

Analysis of Pulsed Plasma Reactor using Modelling Method

崔永旭* · 李弘植** · 林根熙*** · 金泰希§ · 白珉秀§§ · 張吉洪§§§

(Young-Wook Choi · Hong-Sik Lee · Geun-Hie Rim · Tae-Hee Kim · Min-Su Paek · Gil-Hong Jang)

Abstract - The pulsed plasma wire-plate reactor was analyzed on the basis of experiment, EMTP simulation and modelling method. Though the reactor has a non-linear impedance characteristics, we demonstrate that the reactor impedance can be approximately analyzed with the measured initial capacitance and average resistive component of flat zone. Using this modelling method, the influence of the reactor capacitance on the impedance matching between pulse generator and reactor can be investigated. From this, we found that the energy of 95 % was delivered from pulse generator to reactor at the ratio of $C_r/C_p \cong 0.3$, where C_p is pulse generator capacitance, C_r is reactor capacitance.

Key Words : reactor modelling, stray capacitance, impedance matching, pulsed plasma, EMTP

1. 서 론

펄스 플라즈마를 이용한 탈황·탈질 기술은 전자빔 법이나 기존의 습식 탈황설비보다 경제적이고 안전성이 있는 기술로 알려져 현재 세계 각국에서 많은 연구자들의 관심을 모으고 있다. 이 연구를 위해서는 고전압 펄스 전원과 유해가스를 흘리는 반응기가 기본적인 시스템으로 필요하며 특히 반응기의 구조는 고효율의 유해가스 제거효과를 가질 수 있도록 기계적·전기적인 설계가 이루어져야 한다. 전기적 측면의 설계라 함은 전원과 반응기간의 임피던스 정합 관계를 가지도록 하는 것을 의미하며 이는 구체적으로 반응기의 저항성분, 누설 인덕턴스 및 커패시턴스의 값을 전원과 연계하여 적절히 설계하여 전원과 반응기간의 최상의 임피던스 정합관계를 유도하는 것을 의미한다. 현재까지 임피던스 정합에 대해서 이론적·실험적 연구가 진행되어 왔으나[1,2] 실제 응용규모에 대해서는 실험적 연구가 진행되어 오지 않고 있고 더구나 반응기의 임피던스는 비선형 특성을 가지므로[3] 해석에 어려움이 있어 연구의 진전이 많이 이루어지지 않고 있다고도 볼 수 있다. 그렇지만 중소규모의 공장부터 대규모 화력발전소까지의 10 ~ 500 MW급 대규모 탈황·탈질반응기의 제작을 위해서는 반응기의 임피던스 해석 문제가 선결되어야만 산업계에 실 적용할 수 있는 반응기의 설계기술이 확립되므로 이를 해석하는 연구는 경제적이고

고효율의 반응기의 제작을 위해 기초연구로서 매우 의미가 있다고 볼 수 있다.

본 논문의 발단은 탈황·탈질 펄스 플라즈마 시스템의 운전중 펄스전원과 10 MW급 wire-plate 반응기 사이에서 일어나는 임피던스 부정합 현상에 대한 원인을 해석하면서 시작되었고 원인해석과 동시에 임피던스 정합을 위한 해결책을 도출하는데 그 목적이 있었다. 이를 위하여 인가전압 및 부하의 다양한 실험 조건하에서 전압 및 전류의 파형과 값을 측정하였다. 또한 측정된 데이터를 기초로 반응기의 전기적 등가회로를 가정하여 EMTP 시뮬레이션을 시도하였고 결과적으로 실험과 EMTP 시뮬레이션이 잘 일치하는 것을 파악할 수 있어 실용적으로 반응기의 설계에 이용할 수 있는 모델링 회로 및 수법을 확립 할 수 있게 되었다. 그러므로 제시된 모델링 회로는 전원과 반응기 간의 임피던스 정합의 현실적인 최상의 설계기법을 제시하는데 활용 될 수 있다고 사료된다.

2. 실험장치

그림 1에 실험에 사용한 펄스 발생기의 회로를 나타내었다. 2 단의 자기 압축회로에 의해 200 ns의 상승시간, 약 600 ns의 펄스폭이 출력되고 펄스 반복률은 최대 300 Hz이다. 출력전압은 부하(dummy load)와의 임피던스 정합 상태에서 100 kV(peak), 전류는 3 kA(peak)이다. 펄스당 출력 에너지는 100 J이고 평균 출력은 30 kW이다[4]. 그림 2에 반응기의 내부구조를 보였다. 이 반응기는 0.5 MW급으로서 1340 × 1500 mm의 wire frame 8 조로 제작하여 4개의 채널로 조립되어 있으며 wire의 총 길이는 108 m이다. wire의 직경은 3 mm, wire간의 간격은 130 mm이다. wire-plate 간격은 8 cm이다. 반응기내의 공기유입량은 1100 Nm³/hr로 하였다. 실험시 부하는 세가지 경우로서 1) 0.5 MW급 반응

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 先任研究員
 ** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 責任研究員
 *** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 責任研究員 電氣物理研究그룹장
 § 正 會 員 : 韓國重工業 技術研究員 主任研究員
 §§ 非 會 員 : 韓國重工業 技術研究員 先任研究員
 §§§ 非 會 員 : 韓國重工業 技術研究員 環境技術研究室室長
 接受日字 : 1999年 10月 9日
 最終完了 : 1999年 12月 2日

기, 2) 무유도 탄소저항 (dummy load ; 23~170 Ω), 3) 반응기의 모델링을 위한 실험부하로서 반응기의 누설 커패시턴스를 모의하여 1.5, 2.6, 5.6, 10.8 nF의 커패시턴스를 또한 반응기의 저항성분을 모의하여 무유도 탄소저항 35, 70 100 Ω을 각각 병렬로 연결하였다. 부하의 전압은 저항분압기 (Haefely, R200, 상승시간 20 ns, 200 kV), 전류는 펄스용 변류기(Pearson 4997, 상승시간 20 ns, 1 ampere · second, 20 kA)를 이용하여 측정하였다.

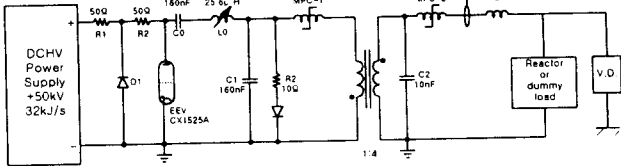


그림 1 磁氣압축형 펄스 발생전원
 Fig. 1 Magnetic pulse compression power source system (CT : Current Transformer, VD : Voltage Divider)

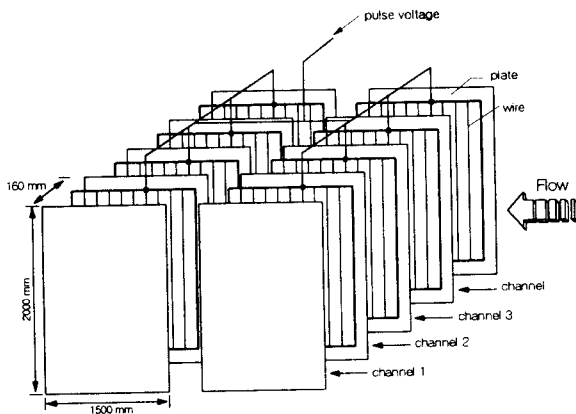


그림 2 0.5 MW wire-plate 반응기
 Fig. 2 A 0.5 MW wire-plate reactor

3. 실험결과 및 고찰

3.1 dummy load와 반응기에서 측정된 전압, 전류 파형

그림 3에 커패시터 C₀에 32.4 kV를 충전하고 펄스발생기의 출력 임피던스 값과 같은 35 Ω의 탄소 무유도저항 (dummy load)에 대한 실험 결과를 나타냈다. 전압, 전류의 펄스폭(FWHM)이 펄스 발생기의 체원대로 약 600 ns임을 확인할 수 있다. 피크 전압은 70 kV이고, 피크 전류는 2 kA이므로 이 측정결과로부터도 dummy load가 35 Ω임을 알 수 있다. 그림 4, 5는 반응기에서 측정한 전압, 전류 파형을 나타낸다. 전압, 전류 파형 모두 반응기의 누설 인덕턴스, 저항성분 및 누설 커패시턴스 성분 때문에 임피던스 부정합으로 인한 펄스 폭의 변화가 일어난 것을 알 수 있다. 즉, 인가전압이 높아질수록 전압 파형의 폭이 좁아지고 전류 파형의 폭은 넓어지는 것을 알 수 있다. 이 관계는 그림 6에

나타내었다. 그림 1의 커패시터 C₀에 각각 14.7 kV, 19 kV 및 23.4 kV를 충전하여 발생한 전압과 전류의 피크 값은 42 kV/0.4 kA, 52 kV/0.63 kA 및 58 kV/0.84 kA이다. 이 때 각각의 임피던스는 105 Ω, 82.5 Ω 및 69 Ω으로 계산되어진다. 인가전압이 높아질수록 반응기의 임피던스 값이 작아지면서 펄스 발생기의 출력임피던스 값에 근접해 가는 것을 파악 할 수 있다. 즉, 이것은 임피던스 정합관계로 근접해 가면서 에너지 효율이 높아져 가는 것을 나타낸다. 실제로 펄스발생기의 충전 커패시터C₀로 부터 반응기 까지의 효율을 계산하면 C₀의 충전전압이 14.7 kV, 19 kV 및 23.4 kV 일 때 각각 34 %, 46 % 및 57.5 %로 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 4, 5로부터 반응기의 임피던스의 시변특성을 구할 수 있고 이를 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 결과로부터 인가전압이 높아질수록 일정한 임피던스 값을 갖는 시간영역이 넓어지는 것을 알 수 있다. 바로 이것은 임피던스 정합관계로 근접할수록 반응기의 임피던스의 시변특성이 점차로 완화되는 것을 의미한다. 급격히 임피던스가 상승하는 점은 스트리머 코로나가 소멸되면서 저항 성분이 커지게 되기 때문에 존재하는 것으로 볼 수 있다. 한

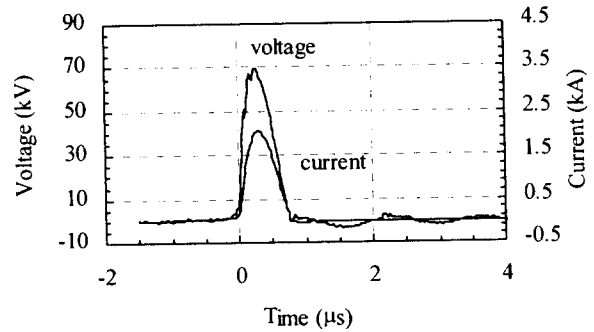


그림 3 dummy load (35 Ω)에서 측정된 전압, 전류 파형
 Fig. 3 Measured waveforms of voltage and current at 35 Ω dummy load

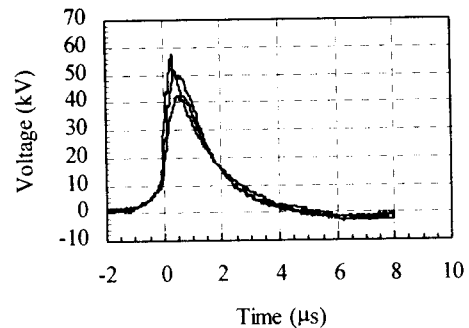


그림 4 반응기의 측정전압 파형 (C₀ : 각각 위로부터 23.4, 19, 14.7 kV의 경우)
 Fig. 4 Voltage waveforms at reactor when the initial charge voltage of C₀ is 23.4, 19 and 14.7 kV from up to down respectively

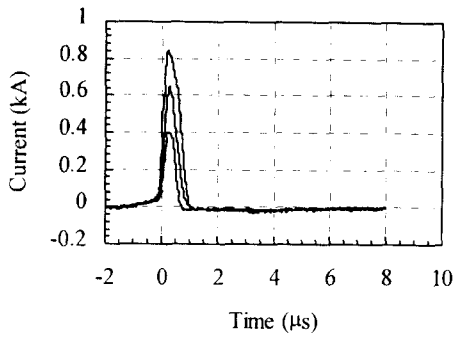


그림 5 반응기의 측정전류 파형 (Co : 각각 위로부터 23.4, 19, 14.7 kV의 경우)

Fig. 5 Current waveforms at reactor when the initial charge voltage of Co is 23.4, 19 and 14.7 kV from up to down respectively

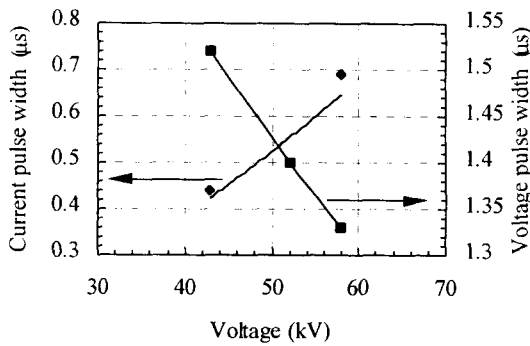


그림 6 인가전압에 따른 전압, 전류 펄스폭의 변화

Fig. 6 Variation of pulse width of voltage and current according to the applied voltage

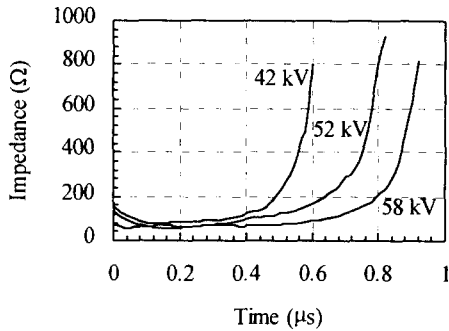


그림 7 인가전압에 따른 반응기의 임피던스의 시변특성

Fig. 7 Time variable characteristics of the reactor according to the applied voltage

편, 반응기의 임피던스는 인가전압뿐만 아니라 wire-plate 거리와 wire의 길이로부터도 결정된다[5]. 현재의 반응기의 상태는 장시간 사용으로 인하여 내부에 손상된 부분이 있어 인가전압을 더 이상 높여 실험하기에는 무리가 있지만 이상의 결과로부터 인가전압을 높이면 스파크가 발생하지 않는

방전조건내에서 어느 정도 펄스 발생기의 출력임피던스 값인 35 Ω가까이 조정할 수 있고 결과적으로 펄스발생기와 반응기의 운전효율을 높일 수 있다.

3.2 반응기의 모델링

wire-plate 반응기에 정극성 펄스 전압을 인가하면 wire에서 plate로 스트리머 코로나가 진전하고 이 스트리머 코로나의 전단은 강한 전계를 가진다[6]. 그러므로 wire-plate사이의 공간은 시변 전계분포를 가지며 따라서 wire-plate 반응기의 커패시턴스와 저항성분은 인가전압 및 시간의 함수로서 표현된다. 또한 반응기에 전류가 흐를 때 반응기의 형상으로 인해 발생하는 자속과의 관계에서 피할 수 없는 반응기의 효율을 저감시키는 누설 인덕턴스가 발생한다. 결과적으로 반응기의 등가회로는 반응기의 인덕턴스 성분을 포함하여 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 그렇지만 그림 8의 등가회로는 이상적인 것이고 따라서 시변 커패시턴스와 저항값의 정량적 분석은 이론적으로나 실험적으로나 매우 난해하다. 그러나 그림 4, 5의 실험 결과로부터 얻은 그림 7의 데이터를 이용하여 상대적으로 근사적인 분석이 가능하다.

이를 위해서 그림 8의 등가회로에서 누설 커패시턴스 값은 초기 값인 2.7 nF으로 측정되므로 초기커패시턴스 값으로 하고, 시변 저항성분은 그림 7의 결과를 활용할 수 있다. 그림 7의 결과는 원천적으로 실제반응기의 누설 커패시턴스 값도 포함한 것이나 커패시턴스 값이 2.7 nF정도의 작은 값에서는 전체임피던스는 저항 값에 거의 의존되므로 시변 저항 값으로 그림 7의 결과를 활용할 수 있다. 이상과 같은 내용을 기초로 그림 8의 등가회로를 활용하여 반응기의 근사적인 해석이 가능하고 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

그림 9의 결과는 EMTP 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 조건은 누설커패시턴스 값은 초기 값인 2.7 nF으로하고 저항성분 값은 그림 7의 58 kV인까지 측정된 시변값으로 하였다. 여기서 저항성분의 시변값은 스트리머 코로나가 소멸된다고 추측되는 시점인 0.82 μs까지 넣었고 그 때의 저항 값은 234 Ω이다. 그 결과 전압의 펄스 폭은 넓어지고, 전류의 펄스 폭은 좁은 파형의 형상이 그림 4, 5의 실험결과와 거의 근접하는 것을 그림 9에서 볼 수 있으며 피크 값도 10 %정도의 오차범위에 근접하는 것을 알 수 있다. 한편 여기서 저항성분을 시변이 아닌 일정한 값으로 놓았을 경우와

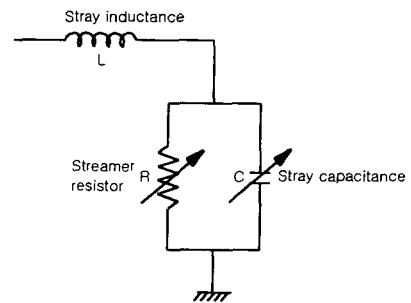


그림 8 반응기의 등가회로

Fig. 8 Equivalent circuit of reactor

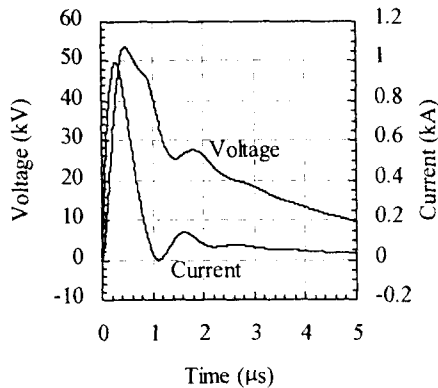


그림 9 비선형 저항 성분에 대한 EMTP 시뮬레이션 결과
 Fig. 9 Result of EMTP simulation in the case of the non-linear resistive component

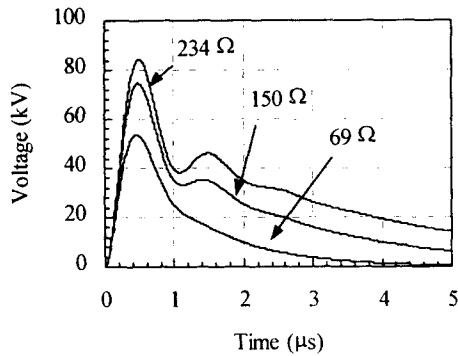


그림 10 저항 성분이 69, 150, 234 Ω일 경우에 대한 EMTP 시뮬레이션 결과 (전압 파형)
 Fig. 10 Result of EMTP simulation in the case of 69, 150, 234 Ω resistive component (voltage waveforms)

도 비교하여보자. 그림 10과 그림 11에는 저항성분의 값을 그림 9와 달리 69, 150, 234 Ω의 일정한 값으로 하였을 때의 EMTP 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 저항 성분의 값을 69, 150, 234 Ω으로 놓은 이유는 그림 7의 58 kV인가시의 임피던스의 변화가 거의 없는 0.6 μs까지의 평균값과 0.82 μs까지의 상승 중간 점과 0.82 μs일 때의 값을 넣어 변화의 추이를 관찰하기 위해서이다. 그림 10의 전압 파형의 시뮬레이션 결과에서 그림 4의 실험 결과와 가장 잘 일치하고 있는 곡선은 저항 성분의 값이 69 Ω일 경우인 것을 알 수 있다. 또한 그림 11의 전류 파형의 시뮬레이션 결과에서도 저항 성분의 값이 69 Ω일 경우에 그림 5의 실험 결과와 상당히 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 전류 파형의 파미부분이 일치하지 않는 이유는 그림 9의 시뮬레이션 조건과는 달리 저항 성분의 값을 일정 값으로 넣었기 때문이다. 이상의 실험과 시뮬레이션 결과로 미루어보아 반응기의 등가회로는 그림 8의 경우가 원리적으로는 타당하나 실제적으로는

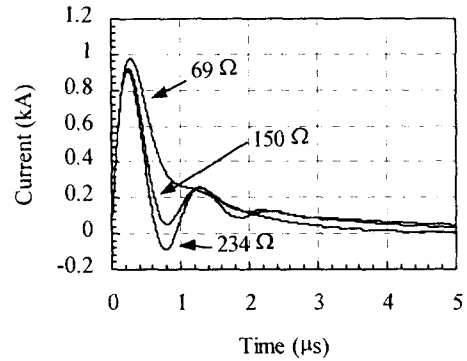


그림 11 저항 성분이 69, 150, 234 Ω일 경우에 대한 EMTP 시뮬레이션 결과 (전류 파형)
 Fig. 11 Result of EMTP simulation in the case of 69, 150, 234 Ω resistive component (current waveforms)

누설커패시턴스 성분은 반응기의 초기 커패시턴스 값으로 저항성분은 그림 7에서 관찰된 바와 같이 일정한 값을 유지하고 있는 시간영역의 임피던스의 평균값으로 하여도 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 이러한 모델링 기법에 의한 반응기의 해석은 반응기의 실제의 경우를 예측하는데 유용할 것으로 사료된다.

3.3 반응기의 커패시턴스에 관하여

지금까지의 고찰을 기초로 반응기의 등가회로를 이용하면 임피던스 정합에 영향을 미치는 반응기의 누설 커패시턴스 값에 대한 해석이 가능해진다. 현실적으로 불가피하게 존재하는 반응기의 누설 커패시턴스 값은 반응기의 에너지 효율을 감소시키지만 그 손실을 최소한으로 줄일 수 있는 현실적인 설계범위를 파악하는 것이 중요하다. 그림 1의 펄스 발생회로에서 출력단의 커패시턴스 값은 10 nF이고 이 커패시터에 저장된 에너지가 모두 반응기에 유입되는 조건은 반응기의 임피던스가 펄스 발생기의 출력 임피던스와 일치할 때이다. 그러나 누설 인덕턴스와 반응기의 누설 커패시턴스 값이 불가피하게 존재하여 이와 같은 이상적인 경우는 존재하지 않는다. 그러므로 현실적으로 펄스 발생기에서 반응기 에로의 최대에너지 전달 조건을 찾기 위해 그 인자로서 펄스 발생기의 출력단의 커패시턴스 값과 반응기의 누설커패시턴스 값의 비를 활용할 수 있다[1]. 본 연구 실험에 사용된 펄스 발생기의 출력단의 커패시턴스 값이 10 nF이므로 반응기의 커패시턴스 값이 10 nF의 15% ~ 100% 즉 1.5, 2.6, 5.6, 10.8 nF과 각각에 대하여 저항성분을 35, 70, 100 Ω으로 하였을 경우에 대하여 실험을 하였고 실험 결과를 그림 12에 나타내었다. C₀의 초기 충전전압은 32.4 kV이다. 그림 12의 결과로부터 반응기의 누설 커패시턴스가 커질수록, 저항성분이 펄스 발생기의 출력 임피던스 보다 커질수록 에너지 전달효율이 감소하는 것을 알 수 있다. dummy load (무유도 탄소 저항 35 Ω)인 경우에는 전달에너지가 1 μs에서 49.16 J이다. 최소한 이 에너지의 95%이상의 에너지가 반응기로 전달되기 위한 조건은 반응기의 저항성분이 35 Ω

이고 커패시턴스 값이 2.6 nF 이하로 될 때 가능함을 알 수 있다. 그러므로 반응기의 용량이 커질수록 현실적으로 불가피하게 따라서 증가하는 누설 커패시턴스 성분으로 인한 손실을 5 % 정도로 생각한다면 반응기의 누설커패시턴스 값의 설계를 펄스 발생기의 최종단 출력 커패시턴스 값의 약 30 %이내가 되도록 설계해야한다는 것을 알 수 있다. 저항 성분이 35 Ω이하의 경우에도 에너지 전달효율이 유사하게 감소한다[5]. 그림 13에 저항 35 Ω, 커패시턴스 2.6 nF에 대한 실험 결과를 나타냈다. 각각의 파형은 위로부터 반응기 전압, 유입전체전류 (i_T), 저항전류(i_R), 커패시턴스전류(i_C)를 나타낸다. 그림 14에는 그림 13에 해당하는 에너지를 계산한 결과를 나타냈으며 각각의 파형은 위로부터 전체 유입 에너지(E_T), 저항에 유입되는 에너지(E_R), 커패시턴스에 유입되는 에너지(E_C)를 나타낸다. 전체전류(i_T)와 저항전류(i_R)의 상승시간 등 파형과 크기의 차이가 거의 없는 것을 알 수 있고 따라서 그림 14로부터 dummy load와 비교되어 에

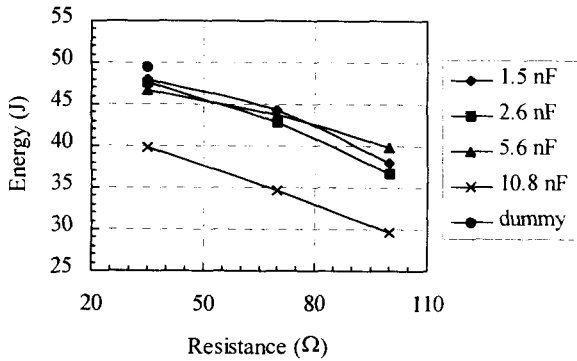


그림 12 누설 커패시턴스 및 저항 성분에 따른 에너지 유입 특성

Fig. 12 Incident energy characteristics according to the stray capacitance and the resistive component

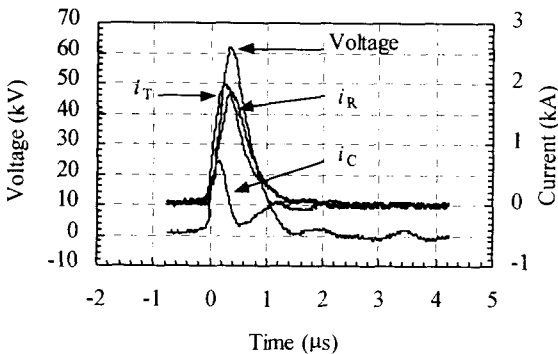


그림 13 커패시턴스 2.6 nF, 저항 35 Ω일 경우의 실험결과 (전압 및 전류 파형)

Fig. 13 Experiment results in the case of 2.6 nF capacitance and 35 Ω resistance (waveforms of voltage and current)

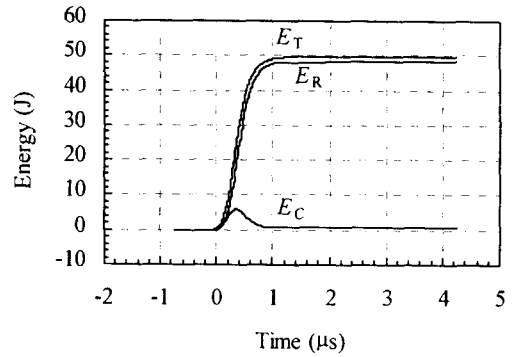


그림 14 커패시턴스 2.6 nF, 저항 35 Ω일 경우의 실험결과 (유입 에너지)

Fig. 14 Experiment results in the case of 2.6 nF capacitance and 35 Ω resistance (incident energy)

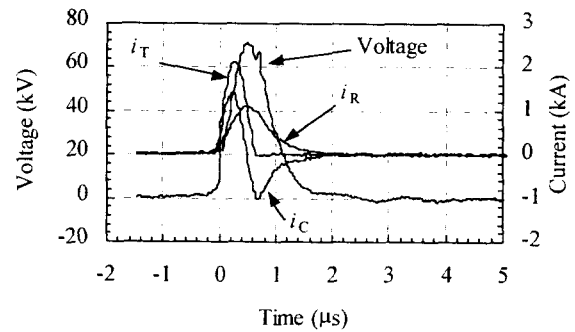


그림 15 커패시턴스 5.6 nF, 저항 70 Ω일 경우의 실험결과 (전압 및 전류 파형)

Fig. 15 Experiment results in the case of 5.6 nF capacitance and 70 Ω resistance (waveforms of voltage and current)

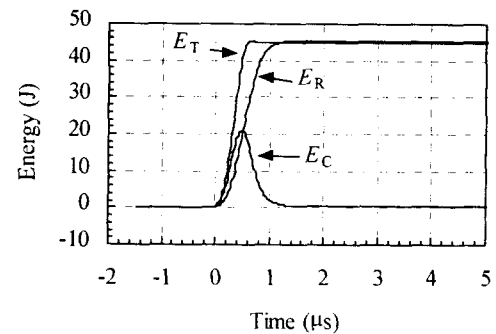


그림 16 커패시턴스 5.6 nF, 저항 70 Ω일 경우의 실험결과 (유입 에너지)

Fig. 16 Experiment results in the case of 5.6 nF capacitance and 70 Ω resistance (incident energy)

너지 손실이 매우 적은 것을 알 수 있다. 이에 반하여 그림 15에는 에너지 손실이 많은 70 Ω, 커패시턴스 5.6 nF에 대한 실험 결과를 보였다. 커패시턴스전류(i_c)가 많고 저항 값도 크므로 임피던스 정합이 안되어 반응기로의 입력에너지가 5 J정도 줄고 저항전류(i_R)의 상승시간도 매우 커져 탈황·탈질 효율이 저감되는 것을 예측할 수 있다. 그림 16에는 그림 15로부터 계산된 전체 유입에너지(E_T), 저항에 유입되는 에너지(E_R), 커패시턴스에 유입되는 에너지(E_C)를 나타냈다. 누설 커패시턴스값이 크기 때문에 실 부하인 저항에 유입되는 에너지(E_R)의 시간이 길어지는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 비교적 규모가 큰 0.5 MW급 펄스 플라즈마 wire-plate 반응기에 대한 실험을 기초로 EMTP 시뮬레이션 및 반응기의 전기적 등가회로를 활용하여 펄스 발생기와 반응기사이의 현실적 최상의 임피던스 정합조건을 분석하였다. 반응기의 임피던스는 원천적으로 시변 특성을 가져 해석에 어려움이 있으나 반응기의 임피던스 값이 펄스 발생기의 출력 임피던스에 근접할수록 시변특성이 완화된다는 것을 실험을 통하여 관찰 할 수 있었고 이 점에 착안하여 반응기의 등가회로를 초기 커패시턴스 값과 임피던스 값이 급격히 상승하기 이전까지의 저항성분의 평균값으로 하여도 실제 실험 결과와 잘 일치하고 있는 것을 파악할 수 있었다. 이러한 하나의 모델링 수법으로 반응기에 불가피하게 존재하는 누설 커패시턴스 값으로 인한 손실을 최소화하는 설계치를 정량적으로 분석하였고 이는 펄스 플라즈마 반응기의 설계에 중요한 기초자료로서 활용될 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Han S. Uhm and Woong M. Lee "An analytical theory of corona discharge plasmas." Phys. Plasmas Vol. 4, No. 9, pp. 3117-3128, Sept. 1997.
- [2] T. Fujii, R. Gobbo, and M. Rea "Pulse corona characteristics," IEEE Trans. Industry Applications vol. 29, no. 1, pp. 98-101, Jan/Feb 1993.
- [3] Bernie M. Penetrante, Shirley E. Schultheis, "Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Part A, B", NATO ASI Series, 1993.
- [4] J. S. Oh, M. H. Cho, I. S. Ko, W. Namkung, G. H. Jang, "Operational characteristics of 30-KW average MPC modulator for plasma De-NO_x/De-SO_x system." 11th International pulsed power conference, Baltimore, Maryland, June 29 - July 2, pp. 1091- 1096, 1996.
- [5] 최영旭, 李弘植, 林根熙, 金泰希, 金鍾和, 張吉洪, 申完浩, 宋永焄, "펄스 플라즈마 반응기에 대한 임피던스 및 누설 인덕턴스 분석" 대한전기학회 논문지 48C권 4호 pp. 253-260, 1999.
- [6] S. K. Dhali, P. F. Williams, "Two-dimensional studies of streamers in gases." J. Appl. Phys., Vol. 62, No. 12, pp. 4696-4707, Dec. 1987.

저 자 소 개



최 영 옥(崔永旭)

1960년 6월 26일생. 1980년 3월 ~ 1984년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 3월 九州大學大學院 總合理工學研究科 에너지변환공학과졸업 (석사). 1997년 3월 동 대학원 졸업 (공학). 1984년 3월 ~ 1991년 10월 한국전기연구소 연구원. 1997년 4월 ~ 현재, 한국전기연구소 전기물리연구팀 선임연구원. 주관심분야 : 방전현상의 레이저 응용 계측 (LIF), 플라즈마 탈황탈질 시스템 개발. 플라즈마 응용 및 고전압 펄스 전원 설계

Tel : 0551-280-1492

E-mail : ywchoi@keri.re.kr



이 홍 식(李弘植)

1953년 9월 13일생. 1971년 3월-1975년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업 (석사), 1990년 서울대 대학원 전기공학과 졸업 (공학), 현재 한국전기연구소 전기물리연구팀 책임연구원 주관

심분야 : 플라즈마 발생, 기체 레이저 제작, 고전압 펄스 발생장치

Tel : 0551-280-1491

E-mail : hslee@keri.re.kr



임 근 희(林根熙)

1955년 10월 7일생. 1974년 3월-1978년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업 (학사) 1988년 Virginia Polytechnic Institute and State University 대학원 전기공학과 졸업 (석사) 1992년 동 대학원 졸업 (공학) 1992년-현재 한국전기연구소 전기물리연구팀장 주관심분야 : 전력변환 및 전기물리 설비개발

Tel : 0551-280-1450

E-mail : ghrim@keri.re.kr



김 태 희(金泰希)

1968년 9월 23일생 1987년 3월-1993년 2월 창원대 공대 전자공학과 졸업 (학사) 1995년 2월 창원대 공대 전자공학과 졸업 (광전자 공학, 석사) 1996년-현재 한국중공업(주) 기술연구원 환경기술연구실 주임연구원 주관심분

야 : 저온 플라즈마 탈황탈질 설비, 고압펄스발생장치

Tel : 0551-278-3739

E-mail : taehee@hint.hanjung.co.kr



백 민 수(白 珉 秀)

1963년 3월27일생. 1986년 2월 부산대학교 기계설계과 졸업. 1995년 8월 부산대학교 기계공학과 졸업(공학박). 1995년 3월-1996년 8월 부산대학교 기술연구소 전임연구원. 1996. 9~ 현재. 한국중공업(주) 기술연구원 선임연구

원(플라즈마 탈황탈질 시스템 개발)

Tel : 0551-278-3749

E-mail : mspaek@hanjung.co.kr



장 길 홍(張 吉 洪)

1951년 10월 27일생 1987년 5월 독일 에센대학교 발전소공학 전공 (석사) 1991년 4월 독일 베를린 공과대학교 에너지공학 전공 (공학박) 1992년 3월 - 현재 한국중공업(주) 기술연구원 환경기술연구실장/수석연구원. 주관심

분야 : 대기오염제어 설비(탈황탈질 설비), 석탄연소, 발전소 압력부 설비 분야

Tel : 0551-278-3740

E-mail : gilhong@hint.hanjung.co.kr