화약 · 발파, 대한화약발파공학회
제24권 제1호, 2006년 6월, pp. 29~37

EXPLOSIVES & BLASTING, Vol. 24, No. 1 (2006) pp. 29~37
J. of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering

터널에서 벌크에멀젼 폭약을 이용한 발파설계기법 연구

이진무[1], 이 효[1], 이상헌[1]*, 김희도[2], 최성현[2]

Blast Design Technique Using the Bulk Emulsion Explosives in Tunnel

Jin-Moo Lee, Heoy Lee, Sang-Hun Lee, Hee-do Kim and Sung-Hyun Choi

Abstract : The demand of the bulk emulsion explosives is being increased more and more by using the mechanization loading system in a domestic tunnel sites. Thus, a rational design criteria that is suitable for rock and circumstance condition has been required. In this study, authors investigated a optimum specific charging weight and resonable charging weight based on domestic blasting construction cases, which were performed by using a mechanization bulk emulsion explosives loading system up to now. Authors also analyzed the blasting results and got the following formula *(Y = 0.669 + (0.0154×RMR), r=0.81)* from the relationship between a optimum specific charging weight of bulk exp. and rock mass rating. A range of resonable charging weight with a drilling depth is calculated considering a rock conditions.

Key words : bulk emulsion explosives, mechanization charging system, rock mass rating, optimum specific charging

초 록 : 최근 국내 터널현장에서 기계식 장전장비를 활용한 벌크에멀전(bulk emulsion)폭약의 수요가 증가되면서 국내 암반 및 주변여건에 적합한 발파의 합리적인 설계기준이 요구되고 있다. 본 연구에서는 현재까지 국내에서 기계식 장전장비를 활용한 벌크에멀젼 폭약을 적용하여 시공한 사례 중 굴진효율 및 여굴량이 양호한 발파결과를 근거로 암반등급별 최적 비장약량과 영역별 적정 장약량을 검토하였다. 또한, 조건을 만족하는 발파결과를 분석하여 RMR 암반분류와 벌크에멀젼 폭약의 최적 비장약량과의 상관식(Y = 0.669 + (0.0154×RMR), r=0.81)을 얻었고, 영역별로 천공장 변화에 따른 적정 장약량 범위를 산출하였다.

핵심어 : 벌크에멀젼 폭약, 기계식 장전장비, RMR 암반분류, 최적 비장약량

1. 서 론

최근 서울외곽 순환고속도로 건설공사에서 기계식 장전장비를 활용하여 대단면 · 장대터널을 성공적으로 굴착 시공하는 등 기계식 장전장비를 활용하여 기존의 발파굴착 방식을 개선하려는 시도가 꾸준히 이루어지고 있다. 기존에는 터널 발파굴착을 위한 장약작업을 대부분 인력에 의존함으로써 장약작업에 소요되는 다수의 인력확보와 개인별 업무 수행능력 차이에 따른 계획시공의 어려움 등이 문제점으로 지적되었다. 그러나 장비에 센서를 부착한 기계식 장전장비의 도입으로 정확한 공내 장전밀도 조절이 가능해졌고 장비운영자를 제외한 순 장약에 소요되는 작업원과 장전시간이 대폭 절감됨에 따라 계획시공 및 공기절감을 통한 경제적 시공이 가능해졌다. 본 논문에서 소개하고자 하는 기계식 장전 장비는 죽상태의 벌크 에멀젼 폭약을 전용 장전호스를 사용하여 공내 장전하는 방식이며 주입 펌프의 회전속도를 조절하여 전체 흐름양속도 및 재료별 흐름양 설정이 가능하여 작업의 숙련도에 따라 제어가 용이하다. 또한, 장비 운영자나 막장 책임자는 시시각각 장비에 부착된 주 LCD화면을 통하여 현장 여건에 적합하도록 자동설정된 공당 장약량 및 전체 장약량 현황 파악이 가능하고 차후에 암질 및 지질상태등 주변 여건의 변화에 따른 보정 설정을 신속하고 간편하게 할 수 있다. 본 연구에서는 2001년부터 2005년까지 국내 터널현장에서 벌크에멀젼 폭약을 적용하여 시

1) SK건설(주) GEOTASK팀
2) (주)고려Nobel화약
* Corresponding author : pro1999@skec.co.kr
접수일 : 2006년 5월 27일
게재승인일 : 2006년 6월 20일

공한 터널 5개소와 시험발파가 실시된 터널 4개소의 발파결과중 굴진효율 및 여굴량이 양호한 시공결과를 근거로 적용현장의 암반등급별 최적 비장약량과 영역별 적정 장약량을 검토하였다. 상기조건을 만족하는 총 98개의 발파결과를 회귀분석하여 RMR(단, RMR>50)과 벌크에멀젼 폭약의 최적 비장약과의 상관식 Y = 0.669 + (0.0154×RMR)을 얻었다. 이때 상관계수는 0.81이다. 또한, 벌크에멀젼 폭약을 적용하였을때 천공장 및 굴착 단면적의 증가에 따른 최적 비장약량의 변동추이와 영역별 적정 장약장과 장약량을 검토하였으며 이를 근거로 향후 국내 대단면 · 장공터널에서 벌크에멀젼 폭약을 보다 효율적으로 설계에 반영할 수 있도록 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

2. 벌크에멀젼 폭약의 특성과 장전방법

2.1 장전 장비 개요

터널 굴진용 폭약으로 최근까지 가장 많이 사용된 니트로글리세린 계열 폭약은 폭속과 맹도 등 동적위력이 커서 굴진효율이 양호한 장점이 있다. 그러나 제품의 원료성분 자체가 폭발성 물질로 안정성이 떨어지고 니트로기에 의한 폭발 화학반응에 의해 질소 화합물 등의 유독가스 배출이 심한 문제가 있으며, 지반진동을 과다하게 야기시키고 이에 따른 구조물 안전에 위험을 초래하는 등 시공 능률면이나 환경측면에서 매우 불리한 요소가 많아 이미 전 세계적으로 에멀젼 계열의 폭약으로 대체되고 있는 추세이다.

특히, 벌크에멀젼 폭약의 기계식 장전장비는 사용에 따른 폭약의 안전성을 더욱 높이고, 공내 밀장전을 통해 폭력 손실을 최소화하여 굴진 및 암파쇄효율을 증대시킬 수 있으며, 아울러 작업의 편리성을 높인 미래형 터널 폭약장전 장비다.

현재 국내에서 도입된 기계식 장전장비는 PLC1000으로 스웨덴의 Dyno Nobel사에서 제작된 벌크에멀젼 폭약 전용 장전장비다.(그림1, 그림2) PLC1000의 구조는 크게 에멀젼 및 물의 흐름량 조절을 위한 펌프, 무선 송신장치, PLC touch screen과 폭약 탱크, 공기 압축기, 전기 제어판등으로 구성되어 있다. (Dyno Nobel, 2002)

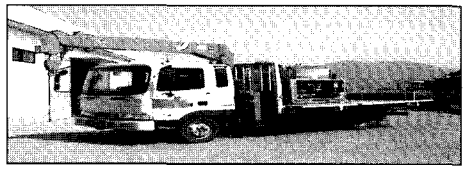


그림 1. 벌크에멀젼 폭약 장전장비.

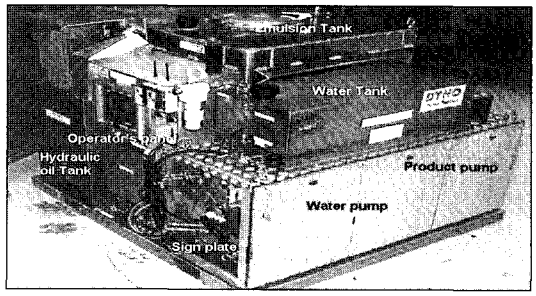


그림 2. 벌크에멀젼 장전장비 본체.

PLC1000에 연결된 고무 장전호스를 발파공에 삽입한 후 무선 제어장치(그림3)를 이용하여 폭약을 장전하면 호스가 공 밖으로 밀려 나오면서 장전이 완료된다. 공당 장약량과 전체 장약량은 PLC touch screen을 통해 제어가 가능하고 암반, 암질 상황 및 천공장에 따라 자유롭게 조절할 수 있다 (그림4, 그림5)

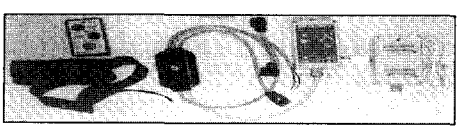


그림 3. 무선 제어장치.

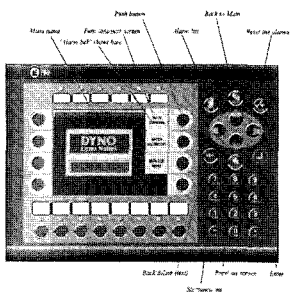


그림 4. PLC 메인화면.

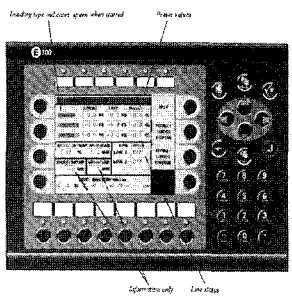


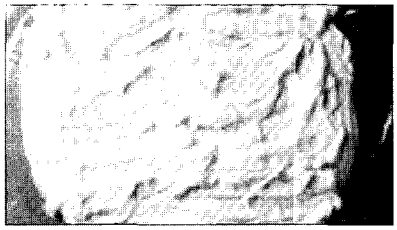
그림 5. 자동장전 화면.

2.2 벌크에멀젼 폭약의 장전방법

벌크에멀젼 폭약은 노천용과 터널용으로 구분된다. 터널용 벌크에멀젼 폭약은 수평공과 상향공에도 장전이 가능하도록 노천용 폭약에 비해 점성이 증가되어 있다(표 1). 본 논문에서는 터널용 벌크에멀젼 폭약의 장전방법에 대해서 소개하기로 한다.

그림 6과 그림 7은 에멀젼 펌프와 물 펌프의 RPM대비 흐름량을 나타낸다. 일반적으로 확대공 장약 시 40kg/min의 속도로 설정하고 최외곽공 장약 시 20kg/min로 설정하도록 되어 있으나 최종 흐름량은 현장에서 폭약의 실제 상태(물과 에멀젼의 혼합상태)에 부합하여 조정한다(Dyno Nobel, 2002). 벌크에멀젼 폭약의 장전은 그림 8과 같은 순서로 이루어 진다. 벌크에멀젼 폭약은 뇌관에 의해 기폭이 되지 않으므로 포장형 약포의 에멀젼 폭약이나 NG계열의 전폭약포를 사용하여야 한다. 즉, 역기폭의 경우 뇌관을 장착한 전폭약포를 호스와 함께 공내로 밀어 놓고 벌크에멀젼 폭약을 주입한다.

표 1. 벌크 에멀젼 폭약 사양(Koryo Nobel Explosives, 2004)

제 품 명	터널용(New Emulite 1000)	제품형상
폭속 (m/sec)	5,500	
가비중 (g/cc)	1.20~1.25	
폭발열 (㎉/kg)	690	
가스량 (ℓ/kg)	976	

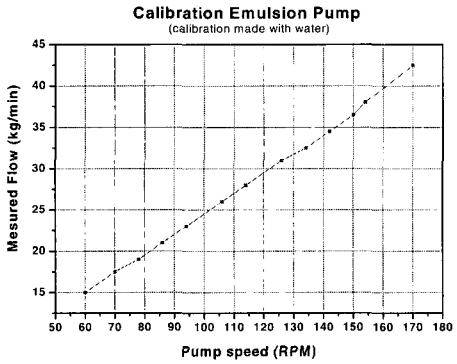


그림 6. 흐름양 및 속도조절(에멀젼).

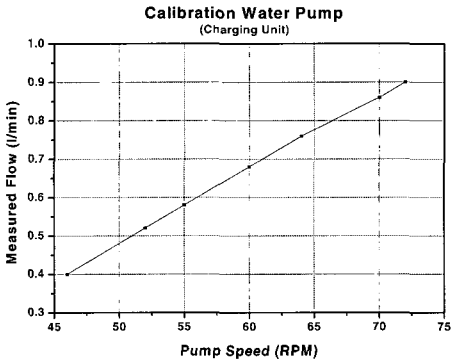
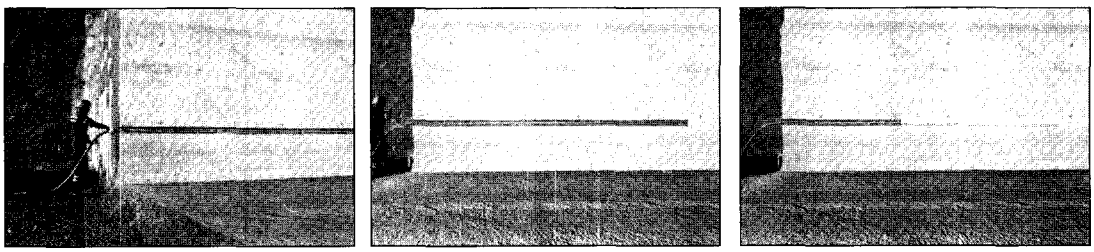


그림 7. 흐름양 및 속도조절(물).



(a) 전폭약포와 함께 호스 삽입단계 (b) 공저부터 벌크에멀젼 충진단계 (c) 공내 충진완료 후 호스 자동 배출

그림 8. PLC 1000 system을 활용한 벌크 에멀젼 폭약 장전원리.

2.3 벌크에멀젼 폭약의 위력 증대요인

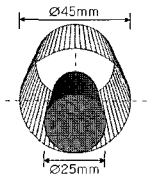
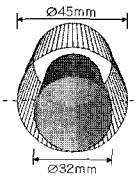
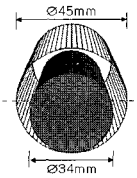
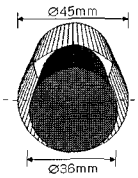
현재 국내에서 생산되는 터널용 산업폭약 중 포장형의 경우 경암 이상의 암반조건에 적합하도록 제작된 NG계열의 다이나마이트와 고성능 에멀젼 계열의 폭약이 적용되고 있다. 폭약의 위력을 결정하는 1차적인 요소에는 폭발에너지(발생열량)와 가스량, 폭발 속도가 있으며, 폭약의 약경, 장전밀도와 같은 2차적인 요소가 있다. 특히, 동일한 폭약을 사용한 경우 장전밀도를 증가시키거나 폭약경을 증가시키면 공내 폭압을 대폭 증대시킬 수 있다(T.N Hagan & M.B Duval, 1993). 터널의 최외곽부나 암반사면의 절취부에 공경에 비하여 작은 직경의 폭약을 사용하여 폭압을 공기층에서 일정부분 감쇄시킴으로서 모암 및 주변 암반 손상영역을 줄이는 제어발파는 이러한 효과를 역으로 적용한 사례이다. 그러나 터널의 심발부 및 확대부, 바닥부는 굴진효율의 증대를 목적으로 가급적 집중장약의 형태로 장전하여야 하며 천공경과 폭약경의 차이로 생성된 발파공내의 공기층은 우수한 파쇄 및 굴진율을 저해하는 대표적인 요소로서 작용하게 된다. 표 2는 발파공을 완전히 채우게 되는 벌크에멀젼 폭약에 대해 포장형 폭약의 직경에 따른 공내 충전율을 비교한 것이다. 단위 장약장에 대하여 벌크 에멀젼 폭약으로 장전하였을 경우와 동일 천공경(Φ45㎜)에서 포장형 폭약의 약경에 따른 장전비율을 비교하면 표 3과 같다.

3. 현장 적용사례

3.1 조사대상구간의 암반평가

본 연구에서 현장별 암반상태를 정량적으로 평가하기 위하여 RMR분류방법을 채택하였고 터널 막장조사와 시추자료로부터 구할 수 있는 5개(무결암의 단축압축강도, RQD, 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수 상태)의 측정 가능한 변수로 대상 지역의 암반에 대한 기본 평점을 결정하였다. 대부분의 현장에서 벌크에멀젼 폭약의 사용목적은 굴진장을 증대시켜 목적하는 굴진율 및 파쇄효율을 얻기 위해 암반등급 Ⅰ·Ⅱ의 상당히 양호한 암반조건에 적용되어왔다. 이러한 벌크에멀젼 폭약의 적용 특성상 본 연구 대상 지역의 암상은 대부분은 불연속면의 영향이 적고 암반 상태가 양호한 지역으로 일축압축강도는 1,500kgf/cm^2 이상의 경암이나 극경암의 암반이었고 RMR평가결

표 2. 벌크 에멀젼 폭약 대비 기존 포장형 약포의 공내 충진율 비교

약포 직경	Φ25㎜	Φ32㎜	Φ34㎜	Φ36㎜
폭약 충전 개요도				
장전밀도	0.5 kg/m	0.8 kg/m	1.05 kg/m	1.25 kg/m
벌크에멀젼 대비	중량비 26.3%	중량비 42.1%	중량비 55.3%	중량비 65.8%

사용 약폭의 직경에 따른 폭력 저감

- 관련식 : $Decoupling\ Index\,(D_e) = \frac{\text{발파공의직경}}{\text{폭약의직경}} = \frac{\phi}{d}$
- 천공경 Φ45㎜에 대하여 Φ32㎜와 Φ36㎜의 직경을 갖는 약포를 장전하는 경우 De지수는 각각 1.4와 1.25 정도임

폭약직경	De Index	공내폭압(kg · f/㎠)	(B),(C)/(A)
Φ45㎜(A)	1.00	2.75×104	100 %
Φ32㎜(B)	1.40	0.90×104	32.7 %
Φ36㎜(C)	1.25	1.50×104	54.5 %

De지수와 공내 작용폭압과의 관계

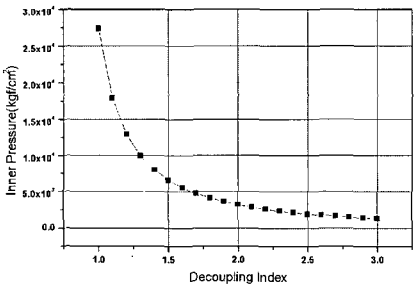
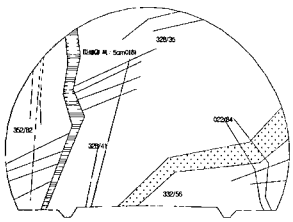
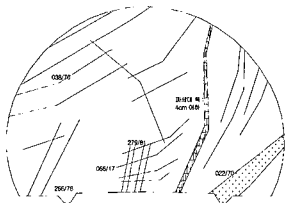
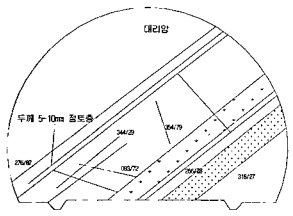
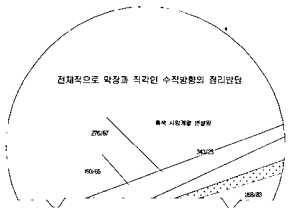


표 4. 조사 대상지역의 암반분류 결과 예 (중부내륙고속도로 9공구 이화터널, 중앙선 3공구 팔당터널)

Face mapping	매개변수		결과	점수
	• 단축강도		150Mpa	10
	• RQD		63%	12
	불연속면	• 간 격	20~60cm	10
		• 길 이	3~10m	2
		• 틈 새	0.1~1.0m	4
		• 거칠기	거침	5
		• 충전물	없음	6
		• 풍화도	신선	6
	• 지하수		습윤	4
	• 총 점			59

Face mapping	매개변수		결과	점수
	• 단축강도		170Mpa	10
	• RQD		60%	12
	불연속면	• 간 격	0.6~2m	15
		• 길 이	3~10m	2
		• 틈 새	0.1~1.0m	4
		• 거칠기	거침	3
		• 충전물	단단(>5)	4
		• 풍화도	신선	6
	• 지하수		완전건조	15
	• 총 점			71

Face mapping	매개변수		결과	점수
	• 단축강도		180Mpa	10
	• RQD		68%	14
	불연속면	• 간 격	20~60cm	10
		• 길 이	10~20m	2
		• 틈 새	0.1~1.0m	4
		• 거칠기	매끄러움	2
		• 충전물	단단(>5)	4
		• 풍화도	보통	5
	• 지하수		완전건조	15
	• 총 점			66

Face mapping	매개변수		결과	점수
	• 단축강도		210Mpa	10
	• RQD		76%	17
	불연속면	• 간 격	0.6~2m	15
		• 길 이	3~10m	2
		• 틈 새	<0.1mm	5
		• 거칠기	거침	5
		• 충전물	없음	6
		• 풍화도	신선	6
	• 지하수		완전건조	15
	• 총 점			81

과도 대부분 50이상이다. 표 4는 본 연구에서 공학적 암반분류 방법으로 활용한 대상 지역의 RMR 평가 결과와 막장면 매핑자료다.

3.2 RMR과 벌크 에멀젼 폭약의 비장약량 비교

중부내륙고속도로 제9공구 이화터널(시점구간), 대구-부산간 고속도로 제7공구 고정2터널, 서울외곽순환고속도로 4공구 사패산 터널 및 5공구 수락산 터널, 중앙선 3공구 팔당터널 등 총 5개 현장에서 수행한 시공실적과 이외에도 강촌 제1터널, 팔괴터널, 옥산터널, 이화터널(종점구간) 등 총 4개 현장에서 수행한 시험발파결과를 기초로 해서 구한 비장약량과 RMR과의 상관관계를 구하였다(그림 9).

현장별 최적 비장약량을 산정하기가 어렵기 때문에 발파결과 측정 자료 중 발파효율 90%이상이고, 평균 여굴량이 0.25m²/m 이하의 양호한 결과를 나타낸 자료만을 선택해 비교하였다. 이 범주에 들어온 98개의 데이터를 회귀분석한 결과 상관계수가 0.81로 비교적 높게 나타났다. 이는 RMR값이 높을수록 암반의 결함이 적기 때문에 단위부피의 암석을 발파하는데 소요되는 장약량이 증가함을 의미한다. 따라서 현장별 RMR자료를 기준으로 벌크에멀젼 적용 시 암질 및 암반상황을 고려한 적정 지발당 장약량을 추측할 수 있는 근거자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

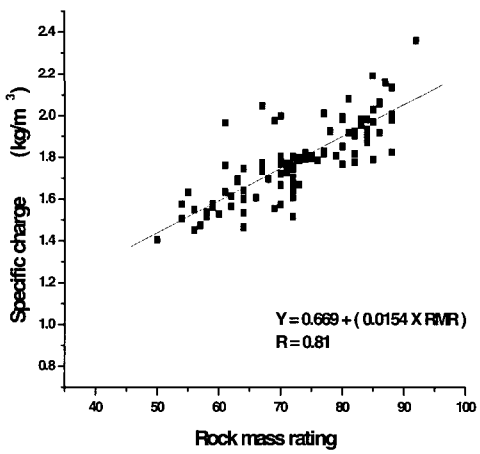


그림 9. RMR과 비장약량의 상관관계(RMR>50).

3.3 영역별 설계 장약량 평가

터널에서 벌크 에멀젼 폭약을 설계에 적용할 경우 영역별 공당 장전밀도의 판단기준은 그림 10과 같이 터널용 벌크 에멀젼 폭약 생산의 기술 제휴사인 Dyno Nobel사에서 제안한 방법을 근거로 하고 있다. 그러나 암반 및 지반여건과 주변환경이 국내 상황과 차이가 있을 것으로 판단되어 국내 실정에 적합한 영역별 장전패턴을 국내 시공실적을 근거로 알아보고 제시된 기준안과의 차이점을 비교·검토해 보았다.

기준안에서 영역별 장전패턴은 전체 천공 체적에 대하여 심발 및 바닥부 기준 100%, 확대부 75%, 전열부 50%의 장전밀도를 요구하고 있으며 외곽부의 장전밀도는 국내 터널현장에서 대체로 정밀폭약을 적용하므로 비교 대상에서 제외하였다. 국내 터널시공 실적을 근거로 영역별 장약패턴을 검토해본 결과 벌크에멀젼 폭약과 전폭약포의 합계 장전밀도는 각 천공 체적에 대하여 심발부와 바닥부는 65%~72%(68.5%), 확대부는 55%~ 68%(61.5%), 전열부는 47%~57%(52%)로 조사되었다.

대체로 천공장의 증대에 따라 영역별 장전밀도가 증가하는 양상을 보였으며 현장에 따라서는 확대부와 전열부에 장전밀도의 차이를 두지 않는 경우도 다수 조사되었다(그림 11). 이는 전열부의 장전밀도를 감소시킴에 따라 적정 장약장이 확보되지 못하고 전색장이 길어짐으로서 최외곽부가 부담해야하는 저항선이 증대되어 전열부에 그루터기가 발생하는 현상과 부석량이 증대되어 막장정리 시간을 증대시키는 문제를 일으킬 수 있을 뿐만 아니라 안전상의 문제를 발생시킬 수 있다.
따라서, 벌크에멀젼 폭약으로 전열부 장전시 50% 이상의 한계 장약장을 설정함으로서 양호한 발파결과 및 안전한 작업환경 조성, 작업시간을 단축시킬 수 있다. 또한 대구경을 활용한 수평 심발공 장전시 공공을 중심으로 인접한 장약공열은 적은 장전밀도가 요구되는데 Langefors & Kihlstrom (1963)이 제시한 무 장약공에 인접한 첫 번째 사각형의 선형장약집중도 계산식에 의하면 무장약공이 102㎜, 암석계수 0.5, 장약공 지름 45㎜, S_{ANFO}가 1.16인 조건에서 약 0.5㎏/m로 계산된다(최용근, 2005). 벌크에멀젼 폭약으로 장전시 무장약공 인접 장약공의 과장약은 소결현상(cementation)이나 소음·진동 측면에서 불리하므로 무 장약공에 인접한 장약공에 한해 포장형 폭약의 혼합 적용도 고려할 수 있다.

일반적으로 천공장의 증대는 RMR과 높은 상관성을 가지므로 천공장 변화에 따른 단면적별 비장약량의 변화 추이를 조사하였다. 조사방법은 현장에서 수행한 발파결과 중 양호한 굴진효율을 보인 데이터만을 정리하여 천공장 증대에 따른 단면적별 비장약량의 최대값과 최소값을 계산하고 최종적으로 그 중간값에 해당하는 변화량을 분석하여 단면적별 최적 비 장약량을 알아보았다. 그림 12, 그림 13, 그림 14는 단면적이 각각 80m^2, 95m^2, 105m^{2}일 때 천공장 증가에 따른 비장약량과의 상관관계와 중간 값의 상관식을 나타낸다. 그림 15는 굴착 단면적 변화에 따른 천공장별 비장약량 변화추이를 나타내며 단면적이 증대됨에 따라 최적 비장약량이 감소하는 경향을 보인다. 이는 일반적으로 최소한의 고정적 천공수가 요구되는 심발부와 최외곽부를 제외하고 단면적의 증대에 따라 확대부와 전열부가 차지하는 천공수의 비중이 증대하면서 기존의 시공패턴에 비하여 벌크에멀젼을 적용하였을때 확대부와 전열부의 천공수가 감소한다는 것을 의미한다.

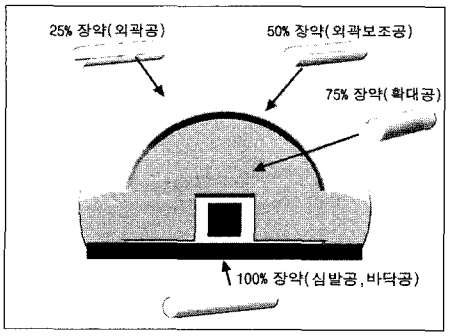


그림 10. 영역별 장전밀도.

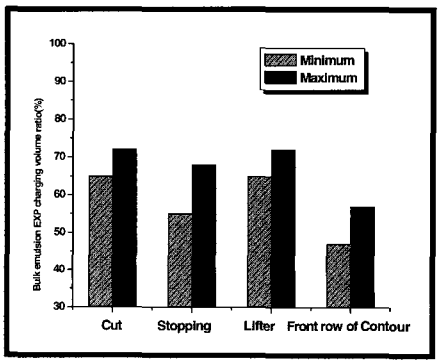


그림 11. 영역별 최적 장전밀도.

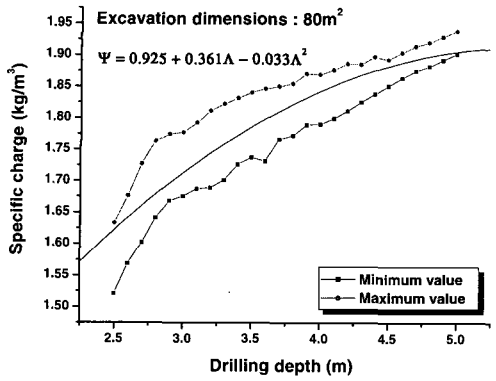


그림 12. 천공장에 따른 비장약량 변화양상 ($80m^2$).

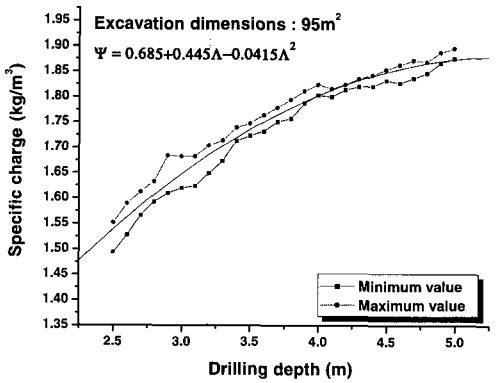


그림 13. 천공장에 따른 비장약량 변화양상($95m^2$).

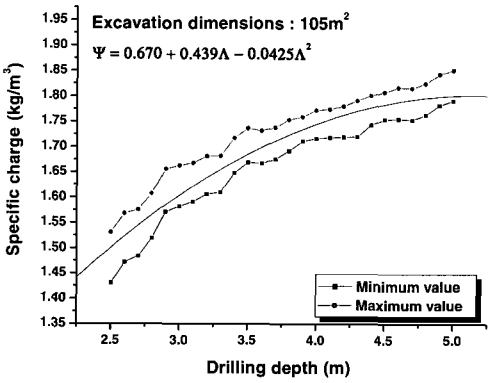


그림 14. 천공장에 따른 비장약량 변화양상($105m^2$).

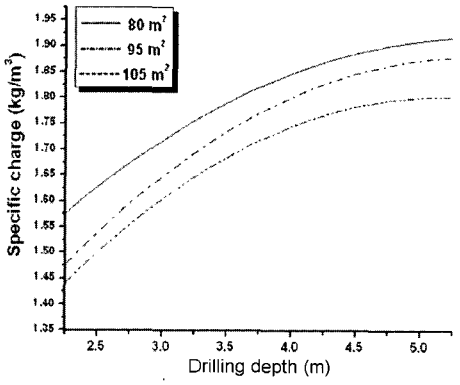


그림 15. 단면적 크기와 비장약량의 상관관계.

4. 결 론

본 연구에서는 벌크에멀젼 폭약을 활용한 터널용 기계식 장전장비인 PLC1000의 소개와 이를 활용하여 주로 경암 및 극 경암 지역에서 수행한 국내 터널 시공사례를 통하여 양호한 시공실적을 보인 발파결과 자료를 활용하여 암반등급별, 천공장과 굴착 단면적 증가에 따른 적정 비장약량과 영역별 적정 장약밀도 등을 검토하였다. 본 연구로부터 얻어진 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 포장 재질 및 교질상태에 따라 다소 다짐도의 차이는 발생할 수 있지만 대체로 포장형 폭약 대비 벌크에멀젼 폭약의 단위 길이당 장전밀도는 약 35~60%까지 증가시킬 수 있다. 따라서 벌크에멀젼 폭약은 급격한 암질변화에 따른 적용성이 우수하고 공저부 밀장전효과로 발파 후 잔류공이 거의 생성되지 않으며 버력의 집적상태와 파쇄효율이 우수하다.

2) 발파결과 측정 자료 중 발파효율 90%이상이고, 평균 여굴량이 $0.25m^2/m$이하의 양호한 범주에 들어온 98개의 데이터를 회귀 분석한 결과 RMR과 벌크에멀젼 폭약의 최적 비장약량과의 상관식 Y = 0.669 + (0.0154×RMR)을 얻었다. 이 식은 현장별 RMR자료를 기준으로 벌크에멀젼 적용시 암질 및 암반상황을 고려한 적정 지발당 장약량을 추측할 수 있는 근거자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

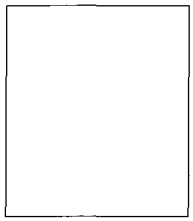
3) 국내 터널시공 실적을 근거로 영역별 장약패턴을 검토한 결과 벌크에멀젼 폭약과 전폭약포의 합계 장전밀도는 각 천공 체적에 대하여 심발부와 바닥부는 65%~72% (68.5%), 확대부는 55%~68%(61.5%), 전열부는 47%~57%(52%)로 조사되었다.

4) 전열부의 장전밀도를 감소함에 따라 적정 장약장이 확보되지 못하고 전색장이 길어짐으로서 최외곽부가 부담해야하는 저항선이 증대되어 전열부에 그루터기가 발생하는 현상과 부석량이 증대되어 스케일링 등의 막장정리 시간이 늘어나고 안전상의 문제를 발생시킬 소지가 있다. 따라서 벌크에멀젼 폭약으로 전열부 장전시 50%이상의 한계장약장을 설정함으로서 양호한 발파결과 및 안전한 작업환경, 작업시간의 단축의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

5) 굴착 단면적별 천공장 변화에 따른 적정 비장약량 산정식을 제안하였으며 대체로 동일 천공장에서 단면적 증가에 따라 비장약량이 감소하는 경향을 보인다. 이는 단면적의 증대에 따라 확대부와 전열부가 차지하는 천공수의 비중이 증대하면서 기존의 시공패턴에 비하여 벌크에멀젼 폭약을 적용하였을 때 확대부와 전열부의 천공수가 감소한다는 것을 의미하는 것으로 보인다.

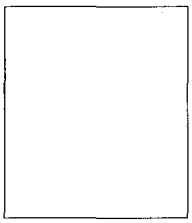
참고문헌

1. 윤지선, 1996, 최신발파기술, 구미서관, 서울, pp. 56-57.
2. 최용근, 2005, 터널발파설계 자동화를 위한 발파패턴 설계식 개발, 화약·발파(대한화약발파공학회지), Vol. 23, No. 4, pp. 20-21.
3. Koryo Nobel Explosives, 2004, Explosives products guide, pp. 12-13.
4. Olofsson, S. O., 1995, Applied explosives technology for construction and mining, Nora Boktryckeri AB, Sweden, pp. 31-32.
5. Hagan, T. N. and M. B. Duval, 1993, The importance of some performance properties of bulk explosives in rock blasting, Proc. of the 4th International Symposium of Rock Fragmentation by Blasting, Vienna, pp. 387-394.
6. Dyno Nobel, 2002, Mobile charging unit mini bulk PLC1000 Nr 9013-02, Rocmec system, Sweden, pp. 3-65.

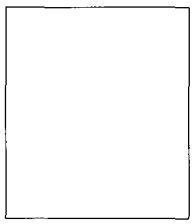


이 진 무
현재 SK(주) 토목사업부 GEOTASK팀 팀장
(E-mail : jmlee-d@skec.co.kr)

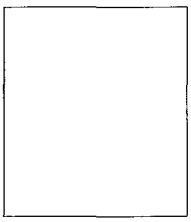
이 효
현재 SK(주) 토목사업부 GEOTASK팀 부장
(E-mail : hlee@skec.co.kr)



이 상 헌
현재 SK(주) 토목사업부 GEOTASK팀 과장
(E-mail : pro1999@skec.co.kr)



최 성 현
현재 (주)고려Nobel화약 서울지사 과장
(E-mail : airchshh@hanmail.net)



김 희 도
현재 (주)고려Nobel화약 차장
(E-mail : nonelgim@hanmail.net)