

펄스 플라즈마 반응기에 대한 임피던스 및 누설 인덕턴스 분석

論 文
48C - 4 - 6

Analysis of Impedance and Stray Inductance for Pulsed Plasma Reactor

崔永旭* · 李弘植** · 林根熙*** · 金泰希§ · 金鍾和§§ · 張吉洪§§§ · 申完浩# · 宋永焄##
 (Young-Wook Choi · Hong-Sik Lee · Geun-Hie Rim · Tae-Hee Kim · Jong-Wha Kim · Gil-Hong Jang · Wan-Ho Shin · Young-Hoon Song)

Abstract - In this paper, the impedance characteristic of wire-plate pulsed plasma reactor was investigated by experiment. The experiment have carried out under the several conditions of voltage, wire length and wire-plate distance. The impedance of reactor was decreased with increasing voltage and wire length. The nature of discharge in reactor was changed from streamer corona to spark with increasing incident energy, from which we understood the critical energy density between the two discharges. From this experiment, we proposed the method for the impedance matching between pulse generator and pulsed plasma reactor. Additionally, we succeeded in the analysis of stray inductance of 0.5 MW reactor using EMTP (ElectroMagnetic Transients Program). This means that EMTP is also useful for the analysis of inevitable stray inductance of forthcoming a large scale reactor.

Key Words : pulsed plasma reactor, impedance matching, stray inductance, pulse generator, EMTP

1. 서론

현대 들어 산업의 발달과 더불어 각종 산업시설에서 배출되는 유해가스는 점차로 환경을 오염시켜왔고 그 심각성은 더 이상 방치할 수 없는 상황이 되고 있다. 이에 대한 대처 방안으로 지금부터 20 여년전부터 이태리, 일본 등 세계각국에서 다양한 과학적 처리 기술의 연구가 활발히 진행되어 왔다[1,2]. 현재 많은 대기오염 물질을 방출하고 있는 곳은 화력 발전소, 대규모 공장, 자동차 등이며 특히 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x)은 세계적으로 해결책을 모색하고 있는 대기오염 물질이다. 이에 대해 각국에서는 규제치를 제시하고 있고 국내에서도 SO_x는 300 ppm, NO_x는 350 ppm으로 배출치를 규제하고 있는 실정이다.

1980년대 중반 이후 기존의 전기집진 기술을 응용하여 개발된 펄스 스트리머 코로나를 이용하는 저온 플라즈마 탈황탈질 기술은 기존의 습식 탈황설비에 비해 초기투자 비용

이 절반도 되지 않아 경제성이 있는 장점이 있어 최근에 유해가스 제거를 위한 하나의 연구과제로서 많은 연구자들이 관심을 가져왔다[3-6]. 이 펄스 스트리머 코로나를 유해물질 제거에 이용하기 위해서는 부수적으로 펄스 코로나 반응기의 설계기술과 자유전자를 가속시키기 위해 필요한 고전압이고 짧은 펄스폭을 발생시키는 펄스 전원기술이 요구된다. 현재까지 개발되어 사용하고 있는 반응기는 wire-cylindrical과 wire-plate형, 전원은 로타리 스파크 갭과 磁氣압축회로를 이용한 것들이 있다. 이들 반응기와 펄스 전원은 유해가스 제거 효율 및 경제성을 높이는데 관점을 두고 개발되어왔다. 그러나 기계적으로는 반응기와 펄스전원이 서로 독립되어 있어 서로의 영향이 없지만 전기적으로 보면 반응기와 펄스전원이 하나의 회로로 연결되어 전원에서 반응기로 에너지가 유입될 때 에너지 전달이 최대로 되어야 유해가스 제거 효율도 높아진다. 그러므로 유해가스 제거 효율을 높이기 위해서는 반응기와 전원이 서로 독립되어 설계되어 질 수 없다. 즉, 반응기와 전원사이의 임피던스 정합 문제를 해결하지 않고는 유해물질 제거율을 높이는데 한계가 있으며 또한 경제적인 소모 전력을 추구할 수 없다.

본 연구에서는 지금까지 대체로 전문가들의 경험 등에 의존되어 왔던 반응기와 전원간의 임피던스 정합문제를 기초 실험을 통한 파악을 시도하였으며 이를 바탕으로 반응기의 임피던스 특성을 분석하고 반응기와 전원간의 임피던스 정합을 위한 방법을 제시하는데 그 목적을 두었다. 또한 비교적 큰 규모의 0.5 MW 반응기의 누설 인덕턴스로 인하여 전류의 펄스폭이 넓어지는 현상을 EMTP 시뮬레이션을 이용하여 해석하고 이것을 실험 결과와 비교하여 반응기의 누설 인덕턴

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 前任研究員
 ** 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팀장
 § 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 前任研究員
 §§§ 非 會 員 : 韓國重工業 技術研究員 環境技術研究室長
 # 正 會 員 : 韓國機械研究院 前任研究員
 ## 非 會 員 : 韓國機械研究院 前任研究員
 接受日字 : 1998년 11월 16일
 最終完了 : 1999년 3월 2일

스값을 유도하였다.

2. 실험장치

실험에 사용한 반응기는 wire-plate형으로서 반응기내의 유량을 최대 15 Nm³/hr로 할 수 있는 기초실험용 소형 반응기와 유량을 최대 2000 Nm³/hr까지 흘릴 수 있는 0.5 MW급

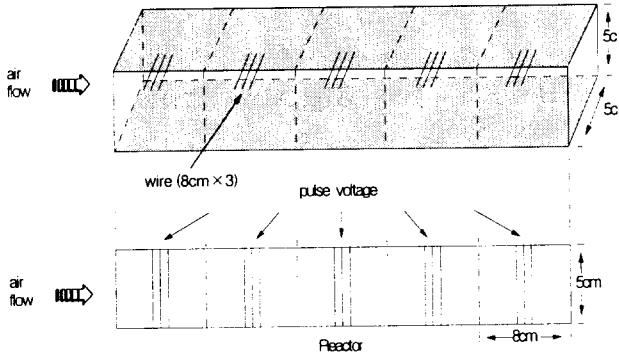


그림 1 (a) wire-plate 소형 반응기
Fig. 1 (a) Wire-plate scaled reactor

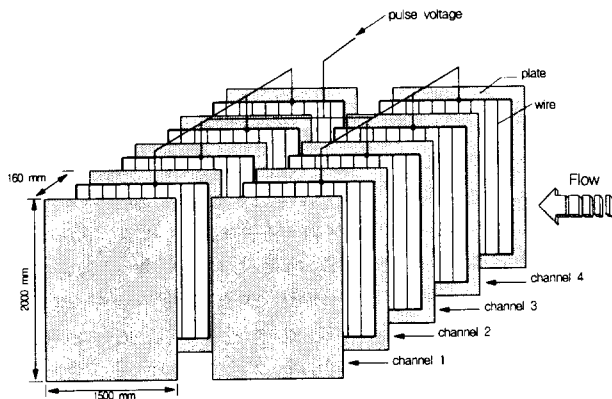


그림 1 (b) 0.5 MW wire-plate 반응기
Fig. 1 (b) A 0.5 MW wire-plate reactor

의 비교적 큰 반응기를 사용하였다. 펄스전원은 소형 반응기에는 용량 200 W의 로타리 스파크 갭 스위치를 사용하였고 0.5 MW급 반응기에는 용량 30 kW의 2단 磁氣압축회로를 이용한 펄스발생기를 사용하였다[7]. 그림 1, 2에 반응기와 펄스 전원을 보였다. 그림 1 (a)의 소형반응기는 직경 1.2 mm, 길이 8 cm의 wire를 3개를 한조로하여 24 cm씩 wire의 길이를 변화시켜가며 120 cm까지 wire의 길이가 변할 때 임피던스의 변화를 실험 할 수 있도록 하였다. wire와 plate사이의 간격에 대한 임피던스의 변화를 실험하기 위하여 wire-plate간의 간격을 1.5, 2.5 cm로 조정하여 실험하였다. 반응기내의 공기유량은 6 Nm³/hr로 하였다.

그림 1 (b)의 0.5 MW급 반응기는 실 규모의 탈황탈질 시스템에 사용되는 반응기로서 4개의 채널로 되어있으며 1340 x 1500 mm의 wire 구조를 8조로 되어 총 wire의 길이가

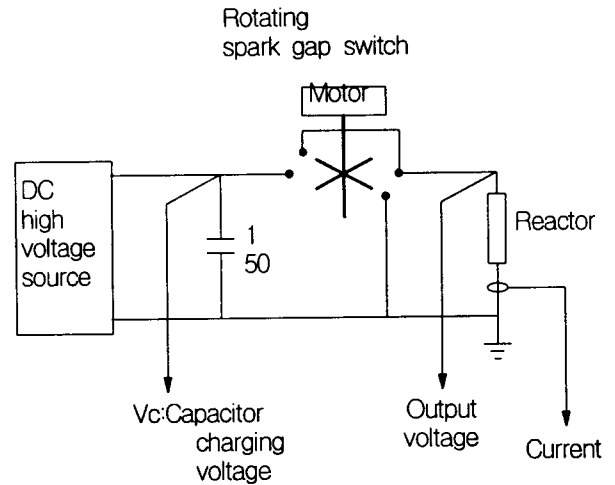


그림 2 (a) 로타리 스파크 갭 스위치
Fig. 2 (a) Rotary spark gap switch

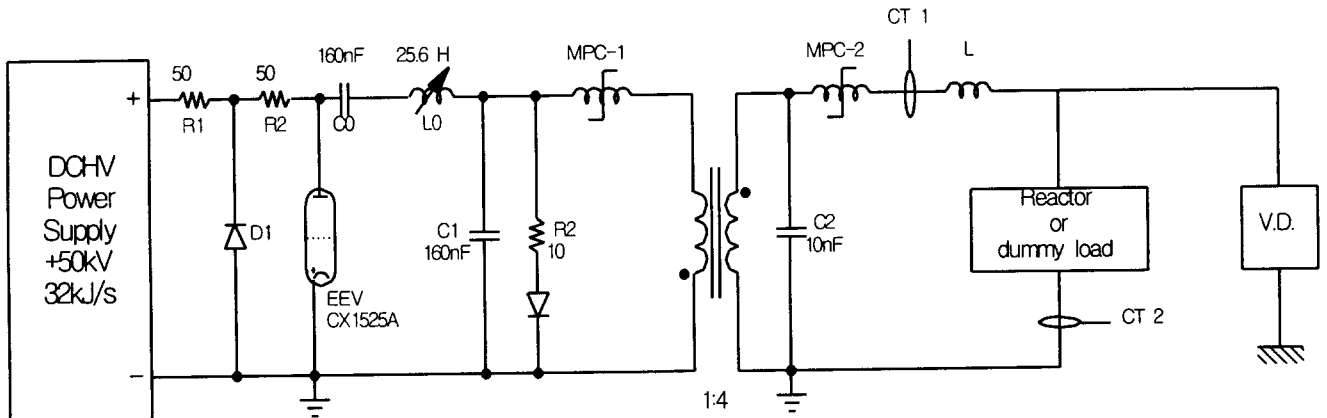


그림 2 (b) 磁氣압축형 펄스 발생전원
Fig. 2 (b) Magnetic pulse compression power source system (V.D. : Voltage divider, CT 1, CT 2 : Current transformers)

108 m이다. wire의 직경은 3 mm, wire간의 간격은 130 mm이다. wire-plate 간격은 8 cm로 하였다. 반응기내의 공기유량은 1100 Nm³/hr로 하였다.

그림 2 (a)는 소형 반응기에 사용한 로타리 스파크 갭 전원을 나타낸다. 회전하는 전극이 50 kV까지 충전되는 콘덴서의 에너지를 최고 160 Hz의 주기로 반응기에 인가할 수 있다.

그림 2 (b)는 0.5 MW급 반응기에 사용한 磁氣압축형 펄스 발생회로를 나타낸다. 2단의 자기 압축회로에 의해 600 ns의 펄스폭(Full Width Half Maximum)이 출력되고 펄스 반복율은 최대 300 Hz이다. 최대 출력전압은 130 kV(peak), 전류는 6 kA(peak)이다[7]. 반응기의 전압은 저항 분압기(Haefely R200, rising time 20 ns), 전류는 펄스용 변류기(Pearson 4997, rising time 20 ns)를 반응기의 입력단과 출력단에 설치하여 측정 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 반응기의 임피던스 특성과 방전특성

반응기의 임피던스 특성은 인가전압, wire-plate 간극거리 및 wire의 길이에 따라 변화하였으며 그 변화의 경향은 소형이나 0.5 MW급 반응기나 같은 경향을 가지는 것을 알 수 있었다. 그림 3에 간극 1.5 cm, wire 길이 120 cm의 조건에서 로타리 스파크 갭 스위치로부터 40 kV를 반응기에 인가 할 때 반응기에서 측정된 전압 전류 파형을 나타내었다. 측정결과로부터 전압, 전류의 펄스폭이 200 ns인 것을 알 수 있다. 임피던스의 산정은 전압, 전류의 최대치로 하였다. 그림 4에 인가전압 30, 40 kV, 간극 2.5 cm, wire 길이 24 - 120 cm 일 때의 실험 결과를 나타내었다. 그림 5에는 그림 4의 조건에서 간극거리만 1.5 cm로 변화시켜 실험한 결과를 나타내었다.

이 두 결과로부터 반응기의 임피던스는 일정한 간극에서 인가전압이 상승할수록, wire의 길이가 길어질수록 작아지는 것을 알 수 있다. 그런데 반응기에서 스트리머 코로나가 발생할 경우와 스파크가 발생할 경우가 관찰되었다. 이에 대한 원인에 대해서는 각각의 경우에 반응기에 유입되는 에너지를 분석하여 보면 알 수 있다. 그림 6에 그림 5의 조건에서 반응기에 유입되는 에너지를 나타내고 30, 40 kV의 각

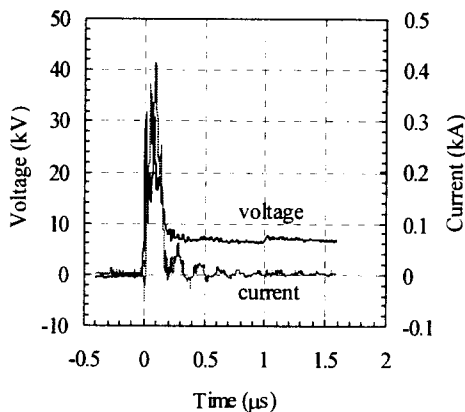


그림 3 소형 반응기에서 측정된 전압 전류 파형
Fig. 3 Measured voltage and current waveforms at reactor

각의 4개의 곡선은 wire의 길이가 아래로부터 48, 72, 96, 120 cm인 경우에 반응기에 유입되는 에너지를 나타낸다. 여기서 wire의 길이가 72 cm 이상의 경우는 스트리머가 코로나가 발생하였고 48 cm 이하에서는 스파크 현상이 일어나기 시작하였다. 그러므로 스트리머 코로나의 발생조건과 스파크의 발생조건은 반응기에 유입되는 에너지의 함수인 것을 알 수 있으며 이 임계조건을 에너지 밀도로 환산하여 표 1에 나타내었다.

이 표로부터 각 반응기의 조건에서 스트리머 코로나가 발생하는데 적절한 에너지 밀도가 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 반응기의 방전 특성을 기초로하여 전원의 용량과 반응기의 용량을 같도록 설계 할 수 있고 전원의 에너지가 반응기에 최대한 전달되어 에너지 손실을 최소로 하는 경제적인 소모전력의 추구도 가능하다. 실제로 그림 6의 예를 보면 스트리머 방전영역의 에너지 밀도를 가지는 wire 길이 72, 96, 120 cm의 경우에 wire의 길이가 길어질수록 반응기에 인입되는 에너지가 증가되는 것을 볼 수 있다. 로타리 스파크 갭의 충전 콘덴서가 1 nF이므로 충전전압이 40 kV일 경우의

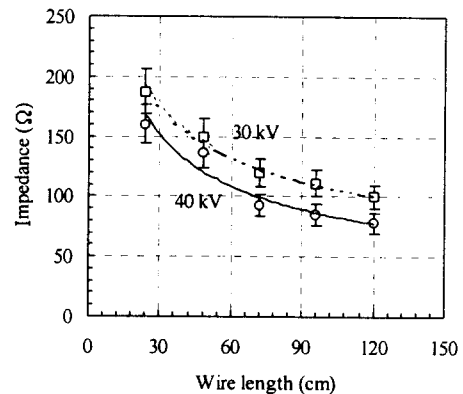


그림 4 반응기의 임피던스 특성 (간극 2.5 cm, 인가전압 30, 40 kV)
Fig. 4 Impedance characteristic of reactor (Distance of wire-plate : 2.5 cm, Applied voltage : 30, 40 kV)

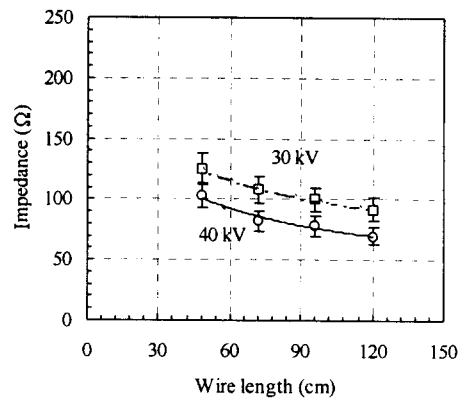


그림 5 반응기의 임피던스 특성 (간극 1.5 cm, 인가전압 30, 40 kV)
Fig. 5 Impedance characteristic of reactor (Distance of wire-plate : 1.5 cm, Applied voltage : 30, 40 kV)

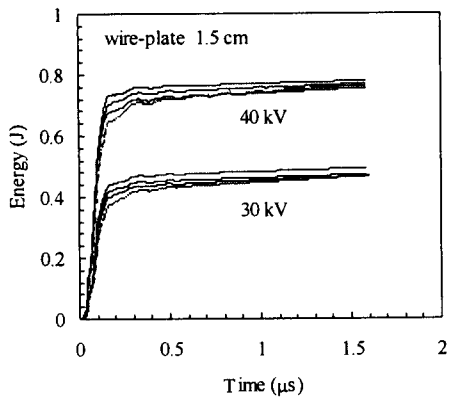


그림 6. Wire 길이에 비례하여 반응기에 유입되는 에너지
 Fig. 6 Incident energy to reactor in proportion to wire length

표 1 반응기에서 스트리머 및 스파크 방전의 임계에너지 밀도

Table 1 Critical energy density for streamer and spark discharge at reactor

인가전압 (kV)	30 kV		40 kV	
	간극(wire-plate, cm)	2.5	1.5	2.5
스파크 발생 에너지 밀도 (J/m)	0.89 이상	0.54 이상	1.45 이상	0.69 이상
스트리머 발생 에너지 밀도(J/m)	0.61 이하	0.5 이하	1.0 이하	0.6 이하

저장에너지는 0.8 J로 계산된다. 그림 6에서 40 kV, wire 길이 120 cm일 때 반응기에서 측정된 에너지가 0.78 J이므로 0.02 J의 손실을 제외하고 거의 반응기에 에너지가 전달된 것을 볼 수 있다. 그러므로 이러한 경우 전원과 반응기의 용량이 같아 전원과 반응기간의 임피던스 정합이 거의 완전히 이루어진 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 그림 2 (b)의 C₀에 초기 충전전압을 23.6 kV로 하여 0.5 MW 반응기에서 측정된 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 이 반응기의 방전특성은 구조물의 규모가 커서 존재하는 자체의 누설인덕턴스 성분 때문에 반응기에서 측정된 전류의 펄스폭이 원래의 600 ns에서 750 ns로 늘어나는 것을 볼 수 있다. 그리고 스트리머 경로가 반응기 외함으로도 형성되어 손실이 발생한다. 그림 7의 반응기 입력전류에 비하여 출력전류의 최대치가 40 % 정도 감소한 것을 알 수 있다. 이 경우 손실에너지를 계산하면 5 J이 된다. 그림 8에는 0.5 MW 반응기에서 인가전압이 상승할 때 임피던스가 감소하고 유입되는 에너지 밀도가 증가되는 것을 볼 수 있다. 구조물이 커서 소형 반응기와 같이 다양한 조건의 실험은 할 수 없었지만 이러한 경향은 따라서 소형 반응기와 같고 소형 반응기의 임피던스 변화에 대한 실험결과는 0.5 MW 반응기에도 적용이 가능하다. 그러므로 0.5 MW 반응기의 임피던스도 인가전압이 상승할수록 wire의 길이가 길어질수록 감소하는 것을 예측할 수 있다.

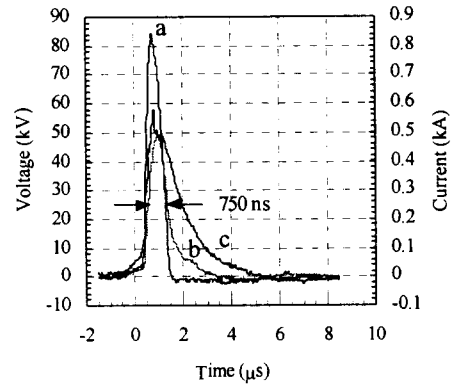


그림 7 0.5 MW 반응기의 전압 및 전류파형 (a : 반응기 인입 전류, b : 반응기 출력전류, c : 반응기 전압)

Fig. 7 Voltage and current waveforms at reactor (a : Reactor input current, b : Reactor output current c : Reactor voltage)

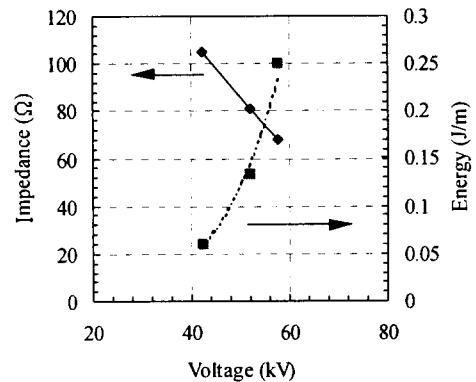


그림 8 0.5 MW 반응기에서 인가전압 상승에 따른 임피던스와 에너지 밀도의 변화

Fig. 8 Variation of impedance and energy density with increasing voltage at 0.5 MW reactor

3.2 펄스전원과 반응기와의 임피던스 정합

반응기의 임피던스가 펄스전원의 출력 임피던스 값과 일치할 때 임피던스의 정합이 이루어져 전원에서 반응기로 최대의 에너지가 전달된다. 그러므로 전원의 출력임피던스 값도 충분히 분석되어야 한다. 로타리스파크 갭이나 자기압축형 전원이나 출력 임피던스 값이 계산으로 산정되나 계산시 누설 인덕턴스 값을 근사적으로밖에 생각할 수 없어 대략적인 결과밖에 얻을 수가 없다. 그러므로 전원의 정확한 임피던스 값은 무유도성 순저항 부하를 이용하여 실험함으로써 얻을 수 있다. 그림 9에는 그림 2 (a)의 로타리 스파크 갭 스위치에 17 Ω부터 190 Ω까지 무유도 탄소 저항을 부하로 연결하여가며 40 kV의 전압을 부하에 인가할 때 각 부하에 유입되는 에너지의 변화를 나타내었다. 이 결과로부터 부하저항이 88 Ω일 때 가장 많은 에너지가 유입된 것을 알 수 있고 따라서 로타리 스파크 갭 스위치의 정확한 출력임피던스는

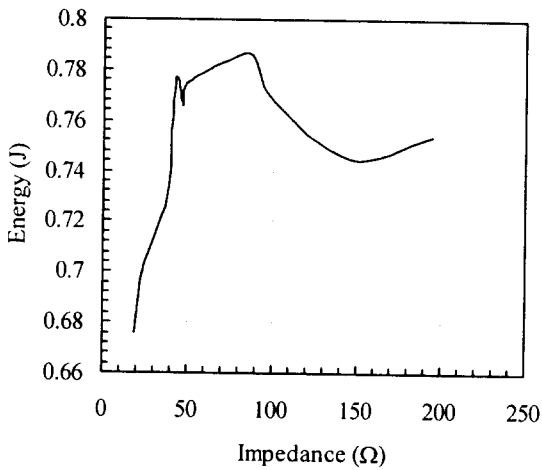


그림 9 로타리 갭 스위치 전원의 출력 임피던스 특성
 Fig. 9 Output impedance characteristic of rotary spark gap switch

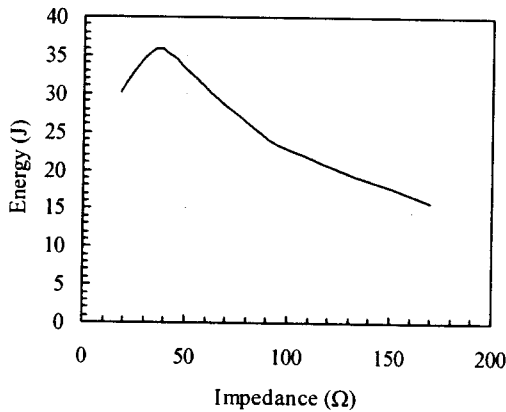


그림 10 磁氣압축형 전원의 출력 임피던스 특성
 Fig. 10 Output impedance characteristics of magnetic pulse compression system power supply

88 Ω이라는 것을 알 수 있다. 대체로 이 곡선에서는 50 Ω에서 88 Ω까지는 비슷한 값을 가진다고 볼 수 있으며 이 결과는 그림 4, 5와 관련되어 wire의 길이가 120 cm정도 일 때 임피던스 정합이 잘 이루어진다는 것을 증명하고 있다.

그림 10에는 그림 2 (b)의 磁氣압축형 전원에 18 Ω부터 170 Ω까지 무유도 탄소 저항을 부하로 연결하여가며 콘덴서 C₀에 28 kV의 초기 충전전압으로하여 출력전압을 부하에 인가할 때 각 부하에 유입되는 에너지의 변화를 나타내었다.

이 결과로부터 이 전원은 출력 임피던스가 35 Ω이라는 것을 알 수 있다. 그러나 磁氣압축형 전원의 임피던스 특성 곡선은 최대치의 폭이 로타리 스파크 갭 스위치보다 작아 반응기와의 임피던스 정합을 이룰 수 있는 범위가 작아 현실적으로 로타리 스파크 갭 전원보다 임피던스 정합면에서는 불리하다는 것도 알 수 있다. 磁氣압축형 전원의 출력 임피던스가 35 Ω인 것에 맞추어 그림 8의 임피던스 값을 35 Ω까지 감소 시켜야 임피던스 정합이 이루어진다. 이를 위해서는 소형 반응기 실험에서 분석한 대로 인가전압을 높이고 wire의 길이를 늘여가며 온전한 임

피던스 정합을 유도 할 수 있다.

3.3 0.5 MW 반응기의 누설 인덕턴스 해석

펄스 전원에서부터 반응기까지의 인가선 그리고 반응기 자체에 존재하는 누설인덕턴스는 펄스회로에서 피할 수 없는 변수이며 전원에서 생산된 원래의 펄스폭을 다시 증가시키는 요소가 된다. 이 현상은 0.5 MW 반응기에 대해서도 예외가 아니고 그림 7의 출력전류의 펄스폭을 분석하여보면 알 수 있다. 그림 2 (b)의 磁氣압축형 전원에서 C₀에 초기 충전전압을 28 kV로 하여 발생된 파형은 펄스폭(FWHM) 600 ns이고 이것은 35 Ω의 무유도 탄소저항부하를 사용하여 측정된 결과를 보이고 있는 그림 11에서 확인할 수 있다. 그러나 원래의 펄스폭이 그림 7에서 750 ns로 되어있는 것을 볼 수 있다. 이것은 누설 인덕턴스가 원인이며 이에 대한 분석을 EMTP를 이용하여 하였다. 이를 위하여 먼저 그림 2 (b)의 磁氣압축형 펄스 전원회로를 EMTP를 이용하여 해석하였고

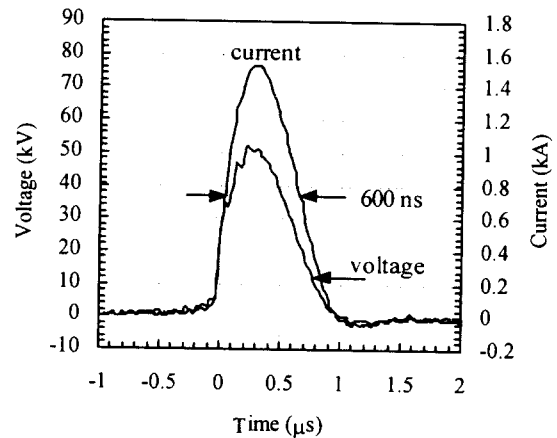


그림 11 35 Ω 무유도 탄소저항 부하에 대한 전압, 전류파형
 Fig. 11 Voltage and current waveforms for 35 Ω non-inductive carbon resistor load

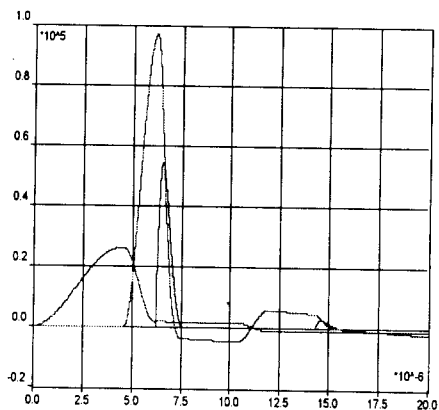


그림 12 35 Ω 저항 부하에 대한 EMTP 시뮬레이션 결과 (전압파형, 왼쪽부터 C1, C2, 35 Ω 저항부하파형, X축: 시간, Y축:전압)

Fig. 12 Result of EMTP simulation for 35 Ω resistor (Voltage waveforms of C1, C2 and 35 Ω resistor from left, Axis X:time, Axis Y:voltage)

그림 11에서 나타난 35 Ω의 무유도 탄소저항부하의 실험의 경우를 시뮬레이션 하였다. 그 결과 실험 결과와 거의 같은 펄스폭을 얻었고 전압, 전류의 값도 5 % 이내로 근접하는 결과를 얻었다. 시뮬레이션 결과는 그림 12, 13에 나타내었으며 각각 전압, 전류 파형을 나타내었다. 그림 12의 전압파형은 차례로 C1, C2, 35 Ω의 저항부하에서의 파형을 나타낸다. 그림 13의 전류파형은 C1, MPC-1, 35 Ω의 저항부하에서의 파형을 나타낸다. 그림 12, 13의 결과로부터 2단의 磁氣스위치에 의하여 2차례 펄스폭이 압축되는 것을 볼 수 있다. 이 무유도 저항에 대한 시뮬레이션으로 실제의 경우와 같은 결과를 얻을 수 있었으며 이것을 기초로 하여 부하에 누설 인덕턴스 성분을 넣어서 펄스폭이 증가되는 것을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 누설 인덕턴스 성분을 2, 5, 7 μH로 증가시켜가며 하였고 그 결과 전류의 펄스폭이 680, 750, 820 ns로 증가되는 것을 확인 할 수 있었다. 이 결과는 그림 14에 나타내었다. 시뮬레이션 결과 얻어진 0.5 MW 반응기의 누설 인덕턴스 성분은 5 μH 정도로 사료되며 보통 실험실에서 사용되는 길이 1 m 내외의 소규모의 반

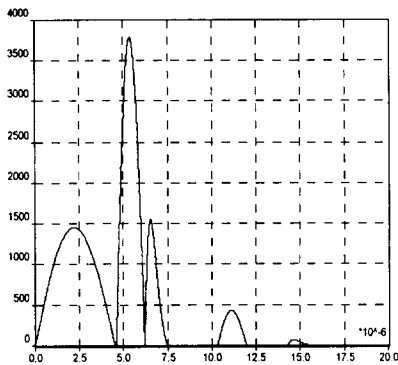


그림 13 35 Ω 저항 부하에 대한 EMTP 시뮬레이션 결과 (전류파형, 왼쪽부터 C1, MPC-1, 35 Ω 저항부하파형, X축 : 시간, Y축 : 전류)

Fig. 13 Result of EMTP simulation for 35 Ω resistor (Current waveforms of C1, MPC-1 and 35 Ω resistor from left, Axis X : time, Axis Y : current)

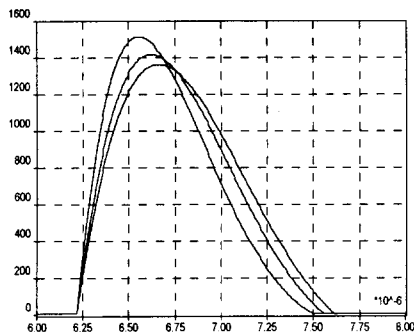


그림 14 누설 인덕턴스 성분에 대한 EMTP 시뮬레이션 결과 (3개의 파형은 왼쪽으로부터 누설 인덕턴스가 2, 5, 7 μH 일 때의 결과를 나타냄, X축 : 시간, Y축 : 전류)

Fig. 14 Result of EMTP simulation for stray inductance (The three waveforms show the results at 2, 5, 7 μH from left, Axis X:time, Axis Y:current)

응기의 누설인 덕턴스 성분을 경험적으로 대략 1 μH로 볼 때 규모가 큰 반응기인 만큼 누설 인덕턴스 성분도 큰 것을 확인할 수 있었다. 이 상대적으로 큰 규모의 0.5 MW 반응기의 누설 인덕턴스를 EMTP를 이용하여 분석한 것이 의미하는 것은 또한 앞으로 점차로 대규모화 되어가는 반응기에 대한 누설 인덕턴스의 분석도 가능함을 암시한다. 따라서 차후의 대용량의 펄스 발생기와 반응기의 분석에 EMTP는 실험과 병행되어 실제로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 유해가스 처리용 wire - plate 반응기의 임피던스 및 방전 특성을 실험 연구를 통하여 분석하였다. 반응기의 임피던스 특성은 인가전압, 간극 그리고 wire의 길이에 따라 변화하였으며 이 3 가지의 변수로 반응기의 임피던스 값을 조절할 수 있음을 알았다. 다시 말하면 이 3 가지의 변수는 반응기에 유입되는 에너지의 양을 결정하므로 결국은 반응기의 임피던스 특성은 유입되는 에너지의 함수로 볼 수 있다. 반응기에 유입되는 에너지의 밀도가 높아지면 반응기 내의 방전현상이 스트리머 코로나에서 스파크로 진전되는 임계점이 존재하는 것을 실험으로 확인하였다. 그러므로 반응기에서 스트리머 코로나가 발생하는 에너지 밀도의 영역을 파악 할 수 있었고 임피던스 정합은 이 영역 내에서 이루어지는 것을 알 수 있었다. 이렇게 하여 파악한 반응기의 임피던스 특성은 펄스전원과 연관되어 임피던스 정합을 이루는데 활용될 수 있고 점차로 용량이 커지는 펄스 발생전원과 반응기의 설계에 반영하여 최적 설계가 가능해짐과 동시에 유해가스 처리 시스템의 경제적인 전력소모 효과도 가져올 수 있다. 한편 0.5 MW 반응기의 누설 인덕턴스 값을 EMTP 시뮬레이션을 통하여 해석하여 비교적 규모가 큰 반응기의 누설 인덕턴스가 펄스폭에 미치는 영향을 분석하였다. EMTP를 이용한 이러한 분석은 차후의 대용량 펄스 발생기와 반응기에도 긴요히 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Kawamura, A. Hirasawa, S. Aoki, H. Kimura, T. Fujii, S. Mizutani, T. Higo, R. Ishikawa and K. Adachi, "Flue gas treatment of electron-beam irradiation," J. Atomic Energy Soc. Japan, vol.20, pp. 359-367, 1978.
- [2] S. Masuda, M. Hirano and K. Akutsu, "Enhancement of electron beam denitration process by means of electric field," Radiation Phys. Chem., vol. 17, pp. 223-228, 1981.
- [3] L. Civitano, G. Dinelli, F. Busi, M. D'angelantonio, I. Gallimberti and M. Rea, "Flue gas simultaneous DeNO_x/DeSO_x by impulse corona energization," in Electron Beam Processing of Combustion Gases, IAEA-TECDOC-428, pp. 55-84, 1987.
- [4] G. Dinelli, L. Civitano, and M. Rea "Industrial experiments in pulse corona simultaneous removal of NO_x and SO₂ from flue gas," IEEE Trans. Industry

experiments in pulse corona simultaneous removal of NO_x and SO₂ from flue gas," IEEE Trans. Industry Applications vol. 26, no. 3, pp. 535-541, May/June 1990.

- [5] Bernie M. Penetrante, Shirley E. Schultheis, "Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Part A, B", NATO ASI Series, 1993.
- [6] Bernie M. Penetrante, J Norman Bardsley and Mark C. Hsiao, "Kinetic Analysis of Non-Thermal Plasmas Used for Pollution Control," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 Part 1, No. 7B July, 1997.

Tel : (0551) 280-1450

E-mail : ghrim@keri.re.kr

- [7] J. S. Oh, M. H. Cho, I. S. Ko, and W. Namkung, G. H. Jang, "Operational characteristics of 30-kW average MPC modulator for plasma De-NO_x/De-SO_x system," 11th IEEE Int. Pulsed Power Conf., Baltimore, Maryland, pp. 1091-1096, 1997.

저 자 소 개



최영욱(崔永旭)

1960년 6월 26일생. 1980년 3월 - 1984년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업 (학사)

1994년 3월 九州大學大學院 總合理工學研究科 에너지변환공학과 졸업 (석사). 1997년 3월 동대학원 졸업 (박사). 1984년 3월

- 1991년 10월 한국전기연구소 연구원. 1997년 4월 - 현재, 한국전기연구소 전기물리연구팀 선임연구원. 주관심분야 : 플라즈마 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



김태희(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 주

임연구원 주관심분야 : 저온 플라즈마 탈황탈질 설비, 고압펄스 발생장치

Tel : (0551) 278-3739

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



이홍식(李弘植)

1953년 9월 13일생, 1971년 3월 - 1975년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업 (학사)

1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업 (석사), 1990년 서울대 대학원 전기공학과 졸업 (공학), 현재 한국전기연구소 전기물

리연구팀 책임연구원 주관심분야 : 플라즈마 발생, 기체 레이저 제작, 고전압 펄스 발생장치

Tel : (0551) 280-1491

E-mail : hslee@keri.re.kr



김종화(金種和)

1955년 7월 8일생 1975년 3월 - 1979년 2월 한양대 공대 전자공학과 졸업 (학사)

1993년 2월 경남대 산업대학원 전자공학과 졸업 (석사) 1979년 - 현재 한국중공업(주) 기술연구원 기전기술연구실 선임연구

원 주관심분야 ; 고압펄스발생장치, 전기집진기

Tel : (0551) 278-3751

E-mail : jwk0708@hint.hanjung.co.kr



임근희(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 (박사)

1992년 - 현재 한국전기연구소 전기물리연구팀장 주관심분야 : 전력변환 및 전기물리 설비개발



장길홍(張吉洪)

1951년 10월 27일생 1987년 5월 독일 에센대학교 발전소공학 전공 (석사) 1991년 4

월 독일 베를린 공과대학교 에너지공학 전공 (공학박사) 1992년 3월 - 현재 한국중공업(주) 기술연구원 환경기술연구실장/수

석연구원. 주관심분야 : 대기오염제어 설비(탈황탈질 설비), 석탄연소, 발전소 압력부 설비 분야



신 완 호(申完浩)

1965년 2월 25일생 1983년 3월 - 1987년

2월 충북대 공대 전기공학과 졸업 (학사)

1989년 동 대학원 졸업 (석사) 1991년 1월

한국기계연구원 입사, 현재 선임연구원 주
관심분야 : 플라즈마 탈황탈질 시스템 개

발, 대기오염 방지기술 개발, 전기집진기

Tel : (042) 868-7369

E-mail : whshin@mailgw.kimm.re.kr



송 영 훈(宋永焄)

1959년 6월 26일생 1978년 3월 - 1983년

2월 한양대 공대 기계공학과 졸업 (학사)

1986년 2월 한국과학기술원 기계공학과 졸

업 (석사) 1989년 8월 - 1994년 8월 미국

펜실베니아 주립대학교 기계공학과 박사

1986년 3월 -1989년 7월 한국기계연구소 연구원 1994년 6월

- 현재 한국기계연구원 선임연구원 주관심분야 : 플라즈마

탈황탈질 시스템 개발, 연소공학, 전기집진기, 코로나 방전을

이용한 VOC 제거

Tel : (042) 868-7302

E-mail : yhsong@mailgw.kimm.re.kr