

환경보호를 위한 한국형 신재생에너지 개발전략에 관한 연구

박영종^{1)*}

Study on the Development Strategies of Korean-type Renewable Energy for the Environment Protection

Young-Jong Park^{1)*}

Received 8 May 2015 Revised 21 September 2015 Accepted 1 October 2015

ABSTRACT This study proposes a development strategy for Korean-type renewable energy for environmental protection mainly from energy consumption. This strategy is a Korean-type renewable energy development-convergence-technology connection model. In other words, based on the production process of manufacturing technologies of semi-conductors, IT, automobiles, shipbuilding, steel, etc., the development of renewable energy technologically connects with the renewable energy source as well as systematical and organic convergence, which enhances the greatest technical efficiencies. Next, renewable energy should be equipped with high-efficiency, stability, marketability, convenience, environmental-friendliness, etc. in all fields such as development, industries, transportation, buildings, consumers, etc. and a systematical energy source should be developed. Also, renewable energy combines with manufacturing convergence-connection technologies which enhances the connection with ICT, greatest efficiencies, and consumer satisfaction.

Key words Environmental protection, Energy consumption, Renewable energy, Manufacturing convergence and technology sharing

1. 서론

환경문제는 이제 전 세계 각국의 나라 선진국이나 후진국이나, 개발도상국이나 관계없이 지구상 모든 나라들의 커다란 관심사와 이슈가 되어왔으며, 특히 최근 에너지소비 급증으로 인한 환경오염문제는 매우 심각한 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이제 세계 각국은 머리를 맞대고 정책대안을 마련하고 있다. 선진국인 EU(독일), 일본, 미국 등은 태양광, 풍력, 수소연료전지 등 그린에너지를 주도하고 있으며, 신재생에너지 개발에도 박차를 가

하고 있다. 또한 세계의 신재생에너지 시장도 최근 5년간 연평균 30% 정도 성장하고 있는 실정이다. 이와 더불어 개발도상국들도 더 이상의 환경을 외면한 채, 자국의 중장기적이고 안정적인 경제성장은 한계가 있다는 것을 인식하고 신재생에너지 등 환경오염을 줄일 수 있는 에너지원을 개발 중이다.

반면에 우리나라는 1990년 대비 2010년 온실가스배출 증가율이 선진 OECD 국가 중 가장 높은 128%¹⁾이며, ^[1] 국내 에너지 수요의 97%를 해외로부터 수입에 의존하고 있으며, 석유화학이나 철강 등 에너지를 많이 소비한 업종

1) Post office of Daedeok, Daejeon, Korea
E-mail: p08258394@hanmail.net
Tel: +82-42-930-2405 Fax: +82-42-930-2479

1) 한국(128%), 터키(115%), 칠레(92%), 멕시코(33%), 캐나다(17%), 미국(10%), 일본(-1), 프랑스(-6), 영국(-23), 독일(-25), 자료: 기획재정부, 환경부, OECD.

으로 에너지에 매우 취약한 산업구조로 이로 인한 에너지 과소비가 환경오염을 촉발시키는 주원인이 되고 있다. 이에 따라 본 연구의 목적은 우리나라의 에너지 과소비로 인한 환경오염을 획기적으로 줄일 수 있는 녹색성장 및 신재생에너지 개발 확대가 필요하다고 본다. 다만, 세계 여러 나라 선진국들이 신재생에너지 개발에 이미 앞서가고 있는 만큼 다른 여타 선진국들보다 차별화되고 경쟁력이 높은 에너지를 발굴해야 만 한다. 이러한 신재생에너지 개발은 우리가 최근 세계시장에서 주도를 하고 있는 반도체, IT, 조선, 자동차, 철강 등 핵심제조업과 융합이 되고 이를 바탕으로 발전·산업·수송·건물·소비자와 연계 되도록 하여, ICT 분야와 융합·연계하는 기술을 개발하는 것이다. 이러한 튼튼한 기술개발구축시스템 속에서 한국형 신재생에너지기업을 탄생시키고 육성해야 만 한다. 이를 위해 본 연구는 에너지소비와 환경오염과 상호관계를 분석하여 환경보호를 위한 대안을 마련하고, 한국형 신재생에너지 개발전략을 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 환경문제에 대한 예비적 고찰

환경보호주의자의 견해인 성장불능론은 경제성장의 좋고 나쁨을 떠나 유한한 지구에서 끊임없는 경제성장이란 그 자체가 물리적으로 불가능하다는 주장이다. 둘째, 커머너(B. Commoner)의 가설이다. 그는 인구의 증가, 상품생산량이 많을수록 환경오염물질이 많이 배출되어 환경오염은 그만큼 더 심해진다는 주장이다. 셋째, 행복의 역설이다. 성장주의자들은 소득수준의 향상이 자동적으로 국민을 더 행복하게 만든다는 것이다. 하지만, 생각과 실재는 다르다. 지난 반세기에 선진국들은 꾸준한 경제성장을 이루어 왔다. 그 결과 선진국 국민의 소득수준 역시 계속 높아졌다. 그럼에도 불구하고 이들의 행복지수는 지난 반세기 동안 거의 변하지 않았다는 것이다.

다음은 경제성장주의 견해로서 성장옹호론은 다음 세 가지 주장을 핵심으로 한다. 첫째, 경제성장은 얼마든지 가능하다. 경제성장으로 인한 부작용들이나 잘못된 것들은 사후적으로 얼마든지 고쳐 나갈 수 있다는 것이다. 둘

째, 경제성장이 가능할 뿐 아니라 지속적 경제성장은 꼭 필요하다. 경제성장 비판론자들은 경제성장의 부작용에 너무 집착한 나머지 경제성장의 혜택을 과소평가하는 경향이 있다. 우리가 보통 말하는 사회적문제로서의 환경오염과 경제성장 사이에는 직접적인 관계가 없으며, 경제성장과 환경보전은 얼마든지 양립이 가능하다. 넷째, 그로스만-크루거 가설이다(Grossman and Krueger, 1995). 이 가설에 의하면 경제성장과 환경오염 사이의 관계는 경제성장 단계에 따라 달라지는데, 경제성장 초기(대체로 일인당 국민소득 5,000달러 이하의 단계)에는 경제성장이 진척됨에 따라 환경오염과 파괴도 가속화되는 경향이 있으나, 경제성장이 상당히 이루어진 결과 1인당 국민소득이 어느 수준에 이르면(대체로 1만 달러 이상의 단계) 경제성장이 진척됨에 따라 오히려 환경파괴의 정도가 감소하는 경향이 있다는 것이다.^[2]

2.2 선행연구 검토

본 연구는 종전의 화석에너지 과소비로부터 환경오염을 줄여 저탄소 녹색에너지인 신재생에너지 사용을 확대코자 한 내용이다. 먼저 환경문제에 관한 일반적인 이론 분야에는 이정전의 『환경경제학의 이해』(2011), 정석진의 『그린에너지와 환경축매』(2010), 외국 문헌으로 Grossman, G.M, and A,B Krueger(1995). “Economic Growth and the Environment.”등을 주로 참고하였다. 또한 환경과 에너지문제에 관하여는 주로 최근의 통계자료를 활용하여 에너지소비와 환경문제 등 상호관계를 분석하였으며, 동 분야에 대한 이론분야에는 조홍식의 『기후변화시대의 에너지법정책』(2013), 이창훈의 “신재생에너지의 환경적 영향에 관한 법적 고찰”(2015), 정수관·강상목의 “소득 및 에너지소비와 환경오염의 관계에 대한 분석”(2013), 윤용영의 “기후변화에 관한 국제법적 규제와 문제점”(2013), 변재영외 2인의 “기후변화 시나리오에 근거한 한반도 미래 풍력·태양- 기상자원 변동성”(2014), 권혁수와 “신재생에너지 온실가스 감축기여도 평가 및 보급 확산전략”(2012)등을 주로 활용하였다.^[3-10]

신재생에너지에 대한 일반적인 내용을 참고하기 위해 이재훈의 『녹색성장과 에너지자원 전략』(2010), 이강후의 『대체에너지』(2009), 이재호의 『에너지 정치경제학』

(2013) 등을 참고 하였으며, 또한 주요 학술지 및 논문으로는 이종교의 “신재생에너지에 대한 세제지원의 현황 및 개선방안 연구”(2014), 이유아·허은영의 “신재생에너지 인력수요전망 방법론 및 사례연구”(2011), 구기관 외 3인의 “국내외 신재생에너지 기술경쟁력 분석”(2012), 오승환·이철용의 “국내 신재생에너지 R&D 사업의 경제적 성과 분석”(2014), 권혁범의 “한국의 녹색성장을 위한 신재생에너지 발전 전략”(2012), 윤생진의 “신재생에너지산업의 활성화 방안에 관한 연구”(2010) 등을 참고하였다.^[11-19]

본고의 신재생에너지 핵심 개발전략에 관한 내용으로 첫째, Iot와 ICT 분야로서 이병훈의 “지능형 에너지관리 시스템을 위한 Iot 기반의 상황인지 서비스 연구 및 구현”(2015), 임계재의 “신재생에너지를 활용한 IT-융합 식물공장시스템 설계”(2015), 성태형 “태양광산업에 있어서 OCI의 기술혁신모형 연구”(2014) 등을 참고하여 향후 신재생에너지원이 Iot를 활용해서 제조업과 융합이 되고 ICT 등과 연계필요성을 제시하였다. 둘째, 현장에서 신재생에너지기술을 활용·추진하기 위한 것으로 오용 “태양광/연료전지 하이브리드시스템의 전기적 특성과 최적 운전을 위한 경제성 평가에 관한 연구”(2011), 조남진의 “복합 신재생에너지 시스템용 다중 입출력 보조전원 설계”(2014), 이유석외 1인의 “그린에너지 활용을 위한 대학건물옥상설치형 소풍력발전”(2014) 등 활용하였다. 마지막으로 향후 신재생에너지 정책방향을 제시하기 위해 유진만 외 1인의 “정부정책이 재생에너지산업 생산 확대에 미치는 장단기 영향 분석”(2013), 이상훈의 “한국에서 재생에너지 확대를 위한 정책적 과제”(2014), 권태형의 “신재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교”(2014) 등을 참고하였다. 특히, 한국형 신재생에너지기업 탄생에 관한 전략에 대하여는 한낙현 “국내 신재생에너지 발전전략과 과제에 관한 연구”(2014), 유진만 “신재생에너지 국제경쟁력 분석”(2015), 이의재의 “신재생에너지 기업의 리스크 분석”(2012), 구훈영, 민대기 “국내 태양광 산업의 중장기 전망에 관한 연구”(2014) 등을 참고하였다.^[20-32]

본 연구의 차별화가치는 향후 신재생에너지는 다른 에너지원보다 소비증가율이 확대가 예상되는 바,²⁾ 신재생에

너지원이 기존 우리의 우수한 제조업과 융합이 되고, 더 나아가 ICT 등과 기술이 연계가 되는 한국형 개발전략을 제시한 점이다. 아울러 이러한 기반구축아래서 새로운 한국형 초대형 신재생에너지기업이 탄생될 수 있다는 점이다.

2.3 모형 설정

2.3.1 에너지소비 증가와 환경오염 유발모형

Fig. 1처럼 우리나라는 70년대 이후 철강, 석유화학, 자동차 등 중화학공업 위주의 산업화와 경제성장으로 인하여 산업, 수송, 가정·상업 등 부문별 에너지소비가 급증, 이로 인한 에너지소비는 NOx(산화질소), VOC (휘발성 유기화합물), CO(일산화탄소) 등 환경오염의 주요 원인이 되고 있음.

2.3.2 환경보호 모형

Fig. 2와 같이 향후 환경보호를 위해서는 기존의 석유, 가스, 석탄 등 화석에너지 사용을 억제하고 저탄소 녹색성장 등을 위한 신재생에너지 사용 확대가 필요하다.

3. 에너지소비와 환경문제 분석

3.1 국내의 에너지소비 실태 분석

먼저 에너지원별로 보면, ‘60년대에는 석탄과 신탄이 주



Fig. 1. Relationship between the increase in energy consumption and environmental pollution

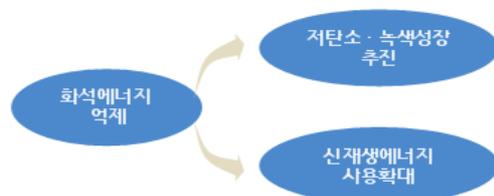


Fig. 2. Model of the co-relations between energy consumption and environmental pollution

2) 2011년 기준 2035년까지 연평균 4.4% 증가 예상, 산업통상자원부 제2차 에너지기본계획, 2014.

Table 1. Consumption status per energy source (primary energy)

구분	'90	'00	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	
석유 (백만B)	356.3	742.6 (3.2)	762.9 (0.1)	752.3 (-1.4)	761.1 (1.2)	765.5 (0.6)	794.9 (3.8)	760.6 (-4.3)	778.5 (2.3)	794.3 (2.0)	801.6 (0.9)	
L N G (백만톤)	2.3	14.6 (12.3)	18.6 (4.7)	21.8 (17.2)	23.4 (7.1)	24.6 (5.4)	26.7 (8.3)	27.4 (2.6)	26.1 (-4.9)	33.1 (26.8)	35.6 (7.6)	
석탄 (백만톤)	무연탄	21.5	6.2 (24.1)	8.6 (11.6)	8.1 (-5.2)	9.0 (11.0)	9.8 (8.8)	9.7 (-1.3)	10.2 (5.3)	9.8 (-4.3)	11.1 (3.3)	11.2 (10.7)
	유연탄	21.9	60.3 (11.4)	70.5 (3.3)	74.0 (4.9)	75.8 (2.4)	78.0 (2.9)	84.4 (8.2)	94.0 (11.3)	98.6 (4.9)	110.9 (12.5)	119.7 (7.9)
	소계	43.4	66.5 (12.5)	79.1 (4.2)	82.1 (3.8)	84.8 (3.3)	87.8 (3.5)	94.1 (7.2)	104.2 (10.7)	108.4 (4.0)	121.0 (11.7)	130.9 (8.1)
수력 (10억kWh)	6.4	5.6 (-7.5)	6.9 (29.7)	5.9 (-14.9)	5.2 (-11.5)	5.2 (0.6)	5.0 (-3.4)	5.6 (10.5)	5.6 (1.4)	6.5 (14.7)	8.0 (23.3)	
원자력	52.9	109.0 (5.7)	129.7 (8.9)	130.7 (0.8)	146.8 (12.3)	148.8 (1.3)	142.9 (-3.9)	151.0 (5.6)	147.8 (-2.1)	148.6 (0.6)	150.2 (1.1)	
기타 (백만toe)	0.8	2.1 (17.9)	3.2 (10.8)	4.0 (22.7)	4.0 (-0.4)	4.4 (10.0)	4.8 (10.8)	5.1 (5.1)	5.5 (7.9)	6.1 (10.7)	6.6 (9.1)	
합계 (백만toe) (증가율)%	93.2 (14.1)	192.9 (6.4)	215.1 (3.1)	220.2 (2.4)	228.6 (3.8)	233.4 (2.1)	236.5 (1.3)	240.8 (1.8)	243.3 (1.1)	263.8 (8.4)	275.7 (4.5)	

※ (): increase rate

source: Ministry of Knowledge Economy white paper, 2012

요 에너지였으나, '70년대 들어서는 중화학공업 육성 등으로 석유 비중이 급격히 상승하면서 석유가 주요 에너지로 등장하였다. '80년대 이후에도 석유는 주 에너지원으로서의 위치를 견고하게 유지하였으나, '90년대 후반에 들어서면서 Table 1에서와 같이 사용이 편리한 도시가스 및 전기의 소비가 크게 증가하면서 석유의 소비 비중은 축소되기 시작하였다. 우리나라의 석유의존도는 2002년에 50% 이하로, 2011년에는 38.1%까지 하락하였다.

'80년대 후반에 도입된 LNG는 '90년대에 연평균 20.1%라는 빠른 소비 증가세를 기록하면서 2011년에는 소비 비중이 16.8%로 확대되었다. 전력 수요 증가에 따라 발전용 유연탄 소비도 빠른 증가세를 지속하였다. 2011년 유연탄은 총에너지 소비의 27.8%를 차지하여 석유에 이은 제2의 에너지원의 위치를 유지하고 있다. '60년대에 에너지 소비 40%를 담당하였던 무연탄 소비는 1988년을 기점으로 감소하기 시작하여 2011년에는 그 비중이 2.5%로 감소하였다.

Table 2. Prospect of main energy indexes during 2011~2035

구분	2011	2025	2030	2035	연평균 증가율(%)
총에너지수요 (백만TOE)	275.7	354.1	369.9	377.9	1.32
최종에너지 (백만TOE)	205.9	248.7	254.3	254.1	0.88
에너지원단위 (TOE/백만원)	0.255	0.211	0.195	0.180	△1.44

source: Ministry of Trade, Industry and Energy 2nd energy master plan, 2014

3.2 향후 에너지소비 증가 실태 분석

국내적인 전망을 보면 Table 2처럼 총에너지 지표는 전망기간 '11~'35 중 연평균 1.3%가 증가할 것으로 예상되며, 최종에너지는 경제성장세의 둔화, 인구정체 등으로 연평균 0.9%정도 증가가 예상되며, 에너지 원단위는 '11년 0.255(toe/백만원)에서 매년 1.4%씩 개선, '35년에는 0.180 수준으로 하락이 예상된다.

또한 총에너지 원별 전망을 보면 주로 신재생 등이 4.4%

Table 3. Emission rate of air pollution substances per large category

배출원 대분류	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3	합계	기여율 (%)
에너지산업 연소	56,202	166,709	84,464	5,024	4,546	3,534	7,623	1,465	321,487	9.1
비산업 연소	79,804	90,876	53,957	2,562	2,213	1,326	2,948	1,528	231,675	6.5
제조업 연소	19,179	181,219	109,878	153,097	89,463	45,721	3,560	863	467,795	13.2
생산공정	21,406	53,077	109,342	13,249	7,394	5,876	146,499	33,530	377,104	10.6
에너지수송/저장							25,318		25,318	0.7
유기용제 사용							559,662		559,662	15.8
도로이동 오염원	463,543	322,307	366	13,030	13,030	11,988	69,059	9,208	877,514	24.8
비도로이동 오염원	68,290	217,098	67,557	13,904	13,901	12,792	16,758	662	384,269	10.8
폐기물 처리	1,861	8,732	8,395	334	242	209	40,879	23	60,223	1.7
농업								216,453	216,453	6.1
기타 먼오염원	8,060	197		609	386	348	803	12,684	22,353	0.6
합계	718,345	1,040,214	433,959	201,810	131,176	81,793	873,108	276,415	3,543,862	100

source: National Institute of Environmental Research, 2011

등 증가가 예상되며, 총에너지 원별 전체적으로 1.3%가 증가가 예상된다.

3.3 에너지 과소비로 인한 환경오염 분석

먼저 대기오염 실태에 대하여 Table 3에서와 같이 총 배출량 중 가장 높은 기여율을 보인 배출원은 도로이동 오염원으로서 877,514톤을 배출하여 전체의 24.8%를 차지하고 있고, 유기용제 사용이 559,662톤으로 15.8%, 제조업 연소가 467,795톤으로 13.2%, 다음으로는 발전소 등 에너지산업 연소 배출원이 321,487톤으로 9.1%를 차지하고 있다. 여기서 도로이동 오염원, 제조업연소, 에너지산업 연소 등의 합이 47.1%로서 우리나라 전체 대기오염 총량의 상당 부분이 에너지소비와 관련되었음을 알 수 있다. 이것은 우리나라 대기오염의 주요 원인이 과다한 에너지소비로 인한 것임을 나타내 주고 있다. 이에 따라 이들의 연료연소를 대체할 수 있는 대체 에너지원이나 새로운 에너지의 개발이 매우 절실함을 이 자료를 통하여 알 수가 있다.

다음은 온실가스 실태를 보면, 1990년 이후 우리나라는 에너지 다소비 산업의 빠른 성장과 국제유가 안정 등으로 온실가스 배출량도 연평균 3.3% 증가하였으나, 배출량 증가율 추이는 국제적 규제 강화로 1999년 이후 매년 증가율 감소 추세를 보이고 있다. 2009년 기준 온실가

스 배출량은 2008년(602.3백만tCO₂eq)대비 0.9% 증가한 607.6 백만톤tCO₂eq이다. Fig. 3에서는 부문별 온실가스 배출량을 보여주고 있으며, Table 4는 온실가스 배출량 현황을 나타내고 있다. 우리나라 온실가스 배출량 구조는 주로 에너지가 84.9%를 차지하고 있고, 산업공정이 9.8%

〈총배출량 중 부문별 및 에너지 세부 부문별 온실가스 배출량 비중〉

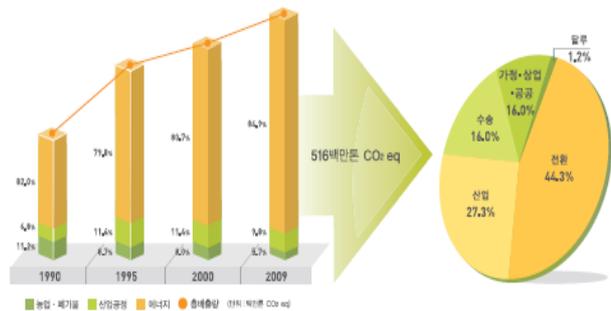


Fig. 3. Emission rate of greenhouse gases per energy sector

Table 4. 2009 Emission rate of greenhouse gases status per energy

CO2 (이산화탄소)	CH4 (메탄)	N2O (아산화질소)	HFCS (수소화물화탄소)	PFCS (과불화탄소)	SF6 (육불화황)	합계 (비중)
540.6 (89.0%)	27.7 (4.6%)	12.5 (2.1%)	5.9 (1.0%)	2.3 (0.4%)	18.6 (3.1%)	607.6

source: Korea Energy Management Corporation, energy/climate change handbook, 2012

를 차지하면서 그 비중이 94.7%를 차지하고 있으며, 에너지연소에 의한 CO2 배출은 전환부문이 44.3%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 산업 27.3%, 수송 16%, 가정과 상업·공공부문이 11.2%이다.

4. 에너지소비와 환경오염과 상호관계 분석 및 향후 과제

4.1 상호관계 분석 결과

먼저 대기오염을 유발시키는 원인으로는 Table 3 같이 석탄, 석유, LNG 등 화석연료의 과다 사용으로 밝혀지고 있다. 또한 온실가스 오염의 경우도 Fig. 3처럼 에너지 소비가 주요 원인이 되고 있다. 참고로 우리나라의 경제성장률과 에너지소비의 상호관계 분석에서 실질 국내총생산(GDP)의 경우 1990년대 초의 400조에서 2007년 800조원에 이르러 2배 이상 증가하였으며, 또한 에너지 소비도 거의 2배 이상 증가하였음을 보여주고 있다. 즉, 우리나라의 경제성장은 에너지에 기반을 둔 경제성장 구조를 유지해 왔음을 알 수 있다.^[33]

4.2 향후 과제

향후 환경오염을 줄이기 위해서는 기존의 화석연료의 사용을 점진적으로 억제하고 저탄소 녹색성장 중심의 신재생에너지 개발을 적극적으로 추진해야 한다. 이에 따라

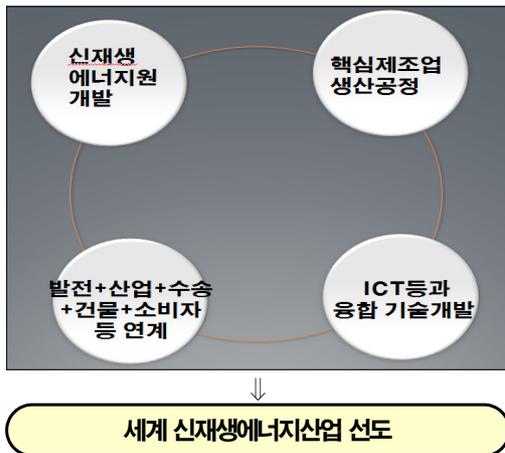


Fig. 4. Linking model of Korean-type renewable energy convergence technologies

본 연구에서는 한국형 신재생에너지 개발 과제를 Fig. 4와 같이 제시하고자 한다.

이 과제는 향후 신재생에너지원이 우리의 우수 제조업과 융합·기술 연계로서, 최고의 기술을 보유하고 있는 반도체, IT, 조선, 자동차, 철강 등 핵심제조업 생산 공정 기술을 잘 활용하고, 이를 발전·산업·수송·건물·소비자 분야와 연계하도록 하여, 더 나아가 ICT 분야와 융합·연계하는 기술을 개발하는 것이다. 아울러 이러한 기술개발체계와 기반이 확실하게 구축되었을 경우 대기업 등이 상호 결합 등을 통하여 초대형화를 이룩하고, 우수한 기술력을 보유한 중소기업과 연계하여 세계의 신재생에너지산업을 선도하는 것이다.

4.3 향후 과제의 완성을 위한 전제

4.3.1 주요 선진국의 신재생에너지 정책 등 적극 도입 추진 필요

먼저 독일은 신재생에너지 선진국 중 가장 재생에너지 확대를 위해 실천하는 국가로 재생에너지법, 발전차익제도 도입 등 확실하게 추진하고 있으며, 2020년까지 전체 에너지소비의 18%를 재생에너지로 대체하고, 이후 2030년까지 30%, 2040년까지 45%, 2050년까지 60%로 확대 예정이다. 또한 전력이나 난방 등에 일반 소비자들에게도 의무적으로 사용을 강제하는 재생에너지법을 시행하고 있다. 미국은 신재생에너지 비율을 2012년 12%에서 2025년에는 25%까지 보급할 계획이며, 일본은 2030년까지 신재생에너지 비율을 11.1%로 확대하고 에너지절약형 사회로 전환한다는 것이다. 중국은 2020년까지 총에너지 소비량의 15%를 재생에너지로 이용하는 목표를 수립하였고, 수력(3억KW)·풍력 및 바이오(각 3,000만 KW)·태양광(180만 KW)에 집중할 계획이다.^[34] 이처럼 주요 선진국 등은 신재생에너지를 정책 및 제도적으로 적극 지원하고 있으며, 동 에너지를 적극 확대하고 사용하고 있는 실정이다. 하지만 우리는 국내 에너지원 중 신재생에너지 비중이 OECD 국가 중 최하위로서^[35] 향후 신재생에너지 비중을 보다 확대해야 할 필요가 있다.

4.3.2 우리나라 신재생에너지산업의 주요 현안 해결 필요

첫째로 우리의 신재생에너지산업의 기술수준은 아직

산업기반이 취약하여 단순한 부품생산 위주로 향후 고부가가치의 핵심 제품을 생산해야 한다. 둘째로 정부의 지속적인 예산지원과 확대이다. 신재생에너지원은 다른 여타 에너지원과 달리 단가가 비싸고, 초기에 설치비 등이 많이 소요된다. 이에 따라 정부는 지속적인 예산지원 및 확대가 필요하다. 셋째로 신재생에너지 분야의 체계적인 R&D 전략과 ICT 기술과의 접목이 필요하다. 아직까지 R&D 분야에 체계적인 지원과 사후관리가 부족한 실정이다. 또한 우리의 반도체 등 우수한 제조업과 연계가 부족하고, 제조업과 융합이 가능한 ICT 기술력이 부족하다는 것이다.

4.3.3 소결

향후 과제의 완성을 위해서는 우리나라의 신재생에너지 산업이 주요 선진국의 사례처럼 신재생에너지 비중을 높이고, 에너지의 생산·분배·소비 등의 사용을 법에 의해 강제성 등을 부여할 필요가 있으며, 또한 신재생에너지 제품의 고부가가치화, 예산투자 확대, 체계적인 R&D 전략과 ICT 등과 접목이 필요하다.

5. 한국형 신재생에너지 개발전략

5.1 한국형 신재생에너지 제조업융합·기술연계 전략

먼저 기술개발 전략에서 우리나라의 신재생에너지 산업은 초기에 기반을 갖춘 독일 등 다른 선진국들보다도 기술력이나 가격경쟁력이 떨어지고, 또한 R&D 지원체계나 국제표준화 등이 취약하다. 예를 들면, 부품·소재에서 핵심기술의 국산화율이 저조하고³⁾, 완성품에서는 태양광이나 풍력 등에서 부가가치가 낮은 제품을 생산하고 있으며, 서비스 면에서는 공동 해외시장 개척 및 R&D 투자에서 기업 간 상호 연계가 부족한 실정이다. 이처럼 선진국들에 비하여 기술력이나 품질, 부품공정 등에서 낙후되어 있어, 이들 국가들의 기술 공정이나 부품 등을 수입하여 단순 가공하여 제품을 생산·판매하거나 수출해서는 선진국들의 벽을 뛰어 넘을 수가 없을 것이다. 따라서 우

리의 신재생에너지 산업은 다른 나라와 차별화 될 수 있는 나름대로의 고유 기술력과 노하우, 특성을 갖춘 제품을 발굴하고 개척하여 뛰어난 경쟁력으로 세계의 신재생에너지 산업에 진출해야 한다. 이에 따라 한국의 신재생에너지 산업이 세계 다른 진국들보다도 앞서 나가기 위해서는 전제한 Fig. 4와 같은 「한국형 신재생에너지 융합·기술 연계형」 개발전략이 확산되고 보급되어야 한다.

이를 위해서는 첫째로 우리가 그동안 세계 제조업시장에서 석권하였던 반도체, IT, 자동차, 조선, 철강 등 최고의 제조업기술의 생산과정 즉, 원료·소재·부품 분야의 공정을 바탕으로 신재생에너지원과 체계적이고 유기적인 융합과 기술연계 속에서 최고의 기술력과 효율성을 높이는 것이다. 반도체의 경우 그 산업의 성격이 태양광의 설비투자, 기술 및 가격변동 등과 유사하다는 점에서 융합과 기술연계의 장점도 있지만 반면에 위험한 리스크도 수반된다. 따라서 항상 제품의 효율성을 높이고 가격경쟁력에서 우위에 있어야 한다. 예를 들면, 종전의 실리콘 박막태양전지 와 유기 태양전지를 결합한 ‘고효율 적층형 하이브리드 태양전지’ 개발하여 기존 제품보다 2배의 효율을 높이거나, 또한 기존의 ‘결정질 실리콘 태양전지’는 고효율 제품이지만 높은 제조비용과 복잡한 제조공정이 문제가 되어 보급에 기피 요인이 되었지만, 최근에 개발된 ‘무·유기 하이브리드 페로브스카이트 태양전지’는^[36] 세계에서 가장 열효율이 높고, 가격도 저렴한 핵심제품으로 개발한 것 등이다. 또한 IT의 경우 현재와 같이 복잡하고, 다양하고, 예측 불가능한 정보화 사회에서는 고객들에게 무엇보다도 정보의 대량축적과 신속·정확한 전달체계가 필요하며, 다양하고 편리한 서비스를 제공하여야 한다. 이를 위해서는 IT의 매개체인 컴퓨터, 미디어, 영상기기, 블루투스(Bluetooth), 와이파이(Wi-Fi), 근거리 통신(RFID), 위치정보(GPS), 스마트폰, PDA, LED, 기타 소프트웨어 기술 등이 태양광과 태양전지 등과 잘 융합이 되어 언제나 손쉽게 활용되고 고객에게 꼭 필요한 정보를 제공할 수 있어야 한다. 예를 들면, ‘태양광 마이크로 발전소’, ‘스마트 홈’, ‘스마트 자동차’, ‘스마트 드라이브’, ‘마이크로로그리드’ 등이다. 자동차의 경우 전 세계적으로 각광을 받고 있는 자연친화적인 저탄소와 고효율, 고객 편리성 등을 두루 갖춘 신제품을 개발해야 한다. 최근 현대자동차

3) 주요 부품·소재장비 평균 수입률: 태양광 79%, 풍력 85%, 연료전지 91%(‘11년 기준), 산업통상자원부, 2014.1월 제2차 에너지기본계획.

차가 개발한 ‘투싼 ix 수소연료전지’ 자동차는 자연친화적인 무공해 천연 연료로서 전후방 산업연관효과가 아주 높아 성장동력을 견인하고 있다. 또한 향후 소비자들이 이용 시 편의를 위해 고비용·단거리 주행거리 문제 등 해결을 위한 지속적인 기술개발⁴⁾을 추진하고 있다.

둘째로는 신재생에너지가 발전(전력), 산업, 수송, 건물, 소비자 분야 또는 융·복합사업의 개념으로서 향후 저비용 고효율, 안전성, 시장성 및 발전가능성, 편리성, 친환경성을 갖춘 종합적이고 체계적인 에너지원 개발이 되어야 한다. 아울러 이러한 융합이 소비자나 고객들에게 실제적으로나 잠재적으로 커다란 만족감을 주면서 다양하고 광범위하게 사용하게 해야 한다. 발전분야에는 중전의 화력발전에서 석탄가스화 복합발전(IGCC) 및 연료전지를 확대 사용하여 열효율과 편리성을 높이고, 산업분야에는 에너지 소비 비중이 높은 철강, 화학분야 등에 온실가스를 감축할 수 있는 저감기술⁵⁾과 더불어 신재생에너지와 연결될 수 있는 기술개발⁶⁾이 필요하며, 수송 분야는 특히 여타 분야보다 훨씬 역동적이어서 에너지수가 2050년이면 전 세계의 자동차 대수가 20억 대 이상으로 증가할 것이며, 수송거리 역시 같은 비율로 증가될 것으로 전망된다.⁷⁾ 이에 따라 향후 연료전지 자동차, 하이브리드 또는 디젤기술 자동차, 바이오연료 자동차 등 신재생에너지와 관련성이 매우 높다. 건물은 대단위 아파트 단지 경우 향후 갈수록 문화수준이 높은 다양한 고객층의 증가로 인한 각종 전기기기의 종류와 양이 늘어 전기사용량 비중이 높아지고, 경제성장 등으로 서비스 부문의 비

중이 높아져 상업용 빌딩이 수가 크게 늘어날 것이 예상된다. 이에 따른 신재생에너지 사용비중을 의무적으로 높일 수 있도록 법적근거나 세제지원 등 정책적 지원이 필요하다. 아울러 신재생에너지 사용도 보다 쉽게 활용할 수 있는 시설시스템 등⁸⁾이 필요하다. 최종 에너지 소비자인 소비자는 전력, 산업, 수송, 건물 등 다양한 분야에서 저렴한 가격과 고효율 서비스를 선택받을 수 있는 소비자 권리⁹⁾가 주어져 있다. 마지막으로 융·복합사업의 경우 신재생에너지 원과 원, 지역, 정책, ICT 등 다양한 결합을 통한 시너지 효과를 기대할 수 있는 사업으로서 한 지역에 신재생에너지 대형사업을 실시하여 지역내 주택·건물·산업체에 에너지를 공동으로 공급하거나, 태양광, 풍력, 소수력, 지열 등 2개 이상의 신재생에너지를 융합하여 에너지를 공급함으로써 에너지 활용의 효율성을 제고시키는 것 등이다.¹⁰⁾

셋째로는 신재생에너지가 제조업 융합·연계기술 함께 결합하면서 ICT 등과 연계되어 최고의 효율성과 소비자 만족도를 높여주는 시스템을 개발하는 것이다. 신재생에너지와 ESS(Energy Storage System) 결합하여 송전효율을 향상시키고 배전의 안정성을 증가하여 전력품질을 높임과 동시에 전력을 안정적으로 공급하는 것이나¹¹⁾, 최근 Iot(Internet of Things)를 활용하여 지능형 에너지관리시스템 기술을 개발하거나¹²⁾, 또한 IoT의 기술체계와 신재생에너지를 상호 연결하여 향후 에너지 생산과 공급을 높이는 기술개발이다. 이 기술은 태양광이나 풍력 등 신재생에너지원 시스템에 IoT의 센싱 기술인 초음파 센서/ 열/ 습도/ 온도 센서, 위치 정보 등 얻을 수 있는 정보 수집 기술과 유무선 네트워크 인프라 기술, 더 나아가

4) - 연료전지용 가스켓 개발(전남대, 금호폴리켐), 수소안전저장·수송 기술개발(하이리움), 수소연료전지차 V2G(Vehicle to Grid: 친환경 중전 전력 외부 송전 기술), 인버터 기술(시그넷 시스템) 등.
- 기존 연료전지 생산에 필요한 백금의 양을 획기적으로 줄이면서 중전의 불필요한 열처리 및 화학적 처리공정을 줄일 수 있는 전극촉매 연료전지 원천기술을 개발하였다(한국과학기술연구원 국가기반기술연구본부 연료전지연구센터 유성종 박사의 3인 공동연구팀)

5) POSCO 경우 수소환원제철법을 사용, 철을 생산할 때 일산화탄소(CO) 대신 수소를 매개체로 사용하여 부산물이 이산화탄소(CO₂)가 아닌 물이 나오도록 하는 공법을 개발함.

6) - 예를 들면, 우리의 우수한 철강의 고기능강재를 활용한 풍력발전 전기를 몽골이나 인도 등 100만대를 수출할 경우
- OCI는 1959년 동양화학의 전신인 화학산업의 기술을 바탕으로 2007년 태양광의 폴리실리콘 부문에 진출하여 세계의 선도기업으로 성장함.

7) 조홍식, 2013, 기후변화시대의 법정책.

8) 대단위 아파트 및 건물 단지내 ‘태양광마이크로 발전소’를 건립하여 건물의 베란다 등에 패널을 설치하고 패널과 연결된 플러그로 콘센트를 꽂아 전기를 생산하는 방식 등.

9) 예를 들면, 향후 대량 공급이 예상된 연료전지·하이브리드·바이오 연료 자동차의 경우 효율등급 및 저탄소 등 정보공개 확대 필요.

10) 강원 양구지역에 태양광 102개소(376KW), 태양열 8개소(196m²), 지열 33개소(588KW).

11) - 대구실증사업: ‘10.6~13.5, 용량 10,000 KWh, 사업비 136억 원, 초천변전소: ‘11.7~14.6, 용량 8MWh/4MW, 사업비 120억 원.
- 해외에서는 독일 Conergy사, 프랑스 Saft사 등이 참여하여 Solion(태양광-리튬이차전지)를 프로젝트 추진.

12) 이병훈, 2015, “지능형 에너지관리시스템을 위한 IoT 기반의 상황인지 서비스 연구 및 구현”, 중앙대학교대학원 석사학위논문.

서비스 인터페이스 기술인 정보의 센싱, 상황인지·수집·추론 기법 등을 활용하여 태양광의 핵심인 태양전지 등 발전시스템에 태그 등을 부착하여 광전자 흡수량을 최대한 높이는 반면에 방사열은 줄이는 것이다. 아울러 풍력의 경우도 IoT의 기술을 활용하여 풍력의 운전 및 기계시스템에 태그 등을 부착, 강한 바람이 부는 경우 그 바람을 계속적으로 저장하여 축전시키고, 바람이 미풍인 경우는 그 바람을 크게 높이고 크 하도록 하여 거의 전천후로 풍력을 이용하는 방법을 마련하는 것이다. 향후 이러한 IoT와 신재생에너지원이 연계된 기술개발이 실현된다면 에너지의 효율성과 경제성이 확보되어 신재생에너지가 보다 확대보급이 될 수 있다.

다음은 현장에서의 쉽게 신기술을 연구개발, 보급·활용하는 시스템의 정착이다. 첫째로 신재생에너지원이 발전(전력) 등과 연계된 기술개발로서 ‘태양광-연료전지 하이브리드 시스템’(HOMER)¹³⁾을 활용하여 종전의 계통전원을 활용하지 않고 독립적인 분산전원을 가정에 공급한 것이다. 이 시스템 구성을 보면 태양광 어레이, 연료전지, 전기분해기, 수소탱크, 배터리, 컨버터로 가정에 분산전원으로서 적용이 가능한 독립운전형 발전시스템이다. 본 시스템의 기본적 운전 메커니즘은 낮 동안 태양광발전이 전력을 생산하여 PCS(Power Conditioning System)를 통해 부하에 전력을 공급함과 동시에 배터리를 충전시킨다. 또한 여분의 전력을 이용하여 전기분해기를 구동시키고 생산된 수소는 수소탱크에 저장되었다가 전력 요구량이 많은 시간대에 연료전지에 공급됨으로써 부족한 전력을 부하에 공급하게 되며, 연료전지의 폐열을 재생하여 난방용 온수를 공급할 수 있도록 한 시스템이다. 이 시스템의 시뮬레이션 결과 경제성 평가가 검증되었으며¹⁴⁾, 향후

이 시스템은 부하의 변동에 따라 안정적인 전력 생산이 가능하기 때문에 독립적인 운전이 가능한 분산전원으로써 가정에 보급하거나 낙도나 오지에 적용하여 보다 경제적이고 효율적인 에너지원으로 성장 가능하다고 본다.

둘째는 신재생에너지를 출력특성에 따라 보조전원의 입력이 선택적으로 구성되어 출력 특성이 안정적이며 연속적인 ‘복합 신재생에너지 시스템용 다중 입출력 보조전원 설계’¹⁵⁾이다. 이는 태양광이나 풍력 같은 신재생에너지는 주변 환경에 의해 일간 출력 특성이 큰 폭으로 변화된다는 것을 인지하고서 서로 다른 발전 특성을 가지는 신재생에너지원들을 함께 구성하는 복합 신재생에너지 시스템이다. 이런 시스템에서는 보조전원의 안정적인 동작을 위해서는 기본적으로 다양한 환경 조건에서도 동작이 가능하여야 한다. 따라서 간헐적으로 발전하는 신재생에너지원의 특성상 보조전원의 입력을 하나의 신재생에너지 모듈이 아닌 다수의 모듈로부터 받아오는 것이 필요하다. 이러한 구조를 ‘다입력 다출력’(multiple input multiple output, MIMO) 보조전원 구조라고 하는데, 이 구조는 발전하는 신재생에너지원들 중 하나를 보조전원의 입력으로 선택하여 사용하므로 안정적인 동작이 가능하다. 한편, 주변 환경에 의해 메인으로 동작하고 있는 신재생에너지원의 발전 전압이 떨어진다면, 대체 에너지원으로 보조전원의 입력이 구성되어 각 제어기의 동작이 안정적으로 이루어 질 수 있다. 예를 들어, 태양광에너지 시스템이 동작 중에 모듈에 음영이 발생한 경우 시스템의 출력전압이 저하되어 안정적인 출력전압을 가지는 다른 모듈 중 한 곳에서 보조전원의 입력을 변경하여야 한다. 또한 여러 시스템의 모듈 중 한 곳에서 보조전원의 입력을 구성하였을 때, 해당 모듈에서 시스템 에러가 발생한다면 보조전원의 입력을 다른 쪽으로 전환하여 보조전원을 유지한 뒤 고장 시스템에 대한 보호 및 진단이 가능하고, 때로는 모든 모듈에서 시스템 에러가 발생한다면 보조전원 오동작에 의한 오류를 방지하기 위해 제어기의 전원을 차단하여 메인 시스템의 전력전달이 이루어지지 않게 하는 것이다.

이처럼 현장에서 신재생에너지 분야의 신기술들이 적

13) - HOMER: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables, - 오용, 2011, “태양광/연료전지 하이브리드 시스템의 전기특성과 최적 운전을 위한 경제성 평가에 관한 연구”, 동신대학교 박사 학위논문.

14) 이 시스템을 가장 경제적으로 운전될 때는 태양전지 발전 5KW, 연료전지 1KW, 배터리 4개, 컨버터 3KW, 전기분해기 2KW, 수소탱크 0.5kg를 적용하였을 경우로 분석하였으며, 이 때의 초기 투자비용은 \$53,207 이며 운전비용은 30\$/year, COE(cost of electricity)는 1.281\$ h/year로 가장 저렴한 특성을 보였다. 또한 연료전지의 총 운전시간은 2,362h/year로 분석되었다. 또한 디젤발전기만을 이용하여 발전을 하는 경우 발전단가가 1.633\$/kWh로 본 시스템에서 제한하는 경우보다 약27% 가량 높게 형성됨을 보여 주었다.

15) 조남진, 2013, “복합 신재생에너지 시스템용 다중 입출력 보조전원 설계”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문.

극적으로 개발되고 보급되게 하려면, 정부의 대폭적인 관심과 RND분야 예산 지원이 있어야 한다. 또한 대기업들이 신재생에너지 분야에 대한 적극적인 투자확대가 필요하며, 아울러 중소기업들의 뛰어난 기술력이 상호 연계되어야 할 것이다.

5.2 한국형 신재생에너지기업 탄생 및 지원 전략

이처럼 신재생에너지원이 우수한 핵심제조업과 발전·산업·수송·소비자 등과 연계되고, ICT 분야와 융합·연계하는 기술개발이 이루어지고, 아울러 현장에서 신기술이 개발과 보급체계가 확실하게 구축된 경우, 다음에는 재무구조가 튼튼한 대기업과 대기업끼리 결합하는 초대형기업을 만드는 것이다. 이러한 초대형대기업들이 우수한 기술력을 보유한 중소기업과 상호 연계하는 한국형 신재생에너지기업을 탄생시키는 것이다. 참고로 한국형 신재생에너지기업 탄생 필요성을 보충할 수 있는 자료에 의하면¹⁶⁾, 기업들의 생산성 분석결과 일반 업종의 대기업의 평균 효율성은 높아지고 있지만, 신재생에너지 대기업들의 평균 효율성은 오히려 낮아지고 있다는 분석이다. 아울러 중소기업의 경우도 일반 업종의 중소기업은 효율성이 등락이 있지만, 신재생에너지 업종은 대체로 효율성이 떨어지고 있다는 것이다.¹⁷⁾ 또한 우리의 신재생에너지기업의 리스크 분석에서도 대기업보다도 규모가 작은 중소기업이 리스크가 훨씬 크다는 결과이다.¹⁸⁾

이에 따라 특수한 우리나라의 신재생에너지산업 여건을 반영한 한국형 신재생에너지기업이 반드시 탄생이 하여야만 한다. 이러한 기업의 탄생은 그 동안의 신재생에너지 분야의 가장 취약점인 자금력과 핵심 기술력, 원천 기술 등 확보케 하여 세계의 신재생에너지산업을 선도할 수 있을 것이다. 다만, 한국형 신재생에너지기업이 원활하게 탄생되기 위해서는 우선 몇 가지 전제조건이 필요하다. 첫째로 대기업끼리 결합하여 초대형 기업이 되려면 한국의 국민정서상 이를 제한하는 여러 가지 법률적인 제약사항이 많다. 이를 예외적으로 허용해주는 특별법 제정

이나 기간을 별도로 정하는 한시법 제정 등이 필요하다. 둘째로 정부는 한국형 신재생에너지기업이 탄생할 수 있도록 금융지원이나, 세제지원, 입지지원, 중소기업 영역 완화 등 지원이 필요하다.

6. 결론

최근 세계 각국 나라들은 환경보호를 위하여 화석에너지를 줄이고 신재생에너지를 확대하고 있는 추세이다. 하지만 우리나라는 아직까지 다른 OECD 선진국들보다도 온실가스 배출증가율이 가장 높으며, 신재생에너지 사용 비중도 최하위를 나타내고 있다. 이에 따라 본 연구는 환경보호를 위해서 여타 다른 선진국 보다 차별화되고, 우리의 실정에 적합한 한국형 신재생에너지 개발전략을 제시하였다. 이를 위해서 사전에 환경문제에 대한 예비적 고찰과 함께 환경보호 모형을 제시하였고, 또한 환경오염의 주요 원인이 되고 있는 에너지소비와 환경오염과 상호관계를 분석하여 향후 과제를 제시하였으며, 이러한 과제의 성공적 이행을 위한 전제조건 등을 제시하였다. 본 연구의 개발전략을 보면,

첫째는 신재생에너지 분야에 한국형 제조업의 강점과 상호 융합·기술연계 하여 신재생에너지 개발전략을 마련하였다는 것이다.

둘째는 향후 신재생에너지가 발전(전력), 산업, 수송, 건물, 소비자 분야 등 전 분야 연계되어 저비용과 고효율, 안전성, 시장성 및 발전가능성, 편리성, 친환경성을 갖춘 종합적이고 체계적인 에너지원으로 발전한다는 전략을 제시하였다.

셋째는 신재생에너지원이 제조업 융합·기술과 함께 결합하면서 ICT 등과 연계하여 최고의 효율성과 소비자 만족도를 높이는 시스템을 개발하는 것이다. 예를 들어 IoT의 기술체제와 신재생에너지의 태양광, 풍력 등과 상호 연결하여 향후 에너지의 생산과 공급을 높이는 기술개발 방향을 제시했다는 점이다. 향후 이러한 IoT와 신재생에너지원이 연계된 기술개발이 실현된다면 에너지의 효율성과 경제성이 확보되어 신재생에너지가 보다 확대보급 될 것으로 예상된다.

16) 1999년부터 2013년까지 대기업 1,060개, 중소기업 3,721개 등 4,871개를 선정 생산성 조사(무협협회 제40-3호, 2015.6, p108).

17) 유진만, "신재생에너지산업 국제경쟁력 분석", 2015.6

18) 이의재, "국내 신재생에너지 기업의 리스크 분석", 2012.12, p63-65.

넷째는 한국형 신재생에너지기업 탄생 및 지원이다. 상기의 신재생에너지 제조업융합·기술연계 모형이 현장에서 구축된 이후 우리나라의 신재생에너지 기업들이 보다 거대한 초대형 기업으로 발족되어, 이 기업이 우수한 기술력을 보유한 중소기업과 상호 연계하여 동반성장하는 것이다.

아울러 한국의 신재생에너지 산업이 세계의 초강국이 되기 위해서는 지속적인 정부의 육성 의지와 정책적인 지원이 필요하다. 참고로 독일 정부는 신재생에너지 비중을 더욱 확대시키기 위해 전력이나 난방 등 에너지의 생산·이동·분배·소비에서 사용을 의무적으로 강제하는 에너지 관련 법을 시행 중에 있다. 또한 신재생에너지 소비를 보다 확대하고 촉진하기 위해서는 현재에 원가에 미치지 못한 전기요금 등을 대폭 현실화하여 경쟁관계에 있는 화석 연료의 소비를 줄여야 한다.

후 기

본고는 한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원의 환경보호를 위한 한국형 신재생에너지 개발전략에 관한 연구에 대한 학위 논문의 일부 내용을 발췌하여 정리한 논문입니다. 본 연구의 발전을 위하여 노력하여 주시고, 지도편달을 하여 주신 한국신재생에너지학회지 심사위원장님과 위원님들에게 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

References

- [1] 세계일보, 2104. 1.14. 한위.국 온실가스 배출증가율 OECD 1위.
- [2] 이정진, 『환경경제학의 이해』, 2011, 서울, 박영사.
- [3] 정석진, 2010, 『그린에너지와 환경촉매』, 서울, 집문당.
- [4] Grossman, G. M. and Krueger, A. B., 1995, “*Economic Growth and the Environment*”, *The Quarterly Journal of Economics* 110, pp. 352-387.
- [5] 조홍식, 2013, 『기후변화시대의 에너지법정책』, 서울, 박영사.
- [6] 이창훈, 2015, “신재생에너지의 환경적 영향에 관한 법적 고찰”, 한국환경법학회 제 37-1호.
- [7] 정수관 외 1인, 2013, “소득 및 에너지소비와 환경오염의 관계에 대한 분석”, 환경정책 연구 12-3호.
- [8] 원용영, 2013, “기후변화에 관한 국제법적 문제점”, 충남대학교 대학원 석사학위 논문.
- [9] 변재영 외 2인, 2014, “기후변화 시나리오에 근거한 한반도 미래 풍력·태양·기상자원 변동성”, 한국신·재생에너지학회.
- [10] 권혁수 외 3인, 2012, “신재생에너지 온실가스 감축 기여도 평가 및 보급 확산전략”, 에너지경제연구원.
- [11] 이재훈, 2010, 『녹색성장과 에너지자원 전략』, 서울, 나남.
- [12] 이강후, 2009, 『대체에너지』, 서울, 도서출판 북스힐.
- [13] 이재호, 2013, 『에너지 정치경제학』, 서울, 석탑출판.
- [14] 이종교, 2014, “신재생에너지에 대한 세제지원의 현황 및 개선방안 연구”, 제주대학교 법과정책연구원 20-1호.
- [15] 이유아 외 1인, 2011, “신재생에너지 인력 수요전망 방법론 및 사례연구”, 한국신·재생에너지학회 7-3, 통권 27호.
- [16] 구기관 외 3인, 2012, “국내외 신재생에너지 기술 경쟁력 분석”, 한국신·재생에너지학회 8-3호.
- [17] 오승환 외 1인, 2014, “국내 신재생에너지 R&D 사업의 경제적 성과 분석”, 에너지경제연구원 13-2호.
- [18] 권혁범, 2012, “한국의 녹색성장을 위한 신재생에너지 발전 전략”, 한국산업기술대 지식기반 에너지정책대학원 박사학위
- [19] 윤생진, 2010, “신재생에너지산업의 활성화 방안에 관한 연구”, 한양대학교 산업경영디자인대학원 석사학위 논문.
- [20] 이병훈, 2015, “지능형 에너지관리시스템을 위한 IoT 기반의 상황인지 서비스 연구 및 구현, 중앙대학교대학원 석사학위 논문.
- [21] 임계재, 2015, “신재생에너지를 활용한 IT-융합 식물공장시스템 설계”, 한국통신학회 40-4호.
- [22] 성태형, 2014, “태양광산업에 있어서 OCI의 기술혁신 모형 연구”, 고려대학교대학원 석사학위 논문.
- [23] 오용, 2011, “태양광/연료전지 하이브리 시스템의 전기 특성과 최적 운전을 위한 경제성 평가에 관한 연구”, 동신대학교 박사 학위 논문.
- [24] 조남진, 2013, “복합 신재생에너지 시스템용 다중 입력력 보조전원 설계”, 성균관대학교 석사학위 논문.
- [25] 이유석 외 1인, 2014, “그린에너지 활용을 위한 대학건

- 물옥상설치형 소형 풍력발전”, 한국신·재생에너지학회 10-3 통권 39호.
- [26] 유진만 외 1인, 2013, “정부정책이 재생에너지산업 생산 확대에 미치는 장단기 영향 분석”, 한국경제통상학회 31-4호.
- [27] 이상훈, 2014, “한국에서 재생에너지 확대를 위한 정책적 과제”, 강원대학교 비교법학연구소 12권.
- [28] 권태형, 2014, “신재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교”, 한국정책과학회보 18-2호.
- [29] 한낙현, 2014, “국내 신재생에너지의 발전 전략과 과제에 관한 연구”, 해양비즈니스 제28호.
- [30] 유진만, 2015, “신재생에너지산업 국제경쟁력 분석”, 무협협회지 제40-3호.
- [31] 이의재, 2012, “국내 신재생에너지 기업의 리스크 분석”, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- [32] 구훈영, 민대기, 2014, “국내 태양광 산업의 중장기 전망에 관한 연구”, 경영연구 제29-2호.
- [33] 지식경제부 백서, 2012.
- [34] <http://blog.naver.com/soclsrnwsl/220413190700>.
- [35] 국회산업통상위원회, 2013.
- [36] 석상일 외 2인, 2015, “무·유기 하이브리드 페로브스카이트 태양전지”, 한국화학연구원.