

# 최신 벌크폭약의 시공사례와 적용성에 관한 연구

A Construction Case Study Using the Newest Bulk Explosives & Comparison to the Ammonium Nitrate Fuel Oil(ANFO) and Emulsion Explosives

조 영 곤, 김 희 도  
Young-Gon Joe, Hee-Do Kim  
(주)고려노벨화약

## 초 록

Emulan은 ANFO와 bulk Emulsion(Emulite)의 혼합물로서 ANFO입자 사이의 공간은 내수성을 가진 Emulite로 채워지기 때문에 에너지와 밀도가 확실하게 증가하며 뛰어난 내수성을 가진다. 따라서 높은 장전밀도와 고 함유 에너지로 인하여 ANFO 대비 천공 미터당 암석 파쇄량을 40 %이상 증가시킬 수 있으며 저항선과 공간격을 각각 20%이상 증가시킬 수 있다. 특히, 습윤상태가 심한 장소에서 ANFO를 대신하여 가장 경제적인 폭약임이 확인되었다. 본 연구에서는 최신 Bulk-type의 폭약(Emulan)과 ANFO 및 Emulsion계 폭약을 각각 사용하여 현장의 적용성, 상호 발파효과 및 효율성과 경제성 비교를 통하여 앞으로의 대규모 노천현장이나 석산에서 보다 적절하게 사용할 수 있는 화약류에 대하여 알아보고자 하였다.

핵심어 : Emulsion계 폭약, ANFO, Bulk-type 폭약

## 1. 서 론

발파작업에 있어 폭약의 선택은 대상 암질 및 주변요건 등의 환경적인 측면과 발파규모 및 경제적인 요소( $m^3$ 당 단가)와 시공방법 등 발파기술적인 측면 등을 고려하여 선정하게 된다. 적절한 폭약의 선택은 시공성, 안전성 및 경제적인 측면에서 매우 중요한 과제이며 현장상황에 맞지 않은 폭약의 선정은 막대한 비용과 업무상의 과중을 초래할 수 있다. 전 세계적으로 대규모의 노천이나 석산(특히, 석회석 광산)에 가장 널리 사용되고 있는 폭약은 Emulsion계의 폭약과 ANFO이다. Emulsion계의 폭약의 경우 시공성이나 안전성면에서 매우 유리하나 상대적으로 고가이며 ANFO

의 경우 수공에서 사용이 불가하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이들의 장점을 적절히 활용하여 ANFO에 비하여 우수한 폭속과 위력을 가지고 ANFO의 가장 큰 단점인 내수성을 완전히 보장하였으며 Emulsion계 폭약과 비교하여 상대적으로 비용을 절감하고 장전시간을 줄이는 등 전혀 새로운 개념의 Bulk Type의 폭약을 개발하게 되었다. 즉 ANFO의 입자사이를 Emulsion계 폭약으로 채움으로서 에너지와 밀도를 확실하게 증가시키며 동시에 내수성을 가지게 한 것이다. Bulk type의 폭약은 공내 완전 충전이 가능하므로 설계 저항선과 공간격을 기존에 비해 각각 20% 이상 증가시킬 수 있으므로 천공 및 장약시간의 단축등 공사기간의 절감효과는 또 다른 Bulk 폭약의 장점이 라고 할 수 있다.

## 2. 본 론

본 연구에서 소개하는 Bulk-type의 폭약은 (주)고려노벨화약에서 현재 “Emulan” 이라는 상품명으로 생산중인 폭약으로 그 구조 및 성분과 특성에 대해서 알아보면 다음과 같다.

### 2.1 Emulan의 조성 및 특성

#### (1) Emulan의 조성

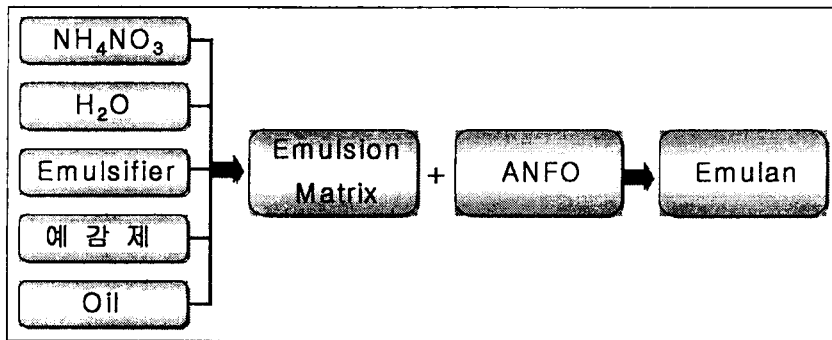


Fig. 1. The manufacturing process of Emulan

#### (2) Emulan의 특성

Table 1. The specific property value of Emulan

Oxygen balance (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Gas volume (l/kg)	Energy (kcal/kg)	Weight strength	Bulk Strength
-5.56	1.24 ~ 1.27	1,018	710	0.81 (rel ANFO)	1.13 (rel ANFO)

- Emulan에서 40% 이하의 Emulsion 포함  
→ 낮은 내수성
- Emulan에서 (40~60%)의 Emulsion 포함  
→ 배수후 젖은 공에 장약 가능, 내수성 양호
- Emulan에서 60% 이상의 Emulsion 포함  
→ 수공에서도 Pump를 이용한 장약 가능하며 우수한 내수성을 가짐.
- Emulan7500의 V.O.D값은 250mm의 젖은 공에 한 달간 있어도 5,300~5,500m/s 정도의 안정된 폭속을 유지한다.

- Critical diameter (+20℃)  
e = 1.25g/cm<sup>3</sup>, Unconfined > 50mm  
. Confined < 40mm
- Detonation Velocity (+20℃)
- 저온 폭발능력 : -15℃에서 500g Primer 사용.
- 내수성 : 수중에 한 달간 저장되어 있어도 5,300~5,500 ㎉ 정도의 안정된 폭속을 나타낸다.

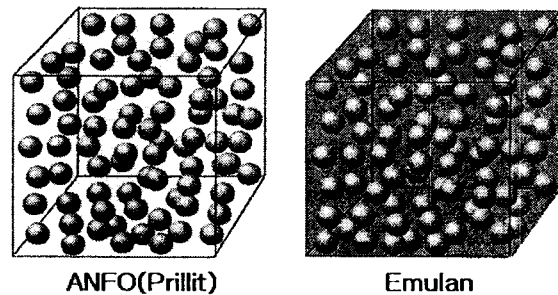


Fig. 2. Comparison between ANFO and Emulan

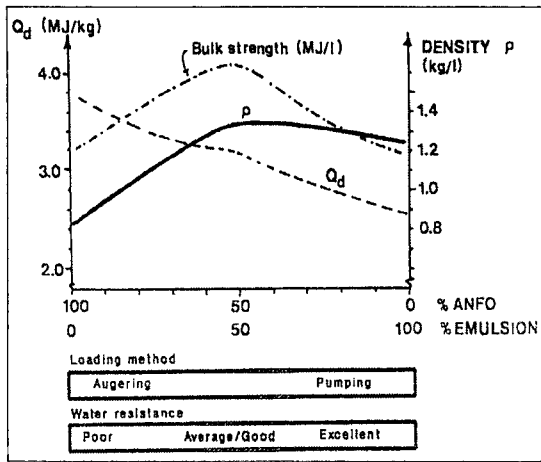


Fig.3. Density, explosion energy, and bulk strength of ANFO/emulsion mixes (heavy ANFO) as a function of the emulsion content



Fig. 7. Transporting and charging truck

Table 2. Detonation velocity of Emulan for diameter

Unconfined (d=1.25 g/cm <sup>3</sup> )	Confined (d=1.25 g/cm <sup>3</sup> )
∅ 100mm : 4,700 ~ 5,200 m/s	∅ 50mm : 4,600 ~ 5,100 m/s
∅ 150mm : 5,200 ~ 5,700 m/s	∅ 100mm : 5,200 ~ 5,700 m/s
	∅ 100mm : 5,600 ~ 6,100 m/s

### 3. Emulan의 현장 적용사례

#### ① 적용현장 I : ○○ 개발 석산 사업본부

본 현장의 암은 안산암으로 1달에 10만m<sup>3</sup> 정도의 암을 생산하는 대규모의 석산이며, 벤치형성이 양호하여 장공의 수직발파가 주로 행해지고 있으며 기존에 사용폭약은 ANFO이었고 기

폭 시스템은 NONEL을 사용하여 발파를 진행해 온 현장이다. 천공장은 16.5m로 2회에 걸쳐 공간격과 저항선을 각각 3.5×2.0 및 4.0×2.0으로 실시하였다.

Table 3. Lay out of test blasts

ITEM	Unit	1'st Test blast		2'nd Test blast	
Drilling depth	m	16.5		16.5	
Hole space	m	3.5		4.0	
Burden	m	2.0		2.0	
Number of holes	∅	67		51	
Volume of rock blasted	m <sup>3</sup>	7,739		6,732	
Charging per hole	kg/hole	78.7		73.7	
Total charge	kg	New Emulite	Emulan	New Emulite	Emulan
		425	4,850	190	3,570
Specific charge	kg/m <sup>3</sup>	0.68		0.56	
Detonator system		Nonel system			



Fig. 5. Drilling using the crawler drill



Fig. 6 charging using the hose (Emulan)

Table 4. Lay out of test blasting patterns

Class	1' st Test blast		2' nd Test blast	
Drilling Pattern				
Charging Weight per hole	New Emulite 150	6.0 kg/hole	New Emulite 150	1.0 kg/hole
	Emulan	75 kg/hole	Emulan	42.0 kg/hole
Charging Pattern				

② 적용현장Ⅱ: ○○ 석산 사업본부 (ANFO 와 Emulan 비교실험)

본 현장의 암질은 절리가 발달하였고 풍화대가 진행되어 있는 암반으로 일일 발파물량은

10,000m<sup>3</sup>로서 대규모의 석산이다. 기존에 ANFO 를 사용하였던 현장으로 기존 설계패턴에 따라 천공장을 10.8m, 14.4m로 하고 Emulan 적용시 ANFO설계 패턴에 비해 저항선과 공간격만 각각 20~25%증가시켜 시험발파를 실시하였다.

Table 5. Lay out of test blasts

ITEM	Unit	1'st Test blast		2'nd Test blast	
		ANFO	EMULAN	ANFO	EMULAN
Bench wide	m	32	32	32	32
Bench depth	m	21	21	21	21
Bench height	m	15	15	15	15
Number of holes	fl	78	57	89	56
Drilling depth	m	10.8	10.8	14.4	14.4
Hole space	m	3.5	4	3.0	4
Burden	m	2.5	3	2.5	3
Volume of rock blasted	m <sup>3</sup>	7,371	7,387	9,612	9,677
Charging per hole	kg/hole	27.5	40.25	42.4	64
Total charge	kg	2,126	2,294	3,771	3,584
Specific charge	kg/m <sup>3</sup>	0.29	0.31	0.392	0.37
Detonator system		Nonel system			

Table 6. Lay out of test blasting patterns

Class	1' st Test blast		2' nd Test blast	
Drilling Pattern				
Charging Weight per hole	New Emulite 150	1.25 kg/hole	New Emulite 150	1.25 kg/hole
	Emulan	64.0 kg/hole	Emulan	39.0 kg/hole
Charging Pattern				

③ 적용현장 III : ○○ 석산 사업본부 (Dynamite, Emulsion과 Emulan 비교실험)

본 현장의 지층은 화강암으로써 수직방향으로 절리가 잘 발달되어 있어, 발파가 상당히 양호하게 이루어지는 암이다. 당 현장은 기존에 Dynamite 및 Emulsion 폭약을 사용하였던 현장으

로 보다 경제적이고 안전하며 생산성 향상을 위한 발파패턴 검토 중 Emulan을 적용하여 기존패턴에 비해 암석의 파쇄도, 화약비용, 천공비용 및 인근 민가에 미치는 발파공해 저감 효과 등을 비교 검토하였다.

Table 7. Lay out of test blasts

Class		Unit	1'st Test blast	2'nd Test blast	
Drilling pattern	Drilling depth	m	14.4	10.8	
	Number of holes	孔	29.0	42.0	
	Burden	m	3.3	3.3	
	Space	m	4.3	4.3	
	Area	m <sup>2</sup>	411.5	569.0	
	Volume of rock blasted	m <sup>3</sup>	5,925	6,436	
	Time	per hole	hr	0.5	0.375
		Total	hr	7.3	7.9
Cost	per m	won	1,653.0	1,653.1	
	Total	won	928,387.0	749,851.0	
Charging Pattern	Load charging weight	Kg	1,780.0	1,810.0	
	Detonators	EA	60.0	69.0	
	Specific charge	Kg/m <sup>3</sup>	0.3	0.28	

Table 8. Lay out of test blasting patterns

Class	1' st Test blast		2' nd Test blast	
Drilling Pattern				
Charging Weight per hole	New Emulite 150	1.0 kg/hole	New Emulite 150	1.0 kg/hole
	Emulan	60.4 kg/hole	Emulan	42.0 kg/hole
Charging Pattern				

#### 4. 발파 후 결과

##### ① 적용현장 I: ○○ 개발 석산 사업본부

버럭의 표면에 약 1~2m 정도의 파쇄석이 전체 파쇄암량의 5~10% 정도였으며 직경이 30cm 이하의 파쇄석이 전체 파쇄암량의 약 80%이 되어 밀장전에 따른 파쇄효과가 우수한 것으로 나타났다. 하지만 장공(長孔)발파에서 상대적으로 작은 저항선(2m)으로 인한 파쇄효과는 우수하였지만 m<sup>3</sup>당 장약량은 기존의 발파패턴에 비해 약 2배정도로 적절한 설계패턴은 아니었다. 즉 저항선은 최소 3~4m 정도를 적용하여도 장전밀도 증가에 따른 파쇄효과 저감비율이 그리 크지 않을 것으로 판단된다.

##### ② 적용현장 II: ○○ 석산 사업본부 (ANFO 와 Emulan 비교실험)

기존의 ANFO를 사용한 발파패턴에 비해 저항선과 공간격을 각각 15%, 20% 증가시켰으나 직경 50cm 미만의 파쇄석이 전체 파쇄 암량의 약 90%이상으로 파쇄상태가 매우 양호하였으며 천공수 절감에 따른 원가절감 효과와 배수가 어려운 지하채굴의 경우 Bulk 폭약의 사용이 기타 다른 폭약에 비해 유리할 것으로 판단된다. 또한 천공장의 증가에 따라 ANFO 대비 비장약량의 감소효과를 볼 수 있어 규모가 큰 현장일수록 경제적인 발파작업이 될 수 있다.



Fig. 7. Connection using the NONEL



Fig. 8. Scene of a detonation

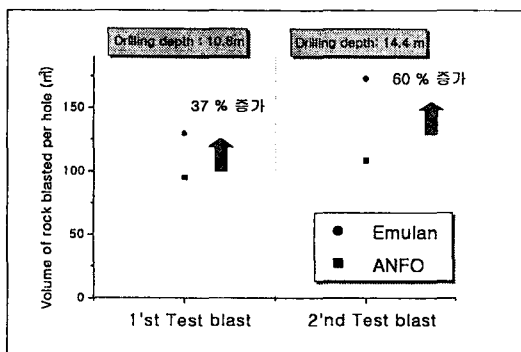


Fig. 9. Comparison of volume of rock blasted per hole

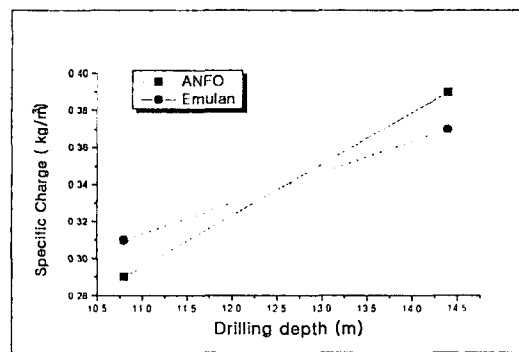


Fig. 10. Transformation a specific charge for drilling depth

③ 적용현장 III : ○○ 석산 사업본부 (Dynamite, Emulsion과 Emulan 비교실험)

암석의 이동을 원활하게 하고 지발당 장약량을 최소화하기 위해 동일 단차 적용은 최대 3공으로 한 결과 전체적으로 암석의 이동량이 많았고 소음 및 진동치는 인근 민가에서 각각 72dB, 0.2cm/sec 정도로 계측되어 기준치 0.3cm/sec의 67% 수준이었다. 또한, 상부의 대피량을 감소시키기 위해 전색장은 최대 3m로 제한하였으며 대피 발생 가능성이 있는 지역에서는 공내에 뇌관을 2중으로 장약한 결과 기존 발파패턴에 의한 파쇄도에 비해 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

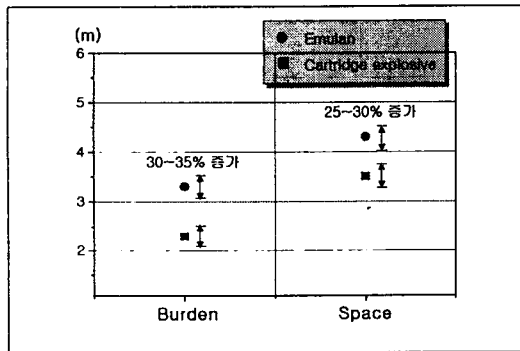


Fig. 11. Comparison of burden & hole space for using explosives

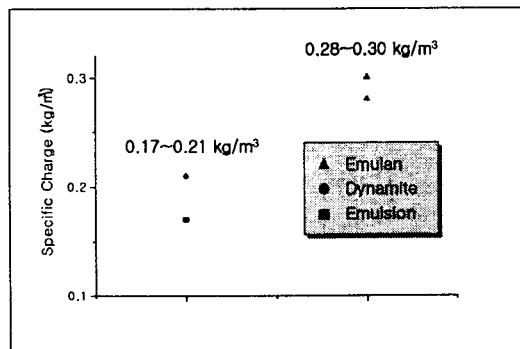


Fig. 12 Comparison of specific charge for using explosives

이상과 같은 시험 발파 비교표를 통하여 알 수 있듯이 최신폭약 Emulan은 기존 폭약의 천공간격과 최소 저항선을 최소 20%씩 증가할 수가 있고 이에 따라서 동일 면적 당 천공수가 기존 폭약에 비하여 약 40%이상 절감되는 효과를 볼 수 있다. 천공수가 절감이 된다는 것은 1발파에 소요되는 시간이 절감되는 것을 나타내며, 결국 발파에 소요되는 모든 비용의 절감을 의미한다.

#### 4.1 경제성 비교

다음은 동일 현장에 대하여 다이너마이트와 에멀전계 폭약 및 에뮤란을 사용하여 시험을 한 결과를 비교한 data로 총 시험회수는 각각 5회 이상 실시하였다. 경제성 비교는 사용폭약과 뇌관의 합산금액과 천공에 관련하는 각종 장비비 및 소모품 비용을 합산하였으며 인건비와 버럭 처리비용 및 기타 부대비용은 제외시켰다. Bulk type의 폭약은 카트리지 타입의 폭약이나 ANFO에 비하여 공내에 거의 100% 충전되므로 비장약량이 다이너마이트나 에멀전계 폭약에 비하여 30% 이상이 크지만 전체 천공수의 저감 및 낮은 폭약 단가로 인하여 생산원가를 대폭 절감할 수 있으며 공사기간을 단축할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 폭약단가는 기존의 Dynamite나 Emulsion 폭약에 비해 kg당 각각 60% 및 70% 수준이며 m³당 천공비용은 약 56% 수준이다.

따라서 Emulan을 사용하여 시공할 경우 천공과 폭약에 소요되는 비용만을 감안한다면 Dynamite 대비 m³당 약 20~25%의 생산원가 절감효과가 있어 일일 암 생산량 6000m³, 월 작업일수를 25일로 할 경우 연간 약 4억 5천만원 ~ 5억원의 생산원가를 절감효과를 얻을 수 있다. 이는 인건비와 기타 소요 부대비용을 계산에 제외한 비용이므로 실제 더욱 큰 경제적 효과를 얻을 수 있다.



Table 9. Comparison of economic results using different explosives

Class			Unit	Using Explosives			
				Dynamite	New Emulite	EMULAN 8000	
		1차	2차				
Drilling Pattern	Drilling depth		m	10.8	10.8	14.4	10.8
	Burden		m	2.3	2.3	3.3	3.3
	Space		m	3.5	3.5	4.3	4.3
	Number of holes		孔	69	69	29	42
	Volume of rock blasted		m <sup>3</sup>	5998.86	5998.86	5925.74	6436.58
	Drilling time	Per hole	hr	0.375	0.375	0.5	0.375
Total		hr	12.94	12.94	7.25	7.31	
Charging Pattern	Charging weight	Per hole	kg	18	15	61.38	43
		Total	kg	1,242	1,035	1,744	1,810
	Detonators		ea	69	69	60	78
	Specific charge		kg/m <sup>3</sup>	0.21	0.17	0.3	0.28
생산 비용	Drilling Cost	Per m	₩/m	1653.1	1653.1	1653.1	1653.1
		Per m <sup>3</sup>	₩/m <sup>3</sup>	205.4	205.4	116.5	108.2
		Total	₩	1,231,898	1,231,898	690,339	696,290
	Explosive Cost	Explosives	₩	3,167,100	2,297,700	2,647,680	2,758,200
		Detonator	₩	112,470	112,470	234,580	276,840
		Per m <sup>3</sup>	₩/m <sup>3</sup>	546.7	401.8	486.4	471.5
		Total	₩	3,279,570	2,410,170	3,338,019	3,454,490
	Drilling + Explosives		₩	4,511,468	3,642,068	3,572,599	3,731,330
	More and Less			Standard	- 869,400	- 938,869	- 780,138
	Rate (%)			100	80.7	79.2	82.7
	Production cost		₩	752.05	607.13	602.89	579.71
	More and Less			Standard	144.92	149.16	172.34
	Rate (%)			100	80.7	80.2	77.1

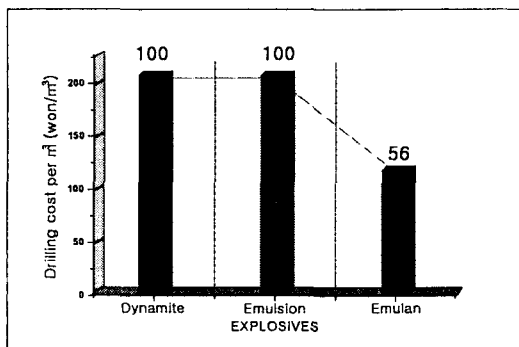


Fig. 13. Comparison of drilling cost per m<sup>3</sup>

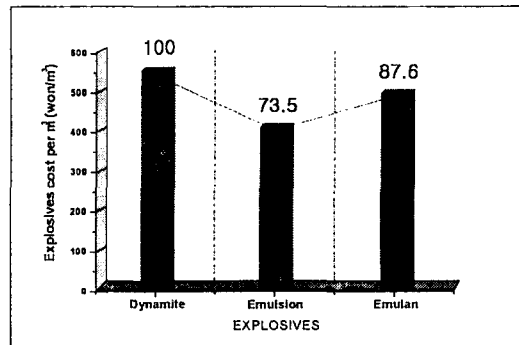


Fig. 14. Comparison of explosives cost per m<sup>3</sup>

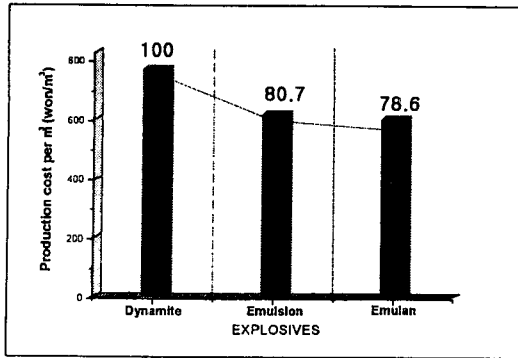


Fig. 15. Comparison of production cost per m³

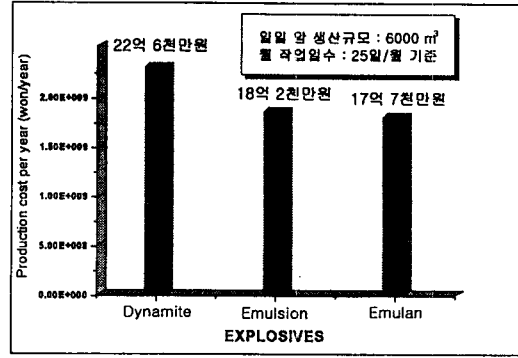


Fig.16. Comparison of production cost per year

## 5. 결론

현재 지구상에서 가장 경제적인 폭약은 ANFO(초유폭약)이다. 이 폭약은 제조 및 취급이 간단하고 Kg당 가격이 타 폭약보다 저렴하며 발파공내를 가득 채우므로 암 파쇄력이 뛰어나 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 ANFO(초유폭약)는 물에 아주 취약하여 수중에서는 사용하기가 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 우리나라의 경우 연간 17년간 약 1,300mm~1,700mm의 장우량을 나타내고 이중 70% 이상이 6~9월 사이에 집중되고 있다. 이러한 상황에서 ANFO의 단점을 극복한 Emulan이 개발된 것이다. Emulan으로 현장에 적용한 결과 다음과

같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 높은 장약 집중도로 암 파쇄력이 타 폭약에 비하여 월등히 우수하다.
- 수공에서 한달간 이상 저장하여도 폭속이 5,000m/sec 이상을 유지할 수 있다.
- ANFO 보다 높은 장약밀도를 가지므로 천공 간격과 최소저항선을 각각 20%이상씩 증가시킬 수 있고 동일 면적당 천공수를 감소시킬 수 있다.
- 장비 사용의 감소로 인건비와 기타 소도품 비용을 절감할 수 있고 공사기간을 단축시킬 수 있다.
- ANFO와 Emulsion 폭약의 혼합으로서 제조 및 취급에 있어 극히 안전한 제품이다.

### - Emulan의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANFO의 최대단점인 내수성부분을 보완하여 경제적인 발파를 하기 위해 개발된 폭약이다.</li> <li>- 제조, 취급(운반 및 사용)이 극히 안전한 제품이다.</li> <li>- 후가스가 양호한 환경 친화적인 제품이다.</li> <li>- 높은 장약밀도로 뛰어난 파쇄성을 가진다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 장약작업을 위한 준비작업이 요구된다.</li> <li>- 장전밀도가 높으므로 공당 장약량이 증가한다.</li> <li>- 신제품인 관계로 국내에 숙련자가 적다.</li> </ul>

## 참 고 문 헌

1. Arve Fauske, 1999, The SSE bulk Emulsion system : A new explosives system designed for tunnelling and blasting underground, Gyttop, Sweden, June 9.
2. Per-Anders Persson & Roger Holmberg, Jaimin Lee, 1993, Rock blasting and explosives engineering, Emulsion explosives and blasting Agents, p 76~78.
3. Stig O. Olofsson, 1995, Applied explosives technology for construction and mining, P 31~32.
4. T.N hagan & M.B duval, 1993, The importance of some performance properties of bulk explosives in rock blasting, Rock fragmentation by blasting, Fragblast-4, p 387~394
5. ISEE Cleveland Ohio USA, 1999, Chaper 9 Blends, Blasters hand book 17th edition p 93~106.