

지니계수를 이용한 시군구별 신재생에너지 자원의 불균등성 분석

이지민

서울대학교 농업생명과학연구원

Analysis of the Regional Inequalities of Renewable Energy Resources using Gini's Coefficients

Lee, Jimin

Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

ABSTRACT : Most of countries are trying to increase the supply of renewable energy as the substitute of the fossil energy for reducing greenhouse gas emissions. However, renewable energy sources account for only about 3.86% of the total Korea primary energy supply. To increase the rate of renewable energy in Korea's energy consumption, various policies for expanding the use of renewable energy should be applied. Also these policies should be consider renewable energy resources distribution and regional inequality. In this study, the potentials of photovoltaic, wind power and bioenergy from rice straw, livestock waste and food waste are calculated and the distribution characteristic and regional inequalities are analyzed using Gini's coefficient and Gini decomposition method. As the results, technical potentials of photovoltaic and wind power of city region(Gu) has more potential rate than theoretical potentials. Livestock waste has the most unequal distribution (Gini's coefficient: 0.617) among renewable resources.

Key words : Distribution of resources, Gini's coefficient, Regional Inequality, Renewable energy resources

1. 서 론

화석에너지로 인한 온실가스 발생과 기후변화는 전 세계적 문제로 인식되고 있으며, 화석에너지를 대체할 신재생에너지에 관한 기술개발 및 보급이 확대되고 있다. 지난 2015년 12월에는 프랑스 파리에서 열린 제21차 유엔 기후변화협약 당사국총회에서 신기후체제 합의문인 '파리협정(Paris Agreement)'이 채택되었다. 우리나라는 기후변화 대응을 위해 2020년 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 30%라는 국가 감축 목표를 발표하고 이를 위한 온실가스 감축로드맵을 수립하여 진행하고 있다. 이러한 온실가스 감축을 위해 정부는 '제4차 신재생 에너지 기본계획'에서 2035년까지 1차 에너지의 11%를 신재생에너지로 보급할 계획을 수립하였다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2014).

우리나라의 총 발전량 대비 신재생에너지 비율은

3.86%(2013년 기준)로 OECD 국가 중 최하위에 속한다(Korea Energy Management Corporation, 2014). 따라서 2034년까지 신재생에너지를 확대하고자 하는 정부 계획을 달성하기 위해서는 기술개발뿐 만 아니라 신재생에너지 자원현황을 파악하고 이를 효율적으로 활용할 수 있는 정책 또는 제도적 방안을 필요로 한다.

이를 위한 신재생에너지와 관련된 연구로는 설비 및 기술에 관한 연구(Chun et al., 2012), 신재생에너지 잠재량과 관련된 연구(Korea Institute of Energy Research, 2013; Park et al., 2016), 신재생에너지를 통한 온실가스 감축에 관한 연구(Lee et al., 2010; Kim et al., 2012), 신재생에너지 보급을 위한 정책에 관한 연구(Lee and Moon, 2015; Lee and Park, 2011) 등 다양한 연구들이 이루어져 왔다.

이 중 신재생에너지자원의 잠재량에 관한 연구로는 Park et al.(2013)은 농업부문 바이오매스 에너지에 관한 연구로 지역별 바이오매스 에너지 분포 특성을 다루었으며, 에너지관리공단의 신재생 에너지자원 데이터 센터는 전국 시군구를 대상으로 잠재량을 산정하여 자료를 제공

Corresponding author : Lee, Jimin

Tel : 02-880-4580

E-mail : habi1004@naver.com

하고 있다. 신재생에너지 활용에 따른 온실가스 저감 효과에 관한 연구로는 Kim et al.(2011)은 농촌형 녹색마을 내 농기계와 재배시설에 있어 에너지사용량을 조사하고 이를 바이오에너지로 대체 시 온실가스 저감량을 산정하였으며, Kim et al.(2012) 연구에서는 전북 G시의 저탄소 녹색마을을 대상으로 적용 가능한 에너지원을 산정하고 이를 통한 이산화탄소 감축잠재량을 산정하였다. Lee and Suh(2015)는 에너지 자족 도시 형성을 위해 기술적 잠재량을 산정하고 지역별 주요 에너지원을 비교하였다. 신재생에너지 정책에 관한 연구로는 AHP기법을 통해 농업부문신재생에너지 보급 확대에 대한 영향요인 분석(Lee and Park, 2011)과 시스템 다이내믹스 기법을 통해 발전차액지원제도와 의무할당제도를 비교한 연구(Lee and Moon, 2015)가 있었다.

이러한 연구 결과들은 신재생에너지의 잠재량을 산정하고 온실가스 저감 효과를 통해 신재생에너지 보급의 필요성과 당위성을 설명할 수 있으며, 지원 및 보급 정책 방향을 제시하는데 도움이 된다. 그러나 신재생에너지 자원별 지원 정책의 방향과 지역별 차별화된 정책 제시에 필요한 신재생에너지 자원의 분포에 대한 연구는 아직까지 많이 이루어지지 않고 있다. 신재생에너지 자원의 활용을 통해 신재생에너지 비중을 확대하기 위해서는 자원의 잠재량 분석 및 그 효용성에 관한 연구뿐만 아니라 자원의 분포와 자원의 집중도에 따른 차별적인 정책이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 먼저, 신재생에너지 이론적 잠재량의 지역별 분포를 살펴보고 지니계수를 통해 지역간 집중도(불균등도)를 산정하여 비교 분석하여, 보급 가능한 소규모 신재생에너지원의 잠재량 집중도(불균등도)와 지역 계층별 집중도(불균등도) 분석을 통해 정책 개발 및 지원 방안 모색에 도움이 되고자 한다. 이와 같이 신재생에너지 자원의 분포 경향을 살펴보고 자원집중화 정도를 분석하는데 소득에 대한 불균등도를 나타낼 수 있는 지니계수를 이용하였다.

II. 자료 및 연구방법

1. 연구자료

본 연구 자료의 범위로는 230개 시군구를 대상으로 2010년 행정구역 단위로 기 구축된 자료 및 통계자료를 활용하였다. 분석 대상으로 정한 신재생에너지 자원은 태양광, 풍력, 바이오매스를 이용한 바이오에너지로 한정하였으며, 바이오에너지는 대표적인 자원인 벼 부산물인

벼짚과 축산 분뇨, 음식물쓰레기로 대상으로 하였다. 임목 부산물 및 태양열, 지열 등 높은 잠재력을 가진 열에너지가 존재하지만, 실제 보급가능 소규모 에너지원과의 비교를 위해 제외하였다.

에너지 잠재량의 정의에는 잠재량을 산정하는 기준과 실현가능 정도에 따라 다양한 정의가 존재하며, 크게 이론적 잠재량(부존 잠재량), 지리적 잠재량, 기술적 잠재량, 경제적 잠재량, 실현가능한 시장 잠재량으로 구분된다(Lee and Suh, 2015). 본 연구에서는 이론적 잠재량과 기술적 잠재량을 구분하여 분석하였다.

먼저 이론적 잠재량은 신재생에너지자원데이터센터에 구축된 자료를 통해 230개 시군구단위로 분석하였으며, 이 중 풍력잠재량은 시군구별 자료가 공개되지 않아 한국에너지기술연구원의 풍력자원지도(GIS 자료, 2007년)를 이용하여 70m 고도에서의 평균 풍력밀도를 이용하였다(Korea Institute of Energy Research, 2007).

기술적 잠재량은 지역 단위에서 보급 가능한 에너지 잠재량을 산정하기 위해 소규모로 설치가 가능한 범위로 한정하였다. 태양에너지의 경우 지붕 태양광 패널로 한정하였으며, 풍력은 대규모 풍력단지가 아닌 소규모 풍력을 기준으로 도로 및 교량에 설치하는 것을 가정하였다. 바이오에너지의 경우에는 벼짚과 축산분뇨가 타 용도로 활용되고 있는 것을 고려하여 가용 자원량을 정하였다. 각 자원별 자연적 잠재량과 기술적 잠재량을 산정하기 위해 참고한 각 자료의 출처와 연도는 Table 1과 같으며, 각 자원별 보급 가능한 소규모 발전시설 기준의 기술적 잠재량을 산정하기 위해 적용한 가정 및 계수들은 Table 2와 같다.

Table 1. Data and sources for natural and technical potential evaluation

	Data	Source	Year
Natural potential of renewable energy resources	Photovoltaic energy	Korea institute of energy research(KIER)	2010
	Wind speed (average)	Korea institute of energy research(KIER)	2007
	bioenergy(rice stock, livestock waste)	Korea institute of energy research(KIER)	2008
	Food waste	Korea Environment Corporation(KECO)	2013
Technical potential of small scale renewable energy	Photovoltaic energy(average)	Korea institute of energy research(KIER)	2010
	Road length	Statistics Korea	2013
	Area of zones	Korea land and housing corporation	2010
	Rice cultivation	Statistics Korea	2010
	No. of livestock	Statistics Korea	2010

Table 2. Assumptions for technical energy potential evaluation

Resources	Assumption	Assumption value	Reference	
Rooftop photovoltaic power	building coverage ratio(average)	residential zone: 46% industrial zone : 68% commercial zone: 67% rural area : 35%	「National land planning and utilization act」 national status of coverage ratio	
	usable area rate	residential rooftop : 25% (22-27) commercial rooftop 63% (60-65)	Lopez, A. et al, 2012	
	module efficiency	13.5%	Lopez, A. et al, 2012	
Roadside wind power	spacing	highway : 100m national road, si gun road : 50m	researcher's assumption	
	turbine capacity	highway : 3KW(Blade length 2m) road : 200W(Blade length 1.2m)	Geum Poong Energy Inc.	
	efficiency	30%	Lopez, A. et al, 2012	
	operation rate	75%		
Biomass	Rice straw	utilization rate	regional utilization rate (No. of farm households selling rice straw or etc/total farm households)	Statistics Korea, 2010
		dry weight rate	85%	Park et al., 2013
		energy basic unit	3903 kcal/kg	Park et al., 2013
		energy yield	69%	Lee, 2007
	Livestock waste	utilization rate	85%	IPET, 2010
		generation unit	korean beef cattle: 13.7 kg/day.head milk cow: 37.7 kg/day.head pig: 5.1 kg/day.head chicken: 0.12 kg/day.head	Ministry of agriculture, food and rural affairs, 2013
		biogas yield	3.21 m ³ /ton	data of biogas plants (Ministry of environment, 2012)
	Food waste	generation unit	metropolitan : 267 g/day person city : 150.7 g/day person small city : 143.9 g/day person rural area : 102.4 g/day person	2011 Waste Statistics Survey (Ministry of environment, 2013)
		biogas yield	116 m ³ /ton	Resource recovery data from waste(Ministry of environment, 2012)

2. 연구방법

우리나라는 230개 시군구 기초자치단체가 존재하며 (2010년 기준), 세 개의 하위권역 시(75개), 군(86개), 구(69개)로 나눌 수 있다. 이러한 지역의 계층 또는 집단 속성을 가진 자료를 분석하기 위해 Dagum의 지니계수분해법(Dagum, 1997)을 이용하였다.

가. 지니계수

지니계수는 이탈리아의 통계학자(C. GINI)가 제시한 지니의 법칙에 따라 나온 지표로 일반적으로 분포의 불평등 정도를 나타내는 수치로 쓰인다. 특히 소득 분배의 불평등도를 나타내기 위해 사용되는데 불평등도는 균등선과 로렌즈곡선으로 둘러싸인 면적으로 나타내며 이를 균등성과 횡축, 종축으로 둘러싸인 삼각형의 면적으로 나누어 지니계수를 계산한다. 이러한 지니계수 값은 0과

1사이의 값으로 표현되는데, 0은 완전히 평등한 분배가 이루어지는 수준을 의미하며, 1에 근접할수록 불평등이 높아져 1은 완전불평등을 의미한다. 일반적으로 0.4이상이면 매우 불평등한 배분이 이루어지고 있다는 것을 의미한다(Lee and Lee, 1997; Yoon and Kim, 2014; Park et al., 2014).

지니계수는 소득의 불평등을 측정하기 위해 고안되어 주로 지방재정, 소득분배, 부의 편중 등의 연구에 사용되었지만(Ryu, 2004; Sung and Kim, 2006), 최근 다양한 대상의 집중도를 판단하는데 활용되고 있다. 이는 지니계수가 물질적인 자원의 분배 집중도를 파악하는 지표로 활용될 수 있음을 나타내며, 이와 관련된 연구로는 국립공원 탐방집중도(Han, 2006), 어메니티 자원의 집중도(Lee et al., 2010), 지역 간의 환경 불평등도 측정(Yoon and Kim, 2014) 등이 있다.

나. 지니계수분해법

Dagum(1997)의 지니계수 분해법은 지니계수를 통하여 계층화가 가능한 자료의 집단 내 또는 집단 간의 기여도를 분해하지 못하는 한계를 극복할 수 있는 방법으로 집단 간 요인별 불균등도 측정이 가능한 특성을 가진다 (Sung and Kim, 2006). 일반적으로 사용되고 있는 지니계수 (G)를 소득 또는 측정하고자 하는 분석단위가 y_n 인 어떤 모집단(n)이 k개의 하위집단으로 나눈다면 식(1)의 j집단 내 지니계수 G_{jj} 와 집단 간 지니계수 G_{jh} 로 분해하여 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{\Delta}{2\mu} = \frac{1}{2n^2\mu} \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^n |y_i - y_r| && \text{식(1)} \\
 &= \frac{1}{2n^2\mu} \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}| \\
 &= G_{jj} + G_{jh} \\
 &= \frac{1}{2n_j^2\mu_j} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}| \\
 &\quad + \frac{1}{n_j n_h (\mu_j + \mu_h)} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|
 \end{aligned}$$

Sung and Kim(2006)은 이러한 지니계수분해방법을 이용하여 서울대도시권을 서울, 인천, 경기로 계층화하여 집단 간 불균등도 기여도를 분석하였으며, Park et al.(2014)는 농촌마을 시설물의 지역 격차를 분석하였다.

III. 신재생에너지의 이론적 잠재량 분포와 집중도

1. 이론적 잠재량 현황과 분포

먼저 신재생에너지의 이론적 잠재량의 현황과 공간적 분포를 살펴보기 위해 신재생에너지자원 데이터센터 잠재량 데이터를 시군구별로 도시하였다(Figure 1). 태양광의 경우 전국에 걸쳐 분포하고 있으나, 풍력의 경우 풍력밀도 200 W/m² 이상의 지역만 표현되어 동해안 지역과 일부 내륙지역에 분포하고 있다. 바이오매스 중에서는 볏짚 바이오매스 잠재량은 잠재량이 큰 지역이 다른 바이오매스(축산분뇨와 음식물쓰레기)보다 더 넓게 분포하는 것으로 나타났다.

시군구별 신재생에너지 자원별 분포 현황을 분석하기 위해 각 자원데이터의 0.2×표준편차 간격 구간으로 히스토그램을 그려 살펴보았으며(Figure 2), 구체적인 지역비중과 잠재량비중을 비교하고 분포를 나타내는 통계치인 최대 최소 차이, 평균, 표준편차, 분산, 왜도, 첨도를 분석하였다(Table 3 ~ Table 7).

태양광 잠재량의 분포를 살펴보면, 시군구별 지역의 수는 크게 차이가 나지 않으나, 잠재량은 군지역이 가장 높은 비중(57%)을 차지하고 구지역이 가장 낮은 비중(3%)을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 각 분포특성을 살펴보면 전국의 왜도와 첨도는 크지 않는데 반해 시, 군, 구로 구분했을 때 왼쪽으로 기울어져있는 특성을 보

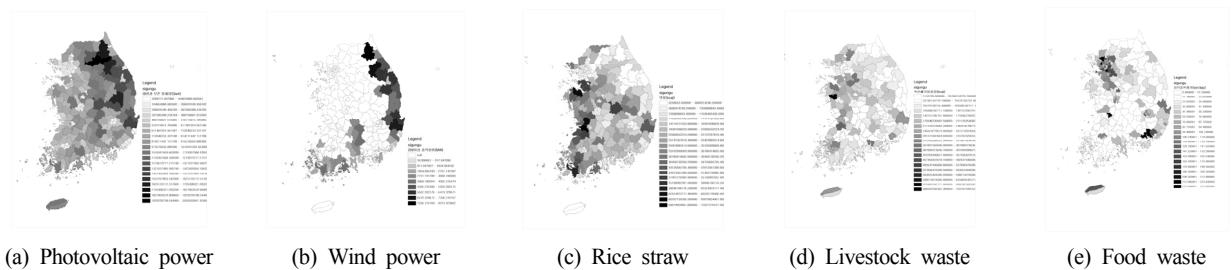


Figure 1. Distribution maps of theoretical potentials by Si, Gun, Gu

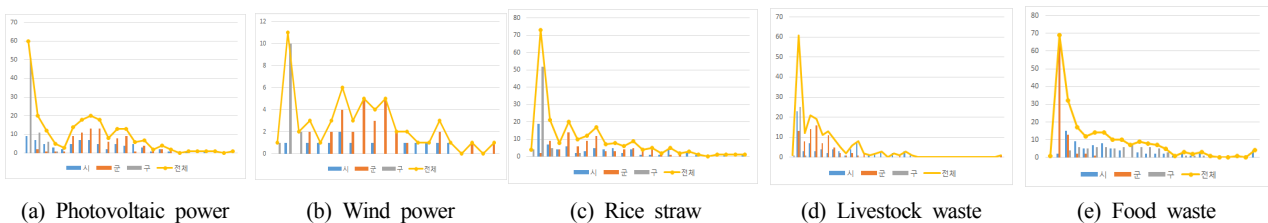


Figure 2. Histograms of theoretical potentials

였으며 기울어진 정도는 구지역이 한 값에 집중된 지역 수가 많아서 가장 크게 나타났으며, 첨도값을 통해 군지역과 구지역은 정규분포에 가까운 분포를 갖는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Theoretical potential of PV (GWh, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	230	75	86	69
Potential	1.13×10^{11}	4.45×10^{10}	6.49×10^{10}	3.81×10^9
Average	4.68×10^8	5.94×10^8	7.55×10^8	5.53×10^7
Rate of Region	100	32.61	37.39	30.00
Rate of Potential	100	39.33	57.31	3.37
max-min	2.03×10^9	1.68×10^9	1.95×10^9	2.55×10^8
Variance	1.84×10^{17}	1.74×10^{17}	1.06×10^{17}	3.09×10^{15}
Standard deviation	4.28×10^8	4.17×10^8	3.25×10^8	5.55×10^7
Skewness	0.700	0.426	1.220	1.856
Kurtosis	0.070	-0.535	3.136	3.131

풍력 잠재량은 풍력자원지도에서 추출한 지역별 해발 고도 70m에서의 평균 풍력 밀도가 $200W/m^2$ 이상인 지역의 잠재량을 분석하였다. 평균풍력 밀도가 $200W/m^2$ 이상인 지역은 230개 시군구 중 56개로 나타났으며, 이들 지역의 설비용량으로 분석하였다. 지역 개수를 살펴보면 군지역이 56개 중 30개로 54% 차지하며, 잠재량의 경우, 70%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이와 대조적으로 구지역은 지역비중은 23%이나 잠재량 비중은 2%에 불과한 것으로 나타났다. 또한 분포특성을 살펴보면 시지역이 분포하는 값이 집중되지 않아 왜도값이 가장 작은 값을 가지며 좌우 기울어지지 않고 넓게 분포한 특성을 가지며, 시군구 중 군지역이 정규분포에 가장 가까운 분포를 보였다(Table 4).

Table 4. Theoretical potential of wind power (equipment capacity MW, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	56	13	30	13
Potential	154,598	43,176	108,130	3,292
Average	2,393	3,321	3,604	253
Rate of Region	100	23.21	53.57	23.21
Rate of Potential	100	27.93	69.94	2.13
max-min	8,218	6,397	7,354	573
Variance	4,360,862	3,923,512	2,668,341	29,302
Standard deviation	2,064	1,981	1,634	171
Skewness	0.508	0.203	0.986	1.032
Kurtosis	-0.291	-1.268	1.457	1.007

바이오매스 중 볏짚의 경우, 신재생에너지자원 데이터 센터에서 제시한 각 시군구별 잠재 에너지량을 살펴본 결과 값을 가지지 않는 지역을 제외하고 총 221개 시군구를 대상으로 분석하였다. 값을 갖지 않는 구지역이 시나 군지역보다 많아 지역크기 비중에서 구지역이 23%로 나타났으며, 잠재량 비중은 2%로 매우 적게 나타났다. 시와 군지역은 각각 크기비중은 34%, 38%로 비슷하였으며, 잠재량비중도 44%, 54%로 큰 차이를 보이지 않았다. 각 시, 군, 구별 분포특성을 살펴보면, 구지역이 분산값이 작고 분포 범위가 가장 좁으며 왼쪽으로 기울어진 분포를 가지며, 첨도도 가장 높게 나타났다. 이에 반해 시지역은 농업지역을 포함한 도시지역과 도시화된 지역이 함께 공존하므로 최대, 최소값의 차이가 가장 크게 나타나 넓게 분포하는 형태를 가짐을 알 수 있다(Table 5).

Table 5. Theoretical potential of rice straw biomass (kcal, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	221	74	84	63
Potential	3.23×10^{12}	1.407×10^{12}	1.75×10^{12}	7.10×10^{10}
Average	1.46×10^{10}	2.07×10^{10}	2.13×10^{10}	1.13×10^9
Rate of Region	100	33.48	38.01	23.51
Rate of Potential	100	43.57	54.23	2.20
max-min	7.35×10^{10}	7.35×10^{10}	6.62×10^{10}	1.42×10^{10}
Variance	2.57×10^{20}	3.26×10^{20}	1.86×10^{20}	6.93×10^{18}
Standard deviation	1.60×10^{10}	1.80×10^{10}	1.37×10^{10}	0.26×10^{10}
Skewness	1.237	0.882	1.058	3.824
Kurtosis	1.137	0.143	1.214	16.847

농촌형 바이오매스 주로 인식되고 있는 축산분뇨는 볏짚보다 데이터가 없는 지역이 더 많이 존재하였다. 230개 시군구 중 데이터가 있는 지역은 189개 지역이며, 구지역은 69개 구지역 중 32개 지역만 에너지잠재량을 갖는 것으로 나타났다. 축산분뇨 바이오매스 현황을 살펴보면, 군지역인 지역크기 비중에서 44%로 가장 크게 나타났으나, 잠재량비중은 시지역이 54%로 더 높게 나타났으며, 구지역은 1%의 잠재량을 갖는 것으로 나타났다. 분포형태를 살펴보면, 시지역이 도시화와 농업화된 지역이 혼합된 지역으로 분산이 가장 크게 나타났다. 군지역은 특이값으로 인하여 오른쪽으로 꼬리가 긴 분포형태를 보이며 왜도가 4.0 이상으로 좌측으로 기울어진 분포 형태를 나타내고 있다. 구지역은 값이 작은 구간에 집중되어 분포하고 있어 최대최소값의 차가 적고 분산이 적은 정규분포에 가까운 분포를 보인다(Table 6).

Table 6. Theoretical potential of livestock waste biomass (kcal, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	189	73	84	32
Potential	1.64×10^{13}	8.84×10^{12}	7.46×10^{12}	1.22×10^{11}
Average	8.69×10^{10}	1.21×10^{11}	8.88×10^{10}	3.80×10^9
Rate of Region	100	38.62	44.44	16.93
Rate of Potential	100	53.84	45.42	0.74
max-min	7.04×10^{11}	4.00×10^{11}	7.02×10^{11}	2.30×10^{10}
Variance	1.06×10^{22}	1.36×10^{22}	8.37×10^{21}	3.17×10^{19}
Standard deviation	1.03×10^{11}	1.17×10^{11}	9.15×10^{10}	5.63×10^9
Skewness	2.117	0.778	4.090	1.770
Kurtosis	6.927	-0.518	24.151	2.962

바이오매스 중 음식물쓰레기는 신재생에너지데이터센터 바이오매스 자원데이터 중 구분되어 제공되지 않아, 2013 폐기물발생 및 처리현황(Korea Environment Corporation, 2014)에서 일당 발생하는 음식물쓰레기 양 (ton/day)으로 분석하였다. 다른 바이오매스와 달리 음식물쓰레기는 구지역이 가장 높은 잠재량 비중을 나타냈으며, 군지역이 가장 낮은 잠재량 비중을 나타냈다. 이는 농촌지역인 군지역의 특징이 반영된 결과라 판단된다. 시지역은 최대 최소값의 편차와 분산 값이 가장 크게 나타났으며, 군지역은 평균 및 분산이 작고 집중된 분포를 보였다. 시지역보다 분산값이 작게 나타났으며, 왜도값이 0에 가까워 기울어짐이 적은 분포형태를 보였으며, 일정하게 잠재량이 분포하는 것으로 나타났다(Table 7).

Table 7. Theoretical potential of food waste biomass (ton/day, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	230	75	86	69
Potential	11,138	5,130	688	5,320
Average	48.42	68.40	8.00	77.10
Rate of Region	100	32.61	37.39	30.00
Rate of Potential	100	46.06	6.18	47.76
max-min	235.2	226.8	42.9	169.3
Variance	2,634.69	3,606.75	63.89	1,489.28
Standard deviation	51.33	60.06	8.00	38.59
Skewness	1.437	1.357	2.319	0.408
Kurtosis	1.987	1.250	6.366	-0.104

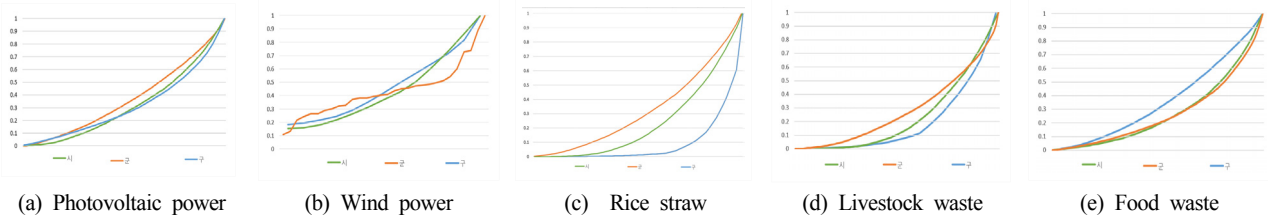


Figure 4. Lorenz curves of theoretical potentials

2. 신재생에너지 이론적 잠재량 집중도(불균등도)

우리나라 시군구별 신재생에너지의 이론적 잠재량의 불균등성을 살펴보기 위해 시, 군, 구별 자료를 통해 지니계수를 산정하였으며 그 결과는 Figure 3과 같으며, 로렌츠 곡선은 Figure 4와 같다.

태양광의 경우 구지역에서의 불균등성이 많이 나타났으며, 풍력은 시지역, 군지역, 구지역 각각에서는 균등하게 분포된 것으로 나타났다. 대표적인 농부산물인 볏짚과 축산분뇨는 도시지역인 구지역에서 0.79와 0.66으로 가장 큰 지니계수 값을 보여 불균등성이 큰 것으로 나타났으며, 농촌지역인 군지역에서도 축산분뇨의 경우 0.4를 넘는 지니계수 값을 보였다. 음식물쓰레기의 경우 구지역에서 가장 균등하게 분포하는 것으로 나타났다.

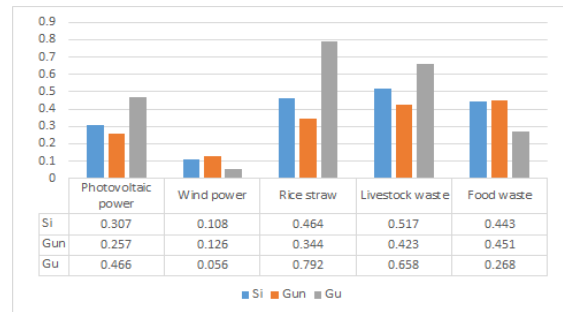


Figure 3. Regional Gini's coefficients of theoretical potentials

전체 지니계수에 대한 각 요인들의 기여도를 식(1)을 이용하여 집단 내 요인과 집단 간 총 요인으로 구분하여 산정하였으며, 그 결과 Table 8와 같이 나타났다. 집단 내 지니계수와 집단 간 지니계수를 더한 값이 각 신재생에너지 자연잠재량의 불균등성을 나타내는 지니계수로 각 자원의 집중정도를 알 수 있다. 집중정도가 낮고 불균등성이 가장 적은 자원은 풍력자원으로 나타났으나, 태양광과 음식물쓰레기와 그 값이 크게 차이가 나지 않았다. 또한 분석대상인 모든 신재생에너지의 자연잠재량에서 집단 간 요인이 66%에서 78%를 차지하고 있어, 시지역, 군지역, 구지역간의 자원의 분포에 큰 격차가 존재함을 알 수 있다.

집단 간 요인이 가장 불균등한 신재생에너지 자원은 축산분뇨로 나타났으며, 집단 간 요인이 66%, 집단 내 요인이 34%를 기여하는 것으로 나타났다. 이는 축산분뇨는 230개 시군구에서 가장 불균등한 분포를 보이는 동시에 시그룹, 군그룹, 구그룹 간의 요인뿐 만 아니라 집단 내에서도 불균등한 분포를 가짐을 알 수 있다.

Table 8. Factor's contribution to theoretical potentials inequality

Resources	Sum	Within sub-regional inequality	Between sub-regional inequality
Photovoltaic power	0.480	0.102(21.34%)	0.377(78.66%)
Wind power	0.420	0.114(27.21%)	0.306(72.79%)
Rice straw	0.551	0.147(26.61%)	0.404(73.37%)
Livestock waste	0.583	0.199(34.13%)	0.383(65.69%)
Food waste	0.492	0.120(24.39%)	0.372(75.61%)

IV. 소규모 신재생에너지 기술적 잠재량의 분포와 불균등성

1. 소규모 신재생에너지 기술적 잠재량의 분포

앞서 자연적으로 지역에 잠재된 신재생에너지 이론적 잠재량의 현황과 분포, 시군구 집단에 따른 불균등성(집중도)을 살펴보았다. 그러나 이러한 이론적 잠재량은 실제 보급이 가능한 소규모 시설 등에 의해 얻을 수 있는 잠재량과는 차이가 존재한다. Table 2에서 제시한 가정을

적용한 230개 시군구가 가질 수 있는 지붕 태양광, 도로변 풍력, 그리고 바이오매스 자원의 잠재량을 산정하여 지역별 분포를 살펴보았다(Figure 5). 또한 각 자원의 잠재량을 0.2×표준편차를 구간으로 히스토그램을 작성한 결과(Figure 6) 바이오매스 자원들은 태양광과 풍력과 같은 자연 자원보다 오른쪽 꼬리가 긴 분포형태를 보였다.

먼저 태양광의 경우, 건폐율과 지붕 면적, 모듈 효율을 적용한 지붕태양광의 잠재량 현황을 살펴보면 이론적 잠재량보다 군지역의 잠재량 비중이 줄어들고 구지역의 잠재량 비율이 증가한 것을 살펴볼 수 있다. 평균을 비교할 때 시지역이 가장 큰 값을 가지고 있고 분포의 기울임이 적어 태양광 에너지 보급에 유리할 것으로 판단된다. 시지역과 군지역은 특이값으로 인하여 분산값이 크게 나타났으며, 구지역은 값의 범위가 좁고 분포하여 왼쪽으로 치우쳤으나 정규분포에 가까운 분포를 보였다.(Table 9).

도로변에 소규모 풍력장치를 설치함을 가정으로 살펴본 도로변 풍력잠재량은 이론적 잠재량과 달리 시지역이 48%로 가장 큰 잠재량 비율을 가지는 것으로 나타났으며, 구지역의 잠재량 비율도 매우 높게 나타났다. 군지역은 35%의 잠재량을 가지고 있으나, 분포형태가 뾰족하게 집중된 분포형태로 나타났다(Table 10). 잠재량의 평균값 크기를 비교하면 시지역, 군지역, 구지역 순으로 나타났다. 특히 구 지역은 이론적 잠재량 비중이 2%였는데 기술적 잠재량 중 17%로 잠재량 비중이 증가하였는데 이를 통해 소규모 발전설비의 보급이 효율적임을 예상할 수 있다.

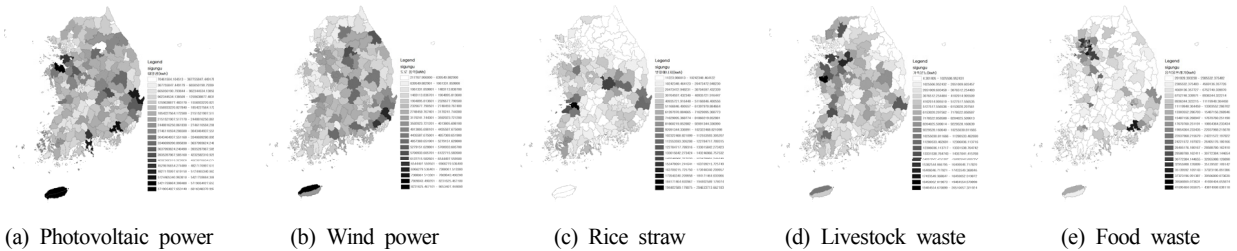


Figure 5. Distribution maps of technical potentials by Si, Gun, Gu

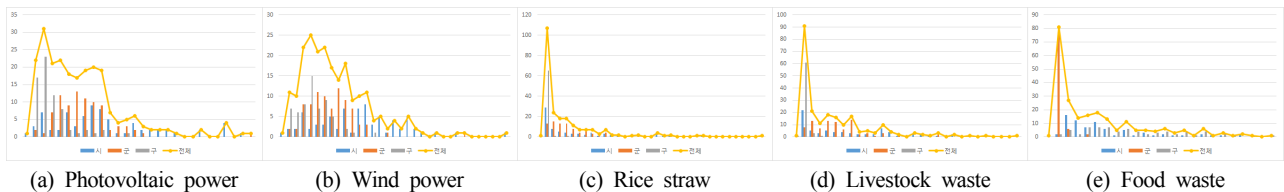


Figure 6. Histograms of technical potentials

Table 9. Technical potential of rooftop PV (kwh, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	230	75	86	69
Potential	3.28×10^{11}	1.56×10^{11}	1.31×10^{11}	4.15×10^{10}
Average	2.08×10^9	1.52×10^9	6.01×10^8	1.42×10^9
Rate of Region	100	32.61	37.39	30.00
Rate of Potential	100	47.50	39.84	12.66
max-min	5.94×10^9	5.71×10^9	5.88×10^9	2.40×10^9
Variance	1.29×10^{18}	1.97×10^{18}	6.35×10^{17}	2.30×10^{17}
Standard deviation	1.14×10^9	1.40×10^9	7.97×10^8	4.80×10^8
Skewness	1.618	0.915	2.189	2.076
Kurtosis	3.365	0.450	10.563	4.791

Table 10. Technical potential of roadside wind power

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	220	75	84	61
Potential	4.64×10^8	2.23×10^8	1.64×10^8	7.69×10^7
Average	2,107,428	2,971,227	1,950,713	1,261,183
Rate of Region	100	34.09	28.18	27.73
Rate of Potential	100	48.06	35.34	16.59
max-min	8,435,640	8,435,640	6,695,148	3,137,513
Variance	1.78×10^{12}	2.59×10^{12}	8.63×10^{11}	3.78×10^{11}
Standard deviation	1,333,537	1,607,907	929,245	615,193
Skewness	1.444	0.614	1.899	0.907
Kurtosis	3.183	0.886	9.195	1.645

한편 바이오매스 중 볏짚 잠재량은 2010년 농업면적 조사의 논벼 재배면적과 2010년 농림농어업총조사 시군구별 볏짚 처리현황 중 판매와 기타처리 비율을 기준으로 Table 2의 가정을 통해 잠재량을 산정하였다. 그 결과 지역 크기는 37%를 차지하는 군지역이 48%의 잠재량을 가지며, 33%를 차지하는 시지역이 50%를 갖는 것으로 나타나 시지역의 잠재량이 더 큰 것으로 나타났다. 또한 시지역의 평균값이 군지역의 평균값보다 더 높게 나타났다. 이는 군지역에서 볏짚의 비료 및 사료로 사용하는 비율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한 분포특성에서도 시지역이 왜도값이 작고 첨도값이 정규분포에 가장 가까운 것으로 나타났다(Table 11).

축산분뇨 바이오에너지 잠재량은 2010 농림어업총조사 가축사육두수를 통해 분뇨량을 추정하여 신재생에너지데이터센터의 잠재량보다 보다 많은 지역에서 잠재량을 갖는 것으로 나타났다. 분포 현황을 살펴보면 시지역이 잠재량의 52%를 차지하고 군지역이 46% 차지하는 것으로 나타났으며, 시지역의 분산값이 더 크고 군지역은 첨도값이 10으로 집중된 분포형태를 나타내고 있다(Table 12). 평균잠재량의 크기는 시지역과 군지역의 차이가 크지 않으나 일부 지역에 집중된 자원의 분포형태를 고려한 바이오 에너지 발전시설의 입지가 필요할 것이다.

Table 11. Technical potential of rice staw biomass (kwh, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	229	75	85	69
Potential	4.51×10^9	2.25×10^9	2.18×10^9	8.20×10^7
Average	1.97×10^7	3.00×10^7	2.56×10^7	1,188,703
Rate of Region	100	32.75	37.12	30.13
Rate of Potential	100	49.91	48.27	1.82
max-min	2.05×10^8	2.05×10^8	1.41×10^8	2.26×10^7
Variance	9.17×10^{14}	1.63×10^{15}	6.21×10^{14}	8.69×10^{12}
Standard deviation	3.02×10^7	4.03×10^7	2.49×10^7	2.95×10^6
Skewness	2.694	1.992	2.263	5.744
Kurtosis	9.219	4.597	6.713	40.599

Table 12. Technical potential of livestock waste (kwh, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	227	75	86	66
Potential	6.83×10^8	3.56×10^8	3.15×10^8	1.14×10^7
Average	3,007,590	4,744,877	3,668,110	172,722
Rate of Region	100	33.04	37.88	29.07
Rate of Potential	100	52.12	46.20	1.67
max-min	2.05×10^7	1.71×10^7	2.04×10^7	1,841,906
Variance	1.38×10^{13}	2.03×10^{13}	9.50×10^{12}	1.10×10^{11}
Standard deviation	3,721,271	4,508,976	3,082,362	332,015
Skewness	1.750	0.834	2.506	3.101
Kurtosis	3.430	-0.173	10.340	11.210

음식물쓰레기를 통한 신재생에너지 잠재량은 도시지역인 구지역이 55%를 차지하고 있고 집중되지 않는 분포를 보이고 있어 도시지역의 신재생에너지원으로 적합한 것으로 판단되었으며, 군지역은 가장 적은 비중인 6%의 잠재량을 갖고 잠재량의 수치도 작은 값에 집중된 분포 형태를 보이고 있었다. 시지역과 구지역 분포는 첨도값이 낮게 나타나 잠재량이 균등한 특성을 보였으며, 구지역이 음식물 쓰레기양의 편차가 시지역보다 크게 나타나 최대최소값 차가 크고 분산이 큰 형태를 보이고 있다(Table 13).

Table 13. Technical potential of Food waste (kwh, %)

	Total	Si	Gun	Gu
No. of regions	230	75	86	69
Potential	2.06×10^9	8.19×10^8	1.19×10^8	1.13×10^9
Average	8,972,048	1.09×10^7	1,378,803	1.63×10^7
Rate of Region	100	32.61	37.39	30
Rate of Potential	100	39.70	5.75	54.56
max-min	4.37×10^7	3.76×10^7	7,033,667	4.20×10^7
Variance	9.77×10^{13}	8.34×10^{13}	1.19×10^{12}	1.03×10^{14}
Standard deviation	9,883,662	9,132,898	1,092,954	1.01×10^7
Skewness	1.435	1.506	3.242	0.692
Kurtosis	1.375	1.760	13.761	-0.254

2. 소규모 신재생에너지 기술적 잠재량 집중도 (불균등도)

우리나라 시군구별 각 지역에 보급 가능한 소규모 신재생에너지의 기술적 잠재량의 불균등성을 시, 군, 구별 자료를 통해 지니계수를 산정하고 로렌츠곡선을 그려 살펴보았다(Figure 7, Figure 8). 가장 작은 지니계수 값을 가진 자원은 도로변 풍력 자원이었으며, 그 다음으로 지붕태양광으로 나타났다. 이러한 자연적 자원은 전국 단위의 적극적인 지원정책이 유용함을 예상할 수 있었다. 음식물쓰레기의 지니계수를 살펴보면, 시지역에서는 불균등하게 자원이 분포하고 있으나 군지역과 구지역에서는 시지역보다 균등한 분포를 갖는 것으로 나타났다. 벚짚과 축산분뇨는 구지역에서는 0.7이상의 불균등성(집중도)이 큰 것으로 나타났으며, 시지역도 0.5이상의 지니계수 값을 가져 불균등한 분포를 가짐을 알 수 있었다.

전체 지니계수에 대한 각 요인들의 기여도를 집단 내 요인과 집단 간 총 요인으로 구분하여 이러한 불균등성이 어떠한 요인에 의한 것인지 살펴보았다(Table 14). 먼저 집단 간 및 집단 내 지니계수 값의 합인 각 자원의 지니계수 값(전체 합)을 살펴보면 축산분뇨가 가장 높고 풍력이 가장 낮은 지니계수 값을 가짐을 알 수 있다. 앞서 시군구별 살펴본 바와 같이 풍력이 가장 균등하게 분포된 신재생에너지자원임을 알 수 있다.

집단 내 요인과 집단 간 요인의 비중을 살펴보면, 이론적 잠재량에서의 불균등 요인과 유사하게 집단 간 요

인이 66%에서 78%를 차지하고 있어, 시지역, 군지역, 구지역간의 자원의 분포에 큰 격차가 존재함을 알 수 있다. 자원 중에서는 축산분뇨가 집단 간 요인이 가장 큰 것으로 나타났으며, 벚짚이 집단 내 요인 비중이 가장 높은 것으로 나타나 집단내의 불균등한 분포 특성을 가짐을 알 수 있었다.

Table 14. Factor's contribution to technical potentials inequality

Resources	Sum	Within sub-regional inequality	Between sub-regional inequality
Rooftop photovoltaic power	0.411	0.111 (27.01%)	0.300 (72.99%)
Roadside wind power	0.334	0.094 (28.14%)	0.239 (71.56%)
Rice straw	0.581	0.190 (32.73%)	0.391 (67.27%)
Livestock waste	0.617	0.164 (26.58%)	0.452 (73.26%)
Food waste	0.562	0.119 (21.17%)	0.443 (78.83%)

기술적 잠재량의 불평등도와 이론적 잠재량의 불평등도를 비교한 결과, 태양광, 풍력, 벚짚바이오매스는 지니계수가 감소하였으나 축산분뇨와 음식물쓰레기의 경우 증가한 것을 알 수 있었다. 특히 태양광 에너지의 경우 집단 간 요인에서 지니계수 값이 많이 줄어들었으며, 음식물쓰레기의 경우 집단 간 요인이 많이 증가한 것을 볼 수 있다. 이러한 집단 간 요인의 지니계수 값이 큰 자원은 시, 군, 구별 차별화된 정책 지원이 필요한 신재생에너지자원이라 할 수 있다.

V. 결 론

신재생에너지 자원에 관한 다양한 연구 및 정책이 이루어지고 있으나 아직까지 우리나라는 신재생에너지원의 발전비율이 매우 적은 수준이다. 본 연구에서는 신재생에너지 비중을 확대하기 위해서는 자원의 분포와 자원의 집중도에 따른 차별적인 정책이 필요하므로 시군구별 잠

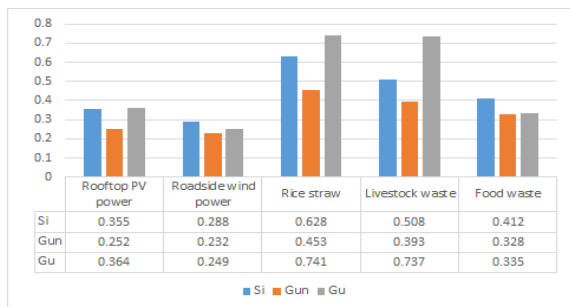


Figure 7. Regional Gini's coefficients of technical potentials

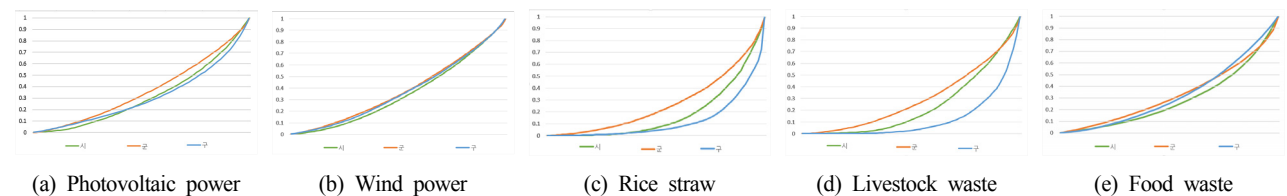


Figure 8. Lorentz curves of technical potentials

재량분포를 분석하고 지니계수를 통해 지역 간 불균등도를 비교분석하였다.

먼저 이론적 잠재량에서는 대상으로 한 태양광, 풍력, 볏짚 바이오매스, 축산분뇨 바이오매스, 음식물쓰레기 바이오매스에서 모두 0.4 이상의 지니계수를 나타냈으며, 특히 집단 간 요인이 크게 나타났다. 이 중 태양광과 풍력은 보다 작은 지니계수를 보여 다른 자원에 비해 불균등성이 적은 것으로 나타났다.

시, 군, 구를 구분하여 지니계수를 산정한 경우, 풍력의 지니계수가 매우 낮게 나타났으며, 구지역의 음식물쓰레기의 경우도 지니계수 값이 적어 균등한 자원분포 상태를 나타내었다.

소규모 발전시설을 통해 보급 가능한 기술적 잠재량을 분석한 결과, 지붕태양광과 도로변 풍력의 경우 구지역이 차지하는 잠재량비중이 크게 상승하였으며, 다른 자원에 비해 불균등성이 낮아 보급에 유리한 것으로 판단된다.

기술적 잠재량에서도 집단 내 요인보다는 집단 간 요인이 67%~79%를 차지하여 시군구별 차별화된 정책지원이 필요한 것을 예상할 수 있었다. 축산분뇨의 경우 지니계수 값이 크고 집단 간 요인이 매우 큰 자원으로 분석되어, 축산분뇨를 활용한 신재생에너지 보급은 넓은 지역에 걸쳐 지원되는 범용적인 정책보다는 집중된 지역을 대상으로 한 정책이 적합할 것으로 판단된다.

이와 같이 본 연구에서는 신재생에너지 잠재량의 지역별 분포를 살펴보고 지니계수를 통해 지역 간 불균등도를 비교분석하고 이를 통해 정책개발 및 지원방안 모색에 도움이 되고자 하였다. 다만 축산분뇨, 음식물쓰레기의 기술적 잠재량 산정 시 지역별 실제 활용 가능 자원량의 데이터를 적용하지 못한 한계를 갖고 있다.

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A3010432)

References

1. Chun, S. H., Ahn, J. W., Kim, W., Cho, S. Y., 2012, Life Cycle Cost Analysis about Renewable Energy Facilities Combination of Photovoltaic system, Solar thermal system and Geothermal system, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 12(1), 105-112.
2. Dagum, C., 1997, A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio, Empirical Economics, 22, 515-531.
3. Han, S. Y., 2006, An analysis of degree of visitor concentration of forested national parks using the Gini coefficients and lorenz curve. Journal of Korea Forest Society, 95(4), 476-483.
4. Kim, J. G., Ryou, Y. S., Kang, Y. K., Kim, Y. H., Jang, J. K., Kim, H. T. and Lee, S. K., 2012, Effect of by new and renewable energy utilization on CO₂ reduction in rural-type green village, Journal of the Organic Resource Recycling Association, 20(2), 44-52.
5. Kim, J. G., Ryou, Y. S., Kang, Y. K., Kim, Y. H., Jang, J. K., Kim, H. T., Seo, K. W., Lee, S. K., Cho, H. J. and Kang, J. W., 2011, CO₂emission analysis from horticultural facilities & agricultural machinery for spread of new and renewable energy in rural-type green village, Journal of the Organic Resource Recycling Association, 19(1), 86-92.
6. Korea Energy Management Corporation, 2014, "New & Renewable Energy Statistics 2013", Gyeonggi.
7. Korea Environment Corporation, 2014, "National waste generation and disposal status in 2013", Incheon.
8. Korea Institute of Energy Research, 2007, Wind power resource map(ARC GIS data).
9. Korea Institute of Energy Research, 2013, "The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System", Daejeon.
10. Korea institute of planning & evaluation for technology in food, agriculture, forestry & fisheries, 2010, "Basic survey on biomass utilization in Korea", Seoul.
11. Lee, K. H., Ryu, S. H., Yang, J. H., Study on the Mitigation Amount of the LCCO₂ Estimation on the Renewable Energy System, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 26(6), 297-304.
12. Lee, D. S. and Moon, T. H., 2015, A Comparative Study on Renewable Energy Policies using System Dynamics Modelling - Focusing on Feed-In Tariff(FIT) and Renewable Portfolio Standards(RPS) policies-, Journal of the Korea Planning Association, 50(6), 173-187.
13. Lee, J. J., 2007, "Production of Fuels from an Agricultural by-Product Biomass", Transactions of the

- Korean Hydrogen and New Energy Society, 18(1), 85-94.
14. Lee, J. M. and Suh, K., 2015, Evaluation and Comparison of the Regional Technical Potentials of Renewable Energy for Energy Self-sufficient Cities, *Journal of Korea Planning Association*, 50(6), 189-201.
 15. Lee, J. G. and Lee, C. Y., 2009, "The principles of economics", Moonwoosa.
 16. Lee, S. H. and Park, J. H., 2011, Investigating multi-attributes for expanding new renewable energy in agricultural sectors : Applying the analytic hierarchy process, *Journal of Agricultural Science*, 38(1), 183-190.
 17. Lee, S. H., Choi, J. Y., Oh, Y. G. and Bae, S. J., 2010, Understanding distributional attributes of rural amenity resources using Gini's coefficient, *Journal of the Korean Society of Rural Planning*, 16(2), 57-64.
 18. Lee, S. H. and Park, J. H., Investigating multi-attributes for expanding new renewable energy in agricultural sectors : Applying the analytic hierarchy process, *Journal of Agricultural Science*, 38(1), 183-190.
 19. Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N., & Porro, G., 2012. "US renewable energy technical potentials: a gis-based analysis", *Contract*, 303, 275-3000.
 20. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2013, "Measures against manure recycling", Sejong.
 21. Ministry of Environment, 2012. "Organic waste energy utilization facilities", Sejong.
 22. Ministry of Environment, 2013, "National waste statistics survey", Sejong.
 23. Ministry of Trade, Industry and Energy, 2014, "New & renewable energy white paper", Gyeonggi.
 24. Park, N. B., Park, S. Y., Choi, D. G., Kim, H. G. and Kang, Y. H., 2016, Business Model of Renewable Energy Resource Map, *Solar Energy*, 36(1), 39-47.
 25. Park, M. J., Yun, D. S., Chin, H. S. and Shin, M. J., 2014, An analysis on the inter and intra regional inequalities of rural area facility by a Gini Decomposition method, *Journal of the Korean Society of Rural Planning*, 20(3), 11-20.
 26. Park, W. G., Shin, J. D., Lee, S. I., Kwon, S. I. and So, K. H., 2013, Investigation for regional distribution of potential biomass generation and energy in the agricultural sector, Poster presented at the annual meeting for Korean Society of Environmental Agriculture, Gangwon.
 27. Ryu, H. K., 2004, Gini coefficient, relative Gini coefficient, and theil's entropy index for income equality analysis, *Applied Economics*, 6(3), 5-30.
 28. Statistics Korea, 2010, "Census of agriculture, forestry and fisheries", Daejeon.
 29. Sung, H. G. and Kim, H. J., 2006, Transition pattern of local fiscal inequalities in the Seoul metropolitan region by a Gini decomposition method, *Journal of the Korea Planning Association*, 41(6), 195-212.
 30. Yoon, I. J. and Kim, Y. S., 2014, Measurement of environmental inequalities between the regions in Korea : Using Gini coefficient, presented at 2014 Winter Conference of Korean Association for Policy studies.
 31. New & renewable energy data center, Accessed Dec. 1, 2014. <http://kredc.kier.re.kr/kier>.
-
- Received 19 February 2016
 - First Revised 14 March 2016
 - Second Revised 5 May 2016
 - Finally Revised 27 May 2016
 - Accepted 27 May 2016