

# 요양시설의 유용조도 분석에 관한 연구

-기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 기반으로-

The Study on the Analysis of Useful Daylight Illuminance in Care Facilities

- By Dynamic Daylight Simulation Using Weather Data -

윤영일 Yun, Youngil\* | 조주영 Cho, Juyoung\*\* | 이효원 Lee, Hyowon\*\*\* |

## Abstract

Daylight is highly beneficial for improving the indoor environmental quality and reducing building energy consumption, daylighting applications are scarcely considered, especially during the care facility design process, because of lack of previous studies on elderly- light environment and complex simulation process. Therefore, daylighting process were performed using ECOTECT, which has various advantage such as easy user interface and simple simulation processes. Moreover, dynamic daylight simulation were performed using weather data. Static simulation are performed to compute static metrics such as daylight factor, whereas dynamic simulation are performed for dynamic metrics such as daylight autonomy and useful daylight illuminance using annual weather data. On the basis of daylight autonomy and useful daylight illuminance analysis result, variations in annual daylight performances. A parametric and regression analysis of the window-to-wall ratio and visible transmittance showed that daylight factor, daylight autonomy increased with window-to-wall ratio and visible transmittance. It can be concluded that this new daylight criteria, useful daylight illuminance, will enable architect to obtain better fenestration design.

**키워드** 요양시설, 주광률, 기상데이터, Ecotect 2011, Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance

**Keyword** Care Facility, Daylight Factor, Weather data, DA, UDI, ECOTECT 2011

## 1. 서론

에너지 절약의 관점에서 친환경 건축의 비중은 점차 증가하고 있으며, 건축의 전 부문에서 에너지 효율 및 친환경 설계기법은 빼놓을 수 없는 설계 요소 중에 하나이다. 이에 친환경 건축물의 수요는 점차 증가하고 있으며 친환경 건축물 인증제도와 같은 규제 또한 강화되고 있는 실정이다.

이러한 실정 속에서 인간의 건강과 감성을 고려한 디자인 기법 중에서 가장 기본적인 자연채광은 그 중요성이 커지고 있다. 패시브 개념의 자연채광은 지금까지 단순하게 커

튼월을 이용해 건물 외피 전체를 유리창으로 구성한 것에 머물러 있으며, 최소한의 채광기준은 만족시키지만 이에 따른 건축 환경 및 에너지 소비를 고려하지 못하고 있다.

실내의 채광문제는 환경·심리적인 중요한 요소로서 적절한 자연채광 디자인을 통해 가능하며 건물의 에너지 및 거주자의 편안함과 직결된다. 올바른 채광은 건물 에너지 절감은 물론 재실자의 실내 환경 질을 개선하기 위해서는 적절한 외피 디자인이 함께 고려되어야 한다. 하지만 이러한 분석들은 일반적 업무시설이나 주거시설에 대한 평가 위주로 연구되고 있고 보호와 치유를 목적으로 하는 요양시설에 대한 자연채광 연구들이 이루어지지 않고 있는 실정임을 볼 때 더욱 필요한 고려이다. 자연채광의 평가기준은 오랫동안 주광률(Daylight Factor) 평가에 한정되어 있으며, 국내의 친환경 인증기준 또한 일조권에 한정되어 있다. 이에 본 연구에서는 ECOTECT 2011을 이용하여 정적 시뮬레이션으로 대표되는 주광률(Daylight Factor) 평가와 더불어 연간

\* 전남대학교 건축공학과, 박사과정

\*\* 전남대학교 건축공학과, 공학박사

\*\*\* 전남대학교 건축학부 부교수, 공학박사

이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점 연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0013356)

기상 데이터(동적 시뮬레이션)를 기반으로 주광률의 연중 범위를 평가하는 Daylight Autonomy와 기준조도 중심 평가인 Useful Daylight Illuminance를 통해 요양시설의 연간 유용조도를 분석하고자 한다.

## 2. 자연채광의 장점과 문제점

### 2.1 자연채광의 현황과 장점

자연채광의 효과에 대한 연구는 건물 에너지 효율 증가와 재실자의 쾌적감 유지가 주요 장점으로 요약될 수 있으며 적절한 자연채광은 우리의 일상생활의 모든 활동에 긍정적인 영향을 미치고 있다. 특히 요양시설에서 환자들의 물리적·심리적인 회복속도 증가 등의 다양한 긍정적 효과들이 연구 결과 보고 되고 있다.

특히 환자가 생활하는 환경에서 자연채광은 환경의 정보를 얻기 위한 원천으로서, 피부와 감각 기관을 통한 광 생물학적 측면에서 중요하다. 특히 환자의 연령상 주의가 필요한 노년기의 생리적인 변화는 시력 감퇴뿐만 아니라 눈의 조절작용, 초점을 맞추는 능력의 저하, 암순응의 쇠퇴, 그리고 섬광에 대한 민감한 반응이다. 이러한 반응은 노인이 생활하는 실내 환경에서 지나친 조도의 차이, 눈부심과 반사는 문제의 요인이 되며 자연채광과 같은 풀 스펙트럼의 광원이 가장 이상적이다. 그러므로 자연채광의 양과 질에 관한 주의가 필요하다.<sup>1)</sup>

환자가 생활하는 환경에는 과학적이고 다각적인 빛 환경이 요구되며 이를 해결하기 위한 가장 기초적인 방법은 실내에 유입되는 빛의 양을 조절하기 위한 창과 개구부를 계획하는 것이 중요하다. 문제는 어느 정도의 자연광을 건물 안으로 유입시켜 품질 높은 실내조명 환경을 정확히 만들어 내는 것과 더불어 실내 공간에서 자연광을 적절히 활용하여 에너지를 절약하는데 있다. 그 외에 색 표현을 향상시키며, 가시성을 높이고 일일 생체리듬을 유지하는 데 도움을 얻고 심리적으로 고양시키는 것도 중요하다.<sup>2)</sup> 보통 주간에는 외부 조도가 수만 lux가 되는 데 비해 실내조도는 수백 lux인 경우가 많다는 것이다. 이 때문에 실내에서의 시선 이동 시 조도변화에 따른 눈의 순응이 이동시간을 따라가지 못하면 실내가 어둡다는 인상을 받게 된다. 이를 막을 수 있는 가장 효과적인 방법은 시선의 이동에 따라서 순응할 수 있도록 외부의 빛에 연동하는 자연의 조광 기능을 이용하는 것이 중요하다.

다음은 자연채광을 통한 건물 에너지 절감 역시 다양한 연구를 통해 입증되었다. ASHRAE 핸드북에 따르면 건물에

서 에너지 소비의 30~40% 가량을 자연 채광을 통해서 절감이 가능하다고 보고되었으며,<sup>3)</sup> 창면적비 별로 에너지 절감을 산정결과 창면적비가 65%~45% 수준까지는 5% 변경 시 평균 1.8% 까지 조명에너지 절감을 보였으나 창 면적비가 45% 이하로 낮아지면서 5% 변경 시 저감율이 1.5%로 낮아지는 결과를 보이며 창 면적에 따라 실내 에너지 절감 효과<sup>4)</sup>가 있다고 발표하였다. 그 외에 다양한 자연채광과 건물에너지 절감에 대한 연구에서 기후 또는 건물의 향 혹은 형태에 따라 차이가 나지만 약 15%에서 최대 45%까지의 에너지 절감이 가능한 것으로 연구되었다.

### 2.2 자연채광을 이용한 기법의 문제점

자연채광의 문제점으로 첫 번째는, 실내의 기준조도 미달 시 작업효율 저하, 시력저하 및 심미적 불안 우울, 불편에 따른 신경과민 등의 장애가 유발되며, 기준조도를 초과할 경우 휘도 차 (10:1 이상)에 따른 눈부심 유발, 기구 및 광원과 소비전력 상승에 따른 유지비 상승 등의 문제가 발생하여 적절한 조도유지가 중요하다. 고령자의 경우 동일한 작업을 수행하는 데에 일반 성인의 2~3배에 해당하는 고조도가 필요하다.<sup>5)</sup>

[표 1] 노인주거시설의 KS 기준조도와 IES 고령자 권장조도

공간	세부분류	KS 기준조도[lux]	IES 기준조도[lux]
거실	단란, 오락	150-200-300	NONE
	독서, 전화	300-400-600	200-300-500/300
	전반	30-40-60	50-75-100/75
안방	전반	60-100-150	50-75-100/75
	화장, 독서	300-400-600	200-300-500/300
침실	전반	60-100-150	50-75-100/75
	화장, 독서	300-400-600	500-750-1000/750
주방	전반	60-100-150	NONE
	싱크대	150-200-300	200-300-500/300
	식탁, 조리대	300-400-600	500-750-1000/750
공용욕실	전반	60-100-150	NONE
현관	전반	60-100-150	NONE
	신발장	150-200-300	NONE
드레스룸	화장 (파우더룸)	300-400-600	200-300-500/300

노인시설에 대한 실내공간별 평균조도에 대한 원슬기기의 연구에 따르면 시설의 조명현황은 IES와 KS의 기준으로 4점법과 5점법을 이용한 측정법으로 거실의 측정기준 40±5cm 높이에서 측정한 결과 IES 기준 평균조도는 347~417[lux]로 측정되었으며, KS 기준의 평균조도는 271~378[lux]로 측정되

1) Gappel, Millicent, Psychoneuro Immunology, Innovation in Healthcare Design, Van Nostrand Reinhold, 1995, p. 115-120  
 2) 천진희, 노인의 삶의 질 향상을 위한 주거환경 디자인, 집문당, 2008, p.123-129

3) 고동환, 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제26권 6호, 2010, p.322  
 4) 박성득, 공동주택의 주동형식 및 창면적비에 따른 건물에너지 효율 등급에 관한 연구, 고려대석사논문, 2010, p.73  
 5) 원슬기, 고령자를 위한 주거 시설 조명환경 계획에 관한 연구, 조명·전기설비 학회논문지, Vol.21 No.6, 2007

었다. 도어나 전화 등의 작업을 위한 작업면은 조도에 미달되며 다양한 활동이 일어나는 공간임에도 불구하고 조명의 연출 변화가 불가능 하게 평가 되었다. 이는 노인 주거시설의 실내 채광의 고려가 부족하며 이에 대한 개선이 필요하다는 것을 알 수 있다.

둘째로 평가도구의 부족을 들 수 있다. 근래 건축 분야는 컴퓨터를 이용한 전부분에 걸친 시뮬레이션과 통제가 가능해 졌으며 다양한 건물 친환경 요소들의 시뮬레이션을 통한 적용이 가능하다. 그러나 습득하기에 어려우며 전문적인 지식과 많은 양의 데이터 입력이 요구된다. 이로 인해 디자인 평가 및 분석에 많은 시간이 필요하게 되며 자연채광을 고려한 건축가의 이용에 문제가 된다. 하지만 ECOTECT은 기존의 친환경 시뮬레이션의 문제점에 대한 새로운 대안을 제시하고 있으며, 특히 각 지역의 기상데이터를 기반으로 시뮬레이션이 가능해 사용자 및 그 수요 또한 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 친환경 디자인 평가에 널리 쓰이며 장점을 보이고 있는 ECOTECT을 통해 요양시설의 자연채광 시뮬레이션을 수행했으며 그 특성과 과정은 다음과 같다.

### 2.3 ECOTECT Analysis 2011

친환경 디자인 및 건축 환경 분석 프로그램이며, 초기 디자인 과정부터 최종평가까지 다양한 분야의 건축 환경적 요소를 평가하고, 3D 이미지와 결과물을 통한 다양한 친환경 건축물 기법들의 분석이 가능하다. ECOTECT은 태양, 자연채광, 열환경, 음환경의 4개 분야에서 가장 효율적인 친환경 건물 평가 시뮬레이션으로 평가되고 있다. 태양 및 일사량, 기상데이터, 일조 및 음영, 태양궤적도, 실내조도, 열 및 음 환경, 기류 분석과 같이 다양한 ECOTECT의 주요 기능 중에서 가장 유용한 부분으로는 자연채광, 즉 실내조도 분석이다. 기상 데이터를 활용한 동적 시뮬레이션의 개념을 통한 ECOTECT을 이용하여 요양시설의 다양한 외피디자인에 대한 연간 실내 조도 분석을 수행하였다.

## 3. 동적 자연채광 시뮬레이션

### 3.1 정적 시뮬레이션과 주광률

자연채광 설계를 규정하기 위한 실내조도 평가 시뮬레이션 방법은 대표적인 두 가지 방식인 정적(Static) 시뮬레이션과 동적(Dynamic) 시뮬레이션 방법으로 나누어진다. 정적(Static) 시뮬레이션은 일정 시간 즉, 한 가지 조건에서의 일시적인 시뮬레이션인 것이다. 주광률이 대표적인 정적 시뮬레이션을 통한 평가 기준이다. 반대되는 동적(Dynamic) 시뮬레이션의 경우 시간적 변화를 고려한 시뮬레이션으로 연중 기상 데이터를 기반으로 하여 연간 조도 분포를 평가한다. 정적 시뮬레이션의 주광률은 담천공에서 작업 면 높이

의 일정 포인트에서 외부 장애물이 존재하지 않다는 가정 하에서 외부 조도와 실내 조도의 비율을 뜻하지만 이는 적절한 자연채광 디자인이 아니라 최소한의 채광 기준을 평가하는 것이다.

기존 연구를 통한 주광률의 한계는 향과 장소를 고려하지 않는다는 점이며 각각의 다른 위도를 기준으로 한 도시에서의 시뮬레이션 결과 주광률은 거의 동일하게 나타난다. 반대로 천정공 기준으로 시뮬레이션 한 결과는 각 도시의 위도에 따른 태양의 고도의 변화로 다양한 일사 유입 및 실내조도의 비율 즉 주광률은 일정하게 된다. 따라서 이러한 정적 시뮬레이션 평가방식인 주광률의 문제점을 인식하고 추가적인 평가기준이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 기존 주광률 산출방식인 정적 자연채광 시뮬레이션과 더불어 동적 자연채광 시뮬레이션을 중심으로 비교하여 평가해보고자 한다.<sup>6)</sup>

### 3.2 동적 시뮬레이션 : Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance

Daylight Autonomy와 UDI는 동적 시뮬레이션으로 새로운 자연채광 평가기준으로 알려지고 있다. Daylight Autonomy는 기상 데이터를 활용한 채광 평가기준으로 1989년에 스위스 자연채광 규범<sup>7)</sup>을 통해 소개 되었다. DA는 연중 총 시간에서의 조도를 해당지역의 기후 특성 및 기상 데이터를 기반으로 기존의 주광률에 비해 더욱 효과적인 연간 실내 자연채광 평가가 가능하다. DA는 일과시간(08:00~18:00)을 기준으로 하는 연간 자연채광 기준조도를 초과하는 총 시간의 합을 퍼센티지(%)로 나타내는 것이다. 이는 연중 총 일과시간에서 기준조도 이상을 초과한 시간의 양을 말한다. 또한 기준조도는 다수의 문헌에서도 실내 권장 조도를 500[lux]로 권장함에 따라 500[lux]를 기준으로 한다. 결국 최종적으로 DA는 연중 일과시간 내에서 자연채광 만으로 기준조도인 500[lux]를 초과하는 총 시간의 합을 퍼센티지(%)로 나타내는 것이다.<sup>8)</sup>

[표 2] UDI의 유용조도범위

유용조도	미달	적정	초과
lux	100 미만	100 - 2,000	2,000 이상

6) 고동환, 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제26권 6호, 2010, p.322

7) Association Suisse des Électriciens (ASE) / Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (SEV) <http://www.sev.ch/f>

8) Reinhart, C. F., Walkenhorst, O., "Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulation for a test office with external blind", Energy and Buildings, Volume 33, Issue 7, 2001, p.683-697

UDI(Useful Daylight Illuminance)<sup>9)</sup>는 DA와 유사한 개념이지만 실내의 유용한 조도 범위를 설정하고, 이러한 범위 내에서의 실내 조도가 기상데이터를 기반으로 일과시간에서 얼마만큼 나타나는지를 분석하는 것이다. 100 lux 미만은 자연채광만으로는 부족한 상태로 인공조명의 주요 배치가 요구되며, 100[lux]~500[lux]은 효율적이나 인공조명의 보충이 필요하며, 500[lux]~2000[lux]는 불쾌감을 느끼지 않으며 자연채광만으로도 충분한 실내조도가 유지되고 2000[lux] 이상은 시각적 그리고 열적 불쾌감을 주어 배제해야 할 항목으로 분류하였다.<sup>10)</sup>

UDI는 DA 개념과 유사하지만 그 기준조도 및 범위에서 차이가 있으며, 눈부심이나 추가적인 열 획득을 고려하여 적정 범위에 대한 기준을 설정하였다. 즉 적정 자연채광을 통한 유용조도 범위의 중요성을 강조하여, 실내 조도가 너무 낮은 경우와 높은 경우의 재질 및 건물 에너지를 고려하여 유용한 조도 기준의 범위로 100~2000[lux]로 설정하였다.

UDI는 적정 조도 범위 안에 이러한 평가기준으로 좀 더 효율적인 건물 개구부의 평가가 가능하다. 기존의 평가방식은 최대값에 대한 기준이 없어 시각적 열적 불쾌감 증가를 평가할 수 없었지만 이러한 범위는 앞서 언급하였듯이 거주자의 쾌적도를 측정하고 또한 실내 과열 등 건물의 에너지 측면 등의 고려가 가능하다.

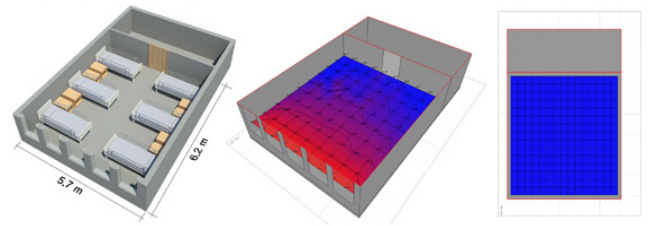
따라서 본 연구에서는 ECOTECT 시뮬레이션을 이용하여 DA(Daylight Autonomy)와 UDI(Useful Daylight Illuminance)의 두 가지 동적 자연채광 시뮬레이션 개념을 바탕으로 건물 외피에서의 유용조도 범위를 고려한 적정 자연채광 기준을 분석하여 보았다.

## 4. 자연채광 시뮬레이션 및 분석

### 4.1 요양시설 기준 및 시뮬레이션 모델선정

본 연구에서의 기본 시뮬레이션 모델은 선행 연구에서 설정된 요양시설의 거실부분을 선택하였다. 그림1과 같이 거실은 침대를 중심으로 한 활동치수를 바탕으로 휠체어의 활동을 고려한 최소 거실면적기준을 산정하여 5.7m×6.2(35.3m<sup>2</sup>)의 6인실(5.9m<sup>2</sup>/인)로 설정하였으며 출입구부터 창까지의 거리를 6.2m로 설정되었다.<sup>11)</sup> 반사율은 벽, 천장, 바닥을 각각 50%, 70%, 30%로 고려하였다. 시뮬레이션 모델은 Autodesk Revit 2011을 이용하여 초기 시뮬레이션을 완

성하였으며 이를 ECOTECT에서 사용가능한 Green Building Studio gbXML 파일로 변환하여 시뮬레이션 분석을 하였다.



[그림 1] 시뮬레이션 유닛

### 4.2 기상 데이터

기상데이터는 DOE (U.S. Department of Energy) EnergyPlus 기상데이터를 이용하였다. Energy Plus 에너지 시뮬레이션을 위한 기상데이터 웹사이트<sup>12)</sup>에서는 세계 각국의 2,100개소에 이르는 도시의 기상 데이터 확인 및 다운로드가 가능하며 국내는 인천, 강릉, 광주, 울산 4도시에 대한 기상데이터를 이용할 수 있다. 본 연구에서는 광주 기상데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

### 4.3 시뮬레이션 모델 및 그리드 설정

[표 3] WWR, VT에 따른 시뮬레이션 모델

WWR	시뮬레이션모델	VT(%)
10%		20
		40
		60
		80
30%		20
		40
		60
		80
50%		20
		40
		60
		80
70%		20
		40
		60
		80
90%		20
		40
		60
		80

분석대상의 시뮬레이션 분석을 위해 창면적비를 10%에서 90%까지 고려하여, 5개의 모델을 기준 모델로 설정하였다. 투과율(VT)은 4가지로 고려하여 20%, 40%, 60%, 80%의 4가지가 고려된 20개의 모델을 설정하여 창면적비

9) Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings", Light Res. Technol. 37.1, 2005, p.41-59

10) Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A replacement for daylight factors", Energy and Buildings 38, 2006, p.05-13

11) 권순정, 노인요양시설의 거실면적기준에 관한연구, 대한건축학회논문집, 제16권 6호, 2000, p37-38

12) <http://apps1.eere.energy.gov/building/energyplus>

WWR(window-to-wall ratio) 마다 4개의 투과율 조건을 적용 기준으로 표3과 같이 시뮬레이션 하였다.

다음으로 각각의 모델에서 시뮬레이션 그리드를 설정하였다. 모든 시뮬레이션 포인트를 작업 면 위치인 75 cm에 위치시킨 후 시뮬레이션을 수행하였다. 총 20×20개의 시뮬레이션 포인트에서 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 시뮬레이션 후의 이미지 결과물이 각 그리드의 색은 실내조도의 높낮이를 표현하고 있으며, 각종 자연채광 시뮬레이션 결과 값을 얻을 수 있다.

따라서 위의 조건들을 바탕으로 다음의 주요 세 가지 결과물을 얻을 수 있으며 전체 포인트에서의 1) 평균 주광률, 2) Daylight Autonomy(DA): 연중 일과시간(08시~18시)에서의 3가지 기준조도 (100, 500, 2,000 lux)를 초과하는 총 시간의 합(%), 3) UDI (Useful Daylight Illuminance): 적정 실내조도인 100~2,000 lux 범위의 연중 일과 시간 내 총 실내조도 발현시간의 합(%)이다.

결과 분석은 전체적인 시뮬레이션 후 창면적비 50%와 투과율 60%인 경우를 사례로 살펴보았으며 평균 주광률과 세 가지 기준조도에서의 DA와 UDI의 결과를 얻을 수 있다 (표4). 시뮬레이션 모델의 참 중심부에서 창가에서부터 실내 안쪽 까지 각 지점에서 결과를 얻어낸 것이다. 창에서 실 출입구 까지 6.2m 거리에서 시뮬레이션 지점 1은 창에서 가장 가까운 점을 의미하며 10번째 지점은 가장 안쪽에 위치하게 된다.

[표 4] WWR 50%, VT 60% 에서의 시뮬레이션 결과 (평균값)

	주광률 (DF)	DA (100)	DA (250)	DA (500)	DA (2000)	UDI
%	4.48	97.58	93.10	79.73	14.80	83.93

[표 5] WWR 50%, VT 60% 에서의 남향중앙에서 각 지점의 값

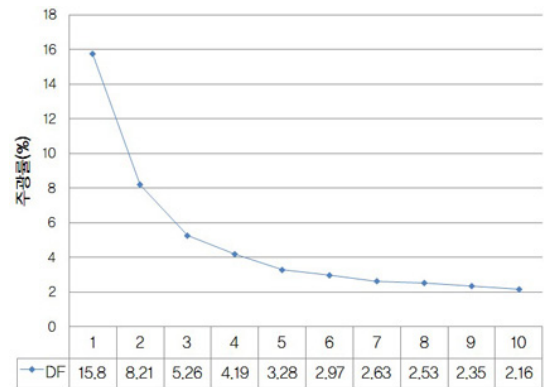
%	시뮬레이션 지점									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DF	15.7	8.2	5.2	4.1	3.2	2.9	2.6	2.5	2.3	2.1
DA (100)	100	100	98.9	98.1	97.5	97.2	96.7	96.6	96.4	96.1
DA (250)	99.7	97.5	95.9	95.1	94.0	93.6	91.9	91.3	90.1	88.8
DA (500)	97.4	95.1	92.0	88.3	84.1	80.7	76.0	74.2	70.3	63.2
DA (2000)	87.5	58.1	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UDI	12.5	41.8	74.5	98.1	97.5	97.2	96.7	96.6	96.4	96.1

그림2는 각 지점에서 주광률을 나타내며, 실내 안쪽으로 갈수록 태양광 유입이 감소함을 알 수 있다. 창가에서 15.8%의 주광률을 보이고 가장 안쪽에서는 2.16%로 약 86% 정도 감소한 수치를 보이고 있다. 기존 연구에 따르면 적정 주광

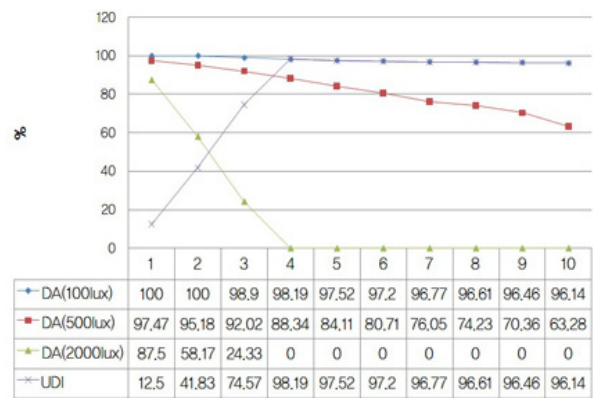
률은 2%에서 5% 사이로 제시되고 있다. 따라서 주광률은 5%가 넘는 약 1.5m 지점까지는 재실자의 시각적 및 열적 불쾌감의 가능성이 있다. 다음으로는 그림3은 DA와 UDI에 대한 것이며 앞 결과와 동일한 지점에서의 결과를 보여주고 있다. 우선 DA (기준조도 100 lux)의 경우에는 거의 모든 지점에서 평균 98%의 시간에서 최소 100 lux 이상이 유지됨을 알 수 있다.

DA(기준조도 500 lux)인 경우는 실내 쪽으로는 감소하는 경향을 보이고 있지만 60% 이하로 떨어지지 않는 경향을 보이고 있다. 주광률 5% 이상인 지점(3지점)에서는 모두 92% 이상의 시간대에서 500 lux 이상을 보이고 있다.

DA(기준조도 2,000 lux)인 경우는 전혀 다른 경향을 보이고 있다. 창에서 3번째 지점까지 약 24% 이상의 시간대에서 2,000 lux 이상을 보여주고 있다. 이는 역시 주광률 5% 이상의 부분과 일치한다. 또한 창가 바로 앞쪽인 첫 번째 지점에서는 약 87% 이상의 시간대에서 2,000 lux 가 나타나 재실자의 불편함 및 추가적 에너지 부하 증가의 원인이 될 수 있다. 이후 4번째 지점인 약 2.5m 부터는 2,000 lux 이상의 시간대가 0%로 나타난다.



[그림 2] 창면적비 50%, 투과율 60%에서의 결과



[그림 3] 각 시뮬레이션 지점에 따른 DA와 UDI

UDI는 주광률 및 DA와는 상반된 경향을 보이고 있다. 유용한 조도의 범위인 100~2,000 lux는 창가 쪽으로 갈수록

낮은 비율을 보이며 4번째 지점인 약 2.5m 지점에서부터는 유용조도가 98% 이상임을 알 수 있다. 즉 앞에서의 주광률 5% 이상이며 DA(기준조도 2,000)에서 상대적으로 높은 수치를 보인 창 주변의 지점에서 낮은 UDI 수치를 볼 수 있다. 즉 창가에서 첫 번째와 두 번째 지점은 각각의 유용조도의 시간대가 12.50%와 41.83%를 나타내 특히 2,000 lux 이상이 시간대가 많음을 의미하며, 이는 재실자의 불쾌감과 에너지 증가로 이어질 수 있다. 반면에 UDI는 실 안쪽으로 갈수록 점차 증가하여 실 중간 깊이 이상으로는 상대적으로 높은 유용조도의 범위를 보이고 있다. 따라서 UDI는 실 안쪽으로 갈수록 증가하여 실 중간 깊이 이상으로는 상대적으로 높은 유용조도의 범위를 보이고 있다. 따라서 UDI는 기존 주광률과 DA와는 달리 유용조도의 수치를 통하여 적정 자연채광 디자인 평가 및 분석이 가능하다.

다음으로 주요 변수인 창면적비와 투과율의 변화에 따른 UDI 시뮬레이션 결과의 비교를 위해 다음과 같은 두 가지 분석을 수행하였다. 첫째로, 창 크기에 따른 UDI의 변화를 살펴보았다. 투과율을 60%로 고정하고, 창면적비를 10%, 30%, 50%, 70%, 90%로 변화시키면서 UDI의 변화를 분석하였다.

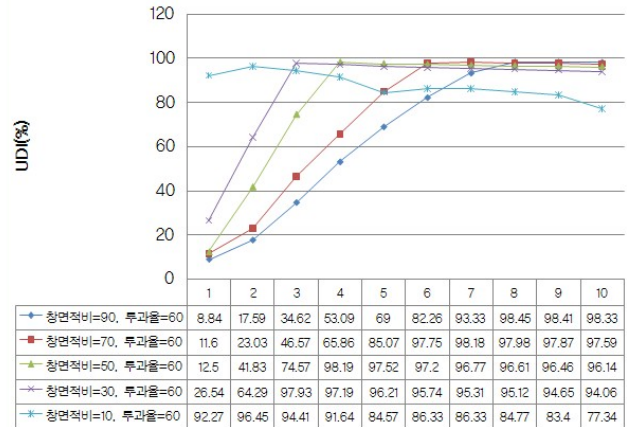
우선 창면적비가 10%인 경우 다른 창면적비의 경우와는 다르게, 실내 깊이가 깊어질수록 UDI가 감소함을 알 수 있다. 즉 창가에서의 UDI는 가장 높은 수치를 보여주지만 안쪽에서의 유용조도 수치는 떨어진다. 그 외의 경우 창면적비가 증가할수록 창가에서부터 실내 쪽으로 UDI 수치는 점차 증가하며, 일정지점부터는 약 95% 이상의 수치를 유지하게 된다. 특히 창면적비가 70%, 90%인 경우는 각각 창가 쪽에서의 유용조도의 비율이 떨어진다. 이는 높은 창면적비에 따른 과도한 태양광 유입으로 2,000 lux 이상의 조도 비율이 높아지기 때문이다.

[표 6] WWR(%)에 따른 UDI - VT 60%

WWR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90	8.8	17.5	34.6	53.0	6	82.2	93.3	98.4	98.4	98.3
70	11.6	23.0	46.5	65.8	85.0	97.7	98.1	97.9	97.8	97.5
50	12	41.8	74.5	98.1	97.5	97.2	96.7	96.6	96.4	96.1
30	26.5	64.2	97.9	97.1	96.2	95.7	95.3	95.1	94.6	94.0
10	92.2	96.4	94.4	91.6	84.5	86.3	86.3	84.7	83.4	77.3

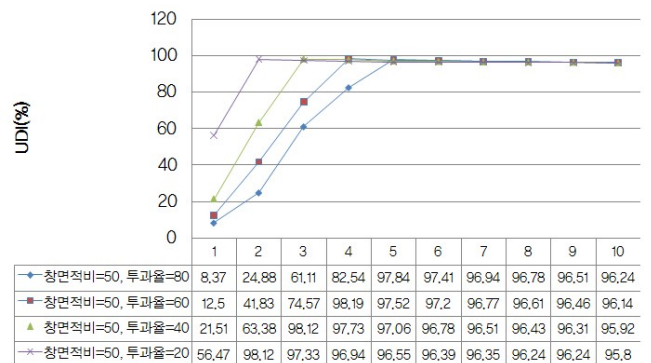
[표 7] VT(%)에 따른 UDI - WWR 50%

VT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	8.3	24.8	61.1	82.5	97.8	97.4	96.9	96.7	96.5	96.2
60	12.5	41.8	74.5	98.1	97.5	97.2	96.7	96.6	96.4	96.1
40	21.5	63.3	98.1	97.7	97.0	96.7	96.5	96.4	96.3	95.9
20	56.4	98.1	97.3	96.9	96.5	96.3	96.3	96.2	96.2	95.8



[그림 4] WWR에 따른 UDI의 변화

반면에 창면적비가 30%, 50%의 경우 앞쪽의 일정부분부터는 유용조도가 고르게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 결국 과도한 일사가 유입되는 경우인 창면적비 90%의 경우는 창가 쪽에서 8.8%에서 시작하여 점차 증가함을 보이고 있다. 이 경우에는 실 안쪽 7번째 지점 (약 4.6m 지점)에 이르러야 UDI가 90%를 초과하게 된다. 반대로 창면적비 10%의 경우에는 창가에서의 유용조도는 92% 이상을 보이지만 실 안쪽으로 갈수록 약간씩 감소하는 추세를 보이고 있다. 높은 창면적비의 경우에서 창가 주위의 높은 조도로 인한 UDI의 감소와 마찬가지로 적은 창면적비와 투과율이 요구된다. 이러한 결과를 종합적으로 분석키 위해 각각의 평균값을 살펴보았다. 각각 UDI 평균은 65.4% (WWR-90%), 72.2% (70), 80.8% (50), 85.7% (30), 87.8% (10)로 나타난다. 즉 동일한 60%의 투과율에서 적정 창면적비인 30%, 10%에서 상대적으로 높은 UDI 수치를 볼 수 있다. 특히 창면적비가 90%인 경우 평균 65.4%로 이는 유용조도 범위 외 특히 2,000 lux 이상의 조도발현이 약 60% 시간대에서 나타남을 의미한다. 따라서 UDI 수치를 바탕으로 다양한 모델에서의 적정 개구부 디자인에 대한 평가를 할 수 있다. 특히 과도한 창면적비의 경우 UDI를 통한 유용조도 발현 시간대를 분석한 후 이를 설계과정에 반영하여 실내 재실자를 위한 환경 및 에너지 절감 효과를 기대할 수 있다.



[그림 5] VT에 따른 UDI의 변화

다음으로는 창면적비를 고정한 후 투과율을 변화시켜 UDI의 추세를 살펴보았다. 상대적으로 투과율 변화는 창면적비 변화에 비해 변동 폭이 적음을 알 수 있다. 각각의 UDI 평균은 75.9% (VT-80%), 80.8% (60%), 85.9% (40%), 92.6% (20%)이다. 투과율의 감소에 따라 UDI는 약간씩 증가함을 보여준다. 투과율이 80%인 경우 세 번째 지점까지 약 60%대의 UDI를 나타내며, 그 외 투과율이 40%와 60%의 경우 창가에서의 UDI는 다소 낮지만 각각 3번째(1.9m)와 4번째 지점(2.6m)에서부터 UDI는 95%이상 유지한다. 즉 창면적 50%, 투과율 80%인 경우를 제외하고는 전체적으로 첫 번째 측정 포인트를 제외하고는 UDI 수치가 60%이상을 상회하고 있음을 알 수 있다. 결국 UDI를 통한 연간 유용조도 결과분석 투과율 변화보다는 창면적비에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 특히 창면적비에 따른 분석결과, 과도하거나 작은 창면적비에서 유용조도를 초과하거나 미만에서의 실내조도 증가로 UDI가 크게 감소한다. 이러한 UDI 수치의 유용조도 범위 분석을 통해 적정 건물 개구부 평가가 가능하다.

표8은 총 20개 모델에서의 주광률, DA, UDI의 결과를 보여주고 있다. 전체적인 창면적비와 투과율의 관계를 통한 실내 자연채광 성능 분석을 위해 유효개구부 EA (Effective Aperture)를 사용하였으며, 이는 투과율과 창면적비의 곱(VT × WWR)으로 정의된다. EA를 이용한 적정 조도의 범위를 제시하고자 전체적인 20개의 시뮬레이션 모델의 EA (투과율×창면적비)를 계산하였다.

[표 8] 전체 시뮬레이션 결과

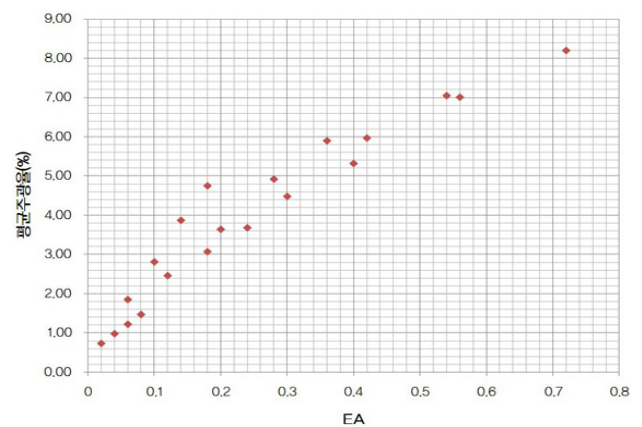
WWT (%)	VT (%)	DF	DA (100)	DA (500)	DA (2000)	UDI
90	80	8.2	99.1	92.5	35.5	63.5
70	80	7.0	98.7	90.3	27.8	70.8
50	80	5.3	97.7	81.9	18.9	78.8
30	80	3.6	96.5	63.0	12.7	83.8
10	80	1.4	87.9	21.0	2.0	85.9
90	60	7.0	99.0	91.7	30.1	68.9
70	60	5.9	98.5	89.2	22.7	75.8
50	60	4.4	97.5	79.9	14.8	82.7
30	60	3.0	96.2	58.5	8.8	87.4
10	60	1.2	86.5	16.9	1.1	85.4
90	40	5.9	98.8	90.8	23.4	75.4
70	40	4.9	98.3	87.8	16.0	82.2
50	40	3.6	97.2	76.5	9.7	87.4
30	40	2.4	95.7	52.2	4.6	91.1
10	40	0.9	84.6	11.1	0.2	84.3
90	20	4.7	98.6	89.2	13.8	85.0
70	20	3.8	97.9	85.3	7.1	90.7
50	20	2.8	96.7	71.4	2.9	93.7
30	20	1.8	95.0	42.5	0.4	94.6
10	20	0.7	81.4	3.8	0.0	81.4

그림6과 7의 X축은 EA(투과율×창면적비)를 나타내고 있으며, 각각의 시뮬레이션 결과가 Y축에 표시되었다. 우선 그림6은 EA와 주광률과의 관계를 분석한 것이다. 전체적으

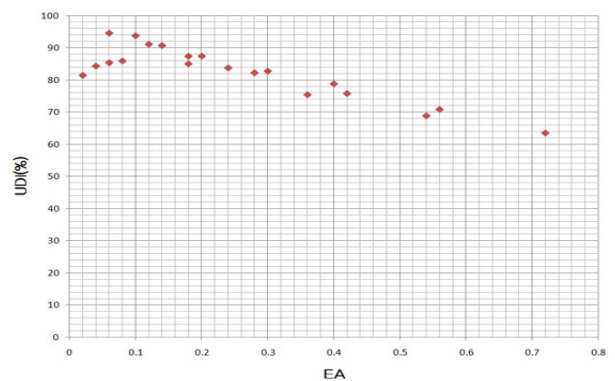
로 최소 0.73%에서 최대 8.20%까지의 분포를 보이고 있으며, 각각의 변수인 EA가 증가함에 따라 유사한 비율로 주광률 또한 증가함을 볼 수 있다. 적정 주광률인 2%에서 5% 사이의 범위는 EA가 0.10~0.35에서 나타남을 볼 수 있다. 즉 EA를 통해 적정 주광률 판단이 가능하다.

다음의 그림7은 UDI와 EA와의 상관관계를 분석한 것이다. 주광률 및 DA의 경우는 투과율과 창면적비와 비례하여 수치가 모두 증가하는 경향을 보이지만, UDI의 경우는 그림과 같이 다른 경향을 보이고 있다. 초반에 창면적비 및 투과율의 증가에 따라 UDI는 소폭 증가하다 적정 부분의 비율에서 최대 95%까지의 수치를 보인다. 그러나 계속된 투과율 및 창면적비의 증가에 따라 UDI의 수치는 점차 감소함을 볼 수 있다. 이를 적정 주광률 범위인 2~5%를 보이는 0.10~0.35의 EA 범위와 비교해 보면, 이 범위에서 UDI는 80% 이상의 수치를 보이고 있다. 따라서 UDI를 통해 재실자의 실내 환경 질과 건물 에너지를 고려한 적정 건물 개구부를 80% 이상의 UDI를 적정 수치로 제시할 수 있다.

위 결과와 같이 위치에 대한 연간 기상데이터를 기반으로 적정한 창 크기와 투과율을 통한 적정한 실내에 유입되는 자연채광의 조도를 검증할 수 있으며 이를 바탕으로 노인요양시설에 거실에 적절한 창호 비율을 책정할 수 있다.



[그림 6] DF와 EA의 상관관계



[그림 7] UDI와 EA의 상관관계

## 5. 결론

자연채광의 장점인 에너지 절감과 실내 환경 질 개선은 친환경 건축물에서 가장 중요한 요소이지만 이를 평가하는 각종 시뮬레이션 프로그램들은 초기 설계 과정에서 이를 반영하기 어려운 점이 있다. 본 연구에서는 초기 설계 과정 시뮬레이션에 적용 가능한 ECOTECT 2011을 이용하여 요양 시설 주거부분(병실)에 유용한 자연채광 조도 분포를 시뮬레이션으로 측정하였다.

이를 위해 자연채광 평가 기준인 적정 시뮬레이션인 주광률(DF)을 기본으로 측정하고 주광률의 문제점을 보완하기 위해 연중 전체적인 조도분포를 측정할 수 있는 동적 시뮬레이션인 Daylight Autonomy(DA)와 Useful Daylight Illuminance(UDI)를 중심으로 연구를 수행하였다. 시뮬레이션 대상은 선행 연구에서 제시된 요양시설의 주거부분을 모델로 설정하였으며 기상 데이터는 US DOE의 Energy Plus 용 기상데이터를 이용하였다. 건물 개구부의 디자인 및 특성에 따른 실내 조도 분포 분석을 위해 창면적비와 투과율을 변화시킨 총 20개의 시뮬레이션 모델을 설정하여 측정하였다. 이를 통해 평균 주광률을 포함한 DA의 세 가지 기준조도인 100-500-2,000 lux의 연중 분포를 통해 UDI를 중심으로 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다.

첫 번째, 우선 개별 시뮬레이션 모델 분석 결과, DF와 DA는 창가에서 실내로 갈수록 태양광 유입의 감소로 수치 또한 감소하는 경향을 보이는 반면 UDI의 총시간(%)은 상반된 경향을 보였다. 유용한 조도의 범위인 100~2,000 lux는 창가 쪽으로 갈수록 낮은 비율을 보이며, 실 중간 지점에서부터 점차 UDI 수치 증가를 보인다. 또한 UDI 평균값을 통해 동일한 60%의 투과율에서 적정 창면적비인 30%에서 상대적으로 높은 UDI 수치를 보이며 상대적으로 90%의 과도한 창면적비의 경우 평균 약 68%의 UDI 수치를 볼 수 있다. 따라서 UDI 수치를 바탕으로 다양한 모델에서의 적정 개구부 디자인 평가가 가능하다.

두 번째, 전체 시뮬레이션 결과의 분석을 위해 EA(투과율×창면적비)를 통해 분석하였다. 우선 DF와 EA에서는 적정 주광률인 2%에서 5% 사이의 범위는 EA가 0.10~0.35에서 나타남을 볼 수 있다. 다음으로 UDI와 EA와의 상관관계를 보면 역시 주광률 및 DA와는 다른 경향을 보인다. UDI의 경우는 초반에 창면적비 및 투과율의 증가에 따라 증가하다. 일정부분 적정 UDI 수치를 유지한다. 그러나 계속된 투과율 및 WWR의 증가에 따라 UDI의 수치는 점차 감소함을 볼 수 있다.

세 번째, 권장 DF 범위인 2~5%를 보이는 EA 범위 0.10~0.35인 범위와 비교해보면, 적정 자연채광을 위한 개구부 디자인은 UDI가 80% 이상인 경우로 나타났다.

네 번째, 반대로 적정 UDI 수치 80% 미만의 경우는 상대적으로 높은 투과율과 창면적비로 인한 창가에서의 과도

한 일사량의 유입으로 적정 조도범위인 2,000 lux를 초과하게 되기 때문이며 낮은 EA의 경우, 특히 100 lux 미만의 조도 비율이 높아지게 되기 때문에 요약 될 수 없다.

이러한 기상데이터를 활용한 동적 시뮬레이션을 통해 UDI의 범위가 80%를 초과하는 경우 적정 주광률의 범위와 일치하며 창면적비와 투과율의 평가를 통해 올바른 자연채광 디자인에 접근할 수 있다. EA를 통해 적정 DF 여부의 판단이 가능하다. 따라서 기존 평가기준인 주광률에 더불어 연간 유용조도 개념을 기반으로 한 동적 시뮬레이션을 통한 실내 조도 평가도 수행되어야 한다.

본 연구를 바탕으로 빛 환경에 민감한 요양시설의 조도 측정을 주광률과 더불어 기상데이터를 활용한 연중 실내 조도 분석에 대한 기초가 되었으면 한다. Useful Daylight Illuminance를 통해 실내 유용조도를 분석하고 이를 바탕으로 재실자들을 위한 실내 환경 질 개선은 물론 고효율 에너지 절약을 위한 기초가 되는 새로운 자연채광 평가기준으로 활용될 수 있길 바라며 그 기준으로 재실자 치료의 의학적인 치유과정과 더불어 후속 연구가 요구된다.

## 참고문헌

1. 고통환, 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 26권 6호, 2010
2. 천진희, '노인의 삶의 질 향상을 위한 주거환경 디자인', 집문당, 2008,
3. 박성득, '공동주택의 주동형식 및 창면적비에 따른 건물에너지 효율 등급에 관한 연구', 고려대석사학위, 2010
4. 원슬기, '고령자를 위한 주거 시설 조명환경 계획에 관한 연구', 조명·전기설비학회논문지, Vol.21 No.6, 2007
5. 권순정, 노인요양시설의 거실면적기준에 관한연구, 대한건축학회논문집, 제 16권 6호, 2000
6. Gappel, Millicent, "Psychoneuro Immunology", Innovation in Healthcare Design, Van Nostrand Reinhold, 1995,
7. Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings" , Light Res. Technol. 37,1 ,2005
8. Association Suisse des Électriciens (ASE) / Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (SEV) <http://www.sev.ch/f>
9. Reinhart, C. F., Walkenhorst, O., "Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulation for a test office with external blind", Energy and Buildings, Volume 33, Issue 7, September 2001
10. Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings" , Light Res. Technol. 37,1 ,2005
11. Navil A. and Mardajevic, J. "Useful daylight Illuminance: A replacement for daylight factors", Energy and Buildings 38 ,2006
12. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/>

접수 : 2010년 12월 30일

1차 심사 완료 : 2011년 1월 20일

최종 수정본 접수 : 2011년 2월 15일

3인 익명 심사 필