

HS 최적화 알고리즘을 이용한 전력용 변압기의 경제적 수명평가

Economic Life Assessment of Power Transformer using HS Optimization Algorithm

이 태 봉* · 손 진 근†
(Tae-bong Lee · Jin-geun Shon)

Abstract - Electric utilities has been considered the necessity to introduce AM(asset management) of electric power facilities in order to reduce maintenance cost of existing facilities and to maximize profit. In order to make decisions in terms of repairs and replacements for power transformers, not only measuring by counting parts and labor costs, but comprehensive comparison including reliability and cost is needed. Therefore, this study is modeling input cost for power transformer during its entire life and also the life cycle cost (LCC) technique is applied. In particular, this paper presents an application of heuristic harmony search(HS) optimization algorithm to the convergence and the validity of economic life assessment of power transformer from LCC technique. This recently developed HS algorithm is conceptualized using the musical process of searching for a perfect state of harmony. It uses a stochastic random search instead of a gradient search so that derivative information is unnecessary. The effectiveness of the proposed identification method has been demonstrated through an economic life assessment simulation of power transformer using HS optimization algorithm.

Key Words : AM(asset management), HS(harmony search), LCC(life cycle cost) technique, Power transformer, Stochastic random search

1. 서 론

자산관리(Asset Management)라 함은 전력설비의 기기 등에서 단일 개체나 그룹에게 가치를 갖는 그 무엇인가를 조정하고 유지하는 것을 의미하며, 건물 같은 유형 자산이나 지적 재산과 신용과 같은 무형적인 개념에도 적용 될 수 있다는 것이다. 그러므로 자산관리는 비용적인 측면에서의 운용과 유지, 그리고 개선과 처분 등의 절차를 효율적으로 조율하는 시스템적인 절차이며, 투자대비 최대이익을 취하면서 설비시스템의 조정과 유지절차를 실천하는 것이다[1, 2].

이러한 측면에서 전력용 변압기 등 전력설비를 관리할 때에는 기술적 성능 평가뿐 아니라 경제적 가치를 종합적으로 평가하는 자산관리 개념[3-5]의 도입 필요성이 새롭게 대두되고 있는 실정이다. 이는 단순히 설비의 성능을 유지하는 개념에서 벗어나 설비의 가치를 극대화하기 위한 연구 및 도입 기술이 필요하다 할 수 있다.

특히 전력용 변압기 등은 1960년대 및 1970년대 이후 급속도로 늘어난 전력설비가 21세기 최근에는 내구 년한이 도래하면서 노후화된 전력설비의 수명 연장이나 교체시기 등을 정해야 하는 시점에 와 있다. 이러한 전력용 변압기 등 대용량 전력설비의 가치를 극대화하기 위해서는 경제적 측

면을 고려한 자산관리 개념에서 접근해야 한다.

본 논문에서는 최근에 제정된 ISO 55000[6]에 기반한 전력용 변압기의 전과정평가(Life Cycle Assessment)의 개념을 도입한 경제적 수명평가 기법을 제안하면서, 이의 결과에 대한 최적의 결과 도출 및 검증에 위하여 근래에 새롭게 제시되고 있는 최적화 HS 알고리즘에 적용하여 수명평가 기법의 신뢰성을 제고하고자 한다.

전력설비의 비용가치를 최대로 이끌어내기 위하여 생애 전과정비용의 LCC기법[7]을 근간으로 하여 연간등가분석법(Annual Equivalent Cost Method)에 기초한 경제적 수명을 평가하는 기법을 제안한다. 이는 자본비용에 비례하는 계수들의 입력과 수리비 증가를 기본으로 하는 누적수리비를 운용기간으로 나눈 연평균비용 평가지표로 하는 방법이다.

이의 수명평가에 대한 최종 결과는 최적화 HS 알고리즘[8]에 적용하여 실시설계의 타당성을 검증하게 된다. 이의 최적화 HS 알고리즘성은 비수학적인 알고리즘으로 설계변수에 대한 초기 값을 요구하지 않으며 경사법(gradient search) 대신 확률변수 기법 (stochastic random search)을 기반으로 하고 있으며, 수학적 수렴성이나 접근의 판단성이 어려울 때 매우 적합한 해를 찾는다는 장점이 있다.

HS 알고리즘은 음악의 즉흥연주(improvisation)에서 음악가들이 최고의 하모니를 찾아가는 과정에 영감을 받아 개발된 최적화 기법이라 할 수 있다 즉흥연주에서 음악가들은 처음에 임의 적인 화음에서 출발하여 서로가 낼 수 있는 음역을 사용하여 점점 더 좋은 화음을 만들어 낸다. HS는 이러한 과정을 무작위선택(random selection), 기억회상(memory consideration) 및 피치조정(pitch adjustment)이라는 알고리즘으로 표현된다.

따라서 본 논문에서 제안된 수명평가 기법의 결과를 새롭

* School of Electrical Engineering, Gachon University, Korea

† Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Gachon University, Korea

E-mail : shon@gachon.ac.kr

접수일자 : 2017년 8월 8일

최종완료 : 2017년 8월 23일

게 제안된 HS 세 개의 알고리즘에 적용한 결과 기존의 방법으로는 볼록함수(convex function)가 정의되지 않아서 수렴성 및 적용성 문제에 직면한 경우에 그 적용이 매우 쉽게 가능함을 확인하여 경제적 수명기법의 객관성과 신뢰성의 제고에 유리함을 확인할 수 있었다.

2. LCC기반의 경제적 수명평가 기법

전력설비의 비용가치를 최대한으로 이끌어내기 위해서는 정기적 또는 문제가 생길 때 마다 유지보수를 하여 장기간 사용해야 한다. 그러나 설비가 오래될수록 유지비용은 매년 증가하며 누적되는 비용도 증가하게 된다. 따라서 설비를 일정기간 사용하게 되면 유지보수를 하는 것보다 신규로 구입하는 것이 경제적으로 유리하고, 이를 경제적 수명에 도달했다고 일컫는다.

본 논문에서는 이와 같은 개념의 일환으로 생애 전과정비용에 기반한 LCC기법을 적용한 연간등가분석법(annual equivalent cost method)에 의한 경제적 수명 평가기법을 제안하였다. 이러한 연간 등가분석법은 자본비용에 해당하는 금액을 분석대상기간 중에 발생하는 모든 현금 흐름을 이자율 또는 감가상각법을 반영하여 연간등가로 환산 후 비교하는 방법이다. 이 분석법은 IEC60300-3-3을 그 기반으로 하며, LCA(life cycle assessment)의 일환이다.

이에 대한 연간등가분석법의 개략적 개념을 그림 1에 나타내고 있다. 그림 1에의 설비의 총 비용(cost)은 자본비용(capital cost)과 유지보수 비용(operating cost)으로 구성된다. 경제적 수명은 자본비용과 유지보수 비용의 합, 즉 연간등가비용이 최소가 되는 지점(cost minimum point)이다.

따라서 설비의 경제적 수명은 시간축 수명년도(year)에서 ‘Optimal Replacement Cycle’ 지점이라 할 수 있으며, 이는 자본회수비용과 유지보수비를 더한 값이 최소가 되는 값이며 이를 연간등가비용(annual equivalent cost)의 곡선의 표현으로 그림 1과 같이 나타낸 것이다.

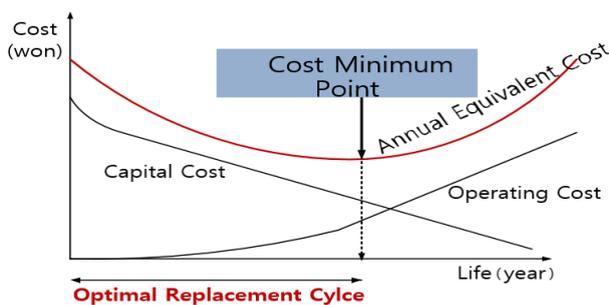


그림 1 연간등가비용에 의한 경제적 수명평가의 개념도
Fig. 1 Economic Life assessment concept of annual equivalent cost method

그림 1에 설명된 설비의 도입 비용인 자본비용은 이자율을 고려하지 않고 자본비용을 1로 규격화 한 후 이를 사용연수로 나누어 설정할 수 있으며, 분석대상연도로 자본비용을 나누게 되면 설비의 사용기간이 길수록 계산되는 연평균의 자본비용도 감소하게 된다.

또한 그림 1에 설명된 설비의 유지보수 비용은 개념의 간략화를 위하여 수리비(repair cost)로 정의하고 이를 다음과 같은 과정으로 근사화 하였다. 즉 본 논문에서의 수리비 함수는 경년이 증가할수록 매년의 수리비가 증가하는 경향에 주목하는 것을 기본으로 하였으며, 평균수리비 즉 누적수리비를 운용기간으로 나눈 평균수리비를 평가지표로 하였다. 각각의 매개변수들은 자본비용에 비례하는 계수들을 입력하려 설비의 경년특성을 나타내는 것으로 하였다. 그러므로 전력용 변압기는 경년과 함께 서서히 각 부에서의 누유와 같은 결함이 발생하게 되어 그에 대한 수리가 이루어지므로 변압기의 유지보수비용 특성은 경년에 의하지 않고 기본적으로 필요해지는 수리비용(α) 및 경년(y)으로의 수리가 필요해지는 수리비 증가율(β)의 기울기로 그림 2와 같이 근사화 할 수 있으며 식 (1)로 표현할 수 있다.

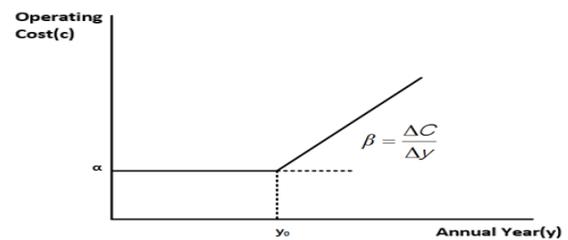


그림 2 경년에 따른 수리비 함수의 근사화
Fig. 2 Approximation of repair function with the annual year

$$C = \begin{cases} \alpha & (y \leq y_0) \\ \alpha + \beta \cdot (y - y_0) & (y > y_0) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 y_0 는 수리비가 지출되기 시작하는 경년이다. 이때의 수리비 함수의 면적은 누적수리비이며, 삼각형과 사각형의 면적의 합으로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 최종적 누적수리비 C_m 은 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$ay + \frac{1}{2} \cdot (y - y_0) \cdot [\alpha + \beta(y - y_0) - \alpha] \quad (2)$$

$$\therefore C_m = \begin{cases} ay & (y \leq y_0) \\ ay + \frac{1}{2} \beta (y - y_0)^2 & (y > y_0) \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)을 바탕으로 평균 수리비 함수는 누적수리비 C_m 을 경년 y 로 나눈 함수가 된다. 그러므로 평균수리비가 $y \leq y_0$ 인 경우, 최저 평균수리비가 항상 $y = y_0$ 일 때 최소가 되므로 $y > y_0$ 의 조건으로만 최소치(최적경년)를 구할 수 있게 된다.

3. HS 알고리즘의 적용

자연현상을 모방한 최적화 알고리즘은 기존 고전적 수치 알고리즘이 갖는 복잡함과 초기 값에 대한 민감성 등과 같은 단점을 극복하고자 1970년대 이후 많이 고안되었다. 그 중 하나인 HS(Harmony Search) 알고리즘은 2001년 Geem 등이 즉흥연주에서 연주자들이 즉흥적으로 여러 화음의 조

화를 시도해가며 가장 좋은 화음을 만들어가는 과정을 모방하여 제안한 가장 최근의 meta-heuristic 최적화 알고리즘이다[7, 8].

즉흥연주에서 각 연주자는 악기의 선택 가능한 음역 내에서 서로의 음을 내어 그 화음이 좋고 나쁨을 판단하여 나쁜 것은 버리고 좋은 것은 그 경험을 기억하여 이를 좀 더 나은 연주를 위한 토대로 사용한다. 이러한 과정은 목적함수에 결정변수의 값을 대입하여 그 값의 적합성(비용이나 효율 등)을 판단하여 해를 결정해가는 공학적인 최적화 문제해법 과정과 유사하다 할 수 있다.

이와 같은 두 과정의 유사성은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다[8, 9]. 즉, 그림 3에서 각 연주자는 악기의 가능한 음역 범위에서 선택한 음을 연주하며 하모니를 구성한다. 만들어진 하모니는 기준에 따라 기억되거나 버려지며 이러한 과정을 반복하면서 기존의 하모니는 좀 더 나은 하모니로 대체되어 더 좋은 하모니를 이를 확률이 증가하게 된다.

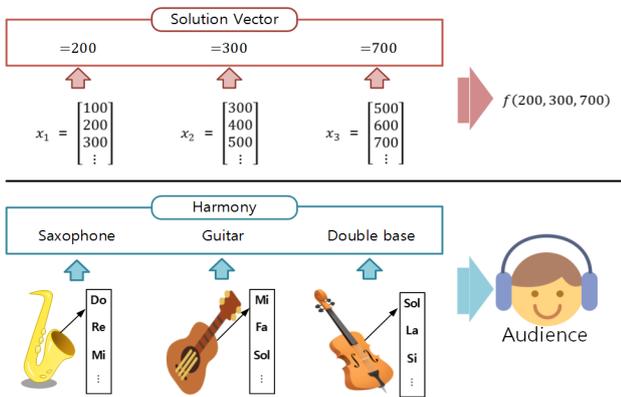


그림 3 즉흥연주와 공학적 최적화의 유사 개념도
Fig. 3 Analogy concept between music improvisation and engineering optimization

이와 유사하게 HS 알고리즘은 공학적 최적화 문제를 목적함수($f(\cdot)$)에 포함된 각 결정변수(x_1, x_2, x_3)의 가능한 범위에서 값을 선택하여 해를 구하고 이를 기준에 따라 버리거나 저장하며 이를 반복하면서 해를 개선해 감으로써 좋은 해를 얻을 확률을 증가시켜 나아간다.

연주자가 하나의 음을 즉흥적으로 낼 때는 ①. 연주자의 기억에 있는 음을 내거나 ②. 기억 속 음을 기준으로 그에 이웃한 음을 연주하거나 ③. 기억에 의존하지 않고 악기의 음역에서 임의로 선택하여 연주를 한다. HS 알고리즘은 이를 모방하여 다음과 같이 명명된 세 가지 방식 중 하나에 따라 결정변수 값을 선택하여 해벡터(solution vector)를 개선해 나간다.

1) 기억회상(harmony memory consideration)은 하모니 메모리(HM-harmony memory)라 정의된 저장공간에 기 저장된 해 벡터에서 결정변수의 값을 선택하여 새로운 해 벡터를 구성하는 것이고 2) 피치 조정(pitch adjustment)은 HM내 한 값을 기반으로 새롭게 조정된 목적변수 값을 통해 새로운 해벡터를 구성하는 것이며 3) 무작위 선택(random selection)은 주어진 변수의 가능한 범위내에서 임의의 값을 선택하여 새로운 해 벡터를 구성하는 것이다. 이러한 알고리

즘을 구현하는데에 HS는 HMS(harmony memory size), HMCR(harmony memory consideration rate) 및 PAR(pitch adjustment rate)라는 세 가지 매개변수를 필요로 한다[8, 9].

지금까지 서술한 알고리즘 개념을 좀 더 구체적으로 종합하면 HS 알고리즘은 다음과 같은 5 단계로 표현할 수 있다.

Step 1. 최적화 문제와 알고리즘 매개변수를 초기화 한다. 첫 단계에서 기술해야 하는 최적화 문제는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\text{Minimize(or maximize)} f(x), x = [x_1 x_2 \dots x_n], x_i \in X_i \quad (4)$$

식 (4)에서 $f(x)$ 는 목적함수이고 x_i 는 결정변수 이며 연속이거나 이산적 이다. X_i 는 각 결정변수 범위를 나타내는 집합으로 다음과 같이 정의 되며 n 은 결정변수의 개수이다.

$$x_i^L \leq X_i \leq x_i^U, (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)로 주어진 최적화 문제를 해결하기 위해 초기화해야 할 HS 알고리즘 매개변수는 HMS, HMCR, PAR 및 종료 기준 또는 반복횟수 이다.

Step 2. HM(harmony memory)를 초기화 한다. 이 단계에서는 HMS의 크기를 갖는 HM를 각 결정변수의 범위 내에서 균일 분포 무작위 수를 발생시켜 구성된 해벡터를 저장한다. 즉, j 번째 해벡터의 i 번째 목적변수는 다음과 같이 발생되어 저장된다. 이렇게 초기화된 HM은 다음과 같이 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$x_i^j = x_i^L + \text{rand}(0,1) \cdot (x_i^U - x_i^L), \quad i=1, \dots, n \text{ and } j=1, 2, \dots, \text{HMS} \quad (6)$$

$$\text{HM} = \begin{bmatrix} x^1 \\ \vdots \\ x^{\text{HMS}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Step 3. 새로운 하모니 즉 해벡터를 생성한다. 이 단계에서는 기억회상, 피치조정 및 무작위 선택 세 가지 중 선택된 하나의 규칙에 따라 새로운 해 벡터, $x^N = \{x_1^N, x_2^N, \dots, x_n^N\}$ 를 생성한다.

기억회상은 새로운 하모니 벡터의 원소, x_i^N 를 생성할 때 기존 HM 내 값, $\{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{\text{HMS}}\}$ 중 하나를 선택하는 방식이며 이러한 방식을 선택할 확률을 나타내는 것이 0과 1사이 값을 갖는 HMCR 이다. 따라서 $(1-\text{HMCR})$ 은 새로운 하모니의 원소가 HM 내 기존 값과 달리 정의된 변수 범위 내 임의의 값으로 선택 될 확률을 나타낸다. 즉, 새로운 임의의 원소 생성은 다음과 같이 식 (8)로 표현 할 수 있다.

$$x_i^N = \begin{cases} x_i \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{\text{HMS}}\}, & \text{w.p. } \text{HMCR} \\ x_i \in X_i, & \text{w.p. } (1-\text{HMCR}), \end{cases} \quad (8)$$

기억회상이 선택 된 경우 HM 내 값을 그대로 사용할 것인지 피치 조정을 할 것인지를 다시 한 번 결정하게 되는데 이 때 사용되는 매개 변수가 PAR 이며 식(9)와 같이 결

된다. 식 (9)에서 Δ 는 임의의 크기의 대역폭이다.

$$x_i^N = \begin{cases} x_i^N \pm rand\{-1,0,1\} \cdot \Delta, & \text{W.P. PAR} \\ x_i^N, & \text{W.P. (1-PAR)} \end{cases} \quad (9)$$

Step 4. HM을 최신화 한다. 새로 생성된 하모니 벡터가 HM 내 가장 나쁜 하모니 보다 더 나은 목적함수 값을 가질 때 새로운 하모니 벡터는 해당 하모니를 대체 한다.

Step 5. 중단 요건을 검사 한다. 이 단계에서는 미리 설정된 종료 기준이 만족하는지를 검사하여 안 된 경우 단계 3과 4를 반복하고 아니면 알고리즘을 종료한다. 지금까지 과정을 그림 2에 나타내었다.

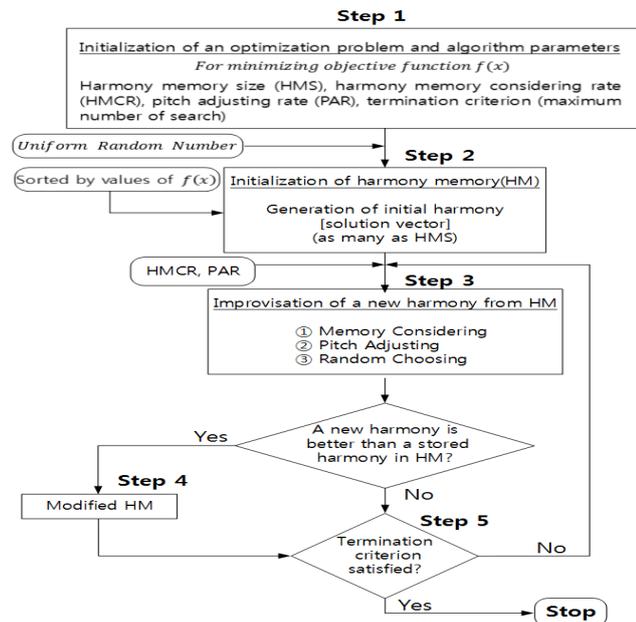


그림 4 HS 알고리즘의 최적화 과정의 순서도
Fig. 4 Optimization procedure of the harmony search algorithm

4. 경제적 수명평가 기법의 적용과 검증

4.1 LCC기반의 경제적 수명평가 기법의 적용

그림 1의 설명에서와 같이 이자율을 고려하지 않은 자본 비용(자본 설치비용 + 본체가격)을 1로 규격화하고, 상대적으로 나타낸다고 하면 총 비용은 $1 + C_m$ 이 된다. 경년 y 까지의 평균비용은 $(1 + C_m)/y$ 이며, 이 값이 최저가 되는 지점을 경제수명이라고 칭한다. 이 때 평균비용 C_a 는 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\therefore C_a = \frac{1}{y} + \alpha + \frac{1}{2}\beta\left(y - 2y_0 + \frac{y_0^2}{y}\right) \quad (10)$$

이 때 경제적 수명을 도출하기 위해 $y > y_0$ 인 경우에만 따진다. 그림 5는 수리비증가율 β 의 변화에 따른 평균수리비(annual equivalent cost)의 변화를 경년 70년 까지 나타낸

그래프이다. 기본비용 α 는 곡선을 쉬프트 시키는 요소이므로 0으로 고정하였으며, 수리비가 증가하기 시작하는 시점 y_0 또한 0으로 고정하였다.

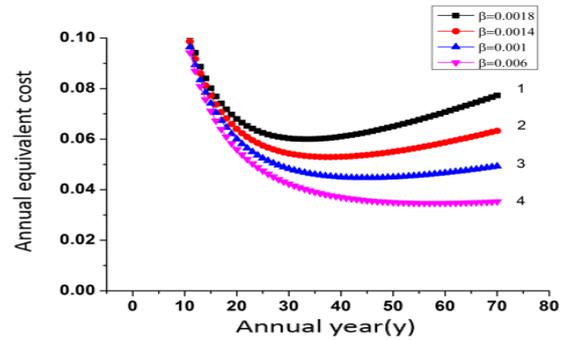


그림 5 수리비증가율 변화에 따른 평균비용의 변화
Fig. 5 Annual equivalent cost variation with the repair cost rate

그림 6은 수리비 증가율(β)이 동일 할 때 y_0 의 변화에 따른 평균수리비의 변화를 나타냈다 ($\alpha=0, \beta=0.001$)

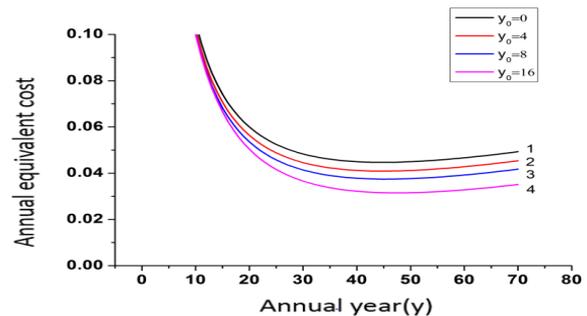


그림 6 y_0 (수리비지출 시작)변화에 따른 평균비용의 변화
Fig. 6 Annual equivalent cost variation with the y_0 year

위의 그림 5에서는 β 가 증가할수록 평균비용의 최저점이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 최저점에 도달하는 경년이 β 가 감소할수록 점차적으로 늦어지는 것을 알 수 있다. 그림 6에서는 수리비증가시점 y_0 가 증가 할수록 평균비용의 최저점이 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 즉 동일한 경년을 기준으로 수리비가 증가할수록 평균비용 또한 증가하고, 수리비증가시점이 증가할수록 평균비용은 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6에서는 수리비증가율 β 의 변화 및 y_0 의 변화에 따른 평균수리비의 변화를 근거하여 경제적 수명 산출을 구할 수 있다. 이의 경제적 수명평가는 경년이 경과하여 평균비용이 최저치인 순간이므로 평균비용곡선에서 기울기가 0인 지점이라고 할 수 있을 것이다. 따라서 경제수명은 다음과 같이 식 (11), (12)로 각각 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC_a}{dy} = 0 \quad (11)$$

$$0 = \frac{dC_a}{dy} = \frac{\beta}{2} - \frac{2 + \beta y_0^2}{2y^2} \quad (12)$$

그림 7은 위의 그림 5와 그림 6의 방법과 동일한 방법으로 $\beta = 0.0018, \alpha = 0, y_0 = 0$ 의 조건에서 산출한 평균비용 곡선이다. 식 (12)에 의하여 계산된 것으로 그 결과는 약 33년 부근에서 최저 평균비용이 산출되어 경제수명 지점으로 선정됨을 알 수 있다.

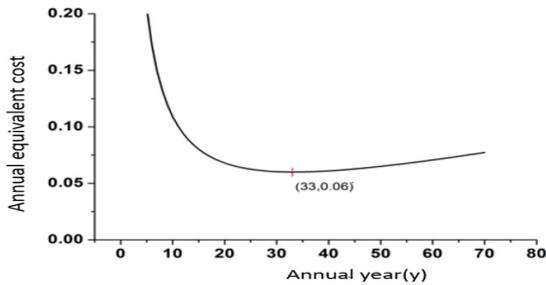


그림 7 $\beta = 0.0018, \alpha = 0, y_0 = 0$ 일 때 경제수명(약33년 부근)
Fig. 7 Economic Life assessment at $\beta = 0.0018, \alpha = 0, y_0 = 0$

4.2 HS알고리즘에 의한 수명평가 기법의 적용과 검증

수명평가에 대한 최적화 하고자하는 결과인 식 (10)을 HS의 목적함수로 식 (13)으로 다시 표현하기로 한다.

$$f(y) = \frac{1}{y} + \alpha + \frac{1}{2}\beta\left(y - 2y_0 + \frac{y_0^2}{y}\right) \quad (13)$$

식 (13)에서 α 는 상수로서 경제수명 결정에 영향을 미치지 않으므로 $\alpha = 0$ 으로 설정하였다. 수리비 증가시점 변화 및 고장률 변화(평균수리비)에 따른 경제수명의 변화를 살펴보기 위해 그림 5 및 그림 6의 동일 조건으로 y_0, β 의 변수 및 결정변수 y 를 다음과 같이 사용하였다. y_{life} 는 최대 한계 수명을 나타낸다.

$$y_0 = \{0, 4, 8, 16\}, \beta = \{0.0018, 0.0014, 0.001, 0.0006, 0.0002\}$$

$$y = \{y_0 + 1, y_0 + 2, \dots, y_{life} = 150\}$$

한편 3장에서 설명한 HS 알고리즘을 구현하기 위해 필요한 알고리즘 매개변수는 일반적 사용수치와 유사하게 다음과 같이 설정하였다. HMS=5, HMSR=0.6, PAR=0.3, $\Delta=1$, itrN=1000이다. 이때 itrN은 알고리즘 반복횟수이다. 최적화를 수행한 결과 y_0 변화에 따른 결과는 표 1에 나타난 바와 같다. 이의 결과는 앞서서의 결과와 같이 수리비용 증가 시점(y_0)의 증가에 따라 경제적 수명은 증가하게 되며 반면에 연평균비용 감소로 이어졌음을 알 수 있다.

또한 표 2는 $y_0 = 0$ 일 때 수리비 증가율의 변화(β)에 따른 경제적 수명 및 연평균비용의 산출 결과를 나타낸 것이다. 이는 수리비 증가율이 작을수록 경제수명 시작년도가 늦어지는 한편 경제수명의 시작년도가 빠를수록 평균비용이 증가함을 알 수 있다.

표 1 HS알고리즘에 의한 경제수명의 평가결과(y_0 가변)

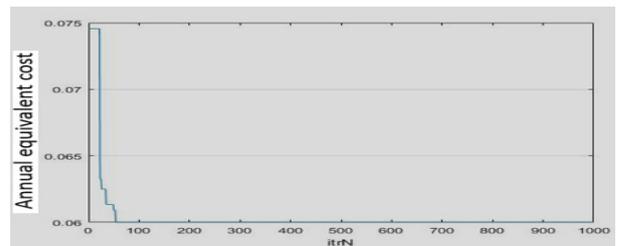
Table 1 Economic Life assessment using HS algorithm

y_0	Optimal economic life	Annual equivalent cost(C_a)
0[year]	33[year]	0.06[p.u.]
4[year]	34[year]	0.053[p.u.]
8[year]	34[year]	0.047[p.u.]
16[year]	37[year]	0.038[p.u.]

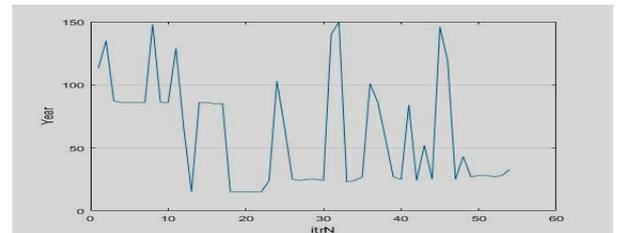
표 2 HS알고리즘에 의한 경제수명의 평가결과(β 가변)

Table 2 Economic Life assessment using HS algorithm

β	Economic life start year	Annual equivalent cost(C_a)
0.0002	100[year]	0.02[p.u.]
0.0006	58[year]	0.035[p.u.]
0.001	45[year]	0.048[p.u.]
0.0014	38[year]	0.053[p.u.]
0.0018	33[year]	0.060[p.u.]



(a) 알고리즘 반복에 따른 HM내 최적값의 변화



(b) 반복과정 itrN=54일 때 결정되는 HS의 최적값

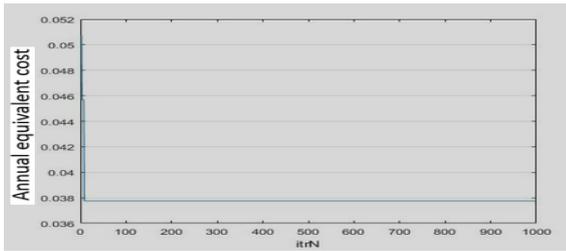
그림 8 HS알고리즘에 의한 경제수명의 평가과정 $y_0 = 0$

Fig. 8 Economic assessment process using HS algorithm

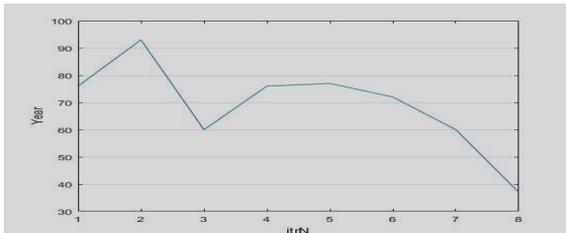
그림 8과 그림 9는 표 1과 표 2의 결과 검증에 대한 신뢰성 제고를 위한 계산의 과정시에 결정되었던 파라미터의 변화를 나타내어 주는 데이터를 나타낸다.

그림 8은 표 1 및 표 2의 결과와 같이 $y_0 = 0, \beta = 0.0018$ 일 때의 그림으로 그림 8(a)는 알고리즘 반복에 따른 HM내 최적값의 변화(평균비용 $C_a=0.06$)를 보여주고 있으며 그림 8(b)는 최적값이 나올 때(33년) 까지 HS의 세가지 방식 중 선택된 방법에 따라 계산된 평균비용의 변화를 보여주고 있다. 최적값은 itrN=54일 때 결정되는 과정을 나타낸 것이다.

그림 9는 그림 8과 데이터 처리과정이 동일한 것으로 $y_0 = 16, \beta = 0.0018$ 일 때의 평균비용과 최적 경제 수명을 도출하는 과정으로 최적값은 itrN=8일 때 결정됨을 알 수 있



(a) 알고리즘 반복에 따른 HM내 최적값의 변화



(b) 반복과정 itrN=8일 때 결정되는 HS의 최적값

그림 9 HS알고리즘에 의한 경제수명의 평가과정 $y_0 = 16$
Fig. 9 Economic assessment process using HS algorithm

으며 알고리즘의 수행시간은 매우 짧음을 알 수 있다.

5. 결 론

최근의 선진국 각국에서는 전력용 변압기의 가치 극대화를 위한 자산관리 국제규격(ISO 55000)에 기반한 경제적 수명평가 기법의 개발과 적용을 위하여 다양한 연구가 수행되고 있으며 이에 부응하기 위하여 본 연구가 개시되었다.

본 논문에서는 전력용 변압기의 전과정평가(LCA)에 의한 비용 평가기법 개발과 함께 연간등가비용 기법에 기반한 새로운 경제적 수명평가 결과기법을 시도하였다. 그러나 이의 결과도출 기법은 평균비용의 최저점 산출과정에서 편미분의 과정이 필요함에 따라 수렴성 및 적용성 문제에 직면하게 되며 이에 따라 불필요한 불룩함수(convex function)의 정의 기법이 사용되는 불편함이 있을 수 있다.

이의 해결방법으로 최적화 HS 알고리즘을 적용하여 비수학적인 랜덤성 반복기법으로 설계변수에 대한 초기 값을 필요치 않으면서도 수학적 수렴성이나 접근의 판단성을 쉽게 하는 적합한 해를 용이하게 찾는 장점을 구현하였다. 새롭게 정의된 경제적 수명기법을 HS 알고리즘에 적용하여 보다 객관적으로 타당성을 입증하여 결과의 신뢰성을 높였다.

References

[1] G.J. Frijmersum, B. Quak, E. Gulski and J.J. Smit, "Asset Management Decision Support Model for Distribution Power Cable", *Int'l. Sympos. High Voltage Eng. (ISH)*, paper no. F-13, 2005.
[2] T.Takahashi and T. Okamoto, "Development of asset management support tool for electric power apparatus", *Int'l. Sympos. High Voltage Eng.(ISH)*, paper no. T6-719, 2007.
[3] T.Takahashi and T. Okamoto, "Development of

overhaul planning support program for oil immersed transformer" *Int'l. Sympos. High Voltage Eng.(ISH)*, paper no. 524, 2015.

[4] X. Zhang et al., "Modelling of the Maintenance Strategies for Electrical Components to Support Utility Asset Management", *Proc. of ISH2007*, no. T6-754, 2007.
[5] EPRI, "Risk-Informed Asset Management (RIAM) Development Plan," *EPRI Report 1006268*, June 2002.
[6] EPRI, "Life Cycle Management Economic Tools Demonstration," *EPRI Report 1007931*, March 2004.
[7] Z. W. Geem, J.-H. Kim, G. V. Loganathan, "A new heuristic optimization algorithm: harmony search," *Simulation*, vol. 76, no. 2, pp. 60-68, 2001.
[8] Z. W. Geem, "Effects of initial memory and identical harmony in global optimization using harmony search algorithm," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 218, no. 22, pp. 11337-11343, Jul. 2012.
[9] Tae-bong Lee and Jin-geun Shon, "Identification of Continuous System from Step Response using HS Optimization Algorithm", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65P, no. 4, pp. 292-297, 2016.

감사의 글

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2015년 선정 기초연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. (과제번호 : R15XA03-38)

저 자 소 개



이 태 봉 (李泰奉)

1986년 홍익대학교 전자공학과 졸업.
1989년 동 대학원 전자공학과 (석사/박사)
1995년 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수
E-mail : tblee@gachon.ac.kr



손 진 근 (孫珍勳)

1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업.
1992/1997년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사/박사). 2001.2.-2002.2 일본 가오시마대학교 전기공학과 포닥(한국과학재단). 1997~현재, 가천대학교 전기공학과 교수
E-mail : shon@gachon.ac.kr