

일반발파와 진동제어발파에 대한 연구

A Study on the General Blasting and the Vibration Control Blasting

김일중¹⁾, 기경철²⁾, 원연호³⁾

Il-Jung Kim, Kyoung-Chul Ki, Yeon-Ho Won

¹⁾전북대학교, ²⁾한국산업인력공단, ³⁾1&B기술사사무소

초 록

화약류를 사용하여 암반을 절취하는 작업현장에서의 발파공해는 항상 발생하고 있다. 특히 폭약의 폭발로 인해 발생하는 지반진동은 크고 작은 문제를 야기하고 있다. 일반적으로 발파현장에서 사용하고 있는 일반발파와 진동제어(미진동)발파에 대한 의미와 구분 및 시공에 대해 인식시키고자 그동안의 경험과 이론을 토대로 하여 연구하게 되었다.

본 연구에서는 일반발파와 진동제어발파를 구분하는 요소로 암분류 및 진동속도를 지발당장약량과 관계, 암분류에 따른 비장약량 및 발파공당 암절취량 그리고 천공경을 선정하여 고찰하였다. 이들 요소를 기준으로 일반발파와 진동제어발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리 산출방법에 대해서 연구하였다.

일반발파나 진동제어발파 모두 보안물건에는 한계 진동속도 이내의 진동이 전달되어야 하며, 그 경계가 되는 발파공당 절취암량은 연암의 경우 약 $16.67m^3$, 보통암의 경우 약 $12.5m^3$, 경암의 경우 약 $10m^3$ 을 기준으로 하는 것이 바람직하고, 그 경계가 되는 보안물건으로부터 거리는 일정하게 정해진 것이 아니므로 현장에서 대상암반에 대해 시험발파를 실시하여 암분류, 비장약량, 지발당장약량, 한계 진동속도를 기준으로 결정하는 것이 바람직하다. 진동제어(미진동)발파구간 내에서 발파설계단가는 일률적이 아닌 약2~3구간으로 분할하여 산출해야한다.

핵심어 : 일반발파, 진동제어(미진동)발파, 지발당장약량, 비장약량, 암절취량, 한계 진동속도

1. 서 언

화약류를 사용하는 각종 건설현장이 증가하는 추세에 있다. 화약류를 사용하는 암반 발파공사장에서 발생하는 각종 민원도 증가되고 있으며, 발생건수나 규모가 증대되고 있다. 암반발파공사 현장 주변에서 발생하는 발파공해에 의한 민원을 줄이고 각종 보안물건에 대한 발파공해의 피해를 감소시키기 위한 연구가 진행되어 왔고 새로운 공법을 개발하여 현장에 적용하고 있기도 하다.

노천에서 화약류를 사용하여 암반을 절취함에 있어서 기본적으로 2~3개의 자유면을

이용하는 계단식 발파(Bench-blasting)공법을 주로 이용하고 있다. 암반발파는 절취 대상암반에 천공기를 사용하여 천공한 공에 폭약을 장전하여 기폭시키는 것으로써 폭약의 폭발로 인해 발생한 에너지 대부분은 암반을 파쇄하게 되며, 일부는 지반을 따라 어느 정도 거리까지 진동으로 전파되어 간다. 진동이 지반을 따라 전파되어 가는 거리는 암반의 여러 가지 물성과 단층이나 절리와 같은 지질구조의 영향을 받을 수 있지만 정상적인 지반에서는 폭약의 폭발로 인해 발생한 에너지가 크면 클수록 원거리까지 높은 지반진동이 전파된다. 일반적으로 많은

지발당장약량을 사용하면 적게 사용하는 경우에 비해 동일거리에 전파되는 지반진동은 높게 된다.

그리고 지발당장약량은 암반발파 공사비에 큰 영향을 미친다. 즉 많은 지발당장약량을 사용하면 적은 양을 사용하는 경우에 비해 암반발파 공사비가 저렴하여 경제적이다.

보안물건과 폭원간의 거리에 따른 지발당장약량은 주변에 위치하는 보안물건들에 대한 한계 진동속도에 따라 변화하며, 한계 진동속도는 보안물건들의 종류, 상태 등에 따라 결정된다.

정상적인 암반발파가 이루어지는 비장약량은 암반의 강도와 천공 상태, 발파 패턴에 따라 달라지기도 한다. 따라서 건설공사 표준품셈상의 크로라드릴을 사용한 암석절취¹⁾를 일반발파가 시작되는 경계점으로 간주하고, 그 경계 이전의 암반발파를 진동제어(미진동)발파라 칭하여 암질분류, 비장약량, 허용진동속도 및 지발당장약량의 상호관계로 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계에 대해 고찰하고자 한다.

2. 일반발파와 진동제어발파 개념 및 구분

2.1 개념

일반발파는 발파암반 주변의 보안물건이나 민원대상물이 발파암(폭원)과 아주 원거리에 위치함으로써 많은 지발당장약량을 사용하여 가장 경제적이고 효율적으로 발파작업을 수행할 수 있는 공법을 의미하며, 진동제어(미진동)발파는 이들이 근거리에 위치함으로써 적은 지발당장약량을 사용하여 발파하는 공법을 의미한다.

일반적으로 보안물건과 폭원(발파암)간의 거리가 먼 경우에는 일반발파를 실시하고, 가까운 경우에는 진동제어(미진동)발파를 실시하는

것으로 알려져 있다. 그러나 보안물건과 폭원간의 원·근(遠·近)의 경계가 되는 거리가 일정하게 정해진 것은 아니다. 즉 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건과의 거리는 암분류(극경암, 경암, 보통암, 연암 및 풍화암 등)와 폭약의 종류 및 한계허용진동속도와 지발당 최대허용장약량 등의 요소에 따라 달라진다. 이러한 요소들을 수치화하기 위해서는 반드시 대상현장에서 시험발파를 실시하여 분석·고찰해야한다.

2.2 구분기준 고찰

(1) 암분류와 지발당장약량 관련

발파현장의 암반은 일반적으로 풍화암에서부터 극경암에 이르기 까지 다양하게 분포하고 있으며, 계단식 발파(bench blasting)에서 이들 암반을 정상발파하기 위해서는 암반의 강도와 폭약의 종류에 따라 비장약량도 변화하게 된다. 즉 발파대상암반의 강도가 높아지면 비장약량은 증가하게 되며, 위력이 강한 폭약을 사용하게 되면 비장약량은 낮아지는 경향이 있다.

일반적으로 강도가 높은 암반에는 위력이 강한 폭약을 사용하고 강도가 낮은 암반에는 위력이 약한 폭약을 사용하게 된다. 암반내에 전파되는 진동 특성을 측정 분석하고, 비장약량을 산출하기 위해 시험발파시 대상암반에 적합한 폭약을 사용하게 되며, 암반의 강도에 따른 폭약의 종류별 지반진동속도를 예측하기가 곤란하므로 시험발파에 사용한 폭약의 종류를 실제 시공에도 사용하는 것이 바람직하다.

따라서 시험발파에 사용한 폭약의 비장약량에 의한 발파대상암반의 분류와 한계허용진동속도에 따른 거리별 지발당장약량을 기준으로 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 거리를 산출하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

(2) 진동속도와 지발당장약량 관련

암반발파에 의해 발생되어 전파된 지반진동의 영향을 받게 되는 보안물건(구조물, 시설물, 가축 등)에 대해 안전한 발파를 실시하기 위해서는 보안물건의 종류·상태 등에 따라 한계 허용진동속도가 결정되어야 한다.

그림1에 나타낸 바와 같이 중심에 위치하는 폭원의 지발당장약량이 동일할 경우 폭원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 지반진동이 감소되기 때문에 보안물건에 일정 수준의 진동이 전달되기 위해서는 보안물건과 폭원간의 거리가 멀어 질수록 지발당장약량을 증가 시킬 수 있다.

중심에 위치하는 보안물건에 일정한 진동속도가 전달되기 위해서는 보안물건으로부터 폭원이 멀어짐에 따라 지발당장약량을 증가시킬 수 있다.

보안물건과 폭원간 거리의 원·근에 관계없이 암반발파시 보안물건에는 항상 안전하게 결정된 한계허용진동속도 이하의 발파진동이 전달되어야 한다. 그러므로 원 설계에 일반발파로 설계된 구간이라 해도 시험발파를 실시하여 원거리에 위치하는 보안물건과의 거리에 따른 안전한 지발당장약량을 산출하여 사용하는 것이 반드시 필요하다.

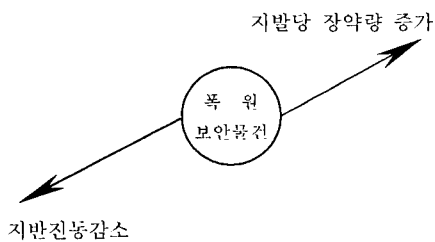


그림 1. 지반진동과 지발당 장약량과의 관계

따라서 어떠한 발파공법을 적용하는 경우에도 보안물건에는 안전한 진동이 전달되어야 하

고, 보안물건에 안전한 진동속도의 한계는 보안물건의 종류와 상태 등에 의해 각기 다르기 때문에 어느 정도의 진동수준이 미진동이라고 결정할 수는 없다. 일반발파나 진동제어(미진동)발파는 모두 보안물건에 안전한 한계진동수준이하로 진동을 제어해야한다는 의미에서 일반발파나 진동제어(미진동)발파는 같이 생각할 수 있다. 그러므로 보안물건에 대한 한계 진동속도는 일반발파와 진동제어(미진동)발파를 구분하는 기준이라고 판단하기는 어렵다.

그리고 한계허용진동속도는 보안물건의 종류와 상태에 따라 달리 적용해야함은 물론 지발당장약량은 한계허용진동속도와 보안물건과 폭원간의 거리에 따라 변화한다. 즉 보안물건에 대한 일정한 지반진동이 전달되기 위해서 보안물건과 폭원간의 거리가 근거리 일수록 지발당장약량은 감소되고, 원거리 일수록 지발당장약량은 증가하게 되므로 한계허용진동속도와 보안물건과 폭원간의 거리에 따라 변화하는 지발당장약량은 일반발파와 진동제어(미진동)발파를 구분하는 하나의 기준이 될 수 있다.

(3) 천공경 관련

일반적으로 지발당장약량(또는 1공당 장약량)이 많아지면 직경이 큰 비트를 사용하여 천공하게 되고, 지발당장약량이 적어지면 직경이 작은 비트를 사용하여 천공하게 된다.

일반적으로 직경 65~76mm로 천공할 경우 직경 50mm정도의 폭약을 사용하는 것이 안전하고 발파효율도 높게 된다. 직경 38~45mm로 천공할 경우 직경 25~36mm의 폭약을 사용하는 것이 안전하고 발파효율도 높게 된다.

폭약경(ϕ_e)에 대한 천공경(ϕ_b)의 비율(ϕ_b/ϕ_e)을 디커플링 인덱스(Decoupling Index)라 하며, D.I가 1에 가까울수록 발파효율이 높게 되고, D.I>1의 경우가 되면 발파효율이 낮

아짐은 물론 공발현상이 발생하게 되어 파쇄암의 비산과 소음이 높게 발생할 가능성이 높다. 그러므로 발파공에 폭약을 장약할 경우 폭약을 잘 다져 $DI \approx 1$ 이 되게끔 밀장진(密裝鎭)하는 것도 그 이유에서이다.

1개의 발파공당 약0.80kg이상이면 일반적으로 직경 65~76mm 발파공에 직경 50mm (0.8kg/개)의 폭약을 편리하게 사용할 수 있으며, 그 이상의 공당 장약량이라 해도 직경 38~45mm 발파공에 적절한 직경의 폭약을 사용할 수도 있다. 이때 전색장이 저항선보다 짧아지면 비산은 물론 소음과 발파풍이 크게 발생할 수 있기 때문에 유의해야한다.

천공경이 크면 클수록 발파공해(발파풍, 비석, 지반진동) 및 소할율에 미치는 영향이 크다. 즉 공당 장약량이 많으면 직경이 큰 비트를 사용하여 천공하게 되고, 공당 장약량이 적어지면 직경이 작은 비트를 사용하여 천공하는 것이 일반적이기 때문에 천공경이 클수록 발파공해를 유발할 가능성이 높을 뿐이지 천공경 자체가 발파공해의 대소에 미치는 직접적인 요소는 아니다. 그리고 동일한 공당 장약량을 공경이 큰 발파공에 장약할 경우는 공경이 작은 발파공에 장약할 경우에 비해 계단식 발파의 계단바닥 수준(grade level)위의 장약장이 짧게 되어 소할율이 증가되는 경향을 보인다²⁾.

따라서 공당 장약량이나 지발당 장약량이 어느 정도 이상인 경우에 반드시 선택해야하는 천공경은 없을 뿐 아니라, 천공경 자체가 발파공해의 대소에 직접적으로 영향을 미치는 요소는 아니다. 그리고 여러 가지 사항을 고려하여 천공경을 결정할 사항이므로 천공경을 기준으로 일반발파와 진동제어(미진동)발파를 구분하는 것은 적절한 방법이라고 할 수는 없다.

3. 진동제어(미진동)발파 적용거리

일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 거리 산출에 영향을 미치는 다음 몇 가지 사항을 어느 지역에서 실시한 시험발파결과를 예로 하여 고찰하고자한다.

- 지반진동속도 추정식과 한계 허용진동속도
- 한계 진동속도에 따른 지발당 최대허용장약량 산출
- 암분류에 따른 비장약량, 발파공당 또는 지발당장약량에 따른 절취임량
- 암분류와 비장약량에 따른 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 지발당 최대허용장약량
- 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 사거리 산출

3.1 지반진동속도 추정식과 한계 진동속도

(1) 지반진동속도 추정식

지발당 장약량을 2.4, 1.6kg 및 0.8kg으로 변화시키고, 폭원과의 계측거리는 20, 40, 80m 및 120m로 하였으며, 각각 5회씩 발파하여 총 60개의 계측자료를 분석한 결과 지반진동속도 추정식은 다음과 같다.

가)자승근 환산식(상관계수 : 0.944)

$$V_{50} = 1011.31(D/W^{1/2})^{-1.6201} \quad (1)$$

$$V_{95} = 1733.56(D/W^{1/2})^{-1.6201} \quad (2)$$

나)삼승근 환산식(상관계수 : 0.953)

$$V_{50} = 1114.96(D/W^{1/3})^{-1.7127} \quad (3)$$

$$V_{95} = 1826.35(D/W^{1/3})^{-1.7127} \quad (4)$$

다)일반식(상관계수 : 0.952)

$$V_{50} = 1114.48 D^{-1.7143} W^{0.5644} \quad (5)$$

$$V_{95} = 1834.15 D^{-1.7143} W^{0.5644} \quad (6)$$

(2) 한계 진동속도

한계 진동속도는 2.0, 3.0mm/s와 5.0mm/s의 세 가지 경우에 대해 고찰한다.

3.2 지발당 최대허용장약량

한계 진동속도 2.0, 3.0mm/s와 5.0mm/s의 경우에 상기 식 중 95%신뢰 수준에 해당하는 식(2), (4) 및 (6)에 의해 보안물건과의 폭원간의 거리에 따라 보안물건에 안전한 지발당 최대허용장약량을 산출 한다.

보안물건에 안전한 지발당 최대허용장약량을 산출함에 있어서 한계 진동속도 2.0mm/s의 경우에는 보안물건으로부터 약42m까지 일반식, 그 이상의 거리에서는 자승근 환산식을 적용하고, 3.0mm/s의 경우에는 보안물건으로부터 약29m 까지 일반식, 그 이상의 거리에서는 자승근 환산식을 적용한다. 그리고 5.0mm/s의 경우에는 약23m까지 일반식, 그 이상의 거리에서는 자승근 환산식을 적용한다.

일반식도 안전한 지발당장약량을 산출하는데 중요한 역할을 하기 때문에 반드시 도출할 필요가 있다.

표1은 한계 진동속도 2.0, 3.0mm/s와 5.0 mm/s의 조건하에서 보안물건과 폭원간의 거리에 따른 지발당 최대허용장약량을 나타내고 있다.

표 1. 지발당 최대허용장약량

보안물건과 폭원간의 거리 D(m)	지발당 최대허용장약량 W(kg)			비 고
	2.0mm/s	3.0mm/s	5.0mm/s	
10	0.006	0.013	0.031	
23	0.077	0.158	0.387	
29	0.156	0.320	0.616	
42	0.417	0.687	1.291	
74	1.293	2.133	4.000	
101	2.409	4.000	7.466	
130	4.000	6.583	12.369	
200	9.446	15.580	29.275	

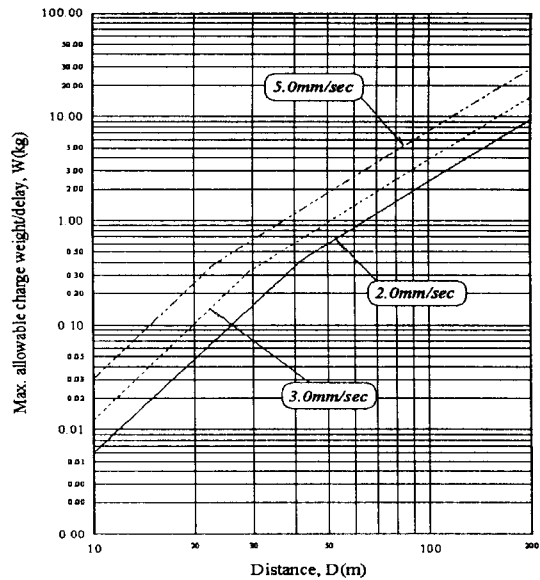


그림 2. 한계진동속도와 지발당 최대허용장약량

그림2에서 보는 바와 같이 한계 진동속도가 증가함에 따라 동일한 거리에서의 지발당 최대허용장약량은 증가하는 경향을 보인다.

3.3 암분류에 따른 질취암량

(1) 암분류에 따른 비장약량

현재 건설공사 표준품셈(건설연구원) 내용 중 크로라드릴을 사용한 암석질취 부분에 표기된 암분류 별 비장약량(경암 : 0.20kg/m³, 보통암 : 0.16kg/m³, 연암 : 0.12kg/m³)을 사용하여 노천에서 계단식 발파를 실시할 경우 정상적인 발파가 이루어지기 어렵고 어느 경우에는 발파공해를 더욱 야기 시킬 수도 있다. 그리고 건설표준 품셈상의 암석질취(크로라드릴)부분의 암분류별 폭약량은 노천에서 정상적인 2자유면 계단식 발파에 적용하기에는 무리가 있다.

표2에 나타낸 바와 같이 정상적인 발파가 이루어지는 경우 경암의 비장약량은 약0.37~0.43kg/m³, 보통암은 약0.27~0.37kg/m³, 연암은 0.21~0.27kg/m³의 범위로 나타낼 수 있다.

(2) 암분류에 따른 절취암량 및 장약량

현재 건설공사 표준품셈 내용 중 크로라드 락을 사용한 암석절취 부분의 내용 중에서 10 m³의 암석을 절취하는데 필요로 하는 뇌관수는 경암의 경우 1.0개, 보통암의 경우 0.8개, 연암의 경우 0.6개로 되어 있다.

따라서 뇌관의 수에 따른 절취암량을 건설공사 표준품셈을 적용해도 무리는 없을 것으로 판단하여 뇌관 1개당 절취할 수 있는 암량과의 관계를 표2에 나타낸 바와 같이 경암의 경우 10m³, 보통암의 경우 12.5m³, 연암의 경우 약16.67m³으로 산출된다.

그동안 발파현장에서 많은 계단식 시험발파를 실시한 결과 정상적인 발파가 이루어지는 연암의 비장약량은 0.21~0.27kg/m³의 범위이고, 보통암의 경우는 0.27~0.37kg/m³의 범위이며, 경암의 경우는 0.37~0.43kg/m³의 범위로 산출되었다.

상기 비장약량은 비장약량이 적은 립퍼병행의 암석 절취와는 다르다. 그리고 립퍼병행의 암석절취공법은 일반적으로 소음·진동에 지장을 받지 않는 장소에서 행해지는 공법이다. 즉 절취 암량에 대한 폭약을 적정량 사용하지 않으면 오히려 지반진동이 높아지는 경향도 있고, 암반을 파괴할 만한 에너지가 발생되지 않아 공구(孔口)로 에너지가 분출하게 되어 높은 소음과 발파풍이 발생될 수 있기 때문이며, 비장약량이 적어 암반을 완전하게 파쇄할 수 없어서 2차 파쇄작업과 리퍼작업을 추가로 실시하므로 소음이 많이 발생된다. 리퍼병행은 강도가 어느 정도 높은 암석의 절취공법으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

특수한 경우를 제외하고는 발파공당 뇌관 1개를 사용하며, 이 경우에 여러 공을 1회에 발파할 때 기폭 시차가 다른 뇌관을 각공마다 사용한다면 발파공당 장약량을 지발당 장약량으로 간주하고, 동일한 번호의 뇌관을 사용한

다면 동일 번호의 뇌관으로 기폭되는 폭약량을 지발당장약량으로 간주한다.

따라서 일반발파가 시작되는 최저 지발당장약량(공당 장약량)은 1공당 연암 16.67m³을 절취하는 3.500~4.500kg, 보통암은 3.375~4.625kg, 경암은 3.700~4.300kg이다.

표 2. 암분류에 따른 장약량(일반발파)

암분류	1공당 절취암량 (m ³)	비장약량 (kg/m ³)	지발당 장약량 (공당 장약량) (kg)
연 암	16.67	0.21~0.27	3.500~4.500
보통암	12.50	0.27~0.37	3.375~4.625
경 암	10.00	0.37~0.43	3.700~4.300

3.4 천공패턴

절취대상 암반의 평균 비장약량을 연암의 경우 0.24kg/m³, 보통암은 0.32kg/m³, 경암은 0.4kg/m³이며, 이때 일반발파가 시작되는 평균 지발당 장약량(공당 장약량)은 연암, 보통암 및 경암은 모두 4.00kg이다.

공당 4.00kg을 장약하고, 저항선(Burden) : 공간격(Space)은 1:1.25, 저항선 : 계단높이(Bench height)는 1:3, 초과 천공장(Sub-drilling)을 저항선의 0.2배로 하여 수직하향 천공할 경우 암분류에 따른 대략적인 천공패턴은 표3과 같다.

표 3. 암분류에 따른 천공패턴(일반발파)

암분류	계단 높이 H(m)	천공장 L(m)	공간격 S(m)	저항선 B(m)	공 당 절 취 암 량 (m ³)
연 암	4.93	5.25	1.65	2.05	16.68
보통암	4.50	4.80	1.50	1.85	12.49
경 암	4.10	4.50	1.40	1.75	10.05

그림3은 표2의 계단높이(H), 천공장(L), 저항선(B) 및 공간격(S)을 나타내는 천공 단면도이다.

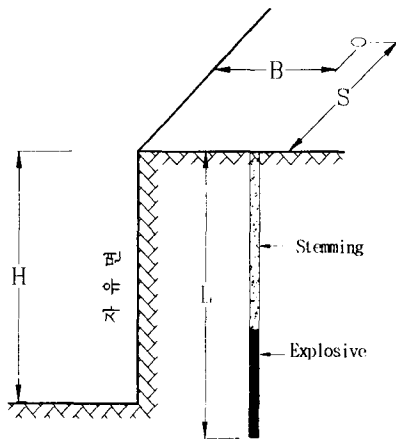


그림 3. 계단식발파 천공 단면도

3.5 거리 산출

일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리를 지반진동속도 추정식 (2), (4) 및 (6)을 한계 진동속도에 따른 거리별 지발당 최대허용장약량을 산출한 다음 가장 안전한 장약량을 선택해야 하며, 이때 표2의 암분류(연암, 보통암, 경암 등)에 따른 지발당장약량(공당 장약량)에 해당하는 식을 이용해야 한다.

한계 허용진동속도 2.0, 3.0mm/s 및 5.0mm/s에 대한 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 거리를 지반진동속도 추정식을 예로 하여 산출해 보기로 하자.

본 논문에서는 암분류에 따른 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 지발당(공당) 장약량에 해당하는 안전한 식은 자승근 환산식 (2)가 적합한 것으로 확인 되었기에 이를 기준으로 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리의 범위를 산출하여 표4에 나타냈다.

지발당(공당) 장약량은 표2에서 보는 바와 같이 연암의 경우 3.50~4.50kg, 보통암의 경우 3.375~4.625kg, 경암의 경우 3.700~4.300kg를 기준으로 한다.

(1) 한계 진동속도 2.0mm/s의 경우

연암의 경우는 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약121.7~138.0m 범위이다. 보통암의 경우는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약119.5~140m 범위이다. 경암의 경우는 지발당(공당) 장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약125~135m 범위이다

(2) 한계 진동속도 3.0mm/s의 경우

연암의 경우는 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약94.8~107.5m 범위이다. 보통암의 경우는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약93~109m 범위이다. 경암의 경우는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약97.5~105m 범위이다.

(3) 한계 진동속도 5.0mm/s의 경우

연암의 경우는 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약69.2~78.4m 범위이다. 보통암의 경우는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약67.9~79.5m 범위이다. 경암의 경우는 지발당(공당)장약량에 해당하는 보안물건으로부터 거리는 약71.1~76.7m 범위이다.

표 4. 일반발파와 진동제어(미진동)발파 경계 거리(보안물건으로부터)

한계 진동속도 V(mm/s)	연 암 (m)	보 통 암 (m)	경 암 (m)
2.0	121.7~138.0	119.5~140	125~135
3.0	94.8~107.5	93~109	97.5~105
5.0	69.2~78.4	67.9~79.5	71.1~76.7

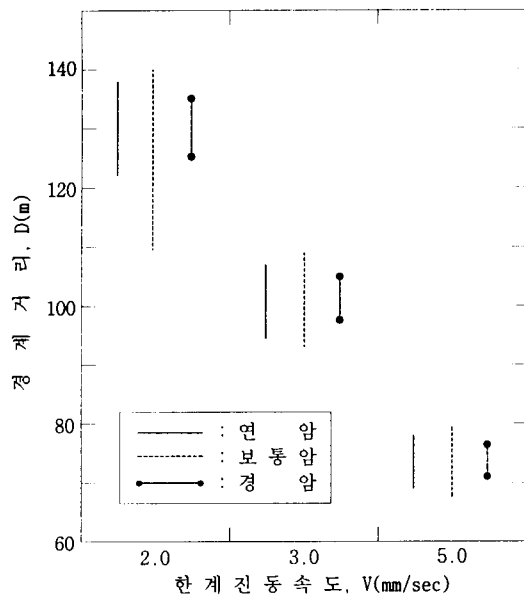


그림 4. 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계거리

그림4는 한계 진동속도에 따른 암분류에 따른 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 거리를 나타내고 있다.

그림4에서 보는 바와 같이 한계 진동속도가 낮아질수록 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리는 증가하고 있으며, 그 거리의 범위는 보통암이 가장 넓고, 경암이 가장 좁다. 또한 한계 진동속도가 감소할수록 거리의 범위는 넓어지는 경향을 보인다.

따라서 보안물건의 종류와 상태에 따라 한계 진동속도가 다르며, 이에 따라 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리는 변화하게 된다. 그러므로 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리는 일정하게 고정할 수 없으며, 암분류와 한계 진동속도에 따라 그 경계 거리를 산출해야한다.

3.6 설계단가

본 연구 내용과 같은 방법으로 일반진동과 진동제어(미진동)발파를 구분하고, 이들의 경계가 되는 거리를 산출한다.

암반 발파공사비는 암분류(경암, 보통암, 연암 등)와 뇌관 1개로 절취할 수 있는 암량 및 지발당(공당)장약량에 따라 변화하게 된다.

보안물건으로부터 동일한 거리에서의 지발당(공당)장약량은 보안물건에 대한 한계 진동속도가 낮을수록 적어진다. 지발당(공당)장약량이 적어지면 동일 암반의 암절취량은 적어진다. 즉 뇌관 1개로 절취할 수 있는 암량이 적어짐으로서 절취 암량 1m³에 대한 뇌관의 수가 많아지고, 경암이 보통암보다 보통암이 연암보다 비장약량이 많기 때문에 절취 암량 1m³에 대한 폭약량이 많아져서 재료비 부분이 증가하게 된다.

동일 종류의 암반을 절취하는데 있어서 비장약량은 같으므로 지발당(공당)장약량이 적어지면 저항선과 공간격이 좁아지고 및 천공장이 짧아지기 때문에 1공당 절취할 수 있는 암량이 적어짐으로서 절취 암량 1m³에 대한 천공장(비천공장)이 길어져 비트, 로드, 스리브, 샹크 아답터 등의 재료비 부분이 증가되고 천공장비가 많이 소요되어 경비 부분도 증가된다.

또 보안물건과 폭원간의 거리가 가까울수록 지발당(공당)장약량이 적어짐으로서 작업의 난이도가 증가하고 시공의 효율성이 저하되기 때문에 1회 발파나 1일 발파작업으로 절취할 수 있는 암량이 감소되어 발파작업에 필요가 인원이 상대적으로 많아짐으로 인건비 부분이 증가하게 된다.

따라서 보안물건과 폭원간의 거리에 따른 지발당(공당)장약량은 발파공사비에 많은 영향을 미치고 있는데도 진동제어(미진동)발파구간에 대한 발파공사비를 현재와 같이 일률적으로 적용하는 것은 문제가 있으므로 진동제어

(미진동)발파구간 내에서 약2~3개 구간으로 분할하여 구간별로 발파공사비를 산출하여 몰량 평균하여 적용하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

4. 결 언

암반발파현장에서 일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리를 산출하는 기준과 방법에 대해 고찰한 결과는 다음과 같다.

1)암반발파현장에서 발파진동속도 추정식을 도출하기 위해서는 반드시 시험발파를 실시해야하며, 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식을 반드시 도출해야한다.

2)일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리를 산출하는데 있어서 암분류, 비장약량, 지발당장약량, 한계 진동속도는 중요한 요소로 작용한다.

3)일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리는 일정하게 고정된 것이 아니므로 현장에서 반드시 시험발파를 실시하여 결정해야한다.

4)일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 발파공당 절취암량은 연암의 경우 약 16.67m³, 보통암의 경우 약12.5m³, 경암의 경우 약10m³을 기준으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5)일반발파와 진동제어(미진동)발파의 경계가 되는 보안물건으로부터 거리는 한계 진동속도가 낮을수록 멀어져서 진동제어(미진동)발파구간이 확대되고, 경계거리의 범위도 넓어진다. 그리고 경계거리의 범위는 보통암의 경우가

가장 넓다.

6)보안물건에 대한 한계 진동속도나 천공경을 기준으로 일반발파와 진동제어(미진동)발파를 구분하는 것은 적절하지 못하다.

7)진동제어(미진동)발파구간 내에서도 약2~3개의 구간으로 분할하여 구간 별로 발파공사비를 산출해야한다.

8)일반발파가 시작되는 지점에서의 설계단가는 현행보다 약간 상위하나 보안물건으로부터 더 멀어짐에 따라 감소되며, 어느 정도 거리에서는 설계단가의 변화가 아주 둔화되는 경향을 나타낸다.

첨 언

일반발파나 진동제어(미진동)발파 모두 보안물건에는 안전한 한계 진동속도 이내의 진동이 전달되어야한다.

따라서 원 설계에 일반발파로 설계된 구간에서도 시험발파를 실시하여 주변에 위치하는 보안물건으로부터 거리에 따른 지발당장약량을 산출하고 안전한 설계를 실시하여 시공하는 것이 보안물건에 대한 안전성 확보와 민원발생에 의한 공기지연을 억제할 수 있으며, 재산상의 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설기술연구원(2000), "건설공사 표준품셈", p.93
2. Calvin J.K. & Edward J.W(1990), Surface Blast Design, Prentice-Hall, Inc. p.126