

# 전과정(LCA) 온실가스 평가를 고려한 신재생에너지 공급인증서 가중치 산정 방안 연구

백훈<sup>1</sup>, 김태성<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 컨설팅학과 박사과정, <sup>2</sup>금오공과대학교 산업공학부 교수

## A study on the estimation of the renewable energy certificates(REC) weight considering the life cycle assessment(LCA) of greenhouse gas emission

Hun Beak<sup>1</sup>, Tae Sung Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ph. D. Course, Department of Consulting, Kumoh National Institute of Technology

<sup>2</sup>Professor, School of Industrial Engineering, Kumho National Institute of Technology

**요약** 정부는 신재생에너지 보급을 확대하는 RPS제도를 지속해서 개선하지만, 온실가스 저감효과 증대를 위해 환경적 측면을 더 고려해야 한다는 비판이 있다. 공급인증서 가중치는 신재생 에너지원별로 차등화되어 있다. 공급인증서 가중치 결정 요소의 하나인 온실가스 저감효과 항목 값은 전문가의 의견을 반영하여 결정된다. 이번 연구는 온실가스 배출량을 정확하게 반영하기 위해 전과정 평가를 고려하였다. 전과정 평가는 연료 생산, 수송부터 발전소 건설, 운영, 폐기까지의 전과정에서 발생 되는 온실가스를 정확하게 산출하는 것이다. 이번 연구는 온실가스 저감효과를 기존 정성적 방법에서 정량적 방법으로 변경하는 방안을 제안하고 평가한다. 그 결과, 평가 점수는 바뀌는데, 점수를 등급화하는 구간이 커서 REC 가중치에는 영향을 주지 않는다. 따라서 온실가스 저감효과를 공급인증서 가중치에 직접 반영하는 방안을 제시하였다.

**주제어** : 신재생에너지, RPS, 공급인증서, 온실가스, 전과정(LCA)

**Abstract** The government continuously improves the RPS system to expand the supply of renewable energy, but there has been criticism that more environmental aspects should be considered to reduce GHG emission. REC weights are differentiated according to renewable energy sources. Greenhouse gas emission is one of the decisive factors, and its value is set by experts' opinion. This study assigns LCA to get accurate value of GHG emission. The LCA calculates emitted greenhouse gases from entire process of fuel production, transportation, power plant construction, operation, and decommission. This study suggests a method to change the greenhouse gas reduction effect from the existing qualitative method to the quantitative method and evaluates them. As a result, the evaluation score is changed, but the tier interval is so large that it does not affect the REC weight. Therefore, this study suggests the way that directly reflect the greenhouse gas reduction effect in the REC weight.

**Key Words** : Renewable energy, RPS, REC, GHG, LCA

This paper was supported by research fund (2018-104-050), Kumoh National Institute of Technology.

\*Corresponding Author : Tae Sung Kim(tkim@kumoh.ac.kr)

Received May 19, 2020

Accepted August 20, 2020

Revised July 29, 2020

Published August 28, 2020

## 1. 서론

정부의 신재생에너지 정책 및 제도의 목적은 국제사회에서 정해진 온실가스 감축 의무량을 달성하는 것이다. 정부는 이를 위해 정책 목표를 설정하고 제도를 시행한다. 현재 우리나라 정부는 2011년 FIT(Feed-in Tariff) 제도를 폐지한 후, RPS(Renewable Portfolio Standard) 제도를 택하고 있다. RPS 제도는 전력을 생산하는 발전 사업자에게 일정 비율의 신재생에너지 생산을 의무화하는 것이다. 생산 의무량을 갖는 발전사업자는 생산 대신 인증서 거래시장을 통해서 REC(Renewable Energy Certificates; 이하 REC 혹은 공급인증서)를 구매하여 의무량을 채울 수도 있다. 인증서는 신재생에너지 종류, 규모, 위치 등에 따른 가중치를 적용하여 발전량에 대해 발급된다. 따라서 RPS 제도는 신재생에너지를 강제적으로 사용하게 함으로써 신재생에너지 생산기업의 이윤 증가와 진입기업 확대로 이어져 신재생에너지 공급은 증가하고, 타 에너지 공급은 감소하는 효과를 유발한다[1].

공급인증서 가중치는 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침(산업통상자원부 고시 제2020-4호)」에 따라 기술개발 수준, 신재생에너지 보급목표, 운영 실적 및 기타 여건 변화 등을 고려하여 3년마다 재검토하게 되어 있다. 이 고시는 「신에너지 및 재생에너지 개발 이용 및 보급 촉진법 시행령 제18조의9」를 근거로 하여 가중치 개정 시 고려해야 할 사항을 ①환경, 기술개발 및 산업 활성화에 미치는 영향, ②발전 원가, ③부존 잠재량, ④온실가스 배출 저감에 미치는 효과, ⑤전력 수급의 안정에 미치는 영향, ⑥지역주민의 수용 정도로 정하고 있다. 이중 발전 원가는 경제성 지표로, 나머지 5가지는 정책성 지표로 분류되었다. 정책성 지표의 평가는 전문가들의 정성적인 평가를 통해 이루어진다.

RPS 제도에서는 '④온실가스 배출 저감에 미치는 효과'를 얻기 위해 온실가스 관련 항목을 REC 가중치 계산 시 반영하고 있다. 하지만, 정성적인 평가를 하기 때문에 실질적으로 온실가스 감축 효과가 이루어진다고 보기 어렵다. 김민정은 2018년, 정부의 무리한 신재생에너지 공급 목표 설정으로 전력생산 기업들이 타당성 없는 사업을 추진하는 등의 현상이 나타나기에 RPS 제도의 효과가 미미하다고 주장하였다[2]. 2018년 대외경제연구원은 바이오에너지가 신재생에너지로 인정됨에 따라 온실가스 저감 효과에 대한 논란이 있다는 점을 지적했다[3]. 바이오에너지는 기존 석탄화력발전소를 개조하여 석탄에 목재 펠릿을 혼합하여 발전하면서 오염물질 배출 논란을

빚고 있는데, 공급의무자 입장에서는 인허가 절차 등을 따져야 하는 새로운 신재생에너지 설비를 갖추는 것보다 기존 발전소를 활용하는 바이오에너지 발전이 용이하기 때문에 이를 활용하면서 실질적으로 RPS 제도가 신재생에너지 보급 확대와 온실가스 저감 효과에는 미미한 영향을 미친다는 것이다[4].

본 논문에서는 이런 실정을 개선할 방안으로 LCA 평가를 신재생에너지 발전에 적용하여 정량적으로 평가한 REC 가중치를 산정하고 정부 목표와 부합하는 방향으로 RPS 제도를 개선할 방향을 제시하고자 한다.

정부는 2020년부터 태양광 탄소 인증제 도입을 추진하고 있는데, 태양광 설비 제품의 탄소 배출량을 측정하기 위해 LCA 평가 방법을 사용하고 있다. 이는 산업통상자원부의 탄소성적표지를 태양광 제품에 적용하는 것으로 탄소성적표지 제도는 2009년부터 도입되어 제품 및 서비스의 생산, 유통, 폐기 등 전 과정에서 발생한 온실가스 배출량을 이산화탄소로 환산한 후 표기하는 제도이다. 정부는 탄소인증제를 통해 온실가스 배출량을 정량적으로 측정, 이산화탄소의 양을 매기며 온실가스 저감 효과를 볼 것으로 기대하고 있다.

그러나 이는 태양광 설비 제품에 한정되어 있으므로 본 논문에서는 신재생 에너지원을 통해 생산되는 전기에 LCA 평가를 도입하여 REC 가중치를 산정하는 방안을 제시한다. 이는 연료나 설비 제품 생산, 수송부터 발전소 건설, 운영, 폐지까지의 전 과정에서 발생 되는 온실가스를 정확하게 산출하는 것이다. 전기생산 부문에 관한 LCA 평가 연구는 국내에서 원자력, 석탄, LNG 비교연구 위주로 시행되었다. 2006년 지철구, 정환삼은 원자력, 석탄, 가스 전력생산에 대해 LCA를 분석했다[5]. 2004년, 김태운 외 5인은 원자력, 화력, LNG의 LCA 평가를 진행했다[6]. 국내연구 사례에서는 신재생에너지 분야를 비교 평가한 사례는 없다. 본 논문에서는 해외의 신재생에너지 LCA 평가 사례를 참고하여 비교 평가를 진행하고, 이를 반영하여 친환경 에너지원이 RPS 제도에서 인센티브를 받을 수 있는 REC 가중치 산정 방식의 필요성에 관해 얘기하고자 한다.

## 2. 선행연구 및 연구 방향

### 2.1 RPS 제도

RPS 제도는 신재생에너지 발전설비를 제외한 500MW 이상의 발전설비용량을 보유한 대규모 전기사업자(발전

공기업, 민간 발전사업자)에게 총발전량 중 일정 비율 이상을 신재생에너지로 발전하도록 의무화한 제도이다[7]. Table 1은 공급의무자가 신재생에너지를 통한 발전 생산을 해야 하는 의무 비율이다. 2007년 한국전기연구원은 국내 RPS 도입을 위해 의무대상자, 의무량, 공급인증서 발행 및 거래 메커니즘 등을 제시하였다[8].

Table 1. Obligatory renewable service supply ratio

Year	2012	2014	2016	2018	2019
Duty Rate (%)	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0
	2020	2021	2023	2024-	-
	6.0	7.0	9.0	10.0	-

신재생에너지 발전사업자는 발전허가를 획득하면 생산한 전력량에 대하여 연간 발전량 MWh 당 REC 가중치만큼 공급인증서를 발급받는다. 이 공급인증서는 REC 현물시장이나 선정(입찰 계약)시장을 통해 확보할 수 있다. 공급의무자는 직접 신재생에너지로 전기를 생산하거나 일반 신재생에너지 발전사업자가 생산한 전기의 공급

인증서를 확보하였을 때 의무 시행으로 인정받는다.

## 2.2 REC 가중치

REC 가중치는 같은 발전량에 대하여 신재생에너지 종류, 위치, 규모에 따라 차등 적용하는 비율이다. 2007년 한국전기연구원은 해외사례를 참고하여 REC 가중치를 0.5에서 2.0까지 4개 군으로 나누어 적용하도록 제시했다[8]. 최근에는 에너지원의 기술 경제성, 환경성 등 제반 요소를 평가한 점수를 구간화하여 0.25~4.0의 범위에서 태양광에 9개, 일반 신재생에 6개의 가중치로 구분하여 적용하고 있다[9].

공급인증서 가중치는 3년마다 재검토하게 되어 있다. 재검토 시, 정부는 6가지 사항을 고려하는데, 이는 ①환경, 기술개발 및 산업 활성화에 미치는 영향, ②발전 원가, ③부존 잠재량, ④온실가스 배출 저감에 미치는 효과, ⑤전력 공급의 안정성에 미치는 영향, ⑥지역주민의 수용 정도이다. 이 6가지 항목은 가중치 산정에 활용되는 지표에 참고되며, 정량지표에는 해당 전원의 기술 경제성이 포함되며, 정성지표에는 환경친화성, 보급 잠재량, 산업

Table 2. Analysis of relative value calculation of R EC weight applied in 2015

Renewable Energy	Economic indicator (70%)	Policy indicator (30%)				Overall evaluation score	
	Score	Industrial effects (10)	Potential (10)	Greenhouse gas (10)	Score		
Hydropower	8.0	0	0	10	10.0	17.97	
Wind (On shore)	14.2	0	5	10	15.0	29.19	
Wind (Off shore, short)	29.0	10	10	10	30.0	58.99	
Wind (Off shore, long)	39.1	10	10	10	30.0	69.14	
Bio	Biomass	38.6	0	5	5	10.0	48.63
	Bioenergy	16.0	0	5	10	15.0	30.96

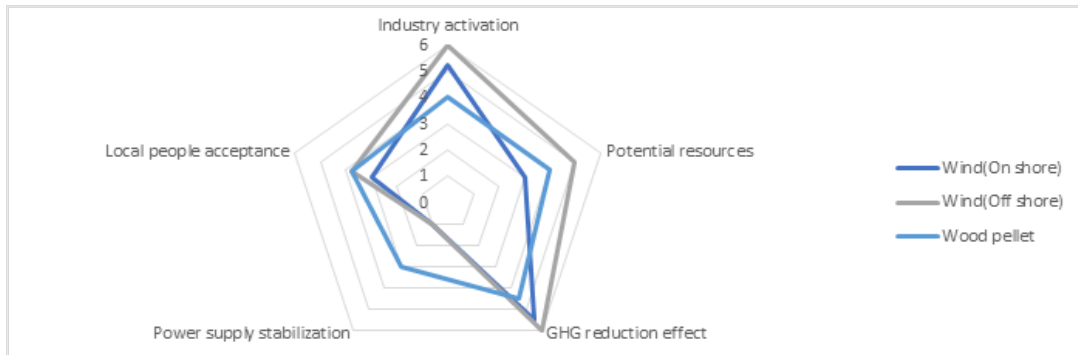


Fig. 1. Evaluation of policy indicators of REC weight applied in 2018

효과, 정책 방향과의 부합성 등이 포함된다[10].

2014년 한국전기연구원은 2015년부터 적용할 신재생에너지 공급인증서 가중치의 전반적인 내용을 검토했다[10]. 이는 REC 가중치 산정방식을 경제성 지표(정량적 평가) 70%(발전 원가), 정책성 지표(정성적 평가) 30%(산업효과, 보급 잠재량, 온실가스 각 10%)로 구체화하고 표준화된 산정체계를 제안했다. Table 2는 2014년 신재생 에너지원 별 가중치 지표에 대해 전문가들이 평가한 값을 정리한 것이다.

2018년부터는 공급인증서 가중치 산정방식이 일부 변경되었으며, 삼정KPMG가 2017년에 제시했다[11]. 70%였던 경제성 지표는 54%로, 30%였던 정책성 지표

는 46%로 변경되었다. 정책성 지표는 기존에 3개로 분류되었으나, 5개로 수정되며 (1)산업 활성화, (2)부존 잠재량, (3)온실가스 저감효과, (4)전력수급 안정화, (5)지역주민 수용성으로 분류했다. 각 정책성 지표의 점수는 9.2%를 차지한다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 온실가스 관련 값은 2015년(최대 10%) 해상풍력 10, 바이오매스 5에서 2018년(최대 9.2%) 해상풍력 6, 바이오매스 4.5로 변경됐다.

### 2.3 특정 전원의 REC 가중치 선행연구

특정 전원에 대한 REC 가중치 산정 관련 연구는 다음과 같다.

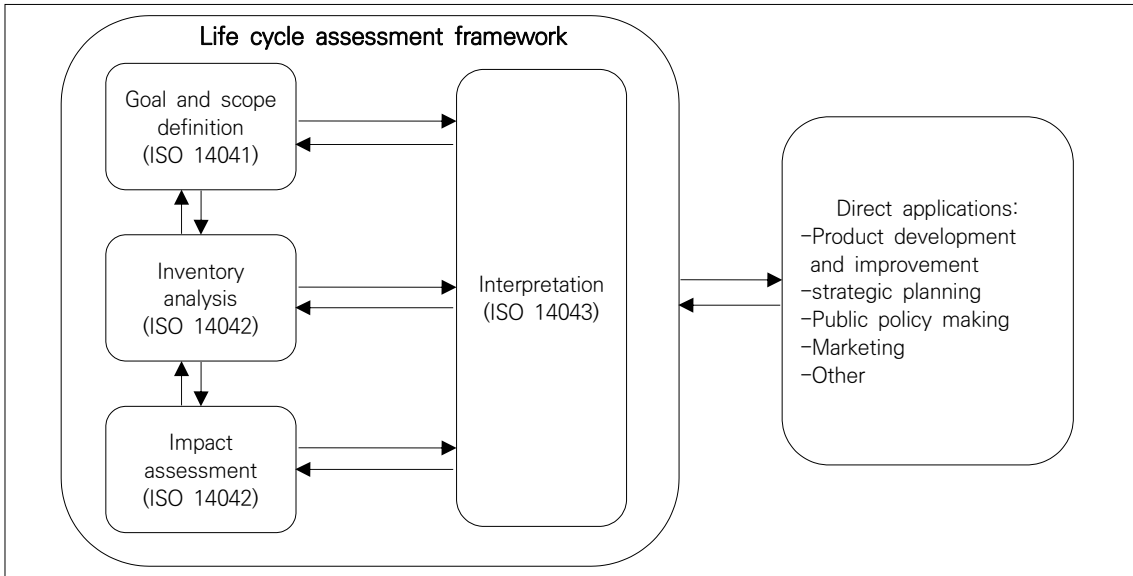


Fig. 2. Life cycle assessment framework

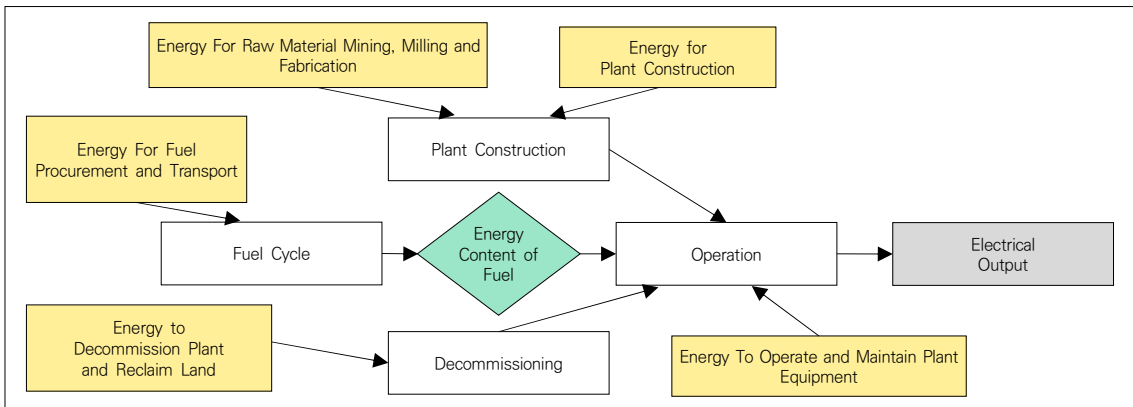


Fig. 3. Net Energy Analysis requires the estimation of energy inputs from each of the life-cycle phases along with the useful electrical output

2014년 김강원과 김발호는 ESS 도입 시 투자 경제성을 보장할 수 있는 수준의 REC 가중치를 결정하는 방법론을 제시했다[12]. 신재생에너지 발전원 특성을 고려하여 출력 제어가 가능한 에너지원과 그렇지 않은 에너지원을 분류하여 ESS 설치에 따른 피크기여도 상승효과가 기대되는 것을 구분했다.

2016년 한국전기연구원은 도서 지역 신재생에너지의 객관적인 기술 경제성을 평가하며 적정 REC 가중치를 분석했다[9]. 해당 연구는 신재생에너지의 기술 경제성 분석을 위해 설비이용률, 설치비용, 운전 비용, 연계 비용 등 지표를 개발했고, REC 가중치를 산정하는 과정에서 육지와 도서 간 비용 격차 발생 가능성이 큰 비용 요소를 중심으로 검토하여 계산했다. 그러나, 이 모든 연구에서는 온실가스 배출과 관련하여 정량적인 분석을 하지는 않았다.

### 2.4 전과정 온실가스 평가

전과정 온실가스 평가는 제품-에너지-서비스 생산 및 사용 시스템에서 원료취득, 운반, 가공, 생산, 유통, 사용, 폐기 단계 등 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출이나 자원 또는 에너지의 기준 흐름을 파악하여 영향범주의 온실가스 배출을 정량화하는 방법이다[6].

신재생에너지의 전과정 온실가스 평가를 진행한 사례는 해외에서 찾아볼 수 있다. Fig. 2는 전과정 평가에 관한 국제 표준 체계(ISO)를 보여 준다. Fig. 3은 신재생에너지 전과정 온실가스 배출량을 산정하는 데 필요한 에너지 소모 과정을 세부적으로 나타냈다.

다음은 해외에서 진행된 신재생에너지 LCA 평가 내용이다. 이는 Table 3에 정리했다.

2003년 PSI(Paul Scherrer Institut)는 태양광, 풍력, 수력의 전과정 온실가스 배출량을 평가했고, 2004년 WEC(World Energy Council)는 태양광, 풍력, 수력, 바이오매스의 전과정 온실가스 배출량을 평가했다[13,14]. 2006년 IAEA(International Atomic Energy Agency)는 태양광, 풍력, 바이오매스의 전과정 온실가스 배출량 평가를 했으며, 2007년 Oxford Research Group은 풍력과 바이오매스의 전과정 온실가스를 평가했다[15,16]. 2008년 발표된 NIT(National Institute of Technology) 보고서의 경우, 학술 논문으로 가장 많이 인용된 최근 자료이기에 이번 연구 분석에 포함했다. 이 보고서는 태양광, 풍력, 수력, 바이오매스의 온실가스 배출량을 평가했다[17]. 2016년 CRIEPI(Central Research Institute of Electric Power Industry)는 태양광, 풍력, 수력의 전과

정 온실가스 배출량을 평가했다[18]. 2019년 Aalborg Univ.는 태양광, 풍력, 수력 발전소 LCA의 기존 연구 결과를 종합 분석한 내용을 발표했다, 바이오매스는 포함 되어 있지 않았다[19].

Table 3. LCA GHG emissions from electricity generation

	PV	Wind	Hydro	Biomass
PSI (2003)	79~	14~21	3~27	92~156
WEC (2004)	13~104	7~22	5~90	15~49
IAEA (2006)	43~73	8~30	1~34	35~99
Oxford Research Group (2007)	-	11~37	-	29~62
India NIT (2008)	53.4~184	11~123.7	3.7~18	35~178
CRIEPI (2016)	58~59	23~29	11	-
Aalborg Univ. (2019)	A <sup>1)</sup>	On Shore	Reservoir	-
	12.5~126.0	4.6~40.0	2.4~90.0	
	B <sup>2)</sup>	Off Shore	Run-of-river	
	10.0~56.0	5.2~32.0	1.2~48.2	

(단위: g CO<sub>2</sub>/kWh)

#### 2.4.1 태양광

태양광의 LCA 평가 값은 다음과 같다. PSI는 79g CO<sub>2</sub>/kWh 이상의 온실가스를 배출한다고 하였다[13]. WEC는 13~104g CO<sub>2</sub>/kWh, IAEA는 43~73g CO<sub>2</sub>/kWh의 온실가스를 배출한다고 하였다[14,15]. India NIT는 53.4~184g CO<sub>2</sub>/kWh의 배출량을, CRIEPI는 58~59g CO<sub>2</sub>/kWh의 배출량을 계산하였다[17,18]. Aalborg Univ.는 발전량에 따라 두 그룹으로 나누어 평가하였다. 3kW~1MW의 발전량을 갖는 발전소는 12.5~126.0g CO<sub>2</sub>/kWh를, 50~100MW의 발전량을 갖는 발전소는 10.0~56.0g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다[19].

#### 2.4.2 풍력

풍력의 LCA 평가 값은 다음과 같다. PSI는 14~21g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다고 하였다[13]. WEC는 7~22g CO<sub>2</sub>/kWh, IAEA는 8~30g CO<sub>2</sub>/kWh의 온실가스를

- 1) 3kW~1MW의 발전량을 갖는 소규모 태양광
- 2) 50~100MW의 발전량을 갖는 대규모 태양광

배출한다고 하였다[14-15]. Oxford Research Group은 11~37g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다고 밝혔다[16]. India NIT는 11~123.7g CO<sub>2</sub>/kWh의 배출량을 계산하였고, CRIEPI는 23~29g CO<sub>2</sub>/kWh의 배출량을 계산하였다[17,18]. Aalborg Univ.의 보고서에 따르면 육상풍력은 4.6~40.0g CO<sub>2</sub>/kWh, 해상풍력은 5.2~32.0g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다[19].

### 2.4.3 수력

수력의 LCA 평가 값은 다음과 같다. PSI는 3~27g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다고 하였다[13]. WEC는 5~90g CO<sub>2</sub>/kWh, IAEA는 1~34g CO<sub>2</sub>/kWh의 온실가스를 배출한다고 하였다[14-15]. India NIT는 3.7~18g CO<sub>2</sub>/kWh의 배출량을 계산하였고, CRIEPI는 11g CO<sub>2</sub>/kWh의 배출량을 계산하였다[17,18]. Aalborg Univ.는 하천에 저장시설을 갖추면 2.4~90.0g CO<sub>2</sub>/kWh를, 하천을 흘려보내는 경우 1.2~48.2g CO<sub>2</sub>/kWh의 온실가스를 배출한다고 하였다[19].

### 2.4.4 바이오매스

바이오매스의 LCA 평가 값은 다음과 같다. PSI는 92~156g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다고 하였다[13]. WEC는 15~49g CO<sub>2</sub>/kWh, IAEA는 35~99g CO<sub>2</sub>/kWh의 온실가스를 배출한다고 하였다[14,15]. Oxford Research Group은 29~62g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다고 밝혔다[16]. India NIT는 35~178g CO<sub>2</sub>/kWh를 배출한다고 발표하였다[17].

## 2.5 연구 방향

RPS 제도는 온실가스 배출 감축을 목표로 하고 있지만, 그 효과성이나 제도 설계의 적절성에 대한 의문이 제기되고 있다. 김민정(2018)은 정부의 무리한 신재생에너지 공급 목표 설정이 타당성 없는 신재생에너지 사업을 부추기는 등의 문제를 일으킨다고 말했다[2]. 바이오에너지에 발전비용보다 상대적으로 큰 REC 가중치를 적용하면서 수입 목재 펄릿이 남용되어 에너지 발전이 되면서 논란은 커졌다[3]. 바이오 에너지는 발전 과정에서 유해 물질을 배출하는데도 신재생에너지로 분류되었으며 REC 가중치의 영향으로 발전량이 급증하여 온실가스 감축에 효과가 있었는지에 대한 의문을 받는다[4].

Fig. 4는 한국에너지공단에서 제공하는 데이터를 활용하여 작성한 것으로, 최근 신재생에너지 공급인증서 발

행 현황을 보여 준다. 2015년부터 2019년까지 바이오에너지의 REC 발행량은 2배 가까이 증가했고, 태양광은 약 4.7배 정도 증가했다. 바이오에너지가 유해 물질을 배출하기 때문에 환경적인 측면에서 정밀하게 검토하여 제도에 반영하는 것이 필요하다[4].

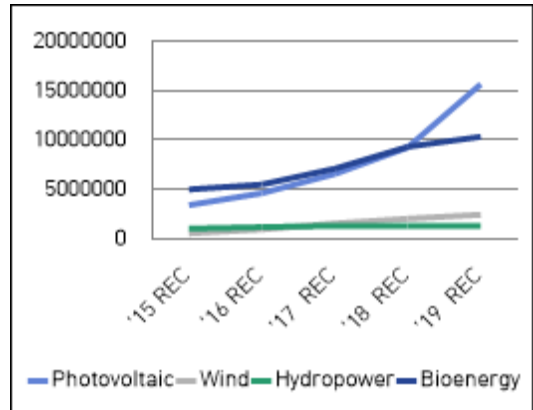


Fig. 4. Domestic REC issuance

본 연구에서는 신재생에너지 발전의 환경 비용을 검토하는 과정을 LCA 평가를 RPS에 적용하여 보충하는 방안을 제시하고자 한다. 대표적인 신재생 에너지원인 태양광, 풍력, 수력, 바이오매스의 전과정 온실가스 배출 평가를 반영한 REC 가중치를 산정하여, 이를 바탕으로 온실가스 저감 목표에 도달하는 RPS 제도가 나아가야 할 방향성을 살펴본다.

## 3. 연구방법

### 3.1 LCA 대표값 추출

기존 REC 가중치 계산 과정의 온실가스 관련 항목에 대하여 신재생에너지 전과정 온실가스 배출량 평가 결과를 반영했다. 우리나라에는 신재생에너지에 대한 전과정 온실가스 평가 연구가 부족하다. 따라서 국제 표준 방법(ISO 14041~3)을 적용한 해외 연구자료를 분석하고 연구사례별 평균값을 대표값으로 추출했다. 각 연구 보고서는 LCA 평가 방법에 있어 세부 사항에 차이가 있고, 발전소 규모나 위치에 따라 결과값의 차이가 있기 때문이다.

풍력, 태양광, 수력에 대하여는 가장 최근 작성되었고, 가장 많은 수의 사례를 분석하여 정리한 Aalborg Univ. 보고서의 값을 적용했고, Table 4를 통해 정리했다.

Table 4. Summary of Aalborg Univ. Research

Parameters	PV	Wind	Hydro
Number of studies	45	54	94
Variation in GHG emission (g CO <sub>2</sub> /kWh)	12.5~126.0	4.6~40.0	1.2~48.2
Mean Value (g CO <sub>2</sub> /kWh)	50.9	14.4	19.1

### 3.1.1 태양광

Aalborg Univ.는 2002년에서 2017년 사이 발표된 유럽 전체, 북아메리카, 남아메리카, 아시아 대상으로 진행된 45개의 연구 결과를 분석했다[19]. 본 연구에서는 소규모 태양광의 LCA 중간값인 50.9g CO<sub>2</sub>/kWh를 적용하였다.

### 3.1.2 풍력

Aalborg Univ.는 2000년에서 2017년 사이에 발표된 유럽 전체와 중국, 일본을 대상으로 한 54개의 연구를 분석한 결과, 풍력이 지리적, 시간적, 기술적 범위에서 상당한 차이를 갖는다고 평가했다[19]. 본 연구에서는 육상 풍력의 중간값인 14.4g CO<sub>2</sub>/kWh를 적용하였다.

### 3.1.3 수력

Aalborg Univ.는 2004년과 2018년 사이에 발표된 스위스, 스웨덴 등의 유럽 국가를 대상으로 한 97개의 연구를 분석하였다[19]. 본 연구에서는 하천에 저장소 없이 흘러보내는 경우의 수력 중간값인 19.1g CO<sub>2</sub>/kWh를 적용하였다.

### 3.1.4 바이오매스

본 연구에서는 PSI, WEC, IAEA, Oxford Research Group, India NIT가 계산한 바이오매스 LCA 평가 값으로 평균값을 구하였다. PSI는 2000년에 중유럽 국가를 대상으로, WEC 1996년부터 1998년 사이 EU 15개 국가를 대상으로 한 바이오매스의 LCA 평가를 정리하였다[13,14]. IAEA는 2000년부터 2006년까지 유럽, 북아메리카, 일본, 중국의 바이오매스 LCA 평가 연구사례를 정리하였다[15]. Oxford Research Group은 2007년 OECD 국가를 대상으로, NIT는 1999년에 독일과 네덜란드를 대상으로 한 바이오매스 LCA를 평가를 종합하였다[16,17]. 각 기관이 평가한 LCA 평가 값은 Table 5에 정리하였다.

Table 5. GHG Emission of Biomass

Research	GHG Emission of Biomass (g CO <sub>2</sub> /kWh)	Mean Value (g CO <sub>2</sub> /kWh)
PSI (2003)	92~156	124
WEC (2004)	15~49	32
IAEA (2006)	35~99	67
Oxford Research Group (2007)	29~62	45.5
India NIT (2008)	35~178	106.5
Average (g CO <sub>2</sub> /kWh)	-	75

각 보고서의 중간값을 평균한 결과인 75g CO<sub>2</sub>/kWh를 대표값으로 사용했다.

## 3.2 REC 가중치 계산 방식

기존 REC 가중치 계산 방식은 다음과 같다. Table 6은 각 평가지표의 반영비율이다.

Table 6. Ratio of Indicator

	Unit	Rate(Q)
Ratio of evaluation indicator	Economic indicator (SC1)	[%] 54
	Policy indicator (SC2)	[%] 46
	Total	[%] 100
Ratio of policy indicator	Industry activation	[%] 20
	Potential resources	[%] 20
	GHG reduction effect	[%] 20
	Power supply stabilization	[%] 20
	Local people acceptance	[%] 20
	Total	[%] 100

[기존 지표별 점수화]

$$\text{경제성 점수화(SC1)}: \frac{NQ1i}{\text{Max}(NQ1)} \times Q_1 \quad (1)$$

$$\text{정책성 점수화(SC2)}: \frac{NQ2i}{\text{Max}(NQ2)} \times Q_2 \quad (2)$$

가중치 평가를 위한 종합점수(SC):

$$\frac{NQ1i}{\text{Max}(NQ1)} \times Q_1 + \frac{NQ2i}{\text{Max}(NQ2)} \times Q_2 \quad (3)$$

이 중 정책성 점수 값은 (1)산업 활성화, (2)부존 잠재량, (3)온실가스 저감효과, (4)전력수급 안정화, (5)지역주민 수용성에 대하여 정성적으로 전문가들의 의견을 반영한 것이기 때문에 최댓값,  $Max(NQ)$ 를 기준으로 점수화하였다. 그러나 이번 연구에서는 (3)온실가스 저감효과 항목에 대하여 정량적으로 분석한 값을 반영하기 위하여 최솟값,  $Min(LCA)$ 을 기준으로 점수화하였다. 따라서 (3)온실가스 저감효과 항목의 점수화 계산식은 다음과 같다.

$$\frac{Min(LCA_i)}{LCA_i} \times 9.2 (\text{온실가스 지표값}) \quad (4)$$

$Min(LCA_i)$ 는 최솟값인 풍력 14.4를 대입하였다. LCA 태양광은 50.9, LCA 수력은 19.1, LCA 바이오매스는 75가 해당된다. 계산 결과는 Table 7로 정리하였다.

Table 7. GHG evaluation of REC weight

	PV	Wind	Hydro	Biomass
LCA applied	2.6	9.2	6.9	1.8

(단위: %)

#### 4. 결과 분석

2015년과 2018년 적용된 REC 가중치 정책성 지표 (3)온실가스 저감효과 점수와 이번 연구 결과를 비교한 값은 Table 8과 같다.

Table 8. GHG evaluation of REC weight

	2015 (10%)	2018 (9.2%)	LCA applied (%)	Difference
PV	10	9.2	2.6	-6.6
Wind	10	9.0	9.2	+0.2
Hydro	10	9.2	6.9	-2.3
Biomass	5	6.6	1.8	-4.8

태양광의 경우 9.2%에서 2.6%로 대폭 축소되어야 하고, 풍력의 경우 9.0%에서 9.2%로 확대, 수력의 경우 9.2%에서 6.9%로 축소, 바이오매스의 경우 6.6%에서 1.8%로 축소되어야 함을 알 수 있다.

평가 값이 증가한 경우는 현재보다 REC 가중치 값을 더 받을 수 있어 장기적으로 해당 신재생 설비의 증가량

과 공급인증서의 발행량이 커지도록 유도할 수 있는 것이며, 동시에 온실가스 저감 효과가 비교적 우수하다는 것을 뜻한다. 평가 값이 감소한 경우는 설비의 증가량과 공급인증서의 발행량이 작아지도록 유도하는 것이며, 온실가스 저감 효과가 비교적 떨어진다.

2018년도부터 적용된 REC 가중치의 경제성 점수와 정책성 점수 평가 값과 이번 연구에서 계산된 온실가스 저감효과 값을 반영한 REC 가중치 점수표는 Table 9와 같다. 기존 REC 총 점수에서 온실가스 평가 점수의 차이만 반영하여 평가하였다. 2018년 REC 가중치의 종합점수 및 세부점수가 그래프로만 제공되어 대략값을 추출하였다.

Table 9. Result of Reevaluated Indicator Value

	PV	Wind	Hydro	Biomass
Present economic indicator	10.5	10.0	21.0	12.0
Present policy indicator	35.5	31.0	28.0	30.5
Present REC estimation score	46.0	41.0	49.0	41.5
New policy indicator	28.9	31.2	25.7	25.7
New REC estimation score	39.4	41.2	46.7	37.7

현재 REC 가중치를 결정하는 데 경제성 점수와 정책성 점수를 합한 값을 그대로 적용하는 것이 아니라 Table 10과 같이 일정 구간에 따라 가중치를 구분하고 있다. 이 등급은 동일 구간이 아니라 정책적 판단에 따라 구간의 폭이 다르며, 태양광, 풍력, 수력, 바이오매스의 REC 가중치는 1.0이다.

Table 10. REC Tier Range

	Tier1	Tier2	Tier3	Tier4	Tier5	Tier6	Tier7
Score	0-30	30-35	35-50	50-55	55-60	60-70	70<
REC	0.25	0.5	1.0	1.2	1.5	2.0	-

기준에 46점을 받은 태양광은 Tier3에 해당한다. LCA 평가를 반영하였을 때, 6.6점이 떨어져 39.4점이 되지만, Tier에는 변함이 없다. 바이오매스 또한 LCA 평가를 반영하였을 경우, REC 종합평가 점수는 41.5에서 37.7로 떨어지지만, 이 또한 Tier 변경이 없다는 것을 알 수 있다. 풍력과 수력 역시 Tier 변경이 없다.

이런 불규칙한 등급 구간 설정으로 인해 온실가스 LCA 평가를 도입하여도 등급 구분에는 변화가 없다. 이



는 Tier3의 경우, 구간 폭이 다른 Tier에 비해 커서 정량적 분석 결과를 정밀하게 반영하기 어렵기 때문이다. 현재 REC 산정 과정에서 적용되는 Tier 구분은 전문가들이 임의로 지정하였기 때문에 정량적 평가를 진행한 LCA 평가를 적용하기에는 어려움이 있어 보인다. 따라서 정량적으로 진행한 신재생 에너지원의 LCA 평가 값을 직접적으로 REC 가중치에 인센티브 제도로 적용하는 등의 방안을 마련한다면, RPS 제도로 온실가스 감축효과를 이끌 수 있을 것이다.

개선 방안의 하나로 Tier를 고려하지 않고 LCA 효과를 직접 반영한 값을 Table 11에 제시하였다. 9.2%에 해당하는 온실가스 값을 LCA에서 계산된 값을 직접 반영하여 인센티브로 적용하였다.

Table 11. Suggested REC

	Present REC	Difference Value	Conversion Value	Suggested REC
PV	1.0	-6.6	-0.066	0.934
Wind	1.0	+0.2	+0.002	1.002
Hydro	1.0	-2.3	-0.023	0.977
Biomass	1.0	-4.8	-0.048	0.952

제안된 REC 값은 아래의 식(5)을 통해 계산하였다.

$$REC_i + \frac{D_i(LCA)}{9.2} \times 0.092 \quad (5)$$

기존 REC 값에 LCA 평가를 반영한 온실가스 저감효과 차이값(9.2%에 해당)을 보정한 것이다.

### 5. 결론

RPS 제도는 온실가스 저감 효과를 기대하며 설계되었지만, 정성적인 판단으로 온실가스 저감 효과를 설정하며 실질적으로 온실가스 저감에 미미한 영향을 미치고 있다는 비판을 받아왔다. 본 논문에서는 신재생에너지의 LCA 평가를 적용하여 REC 가중치 산정 개선 방향을 제시하고자 했다. 해외연구의 태양광, 풍력, 수력, 바이오매스 LCA 평가를 반영하여 계산한 결과, REC 가중치의 (3) 온실가스 저감효과 지표에 영향이 있음을 알 수 있었다. LCA 평가를 적용한 REC 가중치 평가 점수에 따르면 기존의 REC 가중치에 의해서 혜택을 받은 태양광, 수력, 바이오매스 설비에 의한 온실가스 저감효과는 크지 않다. 따라서 RPS 제도는 온실가스 저감효과를 위해 REC 가

중치 제도에 정량적인 온실가스 배출량을 반영하는 등의 개선이 필요하다.

현재 REC 등급 체계에서는 등급 구간이 정성적으로 나뉘어져 있어 LCA 평가를 REC 가중치에 직접 반영하는 방안을 제시한다. 평가가 정량적으로 이루어진다고 하여도 정성적으로 구간화한 등급 체계에서는 친환경성이 뛰어난 신재생 에너지원이 혜택을 받기가 어렵다. LCA 값을 REC 인센티브로 환산하여 직접 적용한다면, RPS 제도 내에서 LCA 값이 낮은 신재생 에너지원의 투자를 이끌 것으로 기대된다. 이렇게 RPS 제도 내 평가 방법의 조정이 요구되며, LCA 평가값을 적용하는 방법은 온실가스 배출량 저감효과에 기여할 것으로 예상된다. REC 가중치는 RPS 제도에서 발전사업자의 투자를 유인하는 가장 큰 요인으로 작용하기에 REC 산정 방식 개선은 친환경성이 우수한 신재생 산업의 성장을 이끌 것이다.

본 연구는 국내 연구자료의 부족으로 인해 해외의 신재생에너지 LCA 값을 활용하였다는 한계점이 있다. 신재생 에너지원은 다양한 환경적 특성이 있고, 환경적 요인에 영향을 받기 때문에 해외의 연구 결과를 우리나라의 제도에 적용하기에는 적합하지 않다. 따라서 향후 국내 신재생에너지 LCA 평가가 필요하다. 실질적이고 정량적인 신재생 에너지원의 온실가스 배출량 평가를 바탕으로 효과적인 에너지 정책을 시행할 수 있을 것이라 기대된다.

### REFERENCES

- [1] H. J. Kim & G. L. Cho. (2010). Economic impacts of renewable portfolio standard on domestic industry. *Environmental and Resource Economics Review*, 19(4), 805-828. UCI : G704-000752.2010.19.4.008
- [2] M. J. Kim. (2018). *A study of efficient new and renewable energy policy through new and renewable energy policy analysis*. Seoul : BAI Korea.
- [3] S. B. Ahn, K. H. Kim, S. B. Kim, J. H. Lee & M. S. Han. (2018). *Analysis of macroeconomic effects of structural changes in international energy markets*. Sejong : KIEP.
- [4] S. J. Kim. (2019). *Yonhap News Agency*. 'Renewable energy only in patterns?' Biomass ranked first in subsidy for 5 years. <http://www.yna.co.kr>
- [5] C. G. Ji & W. S. Chung. (2006). A Comparative Study on the LCA Cases for Power Generation Technologies. *Journal of Korea Safety Management & Science*, 8(4), 249-265.

UCI : G704-001460.2006.8.4.017

- [6] T. W. Kim, S. H. Kim, W. S. Chung, J. J. Ha, K. R. Min & S. H. Ko. (2004). Life Cycle Assessment for National Electricity Generation Systems. *Korean Society for Energy Symposium* (pp. 353-358). Seoul : Korean Energy Society.
- [7] S. B. Oh, C. Y. Lee & K. H. Kim. (2017). *The effect of increasing supply obligations on employment in RPS system*. Sejong : KLI.
- [8] KERI. (2007). *A study on the design and application of RPS(Renewable Portfolio Standard) system in Korea*. Changwon : KERI.
- [9] C. H. Lee. (2016). *A study on renewable energy certificate multiplier for remote island in Korea*. Changwon : KERI.
- [10] C. H. Lee. (2014). *A study on the REC weight applied in 2014*. Changwon : KERI.
- [11] KPMG. (2018). *A study on the status of RPS technology economics and system improvement by energy source*. Seoul : KPMG.
- [12] K. W. Kim & B. H. Kim. (2014). A Study on the Estimation of REC Multiplier for ESS Introduction. *Journal of Energy Engineering*, 23(4), 106-111.  
UCI : G704-001268.2014.23.4.032
- [13] R. Dones, T. Heck & S. Hirschberg. (2003). *Greenhouse gas emissions from energy systems: comparison and overview*. Villigen : PSI.
- [14] WEC. (2004). *Comparison of energy systems using life cycle assessment*. London : WEC.
- [15] D. Weisser. (2006). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, 32(9), 1543-1559.  
DOI : 10.1016/j.energy.2007.01.008
- [16] F. Barnaby & J. Kemp. (2007). *Secure energy?.* London : Oxford Research Group.
- [17] Varun, I. K. Bhat & R. Prakash. (2009). Renewable and sustainable energy review. *Renewable Energy Review*, 2009(13), 1067-1073.
- [18] CRIEPI. (2016). *Comprehensive evaluation of life cycle CO<sub>2</sub> emissions of power generation technology in Japan*. Tokyo : CRIEPI.
- [19] M. Silva & H. L. Raadal. (2019). *Life cycle GHG emissions of renewable and non-renewable electricity generation technologies*. Krakeroy : Ostfoldforskning.

백 훈(Hun Beak)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 원자력공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 건설링학과 박사과정
- 관심분야 : 경영과학, 정책융합

· E-Mail : ds4aaf@hanmail.net

김 태 성(Tae Sung Kim)

[종신회원]



- 1993년 12월 : New Jersey Institute of Technology(산업공학석사)
- 2000년 12월 : Louisiana State University(산업공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2003년 2월 : 삼성 SDS 마스터 컨설턴트
- 2003년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교

산업공학부 교수

· 관심분야 : SCM/APS, MES, Smart Factory, Blockchain  
· E-Mail : tkim@kumoh.ac.kr