

유전체 손실을 이용한 해충구제용 전원개발

김태진*, 백주원*, 김철우**
*한국전기연구원, **부산대

Development of power supply using dielectric constant loss

Tae-Jin Kim*, Ju-Won Baek*, Cheul-U Kim**
*KERI, **Pusan Nat. Univ.

ABSTRACT

본 연구에서 물질고유의 특성인 유전체 특성 차이를 이용하여 해충을 포함한 곡물에 7kV이상의 Radio Frequency파(13MHz)를 수초에서 수 십초간 조사함으로써 곡물 내에 저장된 해충만을 선택적으로 가열하고 해충을 치사 혹은 이동시켜, 그 생육을 억제함으로써 곡물의 품질에 미치는 영향을 최소화하고 해충만을 구제하는 무독성 해충구제방법으로^[1]곡물인 쌀을 보호하면서 곡물해충인 쌀바구미만을 선택적으로 발열시켜 구제할 수 있는 유전가열 장치를 설계제작하고, 이를 시뮬레이션하고 실험결과로 이를 검증하였다.

1. 서론

인간생활에 필수가 되는 곡물은 온도, 일조량, 강수량 등 작물재배환경이 계절 및 지역에 따라 달라서 일정한 시기에만 생산이 가능하며 생산량도 일정치 않아 생산과 소비의 수급이 불균형을 이루고 가격의 진폭도 크기 때문에 안정적인 곡물 공급을 위하여 저장기술은 매우 중요하다. 기존의 곡물 저장방법의 장단점을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 저온저장법은 농산물의 온도를 낮게 유지시켜 미생물의 활동과 여러 가지 반응을 억제하고 품질을 보존하는 방법으로 비교적 농산물 본래의 상태를 손상없이 저장하는 이점이 있으나, 저온처리가 중단되어 온도가 높아지면 활동이 억제되어 있던 생물이 작용하여 품질이 나쁘게 변질되므로 항상 저온설비에 대한 주의가 필요하며, 설치 및 운영비가 비싼 단점이 있다.

둘째, 화학약품에 의한 직접적인 해충구제 방법으로 콘베이어나 흡입식 곡물이송장치에 연속적으로 일정하게 이동하면서 혼합하여 곡물을 보관하는 분제(粉劑)방식이나, 스모킬러같은 살충제를 연기모양으로 확산시키는 훈연제(燻煙劑), 파나프레트의

경우 합성수지에 약제를 흡착시켜 서서히 기화시키는 증산제(蒸散劑)등의 방법이 있다.

셋째, 또 다른 대안으로 열풍에 의한 곡물의 직접 가열방식으로 해충의 번식 및 생육을 억제하는 방법이 연구되고 있으나, 이 방식은 해충을 포함한 곡물 전체를 가열함으로써, 구제하고자 하는 해충뿐만 아니라 곡물에까지 온도를 상승시켜 곡물의 품질을 변화시킬 우려가 있다.

본 연구에서 물질고유의 특성인 유전체 특성 차이를 이용하여 해충을 포함한 곡물에 7kV이상의 Radio Frequency파(13MHz)를 수초에서 수 십초간 조사함으로써 곡물 내에 저장된 해충만을 선택적으로 가열하고 해충을 치사 혹은 이동시켜, 그 생육을 억제함으로써 곡물의 품질에 미치는 영향을 최소화하고 해충만을 구제하는 무독성 해충구제방법으로^[1]곡물인 쌀을 보호하면서 곡물해충인 쌀바구미만을 선택적으로 발열시켜 구제할 수 있는 유전가열 장치를 설계제작하고, 이를 시뮬레이션하고 실험결과로 이를 검증하였다.

2. 유전 가열의 원리

2.1 유전손실의 정의^[2]

금속과 같은 도체에는 와전류가 흐를 수 있으므로 유도가열이 가능하나 절연물과 같이 저항이 큰 유전체는 유도가열은 불가능하며 보다 높은 고주파수에 의한 유전가열을 이용하면 부도체인 유전체에도 가열시킬 수 있다.

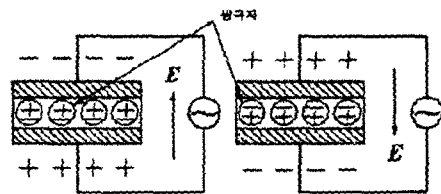


그림 1 교류전계에 의한 쌍극자 회로

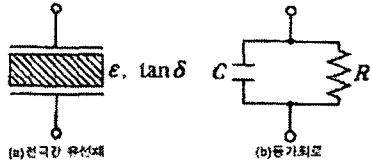


그림 2 유전가열의 등가회로

유전가열의 원리는 그림 1에서와 같이 전극 간에 피가열체를 넣고 양전극에 고주파 전압을 가하면 유전체를 구성하고 있는 쌍극자가 교류전계의 교변에 따라 방향을 변경하면서 인가 주파수와 동일한 진동을 일으키게 된다. 그림 2는 이 때의 그 등가회로를 나타낸 것이다.

이 진동효과는 곧바로 열에너지로 변환되며 물질의 가열수단으로 활용할 수 있게 되는 것이다. 가열효과를 높이는 방안은 쌍극자의 진동을 빨리하고 인가 전압을 높이면 된다. 그러므로 유도가열에 사용되는 주파수는 500KHz 이하가 대부분이나 유전가열의 경우는 보통 10MHz 정도로 아주 높은 주파수가 보통 사용되어지는 것이다.

식(1)은 유전가열시 피가열체의 전력식으로 유전가열이 전기적인 주파수와 물질의 특성 파라미터에 의해 좌우됨을 알 수 있다.

$$P = 55.63 \times f E^2 \epsilon'' \times 10^{-12} \dots\dots (1)$$

P는 발열량(W/m²), f는 주파수
E는 인가 전계세기(kV/cm), ε''= 유전체손실

2.2 유전체 손실을 이용한 해충구제 기술원리

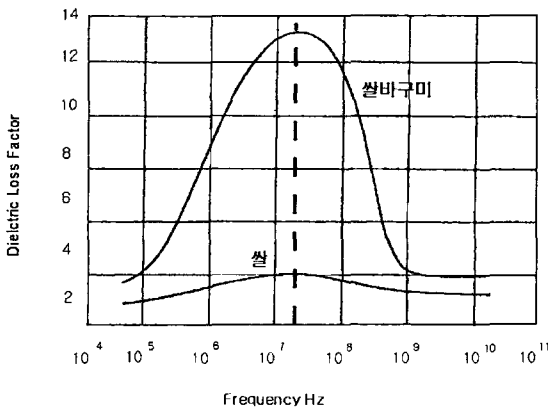


그림 3 쌀과 쌀바구미 유전체 손실 특성 곡선

그림 3에서 보는 바와 같이 쌀과 쌀바구미와의 유전체 특성은 주파수대역별로 각각 다른 차이를 보이고 있다. 특히 13MHz 부근(점선부근)에서의 유전체 손실은 호밀과 쌀바구미와 약 6배정도 차이가 난다. 이 경우 유전가열에 의한 발열량이 식(1)에 따라서 발열되는 그 발열량 P가 6배가 차이가 나서 쌀바구미만 선택적으로 발열되어 이를 소멸시킬수가 있게 된다.

3. 유전가열 챔버내의 열해석 시뮬레이션

3.1 모델의 시뮬레이션 형상

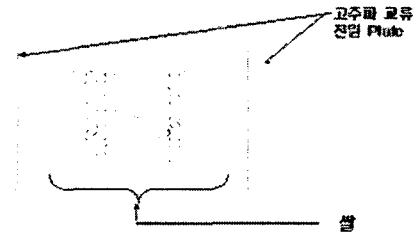


그림 4 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델의 형상은 위의 그림 4에서 볼 수 있으며 30cm×5mm의 두 전극을 만들어 그 사이에 쌀을 할 곡물을 놓아두고 7KV의 고전압과 13.56MHz의 고주파 전원을 가해 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 대상 곡물은 쌀로 하였으며 유전조건은 온도 25°C에서 전원주파수는 13.56MHz로 시뮬레이션 하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

15cm 극판간격의 교류 커패시터형 장치에 전원이 AC 7kV에 13.56MHz로 하여 쌀을 5초 가열 하였을 경우의 상태를 그림 5와 그림 6에 나타내고 있다. 그림 5는 인가 교류주파수 전원에 따른 쌀에 분포하는 전계분포를 나타내었고, 그림 6은 이때의 온도 분포이다. 그림 6에서 보여지는 바와 같이 쌀의 온도가 28°C를 나타내는 것을 볼 수 있다.

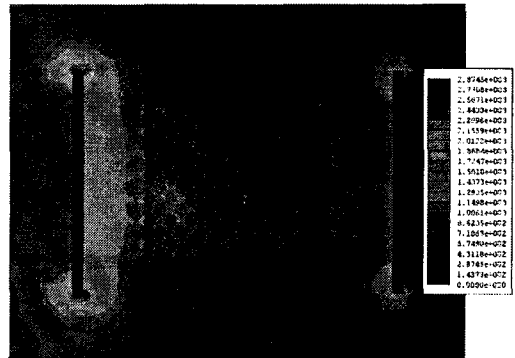


그림 5 전계분포 시뮬레이션

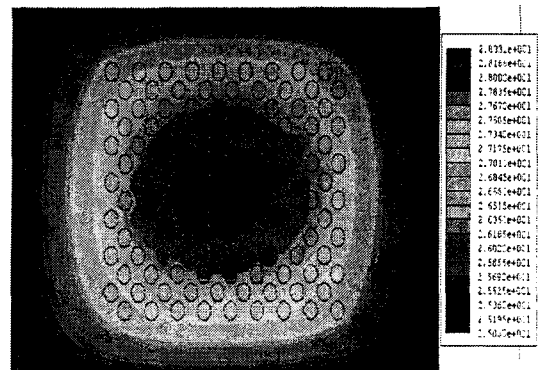


그림 6 온도분포 시뮬레이션

4. 시스템 구성 및 실험 결과

4.1 시스템 구성 및 제작

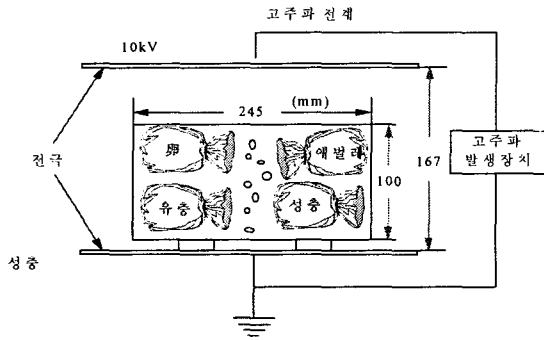


그림 7 유전체손을 이용한 해충구제 구성 시스템

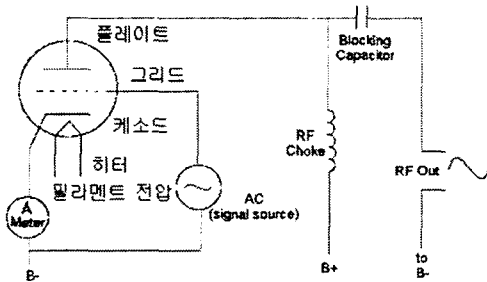


그림 8 진공관을 이용한 고주파 전원장치 구성

그림 8은 실험에 사용된 진공관을 이용한 고주파 발진형 공진회로의 구성이다. 출력 RF out측에는 고주파 공진 회로가 구성되어 있고, 공진회로는 B+의 충전모드와 진공관을 통한 방전 모드로 나누어져 구성되어 있다. B+의 충전모드에서는 진공관이 동작하지 않고, 출력측 공진회로로 에너지가 전달되며, 방전모드에서는 출력측에 충전된 에너지가 진공관을 통하여 방전된다. 진공관의 동작은 그리드와 케소드 사이에 AC전압을 인가하는데 이 전압 주기는 출력RF out의 공진 주기와 180도 위상차가 나는 파형을 입력시킴으로써 충전모드에서는 동작



그림 9 1차 유전가열 장치 시작품

하지 않고 방전모드에서만 동작을 일으킨다. 그림 9의 시작품의 전원장치의 회로구성은 3상 220V를 싸이리스터 정류하여 고압변압기의 입력으로 들어간다. 고압변압기의 출력에서 8kV의 교류전압이 고압 다이오드를 거쳐서 고압 직류분으로 만들어지고 고압직류분은 진공관을 통하여 고압 고주파가 발생된다. 그리고, 싸이리스터의 점호각을 0도에서 최고90까지 제어 가능하므로 출력전압을 조정할 수 있다.

4.2 실험 결과

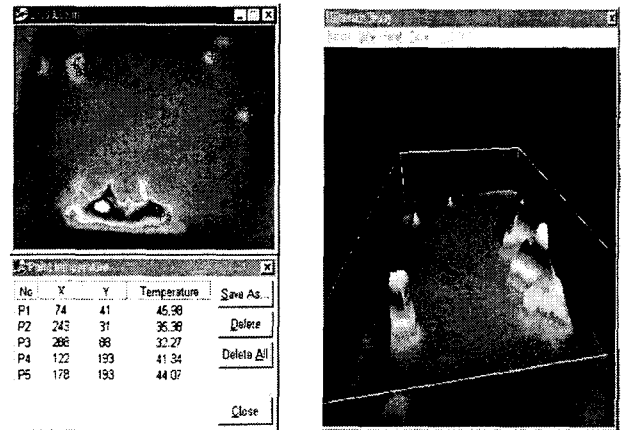


그림 10 유전가열 후 쌀바구미의 온도분포 사진

그림 10은 유전가열이후의 쌀 바구미와 곡물의 온도를 나타내는 열화상 사진으로 온도 분포를 나타내고 있다. 5개의 포인트(P1-P5)에 대하여 온도를 나타내는데 P1-P5까지 각 쌀 바구미의 온도가 주위의 쌀 온도에 비하여 많이 올라가 있음을 알 수 있다. P4, P5은 쌀 바구미와 애벌레가 함께 있어서 가열된 상태로 비교적 넓은 면적에서 온도의 분포가 높아져 있음을 확인 하였다. 최고 온도가 45정도로 주위의 쌀 온도는 30도 이하로 분포하고 있음을 알 수 있다. 그림 11은 그림 10의 수직축과 수평축 단면을 살펴본 것으로 온도 분포를 구별하는데 용이하다.

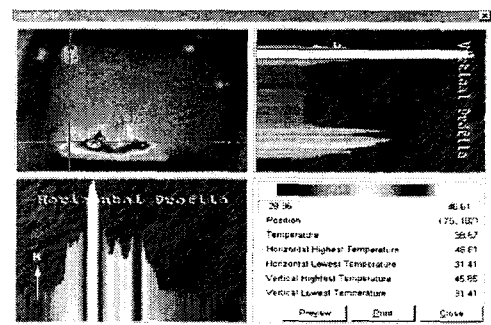
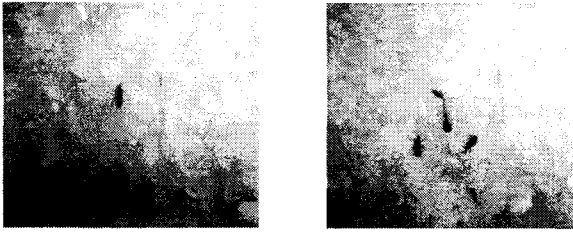


그림 11 유전가열 후 쌀바구미의 온도분포



a) 가열전(생존상태) b) 가열후(구제상태)

그림 12 유전자열에 의한 가열 전과 가열 후 쌀 바구미

그림 13는 쌀두께에 따른 쌀의 온도 상승과 쌀바구미의 구제율 그래프로 나타낸 것이다. 가열전의 쌀온도는 25도로써 유전자열 시간은 10초동안 쌀시료의 두께를 2cm, 3cm, 4cm 씩 각각 나누어서 10cm*10cm*5cm 테프론 용기에 넣어서 가열한 결과이다. 상승한 온도는 각각 37도, 40도 42도로써 각각 상승온도폭이 22도, 25도, 27도로써 곡물의 양이 많아짐에 따라서 온도가 상승함을 알 수 있다. 이는 곡물량이 증가함에 따라 가열되는 유전체의 양이 증가하였기 때문이다.

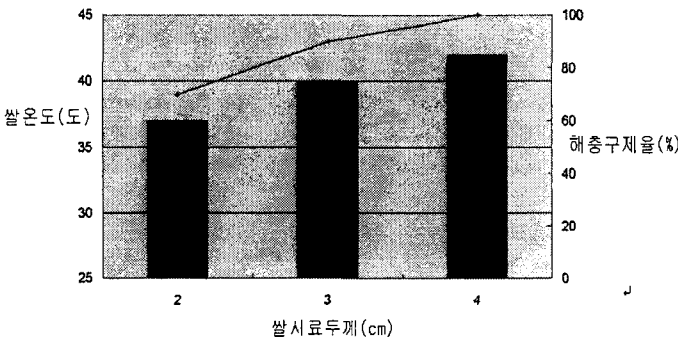


그림 13 쌀시료 두께별 상승온도 및 쌀바구미의 구제율 (유전자열 조건 : 10초, 가열전 쌀온도는 25도)

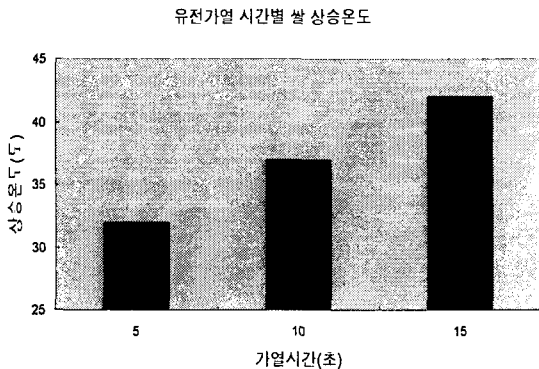


그림 14 유전자열 시간별 쌀 상승온도 (유전자열 조건 : 가열전 쌀온도는 25도)

또 쌀바구미는 활동력이 왕성한 시료만 골라서 쌀 시료속에 함께 혼재하여 넣고 가열한 결과로써

총 10마리를 기준으로 하여 활동하는 상태를 생존과 구제로 구분하여 계산한 결과이다. 생존은 가열전과 유사하게 왕성하게 활동을 보이는 경우와 다소 느리지만 움직임을 가지는 벌레를 모두 생존(그림 12-a))으로 분류하고, 구제의 경우 쌀바구미가 완전히 발을 벌린 상태에서 위쪽으로 향하고 있는 상태로 건드려도 전혀 움직임을 보이지 않는 상태의 경우(그림 12-b))를 구제로 추정하여 분류하였다. 역시 쌀의 시료두께가 증가함에 따라 쌀바구미의 비활동율도 함께 증가하여 4cm의 경우 거의 100%가 움직임을 보이지 않았다.

그림 14의 경우는 쌀시료의 두께는 2cm로 일정하게 두고 가열시간에 따른 온도의 차이를 실험한 것이다. 가열시간은 5초, 10초, 15초로 나누어서 가열한 결과 각각 32도, 37도, 42도로 각각 온도 상승폭은 가열전의 25도를 제외하면 17도, 22도, 27도의 온도가 상승했음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 전기를 이용한 해충 구제 기술의 한 방법으로 곡물과 해충의 유전체 손실 특성 차이가 유전자열시 발생하는 발열량의 차이가 되는 원리를 이용하여 곡물과 해충이 혼재되어 있는 곡물 저장 챔버내에서 해충만 선택적으로 가열하여 구제하는 연구로써 7kV, 13.56MHz 고압 고주파 전원장치를 설계 제작하여 챔버내의 온도가열 특성에 대한 시뮬레이션과 해충 구제 원리를 실험으로 검증하였다.

극판 간격 6.7cm의 조건에서 쌀시료의 두께는 4cm로 하고 가열 시간은 10초로 하면 온도 상승이 약 27도 정도 상승하여 상온 25도에서 가열시 온도 42도까지 상승하여 쌀시료내에 포함되어 있는 쌀바구미는 95%이상 구제 되는 결과를 얻었다.

참고 문헌

- [1] NELSON, S.O. : "Pest Control." ed, by Kilgore, W.W. and Douth, R.L. (Academic Press, New York) p. 87 (1967)
- [2] HEADLEE, T. J. : J. Econ, Entomol., 24, 427 (1931)
- [3] NELSON, S.O. and KANTACK, B. H. : J. Econ. Entomol., 59, 588 (1965)
- [4] NELSON, S.O. : J. Microwave Power, 7, 231 (1972)
- [5] 川村光男, 마이크로파基礎工學, 昭晃堂, (1981)
- [6] 露木英男, 首藤厚, "食品のマイクロ波加熱, 建帛社, (1974)