

# 미국 연구소 건축의 친환경 디자인 프로세스와 계획요소

- LABS21와 LEED 친환경 인증프로그램의 연구소 건축을 중심으로 -

## Lessons from Green Strategies of the Laboratory Buildings in the U.S.

- Focus on the Recent Green Development of LABS21 and LEED -

이종원\*  
Lee, Joongwon

토스텐쉴제\*\*  
Schuetze, Thorsten

### Abstract

This study aims to analyze the green strategies of laboratory buildings in the U.S. developed by LABS21 and LEED of USGBC. To achieve this goal, the paper analyzed the design process of green laboratories and the sustainable planning strategies. Laboratories, as a building type, have specific requirements stipulated by NIH. Chemical restive measures and biosafety level measures needed to be met in laboratory buildings prior to meeting green measures. Obama Administration's Executive Order 13514 in mind, the paper has mainly focused on the five areas of green planning strategies in the laboratory buildings; site, energy, water, indoor environment, and materials. The study informed that the current green certification program needs to expand into the particular building types in order to; first, provide more realistic energy-saving benchmarking data, and second, provide building-type-specific green strategies.

키워드 : 그린랩, 친환경, LEED, LABS21, 연구소 건축

Keywords : Green Lab, Sustainability, LEED, LABS21, Laboratory Facility

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

연구소 건축에 대한 친환경 프로세스적인 접근은 1993년 설립된 미국 U.S. Green Building Council (USGBC)의 LEED (Leadership in Energy and Environment Design) 친환경 인증프로그램과 함께 시작한다. 1998년도에 LEED는 인증의 등급을 항목별 누적점수에 따라 네 개의 단계(Certified, Silver, Gold, and Platinum)로 나누어 평가하는 시스템을 마련했다. 이후 이 평가 시스템이 건축물 전반에 대한 보편적 적용에 있어서 한계를 드러내자 이후 다음 몇 년간 건물을 유형별로 나누어 평가하도록 인증프로그램을 보완 및 확장했다. 이러한 평가 시스템의 유형별 세분화는 연구소 건축 분야에도 이루어졌으며 1990년대 중반 미국 연방정부의 DOE(Department of Energy)와 EPA (Environment Protection Agency)의 고효율 연구소 건축시설 확립을 위한 "21세기를 위한 연구소 건축 (약칭, Labs21)"의 설립으로 이어졌다. 이 조직에서 건축가, 엔지니어, 정책 입안자등 다양한 그룹의 사

람들은 협업을 통해 연구소 건축 계획 방법론을 정리하게 되고, 2005년 처음으로 LEED시스템 속에서 친환경 연구소 건축계획 가이드라인을 수립했다.<sup>1)</sup>

최근에는 LEED 친환경 인증프로그램의 항목을 분석하는 거시적 관점에서 벗어나 대략 3가지 새로운 방향으로 연구가 진행 중이다. 첫째는 EU의 디지엔비 (DGNB), 영국의 브리엄 (BREEAM), 또는 일본의 카스비 (CASBEE)와 LEED를 비교분석하는 연구이고; 둘째는 LEED 친환경 인증프로그램을 건축단위에서 도시단위로 확장하려는 연구이고; 셋째는 LEED 친환경 인증프로그램을 건축물의 용도 유형별로 나누어 적용 가능한 친환경 전략들을 살펴보는 연구이다.

EU의 디지엔비 (DGNB) 또는 영국의 브리엄 (BREEAM)의 경우 친환경 전략 접근면에서 LEED보다 통합적인 접근을 한다는 것이 우수하다.<sup>2)</sup> 그러나 DGNB, BREEAM, CASBEE는 실제로 시공된 연구소 건축의 양이 적어 정보의 축적이 미비한 상태이다. 반면 미국은 2000년 이후 수많은 연구소 건축을 실제로 지었고, 친환

1) labs21의 연구소 건축계획 가이드라인은 <http://ateam.lbl.gov> 에 자세히 소개되어 있다.

2) DGNB를 통한 연구소 건축에 대한 친환경 전략은 다음 웹사이트에서 찾아볼 수 있다.  
<http://www.eurolabors.de/en/news/dgnb-nachhaltigkeitszertifikat-fur-laborgebäude/>

\* 주저자, 성균관대학교 건축학과 조교수

\*\* 교신저자, 성균관대학교 건축학과 조교수

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 신진연구사업 지원을 받아 수행된 것임(S-2012-0506-000)

경적인 접근 방식에 대해 방대한 자료를 데이터베이스화한 상태이기 때문에 정보의 축적 면에서는 LEED나 연구소 건축에 대한 리서치 기관이 더 우수한 실정이다.

LABS21 건축용도별 벤치마크 데이터에 따르면, 상업 건축물의 연평균 에너지 소비량이 150,000 BTU/SF 이고, 물리학 연구소 건축물은 연평균 에너지 소비량이 550,000 BTU/SF 이고, 바이오테크놀로지 연구소 건축물은 에너지 소비량이 1,100,000 BTU/SF 이다<sup>3)</sup>. 상업건축에 비해 연구소 건축이 적게는 3.6배 많게는 7.3배의 에너지를 소비한다.

우리나라에서도 차세대 성장 동력으로 바이오테크놀로지, 메디컬테크놀로지, 제약테크놀로지 등을 설정해 놓고 있으므로 연구소 건축에 대한 수요는 지속적으로 성장할 추세이다. 따라서 연구소 건축의 친환경 계획 전략의 수립은 시급한 실정이다.

이에 본 연구는 데이터베이스가 방대한 미국의 LABS21, USGBC, EPA를 중심으로 진행되어 온 사례를 분석하고 차후에 DGNB나 BREEAM, CASBEE에 의해 계통화 된 사례를 살펴 연구소 건축의 친환경 계획 전략의 개념을 정립하고자 한다.

## 1.2 연구의 내용 및 방법

2009년 10월 5일 오바마 행정부는 연방 정부의 친환경 성과 온실가스 배출 감축을 우선으로 하여 통합적인 전략을 수립하라고 지시했다.<sup>4)</sup> 이에 앞서 백악관의 직속기구인 OMB (Office of Management and Budget) 에서는 2006년도에 친환경성의 방향을 다섯 가지로 설정한다 : (1) 통합적인 디자인 원칙 적용 (2)에너지 퍼포먼스의 최적화 (3)물의 보호와 보전 (4) 내부 환경 (5) 환경에 충격을 최소화하는 재료 선정. 본 연구에서 연구소 건축의 친환경 계획요소 검토는 OMB가 지정한 방향의 틀 속에서 지금까지 미국에서 진행 되어온 연구결과를 검토하여 연구소 건축의 친환경 전략들을 살펴보고자 한다.

미국 연구소 건축의 클라이언트는 다양하다. 정부, 기업, 병원, 학교로 크게 나뉘고, 그 안에서 다시 연구 분야에 따라 연구소 건축의 유형은 다양하다. 본 연구는 미국 내에서 가장 수요가 많은 생물학, 화학, 생화학, 약학, 의학 등의 과학 연구소 건축을 중심으로 고찰한 것이다.

본 연구는 연구소 건축의 친환경 전략에 관한 저서와 보고서의 문헌적 고찰과 LAB21의 웹사이트, 미국 내 주요 연구소 건축 특화 건축사 사무소의 보고서의 고찰을 연구 방법론으로 설정하고 미국 연구소 건축의 친환경 계획 전략을 2가지 분석의 관점을 통해 살펴보고자 한다. 첫째는 연구소 건축의 친환경 계획 디자인 프로세스이다<sup>5)</sup>. 둘째는 연구소 건축의 친환경 계획 요소 도출 및 분

류이다. 친환경 계획 요소는 앞서 언급한 OMB의 5가지 방향을 토대로 LABS21의 연구 성과와 LEED 친환경 인증 프로그램의 연구소 건축의 성과를 중심으로 분류하고 도출하고자 한다.

## 2. 연구소 건축의 친환경 디자인 프로세스

그림 1. 을 보면, 일반 건축물이 친환경 건축물이 되면서 변화한 과정을 보여주고 있다. 기존의 디자인 프로세스가 각 분야별 디자인 발전 과정에 따른 순차적 프로세스라면, 친환경 디자인 프로세스는 분야별 시너지를 초기부터 강조하고 있다.

최근 몇 년 동안 혁신적인 연구소 모델들이 미국에서는 많이 개발됐다. 이들은 현재의 필요를 충족시켜 줄 뿐만 아니라 다가오는 미래의 요구에도 탄력적으로 대응할 수 있게 계획되었다. 산업과 정부의 연구시설에서부터 학교의 연구시설에 이르기까지 새롭고 혁신적인 모델의 필요성이 증대되고 있다. 특히 계획과 운영의 유연성과 연구의 협업을 강조하는 연구소 건축이면서 동시에 친환경적인 계획 전략들을 수용하는 연구소 건축의 혁신적인 모델이다<sup>6)</sup>. 일반 사무소 건축에 비해 프로그램 측면에서 복잡하고 다양한 장비들을 사용하는 연구소 건축은 디자인 프로세스가 일반 사무소 건축의 디자인 프로세스에 비해 복잡하다. 미국 연구소 건축 계획의 친환경적인 디자인 프로세스는 프로젝트 플래닝 에서부터 팀의 녹색화 구축에 이르기까지 총 8개의 단계를 가지고 있다. 각 단계별로 이슈들을 요약하면 아래와 같다.

[1] 프로젝트 플래닝 (Project Planning) 단계이다. 이 단계에서는 연구소-사용자 그룹이 연구소-계획가 그룹과 연구소-CM 그룹에게 프로그램의 요구조건이 담긴 문서를 넘겨야 한다.<sup>7)</sup> 그 안에는 폭 넓은 생태환경 요구조건 및 디자인 프로세스에 필요한 건축물의 친환경성을 보장하는 상세한 요구 조건들이 문서화되어 있어야 한다. 연구소-계획가 그룹에 속하는 건축사와 엔지니어와의 용역 계약 제출 서류 안에는 기본적인 도면과 시방서 외에도 내부공기특성 (Indoor Air Quality), 에너지 분석 보고서, 대지 분석, 수목의 분석, 환경 영향평가 등이 포함되어야

바탕으로 정리됐다.

- 6) Dennis M. Gross, "Design and Operation of the Sustainable Laboratory Building" 에세이 참조. Gross의 관점에서는 친환경성의 개념이 에너지 절감 뿐만 아니라, 사람들의 교류와 참여에도 무게를 둔다. 이점에서 그의 친환경성의 개념은 사회학적 교류도 포함하는 지속가능성의 개념에 가깝다. 본 논문에서는 사회학적 개념은 배제한 생태환경의 유지 및 에너지 절감의 관점을 가지고 연구소 건축의 친환경 계획 전략을 소개한다. 혁신적인 리서치 환경을 구축하는데 서로 다른 학문분야의 소통의 계획적 전략에 대해서는 주저자의 논문 "최신 첨단 과학 연구소의 이슈와 프로세스" (JAABE, 2010. Nov. Issue)를 참조.
- 7) 연구소-사용자 그룹은 대개 연구소 건축을 소유하는 그룹과 같을 수도 있고 임대를 전제로 하는 경우는 다를 수도 있으므로 실제적인 연구소-사용자 그룹으로 결정될 필요가 있다. 연구소-계획가 그룹은 기획가, 건축가, 인테리어 디자이너, 엔지니어, 조경가 그룹을 의미한다. 연구소-CM 그룹은 시공 당시 시공 감리를 담당하는 그룹을 의미한다.

3) [www.labs21century.gov/toolkit/benchmarking.htm](http://www.labs21century.gov/toolkit/benchmarking.htm) 을 참조할 것.

4) 백악관 Executive Order (EO) 13514

5) 미국 보스턴에 위치한 Ellenzweig 건축사사무소는 미국 내 대학들과 정부기관과 기업을 대상으로 연구소 건축계획만을 특화한 사무소이다. Ellenzweig 에서는 2003년부터 본격적으로 LEED시스템을 도입하여 프로젝트에 적용했다. 본 연구의 디자인 프로세스와 친환경계획요소 도출은 Ellenzweig 사무소의 실제 조사를

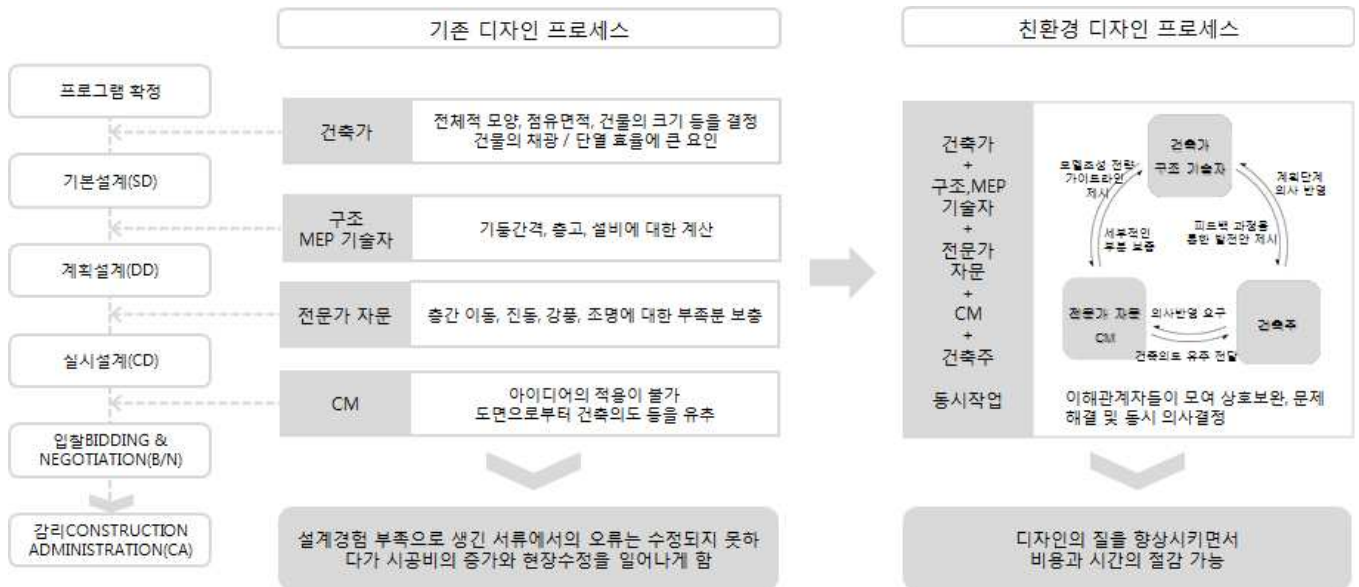


그림 1. 기존 건축 프로세스와 친환경 건축 프로세스의 차이

한다. 뿐만 아니라, 지속적인 친환경성을 담보로 할 수 있는 준공 후 친환경 시스템들의 작동 및 유지 매뉴얼, 에너지 퍼포먼스 등에 대한 설명서가 포함되어 있어야 한다.

[2] 목표설정 (Goal Setting) 단계이다. 이 단계에서는 연구소-사용자, 연구소-계획가, 연구소-CM 그룹들 간의 1박2일 정도의 워크숍이 필요하다. 워크숍을 통해 팀들 간의 관계성을 증진하고 초반부터 구체적이고 실현 가능한 목표들과 이를 수행하기 위한 조직 간의 업무 분배를 한다. 연구소 건축의 복잡한 프로그램적인 요구는 연구소-사용자에 의해 발의 되어야 하고, 건축물의 친환경성은 연구소-계획가 그룹에서 발의 되어야 하고, 이를 연구소-CM 그룹에서 실현 가능성을 바로바로 확인해 줄 수 있는 절차가 필요하다. 연구소 건축의 친환경성을 실현하기 위해서는 녹색 컨설턴트들에게 지불해야 하는 비용이 발생하므로 연구소-사용자간의 긴밀한 협의가 필요하다. 워크숍이 끝나는 시점에는 단계별로 수행하는 친환경 연구 범위와 집행 방식에 대한 아웃라인이 완성되어 있어야 한다.

[3] 퍼포먼스 벤치마크 (Performance Benchmark) 단계이다. LAB21 웹사이트의 데이터 벤치마크와 LEED를 기준으로 퍼포먼스 벤치마크를 시작한다. 대지의 위치와 건물의 규모 및 프로그램에 대한 정보가 이미 나와 있으므로, LEED의 항목들을 기준으로 LEED 골드를 목표로 할 것인지 LEED 플래티늄을 목표로 할 것인지를 먼저 정한다. LAB21 웹사이트의 에너지 퍼포먼스의 데이터들도 기준점을 어디에 두느냐에 따라서 계획하고자 하는 건축물의 퍼포먼스 개량의 폭이 변하므로 연구소-사용자 측에서 실제적인 연간 에너지 비용 절감의 목표 설정을 어디에 두고 있는지 파악해야 한다.<sup>8)</sup> 대지와 근접한 곳에 위

치고 있는 친환경 리소스 목록 작성이 필요하다. 유연성을 강화하고 적용성을 높일 수 있는 계획 전략들을 확보한다.

[4] 재료 리서치 (Material Research) 단계이다. 계획 초기단계부터 실질적으로 프로젝트에 사용될 재료들에 대한 스테디와 생산업체에 대한 목록을 파악하는 것이 필요하다. 연구소-계획가 그룹 측이 초기에 많은 업체들을 접촉하여 각 제품이 지니는 특성과 선택사항들을 인벤토리로 구성하여 체계화 할 필요가 있다. LEED의 평가항목 중에는 재료 생산지와 대지와의 물리적 거리, 폐자재의 재활용성 등도 포함되어 있으므로 대지의 위치 및 건물 프로그램의 유형을 잘 파악하여 인벤토리로 구성하는 것이 중요하다. 특히, 연구소 건축은 고가 장비의 사양과 연구 유형에 따라 마감재의 사용이 제한적일 수 있으므로 친환경 자재 사용이 가능한 공간을 파악하여 적용범위를 계획의 초반에 잡아두는 것이 필요하다.

[5] 디자인 시뮬레이션을 위한 컴퓨터 모델링 (Computer Modeling) 단계이다. 개축이나 신축이냐에 따라 다소 차이가 있다. 개축의 경우에는 미터기가 알려주는 기존의 에너지 사용량에 대한 분석이 선행 되어야 하고, 신축의 경우는 냉각 장치나 보일러 또는 신재생 에너지 장치 등의 구체적인 시스템을 타깃으로 잡아 분석한다. LEED에서는 ASHRAE의 PRM (Performance Rating Method) 방법 또는 ECB (Energy Cost Budget) 방법을 모두 인정해주고 있다.<sup>9)</sup> 기본적인 에너지 모델링 외에도 일광조도

8) LEED 시스템의 한계일 수도 있지만, LEED 골드나 LEED 플래티늄은, 꼼꼼하게 지표들을 잘 챙기고 몇 개의 항목들만 추가로 상정하면 도달이 가능하다. 따라서 실질적인 연간 에너지 비용절

감이라는 차원이라기보다는 많은 경우 연구소-사용자 측의 우리 건물은 LEED 최고단계를 완수했다는 마케팅 효과에 더 포커스가 맞추어진 경우가 많다. 또 미국 건축가들 중에 LEED에 비판적인 견해를 가지고 있는 그룹이 많이 하는 얘기 중에 하나는 LEED의 점수를 획득하기 위해 만들어야 하는 친환경 재료나 친환경 설비들이 제작되기까지 사용해야 하는 에너지 및 탄소배출량과 실질적으로 이들 재료와 설비들이 절감하는 에너지 및 탄소배출량의 비교가 전무하다는 주장이다. LEED의 진화와 친환경 전략들의 발전으로 점진적으로 사라질 견해이다.

분석 모델링, IAQ 모델링, 외부 배기 모델링, 수자원 관리 모델링 등이 필요하다. 이 단계에서는 다음의 과정을 반복한다 : 정보의 수집 ⇨ 베이스 케이스 설정 ⇨ 에너지 사용 및 비용 설정 ⇨ 옵션 스터디 ⇨ 최적 모델 설정. 최적화 방법을 도출해야 하는 단계이므로 외피와 조명, 외피와 HVAC 시스템 등을 통합하는 전략의 수립이 결과적으로 도출되어야 하므로 모델링의 결과는 연구소-계획가 그룹의 긴밀한 협의가 요구된다. 연구소 건축은 사무소 건축에 비해 별도의 컨설턴트들이 더 많이 필요한 건물이므로 초반부터 연구소-계획가와 연구소-사용자가 컴퓨터 모델링의 규모와 범위를 협의하여 설정하는 것이 필요하다.<sup>10)</sup>

[6] 측정 (Metering) 및 평가 (Verification) 단계이다. 에너지 사용의 계량화 (Metering) 및 이에 대한 기록 및 전시는 매우 중요한 평가 지표이다. 연구소 건축에서 측정하고 평가해야 하는 항목들은 전기, 가스, 물, 스팀, 냉각장치, 모터, 보일러의 기름, 쿨링타워의 물 사용, HVAC, 물 정화 시스템 등등 다양하다. 측정은 측정기, 측정 데이터 전송장치, 측정데이터 관리 시스템으로 구성되어 있다. 측정하는 방식도 고전적인 계량기에서 최근의 SNS와 연동된 장치에 이르기까지 다양하다.<sup>11)</sup> 측정만큼 중요한 작업이 평가 및 개선일 것이다. 소위 M&V (Measurement and Verification) 플랜은 LEED에서도 5 점을 받을 수 있는 항목이다. 연구소 건축에 적용 가능한 M&V의 상세한 항목들은 IPMVP (International Performance and Measurement and Verification Protocol) 에 상세히 기술되어 있다.

[7] 녹색 시방서 (Green Specification) 단계이다. 기본적으로 건물시공 시방서에 들어가야 하는 내용 외에도 친환경성을 달성하기 위한 기본적인 목표치와 요구조건, 공인된 친환경 자재 사용, 녹색 퍼포먼스, IAQ의 기본 요

구조건, 폐자재 활용 및 처분 조건 등의 섹션이 별도로 필요하다. 미국에서는 마스터 스펙이라는 프로그램을 사용하는데, 연구소-계획가 그룹이 연구소-사용자 그룹과의사결정이 된 친환경 항목들을 기반으로 마스터 스펙에 그린 시방서 부분을 가감하면 된다.

[8] 팀의 녹색화 (Greening Team) 및 커미셔닝 (Commissioning) 단계이다. 건축 시스템을 통합 하려는 전략에는 협업과 소통을 필요로 한다. 연구소-사용자 팀은 별도의 기관 안에서 녹색 팀을 위촉하여 새롭게 적용 가능한 친환경 전략을 리서치 하여 운영회의 구성원들에게 알려야 한다. 입찰과 시공 그리고 커미셔닝 단계에 이르기까지 모든 팀원들의 친환경에 대한 교육이 필요하다.<sup>12)</sup> 준공이 된 후에는 로비 등에 친환경 전략의 전시를 하고 연구소-사용자 팀이 작동 매뉴얼과 유지보수 등의 매뉴얼을 통해 건물에 일하게 될 전 직원을 교육하는 것이 필요하다. 팀의 녹색화 단계는 디자인 과정에서 시작 단계에 위치하지만 시공이 완료되고 사용 유지 단계까지 지속된다는 측면에서 가장 마지막 단계까지 이뤄진다고 할 수 있다.

### 3. 연구소 건축의 친환경 계획 요소 도출 및 분류

연구소 건축과 관련하여 친환경 계획 요소는 크게 네 가지 영역으로 구분될 수 있다. 첫째는 사이트, 둘째는 에너지, 셋째는 물, 넷째는 내부 환경과 재료이다. 이 들 네 영역은 연구소라는 특수한 건축물의 특성에 맞추어 다시 소분류 될 수 있다. 특히 두 번째 영역인 에너지 부분은 연구소 건축이 다른 건물 유형에 비해 공기 순환이 많아야 하는 점과 수많은 실험장비들의 사양과 에너지 사용량을 고려해야 한다.

#### 3.1 사이트

LEED에서 요구하고 있는 건축물의 사이트에 관한 일반적인 적용사항과 연구소 건축물의 특수적인 적용사항을 나누어 생각해 볼 수 있다. 일반 건축물에서 사이트 영역은 사이트 분석, 사이트 플래닝, 사이트 재료 선정, 사이트 시방서, 사이트 작동방식으로 크게 나눌 수 있다. 사이트 분석은 물, 생태, 교통, 기후, 오염 분야로 나누어 사이트에서 사용할 수 있는 친환경 요소들을 분석한다. 사이트 플래닝은 이러한 분석을 바탕으로 실제로 적용할 수 있는 친환경 계획의 단계이다. 보존해야 하는 생태계 분류계획, 투과율 높은 포장계획, 기후변화에 따른 재해 방지체계 계획, 지역 특유의 식물 사용계획, 우수 사용계획, 사이트 조명 계획, 조명 오염 방지 계획 등을 세운다. 사이트 재료 선정은 해당 지역의 친환경적 재료 선정과 재활용이 용이한 재료를 선정한다. 뿐만 아니라, 건축을

9) PRM은 EPA 2005년의 세금 인센티브 프로그램에도 사용되는 방법이다. ECB 방법론보다 유연한 방법론인 PRM은 ASHRAE 90.1 의 지표들을 베이스라인으로 설정해서 평가한다. 또한 최근에 미국 DOE (미국 정부 Department of Energy) 의 연방 에너지 관리 프로그램에 의해 모든 연방정부 건물들은 PRM의 에너지 효율의 30% 이상을 의무화하고 있다. PRM의 방법론에 대해서는 별도의 연구가 필요하다.

10) 기본적으로 연구소 건축이 사무소 건축보다 더 필요로 하는 컨설턴트는 우선 생물학적 안전성과 시약의 control area 를 파악해 줄 수 있는 법규 컨설턴트가 필요하다. 뿐만 아니라 동물실험실과 그린하우스 또는 Core LAB 에 들어가야 하는 특수 장비를 사양을 연구소-계획가 그룹과 연구소-CM 그룹에게 소통 시켜줄 수 있는 컨설턴트도 필요하다. 그 밖에도 조명과 소음에 대한 컨설턴트가 필요하다. 전기와 설비 컨설턴트들이 해줄 수 있는 친환경성 검토에 대한 범위가 좁으므로 필자가 있었던 ELLENZWEIG 건축사무소의 경우는 별도의 컨설턴트들인 뉴욕의 Atlier Ten 이나 Arup 을 고용하여 에너지 절감 컴퓨터 모델링을 수행했었는데 가격이 높았다.

11) 한국에서 KT가 비즈니스 모델의 하나로 SNS와 Power Grid와의 연동을 통해 스마트그리드를 개발하였듯이 미국에서도 연구소 건축 소유자와 사용자의 자발적인 참여를 유도하는 친환경 비즈니스 제품들이 많이 생산되고 있다. 해밀턴 대학과 Lucid Design Group이 개발한 "Building Dashboard" 도 이에 속한다. 에너지 미터링에 대한 책자는 DOE의 연방 에너지 관련 프로그램의 책자 "Metering" 참조.

12) 미국에서 커미셔닝 (commissioning) 이란 빌딩오너의 요구조건과 친환경 디자인 목표가 일치함을 보여주는 문서이다. LEED 인증 제도의 EA (Energy and Atmosphere) 카타고리에서도 1점을 획득할 수 있고, 부가적인 커미셔닝 전략을 문서화하면 3점까지 획득 가능하다.

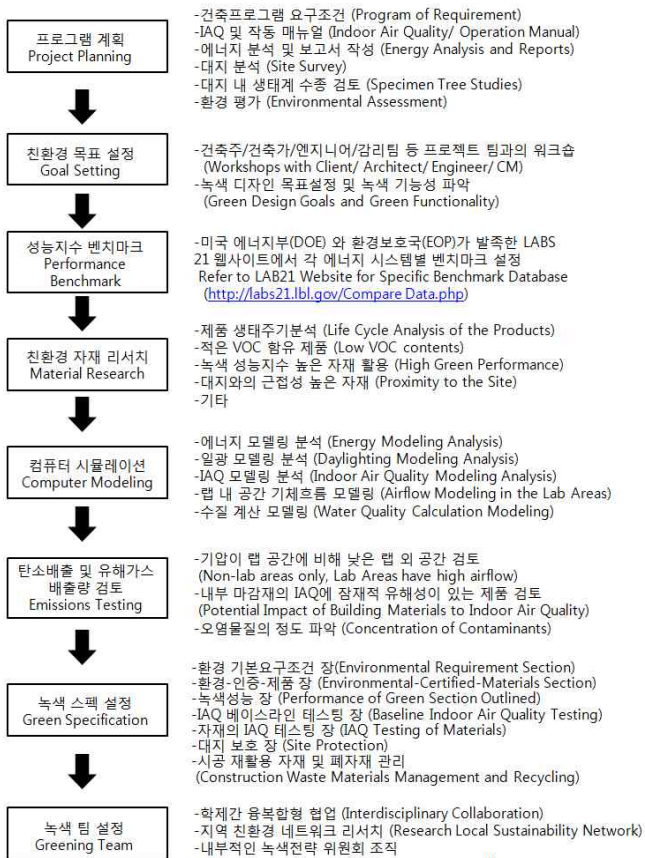


그림 2. 종합 다이어그램 - 친환경 연구소 건축의 디자인 프로세스 다이어그램 (이미지는 저자들에 의해 제작되었음)

해체해야 하는 시점을 고려하여 오염 비율이 낮고 자연 분해 가능한 재료를 사용한다. 사이트 시방서로는 토양 침식을 최소화하고 자연 관계 계획 할 수 있는 시방서를 작성한다.

연구소 건축물의 사이트 영역의 친환경 계획 전략은 건축물이 위치하는 사이트에 따라 다소 차이가 있지만, 크게 여섯 가지로 나눈다. 첫째는, 기존의 사이트 형상에 대한 변화를 최소화하는 전략이다. 둘째는 건축의 자연광과 자연 통풍을 고려한 건물 배치이다. 셋째는 기후변화에 따른 폭우 피해를 최소화하는 전략이다. 넷째는 주차면적 최소화 전략이다. 다섯째는 신재생 에너지를 사용하는 사이트 조명계획이다. 여섯째는, 해당지역 야생식물의 식재계획 전략이다.

연구소 건축은 수많은 장비 사용과 실험환경에 필요한 강제 환기 시설로 인해 다른 일반적인 건축 유형에 비해 연간 에너지 사용률이 높다<sup>13)</sup>. 유틸리티 라인들의 수용능력과 새로 짓는 연구소 건축까지의 라인들의 선화하는 방식 계획은 초기 단계부터 건물을 어떻게 앉혀야 하는

가에 지대한 영향을 미치므로 전체적인 친환경 전략과 함께 고려해야 하는 사항이다. 유틸리티 라인이 이미 충분히 존재하는 도시에 위치하느냐 아니면 새롭게 보급해야 하는 미개발 지역에 새로운 연구소를 신축하느냐에 따라 상황이 바뀐다. 특히 후자의 경우는 계획 초기 단계 때부터 사이트 디자인 전문가와 건물 내부 시스템 디자인 전문가의 코디네이션이 중요하다.

연구소 건축에서의 교통계획은 일반 건축의 교통계획과 다소 다르다. 일반 건축이 차량동선과 보행동선을 분리하는 수준에서 계획을 완료한다면, 연구소 건축은 이에 비해 복잡하다. 연구 유형에 따라 그 안에서 배달되어야 하는 품목들이 다르다. 어떤 샘플들은 크기가 작은 반면 위험요소의 농축이 높은 시약일 수 있다. 이 경우 위험한 시약들이 실수로 쏟아져도 해롭지 않으려면 불 투수 포장영역까지 교통계획 안에 포함되어야 한다. 연구소는 실험을 위해 장비에서 실험동물에 이르기까지 차량 배달 품목이 많은 건물이다. 동물 실험실에 들어가야 하는 설치류들이나, 연구실 시설에 들어가야 하는 가스탱크 등이 자유자재로 드나들 수 있도록 짐을 내리고 신는 장소가 필요하고 따로 배정된 전용 서비스 엘리베이터가 있어야 한다. 또한 기본적으로 NIH에서 규정하는 연구실 시설의 요구조건을 충족시키면서 해당 사이트의 친환경 전략을 세워야 하므로 일반 건축물에 비해 교통계획이 복잡하다.

### 3.2 에너지

연구소 건축은 일반적이 사무소 건축보다 4-5배의 많은 에너지를 사용한다. 하나의 흠 후드는 일반적인 주택이 사용하는 에너지에 비해 3.5배 많은 에너지를 사용한다. Lab21 의 자료에 따르면 일반적인 연구소 건축의 에너지 사용 하중은 환기부하(Ventilation Load)가 44% (43 kW/year-sf)로 가장 높고, 그 다음이 플러그부하(Plug Load)와 냉각부하(Cooling Load)에 들어가는 에너지로 각각 22.5% (23 kW/year-sf)로 두 번째이고, 네 번째가 조명부하(Lighting Load)로 11% (43 kW/year-sf)이다. 연구소 건축의 에너지 절약 전략은 따라서 5가지 부분에서 적용이 되어야 한다. 그림 3을 보면, 각 건축물별 에너지 사용량에 대한 통계치가 그래프로 표시 되어 있다.

#### 1) 연구소 건축의 환기 시스템의 에너지 절약

연구소 건축의 환기 시스템의 에너지 절약 전략은 환기 횟수와 흠 후드의 개수와 밀접한 관련이 있다. 환기 횟수를 면적 기준으로 할 것인가 볼륨 기준으로 할 것인가에 따라 다소 다르다. 면적 기준의 법규는 IBC (International Building Code) 와 IMC (International Mechanical Code)의 1 CFM/ft<sup>2</sup> 을 따르고 있고 볼륨 기준의 기준은 약 5개의 기관의 벤치마크 기준을 따르고 있다.<sup>14)</sup>

13) 친환경 전략을 수립하기 위해 연구소 건축만의 특수한 요소들은 다음과 같다. 화학물로는 수십 가지의 시약, 가연성 가스 및 시약, 암축가스, 독성 가스, 생물학 작용제, 방사성 물질 등이 있다. 특수 장비로는 흠 후드, 생물안전작업대, 원심 분리기, 오토 크레브, 진공 계통, 레이저가 있다. 폐기물로는 감염된 동물 시체, 독성 폐기물이 있다.

14) 미국 엔지니어들이 따르고 있는 환기 볼륨 기준 설정 기관은 다음과 같다. American National Standards Institute (ANSI) & American Industrial Hygiene Association (AIHA), National Fire Protection Association (NFPA), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), ASHRAE, Occupational Safety and Health Administration (OSHA).



연구소 건축의 환기에너지는 연구공간의 레이아웃, 장비의 배열, 장비의 사용방식, 유해물질의 관리 및 처분, 냉각부하에 따른 연구공간의 환기여부 등의 영향을 받는다. 환기시설의 환기량의 벤치마킹은 NIH가 규정하는 안전을 최우선으로 하며 에너지의 효율성을 고려해야 한다. 연구소 건축에서 고려사항은 시약이 환기 덕트를 통해 한 공간에서 다른 공간으로 전이되어 일어나는 화학물질의 상호오염 (cross-contamination) 과 바이러스에 감염된 실험동물들의 생물학물질의 교차오염이다. 이들에 대한 NIH 규정을 충족하기 위해 설정된 벤치마킹 가이드라인들이 친환경 환기 전략을 세우기에는 불필요하게 과도하여 가이드라인을 재 점검해보자는 것이 최근의 미국 내에서의 움직임이다.

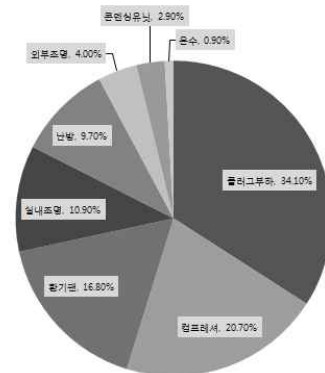
가령 연구소 건축 환기량에 ACH(Air Changes per Hour)에 대한 벤치마킹 가이드라인을 규정하는 기관들이 다양하여 친환경 환기 전략을 세우는데 어려움이 있다. 연구소 건축 계획에 있어 미국에서 가장 많이 사용하는 ASHRAE의 경우는 연구소 건축 계획시 4-12 ACH을 요구하고 있으며, NFPA의 경우는 실험이 없는 시간대는 4 ACH, 실험이 있는 시간대는 8 ACH 이상을 요구하고 있고, OSHA의 경우는 4-12 ACH을 요구하고 있다.<sup>15)</sup>

문제는 ACH를 4로 사용하느냐 ACH를 12로 사용하느냐에 따라 환기를 위한 건물의 기계설비 장비의 크기와 덕트의 크기가 확연히 달라지며 환기 에너지 소모량의 차이는 크고 불필요한 에너지 소모를 유발한다는 점이다. ANSI/AIHA 기관은 "ACH 개념은 (병의 유발) 컨테인먼트 (흡 후드나 바이오세이프티 캐비닛) 관리 시스템을 계획함에 적절치 못하다. 오염물질은 근원지에서 통제되어야 한다."고 말한다.<sup>16)</sup> 또한 ACH 범위가 가장 넓은 OSHA의 경우 흡 후드에서 지역적 환기 시스템이 있으면 ACH를 낮게 해도 된다고 한다. 하지만 현재처럼 ACH의 범위를 4에서 12까지 주면 벤치마킹 데이터로는 건축가들이나 엔지니어들에게 계획에 있어서 실질적으로 아무런 도움이 안 되는 문제점이 있다. 사용 시간대와 실제적으로 강제 환기를 하고자하는 대상을 명확히 구분하여 새로운 기준이 필요한 실정이다.

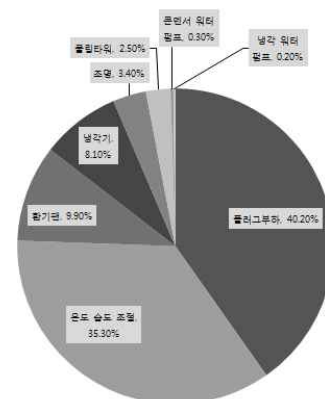
특히 흡 후드에 대한 집중적인 친환경적인 분석과 관리에 대해 최근 많은 연구 성과가 미국에서는 있었다. 사용치 않는 흡 후드를 제거하고, 거대한 흡 후드를 가급적 소규모로 대체하며, 매해 연간 후드 효율검사를 실시하는

15) ASHRAE는 2001년에 연구소 건축 친환경 환기로 다음과 같은 원칙을 세웠다; 첫째는, 최소한의 급기 환기횟수로 사용할 것; 둘째는, 최소한의 배기 환기횟수 사용할 것; 셋째는, 최소한의 외기 환기횟수 사용할 것; 넷째는, 재순환공기를 최소화 할 것. ASHRAE는 연구소 건축을 계획함에 있어 실험이 진행중인 경우에는 ACH 8~12를 권장하고 있고, 실험이 없는 경우는 4를 권장하고 있다. 건축가들이 많이 사용하는 NFPA도 ASHRAE와 동일하게 실험이 없는 야간이나 주말은 4 ACH, 주중에는 8 ACH를 권장한다.

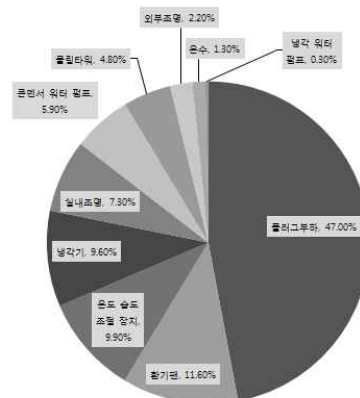
16) 원문은 "Air changes per hour is not the appropriate concept for designing containment control systems. Contaminants should be controlled at the source." 출처는 ANSI/AIHA Z9.5-2003, Section 2.1.2 이다.



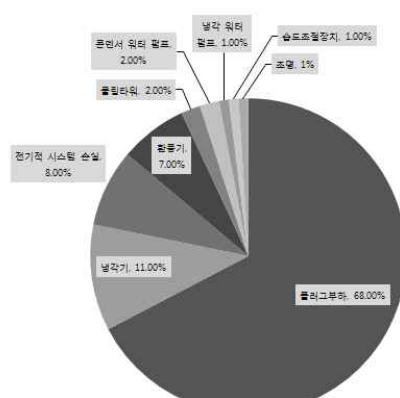
사무소 건물



연구소 건물



사무소 연구소 일체형 건물



데이터센터 건물

그림 3. 에너지 사용 체계에 있어 연구소 건축과 다른 용도 건축의 비교

것이다. 그리고 실험을 수행하면서 흡 후드 세시의 개폐율의 종류, 피크 시간대의 실제 사용률에 따른 환기 시스템의 부하 조절, 배기 송풍기에 VFD (variable frequency drive) 설치 및 배기통의 환기속도를 모니터링 하는 전략들이 생겼다.

### 2) 연구소 건축의 냉난방 시스템의 에너지 절약

연구소 건축은 많은 장비를 사용한다. 특히 실험 샘플들의 냉장보관이 필요하다. 장비의 효율적인 관리를 위해 많은 경우 이들은 따로 지정된 장비실에 모아둔다. 장비실 (equipment room)에서는 모여 있는 장비들이 대체로 냉동시설이라 발열량이 높고, 그로인해 냉방시설이 요구된다. 뿐만 아니라, 냉동실 (cold room) 자체도 발열이 높은 곳이다. 따라서 장비실과 냉동실에서는 별도의 냉동장치를 설치하여 재순환계통 팬 코일 유닛을 사용하는 것이 냉방부하를 줄일 수 있다.

냉각장치 (chiller)는 냉각수 공급 장치의 온도가 높아질수록 효율이 높아진다. 콘덴서 (condenser) 내의 물의 온도를 낮추는 것 또한 냉각장치의 효율을 높인다. 에어 핸들링 팬과 쿨링타워 팬 에 VFD를 설치하는 경우나 배기 팬이나 펌프에 VFD를 설치하는 경우 모두 에너지를 줄일 수 있다.<sup>17)</sup>

재열장치의 경우 분산방식이 에너지를 더 절약할 수 있다. 또한 CO/CO<sub>2</sub> 모니터링 시스템 사용을 통해 온도의 변화에 따라 탄력적으로 대응하는 공기 흐름을 조절하는 시스템의 사용이 가능하다. 재열은 전체 공기의 약 50%에 해당하는 양이고 재열부하는 약 7.5 btu/sf 정도이므로 재열을 없애면 약 1%의 전체 에너지를 절감하는 효과가 있다. 최근 연구소 건축에서는, 가령 MIT에 2011년 LEED 골드를 받으며 완공된 Koch 암센터의 경우, 냉각보 (chilled beam) 공법을 사용하여 재열을 제거할 수 있었다.

### 3) 연구소 건축의 조명 시스템의 에너지 절약

앞서 조명부하는 연구소 건축에서 소모하는 전체 에너지 부하의 11%에 해당한다고 했다.<sup>18)</sup> 조명의 개선은 먼저 어떤 종류의 연구가 자연조명으로 대체가능하고 어떤 종류의 연구가 불가능한지 가늠해야 한다. 현재 조도 벤치마크 자료로 가장 많이 이용되고 있는 자료는 IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) 이다.

IESNA 의 차트에 따르면; 견본 샘플링실의 경우 75-100fc, 세포 배양실 150-200fc, 현미경실 30-50fc, 화학실 75-100 fc, 세균실 75-100fc, 평판 배양실 150-200fc, 혈액실 75-100fc 이다. 건축가가 연구소 건축을 계획하는 단계에서는 80-100 fc을 보편적으로 사용한다. 현재의 연구소 건축의 친환경 트렌드에서는 이 수치를 75fc 까지 줄이려는 노력을 보이고 있다.

자연조명의 사용은 연구소 건축에서는 연구 생산성과

연동되어 있는 항목이므로 연구원들의 쾌적도와 연관지어 친환경 전략을 구축하고 있다. 헤스충 모혼 그룹이 진행한 연구 성과에 따르면, 연구원들이 창과 면해있으면서 외부환경의 조망을 가졌을 경우 쾌적하게 여기고 연구 생산성이 6-7% 상승했다고 한다.<sup>19)</sup> 따라서 스페이스 프로그래밍 단계에서 연구원들의 워크스테이션을 외피 근처에 배치하여 오픈랩 모듈을 구성하는 것이 최근 연구소 건축의 트렌드라 할 수 있다.

인공조명의 경우는 조명방식의 성격을 직접조명과 간접조명으로 나누고 특히 앰비언트 조명과 태스크 조명을 구분하여 사용한다. 마감재의 사용도 조도에 영향을 미칠 수 있고, LED 라이팅도 초기 투자비가 높다 하더라도 수명주기를 고려하여 많이 적용하고 있다.

### 3.3 물

에너지 다음으로 모든 국제기구들이 친환경 전략 요소로 넣는 것이 물이다.<sup>20)</sup> 연구소 건축의 친환경 전략을 세우는 데는 물의 효율적 관리는 무엇보다 중요하다. 연구소 건축에서 물은 일일 사용량을 검토하였을 경우 냉난방 환기시설 처리에 들어가는 양이 83%로 가장 많고, 위생수가 8%, 조정수가 4%, 연구에 사용되는 물이 2%이다.<sup>21)</sup> 냉난방 환기시설 처리에 들어가는 물의 효율적인 관리는 연구소 건축에서 가장 중요하다.

연구소 건축은 다른 건축보다 높은 냉각 부하와 처리 부하로 단위 면적당 물의 사용량이 특히 많다. 전반적인 물의 효율을 높이고 특히 쿨링타워와 특별 장비 처리에 사용되는 물을 효율적으로 관리하면 물의 사용량을 급격히 줄일 수 있다. 연구소 건축에서는 대규모 세정장치와 정수 처리 장치들이 있다. 동물실험실에도 케이지-위쉬 시설이 있고, 일반적인 연구 층에서는 한층에 한 대 정도의 오토클레이브를 소유하고 있다. 이들에 대한 장비 사양 검토 또한 물 사용량을 줄이는 좋은 전략이 된다. 최근 동향으로는 연구소 건축의 쿨링타워에 보급수 소비를 줄인다. 이것만으로도 연구소 건축에서는 80% 이상의 물 사용량을 감축할 수 있다.

"중수(gray water)" 및 "우수 (rain water)" 관리계획과 화학적 또는 생물학적 오염된 "폐수 (black water)" 관리 계획이 연구소 건축에서도 일반 건축과 마찬가지로 적용된다. 연구소에서의 중수는 싱크수, 샤워수, 세정수 등으로 구성된다. 이들은 우수와 함께 조정수 및 화장수로 바로 사용할 수 있다. 또한 TDS (total dissolved solid)의 레벨에 따라 다르겠지만, 경우에 따라서는 쿨링타워 보급수로도 사용 가능하다. 우수의 경우는 가습장치의 보급수로도 환원이 가능하다.

연구소 건축에서 많이 사용하는 정제수의 경우는 기본

17) VFD를 배기 팬과 에어 핸들링 팬에 사용하는 경우 전력규모 1.1watt/cfm을 절약하고 이는 전체 팬에 사용되는 에너지의 20%의 절감 효과를 준다. 냉각수 공급장치의 온도를 5°F 높이면 전체 냉각 에너지중 0.05kw/ton을 절약할 수 있다.

18) 이 수치는 논란의 여지가 있다. LAB21에서 밝히고 있는 조명 부하의 범위는 약 8%~12% 이다.

19) Heschong Mahone Group은 캘리포니아 에너지 커미션의 PIER (Public Interest Energy Group) 으로부터 1999, 2001, 2003 년에 걸쳐 자연조명이 미치는 영향에 대해 연구했다.

20) 국제기구인 UN과 UNEP와 NGO인 OECD와 Greenpeace 모두 주요 친환경 전략요소로 에너지, 물, 생태계를 들고 있다.

21) 이 통계치는 보스턴에 위치하고 연구소 건축 전문 건축사 사무소인 Kling Stubbins에서 내놓은 자료다.

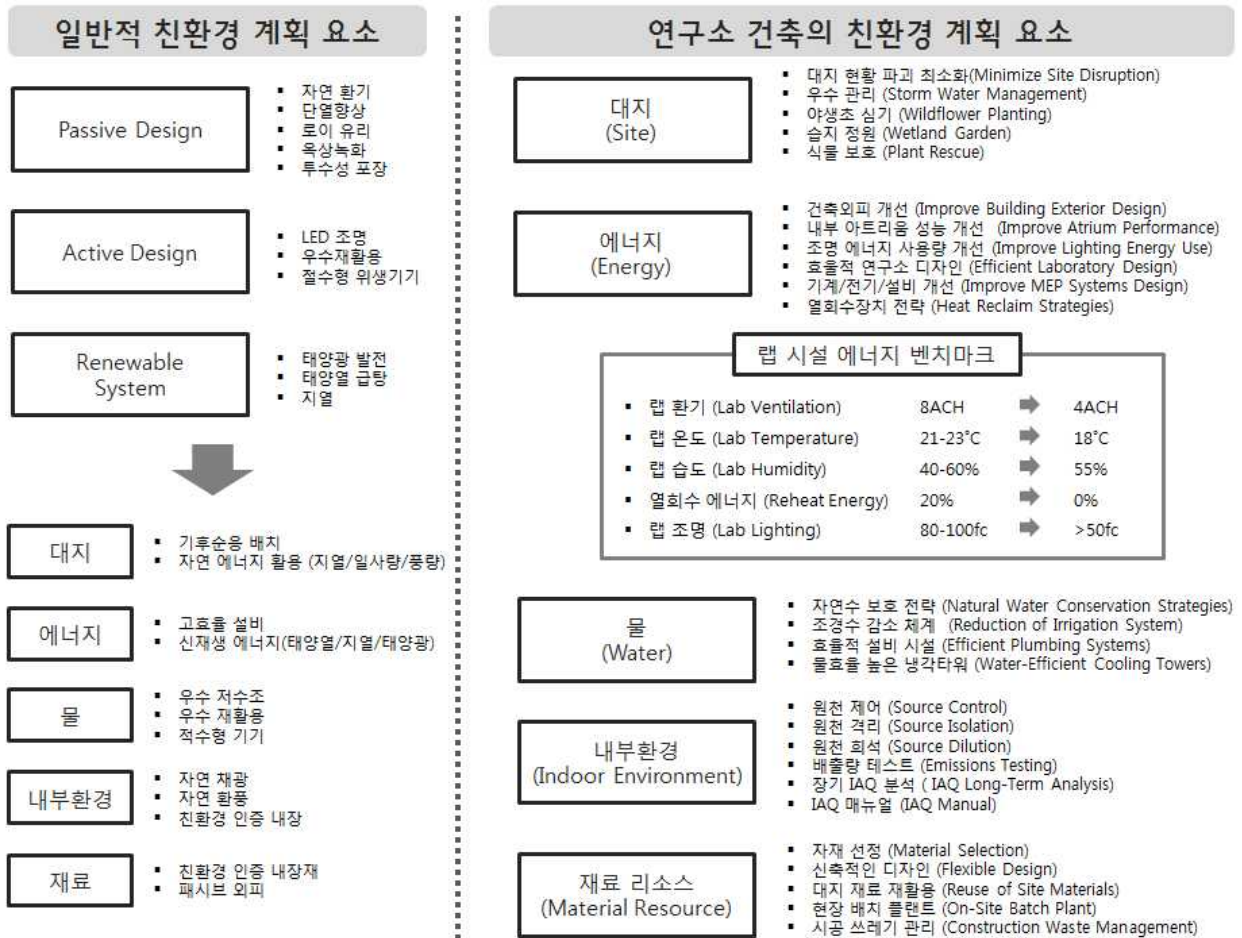


그림 4. 일반적 친환경 계획 요소와 연구소 건축의 친환경 계획 요소 비교

적으로 기구들의 수질 기준을 통과해야 한다.<sup>22)</sup> 중앙통제형 정제수 시설이 분산형 보다 물의 사용의 절감 및 유지관리 측면에서 유리하다. 연구소 건축에 실험기 세척기들은 화학물질의 깨끗한 세척을 위해 많은 탈염수(deionized water)를 많이 사용한다. 따라서, RO (Reverse Osmosis, 역삼투정수장비) 유닛들의 효율도 높여야 한다.<sup>23)</sup>

### 3.4 내부 환경과 재료

연구소 건축의 내부 환경은 사용자의 안전, 건강, 만족, 그리고 연구 생산성에도 밀접한 관련이 있으므로 친환경 전략의 정량적 평가도 이들의 조건들을 만족해 주면서 실행되어야 함을 대전제로 하고 있다. 최근의 연구실험 분야는 빠른 속도로 변하고 있다. 따라서 공간 이용의 융통성을 갖는 오픈 랩 형식을 하는 것이 중요하다.

연구소 건축 운영비용중 가장 큰 비중을 차지하는 비

22) 정제수 (purified water)의 수질 가이드라인은 ASTM, ISO (International Organization for Standardization), NCCLS (National Committee for Clinical Lab Standards) 등의 기구의 데이터들을 따른다.

23) 이 밖에도 수많은 효율적인 배관기구의 사용과 배관 파이프의 유지관리 전략들이 있겠으나 본 논문에서는 다루지 않겠다.

중이 인건비이므로 (약 85%) 연구자들의 건강과 연구 환경의 쾌적성 확보는 그 어떤 에너지 절감보다도 중요하다. 연구소 건축에서는 화학물질 및 실험용 동물들의 체계적인 관리가 연구원들의 건강과 밀접한 관련이 있다. 따라서 NIH가 규정하는 시약품의 연소등급 및 생물 안전도의 등급에 따라 내부 공간 계획 및 엔지니어링 시스템 계획을 해야 한다. 그 밖에도 연구소 건축에서 내부 공기는 주로 시공 중에 발생하는 먼지, 석고보드, 용접 등의 오염물질의 정도, 사용한 마감재의 VOC (volatile organic compound) 의 정도에 영향을 받고 있으므로 이들에 대한 관리가 필요하다.

연구소 건축의 열환경인 온도와 습도는 기본적으로 ASHRAE 55의 기준을 적용받고 있으나, 연구소에서는 대체로 가운을 입고 있기 때문에 ASHRAE의 기준이 연구소 사용자 그룹의 요청에 따라 탄력적으로 적용 가능하다. 최근 버클리 대학의 연구팀에서는 실험의 성격이 외기와의 접촉이 불가능하지만 앉다면 커튼월 대신 개폐 가능한 창문 사용을 적극 권장하고 있다.<sup>24)</sup> 연구소 건축

24) 버클리 대학의 CBE (Center for the Built Environment) 의 최근 연구 성과물들을 아래 웹사이트에서 확인 할 수 있다. [www.cbe.berkeley.edu/research/publications.htm](http://www.cbe.berkeley.edu/research/publications.htm)



의 빛 환경은 앞서 “에너지” 부분에서 언급하였으므로 여기서는 생략한다.

비록 LEED에서 소음에 대해 명시적으로 언급하고 있지 않지만, 연구소 건축에서도 소음 환경에 대한 고려는 필요하다. 소음 차단은 크게 건축 계획 단계인 방의 성격에 따라 STC 레벨을 설정하여 마감을 하면 되고, 엔지니어링 시스템 측면에서는 에너지 효율적인 송풍기들을 사용하면서 주입구의 압력을 제반 사항을 고려하여 최적화하는 전략이 필요하다.

연구소 건축에 적용되는 친환경 재료는 일반 건축물에 적용되는 LEED 체계의 기준을 기본적으로 따르면 된다.<sup>25)</sup> 다만 연구소 건축에 국한해서 고려해야 하는 친환경 재료로는 화학 연구 공간에서는 시약함에 내성이 있는 재료, 생물학 연구공간에서는 박테리아에 내성이 있는 재료, 방사능 장비들을 사용하여야 하는 연구 공간에서는 균일 납 라이닝이 중요하다. 실험 벤치가 많은 연구소 건축에서는 특히 청소 시 소독과 살균이 가능한 재료를 선정해야 한다.

#### 4. 결론

1998년부터 4단계의 인증 등급을 부여해온 미국의 LEED 친환경 인증 프로그램은 그후 몇 년 동안 건축물의 용도별로 분류하여 LEED 인증 프로그램의 영역을 넓혀갔다. 처음에 상업건축과 학교건축으로 넓혀갔던 LEED 친환경 인증프로그램은 2005년에 이르러 미국의 DOE와 EPA가 함께 설립한 LABS21은 연구소 건축에 대한 친환경계획 가이드라인을 수립한다.

미국에서 건축물들의 에너지 소비량이 전체 에너지 소비량의 40% 이상을 소비하고 있고 (UNEP, 2009), 그중에서도 상업 건축에 비해 연구소 건축은 단위 면적당 많게는 약 8배 에너지를 소비하는 건축물 유형이다 (LABS21). 따라서 연구소 건축에 대한 에너지 절감과 친환경 전략들을 살펴보는 것은 두 가지 측면에서 중요하다. 첫째는 연구기반 산업을 육성하려는 정부의 정책적 방향이 연구소 건축의 수요를 증대시킬 것이라는 점이고 둘째는 각종 기업과 병원들도 차세대 동력 사업으로 연구기반 사업을 두어 향후 10년간 연구소 건축을 많이 지을 것이라는 점이다. 문제는 국내에서도 연구소 건축 계획 방법론에 대한

연구가 미진하고, 연구소 건축에 대한 친환경 전략은 전무한데 있다.

이에 본 연구는 미국의 LEED 인증프로그램과 LABS21에 의해 도출된 연구소 건축 친환경 전략을 디자인 프로세스 측면과 친환경 계획요소 도출 및 분류의 측면에서 살펴보았다. 연구소 건축은 용도의 특수성으로 연간 에너지 사용 분류체계가 일반 건축물과 달랐고 이

에 대응하는 디자인 프로세스와 계획요소도 달랐다.

엔지니어링의 에너지 절감의 차원에서는 특히 환기시설의 환기량에 대한 벤치마킹 가이드라인을 설정하는 공공기관이 다수인 점과 그로인해 환기량의 범위가 불필요하게 폭넓은 점을 시정해야 한다고 지적하는 미국 연구소 건축 연구기관의 최근 동향은 우리에게 시사 하는 바가 크다. 또한 흡 후드에서 풍속에 대한 가이드라인이 불필요하게 높게 잡힌 점, 사용자들이 새쉬를 열어야 하는 정도를 실험 시간대와 맞추어야 하는 점, 오염물질 환기는 오염 물질 근원지에서 해야 한다는 점 등의 동향도 우리에게 시사하는 바가 크다.

전자의 사례가 앞으로의 친환경 인증프로그램은 건축물의 용도별로 체계화 되어야 하고, 벤치마킹 가이드라인도 다수의 기관에서 통합된 기관으로 나아가야 하고, 해당 기관은 용도에 맞춰 최적의 벤치마킹 범위를 주어야 한다. 후자의 사례는 연구소 건축과 같이 프로그램과 장비의 사양이 복잡한 건축의 경우는 각각의 용도에 맞게 마이크로 관리하는 친환경 전략들이 수립되어야 한다는 시사점을 우리에게 남겨준다.

본 연구의 한계는 미국의 LEED 친환경 인증 프로그램의 한계가 분명히 있음에도 불구하고 현재까지 실제로 지어진 연구소 건축물이 많은 미국의 사례를 바탕으로 검토한 점이다. 멀지 않은 미래에 EU의 DGNB 친환경 인증 프로그램을 바탕으로 유럽의 연구소 건축의 친환경 전략을 살펴보아야 할 과제가 남았고, 더 나아가 미국과 유럽의 연구 성과를 국내에서 이어질 연구소 건축에 어떻게 적용할 것인가 하는 과제가 남았다.

#### 참고문헌

[국내문헌]

1. 강영길(2007), “삼성건설 기술연구소의 친환경 저에너지 연구시설과 연구동향”, 한국그린빌딩협회, 2007-12
2. 교육과학기술부(2011), “과학기술기본시행계획2011”
3. 교육과학기술부;한국과학창의재단(2010), “2040년 대한민국을 향한 꿈과 상상”
4. 김환식;이정수;송용호(2005), “연구소 건축계획의 테크놀로지 특성 표현 요소에 관한 연구”, 한국실내디자인학회 논문집, 2005-12
5. 박광태(2009), “생물안전 3등급 연구시설 설계 사례”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2009-06
6. 손태중(2011), “질병관리본부 생물안전 3등급(Biosafety Level 3) 특수밀폐연구시설 운영”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2011-07
7. 조영준(2010), “융합기술과 융합산업 발전방안”, 경기개발연구원
8. 최진희(2009), “융합기술연구소 실험공간의 특성과 오픈랩 시스템에 관한 연구”, 한국교육시설학회 논문집, 2009-09
9. 홍진관(2011), “국내 BSL3 연구시설의 국내 관련제도”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2011-07
10. 홍진관(2009), “생물안전 3등급 연구시설 설치 지침”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2009-06

25) LEED 체계에서 일반 건축물에 적용되는 친환경 재료에 대한 기준은 크게 에너지와 물의 효율을 높이는 재료, 해당 지역 생산 재료, 재료의 사용량을 줄일 수 있는 재료, VOC 낮은 재료, 독성이 없는 재료, 재활용 재료, 재생 가능 재료, 그밖에 [www.BuildingGreen.com](http://www.BuildingGreen.com) 이 지정한 친환경 인증재료 등이 있다.

[해외문헌]

1. Bonnetta, L.(2003), Nature, "Lab architecture: Do you want to work here?", August Issue
2. Livingstone, P.(2007) R&D Magazine, May Issue
3. Neuman, D. editor, Lauber, M.(2003), Building Type Basics for College and University Facilities, Wiley and Sons Inc. pp 133-138
4. Moneo Rafael(2004) Theoretical Anxiety and Design Strategies in the Work of Eight Contemporary Architects, ACTAR, Barcelona Spain pp362-370
5. Dahan. F(2010) Laboratories: A Guide to Master Planning, Programming, Procurement, and Design, A Norton Professional Book
6. KlingStubbins, "Sustainable Design of Research Laboratories", WILEY
7. Daniel D. Watch(2008), "Building Type Basics for Research Laboratories ", WILEY
8. Fernand Dahan(2001), "Laboratories: A Guide to Planning, Programming, and Design" W. W. Norton & Company
9. Brian Griffin(2004), "Laboratory Design Guide", ARCHITECTURAL PRESS
10. Hardo Braun, "Research and Technology Buildings", Birkhäuser (2001)
11. David J. Neuman(2003), "Building Type Basics for College and University Facilities", WILEY
12. Michael J. Crosbie(2006), "Architecture For Science", Images Publishing Dist A/C
13. Richard L. Kobus(2008), "Building Type Basics for Healthcare Facilities", WILEY
14. Robin Guenther(2007), "Sustainable Healthcare Architecture", WILEY

---

투고(접수)일자: 2012년 5월 31일

수정일자: (1차) 2012년 9월 24일

(2차) 2012년 10월 23일

게재 확정일자: 2012년 10월 26일