

서울시립대학교 건설공학과

건축물 구조안전진단 및 옥상녹화 유형 제안



제 출 문

서울특별시 동부푸른도시사업소장 귀하

귀 소에서 의뢰한 “건축물 구조안전진단 및 옥상녹화 유형 제안” 용역 중 【서울시립대학교 건설공학관】에 대한 용역을 완료하고 보고서를 제출합니다.

2010년 11 월

(주)한일구조이엔씨

대표이사 이성원(인)

안전진단전문기관등록증



제168호

안전진단전문기관등록증

상 호 : (주)한일구조이엔씨

대 표 자 : 이성원, 윤광진

사무소소재지 : 서울특별시 중구 신당동 305-29 신광빌딩 302호

분 야 : 건축

등록연월일 : 1998년 5월 11일

「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제9조에 따른 안전진단
전문기관으로 등록합니다.

2010년 4월 15일

서울특별시

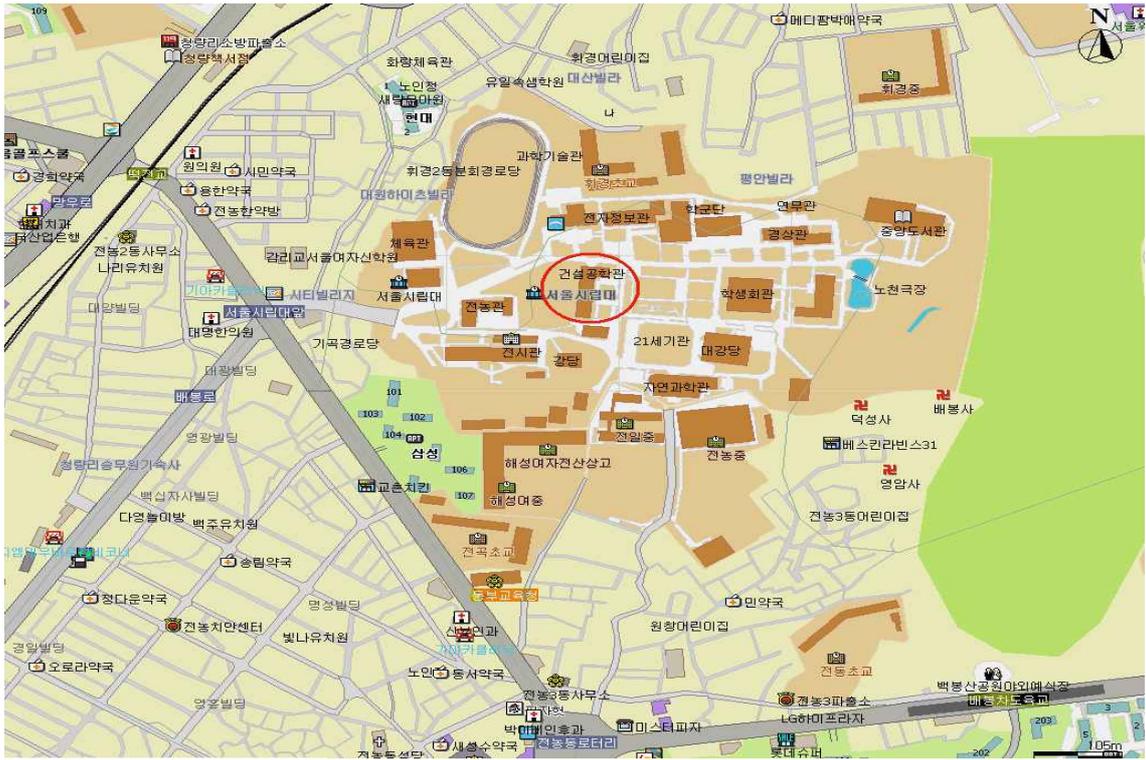


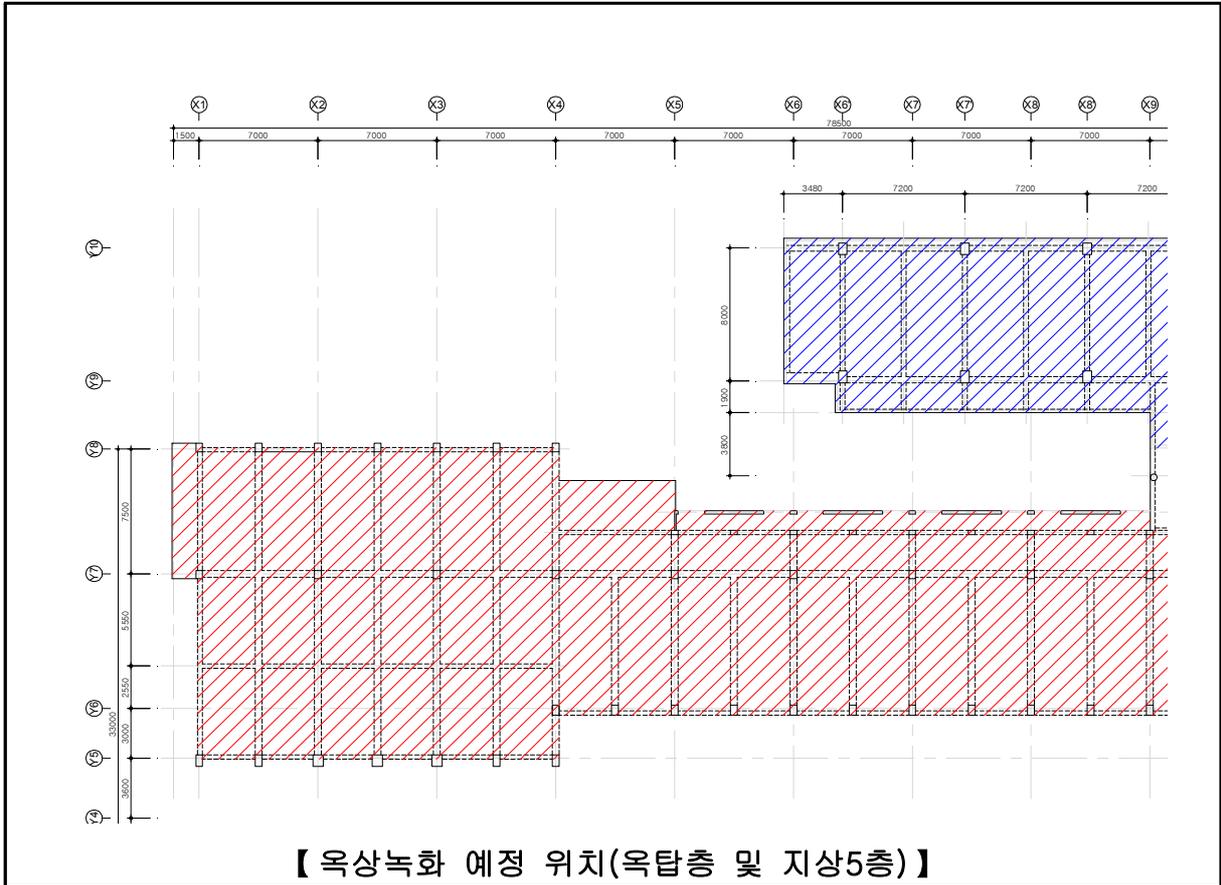
원본대조필

참 여 기 술 자

성 명	직 위	자격 및 학력사항	세부수행내용	비 고
이 성 원	대 표 이 사	건축구조기술사	사업책임기술자	
심 상 면	팀 장	건축시공기술사	현장조사 측정 및 시험 보고서 총괄	
김 민 수	차 장	건축기사	보고서 작성 구조안전성 검토	
신 현 진	과 장	공학사	현장조사 측정 및 시험 보고서 작성	

대상구조물 위치도 및 전경





목 차

제 1 장 일반사항	1
1.1 과업의 목적	2
1.2 과업 대상 시설물의 현황	2
1.3 과업의 범위 및 방법	3
1.4 과업의 수행절차	7
1.5 과업의 수행일정	8
제 2 장 사전 예비조사	9
2.1 일반사항	10
2.2 사전 예비조사 및 관련도서 검토	10
2.3 과업 대상 시설물의 관련도면	11
제 3 장 균열 및 부재결함조사	15
3.1 일반사항	16
3.2 균열 및 부재결함조사	25
제 4 장 내구성조사	27
4.1 설계도서 및 구조체 자원조사	28
4.2 콘크리트 압축강도 조사	30
4.3 철근배근상태 조사	34
4.4 콘크리트 중성화 시험	36
4.5 변위·변형 조사	40
제 5 장 구조안전성 검토	42
5.1 일반사항	43

5.2 적용하중	45
5.3 구조해석	48
5.4 구조안전성 검토	51
5.5 구조안전성 검토 결과	69

제 6 장 종합정리 70

6.1 일반사항	71
6.2 주요 구조부재 외관조사	71
6.3 주요 구조부재 비파괴조사	73
6.4 구조안전성 검토	74
6.5 옥상녹화 유형 제안	75

● 부 록

1. 균열 보수 방안
2. 장비 시험 사진
3. 부재 단면크기 실측 조사 위치도
4. 콘크리트 압축강도 자료 및 위치도
5. 철근탐사 자료 및 위치도
6. 콘크리트 중성화 시험 위치도
7. 변위·변형 조사 위치도
8. 구조안전성 검토 자료

제1장 일반 사항

- 1.1 과업의 목적
- 1.2 과업 대상 시설물의 현황
- 1.3 과업의 범위 및 방법
- 1.4 과업의 수행절차
- 1.5 과업의 수행일정

제1장 일반사항

1.1 과업의 목적

서울특별시에서 주관하고 있는 옥상녹화 사업은 서울특별시에 소재한 건축물의 옥상 녹화 보급을 활성화하여 도시녹지를 확보하고 쾌적한 도시경관을 창출하기 위함으로 대상 건축물에 대하여 옥상녹화 사업의 가능 여부를 파악하는 것이 구조안전진단의 목적이다.

본 과업 대상 건축물은 서울특별시 동대문구 전농동 90번지에 소재한 “서울시립대학교 건설공학관”으로 기존 옥탑층 및 지상5층 옥상에 화단조성 등 휴식공간 용도로 사용할 목적으로 현재 대상 건축물에 내재되어 있는 물리적·기능적 결함을 발견하고, 추후 옥상녹화로 인해 발생하는 추가하중에 대해 건축물의 구조적 안전성을 평가하여 옥상녹화 가능 여부를 판단하며 적절한 옥상녹화 유형(경량형, 혼합형, 중량형)을 제안 하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업 대상 시설물의 현황

1.2.1 시설물의 현황

구 분		지 번	서울특별시 동대문구 전농동 90번지
일반 개 요	시 설 명		서울시립대학교 건설공학관
	주 용 도		교육연구시설
	준 공		1996년 7월
설 계 개 요	대지면적		270,600.00㎡
	건축면적		1,306.80㎡
	연 면 적		79,154.01
	규 모		지하1층, 지상5층
구 조 개 요	구조형식		철근콘크리트조
	구조부재 강도		콘크리트 : $f_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$ 철 근 : $f_y = 4,000\text{kgf/cm}^2$ (SD40)
옥 상 개 요	방수형식		무근콘크리트 위 쇠흙손 마감
	건축면적		1,816.00㎡
	녹화가능면적		1,476.24㎡

1.3 과업의 범위 및 방법

1.3.1 범 위

본 과업의 범위는 서울시립대학교 건설공학과 옥탑층 옥상 및 지상5층 옥상 옥상녹화 부분을 주요 진단 범위로 하며, 이에 대한 대상 시설물의 정밀안전진단을 시설물 안전에 관한 특별법 제13조에 의거한 시설물의 “안전점검 및 정밀안전진단 지침”에 따라 실시하고, 이를 종합하여 전반적인 안전 및 유지관리 방안을 제시하는데 있다.

이와 관련 세부 사항으로는 다음과 같다.

- 1) 구조물의 안전성 및 상태평가
- 2) 현재 정밀조사에 의한 기초자료를 근거로 구조해석 및 안전성 평가
- 3) 구조체에 발생한 구조적 결함에 대한 보수·보강 설계
- 4) 진단보고서 작성

1.3.2 방 법

가. 본 과업의 수행함에 있어 아래의 관계규준을 적용한다.

- 건축물의 구조기준등에 관한 규칙
- 한강도 설계법에 의한 콘크리트 구조설계 기준 및 해설
- 극건축물 하중기준 및 해설 (대한건축학회, 2000)
- KCI-US99(한국 콘크리트학회 콘크리트 구조설계기준)
- 서울시 건축물 옥상녹화 학술용역 보고서(2000) 적용

나. 본 과업의 목적을 성공적으로 달성하기 위하여 과업의 추진은 현장조사를 위주로 하는 외업과 조사결과에 관한 검토·평가·종합을 위주로 하는 내업으로 분류한다. 외업은 사전 및 예비 조사, 정밀조사의 단계로 구분하고, 내업은 조사결과에 대한 분석, 상태평가 및 안전성 검토와 평가, 보수·보강 등의 유지관리 및 대책에 관한 방안수립 등의 단계로 구분하여 실시한다. 이에 관한 구체적인 과업의 수행 방법은 다음과 같다.

1) 예비조사

대상 건축물을 현지 답사하여 각각의 구조특성을 파악하고 진단 등의 추진방향과

세부수행 계획을 수립하며, 관련된 설계도서(준공도면) 및 참고자료, 관계자 청문 등의 자료를 요청 수집하여 구조안전성, 사용성, 기능성 등 각각의 목적을 고려하여 분석한다.

2) 본 조사

사전 예비조사에서 선정된 중점대상 부재(부위)에 대하여 지금까지 얻어진 자료 및 정보를 기초로 육안검사와 비파괴 검사, 관련된 주변현황에 대하여 파악하였다.

(가) 육안조사

① 주요 구조부재 실측

- 줄자 및 버니어캘리퍼스에 의한 각 부재(기둥, 보, 슬래브 등)에 대하여 구조도면과의 일치 여부를 조사하였으며, 일부 상이한 부재에 대해서는 현장 조사한 근거(DATA)를 구조 검토 시 반영하였다.

② 균열 및 부재결함조사

- 진단 대상 건축물의 균열 및 노후화 현황(누수, 백태, 박리·박락, 층 분리, 콘크리트 재료분리에 의한 공동 및 철근 노출, 철골부재 결함 등)에 대한 육안조사를 실시한다.

(나) 현장시험(비파괴시험)

① 콘크리트 압축강도

- 대상 건축물의 철근 콘크리트 구조체에 대한 콘크리트 압축강도는 슈미트햄머(Schmidt Hammer)에 의한 반발 경도법을 이용하여 콘크리트 압축강도를 추정하였다. 반발 경도법은 구조체에 대한 콘크리트 압축강도를 추정하기 위하여 사용되는 비파괴 검사 중 일반적으로 이용되고 있는 대표적인 방법으로서 슈미트햄머를 사용하여 측정하였으며, 측정방법은 제3장에서 자세히 언급하였다.

② 철근배근상태조사

- 대상 구조물의 구조부재에 대한 철근의 피복두께 및 배근상태 등을 조사하기 위해 비파괴시험 장비인 철근탐사기 Profometer-5를 사용하여 조사하였다.

③ 콘크리트 중성화 시험

- 건물 구조체(슬래브, 보, 기둥)의 콘크리트 중성화 시험을 위해 드릴로 천공한 후 콘크리트 내부에 페놀프타레인 1% 알코올 용액을 분무기로 분사 도포하여 중성화

깊이를 측정하였다.

④ 변위·변형 조사

- 전체 건물 기울기 및 처짐을 파악하기 위해 레이저레벨을 이용하여 측정하였다.

(다) 분석 및 평가

진단 대상 구조물의 상태 및 안전성 평가와 조치 사항은 시설안전기술공단의 안전점검 및 정밀안전진단 세부 지침서 규정을 따른다.

① 상태 평가

- 상기 조사를 바탕으로 하여 균열 및 품질상 결함의 평가는 그 역학적 원인 추정과 크기(폭)의 한계, 진행여부, 재료에 의한 확대여부, 누수 여부 등에 대한 판단을 한다.

② 구조 내력 안전성 평가

- 본 진단의 구조해석과 안전성 검토는 현장에서 조사된 결과와 참고도서를 비교 검토하여 부재의 크기, 철근량 및 콘크리트 강도시험 결과를 적용하였으며, 적용하중은 현장에서 조사된 마감하중을 참고로 하였고, 실용도별 적재하중은 건축물 하중기준 및 해설(대한건축학회, 2000) 기준을 참고하여 적용하였다.

ㄱ. 구조해석

- 본 진단의 구조해석은 설계도면 및 현장에서 조사된 구조부재 단면과 철근량을 실사하여 적용하고, 실사용 하중을 산정하여 구조해석을 실시하였다.

ㄴ. 내력 검토

- 진단 대상 구조물의 내력 검토는 극한강도 설계법으로 검토하였으며, 내력검토는 전 부재에 대해서 실시하고 경우에 따라서는 주요부재에 대해서만 실시하였다.

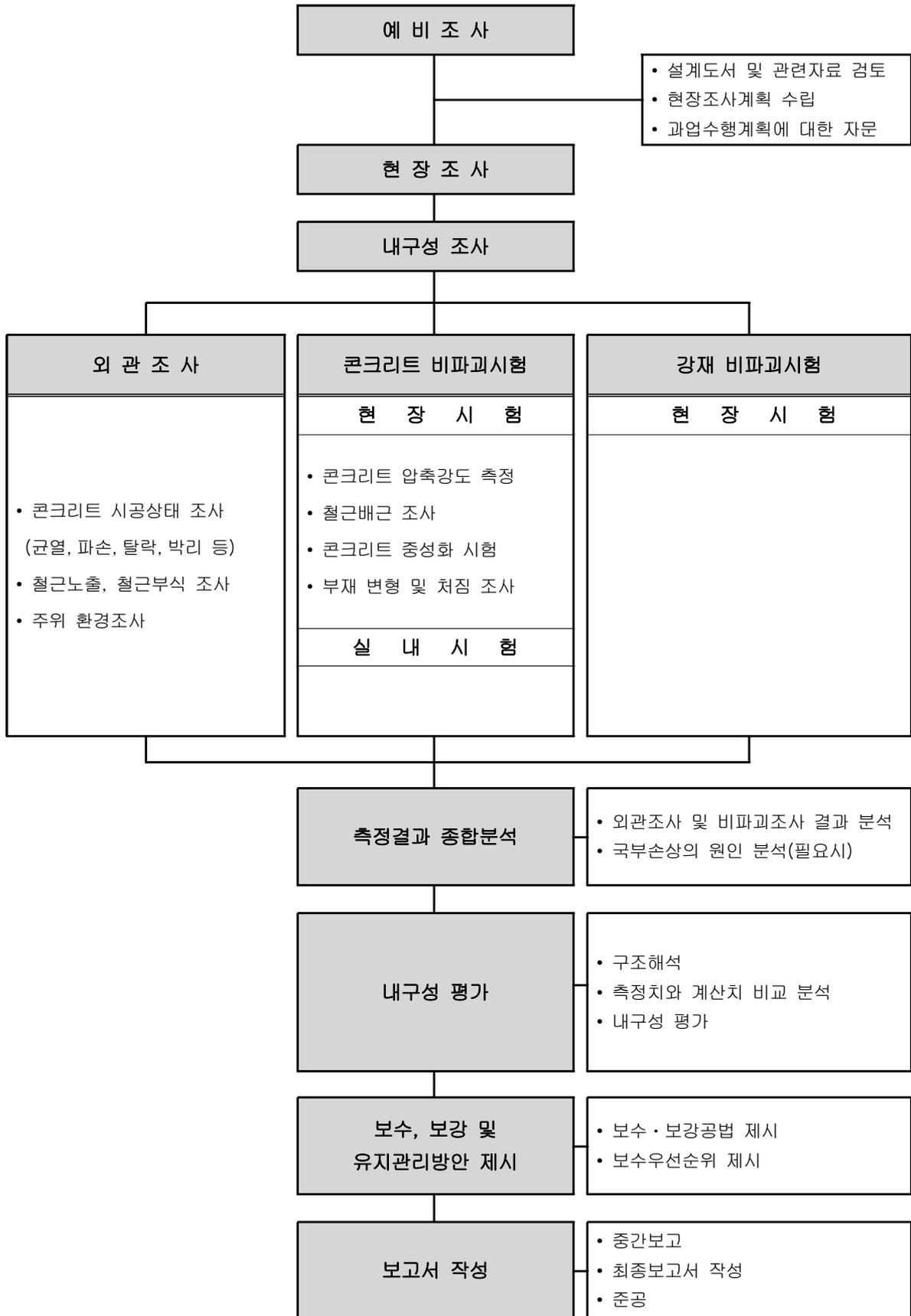
③ 보수·보강 및 유지관리 방안

- 구조물 상태평가 및 안전성 평가 결과에 의하여 보수·보강 부위에 대하여 보수·보강 설계도면 및 시방서를 제시하여 구조안전성을 확보하도록 한다.

1.3.3 조사항목 및 장비현황

조 사 항 목	품 명	조 사 내 용
예비조사	<ul style="list-style-type: none"> • 설계도면 	<ul style="list-style-type: none"> • 설계도면 및 건물이력 관련 서류 검토
현장조사 (육안조사)	<ul style="list-style-type: none"> • 육안 • 줄자, 버니어캘리퍼스, 레이저 거리 측정기 • 디지털 카메라 • 균열 현미경 및 균열 게이지 	<ul style="list-style-type: none"> • 각층 실별 현황조사 • 부재 단면치수 조사 • 구조체의 변형 및 노후화 조사
비파괴시험	<ul style="list-style-type: none"> • 슈미트 햄머(NR형) • 철근배근탐사(PROFOMETER-5) • 드릴, 페놀프타레인 용액 	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 강도 조사 • 철근배근조사 • 중성화조사
변위·변형 조사	<ul style="list-style-type: none"> • 레이저레벨 	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 기울기 및 처짐 조사
구조해석	<ul style="list-style-type: none"> • MIDAS / GENw • MIDAS / SET 	<ul style="list-style-type: none"> • 구조 재해석을 통한 내하력 계산 • 안전성 평가

1.4 과업의 수행절차



1.5 과업의 수행일정

공 종	2010년 11월 3일 ~ 2010년 11월 12일									비 고
	3	4	5	6	8	9	10	11	12	
1. 관련 자료수집 및 답사 • 사례수집 및 분석 • 관계도서 수집 및 분석 • 현장답사										- 현장답사 및 용역계약
2. 시설물의 상태 조사 • 외관조사 • 비파괴시험										- 균열 및 성능저하 조사 - 콘크리트 압축강도시험 - 철근 배근상태 조사 - 구조체 제원 조사 - 콘크리트 중성화시험 - 변위 조사
3. 시설물의 상태 평가 • 조사자료 분석 및 평가										
4. 시설물의 안전성 평가 • 구조해석 및 안전성검토 • 내하력 평가										- 주요 부재 검토 - 옥상녹화 유형별 검토
5. 보고서 작성 • 최종보고서 작성 • 준공										- 최종보고서 작성 - 준공

제2장 사전 예비조사

2.1 일반사항

2.2 사전 예비조사 및 관련도서 검토

2.3 과업 대상 시설물의 관련도면

제2장 사전 예비조사

2.1 일반사항

대상 시설물의 현장조사·분석은 사전 및 예비조사, 정밀조사 결과에 관하여 각각 실시한다. 사전 및 예비조사는 설계도서와 관계 자료의 검토, 육안조사 결과에 따라 중점 조사대상을 선정하며, 정밀조사는 정밀 육안조사와 구조체의 품질확인을 위한 시험 등이다.

2.2 사전 예비조사 및 관련도서 검토

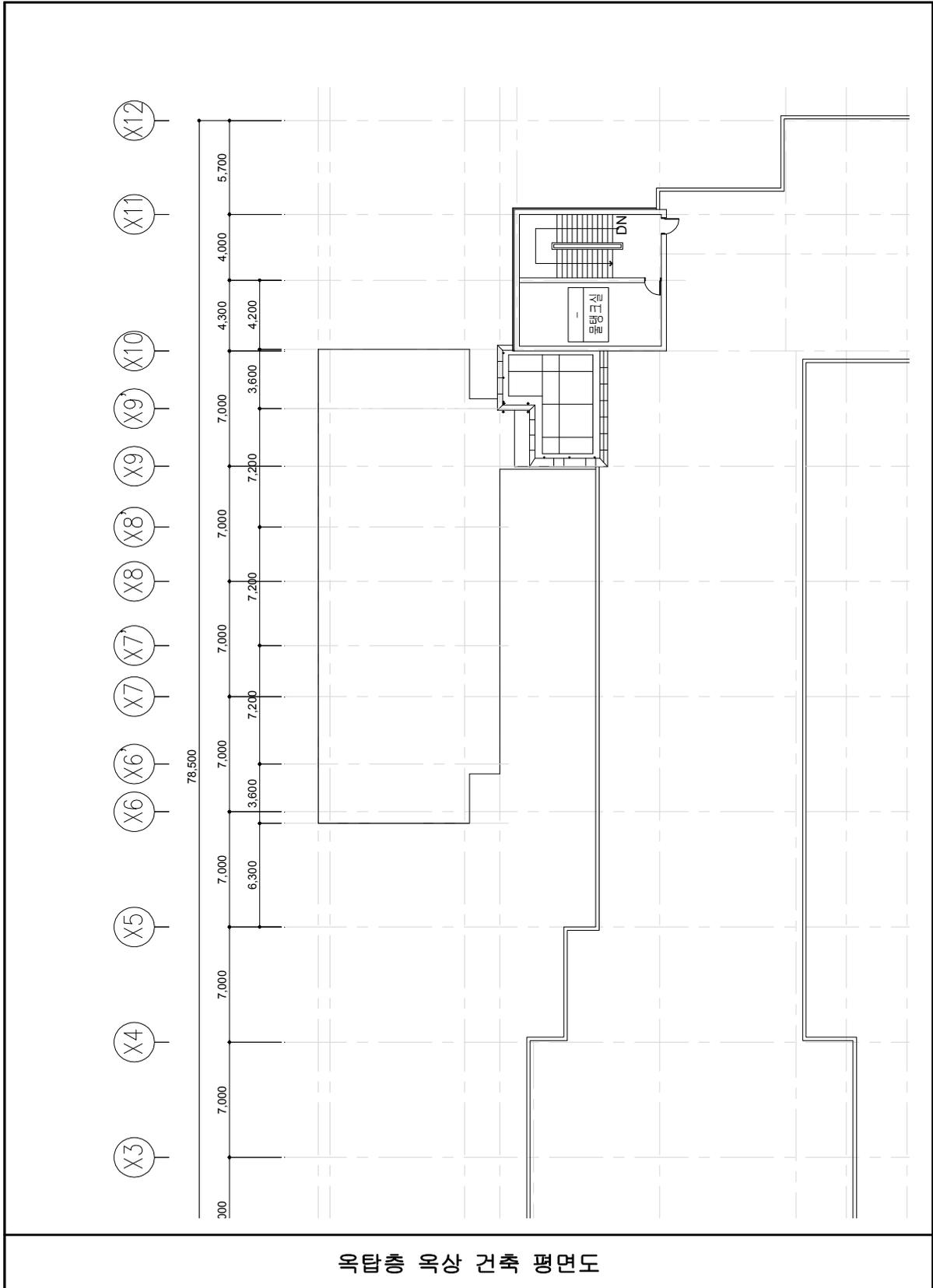
사전 예비조사는 정밀조사 착수전에 관리주체가 보유한 설계도서, 건축물의 안전 및 유지관리에 관련된 각종 서류의 확인·검토를 통하여 정밀조사의 범위 및 방법을 결정한다. 현장조사에서 수집된 설계도서 및 참고자료는 <표 2.1>과 같다.

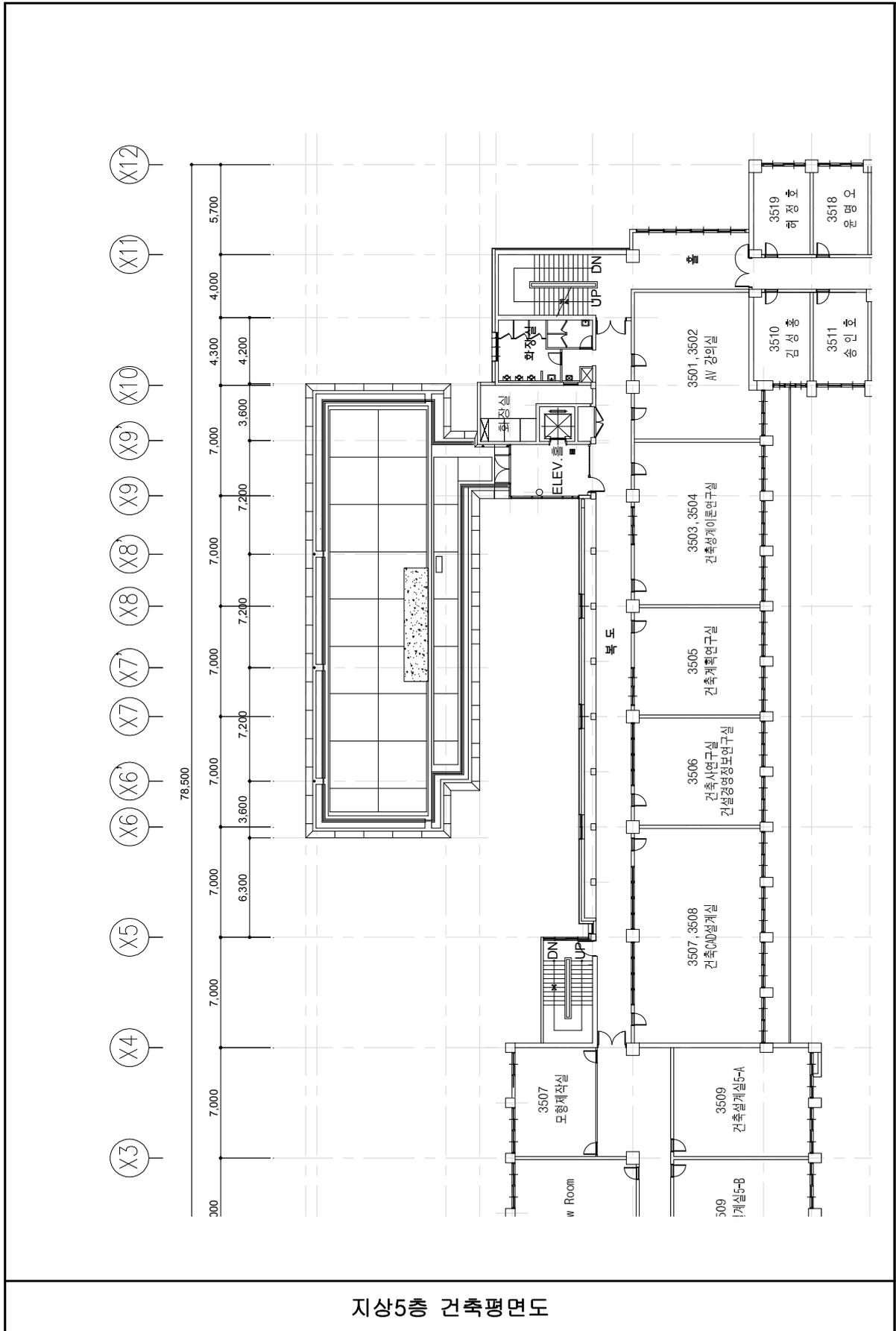
<표 2.1> 설계도서 및 건축물 관련서류

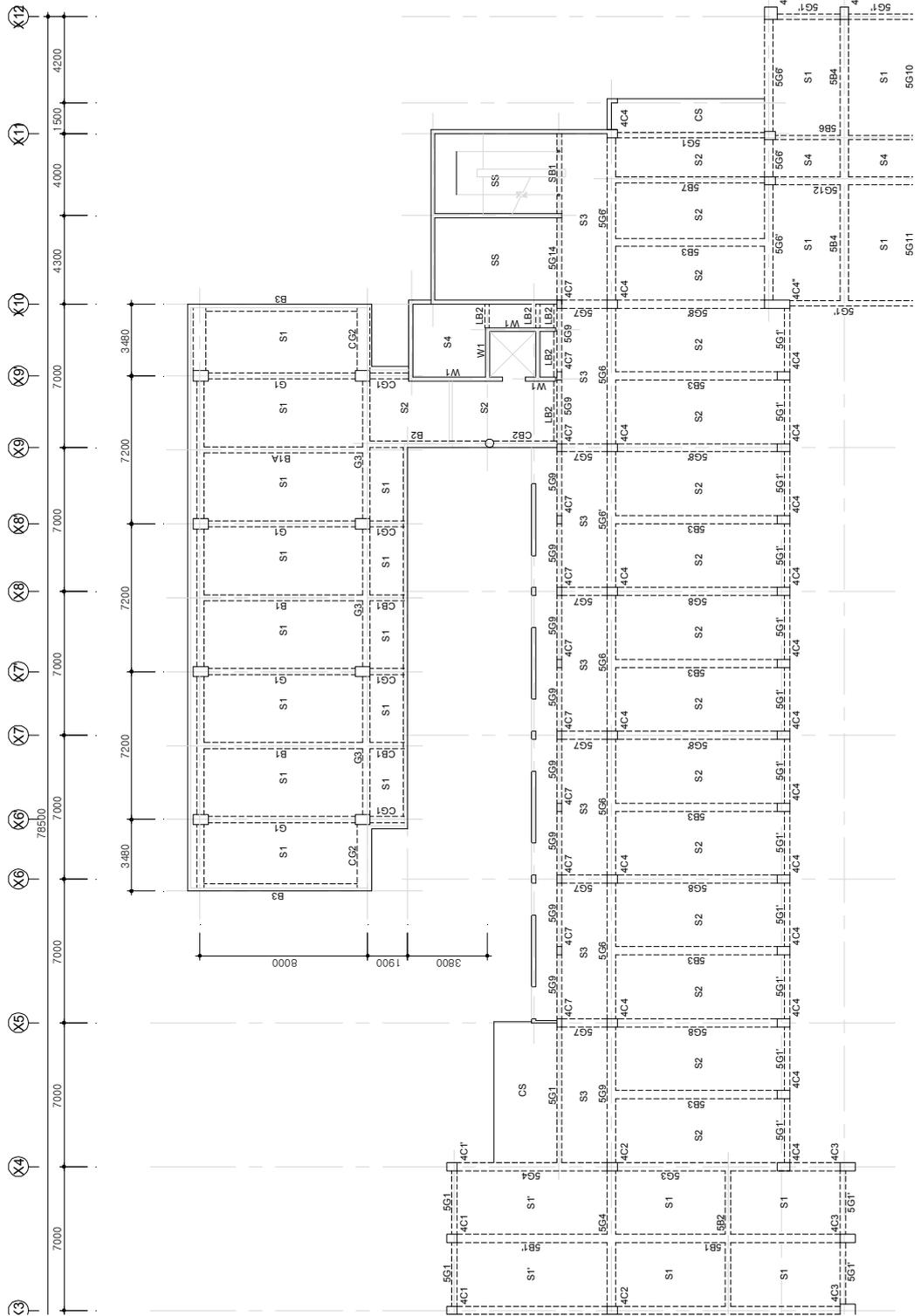
설계도서 및 참고자료	
설계도서	<ul style="list-style-type: none">• 건축사사무소 아르스 : 1996년 7월(증축도면) - 건축도면, 구조도면• (주)솔토 건축사사무소 : 2005년 6월(증축도면) - 건축도면, 구조도면
참고자료	<ul style="list-style-type: none">• 건축물관리대장

2.3 과업 대상 시설물의 관련도면

2.4.1 건축 평면도







지상5층 구조평면도

제3장 균열 및 부재결함조사

3.1 일반사항

3.2 균열 및 부재결함조사

제3장 균열 및 부재결함조사

3.1 일반사항

콘크리트는 일반적으로 압축강도는 크나, 인장강도가 작기 때문에 시공도중과 시공 후에 일어나는 체적 변화와 구속조건 및 외력의 작용 등에 기인하여 균열이 발생되기 쉽다. 콘크리트의 균열은 여러 가지 원인에 의하여 콘크리트의 경화를 전후로 나타나는데, 균열이 표면에서 관측되어질 때면 이미 콘크리트 내부 조직에는 미세균열로 인하여 상당히 손상되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 균열을 그대로 방치할 경우 균열 부위에 이물질이 침투하여 균열이 점차 커지게 되며, 콘크리트의 내구성에 영향을 미치게 되므로 이에 대한 조치가 필요하며, 콘크리트 구조물이 어떤 원인에 의해 변형되었을 경우 이는 거의 균열발생을 수반하게 되므로, 일반적으로 균열 발견에 의해 구조물의 변형을 알게 되는 경우가 많다.

그러므로 콘크리트 구조물에 대해서는 균열 발생에 유의하고 균열이 발생한 경우에는 효율적인 균열 보수를 위하여 균열 원인 조사가 선행되어야 한다.

3.1.1 조사방법

- 측정위치를 선정
- 1개의 균열전장에 대해서 육안관찰
- 위치, 방향, 폭, 길이의 측정, 기록

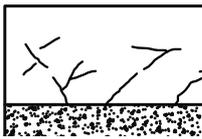
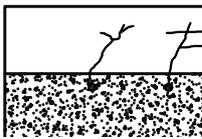
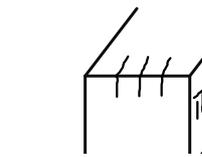
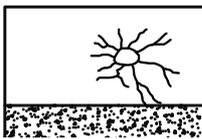
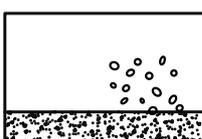
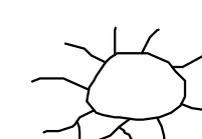
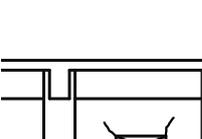
3.1.2 조사도구

- 균열 폭 : 균열측정기, Crack Scale
- 길이 : 줄자

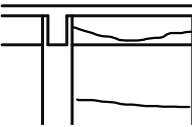
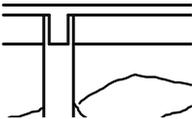
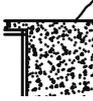
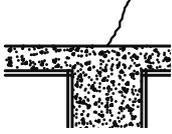
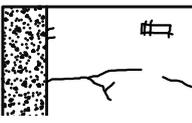
3.1.3 균열발생 원인 및 형상

균열의 조사결과에서 균열의 발생원인을 추정하고, 필요에 따라서는 그 원인을 밝혀 구조물의 종류나 상황에 따라서 보수·보강 등의 조치를 강구해야 한다. 콘크리트의 균열은 경화전에 발생한 것으로 구별되나, 일반적으로 여러 가지 원인이 중복되어 발생하는 것으로 추정되며, 발생기구가 복잡하여 균열발생 원인의 규명이 곤란한 경우가 많다. 따라서 균열상태나 특징상 가능성이 있는 몇 가지 원인을 고찰하여 측정결과나 자료를 바탕으로 검토하고, 고려되는 원인의 범위를 좁히면서 추정하는 방법을 취하는 것이 좋다.

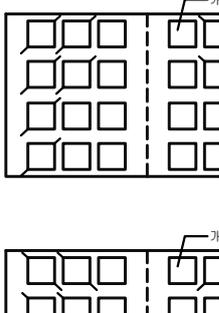
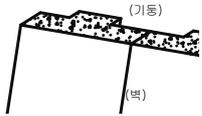
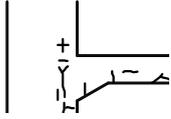
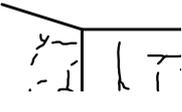
가. 재료적 성질에 관한 것

원 인	유형 · 형태		원인 추정
시멘트의 이상 응결	표층		시멘트의 이상응결로 인한 것. 짧고 불규칙한 균열(0.1mm전후)이 비교적 조기에 발생
콘크리트의 침하 블리딩(bleeding)	표층 · 상단철근 위까지 균열 발생		상단철근부분에 발생하는 침하균열이며, 콘크리트 부어 넣은 후 1~2시간에 철근을 따라 발생
시멘트의 수화열(水和熱)	표층 · 관통		시멘트의 수화열로 인한 균열이며, 큰 단면의 지중보, 두꺼운 지하벽 등에 발생되기 쉬움
골재에 포함된 진흙성분	그물모양 · 표층		골재 속의 진흙으로 인한것이며, 콘크리트 건조에 따라 불규칙한 그물코 균열이 발생
반응성 골재나 풍화암의 사용	그물모양 · 표층		반응성 골재나 풍화암으로 인한 것. 폭렬모양(거북등모양)으로 다습한 장소에 발생
시멘트의 이상 팽창	그물모양 · 표층		시멘트의 이상팽창으로 균열발생. 방사형의 망상균열(craze crack)이 불규칙하게 발생
콘크리트의 건조수축	그물모양 · 표층 · 관통		콘크리트의 건조수축에 의한 균열. 외기에 온도, 습도, 환경변화 등의 요인. 개구부나 기둥, 보에 둘러싸인 구석에서 45° 경사균열

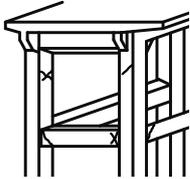
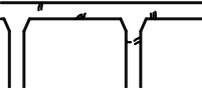
나. 시공에 관한 것

원 인	유형 · 형태		원인 추정
혼합재료의 불균일한 분산	그물모양		혼합재료의 불균일한 분산으로 인해 균열(망상)발생. 팽창성을 가진 것과 수축성을 가진 것이 있으며 부분적으로 발생
장시간 비빔	그물모양 표층 · 관통		장시간 비빔 또는 운반시간이 너무 길때 발생하는 균열, 균열너비가 넓고 그물모양 균열, 길이가 짧은 망상 또는 관통균열
급속 타설	표층		급속히 콘크리트를 부어 넣으면 콘크리트의 침강으로 인해 균열 발생, 철근상부나 벽과 슬래브 경계면에 규칙적 또는 불규칙하게 발생
불충분한 다짐	표층		충분히 다지지 않아 발생하는 균열 콘크리트 내의 공동, 콜드조인트, 공보벌집이 생기기 쉽고, 공극에 의해 표면에 불규칙한 균열 발생
이어치기 처리가 부적합	관통		공보를 수반하는 콘크리트 중성화나 누수의 원인이되면 통상 관통균열(콜드 조인트)
거푸집의 불거짐	표층		거푸집이 움직인 방향으로 균열이 평행하게 국부적으로 발생
받침기둥의 침하	표층 · 관통		발코니등 돌출부에 발생. 콘크리트 타설시 받침기둥의 지지력 부족으로 인한 받침기둥 침하, 바닥이나 보의 단부 상부 및 중앙부 하단 등에서 균열발생
펌프압송시의 시멘트의 양 수량의 증량	그물모양 표층 · 관통		시멘트량, 수량을 증가하면 다져 놓은 후 조기에 철근상부나 슬래브 등의 경계면에 규칙적인 균열이 발생. 건조수축 균열과 유사
부어 넣은 순서가 잘못됨	관통		타설순서가 틀려 관통균열이 규칙적, 불규칙하게 발생
배근이 흐트러짐 피복두께의 부족	표층		표층에 뚜렷한 균열발생, 규칙적인 균열 또는 보 주변에 따라 사이클 모양으로 균열발생

다. 사용·환경조건에 관한 것

원 인	유형 · 형태		원인 추정
환경 온도 습도의 변화	표층 · 관통		<p>옥상부분이 고온 또는 고습으로 되어 팽창한 경우, 팔자(八字)모양으로 균열이 발생</p> <p>옥상부분이 저온 또는 건조상태로 되어 수축한 경우 팔자(八字)의 반대 모양 발생. 개구부나 기둥, 보로 둘러싸인 구석에 망상 관통균열이 규칙성 있게 발생</p>
부재 양면의 온도 · 습도의 차	표층		<p>바깥쪽이 고온 또는 고습하고 안쪽이 저온 또는 건조한 경우, 균열은 구속부재 사이의 거의 중앙의 고온 또는 고습 쪽 및 구속부분에 인접한 부분의 저온 또는 건조한 쪽에 발생 (직각으로 규칙성 있게 발생)</p>
동결 · 융해의 반복	그물모양 · 표층		<p>구속부재나 수평조인트 부분의 사선균열과 길이 방향의 균열, 표면이 부풀어오르고, 표면에 스케일링을 일으켜 콘크리트가 부슬부슬 떨어지며, 곰보현상</p>
동 상(凍上)	표층		<p>철근에 따라 균열발생, 균열발생 부분에서는 녹이 유출되어 콘크리트표면을 더럽히는 경우가 많음. 녹이 심한 경우 콘크리트 박락</p>
화재 · 표면가열	그물모양 · 표층		<p>급격한 온도상승과 건조로 인한 그물코 모양으로 미세한 균열과 함께 보, 기둥에 거의 같은 간격으로 굽은 균열 발생. 콘크리트 박락</p>
산 · 염류의 화학작용	그물모양 · 표층		<p>콘크리트 표면이 침식되어 대부분이 철근위치에 균열 발생 일부 콘크리트 표면이 박락하는 경우도 있다. 노출된 철근의 녹 발생이 심함</p>

라. 구조·외력에 관한 것

원 인	유형·형태		원인 추정
<p>과대하중 (설계하중 이내)</p> <p>과대하중 (설계하중 초과)</p>	표층·관통		<p>통상 휨모멘트(인장측에 수직균열)를 받는 부재에는 미세한 균열(0.1mm~0.2mm)은 발생하지만 0.2mm를 넘는 경우 또는 전단력에 의한 균열(45°경사방향)의 발생은 정상적으로 일어나는 균열과 다르므로 상세한 검토 필요</p>
과대하중 (지진,적재하중)	표층·관통		주부재인 기둥, 벽, 보, 등에 45°방향으로 전단하중에 의한 균열 발생.
단면, 철근량부족	표층·관통		과대하중에 의한 균열형상과 동일하며 바닥이나 처마등 에서는 처지는 방향에 평행한 균열이 발생
구조물의 부등침하	표층·관통		라멘등의 부정정 구조물에서는 지지점의 부등침하로 인해 45°방향의 큰 균열이 비교적 집중적으로 발생

※ 표층 : 콘크리트 표면에 발생하는 균열

※ 관통 : 콘크리트 부재의 뒷면까지 도달하는 깊이의 균열

※ 그물모양 : 콘크리트표면에 그물코 모양으로 발생하는 균열이며 깊이가 0.3mm정도

3.1.4 조적벽체의 균열발생 원인

조적벽체의 균열발생 원인은 크게 구조적 결함에 의한 원인과 설계 및 시공시의 잘못으로 인한 균열로 구분할 수 있으며, 각 경우의 균열발생 원인은 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 조적벽체의 균열발생 형태별 원인

균열발생 원인		내 용
구조적 결함에 의한 원인	풍하중에 의한 영향	축방향 처짐과 응력이 발생하며 응력은 골조에서 조적벽으로 전달된다. 이 응력 전달에 의해 조적벽에 과도한 응력이 작용하게 되면 균열이 발생하게 된다.
	기초의 변동	구조물의 기초를 고정함으로써 조적조는 높은 응력을 받게 되고 이에 의해 균열이 발생하게 된다. 이러한 응력과 균열은 풍하중으로 나타나는 현상과 비슷하다. 또한, 균열의 분포는 다르나 기초가 이동함으로써 발생한 균열은 구조물의 높이를 통하여 위쪽으로 번져 나가지만, 바람의 이동에 의해 발생한 균열은 구조물의 꼭대기에서 아래쪽으로 크게 증가된다.
	구조체의 수축	수축은 크리프와 비슷하지만, 콘크리트 구조물의 4~5년 동안에서만 발생하고 그 이후에는 발생하지 않는다. 표면이 축소되지 않고 골조가 축소되는 현상은 골조에서 표면으로 하중이 작용하여 벽돌조에서 응력과 큰 피해를 초래하게 된다.
	부동침하	일반적으로 벽체의 강도는 조적단위 재료의 접촉강도에 좌우되므로 압축강도에 비하여 인장강도는 매우 낮은 편이다. 즉, 기초구조의 부동침하가 작용할 경우 조적벽에 인장응력이 작용하게 되므로 이에 의한 균열이 발생하게 된다.
	하 중	벽체에 전달되는 하중은 독립기둥 또는 특히 집중하중을 받는 부재를 제외하며 하중은 벽체상부에서 하부로 고르게 분산된다. 즉, 층보나 기둥보가 일정한 간격으로 배치되면 이 하중은 45° 각도의 사선방향안에 고로 분포되면서 하부에 전달되는 것으로 간주된다. 이들 하중이 지나치게 편중되거나, 과도한 경우에 균열이 발생하게 된다.
설계, 시공 불량에 의한 원인	내력부족 및 불균형	벽체의 개구부로 하여금 내력벽이 내력균형을 이루지 못할 경우 균열발생의 원인이 된다. 단위 평면상에 개구부의 배치가 균등하지 못할 때, 내력벽의 배치가 균열을 일으키기 쉽고 이로 인하여 상부하중이 편중되는 경우가 많다. 따라서, 벽체의 길이에 대한 온도변화에 따른 벽체의 부피 변화율의 차이에 의하여 균열이 발생하게 된다. 또한, 개구부와 개구부 사이에 있는 내력벽의 길이가 높이에 비해 작을 때에는 그 벽체에 미치는 휨력 때문에 벽체상,하단에 균열이 발생되며 내력벽은 평면상이나 입면상에서도 균형있게 배치되어야 한다.
	시공불량	불합리한 시공, 즉 줄눈모르터와 개체와의 부착력이 불량하거나 시공의 부실로 줄눈 강도가 기준강도에 미흡하면 계획된 일체식 구조는 소단위 구조체의 집합구조물이 된다. 이와같은 경우에는 수직하중에 대해서는 어느정도 안전을 유지할 수 있으나 수평하중에는 접합부를 통해서 더욱 균열이 진전되어 심하면 붕괴하게 된다.

< 표 3.1 > 조적벽체의 균열발생 형태별 원인 -계 속-

균열형상	균 열 발 생 원 인
수직형 균열	<ul style="list-style-type: none"> - 시멘트 벽돌조의 비내력 벽체에서 주로 발생하며 벽돌자체의 강도 부족이 주 원인으로 작용한다. - 온도변화에 따른 개구부 주위와 벽면과의 온도차로 인한 균열현상으로 하부 하중 창틀에 걸리고 있는 균열현상 - 이질재료의 수축율 차이 - 건물 외부기온 변화에 따른 기존율의 차이 - 조적재료의 정착강도와 내부응력에 대한 내력 부족 - 개구부에서는 인방구조 처리가 미비한데서 기인하며 주위 벽체의 온도차가 타부분 보다 클 경우
수평형 균열	<ul style="list-style-type: none"> - 수직, 수평균열의 분포는 중앙에서 주변으로 방향을 향하는 경우가 많다. - 창문과 창문사이 벽체의 길이에 비해 벽체 두께가 작을때, 즉 건물 내부의 대린벽 유무에 따른 단위벽의 높이가 길이보다 클 경우 - 개구부를 중심으로 벽체의 단부가 노출된 상태 - 창문 상부하중이 창 윗틀에 집중되어 일어나는 현상 - 벽체에 휨응력이 작용하거나 자체 내력부족, 이질재료를 사용한 경우 - 개구부에서는 창문과 창문 사이벽이 창문나비보다 적을때 인접된 창대나 인방을 중심으로 발생하거나 출입문 개폐시의 진동에 의한 영향, 개구부 주위의 벽체 온도차로 인한 수축작용
경사형 균열	<ul style="list-style-type: none"> - 편중하중으로 인한 벽량 부족현상과 벽돌의 강도 부족 - 창문 상부에 부분하중이 창선대로 집중될 경우 발생 - 개구부 주위와 벽면과의 온도차로 인한 균열현상과 또한 상부하중이 창틀에 걸리고 있는 현상 - 창선대를 통하여 전달되는 하중에 대한 내력 부족 - 창문의 인방구조가 부실하여 창틀에 하중이 집중되거나 창선대를 통하여 허리벽으로 하중이 전달될 때
계단형 균열	<ul style="list-style-type: none"> - 기초지반의 부동침하 혹은 구조부의 편중으로 인한 현상 - 조적단위 재료의 강도가 정착강도 보다 클 때
수직, 수평균열 의 복합 (방사형)	<ul style="list-style-type: none"> - 벽면의 넓이에 비해 내력이 부족한 경우 - 조적재료의 내력부족(창문주위의 온도변화와 창틀과 벽체와의 시공 부실)

3.1.5 균열에 대한 허용폭

가. 우리나라 시방서의 균열제한 규정

도로교 표준시방서에서 규정하고 있는 균열제한규정인 미국 AA-SHT의 규정과 동일하며, 일반 구조물에 적용되는 콘크리트 표준시방서의 균열제한 규정에 비하여 다소 엄격한 규정이다. 옥내의 경우는 0.4mm, 옥외의 경우는 0.3mm 정도에 해당한다.

나. 외국 시방서의 균열제한 규정

미국 ACI 224 Code, 유럽 CEB-FIP, 일본 JCI Code에서 규정하고 있는 허용균열폭 규정을 분석하면 <표 3.2> ~ <표 3.6>과 같다. 분석결과 도로교 표준시방서는 0.3mm, 일본 JCI Code는 0.4mm, ACI Code와 CEB-FIP Code는 0.3mm 보수를 요하는 허용 균열폭의 상한으로 규정하고 있음을 알 수 있다.

<표 3.2> ACI 224 위원회 허용균열폭 규정

환경조건에 따른 기준

환 경 조 건	허용최대균열폭(mm)
• 건조한 공기 또는 보호층이 있는 경우	0.40
• 습기, 흠중에 있는 경우	0.30
• 동결방지제에 접한 경우	0.18
• 해수, 조풍에 의해 건습반복시	0.13
• 수밀구조부재의 경우	0.10

<표 3.3> 유럽 CEB-FIP Model Code의 허용균열폭

노출등급	철근 콘크리트 부재(mm)	프리스트레스트 콘크리트부재(mm)	
		Post-tensioned	Pre-tensioned
1	-	0.2	0.2
2	0.3	0.2	No tension is allowed
3 and 4	0.3	(a) No tension allowed. (b) If tension is accepted 0.2 mm	

< 표 3.4 > 일본 콘크리트 표준시방서의 허용균열폭

환경 조건	최대 허용균열폭(mm)	
	이형 또는 원형철근	프리스트레싱 강재
• 일반적 환경	0.0050 d	0.0040 d
• 부식성 환경	0.0040 d	-
• 심한 부식성 환경	0.0035 d	-

*d : 인장철근의 피복두께

< 표 3.5 > 일본 콘크리트 표준시방서의 철근부식을 고려한 환경구분

구 분	환경 조건
일반적 환경	• 통상의 옥외 부재 또는 흙 속의 부재
부식성 환경	• 일반적 환경에 비해 건습의 반복이 심한 환경 • 유해물질을 포함한 지하수위 이상의 흙속에 묻힌 경우나 부식에 유해한 영향을 고려할 필요가 있는 경우 • 해양 콘크리트 구조물로 해수에 잠겨 있거나 보통의 해양 환경의 영향을 받는 경우
심한 부식성 환경	• 철근의 부식에 현저하게 유해한 경우 • 조류에 유출되거나 해수가 튀기거나 심한 해풍을 받는 구조물

< 표 3.6 > 유럽 CEB-FIP Model Code의 환경조건에 따른 노출등급

노출 등급	환경 조건
1. 건조환경	• 일반적 주거 또는 사무실 건물의 내부
2. 습윤환경 (a) 동결되지 않는 경우	• 습도가 높은 지역의 건물내부 • 건물 외부 부재 • 유해성이 없는 흙 또는 물에 접촉되는 부재
(b) 동결되는 경우	• 노출되어 유해성이 없는 흙 또는 물에 접촉되면서 동결되는 환경 • 습도가 높고 서리에 노출되어 있는 건물 내부
3. 서리·제빙제가 있는 환경	• 동결과 제빙제에 노출되어 있는 내외부 부재
4. 해수 환경 (a) 동결되지 않는 경우	• 해수에 잠기거나 영향받는 지역 • 염분으로 포화된 공기를 갖는 환경(해안지역)
(b) 동결되는 경우	• 부분적으로 해수에 잠기거나 영향받는 지역으로 동결되는 지역 • 염분으로 포화된 공기를 갖는 환경으로 동결되는 지역

3.2 균열 및 부재결함조사

3.2.1 일반사항

과업 대상 시설물인 수도기술 연구소 청사에 대한 외관조사는 주요 구조부재(슬래브, 보, 기둥, 벽체) 및 기타부재(조적벽 등)에 대하여 조사 가능한 부위를 육안조사 및 간단한 점검기구를 이용하여 조사하였다.

3.2.2 균열 및 부재결함조사 결과

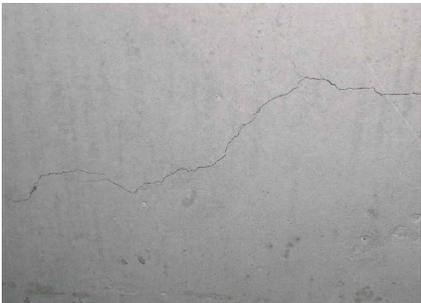
- 부재에 대한 육안조사 결과 다음과 같다.

구 분	내 용
건물 내·외부	<ul style="list-style-type: none"> - 건물 주변바닥 조사결과 부등침하 등의 특이할 만한 현상은 조사되지 않았고, 건물 외부는 설계·시공 당시와 동일하게 마감된 상태이며, 외벽에서 균열 및 마감재 탈락, 파손 등이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다. 건물 내부에서는 특이할 만한 성능저하 현상은 조사되지 않았다.
구조부재	<ul style="list-style-type: none"> - 구조부재 조사는 천정 마감재를 열고 조사하였고, 옥탑층 바닥 슬래브는 스티로폼으로 단열되어 있으며, 누수흔적은 조사되지 않았다. - 지상5층 바닥 슬래브 및 보 구조부재에서 0.1~0.2mm의 미세균열이 발견되었다. 이에 대하여 적절한 보수를 실시하면 옥상녹화에는 특별한 문제는 없는 것으로 판단된다.
옥탑층 및 지상5층 바닥 (옥상녹화 부분)	<ul style="list-style-type: none"> - 옥상녹화 검토 부분에는 에어컨 실외기를 제외하고 옥상녹화 조성시 영향을 주는 지장물은 없으며, 현재 옥상 바닥은 마감몰탈로 마감되어 있고, 옥상 바닥 몰탈마감 및 난간에서 균열이 발견되었다. 이에 대하여 적절한 보수를 실시하면 옥상녹화에는 특별한 문제는 없는 것으로 판단된다.

3.2.3 균열 및 부재결함 현황

1. 옥탑층 난간 부재결함 현황	
	
<p>사용경년에 따른 노후화와 건조수축 및 온도변화에 따른 균열이 발견되었으며, 건물의 유지관리상 보수를 실시한다.</p>	

2. 옥탑층 바닥 부재결함 현황	
	
<p>사용경년에 따른 노후화와 건조수축 및 온도변화에 따른 균열이 발견되었으며, 건물의 유지관리상 보수를 실시한다.</p>	

3. 지상5층 바닥 슬래브 및 보 부재결함 현황	
	
<p>사용경년에 따른 노후화와 건조수축 및 온도변화에 따른 슬래브 및 보에서 미세균열이 발견되었으며, 건물의 유지관리상 보수를 실시한다.</p>	

제4장 내구성 조사

4.1 설계도서 및 구조체 제원조사

4.2 콘크리트 압축강도 조사

4.3 철근배근상태 조사

4.4 콘크리트 중성화 시험

4.5 변위·변형 조사

제4장 내구성 조사

4.1 설계도서 및 구조체 제원조사

본 조사는 건축물 및 구조체의 형태를 파악하는 중요한 조사항목으로 본 건축물의 설계도면 등을 수집하여 현장에서 비교·확인하는 형식으로 조사를 진행하였으며, 조사결과는 구조해석 및 안전성 검토 등에 적용하며, 시공 품질을 판단할 수 있는 자료가 된다.

4.1.1 건축도면(상부마감확인)

- 서울시립대학교 건설공학과 건축물의 상부마감을 현장조사와 비교·확인·검토한 결과 설계도면(건축도면)에 표기되어 있는 것과 대체로 일치한 것으로 조사되었다.

4.1.2 구조도면(구조부재 변경확인)

- 서울시립대학교 건설공학과 건축물의 구조부재를 현장조사와 비교·확인·검토한 결과 구조체(슬래브, 보, 기둥)는 설계도면(구조도면)에 표기되어 있는 것과 대체로 일치하는 것으로 조사되었다.

4.1.3 구조체 제원조사

- 구조체 제원조사는 건축물 및 구조체의 형태를 파악하는 중요한 조사항목으로, 건축물의 주요경간, 층고, 부재크기 등을 레이저거리 측정기, 줄자를 이용하여 현장에서 설계도면과 비교·검토하였으며, 조사결과 설계도면과 대부분 일치하는 것으로 조사되었다.

부재실측 조사 결과

단위 mm

구 분	측정 번호	부재 위치	부재명	설계도면	현장조사	비 고
옥탑층 바닥 보	D1	3~4 / A~B	RB1'	400×700	400×700	
	D2	10 / B~C	RG8'	400×650	400×650	
지상5층 기둥	D3	3 / B	5C2	400×500	400×500	
	D4	8~9 / A~B	5C7	400×250	400×250	
	D5	10 / B	5C4	400×500	400×500	
지상5층 바닥 보	D6	10~11 / C~D	5B1A	350×700	350×700	
지상4층 기둥	D7	1 / A	4C1	500×700	500×700	

4.2 콘크리트 압축강도 조사

콘크리트의 압축강도를 조사하는 방법은 크게 파괴시험과 비파괴시험으로 구별되며, 비파괴시험으로는 반발경도법(슈미트햄머법), 초음파법, break off법, pull off법, 관입저항법 등이 있다.

본 시설물에서는 비파괴시험의 일종인 반발경도법(슈미트햄머법)으로 콘크리트의 압축강도를 조사하였다.

4.2.1 개요

반발경도법(슈미트햄머법)은 슈미트햄머로 경화 콘크리트면을 타격하여, 타격시 햄머 내의 중추 반동량을 반발도(R)로 표시하며, 이 반발도(R)의 크기에 따라 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법이다. 일반적으로, 슈미트햄머법은 압축강도 10 ~ 60kN/cm² 범위의 건설구조용 콘크리트의 품질 관리 및 강도 추정을 위한 보조수단으로 활용된다.

4.2.2 방법

슈미트햄머를 사용하고자 하는 콘크리트면은 평활하여야 하며, 거친면은 피하여야 한다. 마감 재료나 도료로 칠하여져 있는 부위는 이를 제거하고 콘크리트면에 슈미트햄머를 직접 타격하여야 한다.

표면의 요철은 반발경도 R값에 영향을 미치므로 연마하여 평활하게 할 필요가 있다. 또한 타격면내에 공극 및 노출된 자갈 등이 있을 경우에는 타격점에서 제외한다.

보 및 기둥의 모서리에서는 최소 3~6cm이격하여 측정하고 타격부의 두께가 10cm이상 되는 곳을 선정하여 타격은 수직면에 직각으로 실시하고 서서히 힘을 가해 타격한다. 또한 타격점 사이의 간격을 3cm이상으로 하여 총 20점을 타격하고 그 타격된 자료의 평균을 구하여 평균에서 ±20%가 벗어난 경우를 제외한 후 재 평균 한 것을 최종 값으로 한다.

4.2.3 강도추정 시 슈미트햄머의 보정법

가. ANVIL에 의한 보정

슈미트햄머는 여러 종류의 기종이 있으며, 측정할 콘크리트의 종류, 품질 등에 따라 적합한 기종을 선정하여 사용하여야 한다. 본 진단에서 사용한 슈미트햄머는 스위스 Proceq Sa Swiss의 NR형이다.

한편, 슈미트햄머는 엄밀한 검사를 하더라도 금속체 시험기와 마찬가지로 장시간 사용 후에는 기계적인 오차가 발생할 수 있다. 따라서, 슈미트햄머 사용시 정상적인 측

정치를 가질 수 있도록 사용 직전 또는 정기적으로 테스트엔빌에 의한 교정이 요구된다.

테스트엔빌에 의한 슈미트햄머의 반발경도(R)는 81을 기준으로 ± 2의 편차가 허용되나, ± 1범위의 값을 벗어날 때에는 슈미트햄머의 조정나사를 조작하여 교정하기로 한다. 단, 테스트엔빌에 의한 반발치가 75정도까지 표시되고, 더이상 반발치가 올라가지 않는 경우에는 <식 1>을 적용하여 보정한다.

$$R = R_o \cdot 81 / R_a \quad \text{<식 1>}$$

단, R_a = 테스트엔빌에 의한 하향타격시의 반발도

R_o = 반발도 R의 평균치

이 이상보다 큰 보정치를 필요로 하는 슈미트햄머는 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다.

나. 콘크리트 표면의 습윤 상태에 따른 보정

일반적으로, 콘크리트 면의 함수율이 높은 상태에서 측정한 값은 건조한 상태에서 측정한 값보다 반발경도가 2 ~ 5 또는 20 % 정도 작게 나타날 수 있으므로, 강도추정 시 이에 대한 고려가 요구되며, 가급적 기건 상태에서의 시험을 원칙으로 한다.

다. 타격방향에 따른 보정

타격방향은 수평방향이 일반적이거나, 수평 이외의 방향으로 타격할 때에는 <표 4.1>에 의하여 보정하여야 한다.

<표 4.1> 타격방향에 따른 보정치

반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비 고
	+ 90°	+ 45°	- 45°	- 90°	
10	.	.	+ 2.4	+ 3.2	<p>각도의 부호+는 상향을 -는 하향을 나타낸다.</p>
20	- 5.4	- 3.5	+ 2.5	+ 3.4	
30	- 4.7	- 3.1	+ 2.3	+ 3.1	
40	- 3.9	- 2.0	+ 2.0	+ 2.7	
50	- 3.1	- 2.7	+ 1.6	+ 2.2	
60	- 2.3	- 1.6	+ 1.3	+ 1.7	

라. 시간경과 계수에 따른 보정

수년이 경과한 콘크리트 구조물의 표면경도가 높기 때문에 재령에 의하여 28일 콘크리트 강도를 추정하는 경우 재령 28일을 기준으로 < 표 4.2 >의 재령계수(α_n) 값을 곱하여 압축강도를 추정한다.

< 표 4.2 > 재령계수(α_n)

재령(일)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
α_n	1.90	1.84	1.78	1.72	1.67	1.61	1.55	1.49	1.45	1.40
재령(일)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
α_n	1.36	1.32	1.28	1.25	1.22	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08
재령(일)	24	25	26	27	28	29	30	32	34	36
α_n	1.06	1.04	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.95
재령(일)	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
α_n	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86
재령(일)	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76
α_n	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83
재령(일)	78	80	82	84	86	88	90	100	125	150
α_n	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.78	0.76	0.74
재령(일)	175	200	250	300	400	500	750	1000	2000	3000
α_n	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

4.2.4 콘크리트 강도에 대한 상태평가등급 기준

< 표 4.3 > 콘크리트 강도에 대한 상태평가등급 기준

평가등급	평가기준	평가점수(대표값)
a	$\alpha_c \geq 100\%$	1
b	$\alpha_c \geq 100\%$ (경미한 손상 있음)	3
c	$85\% \leq \alpha_c < 100\%$	5
d	$70\% \leq \alpha_c < 85\%$	7
e	$\alpha_c < 70\%$	9

* $\alpha_c = (\text{측정강도} \div \text{설계기준강도}) \times 100\%$

4.2.5 강도의 추정

반발경도법을 이용한 콘크리트 압축강도 추정식은 여러 학자들이 많은 시험을 통해 얻은 자료를 바탕으로 제안하고 있는데 본 과업에서는 <식 2> ~ <식 3>를 평균하여 콘크리트의 압축강도를 추정하기로 한다.

- 일본 건축학회 표준식	: $F_c 1 = (7.3 R_o + 100) \times 0.098 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	<식 2>
- 일본동경도 건축재료 검사소식	: $F_c 2 = (10 R_o - 110) \times 0.098 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	<식 3>
- 일본 재료학회식	: $F_c 3 = (13 R_o - 184) \times 0.098 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	<식 4>
- 평균 강도	: $F_c 4 = F_c 1 + F_c 2 + F_c 3 / 3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	

4.2.6 콘크리트 압축강도 조사결과

- 본 건축물의 반발경도법을 이용한 콘크리트 압축강도를 측정한 결과, 25.72N/mm²으로 조사되었으며, 설계기준강도 $f_{ck} = 24\text{N/mm}^2$ 에 만족하는 것으로 조사되었다. 따라서 콘크리트 압축강도는 대체로 양호한 것으로 판단되며 구조검토 시 설계기준강도 24MPa를 적용하였다.

콘크리트 강도(비파괴시험) 조사결과

단위 : kN/cm²

부재종류	구 분	측 정 번 호	추정강도				비 고
			Fc1	Fc2	Fc3	Fc4(평균)	
옥탑층 바닥 보		S1	26.5	21.0	24.8	24.1	
		S2	27.9	23.0	27.4	26.1	
지상5층 기둥		S3	27.4	22.3	26.5	25.4	
지상5층 바닥 슬래브		S4	28.8	23.9	28.5	27.1	
지상5층 바닥 보		S5	28.3	23.3	27.7	26.4	
지상4층 기둥		S6	27.4	22.1	26.2	25.2	
전체 평균			25.72				

4.3 철근배근상태 조사

4.3.1 개요

철근탐사기는 공진회로 원리를 이용한 전자기감응기법으로 철근의 위치, 간격, 직경, 콘크리트의 피복두께 등을 측정할 수 있다.

4.3.2 근거 및 기준

철근배근조사 (Detection of reinforcement-bar)는 영국의 시험기준 B.S 1881, Part204에 의거 조사하였으며 철근의 배근상태와 피복두께를 조사하였다.

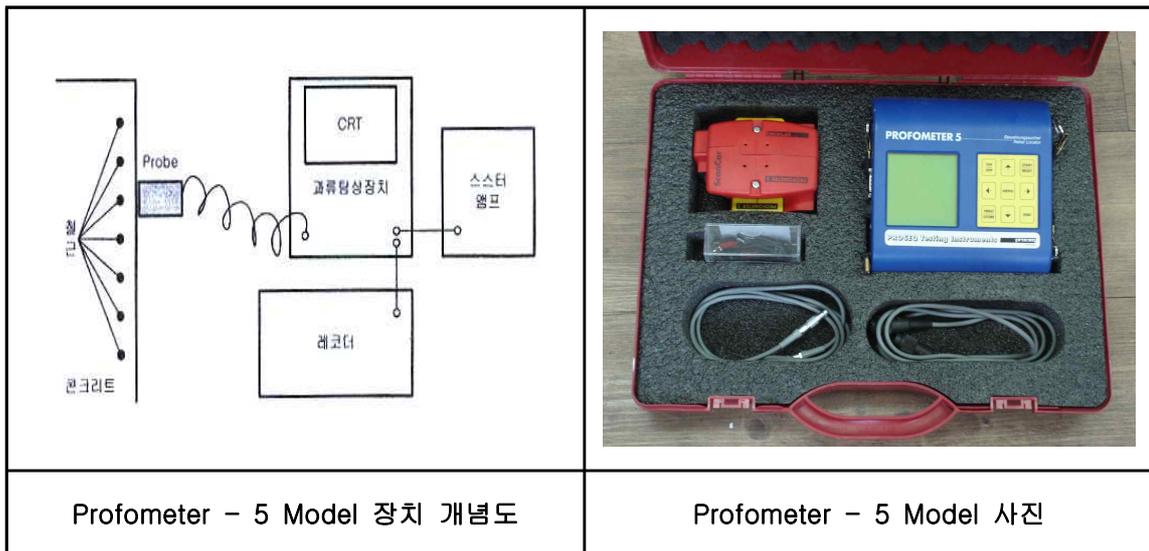
4.3.3 방법

철근배근조사 (Detection of reinforcement-bar)

Profometer-5의 Probe를 대상부재에 밀착시켜 서서히 이동하면 철근이 있는 위치에서 신호음이 발생하는 동시에 철근의 피복두께가 본체에 수치상으로 나타난다. 이와 같은 동작을 반복 실시하면 철근의 배근간격을 알 수 있게 된다.

4.3.4 기기명 (Test equipment)

철근탐사기 Profometer - 5 Model. Proceq Sa Swiss, 출자



4.3.5 철근배근상태 조사 결과

- 철근배근상태 조사는 조사대상 건물의 주요 구조체(슬래브, 보, 기둥)를 대상으로 측정하였으며, 구조설계도면과 비교 검토한 결과 대체로 일치하는 것으로 조사되었다.

< 표 4.5 > 철근탐사 결과표

단위 mm

부재 종류	시험 번호	부재명	설계배근현황			현장배근현황			비고
			부재 크기	배근현황		부재 크기	피복 두께	배근 간격	
옥탑층 바닥 보	P1	RB1' (중앙부)	400×700	하부근	4-D22	400×700	36.3	4-D	
				측근	D10@300			@300	
	P2	RG8' (중앙부)	400×650	하부근	6-D22	400×650	44.0	6-D	
				측근	D10@300			@275	
지상5층 기둥	P3	5C2	400×500	주근	10-D19	400×500	40.7	10-D	
				띠근	D10@300			@300	
	P4	5C7	400×250	주근	8-D19	400×250	50.3	8-D	
				띠근	D10@300			@310	
	P5	5C4	400×500	주근	10-D19	400×500	40.3	10-D	
				띠근	D10@300			@310	
지상5층 바닥 슬래브	P6	5S1 (중앙부)	135	주근	HD10@200	135	31.4	@207	
				부근	HD10@250			@212	
지상5층 바닥 보	P7	5B1A (중앙부)	350×700	하부근	8-HD22	350×700	49.7	8-D	
				측근	HD10@300			@270	
지상4층 기둥	P8	4C1	500×700	주근	16-HD22	500×700	41.3	16-D	
				띠근	HD10@300			@313	

4.4 콘크리트 중성화 시험

4.4.1 개요

가. 경화된 콘크리트는 시멘트의 수화생성물인 수산화석회를 유지하여 강한 알칼리성을 나타내고 있다. 수산화석회는 시일의 경과와 더불어 콘크리트 표면으로부터 공기 중의 탄산가스의 영향을 받아 서서히 탄산석회로 변화하여 알칼리성을 소실하여 가는 현상을 중성화(中性化)라 한다.



나. 중성화에 의하여 pH값이 감소됨에 따라 콘크리트 내부의 환경이 알칼리성에서 중성 쪽으로 변해가며 내부의 철근을 둘러싼 알칼리성 부동태피막을 불안정하게 하여 부식의 발생을 유발시킨다.

일반적으로 시험방법은 페놀프타레인 1%용액을 분무하였을 때 pH값이 9이하에서는 무색, 이보다 높은 pH값에서는 적색을 나타내므로 매우 간편하게 식별할 수 있으며 페놀프타레인과 변색의 관계는 다음과 같다.

변색범위(pH)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
페놀프타레인 1%용액	백색(무변화)						적색변화			

4.4.2 시험방법

- 콘크리트 측정부위를 드릴로 천공, 모서리부분 국부파손, 코어채취(소형 코어 포함) 등을 이용하여 시험체를 만든 다음 압축공기 뿜기, 솔질, 물청소 등으로 표면을 깨끗이 청소한다.
- 시약을 스프레이 등으로 측정면에 분무한다. 분무 시기는 표면청소 직후 또는 물청소를 하였을 경우 표면이 완전히 건조되었을 때 실시하는 것이 가장 효과적이다.
- 중성화 깊이에는 착색 후 퇴색되는 영역도 중성화 영역에 포함시키도록 한다.

4.4.3 중성화 속도에 의한 경과년수 산정

철근콘크리트 구조물의 수명은 일반 환경에서는 철근의 부식 확률로서 판별되며 이는 콘크리트의 중성화 깊이와 피복두께의 상관관계에 의해 결정되면, 시멘트의 종류 콘크리트의 품질, 환경조건 등에 따라 결정된다.

다음에 Kishitani(키시다니) 식은 현재 가장 널리 사용되고 있는 일본의 안곡식이다.

$$y = \frac{0.3 \times (1.15 + 3X)}{R^2(X - 0.25)^2} C^2 \quad (X \geq 0.6)$$

$$y = \frac{7.2}{R^2(4.6X - 1.76)^2} C^2 \quad (X \leq 0.6)$$

여기서 y : C까지 중성화되는 기간(년)

X : 강도상의 물 - 시멘트 비

C : 중성화깊이(cm)

R : 중성화비율

< 표 4.6 > 콘크리트의 종류별 중성화비율(R)

시멘트의 종류	강모래·강자갈			강모래·화산골재			화산골재		
	플레인	AE제	AE 감수제	플레인	AE제	AE 감수제	플레인	AE제	AE 감수제
보통 포틀랜드 시멘트	1.0	0.6	0.4	1.2	0.8	0.5	2.9	1.8	1.1
조강 포틀랜드 시멘트	0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	1.8	1.0	0.7
고로 시멘트(슬래그 30~40%)	1.4	0.8	0.6	1.7	1.0	0.7	4.1	2.4	1.6
고로 시멘트(슬래그 60% 전후)	2.2	1.3	0.9	2.6	1.6	1.1	6.4	3.8	2.6
실리카 시멘트	1.7	1.0	0.7	2.0	1.2	0.8	4.9	3.0	2.0
플라이애시 시멘트 (플라이애시 20%)	1.9	1.1	0.8	2.3	1.4	0.9	5.5	3.3	2.2

4.4.4 중성화에 의한 성능저하 평가 방법

본 진단에서는 철근의 피복두께와 중성화의 관계를 검토하여 콘크리트 상태를 평가하였다. 콘크리트 중성화에 대한 상태평가등급 기준에 의하고 콘크리트 중성화에 대한 등급별 조치사항에 맞게 조치를 하여야 한다.

<표 4.7> 콘크리트 중성화에 대한 상태평가등급 기준 및 등급별 조치사항

평가등급	평가기준	평가점수 (대표값)	등급별 조치사항
a	$Ct \leq 0.25D$	1	중성화 속도 추정
b	$0.25D < Ct \leq 0.5D$	3	중성화 속도, 도장 등 보호 필요
c	$0.5D < Ct \leq 0.75D$	5	중성화 속도 추정, 염화물 함량 검토 보수 필요
d	$0.75D < Ct \leq D$	7	성화 속도 추정, 염화물 함량과 철근 부식도 검토 보수 필요
e	$Ct > D$	9	철근 부식도 검토 보수 혹은 보강 필요

* Ct : 콘크리트 중성화 깊이(cm), * D : 측정된 철근의 피복두께(cm)

<표 4.8> 철근 최소 피복두께 평가기준(콘크리트 구조설계기준, 건교부, 1999)

적 용 환 경		피복두께 (Dm)	
흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀 있거나 수중에 있는 콘크리트		8cm	
흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트	D29 이상 철근	6cm	
	D25 이하 철근	5cm	
	D16이하 철근, 철선	4cm	
옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트	슬래브 벽체, 장선	D35를 초과하는 철근	4cm
		D35 이하인 철근	2cm
	보, 기둥	$f_{ck} < 40\text{kN/cm}^2$	4cm
		$f_{ck} \geq 40\text{kN/cm}^2$	3cm
철판, 절판부재		2cm	

* f_{ck} : 설계기준강도(kN/cm^2)

4.4.5 콘크리트 중성화 시험 결과

- 건물의 실제 준공년도와 중성화 깊이 및 피복두께에 따른 중성화 속도에 의한 경과년수를 비교한 결과 0.29년으로 조사되었으며, 중성화 평가등급은 “A등급”으로 대체로 양호한 것으로 판단된다.

콘크리트 중성화 시험 결과

단위 : cm

구 분	측정 번호	피복 두께(D)	중성화 깊이(Ct)	중성화 속도에 의한 경과년수	성능저하 등 급
옥탑층 바닥 슬래브	H1	4.40	0.20	0.29	A
	H2	4.03	0.20	0.29	A
평 균		4.21	0.20	0.29	A

4.5 변위·변형 조사

4.5.1 일반사항

일반적으로 구조물에 변형이 발생하는 원인으로는 구조 부재로 사용되는 재료의 품질 저하, 온도와 기후 등의 사용 환경, 하중의 증가, 부재의 손상, 지반 침하, 초기변형 등이 있다. 이와 같은 여러 요인들에 의해 구조물에 이상 변형이 발생하게 되면 구조물의 기능에 장애를 유발시키거나 구조적인 안전성에도 문제를 발생시킬 수 있다.

구조물의 기능상 허용 변형이 주어져 있으나, 구조물에 변형이 발생되면 원상태로 회복시키기는 매우 어렵다. 구조물에 이상 변위, 변형이 발생한 경우 구조물의 강성이나 내력이 부족하여 부재에 과도한 응력 집중이 생기고 구조물이 불안정한 상태에 이르는 경우가 있으므로 충분한 조사와 연구가 필요하다.

4.5.2 조사 방법

- Laser Level을 수평 회전시킨 후 Staff를 사용하여 보의 중앙·양단부에서의 처짐을 측정하였다.

4.5.3 시험기기명

- Laser Level (400S Type HE-NE AGL U.S.A)

4.5.4 상태평가등급 기준

< 표 4.10 > 부재의 변위·변형에 대한 상태평가등급 기준

평가등급	평가기준 (보 및 슬래브의 처짐)	평가점수(대표값)
A	$L^*/480$ 이하	1
B	$L/480$ 이하(경미한 손상)	3
C	$L/240$ 이하	5
D	$L/150$ 이하	7
E	$L/150$ 초과	9

* L : 경간길이 (cm)

4.5.5 변위·변형 조사결과

- 처짐 조사는 옥탑층 바닥 보 및 지상5층 바닥 보에서 변위를 조사한 결과 1.5mm ~ 2.5mm로 대부분 허용값(L/480) 이내로 양호한 상태인 것으로 조사되었으며, 변위·변형에 의한 건물의 안전상에는 영향이 없는 것으로 사료된다.

처짐 조사결과

단위 : mm

부재종류	구분	거리 (mm)	측정치(mm)			처짐량 (δ_x)	허용값 $\delta(L/480)$	등급
			단부	중앙부	단부			
옥탑층 바닥 보	①	7,000	915	917	924	2.5	14.6	A
지상5층 바닥 보	②	7,550	797	796	798	1.5	15.7	A

※ 단, -부호는 솟음을 나타낸다.

제5장 구조안전성 검토

5.1 일반사항

5.2 적용하중

5.3 구조해석

5.4 구조안전성 검토

5.5 구조안전성 검토 결과

제5장 구조안전성 검토

5.1 일반사항

5.1.1 구조안전성 검토의 개요

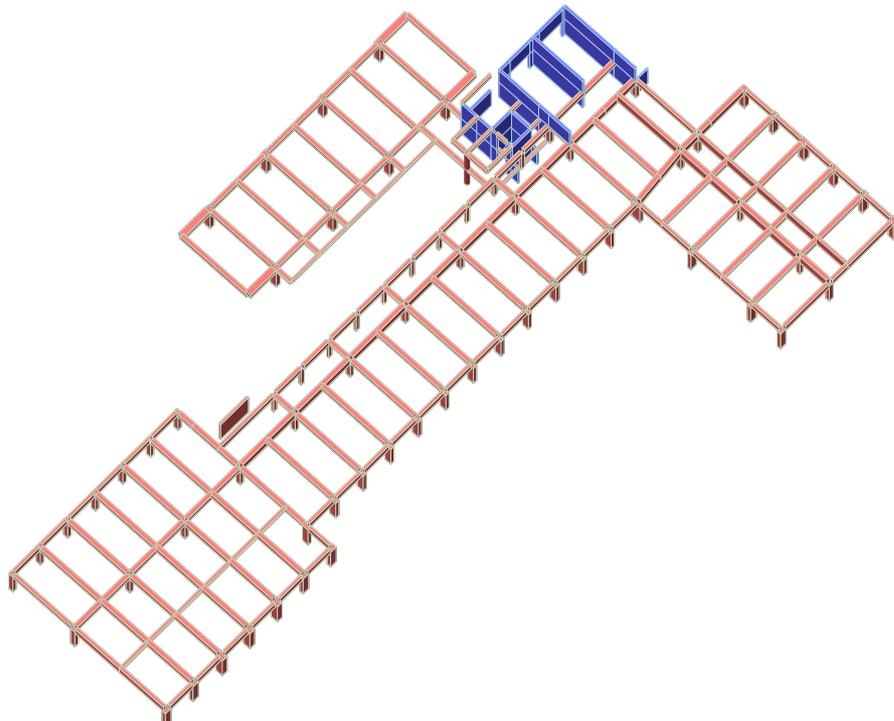
본 과업 내용에 의거 실시한 조사 및 결과 분석 후 이를 바탕으로 이론적 계산과 해석을 통하여 건물의 안전과 내력 및 구조적·기능적 안전성을 검토하였다.

5.1.2 구조안전성 검토의 범위 및 방법

가. 구조 해석에 필요한 DATA는 현장조사(구조평면조사, 단면조사 및 각종 비파괴시험)를 토대로 주요 부재의 구조 안전성 여부를 검토하였다.

나. 고정하중 및 적재하중은 현장조사에 준하여 고려하였으며, 추가 옥상 녹화하중은 서울시 건축물 옥상녹화 학술용역 보고서(2000년)를 참조 하였다.

다. 진단 대상 건축물의 구조해석 및 부재의 내력검토는 3차원 해석 프로그램인 MIDAS - GEN(Ver 7.8.5)를 이용한 3차원 입체해석으로 검토를 실시하였다.



【 골조 구상도 】

5.1.3 안전성 검토 적용기준

구 분		내 용	비 고
적용기준		- 건축 구조 설계기준 (대한 건축학회, 2005) - 콘크리트 구조 설계기준 (한국 콘크리트 학회, 2003) - 건축물 하중기준 및 해설 (대한 건축학회, 2000)	
기준강도	콘크리트	기준 : - $f_{ck} = 210 \text{kgf/cm}^2$ 증축 : - $f_{ck} = 240 \text{kgf/cm}^2$	
	철 근	기준 : - $f_y = 3,000 \text{kgf/cm}^2$ (SD30) 증축 : - $f_y = 4,000 \text{kgf/cm}^2$ (SD40)	
사용프로그램		- MIDAS - GEN(Ver 7.8.5)를 이용한 3차원 해석 - MIDAS - SET(Ver 3.3.4)	
구조설계방법		- 극한강도 설계법(KCI-USD07)	
하중조건	고정하중	- 설계도면 및 현장조사 근거에 의하여 적용 - 서울시 건축물 옥상녹화 학술용역 보고서(2000) 적용	
	적재하중	- 구조기준에 따른 용도별 적재하중을 적용 - 서울시 건축물 옥상녹화 학술용역 보고서(2000) 적용	
참고자료		- 기존 도면 : 건축사사무소 아르스 - 증축 도면 : (주)솔트 건축사 사무소 - 리모델링 도면 : 현인 건축사 사무소	
안전성 검토		- 인장지배 단면 : $0.85 \Rightarrow 1.0$ - 압축지배 단면 나선철근으로 보강된 부재 : $0.7 \Rightarrow 0.85$ 기타 부재 : $0.65 \Rightarrow 0.80$ - 전단력 및 비틀림 모멘트 : $0.75 \Rightarrow 0.80$	

5.1.4 추가 옥상 녹화하중

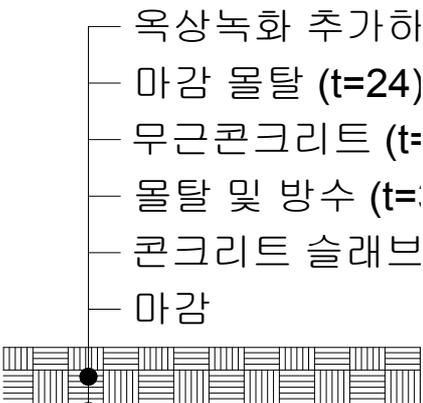
(단위 : kgf/m^2)

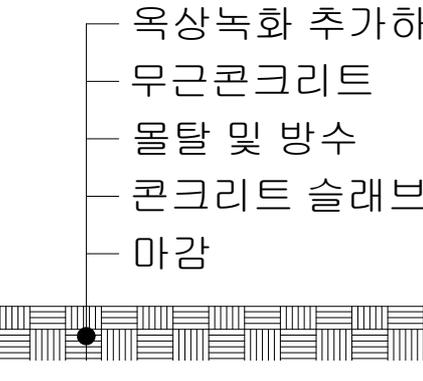
하중 \ 옥상녹화방안	CASE-1 (경량형)	CASE-2 (혼합형)	CASE-3 (중량형)	비고
고정하중(옥상녹화 주가하중)	120	200	300	
적재하중	100	200	200 ~ 300	

5.2 적용하중

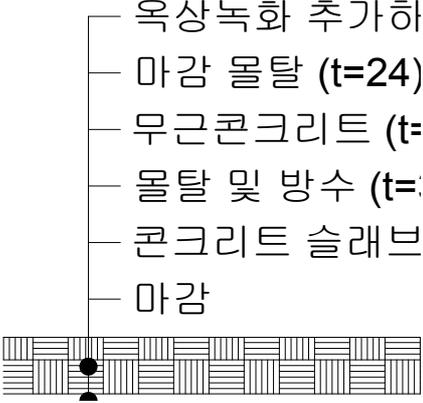
5.2.1 하중산정

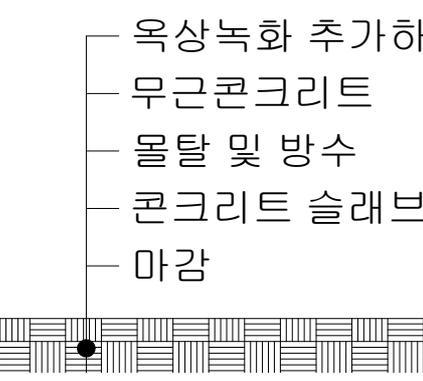
1) 경량형 (녹화 120kg/㎡ + 사람 100kg/㎡)

1. 옥탑층		(kgf/㎡)	(kN/㎡)
	옥상녹화 추가하중	120	1.20
	마감 몰탈 (t=24)	48	0.48
	무근콘크리트 (t=50)	115	1.15
	몰탈 및 방수 (t=30)	60	0.60
	콘크리트 슬래브 (t=120)	288	2.88
	마감	20	0.20
	DEAD LOAD	651	6.51
	LIVE LOAD	100	1.00
	TOTAL LOAD	751	7.51

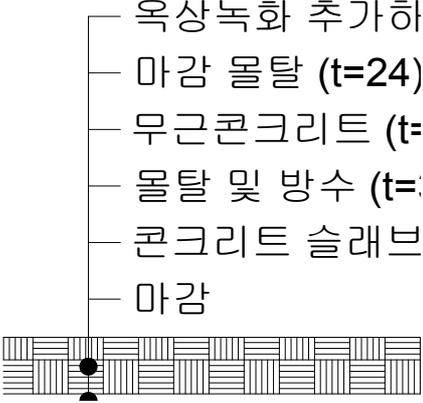
2. 지상5층(옥상)		(kgf/㎡)	(kN/㎡)
	옥상녹화 추가하중	120	1.20
	무근콘크리트 (t=110)	253	2.53
	몰탈 및 방수 (t=30)	60	0.60
	콘크리트 슬래브 (t=135)	324	3.24
	마감	20	0.20
	DEAD LOAD	777	7.77
	LIVE LOAD	100	1.00
	TOTAL LOAD	877	8.77

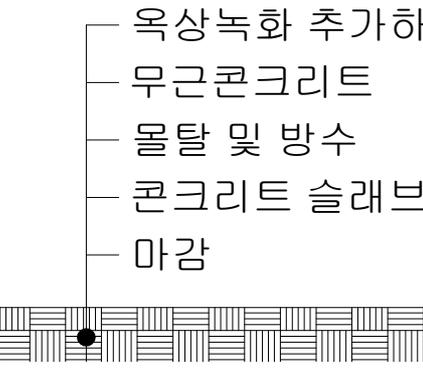
2) 혼합형 (녹화 200kg/m² + 사람 200kg/m²)

1. 옥탑층		(kgf/m ²)	(kN/m ²)
 <p>옥상녹화 추가하 마감 몰탈 (t=24) 무근콘크리트 (t=50) 몰탈 및 방수 (t=30) 콘크리트 슬래브 (t=120) 마감</p>	옥상녹화 추가하중	200	2.00
	마감 몰탈 (t=24)	48	0.48
	무근콘크리트 (t=50)	115	1.15
	몰탈 및 방수 (t=30)	60	0.60
	콘크리트 슬래브 (t=120)	288	2.88
	마감	20	0.20
	DEAD LOAD	623	6.23
	LIVE LOAD	200	2.00
TOTAL LOAD	723	7.23	

2. 지상5층(옥상)		(kgf/m ²)	(kN/m ²)
 <p>옥상녹화 추가하 무근콘크리트 몰탈 및 방수 콘크리트 슬래브 마감</p>	옥상녹화 추가하중	200	2.00
	무근콘크리트 (t=110)	253	2.53
	몰탈 및 방수 (t=30)	60	0.60
	콘크리트 슬래브 (t=135)	324	3.24
	마감	20	0.20
	DEAD LOAD	857	8.57
	LIVE LOAD	200	2.00
	TOTAL LOAD	1,057	10.57

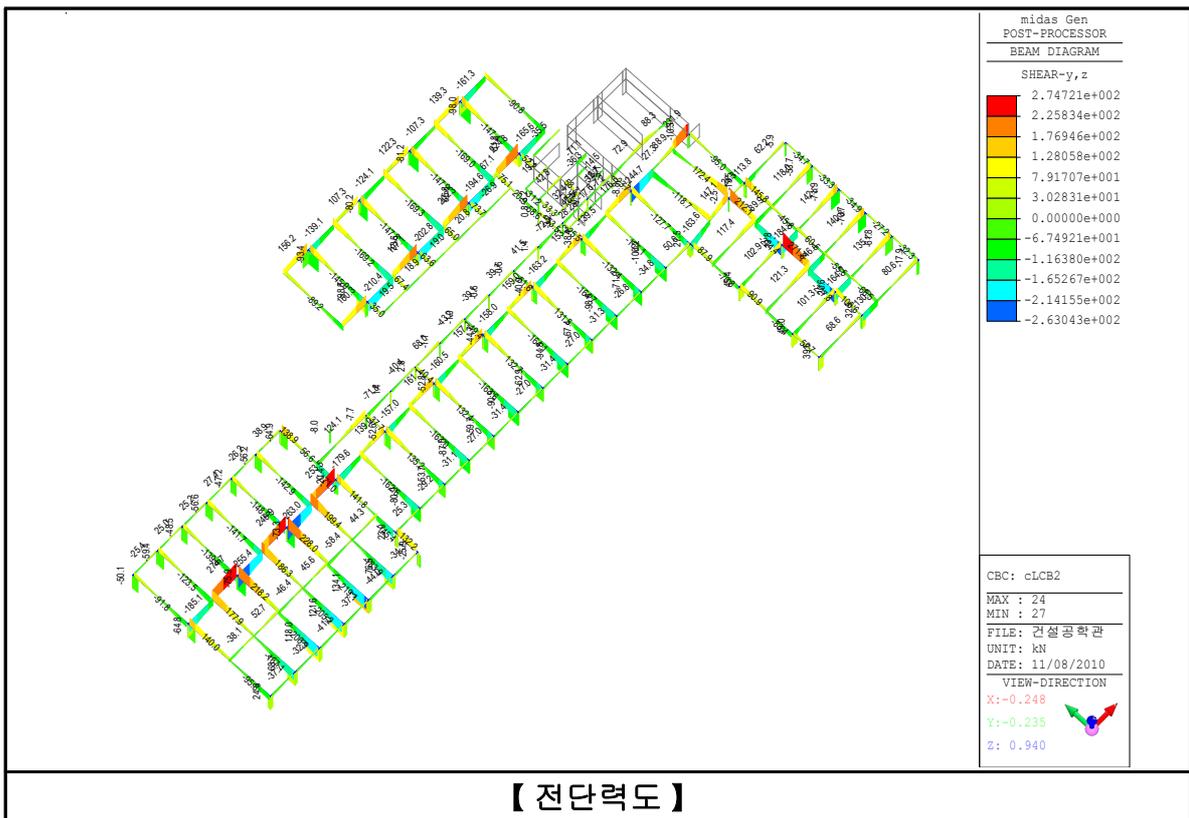
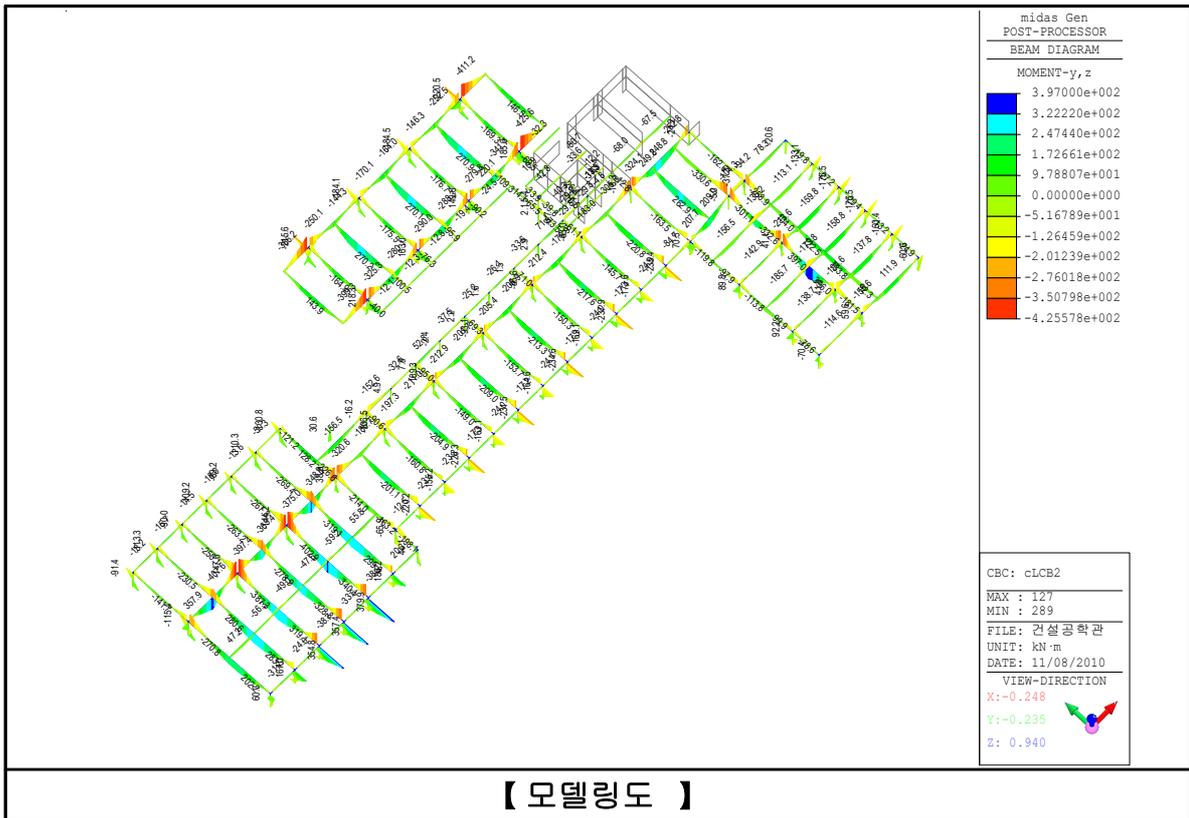
3) 중량형 (녹화 300kg/m² + 사람 200~300kg/m²)

1. 옥탑층		(kgf/m ²)	(kN/m ²)
 <p>옥상녹화 추가하 마감 몰탈 (t=24) 무근콘크리트 (t=50) 몰탈 및 방수 (t=30) 콘크리트 슬래브 (t=120) 마감</p>	옥상녹화 추가하중	300	3.00
	마감 몰탈 (t=24)	48	0.48
	무근콘크리트 (t=50)	115	1.15
	몰탈 및 방수 (t=30)	60	0.60
	콘크리트 슬래브 (t=120)	288	2.88
	마감	20	0.20
	DEAD LOAD	723	7.23
	LIVE LOAD	200~300	2.00~3.00
TOTAL LOAD	1,031~1,131	10.31~10.50	

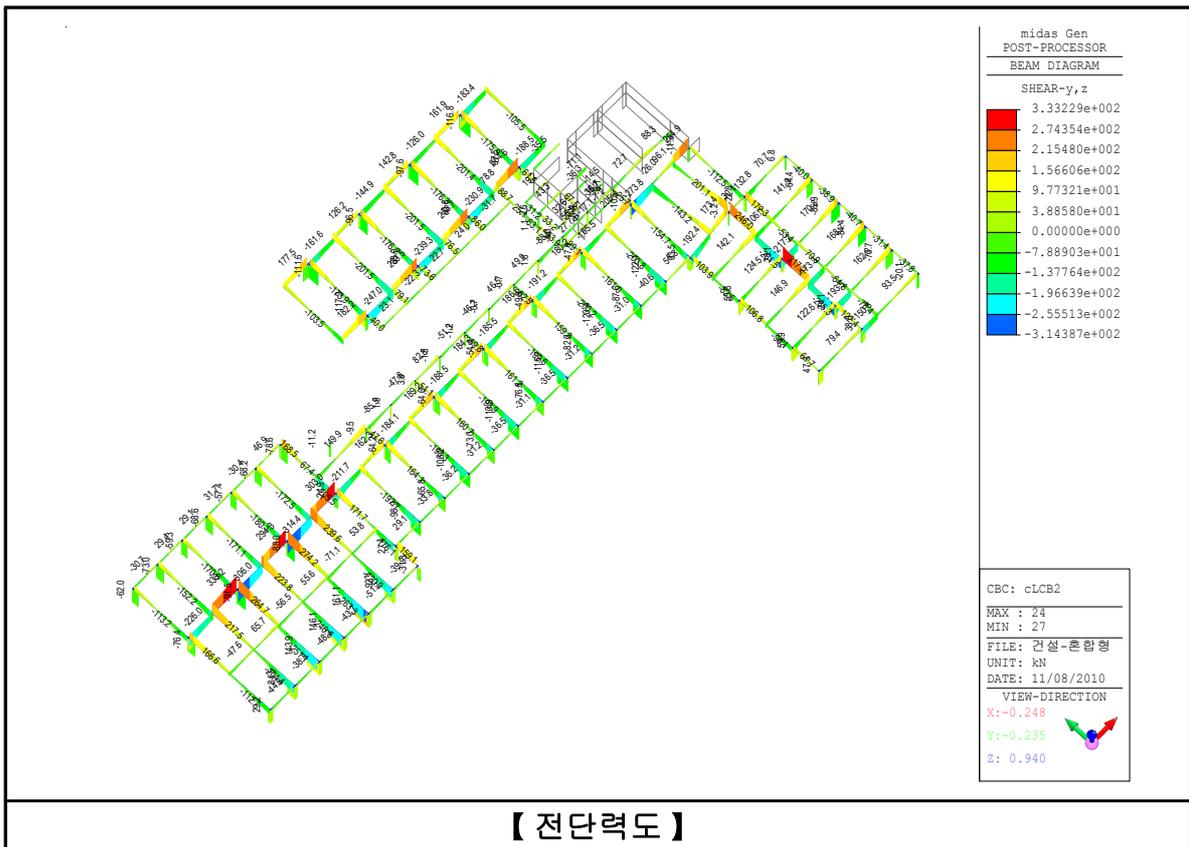
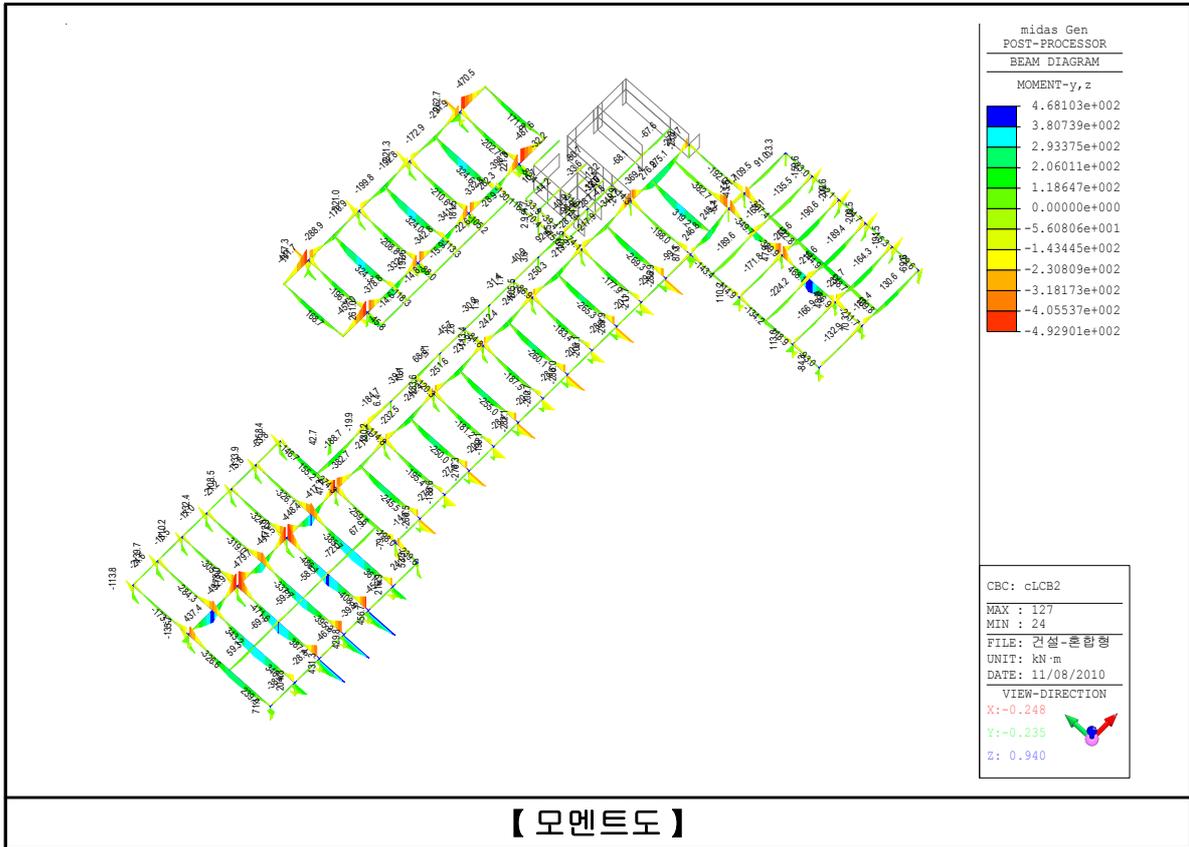
2. 지상5층(옥상)		(kgf/m ²)	(kN/m ²)
 <p>옥상녹화 추가하 무근콘크리트 몰탈 및 방수 콘크리트 슬래브 마감</p>	옥상녹화 추가하중	300	3.00
	무근콘크리트 (t=110)	253	2.53
	몰탈 및 방수 (t=30)	60	0.60
	콘크리트 슬래브 (t=135)	324	3.24
	마감	20	0.20
	DEAD LOAD	957	9.57
	LIVE LOAD	200~300	2.00~3.00
	TOTAL LOAD	1,157~1,257	11.57~10.50

5.3 구조해석

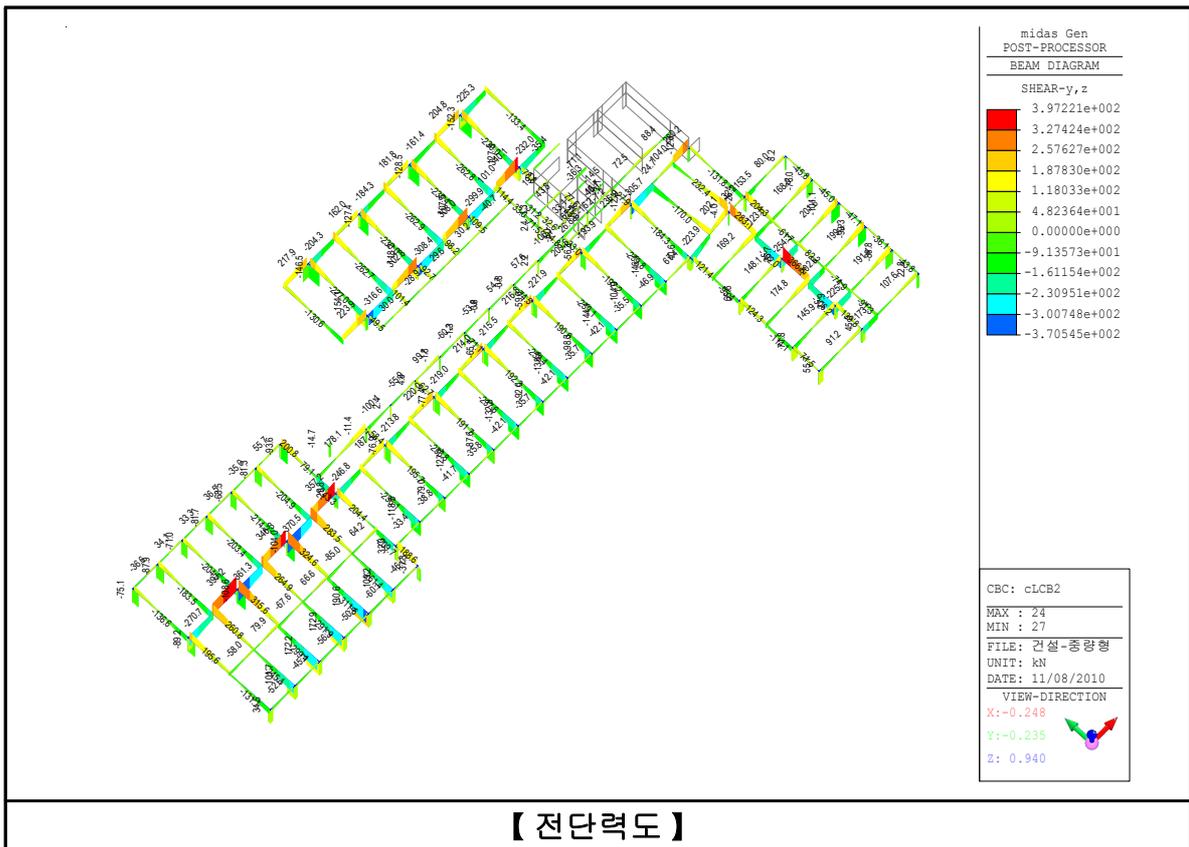
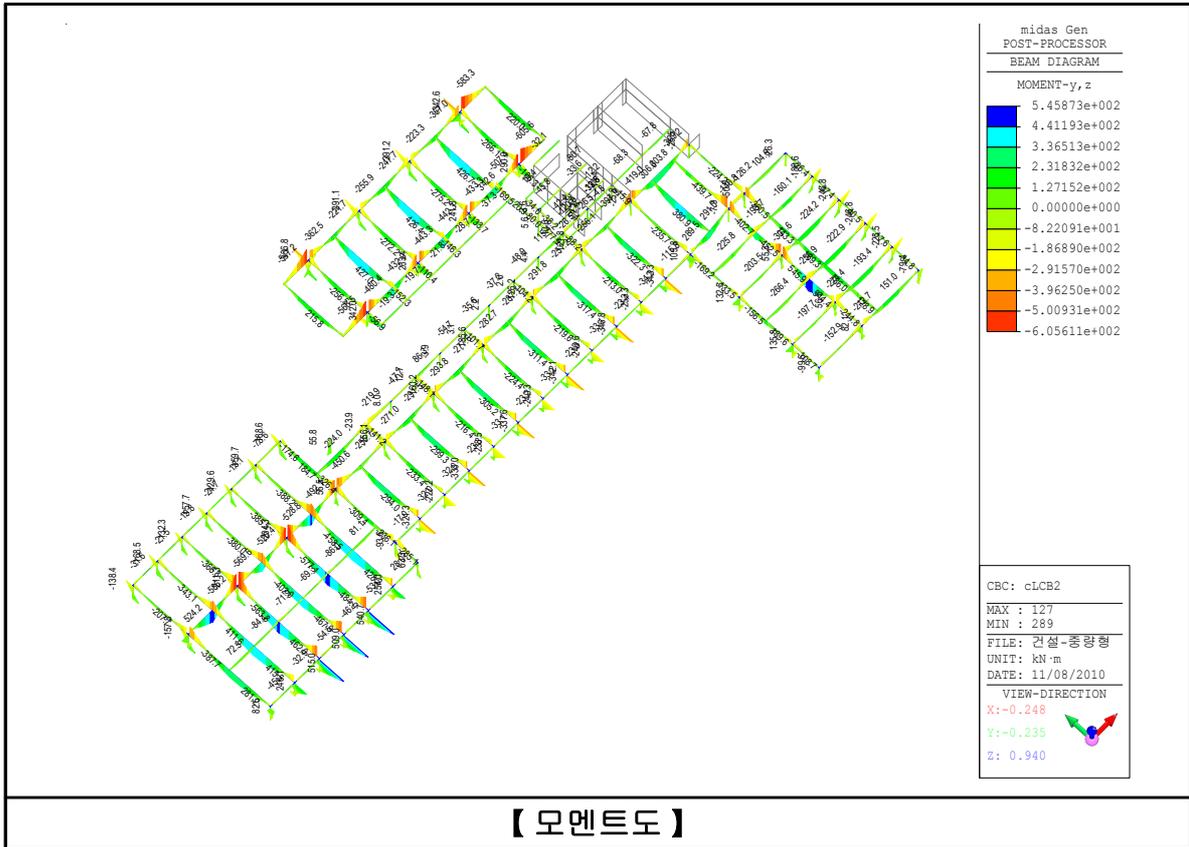
5.3.1 경량형 (녹화 120kg/m² + 사람 100kg/m²)



5.3.2 혼합형 (녹화 200kg/m² + 사람 200kg/m²)



5.3.3 중량형 (녹화 300kg/m² + 사람 200~300kg/m²)



5.4 구조안전성 검토

5.4.1 슬래브(경량형) 부재 검토

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S1})						THK : 120mm	
구 분		Short Span		Long Span		비 고	
		단 부	중 앙 부	단 부	중 앙 부		
배근상태		D10@200	D10@200	D10@300	D10@300		
부재강도(tf·m)		8.9	8.9	6.0	6.0		
소요강도(tf·m)		7.8	3.8	1.5	1.0		
Ratio	결과	0.88	O.K	0.43	O.K	0.25	O.K
전단검토(tf/m)		$V_U = 13.9 < \phi V_C = 55.0$				O.K	

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S2})						THK : 120mm	
구 분		Short Span		Long Span		비 고	
		단 부	중 앙 부	단 부	중 앙 부		
배근상태		D10@200	D10@200	D10+D13 @300	D10@300		
부재강도(tf·m)		8.9	8.9	8.2	6.0		
소요강도(tf·m)		8.0	3.9	1.1	0.8		
Ratio	결과	0.90	O.K	0.44	O.K	0.13	O.K
전단검토(tf/m)		$V_U = 14.2 < \phi V_C = 55.0$				O.K	

5.4.1 슬래브(경량형) 부재 검토

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(_R S ₃)										THK : 120mm	
구 분		Short Span				Long Span				비 고	
		단 부		중 앙 부		단 부		중 앙 부			
배근상태		D10+D13 @300		D10@300		D10@300		D10@300			
부재강도(tf·m)		8.2		6.0		6.0		6.0			
소요강도(tf·m)		3.7		1.8		1.0		0.4			
Ratio	결과	0.45	O.K	0.30	O.K	0.17	O.K	0.07	O.K		
전단검토(tf/m)		$V_U = 9.5 < \phi V_C = 55.0$				O.K					

◆ 지상5층(옥상) 바닥(_S S ₁)										THK : 135mm	
구 분		Short Span				Long Span				비 고	
		단 부		중 앙 부		단 부		중 앙 부			
배근상태		HD10+HD13 @200		HD10+HD13 @200		HD10@250		HD10@250			
부재강도(tf·m)		18.6		18.6		11.0		11.0			
소요강도(tf·m)		11.2		7.3		0.5		1.5			
Ratio	결과	0.60	O.K	0.39	O.K	0.05	O.K	0.14	O.K		
전단검토(tf/m)		$V_U = 17.2 < \phi V_C = 68.0$				O.K					

5.4.2 보(경량형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
RG3, RB1	모멘트	6-D22	346.7	0.76	8-D22	341.0	0.58	8-D22	409.4	0.69	
옥탑층	(kN·m)	458.3		O.K	592.7		O.K	592.7		O.K	
	전단력	D10@250	223.5	0.83	D10@300	140.5	0.56	D10@250	232.4	0.87	
400×800	(kN)	270.2		O.K	251.3		O.K	267.1		O.K	
RG4	모멘트	4-D22	122.8	0.45	4-D22	129.9	0.47	8-D22	271.5	0.53	
옥탑층	(kN·m)	275.4		O.K	275.4		O.K	509.4		O.K	
	전단력	D10@300	140.5	0.62	D10@300	163.7	0.72	D10@300	174.3	0.80	
400×700	(kN)	225.9		O.K	226.0		O.K	217.6		O.K	
RG5	모멘트	8-D22	413.4	0.70	8-D22	365.7	0.62				
옥탑층	(kN·m)	592.7		O.K	592.7		O.K				
	전단력	D10@200	277.9	0.95	D10@300	234.9	0.94				
400×800	(kN)	291.3		O.K	251.2		O.K				
RG6	모멘트	6-D22	328.7	0.43	4-D22	151.0	0.29				
옥탑층	(kN·m)	756.6		O.K	520.9		O.K				
	전단력	D10@300	186.2	0.46	D10@300	130.3	0.32				
400×1230	(kN)	408.3		O.K	413.7		O.K				
RG8	모멘트	4-D22	162.3	0.64	6-D22	133.9	0.37				
옥탑층	(kN·m)	254.9		O.K	364.4		O.K				
	전단력	D10@300	136.7	0.65	D10@300	81.4	0.40				
400×650	(kN)	210.0		O.K	204.4		O.K				
RG8'	모멘트	6-D22	216.4	0.59	6-D22	130.4	0.36				
옥탑층	(kN·m)	364.4		O.K	364.4		O.K				
	전단력	D10@250	147.3	0.68	D10@300	93.4	0.46				
400×650	(kN)	217.3		O.K	204.4		O.K				

5.4.2 보(경량형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
RG10, RB4	모멘트	4-D22	164.2	0.60	4-D22	153.3	0.56	6-D22	272.9	0.69	
옥탑층	(kN·m)	275.4		O.K	275.4		O.K	395.0		O.K	
	전단력	D10@300	145.7	0.65	D10@300	152.9	0.68	D10@300	190.8	0.87	
400×700	(kN)	226.0		O.K	225.9		O.K	220.3		O.K	
RG11,RB5	모멘트	4-D22	72.2	0.31	4-D22	88.1	0.38	6-D22	188.6	0.57	
옥탑층	(kN·m)	233.9		O.K	233.9		O.K	330.8		O.K	
	전단력	D10@300	80.8	0.42	D10@300	89.7	0.47	D10@300	122.9	0.66	
400×600	(kN)	192.3		O.K	192.4		O.K	186.8		O.K	
RG12	모멘트	8-D22	339.9	0.26	6-D22	410.8	0.42				
옥탑층	(kN·m)	1296.7		O.K	985.4		O.K				
	전단력	D10@250	284.3	0.51	D10@300	219.8	0.42				
400×1560	(kN)	557.4		O.K	527.1		O.K				
RB2	모멘트	3-D16	59.8	0.91	3-D16	56.3	0.86				
옥탑층	(kN·m)	65.5		O.K	65.5		O.K				
	전단력	D10@300	58.9	0.57	D10@300	48.7	0.47				
250×450	(kN)	103.2		O.K	103.2		O.K				
RB3	모멘트	4-D22	222.4	0.87	8-D22	265.7	0.57				
옥탑층	(kN·m)	254.9		O.K	468.7		O.K				
	전단력	D10@300	166.6	0.79	D10@300	106.1	0.53				
400×650	(kN)	209.8		O.K	201.3		O.K				
RB6	모멘트	4-D16	266.2	0.76	4-D16	137.9	0.40				
옥탑층	(kN·m)	348.3		O.K	348.3		O.K				
	전단력	D10@300	150.9	0.42	D10@300	102.5	0.28				
210×1590	(kN)	362.0		O.K	362.1		O.K				

5.4.2 보(경량형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고	
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과		
5G1	모멘트	6-HD22	181.5	0.35	5-HD22	137.2	0.32					
지상5층	(kN·m)	518.6		O.K	432.9		O.K					
(증축부분)	전단력	HD10@200	151.8	0.54	HD10@300	88.4	0.38					
350×700	(kN)	281.1		O.K	232.7		O.K					
5G3	모멘트	8-HD22	357.0	0.53	8-HD22	248.3	0.37					
지상5층	(kN·m)	667.8		O.K	667.8		O.K					
(증축부분)	전단력	HD10@150	233.1	0.72	HD10@150	183.2	0.57					
350×700	(kN)	323.8		O.K	323.7		O.K					
5B1	모멘트	7-HD22	221.8	0.37	7-HD22	275.9	0.47	4-HD22	161.9	0.45		
지상5층	(kN·m)	592.0		O.K	592.0		O.K	361.3		O.K		
(증축부분)	전단력	HD10@200	133.5	0.48	HD10@300	114.7	0.49	HD10@200	173.9	0.60		
350×700	(kN)	278.7		O.K	232.2		O.K	288.0		O.K		
5B1A	모멘트	4-HD22	159.7	0.44	8-HD22	276.9	0.41					
지상5층	(kN·m)	362.0		O.K	672.9		O.K					
(증축부분)	전단력	HD10@200	173.7	0.60	HD10@300	114.4	0.50					
350×700	(kN)	288.0		O.K	231.2		O.K					
5B2	모멘트	3-HD22	112.5	0.60	8-HD22	14.9	0.03	8-HD22	65.5	0.15		
지상5층	(kN·m)	187.7		O.K	434.1		O.K	434.1		O.K		
(증축부분)	전단력	HD10@150	77.6	0.33	HD10@150	49.8	0.21	HD10@150	58.6	0.27		
350×500	(kN)	233.2		O.K	232.6		O.K	220.5		O.K		
5B3	모멘트	3-HD22	67.1	0.24	7-HD22	152.4	0.26					
지상5층	(kN·m)	277.5		O.K	592.0		O.K					
(증축부분)	전단력	HD10@200	95.2	0.34	HD10@300	57.5	0.25					
350×700	(kN)	280.8		O.K	232.8		O.K					

5.4.3 기둥(경량형) 부재 검토

NAME (위 치)	부재크기 (mm)	배근상태 (주근&대근)	층고 (m)	Pu(tf)	Mcy(tf·m)	Mcz(tf·m)	Vu(tf)	판 정
				∅Pu(tf) Ratio	∅Mcy(tf·m) Ratio	∅Mcz(tf·m) Ratio	∅Vn(tf) Ratio	
5C1, 5C2, 5C4, 5C4'	500×400	10-D19 & D10@300	3.8	446.2	91.4	119.8	77.1	O.K
				637.5	127.0	172.0	190.8	
				0.70	0.72	0.70	0.40	
5C3	400×700	18-D22 & D10@300	3.8	229.6	31.0	183.5	78.0	O.K
				418.2	58.4	335.0	187.1	
				0.55	0.53	0.55	0.42	
5C5	400×700	12-D19 & D10@300	3.8	185.7	237.1	7.4	100.9	O.K
				305.9	390.2	12.2	233.2	
				0.61	0.61	0.61	0.43	
5C6	400×400	10-D19 & D10@300	3.8	816.9	43.0	22.1	21.4	O.K
				2,067.4	107.3	54.5	143.6	
				0.40	0.40	0.40	0.15	
5C8	600×600	12-D19 & D10@300	3.8	199.3	180.1	21.7	73.9	O.K
				379.9	348.5	42.7	265.7	
				0.52	0.52	0.51	0.28	
5C9	7500×600	14-D19 & D10@300	3.8	283.4	45.9	387.2	136.9	O.K
				378.6	58.3	509.9	341.3	
				0.75	0.79	0.76	0.40	
4C1 (중축 부분)	700×500	16-HD22 & HD10@300	3.8	468.1	149.9	226.6	100.7	O.K
				1,138.1	366.7	555.5	324.6	
				0.41	0.41	0.41	0.31	
4~5C2 (중축 부분)	∅400	8-HD22 & HD10@300	3.8	225.0	6.1	6.1	3.3	O.K
				2,289.6	61.3	61.3	282.2	
				0.10	0.10	0.10	0.01	

5.4.4 슬래브(혼합형) 부재 검토

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S1})						THK : 120mm				
구 분	Short Span			Long Span			비 고			
	단 부	중 앙 부		단 부	중 앙 부					
배근상태	D10@200	D10@200		D10@300	D10@300					
부재강도(tf·m)	8.9	8.9		6.0	6.0					
소요강도(tf·m)	9.8	4.9		1.9	1.5					
Ratio	결과	1.10	SAY O.K	0.55	O.K	0.32		O.K	0.25	O.K
전단검토(tf/m)	$V_U = 17.5 < \phi V_C = 54.1$ O.K									

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S2})						THK : 120mm				
구 분	Short Span			Long Span			비 고			
	단 부	중 앙 부		단 부	중 앙 부					
배근상태	D10@200	D10@200		D10+D13 @300	D10@300					
부재강도(tf·m)	8.9	8.9		8.2	6.0					
소요강도(tf·m)	8.9 =(10.1-1.2)	6.5 =(5.3+1.2)		1.4	1.2					
Ratio	결과	1.00	SAY O.K	0.73	O.K	0.17		O.K	0.20	O.K
전단검토(tf/m)	$V_U = 18.0 < \phi V_C = 54.1$ O.K									

5.4.4 슬래브(혼합형) 부재 검토

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S3})						THK : 120mm	
구 분	Short Span			Long Span			비 고
	단 부	중 앙 부		단 부	중 앙 부		
배근상태	D10+D13 @300		D10@300	D10@300		D10@300	
부재강도(tf·m)	8.2		6.0	6.0		6.0	
소요강도(tf·m)	4.8		2.5	1.3		0.6	
Ratio	결과	0.59	O.K	0.42	O.K	0.22	O.K
전단검토(tf/m)	$V_U = 12.1 < \phi V_C = 55.0$						O.K

◆ 지상5층(옥상) 바닥(S_1)						THK : 135mm	
구 분	Short Span			Long Span			비 고
	단 부	중 앙 부		단 부	중 앙 부		
배근상태	HD10+HD13 @200		HD10+HD13 @200	HD10@250		HD10@250	
부재강도(tf·m)	18.6		18.6	11.0		11.0	
소요강도(tf·m)	13.8		9.3	0.7		2.0	
Ratio	결과	0.74	O.K	0.50	O.K	0.06	O.K
전단검토(tf/m)	$V_U = 21.3 < \phi V_C = 68.0$						O.K

5.4.5 보(혼합형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
RG3, RB1	모멘트	6-D22	408.9	0.89	8-D22	402.2	0.68	8-D22	486.1	0.82	
옥탑층	(kN·m)	458.3		O.K	592.7		O.K	592.7		O.K	
	전단력	D10@250	263.3	0.98	D10@300	166.1	0.66	D10@250	274.2	1.03	
400×800	(kN)	270.1		O.K	251.3		O.K	267.2		SAY O.K	
RG4	모멘트	4-D22	146.7	0.53	4-D22	155.2	0.56	8-D22	324.0	0.64	
옥탑층	(kN·m)	275.4		O.K	275.4		O.K	509.4		O.K	
	전단력	D10@300	168.5	0.75	D10@300	193.9	0.86	D10@300	205.5	0.95	
400×700	(kN)	226.1		O.K	226.0		O.K	217.5		O.K	
RG5	모멘트	8-D22	492.9	0.83	8-D22	444.6	0.75				옥상 녹화 불가
옥탑층	(kN·m)	592.7		O.K	592.7		O.K				
	전단력	D10@200	333.2	1.15	D10@300	282.4	1.13				
400×800	(kN)	291.0		N.G	251.0		N.G				
RG6	모멘트	6-D22	382.7	0.51	4-D22	174.1	0.33				
옥탑층	(kN·m)	756.6		O.K	520.9		O.K				
	전단력	D10@300	211.7	0.52	D10@300	150.6	0.36				
400×1230	(kN)	408.7		O.K	413.6		O.K				
RG8	모멘트	4-D22	195.4	0.77	6-D22	162.9	0.45				
옥탑층	(kN·m)	254.9		O.K	364.4		O.K				
	전단력	D10@300	164.1	0.78	D10@300	98.7	0.48				
400×650	(kN)	209.8		O.K	204.3		O.K				
RG8'	모멘트	6-D22	259.6	0.71	6-D22	158.3	0.43				
옥탑층	(kN·m)	364.4		O.K	364.4		O.K				
	전단력	D10@250	176.1	0.81	D10@300	112.1	0.55				
400×650	(kN)	217.2		O.K	204.3		O.K				

5.4.5 보(혼합형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
RG10, RB4	모멘트	4-D22	190.6	0.69	4-D22	176.2	0.64	6-D22	326.1	0.83	
옥탑층	(kN-m)	275.4		O.K	275.4		O.K	395.0		O.K	
	전단력	D10@300	170.8	0.76	D10@300	175.7	0.78	D10@300	217.8	0.99	
400×700	(kN)	225.9		O.K	226.1		O.K	220.2		O.K	
RG11,RB5	모멘트	4-D22	88.6	0.38	4-D22	108.0	0.46	6-D22	224.2	0.68	
옥탑층	(kN-m)	233.9		O.K	233.9		O.K	330.8		O.K	
	전단력	D10@300	98.4	0.51	D10@300	108.7	0.57	D10@300	146.9	0.79	
400×600	(kN)	192.5		O.K	192.4		O.K	186.7		O.K	
RG12	모멘트	8-D22	389.9	0.30	6-D22	468.1	0.48				
옥탑층	(kN-m)	1296.7		O.K	985.4		O.K				
	전단력	D10@250	317.2	0.57	D10@300	248.4	0.47				
400×1560	(kN)	557.4		O.K	526.3		O.K				
RB2	모멘트	3-D16	72.0	1.10	3-D16	67.9	1.04				
옥탑층	(kN-m)	65.5		SAY O.K	65.5		SAY O.K				
	전단력	D10@300	71.1	0.69	D10@300	59.2	0.57				
250×450	(kN)	103.3		O.K	103.3		O.K				
RB3	모멘트	4-D22	269.3	1.06	8-D22	319.3	0.68				
옥탑층	(kN-m)	254.9		SAY O.K	468.7		O.K				
	전단력	D10@300	200.8	0.96	D10@300	128.8	0.64				
400×650	(kN)	209.8		O.K	201.3		O.K				
RB6	모멘트	4-D16	307.4	0.88	4-D16	158.7	0.46				
옥탑층	(kN-m)	348.3		O.K	348.3		O.K				
	전단력	D10@300	172.3	0.48	D10@300	117.2	0.32				
210×1590	(kN)	362.1		O.K	362.8		O.K				

5.4.5 보(혼합형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
5G1	모멘트	6-HD22	210.6	0.41	5-HD22	160.6	0.37				
지상5층	(kN·m)	518.6		O.K	432.9		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@200	176.3	0.63	HD10@300	103.4	0.44				
350×700	(kN)	280.7		O.K	233.0		O.K				
5G3	모멘트	8-HD22	398.8	0.60	8-HD22	283.0	0.42				
지상5층	(kN·m)	667.8		O.K	667.8		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@150	264.6	0.82	HD10@150	207.8	0.64				
350×700	(kN)	323.4		O.K	323.2		O.K				
5B1	모멘트	7-HD22	260.0	0.44	7-HD22	324.3	0.55	4-HD22	187.0	0.52	
지상5층	(kN·m)	592.0		O.K	592.0		O.K	361.3		O.K	
(증축부분)	전단력	HD10@200	154.9	0.56	HD10@300	134.3	0.58	HD10@200	201.5	0.70	
350×700	(kN)	279.0		O.K	232.4		O.K	287.9		O.K	
5B1A	모멘트	4-HD22	185.7	0.51	8-HD22	324.6	0.48				
지상5층	(kN·m)	362.0		O.K	672.9		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@200	201.4	0.70	HD10@300	134.1	0.58				
350×700	(kN)	288.1		O.K	231.3		O.K				
5B2	모멘트	3-HD22	130.1	0.69	8-HD22	16.5	0.04	8-HD22	70.4	0.16	
지상5층	(kN·m)	187.7		O.K	434.1		O.K	434.1		O.K	
(증축부분)	전단력	HD10@150	88.7	0.38	HD10@150	57.3	0.25	HD10@150	63.1	0.29	
350×500	(kN)	232.7		O.K	232.9		O.K	220.5		O.K	
5B3	모멘트	3-HD22	74.8	0.27	7-HD22	171.8	0.29				
지상5층	(kN·m)	277.5		O.K	592.0		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@200	105.5	0.38	HD10@300	64.9	0.28				
350×700	(kN)	281.3		O.K	232.8		O.K				

5.4.6 기둥(혼합형) 부재 검토

NAME (위 치)	부재크기 (mm)	배근상태 (주근&대근)	층고 (m)	Pu(tf)	Mcy(tf·m)	Mcz(tf·m)	Vu(tf)	판 정
				∅Pu(tf) Ratio	∅Mcy(tf·m) Ratio	∅Mcz(tf·m) Ratio	∅Vn(tf) Ratio	
5C1, 5C2, 5C4, 5C4'	500×400	10-D19 & D10@300	3.8	540.2	109.7	135.7	78.6	O.K
				653.7	130.2	168.3	164.7	
				0.83	0.84	0.81	0.48	
5C3	400×700	18-D22 & D10@300	3.8	266.5	36.5	216.9	92.1	O.K
				403.5	58.1	333.7	188.4	
				0.66	0.63	0.65	0.49	
5C5	400×700	12-D19 & D10@300	3.8	220.0	286.9	8.9	122.1	O.K
				290.2	386.0	12.2	234.5	
				0.76	0.74	0.73	0.52	
5C6	400×400	10-D19 & D10@300	3.8	922.8	47.9	24.9	24.1	O.K
				2,069.8	106.7	55.2	146.6	
				0.45	0.45	0.45	0.16	
5C8	600×600	12-D19 & D10@300	3.8	230.0	209.6	25.9	85.9	O.K
				374.0	347.1	43.8	266.9	
				0.62	0.60	0.59	0.32	
5C9	7500×600	14-D19 & D10@300	3.8	330.1	54.1	456.7	161.1	O.K
				354.9	58.6	502.8	343.2	
				0.93	0.92	0.91	0.47	
4C1 (증축 부분)	700×500	16-HD22 & HD10@300	3.8	520.0	155.5	262.7	116.8	O.K
				1,149.6	353.1	574.7	326.8	
				0.45	0.44	0.46	0.36	
4~5C2 (증축 부분)	∅400	8-HD22 & HD10@300	3.8	229.2	6.2	6.2	2.7	O.K
				2,289.6	61.3	61.3	282.2	
				0.10	0.10	0.10	0.01	

5.4.7 슬래브(중량형) 부재 검토

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S1})						THK : 120mm				
구 분		Short Span				Long Span				비 고
		단 부		중 앙 부		단 부		중 앙 부		
배근상태		D10@200		D10@200		D10@300		D10@300		
부재강도(tf·m)		8.9		8.9		6.0		6.0		
소요강도(tf·m)		8.9 (12.1-3.2)		9.4 =(6.2+3.2)		2.1		1.6		
Ratio	결과	1.00	SAY O.K	1.06	SAY O.K	0.35	O.K	0.27	O.K	
전단검토(tf/m)		$V_U = 21.6 < \phi V_C = 54.1$				O.K				

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(R_{S2})						THK : 120mm				
구 분		Short Span				Long Span				비 고
		단 부		중 앙 부		단 부		중 앙 부		
배근상태		D10@200		D10@200		D10+D13 @300		D10@300		옥상 녹화 불가
부재강도(tf·m)		8.9		8.9		8.2		6.0		
소요강도(tf·m)		8.9 =(12.5-3.6)		10.3 =(6.7+3.6)		1.5		1.3		
Ratio	결과	1.00	SAY O.K	1.16	N.G	0.18	O.K	0.22	O.K	
전단검토(tf/m)		$V_U = 21.6 < \phi V_C = 54.1$				O.K				

5.4.7 슬래브(중량형) 부재 검토

◆ 옥탑층(옥상) 바닥(_R S ₃)										THK : 120mm	
구 분		Short Span				Long Span				비 고	
		단 부		중 앙 부		단 부		중 앙 부			
배근상태		D10+D13 @300		D10@300		D10@300		D10@300			
부재강도(tf·m)		8.2		6.0		6.0		6.0			
소요강도(tf·m)		5.9		3.2		1.6		0.7			
Ratio	결과	0.72	O.K	0.53	O.K	0.27	O.K	0.12	O.K		
전단검토(tf/m)		$V_U = 14.9 < \phi V_C = 55.0$				O.K					

◆ 지상5층(옥상) 바닥(_S S ₁)										THK : 135mm	
구 분		Short Span				Long Span				비 고	
		단 부		중 앙 부		단 부		중 앙 부			
배근상태		HD10+HD13 @200		HD10+HD13 @200		HD10@250		HD10@250			
부재강도(tf·m)		18.6		18.6		11.0		11.0			
소요강도(tf·m)		16.7		11.4		0.8		2.5			
Ratio	결과	0.90	O.K	0.61	O.K	0.07	O.K	0.23	O.K		
전단검토(tf/m)		$V_U = 25.7 < \phi V_C = 67.0$				O.K					

5.4.8 보(중량형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
RG3, RB1	모멘트	6-D22	484.0	1.06	8-D22	476.2	0.80	8-D22	577.1	0.97	
옥탑층	(kN-m)	458.3		SAY O.K	592.7		O.K	592.7		O.K	
	전단력	D10@250	311.6	1.15	D10@300	196.9	0.78	D10@250	324.6	1.22	
400×800	(kN)	271.0		N.G	251.1		O.K	267.2		N.G	
RG4	모멘트	4-D22	174.6	0.63	4-D22	184.7	0.67	8-D22	385.5	0.76	육상 녹화 불가
옥탑층	(kN-m)	275.4		O.K	275.4		O.K	509.4		O.K	
	전단력	D10@300	200.8	0.89	D10@300	230.0	1.02	D10@300	243.3	1.12	
400×700	(kN)	225.9		O.K	225.9		SAY O.K	217.4		N.G	
RG5	모멘트	8-D22	586.2	0.99	8-D22	532.8	0.90				육상 녹화 불가
옥탑층	(kN-m)	592.7		O.K	592.7		O.K				
	전단력	D10@200	397.2	1.37	D10@300	337.0	1.34				
400×800	(kN)	291.0		N.G	251.1		N.G				
RG6	모멘트	6-D22	450.6	0.60	4-D22	204.2	0.39				
옥탑층	(kN-m)	756.6		O.K	520.9		O.K				
	전단력	D10@300	246.8	0.60	D10@300	176.7	0.43				
400×1230	(kN)	408.6		O.K	413.8		O.K				
RG8	모멘트	4-D22	233.4	0.92	6-D22	195.2	0.54				
옥탑층	(kN-m)	254.9		O.K	364.4		O.K				
	전단력	D10@300	195.7	0.93	D10@300	118.2	0.58				
400×650	(kN)	209.9		O.K	204.1		O.K				
RG8'	모멘트	6-D22	309.4	0.85	6-D22	189.7	0.52				
옥탑층	(kN-m)	364.4		O.K	364.4		O.K				
	전단력	D10@250	209.7	0.97	D10@300	133.7	0.66				
400×650	(kN)	217.3		O.K	204.1		O.K				

5.4.8 보(중량형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
RG10, RB4	모멘트	4-D22	224.2	0.81	4-D22	207.1	0.75	6-D22	388.2	0.98	육상 녹화 불가
옥탑층	(kN-m)	275.4		O.K	275.4		O.K	395.0		O.K	
	전단력	D10@300	201.6	0.89	D10@300	205.7	0.91	D10@300	254.3	1.15	
400×700	(kN)	226.0		O.K	226.1		O.K	221.1	O.K	N.G	
RG11,RB5	모멘트	4-D22	106.6	0.46	4-D22	130.0	0.56	6-D22	266.4	0.81	
옥탑층	(kN-m)	233.9		O.K	233.9		O.K	330.8		O.K	
	전단력	D10@300	118.0	0.61	D10@300	130.1	0.67	D10@300	174.8	0.94	
400×600	(kN)	192.4		O.K	193.0		O.K	186.7	O.K		
RG12	모멘트	8-D22	452.5	0.35	6-D22	545.9	0.55				
옥탑층	(kN-m)	1296.7		O.K	985.4		O.K				
	전단력	D10@250	366.8	0.66	D10@300	289.0	0.55				
400×1560	(kN)	557.5		O.K	526.4		O.K				
RB2	모멘트	3-D16	86.0	1.31	3-D16	81.1	1.24				육상 녹화 불가
옥탑층	(kN-m)	65.5		N.G	65.5		N.G				
	전단력	D10@300	85.0	0.82	D10@300	70.9	0.69				
250×450	(kN)	103.2		O.K	103.2		O.K				
RB3	모멘트	4-D22	322.4	1.26	8-D22	380.9	0.81				육상 녹화 불가
옥탑층	(kN-m)	254.9		N.G	468.7		O.K				
	전단력	D10@300	239.8	1.14	D10@300	154.3	0.77				
400×650	(kN)	210.3		N.G	201.3		O.K				
RB6	모멘트	4-D16	360.5	1.04	4-D16	186.0	0.53				
옥탑층	(kN-m)	348.3		SAY O.K	348.3		O.K				
	전단력	D10@300	201.4	0.56	D10@300	137.0	0.38				
210×1590	(kN)	362.1		O.K	362.4		O.K				

5.4.8 보(중량형) 부재 검토

NAME		내단부&양단부			중앙부&전단면			외단부			비 고
부재명 위 치 크기(mm)	구 분	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	배근상태 부재강도	소요 강도	Ratio 결과	
5G1	모멘트	6-HD22	275.2	0.53	5-HD22	210.9	0.49				
지상5층	(kN·m)	518.6		O.K	432.9		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@200	230.4	0.82	HD10@300	135.8	0.58				
350×700	(kN)	281.0		O.K	232.9		O.K				
5G3	모멘트	8-HD22	507.5	0.76	8-HD22	365.0	0.55				목상 녹화 불가
지상5층	(kN·m)	667.8		O.K	667.8		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@150	340.2	1.05	HD10@150	267.0	0.83				
350×700	(kN)	323.3		N.G	323.3		O.K				
5B1	모멘트	7-HD22	341.6	0.58	7-HD22	427.0	0.72	4-HD22	243.4	0.67	
지상5층	(kN·m)	592.0		O.K	592.0		O.K	361.3		O.K	
(증축부분)	전단력	HD10@200	202.2	0.73	HD10@300	176.4	0.76	HD10@200	262.9	0.91	
350×700	(kN)	278.8		O.K	232.4		O.K	287.9		O.K	
5B1A	모멘트	4-HD22	242.8	0.67	8-HD22	426.7	0.63				
지상5층	(kN·m)	362.0		O.K	672.9		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@200	262.8	0.91	HD10@300	176.3	0.76				
350×700	(kN)	287.8		O.K	231.0		O.K				
5B2	모멘트	3-HD22	169.5	0.90	8-HD22	20.9	0.05	8-HD22	80.0	0.18	
지상5층	(kN·m)	187.7		O.K	434.1		O.K	434.1		O.K	
(증축부분)	전단력	HD10@150	114.4	0.49	HD10@150	74.3	0.32	HD10@150	71.5	0.32	
350×500	(kN)	233.0		O.K	232.8		O.K	220.7		O.K	
5B3	모멘트	3-HD22	95.1	0.34	7-HD22	220.0	0.37				
지상5층	(kN·m)	277.5		O.K	592.0		O.K				
(증축부분)	전단력	HD10@200	133.4	0.48	HD10@300	83.2	0.36				
350×700	(kN)	280.8		O.K	232.5		O.K				

5.4.9 기둥(중량형) 부재 검토

NAME (위 치)	부재크기 (mm)	배근상태 (주근&대근)	층고 (m)	Pu(tf)	Mcy(tf·m)	Mcz(tf·m)	Vu(tf)	판 정
				∅Pu(tf) Ratio	∅Mcy(tf·m) Ratio	∅Mcz(tf·m) Ratio	∅Vn(tf) Ratio	
5C1, 5C2, 5C4, 5C4'	500×400	10-D19 & D10@300	3.8	646.4	130.9	157.8	93.6	O.K
				684.4	132.4	167.0	166.3	
				0.94	0.99	0.95	0.56	
5C3	400×700	18-D22 & D10@300	3.8	313.5	43.0	257.0	109.2	O.K
				404.6	57.7	333.9	190.1	
				0.77	0.74	0.77	0.57	
5C5	400×700	12-D19 & D10@300	3.8	261.0	343.3	10.5	146.1	O.K
				291.0	386.2	12.2	236.1	
				0.90	0.89	0.86	0.62	
5C6	400×400	10-D19 & D10@300	3.8	1,073.5	55.3	29.0	27.9	O.K
				2,071.2	106.3	55.6	150.8	
				0.52	0.52	0.52	0.19	
5C8	600×600	12-D19 & D10@300	3.8	270.0	246.8	30.4	101.1	O.K
				374.6	347.2	43.7	268.4	
				0.72	0.71	0.70	0.38	
5C9	7500×600	14-D19 & D10@300	3.8	388.8	63.9	540.7	190.6	SAY O.K
				356.4	58.4	503.3	345.6	
				1.09	1.09	1.07	0.55	
4C1 (증축 부분)	700×500	16-HD22 & HD10@300	3.8	659.0	186.7	342.6	152.3	O.K
				1,177.7	330.0	607.3	332.7	
				0.56	0.57	0.56	0.46	
4~5C2 (증축 부분)	∅400	8-HD22 & HD10@300	3.8	237.5	6.4	6.4	3.1	O.K
				2,289.6	61.3	61.3	287.7	
				0.10	0.10	0.10	0.01	

5.5 구조안전성 검토 결과

본 진단 대상 건물의 시공상태는 설계도면에 준하여 시공되어 있으므로 도면을 기준으로 추가하중(1안 : 경량형, 2안 : 혼합형, 3안 : 중량형)에 대하여 구조해석 및 부재 내력에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

5.5.1 구조안전성 검토

1) 경량형(녹화 120kg/㎡ + 사람 100kg/㎡) : 옥탑층 및 지상5층 가능

부 재 종 류		검 토 결 과	비 고
옥탑층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 확보함	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K
지상5층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 확보함	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K

2) 혼합형(녹화 200kg/㎡ + 사람 200kg/㎡) : 옥탑층 일부(X6-X12/Y1-Y8) 가능,
지상5층 가능

부 재 종 류		검 토 결 과	비 고
옥탑층	슬래브	- 내력 확보함(모멘트 재분배 후 내력 확보함)	O.K
	보	- 내력 부족함(15%)	N.G
	기둥	- 내력 확보함	O.K
지상4층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 확보함	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K

3) 중량형(녹화 300kg/㎡ + 사람 200~300kg/㎡) : 옥탑층 및 지상5층 불가능

부 재 종 류		검 토 결 과	비 고
옥탑층	슬래브	- 내력 부족함(16%)	O.K
	보	- 내력 부족함(37%)	N.G
	기둥	- 내력 확보함	O.K
지상4층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 부족함(5%)	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K

제6장 종합정리

6.1 일반사항

6.2 주요 구조부재 외관조사

6.3 주요 구조부재 비파괴조사

6.4 구조안전성 검토

6.5 옥상녹화 유형 제안

제6장 종합정리

6.1 종합정리

본 안전진단 대상인 “서울시립대 건설공학관” 건물은 철근콘크리트 구조물로서 구조물에 대한 외관조사, 내구성조사, 변위·변형조사, 구조안전성 평가를 통한 종합평가를 실시하였으며 이를 정리하면 다음과 같다.

6.2 주요 구조부재 외관조사

구 분	내 용
건물 내·외부	<ul style="list-style-type: none"> - 건물 주변바닥 조사결과 부등침하 등의 특이할 만한 현상은 조사되지 않았고, 건물 외부는 설계·시공 당시와 동일하게 마감된 상태이며, 외벽에서 균열 및 마감재 탈락, 파손 등이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다. 건물 내부에서는 특이할 만한 성능저하 현상은 조사되지 않았다.
구조부재	<ul style="list-style-type: none"> - 구조부재 조사는 천정 마감재를 열고 조사하였고, 옥탑층 바닥 슬래브는 스티로폼으로 단열되어 있으며, 누수흔적은 조사되지 않았다. - 지상5층 바닥 슬래브 및 보 구조부재에서 0.1~0.2mm의 미세균열이 발견되었다. 이에 대하여 적절한 보수를 실시하면 옥상녹화에는 특별한 문제는 없는 것으로 판단된다.
옥탑층 및 지상5층 바닥 (옥상녹화 부분)	<ul style="list-style-type: none"> - 옥상녹화 검토 부분에는 에어컨 실외기 제외하고 옥상녹화 조성시 영향을 주는 지장물은 없으며, 현재 옥상 바닥은 마감몰탈로 마감되어 있고, 옥상 바닥 몰탈마감 및 난간에서 균열이 발견되었다. 이에 대하여 적절한 보수를 실시하면 옥상녹화에는 특별한 문제는 없는 것으로 판단된다.

가. 외관조사 현황

1. 옥탑층 난간 부재결함 현황



사용경년에 따른 노후화와 건조수축 및 온도변화에 따른 균열이 발견되었으며, 건물의 유지관리상 보수를 실시한다.

2. 옥탑층 바닥 부재결함 현황



사용경년에 따른 노후화와 건조수축 및 온도변화에 따른 균열이 발견되었으며, 건물의 유지관리상 보수를 실시한다.

3. 지상5층 바닥 슬래브 및 보 부재결함 현황



사용경년에 따른 노후화와 건조수축 및 온도변화에 따른 슬래브 및 보에서 미세균열이 발견되었으며, 건물의 유지관리상 보수를 실시한다.

6.3 주요 구조부재 비파괴 조사

조 사 항 목		조 사 내 용	비 고
비 파 괴 시 험	콘크리트 구조체 제원조사	<ul style="list-style-type: none"> 설계도면과 비교 검토한 결과 대체로 일치한 것으로 조사되었다. 	<ul style="list-style-type: none"> 줄자 레이저 거리 측정기
	콘크리트 압축강도	<ul style="list-style-type: none"> 평균 압축강도는 25.72MPa로 조사되어 콘크리트 압축강도는 대체로 양호한 것으로 판단되며 구조검토 시 설계기준 강도 24MPa를 적용하였다. 	<ul style="list-style-type: none"> 슈미트 햄머(NR형)
	철근배근 및 피복두께 조사	<ul style="list-style-type: none"> 구조설계도면과 비교 검토한 결과 대체로 일치한 것으로 조사 되었다. 	<ul style="list-style-type: none"> 철근배근탐사 (PROFOMETER-5)
	콘크리트 중성화 시험	<ul style="list-style-type: none"> 중성화 깊이 평균은 0.20cm로 조사되었다. 경과년수를 고려할 때 중성화 진행속도가 양호한 것으로 판단된다. 	<ul style="list-style-type: none"> 드릴 페놀프타레인 용액
변위·변형 조사		<ul style="list-style-type: none"> 보 변위를 조사한 결과 처짐량은 1.5mm ~ 2.5mm로 조사되어 양호한 것으로 판단된다. 	<ul style="list-style-type: none"> 레이저레벨

6.4 구조안전성 검토

본 진단 대상 건물의 시공상태는 설계도면에 준하여 시공되어 있으므로 도면을 기준으로 추가하중(1안 : 경량형, 2안 : 혼합형, 3안 : 중량형)에 대하여 구조해석 및 부재 내력에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

가. 본관 구조안전성 검토

1) 경량형(녹화 120kg/m² + 사람 100kg/m²) : 옥탑층 및 지상5층 가능

부재종류		검토결과	비고
옥탑층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 확보함	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K
지상5층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 확보함	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K

2) 혼합형(녹화 200kg/m² + 사람 200kg/m²) : 옥탑층 일부(X6-X12/Y1-Y8) 가능,
지상4층 가능

부재종류		검토결과	비고
옥탑층	슬래브	- 내력 확보함(모멘트 재분후 내력 확보함)	O.K
	보	- 내력 부족함(15%)	N.G
	기둥	- 내력 확보함	O.K
지상4층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 확보함	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K

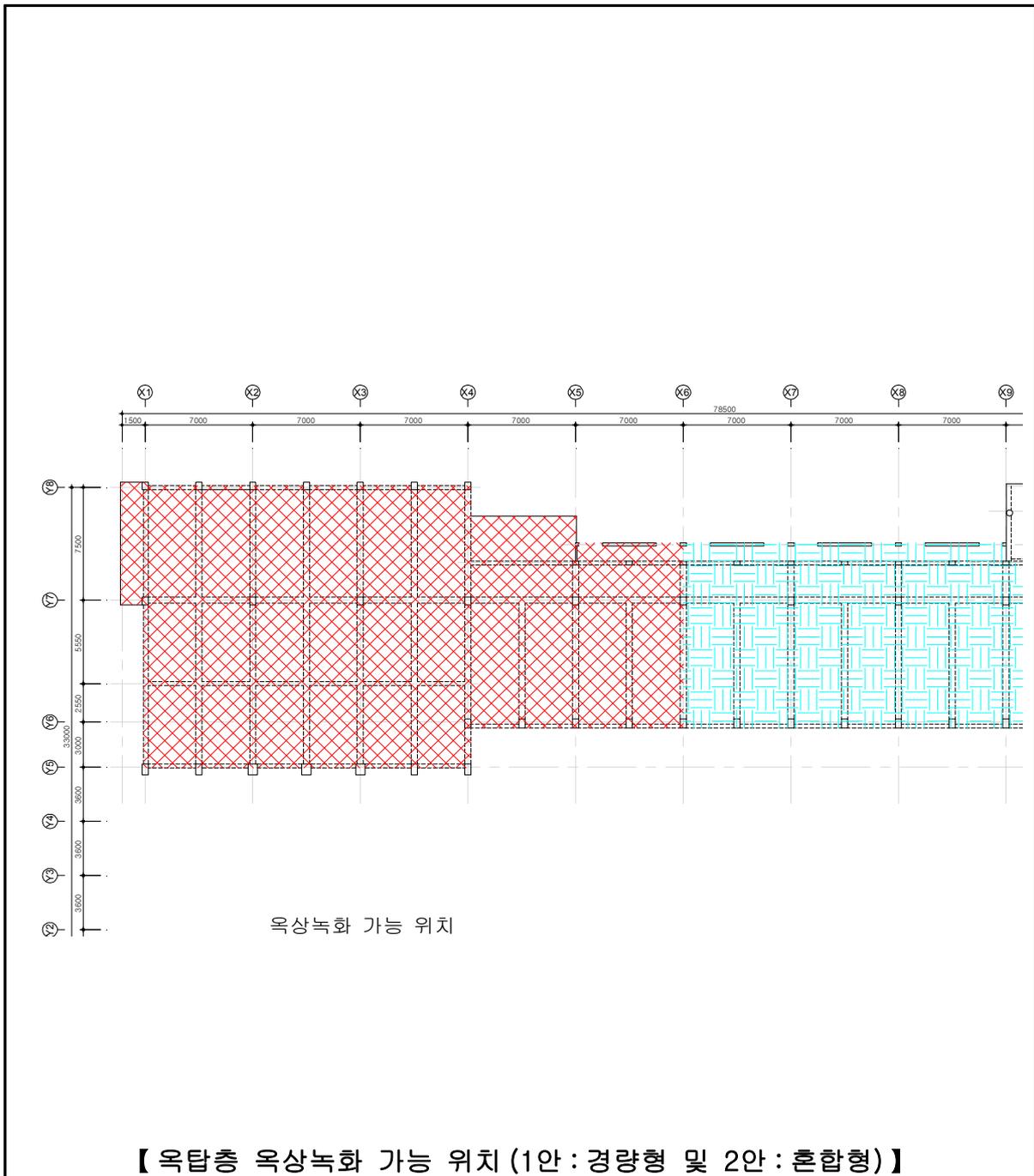
3) 중량형(녹화 300kg/m² + 사람 200~300kg/m²) : 옥탑층 불가능, 지상4층 가능

부재종류		검토결과	비고
옥탑층	슬래브	- 내력 부족함(16%)	O.K
	보	- 내력 부족함(37%)	N.G
	기둥	- 내력 확보함	O.K
지상4층	슬래브	- 내력 확보함	O.K
	보	- 내력 부족함(5%)	O.K
	기둥	- 내력 확보함	O.K

6.5 옥상녹화 유형 제안

가. 옥탑층 옥상녹화 유형 제안

- 추가하중(1안: 경량형, 2안: 혼합형, 3안: 중량형)에 대한 구조안전성 검토결과, 옥상 녹화는 1안(경량형: 녹화 120kg/㎡ + 사람 100kg/㎡) 및 2안(혼합형: 녹화 200kg/㎡ + 사람 200kg/㎡)에 대하여 적용이 가능하며, 3안은 구조내력이 부족하여 불가능한 것으로 판단된다. 다만, 옥상녹화 공사 중에도 과하중 또는 집중하중이 제안한 1안 및 2안 하중을 초과하지 않도록 시공 관리가 요구된다.



나. 지상5층 옥상녹화 유형 제안

- 추가하중(1안: 경량형, 2안: 혼합형, 3안: 중량형)에 대한 구조안전성 검토결과, 옥상 녹화는 2안(혼합형: 녹화 200kg/㎡ + 사람 200kg/㎡)에 대하여 적용이 가능한 것으로 판단된다. 다만, 옥상녹화 공사 중에도 과하중 또는 집중하중이 제안한 3안 하중을 초과하지 않도록 시공 관리가 요구된다.

