

【報文】

구조물 발파해체공법 사례

Case of Explosive Demolition Method

손 무 열 · 이 윤 재*

M. Y. Son, Y. J. Lee

1. 서 론

최근 노후화된 구조물의 증가 및 건축물의 용도의 변경으로 기존의 구조물을 철거하고 재건축하는 공사가 증가하고 있다.

현재 철거되고 있는 구조물은 주로 1970년대에 건축된 주거용 건물이 주를 이루고 있으며 발전소, 공장, 학교, 사무실등의 산업, 공공 시설물도 점차로 증가하고 있는 실정이다.

일반적으로 사용하는 철거공법은 중장비를 이용하여 콘크리트를 파쇄하는 방법이 주로 사용되고 있으며, 경우에 따라 Diamond wire saw, cutter, water jet등의 특수장비 이용하는 공법도 사용되고 있다.

1990년대초 국내에서의 화약을 이용한 발파해체공법에 대해 외국기술 혹은 자체개발의 의지를 보이며 약 20여 차례의 발파해체공법을 적용하였다. 그러나 국내의 여건은 미국, 유럽의 나라들과 달리 고층건물의 건축연대가 길지 않을 뿐더러, 현재 철거가 되고 있는 구조물들은 주로 저층으로 형성되어 있어 발파해체공법을 적용하는데는 경제적인 문제가 따를 수 있다.

국내에서 시공된 사례를 통해 발파해체공법에 대해 알아보도록 한다.

II. 발파해체공법(Explosive demolition) 개요

발파해체공법(Explosive demolition)은 구조물의 안정성에 관련된 주요지점인 기둥이나 내력벽, Pier같은 구조체를 소량의 화약을 이용하여 차과시킴으로써, 구조물의 안정성과 강성을 저하시켜 불안정한 상태로 만들어 구조물 자체의 하중으로 붕괴되도록 유도하는 공법이다.

철근 콘크리트구조물(Reinforced concrete structure)은 국부적인 불안정성에 대단히 취약하여 구조물의 일부가 붕괴되었을 경우 구조체 전체의 하중 및 모멘트가 재분배 되면서 내력이 작은곳부터 파괴되어 구조물 전체가 짧은 시간 내에 붕괴된다.

철구조물(Steel structure)은 재료의 특성상 절단 및 파괴를 위해서는 많은 양의 화약이 필요하게 된다. 따라서 철구조물에는 특수성형폭약(Shaped charge)을 사용하므로써 철탑, 철골트러스등의 철구조물을 절단 또는 파괴할 수 있다.

발파해체공법은 구조물의 특성과 형상, 주변의 환경에 따른 기폭시스템(붕괴시스템)의 설계가 주요한 요소중의 하나이다.

발파에 의한 해체시간은 주로 5-15초 이내로 매우 짧기 때문에 주민의 불편을 최소화 하기에

* (주) 한화 火藥事業部 技術次長

1. 공법의 설계

- 다음의 사항을 고려하여 공법의 설계가 이루어 진다.
- 가. 구조물의 주요 지지점을 파악 및 주변환경을 조사한다.
 - 나. 붕괴의 유도방향 및 붕괴방법을 설정한다.
 - 다. 구조체를 붕괴 시키기에 알맞은 최적의 화약량을 산출한다.
 - 라. 대상구조물에 사용할 폭약의 종류와 기폭방법등을 설계한다.
 - 마. 최소의 화약량으로 원하는 붕괴방향의 형상을 얻기위해 구조체간의 시간차를 정하는 기폭시스템 설계를 한다.
 - 바. 인접건물에 방호 및 인원 대한 안전대책을 계획한다.

2. 공법의 특징

- 가. 구조물의 각 부재들은 충격하중과 전단력에 의해 연쇄적파쇄가 발생한다.
- 나. 콘크리트와 같은 취성재료들은 붕괴후 상당한 파쇄가 이루어진다.
- 다. 구조물의 주요 지지점만을 선별하여 발파시킨다.
- 라. 발파에의 한 붕괴시간이 매우 짧기 때문에 민원발생의 우려 감소
- 마. 공사기간의 단축과 공사비의 절감 효과가 있다.
- 바. 기계식 철거에 비해 지속적인 분진, 소음, 진동의 발생이 극소화 된다.
- 사. 철 구조물에 대해서도 특수폭약을 사용하여 절단 및 제거할 수 있다.

3. 공법의 적용대상 구조물

- 가. 철근콘크리트 구조물(Reinforced Concrete Structure)
 - 1) 고층아파트(High stories apartment)
 - 2) 빌딩(Building)

- 3) 교각(Bridge pier)
- 4) 특수구조물(Special structure)
- 5) 굴뚝(Stack)
- 6) 대형 SILO

나. 철골 구조물(Steel-frame structure)

- 1) 철골 교량(Steel truss bridge)
- 2) 송전탑(Power transmission tower)
- 3) 전파탑(Electric wave tower)
- 4) 공장시설(Manufactural plant)

4. 발파해체공법의 종류

가. Felling(전도공법)

- 1) 기술적으로는 가장 간단한 공법.
- 2) 전도방향으로의 충분한 공간확보가 필요하다.
- 3) 전도방향의 제어로 계획된 공간내에서 전도붕괴가능.
- 4) 구조물에 따라서 하부에 화약을 사용하여 Hinge Point를 형성한다.
- 5) 대상구조물은 주로 굴뚝(Chimney), 고가수조, 송전탑등이 있다.

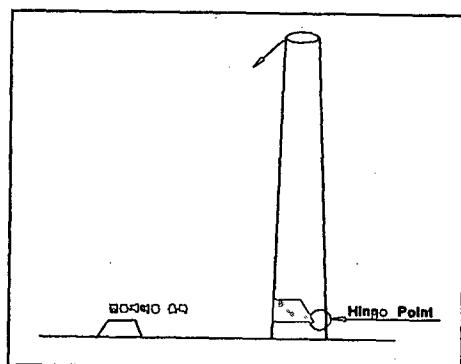


그림 1. Felling 공법

나. Toppling(상부붕락공법)

- 1) 일반적으로 2-3열의 기둥을 가진 건물을 한쪽방향으로 붕괴시키는 공법이다.

- 2) 전도와 붕괴가 동시에 발생한다.
- 3) 일방향 또는 이방향의 여유공간이 있을 경우 적용한다.
- 4) 지반진동을 제어할 수 있도록 점진붕괴가 발생하도록 설계가 필요하다.

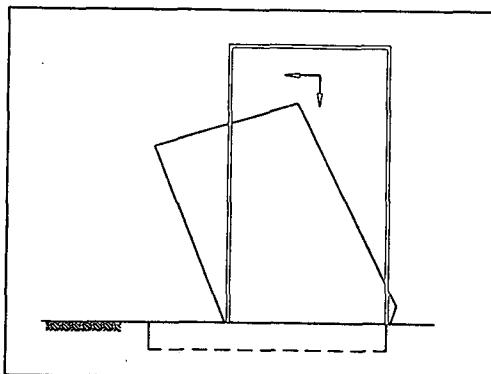


그림 2. Toppling 공법

- 4) 시각적인 효과가 좋다.

라. Implosion(내파공법)

- 1) 붕락시 구조물을 외측에서 내측으로 끌어당기도록 유도하는 공법.
- 2) 붕괴 대상을 주변의 부지공간이 적을 때 사용 가능하다.
- 3) 제약된 공간, 도심지에서 사용 가능한 공법이다.

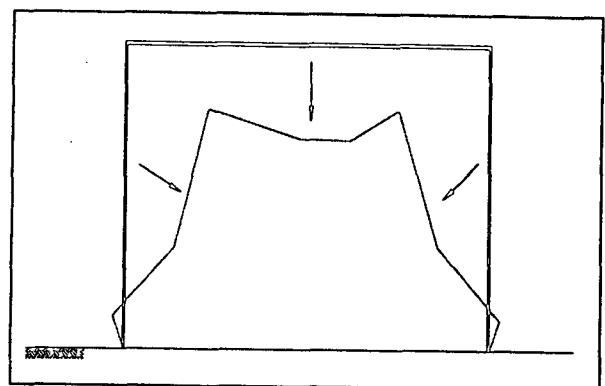


그림 4. Implosion 공법

다. Telescoping(단축붕괴공법)

- 1) 구조물이 위치한 제자리에 그대로 붕락되도록 하는 공법.
- 2) 주변의 여유공간이 없을 경우에 적용.
- 3) 대상구조물이 초기 거동을 시작하여 계속적인 붕괴를 유도하며, 구조물 하부에 파쇄물이 쌓이므로써 그 자체가 충격흡수제의 역할을 한다.

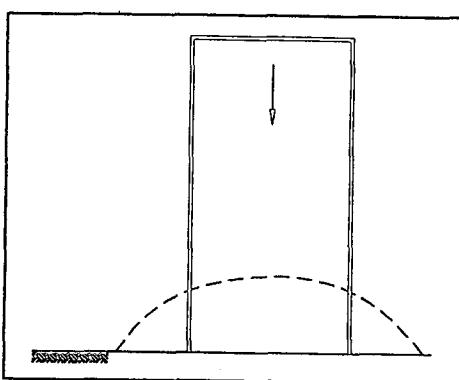


그림 3. Telescoping 공법

마. Progressive Collapse(점진붕괴공법)

- 1) 기술적으로는 Implosion과 근접되어 있는 공법이다.
- 2) 중심방향으로 붕괴가 이루워지는 Implosion과는 달리 이 공법은 선형적으로 붕괴가 진행된다.
- 3) 아파트와 같이 길이방향으로 긴구조물에 대해 적용이 용이하다.

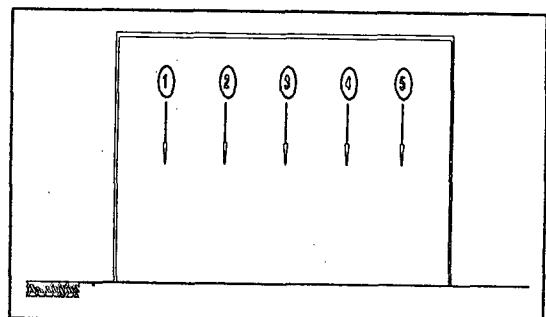


그림 5. Progressive Collapse 공법

바. Sequenced Racking(연속붕괴공법)

- 1) 복합형상으로 이루어진 건물을 순간적으로 분괴시키는 공법.
- 2) 3차원적으로 기폭시스템이 설계되어 시차를 두고 여러 곳에서 붕괴가 진행된다.

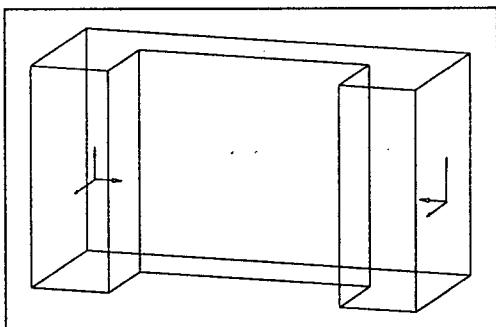
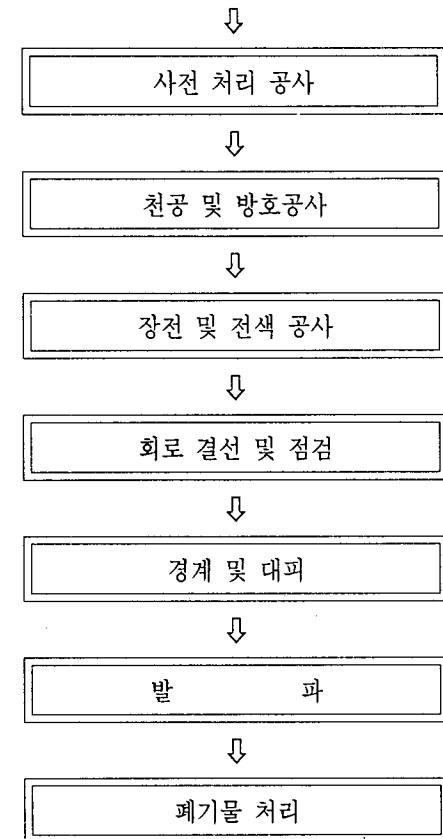
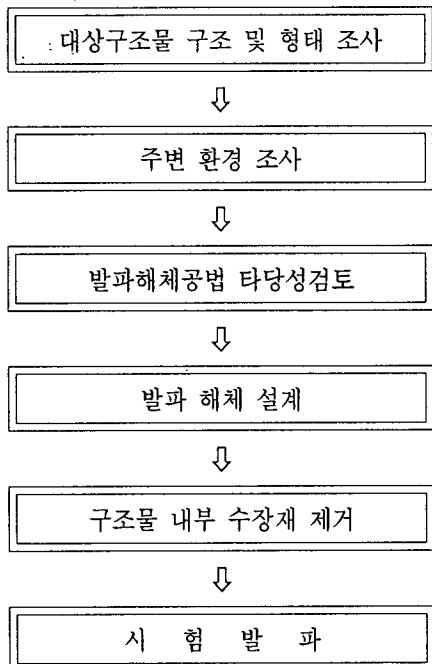


그림 6. Sequenced Racking 공법

III. 발파해체공사 공정

1. 공정개요



2. 주요공정

가. 사전취약화공사(Pre-weakening)

사전취약화공사는 최소한의 화약을 사용하여 건물을 붕괴시키기 위하여 건물내부의 구조체를 대상으로 완전파쇄제거 또는 일부범위를 약화시켜 원활한 붕괴를 유도하기 위한 것으로 사전파쇄, 사전약화의 개념으로 해석된다.

나. 천공공사(Drilling)

발파대상 구조부재에 폭약을 장전하기 위하여 Drill을 사용하여 구멍을 뚫어 화약이 들어갈 수 있는 공간을 만들어야 한다. 이 공간을 만드는 작업을 천공이라 한다. 천공은 주 발파대상 구조부재인 기둥, 전단벽 등을 주대상으로 하며

주로 하향으로 천공하여 장전 및 전색의 작업효율을 상승시킬 수 있다.

다. 방호공사(Protection)

방호는 화약의 폭발시 분출하는 가스의 팽창압에 의해 비산되는 콘크리트 파편 혹은 기타물질을 제어함과 동시에 분진을 제어하는 것을 말한다.

일반적으로 직접, 간접방호로 분류한다. 직접방호(Direct protection)는 주로 화약류가 직접 장전되는 대상물이 되며, 직접 방호는 경우는 서로 다른 재료를 사용하여 2중이상의 방호를 행하는 것이 바람직하다.

간접방호(Indirect protection)의 대상은 화약 직접 장전하지 않는 부위를 대상으로 방호하는 것으로, 직접방호에서 빠져 나올 수 있는 작은 파편과 분진을 제어한다.

라. 장전(Charge)

콘크리트 구조물의 경우는 4개의 자유면이 있고 저항선이 짧기 때문에 장전밀도가 크고 파쇄력이 양호한 HiMITE, NEWMite의 폭약을 사용한다. Steel structure의 경우는 Steel을 절단해 줄 수 있는 성형폭약(Shaped charge)을 사용한다.

마. 전색(Tamping)

전색제는 화약이 약실내에서 기폭시 폭평앞이 빠져나와 공발이 발생하는 것을 방지하고 소음을 경감시켜 주면서 폭발효과를 높이기 위한 것이다.

바. 결선(Connecting)

각 충별 혹은 뇌관의 종류에 따라 전기뇌관의 결선이 이루워진다. 결선방법에는 직렬, 병렬, 직병렬의 3가지가 사용되나, 발파해체에서는 주로 직병렬 결선법을 사용한다.

사. 발파(Blasting)

발파대상구조체 내부에 장전되어 있는 폭약의 기폭을 위해 전기뇌관을 모두 연결하여 회로를 형성하고 발파기를 사용하여 기폭을 진행하면 전기뇌관 속의 지연단자에 의해서 차례로 구조물의 붕괴가 진행된다.

IV. 발파해체공법 사례 1 (남산 정부기관 이적지 건물)

1. 공사개요

가. 공사명 : 남산정부기관 이적지 건물철거공사

나. 규 모 :

- 1) 연면적 : $2584.5m^2$ (781.1평)
- 2) 구조형식 : 철근콘크리트 라멘조
- 3) 높 이 : 지상 5층, 21m

다. 공사기간 : 1996년 7월 2일~1996년 8월 4일
(총 34일간)

라. 적용공법 : 점진붕괴공법
(Progressive Collapse)

바. 사용화약량

- 1) 폭약 : HiMITE 5000(Gelatine Dynamite)
29Kg

- 2) 뇌관 : HiDETO LP 365발

사. 주변현황

대상건물(제 1별관)을 기준으로 남동측 33m 지점 시정개발연구원 7층 건물 북측 70m 지점 신원웨딩 4층건물이 있으며, 주변도로는 남산 1호터널과 남산 산책로로 이용되고 있다.

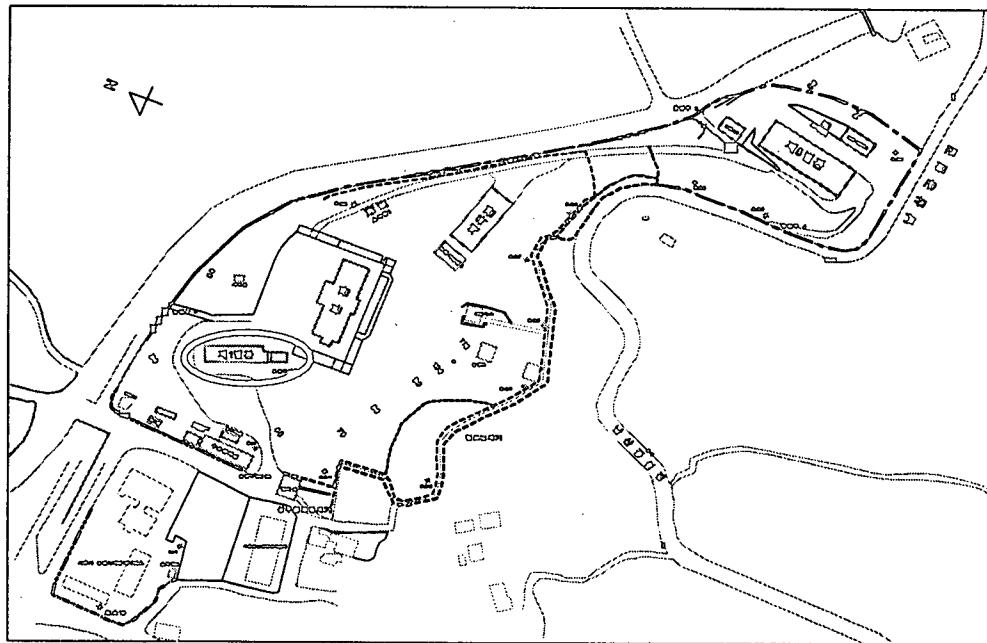


그림 7. 주변현황동

2. 설계개요

가. 대상건물의 구조형태가 일직선으로 길면서 층고가 높은 건물이므로 충격진동을 줄이기 위해서 건물의 길이방향으로 붕괴를 유도시켜 충격진동을 최소화한다.

나. 따라서 붕괴공법중 건물의 좌측에서부터 우측으로 붕괴가 진행되도록 설계하는 점진붕괴 공법(Progressive Collapse)을 사용한다.

다. 콘크리트의 강도 및 기둥의 형태에 따라서 화약의 종류를 선정하고, 화약의 기폭 방법에 따라서 뇌관의 종류 및 기폭초시를 설정한다.

〈표 1〉 방호방법에 따른 제원

구 분	재 료	비 고
직접방호	능혈철망1+부직포2	기둥 및 벽체
간접방호	능형철망1+분진차단막4	창문 및 개구부

본 건물에서는 Gelatine Dynaminte 60% 와 Electric Detonator LP를 사용하였다.

라. 방호조치로는 직·간접방호를 모두 사용하였다.

3. 주요공정내용

가. 사전파쇄

사전파쇄의 대상부분은 건물내부의 구조체이며 본 건물에서는 비내력벽 및 천공작업에 따른 제거부분, 붕괴시 거동에 영향을 줄 수 있다고 판단되는 부분으로 조적벽체, 계단등이 사전파쇄의 대상이 되었다.

조적벽체의 경우는 완전히 제거하여 외부로 반출하였으며, 계단은 Slab과의 연결부분을 30cm정도로 Slit 처리하였다.

나. 천공공사작업

천공은 착암기 TY-24LD을 사용하였으며, 기

동 및 전단벽에 대하여 부재의 크기 및 층별에 따라 천공수를 달리하였다.

〈표 2〉 층별 천공수 및 방향

층	기둥당 천공수	천공직경	천공방향	비고
1	4공 / 3공	38mm	수평	내부/외부
2	4공 / 3공	38mm	수평	
4	3공 / 2공	38mm	수평	

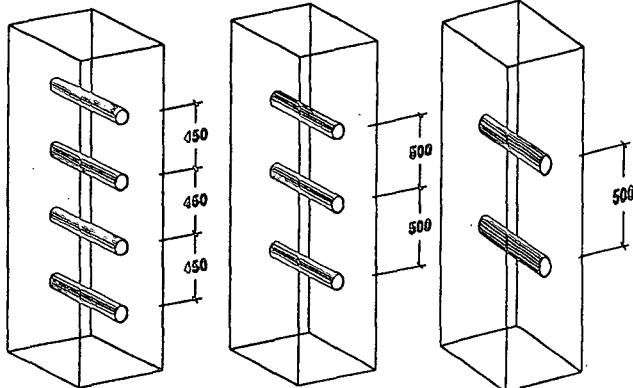


그림 9. 기둥 천공도

한 도심지역의 건축물을 대상으로 행해지므로 콘크리트의 비산과 분진을 억제하는 대책을 세워야 한다. 이에 따라 본 건물에 적용된 방호는 직접방호와 간접방호 방법을 사용했다.

1) 직접방호

화약이 장전되는 구조체를 대상으로 콘크리트이 비산을 막을 수 있는 제어막을 설치하여야 한다.

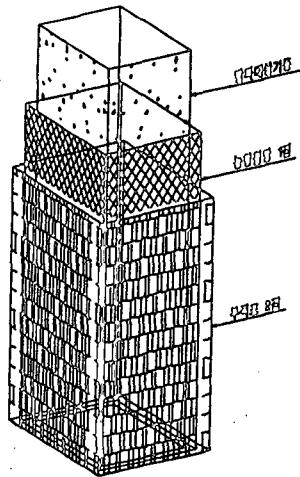


그림 11. 직접방호

다. 방호공사

발파해체는 일반적으로 주거지와 상가가 밀집

본 건물에서는 기둥, 전단벽을 대상으로 방호

〈표 3〉 시험발파 제원 및 결과

	Test 1	Test 2	NOTE
Column size	400×600×3,800	450×400×3,800	
Number of holes	4	3	
Depth	400mm	280mm	
Hole diameter	38mm	38mm	
Space	450mm	500mm	
Burden	200mm	200mm	
Explosives	HiMITE 5000 HiDETO LP	HiMITE 5000 HiDETO LP	
Charge Weight per hole	80g/hole	60g/hole	
Charge Weight per column	320g	180g	
Protection	Wire mesh & geotextile	Wire mesh & geotextile	
Result	GOOD	GOOD	

작업을 하였으며, 서로 다른 재료를 사용하여 방호의 효과를 증대시켰다.

설치방법은 기둥에 능형철망 1겹을 감싸고 그 위에 부직포를 2겹으로 방호하였다.

2) 간접방호

직접방호 막을 뚫은 콘크리트 조작 및 분진을 제어하기 위해 건물의 외벽에 능형철망과 차광용막을 이용하여 건물외부에 설치하였다. 또한 건물에서 일정거리에 있는 보안 물건의 안전을 위해 추가적으로 보완조치를 실시하였다.-건물외곽 일정부분에 FENCE설치

라. 시험발파

전체구조물의 역학적으로 안정한 범위내에서 시험발파를 실시하며, 이 실험발파를 통하여 화약량, 화약의 종류, 천공, 방호등의 적합성 여부를 검증한다.

4. 기폭시스템 및 발파제원

가. 발파제원

장약량은 발파대상 구조체의 크기 및 봉괴방

향에 따라 장약량과 위치를 각각 다르게 적용하였다. 천공수 및 화약량은 시험발파를 통하여 검증된 설계치를 적용하였고, 추가적으로 계단에 포함된 두께 25mm 전단벽은 Finex을 공당 200g~250g을 사용하였다.

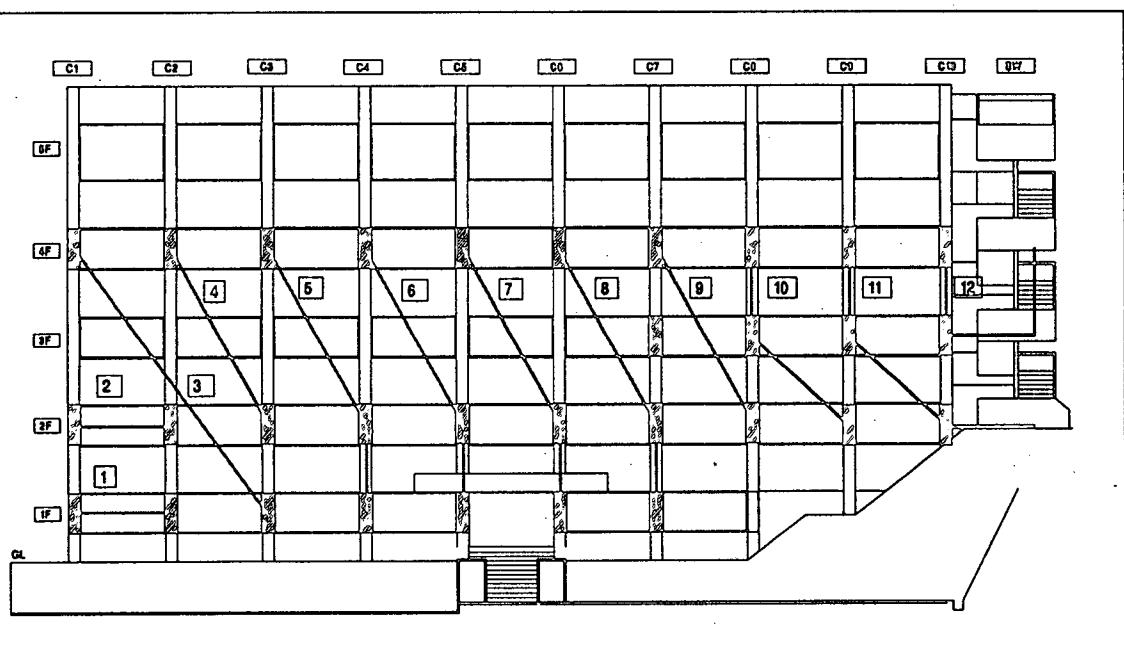
본 발파에 적용된 전체적인 제원을 보면 표4와 같다.

〈표 4〉 본발파 화약사용 제원

구 분	제 원	비 고
장약공수	기 등 307공 전단벽 15공	
공당장약량	60g~80g/공	
총장약량	29.67kg	
비장약량	기 등 0.67~0.75kg/m ³ 전단벽 1.85kg/m ³	
최대지발당 장약량	3kg	

나. 기폭시스템

본 5층건물은 기폭은 전기뇌관(HiDETO LP)을



〔그림 14〕 기폭 순서도

〈표 5〉 진동측정치

No	거리(m)	최대진동속도(mm/sec)				폭풍압 (dB)
		진행성분	수직성분	접선성분	PVS	
1	21	1.08	0.57	2.073	2.89	138
2	41	0.76	1.71	0.83	1.94	135
3	71	0.70	0.40	0.60	0.70	136
4	30	1.92	1.03	1.54	2.01	139
5	45	1.02	1.02	1.02	1.52	139
6	30	1.00	0.84	1.62	1.05	141
7	70	0.24	0.09	0.25	0.25	123
8	80	0.16	0.12	0.10	0.16	-

사용하였으며, 점진붕괴공법의 적용에 따라 지발 시차를 조정하였다. 전체적인 전기회로의 구성은 11개 시리즈로 전체 회로를 분리하였으며, 직병렬 결선 방법을 사용하여 기폭시켰다.

기폭순서는 건물의 좌측 하부에서부터 기폭을 시작하여 우측으로 진행할 수 있도록 설계하였다(Progressive Collapse)

5. 진동측정

소음 및 진동치를 8개 지점 선정하여 측정하였으며 측정장비는 Instantel 제품을 사용하였다. 측정된 진동속도는(PVS) 지하철공사에서 사용하는 진동허용치를 만족하고 있다. 충격진동에 따른 주 주파수 대역은 약 5~20Hz로 나타났으며 진동의 지속시간은 6~7초 정도였다.

V. 발파해체공법 사례 2 (포항 고가수조)

1. 공사개요

가. 공사명 : 포항 고가수조 발파해체공사

나. 규 모 :

- 1) 높이 : 31.8m
- 2) 구조 : 철근콘크리트 shell
- 3) 두께 : 50cm
- 4) 직경 : 외경 4.5m, 내경 3.5m
- 5) 중량 : 636 ton

다. 공사기간 : 1996년 1월 10일~1996년 1월 19일(총 10일간)

라. 적용공법 : 전도공업(Felling)

바. 사용화약량

- 1) 폭약 : HiMITE 5000(Gelatine Dynamite)
23.3kg
- 2) 뇌관 : HiDETO MS 211발

사. 주변현황

대상구조물은 중심점으로부터 좌우측은 공터이며, 앞뒤는 공장이 각각 위치해 있다.

구조물은 전도공법에 필요한 구조물 높이 만큼의 부지공간을 확보되어야 한다.

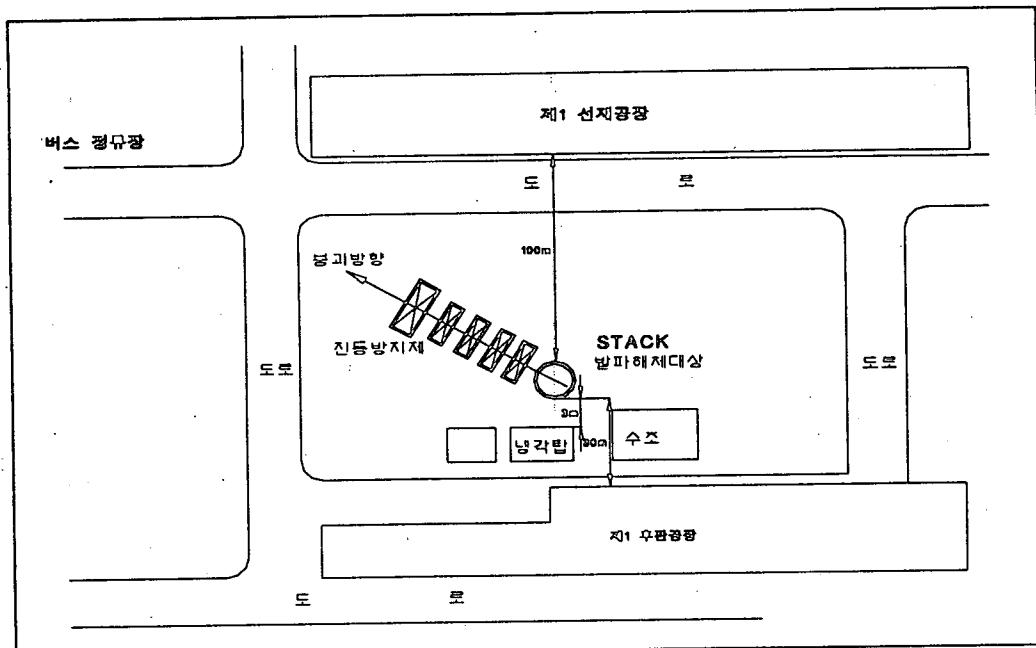


그림 15. 주변현황도

2. 설계개요

(표 6) 천공제원

가. 발파대상 구조물은 부지공간의 여유 및 지장물에 영향을 주지 않는 범위 내에서 전도 방향을 설계되어야 한다. 따라서 본 발파의 전도 방향은 북서쪽 30° 방향으로 설계하였다.

나. 사용에 따른 화약은 밀장전 효과가 좋은 HiMITE 5000을 사용하며, 기폭은 KoDETO LP를 사용하였다.

다. 방호조치로는 직접방호로 방폭시트 1겹, 능혈철망 2겹, 골함석 1겹을 사용하고 주변에 흙뚝과 방호펜스를 설치하였다.

라. 구조물의 전도에 따른 방진계획으로 전도방향으로 쿠션제를 설치하여 충격진동에 대비하였다.

3. 주요공정내용

가. 천공공사

천공은 Shell을 대상으로 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 경사를 주어 수평하향으로 실시하였다.

구 분	내 용
천 공 열 수	9열
총 천 공 수	211공
천 공 장	43cm ~ 45cm
공 간 격	35cm
열 간 격	30cm

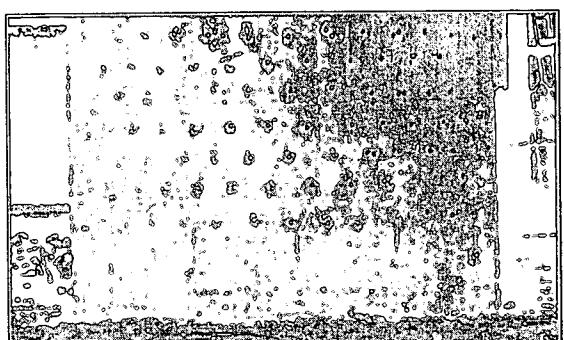


그림 16. 천공현황

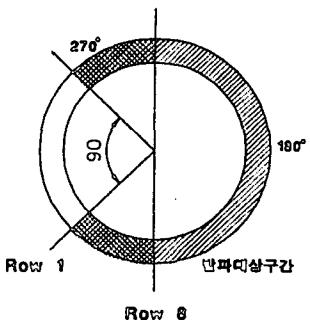


그림 17. 천공범위도1

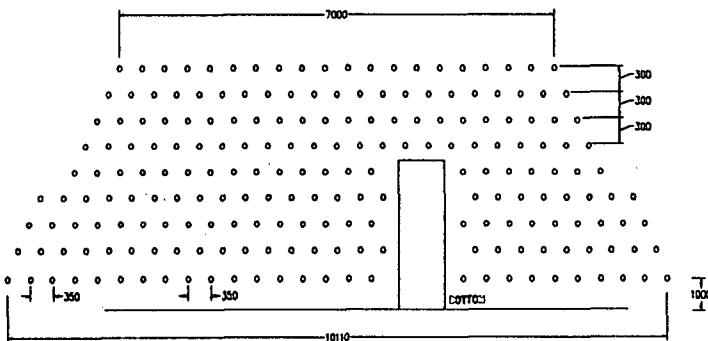


그림 18. 천공전개도

본 대상구조체와 같이 원형의 Shell구조체는 외측보다 내측의 철근 간격이 좁아지므로 천공의 방향은 외측에서 내측으로 실시하였으며, 천공의 깊이는 Shell단면을 중심으로 내측에 발생하는 압축응력을 고려하여 10~20%을 더깊이 천공하였다.

나. 천공제원

천공은 9열 211공을 실시하였으며 파쇄 범위는 높이는 GL+1-GL+3.4이며 폭은 $3/2\pi r$ 범위로 설정하였다.

다. 방호공사

건물 발파시와 마찬가지로 직접방호는 방폭시트와 능혈철망을 사용하였으며 추가적으로 골함석과 능형철망으로 보완작업을 해주었다.

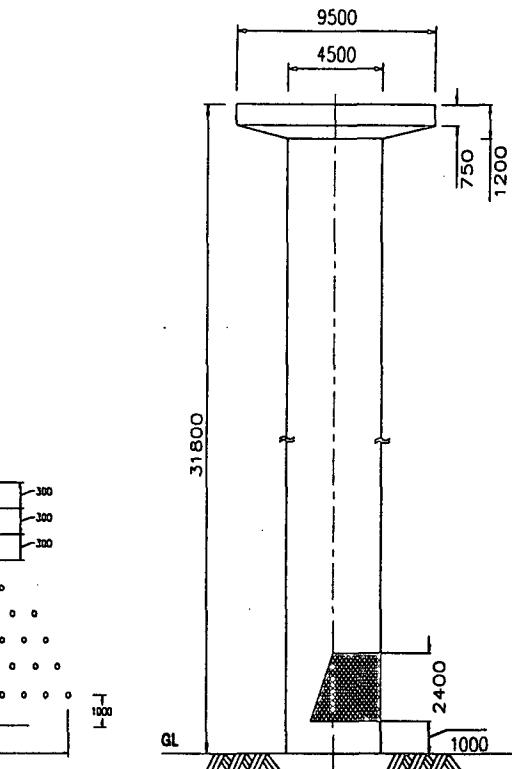


그림 19. 천공범위도2

또한 전도시 발생하는 충격진동을 줄이기 위해 전도방향을 쿠션제를 설치하였다.

☞ 그림 20, 그림 15. 참조

라. 시험발파

시험발파는 4회에 걸쳐 실시했으며 공당 장약량은 60g~120g등 다양하게 적용하여 실시하였으며, 또한 천공장과의 관계도 검증하였다.

4. 기폭시스템 및 발파제원

가. 발파제원

천공장과 화약량은 시험발파를 통해 얻은 데이터를 적용하였다. 총 211공을 천공하여 공당 장약량을 약 110g으로 적용하였으며 총 장약량은 23.3kg을 사용하였다.

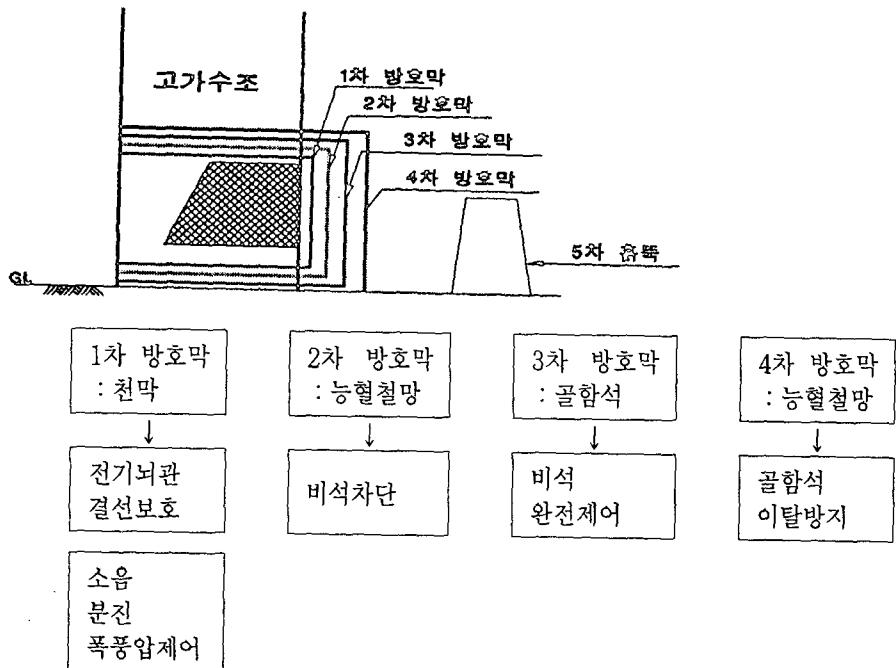


그림 20. 방호현황

나. 기폭시스템

본 구조물은 HiDETO MS을 사용하여 전체를 6개구역으로 기폭초시를 구성하였으며, 전체

를 직렬결선법으로 연결시켜 기폭시켰다.

기폭순서는 전도방향의 중심을 기준으로 좌우 측으로 순차적 기폭이 진행되도록 하였다.

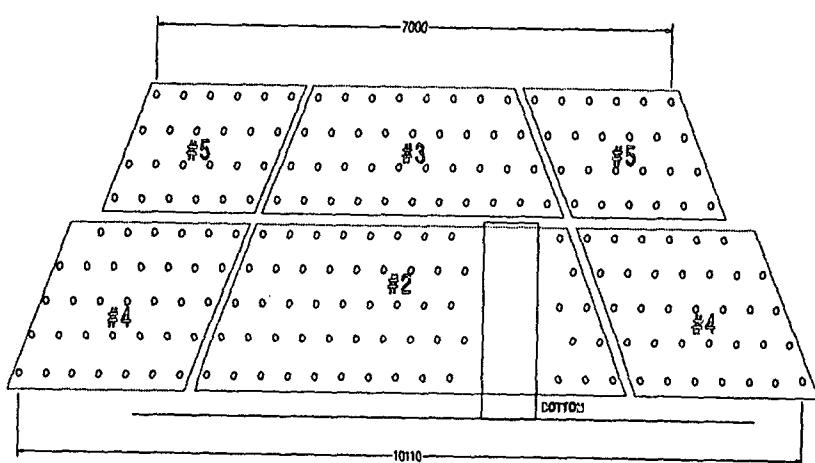


그림 21. 기폭순서도

5. 진동계측

소음 및 진동은 2개지점을 선정하여 측정하였고 측정장비는 Instantel장비를 사용하였다.

(표 7) 진동측정값

No	거리 (m)	최대진동속도(mm/sec)			폭풍압 (dB)
		진행성분	수직성분	접선성분	
1	40	1.89	4.32	4.89	5.03 105
2	45	1.14	2.37	3.64	3.65 106

VI. 결 론

발파해체공법은 고층건물이 발달한 미국, 유럽

을 중심으로 발전해 왔으며, 특히 미국은 1940년대 후반부터 본 공법을 사용하여 약 7000건이 넘는 시공실적을 보유하고 있다.

1990년대 초반부터 발파해체 공법의 기술개발과 축척을 위하여 국내여러회사에서 관심을 가지고 선진 외국기술과 교류하여 왔으나, 실질적인 KNOW-HOW는 습득하기 매우 어려운 상황이었다.

선진국에 비하여 아직 국내 발발해체시장이 적고, 대상구조물이 주로 저층으로 편중되어 있어 발파해체공법을 적용하여 다양한 실적을 쌓는것이 용이하지 못한 설정이다. 그러나 앞서의 시공사례에서와 같이 우리나라의 실정에 맞는 공법을 개발하여 안전하게 시공해 나아간다면 발파해체공법은 전문적 기술로 자리잡을 수 있으리라 사료된다.