

# FACTS 보상 송전선의 동적 해석을 통한 송전선 보호 방안 개선

論 文

54A-12-3

## Improvement of Line Protection Methods by Dynamic Analysis on a FACTS-compensated transmission line

林正煜<sup>†</sup> · Thodur Runolfsson<sup>\*</sup>  
(Jung-Uk Lim · Thodur Runolfsson)

**Abstract** - Dynamic analysis of a transmission line which is compensated by a FACTS device such as STATCOM, SSSC and UPFC is carried out in this paper and the impacts on conventional line protection methods such as the DCPM (Differential Current Protection Method) and the DPM (Distance Protection Method) are reviewed. A refined DCRM is proposed to detect faults properly regardless of the FACTS operation. The proposed method is applied to a FACTS-compensated line with a variety of faults and is verified by simulation results. An adaptive DPM on a FACTS-compensated line was proposed previously in the literature. In order to emphasize the necessity of the modified DPM, the conventional DPM is applied to a FACTS-compensated system. Significant factors such as fault types, fault locations, and fault resistances as well as FACTS device types are considered for relaying setting.

**Key Words** : FACTS(Flexible AC Transmission System), Transmission Line Protection, DCPM(Differential Current Protection Method), DPM(Distance Protection Method)

### 1. 서 론

최근 전라남도 강진 계통에 UPFC(Unified Power Flow Controller)가 설치됨으로써 FACTS 운용 및 보호에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. FACTS의 운용으로 전압, 전류, 임피던스, 역률 등 모든 종류의 계통 파라미터를 변화시킬 수 있어 계통 운용을 보다 유연하게 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 FACTS 보상 송전선에 고장이 발생할 경우, 송전계통에 이미 설치된 계전기가 FACTS 기기의 종류, 설치위치, 운전모드, 투입용량 등의 영향을 받아 오·부동작을 일으킬 수 있다는 점이 지적되고 있다[1]. 송전선로는 장거리에 걸쳐 설치되어 사고의 위험에 항상 노출되어 있기 때문에 FACTS기기에 의해 보상되는 상황에서도 보호계전기는 여전히 고장을 신속하게 판별하고 고장구간을 계통으로부터 신속히 분리시켜야 한다. 즉, 송전선 보호방식이 신속한 계통 변화에 적용하도록 FACTS 보상 송전선의 동적 특성을 반영하여 개선되어야 한다.

현재 송전선 보호방식으로 전류차동방식과 거리계전방식이 널리 적용되고 있다. 거리계전기의 경우, 많은 문헌에서 FACTS 기기 별로 FACTS 기기의 내부 변수 및 설치 위치를 포함한 고장 임피던스 식이 제시되었다[1-4]. FACTS

기기는 실제로 운용상 편의를 위해 선로 양 끝단 변전소에 설치될 수 있다. 이런 경우에는 FACTS 기기가 설치된 지점에서 선로의 반대편 지점까지를 차동보호 구간으로 설정하고 기존의 전류차동방식을 그대로 적용하면 된다. 하지만 장거리 송전선로의 경우, 이론상 FACTS 기기가 선로 중간에서 보상하면 송전용량을 최대로 증가시킬 수 있기 때문에, 이를 위하여 FACTS 기기를 선로 중간에 설치할 수도 있다. 이런 경우에는 FACTS 기기 설치 지점을 중심으로 계통 파라미터 및 동특성이 변하기 때문에 기존의 전류차동방식을 적용한 계전기가 오동작을 일으킬 소지가 있다. 즉, FACTS 기기가 선로의 중간에 설치된 경우가 바로 기존의 차동보호방식을 적용하기 가장 어려운 경우라고 볼 수 있다. 본 논문에서는 이를 반영하여 FACTS 기기가 선로 중간에 설치되었다고 가정한다.

본 논문에서는 여러 FACTS 기기 중에서 병렬보상기기인 STATCOM, 직렬보상기기인 SSSC, 직병렬보상기기인 UPFC를 대상으로 각 FACTS 기기에 의해 보상된 송전선에 대한 동적 해석을 실시하였다. 이를 통하여 기존의 전류차동방식과 거리계전방식을 FACTS 보상 선로에 적용할 경우의 문제점을 고찰하였다. 이를 바탕으로 FACTS 기기 보상 송전선에 고장이 발생할 경우에도 효과적으로 고장 여부를 판단할 수 있도록 전류차동방식과 거리계전방식을 개선하였다.

### 2. 본 론

FACTS 보상 송전계통에 대한 동적 해석을 위하여 FACTS 기기를 포함한 양단 등가전원 계통이 제시되었다. 제시된 계통의 기준 전압은 154kV, 송전단과 수전단의 위

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 明知大學 電氣工學科 研究教授 · 工博  
E-mail : julim@ou.edu

<sup>\*</sup> 非會員 : School of Electrical and Computer  
Engineering, The University of Oklahoma  
教授 · 工博

接受日字 : 2005年 9月 12日

最終完了 : 2005年 10月 11日

상차는 15도, 선로의 총 길이는 200km로 가정하였다. 또한, 송전 선로의 정상분 임피던스는  $0.017816+j0.31388\Omega/\text{km}$ , 영상분 임피던스는  $0.29522+j1.0399\Omega/\text{km}$ 으로 가정하였다. 서론에서 언급했듯이 FACTS기기는 양단 등가전원 사이의 선로 중간인 100km 지점에 설치되었다고 가정하였다[6].

2.1 동적 해석을 위한 FACTS 기기 수리모델

STATCOM은 모선 전압에 동기된 병렬전압원의 형태로 수전단의 무효전력 보상이나 장거리 선로 중간지점에 설치되어 전압을 제어함으로써 전력 조류를 원활하게 흐르게 할 수 있다. 그림 1에서 동적 해석을 위한 STATCOM의 수리모델을 제시하였는데, STATCOM은 설치 모선의 전압 ( $V_{mid}$ )을 일정한 값으로 유지시키기 위하여  $V_{mid}$ 와  $\pm 90$ 도 위상차를 갖는 전류원으로 모의되었다[7].

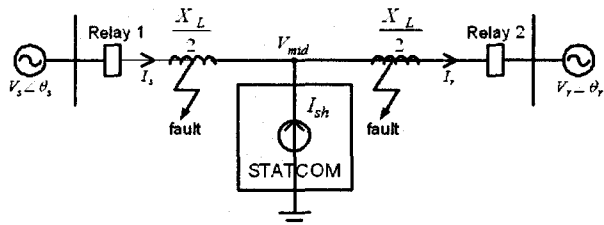


그림 1 STATCOM 수리모델  
Fig. 1 Mathematical Model of STATCOM

SSSC는 송전선로 전류를 기준으로  $\pm 90$ 도 위상의 전압을 계통에 직렬로 주입한다. SSSC는 계통의 유·무효전력을 페루프로 제어하지 않고, 단지 주입전압의 크기만을 제어하므로 유·무효전력이 상호 간섭되며 변화된다[7]. 그림 2에서는 직렬 커패시터와 직렬 리액터처럼 동작이 가능한 SSSC의 동적 해석을 위한 수리모델이 제시되었다.

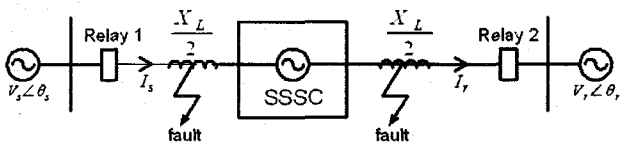


그림 2 SSSC 수리모델  
Fig. 2 Mathematical Model of SSSC

그림 3에서는 UPFC의 수리모델이 제시되었다. UPFC의 직렬전압원은 두 모선간의 전압 위상각과 크기를 동시에 변화시켜 선로 조류를 변화시키며, 병렬전류원은 해당 모선의 전압을 제어하고 직렬전압원에 의해 소요되는 유효전력을 공급하는 기능을 수행한다[7]. UPFC의 직렬전압원의 크기는 계통 전압의 0.3p.u.인 46.2kV으로 가정하였다. 직렬전압원의 위상은 0도에서 360도까지 가변시킬 수 있다. 직렬전압원의 크기와 위상 값은 UPFC가 제어하는 유효전력과 무효전력의 양을 결정한다. 실제로 UPFC 운전 지시는 보통 직렬전압원의 크기와 위상 값이 아닌 UPFC 설치 모선의 전압과 UPFC를 통해 흐르는 유효전력과 무효전력 값으로 주어진다.

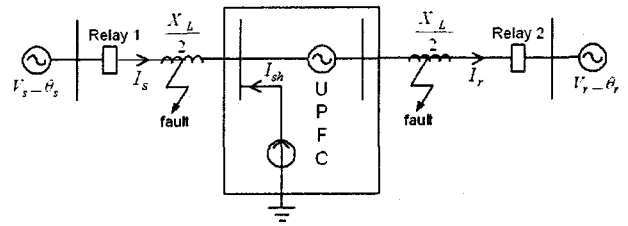


그림 3 UPFC 수리모델  
Fig. 3 Mathematical Model of UPFC

2.2 FACTS 보상 송전선로에서의 전류차동방식 적용

전류차동방식은 선로 양단의 전류 값을 비교하여 내부고장과 외부고장을 판단하는 방식으로 자기구간의 고장에 대해서는 거의 완벽한 보호가 가능하다. FACTS 기기가 선로 중간에 설치되었을 때 전류차동방식을 적용한 예를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 알 수 있듯이 P지점에서는 자기단의 전류와 Q지점에서 전송된 전류의 합이 일정한 정정치를 벗어나면 고장으로 판단하여 차단기를 트립시킨다. Q지점에서도 마찬가지로 자기단의 전류와 상대단의 전류의 합이 일정한 정정치 이상이면 차단기를 트립시켜 고장구간을 계통으로부터 분리한다[8].

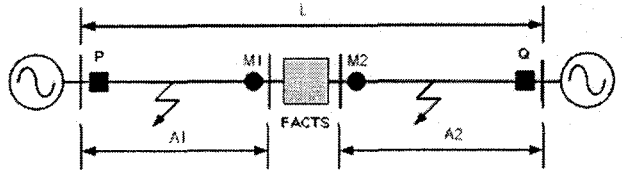


그림 4 전류차동방식  
Fig. 4 The Differential Current Relaying Method

그림 5에서는 평시와 고장 시에 대해 부하전류와 전류차동계전기의 특성곡선을 나타내었다. 평시에도 FACTS 기기의 선로 보상으로 송전점 및 수전점 양단의 전류 벡터가 바뀔 수 있다. 만약 기존의 방식대로 선로 전체 구간인 L을 전류차동계전기의 고장 판단 범위로 설정할 경우, FACTS 기기의 보상으로 양단 전류의 위상각이 틀어져 고장이 아님에도 전류차동계전기는 고장으로 판정하게 된다. 즉, 그림 5에 아래 부분에 있는 화살표와 같이 동작 궤적이 동작 영역 안으로 들어가 오동작 할 수도 있다.

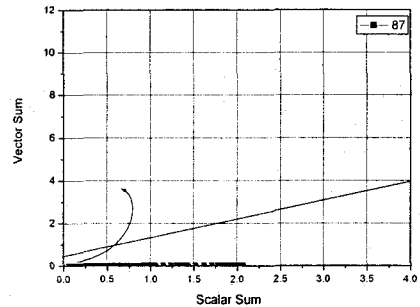


그림 5 전류차동기의 특성곡선  
Fig. 5 Characteristics of A Differential Current Relay

그림 1에서 제시된 STATCOM의 수리모델에서 알 수 있듯이 수전단 전류(Ir)는 송전단 전류(Is)와 병렬전류원에서 주입되는 전류(Ish)의 벡터 합이 된다. 따라서 STATCOM의 주입전류(Ish)의 크기와 위상에 따라 송전단 전류(Is) 및 수전단 전류(Ir)사이에는 크기 및 위상차가 발생하기 때문에 전류차동계전기가 정상시에도 고장으로 오동작할 수 있다. SSSC의 경우에는 그림 2를 통해 알 수 있듯이 정상시에는 SSSC가 직렬 커패시터나 리액터처럼 동작하므로, 이론상으로 보상과 무관하게 항상 송전단 전류(Is)와 수전단 전류(Ir)가 같다. 따라서 SSSC가 보상되는 선로는 기존의 차동전류방식을 그대로 적용해도 된다. UPFC의 경우에는 그림 3을 통해 알 수 있듯이 설치 모선의 전압을 일정하게 유지하고 직렬전압원에서 필요한 유효전력을 공급하기 위하여 필요한 전류가 병렬전류원에서 모선으로 주입되기 때문에 수전단 전류(Ir)는 송전단 전류(Is)와 병렬전류원에서 주입되는 전류(Ish)의 벡터 합이 된다. 단, UPFC가 병렬 보상을 했을 경우에는 STATCOM과 마찬가지로 전류차동계전기가 정상시에도 고장으로 판정할 오동작할 수 있다.

이러한 오동작을 막기 위하여 그림 4에서와 같이 FACTS 기기 설치 지점을 중심으로 좌측과 우측 지점인 M1과 M2 지점에서 전류의 크기와 위상 값을 취득하여 선로 양단의 계전기에게 전류 정보를 전송한다. 이를 위해서 M1과 M2 지점에는 전류 Phase 측정 장치와 데이터 전송을 위한 통신 장치가 설치되어야 한다. 선로의 좌측 A1 구간에서는 P 지점에서의 차단 전류와 M1 지점에서 측정된 전류 값을 통하여 A1 구간만을 전담하여 고장여부를 판단하는 기능을 추가로 수행한다. 또한 선로의 우측 A2 구간에서도 마찬가지로 M2 지점에서 취득된 전류와 Q 지점에서의 차단 전류 값을 통하여 A2 구간만의 고장 여부를 판단하는 기능을 추가로 수행한다. 이러한 M1, M2 지점에서의 추가적인 전류 측정과 FACTS 기기 전후의 구간인 A1, A2 구간을 나누어 각각에 대해 고장 여부를 판단하는 기능을 추가하면, FACTS 기기의 동작에 의한 선로 보상에도 영향을 받지 않고 고장 유무와 고장 구간을 정확히 판별해 낼 수 있다. 물론 고장이 확인되면 선로 트립은 당연히 선로 전체 구간 L에 대해서 이루어져야 한다.

전체 구간 L에 대하여 고장으로 판단하였다 하더라도 구간 A1과 구간 A2에 대해 각각 고장으로 판단하지 않은 경우에는 FACTS 기기 운전에 의한 전류의 변화이지 고장이 아니다. 구간 L, A1, A2에서의 고장 판단 여부에 따라서 실제 고장인지, 고장이 발생했다면 어느 위치인지를 알 수 있는 개선된 전류차동 알고리즘을 표 1에 나타내었다. 그림 6과 그림 7에서는 개선된 알고리즘에 따라서 각각 고장 발생 여부에 대한 진리도표(Logic Diagram)가 제시되었다.

표 1 개선된 전류차동 알고리즘

Table 1 Algorithm of the Refined DCRM

Case	A1 구간	A2 구간	L 구간	고장 여부 및 위치 판정
1	고장 판정	고장 아님 판정	고장 판정	A1 구간 내 고장 판정
2	고장 아님 판정	고장 판정	고장 판정	A2 구간 내 고장 판정
3	고장 아님 판정	고장 아님 판정	고장 판정	선로 고장 아님, UPFC 동작
4	고장 아님 판정	고장 아님 판정	고장 아님 판정	선로 고장 아님, UPFC 비동작

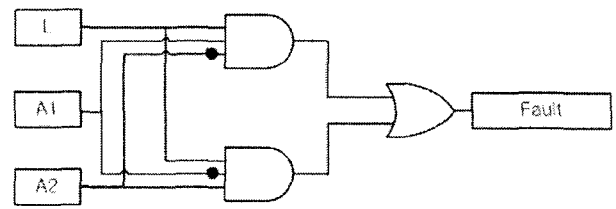


그림 6 실제 고장이 발생한 경우

Fig. 6 Cases with Faults

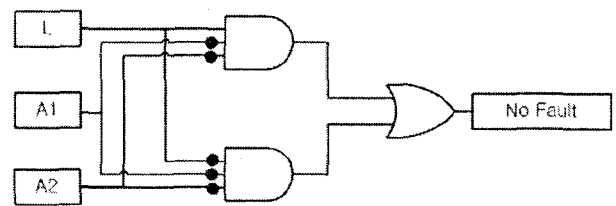


그림 7 실제 고장이 발생하지 않은 경우

Fig. 7 Cases without Faults

본 논문에서 제안한 개선된 알고리즘의 사례연구로서 UPFC가 직렬전압원의 크기를 0.3 p.u.로, 위상을 60도로 동작하여 송전선로를 보상중인 상황에서 선로 오른쪽 끝을 기준으로 0.2 p.u.가 되는 지점, 즉 A1 구간 내에서 완전지락고장이 발생했을 경우에 개선된 전류차동 알고리즘을 적용한 계전기가 이를 정확하게 판단할 수 있는지를 살펴보았다. 계전기에 전송된 데이터는 그림 8을 통해 A1 구간에서는 고장으로 판단하였고, 그림 9를 통해 A2 구간에서는 고장이 아님으로 판단하였다. 그림 10을 통해 선로 전체 구간 L에 대해서는 고장으로 판단하였다. 이 결과는 표 1에서의 Case 1과 같으므로 그림 6에 제시된 진리표에 따라 A1 구간에서 고장이 발생하였다고 판단할 수 있다. 이러한 판단의 결과는 실제 상황과 정확히 일치되므로 제안한 알고리즘의 유효성이 입증되었다.

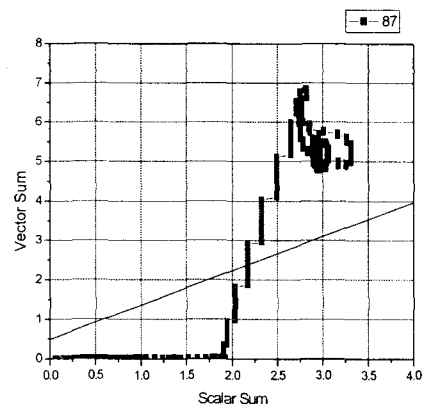


그림 8 A1 구간에서의 고장 판단 결과

Fig. 8 Fault Detection in A1

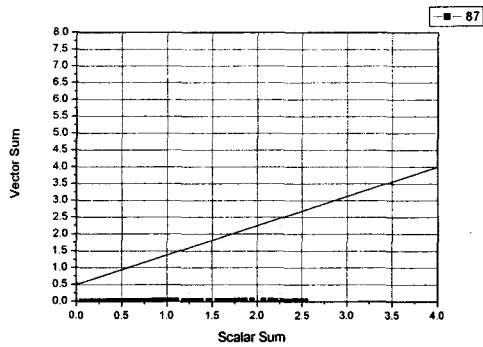


그림 9 A2 구간에서의 고장 판단 결과  
Fig. 9 Fault Detection in A2

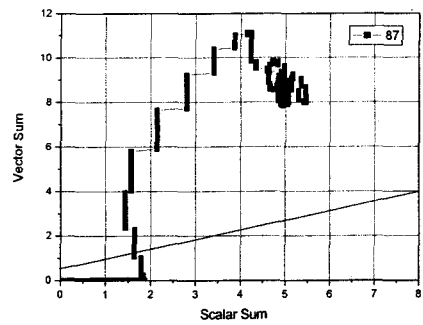


그림 12 A2 구간에서의 고장 판단 결과  
Fig. 12 Fault Detection in A2

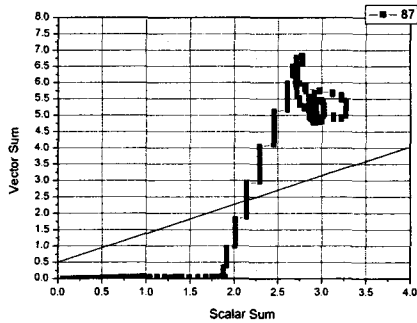


그림 10 선로전체구간인 L에서의 고장 판단 결과  
Fig. 10 Fault Detection in L

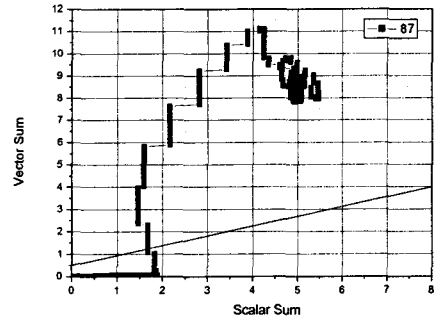


그림 13 선로전체구간인 L에서의 고장 판단 결과  
Fig. 13 Fault Detection in L

이번에는 앞에서와 같은 UPFC 동작 조건에서 A2 구간 내인 선로 오른쪽 끝을 기준으로 0.8 p.u.이 되는 지점에서 완전지락고장을 발생시키고 계전기의 동작을 관찰하였다. 계전기에 전송된 데이터는 그림 11, 12, 13을 통하여 알 수 있듯이 A1 구간에서는 고장 아님, A2 구간에서는 고장, 전체 구간 L에 대해서는 고장으로 판단함을 알 수 있다. 이러한 결과는 개선된 차동전류 알고리즘에 의해 A2 구간 내에서 고장이 발생했다고 판단함을 의미하고 이로써 제안한 방법의 유효성이 입증되었다.

제안된 방법은 고장저항이 있는 경우에도 정확하게 고장 여부를 판단할 수 있다. 앞에서와 같은 UPFC 운전 조건에서 선로의 0.2 p.u(A1 구간) 지점에서 고장저항 10Ω의 지락고장을 발생시켜 계전기의 동작을 관찰하였다. 그림 14, 15, 16에서 알 수 있듯이 개선된 알고리즘을 적용한 계전기는 구간 A1에서 고장이 발생했음을 정확하게 판단하였다. 고장저항의 영향 때문에 완전지락고장에 비해 양단 차동전류의 크기는 작아졌지만 여전히 벡터 차이가 존재하므로 고장 판단에는 큰 영향이 없었다. 즉, 고장저항과 관계없이 제안한 방법의 유효성이 입증되었다.

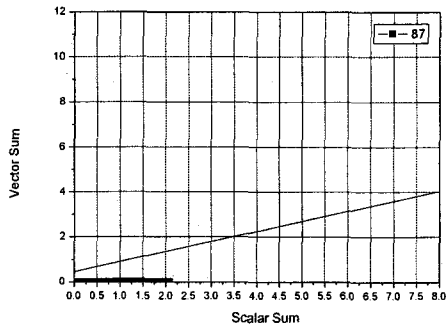


그림 11 A1 구간에서의 고장 판단 결과  
Fig. 11 Fault Detection in A1

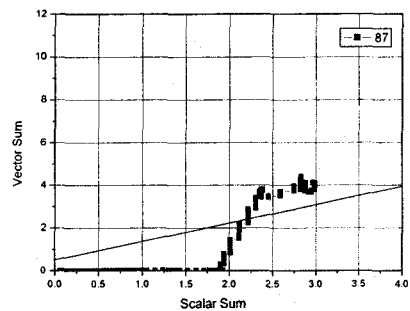


그림 14 A1 구간에서의 고장 판단 결과  
Fig. 14 Fault Detection in A1

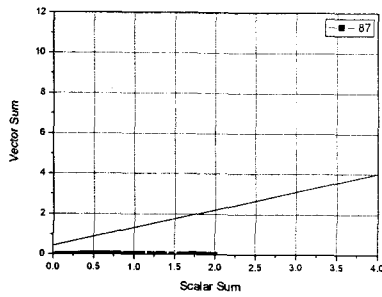


그림 15 A2 구간에서의 고장 판단 결과  
Fig. 15 Fault Detection in A2

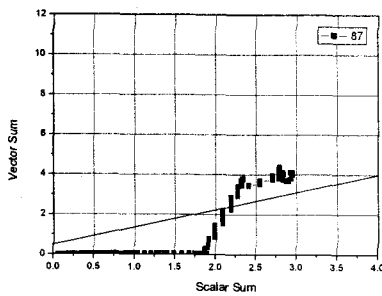


그림 16 선로전체구간인 L에서의 고장 판단 결과  
Fig. 16 Fault Detection in L

### 2.3 FACTS 보상 송전선로에서의 거리차동방식 적용

FACTS 기기가 선로 보상을 하면 전류차동 계전기뿐만 아니라 거리계전기가 보는 임피던스도 영향을 받는다. FACTS 기기에 의해 보상되고 있는 송전선로에 지락고장이 발생할 경우에 거리계전기의 설치 지점에서 바라본 임피던스는 이미 논문을 통해 의해 제시되었다[1]. 여기서 구한 임피던스 식에는 FACTS 기기 제어 변수들과 고장저항이 변수로 포함되어 있다. 이는 FACTS의 도입으로 거리계전기에 영향을 미치는 요소의 개수가 증가하였음을 의미한다. 단, 고장 경로에 FACTS 기기가 포함되지 않을 경우에는 기존의 거리계전방식에서의 임피던스의 유도 식을 그대로 적용할 수도 있다[9]. 그러나 앞서 언급한 문헌 [1]에서 유도된 임피던스 식에서 FACTS 기기에 대한 변수를 제외시키면 문헌 [9]에 제시된 기존의 임피던스 식과 일치한다. 결론적으로 말하자면, 문헌 [1]에서 제시된 식은 기존의 FACTS 기기를 고려하지 않은 임피던스 식까지를 포함하므로 계전기에 별도로 FACTS 기기 유무를 파악하기 위한 알고리즘을 추가할 필요는 없다.

본 논문에서는 문헌 [1]에서 제시된 FACTS 보상 송전선로에서의 거리계전기가 보는 임피던스 식의 중요성을 부각하기 위하여 그림 4에 제시된 양단 계통을 대상으로 P 지점에 설치된 거리계전기가 보는 임피던스 궤적을 나타내었다. 그림 17에서는 UPFC가 직렬전압원 크기를 0.3 p.u.로, 위상각을 330도로 보상하고 있을 때 고장거리(0.2 p.u.와 0.6 p.u.) 및 고장저항(완전지락, 고장저항 10Ω의 지락고장) 별로 임피던스 궤적을 나타내었다. 일반적으로 많이 사용되는 거리계전기인 Mho계전기를 기준으로 고장을 판단

한 결과, 지락고장이 P 지점과 UPFC 설치점 사이인 0.2 p.u.지점에서 발생하면 고장 경로에 UPFC가 포함되지 않기 때문에 UPFC 보상과 무관하게 거리계전기가 고장을 정확하게 판단함을 알 수 있다. 하지만, 고장 지점이 0.6 p.u.가 되면 고장 경로에 UPFC가 포함되어 UPFC 동작에 영향을 받기 때문에 임피던스 궤적이 거리계전기의 동작 영역을 벗어나 수렴한다. 이는 계전기가 실제로 고장이 발생했는데도 고장이라고 판단하지 못한다. 즉, 계전기가 부동작한다. 고장 저항이 있는 경우에는 임피던스 궤적이 저항이 커지는 방향으로 옮겨짐을 알 수 있다. 결론적으로 거리계전기가 정확하게 고장 여부를 판단하기 위해서는 앞에서 언급한 개선된 임피던스 식을 이용하여 거리계전기 동작 영역을 수정해야 한다.

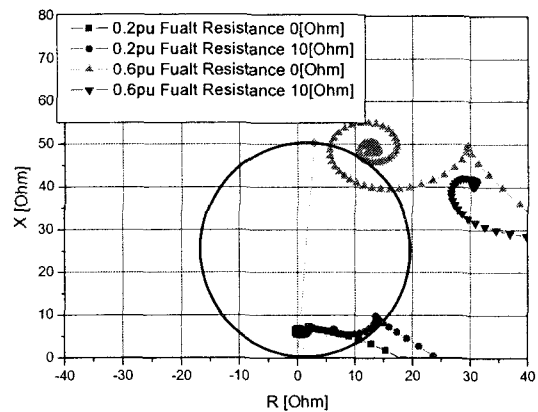


그림 17 UPFC 보상중 고장발생시 임피던스 궤적  
Fig. 17 Trajectory of A Line Impedance in UPFC Compensation with Faults

그림 18, 그림 19, 그림 20에서는 그림 4에 제시된 양단 계통에 각각 STATCOM, SSSC, UPFC가 선로를 보상하고 있는 상황에서 완전지락고장이 발생했을 경우에, P 지점에 설치된 거리계전기가 보는 고장거리별 임피던스의 수렴 값을 각각 나타내었다. 고장 경로에 FACTS 기기가 포함되지 않으면 기존의 거리계전 알고리즘을 적용한 Mho계전기가 고장 판단을 정확하게 하지만, FACTS 기기가 고장 경로에 포함되면, 즉, 제시된 그림들에서 고장거리가 0.6 p.u. 이상이 되면, Mho계전기가 부동작하여 고장 여부를 제대로 판단 할 수 없다.

거리계전기의 입장에서 보면 거리계전기의 설치 위치와 고장 지점 사이에 FACTS 기기가 존재하는지의 여부가 매우 중요할 것이다. 왜냐하면 고장 경로에 FACTS 기기가 존재하지 않는다면 기존의 동작 영역을 그대로 적용해도 무방하지만, 고장 경로에 FACTS 기기가 포함된다면 동작 영역이 수정되어야 하기 때문이다. 하지만, 문헌 [1]에서 제시된 식은 FACTS 기기의 유무와 관계없이 유효하므로 기존의 거리계전기에 별도로 FACTS 기기 유무를 파악하기 위한 알고리즘을 추가할 필요는 없다. 다만, 고장 판단을 위한 정정치를 선택에 있어서 문헌 [1]에서 제시된 임피던스 식이 잘 적용될 수 있도록 거리계전기를 설계하는 것이 중요하다고 본다.

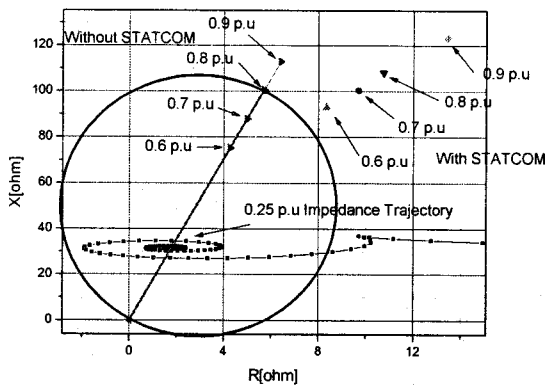


그림 18 STATCOM 보상 중 고장 발생시 임피던스  
 Fig. 18 Line Impedance in STATCOM compensation with Ground Faults

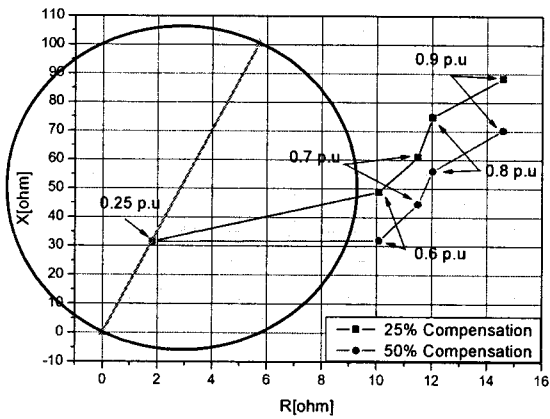


그림 19 SSSC 보상 중 고장 발생시 임피던스  
 Fig. 19 Line Impedance in SSSC compensation with Ground Faults

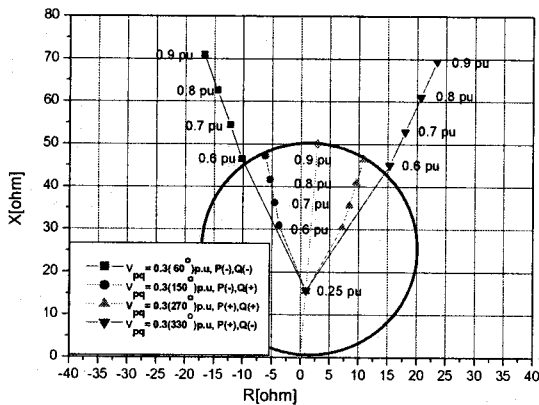


그림 20 UPFC 보상 중 고장 발생시 임피던스  
 Fig. 20 Line Impedance in UPFC compensation with Ground Faults

그림 21에서는 UPFC가 그림 20에서와 같은 조건으로 운전하고 있는 상황에서 완전지락이 아닌 10Ω의 고장저항을 갖는 지락고장이 발생했을 경우에 고장거리별 임피던스의 수렴 결과를 나타내었다. 그림 20과 그림 21을 비교하면, 고장저항의 영향으로 임피던스 수렴점들이 저항이 증가하는 방향인 가로 오른쪽 방향으로 이동됨을 알 수 있다.

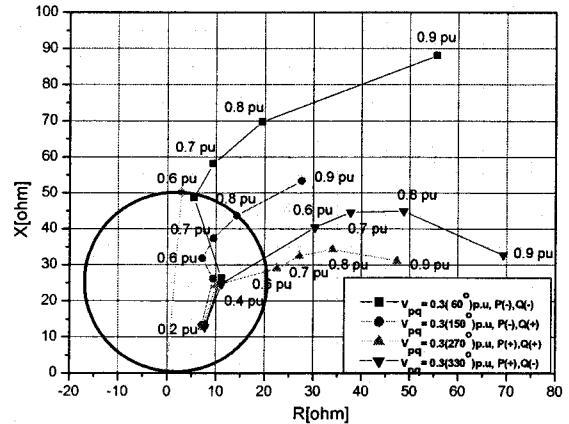


그림 21 UPFC 보상 중에 고장저항 10Ω의 지락 고장시 임피던스  
 Fig. 21 Line Impedance in UPFC compensation with Ground Faults (10Ω of Fault Resistance)

그림 22에서는 UPFC가 그림 20에서와 같은 조건으로 운전 중인 상황에서 지락고장이 아닌 AB상 선간단락고장이 발생했을 경우에 고장거리별로 임피던스의 수렴 결과를 나타내었다. 선간단락고장의 경우에는 선간전압과 선간전류를 사용하여 임피던스를 계산하고 지락고장의 경우에는 상전압 및 상전류를 사용하여 임피던스를 계산한다. 따라서 그림 22에 제시된 선간단락 고장 시의 계전기가 보는 임피던스는 그림 20에 제시된 완전지락 고장 시 계전기가 보는 임피던스와 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

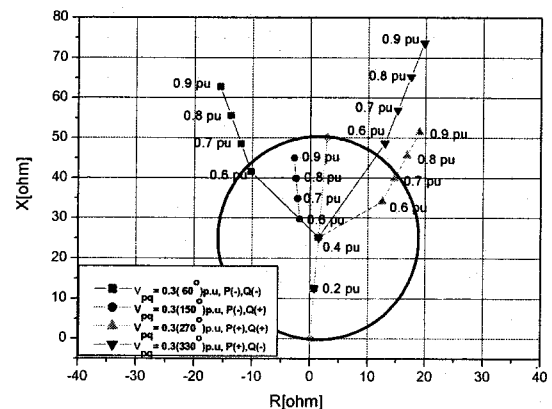


그림 22 UPFC 보상 중 선간단락 고장시 임피던스  
 Fig. 22 Line Impedance in UPFC compensation with Line-to-line Faults

### 3. 결 론

본 논문에서는 대표적인 FACTS 기기인 STATCOM, SSSC, UPFC를 대상으로 각 FACTS 기기가 포함된 송전 계통에 대한 동적 해석을 통하여 FACTS 기기에 의한 송전 계통 보상이 전류차동 및 거리계전 보호방식에 미치는 영향을 분석하고 이를 통하여 FACTS 보상 송전 선로의 보호 방식을 개선하였다.

전류차동 계전방식의 경우, STATCOM 및 UPFC가 병렬보상을 하면 정상시에도 계전기가 오동작하여 고장으로 판단할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 FACTS 기기 보상 선로에 대하여 FACTS 기기 양단에서의 전류 값들을 추가로 측정하여 FACTS 기기 설치 지점을 기준으로 구간을 나누어 각 구간에서의 고장 여부를 판단하는 기능을 추가한 개선된 전류차동 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 FACTS 기기의 보상 여부와 관계없이 고장을 정확하게 판단할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

거리계전방식의 경우, 이미 제시된 FACTS 기기 제어 변수 및 고장 저항이 포함된 임피던스 식을 토대로 하여 FACTS 기기별, 고장 거리별, 고장 저항별, 고장 종류별로 FACTS 기기 보상 선로에서의 고장을 동적으로 모의하였다. 동적 해석 결과를 통하여 이미 문헌에서 제시된 임피던스 식을 바탕으로 동작 영역을 수정해야 한다는 사실을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다. 또한, 개선된 거리계전기의 동작 영역을 설정하기 위해 필요한 고장저항의 영향과 고장종류의 영향도 FACTS 기기 보상 송전선로에 대한 동적 해석을 통해 나타내었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2005-214-D00078)

#### 참 고 문 헌

[1] P.K. Dash, A.K. Pradhan, Ganapati Panda, and A.C. Liew, "Adaptive Relay Setting for Flexible AC Transmission Systems(FACTS)", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.15, No.1, January 2000, pp.38-43.

[2] K.El-Arroudi, G. Joos, and D.T. McGillis, "Operation of Impedance Protection Relays with the STATCOM", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.17, No.2, April 2002, pp. 381-387.

[3] T.S. Sidhu, R.K. Varma, P.K. Gangadharan, F.A. Albasri, and G.R. Ortiz, "Performance of Distance Relays on Shunt-FACTS Compensated Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.20, No. 3, July 2005, pp.1837-1845.

[4] M.M. Saha, B. Kasztenny, E. Rosolowski, and J. Izykowski, "First Zone Algorithm for Protection of Series Compensated Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.16, No.2, April 2001, pp.200-207.

[5] Zhenyu Huang, Boon Teck Ooi, "Power transfer capability of long transmission lines with midpoint sited FACTS and HVDC", Power Engineering Review, IEEE, Vol.22, Issue 5, May 2002, pp.51-53.

[6] M.H. Haque, "Optimal location of shunt FACTS devices in long transmission lines", IEE Proceedings-Generation, Transmission, and Distribution, Vol.147, Issue 4, July 2000, pp.218 - 222.

[7] N.G. Hingorani and L. Gyugyi, Understanding FACTS, 2000, IEEE Press.

[8] 보호계전기 정정기준 수립에 관한 연구(최종보고서), 한국전력거래소, 2003.6, pp.17-30.

[9] V.Cook, Analysis of Distance Protection, 1985, Research Studies Press LTD, pp.7-13.

## 저 자 소 개



#### 임 정 옥 (林正煜)

1970년 9월 27일 생. 1996년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 서울대 대학원 전기·컴퓨터 공학부 졸업 (석사). 2002년 동 대학원 전기·컴퓨터공학부 졸업 (박사). 현재 명지대학교 차세대전력기술연구센터 연구교수로서 미국 The University of Oklahoma에서 연수 중.  
E-mail : ulim@ou.edu



#### Thodur Runolfsson

1983년 University of Wisconsin 전기 컴퓨터공학 및 수학전공 졸업. 1988년 University of Michigan, Ann Arbor 전기 공학부 박사 졸업. 현재 University of Oklahoma 전기컴퓨터공학부 교수.  
E-mail : runolfsson@ou.edu