

장기 원자력 발전 설비용량 전망 - 로지스틱함수를 이용한 추세분석 -

임채영, 최영명
한국원자력연구소

Long-term Projection of Nuclear Power Capacity - Trend Analysis Using Logistic Function -

Chae-young Lim, Young-myung Choi
Korea Atomic Energy Research Institute

1. 서론

최근 화석연료의 과다한 사용으로 인한 온실효과 등 지구환경문제가 대두되면서 원자력은 온실가스를 배출하지 않는 에너지원으로서 다시 조망을 받고 있다. 특히 부존 에너지자원이 부족하고 전력의 수요가 급증하고 있는 우리의 사정을 고려한다면 원자력은 향후 수십년간 주요 발전원으로 상당한 역할을 수행할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 추세분석을 통해 장기 원자력설비용량을 전망하였다. 원자력 설비용량은 계량경제모형 등을 통해 전망할 수 있지만, 많은 경우 특히 장기적인 전망에서 그 결과가 지수적인 성장이 나타나는 등 현실성이 결여되는 단점이 있었다. 추세분석법은 이러한 단점을 보완할 수 있기 때문에 장기 전망에 적합한 방법이라 할 수 있다.

2. 추정 방법

가. 시나리오 설정

미래의 전력/원자력 수요를 추정하는 방법은 매우 다양하다. 비교적 짧은 기간의 수요를 추정하는 경우 시계열 분석이나 계량경제모형 등이 이용될 수 있으나 많은 경우, 이러한 모형들은 장기추정의 경우 그 결과가 지수적으로 증가하는 경향을 보이는 문제점이 있다.[1] 이러한 문제점을 극복하기 위해서 본 연구에서는 OECD/NEA(1982)의 연구에서 개발, 사용한 추세분석을 통한 추정방법을 이용하여 우리 나라의 원자력에 대한 장기전망을 수행하였다.

미래 전망의 불확실성을 고려하기 위해서 시나리오 접근법을 사용하였다. 일인

당 발전량 수렴값, 원자력발전 점유율의 차이에 따라 기준안과 하한안, 상한안, 최상한안의 시나리오를 구성하였다. 계획과 건설에 많은 시간이 소요되는 원자력 산업의 특성상 이미 향후 약 15년간의 원자력설비용량은 대부분 계획되어 있다. 이러한 현실을 반영하기 위해 기준안의 경우 2010년까지는 1995년 12월에 고시된 '95 장기 전력수급계획에 제시된 원자력설비용량을 사용하였다. 또한 원자력 발전이 도입 가능한 범위를 가늠할 수 있도록 하한안과 상한안, 최상한안을 구성하였는데 이 경우에도 전력수급계획을 바탕으로 추정하였다. 시나리오의 구체적인 내용은 표.1에 나타나 있다.

표.1 원자력 장기전망 시나리오 구성

인자 시나리오	전체 발전량	최종수렴 일인당 발전량 (kWh/인·년)	최종 수렴 원자력발전 점유율(%)
기준안	1965-1995 : 실적치	12,000	50
하한안		10,000	50
상한안	1996-2010 : 장기 전력수급계획	14,000	50
최상한안		14,000	60

나. 추정 절차(과정)

한 국가의 전력소비를 결정짓는 인자들은 매우 다양할 것이다. 국내총생산, 산업구조 등의 경제적인 요인과 기후, 생활습관, 인구밀도 등의 사회적인 요인들의 영향을 받는다. 기존의 계량경제학적인 방법에서는 특히 경제적인 요인과 에너지/전력소비의 상관관계를 추정하여 결과를 전망하였다. 이러한 방법은 인과관계에 대한 설명력이 뛰어나다는 장점이 있으나 실제 결과에 있어서는 대부분의 경우 예측이 장기가 될수록 지수적인 증가가 나타나는 경향이 있었다. 또한 세계 주요국의 과거 실적을 살펴보면 전력소비가 단순히 경제적인 요인에 의해서만 결정되는 것이 아님을 알 수 있다.

본 연구에서 사용한 로지스틱 곡선에 의한 추세전망 방법은 하나의 중요한 가정에 근거하고 있다. 즉, 자연계의 많은 현상들이 그러하듯 일인당 발전량과 원자력발전 점유율도 로지스틱 곡선의 형태로 증가할 것이라는 것이다. 이러한 가정을 받아들인다면 일인당 발전량의 추정과 인구추계를 통해 미래의 총발전량을 구하고 이에 원자력발전 점유율을 곱함으로써 미래의 원자력발전량을 비교적 간단하게 추정할 수 있다.

전망과정은 시나리오에 따라 차이가 없으므로 여기에서는 기준안을 대상으로 전망과정을 설명한다.

분석의 첫 단계는 대상기간동안(~2040년)의 일인당 발전량을 도출하는 것이라 할 수 있다. 이를 위해 인구 및 발전량에 관한 실적자료와 장기전력수급계획을 사용하여 1965년부터 2010년까지의 일인당 발전량을 계산한다. 이렇게 구해진 일

인당 발전량은 (1)식과 같은 로지스틱 곡선 형태의 함수를 설정하여 계수를 추정한다.

$$E_t = \frac{E_\infty}{1 + e^{-(a_E + b_E T)}} \quad (1)$$

E_∞ : 일인당 발전량 수렴치; E_t : t 년의 일인당 발전량
 T : 실제년도 - 기준년도 즉, $T = t - 1995$; a_E, b_E : 추정계수

추정을 위해서는 일인당 발전량의 수렴값을 결정해야 한다. 앞서서도 언급했듯이 일인당 발전량은 매우 다양한 요인에 의해 변화하기 때문에 최종수렴 발전량을 결정하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이라 할 것이다. 본 연구에서는 주요국의 현재 일인당 전력소비와 비교하여 표.1과 같이 시나리오별 최종수렴 발전량의 상한과 하한을 결정하였다. 함수 추정을 용이하게 하기 위해 일인당 발전량을 (2)식과 같이 선형으로 변환한다.

$$a_E + b_E T = \log_e \left[\frac{E_t}{E_\infty - E_t} \right] \quad (2)$$

이렇게 선형 변환된 값을 최소자승법을 사용, 추정하여 계수를 결정한다. 그림.1에는 시나리오별 추정계수 값과 추정의 정확도가 표시되어 있다. 구한 계수를 로지스틱 곡선 함수에 대입하여 대상기간 동안의 일인당 발전량을 구한다.

다음 단계는 원자력발전 점유율을 전망하는 것이다. 우리 나라의 경우 1980년대 중반에는 50%를 넘는 점유율을 보이기도 했으나 이는 전력수급관계에서 비롯된 일시적인 현상이었으며 현재는 약 36%에 이르고 있다. 미래의 원자력발전 점유율은 정책적인 고려에 의해 결정되는 부분이 많으므로 장기전력수급계획을 참고한다면 대략적인 경향을 예상할 수 있을 것이다. 국내 에너지/전력정책의 큰 흐름은 석유 및 화석에너지의 의존도를 낮추는 것이며 이에 따라 전력부문에서도 LNG발전소 및 원자력발전소의 건설이 활발하게 이루어지고 있다. LNG발전의 경우, 경제적인 이유로 인해 첨두부하 발전원으로 이용되고 있는데 이러한 상황은 상당기간 변화하지 않을 것이다.

상대적으로 가격이 싸고 기술의 개발 및 적용이 용이한 석탄화력은 주요한 기저부하 발전원이지만 이산화탄소 배출과 관련하여 국제적으로 쟁점이 되고 있는 지구온실효과 등을 고려한다면 많은 증가를 기대할 수 없다. 이러한 점을 고려할 때 향후 원자력발전 점유율은 최소한 현재 수준을 유지하거나 증가하게 될 것이다.

장기전력수급계획에 따르면 2010년의 원자력발전 점유율은 45.5%에 이를 것으로 전망된다. 따라서 본 연구에서는 원자력발전 점유율이 이 값에서 시작하여 시나리오에 따라 일정한 수준까지 증가하는 것으로 가정하였다. 또한 이러한 증가가 (3)식과 같은 로지스틱 함수의 형태를 따라 이루어진다고 가정하였다.

위와 같은 함수를 이용하여 원자력발전 점유율을 추정하기 위해서는 최종수렴 점유율과 halving time을 결정해야 한다. 최종수렴점유율은 시나리오별로 각각 50, 50, 50, 60%를 가정하였는데, 50%(하한, 기준, 상한)는 전술한 바와 같이

원자력발전 점유율이 현재수준보다 낮아지지는 않을 것이라는 전망을 반영한 것이며 60%(최상한안)는 부하추중운전을 고려하지 않는 상황에서 가능한 최대점유율의 의미를 담고 있다. 기준년도의 점유율과 최종수렴점유율의 중간값에 도달하는데 걸리는 시간을 나타내는 halving time은 15년을 사용하였다.

$$S_t^N = \frac{S_\infty^N}{1 + e^{-\frac{S_\infty^N}{(a_N + b_N T)}}}$$

$$a_N = \log_e \left[\frac{S_0^N}{S_\infty^N - S_0^N} \right]; \quad b_N = \frac{1}{H_N} \log_e \left[\frac{S_0^N + S_\infty^N}{S_0^N} \right] \quad (3)$$

S_t^N : t년의 원자력발전 점유율; S_0^N : 기준년의 원자력발전 점유율
 S_{INF}^N : 최종수렴점유율; H_N : halving time

그림2 에는 이러한 함수에 의해 추정된 시나리오별 원자력발전 점유율이 나타나 있다.

3. 추정 결과

원자력발전 점유율이 구해지면 원자력 설비용량은 다음과 같은 과정을 거쳐 얻을 수 있다.

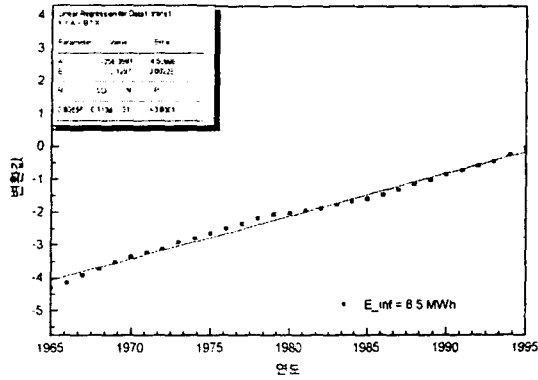
① 앞에서 구한 일인당 발전량과 인구추계를 사용하여 총 발전량을 구하고,(그림.3) ② 이에 원자력점유율을 곱하여 점유율을 발전량단위로 환산한다. ③ 구해진 원자력발전량은 이용률을 가정하여 원자력설비용량으로 변환된다.(그림.4) 본 연구에서는 과거의 이용률 추이를 참고하여 미래의 이용률을 0.80으로 가정, 설비용량으로 변환하였다.

2040년의 원자력 설비용량은 기준안의 경우 약 43.7 GW에 이르는 것으로 나타났다. 이는 대체수요를 포함하여 2040년까지 1,000 MW급 원자력발전소 40여기가 건설되어야 한다는 것을 의미한다. 하한과 상한안을 살펴보면 대략적인 원자력발전의 규모를 예상할 수 있다. 하한안의 원자력 설비용량은 2040년에 36.6 GW, 상한안의 경우에는 50.6 GW에 이르고 있는데 이는 2040년까지의 신규 원자력발전소 건설이 36기 ~ 50여기에 달한다는 것이다. 최상한안의 경우 2040년의 원자력설비용량이 58.6 GW에 이르게 되며 이 때 원자력발전 점유율은 56.6%에 이른다. 기준안의 경우 약 연간 1,000 MW급 원자로가 1기가 건설되어야 하는데 이 경우 부지확보가 관건이 될 것이다. 원자로의 용량을 1,300 MW으로 격상하는 것도 이러한 문제를 완화하는 한 방법이 될 수 있을 것이다.

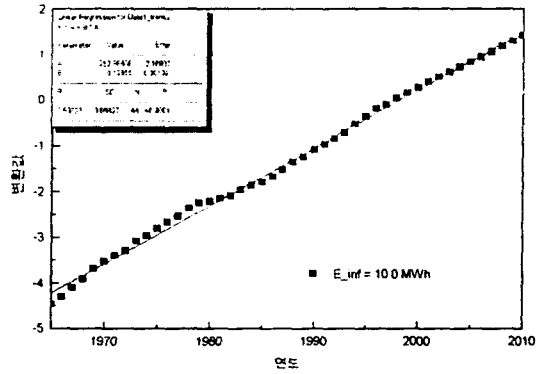
보다 정확한 분석을 위해서는 몇 가지 입력자료에 대한 보다 엄밀한 추정이 요구된다. 특히 일인당 발전량(혹은 전력수요)은 모형의 결과를 좌우하는 중요한 입력자료로서 많은 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

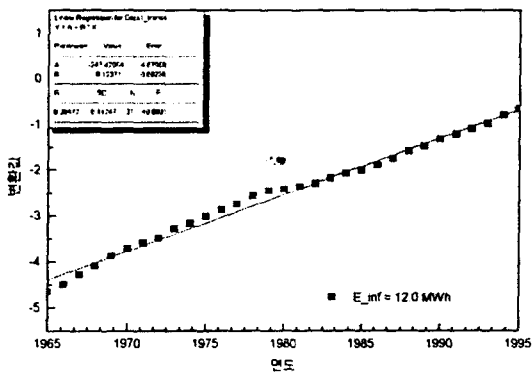
1. Nuclear energy and its fuel cycle; prospects to 2025, OECD/NEA 1982
2. '95 장기전력수급계획 (1995~2020), 통상산업부 전력정책과, 1995.12



(a) 하한안



(b) 기준안



(c) 상한 및 최상한안

그림.1 시나리오별 선형변환 추정 결과

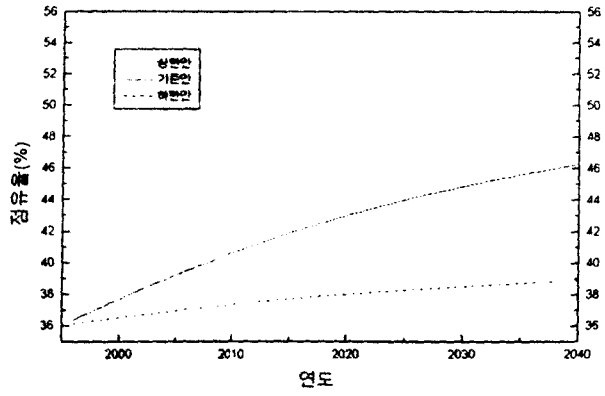


그림.2 시나리오별 원자력발전 점유율

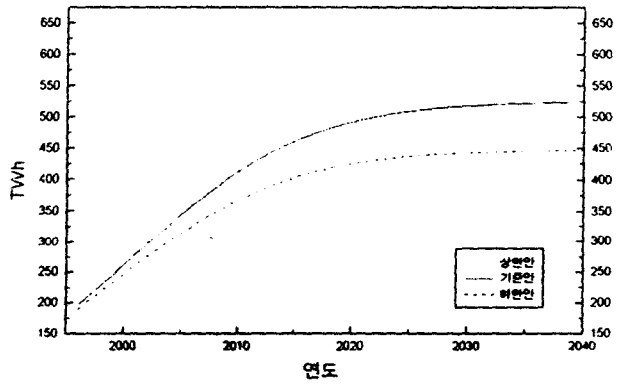


그림.3 시나리오별 총발전량 전망

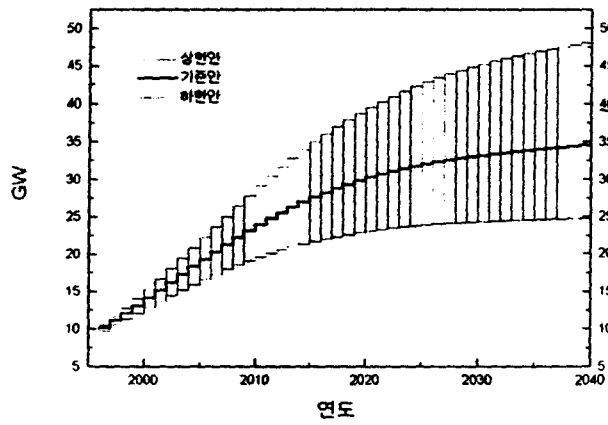


그림.4 시나리오별 원자력 설비용량 전망