

Kinecker 암발파의 진동발생 특성 연구

양형식, 김남수, 최미진, 김종관 (전남대학교 지구시스템공학과)
김희도, 안봉도 ((주)고려노벨화약)

1. 서 론

최근 도심지의 시가지 인근에서의 암반굴착이 활성화되고 있으며, 특히 보안을 요하는 구조물에 근접한 발파 또는 가동 중의 설비 가까이에서 발파 굴착을 실시해야하는 등 주변 환경을 충분히 고려하여 진동, 소음 및 비산을 효과적으로 제어할 수 있는 발파기술이 요구되고 있다. 이와 같은 배경에서 미진동 발파 굴착을 위하여 콘크리트 파쇄기, 팽창성 파쇄제 등이 개발되어 실용화되고 있다. 본 연구에서는 Kinecker를 이용하여 시험발파하였으며 근접발파 가능성을 조사하였다.

2. Kinecker 특성

2.1 개요

Kinecker는 폭속 2,000 m/s의 비교적 저폭속인 폭약을 이용하여 미진동 발파를 목적으로 개발된 제품이다. 철폐현상을 억제하여 소음발생을 줄였고 인위적으로 2중 air-pocket을 만들어 decoupling 효과를 최대한 이용함으로써 충격파의 위력을 약화시켜 암반으로 전달되는 진동을 대폭 감소시킨다. (안봉도 외, 2004)



그림 1. Kinecker

2.2 원리

폭약의 폭발에 의하여 발생한 초기 충격파는 장약공을 중심으로 방사 상태로 바깥쪽을 향하며, 이 충격파는 일반적으로 hoop stress라고 일컬어지는 접선방향의 인장응력을 발생시킨다. 이 작용에 의해 장약공을 연결하는 면에 파단면을 발생시킨다.

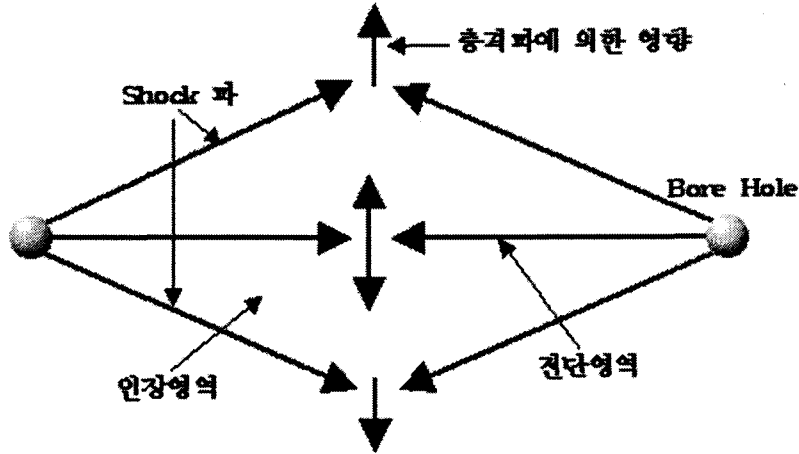


그림 2. 파쇄원리

Kinecker는 2중으로 구성된 용기를 날개달린 cap을 이용하여 천공 중심부에 위치되게 하고 decoupling 효과를 이용할 수 있는 air-cushion을 형성시킴으로써 초기 발생하는 충격파를 제어하는 원리로 되어있다.

전색은 일반 모래전색으로 시공이 편리하고 기폭은 순발 전기 뇌관을 사용하여 동시에 기폭하는 것이 효과적이거나 진동제어 수준에 따라 MS뇌관을 사용하는 것도 가능하다. Kinecker의 제원과 성능은 다음과 같다.

표 1. Kinecker의 제원과 성능

약경 (mm)	32
약장 (mm)	300
본당중량 (g/ea)	50
포장수량 (ea/box)	100
순중량 (kg/box)	5
폭속 (m/s)	2,000
가비중 (g/cc)	0.70~0.80
폭발열 (kcal/kg)	650
낙추감도 (cm)	100
가스량 (l/kg)	640
내한성 (°C)	-20
내수성	최우수

3. 연구의 방법

3.1 주변현황

본 연구에서는 전라남도 순천과 진도에서 3차례에 걸쳐 총 38회 발파를 실시하였다. 첫 번째, 세 번째 시험발파가 실시된 현장은 전라남도 순천시 조례동에 위치하고, 암반은 백악기 유천층군의 안산암으로 이루어져 있으며, 150 m 이격된 거리에 병원이 위치해 있다. 슈미트 해머를 이용하여 산출한 추정압축강도는 173 MPa로 경암에 속하며 절리가 다소 발달되어 있는 상태이다. 두 번째 시험발파가 실시된 현장은 전라남도 진도군 임회면 연동리에 위치하며, 지질시대는 백악기 하양층군으로 전남 남서해안에 많이 분포하고 있는 화산암 지역이다.

3.2 시험발파

진동계측은 통계학적으로 의미 있는 수가 될 수 있도록 충분한 측정수를 확보하고 이격거리와 장약량을 변화시켜서 계측하였다. 첫 번째 시험발파는 총 20회, 두 번째 시험발파는 총 11회, 세 번째 시험발파는 7회 실시하였다. 본 연구에서 사용한 진동계측기는 DS-477, 677, 077 및 Blastmate III, Minimate Plus 등이다. 표 2는 Kinecker를 이용한 시험발파 패턴이다. 표 3은 각 현장의 타입별 지발당 장약량을 나타낸다.

표 2. Kinecker 시험발파 패턴

TYPE	계단높이 (m)	천공장 (m)	천공간격 (m)	저항선 (m)	공당장약량 (kg/hole)
I	1.00	1.10	0.40	0.40	0.05
II	1.30	1.50	0.60	0.50	0.10
III	1.50	1.80	0.60	0.60	0.15
IV	1.80	2.10	0.70	0.60	0.20

표 3. 지발당 장약량

현장	지발당 장약량(kg/delay)			
	I	II	III	IV
순천 I	0.05~0.25	0.1~1.2	0.15~1.05	0.4~0.8
진도	0.15	0.1~0.3	0.15~0.45	0.2~0.6
순천 II	0.05~0.15	0.1	0.15~0.45	0.2~0.8

4. 계측결과

4.1 발파 진동

시험발파를 실시하여 획득한 자료를 이용하여 회귀분석을 실시한 결과 그림 3, 표 4와 같이 진동 추정식을 도출하였다.

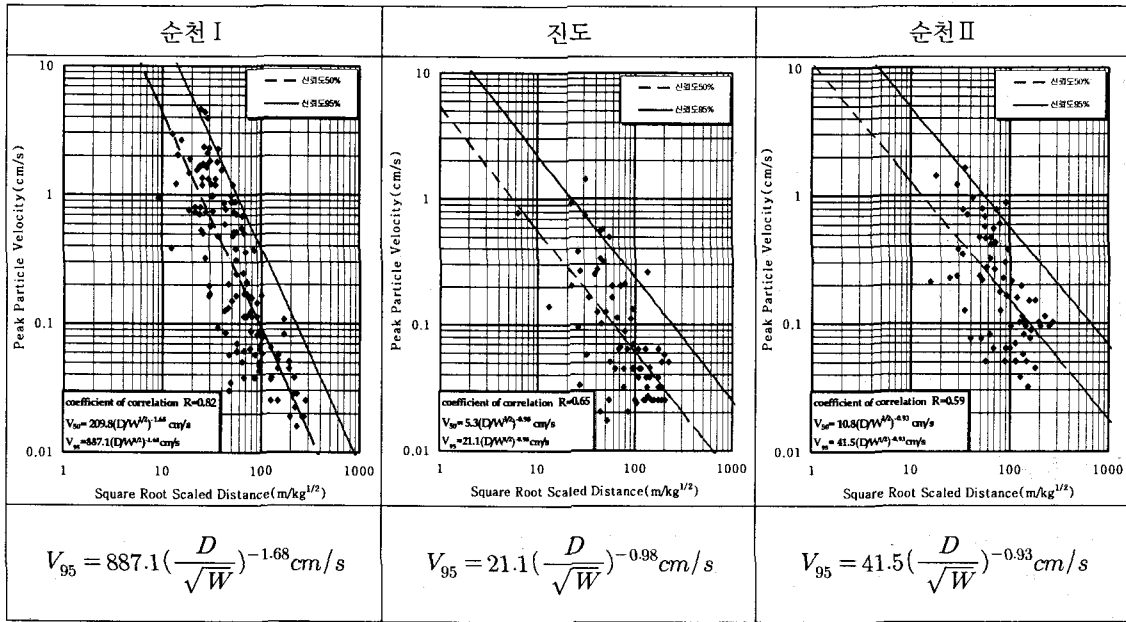


그림 3. 발파 진동 추정식

표 4. 진동상수 및 상관계수의 비교

현장	신뢰 수준	자승근			삼승근		
		K	n	R	K	n	R
순천 I	50%	209.8	1.68	0.82	297	1.87	0.79
	95%	887.1	1.68	0.82	1353.9	1.87	0.79
진도	50%	5.3	0.98	0.65	7.4	1.12	0.70
	95%	21.1	0.98	0.65	26.9	1.12	0.70
순천 II	50%	10.8	0.93	0.59	22.0	1.17	0.65
	95%	41.5	0.93	0.59	77.8	1.17	0.65

진동 추정식의 입지상수(K)와 감쇠지수(n)값을 살펴보면 각 현장에 따라 차이가 발생함을 볼 수 있으며 이는 지반의 종류나 특성, 지형 등의 영향도 있지만, 사용폭약의 종류와 기폭방법에도 관련성이 있다. 순천 I 현장의 경우 자유면 미확보, 발파설계 오차에 따른 문제, 진도 현장의 경우에는 높은 자유면 형성으로 각 현장마다 K와 n값, R값의 차이가 발생하였다. 본 연구에서 사용한 Kinecker의 경우 폭력이 대단히 미약하여 발파진동의 발생과 전파가 폭력 이외의 다른 요소에 의해 크게 좌우되는 것으로 판단되며 따라서 자유면 확보와 정확한 발파 설계가 이루어져야 할 것으로 평가된다.

폭력이 약한 소규모 발파의 경우 신뢰성이 높은 진동 추정식을 얻기가 쉽지 않으며 그에 의한 발파설계가 용이하지 않다. 그러므로 하나의 진동 추정식을 이용하여 모든 진동을 예측하는 것은 현명하지 않다. 발파진동에 대한 계측은 발파 공사를 시작할 때는 물론이고 시공 중에도 이루어져야 한다.

4.2 파쇄도

세 현장을 중심으로 시험발파를 실시한 결과 육안 분석을 통해 입도 분포를 확인하였다. 순천 I 현장의 경우 순천II 현장에 비해 파쇄입도가 매우 크게 나타났다. 이러한 요인은 발파 설계 시 자유면이 완전하게 확보되지 않아 폭력이 부족하여 발생한 것으로 사료되며, 2차 작업을 필연적으로 수반하는 정도의 파쇄를 보여 주었으며, 파쇄도를 통해서도 정확한 발파설계와 자유면 확보가 중요한 요인으로 작용함을 확인 할 수 있다. 진도 현장의 경우 절리가 발달하지 않은 화산암 지형이지만 균열을 형성하였으며, 순천II 현장의 경우 2자유면을 완전하게 확보하여 시험발파를 실시한 결과 순천 I 현장보다 파쇄도가 양호함을 확인할 수 있다.



(a) 순천 I

(b) 진도

(c) 순천 II

그림 4. 파쇄도

5. 결 론

본 연구에서는 Kinecker를 이용하여 시험발파 하였으며 근접발파에 대한 적용성을 조사하였다. 시험결과 자유면이 완벽하게 형성되지 않거나 발파설계의 오차가 발생할 경우, 저항선이 길고 전색이 적은 경우에는 적용 상태에 따라서 상당한 진동이 발생하였다. 그러나 자유면이 완벽하게 형성되고, 발파패턴이 장약량과 잘 조합된 경우 일반 폭약보다는 진동 발생이 현저히 적었고 적절한 설계와 시공을 하면 근접 발파가 가능할 것으로 판단된다.

■ 참고문헌 ■

1. 안봉도, 조영근, 이익주, 2004, Air Gap을 이용한 미진동 화약의 현장적용 사례, 화약발파(대한화약발파공학회지) 22.1, 75-80.
2. (재)한국건설안전기술원, 2003, 예산 우회(예산~대술)도로 축조 및 포장공사 암파쇄 굴착공법 시험발파 결과보고서, 15-30.