

선형 보간법을 이용한 CDC4모델의 파라미터 산정

최장흠
한국전력공사

Parameter Estimation of CDC4 Model Using Linear Interpolation

Jang-Hum Choi
KEPCO

Abstract - HVDC 프로젝트마다 제어기가 달라지게 된다. 따라서 HVDC 설비를 위한 전용의 해석 모델이 존재하지 않는다. 설비의 동특성을 모의하기 위해 모델 라이브러리가 없는 상황이 도래하면, 범용 모델에 적합하도록 데이터를 수정하는 방법과 UDM(User Define Model)을 개발하는 방법이 있다. UDM을 개발하는 것이 바람직하지만, 개발 기간이 길고 UDM에 대한 검증의 필요성 때문에 범용 모델에 맞도록 데이터를 수정해야 할 필요가 있다. 이에 본 논문에서 PSS/E 결과 데이터 또는 EMTDC 결과 데이터를 이용하여 CDC4 모델의 파라미터를 산정하는 방안을 제시하였다.

1. 서 론

현재 국내에는 해남-제주간 HVDC#1이 설치되어 운전중에 있으며, 제주지역의 부하증가에 따라 진도-제주간 HVDC#2가 건설될 예정이며, 제주 실증 단지에 국내 기술로 개발된 80kV HVDC가 설치될 예정이다. 그런데 HVDC는 컨버터 등의 설비는 표준화되어 있지만 제어기는 계통의 특성을 반영하여 운영되기 때문에, HVDC 프로젝트마다 제어기가 달라지게 되고, 계통 해석시 동특성을 모의하기 위한 전용의 HVDC 모델이 존재하지 않는다.

설비의 동특성을 모의하기 위해 필요한 미분방정식에 해당하는 모델 라이브러리가 없는 상황이 도래하면, 설비의 특성을 나타내는 데이터를 이미 존재하는 범용 모델에 적합하도록 수정하는 방법과 PSS/E의 Model Writing 기법을 이용하여 UDM(User Define Model)을 개발하는 방법이 있다. 해석의 정확도를 높이기 위해서는 UDM을 개발하는 것이 바람직하지만, 개발 기간이 길고, 신뢰성을 보장하기 위한 검증 작업이 필요하게 된다. 이에 본 논문에서는 PSS/E 결과 데이터 또는 EMTDC 결과 데이터를 이용하여 CDC4 모델의 파라미터를 산정하는 방안을 제시하였다. 그리고 그 파라미터를 적용한 CDC4 모델의 결과를 파라미터 산정에 사용된 결과 데이터와 비교함으로써 파라미터 산정 방법에 대한 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 CDC4 모델 파라미터

CDC4 모델의 CON(constant)은 모두 22개이며, 이는 사용자가 시뮬레이션하려는 HVDC 시스템에 맞도록 결정해주어야 하는 값들이다. 다음의 [표 1]은 CDC4 모델의 CONs 데이터를 나타내고 있다.

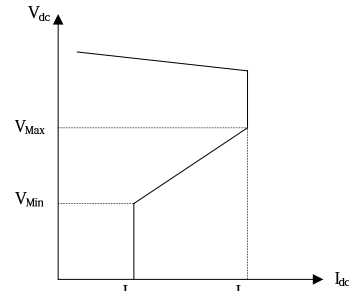
<표 1> CDC4 DC Line 모델의 CONs

CONs	변수	단위	Description
J+0	ALFDY	degrees	동적 모델을 위한 최소 α
J+1	GAMDY	degrees	동적 모델을 위한 최소 γ
J+2	TVDC	sec	직류 전압 transducer 시간 지연
J+3	TIDC	sec	직류 전류 transducer 시간 지연
J+4	VBLOCK	pu	정류기 블로킹 전압
J+5	VUNBL	pu	정류기 블로킹 해제 전압
J+6	TBLOCK	sec	최소 블로킹 시간
J+7	VBYPAS	kV	인버터 바이패스 전압
J+8	VUNBY	pu	인버터 바이패스 해제 전압
J+9	TBYPAS	sec	최소 바이패스 시간
J+10	RSVOLT	kV	블로킹 후 재투입시 최소 전압
J+11	RSCUR	amps	블로킹 후 재투입시 최소 전류
J+12	VRAMP	pu/sec	전압 회복율
J+13	CRAMP	pu/sec	전류 회복율
J+14	C∅	amps	최소 전류값
J+15	V1	kV	VDCOL의 포인트 1 전압
J+16	C1	amps	VDCOL의 포인트 1 전류 $\geq C\emptyset$
J+17	V2	kV	VDCOL의 포인트 2 전압
J+18	C2	amps	VDCOL의 포인트 2 전류
J+19	V3	kV	VDCOL의 포인트 3 전압
J+20	C3	amps	VDCOL의 포인트 3 전류
J+21	TCMODE	sec	minimum time stays in switched mode

[표 1]의 CONs 데이터 중에서 계통의 외란 이후 회복 특성에 영향을 주는 데이터는 제어기의 계단응답 특성을 나타내는 RSVOLT, RSCUR, VRAMP, CRAMP와 제어기의 VDCOL 특성을 나타내는 V1, I1, V2, I2, V3, I3이다. 따라서 외란에 따른 HVDC의 동특성을 모의하기 위해서는 위의 데이터를 산정해 주어야 한다.

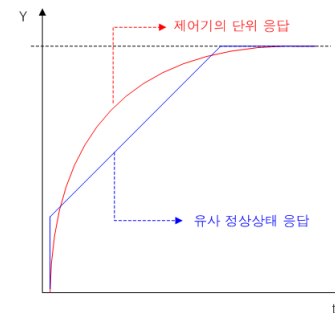
2.2 CDC4 파라미터의 산정

HVDC 제어기의 동작특성은 [그림 1]과 같다. 정류기측은 일정전류, 인버터측은 일정전압을 사용하며, 전압이 어느 수준 이하로 떨어지게 되면, 점화각 또는 소호각이 증가하게 되어 HVDC에서 필요한 무효전력이 급격히 증가하게 되므로, 이때는 VDCOL제어를 수행하게 된다.



<그림 1> HVDC의 전압 전류 특성

따라서 HVDC의 전압제어를 위한 파라미터는 직접 산출하면 되지만, 전류제어를 위한 파라미터는 전류제어기에 의한 데이터와 VDCOL에 의한 데이터를 분류하여 파라미터를 산정해야 한다. [그림 1]의 특성 곡선에서 보듯이 VDCOL은 직선의 형태를 이루기 때문에 전압데이터와 전류 데이터를 도시하였을 때 직선을 이루는 데이터는 VDCOL에 의한 데이터로 간주하고, 직선 이외의 지역에 있는 데이터는 제어기에 의한 데이터로 간주할 수 있다.



<그림 2> CDC4 모델의 유사정상상태 응답

CDC4는 dc 컨버터 관련값들이 dc 컨버터에 신호가 입력되거나 ac 급전 전압이 변할 때 dc 컨버터가 그것의 새로운 운전점으로 순간적으로 동작하는 것으로 간주한다. 따라서 CDC4는 제어기의 응답 특성을 대수방정식으로 표현하며, 시간 응답 특성은 [그림 3]과 같다. 유사정상상태를 표현하는 대수방정식의 y절편은 [표 1]의 RSVOLT, RSCUR에 해당되며, 기울기는 VRAMP, CRAMP에 해당된다. 따라서 전압의 결과 데이터와 VDCOL 결과 데이터를 제외한 전류 데이터에 대해 선형 보간법을 적용함으로써 유사정상상태를 나타내는 직선을 도출하게 된다.

2.2.1 해남-제주간 HVDC #1의 파라미터 산정

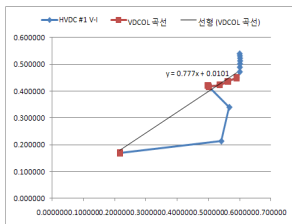
[그림 3]은 해남-제주간 HVDC#1의 전압 결과 데이터와 전류결과 데이터이다.



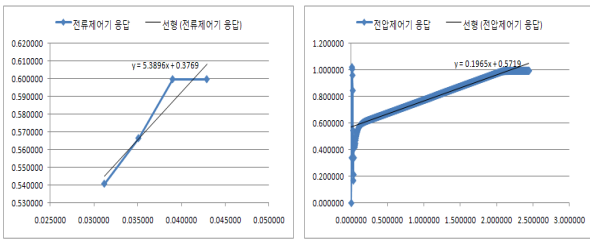
(a) 전압 결과 데이터 (b) 전류 결과 데이터

<그림 3> HVDC #1의 전압 결과 데이터와 전류 결과 데이터

[그림 3]의 데이터를 이용하여 해남-제주간 HVDC #1의 전압-전류 특성을 도시하면 [그림 4]와 같고, 전류제어기의 응답과 전압제어기의 응답을 도시하고 선형보간법을 이용하여 유사정상상태를 나타내는 직선을 도출하면 [그림 5]와 같다.



<그림 4> HVDC #1의 전압-전류 특성



<그림 5> HVDC #1의 전류 제어기 응답과 전압제어기 응답

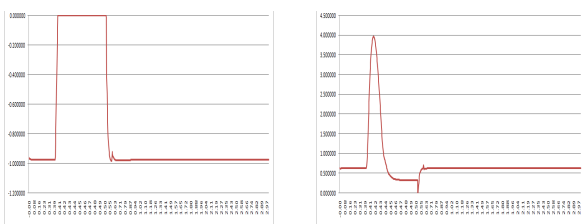
[그림 4]에서 전류가 개시되는 지점과 정전류 특성이 나타나는 지점 사이의 직선이 HVDC #1의 VDCOL 특성이라 할수 있다. [그림 4]로부터 VDCOL을 위한 파라미터를 산정하고, [그림 5]로부터 각 제어기의 유사정상상태 응답을 나타내는 파라미터를 산정하면 [표 2]와 같다.

<표 2> HVDC#1의 파라미터

CONs	변수	단위	결과 데이터	CONs 파라미터
J+10	RSVOLT	kV	0.572	104.68
J+11	RSCUR	amps	0.377	68.99
J+12	VRAMP	pu/sec	0.196	0.2
J+13	CRAMP	pu/sec	5.389	5.39
J+15	V1	kV	0.216	39.53
J+16	C1	amps	0.169	118.3
J+17	V2	kV	0.590	107.97
J+18	C2	amps	0.449	314.3
J+19	V3	kV	1.000	183
J+20	C3	amps	1.274	891.8

2.2.2 진도-제주간 HVDC #2의 파라미터 산정

[그림 6]은 진도-제주간 HVDC#2의 전압 결과 데이터와 전류결과 데이터이다.



(a) 전압 결과 데이터 (b) 전류 결과 데이터

<그림 6> HVDC #2의 전압 결과 데이터와 전류 결과 데이터

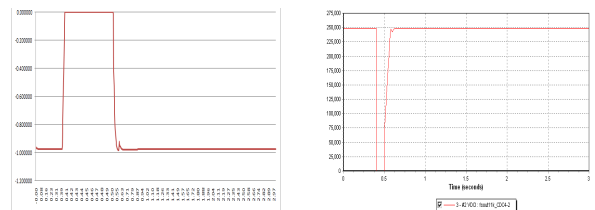
[그림 6]의 데이터를 이용하여 2.2.1결과 같은 과정을 거치면 진도-제주간 HVDC #2에 대한 CDC4 모델 파라미터를 산정할 수 있다. HVDC #2에 대한 VDCOL 파라미터와 각 제어기의 유사정상상태 응답을 나타내는 파라미터를 산정하면 [표 3]와 같다.

<표 3> HVDC#2의 파라미터

CONs	변수	단위	결과 데이터	CONs 파라미터
J+10	RSVOLT	kV	0.400	73.2
J+11	RSCUR	amps	0.136	24.89
J+12	VRAMP	pu/sec	9.440	9.44
J+13	CRAMP	pu/sec	6.191	6.19
J+15	V1	kV	0.525	96.08
J+16	C1	amps	0.105	114.77
J+17	V2	kV	0.525	96.08
J+18	C2	amps	0.105	114.77
J+19	V3	kV	1.000	183
J+20	C3	amps	0.627	685.31

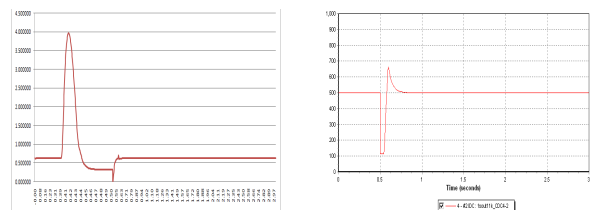
2.3 PSS/E 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 2.2절에 산출된 CDC4 모델의 파라미터를 이용하여 제주계통에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. HVDC #2에 대하여 전압을 비교한 결과가 [그림 7]이고 전류를 비교한 결과가 [그림 8]이다.



(a) 원본 데이터 (b) PSS/E 수행결과

<그림 7> HVDC #2의 전압 비교



(a) 원본 데이터 (b) PSS/E 수행결과

<그림 8> HVDC #2의 전류 비교

CDC4 모델이 복구과정에 대해서만 유사정상상태로 모델링되어기 때문에 고장 발생 및 고장 지속시의 과도 현상은 표현하지 않는다. 따라서 [그림 8]에서 보듯이 고장 발생 및 지속시의 경향은 차이가 발생한다. 하지만 복구시의 특성은 경향이 유사하며, CDC4 모델의 결과가 오버슈트가 조금 더 많이 발생함을 알수 있다.

3. 결 론

HVDC는 프로젝트마다 제어기의 특성이 달라지기 때문에 전용의 해석모델이 존재하지 않는다. 해석모델이 존재하지 않는 경우에 계통해석을 수행하는 방법은, 설비의 특성을 나타내는 데이터를 범용 모델에 적합하도록 수정하는 방법과 PSS/E의 Model Writing 기법을 이용하여 UDM을 개발하는 방법이 있다. 해석의 정확도를 높이기 위해서는 UDM을 개발하는 것이 바람직하지만, 개발 기간이 길고, HVDC와 UDM에 대한 전문적인 지식을 필요로 한다. 이에 본 논문에서는 주어진 데이터를 이용하여 CDC4 모델의 파라미터를 산정하는 방안을 제시하였다. 이 방법을 이용하여 제어기 모델이 알려지지 않는 UDM 출력데이터에 대한 CDC4 모델 파라미터를 산정하여 PSS/E 수행결과를 비교함으로써 파라미터 산정 방법에 대한 타당성을 검증하였다. 하지만 CDC4 모델은 유사정상상태를 나타내는 모델로써 실제 제어기를 모델링하지 않는다. 따라서 보다 정확한 해석을 위해서는 실제 제어기를 사용하는 CDC4T 모델에 대한 파라미터를 산정하는 방안이 추후 연구되어야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] P.KUNDUR, "POWER SYSTEM STABILITY AND CONTROL", McGraw Hill, 1994.
 [2] "PSS/E ver32.0 Manual", Siemens PTI, 2009
 [3] "High-Voltage Direct Current Handbook", EPRI, 1994