

구조물 발파해체공법의 향후 발전방향

KICEM



안명석 원장/공학박사 지앤비건설가치연구원, amspeoff@chol.com
안정욱 실장/서울지사 지앤비건설가치연구원

1. 서론

최근 생활양식 및 기술의 진보, 지가의 상승에 따른 토지의 고도이용이라는 관점에서 건물은 고층화되고 있으며, 이에 따른 지난 건축물의 해체공사 및 재개발공사가 급증하고 있다. 이때 구조물 발파해체작업은 진동·소음·분진 등 환경공해 및 안전성을 향상시켜 나아가야 한다. 이를 개선 발전시켜 나가기 위해 AR, VR 등과 융합기술이 필요하며 국토부 발파설계지침¹⁾과 진흥법에 의한 CM at Risk를 적극 적용하여 나아가는 방향으로 발전되어 IVCS운동으로 전개되어야 한다.²⁾

※IVCS: Intelligent Value Creation Seam

2. 구조물 발파해체공법의 개요

2.1 발파해체공법의 정의

발파해체공법은 구조물의 지지점인 기둥이나 내력벽과 같은 내하 주부재를 폭약의 폭발력을 이용하여 파괴함으로써 구조물의 안정성을 와해시키거나 구조물의 강성을 저하시켜 구조물이 지닌 위치에너지를 자중에 의해 붕락시킬 때 발생하는 운동에너지를 전환시켜 파쇄물 상호간의 충돌작용으로 유도함으로써 짧은 시간에 구조물을 붕괴 해체시키는 공법이다.³⁾⁴⁾

표1. 같이, 화약류제조기술 및 발파공법 개발 기술은 2세대에서 4.5세대로 나아가고 있으며, 타학문 및 기술분야와 융합 단계로 더욱 적극적으로 나아가야 한다.

표1. 화약제조 및 발파기술의 변천사²⁾

세대별 공법 화약제조 기술	1세대 광산 발파	2세대 건설 발파	3세대 다단 발파	4세대 비전기 발파	5세대 디지털 발파
화약	흑색 화약 초안 폭약	다이너마 이트 폭약	초유 폭약	슬러리 폭약 (O/W)	에멀전 폭약 (W/O)
뇌관	공업 뇌관	전기 뇌관	지발전기 뇌관	비전기 식뇌관	전자 뇌관

2.2 발파해체공법에 따른 특성

발파해체공법은 전도공법, 단축붕괴공법, 상부붕괴공법, 내파공법, 점진적 붕괴공법으로 분류할 수 있으며, 그에 따른 특성은 표2. 에서 보는 바와 같다.⁴⁾

표2. 발파해체공법의 종류와 그에 따른 특성⁴⁾

공법종류	특 성
단축붕괴공법 (Telescoping Method)	· 구조물 지지점을 시처를 두고 발파 · 구조물이 일정 방향으로 기울면서 붕 괴되도록 유도함 · 구조물 주위에 공간적 여유가 없는 경우 적용 · 발파시 구조물 하부의 파쇄물 충격을 흡수 작용 · 대형 굴뚝 또는 건물에 적용된다
전도공법 (Felling Method)	· 기술적으로 가장 간단한 공법 · 전도 방향으로 충분한 공간 확보 · 도폭선 사용 가능 · 굴뚝 또는 유사한 구조물에 적용
내파공법 (Implosion Method)	· 구조물 중심부부터 발파되어 외벽의 붕괴를 내부로 유도 · 구조물 주의 공간 확보가 어려운 경우 적용
상부붕괴공법 (Toppling Method)	· 전도 공법과 단축붕괴의 혼합 공법 · 일정 방향의 공간이 확보된 경우 적용 용이 · 고층 건물을 전도시킴으로써 분쇄 효과
점진적 붕괴공법 (Progressive Collapse Method)	· 내파공법과 유사하나 발파가 선형으로 진행 · 길이가 긴 구조물 하체에 효율적임 · 해체 후 파편 제거 작용 용이 · 구조물 주위 일정 공간 확보

2.3 발파해체공법 시공방법

(1) 인·허가 사항 검토

발파해체공법을 시공하기 위해서는 표3.의 인·허가 과정으로 진행된다.

(2) 민원처리

발파해체공법 시공시 건설진동소음, 비산먼지로 인한 민원이 아주 중요한 문제이다.5) 하지만 브레이커 등의 장비를 이용한 기계해체의 경우 소음진동 및 비산먼지가 장기간 발생되며 초미세먼지로 인해 위해가 우려되지만, 발파해체의 경우 1일 1시간6)이내의 매우 한시적으로 이루어지며, 특히 구조물해체의 경우 수초에 불과한 수준이다.

(3) 주변 건물주와의 협의

대상 건물이 해체된 후 그 위치에 건축할 건물에 따라 주변 건물주의 반응이 달라지고 발주자와의 마찰이 심화되어 이를 수습해가는 과정에서 불필요한 공사중단 및 공기의 지연을 초래하게 된다. 따라서 향후 구조물 발파해체공사시 사전에 주변 건물주와의 충분한 협의가 이루어져 공사 외적인 요인으로 인한 공기지연 및 비효율적 공사운영이 되지 않도록 해야한다.

표3. 인·허가 사항

신고 및 허가사항	신청일시	관련법규
건물철거신고	착공 7일전	(건축법 제27조) 시행규칙 제 24조
유해위험방지계획서 (지상높이 30m이상)	착공 30일전	산업안전보건법 제 48조 시행규칙 제 120조
화약류 사용허가	사용개시 7일전	총포·도검화약류 단속법 제 18조
폭약사용신고	사용개시 7일전	소음진동규제법 제 27조 시행규칙 제 35조
특정공사 사전신고	공사개시 7일전	소음진동규제법 제 25조 시행규칙 제 33조
분진발생 비산먼지 발생사업신고	사업시행 10일전	대기환경보전법 제 28조

(4) 세부공정 분할 여부판단

공사에서 발파해체와 관계한 일부 공정을 분리발주하여 이로 인한 많은 문제점이 야기될 수 있다. 발주자측은 대상 건물 내에 있는 내장재 철거작업을 발파해체 작업과 분리하여 발주함으로써 작업이 중복되어 공사능률이 저하되고 안전상 많은 위

험을 초래한다.

또한, 폐기물처리가 발파해체작업과 분리 발주됨에 따라 해체공사 수행과정에서 발생하는 목재류 및 유리섬유, 석면 등의 특정폐기물에 대한 처리를 완벽하게 하지 못한 관계로 발파해체 작업시 이들이 비산되어 환경단체와 언론기관으로 부터 고발성 비난을 받게 된다. 따라서 발파해체공사를 수행함에 있어서 모든 공사를 Pre-Con단계 부터일괄 발주하여 좀 더 치밀한 계획 하에 책임시공이 이루어져야 한다.

(5) 사전취약화 작업

사전취약화 작업은(Prewakening)은 구조물의 붕괴를 용이하게 하고, 계획된 방향과 장소로 정확한 붕괴 및 전도를 유도하기 위하여 비내력벽 및 일부 내력벽, 계단부 등을 파쇄하는 작업으로, 이론적으로 구조물이 가지고 있는 안전율을 최소화하여 1.0에 가까운 정도로 취약화시키는 것이 바람직하나, 현실적으로 안전문제나 사전 분비작업의 복잡성으로 인해 완벽한 취약화 작업이 곤란하다. 따라서 취약화 작업을 구조물에 대한 정확한 지식과 정보를 갖고 있는 구조기술자의 지휘 하에 실시되어야 한다.

3. 구조물 발파해체공법의 적용

3.1 발파해체공법 적용 구조물

(1) 건축구조물

건축구조물의 대표적인 것으로 아파트를 들 수 있으며 이는 일반 오피스 건물보다 사용연한이 짧고 재건축이 활발히 이루어지고 있는 사회적 배경이 있다. 일반적으로 기둥과 보의 발파를 통하여 건축물의 자중에 의해 붕괴되도록 하는 공법이므로 건물의 거동에 필요한 주요체를 발파한다.



그림1. 전북 내장산 관광호텔 발파해체시 모습

(출처 : 15.9.20 전북도민일보)

(2) 토목구조물

토목구조물의 대표적인 것으로 교량을 들 수 있으며, 이는 상부구조와 하부구조로 구성되어있다. 하부구조로는 교각, 교대와 땅속에 묻히는 기초가 있어 상부구조에서의 하중을 원활하게 단단한 암반으로 전달하는 역할을 한다. 기초에는 지반의 성질과 암반의 깊이에 따라 확대기초, 말뚝기초, 우물통기초 등이 있다. 상부 구조물의 발파는 성형 폭약을 이용한 절단공법(Cutting Method)이 사용되며 이는 철골 구조물에 적용이 필수적이다. 향후 초고층 철골건물해체와 고리원전 1호기 등 원전해체 시에는 토목시설물인 현수교, 사장교 등 철골교각의 절단에 필수적인 성형폭약에 의한 철근절단공법이 사용되어야 한다.



그림1. 필리핀 마닐라 철골교량 발파해체 모습
(출처 : 17.4.20 세종데일리)

3.2 발파해체공법 적용 사례

(1) 대한민국의 발파해체공법 적용 사례

대한민국에서 1990년대까지 시공한 구조물 발파해체공법 적용사례는 표4, 와 같다⁷⁾

표4. Example of Korea

Building Name	Structure	Explosive	Manage	Date	Remark
	Floor	Detonator		Result	
Dining room of he Military Academy	RC	Dynamite	Hanhwa, MA	1991.8.29	
	1Floor	NONEL		△	
Hanwha Examination Hall	RE	Dynamite	Hanwha	1991.9.17	test structure
	3Floor	E,D		△	
Stack and Head water Tank	RC	Dynamite	Daelim ENG, C. D. G.	1992.1.23	Joint work in Technique
	70m, 40m	E,D		△	
Pusan Youth Hostel	RC	Dynamite	Daelim ENG, C. D. G.	1992.6.1	Joint work in Technique
	3, 4Floor	E, D and NONEL		○	

Inchon yonsudong	RC	Dynamite	Hanwha	1992.7.9	Itself Technique OK
	3Floor	DSD and NONEL		○	
Seoul Youngnam School	RC	Dynamite	Daelim ENG, C. D. G.	1991.7.19	OK
	4Floor	E, D and NONEL		○	
Inchon Korea System	RC	Dynamite	Hanwha Hanwha	1992.12.30	OK
	3Floor	DSD		○	
Seorak Kingdom Hotel	RC	Dynamite	Hanwha Hanwha	1993.6.21	OK
	8Floor	DSD		○	

(2) 외국의 발파해체공법 적용 사례

해외에서 1990년대까지 시공한 구조물 발파해체공법 적용사례는 표5, 와 같다⁷⁾

표5. Example of Foreign Country

Country	Corporation	Career	Safty Standard
U.S.A	E,D,L	20years over 150 matter over	Storm pressure 150dB
U.S.A	C,D,I	years over 5000 matter over	Operation in the Sunday morning
U.S.A	BROCO		Under water Blasting
U.K	C,D,G	18years over several 10 matter	Storm pressure 160dB : 5Kine on 14m Shunt : fire 4times before~1time after
Sweden	N,C,AB	18years over	Use to High Explosive and NONEL

3.3 발파해체공법 적용 결과

발파해체공법의 최대장점은 첫째, 공사비의 절감 둘째, 안전사고 제로화 셋째, 건설폐기물의 재활용이다. 이러한 경제적 효과와 환경안전 및 재활용효과를 극대화하고, 평가하기 위하여 전기한 사례를 종합하여 다음과 같이 정리 할 수 있다.

(1) 경제성

K사 및 H사의 시행자료에 의하면 대체로 4층 건물 기준으로 그 이상 고층은 발파해체공법의 경우가 매우 유리한 것으로 보인다. 기계식해체공법은 총공사비가 45억원, 발파해체공법은 30억으로 무려 33%가량 공사비가 저렴한 것으로 평가되었다.

표6. 발파해체공법 시공시 공사 소요기간

구분	A공정	B공정
공사기간	1994.9.12~1995.4.25. (총공사기간:220일)	2003.3.28.~2003.4.10. (발파해체기간:13일)
발파해체 일시	1994.11.20	2003.4.10
공기단축율 (발파식/기계식)	60%	70%
비고	가시설, 건물해체작업 등 발파해체기간 45일 소요	발파해체기간 13일 소요

(2) 안전성

기계식 구조물해체공법의 경우 전체 구조물에 대한 해체가 이루어지므로 구조물 해체 작업진행 중 역학적 구조가 불안정하게 되어 공사 중 붕괴 등의 재해발생우려가 높은 편이지만 발파해체공법의 경우 발파시까지 원래구조물의 상태가 그대로 유지되므로 구조적 안정성이 확보되어 공사도중 구조물의 붕괴위험이 없고, 낙하·추락 등의 건설안전 사고 방지도 매우 유리하다.

(3) 폐기물의 재활용 방안

폐기물은 일반폐기물과 산업폐기물로 구분할 수 있으며 파쇄 공정 전 내부에 수장재를 처리하여 콘크리트폐기물과 일반폐기물 및 재활용폐기물로 분리하여 각각의 용도로 재분류 처리된다.

표7. 재활용여부 분류표

재활용 가능	재활용 불가
<ul style="list-style-type: none"> 철물류 : 배관류, 문틀, 바닥재, 천정재 등 고철류, 기타 노출철물 등 콘크리트류 : 철근과 분리하여 재활용 골재로 사용 	<ul style="list-style-type: none"> 목재류 : 집기류, 내부칸막이, 합판, 마감재 섬유류 : 보온재, 미관재, 마감재 등 기타 : 유리, 비철, 비금속 등

(4) 최근의 발파해체공법 적용사례⁷⁾

- 대상구조물 개요 : 높이 약 30m(24.7x115.2m), 지상 8층, 지하 1층 철근콘크리트 라멘조
- 적용공법 : Progressive Collapse(점진붕괴공법)
- 주발파층 : A, B블럭은 1, 2층 / C, D블럭은 2, 3층 발파층은 비내력벽 철거 및

내력벽 사전취약화 후 천공작업 실시

- 천공 : 기둥 32mm, 내력벽 20mm 수평천공
- 방호 : 1차(기둥) 능형철망+부직포2겹
2차(개구부) 능형철망+부직포
3차 강관비계+부직포
- 화약 : 공내뇌관 비전기식(번치커넥터 연결)
기둥은 에멀전폭약 · 내력벽은 정밀폭약 사용
- 환경안전 : 90~100m 이격된 보안물건에서 진동 0.027~0.0530cm/sec, 소음 98.0~107.5dB(A)로 측정되어 진동은 규제치 이내 이었고 소음은 초과⁸⁾되었다.

4. 향후 발전방향

구조물 발파해체공법은 노후 구조물의 철거, 아파트 재개발 등 대단위 노후 고층건물 철거 시에 매우 경제적이고 과학적인 해결 방법이며, 재래식 철거 방법으로 철거시에 우려되는 안전 사고 및 환경 공해에 대한 피해를 최소화시킬 뿐만 아니라 경제적으로도 매우 효과적인 방법이다.

그러나 국내 발파해체 적용실적은 한국의 특수성(과도한 민원, 허가기관의 소극성, 과학적사고 부족)으로 인해 외국 전문 회사에 비해 적은편이다. 향후 구조물해체 물량의 수요증가에는 외국사에게 시장 잠식이 예상된다.

현재 각 사의 경험분석, 대상 건물에 대한 구조 해석기술 보완으로 국내 화약 및 발파 기술로도 노후 원전해체 및 초고층 구조물 발파해체의 설계와 시공 기술은 충분하다.

또한 총포도검화약류 등에 관한 안전관리법의 개정, 관련부처와 공사관련 단체 및 지자체의 조례와 지침의 재개정이 필요하며, 특별히 환경부의 소음진동규제법의 특수공사장의 규제기준을 현실에 맞게 재개정 하여야한다.

더불어 고층 철골구조물 및 수중 구조물 발파해체 기술의 향상과 안전사고 방지를 위하여 관련 전문가와 기술자를 위한 전문교육 실시, 안전발파를 위한 사회적 보완책 마련, 화약발파 CM 및 전문가에 의한 공사Pre-Con체계 마련을 위한 노력이 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) 국토교통부, “도로공사 노천발파 설계·시공 지침” 2006. 12
- 2) 안명석, 박주한, 안정욱, 박호경, “건축토목현장에서의 화약발파CM과 융합” (사)대한화약발파공학회, 2016, 10, 26,

p27~28

3) 한동훈 · 안명석 · 공병승 · 이운재 · 류창하, “구조물 발파해체 공법 시공사례 연구” (사)대한화약발파공학회, 2003. 9, p49~50

4) David, S. N., Paravita, S. W, Ahn, M. S "Construction Cases and Development Courses of Blasting Demolition Method". KSEBE EXPLOSIVES & BLASTING Vol.22, No.4(2004) p.31~36

5) 안명석 · 최영천 · 최원규, “구조물 발파 효율 개선방안” (사)대한화약발파공학회, 1997. 3, p28

6) 안명석, 박주한, 안정욱, 정주영, 윤찬수, “도심지 탐다운 굴착공사장에서의 발파CM 사례연구” (사)대한화약발파공학회, 2016. 10, 26, p30

7) 안명석, “구조물폭파공법 시공시 발파공해 안전대책” (사)한국산업안전학회지 제8권 제13호, 1993. 9, p98

8) 박근순, 김상훈, 권상기, 지종기 “내장산 관광호텔 발파해체 시공사례” (사)대한화약발파공학회, 2015.10.22. p.16~18

9) 환경부, 소음진동규제법