

고조파가 고온 초전도 케이블의 운전특성에 미치는 영향

論 文

56-12-2

The Effects of Harmonic Current in the Operating Characteristics of High Temperature Superconducting Cable

李 根 準[†] · 李 宗 培^{*} · 黃 時 丕^{**} · 孫 松 編^{***}

(Geun-Joon LEE · Jong-Bae LEE · Si-Dole Hwang · Song-Ho Sohn)

Abstract - This paper suggests the harmonic effects on HTS(High Temperature Superconducting) power cable. HTS cable is regarded as not only one of the important countermeasure to supply high density power demand area, but also one of countermeasures greenhouse technology. However, with the development of digital society, the distribution line power is much contaminated with harmonics generated by various power electronic equipments. This paper describes how the HTS cable responds to the harmonic and increases AC losses caused by hysteresis phenomenon. EMTDC based harmonic simulation results are compared with AC loss measured values.

Key Words : HTS cable, Harmonic, Distribution system, EMTDC Simulation, AC loss

1. 서 론

디지털 사회로의 진입으로 2020년까지 총에너지 소비 대비 전기에너지 소비의 비율을 약 50% 정도까지 증가할 것으로 전망하고 있으며[1], 이에 따라 도심 전력부하의 집중은 더욱 강화될 것으로 전망되고 있다. 고온 초전도 케이블(HTS (High Temperature Superconducting) cable)은 1986년 고온초전도현상이 발견된 이래 지속적으로 발전하여, 현재 세계 각국에서 실증시험이 진행 중이며[2-6], 기존의 XLPE 케이블에 비해 송전용량이 5배 이상 높고 기존 케이블 관로를 그대로 이용할 수 있으며, 전력손실이 적고 용량 전력량이 커서 도심 대전력 수송 방안은 물론 이산화탄소 저감효과도 기대할 수 있어 차세대 전력전송기술로 유망 시되고 있다.[10]

우리나라에서도 2006년 및 2007년에 한전전력연구원과 LS 전선이 각각 고창실증시험장에 100m, 22.9[kV] 50[MVA]의 초전도 케이블 실증시험장을 설치 완료하고, 운영에 따른 다양한 시험을 수행함으로써 실용화를 앞당기는 데 기여할 것으로 사료된다.

그러나 실제 전력계통에 대한 HTS 케이블의 적용은, 77[°K]이하의 극저온 조건에서 발생하는 초전도 현상을 유지시켜야 하며, 열적 평형이 깨지는 경우 퀘칭 현상에 의해 초전도 송전이 불가하므로, 이를 깨트릴 수 있는 전력계통의

다양한 외란환경, 예를 들면, 과전류, 고조파 등을 상정하고 이에 대한 제반 영향을 충분히 검토하여 그 대안을 수립한 이후에야 가능할 것이다. 초전도 케이블의 고장전류의 영향에 대한 퀘칭의 특성변화는 참고문헌[9]에 검토된 바 있으나, 고조파의 영향에 대한 검토는 아직 이루어진 바가 없다.

본 논문은 고장에 설치 시험 중인 22.9kV 초전도 케이블 시스템을 모형으로 하여, 이를 전력계통에 적용하는 경우 전원에 내재된 고조파에 의해 초전도 케이블의 열적 평형을 깨트리는 메커니즘을 이론적으로 규명하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 모의한 이후, 이에 대처하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 초전도 케이블 시스템

2.1.1 시스템 개요

설치된 초전도 케이블 시스템은 두 개의 단말장치와 초전도 케이블, 냉각 시스템으로 구성되어 있으며 케이블 시스템의 제작은 일본의 스미토모 전기공업주식회사(SEI)가 담당하였다. 설치된 초전도 케이블 시스템의 모식도를 그림 1에 나타내었다. 경제성을 고려하여 초전도 케이블의 적용 개소를 지하 전력구로 상정, 이를 모의하기 위해 기존에 설치되어 있는 50 m 길이의 지하 전력구에 초전도 케이블을 포설하였다. 냉각방식은 열교환기를 거친 액체질소가 케이블을 순환하여 운전 온도를 유지하고 최종적으로 회귀 배관을 통해 회귀하는 방식이다. 표 1은 초전도 케이블의 규격으로서, 국내 배전급 케이블과의 호환을 위해 정격 전압은 22.9 kV, 정격 전류는 1250 A로 기존 22.9 kV 케이블 용량에 5배에 이른다. 케이블의 양단에는 각각 1780 Liter 용량의 단말이 설치되어 있으며 세계 최초의 삼상 일괄형 단말을 채택하였다.

* 正 會 員 : (주)그린넵과워 엔지니어링팀 대리

** 正 會 員 : 韓電電力研究員 責任研究員

*** 正 會 員 : 韓電電力研究員 先任研究員

† 교신저자, 正會員 : 忠北科學大學 電氣에너지시스템學科 教授 · 工博

E-mail : gjlee@ctech.ac.kr

接受日字 : 2007年 8月 27日

最終完了 : 2007年 10月 19日

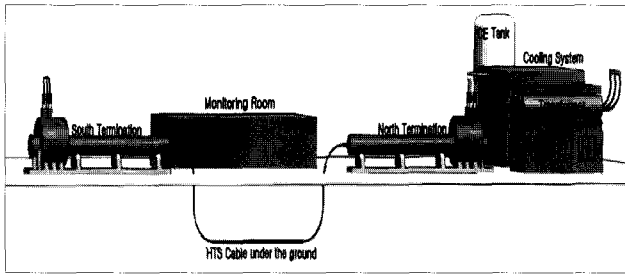


그림 1 설치된 초전도 케이블 시스템의 모식도
Fig. 1 HTS cable system mimetic diagram

표 1 초전도 케이블 시스템 규격
Table 1 Cable system rating

Item	Specification
Rated current	1250 A
Rated voltage	22.9 kV
Length	100 m
Cable type	Three phase in one cryostat
Installation bending angle	27°
Termination type	Three phase in one cryostat
Dielectric	Cold dielectric

2.1.2 초전도 케이블의 규격

초전도 케이블은 그림 2처럼 중심부의 동연선, 초전도체, 절연지, 차폐층, 스테인레스 시스 및 방식층으로 구성되어 있다. 표 2는 초전도 케이블의 규격으로서 외경은 방식층을 포함하여 130 mm로 현재 국내 전력계통에서 많이 사용하는 175 mm 관로에 적용이 가능하도록 설계되었다. 도체 및 차폐층으로 각각 초전도 선재와 전기적 절연을 위해 반합성지 (PPLP)가 사용되었다. 케이블의 외측은 고진공을 유지하여 외부의 열 침입을 최대한 억제하도록 파형의 이중 스테인레스 관으로 되어 있다. 그 외부에 부식을 막기 위해 폴리에틸렌이 방식층으로 덮혀 있다

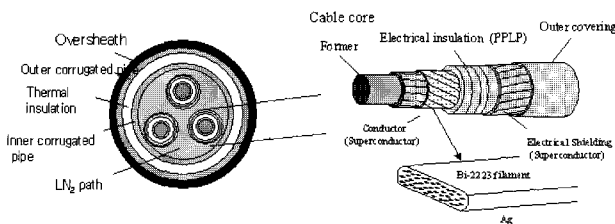


그림 2 초전도 케이블의 구조
Fig. 2 Structures of HTS cable

표 2 초전도 케이블 규격

Table 2 HTS cable specifications

Item	Specification
Former	Stranded copper
Conductor	Bi-2223, 2 layer
Shield layer	Bi-2223, 1 layer
Electrical insulation	PPLP, 4.5 mm
Cable core diameter	35 mm
Superconductor/shield	Bi-2223 tape
Thermal insulation	Double corrugated pipe, MLI, Vacuum
Oversheath	PE
Cable outer diameter	130 mm

2.1.3 초전도 케이블의 전기적 특성

초전도 케이블 시스템의 케이블에 사용된 초전도 선재의 규격은 표 2, 초전도 케이블의 전기적 특성은 표 3과 같다.

초전도 선재의 기계적 성질은 전기적 성질 못지않게 초전도 전력기기의 제작, 적용 시 고려해야 할 중요한 요소로서 실제 권선 시에 굽힘이나 비틀림 변형을, 냉각 시에는 열수축률차이에 의한 압축변형을 받게 된다. 이러한 기계적 변형은 결국 임계전류 열화와 같은 전기적 성질에 영향을 미치게 된다.

표 3 초전도케이블의 전기적 / 기계적 특성

Table 3 electrical & mechanical characteristic of HTS cable

Mechanical ch. : High strength type		
qualities	HTS Tape	Bi2223
	Matrix	Ag-Alloy
	insulation	없음
	Ag ratio	2.2
measurement	width	4.1mm
	thickness	0.22m
	length	10m
HTS ch.	Ic	90 A
	Je	10kA/cm2
mechanical intensity	critical bending diameter	φ 50mm
	critical tensile strength	170MPa@RT
	normal value	230MPa@77K

Electrical characteristic	
Capacity [MVA]	50
Rating voltage [kV]	22.9
Rating current [kA]	1250
Critical current [kA]	1800
R [Ω /km]	0
L [mH/km]	0.11
C [μ F/km]	0.32

2.2 손실 특성

초전도 케이블의 열손실 및 교류손실은 초전도 케이블의 냉매로 사용하는 액체질소 사용량 및 냉동기의 열부하를 늘려 유지·보수비용을 증가시키므로 초전도 케이블의 경제성 평가시 주요한 고려대상이다. 초전도 케이블 시스템의 열손실은 다음과 같은 정상 상태 열 계량법을 사용하여 측정가능하다.

$$W = C_p m \Delta T \tag{1}$$

여기서,

W : 열손실(W/m)

C_p : 액체질소의 비열(J/kg)

m : 유속 (kg/sec)

ΔT : 인입과 인출부의 온도차(K)

인가전류 증가에 따라 무부하시와 600 A, 1000 A, 1150 A, 1250 A 인가시 케이블에 발생하는 열손실값을 측정할 결과는 다음 표 4와 같다.

표 4 초전도케이블의 열손실 값 [W]

Table 4 Thermal loss of HTS cable [W]

Heat loss	0[A]	600[A]	1000[A]	1150[A]	1250[A]
cable system	1180	1430	1860	2080	2310
cable	220	325	570	715	840
North Terminal	250	320	425	470	530
South Terminal	240	315	400	400	447

이들 전류에 의한 영향분과 전압에 의한 영향분을 나누기 위해 무부하시의 손실분을 배제한 값은 다음 표와 같다.

표 5 초전도 케이블의 교류손실값 [W]

Table 5 AC loss of HTS cable [W]

Heat loss	0[A]	600[A]	1000[A]	1150[A]	1250[A]
cable system	0	250	680	900	1130
cable	0	105	350	495	620
North Terminal	0	70	175	220	280
South Terminal	0	75	160	160	207

고조파가 고온 초전도 케이블의 운전특성에 미치는 영향

상기 표에 의거, 고조파가 포함되지 않은 전원에 대하여, 교류손실값을 전류의 변화에 대해 모형화하면

$$P_{AC_{loss}} = 620 \times \left(\frac{I}{I_n}\right)^{2.35} \text{ [W]} \tag{2}$$

여기서, I = 부하전류

I_n = 정격전류

2.2.1 고조파에 대한 교류 손실의 모형화

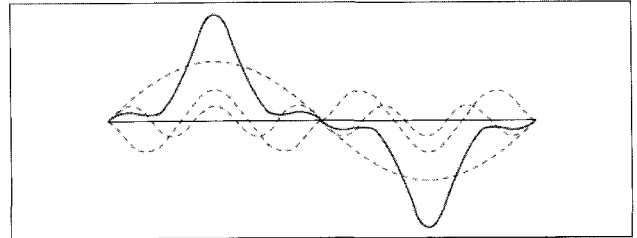


그림 3 고조파 전류

Fig. 3 Harmonic current

그림 3과 같은 고조파전류가 초전도케이블을 흐르게 되면 추가적으로 교류손실을 발생한다. 초전도 케이블의 교류손실은 크게 초전도체 및 접합부의 저항손(P_{LL}), 초전도체를 구성하고 있는 Bi2223의 히스테리시스손실(P_{HY})과 초전도체를 둘러싸고 있는 쉬스 및 모재에 발생하는 와류손실(P_{EC})로 나눌 수 있다. 따라서 고조파가 함유된 초전도 케이블 손실의 계산모형은 히스테리시스손실 모형과 와류손실모형으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

2.2.2 히스테리시스 손실 모형

$$P_{HY} = 2\pi f \eta V B_{max}^n = k f B_{max}^n \text{ [W/m]} \tag{3}$$

[7]

f : 주파수 [Hz]

B : 자속밀도[Wb/m²]

η : 물질에 따른 지수

V : 매질의 체적

k : 초전도케이블의 제정수를 통합한 상수

B-H의 선형구간에서 $B = \mu H = \mu \frac{NI}{l} = k_1 I$ 이며, 히스테리시스손실의 지수를 2.0으로 본다면 식은

$$P_{HY} = k' \times h \times I_h^2 \tag{4}$$

$$k' = k_1^2 k \cdot 60 \cdot 2$$

h : 고조파 차수

I_h : 고조파 전류

이며, 각 고조파 성분에 대한 총 히스테리시스 손실은

$$P_{HY0} = \sum (k' \times h \times I_h^2) \tag{5}$$

으로 할 수 있다.

2.2.2 케이블 와류손의 모형화

고조파가 포함된 경우 와전류 손실 P_{EC} 는 주파수와 전류의 각각 제곱에 비례한다.

$$P_{EC} = K_{EC} \times I^2 \times h^2 \quad (6)$$

단 K_{EC} 는 비례상수

2.2.2 고조파가 함유된 초전도케이블의 손실모형

고조파가 없는 경우의 케이블 손실은 다음 식과 같다.

$$P_{LL} = \sum I^2 R + P_{EC} + P_{HY} \quad (7)$$

고조파가 함유된 전류가 흐르는 경우 케이블의 교류 손실은 저항손, 와류손, 히스테리시스손의 합으로 나타낼 수 있다.

$$P_{LL} = \sum I_h^2 R + (\sum I_h^2 \times h^2 R) K_{EC} + \sum k' h I_h^2 \quad (8)$$

이를 저항손실에 대한 pu 값으로 표현하면

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) P_{EC-R} + \sum h I_h^2 P_{HY-R} \quad (9)$$

초전도 케이블은 변압기와는 달리 와전류손실의 비중이 적으므로 이를 무시하고 히스테리시스 손실만 고려하면 식(8)는

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + \sum h I_h^2 P_{HY-R} \quad (10)$$

단 P_{HY-R} 은 히스테리시스 손실의 전부하 손실에 대한 pu값

따라서 히스테리시스 손실에 대한 영향을 K-factor로[7] 고려하여 고조파 전류값을 유도하면

$$I = \sqrt{\sum I_h^2} = \sqrt{\frac{1 + P_{HY-R}}{1 + K_{HY} \times P_{HY-R}}} \quad (11)$$

단 히스테리시스손실의 K-factor $K_{HY} = \frac{\sum h I_h^2}{\sum I_h^2}$

따라서, 고조파 전류 I 가 흐를 때, 히스테리시스 손실이 증가함으로써 감소해야 하는 전류의 pu 값 $I_{derated}$ 은 기본과 전류의 정격시 발생하는 손실값과 고조파전류에 의해 발생하는 손실값을 같게 놓고 구할 때의 고조파 전류의 pu 값으로 표현되며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$I_{derated} = \sqrt{\frac{P_{LL-R}}{1 + K_{HY} P_{HY-R}}} \quad (12)$$

P_{LL-R} : 정격부하 최대 전류시의 저항손실에 대한 전부하 손실의 비(pu) = $1 + P_{HY-R}$

P_{HY-R} : 정격부하 시 최대전류시의 저항손실에 대한 히스테리시스손실의 비(pu)

2.3 컴퓨터 시뮬레이션

2.3.1 모의계통 설정

모의계통은 고장시험장에 설치된 케이블 규격을 기준하여 22.9[kV], 1[km] 길이의 초전도 케이블 선로를 설정하였다. 초전도 케이블에 AC loss를 발생하는 요소를 케이블 저항, 히스테리시스손실분 저항, 인덕턴스 및 커패시턴스로 다음 그림과 같이 구성하였다.

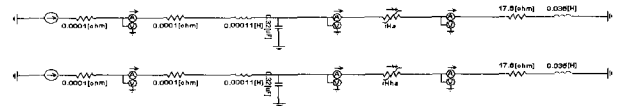


그림 4 고조파의 영향을 고려한 초전도케이블의 AC 손실계산 모의계통

Fig. 4 Applying effect of harmonic AC loss simulation system of HTS cable

초전도 케이블의 선로 정수는 다음과 같다.

표 6 HTS 초전도 케이블 모의선로 정수

Table 6 HTS cable line constant

저항	인덕턴스	커패시턴스	전원
0.0001 [ohm/km]	0.11[mH/km]	0.32[μF/km]	전류원 (기본과 및 7고조파)

부하의 임피던스는 전류원이 인가될 때 수전단 선간전압이 22.9kV로 되도록 선정하였다.

표 5의 초전도 케이블 손실을 참고하여 히스테리시스손실 저항을 계산한 결과 저항값 r_{HY} 는

$$r_{HY} = (1.872 \times 10^{-4} I + 0.0628) \times 10^{-3} \times h \quad [\Omega] \quad (13)$$

단 h는 고조파 차수, I는 회로를 흐르는 실효치전류로 모형화하였다. 기본과 전류가 흐르는 경우 초전도 케이블의 히스테리시스저항을 계산한 결과는 다음 표와 같다.

표 7 히스테리시스 저항

Table 7 Hysteresis R

전류[A]	600	1000	1250
Hysteresis R [mΩ]	0.175	0.25	0.2968

고조파의 영향을 감안하기 위하여 고조파 함유율을 SCR이 20-50범위인 회로에 대해 THD는 8.0%이하, 11조파 이하의 개별 기수고조파는 7%이하로 제약하여야 하므로(IEEE

519 전류규제 기준), 인가 고조파를 보통 배전선로에 많이 존재하는 7고조파를 대상으로 3%, 5%, 7%로 증가시켜 손실의 변화를 계산하도록 하였다.

2.3.2 AC loss의 모의

상기 모형을 이용하여 AC loss의 변화를 추적하기 위해, 고조파가 포함되지 않은 계통과 포함된 계통을 각각 모의하여 그 효과를 검토하였다.

표 8 모의대상 요약

Table 8 Simulation item summary

CASE#	기본파 전류[A]	CASE #	제7고조파함유 시 실효치전류값 [A]			비 고
			3%	5%	7%	
I-600	600	IH-600	600.3	600.8	601.5	실효치의 증가는 미소함
I-1000	1000	IH-1000	1000.5	1001.3	1002.5	
I-1250	1250	IH-1250	1250.6	1251.6	1253.1	

표 9 초전도 케이블의 고조파 함유 시 AC loss 모의 결과 [W]

Table 9 AC loss of HTS cable with harmonic current [W]

	600A			1000A			1250A		
	HTS	Rh	Total	HTS	Rh	Total	HTS	Rh	Total
측정값			1050			3500			6200
Base	357	625	982	991	2480	3471	1549	4601	6150
THD 3%	0.3	3	3.3	1	15	16	1	29	30
Total	357.3	628	985.3	992	2495	3491	1550	4630	6180
THD 5%	1	11	12	2	43	45	4	80	84
Total	358	636	994	993	2523	3516	1553	4681	6234
THD 7%	2	21	23	5	85	90	7	157	164
Total	359	646	1005	996	2565	3561	1556	4758	6314

주) HTS: 초전도저항분의 손실, R_h : 히스테리시스손실
 Total: 초전도선로의 교류 손실, Base: 기본파인가 손실
 THD: Total Harmonic Distortion(고조파 함유율)

$$= \frac{\sqrt{\sum I_h^2}}{I_1}$$

표 9는 고조파 포함 초전도 케이블 계통의 AC loss를 EMTDC를 이용하여 해석한 결과이다. 기본파 교류를 인가한 경우 각 전류분에 대한 손실은 표 5의 100m 측정치의 10배 값과 거의 일치함을 보이고 있다.

고조파가 함유된 경우 AC loss는 THD의 증가에 따라 증가하는데, 7고조파가 7% 함유된 경우 실효치는 1.0025[pu]로 되어 거의 측정오차 범위 이내에 들어오게 되며, 손실전력은 저항만으로 구성된 경우 0.5[%]의 손실 증가에 그치게 되지만, 히스테리시스 손실을 고려하는 경우, 2.6[%]의 손실 증가를 보여 약 5배 정도 손실이 증가하게 된다. 다음 그림들은 표 12의 손실증가를 그래프로 나타낸 것이다.

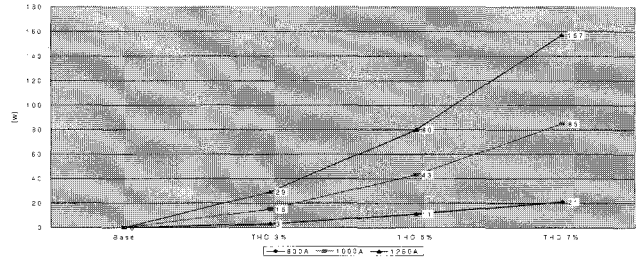


그림 5 고조파 증가에 따른 히스테리시스 손실의 증가
 Fig. 5 Hysteresis loss when increment harmonic current

도체 각 부분에서 손실 증가를 정격전류에 대해 비율로 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6은 HTS, Rh, Total 손실을 정격전류에서의 손실을 기준으로 하여 pu값으로 변환한 것이다. 고조파비율이 증가하면 히스테리시스손실 성분이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

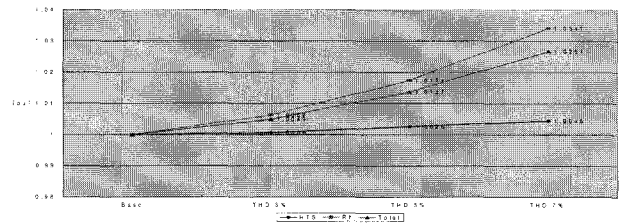


그림 6 정격전류 시 고조파 비율 증가에 따른 각부의 손실 증가 비율
 Fig. 6 Loss increment rate of Each component with increment harmonic rate when rating current

2.3.3 고조파 함유 시 AC loss 증가에 대한 초전도 케이블의 안전 운전전류 산출

고조파 성분이 함유된 경우 손실 증가로 인해 냉각시스템에 과부하가 걸리게 되며, 이로 인한 피해를 방지하기 위해서는 초전도 케이블의 운전전류를 정격전류 이하로 제한하는 값을 식 (11)로 제시하였다. 여기에 따라 계산된 저감운전 전류값 I_{derate} 는 0.994[pu]로서 이에 따른 안전운전 전류값은 1242[A]로 산출되었다.

이 값을 위 모델에 적용하여 계산된 AC 손실값은 다음과 같다.

표 10 안전운전 전류값에서의 AC 손실 [W]

Table 10 AC loss of safety operating current [W]

	HTS	Rh	Total
base case 손실	1529	4519	6048
7고조파 전류 7% 분 손실	7	155	162
총 손실	1536	4674	6210

7조파를 포함한 저감전류의 손실과 기본파 정격전류의 손실비는 1.01로서 1%의 오차를 보인다. 이는 고조파에 의해 증가되는 손실 2.7%를 정격전류에서의 손실로 저감시키는데 적합한 모형으로 보다 많은 케이스에 대해 적용을 검토할 여지가 있다.

3. 결 론

고온 초전도 케이블은 DC 전류에 대해서는 전기저항이 0 이므로 열침투 손실이 냉각부하의 주된 요인이지만, AC 전류가 흐르는 경우 히스테리시스손실이 발생함으로써 부가적인 냉각요인으로 작용한다. 본 연구에서는 히스테리시스손실을 고려한 초전도 케이블의 AC손실 모형을 만들고 이를 컴퓨터 모의에 의해 해석하였다. 중요 사항은 다음과 같다.

1. 고장에 설치된 초전도 케이블의 AC 손실 특성 측정치를 기반으로 히스테리시스손실 모형을 전류와 주파수의 일차식으로 나타내고 기본파에 대한 손실계산을 한 결과, 정격전류에서는 1% 이내, 1/2부하에서는 6.5%이내의 오차를 나타내었다.

2. 제 7 고조파를 3% ~ 7% 까지 순차적으로 증가시켜 모의한 결과, 고조파에 대한 히스테리시스 손실이 크게 증가하는 경향을 모의 가능하였다.

3. 고조파 손실 증가에 따른 운전 전류의 감소값을 결정하기 위해 고조파 영향계수 K-factor를 도입하고 감소전류를 계산한 후 이에 따른 고조파 손실이 기본파a 운전 시에 산출된 값에 수렴하는가를 조사한 결과 근접한 계산결과를 보였다.

시뮬레이션 결과에 대한 시험은 초전도실증시험설비를 이용, 타당성을 검토할 계획이다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부 및 한전 전력연구원의 전력 산업 연구개발사업에 의해 지원된 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] "Electricity Technology Roadmap : 2003 Symmary and Synthesis " Power Delivery and Markets", EPRI 2003
 [2] T. Masuda, H. Yumura, M. Watanabe, H. Takigawa, Y. Ashibe, C. Suzawa, T. Kato, Y. Yamada, K. Sato, S. Isojima, C. Weber, A. Dada, and J. R. Spadafore "Design and experimental results for Albany HTS cable", IEEE Trans. on applied superconductivity, Vol. 15, No. 2, JUNE 2005
 [3] Seong-Woo Yim, Sung-Hun Lim, Song-Ho Sohn,

Si-Dole Hwang, and Sung-Chae Yang, "Quench development due to external magnetic field in HTS cable conductor transporting AC current", IEEE Trans. on applied superconductivity, Vol. 16, No. 2, JUNE 2006

[4] Jeonwook Cho, Ki-Deok Sim, Joon-Han Bae, Hae-Jong Kim, Ki-Chul Seong, Hyun-Man Jang, Chang-Young Lee, and Deuk-Yong Koh, "Design and experimental results of a 3 phase 30m HTS power cable", IEEE Trans. on applied superconductivity, Vol. 16, No. 2, JUNE 2006
 [5] Shinichi Mukoyama, Nobore Ishii, Masashi Yagi, Satoru Tanaka, Satoru Maruyama, Osamu Sato, and Akio Kimura, "Manufacturing and installation of the world's longest HTS cable in the Super-ACE project", IEEE Trans. on applied superconductivity, Vol. 15, No. 2, JUNE 2005
 [6] "초전도케이블 실증시험 및 평가", 연구최종보고서, 한전전력연구원, 산업자원부 2006.
 [7] "Electric Power System Quality", Roger C. Dugan et. al., McGraw-Hill, pp.151-152, 1996,
 [8] EMTDC Version 4.0 Manual
 [9] "22.9kV 중성점 다중접지계통에 CD형 초전도케이블을 적용한 경우의 지락전류변화", 이종배, 황시돌, 손승호, 이근준, Trans. KIEE. Vol. 56, No. 6, JUNE, 2007
 [10] "이산화탄소 배출권이 전력수송설비의 기술개발에 미치는 영향 검토", 이근준, 홍원표, 황시돌, 김현홍, 박희철, 2005 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005.7.18-20, pp.536-538, 2005

저 자 소 개



이근준 (李根準)

1957년 9월 4일생. 1981년 울산공대 전기공학과 졸업. 1985년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 울산대 전기공학과 졸업(공학박). 1986-1998년 한전전력연구원 선임연구원. 1988년-1989년 미국 University of Texas at Arlington 에너지시스템 연구소 연구원 2001년-2002년 미국 Arizona State University PSERC 교환교수. IEEE Senior member, 발송배전기술사. 현재 충북과학대학 전기과 교수. 주요관심분야는 전력계통 안정도, FACTS, 전력품질평가시스템
 Tel : 043-730-6321
 Fax : 043-730-6329
 E-mail : gjlee@ctech.ac.kr, roundyou@hotmail.com



이 종 배 (李 宗 培)

1978년 5월 7일생. 2004년 경성대학교 전기전자공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2006년~현재 (주)그린넷파워 엔지니어링팀 대리

Tel : 043-731-7448

Fax : 043-731-7433

E-mail : jjong5863@naver.com



황 시 돌 (黃 時 爚)

1981년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업. 1986년 8월 동 대학원 졸업(석사). 1980년 12월 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 초전도그룹 책임연구원

Tel : 042-865-7520

Fax : 042-865-7804

E-mail : sdhwang@kepri.re.kr



손 송 호 (孫 松 編)

1974년 07월 17일생, 2001년 고려대학교 금속공학과 졸업, 2004년 동대학원 신소재공학과 졸업(석사), 2004년 한국전력공사 전력연구원 입사, 현재 한국전력공사 전력연구원 초전도 그룹 선임연구원.

Tel : 042-865-7521

Fax : 042-865-7804

E-mail : shsohn@kepri.re.kr