

# 산업용 굴뚝 폐열을 활용한 시설하우스 난방 공급 시스템 설계

이창조\* · 고진광\*\* · 이성근\*\*

Design of Heating Supply System for Facility House  
using Industrial Chimney Waste Heat

Chang-Jo Lee\* · Jin-Gwang Koh\*\* · Sung-Keun Lee\*\*\*

## 요약

농업용 시설하우스의 난방을 위해서는 많은 양의 연료가 필요하고, 최근 연료 가격의 상승으로 인하여 많은 농가가 난방 비용에 대한 부담을 겪고 있다. 본 논문은 산업용 굴뚝 폐열을 활용하여 인근에 있는 농업용 시설하우스 난방을 지원하는 공급시스템을 제안하고, 난방비 절감 모델 적용과 효과에 대해 분석한다. 굴뚝 폐열 시스템을 기반으로 시스템을 설계하였고, 제안한 모델을 기반으로 시설하우스 난방비 절감 모델 적용 및 효과 분석을 수행하였다. 고열의 굴뚝 폐열을 이용하면 인근 농가의 시설하우스 난방 공급에 활용이 가능하다는 것을 확인하였다. 산업단지 인근 대규모 시설하우스에 난방을 공급한다면 국내 농가의 생산성 향상 및 경쟁력 제고에 이바지할 것으로 기대된다.

## ABSTRACT

A large amount of fuel is required for heating the agricultural facility house, and many farmhouses are experiencing the burden of heating costs due to the recent increase in fuel prices. This paper proposes a supply system that supports heating of agricultural facility houses located nearby by utilizing industrial chimney waste heat, and analyzes the application and effect of a heating cost reduction model. The system was designed based on the chimney waste heat system, and the facility house heating cost reduction model was applied and effect analysis was performed based on the proposed model. It was confirmed that the high-temperature waste heat from the chimney can be used to supply heating to facility houses in nearby farms. If heating is supplied to large-scale facility houses near industrial complexes, it is expected to contribute to improve productivity and competitiveness of domestic farms.

## 키워드

Agricultural Energy, Greenhouse Heating, Heating Cost savings, Industrial Chimney Waste Heat  
농업용 에너지, 시설 하우스 난방, 난방비 절감, 산업용 굴뚝 폐열

\* 순천대학교 대학원(leechang81@naver.com)

\*\* 순천대학교 컴퓨터공학과(kjg@scnu.ac.kr)

\*\*\*교신저자 : 순천대학교 인공지능공학부

• 접수일 : 2023. 06. 20

• 수정완료일 : 2023. 07. 16

• 게재확정일 : 2023. 08. 17

• Received : Jun. 20, 2023, Revised : Jul. 16, 2023, Accepted : Aug. 17, 2023

• Corresponding Author : Sung-Keun Lee

Dept. of Artificial Intelligence Eng., Suncheon National University,

Email : sklee@scnu.ac.kr

## I. 서론

농업용 시설하우스의 난방을 위해서는 많은 양의 연료가 필요하고, 최근 유류 가격 상승으로 인해 많은 농가가 난방 비용 부담을 겪고 있다. 이에 따라 농가들의 경제적 어려움이 증가하고, 농업 생산성에도 중대한 영향을 미칠 수 있다. 난방을 위해 화석연료의 사용으로 인한 온실가스 배출은 지구온난화를 가속하는 주요 요인 중 하나이며, 기후 변화로 인한 극한 기후 조건은 농작물 생산에도 영향을 미치고, 생태계에도 부정적인 영향을 줄 수 있다[1][2]. 따라서 지구 온도 상승을 막기 위해 온실가스 배출을 줄일 수 있는 대안이 필요하다. 산업현장에서 발생하는 굴뚝 폐열은 대부분 낭비되는 열에너지이므로, 이 폐열을 활용하여 시설하우스 난방에 활용한다면, 잠재적으로 열에너지를 절약하고 동시에 환경친화적인 난방 솔루션을 구축할 수 있다[3].

시설하우스 난방의 경우 실내 온도를 25℃ 이내에서 유지하므로, 이를 위해서는 약 50℃ 정도 저온열이 필요하다. 산업용 공장의 공정에서 발생하는 이러한 폐열을 대부분 대기 중으로 연소시킬 수밖에 없는 프로세스이다[4]. 본 논문에서 설계하는 장치는 공장의 폐열 중 가장 열원이 높으며 365일 24시간 끊임없이 폐열을 대기로 방출하는 상황을 고려하였다. 산업현장에서 발생하는 폐열을 회수하여 약 50℃ 정도의 온수로 공급하기 위해서는 몇 가지 조건이 충족되어야 실제 적용이 가능하다. 먼저, 공장 폐열이 다량으로 발생하여야 하며, 저급열 수요처가 공장 인근에 있어야 한다. 또한 초기 설치 비용이 많이 소요되므로 인근의 대규모 시설하우스가 존재하는 농가를 대상으로 적용할 때 경제적 효과를 나타낼 수 있다. 정유공장에서 발생하는 폐열의 경우 겨울철에도 500~650℃의 고온이 유지되고 있다. 따라서 이러한 폐열을 이용하면, 많은 농가가 유류비를 절감하며 시설재배를 할 수 있어 농가 운영을 안정적으로 할 수 있다[5][6]. 또한 본 논문에서 제안한 시스템의 적용 및 효과분석을 위해서 작물에 따른 특성과 수익 현황 및 낮은 온도에서의 온수 공급에 따른 작물 특성 분석을 위해 진행하였던 선행연구의 평가방법을 적용하였다[7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제1장 서론에 이어, 제2장은 산업현장 굴뚝 폐열 시스템 현황과 활용

사례에 대해 분석하였다. 제3장은 시설하우스 난방비 절감용 굴뚝 폐열 시스템 설계에 대해 나타내었고, 제4장에서 시설하우스 난방비 절감 모델 적용과 효과를 분석하였다. 제5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향에 대해 다룬다.

## II. 관련 연구

### 2.1 폐열 회수 방법

폐열 회수란 자원·환경·에너지 분야의 기술로, 다양한 산업 분야의 공정에서 대기 중으로 연소하거나 방출될 수 있는 열에너지를 회수하여 다른 공정에서 직접 재사용하거나 전력으로 전환하여 재사용하는 기술을 의미한다[7]. 폐열의 형태는 배가스, 배공기, 폐온수, 폐증기 등이 있고 생산공정의 제품의 현열, 반응열 또한 폐열로 구분되며 폐열회수는 부식성 물질 포함 여부, 온도 및 유량의 조건에 따라 적용할 수 있는 열교환기의 형태 및 규격과 재질 등도 다양하게 적용할 수 있다. 공장 내 폐열회수를 위해서는 우선 폐열이 배출되는 시설이 어디인지를 파악하고 그 폐열에 맞는 적절한 열교환 방식을 선택하는 것이 중요하며 열교환기의 선택에 있어서는 폐열원의 온도, 유량, 유체의 성질, 스케일 고착 여부, 부식성, 공장·설비 상황 등 여러 판단 요소가 있다[6]. 폐열회수를 위한 방법별 분류로 절탄기는 가장 간단한 타입으로 보일러 급수 가열에 활용되어 에너지 절감에 효과적이며 폐열 보일러 또한 절탄기와 비슷한 원리를 이용하여 산업 플랜트에서 발생한 열을 이용한다[15]. 또한, 복합화력 발전소 설비인 배열 회수 보일러는 가스터빈에서 배출되는 뜨거운 열에너지를 이용해 증기를 만들어 스팀터빈에 공급하여 효율을 높이는 폐열회수 설비이다.

### 2.2 산업현장 굴뚝 폐열 시스템 현황

산업현장의 굴뚝 폐열 시스템은 크게 벤트 스택(Vent Stack)과 플레어 스택(Flare Stack)으로 분류된다[8]. 벤트 스택은 그림 1에 나타난 바와 같이 산업 공정 중에 발생하는 가스를 환기하고 외부로 배출함으로써 환경오염과 작업자의 안전을 도모하고, 가스는 흡입되어 배출되기 때문에 연소하지 않는다. 일반적으로 배출 가스의 열 및 과장을 제어하기 위해 배기 팬,

스크러버, 배기 덕트 등의 구성 요소를 포함하고, 가스의 성분과 농도에 따라 특정한 처리 시스템이 추가될 수 있다. 일반적으로 규제에 따라 허용된 배출 농도를 준수해야 하며, 환경 규정 및 안전 규정에 따라 설계 및 운영되며, 가스 배출 시점에서 확산 및 희석을 통해 농도를 안전한 수준으로 유지할 수 있다.



그림 1. 벤트 스택 굴뚝 폐열 시스템  
Fig. 1 Chimney waste heat system in vent stack

플레어 스택은 그림 2과 같이 산업 공정에서 발생하는 가스를 소각하여 안전하게 처리하며, 주로 비정상적인 운영 상황이나 긴급 상황에서 가스를 안전하게 처리하는 용도로 사용된다. 소각 장치, 화염 감시 및 제어 시스템, 연소 공기 공급 시스템 등으로 구성되며, 가스는 화염으로 연소하며, 연소 과정에서 열, 연기 및 잔류물이 발생할 수 있다. 플레어 스택은 가스를 안전하게 소각하여 처리하기 때문에 일부 규제에서는 일정한 농도 이하에서 배출해야 한다.



그림 2. 플레어 스택 굴뚝 폐열 시스템  
Fig. 2 Chimney waste heat system in flare stack

그러나 벤트 스택과 달리 주요 목적은 가스의 안전한 소각이기 때문에, 배출 농도에 대한 엄격한 제한이 적용되지 않을 수도 있다.

현재 울산, 온산, 여수 산단에 약 79개의 플레어 스택이 설치·운영 중이며, 벤트 스택은 전국에 약 760개가 설치·운영 중이다[6]. 정유, 석유화학 공장 등 휘발성 물질을 주로 취급하는 시설에 설치되는 플레어 스택은 운전 조건 변동시 또는 긴급시 배출되는 가스를 연소시켜 대기 중으로 배출한다. 석유화학제품을 생산하는 공정은 가열과 응축 과정을 반복하게 되는데, 이때 응축되지 않고 남은 일부 가스 성분들을 안전하게 처리하는 장치이기도 하다. 응축되지 않은 가스 성분을 그대로 대기로 배출하면 대기 중 가스층 형성으로 화재폭발의 위험성이 있어 지상으로부터 약 100여 미터 위 설치된 버너로 연소시키게 된다. 울산, 온산 석유화학 단지 약 30개, 여수 산업단지 약 49개 운영 중이며 종류는 가스의 물리적 요인, 배출압력, 유량 등에 따라 엘리베이트 플레어와 그라운드 플레어로 구분된다.

### 2.3. 산업 폐열의 농업 에너지에 활용 사례 분석

광양 제철소의 경우 폐열을 이용하여 유리온실 1.2ha 토마토 재배 중이며, 곡성 금호타이어 공장은 공장 폐열을 2ha 규모의 시설 원예 단지에 공급하여 망고와 장미를 재배 중이다. 한국동서발전은 농가에서 버려지는 폐열을 활용할 수 있는 시스템을 구축하였고 거제 소각장 자원 순환시설에서 발생한 폐열을 이용해 백자 멜론, 토마토를 재배 중이다. 석유화학 시설 중에는 SK 인천석유화학 공장이 인천, 청라 4만 가구의 온수 공급을 책임지고 있다. 울산에서는 공장 폐열을 이용하여 농작물을 키우는 ‘스마트팜’ 조성사업, 부산 경제진흥원은 대한제강, 철강 폐열을 이용한 스마트팜을 지원 중이다[1]. 제주도 서귀포에 있는 화력발전소 폐열(10~30℃)을 이용해 40~50℃ 온수를 만들어 탱크에 저장하였다가 온실 난방에 활용하며 히트펌프를 이용하여 5~15℃ 냉수를 만들어 탱크에 저장, 냉방에 활용하고 있다[4].

일본의 경우 동북전력(주) 화력발전소 폐열을 이용하여 빌딩과 발전소의 홍보관, 열대식물원 등의 난방에 사용 중이며 관서전력(주) 미야즈에너지 연구소는 폐열을 이용하여 화훼, 채소를 재배하는 온실 난방에

사용하고 구주전력(주) 겐카이원자력 발전소 폐열을 이용하여 관엽식물 재배 온실을 난방 중이다[9]. 프랑스는 동쪽 리옹과 제네바 사이에 위치하는 뷰제 발전소의 폐열을 이용하여 29ha 규모의 온실에서 채소를, 4.8ha의 온실에서 화훼를 재배한다. 프랑스 쉬농 또한 폐열을 이용하여 토마토와 화훼온실 4.8ha를 난방, 건설용 목재 건조에 활용되고 있다. 프랑스의 크루아에서는 5.8ha의 토마토 재배 온실을 폐열을 이용하여 난방하고 또한 시청, 교회, 수영장 등의 공공시설에도 이용한다[9]. 소각장 및 제조업체 폐열을 이용한 농산물 건조 시스템의 원리는 소각장 및 제조업체 폐열을 이용한 난방 시스템의 원리와 유사하다[10]. 소각장 및 제조업체에서 발생하는 고온 증기나 고온의 물의 열을 열교환기를 통해 흡수한 후, 고온 스팀은 저온의 액체 형태로 변화되고 고온수는 원래 물이므로 저온의 액체 형태로 그대로 나온다[11]. 저온의 물을 소각장이나 제조업체로 되돌려 보내는 방식이 있고 되돌려 보내지 않고 외부로 방출하는 방식, 열교환기를 사용하지 않고 축열조의 물에 고온 스팀의 출구를 담가 놓음으로써 축열조의 물을 가열하는 방식이 있다. 그림 3은 소각장 및 제조업체 폐열을 이용한 농산물 건조에 대한 계통도이며, 저온수를 소각장 또는 기업체에 되돌려 보내는 방식이며 플레이트형 열교환기 사용용 가정한 것이다[12].

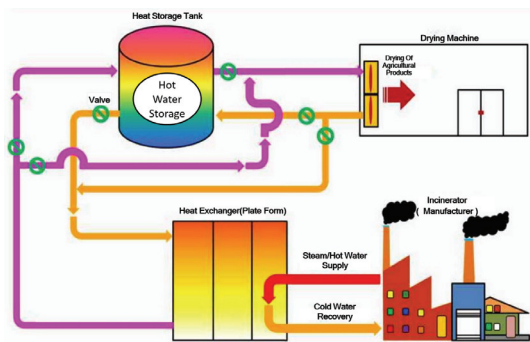


그림 3. 소각장 폐열을 이용한 농산물 건조  
Fig. 3 Drying agricultural products using waste heat

### III. 난방용 굴뚝 폐열 공급 시스템 설계

#### 3.1 시스템 요구사항 및 컴포넌트 분석

굴뚝 폐열 공급시스템을 시설하우스에 제공하기 위해서는 안정적인 가스의 조성유지가 필요하며 환경오염 문제에 있어서 문제가 되지 않도록 배출물에 대한 관리가 필요하다. 벤트 스택은 상부에 TMS(Tele Monitoring System : 굴뚝 자동 측정기기)가 설치되어 있어 측정값이 환경관리공단으로 전송되어 법적 제한값을 초과하면 때에 따라 과태료 또는 공정을 섯다운시켜야 할 수 있다. 하지만, 실제 장치 결함이나 비상 상황이 이상 공정을 쉽게 섯다운시키는 일은 없으므로 특별한 문제는 되지 않는다. 플레어 스택의 경우 연소용 가스가 항상 안정적으로 공급되어야만 불꽃이 일정하게 유지할 수 있다[13].

#### 3.2 굴뚝 폐열 공급 시스템 설계

본 논문에서는 굴뚝 폐열을 이용한 공급시스템의 설계를 위해서 벤트 스택 폐열 시스템과 플레어 스택 폐열 시스템을 분석한다. 벤트 스택 폐열 시스템은 정유공장 및 석유화학 공정, 소각로 등에서 배출되는 가스의 경우 상부에 TMS가 설치되어 있어 보일러의 절탄기 및 아웃렛 등에서만 열교환기 등을 이용하여 폐열을 회수할 수 있다. 정유공장 및 석유화학 공정의 플레어 스택은 높이가 80~90m의 높이로 설치되어 있으며 평상시 연료 가스를 공급하여 상시 연소가 되고 있다. 앞서 말했듯 공정의 오프 가스가 발생할 경우나 긴급 비상 상황에 대비한 점화원이라 할 수 있다. 플레어 스택은 벤트 스택과 달리 스택 상부에 TMS가 설치되어 있지 않다. 본 논문에서는 TMS 설비에 영향을 주지 않는다는 가정하에 덕트 방식의 벤트 스택 폐열 공급시스템을 설계하였다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 벤트 스택 폐열 공급시스템의 구성도를 나타내었다. 설계한 굴뚝 폐열 공급시스템의 주요 구성품은 열교환기, 급수 탱크 2개 조, 축열조, 이송용 펌프, 물 때 방지 약품, 제어 밸브, 글로브 밸브, 체크 밸브, damper, 보온 및 배관 장치 등으로 구성하였다. 벤트 스택 폐열 공급시스템의 경우 배출되는 폐열이 100~150℃로 사각형의 덕트를 통해 하부 열교환기까지 이송되어 급수와 열교환 후 냉각되어 대기 중으로 배출되게 된다. 열교환기를 지난 급수는 데워져 일정

한 온도를 유지할 수 있도록 온도 제어 밸브로 유량의 흐름을 제어하며 축열조 탱크까지 이송된다.

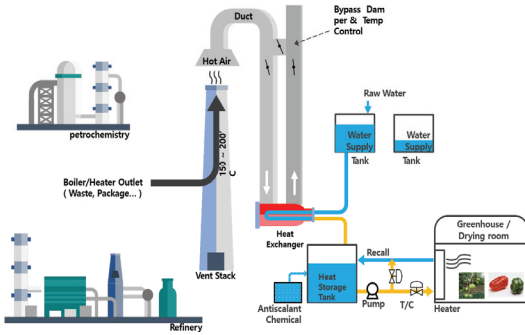


그림 4. 벤트 스택 폐열 공급시스템  
Fig. 4 Vent stack waste heat supply system

축열조 탱크로 이송된 물은 다시 시설하우스의 온풍기를 지나며 열원을 공급하고 남은 열원을 가지고 급수 탱크에서 남은 잠열을 제공하며 순환한다. 순환되며 증발하는 급수를 보충하기 위해 하천수 등의 Raw Water 계통이 존재하며, 축열조 온도가 떨어질 경우를 대비해 코일 형식의 히터가 배치된다. 또한 물 배관으로 구성되므로 배관의 부식을 예방하기 위해 지속적인 물 때 방지 약품을 공급하여 배관 보존상태를 유지할 수 있도록 한다.

그림 5는 플레어 스택 기반 폐열 공급시스템 구성도를 나타내었다. 플레어 스택의 구성 요소는 벤트 스택과 유사하다.

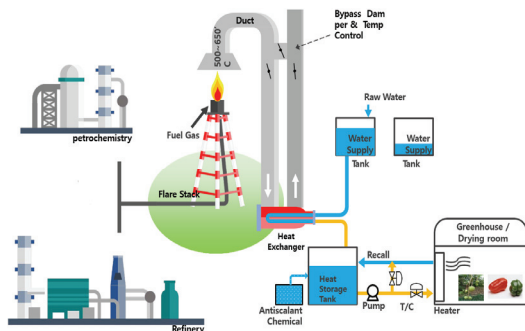


그림 5. 플레어 스택 폐열 공급시스템  
Fig. 5 Flare stack waste heat supply system

플레어 스택에서 배출되는 연소열은 500~650°C로 사각형의 덕트를 통해 하부 열교환기까지 이송되어

급수와 열 교환하여 온도가 냉각되며 대기 중으로 배출된다. 열교환기를 지난 급수는 데워져 일정한 온도를 유지할 수 있도록 온도 제어 밸브를 통해 유량의 흐름을 제어하며 축열조 탱크까지 이송된다. 축열조 탱크로 이송된 물은 다시 시설하우스의 온풍기를 지나며 열원을 공급하고 남은 열원을 가지고 급수 탱크에서 남은 잠열을 제공하며 순환한다. 플레어 스택의 연소 가스는 평소에는 연료 가스만을 이용하지만, 공정의 긴급 비상 상황이나 고장으로 인해서 오프 가스가 방출되면서 일시적으로 불안정할 수 있다. 그로 인해 열교환기 및 덕트 손상이 유발될 수 있으므로 덕트 초입과 뒤에 바이패스 댐퍼를 설치하였다.

#### IV. 시설하우스 난방비 절감 모델 적용 및 효과분석

##### 4.1 폐열 공급시스템 시나리오 분석 및 검증

굴뚝 폐열 공급시스템에 대한 검증은 실제 현장에 설치하여 평가하는 것이 가장 정확한 방법이지만, 막대한 비용과 여러 기관의 동의가 필요한 상황이므로 본 논문에서는 선행연구에서 적용한 가설과 실제 데이터를 기반으로 접근하였다. 선행연구 [7] "공장 폐열을 이용한 하우스 난방 시스템 개발"에 관한 연구로서 전남 곡성에 위치한 금호타이어 공장의 소각로 폐열을 이용하여 인근 농가에 난방을 공급하는 방법에 관한 연구이다. 이를 위해 20T/h 급 보일러 5기 중 1기에 절탄기를 설치하고 시운전하며 농가에 온수를 공급하였다. 선행연구와 본 논문과의 차이는 공급장치와 열원에만 존재하고, 이를 제외한 대부분의 자재 및 시스템은 유사하므로 선행연구에서 검증한 배가스 온도와 사용된 열량, 온수 온도, 사용량 등을 가정하여 성능을 분석하였다[14]. 따라서, 20T/h 급의 보일러는 과잉 공기비 1.2이고, 배가스 온도가 220°C 일 경우, 연료 1,260kg/h 를 사용하므로 총 회수 가능한 열량은 다음과 같다.

$$QR = Eu \times Fu$$

$$= 1,000 \times 1,260 = 1,260,000 \text{ kcal/h}$$

여기서,

Eu : 에너지 회수량 (kcal/kg of fuel)

Fu : 연료사용량 kg/h = VE x rF

따라서, 총 에너지 회수 가능량은 1,260,000 kcal/h 이나, 시스템 내부의 방열 손실 및 여러 가지 효율을 감안하면,

$$\begin{aligned} \text{QRR} &= n \cdot \text{QR} = 0.9 \times \text{QR} \\ &= 1,134,000 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

즉, 1,134 Mcal/h 가 최대치이다. 한편, 최종 온수의 최대온도는 순환 유량에 따라 달라지며, 30°C로 공급하여 65°C로 배출할 경우,  $Mw = \text{QRR} / \Delta t = 1,134/35 = 32.4\text{T/h}$  가 최대량임을 알 수 있다. 본 연구에서 제안하는 열원인 플레어 스택은 평소 연료 사용량이 5,000~6,000kg/h 정도이다. 선행연구에서 확인했던 내용을 바탕으로,

$\text{QR} = E_u \times F_u = 1,000 \times 5,000 = 5,000,000 \text{ kcal/h}$  임을 알 수 있다. 아울러 방열 손실을 감안하면,

$$\begin{aligned} \text{QRR} &= n \cdot \text{QR} = 0.9 \times \text{QR} \\ &= 4,500 \text{ Mcal/h} \text{ 이다.} \end{aligned}$$

즉, 사용할 수 있는 열량은 금호타이어의 4배 수준이므로 인근 농가나, 저 온열을 필요로 하는 곳에 충분한 공급이 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 이를 위해 추가적인 오버헤드는 열량을 받아서 공급되는 물 순환량이 늘어나게 되므로 열교환기의 용량이 커질 수밖에 없다는 점이다.

#### 4.2 시설하우스 난방비 절감 시스템 활용 방안

공장 굴뚝 폐열을 활용하여 온실의 난방 공급 시스템을 설계할 때, 정량적인 경제적 타당성을 비교 분석하기 위해서는 몇 가지 요소를 고려해야 한다. 특히 초기 투자 및 운영 및 유지 보수를 위한 비용 측면에 대한 분석이 필요하다. 또한, 기존 난방 시스템과의 효율성을 비교해야 한다. 폐열을 활용하는 시스템은 공장 굴뚝에서 발생하는 폐열을 재활용하므로 일정 수준의 에너지 효율성을 제공할 수 있다. 그러나 현재의 방법을 포함하여 다른 대안들과 비교하여 어떤 시스템이 더 높은 에너지 효율성을 가지는지 분석이 필요하다. 환경적인 측면에서 공장 굴뚝 폐열을 활용하는 온실 난방 시스템은 탄소 배출량 감소, 지속 가능한 에너지 활용, 에너지 효율성 향상 및 지역 환경 보호 등의 장점을 가지고 있다.

폐열 공급업체는 인근 농가에 난방비 절감이 가능할 수 있도록 농가가 위치한 곳 이전까지의 모든 설비를 지원한다. 초기 설비지원에 있어서 농가에는 많은 부담

이 되기에 메인 설비는 농진청 및 관계 부처 등의 협력이 있어야 한다. 이런 설비투자를 통해 공급업체에 대해 국가정책으로 CO<sub>2</sub> 절감에 따른 규제 혜택과 CO<sub>2</sub> 거래 마일리지 등을 확보할 수 있도록 지원한다면 공급업체와 농가는 서로 이익이 될 수 있다. 또한 산업사 인근에 대규모 스마트팜 단지를 조성할 때 최신 인공지능 기술 기반의 예측을 통하여 난방을 공급한다면 공급자의 임대 사업과 안정화된 재배작물을 저렴한 가격으로 생산 및 유통이 가능하여 국내 농가의 생산성 향상 및 경쟁력을 재고할 수 있으리라 기대된다[16].

#### V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서 분석한 폐열 공급 장치는 폐열 온도가 150~200°C인 벤트 스택과 500~650°C의 플레어 스택이다. 폐열회수를 위한 상부 구조물을 설치하는 조건은 굴뚝 상부에 있는 TMS의 작동에 간섭이 없도록 상부에 설치하는 것이다. 앞서 확인하였듯이 TMS는 벤트 스택에만 설치되어 있고, 플레어 스택에는 필요하지 않다. 따라서, 플레어 스택은 TMS가 없으므로 굴뚝 상부에 구조물을 설치하더라도 제약은 없다. 또한, 플레어 스택은 벤트 스택에 비해 3배 이상의 고온 폐열이므로 열교환기 용량을 증대시키면 다양한 분야에도 사용이 가능할 것으로 본다. 이러한 장치들은 초기 설비투자 비용의 문제 등으로 인해 쉽게 시행이 어렵다. 원거리 농가의 경우 거리가 늘어날수록 추가적인 설비비가 많아질 수밖에 없다. 결국 산업단지 인근 농가에 적용하는 것이 효과적이다. 그렇기에 향후 연구로는 이러한 설비 문제에 관한 연구를 기존 폐열회수 시스템 실증사업 데이터를 바탕으로 농가에 공급하기 위한 설비 투자비를 확인할 필요성이 있다. 대부분의 장비가 대동소이하며 거리에 따른 배관과 열교환기 등의 용량에서의 차이만 있으므로 자재 등의 시장조사를 통해 설비투자 대비 농가의 수익성을 확인하여 실질적인 데이터를 분석하는 연구가 추가로 진행되어야 한다. 또한, 산업현장의 폐열과 함께 대기로 나오는 CO, CO<sub>2</sub> 등의 물질 중 CO<sub>2</sub>를 농가에 일정하게 공급하였을 때 작물에 도움이 되는지 확인하여 가능하다면 이를 통한 지구온난화 감소 대책에 관한 연구도 진행할 계획이다.

감사의 글

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신  
기획평가원의 지역지능화혁신인재양성(Grand  
ICT연구센터) 사업의 연구결과로 수행되었음”  
(IITP-2023-2020-0-01489)

References

- [1] H. Rha, “Energy Reduction Effect of Horticultural Facilities using Greenhouse Gas and Industrial Waste Heat,” in *Proc. The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry Spring Meeting*, Seoul, Korea, Apr. 2019, pp. 146-147.
- [2] S. Jung, K. Park, and S. Lee, “Intelligent Prediction System for Diagnosis of Agricultural Photovoltaic Power Generation,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 5, 2022, pp. 859-866.
- [3] Y. Yoo, “Greenhouse heating field demonstration case using waste heat from thermal power plant,” *Journal of The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 31, no. 5, 2014, pp. 75-84.
- [4] S. Moon, M. Hyun, and Y. Lee, “An Evaluation of Heating Performance of the Heat Pump System Using Wasted Heat from Thermal Effluent for Greenhouse Facilities in Jeju,” *J. of Energy Engineering*, vol. 28, no. 1, 2019, pp. 22-29.
- [5] E. Kim and C. Lim, “High-efficiency Agricultural Heater and Smart Control System Utilizing Heat Pipe,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, 2017, pp. 1151-1158.
- [6] I. Park, “An Investigation Study on Fact of Waste Heat of Domestic Industry,” *J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering (KJACR)*, vol. 14, no. 10, 2002, pp. 811-816.
- [7] Y. Park, “Development of Green House Heating System Using Waste Heat of Industrial Boiler,” *Ministry of Agriculture and Forestry Technical Report*, 2003.
- [8] C. Lee and B. Jung, “Study on the Heat Recovery Design Methods for the Flue Gas from Combustion and Incineration Processes,” *Clean Technology*, vol. 5, no. 2, 1999, pp. 53-61.
- [9] Korea Petroleum Association, “Utilization of waste heat from refineries in Japan for district heating and cooling,” *J. of the Korea Petroleum Association*, vol. 2, no. 15, 1994, pp. 81-82.
- [10] D. Song, K. Lim, and D. Jung, “Development of heated-air dryer for agricultural waste using waste heat of incineration plant,” *J. of Agriculture & Life Science*, vol. 53, no. 5, 2019, pp. 137-143.
- [11] D. Lee, S. Yoo, J. Han, and B. Park, “Development of heat storage and transportation system using industrial waste heat,” in *Proc. of Korea Society of Waste Management*, Seoul, Korea, 2016, pp. 69-70.
- [12] D. Lee, J. Yang, and S. Kim, “A Study on the Structure of Waste Heat System with Energy Technology,” in *Proc. of Korea Technology Innovation Society*, Pusan, Korea, 2000, pp. 74-88.
- [13] S. park and D. Lee, “Example of empirical analysis of waste heat utilization in industrial complexes,” *The magazine of the Society of Air-conditioning Engineers of Korea*, vol. 31, no. 5, 2002, pp. 31-36.
- [14] Y. Kang, S. Kang, Y. Kim, and Y. Yoo, “Heating Performance Analysis of the Heat Pump System for Agricultural Facilities using the Waste Heat of the Thermal Power Plant as Heat Source,” *Protected Horticulture and plant factory*, vol. 26, no. 4, 2017, pp. 317-323.
- [15] V. Moon, Y. Kim, and S. Yang, “Design of High Efficiency Permanent Magnet Synchronous Generator for Application of Waste Heat Generation OCR System,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 1, 2019, pp. 45-52.
- [16] S. Jung, J. Goh, and S. Lee, “Recurrent Neural Network based Prediction System of Agricultural Photovoltaic Power Generation,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 5, 2022, pp. 825-832.

## 저자소개



### **이창조(Chang-Jo Lee)**

2021년 3월 : 순천대학교 스마트  
농업 대학원 입학  
2023년 2월 : 순천대학교 스마트  
농업 대학원 졸업(공학석사)

※ 관심분야 : 농업용 에너지 AI 응용, 스마트 농업



### **고진광(Jin-Gwang Koh)**

홍익대학교 컴퓨터공학과 이학사·  
이학석사· 이학박사  
1988년 - 현재 순천대학교 공과대  
학 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 데이터베이스, 인공지능응용, 스마트  
농업



### **이성근(Sung-Keun Lee)**

1985년 고려대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1987년 고려대학교 대학원 전자  
공학과 졸업(공학석사)

1995년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 박사)  
1987년 ~ 1992년 : 삼성전자 정보통신연구소  
2017년 ~ 2018년 : Georgia Institute of Technology  
ECE 방문교수

1997년 ~ 현재 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 관심분야 : 강화학습 기반 QoS 보장 기술, AI 기반  
태양광 예측 시스템, 스마트 농업