

~~~~~

# 규장암지역에서 발파공사중 K 및 n의 변화에 대한 연구

A case study on variations of the coefficients

K and n with proceeding of blasting works at the felsite zone

안 명 석\*, 박 중 남\*\*)

Myoung-Seog Ahn and Jong-Nam Park

~~~~~

## ABSTRACT

A case study was made on in site vibration velocity data collected for two months in the construction area of the Daeduck cultural City Hall. Taegu

The geology over the area shows distributions of weathered and some crack developed hornfels of mud-shale in the upper part, underlain by less weathered and hard compact quartzite.

For the period of 2 months of blasting event, the vibration velocities were measured and these data were analysed for K and n for three different periods: the test period, first month and second month.

The data for the test period show that K and n are 2464 and 1.621 with the cube root method, and 7154 and 1.791 with the square root one, respectively.

The data for the first month collected mostly from blasting in the upper hornfels show that K and n are 1668 and 1,492 for the cube root and 1219 and 1,366 for the square root, respectively.

Such a significant decrease in the K and n values from the test period through the first month for the weathered and comparatively well crack developed rocks hard and compact lower quartzite, may be due to difference in attenuation of waves propagating through physically different media.

Therefore, for more effective safety design and blasting, it seems that it may be n to adopt appropriate K and n values, with getting lower step by step while proceeding the operation.

In the meantime, the attenuation rate of K and n together with SD cross point for the cube and square root methods indicates that the cube root one appears to be more applicable than the square root for this area with limited distance(The maximum is 100m).

## 요 약

본 보고서는 대구광역시 대덕문화전당 신축공사업의 터파기 발파 현장에서 2개월간 시행한 발파 및 진동측정 사례를 분석하였다. 대상 지질은 상부에는 호른펠스화한 셰일·이암이 분포하며, 관입된 규장암질이 하부 기반암을 이루고 있다.

\* 기술사 사무소 G&B

\*\* 동아대학교 공과대학 자원공학과

2개월간의 발파작업 기간동안 수조 위에서 측정된 진동측정 데이터를 기간별로 2개의 그룹으로 나누어 K 및 n을 구하였다. 이때 시험발파의 발파진동치를 분석하였을 때 K 및 n은 삼승근의 경우 2464와 1.621, 자승근의 경우 7154와 1.791이었고, 누적발파진동치를 분석하였을 때 K 및 n은 삼승근의 경우 1668와 1.492, 자승근의 경우 1219와 1.366이었다. 이러한 시험발파 및 본 발파진행에 따른 K 및 n의 차이는 진동파가 매질을 통해 전파되면서 풍화 및 절리가 비교적 많고 강도가 비교적 약한 상부 풍화암 내지 연암층에서 풍화 및 절리가 비교적 적으며 강도가 강한 하부암반으로 발파가 진행되면서 진동전파에 따른 감쇠현상의 차이 때문이라고 생각된다. 그러므로 공사진행 도중 더욱 정밀한 안전설계 및 안전발파를 위해서는 발파작업진척도에 따라 K값의 단계별 감소적용이 필요한 것으로 판단되며, 자승근 환산거리와 삼승근 환산거리에서의 K 및 n의 감소율과 SD 교차점을 분석해 보았을 때 본 현장의 경우는 삼승근 적용이 자승근 적용보다 더욱 합리적이라고 판단된다.

## 1. 머리말

최근 대도시에서 지하철·통신구·전력구 등의 각종 지하건설공사와 도심지 재개발을 위한 택지조성 및 터파기공사 등이 활발해지면서 인구밀집 지역에서의 발파작업이 불가피하게 되고 이로 인한 인근건물에 대한 안전도문제와 불편 및 피해보상성 민원이 발생되고 있다. 따라서 이러한 민원과 주변에 피해를 최소화하기 위해서는 안전정밀발파를 하는 것이 필수적이다. 그러나 안전성과 함께 시공성·경제성의 문제 등을 동시에 고려해야 하므로 예정 설계와 시험발파를 통한 본 발파 설계 및 전문가에 의한 시공감리가 반드시 필요하다 하겠다.

본 연구는 이와 같은 문제를 정량적으로 해결하기위한 시도로, 대구광역시 남구 대명동에 위치한 부지조성공사 발파현장에서 2개월 간 344개의 발파진동 측정자료를 수집하고 이를 시험발파와 본발파로 나누어 비교 분석함으로써, 더욱 효과적이고 정확한 설계 및 예측, 정밀시공감리를 위해 본 사례연구를 수행하였다.

## 2. 측정대상지역의 지질현황과 실험방법

본 연구대상지역은 기반암으로 백악기(Cretaceous Period) 경상계 불국사 화강암류에 속하는 규장암이 분포하고 그 상부에 신라통 반야월층에 속하는 세일 및 이아이 규장암의 관입에

의해 호온펠스화 되었다. 본 지역의 규장암은 매우 견고하며 상부의 세일 및 이암도 표층부 일부를 제외하고는 Fig.1과 같이 견고한 호온펠스로 변질되었다. 이들 암석은 층리 및 절리 등의 지질구조가 주로 발달하는데 그 구조선의 주축방향은 NW이며, 부축방향은 대체로 EW방향으로 발달하고 있으며 Fig.2와 같이 압축강도 993~1897kgf/cm<sup>2</sup>, 탄성파속도 4.7~5.0km/sec로 보통암내지 경암에 해당한다.

발파대상지역주변은 20~30m 지점에 배수지, 50~60m 지점에 D역중, 도로 등이 인접하여, 정밀설계와 시공, 감독이 요구되었으므로 Table 1과 같은 허가절차(환경영향검토→시험발파허가→시험발파실시→본발파허가→계측관리)를 거쳤다. 측정위치로부터 약 20~50m 범위에 걸쳐 상부는 세일층과 하부는 규장암층으로써 발파가 실시되었으며, 진동측정은 약 6m 깊이의 지하콘크리트 배수지 수조 상부에서 측정하였다.

발파에 사용한 화약류는 폭약  $\phi$ 25mm이며 공당장약량은 0.375~1kg을 사용하는 Table 2, 3의 제어안전발파법Ⅱ를 주로 채택하였고 소발파법을 병행하였다. 진동소음측정기는 Thomas Instruments Inc(U.S.A) VMS-100S기종과 Blasmate II InstanTel(CANADA) DS-677기종을 함께 혹은 교대로 사용하여 발생하는 발파진동과 소음을 측정하였다.

### 3. 발파진동의 특성

#### (1) 국내외의 K 및 n의 연구사례

발파진동의 전파특성을 결정짓는 조건은 크게

입지조건과 발파조건으로 나눌 수 있다. 입지조건은 발파부지와 인근 구조물의 기하학적 형태, 대상암반의 지질학적 특성 및 물리적 성질 등을 말하고, 발파조건은 사용하는 폭약의 종류, 장약

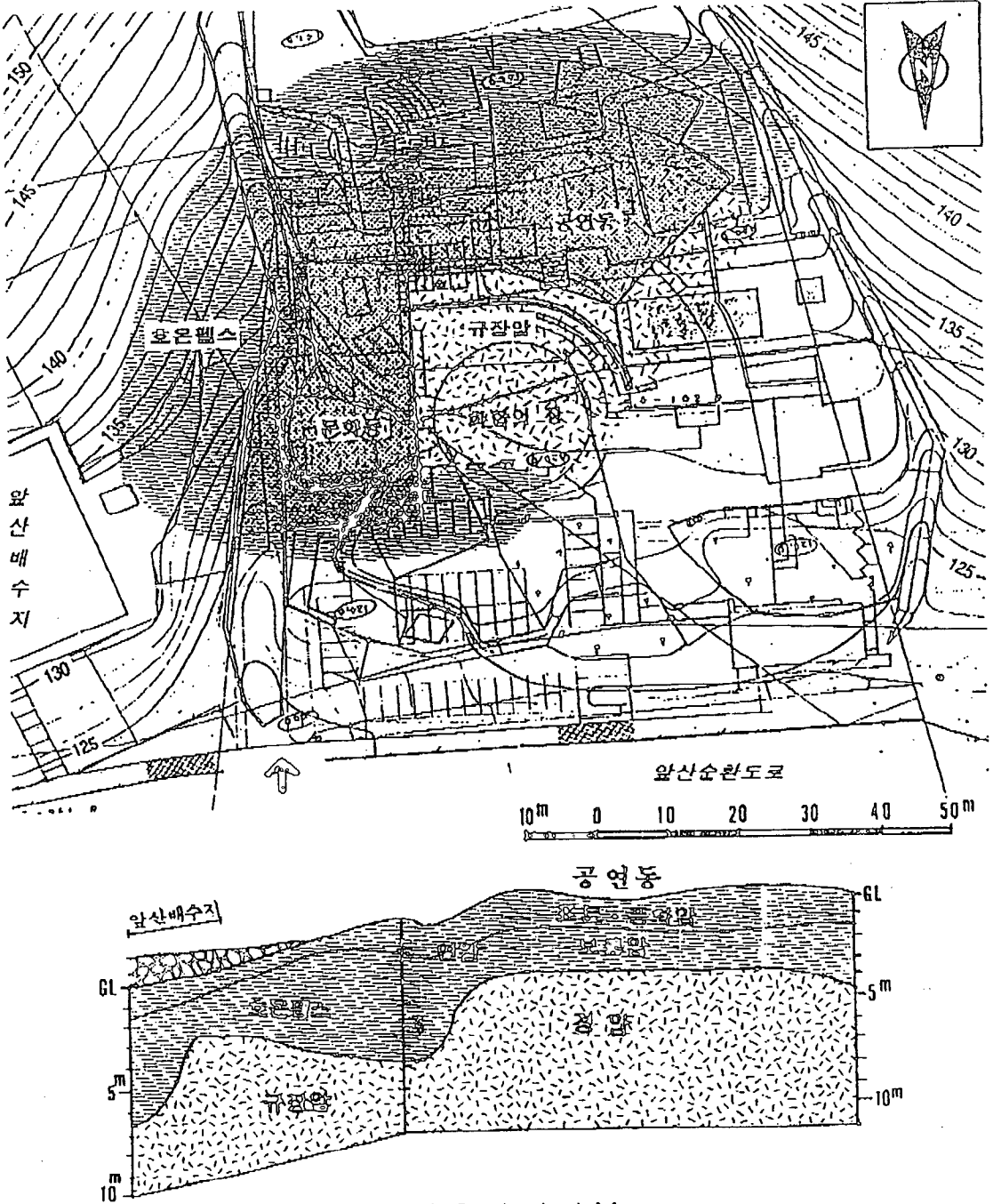


Fig. 1 Geological Map

Table 1. 화약류 사용허가 절차 흐름도

처 리 경 로 (접수후 7일내 처리)	일반적인 상황 (위험도가 적은 현장의 경우)	특수한 상황 (안전사고 및 민원발생이 우려되는 곳)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">화약류관리보안책임자 선임 및 공사준비 완료</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>1. 월 2ton이상 사용현장 : 1급선임 월 50Kg이상 2ton미만 사용현장 : 2급선임 월 50Kg미만이나 6월이상 장기 사용현장 : 3급선임</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">허가신청서작성 (관할화약판매상협조)</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>2. 화약류사용허가신청서, 사용계획서, 저장소설치 허가증 사본 등 작성제출</p>	<p>2. 경찰서장의 판단에 따라 화약류사용허가신청서(사용계획서)에 안전진단, 기술검토의견서, 발파설계, 발파환경영향평가 등을 첨부</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">관할경찰서 접수 (방법지도계)</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>3. 경찰서 민원실 경유 방법지도계 접수</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">현장답사 등 확인검토</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>4. 화약허가담당자 및 관련전문가 동승 현장답사, 검토</p>	<p>4. 경찰서장의 판단에 따라 관련 전문가(총포화약안전기술협회 안전진단 담당자, 기술사사무소를 개설 등록한 화약류관리 기술사, 토목시공기술사, 건설 안전기술사)동승, 자문 및 시험발파</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">결           재</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>5. 방법과장 경유 경찰서장 결재</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">화약류사용허가증 교부</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>6. 협회비 납부후 허가증 수령 (시행령 제78조 제1항 : 사용량 1Kg당 5원)</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">발파작업 착수</div>	<p>7. 드릴 및 화약수령하여 발파작업 수행</p>	<p>8. 시공사 혹은 경찰서장의 판단에 따라 공인기술사(사무소등록기술사)에게 발파소음진동 측정관리의뢰</p>

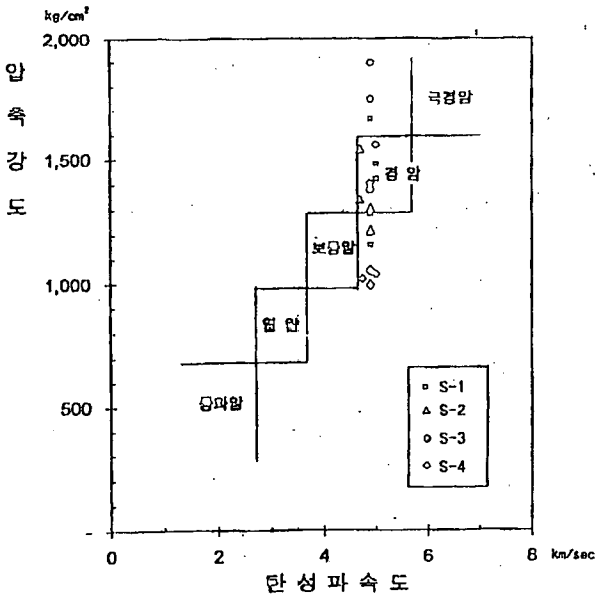


Fig.2 Rock Velocity V.S. Compressed Strength

량, 기폭방법, 전색상태, 자유면의 수, 발파유형, 폭원으로부터 측정지점까지의 거리 등이다. 이상의 요인들 모두가 발파진동의 크기와 전파특성에 영향을 미치지만 이들 중 암반내의 불연속면의 발달상황, 암반의 강도 등과 같은 탄성파의 전파와 관계가 깊은 지반의 지질특성, 지발너관의 사용으로 일정한 시간 간격으로 분할 폭파되는 지발당장약량과 폭원으로부터 측정지점까지의 거리 등이 발파진동의 크기와 전파특성에 영향을 미치

는 가장 중요한 요인이 된다. 한편 진동의 전파 특성을 이론적으로 파악하려는 노력이 많은 연구자들에 의해 계속되어 왔다. 그러나 지반내의 불연속면과 지질적 구조의 복잡성으로 인하여 진동 전파에 관한 이론적인 접근에는 많은 어려움이 뒤따르게 되며 같은 암반에서도 현장의 발파조건 등에 따라 전파특성이 달라지므로 오히려 경험적인 연구가 더욱 중요하다 하겠다.

Hendron(1968), Devine(1966), Oriad(1980) 등 많은 연구자들은 발파현상에 관련된 변수 차원해석을 근거로 하여 많은 발파진동의 측정경험을 토대로 지상구조물의 피해의 척도가 되는 지반의 진동속도를 지발당장약량과 폭원로부터의 거리를 매개변수로 하여 경험적인 관계식을 나타낼 수 있음을 제시하였다. 여러 연구자들의 경험적인 연구결과를 종합하면, 지반의 진동 변위, 속도V(cm/sec)는 지발당장약량W(kg)과 발파원로부터의 거리R(m)를 주요변수로하여 (1.1)식과 같으며

$$V = K(R/W^b)^n \quad (1.1)$$

여기서  $(R/W^b)$ 는 환산거리, 지수 b는 1/2 혹은 1/3이 된다.

또한 환산거리식의 두 변수를 분리하고 지수 계수를 달리하면 (1.2)식이 된다.

$$V = KW^a R^{-\beta} \quad (1.2)$$

Table 2. 발파공법 선정기준

발파원과의 거리(m)	30m이내	10~50m	20~100m	80~300m	200m이상
공법구분	무진동파쇄	특수발파	제어안전발파	소발파	일반발파
	팽창성 파쇄제 활암, 기계굴착	CCR, 선행이완, 이중장약, 라인 드릴링	진동제어발파	진동제어소발파	재래식발파
		CCR, 에멀전폭약	φ25mm폭약 0.125~0.5kg/공	φ25~50mm폭약 0.5~2.0kg/공	2.0kg/공
천 공 장	1.0m 이내	0.7~3.6m	1.2~2.4m	3.0~6.0m	6.0~15m

Table 3. 제어안전발파 설계기준

발 파 패턴	앞산 배수지에서의 거리	작 업 기 준	폼셈적용 작업장비
제어안전발파 I	17~30m	천공장 : 1.5m (φ 36mm) 천공간격 : 0.6~0.7m 지발당장약량 : 0.125~0.25kg	인력 드릴
제어안전발파 II	30~80m	천공장 : 2.4m (φ 36mm) 천공간격 : 0.7~0.8m 지발당장약량 : 0.375~0.5kg	인력 드릴
소 발 파	80m 이상	천공장 : 3.0m (φ 45mm) 천공간격 : 0.9~1.2m 지발당장약량 : 0.75~2.0kg	크로라 드릴

Tabel 4. Some examples of estimated coefficients of blast induced ground vibration equation in Korea

Researcher	Rock Type	Pattern of Blas	Type of Explosive	SD(Scaled Distance)	Estimated coefficients of K and n
					$V=K(SD)^n$
Chung-In Lee(1979)	Limestone	Bench Blast	ANFO	Square Root Scaled Distance	$K_{50}=45.24, n=-1.800$
Hyung-Sik Yang(1990)	Limestone	Bench Blast	Gelatine Dynamite	Cube Root Scaled Distance	$K_{50}=103.2, n=-1.64$ $K_{95}=272.0, n=-1.64$ $K_{99}=406.3, n=-1.64$
Chung-In Lee(1990)	Granite Gneiss	Bottom Blastin (Tost Blasting)	Gelatine Dynamite	Cube Root Scaled Distance	$K_{50}=128.0, n=-1.75$ $K_{95}=260, n=-1.754$ $K_{100}=367, n=-1.754$
Han-uk Lim(1992)	Gneiss Sandstone Granite	Surface Blast Tunnel Blast Surface Blast Center Cut (1 Free Face) Bench Blast (2 Free Face)	Gelatine Dynamite & Slurry	Cube Root Scaled Distance	$K_{50}=36, n=-1.337$ $K_{50}=13, n=-0.854$ $K_{50}=1027, n=-2.339$ $K_{50}=29, n=-1.230$ $K_{50}=44, n=-1.376$ $K_{50}=14, n=-1.014$

여기서  $\alpha$ 는 지수계수이고  $\beta$ 는 음의 값으로 감쇠계수이다.

(1.1)식에서  $b-1/2$ 이면 자승근 환산거리(Square Root Scaled Distance),  $b-1/3$ 이면 삼승근 환산거리(Cube Root Scaled Distance)라 한다. 일반적으로 짧은 거리에서는 삼승근이, 먼 거리에서는 자승근이 더욱 잘 맞는 것으로 알려져 있다. (1.1)식의 발파진동식에서는 지반의 공학적 성질이나 발파조건 등에 따른 진동감쇠 특성이 결국 상수  $K, n$ 에 반영되어 표시되므로, 발파설계를 위해서는 대상지역에서 시험발파를 통해  $K$  및  $n$ 의 상수값을 결정하는 것이 대단히 중요하게 된다. 현재 국내에서 발표된 발파진동식의  $K$  및  $n$ 에 대한 연구를 정리하면 Table 4와 같다. 이들 데이터는 각각의 지질암반조건과 발파조건 등이 일정하지 않아 일률적으로 비교할 수는 없지만 현재 국내에서의 경험

적인 발파진동식 결정의 현황을 파악하는 데는 유용할 것이다.

## (2) 발파진동의 안전기준

미국, 캐나다, 유럽 등에서 수십 년간 연구한 결과를 종합하면 인체가 감응하는 정도는 가속

Table 5. Safety standard for building proposed by U.S. Bureau of Mines and Dupont co.

최대진동속도 (cm/sec)	피해정도
30.5	터널암반의 낙석유발
19.3	회벽에 커다란 피해
13.7	회벽이 갈라지기 시작
7.6	밀폐지역발파의 규제치
5.0	미광무국이 추천한 안전한계

Table 6. Deuchland's allowable vibration standard(DIN 4150)

건축물의 종류	허용진동치(cm/sec)		
	<10Hz	10~50Hz	50~100Hz
유적이나 고적 등의 문화재	0.3	0.3~0.8	0.8~2.0
결함이 있는 건물, 빌딩이나 균열이 있는 주택	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
공업지역	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0

\* 1986년에 DIN4150을 개정한 진동규제기준임.

\*\* 여기서 허용기준치는  $V_v, V_r, V_l$ 의 세방향 벡터 합으로 표시하였다.

Table 7. Korean standard of admissible vibration

구분	1	2	3	4
건물분류	문화재	주택, 아파트 (실금이 나타나 있는 정도)	상가 (금이 없는 상태)	철근콘크리트빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용진동치(cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

\* 주파수는 약 100Hz까지 통용되며 서울, 부산, 대구, 인천 지하철건설시 진동허용기준치이며 노동부고시 제94-26호임

도 성분에 따라 변하고 구조물이 받는 피해의 정도는 진동속도 성분에 직접적인 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 즉 구조물이 받는 피해의 정도는 발파진동속도에 비례한다고 할 수 있다. 대표적인 각 나라의 진동속도 기준을 Table 5, Table 6, Table 7에 나타내었다.

상기 자료를 종합하면 본 연구 현장의 경우 진동안전기준은 0.5Kine이 적합하며 여기에 안전율을 60%로 하여 0.3Kine을 작업기준으로 적용하였다. 그러나 측정자료 처리는 노동부 발파진동 안전기준 0.5Kine을 확보할 수 있는 95% 신뢰범위를 선택하였다.

#### 4. 시공중 K 및 n의 변화추이

##### (1) K와 n의 결정

발파진동속도식 식(1.1)에서 환산거리 SD를 대입하고 양변에 로그를 취하면

$$\text{Log } V - \text{Log } K - n \text{ Log } (\text{SD}) \quad (2.1)$$

상기 식을 이용하여 진동속도와 환산거리의 측정값을 log-log Scale로 좌표 상에 도시하였을 때 기울기(n)와 절편(log K)으로부터 K 및 n값을 결정할 수 있다.

##### (2) 현장측정자료에 의한 K 및 n의 산출

공당장약량 및 지발당장약량 0.375~1.0kg을 사용하며 1회 발파당 2~5발씩 1~10단의 MS지

발파법으로 Table 2, 3과 같이 제어안전발파법내지 소발파법을 적용하였으며 계측관리를 하였다. 2개월간의 진동측정데이터를 기간별로 2개의 그룹으로 나누어 식(2.1)을 사용하여 각각의 K 및 n값을 구하였다. 시험발파 및 본발파시의 진동측정데이터(삼승근)에 대한 진동속도 vs 환산거리 그래프는 Fig 3, Fig 4와 같다. 또한 각 그룹별를 자승근과 삼승근 환산거리에 대한 K 및 n 값을 분석하여 Table 8에 나타내었다.

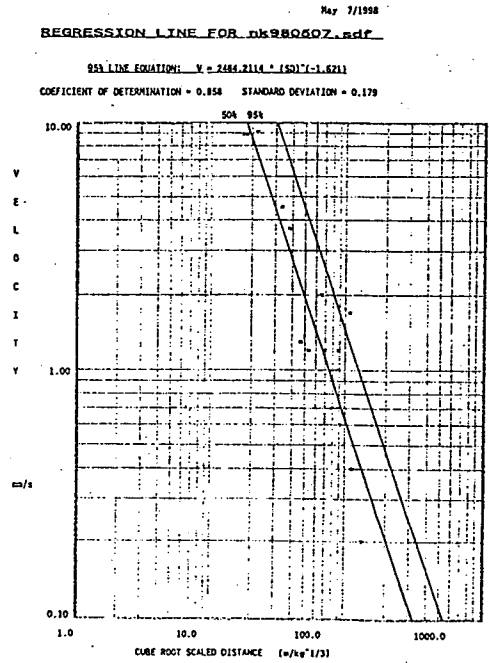


Fig 3. Vibration Scaled Velocity vs Scaled Distance(Test Blasting)

Table 8. Derived Coefficients K and n from field data

		Cube Root(1/3)			Square Root(1/2)		
		산출값	n=1.621 로 고정	n=1.492 로 고정	산출값	n=1.791 로 고정	n=1.366 로 고정
시험 발 파 (18회)	K	2464	2464	1506	7154	7154	1278
	n	1.621	1.621	1.492	1.791	1.791	1.366
본 발 파 (182회)	K	1668	2758	1668	1219	6747	1219
	n	1.492	1.621	1.492	1.366	1.791	1.366

\*참고: 상기 K값은 95% 신뢰도에 대한 산출값임.



May 7/1998

REGRESSION LINE FOR MK060702.adf

LSV LINE EQUATION:  $V = 1668.5168 * (SD)^{-1.4921}$

COEFFICIENT OF DETERMINATION = 0.679 STANDARD DEVIATION = 0.185

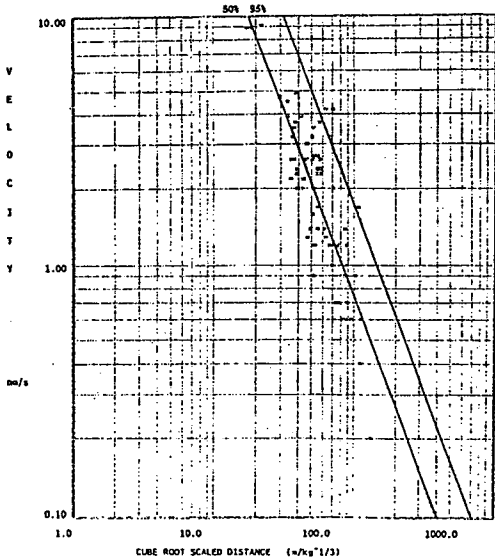


Fig 4. Vibration Velocity vs Scaled Distance(Test+1st Month)

Table 8에서 보는 바와 같이 시험발파 데이터의 분석결과 자승근과 삼승근에 대한 K값은 7154과 2464이고 감쇠지수 n은 1.791과 1.621이며, 본발파의 경우 자승근과 삼승근에 대한 K<sub>95</sub>값은 1219과 1668이며, n은 1.366과 1.492의 값을 나타내고 있다. 측정거리가 20~50m범위인 것을 고려하면 삼승근에 의한 추정이 더 안정적임을 보여준다 하겠다.

### (3) 발파진동과 콘크리트 구조물의 주파수와 진동특성

일반적으로 발파에 대한 주파수 특성은 장약량이 크거나 거리가 멀어짐에 따라 주요주파수는 저주파 성분이 되며 반대로 장약량이 작거나 거리가 짧은 경우는 고주파 성분이 주요주파수가 된다. 이것은 고주파진동이 저주파진동보다 거리에 따른 감쇠가 크기 때문이다. 구조물의 탄성과 속도는 재료에 의해 큰 폭으로 달라지나 콘크리트나 조적벽과 같은 경우 10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup>mm/s가 건물

피해라고 생각되며, 지반상과 건물 1, 2층의 진동을 비교해 보면 상하동은 대체로 불변내지 감쇠경향을 보인다고 한다. 또한 구조물의 공진은 전형적으로 5~20Hz의 낮은 주파수에서 일어나므로 같은 크기의 진동의 경우에도 먼거리에서 더 큰 피해가 일어날 수 있다. 미국노천채광국(O.S.M)에서는 거리에 따라 허용진동 기준을 달리하는 지반진동규제기준을 제시하기도 하였다.

Table 9. American O.S.M's regulations of ground vibration Limits

Distance from the blast site(ft)	Maximum Allowable Particle Velocity(Vmax) Ground Vibration (in/sec)	Scaled distance Factor be Applied Without S-mic Monitoring
0~300	1.25	50
301~5000	1.00	55
5001 and beyond	0.75	65

본 연구에서는 진동속도의 각 성분에 대하여 거리, 환산거리 및 장약량에 따른 주파수 성분의 분포를 분석한 결과 전체적인 주파수 분포는 10Hz~500Hz이상까지 광범위한 분포를 나타내었으며 주요주파수범위는 20Hz~180Hz이며, 500Hz이상의 고주파 성분은 모두 수직성분에서만 나타나고 있다. 이러한 고주파의 수직성분은 주로 실체파적 파의 전파특성에 기인한 것으로 보이며, 다른 두 성분은 전형적인 표면파 특성으로 여겨진다. 또한 Fig. 5, Fig 6, Fig 7에서 보는 바와 같이 거리, 환산거리 및 장약량의 크기와 주파수 분포와의 뚜렷한 상관성을 확인하기는 어려웠다. 이러한 결과는 측정이 발파지역으로부터 약 20~100m정도의 비교적 근거리에서만 이루어져 측정오차의 한계가 큰 때문인 것으로 해석된다.

## 5. 결과토의

### (1) 감쇠지수 n의 변화

이미 기술한 바와 같이 시험발파 및 본발파의 진동속도데이터의 분석결과 산출된 n치는 자승근의 경우 1.791, 1.366 삼승근의 경우 1.621, 1.492로서 발파가 진행됨에 따라 자승근의 경우 작아지는 경향을 보이며, 삼승근의 경우 다소 높아짐을 알 수 있다. 이것은 지면으로부터 레벨이 낮아질수록 감쇠지수가 현저히 작아진다는 것을 보여주는 것으로서 풍화 및 절리가 많고 강도가 비교적 약한 상부 풍화암층에서 풍화 및 절리가 비교적 적고 강도가 강한 하부암반으로 발파가 진행되면서 진동파의 전파에 다른 감쇠가 작아지기 때문이라고 생각된다.

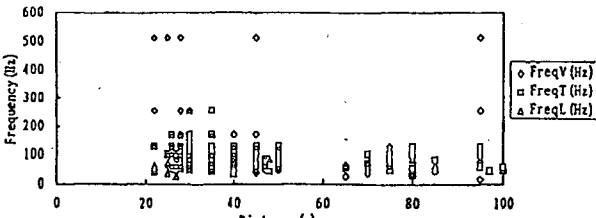


Fig 5. Distance vs Frequency

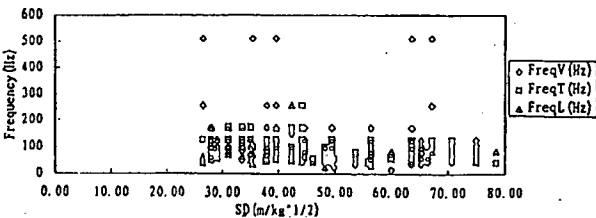


Fig 6. SD vs Frequency

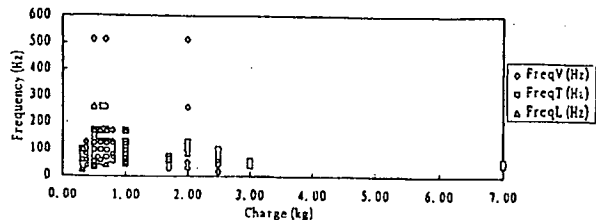


Fig 7. Charge vs Frequency

### (2) 진동상수 K의 변화

시험발파 및 본발파 진동속도데이터 분석결과

산출된 95% 신뢰도의 발파진동상수 K값은 자승근의 경우 7154, 1219, 삼승근의 경우 2464, 1668로서 n과 같이 발파가 진행됨에 따라 자승근의 경우 작아지고, 삼승근의 경우 다소 높아짐을 알 수 있다. Table 8에서와 같이(자승근일 경우) n이 동일할 때 K값이 작아진다는 것은 같은 환산거리에 대한 진동치가 작아진다는 것을 의미하며 위의 결과에서 볼 때 발파가 진행되면서 레벨이 낮아질수록 동일한 환산거리에 대해서도 진동치가 뚜렷이 작아진다는 것을 알 수 있다. 이것은 발파레벨이 낮아질수록 암의 강도 등이 달라지면서 진동특성이 이루어지는 지면에 대한 발파진동의 영향이 줄어들기 때문이라고 생각된다.

즉 지표면 부근에서의 발파의 경우 낮은 주파수가 주주파수성분이 되어 멀리까지 전파하는 동안 진폭의 감쇠가 적게되나 심부 경암층에서의 발파는 지표면 부근에서보다 주주파수가 고주파특성을 가짐으로 빨리 감쇠현상을 나타내기 때문으로 생각된다.

### (3) 자승근 및 삼승근에 대한 K, n의 비교

상기 결과에서 보는 바와 같이 발파가 진행됨에 따라 K 및 n은 자승근과 삼승근에서 공히 현저히 줄어들고 있음을 알 수 있다. 그러나 삼

Table 10.  $SD^{1/3}$  vs  $SD^{1/2}$  교차점 분석표

거리 (m)	시험 발 파		본 발 파	
	$SD^{1/3}$	$SD^{1/2}$	$SD^{1/3}$	$SD^{1/2}$
10	0.010	0.030	0.008	0.032
15	0.035	0.067	0.028	0.072
20	0.083	0.119	0.067	0.128
25	0.162	0.187	0.132	0.200
30	0.280	0.269	0.228	0.288
35	0.445	0.366	0.361	0.391
40	0.664	0.478	0.540	0.511
45	0.945	0.605	0.768	0.647
50	1.297	0.747	1.054	0.799