

원전 기기의 최적교체시기 결정방법

Methodology to Decide Optimum Replacement Term for Components of Nuclear Power Plants

문호림*, 장창희, 박준현, 정일석

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력발전소 주요기기의 교체에 대한 경제성평가는 대부분 결정론적 방법으로 수행하고 있으나 불확실성을 가진 입력변수에 따라 결과값이 매우 가변적일 수 있다. 현실세계의 불확실성을 보다 면밀히 고려하기 위해 확률론적 방법을 활용하고 있다. 본 논문에서는 decision analysis를 이용하여 원자력발전소 기기 교체에 대한 경제성평가를 확률론적 방법으로 수행하였다. Decision analysis는 불확실성과 위험에 직면한 선택을 이끄는 기회를 이성적으로 개선하기 위한 방법론이며, 확률론과 통계이론이 복합되어 있다. Decision analysis의 주요요소는 여러 가지 방안 중 선택한 대안, 선택으로부터 결정된 결과, 그리고 다른 대안과 비교해서 상대적인 우선순위이다. 또한, decision analysis는 값, 불확실성, 그리고 위험도를 구조적으로 통합하는 원리를 제공한다. Decision analysis의 중요한 이점은 이러한 불확실성과 위험도에 대한 처리에 있으며, 모델은 influence diagram과 decision tree를 이용하여 작성한다. 본 논문에서는 decision analysis를 이용하여 국내 A형 원자력발전소 증기발생기의 최적교체시기를 결정하여 보았다. 이러한 방법은 향후 원자력발전소 주요기기의 교체에 관한 경제성평가지 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

Mostly, the economic analyses for replacement of major components of nuclear power plants(NPPs) have been performed in deterministic ways. However, the analysis results are more or less affected by the uncertainties associated with input variables. Therefore, it is desirable to use a probabilistic economic analysis method to properly consider uncertainty of real problem. In this paper, the probabilistic economic analysis method and decision analysis technique are briefly described. The probabilistic economy analysis method using decision analysis will provide efficient and accurate way of economic analysis for the repair and/or replace major components of NPPs.

1. 서 론

원자력발전소 기기의 교체는 많은 예산이 소요되고 경영상의 주요판단이므로 면밀한 경제성평가를 근거로 교체여부 또는 교체시기에 대한 결론을 도출해야 한다. 또한, 원자력발전소 기기 교체는 경우에 따라서 4~5년이 소요되기도 한다. 기기 교체를 적절히 하지 않고 원자력발전소를 계속 가동하다가 정상운전이 어려운 사태가 발생한다면 기기 교체에 소요되는 기간동안 원자력발전소의 정상적인 운전이 제한을 받을 뿐만 아니라 경제적 손실도 매우 클 것이다. 이런 이유로 향후 전력시장이 자유경쟁체제로 바뀌면 기기 교체에 대한 경제성평가는 필수적일 것이다.

원자력발전소 기기중 증기발생기는 1 개당 3,000~9,000여 개의 전열관으로 구성되어있으며 이들 전열관에서 발생하는 결함은 발전소의 안정적인 운전에 중요한 문제이다. 원자력발전소의 가

동년수가 증가할수록 균열이 발생한 증기발생기 전열관의 개수가 증가하고 또 개별 균열의 크기도 계속 성장하는 경향을 보인다. 이로 인해 증기발생기의 누설 및 관막음 울이 증가하고 발전량 손실을 유발한다. 발전량 손실은 소비자와 전력회사 모두에게 경제적 손실로서 추가적인 경비비용 발생과 증기발생기의 조기교체를 고려해야하는 경우도 발생할 수 있다. 실제로 미국, 독일, 그리고 일본 등의 총 51 개 원자력발전소에서 150 개의 증기발생기를 교체하였다[1]. 국내에서도 1998년 고리 1호기 증기발생기를 교체한 바 있다.

본 논문에서는 원자력발전소 기기 교체에 대한 경제성평가를 증기발생기를 대상으로 수행하였다. 증기발생기 교체의 경제성에 대한 연구는 미국, 한국 등, 원자력산업 선진국을 중심으로 추진되어 왔다. EPRI(Electric Power Research Institute)[2]와 Westinghouse에서 증기발생기에 대한 경제성평가 방법이 개발되었으며, 최근에 EPRI에서는 Calvert Cliffs 원자력발전소의 대상으로 인허가 갱신(licence renewal)를 목적으로 증기발생기 교체에 대한 연구[3]를 수행하였다. 국내에서는 한국전력공사에서 고리 원자력발전소 1호기[4]와 울진 원자력발전소 1·2호기 증기발생기[5]의 교체 타당성 및 최적 교체시기 결정에 대한 연구를 수행하였으며, 문호림 등이 원자력발전소 증기발생기 교체에 대한 경제성평가를 Mote Carlo 시뮬레이션을 이용하여 확률론적 방법으로 수행한 바 있다[6].

본 논문에서는 기기 교체에 대한 경제성평가를 decision analysis 방법으로 수행하였다. 이를 통해, 첫째, 국내 운전중인 A형 원자력발전소 증기발생기를 대상으로 decision analysis를 이용한 경제성평가를 시범적으로 수행하여 최적교체시기를 결정하여 보았다. 둘째, 이를 향후 전력시장의 자유경쟁체제하에서 자주 발생할 것으로 예측되어지는 증기발생기를 비롯한 원자력발전소 주요기기의 교체에 관한 경제성평가가 적용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 관련이론

2.1 결함발생추세

원전의 증기발생기 전열관 정비이력을 분석하면 주기별 균열 발생 전열관이 개수의 증가추세를 파악할 수 있다. 증기발생기와 같이 수천 개의 동일한 전열관이 동일한 조건에서 가동하는 경우 확률분포함수를 이용한 결함관 증가추세 해석과 예측이 가능하다. 증기발생기 전열관이 결함 발생추세는 다음과 같은 Weibull 확률분포함수에 의해서 분석과 예측이 가능함을 이미 입증된바 있다[7,8].

$$1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta-t_0}\right)^b\right] \quad (1)$$

t ; 시간(EFPY)

b ; Weibull 함수기울기

t_0 ; 결함 발생 시작시간

θ ; 63.2%가 손상되는데 소요되는 시간

$F(t)$; 누적 결함발생 비율, $F(t) = 0 \sim 1$

누적 Weibull 함수인 $F(t)$ 는 총 전열관 개수에서 결함이 발생한 전열관 개수의 비율을 의미한다. 즉 결함이 전혀 발생하지 않는 경우에는 0, 모든 전열관에 결함이 발생한 경우에는 1이 된다. Weibull 함수 기울기는 b 는 결함의 증가추세를 결정하는 변수이다. b 가 1이면 가동시간에 관계없이 결함이 생성되는 속도가 일정하다. b 가 1보다 작으면 결함 생성빈도가 가동초기에 빠르고 가동시간이 증가할수록 빈도가 감소하는 경향을 나타낸다. b 가 1보다 크면 가동시간이 증가할수록 결함발생빈도가 증가하는 추세를 나타낸다. b 값이 클수록 결함발생이 특정시간 범위에 밀집되는 경향을 나타낸다. Weibull 함수의 특성상 누적결함발생비율이 63.2%에 도달하는 데 소요되는 시간이 다른 변수값에 관계없이 항상 θ 이다. t_0 는 결함이 발생하기 시작하는 시간으로서 물리적으로 첫 번째 결함이 생성되는데 소요되는 시간과는 다르다. 확률적인 개념으로서 가동시간이 t_0 에 도달할 때까지는 결코 결함이 발생하지 않는, 즉 최소한 t_0 만큼은 시간이 경과해야만 결함발생이 나타날 수 있음을 의미한다. 식 (1)을 정리하면 다음과 같다.

$$\ln \ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) = b \ln(t-t_0) - b \ln(\theta-t_0) \quad (2)$$

식 (2)는 다음과 같이 일차식으로 정리할 수 있다.

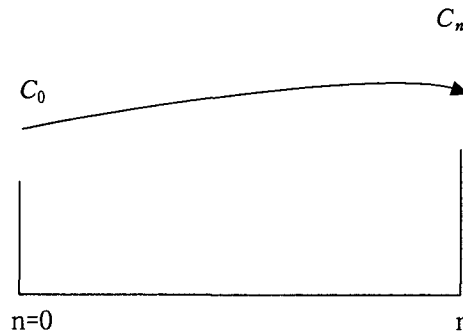
$$y = A_0 - b \ln(x - t_0) \quad (3)$$

2.2 경제성평가

경제성이란 최소의 비용을 투입하여 최대의 효과를 얻고자 하는 것이며 경제성평가는 최소비용의 투자로 최대의 투자효과를 얻기 위한 방안을 모색하는 것을 말한다[9]. 즉, 임의의 투자비용에 대해 최대의 이득을 도출할 수 있는 방법을 정량적으로 판단하는 것이다. 이를 위해서는 각 대안 별로 예상되는 투자액 및 이에 대한 이득을 일정한 기준에 따라 평가하고 여러 투자대안 중 어떤 안이 최대의 효과를 나타내는지를 분석해야 한다. 이와 같이 경제성평가는 “최소비용에 의한 최대효과”를 나타내는 투자대안을 선정하기 위한 것이지만, 경우에 따라서는 단순히 “최소비용” 혹은 “최대비용” 혹은 “최대효과”를 나타내는 투자대안을 선정하기도 한다. 투자대안을 선택하는 기준으로는 다음과 같은 것들이 있다[10].

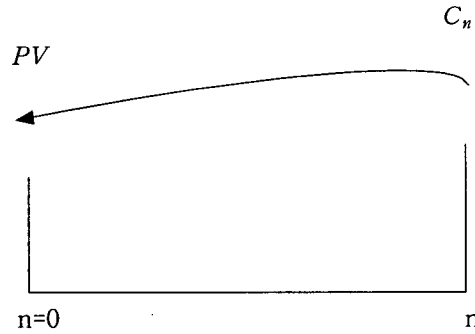
- 사용할 수 있는 투자자금이 고정된 경우에는 수입 또는 효과가 최대가 되어야 한다. 이때의 기준은 “최대효과”이다.
- 효과 또는 수입이 고정된 경우에는 “최소비용”이 기준이 된다.
- 비용과 효과가 고정되어 있지 않은 경우에는 비용과 얻어진 효과의 차가 가장 큰 것, 즉 “최소비용에 의한 최대효과”가 기준이 된다.

경제성평가를 위해서는 과거 및 현재의 현금흐름에 대한 정보를 바탕으로 미래의 현금흐름을 예측해야하며 이때 물가상승률(e)과 명목할인율(i)이 현금흐름을 예측하는데 가장 큰 영향을 미친다. 현재 특정 기기의 구매비용이 C_0 라고 할 때 동일기기를 n 년 후에 구매하는 비용 C_n 은 물가상승률을 고려하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.



$$C_n = C_0 \times (i + e)^n \quad (4)$$

위와 같이 미래의 특정 시점에 발생하는 현금의 흐름을 현재의 알려진 비용으로부터 물가상승률을 고려하여 구할 수 있다. 미래의 특정시점 n 년에 발생하는 비용 C_n 은 그 비용이 발생하는 시점에서의 가치를 나타낸 것으로 경제성평가를 위해서는 기준시점에서의 가치, 즉 현가(present value)로 환산하여야 한다. 이때 명목할인율을 사용한다. 기준시점으로부터 n 년 이후에 발생하는 비용 C_n 의 현재가치는 다음과 같이 구할 수 있다.



$$PV = C_n / (1+i)^n \quad (5)$$

특정의 비용성분 C_0 가 n 년 이후에 발생하는 경우 해당 비용성분의 현가는 위의 두 식으로부터 아래와 같이 구할 수 있다.

$$PV = C_0 \times \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n} = C_0 \times \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^n \quad (6)$$

위 식을 단순화시키면

$$PV = \frac{C_0}{(1+r)^n} \quad (7)$$

여기서 r 은 실질할인율이며 다음과 같이 정의된다.

$$r = \frac{(1+i)}{(1+e)} - 1 \quad (8)$$

물가상승률과 명목할인율이 고려된 실질할인율을 사용함으로써 계산을 단순화시킬 수 있다[10].

3. Decision Analysis를 이용한 원전기기 최적교체시기 결정방법

3.1 평가순서

본 논문에서 수행한 증기발생기 교체에 대한 경제성평가는 세 가지 투자대안 중 동일한 송전단 전력을 생산, 즉 수입이 고정된다고 가정하고 소요되는 비용들을 비교함으로써 “최소비용”을 나타내는 투자대안을 선택하였다. 이 경우 검사비용, 정비비용, 증기발생기 교체비용, 증기발생기 교체에 따른 이득비용, 그리고 정지기간의 연장에 따른 전력손실 등을 비용으로 간주하고 이것들을 모두 합하여 총비용을 구한다. 즉, 총비용이 가장 작은 것을 경제성이 있는 방안으로 선정하는 방법이다. 이러한 방법은 1980년 EPRI에서 덴팅결함으로 인한 증기발생기 세관손상이 증가하는 경우의 증기발생기 유지, 보수방안에 대한 이득/비용 분석 방법으로 개발되었으며[2] 고리 1호기 증기발생기 교체 타당성평가에도 적용되었다[4].

그림 1은 경제성평가의 순서도로서 먼저, 문제정의를 하고 입력변수를 선정하였다. 다음은 결함 발생추세 분석 및 예측단계이다. 즉, 증기발생기를 교체하지 않고 계속 가동할 경우 향후 관막음과 슬리브에 의한 전열관 정비물량이 어떠한 증가추세를 보일 것인가를 예측하는 단계이다. 이를 위해 먼저, 현장의 가동중검사 자료를 분석하여 지금까지 균열의 발생과 성장에 대한 통계분석을 수행한다. 균열의 생성과 성장에 대한 정량적인 추세 예측식인 식 (2)를 이용하여 향후 균열의 개수와 크기가 어떤 추세로 증가할 것인가를 예측한다. 가동말기까지 예측된 균열의 개수와 크기 성장거동을 근거로 연도별 정비물량을 산정하고 결정론적 경제성평가를 수행한다.

결정론적 경제성평가의 입력변수 중에서 결과값에 미치는 영향이 큰 변수를 확률변수로 선정하였고 이를 이용하여 불확실성을 고려한 확률론적 경제성평가를 수행하였다. 결정론적 및 확률론

적 경제성평가 결과를 이용하여 최적교체시기 결정을 위한 Decision Analysis를 수행한다. 마지막으로 민감도분석을 거쳐 최적대안을 선정하고 그에 대한 고찰 및 평가를 하였다.

3.2 입력변수 및 현가화방법

입력변수는 크게 일반변수, 성능변수, 검사 및 정비변수 그리고 교체관련변수로 구분하였으며 그 상세 구성항목은 표 1에 나타내었다.

각 정비방안에 따라 매년 혹은 매주기에 발생하는 각각의 비용성분들의 합을 구하여 주기별 총비용, C_j 를 구하고 식 (7)에 따라 기준년도로 현가화 한다. 현가화된 주기별 총비용, PV_j 를 13주기말부터 수명말기까지 더하여 현가화된 총누적비용, $Cum.PV$ 를 구하였다.

$$\text{주기별 총비용 } C_j = \sum(\text{비용성분})$$

$$\text{현가화된 주기별 총비용 } PV_j = C_j / (1+r)^{(j \text{ 주기말해당년도} - \text{기준년도})}$$

$$\text{현가화된 총누적비용 } Cum.PV = \sum_{j=13}^{30} PV_j$$

3.3 Decision analysis 모델

입력변수중 결정론적 경제성평가 결과에 미치는 영향이 크고 환경 변화에 따라 가변적인 교체비용, 불시정지빈도, 실질할인율을 확률변수로 선정하여 확률론적 경제성평가 결과를 수행하였다. 그림 2는 국내 A형 원자력발전소의 증기발생기 교체에 대한 확률론적 경제성평가 결과로서 현가화된 총누적비용의 변화를 나타내었다. 그림 2는 교체주기마다 10000번의 시뮬레이션 수행한 결과로서 각 교체주기마다 총누적비용의 90% 신뢰도 범위인 5% 및 95% 상·하한값과 평균값을 표시하였다. 이를 이용하면 경영 판단자가 총누적비용의 변동폭을 쉽게 예측할 수 있다. 그림 2에서 13주기에서 30주기로 갈수록 90% 신뢰도 범위의 폭이 작아지며, 총누적비용의 평균값이 4~8% 정도씩 계단형으로 상승하는 경향을 보인다.

확률론적 경제성평가 결과를 통해 decision analysis를 위한 교체시기 대안을 선정하였다. 그림 2에서 도시한 바와 같이 선정된 교체시기는 평균값의 변동부분인 17, 18 주기, 정비한계점 부근은 21, 22, 23 주기, 그리고 교체하지 않고 설계수명까지 운전하는 경우인 30 주기¹⁾이다.

그림 3은 증기발생기 최적교체시기 결정을 위한 influence diagram이다. 실질할인율의 변화를 고려하고, 현가화된 총누적비용은 검사비용, 정비비용, 교체비용, 교체이득, 대체전력비용을 합하여 구하였다. 비용에 영향을 주는 인자로 피폭비용, 교체기간, 출력상승효과, 불시정지빈도, 그리고 불시정지기간을 선정하였다.

Influence diagram을 토대로 decision tree를 작성하였다. Decision tree의 장점은 influence diagram에 숨겨진 내용을 쉽게 표현할 수 있는데 있다[11,12]. Decision tree의 입력변수 및 입력값은 확률론적 경제성 평가결과를 이용하였다[6]. 즉, 확률론적 경제성 평가결과를 이용하여 실질할인율에 따른 피폭비용, 교체기간, 출력상승효과, 불시정지빈도, 그리고 불시정지기간에 대한 기대값과 확률을 결정하였다. 그러나, 미래상황에 대한 예측이 어렵고 충분한 데이터가 없는 변수에 대해서는 발생확률을 동일한 값으로 주었다. 표 2에 교체시기가 17주기이고 실질할인율이 7.5인 경우에 대한 예를 도시하였다.

그림 4는 증기발생기 최적교체시기결정을 위한 decision tree의 모델이다. 주모델과 검사비용, 정비비용, 교체이득, 교체비용, 및 대체전력비용의 부속모델로 나누어 구성하였으며 각각의 부속모델에서 계산된 값이 주모델에서 합해지도록 하였다. 검사비용, 정비비용, 교체비용, 교체이득, 및 대체전력비용의 부속모델은 각각 18개의 작은 모델로 다시 나누어 구성하였다. 이는 실질할인율과 교체시기에 따른 값 차이를 세분하여 입력할 수 있도록 하기 위함이다.

1) 핵연료주기

3. Decision Analysis 평가 결과

Decision analysis 결과, 17·18·21·22·23·30 주기중 현가화된 총누적비용이 최소값을 나타낸 교체시기는 18 주기로 나타났으며, 이에 대한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 18주기 경우를 살펴보면, 최적교체시기는 18주기이고, 실질할인율이 9.5%일 때, 현가화된 총누적비용이 717.28이며, 7.5%일 때는 836.38이다. 그림 5에서 알 수 있듯이, 현가화된 총누적비용이 평균값의 변화폭은 783.14에서 893.73억 원이다. 그림 6은 교체시기에 따른 표준편차를 도시한 그림으로, 표준편차의 변화폭은 44.32에서 101.77억 원이다. 그림 7에 확률론적 경제성평가 결과 중 왜도(skewness)를 도시하였다. 분포의 치우친 정도를 측정하는 분석도구인 왜도의 값이 0.19에서 -0.65로 그 값이 0에 가까우므로 좌우대칭에 가까운 모양을 갖는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 decision analysis를 이용하여 증기발생기 교체에 대한 경제성평가를 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 국내 A형 원자력발전소 증기발생기를 대상으로 증기발생기 교체에 대한 경제성평가를 decision analysis 기법을 이용하여 수행하였다.
- (2) Decision analysis를 이용한 확률론적 경제성평가 결과, 증기발생기 최적교체시기는 17·18·21·22·23·30 주기중 현가화된 총누적비용이 최소값을 나타낸 18주기에 교체하는 것이 경제적이다.
- (3) 본 논문에서 사용한 decision analysis를 이용한 확률론적 경제성평가 방법이 향후 국내 원자력발전소의 주요기기 교체에 대한 경제성평가가시 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Electric Power Research Institute, *Steam Generator Progress Report, Revision 14, NP-106365-R14*, 1994.
- [2] Electric Power Research Institute, *PWR Steam Generator Cost-Benefit Methodology -Denting, NP-2295*, 1982.
- [3] Electric Power Research Institute, *Calvert Cliffs Nuclear Power Plant Life Cycle Management/License Renewal Program, Steam Generator Decision Analysis, TR-104732*, 1995.
- [4] 한국전력공사, *고리 1호기 증기발생기 교체 타당성 검토 용역, 제 1단계: 증기발생기 교체 필요성 및 최적 교체시기 결정*, 1993.
- [5] 전력연구원, *울진 원전 1·2호기 증기발생기 종합대책 수립, TM.99NP09.T1999.770*, 1999.
- [6] 문호림, 장창희, 박준현, 정일석, "원전 증기발생기 교체에 대한 확률론적 경제성평가 방법," 한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집, 2000.
- [7] Electric Power Research Institute, *Statistical Analysis of Steam Generator Tube Degradation, NP-7493*, 1991.
- [8] Electric Power Research Institute, *Statistical Analysis of Steam Generator Tube Degradation: Additional Topics, NP-103566*, 1994.
- [9] 함효준, *경제성공학*, 동원출판사, 1999.
- [10] 한국전력공사 전력경제처, *전력경제론, 제 4권, 전력설비투자이론*, 1995.
- [11] R. L. Keeny, *Decision Analysis: An Overview, Operations research*, Vol.30, No.5, 1982.
- [12] R. T. Clemen, *Making Hard Decision: An Introduction to Decision Analysis*, Dexbury Press, 2nd Edition, 1996.

표 1. 경제성평가의 입력변수

구분	구성항목
일반변수	기준년도, 실질할인율, 장기 대체전력비 단가, 단기 대체전력비 단가
성능변수	원전출력, 연료주기, 계획정지기간, 이용률, 소내전력률, 불시정지빈도, 불시정지기간
검사 및 정비변수	세관 검사물량, 세관 검사비용, 세관 정비비용, 세관 정비물량, 세관 정비기간, 피폭량, 피폭비용
교체관련변수	교체비용, 교체년도, 교체기간, 교체 후 출력변화, 출력상승(power uprating)비용, 출력상승으로 인한 출력증가

표 2. Decision analysis를 위한 입력값

교체시기, 17주기										
실질할인율	Value, %	7.5			8.5			9.5		
	Probability, %	18.8			62.5			18.8		
검사비용	Cum. NPV Total Cost, 억원	46.625	56.300	65.974	43.225	52.900	62.574	37.425	47.100	56.774
	Probability, %	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
정비비용	피폭비용, 천원/man-rem	1600	2000	2400	1600	2000	2400	1600	2000	2400
	Cum. NPV Total Cost, 억원	99.7	101.3	103	95.8	97.4	99	88.6	90.1	91.6
	Probability, %	18.8	62.5	18.8	18.8	62.5	18.8	18.8	62.5	18.8
교체이득비용	출력상승효과, %	4	4.5	5	4	4.5	5	4	4.5	5
	Cum. NPV Total Cost, 억원	-189	-212.7	-236.3	-159.7	-179.7	-199.7	-115.3	-129.7	-144.1
	Probability, %	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
교체비용	교체기간, 일	30			35			40		
	Probability, %	33.3			33.3			33.3		
	S/G 교체비용, 억원	600	850	1150	600	850	1150	600	850	1150
	Cum. NPV Total Cost, 억원	350.5	468.8	610.3	357.9	476	617.7	365.3	483.3	625.1
	Probability, %	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
대체전력비용	불시정지빈도, 회수/주기	0.1			0.3			0.5		
	Probability, %	60	30	10	60	30	10	60	30	10
	불시정지기간, 일/회	8	14	20	8	14	20	8	14	20
	Cum. NPV Total Cost, 억원	177.7	243.9	310.1	354.2	552.8	751.4	530.8	861.8	1192.8
	Probability, %	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3

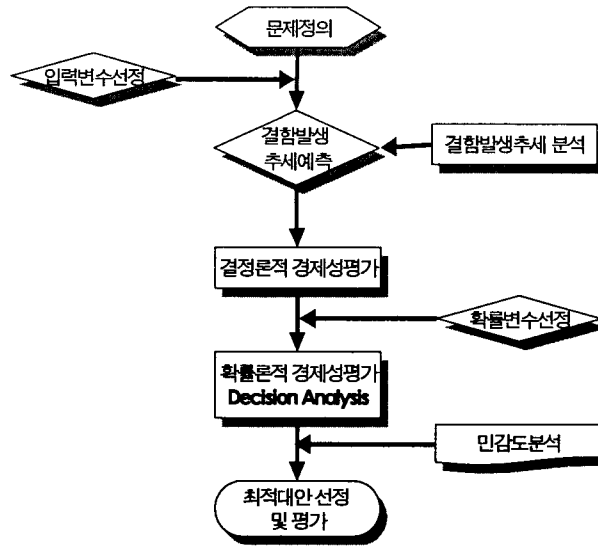


그림 1. 경제성평가 순서도

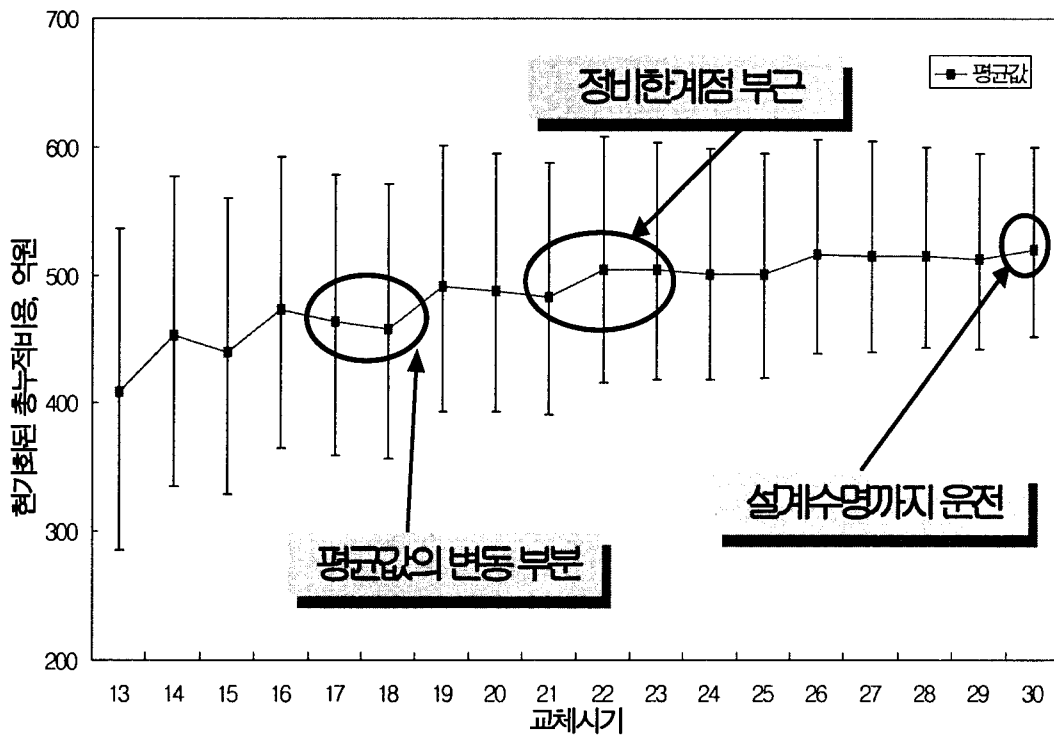


그림 2. 교체시기에 따른 현가화된 총누적비용(확률론적 경제성평가 결과)

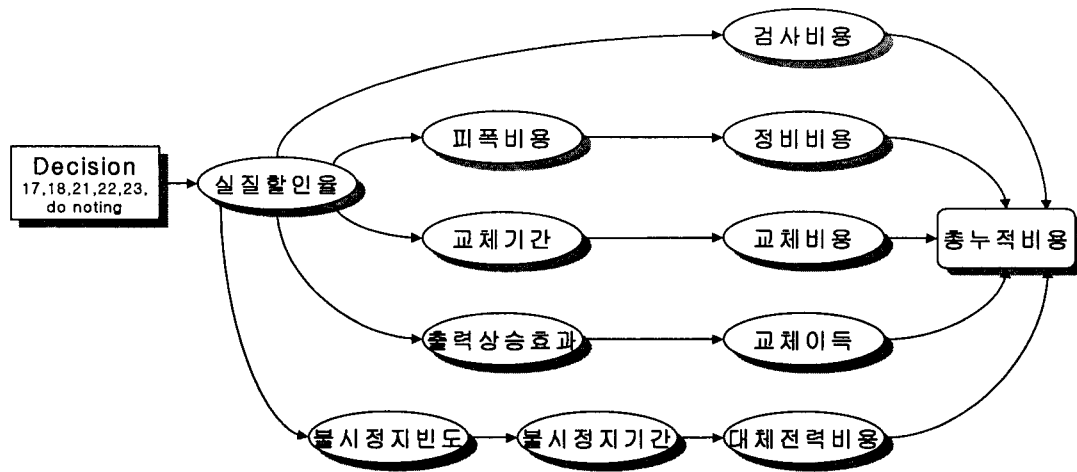


그림. 3 Influence diagram

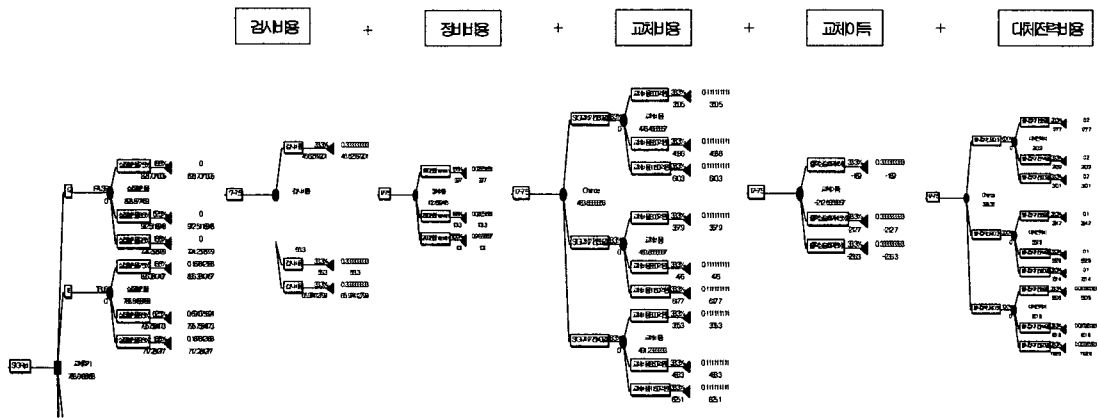


그림 4. Decision tree

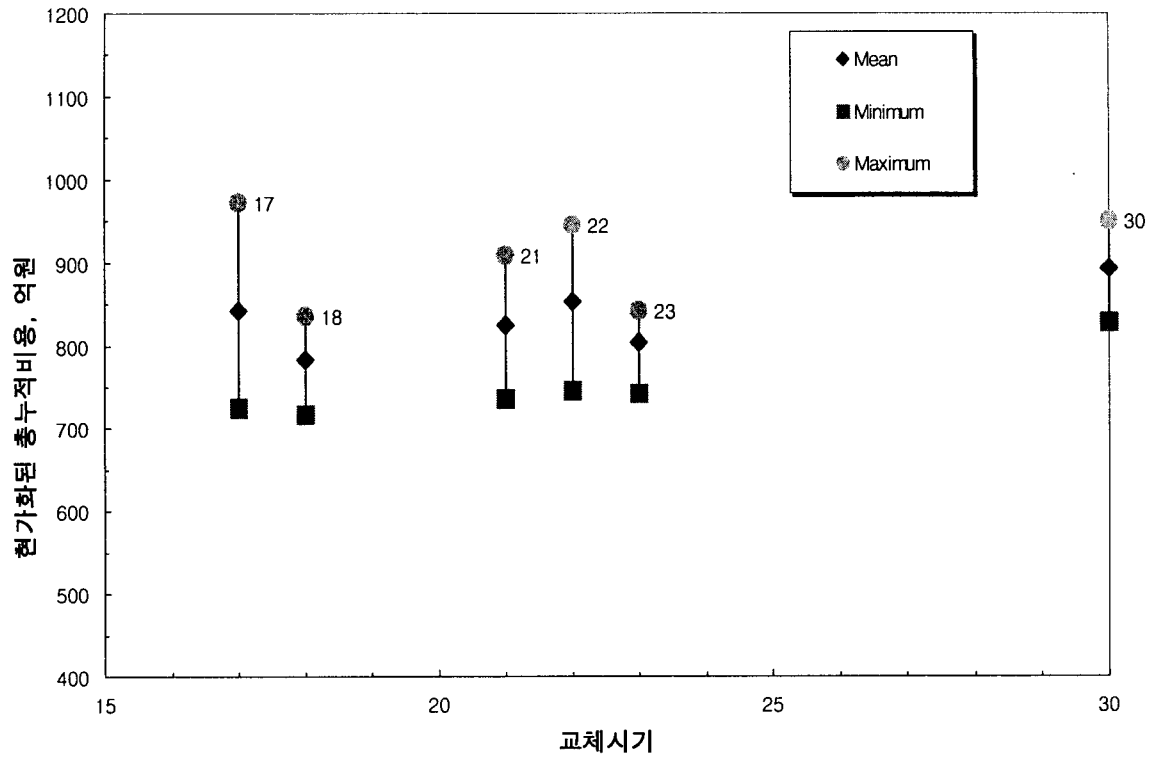


그림 5. 교체시기에 따른 현재화된 총누적비용(Decision analysis 결과)

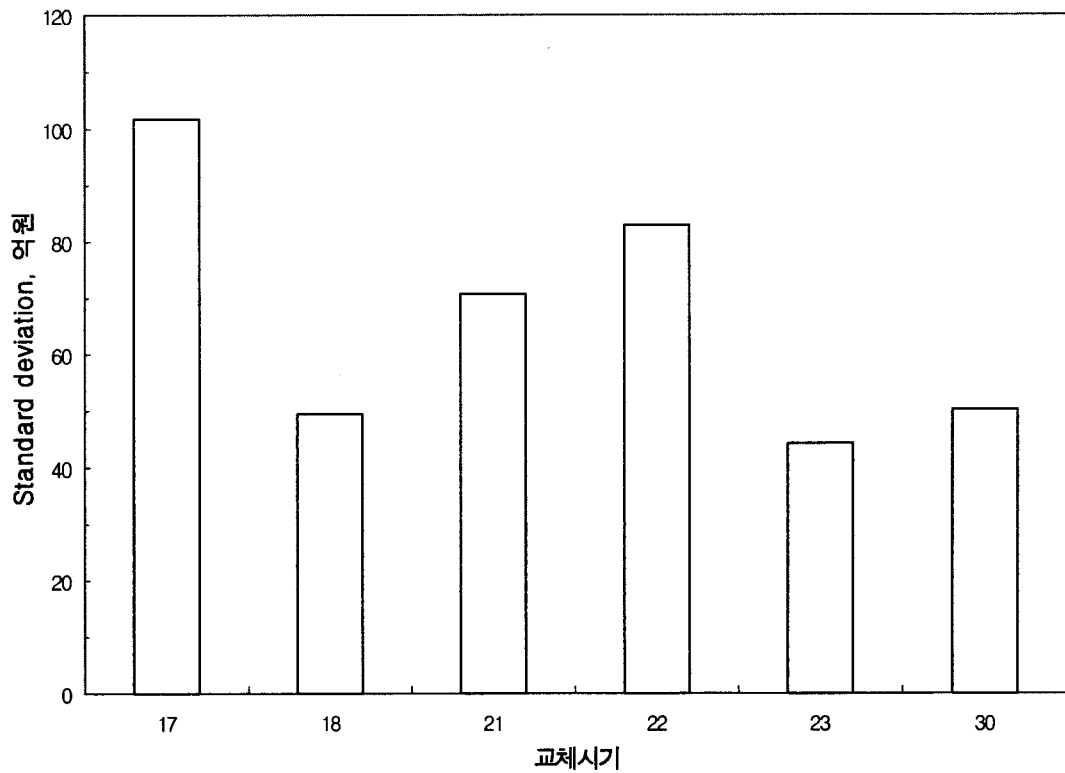


그림 6. 교체시기에 따른 표준편차

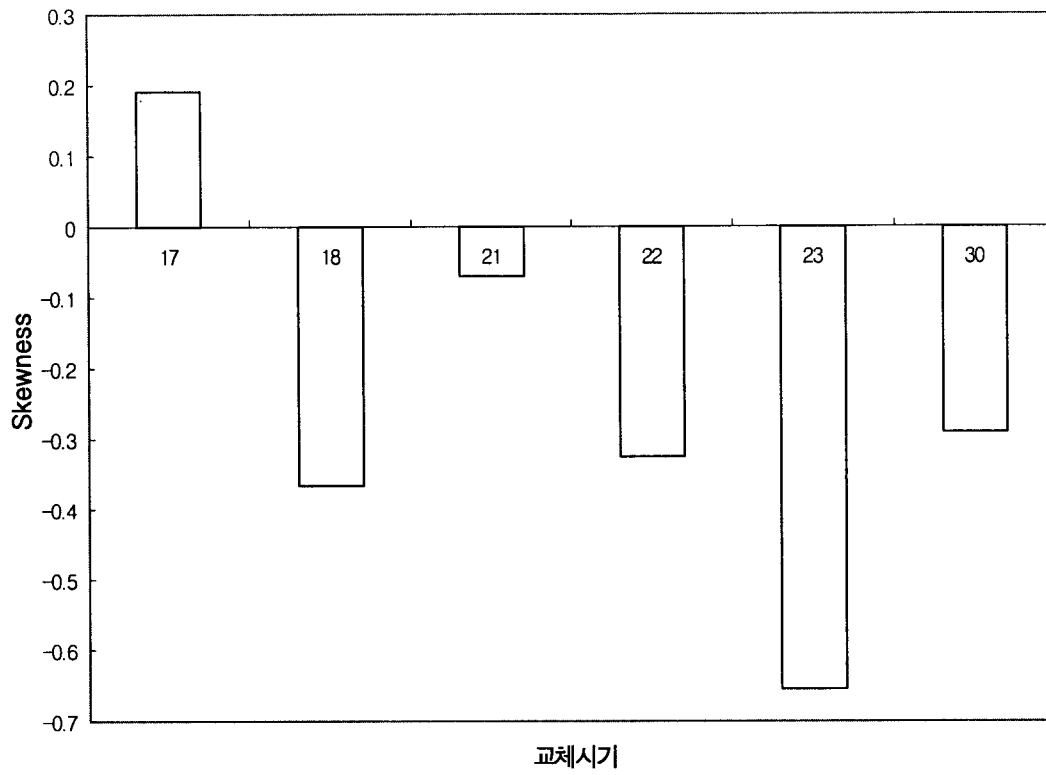


그림 7. 교체시기에 따른 Skewness