

구조물의 폭파해체공법 소개 Explosive Demolition of Structures

황 현 주* 이 성 우** 김 상 수*** 이 광 원*

1. 서론

최근들어 도시정비, 도시재개발, 산업설비 시설 개수, 도로개수사업등이 활발히 추진되면서 노후화되거나 재계획 기능에 맞지않는 공공주택, 고층빌딩, 각종교량 및 산업설비 구조물들의 해체 및 철거작업이 급증하고 있다. 이같은 구조물에 대한 해체작업은 국내에서는 지금까지 대부분 크레인과 파쇄기를 동원한 재래식 방법에 의존하여 왔다. 그러나 스웨덴, 영국, 미국등 선진국에서는 이미 상당히 오래전부터 재래식 방법에 비해 여러가지 잇점이 있는 폭파해체공법을 이용하고 있다. 폭파해체 공법을 도입하면 복잡한 교통지역이나 구조물이 밀집된 지역에서도 보다 안전하게 해체공사를 진행할 수 있으며, 장기간에 걸친 진동, 소음, 분진등의 생활환경 공해를 극소화시키고, 해체공기를 획기적으로 단축하여 구조물을 경제적으로 해체할 수 있어서 최근 이 공법에 대한 국내관심이 매우 높아지고 있다. 이러한 시점에서 지난 1월 대림 엔지니어링(주)에서는 영국의 폭파해체 전문회사인 CDG(Controlled Demolition Group Ltd.)사와 기술제휴로 포항제철(주)의 구 주물선 고로 구조물을 성공적으로 폭파해체하여 이 공법을 처음으로 국내에 선보이게 되었다. 이것을 계기로 본 기사에서는 첨단해체공

법인 폭파해체공법의 개요와 몇가지 사례를 소개하여, 이 공법에 대한 독자들의 궁금증을 다소 해소하고, 향후 이 공법에 대한 연구 진작에 하나의 계기가 마련되기를 기대하면서 기술적인 내용을 간략히 기술하고자 한다.

2. 폭파해체공법 개요

폭파해체공법은 철거대상구조물에서 구조물 안정에 결정적으로 중요한 지지점을 폭파에 의해 순간적으로 절단하고, 나머지 부분은 구조물의 자체중량과 자유낙하하면서 일으키는 충격하중에 의해 붕괴시키는 방법이다. 이때 폭파 및 구조물 붕괴로 인하여 지반이 충격을 받게 되며 이 충격이 지반에 지진파를 발생시키는데, 이 지진파로 인하여 인접구조물이 손상을 입지 않게 하여야 한다. 이 충격을 되도록 작게 하기 위하여 시간차를 두고 구조물이 여러 조각이 나도록 폭파하여야 한다. 이러한 점들을 감안하여 폭파 지지점을 선택하게 되며 계획대로 폭파시키기 위하여 각 폭파지점마다 적정량의 폭약과 정확한 시간차를 갖는 뇌관을 사용하여 미세한 시간차에 의한 폭발이 일어날 수 있도록 하여야 한다. 또한 선정된 부재를 조각조각 완전히 파쇄시키기 위하여 파괴하고자 하는 부재의 여러곳에 분산하여 폭약을 장전시켜야 하며, 지정된 방향으로 전도시키거나 파쇄시키기 위하여 폭파시간차를 1000분의 1초

* 대림엔지니어링(주) 토목개발부 부장

** 정회원, 국민대학교 토목공학과 부교수

*** 대림 엔지니어링(주) 전무이사

단위(ms)로 정확히 조절하여야 하며, 필요부위에 대한 취약화(weakening)작업을 실시하여야 한다.

폭파해체공법에서는 해체구조물에 대한 구조역학적 문제와 충격으로 인한 진동의 영향을 고려한 폭파위치의 선정 및 시간차 폭파 계획 뿐만 아니라 폭파자체의 기술도 필수적으로 병행되어야 하며 이에 는 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

- 1) 해체대상 구조물에 알맞는 폭약종류와 폭약량산정 및 뇌관배열
- 2) 폭파로 인한 주변환경의 영향을 최소화하기 위한 지발당 폭약량과 뇌관의 시간차 계산
- 3) 폭약 및 뇌관의 설치

폭파해체공법에서는 안전에 대한 고려 또한 매우 중요한 요소중의 하나가 된다. 폭파시 비산을 방지하기 위한 조치를 취해야 하고, 주변 구조물에서 지반진동을 측정하고, 붕괴시 분진을 줄이기 위해 살수를 해야하며, 폭파시에는 인접 지역의 주민이나 차량등에 대한 대피조치를 취하여야 한다.

그림1에는 건물에 대해 폭파해체공법의 공사비를 재래식 해체공법과 비교해서 보여주고 있는데 5층이상이 되면 이 공법이 매우 유리해짐을 알 수 있다.

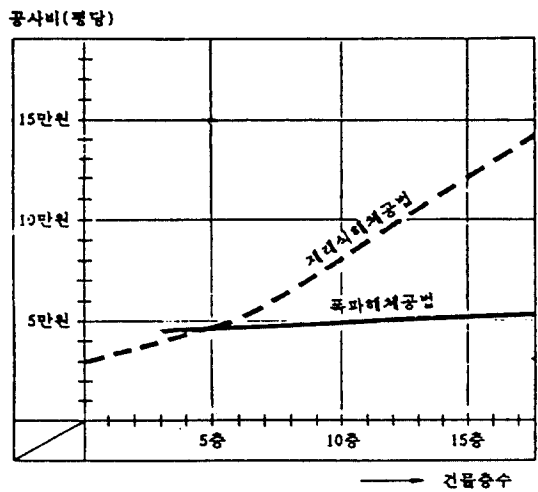


그림1. 폭파해체공법의 공사비 비교

3. 폭파로 인한 주변환경의 영향

폭파해체공법은 인구가 밀집되어 있는 도심지에서 구조물을 폭약을 사용하여 폭파해야 하므로 세밀한 계획과 분석 및 시공만이 안전을 보장받을 수 있다. 그러므로 폭파시 발생하는 주변환경의 영향을 이해하고 예측함으로써 이들 문제점에 대한 사전 대처가 가능하다. 폭파해체공법에서 주변환경에 미치는 영향으로는 지반진동, 폭발압, 비산, 분진 및 소음 등으로 구분해 볼 수 있다.

가) 지반진동

지반진동의 발생 원인은 폭약이 폭발하면서 발생하는 폭파진동과 건물이 무너지면서 지반에 충격을 주어 발생하는 충격진동으로 구분된다. 폭파해체공법의 설계시에는 이 두종류의 진동예상 크기를 비교하여 영향이 큰 진동을 고려하여야 한다. 예를 들어 중·저층 건물의 경우는 착지면적이 크기 때문에 폭파진동이 커서 이를 제어할 수 있는 방법이 중점적으로 검토되어야 하고, 20층 이상의 고층건물과 굴뚝의 경우는 충격진동이 크기 때문에 이에 대한 대책을 중점적으로 검토하여야 한다.

1) 폭파지반진동

그림2에는 폭파로 인한 지반진동의 가속도 및 속도에 대한 기록을 보여주고 있다. 폭파로 인한 진동은 주파수가 10-수 100Hz로 매우커서 주변 구조물의 손상에 대해서는 보통 최대 지반 진동속도(peak particle velocity)를 기준으로 하고 있다. 그림3에는 진동 주기와 발파피해에 대한 상관도를 보여주고 있다. 표1에는 최대지반진동속도에 따른 발파피해 정도를 보여주고 있다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 50mm/sec 이상이면 곤란하다. 따라서 폭파시 이러한 기준을 초과하지 않도록 하여야 한다. 폭파에 의한 최대지반 진동속도를 예측하는 식으로는 다음과 같은 실험식을 사용하고 있다.

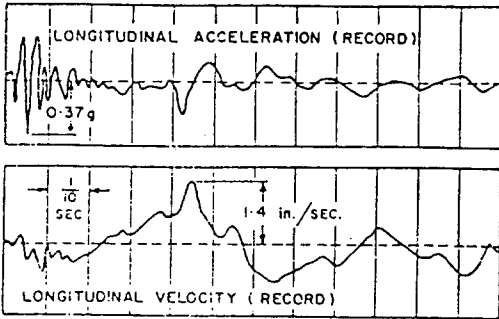


그림2. 폭파로 인한 지반진동기록

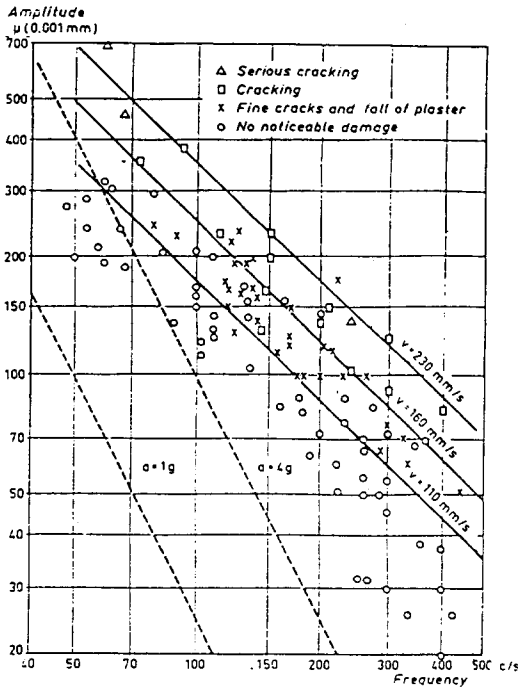


그림3. 진폭, 주기 및 발파피해 상관도

$$V = K \left(\frac{D}{W^b} \right)^n$$

여기서 V 는 최대 지반진동속도(cm/sec)이고, K 는 발파진동상수, W 는 지발당 최대 화약량(Kg), D 는 폭원과 구조물과의 거리(m), b 는 장약량에 따른 감쇄지수($\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$)이고 n 은 거리에 따른 감쇄지수(-1.2~ -2.0)이다. 이 식에서 알 수 있듯이 폭파에 의한 진동의 크기는 폭원과 구조물과의

표1. 최대지반 진동속도에 따른 발파피해 정도

Peak particle velocity threshold, mm/s	Effect
600	New cracks form in rock
300	Falls of rock in unlined tunnels
190	Falls of plaster and serious cracking in buildings
140	Minor new cracks, opening of old cracks
100	Safe limit for lined tunnels, reinforced concrete
50	Safe limit for residential buildings
30	Feels severe
10	Disturbing to people
5	Some complaints likely
1	Vibrations are noticeable
<1	Barely perceptible vibrations

Source: Hendron and Oriard, 1972.

거리에 반비례하고, 지발당 화약량에 비례하고 있다. 폭파해체공법에서는 폭원은 일정하므로 폭파진동의 크기를 지발당 화약량으로 조절하며, 이를 위하여 뇌관에 미세한 시간차를 두어 동시에 폭발하는 화약량을 주변사물의 상태에 따라 결정한다. 동시 폭발화약량은 대부분 1kg미만으로 한정하고 있어 폭파진동의 크기는 대개 0.5cm/sec 미만이 되어 주변시설물에 전혀 피해를 주지않고 폭파해체 공사를 수행할 수 있다.

2) 충격진동

충격진동은 구조물의 파편들이 무너지면서 지반에 충격을 주어 발생하는 진동으로서 고층건물의 경우에는 폭파충수의 간격으로 조절하고 있으며, 지반과 가까운 층을 먼저 파괴하므로써 파쇄된 파편들이 지반에서 완충재 역할을 하도록 공사를 수행하고 있다. 굴뚝의 경우는 대부분 전도 방향인 착지 지점에 흙이나 모래를 쌓아 완충재 역할을 시켜 충격 진동을 제어하고 있다.

나) 폭풍압과 비산석

건물 폭파시 외벽들은 그대로 두고 건물 내부 기둥들만 폭파시켜, 폭파시 건물의 외벽들이 파편과 폭풍압을 방지하도록 하고 있다. 건물에 창문이 있을 경우에는 건물내부에 환판 등으로 막아서 파편과 폭풍압이 밖으로 비산되는 것을 방지하고

있다.

다) 분진

건물이 무너지면서 발생하는 분진은 주변에 살수를 하여 주므로 대부분 폭파후 2~3분 내외에 가라앉고, 대기중 확산상태도 공사장 지역에 한정 되고 있으므로 큰 문제는 되지않고 있다.

라) 소음

폭파 해체공법의 가장 큰 장점은 공사중에 소음이 적다는 점이다. 준비공사는 건물 실내에서 수행하고 있으므로 인근 주민들에 대한 소음공해는 전혀 발생되지 않으나, 폭파시 1분내외의 폭음은 건물이 무너지면서 발생되고 있으나 타 해체공법에 비하면 소음은 전혀 문제가 되지 않는다.

4. 폭파해체 사례

가) 아파트 폭파해체

아파트 건물의 폭파해체 사례로서 1990년 10월에 해체한 영국 맨체스터에 있는 셀프드(salford) 아파트해체공사를 예시해 보기로 한다. 이 공사는 그림4의 평면배치도에서 보여주는 바와 같이 12개동중 8개동의 아파트를 동시에 폭파해체한 것이다. 이들중 타워형 아파트에 대한 평면 및 입면도는 그림5와 그림6에서 각각 보여주고 있다.

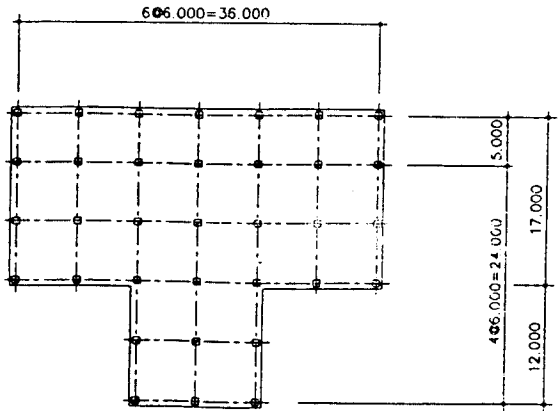


그림5. 타워형 아파트 평면도

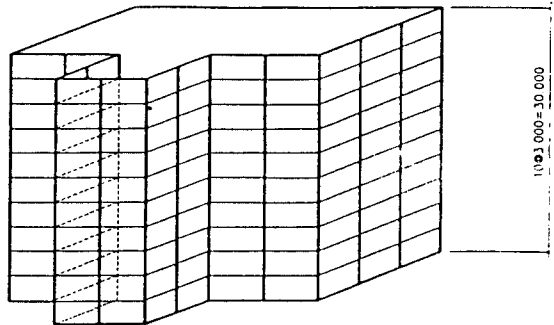


그림6. 타워형 아파트 입면도

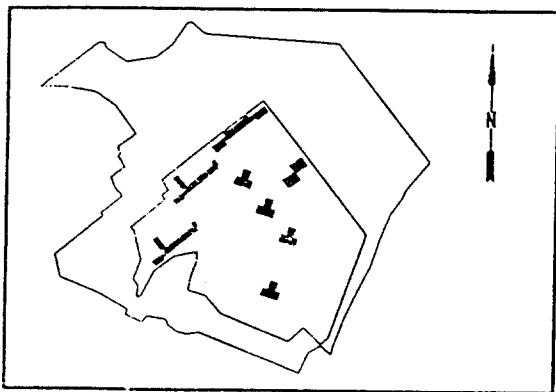


그림4. 평면 배치도(아파트 8개동)

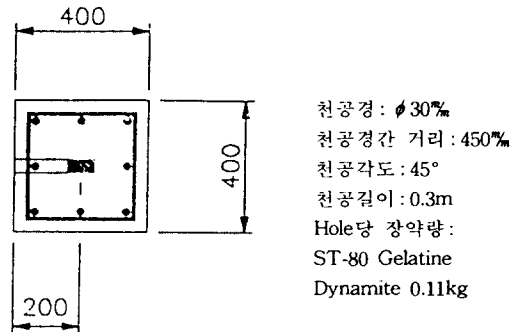


그림7. 기둥의 천공 및 장약 배치도

이 예에서는 각 건물의 1층, 2층, 5층, 10층에 있는 기둥에만 폭약을 설치하였다. 기둥에 대한 천공 및 장약은 그림7과 같이 하였으며, 발파는 그림8의 발파계획도대로 시행하였다. 그림8에서

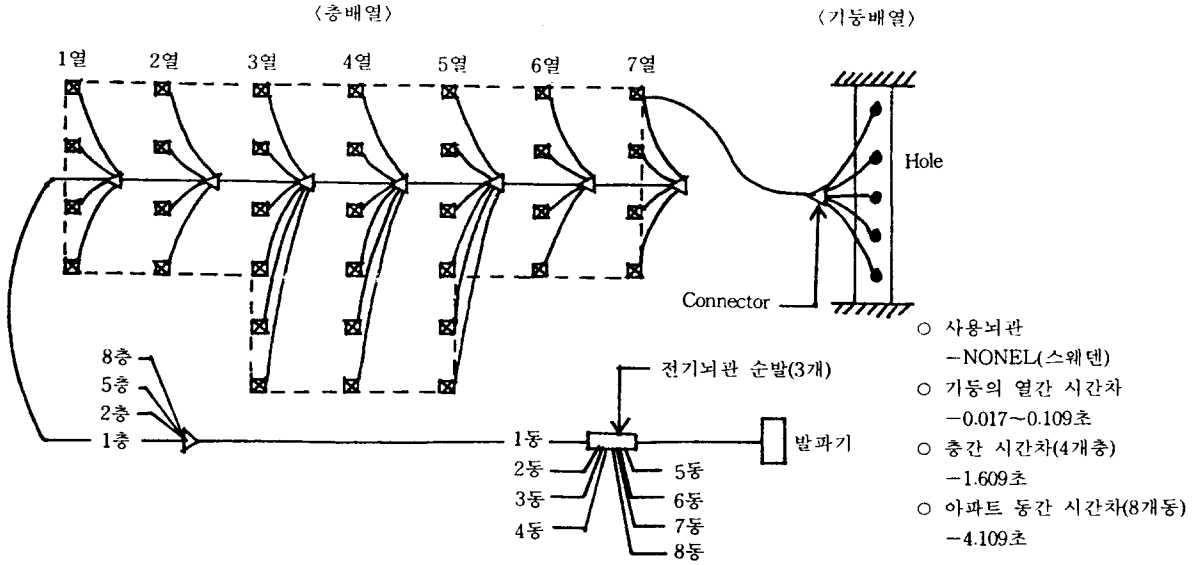


그림8. 발파 계획도

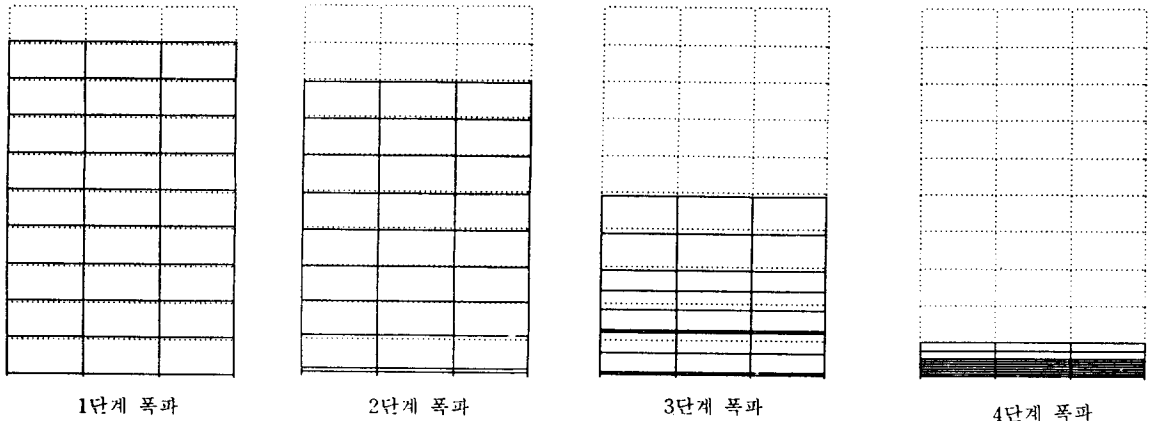


그림9. 타워형 아파트의 폭파해체 시물레이션

보여주는 것과 같이 발파는 기둥열간과 각층간 및 아파트 각동간에 시차를 두어 폭파하였다. 사진1에는 1층기둥에 장약을 설치하고 비산방지를 위한 보호시설을 기둥에 설치한 모습을 보여주고 있다. 1층의 완전한 도괴와 파괴된 파편을 완충제로 삼기 위해 1층의 외벽은 폭파전에 미리 제거하였다. 사진 2, 3, 4에는 타워형 아파트의 각 단계별 폭파 모습을 보여주고 있다. 그림9에는 타워형 아파트의 폭파해체를 단계별로 미리 컴퓨터로 시물레이션 해본 결과를 보여주고 있다.



사진1. 기둥에 장약을 설치한 모습

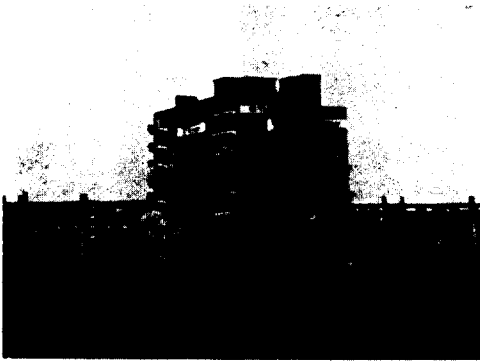


사진2. 1, 2단계 폭파모습

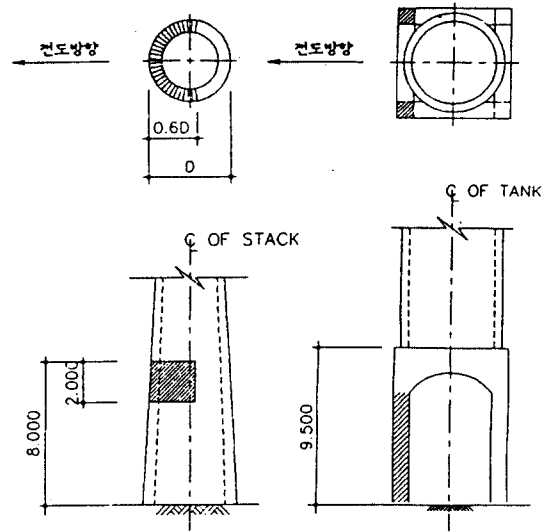


사진3. 3단계 폭파모습



사진4. 4단계 폭파모습

콘크리트 구조로 된 40m 높이의 Head Tank 구조물이다. 그림10에는 이들 구조물에 대한 폭파 위치 및 전도방향을 보여주고 있다. 사용된 폭약은 국산 ST-60 Gelatine Dynamite이고, 국산 도폭선, MS전기뇌관을 사용하였고, 천공간격 및 장약량은 성능시험 발파후 결정하였다. 굴뚝 및 Head Tank의 구조적 특성상 굴뚝에 비해 Head Tank의 무게 중심의 이동속도가 빨라 시간차를 주지않고 동시에 발파하면 발파후 굴뚝구조물이 완전한 전도방향을 잡기 전에 Head Tank 구조물이 굴뚝을 칠 수 있을 것으로 예상되어, 굴뚝의 무게중심이 전도방향을 잡는 시간을 2초로 예상하고 이 시간차를 뇌관의 시간차로 조절하여 폭파하였다. 사진5에는 Head Tank 구조물의 천공 및 장약설치장면이고, 사진6,7은 각 단계별로 폭파후 전도되는 모습을 보여주고 있다.



천공경: $\phi 30\%$ 천공각도: 45°
 천공깊이: STACK-0.3M, TANK-1.0M
 Hole당 장약량: STACK-0.06kg, TANK-0.18kg

그림10. 굴뚝 및 Head Tank 폭파위치 및 전도방향

나) 굴뚝 및 탱크 구조물

굴뚝 폭파해체사례로서 1992년 1월에 해체한 포항종합제철(주) 구 주물선 고로 구조물 해체를 예로 들어 보기로 한다. 해체 대상구조물은 철근 콘크리트 구조로 된 70m 높이의 굴뚝(stack)과 굴뚝과 6m 떨어진곳에 위치하고 있는 역시 철근

5. 결론

본 기사에서는 재래식 해체공법에 비해 보다 안전하고 신속하며, 경제적인 폭파해체공법을 간략하게 소개하였다. 폭파해체공법은 구조역학적



사진5. Head Tank 구조물의 천공 및 장악장면



사진7. 굴뚝 및 Head Tank의 전도장면

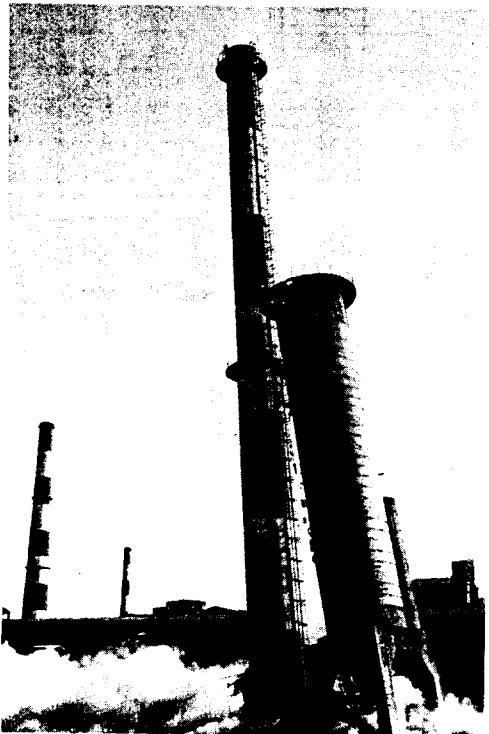


사진6. 1단계, 2단계 폭파장면

인 기술과 화학기술을 종합한 매우 정교한 제어해체 기술로써 앞으로 발생되는 해체, 철거공사에 많이 이용될 것으로 예상된다. 이 기사를 계기로 국내에서는 다소 생소한 이 분야에 대한 연구가 진작되기를 기대하며 글을 맺는다.