

Quasi-renewal 이론을 이용한 발전설비의 불완전한 유지보수 예방정비 계획

論 文

57-5-1

Imperfect Preventive Maintenance Plan of Generation Unit Using Quasi-renewal Theory

金亨俊* · 卞隆泰* · 金鎮吾[†] · 李俊敬**

(Hyung-Jun Kim · Yoong-Tae Byun · Jin-O Kim · Jun-Kyong Lee)

Abstract - Recently, the research of PM (Preventive Maintenance) method on the RCM(Reliability-Centered Maintenance) of the system equipment is being actively advanced for a few years. For the most of the current power equipment maintenance, the state of the equipment after maintenance is assumed to be becoming 'as good as new ones' state. However, the state of the power equipment is maintained like the states of the between 'as good as new ones' and 'as bad as old ones' by imperfect maintenance that implies the life decrease of the equipment by frequent breakdown, the error of maintenance process, and so on. So, the Maintenance method considering the real case has to reflect Imperfect maintenance than perfect maintenance.

This paper suggests the Preventive Maintenance method by using Quasi - Renewal Theory for the gas turbine equipment as deliberating the imperfect maintenance for the real cases.

Key Words : RCM, Perfect Maintenance, Imperfect Maintenance, Quasi-renewal function, APM, BPM

1. 서 론

오늘날 산업사회는 현대 기술의 발달과 고도화됨에 따라 전력 시스템의 규모가 점점 성장하고, 복잡해지고 있다. 점점 거대화 되어지는 상태에서 설비의 노화나 예기치 못한 설비 고장으로 인하여 발생하는 파급 효과는 설비뿐만 아니라 더 나아가 전력 시스템의 신뢰도 저하에 큰 영향을 끼치게 된다. 따라서 전력 시스템 설비에 대한 유지 보수 정책의 중요성과 필요성에 대한 인식이 점점 대두되고 있으며, 각 설비에 적용될 필요한 유지보수의 종류 및 시간도 함께 고려되고 있다. 또한, 유지보수 비용도 점차 큰 비중을 차지하기 때문에 각 설비의 특성과 수명을 고려하면서 경제적인 측면을 고려한 최적의 유지보수 계획을 수립하기 위하여 신뢰도라는 이론을 접목한 유지보수 계획이 신뢰도 기반 유지보수(RCM: *Reliability Centered Maintenance*) 계획이다. 결국, 유지보수 계획은 각 설비의 신뢰도를 고려하여 시간과 비용을 함께 고려해야 경제적인 유지보수를 할 수 있다.

우리나라 기존 전력시스템 설비의 유지 보수 계획은 설비 상태에 따라 크게 두 가지 형태로 구분되며 설비의 고장을 미리 예방하고자 행하는 예방 유지보수(PM: *Preventive Maintenance*)와 고장이 발생했을 경우 바로 교체 및 보수를 실행하는 고장정비(CM: *Corrective Maintenance*)이다.

최근 몇 년 동안 예방 유지보수에 관하여 많은 학문적 연구 방안에 대해 관심을 쏟은 결과, 대다수의 유지보수 방법에 관한 정의는 '완전한 유지보수(Perfect Maintenance)'라는 가정을 두고, 유지보수를 연구하며 실용화 하고 있다. 하지만 현실성과 한계성을 고려한다면 완전한 유지보수 후, 시스템 설비의 상태는 예상한 것과는 달리 완벽하게 유지보수 되지 않을 수 있다. 잦은 전력 설비의 고장과 낙후 된 설비로 인하여 설비의 수명은 점차 감소되고 유지보수 과정에서 발생할 수 있는 손상, 작업 손실, 보이지 않은 환경적인 영향 등으로 시스템은 '새것과 같은 상태(as good as new ones)'가 되지 않는다. 즉, 전력 설비 고장에 관련된 특징과 문제점 및 최소한의 유지보수 등에 관련되어 현실적인 상황을 고려한다면 유지보수는 '불완전한 유지보수(Imperfect Maintenance)'가정이 '완벽한 유지보수 가정'보다 더 타당하다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 신뢰도 기반 유지보수를 바탕으로 한 불완전한 유지보수를 가정하여 전력 설비 중 가스터빈 설비에 관하여 Quasi-renewal 이론을 이용하였다[3-5]. Renewal 이론 중 시간 영역에서의 컨볼루션(Convolution)에 대한 문제의 난해함을 라플라스 변환(Laplace Transform)을 적용하여 쉽게 해석할 수 있었으며, 감마분포(Gamma Distribution)의 각 모수를 가정하여 점 가용률 방법(Point availability method)을 이용하여 유지보수의 횟수를 구했다.

마지막으로 전력 설비의 가스터빈 설비에 대하여 가정한 모수와 수명 감소 계수 및 점 가용률 방법을 적용한 유지보수 횟수를 고려하여 수명 의존 예방 유지보수(APM: *Age-dependent Preventive Maintenance*) 방법과 블록 예방 유지보수(BPM: *Block Preventive Maintenance*) 방법의 비용 함수에 적용하였으며 가스 터빈의 불완전한 유지보수

[†] 교신저자, 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 正教授 · 工博
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

* 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 碩.博士課程

** 正會員 : 세종기술 주식회사 상무.

接受日字 : 2007年 12月 26日

最終完了 : 2008年 3月 25日

를 고려한 유지보수 주기와 비용을 결정하였다[1,3].

2. 예방 유지보수 개요

2.1 수명 의존 예방 유지보수

수명 의존 예방 유지보수 APM은 시스템의 수명 (Life time) 을 고려한 유지보수 방법으로 설비가 고장 발생하기 직전까지 악화된 상태나 갑작스런 사고나 고장으로 인하여 설비의 동작이 정지 혹은 설비의 노화로 인하여 수명이 다했을 경우 등 여러 가지 원인으로 고장이 발생하게 된다. 고장이 처음 발생한 시점을 시스템 설비 고장(System Equipment Failure) 시점이라고 하며 설비 고장 및 설비 수명 데이터 등을 고려하여 설비에 필요한 PM주기를 T 로 정의하여 T 지점 마다 설비를 유지보수하게 된다. PM 후, t_p 시점에서 설비의 갑작스런 고장이 발생하면 CM을 실행하게 되며 CM 이후부터 다시 PM을 실행하게 된다. 이와 같은 유지보수 방법을 APM이라고 정의하며, 이를 그림 1에 나타내었다.

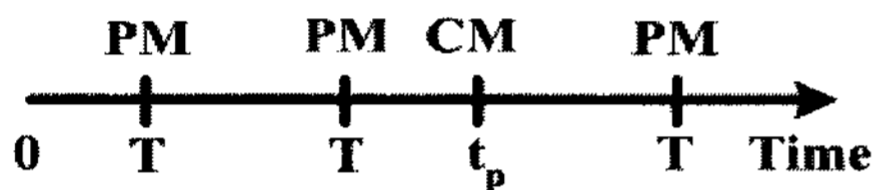


그림 1 수명 의존 예방 유지보수 방법

Fig. 1 The Age-dependent PM Policy

2.2 블록 예방 유지보수

블록 예방 유지보수 BPM은 시스템 설비의 수명에 관계 없이 설비의 특성을 고려하여 일정한 시간으로 주기 T 만큼 PM을 실행하게 된다. PM 후 t_p 시점에서 설비의 갑작스런 고장이 발생하면 CM을 실행하게 된다. PM은 일정하게 과거 PM 실행 시점에서 유지보수하게 된다. 따라서 BPM을 주기적 유지보수 (PPM: *Periodic Preventive Maintenance*) 또는 시간 기준 유지보수 (TBM: *Time Based Maintenance*) 라고 하며, 그림 2에 나타내었다.



그림 2 블록 예방 유지보수 방법

Fig. 2 The Block PM Policy

2.3 완전한 유지보수

완벽한 유지보수란 예방 유지보수 과정 및 유지보수의 결과에 따른 시스템 설비의 상태를 말한다. 즉, 유지보수 후 시스템 설비의 상태는 '새것과 같은 상태(As good as new ones)' 가 되는 것을 말하며, 다음 유지보수 실행 한 후에도 처음과 같은 설비의 상태가 된다.

2.4 불완전한 유지보수

현실성과 유지보수의 한계성을 고려한다면 그 시스템은 완전히 새것과 같은 상태가 되지 않는 경우도 있다. 즉, 유지보수 후, 인간의 실수나 유지보수 실행 과정에서 생긴 손상 또는 환경적인 요인 등으로 인하여, 시스템은 '새것과 같은 상태'가 안 될 수 있으며, '최소한의 유지보수(Minimal Maintenance)' 로 유지보수 된다면 '유지보수 전보다 별로 달라지지 않는 상태(As bad as old ones) 과 같은 상태로 유지보수가 될 수 있다. 따라서 시스템의 상태는 '새로운 제품(Brand new ones)' 보다는 못하지만 '완전히 고장 난 것보다는 좀 더 유지보수 된 상태' 을 나타낸다.

3. 불완전한 유지보수 분석

3.1 Renewal Process

유지보수 실행 후, 시스템의 상태는 완전한 상태가 된다고 가정한다. 또한 연속적 시간(Sequence Time) 에서 수리시간이 매우 짧아 고려되지 않는다고 가정 할 때, 각 고장 난 시점은 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ 이 되며, 각 고장 난 시점에 대한 유지보수 간격은 $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$ 이 되며 각 시간 간격에서의 시스템 상태는 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ 가 된다. 즉 X_i 은 $(N-1)$ 번째와 N 번째 사건 사이의 동작 상태(Operation state) 이며, N_i 를 Counting Process 또는 Renewal Process라고 하며, 개념적으로는 다음 그림 3과 같다.

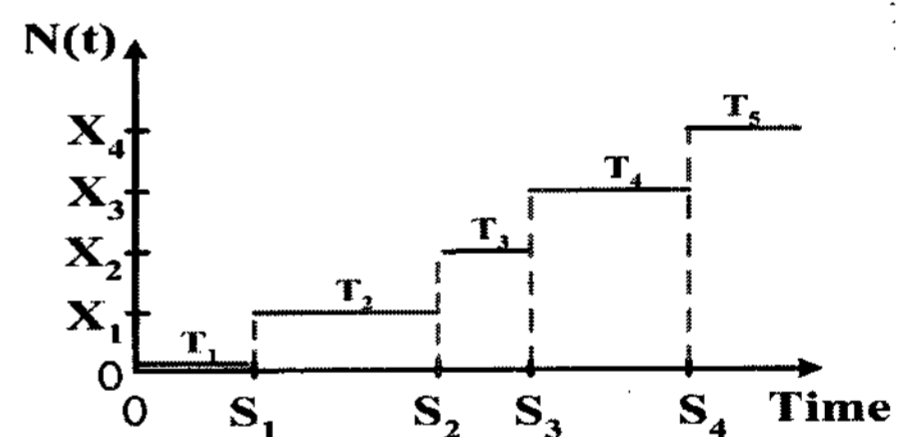


그림 3 Renewal Process의 상태

Fig. 3 The state of Renewal Process

3.2 Quasi-renewal process

불완전한 유지보수에서의 시스템 상태는 시스템 고장의 영향, 유지보수 수행 중에 생긴 손상 및 보이지 않는 환경적인 영향으로 시스템 설비의 수명이 차츰 감소하게 된다. 즉 S_1, S_2, S_3, \dots 시점에서, 시스템 동작 감퇴 계수 (System Operating deterioration parameter) u 만큼 씩 감소하여 식 (1)과 같이 나타나게 되며, 개념적으로 다음 그림 4와 같다.

$$X_1=Z_1, X_2=uZ_2, X_3=u^2Z_3, \dots (0 < u < 1) \quad (1)$$

여기서, X_i : 설비의 각 상태
 u : 동작 감퇴 계수

식 (1)과 같이 감소 계수 u 에 대한 Renewal Process를 Quasi-Renewal Process $Q(t)$ 라고 하며, 시스템의 상태 누적 분포 함수 (CDF: *Cumulative Distributed Function*)와 확률 밀도 함수(PDF: *Probability Density Function*)는 식 (2), (3)과 같다.

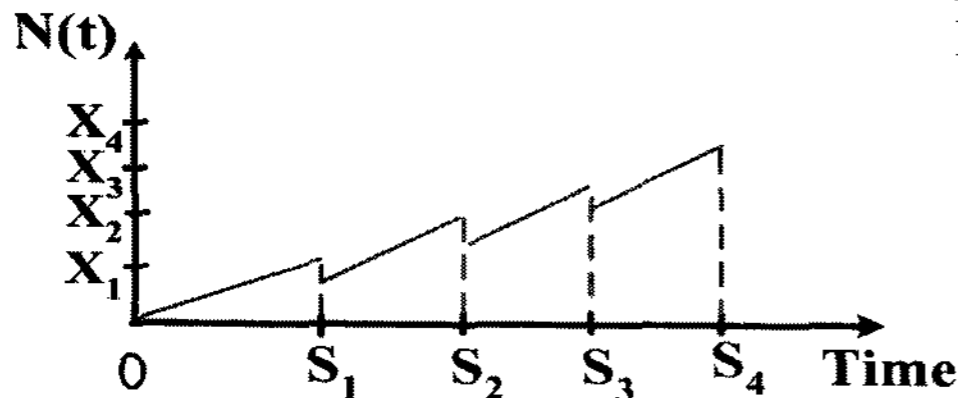


그림 4 불완전한 유지보수의 시스템 상태
Fig. 4 The system state on the Imperfect maintenance

$$F_{X_n}(t) = F_{X_1}(u^{-(n-1)}t) \quad (2)$$

$$f_{X_n}(t) = \frac{f_{X_1}(u^{-(n-1)}t)}{u^{(n-1)}} \quad (3)$$

여기서, $F_{X_n}(t)$: X_n 에서의 누적 분포 함수
 $f_{X_n}(t)$: X_n 에서의 확률 밀도 함수
 n 시스템 상태의 횟수

3.2.1 Quasi-renewal 함수

그림 4에서 각 상태 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 에 대한 합을 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\Lambda_n = \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

여기서, Λ_n : $i=1$ 에서 $i=n$ 까지 각 X 상태의 합

Quasi-renewal 함수 $Q(t)$ 는 기대횟수 $E[N(t)]$ 로 나타낼 수 있으며, 이는 각 유지보수 횟수 차의 합으로 표현되며 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} Q(t) &= E[N(t)] = \sum_{n=0}^{\infty} n \Pr[N(t) = n] \quad (5) \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} n (\Pr[N(t) \geq n] - \Pr[N(t) \geq n+1]) \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} n (\Pr[X_1 + \dots + X_n \leq t] - \Pr[X_1 + \dots + X_{n+1} \leq t]) \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} n (F_{\Lambda}^{(n)}(t) - F_{\Lambda}^{(n+1)}(t)) = \sum_{n=1}^{\infty} F_{\Lambda}^{(n)}(t) \end{aligned}$$

여기서, $F_{\Lambda}^{(n)}(t)$ 는 $F_{\Lambda}(t)$ 의 n 개의 컨볼루션 횟수

3.2.2 라플라스 변환

시간 영역에서의 독립적인 임의의 변수 (Independent random variables) 들의 합은 산정하기가 곤란하다. 따라서 임의의 변수들을 라플라스 변환하여 컨볼루션의 값을 산정하는 것이 더 효율적이다. 식 (5)를 라플라스 변환하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} Q^*(s) &= L\{Q(t)\} = L\left\{\sum_{n=1}^{\infty} F_{\Lambda}^{(n)}\right\} \quad (6) \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{s} f_{X_1}^*(s) f_{X_1}^*(us) \dots f_{X_1}^*(u^{n-1}s) \\ &= \frac{1}{s} [f_{X_1}^*(s) + \sum_{n=2}^{\infty} f_{X_1}^*(s) f_{X_2}^*(s) \dots f_{X_n}^*(s)] \\ &= \frac{1}{s} [f_{X_1}^*(s) + f_{X_1}^*(s) \sum_{n=2}^{\infty} f_{X_2}^*(s) f_{X_3}^*(s) \dots f_{X_n}^*(s)] \end{aligned}$$

3.2.3 점 가용률

점 가용률은 시스템이 시간 t 점에서 동작할 확률을 말한다. Quasi-renewal 함수의 컨볼루션 횟수를 산정하기 위해 점 가용률을 이용한다. 점 가용률의 값이 점점 감소한다는 것은 가용률이 점점 줄어드는 것을 의미하며 시스템의 상태가 점점 악화되어 가는 것을 의미한다. 만일 유지보수 횟수인 컨볼루션 값 중 $(n+1)-n$ 의 오차 값이 0.001보다 작거나 같다면 그 지점은 가용률이 비슷하게 되기 때문에 그 지점은 고장 난 지점이라고 본다. 점 가용률은 식 (7)과 같다[6].

$$\begin{aligned} A(t) &= F_{X_1}^{-}(t) + \int_0^t F_{X_2}^{-}(t-u) f_{\Lambda_1}(u) du + \dots \quad (7) \\ &= F_{X_1}^{-}(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^t F_{X_{n+1}}^{-}(t-u) f_{\Lambda_n}(u) du \end{aligned}$$

식 (7)을 라플라스 변환하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} A^*(s) &= \frac{1}{s} [(1-f_{X_1}^*(s)) + \sum_{n=1}^{\infty} (1-f_{X_{n+1}}^*(s)) f_{\Lambda_n}^*(s)] \quad (8) \\ &= \frac{1}{s} [(1-\frac{\lambda}{\lambda+s}) + \sum_{n=1}^{\infty} (1-\frac{\lambda}{\lambda+u^n s}) \prod_{i=1}^n (\frac{\lambda}{\lambda+u^{i-1} s})] \end{aligned}$$

여기서, $\lambda=1/\alpha$: 감마 분포 함수의 척도모수,
 (α : Scale parameter)의 역수
 β : 감마 분포 함수의 형태모수(Shape parameter)

라플라스 변환과 점 가용률을 이용하여 유지보수 횟수, 즉 컨볼루션 횟수를 구하게 된다.

4. 비용함수 모델

4.1 BPM 비용함수 모델

BPM은 매 정해진 일정한 유지보수 주기 T 마다 PM을

실시하며 갑작스런 원인으로 t_p 시점에서 고장이 발생하면 CM을 실시하게 된다. BPM의 목적 비용함수 모델은 식 (9)와 같이 표현된다.

$$F_{BPM}(t_p) = \frac{E[\alpha(t_p)]}{E[t_p]} \quad (9)$$

여기서, $F_{BPM}(t_p)$: BPM에서의 목적 기대 비용 함수
 $E[\alpha(t_p)]$: 설비의 운영시점 ($t=0$)에서 고장시점 (t_p)까지의 총 기대비용
 $E[t_p]$: 설비의 운영시점 ($t=0$)에서 고장시점 (t_p)까지의 기대 시간

따라서 식(9)은 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{BPM}(t_p) = \frac{C_{PM} + C_{CM}M(t_p)}{t_p} \quad (10)$$

여기서, C_{PM} : PM 1회 실행에 필요한 비용[원]
 C_{CM} : CM 1회 실행에 필요한 비용[원]
 $M(t_p)$: 0에서 t_p 시점 까지 renewal 된 기대 횟수

식(10)에서 $M(t_p)$ 는 Quasi-renewal 함수 $Q(t_p)$ 로 표현할 수 있으므로 식 (11)과 같이 나타낸다.

$$F_{BPM}(t_p) = \frac{C_{PM} + C_{CM}Q(t_p)}{t_p} \quad (11)$$

여기서, $Q(t_p)$: 0에서 t_p 시점 까지 Quasi-renewal 함수

4.2 APM 비용함수 모델

APM의 목적 비용함수 모델은 식 (12) 와 같이 나타낸다.

$$F_{APM}(t_p) = \frac{\text{단위주기당총기대비용}}{\text{기대주기 길이}} \quad (12)$$

따라서 식 (12)는 식 (13)과 같이 표현된다.

$$F_{APM}(t_p) = \frac{C_{PM}R(t_p) + C_{CM}(1-R(t_p))}{\int_0^{t_p} R(t)dt} \quad (13)$$

여기서, $R(t_p)$: t_p 시점에 시스템이 살아있을 확률
 $(1-R(t_p))$: t_p 시점에 시스템이 죽어있을 확률

식 (13)에서 고장 밀도 함수 $f(t)$ 와 신뢰도 함수 $R(t)$ 는 동작 감소 계수(w)에 따라 식 (14) 와 식 (15)와 같이 표현 된다.

$$f(t) = L^{-1}(f_{X_n}^*(s)) = L^{-1}(f_{X_1}^*(u^{n-1}s)) \quad (14)$$

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)dt \quad (15)$$

5. 사례 연구

우리나라 전력시스템의 복합화력 발전 설비 중의 하나인 가스터빈 데이터를 가정하여 Quasi-renewal 함수를 이용한 불완전한 유지보수 방법에 대하여 APM과 BPM의 비용 함수 모델에 적용하였다.

5.1 감마 분포 함수

가스 터빈 시스템의 가정화된 데이터를 시간에 따라 고장률이 증가하는 감마 분포의 신뢰도 함수 $R(t)$ 에 적용하였다. 감마 분포의 고장 밀도 함수와 신뢰도 함수를 식 (16), (17)에 나타내었다.

$$f(t) = \frac{t^{\beta-1}}{a^\beta \Gamma(\beta)} \exp[-\frac{t}{a}], \quad \Gamma(\beta) = (\beta-1)! \quad (16)$$

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)dt \quad (17)$$

불완전한 유지보수 경우, 감마 분포의 고장 밀도 함수와 신뢰도 함수를 라플라스 변환하면 식(18), (19)와 같이 표현된다.

$$f_{X_n}(t) = L^{-1}(f_{X_1}^*(u^{n-1}s)) = L^{-1}\left(\frac{\lambda}{\lambda + u^{n-1}s}\right)^\beta \quad (18)$$

$$R_{X_n}(t) = \int_t^\infty f_{X_n}(t)dt \quad (19)$$

가스터빈의 척도, 형태 모수 및 동작 감퇴 계수는 표 1 과 같이 가정하였다.

표 1 가스터빈의 척도, 형태 모수 및 동작 감퇴 계수
 Table 1 The scale, shape, and operating deterioration parameters of the Gas Turbine

	척도모수 (a)	형태모수 (β)	동작감퇴계수 (w)
가스터빈	1.182	14	0.4

5.2 점 가용률을 이용한 컨블루션 횡수

식 (8)를 이용하여 점 가용률의 횡수를 표 2에 나타내었다. n 의 값이 일정할 때 점 가용률의 값은 점점 감소한다. 가용률이 줄어드는 것은 시스템의 상태가 점점

악화 되가는 것을 의미하며 가스터빈의 오차가 0.001 보다 작거나 같은 값 일 때, 즉 $A_{n+1}-A_n \leq 0.001$ 이 될 때, 컨볼루션 값을 정한다. 표 2에서 n 이 2가 될 때 $A_{n+1}-A_n$ 값이 0.001보다 작거나 같게 된다. 따라서 컨볼루션 횟수는 2가 된다.

표 2 가스터빈의 컨볼루션 산정
Table 2 Convolution results of the Gas Turbine

n		1	2	3
$T=11$	A_n	0.92908	0.92921	0.92921
	$A_{n+1}-A_n$	0.00013	0	
$T=12$	A_n	0.88006	0.88041	0.88042
	$A_{n+1}-A_n$	0.00035	0.00001	
$T=13$	A_n	0.81543	0.81628	0.81631
	$A_{n+1}-A_n$	0.00085	0.00003	
$T=14$	A_n	0.73737	0.7391	0.7392
	$A_{n+1}-A_n$	0.00173	0.0001	
$T=15$	A_n	0.64987	0.65299	0.65323
	$A_{n+1}-A_n$	0.00312	0.00024	

표 1의 각 형태모수, 척도모수 및 동작 감퇴 계수와 컨볼루션 횟수 $n=2$ 를 이용하여 불완전 유지보수의 Quasi-renewal 함수 값을 얻을 수 있었다. Quasi-renewal 함수 값은 그림 5와 같다.

그림 5에서 점차 시간이 경과 할수록 설비의 상태는 완전 유지보수 경우일 때 보다 불완전 유지보수 일 경우 설비의 나빠지는 상태가 급격하게 상승하는 것을 볼 수 있다.

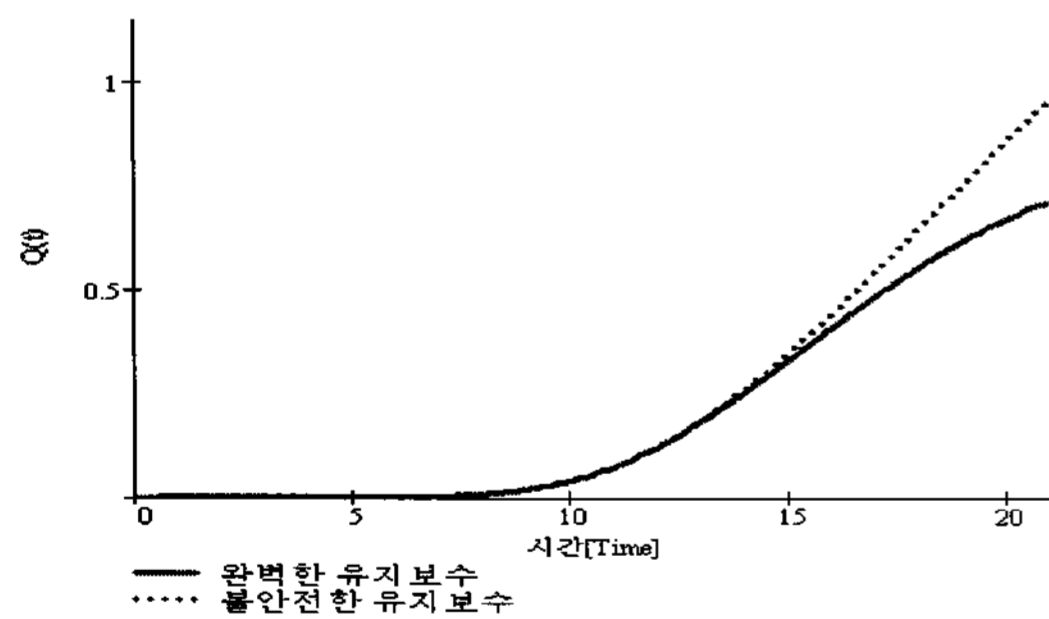


그림 5 가스터빈의 완벽한 유지보수와 불완전 유지 보수의 Quasi-renewal function

Fig. 5 Quasi-renewal function of a gas turbine perfect and Imperfect maintenance

5.3 불완전 유지보수의 BPM과 APM의 목적 비용함수

5.3.1 BPM 목적 비용함수

불완전 유지보수에서 가스터빈의 PM의 가격은 5천만원, CM의 가격은 5억으로 가정하였다. CM의 가격은 고장 난후

시스템을 정비하는 고장 정비가기 때문에 PM의 가격보다 더 높게 가정하였다. BPM의 목적비용함수 식 (11)를 이용하여 나타내면, BPM의 주기와 비용곡선은 그림 6과 같이 나타나게 된다.

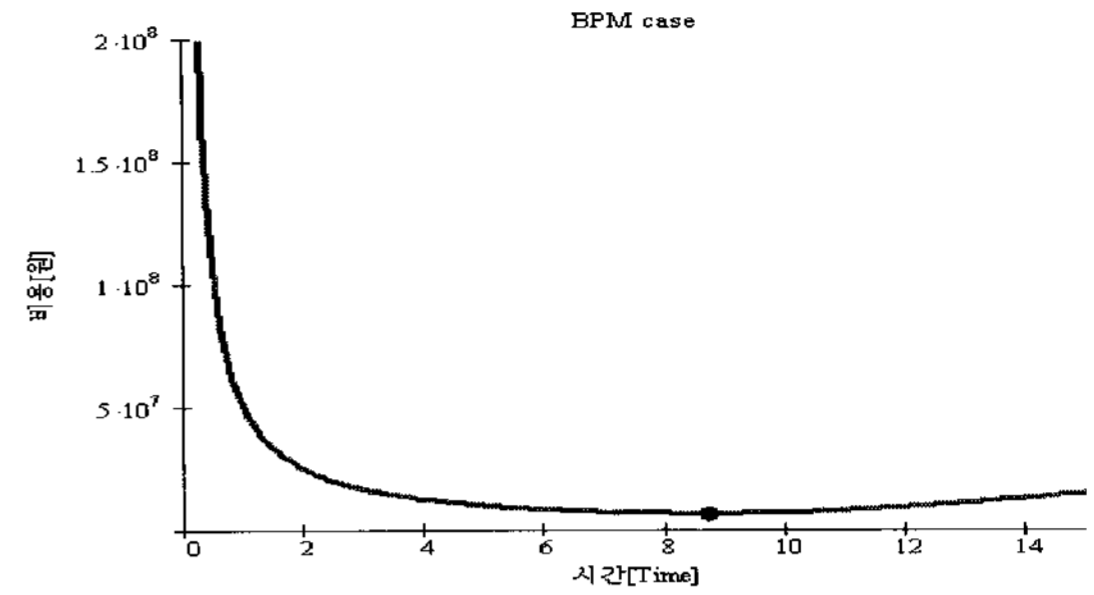


그림 6 BPM의 주기와 비용 곡선
Fig. 6 The cycle and cost curve of the BPM

5.3.2 APM 목적 비용함수

APM의 가격도 BPM처럼 가스터빈의 PM 가격은 5천만원, CM 가격은 5억으로 가정하였다. APM의 목적비용함수 식 (13)을 이용하여 나타내면 APM의 주기와 비용곡선은 그림 7와 같다.

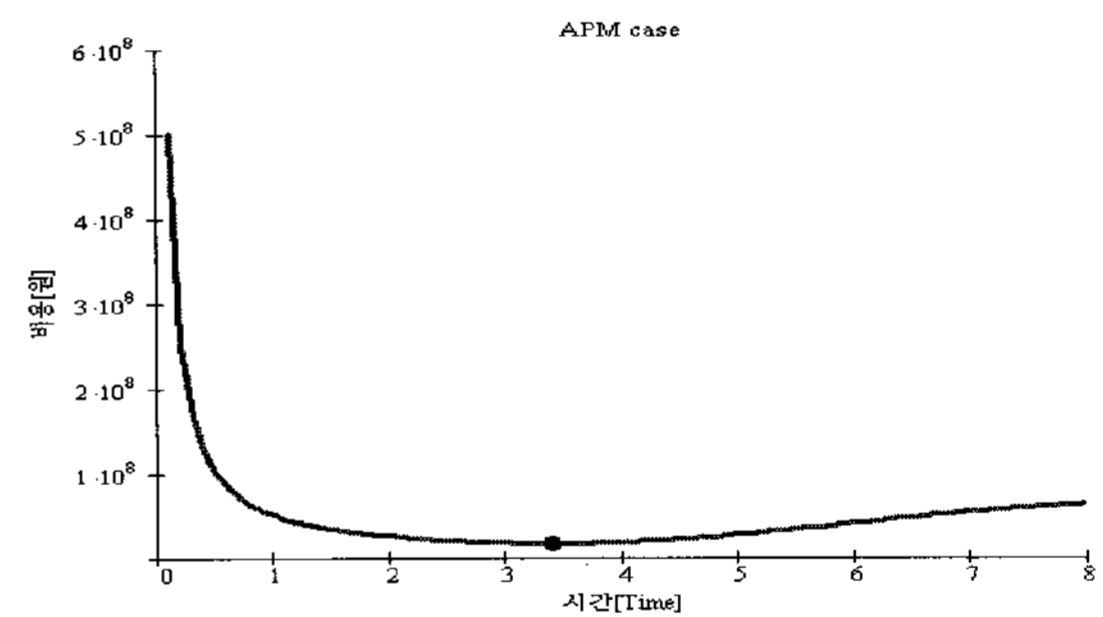


그림 7 APM의 주기와 비용 곡선
Fig. 7 The cycle and cost curve of the APM

그림 6과 그림 7에서 x 축은 PM의 실행주기를 나타내며 y 축은 x 축의 PM의 실행주기에 따른 총 기대비용을 나타내었다. PM실행 주기가 짧을수록 PM실행 횟수가 많아 지므로 그에 따라 PM비용이 증가하게 되지만 CM 실행 횟수는 적어지므로 CM비용은 적어진다. 이와는 반대로 PM실행 주기가 길면 길어질수록 PM실행 횟수는 적어지게 된다. 횟수가 적어지면 PM 비용은 감소하나 CM실행횟수가 점차 늘어나므로 CM비용이 더욱더 증가하게 된다.

따라서 비용을 고려한 최적의 PM주기를 결정하기 위해서는 PM비용과 CM비용을 모두 고려한 총 기대비용이 최소화 되는 주기를 결정해야한다. 그림 6과 그림 7에서 보는 바와 같이 BPM과 APM의 최적 주기 T 와 최적 주기에 대한 총 기대비용을 점으로 나타내었고 주기에 최소 비용 값을 표 3에 나타내었다.

표 3 가스터빈의 최적 BPM과 APM의 PM주기와 최소 비용

Table 3 PM cycle and Minimal cost of optimal BPM, and APM of the Gas Turbine

가스 터빈	1회 PM비용 [억원]	1회 CM비용 [억원]	최적주기 [년]	최적비용 [원]
BPM	0.5	5	8.7	6,660,000
APM	0.5	5	3.4	16,800,000

6. 결 론

현재 다양한 전력 시스템에 대하여 각 시스템에 맞는 유지보수 방법을 사용하고 있으며 각 유지보수의 특징과 성격에 따른 연구도 활발히 진행되고 있는 실정이다. 하지만 기존의 유지보수 방법에는 유지보수가 완벽하다는 이상적인 방법을 가정하고 있는 실정이다. 이 이상적인 가정에는 현실에 맞지 않는 한계가 있기 때문에 각 설비에 대하여 현실성과 신뢰성을 고려한 현실적인 유지보수를 가정 한 유지보수 방법이라면, 고장 또는 불완전한 유지보수의 영향으로 인하여 시스템의 수명이 점차 감소하게 되고 동작 시간도 점차 줄어들게 되어 유지보수 시간, 비용 등의 큰 손실이 기존의 이상적인 유지보수 일 때보다도 더 큰 손실을 갖게 된다.

본 논문에서는 전력 시스템 중 하나인 가스터빈에 대하여 완벽한 유지보수 보다는 현실성과 신뢰성을 고려한 불완전한 유지보수를 고려하기 위해 Quasi-renewal 이론을 이용하였다. 각 시스템의 정책에 맞는 유지보수, 대표적으로 전력 설비에 많이 사용되는 BPM과 APM 방법을 적용하여 각 유지보수에 따른 비용함수의 최적 주기를 찾았고, 그 주기에 따른 비용을 찾게 되었다. 결국, 경제적인 측면을 고려한 최적의 PM 계획을 수립할 수 있었다. 이는 향후 불완전한 유지보수 계획에 아주 유용한 방법이 될 것으로 사료 된다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Rehmert, Availability Analysis for the Quasi-renewal Process;2000, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
 [2] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance*, Butterworth-Heinemann, 1997.
 [3] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Engineering System*, 2nd Edition, Plenum Press, New York, 1992.
 [4] M. Rausand, A. Hoyland, *System Reliability Theory*, Wiley-Interscience, 2004.
 [5] M. Ross, *Stochastic Processes*, 2nded, New York, wiley, 1996
 [6] S. Yang, "Quasi-renewal Approach to Spares Provisioning for Deteriorating Systems under Imperfect Maintenance Reliability Centered Maintenance," *IEEE*, pp. 577-585, 2004.
 [7] S. Yang, T. Lin, "On the Application of

Quasi-renewal Theory in Optimization of Imperfect Maintenance Policies" *IEEE*, pp. 410-415, 2005.

[8] C. Richard. Casady, I. M. Iyob, K. Schneider. Edward A, Pohl. "A Generic Model of Equipment Availability Under Imperfect Maintenance," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 54, no. 4, December 2004.
 [9] M. Rausand, *Reliability centered maintenance*, Reliability Engineering and System Safety 60 pp. 121, 1998
 [10] T. Nakagawa, *Sequential Imperfect Preventive Maintenance Policies*, *IEEE Transactions on Reliability*, 37, 1998.

저 자 소 개



김형준 (金亨竣)

1980년 5월 22일 생. 2005년 순천향대학교 전자전기공학부 졸업. 2008년 2월 한양대학교 전기공학과 석사.
 Tel : 02-2220-0347
 E-mail : khj0588@hanyang.ac.kr



변응태 (卞隆泰)

1958년 6월 19일생. 2002년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 2004년 한양대학교 전기공학과 석사. 2006년 12월 한양대학교 전기공학과 공학박사 수료.
 Tel : 02-2220-0347
 E-mail : cielec7119@naver.com



김진오 (金鎭吾)

1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 석사. 1991년 12월 Texas A&M 공학박사. 현재 한양대학교 전자전기공학부 정교수.
 Tel : 02-2220-0347
 E-mail : jokim@hanyang.ac.kr



이준경 (李竣敬)

1962년 1월 29일생. 1993년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 2001년 한양대학교 전기공학과 석사. 2006년 8월 한양대학교 전기공학과 공학박사. 현재 세종기술 주식회사 상무.
 Tel : 02-2220-0347
 E-mail : jklee7788@naver.com