

## 압축공기 조작방식 차단기의 지연차단원인 및 해결방안에 관한 연구

김우겸, 김진환, 이복형, 박한우  
한국전력공사

### The research for causes of delayed breaking of circuit-breaker driven by compressed air and solutions

Woo-kyum Kim, Jin-hwan Kim, Bok-hyung Lee, Han-woo Park  
KEPCO

**Abstract** - 전력계통의 평상시 전류개폐, 고장구간을 신속히 차단 및 재투입하기 위해 차단기(CIRCUIT BREAKER)를 설치·운영하고 있다. 차단기를 조작방식에 따라 분류해 보면 압축공기압 조작방식과 유압 조작방식, 전동스프링 조작방식으로 크게 나눌 수 있으며 본 연구는 최근에 지속적으로 지연동작을 일으키는 압축공기 조작방식의 문제점 분석과 대책을 마련하고자 한다.

#### 1. 서 론

IEC(International Electrotechnical Commission)에서는 차단기를 “정상 상태에서 전류의 흐름을 전달 개폐하여 주는 장치로 회로단락과 같은 비정상상태에서 전류를 끊고 또는 규정된 시간 동안에 전류를 흘려주거나 연결하여 주는 장치”라고 정의하고 있다. 따라서 차단기는 몇가지 중요한 기능을 구비하여야 하지만 여기서 다루고자 하는 사항은 전기적 특성보다 신속한 차단을 위한 기계적 특성 측면을 살펴보고자 한다.

보호계전기와의 협조하여 회로를 신속히 분리하고자 할 경우 차단기의 정격중 정격차단시간이 중요한 요소이다. 정격차단전류를 모든 정격 및 규정의 회로조건하에서 규정의 표준동작 책무 및 동작상태에 따라 차단할때의 차단시간의 한도를 정격차단시간이라 하고 170kV 이상급 차단기의 경우 3cycle 이내로 적용하고 있다.

보호협조를 위해 반드시 차단기는 정격차단시간 이내 동작이 이루어져야 하나 차단기를 동작시키는 조작력 또는 조작기구의 기계적 결합에 의해 지연동작함으로써 고장구간을 확대시키는 사례가 발생하고 있어 이에 대한 해법이 모색되어야 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 차단기 조작방식

현재 전력계통에 적용되고 있는 차단기 조작방식의 종류와 특징을 먼저 살펴보고자 한다.

##### 2.1.1 Solenoid 조작방식

차단기의 투입 또는 개방작에 직접 전기에너지를 이용하여 조작하는 방식으로 구조가 간단하고 소음이 적은 장점이 있으나 조작시 사용 전류가 크고, 큰 조작력이 필요한 경우에는 사용이 곤란하여 소용량 차단기에 주로 적용이 되는 조작방식이다.

##### 2.1.2 압축공기 조작방식

차단기의 투입 또는 개방작에 직접 필요한 기계력이 압축공기에 의해 주어지는 조작방식이며 강력한 힘을 얻을 수 있고 탱크에 압축공기를 축적할 수 있어 고속대 용량 차단기에 주로 사용된다.

구조가 간단하고 가격이 저렴하나 소음레벨이 크고 조작력 증대에 따라 조작기 규모가 과대해 진다는 단점이 있다.

현재 전력계통에서는 개방시 압축공기력을 이용하고 투입시에는 개방시 압축된 스프링의 이완력을 이용하여 조작을 수행하며 80년 이후 도입된 170kV 이상 GCB, GIS 조작방식에 가장 많이 적용되고 있다.

##### 2.1.3 유압 조작방식

차단기 조작력을 얻기 위하여 특수 액체인 Hydraulic oil을 사용하여 압력을 축적하고 밸브를 조작하여 투입,개방력을 얻는 방식으로 소음이 작고 소형장치로 큰 조작력을 발생할 수 있으며 동작속도가 빠르나 구조가 복잡하고 가격이 고가이며 oil의 기밀문제가 매우 곤란하다.

oil의 기밀문제등 국내 중전기 제작사의 기술력 향상으로 도입 초창기에 비해 안정성이 높았졌고 현재 설치되는 170kV 이상 GCB, GIS 대부분이 유압 조작방식을 채용하고 있다.

##### 2.1.4 전동 스프링 조작방식

Spring의 Stored Energy 이용방식으로 차단기 조작에 필요한 기계력을 스프링에 비축된 에너지를 이용하는 방식으로 조작시 소음이 작고 기기구조가 간단하나 큰 조작력이 필요한 경우에는 사용이 곤란하여 25.8kV 이하 차단기에 적용되고 있다.

##### 2.2 차단기 조작성능

차단기의 개폐에 요하는 시간 또는 개폐속도는 고장점의 조기제거에 의한 고장구간 축소, 계통 안정도의 유지, 관련기기나 선로등의 손상방지, 통신선의 전자유도장애 억제상 어느 정도로 규제할 필요가 있으며 조작기구는 이것을 만족할 수 있는 성능이 요구된다.

##### 2.2.1 동작책무

차단기는 전류의 송수전, 절체 및 정지 등을 계획적으로 하는 외에 전력계통에 어떤 고장이 발생하였을 때 신속히 차단하며, 계통의 안정도를 위해 필요시는 재투입하는 책무를 가지는 중요한 보호장치로서 차단동작의 보증이 필요하다.

차단기의 동작책무란 1 ~ 2회 이상의투입, 차단 또는 투입차단을 일정한 시간간격으로 행하는 일련의 동작을 말하고 이것을 기준으로 하여 그 차단기의 차단성능, 투입성능 등을 규정한 동작책무를 표준동작책무라 한다.

<표 2-1> 표준동작책무(ES 150)

종 별	동 작 책 무
일 반 용	CO - (15초) - CO
고속도재투입용	O - (0.3초) - CO - (3분) - CO

##### 2.2.2 정격 개극시간

조작기구의 기계적 성능을 나타내는 하나의 척도로 폐로상태에서 차단기의 Trip coil이 여자된 순시부터 Arc 접촉자가 개리할 때 까지의 시간을 개극시간이라 한다.

무부하시 정격 Trip 전압 및 정격 조작 압력에 Trip하는 경우 개극시의 한도를 정격개극시간이라 한다.

##### 2.2.3 차단시간

Arc 접촉자의 개리순간부터 전극의 Arc가 소호되는 순간까지의 시간을 Arc시간 이라고하며 이 Arc시간과 개극시간과의 합을 차단시간이라 한다. 정격차단시간이란 정격차단전류를 정격전압, 정격주파수 및 규정한 회로조건에서 규정한 표준동작책무 및 동작상태에 따라서 차단할 경우 차단시간의 한도를 말한다.

정격차단시간은 정격주파수를 기준으로 하여 사이클수로 나타낸다. 또한 정격차단시간은 아래표의 값을 표준으로 하고(ES 150) 차단기는 정격전압하에서 정격차단전류의 30% 이상의 전류를 차단할 때의 시간은 정격차단시간을 초과할 수 없다.

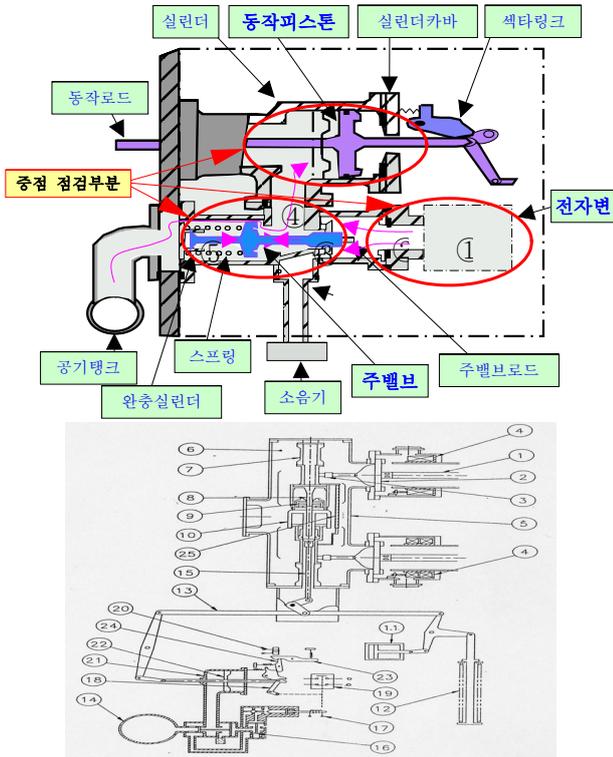
<표 2-2> 차단기의 정격차단시간

정격전압(kV)	7.2	25.8	72.5	170	392	800
정격차단시간(cycle)	5	5	5	3	3	2

### 3.1 지연차단 발생요인 분석 및 문제점

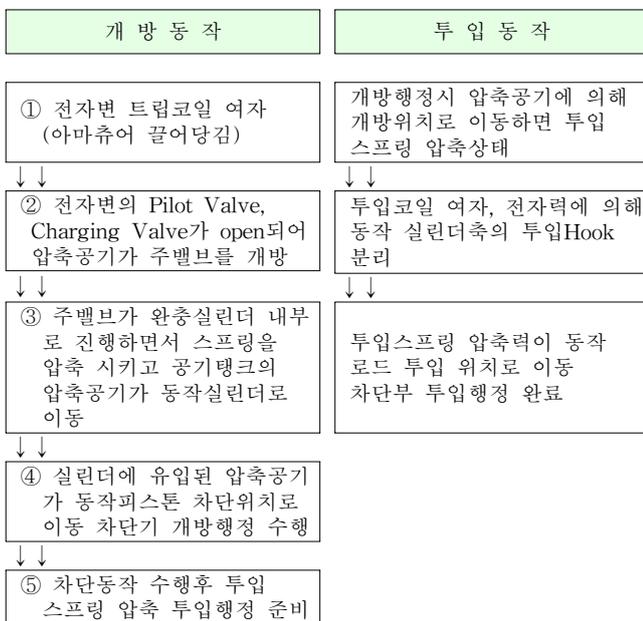
#### 3.1.1 압축공기 조작방식 동작원리

□ 조작기구부 구조도



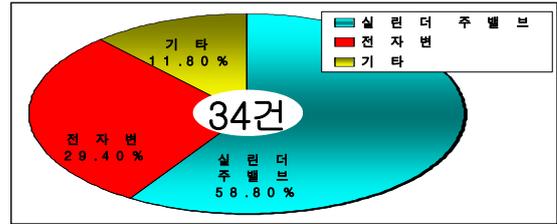
<그림 3-1> 조작부 구조 및 동작설명

□ 동작설명



#### 3.1.2 2000년 이후 지연차단 원인분석(34건)

□ 2000년 이후 발생한 압축공기 조작방식이 적용된 170kV 이상 GIS(GCB) 지연차단 사례 34건을 분석한 결과 실린더 및 주밸브 불량, 전자변 불량, 기타 링크부 불량등의 순으로 발생하였다. 과거에는 전기적 회로불량에 의한 선로측 차단기 차단실패로 모선고장이 유발되어 광역정전이 발생되었으나 최근들의 조작부 기계적메카니즘 불량에 의한 차단실패 또는 지연차단으로 모선고장으로 이어지는 사례가 대부분을 차지하고 있음.<그림 3-2>



<그림 3-2> 부위별 불량발생 점유율

#### 3.1.3 조작부 부위별 지연동작 유발요인

□ 실린더(Operating Cylinder) 및 주밸브 : 58.8% 점유

- 각종 먼지, 습기를 함유한 조작공기에 의해 실린더 벽면에 과도하게 도포된 윤활제를 고착시켜 실린더 피스톤의 마찰력이 증가되어 지연동작(특히 해안에 인접한 설비는 염분으로 인한 실린더 내벽 발청도 발생함)
- ※ 94년 이전까지 외부공기에 노출되는 조작메카니즘 내부에는 공기에 노출되어도 윤활성을 유지하는 마르템포를 사용하여 하나 휘발성이 강한 도전성 그리스인 히타루베를 도포하여 고착화 유발
- 주밸브 실린더 내부 완충판에서 발생하는 금속편 및 그리스 고착이 실린더 내벽과 Moving Disk의 마찰력을 증가시켜 주밸브의 불안전 동작 유발
- 그리스 고착으로 인해 주밸브로드가 완충실린더에 끼이는 현상발생



<사진 3-1> 실린더 및 조작부 불량사례

□ 전자변 : 29.4% 점유

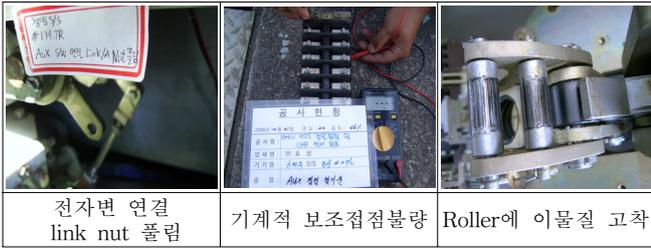
- Pilot Valve 및 Charging Valve 내부 윤활유 고착
- Pilot Valve 도금불량에 의한 발청으로 전자변 동작시 압축공기 손실로 부동작 원인 유발
- 테프론 재질의 Cushion 상태변형으로 인한 조작압력 저하가 부동작 및 지연동작 유발의 원인이 됨
- ※ Cushion 기능 : Pilot Valve Body의 경계면에 Rod가 상부로 복귀할 때 Pilot Valve Body에 직접 부딪치지 않도록 보호하고 Pilot Valve Body와 Charging Valve Body간 동작공기압력 유입시 기밀을 유지하는 역할



<사진 3-2> 전자변 불량사례

□ 기타 : 11.8% 점유

- 조작함내 수분침투로 기계적 보조점접 부식 발생으로 전기적 회로불량에 의한 차단동작 불량
- 링크 불량, 혹크 간격 부적정등

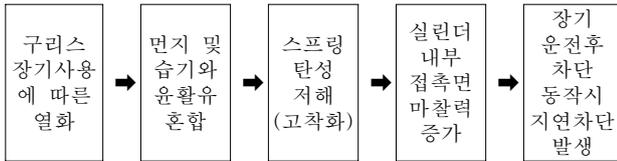


〈사진 3-3〉 기계적 메카니즘 불량사례

**3.1.4 지연동작 유발요인별 원인분석 및 문제점**

□ 환경적 측면

- 각종 먼지, 습기가 완벽히 제거되지 못한 압축공기가 조작기구부 내부로 유입되면서 장기간 사용된 윤활제와 반응하여 윤활제의 윤활성 저하와 고착현상 발생으로 초기동작시 마찰력을 증가시켜 차단기 지연차단으로 이어짐



☞ '94년 이전 제품에는 외기와 접촉되는 각종 구동부에 히타 루베 사용, '95이후 구리스 고착 문제점 해결을 위해 마르 템포로 제작기준을 변경함  
 ※ 구리스 고착력 : 탄성이 강한 피스톤링을 완전히 고착시킬 정도의 강한 접촉제 수준(피스톤 링을 고착당시 형태로 당기는 힘 측정 결과 6.5kg으로 측정)

- 외기온도 영향검토 : 조작함 내부가 완전 밀폐되지 않아 옥외GIS나 GCB의 경우 한겨울에 -25℃ 이하로 운전될 수 있으나 고장사례를 분석해보면 옥내설비나 옥외설비, 동절기나 하절기등 고장발생 분포로 보아 특별히 온도의 영향이 크지 않은 것으로 나타남

□ 설비제작 측면

- 2006년 까지 제작사측의 조작기구부(전자변 포함) 내부의 패킹, O-Ring, 윤활제등 소모성 부품에 대한 명확한 점검교체 주기가 제시되지 않고 운영됨
- GIS의 경우 옥내와 옥외 구분없이(단 옥외 GIS의 경우 외함 접촉부 본드처리) 제작되었고 압축공기를 공급함에 있어 공기중 수분제거가 되지 않고 공급되도록 제작되었음(공기압축기 수분제거장치는 2002년 이후 도입됨)

□ 설비관리 측면

- 2006년 까지 조작기구부에 대한 분해정밀점검은 불량사항이 발견된 경우에만 시행토록 규정되어 조작기구부 정밀점검 실적이 극히 미미함
- 전자변의 경우 정밀부품으로 현장에서 분해점검시 동작특성을 보증하지 못함에도 일부 현장분해 재사용하거나 점검없이 장기간 사용함으로써 테프론 재질의 Valve, Cushion과 일반 고무재질의 O-ring등 소모성 부품 불량으로 지연차단 또는 차단실패 유발

**4.1 지연차단 고장예방을 위한 대책**

- 변전기기점검보수기준을 개정(2006.11)하여 조작기구부에 대한 점검기준 마련
  - 주요내용(GIS, GCB 관련 사항)
    - ☞ 170kV GIS 이상 발체점검 ⇒ 7년, 16년, 22년 도래시 정밀점검
    - ☞ 7년 초과 15년 경과 GIS(GCB)는 4년간 분할하여 점검시행
    - ☞ 조작부 정밀점검 기준변경(필요시 ⇒ 주기도래시 정밀점검시행)
    - ☞ 장기간 동작실적이 없는 기기의 주기적인 조작시험(2년 1회) 기준 신설로 지연차단사례 조기발견 조치
    - ☞ GIS 점검에 따른 주요부품별 교체기준 설정
    - ☞ 기기 및 제작사별 세부점검절차서 확보, 활용으로 시공품질 확보

- 고장발생 요인의 약 30%를 차지하고 있는 전자변에 대해 조작부 정밀점검시 교체 또는 공장입고 분해점검 시행으로 조작부 전체가 일괄 정비관리 되도록 시행
- 그리스 고착문제를 해결하기 위해 설비부위별 특성에 맞는 그리스 종류, 도포방법, 유지관리 방법등을 전문기관에 의뢰하여 적용기준 마련토록 한다.
- 또한 조작력을 얻기위해 사용되는 압축공기의 수분을 적정치 이하로 관리되도록 하는 방안을 연구토록 한다.

**3. 결 론**

앞서 살펴본바와 같이 지연차단에 의한 광역정전을 예방하기 위해서는 조작기구부 전체에 대한 관리가 필요하며 현재까지 기준정밀이 되지 않아 예방점검이 제대로 이루어지지 않은 부분으로 향후 1~2년간 집중적인 점검이 필요 하겠다. 전기품질에 대한 고객의 요구는 날로 높아지고 있으며 이것은 산업의 발달로 당연한 수요자의 요구일 것이다. 전기품질은 중단없는 공급이 가장 기본이 되어야 하며 전압, 주파수의 품질 또한 중요하겠다. 이를 위해 전기사업자 뿐만아니라 전력설비를 공급하는 제작사의 제품성능 향상과 품질관리에 함께 노력을 경주하여야 하겠다. 아직까지 해결방안을 마련하지 못한 그리스 적용문제와 압축공기 수분관리 방안은 조속히 대책을 마련하여야 할 과제이다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 한국전력공사, “송변전 기술용어 해설집”, 2001년