

# 에너지 안보 측면에서의 원자력의 역할 분석

An Analysis on the Role of Nuclear Power in Korean Energy Security

임채영 · 문기환

한국원자력연구소

## 서 문

### \* 요약 \*

우리 나라의 에너지 안보 정도를 정량화하여 나타낼 수 있는 에너지 안보 지수를 개발, 제시하고 이를 이용하여 원자력 발전의 도입이 국내 에너지 안보에 기여한 정도를 측정하였다. 에너지 안보에의 기여 항목으로는 에너지원 다원화와 에너지 수입 의존도를 선정하였으며, 원자력의 도입 여부에 따른 에너지 안보 지수의 변화를 비교함으로써 에너지 안보와 원자력 도입 여부와의 관계를 정량적으로 살펴보았다. 또한 본 연구에서 개발한 에너지 안보 지수를 이용하여 주요국의 안보 지수를 산출함으로써 우리 나라의 에너지 안보의 정도를 외국과 비교하였다. 이러한 분석을 통해 그동안 정성적으로만 논의되어 왔던 원자력 발전의 에너지 안보에 대한 기여 효과가 보다 명확하게 정량화되어 평가될 수 있었다.

산업 혁명 이래로 에너지는 비록 그 종류나 형태는 바뀌어왔지만 산업 활동에 필수적인 요소였다. 따라서 필요한 에너지의 안정 공급이라는 개념의 에너지 안보는 에너지 정책의 결정 과정에서 중요한 고려 사항 가운데 하나로 간주되어왔다.

우리 나라와 같이 부존 에너지 자원이 빈약한 경우에 에너지 안보는 더욱 중요하며, 이러한 중요성은 70년대 두 차례의 석유 파동을 거치면서 더욱 강조되었다.

에너지 안보라는 개념이 에너지 정책의 의사 결정 과정에 중요한 고려 요소로 자리잡은 지 오래지만, 우리의 경우 이에 대한 기존의 논의는 정성적이고 기술적(Descriptive)인 접근에 그쳤으며, 계량적으로 측정·평가하여 관련 정책에 반영하고자 하는 노력이 부족하였다.

이러한 현상에는 다양한 원인이 있을 수 있겠지만, 부분적으로는 에너지 안보가 그 특성상 정량화하기 어려운 부분이 있으며, 특히 경제학적 외부 효과(비용)로 환산할 경우 확률

적인 접근이 불가피하기 때문에 항상 불확실성이 내재되어 있다는 것에 기인한다.

본 연구에서는 우리 나라의 에너지 안보 정도를 지수화하여 나타낼 수 있는 에너지 안보 지수를 개발, 제시하고 이를 이용하여 원자력 발전의 도입이 국내 에너지 안보에 기여한 정도를 측정하고자 하였다.

이를 통해 그동안 정성적으로만 논의되어 왔던 원자력 발전의 에너지 안보 기여 효과가 보다 명확하게 평가될 수 있을 것이다.

이를 위해 Stirling(1994)이 제시한 다양성 지수(Diversity Index)를 바탕으로 우리의 상황을 고려하여 수정한 에너지 안보 지수를 개발, 제시하였다.

다음으로 70~97년까지의 국내 에너지 시스템의 에너지 안보 지수를 측정 후 주요국과의 지수 비교를 통해 우리 나라의 에너지 안보 정도를 점검하였다.

마지막으로 원자력의 도입 여부에 따른 에너지 안보 지수의 변화를 비교함으로써 에너지 안보와 원자력의 역할에 대해 논의하였다.

**에너지 안보 지수의 개발**

에너지 안보 지수법은 시스템의 에너지 안보 정도를 측정할 수 있는 지수를 정의한 후 이를 이용하여 에너지 안보를 평가하는 방법으로, 지수 자체의 설정이 자의적이라는 비판이 있으나 미래의 사건을 가정하지 않고 주어진 시스템의 에너지 안보 정도를 직접 평가하기 때문에 확률 추정에 따른 문제점이 없다는 장점이 있다.

대표적인 에너지 안보 지수로는 Stirling(1994)이 제시한 다양성 지수(Diversity Index)가 있다. 그는 다양성(diversity)을 다음의 3가지 요소로 구분하여 정의하였다.

- 다원화 정도(Variety) : 이용 가능한 에너지원의 수
- 점유도(Balance) : 이용된 에너지원간의 점유율의 균형 정도
- 이질도(Disparity) : 이용된 에너지원간의 상호 독립성, 혹은 이질적인 정도

Stirling은 이러한 정의를 만족하고 앞의 3가지 요소를 표현할 수 있는 지수로서 Shannon-Wiener Diversity Index를 제안하였다.

이 지수는 여러 분야에서 다양하게 사용되고 있는데 생태학에서 계의 다양성을 표현하기 위해 사용하는 지수이며, 열역학에서는 계의 무질서도를 표현하는 엔트로피지수로, 경제학에서는 산업의 독점도를 표현하기 위한

**Shannon-Wiener Diversity Index**

$$H = -\sum_i P_i \cdot \ln P_i$$

단,  $i$  는 에너지원,  $P_i$  는 에너지원별 점유율,  $\sum_i P_i = 1$

**수정된 에너지 안보 지수 (Modified Energy Security Index)**

$$S = K - \sum_i P_i \cdot \ln P_i$$

$$\text{단, } K = \frac{D}{C} = \frac{C - I + X + \epsilon}{C}$$

K : 국산 에너지 점유도    D : 국내 생산 에너지  
 C : 1차 에너지 소비    I : 에너지 수입  
 X : 에너지 수출    ε : 기타 항목(국제 병커링, 재고 증감, 통계 오차)

지수로 사용되고 있다.

이 지수는 단일 에너지원으로 구성된 경우에 극소값 0을 가지고 N개의 에너지원으로 구성된 시스템의 경우 극대값  $-\ln \frac{1}{N}$  을 가지게 된다. 예를 들어 석유 · 석탄 · 원자력 · 천연 가스 · 재생 에너지의 5가지 에너지원으로 구성된 시스템의 경우 지수의 최대값은  $-\ln(1/5) \approx 1.61$ 이 된다.

다양성 지수는 이용 가능한 에너지원의 수와 에너지원의 점유율을 반영하여 시스템의 다양성을 측정하는 유용한 척도이지만, 에너지원의 특성(다른 에너지원과의 독립성, 원별 공급시장 가능성의 차이)을 고려하지 못하는 측면이 있다.

즉 이러한 지수를 사용하면 풍부한 에너지 자원을 보유하고 있기 때문에 에너지원이 다양하지 않고 한 에너지를

원에 의존이 심한 경우 이러한 국가의 에너지 안보 지수가 오히려 낮게 평가되는 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위해 해외에 의존하는 에너지원이 공급 저장 가능성이 상대적으로 더 크다고 가정하고 이를 반영한 지수를 개발하였다.

물론 국내에서 공급 가능한 에너지원도 파업이나 사회 불안 · 자연 재해 등의 공급 불확실성이 존재한다. 그러나 여기에서는 에너지 안보 문제를 국제 시장에서의 에너지 가격의 폭등이나 공급 저장 등의 경우로 좁히고 국내에서 공급하는 에너지원은 수입 에너지원에 비해 공급 불확실성이 상대적으로 적다고 가정하였다.

이러한 점을 고려하여 수정된 에너지 안보 지수는 다음과 같다.

이때 에너지 소비는 1차 에너지를

기준으로 하였다. 즉 전환 효율 및 손실은 고려되지 않았으며 에너지원은 상호간에 완전 대체가 가능하다고 가정하였다. 따라서 개별 에너지원 수준에서의 수출입을 고려하지 않고 전체 에너지의 수출입 합계만으로 지수가 계산된다.

수정된 에너지 안보 지수(이하 에너지 안보 지수)는 에너지 자원의 수출이 수입을 초과하는 경우에 K값이 증가하여 이를 반영하게 된다.

이론적으로는 K값은 무한대에 이를 수 있기 때문에 이 지수는 최소값 0, 최대값 무한대의 범위를 가지게 된다.

그러나 K값이 무한대에 이르기 위해서는 에너지 수출이 무한대에 이르러야 하기 때문에 실제의 지수값은 한정된 범위를 가지게 된다.

주요국의 지수를 검토한 결과 대략 1~4의 값을 갖는 것으로 나타났다.

다음에는 이 지수를 적용하여 70년 이후 우리 나라 에너지 시스템의 에너지 안보 정도를 측정하였다.

**국내 에너지 시스템의 에너지 안보 지수**

(표 1) 1차 에너지 소비 및 국내 생산 추이

단위 : 1,000 TOE

연 도	1차 에너지 소비	국내 생산 (원자력 포함)	국내 생산 (원자력 제외)	K (원자력:국산)	K (원자력:수입)
1970	19,678	10,333	10,333	0.525	0.525
1971	20,868	10,272	10,272	0.492	0.492
1972	21,291	10,342	10,342	0.486	0.486
1973	25,010	11,128	11,128	0.445	0.445
1974	25,763	11,212	11,212	0.435	0.435
1975	27,553	11,397	11,397	0.414	0.414
1976	30,193	11,442	11,442	0.379	0.379
1977	34,214	11,736	11,717	0.343	0.342
1978	38,088	12,282	11,701	0.322	0.307
1979	43,242	12,311	11,522	0.285	0.266
1980	43,911	12,491	11,622	0.284	0.265
1981	45,718	13,031	12,307	0.285	0.269
1982	45,624	13,116	12,172	0.287	0.267
1983	49,420	14,436	12,195	0.292	0.247
1984	53,382	15,717	12,769	0.294	0.239
1985	56,296	17,502	13,316	0.311	0.237
1986	61,462	20,719	13,641	0.337	0.222
1987	67,878	23,649	13,820	0.348	0.204
1988	75,351	23,013	12,988	0.305	0.172
1989	81,659	23,367	11,526	0.286	0.141
1990	93,192	23,356	10,134	0.251	0.109
1991	103,622	22,734	8,656	0.219	0.084
1992	116,010	21,457	7,324	0.185	0.063
1993	126,879	21,027	6,492	0.166	0.051
1994	137,235	19,940	5,277	0.145	0.038
1995	150,437	21,752	4,995	0.145	0.033
1996	165,226	23,170	4,689	0.140	0.028
1997	174,962	23,997	4,725	0.137	0.027

70년대의 산업화에 따른 석유 수입의 증가와 70년 후반의 원자력의 도입이 에너지 안보에 미친 영향을 살펴보기 위해 대상 기간을 70년~97년까지로 하였다.

에너지 안보 지수의 K값은 전체 일

차 에너지 중 국산 에너지의 비중을 나타내기 때문에 원자력을 국산 에너지로 간주하는지 여부에 따라 변화한다.

원자력 발전은 자본 집약적이며 기술 집약적인 특성상 화석 연료를 사용하는 발전 방식에 비교하여 전체

발전 원가에서 연료비가 차지하는 비중이 매우 낮다.

실적 발전 원가 중 연료비 비중을 살펴보면 석탄 발전의 경우 약 50%, 석유 74%, LNG 79%에 이르는 것과 비교하여 원자력은 약 12%에 불과하다.

특히 연료비 가운데 상당한 비중을 차지하고 있는 우리나라의 성형 가공은 국내에서 이루어지기 때문에 원자력 발전을 준국산 에너지로 간주하여 K값을 계산하였다. 또한 비교를 위해 원자력 발전을 수입 에너지로 간주할 경우도 계산하여 결과를 제시하였다.

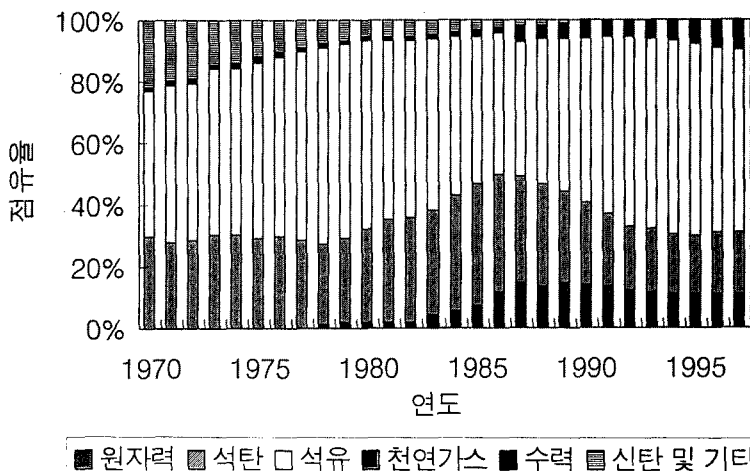
〈표 1〉에는 70년부터 97년까지의 1차 에너지 수급 추이와 국내 생산, 그리고 원자력을 국산 에너지로 간주하는지 여부에 따른 두 가지 경우의 K값이 나타나 있다.

〈그림 1〉에는 분석 기간 동안의 1차 에너지 소비에서 에너지원별 점유율 변화 추이가 나타나 있다.

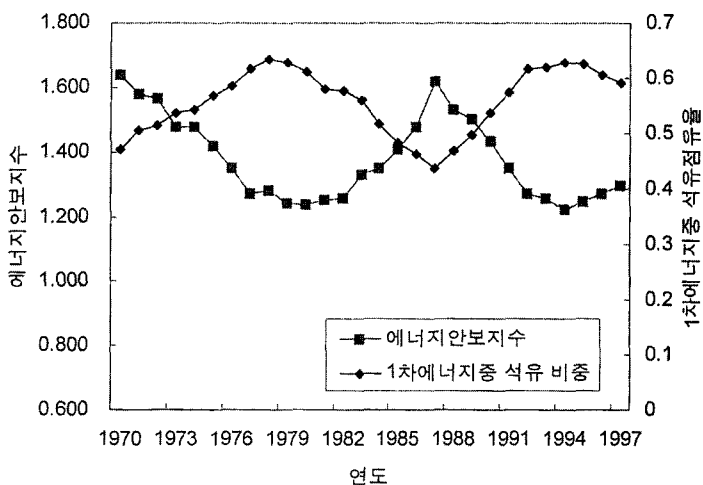
70년대 이후 산업화에 따라 에너지 소비의 급격한 증가가 이루어졌다. 특히 주요 에너지원이 석탄에서 석유로 대체되는 한편 주로 사용되는 석탄의 종류도 국내산 무연탄에서 수입 유연탄으로 변화함에 따라 석탄과 석유의 수입이 급증하고 국산 에너지원이 차지하는 비중이 현저히 감소하고 있다.

97년의 경우 원자력을 준국산 에너지로 간주하더라도 에너지의 수입 의존도는 86.5%에 이르고 원자력을 수입 에너지로 간주하는 경우 97.5%에 이르고 있다.

원자력 발전은 77년 고리 1호기가 도입된 이후 꾸준히 점유율이 상승하여 89년에는 1차 에너지 중 점유율이 14.5%에 이르렀으나 이후 상대적인 증가세가 감소하여 97년에는 약 11%가 되었다.

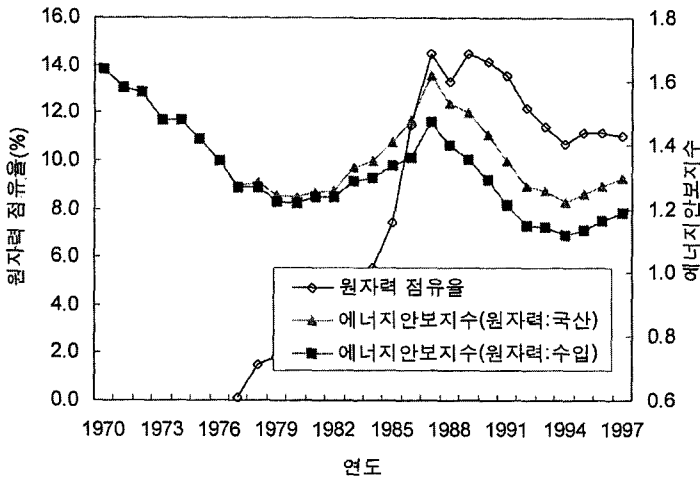


〈그림 1〉 1차 에너지 소비 중 에너지원별 점유율 변화 추이



〈그림 2〉 석유 점유율의 변화와 에너지 안보 지수의 변화 추이

또한 신탄 및 기타 재래 에너지원의 감소가 나타남을 알 수 있다. 꾸준한 에너지원 다변화 정책에도 불구하고 석유 의존이 더욱 심화되고 있음을 알 수 있다.



(그림 3) 원자력 점유율과 에너지 안보 지수의 변화 추이

(표 2) 주요국의 에너지원별 1차 에너지 소비 점유율(1996)

국 가	석 탄	석 유	천연 가스	수 력	원자력
미 국	24.6%	39.5%	26.6%	1.4%	8.0%
캐나다	11.7%	36.1%	29.7%	13.2%	9.4%
영 국	18.0%	36.1%	34.3%	0.2%	11.3%
프랑스	5.4%	37.6%	12.8%	8.1%	36.1%
독 일	12.7%	47.1%	24.5%	0.6%	15.1%
일 본	17.7%	52.6%	11.6%	1.6%	16.5%
대 만	29.9%	49.9%	6.4%	1.1%	12.8%
한 국	19.5%	60.5%	7.4%	0.8%	11.2%

이러한 석유 의존도의 심화는 에너지 안보에 악영향을 미칠 것은 자명한데 (그림 2)에 이러한 관계가 잘 나타나있다. 즉 이 그림을 살펴보면, 1차 에너지 중 석유의 점유율이 증가할 때 에너지 안보 지수는 감소하는 경향을 볼 수 있다.

(그림1) (그림 2)를 살펴보면, 에너지 안보 지수는 70년대 이후 계속 감소하여 제2차 석유 파동이 발생한 79년경에 최저에 이르렀음을 알 수 있다.

이후 80년대에 원자력이 지속적으로 도입됨에 따라 에너지 안보 지수가 향상되고 LNG가 본격적으로 도입되는 1980년대 후반에 이르러 최고에 달했다가 이후 석유 점유율의 증가와 함께 다시 감소하는 경향을 보이고 있다.

(그림 3)에는 원자력 발전을 국산 에너지로 간주하는지 여부에 따라 에너지 안보 지수의 변화하는 정도를 나타내고 있다.

원자력을 수입 에너지로 간주하는

경우 원자력 발전의 도입은 에너지원 다양화와 점유도에 영향을 미치지만 에너지 자립도 향상에는 기여하지 못함을 알 수 있다.

**주요 국가와의 비교**

우리 나라의 에너지 안보 정도를 비교하기 위해 본 연구에서 개발한 에너지 안보 지수를 적용하여 주요국의 에너지 안보 정도를 측정하였다.

(표 2)에는 에너지 안보 지수의 입력 자료인 주요국의 1차 에너지 소비 점유율이 나타나 있다.

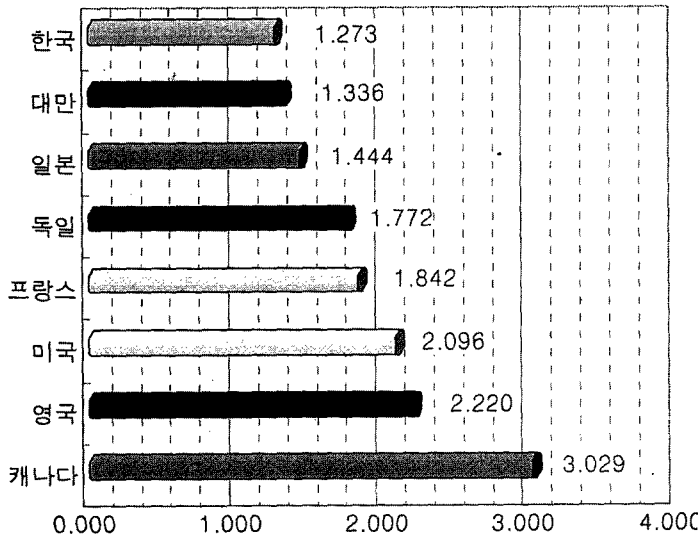
비교 대상 국가들 가운데 우리 나라가 가장 높은 석유 의존도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 주요국의 에너지 안보 지수를 계산하여 (그림 4)에 제시하였다.

에너지 순수출국인 캐나다와 영국의 에너지 안보 지수가 가장 높게 나타났다며 북미와 유럽의 주요국과 비교하여 동북 아시아 3개국에 에너지 안보에 취약함을 알 수 있다.

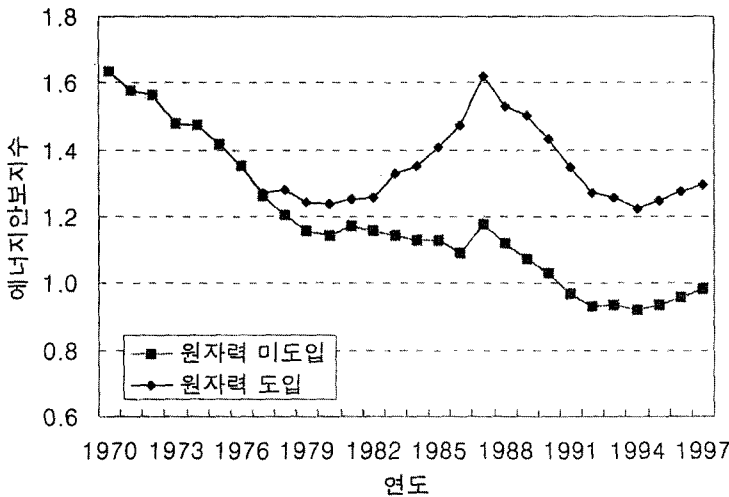
특히 우리 나라는 동북 아시아 3개국 가운데에서도 가장 낮은 에너지 안보 지수를 나타냈는데 이는 상대적으로 석유 의존도가 높고 천연 가스나 원자력의 비중이 아직 낮기 때문인 것으로 판단된다.

**에너지 안보와 원자력의 역할**

원자력 발전이 에너지 안보에 기여



(그림 4) 주요국의 에너지 안보 지수(1996)



(그림 5) 원자력 도입 여부에 따른 에너지 안보 지수

하는 정도를 살펴보기 위해서 원자력의 도입 여부에 따른 에너지 안보 지수의 변화를 계산하였다. 원자력 발전이 기저 부하 전력원으로 사용되고 있는 점을 고려하여 원자력 발전이 도입되지 않았을 경우 이를 경쟁 발

전원인 유연탄으로 대체한다고 가정하였다. (그림 5)는 원자력의 도입 여부에 따른 에너지 안보 지수의 변화를 계산한 결과를 나타내었다.

원자력이 도입되지 않았을 경우 에너지 안보 지수는 지속적으로 감소하

여 97년에는 0.985가 된다. 이는 원자력 도입시(기준안)의 1.296과 비교하여 0.311의 차이가 난다.

원자력 발전의 도입은 에너지를 다양화시키고 석유의 상대적인 점유율을 감소시켜 에너지원의 점유도를 균등화시킬 뿐 아니라 수입 에너지의 양을 감소시켜 에너지 안보에 기여하는 것으로 나타났다.

이상의 분석 결과를 통해 우리나라의 에너지 안보를 향상시키기 위해서는 석유 의존도를 줄이고 천연 가스·원자력·재생 에너지원의 공급 비중을 높이는 것이 필요함을 알 수 있다.

본 연구에서 사용한 에너지 안보 지수에는 아직 개선의 여지가 있다. 본 연구에서는 해외에서 수입되는 에너지원의 불확실성이 국내 에너지원에 비교하여 상대적으로 높은 것으로 전제하고 이를 반영하여 국산 에너지의 비중이 에너지 안보 지수에 반영되도록 지수를 설계하였다.

그러나 국산 에너지의 경우에도 공급 지장을 초래할 가능성은 상존하고 있다. 예를 들어 영국의 경우 석탄 노조의 파업 등으로 인해 국내탄의 경우가 수입탄에 비하여 공급지장률이 더 높은 것으로 나타나고 있다.

따라서 보다 종합적인 평가를 위해서는 국내 에너지원의 공급 지장 가능성도 반영할 수 있는 지수의 개발이 요구되며, 나아가서는 에너지원별 기술적·사회적 특성을 반영할 수 있는 지수의 보완이 필요하다 할 것이다. ☞