

### 배전선로 보호협조 개선을 위한 리클로저 TC커브 변경

이중호, 하복남, 조남훈  
한전 전력연구원

### Changes of Recloser's TC Curve for the Improvement of Distribution Line Protection Coordination

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

**Abstract** - The TC curve of recloser which used in KEPCO's distribution line is a little different in a pattern with the TC curve of sub-station OCR. So it sometimes fails in protection coordination. And the recloser sometimes does mis-open/close owing to the inrush current of CB reclosing when a fault occurred on the source-side of the recloser. The mis-open/close is another trouble maker.

This paper present a new delay TC curve of recloser which has the same pattern with the TC curve of OCR, and a new instantaneous TC curve of recloser which doesn't mal-function to the inrush current. In addition, this paper present another two TC curves for the serial positioning of 2 reclosers. So we accomplished the simple protection coordination of OCR-recloser-fuse.

#### 1. 서 론

배전선로의 전주 위에 설치되는 리클로저는 부하전류를 개폐하는 개폐기의 기능과 고장전류를 차단할 수 있는 차단기의 역할을 동시에 수행하는 유용한 기기이다. 한전에서는 약 20년 전부터 유압식 리클로저를 도입하였으며, 10여년 전 부터는 전자식 리클로저를 도입하여 전국적으로 사용하고 있다. 또한 최근 개발 및 시사용을 마치고 전국으로의 확대를 앞두고 있는 한전의 배전자동화시스템에 있어서도 리클로저는 빼놓을 수 없는 중요한 요소로서 자리 잡아가고 있다.

이러한 전국적인 사용에도 불구하고, 리클로저는 후비측에 위치한 변전소 OCR, OCGR과의 협조에 있어서 상당한 문제점이 있어 리클로저의 보호구간에 고장이 발생했음에도 불구하고 변전소 CB가 먼저 동작하거나 또는 CB와 리클로저가 동시에 동작하는 사례가 발생하곤 했다.

또한 현장에서 리클로저를 직접 사용하는 일선 사업소로부터 리클로저 후비측 기기 투입시의 돌입전류에 의한 리클로저의 오동작 문제가 자주 제기되어 왔다. 이러한 오동작은 일반적인 배전선로에서는 구체적인 사례로 드러나지 않았다.

그러나 한전 강동지점의 배전자동화시스템 실증연구 결과, 실제로 변전소 CB의 투입시에 리클로저가 돌입전류에 의해 개방 및 재폐로 되는 것이 컴퓨터의 동작기록에 의해 확인되었고, 이러한 리클로저의 오동작은 고장전류 경험 및 리클로저 동작에 의한 Yes/No Logic으로 고장구간을 판단하는 한전의 배전자동화시스템에 나쁜 영향을 줄 수 있고, 또한 배전자동화선로가 아닌 Sectionalizer 또는 FAS switch를 사용하는 일반적인 배전선로의 보호협조에도 에러를 일으킬 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 리클로저가 갖는 상기의 두 가지 문제점을 보완하기 위하여 기존의 리클로저에 구조적 변경을 가하지 않고 현재 리클로저에서 사용하는 TC커브를 개선함으로써 리클로저의 보호협조 기능을 향상시키도록 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 리클로저의 보호협조의 문제점

리클로저는 배전선로의 전주 위에 설치되어 전원측으로는 변전소 릴레이, 부하측으로는 Sectionalizer, Fuse의 중간지점에 위치하여, 자기 보호구간에 고장이 발생하였을 경우에 수 차례의 재폐로를 통하여 배전선로 고장의 85~90%를 차지하는 과도고장을 제거하는 기능을 수행하고 또한 고장시 자기 보호구간만을 정전시키고 후비구간은 전혀 정전시키지 않는 고장구간 분리기능도 함께 수행한다.

배전선로 보호협조에 이토록 중요한 역할을 수행하는 리클로저가 변전소 OCR과 잘 협조되지 않는다면 그것은 큰 문제라 하지 않을 수 없다. 다음은 배전선로 리클로저의 보호협조에서 발견되는 문제점을 크게 2가지로 구분한 것이다.

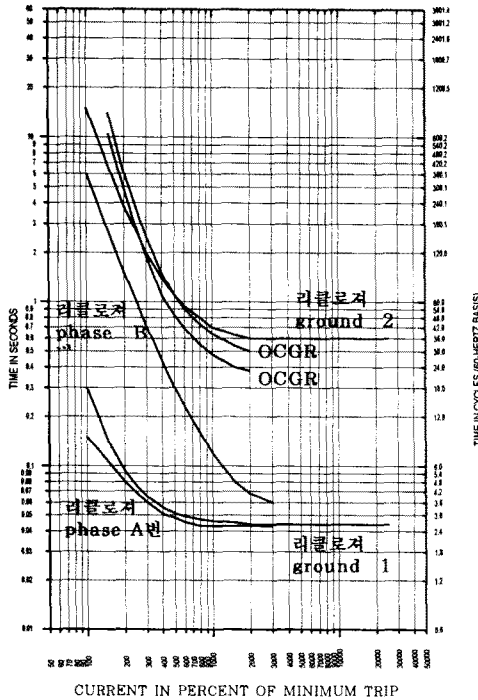
##### 2.1.1 변전소 릴레이와의 협조 곤란

현행 리클로저는 후비측에 위치한 변전소 OCR, OCGR과의 협조에 있어서 상당한 문제점이 있어 리클로저의 자기 보호구간에 고장이 발생했음에도 불구하고 변전소 CB가 먼저 동작하거나 또는 CB와 리클로저가 동시에 동작하는 사례가 발생하곤 한다.

이는 리클로저의 TC커브 패턴이 변전소 릴레이의 TC커브와 다른 모양을 가지는 것, 또는 리클로저의 고장전류 Pick-up Tap치의 부적정, 또는 리클로저 설치위치의 부적정에 의해 발생하는 것으로서 본 논문에서는 이 가운데 TC커브의 부적정에 대해 논하고자 한다. 배전선로 상에 설치된 각종 보호기기의 TC커브 패턴은 다음과 같다.

- OCR, OCGR : extremely inverse
- 리클로저 phase : extremely inverse
- 리클로저 ground : very inverse

위의 경우에서 보듯 리클로저의 phase TC커브(상-지연 B커브)는 변전소 릴레이와 동일한 패턴을 가지므로 아무런 문제가 없으나, 리클로저의 ground TC커브(지락-지연 2번 커브)의 경우에는 <그림. 1>에서 보는 바와 같이 변전소 릴레이 커브(OCGR lever 3, 4)와 평행하지 않고 서로 만나서 변전소 릴레이의 TC커브보다 리클로저의 커브가 위에 위치하는 구간, 즉 릴레이가 먼저 동작하는 구간이 발생한다. 이것은 리클로저의 ground 커브 패턴이 릴레이의 그것보다 완만한 경사를 나타내는 very inverse 형태를 나타내기 때문인데, 이것을 extremely inverse로 바꾸어 주지 않고는 이 문제를 해결할 수 없다고 사료된다.



〈그림. 1〉 기존 리클로저 TC커브와 OCGR TC커브 비교

### 2.1.2 CB 재폐로시 리클로저 오동작 사례

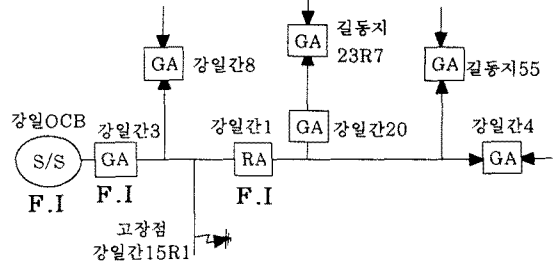
리클로저는 자체 투입시 발생하는 돌입전류에 대한 방지기능(Cold Load Pick Up Accessory)을 가지고 있어서 Control switch를 close 쪽으로 수초동안 붙들고 있으면 리클로저의 최소동작전류가 정정된 본래의 최소동작전류 보다 X배수(1, 2, 4, 6, 8, 10배) 만큼 증가되어 자체 투입시의 돌입전류에 의한 오동작을 방지한다.

그러나 리클로저 자체의 투입이 아닌, 후비 보호기기(변전소 CB)의 개폐에 의한 돌입전류 발생시 리클로저는 돌입전류에 대한 억제장치가 없으므로 돌입전류를 고장전류로 판단하여 오동작을 할 여지가 있다. 마찬가지로 전위 개폐기가 투입될 때 리클로저에 돌입전류에 대한 억제장치가 없으므로 전위 개폐기의 부하가 많거나 단상선로가 긴 경우에 있어 전위개폐기 투입시 돌입전류에 의한 오동작 현상은 피할 수 없다.

리클로저를 직접 사용하는 일선 사업소에서는 위와 같은 리클로저 후비측 기기 투입시의 돌입전류에 의한 리클로저의 오동작 문제를 빈번하게 제기하여 왔다. 그러나 전원측 기기가 일단 개방된 상태(선로 전체가 정정상태)에서 투입됨으로써 부하측에 있는 리클로저가 개방 및 재폐로 동작하는 것은 정전이 복구되는 과정에서 잠깐의 1회 재폐로를 수반할 뿐 그리 큰 문제가 아니라는 점, 또한 전주 위에 설치된 리클로저에 있어서의 돌입전류 파형을 측정하는데 애로사항이 많다는 점 때문에 오동작의 정확한 원인분석과 문제 해결이 늦어져 왔다.

그러나 한전 강동지점의 배전자동화시스템 실증연구 결과, 실제로 변전소 CB의 투입시에 리클로저가 돌입전류에 의해 개방 및 재폐로 되는 것이 컴퓨터의 동작기록에 의해 확인되었다. 아래 계통도에서 리클로저가 설치

된 강일간 18호의 전원측인 강일간15R1호에서 고장이 발생하였는데도 강일간 18호의 F.I(Fault Indicator : 고장표시기)가 동작하였다. 리클로저의 F.I는 리클로저가 개방동작을 한 경우에만 F.I가 동작되므로 자동화개폐기 상태변경 이력에는 나타나 있지 않지만, 강일간18호 리클로저의 F.I가 동작한 것으로 보아 리클로저가 1회 이상 개방/재투입 된 것으로 볼 수 있다.



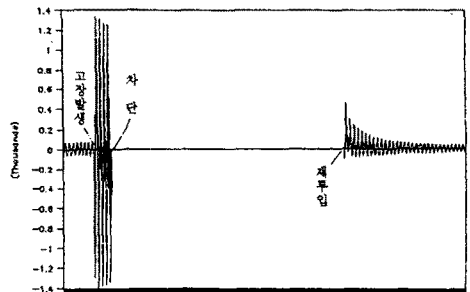
〈그림. 2〉 강일 D/L 단선도와 F.I 동작상황

위와 같은 F.I의 오정보는 Yes/No Logic으로 고장 구간을 판단하는 한전의 배전자동화시스템에 좋지 않은 영향을 줄 수 있고, 또한 배전자동화선로가 아닌 Sectionalizer 또는 FAS switch를 사용하는 일반적인 배전선로의 보호협조에도 악영향을 줄 수 있다. 보호협조 측면에서 이 리클로저의 오동작은 매우 중요한 것으로서 반드시 해결해야만 한다.

이러한 돌입전류에 의한 오동작은, 리클로저의 상-순시동작 TC커브인 A번 커브의 최소 고장제거시간이 2.7cycle 〈그림. 1〉이고, A번 커브의 고장감지시간은 0.6cycle[주3] 이라는 것을 생각할 때 쉽게 오동작의 원인을 생각할 수 있다. 즉, 총 동작시간 2.7cycle은 아래와 같이 고장 감지시간과 기계적 동작시간을 합한 값으로 된 것이다.

$$\begin{array}{rcl} 0.6\text{cycle} & + & 2.1\text{cycle} & = & 2.7\text{cycle} \\ \text{고장감지시간} & & \text{기계적 동작시간} & & \text{총 동작시간} \end{array}$$

그러나 〈그림. 3〉의 CB 재폐로 동작시의 돌입전류 실험 파형에서 보는 바와 같이 차단기의 재폐로시 돌입전류는 절대치가 큰 값만 따져도 1.5cycle가량 지속되는 것을 볼 수 있다. 큰 고장전류가 0.6cycle만 지속되어도 고장이 감지되어 개방하게 되어 있는 리클로저가 1.5cycle의 돌입전류에 동작하지 않을 수 없는 것이다.



〈그림. 3〉 22.9kV CB 동작시 전류 파형

위와 같이 리클로저의 총 동작시간에는 기계적 동작시간인 2.1cycle이 함께 포함되어 있으므로 단순히 돌입전류 지속시간보다 리클로저의 총동작시간(2.7cycle)이 길다는 것은 의미가 없다.

돌입전류에 대한 대비를 해주기 위해서는 돌입전류의 지속시간 및 리클로저의 기계적 동작시간(2.1cycle) 그리고 약간의 여유시간을 함께 계산하여 돌입전류에 오동작하지 않도록 총동작시간을 산정하여야 한다.

## 2.2 새로운 리클로저 TC커브의 제시

상기의 보호협조 문제점을 개선하기 위하여 아래 <그림. 4>와 같이 새로운 TC커브를 제시하였다. 배전선로에 리클로저를 1대만 설치하는 경우에는 순시에 N1, 지연에 N4 커브를 적용하도록 하며, 2대를 직렬로 설치하는 경우에는 전위의 리클로저는 순시에 N1, 지연에 N3를 사용하고 후비의 리클로저는 순시에 N2, 지연에 N4를 적용하도록 하였다.

새로운 TC커브의 제작기준은 다음과 같다.

- OCGR과 리클로저 지연커브N4의 시간차: 10Hz이상 (릴레이 유도원판 복귀시간 고려)
- 리클로저 간의 시간차 : 3.5Hz이상
- phase와 ground는 구별 없음
- N1순시커브는 CB재폐로시 돌입전류에 의한 오동작 방지 고려
- N1순시커브는 Fuse와의 협조를 고려하여 P.U비가 큰 고장전류에서 최대한 빠른 동작시간 확보
- N2, N3는 리클로저 2대 직렬 설치를 위해 제작
- 선로당 리클로저는 2대 까지만 설치

<표. 1> 새로운 TC커브와 릴레이의 고장전류 P.U비별 동작시간 비교 (단위 : Hz)

P.U비	순시커브		지연커브		OCGR
	N1	N2	N3	N4	Lever 3
2000%	2.7	6.2	6.2	10	20
1500%	3.0	6.5	8.0	12	21
1000%	3.5	6.8	11	15	25
800%	3.7	7.2	14	18	28
600%	4.0	8.0	19	25	37
500%	4.2	9.0	24	31	44
400%	4.6	11.0	40	48	60
300%	5.4	14.0	70	90	110
200%	8.1	26.0	180	240	360
150%	12.0	36.0	360	480	1100

## 3. 결 론

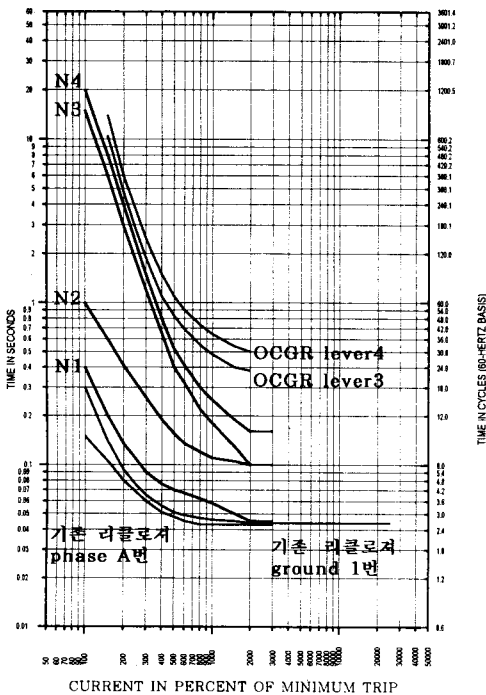
본 연구에서는 한전의 전국 배전사업장에서 광범위하게 사용되는 전자식 리클로저가 변전소 릴레이와 협조가 잘 되지 않는 원인과, CB 투입시의 돌입전류에 의해 리클로저가 오동작 하는 사해가 있다는 것을 밝혀내고 이 오동작의 원인을 분석하였다. 분석된 원인을 바탕으로 변전소 릴레이와 협조가 잘 되고, 돌입전류에 의해 오동작 하지 않는 새로운 리클로저 TC커브들을 제시하였다.

제시된 새로운 TC커브에 의해서 리클로저는 변전소 릴레이와 충분한 협조시간을 가짐으로써 CB와 리클로저의 동시동작이 발생치 않음은 물론, 순시동작시간이 다소 늦추어져 상당히 큰 값과 긴 지속시간을 가지는 돌입전류에도 오동작하지 않도록 기능이 개선되었다. 또한 본 보고서에는 수록되지 않았지만, 새로운 TC커브는 Fuse와의 보호협조에도 우수한 기능을 하는 것으로 판단되었다.

본 연구에 이어 앞으로도 배전자동화시스템에 있어서의 보호협조에 관해서 연구를 계속하여 배전자동화시스템의 기능향상에 노력하고자 한다.

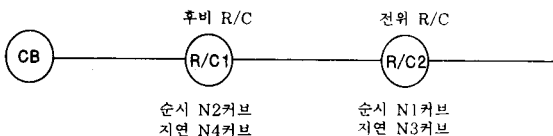
## (참 고 문 헌)

- [1] Cooper Power Systems, "Electrical Distribution System Protection", p133-137. 1990
- [2] 한국전력공사 서울연수원, "배전계통운영반 교재", p167. 1992
- [3] 한국전력공사 서울연수원, "보호기기 회로도 및 부속품 편람", p190, p198-3. 1992
- [4] James J. Burke, "Power Distribution Engineering", Dekker, p139-141. 1994
- [5] 전력연구원, "신 배전자동화시스템 개발연구 98. 1/4분기 보고서", p81-89. 1998



<그림. 4> 새로운 TC커브 N1, N2, N3, N4

아래 <그림. 5>에 리클로저를 2대 직렬로 설치하는 경우의 예를 들고, 각 기기(CB, R/C1, R/C2)들의 고장전류 P.U비에 따른 동작시간을 <표. 1>에 나타내어 제시된 새로운 TC커브가 매우 보호협조를 잘 수행할 수 있음을 보였다.



<그림. 5> 리클로저 2대 직렬설치시 TC커브 적용사례