

RCM 기반의 전력설비 수명 평가 및 진단 시스템 개발

이석찬, 전태영, 신용학, 이용희
LS산전 중앙연구소, 전력연구소

Development of RCM based power facility analysis and diagnosis system

Seok-Chan Lee, Tae-Young Jeon, Yong-Hak Shin, Yong-Hee Lee
LS Industrial Systems R&D Center

Abstract - 주기적인 점검이 필수적인 전력설비에 대해 RCM (Reliability centered maintenance) process를 적용하면 유지보수 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 안전, 환경상의 건전성과 설비의 가용도 및 신뢰성 향상에 기여할 수 있다. 하지만 RCM 기반의 진단 process는 정형화하기 매우 까다롭다. 당시에서는 반복되는 시간 지향형 보수 활동을 최소화하고, 고장원인 및 결과 분석에 바탕을 두어 보수 지침을 작성하고 시행할 수 있는 RCM기반의 진단 시스템 개발에 대해 논하고자 한다.

1. 서 론

최근 도입되고 있는 조건 기반의 유지보수 (CBM - Condition based management)는 설비의 상태를 감시 분석하여 유지보수를 확으로써 진일보하였으나, 기술적, 비용적인 문제로 전면적인 도입이 힘든 상황이다. 이에 반해 RCM process를 적용하면 유지보수 비용을 기존 대비 85%이상 절감할 수 있어 안전, 환경상의 건전성 및 설비의 가용도와 신뢰도 향상에 기여할 수 있다.

1960년대부터 항공 산업에 도입되기 시작한 RCM process는 다양한 산업에도 적용되면서 1990년대부터 전력설비에도 도입되기 시작하였다. 초고압 GCB/GIS, 초고압 전력용 변압기 차단기, 개폐장치 및 케이블 등 개별 전력기기에 대한 상태 감시, 보호 및 제어는 물론 설비에 대한 진단에 이르는 많은 solution이 제공되고 있으며, 일부 선진사에서는 전력설비 전반에 이르는 유지보수 기법을 시스템화하여 설비의 안정도 향상 및 수명 증대, 유지보수 비용 절감 등의 효과를 보고 있다.

이러한 기술적인 장점에도 불구하고 RCM process의 도입이 더딘 이유는 신뢰도 분석을 위한 고장 및 수리 이력 데이터 축적이 거의 전무한 상태이며, 사업장의 특성상 수집된 자료의 수가 극소수이고, 현실적으로 아주 초보적인 단계에 있기 때문이다. 게다가 전력산업구조 개편이 진행되면서 발·변전소 등에 대한 투자를 축소하거나 기피하는 상황에서 설비에 대한 유지보수 process를 새로 도입하거나 유지보수 기법 개발에 대한 투자를 꺼리기 때문이다.

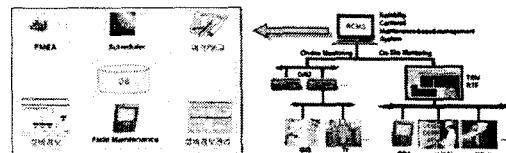
RCM process 적용의 장점과 필요성에 따라 변전소 단위의 전력 설비에 대한 유지보수 데이터를 수집, 분석하고 그에 따른 유지보수 기법을 제공하는 시스템을 개발하여 유지 보수 효율성을 제고해야 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

변전소 및 변전설비를 대상으로 하는 RCM기반의 진단 및 유지보수 관리 시스템은 그림 1과 같이 FMEA, Online 진단, Schedule 관리, 설비정보 관리, Field maintenance 및 이력/보고서 모듈로 구성되어 있으며, 신뢰성 기반의 진단 알고리즘 및 수명 평가 기술이 적용

된 전력설비 통합관리 정보 시스템이다.



<그림 1> RCM기반 진단 시스템 구성

1) FMEA: 시스템 및 구성 부품에 대하여 예상 가능한 모든 고장의 형태가 시스템에 어떤 영향을 미치며 고장의 원인이 어디에 있는지를 추정하여 해석함으로써 잠재적 고장 유형을 파악하기 위한 기법이다. FMEA 분석 모듈은 기능전개, 고장모드, 과급효과 등의 정보로 구성된다.

2) Online 진단: 전력설비에 대해 부분방전, 차단기 접점 수명, 가스밀도 등 실시간 데이터를 취득하여 상태를 진단한다.

3) Schedule 관리: 전력설비로부터 수집한 상태와 고장/수리 이력을 기반으로 허용하는 신뢰도 내에서 최소 비용의 점검 주기 및 방법을 등을 제시하여 작업 일정을 관리하고, 수명 데이터 해석 Process를 제공한다.

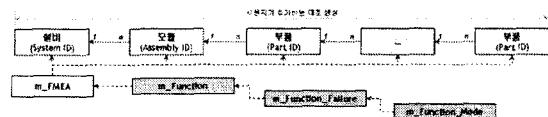
4) 설비정보 관리: 각 부품별 사양 및 가격 등의 정보를 관리하고, 각 부품별로 기능 고장의 연관성을 표시하여 어떤 기능 고장이 발생하였을 때 연관된 부품을 보여준다.

5) Field maintenance: Schedule 관리에서 생성된 점검 주기에 따라 설비를 점검하여 관측 및 계측한 데이터를 PDA에 입력하거나, 입력된 데이터를 RCM 진단 서버로 송신할 수 있다.

6) 이력/보고서: RCM기반 진단시스템에서 관리하는 FMEA, 설비정보, 유지보수 방법 및 주기 등은 모두 이력으로 저장하여 관리하고, 해당 내용은 자동 또는 수동으로 보고서 형태로 출력할 수 있다.

2.2 FMEA (Failure Mode & Effect Analysis)

FMEA를 적용할 대상 시스템에 대해 각 설비 또는 부품별로 FMEA를 연계시키고, 신뢰성 있고 효율적으로 수행하기 위해 다음과 같은 구조로 설계하였다.

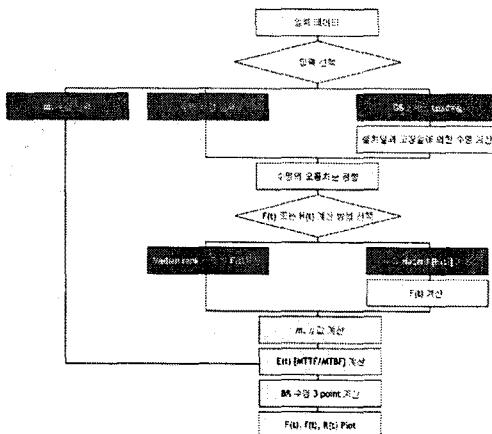


<그림 2> 설비 정보와 FMEA 연계

모듈이나 부품별로 Function, Function Failure, Failure Mode 등 FMEA 정보를 입력할 때는 설비의 고장이 아니라 기능의 고장에 초점을 맞춰 입력해야 한다. 대부분의 부품들은 주어진 고장모드와 연관하여 하나 이상의 고장모드를 가지고 있기 때문에 유력한 고장모드를 추출하는데 각별히 유의해야 한다. 따라서 최대한 많은 고장모드를 추출하여 연관성이 없는 경우에만 삭제하는 여분 범위를 적용하고, 해당 부품의 수명 동안에 적어도 한번은 발생할 것 같다면 반드시 포함시켜야 한다.

2.3 수명 데이터 해석 Process

Weibull 분포 및 Hazard 분석을 통해 부품별 특성(형상모수, 특성수명)을 추출하고 고장 형태를 분류하며, 특성값을 이용하여 B% 수명을 예측할 수 있다.

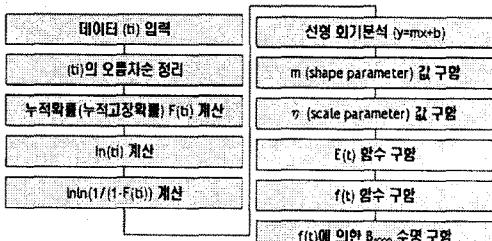


<그림 3> 수명 추정 Process

B% 수명은 Maintenance Strategy에서 Initial Interval을 정의할 때 참고 자료로 사용한다.

2.3.1 Weibull 분포 해석 Process

Weibull 분포는 지수 분포의 개념을 확장하여 형상 파라미터에 따라 분포 형태가 변하고 우발사고부터 수명이다한 고장까지 적용할 수 있기 때문에 부품의 수명 분포에 적합하여 신뢰도 해석 전반에 사용된다.



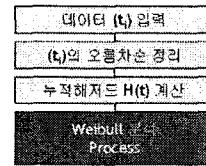
<그림 4> Weibull 분포 해석 Process

데이터베이스에 저장된 시간과 고장 이력 데이터를 로딩하거나 사용자가 입력한 데이터를 정리하여 고장 확률 및 평균 수명 등을 계산하고 그래프로 표시한다.

2.3.2 Hazard 분석 Process

수명평가 시험은 가장 중요한 시험의 하나지만 통상적으로 많은 시간과 비용이 소모되며, 충분한 시험이 실시된다고는 할 수 없다. 경우에 따라서는 공식 시료 중 일부 시료의 파괴 데이터가 얹어진 단계에서 시험을 중지

해야 하는 경우도 있는데, 이와 같이 불완전한 데이터는 중도에 중단하는 데이터 등을 효과적으로 수명 추정에 이용하기 위한 방법을 제공한다. Hazard 분석 Process에서는 고장률 및 누적 Hazard 등을 계산한다.



<그림 5> Hazard 분석 Process

2.4 Maintenance Strategy

BOM, FMEA 등 설비 정보 및 고장 정보를 이용하여 진단 대상 설비/부품 등의 유지보수 일정 및 전략을 수립하는 기능을 제공하며 다음과 같은 기능을 제공한다.

1) Decision Worksheet: 설비 정보 및 고장 정보를 이용하여 정비 방법 및 주기 등을 결정하는 데이터 sheet로 설비/부품 등의 ID에 대해 그림 6과 같이 표시한다.

ID	Sub ID	Information reference	Consequence evaluation	Maintenance strategy				Proposed Task	Initial Interval	Can be done by					
				Proactive Task		Default Action				Start date	Period	Specialist	Execution Class	Instrument	General
1	1	P1	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
2	2	P2	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
3	3	P3	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
4	4	P4	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
5	5	P5	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
6	6	P6	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
7	7	P7	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
8	8	P8	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
9	9	P9	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
10	10	P10	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
11	11	P11	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
12	12	P12	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
13	13	P13	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
14	14	P14	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
15	15	P15	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
16	16	P16	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
17	17	P17	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
18	18	P18	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
19	19	P19	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
20	20	P20	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
21	21	P21	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
22	22	P22	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
23	23	P23	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
24	24	P24	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
25	25	P25	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
26	26	P26	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
27	27	P27	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
28	28	P28	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
29	29	P29	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
30	30	P30	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
31	31	P31	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
32	32	P32	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
33	33	P33	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
34	34	P34	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
35	35	P35	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
36	36	P36	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
37	37	P37	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
38	38	P38	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
39	39	P39	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
40	40	P40	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
41	41	P41	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
42	42	P42	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
43	43	P43	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
44	44	P44	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
45	45	P45	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
46	46	P46	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
47	47	P47	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
48	48	P48	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
49	49	P49	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
50	50	P50	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
51	51	P51	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
52	52	P52	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
53	53	P53	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
54	54	P54	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
55	55	P55	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
56	56	P56	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
57	57	P57	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
58	58	P58	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
59	59	P59	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
60	60	P60	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
61	61	P61	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
62	62	P62	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
63	63	P63	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
64	64	P64	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
65	65	P65	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
66	66	P66	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
67	67	P67	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
68	68	P68	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
69	69	P69	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
70	70	P70	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
71	71	P71	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
72	72	P72	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
73	73	P73	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
74	74	P74	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
75	75	P75	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
76	76	P76	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
77	77	P77	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
78	78	P78	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
79	79	P79	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
80	80	P80	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
81	81	P81	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
82	82	P82	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
83	83	P83	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
84	84	P84	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
85	85	P85	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
86	86	P86	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
87	87	P87	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
88	88	P88	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
89	89	P89	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
90	90	P90	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
91	91	P91	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
92	92	P92	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
93	93	P93	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
94	94	P94	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
95	95	P95	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
96	96	P96	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
97	97	P97	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
98	98	P98	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
99	99	P99	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		
100	100	P100	A	B	C	D	E	SOT	SRT	SOT	SRT	RON	RDN		

<그림 6> RCM Decision worksheet

2) Consequence Evaluation: 고장 모드의 안전 및 환경에 대한 영향을 평가하는 기능을 제공하며 A~E까지 등급으로 구분한다.

A	안전/환경에 대한 위험이 내재되어 있음
B	안전/환경에 대한 위험이 명백함
C	안전/환경에 대한 영향은 없으나, 실비 운전능력이 감소됨
D	안전/환경/운전능력에 영향이 없는 단순 고장

안전/환경에 대한 영향 없으나, 운전/비운전 능력을 감소시킬 수 있는 고장

<그림 7> Consequence Evaluation 등급

3) Maintenance Decision: 유지보수 전략을 수립하는 알고리즘으로 검사/복구/폐기/수리 등의 보수 방법 및 절검 주기 등을 계산하여 사용자에게 제시한다.

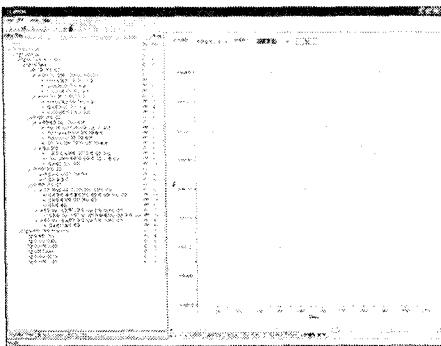
4) Maintenance Decision Tree: 설비나 부품에 대한 유지보수 방법을 Tree 구조를 이용해 결정하는 방법으로 Maintenance Decision에서 계산된 일련 또는 결과값을 이용하여 자동 연산을 수행할 수 있도록 데이터베이스 연계가 이루어져 있다.

5) Maintenance Schedule: Maintenance Strategy에서 정의된 점검 주기 및 점검 수행자를 재정의하여 최적화 할 수 있도록 사용자 L/F를 제공한다.

3. 결 론

본 논문에서는 LS산전에서 개발하고 있는 RCM기반의 전력설비 수명 평가 및 진단 시스템을 소개하였다. 복잡한 RCM process를 정형화하여 유지보수 관리를 저비용으로 좀 더 효율적으로 수행할 수 있게 하였으며, 설비의 안정도 향상 및 유지보수 비용의 절감 기회를 제공하였다.

좀 더 효율적이고 명확한 유지보수 전략을 수립하기 위해서는 정형화된 데이터 포맷의 개발 및 데이터 누적 이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 신뢰성 있는 수명 평가가 가능하다.



<그림 8> RCM기반 진단 시스템 예제 화면

향후에는 더 많은 고장 및 수리 능력을 데이터베이스로 구축하여 구체적이고 신뢰성 있는 수명 평가 알고리즘을 개발할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] J Hamman, "Experience with the use of RCM in a transmission maintenance environment", The reliability of transmission and distribution equipment, Conference Publication No 406. 29~31, 1995
- [2] Jurgen Schlabbach, "Reliability centered maintenance of MV circuit breakers", Power tech proceedings, 2001 IEEE Porto, 2001