

Bulk Emulsion 기계화 장전시스템을 이용한 대단면 장대터널 시공사례연구

윤지선¹, 장영민^{2*}, 이상현³

A case study of large - long tunnel using the charging mechanization system of the bulk emulsion explosives

Ji-Sun Yoon, Young-Min Jang, Sang-Hun Lee

Abstract Lately, the length of tunnel, the number of large-long tunnel over three lanes are steeply increased because of the request for high speed and straight road. Therefore, the maximization of excavation efficiency is needed in tunnel construction. Bulk Emulsion explosives charging system is the spearhead equipment using the radio remote control & mechanization system compare with a traditional method Cartridge type. This study introduced the bulk emulsion explosives which is new method in tunnel blasting and verified the efficiency of bulk emulsion explosives for long-large tunnel. And we tried to compare Cartridge type efficiency with bulk emulsion explosives efficiency by the field test.

Keywords: Large-long tunnel, bulk emulsion explosives, cartridge type, mechanization system

요 지 최근, 도로의 고속화와 직선화로 인해 대단면 장대터널이 증가하고 있다. 그 때문에 터널굴착시 효율성이 극대화 된 방법이 요구되고 있는데, 그 중 카트리지형의 기존 화약류 대신 기계화 장전 시스템을 활용한 벌크에멀전시스템의 도입이 적극적으로 검토되고 있다. 이 연구는 대단면 장대터널에서의 다양한 효율과 터널발파에서의 새로운 공법인 벌크 에멀전시스템 을 소개하고자 한다. 그리고 현장 실험을 통해 카트리지 시스템과 벌크에멀전 시스템의 효율을 비교해보고자 한다.

주요어: 대단면 장대터널, 벌크에멀전 발파, 카트리지 타입, 자동화 시스템

1. 서 론

최근 터널 및 지하공간 굴착과정에서 점차 대단면, 장 대화로 진행됨에 따라 안정성, 경제성 및 효율성이 고려 된 고속화 시공에 대한 연구가 활발하게 추진되고 있다. 그 일환으로 카트리지형(Cartridge type)의 기존 화약류 대신 기계화 장전 시스템을 활용한 벌크에멀전시스템 (Bulk Emulsion System)폭약의 도입이 적극적으로 검토되고 있다. 종래 화약을 이용한 발파굴착공법은 대부분 인력에 의해 작업이 진행되어 장전작업에 소요되는 다수의 인력확보와 업무 수행능력에 따른 계획시공의 어려움 등이 문제점으로 지적되었으나, 장비에 센서를 부착한 기계화된 장전시스템의 도입으로 정확한 공내

장전밀도 조절이 가능해 졌고 장비 운전자를 제외한 순 장약에 소요되는 작업원과 장전시간이 대폭 절감됨에 따라 계획시공 및 공기절감을 통한 경제적 시공이 가능 해 졌다. 이미 서구 유럽 등지의 발파분야에 있어서 선 구적인 역할을 수행하여 왔던 나라에서는 벌크에멀전시 스템(Bulk Emulsion System)이 보편화된 시스템으로 안포(ANFO) 다음으로 노천이나 터널 굴진에 널리 적용 되고 있다(조영곤 등, 2004).

본 연구에서는 국내 대형, 장공 터널 굴진 시스템에 적합한 고속시공법을 개발하기 위하여, 굴진효율등 굴 착시공성이 상대적으로 저조한 국내 3개 도로터널현장 을 대상으로 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System) 의 기계화 장전시스템을 활용하여 총 15회에 걸쳐 시험 발파를 수행하였다.

¹정회원, 인하대학교 토목공학과 정교수

²정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정

³정회원, SK건설(주) 토목기술본부 GEOTASK팀 과장

*교신저자: 장영민 (E-mail: jangface@hanmail.net)

2. 본 론

2.1 지반조건

대상구간 중 구간-I의 지질은 선캄브리아기의 경기편 마암복합체와 제4기 충적층으로 구성되어 있고, 변성작용에 따라 흑운모호상편마암, 각섬석 흑운모편마암, 우백질편마암이 분포하고 있다. 또한 시험대상구간은 흑운모호상편마암이 우세하게 분포하고 있고 불연속면이 거의 없고, RMR 77~85로 풍화도가 낮은 상태의 매우 양호한 암반상태를 나타내고 있다. 구간-II의 경우 선캄브리아기의 변성암류와 경상계층군의 신동층군, 유천층군과 후기에 관입한 불국사 화성암류로 구성되어 있고,

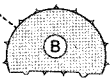
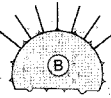
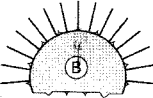
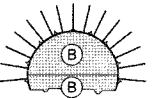
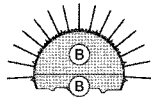
시험대상구간의 막장면 절리상태로 절리간격은 1.5~2.1 m, 절리의 틈은 0.1 mm이하로 풍화도는 낮은 상태였다. RMR은 81~88로 매우 양호한 암반상태를 나타내었다. 구간-III 구간의 광역적 지질은 경상누층군 진동층 정변산층으로 구성되어 있다. 대부분 안산암이 넓게 분포하고 있으나, 점이적으로 응회질혈암과 차트가 분포하고 있었다. RMR은 79~84의 매우 양호한 암반상태를 나타내었다(에스케이건설(주), 2001).

각 시험막장에서 암석의 물리적 특성을 파악하기 위해 불연속면을 포함하지 않는 샘플을 채취하여 일축압축시험과 탄성파속도시험등의 기초 물성실험을 수행하였다. 구간-III에서는 샘플채취에 실패하여 구간-I과 구

표 1. 시험현장 암석물성 실험결과

Item	Sample No.	Density (g/cc)	Shear Modulus ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	Dynamic youngs modulus ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	Poisson's ratio	P-wave velocity (m/s)	S-wave velocity (m/s)	Unconfined compressive Strength(m/s)
구간 I	1-1	2.676	1.99	4.94	0.239	4,619	2,702	1,422.13
	1-2	2.707	1.92	4.94	0.286	3,957	2,015	1,688.88
	1-3	2.663	1.72	4.24	0.232	4,262	2,518	763.69
	Ave	2.680	1.88	4.71	0.25	4.279	2.412	1,291.57
구간 II	2-1	2.637	1.63	4.16	0.277	4,432	2,462	1,582.39
	2-2	2.518	1.49	3.77	0.265	4,262	2,409	1,038.60
	2-3	2.595	1.76	4.48	0.274	4,617	2,577	911.97
	Ave	2.580	1.63	4.14	0.27	4.437	2.483	1,177.65

표 2. 국내터널 적용 표준지보패턴

구 분	TYPE-I	TYPE-II	TYPE-III	TYPE-IV	TYPE-V
표준단면					
RMR	100~81	80~61	60~41	40~21	20이하
Q 값	40이상	40~10	10~1	1~0.1	0.1이하
굴착방법	발 파	발 파	발 파	발 파	발 파
굴착공법	전단면	전단면	전단면	상하분할	상하분할
굴진장(상/하)	3.5 m	3.0 m	2.0 m	1.5 m/3.0 m	1.2 m/1.2 m
숫크리트 두께	50 mm	50 mm	80 mm	120 mm	160 mm
복볼트 (길이/횡간격)	3 m/랜덤	3 m/ m	4 m/1.5 m	4 m/1.5 m	4 m/1.5 m

간-II의 실험만을 비교하였다. 실험결과 구간-I의 경우 일축압축강도는 763.69~1688.9 Kg·fcm², 탄성파속도는 4.28 km/s, 동탄성계수는 4.71×10⁵ kgf/cm²로 나타났고, 구간-II의 경우 각각 911.97~1582.4 Kg·fcm², 4.44 km/s, 4.14×10⁵ kgf/cm²로 나타나 두 현장 모두 암석조건은 중경암~경암 상태로 조사되었다.

현장실험은 모두 TYPE-I, II에 해당하는 비슷한 조건에서 수행되었기 때문에 그 각각의 결과치를 비교하였다.

2.2 적용 화약류 특성

그림 1은 디커플링(Decoupling) 지수와 공내 생성 폭발압력과의 상관관계이며 디커플링 지수(Decoupling Index)가 1에 가까울수록 공내 작용폭압은 급격하게 증가하게 된다. 기존의 카트리지 폭약의 경우 폭약의 직경과 천공경 사이에 생기는 공극으로 인하여 필연적으로 디커플링(Decoupling) 효과를 일으키게 되지만, bulk 폭약의 경우 액상형태의 폭약을 호스를 통하여 장약공에 주입하기 때문에 밀장전이 가능하므로 폭발력을 최대한으로 발휘할 수 있는 특징을 가지고 있다(Hagan et al., 1993).

표 3. 사용 화약류 특성

구분	Gravity (g/cc)	Velocity (m/sec)	Blasting heat (kcal/kg)	Sensitive (cm)	Gas amount (ℓ/kg)	
기존발파	구간-I	1.25	6,000	1,300	100	865
	구간-II	1.22	6,000	1,310	100	770
시험발파	구간-I	1.15	5,900	650	100	996
	구간-II	1.25	5,500	690	100	976

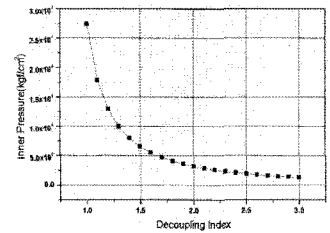


그림 1. De와 공내압력과의 상관관계

표 4. 카트리지 시험에서의 굴진효율 및 화약 사용현황

구분	Blast pattern & result				Explosives				
	Drill holes	Drill depth(m)	Advance (m)	Efficiency (%)	Cartridge explosive	Fine explosive	Total	Specific charge (kg/m ²)	
구간-I(90 m ²)	Average	162	3.9	3.00	76.9	360 kg	20.5 kg	380.5 kg	1.41
구간-II(80 m ²)	Average	156	3.7	2.85	77.3	295 kg	21.5 kg	316.5 kg	1.39
구간-III(85.57 m ²)	Average	149	4.0	3.4	84.5	315 kg	30.4 kg	345.4 kg	1.18
Note	시험발파 예정지와 동일한 구간에서 기존의 시공방법에 의해 일반화약류 적용에 따른 3~5회 발파 결과치의 평균 값임.								

2.3 굴진효율 비교결과

시험발파 대상 현장은 3곳 모두 급격한 암질 및 암반 강도 변화에 따른 80%미만의 저조한 굴진효율을 나타내고 있어 천공패턴을 크게 변경하지 않는 조건에서 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System)을 반영하여 굴진효율을 증대시키고자 하였다. 굴진효율 비교결과 구간-I의 경우 기존 발파방식에 비하여 평균 굴진효율은 7~8%증가하였고 천공수는 약 10%감소하였으나 비장약량은 약 30%이상 증가하였다. 구간-II의 경우 기존 발파방식에 비하여 평균 굴진효율은 12~13%증가하였고 천공수는 약 13%감소하였으나 비장약량은 약 43%가 증가된 결과를 얻었다. 구간-III의 경우 기존 발파방식에 비하여 평균 굴진효율은 9~11%증가하였고, 천공수의 차이가 거의 없음에도 불구하고, 비장약량이 약 25% 증가 되었다(윤지선 등, 2008).

2.4 발파진동 계측결과

벌크에멀전폭약(Bulk Emulsion System) 적용에 따라 공당 장약량 및 회차당 전체 장약량 증가로 발생 진동 및 소음수준이 증가할 것으로 예상되어 각 시험막장별

표 5. 벌크에멀전 시험에서의 굴진효율 및 화약 사용현황

Station		Blast pattern & result				Explosives				
		Drill holes	Drill depth(m)	Advance (m)	Efficiency (%)	Bulk Emulsion	Cartridge (booster)	Fine explosive	Total	Specific C(kg/m ²)
Trial blast (구간-I) 90 m ²	Average	147.2	4.08m	3.43 m	84.07	482.50 kg	58.87 kg	24.17 kg	565.53	1.837
Trial blast (구간-II) 80 m ²	Average	138.0	4.17m	3.78 m	90.65	520.00 kg	51.75 kg	28.87 kg	600.62	1.986
Trial blast (구간-III) 85.57 m ²	Average	154.6	4.36m	4.16 m	95.4	517.13 kg	62.8 kg	30.3 kg	610.23	1.467

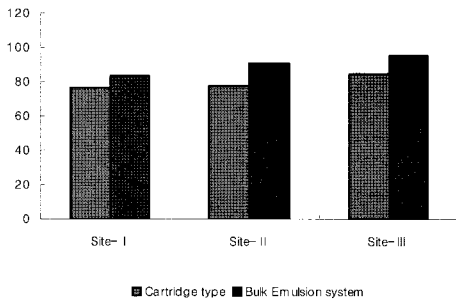


그림 2. 굴진효율 결과

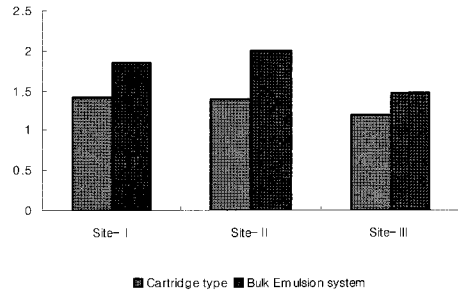


그림 3. 비장약량 결과

로 발생 진동 및 소음 수준을 파악하기 위해 계측계획을 수립하였다. 막장 전방 200 m 지점부터 50 m 등간격으로 지오폰(Geo-phone) 6대를 설치하여 발파 작업시 계측을 수행하였다. 구간-III에서의 시험발파 계측은 카트리지형(Cartridge type) 때와 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System) 때의 진동치 비교를 위해 총 5회(카트리지형(Cartridge type) 2회, 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System) 3회)에 걸쳐 수행하였으며 시험도중 횡개 굴착작업의 병행으로 참고용으로 횡개발파 1회 계측도 실시하였다.

같은 이격거리에서 계측을 실시한 벌크에멀전폭약(Bulk Emulsion System)과 카트리지형(Cartridge type) 적용시의 PVS를 비교해본 결과 벌크에멀전폭약(Bulk Emulsion System)의 적용시에 첫 계측지점에서는 10~20%의 높은 진동치를 보이고, 이격거리가 증가함에 따라 발생 진동수준 차이는 점차로 줄어드는 경향을 보이는 것을 알 수 있는데, 이는 지발당 장약량이 높아졌기 때문으로 판단된다.

적용 심발공법별 대표 파형을 선정하여 성분별 최대 진동속도치인 PPV(Peak particle velocity) 발생시점을 검토하였다.

2.4.1 카트리지형(Cartridge type)

그림 4는 폭원으로부터 200 m이격 위치에서 계측된 카트리지형(Cartridge type) 적용시의 대표파형이다. 성분별 PPV 검토결과 Transverse성분은 8.89 mm/s(at 0.085 sec), Vertical성분은 14.7 mm/s(at 0.121 sec), Longitudinal성분은 13.8 mm/s(at 0.040sec)로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 V-cut의 경우 최초 주 심발 경사공열에 대한 암반구속도가 크므로 이로 인하여 PPV와 PVS성분이 모두 심발영역에서 발생하였다.

2.4.2 Bulk emulsion type

그림 5는 폭원으로부터 200 m이격 위치에서 계측된 Bulk emulsion type 적용시의 대표파형이다. 성분별 PPV 검토결과 Transverse성분은 7.94 mm/s(at 0.654 sec),

표 6. 회차별 장공시험발파 지반진동 및 소음수준 계측결과

구 분	발파방법	이격거리 (m)	Vibration Level						Sound Level	
			200 m		Vertical		Longitudinal		PVS (mm/s)	PSPL dB(A)
			250 m	Hz	(mm/s)	Hz	(mm/s)	Hz		
1회차	벌크에멀전시스템 (Bulk Emulsion System)	200m	7.94 at 0.654s	57	7.92 at 0.035s	N/A	7.94 at 0.589s	51	9.67 mm/s at 0.653 sec	106.6 dB(A) at 1.5047 sec
		250m	2.44 at 0.198s	>100	5.13 at 0.044s	>100	4.43 at 0.660s	>100	5.72 mm/s at 0.211 sec	- at 2.318 sec
		300m	3.14 at 1.079s	85	3.24 at 0.207s	>100	5.45 at 0.789s	>100	5.88 mm/s at 0.790 sec	99.6 dB(A) at 2.938 sec
		350m	2.51 at 1.324s	64	2.21 at 0.921s	>100	6.40 at 0.919s	>100	6.72 mm/s at 0.919 sec	- at 1.643 sec
		400m	1.27 at 0.217s	>100	1.33 at 1.054s	>100	1.98 at 1.109s	>100	2.33 mm/s at 1.054 sec	- at 1.748 sec
		450m	1.21 at 0.330s	>100	2.11 at 1.189s	>100	2.38 at 1.189s	>100	2.84 mm/s at 1.187 sec	- at 2.944 sec
2회차	벌크에멀전시스템 (Bulk Emulsion System)	204m	4.95 at 0.756s	N/A	10.4 at 0.188s	N/A	10.0 at 0.532s	64	11.0 mm/s at 0.188 sec	105.2 dB(A) at 2.741 sec
		254m	4.48 at 2.044s	73	6.30 at 1.271s	>100	6.67 at 1.746s	>100	8.57 mm/s at 1.271 sec	- at 2.959 sec
		304m	3.67 at 1.110s	43	4.37 at 0.794s	>100	8.70 at 0.794s	85	9.97 mm/s at 0.794 sec	96.2 dB(A) at 0.806 sec
		354m	3.60 at 1.160s	>100	3.52 at 0.925s	>100	8.05 at 0.925s	>100	9.04 mm/s at 0.925 sec	- at 2.952 sec
		404m	2.03 at 1.060s	>100	2.11 at 1.058s	>100	4.71 at 1.058s	57	5.17 mm/s at 1.058 sec	- at 2.391 sec
		454m	1.52 at 1.522s	85	2.87 at 1.367s	>100	3.57 at 1.192s	51	4.45 mm/s at 1.364 sec	96.1 dB(A) at 2.885 sec
3회차 횡행	카트리지 (Cartridge type)	200m	8.89 at 0.085s	N/A	14.7 at 0.122s	N/A	13.8 at 0.040s	N/A	17.8 mm/s at 0.121 sec	106.0 dB(A) at 2.978 sec
		250m	5.59 at 0.085s	>100	4.33 at 0.085s	>100	4.24 at 0.085s	>100	6.93mm/s at 0.121 sec	104 dB(A) at 2.978 sec
		300m	3.95 at 0.283s	>100	4.29 at 0.212s	>100	2.89 at 0.216s	>100	4.80 mm/s at 0.216 sec	105.9dB(A) at 2.737sec
		350m	4.89 at 0.236s	>100	4.75 at 0.955s	>100	3.71 at 0.155s	>100	5.03 mm/s at 0.955 sec	*** dB(A) at 1.646sec
		400m	2.05 at 0.222s	>100	2.51 at 0.302s	>100	1.86 at 0.250s	>100	2.88 mm/s at 0.222 sec	92.1 dB(A) at 0.075 sec
		450m	3.65 at 0.261s	>100	3.11 at 1.225s	>100	3.08 at 1.223s	73	3.84 mm/s at 0.261 sec	*** dB(A) at 2.665 sec
4회차	카트리지 (Cartridge type)	210m	3.05 at 0.802s	73	13.5 at 0.209s	N/A	13.81 at 0.682s	51	13.8 mm/s at 0.209 sec	108.2 dB(A) at 2.070 sec
		260m	1.75 at 0.166s	>100	7.99 at 0.216s	>100	2.71 at 0.213s	85	8.17mm/s at 0.216s	***dB(A) at 0.958 sec
		310m	1.84 at 0.427s	>100	4.27 at 0.428s	>100	1.94 at 0.255s	>100	4.48 mm/s at 0.428 sec	***dB(A) at 1.125 sec
		360m	2.14 at 0.385s	>100	1.68 at 0.430s	>100	1.76 at 1.097s	>100	2.31 mm/s at 0.385 sec	***dB(A) at 1.732 sec
		410m	1.46 at 0.328s	>100	1.27 at 0.400s	>100	1.59 at 0.328s	>100	2.17mm/s at 0.328 sec	*** dB(A) at 1.473 sec
		460m	2.71 at 0.422s	>100	0.968 at 0.422s	>100	1.27 at 0.425s	>100	3.06mm/s at 0.422 sec	***dB(A) at 1.570 sec
5회차	벌크에멀전시스템 (Bulk Emulsion System)	214m	8.00 at 0.291s	34	10.9 at 0.016s	N/A	8.38 at 0.274s	37	11.7 mm/s at 0.290 sec	107 dB(A) at 1.863sec
		264m	3.19 at 0.488s	>100	9.26 at 0.028s	>100	4.59 at 0.369s	>100	9.28 mm/s at 0.028 sec	*** dB(A) at 1.796 sec
		314m	3.81 at 0.949s	>100	7.57 at 0.035s	>100	4.21 at 0.488s	85	7.64 mm/s at 0.035 sec	108.8dB(A) at 2.672 sec
		364m	2.51 at 0.704s	>100	2.30 at 0.039s	>100	2.78 at 0.589s	85	2.95 mm/s at 0.691 sec	***dB(A) at 1.3527 sec
		414m	2.84 at 0.052s	>100	2.22 at 0.050s	>100	2.64 at 0.049s	>100	4.00mm/s at 0.049 sec	***dB(A) at 1.160 sec
		464m	3.14 at 0.058s	>100	1.43 at 0.162s	>100	1.32 at 0.058s	>100	3.52mm/s at 0.058 sec	***dB(A) at 1.755 sec
6회차	카트리지 (Cartridge type)	204m	6.67 at 0.156s	N/A	8.00 at 0.553s	N/A	6.08 at 0.139s	N/A	9.86 mm/s at 0.032 sec	103dB(A) at 2.688 sec
		254m	5.87 at 2.118s	>100	3.71 at 1.647s	>100	3.11 at 1.696s	>100	6.88 mm/s at 1.647 sec	96.4 dB(A) at 1.662 sec
		304m	3.33 at 0.170s	>100	3.60 at 0.037	>100	2.54 at 0.038	>100	4.47 mm/s at 0.039 sec	108.9dB(A) at 2.446 sec
		354m	3.68 at 0.047s	>100	2.41 at 0.824s	>100	3.22 at 0.049s	>100	4.10 mm/s at 0.050 sec	*** dB(A) at 2.226sec
		404m	1.29 at 0.062s	>100	3.67 at 0.059s	>100	2.13 at 0.053s	>100	3.82mm/s at 0.059 sec	92.1dB(A) at 0.049 sec
		454m	2.16 at 0.065s	>100	2.29 at 0.198s	>100	1.86 at 1.107s	73	3.06 mm/s at 0.065 sec	***dB(A) at 1.603sec

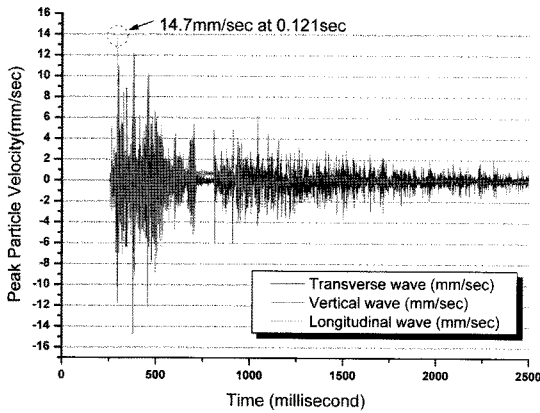


그림 4. 카트리지형(Cartridge type)의 파형전파특성

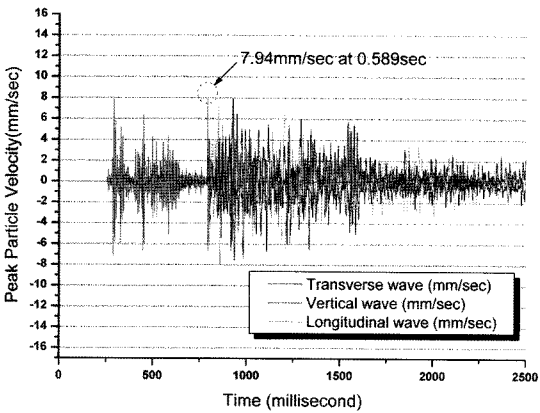


그림 5. Bulk emulsion type의 파형전파특성

Vertical 성분은 7.92 mm/s(at 0.035sec), Longitudinal 성분은 7.94 mm/s(at 0.589sec)에 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 심발영역 발파 이후 확대영역에서 PPV가 발생되었는데, 이는 영역분할 발파방법에 의해 충분히 진동제어가 가능할 것으로 판단된다.

2.5 여굴량 측정결과

일반 발파공에 비하여 상대적으로 적은 장전밀도를 요구하는 외곽공 영역은 정밀화약을 사용하고 있다. 여굴량 및 미굴량 측정은 직접 측정과 광파측량기에 의한 측량 데이터의 비교를 통해 이루어졌다. 막장별 여굴량 조사결과 기존 발파방법에 비하여 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System)적용 및 초과 천공장에 의한 발생 여굴량 및 미굴량과의 직접적인 상관성은 미약한

것으로 판단되며 가장 큰 영향을 미치는 요인으로는 현장 막장별 굴착선 주변의 암반 구조 지질학적 상태가 과굴량 및 미굴량 생성에 주요한 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

2.6 파쇄도 분석결과

작고 균질한 파쇄입도를 생산하는 발파기술은 2차 압파쇄 작업 소요시간을 최적화 시키고 동일 규모의 버력 처리시스템보다 효율적인 작업을 가능하게 한다. 특히, 대단면 장대 터널에서 급속굴진을 위해 장공발파를 고려한다면 대량으로 발생하는 암 버력에 대한 효율적 처리수단을 강구하여야 한다. 대체로 터널에서는 덤프(Dump)와 로우더(Loader)에 의한 버력 처리방식이 일반적인 방식으로서 대량의 생산버력 처리수단으로 운행거리별로 장비소요대수와 장비용량을 고려하는 것 이외에 기본적으로 가늘고 균질한 입도의 버력을 생산할 수 있는 발파방법을 선정하는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 본 연구에서는 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System)적용으로 증가된 장전밀도로 인한 암 파쇄효율을 기존 발파방법과 비교하였다(에스케이건설(주), 2008).

발파나 파쇄된 암석의 입도 분석을 위한 영상분석 시스템으로 SPLIT을 사용하였다. 이 프로그램은 영상 입력 → 영상처리(Edge Detection, 수정) 및 연산 → 결과 분석 → 출력의 분석단계를 거치며, 야외나 실내에 설치된 카메라나 캠코더로부터 얻어진 아날로그, 디지털 영상자료를 신속하게 처리하고 분석할 수 있는 장점이 있다. 영상처리는 파쇄 암석편의 영상을 탐색하여 암석편 외곽선들의 망을 구성하는 binary image로 변환하기 위해 사용하며, Block 인식 → 영상처리의 각 단계에서 모서리를 찾는 과정을 최적화하기 위해 EDV(Edge Detection Variables)라는 요소 사용 → net의 신뢰도 향상을 위한 수정편집과정을 거치게 된다.

결론적으로 벌크에멀전 적용시 일반 포장형 화약류를 적용하였을 경우에 비하여 평균 파쇄입도(P50)는 64.52%, 최대 파쇄입도(TOPsize)는 69.1% 수준으로 평균 35% 이상 파쇄효율이 향상된 결과를 얻었고 더불어 균질한 입도 분포 양상을 보이는 것으로 분석되었다.

2.7 Cycle time 분석

천공장을 10%이상 증가시켰을 각 공종별 소요 작업

표 7. 시험현장 여굴량 및 미굴량 계측결과

구역별		좌측반	좌측(상)	중앙부	우측(상)	우측반	H:C:F	
구간 - I	1-1	over	32.7 cm	24.8 cm	15.0 cm	13.3 cm	12.0 cm	55%
		under	-	-	-	-	-	
	1-2	over	17.3 cm	14.3 cm	-	11.8 cm	15.7 cm	78%
		under	-	-	16.3 cm	-	-	
	1-3	over	8.3 cm	7.5 cm	12.5 cm	12.5 cm	7.0 cm	84%
		under	-	-	-	-	-	
	1-4	over	27.3 cm	25.3 cm	19.3 cm	18.7 cm	21.0 cm	68%
		under	-	-	-	-	-	
	1-5	over	-	-	12.7 cm	10.0 cm	15.0 cm	70%
		under	13.0 cm	16.3 cm	-	-	-	
	1-6	over	17.6 cm	16.0 cm	23.0 cm	20.8 cm	32.3 cm	71%
		under	-	-	-	-	-	
기준	over	5.7 cm	13.8 cm	14.8 cm	20.8 cm	19.0 cm	62%	
	under							
구간 - II	2-1	over	27.6 cm	26.0 cm	33.0 cm	30.8 cm	32.3 cm	80%
		under	-	-	-	-	-	
	2-2	over	25.0 cm	24.0 cm	-	12.0 cm	13.3 cm	85%
		under	-	-	17.5 cm	-	-	
	2-3	over	21.0 cm	18.8 cm	-	23.8 cm	29.3 cm	80%
		under	-	-	17.4 cm	-	-	
	2-4	over	-	-	-	-	-	75%
		under	27.0 cm	30.0 cm	23.5 cm	29.3 cm	48.3 cm	
	2-5	over	36.7 cm	31.3 cm	22.7 cm	33.0 cm	43.7 cm	79%
		under	-	-	-	-	-	
	2-6	over	15.0 cm	15.3 cm	13.4 cm	17.5 cm	28.3 cm	76%
		under	-	-	-	-	-	
기준	over	22.5 cm	15.8 cm	11.4 cm	19.5 cm	25.3 cm	75%	
	under	-	-	-	-	-		
구간 - III	3-1	over	5 cm	15 cm	-	4 cm	10 cm	91%
		under	-	-	11 cm	-	-	
	3-2	over	-	5 cm	7 cm	-	-	92%
		under	21 cm	-	-	17 cm	4 cm	
	3-3	over	9 cm	6 cm	7 cm	5 cm	5 cm	91.5%
		under	-	-	-	-	-	

시간이 증가할 것으로 예상되어 기존의 작업 cycle내에서 1일 2회 발파로 계획 굴진장 확보가 가능한가를 판단하기 위해 공종별 소요 작업시간을 조사하였다. 기존의 작업 Cycle과 비교검증을 위해 천공→발파→버력처리→

보강작업등의 작업 Cycle을 12시간, 1일 2회 발파를 기준으로 하였으며 장비 trouble이나 기타 불규칙적 장애요인에 의한 Time loss량은 조사대상에서 배제하였다. 실험결과 기존 작업Cycle은 평균 9.45시간이 소요되

표 8. 암 파쇄입도 분석절차

구 분	파쇄입도 분석사진	디지털 영상처리결과
일반 Cartridge 적용		
Bulk emulsion 적용		

표 9. 암 파쇄입도 비교결과

구 분	일반 Cartridge 적용	Bulk emulsion 적용																																																																								
파쇄입도 누적곡선	<table border="1"> <caption>CUMULATIVE SIZE DISTRIBUTION (Standard Cartridge)</caption> <thead> <tr> <th>Size (mm)</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125.00</td><td>73.35</td></tr> <tr><td>88.00</td><td>10.02</td></tr> <tr><td>63.00</td><td>6.01</td></tr> <tr><td>44.00</td><td>4.06</td></tr> <tr><td>31.00</td><td>2.94</td></tr> <tr><td>22.00</td><td>1.51</td></tr> <tr><td>16.00</td><td>0.90</td></tr> <tr><td>11.00</td><td>0.47</td></tr> <tr><td>7.00</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>5.00</td><td>0.24</td></tr> <tr><td>4.00</td><td>0.24</td></tr> <tr><td>2.840</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>2.000</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>1.410</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>0.841</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>0.425</td><td>0.02</td></tr> <tr><td>Pass</td><td>0.02</td></tr> </tbody> </table> <p>P20 Size (mm) 300.26 P50 Size (mm) 399.72 P80 Size (mm) 524.68 TOP Size (mm) 447.47</p>	Size (mm)	%	125.00	73.35	88.00	10.02	63.00	6.01	44.00	4.06	31.00	2.94	22.00	1.51	16.00	0.90	11.00	0.47	7.00	0.38	5.00	0.24	4.00	0.24	2.840	0.32	2.000	0.04	1.410	0.04	0.841	0.04	0.425	0.02	Pass	0.02	<table border="1"> <caption>CUMULATIVE SIZE DISTRIBUTION (Bulk Emulsion)</caption> <thead> <tr> <th>Size (mm)</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125.00</td><td>61.91</td></tr> <tr><td>88.00</td><td>13.32</td></tr> <tr><td>63.00</td><td>8.57</td></tr> <tr><td>44.00</td><td>5.29</td></tr> <tr><td>31.00</td><td>2.48</td></tr> <tr><td>22.00</td><td>1.37</td></tr> <tr><td>16.00</td><td>1.41</td></tr> <tr><td>11.00</td><td>1.07</td></tr> <tr><td>7.00</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>5.00</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>4.00</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>2.840</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>2.000</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>1.410</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>0.841</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>0.425</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>Pass</td><td>0.02</td></tr> </tbody> </table> <p>P20 Size (mm) 74.27 P50 Size (mm) 132.44 P80 Size (mm) 226.11 TOP Size (mm) 353.32</p>	Size (mm)	%	125.00	61.91	88.00	13.32	63.00	8.57	44.00	5.29	31.00	2.48	22.00	1.37	16.00	1.41	11.00	1.07	7.00	0.62	5.00	0.41	4.00	0.22	2.840	0.22	2.000	0.20	1.410	0.20	0.841	0.20	0.425	0.04	Pass	0.02
Size (mm)	%																																																																									
125.00	73.35																																																																									
88.00	10.02																																																																									
63.00	6.01																																																																									
44.00	4.06																																																																									
31.00	2.94																																																																									
22.00	1.51																																																																									
16.00	0.90																																																																									
11.00	0.47																																																																									
7.00	0.38																																																																									
5.00	0.24																																																																									
4.00	0.24																																																																									
2.840	0.32																																																																									
2.000	0.04																																																																									
1.410	0.04																																																																									
0.841	0.04																																																																									
0.425	0.02																																																																									
Pass	0.02																																																																									
Size (mm)	%																																																																									
125.00	61.91																																																																									
88.00	13.32																																																																									
63.00	8.57																																																																									
44.00	5.29																																																																									
31.00	2.48																																																																									
22.00	1.37																																																																									
16.00	1.41																																																																									
11.00	1.07																																																																									
7.00	0.62																																																																									
5.00	0.41																																																																									
4.00	0.22																																																																									
2.840	0.22																																																																									
2.000	0.20																																																																									
1.410	0.20																																																																									
0.841	0.20																																																																									
0.425	0.04																																																																									
Pass	0.02																																																																									
분석결과	125.00 (mm)	73.35%	61.91%																																																																							
	88.00 (mm)	10.02%	13.32%																																																																							
	63.00 (mm)	6.01%	8.57%																																																																							
	P20 size (mm)	100.96	74.37																																																																							
	P50 size (mm)	199.72	153.44																																																																							
	P80 size (mm)	304.06	228.11																																																																							
TOPsize (mm)	447.47	353.32																																																																								

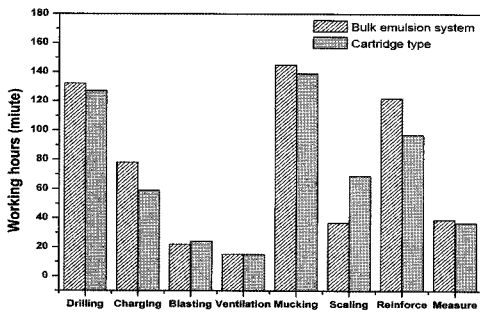


그림 6. 공종별 소요 작업시간 비교

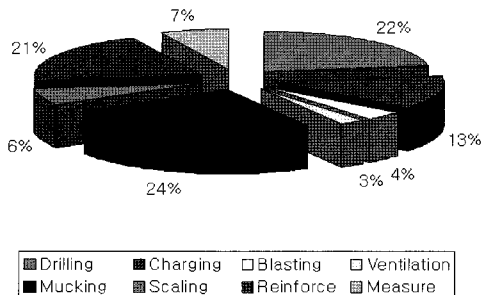


그림 7. 공종별 소요시간 비율 (벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System))

있고 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System) 적용 시에는 평균 9.83시간이 소요되었다. 이는 기계화 장전장비 적용에 따른 인원배치 및 장비활용 미숙으로 장전시간이 증대하였고, 10%이상의 굴진장 증대로 인하여 보강시간이 증대하는 요인으로 작용한 반면 Scaling 및 Mucking에 소요되는 작업시간은 상대적으로 절감되는 효과가 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 국내 3개 도로터널 현장을 대상으로 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System)을 적용하여 굴진율, 천공수의 감소, 장약시간 및 장전시스템 검토, 폭약사용량 및 전체 작업공정에서의 효과에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서는 지보패턴 I, II구간에서 Bulk emulsion 기계화 장전시스템을 적용하여 시험을 수행하였으며 기존 시공방법에 비하여 최대 15% 천공장을 증가시켰음에도 불구하고 평균 10% 이상 굴진효율이 향상된 결과를 얻었다.
2. 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System)은 회당 폭약 사용량이 기존 카트리리지형(Cartridge type)에 비하여 48.8~89.8% 증가하나 굴진효율 향상으로 인하여 비 장약량은 30~43% 증가하였다. 진동수준은 기존 발파와 막장으로부터 비교적 근거리 지점인 200 m근방에서 측정한 진동 수준이 가장 큰 진동수준을 나타내었고, 이격거리가 증가함에 따라 발생 진동수준 차이는 점차로 줄어드는 경향을 보였다. 여굴량은 기존 발파방법과 크게 차이가 없었다. 파쇄도 분석결과 밀장전 효과로 인해 30%이상의 파쇄도 향상효과가 있어 2차 암파쇄 작업 소요시간을 최적화시키고 동일 규모의 버력 처리시스템으로 보다 효율적인 작업이 가능할 것으로 예상된다.
3. 기존의 카트리리지(Cartridge) 작업 Cycle은 평균 9.45

시간이 소요되었고, 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System) 적용시에는 평균 9.83시간이 소요되었다. 기계화 장전장비 적용에 따른 장비활용 미숙으로 장전시간이 증대다. 하지만 이는 장비사용이 익숙해져서 작업 숙련도가 확보되면 오히려 작업시간이 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 10%이상의 굴진장 증대로 쏿크리트(shotcrete) 타설 및 록볼트(rock bolt)시공에 소요되는 시간은 증가하나 막장정리에 소요되는 작업시간이 절감하며, 파쇄입도 향상에 의해 버력 처리시스템에 소요되는 작업시간도 상대적으로 감소하는 효과가 있다.

따라서 상기 몇몇 시스템 보안을 통해 장전밀도 조절과 운영체계가 정착화 된다면 벌크에멀전(Bulk Emulsion) 폭약은 기존의 카트리리지(Cartridge) 제품에 비해 보관 및 운반, 사용면에서 보다 우수한 안전성과 효율적인 시공으로 인한 경제적인 이점을 가지고 있어 대형 대단면 장대터널굴착에서 차세대 폭약으로서 정착될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 국토 25호선 대체 우회도로(○○~○○)건설공사 벌크에멀전시스템(Bulk Emulsion System)을 적용한 장공 시험 발파 결과 보고서, 2008, 에스케이건설(주).
2. 윤지선, 이진무, 이효, 이상현 (2008), 대한화학발파공학회: 학술대회논문집, 대한화학발파공학회 2008년도 춘계학술발표회 논문집, pp. 95-104.
3. 조영근, 김희도 (2004), 대한화학발파공학회지: 화약. 발파, v.18, No. 3, pp. 29-40.
4. ○○~○○간 6공구 실시설계 지반조사 보고서, 2001, 에스케이건설(주).
5. Hagan, T.N. and Duval, M.B. (1993), The importance of some performance properties of bulk explosives in rock blasting, Rock fragmentation by blasting, Fragblast-4, pp. 387-394.

접수일(2009.4.14), 수정일(1차: 2009.4.24), 게재확정일(2009.4.30)