

진동계측기의 오차가 측정결과에 미치는 영향 연구

김종관 · 양형식¹⁾

1. 서론

발파진동을 추정하기 위한 경험적인 관계식을 살펴보면 주로 지반의 진동속도를 지발당 장약량과 폭원으로부터의 거리를 주요변수로 하여 나타내고 있다. 그 외 매질로서의 지반이나 발파원과 같은 변수들의 영향은 모두 발파상수와 감쇠지수 K 와 n 에 반영하는데 대상지역에서의 시험발파를 통해 K 및 n 의 상수값을 결정하는 것이 일반적이다. 계측에 있어서는 계측기의 상태, 계측기의 배열, 계측횟수, 계측자의 숙련도 등에 의해 결과의 편차가 심하다. 따라서 안정되고 일관된 계측지침의 수립이 절실하다. 본 연구에서는 계측기의 정확도가 K , n 값에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 본론

2.1 발파진동 추정식

이론적으로 진동은 진동원이 가진 에너지에 비례하고 거리에 반비례한다. 그러나 충격에 의한 진동의 발생은 지반의 성질에 따라 크게 좌우될 것이며, 더구나 그 전달특성은 지반의 충격 흡수성이나 탄성파속도와 매질의 밀도로써 표시되는 임피던스에 따라 크게 달라질 것이다. 발파진동의 전파특성을 결정짓는 조건은 크게 입지조건과 발파조건으로 나눌 수 있다. 입지조건은 발파부지와 인근 구조물의 기하학적 형태, 대상암반의 지질학적 특징 및 역학적 성질 등을 말하고, 발파조건은 사용하는 폭약의 종류, 장약량, 기폭방법, 전색상태, 자유면의 수, 발파유형, 발파원과 측정간의 거리 등이다.

이와 같이 발파변수의 복잡성으로 인하여 진동전파에 관한 이론적인 접근에는 많은 어려움이 뒤따르게 되며, 같은 암반에서도 현장의 발파조건 등에 따라 전파특성이 달라지므로 경험적인 연구의 중요성이 부각되었다. Hendron, Devine, Oriad 등 많은 연구자들은 발파현상에 관련된 변수의 차원해석과 많은 발파진동의 측정경험을 토대로 환산거리에 의한 진동추정식을 제안하였다. 식 (1)에서 거리와 지발당 최대장약량의 비인 D/W^b 를 환산거리(scaled distance, SD)라 하며, $b = 1/2$ 이면 자승근 환산거리(square root scaled distance),

1) 전남대학교 지구시스템공학과

김중관, 양형식

$b = 1/3$ 이면 삼승근 환산거리(cube root scaled distance)라 한다.

$$v = K \left(\frac{D}{W^b} \right)^n \quad (1)$$

여기서,

v : 지반의 진동속도(cm/s)

D : 발파원으로부터의 거리(m)

W : 지발당 장약량(kg)

K, n : 지질암반조건, 발파조건 등에 따르는 상수

b : 1/2 또는 1/3

식에서 지발당 최대장약량(W)과 폭원으로부터의 거리(D), 장약의 형상(b)을 제외한 나머지 변수들이 복합적으로 작용하여 K, n 에 반영된다. 양(2002)은 지반의 조건을 제외한 장약의 규모, 거리, 기록방법, 적용 산업 분야별로 추정식의 변화를 조사 보고하였다. 양 등(2004)은 우리나라의 실측 자료들을 이용하여 노천발파 표준공법에 대한 진동 추정식을 발표하였다. 백 등(2003)은 K 값이 암질 및 발파조건에 주로 영향을 받아 폭원의 위력이 커질수록 증가하는 경향이 있으며 n 값은 감쇠지수로 지질조건 및 전달특성에 지배적인 영향을 받는다고 하였다.

2.2 계측 및 자료처리

계측기의 감도에 따른 K, n 의 차이를 살펴보기로 하였다. 이를 위해 그림 1과 같이 편평한 지반에 계측기 13대를 동일 거리에 위치시키고, 동일한 지점에서 충격을 가하여 데이터를 획득하였다. 실험에는 검교정이 이루어진 계측기를 사용하였다. 각각의 PPV값에 대해 각 경우별 평균을 계산한 후 계측기별로 평균과의 편차를 표 1과 같이 나타내었다. CASE 1, 3, 5는 5m 지점에 위치시켰으며, CASE 2, 4는 3m 지점에 위치시켰다. CASE 1은 12회, CASE 5는 15회 실시하였고, CASE 2, 3, 4는 10회씩 실시하여 총 57회의 실험을 실시하였다. 계측기의 센서는 최대한 지반과 잘 부착되도록 설치하였으며, 계측기는 최대한 서로 가까이 위치시켜 계측지점별 지반 특성의 차이에 따른 영향을 최소화하고자 하였다.

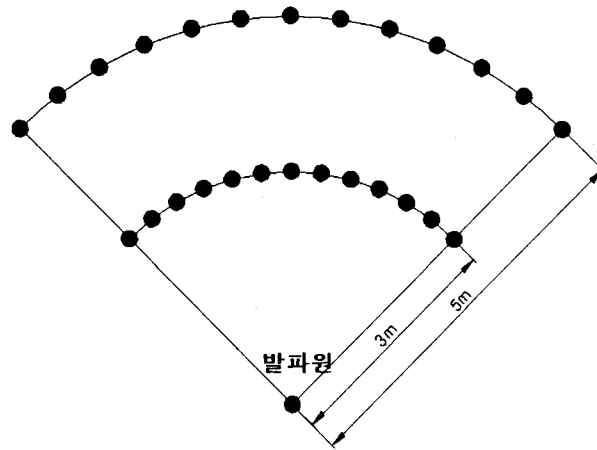


그림 1. 실험을 위한 계측기의 배열

표 1. 계측결과에의 편차

구분 계측기 번호	편차(%)					
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	AVG.
2658	-11.4	-11.4	-23.7	-24.7	-0.31	-13.0
2716	-19.8	-17.6	-4.87	-14.2	-	-14.4
4047	13.8	6.84	20.3	29.8	-1.31	12.5
4048	0.55	8.71	0.56	16.0	17.1	9.05
4049	-2.35	-3.07	13.6	7.17	25.1	9.21
4051	20.4	10.6	30.0	17.1	-14.5	10.6
4392	22.5	30.1	0.07	13.9	36.3	22.0
5151	-0.20	-4.42	-5.35	-16.6	-29.6	-12.5
5207	-15.7	-15.5	-15.1	-15.8	-5.03	-12.8
5283	2.12	8.55	10.9	7.98	2.14	5.82
5457	-7.43	-2.82	-16.5	-11.5	-	-9.45
10528	-17.6	-24.3	-12.0	-12.1	-27.0	-19.3
10663	15.3	14.5	2.13	-6.89	-4.93	3.62

2.3 K, n값의 계산

계측기의 편차에 따라서 이에 따른 K, n값의 변동을 살펴보기 위해 식(2)와 같은 진동추정식을 가정하여 D를 10 m에서 130 m까지 10 m 간격으로 변화시켰을 때 이에 따른 v값을 표 2에 나타내었다. 지발당 장약량은 2 kg으로 가정하였다.

$$v = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.5} \quad (2)$$

표 2. 계측기 배열에 따른 진동속도

거리 (m) 속도 (cm/s)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
v	10.6	3.76	2.05	1.33	0.95	0.72	0.57	0.47	0.39	0.34	0.29	0.26	0.23
v_U	12.9	4.23	2.26	1.45	1.04	0.77	0.59	0.43	0.34	0.29	0.25	0.22	0.18
v_L	10.5	3.62	1.97	1.27	0.91	0.69	0.62	0.45	0.38	0.32	0.28	0.25	0.22

4392 4047 4051 4049 4048 5283 10663 5457 5151 5207 2658 2716 10528



22.0% 12.5% 10.6% 9.21% 9.05% 5.82% 3.62% -9.45% -12.5% -12.8% -13.0% -14.4% -19.3%

(i) 양의 편차→음의 편차

10528 2716 2658 5207 5151 5457 10663 5283 4048 4049 4051 4047 4392



-19.3% -14.4% -13.0% -12.8% -12.5% -9.45% 3.62% 5.82% 9.05% 9.21% 10.6% 12.5% 22.0%

(ii) 음의 편차→양의 편차

그림 2. 편차에 따른 계측기 배열

v_U 는 그림 2의 (i)의 경우와 같이 양의 편차에서 음의 편차 순으로 계측기를 배치했을 경우 계측기별 편차를 v에 반영한 결과이다. 동일한 방법으로 v_L 은 (ii)와 같이 음의 편차에서 양의 편차 순으로 배치했을 경우의 결과이다. v_U 와 v_L 의 결과를 가지고 구한 진동 추정식은 각각 식 (3), 식 (4)와 같으며, 이때의 K, n값은 K_U, n_U 그리고 K_L, n_L 으로 나타내었고, 각각의 편차는 표 3과 같다. K 값의 경우는 77.5%, n 값은 10.7% 정도의 편차가 발생함을

확인할 수 있다.

$$v_U = 355 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.66} \quad (3)$$

$$v_L = 195 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.50} \quad (4)$$

표 3. K, n의 비교

	K	K _U	K _L	n	n _U	n _L
값	200	355	195	1.50	1.66	1.50
편차(%)	-	+77.5	-2.50	-	+10.7	-

앞선 계측실험 결과를 바탕으로 최대 편차와 최소 편차의 범위를 ±30%로 정하고 이 범위에 해당하는 데이터를 난수로 발생시켜 각 지점별 데이터에서 랜덤으로 데이터를 추출하여 추출된 데이터의 조합에 따른 K와 n 값의 변동을 살펴보았다. 1,000 회의 반복 계산을 통해서 그림 3과 같이 K 값의 변화를 도시하였다. 최소값은 104.5, 최대값은 337.9인데, 이는 임의의 배치에 따른 계산결과와 일치하지 않으며 랜덤추출에 따른 양의 편차 혹은 음의 편차의 편중과 중복에 따른 결과로 판단된다. n 값의 경우는 최소값은 1.32, 최대값은 1.63으로 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

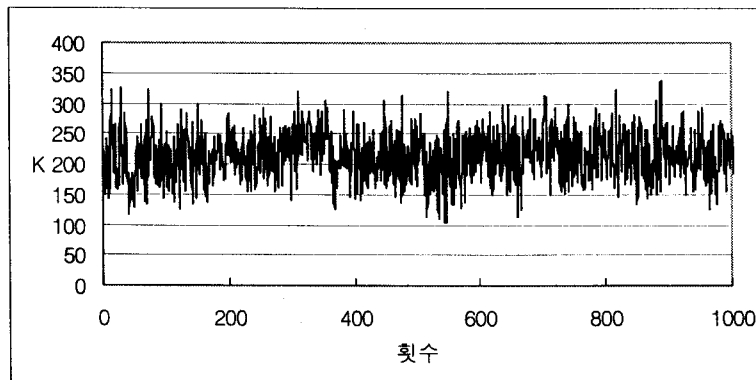


그림 3. K 값의 변동

김중관, 양형식

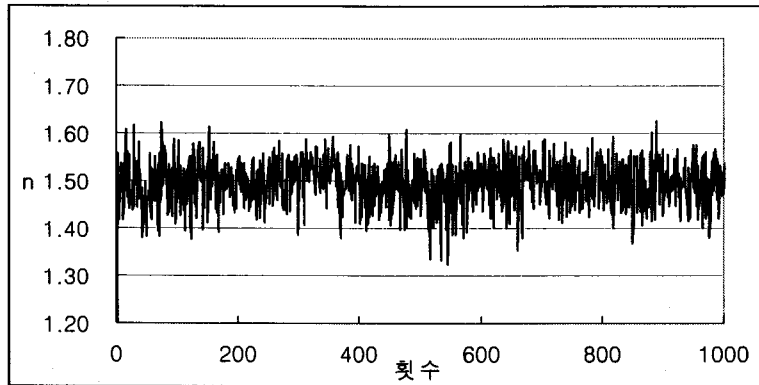


그림 4. n 값의 변동

그림 3과 4의 결과를 토대로 그림 5와 같이 진동추정식을 그래프로 나타내었다. K, n의 변동에 따라 진동추정식도 상당한 변화가 있음을 알 수가 있다. 예를 들어 v 가 0.5일 경우에 sd 값은 50에서 60까지 분포하게 된다.

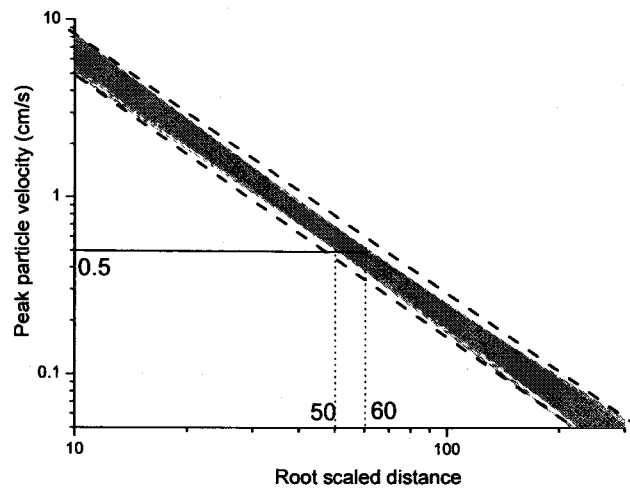


그림 5. K, n의 변동에 따른 진동추정식의 변화

3. 결론

본 연구에서는 계측기의 정확도가 계측결과에 미치는 영향을 알아보기 위해서 근거리의 동일거리에 대한 계측결과를 분석하여 이에 따른 K, n값의 변동을 살펴보았다. 정확한 계측

