

# 원격 플라즈마 발생장치용 리액터의 전기적 특성을 고려한 시뮬레이션 모델 설계

구근완, 성원용, 채훈규, 이병국<sup>†</sup>  
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

## Design of Simulation Model Considering Electrical Characteristics of Reactor for Remote Plasma Generator

Keun Wan Koo, Won-Yong Sung, Hun-Gyu Chae, Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문에서는 원격 플라즈마 발생 장치용 리액터를 포함한 플라즈마 부하의 등가 모델을 제안한다. 모델링을 위해 챔버 안에 존재하는 플라즈마 부하의 특성을 고려하여, 플라즈마 발생장치용 리액터를 포함한 전압, 전류의 정보를 통해 등가모델의 파라미터를 추출한다. 추출한 파라미터를 기반으로 플라즈마 부하에 대한 전기적 등가회로를 구성하고, 플라즈마 부하의 변화에 중요한 영향을 주는 플라즈마 기체의 압력 정보를 등가 모델에 반영하여 이를 바탕으로 시뮬레이션을 진행해 모델링의 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

플라즈마는 현재 산업에서 반도체 제조공정, 반도체 세척 공정, 디스플레이 패널 등 그 쓰임새가 광범위하고 사용되는 분야가 다양하다<sup>[1]</sup>. 최근에는 반도체 공정, 세척 등에 사용하는 플라즈마 발생 장치의 경우 점점 정밀해지는 공정 프로세스에 준하기 위해 저압·고밀도의 플라즈마 발생 장치가 필요한 실정이다. 플라즈마를 발생시키고 유지하기 위해서는 플라즈마용 기체에 이온화 에너지 이상의 에너지를 공급해 주어야 한다. 에너지를 공급해 주는 방법에 따라 플라즈마 발생장치용 시스템을 구분할 수 있는데 최근에는 저압·고밀도의 플라즈마를 발생시키기 용이한 플라즈마 발생시스템인 ICP (inductively coupled plasma)가 주로 연구되고 있다.

이러한 ICP 기반의 플라즈마용 전원장치 중 기체에 전달되는 에너지를 높이기 위해 플라즈마용 리액터에 강자성체를 사용하여 자기장을 발생시키고, 리액터에 존재하는 플라즈마를 방출하여 사용하는 RPG (remote plasma generator) 시스템이 연구되고 있다<sup>[2]</sup>. 이러한 ICP 기반의 RPG 시스템의 설계시 시행착오를 줄이고, 정확한 플라즈마용 전원장치를 설계하기 위해서는 플라즈마 부하의 모델이 필요하다. 하지만 플라즈마 부하의 특성상 플라즈마 리액터 내부의 전압, 전류를 직접 측정하여 모델링에 반영하기는 어렵다.

따라서 본 논문에서는 실험데이터를 기반으로 플라즈마 발생장치용 리액터를 포함한 플라즈마용 전원장치의 출력의 전압, 전류의 정보를 통해 전기적 등가모델을 제시하고 시뮬레이션과 실험과형을 비교하여 모델링의 타당성을 검증한다.

### 2. RPG용 플라즈마 부하 모델링

#### 2.1 플라즈마 발생장치용 시스템

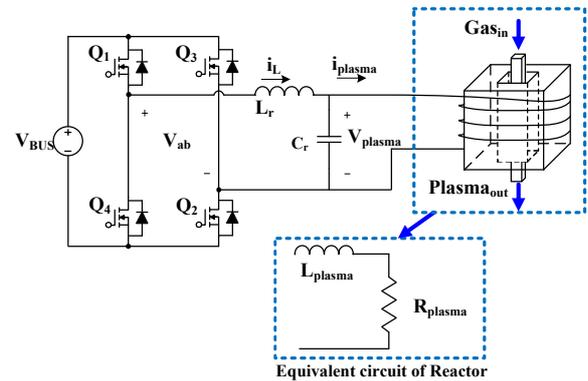


그림 1 원격 플라즈마 발생장치 시스템  
 Fig. 1. Remote plasma generator system.

플라즈마 발생장치용 시스템은 그림 1과 같이 전력전달회로, 리액터, 가스 입력, 가스 출력부로 구성된다. 전력전달 회로를 통해 기체에 이온화 에너지만큼의 에너지를 전달해주고, 가스의 입력, 출력부를 통해 리액터 내부의 가스의 압력을 조절하여 고밀도의 플라즈마를 만들 수 있다. 플라즈마를 유지하기 위해 기체에 에너지를 공급해 주어야 하고 이러한 에너지는 자계의 세기에 의해 결정된다.

이때 RPG의 특성상 가스 투입량과 독립적으로 리액터 안에 플라즈마를 만들기 위해 일정한 자계를 형성해 주어야 하는데 이를 위해 정전류 제어가 가능한 토폴로지를 선택해야 하며, 기체를 이온화시키기 위해 필요한 자계의 세기를 확보하기 위해 높은 주파수의 정현파 전류를 부하에 공급해 주어야 한다. 표 1은 플라즈마 발생장치의 시스템 사양을 나타낸다.

표 1 플라즈마 발생장치 시스템 사양  
 Table 1 Specification of plasma generator system

출력전력	10 [kW]
전력변환장치	정전류 제어가능 공진형 토폴로지
사용가스	Ar, O <sub>2</sub>
기체 투입량	1~10 [L/min]

## 2.2 플라즈마 부하 모델링

플라즈마 부하에서 소비하는 에너지는 리액터 안에 존재하는 기체의 분자수에 비례하기 때문에 리액터 안에 압력과 기체의 분당 투입량을 지표로 한다. 플라즈마 부하 모델링을 위해 플라즈마 부하의 가스 투입량에 따라 리액터로 투입되는 진류와 공진커패시터의 전압을 측정해 전압과 진류의 위상차를 측정하고 식 (1), 식 (2)을 통해 리액터의 전기적 등가 성분을 추출한다. 추출된 R-L값을 기반으로 커투피팅을 진행하여 리액터 안에 기체의 압력에 대한 식을 도출하면 식 (3), 식 (4)와 같다. 그림 2는 플라즈마 발생장치용 전력변환장치의 주요 파형을 나타내며 그림 3은 실험데이터로부터 추출한 플라즈마 부하의 가스 투입량에 따른 R-L값을 나타낸다.

$$L_{plasma} = \frac{V_{plasma}}{I_{plasma}} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{sw}} \cdot \sin(\theta) \quad (1)$$

$$R_{plasma} = \frac{V_{plasma}}{I_{plasma}} \cdot \cos(\theta) \quad (2)$$

$$R_{plasma}(p) = 3.3621 \cdot \ln(p) + 2.439 \quad (3)$$

$$L_{plasma}(p) = 0.5565 \cdot \ln(p) + 1.0524 \quad (4)$$

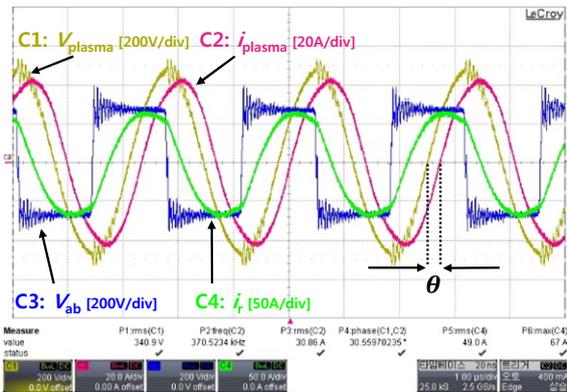


그림 2 전력변환 장치의 주요 파형  
Fig. 2. Significant waveform of power converter.

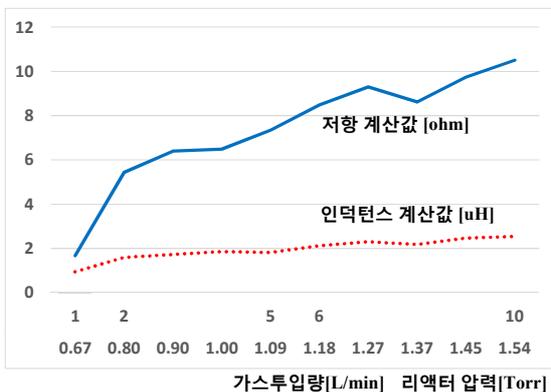


그림 3 플라즈마 부하 R-L 계산 값  
Fig. 3. Calculation value of R-L on plasma load.

## 2.3 부하 모델링 검증

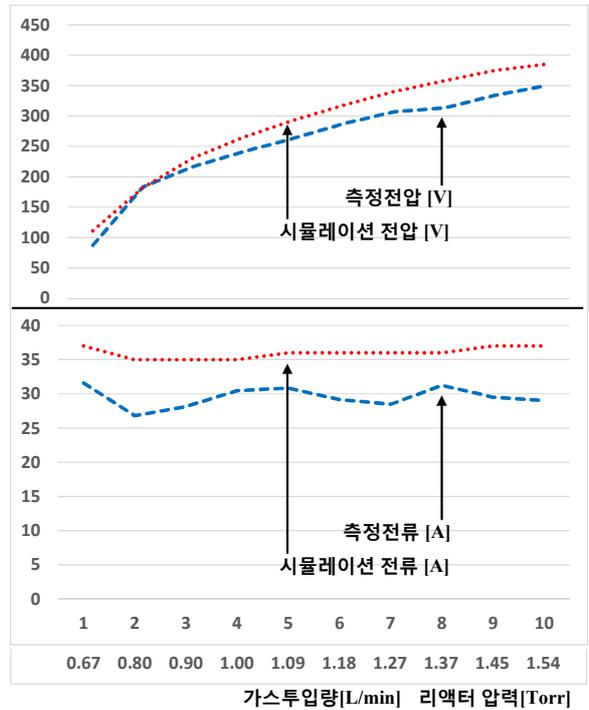


그림 4 실측값과 모델링을 기반으로 한 시뮬레이션 값 비교  
Fig. 4. Comparison between observed value and simulation waveform based on modeling.

모델링한 플라즈마 부하의 저항과 인덕턴스값의 검증을 위해 측정했던 데이터와 모델링한 데이터로 구성된 시뮬레이션의 전압, 전류의 차이를 비교한다. 그림 4는 인덕터와 저항으로 모델링된 플라즈마 부하를 전력변환장치의 부하로 하여 시뮬레이션을 진행하였을 때 전압, 전류정보와 실험으로 획득한 전압, 전류 정보를 나타낸다. 모델링을 반영한 시뮬레이션의 데이터와 실험데이터의 차이가 전압의 경우는 최대 40 [V], 전류의 경우는 최대 8 [A]로, 모델링한 값이 가스투입량 변화에 대한 실험데이터의 결과를 추종하는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 원격 플라즈마 발생 장치용 리액터와 플라즈마 부하의 가스투입량 변화에 대한 전기적 등가 모델을 제안하고 모델링한 저항과 인덕턴스 값을 기반으로 시뮬레이션을 진행하여 플라즈마 리액터의 전압과 전류데이터를 획득하고 실험데이터와 비교하여 모델링의 타당성을 검증하였다.

## 참고 문헌

- [1] 이정호, 최대규, 김수석, 이병국, 원충연, "환경친화형 페라이트 코어 유도결합 플라즈마 고주파 전력 변환 장치", *Journal of the KIIEE*, Vol. 20, No. 8, pp. 6-14, 2006, September
- [2] 정진욱, "플라즈마 전자공학", *청문각*, 2013,