

RC 구조물 해체를 위한 폭파공법과 와이어소 공법의 적용성과 평가

김용태¹⁾ · 안대영¹⁾

A Case Study on the Applicability of the Blasting Method and Diamond Wire Saw Method for Reinforced Concrete Demolition

Yung Tae Kim and Dae Young Ahn

1. 서 론

구조물 해체는 한계수명, 용도폐기, 그리고 사회적 변화와 경제 발전에 의해 구조물의 경제적 수명이 구조적 수명보다 단축됨에 따라 해체작업이 이루어지고 있다.

최근 구조물 해체시에 동반되는 진동, 소음 및 분진 등 공해에 대한 사회적 법규범적 제약이 많아지면서 공법의 합리화, 안전문제, 그리고 공사비 절감 등을 위한 새로운 공법 개발과 연구가 급속히 진전되고 있다.

전물해체 계획은 해체하고자 하는 구조물의 주위 환경이 소음, 진동, 분진 등의 허용 한계를 만족시키는 지 혹은 큰 에너지로 능률적이며 경제적인 공법을 이용할 수 있는지 등을 검토하여 이에 적합한 공법을 선택하는 것이 중요하다.

국내외에서 철근 콘크리트 구조물해체 작업은 브레이크, 스틸볼, 압쇄기, 기계적 연삭공법, 폭파공법 및 전도공법 등이 적용되고 있다.

본 논문에서 검토, 설계 및 해체한 대상구조물은 이음부의 전단슬립 및 연직하중의 편심재하로 붕괴된 신행주대교의 주탑(P14)인 바, 재건설을 위하여 브레이크 및 폭파공법에 의하여 RC slab 등을 1차 철거한 이후에 해체되어야 한다고 판명되었다.

따라서 현장상황, 작업공간, 용지, 구조물상태, 해체조건 등을 고려하여 wire saw 공법을 적용하여 구조물을 해체하였는 바 공법별 설계, wire saw 공법의 특성과 적용성등을 비교 검토하여 향후 문제점에 대한 보완점을 찾고자 하였다.

2. 파쇄 해체공법의 기본 개념

2.1 해체공법의 종류와 원리

구조물의 해체공법은 파괴기구 및 원리, 충격 등에 의한 직간접 공법, 구조물의 해체범위에 따라 절단 타격 및 전도시키는 부분 및 전체 해체공법, 구조물을 작은 조각, 부재상 및 일체의 블록형태 등으로 구분하여 파쇄하는 발생재의 형상에 따른 해체방법 등으로 분류를 하고 있다. 구조물 해체는 1공법만으로 완료되는 경우가 적고 2~3개 공법을 복잡하게 행하는 경우가 많으므로 해체의 원리와 사용기계의 적용성, 특징, 작업조건 및 공해 특성 등을 고려하여 종합적으로 검토하여야 한다.

철근 콘크리트 구조물은 배근, 단면, 치수 용도 등 다양하고 해체에 관련된 조건이 복잡하며, 압축, 인장파괴, 연삭, 열응력 등에 의하여 해체된다.

구조물 해체원리는 폭파해체의 경우 구조물 안정에 중요한 역할을 하는 지지점을 순간적으로 폭파시킴

*1993년 5월 접수

1) 정회원, 벽산엔지니어링(주) 이사

으로써 에너지 변환에 의거 구조물을 불안정한 상태로 함으로써 구조물이 붕괴되도록 유도하는 방법인데 구조물의 파괴만을 목적으로 하는 경우에 가장 효과적이다.

Wire saw 공법은 절단대상물에 diamond wire saw를 환상으로 감아붙여 고속회전시켜 절단하는 방법으로 특히 대형 철근 콘크리트 구조물의 절단 해체에 유리하다.

2.2 해체공법의 선정과 환경 규제

1) 해체공법의 선정기준

구조물 해체의 공법계획은 대상물의 형태, 규모 및 부지, 현장주변의 환경조건, 반출재 처리를 위한 도로사정 등 정보나 기술적인 사항을 조사하고, 이 결과에 의거 공사기간, 시공성, 경제성, 안전성, 공해 등의 법적규제 및 주변환경 등을 종합적으로 검토함과 아울러 해체 작업상 필요한 모든 조건을 예측하여 이에 대응할 수 있는 적절한 해체 방법을 선정토록 하여야 한다.

해체 대상물의 형태 및 규모에 있어서 철근 콘크리트인 경우 각종 공법의 조합에 의하여 해체가 가능하지만 팽창공법, 유압확대공법의 적용은 무리가 따르며 압쇄공법과 강구공법은 부재단면이 크면 비효과적이다.

대상물의 부재단면이 큰 경우에는 각종 해체공법 즉 대형브레카공법, 강구공법, 팽창압공법, 유압확대공법, 화약류 폭파공법 및 절단 공법 등을 적용할 수 있으나 환경조건, mass concrete 여부, 부재 두께 등에 의하여 제약을 받는다.

구조물 해체 공사시 환경측면과 능률 비용측면 등으로 구분하여 어떤 측면에 중점을 두느냐에 따라 공법의 적용을 달리 하는데, 전자의 경우는 압쇄공법, 책공법 및 절단공법 등이 있으며, 후자의 경우는 강구, 대형 breaker, 폭파파쇄공법 등의 적용이 가능하나 소음, 진동 및 분진이 법적 규제를 상회하는 예가 있어 중기의 작업 제한, 화약류의 지발당 장약량 조정 등이 필요한 경우가 많으며 특히 작업의 안전이 요구되고 있다.

2) 환경규제

구조물 해체시 공법결정은 환경측면과 비용측면을 검토하게 된다. 공사가 경제적이고 안전한 측면을 고려하여 합리적인 공법을 추구하는데 작업조건에

따라서 공해 즉 진동, 소음, 분진 등의 허용기준에 제약을 받는다.

구조물 폭파 해체시 지반의 진동속도는 지발당 장약량(W)과 발파원으로부터 측정간의 거리(D)를 주요 변수로 하여 경험적 관계식 $V=K(D/W^n)^{-n}$ 에 의거 진동치를 계산한다. 여기에서 K, n은 지질암반 조건, 발파조건 등에 따르는 상수를 말한다.

또한 폭파로 인한 발파풍압의 세기는 $dB=20 \log_{10} [P/P_0]$ 으로 나타내는데 P는 overpressure(psi)이고 P_0 는 기준치로서 사람이 인지할 수 있는 최저의 음압 $2.9 \times 10^{-9} \text{ psi} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 이다. 여기에서 P는 $P=ks(D/\sqrt{w})^{(1.2 \sim 1.5)}$ 혹은 $P=ks(D/3\sqrt{w})^n$ 으로 계산하고 있다. 따라서 구조물 해체시 지반진동 및 발파음의 세기를 계산하여 허용한계 이내에서 작업하도록 하는 바 외국에서 적용시행하고 있는 허용한계와 그 영향은 Table 1에서 보듯이 진동치의 경우 철근콘크리트에서 4.0~17.8 cm/sec까지 허용되는 것으로 보고되어 있다.

발파풍압의 크기에 있어 느끼는 피해한계치는 129 dB로 기술되어 있는 바 Table 2와 같다.

2.3 구조물 해체사례

구조물 해체공사는 대상 구조물의 특성, 공사주변 환경조건 및 규제사항 등 전반적인 조사 검토에 의하여 공법을 정하는데 폭파공법 및 wire saw 공법에 의한 해체사례를 보면 다음과 같다.

폭파공법은 전도해체와 수직붕괴를 혼합한 형태로 시도되고 있는데 전반적으로 저층 기둥에서 상층부 기둥으로 지연발파를 실시하여 구조물의 일부분이 붕괴되면서 자중에 의해 자유낙하하도록 하고 있다. 국외의 구조물 해체사례를 보면 고층건물(4~17층), RC 구조물공장과 건물 등 다양하며 국내에서는 한화(주) 등에서 굴뚝, 학교, 호텔 및 중저층 건물 등 많은 해체공사가 있었다.

Wire saw 공법은 일반적으로 작업공간이 협소하고 공사시 진동, 소음 및 분진발생을 억제할 필요가 있는 현장에서 효과적이다. 국외의 구조물 해체사례를 보면, 큰 단면의 교각 및 교량, 지하철역의 플랫폼, 연속지중벽 등의 전면, 벽면 및 바닥면의 절단작업 등이었고, 절단면적은 450~2,580m² 정도이고 최고 중량 5,000톤의 공사도 있었다고 보고되어 있으며, 국내의 해체사례는 대건기공 등에서 교량, 지하철 환기구

Table 3. 배근현황

위치	구 분	reinforced bar			steel wire		
		크기 4 m/m	간격 m/m	수량(개)	크기 ϕ m/m	간격 m/m	수량 (개)
A-A'		16-25	100	280	-	-	-
D-D'		16-22	100~150	138	-	-	-
G-G'		19-22	100~150	545	13~15	120~360	58

Table 4. 콘크리트와 배근의 설계 물성치

구조물	압축강도 kg/cm ²	비 중 ton/m ³	탄성계수 (10 ⁵ kg/cm ²)	허용응력 kg/cm ²		비고(강도시험치) kg/cm ²
				압축	인장	
콘크리트	400	2.5	0.3375	160~192	8~14.3	430~460
철 근	4,000	7.85	0.244	-	1,600	-
PC 강재	16,000	-	1.99	-	11,340~12,800	-

이며, 높이는 교각 기초 직상부에서 약 25.0 m 정도 잔존되어 있었다.

구조물 부위별, 철근 및 PC 강선 등 배근현황은 각기 Fig. 1과 같으며 철근 및 PC 강선의 크기간격 및 수량은 Table 3과 같다.

3.1.2 구조물의 설계 조건 및 하중

해체 대상 구조물의 특성치는 설계시 적용한 값으로 보면 Table 4와 같다.

3.2 해체공법 검토 및 설계

3.2.1 화약을 사용한 폭파 해체공법 검토설계

1) 기본 방향

폭파 전도후 기계력을 이용한 파쇄를 원칙으로 하였으며, 구조물 전도시 주탑 기초부분에 충격방지와 지반의 충격을 최소화하기 위하여 구조물의 예상 낙하 지점과 기초위에 자갈과 헨타이어를 포설하는 것으로 하였다.

전도 유도장치의 버팀 wire는(지름 ϕ 16 m/m 이상) 주탑 상부와 가교각(TP 14) 기초에 설치한 anchor의 고정점을 연결하여 약간의 장력이 걸리도록 하였다.

교각 기초부분의 콘크리트 파쇄작업은 hand breaker를 사용하고 필요시는 비폭성 파쇄대를 사용하는 것으로 하였다.

2) 천공발파

천공발파 해체계획은 Fig. 2에서 보듯이 천공간격 및 최소저항선은 30~40 cm로 하여 총천공량은 333공(장약공 253공, 무장약공 80공)으로 하였으며 천공깊

이는 50~60 cm, 뇌관은 순발 및 지발 등 전기뇌관을 20단으로 하고, 공당 장약량은 0.3 kg, 사용폭약은 straight gelatine dynamite(직경 28 m/m, 길이 271 m /m, 중량 200 g/본)으로 하여 총장약량을 83.49 kg으로 계획하였다.

폭파에 의한 해체순서는 전도방향의 전면, 옆면 그리고 뒷면의 철근 콘크리트가 차례로 파괴되도록 하고, 옆면의 V-cut 부분에서 가로철근은 아래쪽으로, 세로철근은 중앙에서 양측으로 순서적인 파괴가 되도록 뇌관의 단수를 조정하여 계획하였다.

3) 진동속도 및 발파음

주탑 교각에 걸쳐 있었던 철근콘크리트 구조물들이 폭파 해체되는 동안 총포화약협회에서 2회에 걸쳐 측정된 지반진동과 폭풍압에 의한 음압레벨등을 보면, 철근콘크리트 폭파해체의 진동속도식은 각기 $V = 22 \times (D/\sqrt{w})^{1.5}$, $V = 34 \times W^{0.85}/D^{1.8}$ 으로 제안되었고, 폭 발음압은 지발장약량을 $W = 26.1$ kg, 폭원에서 측정 간의 거리 50 m에서 측정된 발파음은 142 dB이었다고 한다.

따라서 K값을 22~34로 하고 지발당 장약량을 4.2 kg으로 하고 발파원에서 교각 기초까지의 거리를 3 m로 할 때 발파해체에 따른 진동속도는 10.3~15.9 cm/sec로 계산되는 바 DIN 및 USBM 규정의 허용 진동속도값($V = 4.0 \sim 17.8$ cm/sec) 범위내에 있다고 판단되었다.

환산거리에 따른 폭발음압은 이론상 $P = ks(D/\sqrt{w})^{-(1.2-1.5)}$ g/cm²(980 μ bar)로 표시되고 있으며, 발

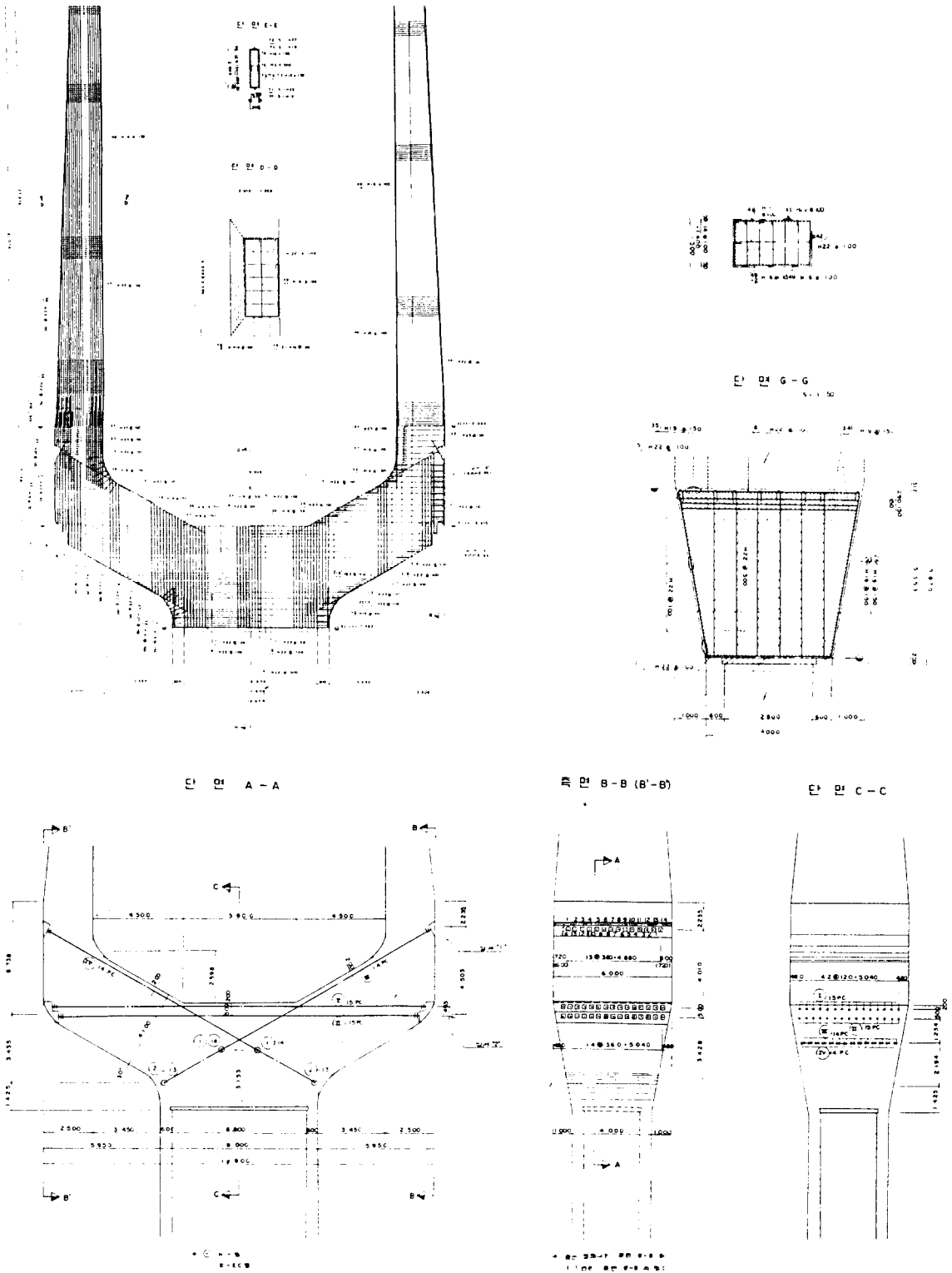


Fig. 1. 신형주대교의 해체대상구조물 및 각단면에서의 배근현황.

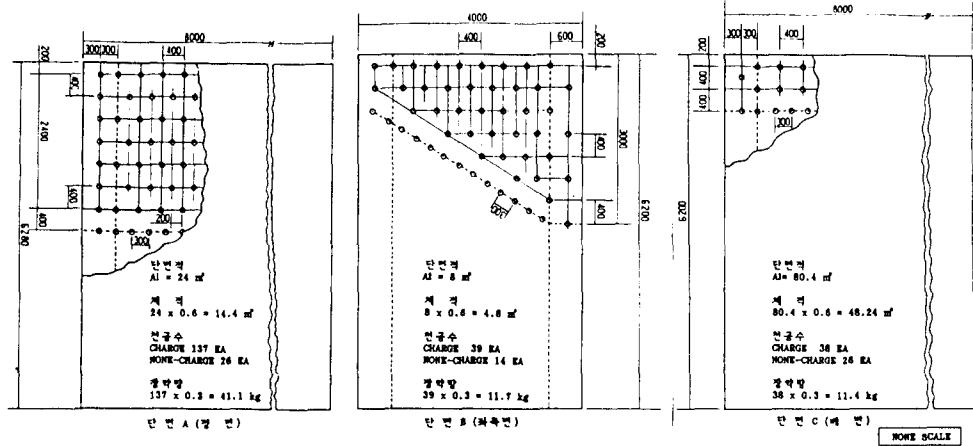


Fig. 2. 폭파해체를 위한 발파공 배열설계.

파음의 허용치는 115~129 db로 규정하고 있다.

상기계획한 지발당 장약량이 4.2 kg이고 폭원에서 측정점간의 거리가 3~5m 이내인 경우, 폭발 음압계 산식 $P = 34(D/\sqrt{w})^{-1.2 \sim 1.5}$ 와 발파 풍압의 세기 계산식 $db = 20 \log_{10}(P/P_0)$ 에서 발파음은 약 139~141 db 정도로 계산된다.

그러므로 음압의 세기는 발파풍압이 구조물에 영향을 미치는 한계인 180 dB 이하이나 인체에 영향을 미치는 한계치는 129 dB을 상회하므로 이에 대하여 조치를 취하도록 한다.

4) 전도의 방법

전도방법은 자중으로 인한 전도 모멘트와 wire 장력에 의해 전도시키며 전도된 부재의 파쇄는 브레이커 등으로 실시하여 반출토록 계획하였다.

전도시 공해특성은 부재의 크기, 높이에 따라 다르지만 소음, 진동, 분진 공해는 어느 공법 보다도 크다.

따라서 전도시의 충격과 진동을 막기 위하여 전도물과 완충재에 충분히 물을 뿌리도록 함과 아울러 전도시에 발생하는 풍압에 대한 대책도 아울러 강구토록 한다.

전도 유도용 wire rope($\phi 16 \text{ m/m}$ 이상)는 2분 이상으로 하여 주탑상부와 가교각(TP 14) 기초에 설치한 anchor의 고정점을 연결하여 약간의 장력이 걸리도록 한다.

3.2.2 Diamond wire saw 해체공법 검토설계

1) 해체공법과 기본 방향

본 공법은 diamond를 절삭날로 하고 있는데 강인한 diamond지립이 사용된 beads를 일정한 간격으로 장착한 diamond wire saw를 절단 대상물에 걸어 연결한 다음 고속회전시켜 절단하는 방법이다.

본 공법의 특징은 절단에 의한 구조물의 손상이 거의 없고, 소음 진동 및 분진 발생이 적으며, 작업공간 및 위치에 제약받지 않고 작업을 할 수 있으며 절삭속도 조절에 의하여 공기단축이 가능하다.

따라서 본 구조물의 특성상 발파진동의 영향과 구조물의 낙하충격에 의한 진동을 최소화하기 위하여 상기한 wire saw 공법에 의하여 대상물을 분할해체하고 대형 크레인에 의해 이들을 지면으로 들어내린 후 브레이커 작업을 하도록 계획하였다.

2) 절단기기의 사양과 개요

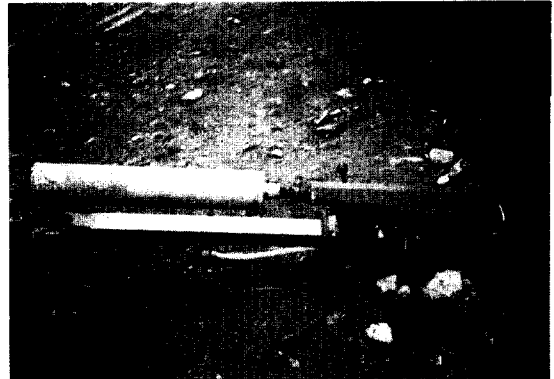
Wire saw 공법에 이용되는 기기는 Fig.3과 같이 diamond wire saw, guide pulley, drive unit, water supply 등으로 구성되어 있으며 구조물 절단시 사용된 기기의 사양과 개요는 다음과 같다.

(1) 절단시 사용기기의 사양

- Diamond bead 수 : 40 beads/m
- Wire saw 속도 : 25~35 m/sec
- Wire 장력 : 30~150 kgf
- 절단 속도 및 수명 : 1.0~3.0 m²/hr
- 냉각수 : 1~4 l/mm
- Pulley 이동장치 및 이동속도 : 유압 cylinder : 2 m/min
- 구동휠 : $\phi 400 \sim 800 \text{ m}$



Diamond drill bit



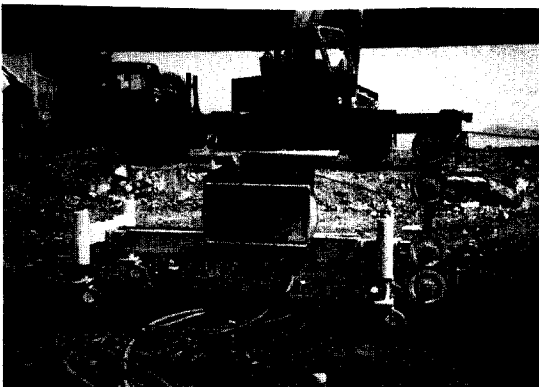
Diamond core drill bit



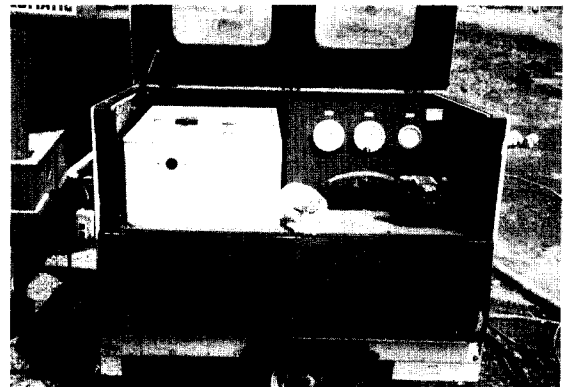
Guide pulley



Connectional sleeve



Drive wheel



Drive unit

Fig. 3. 절단작업에 사용된 기계 및 기구.

◦ 동력원 : 유압식, 전동식(30~45HP)

(2) 해체 절단기기의 개요

가) Diamond wire saw의 구조

Wire saw는 diamond가 소결된 beads와 이 beads를 관통하는 강철 케이블로 구성되어 있다.

이 beads는 nylon, rubber로 만들어진 spacer나 spring이 일정한 간격으로 장착되어 있다.

beads의 종류로서는 전착식과 소결식의 2종류가 있는데 전자는 nickel 도금층을 사용하였고 후자는 bronze 혹은 tungsten계를 사용하였다.

(가) Beads의 절삭작용과 소모

bead는 점착력에 의하여 diamond grains로 코팅을 하였다. 이 beads는 순환주행에 따라 각 beads에 생기는 압력 및 충격에 의하여 파괴되거나 콘크리트 및 금속재를 절단한다.

Diamond grain은 기타 다른 재료에 비하여 상당히 높은 강도와 경도를 가지고 있으나 충격에 의한 파쇄 및 열적 마모에는 비교적 약하다.

특히 절단시 콘크리트와 절단물속에 현저한 강도 차이가 있는 철근 등 이물질의 단속적 충격에 의하여 diamond grain은 부서지기도 하고 분쇄되기도 한다. 결국 diamond grain은 장시간 사용 및 점착력 약화 등으로 마모되거나 탈락된다.

나) Wire 성능

소결식 beads의 절삭력은 전착식 beads에 비하여 비교적 안정하나 절삭진행됨에 따라 beads 주변은 마모되어 절삭폭이 작아지게 되므로 도중에 임의로 새로운 wire saw를 삽입하기 곤란하다.

절삭작업을 하는 동안 wire saw는 복귀하는 측에 인장이 걸리며 서서히 늦추어 지면서 절단측에 공급된다.

Diamond beads 사이의 spacer는 충격흡수 역할을 하며 충격을 감소케 한다.

Wire saw의 수명은 $1.0 \sim 3.0 \text{ m}^2/\text{m}$ 이나 절단 대상물의 형상, 함유된 보강재의 양, 절단방법 등에 따라 다르다.

전착식 및 소결식 metal beads의 선택은 양자의 형태 뿐 아니라 사용 예정인 조건 등을 고려하여야 한다.

(나) 구동기

구동기는 wire saw를 순환 주행하도록 하는 구동륜(외경 $\phi 600 \sim 800 \text{ m/m}$)을 회전시키는 동시에 wire saw에 장력($30 \sim 150 \text{ kg/f}$)을 주면서 지표면에 평행 설치한 레일을 따라 주행한다.

주행륜과 운반용 차륜과는 각각 독립된 기구이며 그 밖에는 이동속도 조정장치, wire 속도 조절장치 wire 인장조절 장치, wire 긴장완화장치 등을 비치하고 있어서 원격조작 혹은 무인운전도 가능하다.

다) 방향전환 장치(Guide pulley)

Pulley는 wire saw의 주행방향을 원활하게 전환되도록 하는 기기이다.

Guide pulley base는 wire saw가 심한 굴곡으로

인한 파손현상을 방지하기 위함인데 이 현상은 절단 작업이 끝날 때 일어난다.

Wire saw의 방향전환 장치는 한쌍의 main pulley와 한개의 지지 frame으로 구성되어 있는데, 동일평면 상에 서로 떨어진 거리에 frame에 의하여 swivel에 이어지도록 한다.

Swivel상에 다른 한쌍의 guide pulley는 그 주위에 main pulley의 반대측으로부터 각각 main pulley의 주위와 접하는 평행한 tangent line과 접촉되도록 하는 방식으로 하여 frame상에 위치토록 한다.

3) 해체 설계 및 순서

해체대상 구조물은 신행주대교 주탑(P14)으로서 주탑기초(지반고 EL3.2)에서 잔존된 주탑 Head까지 높이는 약 25 m 정도이었다. 구조물의 해체를 위하여 투입된 크레인(용량 300톤)은 작업반경 및 붐의 길이로 보아 70~120톤을 유효하중으로 보았고, hanger 장치는 round bar(ss45c)를 설치키 위하여 천공경과 수량을 각기 $4\text{공} \times \phi 120 \text{ m/m} \times 750 \text{ m/m}$ 로 하여 round bar당 안전중량을 30톤으로 보았으며, rope는 직경이 60 m/m로 하였던 바 전단하중이 89톤이고 안전율이 6이므로 rope의 안전 중량을 30톤으로 보았다. 따라서 해체 구조물의 크기는 $2.0 \sim 2.5 \times 4.5 \sim 6.0 \text{ m}$ 로 하고 그 중량은 70~115톤으로 설계하여 Fig. 4에 표시한 순서에 따라 작업토록 하였다.

부재해체를 위한 절단 순서는 rocking 운동을 방

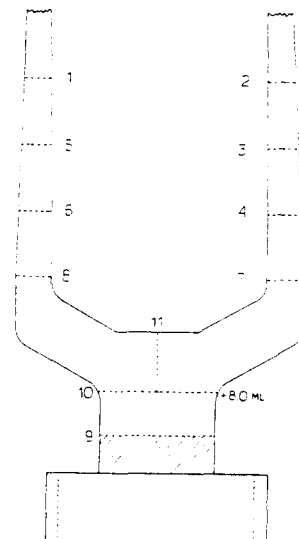


Fig. 4. 절단 작업순서.

지하고자 주탑 head에서 좌우양측을 교대로 수평 절단하였으며, 교각의 pedestal에서는 하향으로 수직되게 절단하여 좌우측 구조물이 자중에 의하여 전도되도록 하였다.

3.3 해체공법의 결정 및 절단작업

3.3.1 해체공법결정

해체공법 선정은 상기한 해체대상물의 규모 및 형태, 부지내의 작업용공지, 주변도로상황, 안전확보나 공해방지 예측 및 공사비 등 기본적인 고려사항을 검토하여야 한다.

본 해체대상의 구조물 현상상황은 기존교각 및 교량, 시추작업장 등이 있고 작업용 공간은 주탑을 중심으로 하여 반경 7~8m 내의 성토구역에 불과하였으며, 더우기 구조물 하단부 증공식 기초에 손상을 초래하지 않아야 한다는 해체파괴 조건이었다.

따라서 해체 가능한 공법중 환경 및 비용측면을 다같이 고려하여 현상상황에 바람직한 공법의 적용이 요구되었다.

환경 측면에서 화약을 사용한 폭파 공법의 경우 진동치는 10.3~15.9 cm/sec이고 발파음은 139~141 dB로 계산되었는 바 발파음의 세기는 허용기준을 상회하고 있다.

더우기 지표면으로부터 높이 25 m까지 설치되어 있는 구조물(총중량 약 1,600톤)이 폭파에 의하여 전도될 때 인접 시추공사장 및 기존교량에 대하여 낙하충격에 의한 지반진동과 풍압의 영향이 우려되었다.

이에 반하여 diamond wire saw 공법은 절단 대상물 및 절단 깊이 등에 제약이 없고, 구조물의 손상이 거의 없으며, 소음, 진동 및 분진의 발생이 적다.

뿐만 아니라 wire saw의 절단속도를 임의로 조절할 수 있는 바 공사기간의 단축이 가능하다.

공사비 측면에서 볼때, 폭파공법이 일반적으로 저렴한 것으로 보고되어 있으나, wire saw 공법의 경우 해체 대상물에 대한 기술적 사항을 사전에 충분히 검토설계 함으로서 합리적인 공사비로 작업을 할 수 있다고 사료되어 wire saw 공법을 적용하였다.

3.3.2 해체 절단 작업

해체구조물의 크기는 설계에 의하여 최대 중량 120톤 이하로 하였고 그 구조물은 크레인으로 지상에 내려 놓아 브레이크로 파쇄하는 작업을 완료하였는 바 절단작업의 내용을 보면 다음과 같다.

해체 대상물에 절단하여야 할 부위를 표시하고, 방향전환용 guide pulley를 설치하기 위하여 상·하부에 전기햄머드릴로 천공을 하였으며, 수평 절단시는 구조물에 wire saw 를 등글게 걸친 후 연결스리브로 이은 후 구동기를 후진시켜 wire saw의 장력을 유지케하여 절단작업을 하였는데 wire saw는 그 수명이 다하기 전에 절단될 수 있도록 충분한 길이(약 80 m)를 유지토록 하였다.

수직절단의 경우는 구조물에 diamond core drill bit로 구멍을 절단대상의 규격에 맞추어 뚫은 후 wire saw를 이 구멍에 넣고 연결스리브로 이은후 절단작업을 하였는데 guide pulley 위치는 구멍과 평행하게 하였다.

Wire saw는 절단시 구조물의 종류, 절단방식, 절단크기 및 각도 등에 따라 구조물과 wire saw간의 접촉면이 적거나 급격한 감소현상이 생기어 그 성능에 큰 영향을 받는다.

따라서 wire saw 작업의 효율성을 제고하기 위하여 wire saw는 구조물에 적합한 1m당 $\phi 10\text{m/m} \times 40$ 개 beads가 장착된 것을 사용하였고 절단초기단계는 모서리의 예리한 각을 낮추기 위하여 절단 속도를 감소시켰으며(20~25 m/s), 마지막 단계에서는 직경이 작은 wire saw로 교체하여 구조물을 절단하였는 바 그 작업 현황은 Fig. 5와 같다.

4. 해체작업 결과 분석

4.1 Wire saw 공법의 절단특성

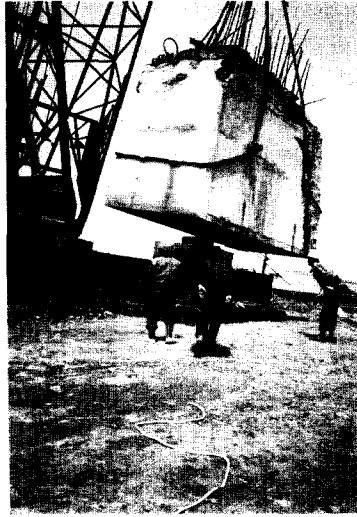
절단 해체작업 결과 총 절단면적은 137 m²이었고 배근율은 강선을 포함하여 부재별로 4.0~16%이었는데 10개 부재로 분할 절단하는데 총 77시간이 소요되었다.

배근율이 4.0~6.0%인 경우 1부재당 절단시간은 4~5시간에 불과한데 반하여 PC 강선이 함유된 부재(약 25 m²)는 무려 26시간이 소요되었다. Wire saw 공법은 그 절단성능이 전체 작업에 큰 영향을 미치기 때문에 구조물의 배근율 및 현상에 따른 절단성능의 변화를 검토하고자 하였다.

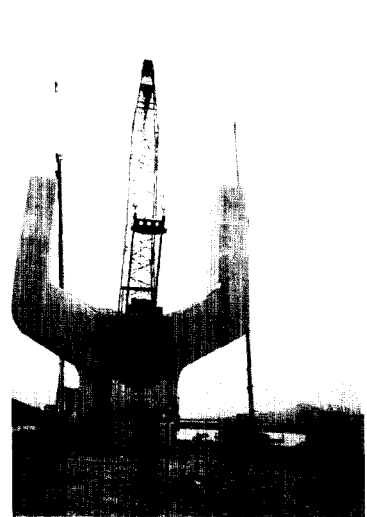
Fig. 6은 배근량과 절단시간의 관계를 도시한 것이다. RC 구조물의 절단시간은 배근량, 철근과 강선의 종류에 따라 큰 차이를 나타내고 있는데 특히 강선과 철근 함유 부위가 철근만 함유하는 부위보다 절단소



Downward movement of Reinforced concrete



Sawed block before placement on the ground surface



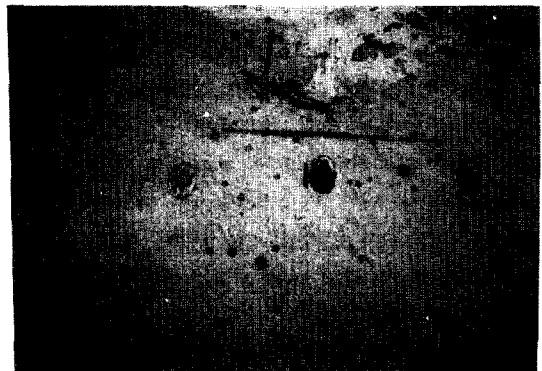
Reinforced concrete pillon



Vertical Sawing Work



R.C partition after sawing



Sawed surface with reinforced bar & steel wire

Fig. 5. 절단작업 과정 및 절단면.

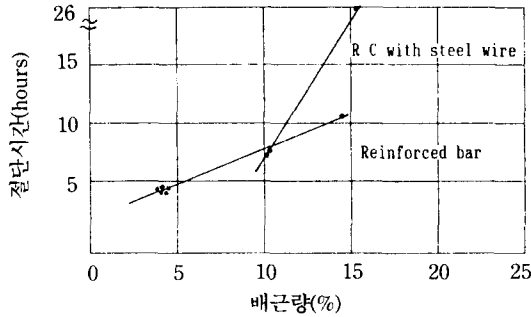


Fig. 6. 배근량 대 절단시간의 관계.

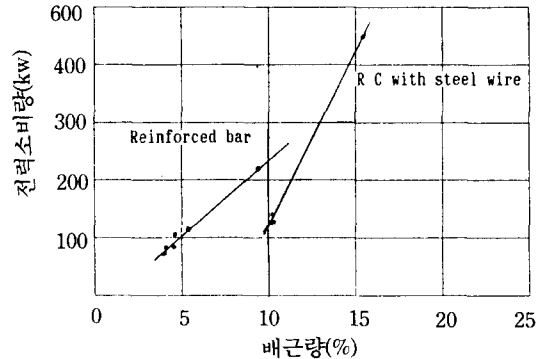


Fig. 7. 배근율 대 전력소비량의 관계.

Table 5. 해체공법의 적용성과 평가

구 분	공 법	Wire saw 공법	폭파공법
해체원리	해체원리	Wire saw의 연삭·부재상으로 해체	충격파괴
사용기계	기계의 형식 구동장치	구동장치 고정식	Gelatine Dynamite 콘크리트 파쇄기
적용성 및 특 성	해체물 크기	大 (2차 파쇄요)	中 (부분적인 2차파쇄)
	적용성	· 철근콘크리트 구조물 및 경질암석절단	좌동
	특징 및 능력	· 거대한 구조물의 절단에 양호 · 미리 만든 공에 Wire를 통해 구동하여 절단	· 파괴력이 크다 · 공기단축, 노력 삭감 가능
	사전작업내부	· Wire saw를 넣는 공 굴착 요구	천공작업
작업조건 및 고려사항	작업자 및 기타	· Wire 절단시 위험방지 대책 필요	· 발파기사등 유자격자 · 발파시 주변인 대피 · 인근주민 승낙서 필요
	설비 기타	· 구동기계의 설치장소가 필요 · 절단물 승강장비 필요	· 폭발음, 비산물 방호 · 불폭발의 유무조사 및 신중취급
공해특성	소 음	小	大
	진 동	-	大
	분진 비산물	-	大
안전성	환경보호	양호	불리
	작업원장애	양호	불리
유효성	공사기간	보통	보통
	공사비	보통~유리	유리
문 제 점		spacer 절단	공해 저감책

요시간과 전력량이 높았다. 이는 배근율, 철근과 강선의 강도차이, 강선의 strand 상태, 그리고 철근 및 강선과 콘크리트의 결합상태 등의 영향을 받았다고 판단되었다.

Fig. 7은 배근율에 따른 구조물 절단시 전력소비량과의 관계를 도시한 것이다.

PC 강선을 포함하는 RC 구조물 경우, 절단에 소요되는 전력소비량은 RC 구조물에 비하여 상당히 높은 것으로 나타났다.

배근율에 따른 wire saw의 수명, 성능과의 관계는 현장여건상 조사가 곤란하였으나 사용된 2본의 Wire saw(약 80m)중 1본은 $\phi 1\text{ m/m}$ 이상 마모된 것으로 조사되었고, beads 사이의 spacer 절단과 beads의 이동이 있었던 바 이를 고려하면 wire의 수명은 $1\sim 3\text{ m}^2/\text{m}$ 으로 예상되었다.

4.2 공법의 적용성과 평가

구조물 해체공법의 적용평가는 구조물의 위치와 모양, 구조물의 구조형식 및 용도, 해체범위, 해체작업의 안정성, 진동소음의 허용기준, 해체공사시간등 평가에 영향을 주는 사항을 종합적으로 검토하는 바 신행주대교 주탑해체에 적용한 Wire saw 공법과 폭파공법을 비교 평가하면 Table 5와 같다.

5. 결 론

1. RC 구조물 해체시 공법적용은 구조물 형태 규모, 현장주변의 환경여건 등에 대한 사전조사와 아울러 시공성, 안정성, 경제성 그리고 공해용의 법적규제등을 종합적으로 검토하여 선정하여야 한다.

2. 신행주대교 주탑(P14) 해체는 상기 고려사항을 검토하여 wire saw 공법에 의거 부재를 절단하고 부레이카로 2차 파쇄하였는 바 이를 위하여 각 공법별 적용성을 비교 평가를 하였다.

3. 본 주탑해체에 검토된 폭파공법은 주탑(P14) 직상부 3m 지점의 주변부를 천공하고 공당, 지발당 장약량을 각각 0.3 kg, 4.2 kg으로 하여 폭파 진도해체보를 계획하였으며, 시험발파에 의한 k값이 22~34인 경우에서 진동속도가 10.3~15.9 cm/sec이고 음압의 세기는 약 140 dB로 계산되었다.

4. 본 주탑해체에 적용한 wire saw 공법은 m당 40개의 bead를 가진 소결식 wire saw를 구조물에 수

직, 수평으로 등글게 걸어서 25~40 kgf의 장력을 주어 11개 부재로 분할 절단토록 하였는 바 저소음, 무진동, 무분진으로 시공완료되었고 교각기초 구조물에 손상이 없었다.

5. Wire saw 공법에 의한 구조물 절단특성은 배근율 증감에 따라 절단시간과 전력소비량이 비례하여 증감하였는 바, 이들의 관계는 $y=ax-b$ ($a=1.1\sim 1.8$, $b=0.2\sim 13$)식으로 표시될 수 있는데 특히 철근과 강선을 포함하는 부위는 철근만 함유한 부위에 비하여 절단에 따른 소요시간과 전력량이 상당히 큰 것으로 나타났다.

6. Wire saw 공법은 폭파공법에 비하여 작업공간 위치 및 공해규제 등에 제약없이 시공할 수 있으므로 해당구조물에 적합한 wire saw, 공급수 및 장력을 줌으로서 공기단축이 가능하고 공사비 역시 합리적으로 운영될 수 있다고 판단되었다.

참고문헌

1. Alicia C. Hawkins, Adrien P. Antenen, et al, "The Diamond Wire Saw in quarrying Granite and Marble", Dimensional Stone, September 1990. GE Super abrasive.
2. John D. Birle and Ernest Ratterman, "An approximate ranking of The sawability of hard building stones based on laboratory tests" Dimensional stone Magazine, GE Super abrasive pp. 1-7 (1986).
3. Alicia C. Hawkins, and Gotz Brauninger, "Diamond Wire Sawing for the Construction and Renovation Industry" Society of manufacturing Engineers 1991, pp. 6-1~6-24.
4. GE Super abrasives, "Case studies of diamond wire saw Technology" GES 90-960E.
5. Christer Molin, "Controlled blasting of concrete", Build. res. pract, Vol. 14, No. 3, 1986, pp. 170-174.
6. Kasai Yoshio "Concrete 구조물의 파괴방법과 그의 평가", 콘크리트공학, Vol. 27, No. 9, 1989, pp. 13-23.
7. Takashi Shindo and Masanao Maeda, "화약을 사용한 해체공법", 건설기계, Vol. 25, No. 10, 1989, pp. 38-44.
8. Wire sawing method association, "Wire-Sawing method" conet 1992, pp. 34-43.
9. —, "Mini-blasting method" 건축기술 시공, No. 281, 1989, pp. 58-61.

10. Masaharu Hatanaka, "Concrete 구조물의 해체공법 (wire sawing 공법)", 건설기계, Vol. 25, No. 10, 1989, pp. 19-24.
11. Yoshio Kasai, "해체공법의 현상과 과제", 건설기계, Vol. 25, No. 7, pp. 19-26.
12. Kouchiro Funatsu, "해체공사시의 소음, 진동 대책", 건설기계, Vol. 25, No. 7, pp. 28-33.
13. 강영철, "건설 발파해제의 붕괴거동", 토목학회지, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 71-80.
14. 이정인, "발파진동 발파풍압 및 비석의 조절을 통한 안전발파", 토목학회지, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 99-116.
15. 임종석외, "진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향", 주택기술정보, Vol. 42, 1992, pp. 38-41.