

# PCR 데이터셋에 기반한 계전기 상태진단 방법

노태형<sup>1</sup>, 목형수<sup>†</sup>, 최정일<sup>2</sup>  
 건국대학교<sup>1</sup>, 건국대학교<sup>†</sup> (주)무하기술<sup>2</sup>

## SoH Method for Relay Based on PCR Dataset

T. H. Ro<sup>1</sup>, H. S. Mok<sup>†</sup>, J. I. Choi<sup>2</sup>  
 Konkuk University<sup>1</sup>, Konkuk University<sup>†</sup>, MUHA InC.<sup>2</sup>

### ABSTRACT

계전기는 다양한 산업 플랜트 및 발전소 제어 설비에서 사용 중인 필수적인 장비이며, 주기적인 기능진단 및 상태 점검을 통한 유지관리가 필요하다. 하지만 운용 현장의 열악한 환경으로 인해 계전기의 고장 및 오동작이 발생하고 있으며, 이는 설비 정지등을 초래하는 문제로 이어지고 있다.

본 논문에서는 계전기의 Run-to-Failure 데이터셋 중 이상적인 계전기 동작 데이터를 레퍼런스 삼아 계전기의 8가지 주요 특성 파라미터인 코일 저항, 코일 인덕턴스, 최소동작전압, 최소복귀전압, 접점저항, 절연저항, 동작시간, 복귀시간을 기준으로 계전기의 현재 상태(State of Health)를 진단하는 방법을 제안한다.

### 1. 서론

계전기의 원리는 간단하지만 현대 기술 시스템에서 가장 자주 사용되는 장치 중 하나이며 복잡한 자동화 제어 시스템에서 사용되어지는 계전기 수는 수백, 수천개로 추정된다.<sup>[1]</sup> 이러한 계전기들은 운용 현장의 열악한 환경으로 인해 고장 및 오동작이 야기되며 사소한 오작동이라도 운용환경의 장비를 멈춰 많은 손실 비용을 초래한다.

이와 같은 상황을 미연에 방지하고자 계전기의 상태를 진단하는 장치가 필요하며 이를 위하여 본 논문에서는 Phoenix Contact사에서 제공한 Phoenix Contact Relay(PCR) 데이터셋을 참고하여 상태진단 SoH(State of Health)를 하는 방법을 고안했다.

### 2. 상태진단 SoH(State of Health)

#### 2.1 고려된 계전기의 개요

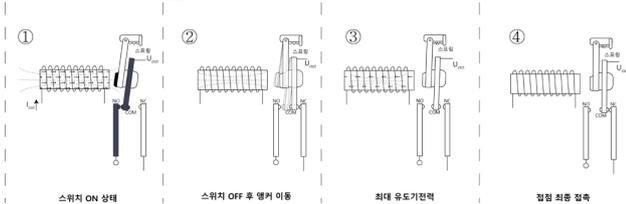


그림 1. 계전기의 동작종료수순 (상시열림포트-NO 기준)  
 Fig 1. Order of completion of relay operation(Based on NO)

발전소에서 쓰이는 주요 계전기 중 하나인 DC전원 기반 계전기는 크게 전자석 파트와 부하 파트로 나눌 수 있다. 그림1의 1번부터 4번의 순서대로 1-인가되고 있는 여자전류  $I_{coil}$  차단, 2-전자석의 자화가 풀려 당겨져 있던 앵커가 원래 위치로 돌아감, 3-최대 유도기 전력 발생 4-COM이 NC(Normally Close) 접점으로 붙음으로 전자석 파트에 동작이 완료된다.

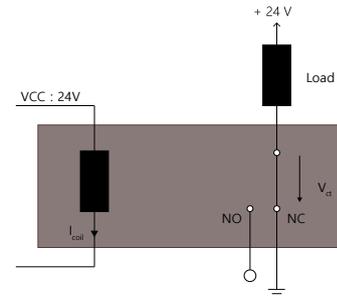


그림 2. 계전기의 구성요소와 측정된 파라미터  
 Fig 2. Components of the relay and the measured parameters

#### 2.2 레퍼런스 데이터

Phoenix Contact사 1923년 독일에서 시작한 이 회사는 터미널 블록, 계전기, 컨트롤러 및 PLC와 산업용 이더넷 등 산업 플랜트에 주로 사용되는 제품을 생산하는 회사로써 긴 연혁과 제품의 신뢰성을 보증할 수 있는 회사이다. 현 회사의 제품을 가지고 Fabian. W은 계전기의 정상상태부터 고장임박 상태(Run

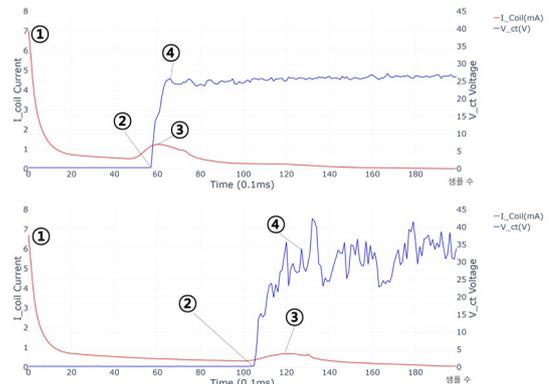


그림 2. 계전기가 정상(위) 및 고장 임박(아래)일 때 스위치 OFF 시 계전기의 여자전류( $I_{coil}$ )와 접점저항( $V_{ct}$ ) 과도해석 그래프  
 Fig 2. Transient analysis graph of Exciting Current( $I_{coil}$ ) and contact resistance ( $V_{ct}$ ) of the switch-OFF relay when the relay is normal (top) and near failure (bottom)

-to-Failure) 점접전압과 코일전류를 기록한 PCR 데이터 셋을 구축하였고 데이터셋 경쟁대회 플랫폼인 Kaggle에 배포하였다. 데이터 셋은 계전기의 전원 인가 및 차단을 한 주기로 잡아 10kHz 샘플링으로 20ms동안의  $I_{coil}$ 과  $V_{ct}$ 를 기록한 2차원 데이터로 총 546개의 계전기의 데이터가 구성 되어있다.

데이터 셋 중 계전기의 이상적인 열화 과정을 보여주는 106번 데이터를 기반으로 그림2와 같이 정상상태와 고장임박 상태의 그래프를 만들어 비교하였다. 그림 1의 동작원리대로 그래프 추이를 확인할 수 있으며, 그래프를 통해 코일 인덕턴스, 동작 시간 등이 영향이 있다는 것을 확인하게 알 수 있다.

최대전류  $I_{max}$

$$I_{max} = \frac{V}{R} \quad (1)$$

시간 상수  $\tau$ 를 구하기 위해서 시간  $t$  일때 전류를 사용한다.

$$I(t) = I_{max}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2)$$

인덕턴스  $L$ 은 시간 상수와 저항의 곱으로 구한다.

$$L = \tau \cdot R \quad (3)$$

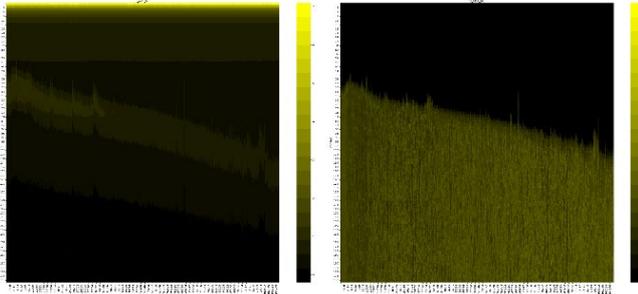


그림 3. Run-to-Failure의  $I_{coil}$ (여자전류, 왼쪽)  $V_{ct}$ (접전전압, 오른쪽)의 추이

Fig 3.  $I_{coil}$ (Exciting current, left)  $V_{ct}$ (contact voltage, right) of Run-to-Failure Trend

그림3은 106번 데이터의 전원 차단 시  $I_{coil}$ 과  $V_{ct}$ 를 히트맵 이미지로 나타내었다. Y축은 위에서 아래로 0 ~ 20 ms까지 시계열로 구성되어 있으며 총 200개의 행과, X축은 첫 정상상태를 0부터 시작하여 고장 임박상태인 106409까지 총 106410 주기의 열 데이터로 구성되어 있다.  $I_{coil}$ 크기의 경우 열화 되어가면서 차단 후 발생하는 유도전류가 점점 늦게 발생하는 것을 확인할 수 있다.  $V_{ct}$ 의 경우는 주기가 진행되어 가면서  $I_{coil}$ 의 전원 차단 후 계전기의 COM과 NC 부분의 최종접촉이 늦어지면서 접점이 조금씩 늦게 통전되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 계전기 사용횟수에 따라 off 시 복귀시간이 점점 늦어지는 것을 데이터셋을 통해 직관적으로 확인할 수 있다.

이러한 데이터를 기반으로 코일 인덕턴스의 수치를 계산할 수 있다. 그림1-3와 같이 최대 인덕턴스가 데이터를 기반으로 계측을 하면 정상 상태에서는 약 6.25ms, 고장 임박 상태에서 약 12.1ms 때 발생한다. (1)-(3)과 같은 방정식을 사용해서 시계열에 따른 인덕턴스를 구할 수가 있다.

표 1 모델링에 사용되는 파라미터

Table 1 Parameters used for modeling

Parameter		정상 상태	고장 임박 상태
$l_{coil}$	코일의 인덕턴스[H]	16.56	31.97
$r_{coil}$	코일의 저항[Ω]	1,440	1,440
$v_{pull}$	최소 동작 전압 [V]	15.6	15.6
$v_{drop}$	최소 복귀 전압 [V]	3.6	3.6
$r_{on}$	점접 저항 [Ω]	0.1	0.1
$r_{off}$	절연 저항 [Ω]	Basic Insulation Level	Basic Insulation Level
$t_{dbrk}$	동작 시간 [ms]	5	5.5
$t_{dmk}$	복귀 시간 [ms]	5.5	10.5

### 2.3 계전기의 SoH 진단

현재 변화량이 뚜렷한 코일의 인덕턴스와, 동작시간을 기준으로 정상상태일때(1) 100%, 고장임박 상태(2)를 0%로 치환하면 다음과 같이 된다.

인덕턴스 파라미터 기반 퍼센테이지

$$P_L = \frac{L_{present} - L_{(2)}}{L_{(1)} - L_{(2)}} \times 100 \quad (4)$$

동작시간 파라미터 기반 퍼센테이지

$$P_t = \frac{t_{(2)} - t_{present}}{t_{(2)} - t_{(1)}} \times 100 \quad (5)$$

최종 SoH

$$P_{SoH} = \frac{P_L + P_t}{2} \quad (6)$$

여기서  $n$ 은 SoH를 계산하기 위해 사용된 파라미터 종류의 개수이다.

### 3. 결론

본 논문은 PCR 데이터셋 중 이상적인 결과를 가지고 타 파라미터를 추정하였다. 주기 데이터 상에서는 전원 차단시 계측된 데이터 뿐만 아니라 전원인가시 여자전류, 점접전압 데이터 또한 같이 제공하고 있으므로 데이터를 추가하여 SoH 추정을 신뢰할 수 있는 근거 데이터로 추가할 예정이다. 현 SoH 추정 알고리즘은 간단한 방정식으로 되어있지만 파라미터 사이의 우선순위를 정해야 할 것으로 판단된다. 또한 본 논문에서 사용한 PCR 데이터는 Phoenix Contact사에 일부 계전기 모델에만 적용됨으로 현재 계전기 상태진단기술 적용이 필요한 발전소 등 산업현장에서 주로 사용하는 계전기에도 해당 진단기술을 적용해야 할 연구가 남아 있다.

이 논문은 발전5사 중소기업지원 협력연구개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] Gurevich, V. Electric Relays: Principles and Applications., Available at ResearchGate, xix, preface. 2016.
- [2] Fabian Winkel, Run-to-Failure Relay Dataset for Predictive Maintenance Research with Machine Learning. IEEE Transactions on Reliability, 106-110. 2024