

MEAC를 적용한 HVDC Run-up SPS의 안정도향상 효과분석

MEAC Method for Analysis of Power System Stability Improving Effect Considering Run-up SPS Function of HVDC

이 재 길* · 송 지 영* · 장 길 수*
(Jae-Gul Lee · Ji-Young Song · Gil-Soo Jang)

Abstract - In spite of continuous increase of electric power demand and new generation plants, it is very difficult to install new transmission line. Therefore, it comes to be difficult to operate the power system stable, so it is required to find another way to get new transmission capacity. Because HVDC transmission system installation is the one of the best option for us, we have undertake the HVDC project in mainland. Buckdangjin-Goduck HVDC project(500kV, 3GW) is currently under construction and Eastern Power HVDC project(500kV, 8GW) is under the study for technical specification. Both of them have the Run-up SPS function for taking action of 765kV Transmission line fault. The Run-up SPS function increases the active power output of the HVDC rapidly when the transmission line between the power plant and network is tripped, thereby preventing the generator from overspeed and improving the power system stability. In this paper, we propose MEAC(Modified Equal Area Criteria) method based on traditional EAC method to quantitatively evaluate the effect of the HVDC run-up SPS function on the power system stability improvement.

Key Words : MEAC, HVDC, SPS, Run-up, Power system stability

1. 서 론

한국 전력시스템은 지속적인 수요증가와 신규 발전소 건설이 계속되고 있으나 사회적 수용성 악화로 새로운 AC 초고압 송전선로 건설에 어려움을 겪고 있다. 송전용량이 부족한 경우 안정적인 전력시스템 운영을 위해 고장파급방지장치(SPS, Special Protection Scheme)를 설치하여 운영하고 있으며, 최근 한국 전력시스템의 신뢰도 기준이 강화되면서 더욱 많은 SPS가 적용되고 있는 실정이다. 전력시스템에서 과도한 SPS의 운영은 설비 오동작 시 고장파급의 원인으로 작용할 수 있고 SPS의 동작에 따른 발전기 탈락이나 부하차단(Load Shedding)이 매우 큰 사회적 비용을 수반하기 때문에 매우 신중한 검토가 필요하다.[1] 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 한국 전력시스템에서는 초고압직류송전(HVDC, High Voltage Direct Current) 및 유연송전설비(FACTS, Flexible AC Transmission System)의 도입을 적극적으로 추진하고 있다. 특히 기존 발전기 및 부하차단 SPS의 역할을 신규 HVDC나 FACTS설비를 활용하여 대체할 계획을 갖고 있기 때문에 이에 대한 정확한 기술적 분석이 필요하다. HVDC는 필요 시 송전량을 급격하게 증가시킬 수 있는 Run-up 기능을 포함할

수 있는데 이러한 기능을 SPS로 이용하여 기존 발전기 차단 SPS의 차단대수를 감소시킬 수 있다[1,2]. 실제 현재 국내에서 추진되고 있는 북당진-고덕 HVDC 프로젝트는 HVDC의 유효전력 출력을 최대 9GW/sec의 속도로 Run-up 할 수 있도록 설계, 제작되고 있기 때문에 이러한 안정도 향상 제어가 가능하다.

FACTS의 경우에도 Static Synchronous Compensator (STATCOM)를 전력시스템에 적용하여 과도안정도 한계를 증가시키기 위한 방법이 연구되고 있다[3,4].

본 논문에서는 이러한 HVDC의 SPS 기능을 전력시스템에 적용하여 전력계통의 과도 위상각안정도(Transient Angle Stability)에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법은 기존의 등면적법(Equal Area Criteria, EAC)을 변형한 방식으로 HVDC의 출력증가를 고려하여 전력시스템의 안정화를 위한 최대 고장제거 위상각(Critical Clearing Angle)을 산정하고 이를 비교하여 안정도 향상 정도를 평가할 수 있는 방법이다. 본 논문의 2장에서는 한국 전력시스템의 특징과 운영 중인 SPS의 사례와 3장에서는 전력시스템의 안정도 향상을 위하여 적용을 계획하고 있는 HVDC 프로젝트를 소개하였다. 4장에서는 본 논문에서 제시하는 개선된 등면적법(MEAC, Modified Equal Area Criteria)에 대하여 설명하였으며 5장 사례연구(Case Study)에서는 MEAC 방법을 적용한 HVDC SPS의 전력시스템의 안정도 향상 효과를 분석하고, 6장에서는 향후 연구 분야 및 결론을 도출하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,
Korea University, Korea.
E-mail: gjang@korea.ac.kr

* Power Transmission Lab. KEPCO Research Institute
Received : April 13, 2017; Accepted : September 12, 2017

2. 고장파급방지장치(SPS)

전력시스템은 아래의 그림 1과 같이 5가지의 상태로 정의할 수 있다[2]. 일반적으로 전력시스템은 정상상태(Normal)에서 운전되며, 전력계통에 고장이 발생하여 신뢰도 유지기준을 위반하는 경우 심각한 상황(Emergency)이 되면 사전에 지정되어 있던 제어를 시행하여 정상상태 또는 경고상태(Alert)로 복귀시키게 되는데 이러한 역할을 하는 제어방식을 통상적으로 고장파급방지장치(SPS)로 부른다.

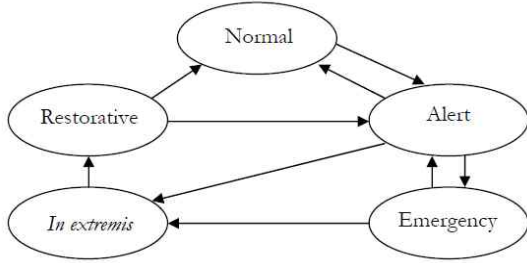


그림 1 전력시스템의 운전상태
Fig. 1 Power system operating states

한국 전력시스템에서 SPS는 과부하, 저전압, 저주파수 및 대단위 발전단지 안정화를 위해서 설치, 운영되고 있으며 주기적인 시스템 스터디를 통해서 SPS의 운영여부 및 제어방식 등을 결정하고 있다.

3. HVDC 적용에 따른 동적 안정도 향상효과

HVDC는 장거리 대용량 전력전송에 매우 유리한 송전방식으로 많은 국가에서 운영하고 있다. 우리나라는 육지-제주간 연계를 HVDC가 담당하고 있었으며, 최근 강화된 신뢰도 기준의 만족과 서해안 및 동해안의 추가적인 발전력의 수송을 위하여 대용량 HVDC의 건설이 추진되고 있다. 현재 육지계통에 건설되고 있는 북당진-고덕 HVDC 프로젝트는 상시 전력전송 기능과 함께 병행 765kV 송전선로 고장 시 급격한 출력증가를 통하여 발전단지 안정도를 유지시킬 수 있도록 Run-up SPS기능을 포함하여 개발하고 있다.

Run-up SPS기능은 765kV 송전선로 고장에 따른 당진, 태안 화력 발전기들의 순간적인 과속을 완화시키기 위한 것으로 매우 짧은 시간 안에 동작해야 한다. 북당진-고덕 HVDC는 유효전력 출력을 최대 9GW/sec의 속도로 Run-up할 수 있도록 설계, 제작되고 있기 때문에 이러한 안정도 향상 제어가 가능하다. 아래 그림 2는 현재 개발 중에 있는 북당진-고덕 HVDC의 제어특성을 고려한 실시간 계통해석 시뮬레이터(RTDS) 모델을 이용하여 HVDC의 Run-up 기능(유효전력 출력을 60%에서 100%로 급격하게 증가)을 모의한 결과의 예시이다.

이러한 HVDC의 Run-up SPS기능은 대규모 발전단지의 인출선로인 765kV 송전선로 고장 시 발전단지의 과도안정도를 향상시키는 효과가 있는데 이러한 영향을 정량적으로 평가할 수 있는

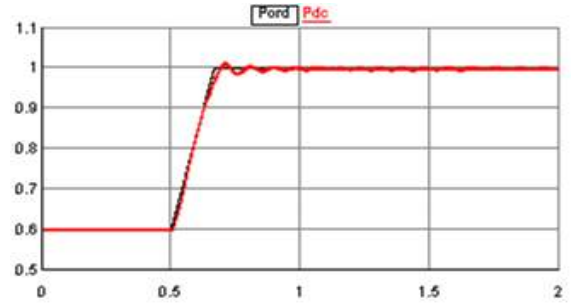


그림 2 HVDC Run-up SPS의 유효전력 응답특성
Fig. 2 HVDC Run-up Response of Active Power

방법이 필요하다. 본 논문에서는 HVDC의 Run-up SPS 기능이 전력계통의 과도안정도 향상에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있도록 Modify Equal Area Criteria(MEAC) 방식을 제안하였다.

4. MEAC 방법을 이용한 전력계통 안정도 분석방법

4.1 Equal Area Criteria(EAC)

등면적법(Equal Area Criteria, EAC)은 그림 3과 같은 1기 무한모선(One Machine Infinity Bus, OMIB)계통에 대한 과도안정도를 분석하기 위한 방법이다[2]. 식 (1)은 동기발전기의 동요방정식(Swing Equation)으로 기계적 입력(P_m)을 불변으로 가정하였을 때 전기적 출력(P_e)이 변하는 경우 에너지 불평형에 의해 발전기의 가속력(P_a)이 발생됨을 나타낸다.

$$M \frac{dw}{dt} + Dw = P_m - P_e = P_a \tag{1}$$

여기에서,
 M 은 동기발전기의 관성
 D 는 댐핑력
 w 는 각속도 ($= 2\pi f$)
 P_m 는 기계적 입력
 P_e 는 전기적 출력
 P_a 는 가속력

여기에서 전기적 출력(P_e)은 식 (2)와 같이 양단 모선전압(V_1 ,

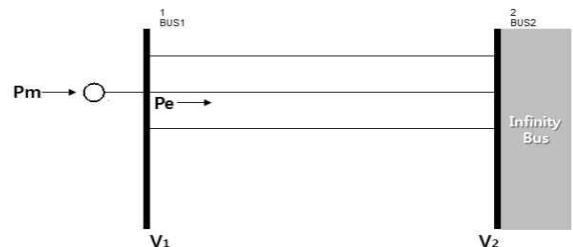


그림 3 1기 무한모선 계통의 개념도
Fig. 3 Diagram of One Machine Infinity Bus System

V_2), 위상각 차이($\delta_1 - \delta_2$) 그리고 선로리액턴스(X_{12})에 의해 결정된다.

$$P_e = P_{max} \sin(\delta_1 - \delta_2) = \frac{V_1 V_2}{X_{12}} \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (2)$$

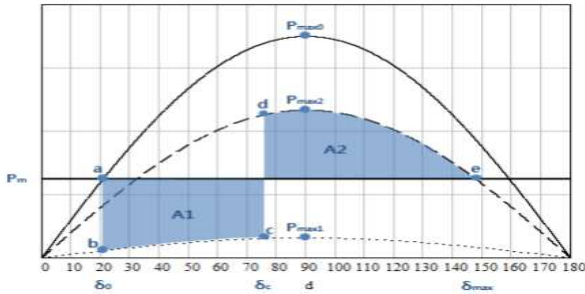


그림 4 등면적법(EAC)을 이용한 안정도 분석예시

Fig. 4 Example of Stability analysis using EAC

그림 4는 식 (2)를 이용하여 계통의 상태에 따른 전력전송능력의 변화를 표현한 예시로 발전기의 과도안정도를 평가하는 EAC 방식을 나타내는 것이다. 정상상태에서는 최대전력전송능력(P_{max0})을 최대로 하는 \sin 곡선과 이때 발전기의 기계적 입력(P_m)과 만나는 점 (a)에서 균형을 이루고 운전된다. Bus1에 지락 고장 발생 시 고장지점의 전압이 0에 가까워지기 때문에 P_{max1} 을 최대로 하는 새로운 곡선에 따라서 발전기의 전기적 출력(P_e)이 (b)로 낮아지게 된다. 이때 기계적 입력(P_m)은 불변이기 때문에 발전기는 고장이 제거되는 (c)점까지 가속($P_m - P_e = P_a < 0$)이 된다. 고장 제거와 동시에 고장선로가 개방되면 전압이 회복되고 선로 리액턴스(X_{12})가 증가하기 때문에 P_{max2} 를 최대로 하는 새로운 곡선에 따라서 발전기의 전기적 출력(P_e)이 (d)점으로 이동하게 되며 기계적 입력(P_m)보다 전기적 출력(P_e)이 커짐으로써 감속($P_m - P_e = P_a > 0$)된다.

이때 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 각각 가속에너지(A1의 면적)와 감속에너지(A2의 면적)를 계산할 수 있으며, 각 에너지의 크기 비교를 통해 발전기 안정여부를 판단할 수 있다. 즉, 고장제거 시점에 따라서 발전기의 안정($A1 \leq A2$) 또는 불안정($A1 > A2$) 상태가 결정된다.

$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_m - P_e(\delta)) d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_m - P_{max1} \sin(\delta)) d\delta \quad (3)$$

$$A_2 = \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} (P_e(\delta) - P_m) d\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} (P_{max2} \sin(\delta) - P_m) d\delta \quad (4)$$

4.2 Modified Equal Area Criteria(MEAC)

앞서 4.1에서 설명한 EAC 분석방법은 AC송전선로로 구성된 1기 무한모선 계통에 대한 분석만 가능하다. HVDC선로가 연계된 경우 기존 EAC 분석방법을 적용하기 어렵다. 본 논문에서는 기존 EAC 분석방법을 수정하여 HVDC선로 연계를 고려할 수 있는

Modified Equal Area Criteria(MEAC) 분석방법을 제안하였다. 특히 본 논문에서 제안하는 MEAC기법은 HVDC의 비상시 출력 조정(Run-up SPS, Special Protection Scheme) 기능이 전력계통 과도안정도의 향상에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 것이 특징이다. 다만 본 논문에서는 HVDC 설비 동작성능, AC계통의 강건도 및 무효전력 보상능력 등에 따라서 상이해지는 실제 HVDC의 동적 출력응답 특성은 고려하지 않았다. 이러한 부분은 AC계통의 특성과 시스템 설계 등 복잡한 문제가 고려되어야 하기 때문에 실제 MEAC방식의 확장 적용을 위한 추후 연구에서 다루고자 한다.

① HVDC 정출력 고려

앞서 그림 3 1기 무한모선(One Machine Infinity Bus, OMIB) 계통에서 송전용량의 증대를 위해 HVDC를 설치한 경우의 계통 구성은 그림 5와 같다.

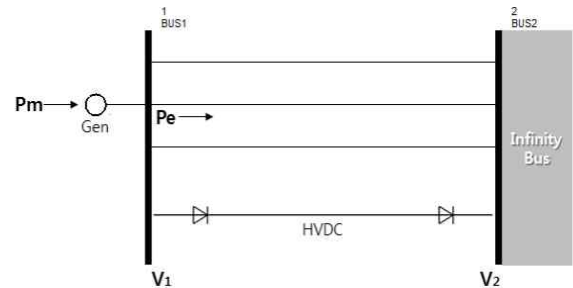


그림 5 HVDC를 포함한 1기 무한모선 계통의 개념도

Fig. 5 Diagram of One Machine Infinity Bus System including HVDC link

우선 HVDC가 정출력 운전을 하고 발전력의 증가가 없는 경우를 가정하였다. 즉, 기계적 입력(P_m)이 HVDC 고려 전/후 동일한 경우 아래의 그림 6과 같이 추가적인 HVDC 송전용량의 증대가 기존 AC송전선로의 조류량을 대체하기 때문에 가속에너지(A1)는 감소하고 감속에너지(A2)는 증가함으로써 과도안정도가 향상됨을 알 수 있다.

HVDC의 정출력을 고려하여 가속 및 감속에너지가 동일해질 수 있는 최대 고장제거 위상각(δ'_c)이 HVDC가 없는 상태에서의 최대 고장제거 위상각(δ_c)보다 크기 때문에 과도안정도가 향상되었다고 판단할 수 있다. 아래의 식 (5), 식 (6)은 HVDC의 정출력을 고려하여 가속 및 감속면적을 산정하는 산식을 표현한 것이다.

$$A'_1 = \int_{\delta'_0}^{\delta'_c} (P_m - P'_{max1} \sin(\delta)) d\delta = \int_{\delta'_0}^{\delta'_c} (P_m - (P_{max1} \sin(\delta) + P_{HVDC})) d\delta \quad (5)$$

$$A'_2 = \int_{\delta'_c}^{\delta'_{max}} (P_m - P'_{max2} \sin(\delta)) d\delta = \int_{\delta'_c}^{\delta'_{max}} ((P_{max2} \sin(\delta) + P_{HVDC}) - P_m) d\delta \quad (6)$$

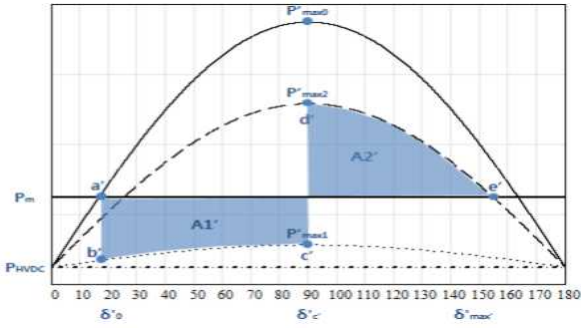


그림 6 MEAC를 이용한 분석예시 (HVDC 정출력, 발전력 유지)
Fig. 6 Example of Stability analysis using MEAC
 (Constant HVDC Output and Generation Output)

반면 HVDC가 정출력 운전을 하고 동일한 크기의 발전력 증가를 고려하는 경우에는 HVDC의 송전량이 추가적인 발전출력을 상쇄시키기 때문에 아래의 그림 7과 같이 과도안정도에 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

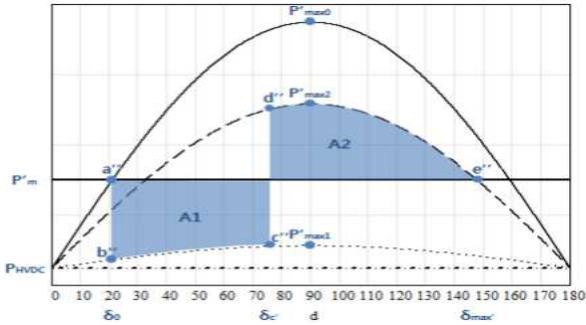


그림 7 MEAC를 이용한 분석예시 (HVDC 정출력, 발전력 증가)
Fig. 7 Example of Stability analysis using MEAC
 (Constant HVDC Output and Increasing Generation Output)

아래 식 (7)과 식 (8)은 HVDC 송전량과 추가적인 발전출력이 상쇄되어 HVDC를 고려하지 않은 식 (3), 식 (4)와 동일함을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \int_{\delta_0}^{\delta_c} (P'_m - P'_{max1} \sin(\delta)) d\delta \quad (7) \\
 &= \int_{\delta_0}^{\delta_c} ((P_m + P_{HVDC}) - (P_{max1} \sin(\delta) + P_{HVDC})) d\delta \\
 &= \int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_m - P_{max1} \sin(\delta)) d\delta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} (P'_{max2} \sin(\delta) - P'_m) d\delta \quad (8) \\
 &= \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} ((P_{max2} \sin(\delta) + P_{HVDC}) - (P_m + P_{HVDC})) d\delta \\
 &= \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} (P_{max2} \sin(\delta) - P_m) d\delta
 \end{aligned}$$

② HVDC Run-up SPS 고려

그림 8은 병행 AC선로 고장 및 개방 시 발전기 가속에 따른 위상각 불안정을 방지하기 위해서 적용하는 HVDC의 긴급출력 증가(Ramp up)의 예시를 보여주는 것이며 본 논문에서는 이를 HVDC Run-up SPS기능이라고 언급하였다.

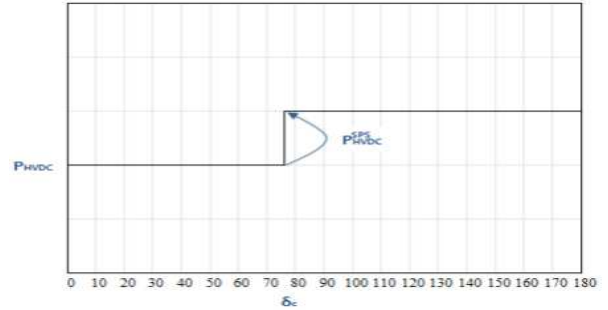


그림 8 HVDC Run-up SPS기능을 고려한 출력변화
Fig. 8 Concept of HVDC Run-up SPS

MEAC방법을 이용하여 HVDC SPS기능의 계통안정도 향상효과를 분석하기 위해서는 HVDC의 Run-up 동작시점을 결정해야 하는데 본 논문에서는 편의상 고장제거 시점(δ'_0)과 동일한 시점(δ'_c)에서 Run-up동작이 이루어지는 것으로 가정하였다. 그림9는 HVDC의 정상상태 출력과 동일한 발전출력을 가정하고 긴급상황 시 정상상태 출력의 50%에 해당하는 출력을 Run-up하는 SPS를 고려하여 과도안정도의 영향을 MEAC방법으로 분석한 예시이다.

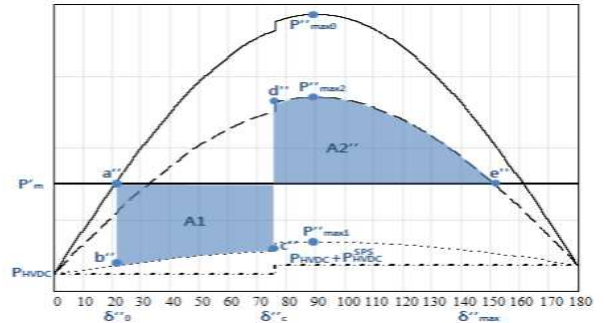


그림 9 MEAC를 이용한 분석예시 (HVDC Run-up SPS 고려)
Fig. 9 Example of Stability analysis using MEAC
 (HVDC Run-up SPS and Increasing Generation Output)

식 (9)와 식 (10)은 HVDC Run-up SPS기능을 고려한 경우의 가속 및 감속면적을 산정하는 산식을 표현한 것이다.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \int_{\delta_0}^{\delta'_c} (P'_m - P'_{max1} \sin(\delta)) d\delta \\
 &= \int_{\delta_0}^{\delta'_c} ((P_m + P_{HVDC}) - (P_{max1} \sin(\delta) + P_{HVDC})) d\delta \quad (9) \\
 &= \int_{\delta_0}^{\delta'_c} (P_m - P_{max1} \sin(\delta)) d\delta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2'' &= \int_{\delta_c^-}^{\delta_{max}^-} (P_{max2}'' \sin(\delta) - P_m'') d\delta \\
 &= \int_{\delta_c^-}^{\delta_{max}^-} ((P_{max2} \sin(\delta) + P_{HVDC} + P_{HVDC}^{SPS}) - (P_m + P_{HVDC})) d\delta \\
 &= \int_{\delta_c^-}^{\delta_{max}^-} (P_{max2} \sin(\delta) + P_{HVDC}^{SPS} - P_m) d\delta \quad (10)
 \end{aligned}$$

5. Case Study

5.1 MEAC를 이용한 HVDC Run-up SPS 적용효과 분석

MEAC기법을 적용한 사례연구를 위해 표1과 같이 1기 무한모선 시스템을 가정하였으며, HVDC 미 고려, 정출력 고려 그리고 정출력과 SPS기능을 동시에 고려하는 경우에 대하여 각각 계통 안정도 향상에 대한 효과를 분석하였다.

표. 1 Case Study를 위한 1기 무한모선 정보

Table 1 Test System Data for Case Study

구분	적용 값	단위
Bus Voltage (V_{BUS1})	345	kV
Voltage drop	2	%
Line Reactance (X_L)	20	Ω
Generation Output (P_g)	HVDC(X)	5.0
	HVDC(O)	6.0
Output of HVDC	1.0	GW
HVDC Run-up Capacity	0.5	

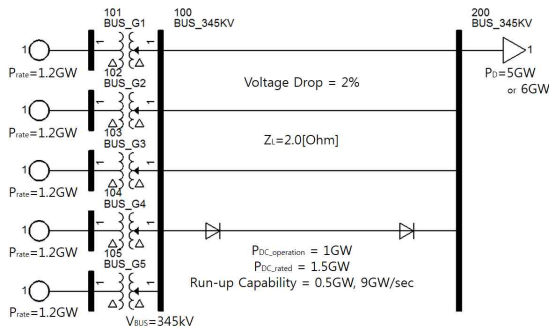


그림 10 사례연구를 위한 테스트 시스템

Fig. 10 Test System for Case Study

① Without HVDC

HVDC가 없는 시스템은 정상상태에서 5GW의 발전력을 전송하기 위한 위상각차(δ_0)가 21.02[deg]이다. 이때 Bus1에 지락고장이 발생한 후 고장이 제거되면서 AC송전선로 1회선이 개방되는 경우 발전기가 안정화되기 위한 최대 고장제거 위상각을 산정하면 75.67[deg]으로 이때 가속 및 감속에너지가 2.241×10^{11} 으로 동일해진다.

로 동일해진다.

② With constant power output of HVDC

HVDC의 정출력(1GW) 운전과 발전기 출력증가(1GW)를 동시에 고려하는 경우 정상상태에서 6GW의 발전력을 전송하기 위해서는 HVDC가 없는 경우①과 동일한 위상각차(21.02[deg])로 운전된다. 또한 Bus1에 지락고장이 발생한 후 고장이 제거되면서 HVDC의 병행 AC송전선로 1회선이 개방되는 경우에도 HVDC는 고정적인 출력을 유지하고 있기 때문에 HVDC가 없는 경우①과 동일한 최대 고장제거 위상각이 산정된다.

③ With constant power output and Run-up SPS of HVDC

HVDC의 정출력(1GW) 운전과 병행회선 고장 시 Run-up (+0.5GW) SPS를 고려하는 경우 정상상태에서 6GW의 발전력을 전송하기 위해서는 HVDC가 없는 경우(①사례) 그리고 HVDC의 정출력 운전만을 고려한 경우(②사례)와 동일한 위상각차(21.02[deg])로 운전된다. 반면, Bus1에 지락고장이 발생한 후 고장이 제거되면서 HVDC의 병행 AC송전선로 1회선이 개방되는 경우에는 HVDC의 Run-up SPS기능이 동작하여 0.5GW의 출력을 증가시켜 감속면적이 증가하게 되고 이에 따라서 최대 고장제거 위상각이 80.33[deg]로 ①과 ②의 경우에 비하여 4.66[deg]만큼 커지게 된다. 이는 그 만큼 위상각 안정도 측면에서의 개선이 이루어 졌음을 의미하며, 이처럼 세 가지 경우에 대한 최대 고장제거 위상각 및 가속/감속면적 산정결과는 아래의 표 2와 같다.

표. 2 HVDC 동작특성의 고려방식에 따른 분석결과 (EAC 및 MEAC 분석방법)

Table 2 Analysis Results depending on the HVDC Run-up SPS Application

구분	HVDC 미고려	HVDC 고려 (Constant Power)	HVDC 고려 (Run-up SPS)
최대 고장제거 위상각 Critical Clearing Angle [deg]		75.67	80.33
가속/감속면적		2.241×10^{11}	2.394×10^{11}

3. 결 론

본 논문에서는 대규모 발전단지 인출선로 고장 시 병행 HVDC의 급격한 출력제어를 할 수 있는 HVDC Run-up SPS 동작에 따른 전력계통 안정도 향상효과를 평가할 수 있는 MEAC방식을 제안하고 사례연구를 통하여 정량적인 분석을 수행하였다. 물론 765kV 송전선로 고장 시 HVDC의 컨버터 인근 전압변동에 따른 HVDC의 Run-up SPS의 응답성능을 고려해야 정확한 전력계통 안정도 향상효과를 평가할 수 있으나 본 논문에서는 수치 기법을

기반으로 개념적인 방법론을 제시하였다는데 그 의미가 있다. 이러한 상세 평가방법은 HVDC의 제어기 모델을 포함한 시모의 분석이 필요하기 때문에 향후 추가적인 연구를 수행할 필요가 있다.

References

- [1] P. M. Anderson, B. K. LeReverend: "Industry Experience with Special Protection Schemes", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 3, August 1996.
- [2] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1993.
- [3] M. H. Haque, "Evaluation of First Swing Stability of a Large Power System With Various FACTS Devices", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 23, No. 3, August 2008.
- [4] DH Choi, "Analysis on Special Protection Scheme of Korea Electric Power System by Fully Utilizing STATCOM in a Generation Side", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PP, August 2016.



장길수 (Gil-So Jang)

1976년 10월 26일생
 1991년 고려대 전기공학과 졸업
 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
 1997년 Iowa 주립대, 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박)
 현재 고려대 전기전자공학과 교수

저 자 소 개



이재걸 (Jae-Gul Lee)

1976년 8월 19일생. 인천대학교 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원



송지영 (Ji-Young Song)

1983년 7월 23일생. 고려대학교 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원