

농업부문에서 신재생에너지로의 연료전환이
시설원예에 미치는 영향 분석*
-목재펠릿을 중심으로-

윤성이** · 김태곤***

Fuel Conversion to Renewable Energy Analysis of the Impact on
the Horticulture in the Agricultural Sector
-Mainly Wood Pellets-

Yoon, Sung-Yee · Kim, Tae-Hoon

This study analyzed the effect of Greenhouse of wood pellet fuel conversing from Diesel. Analyzed through a life cycle assessment of greenhouse gas emissions of carbon dioxide for the environmental assessment, In evaluation of the Ministry of the Environment, analyzed through the life cycle assessment of carbon dioxide emissions of the greenhouse gas and, In the case of economic evaluation, we analyzed the investment payback period to the total revenue generated by each of the calculated incentive based on the RHI and institutions reduction projects a reduction of costs associated with the reduction of fuel costs.

Key words : *wood pellet, renewable energy, fuel conversion, LCA*

I. 서 론

2005년 교토의정서가 발효되면서 선진국들을 중심으로 2008년에서 2012년까지 5년 동안 1990년 대비 5.2%의 의무감축 목표를 수립하였다. 이러한 온실가스 감축 목표를 더욱 용이

* 이 논문은 농림부 “지역단위 농산부산물을 활용한 바이오매스 청정에너지 농업시스템 개발 및 실증”에 의하여 이루어졌음.

** Corresponding author, 동국대학교 식품산업관리학과 식품클러스터연구소(syoon@dongguk.edu)

*** 동국대학교 식품산업관리학과 식품산업클러스터연구소

하게 달성하기 위한 수단으로 공동이행제도(JI, Joint Implementation), 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism), 배출권거래제도(ET, Emission Trading)의 교토 메커니즘을 채택하였다(UNFCCC, 2005).

이러한 교토 메커니즘 중 CDM 사업을 벤치마킹한 자발적 온실가스 감축제도가 세계 각국에서 시행되고 있으며 우리나라에는 KVER(Korea Voluntary Emission Reduction)이 2005년에 시작되어 지금까지 실시되어 오고 있다. 신재생에너지 중 폐기물 다음으로 현재 가장 경제적이고 온실가스 감축 잠재력이 많은 것으로 알려진 에너지원이 목질계 바이오매스라고 할 수 있는데, 그중에서 고품연료로서 수송과 이용이 편리하고 발열량이 높은 목재펠릿은 가격이 다소 높지만 유럽과 일본에서 이미 보류율이 높은 신재생에너지원으로 활용되고 있다.(Korea Energy Management Corporation, 2012)

펠릿 등 목질바이오매스로 전환하는 사업은 일본의 JCDM(Japan CDM)사업으로 중소기업에서 주로 활성화 되어 있는데, 이는 기존의 중유나 등유 보일러를 사용하던 중소기업이 펠릿으로 연료를 전환하여 연료비 차액으로 인한 수익을 얻을 수 있고, 또한 목재는 탄소중립으로 온실가스 배출량이 없어 연료 전환에 의한 온실가스 감축량이 많아지므로 이에 대한 감축 이득도 얻을 수 있기 때문이다.(Lee and Kang, 2013)

이러한 흐름에 따라 우리나라에서도 KVER사업으로 인하여 펠릿 연료 전환에 대한 기준과 방법론이 정립되고 있다. 농업부문에서도 연료 전환으로 인한 온실가스 감축에 있어 다양한 정책적 지원과 방법들이 도입되고 있다. 그 예로 온실가스를 감축하는 방법의 하나로써 시설원예가 화석연료에서 목재펠릿으로 연료전환을 함에 따른 온실가스를 감축하는 방법이 농진청과 농업기술실용화재단을 중심으로 시행되고 있으며, 이러한 농업부문에서 연료전환이 단순히 온실가스 발생량의 절감만 발생할 뿐만 아니라 연료비 차액으로 발생하는 경제적인 편익과 여러 정책적인 지원으로 인한 농외수익이 발생할 수 있다.

현재 농업부문에서 신재생에너지의 도입을 지원하는 제도로는 농업·농촌 자발적 온실가스 감축 시범사업(이하 감축시범사업)¹⁾이 있으며, 아직 우리나라에 도입되지는 않았지만 에너지관리공단과 산업통상자원부에서 도입을 검토하고 있는 열차액지원제도(Renewable Heat Incentive, RHI)²⁾가 있다. 이렇게 시설원예에서 연료전환에 따라 초기 투자금이 많이 발생하지만 연료비 절감과 정책적인 지원을 통한 해당 시설원예의 농외수익의 증가가 발생할 경우 농업부문에서의 신재생에너지의 도입에 있어 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

본 연구에서는 농업부문에서의 신재생에너지 중 목재펠릿을 사용하는 시설농가 3곳의 데이터를 수집하여 목재펠릿보일러의 도입으로 인한 온실가스배출량을 이산화탄소 배출량

1) 「농업·농촌 자발적 온실가스 감축 시범사업」은 기후변화에 대응하고 온실가스를 감축하기 위해 농가가 저탄소 농업기술을 적용하여 온실가스 배출량을 줄인 경우 감축실적에 따라 1톤CO₂ 당 1만원에 구매한다.

2) 바이오매스로 생산하는 열에너지에 대해서 적정 이익이 보장되도록 지원하는 제도

을 중심으로 산정하고 분석하였다. 더불어 연료전환을 통한 직·간접적으로 시설원예에 미치는 경제적 편익을 산정하고 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

Table 1. Greenhouse data before introducing wood pellet

Zone	Greenhouse category	Facility size (m ²)	Crop	Heating equipment
Sangju	Vinyl house	4297.5	Cucumber	Diesel heater
Gyeong-buk ¹⁾	Vinyl house	1983.5	Chrysanthemums	Diesel boiler
Gyeong-buk ²⁾	Vinyl house	3966.9	Chrysanthemums	Diesel heater

Table 1은 모니터링을 통해 데이터를 수집한 시설원예의 기본적인 데이터를 나타낸 표이다. 해당농가들은 현재 모두 목재펠릿 보일러를 이용하여 오이와 국화를 재배하고 있으며, 표에 나타난 난방기는 목재펠릿 도입 이전의 경유난방기와 온풍기를 표기하였다. 본 연구에서는 시설원예에서 화석연료에서 목재펠릿으로 연료 전환을 하였을 경우 시설원예에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 산림조합중앙회의 목재펠릿을 사용하는 시설원예 3곳을 선정하여 데이터를 수집하였으며, 수집한 데이터 중 부정확하거나 부족한 데이터는 에너지를 공급하는 기관에서 제공 받았다. 목재펠릿 보일러는 정교하게 설계된 난방설비로써 지역의 기온 및 기후에 큰 영향을 받지 않으므로 지역에 따른 설비의 성능차이는 존재하지 않는다.

3곳의 시설원예 사업장은 목재펠릿 보일러 설치 이전에 경유 온풍기 및 경유 보일러 등 경유를 이용한 난방설비를 이용하여 난방을 공급하였다. 시설원예의 목재펠릿 사용량의 경우 각 시설원예가 목재펠릿을 구입하는 공장에서 시설로 출하하는 양을 기준으로 산정하였다. 목재펠릿 도입 이전의 온실가스 배출량은 해당 시설원예에서 1년 동안 목재펠릿의 사용으로 인한 발열량을 통해 경유의 사용량을 추정하였고, 이 추정한 경유의 사용량을 해당 시설원예가 목재펠릿을 도입 이전의 연료 사용량으로 가정하였다.

농업부문에서의 환경성 평가를 위해서는 각 시설원예별 정확한 사용량의 데이터를 확보하는 것이 중요한데, 농자재의 사용량을 매년 기록하는 시설원예가 많지 않기 때문에 정확한 데이터의 확보가 힘든 실정이다. 때문에 이번 연구에서는 농업기술실용화재단에서 시행하는 감축시범사업에서 감축량이 우수한 시설원예 중 목재펠릿을 사용하는 시설원예 3곳

을 선정하여 데이터를 수집하였다. 국가프로젝트에 의해서 선정되고 관리되었기 때문에 다른 시설작물을 재배하는 시설원예의 데이터 보다 신뢰도 높은 데이터라고 할 수 있다.

이렇게 수집한 데이터에 의거해 목재펠릿의 도입 전과 후의 온실가스배출량을 지식경제부 산하 한국인정원에서 개발한 소프트웨어(PASS 4.1.1)를 이용하여 분석하였다. 또한 경유에서 목재펠릿으로의 연료전환에 따른 연료비 절감비용과 감축시범사업 그리고 열차액지원제도를 통한 시설원예의 환경적·경제적인 영향을 분석하였다.

2. 연구재료

시설원예에서 발생하는 온실가스 발생량을 산정하기 위하여 한국인정원에서 개발한 전과정평가 소프트웨어(PASS)를 이용하였고, 경제적 편익을 산정하기 위해서는 연료전환에 따른 연료비 절감 외에 현재 농업부문에서 신재생에너지를 통해 온실가스를 저감하고 저감량을 인증 받았을 경우 농업기술실용화재단에서 시행하는 감축시범사업을 통해 인센티브를 받을 수 있으며 더불어 현재 에너지관리공단과 산업통상자원부에서 도입을 검토하고 있는 열차액지원제도를 통해 추가적인 농외수익이 발생할 수 있다.

정책적인 지원을 통한 경제적인 지원을 받기 위해서는 사업계획서, 모니터링, 인증과 같은 절차가 필요하지만 이러한 정책적인 지원제도에 참여하여 온실가스감축 인증을 받으면 해당 시설원예에서는 연료전환에 따른 수익 외에 온실가스를 감축한 만큼 추가수입이 발생하기 때문에 농외수익이 증가하게 된다.

1) 농업·농촌 자발적 온실가스 감축 시범사업

농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업은 저탄소 농업기술을 적용하여 온실가스 배출량을 줄인 농업 경영체에게 감축실적만큼 정부구매를 통한 인센티브를 제공하는 사업이다. 시범사업에 참여하는 농업경영체는 사업계획서를 작성·제출하고, 1년간 온실가스 감축 활동을 하게 된다. 이후 전문검증기관과 심의위원회의 엄격한 검·인증을 거쳐 감축량에 따라 인증서를 부여받는다. 온실가스 감축실적은 1톤CO₂당 1만원에 정부가 구매하며, 농업 경영체의 사업계획서 작성, 감축활동 모니터링 등에 필요한 비용도 지원된다.(Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, 2013)

2) 열차액지원제도(RHI, Renewable Heat Incentive)

열차액지원제도는 신재생 열에너지의 활용 확대와 탄소 배출량의 감축을 위한 정부의 새로운 재정지원 정책이다. 간결하게 설명하면, 지원 대상으로 승인을 받은 설비 소유자 또는 바이오매스 사업자가 생산한 신재생 열에너지를 계량하여 정부가 kWh당 보조금을 지급하는 제도이다. 지원 대상자가 받게 되는 보조금은 기존의 화석연료를 이용하는 열에너지

설비와 신재생 열에너지 설비간의 비용차이를 보상하는 수준으로 산정하기 때문에 일종의 차액지원 형태이다. 농촌 지역의 경우 열차액지원제도를 통해 지역에서 발생하는 바이오매스를 에너지원으로 활용할 수 있을 것이라 예상하고 있다.

열차액지원제도의 경우 아직 우리나라에 적용된 제도가 아니다. 하지만 '08년도부터 바이오매스에 대한 보급 확대를 위한 정책 중 하나로 언급이 되고 있으며 현재 산업통상자원부에서 발전의무화제도(RPS, Renewable Portfolio Standard)의 개정안에서 열차액지원제도를 도입하는 쪽으로 진행되고 있으며, 이 정책이 도입되었을 때, 농업부문에서 적용한다면 시설원예에서 발생하는 추가적인 인센티브가 얼마나 발생할 지에 대한 분석을 하였다. 우리나라에는 아직 도입되지 않은 제도이기 때문에 영국의 RHI지원금기준을 통해 지원금을 산정하였다. 아래의 Table 2는 영국의 지원금기준을 나타낸 표이다.

Table 2. Renewable heat incentive standard of british

Category	Technology or energysource	Facility capacity	Incentive price
Small-sized commercial Biomass	Solid biomass, solid biomass contained in municipal waste, cogeneration	Under 200kWth	Step 1 : 7.9
			Step 2 : 2.0
Medium-sized commercial Biomass	Same as above	Over 200kWth Under 1MWth	Step 1 : 4.9
			Step 2 : 2.0
Large-scale commercial Biomass	Same as above	Under 1MKth	1

Source : DECC, "The Renewabel Heat Incentive Scheme Regulations", 2011

3. 시스템 경계

본 연구에서의 시스템경계는 Fig. 1에 주어진 바와 같이 베이스라인과 목재펠릿으로 구분하였다. 베이스라인의 경우 시설원예에서 화석연료를 사용할 때의 시스템 경계이며 프로젝트의 경우 시설원예에서 목재펠릿보일러를 도입한 이후의 시스템 경계를 나타낸다.

프로젝트의 시스템 경계에서는 목질바이오매스의 수집 및 운송, 목재펠릿의 가공, 농가까지의 목재펠릿 운송, 목재펠릿 보일러를 이용하여 원예시설에 난방을 공급하는 활동을 포함한다. 단 목재펠릿의 경우 정부 간 기후변화 협의체(IPCC, Internet Protocol Contact Center)에서는 각 국가가 사용하는 연료에 따라 이산화탄소가 배출되는 기준을 탄소배출계수라는 개념을 적용하여 산정하고 있다. 여기에서 목재펠릿은 그 원료가 되는 목재(나무)가 성장하면서 이산화탄소를 흡수하여서 대기 중으로 방출하지 않고 고정(Fix)시켰다는 점을 들어서 연소과정에서 발생하는 이산화탄소를 온실가스배출 집계에서는 제외하고 있다. 그리고 본

연구에서 사용한 농업기술실용화재단의 목질바이오매스 방법론³⁾에서는 목재펠릿의 원료 수집부터 생산과정에 이르기까지의 온실가스 배출량을 제외하고 완성된 목재펠릿을 해당 시설원예까지 운송에 발생하는 온실가스 발생량만 산정하였다.

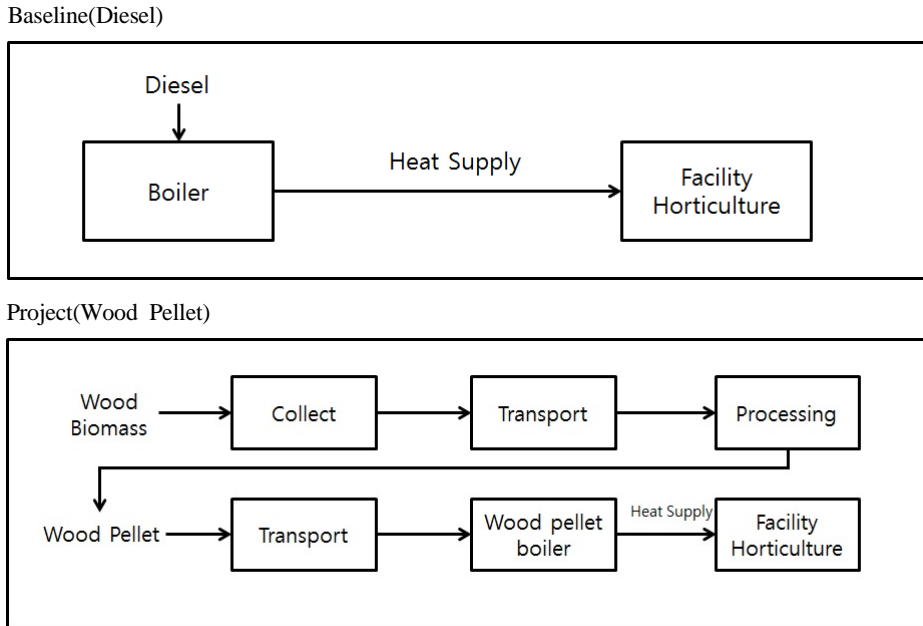


Fig 1. System boundary for baseline and wood pellet

목재펠릿의 경우 목재펠릿의 제조에 사용되는 투입물질은 톱밥과 목재이며 제조공정에서 목재펠릿 제조, 포장 공정을 포함하며, 공정상 발생하는 스크랩은 전량 재활용이 되어 폐기물이 발생하지 않기 때문에 폐기물 처리는 제외하였다. 목재펠릿 제조시설에서 해당농가와의 거리는 지도상에서의 최단거리를 운송거리에 적용하였다. 국내에서 펠릿 생산에 투입되는 원료는 산림청에서 고시하는 ‘목재펠릿 품질규격’에 따라 생산되며, 방부처리목재, 화학물질 처리 목재, 건축물에서 유래한 목재, 이력이 불분명한 목재는 사용하지 않았다. (Korea Forest Research Institute, 2009)

3) 농업기술실용화재단에서 작성한 ‘목질바이오매스 방법론’에서는 목질바이오매스 수집활동이 본 사업을 수행하지 않을 경우의 기존 수집활동과 동일함을 입증할 수 있는 경우, 온실가스 배출량은 사업 전, 후가 동일하므로 목질바이오매스 수집으로 인한 배출계수를 무시할 수 있도록 하고 있으며, 본 연구에서 연료로 사용되는 목재펠릿은 간벌정책, 해충피해 방지 등의 목적으로 수집하고 있으므로 배출계산에서 제외하였다.

4. 주요 배출원의 계산식

목재펠릿을 사용하는 농가에서 온실가스 배출량 계산 및 생산에 사용되는 각종 에너지들의 온실가스 배출은 다음의 수식에 의해서 계산된다.

1) 발열량에 따른 경유의 사용량

본 연구에서는 시설하우스에서 목재펠릿으로의 연료전환을 통한 온실가스배출량을 산정하고 한다. 하지만 해당 농가들이 모두 기존의 목재펠릿을 사용하고 있는 농가였기 때문에 사실상 목재펠릿의 도입전의 데이터를 구할 수가 없었다. 때문에 목재펠릿의 사용으로 인한 발열량을 통해 해당 농가의 경유사용량을 추정하였다(수식 1).⁴⁾ 목재펠릿의 사용으로 인한 발열량과 발열량에 따른 경유사용량에 관한 자료는 Table 3에 표기되어 있다.

$$B - C_{Use} = (P_{Use} \times P_C) \div B - C_C \quad (1)$$

$B - C_{Use}$: B-C유의 사용량(L)

P_{Use} : 목재펠릿의 사용량(kg)

P_C : 목재펠릿의 발열량(MJ/kg)

$B - C_C$: B-C유의 발열량(MJ/kg)

Table 3. Price criteria classified by fuel

Criteria	B-C oil	LNG	Kerosene	Pellet	Wood chip
Unitprice ¹⁾	1,139Won/L	786Won/Nm ³	1,525Won/L	400Won/kg	160Won/kg
Calorificvalue ²⁾	39.2MJ/L	39.4MJ/Nm ³	34.3MJ/L	19MJ/kg	113MJ/kg
Unitpricepercalorificvalue ³⁾	29Won/MJ	20Won/MJ	44Won/MJ	21Won/MJ	14Won/MJ

¹⁾ B-C, kerosene, LNG: Domestic oil & city gas mean price / pellet, wood chip: mean price of domestic maker (Fuel unit price criteria in March 2012)

²⁾ B-C, kerosene, LNG: low calorific value of energy calorific conversion standard table (energy fundamental law) / pellet, wood chip: KFRI, JCDM data

³⁾ Unit price per calorific value = fuel unit price / calorific value

4) Fuel unit price criteria in March 2012, ,KFRI, JCDM의 데이터를 참조하여 직접 작성.

2) 에너지 생산 및 사용단계에 따른 온실가스 배출량

화석연료의 경우 온실가스배출은 에너지 생산단계뿐만 아니라 사용단계에서도 온실가스 배출이 이루어진다. 때문에 전기를 제외한 화석연료 에너지는 생산단계의 배출계수와 사용 단계의 배출계수를 구분하여 적용한다(수식 2).⁵⁾ 전기에너지는 사용단계의 온실가스배출이 없으므로 생산단계의 온실가스배출만을 평가한다. 에너지 사용에 따른 배출계수는 아래의 Table 4에 표기되어 있다.

$$En_i = \sum_i [(M_i \times C_i \times E_{i-Production}) + (M_i \times C_i \times E_{i-Use})] \quad (2)$$

En_i : 에너지 i의 생산 및 사용 시 발생하는 온실가스 배출량(kgCO₂)

M_i : 에너지 i의 사용량(L or M³ or kWh)

C_i : 에너지 i의 단위환산계수(부속서 D 참조)

$E_{i-Production}$: 에너지 i의 생산 탄소배출계수(kgCO₂/kg or kWh)

E_{i-Use} : 에너지 i의 사용 탄소배출계수(kgCO₂/kg)

Table 4. Conversion coefficient and Carbon emission coefficient of energy

	Classification	Conversion coefficient	Unit	Emissioncoefficient byenergyproduction (kgCO ₂ /kg)	Emissioncoefficient byenergyuse (kgCO ₂ /LorNm ³ orkg)
Energy	Diesel oil	0.860	kg/L	0.068	2.67
	Kerosene	0.840	kg/L	0.253	2.52
	Heavy oil	0.950	kg/L	0.325	3.04
	Volatile oil	0.750	kg/L	0.083	2.2
	LPG	0.579	kg/L	0.596	3.65
	LNG	0.805	kg/m ³	0.595	2.58
	Briquette	3.750	kg/장	0.480	1.91
	Electricity	-	kg/kWh	0.495	-

* IPCC(2006)

5) Kim and Yoon, Analysis of greenhouse gas emissions associated with the production of wood pellets, Dongguk University, 2013.

3) 목재펠릿 운송에 따른 온실가스 배출량

운반은 최대 5t을 적재할 수 있는 트럭을 사용하는 것으로 가정하였다. 환경부의 LCI인 벤토리에는 5t트럭을 이용한 수송 작업 시 온실가스배출량을 산정하고 있는데, 이 자료를 이용하여 각 수집·생산과정에서의 산물량(t)을 시나리오에 따른 운반 거리만큼 운반할 경우의 온실가스배출량을 산출하였다. 실제 운반 작업에서는 트럭 1대가 하루에 2회 이상 왕복 운행을 할 수 있다. 그러나 본 연구에서의 운송에 따른 온실가스배출량은 5t 트럭의 운행거리의 비례하여 산출되므로 운행 횟수는 고려하지 않았다. 또한 운반 작업은 집재 작업장에서 공장으로의 운반, 공장에서 소비처로의 운반으로 구분되는데 본 연구에서는 목재펠릿의 생산까지의 데이터를 수집하고 LCA를 진행하였기 때문에 공장에서 소비처로 운반되는 운송거리는 고려하지 않았다. 목재펠릿 운송에 따른 온실가스 배출량은 탄소배출 계수에 의해서 계산된다(수식 3).⁶⁾

$$T_{i-transportation} = \sum_i (D_i \times C_i \times E_i) \quad (3)$$

$T_{i-transportation}$: 목재펠릿 i의 운송에 따른 온실가스 배출량(kgCO₂)

D_i : 목재펠릿 i의 운송거리(km)

C_i : 목재펠릿 i의 단위환산계수(kg/km)

E_i : 목재펠릿 i의 탄소 배출계수(kgCO₂/kg)

Ⅲ. 온실가스 감축 효과 및 경제성 분석

1. 온실가스 감축효과 분석

베이스라인의 온실가스 배출량은 모니터링 기간 동안의 시설원예에서 난방을 위해 사용한 목재펠릿의 사용량을 수집한 뒤, 목재펠릿의 사용으로 인하여 발생된 열에너지를 발열량으로 적용하였다. 이 발열량을 수식 1의 식을 이용하여 경유 온풍기와 보일러의 경유사용량을 추정하였으며, 이 추정값을 이용해 베이스라인의 온실가스 배출량을 산정하였다. 목재펠릿 사용량은 목재펠릿 공급처에서 시설원예별 공급한 공급량 자료를 활용하였으며, 공급한 목재펠릿의 발열량은 저위발열량을 적용하였다. 단, 발열량은 시험성적서 발급일을

6) Kim and Yoon, Analysis of greenhouse gas emissions associated with the production of wood pellets, Dongguk University, 2013.

기준으로 기간별 저위발열량을 적용하였다.

본 연구에서는 LCA(Life Cycle Assessment)의 방법론을 통해 온실가스 배출량을 산정하였다. LCA방법론은 시설원에 별 연료전환을 통한 6가지 범주의 환경영향(자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 광화학적산화물 생성)중 지구온난화 범주를 정량적으로 평가하였다. 이 방법론은 농업·농촌자발적 온실가스 감축 시범사업에 사용된 방법론보다 좀 더 넓은 범위를 포함하고 있으며, 시설원예에서 작물을 생육하는 전 과정에 대한 온실가스배출량을 산정할 수 있다는 점에서 신뢰도가 높다. 이 방법론을 통해 산정한 온실가스 중 이산화탄소의 배출량을 중점적으로 분석하여 감축량을 감축시범사업에 적용하였다.

1) 베이스라인의 온실가스 배출량

Table 5. Baseline data

Horticultural facility				Conventional heating plant			
Zone	Standard temperature (°C)	Fuel (L/m ² ·Year)	Equipment type	Manufacturer	Model	Efficiency (%)	Power consumption (W)
Sangju	9	11.59	Diesel heater	-	-	89.8	-
Gyeong-buk ¹⁾	13	19.45	Diesel boiler	Kiyurami	Sten-70000	89	500
Gyeong-buk ²⁾	13	19.45	Diesel heater	-	-	89.8	-

Table 6. Greenhouse gas emissions in baseline

Zone	Pellet supply zone	Baseline emission (tCO ₂ e/year)	Baseline area emission (tCO ₂ e/M ²)	Heating supply heat (Gj/year)	Efficiency (%)
Sangju	Danyang	160	0.03723	1756	89.8
Gyeong-buk ¹⁾	Danyang	122	0.06151	1360	89
Gyeong-buk ²⁾	Danyang	278	0.07008	2720	89.8

Table 5와 6은 시설원예의 위치와 종류 그리고 난방타입에 따른 보일러의 사양을 나타냈다. 위의 표에서 연간 경유사용량은 해당 원예시설의 특성을 고려하여 농업공학연구소에서 발간한 고유가 극복을 위한 시설원예 에너지절감 가이드북(2008)에 명시된 온실종류, 사업지역, 작물종류, 재배온도에 따른 연료량을 이용하였다. 베이스라인 배출량 산정을 위해 필요한 시설 내 난방 공급열량은 관련 데이터 부족으로 각 원예시설 별 온실종류, 사업지역,

작물재배온도를 파악하여, 방법론에 제시된 단위 면적당 연간 경유사용량을 추정된 뒤, 계산식을 이용하여 산정한다. 시설원예 중 경북에 위치한 2곳의 농가에서는 경유 온풍기의 모델과 효율을 정확히 알 수 없어, 효율은 농림수산식품부가 조사한 ‘농업용 고효율 난방기 평가결과(2008)’에 명시된 경유 온풍난방기의 효율 중 가장 높은 값인 89.8%를 사용하였다.

모니터링 기간 동안 발생한 온실가스 발생량은 작물의 생육을 위해 사용한 보조 화석연료와 전력사용에 따른 배출량 합계로 산정한다. 화석연료 사용량 자료는 연료 구매영수증으로 확인 가능하나 경북 상주의 시설원예의 경우 사용량에 대한 증빙자료 확보가 불가능하며, 경북 영주(2)의 경우 모니터링 기간 중 일부 기간에만 증빙자료가 존재하였다. 따라서 경북 영주(2)의 경우 보수적으로 접근하여 화석연료 사용이 가장 많은 기간의 월 평균 화석연료 사용량을 목재펠릿 보일러를 운영한 개월 수로 곱하여 모니터링 기간의 소내 보조 화석연료 사용량을 산정하였다. 베이스라인의 온실가스 배출량을 비교해보면 경북 영주에 있는 국화농가가 가장 많은 온실가스 배출량을 나타낸다. 보일러의 효율이 거의 비슷하다는 점으로 미루어보아 토마토와 오이를 재배하는 농가보다 국화를 재배하는 농가가 면적당 온실가스배출량이 많은 것을 알 수 있다. 이는 국화가 토마토나 오이와 같은 채소보다 높은 생육온도가 필요하기 때문에 그만큼 난방에 필요한 에너지가 많이 필요했기 때문인 것으로 나타났다.

2) 프로젝트(목재펠릿) 온실가스 배출량

Table 7. Outline and auxiliary fuel usage

Zone	Pellet boiler				Use in the plant (tCO ₂ /year)	Round trip distance (factory~farmhouse) (km)	Pellet usage (ton/year)
	Manufacturer	Model	Efficiency (kcal/h)	Power consumption (w)			
Sangju	Rokwon	JI 015	452,000	2162	6.188	232.8	71
Gyeong-buk ¹⁾	Ssangma	SMWB-25	248,399	1280	2.233	71.6	36
Gyeong-buk ²⁾	Rokwon	JI 015	432,000	2067	5.916	112.4	99

위의 Table 7는 목재펠릿을 사용한 시설원예의 펠릿보일러 사양과 보조연료의 사용으로 인한 온실가스배출량을 나타낸 표이다. 목재펠릿을 제조하는 세종조합 제조공장에서는 LPG와 경유, 전력을 사용하였다.

Table 8. Wood pellet emission factor and emission

Area	Pellet consumption (ton/year)	Raw material transport		Processing		Pellet transport (tCO ₂ /year)
		Emission (tCO ₂ /year)	Emission factor (tCO ₂ /ton)	Emission (tCO ₂ /year)	Emission factor (tCO ₂ /ton)	
Sangju	71	77.518	1.092	13.141	0.185	3.510
Gyeong-buk ¹⁾	35.85	37.141	1.092	6.635	0.185	0.545
Gyeong-buk ²⁾	99	108.089	1.092	18.324	0.185	2.363
Total	205.85	270.44	-	38.10	-	6.42

목재펠릿의 배출량은 목질바이오매스 원료의 전처리과정(수집/수송/가공)으로 인해 발생되는 CO₂ 양과 목질바이오매스 유통과정(수송)으로 인해 발생하는 CO₂ 양, 사업범위 내 소내 화석연료 및 전력을 사용함으로써 발생하는 CO₂ 양으로 계산하였으며 계산한 값은 Table 8에 나타나 있다. 세종조합 제조공장은 원료 수송과 관련된 데이터를 기록하고 있으나 이 과정에서 다양한 용량의 트럭을 상황에 맞게 사용하고 있어 정확한 연비의 파악이 불가능하다. 현재 대부분의 상용트럭은 경유를 연료로 사용하고 있다. 전처리 과정에서 사용한 연간 목질바이오매스 원료량은 가공 설비로의 입고량을 기준으로 작성하였다. 농업기술실용화재단의 목질바이오매스 방법론에 따라 목재펠릿의 수집과 연료로 사용하는 량에 의한 온실가스 배출량은 제외하였기 때문에 각 시설원예에서 발생하는 온실가스발생량은 목재펠릿을 수송하는 단계에서 발생하는 온실가스로 한정된다. 때문에 목재펠릿을 사용하는 농가들의 온실가스 발생량은 상주 3.51tCO₂/y, 경북1 0.545tCO₂/y, 경북2 2.363tCO₂/y의 온실가스 배출량이 산정되었다.

3) 연료전환을 통한 온실가스 감축량

Table 9. Reduction of green house gas

Zone	Baseline emission (tCO ₂ e/year)	Pellet emission (tCO ₂ e/year)	Leakage (tCO ₂ e/year)	Reduction of green house gas (tCO ₂ e/year)
Sangju	144	100	-	44
Gyeong-buk ¹⁾	113	48		65
Gyeong-buk ²⁾	224	134		90

* When the final results of the project emissions are calculated, decimal digit value is truncated

위의 Table 9는 3곳의 시설원예에서 모니터링 기간 동안 베이스라인과 목재펠릿의 운송으로 인한 온실가스 배출량과 온실가스 감축량을 나타낸 표이다. 위의 표에서 나타난 바와 같이 농가에서 경유를 사용할 때에는 160~278tCO₂/y을 배출하였고, 목재펠릿으로 연료전환을 한 후에는 0~3tCO₂/y을 배출하는 것을 알 수 있다. 따라서 각 농가는 목재펠릿으로 연료전환을 통해 122~276tCO₂/y에 해당하는 온실가스를 저감하였다. 온실가스 배출량 비중으로 봤을 때 98% 이상의 온실가스 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 경제성 편익분석

목질 바이오매스의 연료전환 사업에 대한 경제성 분석은 대체로 경제성이 높아 IRR은 적용 할인율인 7%보다 높게 나오고, NPV값은 양의 값으로 상당히 높게 나오기 때문에 경제성 유무를 판단하는 것이 큰 의미가 없으므로 굳이 IRR이나 NPV와 같은 방법을 활용할 필요가 없다.(Lee and Kang, 2013) 따라서 목재펠릿으로의 연료전환 사업에 대한 경제성은 일단 확보가 가능하다는 것을 전제로 하고 연료비 차액, 감축시범사업 그리고 열차액지원 제도로 발생하는 경제성을 산정하고 투자비 회수기간을 통하여 경제성을 분석하였다.

Table 10의 분석 결과와 같이 연료전환에 따른 투자비 회수 기간이 상주 1.41년, 경북1 0.85년, 경북2 0.83년으로 연료비 회수기간이 0.83년~1.41년 정도 걸리는 것으로 나타났다. 그 이유를 분석해 보면 연료전환으로 인한 차익이 많이 발생하려면 소비하는 목재펠릿의 양이 많아야 하는데, 오이를 재배하는 상주의 시설원예보다 국화를 재배하는 경북1과 2의 시설원예에서 보다 많은 목재펠릿을 사용했기 때문에 연료비 절감비용이 많이 발생했고, 투자비 회수기간도 그만큼 빨라진다는 것을 나타낸다.

Table 10. Fuel saving cost due to fuel conversing from Diesel to wood pellets

Zome	Investment cost (Million won)	Diesel		Wood pellet		Saving cost ①-② (Million won/y)	Investment cost payback period (y)
		Usage (L/y)	Using cost ① (Million won/y)	Usage (kg/y)	Using cost ② (Million won/y)		
Sangju	4,015	49,808	5,673	71,000	2,840	2,833	1.41
Gyeong-buk ¹⁾	2,523	38,579	4,394	35,850	1,434	2,960	0.85
Gyeong-buk ²⁾	4,013	77,156	8,788	99,000	3,960	4,828	0.83

Table 11은 농업·농촌 자발적 온실가스 감축 시범사업에 따른 온실가스 감축량과 인센티

브가 나타나있다. 감축사업을 통한 인센티브의 경우 감축한 톤(t)만큼 인센티브가 지급되기 때문에 목재펠릿으로 연료전환을 통한 온실가스 저감량이 중요하게 작용한다. 각 농가에서 발생한 온실가스 저감량은 상주 157tCO₂/y, 경북1 122tCO₂/y, 경북2 276tCO₂/y가 발생하는 것을 알 수 있으며, 인센티브는 톤당 10,000원을 나라에서 지급하기 때문에 각 157만원, 122만원 276만원의 인센티브를 지급받은 것으로 나타났다.

Table 11. Incentive from agriculture and the rural voluntary greenhouse gas reduction pilot project

Zone	Baseline emission (tCO ₂ e/year)	Pellet emission (tCO ₂ e/year)	Reduction of Green house gas (tCO ₂ e/year)	Incentive (won/ton)	Farm profit (million won/year)
Sangju	160	3	157	10000	157
Gyeong-buk ¹⁾	122	0	122		122
Gyeong-buk ²⁾	278	2	276		276

Table 12. Incentive from renewable heat incentive project

Zone	Facility capacity (kWth)	Boiler operation time (h/year)	operation time (h/year)	Thermal energy production capacity (kWth/year)	Support Price (Won/kWh)	RHI Incentive (Million won)
Sangju	1575	5760	-	374722	17	637
Gyeong-buk ¹⁾	864	5760	Step 1 : 1314	Step 1 : 43163	Step 1 : 83.3	856
			Step 2 : 4446	Step 2 : 146045	Step 2 : 34	
Gyeong-buk ²⁾	1575	5760	-	522500	17	888

* Incentive price of medium-sized commercial biomass is divided to two step. incentive price of step 1 is 4.9 won and step 2 is 2 won/kWh.

* Incentive price of large-sized commercial biomass is 1 won/kWh.

열차액지원제도는 현재 우리나라에 적용된 제도가 아니기 때문에 단계별 지원단가의 경우는 영국의 열차액지원제도 지원금 기준을 적용하였다. 우리나라에 열차액지원제도가 적용될 경우 영국의 지원제도보다는 지원단가가 낮아질 것이라 예상되지만, 영국의 지원단가 기준을 통해 우리나라에 열차액지원제도가 도입되었을 경우 대략적인 경제성 분석을 할 수 있을 것으로 사료된다. 각 농가들의 보일러 가동시간은 연중 9월~4월까지 8개월 동안 난방을 하는 것으로 가정하였으며, 단계별 열에너지 생산량은 목재펠릿 사용량으로 인한

발열량을 kWh로 단위변환을 하여 산정하였다. 이렇게 산정한 단계별 열에너지 생산량에 단계별 지원단가를 곱하여 각 농가에서 열차액지원제도를 통한 열차액 지원금을 산정하였다. Table 12의 분석결과와 같이 열차액지원제도를 통한 인센티브는 각각 상주 637만원, 경북1 856만원, 경북2 888만원으로 나타났다. 연료비 절감비용에 비해서 18~28%로 상대적으로 낮은 비율이지만 현재 지원제도로 시행되고 있는 감축사업과 비교했을 때는 상주 4.05배, 경북1 7.10배, 경북2 3.21배나 많은 인센티브가 지급될 수 있는 것으로 나타났다. 열차액지원제도의 경우 우리나라에 아직 도입되지 않았기 때문에 영국의 지원금 기준을 통한 연구가 진행되었다. 따라서 우리나라에 도입될 경우 지원금의 규모는 차이가 있을 수 있다. 하지만 열차액지원제도가 도입되었을 경우 신재생에너지를 사용하는 시설원예에게 지원금을 통한 농외수익의 증가가 발생하는 부분은 같기 때문에 농업부문의 신재생에너지의 보급이 현재보다 더욱 빠르게 확산될 수 있을 것으로 전망된다.

Table 13의 분석 결과와 같이 연료비 절감, 감축사업, 열차액지원제도를 통한 총 수익은 상주 3627만원, 경북1 3938만원, 경북2 5992만원으로 나타났으며 이를 투자비 회수기간으로 나타내면 상주 1.1년, 경북1 0.64년, 경북2 0.66년으로 나타난다. 감축사업과 열차액지원제도와 같은 정책적인 지원이 없었을 경우 상주 1.41, 경북1 0.85, 경북2 0.83년이 걸렸을 때와 비교해보면 0.2년~0.3년 정도 투자비 회수기간이 짧아지는 것으로 나타났다.

Table 13. Economic benefits due to fuel conversing

Zone	Investment cost (Million won)	Fuel saving cost (Million won/y)	Reduction pilot project (Million won/y)	Renewable heating incentive project (Million won/y)	Total (Million won/y)	Investment cost payback period (y)
Sangju	4015	2833	157	637	3627	1.1
Gyeong-buk ¹⁾	2523	2960	122	856	3938	0.64
Gyeong-buk ²⁾	4013	4828	276	888	5992	0.66

IV. 요약 및 결론

본 연구는 기존의 경유보일러를 사용하는 시설원예가 목재펠릿으로 연료전환을 시행했을 경우 발생하는 경제성과 환경성을 분석하기 위하여 실시하였다. 분석에 활용된 데이터는 시설원예 3곳에서 직접조사의 형식으로 수집하였다. 본 연구에서 수집한 3곳의 시설원예의 데이터를 통하여 신재생에너지로의 연료전환이 시설원예에 대한 영향을 분석하는 것은 가능하지만 시설원예 3곳의 데이터를 통한 연구 결과가 일반화되고, 대표성을 나타낼

수 있는가는 본 논문이 지닌 한계로 판단된다. 하지만 해당 농가의 모니터링 기간 동안의 데이터 수집으로 인하여 신뢰도 높은 연료전환에 따른 온실가스 배출량과 감축량을 산정할 수 있었으며, 농업부문에서 신재생에너지로의 연료전환이 시설원예에 미치는 영향을 산정하고 분석하였다는 점에서 학문적인 기여를 할 수 있다고 본다. 경제성 평가의 경우는 연료비 절감에 따른 비용, 감축시범사업과 열차액지원제도에 따른 인센티브를 각각 산정하여 발생하는 총 농외수익과 투자비용 회수기간을 분석하였다. 연구결과 목재펠릿으로 연료전환을 통한 이산화탄소의 절감량은 상주 157tCO₂/y, 경북1 122tCO₂/y, 경북2 276tCO₂/y으로 나타났으며 경유에서 목재펠릿으로 연료전환을 통한 투자비 회수기간은 정책적 지원제도가 없이 연료비차액만 가지고 산정하였을 경우 상주 1.41년, 경북1 0.85년, 경북2 0.83년이 걸리는 것으로 나타났으며 감축사업과 열차액지원제도를 포함하였을 경우는 상주 1.1, 경북1 0.64, 경북2 0.66년으로 0.2~0.3년 정도가 단축되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 연료전환을 통한 연료비의 차액, 현재 시행되고 있는 감축시범사업 그리고 현재 도입되진 않았지만 에너지관리공단과 산업통상자원부에서 도입을 준비하고 있는 열차액지원제도를 통한 인센티브를 통해 시설원예에 미치는 경제성과 환경성을 분석하였다. 본 연구를 통해 우리나라에서 열차액지원제도가 도입되었을 경우 시설원예에 미치는 경제적 편익이 어느 정도가 될 지에 대한 기준이 될 수 있을 것이라 생각되며 앞으로 농업부문에서 신재생에너지로의 연료전환이 촉진되기 위한 열차액지원제도와 감축사업과 같은 신재생에너지의 보급을 지원하는 정책들이 우리나라의 실정에 맞게 적용되어 보급되길 기대한다.

[논문접수일 : 2014. 9. 1. 논문수정일 : 2014. 9. 30. 최종논문접수일 : 2014. 10. 8.]

Reference

1. Kim, S. Y., I. H. Hu, and S. D. Lee. 2010. Impacts of Temperature Rising on Changing of Cultivation Area of Apple in Korea. Korean Association of Regional Geographers. 16: 201-215.
2. Kim, T. H. and S. Y. Yoon. 2013. Life Cycle Assessment(LCA) for claculation of the Greenhouse gas Emission Amount of facility house - With Cucumber, Tomato, Paprika -. Organic Agric. 21: 189-205.
3. Lee, J. C. and K. Y. Kang. 2013. Analyses of GHG Reduction Effectiveness and Economic Feasibility in the Wood Pellet Fuel conversing Project. Wood Science. 41: 594-605.
4. Yoon, S. Y., Y. R. Kim, T. H. Kim, J. H. Park, and S. W. Ahn. 2012. Study of Garlic's

- Carbon Footprint through LCA. *Organic Agric.* 20: 161-172.
5. Yoon, S. Y. and H. J. Kwon. 2011. A Study on the Amount of Carbon Emission of Organic Materials through Life-Cycle Assessment (LCA). *Organic Agric.* 19: 23-38.
 6. Yoon, S. Y. and B. H. Son. 2012. Life Cycle Assessment (LCA) for Calculation of the Carbon Emission Amount of Organic Farming Material -With Emphasis on Hardwood Charcoal, Grass Liquid and Microbial Agents-. *Organic Agric.* 20: 297-311