

연간등가비용법을 이용한 수력발전기의 경제적 수명주기 분석

논 문
60-11-1

Analysis of Economic Life Cycle for Hydro-Generator Based on Annual Equivalent Cost Method

이 성 훈[†] · 장 정 호* · 김 진 오** · 이 흥 호***
(Sung-Hun Lee · Jeong-Ho Chang · Jin-O Kim · Heung-Ho Lee)

Abstract - Today, the power utilities is setting on the slow load growth and the aging of power equipment, and then could spend the efforts on the stability of system performance. Asset management may be defined as the process of maximizing corporate profit by maximizing performance and minimizing cost over the entire life cycle of power equipment. Therefore, asset management is great way to fulfill the economic investment and the stability of system performance. This paper presents the application of effective asset management from an economic perspective. A proposed method is considering the life cycle analysis using life cycle cost methodology for hydro-generator during the total life cycle. The life cycle cost methodology include a way to calculating maintenance and operating costs. The proposed method will be expected to play an important role in investment decision making considering economic evaluation.

Key Words : Asset management, Life cycle cost, Life cycle analysis, Annual equivalent cost method

1. 서 론

지난 수년간 산업기술의 발전과 더불어 전력설비는 복잡하고 거대화 되었으며, 경쟁적이 산업구조 하에서 이들 설비들의 신뢰성 향상을 위해 막대한 비용이 지출되고 있다. 앞으로 전력산업 성장의 둔화 와 기업의 이윤추구를 위하여 기업들 간 치열한 경쟁으로 효율성 및 경제성이 보다 강조 될 것으로 예상되고 있다. 또한 신뢰성 향상을 위한 신규설비 설치의 감소, 기존설비의 노후화에도 불구하고 설비 안정성 확보 및 이윤의 극대화에 대한 요구는 점차 증대되고 있어 설비관리 및 투자를 위한 정책결정의 중요성이 점점 증대되고 있다. 자산관리(Asset Management)는 위에 언급한 총체적인 해결방법으로서 제시되고 있으며, 효율적인 자산관리기법에 관한 연구 및 적용은 이윤극대화라는 기업들의 욕구를 충분히 충족 시켜주고 있는 것으로 알려져 있다 [1].

전력설비는 비교적 수명이 긴 특성을 가지고 있으며, 그림 1은 수명주기동안 고장률 변화에 따른 자산관리활동들의 관계를 보여주고 있다. 초기 De-bugging단계에서는 자산의 신규설치에 따라 고장률이 점점 감소하는 경향을 보여주고 있으며, Useful life 단계에서는 적절한 유지보수활동을 통하여 안정된 일정한 고장률이 유지되고 있는 특성을 보여주고 있다. Wear-Out단계에서는 설비 노후화에 따라 유지보수비

의 증가, 부품교체 및 낮은 이용률 등에 의해 자산의 교체가 요구되어짐을 보여주고 있고, 또한 Useful life단계에 비해 시간에 따른 고장률도 짧고 빠르게 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서 설비가 Wear-Out단계에 진입하는 시점을 정확히 예측하여 이에 맞는 유지보수를 시행하면 수명연장을 통한 효율적인 자산관리가 이루어 질수 있을 것이지만 결코 쉽지 않은 일이며, Wear-Out단계에 진입하는 시점을 예측하기 위한 다양한 연구들이 이루어지고 있다[2]~[4].

기존의 수명주기분석 연구에서는 자산에 투입되는 현금의 흐름을 고려하여 수명주기 동안 투입된 현금의 가치를 분석하거나 새로운 투자대안 중 발생하는 이익이 가장 많은 대안을 최적의 투자대안으로 선택하는 분석방법을 주로 사용해왔다. Innocent E. Davison[2] 와 Wenpeng Luan[6]은 기존연구에서 NPV(현재가치)분석법 및 IRR(수익률)분석법 등을 이용하여 새로운 투자대안들을 분석하고 최적의 투자대안을 선정하는 방법을 사용하였고, Ingo Jeromin[5]는 기존 설비자산을 NPV(현재가치)분석법을 이용하여 전 생애주기 비용을 계산하고 설비자산별로 총 비용을 비교하는 분석법을 사용하였다. 이러한 방법은 자산의 경과년도별로 수명주기비용을 파악할 수 없고, 미래에 대한 수명주기비용을 파악할 수 없다는 점과 새로운 투자대안 발생되어야지만 분석을 시행할 수 있는 단점이 있다. 따라서 현재 운영되고 있는 설비자산을 현재의 경영수준을 유지하면서 설비자산의 교체를 고려하는 경우에 있어서 수명주기동안 발생된 현금의 가치를 연도별로 분석하여 경제적 관점에서 최적의 수명주기를 결정하는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 [1]에 언급하고 있는 다양한 자산관리활동 중 경제적인 관점에서 운영 및 유지보수단계의 자금의 흐름을 분석하여 그림 1의 Wear-out단계에서의 자산의 교체를 위한 경제적 수명주기를 결정하고자 한다. 경제적 수명주기

† 교신저자, 정회원 : 한국수자원공사 K-water연구원

E-mail : shlee@kwater.or.kr

* 정 회 원 : 한국수자원공사 K-water연구원

** 정 회 원 : 한양대학교 전기제어생체공학부 교수

*** 정 회 원 : 충남대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 2011년 4월 19일

최종완료 : 2011년 10월 24일

결정을 위하여 수명주기분석(LCA : Life Cycle Analysis)은 경제성 평가에서 일반적인 기준으로 사용하고 있는 연간등가비용(AEC : Annual Equivalence Cost)분석법을 적용하였고, 수명주기 동안 발생한 수명주기비용(LCC : Life Cycle Cost)은 수명이 비교적 긴 전력설비의 특성을 고려하여 몇 년간의 축적된 데이터를 이용하여 운영비용을 추정하여 활용하였다. 또한 현재 운영 중이 수력발전기에 제안하는 수명주기 분석기법을 적용하여 평가하였다.

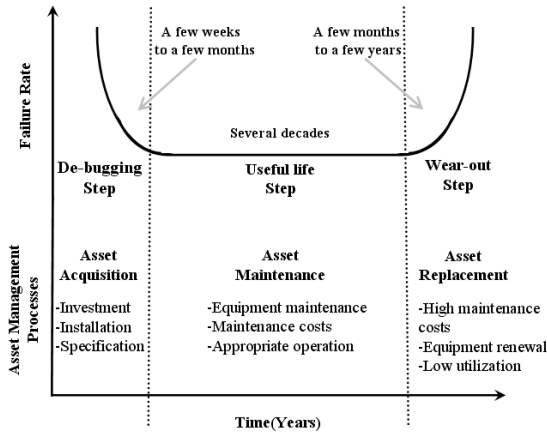


그림 1 자산관리과정
Fig. 1 Asset management processes

2. 본 론

수명주기분석(LCA)이란 분석대상의 총 수명주기 동안 발생한 현금의 흐름을 분석하는 것을 말하며, 이러한 현금의 흐름을 총 누적비용으로 나타낸 것을 수명주기비용(LCC)이라 하며 IEC 60300-3-3에서 수명주기비용을 다음 식 (1)과 같이 정의 하였고, 두 가지 주요한 영역 취득비용과 소유권 비용으로 나누었다. 수명주기분석은 그림 2처럼 수명주기를 6단계로 나누고 있으며, 취득비용은 일반적으로 앞의 네 단계(개념 및 정의, 디자인 및 개발, 제조, 설치) 동안에 발생되며, 소유권비용은 마지막 세 단계(설치, 작동 및 보전, 처분)동안 발생된다. 또한 수명주기분석은 그림 2의 수명주기 6단계 전체 또는 일부에 대한 수명주기비용 분석으로도 응용이 가능하여, 각 분야의 특성에 맞게 수행되고 있다 [7].

$$LCC = \text{Cost(취득비용)} + \text{Cost(소유권비용)} \quad (1)$$



그림 2 수명주기단계
Fig. 2 Life cycle phases

2.1 수명주기비용 모델링(Life Cycle Cost Modeling)

기업환경의 변화에 따른 기업들 간의 치열한 경쟁 하에서 경제적인 설비관리 및 유지보수는 기업의 최대 가치인 이윤 극대화라는 목표를 달성하기 위한 활동이라고 정의할 수 있다. 따라서 설비의 자산관리과정에서 발생하는 모든 비용 즉, 설비의 투자비용(Capital Cost)과 설비의 운영비용(Operating Cost)등의 모든 비용을 체계적으로 결정하는 수명주기분석은 자산관리분야에서 반드시 필요한 분석법이다. 수명주기 분석에는 다양한 종류의 방법들을 사용하여 투자 및 대체분석에 관한 문제들을 해결하고 있다. 경제성 분석에서 가장 많이 사용하는 B/C(편익/비용)분석 및 IRR(수익률)분석 방법은 투자의 주체를 중심으로 한 현금흐름을 고려하여 투자 대안으로부터 발생하는 이익이 가장 많은 대안을 선택하는 방법으로 주로 사용하였다. 그러나 경제성 분석은 현재 운영되고 있는 상황에서 현재의 경영수준을 유지하면서 장비를 교체하고자 하는 경우에도 필요하다. 대체분석(Replacement Analysis)이란 현재의 상태를 동일 수준으로 계속 사용하기 위해 사용 중인 장비를 새로운 장비로 교체하는 문제에 대한 경제적 분석이다. 즉, 현재 사용 중인 장비를 언제 처분하여 다른 장비로 교체할 것인지를 시점을 결정하는 분석법이다. 대체분석을 이용한 경제적 사용수명 결정을 위한 수명주기비용 모델은 투자비용($CR(N)$:Capital Cost)과 운영비용($OC(N)$:Operating Cost)의 총액으로 식 (2)와 같이 연간등가비용($AEC(N)$:Annual Equivalent Cost)으로 나타내었다. 여기서 N 은 설비의 사용수명 이다. 수명주기 비용모델에서 경제적 사용수명은 자산을 소유하고 운영하기 위해 발생된 총 연간등가비용을 최소화하는 기간으로 정의하였으며, 식 (2) 와 그림 3에서 $AEC(N)$ 를 최소화하는 n^* 을 경제적 사용수명으로 볼 수 있다. 일반적으로 수명이 긴 설비들은 설비를 오랫동안 소유할수록 가치가 감소함에 따라 투자비용($CR(N)$)은 N 에 대한 체감함수이고, 운영비용($OC(N)$)은 초기의 성능을 유지하기 위하여 더 많은 유지 보수 비용을 소요함에 따라, N 에 관한 체증함수가 된다. 따라서 $AEC(N)$ 는 그림 3과 같이 유한 최소점을 갖는 N 에 관한 볼록함수(Convex Function)함수가 된다 [8].

$$\min AEC(N) = CR(N) + OC(N) \quad (2)$$

여기서, $CR(N)$: 투자비용(Capital Cost)
 $OC(N)$: 운영비용(Operating Cost)

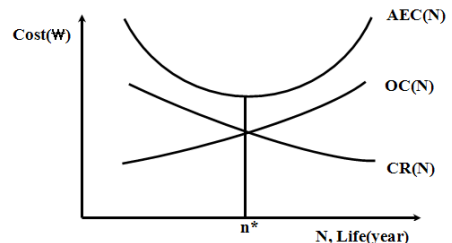


그림 3 $AEC(N)$, $CR(N)$, $OC(N)$
Fig. 3 $AEC(N)$, $CR(N)$, $OC(N)$

2.1.1 투자비용(CR(N):Capital Cost)

투자비용은 일반적으로 초기구입비용과 처분가치로 구성된다. 초기구입비용은 자산의 구매가격으로 나타낸다. N을 자산이 유지되는 기간 즉, 설비 사용연수 I를 자산의 초기구입비용, i를 이자율(할인율), 그리고 S_N을 N년 말의 자산의 처분가치라고 할 때 투자비용(CR(N))은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 일반적으로 자산의 처분가치는 초기구입비용보다 적고, 자산을 오랫동안 유지하면 할수록 그 처분가치는 점점 감소하므로, 자산보유기간인 N이 증가하면 투자비용은 감소하는 N에 관한 제곱함수가 된다.

$$CR(N) = I(A/P, i, N) - S_N(A/F, i, N) \quad (3)$$

$$\text{여기서, } (A/P, i, N) = P \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right]$$

$$(A/F, i, N) = F \left[\frac{i}{(1+i)^N - 1} \right]$$

2.1.2 운영비용(OC(N):Operating Cost)

자산의 운영비용은 운영 및 유지보수비, 인건비, 자재비용으로 구성된다. 운영 및 유지보수비는 사용시간이 경과함에 따라 일반적으로 매년 증가하기 때문에 자산의 총 운영비용은 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보인다. OC(N)를 N년 동안 발생하는 연간등가 운영비라고 한다면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (4)는 자산보유기간인 N이 증가하면 자산의 운영비용은 시간에 따라 증가하는 N에 관한 제곱함수가 된다.

$$OC(N) = \left(\sum_{n=1}^N OC_n(P/F, i, N) \right) (A/P, i, N) \quad (4)$$

$$\text{여기서, } (P/F, i, N) = F(1+i)^{-N}$$

$$(A/P, i, N) = P \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right]$$

2.1.3 운영비용의 상관관계 분석

본 논문에서는 비용함수모델 구현을 위하여 투자비용 이외에도 자산의 운영시간 따른 운영비용을 고려하였다. 운영 및 유지보수비는 사용시간이 경과함에 따라 일반적으로 매년 증가하기 때문에 자산의 운영비용은 시간이 지남에 따라 증가한다. 하지만 실제로 운영비용은 물가상승률, 유지보수 정책 및 설비의 상태 등에 따라 증가하지 않고 감소하는 경우도 있다. 본 논문의 수명주기비용 모델링에서는 연간등가비용이 최소가 되는 경제적 수명주기를 찾기 위하여 운영비용의 증가를 전제로 하고 있다. 만약에 운영비용이 일정하거나 감소하는 경우에는 수명비용분석은 가능하지만 연간등가비용이 최소가 되는 점을 찾는 데는 어려움이 있다. 따라서 자산의 운영비용이 시간이 지남에 따라 증가하는 것을

증명하여 결과의 객관성을 높이기 위하여 자산의 운영시간과 운영비용 사이에 상관관계를 통계적으로 분석하였다.

상관분석은 두 변수 사이에 상관관계가 존재하는지를 파악하는 척도로써, 주로 사용되는 상관척도는 피어슨 상관계수(r:Pearson Correlation Coefficient)이며, 식 (5)와 같고, 이에 대한 검정통계량 t값은 식 (6)와 같다 [9].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

$$\text{여기서, } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_n, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_n \quad (n \text{은 표본의 수})$$

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2} \quad (6)$$

여기서, r : 상관계수(Correlation Coefficient)

n-2 : 자유도(n은 표본의 수)

2.2 최소자승회귀분석법(Method of Least Squares Regression)

전력설비의 가장 큰 특성은 사용기간이 길다는 것이다. 수명이 긴 특성 때문에 데이터를 관리하는데 큰 어려움이 있다. 최근에는 데이터관리에 대한 중요성이 점차 커지고 있지만 현재까지는 정확한 데이터를 획득할 수 없어 제한된 데이터를 분석해야하는 어려움이 있다. 따라서 연도별 운영비용 추정을 위하여 실제데이터를 바탕으로 최소자승회귀분석법을 이용하여 과거와 현재의 운영비용을 추정하였다. 최소자승회귀분석법은 실제데이터와 추정데이터와의 차인 오차의 제곱 합을 최소로 하는 값을 찾는 방법으로서 식 (7)은 현재 시점(2009년)을 기준으로 분석하고자 하는 해당연도 가치로 환산하여 운영비용을 계산하는 수식이며, 식 (8)은 실제데이터와 추정데이터의 차를 표현하는 최소자승회귀분석법의 오차함수이고, 식 (8)으로 부터 오차의 제곱 합이 최소가 될 때의 식 (9)을 유도할 수 있다. 식 (8)의 계수들은 식(10), (11)의 편미분들이 0으로 될 때의 값으로 결정된다. 따라서 식 (7)~(11)을 이용하여 오차의 제곱 합을 최소로 하는 2009년도의 운영비용 y₁ 과 운영비용 증가율 i'을 추정할 수 있다 [10].

$$y_{k, estimate} = \frac{y_{1, estimate}}{(1+i')^{(k-1)}} \quad (7)$$

$$y_{k, actual} = a_0 + a_1 y_{k, estimate} + e_k \quad (8)$$

$$S_r = \sum_{k=i}^n e_k^2 = \sum_{k=1}^n (y_{k, actual} - a_1 y_{k, estimate} - a_0)^2 \quad (9)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = 2 \sum_{k=1}^n (y_{k, actual} - a_1 y_{k, estimate} - a_0) \quad (10)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = 2 \sum_{k=1}^n (y_{k,actual} - a_1 y_{k,estimate}) y_{k,estimate} \quad (11)$$

여기서, e_k : 실제데이터와 추정데이터의 오차
 $y_{k,actual}$: k 년도 실제 운영비용
 $y_{k,estimate}$: k 년도 추정 운영비용
 $y_{1,estimate}$: 추정된 2009년도 운영비용
 i' : 추정된 운영비용 증가율
 k : 자산운영기간(year)

또한 연도별 추정 운영비용 $y_{k,estimate}$ 은 식 (7)~(11)에 의하여 추정된 2009년도의 운영비용 y_1 과 운영비용 증가율 i' 을 이용하여 식 (7)으로 계산할 수 있으며, 식 (7)을 이용한 연도별 추정된 운영비용은 식(12)과 같은 행렬식으로 일반화하여 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} y_{2,estimate} \\ y_{3,estimate} \\ \dots \\ y_{k,estimate} \\ y_{k+1,estimate} \end{pmatrix} = \left\{ (1+i')^{(k-1)} \right\}^{-1} (y_{1,estimate}) \quad (12)$$

3. 사례연구

사례연구에서는 현재 운영중인 수력발전기에 관하여 실제 데이터를 바탕으로 제안하는 방법을 통하여 경제적 수명주기를 결정하였다. 연구대상 수력발전기는 1976년에 설치되어 36년간 운영중에 있으며, 투자비용으로는 표 1에서 처럼 초기구입비용 2,986백만원이 조사되었다. 본 논문에서는 식 (3)에서 처럼 투자비용을 초기구입비용과 처분가치로 구분하여 처분가치를 고려할 것을 제안하였지만, 수명이 긴 전력설비의 특성 및 처분가치 계산의 어려움이 있어 사례연구에서는 고려하지 않았다. 다만 처분가치에 대한 정확한 데이터만 주어지면 식 (3)을 이용하여 현금흐름을 분석 하는데는 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다. 또한 운영비용에 대한 데이터는 데이터 취득의 어려움으로 2002년부터 2009년 까지만 조사되었다. 표 2의 제 1열은 해당연도를 제2열은 1976년을 기준으로 설비의 경과년도를 의미하며, 제3열은 유지보수공사비, 점검정비비 및 인건비등이 포함된 실제 운영비용을 나타내었다. 표 2의 2002년부터 2009년도 실제 운영비용을 바탕으로 식 (7)~(11)을 이용하여 계산된 2009년도의 운영비용 y_1 은 201백만원 이고 운영비용 증가율 i' 은 3.7%이다. 계산된 2009년도의 운영비용 y_1 과 운영비용 증가율 i' 에 식 (12)을 이용하여 추정된 운영비용은 표 3의 3열과 4열에 나타내었다.

표 1 투자비용 데이터
Table 1 Capital cost data

Year	투자비용(백만원) (Capital cost)
1976	2,986

표 2 실제 운영비용 데이터
Table 2 Real operating cost data

Year	Life	실제 운영비용(백만원) (Real Operating Cost)
2002	26	229
2003	27	213
2004	28	227
2005	29	244
2006	30	253
2007	31	167
2008	32	260
2009	33	64

표 3 연간 운영비용 데이터
Table 3 Operating cost data(Yearly)

Year	K	실제 운영비용(백만원) (Real Operating Cost)	추정 운영비용(백만원) (Estimated Operating Cost)
33	1	64	201
32	2	260	194
31	3	167	187
30	4	253	180
29	5	244	174
28	6	227	168
27	7	213	162
26	8	229	156
25	9	-	150
24	10	-	145
23	11	-	140
22	12	-	135
21	13	-	130
20	14	-	125
19	15	-	121
18	16	-	117
17	17	-	112
16	18	-	108
15	19	-	105
14	20	-	101
13	21	-	97
12	22	-	94
11	23	-	90
10	24	-	87
9	25	-	84
8	26	-	81
7	27	-	78

6	28	-	75
5	29	-	73
4	30	-	70
3	31	-	68
2	32	-	65
1	33	-	63

또한 연간등가비용이 최소가 되는 경제적 수명주기를 찾기 위하여 운영비용의 증가하는 것을 보여주기 위한 운영시간에 따른 운영비용과의 상관관계분석을 위하여 식 (5) 와 식 (6)을 이용하여 표 2의 3열의 실제 운영비용을 바탕으로 분석한 결과는 표 4와 같다. Pearson상관계수 값이 1에 가깝기 때문에 시간이 지남에 따라 운영비용이 증가하는 양의 상관관계가 있음을 알 수 있으며, P-Value에서는 유의수준 0.05를 기준으로 유의수준 값보다 작기 때문에 상관관계가 유의함을 알 수 있다.

표 4 운영비용 데이터의 상관관계 분석
Table 4 Correlation analysis of operating cost

요소	Pearson상관계수	P-Value
운영비용	0.734	0.038

표 4에서는 분석하고자 하는 설비의 운영비용이 운영시간에 따라 증가하는 양의 상관관계가 있음을 증명하였다. 따라서 식 (4)의 운영비용 함수가 시간에 따라 증가하는 N 에 관한 체증함수임을 증명하였으므로 연가등가비용 함수 식 (2)는 유한 최소점을 갖는 N 에 관한 볼록함수(Convex Function)함수가 됨을 알 수 있다.

다음은 자산에 투입된 실제 투자비용 과 추정된 운영비용을 바탕으로 연간등가비용 분석을 시행하였다. 표 5는 연간등가분석을 위한 입력데이터이고 이를 바탕으로 식 (2)~(4)를 이용하여 연도별 연간등가비용을 계산하면 표 6과 같다. 표 6에는 실제 연간등가비용과 추정 연간등가비용의 오차를 비교하기 위하여 26년부터 33년까지의 연가등가비용을 나타내었고, 표 6의 2열은 표 3의 2002년~2009년의 실제 운영비용을 입력하여 계산된 실제 연간등가비용이고 3열은 표 3의 2002년~2009년의 추정된 운영비용을 입력하여 계산된 추정된 연간등가비용이다. 표 6에서 알 수 있듯이 26년부터 34년 동안 실제 연가등가비용과 추정 연가등가비용에 대한 오차율이 1%이하로서 추정된 운영비용 입력 값이 상당히 양호한 결과 값 가짐을 알 수 있다.

표 5의 입력데이터를 바탕으로 현재 분석시점을 기준으로 과거 와 미래의 연차별 연간등가비용을 선으로 이어 도식화하여 나타내면 그림 4와 같이 최소 점을 갖는 볼록함수로 표현할 수 있으며 분석시점(2009년)을 기준으로 설비 설치일(1976년)로부터 50년(2026년)에서 연간등가비용은 377백만

원으로 최소 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 또한 이자율은 투자재원, 현재 금융시장의 상황에 따라 민감하게 반응하고 이에 따라 연간등가비용 분석 결과도 다르다. 따라서 표 7에는 이자율 변화에 따른 연간등가비용의 민감도를 분석하였고, 연간등가비용이 이자율에 따라 증가 또는 감소하여 최소 점이 변화함을 알 수 있었다.

표 5 연간등가비용 분석 데이터
Table 5 Annual equivalent cost analysis data

항 목	입력
투자비용	2,986백만원
2009년도 추정 운영비용	201백만원
추정 운영비용 증가율	3.7%
이자율	5%

표 6 실제 연간등가비용과 추정 연간등가비용
Table 6 Real AEC and estimated AEC

Year	실제 연간등가비용 (백만원, 이자율 5%)	추정 연간등가비용 (백만원, 이자율 5%)	오차
26	412	415	-0.66
27	409	410	-0.42
28	405	406	-0.17
29	403	402	0.11
30	401	399	0.39
31	397	396	0.31
32	395	393	0.53
33	391	391	0.09

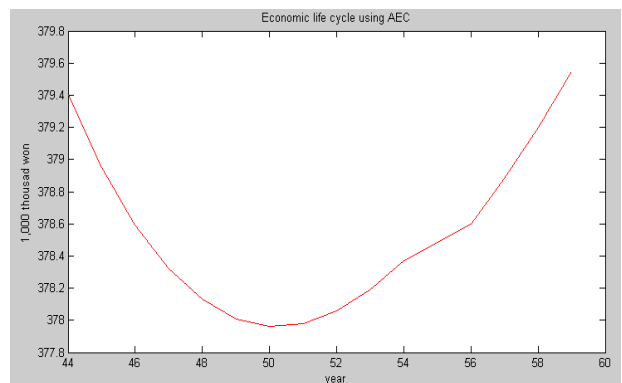


그림 4 연간등가분석을 이용한 경제적 수명주기
Fig. 4 Economic life cycle using AEC

표 7 이자율에 따른 연간등가비용의 민감도 분석

Table 7 Sensitivity analysis of AEC according to Interest rate

Year	연간등가비용 (백만원,이자율3%)	연간등가비용 (백만원,이자율4%)	연간등가비용 (백만원,이자율5%)	연간등가비용 (백만원,이자율6%)	연간등가비용 (백만원,이자율7%)	연간등가비용 (백만원,이자율8%)
1	4,828.81	4,875.08	4,921.35	4,967.62	5,013.89	5,060.16
2	2,482.27	2,517.36	2,552.56	2,587.87	2,623.28	2,658.80
3	1,701.10	1,732.63	1,764.36	1,796.27	1,828.38	1,860.67
4	1,311.28	1,341.16	1,371.30	1,401.72	1,432.40	1,463.34
5	1,078.02	1,106.99	1,136.32	1,165.98	1,195.99	1,226.32
6	923.04	951.49	980.37	1,009.66	1,039.36	1,069.45
7	812.80	840.94	869.58	898.71	928.31	958.38
8	730.53	758.49	787.02	816.11	845.75	875.91
9	666.92	694.78	723.29	752.42	782.17	812.52
10	616.36	644.19	672.73	701.97	731.88	762.46
11	575.31	603.14	631.76	661.13	691.25	722.10
12	541.39	569.26	597.97	627.51	657.86	689.00
13	512.97	540.88	569.71	599.44	630.04	661.48
14	488.86	516.83	545.80	575.72	606.58	638.33
15	468.21	496.25	525.36	555.49	586.61	618.68
16	450.37	478.49	507.74	538.08	569.47	601.86
17	434.85	463.06	492.45	523.00	554.66	587.37
18	421.27	449.56	479.10	509.86	541.78	574.80
19	409.32	437.69	467.38	498.35	530.53	563.86
20	398.76	427.21	457.05	488.22	520.65	554.28
21	389.40	417.92	447.90	479.27	511.95	545.87
22	381.07	409.66	439.78	471.34	504.26	538.47
23	373.65	402.30	432.54	464.29	497.45	531.93
24	367.02	395.73	426.09	458.01	491.39	526.13
25	361.08	389.84	420.32	452.41	486.01	521.00
26	355.77	384.57	415.15	447.40	481.21	516.44
27	351.01	379.84	410.52	442.92	476.92	512.38
28	346.75	375.60	406.37	438.91	473.09	508.77
29	342.93	371.80	402.64	435.32	469.67	505.55
30	339.52	368.40	399.30	432.10	466.61	502.68
31	336.48	365.34	396.31	429.21	463.88	500.13
32	333.77	362.62	393.63	426.63	461.43	497.85
33	331.37	360.18	391.23	424.31	459.24	495.82
34	329.25	358.02	389.08	422.25	457.29	494.01
35	327.39	356.10	387.17	420.40	455.55	492.40
36	325.76	354.41	385.48	418.76	454.00	490.97
37	324.36	352.92	383.98	417.30	452.62	489.70
38	323.17	351.63	382.66	416.01	451.40	488.57
39	322.16	350.51	381.50	414.87	450.32	487.58
40	321.34	349.55	380.49	413.86	449.36	486.70
41	320.68	348.75	379.62	412.99	448.53	485.92
42	320.17	348.09	378.88	412.23	447.79	485.24
43	319.82	347.56	378.26	411.58	447.16	484.65
44	319.60	347.15	377.74	411.02	446.60	484.13
45	319.51	346.86	377.33	410.55	446.13	483.69
46	319.55	346.67	377.01	410.17	445.73	483.30
47	319.71	346.58	376.77	409.86	445.40	482.98
48	319.97	346.59	376.62	409.61	445.12	482.70
49	320.34	346.68	376.54	409.43	444.89	482.47
50	320.82	346.86	376.52	409.31	444.72	482.28
51	321.39	347.12	376.57	409.24	444.59	482.13
52	322.05	347.44	376.68	409.22	444.50	482.01
53	322.80	347.84	376.84	409.24	444.44	481.92
54	323.63	348.30	377.06	409.30	444.42	481.86
55	324.55	348.82	377.32	409.40	444.42	481.82
56	325.54	349.40	377.62	409.53	444.46	481.80
57	326.61	350.04	377.97	409.69	444.51	481.80
58	327.75	350.72	378.35	409.88	444.59	481.81
59	328.96	351.46	378.77	410.10	444.69	481.84
60	330.24	352.24	379.21	410.34	444.80	481.89

4. 결 론

본 논문에서는 비교적 수명이 긴 전력설비에 관하여 경제성 분석 방법 중 연간등가비용법을 이용하여 경제적 사용수명을 결정하는 방법을 제안하였다. 연간등가비용법은 현재의 상태를 동일 수준으로 계속하기 위해 사용 중인 장비를 새로운 장비로 교체하는 문제에 대한 대체분석 방법이다. 사례연구는 1976년에 설치되어 36년간 실제 운영 중인 수력발전기를 대상으로 하였으며, 연간등가비용 분석을 위하여 실제 사용된 투자비용과 운영비용을 분석하였다. 전력설비는 수명이 긴 특성 때문에 데이터를 관리하는데 큰 어려움이 있어 운영비용을 이용하기 위하여 제한된 데이터를 이용하여 추정하는 방법을 제안하였다. 운영비용과 연간 운영비용 증가율은 최소자승회귀분석법을 이용하여 추정하였고, 추정된 운영비용과 연간 운영비용 증가율을 이용하여 연차별 운영비용을 추정하여 연간등가분석의 입력데이터로 활용하였고 연간등가비용이 최소가 되는 점을 경제적 수명주기로 결정하였다. 해당 발전기의 경제적 수명주기는 이자율이 5%일 때 연간등가비용이 377백만원이 되는 설비 설치일(1976년)로부터 50년(2026년) 지난 시점에서 최소 값을 갖는 것을 알 수 있었으며, 또한 이자율에 따라 연간등가비용이 민감하게 반응함을 알 수 있었다.

제안하는 경제적 수명주기 결정방법은 경제적 관점에서 투자대안 비교하는 기존의 방법에서 벗어나 자산을 현재의 경영수준을 유지하면서 설비자산의 교체를 하고자 하는 경우를 고려하고자 하였다. 따라서 제안하는 경제적 수명주기 결정방법을 이용한 효율적인 자산관리기법은 이윤극대화라는 기업들의 욕구를 충분히 충족 시켜줄 수 있을 것으로 기대되며, 향후 기술적인 평가와 경제적인 평가를 접목시킬 수 있는 평가기법 개발에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] M. Muhr, "Asset and Risk Management of Electrical Power Equipment", 2005 International Symposium on Electrical Insulating Material, Japan, 2005.
 [2] Innocent E. Davison, "Utility Asset Management in the Electrical Power Distribution Sector", Inaugural IEEE PES 2005 Conference and Exposition in Africa Durban, South Africa, 1-15 July 2005.
 [3] Qiming Chen, and David M. Egan, "A Bayesian Method for Transformer Life Estimation Using Perks' Hazard Function", IEEE Transactions on Power Systems, Vol .21, No. 4, November 2006.
 [4] Wenyuan Li, Jiaqi Zhou, Kaigui Xie, and Xiaofu Xiong, " Power System Risk Assessment Using a Hybrid Method of Fuzzy Set and Monte Carlo Simulation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.23, No. 2, May 2008.
 [5] Ingo Jeromin, Gerd Balzer, Jürgen Bakes and Richard Huber, "Life Cycle Cost Analysis of Transmission and Distribution Systems", IEEE Bucharest Tech Conference, Bucharest, Romania, 2009.
 [6] Wenpeng Luan, Cheong K. Siew and Helen Iosfin,

"Life Cycle Analysis Methodology for Distribution Feeder Reclosers", Electrical and Computer Engineering, Vancouver, Canada, 2007.

[7] IEC 60300-3-3, "Application guide - Life cycle costing", IEC International Standards, 2004.
 [8] 박찬석, 최성호 "공학경제", 영지문화사, 2009.
 [9] M.J. Crowder, A.C. Kimber, R.L. Smith and T.J. Sweeting, "Statistical Analysis of Reliability Data", 1991.
 [10] S.C. Chapra, R.P. Cacale, "Numerical Method of Engineerings", 2007

저 자 소 개



이 성 훈 (李 晟 薰)

1978년 2월 25일생. 2004년 2월 인천대학교 전기공학과 졸업. 2007년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업(석사). 2011년 2월 한양대학교 전기공학과 수료(박사). 현재 한국수자원공사 K-water연구원 재직중
 Tel : (042)870-7672
 E-mail : shlee@kwater.or.kr



장 정 호 (張 晶 皓)

1972년 2월 25일생. 1998년 건국대학교 전기공학과 졸업. 2007 충남대학교 전기공학과 졸업(석사). 충남대학교 전기공학과 박사과정 재학중. 현재 한국수자원공사 K-water연구원 재직중
 Tel : (042)870-7671
 E-mail : chany@kwater.or.kr



김 진 오 (金 鎭 吾)

1950년 10월 28일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수
 Tel : (02)2290-0347
 E-mail : jokim@hanyang.ac.kr



이 흥 호 (李 興 浩)

1950년 10월 28일생. 1973년 서울대 공업교육과(전기전공) 졸업, 1977년 동 대학원 공업교육과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 현재 충남대학교 전기공학과 교수.
 Tel : (042)821-5656
 E-mail : hhlee@cnu.ac.kr