

〈기술소개〉

## 建物發破解體의 秘密(3) - 남산 외인아파트 발파해체를 중심으로

전태수<sup>1)</sup> · 류 훈<sup>2)</sup> · 최수일<sup>3)</sup> · 임한욱<sup>4)</sup>

### 3. 주변 영향권 분석

#### 가. 주변 시설물의 현황 조사 및 안전성 검토

주변 시설물의 현황 조사는 현지 답사를 통하여 수행하였고, 남산아파트의 발파해체시 인접한 각각의 구조물 및 설비의 안전성 검토는 다음과 같은 항목을 고려하며, 발파, 충격진동의 영향권 분석을 통하여 안전성을 확인하였다. 현황 조사 결과는 표 1에 정리한 것과 같다.

#### · 인근 건물의 안전성 검토

위험구역(80 m) 이내에 들어 있고, 2동으로부터 22 m 떨어진 최인접 건물인 조적조 단독주택을 포함하여, 경계구역(250 m) 이내에 있는 모든 주택 및 건물들을 발파 직전에 직접 방문하여 건물의 하자(구조 안전성, 균열, 누수 및 파손 영향)가 있는지 철저한 조사 및 사진 촬영을 하였고, 발파 후 진동에 의한 영향이 있는지 조사를 하였다.

#### · 남산 제1호 터널과 남측 환기소의 안전성 검토

남산 제1호 터널과 환기소는 각각 75 m, 63 m의 거리를 두고 있으며 터널의 구조적인 하자(균열, 누수 여부)가 있는 지, 발파 직전에 관리, 시공 담당자와 공동으로 철저한 조사 및 사진촬영을 하였고, 환기소 내에 있는 진동에 민감한 기계류의 안전성을 환기소 직원과 공동으로 점검을 하였다.

#### · 상, 하수도의 안전성 검토

1동으로부터 80 m 떨어져 있으며, 발파 직전에 상, 하수도 관리담당자와 공동으로 현지 답사를 하여 누수 및 파손 여부를 확인하고 발파 후 점검하였다.

#### · 보광동 수원지의 안전성 검토

2동으로부터 125 m 떨어져 있으며, 발파 직전에 수원지 관리 담당자와 공동으로 현지 답사를하여 시설물의 하자 등을 확인하고 발파 후 점검하였다.

#### · 하얏트호텔의 안전성 검토

구조는 철근콘크리트구조이고, 건물은 경계구역에

근접한 232 m에 위치하여 큰 영향은 받지 않더라도 발파 직전에 호텔관계자와 건물을 공동으로 점검하고, 각종 기기의 작동시험을 하며, 발파 후 건물의 균열, 유리창 파손, 각종 전자기기의 이상, 주차 차량의 파손여부를 점검하였다.

#### 나. 진동에 대한 영향권 분석

남산아파트 주변에 위치한 상하수도관이나, 수원지 및 남산터널 환기실의 각종 기계류, 하얏트 호텔의 전화 교환대 및 컴퓨터 등은 진동에 민감한 각종 장치나 장비이므로 이들의 진동에 대한 영향도 미리 파악해야 한다.

#### · A. J. Hendron(1977)에 의해 제시된 진동에 의한 구조물의 영향

- 지하터널 쇼크리트 라이닝에 미세균열이 발생하기 시작하는 진동속도 : 90 cm/s
- 지하매설 파이프 : 23 cm/s
- 지하의 콘크리트벽 : 균열과 파괴가 일어나지 않는 진동속도 허용치는 25.4 cm/s

#### · 기계류

터빈과 같이 큰 회전장비는 발파진동에 의해서 베어링 부위에 주로 피해문제가 대두된다. 발파진동의 허용수준에 대한 평가는 기계 자체에 의해서 일어나는 지속적인 축 진동의 표준 허용한계로부터 구할 수 있으며 단일 발파에서 발파진동의 한계는 최소한 자체 진동에 대한 제작 허용치 이내여야 한다.

#### · 전기장비

전기장치에 대한 미해군의 환경진동 한계

- 컴퓨터에서 가장 민감한 디스크 드라이브 : 6 cm/s
- 전화 교환설비 : 1.7 cm/s

#### (1) 발파진동 영향권 분석

- 1) 서울시 종합건설본부 건축부장
- 2) 서울시 종합건설본부 건축과장
- 3) 코오롱건설(주) 기술연구소장
- 4) 정회원, 강원대 자원공학과 교수

표 1. 주변 주요 시설물 현황

구분	대상 구조물	최단거리 (m)	비고
단독주택 #1	2동	22	• 조적조 주택 • 최인접 시설물
단독주택 #2, #3, #4	2동	65, 214, 310	• 조적조 주택
남산 제1호 터널(신설)	1동	75	• STA 0.0-1.1 km TBM 공법 • STA 1.1-1.5 km NATM 공법 • 터널폭 : 9 m
남산 제1호 터널 남측환기소	1동	63	• 변압기 2대(2KVA) • 수배전반 28면 • 고압모터 186 kw 6대 • 자동제어장치
상, 하수도	1동	70	• 상수도(소월로) φ900 mm 1Line φ1200 mm 1Line • 하수도(소월로) φ450 mm 1Line φ600 mm 1Line
보광동 수원	1동	125	• 침전조 뚜껑 없음
하얏트 호텔	2동	232	• 철근콘크리트조 • 1일 이용객 5,000명 • 컴퓨터 및 변전실 • 상당수의 차량 주차

(가) 적용식

지반진동은 붕괴된 구조물의 낙하충격에 의한 것과 폭발력으로 인한 두 경우가 있는데 일반적으로 고층건물을 수직붕괴시킬 경우 폭발력에 의한 지반진동이 같은 거리에서 측정된 붕괴구조물의 낙하충격에 의한 값보다 크다.

이 결과는 14층 높이의 건물을 수직붕괴시켰을 때 얻어지는 지반 최대입자속도와 이때 소요된 폭약의 폭발력에 의한 지반 최대입자속도를 비교한 결과 확인되었다.

이탈리아의 로베르토 폴치는 "Demolition of an Industrial Building in an urban Site"(Jr. of Explosives Engineering, Vol. 10, May/June, 1992)에서 14층 건물의 수직붕괴해체시 획득한 자료로부터 구조물의 낙하충격으로 발생한 일시적 지진파로 인한 지반 최대 입자속도( $V_{max}$ )와 충격 질량 중심으로부터 측정지점까지의 거리(R)사이에는 다음과 같은 관계가 있음을 보고하고 있다.

$$V_{max} = 167.3(R)^{-1.41} \quad (1)$$

여기서,  $V_{max}$  : 예상 지반진동(cm/s)

R : 충격질량 중심으로부터 측정지점까지 거리(m)

또한 반경 30 m이내 지역에서는 낙하충격으로 인한 일시적인 지진파의 기본 주파수는 7-70 Hz로 측정하였다. 전파매질이 콘크리트 파쇄물인 경우 발파에 의해 야기되는 기본주파수는 일반적으로 50-100 Hz이다.

발파에 의한 지반 최대입자속도는 환산거리(Scaled Distance : SD)를 사용하여 표시하면 다음식과 같다.

$$V_{max} = 24(SD)^{-2.2} = 24 \left( \frac{R}{Q^{0.5}} \right)^{-2.2} \quad (2)$$

여기서,  $V_{max}$  : 진동속도(cm/s)

R : 발파지점으로부터 측정점까지의 거리(m)

Q : 지발당 장약량(kg)

발파풍의 최대치 AOP는 환산거리에 대해

$$AOP = 2.5 SD^{-1.07} \quad (3)$$

식을 이용하여 20 m거리에서 151 dB이하가 되도록 설정하였으며 음압과 폭풍압 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$dB = 20 \log_{10}(P/P_0) \quad (4)$$

여기서,  $P_0$ 는  $2.9 \times 10^{-9} \text{lb/in}^2 (20 \times 10^{-6} \text{N/m}^2)$ 이다.

파쇄된 부재의 비산에 대해서는 100m거리를 안전거리로 설정하여고, 두꺼운 고무 벨트를 이용하여 벽기등을 덮었다.

상기 식들이 비록 14층 건물을 대상으로 하였기에 16, 17층인 남산 외인 아파트와는 다소 차이가 있을 수 있으나 일반 암발파에서 산출된 진동 및 폭풍압 예측식과는 달리 건물 발파해체에서 적용할 수 있는 혼치 않은 경험식이므로 그 결과치는 상당한 신뢰성이 있을 수 있다 하겠다.

(나) 계산 개요 및 영향권 분석

본 설계에서 의도하는 붕괴패턴은 아파트 중앙부를 중심으로 대칭되게 연결되어 있는 날개부위를 각각 11구역으로 나누어 양쪽 끝단으로부터 안쪽으로, 하부에서 상부로 차례로 수직붕괴시키는 것이다.

의도하는 붕괴패턴을 유도하기 위해서 동일 장약층내 기둥위치 및 각 장약층에 따라 천공수를 다르게 하였다. 이러한 기둥들중 천공을 가장 많이 한 곳은 1층에 있는

기둥들로써 후면에 있는 기둥 3열에 대해 각 4~5공씩, 그리고 정면부 제 1열에는 각 3공씩을 하였다.

또한 발파해체설계도면의 기폭시스템도와 같이 기둥을 일렬로 발파하는 것이 아니라 비스듬히 연결되는 기둥을 따라 기폭을 시키며, 동시에 그 구역의 대칭되는 부분에서도 지발발파를 실시한다.

실제로는 두 구역이 상당한 거리를 두고 있어서 두 구역을 동시에 지발발파를 한다고 하더라도 상호 간섭의 효과가 나타나 진동의 크기가 증가되기는 어려우나, 상기 조건에서 폭약의 극대량을 사용함에 의해 발생할 수 있는 발파진동을 추정하기 위하여 가장 많은 장약이 실시된 1층의 대칭되는 두 구역에서의 장약량을 합산하여 지발당 장약량으로 계산하였다.

- 공당 장약량 : 1/4 lb(0.113 kg)
  - 지발당 발파공 수 : (4 hole/column×3 column+3 hole/column×1 column)×2=30 공
  - 지발당 장약량 : 0.113 kg×30=3.39 kg
- 상기의 지발당 장약량과 발파진동 허용치인 0.5 cm/s 를 대입하여 역계산에 의해 해당 거리를 추정하면

$$R = Q^{0.5} \times 10^{(\text{Log}(0.524)^{2.2})}$$

$$= 10.7 \text{ m}$$

즉, 상기의 지발당 화약량에 의한 발파진동의 한계 거리는 건물 부근에 한정된다고 할 수 있다(그림 1참조).

(다) 인근 주요 시설물에 미치는 영향

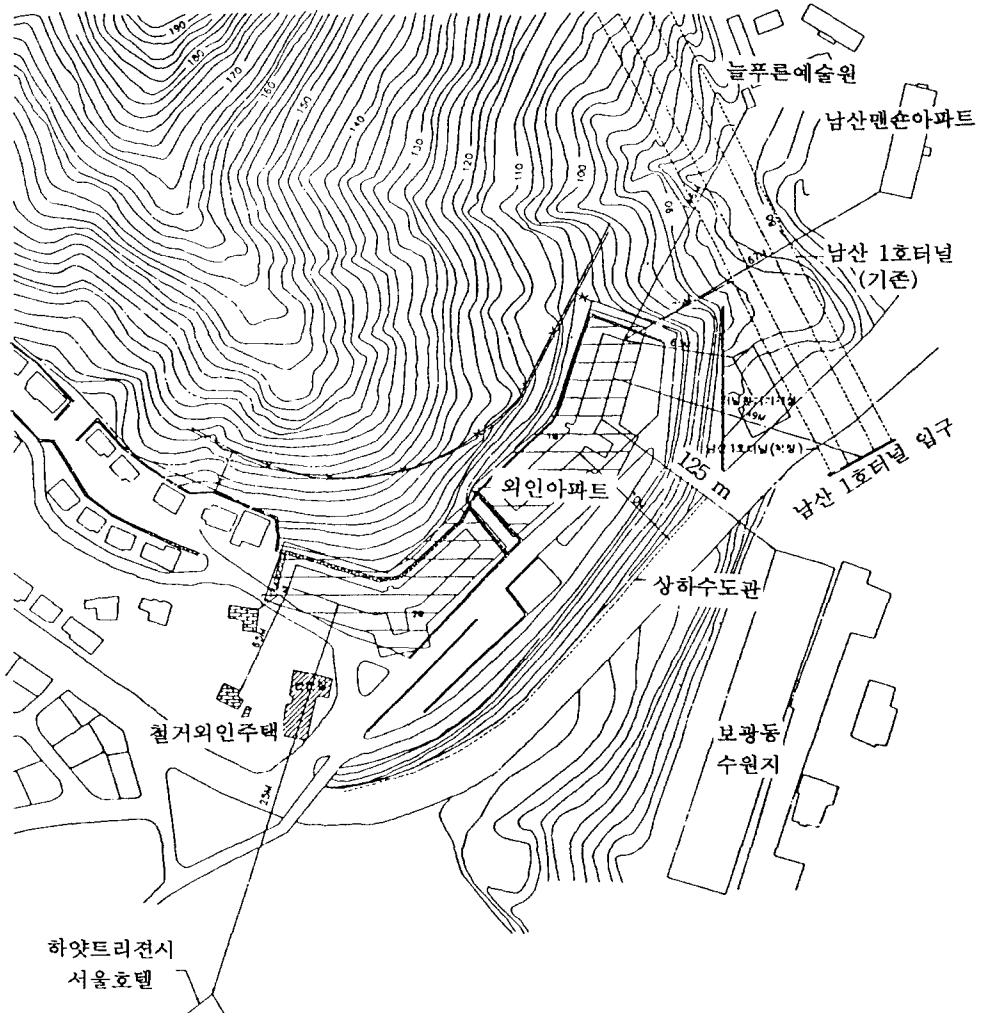


그림 1. 발파진동 영향권(진동 0.5 cm/s 기준).

상기의 식을 이용한 인근 주요 시설물에서의 발파진동 예상치는 표 2과 같다.

표에서 알 수 있듯이 최인접 건물인 개인주택 #1에 대한 예상진동치는 0.10 cm/s로서 허용치인 0.5 cm/s 보다 훨씬 작게 나타나고 있으며, 기타의 시설물들에서는 거의 0.01 cm/s 이하의 수치를 보이므로써 인체가 감지하지 못할 정도의 상당히 작은 진동이 발생할 것으로 예상되므로 인접한 모든 시설물들이 발파진동에 안전하다고 사료된다.

(라) 발파진동 저감 대책

- 디커플링 효과(Decoupling Effect)를 최대한 활용한다.
- 지발당 장약량 조절 : 발파진동에 가장 직접적으로 영향을 미치는 것이 지발당 장약량이다. 진동을 최소화하기 위해서는 표준발파가 이루어져 폭발력이 암반의 파괴에 대부분 소모되고, 잔여 에너지가 적어야 한다. 여기에서 주의할 점은 약장약의 경우에도 폭발에너지가 적으므로 진동의 발생크기가 줄어드는 것이 아니라 오히려 표준장약일 경우보다 커질 수 있다는 점이다. 즉, 이 경우 폭발에너지가 충분히 암반의 파괴에 작용하지 못하고 잔여 에너지만 많아져서 오히려 진동의 크기가 더 커지게 된다. 실제로 약장약일 경우가 표준장약일 경우보다 진동상수값이 약 20% 정도 커지는 것으로 알려지고 있다. 이에 본 설계에서는 약장약이 아닌, 건물을 붕괴시키는데 필요한 최소한의 천공으로 지발당 장약량을 감소시키기로 하는데 예를 들어 붕괴 유도방향과 반대쪽인 대상구조물 정면부의 상부 장약층내 첫번째 기둥열은 장약을 하지 않는다. 이는 사전 파쇄후 시공자의 의도대로 붕괴시키는 데는 지장이 없지만 건물의 장약부위만을 파쇄시킬

수 있을 정도의 최소한의 장약량을 산정하여 폭약의 힘에 의해서가 아닌 구조물 상호간의 충돌에 의해 해체를 시킨다는 발파해체의 가장 기본적인 원리에 부합되도록 하여 발파진동을 최소화 시키도록 설계를 하였다.

· 단발뇌관 및 비전기식 뇌관에 의한 기폭 : 전체 장약량이 일정할 때 이것을 적당한 수의 발파공으로 분산 장약하고 순발뇌관에 의한 제발을 하지않고 적당한 시차로 지연(MS)발파를 하면 이 때의 지반진동은 단수의 증가에 따라 훨씬 감소한다. 그 원인은 시차에 의한 지반진동의 분할과 진동과의 간섭에 의하여 지발당 장약량이 독립적으로 순발발파를 하였을 때의 진동상태보다 훨씬 낮아지기 때문이다. 즉, 수 밀리 초 정도의 지발시간의 오류에도 상호 간섭효과가 매우 달라지므로 발파조건과 구조물의 상태에 따라 매우 정확하고 정밀하게 지발간격을 조정해야 한다. 이를 위해 본 설계에서는 40년간 6 천여건의 발파해체 시공경험을 통해 제작된 C.D.I.의 DIVELCONTM™ 시스템에 의해 최적의 단발 시차를 설계하여 붕괴 유도방향, 발파 및 충격진동을 최소화시키도록 계획하였다.

(2) 충격진동 영향권 분석

일반적으로 발파에 의한 주파수 50 - 100Hz는 낙하 충격에 의한 주파수 7 - 17Hz보다 높다. 따라서 DIN 4150에서는 발파와 낙하충격에 의한 탄성파의 주파수가 상이한 점을 고려하여 표 3에서 보는 바와 같이 두 개의 상이한 안전 한계를 규정하고 있다.

(가) 적용 식

로베르트 폴치에 의하면 14층 구조물이 수직 붕괴되었을 때 예상 지반진동은 다음과 같으며 예상 주파수의 범위는 30 m 지점에서 7-17 Hz이다.

$$V_{max} = 167.3(R)^{-1.41} \tag{5}$$

여기서,  $V_{max}$  : 예상 지반진동(cm/s)

R : 충격질량 중심으로부터 측정지점까지 거리(m)

표 2. 발파진동 예상치

시설물명	대상건물	최단거리 (m)	발파진동 (cm/s)
1호 터널 남측환기소	1동	63	0.01
남산 1호 터널		75	0.01
상하수도		70	0.01
보광동 수원지		125	0.00
단독주택 #1	2동	22	0.10
단독주택 #2		65	0.01
단독주택 #3		214	0.00
하얏트호텔		232	0.00
단독주택 #4		310	0.00

표 3. 독일 DIN 4150 (단위 : cm/s)

건물형태	발파진동	충격진동
주거용 건물	2.0	1.0
공장 건물	5.0	3.0

(나) 영향권 분석

식에서 충격질량 중심으로부터의 거리는 남산아파트 1동 및 2동 중심부인 각 코어(core)부분의 중심점으로부터 각 시설물까지의 거리로 설정하였다.

상기의 식에서 우리나라 지하철 공사 현장의 진동한계치인 0.5 cm/s를 대입하여 역계산을 해보면

$$R = 10^{(-\text{Log}(0.5167.3)^{1.41})} = 62\text{m}$$

즉, 각 건물의 코어 중심점으로부터 62 m 외부에 위치한 시설물은 안전하다고 할 수 있다.

(다) 인근 주요 시설물에 미치는 영향

상기의 결과를 분석해 보면 1동의 붕괴시, 충격진동에 의해 가장 많이 영향을 받는 시설물은 상수도관으로서 0.37 cm/s의 진동이 예상되며 2동의 붕괴시에는 최인접 개인주택이 0.36 cm/s 로써 가장 크게 진동의 영향을 받을 것으로 예상되지만 모든 시설물에서의 진동치가 허용 한계치인 0.5 cm/s 이하에 머무를 것으로 보인다. 또한 두 건물의 동시붕괴에 의한 진동의 중첩효과를 고려하더라도 허용 한계치 이하의 진동발생이 예상된다.

결과적으로 1동 및 2동의 아파트가 동시에 붕괴하더라도 충격진동이 인접건물에는 피해가 없을 것으로 사료된다.

(라) 충격진동 저감대책

적절한 장약충선정 : 고층건물의 경우에는 발파층 수의 간격으로 조절하고 있는데 본 설계에서는 건물의 전체층 수, 충격진동 영향, 파쇄물의 크기 등을 고려하여 16층 높이인 1동의 경우 1, 2, 6, 10, 14층에, 17층인 2동의 경우 1, 2, 3, 5, 9, 12, 15층에 장약을하여 지반과 가까운 층을 먼저 발파하므로써 파쇄된 파편들이 지

표 4. 충격 진동 예상치

시설물명	A동 붕괴		B동 붕괴	
	거리 (m)	진동 (cm/s)	거리 (m)	진동 (cm/s)
1호 터널 남측환기소	90	0.29	226	0.08
남산 1호 터널	118	0.20	259	0.07
상하수도	77	0.37	174	0.02
보광동 수원지	130	0.17	224	0.08
단독주택 #1	210	0.09	78	0.36
단독주택 #2	243	0.07	100	0.25
단독주택 #3	385	0.04	277	0.06
단독주택 #4	474	0.03	374	0.04
하얏트호텔	380	0.04	244	0.07

반에서 완충제 역할을 하여 충격진동을 최소화시킬 계획이다.

이때 중요한 점은 발파해체시 붕괴구역의 순서가 건물의 단순히 수평적 절단의 개념이 아닌 수평적 절단 및 수직적 절단으로 유도한다는 점이다.

즉, 남산아파트와 같이 높이보다 길이가 훨씬 더 긴 구조물의 경우, 또는 진동속도의 감소가 특별히 요구되는 발파해체에서는 건물을 각 발파층간에 일정한 단차를 두고 마치 두부를 자르듯이 수직으로 붕괴를 시키면서 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 붕괴패턴을 유도시키면 이미 파쇄된 잔재에 의해 낙하충격을 상당히 감소시킬 수 있다.

다. 환경영향권분석

(1) 소음 영향권 분석

발파해체공법의 가장 큰 장점은 공사중에 소음이 적다는 것이다. 발파시 수 초이내의 폭음은 건물이 무너지면서 발생하기는 하나 장약부위 및 대상 구조물의 유리창 및 출입구 등의 개구부에 1, 2차 방호를 비롯한 3차 방호수단인 비계를 설치하므로 기타 해체공법에 비하면 소음은 적다고 할 수 있다. 오히려 해체작업에 부가되는 장비사용시 발생하는 소음이 문제가 될 소지가 있다.

(가) 소음 영향권 분석

발파해체작업에서 발생하는 소음은 크게 천공작업이나 파쇄된 암석을 적재, 운반하는 중 기계류에서 발생하는 기계적 소음과 발파소음으로 구별된다.

발파에 의한 소음은 C.D.I.의 통계를 비교해 보면 사용하는 측정 위치, 폭약량 및 풍향조건 등에 따라 차이가 있으나 약 20 m 지점에서 70-120 dB 정도의 소음이 발생하나 5초 이내의 순간적인 소음이므로 인접 주요 건물들에 대해 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

기계적 소음은 일반적으로 음원의 주위가 개방되어

표 5. 소음이 미치는 영향

음압수준(dB)	인 체	구조물
180		구조물 손상
170		대부분의 창유리파손
150	고막손상	창유리 약간 파손
140		창유리 파손 안됨
120	통증을 느낌	
100	장기간에 난청	
80	안전	

있으며, 소음의 발생시간이 짧고, 불연속적이며, 이동성이 있다. 이러한 음원에는 브레이커, 크레인 및 공기 압축기 등을 들 수 있다.

본 공사에서 사용하는 장비중 소음도에 있어서 가장 문제가 되는 장비는 표 6에서 보는 바와 같이 천공작업 시 사용하는 천공기라고 할 수 있는데 15 m에서 91 dB이 발생하므로 노동부의 65 dB, 환경처의 55 dB보다 상당히 높은 수치이다. 이 수치는 음원이 개방되어 있을 때를 기준으로 산정된 점과 천공 등의 준비공사는 건물의 실내에서 수행된다는 점을 감안하면 최인접 개인주택(22 m 이격) 및 주요 인접 건물들에 대한 소음공해는 거의 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

또한 다음과 같은 진동저감 방법을 이용한다면 천공기에 의한 소음 뿐 아니라 기타 장비에 의한 소음도 상당수준 감소시킬 수 있다고 분석된다.

(나) 소음 저감 대책

① 천공작업시

- 천공 작업시에 발생하는 소음의 외부유출을 줄이기 위해 천공 층의 창문이나 출입문 등의 개구부에 그라스 울, 스폰지, 담요 등의 간단한 방음재를 이용하여 차음막을 설치한다.
- 천공 작업시에는 작업자에게 귀마개, 귀덮개, 방진장갑 등의 보호장비를 필히 착용하도록 한다.

② 장비사용시

㉞ 페이로더, 백호, 트럭, 로울러 등을 사용할 때

- 배기구에 흡음기구 설치
- 케이싱에서 외부로 투과하는 음을 방지하기 위해 차음기구 설치
- 트럭은 주민이 다수 거주하는 건물 주위에서 서행 유도(40km/h)

㉟ 공기압축기

- 장비를 가설 구조물, 현장사무실 또는 남산아파트 또는 남산아파트와 남산 기슭사이에 배치시켜 이들에 의한 차음 효과를 이용한다.

㊱ 재활용 크러셔

- 장비 주위에 차음막 설치

③ 작업장 주위

- 소음 · 진동방지 시설업체에 의뢰하여 작업현장 주위에 2차 차음벽 설치

④ 발파시

- 시험발파시 소음측정을 실시하고, 이 수치를 참조하여 장약 부위 주위에 설치하는 1차 방호막의 강도를 조절한다.
- 발파소음은 바람이나 온도의 영향을 많이 받으므로 전파경로에서 차단하기 위해 완전전색이 이루어 지도록 한다.

(2) 폭풍압 영향권 분석

(가) 폭풍압에 의한 영향

폭풍압은 발파시 발생하는 충격파가 공기중을 전파함에 따라 발생한다. 가청영역의 주파수를 가지는 파동과, 가청영역은 아니지만 건물을 진동시켜 이차적 소음을 발생시키거나 균열을 전파시키게 되므로써 가청영역의 파동보다 오히려 더 위험한 저주파의 파동을 통틀어 말한다.

폭풍압의 영향은 구조물의 경우 창문에 가장 먼저 나타난다. 일본 통상성에 의해 실시된 연구결과에 따르면 창문유리가 파손되기 시작하는 폭풍압은 0.02 kg/cm<sup>2</sup>이며 약 160 dB에 해당한다.

폭풍압이 구조물에 미치는 피해는 다음 표 7과 같다. 위의 표 7에 의하면 음압수준이 169 dB 이상이 되면 유리창이 깨지기 시작하고, 171 - 174 dB 이면 유리창이 거의 파손된다.

(나) 적용 식

로베르트 폴치에 의한 폭풍압 계산식은 다음과 같다.

$$P = 2.5(SD)^{-1.07}$$

(6)

표 6. 사용기계류 소음도

사용기계류 용도	작업환경	특징	소음발생량: 15 m 이격 시 (dB)
백호 (Back Hoe)	파쇄물 처리	실외 · 대형 · 유압식	75
페이로더	파쇄물 상차	실외 · 유압식 · 타이어식	80
천공기	장약공 천공	실내 · 형식:TY 24 LD · 공압식	91
공기압축기	천공	실외 · 375 cfm	76
절단기 (TAC-R)	사전 파쇄작업	실내 · 외 · 절단속도: 20 m/분	86
덤프트럭	파쇄물 운반	실외 · 15 t/2.5 t	75
진동로울러	토공사	실외 · 1.7 t	75
파쇄기 (Crusher)	파쇄물 재활용	실외 · 150 t/h · 임팩트식	83

여기서, P : 폭풍압 (lb/in<sup>2</sup>)

SD : 환산거리 (ft/lb<sup>0.5</sup>)

또한 음압과 폭풍압 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$dB = 20\log_{10}(P/P_0) \quad (7)$$

여기서, P<sub>0</sub>는 2.9×10<sup>-9</sup> lb/in<sup>2</sup>(20×10<sup>-6</sup> N/m<sup>2</sup>)이다.

(다) 폭풍압 영향권 분석

발파진동 계산과정과 마찬가지로 환산거리는 남산아파트에서 각 인접 시설물까지의 최단거리를 지발당 장약량으로 나누어 산정하였다.

즉, 지발당 최대 장약량을 사용할 때 발생할 수 있는 폭풍압을 추정하기 위하여 가장 많은 장약이 실시된 1층에서 상당한 거리가 떨어져 있으며 대칭되는 두 구역에서의 장약량을 합산하여 지발당 장약량을 계산하였다.

- 공당 장약량 : 1/4 lb(0.113 kg)
- 지발당 발파공 수 : (4 hole/column×3 column+3 hole/column×1 column)×2=30 공
- 지발당 장약량 : 0.113 kg×30=3.39 kg

위의 지발당 장약량과 유리창이 파손되기 시작하는 기준치인 169 dB을 대입하여 역계산에 의해 해당 거리를 추정하면 다음과 같다.

$$P = 10^{dB/20} \times P_0$$

$$R = Q^{0.5} \times 10^{(-Log(P/2.5))1.07}$$

$$= 2.37 \text{ m}$$

따라서 폭풍압에 의한 영향은 붕괴 건물 내부로 한정되므로 인접 건물에 대해서도 안전한 것으로 판단된다.

(라) 인근 주요 구조물에 미치는 영향

위의 결과를 분석해 보면 단독주택 #1에서 148 dB로 나타나고 있으며 대체적으로 거리에 따라 120-140 dB 까지 다양한 발생 예상치를 보이고 있는데 모두 일

본 통산성 및 山本の 허용 한계치 160-169 dB 이내의 수치를 보이고 있다.

2중 방호막에 의한 폭풍압 차단효과가 폭풍압의 크기를 상당히 감소시켜 줄것으로 예상되므로 폭풍압에 의한 피해도 발생하지 않을 것으로 사료된다.

(마) 인접 시설물 방호대책

· 최인접 개인주택 : 임시 방호막을 설치  
개인주택 3 m 전방에 높이 5 m 정도의 방호막을 부직포와 철망을 이용하여 설치한다.

(바) 폭풍압 저감 대책

① 장약기동 조절

폭풍압 및 비석은 상부층에서 발생하는 것 일수록 더 먼 곳까지 영향을 미치므로 아파트 1, 2층을 제외한 상부층의 정면부 최외곽 기둥 옆에 대해서는 장약을 하지 않는다.

② 방호

- 장약 기둥 외부에는 부직포와 철망을 사용하여 1차 방호를 한다. 이때 폭풍압 발생이 비교적 심하게 발생할 것으로 예상되는 1차 모서리 기둥은 2중으로 방호를 하여 1차 방호로써 폭풍압을 완전히 제거시킨다.
- 기타 상부층의 장약기둥에는 부직포와 철망을 사용하여 2중으로 방호를 한다. 그러므로 창문 등의 개구부에는 2차 방호가 필요치 않은데 이런 방법이 한계의 1차 방호 후에 2차 방호를 한 것보다 훨씬 더 방호효과가 좋다는 CDI의 오랜 경험에서 비롯됐다.
- 전체 폭약의 상당 비율이 1, 2층의 하부에 집중되어 있으므로 이에 대한 방호조치로 건물외곽 1 m 지점에 3 m 높이로 부직포와 철망을 이용하여 비계를 설치한다.

표 7. 폭풍압에 의한 피해 범위(山本에 의한)

폭 풍 압		피 해 정 도
kg/cm <sup>2</sup>	dB	
0.06	169	창유리의 파손이 시작
0.08-1	171-174	창유리가 거의 파손
0.15-0.2	177-180	창틀 및 건축 부착물의 파손 시작
0.25-0.3	182-183	창틀 및 건축 부착물의 파손
0.4-0.5	186-188	기왓장이 파손
0.6-0.7	189-190	지붕받침, 기둥 등의 파손
1.5	197	약 15평 정도의 가옥이 파손

표 8. 인근 구조물에 대한 폭풍압의 크기

시설물명	대상건물	최단거리 (m)	폭풍압 (dB)
1호 터널 남측환기소	1동	63	139
남산 1호 터널		75	137
상하수도		70	138
보광동 수원지		125	132
단독주택 #1	2동	22	148
단독주택 #2		65	138
단독주택 #3		214	127
하얏트호텔		232	126
단독주택 #4		310	123

③ 천공

천공오차를 최소한으로 줄여 과장약이나 집중장약이 되지 않도록 한다.

④ 발파 시차간격 조절

각각의 발파공으로부터 발생하는 폭풍압이 중첩되어 강화되는 것을 피하기 위하여 연속되는 발파의 시간간격을 다음과 같이 설계한다.

$$T \geq 2(SV) \tag{8}$$

여기서 T : 장약공간 기폭시차(s)

S : 공간 간격(m)

V : 온도에 따른 음파속도(m/s)

(3) 비석 영향권 분석

(가) 적용 식

비석거리는 공당 장약량에 비례하고 최소저항선에 반비례한다.

비석의 거리를 산정하는데 있어서 일반적으로 다음과 같은 경험식을 사용한다.

$$L = 20 \frac{(Q^{1/3}/W)^2}{g} K \tag{9}$$

여기서, L : 비석거리 (m)

Q : 공당 장약량 (kg/hole)

W : 최소저항선 (m)

K : 경험상수 (0.3-3.0)

g : 중력 가속도 (9.8 kg/m<sup>2</sup>)

(나) 비석 영향권 분석

상기의 식에서 최소저항선은 비석발생이 가장 크다고 판단되는 1층의 최외각 기둥(45 cm×75 cm)을 기준으로 산정하였으며 경험상수로 2를 사용시는 비석거리가 19 m, 3을 사용시는 28 m로 나타난다.

즉, 최대 비석거리는 28 m이므로 최인접 주택이 비석 영향권내에 속해 있으며 이에 대한 대책이 마련되어야 한다. 또한 일반적으로 건물의 모서리 부분에서, 그리고 상부층으로 갈수록 비석거리가 길어진다는 점을 고려하여야 한다.

(다) 인접 시설물 방호대책

- 최인접 개인주택 : 임시 방호막을 설치.

개인주택 3 m 전방에, 높이 5 m 정도의 방호막을 부직포와 철망을 이용하여 설치한다.

(라) 비석 방지 대책

① 붕괴 유도 방향

붕괴 유도 방향을 수직붕괴와 함께 아파트 뒤쪽의 남산 기슭으로 약간의 경사를 이용한 붕괴기구를 형성시켜 아파트 앞쪽 및 인근 시설물에 비석의 피해를 완전히 제거시킬 방침이다.

② 천공 및 장약

㉞ 천공오차를 최소한으로 줄여 과장약이나 집중장약이 되지 않도록 한다.

㉟ 폭풍압 및 비석은 상부층에서 발생하는 것 일수록 더 먼 곳까지 영향을 미치므로 아파트 1, 2층을 제외한 상부층의 정면부 최외곽 기둥 열에 대해서는 장약을 하지 않는다.

㊱ DSD뇌관을 사용하여 최대로 분산 발파효과를 이용한다.

㊲ 장약기둥 조절

폭풍압 및 비석은 상부층에서 발생하는 것 일수록 더 먼 곳까지 영향을 미치므로 아파트 1, 2층을 제외한 상부층의 정면부 최외곽 기둥 열에 대해서는 장약을 하지 않는다.

㊳ 방호

- 장약 기둥 외부에는 부직포와 철망을 사용하여 1차 방호를 한다. 이때 비석 발생이 비교적 심하게 발생될 것으로 예상되는 1층 모서리 기둥은 2층으로 방호를하여 1차 방호로써 폭풍압을 완전히 제거시킨다.
- 기타 상부층의 장약기둥에는 부직포와 철망을 사용하여 2층으로 방호를 한다. 그러므로 창문 등의 개구부에는 2차 방호가 필요치 않은데 이런 방법이 한걸의 1차 방호 후에 2차 방호를 한 것보다 훨씬 더 방호효과가 좋다는 CDI의 오랜 경험에서 비롯됐다.
- 전체 폭약의 상당 비율이 1, 2층의 하부에 집중되어 있으므로 이에 대한 방호조치로 건물외곽 1 m 지점에 3 m 높이로 부직포와 철망을 이용하여 비계를 설치한다.

(4) 분진 영향권 분석

(가) 영향권 분석

발파해체공사시 발생하는 분진을 발생원인별로 분류하면 다음과 같다.

- 발파시 가스력에 의한 구조물의 파쇄
- 붕괴시 구조물 상호간의 충돌작용
- 파쇄물 착지시 기존 지면 및 잔재와의 충돌
- 잔재처리 작업



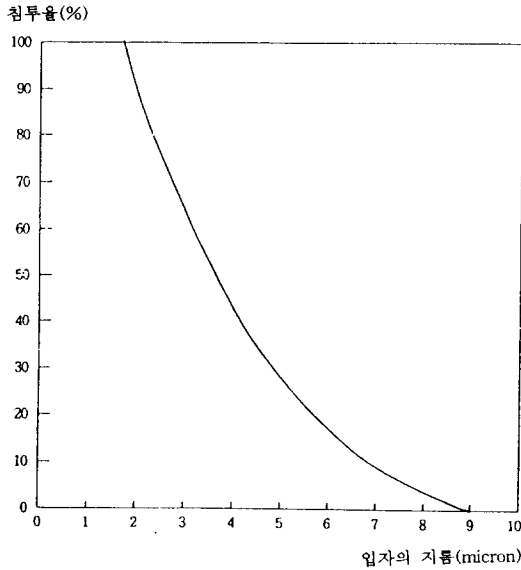


그림 2. 분진입자의 크기와 체내 침투율과의 관계

여기서 잔재처리 작업시 발생하는 분진은 밀도 및 발생하는 양에 있어서 큰 문제가 되지 않는다고 할 수 있으므로 대부분이 발파해체의 일순간에 발생하는 분진이 가장 문제가 된다고 할 수 있다.

CDI의 연구에 의하면 발파점 기준 반경 50 m이내에 대부분의 분진이 모여 있다는 점을 밝혀냈다. 또한 건물이 붕괴되면서 발생하는 분진은 대부분 콘크리트와 쇠로 인한 석영질 결정입자들으로써 무게가 무거워서 발파 후 2-3분 내외에 가라앉는다.

그러므로 50 m이내의 거리에 위치한 인근의 개인주택(22 m) 및 125 m 이격되어 있지만 분진에 대하여 특별한 방호가 필요한 보광동 수원지가 주된 분진 영향권이 된다고 할 수 있다. 한편 CDI는 분진 직경의 기하평균은 81 μm 이상의 직경을 가진 입자들의 비율이 약 90% 된다는 것을 밝혀냈는데 다음의 그림 2을 보면 이 정도의 직경은 인체의 호흡기 계통에 대한 피해는 사실상 무시할 만하다는 것을 알 수 있다.

(나) 풍향을 고려한 분진검토

① 서울시 기상자료

- 자료 취득 기관 : 기상청
- 자료 취득 일시 : 93년 10월 9, 16, 23일(토요일)
- 자료 구성 요소 : 풍향, 풍속(m/s)

② 분진 발생 경향 예측

본 공사와 관련하여 예상되는 비산 먼지는 실제로 발

표 9. 서울시 기상자료

일자	9		16		23	
시각						
17	SSW	5.0	WNW	4.3	WSW	2.2
18	SW	5.0	WNW	4.2	W	1.2
19	SW	4.0	WNW	2.2	N	1.3
20	SW	4.0	W	2.3	N	0.5

표 10. 배출 분진 총량

배출원 단위	건자재별 단위중량	폐건자재 구조물 량	배출분진 총량
0.17 g/t	· 철근콘크리트: 2,400 kg/m <sup>3</sup> · 시멘트 모르타르: 2,100 kg/m <sup>3</sup> · 화강암: 2,500 kg/m <sup>3</sup>	· 철근콘크리트: 21,743 m <sup>3</sup> · 벽돌: 9,65 m <sup>3</sup> · 화강암: 9 m <sup>3</sup>	· 철근콘크리트: 12,320 g

파에 의한 건물붕괴시 건축구조물에 의한 먼지가 주를 이루며 그외 발파전 건물내 존재하던 생활분진과 발파 후 건물붕괴시 풍압으로 인하여 건물주위의 먼지가 재비산하므로써 높은 농도의 비산분진이 발생된다. 따라서 발파해체시 먼지발생의 주가 되는 건물붕괴로 인한 분진발생량을 예측하기 위하여 분진 배출량의 산정은 원단위(0.17 g/t)를 적용하였다. 이는 발생하는 미세입자들 중 입경이 30 μm 이하인 입자들만을 고려한 것이며 단기적인 예측모델인 TEM(Texas Episodic Model-Version8)을 이용하였다. 기상자료는 서울시 중앙기상대 자료를 조사, 분석하여 공사장을 중심으로 한 주풍향 및 풍속의 평균 자료를 채택하여 예측하였다.

분진의 배출량 산정결과 총 12,320 g이 발생할 것으로 산정되었으며 이를 TEM-8의 최단 평균화 시간인 1시간을 적용하여 입력하였다.

산정된 분진의 배출량과 분석된 기상자료에 기초하여 3가지 경우의 기상조건을 고려하고 이를 TEM-8모델을 이용하여 예측을 실시하였으며, 그 결과는 다음의 표 11과 같으며, 등농도곡선을 작성하였으나 본 보에서는 생략하기로 한다.

(다) 분진 대책

① 발파전 작업시

- 붕괴유도 방향

남산외인 아파트는 정면부가 개방되어 있고 뒤쪽으로 남산기슭이 있다는 위치적 특성을 이용하여 건물의 붕괴를 약간 뒤쪽으로 유도하므로써 건물 앞쪽에 있는

시설물에 대해 붕괴시 발생하는 분진에 의한 영향을 어느정도 차단시킬 수 있다.

· 건물 내부 청소

CDI의 경험에 의하면 사전파쇄 및 천공시 남아있던 부스러기 및 먼지들이 붕괴되는 과정에서 공기중으로 분산되어 분진발생을 가속화시키는데 이것이 전체 분진량중 적지 않은 비율을 차지한다. 그러므로 사전파쇄 및 천공 직후 반드시 모든 장약층 내부를 깨끗하게 치워주어야 한다.

· 사전파쇄 및 천공작업

발파전 사전 파쇄 및 천공시는 대상 부위에 적당량 살수를 한다.

착암공의 안전을 위해서 방진마스크 등의 보호구 착용을 습관화한다.

· 최인접 개인주택 및 보광동 수원지

주택전반에 걸쳐 지붕위로 비닐천막을 씌우고, 수원지 상부는 비닐 천막을 씌운다.

· 잔재처리 작업시

현장주변과 장비주위에 방진벽(방음벽)을 설치하여 외풍의 직접적 영향을 감소시키며, 분진의 발산을 방지하고, 트럭 등의 운반차량에는 덮개를 필히 씌운다.

## 제 4장 발파해체작업

### 1. 내장재 및 특정 폐기물 철거

내장재 철거란 각종 배관재 및 창호재, 수장재, 천정재, 아스타일, 철재류, 알루미늄 샷시, 석면 유리섬유, 생활쓰레기 등 건물 내부에 설치되어 있는 폐자재를 미리 제거시키는 것을 말하는데 재활용 가능한 자재의 회수, 발파후 인체에 해로운 부유성 자재의 제거, 원활한 붕괴거동을 목적으로 실시하는 작업이다. 여기서 특히 주의하여야 할 대상은 유리섬유, 석면 등의 부유성 내장재로써 제거하지 않을 경우 발파후 오랫동안 공기중에 잔존하게 되어 인체에 상당히 해로운 영향을 미치게 된다.

본 공사에서는 알루미늄 샷시, 배관 등의 철재류, 폐전선들을 20여일에 걸쳐 인력에 의하여 철거, 회수하여 재활용업자에게로 각각 운반을 하였고, 아스타일, 석면, 스테트릭스, 옥상방수재 등의 특정폐기물을 735톤 수거하여 산업폐기물처리 지정업체인 대정환경에서 처리를 하였다.

### 2. 비내력벽 철거 및 사전파쇄

사전파쇄란 구조물의 주요 지지점에 장약된 폭약의 발파효과를 높이고 구조물의 용이한 붕괴와 계획된 방향 및 장소로의 정확한 붕괴 또는 전도를 유도하기 위하여 사전에 구조물을 파쇄하여 취약하게 만드는 것으로 본 구조물의 경우 폭약이 설치되는 층의 비내력벽을 인력 및 장비로 철거하고 각 층 계단부와 일부 내력벽에 대하여 취약화를 실시하므로써 사용 폭약량을 감소시키고 계획된 전도 및 붕괴방향을 정확히 유지할 수 있으며 붕괴시 낙하하는 부재의 크기를 줄일 수 있으므로 충격에너지로 인한 지반 진동을 감소시킨다.

사전파쇄는 모든 발파층의 내부 비내력벽과 최저층 계단 및 외벽, 그리고 전단벽과 같이 강성이 큰 부재가 있는 경우에는 그 부재중 일부분에만 실시하며, 구조물의 붕괴기구에 영향을 줄 수 있는 모든 발파층의 계단 부위는 상부와 하부를 이중으로 절단하여 철근을 노출시킨다. 사전파쇄 작업이 부족하였을 경우, 즉 제대로 사전파쇄 작업을 실시하지 않았을 경우에는 붕괴거동이 계획한 대로 이루어지지 않을 가능성이 있는 반면, 과도하게 하였을 경우에는 공사도중 구조물이 붕괴되

표 11. 각 사례별 오염예측 결과 (단위 : mg/m<sup>3</sup>)

예측지점	조건		
	Case 1 주풍향:NE 풍속:3.64 m	Case 2 주풍향:W 풍속:7.51 m	Case 3 주풍향:NE 풍속:1.00 m
늘 푸른 예술원	93 (12.9)	11 (109)	351 (3.4)
남산 맨션 아파트	31 (38.7)	4 (300)	155 (7.7)
터널 환기기계실	236 (5.1)	30 (40)	2,030 (0.6)
보광동 수원지	85 (14.1)	27 (44)	441 (2.7)
하얏트 호텔	-	9 (133)	-
개인주택 #1	448 (2.7)	59 (20)	1,428 (0.8)
개인주택 #2	448 (2.7)	59 (20)	1,428 (0.8)
개인주택 #3	6 (200)	-	-

\* ( )는 가시거리 예측결과, 조건에 관계없이 많은 영향을 받게 되는 곳은 보광동 수원지와 터널환기 기계실이며 전반적으로 주풍향이 북동풍일때 영향 지역이 적게 나타난다.

기도 한다. 이러한 예가 1978년 11월 11일 미국의 미주리주에서 발생하였는데 Connor호텔을 사전파쇄하던 중 과도한 파쇄로 인하여 9층짜리 건물이 발파 하루 전날 붕괴하여 작업인부 2명이 사망하는 사건이 발생한 사례가 있다. 이러한 사고를 방지하기 위해선 철저한 구조해석을 통하여 사전파쇄부위를 정확하고, 알맞게 선정하여 시공하는 것이 필수적이다.

또한 사전파쇄 작업은 각종 중장비를 사용하여 협소한 공간 내에서 실시되고, 모든 방향에서 파쇄물이 낙하할 위험이 항상 존재하므로 구조물 내외에서 세심한 관리감독이 요구되며 작업장내 승강기 통로, 외벽 파쇄부위, 계단부 등과 같은 위험구역에 대해서는 안전선을 설치하는 등의 필요한 안전조치를 취한다.

본 공사에서는 1동은 1, 2, 6, 10, 14층, 2동은 1, 2, 3층 일부, 5, 9, 12, 15층을 발파층으로 선정하여 각층의 외벽을 제외한 모든 내부 비내력벽과 최저층 계단 및 외벽, 그리고 중앙코아부의 일부분에 대해 사전파쇄를 실시하였으며 모든 발파층의 계단부위는 상부와 하부를 이중으로 절단하여 철근을 노출시킨다.

사전파쇄시 특기할 만한 사항은 2동의 1월부터 7월까지는 1층이 없고 2층이 지표면과 접하므로 3층 1월부터 8월까지 내부벽체에 대해 사전파쇄를 실시하였는데 이것은 구조물이 발파후 충분히 필요한 운동에너지를 갖기 위해서는 최소한 2층 높이까지 파쇄해야 하기 때문이며 2층 8월과 9월 기둥 사이 슬라브는 약 30 cm 폭으로 절단시켜 놓아 붕괴거동에 지장이 없도록 하였다.

사전파쇄작업시 다음 사항에 주의하여야 한다.

- 사전파쇄작업 후의 파쇄물은 모두 밖으로 반출시켜야 한다.
- 천정재 및 문틀은 인력으로 제거하며 각종 배관은 산소 절단기를 사용하여 건물내부에서 절단, 건물 밖으로 운반한다.
- 각 층의 콘크리트 계단의 상하부는 건물 붕괴시 붕괴가 용이하도록 각각 계단 한단씩 파쇄하여 철근을 노출시키고 주발파층인 1층의 계단은 철거를 한다.
- 사전 구조분석에 의하여 일부 전단벽도 철거시킨다.
- 2동 8월의 기둥들과 연결되는 보와 슬라브는 철근이 노출되도록 하고 발파에 앞서 노출된 철근중 일부는 절단한다.
- 일단 노출된 철근은 방호가 용이하도록 벽단면과 평행할 정도로 절단시켜야 한다.

2동 1층의 기둥 1열에서 8열까지는 존재하지 않으므로

이부분에 대한 3층의 사전파쇄는 2층과 동일하게 한다.

- 전단벽의 파쇄 길이 오차는  $\pm 7.5$  cm 이내가 되도록 한다.

### 3. 천공

천공은 구조부재에 폭약을 장전하기 위하여 작업기를 사용하며, 구조물의 용이한 파쇄효과 및 안전을 고려한 일부층의 주요 지지부재와 일부 내력 구조부재에 실시하게 된다. 천공수는 부재당 4~1개씩의 수평천공을 하는데 수평천공을 하는 이유는 천공과 방호, 장약작업이 경사천공보다 훨씬 용이하고 안전하기 때문이다. 천공시에는 소음치가 보통 100 dB 이상 발생하므로 작업원의 소음에 대한 보호대책이 요구되는 바 작업원에게는 귀마개 및 방진장갑, 안전모 등을 필수적으로 착용시킨 상태에서 작업을 실시하도록 해야한다. 또한 천공이 어려운 상층부 외곽부재의 천공시에는 안전보호대를 반드시 착용한 후 천공을 실시하도록 한다.

본 공사 수행시 가장 어려웠던 점은 기둥의 단면에 비하여 35 mm 이형철근을 비롯한 다수의 철근이 배수되어 있었던 것으로 천공에 상당히 애로가 많았다. 이처럼 철근에 막혀 천공이 어려울 경우에는 그 부근에 재천공을 실시하였으며 이런 식으로 모두 2,412공을 천공하였다.

천공시 다음 사항에 주의한다.

- 천공후 공청소를 철저히 한다.
- 천공이 끝난 부위는 구멍 입구를 종이나 기타 다른 물질로 틀어막아 표시하여 장약전 점검이 용이도록 하고 이물질이 들어가는 것을 방지해야 한다.
- 모든 천공은 기둥이나 전단벽의 중심을 지나도록 천공하여야 한다.

가. 기둥

- 기둥의 위치에 따라, 천공의 방향은 구조물 정면을 기준으로 뒤쪽의 한 열은 후면쪽으로 나머지 열은 정면쪽으로 천공해야 한다.
- 모든 기둥의 천공경은 40 mm로 해야 한다.
- 천공은 수평(천공각 0°)으로 하며 그 오차는  $\pm 5^\circ$  이내여야 한다.
- 천공장은 기둥 단면 두께의 75%로 한다.
- 천공위치는 천공수에 따라 다음을 기준으로 한다.

(1) 4공 천공시

- 기둥 양 단부로부터 기둥 폭의 1.25배에 해당하는 길이만큼 이격시킨 거리에 각 1공씩 천공한다.
- 상기 천공간의 간격을 3등분한 지점중 중앙 2지점에 2공을 천공한다.

(2) 3공 천공시

- 기둥길이의 0.5배 되는 위치에 1공 천공한다.
- 상기 천공점을 기준으로, 상하로 기둥 폭의 1.25배 이격된 위치에 나머지 2공을 천공한다.

(3) 2공 천공시

- 기둥길이의 0.5배 되는 위치를 중심으로, 상하 기둥폭의 0.625배 되는 위치에 2공을 천공한다.

(4) 1공 천공시

- 기둥길이의 0.5배 되는 위치에 1공을 천공한다.

(5) 이외에도 주철근 수에 따라 천공 천공위치는 다음과 같이

- 짝수인 경우 : 천공이 중심부를 통과하도록 한다.
- 홀수인 경우 : 철근 바로 옆으로 경사지게 천공을 하고 기둥의 중심부를 지나도록 한다.

나. 전단벽

- 천공 직경은 25 mm로 한다.
- 모든 천공은 수평방향으로 하며 수평축과 ±5°이 내로 해야 한다.
- 철근이 있는 부위는 토치로 절단시킨후 천공을 한다.
- 천공장은 대상 전단벽 길이의 0.75배로 한다.
- 천공위치는 천공수에 따라 다음을 기준으로 한다.

(1) 3공 천공시

- 벽체 양 단으로부터 45 cm 이격된 위치에 각 1공씩 천공한다.
- 벽체 높이의 0.5배되는 위치에 나머지 한 공을 천공한다.

(2) 2공 천공시

- 벽체 높이의 0.5배되는 위치를 중심으로 상하로 50 cm 이격된 위치에 각 1공씩 천공한다.

4. 방호공사

방호는 1차방호와 2차방호로 구별된다. 1차 방호막은 폭약이 폭발시 순간적인 발파에 의한 비산과 폭발압에 대한 1차 차단벽 역할을 하게 된다. 천공이 완료된

기둥에 대해서는 철망과 부직포를, 중앙 코아부 전단벽에는 철망, 골합석 및 부직포를 사용하여 순서대로 방호를 실시하는데 철망은 #8번선 철망을, 합석은 0.25 mm 및 0.36 mm를 그리고 부직포는 주로 연약지반 보강재로 사용하는 재질을 사용하였으며 철사로 고정시켰다. 이때 천공부위의 철망은 절단기로 끊어놓고 부직포는 칼로 구멍입구를 찢어놓아 장약시 지장이 없도록 한다. 비석발생이 특히 우려되는 부재는 2겹으로 방호를 실시하며 내부 방출압력에 충분히 견딜 수 있도록 모든 부재에는 반드시 겹이음을 시행한다.

2차 방호막은 구조물 붕괴시 파쇄된 구조부재의 파편 등이 붕괴 유도지역 외부로 비산 혹은 낙하하는 것을 차단하고 폭풍압에 대한 최종 차단역할을 하기 위하여 건물 외벽이 모두 철거된 최저층 외부와 모든 발파층 중앙부 코아의 전면 개구부에만 설치하는 2차 방호를 역시 철망과 부직포를 사용하여 감싸고 외벽 기둥은 철사로 묶어준다.

방호가 불완전할 경우 발파시 발생하는 폭풍압 및 비석 등으로 인하여 주변 시설물에 예상할 수 없는 피해를 초래하게 되므로 방호작업은 발파해체의 모든 공정중 특히 중요한 작업이라 할 수 있다.

가. 기둥의 방호

(1) 기둥의 1차 방호는 다음 순서에 준하여 실시한다.

- 파쇄대상 기둥의 전면을 8번선 철망(8 gauge chain link fence) 으로 둘러 싸주고 부직포로 그위를 덮은 후 철사줄로 고정시킨다.
- 2중 방호시는 철망과 부직포를 각각 2겹으로하여 상기의 방법으로 설치한다.
- 장약을 위해 천공부위를 칼로 끊어 놓아야 한다.

(2) 방호재로 해당부위를 감쌀 때는 천공면과 수직한 측면부로부터 시작하며, 0.3 m 이상 겹치도록 마감을 해야한다.

(3) 방호재의 범위는 가장 위 또는 가장 바닥 천공위치로부터 기둥 양단으로 0.5 m 이격된 위치까지 해야 한다.

(나) 방호재 설치후 철선의 위치는 다음의 기준에 따라 설정한다.

㉞ 4공 천공시

- 가장 위 또는 가장 바닥 천공위치와 방호재 끝과의 중간지점에 각 1줄씩 설치한다.
- 방호재 중앙부에 나머지 1줄을 한다.

㊤ 3공 천공시

- 가장 위 또는 가장 바닥 천공위치와 방호재 끝과의 중간지점에 각 1줄씩 설치한다.
- 방호재 중앙부에는 장약공이 있으므로 그 장약공

바로 아래에 설치해야 한다.

나. 전단벽의 방호

(1) 전단벽의 방호는 다음 순서에 준하여 실시한다.

- 벽 주위 전체를 철망 및 골합석, 그리고 부직포를 순서대로 감싸주고 굵기 3 mm 이상의 철선으로 감아준다. 이때 천공부위는 골합석으로 감싸지 않는다.
- 장약을 위해 천공부위를 칼로 뚫어놓아야 한다.
- 장약후에 천공부위를 골합석으로 감싸준다.

표 12. 1동 시험발파 장약량

구 분	장약공수	장약량 (g)	비고
1층	B-4열 (C1) 5공중 1공	·	·
		·	·
		·	·
		H(1½개) 300 소계 300	
C-9열 (C6) 5공중 5공	5공중 5공	H(1½개) 300	
		H(1½개) 300	
		H½개 300	
		H(2개) 400	
		H(1개) 200 소계 1500	
C-14열 (C6) 5공중 5공	5공중 5공	H(2개) 400	
		H(1개) 200	
		H(2개) 400	
		H(2개) 400	
		H(2개) 400 소계 1800	
B-19열 (C1) 5공중 3공	5공중 3공	·	·
		·	·
		H(1개) 200	
		H(1½개) 300 H(1½개) 300 소계 800	
6층	B-4열 (C1) 2공중 1공	·	·
		H(1½개) 175	
		·	·
		H(1½개) 300	
C-9열 (C6) 2공중 1공	2공중 1공	·	·
		·	·
		·	·
		H(1½개) 300	
C-14열 (C6) 2공중 1공	2공중 1공	·	·
		·	·
		·	·
		H(1½개) 300	
B-19열 (C1) 2공중 1공	2공중 1공	·	·
		·	·
		·	·
		H(1½개) 300	
기둥	총 14공	하이마이트 총 5475 g 사용	
1층	ELV. 측벽 2공중 1공	F(2½개) 250	하이마이트 65 g 사용
		·	·
		F(1½개) 150	하이마이트 60 g 사용
계단실 전면벽	3공중 1공	·	·
		·	·
		·	·
전단벽	총 2공	화이넥스(F) 총 400 g 및 하이마이트(H) 125 g 사용	

총 공수 16공 (기둥 14공, 전단벽 2공), 뇌관 16개 사용  
하이마이트(H) 5600 g, 화이넥스(F) 400 g 사용

표 13. 2동 시험발파 장약량

구 분	장약공수	장약량 (g)	비고
1층	D-16열 (C2) 4공중 3공	H(½개)+F(2개) 260	
		H(½개)+F(1개) 160	
		·	·
		H(½개) 260 소계 680	
C-9열 (C6) 5공중 5공	5공중 5공	H(1개) 200	
		H(1개) 200	
		H(1개) 200	
		H(1개) 200	
		H(1개) 200 소계 1000	
C-14열 (C6) 5공중 5공	5공중 5공	H(1½개) 260	
		H(1½개) 260	
		H(1½개) 260	
		H(1½개) 260	
		H(1½개) 260 소계 1300	
B-19열 (C1) 5공중 2공	5공중 2공	·	·
		H(1개) 200	
		·	·
		·	·
5층	B-4열 (C1) 2공중 2공	H(½개) 140	
		H(½개) 140	
		·	·
		H(½개) 140 소계 280	
C-9열 (C2) 2공중 1공	2공중 1공	·	·
		H(½개)+F(1½개) 210	
		·	·
C-14열 (C6) 2공중 2공	2공중 2공	H(½개) 140	
		H(½개) 140	
		·	·
B-19열 (C1) 2공중 1공	2공중 1공	·	·
		H(2개) 200	
기둥	총 20공	총 435 g 사용	

총 공수 20공 (기둥 14공), 뇌관 20개 사용  
하이마이트(H) 3900 g, 화이넥스(F) 450 g 사용

- 폭풍압에 대하여 적절하게 완충작용을 할 수 있도록 지나친 조임이 가해지지 않도록 주의한다.
- (2) 전단벽에서의 철선의 위치는 다음을 기준으로 한다.
  - 가장 위 또는 가장 바닥 천공위치와 방호재 끝과의 중간지점에 각 1줄씩 전체 2줄을 설치한다.

### 5. 시험발파

모든 건물의 기둥 규격은 각 층마다 다르므로 적정 장약량이 동일할 수는 없다. 시험발파에서 대표적인 일부 기둥 및 전단벽에 장약량을 달리하여 발파를 한후 철근의 배근상태와 발파 형태 등을 확인하므로써 공당 적정 장약량을 산출하게 된다. 또한 이 과정에서 폭약의 성능도 확인할 수 있게 된다. 본 공사에서는 1동은 1층과 6층의 기둥에 8부위 14공, 전단벽에 2부위 2공, 2동은 1층과 5층의 기둥에 8부위 20공을 장약하였고, 하이마이트 9500 g, 화이넥스 850 g을 사용하여 시험 발파를 실시하였으며, 그 결과를 토대로 최종적인 장약량을 결정하였다.

### 6. 장약, 전색 및 결선

#### 가. 화약류 취급소의 설치

화약류 관리법규에 의하면 일시적인 토목공사를 하거나 그 밖의 일정한 기간의 공사를 할 때 2급 저장소를 설치할 수 있다고 되어 있으나 발파해체공사의 대부분이 도심지에서 실시된다는 점을 고려하면 화약류 저장소를 설치하여 운영한다는 것은 효율성에 있어서 또는 여러 가지 안전상의 문제로 상당한 불편이 따르게 된다. 그러므로 장약시 매일 필요한 양만 반입하고 잔량이 발생하면 인접한 대형화약류 저장소에 보관시켜 두었다가 다음날 다시 수불해오도록 하면 별도의 화약류 보관소는 필요하지 않게 된다. 그러나 장약작업시 화약류를 취급할 수 있는 장소는 필수적이므로 화약류 단속법 시행령 제 17조에 의거한 화약류 취급소를 설치 운영해야 할 것이며 그 주변은 철망 및 철문을 설치하여 관계자외에는 출입을 통제시켜야 한다.

#### 나. 장약

천공내에 폭약과 뇌관을 삽입하는 작업으로 적정 장약량은 시험발파에서 산출된 결과를 토대로 콘크리트의 강도와 배근상내, 부재의 형상, 폭약의 발파효율에

따라 결정되는데 과장약을 하게 되면 진동, 비석의 대량 발생하여 주변에 영향을 줄 수 있으며, 약장약의 경우에는 부재가 불완전하게 파쇄되어 붕괴거동에 영향을 미치게 된다. 장약을 한후 구조물의 붕괴순서에 따른 발파 시간차를 조정하여 뇌관을 배열한다.

폭약은 기둥에는 ST-60 젤라틴 다이너마이트(Himite 5000)를, 그리고 코아부 전단벽에는 정밀폭약(FINEX)을 기둥 치수에 따라 공당 약 50-300 g씩 전체적으로 357 kg을 사용하였으며 뇌관은 #0번부터 #13번까지의 0.5초 전기식 지발뇌관(DS)을 사용하였다.

- (1) 다이너마이트는 4등분하여 사용하여야 한다.
- (2) 뇌관을 다이너마이트에 삽입시는 다음의 순서에 따라 시행하여야 한다.
  - 포장지의 한쪽 모서리를 열고 약포 중심부에 뇌관 집게 손잡이의 뾰족한 끝으로 구멍을 뚫는다.
  - 그 속에 전기뇌관을 삽입하고 열었던 포장지를 접는다.
  - 전기뇌관의 각선을 이용하여 뇌관이 다이너마이트에서 뽑아지지 않도록 고정시킨다.
- (3) 장약시에는 나무로 만든 다짐대를 사용하여 밀어넣는다.

표 14. 1동의천공 및 장약공수

층	천공수			장약공수		
	기둥	전단벽	소계	기둥	전단벽	소계
1	352	68	420	318	59	377
2	136	42	178	136	42	178
6	109	45	154	109	45	154
10	108	44	152	108	44	152
14	108	42	150	108	42	150
계	813	241	1,054	779	232	1,011

표 15. 2동의 천공 및 장약공수

층	천공수			장약공수		
	기둥	전단벽	소계	기둥	전단벽	소계
1	239	78	317	216	72	288
2	259	54	329	254	52	312
3	74	16(굴뚝) 0	76	71	0	73
5	131	2(굴뚝) 50	181	131	2(굴뚝) 48	179
9	130	52	182	130	52	182
12	108	48	156	108	48	156
15	66	51	117	66	51	117
계	1,007	351	1,358	976	331	1,307

- (4) 장약을 하는 층의 천공 및 장약공수는 다음과 같다.
- (5) 사용뇌관 : #0 - #13 까지의 0.5초 DS전기뇌관

다. 전색

전색작업(填塞作業)이란 폭약의 폭발효과를 높이기 위하여 천공된 구멍에 폭약을 장전한 후 미장전 부분에 대하여 모래나 점토 등의 재료를 사용하여 구멍을 막아 주는 작업으로 전색에 의해 밀폐효과가 나타나 폭약의 위력을 충분히 발휘할 수 있다.

전색재료로는 점토, 석고반죽, 모래 및 물을 비닐주머니에 넣은 것을 사용하는데, 주로 모래를 비닐주머니에 넣은 것을 사용한다. 석고반죽을 전색재로 사용하는 경우는 굳어진 석고가 발파시 압축력 때문에 강력한 비석으로 작용하여 인근 시설물에 피해를 줄 우려가 있으므로 전색재료는 적당하지 않다고 생각된다.

또한 전색작업은 표준 장약량으로 부재에 대한 충분한 파쇄효과를 얻을수 있도록, 그리고 폭약이 외부로 유출될 수 없도록 공(孔)입구를 충분히 밀봉하도록 함은 물론이다.

라. 결선

(1) 지발시차 및 전기식 뇌관

발파해체는 지발뇌관을 사용하여, 구역별로 일정한 시간차를 두고 수행하는데 이는 발파후 인접부재들이 정확한 붕괴방향으로 거동되도록 유도하기 위해서는 어느 정도의 시간경과가 필요하기 때문이다. 한 보고에 의하면 8ms이하의 시차에서는 지발효과가 나타나지 않는다고 하므로 발파충격과에 의한 진동의 중첩으로 인하여 주변건물에 피해를 줄 수 있는 가능성이 높아지게 된다. 발파해체에서는 17ms 이상을 최적의 시차로 보는 견해가 있는데 붕괴 거동시간 확보와 충격진동 영향 등을 고려한다면 보통 0.1-0.5초 정도의 시차가 적당하다고 사료된다.

이러한 뇌관에는 전기식과 비전기식으로 구분할 수 있는데 전기식 뇌관은 전선의 저항을 측정하여 전선의

단락여부를 판별할 수 있으므로 작업이 용이하다. 그러나 발파장소 주위에 송신소 등의 시설물이 있는 경우는 뇌관의 각선에 유도전류가 발생하여 폭발할 가능성이 있으므로 화약류를 현장으로 이동시키기 전에는 송신소에서 발사되는 주파수(특히 AM전파 : 0.535-1.605 MHz)와 출력상태를 반드시 검사를 하여야 한다.

한편 비전기식 뇌관은 내부에 폭약이 얇게 도포되어 있는 튜브를 사용하여 기폭시키므로 튜브에 결함이 있는 경우는 기폭을 시킬 수가 없고 이상유무를 확인할 방법도 없다.

그러므로 발파해체시 보통 2중, 3중으로 결선하여 발파를 실시하게 되므로 작업이 상당히 복잡하게 된다.

(2) 결선

각 장약공에서 나온 각선은 뇌관 40-60개씩을 한 조로 만들어, 직렬로 연결시켜 두고 발파당일 모선(Bus Line)에 연결시킨 후 모선을 발파기에 연결시킨다.

발파작업은 주로 도심지에서 폭약을 사용한다는 점이 일반 해체공사와 특히 구별된다. 따라서 이에 따른 안전대책이 무엇보다도 중요한데 화약류 관리법규에서 규정한 안전조치 사항 이외에도 다음과 같은 사항에 유의해서 장약작업을 진행시켜야 할 것이다.

- 시공에 앞서 설계도서와 장약작업 현황을 충분히 검토하여 결선계획도를 작성한다.
- 외부인 침입을 방지하기 위하여 공사관계자 전원에게 신분증명서를 착용케 한다.
- 장약시에는 작업에 관계하는 작업자 이외는 발파범위내에 출입을 금지해야 하며 장약 후 즉시 전색을 실시하여 화약류 등이 유실되지 않도록 해야 한다.
- 장약작업시에는 정전기 대전 방지용 가죽제 안전작업구두를 착용하고 대전(帶電)방지 작업복을 착용한다.
- 장약시 사용하는 다집대는 반드시 목봉을 사용하며, 무리하게 힘을 주어 각선이 절단되지 않도록 한다.
- 결선에 소요되는 전선 등의 재료는 KS규격품을 사용하며, 사용전에 도통시험 등을 통하여 결선 단락여부를 확인한다.
- 각각의 각선과 모선과의 결선작업은 반드시 발파당일 실시하며 모선은 발파직전까지 발파기에 연결하지 않는다.
- 전기뇌관을 사용할 경우에는 규정된 결선을 해야

표 16. 방송국출력에 대한 안전거리

방송국의 출력 (W)	안전한계거리 (m)
1,000-2,500	305
2,500-5,000	455
5,000-10,000	670
10,000-25,000	1,060
25,000-50,000	1,520

하며, 계산치와 실제 측정치의 저항 차이가  $1\Omega$  이상 발생하면 발파를 중지하고 재점검을 실시해야 한다.

- 전기뇌관에 대해서는 도통시험 또는 저항시험을 하되, 미리 시험전류를 측정하여 0.01암페어를 초과하지 아니하는 것을 사용한다.
- 발파모선은 금속도체로부터 50 cm 이상 떼어 놓는다.
- 화약류의 부근에서는 담배를 피우거나 화기를 취급하지 않는다.
- 우천시에는 일체의 결선작업 또는 발파준비 작업을 금한다.
- 장약후 건물 외부 곳곳에 경비원을 배치하여 24시간 보안경비를 실시한다. 이때 건물 내부에는 경비원을 배치하지 않는 것이 좋는데 경비원의 부주의로 인하여 결선 및 장약부위가 파손될 염려가 있기 때문이다.

## 7. 발파

### 가. 주민홍보 및 동원인력

발파 약 20일을 전후해서 발파일시, 발파장소, 통제구역, 발파시 행동요령 등에 관하여 인근 주민들에게 미리 안내를 하여 주민들의 불편을 최소한으로 줄이고, 안전을 도모하였다. 현장주변 도로 및 소로에 안내 입간판 및 현수막을 설치하고 사전에 발파영향권을 분석한 결과를 토대로 일정 반경이내 주택 및 상가에 안내문을 배부하는 등 가능한 홍보 방법을 최대한 활용하여 안내를 하였다.

발파 당일 관련 부서들의 긴밀한 협조를 받아서 주민 및 교통 통제가 원활히 이루어졌다. 발파 전에 소방차 18대, 청소차 4대, 살수차 2대, 다수의 경찰통제차 및 앰블런스들이 동원되어 주변에 대기하였고, 용산경찰서 경비과(3개중대 100명), 용산경찰서, 중부경찰서, 남대문경찰서의 교통과 (100명), 소방본부(100명), 공원녹지관리사업소(20명), 용산구청(70명), 중구청(10명), 보광동 정수사업소(50명), 코오롱건설(200명) 등에서 약 700여명이 인근 지역 통제 및 발파후 정리 작업 등에 동원되어 협조를 해주었다.

### 나. 발파

발파 2시간전부터 위험구역 내에는 발파요원을 제외

한 모든 인원을 철수시키고 하얏트 호텔 입구에 통제본부를 설치하여 통제를 실시하기 시작했다. 통제본부의 지시에 따라 통제를 하였고, 보광동 수원지의 관람석에 설치한 방송실로부터 주민 안내 방송을하여 현장 주변에 홍보를 하였으며, 인근의 소월로를 비롯한 남산 1호 터널, 단국대앞의 도로는 통제가 되고 수십만의 인파가 국내에서 최초로 시행되는 고층건물의 발파해체 장관을 관람하기 위하여 통제된 도로를 뒤엎었고, 한남대교 건너편의 고수부지에도 수많은 인파가 몰려들었다. 이외에 국내 3개 TV사의 생중계 및 외국 방송사의 보도 경쟁 등 높은 관심을 보이는 가운데 발파를 위한 최종 점검작업을 하였다.

발파요원은 건물 내부의 결선 점검을 하고 최종적으로 모선의 저항을 점검하여 이상이 없음을 확인한 후 1, 2동 각각의 발파기에 연결을 하고 통제본부의 지시를 기다렸다. 모든 준비가 완료된 것을 확인한 후 통제본부의 카운트 다운이 내려졌고 발파가 되었으나 당초 두 동을 동시에 발파해체하려던 계획과는 다르게 카운트 다운 지연으로 인하여 2동에 연결한 발파기에 이상이 생겨 1동만 발파가 되었다. 즉시 발파기를 교체하고 2분 후 카운트 다운을 다시하여 2동을 발파해체하였다. 발파 직후 현장출입 통제를 하고 잔류 폭약의 유무를 확인한 후 살수차를 동원하여 주변 청소 작업을 즉시 실시하였다. 주변 시설물에 대한 조사를 한 결과 피해가 전혀 없는 것으로 확인되었고, 예상했던대로 붕괴거동을 보여주는 등 남산아파트의 발파해체는 성공적인 작업으로 마무리 되었다. 기타 주민 안전을 위하여 다음과 같은 조치를 취하였다.

- 발파직전 작업장 주변에 구급차와, 소방차를 동원하여 만일의 사태에 대비한다.
- 발파작업은 주변 안전사항을 충분히 확인한 후 1분간의 초읽기에 돌입한다.
- 발파 최종 30초 전부터 발파작업을 알리는 경보음을 발생하며, 최소거리 200 m 지점에서 충분히 들을 수 있도록 한다.
- 초읽기는 매 10초 간격으로 확성기를 통하여 주변 지역에 잔여시간을 주지시킨다.
- 발파시에는 소개지역에 대한 안전 및 대피확인 위험구역의 위험요인 제거의 확인이 완료된 후에 발파를 시킨다.
- 발파후 안전 확인후에도 15분 전까지는 관계자 이



- 외의 출입을 전면 금한다.
- 발파 완료 후 15분 이내에는 불발 유무 등을 점검하는 등 안전성 여부를 확인해야 한다.
- 발파일시 설치시 기상청의 기상자료 및 일기예보를 참고한다.

## 8. 계측

### 가. 계측 개요

본 계측작업은 서울정도 600주년을 맞이하여 남산 제모습찾기 운동의 일환으로 실시된 남산 아파트 철거 공사에 있어서 철거방법으로 적용된 발파해체공법이 주위 환경에 대한 영향을 평가하기 위한 목적으로 수행되었으며, 상세한 것은 계측결과 보고서에 서술되어 있다.

환경영향평가를 위하여 발파해체전에 해체 대상물 주위에 위치한 건물 등 주요 구조물에 대해 균열상태를 조사하고, 건물균열측정기(crack gage) 및 경사계(tiltmeter)를 설치하여 발파해체후의 상태를 검토하였으며 발파해체시 발파진동계, 가속도계, Sound level meter, 분진측정계를 이용하여 발파진동, 발파풍압, 분진수준을 측정하였다. 발파진동 계측지점으로는 남산 터널, 환기 기계실의 기초상부, 남산도로옆 옹벽, 하얏트호텔, 남산맨션아파트, 남산예술원, 보광동수원지 지반, 인근 주택가 등 주위에 위치한 주요 구조물을 포함한 24개소를 선정하였다.

계측기 개요는 다음과 같다.

#### (1) 진동, 소음 측정기

- 사용목적  
발파해체시 발생하는 진동, 폭풍압, 소음측정
- 소요시간 : 0.5 hour/Point

- 측정한계 : 진동-0.025 cm/s~12.7 cm/s, 소음-106 dBL~142 dBL

#### (2) 경사도측정기

- 사용목적  
발파해체시 주변건물이나 옹벽 및 지반에 설치하여 측정지점의 경사를 측정
- 소요시간 : 0.5 hour/Point 및 발파 전후 3일
- 측정한계 : 1/25,000도

#### (3) 건물 균열측정기

- 사용목적  
발파에 따른 주위건물의 기준균열에 대한 영향 및 안전판단

- 소요시간 : 0.5 hour/Point 및 발파 전후 3일
- 측정한계 : 1/100 mm

#### (4) 분진측정

- 발파에 의해 발생하는 대기중 분진을 측정한다.
- 측정시간 : 발파전, 후 4일간 대기분진 자동측정
- 측정범위 : 100 μm - 80 μm
- 환경연구소 주관(대기분진 측정)
- 코요롱건설(강하분진 및 비산물 입도 측정)

### 나. 계측 결과

계측결과를 종합하여 기술하면 다음과 같다.

(1) 발파해체시 발파진동의 수준은 계측결과표에서 볼 수 있듯이 가장 가까운 거리에 위치한 철거 대상 주택의 지반(22 m 지점)에서 0.405 cm/sec 이었으며 주요 구조물로써 70 m 지점의 옹벽상부에서 0.3 cm/sec, 167 m 떨어진 지점의 남산맨션 옥상에서 0.052 cm/sec, 220 m 지점의 주택가 도로변에서 0.045 cm/sec, 146 m 지점의 남산예술원지반에서 0.17 cm/sec 로 계측되었다. 그리고 230 m 지점의 하얏트호텔 옥상 등 기타 지역에서는 측정되지 않았다. 기타 남산터널, 환기 기계실 기계기초상부, 하얏트호텔 잔디밭, 보광동수원지 등에서는 진동수준이 trigger level 이하로 계측되지 않았다.

이상의 결과는 미 광무국의 발파진동에 대한 허용수준 제안치인 주파수 성분 40 Hz 이상에 대한 5 cm/sec, 40 Hz 이하에 대한 1.2 cm/sec의 진동수준이나, 안전률을 고려하여 제정한 미 캘리포니아 주 기준의 0.4 in/sec(약 1 cm/sec)의 진동수준과 비교하여 볼 때 허용 안전치 이내임이 확인되었다.

(2) 건물균열측정기 및 경사계를 이용한 발파전, 후의

표 17. 계측기 개요

	용도	설치개소
발파진동 측정기	발파철거에 따라 주변 건물에 미치는 진동 및 소음을 파악	24개소
건물기울기 측정기 (tiltmeter)	발파진동에 따른 지반 진동으로 유발되는 기존 구조물의 경사변화를 파악	3개소
건물균열 측정기 (crack gage)	발파에 따른 기존 균열의 변화에 대한 파악	19개소
분진측정	발파에 따른 대기중 분진의 측정 및 강하 분진 측정	1개소(대기분진) 10개소(강하분진)

계측치는 발파전 측정되었던 온도 및 측정오차 변화량 이내의 값이었다. 따라서 발파에 의한 영향을 무시할 수 있는 것으로 판단되었다.

(3) 발파풍압의 수준은 214 m 떨어진 주택가 경계지역에서 131 dB, 220 m 떨어진 주택가에서 125 dB, 232 m 떨어진 하얏트호텔 옥상에서 109 dB, 167 m 떨어진 남산맨션 옥상에서 132 dB, 135 m 떨어진 남산터널 입구에서 125 dB 로 측정되었다.

발파풍압은 일반소음과는 다른 충격압으로 일반 교통, 공장 등에 적용되는 소음규제를 적용하기는 곤란하다. 충격음에 대한 기준은 풍압에 가장 약한 창문이 파손되기 시작하는 수준이 169 dB 정도이다. 그리고 외국의 연구결과에 의하면 인체 감각이 불쾌감을 느끼는 5% 수준은 대략 132 dB 정도로 보고되고 있다. 따라서 측정된 발파풍압의 수준은 구조물에 영향을 미치지 않는지만 5% 정도가 불쾌감을 느끼는 수준인 것으로 판단된다.

(4) 발파해체시 발생한 분진은 한국환경기술연구소에서 계측한 결과에 의하면 80 m 떨어진 지점에서  $m^3$ 당

595.5  $\mu g$  의 수준으로 계측되었다.

환경정책기본법 시행령의 환경기준에 의하면 총먼지 기준은 24시간 평균치  $m^3$  당 150  $\mu g$  이하로 규정하고 있다. 그러나 발파해체시 발생하는 분진의 평가는 분진 발생특성이 장기간 계속 발생하지 않으므로 일반 환경기준과 대비하기 곤란하다. 따라서 어떠한 기준으로 평가할 것인가는 앞으로 발파해체시 발생하는 분진평가를 위해 해결하여야 할 과제의 하나라고 판단된다. 남산아파트 발파해체시 분진계측 위치가 일반인이 접근하지 않는 매우 짧은 거리에서 이루어진 점과, 강하분진의 계측결과 약 130 m 떨어진 위치에서 1 mm 이하의 두께로 측정된 점, 그리고 매우 짧은 시간에 발생하고 희석되었음을 고려할 때, 분진의 영향은 심각하지 않은 것으로 볼 수 있을 것이다.

(5) 발파해체시 파쇄된 콘크리트 비석(飛石)의 발생은 가장 멀리 비산된 것이 약 30 m 정도로서 그 크기가 2~3 cm 직경의 것이었으며 대부분 가까운 거리에 국한된 것으로 측정된 점을 감안할 때 비석에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.