발파 현장에서 에멀젼 폭약의 안전성 검토 및 문제점 개선방안

안명석 · 김종현 · 이종권* · 최재욱**

동서대학교 응용공학부 · *경동정보대학 산업안전시스템부 · **부경대학교 안전공학과

1. 서 론

우리나라에서 전통적으로 건설 · 토목 현장에서 암절취 목적으로 주로 사용되고 있는 젤라틴다이나마이트 폭약의 경우 폭속이 비교적 높고 강력한 폭발위력으로 인해 암반의 강도가 높은 현장에 주로 사용해 왔다. 그러나 최근에는 폭약의 안전도 감소와 원가절감을 위해서 현재 사용중인 폭약 중 가격이 가장 저렴한 안포폭약을 개선하고 에멀젼폭약의 특징을 살린 벌크 에멀젼폭약의 공급을 눈앞에 두고 있다.

본 논문은 현재까지 토목현장에서 사용해왔던 에멀젼폭약의 사용상 장 · 단점을 수집 · 검토 · 연구하여 새로이 적용을 검토하고 있는 벌크 에멀젼폭약 사용에 따른 예상되는 문제점과 개선방향을 제시하고자 한다.

2. 에멀젼 폭약의 특성

2.1 에멀젼 폭약의 기본이론

① 정 의 : 최근의 토목건설현장의 암절취분야에 획기적인 변화를 일으킨 에멀젼 폭약은 우리나라의 경우 1980년대에 개발이 진행 · 중단되었다가 1990년도 이후 급속한 발전을 이루었다. 에멀젼폭약은 총포 · 도검 · 화약류등 단속법 시행령(이하 총단법 시행령) 제2조 12항에 의하면 함수폭약의 분류에 속한다. 즉 "함수폭약"이라 함은 산화제(질산암모늄 및 질산모노메틸아민등의 질산염을 말한다) · 물 · 예감제 및 발열제등을 주성분으로 하고 죽상태(스러리) 또는 맑은 묵상태(엠엘존)로서 물에서 그 성질이 변화되지 아니하는 강한 폭약을 말한다[1] 라고 정의되었다.

함수폭약 중 슬러리 폭약은 제4세대 화약이라고 하며, 질산암모늄과 물을 사용하고 예감제로 TNT(혹은 Al powder)를 사용한 폭약으로써 6호 뇌관으로 기폭 가능한 폭약을 말한다. 또한 에멀젼 폭약은 제5세대 안전화약이라고 하며, 질산암모늄, 물, 기름, 유화제, GMB 혼합조성으로써 TNT나 Al powder 또는 유기 예감제를 사용하지 않고 제조된 6호 뇌관으로 기폭 가능한 폭약을 말한다.[2]

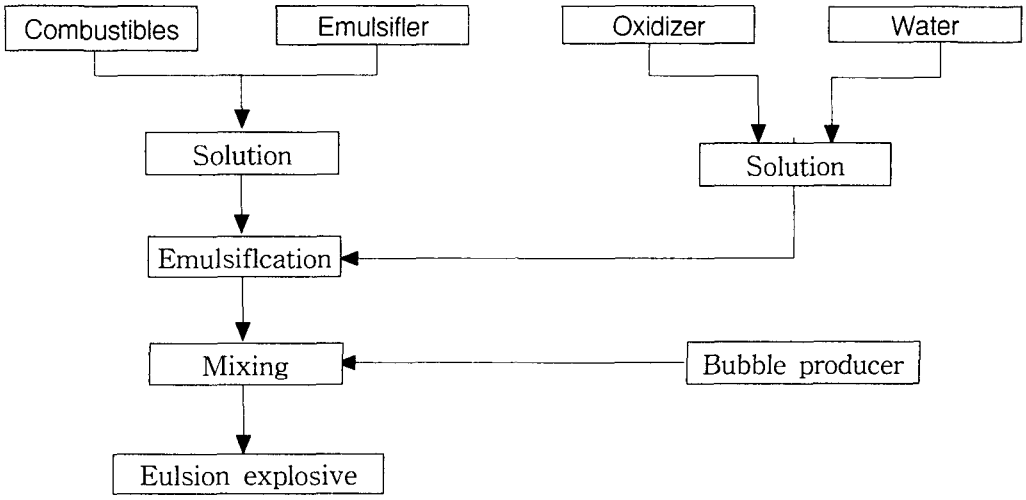

Fig 1. 에멀젼 폭약의 제조공정도

제 3세대 화약이라고 하는 안포폭약은 총단법 시행령 제2조 11항에서 "초유폭약" 이라 함은 질산암모늄을 주성분으로 하여 연료유를 혼합한 일종의 초안폭약으로 내무부장관과 상공부장관의 공동고시로 정하는 원료·규격 및 혼합비율과 기폭감도시험에 의하여 제조된 폭약[1]이라고 정의되었다. 초유폭약은 안포폭약(ANFO)이라고 하며 6호 뇌관으로 기폭되지 않으며 전폭약을 사용하여야 전폭된다.[2][12][14]

② 이 론 : 액상 또는 고체상태의 초안(NH_4NO_3), 질산나트륨($NaNO_3$)등의 질산염과 오일 또는 왁스등의 연료성분을 계면활성제인 유화제(surfactant)를 첨가하여 기계적으로 유화(에멀젼화)시켜 에멀젼 입자의 크기를 수 ㎛상태로 분산시킨 유중수적형(油中水滴形, W/O TYPE)의 에멀젼으로[13] 상온에서 비중이 1.3g/cc 이상인 죽상태(gel)의 혼합물이며, 특히 에멀젼이 부스터에 의한 기폭성이 없도록 수분을 18%이상 함유하는 함수폭약의 일종이며, 내수성, 열, 마찰, 충격등의 안전성, 후가스가 특히 우수한 폭약으로써 취급이 용이한 편이다. 제조 공정도는 Fig 1과 같고 조성은 Table 1과 같다.

Table 1에서 예감제는 MMAN, HN 및 Al powder, TNT, DNT, Glass Micro ballon, Expanded perlite, Chemical foamer등을 사용하며, 특히 Al powder는 폭약의 위력과 민감도에 가장 큰 영향을 미치는 성분이다. 또한 안정제와 유화촉진제 혹은 계면활성제인 유화제, Crystal form modifier등은 에멀젼폭약의 성능 및 장기보관성, 온도변화 적용도 등에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 성분이라고 할 수 있다.[13]

주성분에 대한 반응식은 (1), (2)와 같이 표현된다.

<Ammonium Nitrate>

$$NH_4NO_3 + WAX \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 \quad \text{(완전반응식)} \quad (1)$$

$$NH_4NO_3 + WAX \rightarrow CO_2 + CO + H_2O + NO_2 + NO + C + H_2 \quad \text{(불완전반응식)} \quad (2)$$

또한 비수용성 예감제에 대한 반응식은 (3), (4), (5), (6)과 같다.

<Al powder>

$$3NH_4NO_3 + 2Al \rightarrow 6H_2O + 3N_2 + Al_2O_3 \quad (\text{완전연소반응}) \quad (3)$$

$$2NH_4NO_3 + 2Al \rightarrow 2H_2O + 4NO + 2H_2 + 2Al \quad (\text{불완전연소반응}) \quad (4)$$

$$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2\uparrow \quad (5)$$

$$3H_2 + 1\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 3H_2O \quad (6)$$

구 분		성 분	무 게(%)
산화제		AN, SN, CN, SP, AP, HNO_3, UN	50~80
가연제		비수용성 가연물(연료유, 왁스류)	1~10
물		H_2O	5~20
예감제	수용성	없거나 MMAN, MEAN, EGMN, HN	5~30
	비수용성	비늘모양 알루미늄, 니트로 화합물	
계면활성제		낮은 HLB 계면 활성제	1~5
안정제		필수적이 아니라 연료유, 미분말, 콜로이드화제	
기 포		무기질 기포 보유제가 주체	10~40(부피%)

<note> AN : Ammonium Nitrate, SN : Sodium Nitrate, CN : Calsium Nitrate,
SP : Smokeless powder(Sodium perchlorate), AP : Ammonium Perchlorate,
UN : Urea Nitrate, HN : Hydradine Nitrate, MMAN : Monomethylene Nitrate
EGMN : Ethylen glycol Mononitrate

Table 1. 에멀젼 폭약의 조성[3)]

또한 에멀젼폭약의 안정성에 매우 중요한 역할을 하는 계면활성제(유화제)의 HLB(Hydrophlic-lipophilic balance) 값에 따른 용도는 Fig 2와 같고, 계면활성제(Surface active agent)의 종류별 HLB값은 Table 2와 같다.[4)] 여기서 에멀젼폭약에 사용되는 계면활성제는 HLB값이 3~9의 범위에 속하는 것들이다.

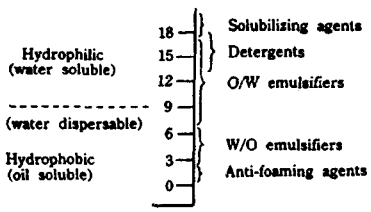

Fig 2. HLB값에 따른 용도

Surfactant	Commercial name	HLB
Sorbitan trioleate	SPAN 85	1.8
Sorbitan tristearate	SPAN 65	2.1
Propylene glycol monostearate	"PURE"	3.4
Glyceral monostearate	ATMUL 67	3.8
Sorbitan monooleate	SPAN 80	4.3
Sorbitan monostearate	Span 60	4.7
Diethylene glycol monolaurate	GLAURIN	6.1
Sorbitan monolaurate	SPAN 20	8.6
Glyceral monostearate	ALDO 28	11
Polyoxyethylene(2) cetyl ether	BRIJ 52	5.3
Polyoxyethylene(10) cetyl ether	BRIJ 56	12.9
Polyoxyethylene(20) cetyl ether	BRIJ 58	15.7
Polyoxyethylene(6) tridecyl ether	RENEX 36	11.4
Polyoxyethylene(12) tridecyl ether	RENEX 30	14.5
Polyoxyethylene(15) tridecyl ether	RENEX 31	15.4

Table 2. 각종 계면활성제들의 HLB

2.2 기존 폭약과의 구성성분 및 특성비교

다이너마이트, 안포, 에멀젼, 벌크에멀젼폭약의 주요 성분별 특성은 Table 3과 같다.

Table 3 에멀젼 폭약과 기존 폭약의 주요성분 및 특성[5) 6) 7) 8)]

	주요성분	특성						
		제조공정	내수성 장약밀도	후가스	폭 속(m/s)	과쇄도 (위력계수)	적용암반	기 타 (산소평형)
Dynamite	Nitroglycerine Nitroglycol Nitrocellulose Ammonium Nitrate Sodium Chloride	복잡 위험	Good MegaMITE I,II:1.3~1.6	Poor	I :6080 (RBS 223%) II:6700 (RBS 245%)	매우우수 I : e 1 II: e 0.85	HardRock ~ Very HardRock	2차폭발없음 잔류약없음 MegaMITE I,II
ANFO	Ammonium Nitrate Fuel Oil(Aliphatic) Color Agent Antistatic agent	단순	poor ANFO Plus :0.75~0.9g/㎤	Very Poor (갈색~검갈색 : NOx, C)	3160 (RBS 119%)	보 통 ANFO Plus : e 2.14	SoftRock ~Medium Rock	2차폭발없음 잔류약발생 ANFO Plus ANFO Prillit
Emulsion	Ammonium Nitrate Sodium Nitrate Calsium Nitrate Sodium perchlorate Ammonium perchlorate Urea Nitrate Monomethylamine Nitrate Glass microballoon Surface active Agent Paraffin wax Mineral oil Al powder	복잡 조금 위험	Excellent	Good SuperEmulsion : NH_3 1~2ppm New Emulsion : NH_3 5~8ppm	NewMITE Plus I : 5700 (RBS 150%) Plus II : 5700 (RBS 170%) SuperEmulsion : 5800 (Energy 1398kcal/kg) NewEmulite 150/200:5900 (Energy 1100/1165kcal/kg)	양호 NewMITE Plus I : e 1.37 Plus II : e 1.24	SoftRock ~ Hard Rock	2차폭발(연소) 사압발생 NewMITE + I , + II SuperEmulsion NewEmulite
BULK-Emulsion	Ammonium Nitrate ANFO Sodium Nitrate Calsium Nitrate Sodium perchlorate Ammonium perchlorate Urea Nitrate Monomethylamine Nitrate Surface active Agent Paraffin wax Mineral oil	단순 조금위험	Excellent Emulan :1.24~1.27g/㎤ HiMEX :1.30~1.27g/㎤	Good	HeavyANFO :3400~3800 HiMAX(pumped) :5300~5900 Emulan8000 (NE2000):6000 New Emulite1000 (NE1000):	우수	SoftRock ~Hard Rock	2차폭발(연소) 사압발생 HiMEX (O.B=-3~0%) Emulan (O.B=-5.56%)

3. 문제점 및 개선방안

3.1 에멀젼 폭약에 대한 검토

1) 혼합 성분 검토

에멀젼 폭약의 경우 Table1에서 보는 바와 같이 수분이 포함된 안전한 폭약으로 널리 각광을 받고 있으나 감도 및 폭력(위력) 향상을 위해 예감제를 첨가하고 있다. 특히 비수용성의 알루미늄 분말(발열제)의 첨가는 에멀젼 폭약의 위력향상에 큰 역할을 하고 있다.

일반적으로 완성된 화약류의 산소 평형은 이론적으로는 0가 가장 좋다. 그러나 대체로 생산된 제품은 0~-1의 범위에 속함으로 인하여 미량의 유해가스가 발생되는 것이 현실적이다. 에멀젼 폭약의 폭력향상을 위해서는 Al powder 첨가가 불가피 하지만 Oxygen balance가 -1을 넘지 않도록 혼합 성분에 대한 충분한 검토가 필요할 것이다. Al powder가 과다하게 첨가될 때 폭력은 다소 높아지지만 O.B 수치가 떨어져 폭굉반응영역에서 불완전연소가 일어나고 이 때 발생된 H_2, C, CO 등의 유해(인화성)가스로

인해 2차 폭발이 일어날 위험이 있다. 그러므로 가연성 가스 함유량이 0.5% 이상되는 장소에서는 사용을 금해야 하며[9) 10) 11) 12)] 특히 지하채탄광산이나 통풍이 불량한 현장에서 사용하는 경우에는 면밀한 검토가 필요하다.

2) 폭발 에너지와 적용암반

에멀젼 폭약의 폭속은 5200~5800m/sec로 제시되어 있으며(super Emulsion) 다이너마이트 위력의 약 90%에 해당한다(탄동구포값으로는 80%정도). 그러므로 발파대상 암반은 다이너마이트인 경우 경암내지 극경암에 사용함이 적당하고 에멀젼 폭약인 경우 연암 내지 경암에 사용할 때 양호한 결과가 예상된다. 또한 W/O형 폭약으로써 계면활성제를 사용하여 불안정한 상태로 물이 포함된 산화제층을 연료인 기름이 감싸고 있으므로 심한 충격시 기름막이 파괴되어 산화제는 산화제끼리 기름은 기름끼리 뭉쳐 분리가 되어 급기야 감도가 저하되어 사압현상이 발생할 수 있으므로 특히극경암 및 장공발파에 유의하여야 할 것이다.

3.2 벌크 에멀젼 폭약 사용에 대한 기술 검토

1) 기술적 검토

외국의 경우 대형 채광, 채석 노천현장에 적용시 매우 경제적이라고 할 수 있으나 소규모, 도심지, 민원우려지역에는 적용이 어려운 것으로 사료된다. 특히 장약 후 20여분 정도의 숙성시간이 필요하고 발파후 잔류약 처리문제등에 대한 세심한 대책이 필요하다. 특히 죽 상태로써 흘러내리는 등 취급이 불편하고 장약시 숙련자의 지원이 요구된다.

2) 제도적 검토

현행 총포·도검·화약류 등 단속법규에 의하면 장전차량의 현장에서의 혼합제조가 불가능하므로 공급자는 직거래를 위한 별도의 제조허가 및 화약류 제조보안 책임자의 관리가 요구되며, 폭약과 뇌관의 분리운반을 위한 2대 이상의 차량 동원이 필요하고, 1종대형 운전기사와 화약류관리 보안책임자 및 청원경찰 탑승이 필요하다.

또한 작업완료후 남은 잔량반납·처리가 요구되며, 특히 몇 개의 현장을 일시에 공급시 현행법규의 재검토 및 법개정이 필요할 것이다.

3) 경제성 검토

ANFO폭약의 경제적 이점과 내수성 단점 등을 보완하여 수공장진 가능, 굴진장 증가, 경암파쇄 등 여러 가지 이점이 인정되지만 상기의 부정적인 문제도 함께 검토한 총괄 경제성 개념의 자료분석이 필요하며, 특히 관련 전문가의 이론, 실험, 자료정리등 공식적이고 공개적인 데이터 확보 및 홍보를 통한 신뢰확보 토대하의 경제성 검토가 필요한 것으로 판단된다.

3.3 에멀젼 폭약 사용중 문제점 개선방안

전기한 에멀젼 및 벌크 에멀젼 폭약의 사용시 문제점을 요약 정리하고 개선방안을

정리하면 Table 4와 같다.

구 분		문 제 점	개 선 방 안
기술적검토	사용방법	장약후 숙성시간 필요(bulk) 흘러내리는 등 오염문제(bulk) 잔류약 처리 숙련된 자격자 운영	대기방법 규정 설정(or GMB 사용) 발파전, 후 오염 방지대책 수립 반납처리, 현장처리규정 법규 신설 공급자 직접운영(화약류 제조기사 등 훈련배치)
	적용현장	소규모 현장 민원우려지역에는 대처 곤란(bulk) 극경암 적용곤란 2차 폭발(연소)에 대한 문제점	대규모 현장에만 적용 (기타지역은 개선방안 연구) 경암이하 적정암반에 적용 Al powder 등 예감제 과다사용 억제
제도적검토	총단법적용	대량 사용자의 제조허가 취득 화약류제조 및 관리보안책임자 주관 청원경찰 동승 관리 문제 뇌관, 폭약 분리 운반 사용 후 잔량 반납 문제 행상판매 법규 적용문제	제조허가를 취득하여야 함(현장제조 bulk) 제조·관리보안 책임자 선임 (현장제조 bulk) 청원경찰 채용·탑승 필요 차량 2대이상 운행 반납신고 요령 보완 등 총단법 개정 총단법 개정 필요함
	업계대책	직 공급시 대리점 불필요 화약주임 인력문제 벌크 장전기 필요	대리점 축소 및 폐업에 따른 대책수립 화약주임 미취업자에 대한 대책수립 사용자 확보 혹은 공급자 제공
경제적검토	분석의객관성	장단점을 총괄하여 분석 필요 관련 전문기관 참여 관련 전문가 참여 이론, 실험, 자료의 객관성 확보 검토자료 공개, 홍보	실질적인 경제성 여부를 전문가 참여하여 공인 대한화약기술학회, 한국암반공학회 등 관련학회 참여 화약류관리기술사 등 전문가 참여 대학교, 전문연구소에 위탁하여 공인 수집된 자료 공개 및 수요자홍보

Table 4. 에멀젼 폭약 사용시 문제점 개선방안

4. 결 론

1) 에멀젼 폭약은 함수폭약의 일종으로, 산화제(질산암모늄 및 질산모노메틸아민등의 질산염을 말한다)·물·예감제 및 발열제등을 주성분으로 하고 맑은 묵상태(엠엘존)로서 물에서 그 성질이 변화되지 아니하는 강한 폭약을 말한다. 혼합성분은 질산암모늄, 물, 기름, 유화제, GMB 등으로써 TNT나 Al powder 또는 유기예감제를 사용하지 않고 제조된 6호 뇌관으로 기폭 가능한 폭약을 말한다. 그러나 우리나라에서 생산되는 에멀젼 폭약은 암반의 특성상 폭력향상을 위해 Al powder가 첨가되고 있으며 이 성분은 폭약의 위력과 민감도에 가장 큰 영향을 미치는 성분이다. 그리고 안정제와 유화촉진제 Crystal form modifier등은 에멀젼폭약의 성능 및 장기보관성, 온도변화 적용도 등에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 성분이라고 할 수 있다.

제조공정은 다소 복잡하나 내수성과 장약밀도는 좋으며 파쇄도와 후가스도 양호한 편이지만 2차 폭발(연소)이 일어나는 경우가 있다. 연암~경암이 대체적인 적용암반에 해당된다.

벌크 에멀젼 폭약은 제조공정이 비교적 간단하고 내수성과 장약밀도는 뛰어나며 파쇄도와 후가스도 양호한 편이다. 적용암반은 연암~경암에 해당된다.

2) 에멀젼 폭약은 수분이 포함된 안전한 폭약으로 널리 각광을 받고 있으나 감도 및 폭력(위력) 향상을 위해 예감제를 첨가하고 있다. 일반적으로 완성된 화약류의 산소 평형은 이론적으로는 0이 가장 좋지만 생산된 제품은 대체로 0~-1의 범위에 속한다. 에멀젼 폭약의 폭력향상을 위해 Al powder를 첨가할 때 Oxygen balance가 -1을 넘지 않도록 주의해야한

다. 에멀젼 폭약은 Al powder가 과다하게 첨가될 때 폭력은 다소 높아지지만 O.B 수치가 급격히 떨어져 폭굉반응영역에서 불완전연소가 일어나고 이때 발생된 H_2, C, CO 등의 유해(인화성)가스로 인해 2차 폭발(연소)이 일어날 위험이 있다. 그러므로 가연성 가스 함유량이 0.5% 이상되거나 환풍이 어려운 장소에서는 사용을 금해야 한다.

또한 벌크에멀젼 폭약은 장약후 숙성시간이 필요하고 발파 전, 후의 오염 문제 때문에 대규모 현장에서 숙련된 자격자가 직접 감독·운영해야하며, 현행 총단법상 제조허가를 취득해야 하며, 차량 2대 이상 폭약과 뇌관의 분리운행, 화약류 관리보안책임자 및 청원경찰이 동승해야 한다.

그리고 제조회사에서 현장으로 직 공급시에는 대리점 등 중간 유통과정이 불필요해지므로 화약류관리보안 책임자 및 대리점 인력의 축소문제도 발생하므로 이에 따른 인력대책과 총단법 개정 등의 제도적 대책 및 객관적이고 공정한 경제성 분석을 위한 공인기관의 검증 등의 추가대책이 필요할 것이다.

참고문헌

1) 총포·도검·화약류 등 단속법 시행령 제2조 제11~12항
2) 김희창·안명석·김종현, "화약 및 화공품의 역사와 향후전망에 관한 연구" 화약발파, 대한화약 기술학회, 2000. 9. 30, p.9~10
3) 김재극, "산업화약과 발파공학" 서울대학교 출판부, 1997. 3. 20, p.50
4) 이옥섭, "계면활성제의 기초작용(1)", 제2회 정밀화학심포지움, (사)한국공업화학회, 1992. 10. 1, p.36, 38
5) 이천식·김형섭 "국내산 주요폭약의 위력계수 산정에 관한 연구" 화약발파, 대한화약기술학회, 2001. 3. 31, Vol.19, No.1, p.97, 100
6) 조영곤·이상돈·김희도 "장공터널 발파에서 에멀젼 폭약의 시공사례와 적용성에 관한 연구", 화약발파, 대한화약기술학회, 2001. 3. 31, Vol.19, No.1, p.33, 36
7) 정천채 "벌크 에멀젼 블랜드 폭약의 특성고찰" 화약발파, 대한화약기술학회, 2000. 9. 30, p.15~28
8) 조영곤·김희도 "최신벌크 폭약의 시공사례와 적용성에 관한 연구" 화약발파, 대한화약기술학회, 2000. 9.30, p.29~39
9) 총포·도검·화약류 등 단속법 시행령 제18조 제13항 초유폭약
10) 광산보안규칙 제4장 제73조(점화작업의제한)
11) Josef Köhler Rudolf Meyer "ISTITUTE OF MAKER OF EXPLOSIVES", Fourth, revised and extended edition, 1993
12) Per-Anders Persson·Roger Holmberg·Jaimin Lee, "ROCK Blasting & Explosive Engineering", CRC Press Inc. 1994, p.151
13) "Blaster's Hand Book" E.I. du pont de Nemours & Co, 1980, p.60~78, 406
14) H·Joseph Burchell, "Explosive and Rock Blasting", Atlas Powder Company, 1987, p. 13, 60~65
15) T·URBANSKI, "Chemistry and Technology of Explosives", Pergamon Press Ltd, 1984, p.558~567