

전자뇌관이 어떻게 발파설계의 규칙을 변화시켰는가?

조영곤¹⁾ 역

1. 서론

전자뇌관을 사용하게 된 이래로 많은 발파기술자들은 그 장점들을 경험하여 왔고 발파결과에 기폭순서의 영향을 인지할 수가 있었다. 전세계를 통해 얻은 방대한 검증자료들을 보면 사전에 정해진 기폭순서, 즉 강요된 기술(OMS, 17MS, 25MS, 42MS 등)에서 오직 사용자의 선택으로 변경함으로써 기폭결과들이 실제적으로 변화되고 있다.

가장 눈부신 결과들은 의심할 바 없이 파쇄도를 측정할 때 마다 나타나고 있다. 하지만 진동을 제어할 때 또는 Casting blast를 할 때에도 명백히 나타나고 있다. 그럼에도 불구하고 최악의 폭굉을 계산하기 위한 공식이 거의 없지만 만일 있다면 확실히 중요한 역할을 하는 초시를 사용할 것이라고 언급할 수 있다.

이 논문의 목적은 전자기폭의 잠재력을 충분히 고려하기 위해 최악의 폭굉을 산정하는데 사용되고 있는 식에 초시선정통합의 필요성을 언급하는데 있다. 우선 주제에 맞게 실제적인 방법을 끌어내기 위해서 수학적 모델로 이론적으로 간단히 논의할 것이다.

1.1 지발당장약량과 Scaled Distance

처음에 현상을 보여주기 위한 예는 진동제어이다. 일반적으로 기폭된 화약에 의해 발생된 진동수준은 지발당화약량 뿐만 아니라 발파원과 측정점과의 거리에 달려있다.

지발당장약량은 폭굉과정 동안에 주어진 순간에 폭발하는 폭약량이다. (초시가 정해진 뇌관번호 1개당 사용되는 폭약량) 그러므로 두 공(two holes)의 장약공이 같은 기록시간에 폭굉 되었다면 지발당장약량은 두 공 폭약량을 합한 값이다. 시차가 수초 이내로 분리된 화약량 (일반적으로 * 8ms)은 동시 발파로 인정되기 때문에, 공식은 어느 점에서의 진동수준 예측은 다음과 같이 예측토록 된다.

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^a \quad (1)$$

k와 a는 상수이고, Q는 지발당장약량이고 D는 발파원과 측정점간의 거리이다. 이 값의 기

1) 조은엔지니어링

(주) 이 논문은 2005년도 ISEE에 Thierry Bernard가 발표한 논문을 번역한 것임

조영근

원은 확실치 않고, 많은 전문가들이 확신 없이 설명을 하고 있다. 오늘날 이 값은 사실상 존재치도 없다는 것을 이론적으로 증명하는 것이지만, 8ms라는 값은 더 이상 나은 것이 없기 때문에 경험적인 규칙으로 간주되어 저야만 한다는 것이다.

그러므로, 8ms 기준단위로 기폭 순서를 결정한다면 주어진 장약량에 대하여는 같은 수준의 진동이 나타나야 한다. 이 주장이 잘못된 것이고 많은 실측치가 그것을 증명하고 있으므로 쉽게 이해되어진다. 많은 저자들은 장약량과 기폭 순서에 대하여 탄성파형태에 따른 발파 진동 수준을 시뮬레이션 함으로써 이 내용을 보여주고 있다. 진동수준을 최소화하는 장약량사이에는 시차가 있다.

1.2 연구 모델

이 현상을 연구하기 위해, 거리의 함수로써 발파의 탄성파 분석을 사용할 것이다. 이 모델은 기본적으로 구상장약에서 발생된 P파의 전파에 기본을 둘 것이다. 장약에서의 일정 거리에 대하여는, 구상폭약을 장약하므로 일정한 봉상장약 길이를 나타낼 수 있다. 이 모델의 가설이내에서 장약의 길이의 약 15배 정도의 거리를 생각할 수 있다.

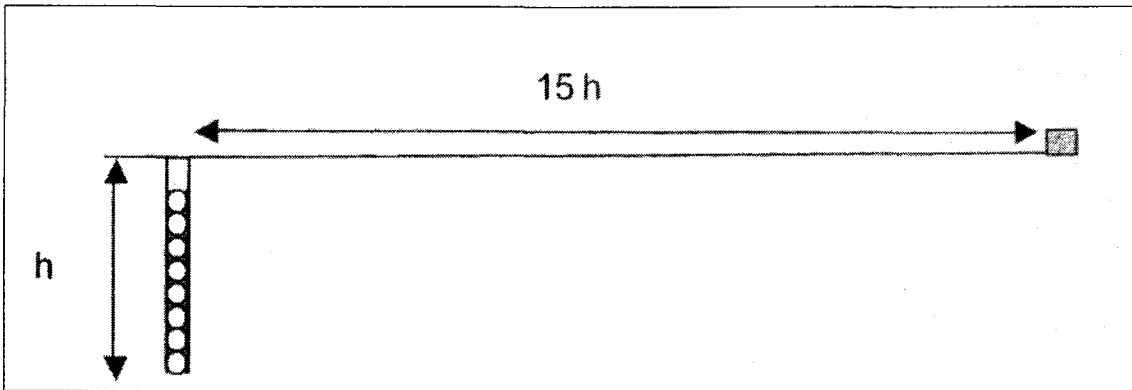


그림 1. 모델의 적용조건

일정거리 D와 장약량 Q의 탄성파 이력은 개략적으로 다음 공식과 같다.

$$V(r,t) = \frac{A}{(2ct,r)^2} \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(ct-r)\right] \quad (2)$$

C는 매질내의 P파속도, λ 는 파장, A는 진폭 계수, t와 r은 각각 시간과 위치이다. 이 공식은 지발당장약량에 대한 (수식 1)과 호환성이 있다. 장약공의 탄성파 이력은 아래의 그래프에 나타나 있다.

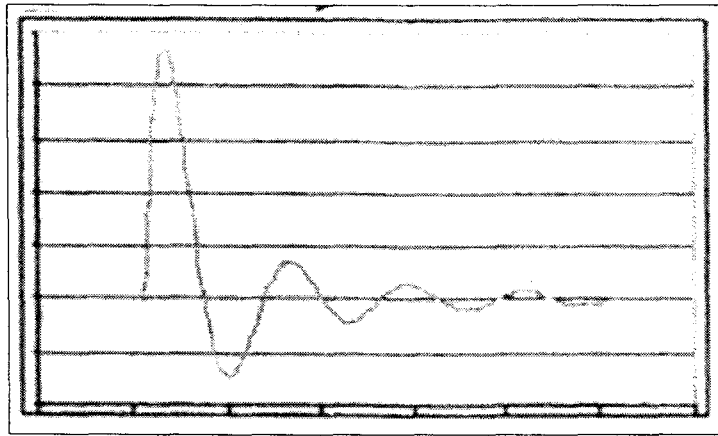


그림 2. 단독공(단순파)의 탄성과 추적

1.3 흥미로운 결과

지금 E 미터 간격, 첫 번째 장약에서 D 미터만큼 떨어진 측정점 M, 천공홀 T1과 T2에는 Δt 만큼의 시차가 있다.

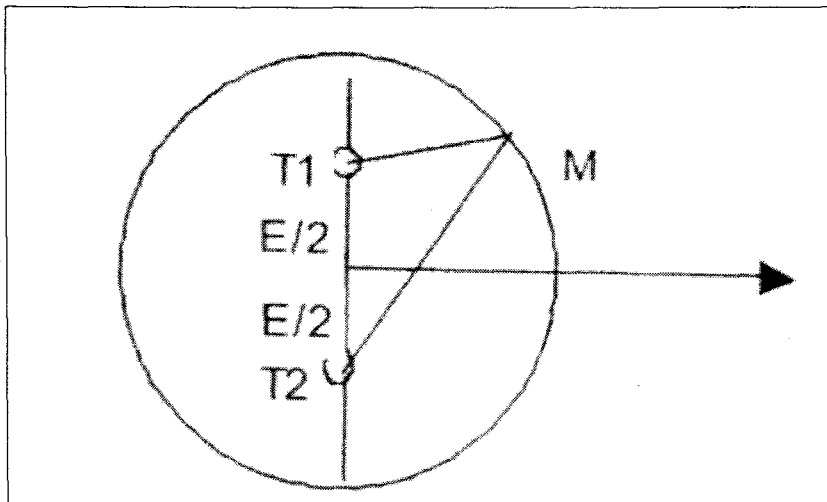


그림 3. 연구 모델의 장약 위치

장약공 혹은 장약량을 탄성과 추적선을 선형 중첩을 하여 시차 Δt 의 함수로써 측정점 M에서의 신호를 시뮬레이션 해보면, 합성된 신호의 진폭을 계산할 수 있다. 아래의 두 그래프가 이 과정을 보여준다. 그러므로 예를 들어 0에서 100ms에 대한 두 개의 장약사이의 시차를 변화함으로써, 합성된 신호의 최대 진폭에 대한 시차의 영향을 알 수 있다.

조영권

이 결과의 분석은 아래의 곡선을 근거하여 이루어졌다. 아래 그래프는 가끔은 시차의 스펙트럼으로서 관계가 있다.

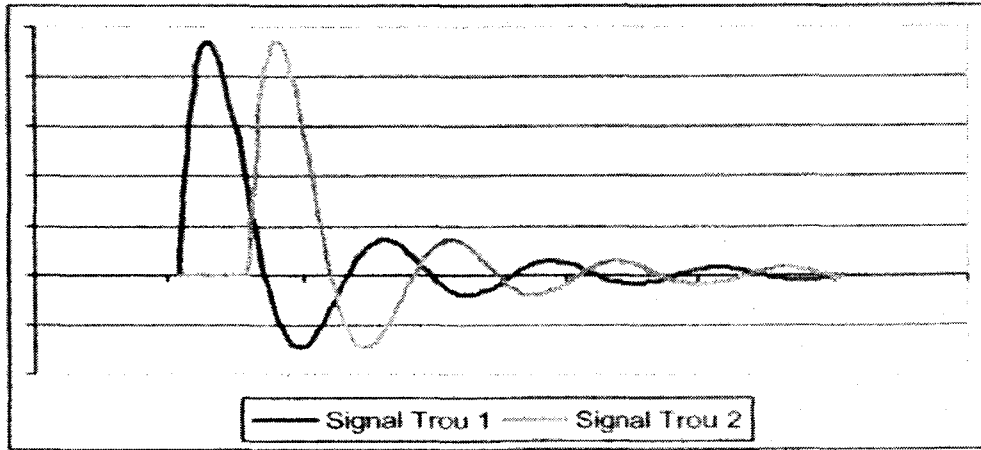


그림 4. 10ms의 시차를 갖는 두공의 개별 탄성과 이력

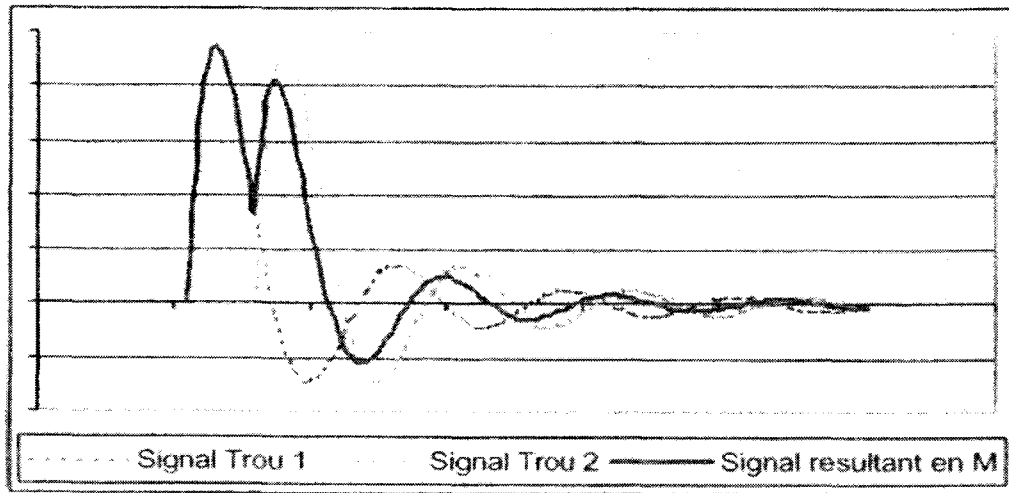


그림 5. 10ms 시차를 갖는 두공의 중첩된 탄성과 이력

곡선의 다른 구역에 있음을 쉽게 알 수 있다. 단순신호(1개공의 탄성과 추적)의 진폭의 증가를 보이는 Atype 범위와 B영역에서는 단순 신호의 진폭을 알 수 있다. 그러므로 이 경우는 만일 시차가 9와 21ms 혹은 35와 49ms 혹은 60과 73ms 혹은 81ms 이상이 선택되어 지면, 신호 수준은 원래와 같이 되어버린다 그래서 구상 장약간에 서로 간섭이 없다는 것으로 분리 장약이라고 말할 수 있다. A type내에서 시차를 선택하게 되면 합성된 신호의 진

전자뇌관이 어떻게 발파설계의 규칙을 변화시켰는가?

폭은 단순파보다 증가 할 것이다. 이 경우 감쇄(1) type는 더 이상 증명되지 않는다. 같은 방법으로 C구역에도 적용된다. 0-9ms까지의 장약은 실제적으로 상호간섭적이다. 9시차에는 상호 독립적이다. 여기서 잘 알려진 8ms의 규칙을 다시 확인할 수 있다.

만일 9ms 이후 장약이 분리된다면 이것은 짧은 시차(9-21ms)에만 적용된다. 그러므로 널리 알려져 있는 규칙을 올바르게 사용하여야 한다.

계산의 변수들 혹은 조건들에 대하여 논해보고 결과(스펙트럼)의 영향을 찾아보자. 장약과 측정점과의 거리, 암반 중 P파의 속도, 공간 간격과 신호의 주 주파수대등 모든 변수들 중에 스펙트럼의 모양을 변화 시키는 것이 주파수의 변동이다. 다른 변수들은 B type 영역의 수준에서 변동을 초래케 한다.

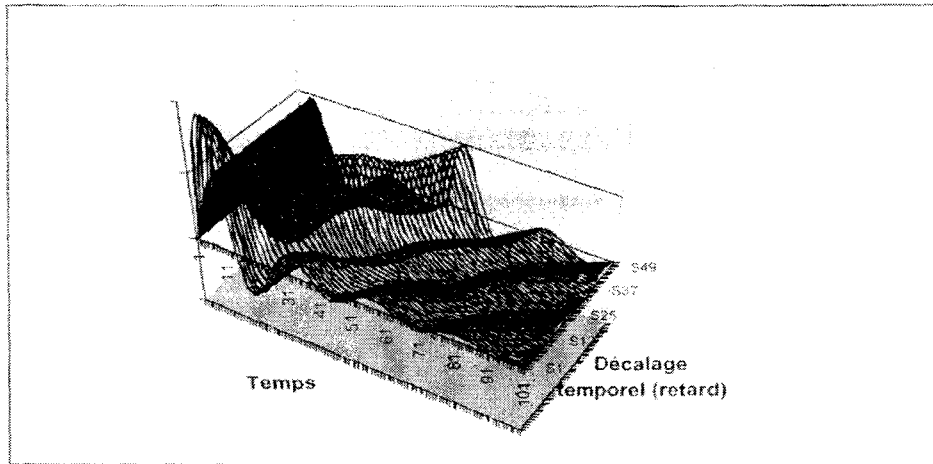


그림 6. 다른 시차의 함수로써 100개의 탄성과 추적선의 모양

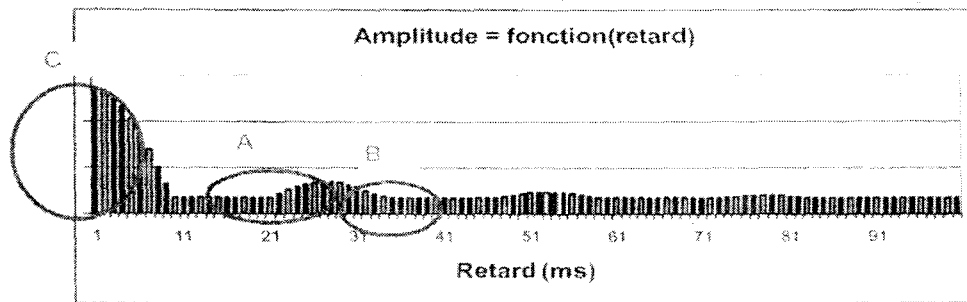


그림 7. 시차를 함수로 한 합성 신호의 진폭의 변화도

모든 스펙트럼은 각각의 실루엣을 갖고 있지만 특정의 값들은 스펙트럼마다 변화한다. 그러므로 40HZ의 주 주파수대에 대한 9ms값은 20ms에서는 20 HZ가 주 주파수로 변한다.

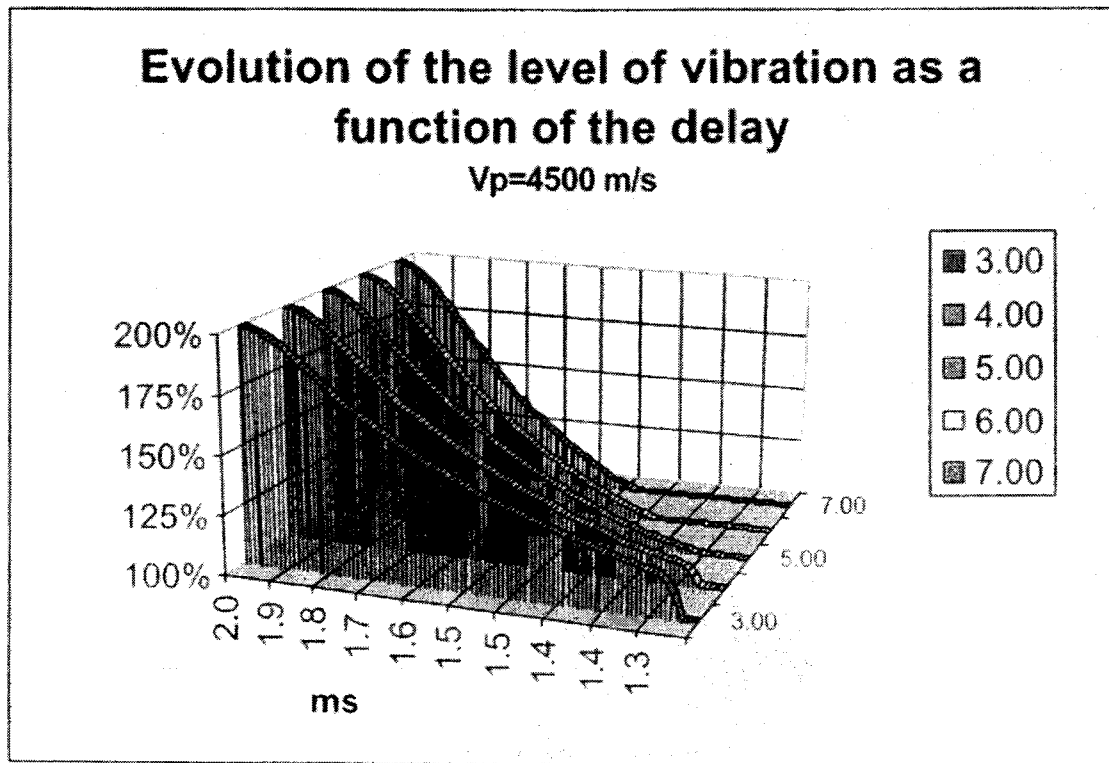


그림 8. 신호의 주파수를 함수로 한 시차 스펙트럼

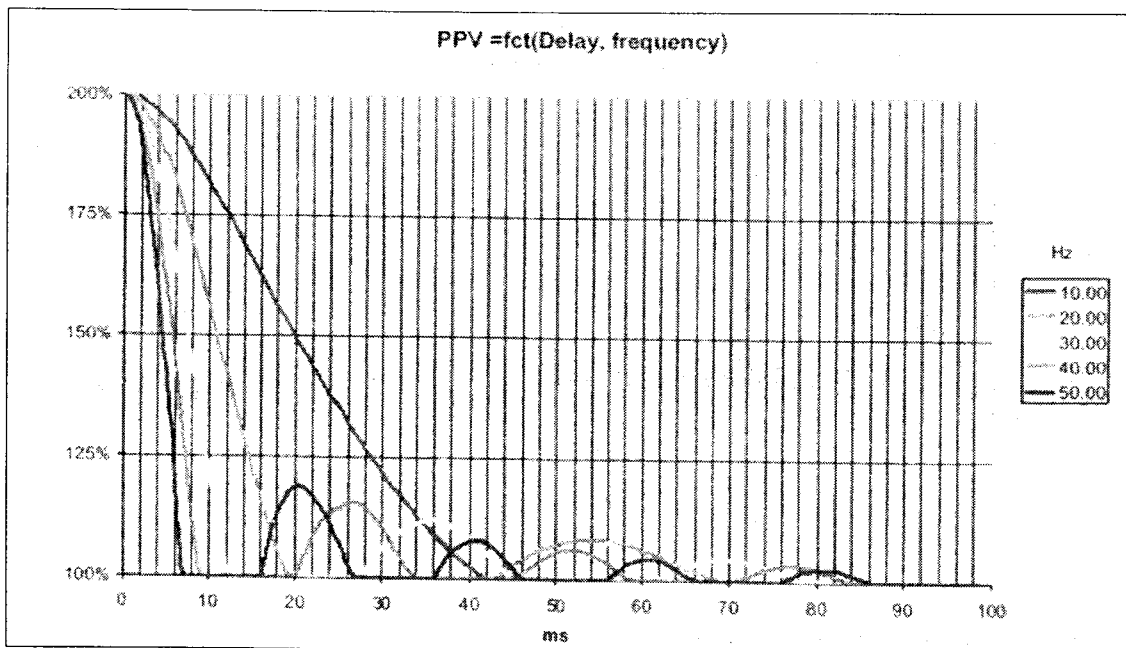


그림 9. 신호의 주파수를 함수로 한 시차의 스펙트럼

상기 그림에서 단순파의 주 주파수를 함수로 하여 시차 범위(적색)를 나타내어 보면, 신호를 증폭시키지 않고 Chapos 법칙의 감쇄 법칙도 유용한 상태가 된다. 보통 전기 뇌관에 기본 단차로 사용하는 25ms의 연시가 15-34 HZ범위의 신호가 증폭되지 않는다. 이 범위는 바로 진동을 측정할 때 가끔 논문에서 사용되어 지는 8ms의 값은 주 주파수가 34 HZ이상인 신호에서만 의미가 있다는 것이다(연시/주파수 그래프단순파가 증폭되지 않는 구역(진한 색)).

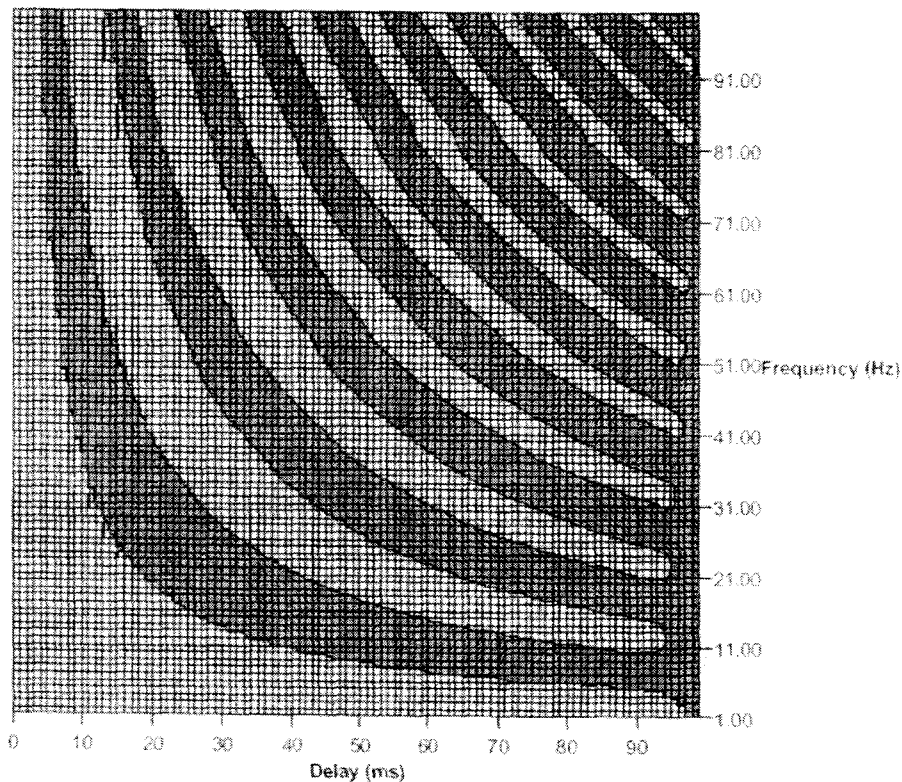


그림 10. 시차/주파수 그래프

2. 파쇄도

화약의 효과에 있어 파쇄 과정은 오늘날 잘 이해되어지고 있고 두 가지 방법으로 암반 파쇄도를 조정하고 있다. 두 가지 방법들은 마이크로 혹은 매크로 벽개면들은 화약의 폭발시의 생성된 P파에 의해 암반내에서 생성된다. 그런 후 벽개면내에 가스의 팽창력이 작용하여 암반을 파쇄하여 이동시킨다. 이것이 암반 파쇄의 과정이다.

조영곤

이 현상을 최대한 활용하는 두 가지 이론이 있다. 첫 번째가 자유면들을 생성하여 암반의 압축보다 인장에 덜 저항토록 하는 방법이다. 발파자들은 연속된 자유면들(발파지역 내에서)을 생성하여 P파가 반사토록 하여 원하는 인장효과를 낳게 한다. 실상 P파는 초기에는 압축파를 생성하지만 자유면에서 반사 후에는 인장파로 변화한다. (주: 이 주장은 신호의 파장의 처음 아취부분에서만 유효하지만, 최대의 진폭으로 대부분의 파쇄 효과를 생성한다.) 그러므로, 두개의 인접공에서 두 번째 공의 자유면들의 출현은 첫 번째 공에 의해 움직이는 매질들에 의해 지연될 것이다. 이 지연은 직접적으로 암반 응답시간(RRT)에 직접적으로 관련되어 있고 매질의 관성에 의해 발생되어 진다. 가끔은 ms의 10배로 표현되어 진다.

KUZRAM의 파쇄도 예측 모델은 이 과정에서 암반의 본래 응답에 근거한 것이다. 효율적인 파쇄도를 생성케하는 두 번째 접근은 암반내에서 P파가 양수적(+)으로 간섭을 할 가능성을 주어서 효과를 증대하는데 근거한다. 증가된 진폭의 합들이 커지면 커질수록, 생성된 마이크로와 매크로한 균열들은 압축파 혹은 인장파들 보다 더욱 커지게 된다.

P파의 높은 스피드와 공간거리 때문에 이런 방법은 공간 혹은 장약간(수ms)사이에서 매우 짧은 시차를 사용하여야 한다는 것이다. 진동의 경우에서 처럼 파들이 양수적(+)으로 간섭할 때의 연시는 P파의 주 주파수의 함수로 되어 진다. 그러므로 진동에서 처럼 똑같이 그래프를 사용할 수 있지만 초록색 지역 대신 흰색 구역(양수적 간섭 구역)을 취하여야 한다. 이런 조건들에서 KUZRAM type 예측 모델은 전적으로 부정확하다.

3. 결론

점화순서 혹은 장약공간의 연시들은 넓게 알려진 전파 법칙(Scaled Distance 모델, KUZRAM 모델)등에 영향을 준다. 전자 기폭 시대에서는 이 사실들의 중요성을 간과하는 것은 좋은 방법이 아니다.

이런 영향은 어떤 시차 범위내에 진동 수준의 증가를 가져온다. 그 결과 진동 수준은 지발당장약량으로 진동 예측은 더 이상 정확하지 않고 발파들이 이 예측치들을 넘어서고 있다. 이런 모델은 장약간의 시차들이 언제나 탄성파의 주 주파수의 함수로써 선택되어진다면, 유효성의 범위를 가져야 한다.

연시-주파수 곡선을 사용하면 전문 기술자가 참조 발파공의 주파수가 실질적으로 단지 일개의 주파수일 때 대부분 유용한 방법으로 시차를 선택할 수 있도록 하게 해준다.

참고 문헌

1. Froment Bruno, 1994, Comment maitriser les vibrations dans les tirs en masse en carrieres et en travaux Publics.
2. Lu, W and W. Hustrulid, 2003, The Lu-Hustrulid approach for calculating the peak

particle velocity caused by blasting, 2003 Explosive and Blasting Technique, Holmberg.

3. Cummingham, C., 1983, The Kuz-Ram Model for predicting Fragmentation from Blasting, First Internal Symposium on rock Blasting, Lulea, Sweden, pp. 439-454.