

고효율 오존발생기용 고주파 공진형 인버터의 특성 해석

김영훈\* 황영민 노인배 김영빈 허태원 우정인  
동아대학교

Analysis of high-frequency resonant inverter character using efficient ozonizer

Kim Young-Hoon\*, Hwang Young-Min, Noh In-Bae, Kim Young-Bin, Heo Tae-won, Woo Jung-In  
Dong-A University

**Abstract** - This paper presents a high-frequency voltage source inverter for silent corona discharge ozonizer application, which is characterized by the power control based on pulse density modulation (PDM). The PDM inverter produces either a square-wave ac-voltage state or a zero-voltage state at its ac terminals to control the average output voltage under constant dc voltage and operating frequency. This results in a wide range of power control in the silent corona discharge load with a strong nonlinear characteristics. And proposed addition circuit for maintain discharge on the center of the airgap. In this paper, schemed equivalent electric circuit of the discharge electrode for simulation. Finally, the effectiveness of this discharge tube character of silent corona ozonizer is investigated in the simulation results.

1. 서 론

최근 전력용 반도체 스위칭 소자의 급진적인 발전에 따라 전력변환장치는 그 응용분야가 급격히 확대되고 있다. 특히 환경오염 물질을 정화하기 위한 시스템의 전력 변환장치의 개발에서 효율성 및 경제성의 문제에 대한 지속적인 연구가 요구되고 있는 추세이다.

본 연구에서는 무성 코로나 방전을 이용한 오존발생기의 방전특성에서 고농도 고효율 방전특성을 얻기 위한 시스템을 제안한다. 먼저 무성 코로나 방전의 등가 방전 모델을 구성하고, 무성 코로나 방전 특성에서 단점의 하나인 공극 내의 비선형 순시 에너지의 진행과 공급전압 및 전류의 비선형성을 제어하기 위해서 부하 방전단의 고전압 방전 전극의 등가회로에 센터텡 회로를 부가한다. 또한, 제안한 센터텡 회로가 부가된 등가 회로로 부터 코로나 방전 시스템의 구동 특성에 대해 시뮬레이션 한다.

시뮬레이션에 의해 구해지는 최적 코로나 방전 조건을 시스템에서 부가한 보조회로에 적용하고, 또한, 상태 제어를 가변밀도형펄스변조(PDM: Pulse Density Modulation)방식을 이용한 입력 전력을 조절함으로써 방전관 내에서 코로나 운의 상태를 조절하여 방전시 에너지의 흐름을 정현적으로 진행 시키므로서 공극내에서 선형적인 방전 특성을 얻는다. 따라서, 고효율 방전 시스템으로부터 고농도의 오존가스를 발생시킬 수 있는 무성 코로나 방전시스템을 제시하게 된다.

2. 방전관 구조 및 등가회로

2.1 방전관 구조

그림 1은 오존을 생성하는 코로나 방전관의 전극구조를 나타낸 것으로서, 유리나 세라믹 재질로 된 관의 내부가 고전압 전극이 되고, 관 외부의 냉각공기가 접촉되는 부분이 접지전극이 되어 교류 고전압을 인가하면 유전체와 접지전극 사이에 코로나 방전이 발생되고, 이 간극에 산소를 함유한 기체를 통과 시키면 오존이 생성되는 구조이다.

그림 1과 같은 방전관의 전극에는 무성 코로나 방전을 얻기위한 변압기를 통한 고압 전력이 공급되고, 이때 세라믹 유전체와 전극간의 공극에는 변위에너지의 교환, 축적이 이루어진다.

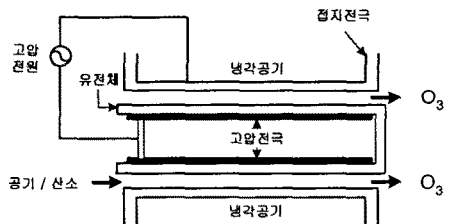


그림 1 방전관 구조

2.2 코로나 방전관 등가회로

그림 1에서와 같은 방전관 구조로 부터 그림 2와 같이 직렬 접속된 커패시터로에 의한 등가회로를 구성한다.

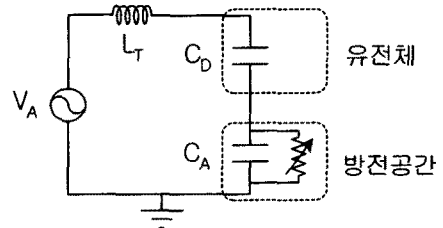


그림. 2. 방전관 등가회로

그림 2의 방전관 등가회로에서  $V_A$ 는 변압기 2차측의 고전압의 전압공급원이고,  $C_D$ 는 유전체의 용량을 나타내며,  $C_A$ 는 공극의 변위에너지 공간을 나타낸다.

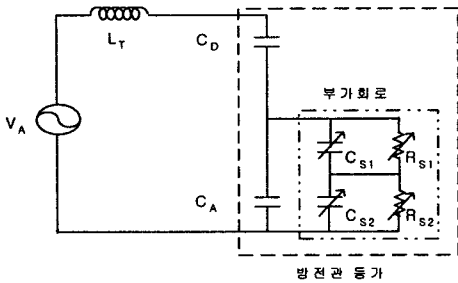


그림 3 제안한 등가회로

본 논문에서는 고전압 인가시 부하측인 방전관의 유전체와 공극 내에서 코로나 방전시의 코로나 운의 상태 검출 및 조절을 할 수 있도록 그림 3의 등가회로와 같이  $R_S (= R_{S1} + R_{S2})$  및  $C_S (= C_{S1} + C_{S2})$  병렬에 의한 센터탭 회로를 부가회로로 제안한다. 제안된 그림 3의 등가회로에서는 방전관 내부의  $C_A$  공극 내의 코로나 운의 방전상태와 보조회로 내의  $R_S$  및  $C_S$  에 흐르는 전류에 의해서 방전관 내의 상태특성을 간접적으로 검출하고, 패턴제어회로를 통하여 구형파 펄스를 제어하므로써 상태 방전전력을 제어하게 된다.

### 3. 인버터 시스템

본 연구에서는 그림 4와 같이 50 KHz 이상의 고주파를 소프트 스위칭 할 수 있고, 일정 전압을 유지할 수 있는 가변밀도형펄스변조( PDM : Pulse Density Modulation )방식을 채용한 인버터로써 고주파 방전전력원을 구성한다.

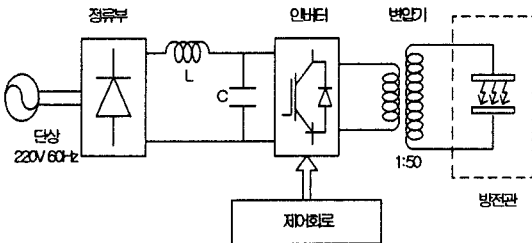


그림 4 코로나 방전 시스템 구성도

본 연구에서 구성한 코로나 방전 시스템은 제안된 그림 3의 등가회로에서 방전관 내의 균일 방전을 얻기 위해서 방전관 상태를 검출하여 피드백하고, PDM 인버터 시스템에서는 단위 주기에서 인가 전압과 영 전압 주기 비율에 의해서 전력조절을 하고 방전상태를 상태제어 전력 시스템으로 구성함으로써 가변적인 오존량에 대해 안정적인 전력공급과 속응성이 우수한 특성을 가지게 한다.

## 4. 제어 시스템

### 4.1 PDM 제어

PDM(Pulse Density Modulation)방식은 부하에 흐르는 공진 전류가 영점을 통과하는 시점에서만 스위칭이 허용되는 방식이다.

전압원 PDM인버터에서 전력밀도의 가변을 위한 스위칭 모드는 그림 5와 같다.

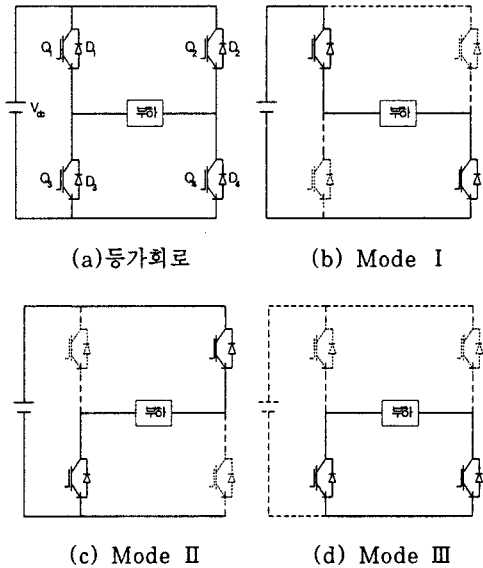


그림 5 PDM인버터의 스위칭 모드

PDM 스위칭은 그림 5에서 모드 I과 모드 II를 교번하여 구형파 ac 전압상태를 발생시키고, 모드 III은 영전압 상태를 출력한다. 영전압을 발생시킬 수 있는 방법은 전류가 (+)방향일 때에는 (S1, D4)와 (S2, D3) 중의 하나를, 전류가 (-)방향일 때에는 (D1, S4)와 (D2, S3) 중의 하나를 선택할 수 있다.

그림 6은 PDM방식의 기본적인 전력 제어의 패턴 원리를 나타낸다.

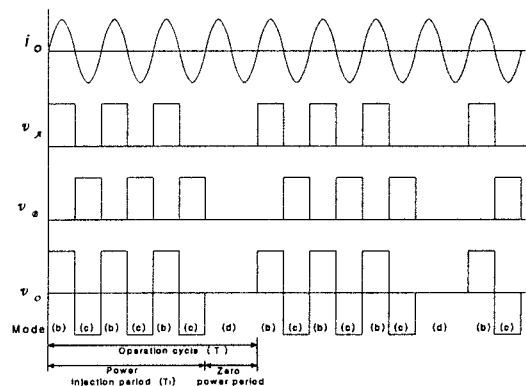


그림 6 PDM 스위칭 패턴

## 5. 시뮬레이션 파형 및 검토

### 5.1 시뮬레이션

PDM 스위칭 인버터에 의한 무성코로나 방전 등가회로를 그림 7과 같이 구성하고, 전력밀도비를 조절하여 그림 8과 같은 시뮬레이션 결과를 얻었다.

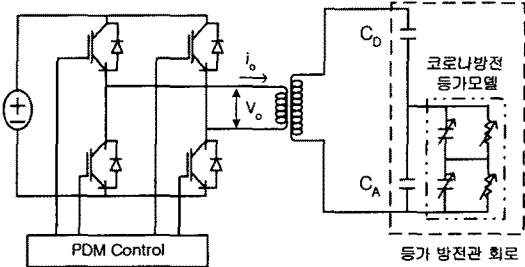
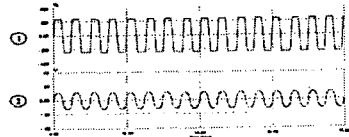
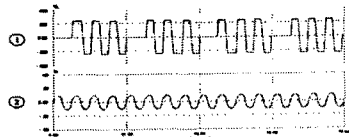


그림 7 시뮬레이션 회로도

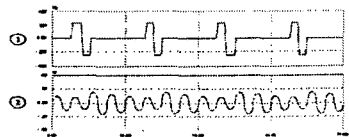
그림 8에서 (a)의 파형 ①과 ②는 전력밀도비가  $T_I/T = 16/16$  일 때의 인버터 출력 전압 및 전류파형이다. (b)는  $T_I/T = 12/16$ , (c)는  $T_I/T = 2/16$  일 때의 출력 전압 및 전류파형이다.



(a)  $T_I/T = 16/16$



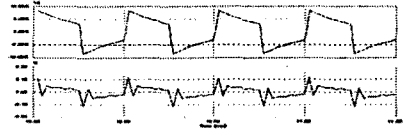
(b)  $T_I/T = 12/16$



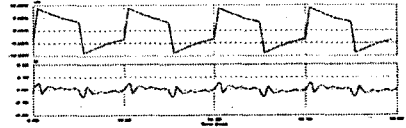
(c)  $T_I/T = 2/16$

그림 8 인버터의 출력전압, 전류파형

그림 9는 그림 8의 등가 PDM파형의 공급에 따라 얻어지는 방전관 전압, 전류파형을 나타낸다. 그림 9의 방전관 출력 전압, 전류 시뮬레이션 파형을 고찰한 결과 초기 방전전류가 완만하게 증가하고 진상정현적으로 진행되고 있고 방전극을 손상시키는 임펄스가 보이지 않는 무성코로나 방전의 특유의 전류, 전압파형을 보이고 있다. 따라서, PDM 방식을 이용한 코로나 방전시스템의 전력제어를 통해 고효율의 시스템을 구성할 수 있다.



(a) 등가모델에 의한 시뮬레이션 파형



(b) 수정 제안된 등가모델에 의한 시뮬레이션 파형

그림 9 등가모델 시뮬레이션 파형

## 6. 결 론

본 연구에서는 무성코로나 방전의 특성을 분석하고, 방전특성에서 정현적 균등 코로나 방전을 얻을 수 있는 PDM인버터를 제안하고, 전력밀도의 조절에 의해 오존 발생량을 조절할 수 있는 시스템을 제안하였다.

본 연구에서는 먼저 등가 방전 모델을 구성하였고, 센터팁 회로를 추가하였으며, 제안된 등가 회로에 의해 코로나 방전 시스템의 구동 특성에 대해 시뮬레이션하고 특성을 분석하였다. 또한, 상태 계환 제어로서 가변밀도 펄스변조(PDM : Pulse Density Modulation)방식을 이용하여 입력 전력을 조절함으로써 방전관 내에서 코로나 운의 상태를 조절하고, 방전 에너지의 흐름을 정현적으로 진행 시킴으로써 최소 공극내에서 선형 방전 특성을 얻게 되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] H.J.Song, K.S.Lee, D.I.Lee, "A Study on the high voltage nozzle type ozonizer", 11th International Conference on Gaseous Discharge and thier Applications, Vol. 2, pp. 320-323
- [2] Hideaki Fujita, H. Agaki, "Pulse Density Modulated Power Control of a 4KW, 450kHz Voltage-Source Inverter for Induction Melting Application," IEEE, 279-286, 1996
- [3] A. Dmowski, R. Bugyi and P. Szweczyk, "A Novel series-resonant dc/dc converter with full control of output voltage at no-load condition. Computer simulation based aspects", in IEEE/IAS Annu. Meet., 1992, pp.924-928
- [4] K.Kit sum and Bruce W. Carten, "Trends in High Frequency Power Conversion", HFPC, pp.198-204, May, 1998
- [5] P. P. Roy, S. R. Doradla and S. Deb, "Analysis of the series resonant converter using a frequency domain model", IEEE/PESC Rec., pp.482-489, 1991
- [6] K. Kai, T. Nishikawa, E. Sakai, "High Concentration Tube Generator" 13th Ozone World Congress, Vol. 2, pp.907-912, 1997
- [7] Jen Shih Chang, "Corona discharge processes", IEEE Trans, Plasma Science, Vol. 19, No. 8, 1991
- [8] S.M. Cargill, "Corona screen effectiveness in large machines under high voltage, high frequency transient conditions", IEE Proceedings Electric Power Applications, Vol.145, No.5, pp.469-474, 1998