

제7장 건물해체발파

7.1 발파해체발파 개요

철근콘크리트 구조물은 연성과 강성이 좋고 동적거동에 있어서 하중의 재분배가 비교적 좋지만 중량이 크기 때문에 외적 또는 내적인 불안정요인에 의하여 쉽게 변형되고 강도가 클수록 취성파괴 되는 특성을 가지고 있다. 특히 국부적인 불안정 요인에 대해 취약하여 구조물의 일부가 붕괴되었을 경우에 하중 및 모멘트의 재분배과정을 거치면서 내력이 작은 곳에서부터 파괴되기 시작하여 연쇄적으로 인접부재가 파괴되는 특성이 도미노 현상을 초래하여 구조물 전체가 짧은 시간동안에 붕괴된다. 콘크리트 구조물에 적용되는 발파해체공법은 콘크리트의 이러한 특성과 화약의 순간적인 폭발력을 이용하여 구조물의 안정성($F.S > 1.0$)을 와해시켜 구조물이 지닌 위치에너지에 의하여 파쇄물 상호간의 충돌에 의하여 파쇄되도록 유도하는 공법이다. 이러한 발파해체공법은 건물의 주요무게 중심을 파악하여 적정 발파패턴을 설정하는 능력과 이를 파괴하는데 소요되는 적정 장약량을 판단하는 것, 발파 시 비석이나 폭풍압에 의한 피해를 최소화하기 위한 방호방법이 기술의 핵심이라 할 수 있다. 이러한 기술은 단순히 역학적인 해석이나 시뮬레이션에 의하여 결정되는 것이 아니고 경험이나 기 시행된 사례분석에 의한 관련기술자의 판단에 의하여 좌우되는 면이 강하다. 즉, 구조물의 구조역학적인 판단과 화약에 대한 지식에 복합되어 이루어지는 것이다.

1990년대 초 국내에서는 폭약을 이용한 발파해체공법에 대해 외국기술의 도입 혹은 자체개발의 의지를 보이며 약 20여 차례의 발파해체공법을 적용하였다. 그러나 국내 여건은 미국, 유럽의 나라들과 달리 고층건물의 건축연대가 길지 않을뿐더러 현재 철거가 되고 있는 구조물들은 주로 저층으로 형성되어 있어 발파해체공법을 적용하는 데는 경제적인 문제가 따를 수 있다. 발파해체공법은 구조물의 특성과 형상, 주변의 환경에 따른 기폭시스템(붕괴시스템)의 설계가 주요한 요소 중의 하나이다. 발파에 의해 해체시간은 주로 5~15초 이내로 매우 짧기 때문에 주민의 불편을 최소화하기에 적합한 공법이라 할 수 있다. 일반적으로 사용하는 철거공법은 중장비를 이용하여 콘크리트를 파쇄하는 방법이 사용되고 있으며, 때로는 Diamond wire saw, Water-jet, Cutter 등의 특수장비로 사용하는 공법도 활용되고 있다.

7.2 발파해체공법의 특성

발파해체공법(Blasting Demolition Method)은 기계식 해체공법에 비하여 소음 및 분진을 단기간으로 제한 할 수 있어 해체 공사 시 현장에서 발생할 수 있는 장기간의 환경공해에 대한 민원의 발생을 최소화할 수 있다. 또한 공사기간 및 공사비를 절감할 수 있어 경제적이며, 공사장에서 발생할 수 있는 각종 안전사고의 위험도 적은 편이다. 그러나 발파해체 시 폭풍압 및 순간진동에 의한 주변건물의 파손이나 균열발생 등의 위험은 큰 편이다. 또한 장약량의 산정 및 지연시간, 기폭순서의 오류로 인한 해체작업의 실패 시에는 대상건물의 구조적인 불안정으로 인한 사후처리대책이 상당히 어려우며, 해당 시공사가 막대한 피해를 입을 수 있는 위험 부담도 상당히 큰 공법이다.

1) 공사기간

공기 면에서의 비교는 어떤 면에서는 무의미할 수도 있다. 왜냐하면 해체공법의 선정은 공

사기간에 의해서만 결정되는 것이 아니고 구조물의 형태나 주변의 입지적인 여건에 따라서 선정되는 경우가 많기 때문이다. 그러나 비슷한 조건에서 공법이 결정된다는 측면에서 이러한 비교가 필요하다. 그러한 의미에서 각 조건별로 공기 측면을 비교해보면 다음과 같다.

(1) 순 공사기간

기계식 해체공법에 비하여 순 공사기간은 약 반이하로 단축할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 발파해체 공사를 위한 설계 및 사전준비 작업이 기계식 해체공법에 비하여 상당히 길게 이루어지므로 이러한 요소를 순 공사기간에 포함시킨다면 발파해체공법의 공사 기간이 많이 유리하지만은 않다.

(2) 전체 공사기간

발파해체 작업에서는 사전 취약화 작업(Pre-Weakening), 내장재철거 등이 전체 공사기간에서 차지하는 비중이 상당히 크다. 따라서 이들 작업에 소요되는 기간이 기계식 공법보다 길지는 않지만 크게 유리하다고 할 수도 없다. 그러나 기계식 해체도 내장재 등 사전철거가 필요하고 발파해체에서는 본 구조물의 해체시의 순간적인 발파로 인한 시간이 절약되므로 공기상 유리하다.

(3) 해체잔재의 소할 및 반출을 고려한 공사기간

기계식 해체공법은 구조물의 해체와 동시에 해체잔재의 소할 및 반출작업이 수행되므로 해체공사가 완료됨과 거의 동시에 작업 일정이 종료되지만, 발파해체는 해체작업이 끝난 후에야 철거잔재의 반출이 가능하므로 이러한 요소를 감안하면 공사기간에서 발파해체가 유리한 면은 없다. 그러나 철거잔재를 재활용해야 하는 경우에는 기계식 해체공법도 해체작업이 완료된 후에 재생골재의 생산 작업이 이루어져야 하고, 발파해체공법의 경우에는 구조물 낙하시의 충격으로 콘크리트 파쇄물이 어느 정도까지는 잘게 파쇄되므로 파쇄물의 소할작업에 소요되는 시간이 어느 정도 절약되므로 이러한 경우에는 발파해체공법이 유리하다.

2) 공사비 비교

일반적으로 발파해체공법과 기계식 공법의 경제성을 비교해보면 5층 이하에서는 기계식 철거공법이 그 이상에서는 발파해체공법이 유리한 것으로 나타난다. 그러나 발파해체공법에서는 공사비에 대한 변동요인(장약량, 천공개수, 보험료, 사후 예기치 않은 민원처리 비용 등)이 많으므로 비교는 단순 비교일 뿐이며, 여러 가지 요인 중 보험료의 지급관계는 발파해체공법의 공사비를 좌우하는 상당히 중요한 요인이다. 또한 이 비교를 기준으로 삼는다 해도 철거잔재의 재활용이 이루어진다면 발파해체공법을 적용할 수 있는 공사비 구분 기준은 더욱 저층으로 확대될 수 있을 것이다. 그러나 5층 이하의 구조물에 대해서는 특별한 경우가 아니면 작업성이나 시공성, 기타 요인 면에서 기계식공법이 유리하므로 공사비 비교 자체는 무의미하다. 그러나 현재 발파해체 공사비에는 국내 해체업체들이 외국의 유수회사들에 대하여 지불하는 기술 협약료가 포함되어 있으므로 앞으로 국내업체들이 자체적인 기술력을 갖추는 경우에는 이러한 기준보다 절반 이상으로 공사비 기준이 저하될 수 있을 것이다.

3) 작업의 안정성 및 공해 특성 비교

해체공사를 계획할 때에는 현장특성에 적합한 공법을 선정하는 것 외에도 해체공사 시에 발생할 수 있는 안전상의 문제점, 소음, 진동, 파쇄물의 비산, 폭풍압 및 분진발생 등의 환경적인 특성에 대한 세밀한 분석과 대비가 있어야 한다. 이러한 요소와 관련하여 발파해체공법의 적용 시에 가장 중요한 문제는 발파시의 소음, 구조물의 붕괴에서 발생하는 분진대책 미흡, 발파시 발생하는 폭풍압과 비석에 의한 인명이나 주변구조물의 피해 등이 일반 기계식해체공법에 비하여 뚜렷하게 나타나는 특징들이다. 발파해체 시에 발생한 주변구조물의 피해로 인한 피해보상으로 관련 시공사가 상당한 타격을 입은 면(경제적인 측면보다는 이미지 등)은 이러한 요소들이 얼마나 중요한가를 잘 암시한다. 그러므로 발파해체공사를 계획할 때에는 구조물 해체공사와 직접 관련된 부분에 대한 세밀한 설계도 중요하지만 그와 관련된 외적인 요소들에 대해서도 설계 당시부터 철저한 대비가 요구된다. 표 7.1은 이러한 해체공사의 외적인 특성에 대하여 각 항목별로 비교한 것이다. 해체공사에서 발생하는 공해 특성 및 기준에 관해서는 뒷부분에서 좀 더 상세히 논의되어 있다.

표 7.1 발파해체공법과 기계식 해체공법의 작업 및 공해특성 비교

구분	발파해체공법	기계식 해체공법
진동	같은 거리에서 측정한 진동은 기계식해체 공법에 비하여 약 10배 정도이지만 주변시설물에 영향을 미치지 않고 순간적임	진동으로 인한 주변건물의 피해는 없으나 지속적이고 낮은 장기간의 진동의 발생으로 인하여 민원 발생우려
소음	발파로 인한 소음은 기계식 철거공법에 비하여 다소 높지만 소음의 지속시간은 3~4초 정도	소음의 발생도는 낮으나 진동의 경우처럼 지속적인 소음으로 인한 청각상의 불쾌감 유발 및 민원의 발생우려
분진	발파시 분진의 발생은 불가피하며, 보통은 살수차에 의한 집중살수로 발생한 분진을 가라 앉혀야하며, 상대적으로 누적분진량은 적은 편임	전 공사기간 동안에 지속적인 분진이 발생하며, 주변에 지속적인 분진의 발생으로 인한 누적분진량이 증대
비석	발파해체시 폭풍압에 의한 비석이 발생하며, 사전에 장전부재에 대하여 부직포, 철망 등으로 보호막처리 해주면 비석의 위험은 감소하지만 철저한 주의필요	해체시의 비석발생량은 적은편이지만 상부해체시 해체폐기물을 하부로 낙하 운반하므로 인하여 작업장 사고의 위험존재
폭풍압	폭파시의 폭풍압에 의하여 비석의 발생뿐만 아니라 주변건물의 유리창 등이 파손될 염려가 있음	폭풍압에 의한 피해는 없음
경제성	5층 이상의 고층건물 일수록 경제성에서 유리	저층(5층 이하)의 경우는 발파해체보다 해체비용이 저렴
공사기간	기계식 해체에 비하여 순공기면에서 반 정도로 단축됨	공사기간이 발파해체에 비하여 길어짐
작업안전성	구조물의 발파시까지의 구조적으로 안정을 유지하므로 안전성은 유리하나 발파당시의 현장통제는 필수적이며, 사전취약화 작업시에 구조적 안정저해 및 산업재해 발생우려가 있음	전체 구조물에 대한 해체가 이루어지므로 부재의 해체 진행 중 역학적인 구조가 불안정하게 되어 갑작스런 붕괴가능

4) 공법설계 시 고려사항

발파해체공법은 해체 대상 구조물에 대한 구조역학적 문제와 구조물 붕괴시 지반에 전달되는 충격에너지의 양을 충분히 고려하여 최적의 발파위치 선정과 에너지 흡수를 위한 발파시간차의 배분 등 다음과 같은 사항들에 의해서 발파해체 설계가 이루어진다.

- ① 구조물의 구조적 형태 및 특성과 구조적 지지점을 파악한다.
- ② 구조물의 붕괴과정에서 발생하는 거동상황의 예측과 붕괴 유도 방법을 설정한다.
- ③ 주변 여건을 고려한 붕괴 계획 방향에 맞는 화약장전 개소를 결정한다.
- ④ 각 장전대상 구조체의 철근량과 강도 등을 파악하여 파괴에 적당한 천공각도, 천공깊이 및 폭약의 종류와 장약량을 산정한다.
- ⑤ 구조물의 용이한 붕괴와 붕괴저항의 밸런스를 고려한 사전취약화 대상위치 및 크기 등을 결정한다.
- ⑥ 발파로 인한 주변의 환경영향을 최소화하기 위한 지발당 장약량을 결정한다.
- ⑦ 건물이 붕괴 될 때 자중에 의한 지반충격을 최소화하기 위한 각 층 및 구역별 지연기폭 시간차를 결정한다.
- ⑧ 발파시 소음, 진동, 분진의 영향 등을 고려한 위험지역과 경계지역을 구분한다.

7.3 발파해체공법의 종류

1) 전도공법(Felling)

여유 공간이 있는 경우에 한쪽방향으로 전도시키는 방법으로 기술적으로 가장 간단한 공법이다. 장전공의 천공방향을 조절함으로써 전도방향을 조절할 수도 있으나, 전도시의 충격으로 인한 지반의 진동이 크게 되는 단점이 있으므로 전도방향 쪽에 모래를 쌓는 등 충격을 완화할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 또한 전도 시에는 붕괴되는 방향으로 구조적인 불안정을 유도하여 전도가 원활하게 이루어지도록 힌지(Hinge)를 설정하기 위한 적절한 파쇄범위를 결정하는 것이 중요하다. 대상구조물은 주로 굴뚝, 고가수조, 송전탑 등이 있다. 국내에서는 발전소나 제철소의 굴뚝, 냉각탑을 이러한 방법으로 해체하는 사례가 많다.

2) 단축붕괴 기법(Telescoping)

해체대상 건물의 주변에 충분한 여유 공간이 없는 경우에 적용되는 공법으로 붕괴시의 초기 운동량으로 구조물의 하부로 계속적인 붕괴를 유도하며, 구조물의 하부 중앙 쪽으로 파쇄물이 쌓이므로 시각적인 효과가 좋고 하부에 미리 쌓여진 파쇄물이 충격의 흡수제 역할을 하기도 한다. 국내 ○○호텔 발파해체시에는 구조물의 중앙부는 단축붕괴기법으로 먼저 붕괴되면서 좌우측 부분은 안쪽으로 끌리는 듯이 붕괴되도록 하는 공법을 적용하였다.

3) 상부붕락공법(Toppling)

단축붕괴공법을 적용하여 일반적으로 2~3열의 기둥을 가진 구조물이 발파와 함께 붕괴되면서 한쪽방향으로 전도되어 점진적으로 붕괴되도록 하는 방법이므로 한쪽 방향으로 여유 공간을 확보한 경우에는 쉽게 적용이 가능하며, 지반의 진동을 경감시키기 위하여 점진적인 붕괴가 이루어지도록 기폭시스템을 잘 조절하여야 한다. 발파해체기법 중에서는 건물을 대상으로 하여 가장 일반적으로 사용되는 공법이다. 구조물의 대각선 방향으로 붕괴되면서 전

도되어 구조물의 파쇄가 용이하도록 하는 공법을 적용하였다.

4) 내파공법(Impllosion)

제한된 공간을 가진 도심지에서 인접건물의 거리가 가까운 경우 구조물이 중심방향으로 붕괴되도록 구조물의 외벽을 중심부로 끌어당기면서 붕락됨에 따라 주변의 필요공간을 최소화할 수 있다. 이러한 경우에는 발파구역의 선정시에 건물의 중심부부터 붕괴되도록 발파시차를 조절해야 한다.

5) 점진붕괴공법(Progressive Collapse)

내파공법과 유사한 공법이기는 하지만 구조물의 붕괴가 중심으로 이루어지는 것이 아니라 한쪽 끝으로부터 선형적으로 붕괴가 이루어지는 공법으로 아파트와 같이 길이가 긴 구조물에 이용된다.

6) 연속붕괴공법(Sequenced Racking)

복합형상으로 이뤄진 건물을 순간적으로 붕괴시키는 공법으로 3차원적 기폭 시스템이 설계되어 시차를 두고 여러 곳에서 붕괴가 진행된다.

7) 부분 발파해체

해체공법 중에서도 고도의 기술을 요하는 기술로 부분발파는 기존 건물의 국부적인 해체가 필요할 때에 기존건물에 진동에 의한 피해 없이 발파해체하는 첨단 해체기술이다. 이러한 공법의 적용시에는 부분해체되는 부분과 해체되지 않는 부분의 연결부는 커터기 등 절단기를 이용하여 미리 절단하므로서 발파시 충격으로 인한 잔여건물에 피해가 없도록 해야 하며, 붕괴방향도 기존건물에 영향이 없는 쪽으로 유도해야 한다.

7.4 발파해체공법의 공사수행 절차 및 설계

발파해체공사를 수행하기 위해서는 사전에 해체대상건물 주변에 대한 정확한 조사 및 구조물의 구조적인 특성에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 이러한 검토 작업에는 주변의 환경영향권 분석 작업에서부터 대상건물의 층수, 세대수, 건평 등에 대한 정확한 개요, 건물의 설계도에 의하여 기초, 기둥, 전단벽, 칸막이벽 및 지붕 등에 대한 정확한 구조형식의 파악, 그리고 명확한 공사범위의 설정이 이루어져야 한다. 이러한 준비 작업을 토대로 설계가 이루어지고, 이러한 설계에 의하여 치밀하게 공사가 진행되어야 한다. 또한 발파 전에는 시험 발파를 실시하여 설계된 장약량의 적정성을 확인하는 등 기초 이론적인 면을 경험과 시험에 의하여 보완하여 공사를 수행하는 것이 일반적인 방법이다. 따라서 아래에서는 발파해체 공사가 수행되는 적절한 절차 및 설계과정, 설계절차 등에 관해서 기술하였다.

1) 공사수행절차

발파해체공법의 일반적인 공사수행절차는 주변여건 및 대상구조물 사전조사 → 설계 및 시물레이션 → 내장재 철거 → 사전취약화 → 천공 및 장약작업 → 방호작업 → 결선 및 발파 → 사후처리 → 공사완료의 순서로 이루어지며, 이러한 과정별로 세부공정은 다음의 그림 7.1에 나타내었다.

2) 설계과정

(1) 설계의 기본원칙 및 개념

발파해체공법에 의하여 구조물의 해체공사를 계획하고 설계할 때에는 사전에 조사된 충분한 자료를 근거로 건물의 구조역학적인 특성 및 주변의 환경영향을 고려한 붕괴패턴의 결정, 붕괴시의 소음·진동 등의 환경적인 영향을 충분히 반영시켜서 최적의 설계가 되도록 해야 한다.

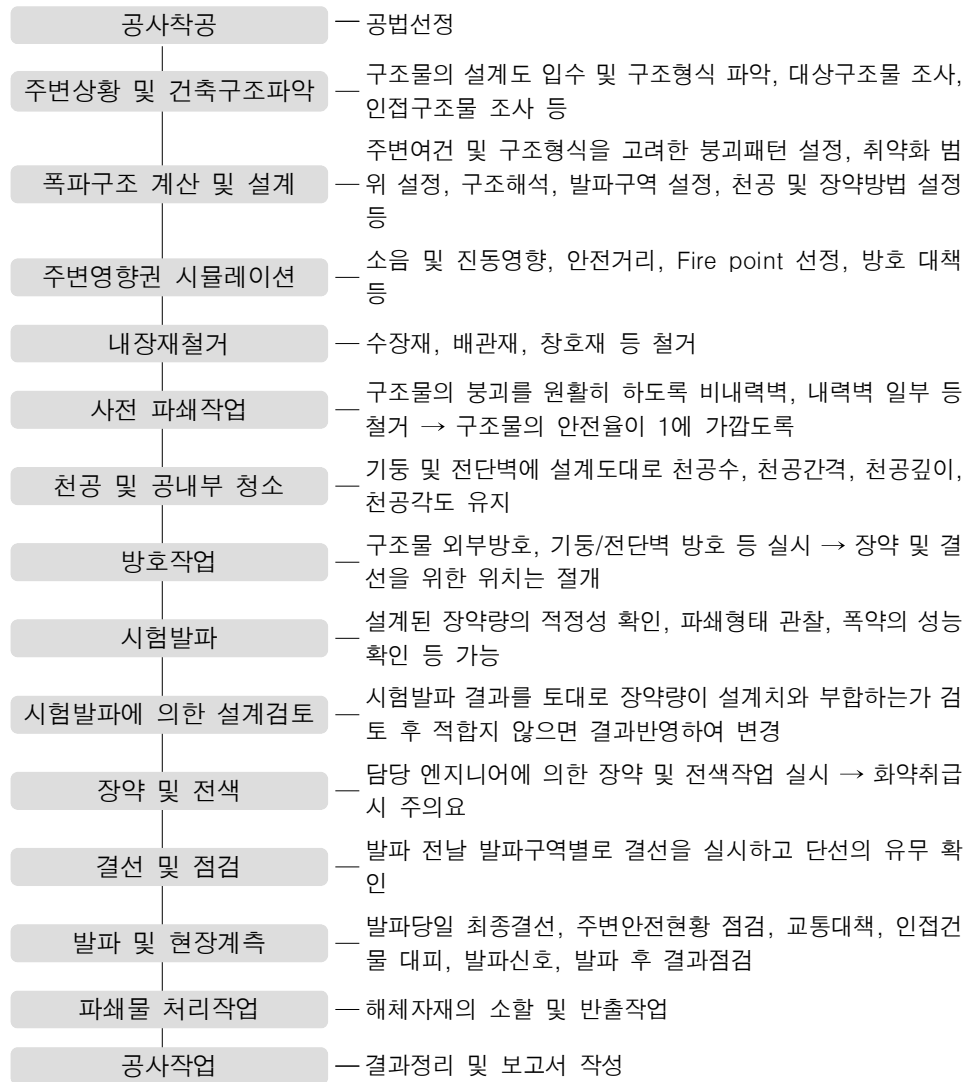


그림 7.1 발파해체 공사수행절차

최적의 설계란 발파충수, 발파위치, 천공위치 및 개소, 적정장약량의 사용, 발파시차의 결정 등을 설계에서 복합적으로 치밀하고 명확하게 결정되도록 하는 것이다. 고려할 사항으로는 건물의 구조적인 문제 파악에 의한 구조물의 지지점 파악과 건물의 붕괴패턴 예측과 그러한 붕괴를 일으킬 수 있도록 하는 방법의 설정 및 선정된 붕괴패턴, 기둥과 전단벽의 강도, 철근량을 고려한 천공위치, 천공각도, 천공 깊이의 결정과 구조물의 붕괴효과를 높이기 위한 사전 취약화 작업의 위치 및 규모에 대한 결정이다. 또한 구조물의 강도 및 발파에 의한 주변 환경에 미치는 영향을 고려한 폭약의 종류 및 공당 장약량의 산정, 건물 붕괴에 따른 구

구조물의 상호 충돌로 인한 파쇄효과와 이로 인한 지반충격의 완화를 고려한 지발시차의 결정, 발파시의 소음, 진동, 폭풍압 등을 고려한 위험 및 경계지역 설정 등이다.

(2) 설계과정

① 구조형태 파악 및 구조진단

구조형태는 입수되거나 역추적하여 작성된 설계도에 의하여 파악할 수 있으며, 이것을 근거로 구조물에 대한 현장조사를 실시하여 정확한 구조진단을 실시하여야 한다. 현장조사에는 구조물의 형태가 설계도대로 되어 있는가를 정확하게 파악해야 하며, 기둥이나 전단벽에 대한 철근량 조사 및 위치확인 작업, Schmidt hammer에 의한 비파괴 검사나 압축강도 시험에 의하여 설계시 강도와 구조물의 실제 강도를 비교해 보아야 한다.

② 안전성 검토

발파해체공법은 화약을 사용하여 고층 구조물의 점진적 붕괴를 유도하여 낙하시켜 해체하는 공법이므로 상당한 위험이 상존하고 있다. 따라서 발파해체공법의 설계시에는 이러한 안전성에 대한 검토가 반드시 이루어져야 하며, 검토사항은 아래와 같다.

● **사전취약화의 위치** : 사전취약화는 구조물의 낙하와 붕괴를 원활하게 하기 위한 것이지만 사전취약화의 위치와 대상 부분이 잘못 고려되면 발파해체 전에 구조물이 붕괴할 수 있는 최악의 상황이 발생할 수 있으므로 신중히 고려되어야 한다.

● **사용화약량** : 발파해체에서 가장 중요한 요소 중의 하나로 사용량이 과다하면 주변건물 및 인명에 대한 손상이 예상되므로 발파 전에 시험발파 등에 의하여 정확하게 검토되어야 한다.

● **붕괴방향** : 예측치 못한 붕괴방향은 중대한 위험을 초래할 수 있으므로 천공각도 및 천공방향, 사전취약화의 위치선정 등을 조절하여 정해진 방향으로 정확한 붕괴를 유도할 수 있어야 한다.

● **방호시설** : 발파시에 폭풍압에 의하여 발생하는 파쇄물의 비산에 의한 피해를 줄이기 위하여 발파 대상구조물에 대한 내외부 방호를 철저히 실시하여야 하며, 방호시설은 철망, 골합석, 부직포 등 사용할 수 있는 방법들에 대한 검토를 통하여 최상의 방법을 적용해야 한다.

● **장비의 사용** : 발파가 이루어지는 층에서 장비에 의한 사전취약화 작업, 천공작업시의 안전에 대한 조치가 필요하다.

③ 구조해석

구조물의 설계시점에서 구조설계기준 및 안정성을 검토하고 검토시에는 현재 사용되는 구조계산기준과 규칙 등에 의하여 분석이 이루어져야 한다. 현재로서는 구조물의 붕괴패턴에 대한 정확한 시뮬레이션이 불가능하므로 ETABS, GT-STRUDL, SAB, FLAC 등 프로그램을 사용하여 정역학적 해석을 실시하고 응력의 분포나 변형량 등을 분석하여 구조물 전체의 역학적 특성에 대하여 정확하게 분석해야 한다.

④ 붕괴거동

앞서 설명하였듯이 구조물의 형태, 주변건물과의 이격거리, 주변건물의 분포형태, 지반의 특성, 지반진동 등을 복합적으로 고려하여 붕괴패턴 중 한 방법을 선택하든가 복합하여 붕괴가 원활하게 이루어지도록 해야 한다.

해체로 인하여 발생하는 각종 해체물의 불필요한 것들을 재활용할 수 있는 방법에 대하여 알아보면 건설폐기물의 특징은 대부분 고체형태의 물질로서 많은 종류의 자원이 다양한 형태로 포함되어 있으나 자원의 자연순환 어려움이나 배출형태를 고려할 때 이러한 폐기물을 재활용 한다는 것이 쉬운 일은 아니다. 그러나 부족한 자원을 보호하고, 사회경제적인 측면에서 이용 가능한 폐기물을 최대한으로 활용하는 것은 매우 중요하며, 지속적인 연구가 필요하다.

현행 해체공법의 활용으로 인한 해체물의 이용형태와 방법은 다음과 같이 분류할 수 있다.

(1) 부재해체물

- (2) 파쇄해체물

- ① 재생이용형

부분적으로 할 수 없는 부분이라든지 파쇄 해체한 것을 원형에 가까운 상태로까지 형태변환해서 재이용 한다.

- ## ② 환원형

재생이용이 곤란한 것에 대해서는 소각에 의한 에너지회수를 가능하게 하며, 극력 감량해서 자연환원이 쉬운 형태로 변환해서 최종 처분한다. 해체자원의 인위적인 순환시스템의 개요는 그림 7.2와 같다. 그러나 이와 같은 새로운 자원화 시스템의 실현에는 기술적인 측면 이전에 여러 가지의 장애요인을 제거하는 것이 매우 중요하다. 이것을 사회적인 체제구성으로도 볼 수 있는 것으로 우선 폐기물의 자원화 활동 그것이 자원과 환경보전의 입장에서 실로 정당화 될 수 있는 것이다. 한편, 생산물의 소비자 내지 이용자가 종래의 천연자원에서 재생자원 의존형으로 교체되어 그 이용 효율을 고양하는 대책의 실시가 요구된다.

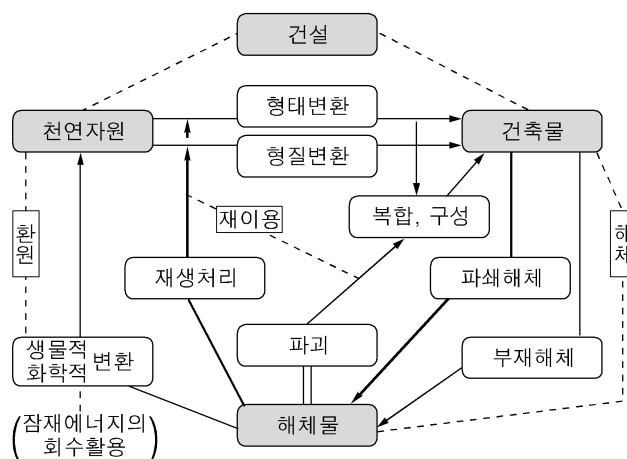


그림 7.2 자원의 인위적 순환 개념도

2) 종류별 해체폐기물의 처리 및 재이용

건설폐기물은 유기질계와 무기질계로 구분할 수 있으며 무기질계 폐기물은 비금속류, 금속류 등으로 구분하며, 각각의 처리 및 재활용 방안은 다음과 같다.

(1) 무기질계 폐기물

① 비금속류

일반적으로 무기질계 비금속류로서는 시멘트, 판유리, 도자기 및 타일 등 지구표층의 구성물질에 가까운 것으로 환원성에는 별문제가 되지 않지만 건축물 해체시 콘크리트덩어리 등은 대량으로 배출되므로 매립 투기 등의 방법으로 처리할 수 있으나 투기장소 확보 등이 곤란하고 자원절약이라는 측면에서 재생 골재 등으로 활용하는 것도 바람직하다.

유리, 벽돌, 기와, 석재 등에 대해서도 재활용 방안을 강구하는 것이 좋으며, 유리, 석재 등 고급품은 재사용자에게 판매하는 방법도 있다.

② 금속류

건축물 해체폐기물중 금속류는 대부분 재활용이 가능하며, 특히 고철근의 양호한 것들은 재생하여 다시 강봉 등으로 활용되며, 작은 것들은 앵커 볼트, 꺾쇠 등으로 사용된다. 초고층건물의 기둥, 보 등의 골조는 대형 H형강이 사용되고 대부분 고장력 볼트에 의하여 결합되어 있으므로 해체시 주의하면 거의 재사용이 가능하며 건물전체의 이축도 가능 할 것이다.

이러한 측면에서 볼 때 건축물 해체시에는 가능한한 해체물을 재활용 할 수 있도록 해체물을 종류별로 분리하여 집적하는 것이 바람직하다.

(2) 유기질계 폐기물

건축물 해체시 유기물중 가장 다량으로 배출되는 것이 고목재로서 가능한 한 재이용할 수 있는 방법을 강구하는 것이 좋다. 유기질계의 대부분은 소각처분을 하고 있으며, 소각 시 CO₂ 등 가스를 배출하고 지구의 기온을 상승시킬 뿐 이익은 없다. 유기물은 가급적 유기물의 형태로 재이용하면 좋다.

외국의 경우에는 해체로 인해 발생하는 고재료를 판매하는 곳이 있어 쓸만한 것을 이용자로 하여금 구입하여 사용할 수 있도록 함으로써 자원절약의 일익을 담당하고 있다. 해체폐기물중 플라스틱류 및 특히 유해한 물질은 선별해서 안전하게 별도 처리하는 것이 바람직하다.

3) 콘크리트 해체물의 재이용

건축물 해체에 있어서 콘크리트는 무기질계 폐기물로서 가장 많은 양의 배출물로서 발생하며, 이 콘크리트는 해체물을 적절히 이용하면 자원절약은 물론 해체폐기물 처리비를 상당히 줄일 수 있을 것이다. 콘크리트의 해체는 부재해체와 파쇄해체로 구분할 수 있으며, 각각의 이용방안은 다음과 같다.

(1) 부재해체

① 직접이용

콘크리트구조물을 부재해체하는 경우 직선절단이 가능하며, 여러 가지 형태물을 만들어 낼 수 있다. 이들 각 해체부재의 종류 및 용도는 대개 표 7.2와 같이 a는 슬래브, 벽체, 보 및 기둥 등을 절단

한 단순형으로 부서, 도로용 판재, 블록 등으로 재이용이 가능하며, b 및 c 는 슬래브와 보, 기둥과 보 등 복합형의 형태로 재생한 것으로써 호안용조적석, 조적 석형틀 및 유원지용 비품 등으로 활용한다. 또한 d의 경우 건물의 일부를 1개의 단위형태(Unit)로 절단하여 이동 후 간단한 사후처리 등을 함으로써 해체형태 그대로 재조립하여 가설용 건물, 간이창고 등의 용도로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 해안에서의 물고기집 등으로도 활용이 가능하다.

표 7.2 해체부재의 종류와 응용

종 류		설 명	용 도(예)
단순형	(a)	기둥, 벽, 슬래브 단독 부분의 해체물	부석, 도로용 판재, 블록, 담, 수로의 뚜껑, 문기둥, 벽재 등
복합형	(b)	보, 기둥교차부의 해체물	호안용 쌓기돌, 형틀, 물고기집, 유원지용 비품
	(c)	슬래브가 부착된 보, 벽이 부착된 기둥의 해체물	줄기초, 벤치, 도로용 판재, 기계기초, 주차장판재, 도로분리대 등
	(d)	기둥, 보, 슬래브, 벽 등이 부착된 Unit 해체물 재조립도 가능	가설용 건물, 암거, Garage, 물고기집, 간이창고, 축사 등

② 가공이용

해체부재에 절단, 정형, 연마처리, 특히 무기질이나 유기질계 폴리마에 의한 개량처리, 도장 등의 마감처리를 함으로서 가치가 증가하고 보다 고도의 이용을 할 수 있으며, 콘크리트는 절단 방법 및 운용요미에 따라 해체부재를 사후처리 함으로써 장식적인 효과를 낼 수 있을 뿐만 아니라 고급재로서의 재활용도 가능하다.

● 마감재 : 대용 붙임돌, 간판재 및 타일

● 조립재 : 소주택용 조립재, 블록류, 칸막이, 조적석류 대체물, 포장도로(보도블럭) 등

● 기타 : 화단용재(식목화분 및 울타리 등), 공원이나 유원지 등의 부속물, 기타 콘크리트 절단면에 서는 배기가스(CO₂, NO₂ 등)의 흡착작용이 있으므로 정화제로서의 이용도 가능하다.

(2) 파쇄해체

자원환원을 염두해 두고 해체한 콘크리트를 처녀자원의 정도로까지 되돌리는 것은 매우 어렵지만 기존의 처리기술을 최대한으로 활용하여 다음과 같이 재이용 방안을 모색할 수 있다.

① 골재

콘크리트 파쇄물을 재생골재로서 활용할 수 있다. 재생골재는 일반골재(처녀골재)에 비해 다소 성능이 떨어지므로 재생골재의 처리방법, 골재의 강도, 성질 등을 잘 분석하여 도로포장용 골재, 콘크리트용 골재 등에 적절히 사용하는 것이 바람직하다. 골재로서의 재이용은 그 재료조성이 용이하고 다량소비가 가능한 상황하에서 이루어져야 하고 적절한 재생처리방법도 매우 중요하다.

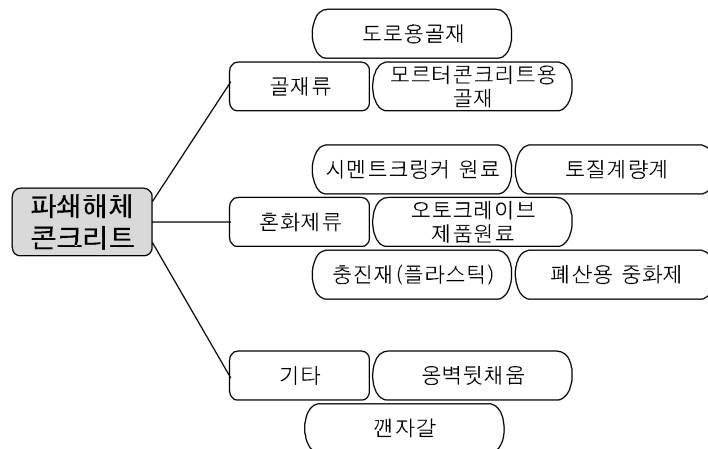


그림 7.3 콘크리트 파쇄물의 재활용

② 혼화재료

용도의 한 가지로는 오토클레이브(Autoclave)양생에 의한 시멘트 제품에서의 재이용이고 활성부여 물질을 병용한다. 시멘트 성분이 풍부한 부분은 시멘트 크링커나 중화제 및 토양개발제에 적용하면 좋다. 탄산칼슘 대체물로서 플라스틱재료의 중량재로서의 재이용도 가능하지만 효율적인 가루형태 처리의 선정에 좌우된다.

상기 ①, ② 등의 재자원화에 대한 유의점은 다음과 같다.

- 재생자원에는 엔트로피(Entropy) 등에 의한 질적 저하가 수반된다.
- 오염물질을 부수적으로 생성하는 것이 많다.
- 해체폐기물의 발생원은 처녀자원에 비해 보다 분산돼 있기 때문에 회수율이 낮고, 경제성이 적기 때문에 재자원화를 꺼리는 경우가 있으므로 폐기물의 재자원화를 위해서는 각각의 대책이 필요하다.

4) 해체 고목재의 재활용

해체에 의해서 배출되는 고목재는 유기질계 폐기물로서 가장 다량이며, 일부 양품은 고재업자가 인수하여 판매루트에 보내지는 경우도 있으나 거의 소각되든가 야적하여 썩혀 버리는 것이 대부분이다.

본 항에서는 고목재의 재활용 방안에 대해 알아보면 다음과 같다.

(1) 해체 고목재의 재활용 방안

고목재 재활용의 가장 유효한 방법은 이축이다. 여러 가지 이유로 불필요하게 된 가옥을 해체하여 다른 장소에 이축하여 사용하는 것으로 옛부터 사찰, 고궁, 각종 문화재 등이 종종 실시되어 왔다. 다음으로는 지붕트러스 등 구조재로서 거의 그대로 재이용하는 것으로 고목재상이 인수하여 요구자에게 판매함으로서 재이용하는 방법이 있다. 일반적으로 고목재는 이용하지 않고 처분하는 경우가 대부분이지만 다음과 같은 방법에 의해 재이용할 수 있다.

① 잘게 부수어 접착하여 집성재를 만든다.

이것은 비교적 큰 단면을 잘게 부수어 접착제로 복합하는 것으로, 기둥재, 보재 등으로 사용한다.

이 때 주의해야 할 사항은 못 콘크리트 조각 등이 부착되어 있는 경우 이들을 적절히 제거하는 것이다.

② 조각으로 파쇄하여 재활용한다.

고목재에서 벨브용 칩이나 목모(시멘트판)를 제조할 수도 있으나 칩 제조용 공구를 사용하기 위해서는 고목재의 못, 콘크리트 조각 등을 전부제거하지 않으면 안 된다.

(2) 목편 콘크리트로서의 재활용

목편 콘크리트의 용도로서는 판재로서 벽판, 바닥판 등의 제품으로 할 수 있으나 Mesh로 보강해서 마루바닥판, 지붕바닥판 등으로 하거나 벽, 천장의 내장, 바탕판 등을 만들 수도 있으며, 적층재의 중심재로서의 이용도 가능하다. 이런 것들을 실용화하기 위해서는 열전도율, 차음성, 방화성 등을 분명히 하고 고목재의 집적시스템 등을 확립할 필요가 있다.

7.6 발파해체 시스템 분석

발파해체공법은 많은 변수들을 서로 복합시켜 이루어지는 것이다. 즉, 앞서 언급한 것과 같이 발파패턴 및 붕괴방향 설정, 발파구역 선정, 적절한 발파층의 선정 및 사전 취약화에 의한 원활한 붕괴유도, 적정 천공패턴(천공개수, 천공간격, 천공 깊이, 천공각도 등)의 설정, 적정화약의 선정 및 장약량 결정, 전색 및 방호방법, 발파구역간의 발파시차, 결선 및 단선 유무확인 방법 등을 서로 복합시켜 해체대상 구조물이 설정된 붕괴패턴대로 원활하게 붕괴되도록 유도하는 것이다. 만약 이러한 요소 중의 어느 한부분이 어긋나면 예기치 않은 방법의 붕괴가 발생하거나 안전사고로 치명적인 결과를 가져올 수 있다. 따라서 이번 절에서는 이러한 각 요소별로 적정한 시스템을 분석하여 제시하고자 하며, 이러한 부분은 발파해체의 핵심부분이라 할 수 있다.

1) 붕괴패턴의 설정

설계 시 대로 구조물이 붕괴되도록 유도하는 것이 붕괴패턴이며, 구조물의 붕괴거동에 대한 예측은 절대로 금물이지만 주변입지여건 및 안전한 측면에서 아주 중요한 기술이라 할 수 있다. 따라서 붕괴방향을 설정할 때에는 대상구조물 주변의 입지여건 고려, 즉 지장물의 유무에 따라서 천공수, 장약량, 발파구역, 지연시차, 발파층 등을 적절히 조절하여 그 방법을 설정하여야 한다.

2) 내장재 철거

일반 장비에 의한 경우와 마찬가지로 발파해체 작업 수행 시에는 건물 내부의 내장재 및 특수 폐기물들은 사전에 철거가 이루어져야 한다. 특히 폭약이 장전되어 발파가 이루어지는 발파층에서는 이러한 내장재를 모두 철거해야하며, 석면이나 유리섬유 등과 같이 발파시의 압력으로 부유물질이 되어 공기 중에 떠다닐 수 있는 유해물질들은 발파 전에 철거하게 제거되어야 한다. 이와 같이 사전철거가 이루어져야 하는 내장재는 창틀 및 문틀 등 창호재, 배관재, 천장재, 수장재, 아스타일, 각종철재, 석면이나 유리섬유, 각종 생활쓰레기, 알루미늄 새시, 전선류, 옥상방수재 등이 있다.

3) 사전 취약화 작업(Pre-Weakening)

발파대상 구조물의 주요부위에 장전된 장약의 효율을 높이고 예정된 붕괴패턴과 붕괴방향으로 구조물이 정확하게 붕괴되도록 유도하고 하부층의 경우에는 발파시에 충분한 위치에너지를 확보하기 위하여 발파해체 전에 구조물의 주요부위를 파쇄하는 작업을 말한다. 즉, 발파가 이루어지는 층의 비내력벽, 외벽 및 계단과 일부내력벽을 철거하므로서 예정된 방향으로의 붕괴를 원활하게 유도하고 사용 폭약량을 감소시키며, 충분한 위치에너지를 확보하므로서 낙하시의 충돌로 인한 구조물의 파쇄효과를 충분히 얻기 위하여 구조물이 설계당시에 가지고 있는 여유 안전율을 제거하고 안전율이 1.0인 상태에 가깝도록 취약화 시키는 작업을 말한다.

이러한 사전 취약화 작업이 너무 과소하게 되면 계획된 붕괴거동에서 벗어나거나 계획대로 붕괴되지 않거나 최악의 경우는 불완전 상태로 붕괴될 염려가 있고 실제로 그러한 사례들이 있으며, 사전철거가 너무 과다하게 이루어지는 경우에는 작업 도중에 구조물이 예기치 못하게 전도되는 등 중대한 위험이 발생할 수 있다. 그러므로 사전파쇄 위치는 구조적 판단 및 해석을 바탕으로 건물의 구조적인 안정을 해치지 않는 범위에서 정확하게 설정되어야 하나 대상구조물마다 특성을 달리하므로 일상적인 범위를 설정한다는 것은 상당히 어려운 문제이다. 또한 사전파쇄작업은 인력이나 장비에 의하여 구조물의 내부에서 이루어지므로 작업 중의 안전에 대한 각별한 주의가 요구된다. 일반적으로 적용되는 **사전 취약화의 범위**를 정리하면 아래와 같다.

- ① 기둥 : 기둥은 구조물의 하중을 지지하므로 사전취약화 시키지 않는 것이 일반적이다.
- ② 내력벽 : 1층의 경우에는 발파시의 충분한 위치에너지를 확보하기 위하여 기둥을 제외하고는 전단벽 전체를 철거하는 것이 일반적이다.
- ③ 비내력벽 : 발파층의 모든 비내력벽은 사전취약화의 범위에 속한다.
- ④ 계단 : 계단에 대한 사전취약화는 시공회사마다 방법을 달리한다. 즉, 어떤 시공사에서는 붕괴시 붕괴거동에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 최하층부의 계단은 완전히 철거하고 나머지 층에 대해서는 발파층에 대해서만 계단의 상하부 한단씩만 콘크리트를 파쇄하여 철근을 노출시키는 방법을 택하고 있다. 그러나 다른 시공사의 경우에는 계단은 사전취약화 시키지 않는 것이 일반적이다.
- ⑤ 코아부 : 주로 엘리베이터 통로로 이용되는 코아부는 벽체가 전단벽으로 구성되어 있으므로 구조기술자의 정확한 판단이나 구조해석에 의하여 일부벽체에 대하여 사전파쇄를 실시한다.

이와 같은 사전 취약화는 구조해석 및 판단만 정확하게 이루어진다면 해당 층에서 구조부재의 일부를 철거하더라도 작용하중에 대한 하중의 재분배가 이루어져서 극한적인 위험상태까지는 도달하지 않을 것이다. 사전취약화 작업은 파쇄시의 장비의 사용으로 인한 위험을 최소화하기 위하여 최상부 층에서 하부 층으로 역으로 내려오면서 실시하는 것이 좋으며, 파쇄된 폐기물들은 파쇄와 함께 밖으로 반출시켜야 한다.

4) 천공작업 및 방호

천공작업은 계획된 구조부재에 장약을 실시하기 위하여 발파가 이루어지는 주요층의 기둥과 내력벽에 대하여 착암기를 이용하여 실시한다. 천공시에는 사전에 예정된 기둥과 전단벽에 대한 천공개수, 천공간격, 천공각도, 천공직경, 천공깊이 대로 정확하게 실시하여야 하며, 천

공 중 철근의 결림으로 인하여 위치를 바꾸고자 할 경우에는 담당자의 판단에 의하여 실시하여야 한다. 이러한 천공방법들은 구조물의 재원과 시공회사에 따라서 약간씩의 차이가 있다. 천공이 끝난 후에는 공내부에 대한 청소를 깨끗이 실시하여 장약 및 전색작업에 어려움이 없도록 해야 하며, 이러한 작업이 끝난 후에는 그 위치를 표시하고 입구를 막아 이물질이 투입되지 않도록 해야 한다.

(1) 천공위치 및 방향

천공위치 및 방향의 설정은 구조물의 재원 및 형태, 천공개수, 붕괴패턴의 설정 즉, 발파구역의 선정 등에 따라서 기둥과 전단벽이 각각 다르게 적용된다. 이러한 천공위치 및 방향에 대한 기준은 기술자마다 약간씩 방법을 달리하지만 일반적인 방법은 아래와 같이 정리할 수 있다.

① 기둥

- **장방향 기둥** : 발파효과를 좋게 하기 위하여 장방향으로 작업을 실시하지만 장방향으로 작업이 어려운 경우나 붕괴거동이 단방향 천공을 요구하는 경우에는 단방향으로 실기하기도 한다.
- **정방향 기둥** : 어느 방향으로 천공이 되더라도 발파효과에 별 차이가 없으므로 이러한 경우에는 발파에 의한 비석의 비산방향, 구조물의 붕괴패턴, 인접구조물의 입지여건을 고려하여 천공방향을 설정하는 것이 좋다.

② 전단벽 : 전단벽에 대한 천공방법은 우선적으로 전단벽의 두께와 관계가 있으며, 다음으로 기술자의 견해의 차이에 따라서 달라진다.

- **벽체의 두께 관계** : 벽체의 두께가 약 30~40cm 이하인 경우에는 벽체의 중앙부 일부를 헐어내고 벽체와 나란하게 양방향 천공을 실시하며, 이 때는 천공수에 따라서 달라지겠지만 양쪽으로 약 2~3공씩을 천공한다. 이 때의 천공 깊이는 코어드릴 비트의 길이문제로 약 1.5cm 이하 깊이로 천공한다. 전단벽의 두께가 40cm 이상인 경우는 주로 벽체 면에 수직으로 3~5열로 수 십공을 천공하는 방법을 쓸 수 있지만 이것이 표준화된 방법은 아니다.
- **시공회사의 적용방법상의 차이** : 벽체의 두께에 관계없이 벽체면에 수직으로 천공하는 방법과 벽체 중앙부 일부를 헐고 벽체와 나란하게 천공을 실시하는 방법 등으로 구분된다. 일반적으로는 앞서 기술된 바와 같이 벽체의 두께를 고려하여 적용하는 방법을 선정한다.

③ 보 : 일반적으로 보에는 천공을 실시하지 않는다. 즉, 발파대상으로 삼지 않는다. 그러나 치수가 큰 부재에 의하여 붕괴거동에 영향을 줄 것으로 판단되는 보에 대해서는 천공 후 장약을 실시하여 파쇄 시키기도 한다.

이러한 천공위치 및 방향에 대한 일례로 1995년 11월에 시행된 남산 외인아파트 발파해체 공사를 살펴보면 아래와 같다.

① 기둥

- 4공 이상 천공시에는 기둥의 상하단에서 기둥단면 단폭의 1.25배의 거리를 띄우고 나머지 부분의 길이를 천공수로 나누어 등간격으로 천공하였다. 이 때 천공위치는 기둥의 장방향으로 중심에 실시하였다.
- 3공 천공시에는 기둥의 중앙부분에 1공을 천공하고 이 부분에서 상하로 $1.25 \times (\text{기둥의 단폭})$ 만

큼 띄어서 나머지 2공을 천공하였다.

- 2공 천공시에는 기둥의 중심에서 상하로 $0.625 \times (\text{기둥의 단폭})$ 만큼 거리를 두고 천공하였다. 1공 천공시에는 기둥의 중앙부분에만 실시하였다.



그림 7.4 남산 외인아파트 기둥 천공 상세도

② 전단벽 : 벽체의 중앙부 일부를 헐고 벽체와 나란하게 천공 실시(아래사진 참조)

- 2공 천공시에는 벽체의 중심부에서 상하로 50cm 거리를 두고 천공하였다.
- 3공 천공시에는 벽체의 상하단에서 45cm 거리를 두고 각각 1공씩 모두 2공을 천공하고 나머지 1공은 중앙부에 천공하는 방법을 취하였다.

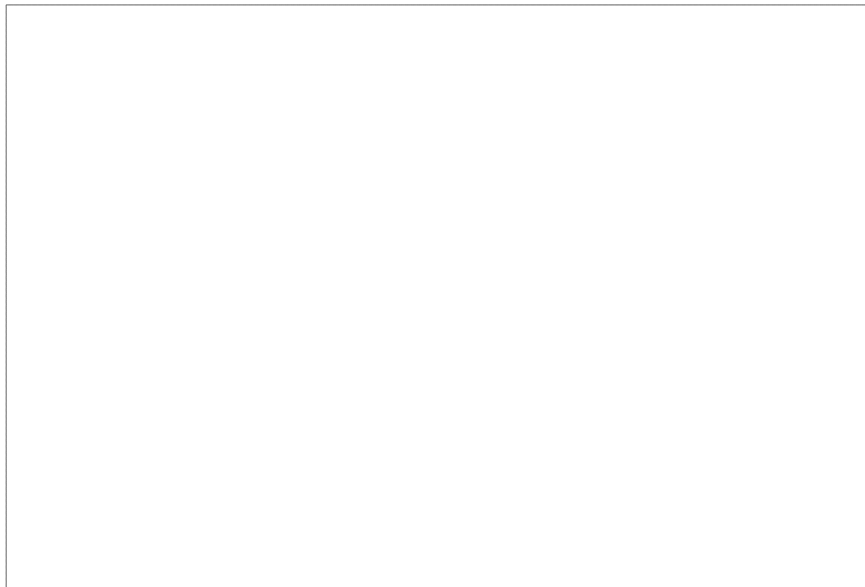


그림 7.5 남산 외인아파트 전단벽 천공 상세도

위의 그림은 남산 외인아파트 발파해체시에 적용된 기둥과 전단벽의 천공 위치도이며, 표 7.3은 지금까지 시행된 발파해체 공사중 6개 시공지구에 적용되었던 천공위치를 정리하여 나타낸 것이다.

표 7.3 천공위치 및 방향 시공사례 분석 예

남산외인 아파트	여의도 라이프빌딩	개봉동 삼보아파트	창동시멘트 저장고	속초 킹덤호텔	일본고도집합 주택철거시험
위의 그림과 같음	기둥의 하단에서 60cm 이격하여 1공을 천공하고 나머지 천공 수만큼 등간격으로 나누어 천공	공간 간격 40~50cm 이격	벽면에 수직으로 수평천공	40cm 등간격 천공	하단에서 35cm 이격하여 1공 천공 후 나머지 구간 천공 수만큼 등간격 천공

암발파이론 면에서 볼 때의 천공간격은 인접공과의 거리를 고려하여 최소저항선의 0.83배로 하는 것이 좋지만 구조물 발파해체는 암발파와 경우가 다르고 파쇄유효반경을 증진시키기 위하여 최소저항선의 1.2~2배까지 유지해도 된다.

(2) 천공수

천공수는 **구조부재의 파쇄효과와 장약량의 결정에 영향**을 미친다. 기둥의 경우에는 2~4공이 가장 일반적이며, 전단벽의 경우는 벽체의 두께 방향으로 천공 시는 20~30공, 벽체단면에 수직하게 천공하는 경우에는 2~3공이 일반적이다. 천공수는 구조부재의 재원(두께, 높이 등) 및 강도, 발파층의 선정, 붕괴패턴과 관계가 있으며, 천공수가 많아지면 공당 장약량을 상대적으로 적게 해주는 대신에 전체적인 파쇄효과는 천공수가 적은 경우보다 좋아지게 된다. 그러나 한 부재에 대하여 장약량과 천공수가 비례적인 관계에 있는 것은 아니다. 예를 들어 같은 제원의 기둥에 대하여 4공 천공시 공당장약량을 40g 사용하던 것을 3공 천공하여 장약량을 50g이나 그 이상을 사용하여야 같은 파쇄효과를 낸다는 원칙은 적용되지 않는다는 것이다. 따라서 천공수는 기둥의 제원에 따른 파쇄효과로 결정되는 것이 바람직하다.

일반적으로는 1층이나 2층 등 하부층은 구조물의 낙하에너지를 확실하게 유도하고 파쇄효과를 좋게 하기 위하여 천공수를 많이(4~5공) 함으로서 발파효과와 구조물의 하중에 의해서 충분한 파쇄가 이루어지도록 하는 것이 좋고, 상부층으로 갈수록 낙하시의 충격으로 인한 파쇄효과와 발파효과를 복합시킬 수 있으므로 원활한 붕괴를 유도할 수 있을 정도(1~3공)로만 천공수를 설정하게 되면 하부층보다는 천공수를 상대적으로 적게 할 수 있다. 그러나 이것은 일반론일 뿐 같은 층이라도 붕괴패턴에 따라서 부재마다 천공수를 달리하는 경우가 많다. 따라서 천공수는 발파층의 위치, 발파구역, 붕괴방향 및 방법, 장약량 등이 복합되어 결정되어야 한다.

표 7.4 시공 예(천공수)

남산외인 아파트	여의도 라이프빌딩	개봉동 삼보아파트	창동시멘트 저장고	속초 킹덤호텔	일본고도집합 주택철거사업
〈기둥〉 1층 : 2~4공 2층 : 2공 기타발파층 : 1~2공 〈전단벽〉 2~3공	〈기둥〉 4~5공 일부 부피가 큰기둥 : 8공 〈전단벽〉 4공	〈기둥〉 2~4공	원형구조물이 므로 비교불가능	〈기둥〉 3~5공 〈전단벽〉 30공	〈기둥〉 4공 〈전단벽〉 1~4공

(3) 천공각도

지금까지 이루어진 실험이나 실시공에서 천공각도가 발파효과에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 명확하게 입증된 예는 없으며, 발파해체 전문가 마다 의견이 양분되어 있다. 그러나 발파 이론적인 측면에서는 경사천공이 파쇄효과가 더 좋다고 한다. 즉, 발파이론에 의하면 발파효과(P)는 천공방향의 직각방향으로의 단위면적당의 힘(p)에 비례하므로 적용 면적이 넓은 경사천공이 유리하다는 것이다.(그림 7.6 참조)

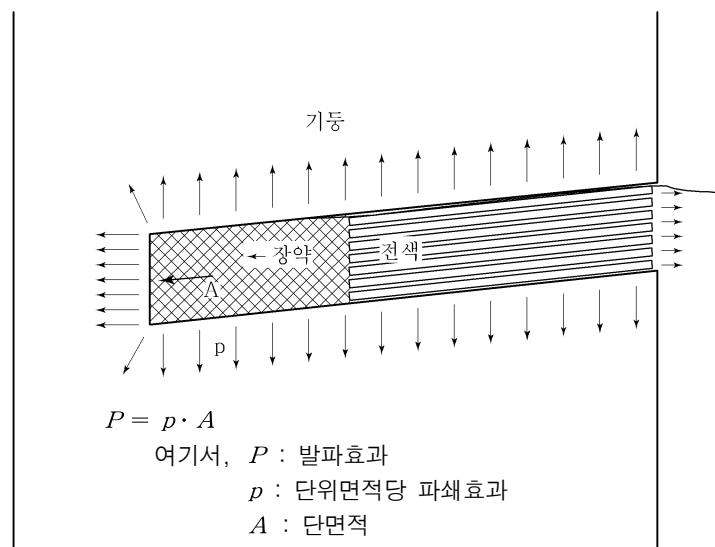


그림 7.6 발파이론에 대한 발파효과

그러나 발파해체 작업 시에는 이러한 기초이론에 의해서 천공각도가 결정되는 것이 아니고 경험에 의한 해당시공회사의 방법 선호도에 따라서 달라진다. 이러한 두 가지 방법에 대한 견해 차이는 아래와 같다.

- ① 수평천공 : 경사천공이나 수평천공이나 발파효과면에서 큰 차이가 없고, 경사천공의 경우는 천공작업 중에 예기치 않은 곳에서 철근이 걸리는 등 작업이 어렵고, 예정된 천공각도를 유지하기가 어려우며, 천공 작업 중 비트의 텅깁 등으로 인한 안전사고가 발생할 수 있으므로 작업이 편리한 수평천공을 선호한다는 것이다.
- ② 경사천공 : 경사천공은 발파효과면에서 확실히 우월하고 경사천공과 똑같은 파쇄효과를

수평천공에서 얻기 위해서는 경사천공시보다 더 많은 장약량을 사용해야 하므로 불리하다는 것이다. 또한 경사 천공시에 안전사고발생 염려는 염려일 뿐이고 경사천공이 전색 및 장약 작업과 전색효과에서도 유리하므로 선호한다는 것이다.

이와 같이 천공각도가 발파에 의한 구조물의 파쇄에 미치는 영향이 명확하게 규명되어 있지 않은 입장에서는 설계자나 시공자의 판단에 따라서 선택할 수 있는 부분이므로 발주자의 판단이 중요하게 작용할 수 있을 것이다. 아래의 표는 기 시공된 발파해체 작업 시에 적용된 천공각도를 나타낸 것이다.

표 7.5 시공 예(천공각도)

남산외인 아파트	여의도 라이프빌딩	개봉동 삼보아파트	창동시멘트 저장고	속초 킹덤호텔	일본고도집합 주택철거시험
<기둥> 장방향 수평천공	<기둥> 기둥 장방향 30~45°	<기둥> 기둥 장방향 30~45°	벽면에 수직으로 수평천공	<기둥> 기둥 장방향 30~45°	<기둥> 장방향 수평천공
<전단벽> 벽체와 평행하게 수평천공	<전단벽> 벽체와 평행하게 수평천공			<전단벽> 벽면에 수직으로 수평천공	

(4) 천공직경 및 깊이

천공직경은 **발파시의 발파효과와 밀접한 관계**를 가진다. 천공직경은 설계 시에 결정되는 것보다는 제작된 장약의 직경에 의하여 결정되는 것이다. 지금까지 적용된 예를 살펴보면 기둥의 경우 천공직경은 약 30~40mm, 전단벽의 경우에는 약 25~30mm가 일반적이다. 천공 깊이는 기둥의 경우에는 기둥의 장방향 길이의 2/3이나 3/4지점까지 천공하는 것이 일반적이다. 즉, 천공은 기둥이나 전단벽의 중심부보다 더 깊게 천공하여야 한다. 이와 같이 하는 이유는 장약이 천공된 구멍의 끝에서 공의 중심부 정도까지 장전되고 남은 부분의 전색효과를 좋게 해 줌으로서 발파효과를 충분히 얻기 위해서다.

표 7.6 시공 예(천공직경 및 깊이)

구분	남산외인 아파트	여의도 라이프빌딩	개봉동 삼보아파트	창동시멘트 저장고	속초 킹덤호텔	일본고도집합 주택철거시험
천공 직경	<기둥> 41mm <전단벽> 30mm	<기둥> 38mm <전단벽> 28mm	<기둥> 38mm	34mm	<기둥> 38mm <전단벽> 38mm	
천공 깊이	0.75T		2/3T		0.58T	0.65T (≒2/3T)

※ 여기서, T : 천공방향 기둥의 두께

천공작업시의 주의 사항을 요약해보면 **천공이 끝난 후에는 반드시 공내부의 청소**를 실시해야 하며, **천공 시 각도 오차는 ±5° 이하**로 유지해야 하고, 천공시에는 실내에서의 소음치

가 약 100dB 이상 발생하므로 **천공작업자의 소음 및 진동에 대한 보호**를 위하여 방진장갑, 안전모, 귀마개 등의 착용을 의무화해야 하며, 구조물의 상층부 외곽부재를 천공할 때에는 반드시 추락 사고를 방지하기 위한 **보호창구**를 착용해야 한다. 표 7.7은 기둥의 제원에 따른 천공과 관련된 기준들이다. 표에서 천공 깊이는 경사천공시의 깊이를 나타낸다. 또한 위의 기준대로 천공간격을 적용하면 한 개의 기둥(높이 약 3m)당 천공수가 5~8개로 천공작업량이 많아지므로 시공성 저하를 막기 위하여 천공수를 줄이는 대신 공당 장약량을 증가시키는 방법을 제안하는 학자도 있다. 그러한 제안에 의하면 기둥천공시 기둥 단부의 상하단에서 40~60mm 띄어서 한공씩 천공을 하고 나머지는 공간 40~60mm 간격으로 천공을 실시하면 한 기둥에 대하여 많은 경우에 4~5공을 천공하므로써 천공작업량을 줄일 수 있으며, 이 때의 장약량은 위의 표 7.7의 경우보다 증가된 표 7.8의 기준을 적용하자는 것이다. 이러한 방법을 적용하면 전체 천공수는 약 20% 정도 줄어드는 반면에 사용 총 화약량은 표 7.7의 방법을 적용하는 경우와 거의 같으면서도 파쇄효과는 동일하다는 것이다.

표 7.7 콘크리트 기둥의 천공기준

기둥의 제원 (cm)	천공직경 (mm)	천공각도 (°)	천공간격 (cm)	천공깊이 (cm)
30	30~40	30~45	30	30
40	"	"	40	30
50	"	"	50	35
60	"	"	60	35
70	"	"	70	35
80	"	"	80	40
90	"	"	90	40
100	"	"	100	40

표 7.8 기둥 천공간격 치수별 천공간격 및 장약량

단면치수 (cm)	30	40	50	60	70	80	90	100
천공간격 (cm)	40	50	60	60	60	60	60	60
장약량 (g)	50	80	100	140	150	200	250	300

(5) 방호작업

발파해체공법에서 방호작업은 붕괴패턴 및 발파시차와 함께 발파해체공법의 성패를 좌우하는 가장 중요한 요인 중의 하나이다. 방호를 실시하는 이유는 화약의 폭발에 의한 가스압력으로 발생하는 폭풍압 및 비석에 의한 주변건물 및 인명피해를 최소화하기 위한 것으로 구조물의 붕괴가 원하는 대로 이루어 졌다고 해도 방호시스템의 오류로 인한 것으로 주변건물의 피해나 비석에 의한 인명의 손실이 발생하게 되면 치명적인 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 발파작업에서 비석 및 폭풍압의 발생은 필연적인 것이며, 비석의 발생은 자유면까지의 거리에 따른 최소저항선에 따라서 달라진다. 방호작업은 천공작업이 이루어진 기둥에 대해서는 반드시 실시하며, 전단벽에 대

해서는 경우에 따라서 다르게 적용된다. 또한 벽식 구조인 경우에는 벽체자체에 대한 방호작업이 용이 하지 않으므로 내부방호는 실시하지 않고 창문을 골합석으로 막는 작업과 발파층의 외부방호만을 실시하기도 한다. 방호작업은 천공작업이 이루어진 관련부재에 대하여 장약 작업 전에 실시한다. 그러나 이러한 방호 작업시에는 천공된 위치의 방호재를 절개하여 장약작업을 원활히 할 수 있도록 해야 하므로 이 부분이 방호상 가장 취약한 부분이 되므로 이에 대한 추가적인 방호조치가 필요하다. 방호작업은 보통 아래와 같이 구분된다.

① 내부방호(=1차방호)

구조물내부의 기둥, 전단벽 등 발파가 이루어지는 부재에 대하여 실시하는 것으로, 발파시 발생되는 비석 및 폭풍압을 감소시키기 위한 것이다.

② 외부방호(=2차방호)

1차방호로 막지 못한 비석 등을 막아주고 소음을 차단하여, 폭풍압을 최종적으로 차단할 수 있도록 건물 외부에 설치하는 방호시설로서 최하층부 1층만 실시하거나 1, 2층 모두에 대하여 실시하기도 한다.

이와 같은 방호시스템은 해당 시공회사마다 그 방법을 약간씩 달리하며, 일반적으로 사용되는 방호재들은 아래와 같다.

① 부직포

부직포 자체의 고유특성에 의하여 화약의 폭발시 발생하는 가스압을 어느 정도 통과시켜 감소시키고, 발생하는 작은 비석들을 막아주는 용도로 사용된다. 외부나 내부방호시 부직포 단독으로만 사용되는 경우는 드물고 능형철망과 함께 사용되는 것이 보통이다. 국내에서 생산되는 방호용 부직포는 5가지가 있으며, 등급이 높은 부직포는 발파시의 압력으로도 찢어지지 않는 등 방호효과는 뛰어나지만 가격이 비싸 경제성이 없으므로 높은 등급의 부직포를 사용하기 보다는 낮은 등급의 부직포를 철망과 잘 조합하여 사용하면 경제적이고도 효과적인 방호효과를 얻을 수 있을 것이다.

② 능형철망

능형철망은 폭발시 발생하는 큰 비석덩어리를 억제해주는 용도로 사용된다. 일반적으로 기둥의 방호시에는 능형철망을 먼저 두르고 그 외부를 부직포로 감싸고 철선으로 묶어주는 방법이 있다.

③ 골합석

부직포나 능형철망이 복합적으로 사용되는 것과는 다르게 주로 단독으로 사용된다. 골합석은 비석에 대한 방호효과는 뛰어나지만 분출되는 가스압이 과다하게 억제되어 예기치 않은 방향으로 파쇄물이 비산할 염려가 있으므로 골합석 사용시에는 이에 대한 조치가 필요하다.

이러한 방호시스템은 인접구조물이 없는 경우에는 문제될 것이 없지만 우리나라와 같이 건물 밀집되어 있는 여건에서는 상당히 중요한 요인이므로 신중한 계획과 시공이 이루어져야 될 것이다.

5) 발파층 및 발파시차의 결정

(1) 발파층

구조물의 발파해체시에는 대상 건물의 건축에 대하여 발파를 실시하여 붕괴시키는 것이 아니라 앞서 언급된 대로 주요층의 발파에 의하여 구조물의 역학적인 불안정을 초래하여 비발파층을 낙하시킴으로 충격에 의하여 붕괴시켜 해체하는 방법이므로 구조적인 판단에 의하여 발파층과 비발파층을 선정해야 한다. 발파층은 다시 주발파층과 보조발파층으로 구분되며, 이러한 개념의 구분은 아래와 같으나 주발파층과 보조발파층의 구분을 두지 않고 발파층을 선정하는 경우도 많다.

① 주발파층(Main Blasting Floor)

구조물의 붕괴를 유도하기 위하여 발파대상이 되는 기둥 및 전단벽에 모두 장약을 실시하여 확실하게 발파해체시키는 층을 말한다. 주발파층으로 선정된 층은 천공수 및 장약량이 많아지므로 발파시에 파쇄물에 의한 주변의 피해가 심할 수 있으며, 특히 고층으로 올라갈수록 파쇄물의 비산에 의한 피해에 대한 주의를 요한다. 이러한 이유에서 일반적으로 주발파층은 건물의 하부층에서는 구조물의 확실한 낙하를 유도하기 위하여 조밀한 간격으로 선정되며, 상층부로 갈수록 띄엄띄엄 선정하는 것이 보통이다. 즉, 대상구조물의 층수에 따라서 달라지겠지만 1, 2, 4층은 거의 주발파층에 해당되며, 4층 이상부터는 주로 3~4층 간격으로 선정된다. 또한 하부층은 철저한 파쇄로 인한 확실한 운동 에너지를 유발시키기 위하여 거의가 주발파층에 해당된다.

② 보조발파층(Secondary Blasting Floor)

주발파층에서의 발파에 의한 효과 및 붕괴거동을 좀 더 원활하게 하기 위하여 구조부재의 기둥이나 전단벽의 일부에만 장약을 실시하는 층을 말한다. 일반적으로 주발파층이 상층부에 많이 위치하게 되면 파쇄물이 멀리까지 비산할 염려가 있으므로 보조발파층은 4층 이상부터 약 3~4층 간격으로 주로 상층부에서 선정된다.

표 7.9 시공 예(주발파층과 보조발파층)

구분	남산 외인 아파트	영국런던 21층 아파트	여의도 라이프 빌딩
구조물 층수	16층	21층	지상 18층, 지하 2층
주 발파층	1, 2, 4, 10, 14	1, 2, 6, 10, 14	1, 2, 6, 10, 14
보조 발파층	4, 8, 12, 16	4, 8, 12, 16	4, 8, 12

이와 같이 발파층의 선정은 구조물의 형태, 콘크리트의 강도, 구조물의 규모, 구조물의 붕괴 형태와 낙하에너지, 충격에 의한 파쇄효과, 주변 환경 등을 복합적으로 고려하여 선정하는 것이므로 정확한 구조적인 판단을 요한다.

표 7.10 시공 예(발파층)

남산 외인 아파트	여의도 라이프빌딩	개봉동 삼보아파트	속초 킹덤호텔	일본고도 집합 주택 철거시험
A동 : 1, 2, 6, 10, 14층 B동 : 1, 2, 3, 5, 9, 12, 14층	1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12, 14, 16층	1,2,4층	1, 2, 4, 6층	1, 2, 3, 4, 5, 6층

표 7.10은 주발파층과 보조발파층의 구분 없이 시행된 시공사례 중에서 각 사례별로 적용된 발파층을 나타낸 것이며, 표 7.11은 이러한 여러 가지 사례에 의하여 건물의 규모별로 선정할 수 있는 발파층 수를 나타낸 것이다.

표 7.11 건물의 높이별로 일반적으로 적용될 수 있는 발파층

건물의 높이	발 파 층
4, 5층	1, 2, (3)층
6~8층	1, 2, 3, 5층
9~10층	1, 2, 4, 8층
10~12층	1, 2, 6, 9층
13~15층	1, 2, 6, 9, 12층
15~25층	1, 2, 6, 14, 18, 22층

(2) 발파시차

발파해체공법에서 발파시차는 구조물의 붕괴거동과 중요한 상관관계를 가진다. 발파시차란 구조물이 원활하게 붕괴되도록 붕괴패턴에 따라서 지정된 발파구역간에 적당한 지연시차를 두고서 발파를 실시하는 것을 말한다. 모든 구조물에 대하여 지연시차를 두는 것은 아니며, 필요한 경우는 순폭으로 발파해체가 이루어지는 경우도 있다. 지연시차의 조절은 적당한 지연시간을 갖는 지연뇌관을 사용함으로써 가능하며, 현재 지연시차는 1/1,000sec(MS: Milli-Second)까지 조절이 가능하다. 그러나 구조물 발파시에 지연시차가 너무 적은 뇌관을 사용하면 이미 발파가 이루어진 부위에서 구조물이 역학적인 거동을 할 충분한 시간을 갖지 못하여 불완전하게 붕괴될 염려가 있으며, 지연시차가 너무 크게 되면 구조물의 거동과 발파효과를 복합시키기가 어려워진다.

표 7.12 시공 예(발파시차)

남산 외인 아파트	여의도 라이프빌딩	개봉동 삼보아파트	창동시멘트 저장고	일본 고도집합 주택 철거시험
500ms/ section 총 7초	300~500ms/ section	0.56ms/section 총 3.43초	500ms/section 두사일로간 0.2초차	0.25~0.5초/ section

이러한 의미에서 지연시간은 설계단계에서 구조물의 형태, 전도방향, 붕괴형태 등을 고려하여 결선이 이루어지는 각 구역별로 적당한 시차로 배분시켜 주어야 한다. 일반적으로 구조물의 해체에 소요되는 총 발파시간이 10초 내외로 발파구역간 지연시차의 조절은 구조물의 발파 후 구조물이 역학적인 거동을 하기에 충분한 시간여유를 주는 동시에 다음 발파가 이루어지는 구역에서의 발파효과와 복합시키기 위해서 최소한 0.5초 정도의 지연시차를 두는 것이 좋다.

6) 시험발파

시험발파란 구조물의 실제 발파 전에 설계상 예정된 장약량을 사용하여 파쇄대상 부재의 파쇄상태를 관찰하므로써 장약량의 과소 유무, 선정된 화약의 작동상태, 대상 부재의 상태 등을 확인하기 위해 실시하는 작업이다. 구조부재는 사전에 조사된 항목 외에도 여러 가지 변수들이 있으므로 설계상 장약량이 반드시 적정하다고 할 수 없으므로 시험발파에 의하여 그 파쇄성향을 확인해야 한다. 시험발파의 대상부재는 발파에 의하여 제거되더라도 전체구조물의 안정에 영향을 미치지 않는 전단벽과 기둥 모두에 대하여 실시하며, 사용화약을 설계 장약량보다 적게 하여 실시하고 하나는 적정 장약량을 사용하여 서로의 파쇄상태를 비교하여 장약량의 적정성을 확인해야 한다.

7) 장약, 전색 및 결선작업

(1) 장약작업

위에서 기술된 작업들이 완료되면 장약과 전색작업을 실시해야 하며, 장약과 관련된 사항들을 기술하면 아래와 같다.

- ① 폭약은 기둥에는 다이너마이트, 전단벽에는 도폭선이 주로 사용된다. 전단벽에 도폭선을 사용하는 이유는 벽체의 두께가 얇기 때문에 도폭선의 폭발력만으로도 구조물이 붕괴되기에 충분한 파쇄효과를 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 벽체의 두께가 두꺼운 경우에는 벽체에도 다이너마이트를 사용하기도 한다.
- ② 사용되는 뇌관은 크게 전기식뇌관과 비전기식 뇌관으로 구분되며, 비전기식 뇌관은 NONEL 뇌관으로 대변되며, 세계적으로 CDI계는 전기식 뇌관을 CDG계는 비전기식 NONEL 뇌관을 사용하며, 각각의 특징은 표 7.13과 같다.

표 7.13 전기뇌관과 비전기식 뇌관의 특징

전기식 뇌관	비전기식 뇌관(NONEL 뇌관)
<ul style="list-style-type: none"> • 전기에 의한 기폭시스템 • 점화시간의 제어가능 • 공업용뇌관의 도화선을 각선으로 대체 한 것 • 3가지 형태 : <ul style="list-style-type: none"> － 순발뇌관 － Milli-Second(MS) 지연뇌관 － Half-Second(HS) 지연뇌관 • 검전기에 의한 단선유무 판별가능 • 미주전류, 휴대용 위키토키, 고주파발 기, 고압의 전력선, 뇌우 등에 의한 예기치 않은 기폭에 주의가 필요 • 재래식 뇌관 • 고도로 안전한 뇌관 • 점화기의 충전시간 필요(5~10초) → 불발염려 • 1회 발파용량은 전기발파기의 용량에 좌우됨 • 직렬이나 병렬연결가능 • 단선유무의 확인이 가능한 반면 전기저항으로 인하여 연결이 길어지면 불리 • 발파모선과 보조모선으로 구분됨 → 저항이 작아야 함 • 발파모선 : 발파회로를 발파기에 접속 • 보조모선 : 각선의 연장용, 각선의 병렬연결용, 발파회로를 발파모선에 연결용 	<ul style="list-style-type: none"> • 어떤 전기적 충격에도 안전, 사용대상 다양 • 전기적 지연뇌관으로서의 기능을 하지만 각선과 퓨즈헤드가 충격파가 전달되는 플라스틱 튜브로 대체한 것 • NONEL 튜브의 직경 → 3mm • NONEL 튜브의 충격파 전달속도 → 7,000m/sec • 전기저항과 같은 저항이 없으므로 접 속기를 사용하여 수만 개까지 분지가능 • 분지되는 연결기에는 화약을 점폭시킬 수 있는 뇌관이나 도폭선 등에 의한 기폭장치가 필요 • 두 가지 시스템 <ul style="list-style-type: none"> － NONEL. GL － NONEL. UNIDET • NONEL 튜브의 연결기 → 접속 및 기폭 <ul style="list-style-type: none"> － UB 0 : 10개까지 분지 가능 － Bunch Connector : 20개까지 분지가능 • 안전율을 고려하여 UB 0은 보통 최대 8까지, Bunch Connector는 18개까지 분지 시킴 • 기폭방법은 NONEL 발파기를 이용 • MS, DS, HS의 지연시차 조절가능 • 도폭선과 연결가능

• 불발의 염려 때문에 다른 상표의 뇌관을 같은 발파에 이용하면 안 됨	• 각 공간의 단차는 단발표면뇌관에 의함 • 안전성이 우수한 반면 결선 후 발생할 수 있는 외부적인 요인에 의한 단선 유무의 확인이 어려움
---	--

- ③ 전기식 뇌관을 사용할 때 우천시에는 결선 및 발파준비작업을 중지해야 하나 NONEL은 어느 정도의 우천시에도 작업이 가능하다.
- ④ 장약작업은 천공된 공내에 폭약을, 장전하고 뇌관을 설치하는 작업을 말하며, 계산되어 시험발파를 통하여 수정된 장약량만큼을 장전하고 붕괴패턴에 따라서 사전에 예정된 순서대로 지연뇌관을 설치해야 한다.
- ⑤ 다이너마이트의 기폭은 뇌관을 사용하지만 도폭선을 뇌관 대신 사용하기도 한다.
- ⑥ 장약작업시에는 다이너마이트의 성분 때문에 손으로 직접 약포를 만지게 되면 두통 등 인체에 해가 있으므로 보호장갑을 착용하고 작업을 실시한다.
- ⑦ 사용되는 다이너마이트는 적정한 양으로 절단(보통 4등분)하여 사용할 수 있으므로 설계 장약량만큼 사용하며, 폭약에 뇌관을 삽입할 때에는 삽입압력으로 인한 만약의 기폭에 대비하여 약포중심부에 뇌관을 삽입할 수 있도록 꼬챙이를 사용하여 삽입구를 미리 뚫은 후 실시한다.
- ⑧ 다이너마이트의 기폭제로 도폭선을 사용하는 경우에는 도폭선으로 폭약 끝을 감싸고 감싸진 부분이 공의 안쪽으로 향하여 장약작업이 완료된 후에도 빠져나오지 않도록 해야 하며, 뇌관을 사용하는 경우에도 장전된 뇌관이 다이너마이트에서 빠지지 않도록 고정시켜야 한다.
- ⑨ 폭약의 삽입은 만약의 기폭을 방지하기 위하여 쇠파대 등을 사용하지 않고 나무다짐대를 이용하여 밀어 넣는다.
- ⑩ 발파해체공법에서 장약량을 좌우하는 요인은 여러 가지가 있으나 대상부재의 재원과 가장 직접적인 관계가 있다. 콘크리트의 강도는 장약량 결정에 그리 큰 영향을 미치지 않는다. 단지 강도가 클수록 장약량이 증가하기는 하지만 비례적인 증가가 아니며, 압축강도가 350 kg/cm^2 이상인 부재는 오히려 발파시의 압력으로 인하여 취성파괴의 성향을 보이므로 장약량이 오히려 감소하는 경향이 있다. 표 7.14는 앞의 표 7.7의 천공패턴으로 시공이 이루어질 경우에 적용되는 기둥의 재원에 대한 장약기준이다.

표 7.14 콘크리트 기둥의 장약량 기준

단면치수 (cm)	30	40	50	60	70	80	90	100
장약량 (g)	40	60	60	80	80	125	125	170

- ⑪ 장약 작업시에는 관계자 외에는 현장출입을 통제하여 장약작업에 방해가 되지 않도록 해야 한다.
- ⑫ 장약 작업시에는 정전기를 방지하기 위한 안전화, 안전모, 작업복을 착용해야 하며, 화기는 절대로 취급해서는 안 된다.
- ⑬ 장약 및 결선작업 후에는 발파당일 최종결선작업이 이루어지기 전까지는 현장외부에 대한 철저한 경비로 외부인의 출입을 통제해야 하며, 현장경비도 가급적 내부출입은 삼가도록

해야 한다.

(2) 전색(Tamping)

장전공에 장약을 실시하고 남은 부위에 대하여 특정물질이나 재료로 막아주는 작업으로 발파공의 밀폐효과에 의하여 폭발력을 충분히 발휘 할 수 있도록 하는 것이다. 전색은 장전공에 실시하는 내부전색 뿐만이 아니라 폭약을 구조물의 외부에 설치하고 모래주머니 등을 쌓아주는 외부전색도 있다. 전색은 계획된 장약량으로 충분한 발파효과를 얻기 위하여 공입구를 충분하게 채워주어야 한다. 전색재료는 모래, 점토, 석고반죽, 물 등이 주로 사용된다. 전색 효과면에서는 모래가 가장 효과적이지만 발파해체공사를 시행하는 시공사마다 그 선택을 달리한다. 이들 전색재의 각각에 대한 특징은 아래와 같다.

- ① 모래 : 모래를 전색재로 사용할 경우에는 비닐주머니에 모래를 넣어서 공의 직경에 맞게 채워주는 방법으로 전색을 실시하며, 가장 일반적인 방법이며 전색효과가 좋다.
- ② 점토 : 유럽에서는 전색용으로 제작된 점토재가 있으므로 CDG에서는 점토전색을 많이 실시한다. 그러나 점토로 전색을 실시하고 난 후 점토가 굳어지게 되면 수축으로 인하여 공 주변에 틈이 발생하는 약점이 있어 전색효과가 모래만큼 좋지는 않다.
- ③ 석고반죽 : 석고반죽을 전색재로 사용하는 측의 주장에 의하면 다른 전색재들 보다 석고반죽이 콘크리트의 상태와 가장 유사하여 전색효과가 가장 뛰어나다고 하지만 실제로는 점토와 마찬가지로 반죽이 굳은 후에 공 주변과 틈이 발생하며, 발파시 비석으로 작용하여 피해가 발생할 수도 있다.
- ④ 물 : 물을 비닐주머니에 넣어서 사용하는 것으로 그리 일반적인 방법은 아니다.

(3) 결선

각 장약공에 연결된 각선들을 구역별로 하나의 선으로 연결시키고 다시 이러한 구역선들을 본선에 연결시킴으로써 발파기에 의하여 최종적인 점화가 가능한 상태까지 선을 연결시키는 작업을 말한다. 전기식인 경우는 각 장약공에서 나온 각선을 40~60개의 뇌관을 한조로 직렬로 연결하고 발파당일 발파모선과 이러한 각선을 연결시키고 모선을 다시 발파기에 연결시킨다. 비전기식 NONEL 시스템인 경우는 각 장약공에서 나온 튜브를 UB0을 사용하는 경우에는 안전율을 고려하여 최대 8까지의 각선을 Bunch Connector를 사용할 때에는 최대 18까지를 하나의 다발로 묶어준다. 이러한 다발은 다시 하나의 각선으로 나가므로 이러한 중간 튜브들을 다시 위의 방법과 같이 계속해서 연결하면 최종적으로 하나의 본선만 남게 되며, 이러한 본선은 발파당일에 발파기에 연결된다. 두 가지 방법에 대한 결선시의 주의 점은 다음과 같다.

<전기식 점화장치>

- ① 결선에 이용되는 전선은 규격품을 사용해야 하며, 사용 전에는 시험을 통하여 단선유무를 확인해야 한다.
- ② 각각의 각선다발과 모선의 연결은 반드시 발파당일 실시하며, 모선은 발파당일 발파기와 연결한다.
- ③ 전기뇌관 각선은 강하게 반복해서 신장시키지 않는다.
- ④ 결선은 규정된 방법(돼지꼬리 접합식 등)을 사용하며, 연결시에는 연결부가 인장을 받지 않도록 매듭을 만들어 주어야 한다. 또한 연결부는 절연물질을 제거하고 연결한다.

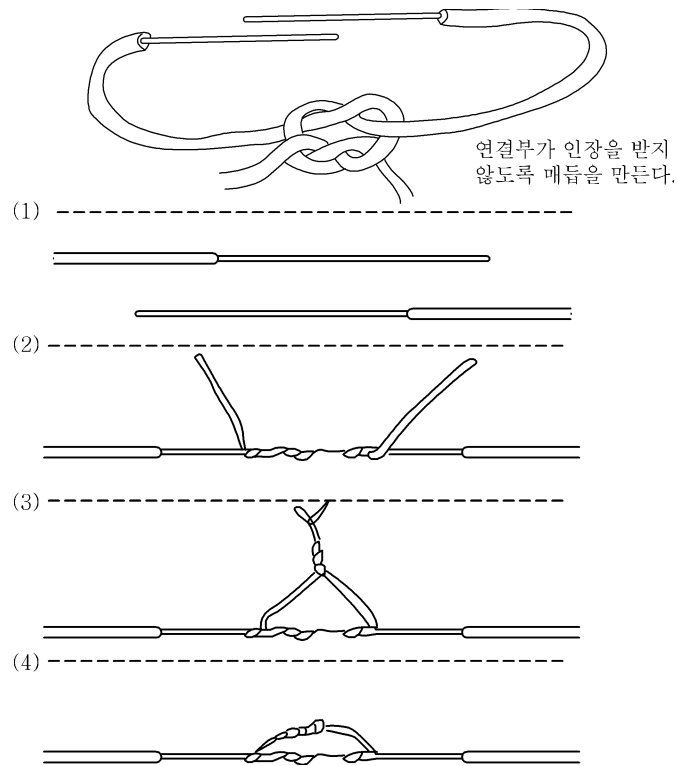


그림 7.7 두개의 전선연결

⑤ 전기식의 일반적인 설치순서는 다음과 같다.

점화기 시험 → 뇌관시험 → 도전선 시험 → 장약 → 회로연결 → 결선된 회로시험 → 도전선 시험 및 설치 → 점화기 연결(검전시험)

⑥ 전기식 회로구성방법은 직렬, 병렬, 직병렬 등이 있다.

⑦ 계산된 저항과 측정된 저항차이가 1Ω 이상 차이가 나면 발파를 중지하고 점검을 실시한다.

⑧ 발파모선은 금속도체로부터 50cm 이상 떼어놓는다.

⑨ 전기식 불발원인은 점화기의 전력원이 약화되어 효력이 없을 때와 점화기의 전력원이 미약하거나 작동미숙으로 인한 것과 단선이나 저항이 커서 전류가 적게 흐를 때 그리고, 불량 뇌관을 사용한 경우, 동일회로에 종류 및 제작회사가 다른 뇌관을 사용했을 때와 점화기의 정격용량보다 많은 뇌관을 사용했을 때이다.

<비전기식 점화장치>

① NONEL 튜브는 구멍의 깊이보다 길이가 2m 더 길어야 한다.

② 사용하고 절단하여 남은 튜브는 튜브내의 화약을 태워 없앤 후 처분한다.

③ NONEL 튜브의 다발은 5g의 도폭선으로 묶는 것이 좋다.

④ 최종 결선은 발파당일 실시하며, 점화기의 연결은 발파직전에 실시한다.

⑤ 설치된 NONEL은 굴곡 되거나 절단되지 않도록 주의하며, 현장 출입차량 등에 의하여 밟히지 않도록 한다.

⑥ 비전기식 불발원인은 불량한 뇌관을 사용한 경우와 점화장치 연결이 불확실한 경우 그리

고, 점화기 작동 미숙 등이 있다.

8) 발파

(1) 주민홍보 등 인근주민 대피

- ① 발파해체 예정일 전에는 발파작업과 관련된 내용(발파일 및 시간, 장소, 행동요령 등)에 대하여 사전에 충분하게 인근주민에게 홍보한다.
- ② 발파당일에는 인근 건물 내에 주민이 남아있지 않도록 대피시킨다.
- ③ 교통통제가 필요한 경우는 관련기관과 협의하여 불편을 최소화하면서 피해를 줄일 수 있는 방법으로 교통을 통제한다.
- ④ 발파해체작업이 이루어지는 구역에는 별도의 위험구역을 설치하여 관계자 외에는 출입을 통제한다.
- ⑤ 발화점(Fire Point)은 해체대상 건물이 가장 잘 보이고 발파시 비석으로 인한 피해가 발생하지 않도록 대피가 가능한 장소에 설치해야 한다.
- ⑥ 발파 전에는 통제점을 설치하여 경찰관 및 관련자에 의한 통제가 가능하도록 해야 한다.
- ⑦ 발파작업 전에는 만약의 사태에 대비하여 소방차를 대기시키며, 발생하는 심한 분진을 가라앉히기 위하여 살수차를 대기시켜야 한다. 또한 청소차 및 통제차량, 사고에 대비한 엠블런스 등도 대기시켜야 한다.

(2) 발파

발파당일의 발파작업과 관련된 일반적인 시행순서는 아래와 같다.

- ① 발파 수 시간 전에는 점화기 등 최종결선 및 발파작업, 발파작업 신호를 알리는 기자재 등을 발화점에 모두 준비시켜야 한다.
- ② 발파 수 시간 전부터는 위험 구역 내에는 관계자의 출입을 통제하며, 발화점에는 최소한의 관련자만 남아있도록 한다.
- ③ 최종결선작업 : 각 발파구역에 준비되어 있는 지선들을 본선에 연결하고 최종 본선을 발화장소까지 끌어와서 발파기에 연결하기 전 상태로 한다.
- ④ 점화기 점검 : 현장에서 사용되는 점화장치는 점화장치의 종류에 따라서 비전기식이나 전기식을 사용하며, 점화기를 본선과 연결하기 전 상태로 한다.
- ⑤ 신호탄 준비 : 발파 시작 전에 주변 주민 및 통제원들에게 작업개시 직전임을 알리기 위하여 신호탄을 준비해야 한다.
- ⑥ 공사 준비상황 최종점검 : 주로 주변의 안전 상태를 최종적으로 점검하며, 주변통제 미비로 인하여 발생할지도 모를 인명피해를 없애는데 역점을 두며, 결선상태도 최종적으로 점검하여 안전 및 결선 등 주변상황 점검이 미비하다고 느낄 때에는 당일의 발파를 중지해야 한다. 이 때 발화장소에는 반드시 경찰관 1명이 입회해야 한다.
- ⑦ 신호사이렌 : 발파시작 1분 전에는 발파시간이 임박했음을 알리는 신호사이렌을 울려서 관계자나 인근주민들이 알 수 있도록 한다.
- ⑧ 신호탄 발사 : 발파 30초 전에는 준비된 신호탄을 발사한다.
- ⑨ 10초 전에 카운트다운을 시작한다.
- ⑩ 발파 : 점화기 작동스위치(전기식 또는 비전기식)를 눌러서 점화시키며, 점화신호는 동시에 모든 공에 장전된 뇌관까지 전달되며, 지연시차는 각 공에 설치된 지연뇌관에 의하여 조절된다. 구조물의 붕괴는 사전에 배정된 구역간 시차별로 이루어진다. 발파가 이루어지면

살수를 실시하여 분진을 최대한 가라앉혀 주어야 한다.

⑪ 대기/대피 : 발파시에는 만약의 비석으로 인한 인명피해를 없애기 위하여 발화점에서는 절대로 사진촬영 등을 위하여 대피소 밖으로 나갈 수 없으며, 구조물의 붕괴와 동시에 극심한 분진이 발생하므로 인하여 시야가 가려지므로 어느 정도 분진이 가라앉을 때까지 약 10분 정도 대기해야 한다.

⑫ 결과점검 : 발파해체 후 구조물의 붕괴가 계획대로 원활하게 이루어졌는가 하는 것과 불발폭약 유무를 철저한 현장조사를 통하여 실시하며, 현장점검시에는 관계자 외에는 점검이 끝날 때까지 출입을 철저히 통제한다.

⑬ 해제사이렌 : 현장점검이 완료되면 통제소에 이를 알리고 해제사이렌을 울려서 작업이 안전하게 종료되었음을 알린다.

(3) 발파 후 현장점검

① 붕괴방향 : 발파 후 구조물의 붕괴된 형태와 비디오 촬영결과를 분석하여 예정된 방법으로 붕괴가 진행되었는가 파악한다.

② 주변피해 : 인접건물이나 시설물에 대하여 사전에 조사된 자료와 비교하여 피해발생정도를 파악하고 대책을 수립한다.

③ 구조물의 파쇄형태 : 발파 및 구조물의 붕괴로 인한 잔재의 파쇄상태를 파악하여 해체제의 소할 및 처리방법을 수립한다.

9) 발파해체 국내외 적용사례에 의한 종합시스템분석

앞서 언급이 되었지만 발파해체공법은 이론적인 면보다는 경험적인 면에 구조공학적인 판단과 발파공학적인 면이 가미되어 복합적으로 이루어지는 것이므로 기 시행된 공사에 대한 사례분석을 통하여 기본적인 시스템을 분석하고 실제공사 진행시 적용 가능한 범위를 설정하는 것이 중요하다. 발파해체공사는 기본적으로 단순히 정역학적 해석만으로는 구조물의 붕괴패턴에 대한 시뮬레이션이 불가능하고 설사 동역학적인 해석을 가미하더라도 이러한 시뮬레이션 기법으로는 구조물의 실제 붕괴거동과 비교하여 약 10~20% 정도의 예측도 불가능하다. 그러므로 이러한 이론적인 면에 치우친 시뮬레이션 기법을 개발하여 발파해체공법의 틀을 정립하려는 노력보다는 기 수행된 공사에 대한 자료를 누적시키고 불확실한 부분에 대해서는 기초실험 등을 통하여 방법을 명확히 설정하여 자체기술로 정립시키는 방법이 더욱 설득력을 얻을 수 있으며, 기술 접근을 위한 시간도 절약하는 길이 될 것이다. 이러한 개념에서 미국의 CDI는 지금까지 자체적으로 수행된 약 6,000건 이상의 발파해체공사에 대한 설계도를 근거로 하여 관련 자료를 데이터베이스화 하고 있으며, 이러한 실무적 자료에 근거한 프로그램을 개발(Develcon System) 중에 있다. 따라서 국토면적이 작아 상대적으로 가옥밀도가 높은 우리나라는 추후 노후화된 해체대상건물에 대한 발파해체공법에 대한 확고한 기술정립으로 현재 지불하고 있는 기술료를 대체하여 불필요한 외화낭비를 줄이고 좀 더 양질의 시공을 할 수 있도록 해야 한다.

발파해체공법을 적용할 때에는 관련된 모든 시스템이 복합되어 이루어지는 것이므로 이러한 각 시스템에 대한 세밀한 기준설정과 각 시스템의 적절한 복합이 필요하다. 이러한 기본 시스템은 구조형식(벽식, 기둥식, 보슬라브식 등), 구조물의 강도, 붕괴패턴, 적정장약량, 천공개수, 천공간격, 천공각도, 천공직경 및 깊이, 발파구역간 지연시차, 발파층 선정, 방호시스템, 대상부재별 적용폭약, 사용뇌관, 전색 등이며, 이러한 요소 중 하나가 소홀히 취급되면 예기치 않은 붕괴나 발파해체작업에 실패할 수 있다.

10) 지반진동 예측식

발파해체 시 충격진동을 예측하는 방법은 전문회사별 그리고 국가별로 다른 경험식을 사용하고 있다. 특히 Robert Folchi는 14층 건물이 수직으로 붕괴될 때 건물의 중심으로부터 거리 D 만큼 떨어진 지점에서 예상되는 지반진동을 식 (1.7)과 같이 표현하였다.

$$V_{\max} = 167.3D^{-1.41} \quad (7.1)$$

여기서, V_{\max} : 예상 지반진동(cm/sec)

D : 충격질량 중심으로부터 측정지점까지의 거리(m)

그러나 식의 표현에서 볼 수 있듯이 상기의 식은 거리만을 변수로 하고 있으며 충격량의 규모에 따른 변수가 포함되어 있지 않기 때문에 상기 식이 적용된 특정지역 외로 일반적 적용이나 실제 여러 발파패턴에 대한 효과를 예측하는데 제한을 갖고 있다.

11) 발파풍압 및 비석 영향권

(1) 발파풍압 영향권

발파풍압에 의한 영향권을 예측하기 위해서는 일반적으로 Folchi가 제안한 발파풍압 계산식을 사용한다.

Folchi가 제안한 발파풍압 계산식은 식 (7.2)와 같다.

$$P = 2.5(SD)^{-1.07} \quad (7.2)$$

여기서, P : 폭풍압(lb/in²)

SD : 환산거리(ft/lb^{0.5})

또한 음압과 발파풍압 사이의 관계식은

$$dB = 20 \log_{10}(P/P_0) \quad (7.3)$$

P_0 : 2.9×10^{-9} (psi), 2.0×10^{-5} (N/m²)

과 같이 나타낼 수 있다.

(2) 비석 영향권

일반적으로 방호자재에 따른 비산거리 예측식은 다음과 같다.

$$L = 20 \frac{(Q^{(1/3)}/W)^2}{g} k \quad (7.4)$$

여기서, L 은 비석거리(m)이고 Q 는 공당 장약량(kg/hole), W 는 최소저항선(m), g 는 중력 가속도(m/sec²), k 는 방호 자재별 적정 경험적 상수로 보통 0.3~3.0의 값을 사용한다. 방호 자재별 적정 경험적 상수(k)값은 다음과 같다.

표 7.15 방호자재별 적정 경험적 상수(k)값

구 분	1중방호재	2중방호재	경험상수 K
TEST 1	아연도금 #12	DF 20	1.271
TEST 2	아연도금 #12	DF 25	1.156
TEST 3	아연도금 #12	DF 30	1.040
TEST 4	아연도금 #10	DF 20	0.878
TEST 5	아연도금 #10	DF 25	0.809
TEST 6	아연도금 #10	DF 30	0.578
TEST 7	아연도금 #9	DF 20	0.485
TEST 8	아연도금 #9	DF 25	0.318
TEST 9	아연도금 #9	DF 30	0.256

7.7 건물 해체발파공법의 전망

1) 폭파해체공법을 이용한 구조물해체의 최근 동향

발파해체공법은 구조물의 안정에 결정적인 역할을 하는 주요 지지점을 폭약에 의해 순간적으로 파괴하여 구조물 자체를 불안정한 상태로 유도함으로써 건물이 가지고 있던 기존의 위치에너지를 운동에너지로 전환시켜 구조물이 자중에 의해 붕괴되도록 유도하는 공법이다. 근래 도시재개발, 도시 정비 사업이 활발히 진행되고, 이에 따라 종래의 건축물의 해체가 각 방면에서 진행되고 있다. 종래의 건축물 해체는 일부의 목적을 달성하기 위하여 부분적인 해체가 이루어지고 있었을 뿐 도시기능, 생활환경의 개선 등 다각적인 측면에서의 검토가 되지 못했다.

지금까지 국내의 해체기술은 소규모 공사로서 종래에 사용하던 대형 Breaker 및 Steel ball에 의한 공법으로 일부 해체공사 업체의 경험에만 의존한 것이 대부분이었다. 최근 들어 이들 해체공사 업체는 신기술 도입 일환으로 압쇄기를 수입하여 공사에 사용되고 있으나 이는 기계의 발전일 뿐 해체공사의 기술 발전이라고 표현하는 것은 곤란하다. 한편, 최근 들어 우리나라에서는 지난 60, 70년대에 세워진 콘크리트 건축물이 수명을 다해감에 따라 해체공사의 수요가 급증하고, 해체대상 건물의 규모가 과거와 비교할 수 없을 만큼 대형화됨에 따라 새로운 해체기술을 요구하게 되었다. 그러나 애석하게도 우리나라에서는 발파해체공법 적용에 유리한 고층 건물의 수요가 없어 5~7층 정도의 건물해체를 통하여 기술을 발전시켜 왔으나 아직은 선진외국의 기술에 비하면 미흡한 정도이다.

따라서 우리나라에서는 점차 해체를 요하는 대상구조물이 고층화, 대형화 및 형태의 다양화가 이루어지고 있다는 사실을 감안할 때 해체기술 발전에 더욱 노력해야 할 시기라고 판단되며 지가의 급등에 따른 부지의 효율적 이용과 건물의 기능적 노후화 등에 의해 도시 재개발에 수반되는 기존 건물의 해체공사가 증가되고 있다.

2) 앞으로의 전망

외국의 경우 건물해체 기술 동향은 미국, 영국, 스웨덴은 폭파해체 공법의 적용이 비교적

쉬운 국가이다. 이들 국가에서는 세계적으로 대표적인 폭파해체 전문회사들이 있다. 즉 미국은 CDI, 영국은 CDG, 스웨덴은 Nitro Consult가 있다. 이들 국가에서는 수십 년 전부터 폭파해체 공법을 고층빌딩 해체에 적용하고 있고, 극동지역을 제외하고는 전 세계적으로 폭파해체 공법이 시행되고 있으나 우리나라의 경우 현재까지의 해체시장 규모가 작아서 발전되지 못한 분야이다. 최근 서서히 관심이 쏠리고 있는바, 최근 몇 건의 구조물을 대상으로 폭파해체 공법을 실시하였다. 그러나 자본력과 기술력이 아직은 기초적인 단계라고 할 수 있다. 몇 군데 회사에서 외국기술과 제휴하였거나, 하려고 하고 있지만 아직 실적은 미비한 상태이다. 우리나라에서도 1994년 11월 20일, 미국 CDI사와 코오롱건설(주)에 의해 17층 높이의 남산 외인아파트 발파해체 장면이 TV를 통해 생방송으로 전국에 중개되었고, 뒤이어 7일 후 대림건설(주)에 의해 역시 17층 높이의 여의도 라이프빌딩 해체 장면이 또 전국으로 보도되면서 전 국민의 관심을 집중시킨바 있다.

폭파해체 공법의 전망은 **최근 급속한 도시화, 공공시설의 개선정비 및 재개발** 등으로 건물해체 산업이 유망업종으로 되어가고 있다. 특히 60년대 후반부터 건립된 **공공 주택들이 노후화** 되어가고 있고, 계속해서 노후된 고층건물이 발생될 것으로 예견되어 이의 잠재 시장이 무한히 크다고 할 수 있다. 그리고 점차 해체공사는 **소규모에서 대규모로** 되어 갈 것이다. 한편 주민들의 공해에 대한 인식이 날로 높아져 가고, 고임금화 시대로 됨에 따라, 소음, 진동 및 분진이 장기간 계속되고, 인력이 많이 소모되는 재래식 공법은 점차 폭파해체 공법과 레이저 광선 공법 및 미생물을 이용하는 공법 등의 첨단공법이 개발되면서 대체되어 갈 것이다.

최근 국내에서도 환경문제에 대해 관심이 높아지고 있어 이러한 공해 요인에 대한 철저한 대책이 강구되지 않는다면, 경제성 등의 많은 장점에도 불구하고 발파해체공법이 첨단의 신기술로 자리 잡기는 쉽지 않을 것이다. 앞으로 공해가 없고, 인력소모가 적으며 가장 경제적인 공법이 절실히 요구되는 바, 기술 이전을 기피하고, 기술 이전을 한다하더라도 핵심 기술은 내놓지 않으려는 외국 업체에게 시장을 빼앗기기 전에 우리도 서둘러 외국 정보를 접하고 기술개발을 서둘러야 할 때라고 생각한다. 조선대학교에서는 구조물발파해체공법에 대한 관심을 높이고 기술에 대한 경험을 축적하기 위한 일환으로 2005년 11월 21일 공과대학 제 1공학관의 해체에 발파해체공법을 적용하여 실시하였다.

단원정리

1. 건물 해체발파 지반진동 예측

$$V_{\max} = 167.3D^{-1.41}$$

V_{\max} : 예상 지반진동(cm/sec)

D : 충격질량 중심으로부터 측정지점까지의 거리(m)

2. 발파풍압 계산(Folchi 식)

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

P : 폭풍압(lb/in^2)

SD : 환산거리($ft/lb^{0.5}$)

3. 음압과 발파풍압 사이의 관계

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

$$P_0 : 2.9 \times 10^{-9} (lb/in^2) = 2.0 \times 10^{-5} (N/m^2)$$

4. 비산거리 예측

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

L : 비석거리(m), Q : 공당 장약량($kg/Hole$), W : 최소저항선(m)

g : 중력가속도(m/sec^2)

k : 방호 자재별 적정 경험적 상수(보통 0.3~3.0의 값)

구 분	1중방호재	2중방호재	경험상수 K
TEST 1	아연도금 #12	DF 20	1.271
TEST 2	아연도금 #12	DF 25	1.156
TEST 3	아연도금 #12	DF 30	1.040
TEST 4	아연도금 #10	DF 20	0.878
TEST 5	아연도금 #10	DF 25	0.809
TEST 6	아연도금 #10	DF 30	0.578
TEST 7	아연도금 #9	DF 20	0.485
TEST 8	아연도금 #9	DF 25	0.318
TEST 9	아연도금 #9	DF 30	0.256