

건축물 발파해체의 동향과 안정성 분석 및 대책

On the trend of safety analyst for construction demolition

이역섭*
Ree, Uk Sup

95년 1월 17일 새벽 5시 45분경에 일본 간사이지방의 고베시에서 발생한 지진으로 무수한 인명피해와 재산·경제적인 손실을 입었다는 보도가 연일 계속되고 있다(4,000여명 사망, 1,005명 실종, 114조원 손실, 1월 19일 21시 현재).

막대한 시간과 경비를 들여서 자신있게 건설해 놓고 고가도로와 철도가 옛가락 휘듯이 변형되었고 높은 건물들의 참담히 붕괴된 모습이 보는 사람들의 마음을 착잡하게 한다. “파괴의 건설이다”란 말은 있으나 이러한 재난적인 파괴는 인간들에게 어찌면 끝없는 무력감에 빠지게 할 수도 있다.

파괴는 양면성이 있다. 최근의 성수대교 붕괴와 고베지진에 의한 붕괴현상들은 우리가 원치않은 사고성의 파괴사건이다. 그러나 작년말 세인의 관심을 모은채 발파해체한 남산 외인아파트와 여의도 라이프빌딩은 수십억원이상의 돈을 들여서 인위적인 파괴과정에 의해 붕괴되었다.

발파파손공법은 암석파괴역학을 응용하여 터널공사, 지역개발, 석유채취에 적극적으로 응용되기도 한다. 원자력 발전의 폐기물을 지하에 보관할 때 필요한 터널공사나 지하의 고온암체로부터 열추출을 할 경우에는 암반중의 균열을 이용하고 암석파괴역학을 응용한 기술을 사용하여 발파파손공법을 개발, 아주 효율적인 지하굴착공사를 할 수 있게 된다.

건축물을 해체하기 위하여 발파파손공법을 사용하기 시작한 것은 약 50년전부터 였으나 실제로 활발하게 응용되기 시작한 것은 약 20년 전부터이며, 우리나라에서는 작년(1994년)부터 이러한 공법에 큰 관심을 기울이고 있다.

여기에서는 발파파손공법을 건축물 해체에 사용할 때 이 공법의 기본원리, 최근 동향과 이 공법을 사용할 시의 안전성에 대하여 간단히 살펴보고자 한다.

1. 기본 원리

발파해체공법은 건축물의 곳곳에 여러가지 모양의 구멍을 뚫고 이들 구멍안에 여러가지 폭파에너지를 갖고 있는 폭약을 장진한 후 각각의 폭약이 폭발하는 시간차이를 조정하여 짧은 시간안에 건축물에 효율적으로 붕괴시키는 공법이다.

차괴역학을 이용하여 구조물이 파괴되지 않게 설계할 경우에는 그 구조물 재료의 파괴에 대한 저항값, 즉 파괴인성치(Fracture toughness)를 측정하여 파괴인성치에 도달하는 하중보다도 낮은 하중만을 허용하고 있다. 구조물이 파괴되게 해야 될 경우에는 그 구조물 재료의 파괴인성치를 능가하는 하중이나 에너지를 입력시켜 주어야 한다.

여기에서 몇가지 유의해야할 사항들을 살펴보면 먼저 파괴역학을 이용하기 위해서는 균열이나 균열과 같은 역할을 하는 결함이 있어야 한다. 건축물

* 인하대 기계공학과 교수

의 곳곳에 여러가지 모양의 구멍이 이와 같은 역할을 한다. 또한 건축물 재료의 파괴인성치를 알아야 하며, 이 파괴인성치를 능가하는 에너지를 입력할 수 있는 에너지를 입력시켜줄 수 있는 폭약의 양을 계산해야 한다. 이 폭약 에너지량의 너무 커도 안 된다. 왜냐하면 발파해체된 건축물의 조각이 매우 빠른 속도로 흩어져 날아가게 되면 위험하기 때문이다.

또한 구멍의 모양이나 크기, 위치에 따라서 폭약의 양이 달라지게 된다. 왜냐하면 구멍의 모양이나 크기에 따라서 구멍 주위에서의 응력의 분포양상이 틀려지기 때문이다. 구멍을 뚫는 위치는 화약으로 폭발 파괴되는 위치가 되기 때문에 붕괴되는 건축물의 위치에너지와 직접 관련이 있게 된다. 발파해체공법에서의 초기에너지는 폭발에너지이고 붕괴에 이용되는 주된 에너지는 건축물의 위치에너지이기 때문에 구멍의 위치에 따라서 폭약의 양, 즉 입력 에너지의 양에 차이가 나게 될 것이다.

건축물 재료의 파괴인성치는 정적인 하중을 받을 때와 동적인 하중을 받을 경우에는 상당한 차이를 나타내게 된다. 폭약에너지는 동적인 하중이며 구멍주위의 파손현상은 동적인 거도를 나타내게 될 것이므로 동적인 파괴인성치를 측정하여 여기에 대응되는 폭약의 양을 정밀하게 계산하여야 한다. 물론 이론적인 예측이 실제적인 현상과 얼마나 근접하게 이루어지는지를 확인하기 위하여서 파이롯트 프랜트 실험도 수행하여야 할 것이다.

또 하나 잊어버리지 말아야 할 사항은 폭약으로 파손되는 균열선단에서 발생되어 빠르게 전파하는 응력파들의 상호작용에 의한 영향들도 면밀히 검토되어야 한다. 압축탄성파는 구조물의 파손에 큰 영향을 미치지 않으나 반사될 경우에는 인장탄성파로 바뀌어 큰 위력을 발휘할 수 있다는 사실도 간과해서는 안된다.

이러한 모든 사항들을 면밀히 검토하고 파이롯트 프랜트의 실험결과를 이용하여 컴퓨터 모사(Com-

puter Simulation) 실험도 해보면 많은 기술적인 향상을 꾀할 수 있을 것이다.

2. 최근 동향

우리 나라는 고층아파트가 많고 1970년 후반에 건설됨으로 많이 건축된 구조물들이 재건축의 한도인 20년이 넘게되어 건축물의 발파해체공법이 급속도로 신장될 전망이다. 그러나 현재는 전세계에 약 10여개의 발파전문회사가 있을 뿐이다. 기본원 이에서 언급한 것과 같이 구멍의 위치, 크기, 폭약의 폭발시간 차이, 건물의 위치에너지, 건축물 재료의 파괴특성 등을 정확하게 산정할 수 있는 종합적인 능력을 겸비하기에는 많은 시간과기술, 자본이 필요하기 때문이다.

다음 표에 국내의 발파해체 회사와 외국기술 제휴사를 나타내었다.

국내회사명	외국기술제휴회사	기술협력연도
대우엔지니어링	(미국) CFWED사	92
대림엔지니어링	(영국) CDG사	91
동부건설	(미국) DYKON사	94
두산건설	(영국) Nottingham사	94
성도건설	(일본) KACOH사	94
중앙지하개발	(스웨덴) 니트로노벨사	92
코오롱 건설	(미국) CDI사	94
한국화약(주)	(영국) WRECK사	93

남산 외인아파트는 코오롱건설에서, 여의도 라이프빌딩은 대림엔지니어링과 두산건설에서 참여하여 발파해체공법에 대한 기술축적을 하고 있다. 수천억대의 발파해체시장이 많은 국내회사의 적극적인 참여를 기다리고 있다. 발파해체공법을 완전하게 기술적으로 수행하기 위해서는 필요한 기술개발에 더욱 박차를 가하여야 한다. 정확한 구조계산, 발파시 환경에 미치는 영향 즉, 분진, 폭음, 진동 등에 대해서도 면밀한 기술이 확보되어야 한다.

세계적으로는 미국의 CDI사가 47년 발파해체공법을 상업화한 이래 앞의 표에서 나타낸 바와 같은 여러 개의 회사들이 시장개척을 위해 고도의 기술 개발에 많은 투자를 하고 있다.

최고층 빌딩은 발파해체한 기록은 CDI사가 갖고 있으며 76년 브라질의 32층 건물이 그 기록이다. 필자는 미국 CDI사가 보스톤시의 17층 건물인 메디슨호텔을 발파공법으로 해체하는 것을 88년 직접 목격하기도 했다.

3. 안전성에 대한 대책

발파하여 건축물을 붕괴시키는 파손현상은 순간간에 발생하게 된다. 건축물 재료의 붕괴파손은 대개 취성(Brittel)적으로 발생하며 취성파손은 그 재료내의 음속의 수십% 정도로 빠르게 전파한다. 또한 건축물의 위치에너지에 의한 붕괴속도도 매우 빠르므로 발파해체에 사용하는 여러가지 이론적인 검토는 매우 면밀하게 수행되어야 한다. 물론 이런 이론적인 검토는 실질적인 실험으로 검증되어야 한다.

해체대상 건축물의 설계도를 면밀히 검토하여 폭약을 장진해야 할 위치와 구멍의 크기, 모양, 폭약의 적정량을 결정해야 한다. 폭약을 너무 많이 장진하면 폭파파편이 총알과 같이 위험하게 날아 인명피해를 내는 경우도 있게 되며 너무 적게 장진하면 폭약의 에너지가 건축물의 파괴인성치를 증가하지 못하게 되어 파손되지 않게 되므로 발파해체는 실패하게 된다.

특히 건축물이 밀집해 있는 지역의 건물을 발파해체할 시에는 파편이 날아서 이웃건축물에 상해를 줄 수도 있으므로 충분한 안전조치를 강구해야 한다. 또한 건축물이 무너지는 방향도 주위의 환경에 맞춰서 왼쪽으로, 혹은 오른쪽으로, 혹은 중앙으로 모아져서 무너져 내리도록 해야 한다. 여기에서 중요한 사항은 건축물의 설계도를 분석하는 과정에서 하중특성을 정확하게 계산해야 한다는 사실이다.

앞의 기본원리에서도 언급했듯이 발파에 의한 파

손→구조물의 위치에너지 이용→건축물의 전체적인 붕괴로 이어지는 수순에서 알 수 있듯이 건축물의 설계도를 분석하여 건축구조물의 하중특성을 정확하게 알아야 발파에 의한 파손 후 이용되는 구조물의 위치 에너지를 면밀하게 산정하여 안전한 발파해체공법을 설계할 수 있게 될 것이다.

우리나라에서는 모든 구조물에 대한 설계도가 잘 간수되어 있지 않은 경우가 많다. 특히 20년 정도의 노후된 건축물에 대해서는 설계도가 없는 경우가 대부분일 것이다. 따라서 이러한 건물들을 발파해체 공법으로 해체할 계획을 할 경우에는 많은 경험의 바탕과 이론적인 예측을 응용하여 가능성이 있는 모든 사고에 대한 철저한 준비를 하여야 한다. 매우 빠른 시간(수십초~수분)내에 모든 일들이 일어나버리기 때문에 아주 조그마한 시행착오도 허용될 수 없는 매우 정밀한 예측이 가능할 수 있는 기술적인 능력이 필요하게 되는 것이다.

지난번 라이프 빌딩 발파시에는 파편이 인근빌딩에 날아가서 유리창이 깨어지고 분진이 많이 발생하였다. 건축물의 재료의 파손특성을 면밀히 검토하여 이에 대한 대비책을 강구했으면 충분히 막을 수 있는 사고였다고 생각된다.

폭약을 장진할 구멍의 크기도 너무 크게 되면 압축하중에 견디지 못하게 될 경우도 발생하게 되므로 주의해야 하며 구멍의 모양은 타원, 원공, 사각형 등 어떠한 것이 안전한 초기파손을 일으키는데 적당한 구멍의 모양인가를 결정해야 한다. 또한 건축물의 하중의 강약과 인장 탄성응력파의 집결되는 모양 등을 고려하여 구멍의 위치를 결정, 높은 탄성응력파가 발생시키는 과도한 폭발로 인한 사고가 발생하지 않도록 해야 한다.

건축물이나 지하에 인공굴열, 즉 구멍을 뚫을 경우에는 우선 그 곳의 초기압력을 알 필요가 있다. 구멍을 뚫어야 할 건축물이나 굴착진행중인 지하공동(Cavity)의 굴착이나 광산의 채굴을 안전하게 진행시키기 위해서는 각 장소의 압력을 측정·감시

할 필요가 있다. 초기압력의 응력성분중에서 연직 응력성분은 그 상부의 자중과 같다고 생각하면 된다. 그 외의 주응력의 크기와 방향은 구조물이나 암반이 지금까지 받은 여러가지 열과 환경등의 변화등에 의존하며 위치에 따라 상당한 차이를 나타낼 가능성도 있다. 구멍을 뚫는 과정에서도 건축물 재료나 지질의 불균일성이나 이방성에도 크게 영향을 받을 가능성도 있다.

특히 설계도가 없는 건축물에 대한 하중강도를 이론적으로 면밀히 검토하기는 불가능하다. 이러한 경우에는 곳곳에서의 응력을 측정하여 그 건축물에 대한 하중강도를 면밀히 검토하여 안전한 발파해체 공법 과정을 설계하도록 하는 것이 좋다.

응력측정방법 중 많이 쓰이는 방법 몇가지를 열거하면 아래와 같다.

가. 현장 측정법

- 1) 건축물 표면의 절대응력을 측정하는 방법
 - 응력해방(Stress relief)법
 - 천공(Blind hole drilling)법
 - 응력보상(Stress compensation)법
- 2) 건축물 표면의 응력변화를 감시하는 계측기를 사용하는 방법
 - 광 탄성응력 측정계(Photoelastic stress meter)
- 3) 구멍벽면의 응력으로부터 초기응력을 결정하는 방법

나. 실험실 측정법

- 1) 음향방출(Acoustic emission)법에 의한 초기 응력측정
- 2) 미분 변형률선도해석(Differential strain-curve analysis)법에 의한 초기 응력 측정법

여기에서는 응력해방법에 대해서만 약술한다.

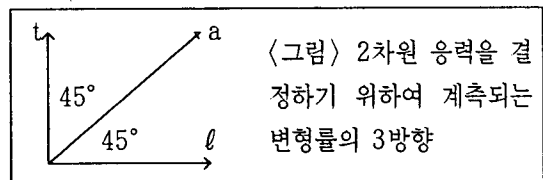
응력해방법은 건축물 표면의 어느 영역을 응력을 받은 상태에서부터 해방시키는 것이며 그 주변을 Chain saw, 다이아몬드 커터, 혹은 착공기 등을

사용해서 구멍을 만들 때 생기는 3방향의 변형률 (= 응력변화)을 계측한다. 예컨대 그림에서 제시된 3방향의 해방변형률 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ 가 계측되었다면 이들 방향의 수직 응력성분 σ_1, σ_2 및 전단응력 τ_{12} 는 다음 식으로 결정할 수 있다.

$$\sigma_1 = -\frac{E}{(1-\nu^2)(\epsilon_1 + \nu\epsilon_2)}$$

$$\sigma_2 = -\frac{E}{(1-\nu^2)(\epsilon_2 + \nu\epsilon_1)}$$

$$\tau_{12} = -\frac{E\nu}{2(1-\nu)(\epsilon_1 + \epsilon_2 - 2\epsilon_3)}$$



여기서, E=탄성계수, ν =포아손의 비(건축물의 재료는 균질 등방성으로 가정하였다.) 위의 식에서 우변의 (-)부호는 계측된 변형률과 산정된 응력과는 부호가 반대인 것을 나타내고 있다.

4. 맺는말

발파해체 공법은 현재는 물론 가까운 장래에도 크게 각광을 받을 여러가지 건축물의 효과적인 해체방법임에는 틀림없다. 그러나 편리하고 효과적인 반면 수십초~수분내에 일어나는 급작스런 붕괴 파괴를 수반하는 위험스런 공법이다. 만에 하나 불충한 대책에 의한 안전사고가 발생하면 공법의 특성상 매우 큰 사고가 될 가능성이 높다.

또한 여러가지 기본원에 의한 충분한 실험적, 이론적 검토가 수행되지 않으면 충분한 안전성을 보장할 수 없다. 따라서 여러가지 가능한 사고에 대비하여 충분하고 면밀한 안전대책을 수립하여 위험스런 공법이란 이미지를 완전히 해소시키려는 노력이 부단하게 이루어져서 국민들에게 신뢰성 있고 안전한 공법이라는 이미지를 심어주도록 해야 할 것이다.