

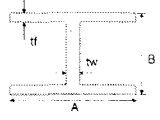
## 농질산 타워 발파해체 사례

민형동<sup>1)</sup> · 이운재<sup>1)</sup> · 송영석<sup>1)</sup> · 박근순<sup>2)</sup>

### 1. 서론

인천 농질산타워는 공장을 이전하고 새로운 구조물을 신축하기 위해 부지를 조성하는 단계에서 구조물을 해체하게 되었다. 본 구조물은 농질산(Concentrated Nitric Acid)을 생산하는 Plant 설비이다. 가로가 9m, 세로가 10.2m로 가로세로비가 약 1:0.88의 정사각 형태로 되어 있으며, 높이는 40.8m의 철골 구조물로 슬래브 기준으로 8층으로 구성되어 있으며 슬래브에는 콘크리트로 보강되어 있다. 구조물에는 철골로 제작된 E/V와 Stair가 있으며, 주요 하중을 받는 부재는 내부에 있는 588×300 규격의 H-Beam이다. H-Beam의 배열은 3열 4행으로 되어 있고 H-Beam의 종류는 2가지 형태로 표 1과 같다. Main beam은 상호 X형태의 Bracing으로 결속되어 있다.

표 1. H-beam의 특성

구분	B(높이, mm)	A(폭, mm)	tw(웹, mm)	tf(프랜, mm)	
C1	588	300	12	20	
C2	300	300	10	15	

### 2. 사전 안전성 검토

H beam의 붕괴를 원활히 유도하기 위하여 안전한 사전 취약화 방법을 STAAD PRO Program을 사용하여 구조 해석을 실시하였다

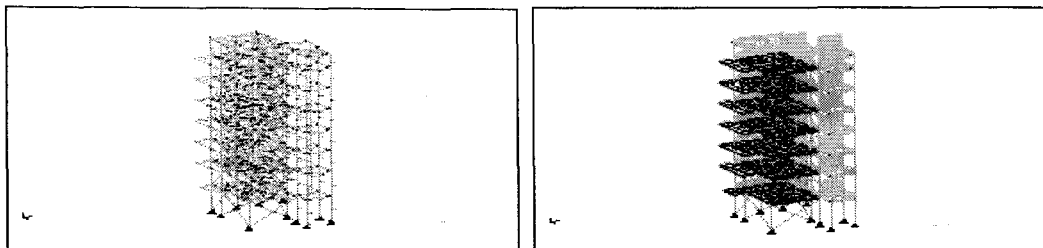


그림 1. 구조해석결과(하중 25KN-1m)

1) (주)한화  
2) (주)비엔티데몰리션

사전절단을 1층의 1,2열 H Beam의 FLANGE 일부와 WEB의 전체 그리고 VERTICAL BRACIN을 절단한 상태로 전단력과 모멘트를 검토한 결과 구조물전체의 안전에는 전혀 문제가 없는 것으로 해석되었다(그림 1). 또한 해체공법은 1,2열의 절단에 따른 상부 구조물이 중력에 의해 내려오면서 한 순간 3열의 기둥에는 12,745kN·m의 강한 휨 모멘트가 발생하게 되므로 전도공법이 적합하였다.

### 3. 준비 및 사전취약화

#### 3.1 H-beams절단공법

H Beam을 절단하기 위해서 그림 2에서와 같이 성형폭약을 사용하는 방법(Shaped Charge Method)과 Flange나 Web를 산소 Torch 등으로 사전에 절단한 후 폭약을 이용하여 밀어주는 방법(Propellent Charge Method), 그리고 이 두 가지를 혼용한 방법을 사용할 수 있다. 본 구조물에는 H beam의 상하부를 구조해석 상 안전할 것으로 판단되는 일정한 길이만 사전절단 후 성형폭약을 이용하여 나머지 부분을 절단하였으며, 추가적으로 추진 폭약을 설치하여 완전하게 밀어 줄 수 있게 혼합된 방법을 사용하였다.

#### 3.2 사전취약화

C1 Type, C2 Type의 H Beam은 Web과 Flange부분에 사전약화(절단)작업을 실시하며, 절단부를 하단부(GL+0.5m)와 상단부(GL+4.5m)로 2개소로 하였다. Flange 와 web이 만나는 부분에 사각형의 구멍(그림 3 (a))을 내어, 양면 부착을 위한 LSC를 설치 할 수 있는 공간을 만들었다. Flange 부분이 LSC에 의해 절단된 후 절단 상, 하부가 용이하게 이탈 될 수 있게 상하부의 절단 방향을 달리하였다(그림 3 (b), (c)).

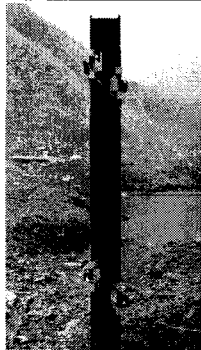
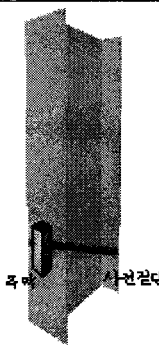
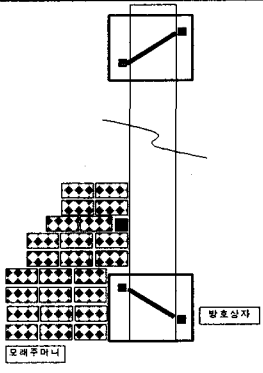
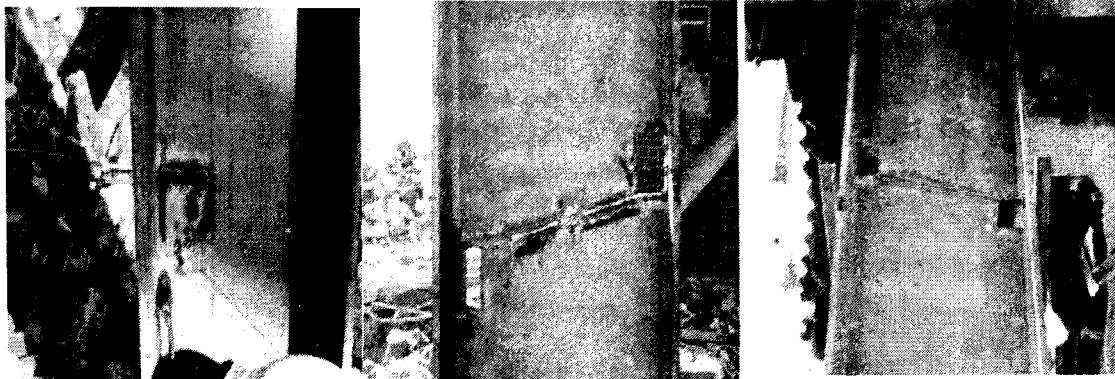
구분	성형폭약 장전방법	추진 장전방법	혼합 방법
그림			

그림 2. 절단 방법 종류



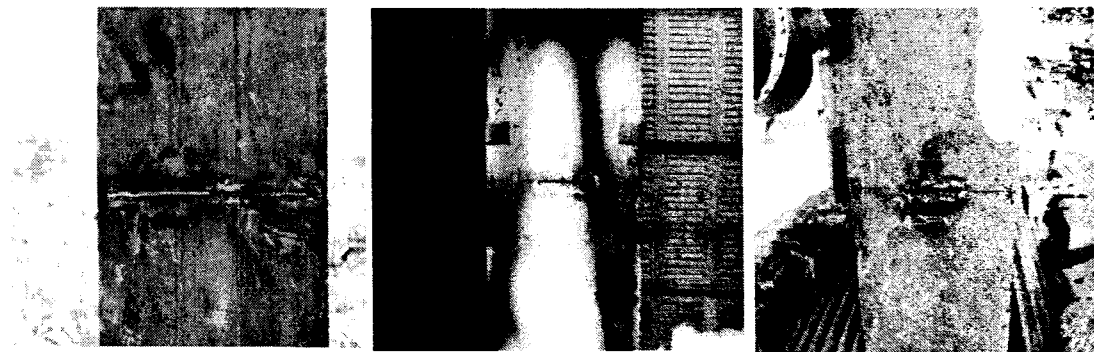
(a) 웹의 절단

(b) 웹절단 (하단부)

(c) 웹절단 (상단부)

그림 3. 웹 부분 사전절단

또한 그림 4와 같이 Flange 와 web이 만나는 중심부 100mm만 절단 시키고 양측 200mm를 잔존 시켰으며, Flange양면 모두는 성형폭약을 이용하여 절단하였다. 우리는 이 방법은 대부분의 C1, C2부재에 적용하였다.



(a) C1 부재 (패턴 1)

(b) C1 부재 (패턴 2)

(c) C2 부재 (패턴 2)

그림 4. 플랜지 부분 사전 절단

### 3.3 방호

철골구조물 절단 시 소음과 비산편을 제어하기 위해 1, 2차 방호를 실시하였다. 1차 방호는 나무로 만든 방호상자를 사용하여 상자 내부에 모래를 채워넣었다(그림 5 (a)). 이때 H Beam절단면과 성형폭약 사이에 Stand-off를 유지하기 위하여 모래가 유입되지 않도록 두꺼운 비닐을 이용하였다. 또한 방호 상자가 H beam에서 미끄러지는 것을 방지하기 위하여 50cm의 T형강을 H Beam에 용접한 뒤 그 위에 방호상자를 설치하였다. 또한 상부 방호상자는 방호상자 외부에 부직포를 감싸주어 소음이 감소되도록 하였다(그림 5 (b), (c)).



(a) 방호상자

(b) 부직포 방호

(c) 방호 후

그림 5. 상단부 방호 방법

하부 추진장약의 1차 방호방법은 방호 상자와 외부 복토법을 사용하였다. 복토는 30cmX60cm의 모래주머니에 모래를 담고 그것을 H beam과 폭약을 감싸도록 그림 6과 같이 설치하였다. 2차 방호는 구조물 주변 외부에 6m 높이로 알루미늄 방음판으로 방음벽을 설치하여 LSC 및 추진장약 폭발시 발생하는 소음, 폭풍압 및 비산 파편을 감소시키도록 하였다.



(a) 모래주머니 설치

(b) 모래주머니 설치 후

그림 6. 하단부 방호 방법

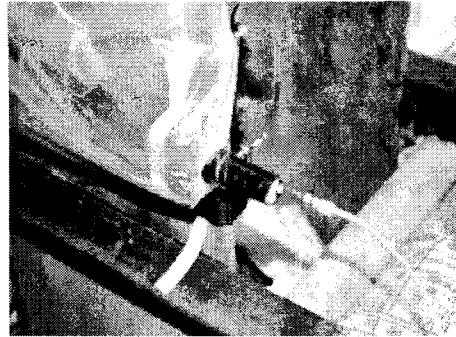
### 3.4 장약 및 기폭시스템

장전 작업은 H beam 8개 기둥을 대상으로 성형폭약 장전과 추진장약(Propellant charge) 장전을 실시하였다. LSC는 600gr/ft를 사용하였으며, 추진장약은 NewMITE Plus (Emulsion) 32mm폭약을 사용하였고 기폭시스템은 전자뇌관(unitronic)을 사용하였다(그림 7).

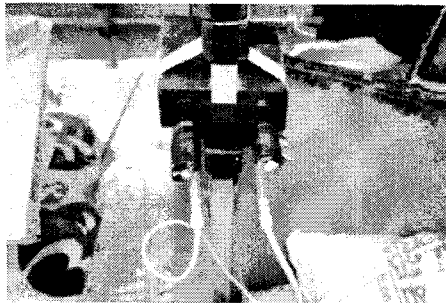
LSC는 600gr/ft, 길이 370mm를 사용하였다. 두께 20mm C1 Type의 H Beam은 LSC 2개로 양면 부착을 하였으며, 두께 15mm C2 Type의 H Beam은 LSC 1개로 일면 부착을 하였다



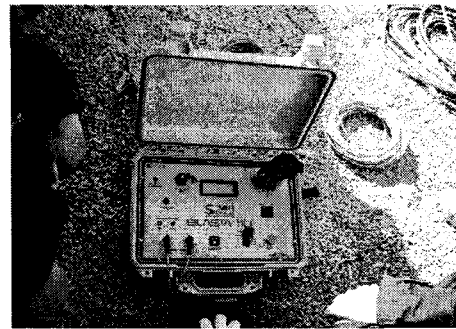
(a) 화약과 뇌관



(b) CI 부재 일면 부착



(c) C2 부재 이면 부착



(d) 발파기



(e) 추진장약 (500 g)



(f) 장전후 상태

그림 7. 장전 및 기폭 시스템

총장약량은 약 6.19 kg 을 사용하였고(표 2) LSC의 기폭초시는 1열과 2열은 500ms의 시간차를 주고, 동일기둥의 상, 하간은 동일한 초시를 부여하였다. 추진 장약부의 기폭초시는 LSC보다 5ms 이후에 기폭 되도록 하였으며, 1열은 5ms에 2열은 505ms에 기폭 될 수 있도록 하였다.

표 2. 장약량 (하단부 적용)

위치	크기				장약개수			개당 중량	기둥당 중량	추진 장약량	총 장약량
	Bottom	WeB	Flange	t1	t2	F-A	F-B				
GL+0.5m	mm	mm	mm	mm	ea	ea	ea	g	g	g	g
A 1	300	300	10	15	1	1	2	47.3	94.6	500	594.6
A 2	588	300	12	20	2	2	4	47.3	189.2	500	689.2
A 2-1	300	300	10	15	1	1	2	47.3	94.6	500	594.6
A1 2	588	300	12	20	2	2	4	47.3	189.2	500	689.2
B 1	300	300	10	15	1	1	2	47.3	94.6	750	844.6
B 2	588	300	12	20	0	2	2	47.3	94.6	500	594.6
C 1	300	300	10	15	0	1	1	47.3	47.3	500	547.3
C 2	300	300	10	15	1	1	2	47.3	94.6	500	594.6
합계					8	11	19	378.4	898.7	4250	5148.7

#### 4. 해체결과

##### 4.1 구조물 거동분석

발파 후 구조물의 거동을 분석하기 위하여 고속카메라를 이용하였다. 기폭 0.8초 후 무게 중심이 전도 방향으로 이동하였고 무게중심의 이동함에 따라 3열 기둥의 상,하부에 휨이 발생하였다. 구조 해석된 결과와 달리 3열 H beam이 하중을 견디지 못하고 3초 후 3열쪽 H beam이 전도되는 반대편 방향으로 1층 부위가 주저앉으며 Kick-back 현상이 발생한 후 3열 H beam이 지면에 접촉하면서 가장 큰 충격진동이 발생하였으며 이후 3초간 전도가 진행되어 총 6초간 전도가 진행되었다(그림 8).

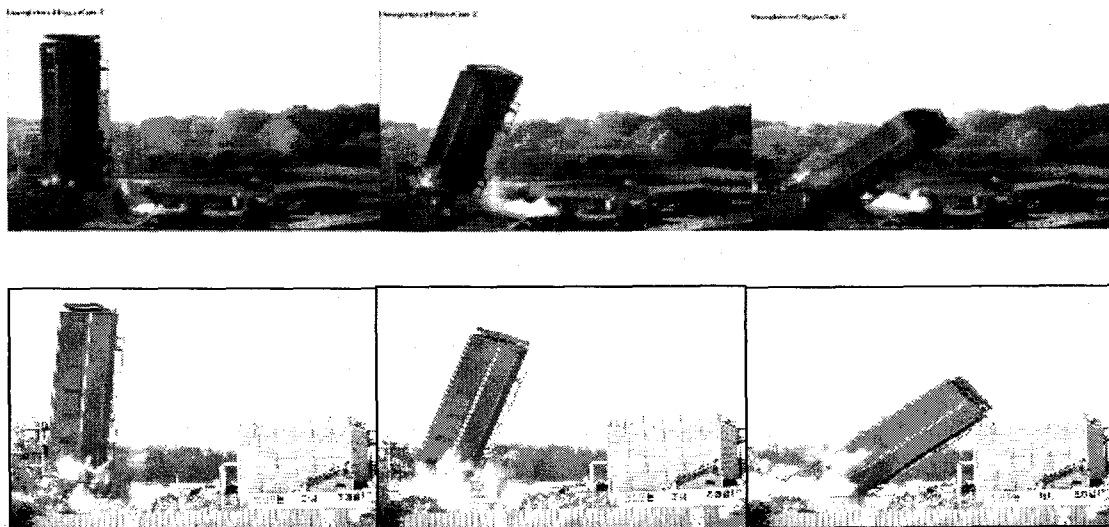
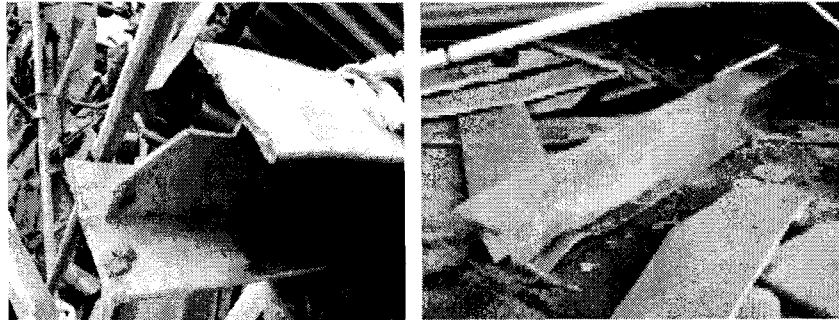


그림 8. 전도 단계

#### 4.2 H-beam 절단형상

LSC로 절단한 H beam은 그림 9와 같이 완전하게 절단되었으며 절단과 동시에 추진장악한 H beam도 외부로 튀어나왔다.



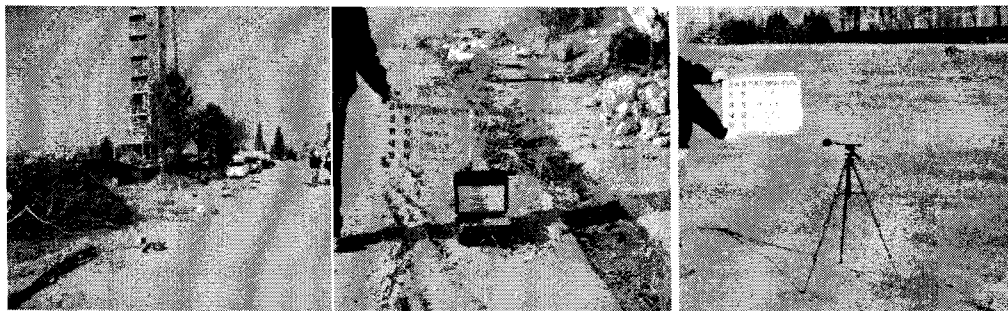
(a) C2 부재 절단면

(b) 추출된 H-beam

그림 9. H-beam 절단 형상

#### 4.3 진동 및 소음 분석

본 계측은 구조물 발파 해체시 발생하는 진동 및 소음데이터를 측정하기위해 발파진동 계측기 15대(Blastmate 10대, eXAD 5대)와 소음측정기 3대를 대상구조물 주변으로 일정거리로 이격 하여 설치하였다(그림 10).



(a) 계측기 설치현황

(b) 진동계측

(c) 소음레벨계측

그림 10. 진동 및 소음분석

본 구조물로부터 50m 이격 된 지점에서 계측된 발파진동(PVS)은 0.053cm/s가 나타났고, 충격진동(PVS)은 0.283cm/s가 나타났다. 또 105m에서 발파진동(PVS)은0.035cm/s가 나타났고, 충격진동(PVS)은 0.200cm/s가 나타났다. 충격진동이 발파진동 보다 약 70%정도 증가하는 것을 나타냈다(그림 11).

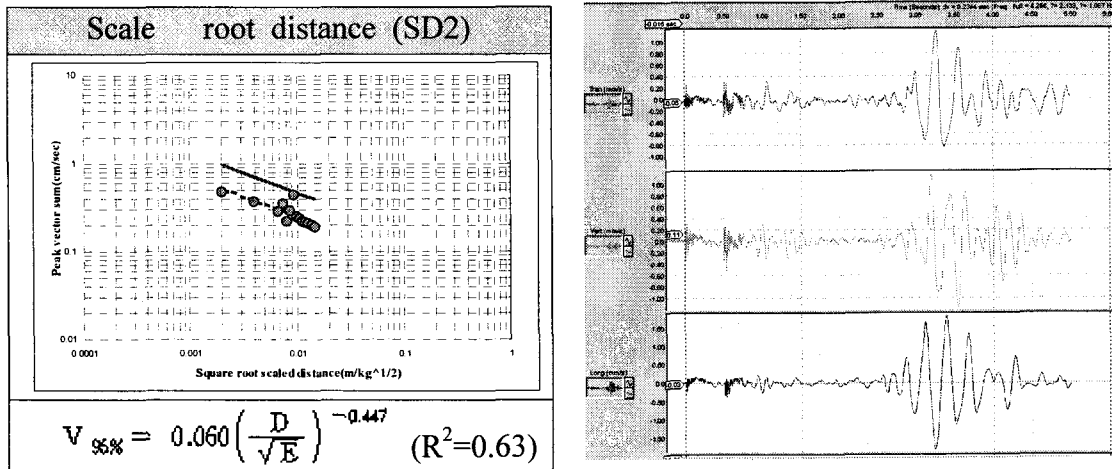


그림 11. 50m에서 진동파형과 충격진동의 회귀분석결과

소음은 3측점에서 측정하였으며 인체기준 소음레벨은 100m에서 109dB(A), 150m에서 105dB(A), 200m에서 102dB(A)의 값을 나타내었고, 거리가 2배 되었을 때 소음레벨은 7% 감소하였다. 이는 소음의 감쇄가 될 수 있는 방해 구조물이 없는 장소에서 소음을 측정하였기 때문인 것으로 판단된다

### 5. 결론

본 연구는 40.8m 높이의 농질산타워(8층)를 화약을 이용한 전도공법으로 해체한 사례이며, 총 6.1kg의 폭약(NewMITE Plus(폭속 6000m/sec)) 및 LSC과 50개의 전자뇌관이 사용하여 수행되었다. 최초기폭은 0ms, 500ms의 시차로 LSC를 기폭 시켰으며, 추진장약은 5ms, 505ms의 시차로 기폭 되었다. 충격진동(PPV)은 50m거리에서 0.283cm/sec으로 나타났으며, 소음은 100m 거리에서 109dB(A)로 나타났다. 본 해체작업은 구조물의 거동과 진동제어 관점에서 성공적이었으며, 강재구조물 해체에 화약을 적용한 좋은 사례를 제공하였다.

### 사 사

본 연구는 건설교통부의 일부 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.(과제번호 : C103B2010001-05B02100510 (2003~2006))



### 참고문헌

1. GT-STRUDL New Nonlinear Analysis Features.
2. Williams, G.T., 1990, Explosive demolition of tall building in inner city areas, Mun. Engr, pp. 41-54.
3. Technical Department of CAVOSA (SPAIN), 1977, DEMOLITION BY CONTROLLED BLASTING OF A BUILDING IN CADIZ, pp.109-131.
4. Walters, W.P., 1998, Fundamentals of Shaped Charges, pp. 26-30.