HVDC DC CT 선형성 최적화 및 시스템 적용에 대한 연구

Linearity Optimization of DC CT and a Study on the Application of HVDC System

최 용 길* · 이 은 재** · 최 호 석*** · 이 욱 화†
 (Yong-Kil Choi · Eun-Jae Lee · Ho-Seok Choi · Wook-Hwa Lee)

Abstract - These days, the advantages of DC power system are consistently stand out in Korea that was a small power loss and high stability. Needs of DC power transmission technology is focused in the midst of a smart grid and environment friendly generation technology boom that is needed for next generation technology. Researches and businesses for HVDC(High Voltage Direct Current) system has been began. But, Needs of HVDC equipment and system commissioning technology are not on the rise until now. In particular, South Korea's HVDC technology is after the foot runner of advanced country and company. In addition, There is no experience for equipment verification and commissioning technology. And Experts of HVDC are rare. Who has been fully understood hardware and system as a whole, and identified all the equipment's characteristic. Recently, Academia and industry are recognized a needs of HVDC technology. But it does not received a recognition of technical value. In this paper, introduce issues when we apply the IEEE's verification method for HVDC system, especially DC current measurement system, DC CT(Direct Current Transformer), among the HVDC equipments. And Proposes remedial methods on the issue in order to recognize the necessity that was HVDC equipments's verification and commissioning technology research should be focused on.

Key Words : HVDC, Commissioning, DCCT, Pre-commissioning test, Subsystem test, DCCT accuracy test, Type test, Routine test, Linearity, Loss

1. 서 론

우리나라는 원거리 송전용량이 확대됨에 따라 초고압직류(HVDC) 송전방식 확충을 비중 있게 추진하고 있다. 1998년 해남-제주간 HVDC 시스템 상업운전을 시작으로 진도-제주를 잇는 HVDC 시스템 건설도 마무리 단계에 와 있다. 또한, HVDC 기술은 남북연계 및 동북아 슈퍼그리드에도 적용될 전망으로 기반기술 확보가 절실한 상황이다[1][2]. 특히, 2012년부터 현재까지 진도-제주간 선로는 상용운전을 위하여 국내 기술진에 의해 Commissioning을 진행하고 있는 상황이다. 그만큼 Commissioning 기술은 시스템 운전을 위해 중요한 핵심 기술 중 하나로 손꼽힌다.

본 논문에서는 LS산전 연구진이 개발한 국산 HVDC 설비를 기반으로 구축한 제주 실증단지 시스템을 대상으로 실시한 Commissioning 기술에 대한 내용을 포함하고 있으며, 특히 HVDC 시스템의 전류 측정 및 그 적용과 관련한 시험에 관련한 내용을 기술하였다.

전류를 측정하는 방법으로는 직접 측정 방식과 간접 측정 방식으로 나눌 수 있으며, 간접 측정 방식이 직접 측정 방식에 비하여 경제성과 절연 확보의 장점을 가지고 있어 널리

사용된다. 특히, HVDC 시스템과 같이 고 전압, 대 전류 시스템의 경우 직접 측정 방식을 적용할 경우 측정 장비의 절연을 확보하기 위한 문제와 그로인한 비용의 증가 문제가 있기 때문에 일반적으로 간접 측정 방식을 사용한다. 전류의 간접 측정 방식은 CT (Current Transformer)의 변류비를 이용하고, 그 변류 방식 및 특성에 따라 구분된 CT를 대상 시스템의 특성에 따라 사용한다[9]. HVDC 시스템에서는 주로 ZFCT (Zero Flux current transformer) 또는 광 CT가 많이 사용된다. 일반적인 CT의 구성은 그림 1과 같다.

그림 1 일반적인 CT 구성

Fig. 1 Configuration of CT

CT는 그림 1과 같이 CT의 1차측, 2차측, measuring panel 구성된다. CT의 1차 측과 2차 측의 변류 비율에 따라 CT의 변류비가 결정이 되고, measuring panel과 CT의 변류 특성에 따라 선형성이 결정된다. HVDC 시스템에서 DC CT는 DC전류를 측정하여, 제어 및 보호에 사용된다. 일반

* HVDC Engineering Team, LSIS, Korea
 ** HVDC Engineering Team, LSIS, Korea
 *** HVDC Engineering Team, LSIS, Korea
 † Corresponding Author : HVDC Engineering Team, LSIS, Korea
 E-mail : whleea@lsis.biz

Received : November 7, 2013; Accepted : May 13, 2014

적으로 Bi-pole로 구성된 HVDC에 적용되는 DC CT는 그림 2에서 원으로 표시된 5개소에 설치된다[3].

그림 2 DC CT 설치 위치

Fig. 2 Current Measuring Point of HVDC

본 논문에서는 HVDC 시스템에 적용하는 DC CT의 시험 항목 및 적용방법 등을 소개하였으며, 적용되는 DC CT의 선형특성 차이에 의해 발생 가능한 문제에 대하여 고찰하고 실제 제주 HVDC Pilot 시스템에 적용된 DC CT의 시험 및 그 결과를 통하여 문제 해결 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 DC CT Off-Site test

DC CT 제작사에서 제작 완료된 제품은 출하 이전에 Type Test와 Routine Test 두 가지 형태의 시험을 거친다. Type Test는 기기의 특성을 확인/검증하기 위한 시험으로 하나의 샘플기기에 대해 시험하고, Routine Test는 성능을 확인하기 위하여 모든 기기에 대해 시험한다. DC CT에 대하여 Off-Site에서 진행하는 시험 항목은 표 1에 제시하였다[4].

Off-site 성능 시험 항목 중 Accuracy test의 경우에는 정확한 시험이 수행되지 않고 실제 시스템에 적용되어 사용될 경우 측정 오차 발생으로 인한 문제를 야기할 수 있다. 아래의 그림 3은 IEC 규격[5]에서 정하는 CT의 전류 측정 범위별 오차 비율을 나타내고 있으며, 오차 비율이 상이한 이유는 CT가 가지는 선형특성을 고려하였기 때문이다.

Accuracy class	± percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below			
	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5
1.0	3.0	1.5	1.0	1.0

그림 3 CT의 오차 등급

Fig. 3 Accuracy Class of CT

제주 HVDC 실증단지의 경우 0.5 class급의 CT가 사용되었으며, IEC 규격에서 정하는 0.5class CT에 적용되는 허용

표 1 Off-Site Test 항목

Table 1 Off-Site Test list

		시험항목
1	Type Test	Accuracy Test
2		Step response test
3		Lightning impulse test
4		Switching impulse test
5		Dry DC voltage withstand test
6		Partial discharge measurement test
7		Short time thermal current test
8		Temperature rise test
9		EMC: Slow voltage variation test
10		EMC: Voltage dips and short interruption test
11		EMC: Surge immunity test
12		EMC: Electronic fast transient/burst test
13		EMC: Oscillatory waves immunity test
14		EMC: Electrostatic discharge
15		EMC: Power-frequency magnetic field immunity test
16		EMC: Pulse magnetic field immunity test
17		EMC: Damped oscillatory magnetic field immunity test
18		EMC: Radiated emission test
19		EMC: Conducted emission test
20		EMC: Radiated immunity test
21	Routine Test	Accuracy Test
22		Step response test
23		Dry DC voltage withstand test
24		Partial discharge measurement test

오차는 CT 정격전류의 비에 따라 결정된다. 정격전류의 5[%], 20[%], 100[%], 120[%]에서 각각 허용오차 1.5[%], 0.75[%], 0.5[%], 0.5[%] 이내로 규정된다.

제주 HVDC 실증단지 시스템에 적용된 기기는 설치 이전에 기기별 공장검수 시험이 수행되었으며, 표 2는 제주 HVDC 실증단지 시스템에 적용한 DC CT의 Off-site Accuracy에 대한 시험 결과이다. 각 CT의 성능이 IEC 규격 기준에 부합함을 확인할 수 있다.

표 2 Off-Site Accuracy 시험결과

Table 2 Off-Site Accuracy Test Result

구분		0.1[pu]	0.2[pu]	0.5[pu]	0.8[pu]	1.0[pu]	1.2[pu]
10kV CT #1	인가	37.6100	76.2800	189.7000	303.6300	378.7700	453.4700
	측정	37.4573	75.9704	189.0731	303.0300	378.5292	453.8772
	오차	0.4077	0.4075	0.3316	0.1980	0.0636	0.0897
10kV CT #2	인가	37.6600	76.6000	189.8300	304.0100	378.2800	453.3000
	측정	37.5757	76.3636	189.3150	303.6348	378.2772	454.1544
	오차	0.2243	0.3096	0.2720	0.1236	0.0007	0.1881
10kV CT #3	인가	37.6600	76.6000	189.8300	304.0100	378.2800	453.3000
	측정	37.6664	76.5980	189.8140	304.0380	378.3024	453.3480
	오차	0.0170	0.0026	0.0084	0.0092	0.0059	0.0106
10kV CT #4	인가	37.7800	77.0900	189.7200	303.2100	378.1900	452.8800
	측정	37.6135	76.7516	189.1789	302.8032	378.2520	454.2800
	오차	0.4427	0.4409	0.2860	0.1343	0.0164	0.3082
10kV CT #5	인가	37.7800	77.0900	189.7200	300.3210	378.1900	452.8800
	측정	37.7824	77.1044	189.8114	303.3324	378.3528	453.0960
	오차	0.0064	0.0187	0.0482	0.9928	0.0430	0.0477

10kV CT #6	인가	37.6200	76.5100	189.5000	303.8100	378.5200	452.8500
	측정	37.6261	76.5374	189.5594	303.8112	378.5292	452.8944
	오차	0.0162	0.0358	0.0313	0.0004	0.0024	0.0098
10kV CT #7	인가	37.6200	76.5100	189.5000	303.8100	378.5200	452.8500
	측정	37.7269	76.4996	189.1789	303.5340	378.5040	453.3732
	오차	0.2834	0.0136	0.1697	0.0909	0.0042	0.1154
10kV CT #8	인가	37.9100	76.5100	189.6600	303.3000	377.5900	453.0700
	측정	37.9210	76.5097	189.8039	303.5340	377.8740	453.3732
	오차	0.0290	0.0004	0.0758	0.0771	0.0752	0.0669
10kV CT #9	인가	37.9100	76.5100	189.6600	303.3000	377.5900	453.0700
	측정	37.8428	76.2955	189.3074	303.0552	377.6472	453.7764
	오차	0.1776	0.2811	0.1863	0.0808	0.0151	0.1557
10kV CT #10	인가	37.6100	76.2800	189.7000	303.6300	378.7700	453.4700
	측정	37.5631	76.24010	189.2074	303.6348	378.7560	453.4740
	오차	0.1249	0.0523	0.2074	0.0016	0.0037	0.0009
10kV CT #11	인가	38.3000	77.0000	190.0600	304.1700	378.6300	454.0600
	측정	38.4376	77.1422	190.1768	304.3908	378.8568	454.2804
	오차	0.3580	0.1843	0.0614	0.0725	0.0599	0.0485
10kV CT #12	인가	38.3000	77.0000	190.0600	304.1700	378.6300	454.0600
	측정	38.3090	77.0616	190.1819	304.4412	378.9828	454.4820
	오차	0.1555	0.1425	0.1112	0.1062	0.0925	0.0901
80kV CT #1	인가	38.4200	75.6700	190.8700	303.0600	380.1400	454.9200
	측정	38.4098	75.9478	191.3260	303.1560	379.6632	453.4488
	오차	0.0266	0.3658	0.2383	0.0317	0.1256	0.3244
80kV CT #2	인가	38.0100	75.9100	189.0600	301.6400	378.8500	455.2200
	측정	37.9510	75.8020	188.8500	301.3200	378.5000	454.8100
	오차	0.1555	0.1425	0.1112	0.1062	0.0925	0.0901
80kV CT #3	인가	38.0700	76.7800	189.6800	304.0500	378.5600	453.3400
	측정	38.0822	76.8474	189.8240	304.2900	379.1340	453.7008
	오차	0.0320	0.0877	0.0759	0.0789	0.1514	0.0795
80kV CT #4	인가	38.0100	77.5900	190.2400	304.8500	379.3800	454.9300
	측정	37.8680	77.4598	190.1819	304.8444	379.3608	454.9356
	오차	0.375	0.1681	0.0305	0.0018	0.0051	0.0012

2.2 DC CT pre-commissioning test

DC CT Pre-commissioning 시험은 포장, 운송, 보관, 설치 과정에서 기기의 손상 여부 및 기기의 성능 이상 여부를 확인과 정상적인 설치 상태를 판별하는 것을 목적으로 한다. DC CT Pre-commissioning 시험 항목 및 판정 기준은 아래의 표 3과 같으며, 본 기준에 따라 제주 HVDC 실증단지에서 적용된 DC CT의 시험이 수행되었다[4],[5],[6],[8].

표 3 Pre-commissioning 시험항목

Table 3 Pre-commissioning Test List

	시험 항목	시험 방법	판정 기준
1	기기 육안 검사	육안 검사	손상 여부
2	기기 설치 검사	육안 검사	설치 상태
3	케이블 연결 검사	육안, 토크 검사	오차 $\pm 10\%$ 이내
4	DC 내전압 시험	내전압 인가시험	시험 후 정상동작
5	절연 저항 시험	절연 저항 측정	기준이내 저항 측정값
6	변환 비 시험	변환 비 측정	오차 $\pm 5\%$ 이내

2.3 DC CT sub-system

DC CT Subsystem test는 DC CT와 제어기 간의 연결 상태를 확인하고, DC CT 1차측의 전류 인가 값과 제어기

HMI(Human Machine Interface) 화면의 값이 오차 범위 내 인지 확인하는 것을 목적으로 실시한다. 제어기와 DC CT의 구성은 그림 4와 같다.

그림 4 DC CT와 제어기 Subsystem test 구성도

Fig. 4 Configuration of DC CT and C&P System

아래의 그림 5는 HVDC Pilot 시스템에 적용된 DC CT의 실제 Subsystem test 시험 내용이다. 대전류 인가장비를 사용하여 실제 정격전류인 378[A]를 DC Yard에서 주입하였을 경우 Measuring Panel에서 1차 출력을 측정하여 CT 자체 입력대비 출력을 확인할 수 있으며, HVDC 제어와 보호를 위한 C&P 시스템에 대한 확인은 HMI와 TFR(Transient Fault Recorder)을 통하여 이중으로 확인하여 DC CT의 선형성과 오차를 최종적으로 확인하였다.

그림 5에서 (a)는 DC Yard에서 실제 인가 전류를 계측기를 통하여 측정한 파형, (b)는 Measuring Panel에서 측정한 전류값 출력, (c)는 Sub system test의 대상과 OWS(Operator Work Station)의 HMI에서 표시되는 값, 마지막으로 (d)는 TFR 측정 파형을 나타낸다.

그림 5 Subsystem 시험결과

Fig. 5 Subsystem Test Result

본 연구진은 IEEE에서 제시하는 HVDC Commissioning 절차와 방법에 따라 제주 HVDC 실증단지 시스템을 대상으로 Commissioning 시험을 수행하였다[3],[4],[8]. 하지만 제시된 절차와 방법은 DC CT의 특성 및 조건에 따른 성능

1) C&P(Control and Protection) 시스템 : HVDC 시스템 설비를 운영하기 위한 제어 및 보호 시스템으로, 시스템 제어와 보호를 위한 H/W Platform 및 Algorithm을 총칭한다.

추가적으로 본 논문에서 설명하고 있는 HMI는 시스템의 운전과 관련한 상태정보를 Main Control PC에서 읽어올 수 있는 시스템이며, TFR은 전압, 전류 등 신호정보를 기록하기 위한 일종의 기록계이다.

차이를 개별적으로 확인해야만 하는 문제점이 있었으며 이로 인한 시간 소요와 시험 비용 증가, 성능 표준화의 어려움이 있음을 확인하였다. 전술된 문제는 DC CT를 시험함에 있어서 선형성의 오차와 개별 기기간의 차이를 유발하며, 결과적으로 선형성의 차이는 시스템 운용 시 전력 손실과 오동작을 유발한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 개별 DC CT의 특성에 따른 선형성을 모델링하여 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 기반으로 DC CT 군을 재시험하였다. DC CT 군의 재시험은 동일 입력에 대한 개별 CT의 특성을 확인하고자 개별 시험이 아닌 그림 2에 표시된 5개의 DC CT를 단일 페루프로 구성하여 시험하였다.

2.4 선형특성 모델 및 시뮬레이션

2.4.1 CT 선형특성 모델

개별 DC CT의 선형특성을 비교 모의하기 위한 PSCAD/EMTDC 모델은 그림 6과 같다. 그림 6에서 표현된 CT의 선형성 모델은 1개의 CT특성을 대표적으로 표현하였으며, 제주 HVDC Pilot 시스템에 적용되는 DC CT의 off-site test 성적서를 기초로 하여 저압측 CT 12개, 고압측 CT 4개, 총 16개의 CT 특성을 모델링 하여 모의하였다.

각 DC CT 특성은 표 2의 Off-site 시험 성적서를 기반으로 하여 6point 샘플값으로 모델링하였다. 샘플값은 DC 정격전류의 0.1[pu], 0.2[pu], 0.5[pu], 0.8[pu], 1.0[pu]와 과부하 특성을 고려한 1.2[pu] 이다.

그림 6 선형특성 모의를 위한 PSCAD 모델
Fig. 6 CT Linearity Model in PSCAD

2.4.2 시뮬레이션 모의 결과

DC CT의 선형특성 모의 결과는 그림 7과 같다. 그림 7은 총 16개의 DC CT 선형 특성에 대한 전반적인 추이를 비교하기 위하여 표현한 그래프로서 그림 8 및 그림 9에 그 내용에 대한 상세 설명을 제시한다.

그림 8은 각 CT의 선형특성과 그 평균값을 비교 모의한 결과로 파란색 굵은 실선으로 표현된 그래프가 전체 DC CT의 선형특성 평균을 표현한다. 저압측 선로에 적용되는 10kV DC CT와 고압측 선로에 적용되는 80kV DC CT 모

그림 7 DC CT의 선형성 (저압측 12개, 고압측 4개)
Fig. 7 The Linearity of DC CT

두 일부 범위에서 평균값에서 벗어남을 확인할 수 있다. 그 정도는 10kV CT는 최대 23.8[%], 80kV CT는 최대 6.6[%] 범위이다.

그림 8 DC CT 선형특성 평균값과 각 CT 특성 비교
Fig. 8 Compare each linearity of CT with Mean

또한, 각 CT의 선형특성에 의해 측정된 전류의 최대값과 최소값을 비교하면 그림 9와 같이 표현된다.

그림 9 개별 DC CT 간 특성 오차
Fig. 9 Measurement Error between Individual Characteristics

그림 9에서 파란색 실선은 최대 측정값, 녹색 실선은 최소 측정값을 나타내며, 적색이 최대 측정 오차값을 나타낸다. 최대 측정오차값은 10kV DC CT의 경우 0.5[pu]에서 약 50.992[A]의 측정오차를 보이고, 80kV DC CT의 경우 0.85[pu]에서 약 19.916[A]의 측정오차를 보인다.

각 개소에서 측정하는 DC 전류의 측정오차는 DC 송전전력 손실의 하나의 원인으로 작용할 수 있다. 이는 실제 시스템에서 발생하지 않은 물리적 손실이 DC 전류의 측정 과

정에서 측정 오차로 인하여 실제 전류보다 낮거나 높게 전류를 측정함으로써 송전 시 발생하는 손실로 전류의 측정 오차가 포함되어 간주되는 경우를 초래할 가능성이 있음을 의미한다. 이에 대한 예로써 그림 10에서와 같이 1[%]오차의 계전용 CT를 사용한 한국전력의 SCADA 시스템에서 계측된 HVDC 시스템의 Pole 1의 손실치가 1.1[MW] 이므로 Pole 2의 손실치 예상치인 1.1[MW]를 합하여 산정할 경우에는 손실 모의치(1.4[MW]) 및 정밀 계측기로 측정된 HVDC 시스템 전체의 손실치(1.89[MW])보다 큰 것으로 확인할 수 있다.

그림 10 한국전력 SCADA 시스템을 통한 손실 확인
Fig. 10 Loss verified by KEPCO SCADA system

또한, DC 송전 전압을 정격전압인 80[kV]로 가정할 경우 DC 측정전류에 따른 송전 전력의 손실은 아래의 그림 11과 그림 12와 같이 표현된다. 정격 1[pu] 운전 시에는 저압측 및 고압측에서 측정한 전류에 의한 전력손실은 각각 약 50.3[kW], 70.8[kW] 이나, 최대 4.08[MW], 1.60[MW]의 값으로 모의된다.

그림 11 10kV DC CT 측정 오차에 따른 손실
Fig. 11 Loss due to Measurement Error of 10kV DC CT

그림 12 80kV DC CT 측정 오차에 따른 손실
Fig. 12 Loss due to Measurement Error of 80kV DC CT

2.5 대안 및 결과

연구진은 시뮬레이션을 통하여 확인된 손실을 줄이고 선형성을 유지하며 개별 DC CT의 선형특성을 표준화하기 위하여 측정 기반의 선형성 data를 기반으로 Measuring Panel에서 오차범위 이내로 들어올 수 있도록 각 DC CT에 대한 Gain, Off-set의 설정 변경을 통하여 튜닝을 실시하였으며, 모든 DC CT를 단일 폐회로로 구성된 시험을 재 실시하였다. 단일 폐회로는 DC Yard에 설치된 Switch Gear (DS: Disconnect Switch)의 조작을 통하여 모든 DC CT가 단일 폐회로로 구성될 수 있도록 하였다.

그림 13은 최대전력 전송 시험 시 실제 HVDC 시스템의 운전상태를 HMI를 통하여 확인된 시험 결과를 나타낸다.

그림 13 선형성 개선을 통한 재시험 결과
Fig. 13 Test Results through the Improvement of the Linearity

또한, 이러한 결과를 토대로 HVDC Pilot 시스템의 Bi-Pole mode 전력 전송시험을 수행하였다. 아래의 표 4는 전력 전송 시험 시 측정한 전류의 값을 정리하였다.

표 4에 제시한 전력전송 시험 결과는 최소 부하인 6[MW]로부터 10[MW] 단계로 전력 전송량을 증가 / 감소시키면서 전류를 측정한 결과로서 최대 전류 측정오차는 0.52[%]로 측정되었으며, 전류 측정오차의 전체 평균은

표 4 Bi-Pole 운전 시 DC 전류 측정

Table 4 DC Current Measurement during Bi-Pole Operation

송전 용량 [MW]	전류측정값 [A]				전류측정 오차 [%]				정격 전류 [A]
	Pole #1		Pole #2		Pole #1		Pole #2		
	고압	저압	고압	저압	고압	저압	고압	저압	
6	37.7	37.6	37.8	38.0	0.26	0.52	0.00	0.52	37.8
10	-	-	-	-	-	-	-	-	62.5
20	124.8	124.5	124.4	124.9	0.16	0.40	0.48	0.08	125
30	187.1	186.8	188.2	187.3	0.21	0.37	0.37	0.11	187.5
40	249.6	249.4	249.5	249.7	0.16	0.24	0.2	0.12	250
50	312.3	311.8	311.9	312.2	0.07	0.22	0.19	0.09	312.5
60	377.8	377.4	377.4	377.8	0.05	0.16	0.16	0.05	378
50	312.4	311.9	311.0	312.3	0.03	0.19	0.48	0.06	312.5
40	249.7	249.5	249.4	249.8	0.12	0.20	0.24	0.08	250
30	187.3	187.0	187.1	187.4	0.11	0.26	0.21	0.05	187.5
20	124.9	124.6	124.9	124.9	0.08	0.32	0.08	0.08	125
10	62.4	62.3	62.5	62.6	0.16	0.32	0.00	0.16	62.5
6	37.7	37.6	37.7	37.7	0.26	0.52	0.26	0.26	37.8

0.202[%] 이다. 특히 최대부하 전력전송 시 전류 측정 오차의 평균은 0.105[%]로 측정 오차에 의한 손실은 31.752[kW]로 계산된다.

HVDC에 적용한 DC CT의 선형특성을 개선하기 위해 앞서 설명한 바와 같이 CT의 시험방법 및 Measuring Unit Setting을 변경하여 적용한 이후 실제 운전 조건에서의 측정결과와 2.4절의 시뮬레이션 결과와 비교하면, 1[pu] 전력전송 시 전류측정 오차에 의한 손실은 개선 후 실측값이 개선 전 시뮬레이션 값의 47.56[%]에 해당하며, 최대 측정오차를 적용할 경우 시뮬레이션의 경우 4.08[MW] 였으나, 실측데이터는 약157[kW]에 지나지 않는다. 이를 통해 DC CT의 선형특성의 개선효과를 입증하였으며, DC CT의 개별 시험에 비하여 시험에 소요되는 시간이 감소되고 성능의 표준화로 인한 DC CT 출력간의 오차를 감소시키는 결과를 도출하였다.

3. 결 론

규격에서 기술되어 있는 CT(Current Transformer) 시험의 정의와 운전 절차는 표준화 및 제품 검증에 그 목적이 있다. 단품 시험의 경우에는 CT의 성능 및 신뢰성에 대한 충분한 검증이 이루어진다. 하지만, 본 논문에서 언급하는 것과 같이 HVDC 시스템 적용 시에는 CT의 개별 제품 검증 뿐만 아니라, 시스템 구성 및 동작 시의 성능 및 검증도 함께 고려해야 함을 알 수 있다. 특히, CT의 경우에는 각 CT가 가지고 있는 선형성과 측정 치에 따라 시스템의 손실과 고장과 관련된 심각한 문제의 원인이 될 수 있다. 그러므로 개별 CT의 최적화된 성능과 CT 간의 선형성을 반드시 검증할 필요가 있다. 본 논문에서는 국내 최초로 시도된 제주 전류형 HVDC 실증단지 실증시험을 통하여 이러한 점에 대해 개선 점을 기술하고 시뮬레이션 및 실 시스템에 적용한 검증을 통하여 입증 하였다. 또한 향후 HVDC Commissioning 기술의 가이드 라인으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] KECA, "HVDC Current Status and Prospects", 2013.
- [2] KEPCO, "Nation/Intercontinental Grid Construction: Super Grid Implementation Status and Future Prospects", 2014.9.
- [3] D. Wilhelm, "High-Voltage Direct Current Handbook, 1st Edition", Electric Power Research Institute.
- [4] IEEE standard 1378-1997.
- [5] IEC 61975 Edition 1.0. 2010-07.
- [6] IEC 60044-8 Edition 1.0. 2002-07.
- [7] IEC 60512-1-1, 2002-02.
- [8] Yong-Kil Choi, "Introduction of HVDC(High Voltage Direct Current) Commissioning Test", 2012.
- [9] Robert A. Witte, "Electronic Test Instruments: Analog and Digital Measurements, Second Edition", Pearson Education, 2002.

저 자 소 개

최 용 길 (崔 用 吉)

1974년 생. 2000년 광운대 제어계측공학과 졸업. 2002년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 현 LS산전 HVDC 엔지니어링팀 책임연구원.

Tel : (02) 2034-4890

E-mail : ychoic@lsls.biz

이 은 재 (李 殷 在)

1982년 생. 2008년 광운대 전기공학과 졸업. 2014년 동 대학원 전기공학과 석·박사 통합과정 졸업(공학박사).

현 LS산전 HVDC 엔지니어링팀 선임연구원.

Tel : (02) 2034-4457

E-mail : ejleea@lsls.biz

최 호 석 (崔 皓 碩)

1983년 생. 2009년 충북대 전기공학과 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현 LS산전 HVDC 엔지니어링팀 주임연구원.

Tel : (02) 2034-4778

E-mail : hschoie@lsls.biz

이 욱 화 (李 旭 和)

1969년 생. 1991년 건국대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현 LS산전 HVDC 엔지니어링팀 수석연구원.

Tel : (02) 2034-4740

E-mail : whleea@lsls.biz