

방사성폐기물처분장의 안정성 향상을 위한 합리적인 P파 도달시간 결정 알고리즘 연구

이경수, 김진섭, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

lks@kaeri.re.kr

1. 서론

실제 구조물에서 탄성파가 발생하면 경계조건에 의한 영향으로 파는 산란파 분산 그리고 반사파 등의 간섭을 받게 된다. 이에 P파를 제외한 신호의 식별은 어렵다. 따라서 음향방출법에서는 P파를 이용한 분석이 널리 이용되고 있다. 그러나 P파는 상대적으로 진폭이 작기 때문에 배경잡음 수준에 매우 민감하다. 또한 방사성폐기물처장과 같이 발파에 의한 영향으로 암반 내부에 다수의 불연속면이 존재할 경우 신호의 왜곡과 감쇠 등으로 P파의 진폭은 배경잡음 수준으로 감소하게 된다. 이로 인하여 P파의 도달시간차를 이용하여 위치표정을 수행할 경우 결과의 오차는 증가한다. 따라서 본 연구에서는 도달시간 결정 알고리즘에 대한 분석을 통하여 배경잡음과 불연속면 등의 영향으로 신호 대 잡음비가 명확하지 않은 신호에 적합한 도달시간 결정 알고리즘을 제안하였다.

2. 본론

2.1 P파 도달시간 결정 알고리즘

본 연구에 사용된 P파의 도달시간 결정 알고리즘은 Twostep Akaike information criterion(AIC)으로 식 1의 특성함수를 이용하여 미세한 신호를 증폭한 뒤 이를 식 2의 AIC에 적용하여 1차적인 도달시간을 결정한다. 이후 발생 가능한 오차를 최소화하기 위하여 도달시간을 중심으로 결정된 time window 내에 존재하는 신호들에 대하여 식 1과 식 2를 재차 적용하여 최종적으로 P파의 도달시간을 결정한다.

$$CF(i)=|x(i)+R|x(i)-x(i-1)| \dots \dots \dots (1)$$

여기서, $x(i)$ 는 탄성파 신호 중 i 번째 진폭, R 은 실험을 통하여 획득되는 상수이다.

$$AIC= k \log(\text{var}(x[1,k]))+(N-k-1)\log(\text{var}(x[k+1,N])) \dots (2)$$

여기서, k 는 신호의 순서, N 은 신호의 길이, $\text{var}(x[1,k])$ 는 신호 시작부터 신호 k 까지의 분산, $\text{var}(x[k+1,N])$ 는 $k+1$ 에서 N 까지의 분산을 의미한다.

2.2 실험방법

본 연구에는 한국원자력연구원 내의 지하처분연구시설에서 채취한 25cm*50cm*5cm 직사각형 형태의 암석시료를 이용하였다. 신호 대 잡음비가 낮은 탄성파 신호를 발생시키기 위하여 표 1의 구간에 3회씩 샤프심 압절법을 이용하였으며 발생한 신호에 임계전압 수준의 white noise를 주입하였다.

Table 1. Coordinates of source location.

음원	음원위치
1	(12.5cm, 10cm)
2	(25.0cm, 10cm)
3	(37.5cm, 10cm)

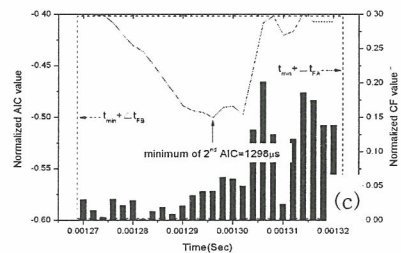
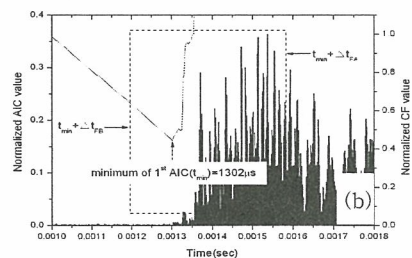
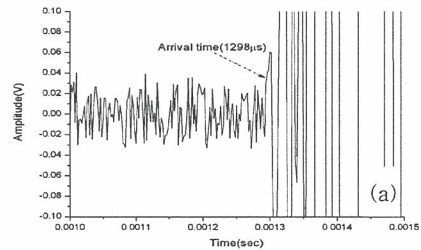


Fig. 1. First arrival determination using two step AIC.

2.3 해석결과

그림 1(a)는 발생한 탄성과 신호에 white noise 를 주입한 신호로써 P파의 도달시간은 1298 μ s이다. 특성함수를 이용하여 신호 대 잡음비가 낮은 신호를 그림 1(b)와 같이 증폭하고 AIC에 적용함에도 불구하고 1차적으로 결정된 도달시간은 4 μ s의 오차가 발생하였다. 그러나 결정된 도달시간을 중심으로 특성함수와 AIC를 반복 적용한 결과 최종적인 도달시간은 그림 1(c)와 같이 1298 μ s인 것으로 해석되었다.

결과에 대한 비교 분석을 수행하기 위하여 그림 1(a)의 신호를 음향방출법에서 널리 이용되고 있는 P파의 도달시간 결정 알고리즘인 Maji와 Shah가 제안한 임계전압법, Hinkley criterion에 적용하였다. 해석결과 그림 2와 같이 도달시간은 1304~1306 μ s로 오차가 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 임계전압법과 Hinkley criterion의 경우 배경잡음 수준 및 재료의 특성에 적합한 상수를 결정해야하는 어려움이 있다.

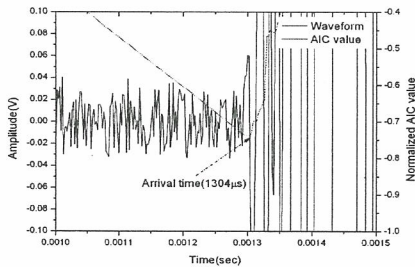


Fig. 2. Example of first arrival detection using AIC.

표 2는 본 연구에 사용된 알고리즘을 이용한 위치표정 결과이다. 세 알고리즘의 결과와는 달리 Two step AIC를 이용한 위치표정의 오차는 최대 0.7cm로써 이는 시료의 기하학적 형상과 탄성과 신호에 대한 시간 분해능 그리고 센서의 크기 등에 의하여 발생 가능한 오차인 0.86cm를 만족하는 결과이다. 따라서 Two step AIC는 신호 대 잡음비가 낮은 신호에 적합한 알고리즘으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 낮은 신호 대 잡음비로 인하여 P파의 식별이 어려운 신호에 적합한 도달시간 결정 알고리즘에 대한 연구를 수행하였으며 아래와 같은 결론을 도출하였다.

Two step AIC는 특성함수를 이용하여 P파의 진폭을 명확하게 하며 오차 발생을 최소화하기

위하여 도달시간 결정을 반복적으로 수행한다. 따라서 신호 대 잡음비가 감소하더라도 정확한 도달시간을 결정할 수 있었다. 따라서 배경잡음과 다수의 불연속면 등에 의하여 P파의 식별이 어려운 방사성폐기물처분장과 같은 지하구조물에서 Two step AIC를 이용할 경우 위치표정 결과의 정확성은 향상 될 것으로 기대된다.

Table 2. Result of source localization.

음원 위치	알고리즘	오차(평균)		오차(%)	
		X (cm)	Y (cm)	X	Y
1	임계값	0.6	0.3	45	3.3
	AIC	0.1	0.3	3.5	3.2
	Two step AIC	0.5	0.1	4.1	0.2
	Hinkley	1.1	0.4	8.7	3.8
2	임계값	1.3	0.4	5.3	4.3
	AIC	1.3	0.4	5.3	4.3
	Two step AIC	0.7	0.7	3.0	6.9
	Hinkley	1.7	0.7	7.0	7.1
3	임계값	0.5	0.6	1.5	5.8
	AIC	1	1.0	2.6	10.4
	Two step AIC	0.4	0.6	1.2	6.2
	Hinkley	1.2	0.8	3.1	8.0

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행되었습니다.