

## 미진동kinecker의 진동수준에 관한 연구

김희도, 안봉도, 최성현<sup>1)</sup>

### 1. 서론

보안물건 인접구간에서 폭약을 사용한 굴착공법은 진동, 소음, 비산 등 환경성 및 안전성 문제로 사용상 많은 제약을 받고 있으며, 따라서 보안물건 인접구간에 굴착시 환경성 및 안전성 문제에 대처하면서 효율적이고 경제적인 굴착공법이 계속해서 연구 개발되고 있다. 본 연구에서는 보안물건 인접구간에 적용키 위해 개발된 미진동Kinecker를 동일한 현장에서 일반 에멀전폭약 및 정밀폭약과 비교하여 시험발파를 실시하고 각각의 진동특성을 분석하여 진동수준을 비교하고자 한다.

### 2. Kinecker의 특징

Kinecker는 폭속이 2,000m/s의 저폭속 화약을 이용하여 미진동 발파를 목적으로 개발된 미진동 파쇄용으로써 보안물건 인접구간에서 발파를 가능하게 하였으며, 구조물에 발파진동의 영향을 최소화시킬 수 있는 화약이다. 또한 철폭현상을 억제하여 소음발생을 줄였을 뿐만 아니라 인위적으로 2중 Air Pocket을 만들어 Decoupling 효과를 최대한 이용함으로써 충격파의 위력을 약화시켜 암반으로 전달되는 진동을 대폭 감소시킬 수 있다.

#### 2.1 원리

폭파에 의하여 암석중에 발생한 입자운동은 장약공을 중심으로 방사상태로 바깥쪽을 향하며, 이 운동이 일반적으로 Hoop Stress라고 일컬어지고 있는 접선방향에의 인장응력을 발생한다. 이 작용에 의하여 장약공을 연결하는 면에 파단면을 발생시킨다. 이때 발생하는 충격파는 이중으로 구성된 용기를 날개달린 Cap을 이용하여 공 중앙에 위치하게 하여 Air쿠션을 형성하여 최대한 약화시키며 Decoupling효과를 최대한 이용한다.

---

1) (주)고려노벨화약

김희도, 안봉도, 최성현

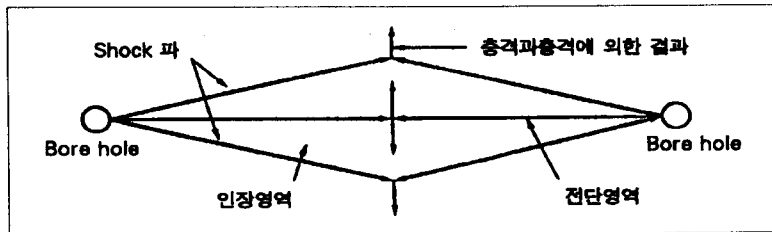


그림 1. 파쇄원리

표 1. Kinecker의 제원표

제품명	약경 (mm)	약장 (mm)	본당중량 (g)	상자당포장수량 (EA/Box)	상자당순중량 (Kg/Box)
KINECKER	32	300	50	100	5

표 2. Kinecker의 성능표

제품명	폭속 (m/sec)	가비중 (g/cc)	폭발열 (Kcal/Kg)	낙추감도 (cm)	가스량 (l/Kg)	내한성 (℃)	내수성	비고
KINECKER	2,000	0.7~0.8	650	100	640	-20	최우수	미진동 파쇄용

### 3. 시험결과

#### 3.1 대상현장의 개요

대상지역은 부산광역시 사하구 구평동에 위치한 대지조성공사 현장으로 지질조사 결과 안산암류가 주구성 암석이며, 일축압축강도는 1,260(kg/cm<sup>2</sup>), 인장강도는 130(kg/cm<sup>2</sup>) 정도로 건설교통부 암석 분류기준으로 판단한다면 보통암에 해당된다. 절리면의 분포는 N20°E/90°, N50°W/90°의 두방향이 주류를 이루고 그 외 불규칙한 절리면이 발달되어 있다. 또한, 본 지층은 화산활동의 산물로 이루어진 지층으로 균열 및 절리가 발달하여 R.Q.D(Rock Quality Designation)가 낮은편이며, 암회색의 색조를 띤다.

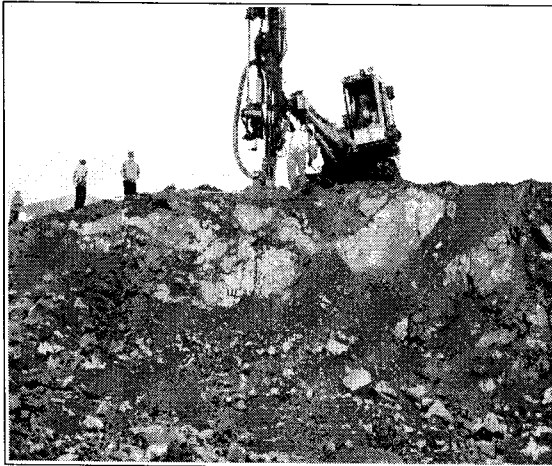


그림 2. 발파현장 전경



그림 3. 계측기 설치 모습

### 3.2 적용발파패턴

시험발파 적용 발파패턴은 진동제어발파(중규모), 정밀진동제어발파, 미진동Kinecker발파 등 3가지패턴을 적용하였으며 각각의 발파패턴은 그림 4, 그림 5, 그림 6과 같다.

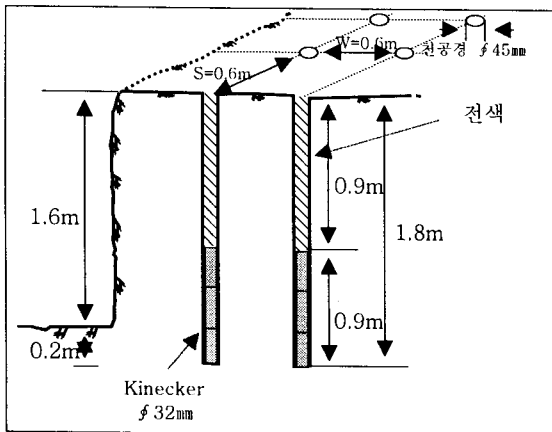


그림 4. 미진동Kinecker 발파패턴

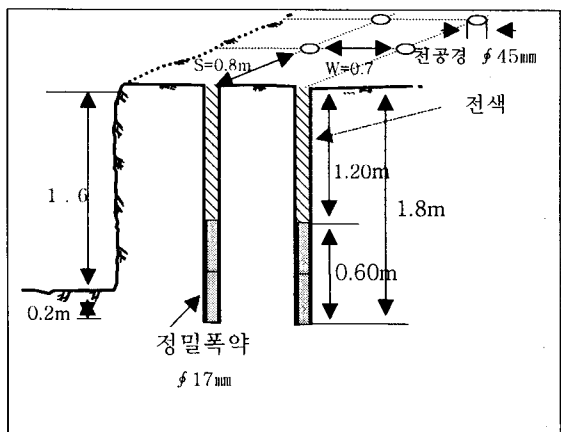


그림 5. 정밀진동제어발파패턴

#### 4. 발파결과 및 분석

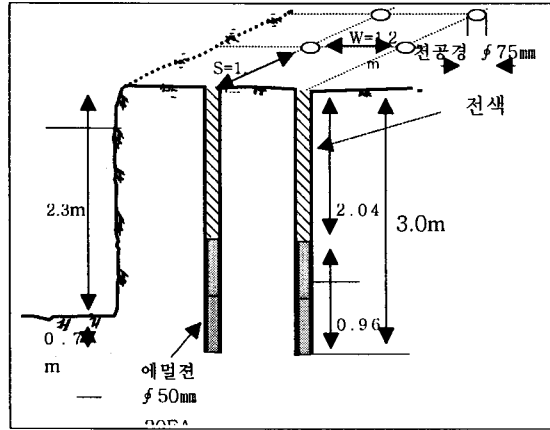


그림 6. 진동제어발파패턴(중규모)

#### 4.1 진동제어발파(중규모)

일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 발파공법으로 1공당 최대장약량이 발파규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물건과 이격된 영역에 대해 적용하며, 51mm 혹은 76mm로 천공하여 에멀전계 폭약을 주로 사용한다. 본 연구대상 지역에서는 천공장 2.5~3.0m, 천공간격 1.0~1.5m에 32 혹은 50mm 에멀전폭약을 사용하는 현장이며, 최대지발당 장약량 0.64~2.0Kg정도로 1회 발파당 5~10공을 발파하여 측정된 진동계측자료는 표 3.과 같고 이 자료를 바탕으로 회귀분석한 결과 표 4.의 진동추정식과 그림 7, 8의 진동추정식 그래프를 구할 수 있었다.

표 3. 진동제어 중규모발과외 진동치

구분	공수	진동제어 중규모발과		
		지발당장약량(Kg/delay)	거리(m)	진동치(mm/sec)
지발	3~5	0.640	27.0	11.0
			27.0	13.6
			28.0	15.6
			28.5	13.3
			29.0	8.21
			30.0	6.27
			30.5	7.05
			31.0	7.22
			31.0	5.35
			29.5	9.60
			31.5	7.57
			32.0	7.84
			32.0	5.92
			32.5	5.03
			31.5	7.52
	28.0	8.97		
	33.0	6.98		
	33.5	6.72		
	30.0	10.9		
	35.1	18.1		
	33.2	13.6		
	35.2	19.6		
	33.3	14.8		
	31.3	16.1		
	31.3	15.8		
	35.6	17.6		
	37.1	25.4		
	37.8	18.3		
	33.4	12.6		
	31.4	13.9		
29.4	18.2			
29.3	18.0			
29.2	19.5			
35.8	15.5			
32.7	14.6			
31.5	21.1			
29.4	14.4			
33.8	12.5			
32.3	17.0			
31.5	12.7			
34.6	17.9			
36.9	18.0			
35.2	20.9			
33.4	19.0			
5~10	2.0			

표 4. 진동제어 중규모발파의 자승근·삼승근 진동 예상식

구분	95% 신뢰한계 진동속도 예상식	상관계수
자승근	$V = 2455 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.44}$	0.694
삼승근	$V = 30643 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-2.16}$	0.651

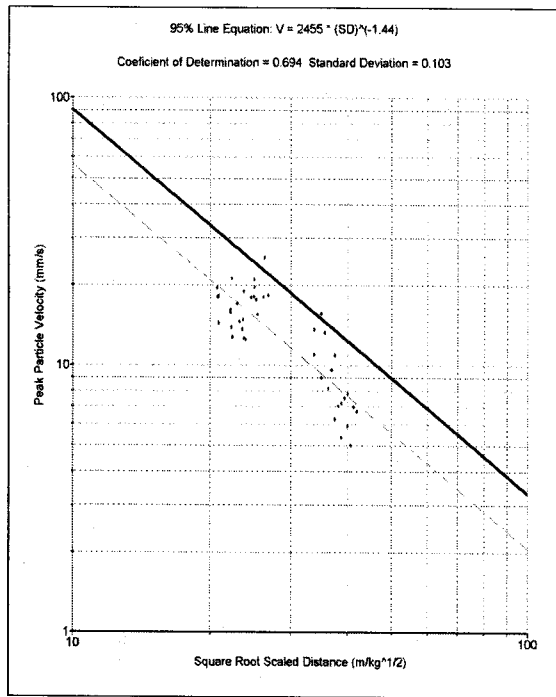


그림 7. 진동제어발파공법 자승근 진동추정식 그래프

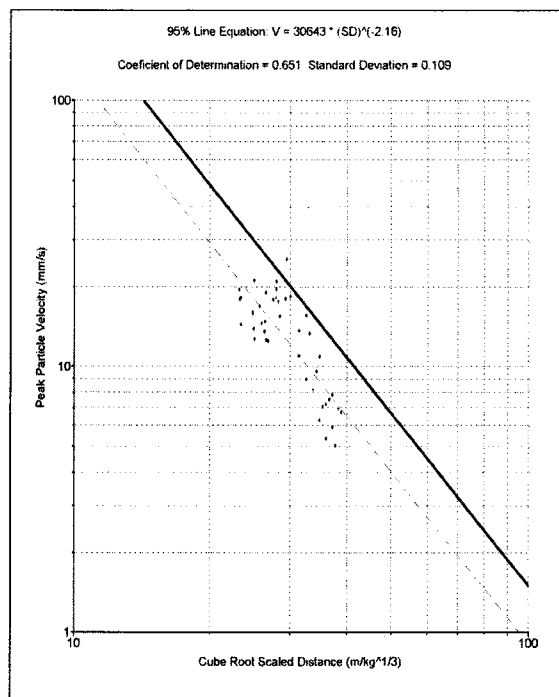


그림 8. 진동제어발파공법 삼승근 진동추정식 그래프

#### 4.2 정밀진동제어발파공법

정밀진동제어발파공법은 디커플링효과를 적용한 것으로서 디커플링이란 장약공과 폭약사이에 공간을 취하는 것을 말하며, 공경 대 약경의 비를 디커플링 계수라 하며, 일반적으로  $D \cdot I$ (디커플링 지수)가 클수록 공극이 완충체로서 작용하기 때문에 폭약의 폭발충격을 약하게 하여 피 파괴물의 벽면의 손상을 방지함과 동시에 진동의 억제에도 유효하게 작용한다.

본 실험에서는 천공장 1.8m, 천공간격 0.8m에 17mm 정밀폭약을 사용하였으며(디커플링 지수  $D \cdot I : 2.65$ ), 최대지발당 장약량 0.225~0.675kg정도로 1회 발파당 2~3공을 순발 혹은

지발 발파하였다. 발파천공경 45mm에 17mm의 정밀폭약을 사용하였으며, 디커플링지수 (D·I)가 2.65이다. 발파제원은 천공장 1.8m, 천공간격 0.8m로 하여 지발당 장약량을 0.225~0.675Kg으로 하고, 1회 발파공수를 2~3공으로 순발 및 지발 발파하였다. 측정된 진동계측자료는 표 5와 같고 이 진동 자료를 바탕으로 회귀 분석한 결과 표 6의 진동추정식과 그림 9, 10의 진동추정식 그래프를 구할 수 있었다.

표 5. 정밀진동제어발파공법의 진동치

정밀진동제어발파				
구분	공수	지발당장약량(Kg/delay)	거리(m)	진동치(mm/sec)
순발	2	0.36	9.6	10.8
			14.6	10.0
			19.6	7.08
			24.6	9.10
			34.6	0.905
	3	0.45	16.62	6.81
			19.40	6.30
			25.64	6.94
			29.37	5.30
			39.57	3.36
	3	0.675	15.85	8.68
			19.07	8.13
			25.26	7.47
			28.88	6.24
	지발	3	0.225	15.59
18.76				2.53
24.89				1.64
28.39				1.44

표 6. 정밀진동제어발파공법의 자승근·삼승근 진동추정식

구분	95% 신뢰한계 진동속도 예상식	상관계수
자승근	$V = 1796 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.45}$	0.570
삼승근	$V = 1400 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.42}$	0.480

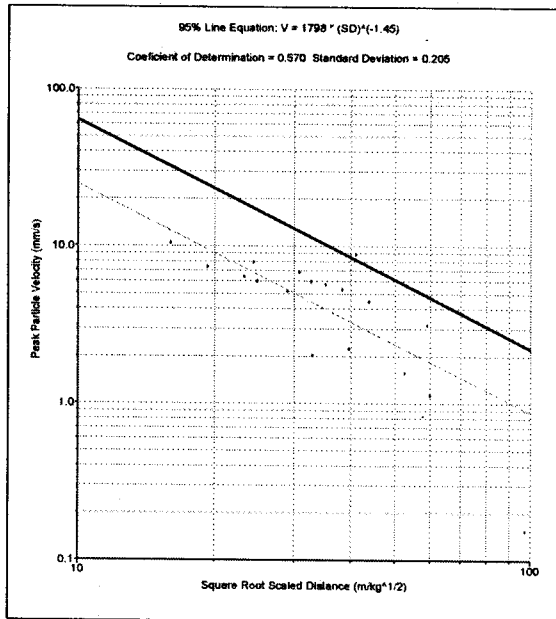


그림 9. 정밀진동제어발파공법 자승근  
진동추정식 그래프

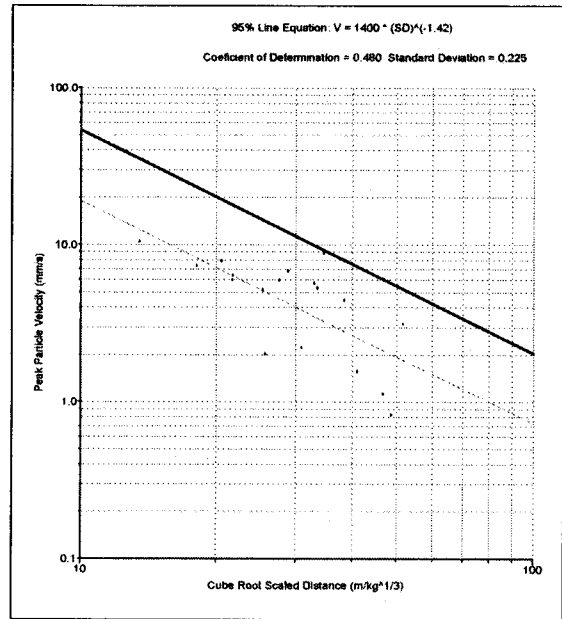


그림 10. 정밀진동제어발파공법 삼승근  
진동추정식 그래프

### 4.3 미진동Kinecker 발파공법

기존 에멀전화약의 폭속과 폭발에너지를 평균 40%이상 저감시킨 저폭속화약을 사용하여 본 실험에서는 천공장 1.8m, 천공간격 0.6m으로 하고 지발당 장약량을 0.135~0.54Kg으로 하여 1회 발파공수를 1~3공으로 발파하여 측정된 진동계측자료는 표 7과 같고 이 진동자료를 바탕으로 회귀분석한 결과 표 8의 진동추정식과 그림 9, 10과 같은 진동추정식 그래프를 구할 수 있었다.



표 7. 미진동Kinecker발파의 진동치

미진동Kinecker 발파공법				
구분	공수	지발당장약량(Kg/delay)	거리(m)	진동치(mm/sec)
순발	2	0.36	14.0	6.18
			17.3	5.73
			23.7	2.75
			27.7	3.06
			37.9	2.08
	3	0.54	13.7	7.75
			17.0	7.21
			23.3	4.52
			27.2	4.41
	2	0.27	12.1	3.92
			15.5	1.95
			22.0	2.02
			26.4	1.68
	3	0.405	36.5	1.86
			11.7	11.8
			15.1	9.79
21.5			4.19	
지발	3	0.18	25.8	5.21
			36.0	2.75
			13.4	2.11
			16.6	2.17
		0.135	22.9	1.75
			26.7	1.65
			11.4	1.95
			14.7	1.43
			25.3	1.02

표 8. 미진동Kinecker 발파공법의 자승근·삼승근 진동예상식

구분	95% 신뢰한계 진동속도 예상식	상관계수
자승근	$V = 1057 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.40}$	0.663
삼승근	$V = 695 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.31}$	0.501

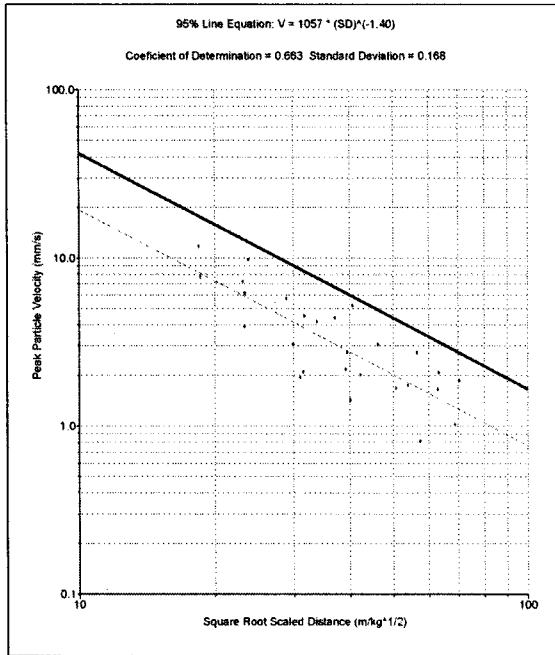


그림 11. 미진동Kinecker 발파공법 자승근 진동추정식 그래프

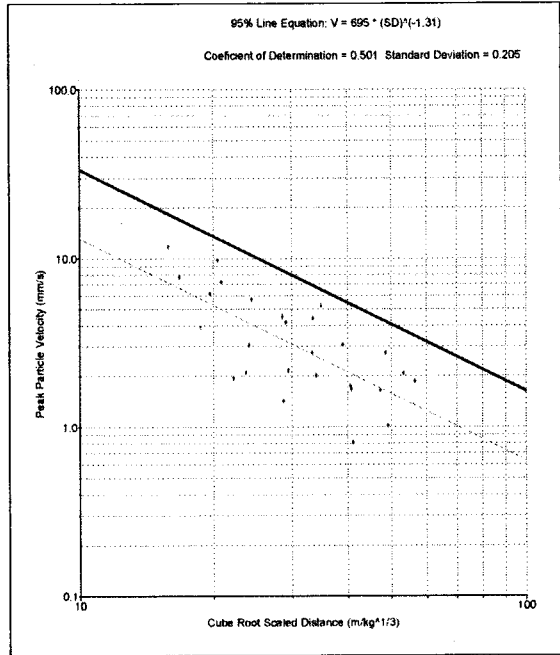


그림 12. 미진동Kinecker 발파공법 삼승근 진동추정식 그래프

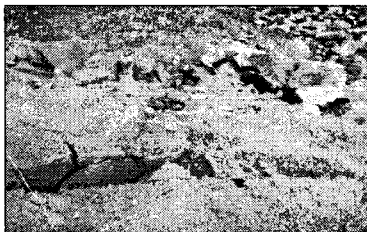


그림 13. 미진동Kinecker 발파



그림 14. 정밀진동제어발파



그림 15. 진동제어발파(중규모)

#### 4.4. 환산거리에 따른 진동속도 비교

진동제어 중규모발파공법 정밀진동제어발파공법 2종류와 미진동Kinecker 발파공법을 동일한 현장에 적용하여 구한 진동추정식을 환산거리별 최대진동속도로 표시하면 자승근은 표 9.와 그림 16. 삼승근은 표 10.과 그림 17.과 같으며, 자승근에서 미진동Kinecker 발파공법이 정밀진동제어발파보다 약 28~33% 감소하였으며, 진동제어발파보다는 약 49~52%정도 감소하였다.

표 9. 자승근 환산거리별 최대진동속도 (단위 : mm/sec)

SD(D/W <sup>1/2</sup> )	진동제어발파 공법(중규모)	정밀진동제어 발파공법	미진동Kinecker 발파공법	진동감소비율(%)	
				진동제어발파공 법(중규모)대비	정밀진동제어발 파공법대비
10	89.14	63.72	42.08	52.79	33.96
20	32.85	23.32	15.95	51.45	31.60
30	18.32	12.96	9.04	50.66	30.25
40	12.11	8.54	6.04	50.12	29.27
50	8.78	6.18	4.42	49.66	28.48

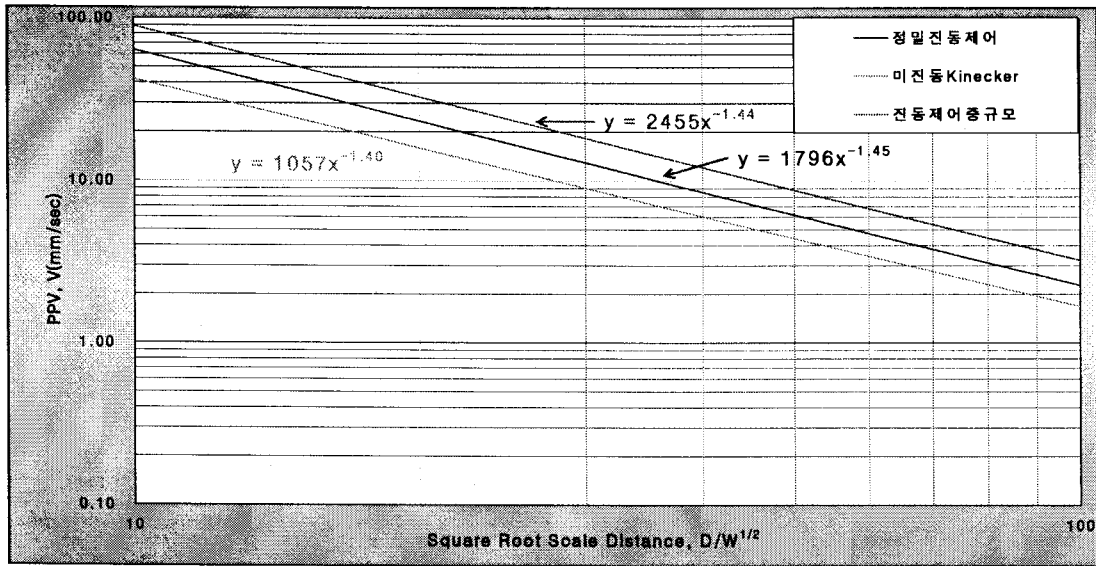


그림 16. 자승근 환산거리별 진동식 비교

표 10. 삼승근 환산거리별 최대진동속도 (단위 : mm/sec)

SD(D/W <sup>1/3</sup> )	진동제어발파 공법(중규모)	정밀진동제어 발파공법	미진동Kinecker 발파공법	진동감소비율(%)	
				진동제어발파공 법(중규모)대비	정밀진동제어발 파공법대비
10	212.00	53.23	34.04	83.94	36.05
20	47.44	19.89	13.73	71.06	30.97
30	19.76	11.18	8.07	59.16	27.82
40	10.61	7.43	5.54	47.79	25.44
50	6.55	5.41	4.13	36.95	23.66

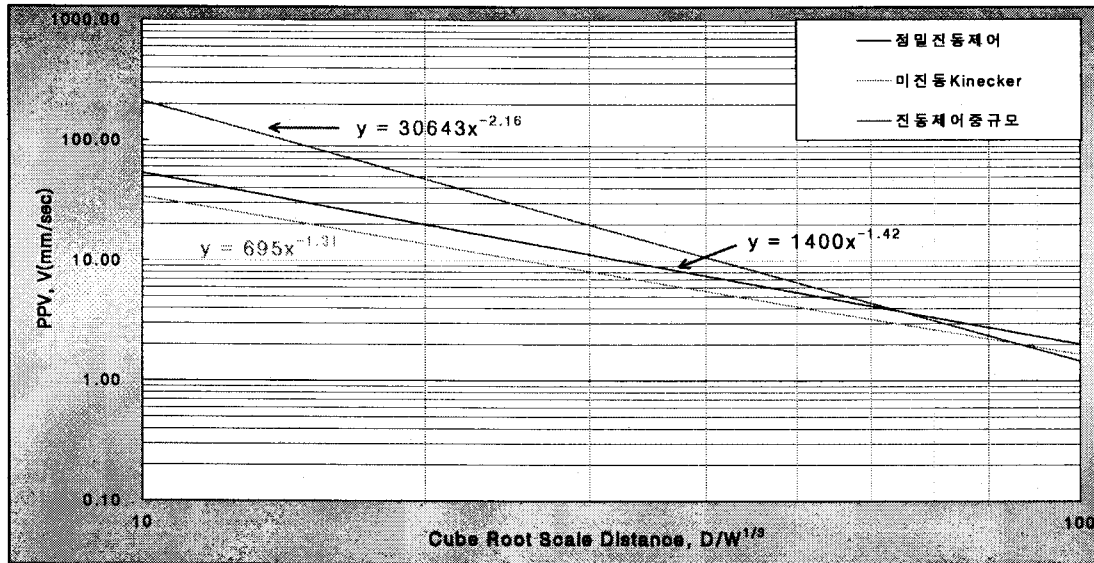


그림 17. 삼승근 환산거리별 진동식 비교

## 5. 결론

동일현장의 동일암반에서 진동제어(중규모), 정밀진동제어, 미진동Kinecker의 3가지 발파 패턴으로 암파쇄 시험발파를 실시하여 구한 진동자료를 바탕으로 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 미진동Kinecker의 환산거리별 진동수준은 정밀진동제어발파의 66% 수준이었고, 진동제어(중규모)발파의 47.2%의 수준이었고, 이는 각각 진동치가 1.43배와 2.03배 낮게 발생함을 알 수 있다.
2. 미진동Kinecker은 다른 폭약에 비해 동일한 환산거리에서 진동이 낮게 전파됨으로 보 안물건과 근접한 미진동 발파시공을 할 때 진동저감에 상당한 효과가 있을 것이며, MS발파를 실시하여 지발당 장약량의 조절이 가능하고 다수의 공을 발파할 수 있으므로 효율적이고 경제적인 시공이 가능하다.
3. 미진동 Kinecker의 시공은 근거리발파의 특성상 패턴별로 자유면과 천공장, 천공간격 및 저항선 등 천공조건이 만족할 경우 미진동구간에서 진동감소효과 및 안전시공을 극대화할 수 있다.

### 참고문헌

1. 대한주택공사, 1997, “부산구평지구 대지조성 및 도시기반 시설공사 설계용역 보고서”, pp.15-20.
2. 건설교통부, 2003, “암발파 설계 및 시험발파 잠정지침(안)중 암발파 설계요령”, 5p.
3. 윤철현, 1996, “최신 화약발파해석”, 구미서관, 123p.
4. 양형식, 최미진, 2006, “발파진동 추정식의 비교분석”, 대한화약발파공학회 추계학술발표회, pp.52-54.