

## 김해국제공항 구 국제선 청사 발파해체 시공 사례

이윤재<sup>1)</sup>, 송영석<sup>1)</sup>, 정민수<sup>1)</sup>, 권오성<sup>1)</sup>, 강대우<sup>2)</sup>

### Case Study of Explosive Demolition of Airport Structure

Yun-Jae Lee, Young-Suk Song, Min-Su Jeong, O-Sung Kwon, Dae-Woo Kang

**초 록.** 김해 국제공항 2단계 확장 공사 중 구 국제선 청사 발파해체공사"는 5.5초의 기폭시차를 두고 약 7초간에 구조물의 붕괴를 유도하여, 단기간에 안전하며 최대의 효율을 낼 수 있는 발파해체공법을 적용하여 시공하였다. 이에 따라 발파해체공사의 공법, 공정, 세부 현황 및 결과, 발파공해영향권에 대해 분석, 평가 하였다.

구 국제선청사 구조물은 3층 높이로 저층 구조물에 해당하고 구조물의 특성상 Span 간격이 길고 층고가 높다. 또한 지반이 액상한계점 상태까지 도달하여 구조안전진단 결과 위험등급인 D등급으로 판정되었다. 본 대상건물과 같이 층고는 낮지만, 구조 안전성 측면에서 위험 요소를 가지고 있으므로 발파공법을 적용하여 해체를 실시하였다.

**핵심어 :** 발파해체, 구조물붕괴, 기폭시스템

#### 1. 서 론

김해공항 구 국제선 청사는 지상3층 지하1층의 구조물로 구조물이 지하수의 영향에 의해 부상되는 현상을 나타내고 있으며 이에 따라 구조물의 연결부분(Expansion joint)에 분리현상이 나타나 구조물 전체의 안정성에 위험을 초래하고 있다. 기초지반은 사질토 와 점토층이 깊고 지하수위가 GL-1m로 높아 토사의 함수비가 액상한계점 이상을 나타내고 있다. 본 대상건물은 층당 층고가 높고, 구조 안전성 측면에서 위험 요소를 가지고 있으므로 발파 해체 공법을 적용하여 해체를 실시하였다.

##### ● 공사명

김해공항 2단계 확장공사 중 구 국제선 청사 발파해체공사

##### ● 공사위치

부산광역시 강서구 대저2동 2350번지

##### ● 공사규모 및 적용공법

1) (주) 한화

2) 동아대학교

접수일 : 2003년 8월 15일

- 연면적 : 19,292 m<sup>2</sup> (지상 3층 지하1층)

- 발파 해체공법 적용

☑대 상 : 구 국제선 청사 1개동

☑구 조 : 철근 콘크리트 라아멘조

☑적용공법 : Progressive Collapse

##### ● 발파 해체 공사기간

2003년 3월 18일~2003년 4월 10일 (22일간)

#### 2. 대상 구조물 및 주변 현황 조사

사전 조사는 해체 구조물의 특성을 파악해 가장 합리적이면서 경제적인 붕괴방법을 결정함과 동시에 사전처리공사의 내용, 범위의 결정과 더불어 적정화약의 선정 및 화약량의 결정을 위해 주요 구조등을 조사하는 것으로서, 구조물 발파시 공공의 안전을 확보하기 위한 것이다.

##### 2.1 구조물 현황

본 구조물은 Fig. 1과 같이 2층 및 중앙 3층 건물이지만 구조물의 용도에 따라 층당 층고가 높아 내부공간을 효율적으로 사용할 수 있는 구조로 되

어있고, 가로, 세로의 비 약 2.56:1의 직사각 형태를 하고 있으며, 높이는 13.9m이고 너비는 154m 폭은 60m의 철근콘크리트 구조물이다. Fig. 2와 같이 구조물 내부에는 양측부의 E/V 와 계단용 콘크리트 BOX와 주위의 기둥이 주요 구조체로 형성되어 있으며 Girder를 이용하여 내부 공간을 효율적으로 사용할 수 있는 라이멘 구조로 되어있다.

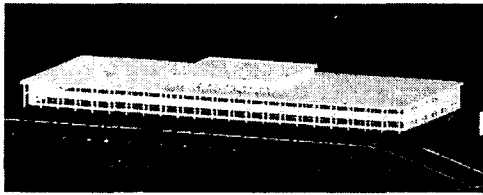


Fig. 1 구조물 전경



Fig. 2 구조물 내부 현황

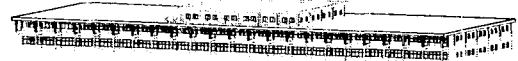
대상구조물은 철근콘크리트 라이멘조 건물로 기둥과 보로 구성되어 있으며 길이방향으로 23개의 기둥열과 세로방향으로 7개의 기둥 열로 구성된 구조물로 건물의 양측 1/3지점에 Expansion Joint 가 2개소에 1span길이만큼 설치되어 있다.

건물의 내부는 공항청사 용도이므로 칸막이벽이 최소화 되어 있으며 건물과 독립되어 Elevator 가 설치되어 있고 건물의 양측은 지상2층, 중앙부분은 지상3층으로 구성되어 있다.

발파체체에 따른 구조재의 분류는 기둥(column), 보(Beam), 상판(Slab), 계단(Stair), 엘리베이터(Elevator) box등으로 구분할 수 있으며 내부 칸막이는 Brick을 이용한 1B쌓기를 되어 있다.

건물의 층고는 일반 office 건물보다 높게 설계

되어 있으며 2층부의 층고는 10.1m, 3층부의 층고는 13.9m로 되어있고 1층고 5.6m , 2층고 4.5m, 3층부 3.8m로 되어 있다.



● Slab

각 층별 슬래브는 보와 연결되어 있으며 12cm-15cm의 두께로 되어 있다.

● 기둥

기둥은 대표적으로 4가지유형으로 분류 할 수 있으며 건물의 외곽부분과 내부 그리고 중앙부(3층)부분으로 분류되며 가장 많은 유형은 500mm X 600mm의 단면을 가지고 있다.

기둥 배근은 주철근으로 D22를 사용하였으며 띠철근으로 D10을 사용하였다.

Type 3의 외부기둥은 기둥내부에 D120mm Drain Pipe가 삽입되어 있다

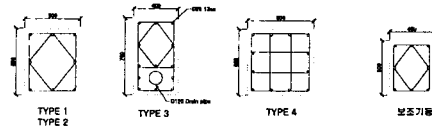


Table 1 기둥 TYPE별 층당 발파 대상 기둥수

구 분	1 층	2 층	3 층	총 계
TYPE I	46	23	-	69
TYPE -II	21	7	-	28
TYPE -III	95	108	30	233
보조기둥	19	19		38
총기둥합계	181	157	30	368

● 보

보는 기둥과 기둥을 연결시켜주는 작은보와 큰보로 이루어진 이방향슬래브 시스템으로 설계되었으며 대표적인 1000mm×400mm(Girder), 750mm×400mm(Beam)유형의 단면을가지고 있다. 보 배근은 주철근으로 D22를 사용하였으며 띠철근으로 D10을 사용하였다.

● 신축이음

Expansion Joint는 건물의 길이가 154m에 이르고 있어 8월기둥-9월사이, 15월-16월 사이에 설치되어 있으며 양쪽 보에 폭4.5m로 설치되어 건물을 완전분리시켰다.

2.2 주변 현황

주변시설물은 Fig. 3와 같이 해체대상 건물로부터 일정한 반경으로 구역을 설정하고 존재하는 시설 및 구조물의 조사를 실시한다. 본 조사를 통해 발파대상 건물로부터 경계구역 내외에 분포되어 있는 건물의 형태, 구조 및 용도를 조사한다.

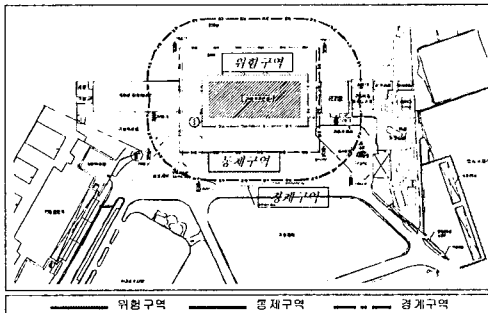


Fig 3 구역별 주변 현황도

● 주요 보안 구조물의 현황

공사 주변 구조물의 현황은 Table 2와 같이 구분 할 수 있으며 발파 설계에 발생공해에 따라 영향권 범위를 선정하여 이에 걸리는 문제점에 대하

여는 대책을 강구한다.

Table 2 구조물 현황

구 분	이격거리	구조 현황
A	34 m	철근 콘크리트
B	5 m	철골 Beam
C	2 m	철골 Beam
D	48 m	steel plate
E	6 m	철근 콘크리트
F	85 m	철근 콘크리트
G	121 m	철근 콘크리트
H	163 m	철근 콘크리트
I	85 m	철근 콘크리트
J	163 m	철근 콘크리트
K	152 m	Steel Box + RC

● 주요 보안 구조물

해체 대상구조물에서 가장 인접한 보안물건은 관리동과 화물터미널로 34m-48m가 이격되어 있으며 대상구조물 2m지점에 높이 30m의 조명탑이 설치되어있다.

또한 지하매설물로는 정화조펌프, 하수관로 등이 대상부지내에 존재하고 있다.

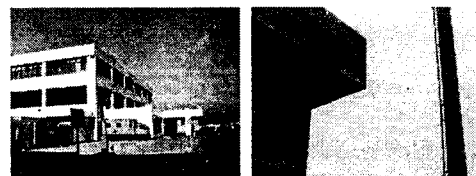


Fig. 4 주요 구조물 관리동(a), 조명탑(b)

● 항공기 운항시간

김해국제공항은 국내선과 국제선으로 구분되어 있어 비행기의 이착륙이 10-30분 간격으로 운항되고 있다. 대한항공은 06:30분에서 20:30분까지의 운항스케줄을 가지고 있으며 아시아나도 09:00부터 20:00까지의 운항시간을 가지고 있다.

이외에 군용항공기는 특정한 시간 없이 운항을

하고 있어 공항관계자들과 상호협조를 요구하는 상황이다.

발파계수는 콘크리트의 강도, 철근의 배근, 단면적의 크기 등에 따라 변경된다.

### 3. 설계기준 및 선정

#### ● 최적 파쇄 형태

기둥의 최적의 파쇄 상태는 화약의 동적에너지(발파하중)에 의한 압축 파괴와 장약 구간으로부터 45°의 파쇄(전단 파괴)가 일어나야 하며, 새로운 매질과의 접합부에서 인장파괴도 동시에 일어나야 한다. 기둥내부의 철근은 인장에 의한 내력제이므로 발파에 의한 절단은 이루어지지 않고 연성에 따라 30 ~ 40°로 휘어져야 한다. 이에 따라 콘크리트의 파쇄가 완전히 일어나 1차 방호재가 비산석을 잡아주고, 파쇄 내부의 콘크리트가 팽창되어 1차 방호재와 함께 기둥의 바닥에 위치하는 것이 가장 최적의 파쇄 형태라 할 수 있다.

#### ● 단면적에 의한 장약량 산정

위와 같이 최적의 파쇄형태를 결정하기 위하여 경험식(식 3.1)으로 장약량을 산출하였다.

$$L = Ca \times A$$

여기서 Ca:발파계수 (Kg/m<sup>3</sup>)는 Ca = 0.1~0.5 Kg/m<sup>3</sup>로 자유면의 수에 따라 적용하며, L:화약량 (Kg), A:부재의 단면적 (m<sup>2</sup>)을 나타낸다. TYPE별 기둥에 따라 장약량을 계산한 결과 Table 3과 같이 산정한다.

Table 3 1층 기둥 TYPE별 공당장약량

구 분	발파계수 (Kg/m <sup>3</sup> )	단면적 (m <sup>2</sup> )	공당장약량 (g)
TYPE - I	0.23	0.28	64.4g
TYPE - II	0.23	0.36	82.8g
TYPE - III	0.23	0.30	69.0g
보조기둥	0.23	0.20	46.0g

#### ● 천공수 및 공당 장약량 선정

경험식에 의한 공당 장약량이 Table 3과 같이 결정되어지고, 발파대상체인 기둥의 형상에 따라 천공수가 달라진다. 기둥의 최장 길이는 0.7m~0.6m이고 장약은 기둥의 중심에서 이루어지고, 전색의 길이는 장약장과 천공경의 비로 나타낼 때 1:3이 될 때 최대의 파쇄효율을 얻을 수 있다. 이는 발파 하중의 전달을 극대화 할 수 있다. 따라서 최소의 약량으로 최적 파쇄를 하기 위하여 전색 길이와 장약량의 분산에 따라 기둥당 천공 수는 1공-3공으로 선정하고 공당 약량은 62.5g으로 적용한다.

#### ● Modeling에 의한 예측 파쇄 형태

- 프로그램: AUTODYN
- 개발사: 미국 Century Dynamic Inc
- 해석부문: Non-Linear Dynamics Analysis
- 특징
  - : 고속의 충돌, 관통, 폭발현상을 해석하는 비선형 충돌해석 전용프로그램
  - : 미사일, 장갑/대장갑 관통, 폭약 및 Shock 전파, 운동/화학에너지탄의 탄두해석
  - : 하나의 문제에 여러가지의 solver를 함께 사용
- Solver
  - : Lagrange, Euler (FCT, Godunov), ALE, Shell, Beam & Truss, SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)

설계 산출 근거에 따라 공당 장약량을 동해석 프로그램인 AUTODYN을 적용하여 Modelling 하여 파쇄 상태를 예측하였다. R/C 콘크리트는 RHT-Concrete Model을 적용하였고 화약은 JWLEOS를 적용하였으며, 파쇄상태를 알아보기 위하여 Damage Model을 Coupling 하여 Euler Prosser로 해석을 하였다. 요소의 수를 줄이기 위하여 기둥의 높이는 파쇄 예상 구간까지 2400cm로 하고

Boundary Condition은 상하로 고정(FIX)으로 하였으며, 1차방호 상태는 고려하지 않고 해석을 적용하였다. 이에 따라 파쇄 상태는 장약 구간으로부터 45°의 파쇄(전단 파괴)가 일어나고, 기둥내부의 철근은 휘어지고(연성) 콘크리트의 파쇄가 완전히 일어나 지지력을 상실하는 것을 Fig 5와 같이 나타남을 알 수 있다.

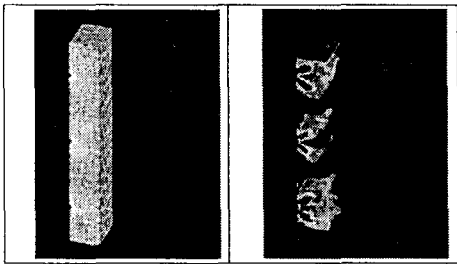


Fig. 5 기둥의 발파 수치해석

● 장약량 산정 결론

정확한 장약량은 산정은 시험발파를 통하여 결정을 하여야 하나, 위에서와 같이 경험식에 의한 장약량 산출과 3D 동해석 프로그램으로 해석한 결과 기둥의 지지력을 상실하기 위한 장약량은 적절한 것으로 사료되었다. 따라서 Table 4와 같이 층당 및 기둥별 천공수와 천공길이 등 설계를 적용한다. 시공중 시험발파를 적용하여 방호재와 시공 상태(천공 및 1차 방호)에 따라 정확한 붕괴유도를 위한 장약량 산정을 하여야 한다.

Table 4 층당 기둥 TYPE별 천공수 및 장약량

구 분	1 층		2 층		3 층	
	공수	공당 약량	공수	공당 약량	공수	공당 약량
TYPE - I	138	8.28	46	2.76	-	
TYPE - II	63	3.78	19	1.14	-	
TYPE - III	282	16.92	216	12.96	10	0.62
보조기둥	38	2.28	38	2.28	-	
층당 총 천공수 및 공수약량	521	31.26	321	19.26	10	0.62

● 붕괴 Simulation

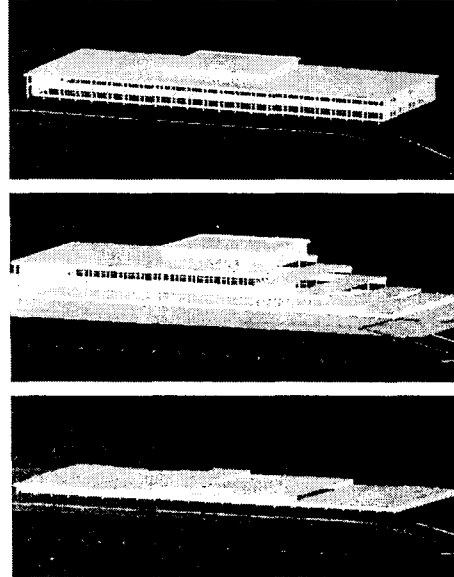


Fig. 6 Simulation

● 방호 역할 및 대상

당 현장 구조물의 방호는 1차, 2차, 3차 방호를 적용하였다. 1차 방호는 각각의 발파대상이 되는 기둥에 적용을 하여 1차 비산 및 소음을 1차적으로 제어하며, 2차 방호는 2층 건물 외벽 전체에 부직포로 시공하고, 3층은 창문틀 및 벽체를 제거한 Open 구간에 시공하여 분진 및 소음을 제어하고, 3차 방호는 건물의 붕괴시 낙하물에 의해 발생하는 분진을 제어하기위해 건물의 붕괴후 버력의 예상 높이와 거리에 따라 비계의 높이와 거리를 결정한다. 따라서, 당 현장 적용 3차 방호는 해체 구조물에서 10m 이격거리를 두고 6m 높이로 설치한다.

● 방호 재료 선정

방호 재료는 방호 선정 사항에 부합하게 1차 및 2차 비산, 소음, 분진을 방호하기 위해서는 적절한 재료를 선정하였다. 방호재료는 Fig. 7과 같다

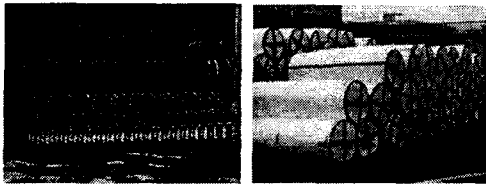


Fig. 7 방호재료

● 기폭 시스템

점진식 붕괴 공법을 적용하기 위하여 발파 대상체인 각기둥의 구간별 화약이 기폭되는 시간을 결정하는 기폭 시스템은 Fig 8과 같이 건물의 붕괴순서 및 붕괴방향을 결정하는 요인이 된다.

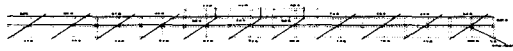


Fig 8 기폭 순서도

4. 주요 시공 현황

4.1 발파 해체 공정

건물 내부 작업 위주로 소음 및 분진 최소화 발파 해체 공법 적용은 붕괴 유도를 위한 사전 취약화 과정에서 내장재 해체를 통하여 상업 폐기물과 일반 폐기물 및 재활용 폐기물을 사전에 분리하는 과정이 같이 어우러져 작업이 이루어지므로 발파 해체 공사의 소기의 목적이 달성됨과 동시에 건물내부작업 위주로 공사를 하므로, 지속적인 공사장 소음을 방지하고 일회의 발파를 통하여 환경영향도 최소화하였다.

4.2 내장재 해체 및 처리

폐기물은 일반폐기물과 산업폐기물로 구분할 수 있으며 파쇄공정 전에 내부에 수장재를 처리하여 콘크리트 폐기물과 일반폐기물 및 재활용 폐기물로 분리한다.

● 내장재 처리 목적

내장재 처리의 목적은 경제성, 환경적 요인, 시

공성으로 분류 할 수 있으며, 경제적인 부분에서는 발파 후 폐기물의 혼합 방지하여 재 활용성 증대를 하고, 환경적인 영향에서는 발파 시 발생 분진의 유해물질 함유 억제와 시공적인 부분에서는 천공, 장약, 결선 등 발파 작업성 확보에 따른 작업의 용이성과 발파시 붕괴 장애요인 제거하여 붕괴 원활히 유도하는데 있다.

● 작업 현황

장비 투입은 Back-hoe 0.3m<sup>3</sup>, 0.6m<sup>3</sup>급을 중앙(동쪽) 출입구 개구 후 투입하여 개구출입문 지밀 폐하여 소음, 분진 차단하고, 내장재 해체, 집적, 옥외반출을 하였고, 3층부 및 1,2층 협소구간해체 및 소형부재 집적은 인력 해체로 하였으며, 옥외 반출된 내장재 및 폐기물은 반출 업체에서 처리하였다. 구조물 외벽측 유리등은 내부 분진 소음발생 작업이 완료된 후 발파 전 해체하였다.

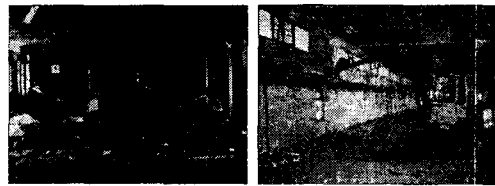


Fig. 9 내장재 철거

● 분리 현황

분리 현황은 Fig 10과 같이 고철 폐기물, 천장재 폐기물, 벽돌, 목재 폐기물로 분리하였다.

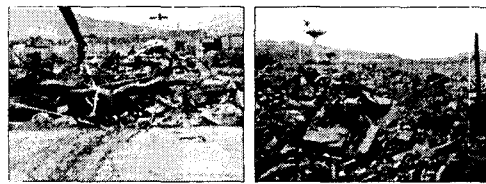


Fig. 10 고철 폐기물

폐기물 분리에 따라 Table 5와 같이 재활용과 폐기용을 구분한다. 고철류와 천장재 및 창문틀은 재활용이 가능하며, 벽돌 및 섬유류는 재활용을 할

수 없다. 이와 같이 발파 해체 공사 적용 시 각 폐기물을 구분, 분리하여 집적하고 발파 후 콘크리트와 철근만을 구분하여 재활용을 할 수 있다.

Table 5 재활용 구분

재활용 가능	재활용 불가
철물류 : 배관류, 문틀, 바닥재, 천정재, 기타 노출철물 등 콘크리트류 : 철근과 분리하여 재활용	목재류 : 집기류, 내부칸막이, 합판 등 섬유류 : 보온재, 미관재, 마감재 등 기 타 : 유리 등

**4.3 사전 파쇄(Preparing)**

대상 구조물의 화약을 장전하는 부분은 건물의 주요 구조부재가 되는 기둥에 장전을 한다. 그러나 구조물은 구조적으로 주요 부재는 기둥, 보, 내부 전단벽이 함께 건물의 안정을 지지하는데 중요한 역할을 하고 있다. 사전파쇄는 이러한 안정을 지키는데 영향을 주지 않는 구조체(Brick 내외벽체 일부 계단)를 대상으로 실시하였으며, 이들 구조체를 사전에 파쇄 함으로 건물의 붕괴에 저항요소를 제거하여 붕괴를 촉진시켜 준다.

● 사전 파쇄 주요 대상

➤ Brick으로 쌓은 내, 외벽과 일부 계단, 엘리베이터벽,조적벽(내부칸막이벽),1층,2층 외벽

● 작업 현황

➤ 1층부 : 06급 압쇄기를 투입하여 해체하고 분진 억제를 위하여 고압살수 작업을 병행

➤ 2층부 : 03급 압쇄기를 투입하여 해체하고 분진 억제를 위하여 고압 살수작업을 병행

➤ 3층부 : 03급 압쇄기를 투입하여 해체하고 분진 억제를 위하여 고압 살수작업을 병행

➤ 외 부 : 외부 측벽은 내부 분진, 소음 작업이 종료된 후, 발파 전 최종으로 06급 압쇄기를 투입

● 조적 및 계단 파쇄 현황

조적벽은 건물 내부의 BLOCK, BRICK을 이용해 쌓은 칸막이벽을 말하며 이 조적벽은 건물의 붕괴에 여러 가지 변수로 작용하여 많은 영향을 미친다. 따라서 Fig. 11과 같이 내부 및 외벽 벽체는 사전에 파쇄하고, 엘리베이터를 사전 취약화를 하였다.



Fig. 11 조적류 사전 파쇄 현황

**4.4 천공 (Drilling)**

화약을 장전하기 위해서는 이들 구조체에 구멍을 뚫어 화약이 들어갈 수 있는 공간을 만들어야 한다. 이 공간을 만드는 작업을 천공이라 한다. 천공은 당 구조물의 주요 장약 대상인 기둥을 대상으로 하며 수평 및 하향으로 천공하여 장전 및 전색의 작업효율을 향상하였다.

● 천공 패턴

주 발파 대상인 기둥은 600mm간격으로 1공씩 층별로 Table 6과 같이 천공을 실시하였으며, 직사각형의 단면적을 가지는 기둥은 긴 쪽에서 천공을 하여 장약의 위치는 중앙에 위치하고 전색의 길이의 증가를 도모하여 발파 효율을 극대화 할 수 있도록 하였다. 또한 장전부위가 파괴체의 중심이 될 수 있도록 천공장을 결정한다. 여기서 전색장이란 천공장에서 장약장을 뺀 길이이다.

Table 6 층별 천공 패턴

구 분	천공장(mm)	공간격	천공수
1층	350~410	600mm	3공
2층	350~410	600mm	2공
3층	350~410	600mm	2공

● 천공 장비

천공의 장비는 Fig. 12와 같이 협소한 곳에서 작업이 용이하고, 단공 천공에 취약함이 없는 착암기를 사용하여 천공을 하며 천공경은 38mm Bit를 사용하였다.



Fig. 12 천공장비 현황

● 천공 작업 현황

천공 현황 Fig. 13과 같으며 2인 1개조로 4개조로 나누워 천공을 실시하였으며, 천공의 순서는 내장재 및 사전 파쇄 작업과 겹치지 않는 부분부터 천공을 하였으며, 검측을 통하여 천공 위치 및 길이 불량된 된 곳은 재 천공을 하여 정확한 천공이 이루어지도록 하였으며, 1층과 같이 3공 천공이 되는 곳은 사람의 키가 못 미치므로 작업의 효율을 높이기 위하여 발판을 제작하여 천공을 하였다.

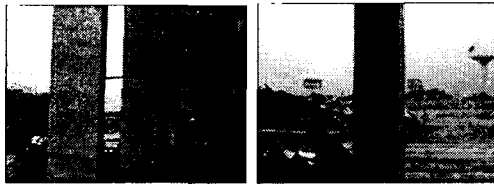


Fig. 13 천공 현황

4.5 방호 (Protection)

발파해체의 적용시 주변 여건과 밀접하지만 일반적으로 콘크리트의 비산과 분진을 억제하는 대책을 세워 안전한 시공이 될 수 있도록 해야 한다. 이에 따라 본 건물에 적용된 방호는 직접방호 1차 방호와 간접방호 2차 방호, 3차 방호 방법을 사용했다.

● 방호 패턴

당 현장 방호 패턴은 Fig. 14와 같이 1차 및 2차

3차 방호로 적용을 하였다. 1차 방호는 주로 압력에 의해 비산되는 분진이나, 작은버력을 방호막 내부에 가두는 역할을 한다. 1차 방호막은 능형 철망과 방폭쉬트를 사용하였으며, 2차 방호는 1차 방호에서 빠져나간 비산과 건물이 붕괴 되면서 발생하는 비산을 제어하며, 붕괴시 발생하는 분진도 제어를 한다. 3차 방호는 발파대상 건물 외부 및 피해가 예상되는 건물외부에 쌍줄비계(FENCE) 설치하고 분진망을 이용하여 분진 및 비석을 제어한다.

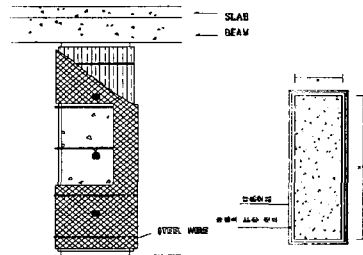


Fig. 14 방호 패턴

● 1차방호 작업 현황

1차 방호는 Fig. 15와 같이 비계공 3~4인 1조로 5개조로 시공을 하였으며, 천공이 완료된 기둥에 천공면에 능형 철망이 1겹이 되도록 하고 그 외의 면은 2겹이 되게 하여 천공위치상하로 300mm까지 방호가 되도록 작업을 한 후 천공된 위치를 절단기로 잘라낸 후 방폭쉬트를 이용하여 다시 감싼다. 이때 #8번 철선을 사용하여 단단하게 결속을 3~4개소로 결속을 한다.



Fig. 15 1차 방호

● 2차방호 작업 현황

2차 방호는 Fig. 16과 같이 비계공 6인 1조로 2



개조로 시공하였으며, 방폭 슈트를 건물의 높이에 맞게 재단하여 폭을 10m가 되도록 결속선을 이용하여 묶은 후, 2층 옥상 부위에 양카를 설치하여 발파가 진행되는 방향으로부터 바깥쪽으로 겹침을 두어 시공을 하였다.

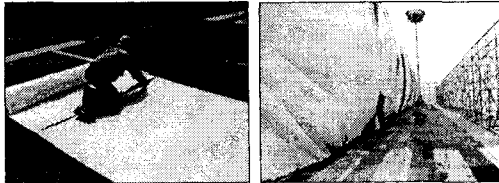


Fig. 16 2차 방호

● 3차 방호 작업 현황

3차 방호는 Fig. 17과 같이 비계공 6인 1조로 시공하였으며, 쌍줄비계를 매어 건물에서 10m 간격을 두고 높이 6m로 시공을 하였다.

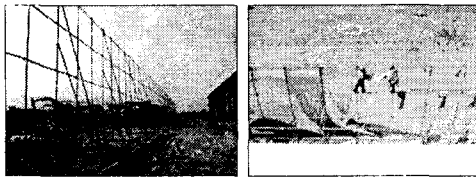


Fig. 17 4.9 3차 방호

4.6 시험발파 (Test blasting)

구조물 발파해체에서 가장 중요한 것은 사전조사시 측정된 기둥 및 전단벽 배근상태, 콘크리트 파쇄량, 콘크리트의 강도에 따른 발파 대상 선정과 선정 대상에 따른 화약 사용량 및 방호재료의 적합성이다. 이때 발파 해체 전 발파대상 구조체중 일부구간을 설정하여 시험 발파를 실행하여 설계의 신뢰와 여러 가지 사항을 점검 검토하여 필요시 설계 변경하여 구조물의 붕괴 유도를 원활하게 하는데 있다.

● 시험발파 선정 배경 및 위치

3개 TYPE 중 TYPE-II(600× 500× 4800) 기둥이 가장 많이 분포되어 있으므로, TYPE-II 기둥 중

구조적으로 안정적인 위치에 있는 1층 D-18을 시험발파 대상으로 Fig. 18과 같이 선정하였다.

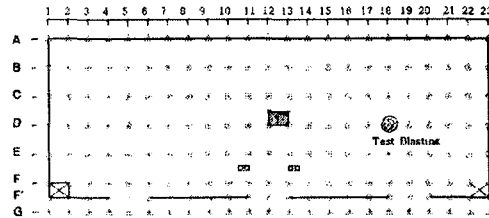


Fig. 18 시험발파 대상 위치

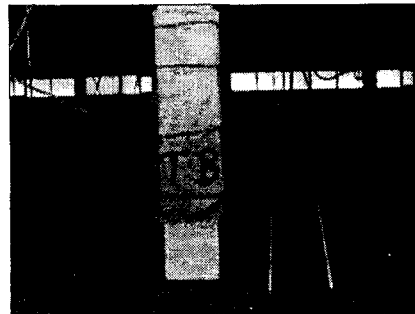


Fig. 19 시험발파 대상 기둥

● 시험 발파 적용 현황

시험발파 제원은 Table 7과 같이 적용 공수 및 사용 약량은 장약량 산출근거와 같이 동일하게 적용하였고, 현황은 Fig. 20과 같이 총 공수는 3공으로, 공당약량은 0.0625kg으로 총 장약량은 0.1825kg이다. 천공수, 공간격, 천공 길이 및 공당약량을 확인하여 시험발파를 실시하였다.

Table 7 시험발파 제원

구 분	Type 2
크기	600 X 500mm
천공장	400 mm
천공경	38 mm
공간격	600 mm
최소저항선	300 mm
사용화약	Megamite 25mm

deck 당 약량	60g × 1deck /공
공당장약량	60 g
기폭방법	전기뇌관 기폭
결선법	각선 결선
1차 방호방법	능형철망, 방폭슈트
2차 방호방법	방폭슈트
시험공수	3

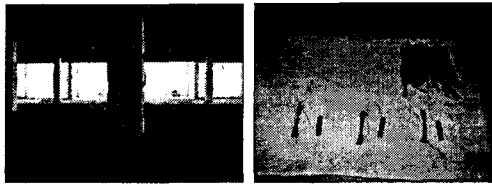


Fig. 20 시험발파 현황

● 시험 발파 방호 현황

본 발파시에는 1차에서부터 3차에 걸친 방호를 실시하나 시험 발파 적용시는 1기둥 3개의 천공수에 장약을 하므로 Fig. 21과 같이 1차 방호와 주위의 기둥에 2차 방호를 하였다.



Fig. 21 시험발파 방호 현황

● 시험 결과

본 대상체의 시험발파 결과는 Fig. 22와 같다. 발파된 상태는 매우 양호하고 기둥의 지지력을 잃어버릴 정도의 파쇄 상태와 1차 방호의 역할(비산 콘크리트의 방지)의 매우 양호함을 나타냈다.



Fig. 22 시험발파 결과

5.7 장약 작업 (Charging)

발파해체를 위한 사전 준비 사항이 완료된 후 장약작업을 실시하였다. 장약 작업은 전폭약포 제작, 장전, 메지, 결선, 확인 및 점검으로 구분하였다.

● 장전 작업

장전 작업은 장전 순서는 1층부터 3층 3층의 순으로 장약을 실시하였으며 각 공의 길이 및 천공위치에 따라 장약이 기둥의 중심에서 기폭될 수 있도록 천공 길이가 긴 경우에는 메지를 먼저 채우고 다짐봉(목재)을 이용하여 전폭약포를 천공내에 장전후 모래로 전색을 실시하였다. Fig. 23은 장전작업 현황이다.

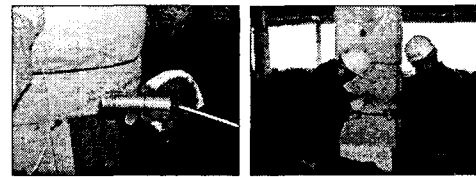


Fig. 23 장전작업 현황

● 결선 작업

결선 작업은 기폭 시스템에 따라 결선을 하였으며 1층의 경우는 Fig. 24와 같이 공내 비전기 뇌관의 Shock tube를 연결 TLD로 결선을 하였다. 전기 뇌관의 동일한 저항을 위한 결선작업을 하였다. 모

든 기폭 시스템에 따라 결선이 완료되면 발파기와 기폭 시스템간의 연결할 모선을 설치한 후 각 series별 저항 및 결선 누락을 점검을 한다.

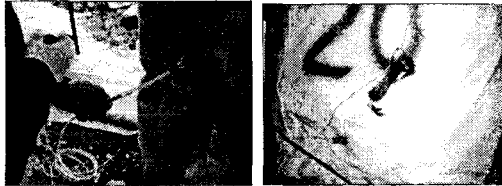


Fig. 24 결선모습

### 5. 발파 결과 및 평가

#### ● 발파 결과

점진식 붕괴공법을 적용한 당 현장의 발파 결과는 Fig. 25와 같이 되었다.

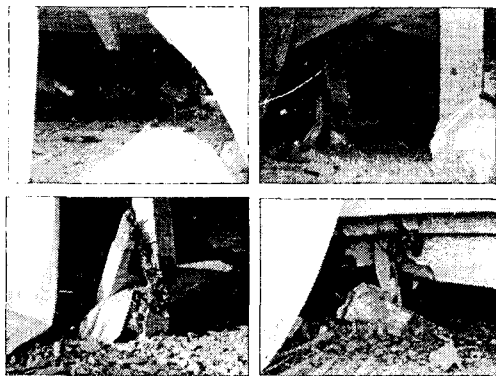


Fig. 25 발파결과

▷ 붕괴 유도 방향 = 우측에서 좌측으로 (점진식 붕괴공법)

▷ 뇌관 시차 및 붕괴 시간 = 0sec ~5.5sec, 7.5sec

▷ 붕괴 높이 = Max : 3m, Min : 1.5m

▷ 붕괴에 따른 피해 현황 = 옥상부 슬래브에

단열재 역할을 하도록 스티로폼 시공되어 있어 붕괴에 따라 계류장 측으로 잔재가 발생함.

▷ 착지 및 비산 현황 = 좌측 상부 난간대 부터 0.5m 이동, 비산 : 주위 건물로 1.2m이내

### 6. 계측결과

#### ● 계측 현황

발파의 결과에 따른 평가를 위하여 Instantel社(Canada)의 Blastmate II (DS-477, DS-677)과 同社의 Blastmate III로써, 同社의 측정장비를 이용하여 계측을 실시하였다. 예측 충격 진동 및 예측 소음도와 DATA 결과에 따라 주변 구조물의 안전성을 평가하고, 점진식 발파공법의 성패 여부는 건물의 붕괴 순서와 구조물의 적재 상태, 비산 및 구조물의 착점 위치를 육안 판단하여 당 현장에서 구조물 발파에 따른 평가를 실시한다.

#### ● 계측 위치 선정

계측 위치는 주변 주요 구조물에서의 진동 및 소음을 계측하였고, 충격진동의 DATA 경향을 알아보기 구조물로부터 중앙지점에서부터 30m 이격된 지점으로부터 10m 간격을 두고 설치하여, 총 11개 지점에서 계측이 실시되었다.

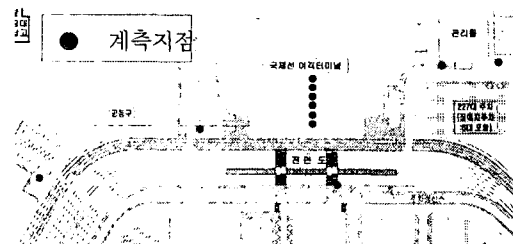


Fig. 26 계측지점 위치도

#### ● 계측 DATA

총 11개 지점(보안건물 및 현장 내 설치)에 발파 진동측정기를 설치하였으며, 계측된 DATA는 Table 8과 같다.

Table 8 계측 DATA 결과

계측지점	거리 (m)	PVS (cm/sec)	주성분	PSPL (dB[A])
①경비실	31	0.754	Vert	53.4 *
②관리동	40	0.502	Long	104.8
③화물청사	70	0.786	Trans	- *
④국내선	230	0.147	Vert	100.3
⑤대저마을	170	0.302	Vert	88.8
⑥현장 내	30	1.12	Vert	112.2
⑦현장 내	40	1.08	Vert	112.2
⑧현장 내	50	0.942	Vert	- **
⑨현장 내	60	0.802	Vert	108.0
⑩현장 내	70	0.792	Vert	<50 *
⑪현장 내	80	0.686	Vert	105.6

● 충격진동 Data 경향

충격진동의 거리별 PPV는 거리별 감쇄가 나타나는 것을 알 수 있다. 이 데이터를 통하여 관리동 및 화물청사 국내선 청사의 응답 스펙트럼을 작성하여 주변 구조물과의 관계를 의사 변위, 의사속도, 의가속도로 나타낸 삼분지 그래프로 나타내었다. 회귀분석은 11개 계측지점에서 측정된 11개의 서로 상이한 환산거리(Scaled Distance,  $D/\sqrt{W}$ ) 자승근 환산거리에 대한 충격진동과의 회귀분석을 실시하였으며, 산출된 회귀분석은 Fig. 27과 같다. 회귀분석에 사용된 프로그램은 "BlastAZ R3.0, (주)한화"이다.

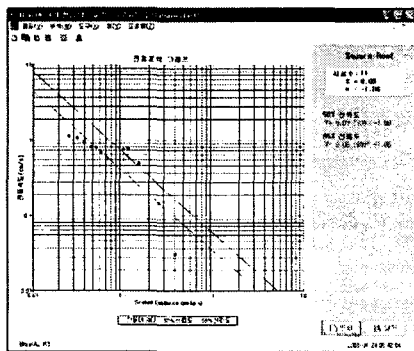


Fig. 27 충격진동 분석

다음의 식은 자승근 환산거리에 의해 산출한 충격진동 회귀분석 결과이다.

$$V_{50\%} = 0.03 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.06}$$

7. 결론

- 1) 점진적 발파해체 공법에 의한 김해공항 구 청사 발파해체는 연면적기준으로 저층구조물로는 국내에서 가장 큰 건물이었으며 장변의 길이로 116m을 발파해체한 사례가 되었다
- 2) 충격진동의 계측 범위는 0.502~1.12 cm/sec(kine)가 측정되었다. 그러나 이는 계측 장소 상에서 오차가 발생한 부분을 포함하지 않았으므로 실제 측정치는 본데이터의 50% 이내로 예측할 수 있을 것이다.
- 3) 길이가 긴 구조물의 경우 건물의 붕괴에 따른 내부공기압의 순간적인 외부 유출로 인한 피해에 대해서 검토 할 수 있는 사례가 되었다.
- 4) 건축물에 부착되어 있는 암면을 사전제거 하여 환경적 피해를 최소화하고 항공기의 이착륙에 따른 영향을 최소화 할 수 있는 사례가 되었다.
- 5) 약 22일간의 공사기간으로 연건평 5,835평의 건축물 단시간내에 붕괴하여 경제적, 환경적으로 해체할 수 있는 사례가 되었다.