100배 이상 값의 차이를 갖게 된다. 이와 같은 기울기 변화를 갖고 실시간 지진 P파를 검출하게 된다. 또한 실시간으로 기록된 지진파형의 두 지점간의 기울기를 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{기울기} = \left| \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right| = \left| \frac{(y_2 - y_1)}{\text{interval}} \right| \quad (1)$$

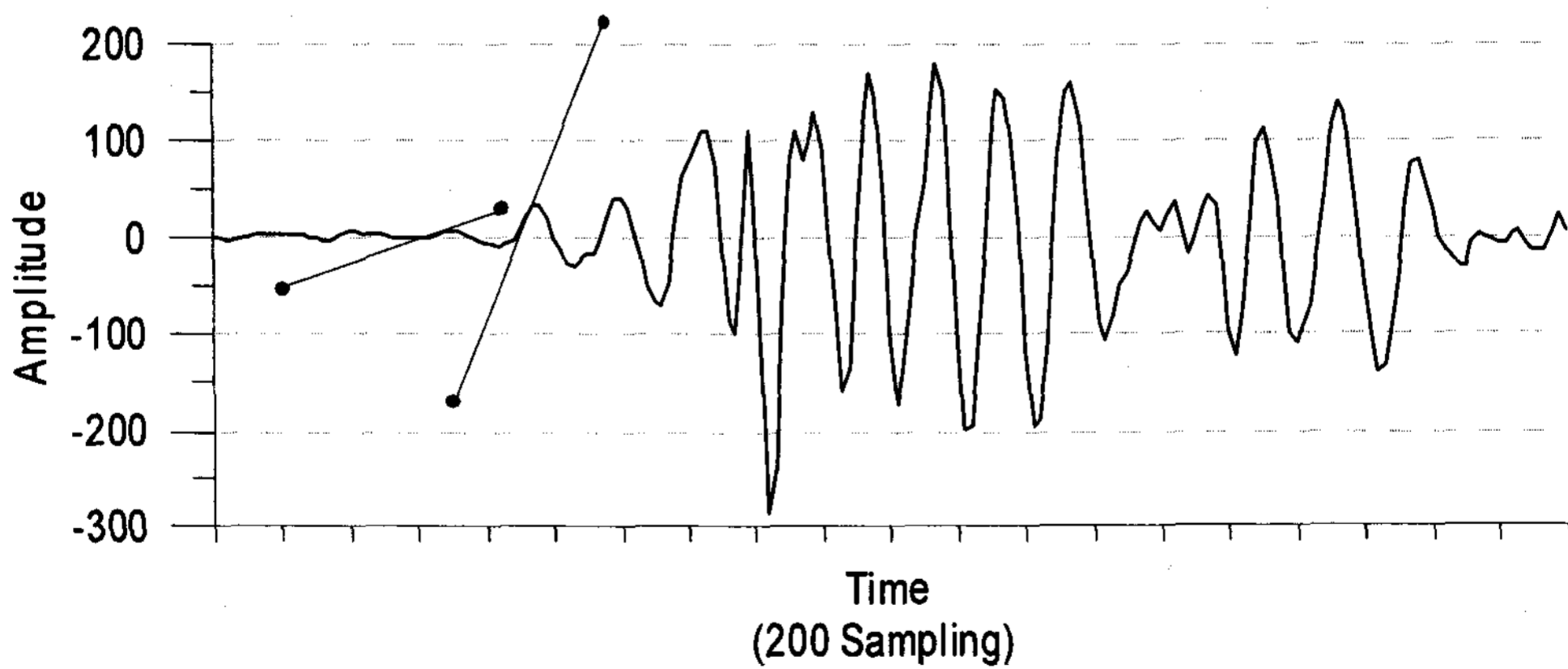


Figure 1. Example of an automatic P pick using this study method.

SNR(Signal Noise Ratio) 방식은 STA 와 LTA의 비율을 일정한 시간창의 평균값을 이동 및 교차하면서 값을 검사해 나가는 방식으로 식(2) 과 같다.

$$E(t) = \sqrt{s(t)^2 + \bar{s}(t)^2} \quad (2)$$

이때 E 는 포락선이며, s 와 \bar{s} 는 각각 지진동기록과 힐버트 변환된 지진기록으로 STA와 LTA 를 구하기 위한 0 이상의 값이 된다. 포락선 함수 $E(t)$ 에 대하여 헤밍필터와 컨벌류션에 의한 평활화 과정을 거친후, Smoothed Ratio Function(SRF)으로부터 STA/LTA를 계산하게 된다.

시간상으로 LTA 는 STA의 뒤를 이으며, STA/LTA 비율의 임계값과 지진파의 주파수특성에 따른 시간창의 설정값에 따라 지진파의 검출여부가 결정 된다. 하지만 SNR 방식은 STA, LTA의 시간창 넓이에 비례하여 오차가 클 수밖에 없는 알고리즘이며 실시간으로 파형검출을 위한 계산을 진행 하는데 있어 많은 계산과정이 필요 하게 되어 시스템에 부하가 증가하며 결과 값이 나올 때까지도 더 많은 시간이 소요 되게 된다. 그림 1은 진앙 위도 36.4, 경도 127.3 규모 2.1 국지지진으로 약 207km 떨어진 부산관측소에서 관측된 지진파형을 STA/LTA를 이용한 파형검출과정을 보여주고 있다.

$$|H_a(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\Omega}{\Omega_c}\right)^{2N}} \quad (\Omega_c : \text{차단 주파수(rad/sec)}) \quad (3)$$

STA/LTA 방법으로 계산 결과 값은 그림 1과 같이 나타났으며, 그림 1-(a)는 실시간 지진 파형자료이며 그림 1-(b)는 0.5~10 Hz Butterworth 저역 통과필터를 통과한 파형자료이다. 이때 Butterworth 저역 통과필터는 식 (3)와 같다. 그림 1-(c)와 1-(d)는 시간창 각각 LTA 30초와 STA 2초로 설정되었다. 마지막으로 그림 1-(e)는 STA/LTA 비율과, 임계 값은 2.0로 설정 한 경우 자동 검출된 P파의 위치를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 LTA의 값은 최초의 약한 P파의 지진파가 도달됨에 따라 값이 높아지고 이에 따라 STA/LTA 값은 큰 변화가 없게 된다. 이와 같은 지진파형이 자주 나타나는 미소지진 또는 원거리지진에 대하여 STA/LTA를 이용한 P파의 자동 검출은 지진분석 시스템의 지진요소를 계산하는데 있어서 오차범위를 더욱 증가시키는 원인이 되기도 한다.

그림 2는 P파의 자동 검출 시 사용하는 STA/LTA 비율의 특징에서 볼 수 있는 지진파의 주파수 특성에 따른 변이적인 시간창 및 STA/LTA 비율의 임계값 설정, 소규모 또는 원거리 지진에서 부정확한 파형 검출 그리고 실시간 파형 검출을 하는데 있어서 비효율적인 알고리즘에 따른 시스템 부하를 줄이기 위하여 SNR이 아닌 기울기 변화 값을 이용한 실시간 지진파형 P파 검출을 수행하였다.

그림 2-(a)는 실시간 지진 파형자료이며 그림 2-(b)는 0.5~10Hz Butterworth 저역 통과필터를 통과한 파형자료이다. 그림 2-(c)는 5초간의 관측된 평균값을 나타내고 있으며, 2-(d)는 0.05초마다의 기울기의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 임계값, 그리고 그 임계 지속성을 이용하여 파형 검출 시 P파의 자동 검출의 정확도가 매우 향상됨을 알 수 있다. 그림 2-(e)는 헤밍 필터를 이용하여 평활화된 자료를 보여주고 있다.

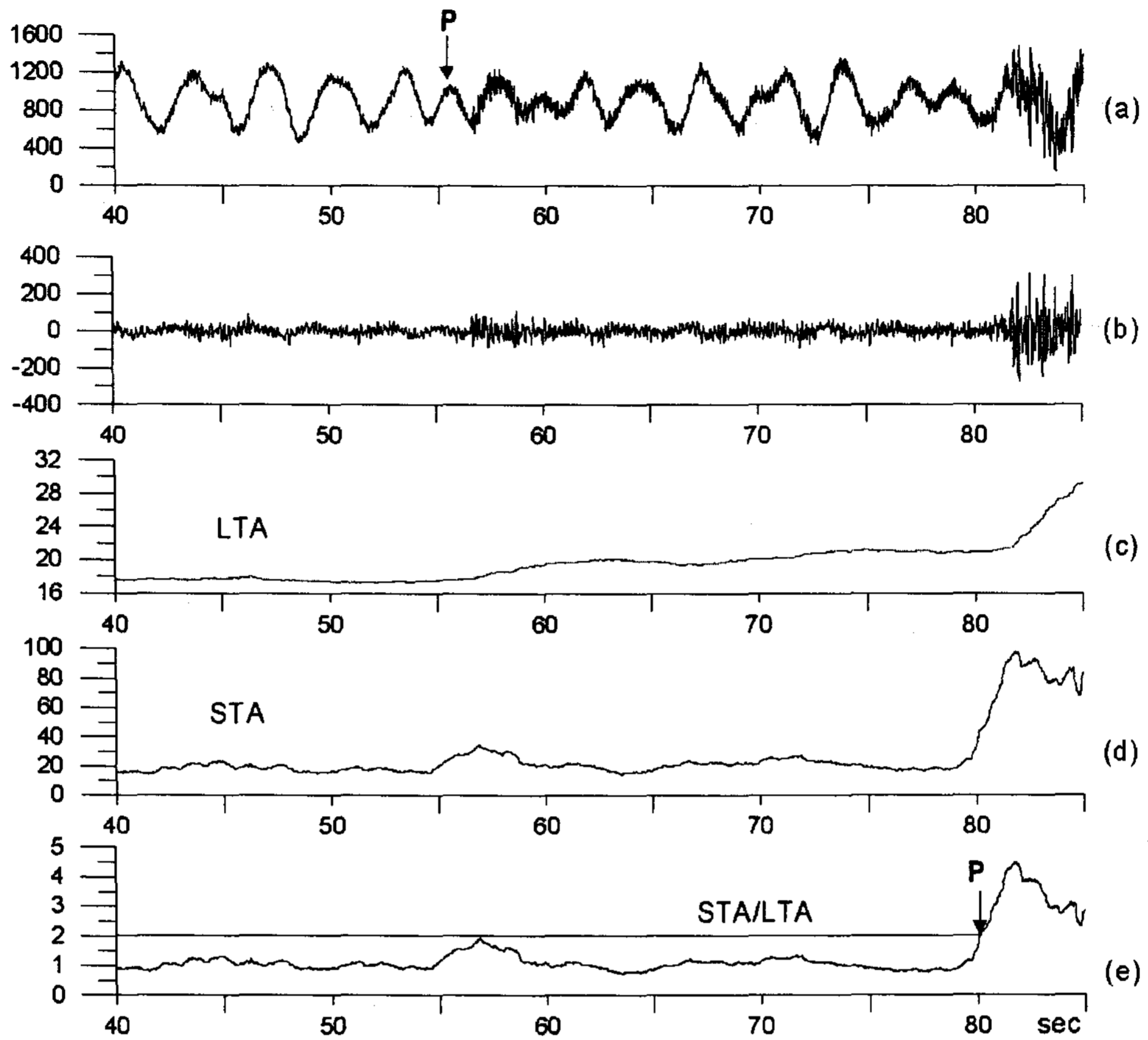


Figure 2. Example of an automatic P pick of the STA/LTA using a micro-earthquake recording at KWJ site. (a) is displayed the raw waveform. (b) is butterworth filtered data. (c) the LTA values, (d) the STA values, (e) the STA/LTA values.

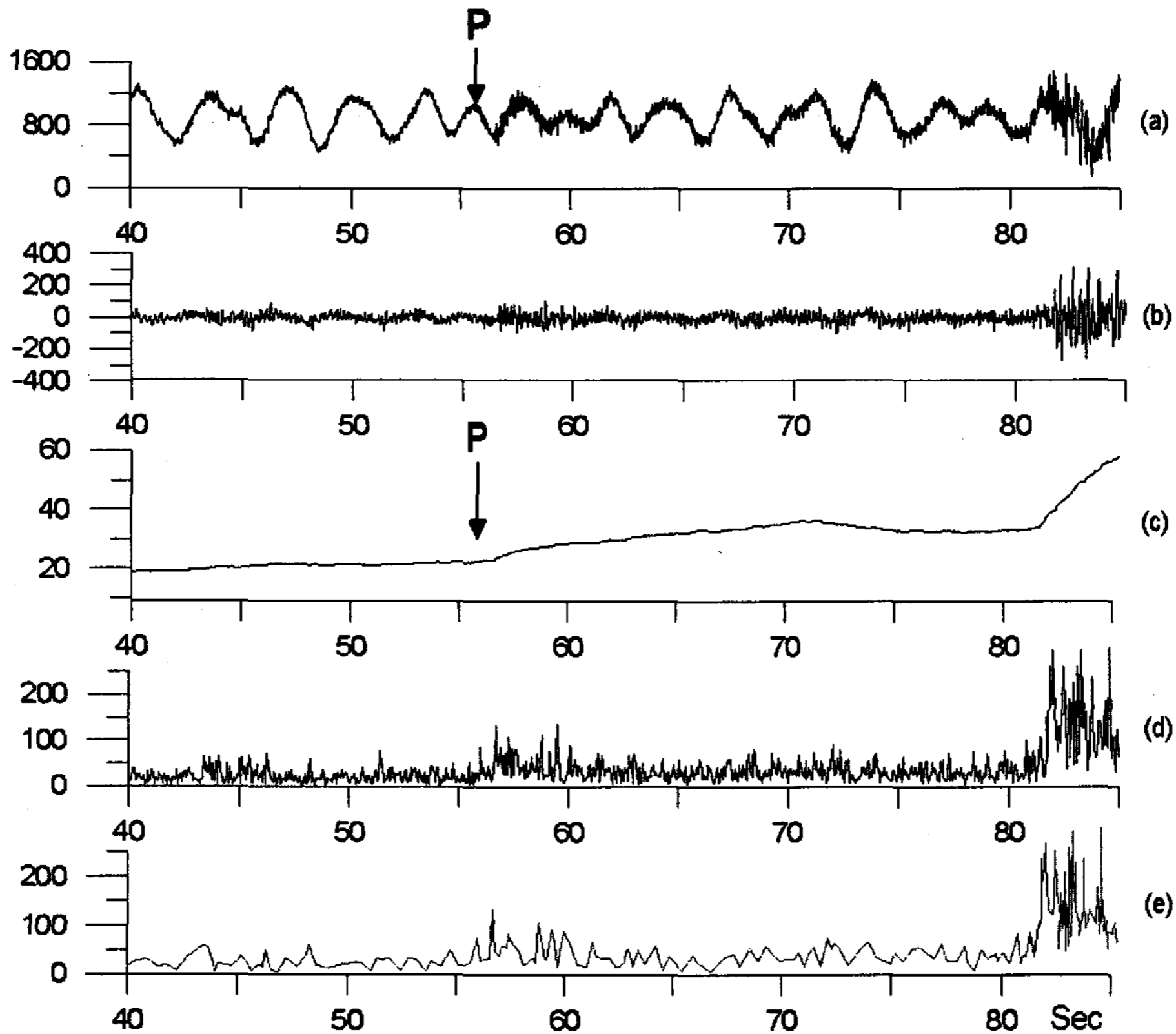


Figure 3 . Example of an automatic P pick of the this study method using a micro-earthquake recording at KWJ site. (a) is displayed the raw waveform. (b) is butterworth filtered data. (c) the average value while 5 second. (d) the slope value each 0.05 second. (e) the smoothing data of slope value of 0.05 second.

2.2 적용결과

2004년 발생한 7개의 지진에 대해 본 연구에서 개발된 알고리즘을 검증하기 위해 계산하였으며, 그 결과 표 1과 같다. 표에서와 같이 비교적 규모 3.0 이상의 경우에는 기상청 발표와 STA/LTA 방법과 본 연구의 방법의 결과와 잘 일치 한다. 그러나 규모 3.0이하의 경우에 STA/LTA은 기상청 발표와는 많은 차이를 보이고 있으며, 본 연구의 결과는 기상청 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 제시된 알고리즘으로 계산되면 배경잡음이 많은 관측소는 지진 P파가 검출 되지 않기 때문에 더욱 더 정확한 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어 2004년 5월 30일 04시 45분 41초에 경북 울진 남동쪽 70km 해역에서 발생 지진에 대한 STA/LTA 방법으로는 총 23개의 P파가 검출되었는데 그 중 배경잡음으로 발생한 파형을 P파가 9개 속해 있다 이로 인하여 잘못 결과가 계산되었다. 본 연구에서 개발된 알고리즘으로 계산한 결과 검출된 총 P파는 7개로 정확하게 검출되었다.

Table 1. The result of epicenter using the algorithm of this study.

Index	Origin Time	Epicenter		Magnitude
Report KMA	2004. 4. 26. 13:29:25	35.80	128.20	3.9
STA/LTA		35.22	127.94	
This study		36.06	129.13	
Report KMA	2004. 4. 30. 23:43:56	35.80	129.40	2.8
STA/LTA		35.70	128.32	
This study		35.80	129.40	
Report KMA	2004. 5. 30. 04:45:41	36.60	130.00	2.5
STA/LTA		35.99	127.94	
This study		36.80	130.19	
Report KMA	2004. 7. 14. 13:44:13	33.40	127.20	2.0
STA/LTA		36.53	128.64	
This study		33.40	127.20	
Report KMA	2004. 7. 14. 20:37:55	36.40	127.30	2.6
STA/LTA		36.45	127.31	
This study		36.40	127.30	
Report KMA	2004. 8. 6. 05:32:53	35.90	127.40	2.1
STA/LTA		35.84	127.32	
This study		35.85	127.31	
Report KMA	2004. 9. 15. 07:47:34	37.50	126.90	2.5
STA/LTA		34.69	124.29	
This study		37.44	126.91	

3. 결 론

본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용한 결과, 기상청 관측망에서는 잘못된 지진 P파가 검출이 감소하여, 신속하고 정확한 지진요소 결정이 이루어졌다. 본 연구에서 개발된 알고리즘은 미소지진 뿐만 아니라 규모 3.0 이상 지진에서도 P파가 잘 검출 되었다. 차후에는 실시간 S파 검출을 시도해 볼 예정이며, 실시간 지진 P파의 검출 알고리즘 및 프로그램을 개발함으로 더 좋은 알고리즘이 개발되면 적용할 수 있는 바탕을 마련하였다.

참고문헌

1. Zoltan A. Der and Robert H. Shumway, "Automatic Interpretation of Regional Short Period Seismic Signals Using CUSUM-A Algorithms", Methods and Applications of Signal Processing in Seismic Network Operations, 2002.7, P41-59.
2. Michele Basseville and Igor V. Nikiforov, "Detection of Abrupt Changes : Theory and Application", Prentice-Hall Inc, 2000. P443.
3. James N. Murdock and Scott E. Halbert, "A C Language Implementation of the SRO(Murdock) Detector/Analyzer", Open File Report 87-158, 1991. P129.
4. Akaike, H., "Information theory and an extension of the maximum likelihood principle", 1973. pp. 267-281.