초고압 차단기용 개폐제어 장치 적용 연구

조철희*, 이정복*, 민병운*, 김영성*
현대중공업 전기전자시스템사업본부*

A study on controlled switching device for high voltage circuit breaker

Chul-Hee Cho*, Jeong-Bok Lee*, Byoung-Woon Min*, Young-Sung Kim*
Electro Electric Systems Division, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.*

Abstract - 초고압 차단기는 개방 또는 투입 기능을 수행시 과도현상에 의한 개폐서지(Switching Surge)가 발생하여 차단기 구성품들에 부담이 가해진다. 초고압 차단기용 개폐제어 장치는 이러한 차단기의 개폐동작시 차단기 접점의 분리 또는 접촉 순간을 제어하여 개폐서지를 최소화함으로써 접점의 마모와 구성품에 가해지는 스트레스를 감소시키는 장치이다. 즉, 차단기에 인가되는 전압의 위상을 기준으로 원하는 개폐시점에서 개방 및 투입이 일어나도록 제어하는 기기이다.

국외에서는 해외 선진사들이 이미 초고압 차단기용 개폐제어 장치를 상용화하여 현장에 적용하고 있으며, 국내에서는 기술의 검토 단계를 지나서 장치를 개발하고 시험하여 상용화하는 단계로 진입하고 있다.

본 논문에서는 상용화를 위하여 개발된 초고압 차단기용 개폐제어 장치에 대하여 하드웨어 구성을 소개하고, 운영 소프트웨어를 설명하며, 개폐제어 장치의 개폐제어 동작 성능을 자체 모의시험과 GIS(Gas Insulated Switchgear) 차단부와의 연계 시험을 통하여 평가한다.

1. 서 론

오늘날 경제성장과 산업의 고도화에 따라서 전력수요가 급증하고 있으며 전력설비들이 대용량화 되고 있다. 초고압 차단기는 부하에 전류를 흘려주어 전기회로를 구성하게 하는 투입 기능과 부하회로를 차단하는 개방 기능을 갖추고 있다. 하지만 차단기의 투입 또는 개방 기능을 수행할 때는 과도현상이 발생하고, 이로 인한 개폐서지가 발생하여 차단기에 부담이 가해진다. 특히 분로리액터 또는 커패시터 뱅크에 연결되어 빈번하게 투입과 개방을 수행하는 초고압 차단기의 경우에는 접점의 마모와 스트레스가 매우 크다. 이러한 개폐서지를 억제하는 방법으로 지금까지 투입용 저항을 삽입하는 방법이 주로 사용되었다. 하지만 이는 차단부 내부 구조를 복잡하게 하여 고장 가능성의 증가와 차단부 축소화에 걸림돌이 되었다. 현재, 이러한 문제점을 극복하고 개폐서지를 줄일 수 있는 방법으로 차단기 개폐제어 기술이 대두되어 연구가 진행되고 있다[1].

차단기 개폐제어는 차단기의 개폐동작 시 차단기의 접점 분리(접촉) 순간을 제어하여 개폐서지를 최소화함으로써 접점의 마모와 구성품에 가해지는 스트레스를 감소시키는 것이다. 즉, 차단기에 인가되는 전압의 위상을 기준으로 원하는 개폐시점에 투입 및 개방이 일어나도록 제어하는 것이다. 이러한 개폐제어 기술을 적용하면 개폐서지의 발생을 최소화하여 투입저항을 제거할 수 있는 장점 외에도 개방 시에 발생하는 아킹 시간을 조정하여 접점에 가해지는 스트레스를 줄일 수 있게 되어, 차단부 부품 수명 증가와 유지보수 비용의 절감을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 초고압 개폐제어 원리를 간략하게 소개하였고, 개발된 개폐제어 장치의 하드웨어 구성과 운영 소프트웨어를 설명하였으며, 장치의 동작 시험을 통한 개폐제어 성능을 기술하였다.

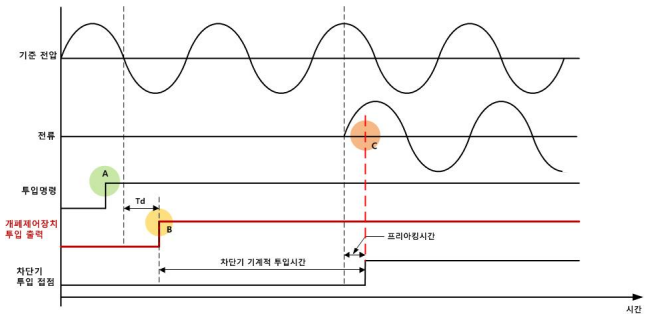
2. 본 론

2.1 개폐제어 원리

2.1.1 기술 개요

개폐제어 기술이란 차단기의 개방 또는 투입 동작시 차단기 접점의 마모와 구성품에 가해지는 스트레스가 최소화되는 시점에 개폐동작이 이루어지도록 시간을 조절하는 기술이다. 즉, 차단기의 기계적인 동작시간과 전기적인 아킹 또는 프리아킹 시간을 함께 고려하여 가장 개폐서지가 적은 순간(최적 개폐시점)을 선택하여 일정한 지연 시간 후에 차단기로 개폐명령이 전달되도록 하는 기술이다.

그림 1은 이러한 개폐제어 기술에 대한 원리를 타이밍도로 설명한 것이다.



<그림 1> 개폐제어 기술 원리(투입 동작시)

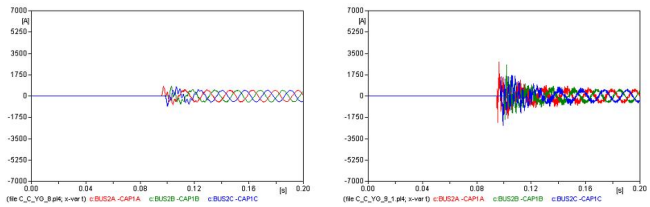
그림 1에서, 차단기 개폐제어 장치가 기준 전압을 계속 감시하는 상태에서 A시점에 외부에서 투입명령이 발생하면, 개폐제어 장치는 Td 시간이 지난 후 B시점에 차단기로 투입 신호 출력을 보낸다. 차단기는 최종적으로 C시점에 투입이 완료된다. 결국, 개폐제어 장치는 Td 시간을 적절하게 조절함으로써 원하는 시점에 개방 또는 투입 동작이 일어날 수 있도록 하는 것이다.

2.1.2 개폐시점 선정

차단기 개폐동작 시점은 차단기에 연결된 부하의 특성에 따라서 적절하게 선정되어야 한다[2][3]. 왜냐하면 개폐시점에 따라서 개폐서지 및 과도현상이 상이하기 때문이다.

일반적으로 커패시터 부하인 경우, 차단기 개방시에는 기준 전압이 90°에서 개방되어야 과도현상이 최소가 되고, 기준전압이 0°에서 투입되어야 돌입 전류가 최소가 되고 과도현상도 최소가 되는 특징을 갖는다.

그림 2는 커패시터 부하에 대하여 차단기 투입 시점에 따른 전류 파형을 모의한 결과를 나타낸다. 그림에서, 기준 전압 0°에서 투입시 과도현상이 최소가 되는 것을 알 수 있다.



[기준전압 0° 투입시] [기준전압 30° 투입시]

<그림 2> 커패시터 부하에 대한 차단기 투입 시점별 전류파형

2.2 개폐제어 장치 개발

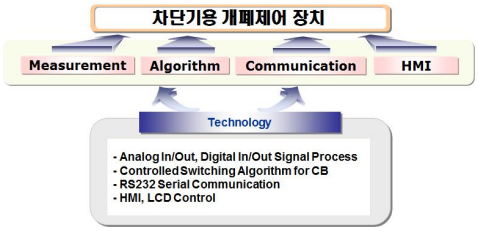
2.2.1 하드웨어 구성

개폐제어 장치의 하드웨어 구성은 크게 메인(Main) 모듈, 입출력(Input/Output) 모듈, 전원(Power) 모듈, 디스플레이(Display) 모듈, 백 플레인(Back Plane) 모듈로 구성된다. 각 모듈은 다음의 기능을 수행한다.

1) 메인(Main) 모듈
: 실시간으로 입력되는 아날로그 또는 디지털 신호들의 연산을 수행하고 개폐제어 알고리즘을 수행하는 메인 프로세서 모듈

2) 입출력(Input/Output) 모듈
: 3상의 전류 및 전압 신호, 외부 개폐명령 신호, 차단기 보조 접점 신호 등의 입력(Input) 모듈과 차단기의 투입/개방 코일에 명령신호를 보내는 출력(Output) 모듈
3) 전원(Power) 모듈
: 개폐제어 장치의 동작 전원(AC/DC 85~250[V] 입력)을 공급하는 모듈
4) 디스플레이(Display) 모듈
: HMI(Human Machine Interface) 기능을 수행하는 모듈
5) 백 플레인(Back Plane) 모듈
: 각 모듈들을 유기적으로 연동시키는 모듈

2.2.2 운영 소프트웨어



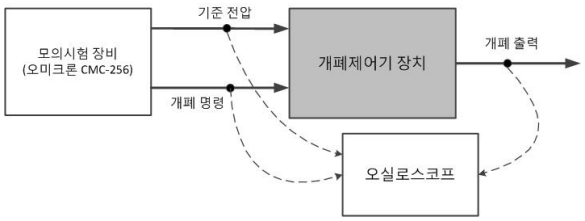
〈그림 3〉 개폐제어 장치 운영 소프트웨어 구성

개폐제어 장치의 운영 소프트웨어는 그림3과 같이 크게 계측, 개폐제어 알고리즘, 통신, 사용자 인터페이스로 구성된다. 각 항목별 상세 내용은 다음과 같다.

1) 계측(Measurement)
: 실시간으로 3상의 전류 및 전압값을 비롯한 다양한 입출력 신호 정보를 계측하고 차단기 상태 정보를 제공함
2) 개폐제어 알고리즘(Algorithm)
: 부하특성을 고려하여 차단기 개폐동작 시 개폐서지 및 과도 현상이 최소가 되는 시점을 선정함
3) 통신(Communication)
: PC기반의 운영 프로그램과 통신할 수 있는 기능을 제공함
4) 사용자 인터페이스(HMI)
: 장치 전면의 디스플레이 화면과 키패드를 통하여 실시간 계측값 모니터링, 사용자 설정 등을 수행함

2.3 개폐제어 장치 동작 시험

개발된 개폐제어 장치의 동작 성능을 확인하기 위하여 차단기 모의시험 환경을 구축하여 자체시험을 진행하였다. 그림 4는 자체 모의시험 구성도를 나타낸다. 모의시험 장비로부터 기준 전압과 개폐명령 입력을 받고, 개폐제어 장치 내부에서 계산된 개폐 출력 시점에 출력이 발생하도록 시험을 진행하였다. 오실로스코프에서 전압 파형, 개폐명령 입력, 그리고 개폐제어 장치의 출력 신호를 모두 캡쳐하여 동작 정확도를 시험하였다. 시험 결과는 표 1과 같다. 시험 결과, 선정된 개폐시점(목표값)과 실제 동작시점(측정값)의 차이는 +0.11~0.25[msec]로 나타났다.

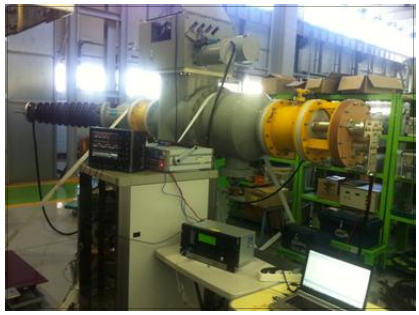


〈그림 4〉 개폐제어 장치 자체 모의시험 구성도

〈표 1〉 개폐제어 장치 자체 시험 결과

구 분		선정된 개폐시점 [msec]	실제 동작시점 [msec]	오차 [msec]
동작	각도			
투입	0°	8.33	8.55	+0.22
	45°	2.08	2.22	+0.14
	90°	12.53	12.64	+0.11
	135°	6.25	6.43	+0.18
개방	0°	8.33	8.54	+0.21
	45°	2.08	2.29	+0.21
	90°	12.53	12.78	+0.25
	135°	6.25	6.41	+0.16

다음으로, 72.5kV 28kA GIS 차단부와 연계하여 개발된 개폐제어 장치의 동작 정확도를 시험하였다. 역시 오실로스코프에서 전압 파형, 개폐명령 입력, 그리고 개폐제어 장치의 출력 신호를 모두 캡쳐하여 동작 정확도를 검증하였다. 그림 5는 시험 장면을 나타내고 있으며, 표 2는 시험 결과를 나타내고 있다. 시험 결과, 선정된 개폐시점(목표값)과 실제 동작시점(측정값)의 차이는 +0.23~0.29[msec]로 나타났다.



〈그림 5〉 GIS 차단부와 연계한 개폐제어 장치 동작 시험

〈표 2〉 개폐제어 장치의 GIS 차단부 연계 시험 결과

구 분		선정된 개폐시점 [msec]	실제 동작시점 [msec]	오차 [msec]
동작	각도			
투입	0°	8.33	8.61	+0.28
	45°	2.08	2.32	+0.24
	90°	12.53	12.82	+0.29
	135°	6.25	6.53	+0.28
개방	0°	8.33	8.59	+0.26
	45°	2.08	2.31	+0.23
	90°	12.53	12.82	+0.29
	135°	6.25	6.54	+0.29

3. 결 론

현재 차단기는 점차적으로 초고압, 대용량화됨에 따라 개폐동작 시 개폐서지에 의해 전달되는 스트레스가 크게 발생하여 차단기 부품 수명이 단축되고 유지보수 비용이 증가하고 있다. 이러한 개폐서지를 억제하는 방법으로 차단기 개폐제어 기술이 대두되어 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 차단기의 부하요소별 개폐동작 시 개폐시점을 제어하여 개폐서지를 최소화할 수 있는 개폐제어 기술을 소개하였고 개발된 개폐제어 장치의 하드웨어와 운영 소프트웨어를 설명하였다. 또한 개발된 개폐제어 장치의 동작 성능을 검증하기 위하여 차단기 모의시험과 GIS 차단부 연계 시험을 진행하였고, 시험 결과, 약 +0.3[msec]이내의 동작 시간 오차가 발생함을 확인하였다.

향후, 현장에 설치하여 연동 시험을 진행할 예정이며 장치의 성능을 지속적으로 개선할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] H.Kohyama 외 6명, “Development of 550kV and 362kV Synchronous Switching Gas Circuit Breakers”, 2001 IEEE/PES, 2001 v.1, pp.597-602, 2001
[2] CIGRE WG13.07, “Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers(1st Part)”, ELECTRA, No.183, pp.43 - 73, April 1999
[3] CIGRE WG13.07, “Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers(2nd Part)”, ELECTRA, No.185, pp.37 - 57, August 1999
[4] D.H.KIM 외 5명, “초고압 차단기용 개폐제어기 개발 (I)”, 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp. 563-565, 2004