

PSCAD/EMTDC를 이용한 Highly varying 부하모델의 개발

정문구* 장길수 이병준
고려대학교 전기전자전파공학부

손광영
동일대학교 전기공학과

Development of Highly Varying Load Models Using PSCAD/EMTDC

Moon-Goo Jeong* Gilsoo Jang Byongjun Lee Kwangmyoung Son
Korea university Donggeui university

Abstract - PSCAD/EMTDC is a well-known simulation program for electromagnetic transients phenomena. This paper deals with the development of highly varying load models using PSCAD/EMTDC, and the simulation results illustrate the model's capabilities.

1. 서 론

최근에 많이 사용되고 있는 전력전자기기, 컴퓨터를 비롯한 많은 부하들의 동특성은 공급 전압의 품질에 민감한 동시에 전력품질을 저하시키는 역할을 하고 있다. 특히, 대규모의 전력을 사용하며 전력 수요가 일정하지 않고 변동하는 제철소의 전기로 같은 부하는 전압 플리커 및 고조파 등의 문제를 일으킨다. 따라서, 전력품질의 향상을 위한 전력계통의 계획과 운용에 있어서 이러한 highly varying 부하의 비선형적인 특성에 대한 이해와 해석, 그리고 부하에 의한 전력품질 저하현상을 막기 위한 대책 수립을 위해서 부하모델의 개발이 우선되어야 한다.

전기로와 같은 highly varying 부하의 모델링 방법으로 이런 부하들의 임의적이고 예측할 수 없을 것 같은 특성 때문에 전에는 stochastic 접근법을 많이 사용되었다 [1]. 그러나, 이러한 접근법은 유사한 특성을 보이는 부하들을 다르게 표현하기가 어렵다는 한계가 있다. 또한 전기로와 같은 highly varying 부하는 deterministic 특성을 보인다. 따라서 stochastic 접근법의 대안으로 deterministic 접근법이 사용되고 있다. 전기로의 혼잡 모델이 상세하게 논의된 바 있다 [2]. 이 혼잡 모델은 실측 부하전류 데이터를 분석하여 이로부터 새로운 예측 부하전류를 갖는 독립전류원 모델이다. 이 모델의 혼잡 요소는 샘플 데이터에 Lorenz system으로부터 생성된 혼잡 요소가 추가되어진다.

본 논문에서는 부하의 동특성을 보다 넓은 주파수 영역에서 표현하기 위하여 Lorenz system뿐만 아니라 Logistic system을 포함한 새로운 접근법을 사용하였다. 이 접근법에 기반한 PSCAD/EMTDC 부하모델을 제시한다.

2. 본 론

2.1 가정

전압 플리커, 고조파 등의 관점에서 highly varying 부하의 특성을 합리적으로 예측하는 데, 실측 데이터가 사용되어야 할 수 있다. 이런 이유로 본 논문에서 제시하는 부하모델의 유용성의 검증은 다음과 같은 일반적인 가정으로부터 도출한다.

- 본 논문에서 제시하는 부하모델은 전기로와 같이 혼잡 특성을 나타내는 부하에 적용되어 질 수 있다 [3].
- 부하전류의 일정하지 않은 변동으로 시간영역과 주

파수 영역에서의 동일성 보다는ダイナ믹 특성의 반영 정도가 높은 모델 구성을 목표로 한다.

- 부하를 가변 임피던스 또는 가변 어드미턴스 모델로 보고, 그 부하 임피던스 또는 어드미턴스는 혼잡 특성을 지닌다. 임피던스는 저항과 인덕턴스로 구성되도록 하였다.

2.2 접근법

혼잡이론(4)에 나오는 Lorenz 방정식과 Logistic 방식에 근거하여 어드미턴스에 혼잡요소를 추가하는 연구가 진행된 바 있다 [5]. PSCAD/EMTDC 모델로 그림의 DRAFT에 보이는 바와 같이 부하단에 있는 "Chaotic R.L branch"라는 이름을 갖는 컴포넌트를 개발하였다 [6].

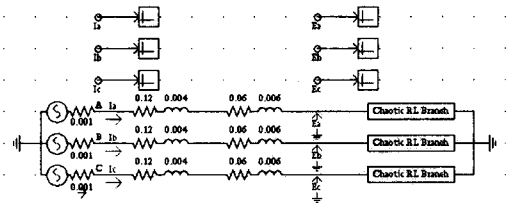


그림 1. PSCAD/EMTDC DRAFT

2.2.1 Lorenz 모델

Lorenz system은 날씨를 예측하는데 일반적으로 사용되어지는 것으로 다음과 같은 미분방정식에 기반한다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sigma(y-x) \\ \dot{y} &= rx-y-xz \\ \dot{z} &= xy-bz \end{aligned}$$

여기서, σ 는 10, r 은 28, b 는 $8/3$ 이다.

그림 1을 단상으로 등가화하여 그려보면 그림 2와 같이 그려볼 수 있다. 부하의 가변 임피던스는 R_f , L_f 이다.

Lorenz system으로부터 형성된 변수들 중 하나의 변수를 취하여 R_f 를 만든다.

$$R_f = k_1 x$$

여기서, k_1 은 상수이다.

부하의 L_f 는 원래는 R_f 에 따라 가변적으로 변화하여야 하지만 그 기여 정도가 적은 편이라 보고 R_f 와 L_f 의 비는 일정하다고 가정한다.

$$L_f = \frac{\alpha R_f}{2\pi f}$$

여기서, α 는 상수이다. 본 논문의 모의에서는 0.1을 사용하였다.

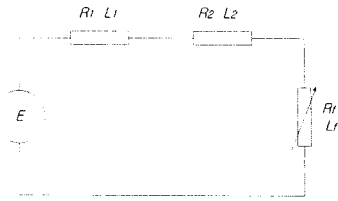


그림 1. 단상 등가 회로도

Lorenz system만으로 형성된 혼합 요소가 가미된 부하전류는 그림 3과 같이 모의되었다.

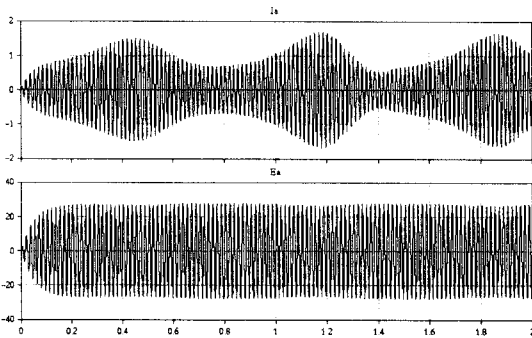


그림 3. Lorenz 모델의 전류-전압

2.2.2 Logistic 모델

Logistic 모델은 고주파 영역에서의 변동을 반영하기 위하여 추가되었다. Logistic system은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$x_{n+1} = k \cdot x_n(1 - x_n), \quad x_0 \in [0, 1]$$

여기서, k는 적절한 값으로 선택되어진다.

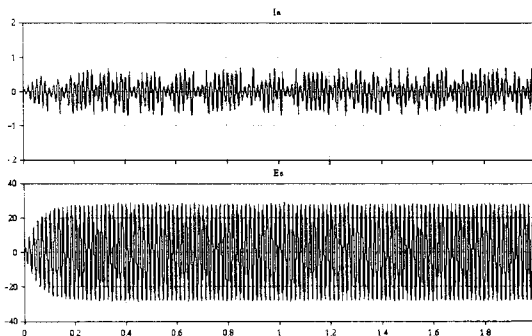


그림 4. Logistic 모델의 전류-전압

그림 4는 Logistic system만으로 형성된 부하전류를 보여주고 있다.

2.2.3 Mixed 모델

상기에서 언급된 바와 같이 Lorenz 모델은 부하전류의 저주파 영역에서의 변동을 반영하고 Logistic 모델은 부하전류의 고주파 영역에서의 변동을 반영한다. 따라서, 이 두 모델의 조합은 넓은 주파수 영역에서의 특성을 나타낼 수 있다.

$$Y_f = Y_0 + c_1 Y_1 + c_2 Y_2$$

Y_0 는 고정된 어드미턴스 값이고, 부하의 총 어드미턴스는 Y_1 가 된다. Lorenz 모델로부터 나온 어드미턴스는 Y_1 이고 Logistic 모델로부터 나온 모델은 Y_2 이다. Y_0 , C_1 , C_2 는 실측값에 의존하며, 두 모델의 조합에 따라 조정이 필요하다. 본 모의에서는 Y_0 는 0.5, C_1 은 0.003, C_2 는 0.02로 하였다.

Lorenz 모델과 Logistic 모델 둘의 기여를 조합하여 형성된 부하전류는 그림 5와 같이 모의되었다.

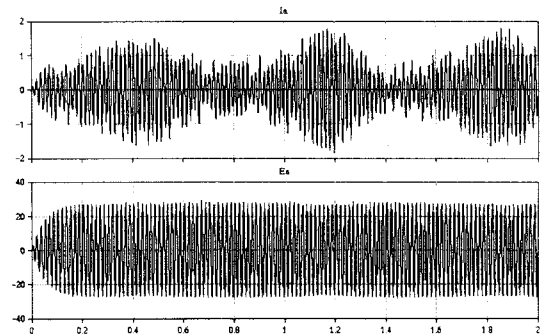


그림 5. 혼합된 모델의 전류-전압

제시된 PSCAD/EMTDC 모델의 user-defin subroutine의 순서도는 다음과 같다.

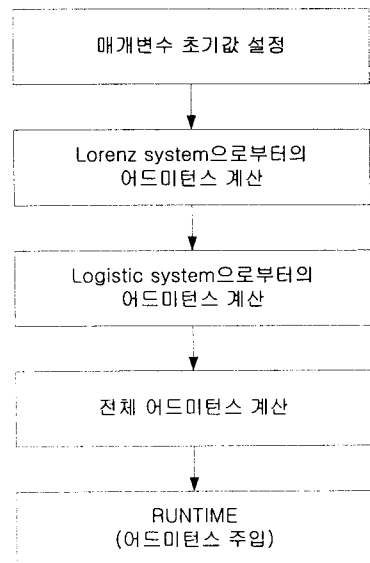


그림 6. 제시된 모델의 순서도

2.3 정량적 해석

시험계통은 그림 7과 같다. 34.5kV 모선에서 부하전류를 10kHz의 샘플링 주파수로 측정하였다.

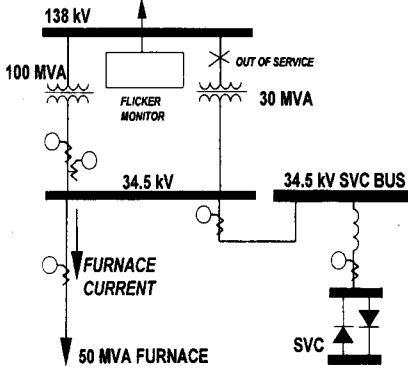


그림 7. 시험 계통

측정된 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)는 1과 같다.

표 1은 Roanoke Electric Steel Company가 제공한 초 간의 실측 데이터로부터 2초 동안 샘플링한 12개 시간 영역에 대해 계산한 것이다.

모의된 결과는 표 2와 같다. Highly varying nonlinear 부하의 경우 동작범위가 너무 넓어 시구간별로 나누어 볼 수 밖에 없는데 모의 계통의 매개변수 설정에 따라 결과는 다르게 나올 수 있다. 결과로 나온 값은 Data set 11번과 유사함을 알 수 있다. 이는 모의 계통 매개변수의 설정이 11번 때의 시험계통과 유사하였다는 결론을 얻을 수 있다. 따라서, 관심을 갖는 부하의 특성은 모의 계통의 매개변수 설정에 의존하여 다양하게 표현될 수 있다.

FFTPACK의 EZFFT를 이용하여 THD는 계산되었다

Data set	THD	Data set	THD
1	0.029583	7	0.043178
2	0.042928	8	0.044693
3	0.058492	9	0.052005
4	0.050262	10	0.037466
5	0.061930	11	0.033624
6	0.048620	12	0.031489

표 1. 시험계통의 Data set별 실측 지수

	모의 결과	최소	최대	평균
THD	0.037378	0.029583	0.061930	0.044522

표 2. 모의 결과

3. 결 론

본 논문에서는 highly varying 부하의 일반적인 동특성을 예측하기 위한 혼합 혼잡 모델의 PSCAD/EMTDC

모델이 제시되었다. 제시된 혼잡 부하모델은 가변 임피던스로 보았다. 이것은 부하가 보다 넓은 주파수 영역에서의 전력품질에 미치는 영향을 표현한다. 전력품질 지수 중에 THD만 계산을 하였지만 다른 지수를 계산할 수도 있는데 플리커, 고조파 문제 등을 일으키는 모선에서 이 지수들로부터 전력품질이 정상화되고, 모선에 적절한 보상을 하였을 때 정상화된 지수가 향상된 모습을 보인다면 보상방안 도출 즉, 전력계통 계획과 운용에 유용할 것이다. 모의 결과는 제안된 모델들이 전력품질에 미치는 영향을 적절하게 정량화하기 위하여 사용되어질 수 있음을 보이는 유용성을 검증하기 위하여 실측 데이터와 비교되었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Srinivas Varadan, Elham B. Markram, Adly A. "A New Time Domain Voltage Source Model for an Furnace Using EMTP", IEEE Trans. on Power Deli vol. 11, No. 3, July 1996
- [2] G. Jang, W. Wang, "Electric Arc Furnaces: Chaotic Models and Transient Analysis", Lescope Conference 1998
- [3] E. O'Neill-Carrillo, G.T. Heydt, E.J. Kostelic Venkta, A. Sundaram, "Nonlinear Deterministic Mode Highly varying Loads", IEEE Trans. on Power Deli vol. 14, No. 2, April 1999
- [4] Steven H. Strogatz, "Nonlinear Dynamics and Chao applications to physics, biology, chemistry and engin Addison-wesley publishing company, 1997
- [5] 장길수, Weiguo Wang, 이병준, 권세혁, "전력품질 해석을 한 개선된 전기아크로 모델 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2000
- [6] PSCAD/EMTDC Installation & Administration man EMTDC User's manual