

## 군산화력발전소 발파해체 실용화 시험시공사례

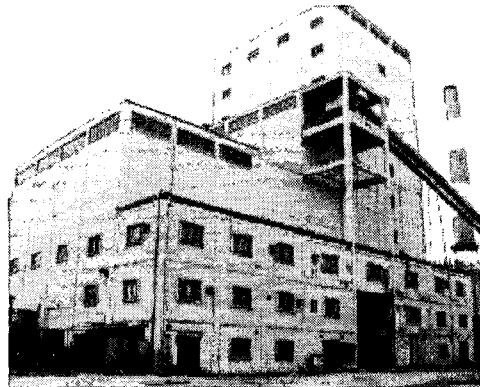
민형동<sup>1)</sup> · 송영석<sup>2)</sup> · 김효진<sup>3)</sup> · 서영수<sup>4)</sup>

### 1. 서론

군산 화력발전소는 1964년 착공하여 1967년에 준공되어진 발전소로 무연탄과 증요혼소용 기력발전설비, 가스터빈, 증기터빈으로 되어 있으며, 군산을 비롯하여 전주·익산 등지의 전력공급에 크게 이바지했으나, 복합화력 발전소로 재탄생하기 위하여 기존 구조물의 해체가 요구되었고, 구조물의 특성상 발파해체공법을 적용하여 해체를 적용하였다. 본 구조물의 발파 해체는 건교부 연구 활동과 실용화 요소시험을 바탕으로 정립한 내용을 본구조물에 적용함으로써 기존에 시행한 발파해체공법보다 효율적인 발파해체공법으로 시험시공을 하여 개선점과 문제점을 파악하기 위함이다.

#### 1.1 시공 개요

- 규모 : 총면적 292,000㎡, 기력건물 높이 : 58m
- 발파 해체공법 적용
  - ☑ 대상 : 기력건물1개동
  - ☑ 구조 : 철근콘크리트 라아멘조
  - ☑ 적용공법 : Toppling(상부분락공법)
  - ☑ 구조 : 철근 콘크리트, 철골구조물



### 2. 대상구조물 및 주변현황

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

- 
- 1) (주)한화 화약기술팀 부장
  - 2) (주)한화 화약기술팀 과장
  - 3) 대한주택공사 건설기술연구단장
  - 4) 명한산업개발(주) 대표이사

## 2.1 구조물 현황

대상구조물은 철근콘크리트 라멘조 건물로 기둥과 보로 구성되어 있으며 그림 1과 같이 4개의 구조물이 복합적으로 구성되어 있으며, 길이방향으로 10개의 기둥열과 세로방향으로 6개의 기둥 열로 구성되어진 구조물이다. 건물의 내부는 보일러와 터빈, 발전기 등 설비가 위치할 수 있게 구성된 건물로 내부 슬래브가 없이 철근콘크리트 골조로만 구성되어 있다. 발파해체에 따른 구조재의 분류는 기둥(column), 보(Beam), 상판(Slab), 계단(Stair), 등으로 구분할 수 있으며 외벽은 Block을 이용한 보강 블록 쌓기로 되어 있다.

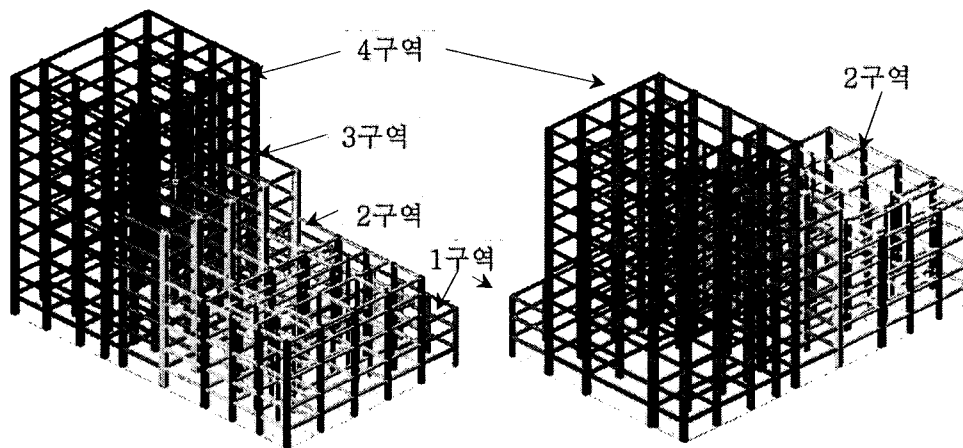
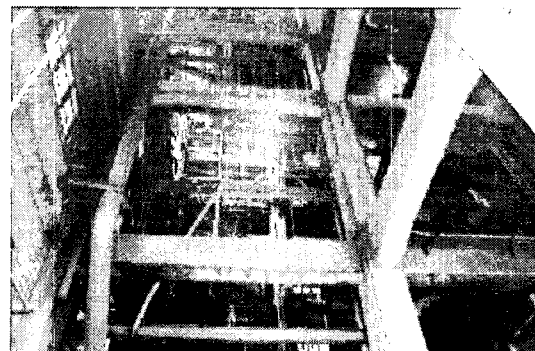


그림 1. 구조물 현황

기둥은 대표적으로 26가지 유형으로 분류 할 수 있으며 건물을 4분할하였을 때 가장 많은 유형은 610mm×762mm의 단면을 가지고 있다. 보는 그림 2와 같이 기둥과 기둥을 연결시켜주는 작은보와 큰보로 이루어진 이방향 슬래브 시스템으로 설계되었으며, 대표적인 914mm×457mm(Girder), 711mm×457mm(Beam)유형의 단면을 가지고 있다.



(a) Mill 건물 보



(b) 보일러건물 보

그림 2. 보 현황

## 2.2 주변 현황

발파해체 대상구조물 주변으로 그림 3과 같이 이마트, 자동차 매매상, 민가가 위치하고 있으며, 최소 160m 이상 이격되어 있고 보안물건의 허용진동 규제치는 0.3cm/sec로 선정하였고, 소음의 허용 규제치는 80dB(A)로 선정하였다.

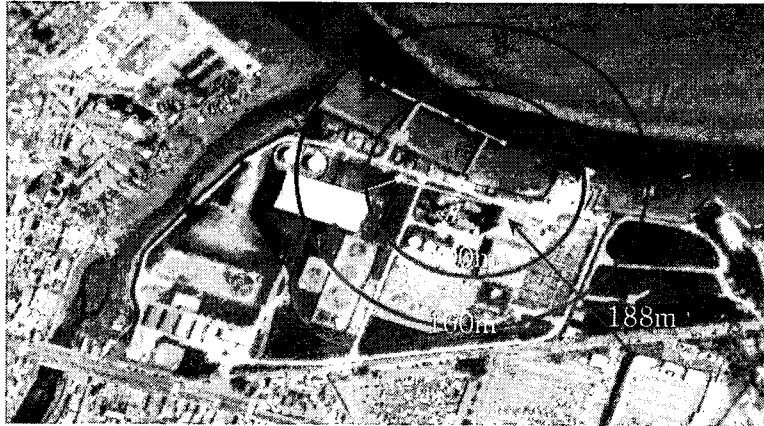


그림 3. 구역별 주변 현황도

## 3. 주요 시공 내용

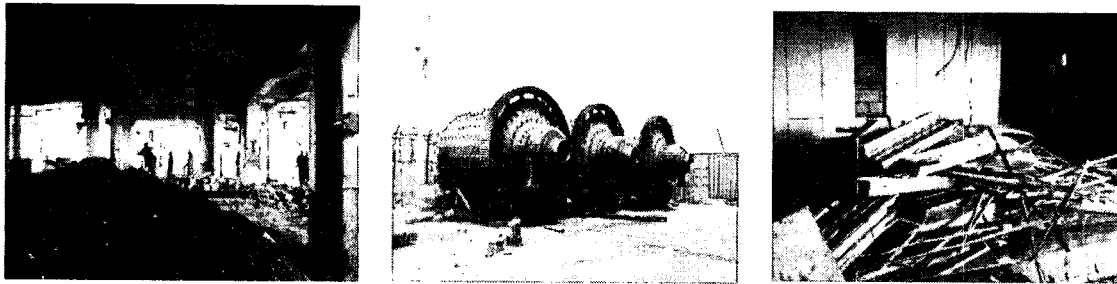
기력건물 내부에 있는 발전설비를 반출하는 작업이 선행되었으며, 일부는 병행하여 작업이 수행되었다. 사전처리는 내부 조적벽체일부에 대해서만 실시하였으며, 천공은 1구역, 2구역, 3구역 순으로 진행하였다. 또한 천공후 1차, 2차방호를 실시하였으며, 천공완료 후 시험발파를 실시하였다.

표 1. 실행 공정도

Plan	Day	2월		3월								4월																
		27	28	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
사전처리																												
천공																												
1차방호																												
2차방호																												
시험발파																												
종합점검 및 보완																												
굴뚝천공 및 방호																												
장전 및 결선																												
본 발파																												

### 3.1 내장재 해체 및 처리

폐기물은 일반폐기물과 산업폐기물로 구분할 수 있으며 파쇄과정 전에 내부에 내장재를 처리하여 콘크리트 폐기물과 일반폐기물 및 재활용 폐기물로 분리한다. 내장재 처리의 목적은 경제성, 환경적 요인, 시공성으로 분류 할 수 있으며, 경제적 측면에서는 발파 후 폐기물의 혼합 방지하여 재활용성 증대를 하고, 환경적 측면에서는 발파 시 발생 분진의 유해물질 함유 억제와 시공측면에서는 천공, 장약, 결선 등 발파 작업성 확보에 따른 작업의 용이성과 발파 시 붕괴 장애요인 제거하여 원활한 붕괴를 유도할 수 있도록 그림 4와 같이 폐기물을 처리하였다.



(a) 석탄

(b) 발전설비

(c) 철재류

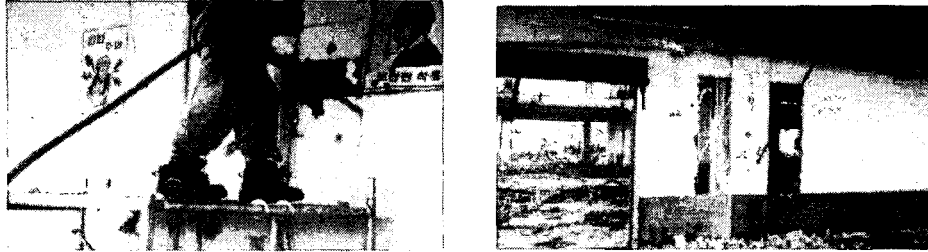
그림 4. 폐기물의 처리

### 3.2 사전처리

표 2와 같이 1층과 2층의 조적벽은 대형브레이커를 이용하여 내, 외부 벽체 전체를 사전파쇄를 하였으며, 버력은 외부로 반출 하였다. 내부 벽체 일부는 그림 5와 같이 기둥 옆 부분만을 사전파쇄를 실시하였으며, 3층, 4층 부의 외벽은 파쇄하지 않았다.

표 2. 발파층의 사전파쇄 내용

구분	발파층 처리 대상	사전처리 방법 및 내용
1층	내부, 외부 조적벽	1.0m3 브레이커 파쇄, 외부 반출
2층	내부 조적벽 외부 조적벽	인력파쇄 (내벽) 1.0m3 브레이커 파쇄 (외벽)



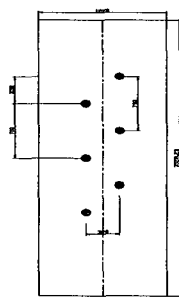
(a) 브레이커 파쇄

(b) 파쇄 후

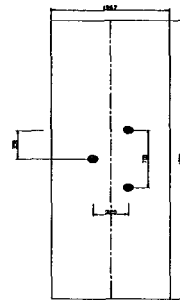
그림 5. 조적벽 사전파쇄

### 3.3 천공

본 건물의 천공은 그림 6과 같이 발파범위를 축소하여 방호량을 감소시키고, 사전처리를 최소화하기 위한 방법을 감안하여 실시하였다. 천공은 두 가지 패턴으로 구분하여 실시하였으며, 하나는 기둥의 완전한 파쇄를 목적으로 기둥의 중심부에 천공을 실시하는 중심천공법과 다른 하나는 기둥의 약화를 목적으로 기둥의 편심부에 천공을 실시하는 편심천공법을 이용하여 천공을 실시하였다. 천공작업은 1구역, 2구역, 3구역 순으로 진행하였고 그림 7과 같이 고층부 슬라브가 없는 4구역(보일러 실)의 천공은 스카이 차량을 이용하였고, 표 3과 같이 202개의 주요 기둥에 566공을 천공하였다.



(a) 중심천공 상세도



(b) 편심천공 상세도

그림 6. 천공도면



(a) 터빈부 천공



(b) 고층부 천공

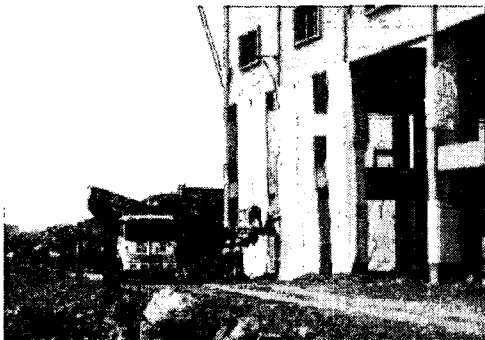
그림 7. 천공모습

표 3. 각 층별 천공내용

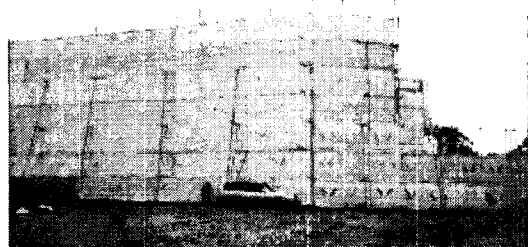
발파위치	기동수	천공수(공)	총 천공장(mm)
GL+1m~GL+4.57m	63	197	122,250
GL+4.57m~GL+9.15m	59	190	126,450
GL+9.15m~GL+16.52m	25	77	51,500
GL+16.52m~GL+22.48m	34	65	45,450
GL+33.68m~GL+38.56m	21	37	20,000
합계	202	566	365,650

### 3.4 방호

발파 해체 시 방호는 주변 여건과 밀접한 관계에 있으며, 보안물건의 근접거리와 중요도에 따라 방호의 방법과 위치 등을 조절해야한다. 방호는 콘크리트의 비산과 분진을 억제하는 목적으로 실시하며 최소의 방호로 최대의 효과를 나타낼 수 있도록 해야 한다. 이에 따라 방호는 직접방호인 1차 방호와 간접방호인 2차 3차 방호를 적용하였다. 2차 방호재는 그림 8(a)과 같이 기존 발파 해체시 적용하던 부직포만을 사용하지 않고 구갑망과 부직포를 엇갈리게 적용하여 기존 발파해체와 비교를 시행하였으며, 3차 방호는 그림 8(b)와 같이 발파대상 구조물과 이격하여 보안물건을 방호하기 위해 사용하는 방법으로 본 구조물 발파해체 시는 스위치야드를 보호하기 위해 6~12(m) 높이의 강관외줄비계 및 쌍줄비계를 설치하였으며, 부직포를 이용하여 보호를 실시하였다.



(a) 2차 방호



(b) 3차 방호

그림 8. 천공모습

### 3.5 분진 저감 대책

분진점감을 위하여 분진저감 살수 장치(Dust Boss)를 2대 임대하여 구조물의 한쪽 면에 설치를 하여 발파 5분전부터 발파 후 10분까지 살수를 시행하였다(그림 9).



(a) 분진 저감 살수 장치

(b) 살수 현황

그림 9. 분진 저감대책

### 3.6 시험발파 세부내용

발파해체에서 시험발파는 사전 조사 시 검토한 구조물의 기둥 크기 및 배근상태, 콘크리트의 강도에 따라 발파 시 적용할 화약 사용량과 방호재료의 적정성 검토하기 위하여 구조적으로 안정적인 위치에 있는 1층에서 기둥의 주요 단면별로 그림 10과 같이 각 1개씩 실시하였다.



(a) TB-1

(b) TB-2

(c) TB-3

그림 10. 시험발파 기둥

폭약은 메가마이트 28mm(Dynamite)를 사용하였으며 TEST 1, TEST 2, TEST 3에는 공당 83.3g, 125g, 125g의 폭약을 사용하였고, 각각 3공, 3공, 5공을 장전하였고, 전기뇌관을 사용하여 각기둥별로 동시에 기폭을 하였다. 시험결과 TB-1은 파쇄가 양호한 것으로 평가되었으며, TB-2는 좌측은 철근 외부피복은 파쇄되었으나, 철근의 힘이 미약하게 나타났고, 기둥 우측면은 균열만 발생하고 피복도 이탈되지 않아 장약량을 60% 증가하여 200g을 본 발파에 적용하였으며, TB-3의 파쇄상태는 기둥의 콘크리트가 모두 팽창되었으나, 1차방호망이 파쇄된 콘크리트를 구속시키고 있었다(그림 11). 표면상 균열은 모두 발생하여 붕괴 시 하중에 의해 파쇄 될 것으로 판단되었으나, 본 발파 시 붕괴의 신뢰도를 높이기 위하여 장약량을 50% 증가하여 187.5g을 본 발파에 적용하였다.



(a) TB-1

(b) TB-2

(c) TB-3

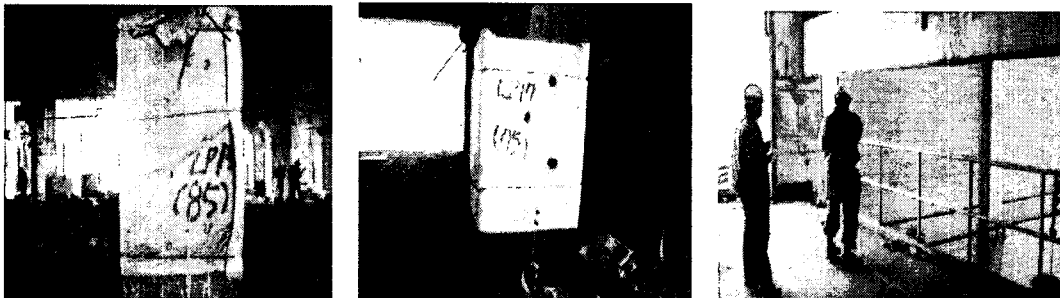
그림 11. 시험 발파 결과

### 3.7 장전작업

적용화약은 메가마이트 28mm이고, 총 638개의 천공수에 102.657kg의 화약을 장전하였다. 슬래브가 없는 고층부에서는 스카이차(고가 작업차량)를 이용하여 장전을 시행하였고 장약작업효율이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

### 3.8 결선작업

기폭시스템은 전기뇌관과 비전기뇌관을 혼합한 기폭 시스템을 이용하여 그림 12와 같이 공간에는 비전기뇌관을 사용하였고, 결선여부 확인을 위해 표면뇌관에는 전기뇌관을 적용한 방법을 적용하였다.



(a) 기동결선

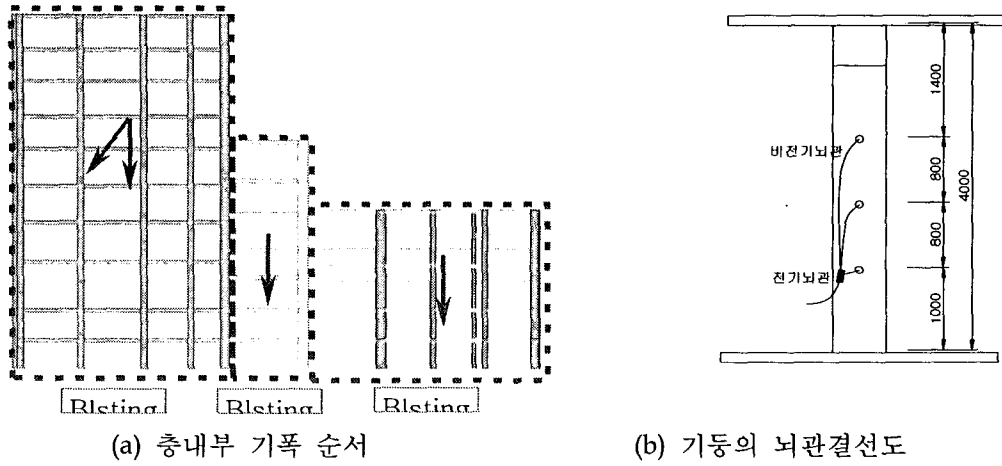
(b) 비전기뇌관과 전기뇌관

(c) 전기뇌관 결선

그림 12. 결선 현황

결선 시차는 4개 Block으로 분할하여 그림 13과 같이 발파를 실시하였으며, 구조물을 일 방향으로 붕괴시킬 수 있도록 전면과 후면의 초시를 분리하여 기폭하게 하였다. 또한 1구역과 2구역은 구조물을 완전 분리시키기 위하여 기폭시차는 1.5~2.5(sec)가 되도록 설정하였다.





(a) 층내부 기폭 순서

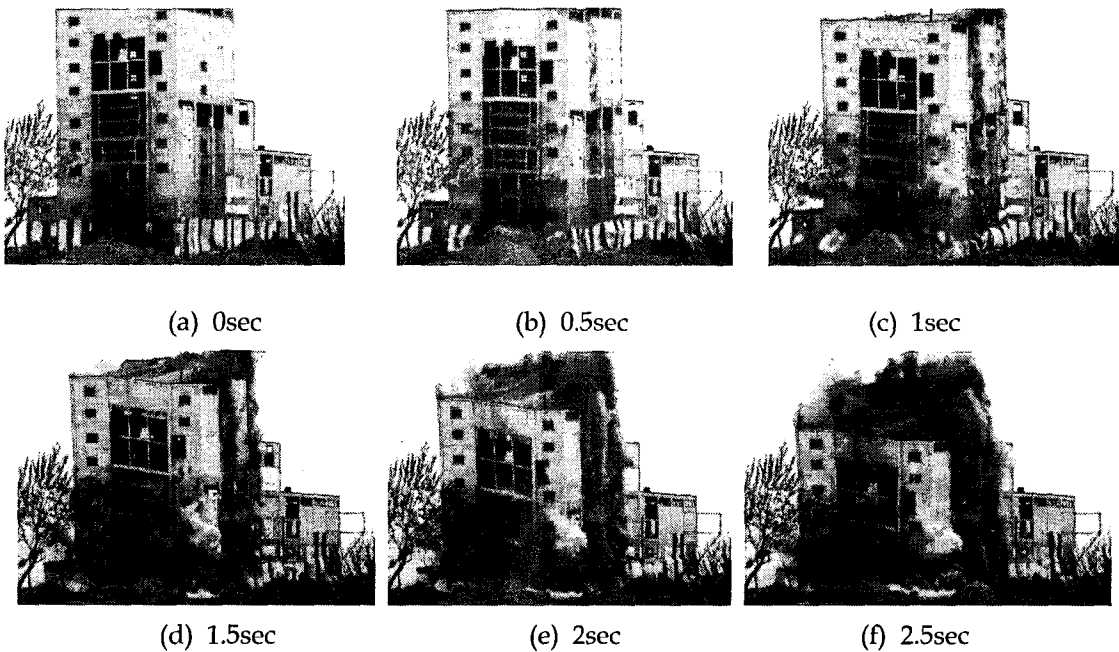
(b) 기둥의 뇌관결선도

그림 13. 기폭 현황

#### 4. 발파해체 결과 및 분석

##### 4.1 붕괴 거동

보일러건물(4구역)은 0~1.6(sec)까지 기폭되어 건물 상부가 지면에 도달한 시간이 약 5초 정도 소요되었으며, 밀건물(3구역)이 1.6~3(sec)까지 기폭 되었다. 또한 터빈건물(2구역)의 기폭시간은 3~5(sec)이며, 전체 구조물이 붕괴되는 시간은 약 7.5sec가 소요된 것으로 분석 되었다(그림 14).



(a) 0sec

(b) 0.5sec

(c) 1sec

(d) 1.5sec

(e) 2sec

(f) 2.5sec

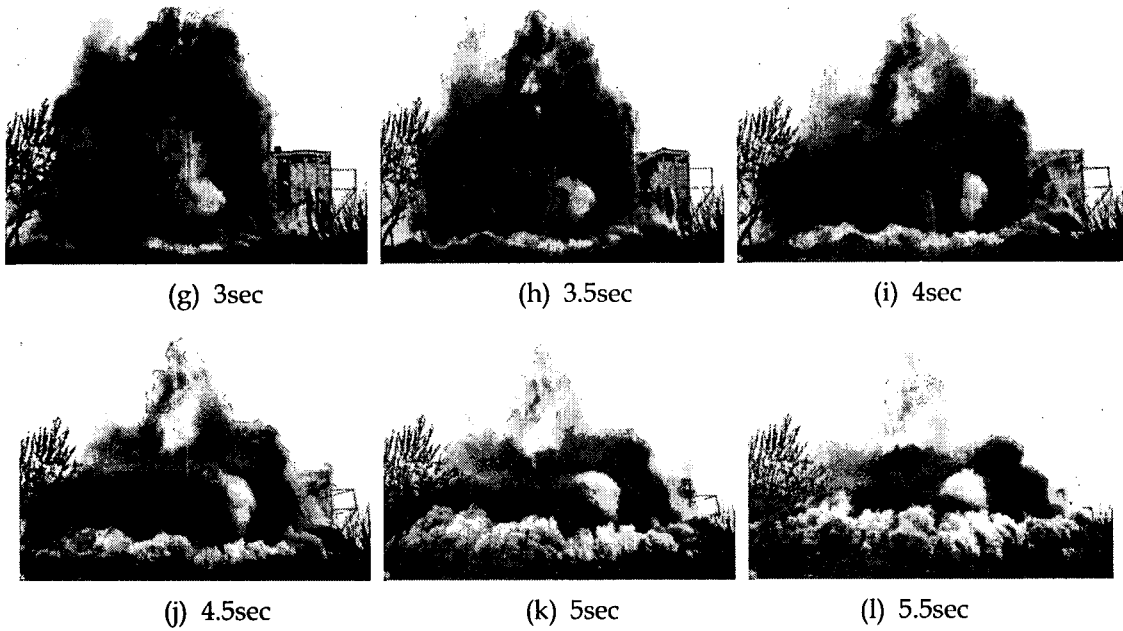
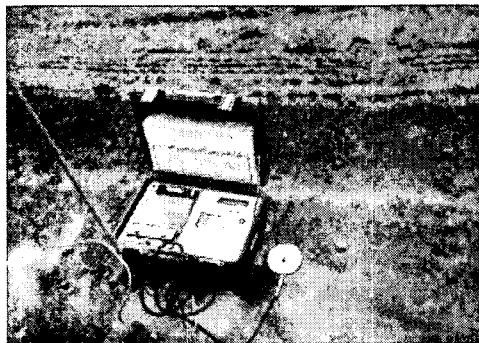


그림 14. 구조물 거동 현황

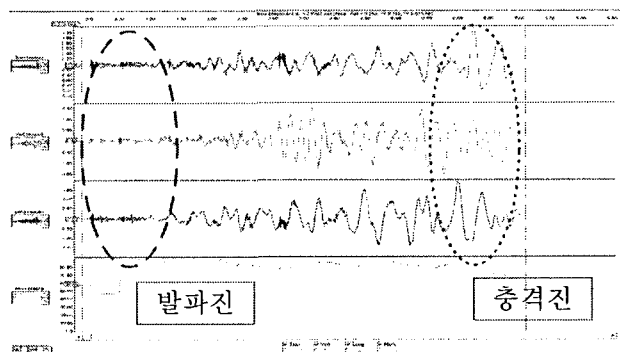
#### 4.2 환경영향 분석

##### 진동 분석

진동의 계측은 InstanTel DS-477, PMT exAD-8 를 이용하여 보안물건 앞에서 측정을 실시한 결과 발파진동과 충격진동으로 구분이 되었으며, 구조물로부터 69m 이격된 지점에서의 발파진동은 0.04cm/s이고 충격진동은 0.37cm/s로 충격진동이 발파진동보다 약 10배 큰 것을 알 수 있음, 또한 발파진동 성분 중 진행파가 우세하였다(그림 15). 이는 아스팔트와 토사위에서 측정한 것으로 판단된다.



(a) 계측 설치 현황



(b) 획득 진동 파형 분석

그림 15. 진동 계측 결과

**소음 분석**

소음의 계측은 Instantel DS-477, PMT exAD-8에 달려있는 소음기를 이용하여 측정을 하였으며 구조물로부터 69m 이격된 지점에서는 96.7dB(A), 177m 이격된 지점에서는 90dB(A)가 표 5와 같이 계측되었다.

표 5. 소음 계측결과

계측기(SN)	측정위치	거리(m)	소음치
			dB(A)
A04122884	스위치야드	69	96.7
A04122885	정문	237	N/T
1643	매매단지	177	90
2441	이마트	188	N/T

**5. 실용화 시험 시공 결과 분석**

본 구조물은 기둥과 보로 이루어진 이 방향 슬래브 시스템 구조로 발파해체와 같이 순식간에 건물의 붕괴되는 경우에 보는 구조물의 붕괴거동에 영향거의 미치지 않는 것으로 판단되었다.

1차 방호 재료 중 능형철망과 부직포(아연도금#8 +300g/㎡부직포)의 적용은 상당히 효과적이었으며 방호방법의 결정은 부재의 크기와 적용 화약량과 밀접한 관계가 있는 것을 확인하였다.

2차 방호 시 기존에 사용되는 부직포만을 2차 방호에 적용할 때 폭발 및 붕괴로 인한 폭발압에 의하여 부직포가 날려서 2차 방호 효과가 미비한 것으로 분석되어, 본 시험 시공에서는 2차 방호재를 부직포와 구갑망을 상호 엇갈리게 하여 적용한 결과 2차 방호 효과가 높은 것으로 평가되었다.

혼용 기폭 요소시험에서 선정된 방안(공내 : 비전기뇌관, 표면 : 전기뇌관)으로 본 발파에 적용하여 기폭한 결과 기폭 신뢰성을 다시 한번 입증 하였고, 향후 2,000공수 까지도 혼용 기폭방법이 유효 할 것으로 판단된다.

상부 붕락공법에서는 최종 발파층 높이와 비발파층의 높이에 따라 구조물의 전도되는 현상이 나타남을 알 수 있으며, 향후 상부 붕락공법 적용되는 구조물의 발파해체에서는 최종 발파층 높이와 비발파층의 높이를 고려하여 발파해체 대상 구조물 주변에 전도될 수 있는 여유 공간이 있는 장소에서 적용해야 할 것으로 판단된다.

아스팔트위에서의 계측은 지반에 의한 진동의 전달보다 L성분이 전체적으로 우세 하게 나타나며 이는 자연지반에서의 진동의 전파보다는 아스팔트위의 진동전파로 분석되었다.

민형동, 송영석, 김효진, 서영수

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원 (과제번호: 06건설핵심 B04)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Lauritzen, E. K. and Peters, M., 1991, Partial Demolition by Mini-Blasting, Concrete International.
2. Williams, G.T., 1990, Explosive demolition of tall building in inner city areas, Mun. Engr.