

**과부하상태의 변동을 고려한 디지털보호계전기의 최적보호알고리즘 연구**

이창호\*, 백영식\*\*, 김병진\*

\*현대중공업(주) 전기전자시스템사업부, \*\*경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 정교수

**A Study of the Best Suited Algorithm for Digital Protection Relay in Fluctuated Overload Condition**

Chang-Ho Lee\*, Young-Sik Baek\*\*, Byung-Jin Kim\*

\*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd, \*\*KyungPook National University

**Abstract** - Recently, in power system, even though the needs of digital protection relay are highly increased, there are some problem in the field during apply digital protection relay. When the relay are in the fluctuated overload condition, existing algorithm calculate the trip time only with the measured current of just previous stage, and when the load current fluctuate between overload and normal condition, existing algorithm sometimes dose not make the relay trip. This thesis will study about these kinds of existing algorithm problem in digital protection relay, and will suggest the best suited algorithm for digital protection relay in fluctuated overload condition.

**1. 서 론**

전력계통에서 보호계전기는 전기적 사고 또는 과부하 시에 이를 감지하여 해당 선로를 건전한 계통으로부터 신속, 정확하게 분리하여 사고의 확산을 방지하는 등, 안정적인 계통운영에 중요한 역할을 담당하고 있다.

이러한 보호계전기는 최근 비약적으로 발전하고 있는 정보통신기술, 하드웨어기술, 그리고 소프트웨어기술이 전력기술과 융합되면서 종래의 아날로그형에서 디지털형으로 빠르게 변화되어가고 있으며, 기존의 아날로그 방식에서는 상상할 수 없었던 많은 기능의 구현이 가능하게 되었다.

디지털형 보호계전기와 같이 전력계통의 보호와 제어에 필요한 다양한 기능이 통합된 장치를 통칭하여 지능형 전자식장치(IED: Intelligent Electronic Device)라고 한다. IED는 지능형 전력감시·운용장치로서 전기설비의 보호, 감시, 제어, 계측 등의 정보를 종합적으로 제공하며 상위 시스템과 다양한 인터페이스를 통해 계통 운영에 있어서 고신뢰성의 확보 및 전력품질의 향상에 대한 기여 등 계통운영의 정보화를 가능케 하는 전자장비 시스템이다[1-4].

현재 전력 계통에서 발생하는 사고의 형태와 종류가 매우 다양하기 때문에 보호계전 기술과 정보 저장기술, 원격감시·제어기능 등의 중요성이 갈수록 높아지고 있다. 이와 같이 계통 운영의 정보화를 실현하기 위하여 IED는 매우 중요한 전자 장비라고 할 수 있다.

이와 같이 전력계통의 운용에 있어서 디지털계전기의 필요성이 증대되고 있으나, 실제의 디지털계전기의 운용에 있어서는 몇 가지 문제점이 노출되어 있다.

본 논문에서는 과부하 상태가 일정하지 않은 상태에서 동작특성의 문제점 즉, 과부하상태에서 그 크기가 변동될 경우 트립 직전의 크기로만 동작시간을 판별하고, 과부하 상태와 정상상태가 반복되는 상태에서는 경우에 따라 부동작하는 기존 디지털형 보호계전기의 단점에 따른 문제점을 검토하였으며, 여기에 대한 해결 방안을 제시하고자한다.

**2. 본 론**

**2.1 과부하상태의 변동**

실제의 계통에서 과부하가 발생하는 경우 그 과부하의 크기가 일정한 것만은 아니다. 따라서 다양한 조건의 과부하 상태에 대해 보호 알고리즘이 적절히 동작하는가에 대하여 살펴볼 필요가 있다.

실제 과부하 보호 계전기가 감시하는 과부하의 상태는 다음과 같은 조건으로 분류를 할 수가 있다.

- 크기가 일정. : 조건 1 (그림 1)
- 크기가 설정치 이상을 유지하면서 변동. : 조건 2 (그림 2)

그림 1과 같이 과부하의 상태가 일정할 경우에는 특성식에 의해 구해진 지연 시간에 의해 동작되므로 문제가 없다. 하지만, 그림 2와 같이 과부하의 크기가 변동 될 경우, 현 단계에서 계측된 전류의 크기에 의한 동작시간과 과전류 유지시간의 비교로 동작되므로, 실제 보호대상 기기가 견딜 수 있는 잔여 시간에 비하여 보호계전기의 동작 판별 시간이 적절하지 않은 경우가 발생하게 된다. 본문에서는 제시된 과부하변동 조건에 대하여 기존 알고리즘의 문제점을 검토하고 개선된 알고리즘을 제안하고자한다.

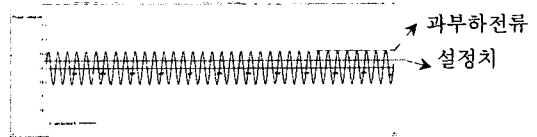


그림 1 일정한 과부하상태

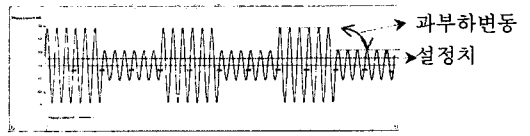


그림 2 변동되는 과부하상태

**2.1.1 과부하변동조건에서의 문제점 검토**

그림 2와 같은 과부하 상태의 변동은 보호계전기에 유입된 과전류가 설정치 이상을 유지하면서 변동되는 경우이다. 이 상태에 대하여 다음 두 가지 조건에 대하여 기존 알고리즘의 문제점을 검토하고자한다.

- 1) 그림 3과 같이 정격 전류설정치의 2배의 전류를 계산된 동작시간의 50% 동안 인가 후에 설정치의 5배의 전류로 변동시켜 인가하는 경우.

표1과 같은 조건으로 과전류계전기(OCR: Over Current Relay)를 설정하고 설정치의 2배인 2A를 계산된 동작시간의 50%인 5초간 인가한 후에 인가전류를 5A로 변동시키면 기존 알고리즘은 현재의 알고리즘 루틴에서 계속되어진 전류 크기에 의해서 구해진 동작시간과 현재까지의 과전류 지속시간을 비교하여 동작하므로 그림 3에서와 같이 5A로 변동되는 순간 계전기는 동작하게 된다.

이 경우 계전기를 동작하게 한 과전류는 대부분 2A 전류이며 지속 허용시간의 50%만 흐른 상태이다. 따라서 기존 알고리즘은 보호대상기기가 더 견딜 수 있음에도 불구하고 불필요하게 빨리 동작 시키는 문제점이 있다.

계전기의 설정		계산된 동작시간
계전요소	반환시	설정치의 2배: 10.029 Sec 설정치의 5배: 4.280 Sec
전류 설정	1A	
동작시간 설정	1.00 Tap	

표 1 과전류계전기의 설정  
Table 1 Setting of Over Current Relay

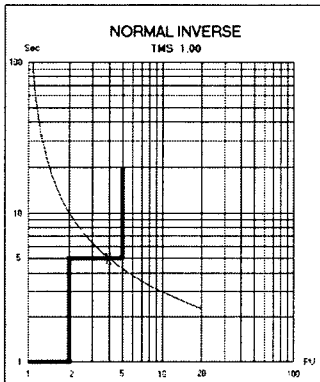


그림 3 전류인가 조건 : 2A -> 5A

2) 그림 4와 같이 정격 전류설정치의 5배의 전류를 계산된 동작시간의 50%동안 인가 후에 설정치의 2배의 전류로 변동시켜 인가하는 경우.

표 1과 같은 조건으로 과전류계전기를 설정하고, 설정치의 5배인 5A를 계산된 동작시간의 50%인 2.14초간 인가한 후에 인가전류를 2A로 변동시키면, 기존 알고리즘은 현재의 알고리즘 루틴에서 계속되어진 전류 크기에 의해서 구해진 동작시간과 현재까지의 과전류 지속시간을 비교하여 동작하므로 2.14초간 5배의 과전류가 인가된 것에는 상관없이 변동된 2A에 대하여 계산된 동작시간 10.029초에 동작하게 된다.

보호대상기기의 열적 피로도는 전류의 제곱과 시간에 비례하므로 누적 피로도에는 해당 전류치에서의 허용시간과 지속시간의 비로 볼 수가 있다. 따라서 이 경우 2.14초간 5배의 과전류가 인가되어 이미 과전류의 허용시간(4.28초)의 50%가 지난 시점에서도 50%의 피로가 누적된 상태라고 볼 수 있는데, 2A로 전류가 변동된 후 7.889초가 더 경과 되어야 계전기는 동작하게 되므로, 2A에서의 동작허용시간(10.029초) 기준으로 79%의 피로를 더 누적시킨다.

따라서, 기존 알고리즘은 보호대상기기가 29% 피로가 더 누적된 후에 계전기를 늦게 동작시키는 문제점이 있어 보호대상기기의 수명에 영향을 미친다.

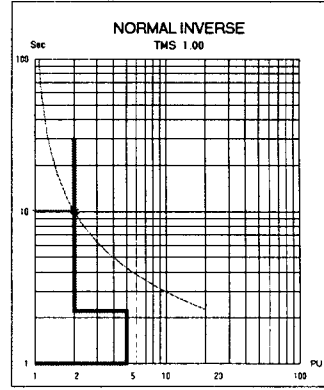


그림 4 전류인가 조건 : 5A -> 2A

## 2.2 과부하상태의 변동을 고려한 알고리즘

앞 절에서 제기한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 알고리즘을 제안하고자 한다.

### 2.2.1 동작특성 개선 알고리즘

그림 2와 같은 과부하 상태의 변동-조건 2에서 변동되는 과부하에 의해 누적되는 보호대상 기기의 피로를 정확히 반영하여 보호하기 위해서는, 단순히 현재 알고리즘 루틴에서 계속된 과부하(과전류)의 크기에 의해서 계산되어진 동작판별 시간값과 현재까지 흐른 시간만을 비교하여서는 문제가 있다.

따라서, 보호대상기기의 총 피로정도의 개념을 반영하여, 변동되는 과부하전류에 따른 각 상태에서의 보호대상기기의 피로정도의 합으로 계전기의 동작 시점을 판단하여야한다. 이를 수식적으로 표현하면 식 1과 같다.

$$\int_0^{T_0} \frac{I}{I(G)} dt = 1 \quad (1)$$

여기서,  $T_0$ 는 계전기의 최종 동작시간

즉, 과부하상태가 변동되는 경우의 동작시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{1}{I(x_1)} t_{x1} + \frac{1}{I(x_2)} t_{x2} + \dots = 1 \quad (2)$$

$t(x_1)$ ,  $t(x_2)$ 는 설정치의  $x_1$ 배,  $x_2$ 배에 대한 계산된 동작시간이고,  $t_{x1}$ ,  $t_{x2}$ 는  $x_1$ 배,  $x_2$ 배의 전류가 지속한 시간이다. 이 경우 개선된 알고리즘에 의하여 구해지는 새로운 계전기의 동작시간은 다음과 같다.

$$T_0 = t_{x1} + t_{x2} + \dots \quad (3)$$

제안된 알고리즘의 과부하 변동 조건에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

1) 정격 전류설정치의 2배의 전류를 계산된 동작시간의 50%동안 인가 후에 설정치의 5배의 전류로 변동시켜 인가하는 경우.

제안된 알고리즘에 의하여, 과부하 전류가 B위치에서 5A로 급변되어도, 그림 5에서와 같이 계전기는 B 지점까지 지속된 과부하의 누적 피로를 %로 계산하여, 과부하 전류가 변동된 시점에서 시간 계산지점을 C위치로 옮기게 되어, D지점까지의 도달 시간만큼의 시간 후에 동작하게 되어 불필요하게 빨리 동작하는 문제점을 해결할 수 있음을 알 수 있다.

즉, 계전기의 동작시간은  $T_{AB} + T_{CD}$ 가 된다.

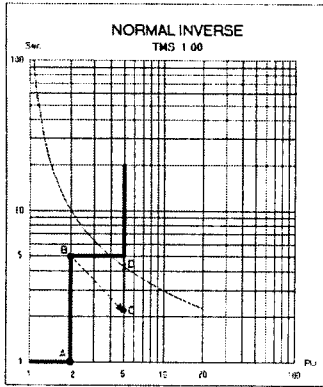


그림 5 전류인가 조건 : 5A → 2A 검토

2) 정격 전류설치의 5배의 전류를 계산된 동작시간의 50%동안 인가 후에 설치의 2배의 전류로 변동시켜 인가하는 경우.

제안된 알고리즘에 의하여, 과부하 전류가 A위치에서 2A로 급변되어도, 그림 6 에서와 같이 계전기는 A 지점까지 지속된 과부하의 누적 피로를 %로 계산하여, 과부하 전류가 변동된 지점에서 시간 계산지점을 B위치로 옮기게 되어 C지점까지의 도달 시간만큼의 시간 후에 동작하게 되어 불필요하게 시간지연을 더하는 문제점을 해결 할 수 있음을 알 수 있다.

즉, 계전기의 동작시간은  $T_{AB} + T_{CD}$  가 된다.

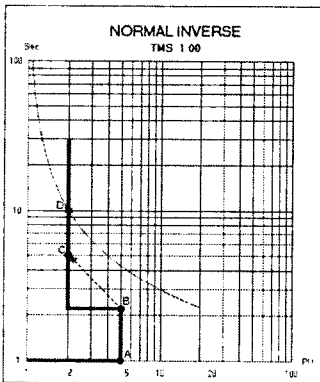


그림 6 전류인가 조건 : 5A → 2A 검토

### 2.3 시험결과 검토

표 2는 각 시험 조건에 따른 기존 알고리즘과 개선된 알고리즘의 동작특성 시험 결과이다.

- 1) 과전류인가조건 1,2에서는 기존알고리즘과 개선된 알고리즘 모두 허용오차 범위(±5%)내에서 정동작 하였다.
- 2) 과전류인가조건 3에서 기존알고리즘은 예상과 같이 평균 5.03초에 동작하여 불필요하게 빨리 동작하였으며, 개선된 알고리즘은 시험결과 평균 7.158초에 동작하여 기존 알고리즘과 같이 불필요하게 빨리 동작하지 않고, 약 0.15%의 오차로 정동작 하였다.
- 3) 과전류인가조건 4에서 기존알고리즘은 예상과 같이 평균 10.016초에 동작하여 불필요하게 동작 지연이 되었으며, 개선된 알고리즘은 시험 결과 평균 7.165초에 동작하여 기존 알고리즘과 같이 불필요하게 동작 지연되지 않고, 약 0.04%의 오차로 정동작 하였다.

과전류 인가조건	동작시간 시험결과		계산된 동작시간
	기존 알고리즘	개선된 알고리즘	
1 2A 일정	10.032	10.027	10.029 S
	9.991	10.028	
	10.019	10.032	
2 5A 일정	4.275	4.295	4.280 S
	4.279	4.294	
	4.284	4.297	
3 2A 5초간 유지후 5A로 변동	5.029	7.160	7.146 S
	5.030	7.158	
	5.030	7.156	
4 5A 2.13 초간 유지후 2A로 변동	10.019	7.169	7.168 S
	10.016	7.169	
	9.997	7.157	

표 2 시험 결과

과전류 인가조건 3과 4에 의한 보호대상기기의 피로도 누적은 같은 조건으로 볼 수 있으나, 기존 알고리즘의 경우 시험전류 인가조건에 따라 동작시간이 큰 차이를 보인 반면, 개선된 알고리즘의 경우에는 동작시간이 시험 조건에 상관없이 일정한 결과를 보인다.

따라서, 개선된 알고리즘이 보호대상기기의 실제 피로의 누적을 잘 반영하여 동작됨을 알 수가 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 기존 디지털보호계전기의 과부하보호 알고리즘이 과부하상태가 변동이 될 경우 발생할 수 있는 동작시간 판별의 문제점을 해결할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

현재 국내에서는 유도관형, 정지형, 디지털형 등 다양한 종류의 보호계전기가 혼재되어 사용되고 있는 상황에서, 각 종류의 보호계전기의 동작 특성에 대하여 살펴보는 것은 상당히 의미가 있는 것이다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 기존 알고리즘이 과부하의 상태가 변동될 경우 보호대상기기가 받는 피로도를 적절히 반영하지 못하여 과부하의 변동 상태에 따라 불필요하게 빨리 동작하거나, 보호대상기기의 피로도 적정치를 넘어서 후 동작하는 등 기기의 수명에 영향을 주는 문제점에 대해 해결함을 실험을 통하여 확인하였으며, 이러한 개선은 계통의 효율적이고 안정적인 운전에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R. C. Patterson, "A Quantum leap into the IED age", *The 39th Rural Electric Power Annual Conference*, pp. (B1) 1-5, 1996
- [2] G. Bucci, C. Landi, "A Multi-DSP Based Instrument on a VXI C-Size Module for Real-Time Measurements", *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, Vol. 49, Issue 4, Aug. pp. 884-889, 2000
- [3] Chun Yu Chen and Chieh-Hsiung Kuan, "Design and Calibration of a Noise Measurement System", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements*, Vol. 49, No. 1, FEBRUARY 2000
- [4] L. Podesta, S. Sangiovanni, E. Zappitelli, "Non-conventional technique for power measurement in three phase systems under non-sinusoidal conditions", *Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1998. IMTC/98. Conference Proceedings. IEEE*, Vol. 1, pp. 608-613 1998