

KNU 식물공장의 냉난방 에너지 부하 해석에 관한 연구

이찬규¹, 김우태^{2*}

¹공주대학교 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

A Study on the Heating and Cooling Energy Load Analysis of the KNU Plant Factory

Chan-Kyu Lee¹ and Woo Tae Kim^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Kongju National University

²Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 KNU 식물공장 모델의 냉난방 에너지 부하를 DesignBuilder를 이용하여 해석하였다. 실내설정온도, LED 보광주기, LED 보광량, 유리외피의 구조에 따른 에너지 소모량을 분석하였다. LED 보광이 없는 식물공장의 실내설정온도를 상추의 적정 생육온도인 20℃를 중심으로 15℃, 25℃로 변화시키면서 일정온도로 유지하는데 필요한 연간 냉난방부하를 분석하였다. 15℃일 때 냉방부하, 25℃일 때 난방부하가 가장 크게 나타났다. 상추 재배에 필요한 LED 보광 적용 시 난방부하는 감소하지만 냉방부하가 약 6배 증가한다. 또한 LED 보광 시 주간보다는 야간보광이 냉난방부하 감소에 유리한 결과를 주었다. 식물공장 외피가 냉난방부하에 미치는 영향을 비교하기 위하여 다섯 가지 종류의 외피를 적용하여 계산하였다. 이중창호의 열관류율이 작을수록 식물공장의 난방부하는 감소하고 냉방부하는 증가하였다. 재배할 작물의 적정생장온도 설정, LED 및 재배설비의 내부발열량에 따른 적절한 외피선택, 다양한 패시브 및 액티브 에너지 절감기술의 적용으로 냉방부하를 감소시키는 것이 식물공장 운영에 중요한 요소로 판단된다.

Abstract The heating and cooling energy load of the KNU plant factory was analyzed using the DesignBuilder. Indoor temperature set-point, LED supplemental lighting schedule, LED heat gain, and type of double skin window were selected as simulation parameters. For the cases without LED supplemental lighting, the proper growth temperature of lettuce 20℃ was selected as indoor temperature set-point together with 15℃ and 25℃. The annual heating and cooling loads which are required to maintain a constant indoor temperature were calculated for all the given temperatures. The cooling load was highest for 15℃ and heating load was highest for 25℃. For the cases with LED supplemental lighting, the heating load was decreased and the cooling load was 6 times higher than the case without LED. In addition, night time lighting schedule gave better result as compared to day time lighting schedule. To investigate the effect of window type on annual energy load, 5 different double skin window types were selected. As the U-value of double skin window decreases, the heating load decreases and the cooling load increases. To optimize the total energy consumption in the plant factory, it is required to set a proper indoor temperature for the selected plantation crop, to select a suitable window type depending on LED heat gain, and to apply passive and active energy saving technology.

Key Words : KNU plant factory, Energy load analysis, DesignBuilder, Heat transfer

본 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/ 에너지자립형 그린빌리지 핵심 기술 사업단)

*Corresponding Author : Woo Tae Kim

Tel: +82-10-2877-5362 email: wtkim@kongju.ac.kr

접수일 12년 02월 02일

수정일 (1차 12년 03월 26일, 2차 12년 04월 03일)

게재확정일 12년 04월 12일

1. 서론

도시화와 산업화로 농지가 축소되고 환경오염과 이상 기후 현상으로 인해 농작물 생산의 불확실성이 증가하여 안정적인 식량공급의 필요성이 대두되고 있다. 현재 많은 국가들이 이를 해결하기 위해 다양한 연구를 하고 있으며 그 중 주목받는 기술적 대안으로는 식물공장의 개발을 들 수 있다. 식물공장은 1960년대 초 오스트리아 루스나(Ruthner)사에서 최초로 개발하였다. 밀폐된 공장형태에서 인위적으로 환경을 제어하여 사계절 내내 외부 조건의 영향을 받지 않고 작물을 키울 수 있는 완전제어형은 제너럴일렉트릭(GE)사에서 개발하였다. 완전제어형 식물공장은 인공광원을 이용하여 외부환경과 거의 무관하게 생산할 수 있고 지리적 입지에 상관없이 사막, 극지방, 고산, 해안, 심지어 우주공간 등에서 언제나 식물을 재배할 수 있는 장점이 있다. 또한 환경을 정밀하게 조절하여 재배하므로 생산성을 높이고 품질을 향상시킬 수 있다.[1] 하지만, 연중 일정한 환경을 유지하기 위해 필요한 형광등, LED(light emitting diode)램프와 같은 광원과 일정온도를 유지하기 위한 공조시설 등의 추가적인 설비로 인해 설치비와 에너지 소비량이 증가하는 단점이 있다. 최근 고유가로 인한 에너지 비용의 증가로 정부에서는 2030년까지 매년 평균 2.6%씩 에너지 효율을 높여 43%까지 개선하기 위한 에너지 절약 정책을 시행하고 있다.[2] 국가의 에너지 절약 정책에 부응하고 건물의 열 성능 향상을 이루기 위해서 식물공장 연구 분야에서도 LED 조명제어, 식물의 생육단계별 최적광량 제어[3,4] 등을 통해 에너지 효율을 최대화하는 연구가 진행되고 있다.

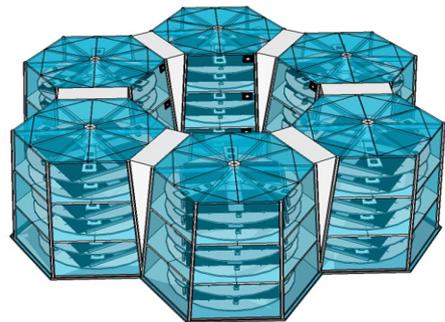
본 논문에서는 에너지 효율이 높은 식물공장 모델 개발을 위해 DesignBuilder[5]를 사용하여 에너지 해석 연구를 수행하였다. KNU(Kongju National University) 식물공장 모델을 제작하여 국내 기후 데이터를 바탕으로 식물공장에 설정된 내부온도, LED 보광주기, LED 보광량, 식물공장 외피의 특성에 따른 에너지 효율을 분석하였다.

2. 연구 방법

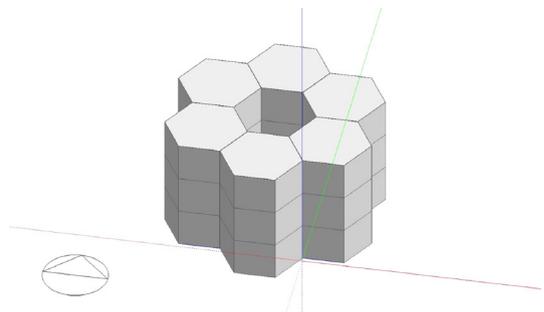
2.1 식물공장 모델

그림 1은 공주대학교 에너지자립형 그린빌리지 핵심 기술 사업단 내에서 개발 중인 KNU 식물공장의 3차원 형상모델을 나타낸다. 육각형 유리 온실 단위유닛 3개가 결합된 3층 구조물을 1개 동으로 하며 6개 동이 벌집 형태로

결합된 구조물이다. 식물공장의 에너지 밸런스 해석을 위하여 그림 1의 구조물을 그림 2와 같은 DesignBuilder 모델로 구성하여 시뮬레이션을 진행하였다. 6개 동이 수직방향에 대해 기울어진 각도에 따라 각 동이 결합되는 부분의 형상이 변화될 수 있으나 본 연구에서는 6개 동이 바닥면에 대해 직각을 이루고 있는 상태에서 서로 결합되어 있다고 가정하였다. 1층 바닥면은 지면바닥조건, 1층과 2층 사이, 2층과 3층 사이는 100 mm 콘크리트 벽으로 설정하고 3층 천장은 이중창호가 적용되었다. 또한 모든 층의 측면 외벽은 이중창호가 적용되었다. 온실 단위 유닛의 면적은 52.2 m²이며 3개 층, 총 18개 유닛으로 구성되어 있다. 온실의 전체 면적은 939.6 m²이다. 또한, KNU 식물공장은 농약을 사용하지 않고 작물을 계획 생산하기 위해 밀폐 및 환경제어를 한다. 그러나 LED 램프의 소비전력을 절감하기 위해 태양광 병용형으로 설계되었다. 본 연구에서는 식물생장 조절에 필요한 LED 램프의 발열만을 고려하고 그 이외의 내부 설비에 의한 발열은 고려하지 않았다.



[그림 1] KNU 식물공장 모델
[Fig. 1] The KNU plant factory



[그림 2] KNU 식물공장의 디자인빌더 해석모델
[Fig. 2] The DesignBuilder model for the KNU plant factory

[표 1] 평택 연평균 날씨데이터

[Table 1] Pyeongtaek annual weather data

	Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)	Direct Normal Solar (kWh)	Diffuse Horizontal Solar (kWh)
Jan	-2.16	3.33	220.81	66.84	33.10
Feb	-0.34	4.61	260.73	74.86	38.98
Mar	4.81	3.31	209.40	77.35	59.90
Apr	10.84	3.84	204.78	90.04	71.00
May	15.84	2.98	160.46	89.57	77.89
Jun	20.53	2.97	188.83	72.93	85.22
Jul	23.58	2.52	188.59	33.98	82.98
Aug	24.97	3.71	162.33	36.02	81.04
Sep	20.78	2.18	205.28	52.13	64.52
Oct	14.49	2.07	186.47	65.27	49.70
Nov	7.55	3.53	224.50	55.33	35.37
Dec	1.23	2.75	258.39	44.93	31.74

2.2 계산 조건

표 1은 공주대학교 천안공과대학교 인접한 평택의 월별 평균 기후정보이다. EPW(EnergyPlus Weather file)형식 기후데이터를[6,7] 사용하여 연간 식물공장 내부의 온도변화와 에너지 소비량을 분석하였다.

표 2의 계산 조건을 기준으로 식물공장 실내설정온도(temperature set-point), LED 보광량 및 보광주기, 유리외피의 구조를 변화시키며 냉난방 에너지 요구량을 계산하였다. 식물공장 외피는 표 3에 나타난 물성치를 갖는 이중창호를 기준케이스로 설정하였다.

먼저 LED 보광 및 냉난방공조를 하지 않은 식물공장 내부의 온도변화를 계산하였다. 하절기 7월 26일 최고 실내온도가 약 65.82°C, 동절기 2월 1일 최저 실내온도가 약 -9°C로 계산되어 냉난방을 위한 공조시설을 사용하지 않고는 안정적인 상추의 재배가 어려운 것으로 판단된다. 인공광 병용형 식물공장에서 고품질 상추를 대량생산하기 위해 적합한 생육조건을 문헌을 통해 조사하였다.[8,9] 주간온도는 생육초기와 중기 22~26°C, 생육후기는 20~24°C, 야간온도는 15~20°C가 적합하다. 상대습도 50~80% 이상, CO₂ 1500 ppm, 보광시설을 사용하여 16시간 일장으로 환경을 제어하는 것이 상추의 생장에 유리하다. 따라서 본 연구에서는 실내온도 20°C, 자연광에 더하여 LED 램프를 사용하여 보광주기를 16시간으로 맞추고 내부습도는 제습, 가습기를 사용하여 항상 60%를 유지하고 CO₂ 가스를 인위적으로 주입하며 긴급히 환기가 필요한 경우에만 환기를 하는 인공광 병용형 모델을 가정하여 계산하였다.

[표 2] 기준 시뮬레이션 조건

[Table 2] Reference simulation conditions

Temperature Set-point	20°C
LED Heat Gain	2 stage cropping 164 W/m ²
Heat Transfer Coefficient	2.7 W/m ² · K
Ventilation	0 ACH

[표 3] 기준 이중외피 물성치

[Table 3] Properties of reference double skin window

Layer	Material	Conductivity (W/m ² · K)	Thickness (mm)
Outer	PPG Clear Glass	1.0	5.664
Cavity	Air	0.00287	12
Inner	PPG Clear Glass	1.0	5.664

3. 결과 및 토의

3.1 실내설정온도

식물공장 건물자체의 에너지 부하를 알아보기 위해 LED 보광이 없는 경우에 실내설정온도를 15°C, 20°C, 25°C로 변화시키며 에너지 소비량을 분석하였다. 그림 3은 실내설정온도 20°C일 때 월평균 외기온도와 냉난방부하를 나타낸다. 냉방부하는 외기온도 그래프와 비슷한 모습을 보이며 난방부하는 반대의 경향을 보인다. 하절기에

는 난방부하가 동절기에는 냉방부하가 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

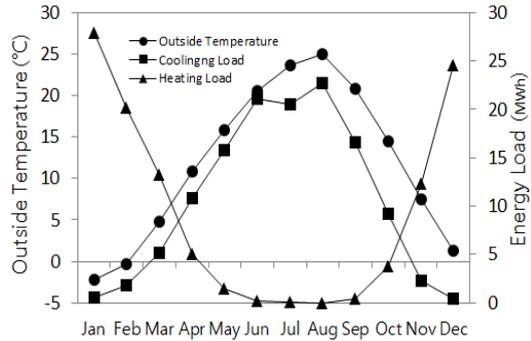
연간 냉방부하는 그림 4와 같이 15℃에서 216 MWh, 20℃에서 149 MWh, 25℃에서 96 MWh 이었으며 연간 난방부하는 15℃에서 66 MWh, 20℃에서 116 MWh, 25℃에서 184 MWh로 계산되었다. 식물공장의 단위면적당 연간 난방에너지 소비량은 각 온도별로 약 71, 124, 195 kWh/m²yr으로 분석되었다. 실내설정온도 25℃의 경우에는 건물에너지효율등급 인증을 받은 238개 표준주택의 평균 난방 에너지 소비량 135 kWh/m²yr[10]를 초과한다. 난방부하를 기준으로 효율등급 산정 시 KNU 식물공장은 등급이 높은 건물이지만 조명과 재배에 필요한 기기 사용으로 인한 발열을 고려할 경우에는 냉방부하가 급격히 증가한다.

그림 5는 LED 보광 적용 시 월별 냉난방부하를 나타낸다. 난방부하는 LED 보광이 없는 경우보다 줄어들지만 냉방부하가 약 6배 증가한다. 따라서 난방부하보다는 냉방부하가 식물공장 에너지 효율평가에 더 중요한 지표로 판단된다.

상추의 생육을 위해서는 15~26℃ 정도로 온도를 유지해주어야 하는데 에너지 부하 계산 결과 식물생장에 영향을 미치지 않는 한도 내에서 실내온도가 높은 것이 에너지 저감에 유리한 것으로 판단된다. 또한 작물재배 및 조망기기 발열로 인한 난방부하의 증가는 다양한 패시브 혹은 액티브 기술을 적용하여 감소시킬 필요가 있다.

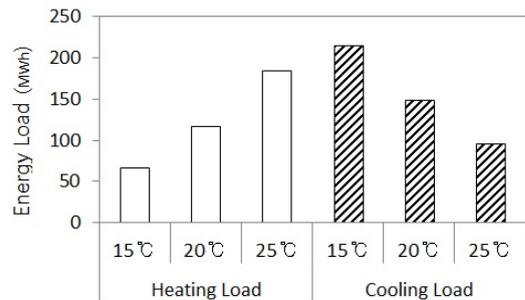
그림 6은 LED 보광이 없는 경우의 층별 냉난방부하의 차이를 나타낸다. 모든 설정온도에서 3층이 난방부하가 가장 크게 나타났다. 15℃일 때 1층에 비해 2층은 약 4% 증가했지만 3층은 약 2.8배 증가한다. 20℃, 25℃ 역시 1층보다 3층이 약 2배 이상 난방부하가 증가했다. 반면 냉방부하는 2층이 가장 높게 나타났다. 본 논문에서 설정한 실내온도 20℃에서의 냉난방부하를 하절기와 동절기로 나누어 분석하였다. 그림 7에서 하절기에는 난방부하보다 냉방부하가 지배적이며 그 중 2층의 냉방부하가 가장 크게 나타났다. 2층의 경우 외부 창호를 통한 열교환량은 1층과 비슷하나 1층의 지붕면, 3층의 바닥면에서 열을 얻게 되어 냉방부하가 크게 나타났다. 동절기의 냉난방부하는 그림 8과 같다. 동절기 난방부하는 3층이 가장 컸다. 3층은 바닥을 제외한 모든 외피가 창호로 되어있고 특히 겨울철 지붕을 통해 손실되는 열이 각 층의 외부와 접하는 창호전체가 없는 열보다 약 2배 많기 때문에 난방부하가 크게 나타났다. 식물공장의 경우 내부발열로 인해 여름철 냉방부하에 따라 연간에너지소비량에 영향이 클 것으로 보이며 그 중 2층의 냉방부하 관리가 중요할 것으로 판단된다. 봄과 가을은 그림 9와 10과 같다. 봄철의 난

방부하는 3층이 가장 크며 점차 줄어드는 경향을 보이고 냉방부하는 2층이 가장 크며 점차 증가하는 경향을 보인다. 가을철은 반대로 난방부하는 증가하고 냉방부하는 감소하는 경향을 보인다.

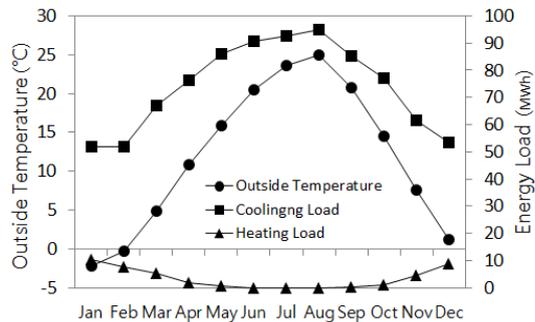


[그림 3] 외기온도에 따른 실내설정온도 20℃에서의 월별 냉난방부하

[Fig. 3] Monthly variation of outside temperature, cooling load, heating load at 20℃ temperature set-point

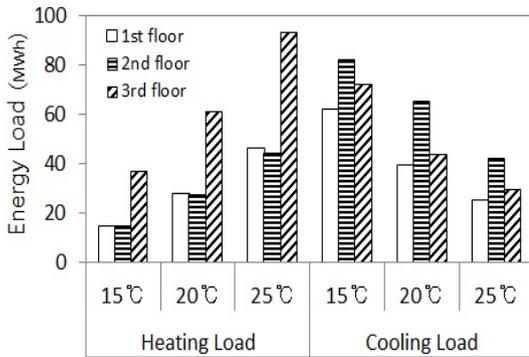


[그림 4] 실내설정온도 변화에 따른 연간 냉난방부하
[Fig. 4] Annual cooling and heating load for different temperature set-points

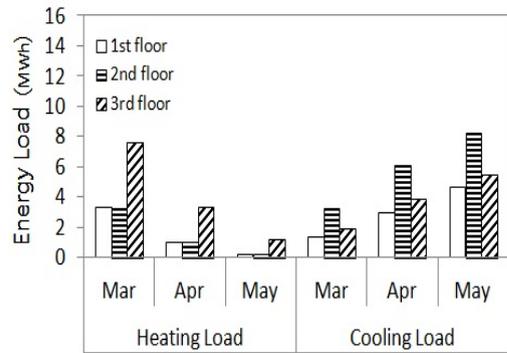


[그림 5] 실내설정온도 20℃에서 LED 보광 적용 시 월별 냉난방부하

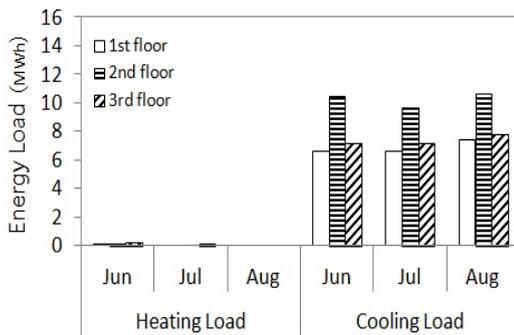
[Fig. 5] Monthly cooling and heating load at 20℃ temperature set-point with LED supplemental lighting



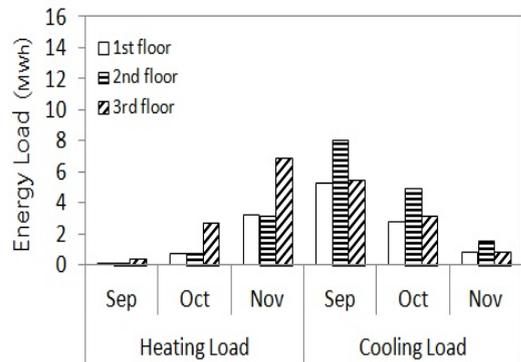
[그림 6] 층별 연간 냉난방부하
[Fig. 6] Annual cooling and heating load of each floor



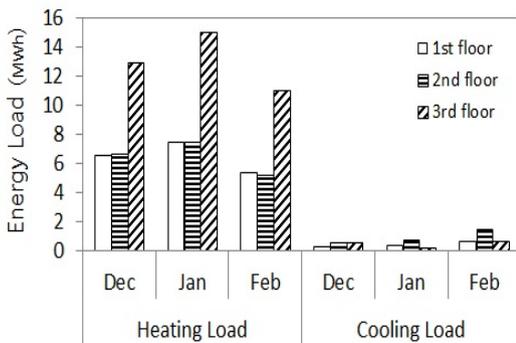
[그림 9] 봄철 층별 냉난방부하
[Fig. 9] Cooling and heating load of each floor in the spring season



[그림 7] 하절기 층별 냉난방부하
[Fig. 7] Cooling and heating load of each floor in the summer season



[그림 10] 가을철 층별 냉난방부하
[Fig. 10] Cooling and heating load of each floor in the autumn season



[그림 8] 동절기 층별 냉난방부하
[Fig. 8] Cooling and heating load of each floor in the winter season

3.2 LED 보광주기 및 사용량에 따른 에너지 부하 변화

식물 광합성과 생장에 필요한 빛의 파장은 460 nm와 660 nm이다. 본 연구에서는 (주파루스에서 생산한 120 W LED 램프를 상추재배에 적용하는 것으로 가정하였다. 460 nm, 660 nm의 적색, 청색광을 갖는 조명으로 상추의 생장에 필요한 광양자 밀도 PPF(photosynthetic photon flux density)가 약 302 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 이상으로 충분한 광밀도를 갖는다.[11] (주파루스의 120 W LED 모듈 소비 전력의 85%가[12] 열로 변환될 경우 KNU 식물공장 단위면적당 약 82 W/m^2 의 열이 발생하게 된다. 식물공장 전체 창호를 통해 일정량의 빛이 들어오지만 식물의 성장에는 부족하고 2단 재배시설을 사용하기 때문에 보광이 필요하다. 따라서 보광시간 04:00~20:00인 주간보광과, 18:00~10:00인 야간보광 두 가지 경우에 대해 계산을 진

행하였다. 표 4는 LED 사용량에 따른 연간 냉난방부하 계산결과를 나타낸다. 야간보광이 주간 냉방부하의 감소와 LED 램프 발열로 야간 난방부하가 감소해 에너지 측면에서 유리하다. 하지만 재배작물 종류에 따른 생장조건에 맞게 보광주기를 결정할 필요가 있다.

[표 4] LED 보광주기 및 사용량에 따른 냉난방부하 변화
[Table 4] Annual cooling and heating load for different LED lighting schedule and heat gain

LED Heat Gain	Day Time		Night Time	
	Cooling (MWh)	Heating (MWh)	Cooling (MWh)	Heating (MWh)
100%	888	40	870	11
90%	807	41	785	11
80%	723	41	700	12
70%	646	43	619	12
60%	566	45	536	14

태양광을 병용해 사용하므로 기후 조건 및 재배단 위치에 따른 태양광의 사용량에 따라 기준 LED 램프 사용량을 줄일 필요가 있다. 표 4에서 주간보광의 경우 LED 램프 사용량이 기준대비 10%씩 줄때마다 냉방부하가 약 80 MWh씩 줄어들고 난방부하에는 변화가 없었다. 야간 보광에서는 LED 램프 사용량을 조절할 경우 약 90 MWh 씩 냉방부하가 감소했다. 하지만 야간에는 태양광을 병용할 수 없으므로 식물 생장에 충분한 LED 광량을 찾을 필요가 있다. LED 램프의 발열량이 크기 때문에 태양광과 병행하여 사용량을 조절하거나 최적광량을 찾아 야간보광을 적용하는 것이 냉방부하 절감에 유리한 것으로 판단된다.

3.3 식물공장 유리외피의 구조변화

LED 보광을 적용하고 실내설정온도가 20℃인 식물공장의 유리외벽을 표 5와 같이 변화시키며 냉난방부하를 계산하였다. Clear glass는 PPG 사의 clear glass를 사용하였고 CL로 표시하였다. Low-e(low-emissivity) glass도 PPG 사의 Sungate 500 제품을 사용하고 LE로 표시하였다. 계산에 사용한 이중창호는 모두 Outside / Air / Inside의 구조이고 U-value가 2.7인 이중창호를 기준창호로 사용하여 계산하였다.

표 6은 이중창호 구조에 따른 연간 냉난방부하를 나타낸다. U-value가 감소할수록 난방부하는 감소하고 냉방부하는 증가했다. 공기층 두께가 증가할 때 냉방부하는 12 mm가 6 mm 대비 약 28 MWh 정도 증가했다. 중공층에 아르곤을 사용한 경우 공기보다 난방부하는 작고 냉방부

하는 약 12 MWh 정도 증가한다. U-value가 감소하여 단열이 잘되면 난방에는 유리하지만 내부발열이 외부로 빠져나가지 못해 냉방부하는 증가하게 된다.

[표 5] 이중외피의 물성치
[Table 5] Properties of double skin window

Type	U-value (W/m ² · K)	Thickness (mm)
Case 1	2.70	6(CL) / 12(AIR) / 6(CL)
Case 2	3.11	6(CL) / 6(AIR) / 6(CL)
Case 3	2.53	6(CL) / 12(AR) / 6(CL)
Case 4	1.98	6(LE) / 12(AIR) / 6(CL)
Case 5	1.60	6(LE) / 12(AIR) / 6(LE)

[표 6] 이중창호의 충전가스 종류 및 두께변화와 창호 구조변화에 따른 연간 냉난방부하

[Table 6] Annual cooling and heating load for different double skin cavity thicknesses, double skin cavity filling gases and different types of double skin window

Type	Heating (MWh)	Cooling (MWh)
Case 1	40	888
Case 2	48	860
Case 3	36	900
Case 4	26	939
Case 5	21	989

Case 4와 5는 기준 이중창호의 내외피에 low-e 유리를 적용한 경우들이다. Case 4에서 외피를 low-e 유리로 변경하면 연간 냉방부하가 약 51 MWh 증가한다. Case 5에서 내외피를 low-e 유리로 적용한 경우 연간 냉방부하가 약 101 MWh 증가한다. Low-e 유리의 특성상 태양으로부터 실내로 유입되는 적외선을 일반이중창호에 비해 더 많이 차단한다. 하지만 low-e 이중창호는 일반창호에 비해 낮은 U-value를 가져 내부에서 외부로의 열에너지 손실이 일반 이중창호에 비해 적어서 냉방부하가 증가하였다.

본 계산을 통해 이중창호의 열관류율이 작을수록 식물공장의 난방부하는 감소하고 냉방부하는 증가하는 것을 확인하였다. 이는 태양열 취득과 LED 발열로 인해 식물공장 내부에 생성되는 열에너지가 창호의 낮은 열관류율로 인해 외부로 효율적으로 배출되지 않아 난방부하는 감소하고 냉방부하가 증가하는 효과를 주었기 때문이다. 본 연구에서 고려한 식물공장의 업체류 재배조건에서는 냉방부하의 감소가 에너지 절감에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 냉방 및 난방장치 구동에 소요되는 에너지 단

가를 고려하여 최적의 경제성을 제공할 수 있는 창호의 U-value 값을 선택하고 필요에 따라 부분 환기를 적용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 DesignBuilder를 이용하여 식물공장의 에너지 소비량을 실내설정온도, LED 보광주기, LED 보광량, 외피의 구조 변화에 따라 분석하였다. 이상의 연구 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 내부발열이 없는 식물공장의 실내설정온도를 20℃로 유지 시 냉방부하가 난방부하보다 크다. 내부에 작물과 LED 등 조명기기를 설치할 경우 냉방부하는 더 커지며 난방부하는 줄어든다.
- (2) 야간보광이 주간보광보다 냉방부하 절감에 유리하지만 재배작물 종류에 따른 성장조건에 맞게 보광주기를 결정할 필요가 있다. 보광량이 10%씩 줄때마다 냉방부하가 주간보광은 약 80 MWh, 야간보광은 약 90 MWh 씩 감소했다.
- (3) 적용된 외피의 U-value가 작을수록 외부와의 열전달량이 작아져 식물공장 난방부하는 감소하고 냉방부하는 증가한다.
- (4) 식물공장 에너지 소비량 절감을 위해서는 재배할 식물의 성장조건에 따라 적정 실내온도를 설정하고 난방부하 및 냉방부하의 크기를 고려한 창호구조를 선택해야한다.

향후 본 연구에서 고려하지 않은 환기량 조절, 식물공장의 건물배치, 지열 덕트 등의 패시브 및 액티브 에너지 저감기술을 적용한 분석과 경제성 분석 등의 연구를 추가로 진행할 계획이다.

References

[1] Y. C. Um, S. S. Oh, J. G. Lee, S. Y. Kim, and Y. A. Jang, "The Development of Container-type Plant Factory and Growth of Leafy Vegetables as Affected by Different Light Sources", *Journal of Bio-Environment Control*, Vol. 19, No. 4, pp. 333-342, 2010.

[2] Y. M. Kim, H. U. Cha, and Y. S. Kim, "Heating and Cooling Energy Assessment of Passive Technology Applied Energy Saving Apartment - Heating and

Cooling Energy Consumption Estimation through the Energy Analysis Software", *Proceedings of the SAREK '10 Summer Annual Conference*, pp. 346-350, 2010.

[3] J. G. Han, S. Y. Kwon, and J. H. Lim, "A Design of LED Light Control System based on Ultrasonic Sensor for Energy Saving of Plant Factory", *Proceeding of the Korean Society for Internet Information Conference*, Vol. 12, No. 1, pp. 401-402, 2011.

[4] S. Y. Kwon and J. H. Lim, "Improvement of Energy Efficiency in Plant Factory using Optimum Light Intensity Control According to Growth Stages of Plant", *Proceeding of the Korean Society for Internet Information Conference*, Vol. 12, No. 1, pp. 85-86, 2011.

[5] DesignBuilder, "DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation for Design Builder v2.3", 2010.

[6] U.S. Department of Energy, "Auxiliary EnergyPlus Programs - Extra programs for EnergyPlus", 2010.

[7] ASHRAE., "ASHRAE Handbook —Fundamentals, Chapter 28, Climate Design Information", pp. 28.1-28.10, 2005.

[8] Y. B. Lee, Y. H. Jin, S. S. Jo, and C. E. Lee, "Lettuce Production in Factory-style Plant Production System", *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, Vol. 18, No. 2, P-1-2, 2000.

[9] K. Y. Choi and Y. B. Lee, "Effect of Air Temperature on Tipburn Incidence of Butterhead and Leaf Lettuce in a Plant Factory", *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, Vol. 44, No. 6, pp. 805-808, 2003.

[10] C. H. Cheong, J. Y. Kim, T. Y. Kim, and S. B. Leigh, "Analysis on the Improvement Factor of Residential Building Energy Rating System in the Respect of Passive House", *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 26, No. 3, pp. 235-243, 2010.

[11] PARUS Co., Ltd., "The Installation Status of LED Plant Factory System for Business Use", 2011 LED Plant Factory Seminar, 2011.

[12] Seoul Semiconductor, *Technology - Thermal Characteristics*, www.acriche.com

이 찬 규(Chan-Kyu Lee)

[준회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 자동차공학전공 졸업 (학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

에너지공학, 자동차공학, 열유체공학

김 우 태(Woo Tae Kim)

[정회원]



- 2000년 8월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 11월 ~ 2002년 10월 : 워털루대학교 기계공학과
- 2002년 12월 ~ 2005년 9월 : 카네기멜론대학교 Data Storage Systems Center
- 2005년 10월 ~ 2009년 8월 : 삼성코닝정밀소재 기술연구소
- 2009년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 조교수

<관심분야>

열유체공학, 에너지공학, 전산유체역학, 연소공학