

다양성지수를 통한 에너지안보수준 분석: 한국사례를 중심으로

장용철 · 방기열 · 이관영 · 김경남

고려대학교 그린스쿨대학원

(2014년 2월 24일 접수, 2014년 5월 12일 수정, 2014년 5월 15일 채택)

Analysis of energy security by the diversity indices: A case study of South Korea

Jang, Yong-Chul · Bang, Ki-Yual · Lee, Kwan-Young · Kim, Kyung Nam
Green School(Graduate School of Energy and Environment), Korea University
(Received 24 February 2014, Revised 12 May 2014, Accepted 15 May 2014)

요약

본 논문은 최근 대두되고 있는 에너지안보의 문제를 지수화 방식으로 한국사례를 분석하고 그 의미를 고찰한다. 에너지안보는 화석연료의 수요 급증, 중동정세 불안, 화석연료고갈 등 다양한 문제점 및 우려로 인해 국가적 주요 쟁점으로 자리 잡았다. 에너지안보는 유용성, 접근성, 환경용인성, 가격적 절성으로 구분 설명될 수 있다. 특히 접근성은 생산과 소비의 공간적 불균형에 관한 의미를 담고 있다. 본 논문에서, 연료의 다양성이 높아지면 일부 에너지원에 의한 취약성을 분산시켜 에너지안보의 안정성을 증대시킬 수 있다는 가설에 의거, 접근성 차원에서 에너지안보를 연구대상으로 정했다. 연료 다양성 수준의 측정에는 Shannon-Wiener식을 사용했다. 분석 결과 2012년 기준 한국의 다양성지수(H지수) 성장률은 18.38%로 주요 선진국들에 비해 높았다. 그러나 한국의 다양성 지수값 자체는 1.93으로 선진국 대비 낮은 수치를 나타냈다. 가장 큰 이유는 선진국 대비 전체 에너지에서 신재생에너지가 차지하는 비중이 상대적으로 낮았기 때문이다. 화석연료자원이 없는 한국이 에너지안보 수준을 높이기 위해서는 독일과 같은 강력한 신재생에너지 보급정책을 바탕으로 에너지믹스의 구성을 변화시키는 적극적인 다양성 제고 노력이 필요하다.

주요어 : 에너지안보, 에너지믹스, 다양성지수

Abstract - How to determine the extent of national energy security? In this paper, we estimate it by comparative analysis of South Korea and other OECD countries in terms of energy diversity (fuel diversity). Energy security consists of 4 key factors such as availability, accessibility, acceptability, affordability. Especially the importance of accessibility can grow as local imbalance of supply and demand increases. As a proxy of the accessibility, fuel diversity can be a significant indicator to estimate a measure of energy security. In this paper, we use Shannon-Wiener index to measure energy diversity. If fuel diversity increases, the stability of energy security also should increase, because of the smoothing effect to lessen dependence on key energy sources. In 2012 Korean growth rate of H-index (energy diversity) is 18.38%, which is higher than other OECD countries. However, Korean H-index itself is 1.93, lesser than other countries. Shift from oil to coals/gas within fossil fuels has more impact on H-index than weight transition from fossil fuels to renewable energies in Korea. We conclude that more renewable energy is an effective solution to achieve higher energy diversity and ultimately higher energy security as the same as the German case.

[†]To whom corresponding should be addressed.
Green School, Korea University 145 Anam-ro, Seoul
136-713, Korea
Tel : 010-8893-0748 E-mail : hockenheim@korea.ac.kr

Key words : Energy security, Energy mix, Diversity index

1. 서 론

오늘날 세계 각국에서는 경제성장을 이루기 위하여 많은 양의 에너지를 소비하고 있다. 특히 화석연료인 석탄, 석유, 가스에 치중되는데 불행히도 이러한 에너지원은 세계에 균등하게 존재하고 있지 않다. 그에 비해 세계 에너지소비량은 지속적으로 증가하고 있다. 세계 각국들은 계속적인 경제성장을 하고 있고, 이와 더불어 사람들은 좀 더 편안하고 안락한 삶을 영위하길 원하기 때문이다. 따라서 자국 내에 에너지 자원이 부족한 나라는 타국에서 생산되는 에너지자원에 의존하면서 에너지소비량이 늘어날수록 경제와 정치적 안정에 대한 취약성이 증대 되었다(Cherp 외, 2011). 이러한 상황에서 에너지는 국가의 안보에 위협을 미치는 요소의 일부분으로 인식하게 되었고, 에너지안보가 중요한 주제로 대두되었다.

1차 석유파동(1970년대 고유가 시대) 이후로 안정되어 있던 석유가격이 2002년부터 인도와 중국 등의 석유 수요급증, 중동정세 불안과 석유고갈 우려 등으로 가격이 폭등하여 신고유가 시대에 접어들면서 에너지안보의 위험성이 점차 고조되고 있다. 그러나 1차 에너지원으로는 화석연료만 존재하는 것은 아니다. 비록 후쿠시마 사태로 인해 비판적 인식이 팽배해지긴 하였지만, 세계 전력생산의 큰 축을 담당하고 있는 원자력, 그리고 에너지자급률을 높이며 화석연료의 대체재로써 각광을 받기 시작한 신재생에너지(수력, 태양광, 풍력, 지열, 바이오에너지 등)도 존재한다. 이것들은 신고유가시대와 경제침체에 활력을 불어넣을 수 있는 원동력으로 작용할 수 있다. 현재 많은 나라들이 태양광, 풍력, 연료전지 등의 신재생에너지 기술 개발 및 보급에 박차를 가하고 있으며, 점점 에너지믹스의 한 축으로 그 비중이 늘어나고 있는 실정이다. 따라서 과거와 달리 점차 사용가능한 에너지원 종류는 다양해지고, 이러한 다양화가 진행될수록 에너지의 안정적인 공급이 가능해지게 된다.

본 논문은 다양성지수가 한국의 에너지안보를 설명할 수 있는지에 대해 연구한다. 이를 위해 에너지안보의 의미에 대해 짚어보고, 의미의 일정부분을 수용하여 에너지안보 수준을 설명해주는 지표로서 다양

성지수를 선정, 동 지수의 설명력을 검증해 본다. 신재생에너지 개발 정도 및 경제수준에 따라 경우의 수가 복잡해지는 1차 에너지원 수준에서의 에너지믹스를 나라 별 및 시간대 별로 비교하기 용이하다는 점에서 착안하여, 다양성지수를 본 논문의 연구대상으로 선정하였다.

논문의 순서는 다음과 같다. 제1장 서론과 함께 제2장에서 에너지안보 및 에너지 다양성의 의미를 기존 문헌을 통해 알아보고 논문에서 활용하고자 하는 다양성지수를 설정한다. 각각 다른 수치를 가지는 에너지원으로 복합 구성된 에너지믹스를 직관적으로 비교하기 위하여, 각기 다른 빈도수를 갖는 여러 종류의 집단에서 정보를 추정하는데 사용되는 Shannon-Wiener식(Shannon, 1948)을 1차에너지 수준에서의 다양성지수로 사용한다. 제3장은 과거 1998년부터 2012년까지의 에너지관련 데이터를 이용해서 한국의 연도별 다양성 지수를 산출 분석하고, 비교대상으로 선정한 주요 선진국의 다양성지수 흐름과의 비교를 통해 한국의 에너지안보가 어느 수준인 지를 알아보고, 연구대상인 다양성지수의 적정성을 검증해 본다. 마지막으로 제4장 결론에서는 동 다양성지수가 갖고 있는 정책적 함의를 제시한다.

2. 에너지안보 지표: 다양성지수의 설정

2.1. 에너지안보의 정의

에너지안보의 개념은 합당한 가격에서 경제활동을 위한 끊임없는 에너지 수급 가능성을 의미한다(World Energy Council, 2008). 즉, 에너지안보는 에너지자원의 충분한 공급을 바탕으로 하고 있으며, 이것은 특정 에너지자원을 누가 어떠한 수단으로 통제하는가에 달려있다(박상현 외, 2012). 특히 전 세계적으로 산업의 핵심 원료가 된 석유는 경제발전애 따른 소비국의 수요증가는 물론 생산국의 지리적, 정치적 문제 및 자원고갈문제로 인해 가격의 불안정성 및 수급의 문제가 제기된다. 따라서 의존도가 높은 나라일수록 가격변화 및 수급경로에 민감해지고, 이에 따라 취약성이 증가되어 에너지안보의 불안정성이 증대된다.

이러한 상황에서 에너지안보는 정치, 경제, 국제관계 등 많은 분야의 주제로 연구되고 있다. APERC(2007)은 에너지안보를 표1과 같이 4A라는 네 가지 요소로 분류했다.

첫째, 에너지자원의 유용성(Availability)이다. 이것은 에너지자원의 절대적 가용성이나 물리적 존재(전통적 및 비전통적 탄화수소자원, 신재생에너지자원)를 포함하며, 지리적 문제와도 연관이 된다. 즉 생산성 관점에서 화석연료의 경우 매장량과 관련되고, 신재생에너지의 경우 부존량과 관련된다.

둘째, 접근성(Accessibility)의 장벽이다. 에너지원 중 가장 많이 쓰이는 화석연료, 그 중에서도 석유는 표2와같이 중동 및 러시아, 미국 지역에 집중되어 생산되고 있으나, 주로 소비되는 지역은 그와 부합하지 않는다. 따라서 소비와 생산 간에는 커다란 공간적 불균형이 존재하여 특정 에너지원의 수급 장애가 생기면 소비국의 에너지안보에 큰 영향을 미치게 된다. 뿐만 아니라 재정 및 인력의 제한, 국가레짐, 주요 기반시설과 기술개발에의 영향도 이에 포함된다.

따라서 소비와 생산 간에는 커다란 공간적 불균형이 존재하여 특정 에너지원의 수급 장애가 생기면 소비국의 에너지안보에 영향이 미친다. 뿐만 아니라 재정 및 인력의 제한, 국가레짐, 주요 기반시설과 기술개발의 영향도 포함한다.

셋째, 환경적 지속가능성과 관련된 용인성(Acceptability)이다. 일반적으로 에너지원의 사용 및 가공 시 발생하는 이산화탄소를 비롯한 환경에 미치는 과급효과를 의미한다.

넷째, 소비자들이 에너지 서비스, 자본, 그리고 다양한 에너지원을 개발하기 위한 운영비용에 투자할 여유가 되는지에 대한 가격적절성(Affordability)이다.

Kruyt(2009)는 상기한 4가지 요소간에 두개씩 짝지어 상반된 의미를 갖는다고 설명한다(그림 1). 첫번째 대칭된 의미로서 유용성과 접근성을 살펴보면 다음과 같다. 다자주의, 신탁 그리고 국제협력 등은 세계시장에서의 생산성 증대를 도모한다는 점에서 에너지자원의 유용성과 연관된다. 반면 지역 간 경쟁의 증가는 정책적 장벽을 높이고, 소비와 생산 간의 간극을 넓혀 에너지자원에 관심이 높아지기 때문에 자원 접근성에 대한 중요성이 커진다. 따라서 시나리

Table 1. 에너지안보 수준을 설명하는 4가지 요소

요소	정의
Availability (유용성)	매장량과 생산에 관한 물리적 접근
Accessibility (접근성)	각 종 요소에 따른 자원에 대한 접근
Acceptability (용인성)	환경에 대한 영향
Affordability (가격적절성)	에너지원에 대한 가격적 측면

Table 2. 석유의 생산 및 소비국 순위(BP, 2013)

	생산	소비
1	사우디아라비아	미국
2	러시아	중국
3	미국	일본
4	중국	인도
5	캐나다	러시아
6	이란	사우디아라비아
7	아랍에미리트	브라질
8	쿠웨이트	독일
9	이라크	한국
10	멕시코	캐나다

오 상에서 유용성은 세계화와, 접근성은 지역화와 상응한다. 두 번째 대칭된 의미로서 용인성과 가격적절성은 환경과 경제성장 간의 관계로 설명이 가능하다. 환경을 보호하기 위해서는 에너지시스템에 대한 비용이 높아진다. 그러나 에너지에 대한 높은 비용은 경제성장을 저해하게 된다. 따라서 시나리오 상에서 용인성은 환경우선(환경적 용인성)과, 그리고 가격적절성은 경제성장(경제적 효율)과 상응하게 된다. 이러한 요소간 관계성은 IPCC의 배출시나리오에 관한 특별보고서(SRES)¹⁾의 내용(Nakicenovic 외, 2000)과도 흡사하여 상호 매핑해 보면 그림 1과 같은 형태로 나타낼 수 있다. 이는 곧 미래 에너지안보에 대한 정의를 예측하는 기초를 제공한다고 할 수 있다(Kruyt 외, 2009).

2.2. 에너지안보수준을 위한 지표

에너지안보를 국가별로 비교하거나 평가하기 위해 개발된 지수(또는 지표)들을 그림 1에 매핑하면 다음 그림 2와 같다(Kruyt 외, 2009). 각 지수별로 앞서 설

1) 시나리오는 네 가지로 구분되고, A1(높은 단계의 세계화와 경제적 효율 집중), A2(낮은 단계의 세계화와 경제적 효율 집중, B1(높은 단계의 세계화와 환경우선), B2(낮은 단계의 세계화와 환경우선)이 있다.



Fig. 1. 에너지안보 스펙트럼; 에너지안보의 네 가지 면과 세계적 목표와의 관계

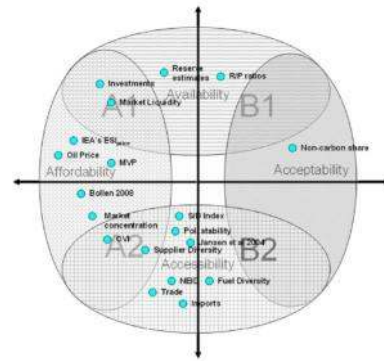


Fig. 2. 에너지안보 스펙트럼 상에 표현된 각종 지수들

명한 에너지안보의 네 가지 구성요소의 특성과 결부하여 각기 다른 설명력을 가진다. Availability(유용성)에 가까운 지수들은 주로 매장량과 관련된 의미를 가지며, Affordability(가격적절성)는 에너지원의 가격 변동을 통한 지수, Acceptability(용인성)쪽은 이산화탄소 배출과 관련한 지수이다. 마지막으로 Accessibility(접근성)에 가까운 지수는 에너지원 및 수입국을 다양성지표 등을 통해 표현하여 수급안정성을 평가할 수 있는 지표이다.

본 연구에서는 그림 2의 접근성 쪽에 위치한 연료의 다양성(Fuel Diversity, 1차에너지다양성)을 주요 연구대상으로 선정하였다. 접근성이 의미상으로 오늘날 에너지안보의 가장 큰 쟁점인 지정학적 문제를 대변할 수 있기 때문이다. 그림 2의 접근성 쪽에 분포한 지수들은 대부분(연료의 다양성, 공급자의 다양성, NEID²⁾ 및 Jansen et al. 2004³⁾) 다양성지표를 이용한다. 이것은 에너지원 및 에너지원이 공급되는 경로가 다양하기 때문에 많이 쓰인다. 연료의 다양성은 에너지발란스 상에 1차에너지원의 최종수급(TPES)을 이용한 지표이다. 한 국가가 1차에너지원 수준에서 어떠한 에너지원을 어떠한 비율만큼 사용하는지에 따라 다양성이 달라진다. 현재 화석연료에 집중된 소비패턴을 바탕으로 세계 에너지안보의 가장 큰 문제인 생산과 수요의 지역간 불균형을 설명하는데 용이

하다. 또한 IEA에서 매년 발간하는 Energy Balance의 통계자료만으로도 손쉽게 지수 산정이 가능하다는 장점도 가지고 있다.

2.3. 연료의 다양성(1차에너지다양성)

연료의 다양성, 다시 말해 1차에너지다양성을 어떤 지표에 의거하여 측정할 것인지에 대해 결정해야 한다. 표 3에서 보는 바와 같이 한 나라의 에너지믹스를 이루는 1차 에너지원은 화석연료부터 원자력, 수력, 바이오 연료까지 다양하게 존재하고 그 비율도 상이하다. 또한 국가별 지리적, 산업적, 경제적 상황 등에 따라 비율이 달라진다. 연료의 다양성, 다시 말해 1차에너지다양성을 어떠한 지표로 표현할 것인지를 결정하기 위해서 본 논문은 생태학에서의 다양성 개념을 다음과 같이 사용한다.

국가별로 다른 에너지믹스를 이루는 에너지원별 비율은 자연생태계에 존재하는 상이한 환경에서의 다양한 종 구성비율과 비슷한 맥락을 가진다. 특정 환경마다 빛, 수분, 온도, 공기의 흐름 등이 다양하게 나타난다. 이에 따라 다양한 에너지⁴⁾가 존재하게 되고 각 에너지를 최적으로 이용할 수 있는 종들이 존재하게 된다. 생태학에서는 이러한 각 환경 별로 존재하는 각기 다른 종의 구성정보를 비교·분석하기 위해 Shannon-Wiener(식1)⁵⁾을 이용하여 각기 다른 유

2) APERC에서 개발된 자료로써 Shannon-Wiener식 기초로 한 지표를 개발하여 에너지원의 수입의존도를 측정하기 위해 사용했다.
 3) Jansen 외는 Shannon-Wiener식을 기본으로 에너지원의 다양성뿐만 아니라 공급자의 다양성도 포함하는 복합 지수를 개발하였다.
 4) 여기서 말하는 에너지는 현재 인간이 쓰고 있는 에너지보다 물리/화학적으로 더욱 넓은 개념임.
 5) 다양성지수를 구하는 식은 크게 두 가지로 Shannon-Wiener식과 Herfindhal-Hirschman식(Hirschman, 1945)

Table 3. OECD국가 에너지밸런스(2012판) - 한국 2010

수급과 소비	석탄	원유	석유 제품	천연 가스	원자력	수력	지열, 태양 기타.	바이오 연료 & 폐자원	전기	열	총합
생산	0.96	0.70	-	0.49	38.73	0.32	0.22	3.43	-	0.09	44.92
수입	72.95	121.57	33.03	39.28	-	-	-	0.02	-	-	266.84
수출	-	-0.48	-45.31	-	-	-	-	-	-	-	-45.80
국제해상병커	-	-	-9.00	-	-	-	-	-	-	-	-9.00
국제항공병커	-	-	-4.01	-	-	-	-	-	-	-	-4.01
재고 변화	-0.48	-0.79	-0.57	-1.09	-	-	-	-	-	-	-2.94
최종수급(TPES)	73.43	120.99	-25.88	38.67	38.73	0.32	0.22	3.45	-	0.09	250.01



Fig. 3. 에너지안보 스펙트럼 상에 표현된 각종 지수들

형의 종들을 포함하는 집단에 관한 다양성지수로 표현해서 복잡한 정보함량을 계산한다(Margalef, 1956).

$$H = - \sum_i^N p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

식 1에서 p_i 는 전체 에너지소비량에 대한 에너지원 i 소비량의 비율이다. p_i 에 밑을 2로 하는 로그를 취함으로써 0과 1로 표현되는 정보의 의미로 나타낼 수 있고 다시 p_i 를 곱하고 전체를 더하여 다양성지수로 표현할 수 있다.

다양성지수가 높아질수록 정보의 복잡도가 높아지게 되어 엔트로피가 높은 상태가 된다. 즉, 전체 집단에서 각 요소들의 비율이 비슷해지는 것이다. 따라서 하나의 요소가 시스템에 미치는 영향이 줄어들게 되고 다양도가 높아질수록 안정된 시스템으로 흘러간

다. 에너지믹스도 마찬가지로 1차에너지원을 구성하고 있는 요소의 각 비율이 비슷해질수록 국가가 가지는 다양성지수 H 가 높아지고, 이에 따라 에너지시스템의 안정도가 높아진다고 할 수 있다. 즉, 다양성이 높아질수록 에너지믹스에서 차지하고 있는 가장 높은 비율을 가진 소수의 에너지원(예-석유)의 비율은 낮아지고 이에 따라 에너지 수급의 위험성은 나타나지만, 다양성지수가 낮아 소수의 에너지원이 차지하고 있는 비율이 높을 때에 비해 위험성은 적다(그림 3).

그런데 이러한 에너지믹스상의 다양성지수를 계산함에 있어 요소의 수에 따라 값이 상이해지는 문제점이 발생하게 된다. 과거에 비해 기술이 발전할수록 다양한 신재생에너지원을 이용할 수 있어 고려할 요소의 수가 증가하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 표 4)와 같이 수력을 제외한 소비량이 상대적으로 작은 신재생에너지원들(지열, 태양에너지, 바이오연료 등)을 하나로 묶어서 분석한다(Liang-huey Lo, 2011).

3. 다양성지수: 한국 사례 분석결과

3.1. 한국의 1차에너지다양성 수준

본 사례분석에서는 IEA가 발표하는 에너지밸런스 통계자료를 데이터로 사용한다. 1998년부터 2012년까지의 연도별 에너지관련 통계데이터를 가지고 산출한 한국의 연도별 다양성지수 추이는 그림 4와 같다. 전반적으로 한국은 분석기간 동안 다양성지수는 시간 경과에 따라 증가하는 추세를 보여준다. 증가한 주된 원인으로는 총 에너지소비량에서 분석기간 동안 석유

이 있으며, 전자의 경우 에너지원 또는 전력발전원의 다양성을 구할 때 주로 쓰이고 후자의 경우는 시장의 집중도와 관련해서 쓰인다. 본 논문에서는 에너지원의 경우이므로 Shannon-Wiener 식을 사용한다.

6) 1차 에너지 사용만을 판단하기 위하여 표 3에서 에너지의 가공으로 생산된 석유제품, 전기, 열은 제외했다. 지열, 태양광, 바이오연료, 폐자원 및 기타 에너지 등은 신재생에너지군에 포함시켰다.

Table 4. 변경된 2010 한국의 에너지믹스 통계자료

수급과 소비	석탄	원유	천연가스	원자력	수력	신재생에너지	총합
생산	0.96	0.70	0.49	38.73	0.32	3.65	44.83
수입	72.95	121.57	39.28	-	-	0.02	233.82
수출	-	-0.48	-	-	-	-	-0.48
제고 변화	-0.48	-0.79	-1.09	-	-	-	-2.36
최종수급(TPES)	73.43	120.99	38.67	38.73	0.32	3.67	275.81

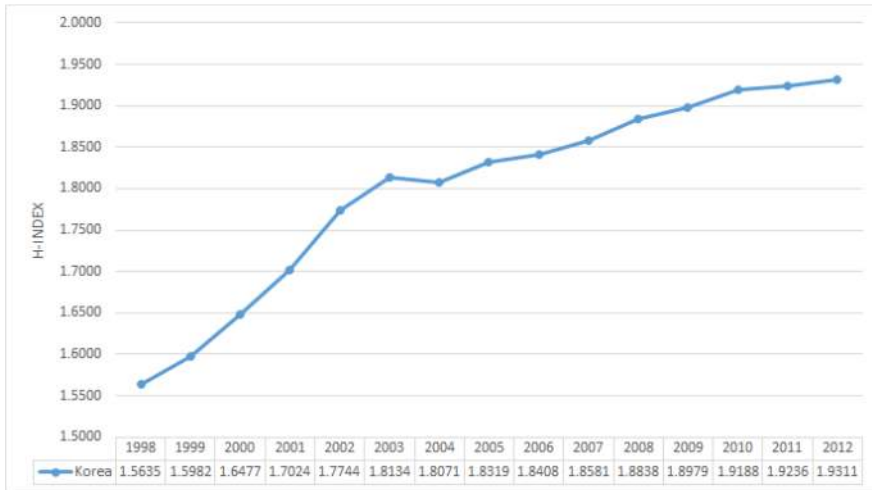


Fig. 4. 한국의 다양성지수의 변화

의 비중이 17.6% 줄어들고 석탄과 가스의 사용이 각각 8.1%, 7.4% 늘어났기 때문이다. 2000년대 들어 급격한 상승을 보인 석유가격, 경제둔화로 인해 상대적으로 값이 싸진 석탄, 그리고 고효율 청정연료로서의 가스 수요가 증가한 것이다. 물론 전반적인 에너지소비량이 늘어나긴 했지만 석유에 대한 의존도가 낮아지고 다른 연료들의 사용 비중이 높아지면서 석유에 대한 취약성이 상대적으로 낮아졌다. 즉, 에너지 안보의 접근성 측면에서 석유에 대한 높은 의존도를 다른 연료들로 분산시켜 한 요소에 대한 위험요소를 낮추었다고 말할 수 있다.

특히 2003년부터 2005년까지의 다양성지수 추이는 이러한 화석연료간의 비중변화를 잘 보여주고 있다. 2004년도는 전년도 대비 석유 소비가 크게 늘어 다양도가 감소한 반면, 그 다음해인 2005년에 석유 소비량의 변화는 미미하고 가스의 사용량의 증가로 다양도가 늘어났기 때문에 이러한 변화 양상을 나타낸 것이다.

과연 화석연료간의 비중변화로 인한 에너지다양성의 증가가 곧 에너지 안보 수준의 증가를 가져올 수 있을까? 보다 에너지 안보수준에 긍정적인

영향을 미치는 것은 신재생에너지와 같은 비화석연료에의 비중 증대이다. 한국의 신재생에너지 비중을 보면, 풍력과 태양광이 2009년에 전년도 대비 59%나 성장한 바와 같이 매년 꾸준한 성장을 하고 있지만, 다양성지수에는 큰 영향을 주지 못했다. 한국의 전체 에너지믹스에서 신재생에너지가 차지하는 비중이 매우 낮기 때문이다. 2012년까지 신재생에너지 비중은 지속적으로 증가하였지만, 비중은 1.5%선에 머무르는 실정이다.

3.2. G7 국가와의 비교 분석

3.1의 분석결과와 같이 한국의 에너지다양도는 시간 경과에 따라 지속적으로 증가하고 있지만 이것만으로는 에너지 안보 수준이 어느 정도 수준에 위치하고 있는지에 관한 설명력은 부족하다.

그림 5는 주요 선진국가로 분류되는 G7 국가들의 다양성 지수를 연도별로 표기하고 있다. 2012년 기준으로 미국 2.11, 영국 2.07, 프랑스 2.02, 독일 2.21, 캐나다 2.22로 한국 1.93에 비해 상대적으로 높은 에너지 다양도를 나타낸다. 반면 일본 다양도지수는 1.84, 이탈리아는 1.92로 한국보다 낮은 에너지 다양

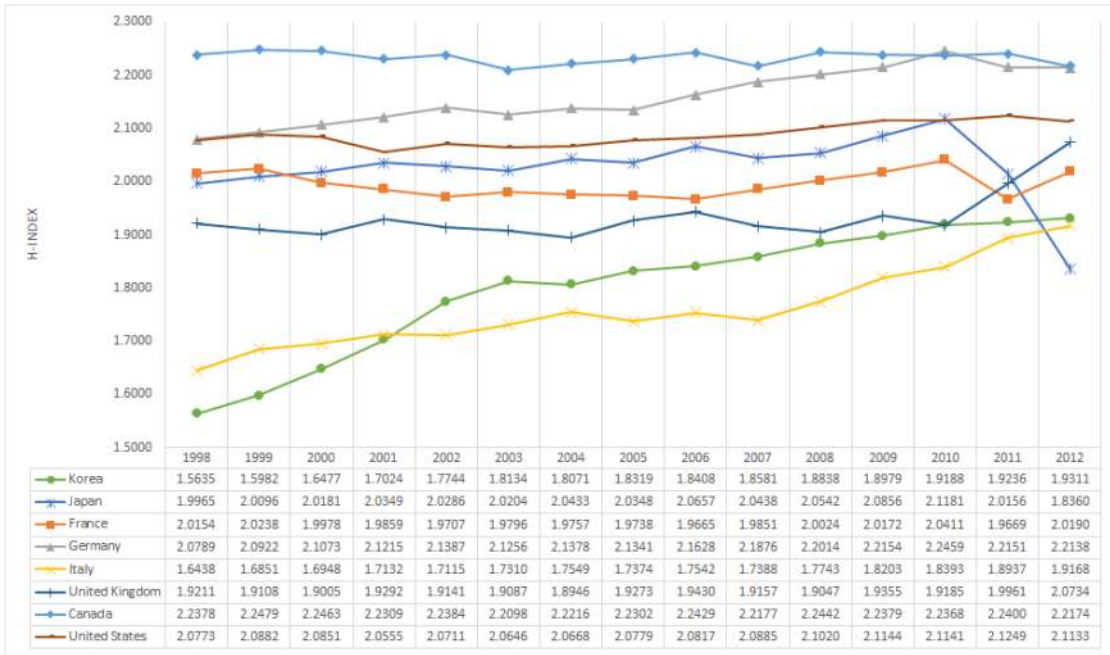


Fig. 5. 한국과 G7의 H지수의 변화비교

도를 나타낸다. 일본의 경우는 후쿠시마 원전사태에 따른 에너지믹스의 급격한 변화로 인한 결과로 해석된다. 이와 같이 다양성지수를 특정 국가 하나의 결과값을 가지고 해석하기보다는 대조군과의 비교분석을 통해 보다 에너지안보 수준에 대해 평가할 수 있다.

이들 선진국의 주요 에너지정책을 살펴보면, 탄소 집약도가 높고 앞서 말한 에너지안보의 요소 중 하나인 접근성 측면에서 생산가능지역이 한정적인 석탄, 석유의 보급을 늘리기보다는 가스나 신재생에너지 같은 상대적으로 청정하거나 에너지자립도(가스의 경우 셰일가스)를 높일 수 있는 에너지원의 개발에 힘쓰고 있다. 또한 에너지효율성을 높이는 방향으로 기술개발을 하여 전체적인 에너지소비량 감소의 목표도 가지고 있다. 신재생에너지 및 에너지 수요관리를 통해 에너지 다양성이 높아지고, 결국 에너지 안보수준이 향상되는 선진국가의 정책은 한국 정부의 바람직한 에너지정책에 시사하는 바가 크다.

다양성지수의 연평균증감율을 나타내는 표 5에 따르면 한국은 선진국에 비해 다양성지수가 높지는 않지만 증가율은 높은 것으로 나타났다.

이러한 모습의 내면은 앞의 3.1에서 설명한 바와

Table 5. 국가 별 H지수 평균증감율(1998~2012)

국가	H지수 평균증감율
한국	18.38%
일본	-8.03%
프랑스	0.18%
독일	6.75%
이탈리아	13.65%
영국	7.62%
캐나다	-1.02%
미국	1.80%

같이 화석연료들 간의 비율변화에서 기인한 것이다. 석유에 높은 비율이 집중되어 있는 에너지믹스에서 석탄과 가스로 비중이 옮겨감에 따라 다양성지수가 증가한 것이다. 이것은 에너지 소비패턴의 변화로부터 기인한 것으로 과거에 비해 전기의 소비량⁷⁾이 현저히 증가했고, 그 결과 값싸게 전력을 생산할 수 있는 석탄의 증가⁸⁾가 두드러지게 나타났기 때문이다. 따라서 결코 에너지 안보수준이 크게 향상했다고 판단해서는 안될 것이다.

단기적으로 다양성지수는 상승할 수도 있지만 장기적으로는 에너지 안보수준을 높이기 위해서는 신재생에너지 보급 및 에너지효율화 정책 그리고 더 나아

7) 1998년 대비 2010년 전력사용량은 2.3배 증가, 2012년에는 2.45배 증가

8) 1998년 대비 2010년 석탄소비량은 2.1배 증가, 2012년에는 2.23배 증가

가 고부가가치를 창출하는 산업구조로의 변화를 정책적으로 추진해야만 한다. 화석연료간의 비중 변화가 미치는 영향을 기술적으로 제거하고 비교분석을 다음과 같이 했다.

2012년 기준 에너지믹스에서 석유, 석탄, 가스의 비율을 같게 설정하고⁹⁾ 계산한 결과, 한국의 다양성지수는 2.04이다. 이 값은 비교대상 국가인 영국, 미국, 독일, 캐나다에 비해 여전히 낮은 에너지 다양성수치이다. 이는 화석연료를 제외한 에너지원들의 비중을 높이는 것이 다양성지수를 높이는 궁극적인 방법임을 증명하는 것이다. 특히 화석연료를 제외한 나머지 연료들은 대부분 생산과 소비의 지정학적 불균형이 발생하지 않기 때문에 화석연료의 비율 균등화로 인한 위험성분산보다 에너지안보에 더욱 큰 기여를 하게 된다.

신재생에너지 보급과 관련된 다양성지수 상승에서는 독일이 가장 큰 성과를 보이는 것으로 분석되었다. 탈원전을 목표로 신재생에너지 보급에 많은 노력을 쏟고 있고 이로 인해 다른 비교 대상국에 비해 상대적으로 높은 다양성지수와 증가율을 이루고 있다. 신재생에너지 발전용량을 급격히 끌어올리고 그에 맞게 원전을 폐기하고 있다. 또한 일본의 경우, 2011년 초 후쿠시마사태 이후로 원전 대부분이 중단되어 2011년부터 다양성지수가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 전력대란에 대한 해결대안으로 일본은 화석연료를 선택하기 보다는 강력한 FIT(발전차액제도)를 통해 신재생에너지 보급을 증가시키려 노력하고 있고, 향후 정상궤도에 오르면 독일과 같은 패턴을 보일 수 있을 것으로 전망된다.

현재 한국의 제6차 전력수급기본계획을 보면, 석탄 발전의 비중이 크게 증가한다. 이러한 화석연료 집중은 화석연료가 생산되지 않기 때문에 에너지안보 문제를 더욱 부각시킬 수 밖에 없게 된다. 따라서 당장 경제적 효과가 적고 보급상의 장애요인이 많더라도 신재생에너지에 대한 적극적인 개발·보급 정책은 매우 중요하다는 점이 본 논문의 분석결과로서 설명된다.

5. 결 론

본 논문은 에너지안보 평가를 위한 다양성지수를

설정, 한국의 에너지안보 수준을 분석하였다. 에너지안보의 네가지 요소 중 하나인 생산과 소비의 지정학적 불균형을 설명하는 접근성 관점에서 연료다양성(1차에너지다양성)을 에너지 안보를 설명하는 대용변수로 정하고, 에너지믹스상의 1차에너지원을 데이터로 하여 Shannon-Wiener의 공식을 사용하여 에너지 다양성 지수를 산출했다.

한국의 다양성지수에 대해서 시계열분석을 한 결과, 다양성 수준은, H지수의 경우, 시작년도인 1998년 대비 2012년의 다양도가 23.5% 증가하였다. 그러나 이러한 다양도 증가는 화석연료 내에서의 구성비중 변화가 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 석유의 비중이 줄고 석탄과 가스의 비중이 늘었는데 에너지안보의 차원에서 위험성의 분산을 가져와 안정도가 높아진 것이다. 비록 신재생에너지원이 2003년에서 2004년에 150%의 큰 성장을 시현하는 등 큰 증가세를 보였으나 원래의 비중이 워낙 적기 때문에 다양성지수에는 큰 영향을 주지 못하였다.

또한 본 연구에서는 다른 주요선진국과의 비교를 통해 상대적인 에너지안보수준을 평가하였다. 한국은 다른 국가와의 비교 결과에서 상대적으로 H지수 값은 낮으나 증가율은 높았다. 이것은 앞서 말한 화석연료의 비율변화로부터 기인된 것으로 2012년 기준 화석연료 비율변화만을 가지고 지수값의 최대치를 산정해 본 결과 다양성 지수 수치는 2.04로서 여전히 다른 선진국들에 비해 낮았다. 신재생에너지의 낮은 보급이 문제가 되어 생긴 결과로 판단되는 바, 독일의 경우처럼 강력한 신재생에너지 보급정책을 통해 에너지안보의 수준을 더욱 높일 수 있도록 해야 한다.

에너지안보 수준의 평가를 위한 다양성지수를 통해 국가 에너지정책상 주요 이슈인 에너지믹스 결정에 있어서, 현재의 에너지원별 구성 비율만이 아니라 에너지안보의 구성요소를 고려한 적정 믹스 결정이 보다 바람직하다고 판단된다. 특히 분석결과에서 보는 바와 같이 한국 내에서 생산되지 않아 취약성 분산효과 밖에 없는 화석연료보다는 에너지안보 접근성의 의미에서 안보수준을 더욱 끌어올리기에 용이한 신재생에너지 보급을 위해 노력해야 한다. 이를 통해 주요 선진국들의 다양성지수 수준에 가까워 질 것이고, 안보수준도 향상될 것이다.

한편, 본 논문은 에너지안보의 네 가지 요소 중 접

9) 다양성지수는 요소의 비율이 균등해질수록 값이 높아진다.

근성을 대변하는 지표만을 이용하여 분석했다는 한계를 가진다. 향후 가격변동을 대표할 수 있는 가격적 절성과 에너지원의 매장량을 의미하는 유용성, 환경영향에 대한 환경용인성을 설명할 수 있는 각각의 지표를 이용하여 에너지안보를 다각도에서 평가하여 그들 간의 관계성을 파악한 후 분석을 한다면 설명력을 높여 에너지안보 수준 평가에 좀 더 정확성을 키울 수 있을 것이다.

후기

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2013, 특화전문대학원 연계 학연협력 지원사업)

References

1. 박상현, 하상섭. 에너지안보의 국제정치: 국제협력과 한국의 전략, 정치·정보연구, 2012, 15:1
2. 산업통상자원부. 제6차 전력수급기본계획, 2013
3. APERC study. A Quest for Energy Security in the 21st Century Resources and Constraints, Asia Pacific Energy Research Centre, 2007, www.ieej.or.jp/aperc
4. Bert Kruyt, D.P. van Vuuren, H.J.M. de Vries, H. Groenbergh. Indicators for energy security, Energy Policy, 2009, 37:6, 2166-2181
5. Cherp, Aleh, Jessica Jewell. The Three Perspectives on Energy Security: Intellectual History, Disciplinary Roots and the Potential for Integration, Current Opinion in Environmental Sustainability, 2011, 3, pp. 1-11
6. Hirschman AO. National power and the structure of foreign trade. Berkeley: University of California Press; 1945.
7. IEA. ENERGY BLANCES OF OECD COUNTRIES (2000~2012).
8. Jansen, J.C., Arkel, W.G. van, Boots, M.G. Designing indicators of long-term energy supply security, ECN report, 2004, ECN-C—04-007
9. Liang-huey Lo. Diversity, security, and adaptability in energy systems: a comparative analysis of four countries in Asia, 2011, World Renewable Energy Congress 2011
10. Margalef, D. R. Information theory in ecology. 1956, Gen. Syst, Yearbook 3
11. Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, B., Fenham, J., Gaffin, S., Gregory, K., Gruebler, A., Jung, T.Y., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., Van Rooyen, S., Victor, N., Zhou, D., IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, 2000b
11. Shannon CEA. Mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, 1948;27 (379.423): 623.56.
12. World Energy Council. Europe's Vulnerability to Energy Crises, 2008