

## 배전자동화 시스템의 FI 오류에 대한 개선대책 적용방안

임일형, 최면송, 이승재,  
명지대학교

윤준석, 안태풍  
인텍전기전자

### An Application Method for Improving FI Error in Distribution Automation System

Il Hyung Lim, Myeon Song Choi, Seung Jae Lee, Jun Seok Yun, Tae Poong An  
Myongji University ENTEC E&E

**Abstract** - 본 논문은 배전자동화 시스템에서 계통의 설비 특성에 따라, 사고발생 시 FI 정보가 발생되지 말아야 할 곳에 생기는 FI 오류에 대한 개선 알고리즘과 적용방안을 제안하고 있다. 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 FI 오류가 발생하는 상황을 Matlab Simulink를 이용하여 모의하였고, 그 결과를 해석하여 알고리즘의 타당성을 입증하였다. 또한 다양한 사고를 고려하여 각기 다르게 나타나는 특성들을 종합할 수 있는 적용방안도 제안하였다.

#### 1. 서 론

배전자동화 시스템에서 계통 운영을 위한 가장 중요한 기능 중에 하나가 배전계통에서 사고발생 시 신속하게 고장구간을 분리하고 불필요 정전구간을 복구시키는 정전복구 기능이다[1].

특히 고장구간을 최소화시켜 신속하게 분리하는 작업은 과거에는 수작업으로 진행되어 많은 시간과 노력, 위험을 감수한 작업이었다. 하지만 배전자동화 시스템이 도입된 이후에는 원격으로 통신을 통해 FRTU(Feeder Remote Terminal Unit)로부터 FI(Fault Indicator)라는 정보를 받아 고장구간의 상하단을 구별하여 신속하게 고장구간 분리가 가능해졌다[2-3].

하지만 FI라는 유용한 정보가 고장이 발생하지 않은 D/L, 고장이 발생한 D/L의 고장구간의 하단에 임의의 위치, 또는 고장구간 하단의 모든 FRTU로부터 FI 발생하는 등의 문제가 생기고 있다.[4]

여러 가지 원인이 있지만 직접적으로 가장 빈번하게 나타나는 경우는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 고장구간의 고장전류가 인근 선로의 중성선을 타고 흘러가 N상에 FI가 발생하는 경우, 다른 하나는 Recloser의 보호동작으로 인하여 생기는 보호기 하단의 정전 시 용량이 큰 모터부하의 발전기 작용으로 인하여 생기는 FI로 볼 수 있다.

이러한 FI 오류를 개선하기 위한 노력으로 경험적 탐색방법을 이용하여 개선하는 방법이 있었다[5]. 하지만 이러한 방법은 현재 장비에 적용하기에는 장비의 성능등을 고려해볼 때 어려우며, 사전에 데이터를 만들어 학습을 시켜야 한다는 어려움도 존재한다. 또한 이러한 알고리즘의 설계용 적용을 위한 검증에는 많은 노력과 시간도 필요할 것이다.

따라서 본 논문에서는 FI 오류를 개선하는 방법으로 계통에서 취득되는 데이터를 이용한 계통해석적 접근 방법을 제안한다. 앞서 언급한 두 가지 상황에 대한 계통 해석 결과와 다르게 나타나기 때문에 이 두 가지를 모두 고려하여 적용할 수 있는 방법도 제안한다.

#### 2. 배전자동화 시스템의 고장구간 검출

##### 2.1 배전자동화 시스템의 고장구간 판별

배전자동화 시스템은 <그림 1>과 같은 통신 구조를 가지고 있다. 이러한 구조를 통해서 계통의 상황을 FRTU로부터 주기적으로 받아 계통의 상황을 판단하고 운영한다.

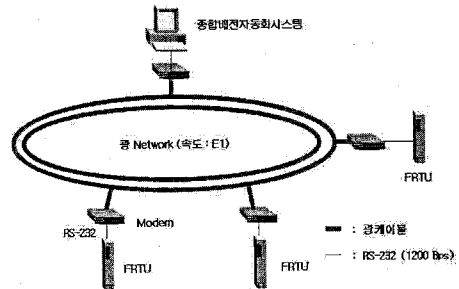


그림 1 배전자동화 시스템의 통신구조

배전계통의 구조는 radial 방식이기 때문에 변전소측 전원단으로부터 부하단으로 전류가 흐른다. 따라서 계통의 한 구간에서 사고로 인하여 고장전류가 흐른다면, 전원단으로부터 부하단으로 흐르게 된다.

또한 사고로부터 계통을 보호하기 위해 배전자동화 시스템에서는 Recloser를 설치하여 운영하고 있다. 재폐로 동작을 통해 순간적인 과전류인지 아니면 사고로 인한 영구적인 과전류인지를 판별하여 trip을 시킨다.

배전자동화 시스템은 DNP 3.0을 이용하여 통신하고 있는데, 특징은 server/client 구조로 polling을 통하여 주기적으로 데이터를 취득하고 있다. 따라서 사고발생 시 순간적으로 고장전류가 생기고 수 cycle 이내에 Recloser로부터 trip을 통해 계통이 보호된다. 하지만 request/response에 의한 데이터 취득 시스템이기 때문에 순간적인 전류에 대한 정보는 곧바로 취득할 수 없다.

따라서 DNP 3.0에는 event 발생에 따른 unsolicited message의 기능이 있다. 이는 request 없이도 event가 발생하면 그 정보를 바로 전송해주는 기능이다. 배전자동화 시스템에는 바로 이 기능을 통해 FRTU가 배전자동화 서버로 FI정보를 전송해준다.

배전자동화 시스템을 운영하는 운영자는 바로 이 FI 정보를 통해서 고장전류를 경험한 FRTU들의 위치를 파악하여 고장구간의 상단과 하단을 구별하고 있다.

##### 2.2 Fault Indicator

FI 정보는 고장전류의 크기와 지속시간을 통해 발생시키고 있다. 또한 순간적인 요소에 의한 과전류인지, 사고로 인한 과전류인지를 구별하기 위해서 순시 FI와 영구 FI로 구별하여 운영되고 있다. Recloser가 재폐로 동작을 통해 완전하게 trip을 하기 전에는 순시 FI를 발생시키고, 사고로 판명되어 trip을 시키면 영구FI를

방생시킨다.

하지만 이 판단 기준으로 인하여 FI에 대한 오류가 발생하고 있다. 지락사고와 같은 경우는 사고전류가 매우 크기 때문에 인근 선로에도 영향을 미치는 경우가 가끔 존재한다. 이 경우 접지되어있는 중성선을 타고 역으로 고장전류가 유입되는 현상이 발생한다.

또한 부하단에 용량이 큰 모터부하가 존재하는 선로의 경우에 사고발생 시 보호기기가 계통을 분리하는데, 이때 전력을 공급받지 못하는 모터부하가 발전기 작용을 일으켜 사고구간 하단에 역으로 과전류가 생성되기도 한다.

이 두 가지 모든 경우에 있어서 FI 발생조건인 전류의 크기와 지속시간이 조건에 만족시키기 때문에 FI가 발생된다. 이러한 경우에는 오퍼레이터가 고장구간을 판별하기가 매우 어려운 상황이 된다.

따라서 본 논문에서는 현재의 기준인 전류의 크기와 지속시간을 고려하면서, 위상을 통해 전류의 방향성을 이용하여 사고구간의 상하단을 구별하는 알고리즘을 제안하고 있다. 이를 통해 오퍼레이터가 정확한 FI 정보를 취득함으로써 보다 신속하고 정확한 고장구간 분리가 가능해질 것이다.

### 3. FI 오류에 대한 개선방안과 적용방안

#### 3.1 중성선을 타고 흐르는 과전류에 대한 FI 오류 개선 알고리즘

고장점에서 전원으로 흐르는 영상전류의 크기는 전원단 영상 임피던스와 선로 영상 임피던스의 합에 반비례한다. 그리고 이 영상전압과 이 전류의 위상차는 이 영상 임피던스 합에 저항과 리액턴스 비율에 의하여 결정된다. 이 임피던스는 저항이 리액턴스에 비하여 매우 작기 때문에 임피던스 평면의 1사분면의 허수축 부근에 위치할 것이다.

따라서 <그림 2>와 같이 고장점 상단의 임의의 측정점 영상전압 VA0s는 고장점의 영상전압 Vf0에 고장점과 측정점 사이의 선로의 전압강하를 제외한 값이 된다. 이때의 고장점과 측정점사이의 선로 영상 임피던스는  $ZA0s=RA0s+jXA0s$ 가 된다.

따라서 측정점의 영상전압을 VA0s를 기준으로 하여 고장점에서 전원으로 흐르는 고장전류의 영상분의 위상은 4사분면에 허수축 부근에 존재하게 된다. 반대로 단말장치에서 전원단에서 부하단의 방향을 기준으로 한다면 고장상단에서 계산된 영상전류의 위상은 기준방향과 반대이므로 <그림 3>과 같이 2사분면의 90도 부근에 위치하게 된다.

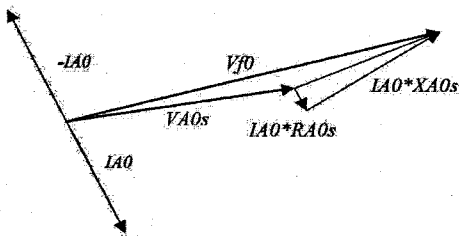
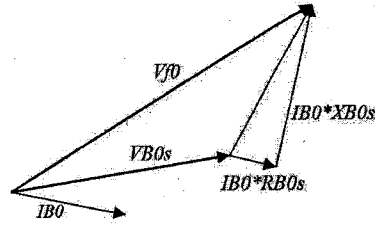
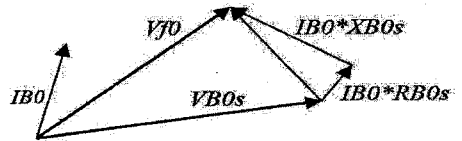


그림 2 고장점 상단의 영상전류 및 영상전압 벡터도

이 때 기준이 되는 영상전압과 고장점 상하단의 영상전류의 위상차는 확연하게 차이가 나게 된다. 이를 통해서 구별되는 고장점 하단에 FI 역제를 시키면 지락사고 시 발생하는 중성선의 FI 오류는 개선될 수 있다.



(a) 정상부하 시



(b) 지상부하 시

그림 3 사고구간 하단의 영상전류와 영상전압의 벡터도

#### 3.2 모터부하의 발전기 작용에 따른 FI 오류 개선 알고리즘

<그림 4>는 각 정상회로의 전압과 전류의 벡터도이다. 고장점 상단에서 측정하는 정상전압 VA1는 전원단의 정상전압 VS1과 고장점의 정상전압 Vf1의 사이에 있기 때문에 두 전압을 연결하는 선상에 존재한다. 고장점 상단에서 측정하는 정상전압은 전원단의 정상전압과 고장점의 정상전압 사이에 존재하며 벡터도에서 이 전압의 위상각이 존재하는 영역은 <그림 4>의 음영 부분이다.

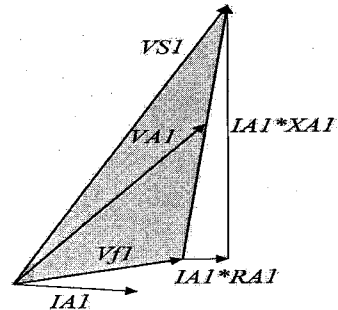


그림 4 정상회로의 각 변수 벡터도

이때 선로의 정상 임피던스는 리액턴스 부분이 크기 때문에 고장점 상단에서 측정하는 정상전류 IA1의 위상각은 정상전압 VA1의 위상각을 기준으로 4 사분면에 허수축 부근에 존재한다. 따라서 고장점 상단의 단말장치에서 전원단에서 부하단 방향을 기준으로 측정하는 전류와 전압으로부터 계산된 정상전류와 정상전압과의 위상차는 -90도 부근일 것이다.

그러나 고장점 하단의 단말장치에서 전원단으로부터 부하단 방향을 기준으로 측정하는 전류와 전압은 계산된 정상전류는 측정 방향이 반대가 되므로 정상전압과 위상차는 90도 부근일 것이다. 실제로는 부하단에 부하가 병렬로 존재하므로 부하의 역률에 따라 이 위상차가 90도 근처에서 조금 변동할 것이다.

이러한 경우에는 사고에 대한 보호기기의 작동 후에 발생하는 경우로, 모터부하가 발전기 작용을 함에 따라 정상상태처럼 작용을 하기 때문에 영상분에 대한 해석은 불가능하다. 따라서 영상분에 대한 해석으로 정상전압과 정상전류의 위상차를 비교하여 사고구간의 상하단을 구

별해야 한다. 따라서 사고구간 하단의 조건에서는 FI을 억제시켜 FI 오류를 개선할 수 있다.

### 3.3 각 오류개선 알고리즘들의 통합 적용방안

3.1과 3.2절에서 설명한바와 같이 지락고장 시 증선선을 통해 발생하는 FI 오류는 영상전압과 영상전류의 비교를 통해 개선할 수 있고, 전동기의 발전기 작용에 의한 FI 오류는 정상분 전압과 정상분 전류를 통해서 개선할 수 있다.

하지만 이 두 가지 경우가 모든 경우에 해당되지는 않는다. 단락사고가 날지, 지락사고가 날지, 또 이 때 선로에 대응량의 모터부하가 달려있을지를 모르기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 이 두 가지 상황을 한꺼번에 처리할 수 있는 통합 적용방안을 제안한다.

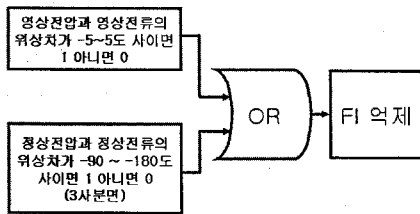


그림 5 FI 오류개선을 위한 FI 억제 방법

우선은 지락고장에 대한 경우에는 영상전압과 영상전류를 비교하고, 모터부하의 발전기 작용에 의한 경우에는 정상전압과 정상전류를 비교해야 한다. 정상상태의 경우에는 영상분이 생성되지 않기 때문에 우선은 영상분에 대한 조건을 확인해야한다. 그 다음에 일어나는 사고구간이 분리된 후에 모터부하의 발전기작용에 의한 FI 오류가 발생하기 때문에 <그림 5>와 같은 순서로 FI 억제를 시켜야 한다. 이 둘을 OR gate로 묶어 FI를 억제하는 방법이다.

### 4. 사례연구

사례연구의 증점사항은 FI 오류 현상을 Matlab Simulink를 통해 모의하여 본 논문에서 제안한 것과 같이 위상차가 생기지를 확인해야 한다. 따라서 각 상황에 따른 영상분과 정상분에 대한 비교를 하였다. 이를 위한 예제계통은 <그림 6>과 같으며, 모터의 발전기 작용에 따른 FI 오류 계통을 모의할 때에는 부하단에 전원단을 달아 모의하였다.

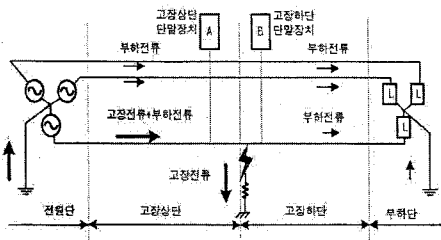


그림 6 배전계통 사고 시 등가회로

#### 4.1 증선선을 타고 흐르는 과전류에 대한 FI 오류 개선 알고리즘 검증

예제계통을 대상으로 matlab simulink를 이용하여 사고를 모의한 결과는 <표 2>와 같다. 이 때의 영상전압과 영상전류의 위상각은 앞서 설명한 벡터도와 같이 나타났다. 이를 비교한 결과가 표의 음영처리된 부분과 같이 확연한 차이를 들어냈다.

표 2 지락사고 시 고장점 상하단의 영상전류 비교

고장종류	고장점 상단		고장점 하단		위상각
	영상전압위상각	영상전류위상각	영상전압위상각	영상전류위상각	
a상지락	-170	-66	-170.1	-170	0.1
b상지락	70	174	70	70	0
ab상지락	128	-128	127	127	0

#### 4.2 모터부하의 발전기 작용에 따른 FI 오류 개선 알고리즘

<그림 6>과 같은 계통의 부하단에 전원단을 달아 모터의 발전기 작용과 같은 현상을 보이도록 계통을 모의하여 결과를 <표 3>에서와 같이 얻었다.

앞서 3.2절에서 설명한 벡터도와 같은 형태의 위상각을 나타냈고, 음영에서와 같이 사고구간 상하단의 차이가 확연히 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

표 3 지락/단락 사고 시 고장점 상하단의 정상분 비교

고장종류	고장점 상단		고장점 하단		위상각
	정상전압위상각	정상전류위상각	정상전압위상각	정상전류위상각	
a상지락	-0.03	0.84	7.8	140	-132.2
b상지락	-0.03	0.84	7.8	140	-132.2
ab상지락	-0.03	0.85	2.1	153	-130.3
ab상단락	-0.03	0.85	3	156	-134
abc상단락	-0.03	0.88	-5.32	156	-161.32

### 5. 결론

본 논문에서는 배전자동화 시스템에서 발생하는 FI 오류에 대한 개선 방법을 설명하였다. 하지만 이론적 해석에서만 그치는 것이 아니라 실제로 이 알고리즘을 FRTU에 적용할 때 어떤 정보를 어떤 순서대로 판단하여 FI를 억제해야 하는지도 방안을 제시하였다. 제안한 방법은 Matlab Simulink를 통해 계통을 모의하여 결과를 확인함으로써 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

제안한 알고리즘은 배전자동화 시스템을 운영함에 있어서 신속한 고장구간 판단 및 분리로 인한 정전복구 시간의 단축으로 이어질 것으로 기대하고 있다. 또한 정확한 FI 정보를 통해서 배전계통의 단말의 독립적인 사고에 대한 판단 및 복구도 가능해질 것으로 기대한다.

#### 감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 문제해결인력양성사업(과제번호:2007-511-D00091)의 지원을 받아 수행되었음

#### [참 고 문 헌]

- [1] 임일형, 홍석원, 최면승, 이승재, 하복남, "배전지능화 시스템의 서비스 향상을 위한 P2P 기반의 분산형 통신망 구조", 대한전기학회 논문집, 56권 3호 pp.443-450
- [2] Kwang-Ho Jung, Myeon-Song Choi, et, al, "A Service Restoration Algorithm for Power Distribution Networks Applying the Multi-Agent System", Vol. 5-2, pp. 125-131, 2005
- [3] Yun-Seok Ko, Dae-Seung Hong, et, al, "멀티에이전트 개념에 기반한 배전계통의 분산 자율적 고장구간 분리 기법", Vol. 55, pp. 227-235, 2006
- [4] 한국전력공사, "배전자동화용 다회로개폐기 제어함 FI 하자수리 요청", 1998
- [5] V, Sysheela Devi, D. P. Sen Gupta and G. Anandalingam, "Optimal Restoration of Power Suply in Large Distribution System in Developing Countries", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No.1, pp. 430-438, January 1995