

# 친환경 초고층 건축 계획 특성 및 기법에 관한 연구

- 해외 친환경 초고층 건축 분석을 중심으로 -

## A Study on the Method and Planning Characteristics of Environment-friendly Skyscraper

- Focused on the Analysis of Environment-friendly Skyscraper in other countries -

김 자 경\*

Kim, Ja Kyung

### Abstract

Urban architecture density is getting higher, and this trend is expected to continue in the future. Therefore, skyscrapers are being brought into relief as future alternative architecture beyond symbolic meaning in the aspect of demand and supply of urban space. However, skyscrapers which were newly built have many problems such as consumption of enormous amounts of energy, destruction of natural environment, and traffic jam. For this reason, environment-friendly skyscrapers based on the concept such as Green Building and Green Skyscraper started to be built around the world. However, plans or evaluation standards, which take account of the environment-friendly aspect of skyscrapers, leave much to be desired. And especially it is hard to find environment-friendly skyscrapers. Therefore, this study aims to establish the concept of environment-friendly skyscrapers that has not properly been defined, and to find realistic planning methods and practical alternatives through the analysis of the works that have brilliant ideas about environment-friendly architectural method. From the perspective of architectural planning, we did case analysis focused on site planning, form planning, elevation and floor planning, and tried to give useful ideas for high-rise architectural planning in Korea by finding practical solution focused on the active use of natural energy, saving resources, the reduction of wastes, natural architectural environment design and natural friendly system from the view of environment-friendly technological analysis.

키워드 : 그린빌딩, 녹색마천루, 친환경 초고층 건축, 켄 양

Keywords : Green building, Green skyscraper, Environment-friendly skyscraper, Ken Yeang

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

초고층 건축은 19세기 말에 탄생하여 1930년대 까지 미국을 중심으로 형태적 개념을 발전 시켜왔다. 이후 엘리베이터와 건설재료, 건축 기술 등의 발전과 도시집중화 현상에 의한 택지부족, 국가와 기업의 상징성 요구 등에 의해 전 세계 도시를 중심으로 초고층 건축이 늘어나고 있다. 특히 홍콩을 포함한 중국, 두바이, 싱가포르, 일본, 말레이시아 등 아시아를 중심으로 무대가 옮겨지면서 초고층 건축은 하나의 국가나 도시의 상징이 되고 있으며, 경향도 다양화되고 있다. 그러나 초고층 건축의 긍정적 효과 보다 교통문제나 도시기반 시설 과부하, 자연환경의 파괴, 대량의 에너지 소비라는 부정적 영향이 더욱

부각되면서 이러한 문제를 해결하기 위한 노력이 전 세계적으로 Green Building, Green Skyscraper 등의 개념으로 환경친화적 초고층 건축의 경향을 만들어내고 있다. 향후 초고층 건축의 증가율이 지속된다고 본다면 건설과정에서부터 건설 후 사용단계에서 발생하는 부정적 영향을 최소화하고 에너지 절약과 환경부하 경감, 거주자의 건강과 쾌적성, 건축의 지속가능성을 고려하는 친환경 초고층 건축의 필요성은 필연적이라 볼 수 있다.

이에 본 연구는 지금까지 개념적으로 막연하고 체계화되지 않은 친환경 초고층 건축의 개념을 정립하고, 현실적인 실천적 대안을 찾기 위해 전 세계적으로 친환경적 건축 아이디어가 돋보이는 작품을 분석하려고 한다. 이를 통해 친환경 초고층 건축의 주요 건축 계획적 특성을 알아보고 구체적 친환경 초고층 건축기술 아이디어를 도출하고자 한다.

\* 한양사이버대학교 공간디자인학과 조교수(jkkim@hycu.ac.kr)

## 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 국내·외 소개된 단행본과 정기간행물, 논문 등 문헌 분석과 국내·외 기사, 사이트 정보를 통하여 30층 이상의 초고층 건축사례 리스트를 정리한 다음 실제 지어지거나 완공예정인 건축을 중심으로 분석하였다. 이를 토대로 환경친화적 초고층 건축계획을 위해 중요한 기본 요소를 도출하려고 하였으며 다음과 같은 과정으로 연구를 진행하였다.

첫째, 친환경 초고층 건축의 개념 및 주요 원리를 정립함으로 연구 분석의 기준 틀을 마련한다.

둘째, 전 세계적으로 계획되거나 실제 지어진 30층 이상의 친환경 초고층 건축리스트 중 9가지 사례를 선택한 후 건축의 배치와 형태, 입면, 평면 계획 등 기본 계획 분석을 통해 건축의 주요 특성을 찾아본다.

셋째, 친환경 초고층 주요 원리를 실천하는 친환경 건축 기술요소가 구체적으로 어떠한 기술적 방법과 계획 아이디어가 적용되었는지 각 대상별로 도출한다.

이에 친환경 초고층 건축 계획의 주요 특성과 세부적 건축계획 요소와 기법을 찾아 향후 국내 초고층 건축의 계획 요소로의 활용가능성을 모색하고자 한다.

## 2. 친환경 초고층 건축 개념 및 원리

### 2.1 친환경 초고층 건축 개념

친환경 초고층 건축은 비인간성과 비자연성을 극복하려는 건축 흐름과 지구자원 보존과 에너지 문제로 에너지 절약형 건축의 확산에 따른 생태 건축적 경향 흐름에서 그 개념을 유추해 볼 수 있다. 그러나 지금까지 생태 건축은 저층형 건축에서 그 개념과 사례를 찾아 볼 수 있으며 초고층 건축에서의 환경친화적 건축 사례는 찾아보기가 힘들다. 특히 초고층 건축은 규모와 크기에 있어서 기존 건물과는 비교 할 수 없을 정도로 거대하기 때문에 일반적인 생태 건축의 디자인 기준을 적용하는 것은 바람직하지 않다. 그러므로 초고층 건축에 적합한 개념 정립이 요구되며 새로운 목표 설정이 필요하다. 이에 그 기준을 저층보다는 빌딩에 적용 되는 그린 빌딩의 개념과 초고층 건축에서의 생태 기후학을 적용시켜 환경친화적 초고층 건축을 추구한 켄 양<sup>1)</sup>의 Green Skyscraper 개념에서 새로운 환경친화적 초고층 건축의 개념을 설정해 볼 수 있다.<sup>2)</sup>

먼저 그린 빌딩(Green Building)은 1992년 리우 환경정

사회의 이후 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발이라는 환경과 개발의 상충이 아닌 공존의 경제 개발 방식이 중시됨에 따라 등장하게 된 개념으로 현재와 후세에 걸친 인류의 생존과 지구환경 문제에 기여하기 위한 환경친화적 건축을 말한다. 그린 빌딩은 Passive, Active Solar System 등 에너지 절약과 자원절약, 에너지 효율 향상을 목적으로 친환경적으로 설계, 시공, 운영, 유지관리, 폐기되는 형태의 빌딩을 의미한다고 할 수 있다. 최대 목표는 에너지 절약과 환경보존이며 에너지 부하 절감, 고효율 에너지 설비, 자원 재활용, 환경공해 저감기술 등을 적용하여 설계·건설하고, 유지관리 후 건물의 수명이 끝나 해체될 때에도 환경에 대한 피해가 최소화되도록 계획하는 것이다. 이를 실천하기 위한 디자인 계획 목표는 지구자원의 보존(에너지 절약, 수자원 절약, 자원절약), 라이프사이클 디자인(건물 전 단계, 건물 단계, 건물 후 단계 고려), 인간적 설계(자연 요소의 반영, 주변 자연 조건과 조화, 거주자의 건강과 쾌적성 향상)로 요약할 수 있다.

그 다음 Green Skyscraper는 켄 양이 추구하고자 하는 초고층 건축을 말하며, 중심 개념은 자연환경과 인공 환경을 통합하여 지상 위의 라이프 사이클을 연속적으로 영위할 수 있는 초고층 건축을 의미하며, City-in-the-sky(하늘 위의 도시: 새로운 장소 만들기, 수직적 도시디자인, 경제와 기술 추구), Bioclimatic skyscraper(적절한 코어 위치 선정, 지역기후를 고려한 디자인, 바람과 환기를 고려한 디자인, 자연채광을 고려한 디자인), Vertical Landscaping(종다양성과 유기적 밀도 높이기, Skycourt의 적극 활용, 생물의 다양성 추구, 생태미학의 실천)이라는 3가지 디자인 계획 목표를 가진다.

이에 그린 빌딩과 Green Skyscraper의 개념과 각 건축의 계획 목표와 세부 디자인 방법을 살펴보면 두 개념이 실 천적 방법에서 많이 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다. 단, 그린 빌딩이 좀 더 환경적인 영향을 고려하고, 에너지 절약과 물질의 재활용과 재사용, 환경 공해 저감에 중점이 맞춰져 좀 더 계획 범위가 넓다고 볼 수 있으며, Green Sky-scraper는 생태 기후적 접근이 중심이 되어 지역적 미 기후 반응에 좀 더 중점을 두고 수직조경을 통한 직접적인 생태계의 다양성 추구를 통한 생태 미학이 반영된 건축 매스를 추구한다는 점이 조금 다르다. 그러나 두 개념을 종합해 볼 때 '친환경 초고층 건축은 생태학에 기반을 둔 생태적으로 반응성을 지닌 건축으로 건축의 계획, 건설, 사용, 폐기 단계에서 물질과 에너지의 사용, 전체 건물 수명에서 환경에 대한 부작용을 감소시켜 지속가능성을 증진시킨 상대적 고층성을 지닌 건축'이라 간단하게 정의를 내려 볼 수 있으며, 친환경 초고층 주거 건축이 된다면 거주자의 쾌적성 측면이 추가 된 개념으로 정의 내릴 수 있다. 이러한 통합적 환경친화적 초고층 건축 개념에 의한 미래의 환경친화적 초고층 건축의 목표는 크게 3가지로 요약 할 수 있는데 첫째, Long Life Building을 추구이다. 즉 지속성이 높은 장 수명 건축을 추구하여 지속 가능한 개발 개념의 목표를 달성시켜야 한다. 둘째, 환경 부하가 적은 건축의 추구이다. 이는 건축의 환경 효율을 높여 건축에 사용되는

1) 켄 양(Ken Yeang)은 1948년 말레이시아 페낭 출생으로 영국 Cheltenham 대학과 건축협회, 미국 펜실베이니아 대학에서 건축과 조경을 공부하고, 말레이시아에서 로버트 합자와 파트너로 설계 사무실을 운영하고, 이후 캠브리지 대학에서 '건조 환경의 디자인과 계획에 있어 생태 고려 조건을 통합하기 위한 이론적 방법들'이라는 논문으로 1979년 박사학위를 받은 생태건축가로 현재에도 고층건물과 도시 설계 프로젝트를 중심으로 활동하고 있는 작가로 초고층 건축에서의 친환경적 접근 아이디어를 많이 보여주고 있다. 김규성, 이정만, 메나라 메시니아가의 디자인 과정분석을 통한 켄 양의 형태 구상 방식에 대한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), v.19 n.1, 2003. 1, pp.99~100

2) 김자경, 켄 양의 건축 분석을 통한 환경친화적 초고층 건축 계획요소에 관한 연구, 생태환경건축학회, 2007.10

자원과 에너지를 줄이고 폐기물 감소를 통해 지구환경에의 부하를 줄이는 건축을 추구하는 것을 말한다. 셋째, 주변 자연조건과 환경과의 조화이다. 이는 초고층 건축 건축의 형태나 경관적 측면에서 자연 질서에 위배되지 않고 조화를 이루는 건축의 추구를 의미한다. 이에 대상지의 자연환경이나 조건을 받아들이고 반영함으로 이상적인 조화를 통하여 친자연적인 건축이 되도록 함을 의미한다.

**2.2. 친환경 초고층의 원리**

앞에서 제시한 환경친화적 초고층 건축을 위한 기본 목표 3가지를 실천시키기 위한 계획의 기본 원리를 유추해 볼 수 있는데 가장 중요한 원리는 첫째, 에너지 절감을 위한 자연에너지의 적극적 활용이다. 지구와 지역 환경에 부하가 없는 청정 자연에너지를 건축의 에너지원으로 이용하는 것이다. 이는 초고층 건축이 다른 어느 건축보다도 규모나 에너지 사용량과 화석연료 사용에 의한 오염 물질 배출이 막대하므로 태양, 바람, 지열, 하천수 등 자연 에너지의 활용은 가장 먼저 고려해야 할 주요 원리가 된다. 둘째, 자원 절감과 폐기물 저감을 위한 순환시스템의 적용을 들 수 있다. 리사이클(Recycle), 리유즈(Reuse)를 포함하는 자원의 순환과 수자원 순환 시스템을 말하는 것으로 우수와 중수의 순환 활용, 쓰레기 처리를 통한 연료 활용을 적극 반영해야 한다. 셋째, 숨 쉬는 건축 만들기, 즉 자연형 조절 기법의 적용을 의미한다. 이는 건축 내부 공간으로의 자연의 빛과 공기가 소통시키는 건축을 만드는 것이다. 현재 대부분 초고층 건축은 에너지 절감과 단열성능 향상, 외부로의 열손실을 최소화함으로 전력사용을 감소하고자 보다 작은 규모의 밀폐된 창을 만들어 외부 공기나 빛의 유입이 차단되므로 많은 문제점을 발생시켰다. 이에 건강하고 쾌적한 공간을 위한 주요 원리로 자연 환기와 자연채광을 고려한 이중외피의 활용 등이 이에 해당된다. 넷째, 수직조경이 주가 되는 자연친화 시스템의 도입을 들 수 있다. 기존의 초고층 건축은 지표면과 건축 형태에 의한 중간 테크면에 조경을 하는 것이 녹화공간의 전부이지만 환경친화 초고층 건축에서는 좀 더 다양한 방식의 녹화 공간 조성이 요구된다고 볼 수 있다. 이렇게 4가지 디자인 원리는 초고층 건축에서의 환경친화성을 높이기 위한 가장 중요한 원리로 요약된다.



그림 1. 환경친화적 초고층 건축 계획 목표와 디자인 기본원리

**3. 해외 친환경 초고층 건축 분석을 통한 계획 특성과 기법 도출**

**3.1. 사례 선정 및 분석 기준**

30층 이상의 친환경 초고층 유형 중 켄 양의 Green Sky-scraper의 개념이 종합적으로 반영된 3개의 사례와

기타 해외 사례 6개의 작품을 중심으로 친환경 건축계획 요소와 적용기법을 도출하려고 한다. 켄 양의 작품과 기타 해외사례를 동시에 분석하는 이유는 어느 특정 건축가나 지역의 건축 분석이 목적이라기보다는 친환경 초고층의 여러 유형과 기술 분석을 통하여 다양한 친환경 초고층 건축 계획적 노하우와 기술 도출을 통하여 향후 개발 지침의 기초를 마련하고자 하는데 목표가 있다. 이에 켄 양의 건축 3가지는 이전 다른 국내 문헌에 소개되지 않으면서 다양한 친환경 기술적 아이디어를 차용할 수 있는 사례를 선정하였고, 나머지 6가지 사례는 가장 최근에 기획되고 실제 지어지거나 지어지고 있는 건축이면서 친환경 초고층 건축기술이 적용되어 실제 효과를 보고 있는 사례를 중심으로 선정하였다. 본 연구에서 이루어질 분석 방법과 기준을 정리해 보면 다음과 같다.

- 1단계 : 친환경 초고층 건축의 기본 계획 요소를 분석한다. 이때 분석 방법은 동시 비교방식을 택하여 9개의 건축사례를 동시 나열하여 건축의 기본 계획 요소인 배치, 건축형태, 입면계획, 평면계획의 특성을 도출시켜 동시 비교한다. 이에 분석대상 건축들과 기존의 일반 초고층 건축과 차이점을 알아보고, 친환경 초고층 건축의 일반적 건축 계획 경향을 도출한다.
- 2단계 : 친환경 건축 기술, 즉 생태 건축 기술 계획 요소를 도출한다. 계획 요소의 분석 항목은 2.2의 환경친화적 초고층 건축의 4가지 디자인 원리인 자연에너지 이용 계획, 자원절감과 폐기물 저감 계획, 자연형 환경 조절 계획, 자연 친화시스템 계획을 중심으로 각 건축에 적용된 기법을 도출한다.
- 3단계 : 1, 2단계 분석 후 현재 친환경 초고층 건축에서 적용되고 계획되는 기법을 전체적으로 종합정리를 하여 체계화한다. 이에 현재 계획되고, 지어지고 있는 친환경 초고층 건축의 건축적 계획 요소와 실제 적용이 가능한 건축 계획요소와 기법 도출을 통하여 친환경 초고층 건축의 계획 요소의 기본 자료로 삼으려고 한다.

본 연구의 분석 대상이 되는 친환경적 경향의 초고층 건축에 대한 기본 정보를 살펴보면 표1.과 같다.

표 1. 분석대상 건축개요<sup>3)</sup>

A.Tokyo-nara Tower	B.Shanghai armoury Tower	C.Bishopgate Tower
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ken Yeang</li> <li>· 도쿄와 나라 사이 도심</li> <li>· 1994년</li> <li>· 180층</li> <li>· 주거복합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ken Yeang</li> <li>· Shanghai pudong</li> <li>· 1997(계획안)</li> <li>· 36층</li> <li>· 오피스,호텔</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ken Yeang</li> <li>· London</li> <li>· 1999(계획안)</li> <li>· 1, 2동 65층/ 3동 50층</li> <li>· 주거 복합</li> </ul>
D.Commerzbank	E.Four Times Square	F.30ST May Axe
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Foster and Partners</li> <li>· Frankfurt, Germany</li> <li>· 1997</li> <li>· 53층</li> <li>· 오피스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fox &amp; Fowle Architects</li> <li>· New York, USA</li> <li>· 2000년</li> <li>· 48층</li> <li>· 오피스, 판매</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Foster and Partners</li> <li>· London, England</li> <li>· 2004년</li> <li>· 41층</li> <li>· 오피스</li> </ul>

3) 건축개요 표기 순서는 작가, 소재지, 준공년도(or계획년도), 층 수, 용도순으로 정리하였다.



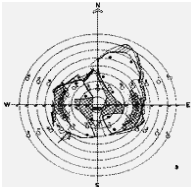

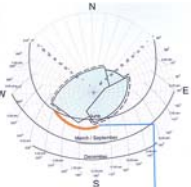






G.Torre Agbar	H.New York Times Building	I.Bank of America Tower
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jean Nouvel</li> <li>• Barcelona, Spain</li> <li>• 2005년</li> <li>• 35층</li> <li>• 오피스</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renzo Piano</li> <li>• New York, USA</li> <li>• 2007년</li> <li>• 52층</li> <li>• 오피스</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cook+Fox Architects</li> <li>• New York, USA</li> <li>• 2009년(완공)</li> <li>• 55층</li> <li>• 오피스, 극장, 판매시설</li> </ul> 

### 3.2 건축 기본 계획 분석

#### 1) 배치계획

건축의 배치는 건축 전반의 설계와 시공, 기능에 영향을 미치며, 친환경 건축에서는 특히 에너지 절약을 위해 반드시 고려해야 할 요소이므로 건축의 배치도 사실 자연형 환경 설계기법에 속한다. 저층의 환경친화적 건축에서 배치계획의 기본은 자연지형을 활용한 배치, 일조 및 일사를 고려한 배치, 풍향조절을 위한 배치가 기본이 된다. 그러나 도심의 초고층 건축에서는 지형을 활용한 배치는 적용하기가 힘들기 때문에 보통 일조와 일사, 풍향을 중심으로 계획을 고려해 볼 수 있다. 특히 에너지 소비가 많은 초고층 건축에서 배치 계획 에너지 절약차원에서 매우 중요하다. 왜냐하면 건물이 높을수록 외부기온과 직사광선의 영향이 크고, 창문을 통해 들어오는 태양열과 직사광선은 건물 내부의 극심한 일교차의 원인이 되기 때문이다. 그러면 분석대상의 배치 계획을 건축의 전반적인 향을 중심으로 살펴보면 표2.와 같다.

표 2. 분석대상 건축 배치 계획 비교

A	B	C
 <p>남향</p>	 <p>원형 탑상형 전 방향</p>	 <p>남향</p>
D	E	F
 <p>남향삼각 탑상형 전 방향</p>	 <p>남동 방향</p>	 <p>원형탑상형 전 방향</p>
G	H	I
 <p>원형 탑상형 전 방향</p>	 <p>남동 방향</p>	 <p>남동 방향</p>

9곳의 사례 분석 결과 대부분 남향을 선호하며 대상 대지의 형태에 의해 남향, 남동방향으로 설정되었으며, 대지가 남향을 주방향으로 하기 어려운 경우에는 원형에 가까운 탑상형으로 구성하여 편중된 방향이 아닌 다양한 방위

를 포함하려는 것으로 나타났다. 특히 각 건물의 대지에서 배치 상태에서 하루 시간대별로 일조와 그림자에 의한 주변 건물에의 영향과 채광과 차양 비율을 계산하여 개구부 위치와 차양 장치 기준을 설정하고, 바람의 방향과 건물 내 전 방향에서의 전망 등도 함께 고려한 것으로 나타났다. 그리고 대체적으로 대지에 접하는 평면 기본 형태는 동서 방향으로 긴 형태나 원형이나 원형과 유사한 형태로 전 방향 조망과 자연 채광이 가능한 형태를 취하고 있다.

#### 2) 형태계획

건축형태는 건물의 표면적과 관련하여 태양 복사 열의 수용 정도와 열 방출을 결정짓는 요소로 공간형태, 평면형태, 체적에 따라 달라진다. 초고층 건축에서 건물 형태는 열에너지뿐만 아니라 바람에 의한 영향을 감소시키는 중요한 요소이므로 특히 더 신중히 고려해야 하는 요소가 된다. 분석 대상의 기본 형태와 각각의 주요 특성을 살펴보면 표3.과 같다.

표 3. 분석대상 건축 형태 계획 비교

A	B	C
 <p>기본 평면의 타원형 형태를 바탕으로 한 원형의 형태</p>	 <p>군사 장비 모형을 본떠서 만든 타원형 평면 형태를 바탕으로 한 원형의 형태를 바탕으로 한 원형의 형태</p>	 <p>반원형의 형태를 바탕으로 한 원형의 형태를 바탕으로 한 원형의 형태</p>
D	E	F
 <p>모서리가 각진 형태로 되어 있어 사각형의 형태를 띠고 있다. 모서리가 각진 형태로 되어 있어 사각형의 형태를 띠고 있다.</p>	 <p>기본 형태는 타원형이지만 사각형의 형태를 띠고 있다. 기본 형태는 타원형이지만 사각형의 형태를 띠고 있다.</p>	 <p>까다로운 원형의 형태를 띠고 있다. 까다로운 원형의 형태를 띠고 있다.</p>
G	H	I
 <p>문 테두리에서 영감을 받아 만든 원형의 형태를 띠고 있다. 문 테두리에서 영감을 받아 만든 원형의 형태를 띠고 있다.</p>	 <p>맨하탄 그리드에 영감을 받아 만든 원형의 형태를 띠고 있다. 맨하탄 그리드에 영감을 받아 만든 원형의 형태를 띠고 있다.</p>	 <p>비정형의 형태를 띠고 있다. 비정형의 형태를 띠고 있다.</p>

9개의 건축 형태 분석결과 전체적으로 형태적 특성은 융통적이며, 직선보다는 곡선적이며, 정형적 형태보다는 비정형적이며, 단순함보다는 심미적 특성을 지닌다. 건축 매스는 전체적으로 판상형보다는 탑상형으로 다양한 향과 조망을 고려하고 있다. 그리고 전체 건축 형태 유형을 분류 해 보면 첫째, 바람의 영향과 일조와 관련된 범규 등의 제약으로 셋백 형태나 원추형 매스에 건물 전체 형태를 단 순하게 구성하여 표피 면적을 줄여 열손실과 바람의 피해를 최소화하는 형태, 둘째, 원기둥이나 타원형 기

등 형태의 매스에 가운데 중정을 중심으로 매스를 구성하여 건물 내부 전체 공간에 골고루 공기와 빛의 흐름을 유도하기 위한 형태, 셋째, 단순한 기하학 매스이지만 입면을 다양한 면 비례로 분할하여 skycourt나 아트리움 배치로 단순한 기하학의 매스를 다공질 공간을 가진 형태로 변화시킨 형태, 넷째, 프랙탈 기하학의 원리를 반영하여 일정 레벨 단위의 형태 생성자를 자유롭게 쌓아 올려 비정형적인 탑상형의 매스를 나타내는 형태로 구분하여 볼 수 있다. 그리고 사례에서 보여지는 대부분 형태의 모서리 처리는 부드러운 라운드 처리를 하고 있다.

3) 입면계획

초고층 건축의 입면 계획은 앞에 살펴 본 형태 계획과도 어느 정도 관련성이 있으므로 여기서는 창호나 구조, 재료에 의한 면 분할과 파사드의 입면 구성을 중심으로 살펴보려고 한다.

표 4. 분석대상 건축 입면 계획 비교

A	B	C
 <p>자유로운 기둥 격자 위에 순하게 조합된 층 자유로운 가로 면 분할과 3개의 중정으로 나선형으로 감아 올라가는 서비스 트래크와 녹지 자유로운 입면구성</p>	 <p>각 방위마다 다양한 입면 구성, 수평면 분할에 다양한 수직면의 층별 좌우성으로 이루어져 입면을 더 풍부하게</p>	 <p>입면 파사드는 수평의 다층 외벽구성이 기둥이 되나 수직선상의 수직조경과 불규칙적 배치로 입면에 변화를 줌</p>
D	E	F
 <p>입면 상 기반부를 제외하고 4부분으로 크게 분할되는 형태를 취하는 3면의 여극 절면을 함으로 나게 변화를 줌</p>	 <p>두 개의 독특한 파사드를 가지며 북서쪽은 셋배 형식의 파사드를 남동쪽은 기본 사각매스와 표면은 다채로운 패턴을 다르게 표현</p>	 <p>강철튜브 구조가 서로 교차하여 생기는 삼각형 셀이 기본이 되는 다이아 그리드로 표면 분할을 하고 소용돌이 나선형의 패턴으로 색이 다른 유리를 사용하여 표현</p>
G	H	I
 <p>실린더 형태에 일정 간격과 폭의 수평과 꼭지점을 향하는 수직의 기둥을 배치하여 외피의 울퉁불퉁한 색채와 유색의 칼라를 자유롭게 표현</p>	 <p>기단부와 상층부로 구분, 기본적으로 수평면 분할이며, 수직은 크게 3면으로 깊이와 수평면 분할을 다르게 하여 표현하고, 좌우 양면은 X자형으로 입면 변화 시도</p>	 <p>사각형을 사선을 이용하여 자유롭게 면 분할을 해 주고, 화면의 투명막에 얇은 선적 이미지의 사각 그리드로 표현하여 가벼운 줄표피감을 줌</p>



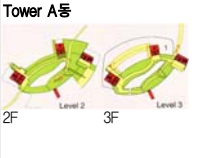

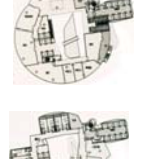
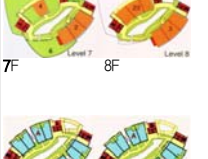

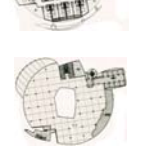

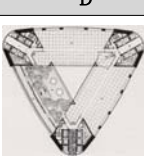
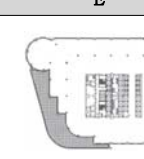
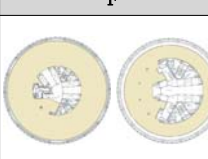
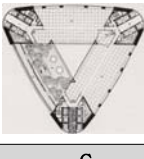
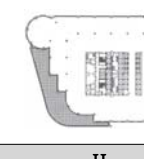
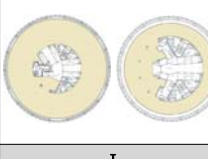

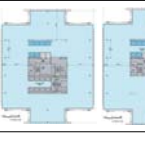
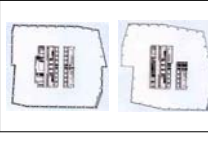
전체적 입면구성에서 보이는 공통적인 특징은 대부분 필로티 구조를 가지며 표면구성과 면 분할의 다양성이다. 9개의 사례를 기준으로 보았을 때 입면구성 유형은 크게 4가지 분류해 볼 수 있다. 첫째, 균등한 층별 레이어에 의한 수평 면 분할을 기본으로 하나 깊이나 재료 변화로 표면 변화를 시도하는 유형을 들 수 있다. 둘째, 층별 레이어인 수평면을 기준으로 하나 2-3층, 혹은 그 이상의 입면 중간면에 보이드 공간 조성이나 표면 돌출로 변화를 주는 유형을 들 수 있다. 이때 보이드 공간은 skycourt나 바람과 빛의 통로로 이용되며 녹화를 통해 더욱 풍부한 입면을 연출하는 유형이 많다. 셋째, 층별 레이어가 보이

지 않고 삼각이나 사각, 비대칭 다각형 등 넓은 면적 분할에 의하여 빛과 그림자의 변화를 유도하는 유형을 들 수 있다. 넷째, 표면외피의 자유로운 구성으로 사선이나 나선형, 불규칙성 등 비정형성을 강조하는 자유로운 입면 분할을 들 수 있다. 단, 자유로운 입면분할 형식은 형태적으로 강하게 표현하거나 서로 다른 재료의 패턴으로 표현하거나 색채의 경계면을 모호하게 하여 처리하는 등 다양한 표현방식을 사용하고 있다.

4) 평면계획

일반적으로 평면형태의 에너지 효율은 장·단면비에 따라 효율이 달라지는데 보통 1:1인 정방형의 밀집된 형태가 가장 에너지를 절약할 수 있으며, 정방형이 아닐 경우 남북으로 긴 형태보다는 동서로 긴 형태가 유리하다. 일조량만 고려한다면 오히려 동서로 긴 형태가 유리하나 겨울철 열손실을 고려하면 표면적이 늘어남으로 열손실 영향이 커지므로 추운 한랭지는 1:1 유형이 유리하며, 우리나라와 같은 온대지방은 1:1.6 정도가 유리하다. 그러면 분석대상의 건축 입지는 대부분 상하이, 영국과 미국, 스페인, 독일, 일본 등 온대기후로 각 평면 형태와 내부 공간 구성을 비교해 보면 표5.와 같다.

표 5. 분석대상 건축 평면 계획 비교

A	B	C
 <p>master plan</p>	 <p>Level 1</p>	 <p>Tower A동 1F, 2F, 3F, Level 2, Level 3</p>
 <p>apartment floor</p>	 <p>Level 4</p>	 <p>4F, 7F, 8F, Level 7, Level 8</p>
 <p>office floor</p>	 <p>Level 9</p>	 <p>9F, 15F, 16F, Level 15, Level 16</p>
		 <p>20F, 55F, 56F, Level 55, Level 56</p>
D	E	F
		
G	H	I
		

우선 평면의 전체 형태를 비교해보면 쉐인 양의 건축은 대체적으로 불규칙적이며 비정형적 평면 형태를 기본으로 하는 것이 많고, 나머지 기타 사례에서는 사각과 원형, 타



원형, 삼각형 등 기하학을 기준으로 하고 있는 특징이 보여진다. 그리고 전체적인 공간구획과 패턴, 공간배치를 중심으로 살펴보면 가장 큰 특징은 첫째, 공기 순환과 태양광을 고려한 공간배치를 들 수 있다. 태양 궤적을 계산해서 가장 일사가 강한 쪽에 수직코어를 설치하여 열적 완충지대가 되도록 더운 지역은 동, 서향에 주로 배치되었다. 반면 온대기후 지역의 사례들은 중심코어가 대부분이었는데, 이는 코어를 통해 빛의 유입과 외곽 쪽으로 실을 배치하여 전망을 유도하기 위해 고려된 사항으로 간주된다. 또한 코어 위치에서 벗어나 열을 많이 받아 열부하가 생기는 위치에는 주로 테라스나 발코니, skycourt를 위치시킨 것을 볼 수 있다. 둘째, 공간의 지속가능성을 고려하여 융통성과 가변성을 가진다. 기본 플랜을 기초로 중앙에 기둥 배치를 가급적 피하거나 최소화하여 추후 자유롭게 변경 가능한 공간 구성을 기본으로 하고, 공간이 전체적으로 서비스 코어 부분을 제외하고는 다양한 공간 구획이 가능하게 구성되거나 다용도 기능을 지닌 skycourt 배치로 공간 활용을 극대화하고 있다. 특히 쉐 양의 공간 구성에서 가장 큰 특징이라 할 수 있는 sky-court는 위치를 층별로 다르게 배치시켜 건물 전체적으로 공간의 융통성을 부여해주고, 공간의 기능과 쓰임새에 따라 공공공간이나 독립된 실로 사용되기도 하고, 크기나 위치의 변화를 줄 수 있게 하여 다양한 사용자에 의해 변화되는 곳으로 공간의 지속가능성을 높이는 중요한 공간이 된다. 셋째, 획일적이고 일률적인 공간배치의 탈피라는 특징을 찾아 볼 수 있다. 층별로 다양한 레벨 층을 구성하여 평면이 일률적이지 않고 사용자에 따른 다양한 구성을 보여준다. 그리고 평면의 구획도 직선적 구획은 가변적 공간일 경우 이용되거나 구획 자체는 획일적 직선보다는 사선과 자유 곡선을 많이 사용하고 있다.

3.3 친환경 기술 분석

1) 자연에너지 이용 계획

자연에너지 이용은 친환경 건축의 목표 중 가장 첫 번째인 지구환경의 보존과 에너지 절감을 위한 실천 계획 요소이면서 친환경 초고층 계획을 위한 디자인 원리 중 하나이다. 초고층 건축에서의 에너지에 대한 고려는 매우 중요하며 특히 난방에서의 자연에너지의 적극적인 활용이 필요함을 알 수 있다. 이에 각 대상별로 자연에너지가 어떠한 계획 기법으로 적용되었는지 살펴서 초고층 건축에서 활용이 용이한 계획 기법을 도출하려고 한다. 이에 자연에너지 이용계획을 도출해보면 표6.과 같다.

표 6. 분석대상 건축의 자연에너지 이용 계획 도출

건축	적용 계획 요소	키워드
A	· 태양 전지 이용 : 건물 표면 차양을 겸한 장치로 설치	태양전지
B	· 재생가능한 에너지 사용으로 에너지 효율이 높은 건물 · 풍력, 태양력에 의해 운영되는 열 냉각 전력 장치의 조합 CHP(Cool, Heat, Power) 장치 · 태양에너지 : 열 굴뚝(solar stack), 태양전지(solar panel, 건물 위에 휘어지게 설치) · 바람에너지: 건축 구조를 이용한 바람 흡입(wind suction), 바람의 압력(wind pressure)을 이용 건물 전체 통풍과 환기	· 태양 전지 · 열 굴뚝 · 바람 흡입과 압력을 이용한 전체 통풍과 환기

C	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 계절에 따라 건물에 미치는 태양고도와 풍향을 고려한 설계</li> <li>· 태양 전지 패널(Photovoltaics Panel) : 남서쪽 기준으로 배치</li> <li>· 태양에너지의 패시브 한 이용                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 건물 방향의 의한 구성, 겨울철 태양광 유입 극대화, 여름철 차단</li> <li>- 북동쪽과 서쪽에 서비스 코어 배치: 겨울철 외기 차단, 열 완충</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 태양전지 패널 (일면)</li> <li>· 태양에너지 패시브 이용</li> <li>· 열 굴뚝</li> </ul>
E	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 태양 전지 패널(Photovoltaics Panel) : 건물에 일면에 통합된 광 발전 패널 설치                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 얇은 필름형식의 PV 패널은 위에서 35층~48층 건물의 남쪽과 동쪽면에 설치</li> <li>- 최고 15kW의 전력 공급, 에너지 효율 6%</li> </ul> </li> <li>· 연료전지(Fure Cell) : 천연가스를 사용하여 화학 반응을 통해 전력을 생산하는 두 개의 200kW 연료전지 설치                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연료전지는 24시간 연소 없이 건물에 필요한 전력을 공급</li> <li>- 겨울철 난방과 가정용 온수로도 이용</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 태양전지 패널 (일면)</li> <li>· 연료전지(Fure Cell)</li> </ul>
F	· 천연가스 이용 : 청정 연료 이용, 유해 가스 배출 저감	천연가스
G	· 직사광선에 의한 태양열에너지 획득 : 에너지 효율 25.11%	태양열집열
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 열병합 발전 : 청정에너지로 건물의 에너지 수요 충족, 4.6메가와트의 열병합 발전, 건물에너지 70% 공급                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과잉열에너지로 열을 만들어 공기조절 시스템을 보충</li> </ul> </li> <li>· 태양에너지의 패시브 한 이용                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 거대한 창문과 유리 내벽 : 내부까지 자연광 유입에 의한 조명 에너지 절감과 일정한 태양빛에 의한 난방비 절감 효과</li> <li>· 풍력발전 : 건물에 달린 소형 천탑에 수직축 풍력 터빈을 설치하여 조명·엘리베이터·펌프 가동에 필요한 전력을 충당</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 열병합 발전</li> <li>· 태양에너지 패시브 이용</li> <li>· 풍력 발전 : 수직축 풍력 터빈</li> </ul>

2) 자원절감과 폐기물 저감 계획

자원절감과 폐기물 저감의 방법은 크게 리사이클(Re-cycle), 리유즈(Reuse), 자원의 순환 이용이 주가 된다. 이에 건축에 많이 이용되는 시스템은 수자원 절약을 위한 우수와 중수 재이용 시스템, 건축 재료의 재사용·재이용, 효율적 쓰레기 처리 및 리사이클, 건축 재료의 사용 절감을 위한 내구성 향상, 가변형 설계, 재료 투입량이 적은 단순한 설계 등이 이에 해당 된다. 그러면 각 대상 사례들은 자원절감과 폐기물 저감을 위하여 어떠한 계획 기법을 적용했는지 살펴보면 표7.과 같다.

표 7. 분석대상 건축의 자원절감과 폐기물 저감 계획 도출

건축	적용 계획 요소	키워드
A	수자원	각각 8개의 블록별로 물 처리와 순환 관리를 포함하는 에너지 센터 운영
	쓰레기	식재 쓰레기 재활용 : 에너지원으로 이용
B	재료의 사용 절감	· 저 에너지 사용 시스템 · 재활용 가능한 자재들 사용 극대화 · 이용 가능 공간 최대화 : 설비 면적 최소화, 구조와 서비스 통합의 최대화 · 보조 천장 제거 · 교체하기 쉬운 모듈화 된 파티션디자인
		· 가변형 공간 설계 : 적응성과 융통성의 최대화, 많은 설비 추가 없이 다양한 공간구획 자유로운 변경 -미래 변화에 대처하기 쉬운 간단하고 모듈화 된 디자인
	유지 비용 절감	· 수명이 긴 설비 : 내구성 설비 · 유지 관리가 편한 설비 시스템
수자원	· 빗물의 수집과 재활용	· 물순환 이용 · 식재 쓰레기 에너지 자원화 · 저에너지 사용 시스템 · 이용가능한 공간최대화 · 재활용 가능자재 · 보조 천장 제거 · 교체 가능한 모듈화 파티션 · 가변형 공간 설계 · 내구성 설비 · 유지 관리가 편리한 설비





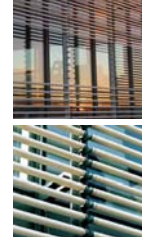
	쓰레기	· 효율적인 쓰레기 처리와 재활용	· 우수활용
C	재료의 재순환	· 건물 내제 에너지 감소 : 재활용 재순환 재료 사용 · 구조 : 기계적 접합 연결 : 재활용과 재이용 촉진과 사용이 가벼운 소재 및 긴 스펀 사용 · 바닥 - 목재 바닥으로 100% 재활용, 현장에서 조합 용이 · 창문 - 재활용된 알루미늄, 문 - 목재 프레임 합판문, 석고 파티션 보드, 무기섬유보드(재활용율이 높음)	· 구조의 기계적 접합 연결 · 가벼운 소재 사용 · 긴 스펀 · 재활용재료, 재활용율이 높은 재료
	재료의 사용 절감	· 건축구조 및 구성 : 풍하중으로부터 보호되는 중앙코어 로 연결되는 2개의 블록으로 구성, 지속가능성 고려 · 재료의 자체 절연성과 단열성이 높은 재료 : 냉난방비 절약 · 외벽에 플라스틱, 페인트가 칠해진 블록, 이중 유리 등	· 구조적 내구성 · 절연성과 단열성이 높은 재료 · 이중외피
	수자원	· 우수 활용 : 우수 집수는 가리비(scallops) 이용 - 우수 활용율 2.9 %, 정원수, 화장실 이용 - 저장탱크는 건물 지하에 위치	· 우수 순환 활용
D	재료의 사용 절감	· 삼각형 모퉁이에 설비 집중배치 · 비렌틸 보(Vierendeel beams)를 이용한 기둥 구조 요소 배치 : 모퉁이 코어를 둘러싸는 두 개의 수직 주기둥은 8 개 층의 비렌틸 보를 지탱하고, 이는 사무실 층들을 지탱하므로 사무실과 정원에 기둥이 필요 없는 스펀 제공	· 설비 집중 배치 · 비렌틸 보 · 내부 기둥 요소 제거
	재료의 재순환	· 65% 건축 폐자재가 재활용 됨 · 콘크리트 코어 구조 : 스틸 재 사용 · 기존 건축 기초의 재사용 : 브로드웨이 42번가 코너의 기초 부분이 재사용 됨	· 건축 폐자재 재활용 · 스틸 재 사용 · 기존 건축 기초의 재사용
E	재료의 사용 절감	· 구조용 철근 Hat truss 사용 : 철근 사용량 대폭 감소, 바람과 하중에 강한 구조 · 건축일련 태양전지 패널 마감 : 다른 건축 마감재 사용 절감 효과 · 장비의 효율성 최적화 : 여러 단계로 조절 할 수 있는 펌 프, 팬과 모터 효율성 최적화로 에너지 소비 최소화 - 모든 기계 설비는 정확한 효율적 작동으로 에너지 소비를 줄이고 설비의 수명을 연장	· Hat truss · 태양전지 패널 마감 · 고효율 다단계 속도 조절 펌프 · 중수이용 · 생분해 재료 사용 · 재활용 쓰레기 분리 저장 시설
	수자원	· 중수 순환 이용 : 건물 전체에 중수도 이용 시스템을 설치하여 재순환 이용	
	폐기물 저감	· 생분해 재료 사용 : 환경부하 저감 · 재활용 가능 쓰레기 분리 저장 시설 : 각 층에 설치	
F	재료의 사용 절감	· 외벽의 껍데기 모양이 철골 부재가 기둥 역할 : 기둥 없는 실내 공간 · 저에너지 조명장치 : 에너지 절감 · 분산된 실내 장비 : 기계적환기와 공급을 통제하는 융통성 제공 · 중앙 통제 방식에 의한 에너지 소비 관리	· 내부기둥 요소 제거 · 저에너지 조명 장치 · 분산된 실내 장비 · 에너지 중앙 통제
	수자원	· 중수 순환 이용 : 중수 집수와 처리에 의한 재이용	· 중수이용
G	재료의 사용 절감	· 프리캐브 방식의 콘크리트 골조 : 일종의 조립식 개념 · 기둥 없는 실내 공간 · 조명이 매입된 아연도금 철관 가천장 · 일면에 통합된 모듈가구 · 중앙 통제 방식에 의한 에너지 소비 관리	· 프리캐브 방식 골조 · 내부기둥 요소 제거 · 조명이 매입된 천장 · 모듈가구
	수자원	· 지하수 이용 : 물 절약을 위해 지하수를 청소용으로 이용	· 지하수 이용
	폐기물 저감	· CFCs가 함유되지 않은 냉매가스 사용 : 유해 가스 배출 차단	· 유해가스 배출 차단
I	재료의 재순환	· 재활용 재료 이용 : 시멘트(45%)와 슬래그(55%) 혼합된 콘크리트 사용 · 재생가능한 재료들이 광범위하게 사용됨	· 재활용 재료
	재료의 사용 절감	· 전체 에너지 소비를 50% 감소시킴 (열병합 발전, 빛 센서 에 의한 조명 제어, 자연채광 등) · 개별 조절 냉난방 시스템 : 사용하지 않는 공간의 불필요한 에너지 낭비 제거	· 재생 가능한 재료 · 재활용 에너지 · 개별조절 냉난방 시스템
	수자원	· 중수 및 우수 순환 이용 - 옥상 우수 수집기 설치, 우수 저장, 활용, 운반시스템 - 특수배관설비: 세탁실에서 나온 중수, 타워 공기 조절 장치에서 응축된물과 Con Edison 전력회사에서 구매한 증기에서 물과 혼합하는 특수 배관설비 - 화장실, 건물 냉방 증발패널, 옥상 정원수에 이용 · 저유량 설비와 소변기 : 물이 필요 없는 저유량 설비 · 전체 물소비를 50% 줄임	· 우수이용 · 중수이용 · 특수 배관 설비 · 저유량 설비와 소변기

3) 자연형 건축 환경 설계 계획

자연형 건축 환경 설계 계획은 건조 환경을 쾌적하게 만들기 위하여 기계적 장치의 도움보다는 기후 조건과 물리적 환경 조절을 통해 건축 환경을 조절하는 기법을 말한다. 주로 기후 조건에 의한 건축물의 배치, 형태, 방향, 구조, 구조체의 열적 특성, 자연 통풍 및 환기, 채광, 차양, 냉방 등의 설계 기법이 이에 해당된다. 3.2에서는 건축 기본 계획분석에서 배치나 건축형태에서 그 내용이 겹치므로 여기서는 각 대상 공간의 기후에서 자연환경이 갖고 있는 이점을 최대한 이용하여 실내 환경을 쾌적하게 조절하여 환경적 부담을 최소화할 수 있는 효율적인 건축설계 방법을 어떻게 실현시켰는지 찾아보면 표8.과 같다.

표 8. 분석대상 건축의 자연형 건축 환경 설계 계획 도출

건축	적용 계획 요소	키워드	
A	자연 채광 차양	· 회전하며 태양의 움직임에 따라 움직이는 차양막 설치 · 일사량에 따라 조절되는 창유리 · 거주 공간 아트리움 공간 조성과 식재 : 열적 완충 공간과 식재에 의한 차양	· 움직이는 차양막, 바람막이 · 일사 자동 조절 유리 · 동서향에 코어 배치 · 통풍조절 환기통
	자연 통풍 환기 냉각	· 동서 향에 코어 배치 : 열적 완충 공간 역할 · 통풍 조절기가 내장 된 환기통 · 일정 간격의 skycourt 조성 : 소음 차단 · 건물 전면 녹화에 의한 차양과 냉각 효과, 신선한 공기 유입	· 통풍조절 환기통 · 녹화에 의한 차양
B	자연 채광 차양	· 수직적 내부 중앙 아트리움을 개폐를 통한 자연채광 · 바람막이 : 기후가 좋지 못한 상태에서 바람을 막아주고 평상 차양 및 미적 요소로 작용하고 다목적 필터 역할 · 향에 따라 다른 차양 장치	· 중앙 아트리움을 통한 자연채광 · 향에 따라 다른 차양 장치
	자연 통풍 환기 냉각	· 중앙 아트리움을 이용한 굴뚝효과에 의한 환기 · 옥상 테라스 : 탑 위의 전망 고려, Wind Scoop을 통한 환기와 건물 내의 공기 정화 · 이중외피 구조에 의한 환기	· 차양을 겸한 바람막이 · 이중외피 구조 · Wind S-coop을 통한 환기, 공기정화 · skycourt · Wind tower · Thermal mass
C	통합 환경 조절	· 중앙 아트리움과 skycourt 배치로 완충 지역 형성 · Wind tower로서의 아트리움 개폐를 통한 실내 환경 조절 · 계절에 따른 바람막이 (Wind Breaker Shield)와 조절 가능한 차양 장치를 통한 외기 조건 조절 · 갑작스런 온도변화를 완화하기 위해 24시간 열저장 장소로서 건축 구조의 Thermal mass화 · 열손실 최소화 : 단열 성능 강화, 표면적 최소화, 이중외피	· mixed mode system · 개폐가능한 중정형 아트리움 · 조절가능한 다층 외벽 구성 · 바람막이 · 절연셔터 도어 · 이중유리 · 내부 블라인드 · 수직일면 녹화
	자연 채광 차양	· 일광을 최대한 유입시키고 찬바람을 차단하는 파사드 설계 · 중정형 아트리움을 통한 자연광 유입 · 파사드에 설치된 절연 셔터 도어(목재 접이문), 내부 목재 블라인드, 테라스 녹화를 통한 차양 효과	· mixed mode system <sup>4)</sup> 이용: 부분적으로 전기, 기계적 시스템을 이용하는 하이브리드 방식 사용 · 다층 외벽 구성 (multi-layered external wall) : 가장 바깥층 메탈 메시 → 절연 셔터 도어(목재 접이문) → 이중유리 (→내부 목재 블라인드)로 구성되어 계절별로 조절 · 외관 표면에 메시 스크린 설치 : 이동가능하며 강한 바람 유입 줄이기 위한 바람막이 · 대형 이중 유리 : 단열 성능 향상 · skycourt 조경을 통한 태양 복사열 차단, 흡수, 반사의 기능 수행, 주위 온도를 낮추고 신선한 공기 유입
D	통풍 환기 냉각	· 중정형 아트리움을 통한 자연환기와 통풍 · 이중 외피의 개폐구 조절을 통한 환기	· 중정형 아트리움 · 이중외피
	자연 채광	· 중앙 아트리움을 통한 자연채광 · 실내 내부 7.5m 폭의 투명 창	· 중앙 아트리움 · 실내 내부 투명창
D	자연 통풍 환기 냉각	· 중앙 아트리움과 이중외피 통한 환기 : 굴뚝 효과에 의한 환기, 1년에 60% 자연환기 가능 · 아트리움에 면한 Sky garden에 의해 증발 냉각 효과와 신선한 공기 도입 · 개방형 창문 사용 : 외기 도입을 위한 위, 아래 슬롯 설치, 개폐가 가능한 내부 창을 통해	· 이중외피 · 개방형 창문 · Sky garden · cold ceiling · 자동 건물

	<ul style="list-style-type: none"> <li>중공층의 외기를 도입하여 자연 환기</li> <li>여름철 cold ceiling을 이용한 기계 환기</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>관리시스템</li> <li>온도자동 조절 기술</li> <li>지역난방 시스템</li> </ul>	
통합 환경 조절	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동 건물 관리시스템 : 외부기온이 높을 때는 자동적으로 창문이 닫히고, 냉각 지붕에 의해 기온이 조절 됨</li> <li>난방 : 지역난방 시스템</li> </ul>		
E	자연 채광 차양	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low-E 유리 사용</li> <li>고성능 창문틀과 파티션디자인 : 실내 자연광이 최대 유입</li> <li>자연광 센서와 전기 조명</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low-E 유리</li> <li>고성능 창문틀과 파티션</li> <li>자연광센서 전기 조명</li> <li>외부 공기 흡입구</li> <li>배출통로</li> <li>바다공조 설비</li> <li>천연가스 점화 흡수식 냉난방기(Absorption chiller) 설치 : 지붕에 설치하여 냉수와 온수의 공급으로 냉난방</li> <li>흡수부, 발생기, 펌프, 열교환기로 구성되는 냉동기는 오존을 파괴하는 CFCs, HCFC를 사용하지 않음</li> </ul>
	자연 통풍 환기	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물의 높은 곳에 외부 공기 흡입구 설치</li> <li>배출통로 : 흡연실과 설비실을 환기시킴</li> <li>바다공조 설비 : 개별 통제되고 실내공기를 정화 함</li> <li>뉴욕 시 요구기 환기 수준보다 50% 이상 공기가 순환 됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>외부 공기 흡입구</li> <li>배출통로</li> <li>바다공조 설비</li> <li>천연가스 점화 흡수식 냉난방기</li> </ul>
	냉·난방	<ul style="list-style-type: none"> <li>천연가스 점화 흡수식 냉난방기(Absorption chiller) 설치 : 지붕에 설치하여 냉수와 온수의 공급으로 냉난방</li> <li>흡수부, 발생기, 펌프, 열교환기로 구성되는 냉동기는 오존을 파괴하는 CFCs, HCFC를 사용하지 않음</li> </ul>	
F	자연 채광 차양	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물 자체의 일조와 주변 건물의 일조도 함께 고려</li> <li>유리로 된 외관 : 5,500장의 유리로 자연 채광을 높임</li> <li>날씨 센서에 의한 블라인드 창문 : 빛을 감지하여 자동으로 빛 차단과 유입 조절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>건물 주변 일조 고려</li> <li>천정 유리 마감</li> <li>자연광 센서에 의한 창호시스템</li> <li>자동조절개폐 창호</li> <li>나선형 광경</li> <li>외피의 슬롯(slot)</li> <li>이중외피</li> <li>실내공기 질 모니터링</li> <li>구조에 의한 에너지 절감</li> </ul>
	자연 통풍 환기	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동 조절로 개폐되는 창호 : 날씨 센서에 의해 자동 개폐 조절되는 창호 시스템에 의한 자연 환기</li> <li>압력 차이를 만드는 나선형 광경들의 연결로 자연환기를 향상시켜 줌</li> <li>건물 외피의 슬롯(slot) 설치</li> <li>실내공기 질 모니터링에 의한 환기</li> </ul> 	
	통합 환경 조절	<ul style="list-style-type: none"> <li>구조에 의한 에너지 절감 : 나선형으로 돌아가는 원추형의 구조 자체가 자연적으로 공기를 순화시키고 열효율을 높임, 냉난방비가 40%나 줄어 듦</li> <li>이중외피 : 열 완충, 외기차단 역할, 자연환기</li> </ul>	
G	자연 채광 차양	<ul style="list-style-type: none"> <li>투명 유리로 된 외관 : 4,500장 유리로 자연 채광을 높임</li> <li>egg -shape 외피 구성으로 차양기능이 포함된 창호 형성</li> <li>격자형 미늘창으로 구성 : 유리반사에 의해 차양과 채광이 동시 해결, 4,349가 개폐 가능 창호로 자연환기 가능</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>투명유리</li> <li>egg -shape 격자형 미늘창 구조</li> <li>개폐가능 창호</li> <li>이중외피 사이 공기 챔버</li> <li>천정 내 벤트</li> <li>이중외피 온도 습도 탐지기</li> <li>VRB 시스템</li> <li>중앙 관리 시스템</li> </ul>
	통풍 환기 냉각	<ul style="list-style-type: none"> <li>이중외피 : 열 완충, 외기차단 역할, 자연환기, 냉각 효과</li> <li>이중외피 사이의 공기 챔버</li> <li>천정 내 벤트 : 차양내 내 벤트를 통한 공기 개선 및 배출</li> </ul> 	
	통합 환경 조절	<ul style="list-style-type: none"> <li>실내 환경 체크 : 온도 습도 탐지기</li> <li>VRB 시스템 이용 설비 : 층별로 27개나 되는 서로 다른 공기 조절과 난방존을 갖는 VRB 시스템</li> <li>중앙 관리 시스템 : 거주 인원수, 외부 조건에 따라 설비 운영, 자동 조절에 의한 유리 개폐와 온도에 따른 에어컨 작동으로 에너지 절감</li> </ul>	
H	자연 채광	<ul style="list-style-type: none"> <li>투명 유리로 된 외관 : 자연채광</li> <li>daylight dimming system(DALI) : 개별 조명제어시스템, 자연채광 유입에 맞춰 전기 조명 빛의 세기 조절가능</li> <li>유리 앞 차양막을 갖춘 커튼월 : 세라믹 튜브에 의한 낮은 복사율의 유리 스크린은 빛을 반사하고 하루 종일 색을 바꿈</li> <li>자동화 된 차양 시스템</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>투명유리</li> <li>DALI</li> <li>차양막을 갖춘 커튼월</li> <li>자동화 된 차양시스템</li> <li>이중창호</li> <li>개별층별 공기조절 유닛</li> <li>VAV 공기 분배 시스템</li> <li>부외가스 배출 설비</li> <li>중앙 건물 관리 시스템</li> <li>중앙 냉수</li> </ul>
	자연 통풍 환기 냉각	<ul style="list-style-type: none"> <li>이중 창호 : 열 완충, 외기차단, 자연환기</li> <li>개별 층별 공기조절 유닛</li> <li>VAV(various air vilume) 공기 분배 시스템</li> <li>높은 외부 공기 환기 비율 : 1인당 20 cfm</li> </ul>	

I	통합 실내 환경 조절	<ul style="list-style-type: none"> <li>부외 배출 가스용 설비</li> <li>중앙 건물 관리 시스템 : 디지털 조절시스템 DDC(Direct Digital Control )</li> <li>중앙 냉수 분배 시스템</li> <li>난방 : 팬 구동식</li> <li>연기 제거 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분배 시스템</li> <li>팬 구동식 VAV 박스</li> <li>연기 제거 시스템</li> </ul>
	자연 채광 차양	<ul style="list-style-type: none"> <li>투명도가 높은 단열 유리 사용 : 자외선을 100 % 반사하고 가시 광선은 73 % 정도만 투과시키는 이중 단열 유리</li> <li>보조광원으로 LED 사용 : 자연광이 부족할 때는 저에너지로 필요로 하는 LED로 빛 보충</li> <li>daylight dimming system(DALI) : 각 실에 light meter (광도계) 설치로 자연광 조절 이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>투명도가 높은 단열 유리</li> <li>보조광원 LED</li> <li>DALI 시스템</li> <li>CO<sub>2</sub> 감지 센서</li> <li>바닥에 필터가 장착된 공기 조절 시스템</li> <li>규정보다 많은 양 공기 유입에 의해 유입과 배출되는 공기가 모두 정화되는 시스템</li> </ul>
	자연 통풍 환기	<ul style="list-style-type: none"> <li>이산화탄소 감지 센서 : 이산화탄소 농도를 감지하여 자동 환기, 공기 정화 흐름 만들, 자동 공기 조절시스템</li> <li>바닥에 필터가 장착된 공기조절시스템 : 필터는 오존과 휘발성 유기화합물, 미세먼지 등 95% 제거</li> <li>입, 출입 공기 모두 정화 : 규정보다 4배나 많은 공기 유입에 의해 유입과 배출되는 공기가 모두 정화되는 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일출방방지 하수 이용 냉방 시스템</li> </ul>
	냉·난방	<ul style="list-style-type: none"> <li>얼음 냉방 시스템 : 과잉 열에너지로 얼음을 만든 다음 건물 냉각에 이용</li> <li>지하수를 이용한 건물냉방</li> </ul>	

다양한 계획 기법 중에서도 공통적으로 보이는 계획 항목은 자연채광과 자연환기를 통하여 에너지 절감과 실내의 온·습도 조절을 통하여 쾌적한 실내공간을 만드는 것이 목표를 두고 있다. 그리고 가장 많이 적용된 건축 계획 기법은 이중외피를 통한 열 완충 공간 조성과 외기차단과 중간 사이 블라인드나 공기 챔버 시설을 통하여 차양과 환기를 해결하는 방법과 증정이나 코어 공간을 굴뚝 효과를 이용하여 자연환기와 자연광을 유입하는 경우가 많았다. 그 다음 외피 구성에서 깊은 발코니나 테라스 구성으로 차양과 은은한 자연광 유입을 유도하고, 개폐형 유리 창 시스템으로 자연환기를, 유리 자체가 자외선 차단과 단열 기능을 가짐으로 채광과 차양, 단열까지 해결해주는 방식이 많이 적용되고 있음을 알 수 있었다.

4) 자연친화 시스템 계획

자연친화 시스템은 초고층 건축의 내·외부 자연요소 도입과 생물서식지 제공과 관련된 기법으로 식물과 물의 도입이 주가 된다. 이에 벽면, 옥상, 테라스, 발코니, 실내 녹화, 인공 데크를 이용한 건물녹화, 저류지, 우수지, 습지, 실개천, 연못, 새새라기, 폭포 등 수 공간 조성, 건축 주변 생태적 식재, 생태공원, 텃밭 조성으로 건물의 녹화와 연계를 이루는 그린네트워크 조성 기법이 주를 이룬다. 그러면 분석 대상 공간들은 어떠한 방법으로 자연친화 시스템을 구체화 시켰는지 살펴보면 표9.와 같다.

표 9. 분석대상 건축의 자연 친화 시스템 계획 도출

건축	적용 계획 요소	키워드
A	· 적극적인 수직 녹화가 주요 컨셉인 건축물, 건물 내 유기적 녹화 조성으로 수직 녹화 네트워크 실현	· 연속적 수직 조경

4) 연구자 주: 켄 양은 환경친화적 건축을 위해 제시하는 건축 내부의 환경 운영 시스템을 위한 법에는 다음과 같은 네 가지가 있으며 모두 낮은 에너지 소비와 건축에 의한 환경 부하를 줄이는데 목표를 두며, 가장 최우선으로 passive mode(자연형)시스템을 최대화 한 다음 환경조절이 충분하지 못할 때 그 다음 mixed mode(혼합형)→ full-mode(기계형)→ productive mode(에너지 생산형)를 사용하는 순으로 계획을 하였다.



	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 나선형의 수직조경 : 비오톱 조성으로 생물 서식처 제공</li> <li>- 계단 모양의 테라스 녹화</li> <li>- 테라스 정원과 skycourt 정원의 연계</li> <li>- 건물 구조보다 큰 정원 조성으로 생물학적 시스템이 기계적 시스템과 조화를 이뤄 공생하는 환경 조성</li> <li>· 실내 아트리움 공간, 개인용 정원 조성 및 외부 정원과의 유기적 연계</li> <li>· 식재 계획 : 과실수, 열매를 많이 맺는 식물 식재</li> <li>· 식재 관리 : 모바일 체리 수집기 설치 (사람 손질이 잘 닿지 않는 곳의 관리를 위해 건물 주위를 위 아래로 이동 선회하는 외부 트랙을 따라 움직이는 이동식 크레인 )</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 건물내 비오톱 조성</li> <li>· 테라스밭 코너 녹화</li> <li>· skycourt</li> <li>· 실내 아트리움 조성</li> <li>· 식재관리 이동식 크레인</li> </ul>
<p><b>B</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 거주자가 계절 변화를 경험하고 알 수 있도록 함</li> <li>· 입면 틈 사이 레벨마다 자유롭게 배치한 skycourt 정원</li> <li>· 옥상정원</li> <li>· 건물 내 전략적으로 스카이 테라스를 배치시킴</li> <li>· 식재 계획 : 현지 자생 식물과 야생동물의 통합, 자연 생태 조건 적용 비오톱 조성</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자유롭게 배치한 skycourt 정원</li> <li>· 옥상정원</li> </ul>
<p><b>C</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생물다양성과 유기적 매스로 표현</li> <li>· 하늘 속의 지상 재창조, 생태환경 복원 : 모든 유닛에 앞뜰과 뒤뜰 제공</li> <li>· 공간적 점진에 따른 다양한 조경 조성 : 사적 개방 공간(발코니)과 반사적 개방공간(entrance 정원) 공공 개방 공간(나선형 중정복도) 정원</li> <li>· 연속적 수직 조경 : 개방된 중앙 조경화 된 램프로 나선형 연결</li> <li>· 거주자 동선과 일치하는 조경 흐름</li> <li>· 다양한 높이와 크기 비정형적 skycourt : 중심부 아트리움을 중심으로 마추 보고 위치 함</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 생물적 다양성</li> <li>· 유기적매스</li> <li>· 모든 유닛에 앞뜰과 뒤뜰</li> <li>· 공간적 점진에 따른 조경 조성</li> <li>· 다양한 높이와 크기 비정형적 skycourt</li> <li>· 연속적인 수직 조경</li> </ul>
<p><b>D</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sky garden 조성 : 나선형으로 4층 간격으로 돌아가며 배치</li> <li>- 동쪽면 3개, 남쪽면 3개, 서쪽면 3개 총 9개의 정원</li> <li>- 서로 다른 식물 종 식재</li> <li>- 내부와 외부 창으로 도시 전경과 내부 배치된 정원 조망 가능, 녹색환경과 자연요소 제공</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 실내 Sky garden 나선형 교차배치</li> <li>· 서로 다른 식물 종</li> </ul>
<p><b>F</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 유리 마감으로 탁월한 전망 제공</li> <li>· 건물입구 주변 조경</li> <li>· 실내 공간 곳곳에 실내 조경 조성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건물입구 주변 조경</li> <li>· 실내 조경</li> </ul>
<p><b>H</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건축주변 지상정원과 로비 실내정원의 연계</li> <li>· 옥상정원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지상정원</li> <li>· 옥상정원</li> </ul>
<p><b>I</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 옥상정원 : 식물을 재배하는 4,050m<sup>2</sup> 면적의 옥상정원, 건물 단열 효과와 도시 열섬 완화 효과</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 옥상정원</li> </ul>

자연친화 시스템은 켄 양의 건축사례에서 두드러지게 나타나며, 나머지 사례는 실내정원과 옥상정원 조성 정도로 나타났다. 이에 초고층 건축에서의 자연친화 시스템 유형은 크게 3가지로 구분 할 수 있다. 첫째, 1층을 필로티 공간 구성하거나 open 아트리움, skycourt 등을 조성하여 건물 내부로의 바람 길과 햇빛이 들어오게 구성하고 외부자연과 교감하게 구성해준다. 둘째, 건물 지층부터 옥상까지 이어지는 수직 조경(vertical landscaping)의 조성을 들 수 있다. 수직조경은 특히 켄 양의 건축사례에서 두드러지게 나타나며 건물내부에 그늘을 제공하며, 냉방부하를 줄이며, 무엇보다 심미적이며 생태적 효과를 준다. 셋째, 옥상공간에 옥상정원과 레크리에이션을 위한 수 공간이나 테마 가든 조성을 들 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 향후 미래 도시의 현재 전 세계적으로 친환경적 관점에서 환경친화성을 강조하고 앞에 친환경 초고층 건축 개념과 일치하는 초고층 건축 사례를 중심으로 친환경적 초고층 건축들의 배치, 건축형태, 입면, 평면계획에서의 특성을 찾아보았다. 그리고 친환경 초고층 건축의 목표 달성을 위한 4가지 원리를 주요 친환경적 건축 기술이라 지정하여 자연에너지 이용 계획, 자원절감과 폐기물 저감계획, 자연형 건축 환경 설계 계획, 자연친화 시스템으로 나누어 각각 사례에서 적용한 구체적 기법들을 도출해 보았다.

분석결과 각 계획에서 분석된 친환경적 초고층 건축의 주요 특징을 요약해 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 건축의 배치는 주로 남향과 남동향이나 탐상형으로 다양한 방향을 고려하며, 형태는 탐상형으로 비정형적이며, 심미적 형태나 위로 갈수록 좁아지는 셋백이나 원추형 형태, 기본 기하학적 형태로 단순한 매스이나 다양한 입면 매스분할을 시도한 형태로 나타나고 있었다.

둘째, 입면 계획 특성은 균등한 수평 면 분할이나 입면 깊이와 재료로 변화, 삼각, 사각, 비대칭 다각형 전체적인 수직 입면 상 넓은 면분할로 역동적 표현을 하거나 사선이나 나선형, 불규칙적 면 분할 시도로 비정형성을 강조하는 경우가 대부분이었다.

셋째, 평면 계획 특성은 비정형적 형태이나 대체적으로 크게 보면 원형, 삼각형, 타원형 등 콤팩트한 형태가 주를 이루며, 공기순환과 태양광을 고려한 공간 배치와 공간의 지속가능성 고려하여 가변성과 융통적 공간 구성을 하고 있으며 획일적이고 일률적인 공간배치는 탈피하는 경향을 볼 수 있다.

넷째, 자연에너지 이용 계획에서는 태양에너지의 패시브한 활용과 액티브 한 이용이 가장 많이 적용되었으며 풍력발전과 연료전지, 천연가스, 열병합 발전 등의 활용이 많이 보였다.

다섯째, 자원절감과 폐기물저감 계획에서는 수자원 절약을 위해 우수의 활용과 중수의 순환이용이 대부분 적용되고 저유량 설비와 소변기 등의 활용이 중심을 이루었다. 그리고 건축재료 사용 절감과 폐기물 저감을 위해서는 재활용 재료나 재활용률이 높은 자재, 내구성이 높은 자재, 절연성과 단열성이 높은 자재를 사용하고, 융통적이며 가변적 구성을 하고, 음식물 쓰레기 재활용이나 재활용 쓰레기 분리 처리 시설을 갖추고 있었다.

여섯째, 자연형 건축 환경 설계에서는 자연채광과 환기 효과를 동시에 보기 위해 투명 단열 유리를 사용하고 이중, 다층 외피를 구성하고, 주로 중정형 대형 아트리움 조성을 통해 Wind Scoop 설치로 열 굴뚝 및 열 완충 효과로 환기와 통풍으로 건물 전체 열 환경 조절을 하고 있었다. 그리고 대체적으로 개폐 가능창을 설치하거나 외부공기유입 통풍 슬릿을 설치하고 있었으며, 켄 양의 건축 경우 매스 자체를 다공질 공간을 만들어 공기와 빛을 유입

을 시도하는 광정이나 skycourt, 매스의 분할, 깊은 발코니, 개폐가능 창으로 구성된 특성을 나타내고 있다.

일곱째, 자연 친화시스템에서는 켄 양 건축의 경우 연속적인 수직조경으로 녹화시스템을 시각적으로 강조하면서 에너지절약 효과와 심미적, 생태적 효과를 높이는 반면 나머지 사례들은 옥상조경과 실내조경을 이용하는 경향을 볼 수 있었다.

이에 초고층에서도 다양한 방법으로 친환경적 개념을 적용시킬 수 있으며 가능성을 알 수 있었다. 단, 켄 양의 사례와 기타 사례를 비교해 보았을 때 켄 양의 작품 경우 생태기후학에 목표를 두고 환경조절 방법으로 자연형(passive mode)과 혼합형(mixed mode)을 중심으로 전개하여 기계적 설비 시스템의 도입보다는 다공질의 유기적 비정형 형태와 녹화를 통한 환경친화를 추구한 반면 다른 사례들은 최첨단 환경조절 설비시스템과 바람과 빛을 고려한 단순한 형태에서 다양한 표면의 변화를 통하여 에너지 절감을 통해 환경친화를 추구하는 경향을 보인다. 그러나 이러한 두 가지 경향이 향후 국내 적용을 위해서는 대립적 요소로 선택 적용되기보다는 적절하게 조합 응용하여 반영해야 할 것으로 여겨진다. 이와 같이 친환경적 초고층 건축은 더욱 미학적이고, 인간적이며, 쾌적하며 안전한 친환경적 초고층 환경을 제공 할 수 있음을 알려주고 있다. 그러므로 최근 우리나라에서 이루어지는 밀폐형의 단일 외피구성에 기계 환기와 냉난방 계획이 주가 되는 초고층 건축계획에 친환경적 초고층 계획 기법들은 새로운 건축 방향을 제시해 준다고 할 수 있다. 그러므로 국내 초고층 건축의 지속가능성과 환경친화성 향상을 위해서는 본 연구의 분석에서 나온 결과를 토대로 단계적 적용이 요구되며, 켄 양의 생태기후적 접근 등을 적용하여 우리의 기후환경과 미기후 조건에 적합하고, 도시와 지역의 문맥적 특성을 고려한 친환경 초고층 건축에 대한 연구와 개발이 요구된다고 할 수 있다.

### 참고 문헌

1. David Gissen, BIG & Green, Princeton Architectural press, New York, 2002
2. Ken Yeang, The Skyscraper bioclimatically considered, Wiley-Academy, 1996
3. Ken Yeang, the Green Skyscraper, Prestel, 1999,
4. Ken Yeang, service cores ,Wiley-Academy, 2002,
5. Ken Yeang, Reinventing the Skyscraper, Wiley- Academy, 2002,
6. Ivor Richards, T.R. Hamzah & Yeang: Ecology of the sky, images publishing, 2001
7. 김자경, 켄 양의 건축 분석을 통한 환경친화적 초고층 건축 계획 요소에 관한 연구, 생태환경건축학회, Vol.7 No.5, 2007.10,
8. 강승모 · 김수정 · 권자인, 환경친화를 위한 그린빌딩 디자인 정보에 관한 연구, 한국 실내디자인학회 논문집 25호, 2000. 12
9. 김선옥, 켄 양의 초고층 건물에 나타나는 보이드 공간의 친환경적 특성에 관한 연구, 전남대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문, 2005.
10. 김규성 · 이정만, 메나라 메시니아가의 디자인 과정분석을 통한 켄 양의 형태 구상 방식에 대한 연구, 대한건축학회 논문(계획계), v.19 n.1, 2003.1,
11. 이은정 · 박영기, 지속가능한 실내환경 디자인 요소의 체계적 분류, 한국실내디자인학회 논문집 제15권 3호, 2006.6
12. 이은정, 초고층아파트 단위주공간의 지속가능성 평가요소 분석, 한국생태환경건축학회 논문집 vol.6, No.3, 2006.9
13. 오세영 · 홍영균, 그린빌딩 계획 요소에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계), v.22 n.2, 2002. 10
14. <http://www.trhamzahyeang.com/>
15. <http://www.ellipsis.com>
16. <http://www.emporis.com/en/>
17. [http://en.wikipedia.org/wiki/Bank\\_of\\_America\\_Tower,\\_New\\_York\\_City](http://en.wikipedia.org/wiki/Bank_of_America_Tower,_New_York_City)
18. [http://en.wikipedia.org/wiki/Freedom\\_Tower#Height](http://en.wikipedia.org/wiki/Freedom_Tower#Height)
19. <http://torreagbar.com/home.asp>

투고(접수)일자: 2008년 3월 27일

심사일자: 2008년 4월 2일

게재확정일자: 2008년 4월 28일