

배전계통의 다양한 유지보수 기법을 적용한 신뢰도 기반 최적 유지보수 모델

허재행, 정하섭, 김유창, 손진만, 박종근
서울대학교

A Reliability Centered Optimal Maintenance Model Applying Various Maintenance Schemes For Distribution System

Heo Jae Haeng, Son Jin Man, Jung Ha Sub, Kim You Chang, Park Jong Keun
Seoul National University

Abstract - 앞으로 진행되는 배전계통의 자유화 환경에서 각 배전사업자들은 고객에게 높은 신뢰수준의 전력을 값싸게 공급하려 할 것이다. 높은 수준의 신뢰수준을 유지하기 위해서 배전계통내의 component의 점검을 통하여 고장의 원인이 될 만한 것들을 찾아내고 고장이 일어나기 전에 그것을 유지보수 하여야 한다. 이 문제는 대상 component를 얼마나 자주 점검 및 보수를 해야 하는가 라는 문제가 된다. 하지만 그에 따른 비용도 소모가 될 것이다.
본 논문에서는 점검 과 보수 과정의 model을 Markov model 로 사용하였으며 대상 component의 상태에 따라서 다른 보수 기법을 적용함으로써 점검비용과 보수비용 정전비용을 최소화 하는 점검 주기를 찾았다. 또한 제안된 방법을 실제 시스템과 유사한 모의시스템에 적용하였다.

1. 서 론

다가오는 전력 시장 개편에 따라서 배전계통도 여러 배전사업자로 나뉘게 될 것이다. 이러한 경쟁상황에서 각 배전사업자들은 고객에게 값싸고 질 좋은 전력을 공급하여야 하며, 즉 고객이 원하는 수준의 전력신뢰도를 유지하면서 전력을 공급해야 한다. 하지만 각 배전사업자는 이윤의 극대화를 위하여 전력 신뢰도를 유지하기 위한 비용을 최소화하려고 할 것이다. 경쟁적 전력시장 하에서 배전사업자들은 배전계통의 component들의 유지보수 시 적극적으로 이윤을 추구하게 될 것이고 따라서 일정 시간마다 유지보수를 실시하는 TBM(Time-Based-Maintenance) 과 같은 기존의 유지보수 기법보다는 RCM(Reliability-Centered-Maintenance) 방식이 더욱 이러한 상황을 잘 반영하는 점검기법이 될 것이다. RCM이란 대상 component의 유지보수 시 신뢰도(reliability)에 근거하여 점검 및 보수 등을 결정하는 방법을 말하며, component의 과거이력과 고장 유형 및 영향 분석 등을 통하여, 효율성과 경제성을 모두 만족시키도록 component의 목표 신뢰도 유지를 위한 최적의 유지 보수 기법을 제시하는 기법을 말한다. 따라서 높은 수준의 신뢰수준을 유지하기 위해서 배전계통 내의 대상 component의 점검을 통하여 고장의 원인이 될 만한 것들을 찾아내고 고장이 일어나기 전에 그것을 유지보수 하여야 한다. 이 문제는 대상 component를 얼마나 자주 점검 및 보수를 해야 하는가 라는 문제가 된다. 하지만 그에 따른 비용도 소모가 될 것이다. 결국 대상 component 에 대한 적정 수준의 신뢰수준을 유지하는 가장 적은 비용이 드는 점검 스케줄을 찾는 것이 중요하게 된다. 이러한 양질의 점검 스케줄을 찾기 위해서 몇 개의 점검모델 정식화방법이 제안되어져 왔다[1]-[4]. [1]은 delay time model 을 사용하였으며 [2]는 Markov Decision Process formulation을, [3]-[4]는 Markov model을 사용하였다. 특히 Markov model 을 사용한 점검모델은 대부분 최적 점검 주기를 찾았다. [4]에서는 동작 중에 시간이 지남에 따라서 상태가 나뉘는 component에 대한 점검모델로 Markov model을 사용하였다. 본 논문에서는 연속적으로 동작하는 component의 상태에 따라서 각각 보수 기법을 다르게 적용한 Markov 점검모델을 사용하여 최적의 점검 주기를 찾았다.

2. 점검 모델

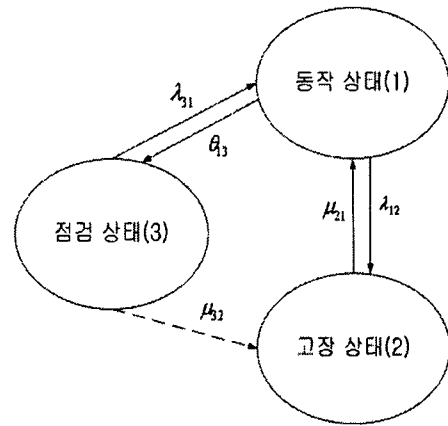
대상 component에 RCM 기법을 적용하여 위해서 component의 시변 고장률에 대한 연구가 먼저 행하여져야 한다. 즉 대상 component의 고장률이 일정하다고 가정할 기존 신뢰도 연구가 아닌 component의 고장률이 Bathhtub Curve의 형태가 되어야 한다. 이러한 시변 고장률을 적용하고, 가질 수 있는 상태들이 유한하며 잘 정의된 대상 component에 대하여 최적의 유지보수 주기를 찾기 위해서 본 논문에서는 Markov model을 사용하였다.

2.1 Markov model

언급한 것과 같이 어떤 시스템의 상태들이 유한한 상태로 각각 잘 정의 되어 있으며, 다른 상태로의 천이가 불확실한 dynamic 시스템을 모델링 할 때 Markov model을 적용한다[5]. 본 논문에서는 대상 component를 세 가지 상태로 정의하였으며 <그림 1>과 같다. 각 상태에 대한 약자와 간단한 설명은 다음과 같다.

- 동작 상태(1): 동작 상태에서 배전사업자내의 모든 고객은 전력공급을 받고 있는 상태
- 고장 상태(2): 대상 component에 의한 고장으로 인하여 배전사업자

- 내의 일부 고객이 전력을 공급받지 못하고 있는 상태
- 점검 상태(3): 전력은 공급되고 있는 상태에서 대상 component를 점검한 후 이상 감지된 component 에 대하여 보수를 하는 상태



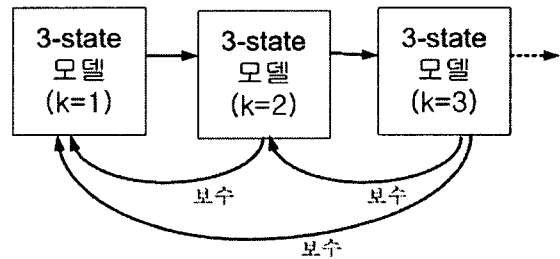
<그림 1> 3-state 점검 model

또한 각 상태로의 천이율(transition rate)은 다음과 같다.

- λ_{12} : 고장률
- μ_{21} : 고장 후 보수를 하여 동작 상태로의 수리률
- μ_{31} : 점검 후 보수를 하여 동작 상태로의 수리률
- θ_{13} : 점검 주기
- μ_{32} : 점검 상태에서 고장상태로의 시간
(점검 상태에서 머무는 시간이 짧으므로 이 시간 때 고장이 날 경우는 무시한다.)

component의 시변 고장률은 문제를 간단히 하기 위하여 매년 일정한 비율로 증가하는 계단함수로 가정하였다. 즉 <그림 2>와 같이 한 해 동안은 일정한 천이율을 가지는 3-state 점검모델을 사용하며, 다음연도에는 λ_{12} 가 변화한 3-state 모델을 사용하는 방식으로 대상 component의 시변 고장률을 점검 모델에 적용하였다[6].

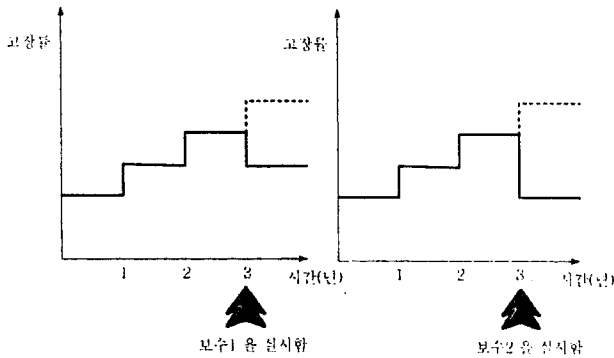
$$\lambda_{12} = k * \lambda_{12}$$



<그림 2> multiple 3-state 모델

또한 대상 component에 대하여 시변 고장률을 적용하기 때문에 component의 고장률 수치에 따라서 적절하게 다양한 보수 기법을 채택할 수 있다. 본 논문에서는 <그림 3>와 같이 대상 component에 대하여 두 개의 보수 기법을 적용하여 보았으며, 첫 번째 보수 기법은 간단한 보수 기법

으로 보수 후에 component 의 고장률이 전년도 수준으로 좋아지는 기법이고, 두 번째 보수 기법은 대상 component 를 교체하는 것으로써 대상 component 의 고장률은 처음 설치하였을 때의 수준으로 좋아지는 보수 방법이다. 실제적으로 어떤 component 의 유지 보수 기법은 그 대상 component 의 상태에 따라서 다양한 방법으로 적절하게 적용되며, 하나의 보수 기법만을 적용하는 방법보다 실용적으로 쓰일 수 있다.



〈그림 3〉 보수 방법에 따른 component 의 고장률변화

3. 목적 함수

대상 component 에 대하여 다양한 보수 기법을 적용한 최적의 점검 주기를 찾기 위하여 목적함수가 필요하다. 이 목적함수는 배전 사업자 측에서는 점검비용 (inspection cost) 과 수리비용 (repair cost), 보수비용 (maintenance cost) 을 고객 측에서는 신뢰도 수준을 최대화한다. 신뢰도 수준을 최대화 한다는 것은 다시 말해서 고객 정전비용을 최소화 한다는 것이며, 목적함수는 이러한 총비용을 최소화 시키는 점검 주기를 찾는 데 목적이 있다.

목적함수: minimize Total Cost

$$\text{Total Cost} = (\text{점검비용} + \text{수리비용} + \text{보수비용}) + (\text{정전지속비용} + \text{정전빈도비용})$$

$$\text{Total Cost} = (\theta_{13} * C_{\text{점검}}) + (\mu_{21} * C_{\text{수리}}) + (\mu_{31} * C_{\text{보수1..n}}) + (\lambda_{12} * C_{\text{지속비용}}) + (\lambda_{12} * C_{\text{빈도비용}})$$

본 논문에서는 언급한 것과 같이 두 가지의 보수 기법을 채택하였으므로 n 은 2가 되며 $C_{\text{보수1}}, C_{\text{보수2}}$ 는 s다를 것이다. 매년 고장률 λ_{12} 는 변화하며, 점검 시 λ_{12} 가 어떤 수준 이상이 되면 대상 component 에 보수2 를 적용하고, 이외의 경우에는 보수1을 적용하였다. 시뮬레이션은 점검 주기 θ_{13} 를 1년부터 1년 주기로 늘려가면서 각각의 Total Cost를 계산하여 Total Cost 가 최소가 될 때의 θ_{13} 를 찾았다.

4. 결 론

전력산업 분야의 경쟁적 시장도입으로 인하여 각 배전사업자들은 배전계통설비의 유지보수에 관하여 최대한의 이윤을 얻고자 하게 될 것이다. 본 논문에서는 최적의 유지보수를 하기 위하여 RCM 기법을 사용하였다. 먼저 대상 component 에 대한 점검 주기 모델을 Markov 모델로 사용하였으며, 매년 변화하는 시변 고장률을 고려하기 위하여 multiple 3-state 모델을 사용 하였다. 또한 대상 component 의 상태에 따라서 적절한 보수 기법을 채택한 것은 설비의 노화를 고려하여 알맞은 보수 기법을 적용하는 실제의 경우에 가까운 방법이라고 할 수 있다. 적용된 보수 기법의 차이로 인하여 대상 component 의 고장률을 각각 다른 패턴을 가지고 변화시킴으로써 보수 기법의 영향을 반영하였다. 목적함수는 배전사업자가 지불해야 하는 각 경우의 보수비용 점검비용 수리비용의 합과 고객이 정전으로 인하여 피해를 입는 비용인 정전지속비용과 정전빈도비용의 합으로 하였으며 이 목적함수 값 즉 총비용(Total Cost)을 최소화하는 점검 주기를 찾았다. 또한 이 기법을 실제 배전 시스템과 유사한 모의 시스템에 적용하였다. 하지만 고장률이나 수리률 등의 데이터들은 이전 데이터를 가지고 분석해놓은 자료가 있어야 하며 또한 그러한 자료를 쉽게 구할 수 있는 것들이 아니기 때문에 많은 가정을 통하여 시뮬레이션을 진행하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. H. Christer and W. M. Waller, "Delay time models of industrial inspection maintenance problems" in 1986 IEEE Rural Electric Power Conference. Charleston, SC, pp.C4/1-14, 1986
- [2] H. Luss, "Maintenance policies when deterioration can be observed by inspection " Operation Research, vol 24, no. 2, pp.359-366, Mar./Apr.1976
- [3] D. J. Sherwin, "Inspect or monitor?," Engineering Costs and

Production Economics, vol. 18, no. 3, pp. 223 - 231, Jan. 1990.

- [4] S. H. Sim and J. Endrenyi, "A failure repair model with minimal and major maintenance," IEEE Trans. Reliability, vol. 42, no. 1, pp. 134 - 140, Mar. 1993.
- [5] D. P. Bertsekas, John N. Tsitsiklis, "Introduction to Probability", Athena Scientific, MA, USA, 2002.
- [6] P. A. Kuntz, "A reliability centered optimal visual inspection model for distribution feeders", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 16, no. 4, 2001.