

SMART Link를 이용한 전력계통 최적화 운영

김찬기*, 이정석*, kw노홍*, 장재원*, 원영진**
 * 전력연구원, **한국전력공사

Power network Optimal Operation using SMART Link

Chan-Ki Kim*, Jung-Suk Lee*, Kwak No-hong*, Chang Jaewon*, Won Young-jin**
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - 본 논문은 AC계통에 DC계통을 중첩하여 계통의 안정도를 극대화 하는 새로운 방안(본 논문에서는 SMART Link로 명명)을 제시하였다. 제안된 방식은 경제적인 관점에서 기존의 송전선로를 이용하는 방법을 제시하였고, 대규모 환상망에서 발생하는 고장전류를 저감하는 방법을 논하였다. 그리고, SMART Link의 문제점과 이에 대한 해결 방식을 제시하여 실제 적용 가능한 계통망을 제시하였다.

1. 서 론

현재의 대규모 AC 계통은 그림 1과 같이 환상망으로 구성되어 있으며, 이러한 형태는 다양한 형태의 고장으로부터 계통을 안정하게 운영할 수 있으며, 계통 임피던스의 감소로 인해서 계통의 전압 변동율을 낮게 하는 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 형태는 계통의 고장용량이 증가하여 차단기의 용량을 증가시키는 새로운 단점을 유발하고 있다.

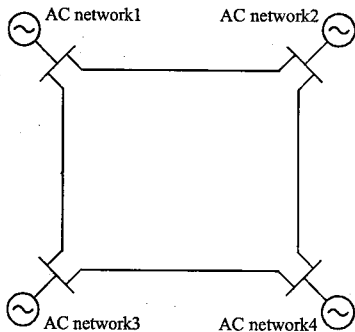


그림 1 환상망을 가진 AC계통

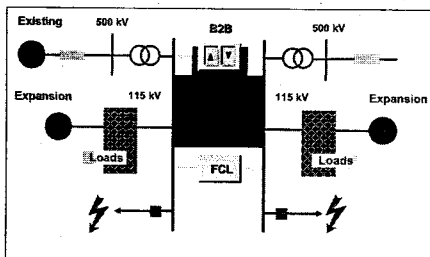


그림 2 BTB과 FCL로 연결된 가상적인 전력계통

이러한 문제를 해결하기 위해서 도입된 방법은 그림 2와 같이 새로이 증설되는 전력망을 고장차단 능력이 있는 HVDC로 연계하던가 아니면, 계통을 분리하여 BTB (Back-To-Back)이나 FCL(Fault Current Limiter)를 이용하여 두 계통을 연계하는 방식이 고려되고 있다. BTB은 계통분리로 인한 고장전류를 제어하는 장점이외에 계통의 조류를 인위적으로 제어할 수 있고, 무효전력을 공급할 수 있다는 추가적인 장점이 있기 때문에 많은 적용이 보고 되고 있다. 그러나, 단순히 고장전류의 저감이라는 문제만 고려한다면, 그림 3에서 보여주는 FCL의 적용이 훨씬 경제적이다.

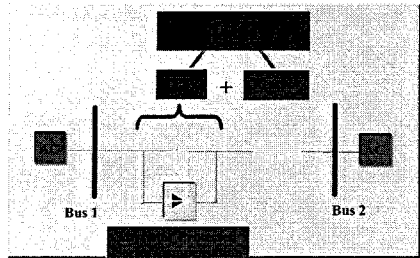


그림 3 FCL을 이용한 고장전류저감

본 논문은 이러한 대규모 계통에서 기존의 AC계통에 Multi-Terminal HVDC를 중첩한 새로운 형태의 SMART Link를 제안하여 경제성에 기반을 둔 효율적인 계통운영이론을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 사례연구 및 SMART Link

전력을 연계하는 방법 중에서 지금까지 도입된 방법 중에 FACTS(Flexible AC Transmission)을 생각해 볼 수 있는데, FACTS는 식 1에서 보여주는 바와 같이 계통의 전압과 임피던스 그리고 두 계통사이의 위상각을 전력전자설비를 이용하여 인위적으로 조절함으로써 송전용량을 극대화 하는 방식이다.

$$P = \frac{V_1 \times V_2}{X} \sin\theta \quad (1)$$

여기서, V_1 은 송전단 전압, V_2 는 수전단 전압, X 는 송전선로의 임피던스 그리고 θ 는 송수전단사이의 상차각

FACTS의 개념은 그림 4에서 보여주는 바와 같이 SSSC, STATCOM, UPFC 그리고 IPFC와 같은 설비

를 AC계통에 적용함으로써 AC계통이 가지고 있는 한계를 극복하고 계통을 보다 효율적으로 운영하는 방안을 제시해 주고 있다. 그러나, FACTS설비는 지역적으로 전압이나 위상제어에 좋은 효과를 거두고 있는 것이 사실이나 전력계통망이 대규모화하는 경우에는 기존의 AC계통이 가지고 있는 문제점을 그대로 가지고 있으며, FACTS설비 사이의 협조제어가 되어야 그 성능이 극대화 될 수 있다.

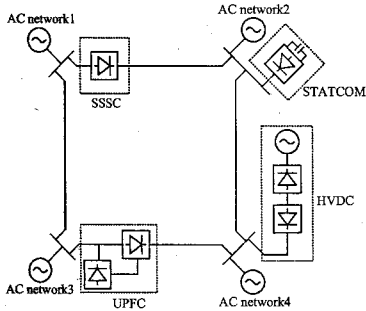


그림 4. FACTS를 이용한 교류 환상망 연계

두 번째로 검토하는 방식은 HVDC 연계방식으로 기존의 PTP(Point-To-Point)방식 이외에 그림 5와 같이 기존의 AC선로와 병렬로 구성함으로써 DC계통과 AC계통이 가지는 서로의 장단점을 보완하는 방식을 들 수 있다.

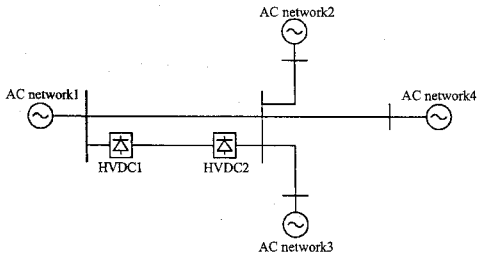
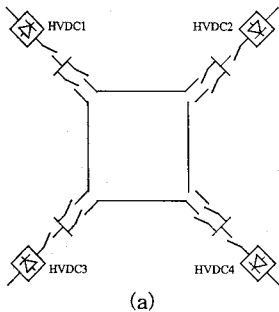
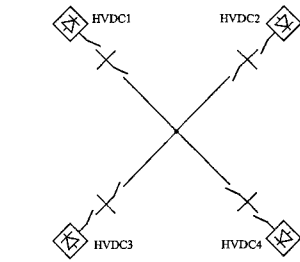


그림 5 HVDC와 AC계통의 통합운영

그리고, HVDC계통을 보다 대규모로 운영하는 방법으로는 그림 6과 같은 MTDC(Multi-terminal HVDC) 연계방식을 들 수 있는데, 이러한 방식은 그림 6(a)와 같은 환상망 구성과 그림 6(b)와 같은 STAR형 구성으로 나눌 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. MTDC를 이용한 계통연계

이러한 MTDC는 오래전부터 많이 고려되어져 온 전력 연계방식이나 컨버터 사이의 통신 문제 그리고 DC차단기 문제 그리고 정류실패로 인한 전 계통의 Power Interruption 문제 때문에 본격적으로 적용되지 못하였다. 그러나, 현재 500kV급 HVDC 차단기의 상용화나 빠른 통신 기술의 발달로 인해 유럽의 East-West Power Link에서 본격적으로 검토되고 있다.

HVDC BTB을 이용한 계통분리나 계통연계는 그림 7에서 보여주고 있는데, 계통의 고장전류를 줄이는 능력과 계통의 전력용량 그리고 무효전력의 공급에서 많은 장점을 주고 있다.

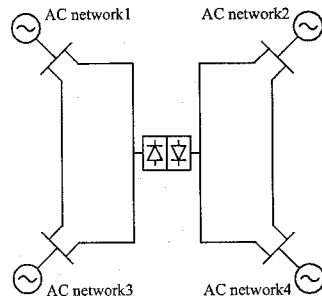
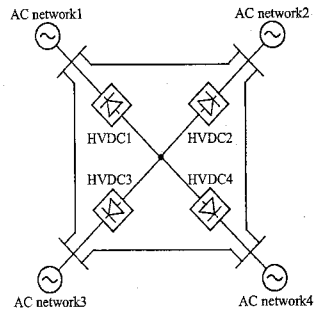


그림 7 계통을 분리한 HVDC BTB

이러한 HVDC BTB은 계통을 연계하는 방법에서도 100km이상과 200km이하에서 HVDC PTP와 경쟁할 수 있는 대안으로 대단히 좋은 경제성을 가지고 있다. 이러한 이유는 HVDC BTB 컨버터가격이 PTP 컨버터 가격에 비하여 30%가까이 싸기 때문에 가능한 것이다.



(a)

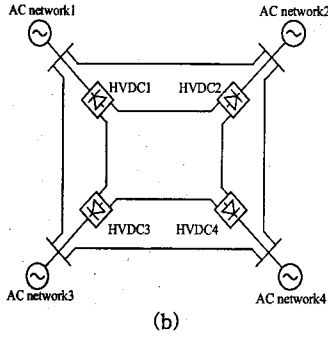


그림 8 SMART Link의 개념도

- BTB + AC 송전선로
- PTP + DC 송전선로

마지막으로, 본 논문에서 제안하는 SMART Link는 그림 8에서 보여주는 바와 같이 기존의 AC 환상망에 DC 환상망을 중첩하여 계통을 제어하는 방식으로 AC 계통과 DC 계통이 갖는 서로의 장단점을 서로 보완해주는 방식으로 AC 계통이 가지지 못하고 있는 계통의 인위적인 조류제어와 고장전류 저감의 같은 문제점을 해결하고, 인위적으로 계통의 유효전력과 무효전력을 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

2.2 기존의 AC철탐을 DC철탐으로의 변형

그림 8에서 보여주는 SMART Link는 기존의 AC 환상망과 기존의 AC 송전선로를 그대로 이용하는 방식으로 출발해야 경제적인 효과를 극대화 할 수 있다.

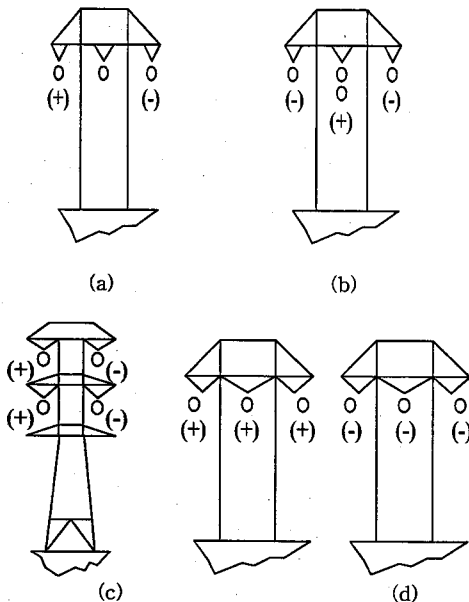


그림 9 기존의 AC철탐을 이용한 DC Tower 구성

그림 9는 기존의 AC 철탐과 송전선로를 그대로 이용하여 DC 철탐과 송전선로를 구성하는 방법을 보여주고 있는 것으로 다음 표는 230kV급이나 345kV급의 철탐을 DC

로 변형하였을 경우에 전력 전송능력을 보여주고 있다.

Conversion Power Transfer Capability

AC Voltage	DC Voltage	DC Current	Type A Conversion	Type B Conversion	Type C & D Conversion
230 [kV]	±250 [kV]	1150 [A]	575 [MW]	1150 [MW]	1725 [MW]
345 [kV]	±375 [kV]	2000 [A]	1500 [MW]	3000 [MW]	4500 [MW]

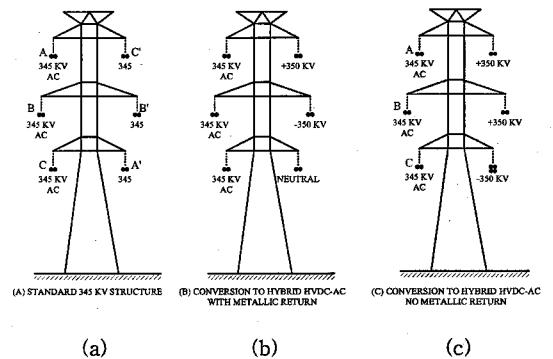
또한, HVDC는 전압을 인위적으로 결정할 수 있기 때문에 230kV AC 송전선로(허용전류 : 1350[A] 그리고 직경 : 1.345인치)를 DC 송전선로로 사용하는 경우를 고려해 보면 다음과 같다.

우선적으로, HVDC시스템에서 DC 전압은 인위적으로 결정할 수 있기 때문에 230kV AC 송전선로와 애자를 그대로 사용할 수 있는 DC전압은 180kV이다. 따라서, 다음 표와 같은 경우가 도출될 수 있다. 단, 이경우의 철탐의 형상은 그림 9의 "A: Type을 기준으로 하였다. 만약, 우리가 DC 철탐의 형상을 "B" Type으로 한다면, 전력전송용량은 2배가 된다. 그리고 "C" Type 형태로 한다면, 전력 전송량은 4배~6배가 된다.

Line Conversion Possibilities

Conv.	VDC	IDC	Power	Line Modification	
				Conductor	Insulators
Type A	180 [kV]	1350 [A]	485 [MW]	Existing	Existing
Type A	225 [kV]	1350 [A]	608 [MW]	Existing	Add 4 Units
Type A	335 [kV]	1350 [A]	905 [MW]	Existing	14 New DC Units

또한, 기존의 AC철탐을 완전히 DC철탐으로 변형하지 않고 AC/DC Hybrid 형태로 만드는 것을 고려해 볼 수 있는데, 그림 10은 345kV철탐을 AC/DC Hybrid 형태로 구성한 것을 보여주고 있다.



2.3 전압형 HVDC와 전류형 HVDC..

HVDC 시스템은 동작특성에 따라 전류형 HVDC와 전압형 HVDC로 나눌 수 있는데, DC 전류원을 인버터를 통하여 AC전류로 만들어 계통에 전력을 전송하는 방식을 전류원 HVDC라하고, DC전압원을 인버터를 통하여 AC전압을 계통에 인가하고 AC전압에 의해서 AC전류가 자동적으로 만들어지게 하는 방식을 전압원 HVDC라 한다. 이러한 전류형 HVDC와 전압원 HVDC는 각각 서로 다른 장단점을 가지고 있기 때문에 대용량 전력전송에서는 전류형 HVDC를 사용하고 계통의 다이내믹 제어나 무효전력제어 그리고 전력품질을 고려하는 경우에는 전압형 HVDC를 사용한다. 전류형 HVDC와 전압형 HVDC의 특징은 다음과 같다.

● 전류형 HVDC

- 싸이리스터 사용, Smoothing Reactor사용

- 외부에서 무효전력공급
- 사이리스터 소호시 외부전압필요
- 필터 필요

● 전압형 HVDC

- IGBT 사용, 커패시터 사용
- 자체적으로 유효/무효전력공급

3. SMART Link의 타당성 분석

본 논문에서 제안한 SMART Link가 실 계통에 적용 가능한 방법을 검토해 보면, 다음과 같다. MTDC가 실 계통에 적용되지 못한 지금까지의 원인을 고려해 보면, DC송전선로에 지락사고와 같은 고장이 발생한 경우에는 DC 전 계통에 고장이 파급되는 문제점이 가장 큰 문제였으며, 이러한 문제점은 다음과 같은 이유로 인하여 해소되었다.

- DC Breaker의 적용
- 고속 통신의 사용
- DC 환상망의 사용
- 고장점 탐지 기술의 적용

따라서, 본 논문에서 제시한 방법은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 기존의 AC계통의 고장용량 감소하고,
 - SMART Link를 연결하는 point는 모선에 가장 큰 고장전류가 흐르는 모선을 선정한다.
 - 제안된 방식은 추가적인 선로증설이 불필요하고,
 - 신재생 에너지원의 손쉬운 연계가 쉽고,
 - 인위적인 조류제어가 가능하며,
 - 보다 양질의 전력품질 제어가 가능하며,
 - 계통의 안정도가 증대된다.
- 또한, HVDC는 345kV AC모선과 154kV AC모선에도 동시에 연결이 가능하기 때문에,
- AC계통의 2차전압제어도 가능하고,
 - 하위부하에 전력을 직접 주입하는 것도 가능하다.

추가적으로 제안한 방법을 이용하여 계통을 구성하는 경우에, 기존의 AC철탑과 송전선로를 그대로 사용하고, 기존의 AC 전압을 DC전압으로 변환하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$DC전압\ 비율(k) = \frac{DC\ Voltage}{AC\ Voltage\ (RMS)}$$

$$k = \sqrt{2}(\text{청정지역})^{-1}(\text{오손지역})$$

예를 들면, 345kV인 경우에는 7282kV ~ 7199kV가 DC 운전전압으로 선정될 수 있다. 물론 이 전압은 기존의 송전선로를 변형 없이 그대로 사용한다는 전제이다.

4. 결 론

본 논문은 기존의 AC환상망에 MTDC를 중첩함으로써 계통의 안정도를 향상시키고, 고장전류를 저감하는 방법이다. 본 논문에서 제안한 방식에 대한 추가적인 연구항목을 검토하면, 이는 Flow, 전자계를 포함한 환경문제는 DC송전선로의 환경문제는 AC송전선로보다는 무시할 만큼 작다고 알려져 있기에 큰 문제는 없으나, AC계통에 얼마만큼의 DC 계통을 중첩해야 계통이 강건해지는 지에 대한 수학적 분석은 추후에 좀 더 검토해야 하는 문제이다.

[참 고 문 헌]

[1] Chan-Ki Kim, "HVDC Transmission in Power System", Wiley and IEEE Press, 2008.