

입지상수의 변화가 진동수준에 미치는 영향

양형식¹⁾ · 김종관²⁾

1. 서 론

2006년 12월 건설교통부 도로공사 암 발파 설계시공 지침이 개정되면서 설계를 위한 표준 진동추정식이 종래의 $v = 160(SD)^{-1.60}$ 에서

$$v = 200(SD)^{-1.60} \quad (1)$$

으로 변경되었다. 이 식의 변경으로 인하여 설계를 위한 진동추정치이 약 25% 향상되어 결과적으로는 동일지점에 대한 허용장약량은 축소되고 적용공법이 안전 측으로 선정되게 되었다. 따라서 설계대로 시행이 된다면 민원의 발생은 상당 부분 감소하리라 예상된다. 이러한 예에서 보듯이 입지 상수의 변동은 설계와 시공에 있어서 큰 영향을 미친다.

이 논문에서는 시험발파 등에서 결정된 추정식의 의미를 검토하는 기초 자료로 삼기위해 발파진동에 미치는 입지상수 변화의 영향을 고찰하였다.

2. 진동추정식의 검토

2.1 환산거리 진동추정식

미광무국 보고서를 통하여 알려진 환산거리 진동추정식

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

은 설계의 편리함 때문에 지금까지 전 세계에 걸쳐서 적용되고 있다. 이 식의 주 변수는 잘 알려진 대로 단당장약량 W 와 거리 D 이며 기타 발파제원이나 지반의 성질과 지형적 요인 등은 입지상수로 알려진 K 와 n 에 의해 결정된다. 특히 n 은 환산거리의 증가에 따른 감쇠의 정도를 주로 나타내기 때문에 지반의 특성을 많이 반영하므로 나머지 변수들은 주로

1) 전남대학교 공과대학 건설지구환경공학부

2) 전남대학교 대학원 지구시스템공학과

K에 반영이 된다.

2.2 실시설계 진동추정식의 검토

지침의 $v = 200(SD)^{-1.60}$ 은 2003년부터 3년간 전국 6개 지방국토관리청 산하 120여개 국도 도로공사 현장에서 계측된 자료 중 통계적 유의성을 가진 72개 보고서를 처리하여 산정된 것이다. 도로공사는 일반적으로 생산발파에 비하여 제약이 크며 조사 대상이 된 현장들은 잠정지침안의 TYPE 2~4에 해당되는 진동제어발파가 다수 포함되어 있다. 이는 실시설계를 위해 제시된 진동추정식이 일반적인 경우에 표준으로 적용될 수 있는 진동추정식이 아니라는 사실을 의미한다.

실제로 개별 현장의 경우 진동추정식 (1)과는 사뭇 다른 결과를 보여주는 경우가 허다하다. 일례로 지침 개정을 위하여 수행된 연구의 결과 지방 국토관리청별 진동추정식은 표 1과 같다.

표 1. 각 지방국토관리청의 진동추정식

지역	K ₅₀	K ₉₅	n	r	계측점 수
서울청	54.8	138	-1.46	0.87	434
익산청	55.1	168	-1.42	0.80	727
부산청	121	302	-1.68	0.89	295
대전청	240	664	-1.73	0.90	577
원주청	156	509	-1.68	0.88	217
제주청	8920	17500	-2.63	0.98	15
전체	98.8	289	-1.57	0.85	2265

이들 자료들을 살펴보면 분석된 자료의 수가 상당히 많은 편임에도 불구하고 분산이 크고 계수의 변동 또한 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 한 사이트 15점에 불과한 제주청의 자료를 예외로 하더라도 평균 진동추정식의 K 값은 55~240에 달하고 95% 수준의 진동추정식 K값도 138~664로 최대/최소값 비가 4~5배에 이르며 n 값의 변동도 1.42~1.73으로 크다. 개별 사이트의 경우는 더욱 변동이 심할 것임은 제주청 자료를 참고해보면 알 수 있다.

더구나 진동제어발파가 아닌 일반발파로 생산 발파를 할 경우에는 더욱 식의 변화가 클 것을 예상할 수 있다. 시험발파의 결과 추정식이 지침의 값과 차이가 있는 경우 계측이나 자료처리의 오류가 있는 것으로 생각하는 경우가 적지 않다. 그러나 불가지성이 높은 지반의 특성상 이러한 오차는 가능한 것이며, 초기 자료이기는 하나 Devine의 경우에도 n 값의 변동을 1.083~2.346으로 보고한 바 있다.

이러한 특성상 계측된 결과의 검토는 단순히 진동추정식의 입지상수에 대한 단순한 크기 비교로 이루어져서는 곤란하다.

3. 수치실험

3.1 시뮬레이션의 기초 자료

본 연구에서는 K와 n의 변화에 따른 진동속도 변화의 민감도를 조사하였다. 입력 자료를 결정하기 위하여 지침 개정 시 사용된 72개 보고서의 개별 사이트 진동추정식의 입지상수를 통계 처리하여 K와 n의 단순 평균과 표준편차를 표 2에 정리하였다.

표 2. 조사 입지상수 K와 n

항목	K ₉₅	n
범위	1.69~58100	0.73~2.79
평균	2,270	1.644
표준편차	8,220	0.347

표에서 n 값은 평균 1.644이고 범위가 0.73~2.79로서 Devine의 결과와 크게 다르지 않은 비교적 타당한 값 분포를 보이고 있다. 그러나 K 값은 1.69에서 58,100에 이르는 넓은 분포를 보이고 있다. 상당 부분 계측의 오류로 생각되며 많은 현장에서 1 kg 미만의 적은 규모로 시험발파를 하였거나 계측점 수가 통계처리 하기에 부족한 적은 수로 이루어졌다는 점도 영향을 미친 것으로 판단된다. 단순 평균한 K₉₅ 값은 실시설계 추정진동식의 K에 비해서도 너무 크다. 이것은 지나치게 높게 산정된 한 두 사이트의 K 값까지 포함되었기 때문이며 따라서 단순평균을 입력자료로 쓰는 것은 불합리하다.

본 연구 시뮬레이션에는 부득이 실시설계 진동추정식의 K와 n을 기준으로 하고 K의 경우 1/4, 1/2, 1, 2, 4배로 수준을 정하였으며, n은 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0으로 하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

K와 n의 변동에 따른 진동속도의 변화 양상을 그림 1~3으로 정리하였다.

K변화에 따른 진동수준 변화(n=1.60)

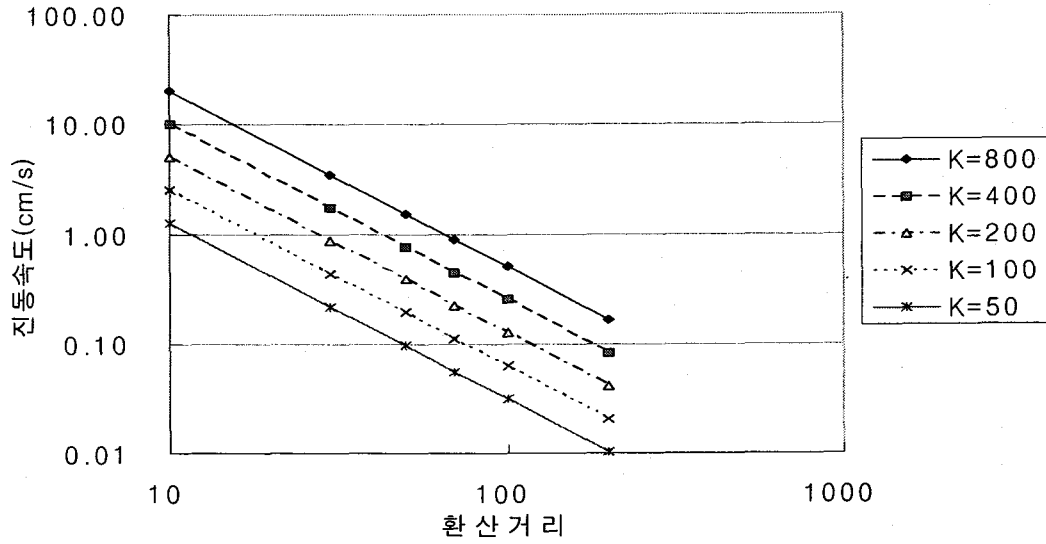


그림 1. K의 변화에 따른 진동속도의 변화

n변화에 따른 진동수준 변화(K=200)

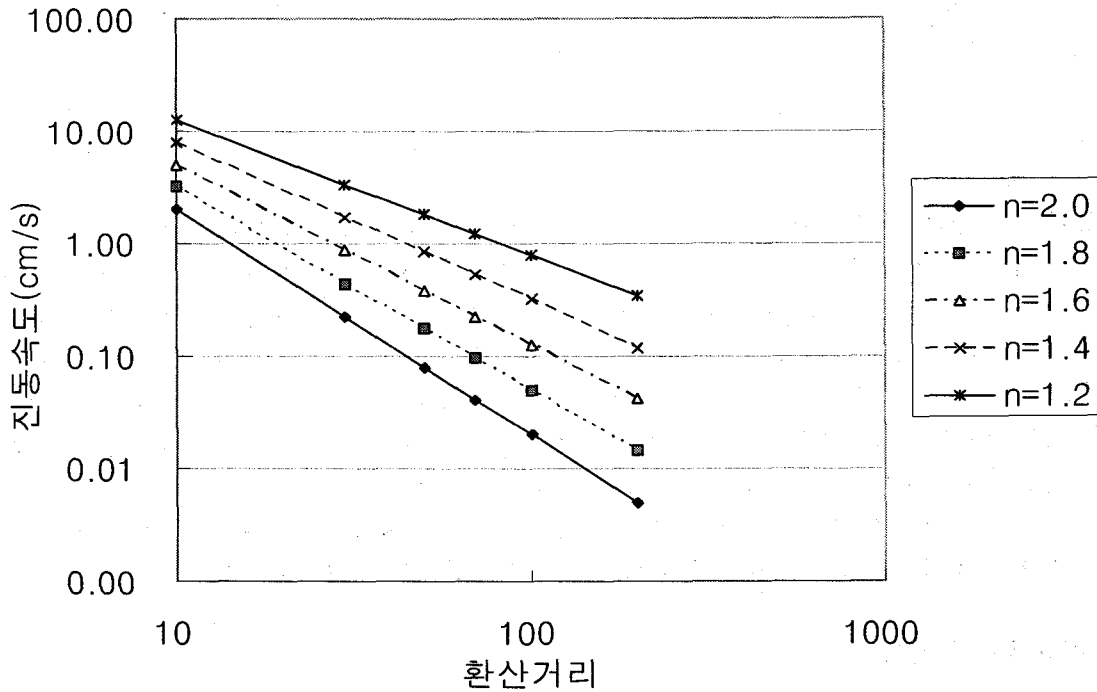


그림 2. n의 변화에 따른 진동속도의 변화

입지상수변화와 진동수준 분산

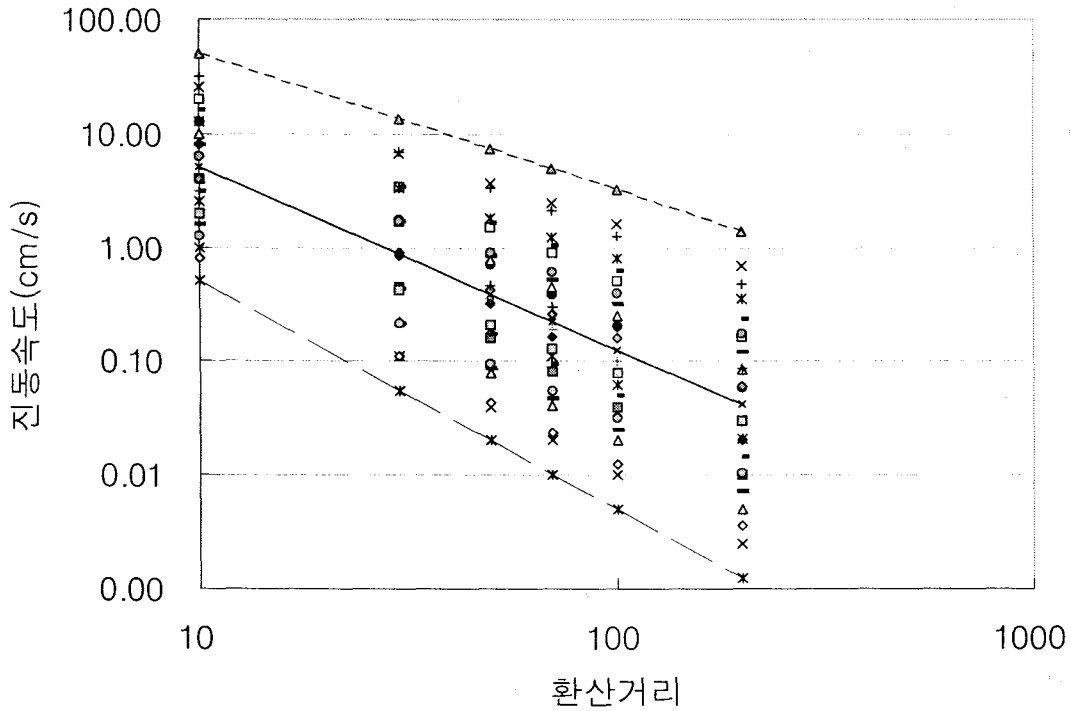


그림 3. 입지상수의 변화에 따른 진동수준의 분산

그림 1에서 n 이 고정될 경우 진동의 크기는 K 에 직접 비례한다. n 값의 차이가 0.01 수준으로 크지 않을 경우 K 값은 진동수준을 단순 비교하는 지표가 될 수 있다.

그림 2는 K 를 200으로 고정한 경우 n 값의 변화에 따른 진동수준의 변화를 나타낸 것이다. 환산거리의 증가에 따라 진동속도의 분산이 커짐을 볼 수 있다.

그림 3은 고찰된 전체 범위로 변수가 변동할 때 자료의 분산을 나타낸 것이다. 변수의 조합에 따라 진동의 크기는 1000 배 이상으로 분산될 수 있다.

양(1992)은 5 mm/s에 대한 허용환산거리를 60으로 제안한 바 있다. 한편 표준 진동추정식과 0.3 cm/s의 진동수준을 감안할 때 이에 대한 환산거리는 58 정도이며 이는 통상적인 허용환산거리로 간주할 수 있다. 본 연구에서 환산거리 58일 때 n 값 1.2~2.0에 대한 진동의 분산정도는 최대값이 최소값의 약 25배에 달한다. 즉 통상의 환산거리 영역에서 n 값의 민감도는 K 값 민감도 보다 현저히 높다. 같은 정도의 민감도를 갖는 n 의 변동폭은 ± 0.256 정도이다. 이 민감도는 환산거리가 커질수록 증가하여 환산거리 100에 대해서는 n 의 변동폭이 ± 0.236 정도로 같은 민감도를 얻게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 수치 시뮬레이션을 통하여 입지상수의 변동에 따른 진동속도 수준의 변화를 분석하였다. 진동속도는 K 의 변화에 직접 비례하며 n 의 변동에 따라 감쇠의 정도가 결정된다. 일반적으로 적용되는 환산거리 범위에서는 K 보다는 n 이 진동에 미치는 영향(민감도)가 더 큼을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 'IT 및 신소재를 활용한 급속안정화 터널 시공기술 개발(과제번호 : 05건설핵심 D03-01)'의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2006, 도로공사 암발파 설계시공지침.
2. 양형식, 1992, 지표발파의 진동특성에 관한 연구, 터널과 지하공간, Vol. 2, No. 2, pp. 199-211.