

<기술소개>

建物發破解體의 秘密(2) - 남산외인아파트 발파해체를 중심으로

전태수¹⁾ · 류훈²⁾ · 최수일³⁾ · 임한욱⁴⁾

제 3 장 계획 및 설계

1. 계획 및 기준

가. 발파해체 공법의 개요

(1) 원리 및 개요

발파해체공법은 구조물의 주요 지지점인 기둥이나 내력벽(耐力壁)과 같은 구조물 부재를 폭약의 폭발력을 이용하여 파괴하므로써 구조물의 안정성을 와해시키거나 구조물의 강성(剛性)을 저하시켜 구조물이 지닌 위치에너지(位置에너지)를 자중(自重)에 의해 붕괴시킬 때 발생하는 운동에너지로 전환시켜 파쇄물 상호간의 충돌작용을 유도하므로써 짧은 시간에 구조물을 붕괴 해체시키는 공법이다.

철근콘크리트 구조물은 강성과 연성이 좋고 동적거동에 있어서 하중 재분배가 비교적 좋지만 중량이 크기 때문에 외적 또는 내적 불안정 요소에 의해 쉽게 변형되고, 취성파괴의 특성을 가지고 있다. 특히 국부적인 불안정에 대단히 취약하여 구조물의 일부가 붕괴되었을 경우 하중 및 모멘트의 재분배 과정을 거치면서 내력이 작은 곳부터 파괴되기 시작하여 연쇄적으로 인접 부재가 파괴되는 도미노현상을 초래하여 구조물 전체가 짧은 시간에 붕괴된다.

따라서 콘크리트 구조물의 이러한 특성과 폭약의 순간적 파괴력을 응용하여 발파에 의해 구조물을 붕괴, 해체시킬 수 있다.

(2) 종류 및 특성

㉠ 전도공법(Felling)

- 기술적으로 가장 간단한 공법
- 전도(轉倒)방향으로 충분한 공간확보가 요구된다.
- 진동이 심한 공법
- 전도방향의 조절이 가능하다.
- 구조물의 하부에 췌기를 만들기도 하나 전적으로 화약을 사용할 수 있다.

- 정확한 지지점을 얻기 위해서 적당량의 구조 부위를 사전파쇄시킬 수도 있다.

- 주 대상 구조물 : 콘크리트 stack

㉡ 상부붕락공법(Toppling)

- 단축붕괴와 진도를 혼합한 공법
- 일반적으로 건물내 기둥열이 2-3열 정도로 한정된 경우 사용한다.
- 한방향의 여유공간을 확보한 경우에는 쉽게 적용할 수 있다.
- 지반진동등의 경감을 위해서는 점진적 붕괴가 이루어 지도록 기폭 시스템을 설계하여야 한다.
- 건물을 대상으로하는 일반적 공법이다.

㉢ 단축붕괴(Telescoping)

- 사방으로 충분한 여유공간을 확보할 수 없는 경우 적용될 수 있는 공법이다.
- 초기의 운동량이 계속적인 붕괴를 유도하며 발파시 구조물 하부에 파쇄물이 쌓이므로 그 자체가 충격흡수제의 역할을 하게된다.
- 시각적 효과가 좋다.

㉣ 내파공법(Impllosion)

- 제약된 공간, 특히 도심지에서 사용된다.
- 구조물의 외벽을 중심으로 끌어 당기면서 붕락됨에 따라 주변의 필요공간을 최소화 할 수 있다.

㉤ 점진붕괴(Progressive Collapse)

- 기술적으로 내파공법과 근접되어 있는 공법으로서 중심방향으로 붕괴가 이루어지는 내파공법에 비해 이 공법은 선형적으로 진행된다.
- 길이가 긴 구조물에 적용할 수 있다.

(3) 발파해체 설계의 기본 원칙

-
- 1) 서울시 종합건설본부 건축부장
 - 2) 서울시 종합건설본부 건축과장
 - 3) 코오롱건설(주) 기술연구소장
 - 4) 정회원, 강원대 자원공학과 교수

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

- 건축구조 형태 및 구조물의 구조적 지지점을 파악
- 구조물의 붕괴과정에서 발생하는 거동상황의 예측과 붕괴 유도방법의 설정
- 구조물의 붕괴 방향을 고려한 천공 위치의 결정
- 각 기둥의 철근량과 강도 등을 파악하여 구조물의 지지점 파괴에 적당한 천공각도, 천공깊이 및 폭약의 종류와 장약량 산정
- 구조물의 붕괴효과를 높이기 위한 사전취약화 대상 위치 및 크기 등의 결정
- 주변 상황조사에 따른 발파영향 등을 고려한 지발당 폭약량 결정
- 건물이 붕괴될 때 하중에 의한 지반충격 등을 고려한 각 층 및 구역별 지발 시간차를 결정
- 발파시 영향 등을 고려한 위험지역과 경계지역의 구분

나. 각종 공해방지 허용기준

(1) 진 동

다음의 표 3.1은 국내 지하철현장에서 적용되었던 기준으로써 기존의 발파시 건물의 고유 진동수와는 무관하게 설정되어 있던 규정에 주파수의 영향을 고려하여

표 3.1 국내지하철 규정

구분	문화재, 컴퓨터	주택, 아파트	상가	R.C건물 및 공장
허용치 30 Hz 이상 (cm/s)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0
30 Hz 이하	0.2	0.4	0.8	0.8~2.0

표 3.2 독일 DIN 4150

건물분류	주파수범위		
	<10Hz	10-50Hz	50-100Hz
공업지역	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0
주거지역	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
민감지역	0.3	0.3~0.8	0.8~2.0

발파진동 허용기준치를 수정 제안한 것이다. 건물의 고유진동수가 일반적으로 30 Hz 이하이므로 이 수치를 기준으로 그 이상의 주파수 영역에서는 지하철 공사시의 기준을 적용하되 30 Hz 이하에서는 허용기준을 감소시켰다.

한편 독일에서는 1986년에 기존의 DIN 4150 안전기준을 완화하면서 주파수별로 세분하여 허용진동치를 재 설정하였는데 표3.2와 같다.

건설 현장에서의 발파진동은 인접건물이나 가옥 등에 피해를 입힐 우려가 있으므로 각 국가 기관에서는 이에 대한 규제치를 제안하고 있다.

특히 독일, 미국, 일본 등의 국가에서는 여러 실험을 통하여 건물의 종류별, 건물의 피해도별 진동 규제치를 제안하였다. 또한 유럽, 캐나다, 미국 등에서 수 십년간에 걸쳐 수행된 연구들을 종합해 보면 인체가 감응하는 정도는 가속도 성분에 따라 변하고, 지상이나 지하의 구조물이 받은 피해의 정도는 진동속도 성분과 직접적인 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

다음의 그림 3.1은 각 국가의 학자들 및 미 광무국(USBM)에 의해 연구된, 발파진동이 구조물에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 5 cm/s 이하이면 거의 안전하다고 할 수 있다. 그러나 이 자료들은 구미에서의 결과이므로 일본의 경우 구미와 비교해서 지반 상황, 구조물 형태, 공해에 대한 주민의식이 다르기 때문에 표3.3과 같은 기준을 적용하고 있다. 이들 기준은 많은 진동계측

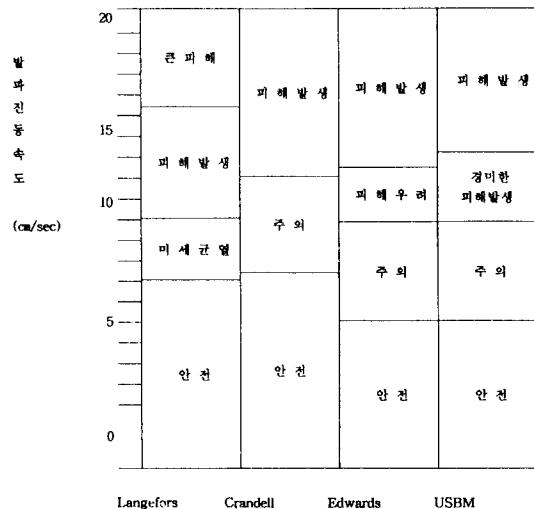


그림 3.1 각국의 발파진동 영향분석.

실험을 통하여 구해진 값이다.

한편 발파진동에 의하여 건물이 받는 피해는 건물의 기초가 점토층인가, 기반암인가등 기초의 강도에 따라 상당한 차이가 있는데 이점에 관해서 Langefors가 실험한 결과에 의하면 표 3.4에 나타난 것처럼 기초지반이 연약할 수록 건물은 쉽게 피해를 입는 것을 알 수 있다.

발파진동에 의한 구조물과 인체의 피해는 진동속도에 따라 좌우된다. 따라서 발파설계변수등을 조절하여 진동속도를 허용기준치 이내로 감소시켜야 피해를 막을 수 있으며, 이때 진동의 주파수의 영향을 고려하여야 한다.

일반적으로 발파에 의한 주파수는 50-100 Hz, 낙하충격에 의한 주파수는 7-70 Hz이고, 남산 아파트 주변의 기반암이 흑운모 편마암으로 구성되어 있으므로 이상의 표에서 남산아파트에 적용할 수 있는 기준은 다음과 같다.

- 국내 지하철 기준 : 0.5 cm /s
- 독일 DIN4150 기준 : 0.5~1.5 cm/s

- 일본기준 : 1.0~2.0 cm/s
- Langefors에 의한 기준 : 7 cm/s
- USBM (미 광무국) 기준 : 5 cm/s
- 지반조건에 따른 기준 : 7.0 cm/s

이상의 기준을 살펴보면 독일이 상당히 엄격하게 규제하고 있으며 독일의 기준을 참고로 한, 국내 지하철 기준은 더욱 엄격하다는 것을 알 수 있다. 이상의 모든 기준을 만족시키기 위해서는 적어도 0.5 cm/s 이하로 진동속도가 규제되어야 한다.

한편 그동안 진동에 의한 생활피해는 공사장의 건설공사 항목으로 별도의 규제조치가 없었으나 94년 7월부터 새로운 개정안에 따라 강제조항으로 규제되고 있다. 현재 환경처 개정안에 따르면 대상지역을 두 가지로 나누어서, 주거지역 등에는 주간 70 dB이하, 야간 55 dB이하로, 상업지역 등에서는 주간 75 dB이하, 야간 55 dB이하로 각각 정하고 있다. 각종 공사장의 진동이 허용기준을 초과하면 작업시간을 조정하던가 방음 및 방진시설의 설치 등을 의무화시키고 이의 위반시 벌금의 부과가 가능토록 하고 있다.

(2) 소음 및 폭풍압

85년 노동부에서 고시한 소음의 규제기준은 크게 두 구역으로 나누어 기준을 달리하고 있다.

또한 건설공사 규제지역 내에서 특정공사를 시행할 때 적용하는 소음의 규제기준은 표 3.7과 같으며 이때 측정위치는 공사장 주변의 피해자 부지 경계선이 된다.

각국의 직업성 소음 발생한계는 표 3.8과 같으며 대략 발생시간이 1/2이 되면 허용도는 3-5 dB씩 증가하는 경향이다.

발파해체공사시 발생하는 소음은 발파소음에서 비롯된다고 하기보다는 대부분이 천공기, 백호 등의 상차장비 및 재활용 장비인 파쇄기(crusher) 등과 같은 장비사용시 발생한다고 할 수 있다.

표 3.3 일본의 진동허용 기준

진도	진동의 정도	진동속도 (cm/s)
I	발파진동을 거의 감지하지 못한다.	0.03 이하
II	발파진동을 감지할 수 있다.	0.03~0.1
III	발파진동이 현저하며 불평이 있다.	0.1~0.5
IV	발파진동이 현저하며 불평이 많다.	0.5~1.0
V	구조물 등에 주의	1.0~2.0
VI	일반가옥, 모르타르구조물에 피해가능성	2.0~5.0
VII	콘크리트, 가옥 등에 피해의 가능성이 크다.	5.0 이상

표 3.4 지반조건에 따른 일반주택의 피해정도와 발파진동 속도와의 관계

진동범위	지반조건	지하수면하의 점토, 모래, 자갈	퇴석, 슬레이트, 연약한 석회석	강한 석회석, 석영질사암, 편마암, 화강암, 현무암	피해정도
	중과의 전달속도(cm/s)	1000-1500	2000-3000	4500-6000	-
발파에 의한 진동속도(cm/s)	1.8이하	3.5이하	7.0이하	피해없음	
	3.0	5.5	10.0	무시할 수 있는 피해	
	4.0	8.0	15.0	균열생성	
	6.0이상	11.5이상	22.5이상	상당한 피해발생	

표 3.5 정부 진동 규제 기준

(단위: dB)

시간별 대상지역	주간 (08:00-18:00)	야간 (22:00-05:00)	조식 (05:00-08:00) (08:00-22:00)
	주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 위락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지 경계선으로부터 50 m 이내 지역	70 이하	55이하
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림 지역, 준도시 지역 중 취락지구외의 지구, 미고시지역	75 이하	55 이하	70 이하

비고 : • 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 • 본 규제기준은 주간에 한해 진동발생 시간이 1일 4시간 이하일 때에는 +5 dB를 보정한 값으로 한다.
 • 시·도지사는 규제기준의 범위내에서 지역의 특수성을 고려하여 필요하다고 인정되는 지역에 대하여서는 별도의 규제기준을 정하여 고시할 수 있다.

표 3.6 노동부 고시 제 85-12호에 의한 소음 규제기준

대상지역	시간		조식 (05:00-08:00 18:00-22:00)	주간 (08:00-18:00)	심야 (22:00-05:00)
	대상소음				
주거지역, 녹지 지역 및 위락지역 중 주거지역, 관광휴양지역, 자연환경보전지역, 학교, 병원의 부지 경계선으로부터 50 m이내 지역	확성기에 의한 소음	옥외설치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장 및 사업장의 소음		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장의 소음		65 이하	70 이하	55 이하
상업지역, 준공업지역, 일반공업지역, 취락지역 중 주거지구 외의 지구	확성기에 의한 소음	옥외설치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장 및 사업장의 소음		60 이하	65 이하	55 이하
	공사장의 소음		70 이하	75 이하	55 이하

비고 : • 대상지역의 구분은 국토이용 관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 • 공사장 소음의 규제기준은 주간의 경우 소음 발생시간이 1일 2시간 미만일 때에는 +10 dB, 2시간 이상 4시간 이하일 때에는 +5 dB를 보정한 값으로 한다.

표 3.7 특정공사의 종류별 규제기준

특정공사의 종류	규제기준(dB)
항타기, 항발기 또는 항타 항발기를 사용하는 공사	90
병타기를 사용하는 공사	85
<ul style="list-style-type: none"> • 착암기를 사용하는 공사(1일 2지점간 연속 작업거리가 50 m 이하인 경우) • 공기압축기(공기토출량 2.83 m³/분 이상의 이동식인 것)를 사용하는 공사 • 강구를 사용하여 건축물을 파괴하는 공사 • 브레이크(휴대용 제외)를 사용하는 공사 	80
굴삭기를 사용하는 공사	65

표 3.8 각국의 직업성 소음 발생한계

국명	정상소음도 소 (dB)	음 발생시간	음 최대허용 소음도 (dB)	충격음 최대음압도 (dB)
덴마크	90	40hr/주	-	-
프랑스	90	"	-	-
벨기에	90	"	110	140
스웨덴	85	"	115	-
아일랜드	90	-	-	-
이탈리아	90	8hr/일	115	140
독일	90	"	135	-
영국	90	"	115	150
미국	90	"	115	140
캐나다	90	"	115	140
오스트레일리아	90	"	"	-

표 3.9 환경공해 설계기준

구분	설계기준	비고
진동	발파진동 0.1 cm/s 이하	• 아파트 1동 벽면에서 최단거리에 있는 건물 (22 m)의 수진점 기준
	충격진동 0.4 cm/s 이하	• 1동 중앙부를 기점으로 최인접 시설물인 상하수도관(77 m)까지의 수진점 기준
계	0.5 cm/s 이하	• 발파 및 충격진동의 중첩효과 고려
소음 및 폭풍압	150 dB 이하	• 아파트 1동 벽면에서 최단거리에 있는 건물 (22 m)의 수진점 기준
분진	50 m 내외	• 풍향, 풍속에 따라 달라짐

이상과 같은 소음 허용기준중 본 해체공사와 관련된 기준을 종합해 보면 다음과 같다.

• 노동부 85-12호에 의한 기준 : 최대한 65 dB 이하 (심야 기준제외)

• 특정공사의 종류별 규제기준 : 80 dB이하

• 세계 각국의 기준 : 90 dB이하

(3) 환경공해 설계기준

본 공사에서는 상기의 식들을 이용하여 다음의 표 3.9와 같이 환경공해 설계기준을 설정한다.

2. 발파해체 설계개념 및 설계과정

가. 설계 기본방향 및 원칙

(1) 설계기본방향

본 공사는 정도 600년 기념 사업중 가장 큰 행사이며 건축물 발파해체 공법을 고층건물로서는 국내에서 최초로 적용하는 공사인 만큼 안전시공을 최우선으로 하고 코오롱건설(주)과 세계 최고의 발파해체 기술 보유사인 미국 CDI사의 기술협력을 바탕으로 발파해체 기술을 국내에 소개하여 발전을 도모하고, 아울러 심각해지고 있는 공해문제에 있어서 주 요인인 소음, 진동, 분진 등의 최소화와 건축 폐기물의 재활용을 통해 기존 철거공사의 이미지 쇄신과 철거공사의 선진화에 기여하는데 의의를 두었다.

(2) 설계 원칙

발파해체공법은 해체 대상 구조물에 대한 구조 역학적 문제와 구조물 붕괴시 지반에 전달되는 충격 에너지의 양을 충분히 고려하여 최적의 발파위치 선정과 에너지 흡수를 위한 발파 시간차 배분 등 다음과 같은 사항들을 고려하였다.

- 건물구조 형태를 파악하여 구조물의 구조적 지지점을 파악
- 구조물의 붕괴 과정에서 발생하는 거동상황의 예측과 붕괴 유도방법의 설정
- 구조물의 붕괴방향을 고려한 천공위치의 결정
- 각 기둥의 철근량과 강도 등을 파악하여 구조물의 지지점 파괴에 적당한 천공각도, 천공깊이 및 폭약의 종류와 장약량 산정
- 구조물의 붕괴효과를 높이기 위한 사전파쇄 대상 위치 및 크기 등의 결정
- 주변 상황조사에 따른 발파영향 등을 고려하여 지발당 폭약량 결정
- 건물이 붕괴될 때 하중에 의한 지반충격 등을 고려하여 각 층 및 구역별 지발 시간차를 결정
- 발파시 영향 등을 고려하여 위험지역과 경계지역을 구분

나. 설계개념

1동과 2동 모두 건물 벽으로부터 남산 기슭으로 약 15° 경사를 주어 붕괴가 일어나고 아파트 코아를 중심으로 날개형의 모양으로 연결되어 있는 구조물 양단부로부터 중심부로 점진적인 붕괴가 이루어지도록 하는 단축붕괴(telescoping)와 점진붕괴(progressive collapse)를 혼합한 붕괴기구를 시도한다.

여기서 단축붕괴한 사방으로 충분한 여유공간을 확보할 수 없는 경우 적용될 수 있는 공법이며 초기의 운

동량이 계속적인 붕괴를 유도하며 발파시 구조물 하부에 파쇄물이 쌓이므로 그 자체가 충격흡수체의 역할을 하게 되고 시각적 효과가 좋다는 장점이 있다. 또한 점진붕괴는 선형적으로 붕괴가 진행되며 길이가 긴 구조물에 적용할 수 있다는 장점이 있다.

다. 설계과정

서울 정도 600년사업의 핵심사업인 남산 제모습찾기 운동으로서 서울시의 남산아파트 철거(발파해체)공사 계획이 결정되자, 코오롱건설(주)의 기술연구소는 이전부터 발파해체기술습득을 위하여 자체적인 연구를 수행한 것을 토대로 하여 입찰에 참가하기로 결정을 하였다. 본 설계는 발파해체공사의 성공적인 완수를 위하여 기술협약 관계에 있는 미국의 발파해체 전문회사인 CDI사와 긴밀한 협조를 통하여 수행이 되었다. 코오롱건설(주)는 CDI의 공사에 기술자를 파견하여 기술을 습득하게 하고, CDI의 실무진과 기술적인 협의를 통하여 발파해체설계를 수행하였다. 이러한 과정으로 기본 설계도서 및 도면이 작성되었으며, 기술심사를 통하여 시공적격업체로 결정이 되자 코오롱건설(주)는 CDI의 기술자와 세심한 협의를 통하여 실시설계도서와 도면을 수정, 완성하였다.

(1) 구조물 사전조사 및 안전성검토

㉞ 구조물 개요 및 구조 진단

남산 외인아파트는 1동(16층), 2동(17층)의 건물로 구성되어 있으며, 1, 2동 모두 전단벽식 구조의 코아를 중심으로 철근콘크리트 라멘조인 양 날개를 가진 형태를 하고 있고, 1동은 30°, 2동은 60° 꺾인 대칭 형태를 하고 있다.

본 사업은 구조체에 심각한 하자가 발생하여 해체하는 것이 아니라 남산의 원래 모습을 찾기 위한 서울 정도 600년 사업의 핵심 사업으로서 수행되어지는 것이다. 이러한 목적으로 건물들을 해체할 것을 전제로 하고, 구조물들의 구조 진단과 현장 조사를 실시하였다. 구조 진단 및 현장 조사 결과 구조물의 안전성에 영향을 줄 수 있는 구조 부재의 균열과 과도한 처짐이 발생한 곳은 없었다. 또한 비파괴 검사 장비인 슈미트 햄머를 사용하여 콘크리트의 강도를 조사하였으며, 콘크리트 압축강도는 240 kg/cm²로 추정되어 설계도서에 명시된 콘크리트 설계기준강도 $F_c = 180 \text{ kg/cm}^2$ 을 상회하므로 콘크리트의 압축강도상에는 하자가 없는 것으로 판단된다.

㉟ 안전성검토의 목적

발파해체공법은 발파 대상 구조물의 중요 부분을 발파하여 구조물의 강성 저하와 불안정을 유도하므로서 점진적으로 붕괴하도록 하고, 자중에 의한 위치에너지가 붕괴과정에서 낙하하면서 운동에너지로 전환되고 철근콘크리트가 상호작용을 하여 충분히 파쇄가 되도록 하는 공법이다. 이러한 공법에서 가장 중요시되는 것은 안전성을 확보하는 것으로서 이를 위해서는 적은 양의 화약을 사용하는 것과 구조물의 붕괴방향을 예측할 수 있어야 하는 것이다. 발파를 하기 전에 구조물의 구조형식 및 형태를 정확히 분석한 후 구조물을 사전에 적절하게 파쇄시키는 것은 붕괴를 용이하게 하고 계획된 방향과 위치로 붕괴시킬 수 있도록 하며, 최소량의 화약으로 최대의 발파 효과를 얻을 수 있다. 발파해체시 구조적으로 강성이 큰 부재를 경시할 경우, 붕괴 과정에서 구조물이 예상치 않았던 방향으로 붕괴되어 인접 구조물에 피해를 주거나 완전히 붕괴가 되지 않아서 재발파를 해야하는 경우도 있다. 따라서, 이러한 목적으로 벽체, 계단, 슬라브, 전단벽 등을 사전에 부분적으로 해체하는 작업을 실시한다. 그러나 이러한 작업이 과도하게 이루어지게되면 사전에 해체하는 작업중에, 또는 발파도 되기 전에 붕괴되는 사고가 발생할 수도 있으므로 취약화되는 부분의 위치와 크기는 정확한 구조해석을 통하여 중요 부재의 응력을 검토하고 안전성을 확인한 후 선정한다.

㊱ 적용기준 및 구조해석

남산 외인아파트가 건축될 당시의 구조설계는 일본 건축학회 철근콘크리트규준 JIS 30과 DIN 1045 설계규준을 기준으로 설계를 하였고, 본 안정성 검토서는 건설부에서 제정한 철근콘크리트 구조계산 규준과 건축물의 구조기준등에 관한 규칙을 기준으로 검토, 분석을 하였다.

구조해석은 건축 범용 프로그램인 ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) PLUS를 사용하여 3차원 정적해석을 하였으며, 각 부재들의 모멘트, 전단력, 축력, 변형도 등을 얻었다. 응력 분포도 및 구조물의 변형형태를 분석한 결과 중앙부에 위치한 전단벽식 구조인 코아와 계단실 주위에 배치한 전단벽의 강성은 매우 커서 변형의 양이 작게 되는 특성을 나타냈다.

㊱ 안전성 검토

구조물의 안전성 검토는 축하중이 가장 큰 1층 기둥

과 2층 바닥에 위치한 보의 단면 및 배근 상황을 분석하였다. 구조해석을 통하여 계산된 값을 이용하여 부재설계를 하였으며, 각 부재의 배근 양은 기존 설계도서를 근거로 하였다. 분석한 결과 구조물의 모든 부재가 구조적으로 충분한 안전성을 확보하고 있으며, 중앙부가 강성이 큰 구조로 되어있기 때문에 기존의 상태로 발파 해체를 할 경우 붕괴거동을 예측하기 어려우며, 완전한 붕괴가 되지 않아서 재발파를 할 경우가 발생할 수도 있다. 또한 과장약의 원인으로 발파진동 및 폭풍압, 비석 등에 의하여 주변시설물, 인명에 피해를 줄 수도 있다. 따라서, 발파 작업 전에 중앙부 및 계단실 주변의 진단벽에 대한 적절한 파쇄가 요구된다.

(2) 구조물의 붕괴거동

본 설계시 다음과 같은 붕괴기구를 고려하였다.

첫째, 건물의 배치가 남산을 등지고 시가지가 바라보이는 개방된 위치에 자리잡고 있고, 아파트 중앙부의 코어를 중심으로 양단부가 날개모양으로 어느 정도 각도를 이루고 있는 형태로 배치가 되어 있다. 발파시 날개부위의 양단부쪽에서 부터 붕괴가 시작되는데 이때 최대 편심하중이 발생하여 회전모멘트가 중앙부 코아 쪽으로 유도될 수 있도록 하였다. 이러한 운동은 건물이 붕괴하는 동안 파쇄물을 작게 만드는데 이용할 수 있는 전단 하중에너지를 최대로 이용하게 한다.

둘째, 본 공사의 시공방침은 주변 시설물 및 인명의 안전을 최우선으로 하여야 한다.

따라서 아파트 2동 측면에 최단거리로 위치하고 있는 개인주택 및 앞쪽의 하얏트 호텔, 보광동 수원지 등의 주요 인접 시설물들을 고려하여 구조물의 붕괴방향이 산 기슭 쪽으로 향하게 하였고 아파트 정면부쪽의 기둥에는 무장약을 포함 최소한의 장약을 하였다.

이렇게 하게 되면 발파시 발생할 수도 있는 비석에 의한 주변 시설물의 피해를 원천적으로 방지할 수 있음과 아울러 폭풍압에 의한 영향을 최소화시켜서 소음발생 및 인접구조물에 나타날 수도 있는 공명현상에 의한 균열발생 및 유리창 파손 등과 같은 피해를 제거할 수 있다.

셋째, 주변 주요 시설물 및 환경, 주변 지질조건, 건물의 구조형태 및 특성, 각종 환경공해 발생 등을 고려한 DIVELCON™ 시스템에 의한 모의실험 결과 상기 설계 개념이 가장 적합한 것으로 분석되었다. DIVELCON™ 시스템이란 Different Velocity Control Technical Manual System의 약자로서 세계 최고의

기술력을 보유하고 있고 코오롱건설(주)의 기술 협력사인 미국의 CDI사가 제공한, 발파해체에 관한 총체적인 모의실험 시스템이다.

이 시스템은 CDI사가 지난 45년간에 걸쳐 전 세계적으로 고층건물 1,200건을 비롯한 6,000여건의 발파해체 시공을 하면서 축적한 현장조건, 대상 구조물의 구조해석에 따른 장약 및 천공조건, 붕괴거동 결과, 진동 및 소음 등의 결과치와 경험을 Data Base화한후 이것을 토대로 각종 실험식을 유추해 구축한 시스템이다.

CDI사가 상기와 같은 수많은 고층빌딩을 발파해체하면서도 세계적으로 유일무이하게 단 한 건의 실패 사례가 없었다는 점은 DIVELCON™ 시스템의 신뢰도를 시사한다.

그러므로 본 시스템을 이용하면 다양한 발파해체 대상물 및 현장조건에 따른 각종 발파해체 작업의 최적설계뿐 아니라 진동, 소음, 비석 등의 최소화는 물론 파쇄물의 크기까지 조절이 가능하다.

(3) 발파층의 선정 및 사전파쇄

㉠ 발파층의 선정

철근콘크리트 라멘조 구조물에 있어서 하층의 기둥은 가장 중요한 부재로서 붕괴거동을 계획할때 1,2층의 기둥을 우선적으로 고려하였다. 1,2층은 주된 운동의 역할을 하는 층으로서 일차적인 운동을 발생시켜 윗층에 있는 물질들의 위치에너지(potential energy)를 운동에너지로 전환시키고, 이 에너지에 의해 구조물이 작게 파쇄된다. 발파하는 층의 선정은 구조물에서 기둥과 보의 간격, 단면 크기와 배근상태 및 내부의 벽체와 진단벽(동적하중 상태에서 파괴에 대한 진단벽의 저항을 고려), 그리고 구조물 전체의 폭-높이 비를 기초로 하여 선정한다.

1동의 발파되는 층은 1, 2, 6, 10, 14층을 선정하고, 1, 2층의 기둥에는 상층부 보다 화약량을 많게 해서 수직방향의 운동성분이 발생하도록 했으며, 6, 10, 14층의 기둥은 최소한의 화약량을 사용하여 기둥의 단면을 완전히 파괴시키는 것이 아니라 붕괴진행과정에 따라 자연적으로 붕괴가 이루어질 수 있도록 설계하였다.

2동의 건물은 좌측 날개 부분이 단층이 되어 1열에서부터 8열까지는 1층이 없기 때문에 3층이 2층의 역할을 할 수 있도록 3층의 1열에서 9열까지를 발파 구역으로 선정하였으며, 발파되는 층은 1, 2, 3, 5, 9, 12, 15층으로 결정하였다. 1, 2, 3층의 기둥에는 상층부보다 화약량을 많게 해서 수직방향의 운동성분이 발생하도록

했으며, 5, 9, 12, 15층의 기둥은 최소한의 화약량을 사용하여 기둥의 단면을 완전히 파괴시키는 것이 아니라 붕괴진행 과정에 따라 자연적으로 붕괴가 이루어질 수 있도록 설계하였다.

㉔ 사전파쇄

• 1동 사전파쇄

사전파쇄할 위치의 선정은 구조물의 구조형식과 형태 및 붕괴거동을 고려하여 선정하였다. 1동의 구조물은 2동과 비교하여 길이방향으로 긴 선형의 형태를 하고 있기 때문에 구조물을 붕괴시키기 위해서는 강성이 큰 중앙부 전단벽에 적절한 편심전단력과 회전모멘트가 유도되도록 해야 한다. 편심전단력은 중앙부의 전단벽을 부분적으로 해체함으로써 얻을 수 있고, 회전모멘트는 발파시 지발차를 구조물의 양 날개인 단부쪽에서부터 시작하고 붕괴방향은 남산쪽으로 향하도록 하므로써 얻을 수 있다. 1동의 붕괴방향은 2동과 비교하여 남산쪽으로 더 향하도록 한다. 이것은 건물이 선형이기 때문에 수직면 밖으로 구조물이 회전하므로써 전단하중들이 회전모멘트를 만들어 중앙부 전단벽을 효과적으로 파괴시킬 수 있도록 작용한다. 이러한 운동은 구조물이 붕괴하는 동안 파쇄물이 작게 파쇄되도록 이용할 수 있는 전단하중에너지의 최대를 이용하게 한다. 또한 붕괴방향을 남산쪽으로 향하고 양 날개의 단부쪽에서부터 중앙부 안쪽으로 점진적인 붕괴가 되도록 계획하므로써 남산 반대 방향에 있는 열의 기둥들에 대한 천공 및 장약작업이 필요가 없게 된다. 따라서, 외부 기둥에 대한 장약이 없으므로 그만큼 작업량이 감소하는 것은 물론이고 화약의 양이 감소하여 인접 구조물에 대한 진동 및 폭풍압의 영향이 감소하고 어떤 종류의 비석의 가능성도 막아줄 수 있는 것이다.

계획한 붕괴과정을 용이하게 하기 위하여 기 선정된 발파층인 1, 2, 6, 10, 14층을 대상으로 사전파쇄작업을 실시한다. 해당층에 있는 실내의 비내력벽은 모두 철거가 되고, 1층 부분은 외벽까지 모두 철거하여 골조만 남겨 놓는다. 구조물의 양 날개에 위치한 3, 6, 17, 20열의 전단벽을 제거하고, 계단실을 부분적으로 파쇄시켜서 점진적인 붕괴가 방해받지 않도록 하며, 중앙부의 전단벽들은 부분적으로 철거를 하여 전단벽의 강성을 저하시켜서, 편심전단력이 생기도록 한다.

• 2동의 사전파쇄

2동의 구조물은 남산 방향으로 60°경사진 양 날개가

있기 때문에 강성이 큰 중앙부 전단벽을 붕괴시키기 위한 편심전단력과 회전모멘트를 유도하는 것은 1동에 비하여 용이하다. 편심전단력은 중앙부의 전단벽을 부분적으로 해체하므로써 얻을 수 있고, 회전모멘트는 발파시 지발차를 구조물 양 날개의 단부쪽에서부터 시작하고 붕괴방향은 남산쪽으로 향하도록 하므로써 얻을 수 있다. 2동의 붕괴방향은 1동과 비교하여 수직붕괴에 가까울 것이고, 건물 양날개의 단부에서부터 중앙부를 향하는 점진적인 붕괴가 발생하므로써 구조물이 회전하여 전단하중들이 회전모멘트를 만들어 중앙부 전단벽을 효과적으로 파괴시킬 수 있도록 작용한다. 이러한 운동은 구조물이 붕괴하는 동안 파쇄물이 작게 파쇄되도록 이용할 수 있는 전단하중에너지의 최대를 이용하게 한다. 또한 붕괴방향을 남산쪽으로 향하고 점진적인 붕괴가 되도록 계획하므로써 남산 반대 방향에 있는 열의 기둥들에 대한 천공 및 장약작업이 필요가 없게 된다. 따라서, 외부 기둥에 대한 장약이 없으므로 그만큼 작업량이 감소하는 것은 물론이고 화약의 양이 감소하여 인접 구조물에 대한 진동 및 폭풍압의 영향이 감소하고 어떤 종류의 비석의 가능성도 막아줄 수 있으며, 발파 후 파쇄물의 크기는 매우 작게 될 것이고, 구조물의 날개 단부 부분인 3열과 20열에 인접한 곳에서는 파쇄물이 다소 크게 될 것이고, 강성이 매우 큰 중앙부 전단벽의 파쇄물은 그 보다 크게 될 것이다.

계획한 붕괴과정을 용이하게 하기 위하여 기 선정된 발파층인 1, 2, 3, 5, 9, 12, 15층을 대상으로 사전취약화작업을 실시한다. 해당층에 있는 실내의 비내력벽은 모두 철거가 되고, 1층과 2층의 좌측 날개 부분은 외벽까지 모두 철거하여 골조만 남겨 놓는다.

구조물의 양 날개에 위치한 3, 6, 17, 20열의 전단벽을 제거하고, 계단실을 부분적으로 파쇄시켜서 점진적인 붕괴가 방해받지 않도록 하며, 하층 부분이 없는 2층 바닥, 8열의 슬래브와 보는 절단하여 철근이 노출되도록 한다. 이것은 1층이 없는 부분과 우측부분의 접합부 강성을 저하시켜 붕괴가 용이하게 하기 위한 것이다. 중앙부의 전단벽들은 부분적으로 철거를 하여 전단벽의 강성을 저하시키고, 편심전단력이 생기도록 한다.

여기에 사전취약화, 천공배치, 장약설치 위치, 기둥의 천공, 방호막, 기록시스템등의 그림을 참고로 제시하면 다음과 같다.

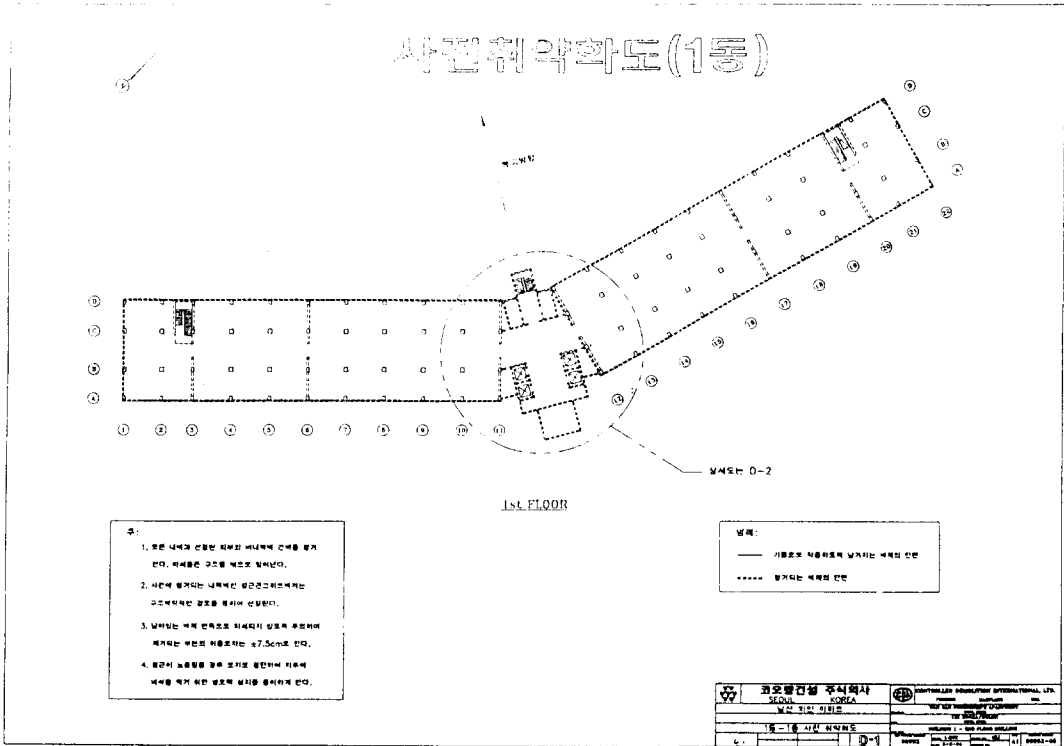


그림 3.2 사전취약화.

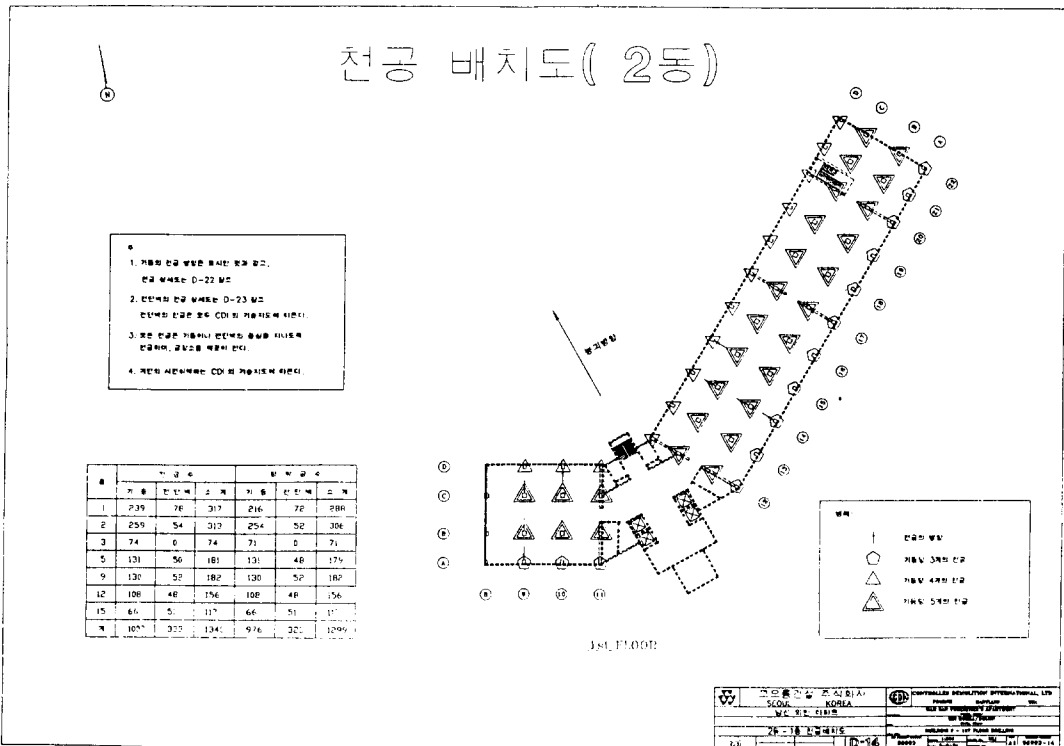


그림 3.3 천공배치도.

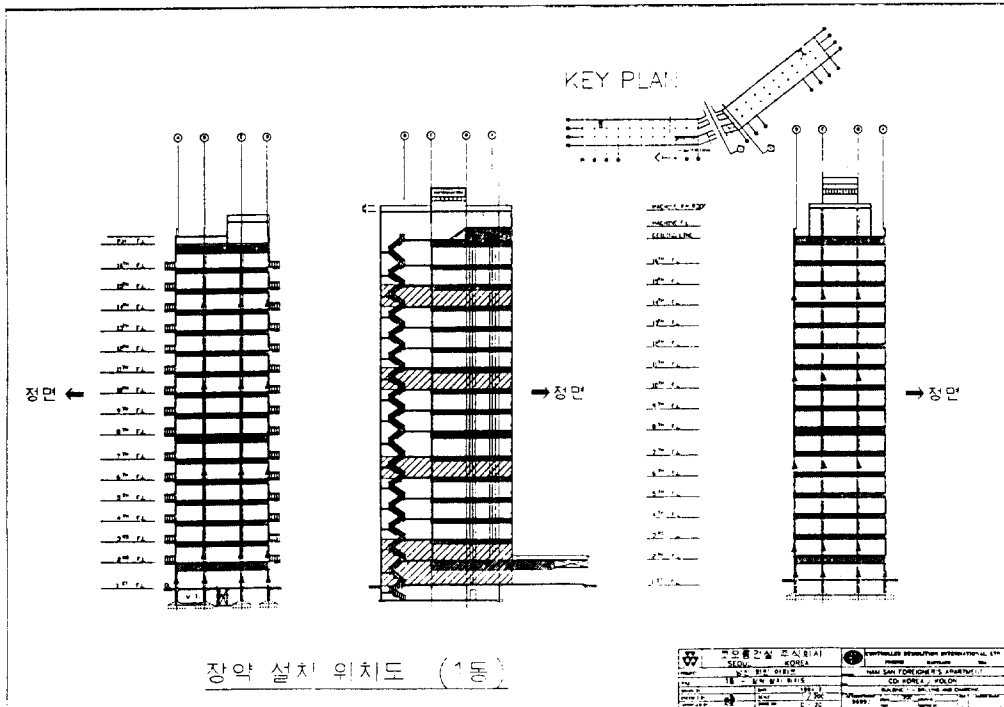


그림 3.4 장약설치위치도.

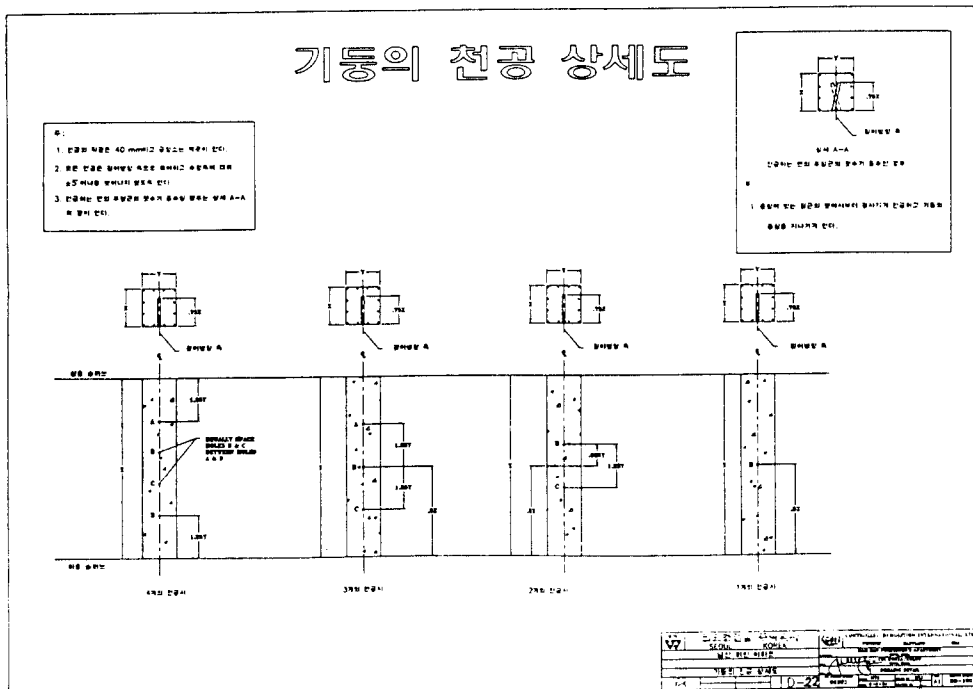


그림 3.5 기둥의 천공상세도.

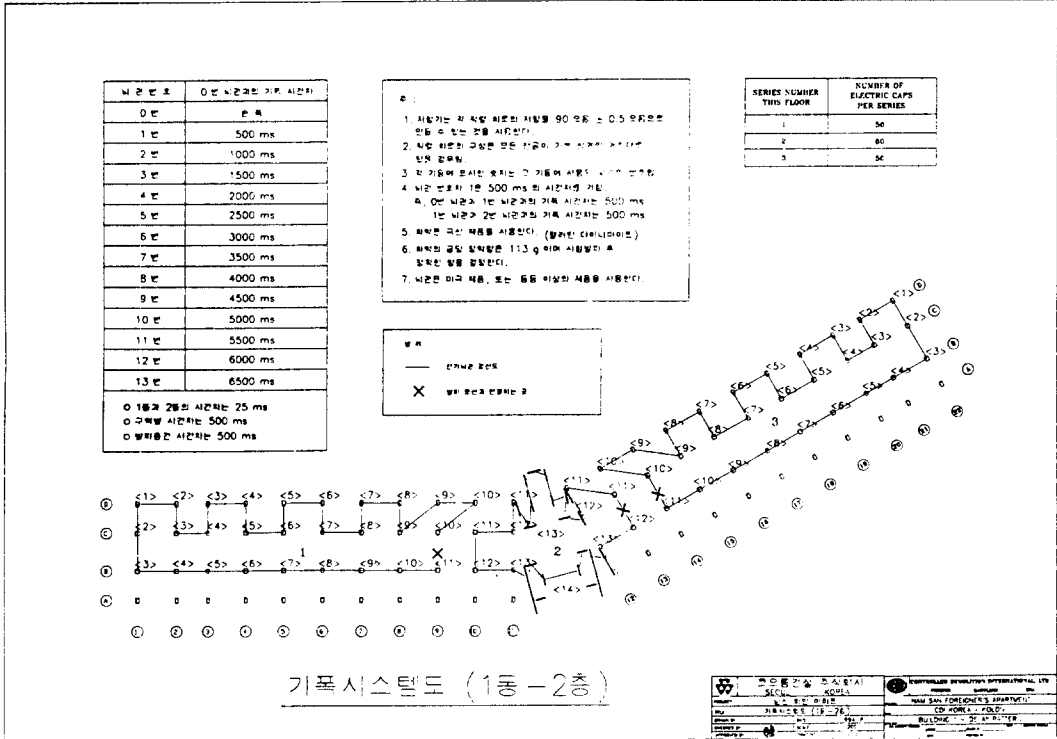


그림 3.8 기폭시스템도(1동 2층).