

### 915MHz 30kW 마그네트론 시험을 위한 측정 장비

조국희, 전석기, 정순신, 이흥식  
한국전기연구원

### The measurement equipment for 915MHz 30kW class magnetron test

Kook-Hee Cho, Seok-Gy Jeon, Sun-Shin Jung, Hong-Sik Lee  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - 산업용 가열, 건조, 해동 기술 분야에서 피 가열물의 열전달 특성이 좋지 않은 경우 대출력 마그네트론을 적용하여 전자파 가열방식을 이용함으로써 기존의 가열방식 보다 효율을 상당히 개선할 수 있음은 오래 전부터 알려져 왔다.

그러나 국내에서는 대출력(30kW급 이상) 마그네트론 제조기술 및 성능 분석을 할 수 없어 외국에서 수입하여 산업에 산발적으로 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 30 kW급 대출력 마그네트론과 구동전원을 위한 시험 장비를 구축하여 신뢰성을 확보하면 마그네트론을 이용한 고효율 가열, 건조, 해동 기술에 적용이 가능하다.

#### 1. 서 론

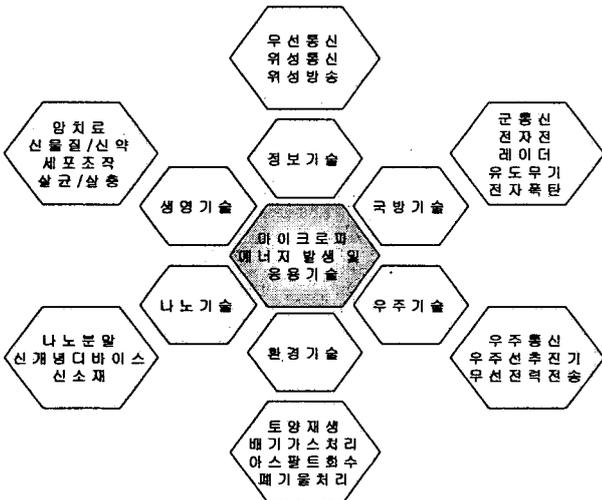
고유가 지속 시대를 맞아 범국가적 에너지 효율개선 대책을 수립하고 있는 시점에 기술개발을 통한 에너지 절약에의 기여가 한층 더 절실하게 되었다. 우리나라의 에너지 소비를 주도하고 있는 분야는 산업용으로서 '03년 현재 총 에너지소비의 55%를 점하고 있고 증가율도 '93년부터 10년 동안 부분별 최고인 연평균 7.4%의 증가를 유지하고 있다. 따라서 에너지를 필연적으로 많이 쓸 수밖에 없는 산업용 에너지 소비부문에 에너지 저소비형 기술을 개발하여 보급함이 가장 효과적이라고 볼 수 있다. 그러므로 에너지를 비교적 많이 쓰는 산업용 가열·건조, 해동 분야에서 기존의 에너지 소비 공정을 새로운 공정으로 대체하여 공정의 에너지 소비를 저감시키고 동시에 기존 방식들이 갖는 2차 환경 오염물질의 배출과 이의 처리에 소모되는 부차적 에너지까지 줄일 수 있는 간접적 효과도 추가적으로 얻고자 하였다.

산업용 가열, 건조, 해동 분야는 에너지를 다량으로 소비하는 업종이며 피 가열물의 열전달 특성이 좋지 않은 경우 재래식 방식에서 탈피하여 마이크로파 가열 방식을 전부 또는 일부 적용하는 것이 에너지 절약 효과 및 공정시간 단축에 크게 기여함을 알려진 사실이다.

본 논문에서는 915 MHz 수직 kW급의 마그네트론 및 구동전원의 경우 개발에 상당한 관심을 갖고 있지만 이를 위한 인력과 기술력이 크게 떨어 지므로 단기간에 원천기술의 확보와 제품의 실용화가 절실하며, 이에 따라 마그네트론 시험을 위한 측정 장비가 필요하게 되었다.

#### 2. 본 론

마이크로파 기술은 산업 고도화에 대응하기 위한 긴급하고도 경쟁력 확보가 필수적인 기술 분야로서 특히 그림 1에서 보는 바와 같이 마이크로파 발생 기술은 진공전자(vacuum electronics) 기술의 집합체이며 통신 및 국방 기술에서도 중요한 자리를 차지하는 전략기술이기도 하다.



<그림 1> 마이크로파 발생기술과 응용

향후로는 보다 더 대출력 발생기술과 고주파(수십~수백 GHz)화한 전자파 발생기술이 첨단산업과 에너지를 효율적으로 이용하는 기술 분야를 이끌어 갈 것으로 기대된다.

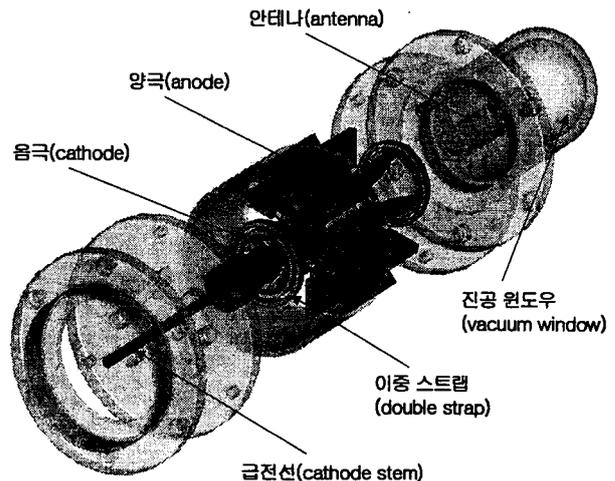
산업용 가열, 건조, 해동 기술 분야에서 피 가열물의 열전달 특성이 좋지 않은 경우 대출력 마그네트론을 적용하여 전자파 가열방식을 이용함으로써 기존의 가열방식 보다 효율을 상당히 개선할 수 있음은 오래전부터 알려져 왔다.

그러나 국내에서는 대출력(30kW급 이상) 마그네트론 제조기술이 없어 일부 외국에서 수입하여 산업에 산발적으로 적용하고 있는 실정이다. 그러므로 30 kW 및 60 kW급 대출력 마그네트론과 구동전원을 국산화 하고 대표적인 산업용 분야인 에너지 절약 및 환경개선 효과가 큰 대형농동식품 해동 분야와 하수 슬러지 건조, 페라이트 소결 분야의 마그네트론 응용기술을 적용함으로써 향후 국내의 산업용 마그네트론을 이용한 고효율 가열, 건조, 해동 기술의 확산 보급에 이바지 할 수 있다.

#### 2.1 915MHz 39kW급 산업용 마그네트론 및 구동전원

산업용 마그네트론(magnetron)은 고전압 DC 전기장과 자기장이 교차하는 초고진공 환경에서 전기에너지를 고출력 마이크로파 에너지로 변환하여 방사하는 고출력 마이크로파 발전기(oscillator)이다. 이 마그네트론은 그림 2와 같이 음극(cathode), 양극(anode), 안테나(antenna), 전극(electrode) 등으로 구성되어 있다. 마그네트론의 음극은 전자(electron)를 방출하는데, 텅스텐 재질의 나선형 필라멘트로 만들어져 있다. 마그네트론의 양극은 음극을 감싸면서 바라보는 여러 개의 금속 날개들로 이루어져 있고, 음극과 함께 공진회로(resonant circuit 또는 resonant cavity)를 구성한다. 이 공진회로에서 발생하는 마이크로파는 안테나(antenna)를 통해 외부로 방사된다. 그리고 전극은 절연체와 전도체로 구성되는데, 음극과 양극 사이에 고전압의 전기 에너지를 공급하기 위해 절연되어 있다. 이러한 산업용 마그네트론에서 발생하는 마이크로파의 연속 출력은 915MHz에서 최대 100kW에 이르고, 마이크로파로의 에너지 변환효율은 915MHz에서 80% 이상이다.

마그네트론 구동용 전원장치는 마이크로파를 출력하는데 사용되는 대출력 고전압 양극 전원과 열전자 방출을 위한 음극 히터용 필라멘트 전원, 열전자의 궤적을 제어하여 마그네트론의 출력을 조절하는 전자석 여자전원으로 구성되어 있다. 양극전원은 고압변압기와 배압용 캐패시터, 정류용 고압 다이오드로 이루어진 재래 방식과 입력정류부, 고주파 공진형 인버터, 고압 고주파 변압기, 고압정류부로 구성된 인버터 방식이 있다. 인버터 방식은 출력 전류를 일정하게 제어할 수 있으며 전압과 전류를 임의로 조절할 수 있어 마그네트론의 출력을 임의로 조절할 수 있다. 또한, 이 방식은 고압 고주파 변압기를 채용하고 있어 전원장치의 크기와 무게를 획기적으로 줄일 수 있어 재래 방식에 비해 소형 경량이다.

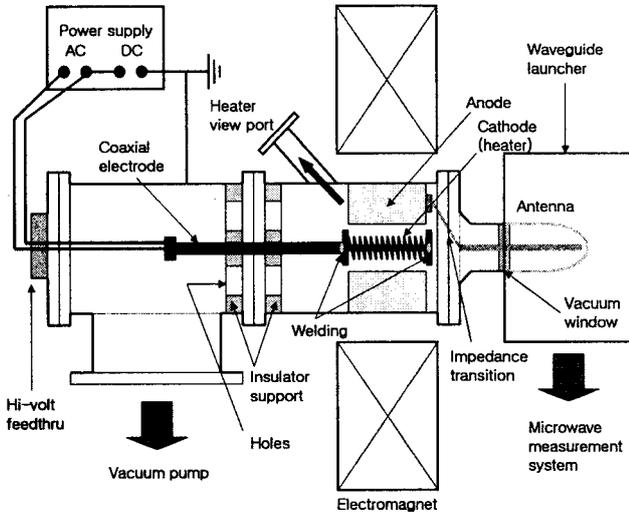


<그림 2> 산업용 마그네트론 구성부품

**2.2 산업용 대출력 마그네트론 구조**

마그네트론 적용기술은 마그네트론과 구동장치를 수입하여 시스템을 만들 수는 있으나 유지보수에 어려운 점이 많고 고가이어서 국내 관련기술 보급이 지연되어 왔다.

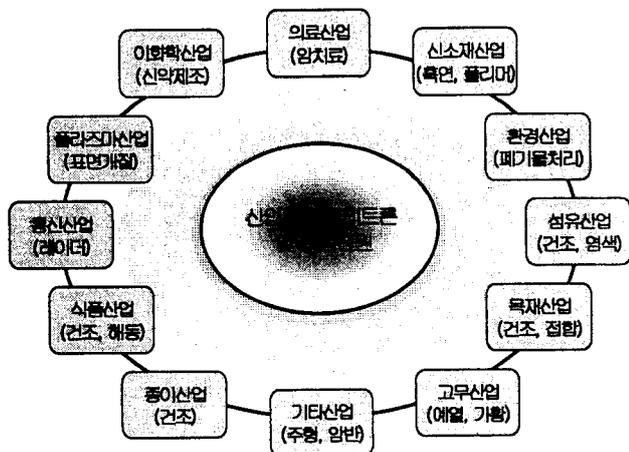
따라서 수십년 된 기술이지만 군사대국인 미, 러, 중, 일, 유럽 등에서만 보유한 대출력 산업용 마그네트론과 구동전원을 국산화 개발하고 대표적 응용기술을 개발 보급함으로써 국내 산업용 마그네트론 및 응용기술의 보급을 활성화 할 필요가 있으며 그림 3이 산업용 대출력 마그네트론 구조이다.



〈그림 3〉 산업용 대출력 마그네트론 구조

**2.3 산업용 대출력 마그네트론 활용 방안**

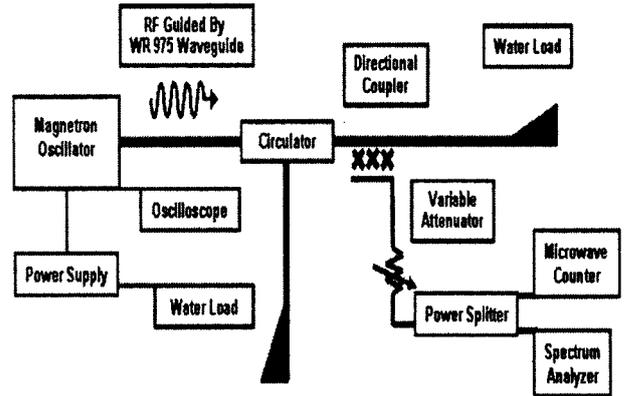
산업용 마그네트론의 국산화 개발 보급은 곧 바로 대형 산업용 마이크로파 건조, 가열, 열분해 기술 등의 급속한 보급을 의미한다. 왜냐하면 저렴한 가격의 부품 공급으로 시스템 가격을 낮출 수 있고 외국과의 경쟁력을 확보함으로써 국내 산업에 널리 보급될 것으로 전망되며 이로 인해 관련 산업의 에너지 절감, 생산성 향상, 품질향상과 신속한 유지보수가 보장되기 때문이다. 한편 마이크로파 건조 가열 기술은 열전달 특성이 나쁜 재료의 가열 및 건조에 에너지 전달 측면에서 특별히 유리하며 이는 에너지 절약으로 이어진다. 산업용 마그네트론 및 응용기술은 대형 냉동식품 해동, 대용량 하수 슬러지 건조기술 및 페라이트 소결 시스템의 고출력 마이크로파 에너지 발생원으로 활용되며, 시험평가 시스템은 향후 기타 일반적인 산업용 초고주파 시스템의 성능시험을 통한 산업체 기술지원에 기여할 것으로 전망된다. 그리고 그림 4에서 보는 바와 같이 목재, 식품 등 산업용 건조, 가열에 널리 적용될 것으로 예상되며 해동, 슬러지, 소결 세 가지의 응용 시스템은 각각 상용 시제품 개발을 목표로 하고 있어 바로 상업화 보급이 될 것으로 전망하고 있다.



〈그림 4〉 산업용 마그네트론의 활용 분야

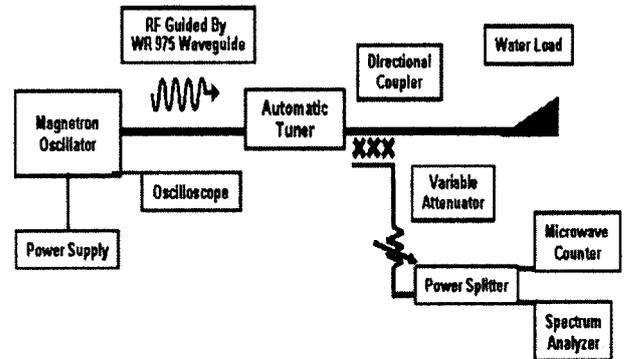
**2.4 마그네트론 시험 장비**

마그네트론은 자체 성능을 위해 측정해야 하는데 필요한 장비로 그림 5는 마그네트론에 반사되는 파워가 없는 상황에서 출력/주파수 측정설비 구성도이고 그림 6은 마그네트론의 외부 부하와 matching 정도의 변화에 따른 출력/주파수 측정설비의 구성도이다.



계측용 주요 장비	주요 기능
Oscilloscope	전압/마그네트론 전압/전류 측정
Microwave Counter	파워/주파수 정밀 측정
Spectrum Analyzer	하모닉 /노이즈 파워/주파수 측정
Circulator	반사파 차단

〈그림 5〉 마그네트론에 반사되는 파워가 없는 상황에서 출력/주파수 측정



계측용 주요 장비	주요 기능
Oscilloscope	전압/마그네트론 전압/전류 측정
Microwave Counter	파워/주파수 정밀 측정
Spectrum Analyzer	하모닉 /노이즈 파워/주파수 측정
Automatic Tuner	반사파의 위상/진폭 조절

〈그림 6〉 마그네트론의 외부 부하와 matching 정도의 변화에 따른 출력/주파수 측정

**3. 결 론**

15 kW급 이상의 산업용 마그네트론과 전원에 관하여는 IEC 등 국제적 규격이 마련되어 있지 않고 국내에서 응용 시스템을 개발하는 경우 이의 성능을 평가해줄 기관이나 시설이 없으므로 기업체에서 개발한 시스템이 별도의 시험과정 없이 자체의 가동 테스트만으로 현장에 보급되는 실정이다. 따라서 성능평가를 위한 규격 등 기술조사 및 평가방법을 수립하고 출력 및 주파수 안정성 등 시험할 방법들을 개발하여 마그네트론 및 구동전원 뿐 아니라 응용시스템까지 성능을 평가해 줄 수 있는 최소한의 장비가 구축되면 향후 개발되는 마그네트론과 구동전원 및 응용 시스템의 성능을 평가하여 기술적 수준을 향상시키고자 한다.