

온실의 잉여 태양에너지 회수용 FCU 소요대수 검토

윤성욱^{1†} · 최만권^{2†} · 김하늘³ · 강동현¹ · 이시영¹ · 손진관¹ · 윤용철^{3*}

¹농촌진흥청 농업공학부 에너지환경공학과

²국립원예 특작 과학원 시설원예 연구소

³경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원)

Estimation of the Required Number of Fan Coil Unit for Surplus Solar Energy Recovery of Greenhouse

Sung-Wook Yun^{1†}, Man Kwon Choi^{2†}, Ha Neul Kim³, Donghyeon Kang¹,
Siyoung Lee¹, Jinkwan Son¹, and Yong Cheol Yoon^{3*}

¹Dept. of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 54875, Korea

²Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

³Dept. of Agricultural Eng., Gyeongsang National Univ.(Institute of Agriculture and Life Science, GNU), Jinju 52828, Korea

Abstract. In this study, previously reported surplus solar energy-related study result and current status of fan coil unit (FCU) for cooling and heating installed in the current sites were briefly examined and then a method to determine the number of FCUs required to recover surplus solar energy was schematically proposed to provide basic data for researchers and technical engineers in this field. The maximum, mean, and minimum outside temperatures during the experiment period were about 28.2°C, 4.4°C, and -11.5°C, respectively. The horizontal surface solar radiation level outside the greenhouse was in a range of 0.8-20.5MJ·m⁻² and mean and total solar radiation were 10.8MJ·m⁻² and 1,187.5MJ·m⁻². The mean temperature and relative humidity in the greenhouse during the daytime were in a range of 18.8-45.5 and 53.5-77.5%. The total surplus solar energy recovered from the greenhouse during the experiment period was approximately 6,613.4MJ, which could supplement about 6.7% of the total heating energy 98,600.2 MJ. In addition, the number of FCUs installed for heating varies case to case, although similar FCUs are used. Thus, it is necessary to study the installation height, orientation and installation distance as well as the appropriate number of FCUs from the efficient and economical viewpoints. The required numbers of FCUs for surplus solar energy recovery were 8.4-10.9units and 6.1-8.0units based on air mass and circular flow rate that passed through the FCUs. Considering calculation methods and the risks such as efficiency and use environments of FCUs, it was found that about nine units (one unit per 24 m³ approximately) needed to be installed. The required number of FCUs for surplus solar energy recovery was around one unit per 24m³ approximately.

Additional key words : air mass, dry bulb temperature, enthalpy, glass greenhouse, relative humidity

서 론

국내 농업의 경우, 쌀 자급을 위한 새로운 품종인 통일벼가 1970년대 초에 신품종 육성에 성공하면서 1977년에 녹색혁명 성취를 선언하는 계기가 되었다. 이 후 플라스틱 필름이 농업에 적극적으로 도입되어 멀칭농법과 온실 등의 시설농업이 보급되면서 소위 1980년대를 백색혁명이라 불렀다. 이와 같이 플라스틱 필름의 보급

은 국내 농업 발전에 지대한 영향을 미친 것으로 판단된다.

2014년 말 현재 국내의 경우, 시설채소 및 화훼류의 시설원예(온실) 면적은 각각 51,787ha 및 2,381ha으로서 전체 면적은 54,168ha이다. 이것은 2010년도의 51,829ha, 2011년도의 52,393ha, 2012년도의 53,125ha 및 2013년도의 53,611ha에 비해 각각 약 0.1~3.4%정도로 미미한 수준이지만 약간 증가하였다. 2014년 말 현재 총 농업생산액 중 시설원예 생산액의 비중은 약 13.0%수준으로서 2002년 이후 정체 현상을 보이고 있지만, 시설채소의 비중은 88.2%정도로 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 그리고 전체 시설원예 면적 중 가운데면적이 약 29%인

[†]These authors equally contributed to this work.

*Corresponding author: ychyoon@gnu.ac.kr

Received February 22, 2016; Revised March 29, 2016;

Accepted April 04, 2016

14,882 ha정도로서 2000년 이후 현재까지 25~40%정도의 범위에 있는 것으로 나타났다(MAFRA, 2015; <http://lib.mafra.go.kr>). 온실의 난방면적은 한파 및 유류비 등에 의해 좌우되지만, 안정적인 작물생산, 대단지화, 첨단화 및 기후변화 등을 고려하면 앞으로 점점 증가할 것으로 판단된다.

국내 농업의 경우, 최근 미국, EU, 중국 및 호주 등 주요 국가와 FTA 체결, TPP 참여 검토 등 대외적으로 수입농산물의 증가로 경쟁력이 심화될 것으로 예측된다. 대내적으로도 핵가족화, 섭식의 편의성(소량, 소과) 관심 제고, 고품질 및 식품의 안전성 등에 대한 소비패턴의 변화나 직거래, 로컬 푸드 및 모바일 쇼핑 등 유통경로도 다양화 될 것으로 판단된다. 여기에 귀농 및 귀촌의 증가에 따른 시설원예에 대한 관심도 높아질 뿐만 아니라 ICT 융복합 확산을 통한 생산성 향상, 시설환경 개선, 노동력 및 에너지 절감 등에 대한 관심이 고조될 것으로 판단된다. 이들 요인들 중에 어느 하나도 중요하지 않은 것이 없지만, 온실 경영비 중 30~40%정도를 차지하고 있는 난방비용의 절감은 그 무엇보다도 중요하다. 정부에서도 고효율 시설의 현대화, 비용절감 및 시설설치 산업 육성 등 중점 추진과제를 설정하여 2020년까지 수출액 10억 달러를 목표로 추진 중에 있다.

현재 온실에 이용되고 있는 난방에너지는 85%이상 유류(경유, 중유, 등유 등)에 의존하고 있는 실정이며, 최근 관심이 많은 신·재생 및 바이오 에너지인 지열이나 우드펠릿 등을 이용한 난방시스템은 약 3~5%정도에 불과하다. 이중 유류 난방에 비해 에너지 비용을 70%정도까지 절감할 수 있는 지열난방 시스템은 2014년 말 현재 136ha로서 전체 난방면적의 0.9%정도 밖에 되지 않지만, 2013년의 116ha인 것에 비하면 1년 동안에 약 17% 증가한 것이다(MAFRA, 2015; <http://lib.mafra.go.kr>).

이와 같이 신·재생 및 바이오 에너지를 난방에너지로 사용하고 있는 농가는 아직 미미한 수준이지만, 수출농업 육성이나 온실의 규모화 및 단지화, 비용절감 등을 고려하면 난방에너지를 획기적으로 절감할 수 있는 기존 지열이나 심부지열을 이용한 히트펌프식 냉·난방시스템을 적극적으로 도입하여야 할 것으로 판단된다.

현재 지열을 이용할 경우, 온실내부의 열교환기로 대부분 농가에서 가격이 상대적으로 저렴하고 설치가 용이한 팬코일유닛(Fan Coil Unit, FCU)를 사용한다. 2014년 말 현재 FCU를 사용하는 온실의 면적은 404ha 정도인 것으로 나타났다.

국내에 시판되고 있는 FCU의 종류도 다양하고 그 성능 또한 제품마다 다르기 때문에 FCU를 온실에 설치할 경우, FCU의 소요대수를 결정할 수 있는 실험적 또는 이론적 근거가 거의 제시되어 있지 않아 현재로서는 경험

에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구실에서는 신·재생에너지를 온실에 이용하기 위하여 히트펌프, 잉여 태양에너지, 태양광 발전기 및 집열기 등에 대한 연구를 오래 전부터 진행하고 있다. 최근 공기열원 히트펌프, 잉여 태양에너지 및 태양열 집열기에 의한 축열 에너지를 이용하여 축열 및 온실의 난방효과를 실험적으로 검토한 후, 난방에 필요한 FCU의 적정 대수를 실험적으로 추정하여 보고한 적이 있다(Kim et al., 2014; Kim et al., 2016a).

온실에서 잉여 태양에너지를 회수하여 축열조에 축열하여 재사용할 경우에도 FCU의 적정대수를 결정하는 것이 중요하다. 물론 냉·난방용 및 잉여 태양에너지 회수용 FCU의 소요대수를 정확히 설계하여 이들 중 불리한 쪽을 선택하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 앞에서도 기술하였듯이 현재로서 접근법이 쉽지 않을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이미 보고된 잉여 태양에너지 관련 연구결과와 현재 현장에 설치되어 있는 냉난방용 FCU 현황을 개략적으로 검토한 후, 잉여 태양에너지 회수에 필요한 FCU의 소요대수 결정 방법을 개략적으로 제시하여 앞으로 이 분야의 연구자 및 기술자들에게 기초자료를 제시할 목적으로 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험대상 온실은 경상대학교 기상대에 설치되어 있는 와이드 스펙형 유리온실로서 온실의 규격(B×H×L)은 6.0×4.6×10.0m이고, 측고 및 바닥면적은 각각 3.3m 및 60.0m²으로서 체적은 약 218m³이다. 온실 내부의 측·천장커튼은 1층 커튼으로서 알루미늄 폴리에틸렌으로 구성되어 있으며, 잉여 태양에너지 축열 시스템, FCU 사양 및 실험 방법 등은 이미 보고한 것과 동일하다(Kim et al., 2014; Kim et al., 2016a).

따라서 본 보고에서는 필요한 부분만 기술하기로 하였다. Table 1은 실험에 이용한 FCU의 사양으로서 FCU(JACOOLER, CSTI-1, Korea)는 잉여 태양에너지(주간 동안 환기에 의해 온실 내부로부터 외부로 유출되는 에너지를 회수하여 축열조에 축열할 목적으로 온실 중방(높이 약 240cm) 3곳에 각각 3대씩 총 9대를 설치하였

Table 1. Specification of FCU.

Items	Specifications
Dimension(L×H×W, mm)	430×370×250
Fan size(mm)	300F
Power consumption(W)	100
Heating capacity(kcal·h ⁻¹)	10,000

다. FCU의 규격(B×H×T)은 430×370×250mm이고, 외기 온 및 온실 내부의 온도가 각각 -15.0°C 및 25.0°C이고, 순환수의 온도 80.0°C를 기준으로 10,000kcal·h⁻¹의 열량을 제공하도록 설계되어 있다(http://www.jacooler.co.kr). 축열 조는 외형치수(φ×H) 1,440×2,060mm인 용량 2,700L의 축열탱크(Dolphin Electric Boiler, ED2700-90K, Korea)를 이용하였다. 실험대상 온실에 작물은 재배하지 않았다.

Fig. 1은 실험온실에 설치한 FCU의 적정 소요대수 산정에 필요한 풍량을 측정하기 위하여 플라스틱 필름의 덕트를 FCU에 부착한 것이다. 덕트의 직경과 길이는 각각 350mm 및 610mm이고, 풍속은 덕트의 중앙에서 방사선 방향으로 17개 지점에서 열선풍속계(KANOMAX, CLIMOMASTER-6511, Japan)을 이용하여 측정하였다.

FCU에 의한 축열 및 방열은 순환펌프(WILO, PH-200M)를 이용 하였으며, 순환유량은 유량계(SEHWAP, HMD32-1b)를 이용하여 측정하였고, 온실 내·외부의 건·습구온도, 유·출입구 및 축열탱크 수온은 온도센서(Thermocouple, T-type)와 Date logger(GL-800)를 이용



Fig. 1. Photo of experimental FCU (Kim, 2016b).

하여 2분 간격으로 측정하였다.

냉난방용 FUC의 설치현황은 농촌진흥청 시설원예연구소(함안)와 농업과학원(완주) 내에 있는 온실을 대상으로 조사하였으며, 또한 냉난방 시스템 설계 및 시공 전문회사 관계자와 인터뷰도 병행하였다. Fig. 2는 두 기관의 온실내부의 전경을 나타낸 것이다.

결과 및 고찰

1. 기상자료

잉여 태양열 회수 실험은 2014년 10월 21일부터 3월 14일(약 140일)까지 실시하였다. 실험기간 동안의 최대, 평균 및 최저 외기온은 각각 28.2°C, 4.4°C 및 -11.5°C 정도였다. 온실 밖의 수평면 일사량은 0.8~20.5MJ·m⁻²로 정도의 범위였으며, 평균 및 총 일사량은 10.8MJ·m⁻² 및 1,187.5MJ·m⁻²로 나타났다(Kim et al., 2016a).

그리고 실제적으로 잉여 태양에너지와 직접적인 연관이 있는 주간동안 온실 내 기온의 경우, 최대, 평균 및 최저 온도는 각각 22.8~50.0°C, 18.8~45.5°C 및 12.0~35.46°C 정도의 범위에 있었다. 주간동안 온실 내 상대 습도는 53.5~77.5%정도의 범위를 유지하였다(Kim et al., 2016a).

2. 잉여 태양에너지

온실의 잉여 태양에너지는 온실내부의 재배작물의 종류, 온실 형태, 지역, 환기 설정온도 및 환기횟수, 일사량 등 여러 요인에 의하여 다르다. 따라서 본 연구실에서는 온실의 형태와 재배작물(오이, 파프리카, 국화)의 종류, 환기 설정온도, 지역별(제주~대관령) 등을 고려한 후, 수학적인 온실 열수지 분석 모형인 KSU-온실모형



(a) Protected Horticulture Research Institute



(b) National Academy of Agricultural Science

Fig. 2. Photo of FCU for greenhouse in RDA.

(Shu, 1986)을 이용하여 온실에 투입되는 에너지(난방 및 태양에너지)와 손실 또는 배출되는 에너지(복사, 대류, 환기 및 기타)를 분석(6, 7 및 8월 제외)하였다. 그 결과, 이 중에 온실에서 배출되는 에너지 중에 잉여 태양에너지의 비율은 9.0~34.2%정도였고, 전체 난방에너지 중에 잉여 태양에너지가 차지하는 비율은 15.0~186.3%정도로서 재배작물, 온실형태, 지역별로 큰 차이가 있는 것으로 나타났다(Suh et al., 2009; Suh et al., 2011; Yoon et al., 2011; Yoon et al., 2012; Choi et al., 2013a, b). 또한 본 실험에 사용한 온실을 대상으로 파프리카와 국화를 재배한다고 가정하고, 저속 및 고속 환기설정온도를 작물별로 각각 27.0 및 29.0°C와 30.0 및 35.0°C로 설정하였을 때, 잉여 태양에너지를 시뮬레이션으로 분석하였다. 그 결과 9개월간(6, 7 및 8월 제외)의 총 잉여 태양에너지는 42,452~76,394MJ정도의 범위로서 연간 소요되는 총 난방에너지의 81.7%에서 최대 160.4%를 보충할 수 있는 것으로 나타났다(Choi et al., 2013a). 이 결과를 본 실험과 동일한 실험기간 동안만 비교하여 보면, 파프리카 및 국화 재배의 경우, 10월부터 익년 3월까지 각각 3.45~7.11MJ·(m²·day⁻¹) 및 0.76~3.99MJ·(m²·day⁻¹)정도의 범위로서 재배작물이나 환기설정온도에 따라 큰 차이가 있었다. 본 실험의 경우, 이 기간 동안 회수한 총 잉여 태양에너지는 0.79~1.79MJ·(m²·day⁻¹)정도의 범위로서 시뮬레이션 결과와 큰 차이가 있음을 알 수 있었다(Kim et al., 2016a). 이것은 작물의 재배 유무, 환기의 유무, 기상상태, FCU의 효율 및 열교환 매체 등의 상이에 의한 것으로 판단된다. 참고로 전년도 실험결과는 0.30~0.36MJ·(m²·day⁻¹)이었다(Kim et al., 2014).

그리고 실험온실에 규격(B×L×H)이 0.7×9.0×1.4m인 락베드(Shu, 1986)를 설치하여 회수할 수 있는 총 잉여 태양에너지는 락베드가 없는 경우에 비해 재배작물별(파프리카 및 국화)로 각각 90.6% 및 104.5%정도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 9개월간의 총 난방에너지는 재배작물별로 각각 17.9% 및 16.0%정도 감소하였다. 또한 난방이 집중적으로 이루어지는 12월부터 익년 2월까지만 고려해도 난방에너지는 재배작물별로 11.8% 및 14.8%정도 감소시킬 수 있는 것으로 나타나 락베드를 설치함으로써 미미하지만 난방효과가 있는 것을 알 수 있다(Shin, 2014).

이상과 같이 온실의 잉여 태양에너지는 여러 가지 요인에 의해서 다르기 때문에 현재로서 본 실험에 이용한 온실의 잉여 태양에너지를 정량적으로 제시하기는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 그러나 이상의 기상조건하에서 실험기간 동안 회수한 총 잉여 태양에너지는 6,613.4MJ 정도로서 총 난방에너지인 98,600.2MJ 약 6.7%정도를 보충할 수 있을 것으로 나타났다.

잉여 태양에너지의 활용 방안에 대해서는 현재 다각도로 연구가 진행되고 있고, 또한 최근 FCU에 대한 연구도 활발히 진행되고 있기 때문에 추후 좀 더 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3. FCU의 설치현황

온실의 냉난방용 FCU 설치 대수는 FCU 제작회사, 냉난방 시스템의 열원이나 효율, 재배작물, 온실형태 등에 따라 다를 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 본 실험에 사용한 FCU와 비교분석을 위하여 본 실험에 이용한 FCU와 동일하거나 유사한 FCU를 설치하고 있는 기관을 대상으로 조사하였다. 그 결과 한 시설원에 연구소에 설치되어 있는 FCU(이름, ER-10, Korea)의 경우, 폭, 길이, 동고 및 측고가 각각 6.0, 12.0, 6.0 및 5.0m 이고, 온실의 바닥 면적이 72.0m²인 벤로 온실로서 토마토를 재배하고 있었다. 난방 설정온도는 17.0~18.0°C이다. 이 온실의 FCU는 지열히트펌프 시스템과 연동되어 있으며, 높이 3.0m에 총 4대가 설치되어 있다. 이것은 결국 18.0m²당 1대가 설치되어 있는 것과 같다. 이 FCU는 본 실험에 사용한 것과 비교하면, 제작회사만 다를 뿐 팬의 규격이라든지 순환수 온도, 열량 등이 동일하다. 그리고 농촌진흥청에 설치되어 있는 FCU의 경우, 폭, 길이, 동고 및 측고가 각각 7.6, 25.0, 1.7 및 3.7m 이고, 바닥 면적이 190.0m²인 단동비닐하우스(10-단동-6형)로서 딸기를 재배하고 있었다. 온실의 난방 설정온도는 9.0°C이다. 이 온실의 FCU는 전기온수보일러(온수온도 80.0°C)와 연동되어 있으며, 온실바닥에 총 5대가 설치되어 있다. 이 온실의 경우, 38.0m²당 1대가 설치되어 있는 것과 같다. 냉난방 시스템 설계 및 시공 전문회사의 경우, 온실형태에 관계없이 파프리카 재배를 전제로 온수온도 50.0°C정도의 지열 히트펌프와 연동하여 설치하는 FCU는 약 33.0m²당 1대인 것으로 조사되었다. 이 FCU의 사양은 본 실험에 사용한 것과 동일하다. 본 실험의 경우는 공기열원 히트펌프를 사용하였고, 이 때 순환수의 수온은 20.0~40.0°C범위였으며 난방 설정온도는 15.0°C로 하였다. 이 때 난방을 위한 적정 FCU 대수는 바닥면적 60.0m²을 기준으로 약 7.0m²당 1대를 설치한 것과 같다.

이상과 같이 시설원에 연구소와 농촌진흥청에 설치되어 있는 FCU의 현황에서 나타내듯이 FCU의 설치방법 혹은 기준 등이 부재하여 좀 더 효율적이고 경제적인 관점에서 설치높이, 방향 및 설치 간격, 적정 대수에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. 잉여 태양에너지 회수용 FCU 선정

잉여 태양에너지 회수용 FCU 소요대수 선정 시, 우선

온실내부의 최소 및 최대 평균온도, 이때 각각의 온도에 대한 상대습도에 대한 공기의 엔탈피 및 비중량, 온실의 내부 체적을 이용하여, 각각의 온도 및 상대습도에서 공기가 가지는 열량을 계산하였다(http://www.kemco.or.kr/iecenter/; Kim et al., 2000). 이 두 시점의 열량차이를 기준으로 다음과 같이 FCU의 소요대수를 산정하였다.

본 실험에서 잉여 태양에너지 축열 시, 온실 내부의 평균온도와 상대습도는 앞서서도 기술하였듯이 각각 18.8~45.5°C 및 53.5~77.5% 정도의 범위에 있었다. 최소 평균기온 및 최대 상대습도는 각각 약 19.0°C 및 78.0% 정도이었으므로, 이때 공기의 엔탈피와 비중량은 각각 11.074kcal·kg⁻¹·da 및 1.188kg·m⁻³이고, 실험 온실의 내부 체적은 218.0m³이다. 따라서 이때 공기의 질량(체적×비중량)과 엔탈피를 이용하여 공기가 가지는 열량(엔탈피×질량)을 계산하면 2,868.0kcal 정도이다. 그리고 최대 평균기온 및 최소 상대습도는 각각 46.0°C 및 54.0% 정도이었으므로, 이때 공기의 엔탈피와 비중량은 각각 31.591kcal·kg⁻¹·da 및 1.053kg·m⁻³이기 때문에 온실의 내부 체적을 이용하여 공기의 열량을 계산하면 7,251.8kcal 정도이다. 이 두 시점에서 공기가 가지는 열량의 차이는 4,383.9kcal 정도로서 잉여 태양에너지를 회수하는 주간 동안(7~8시간) 이 차이가 일정하게 유지되는 것으로 가정하면, 주간동안 누계 열량은 30,678.3~35,071.2kcal 정도이다. 그리고 이 열량을 효율적으로 회수 해야만 온실 내부의 온도도 적정수준으로 유지할 수 있을 것이다.

본 실험에서 측정된 FCU 평균풍속은 3.27m·s⁻¹이었으며, 이것을 풍량으로 환산하면 풍량은 약 18.9m³·min⁻¹ 정도이다. 이 풍량과 위에서 기술한 두 시점의 공기 평균 비중량인 1.121kg·m⁻³ 및 FCU의 작동시간(7~8시간)을 고려하여 FCU 1대당 회수할 수 있는 공기의 질량을 계산하면, 8,898.5~10,169.7kg이다. 따라서 FCU로 유입 및 유출되는 공기의 온도 차이(Δt)가 1.5°C 정도 이었고, 공기의 비열을 이용하여 FCU 한대 당 회수할 수 있는 열량을 다음과 같이 계산하였다.

$$Q = c_p \times m \times \Delta t$$

여기서, Q: 회수열량(kcal), c_p: 공기의 비열(0.24kcal·kg⁻¹·°C⁻¹), m: 공기의 질량(kg), Δt: 팬 유입 및 유출구 공기의 온도 차(°C)

이 식을 이용하여 열량(Q)을 계산하면, 3,203.5~3,661.1kcal 정도의 범위에 있다. 따라서 FCU의 적정대수는 주간동안 누계 열량, 즉 앞서서 기술하였듯이 30,678.3~35,071.2kcal 범위이므로 이를 앞에서 계산한 Q값으로 나누면 약 8.4~10.9대 정도로서 약 9대 전후를 설치하면 될 것으로 판단된다. 결국 잉여 태양에너지는

온실 내부의 체적과 밀접한 관계가 있기 때문에 9대를 설치한다고 가정하여 이를 체적으로 환산하면, 약 25m³ 당 1대정도가 소요되는 것으로 계산되었다.

그러나 이상의 계산방법은 FCU를 통과하는 공기의 질량을 기준으로 하였고, 실제로 FCU 열교환기를 통과하는 열매체인 물을 고려하지 않았기 때문에 이론적으로 다소 문제점이 있을 것으로 판단된다. 따라서 물을 기준으로 다시 계산하면 다음과 같다.

FCU 한 대당 순환유량은 약 7.0L·min⁻¹이었으므로 7~8시간 동안 총 순환유량은 2,940.0~3,360.0kg이다. 물의 비열을 1.0kcal·kg⁻¹·°C⁻¹, 유입 및 유출되는 수온의 차이(Δt)가 1.5°C이므로 이들 값은 위 식에 대입하여 Q값을 계산하였다. 이때 Q값은 4,410~5,040kcal 정도이다. 이를 기준으로 앞에서 계산한 방법과 동일한 방법으로 계산하면, 누계열량을 이 Q값으로 나누면 6.1~8.0대 정도로서 약 7대 전후로 설치하면 적절할 것으로 나타났다. 이 계산법이 공기의 질량을 기준으로 계산한 것에 비해 좀 더 이론적으로 타당한 방법이기 때문에 여기에 FCU의 효율이나 사용 환경 등 위험률을 고려하면 대략 앞에서 계산한 것과 같이 9대 전후가 될 것으로 판단된다.

이상에서 기술한 것은 실험한 결과를 바탕으로 한 것이며, 또한 FCU는 사용 환경에 따라 그 성능이 상당히 다를 것으로 판단된다. 그러나 대상온실의 경우, 특별히 결정할 수 있는 자료가 없다면, FCU 대당 24m³ 정도로 설계하면 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 특히 이와 같은 자료를 근거로 추후 여러 가지 인자를 고려하여 적정 설치대수 연구가 필요할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 이미 보고된 잉여 태양에너지 관련 연구결과와 현재 현장에 설치되어 있는 난방용 FCU 현황을 개략적으로 검토한 후, 잉여 태양에너지 회수에 필요한 FCU의 소요대수 결정 방법을 개략적으로 제시하여 앞으로 이 분야의 연구자 및 기술자들에게 기초자료를 제시할 목적으로 연구를 수행하였다. 실험기간 동안 최대, 평균 및 최저 외기온은 각각 28.2°C, 4.4°C 및 -11.5°C 정도였다. 온실 밖의 수평면 일사량은 0.8~20.5MJ·m⁻²로 정도의 범위였으며, 평균 및 총 일사량은 10.8MJ·m⁻² 및 1,187.5MJ·m⁻²로 나타났다. 그리고 주간동안 온실 내의 평균기온과 상대습도는 각각 18.8~45.5 및 53.5~77.5% 정도였다. 실험기간 동안 온실로부터 회수한 총 잉여 태양에너지는 6,613.4MJ 정도로서 총 난방에너지인 98,600.2MJ 약 6.7% 정도를 보충할 수 있을 것으로 나타났다. 또한 사양이 유사한 FCU를 사용하지만, 난방을 위하여 설치되는 FCU의 대수는 제각각 다른 것을 알 수 있었고, 좀 더

효율적이고 경제적인 관점에서 설치높이, 방향 및 설치 간격, 적정 대수에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 잉여 태양에너지 회수용 FCU의 적정 소요대수는 FCU를 통과하는 공기의 질량 및 순환유량을 기준으로 각각 8.4~10.9대 및 6.1~8.0대 정도이었다. 여기에 계산방법이나 FCU의 효율 및 사용 환경 등 위험률을 고려하면, 결국 9대 전후(약 24m²당 1대 정도)를 설치하면 될 것으로 판단되었다.

추가 주제어 : 건구온도, 공기질량, 상대습도, 엔탈피, 유리온실

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ011693)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Choi, M.K., S.W. Yun, and Y.C. Yoon. 2013a. Analysis of surplus solar energy in wide span type greenhouse – case study based on Jinju area -. J. Agric. & Life Sci. 47: 197-207 (in Korean).
- Choi, M.K., Y.S. Shin, S.W. Yun, H.T. Kim, and Y.C. Yoon. 2013b. Analysis of surplus solar energy in venlo type greenhouse. Protected Hort. Plant Fac. 22: 91-99 (in Korean).
- Information exchange center of Korea Energy Agency(KEA). X-air program of Sin PhD. Press release. 2016. <http://www.kemco.or.kr/iecenter/> (in Korean).
- Jungang Cooler. Press release. 2016. <http://www.jacooler.co.kr> (in Korean).
- Kim H.N., M.K. Choi, S.W. Yun, H.T. Kim, and Y.C. Yoon 2016a. Thermal storage and heating effect by adding fan coil unit in greenhouse. J. Agric. & Life Sci. 50: 257-271 (in Korean).
- Kim, H.N. 2016b. Analysis of heating effect by using heat pump and surplus solar energy in glass greenhouse. MS Thesis., Gyeongsang National Univ., p. 20-42 (in Korean).
- Kim, H.N., M.K. Choi, S.W. Yun, H.T. Kim, Y.B. Min, and Y.C. Yoon. 2014. Thermal storage and heating effect by using Yung heat pump and surplus solar energy in greenhouse. J. Agric. & Life Sci. 48: 411-423 (in Korean).
- Kim, M.G., S.W. Nam, W.M. Suh, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee. 2000. Agricultural structural engineering. ed. Hyangmunsa. Seoul, Korea. p. 112-118 (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2015. Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2014. MAFRA, Sejong, Korea (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). Main statistics of Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). Press release. 2015. <http://lib.mafra.go.kr> (in Korean).
- Shin, Y.S. 2014. Analysis of surplus solar energy in glass greenhouse. MS Thesis., Gyeongsang National Univ., p. 14-32 (in Korean).
- Suh, W.M., Y.H. Bae, Y.S. Ryou, S.H. Lee, H.T. Kim, Y.J. Kim, and Y.C. Yoon. 2011. Estimation of surplus solar energy in greenhouse(II). J. Bio-Env. Cont. 20: 83-92 (in Korean).
- Suh, W.M., Y.H. Bae, Y.S. Ryou, S.H. Lee, and Y.C. Yoon. 2009. Estimation of surplus solar energy in greenhouse(I) - case study based on 1-2W type -. Journal of the KSAE. 51: 79-86 (in Korean).
- Suh, W.M., 1986. Modeling of a greenhouse equipped with a solar rockbed system and with carbon dioxide enrichment. PhD Diss., Kansas State Univ., Manhattan. Kansas.
- Yoon, Y.C., S.J. Kwon, H.T. Kim, Y.J. Kim, and W.M. Suh. 2012. Analysis of surplus solar energy in greenhouse based on setting temperature. J. Agric. & Life Sci. 46: 195-206 (in Korean).
- Yoon, Y.C., J.U. Im, H.T. Kim, Y.J. Kim, and W.M. Suh. 2011. Estimation of surplus solar energy in greenhouse based on region. J. Agric. & Life Sci. 45: 135-141 (in Korean).