

이산 마코프 모델을 이용한 보호 시스템의 고장 비율 추정

신정진, 이희태, 김재철
 송실대학교

Estimating the Failure Rate of Protection System Using a Discrete Markov Model

Jung jin Shin, Hee tae Lee, Jae chul Kim
 Soongsil University

Abstract - When a fault occurs in the distribution system, it is detected by protection system, then protection system is opened and de-energises the feeder where the fault exists. in this paper, the failure rate of protection system will estimate that using a discrete markov approach with failure data of protection system in order to improve the reliability of protection system.

1. 서 론

전력계통에는 수많은 발·변전 및 송·배전 설비가 서로 복잡하게 연계되어 있기 때문에 고장 발생시 신속하게 보호시스템이 고장구간을 계통으로부터 분리시키지 않으면 전력설비는 크게 손상될 뿐만 아니라 고장이 인접구간으로 과급되어 사고의 범위는 확대된다[1]. 따라서 계통의 사고는 보호시스템과 비보호시스템간의 서로 독립적일 수도 있으나 중속적인 관계에서 고장을 일으킬 수도 있다. 그래서 본 논문에서는 상호 간의 고장이 서로 중속적이라는 가정 하에서 고장 비율 추정을 하였다.

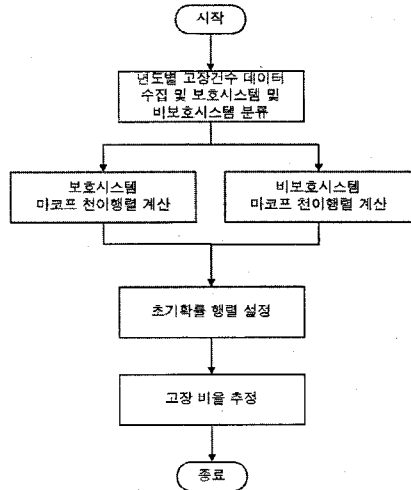
축적된 고장데이터를 이용하여 전력계통의 신뢰도 평가 및 해석하고 예측하는 것은 현재의 시스템에 대한 신뢰도를 평가하는 방법이다. 그래서 이와 비슷하게 보호시스템의 축적된 고장데이터를 이용하여 보호시스템의 고장 비율을 분석하였다. 대표적인 과거 고장 이력 데이터를 이용한 연구결과 중 참고문헌[2]은 컴퓨터 바이러스의 통계를 이용하여 바이러스 발생위험빈도를 평가하고 이를 토대로 서로간의 상이한 바이러스간의 민감도 분석을 평가하였다. 본 논문에서는 이를 토대로 계통에서의 보호시스템과 비보호시스템으로 분류한 후, 고장데이터와 이산 마코프 이론을 이용하여 고장비율을 추정하였다.

2. 고장비율 추정

본 논문에서 사용한 데이터는 국내 변전계통 구성설비의 고장통계 자료를 고장 비율 추정에 이용하였다.

고장 데이터는 1998년부터 2007년까지 10년간의 설비별 고장건수를 근거로 하였다. 그리고 설비 내에서 보호시스템(LA, CB, DS, GIS)과 비보호시스템(MTR, MCS G, BUS)으로 분류하였다.

고장비율 추정을 위해 그림 1과 같은 단계를 거쳐 결과를 도출하였으며 이전의 누적된 고장 데이터를 통해 향후 보호 시스템의 고장율을 추정을 목적으로 하였다. 다음 그림 1은 고장비율 추정을 순서를 나타낸다.



<그림 1> 고장비율 추정 순서

2.1 마코프 이론

본 절에서는, 논문에서 이용하는 마코프 이론에 대해 설명한다[4]. 마코프 이론은 상태(state)간 전이가 오로지 이전 상태에 의존하여 이루어지며, 향후의 다음 상태를 결정하는 확률 모델이다.

i상태에서 j상태로 전이될 확률을 천이행렬 P로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & \cdot \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & P_{ij} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{m1} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

그리고 식(1)을 만족하기 위해서는 식 (2)의 조건을 만족해야한다.

$$\sum_{j=1}^m P_{1j} = 1, \sum_{j=1}^m P_{2j} = 1, \sum_{j=1}^m P_{3j} = 1, \dots, \sum_{j=1}^m P_{mj} = 1$$

$$P_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^m P_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

2.2 초기 확률 설정

초기확률 행렬을 선정하기 위해서 고장데이터를 수집하였고, 초기 확률을 구하기 위한 최근의 고장 데이터는 1년, 3년 등의 시간 단위로 분류하였고 이를 2가지의 초기 확률에 따라 결과를 다양하게 도출할 수 있다.

초기확률 A(0)를 나타내면 식 (3)과 같고 조건 (4)를 만족해야 한다.

$$A(0) = \{a_1(0), a_2(0), \dots, a_m(0)\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m a_k = 1 \quad (4)$$

2.3 고장 비율 추정

위에서 언급한 천이행렬 P와 초기 확률 행렬을 이용하여 앞으로 발생될 고장 비율을 예측한다. 식은 다음과 같다.

$$[A_1(0), A_2(0), \dots, A_n(0)] \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & . \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & P_{ij} & . & . \\ . & . & . & . & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$= [A'_1(0), A'_2(0), \dots, A'_n(0)]$$

3. 고장 예측 결과

수집된 고장데이터를 토대로 보호시스템과 비보호시스템으로 분류를 하지만 각각의 시스템은 서로 독립적이지 않다. 즉, 서로 연관되어 발생되는 경우 가능성도 있기 때문에 이들 시스템 사이의 관계를 반영하기 위해서 시스템 상태들을 조합으로 처리하였다. 첫 번째로 R₁(보호시스템)과 R₂(비보호시스템)에 관련된 천이행렬을 구한다.

R₁, R₂에 대한 년도별 데이터는 표 1, 2와 같다.

<표 1> 보호시스템의 년도별 고장건수 데이터

연도별 설비별	98'	99'	00'	01'	02'	03'	04'	05'	06'	07'	계
LA	1	1	2	3	4	4	0	0	0	0	15
CB	4	3	16	20	23	24	14	14	7	13	138
GIS	6	4	14	12	35	19	23	23	33	29	198
DS	1	1	11	8	10	9	3	5	4	4	56
계	12	9	43	43	72	56	40	42	44	46	407

<표 2> 비보호시스템의 년도별 고장건수 데이터

연도별 설비별	98'	99'	00'	01'	02'	03'	04'	05'	06'	07'	계
MTR	6	2	40	34	10	12	14	10	10	15	153
MCSG	2	0	5	1	3	4	2	4	3	3	27
BUS	0	2	16	20	9	15	14	0	0	1	77
계	8	4	61	55	22	31	30	14	13	19	257

분류된 고장의 종류에 따라 각각의 임계값을 다음과 같이 정의하였고 정의된 구간은 하나의 state로 해석하였다.

R₁의 임계값은 G₁: 1~44, G₂: 45이상이며, R₂의 임계값은 NG₁: 1~30, NG₂: 31이상의 범위를 정의한 후 R₁과 R₂의 조합은 총 4개의 state로 정의 되어지며 식 (6)과 같은 집합으로 표현할 수 있다.

$$S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\} \quad (6)$$

$$\text{단, } S_1 = (G_1, NG_1), S_2 = (G_1, NG_2), S_3 = (G_2, NG_1), S_4 = (G_2, NG_2)$$

두 번째로 천이행렬 P를 구하기 위해 1998년부터 2007년까지 R₁과 R₂의 년도별 데이터를 이용하여 각 년도의 고장건수의 쌍을 (R₁, R₂)을 정리한다.

(12, 8), (9, 4), (43, 61), (43, 55), (72, 22), (56, 31), (40, 30), (42, 14), (44, 13), (46, 19)

위의 (R₁, R₂)쌍을 임계값 범위에 맞추어 표현한다.

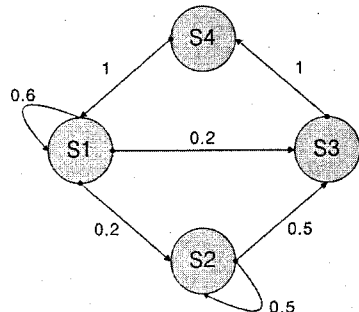
$$(G_1, NG_1), (G_1, NG_1), (G_1, NG_2), (G_1, NG_2), (G_2, NG_1), (G_2, NG_2), (G_1, NG_1), (G_1, NG_1), (G_1, NG_1), (G_1, NG_1), (G_2, NG_1)$$

열거된 쌍을 식 (6)에서 정의한 상태들로 열거하면, S₁, S₁, S₂, S₂, S₃, S₄, S₁, S₁, S₁, S₃으로 표현할 수 있고, 열거된 상태들로부터 각 상태에서 다른 상태로의 전이 횟수를 구하고 이를 바탕으로 천이행렬 P를 구하면 식 (7)과 같다.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

식 (7)으로부터 각 상태에서 다른 상태로 전이되는 확률값의 합이 1이 되는 것을 알 수 있다. 즉, 조건 (4)를 만족하였다. 또한 천이 행렬 P에 대한 상태 다이어그램은 그림 2와 같다.



<그림 2> R₁, R₂에 대한 마코프 체인 모델

R_1, R_2 의 초기확률 행렬에 대한 계산을 위해서 최근 3년의 데이터를 이용하였다. 최근 3년 데이터의 조합은 (46, 19), (44, 13), (42, 14)이므로 초기확률 행렬은 식 (3)에 의해 (8)과 같이 표현한다.

$$A(0) = \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \{0.67, 0, 0.33, 0\} \end{matrix} \quad (8)$$

마지막으로 식(5)에 의해 천이행렬 P와 초기행렬 A(0)을 계산하여 고장율을 추정할 수 있다.

$$A(0) \times P = [0.67 \ 0 \ 0.33 \ 0] \times \begin{bmatrix} 0.60 & 0.20 & 0.20 \\ 0 & 0.50 & 0.50 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$= [0.402 \ 0.134 \ 0.134 \ 0.33]$$

식 (9)로부터 내년의 상태($S_1 \sim S_4$)는 0.402, 0.134, 0.134, 0.33의 확률로 발생될 것이라 추정할 수 있다. 이는 S_1 의 상태, 즉, (G_1, NG_1)의 값을 갖는 고장 건수를 가질 확률이 가장 크다는 것을 말한다.

내년의 고장건수를 구하기 위해서는 각 상태의 임계값에 대한 발생 확률을 구해야 하는데, 고장 발생 확률값을 이용하여 구할 수 있다. R_1, R_2 의 각 임계값의 발생 확률은 다음과 같다.

- R_1 의 임계값 확률
 $G_1 : 0.402 + 0.134 = 0.536$
 $G_2 : 0.134 + 0.33 = 0.464$

- R_2 의 임계값 확률
 $NG_1 : 0.402 + 0.134 = 0.536$
 $NG_2 : 0.134 + 0.33 = 0.464$

마지막으로 예상 고장건수는 식 (10)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n P(S_i)M(S_i) \quad (10)$$

여기서 $M(S_i)$ 는 임계값 범위에 따른 중간값으로 다음과 같다.

- R_1 의 중간값
 $M(G_1)=0, M(G_2)=46$
 - R_2 의 중간값
 $M(NG_1)=19, M(NG_2)=0$

R_1 의 예상 고장 건수
 $= \sum_{i=1}^2 P(G_i)M(G_i) = (0.536 \times 0) + (0.464 \times 46)$
 $= 21.344$

R_2 의 예상 고장 건수
 $= \sum_{i=1}^2 P(NG_i)M(NG_i) = (0.536 \times 19) + (0.464 \times 0)$
 $= 10.184$

위 결과로부터 다음 R_1 의 예상 고장 건수는 약 21, R_2 의 예상 고장 건수는 약 10으로 추정할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 계통에서의 보호시스템과 비보호시스템으로 분류한 후, 과거 고장데이터와 이산 마코프 이론을 이용하여 발생될 고장비율을 예측하였다. 이러한 고장비율 예측은 전력계통 시스템에서 발생될 수 있는 고장을 예측할 수 있는 모델로 활용 가능할 것을 사료된다. 그리하여 보호시스템의 신뢰도뿐만 아니라 계통의 신뢰도를 높일 수 있다고 생각한다. 그러나 좀 더 정확한 고장비율을 예측하기 위해서는 적절한 임계값 설정에 대한 연구가 필요하고, 정확한 자료의 수집 및 통계 분석이 요구된다.

[참 고 문 헌]

[1] 송길영, "신편 전력 계통 공학", 동일출판사, 2001, pp. 438-447
 [2] 김영갑, 백영교, 인호, 백두권, "마코프 프로세스에 기반한 확률적 피해 파급 모델", 한국정보과학회 논문지, Vol. 33, No 8, pp. 524-535, 2006, 8.
 [3] 이희태, 김재철, "마코프 체인과 고장데이터를 이용한 고장 건수 예측에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 추계 학술대회
 [4] Roy Billinton, Ronald N. Allan, "Reliability Evaluation of Engineering Systems: concepts and techniques 2nd ed.", Plenum 1992
 [5] Roy Billinton, Ronald N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems 2nd ed.", Plenum 1996