

# 에너지 자족 도시 형성을 위한 신재생에너지의 기술적 잠재량 산정과 지역별 비교\*

## Evaluation and Comparison of the Regional Technical Potentials of Renewable Energy for Energy Self-sufficient Cities

이지민\*\* · 서교\*\*\*  
Lee, Jimin · Suh, Kyo

### Abstract

Fossil energy depletion, environmental pollution and climate change drive renewable energy development for future generation. Although there are several studies about renewable energy potential, these are focused on theoretical energy potentials that is not applicable to the regional planning. In this study, we evaluate regional technical energy potentials for various renewable energy sources. As the results, rooftop sunlight is the most important renewable energy source among available renewable resources(rooftop sunlight, roadside wind power, small hydro power and biomass). Also the effectively available resources are different depending on the geographical characteristics of all the cities(gu), small cities(si) and rural regions(gun). If renewable energy is autonomously developed in each region, only 44% of regions (102 among 230 regions) will be self-sufficient in electricity consumption.

*키 워 드* ▪ 신재생에너지, 자족도시, 에너지 소비, 기술적 잠재량, 지역 에너지

*Keywords* ▪ Renewable energy, Self-sufficient city, Energy consumption, Technical potential, Regional energy

### I. 서 론

인구 증가와 과학 발달, 삶의 질 향상에 따른 자원의 소비 증가는 환경오염, 기후변화, 자원고갈이라는 문제를 야기하였으며, 미래세대를 고려한 지속 가능한 발전이 필요하다는 공감대가 형성되고 있다. 이러한 지속가능 발전에 대한 인식, 화석에너지의 고갈과 환경오염, 원자력 에너지원의 안전성에 대한 사회적 관심은 미래에너지원인 신재생에너지에 대한 관심 또한 확대되고 있다.

이러한 환경에 대한 인식은 지역계획 분야에도 확대되고 있으며, 경제 논리에 따른 개발 계획이 아닌 환경을 고려한 지속가능성을 추구하고 있다. 이를 위해 친환경 공간, 생태 환경과 공존하는 계획뿐만 아니라 온실가스로 인한 기후변화문제가 대두되면서 저에너지 친환경도시인 제로시티 개념이 등장하였다(윤정방 외, 2010). 제로시티는 주로 탄소제로시티를 의미하며, 신도시 개발의 경우 토지이용 단계부터 녹지계획 등에 이러한 개념이 적용되고 있다. 대표적인 제로시티 계획으로는 재생에너지

\* 본 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A3010432)

\*\* Seoul National University(habi1004@snu.ac.kr)

\*\*\* Seoul National University(Corresponding author: kyosuh@snu.ac.kr)

를 활용한 마스다르 시티가 있으며, 독일의 유데, 스웨덴의 말뫼, 영국 베드제드 등이 있다.

우리나라도 이와 유사한 에너지 자립마을을 조성하기 위해 정부사업으로 환경에너지마을(기존 에너지 자립 녹색마을)사업을 추진 중이며, 친환경에너지 타운을 2017년까지 20개소 만드는 것을 목표로 하고 있다(국무조정실, 2014). 그러나 이러한 사업들은 신규 중심시설을 유치하거나 기존 시설을 중심으로 사업을 계획하는 형태로 진행되고 있어 잠재된 신재생에너지를 적극적으로 활용하는 지역공간 계획과는 거리가 있다.

정부의 정책과 사업들뿐만 아니라 지역 계획 및 에너지원의 개발과 다양화를 위해 잠재된 신재생에너지에 관한 다양한 연구가 진행되어왔다. 에너지관리공단(KIER)의 신재생 에너지자원 데이터 센터에서는 전국 시군구를 대상으로 잠재량을 산정하여 자료를 제공하고 있으며 박우균 외(2013)의 농업부문 바이오매스 에너지에 관한 연구에서는 지역별 바이오매스 에너지 분포 특성을 다루고 있다. 그러나 이들 연구는 각각 이론적 잠재량을 대상으로 하거나 농업부산물만을 연구 대상으로 제한한 한계를 가지고 있다. 박종진(2013)과 소진영(2013)은 각각 신재생에너지 잠재량 및 바이오폐기물에너지원 잠재량을 산정하면서, 단계의 구분 및 설정에 각기 다른 기준을 적용하여 기술적 잠재량, 실제 활용 가능량을 산출하였다. 이러한 연구들도 대상의 한계

또는 전국 총량만을 다루고 있어 지역별 분포를 포함하지 않고 있다. 대상이 특정지역으로 한정된 연구로는 인천광역시(2008)의 경우가 있으며, 지역에너지계획을 위해 구체적 분석과 실천 계획을 수립한 바 있다.

이와 같이 신재생에너지와 관련한 연구는 잠재량 산정 및 개발 방안에 대해 다양한 연구가 진행되었으나, 주로 이론적 잠재량이 강조되었으며, 가용 잠재량에 대한 연구도 존재하였으나(박종진, 2013; 소진영, 2013) 이들 연구에서는 지역을 대상으로 한 분석은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 에너지 자립도시 계획을 위해 지역별 신재생에너지 기술적 잠재량을 산정하고 농촌과 도시, 시도별, 시군구별 잠재량의 분포를 비교 분석하고자 한다.

## II. 잠재량의 정의와 에너지 자족 도시

### 1. 에너지 잠재량

에너지 잠재량의 정의에는 잠재량을 산정하는 기준과 실현가능 정도에 따라 다양한 정의가 존재한다. 각 연구마다 그 기준이 상이하거나 구분하는 레벨이 다르기도 하지만 크게 이론적 잠재량, 지리적 잠재량, 기술적 잠재량, 경제적 잠재량, 실현가능한 시장 잠재량으로 구분된다(Table 1).

가장 많이 언급되고 있는 잠재량은 이론적 잠재

Table 1. Potential levels of literatures and stage of this study

	Rybach, L.(2010)	Hoogwijk, M., & Graus, W. (2008)	Resch, G., et al(2008)	Y. H. Kang(2013)	This study
the lowest Potential level	Theoretical	Theoretical	Theoretical	Natural	-
	-	Geographical	-	Usable	-
↓	Technical	Technical	Technical	Technical	© Technical & available in local scale
the highest Potential level	Economic	Economic	-	-	-
	Sustainable	-	-	-	-
	Developable	Market	Realizable	Supply available	-

량과 지리적 잠재량이다. 이론적 잠재량은 부존되어 있는 에너지의 총량을 뜻하기 때문에, 에너지기술연구원의 강용혁(2013)의 연구에서는 이론적 잠재량을 부존 잠재량이라 칭하기도 하였다. 계산이 단순하고 그 값이 변화하지 않아 많은 연구에서 기본이 되는 잠재량이다. 이론적 잠재량 다음 레벨은 지리적 잠재량으로 토지이용이나 개발가능지역의 지리적 제약 요건을 적용한 잠재량이다. 태양광을 예들 경우, 이론적 잠재량은 수평면 일사량에 면적을 곱한 값이 해당하며, 지리적 잠재량은 수평면 전 일사량에 임야 및 하천 등 개발 불가능한 면적을 제외한 거주지 면적을 곱한 값에 해당한다.

다음 레벨로는 지리적 잠재량에 기기의 효율을 고려한 기술적 잠재량이 있으며, 예상되는 기술의 비용과 같은 경제적 제약을 고려한 잠재량이 경제적 잠재량에 해당한다. 태양광의 기술적 잠재량은 임야 및 하천을 제외한 면적 중 남향에 해당하는 경사면 일사량과 시스템 변환 효율을 곱한 값에 해당한다. 이러한 기술적 잠재량은 정책 지원 등을 통한 현실화 이전에 가능한 다양한 잠재량을 비교하기 적합한 레벨로 판단된다. 잠재량 중 최종적 실현가능 잠재량은 현실적 제약을 고려하여 실현될 수 있는 에너지 량에 해당하는데 연구자에 따라 지원금 등 정책, 수요, 투자, 경제성, 안전 등을 고려한 레벨에 해당한다.

본 연구에서는 경제 및 정책 도입 가정이 어려우므로 최종 실현가능 잠재량이 아닌 지역 단위에서 현실적으로 보급 가능한 조건을 기준으로 가능한 기술적 잠재량을 산정하고자 하였다. 본 연구에 적용된 잠재량 기준은 기존 연구에서의 잠재량 레벨과 비교하면 Table 1과 같다.

## 2. 에너지 자족도시

지속가능성을 고려한 도시를 표현하는 다양한 개념

이 존재하는데 미래세대에 환경을 물려주고 생태적 환경 및 사회적 목표를 강화한 개념의 녹색도시, 에코시티, 그린시티, 생태도시, 저에너지도시, 제로시티 등이 존재한다. 이들 개념은 각기 추구하는 내용에 차이를 보이지만 지속가능한 개발을 추구하는 도시(지역)를 의미하는 공통점을 가지며 다양한 용어가 혼용되어 사용되어진다.

본 연구에서 추구하는 에너지 자족도시와 가장 유사한 개념은 윤성환(2013)의 연구에서 제시된 '저에너지 에코시티'이다. "저에너지 에코시티"는 화석에너지 최소사용을 통한 탄소중립도시를 지향한다. 탄소중립도시란 석유나 석탄과 같은 화석에너지를 사용하지 않아 도시 전체가 배출하는 이산화탄소의 양이 다른 도시보다 현저하게 적거나, 그 도시가 배출하는 탄소량 이상으로 청정에너지를 생산해 내는 친환경도시를 말한다.

또한 '자족도시'란 모도시에 의존하지 않고 자기 유지적인 자립성을 가진 도시(박문서 외, 2011)를 의미하므로 단순히 탄소배출에 의한 의미보다 지역 내 소비를 충족하는 에너지 생산이 가능한 도시를 의미한다. 따라서 본 연구에서의 '에너지 자족도시'란 외부도시로 부터 에너지 유입을 받지 않고 도시 내 인간의 활동에 필요한 에너지를 소비하는 도시며, 동시에 화석에너지를 최소로 사용하는 친환경도시를 의미한다.

## III. 자료 및 연구 방법

### 1. 연구 범위 및 자료

신재생에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나, 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 최근 미래세대의 화석연료 고갈로 인한 에너지 문제 해결책으로 주목받고 있다. 신재생에너

지의 잠재량을 통해 지역별 에너지 자립을 분석하기 위해 먼저 에너지원 자료를 구축하고 신재생에너지잠재량을 산정하고 에너지 소비량과 비교하여 지역별 에너지 자립가능성을 분석하였다.

연구 범위로는 230개 시군구를 대상으로 하였으며, 신재생에너지 중 본 연구에서는 태양광, 풍력, 소수력, 바이오매스를 이용한 바이오에너지를 대상으로 하였다. 바이오에너지는 대표적인 자원인 벼 부산물인 벃짚과 축산 분뇨, 음식물쓰레기로 대상을 한정하였다. 목재펠릿을 이용한 신재생에너지가 존재하지만 임목 부산물을 통한 바이오에너지 계측을 위한 실제 활용자료 및 지역별 통계자료의 부재로 제외하였다. 또한 잠재력이 높은 지역의 경우, 심도에 따라 분포지역의 편차가 크고 설치 한계가 높은 특성으로 본 연구에서는 제외하였다.

자연적 잠재량이 아닌 기술적 잠재량을 고려한 지역 단위에서 보급 가능한 에너지 잠재량을 산정하기 위해 각 신재생에너지 자원에 대한 범위를 한정하였다. 태양에너지의 경우 지붕 태양광 패널로 한정하였으며, 풍력은 대규모 풍력단지가 아닌 소규모 풍력을 기준으로 도로 및 교량에 설치하는 것을

가정하였다. 소수력의 경우 유역면적이 15km<sup>2</sup> 이상의 저수지를 대상으로 하였으며, 바이오에너지의 경우에는 벃짚과 축산분뇨가 타 용도로 활용되고 있는 것을 고려하여 가용 자원량을 정하였다.

지역별 에너지 소비를 살펴보기 위해서 도별 최종에너지 소비량과 시군구별로 판매된 전력량을 기준으로 분석하였으며, 용도에 따라 구분된 에너지 소비량 자료를 이용하였다(Table 2).

## 2. 연구 방법

각 각의 신재생에너지원의 기술적 잠재량을 산정하기 위해 먼저 자원의 총량을 계산하고 자원의 에너지로 활용 가능한 자원량, 그리고 에너지 전환 및 에너지 발생 효율을 고려하여 에너지화 가능성 단계를 고려하였다(Figure 1).



Figure 1. Evaluation process

현재 적용 가능한 기술적 잠재량을 산정하기 위해 각 에너지원별 적용한 단계별 가정과 가정에 대한 값과 근거를 정리하였다. 각 가정과 값은 관련 법률, 통계, 연구 문헌 등을 참고하였다(Table 3).

태양광의 경우, 건물지붕에 설치가능 면적을 산정하기 위해 먼저 시군구별 용도지역별 면적에 건폐율을 적용하여 건축면적을 산정하였다. 건폐율은 2014년 기준 각 지자체별 조례에서 정한 값의 평균값을 이용하였다. 산정된 건축면적은 실제 건축면적과는 차이가 있을 수 있을 것으로 판단된다. 건축면적에서 지붕면적을 산정하기 위해서는 NREL 보고서(Lopez, A. et al, 2012)에서 제시한 주거지역, 상업 및 공업지역의 지붕면적 비율을 참고하였다. 또한 이 보고서에서 제시한 모듈 효율을 적용

Table 2. Data and Source

Data	Source	Year
Electric use	Korea electric power corporation	2011
Final energy consumption	Korea energy economics institute	2014
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
Reservoir status	Ministry of trade, industry and energy	2006
Photovoltaic energy(average)	Korea institute of energy research(KIER)	2010
Wind speed (average)	Korea institute of energy research(KIER)	2010

에너지 자족 도시 형성을 위한 신재생에너지의 기술적 잠재량 산정과 지역별 비교

Table 3. 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%		
Small hydro power	equipment capacity	Investigations of small hydropower	Ministry of trade, industry and energy, 2006	
	efficiency	84%		
	operation rate	35%		
Biomass	Rice straw	utilization rate	15%	Korea institute of planning & evaluation for technology in food, agriculture, forestry & fisheries(IPET), 2010
		dry weight rate	85%	Park, W., 2013
		energy basic unit	3903 kcal/kg	Park, W., 2013
		energy yield	69%	Lee, J., 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 Ccicken: 0.12 kg/day.head	Ministry of agriculture, food and rural affairs, 2013
		biogas yield	3.21 m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /ton	Resource recovery data from waste(Ministry of environment, 2012)

하여 지붕태양광 기술 잠재량을 산정하였다. 국내 지붕형태가 미국과 달라 미국의 지붕면적 비율을 적용하여 잠재량이 과다 산정될 수 있으나 모듈 효율이 지속적으로 향상하고 있어 보정계수를 두지 않았다.

풍력의 경우, 대규모 풍력단지 는 설치 가능한 지리적 제약이 크며, 지역계획에 포함하는 에너지원으

로 적합하지 않을 수 있어 소규모 풍력기기를 대상으로 산정하였다. 소규모 풍속이란 6W에서 300kW 급의 정격용량을 가진 풍력터빈으로 정의된다(박종규, 2012). 이러한 소규모 풍력시설은 아파트 단지, 도로변, 공원 등에 적용되고 있으며, 국내에서 현재 판매 설치되고 있는 기기를 기준으로 도로변에 일정한 간격으로 설치 시 얻을 수 있는 잠재량을 산

정하였다. 200W, 3kW 두 종류의 기기설치를 가정으로, 각각의 날개길이(1.2m, 2m), 회전자 면적, 도로 가로등 설치 간격 등을 고려하여 설치 간격을 결정하였으며, NREL의 보고서(Lopez, A. et al, 2012)를 참고하여 효율은 30%를 적용하였다.

최근 농업용 보 등에 설치되고 있는 소수력 에너지는 2006년 산업자원부에서 시행한 소수력 자원조사 자료를 기반으로 예상 설비용량을 산정하고 시스템효율과 가동률을 고려하여 산정하였다. 수차와 발전기 효율이 0.84-0.92로 보고되고 있으며(브리테니커 온라인) 일본의 경우 수차의 효율을 88%, 발전기 효율 97%까지 적용하고 있어(김경남과 김범수, 2010), 본 연구에서는 84%의 시스템 효율과 35%의 가동률을 가정하여 발전량을 산정하였다.

바이오매스 에너지원으로는 볏짚과 축산분뇨 그리고 음식물쓰레기를 대상으로 하였다. 먼저 재배면적, 가축수, 인구수에 발생원단위를 곱하여 자원의 양을 산정하고 논벼와 축산분뇨의 타 용도 활용을 고려하여 활용 가능한 자원 양을 대상으로 하였다. 이들 자원들은 에너지화, 자원화시설 설치가 이뤄지고 있고 실제 발전량에 대한 자료를 얻을 수 있어 잠재량산정에 이를 사용하였다.

논벼 부산물인 볏짚은 2007년 자료에 의하면 60%가 퇴비에 이용되며, 25%는 사료에 이용되고 있어(박현태 외, 2007) 이를 제외한 활용가능 비율은 15%로 적용하였으며(농림수산식품기술기획평가원, 2010), 농부산물 바이오매스를 이용한 연료물질의 생성 연구에서 나타난 에너지 수율인 69% 적용하여(이종집, 2007) 에너지 잠재량을 산정하였다.

축산분뇨는 2009년 기준 85%가 퇴비 혹은 액비로 활용되고 있어 이를 에너지화 가능 비율로 보았으며, 바이오가스화 수율계수는 6개소의 2008년부터 2012년까지의 실제 시설데이터를 활용하였다(환경부, 2012).

## IV. 분석 결과

### 1. 신재생에너지 잠재량

산정한 에너지원의 자원량과 기술적 잠재량 산정가정을 통해 지역단위 기술적 신재생에너지 잠재량을 계산한 결과 333,817 GWh/year로 나타났다. 이 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 태양광에너지로 98.21%에 해당하였다. 그 다음으로 큰 에너지원은 볏짚과 음식물쓰레기로 나타났다(Table 4).

Table 4. Evaluated technical energy potential

Resources	Potential (Gwh/year)	Rate (%)	Note (Theoretical potential)
Rooftop photovoltaic power	327,856.56	98.21	Total PV : 131,665,785 GWh (KIER)
Roadside wind power	927.27	0.28	Total wind power : 987,000GWh(Kim, H., 2008)
Small hydro power	78.37	0.02	
Rice straw biomass	2,208.81	0.66	3,237,207 Gcal
Livestock waste	682.72	0.21	16,017,862 Gcal
Food waste	2,063.57	0.62	
Total	333,817.3	100	

이러한 잠재량은 도시 지역인 구와 중소도시인 시 지역, 농촌 지역인 군 지역에 따른 중심이 되는 에너지원에 차이가 있을 것으로 판단하여 시군구 구분에 따른 각 에너지원 평균 잠재량과 각 에너지원에 얼마만큼의 비중을 가지는 지 살펴보았다. 시군구의 에너지원별 평균 잠재량을 비교한 결과 태양광은 시지역이 가장 큰 것으로 나타났으며, 구 지역은 음식물쓰레기, 군 지역은 농부산물이 주요 에너지원으로 나타났으며, 시 지역은 태양광, 농부산물, 음식물쓰레기, 도로풍력이 높게 나타나 다양

한 에너지원이 개발 가능한 것으로 나타났다 (Figure 2).

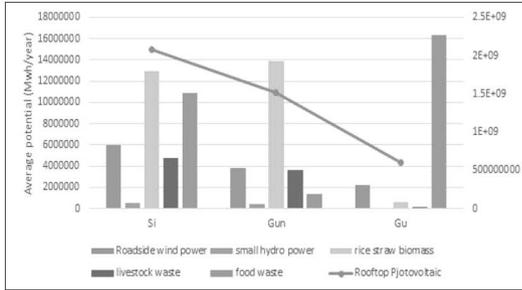


Figure 2. Average potential of regional groups

각 에너지원을 시군구에서의 비중을 살펴보면 도시지역인 구지역의 경우 음식물쓰레기로 얻을 수 있는 에너지원이 총 에너지원의 55%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 농촌지역인 군 지역의 경우 볏짚을 통한 에너지 비중이 54%를 차지하였다. 중소도시인 시 지역은 도로, 태양광, 가축분뇨, 소수력에서 모두 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타나 신재생에너지 도입에 유리한 지역으로 판단되었다 (Figure 3).

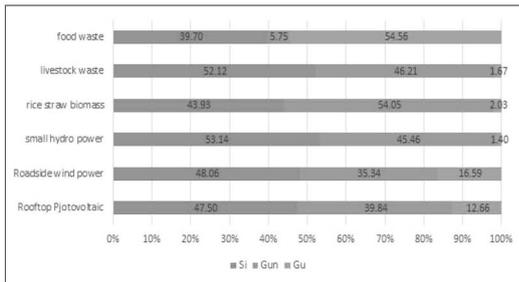


Figure 3. Proportions of renewable energy potentials

에너지원별 지역 분포를 도별로 살펴보면 태양광과 풍력의 경우 면적에 비례하여 경상북도, 경기도, 전라남도가 높은 값을 보였으며, 소수력은 경상북도와 충청남도, 농부산물은 농산물 발생량에 비례하여 충청남도, 전라남도가 높은 값을 보였다. 축산폐기물의 경우 경기도가 가장 높게 나타났으며 충청남

도와 경상북도도 비슷한 값을 보였다. 음식물 쓰레기의 경우 인구수에 비례하여 경기도가 두드러지게 큰 값을 보였다(Table 5).

시군구별로 에너지 잠재량을 살펴보면 태양광의 경우 충남당진군, 도로 풍력의 경우, 제주 제주시, 소수력의 경우 충남 서산시, 농부산물은 전북 김제시, 축산폐기물의 경우 충남 홍성군, 음식물쓰레기의 경우 서울 송파구가 가장 높게 나타났다. 또한 지역별 분포를 살펴보기 위해 Figure 4와 같이 도시화하였다. 태양광과 풍력의 경우, 면적으로 정규화 하였으며, 10단계 등간격으로 표현하였다. 지방 태양광의 경우 도시화된 서울과 대구, 부산, 울산지역이 면적에 비해 높게 잠재된 것으로 나타났으며, 도로변 풍력은 도로가 밀집한 수도권 이외의 지역만 면적대비 높게 나타났으나 전국적으로 분포에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 소수력의 경우 일부 지역 이외에는 잠재량이 미비한 것으로 나타났다. 태양, 바람, 물은 공간적 분포에 큰 차이가 없는데 반하여 바이오매스의 경우 그 차이가 크게 나타났다. 농부산물의 경우 서해안 쪽 지역에서 높은 잠재량을 보였으며, 축산분뇨의 경우 수도권 남쪽지역이 높게 분포함을 확인할 수 있었다. 또한 음식물쓰레기의 경우 도시지역이 높은 값을 보이고 있으나 많은 수의 지역이 높은 잠재량을 보이고 있었다.

## 2. 신재생에너지 기술적 잠재량이 지역별 에너지 자립에 미치는 영향

산정된 신재생에너지 잠재량이 지역별 에너지 자립에 미치는 영향 정도를 살펴보기 위해 먼저 지역별 최종 에너지 소비량을 살펴보았다. 우리나라는 총  $210 \times 10^6$  TOE를 소비하는 것으로 나타났으며, 이 중 62.3%가 산업용으로 사용되며, 수송용 17.8%, 가정 및 상업용 17.8% 사용되는 것으로 나

Table 5. Regional technical energy potential by resources(Unit: GWh)

Do	Rooftop PV	Roadside wind power	Small hydro	Rice straw	Livestock waste	Food waste	Total
Seoul	9,367.26	65.17	-	2.25	0.80	664.20	10,099.67
Busan	8,346.25	25.20	-	9.58	1.12	130.71	8,512.87
Daegu	6,768.62	23.52	2.40	12.35	6.71	93.64	6,907.24
Incheon	9,620.98	-	0.75	31.43	3.77	101.91	9,758.83
Gwangju	4,156.09	18.70	-	17.07	3.08	56.49	4,251.43
Daejeon	3,223.83	18.22	-	6.65	1.19	57.48	3,307.38
Ulsan	7,945.27	25.53	-	13.48	3.65	41.44	8,029.37
Gyeonggi	40,885.35	111.91	4.05	227.71	125.05	412.99	41,767.07
Gangwon	28,745.53	90.77	7.80	94.78	36.17	49.83	29,024.87
Chungbuk	19,094.91	69.32	7.91	116.81	41.59	49.92	19,380.46
Chungnam	36,604.35	43.20	15.69	403.74	118.31	67.40	37,252.69
Jeonbuk	21,519.60	80.72	7.34	359.90	77.78	61.81	22,107.15
Jeonnam	37,478.09	93.94	9.16	403.17	76.64	55.78	38,116.78
Gyeongbuk	49,804.85	124.02	19.07	311.99	103.48	89.77	50,453.19
Gyeongnam	33,005.72	111.79	4.11	197.83	67.70	110.76	33,497.90
Jeju	11,289.87	25.28	0.09	0.05	15.67	19.44	11,350.40

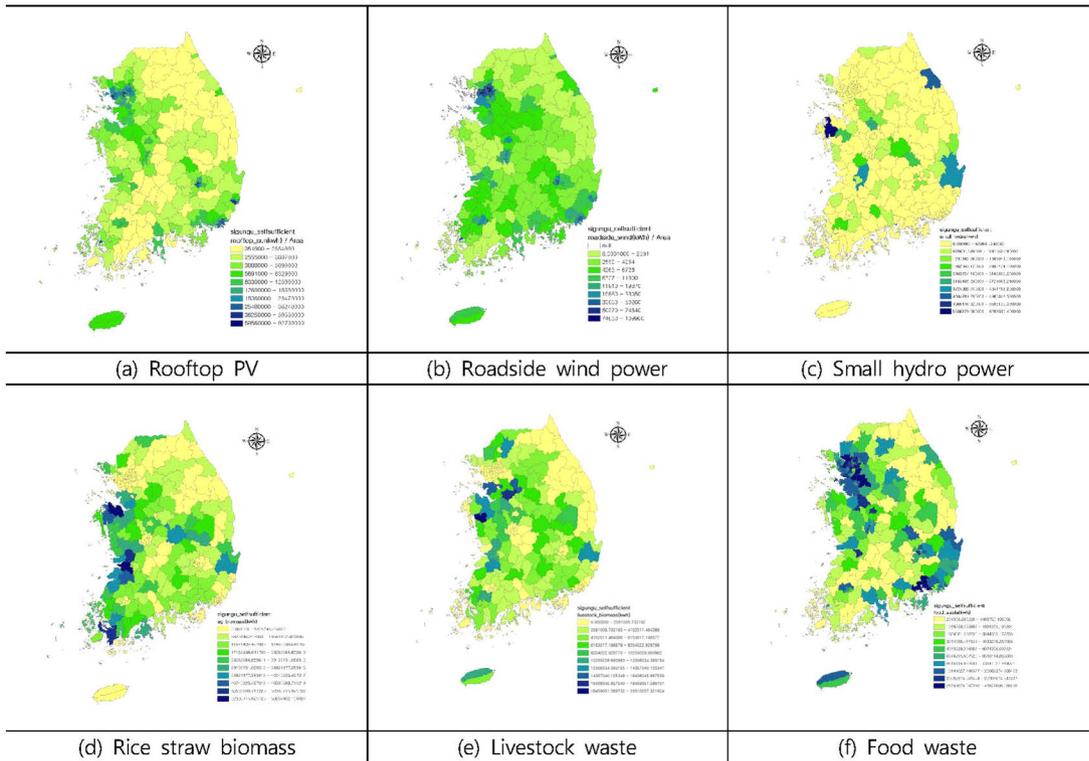


Figure 4. Distribution of renewable energy potential by Si, Gun, Gu

타났다(에너지경제연구원, 2014). 이러한 최종 에너지 소비량은 시도별로 제공되어 신재생에너지 잠재량이 지역에너지 자립에 미치는 영향을 시도단위에서 살펴보았다.

시도별 최종에너지 소비량과 본 연구에서 산정된 신재생에너지의 기술적 잠재량을 비교한 결과(Table 6) 전국 총에너지 소비량의 14%를 감당할 수 있는 것으로 나타났다. 지역적으로는 제주도가 현재 소비되는 에너지의 83%가 신재생에너지로 대체가능한 것으로 나타났으며 강원도가 41%로 두 번째로 에너지 자립가능성이 높게 나타났다. 반면 서울, 인천, 부산, 대구, 대전과 같은 대도시 지역은 신재생에너지로 대체가능한 에너지소비량 비율이 10%내외로 낮게 나타나 에너지자립이 어려울 것으로 예상되었다. 대도시 이외 지역 중 울산, 전남, 충남, 경북지역이 신재생에너지의 대체가능한 에너지 비율이 낮게 나타났는데 이들 지역의 경우 총

소비량 중 산업용 비중이 76~92%로 나타나 산업용 이외 지역사회 에너지 자립은 가능할 것으로 판단되었다.

에너지 자족도시 가능성을 판단하기 위해 시도단위보다 세분화된 시군구별 에너지 자립가능성에 대해 살펴보고자 전력 소비량을 기준으로 비교해 보았다. 2011년 기준 전력소비 자료<sup>2)</sup>를 사용하여 시군구별 산정된 에너지 잠재량과 비교하였다. 2011년 연간 전국 전력 소비량은 454,911GWh이며, 용도별 전력소비량 중 산업용은 251,338GWh로 55.25%를 차지하며, 그 다음으로 일반용이 21.87%, 주택용은 13.96%를 차지하였다. 지역별로 살펴보면 가장 많은 전력을 소비하는 지역은 울산 남구로 산업용 전력이 지역 총 소비 전력량 중 90% 이상을 차지하고 있었다. 시군구별 인구 및 산업 분포에 따라 용도별 전력사용량에 차이가 큰 것을 알 수 있었으며, 특히 산업용 전력의 경우 그 특징이 두드러지게 나타나고 있었다.

이러한 용도별 전력사용량을 기준으로 본 연구에서 산정된 신재생에너지 잠재량으로 전력 에너지 자급이 가능한 지역을 살펴보았다. 그 결과, 230개 시군구 중 102개 지역(44.35%)이 신재생에너지원으로 전력 자급이 가능하였으며, 주택용 전력사용량으로 한정하여 비교할 경우 198개 시군구(86.09%)가 자급이 가능한 것으로 나타났다.

## V. 결론

본 연구에서는 에너지 자족 도시를 계획하고 개발하기 위해 지역별 신재생에너지 기술적 잠재량을 산정하고 지역별 에너지원별 잠재량을 비교하고자 하였다. 먼저 대상으로 한 신재생에너지원인 지붕 태양광, 소규모 도로변 풍력, 소수력, 농부산물, 축산폐기물, 음식물쓰레기 중 가장 큰 비중을 차지하

Table 6. Renewable energy technical potential compared to energy consumption (Unit: 1,000toe)

Region	Final energy consumption	Renewable energy potential	Rate (%)
Seoul	15,398	869	5.64
Busan	6,146	732	11.91
Daegu	4,349	594	13.66
Incheon	10,251	839	8.19
Gwangju	2,507	366	14.58
Daejeon	2,655	284	10.71
Ulsan	25,832	691	2.67
Gyeonggi	26,296	3,592	13.66
Gangwon	6,107	2,496	40.87
Chungbuk	6,388	1,667	26.09
Chungnam	30,612	3,204	10.47
Jeonbuk	5,341	1,901	35.60
Jeonnam	38,436	3,278	8.53
Gyeongbuk	19,776	4,339	21.94
Gyeongnam	8,963	2,881	32.14
Jeju	1,181	976	82.65
total	210,238	28,708	13.66

\*coefficient: 0.000086 toe/kwh<sup>1)</sup>

는 에너지원은 태양광(98.21%)으로 나타났다. 따라서 태양광의 경우 전국에 골고루 분포된 신재생에너지원으로 개발 및 적용 가능성이 큰 것으로 판단된다.

둘째, 대도시인 구 지역, 중소도시인 시 지역, 농촌인 군 지역을 대상으로 에너지원별 평균잠재량을 비교한 결과 태양광은 시지역이 가장 큰 것으로 나타났다. 구 지역은 음식물쓰레기, 군 지역은 농부산물(농부산물)이 주요 에너지원으로 나타났다. 특히 시 지역은 군이나 구지역보다 태양광, 농부산물, 음식물쓰레기, 도로풍력이 높게 나타나 다양한 에너지원의 적용이 가능한 지역으로 나타났다. 따라서 에너지의 소비가 분산적으로 분포된 군 지역보다는 중소도시 지역인 시 지역 개발이 군 지역 개발보다 유리할 수 있을 것으로 예상된다.

셋째, 에너지원별 잠재량의 도별 분포를 살펴보면 태양광과 풍력의 경우 경상북도, 경기도, 전라남도가 높게 나타났으며, 소수력은 경상북도와 충청남도, 농부산물은 충청남도와 전라남도, 축산폐기물의 경우 경기도가 가장 높게 나타났다. 음식물 쓰레기의 경우 인구수에 비례하여 경기도가 두드러지게 큰 값을 보여, 도별 그 특성이 확연히 나타나는 경기도의 경우 이를 고려한 에너지자립 방향을 계획하는 것이 보다 유리할 것으로 보인다. 지역별 분포를 시군구별로 살펴본 결과 태양광의 경우 충남 당진군, 도로 풍력의 경우 제주 제주시, 소수력의 경우 충남 서산시, 농부산물은 전북 김제시, 축산폐기물의 경우 충남 홍성군, 음식물쓰레기의 경우 서울 송파구가 가장 높게 나타났다. 시군구별 신재생에너지 잠재량을 지도위에 도시한 결과, 태양, 바람, 물은 공간적 분포에 큰 차이가 없는데 반하여 바이오매스의 경우 그 차이가 크게 나타났다. 농부산물은 서해안 지역이 축산분뇨는 수도권 남부지역에 높게 분포하였다.

넷째, 도별로 최종에너지 소비량을 기준으로 신

재생에너지 기술적 잠재량을 통해 대체가능한 에너지량을 살펴보았다. 그 결과, 제주지역이 신재생에너지원으로 대체할 수 있는 비율이 83%로 가장 높게 나타났으며, 서울, 인천, 울산 등 대도시 지역은 신재생에너지원으로 대체가능한 에너지 비율이 10%가 되지 않아 신재생에너지원을 통한 에너지 자립은 대도시보다는 도지역이 가능한 것으로 나타났다.

다섯째, 에너지자립 가능성을 비교하기 위해 시군구별 전력소비량과 신재생에너지 잠재량을 비교하여 살펴보았다. 가장 에너지 소비가 큰 지역은 산업용 전력소비가 가장 큰 울산 남구로 나타났으며, 시군구별 인구 및 산업분포에 따라 용도별 전력사용량에 차이가 큰 것을 알 수 있었다. 총 전력소비량을 기준으로 할 경우 230개 시군구 중 102개 시군구(45.65%)가 신재생에너지원으로 전력 자급이 가능한 것으로 나타났으며, 전력소비량 중 주택용 전력소비량은 신재생에너지원으로 230개 시군구 중 198개 시군구(89.13%)가 에너지 자립이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 보급 가능한 기술적 잠재량을 기준으로 에너지 자립도시의 가능성을 살펴보았다. 그 결과 신재생 에너지원별 비중에 큰 차이를 가지고 있었으며, 도시지역인 구, 중소도시인 시, 농촌지역인 군에 따라 에너지원의 분포 차이가 존재하였다. 또한 신재생에너지원을 적용할 경우 주택용 전력의 경우 대부분의 시군구가 자립이 가능한 것으로 나타났으며, 도별로는 제주도와 강원도가 자립 가능성이 높게 나타나 지역 특성에 맞는 에너지원의 다양화 및 보급이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 한계로는 보급 가능한 소규모 에너지원을 대상으로 하여 지열에너지원을 대상에 포함하지 못하였으며, 자료 확보의 어려움으로 임목 바이오매스 또한 고려하지 못하였다. 또한 기술적 잠재량 산정에 있어 국내 기준의 부재로 외국의 기준을

적용한 한계를 가진다.

본 연구는 기존의 이론적 잠재량과 달리 현실적으로 적용 가능한 기술적 잠재량을 산정하고 지역별 에너지원 및 잠재량에 대해 비교분석함에 의의가 있으나, 정책적으로 현실화하기 위해서는 미관 및 안정성, 경제 및 정책 효과 등이 고려된 보다 상위의 실현가능한 시장 잠재량 산정이 이뤄져야 할 것이다.

주1. 전력의 toe 환산계수는 0.00023이나 최종에너지소비단위로 보아 1kwh=860kcal를 적용하였음.

주2. 신재생 에너지 기술적 잠재량 산정 연도 기준으로 행정구역을 일치시키기 위해 2011년 자료를 사용하였음.

### 인용문헌

#### References

1. 강용혁, 2013. “신재생에너지 자원지도 소개 및 잠재량 산정”, 2013 신재생에너지 자원지도 활용 세미나, 대구: EXCO.  
Kang, Y., 2013. “Introduction of New-renewable Energy Resource Map and Estimation of Potential”, 2013 Seminar for New-renewable Energy Resource Map, Daegu: EXCO.
2. 국무조정실, 2014. 「정부, '17년까지 전국 15~20개 친환경에너지타운 지정」 세종.  
Prime Minister's Office, 2014. *Government, Designate 15~20 National Green Energy Town until 2017*, Sejong.
3. 김경남김범수, 2010. “강원도 소수력발전의 현황과 과제”, 「강원발전연구원 정책브리프」, 69: 1-12.  
Kim, K. and Kim. B., 2010. “The Current Situation and Problems of Small Hydro-power in Gangwon”, *Policy Briefs in Research Institute for Gangwon*, 69: 1-12.
4. 김현구, 2008. “남한 풍력자원 잠재량의 예비적 산정”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 28(6): 1-7.  
Kim, H., 2008. “Preliminary Estimation of Wind Resource Potential in South Korea”, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 28(6): 1-7.
5. 농림축산식품부, 2013. 「중장기기축분뇨자원화대책」, 세종.  
Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2013. *Measures Against Manure Recycling*, Sejong.
6. 농림수산물기술기획평가원, 2010. 「우리나라 바이오매스 이용실태에 관한 기초조사」, 서울.  
Korea institute of planning & evaluation for technology in food, agriculture, forestry & fisheries, 2010. *Basic survey on biomass utilization in Korea*, Seoul.
7. 박문서김영주이현수, 2011. “한국의 자족도시 정의와 관련 개발 정책에 대한 분석 - 시스템다이내믹스를 이용하여-”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 27(7): 161-171.  
Park, M., Kim, Y. and Lee, H., 2011, “Korean Self-Sufficient City Definition and Urban Development Policy Analysis -Using System Dynamics-”, *Journal of the architectural institute of Korea : Planning & design*, 27(7): 161-171.
8. 박우균신중두이선일권순익소규호, 2013. “농업부문 바이오매스 잠재발생량 및 에너지 잠재량과 지역별 분포 특성”, 한국환경농학회 정기총회 및 학술발표대회, 정선: 하이원리조트.  
Park, W., Shin, J., Lee, S., Kwon, S. and So, K., 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: High1 resort.
9. 박우균, 2013. 「농촌지역 바이오매스 자원의 순환 활용기술 개발」, 수원: 농촌진흥청 국립농업과학원.  
Park, W., 2013. *Establishment and Assessment of Biomass Inventory for Bioenergy*, Suwon: RDA National Academy of Agricultural Sciences.
10. 박종규, 2012. “새롭게 부상하는 소형풍력발전”, 「KISTI 분석 보고서」, 2(7): 3-6.

- Park, J., 2012. "Emerging Small Wind Power", *KISTI Market Report*, 2(7): 3-6.
11. 박종진, 2013. "신재생에너지 자원의 잠재량 산정 방법", 한국전기연구원 전력산업센터 5월 세미나, 경기: 한국전기연구원.  
Park, J., 2013. "How to Estimate Potential of New & Renewable Energy", EPRC Seminar on May. 2013, Gyeonggi: KERI.
  12. 박현태·김연중·이상민·한혜성, 2007. 「농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략」, 서울: 한국농촌경제연구원.  
Park, H., Kim, Y., Lee, S. and Han, H., 2007. *Policy Issues and strategy to boost Biomass Utilization in Agricultural Sector*, Seoul: KREI.
  13. 산업자원부, 2006. 「환경친화적 소수력자원조사 및 활용기술 개발」, 서울.  
Ministry of Trade, Industry and Energy, 2006. *A Study on the Small Hydro Power Resources and its Application*, Seoul.
  14. 소진영, 2013. 「RPS 대응 국내외 바이오폐기물에너지원 잠재량 분석 및 확보방안」, 울산: 에너지경제연구원.  
So, J., 2013. *Potentials of Bioenergy and Waste-to-Energy corresponding RPS*, Ulsan: KEEL.
  15. 에너지경제연구원, 2014. 「2014 지역에너지 통계연보」, 울산.  
Korea Energy Economics Institute, 2014. *2014 Yearbook of Regional Energy Statistics*, Ulsan.
  16. 윤성환, 2013. "저에너지 에코시티 전략", 「건축환경설비」, 7(2): 4-4.  
Yoon, S., 2013. "Low Energy Eco-city strategy", *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 7(2): 4-4.
  17. 윤정방·박희경·여화수·박지영·오상한·이상은·신은하·신종석, 2010. 「저탄소 녹색도시 조성을 위한 과학기술정책 수립 가이드라인 개발」, 경기: 한국과학기술한림원.  
Yoon, J., Park, H., Yeo, H., Park, J., Oh, S., Lee, S., Shin, E. and Shin, J., 2010. *Guideline Development to Establishing Science and Technology Policy for Low Carbon Green City*, Gyeonggi: KAST
  18. 이종집, 2007. "농부산물 바이오매스를 이용한 연료물질의 생성", 「한국수소 및 신에너지학회 논문집」, 18(1): 85-94.  
Lee, J., 2007. "Production of Fuels from an Agricultural by-Product Biomass", *Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, 18(1): 85-94.
  19. 인천광역시, 2008. 「인천광역시 지역에너지계획」, 인천.  
Incheon Metropolitan City, 2008. *Incheon Regional Energy Plan*, Incheon.
  20. 환경부, 2012. 「유기성폐자원 에너지 활용시설 현황」, 세종.  
Ministry of Environment, 2012. *Organic Waste Energy Utilization Facilities*, Sejong.
  21. 환경부, 2013. 「전국폐기물통계조사」, 세종.  
Ministry of Environment, 2013. *National Waste Statistics Survey*, Sejong.
  22. Rybach, L. 2010. April. 「The future of geothermal energy」 and its challenges」, In Proc. World Geothermal Congress.
  23. Hoogwijk, M., and Graus, W., 2008. 「Global potential of renewable energy sources: a literature assessment」, Background report prepared by order of REN21. Ecofys, PECSNL072975.
  24. Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., & Haas, R., 2008. "Potentials and prospects for renewable energies at global scale", *Energy Policy*, 36(11): 4048-4056.
  25. Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N., & Porro, G., 2012. "US renewable energy technical potentials: a GIS-based analysis", *Contract*, 303: 275-3000.
  26. 브리태니커 온라인, "수력", 2014.12.1읽음. <http://preview.britannica.co.kr>.  
Britannica online, "Hydro power", Accessed Dec. 1, 2014. <http://preview.britannica.co.kr>.

27. 신재생 에너지자원 데이터 센터, “태양광”,  
2014.12.1.읽음. <http://kredc.kier.re.kr/kier>.  
New & renewable energy data center, “PV”,  
Accessed Dec. 1, 2014. <http://kredc.kier.re.kr/kier>.

Date Received 2015-04-30  
Date Reviewed 2015-07-10  
Date Accepted 2015-07-10  
Date Revised 2015-08-27  
Final Received 2015-08-27