

## 배전자동화 개폐기의 Fault Indicator 규격 및 운영기법 개선에 관한 연구

이중호, 하복남, 조남훈  
한전 전력연구원

### A Study on Improvement of the Specification and Operation Method for Fault Indicator of Distribution Automated Switch

Jung-Ho Lee, Bok-Nam Ha, Nam-Hun Cho  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - F.I(Fault Indicator) is equipped in automatic switches for Distribution Automation System(DAS), and plays important role of providing the information for picking out a fault section. The restrictive sentence that F.I doesn't react for the inrush current is in the F.I specification. Nevertheless F.I has sometimes mal-functioned on the DAS in Kang-Dong branch office of KEPCO for latest 2 years. This paper proved the causes of the mal-function, and proposed the new F.I specification and operation methods against the mal-function causes.

Distribution Automation System : 한국형 배전자동화시스템) 제작시의 F.I 규격이다.

#### 2.1.2 한전의 F.I 규격

○ 선로에 고장이 발생하였을 경우 각 상별 및 Ground의 고장 상태를 표시할 수 있고 돌입전류에 의해 오동작하지 않는 Fault Indicator를 내장하여야 한다. 단, 돌입전류대비 정정 스위치는 T-C 커브를 세 종류 이상 구비하여야 한다.

○ Fault Indicator는 수동과 자동으로 구분하며 각각 독립적인 정보를 제공한다. F.I는 수동, 자동에 관계없이 고장전류 통전시 35ms 이내에 Set 되어야 하며, 자동 Reset은 정상전류 회복 후 0.3초 이내에 Reset 되고 수동 Reset은 시간에 관계없이 외부지령에 의해 Reset 되도록 한다.

## 1. 서 론

한전의 배전자동화시스템에서 사용하는 고장표시기(Fault Indicator, F.I)는 고장시 고장구간을 정확히 판단하기 위하여 작동하는 것으로서 F.I의 동작여부에 따라 Yes/No logic으로 고장구간을 판단하는 배전자동화시스템에서는 없어서는 안될 중요한 요소이다. 그러나 이런 중요한 F.I가 한전 강동지점에서의 배전자동화 실험실증시험에서 오동작을 일으켜 고장구간 판단에 혼선을 주고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 오동작을 일으키는 여러 가지 원인들을 분석하고 그에 대한 해결책이 될 수 있는 운영기법 및 F.I의 규격을 제시하였다.

#### 2.2 F.I 오동작 원인 분석

최초에 한국형 배전자동화를 도입할 당시에 있어서는, 위의 F.I 규격 만으로도 F.I에 의한 Yes-No Logic에 의해서 고장구간을 판단하는 것이 매우 간단히 이루어질 수 있다고 생각되었다. 그러나 약 1년에 걸친 한전 강동지점에서의 배전자동화시스템 운영을 통하여 F.I는 매우 오동작을 하기 쉽다는 것을 알게 되었다.

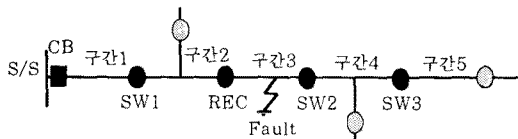
오동작 사례는 F.I 설치 개폐기보다 전원측에서 고장이 발생하였는데 F.I가 오동작 하는 사례, 작업정전 후 개폐기 투입시 전원측 개폐기의 F.I 동작, 2단선로의 하단선로에서 고장이 발생했는데도 상단선로의 F.I가 오동작하는 사례 등 여러 가지의 경우가 있었으며 이러한 사례를 바탕으로 F.I의 오동작을 일으킬 수 있는 경우를 아래와 같이 5가지 정도로 나눌 수 있었다.

## 2. 본 론

### 2.1 고장표시기의 일반원리 및 규격

#### 2.1.1 고장표시기의 일반원리

한국형 배전자동화 시스템의 선로자동화 알고리즘을 구성하는 기본단위로서 고장표시기(Fault Indicator : F.I)는 F.I가 설치된 개폐기의 부하측에서 고장이 발생하였을 경우에 F.I에 고장전류가 통전되어 Set 되게 된다. 따라서, F.I가 Set된 개폐기와 Set이 되지 않은 개폐기사이의 구간에서 고장이 발생한 것으로 판정할 수 있다.

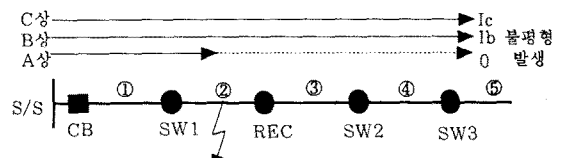


〈그림. 1〉 F.I의 동작원리 설명

〈그림. 1〉의 경우에 REC와 SW2의 사이에 고장이 발생하게 되면 고장전류가 통전한 CB와 SW1, REC는 F.I가 Set 되지만 고장의 부하측에 있는 SW2, SW3는 F.I가 동작하지 않게 된다. 따라서 고장이 구간3에서 발생했다는 것을 알 수 있다. 다음은 KODAS(Korea

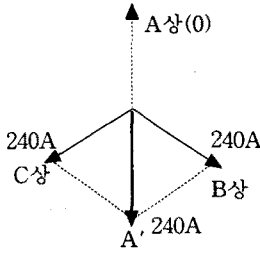
#### 2.2.1 1선지락 고장시 건전상 부하전류에 의한 접지(N상)상 F.I 오동작

아래 그림과 같이 선로에서 ②번 구간의 A상에 1선지락이 발생한 경우에, SW1 개폐기의 A상에는 고장전류가 흐르고 B, C상에는 정상전류가 흐른다. 한편 SW2 개폐기의 A상에는 전류가 거의 흐르지 않고 B, C상에만 정상전류가 흐르게 된다.



〈그림. 2〉 1선 지락고장의 전류흐름

이러한 전류흐름은 평형을 이루어야 하는 배전계통에 불균형을 발생시키게 되어 아래 〈그림. 3〉과 같은 크기의 불평형의 전류(A')가 REC, SW2, SW3 개폐기의 중성선에 흐르게 된다.



〈그림. 3〉 1선 지락고장에 의한 불균형전류 벡터도

이러한 불평형 전류는 SW2 개폐기의 F.I에 영향을 미치므로 접지(Ground) F.I의 Tap이 부하전류값(240A) 이하인 120A 또는 150A로 설정되어 있다면, G/A 2번 개폐기의 고장전류를 경험하지 않았는데도 불구하고 F.I가 오동작하게 된다.

따라서 B상, C상에 흐르는 부하전류의 합벡터가 중성선(N상)에 흐르게 되므로 F.I의 Tap을 부하전류에 비해 상당히 크게 설정해 두지 않으면 F.I는 오동작을 하게 된다.

### 2.2.2 변압기 등의 여자돌입전류에 의한 오동작

선로고장이 발생했을 때 CB나 R/C의 재폐로 투입시에 발생하는 돌입전류도 F.I의 오동작을 일으키는 중요한 요인으로 고려된다.

#### ○돌입전류의 크기

돌입전류의 크기는 변압기의 크기, 3상변압기 구성, 결선, 용량, 재질, 선로임피던스의 각 요소에 따라 큰 차이가 있다. 또한 주상변압기의 경우에는 정격전류 대비 돌입전류의 크기가 35배까지 달하기도 한다.

그러나, 이러한 결과는 주상변압기 1대의 실험적 결과이고 수백개의 주상변압기가 혼재된 실제의 선로계통에서의 돌입전류는 리클로저가 투입하는 경우에 상시 부하전류의 5~10배가 흐르고 부하측 기기를 투입하는 경우에는 5~15배가 흐른다고 한다.

#### ○돌입전류의 지속시간

고객의 고압변압기와 주상변압기가 복잡하게 뒤섞여 있는 배전계통에 있어서, 돌입전류의 지속시간은 선로상황에 따라서 각기 다르게 나타날 수 있으며 관련 연구결과를 참조하자면 4~10 cycle 후 정상전류에 근접하는 현상을 볼 수 있다. 그러나 이 결과는 고장전류로 인식될 수 있는 큰 전류가 최대 10 cycle 까지 지속될 수 있다는 것을 의미하므로 배전자동화시스템 자동화개폐기 F.I의 돌입대비 지연시간이 최소 10 cycle 이상이어야 한다는 것을 의미한다.

#### ○돌입전류에서의 고조파 현상

배전계통에서 차단기나 개폐기의 투입시 발생하는 돌입전류의 크기는 일반적으로 정상전류에 비해 커서 차단기나 개폐기의 고장전류 설정치를 초과하는 경우가 발생한다. 이러한 돌입전류는 2가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째는 차단기 또는 Recloser의 재폐로 동작시 발생하는 돌입전류이고 둘째는 영구고장이나 현장작업에 의해 장시간 정전 후 차단기나 개폐기 투입시 발생하는 돌입전류(Cold Load Pick-Up이란 용어로 사용)이다.

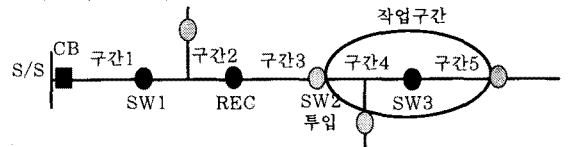
차단기 혹은 Recloser의 재폐로 동작시 발생하는 돌입전류는 장시간의 정전 후에 발생하는 돌입전류(Cold Load Pick-Up)의 크기에 비해 상대적으로 작으며 그 발생 원인이 변압기의 여자전류와 Inrush Current에 의한 것이다. 변압기에 의한 돌입전류는 제3고조파(180Hz)와 제5고조파 성분등의 고조파성분으로 분해할 수 있으며, 고조파성분이 정상전류 주파수와 합성되어

정상분(60Hz)에 비해 크기가 커진 왜곡된 파형으로 나타난다.

위에서 설명한 바와 같이 돌입전류는 그 크기와 지속시간 뿐만 아니라 돌입전류에 포함된 고조파성분에 의해서도 특징지워질 수 있다. 그러므로 이와 같은 돌입전류는 F.I 오동작의 중요 원인으로 간주되어 진다.

### 2.2.3 F.I 부하측개폐기의 투·개방시 Inrush에 의한 F.I 오동작

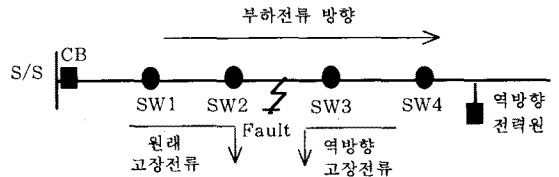
아래 그림에서와 같이 구간4, 5에서의 정전작업을 마치고 장시간 개방되어 있던 SW2를 투입하였다고 할 때, 2.2.2에 설명된 바와 같은 장시간의 정전 후에 발생하는 돌입전류(Cold Load Pick-Up)가 CB, SW1, REC, SW2에 흐르게 된다. 현재 강동지점에 설치된 개폐기들의 경우, 무전압을 경험한 후의 과전류를 돌입전류로 인식하여 F.I가 돌입대비를 하도록 되어 있으나, 정상 부하전류가 흐르던 상태에서 개폐기 투입으로 흐르게 되는 돌입전류에는 전혀 대응하지 못하고 F.I가 설정될 수밖에 없다. 이것은 대용량 모터고객의 기동시에도 마찬가지로 적용될 수 있다.



〈그림. 4〉 정전작업 후의 개폐기 투입에 의한 돌입전류

### 2.2.4 고장점 부하측의 전동기 및 지중케이블에 의한 역방향 고장전류에 의한 F.I 오동작

〈그림. 5〉과 같이 Fault가 발생한 경우에 고장점의 부하측에 위치한 SW3과 SW4는 F.I가 설정되지 않아야 한다. 그러나 실제에 있어서는 고장점의 부하측에 위치한 개폐기의 F.I가 설정되는 경우가 발생할 수 있다. 이것은 고장점의 부하측에 위치한 어떤 역방향 전력원에 의해 역방향으로 흐르는 전류가 자동화개폐기의 F.I를 설정할 정도의 큰 값을 가지는 경우에 발생한다.



〈그림. 5〉 역방향 고장전류의 발생

예를 들어, 고장의 부하 측에 위치한 대용량 고객의 멈추지 않은 전동기는, 전기가 공급될 때는 부하(負荷)로서 작용을 하지만 선로에 전기가 공급되지 않을 때는 발전기로서 작용하게 된다.

이와 같은 역방향 전력원은 다음과 같이 5가지 정도로 대별될 수 있다.

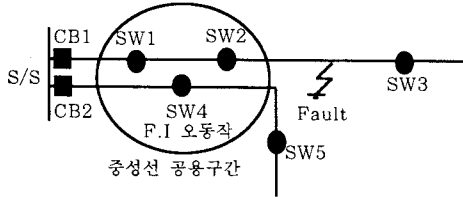
- 변압기 2차 측 전동기 또는 분산형 전원
- 중성점 접지방식의 3상 케이블 선로
- 장거리 지중케이블 선로
- 고장점 부하측의 캐패시턴스뱅크
- Δ결선으로 된 3상회로

### 2.2.5 1선지락 고장시 중성선 공용선로의 중성선에 흐르는 지락전류에 의한 F.I 오동작

1년 이상의 강동지점 배전자동화 시스템 운용경험에 의해 발견한 또 하나의 F.I 오동작 원인은, 도심지에 설치된 2단선로(상하단선로)의 경우에 있어 2단선로중 1개선로에 고장이 발생하면, 고장이 발생하지 않은 나머지 선로에도 일부 개폐기의 F.I가 오동작한다는 사실이

다. 나아가서는 도로를 사이에 두고 마주하고 있는 다른 배전선로에도 영향을 미쳐, 도로 한쪽의 선로에 고장이 발생한 경우에 도로 반대편의 개폐기에 설치된 F.I가 동작하는 사례도 있었다.

예로 들어 설명하면 아래의 그림과 같이 하나의 변전소에서 두 개의 회선이 인출되어 일정한 구간을 2단선로로서 중성선 공용으로 진행한다고 가정하면, 그림의 Fault와 같이 CB1의 선로에서 발생한 고장에는 SW1과 SW2의 F.I만 동작하는 것이 마땅하나, 실제로는 SW4의 F.I가 오동작하는 사례가 있었다.



〈그림. 6〉 상단선로 고장시 하단선로 F.I 오동작 발생

상기의 F.I 오동작이 어떤 원리에 의해 발생하는지는 아직 분명히 밝혀지지 않았지만, 이러한 오동작에 대한 대책을 수립하는 것도 반드시 필요하다고 생각된다.

### 2.3 개선대책

2.2절에서 제기한 F.I 오동작을 일으킬 수 있는 5가지 원인들에 대하여, 기존의 F.I 규격에 덧붙여 크게 3가지의 대책을 제시하였다.

#### 2.3.1 1선지락 고장시 부하전류 불평형에 의한 F.I 오동작 방지대책

현재의 3상 고장전류와 접지전류(N상)에 대한 4개의 F.I 설정에서 N상에 대한 F.I를 제외함으로써 3상(Phase)의 과전류만을 측정하도록 하는 것이다.

접지고장전류를 일으키는 요소는 지락고장과 선로 불평형 전류가 있으며, 이 가운데 선로 불평형에 의한 CB 동작은 어차피 고장구간의 의미가 없는 선로 전체의 고장이므로 F.I의 동작에 영향을 주지 않는 요소이며, 또한 고장전류가 대단히 작은 고저항 지락고장을 제외한 1선지락 고장은 상(Phase)의 과전류 측정을 통한 F.I 설정으로 고장구간 판단을 충분히 할 수 있다고 생각되기 때문이다.

#### 2.3.2 각종 돌입전류에 의한 F.I 오동작 방지

앞에서 설명한 2.2.2, 2.2.3, 2.2.5의 3가지 경우는 모두 일종의 돌입전류에 의한 것이라고 볼 수 있다. 그러나 이러한 돌입전류에 대해 변전소의 CB는 동작하지 않고 자동화개폐기의 F.I만 오동작하고 있다.

본 연구에서는 돌입전류에 의한 F.I 오동작에 대한 착안사항으로서 아무리 큰 전류가 흐르더라도 변전소의 CB나 리클로저(Recloser)가 동작하지 않는다면, 이 큰 전류는 고장이 아니라는 점에 주목하였다. 그러므로 F.I 동작의 조건을 기존의 과전류 조건에 덧붙여서 CB나 R/C의 고장차단 후에 생기는 무전압 조건을 부가해야 한다는 결론에 도달하였다.

구체적인 과정을 설명하자면,

- 1) 먼저 정정치(Tap)를 초과하는 과전류가 흐르면 F.I는 일단 set 준비를 한다.  
(3초 : OCR의 최대동작시간 2초 기준).
- 2) 3초 이내에 3상 전압이 무전압 상태를 15Hz(변전소 재폐로시간 30Hz 기준)동안 유지하면 F.I가 정식으로 set된다.

- 3) 과전류가 흘렀더라도 3초 이내에 3상 무전압이 생기지 않는다면 F.I set 준비단계는 다시 원상태로 복귀한다.

※ 1선지락 고장시는 고장상의 전위가 상당히 낮아지므로 1상만의 무전압은 조건에 부족함.

### 2.3.3 역방향 전력원에 의한 F.I 오동작 방지

2.2.4에 설명된 바와 같은 고장점 부하측 전동기 및 장거리 지중케이블 등에 의한 역방향 고장전류는 아무리 고장전류값을 설정하고 무전압 조건을 부가하더라도 해결될 수 있는 문제가 아니다. 왜냐하면 이것은 엄연히 선로고장시에 발생하는 또 하나의 고장전류이기 때문이다.

이 문제를 해결하는 방법은 오직 한가지로서 Fault Indicator에 방향성을 부가하는 방법이 있다. F.I가 방향성을 가짐으로써, 개폐기에서 중앙제어장치로 보내는 F.I 설정정보에 전원·부하측의 방향을 추가하여 전원측 방향으로의 F.I 정보는 배제하고 부하측 방향으로의 F.I 정보만으로 고장구간을 찾으려 하면 대용량 전동기 등에 의한 고장구간 판단 착오를 막을 수 있으리라 생각한다.

## 3. 결 론

이상과 같이 F.I의 오동작을 일으킬 수 있는 원인들을 분석하였다. 그 결과를 바탕으로 원인에 대한 오동작 방지대책을 수립하였고, 그 대책을 만족시키는 새로운 F.I 규격을 아래와 같이 제시하였다.

- 선로에 고장이 발생하였을 경우 각 상별 고장 상태를 표시할 수 있고 돌입전류에 의해 오동작하지 않는 Fault Indicator를 내장하여야 한다. 단, F.I가 고장을 경험하지 않고 무전압이 되었을 때는 재폐로 투입에 의한 돌입전류에 오동작하지 않도록 세 종류 이상의 돌입대비 TC커브를 구비하여야 한다.
- 정정치(Tap)를 초과하는 과전류가 35msec 이상 동안 흐르면 F.I는 일단 set 준비를 하여야 한다.
- set 준비 후 3초 이내에 3상 전압이 동시에 무전압(1,000V이하) 상태를 15Hz동안 유지하면 F.I가 정식으로 set되어야 한다.
- set 준비상태에서 3초 이내에 3상 동시 무전압이 생기지 않는다면 F.I set 준비단계는 다시 원상태로 해제되어야 한다.
- F.I는 방향성을 가져야 하며, F.I가 설정되었을 경우에는 중앙제어장치에 F.I 설정정보와 전원·부하측의 방향성을 함께 전송하여야 한다.
- Fault Indicator는 수동과 자동으로 구분하며 각각 독립적인 정보를 제공한다. 자동 Reset은 정상전류 회복 후 1초에 Reset 되고 수동 Reset은 시간에 관계없이 외부지령에 의해 Reset 되도록 한다.

### (참 고 문 헌)

- (1) 윤만철 박사학위 논문, "배전계통 돌입전류 검출 알고리즘에 관한 연구", 1987.
- (2) James J. Burke, "Power Distribution Engineering", Dekker, p.25-27, p.121-122, p.139-141, 1994
- (3) 전력연구원, "국산 배전자동화시스템 실계통 실증연구", p.233, 1997.
- (4) 전력연구원, "신 배전자동화시스템 개발연구 98. 1/4분기 보고서", p.117-155, 1998.