

배전계통 유지보수에 RCM기법의 적용을 위한 modified semi-Markov chain modeling

박근표* 문종필*** 윤용태* 이상성** 김재철***
 *서울대학교 전기컴퓨터공학부 **기초전력연구원 ***숭실대학교 전기공학과

RCM applied to distribution system maintenance : modeling using modified semi-Markov chain

Geun-Pyo Park, Jong-Fil Moon, Yong-Tae Yoon, Sang-Seung Lee, Jae-Chul Kim
 *Seoul National University **KESRI ***Soongsil University

Abstract - 현재 배전부분도 사업부체제로 진행됨에 따라 구역 및 지역별로 배전계통을 운영하는 경쟁체제에 돌입하게 되었다. 또한 각 사업부별로 예산을 추진하여 배전계통을 운영하게 되며 배분된 예산으로 배전계통의 신뢰도 및 경제적 운영을 일정 수준으로 유지하여 타 사업부와 사업성을 경쟁해야 한다. 특히, 각 배전 사업부별로 경쟁해야 하므로 최소의 비용으로 최대의 유지보수 효과를 얻을 수 있는 방법을 개발해야 하며, 비용을 최소로 하여 최적의 점검 주기를 찾는 문제는 중요하다 할 수 있다. 본 논문에서는 최적 유지보수 기기 선정과 최적 유지보수 주기를 결정하는데 있어서 적합한 기법인 배전 계통 유지보수 기법(Reliability Centered Maintenance, RCM)을 이용하였다. 이의 구현을 위하여 Markov chain 기법을 배전계통 기기의 유지보수 모델에 적합하도록 수정하여 유지보수에 필요한 비용과 기기의 고장으로 인하여 발생할 수 있는 정전비용 등을 고려하여 최적의 점검 주기를 결정하고자 한다. 제안된 RCM의 알고리즘은 Dynamic Programming을 이용하여 점검 및 유지보수에 필요한 기기를 결정하는 부분과 유지보수의 실행 여부를 결정하는 decision 부분으로 되어있다. 사례연구를 통하여 본 논문에서 제안된 알고리즘의 적용 가능성을 살펴보았다.

1. 서 론

전력산업구조개편으로 인하여 전력 회사들은 발전, 송전, 배전 부분에 이르기 까지 점차 민영화 및 분할을 진행하고 있다. 특히, 최근 우리나라에서도 배전부분까지 사업체로 분할하여 각 사업부간의 경쟁을 유도하고 있다. 이에 따라 전력 회사는 배전계통의 경우에도 한정된 예산으로 사업부별로 배전계통을 운영하게 될 것이다. 지금까지 배전계통을 유지 및 보수를 하는 데 많은 비용을 필요로 하였다.

따라서 배전계통의 경우 송전계통과 마찬가지로 신뢰도를 일정 수준 이상으로 유지하면서 최소의 비용으로 유지보수를 할 수 있는 최적의 유지보수 주기를 찾는 것은 중요하다. 이에 기기 별로 축적된 데이터베이스를 바탕으로 기기의 수명을 파악하고 최적 유지보수 주기를 결정하는 RCM 기법은 경제성을 고려한 실계통 적용에 그 의미가 있다[1]. 즉, RCM의 주요 목적은 유지보수 비용을 줄이는 것이다. 현재까지의 예방진단 방법인 PM(Preventive Maintenance)기법은, TBM(Time-based Maintenance)과 CBM(Condition-based Maintenance)으로서, TBM은 설비의 수명과 일정한 고장률에 근거하여 일정 시간 간격으로 보수를 하는 방법이고, CBM은 설비 상태에 기반을 둔 진단기법이다[2].

현재 국내에서는 발전설비 등에는 RCM을 적용하고 있으나, 송전 및 배전설비에는 RCM 도입이 이루어지지 않고 있다. 따라서 RCM 기법 적용은 한정된 유지보수 비용으로 설비 유지보수의 최대 효율을 얻기 위해 필수

적이라 할 수 있다[3].

본 논문에서는 이를 구현하기 위하여 Markov chain 기법을 배전계통 기기의 유지보수 모델에 적합하도록 수정하였으며, 유지보수에 필요한 비용과 기기의 고장으로 인하여 발생할 수 있는 정전비용 등을 고려하여 최적의 점검 주기를 결정하였다.

2. Modified semi-Markov Chain modeling

본 논문에서는 RCM의 개념에 충실하면서 배전계통 기기에 알맞은 모델을 그림 1과 같이 제안하였다.

그림 1에서 N은 기기가 정상적으로 작동하는 정상 상태이고, F는 기기가 자신의 기능을 하지 못하는 고장 상태를 각각 나타낸다. 기기의 열화(aging)를 나타내는 상태가 D이고, 열화 정도에 따라서 각각 D₁, D₂로 상태를 정하였다. Ins1과 Ins2는 점검 상태를 나타낸다. M은 유지보수 상태이다. λ와 μ는 각각 기기의 고장률과 수리율을 나타낸다. d는 기기의 상태를 고려하여 유지보수의 실행여부를 결정(decision)하는 것을 나타낸다. d₁₁과 d₂₁은 각각 점검 후 기기를 수리하지 않는 상태결정을 나타내고, d₁₂와 d₂₂는 각각 점검 후 수리를 위한 상태결정을 표현한다. 결정은 유지보수 비용과 정전 비용을 포함한 총 비용이 최소가 되는 방향으로 한다. P₁과 P₂는 각각 D₁, D₂에서 점검을 행할 확률을 나타낸다.

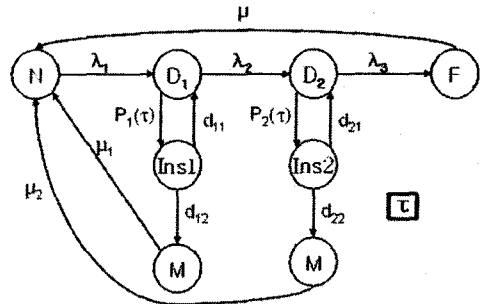


그림 1 Modified semi-Markov chain model

제안된 모델의 특징은 점검상태를 두어서 기기의 상태를 점검한 후 기기의 상태와 기기가 시스템에서 차지하는 중요도 등을 고려하여 유지보수의 실행 여부에 대한 결정(decision)을 내린다는 것이다. 즉, 기기의 상태를 점검하여 기기의 노화가 많이 진행되어 고장이 날 가능성이 많다면 기기를 보수하도록 결정내리고, 기기의 노화가 많이 진행되지 않았을 경우에는 고장이 날 가능성이 적다고 판단하여 그냥 사용하도록 결정을 내린다. 이는 기기의 현재 상태와 시스템 상에서의 기기의 역할을 고

려하여 유지보수의 실행 여부를 결정하는 것이므로 RCM의 개념에 적합하다고 할 수 있다. 이 모델의 목적은 유지보수에 들어가는 비용을 최소화하는 점검 주기를 찾는 것과 기기의 상태에 따라 유지보수의 실행 여부를 결정하기 위함이다.

본 논문에서는 Dynamic Programming(DP)을 그림 1의 모델에 적용하였다[4]. 그림 1에서 점검을 나간 후 유지보수의 실행 여부에 대한 결정(decision)을 내려야 하고, 각각의 결정에 대한 결과를 정확하게 예측할 수 없다. 비용을 최소화하기 위해서는 현재의 낮은 비용과 미래의 높은 비용간의 균형을 맞추어야 하므로 결정(decision)만을 단독으로 고려하는 것은 바람직하지 못하다. 이러한 균형을 맞추는 것에 초점을 둔 방법이 Dynamic Programming(DP)이다.

3. Dynamic Programming의 적용

그림 2는 그림 1의 모델에 Dynamic Programming을 적용하기 위한 상태 전이 다이어그램이다. 그림 2는 기기가 1개일 경우에 대하여 점검주기(t)가 5일 때의 예이다. 각 State 간의 이동 확률과 이동 시 발생하는 비용의 정의는 표 1과 표 2와 같다.

총 비용을 계산할 N (전체 시간)이 정해지고 앞서 정의한 각 상태 간 이동 확률과 비용에 관한 정보가 주어지면 τ (점검주기)를 1에서 N 까지 변화시켜가면서 DP algorithm을 적용시킨다. 점검을 할 시점에서는 비용이 최소가 되도록 유지보수의 실행 여부를 결정한다. 각각의 τ 에 대해서 계산한 total cost를 비교하여 가장 작은 값을 가지는 τ 를 최적의 점검주기로 결정한다. 이런 과정을 거쳐서 최적의 유지보수 주기와 그 때의 유지보수 결정(decision)이 정해지게 된다.

from \ to	N	D1	D2	F
N	$1 - p_1$	p_1	0	0
D1	0	$1 - p_2$	p_2	0
D2	0	0	$1 - p_3$	p_3
F	q	0	0	$1 - q$

표 1 Transition probability

※ 점검을 할 경우 N, D1, D2에서 I로 갈 확률은 1로 정한다.

from \ to	N	D1	D2	F	I
N	0	0	-	-	C_I
D1	-	0	0	-	C_I
D2	-	-	0	C_{FI}	C_I
F	C_R	-	-	C_{FD}	-
I	C_M	0	0	-	-

표 2 Transition cost

- C_I : 점검 비용
- C_{FI} : 고장 발생 비용
- C_{FD} : 정전 지속 비용
- C_R : 수리비용
- C_M : 유지보수 비용

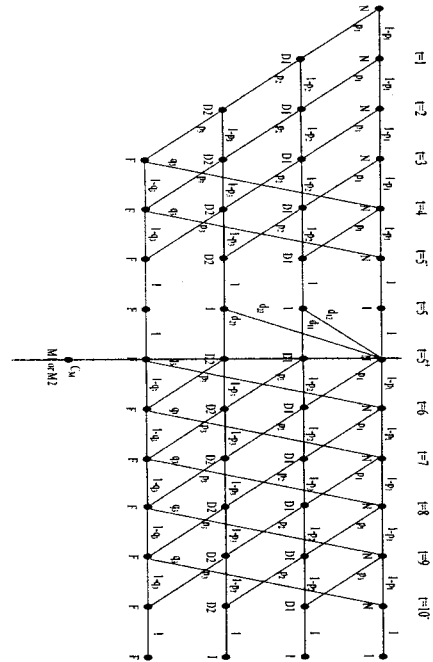


그림 2 State transition diagram

그림 2에서 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. 해당 시간에서 점검을 하는 경우와 점검을 하지 않는 경우로 나눌 수 있다. 해당 시간에 점검을 하지 않는 경우는 점검을 하지 않으므로 결정(decision)을 내릴 필요가 없다. 따라서 이 경우에는 주어진 확률과 상태 이동 비용에 대한 계산을 해서 다음 단계로 넘어가면 된다. 식으로 나타내면 (3.2)과 같다. backward로 계산을 하므로 J_N 는 초기 값이다. 제안된 모델에 DP algorithm을 적용시키면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$J_N = 0 \quad (3.1)$$

$$J_k(x_i) = E[C_{i,j} + J_{k+1}(x_j)] \quad , \quad j \text{ is connected to } i$$

$$= \sum_j [p_{i,j} C_{i,j} + p_{i,j} J_{k+1}(x_j)]$$

$$= \sum_j p_{i,j} (C_{i,j} + J_{k+1}(x_j)) \quad (3.2)$$

해당 시간에 점검을 하는 경우, 점검 후 비용이 최소가 되도록 유지보수 실행 여부를 결정(decision)해야 한다 [5]. 이를 식으로 나타내면 식 (3.3)과 같다.

$$J_k(x_i) = \min E[C_{i,j} + J_{k+1}(x_j)] \quad , \quad j \text{ is connected to } i$$

$$= \min \sum_j [p_{i,j} C_{i,j} + p_{i,j} J_{k+1}(x_j)]$$

$$= \min \sum_j p_{i,j} [C_{i,j} + J_{k+1}(x_j)] \quad (3.3)$$

- x_i : state
- $J_k(x_i)$: time k일 때 state x_i 에서 발생하는 비용
- $C_{i,j}$: state i에서 j로 이동할 때 발생하는 비용
- $p_{i,j}$: state i에서 j로 이동할 확률

식 (3.2)와 (3.3)을 통해서 총 비용과 결정(decision)을 구할 수 있다. 이 과정을 각각의 점검주기에 대해서 반복하여 총 비용이 최소가 되는 점검주기(t)를 최적의 점검주기로 결정할 수 있다.

4. 사례 연구

제안된 모델을 그림 3의 배전계통에 적용시켜보았다. 전력의 흐름 방향은 그림3의 왼쪽에서 오른쪽이 된다. 이 경우 기기 2가 고장이 났을 때는 부하 2만 영향을 받지만, 기기 1이 고장이 났을 때는 부하 1, 2 모두 영향을 받는다. 즉, 기기 1이 기기 2 보다 시스템 상에서 중요한 역할을 하는 것이다. 이를 고려하여 Dynamic Programming을 적용하여 총 비용을 계산하였다.

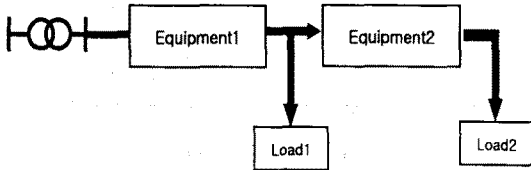


그림 3 Example of distribution system

그림 4는 각 점검주기(τ)에 대한 비용을 나타낸 곡선이다. 그래프에서 점검주기가 65일 때 비용이 최소가 되므로 65가 최적의 점검주기가 된다. 점검주기가 최적 점검주기보다 짧은 경우, 필요 이상으로 점검 및 유지보수를 많이 하게 되어 총비용이 증가한다. 반대로 점검주기가 길 경우, 유지보수를 충분히 하지 못하여 고장의 발생빈도가 증가하므로 총비용이 증가한다. 따라서 점검 및 유지보수에 대한 비용과 고장 비용 간의 trade-off를 고려한 최적의 점검 주기가 65이다.

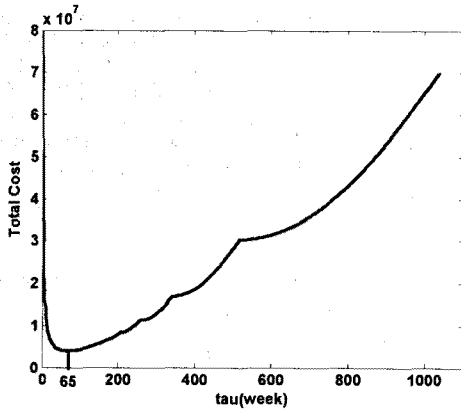


그림 4 Simulation result

표 3은 최적의 점검 주기일 때의 decision을 정리한 것이다. 1번 기기가 D2상태에 있을 때만 유지보수를 실행하도록 결정했다는 것을 알 수 있다. 만일 점검을 나갔을 때, 기기의 상태가 D1에 있다면 기기가 고장이 나기까지는 아직 많이 남아있다. 따라서 유지보수를 하지 않음으로써 유지보수 비용을 아끼는 것이 좋을 것이다. 반면, 점검을 나갔을 때 기기가 D2상태라면, 고장까지 얼마 남지 않았으므로 유지보수 비용을 투자하여 고장이 발생하는 것을 막는 것이 좋을 것이다. 또한 그림 3의 배전계통에서 1번 기기가 2번 기기보다 중요한 역할을 하므로, 1번 기기가 D2 상태에 있을 때 유지보수를 결정하는 것이 바람직하다.

From	To
(N,N)	(N,N)
(N,D1)	(N,D1)
(N,D2)	(N,D2)
(D1,N)	(D1,N)
(D1,D1)	(D1,D1)
(D1,D2)	(D1,D2)
(D2,N)	(N,N)
(D2,D1)	(N,D1)
(D2,D2)	(N,D2)

표 3 Choice result of decision

5. 결 론

산업구조의 효율화 정책 아래 전력산업 분야에의 경쟁적 시장 개념의 도입이 추진되고 있다. 배전계통 부분의 경우 독립 사업부제의 도입을 통해 각 사업부간의 경쟁을 유도하여 효율성을 높이려고 하고 있다. 이러한 상황에서 각 배전 사업부들은 한정된 비용으로 배전계통 운영을 하게 될 것이다. 그러므로 배전계통 운영 중 많은 부분을 차지하는 배전계통 유지보수 비용을 더욱 효율적으로 사용하기 위해 노력할 것이다. 이에 본 논문에서는 효율적으로 유지보수를 하기 위한 방법으로 RCM 기법을 사용하였다. 배전계통 기기에 행해지던 기존의 유지보수 방법인 TBM과 CBM이 기기 자체에 초점을 두는 방법인 반면, RCM 기법은 기기의 상태뿐만 아니라 기기에 대한 시스템적인 고려를 통하여 유지보수를 결정하는 방법이다.

본 논문에서는 배전계통의 유지보수를 위해서 필요한 배전계통 기기의 유지보수를 위한 모델을 개발하였다. Markov chain을 이용하여 RCM의 개념과 배전계통 기기의 유지보수에 적합한 새로운 모델을 제시하였다. 이 모델에서는 일정한 주기마다 점검을 하고, 점검을 통하여 기기의 상태와 기기가 시스템 상에서 차지하는 중요도 등을 고려하여 총 비용이 최소가 되도록 유지보수 실행 여부를 결정한다. 제시된 모델을 Dynamic Programming을 이용한 시뮬레이션을 통하여 비용을 최소로 하는 최적의 점검 주기와 결정(decision)을 구함으로써 검증하였다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제이며, 관련 기관 관계자 여러분에게 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.Rausand, "Reliability centered maintenance", Reliability Engineering and System Safety, Vol.60, pp.121-132 1998.
- [2] J. P. Siqueira, "Optimum reliability-centered maintenance task frequencies for power system equipments", 8th International conference on probabilistic methods applied to power systems, Iowa State University, Ames, Iowa, 2004.
- [3] P.A.Kuntz, "A reliability centered optimal visual inspection model for distribution feeders", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 16, no. 4, 2001.
- [4] Dimitri P.Bertsekas, "Dynamic Programming and Optimal Control Volume1", pp. 16-34, USA, 1995.
- [5] Eric allen and Marija Ilic, "Price-Based Commitment Decisions in the Electricity Market, 1999.