

노천현장 암 파쇄 굴착에 따른 할암공법의 적용성 고찰

원연호^{1)*}, 강추원²⁾

Application of Rock Splitter to Rock Excavation in an Open pit

Yeon-Ho Won and Choo-Won Kang

Abstract This study is investigated the extent of the noise and ground vibration in an adjacent zone of a cattle pen and an antiquated housing structures for judgement of the spot applicability on the extents of the noise and ground vibration of the rock-splitting method by an oil pressure. It is studied by measuring and analysing in an adjacent position the extents of the noise and ground vibration according to the work process of the rock-splitting method, such as drilling, rock-splitting, arranging rock, loading and by being compared with the permitted level on the noise and ground vibration fixed at the spot. To the results, it is identified that the influence to the noise has to be considered, even if the rock-splitting method is applied as an excavation method to lower a ground vibration by the classification on blasting method of the ministry of land, transport and marine affairs.

Key words The rock-splitting method, An oil pressure, A low ground vibration excavation method

초 록 본 연구는 유압력을 이용한 할암공법의 진동 및 소음크기에 대한 현장 적용성 판단을 위해 축사와 노후된 주택구조물 근접지역에서 진동과 소음의 크기를 검토하였다. 검토는 할암공법의 작업과정별로 천공, 절개, 집토 및 상차에 따라 발생하는 진동과 소음의 크기를 근접된 위치(10m~80m)에서 측정 분석하여 대상지역에 설정된 진동과 소음의 허용수준과 비교 하였다. 그 결과 국토해양부의 발파공법 분류에 의해 미진동굴착공법으로 할암공법을 적용하여도 소음도의 영향은 고려되어야 하는 것으로 확인되었다.

핵심어 할암공법, 유압력, 미진동굴착공법

1. 서 론

유압력을 이용한 할암공법은 국토해양부 암 발파설계지침의 미진동굴착공법으로 분류되며 이들 공법은 대상보안물건의 허용진동규제기준과 이격거리에 의해 발파공법으로 진동 제어가 어려운 구간에 적용된다.(건설교통부, 2006) 그러나 할암공법은 자체적인 원리와 특성에 의한 암 파쇄 과정의 절개만을 기준하면 발생 진동크기는 타 공법(발파, 플라즈마 등)에 비

해 상대적으로 매우 작으나 작업과정의 천공 및 소할의 소음크기는 근거리(30m 이내)의 경우 설정된 소음의 허용수준을 상회하여 민원발생의 원인이 되고 있다(중앙환경분쟁조정사례, 2006).

본 연구에서는 유압력을 이용한 할암공법의 진동 및 소음에 대한 현장 적용성 여부와 저감방법을 검토하기 위해 축사와 노후된 주택구조물 근접지역에서 유압력을 이용한 할암공법 중, 슈퍼웨지 할암공법이 적용된 현장에서 천공, 절개, 집토 및 상차 등 작업과정에 따라 발생하는 진동과 소음의 크기를 근접된 위치에서 이격거리별로 측정 검토하였다.

¹⁾ 원앤비기술사사무소

²⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 교수

* 교신저자 : won1407@hanmail.net

접수일 : 2010년 6월 1일

심사 완료일 : 2010년 6월 23일

게재 승인일 : 2010년 6월 25일

2. 대상구역 실험관련 주요현황

2.1. 지질 및 암질

대상구역의 지질은 선캄브리아(precambrian)시대의 변성암과 중생대 화강암(granite)이 넓게 분포하는 지역이다. 노출된 암반상태는 기반암인 화강암(Granite)으로 구성되며 Fig. 1과 같이 기반암의 풍화와 변성에 의한 압밀화 된 마사화 현상을 나타내고 있으며 주로 중립질 내지 세립질의 석영, 장석 및 운모 등으로 구성된다. 이들은 뚜렷한 등립상, 모자이크 조직을 나타내며 암색은 담회색 또는 담황색을 띤다. 한편 한국 건자재시험연구원의 시험성적서(제12795호, "05.11.2)에 의하면 암반의 물성 중, 압축강도는 125.8~139.8 MPa(1,283~1,425kgf/cm²), 탄성파속도 3.0~4.7km/sec로 비교적 높은 수준의 암반강도를 나타내고 있다.

2.2 주변현황.

대상 공사구간 주변현황은 Fig. 2와 같이 공사구간과 인접하여 축사(우사) 및 마을 주택구조물 등이 위치한다.

2.3 적용굴착공법 현황

본 실험에 적용된 굴착공법은 유압력을 이용한 할암공법의 일종인 슈퍼웨지(Super Wedge)공법으로 암반 파쇄기를 일반 굴삭기에 장착하여 암반을 파쇄하는 공법이다. 굴삭기 운전자가 암반파쇄기를 직접 조종하여 암을 파쇄하며 암반 파쇄 후 브레이커에 의한 별도의 2차 파쇄작업이 없이 천공-파쇄-집토 및 상차의 연속, 동시 시공이 가능한 기계화된 암반파쇄굴착공법이다(백양이엔씨, 2004). 슈퍼웨지공법은 식 (1) 및 Fig. 3과 같이 썰기이론에 근거한다. 즉, 유압에 의한 수직 및 수평력(P)은 썰기에 의해 분력(R)으로 전환 되고 이때 썰기의 각도(ϕ)에 의한 분력은 수직, 수평력의 약10배에서 20배까지 확대되어 암반의 인장응력 및 전단응력을 초과하여 암반을 파쇄한다.

$$R = P/2 \times \sin \frac{\phi}{2} \quad (1)$$

슈퍼웨지공법의 수직천공에 따른 시공절차는 Fig. 4와 같이 천공작업(유압천공기 / 9DS), 파쇄작업(back hoe 07W), 집석작업(back hoe 07W) 순으로 반복된다.

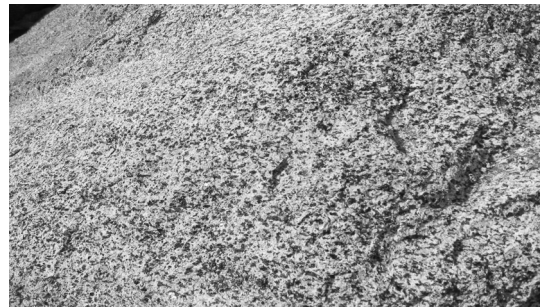


Fig. 1. The state of an exposed rock.



Fig. 2. The general view of the site.

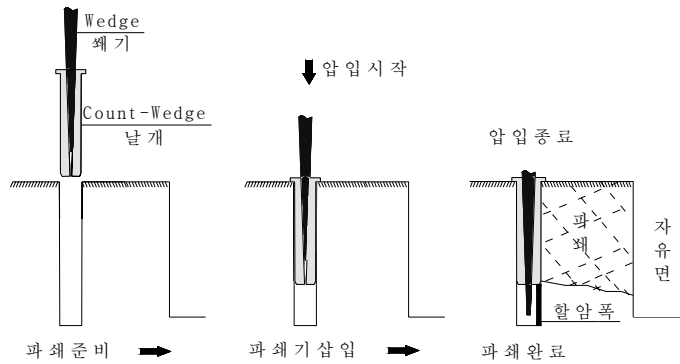


Fig. 3. The principle of the super wedge method.

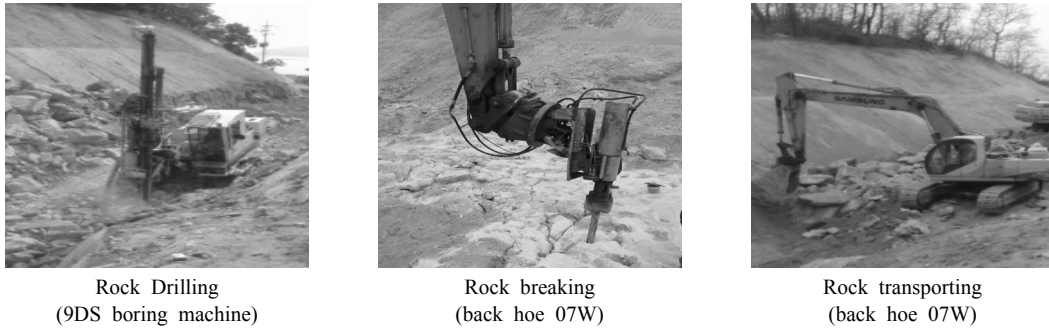


Fig. 4. The work procedure of the wedge method.

Table 1. Vibration and noise allowable level of the target sectors

Division		Allowable vibration velocity	Comments	
Vibration	Cattle shed	0.1 cm/sec	Recommendation level by CCEDRA	
	Private house	0.3 cm/sec		
Noise	Cattle shed	Noise	70 dB(A)	Recommendation level by CCEDRA, Sound pressure criterion legislated by the ministry of environment, level by Dupont and USBM
		Sound level	-	
	Private house	Noise	70 dB(A)	
		Sound level	115 dB(L)	

2.4 대상구간 진동소음의 허용수준

대상굴착구간에 대하여 설정된 진동과 소음의 허용 수준 설정은 Table 1과 같다.

3. 현장실험

3.1 계측방법과 설치위치

굴착작업에 따른 계측은 작업과정(천공, 절개, 집토) 과 현장주변 근접된 보안물건(축사)에서 수행하였으

며, 진동측정기의 작동은 1분 단위로 5분여 동안 작동 할 수 있도록 설정하고, 소음측정기는 측정위치에 삼 각대를 설치하여 5분 이상을 측정하여 자동 연산, 기록한 등가소음도를 그 지점의 측정 소음으로 계측하였다. 계측기 설치위치는 Fig. 5와 같다.

3.2 계측장비

(소음측정기)

소음전용측정기(SC-310)는 실시간 적분형 소음계



(The measurement of process)



(The measurement in structure)

Fig. 5. The location of measurer installed(ahead of cattle shed).

Table 2. The properties and generality of measurer only for noise(SC-310)

Division	Specification
Microphone	▶ 1/2" removable 200V polarised condenser microphone (C-130) ▶ or 1/2" removable prepolarised condenser microphone (C-250)
Measurement range	▶ LF, L5, LI, LE and Leq ▶ Limits: 0-137dB ▶ Upper Limit superior crest factor 3, 5 and 10: 130, 126 and 120dB ▶ Limits Lpeak: 0-40dB
Frequency weighting	Compiles with the UNE-EN 60651 type 1 standard. weightings A, C and Z.
Time weighting	LI, LF and LS according to class 1 tolerances.
Standards	EN 60651:94 (A1:94/A2:01) type 1. EN 60804:00 type 1. IEC 1260:95 type 1.
Mark	CE
Electrical noise	14, 5 and 22,0db (typical) with Frequency weighting A and C.
AC Output	▶ Lineal frequency weighting ▶ Sensitivity to 137dB and 1 KHz of 7,4Vrms (typical, with 0dB Gain) ▶ Upper limit of 9,5Vrms (typical) ▶ Output impedance 100 ▶ Gain of 40 ?0,2dB
Octave filters	Type 1 according to IEC 1260:95 Nominal octave bands central frequency: 31'5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz
Battery	1 6LF22-type 9V alkaline or lithium battery
Dimensions	340x82x19mm
Weight	627gr with battery

로서 휴대가 간편한 정밀급 적분형 소음계 기능과 주파수 분석기의 기능을 함께 갖추고 있으며, 120 dB의 넓은 동적범위를 갖추고 있다. 또한, LEQ(등가소음), LMAX(최대소음), LE(폭로소음), LX(통계레벨), Lpeak(피크소음) 을 동시에 측정하며, 측정된 각각의 값들은 A보정, C보정 및 Fast, Slow, Impulse에 해당하는

값으로 동시에 저장 및 편집이 가능하다. 특히, 등가소음 등 모든 측정값에 대한 파형곡선 및 수치를 동시에 표시할 수 있으며, 측정된 자료를 실시간으로 컴퓨터에서 Monitoring하며 저장 및 프린터로 출력이 가능하다(인터넷, www.e-kine.com). 소음측정기의 특성 및 제원은 Table 2와 같다.

(진동측정기)

진동 측정장비는 Canada Instantel사(社) 제품인 Blastmate-II(S.N 2642) 기종을 사용하였다. 이 계측기는 디지털 방식으로 진행성분(L), 수직성분(V), 접선성분(T)의 3성분이 동시에 측정되며, 속도성분에 대한 벡터 합의 측정이 가능한 전형적인 진동 전용 측정기로 국내에 널리 사용되고 있는 진동측정 장비로

서 특성 및 제원은 Table 3과 같다.

3.3 계측결과

진동 및 소음측정은 작업기간 중, 굴착작업에 따른 소음 372회, 진동 374회(계측일수 : 40일)의 계측 DATA를 확보하여, 이를 Table 4와 같이 이격거리와 작업공종별로 정리하였다. 작업공종별 측정은 병행작업에

Table 3. The properties and generality of blastmate series measure

Division	Property	DS-477
Seismic	Maximum Range	Up to 254mm/s, auto ranging
	Trigger Levels	0.125-250mm/s)
Air: Linear	Range	88-142dB
	Trigger Levels	100-142dB
Frequency	Sampling Rate	1024samples/second, all channels, all record types and times
Full Waveform Recording	Record Modes	Manual, single shot, continuous, auto record
	Fixed Record Time	110seconds, selectable in 1sec. increments+0.25second pretrigger
	Auto Record Time	124seconds
Event Storage	Full Wave Events	40events
	Summary Events	250events
	Storage Type	Solid State memory with 10year storage life

Table 4. The result of noise and vibration measurement

No.	Distance (m)	Process	Vibration velocity(cm/sec)	Sound noise dB(A)	Measured frequency	Comments
1	80	Drilling, Cutting	0.00794 ~ 0.0111	54.2 ~ 64.9	6	
2	80	Drilling, Cutting Embankment	0.00953 ~ 0.0127	51.2 ~ 59.9	6	
3	50 ~ 60	Cutting	0.00635	50.7 ~ 50.9	6	
	10 ~ 12	Cutting	0.00127 ~ 0.0619	59.5 ~ 67.9	4	
	10	Equipment move	0.183	61.5	1	back hoe 이동시
4	10	Drilling, Cutting	-	75.7 ~ 77.2	5	
	48	Drilling, Embankment	0.0095 ~ 0.0524	53.8 ~ 60.1	6	
	50 ~ 52	Drilling, Cutting	0.0064 ~ 0.0079	-	5	
	89	Drilling, Cutting	-	47 ~ 53	5	
5	44	Drilling, Cutting	0.0254 ~ 0.0873	48.9 ~ 49.9	5	
6	44	Embankment	0.0079 ~ 0.0175	51.5 ~ 54.9	3	
	44	Drilling	0.0095 ~ 0.0195	60.4 ~ 62.3	4	
	44	Drilling, Cutting	0.0079 ~ 0.0222	53.7 ~ 57.5	7	
7	20	Drilling	0.0111 ~ 0.0206	65.5 ~ 70	4	
	20	Drilling, Cutting	0.0111 ~ 0.0413	62 ~ 66.8	10	13시 20까지 소울음소리 많음
8	30~60	Drilling, Embankment	0.0111 ~ 0.0238	51.5~58.3	7	ambient noise 43.1dB(A)
		Drilling, Cutting	0.0111 ~ 0.027	54.2 ~ 58.3	7	
9	30~45	Embankment	0.0079~0.0572	51.5~60	12	ambient noise 40.4dB(A)
		Cutting	0.0206 ~ 0.0238	49.7 ~ 49.9	2	
10	30~45	Drilling, Embankment	0.0095 ~ 0.0349	62.9 ~ 66.6	5	
		Drilling	0.0111 ~ 0.0492	46.5 ~ 65.9	9	

Table 4. Continued

No.	Distance (m)	Process	Vibration velocity(cm/sec)	Sound noise dB(A)	Measured frequency	Comments
11	26~35	Drilling, Cutting	0.0143~0.0318	47.5~55.3	5	ambient noise 49.8dB(A)
			0.0175~0.0413	52.1~65.4	4	
12	30~40	Cutting	0.0079~0.0191	44.7~52.4	3	ambient noise 47.3dB(A)
		Drilling, Cutting	0.0143~0.0397	45.9~57.8	11	
13	30~50	Loading, Drilling Embankment,	0.0095~0.0206	54.9~59.3	6	ambient noise 49.3dB(A)
			0.0124~0.0445	52.2~61.3	8	
14	30	Drilling, Embankment	0.0063~0.0111	45.5~54	3	ambient noise 47.9dB(A)
			0.0063~0.0159	46.9~52.9	8	
15	30~80	Loading, Embankment,	0.0143~0.0619	46.1~57.6	6	ambient noise 46.4dB(A)
		Cutting	0.0222~0.0365	45.1~49.5	2	
16	30	Drilling	0.0095~0.0206	53.6~56.5	10	
17	30	Cutting	0.0063~0.0302	46.5~46.6	2	ambient noise 42.4dB(A)
		Embankment	0.0286~0.0873	55.1~62.1	5	
18	50~75	Loading, Embankment	0.0079	50.7	1	
	30	Drilling	0.0111~0.0381	57.4~60.4	2	
	30~75	Drilling, Loading	0.0095~0.0127	55.1~60.4	7	ambient noise 46.2dB(A)
	30~50	Drilling, Cutting	0.0127~0.0222	56.3~57.5	2	
	40	Drilling, Loading	0.0143	56.9	1	
19	90	Embankment	0.0079~0.0302	45~54.4	6	ambient noise 49.4dB(A)
20	30	Cutting	0.0492~0.141	55.9~63.8	7	방음벽 설치작업 시작
21	30	Drilling	0.0857	70	1	ambient noise 54dB(A)
		Drilling, Cutting	0.0238~0.121	60.8~73.9	13	
22	30	Drilling	0.0143~0.0286	55.2~62.4	4	우천으로 측정 중지
23	30	Drilling	0.0079~0.0206	54~57.8	2	ambient noise 45.7dB(A)
			0.0095~0.0159	47.6~57.6	3	
24	30	Cutting	0.0445~0.0683	49~53.8	2	ambient noise 51.6dB(A)
			0.0206~0.0778	45.7~57.6	9	
25	30	Drilling	0.0095~0.0175	57.7~65.1	8	ambient noise 51.1dB(A)
26	30	Cutting	0.0286~0.0794	47.9~57.4	8	ambient noise 48.6dB(A)
27	30	Drilling	0.0112~0.0508	61~64.4	10	ambient noise 51.1dB(A)
28	30~35	Drilling, Cutting	0.0191~0.0841	49.2~60.4	11	우천으로 오후 측정 ambient noise 50dB(A)
			0.0159~0.0699	48.1~49.5	2	
29	30	Cutting	0.0365~0.0587	49.4~52.3	3	
			0.0206~0.116	52.8~73	10	ambient noise 53.1dB(A)
30	20~30	Drilling, Embankment	0.0206~0.116	52.8~73	10	
31	30	Drilling	0.0143~0.0365	59.7~63.9	6	
32	23~30	Drilling, Cutting	0.0191~0.0302	62.9~67.1	3	
			0.0111~0.0603	63.3~68.2	11	
33	23~30	Drilling, Cutting	0.0127~0.0333	66.3~69.8	5	
			0.0111~0.0175	63.8~66.3	5	
34	23~30	Drilling, Cutting	0.0127~0.0587	60.9~68.9	4	
			0.0857	47.4	1	
35	20	Drilling	0.0111~0.0270	61.9~63.5	5	
36	20	Drilling	0.0063~0.0318	59.5~67.4	4	ambient noise 62.7dB(A)
			0.0143~0.0762	46.1~64.3	7	
37	15~20	Drilling, Cutting	0.0127~0.0492	60~74.2	8	외부 복합소음 계측됨
38	15~20	Drilling, Embankment	0.0222~0.0381	64.6~73.5	3	
			0.0127~0.0349	61~78.4	5	
39	15~20	Drilling, Cutting	0.0286~0.0651	57.5~79.3	4	
			0.0333~0.0746	70.5~74.2	3	
40	15~24	Drilling, Cutting	0.027~0.0667	59.8~73.8	8	

Table 5. The extent of noise and vibration to the classification of work processing by a distance

Measurements Distance(m)	Vibration velocity (cm/sec)	Sound noise (dB A)	Measured frequency	Comments
10	0.0127~0.0619	60~77.2	9	
15~20	0.0127~0.0762	60~79.3	61	
20~30	0.0063~0.0841	46~73.9	160	
30~50	0.0079~0.0873	45~65.4	120	
50~80	0.0079~0.0873	45~57.6		
80~90	0.0079~0.0302	45~60.0	23	

따라 복합된 소음과 진동을 측정하였다.

3.4 계측결과의 분석 및 평가

암파쇄 굴착작업(Super wedge공법)에 따른 이격거리별 진동 및 소음크기 분석결과는 Table 5와 같다.

(진동분석결과)

분석결과, 작업과정(천공, 절개, 집토 등)에서 발생하는 진동은 최 근접된 거리(10m)에서도 0.07cm/sec 이내로 매우 낮은 수준이다. 한편, 작업공종 상 최대 진동발생은 천공작업과 집토작업에서 나타났으며 작업장소의 암반 경연(硬軟)에 따라 미비한 진동 차이를 나타내었다. 따라서 진동발생에 따른 유압력을 이용한 할암공법의 적용성은 매우 양호한 것으로 판단된다.

(소음분석결과)

분석결과, 작업과정(천공, 절개, 집토 등)에서 발생하는 소음은 10m~30m 이내는 70dB(A)를 상회하는 수준을 나타내었으며 30m 이상의 최대소음도는 70 dB(A) 이내를 나타내었다. 한편 작업공종 상 최대소음 발생은 천공과정에서 발생하였으며 암반의 경연과 기후적인 영향에 의해 차이를 나타내었다. 따라서 소음크기에 따른 할암공법의 적용은 30m 이내는 천공작업에서 발생하는 소음의 영향을 고려하여 소음을 저감할 수 있는 별도의 방음시설을 하여야 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 유압력을 이용한 할암공법의 진동과 소음의 크기에 따른 현장 적용성 검토를 위해 작업과정별로 진동과 소음의 크기를 고찰하였다. 그 결과 진동은 최 근접된 거리(10m)에서 0.07cm/sec 이내이며 작업과정 상, 최대진동은 천공과 집토작업에서 나타내었다. 반면, 소음은 10m~30m 이내에서 70dB(A)를 상회하였으며 작업과정 상, 최대발생소음은 천공작업에서 나타났다. 따라서 국토해양부 암발파설계지침에 의한 암파쇄굴착공법 중, 할암공법은 작업과정에서 진동만을 기준하면 최근접(약 10m) 위치에서도 적용성은 매우 양호하나 소음의 영향을 고려하면 30 m 이내에서는 소음을 저감할 수 있는 별도의 방법을 강구하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2006, 도로공사 노천발파 설계시공지침, pp. 3-11
2. 환경부, 1996.12, 진동으로 인한 피해의 인과관계 검토 기준 및 피해액 산정방법에 관한 연구, pp. 232-233.
3. 한국건설자재시험연구원, 2005, 시험성적서 제 12795호
4. 원앤비기술사사무소, 2006, 강화현장 계측보고서.
5. 백양이엔시, 2004, 슈퍼웨지공법 카다로그 외 인터넷 (www.bycsw.co.kr).
6. 카인산업, SC-310 소음측정기 카다로그 외 인터넷 (www.e-kine.com).



원연호

원앤비 기술사사무소 대표

Tel : 031)487-1271

E-mail:won1407@hanmail.net



강추원

조선대학교 에너지 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7117

E-mail : cwkang@mail.chosun.ac.kr