

저전압 DC 배전시스템 구성요소의 부하 모델링

(Modeling of Load Element for a Low Voltage DC Distribution System)

권기현* · 한 준 · 오윤식 · 김용상 · 김철환**

(Gi-Hyeon Gwon · Joon Han · Yun-Sik Oh · Eung-Sang Kim · Chul-Hwan Kim)

Abstract

At the end of the 19th century, a battle known as the War of the Currents was fought over how electricity would be generated, delivered, and utilized. In this day and age, there has been a growing interest in Green Growth policies as countermeasures against global warming. As a result of these policies, the use of new and renewable energy needed a power converter to replace fossil fuels has expanded. To reduce power consumption through high efficiency of conversion, Low Voltage DC (LVDC) distribution systems are suggested as an alternative. In a DC distribution system, DC loads are very efficient due to decrease the stages of power conversion. If the LVDC distribution system is adopted, not only DC load but also existing AC loads should be connected with LVDC system. Thus, the modeling of two loads is needed to analyze the DC distribution system. This paper, especially, is focused on the modeling of resistive load and electronic load including power electronic converters using ElectroMagnetic Transient Program (EMTP) software.

Key Words : Electronic Load, EMTP, LVDC Distribution System, Load Modeling, Resistive Load

1. 서 론

19세기말 에디슨과 테슬라 사이의 전류전쟁이라 불리는 전기 시스템의 표준에 관한 논쟁 이후 전력 시스템은 AC를 채택하여 지금까지 이어져 오고 있다. 당 시에는 AC 방식이 DC 보다 효율적인 장거리 전력 전달이 가능하고 변압기를 통해 쉽게 승압 및 강압이 가능했기 때문이다[1-2]. 하지만 현대에 이르러 녹색성장 정책을 동반한 신재생 에너지의 확대 및 전력변환 기술의 발달로 DC를 이용한 전력공급 시스템에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 태양광, 풍력 에너지 등의 신재생 에너지가 기존의 계통에 연계 시 요구되는 전

* 주저자 : 성균관대학교 정보통신대학 박사과정
** 교신저자 : 성균관대학교 정보통신대학 교수
* Main author : Ph. D. course, College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University
** Corresponding author : Professor, College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University
Tel : 031-290-7124, Fax : 031-299-4137
E-mail : hmwkim@hanmail.net
접수일자 : 2014년 3월 28일
1차심사 : 2014년 4월 1일
심사완료 : 2014년 4월 21일

력변환 단계를 감소시킴으로써 효율을 향상시킬 수 있는 저전압 DC 배전시스템이 유망한 기술로 주목받고 있다[3-4]. Electric Power Research Institute에 따르면 2020년에는 DC전원을 사용하는 디지털 부하가 총 부하의 50% 점유율을 가질 것이라 예측함으로써 저전압 DC 배전시스템의 필요성을 더욱더 뒷받침 해 주고 있다[5].

저전압 DC 배전시스템이 실제 적용되기 위해서는 안전성, 신뢰성 등의 다양한 측면에서 적정성이 검증되어야 하고 보호방식 또한 개발되어야 한다. 특히 저전압 DC 배전시스템의 보호에 관한 연구를 위해서는 과도 및 정상상태 분석이 필요하고 과도현상 분석에 특화된 소프트웨어를 통해 모의가 요구된다. 이러한 모의를 위해서는 저전압 DC 배전시스템의 구성요소에 대한 모델링이 기본적으로 요구된다[6].

본 논문에서는 구성요소 중 부하 모델링에 관한 연구를 수행하였다. 저전압 DC 배전시스템이 도입될 경우 DC 부하뿐만 아니라 기존의 AC 전력을 사용했던 AC 부하 또한 계통에 연결될 수 있기 때문에 본 논문에서는 AC 및 DC 부하를 세부적으로 저항성 부하와 전력변환기를 내포하는 전자 부하로 구분하여 모델링을 수행하였다. 모델링 및 시뮬레이션은 Electro-Magnetic Transient Program (EMTP) 소프트웨어를 이용하여 수행하고 그 결과를 기술하였다.

2. 저항성 부하

2.1 수학적 정적 부하 모델[7-9]

정적 부하 모델은 전력과 전압 간 관계를 수학적으로 나타낸 것이다. 정적 부하 모델은 다양한 형태로 나타낼 수 있으며 특정 형태가 항상 정확한 것이 아니기 때문에 부하의 특성에 맞는 방식을 사용하는 것이 필요하다. 정적 부하는 다음과 같은 모델로 사용할 수 있다.

2.1.1 정전력 부하 모델

정전력 모델의 경우 유효전력은 전압 변동에 독립적이기 때문에 전압 크기가 변화해도 동일한 전력값을

나타낸다. 많은 부하들은 정전력 부하 특성을 가지기 때문에 가장 많이 사용되는 모델형태 중 하나이다. 식 (1)은 정전력 부하 모델의 전력과 전압 간 관계를 보여준다.

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^0 = 1 \quad (1)$$

여기서 P : 실제 유효전력
 P_0 : 공칭 유효전력
 V : 실제 전압
 V_0 : 공칭 전압

2.1.2 정전류 부하 모델

유효전력이 전압 크기에 직접적으로 의존하는 모델이며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{P}{P_0} = \frac{V}{V_0} \quad (2)$$

2.1.3 정임피던스 부하 모델

비선형 부하에 적합한 모델이며 전압크기의 제곱에 따라 유효전력이 변화한다. 이는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \quad (3)$$

2.1.4 지수형 부하 모델

전압과 전력 간의 관계를 지수형태로 나타낸 모델로 비선형 부하에 적합하고 식 (4)와 같이 수식화할 수 있다. 식 (4)에서 n 에 따라 정전력, 정전류, 정임피던스 부하 모델로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^n \quad (4)$$

여기서 n : 부하 모델에 따른 파라미터

2.1.5 ZIP 부하 모델

ZIP 부하 모델은 정전력, 정전류, 정임피던스 부하

를 결합하여 나타낸 부하모델로 다항식 형태로 나타낼 수 있다. 모델링 하고자 하는 부하의 특징에 따라 가중치를 조절함으로써 유사한 부하 모델을 얻을 수 있다. 식 (5)는 ZIP 부하 모델을 수식적으로 나타낸 것이다.

$$\frac{P}{P_0} = a_0 + a_1 \frac{V}{V_0} + a_2 \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \quad (5)$$

여기서 a_0 : 정전력 계수
 a_1 : 정전류 계수
 a_2 : 정임피던스 계수

2.2 전열기

저항성 부하는 크게 전열기와 조명기기로 구분될 수 있다. 두 기기는 저항에 걸리는 전류로 인해 발생하는 열과 빛을 사용하는 부하이다. 전열기의 종류로는 커피머신, 전기주전자, 전기난로 등이 있으며 전열기는 정임피던스 모델 특성을 가진다. [9]에서의 실험결과에 따르면 전열기의 경우 선형 모델과 2차 모델을 비교한 결과 오차가 상당히 작게 나타났다. 따라서 전열기의 경우에는 선형모델을 사용하여 옴의 법칙을 직접 적용하는 것이 가능하다. 식 (6)의 전압과 전류 간 2차 관계식에서 선형 특성을 적용하면 A_2 가 0이 되고 전열기 자체에서 전압을 생성하지 않기 때문에 A_0 이 0이 된다. 따라서 식 (7)과 같이 옴의 법칙 형태의 전압-전류 식을 얻을 수 있다[8-9].

$$V = A_2 I^2 + A_1 I + A_0 \quad (6)$$

$$V = A_1 I \quad (7)$$

여기서 A_2, A_1, A_0 : 부하 모델에 따른 계수

2.3 조명기기

다양한 조명기기 중 저항성 부하의 특징을 가지는 기기는 백열등이 대표적이다. 백열등의 경우 가스가

주입된 유리구 안의 필라멘트에 전류가 흐르면서 빛을 발산한다. 이때 흐르는 전류에 의한 에너지가 대부분 열로 나타나기 때문에 백열등의 경우 상당히 낮은 효율을 가지는 조명기기 중 하나이고 최근 백열등의 판매가 금지되면서 점차 사용량이 감소하고 있는 추세이다.

저항성 특성을 가지는 조명기기 같이 온도 의존성이 높은 부하의 경우에는 전열기처럼 옴의 법칙을 직접적으로 적용하기는 어려움이 있다. 따라서 식 (6)에서 선형모델이 아닌 2차 모델을 사용하여 모델링하는 것이 필요하다. [9]의 실험결과에서는 옴의 법칙 적용 시 큰 오차가 발생함을 보여준다. 2차 모델을 구현하기 위해서는 전압과 전류 간 관계를 구하여 최소자승법을 통해 식 (6)의 계수를 추정하는 것이 필요하다. 결과적으로 식(6)은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다[9]. 식 (8)을 이용하여 조명기기의 등가저항은 (9)와 같이 계산되고 이는 전류의 크기에 따라 변화한다.

$$V = A_2 I^2 + A_1 I \quad (8)$$

$$R_{eq,lighting} = A_2 I + A_1 \quad (9)$$

여기서 $R_{eq,lighting}$: 저항성 부하 특성을 갖는 조명기기의 등가 저항

3. 전자 부하

3.1 전자 부하의 구성[10-11]

현대의 사무실 및 가정 내 기기들은 대부분 전자 부하이고 저전압 DC를 사용하기 때문에 적절한 DC 전압을 생성하기 위해 기기 내부에 컨버터를 포함하고 있다. 현재 전력공급 형태인 AC 전력을 DC로 변환하기 위해 정류기가 사용되며 내부 소자에서 필요한 DC 전압을 생성하기 위해 DC/DC 컨버터를 사용한다. 전자 부하의 종류로는 PC, TV, 모니터, 충전기 등이 있으며 기기 내부에 전력변환장치를 포함하고 있다. 따라서 전자 부하를 모델링하기 위해서는 전력변환장치인 AC/DC 정류기와 DC/DC 컨버터를 모델링할 필요

가 있다.

본 논문에서는 전자 부하를 AC 부하와 DC 부하로 구분하였다. AC 부하는 기존의 AC 전력을 공급받는 부하를 의미하고 DC 부하는 저전압 DC 전압을 입력 받는 부하를 의미한다. AC 부하인 경우 DC로 변환하기 위해 정류기가 필요하고 DC전압 조절을 위해 DC/DC 컨버터가 요구된다. 반면 DC 부하의 경우 DC 전력공급이 이루어지기 때문에 DC/DC 컨버터만을 필요로 한다. 전력변환기를 제외한 기기내부는 등가 저항을 이용하여 부하를 구성하였다. 그림 1은 본 논문에서 구성한 AC 및 DC 부하를 도식화한 것이다.

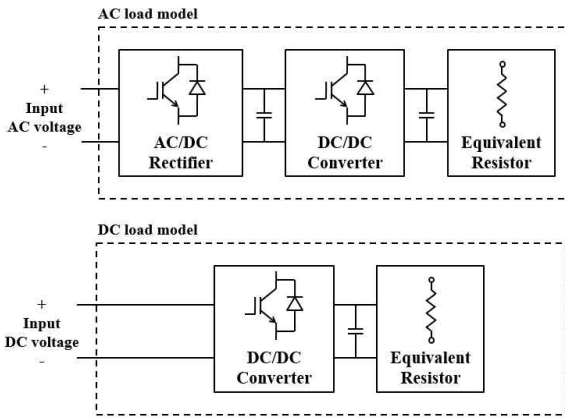


그림 1. AC 및 DC 부하 모델의 구성
Fig. 1. Configuration of AC load and DC load model

3.2 다이오드 정류기

정류기는 AC 전력을 DC로 변환시키는 전력변환장치이다. 다이오드 정류기는 스위치 대신 다이오드를 사용하고 구조가 비교적 간단하며 제어가 불가능하여 AC 입력전압의 크기에 따라 출력이 결정된다. 그림 2는 단상 전파형 다이오드 정류기 회로를 보여준다[12].

그림 2의 다이오드 정류기는 4개의 다이오드로 구성되어 있으며 출력단에 발생하는 리플을 줄이기 위해 출력 커패시터가 포함되어 있다. 다이오드는 순방향 바이어스에서 도통이 되기 때문에 제어가 불가능하고 입력 AC 전압에 의존하여 도통 및 차단 동작을 수행

한다. 식 (10)은 다이오드를 통해 출력되는 전압의 평균 전압값($v_{o,avg}$)이고 결과적으로 입력전압의 크기에 따라 평균 전압값이 결정되는 것을 알 수 있다[13].

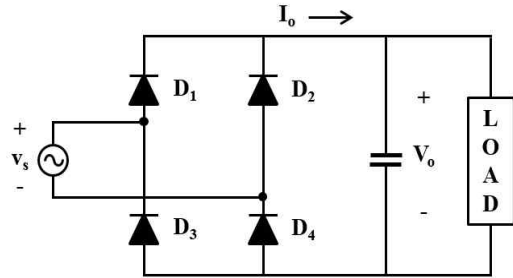


그림 2. 단상 전파형 다이오드 정류기 회로
Fig. 2. Single-phase full wave rectifier circuit using diode

$$v_{o,avg} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} v_s d(\omega t) \tag{10}$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} V \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2} V}{\pi}$$

입력전압이 양의 값을 가지는 경우 다이오드 D_1 과 D_4 가 도통되며 D_2 와 D_3 는 차단이 된다. 반대로 입력전압이 음의 값을 가지는 경우 D_2 와 D_3 가 도통이 됨으로써 커패시터에 출력이 나타난다. 출력단에 나타나는 전압은 높은 리플을 가지게 되고 커패시터 용량에 따라 리플이 변화하게 된다.

3.3 단상 풀 브리지 인버터

인버터는 DC 전력을 AC로 변환시키는 전력변환장치로써 출력전압을 가변시킬 수 있다. 본 논문에서의 인버터는 저전압 DC 배전계통에 AC 부하가 연결될 경우 DC 전력을 AC로 변환시켜 부하에 공급하기 위해 사용될 수 있다. 그림 3은 다양한 인버터 토폴로지 중 단상 풀 브리지 인버터 회로를 보여주며 DC 전압원, 4개의 스위치, 부하로 구성된다. S_1 과 S_4 는 상보적인 관계로 S_1 이 턴온될 경우 S_4 는 턴오프 되며 S_3 와 S_2 간의 관계 또한 동일하다. 식 (11)은 스위치 동작에 따른 출력전압 계산식을 나타내며 출력전압이 스위칭

함수(S_F)에 의존함을 의미한다[14-15].

$$v_o = v_a - v_b = S_F V_{dc} \tag{11}$$

여기서 $S_F (= S_1 - S_3)$: 스위칭함수

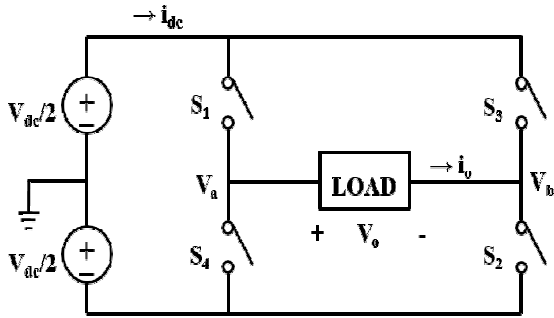


그림 3. 단상 풀 브리지 인버터 회로
Fig. 3. Single-phase full bridge inverter circuit

식 (11)을 통해서 출력전압을 제어하기 위해서는 스위치를 제어하는 것이 필요하다는 것을 알 수 있다. 스위치 제어 기법에는 다양한 방법이 있지만 본 논문에서는 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) 제어방식을 사용하였다. SPWM 방식은 삼각파와 정현파의 크기를 비교하여 각 스위치의 동작 여부를 결정하는 기법으로 출력전압의 크기와 주파수를 제어할 수 있다. 그림 4는 SPWM 제어 기법을 이용하여 S_1 스위치의 동작을 결정하는 방법을 보여준다. 정현파가 삼각파보다 클 경우 S_1 은 턴온 동작을 하며 반대의 경우에는 S_1 가 턴오프 동작을 하게 된다. S_4 는 S_1 과 상보적인 관계이기 때문에 S_1 과 반대로 동작하게 된다. 삼각파와 정현파의 크기의 비율을 나타내는 진폭변조지수(m_a)와 두 파형의 주파수 비율을 의미하는 주파수변조지수(m_f)를 이용하여 출력파형의 크기와 주파수를 제어할 수 있다[12].

3.4 절연형 DC/DC 컨버터

DC/DC 컨버터는 부하가 필요하는 DC 전압을 공급하기 위해 입력 DC 전압의 크기를 가변시키는 전력 변환장치이다. DC/DC 컨버터 토폴로지 중 본 논문

서는 절연형 컨버터를 사용하였다. 그림 5는 전자 부하 모델링 시 사용된 절연형 DC/DC 컨버터의 구성을 나타낸다. DC/DC 컨버터 내부에 고주파 변압기를 사용함으로써 전기적으로 절연되어 있다. 변압기의 권선비를 조절함으로써 승압 및 강압이 손쉬운 장점이 있다. 동작 특성은 3.2와 3.3절에 설명된 정류기와 인버터의 동작과 유사하다. 변압기의 1차 측은 3.3절의 인버터 동작과 같이 DC 전압을 AC 형태로 변환하게 된다. 변압기 2차 측에는 다이오드 정류기와 동일한 형태로 권선비에 의해 승압 또는 강압된 전압을 DC로 변환하여 부하에 공급하게 된다. 절연형 DC/DC 컨버터의 경우 변압기에 의해 부피가 커질 수 있기 때문에 높은 주파수의 AC 전압으로 변환함으로써 변압기 사이즈를 줄일 필요가 있다[13-14].

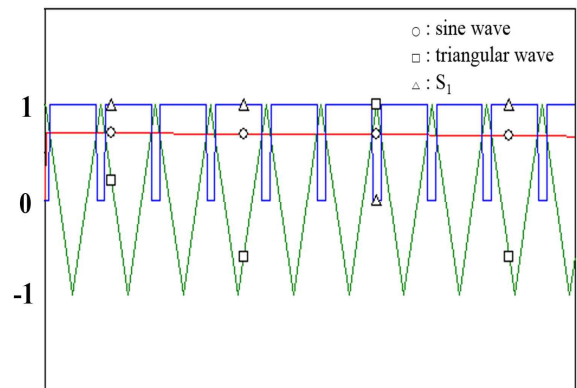


그림 4. SPWM 제어에 따른 스위치 동작
Fig. 4. The operation of switches according to SPWM method

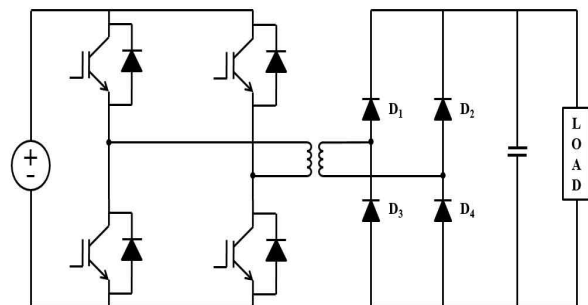


그림 5. 절연형 DC/DC 컨버터 회로
Fig. 5. Isolated DC/DC converter circuit

4. EMTP를 이용한 부하 모델링

4.1 저항성 전열기 모델링

2.2절에서 논의된 저항성 부하 특성을 갖는 전열기는 정임피던스 특성을 가지며 옴의 법칙을 직접 적용이 가능하다. 따라서 식 (7)의 A_1 은 전열기의 저항 값으로 볼 수 있고 식 (5)에 적용할 수 있다. 식 (5)에서 정격 전력과 수용가 수전 전압을 이용하면 전열기의 등가 저항을 구할 수 있다. 결과적으로 식 (12)를 이용하여 전열기의 등가 저항을 이용한 모델링을 수행할 수 있다.

$$R_{eq,heater} = \frac{V_{rms}^2}{P_{rate}} \tag{12}$$

여기서 $R_{eq,heater}$: 전열기의 등가 저항
 V_{rms} : 수용가 수전 전압(220Vrms)
 P_{rate} : 전열기의 정격 전력

식 (12)를 이용하여 전기포트, 커피머신, 전기난로의 등가저항을 입력전압이 AC 및 DC인 경우로 구분하여 계산할 수 있고 이를 표 1에 나타내었다. 저항성 특성을 가지는 전열기와 조명기기의 경우 AC 및 DC 부하 모두 전압의 RMS값을 이용하기 때문에 동일한 방식으로 모델링할 수 있다. 표 1에 나타난 등가 저항을 이용하면 EMTP 환경에서 저항 소자를 이용하여 전열기의 모델링을 수행할 수 있다.

4.2 저항성 조명기기 모델링

2.3절에서 저항성 조명기기의 등가저항을 구하기 위해서는 전류를 이용하여 식 (9)와 같이 계산할 수 있다. 그림 6은 식 (9)를 이용하여 EMTP 내에서 구현하기 위해 필요한 구성요소를 나타낸다. 그림 7은 모델링 시 사용된 ATPDraw/MODELS 소스 코드이다.

우선 전류 프로브를 이용하여 부하전류를 측정하고 ATPDraw/MODELS 기능을 이용하여 식 (9)를 계산한다. MODELS는 EMTP 환경에서 프로그래밍을 지

원하는 기능이며 Fortran 언어에 기반하여 코드를 작성할 수 있다. 계산된 저항 값을 TACS 가변 저항 소자에 입력함으로써 계통에 저항성 조명기기의 등가 저항이 연계된다. EMTP를 이용한 모델링을 검증하기 위해 그림 8과 같이 [9]의 실험 데이터와 비교하였다.

표 1. 정격전력에 따른 전열기의 등가 저항
 Table 1. Equivalent resistance of heater according to the rated power

종류	제조사	정격 전력 W	$R_{eq,heater}$ Ω (220Vac)	$R_{eq,heater}$ Ω (380Vdc)
전기 포트	T사	1,850	26.16	78.05
		2,000	24.20	72.20
	P사	2,000	24.20	72.20
		2,000	24.20	72.20
커피머신	T사	500	96.80	288.80
		1,000	48.40	144.40
	P사	650	74.46	222.15
		1,000	48.40	144.40
전기 난로	H사	1,100	44.00	131.27
		970	49.90	148.87
	A사	1,000	48.40	144.40
		1,050	46.10	137.52

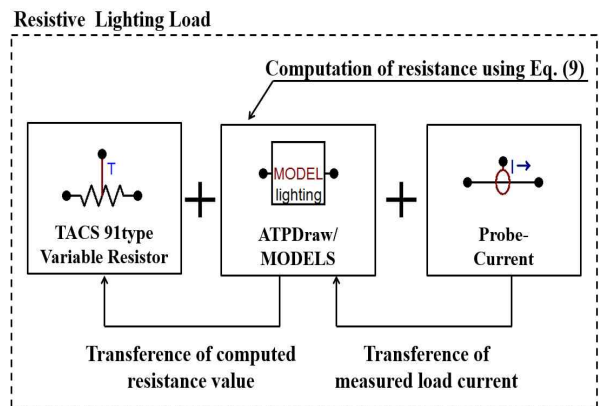


그림 6. EMTP를 이용한 저항성 조명기기 모델의 구성요소
 Fig. 6. Component of resistive lighting load model using EMTP

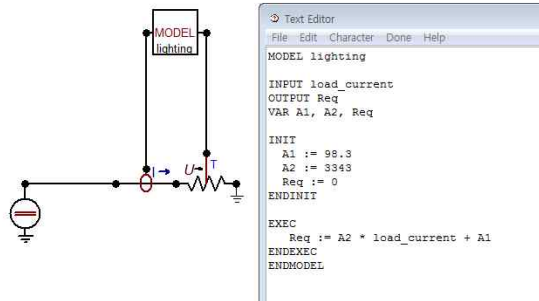
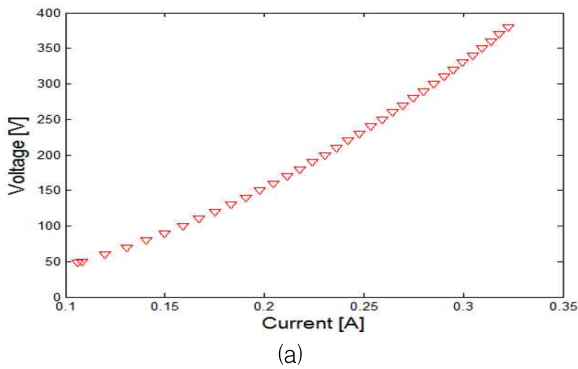
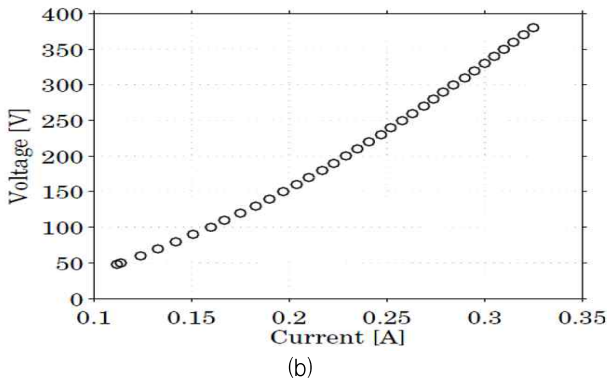


그림 7. ATPDraw/MODELS의 소스 코드
Fig. 7. Source code of ATPDraw/MODELS



(a)



(b)

그림 8. 저항성 조명기기 부하 모델의 전압-전류 관계 :
(a) EMTP를 이용한 시뮬레이션 결과,
(b) [9]의 실험 결과($A_2=3343$, $A_1=98.3$)

Fig. 8. The relation between load voltage and current of resistive lighting load :
(a) result of simulation using EMTP,
(b) result of experiment in [9]

그림 8의 (b)는 백열등에 전압을 48Vdc에서 380Vdc 까지 10Vdc씩 가변시켰을 때 측정된 전류를 나타낸다. 실험 결과를 통해서 전압과 전류 간 기울기가 일

정하지 않기 때문에 옴의 법칙을 적용하기가 어려울 수 있다. 그림 8 (a)는 EMTP를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과로 최소자승법을 통한 2차 모델을 이용하여 전압 변화에 따른 전류 변화가 실험 결과와 유사하게 나타남을 알 수 있다.

4.3 전자 부하 모델링

전자 부하를 구성하기 위해서 3장에서 논의된 전력변환장치를 EMTP를 이용하여 모델링하는 것이 필요하다. 그림 1의 AC 부하는 정류기, DC/DC 컨버터, 등가 저항으로 구성된다. 저전압 DC 배전시스템에서 AC 부하를 연결하기 위해서는 인버터가 요구되며 이는 3.3절에서 논의된 SPWM 단상 풀 브리지 인버터를 적용하였다. DC 부하는 AC 부하에서 정류기를 제거하고 DC/DC 컨버터의 출력 전압을 AC 부하와 동일하도록 제어하여 모델링하는 방법을 사용하였다. 따라서 DC 부하를 모델링하기 위해서는 AC 부하의 모델링이 선행되어야 한다. 그림 9는 EMTP를 이용하여 그림 1의 AC 및 DC 부하를 모델링한 것이다.

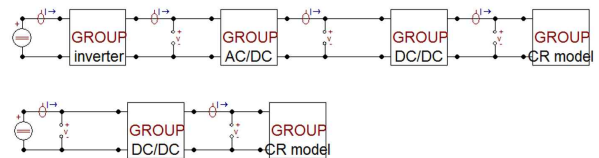


그림 9. EMTP를 이용한 AC 및 DC 부하 모델
Fig. 9. Modeling of AC and DC load using EMTP

그림 1의 부하 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용된 파라미터는 표 2와 같다.

소모 전력이 92.5W인 AC 부하를 모델링한 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3의 AC 부하의 경우 다이오드 정류기에 인가되는 전압을 수용가 배전 전압으로 고정시키면 3.2절에서 논의된 것과 같이 입력전압의 피크값인 약 311V에 의존하는 출력전압을 얻을 수 있고 약 310V가 측정되었다. 이 전압은 DC/DC 컨버터에 입력전압으로 나타난다. DC/DC 컨버터 효율 및 정입 피던스 모델의 전압을 표 2와 같이 가정 후 얻어진 결

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameter

파라미터	값
입력전압	380Vdc
인버터 출력전압	220Vac,rms, 60Hz
m_a	0.84
m_f	200
스위칭주파수	12kHz
DC/DC 컨버터 효율	95%
등가 저항의 전압	12Vdc
AC 부하의 소모전력	92.5W

표 3. 시뮬레이션 결과
Table 3. Result of simulation

부하종류	구성요소	파라미터	값
AC 부하	다이오드 정류기	입력전압	220Vrms
		입력전류	0.4203Arms
		입력전력	92.463W
		효율	74.34%
	DC/DC 컨버터	입력전압	310.18V
		입력전류	0.2216A
		입력전력	68.737W
		효율	95.34%
	정임피던스 모델	전압	12.02V
		등가 저항	2.205Ω
소모전력		65.534W	
DC 부하	DC/DC 컨버터	입력전압	380V
		입력전류	0.2282A
		입력전력	86.827W
		효율	75.76%
	정임피던스 모델	전압	12.04V
		등가 저항	2.205Ω
		소모전력	65.707W

과로써 2.205Ω의 등가 저항 값을 산출하였다. AC 부하에서 얻은 정임피던스 모델을 DC 부하에 그대로 사용 후 380Vdc의 입력전압을 가한 후 정임피던스 모델

에 걸리는 전압을 12V로 고정시키면 DC/DC 컨버터의 효율 및 DC 부하의 소모 전력을 얻을 수 있다. DC 부하의 경우 소모 전력이 86.827W로 AC 부하 보다 약 6.1% 감소한 결과를 얻을 수 있다.

시뮬레이션 결과를 통해 저전압 DC 배전시스템에서 DC 부하를 사용할 경우 AC 부하보다 소모 전력이 소폭 감소한다. 시뮬레이션 수행 시 인버터에서 발생하는 손실은 고려하지 않았기 때문에 AC 부하로 인해 발생하는 손실은 더 크게 나타날 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 저전압 DC 배전시스템을 구성하는 기본 요소인 부하를 EMTP를 이용하여 모델링하였다. 부하를 저항성 부하와 전자 부하로 구분하고 각 부하에 필요한 구성요소를 논의하고 EMTP를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 저항성 부하는 AC 및 DC 부하 모두 동일한 방법으로 모델링이 가능하지만 전자 부하의 경우 내부 전력변환기의 구성에서 차이를 보이기 때문에 구분하여 모델링 하였다. 세부적인 내용은 다음과 같다.

- 1) 저항성 부하 중 전열기의 경우 정임피던스 특성을 가지기 때문에 옴의 법칙을 직접적으로 적용이 가능하며 부하의 정격전력을 이용하여 등가 저항을 계산할 수 있다.
- 2) 저항성 부하 중 조명기기의 경우 2차 모델의 특성을 가지기 때문에 전류를 측정하여 등가 저항을 계산함으로써 모델링을 수행할 수 있다.
- 3) 전자 부하 중 AC 부하는 정류기와 DC/DC 컨버터를 포함하기 때문에 전력변환기 모델링을 통해서 등가 저항을 산출할 수 있다. DC 부하의 경우 AC 부하를 바탕으로 정류기를 제거함으로써 모델링을 수행할 수 있다.

저전압 DC 배전시스템이 실제 구현될 경우 DC 부하뿐만 아니라 기존의 AC 부하가 연계가 될 수 있기 때문에 두 부하의 모델링은 추가적인 연구의 바탕이 될 수 있다. 부하 모델링을 통해서 앞으로 저전압 DC 배전시스템 모의를 더 정확하게 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20131010501750)입니다.

References

- [1] Reed G. F., "DC Technologies: Solutions to Electric Power System Advancements [Guest Editorial]," Power and Energy Magazine IEEE, vol.10, no.6, pp.10-17, Nov. 2012.
- [2] AllLee G., Tschudi W., "Edison Redux: 380 Vdc Brings Reliability and Efficiency to Sustainable Data Centers," Power and Energy Magazine IEEE, vol.10, no.6, pp.50-59, Nov. 2012.
- [3] P. Salonen, T. Kaipia, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, J. Partanen, "An LVDC distribution system concept", in Proc. Nordic Workshop Power Ind. Electron.(NORPIE), pp.A3-1 - A3-16, 2008.
- [4] T. Kaipia, P. Salonen, J. Lassila, J. Partanen, "Possibilities of the low voltage DC distribution system", Proc. Nordic Distribution and Asset Management Conference, Stockholm, Sweden, 2006.
- [5] Navigant Research Report, Direct Current Distribution Networks, 2013.
- [6] Nilsson, D., Sannino, A., "Efficiency analysis of low- and medium- voltage DC distribution systems", Power Engineering Society General Meeting 2004, vol.2, pp. 2315-2321, 2004.
- [7] Jia Hou, Zhao Xu, Zhao Yang Dong, "Measurement-based load modeling at distribution level with complete model structure," Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE, pp.1-6, 22-26 July 2012.
- [8] Nilsson, D., Sannino, A., "Load modelling for steady-state and transient analysis of low-voltage dc systems," Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE, vol.2, pp.774-780, 3-7 Oct. 2004.
- [9] Einar Palmi Einarsson, Bengt-Olof Wick Bom, "Load Modelling for Steady-State and Transient Analysis of Low Voltage dc Systems", Chalmers University of technology.
- [10] Salomonsson, D., Sannino, A., "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power Systems With Sensitive Electronic Loads," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.22, no.3, pp.1620-1627, July 2007.
- [11] Gab-Su Seo, Jongbok Baek, Kyusik Choi, Hyunsu Bae, Bohyung Cho, "Modeling and analysis of DC distribution systems," Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on, pp.223-227, May 30 2011-June 3 2011.
- [12] E. C. Noh, G. B. Jung, N. S. Choi, Power Electronics, Munundang, 2011.

- [13] Andrzej M. Trznadlowski, Introduction to Modern Power Electronics, WILEY, 2010.
- [14] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, "Power Electronics: converters, applications, and design", 3rd edition, 2003.

◇ 저자소개 ◇



권기현(權起賢)

1985년 9월 3일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 동 대학원 정보통신대학 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.



한 준(韓 準)

1986년 2월 7일생. 2011년 순천향대 정보통신공학부 졸업. 2013년 성균관대 정보통신대학 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.



오윤식(吳潤植)

1987년 7월 10일생. 2011년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2013년 동 대학원 정보통신대학 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.



김응상(金應相)

1962년 6월 21일생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 스마트배전연구센터 센터장.



김철환(金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신대학 교수. 전력IT인력양성센터 센터장.