

구조물 폭파공법 시공시 발파공해 안전대책

-소음·진동·분진·비석공해를 중심으로-

안 명 석
(주식회사 한화 점촌대리점)

1. 특수발파기술의 현황

폭약은 탄광에서 석탄이나 각종 광물을 캐거나, 건축토목 현장에서 암반제거를 위해서 주로 사용되었다. 전쟁에서 군사용으로 파괴를 위한 목적으로 사용되기도 하였으나 최근의 동서화해 분위기와 남북통일이 무르익는 시대적 추세를 볼 때 더 이상 파괴용으로의 사용은 억제될 것이고 이제는 평화를 위하여 건설을 위하여 산업발전을 위하여 더 많이 사용되어지고 응용될 것이다.

작금의 첨단산업의 발달과 산업의 고도화로 우리 화학업계에도 최근에는 첨단발파기술의 개발에 많은 관심과 연구개발을 진행 중이다.

첨단발파기술의 응용사례를 소개하면, 건축토목분야에서 노후고층빌딩 및 굴뚝의 철거, 노후교량 및 공장시설의 철거 등에 활용되고 있으며, 위락 서비스분야에서 응용으로는 불꽃놀이를 들 수 있다. 최근에는 첨단 과학장비를 이용하여 각종 꽃불의 모양이 음악과 미술등 예술적인 기능을 기억시킨 케비테이션을 활용하여 보다 고차원의 공예술품(工學-藝術)을 만들어낸다. 아울러 각종 기공식 발파시에도 예술적 기능과 웅장함을 가미하여 그 화려함을 극치에 다다르게한다. 그

외에도 로켓 발사추진제등의 우주개발에의 응용, 석유시추등 해양개발에의 응용, 각종 공학실험연구에의 응용, 폭발가공에의 응용, 의학에의 응용, 철강산업에의 응용등으로 그 숫자를 이제는 일일이 나열하기가 힘들 정도로 광범위 해졌다.

1.1 응용현황

(1) 구조물의 폭파해체기술

우리나라의 경우 1960년대 이전에 지은 각종 구조물들을 이제는 재개발을 위해 철거 해야할 시점에 이르렀다. 그러므로 폭파해체기술은 현 한국 실정을 볼때 가장 현실성있는 분야이다. 또한 UR협상 타결시 외국의 건물해체업체가 국내 시장에 진출하여 해체시장을 잠식할 가능성이 큰 화학관련 기술용역분야로 보여진다. 그러나 현재 국내의 해체기술수준으로는 대처능력이 현저히 부족하여 시급히 보완이 필요한 실정이다. 국내에는 수개의 업체가 수회의 예비시험을 거쳐 최근에는 3~5회의 시장개입을 시작하였다.

(2) 석유시추를 위한 폭파응용기술
천연자원이 부족한 우리나라는 특히 석유자원에 대한 기대가 매우 크다. 육지의 해남, 포항지역에 대한 기대가 희박함에 따라 이제는 해양에서의 석유탐사에 기대를 걸

고 있으며 그중 7광구의 석유부존가능성에 큰 기대를 걸고있다. 석유탐사를 위한 시추작업에는 다음과 같은 화약이 사용되고 있다. 시추선에서 내린 drilling pipe의 tool 내에 shape charge를 장착하여 lft 가량 좌우로 천공하여 유정 유무를 조사한다. 주로 pipe cutting 및 암석의 천공이 목적이기 때문에 shape charge가 소요된다. 시추공내의 강관 천공용으로는 4"고성능 RDX, 도폭선 기폭용으로는 전기식 뇌관인 white deto, 시추공내 sample채취용인 CST cartridge, 시추공내 플러그, 팍커, 시멘트 파쇄용인 baker power size 20, 시추공내 tubing 절단용인 pengo cutter등이 있다.

(3) 공학실험을 위한 폭파응용기술
전투차량용 철판 등 방위산업용 신소재 개발을 위한 금속의 동적파괴 인장실험을 하기위해 그림 1과 같은 실험장치내에서 시편의 한쪽편에 부착된 loading head에 붙인 폭약을 폭파시킴으로서 동적 인장력을 측정한다. 이때 폭발은 진공 chamber 내에서 일어나므로 시편과 시험장치의 파손을 막는다. 이때 사용되는 화약은 직경 5mm정도, 길이 25mm 정도의 E-106 Deto와 63% PETN을 두께 6mm 정도로 만든 deto sheet C를 사용하여야 하나 국산 다이내마이트와

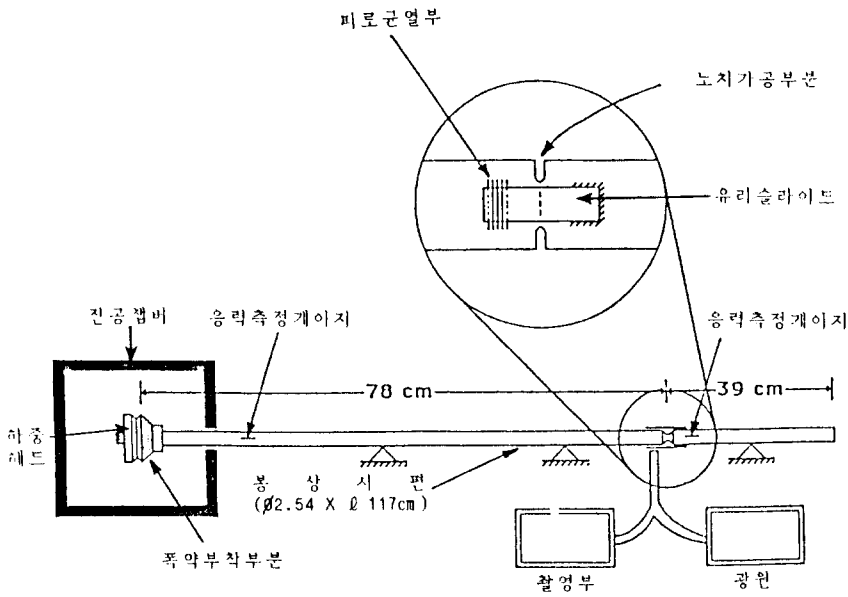


그림 1 동적 파괴인장 실험을 위한 장치의 개요도

전기뇌관을 기술적으로 사용하였을 때 요구되는 결과를 얻을 수 있었다.

(4) 의학에서의 미소발파응용기술
방광결석증 환자의 요로결석을 제거하기 위해서는 레이저 및 초음파를 이용하는 방법과 방전에 의한 충격파를 이용하는 방법이 있으나 여기서는 화약을 이용하여 분쇄하고 제거하는 법을 설명하기로 한다. 요로결석은 인산칼슘이 주성분이다. 여러가지 결석종류 중에서도 $Ca_3(PO_4)_2 + Ca(COO)_2 + MgNH_4PO_4$ 의 결석이 가장 높은 강도를 가지고 있다. 압축강도가 65 kg/cm^2 에 가까우므로 저강도의 암석에 해당된다. 이러한 강도의 결석을 제거하기 위해서는 내경 2 mm, 1000 kg/cm^2 으로 압축장진한 파쇄기를 요로에 넣어 폭파시켜 결석을 제거한다. 이 방법은 매우 정밀한 고도의 기술을 요한다. 중국의 경우 1980년 4월에 방광결석증 환자를 미소발파에 의해 치료하였고, 1985년까지 20여회 성공하였다. 일본의 경우는 1981년 9

월부터 1985년까지 6회에 걸쳐 이상없이 성공하였다.

(5) 컴퓨터를 이용한 불꽃사용기술
새로운 문화가 빠르게 창조되고 발전되어가는 최근의 추세와 발맞추어 우리나라의 예술수준과 감상능력도 매우 높아졌다. 이에 부응하여 새로운 레저 관람 및 축제 행사 수단으로 화약을 이용한 불꽃놀이가 점차 일반화 되어가는 실정이다. 때문에 불꽃의 제조기술 및 사용기술도 시대에 맞게 고도화, 예술화 되었고 더욱 정밀한 제조와 설계하에 사용되고 있다. 86아세안 제임을, 88올림픽유치 등 초대형 국제행사를 치르면서 여러가지 모양의 불꽃이 새로이 개발되고 종류 또한 수십가지로 늘었으며 발사장비와 발사기술도 더욱 과학적으로 체계화 되었으며 대규모화, 컴퓨터화 하였다. 밤 하늘을 보다 화려하고 보다 예술적인 오케스트라를 연주하기 위해 최근에는 유명하고 경쾌한 음악을 컴퓨터로 분석, 분류, 편집하여 이를 불꽃의 크기, 모양에 따라 적절하게 프로그래밍한다.

프로그래밍한 자료로 품목별 제품을 선정 기획하고 발사장비를 준비, 설치 및 발사작업에 임한다. 이제는 수도권에서 컴퓨터로 발사한 불꽃놀이를 관람해 본 사람은 재래식은 재미가 없어서 보지 못하겠다고 할 정도에까지 이르렀다. 고도화된 예술화된 불꽃 작품만 감상 하겠다는 것으로써 일반 국민들의 불꽃에 대한 예술수준이 급속히 성장 했음을 알 수 있다.





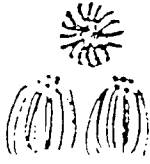

프로그래밍한 예를들면 표 1과 같다.

(6) 수중발파 응용기술

수중발파는 1585년경 전투중인 배에 화약을 적재하여 적을 기습공격하기 위한 목적으로 사용 되었으며, 1961년에는 독일에서 하천채굴을 위해서, 1963년에는 이탈리아에서 항만채굴을 위해서 산업발전에 이용되기 시작하였다. 수중발파의 형태로는 폭약을 물속에 달아매는 법, 수중의 구조물에 부수하는법, 천공하여 장약하는법 등이 있다. 주로 항만과 수로와 하천이나 호수에서 항만신설공사용으로, 교량이나 교각의 기초조성을 위한 암석파쇄용으로, 해저에 침몰된 침몰선박의 인양을 위한 해체용으로, 지질탐광을 위한 해저발파용으로 이용되고 있다. 수중 수십 m 아래는 매우 높은 압력을 받으므로 지상에서 사용하는 일반폭약으로 발파는 어려우므로 내수압에 강한 특수폭약을 사용하여야 한다. 뇌관도 침장약을 강화시킨 특수용을 사용하여야 하며, 기폭방법도 유선전기 기폭법을 쓰며, 최근에는 무선전기 기폭법(전자유도 원격기폭법, 초음파 원격기폭법등)도 개발되어 적용 실시되고 있다.

(7) 기타 분야에서 발파응용기술
항만, 댐, 터널, 지하철건설 등의 각종 건설공사장에서 기공식행사에 사용하는 건설기공식 특수

표 1 연화발사 프로그램

시 간	순 서	설계내용	명칭 및 종류	구 분	LAP	비 고
00' : 00"	1		*개막축성 *색뇌명 W 5 *국 화 B 5	연타	60"	*발사후 1분 대기
01' : 00"	2		*국화원 *#48국화 5 *국 화 R 5 *국 화 R-B 10	연타	20"	
01' : 20"	3		*단 발 *토 성 5 *나팔꽃 5 *#136 국화 5	단타	30"	
01' : 50"	4		*공중 정원 *방 전 A 10 *야 국 A 5 *#10국화 B-R 5	연타	20"	
02' : 10"	5		*만 추 *#17,55 국화 5 *국 화 Gd 5 *버 들 A 10	연타	20"	
02' : 30"	6		*음·광의 세계 *전광뢰 10 *색뇌명 B 5 *#46 국 화 5	연타	15"	

효과는 수중행사시에는 수중색소기 등과 주간용 연화를 사용하고 육상 행사에는 육상연막기둥과 꽃가루, 주간용 연화등으로 화려함과 웅장함을 한층 더하여 많은 호응을 얻고있다.

또한 사람을 치고 뺨소니치는 도주차량을 잡기위한 폭발응용기술에 의 활용이나 쇳물을 부어 만들던 주물가공법에서 폭약을 사용하여

가공하거나, 용접이 불가능한 대형 배관을 폭약으로 접착한다거나, 굵은관을 적당한 크기로 압축하는 폭발성형기술, 폭발열로 강철의 강도를 강화하는 폭발경화기술, 금속분말을 폭발시켜 일정한 형태로 압축가공하는 폭발압축기술, 폭약을 터뜨려 철도레일이나 파이프 등을 쇳뭉으로 자르듯 절단하는 폭발절단기술, 차량의 충돌사고시 운전자를

보호하는 에어백의 폭발팽창기술, 용광로의 철광석 찌꺼기를 화약을 이용하여 공정을 세우지않고 간단히 제거하는 폭발응용기술 등을 들 수 있다.

1.2 국내개발현황

1980년대 이후 화약개발을 위해 외국연수, 견학, 출장 등을 통해 눈을 뜨기 시작한 특수 발파기술은

1985년경 부터 본격적으로 거론되었고 각 기업에서 자체적으로 사업성을 검토하고 기술에 대한 연구개발을 시작하였으며 1988년 6월에는 관련학회에 실용화 방안이 발표되어 관련기술자와 학계에 큰 관심을 끌기도 했다⁽¹⁾.

그후 일부 화학기술관련 선구자들에 의해 외국의 폭파해체기술자료를 입수, 번역하여 관련기술자에게 전달하거나 자체연구를 꾸준히 하였으며 최근에는 세미나나 외국연수 등으로 더욱 구체화되고 활성화 되었다.

현재 실용화를 위해 국내에도 3~4개의 기업체가 본격적으로 본 사업에 참여하기 시작하였으며 H기업은 이미 자체연구개발을 거쳐 수주활동을 진행중이며 또한 D기업은 외국의 해체전문업체와 기술합작을 통해 국내시장진출을 본격적으로⁽²⁾ 시도하고 있다. 그리고 1~2개 업체는 준비단계 혹은 관망형태를 취하고 있다.

1.3 관련기관 현황

- (1) 총포화약안전기술협회
- (2) 대한화학기술학회
- (3) 한국소음진동공학회
- (4) 한국암반역학회
- (5) 한국자원공학회
- (6) 한국터널기술협회
- (7) 한국화학기술자연협회
- (8) 대학부설연구소 등

2. 특수발파기술의 전망

구조물 폭파해체 용역업의 경우 미국, 영국, 독일, 스웨덴 등의 선진국에서는 이미 20~30년 전부터 노후된 고층빌딩이나 노후된 교량, 용광로, 화학공장, 발전소, 원자로 시설, 굴뚝, 송전탑, 폐수처리장, 하수처리장 등 각종 구조물을 경제적이고 안전하면서 신속한 방법인

폭파해체공법으로 구조물을 철거해 오고 있다. 정부기관이나 국민들의 인식도 보편화되어 있는 실정이다. 그러나 우리나라의 경우 1960년대 이전에 건축된 아파트, 교량, 굴뚝, 공장등 각종 산업시설이 노후되거나, 도심지 재개발사업이나 토지 이용의 극대화 또는 도시 미관 향상 등의 목적으로 철거해야할 시점에 이르렀다. 그러나 아직도 대부분의 철거작업이 브레이크나 컷트기를 이용하는 등 재래식 공법에 의존하고 있는 실정이다. 앞으로 더욱 높은 고층건물이나 대규모건축물을 제거하거나 부분적인 철거가 요구될시에는 폭파해체공법이 필수적인 사항이 될 것이 분명하다. 연구발표된 자료에 의하면 재래식 해체공법의 경우 단층 철거시에는 철거비용이 평당 3만원이 들고 18층 고층건물의 철거시에는 평당 14만원이 소요되지만 폭파해체공법으로 해체시에는 평당 4~5만원 정도가 소요된다고 한다⁽³⁾.

즉 고층건물일수록 경제성이 매우 높은편이다. 재래식 공법에 비할때 훨씬 저렴한 공사비용과 함께 짧은 공사기간이 소요되는 특징이 있지만, 허가관계기관과 인근주민들의 발파작업에 대한 인식전환이 절실하다. 아울러 소음진동등의 발파공해에 대한 기술적인 사항에 대해 기술진은 보다 적극적인 노력을 해야할 것이다.

수중폭파는 대형선박의 증대로 인한 기존항만의 심도를 보완하기 위한 항만의 재정비, 항압벽의 수리 및 심해광산의 개발, 대교의 교각건설 등을 위하여 그 수요가 증가할 예정이다. 수중발파는 종사자의 위험도가 특히 높으므로 로봇화로의 연구, 어구류 및 수중구조물에 대한 피해를 최소화하기 위한 발파충격압과 지반진동의 경감대책에 대한 연구등에 심혈을 기울여야

할 것이다. 최근에는 컴퓨터를 이용하여 더욱 상세하고 정확한 예측을 위한 연구가 실용화 단계에 들어서고 있다.

3. 구조물폭파해체공법의 원리

3.1 설계의 기본원칙

(1) 건물자체 중량의 주된 지지부를 파괴한다.

(2) 충분한 파괴가 되도록 장약을 분할한다.

(3) MS발파를 하고, 단수는 원하는 방향으로 붕괴 및 파괴 되도록 설계한다.

3.2 기본 안전 수단

(1) 무거운 프라스틱매트와 방호용카바로 장약부를 덮는다.

(2) 주변건물과 설비에 대해 지반진동을 측정한다.

(3) 분진억제를 위해 발파작업시에 물을 살포한다.

(4) 암석발파와 마찬가지로 주위사람들을 피난시키고 감시한다.

(5) 인접발파시는 대기중의 쇼크파도 측정해야 한다.

3.3 장약량 설계

구조물 폭파시에는 일반발파와는 달리 천공경은 가능한 적게하여야 하며, 천공각도는 보통 5~45도로 하고, 천공깊이는 15~50cm로, 장약량은 30~200g으로 한다. 그리고 장약량 산정식은 $L=CA$ 나 $Q=KL$ 을 사용한다. 이때 L 은 장약량으로써 kg단위이고, C 는 발파계수으로써 kg/m^2 이며, A 는 파쇄단면적으로써 m^2 이다. 또한 Q 는 공당장약량으로써 g 이고, K 는 발파계수으로써 0.8~1.2에 해당하며, L 은 천공깊이로써 cm 이다.

3.3 소음제어 이론

소음이라 함은 기계, 기구, 시설

기타 물체의 사용으로 인하여 발생하는 듣기 싫은 소리로써 “바람직하지 않은 음” 즉 생활에 장애를 주거나 고통을 주는 음을 말한다. 소리는 본질적으로 대기의 작은 압력의 변화를 우리귀의 고막에 의해 감지하는 현상이다. 따라서 소리의 크기는 압력의 크기로 정의되고, 사람이 들을 수 있는 소리의 크기는 최저가청압력인 2×10^{-5} Newton/m²에서 200 Newton/m²까지 광범위하다. 따라서 log값을 이용하여 음압도 Decibel=10log(power/기준 power)로 표시된다. 즉 dB은 어떤 기준값에 의해 정의된 상대적인 양이다. 사람의 귀는 1000Hz이상 고주파영역에서 예민하고 주파수가 감소됨에 따라 감지도는 감소한다. 그러므로 1000Hz에서 30dB로 느끼는 소리의 세기는 20Hz에서는 90dB이 되어야 같은 세기의 소리로 느낄 수 있다.

dB은 등감도 곡선으로 보정한 A특성치와 B특성치, C특성치로 구분되며 일반 소음은 dB(A)로 측정·표기하고 있으며 충격음은

dB(C)로 측정·표기하여야 함이 더욱 정밀하다고 한다. 그러나 대부분 dB(A)로 측정하고 정리하는 것이 일반화 되어있다.

3.5 진동제어 이론

발파진동은 지진진동에 비해 주파수가 높아서 수 10~수 100Hz에 이른다. 발파진동에 대한 구조물의 피해정도는 변위, 입자속도, 가속도, 주파수중에서 입자속도⁽⁴⁾에 많이 좌우한다. 이들의 상호관계는 $D = Vdt$, $V = dD/dt = Adt$, $A = dV/dt$ 로 표시된다. 그러므로 발파진동 예측시험식은 $V = K(D/Wb)^n$ 으로 표현할 수 있다. 여기서 D 는 폭원으로 부터의 거리(m), W 는 지발당 장약량(kg), V 는 지반의 진동속도(cm/sec), K, n, b 는 지반조건에 따른 상수이다⁽⁵⁾. 즉 발파진동은 폭원과 구조물 사이의 거리에 반비례하고 지발당 장약량에 비례한다고 정의된다.

그리고 콘크리트 파쇄기(CCR)를 사용할 경우는 $V =$

$7W0.5D-1.75$ 로 표시된다. 여기서 W 는 약량(분), V 는 진동속도(cm/sec), D 는 거리(m)이다⁽⁶⁾. CCR의 경우 동일 약량의 다른폭약에 비해 파쇄진동이 약 1/2~1/10정도가 절감된다고 한다.

발파진동과 지진진동의 차이는 표 2와 같으며, 발파진동에 관한 피해에 대한 연구는 우리나라의 경우 1990년 6월에 S대학교 공학연구소에서 실시한 H석유개발공사 A프로판 지하저장시설 증설공사시 “발파진동에 의한 구조물 상호영향 평가보고서”에서 미광무국(U.S.B.M)의 발파진동 허용기준치인 5 cm/sec의 1/2 수치인 2.5 cm/sec를 한계허용 진동속도치로 설정하였을때 정상적인 지상구조물일 경우 충분하다는 결론을 얻었다⁽⁵⁾. 지반조건에 따른 발파진동 피해수준의 예는 표 3과 같다.

3.6 비산제어 이론

비산은 구조물의 강도와 노후정도를 감안한 적정장약량 산정이 가장 중요하다. 대체로 구조물을 넘

표 2 발파진동과 지진과의 비교

	발 파 진 동	자 연 지 진
진 원 의 깊 이	지표 또는 지표가까운 내부	지하 10 km 이상
진 동 주 파 수	수 10 ~ 수 100 Hz	1 Hz 정도 또는 그 이하
진 동 계 속 시 간	0.1 초 정도 이내	10 초 이상, 대지진은 분단위
진동파형	비교적 단순	복 잡

서울지하철공사 발파진동 허용치

구 분	I	II	III	IV
건 물 분 류	문 화 재	주택, 아파트 실금이 나타나 있는 정도	상 가 금(crack)이 없는 상태	철근콘크리트빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용 진동치(cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

*비고 : (1) 위 표는 서독 Vornorm DIN 4150, Teil 3을 기준하였음.
(2) 주파수는 약 100 Hz까지 통용된다.

표 3 발파진동에 의한 피해수준(제안자 : Langefors & Kihlstrom)

지반조건 진동범위	지하수 수준 이하의 점토, 모래, 자갈	퇴석(moraine) 슬레 이트(slate) 연약한 석회석	강한 석회석, 석영질 사암, 편마암, 화강 암, 현무암	피해 정도
중파의 전달속도	300~1,500(m/sec)	2,000~3,000(m/ sec)	4,500~6,000(m/ sec)	
발파에 의한 진동속도(cm/sec)	0.4~1.8이하	3.5이하	7.0이하	피해 없음
	0.6~3.0	5.5	11.0	무시할 수 있는 피해 (피해한계값)
	0.8~4.0	8.0	16.0	균열 생성
	1.2~6.0이상	11.5이상	23.0이상	상당한 피해 발생

길 방향으로는 다소 과장약을 하기도하나 다른 장약 위치에는 약장약을 하는것이 보다 안전하다. 중국 광업대학에서 연구한 자료에 의하면 파편의 비석거리 $D = Kx\{20(Q1/3/W)^2\}/g$ 로 표시된다.

3.7 폭파해체 시공순서

- (1) 파괴대상 건물의 구조와 주변상황 조사
- (2) 발파해체를 위한 붕괴공법의 선정
- (3) 사용폭약의 선정 및 설계
- (4) 사전파쇄 및 전달
- (5) 천공
- (6) 장약 및 전색등
- (7) 비석방지등 방호대책
- (8) 교통규제와 인근주민대피 및 경계
- (9) 발파준비완료 및 최종점검
- (10) 발파
- (11) 불발 및 잔류약 확인
- (12) 주변 피해여부 조사 및 파쇄물 처리

4. 구조물 폭파 해체공법의 시공예(표 4참조)

4.1 A회사

당사는 수년간 자체연구를 통해 얻은 기술축적을 바탕으로하여 91

년 8월 26일 16:00시 육사 단층건물 발파결과 만족한 결과를 얻었다. 당 구조물은 건물 연면적이 128m², 벽체의 두께가 20cm인 라멘조로서 사용한 폭약은 GD28 mm, 뇌관은 NONEL Primadet와 17,24,42,100 ms의 Trunk Line Delay를 사용하였다. 천공경은 32~40 mm, 천공각도는 5~20도로써 공당장약량은 200g이하로 하였다. 발파소음진동은 30 m지점에서 소음이 86dB, 진동은 0.13 cm/sec로 아주 양호한 결과를 얻었다.

92년 7월 9일 14:00시에 실시한 구 인천면허시험장의 3층 철근콘크리트 구조물의 해체 작업은 고무할만한 기술발전을 이룩하였다. 해체된 건물의 면적은 1125m²로써 1970년에 건축된 기둥식지지 라멘조 구조물이며 본 발파전에 2회의 시험발파를 하였고 사용폭약은 GD28 mm, 뇌관은 DS를 사용하였다. 천공경은 32~38 mm, 천공장은 38 cm, 천공간격은 40~70 cm, 최소저항선 18.5 cm, 천공각도 30~45도, 공당장약량 40~80g, 기둥당 천공수는 3공으로써 총천공수는 150공으로 총장약량은 7.9kg이었다.

DS뇌관은 2~11번을 사용하였으며 천공장 $D=1.4d$ 의 식을 적용하

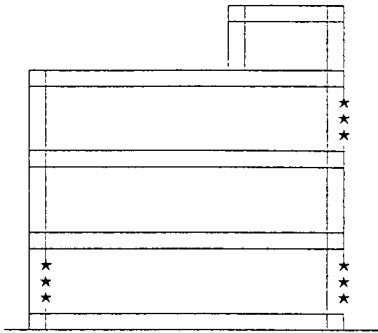
였다. 발파소음진동은 30 m지점에서 소음은 80~90 dB로 예측하였으나 결과치는 88~130 dB 정도로 다소 높았고 진동은 0.61~0.66 cm/s로 예측했으나 0.018~0.11 cm/s로써 예측치에 훨씬 못미쳤다. 그리고 비석거리는 22~35 m로 예측했으나 2차에 걸친 방호막의 엄밀한 조치로 인해 5 m 이내에 머물렀다. 붕괴패턴은 원위치붕괴(inside demolition)이었다. 기폭시스템과 붕괴패턴은 그림 2와 같다.

4.2 B회사

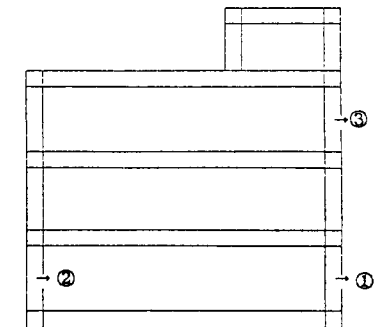
당사는 정유공장, 일반토목분야 등의 설계 및 건설, 시공전문업체로써 폭파해체 사업을 위해 폭파전문회사인 영국의 C.D.G와 기술제휴로 본 해체 사업에 뛰어난 업체이다. 시공실적으로는 92년 1월 23일 포항종합제철에서 높이 70 m의 굴뚝과 높이 40 m의 head 물탱크의 해체 경력이 있다. 굴뚝의 외경은 7 m, 두께 40 cm 정도로써 폭약은 GD25 mm, 뇌관은 순발 및 MS전기뇌관, 도폭선 등을 사용하였다. 천공장은 35 cm, 천공경 30 mm, 최소저항선 50 cm정도였으며 천공각도는 45도 전후, 천공수는 70공, 공당장약량은 약 80g으로써

표 4 구조물 폭파 해체 시공예(국내)

폭파 대상	구 조	사 용 폭 약	폭 파 업 체	시 공 일 자	비 고
	층, 규모	사 용 뇌 관		성 공 여 부	
육군사관학교	RC 구조	DYNAMITE	(주) 한화	1991.8.29	
생도식당	1층, 1동	비전기식뇌관	육사토목부	△	
(주) 한화	RC 구조	DYNAMITE	(주) 한화	1991.9.17	폭파시험용
자체폭파시험	3층, 1동	전 기 뇌 관		△	건물제작
굴뚝 및	RC 구조	DYNAMITE	대림 ENG.	1992.1.23	외국기술진 과 합작
고가수조	70m, 40m	전 기 뇌 관	영국 CDG.	△	
부산 보수동	RC 구조	DYNAMITE	대림 ENG.	1992.6.1	외국기술진과 최초의 합작사례
애린유스호텔	3.4층 복합	전기, 비전기식	영국 CDG.	○	
인천 연수동	RC 구조	DYNAMITE	(주) 한화	1992.7.9	국내기술진에 의해 최초성공
구면허시험장	3층, 1동	단발전기뇌관		○	
서울 영등포	RC 구조	DYNAMITE	대림 ENG.	1991.7.19	성 공
영남국민학교	4층, 2동	전기, 비전기식	영국 CDG.	○	
고려시스템	RC 구조	DYNAMITE	(주) 한화	1992.12.20	성 공
사 옥		단발전기뇌관		○	
설 약 산	RC 구조	DYNAMITE	(주) 한화	1993.6.21	성 공
킹덤호텔	9층, 1동	단발전기뇌관		○	



장약의 위치



붕괴순서

그림 2 기폭시스템과 붕괴패턴

총 화약 사용량은 GD62.5 kg, 전기뇌관 100개, 도폭선 250 m정도가 소요되었다. 붕괴패턴은 정방향 붕괴(one side demolition)이었다.

92년 6월 1일 14:00시에 우리나라에서는 최초로 공시적인 건물해체 발파가 부산에서 시도되었다. 약 1200평 규모의 3,4층 콘크리트 건물인 구 애린유스호텔의 건물발파는 C.D.G의 회장인 Mr. Chares Moran을 주축으로하여 D엔지니어링의 기술진이 총력을 기울인 결과 성공적으로 완료되었다. 사용한 폭약은 GD25 mm, 뇌관은 NONEL primadet와 ED, DS를 사용하였다. 공당장약량은 60~80g으로써 370공을 천공 하였으며 총 폭약사용량은 GD23kg, ED130 개, NONEL378개가 사용되었다. 예산진동치는 15m 거리에서 0.2 cm/

sec였으나 결과치는 0.015 cm/sec로써 매우 낮은 편이었다. 붕괴패턴은 원위치붕괴(out side demolition)이었다.

4.3 C회사

당사로는 모 군부대 내의 노후 파손된 철교를 제거하기 위해 비공개로 92년 2월 16일 14시 30분에 교량발파를 시행하여 만족할 결과를 얻었다. 교량의 무게는 약 25 ton으로써 T형 빔아치형의 철근콘크리트로 이루어져 있었다. 폭약은 GD25 mm, 뇌관은 DS를 사용하였다. 천공경은 35 mm, 천공장 70~140 cm, 천공간격 15~50 cm, 장약량은 80g 전후였다. 매우 양호한 결과를 얻었으나 철재빔은 375g의 폭약으로 절단을 시도했지만 복토법으로 엄밀한 시공이 되지

표 5 외국 해체 업체의 예

국 적	회 사 명	해 체 경 력	사 원 수	안전기준 및 특징
U.S.A	E.D.L	경력 : 20년 이상 시공 : 150건 이상	30명	폭풍압 150 dB로 자주규제
U.S.A	C.D.I	경력 : 45년 가량 시공 : 5000 여건		원자력발전소 해체경력 2000건 세계최대, 일요일 아침에 실시
U.S.A	BROCO			수중발파 경력 많음
U.K	C.D.G	경력 : 18년 이상 시공 : 수 10건	30명	폭풍압 160 dB, 진동 14 m에서 5 Kine 발파 4시간 전 ~ 1시간 후 대피 5인의 안내원이 24시간 경계분진청소 비 계상
스웨덴	N.C.AB	경력 : 18년 이상	40명	High Explosive와 NONEL사용

못한 관계로 절단에 실패했다. 소음은 대략적으로 90~120 dB 정도였다. 붕괴패턴은 정방향붕괴(one side demolition)이었다.

4.4 D회사

당사는 구조물 폭파해체분야에서 세계최대의 시공경력을 가지고 있는 구조물폭파 전문업체로서 대표적인 시공사례를 들자면 구제과학 기술박람회장이었던 반구형 dome의 폭파해체를 들 수 있다. 이 돔은 높이 23.7m, 직경 41m로써 총중량 1900ton의 규모였다. 약 20일간의 예비작업을 끝내고 86년 3월 6일 10:00시에 발파를 실시했다. 폭약은 Emulsion계 합수폭약 312kg을 사용했고 뇌관은 MS, DS 등으로 총 28개단에 1265개를 사용하여 2회의 발파로 해체작업을 완료했다.

4.5 E회사

당사는 영국 최대의 구조물 폭파 전문업체로써 Manchester에 위치한 셀포드아파트 8개동을 동시에 발파했는데 연면적 59000m²으로써 9~12층 건물이었다. 총천공수는 6400개였고 총사용화약량은 512kg이었다. 뇌관은 NONEL뇌관을 사용하였다.

4.6 내도해협 암초제거

1978년 11~12월 사이 14 m 수심하에 있는 내도해협 암초제거를 위해 수중발파를 실시했다. 제1회 발파는 1공에 장약량 100kg, 제2회는 3공에 350kg, 제3회는 6공에 1080kg을 장약하고 전자유도기폭법으로 발파하였다. 굴천량은 4400 m³이었다⁽⁹⁾

4.7 폭파해체업체의 예

구조물 폭파해체업체의 예(외국)는 표 5와 같다.

5. 구조물 폭파공법 시공시 문제점

5.1 공사시행상 문제

(1) 허가취득

허가관청 등의 관련행정관서에서는 새로운 기술의 시도에 대한 안전상 문제로 인해 허가 및 기타행정에 대해서 매우 과민한 반응을 보이므로 시행자는 안전제일의 원칙을 철저히 준수하여야 할 것이다.

(2) 민원처리

구조물 폭파해체작업은 국내시공경력이 짧고 화약을 사용한다는 점에서 발파대상 주변의 주민들은 대부분 무조건적으로 거부반응을 나

타내는 경향이 있다. 그러나 재래식철거법에 비해 단시간에 보다 적은 비용으로 철거하는 잇점이 있고 오히려 더욱 안전한 첨단기술이라는 점을 부각하고·설득시킬 필요가 있다.

(3) 기술수준

화약산업에서 최첨단기술인 구조물 폭파 해체공법은 시공경험이 많이 부족한 가운데 국내정착에 애쓰는 일부 기술자들은 자체 기술개발에 매우 많은 노력을 해오고 있으나 기술수준이 아직 많이 미흡한 실정이다. 개발단계부터 기술향상뿐 아니라 안전시공능력 향상에도 큰 비중을 두어야 할 것이다.

(4) 보험제도

우리나라의 경우 대부분의 건설업체들이 공사를 해오면서 건설공사 보험가입을 기피하는 경향이 있다(91년 기준 96.66%). 때문에 대형사고 발생시에는 피해보상이 제대로 되지않고 복구공사시 많은 어려움에 처한다. 91년 기준으로 건설공사 총 발주액 32조7천8백92억 원중 보험가입은 1백80조에 1조9백36억원으로 가입률이 3.34%에 그쳤다. 건설공사시 보험가입률이 매우저조한 실정이다. 우리나라의 보험가입현황과 예는 표 6과 같다.

구조물 폭파 해체공사의 경우 발

표 6 건설공사 보험가입 현황과 전망

건설업체 보험가입 현황	보험기피원인	가입기피로 인한 사례	향 후 전 망
(1) 87년 15.27% 가입 (2) 89년 8.7% 가입 (3) 90년 4.4% 가입 (4) 91년 3.34% 가입 *매년 감소추세임*	(1) 보험에 대한 인식 부족 (2) 경기 침체로 보험료 지출에 대한 부담 가중.	(1) 92.8 신행주대교 붕괴 사고; 재공사 재원조달 문제로 고심 (2) 93.1 청주우암상가 아파트 붕괴사고; 시공업체, 주민, 상인 등이 가입치 않아 애로 (3) 93.3.28 부산열차전복 사고; 보상애로	건설공사물량은 계속적으로 증가할 것이므로 현 추세로는 보험가입 기피에 따른 피해보상 분쟁이 한층 확대 될 것으로 보인다.

생활은 매우 낮은 편이지만 만약 사고가 발생시에는 큰 피해가 예상되므로 보험가입이 필수사항이라고 사료된다. 외국의 경우는 폭파 해체작업시 수십억원의 피해보상까지 가능한 보험에 가입한 예가 있다. 이러한 경우 인근주민과 허가관청의 불안사항이 보험증서의 제출로 인해 심리적 불안이 거의 해소되어 공사또한 순조롭게 진행된다고 한다. 우리나라에서도 이제는 기술수준의 향상은 물론이고 관계주민과 허가관청등의 인식전환이 이루어져야겠으며, 보험회사의 보험제도 확립과 함께 가입필수성에 대한 재고가 필요한 시점이다.

5.2 환경공해문제

(1) 소음공해

우리나라의 소음공해는 교통소음이 가장 많은 비중을 차지하고 있으며⁽⁷⁾ 그 다음으로는 건설소음이 차지하고 있다. 현행 소음진동 규제법에 의하면 1일 200kg 이상의 폭약을 사용하는 사업장·채석장 등은 공사개시 7일전까지 행정관청에 사전 신고해야 하며 해당관청은 주변여건을 고려한 소음방지대책과 폭약사용량, 사용시간, 사용회수의 제한을 명할 수 있게 되어있다.

소음공해가 인체에 미치는 영향을 살펴보면 먼저 생활의 불쾌감과

함께 일상생활의 방해, 생식기 변화, 청력장애, 소화불량, 맥박증가, 흥분, 두통 등을 들 수 있으며 특히 소음성 난청은 우리나라에서 진폐증 다음으로 많은 직업병 중의 하나이다. 난청의 발생은 트럭엔진 조작, 금속업의 기계조작, 광업·터널공사·채석작업에서의 착암기·채탄기의 사용장소에 종사하는 사람에게서 가끔 발생한다. 우리나라의 경우 소음규제기준은 일반지역 40~70 dB, 도로변지역 55~75 dB로 정해져 있다. 보통 소음은 개인·연령차에 따라 일정하지는 않으나 80 dB 이하는 청력장해의 가능성이 거의 없다고 한다. 음압이 150~160 dB일 때는 순간적으로 귀의 손상을 가져오고 그 이하에서도 장시간 들으면 청력이 파열하고 수년간 계속되면 난청이 된다고 한다.

구조물의 폭파해체 작업시에 발생하는 소음으로는 먼저 착암기의 소음을 들 수 있다. 보통 120 dB 내외에 달하나 거의 가 건물내부에서 작업을 하므로 인해 작업자에 대한 안전조치 즉 귀마개 착용·작업시간 조정 등의 조치를 철저히 이행한다면 청력장해·이명(귀울림)·난청 등의 영향이 발생하지 않을 것으로 보이며 주변에 대한 환경문제도 작업시간의 조정·주민

의 이해도를 높이는 등의 최소한의 조치를 취하면 큰 문제가 없을 것으로 보인다. 발파시에 발생하는 폭발소음은 보통 수회의 소음이 수 mm/sec 사이에 발생하므로 소화약의 선정 및 설계와 시공의 정확성, 완벽한 방호조치, 주민에 대한 사전홍보 등의 보완조치를 해야 할 것이다.

(2) 진동공해

진동공해는 소음공해에 비해 관심이 적은편이고 연구실적도 많지 않은 실정이다. 그러나 구조물등 시설에 미치는 재산상·안전상 문제는 소음에 비해서 훨씬 높은 편이므로 앞으로 발파작업에서 소음공해보다 더큰 영향을 미칠것이다. 현행 소음진동규제법에 의하면 공장소음진동의 경우에만 배출허용기준이 정해져 있다. 기타 법적인 규제사항은 전술한 소음공해와 비슷하다.

진동공해가 인체에 미치는 영향을 살펴보면 자율신경계와 내분비계의 이상이 발생할 수 있고, 장내압의 증가, 피로의 증대, 시력저하, 압박감, 두통, 이비인후의 감각이상, 창백을 일으킬 수 있다. 이러한 영향은 개인차·신체부위차·노출방법·개인감정에도 많은 차이가 있다. 발파진동은 자연지진과는 달리 주파수가 수 10Hz에서

수 100Hz 경우에 따라서는 1000 Hz에 달하기도 하는 등 주파수가 높은 편이나 진동의 지속시간은 길어야 수 m/sec에 불과하다. 발파 진동 허용기준을 살펴보면 미국은 광무기기준으로 5 cm/sec, 일본은 1 cm/sec를 허용치로 보고 있으며 우리나라는 서울지하철 건설시 주택과 아파트는 0.5 cm/sec, 문화재는 0.2 cm/sec를 적용 시공하였으나 아직 공식적인 허용기준치 설정은 되어있지 않은 실정이다.

우리나라의 경우 발파진동허용기준은 전기한 3.5절에 의하면 일반적인 발파에는 2.5 cm/sec를 적용함이 적당하다고 보여지며, 도심지에서의 발파는 0.5 cm/sec, 오래된 주택이나 아파트 밀집지역 혹은 건물지반이 특히 약한 곳은 0.2 cm/sec를 적용함이 적절하다고 보여진다.

구조물의 폭파해체 작업시에 발생하는 진동으로는 장진한 폭약이 터질때 발생하는 폭파진동을 들 수 있다. 폭파진동은 MSD뇌관을 사용하거나 primer deto를 사용하여 분할발파를 실시할 때 현저히 감소시킬 수 있다. 발파시 건물이 파쇄되면서 넘어질때 발생하는 충격진동은 고층건물이나 굴뚝의 경우 특히 중점관리 대상이 된다. 충격진동은 전도지점에서 미리 파쇄된 파편과 비산물을 이용하여 지반에 대한 완충역할을 하게하거나 인위적인 완충재 구축 등으로 진동을 최소화 시키기도 한다.

(3) 분진공해

분진공해의 대표적인 질병으로는 진폐증을 들 수 있다. 이 병은 주로 탄광이나 분진 다발발생 공장 등의 극악한 작업환경 속에서 작업하는 근로자 중에서 발생되나 최근에는 작업환경의 개선, 보호장비의 착용철저, 정기적인 건강진단 실시 철저, 전문병원의 설립·운영확대

등으로 발생이 감소되는 추세이다. 이러한 분진공해는 현행 대기환경보전법에 의해 규제대상에 속한다. 대기환경보전법 제3장 제28조에 의하면 비산먼지를 발생하는 건축·굴착·토목·철거공사를 하는 건설업의 경우 환경처 장관에게 신고하고 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 설치 하거나 필요한 조치를 하여야 한다고 되어있다⁽⁸⁾. 이 경우 필요한 조치나 조치가 적합치 않을 때는 필요한 시설의 설치나 조치의 이행·개선을 명할 수 있고 명령을 이행치 않을 때는 당해 사업의 중지·시설등의 사용중지·사용제한을 명할 수 있게 되어 있다. 배출허용 기준은 94년 12월 31일까지는 30 mg~300 mg, 95년 1월 1일부터 98년 12월 31일은 20 mg~200 mg, 99년 1월 1일 이후는 10 mg~150 mg으로 되어있다.

구조물의 폭파해체 작업시에 발생하는 먼지는 주로 콘크리트 파쇄로 인한 석영질 결정 입자임으로 자체무게와 중력으로 인해 발파후 수분내에 자연낙하로 제거되므로 분진확산으로 인한 문제는 그다지 크지않을 것으로 보인다. 그러나 날씨가 흐리거나 공기중의 습도가 높을때는 자연낙하 속도가 더크므로 가능하면 흐린날이나 비온전후 혹은 인위적으로 살수를 한다면 분진공해에 대한 우려는 훨씬 감소될 것이다.

(4) 비석공해

비석공해는 환경보전법상으로는 적용이 제외되어 있지만 발파작업에서는 안전관리 측면에서 매우 중요한 문제이므로 여기서는 별도로 구분하여 다루기로 한다. 비석에 의한 사고는 대부분이 암반의 층리·절리등의 부연적면의 미확인이 원인였다. 그러므로 안전매트·안전망 사용을 철저히 하고 대피에도 철저를 기해야 겠으며 화약선정시

에도 암질과 주변상황을 감안하여 신중을 기해야겠다.

구조물의 폭파해체 작업시에 발생하는 비석은 1차, 2차 방호막을 사용할 때 거의 차단되지만 해체건물에 3차 방호막을 설치시에는 거의 완벽히 차단된다. 대체로 장진공당 폭약소요량은 200g 미만으로 적은 편이지만 하층장약의 경우 상층장약에 비해 량이 많은 편이므로 더욱 엄밀한 방호조치와 주의를 요한다.

5.3 기타 발파안전문제

최근 건설토목공사장에서 발생한 대형사고는 부산무궁화호 열차전복 사고와 신행주대교 붕괴사고, 청주 우암상가아파트 붕괴사고 및 기타 지하철공사장의 낙반사고 등을 들 수 있다. 이들은 모두 설계·시공·감리상의 제도적 문제와 함께 구조역학·굴착공학·암석역학 등 기술상의 문제가 한꺼번에 노출된 사고였다. 그중 발파작업으로 인한 안전사고이며 굴착공법과 기술의 미비로 일어난 93년 3월 28일 부산 무궁화열차 전복사고를 상기하면 이사고로 78명의 사망자와 106명의 중경상자가 발생된 초대형의 안전사고였다. 그리고 지하철공사장에서 발파로 인한 안전사고는 92년 6월 6일 발생한 과천지하철 낙반사고로써 3명이 다쳤으며, 3일후에는 지하철 5호선 종묘구간에서 낙반사고로 1명이 사망하고 1명이 중상을 입었다. 이처럼 연속적이고 잦은 안전사고는 90년부터 시작된 서울의 2기 지하철 공사장에서 4일에 1번꼴인 213건이 발생하였고 사망자수는 15명, 부상자수가 199명에 이른다. 이처럼 높은 사고율은 터널 굴착기술자 및 현장감독이 턱없이 부족하고 안전대책이 형식에 그치고 있으며 공기단축을 위한 무리한 공사와 원청과 하청을 거치는 수주

체계의 불합리로 인해 공사현장에서 실공사비용이 불충분 함으로써 부실시공이 이루어 지는데에도 그 원인이 있다. 실제로 원청에서 하청업체로 넘어오는 공사비는 대체로 원도급 가격의 75% 수준에 불과하며 하도급 대금의 70%가 60일 이상 장기어음으로 지급되고 있어 부실공사의 근본적인 원인이 되고 있다⁽²⁾. 최근 모 터널굴착공사의 경우 발주처로부터 원청건설회사에 책정된 공사비가 하청회사로 넘어올때 절반정도로 줄어들기도 하였다. 이러한 원청과 하청건설업체간의 공사비 책정에 대한 문제점을 해소하기 위해서는 제도적·정책적인 개선이 필요한데 몇가지 방안을 제시한다면 먼저 하도급 직불제를 강력히 추진 하여야 하며, 중소하청 건설토목업체의 공사수행능력 및 기술향상을 위해 중소기업 지원 측면에서 정부차원의 지원책과 함께 기업 스스로 우수기술자 유치·양성등의 자구책을 마련해야 할 것이다. 그리고 중소형 건설현장에서는 산업안전 보건법에 의한 표준안전 관리비가 규정대로 사용되지 않는 경우가 많으므로 이러한 비용이 제대로 투입되고 사용되어 지도감독관청의 지속적이고 철저한 관리감독이 병행 된다면 안전사고율은 현저히 감소될 것이다.

구조물의 폭파해체작업의 경우에도 업체간의 과당경쟁으로 인한 사고와 도산을 미리 막기 위해서는 조속히 기준품셈등을 정립하고 관련기관·연구소·학계의 도움과 참여로 기술향상에 주력해야 할 것이다. 기타 발파후 안전대기 시간 준수, 우천낙뢰시 화약취급등 위험작업의 금지, 바닥층의 내부벽체와 문짝 제거등의 약화작업철폐, 인접건물에 대한 발파시 파편비산 방지를 위한 동발이 설치등의 안전조치가 아울러 필요하다.

6. 시공시 4대 발파공해와 발파 안전대책

3.1 소음(폭음)공해대책

(1) 해체대상 구조물의 종류와 성질, 주변지형 및 건물의 규모와 기온·풍속·풍향등을 고려하여 발파소음대책을 수립하고 시험발파시에 소음측정을 실시한다. 그리고 본 발파시에도 2군데 이상 소음을 측정 및 기록·관리하고 시공시에 참고한다.

(2) 사용하는 폭약과 뇌관의 종류·사용약량·기폭방법·분산장약 요령 등을 충분히 고려하여 설계하고 장진과 결선작업시에도 세심한 주의와 철저한 확인시공이 필요하다.

(3) 사용화약은 가능한 폭속이 낮은 것이 좋으나 불가피한 경우는 고폭속 화약을 사용 하기도 한다. 이때는 탬핑시 더욱 철저를 기하여 공구로의 급작스런 분출을 억제 하여야 한다.

(4) 장약시에는 모래·진흙·석고등의 배합비율과 물주머니 등 진쇄물질의 종류와 사용량·진쇄깊이 등을 충분히 고려하여 설정해야 한다.

(5) 착암작업시에 발생하는 소음의 외부유출을 줄이기 위해서는 그라스울·스폰지·담요등의 구하기 쉽고 간단한 방음재를 사용한 차음막을 차체 설치하거나 정도가 심할 때는 소음진동 방지시설업체에 의뢰하여 차음시설을 설치한다.

(6) 착암작업시에는 착암작업자에게 귀마개·귀덮개·방진장갑등의 보호장비를 필히 착용하도록 교육·독려하고 작업시간 조정등의 조치를 취한다.

(7) 소음이 특히 심하게 발생하거나 학교·병원등이 인접한 장소에서 작업할 때는 상기 조치외에도

방음 울타리를 설치하거나 방음커버를 설치하는 등의 특별한 조치가 필요하다. 또한 작업시간의 단축과 조정이 필요하며 저소음형의 착암장비를 사용하거나 소음기 부착등의 조치를 취한다.

6.2 진동공해대책

(1) 구조물의 종류와 성질·주변지형 및 건물의 규모·지반의 성질·성층상항 암반의 상태·거리등을 고려하여 발파진동대책을 수립한다. 특히 구조물의 노후정도와 암반의 층리·절리·지하공동의 유무·단일암맥여부·암종·지반의 함수율 등은 발파진동에 큰 영향을 미친다.

(2) 상기 영향을 고려하여 3군데 이상 진동상태를 시험 측정하고 본 발파작업시에는 효과적인 관리가 요청되는 주요지점에 센서를 위치하고 발파진동치를 측정한다.

(3) 약장약은 충격과 발파효과가 감소되며 과장약은 진동과 폭풍이 증가하여 과파쇄와 비산을 일으키므로 적당한 비장약이 필요하다.

(4) 저폭속 저비중의 소약경 폭약을 사용하여 decoupling effect를 이용한다.

(5) 뇌관은 DSD나 MSD·비전기식 뇌관등을 사용하여 최대한 분산발파 효과를 내며 적당한 MSD 발파에 의한 간섭효과를 이용하기도 한다(8ms이하는 동일발파로 간주한다).

(6) 천공에서는 가능한 많은 자유면을 이용하고 천공간격은 작게, 저항선과 간격은 같거나 크게(연암에서는 작게), 천공장은 짧게, 공경은 가늘게, 지발당 장약량은 적게 하는 것이 진동감소에 매우 효과적이다.

(7) 지반과 가까운 층을 먼저 파쇄하고 폭파층수의 간격 조절등으로 충격 진동을 최소화한다. 이때

순간적으로 먼저 파쇄된 파편이 지반에 대해 완충재 역할을 한다.

(8) 굴뚝 등 높은 구조물을 정방향 붕괴(one side demolition)로 파괴시 착지에 흙이나 모래를 인위적으로 쌓거나 이전 발파 파쇄물을 그대로 두는 등으로 완충재 역할을 하도록 한다.

(9) 상기 외에도 지반의 균열이나 구를 이용하거나 인위적인 공공의 천공 즉 pre splitting 혹은 도랑 굴삭등의 인공구를 설치한다.

6.3 분진공해대책

(1) 적정장약과 방호조치를 완벽히 취한후 건물외벽 및 창문등의 개부를 합판등의 가벼운 방호재를 이용하여 막아 외부로의 분진유출을 억제한다.

(2) 기온, 기압, 풍속, 풍향등을 고려한다. 특히 분진공해의 측면에서는 호린날이나 비온후가 매우 유리하다.

(3) 착암공의 환경안전을 위해서는 마스크, 방진마스크등의 보호구 착용을 습관화하고 습식 착암기의 사용을 권장한다.

(4) 분진이 특히 심할때는 작업장 내외부 및 주변건물 근처에 살수를 함으로써 좋은 효과를 얻을 수 있으며 이동식 집진장치의 설치도 고려할 수 있다.

(5) 분진공해 피해예상 지역주민들에게 세탁물, 음식물등의 관리철저와 발파전 후 약 20분간 대피하는 등의 협조를 요청하고 발파후 주변청소를 실시하는 등의 조치를 완벽히 취한다.

6.4 비석공해대책

(1) 가능한 저폭속·저비중의 폭약을 사용하고 장약밀도를 낮게 하는등 최저 한계장약량을 선정한다.

(2) 뇌관은 DSD, MSD, 비전기식 뇌관 등을 사용하여 최대로 분

산발파효과를 이용한다. 점화순서 면에서는 MSD발파가 유리하나 지나친 지발시간(100 ms 초과)은 장벽효과가 없어진다.

(3) 천공방법·깊이 및 장약량 산정등에 대해 정확한 설계가 필요하며 아울러 천공오차를 최소한 줄여 과장약이나 집중장약이 되지 않도록 한다.

(4) 대상 구조물의 콘크리트 강도저하가 크거나 균열이 있거나 연약한 면은 위험성이 매우 크므로 내부상황과 인자를 면밀히 파악하여 더욱 엄밀한 설계로 장약량과 천공각도 등을 정해야 할 것이다. 그리고 점화순서 착오로 인한 비석의 발생에도 많은 주의를 요한다.

(5) 비석공해 방지의 가장 중요한 점은 방호막에 의한 방호조치를 들 수 있다. 1차 방호막은 보통 쿠션이 있는 섬유질 종류의 담요등이 좋으며 이를 비석발생이 우려되는 지점에 밀착하여 부착하는 것이 좋다. 2차방호막은 철망·합석판등의 견고한 철물류가 좋다. 완벽한 방호조치에도 불구하고 발생우려를 근절 시키기 위해서는 천막등으로 3차 방호막을 설치하여 최종 제어한다.

6.5 기타 발파안전대책

(1) 특수한 경우를 제외하고는 폭약의 공당 사용량을 200g 이내로 제한한다.

(2) 발파기는 목적에 적합한 특수제작품(대형발파의 경우 대용량 발파기 사용)을 사용한다.

(3) 위험이 크거나 규모가 큰 파쇄작업은 선행파쇄작업이나 테깅기·pre-weakening을 미리 정확하게 실시한다.

(4) 인접건물에는 발파시 파편비산 방지를 위해 동발이를 설치하거나 천막이나 비닐·천등으로 방호하고 필요한 경우 임시 방호벽을

설치하거나 주변의 구조물 이용도 검토할 필요가 있다.

(5) 위험지역과 안전한계지역을 구분·설정하고 끈이나 삼각표시등으로 표시한 후 감시자를 두는 등의 안전관리에 대한 관리감독을 철저히한다.

(6) 발파시에는 자체 경계요원뿐 아니라 경찰관·소방관 등의 협조를 얻어 인원통제와 차량통제를 철저히 한다.

(7) 4대 발파공해와 기타 발파안전대책에 대한 자체기준을 설정하고 이들이 정확히 지켜질수 있도록 관리감독을 철저히한다.

(8) 예기치 않은 피해가 발생했을 때의 보상을 위해서나 공사에 대한 신뢰와 공신력을 위해서 해당 공사보험에 꼭 가입하고 적절한 안전관리비를 산정하여 집행한다.

(9) 부실시공으로 인한 안전사고를 방지하기 위해서는 하도급제도의 점진적인 폐지, 하도급직불제 추진가속, 중소건설토목업체의 정부지원강화, 기준품셈의 정립, 기업자체의 자구세력 등 제도적·정책적인 개선이 함께 병행되어야 할 것이다.

6. 맺음말

(1) 기술개발만이 활기찬 신한국의 미래를 보장할 수 있는 중요한 시점에 처해 있는 현재, 우리 화약업계 역시 특수발파 기술의 개발에 총력을 기울여야 할 것이다. 그중 구조물 폭파해체 기술은 시기적으로 경제적으로 가장 적절한 때라고 보여지며 폭파해체시 공사비용은 평당 4~5만원선으로 고층일수록 경제성이 좋은편이며 수주물량은 2000년대에 약 1000억 정도로 추산된다.

(2) 지하철공사나 지하공동·터널굴착시에 발생하는 낙반 및 붕괴

사고 등의 중대안전사고를 미연에 방지하기 위해서는 우수한 기술진과 자격을 갖춘 대형건설토목업체가 직접 해당공사를 시공하거나 기술사등 전문기술자나 기능공을 확보한 전문중심 건설토목업체에게 직접 해당공사를 발주하여 무리한 공사수행을 차단하여 부실공사를 예방 해야겠다. 덧붙여 하도급제도의 점진적 폐지와 하도급직불제를 더욱 확대·정착시키는 등의 제도적개선이 필요하다.

(3) 발파작업에 대한 소음기준을 재정비 하여야 겠으며 진동기준도 조속 설정하여야 할 것이다. 미국과 일본등의 선진국의 예와 국내연구결과를 종합해 보면 우리나라의 경우는 정상적인 일반 구조물의 경우 한계 허용진동속도치는 2.5 cm/sec일때 충분하며, 도심지에서의 발파는 0.5 cm/sec, 문화재나 오래된 주택 혹은 아파트 밀집지역이나 지반이 특히 약한곳은 0.2 cm/sec를 적용함이 적절하다고 본다.

(4) 화약발파를 위한 천공작업시 작업자에게 귀마개·귀덮개·방진 마스크·방진장갑등을 지급·착용토록하고 필요시 방음 울타리·방음커버·소음기부착·인공구·방음막설치·방호막설치·살수등의 환경안전대책을 세우고 위험지역과

안전한계지역을 설정하여 출입금지·안내등의 안전표시를 한후 출입자통제 등의 관리감독을 철저히 하여야 한다.

(5) 화약발파에 관한 안전관리를 보다 철저히 하기위해서는 현행 관계법인 총포도검화약류등 단속법규를 정비할 필요가 있다. 이를 위해서는 소음진동 단속법규와 산업안전보건법에 분산 되어있는 소음진동기준 및 안전관리기준을 검토·조정하여 현실정에 맞게 정비하고 감독등의 책임소재를 보다더 명확히 할 필요가 있다.

(6) 구조물 폭파해체 공법의 시공시에는 일반적으로 저폭속·저비중·소약경의 폭약이 좋다고 연구되어 있으나 우리나라의 경우는 현재 대부분 저충발파이므로 다이내마이트와 초안폭약 만으로도 발파가 가능한 것으로 판명되었다. 또한 외국의 경우 비전기식 뇌관이나 MSD뇌관으로 발파를 하고 있으나 우리나라의 경우 ED나 DSD·MSD로도 만족한 발파가 이루어졌다. 그러나 향후 고충발파와 대량발파가 있을 것으로 예상되므로 에멀전 폭약등 특수폭약과 비전기식 뇌관등 특수뇌관의 개발과 시판이 기대된다.

(7) 수중발파에서는 불발잔류약의 회수는 거의 불가능하므로 다른

발파에 비해서 더욱 완벽한 설계와 시공을 해야할 것이다. 수중청공발파의 완벽을 위하여 자기승강식작업태선(Self-Elevating Platform) 활용을 고려해 볼 수 있다.

참고문헌

- (1) Pyrotechnics산업의 발전방향, 화약발파, Vol. 6, No. 2, June 30, 1988, pp. 19~32
- (2) 91. 8. 6, 93. 4. 2 매일경제신문
- (3) 폭파해체공법, 대한토목학회지, 제39권 제4호, 1991. 8, p. 10.
- (4) 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, 1988. 8. 25, p. 361~3.
- (5) 발파진동에 의한 구조물 상호영향평가 성과 보고서, 서울대학교 공학연구소.
- (6) 화약산업의 발파안전대책·소음진동, Vol 2, No. 1, March, 1992, p. 16.
- (7) 91소음계측 및 제어강습회 교재, 한국소음진동공학회, p. 7, 12, 1, 20, 21, 249.
- (8) 환경관계법규, 전국환경관리인연합회, 1991. 5.28. p. 998.
- (9) 수중발파기술의 현황과 전망, 복산유생(福山有生)의 세미나자료, 1992. 9. 3, p. 2~4.