

지진동 Source 제공을 위한 시추공 발파 기술 사례

A Case Study on the Boring-Hole Blasting for Offering of the Ground

Vibration Source

조영곤	(주)고려노벨화학
김희도	(주)고려노벨화학
조준호	(주)고려노벨화학
함준호	(주)고려노벨화학

요약

본 기술사례는 과학기술부가 주도하는 자연재해방재기술개발 국가중점연구사업 중 기상청 주관의 기상지진기술개발사업의 한반도 지각속도 구조연구 과제 중 서산지역과 포항지역을 연결하는 200km 축선에서 2차원 지각구조를 밝히기 위한 지각규모 굴절파탐사의 지진동 source 제공을 위해 발파로 실시하였다. 본 연구를 위하여 국내에서는 거의 실행해 본 경우가 없는 지발당 장약량이 500~1000kg의 발파를 실시하였다. 200개의 계측지점에 지진동이 전달될 수 있도록 충분한 폭속을 가진 폭약과 외부의 충격과 우수한 기폭력, 시차가 정확한 이중비전기뇌관을 특수 제작하여 사용하였다. 시추공내로 유출되는 물에 의한 사압을 방지하기 위하여 폭약은 철관용기를 제작하여 벌크 형태로 장약을 하여 발파를 하였다. 발파전 용기 밀폐 시험 및 용기제작 후 기폭실험, 수압작용으로 인한 폭약 및 뇌관에 미치는 영향 등을 실험을 통하여 사전 파악을 하였다. 또한 실제 발파 중 진동치를 측정된 결과 보안물건에 대한 진동치값은 미광무국식(USBM)을 이용하여 예측한 진동치보다 평균 180% 정도 높게 나타났다.

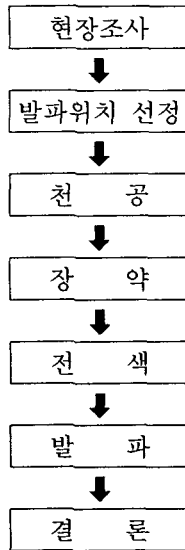
1. 서론

본 기술사례는 지진동(Ground vibration) source 제공을 위한 발파기술 사례로, 이 연구를 위해 축선 양단에 지진동이 200km까지 전달될 수 있도록 공경이 $\phi 12"$ (300mm)인 시추공을 지하 100m로 천공하여 폭약을 500~1,000kg을 장약하고 발파하여 축선상에 1km 간격으로 설치된 200개의 지진관측기에 지진동이 기록될 수 있도록 하기 위한 방법을 모색하였다.

본 논문에서는 이와 같이 단일공으로 100m 깊이 이상의 심부에 지발당 1000kg의 폭약을 사용하여 발파를 실시한 사례가 국내에서는 흔하지 않았던 경우로 한반도 지각 속도구조 연구과제 중에 실시된 발파기술 사례를 기술하고자 한다.

2. 작업 개요

본 연구에서 발파를 실시하기 위한 작업 준비 과정을 살펴보면 다음과 같다.



3. 현장 주변 환경 및 준비작업

3.1 발파지역별 보안물건 및 발파위치

지진동 source를 제공하기 위한 심부 시추공 발파 대상지역은 충청남도 서산시 부석면 창리와 충청북도 영동군 용산면 울리, 경주시 양북면 세 곳이 선정되었으나, 포항의 경우 현지 발파 입지 선정 곤란으로 본 연구에서는 제외하고 서산과 영동 두 곳에서만 발파를 실시하였다. 다음은 발파 지점에 대한 대략적인 위치 및 보안물건 현황을 나타낸 것이다.

(1) 서산지역

보안물건	위 치	이격거리	서산지역 발파위치
㉠ 구세군간월동영문	간월도리	2,900m	
㉡ A지구 방조제 길	부석면	1,150m	
㉢ LPG충전소	창리	1,350m	
㉣ 창리휴게소	창리	1,800m	
㉤ 325번지	창리	1,700m	
㉥ 창리진료보건소	창리	2,000m	
㉦ 창리성결교회	창리	2,000m	
㉧ 부남경로당	창리	1,950m	
㉨ 원적골 민가	창리	1,600m	
㉩ 강당분교	창리	1,800m	
㉪ 550 번지	창리	1,700m	
㉫ 돈사(700두)	강당리	2,360m	
㉬ 양계장(5만마리)	강당리	2,420m	

(2) 영동지역

보안물건	위 치	이격거리	영동지역 발파위치
㉠ 시궁골	시금리	1,250m	
㉡ 시금리 마을	시금리	700m	
㉢ 전주동	울 리	1,300m	
㉣ 푸른농원	한석리	1,800m	
㉤ 한석교회	한석리	1,800m	
㉥ 어내골	한석리	2,000m	
㉦ 고려노벨화약공장	울 리	1,400m	

3.2. 준비 작업

(1) 대구경 천공

대구경 천공은 T-4($\phi 300\text{mm}$)로 천공을 하였으며, 대구경 천공 깊이는 지표에서 100m이며 천공과정에서 Casing 설치, 지하수 유출의 저감대책(지하수가 많이 나오면 천공에 저항을 받음)을 세웠으며, 칼라 등을 설치하였다.




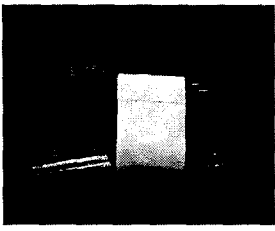
그림 1. 대구경 천공 과정

(2) 폭약류 및 뇌관선정

본 연구에 있어서 중요한 것은 100km 이상 떨어진 계측지점에서 인위적으로 발생시킨 발파에 의한 지진동 source를 계측 가능하게 하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 이를 위해 가능한 한 폭속이 높은 폭약과 100m 깊이의 수압이 작용하는 특수한 상황 및 14~26개를 동시에 점폭 하기 때문에 정밀시차를 등의 조건을 만족하는 뇌관을 사용할 필요가 있다. 뿐만 아니라 발파 여건상 지하 100m의 심부에서는 지하수가 공내로 유출되어 공내에 투입된 폭약에 10기압 정도

의 압력이 가해질 것으로 예상되므로 적절한 투입방법을 모색해야 했으며 폭약의 선택에 있어서도 사암의 위험성이 적은 폭약을 선택할 필요가 있었다. 따라서 이러한 여러 가지 상황들을 종합하여 볼 때 폭약을 투입하는 방법은 첩관을 제작하여 그 안에 폭약을 담아 투하 하였다. 폭약의 경우 현재 국내 생산 산업용 폭약 중 가장 폭속이 높고 사암의 위험이 낮은 NG 계열의 MegaMITE-II(폭속 6,700m/sec)를 사용하였으며, 뇌관은 외부의 충격 및 전기적 위험에 안전하고 기폭력이 우수한 비전기 뇌관을 사용하였다. 다만 본 연구에서 사용된 뇌관은 첩관용기 하나 당 2개의 뇌관을 사용하게 되어 있어 이중으로 제작된 특수 뇌관을 사용하였다. 다음의 표1은 본 발파에서 사용된 폭약류와 뇌관의 제원 및 그림을 나타낸 것이다.

표 1. 사용 폭약 및 뇌관의 제원

구 분		종류	사용량(kg, 개)	비 고	사용 폭약	사용 뇌관
폭약류	폭 약	Megamite-II	500kg (영동)	Bulk		
	전폭약		1,000kg (서산)			
뇌 관	비전기 (Nonel)	특수뇌관	80	순발		
		Bunch connector	8	순발		
		Unidet	2	순발		
	전 기 (Konel)	MS	2	순발		

3.3 발파 용기

일반적으로 지하심부로 내려갈수록 10m당 대략 1kg/cm²의 수압이 작용한다. 본 연구를 위한 시추공발파는 100m를 천공하므로 수압이 최대10 kg/cm²의 압력이 작용한다. 따라서 수압 및 내정압으로부터 폭약의 사암을 방지하기 위하여 첩관용기를 제작하여 발파를 시행하였다.

(1) 첩관 용기 구조

공경 300mm, 장약량 1,000kg를 장약하기 위해서는 장약장의 길이가 약 14~26m정도 된다. 장약을 쉬운 방법으로 하기 위해 용기의 크기를 2m크기로 제작하였다. 본 연구에서 제작 사용된 첩관용기의 구조는 다음의 그림 2와 같으며, 완전히 밀폐가 이루어지도록 설계하였다.

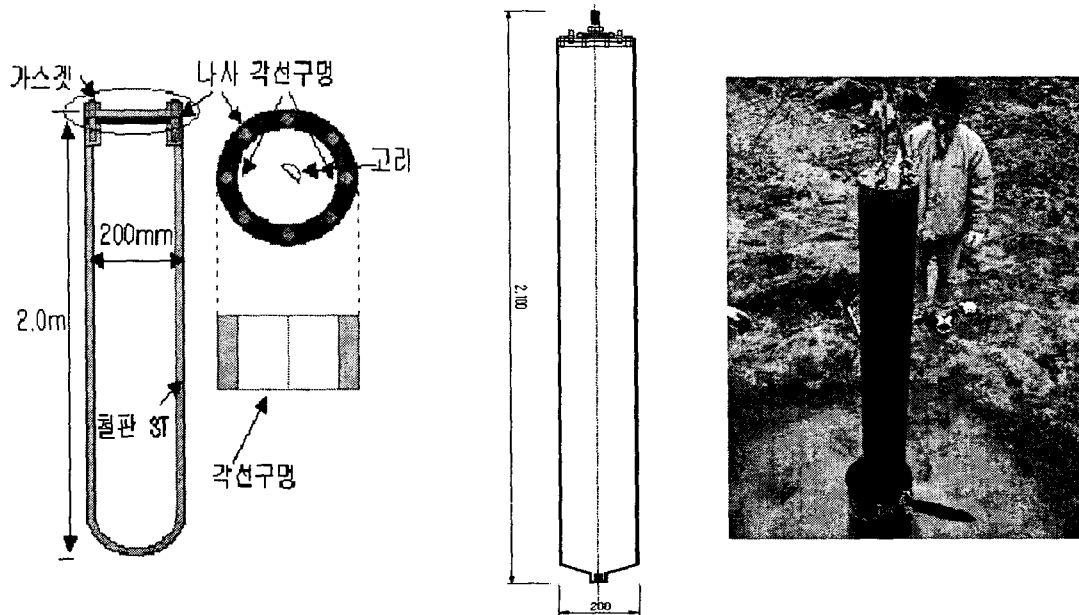


그림 2. 제작용기 구조

(2) 용기 및 공내 투입 과정

대구경 발파를 위해 천공한 천공경 지름은 300mm이며 제작된 용기의 지름은 190.7mm이므로 제작된 철관용기 1개의 폭약량은 폭약의 비중을 1.5로 가정할 때 다음과 같이 계산하여 산출할 수 있다.

$$\{(0.1907m - 0.0106m) / 2\}^2 \times \pi \times 2m \times 1.5g/cm^3 = 76.4kg$$

다음의 표 2는 용기와 공내 투입 과정 및 각종 소요량을 나타낸 것이다.

또한 본 발파에 앞서 발파의 성공을 위하여 용기 밀폐 시험, 용기 기폭 실험, 수중에서의 뇌관 기폭실험 등을 실시하였다.

4. 발 파

발파는 서산지역 발파 후 15분 후에 영동지역에서 순차적으로 발파를 실시하였고, 시간측정은 계측치의 정확도를 기하기 위해 GPS Timer를 이용하였다. 이와 같이 발파시간이 15분 간격으로 실시한 이유는 캐나다산 지진 관측기가 위성과 송수신하는 시간 때문이다.

5. 진동측정

본 연구의 목적은 한반도 지각구조를 연구하기 위한 굴절과 탐사가 목적이므로 일반적인 발파 진동 계측기를 사용하지 않고, 캐나다에서 수입한 지진관측기를 사용하여 측정을 하였다. 그러나 본 연구에서는 지발당 장약량이 500kg~1,000kg이 되므로 인근 보안물건에 미치는 진동을 측정하기 위하여 추가적으로 진동 계측기를 설치하여 측정하였다. 다음의 그림은 본 연구에서 진동 측정에 사용된 지진 관측기이다.

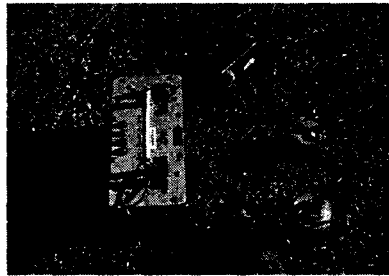


그림 3. 지진관측기

6. 계측결과

본 과업의 발파진동의 크기를 측정하여 주변의 보안물건의 영향 유무를 판단하고자 서산지역 4대, 영동지역 3대로 측정하였다. 다음의 표6은 발파 위치별 사용 계측기기의 현황을 나타낸 것이며, 표7은 발파지역별 진동 계측 결과를 나타낸 것이다.

영동지역		이격거리	접선성분	수직성분	진행성분	PVS	S·D	
	DS-477	424 m	2.03 mm/s	8.13 mm/s	5.08 mm/s	8.91 mm/s	19.35	
측 점 #. 1	PVS Waveform							

계측결과

표 7. 서산지역 및 영동지역 진동계측결과

진동계측 결과분석

$$V = 114 \times \left[\frac{D}{W^{1/2}} \right]^{-1.6} \quad (1)$$

(1)식과 같은 미광무국(USBM)식을 지역별로 적용한 예상진동치와 실제 진동계측치의 비교를 해본 결과 서산지역은 208% 증가하였고 영동지역은 142% 증가하였다. 두 지역을 같이 비교하면 180% 증가하는 결과가 되었다. 이와 같은 결과는 미광무식이 일반적인 벤치발파의 진동 예상치이고 본 사례는 1자유면 발파라는 점과 추정식에 사용된 K값($K = 110 \sim 160$)이 낮게 책정된 점, 현장의 암지질 상태의 차이, 대부분의 발파 에너지의 압력 에너지로의 변화 등이 이와 같은 결과를 보이게 된 주요 이유인 것으로 분석되었다.

따라서 이상의 결과로부터 발파로 인해 발생된 대부분의 에너지가 본 연구의 목적대로 지진동 발생을 위해 사용되어졌음을 알 수 있다.

7. 결 론

과학기술부가 주도하는 자연재해방재기술개발 국가중점연구사업의 일환인 기상청 주관의 기상지진기술개발사업의 “한반도 지각 속도구조 연구”는 지진 방재 기술개발연구에 필요한 가장 기본적이고 중요한 지각 속도구조를 밝히는 연구로써 그 진동 source를 얻기 위해 본 연구의 발파를 실시하였으며, 발파 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 우리나라에서 실시되는 발파는 대부분 노천발파와 터널발파가 주를 이룬다. 여기에 사용되는 비트(Bit)는 최대 89mm(석회석광산 제외), 최소 38mm를 사용하여 발파를 실시한다. 그러나 본 실험발파는 300mm의 대구경으로 천공을 하였으며, 깊이는 100m를 천공하여 발파를 실시하였다..

2) 300mm 천공경에 단일장약으로 1,000kg, 500kg를 장약한 후 발파를 실시한 사례가 외국의 경우 “지각속도구조 연구실험”을 위해서 단일공으로 최대 6,000kg까지 장약하여 발파를 실시한 경우(실험장소 : 캐나다)가 있었지만, 국내에는 거의 없었던 사례로 심부 대구경 발파의 경험을 축적할 수 있었던 기회였다.

3) 본 발파의 경우 심부 시추공 발파이기 때문에 지하수의 유출과 이로 인해 폭약이 사압현상으로 불폭될 것을 예방하기 위하여 철관용기를 제작하여 사압현상을 방지토록 하였으며, 완전한 기폭으로 유도하기 위하여 특수 제작된 이중의 특수 순발 비전기 뇌관을 사용하여 발파를 실시하였다.

4) 서산지역을 시점으로 15분 후 영동지역 발파를 실시하였다. 서산지역은 매우 양호하게 발파가 이루어졌다. 그러나 영동지역은 약30m정도의 비산이 발생하였다.

5) 서산지역과 영동지역의 진동을 측정된 결과 당초 예상식으로 사용하였던 미광무국식에 의한 진동예상치보다 매우 높게 나타났으며, 실제 계측치는 예상치에 비해 평균 180% 가량 높게 나타났다.

- 서산지역

보안물건	이격거리	결과치
없음	500m이내	4.980 Kine
	1,000이내	0.711 Kine
LPG충전소	1,350m	0.686 Kine
원적골 마을	1,600m	
창리휴게소	1,800m	0.267 Kine
돈사(700두)	2,360m	
간월도	2,500m	

- 영동지역

보안물건	이격거리	결과치
없음	400m	0.891 Kine
	600m	1.160 Kine
시궁골	1,250m	0.470 Kine
시금리 마을	1,300m	
전주동	1,500m	

이상과 같이 단일 공으로 실시한 본 실험발파는 성공적인 발파작업이 되도록 여러 가지 실험을 하면서 시행착오도 있었지만 이를 발판으로 발파기술을 향상시키면서 서산, 영동지역의 발파를 안전하고 주변 주민이나 보안물건에 피해를 입히지 않고 성공적으로 발파를 하였다.

