

전기방전식 잡초방제기 개발을 위한 기초연구⁺

Basic Studies on Development of Electrical Weed Control System

김 태 한*	장 익 주*	이 정 택*
정회원	정회원	정회원
T. H. Kim	I. J. Jang	J. T. Lee

ABSTRACT

Motivated by the need for developing the new method of weed control in place of chemical weedicide, this paper aims at making good use of electricity against environmental pollution. Compared with chemical weedicide, the electric method of weed control is functionally more versatile, effectively more rapid, and lower in terms of cost. In particular, this method will contribute to environmental protection. In detail the electrical weed control system which is the simple circuit for generating the electric current of high voltage is comprised of step-up transformer which rectifies the current and the capacitor which stores the energy. The effectiveness of electrical weed control system is evaluated by germination rate and control of *Digitaria Sangvinalis*(*Galinsoga ciliate*). As a result, the electrical weed control system(high voltage spark discharge) can kill weeds effectively

주요용어(Key Words): 전기방전(Electrical Discharge), 잡초방제기 (Weed Control Device), 방전전극 (Discharge Electrode), 환경보전(Environmental Preservation)

1. 서 론

최근 환경문제에 대한 사회적인 관심이 높아지고, 국민소득의 증가로 인한 소비성향의 향상에 따라 무공해 무농약 농산물을 선호하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있어, 유기재배 및 감농약재배에 의한 농산물이 고상품화 되고 있다.

그러나, 농산물의 생산 단계에서 병충해 및 잡초방제와 저장 농산물의 살충작업 및 골프장에서의 잡초방제에는 대부분 화학적 방제가 주류를 이루고 있으며, 이러한 농약의 과다 사용은 수질 및 토양오염을 초래하게 되고 또한 인체에 미치는 악영향이 우려되며, 주변환경 및 생태계까지도 위협을 가하는

우려가 있다. 이와 같은 배경에서 볼 때 농약을 전혀 사용하지 않거나 사용하더라도 미량 소량만을 살포하는 병충해 방제법 및 잡초방제법의 기술적인 개발이 시급히 요구되어지고 있다.

농약을 미량 소량만을 살포하는 병충해 방제법의 개발을 위해 연구되어진 전기적 약제 살포방법에 관한 연구로서 松尾 등(1990, 1987, 1986)은 연무 확산 및 비속화, 균일 부착, 앞뒷면의 부착을 향상을 목적으로 하여 자주식 정전상온 연무기(自主式 靜電常溫 煙霧機)의 개발 및 외부 환상전극을 이용한 유도대전식(誘導帶電式) 2유체 노즐의 정전 살포 특성 및 Electrodyne의 정전 확산 특성에 관하여 연구를 수행하였으며, 津賀 등(1988)은 시설원예의 방제작업시

+ 본 연구는 1995년도 농림부 농림수산물특정연구사업의 지원으로 수행되었음

* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

작업자의 농약에 의한 피해를 줄이기 위해서 미량소량 살포법(微量少量 撒布法), 상온 연무법(常溫 煙霧法)에 대하여 정전살포법을 이용하여 실험한 결과 약제 부착율 및 방제효과가 향상되어진 것으로 보고하였다.

또한 약물을 전혀 사용하지 않고서 농작물의 해충을 방제할 수 있는 기술개발을 위하여서 加藤 등(1987)은 전기적인 방제법으로서 고주파 유전 가열에 의한 곡물의 해충을 방제하는 방법에 관한 연구를 수행하였다.

또한 농약을 사용하지 않는 잡초 방제법의 개발을 위한 방법으로서 전기적인 잡초 방제 방법이 주목되어지고 있다. 전기적 잡초 방제 방법에 관한 연구로서 미국의 Wilson 등(1981)은 사탕무우밭에 많이 생육하는 명아주 등 3종류의 잡초에 대해 방전처리를 한 결과 방전을 받은 잡초의 초장이 감소되었으며, 3차례에 걸친 방전처리를 한 결과 명아주의 방제효과가 62 %로 나타났다고 보고하였다. 또한 영국의 Diprose 등(1984)은 전기적인 잡초방제 장치로서 펄스방전에 의한 충격파에 의해 잡초 조직에 손상을 가하는 고전압 펄스방전식과 고전압원에 접속한 전극을 잡초에 접촉시켜 발생되는 고열에 의해 잡초 조직에 손상을 가하는 연속접촉식에 관해 소개하였다. 그리고 일본의 Miyamoto 등(1992)은 밧데리를 전원으로 하여 최고전압 3 kV, 최대출력 200W를 발생하는 펄스방전식 잡초 방제기를 제작하여 잡초의 초장이 30 cm, 줄기 직경이 5 mm인 잡초에 1초간 방전 처리를 한 결과 처리 5일 후에 잡초가 완전 고사되었다고 하였고 또한 초장 8 cm, 줄기 직경이 3 mm인 잡초를 대상으로 1초간 방전처리를 한 후 줄기의 전기저항치 변화를 측정한 결과 방전처리전 320 kΩ이었던 것이 처리후 45 kΩ으로 감소 하었다고 보고하였다. 그러나 이에 관한 국내에서의 연구는 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 제조체를 사용하는 잡초 방제 방법에서 벗어나 전기적인 방법을 사용하여 잡초를 제거하고자 하는 방법이다. 이것은 고전압 전원을 이용하여 방전 전극을 잡초 가까이 접근시켜서 불꽃 방전을 일으키므로써 이 충격파에 의

해서 식물의 조직에 손상을 가하여 잡초를 고사시키는 방법이다(Diprose 등,1984).

전기방전에 의해 잡초를 방제할 경우 방전에너지를 최소화 하면서 방제효과를 최대화 하는 것이 이상적이다. 따라서 본 실험에서는 이들에 영향을 미치는 방전전압, 방전거리, 방전처리 시간의 최적치를 구명하기 위하여 이들 인자를 중심으로 방제효과를 분석하여 향후 전기방전식 잡초방제기 개발을 위한 기초자료로서 활용하고자 하는데 그 목표를 두고 있다.

이러한 전기적 잡초 방제기술 개발에 의해서 지금까지 사용해 왔던 농약을 사용하지 않으므로써, 농산물의 품질을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 환경오염 문제에 대해 적극 대처할 수 있을 것으로 생각한다.

2. 실험 장치 및 방법

전기방전에 의해 잡초를 방제할 목적으로 소용량의 고전압 펄스 방전장치를 제작하여 과수원 및 전작물의 고랑에서 많이 생육하는 바랭이를 대상으로 방전전압의 변화, 방전 전극과 잡초간의 거리의 변화, 방전시간의 변화 등의 인자가 발아 억제 효과 및 잡초방제 효과에 미치는 영향을 실험을 통해 분석하였다.

가. 실험 장치

펄스 방전에 의한 잡초방제기 개발을 위하여 그림 1과 같이 Slidac, 네온트랜스, 다이오드, 콘덴서 등으로 회로를 구성하여 방전 전극과 잡초 사이에 펄스 방전을 발생시키는 고전압 펄스방전 장치를 제작하였다. 그림에서와 같이 본 장치는 교류전원공급부(A), 가변전압 조정부(B), 가변전류·전압 지시부(C), 전압승압부(D), 출력전압 측정부(E), 출력전압 급전부(F), 그리고 방전을 이용한 잡초 방제부(G)로 구성된다. 본 연구에서 사용한 방전 전극은 방전이 자유로이 이루어질 수 있도록 송곳모양의 철심을 사용하였다. 장치에 전원을 공급하면, 가변전압 조정

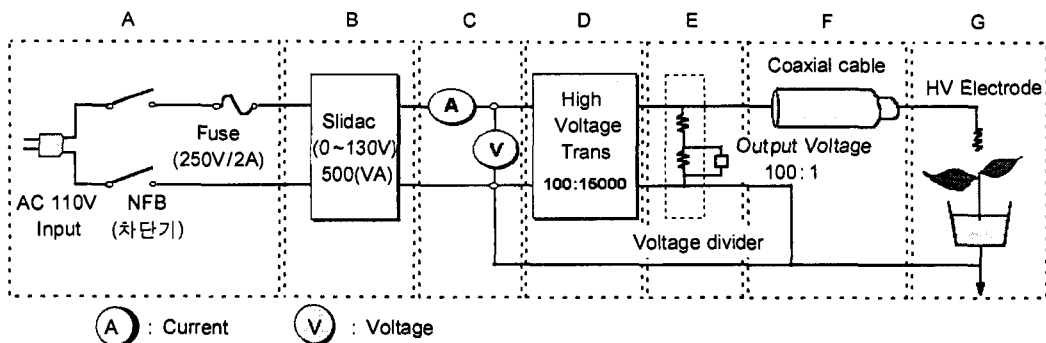
부에 의해서 출력부(G)의 전압 및 전류가 결정되고, 전압 승압부(D)를 통해서 고전압화 된 출력(HV)은 저항으로 구성된 전압분배기(Voltage divider)와 Digital voltmeter로 출력전압을 측정하고, 이 고전압 출력은 고전압 동축 케이블(HV coaxial cable)로 급전되어 최종 방전 전극에 인가되고 이에 의해서 잡초 위에 방전을 일으켜서 잡초를 방제하게 된다.

실험은 포트에 잡초종자를 파종하여 잡초가 생육한 후 방전처리를 하여 방제효과를 조사하였다. 또한 발아 억제 효과에 대한 실험은 잡초를 파종전 방전처리와, 파종 후 일수별로 방전처리하여 비처리구와 비교하여 잡초의 발아정도를 발아율로 표시하여 비교 조사하였으며, 방제 효과에 대한 실험은 어느 정도 생육한 대상 잡초에 방전처리를 한 후 일수별

로 잡초의 쇠약 정도를 정상, 약간 마름, 일부 고사, 대부분 고사, 완전 고사 등의 몇 단계로 구분하여, 각 단계별로 평점을 설정하고, 방전처리를 하지 않은 잡초와 생육상태를 비교 평가하였다.

또한, 전기방전식 잡초방제기의 효율적인 방전 메카니즘을 구명하기 위하여, 전기방전을 받은 잡초의 절단부위, 초장이 서로 다른 잡초가 혼재되어 있을 경우의 방전상태 등 잡초의 전기적 방전특성을 조사하였다.

방제 대상 잡초는 우리나라의 전작물에 많이 생육하는 바랭이 (*Digitaria Sanguinalis*)를 공시 잡초로 하였고, 공시 잡초는 종자를 포트에 파종하여 초장이 4~5 cm, 줄기 직경이 2 mm 정도 생육한 것을 사용하였다.



A: AC power supply part B: AC voltage variable slidac C: VA indicator D: High voltage transformer
E: HV voltage divider F: HV feeder coaxial cable G: HV discharge electrode

Fig. 1 Spark discharge apparatus.

3. 결과 및 고찰

가. 잡초의 전기적 방전 특성

잡초가 생육과정중 전기적인 방전을 받게 되면 일반적으로 잡초의 잎이나, 줄기가 절단된다. 이러한 특성을 잡초의 종류별로 조사한 결과 피나 바랭이와 같은 잡초의 경우에는 방전시 그림 2(a)에서와 같이 떡잎이 나온 부위(그림의①)가 1차적으로 절단되고 그 후, 표토와 접하는 부위(그림의②)의 줄기가 절단되었다. 그러나 명아주의 경우는 그림 2(b)에서와 같

이 떡잎이 절단된 후에 표토와 접하는 부위(그림의 ②)의 줄기가 절단되는 경우와 또 다른 경우로서 떡잎이 절단되기 전에 표토와 접하는 부위의 줄기가 먼저 절단되는 2가지의 절단 양상이 나타났다.

한편 방전처리 시간이 잡초방제 효과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 공시잡초(초장 4~5 cm, 줄기 직경 2 mm)를 대상으로 방전처리에 의해 줄기가 절단되기까지의 방전 소요 시간을 측정한 결과 바랭이, 피, 명아주 순으로 방전시간이 길게 나타났다. 이와 같이 각 잡초의 종류에 따라 방전 소요 시간이 다르게 나타나는 것은 각기 잡초가 함유하고 있는

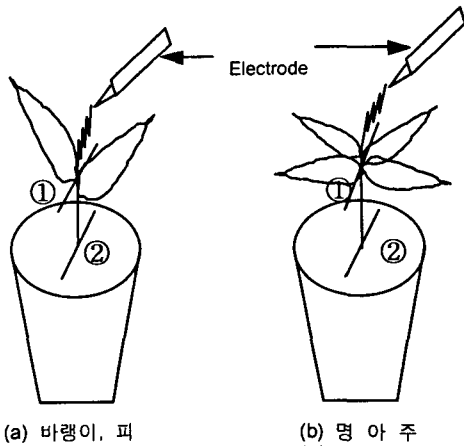


Fig. 2 Destruction parts of the weeds by high voltage spark discharge.

수분량, 줄기 조직 특성 등과 같은 물리적 특성의 차이에서 기인하는 것으로 생각되나 이에 관한 원인 구명을 위한 연구가 요구되었다.

또한 잡초의 초장별 방제효과를 조사한 결과 잡초의 초장이 작을 때 일수록 방전에 의한 줄기의 절단이 용이하게 나타났다. 그러나 실험시 문제점으로 대두된 것은 한 개의 포트내에 키가 서로 다른 잡초가 함께 생육하고 있을 경우 방전 처리를 한 결과 키가 큰 잡초에만 방전이 계속 일어나고 키가 작은 잡초에는 방전이 일어나지 않다가, 키가 큰 잡초의 줄기가 절단되어진 후에야 키가 작은 잡초가 방전을 받아 줄기가 절단되어 졌다. 또한 잡초가 생육하고 있는 포트의 표토위에 돌맹이, 나뭇가지 등이 잡초의 초장보다 높게 나타나 있을 경우에는 앞에서와 마찬가지로 잡초의 초장보다 높은 돌맹이나 나뭇가지에 방전이 계속적으로 일어나고 잡초의 잎에는 방전이 일어나지 않았다. 이상의 실험 결과를 기초로 하여 향후 전기적 잡초 방제기의 개발에 있어서는 여러 개의 방전 전극을 상하 좌우에 설치하여 방전이 상하 및 좌우의 여러 위치에서 방전이 일어날 수 있는 메카니즘을 개발하여야 할 것으로 생각된다.

나. 발아억제 효과 분석

펄스방전에 의한 전기적인 잡초방제 효과를 분석

하기 위하여 공시잡초인 바랭이를 포트에 파종하기 전 포트상의 표토위에 종자를 놓고서 방전처리를 한 것(A)과 파종 즉시 방전처리를 한 것(B), 그리고 파종 1일 후(C), 파종 2일 후(D), 파종 3일 후(E) 방전처리를 하여 파종 후 일수 경과별 발아상태를 조사하여 방전 비처리구 잡초의 발아율과 서로 비교하여 방전처리 효과를 조사하였다. 또한 각 조건의 변화에 따라서 각각의 발아억제 효과를 실험하였다.

1) 방전 전압의 변화가 발아억제 효과에 미치는 영향

그림 3은 방전시간을 4초로 일정하게 하고, 방전 전극과 잡초 종자가 있는 포트의 표토와의 거리를 1 cm로 일정하게 유지시키고서, 방전전압을 1 kV에서 3 kV로 증가시키면서 일수별 잡초의 발아정도를 조사한 것이다. 여기에서 발아율은 파종 종자의 총수에 대한 발아한 잡초의 수에 대한 비를 백분율로 표시하였고, 5회 반복실험의 평균치를 사용하였다.

그림에서와 같이 방전처리를 하지 않은 잡초 종자는 99%의 발아율을 나타내었으나, 방전처리 시기별 잡초의 발아율을 조사한 결과, 발아억제 효과는 잡초의 파종 전에 방전처리를 한 것은 발아율이 30% 정도로 나타나 발아억제 효과가 가장 높았으며, 다음으로는 파종 1일 후, 파종 2일 후, 파종 3일 후, 파종 즉시 순으로 나타났다. 또한 방전 전압을 1 kV에서 3 kV로 증가시켜 나가면서 전압의 변화에 따른 잡초의 발아상태를 조사한 결과, 그림에서와 같이 방전 전압이 증가함에 따라서 발아율이 낮아져서 발아억제 효과가 높은 것을 알 수 있으나, 본 실험장치는 잡초가 발아하여 초장이 4~5 cm 정도 생육한 잡초의 방전처리를 목표로 저전압의 방전장치를 제작하였으므로 장치의 사용범위 한계상 발아억제 효과 실험에서는 최적의 방전 전압을 파악할 수 없었다.

2) 방전시간의 변화가 발아억제 효과에 미치는 영향

그림 4는 잡초를 재배한 포트의 표토에서 방전전극까지의 거리를 1 cm, 방전처리 전압을 2 kV로 일정하게 유지시키고서, 방전처리 시간을 2초~10초로

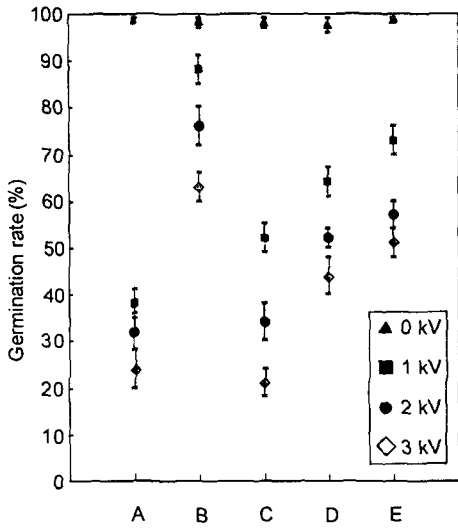


Fig. 3 Germination rates of weeds after discharge treatment (at 1~3 kV)

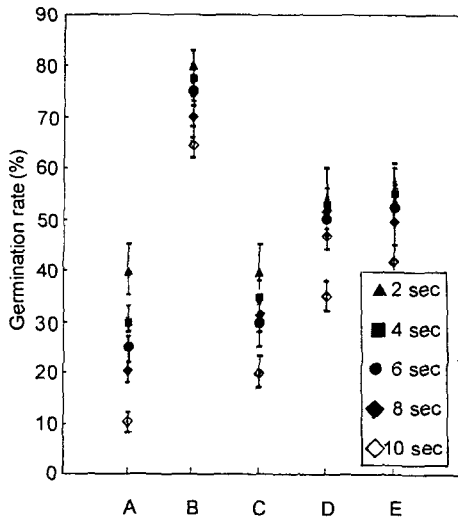


Fig. 4 Germination rates of weeds after discharge treatment (at 2~10 sec).

변화시켜 가면서, 일수별 잡초의 발아정도를 조사한 것이다.

그림에서와 같이 방전처리 시간이 2초~6초의 경우에는 발아율이 높게 나타났으나, 방전처리 시간이 길수록 발아율은 낮아졌으며, 방전처리 시간이 10초

의 경우에는 잡초의 발아율이 최대 63%, 최소 10% 정도로 낮아 발아억제 효과가 우수하게 나타났다.

또한, 방전처리 시기별 잡초의 발아억제 효과는 그림 3에서와 같은 경향으로서 파종전 방전처리한 것이 가장 효과적이었으며, 파종 1일 후, 파종 2일 후, 파종 3일 후, 파종 즉시 순으로 발아억제 효과가 높은 것으로 나타났다.

3) 방전거리의 변화가 발아억제 효과에 미치는 영향

그림 5는 방전처리 시간을 4초, 방전 전압을 2 kV로 일정하게 유지시키고, 잡초를 재배한 포트의 표토에서 방전 전극까지의 거리를 1 cm~5 cm로 변화시키면서 일수별 잡초의 발아정도를 조사한 것이다.

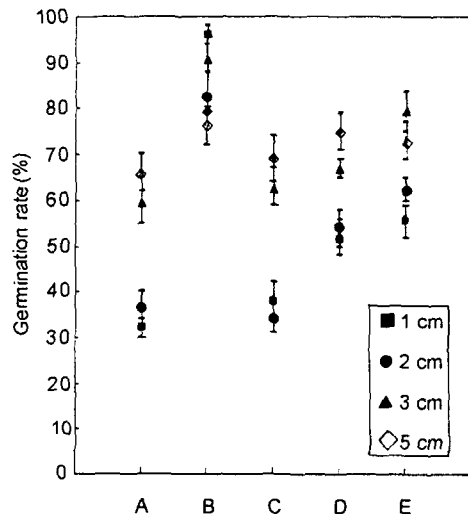


Fig. 5 Germination rates of weeds after discharge treatment (at 1~5 cm).

그림에서와 같이 잡초를 재배하는 포트의 표토에서 방전 전극까지의 거리가 1 cm~2 cm의 경우에는 잡초의 발아율이 최대 80%, 최소 33% 정도로 낮게 나타났으며, 방전거리가 3 cm 이상일 경우에는 잡초의 발아율이 최대 99%, 최소 53%로서 발아억제 효과가 적음을 알 수 있다. 따라서 전기방전식 잡초방제기는 방전전극을 잡초에 가깝게 하여 방전처리를 하는 메카니즘으로 개발하여야 할 것으로 생각된다.

또한 방전처리 시기별 잡초의 발아억제 효과는 그림 3에서의 결과와 동일한 경향을 나타내었다.

다. 잡초방제 효과 분석

펄스방전에 의한 잡초방제 효과를 분석하기 위하여 공시잡초인 바랭이를 포트에 파종하고 발아한 잡초를 대상으로 방전처리를 실시하여 일수 경과별 잡초의 생육상태를 정상상태(1점), 약간 마른상태(2점), 중간정도의 마른상태(3점), 일부고사 상태(4점), 대부분이 고사한 상태(5점), 완전히 고사상태(6점)로 단계별로 평점을 설정하고 육안으로 판별 조사한 결과를 방전 비처리구와 비교하여 잡초의 방제효과를 조사하였다.

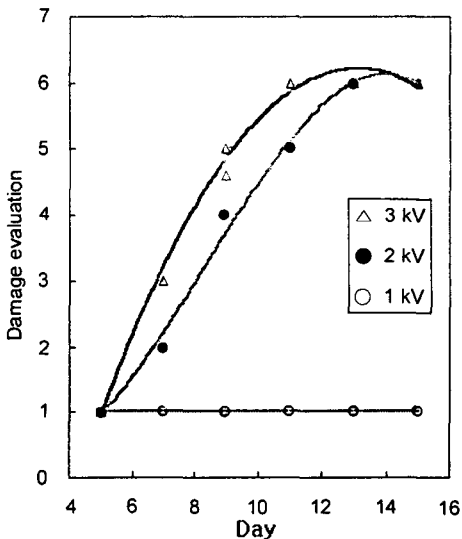


Fig. 6 Damage evaluations of weeds after discharge treatment (at 1~3 kV).

1) 방전전압의 변화가 잡초방제 효과에 미치는 영향

잡초에 방전을 가하는 방전처리 시간을 4초, 방전전극과 잡초와의 거리를 1 cm로 일정하게 유지시키고, 방전전압을 1 kV~3 kV로 변화시키며 방전 처리하여 잡초의 방제 효과를 조사한 결과를 그림 6에

나타내었다. 그림에서와 같이 방전전압이 1 kV인 경우에는 잡초의 생육상태가 거의 정상적으로 나타났으며, 방전전압을 2 kV~3 kV가한 경우 잡초는 방전처리를 받은 후 일수가 경과됨에 따라 점차로 쇠약하여져서 14~15 일후에는 고사하였다.

또한, 그림 7과 8은 방전전압의 변화에 따른 방전처리전, 후의 잡초의 모습을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 방전을 받은 잡초는 잎과 줄기가 절단되었으며, 전압의 크기가 클수록 방제효과는 더 크게 됨을 알 수 있다.

2) 방전시간의 변화가 잡초방제 효과에 미치는 영향

그림 9는 잡초를 재배한 포트의 표토에서 방전전극까지의 거리를 1 cm, 방전전압을 2 kV로 일정하게 유지하고, 잡초에 가하는 방전 처리시간을 2초~10초로 변화시키면서 방전처리를 실시하여 잡초의 방제효과를 조사한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 방전처리 시간이 2초인 경우에는 잡초의 생육상태가 일수의 경과에 따라 거의 정상적이었으나, 방전처리 시간을 6초~8초로 한 경우 잡초는 방전을 받은 후 일수가 경과함에 따라 점차로 쇠약해져서 14~15일 후에는 고사함을 알 수 있었다.

3) 방전거리의 변화가 잡초방제 효과에 미치는 영향

그림 10은 잡초에 방전 처리하는 방전시간을 4초, 방전처리 전압을 2 kV로 일정하게 유지시키고, 잡초를 재배한 포트의 표토에서 방전 전극까지의 거리를 1 cm~5 cm로 변화시키면서, 방전처리를 실시하여 잡초의 방제효과를 실험한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 방전전극과 잡초간의 거리가 1 cm인 경우에 잡초는 방전을 받은 후 일수가 경과함에 따라 점점 쇠약하여져서 14~15일 후에는 고사하였으나, 방전 전극과 잡초간의 거리를 3 cm~5 cm인 경우에 방전을 받은 잡초의 생육상태는 거의 정상적으로 나타났다.

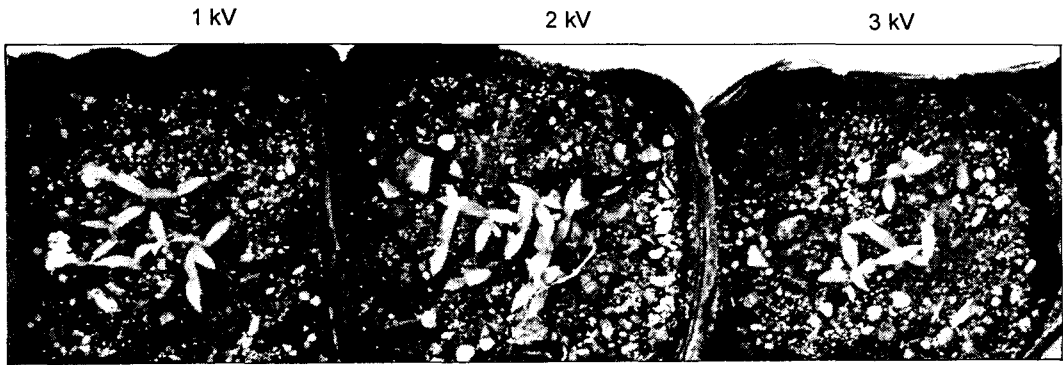


Fig. 7 Weeds before discharge treatment(at 1~3 kV).

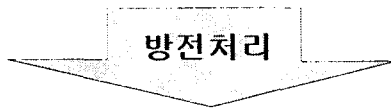


Fig. 8 Weeds after discharge treatment(at 1~3 kV).

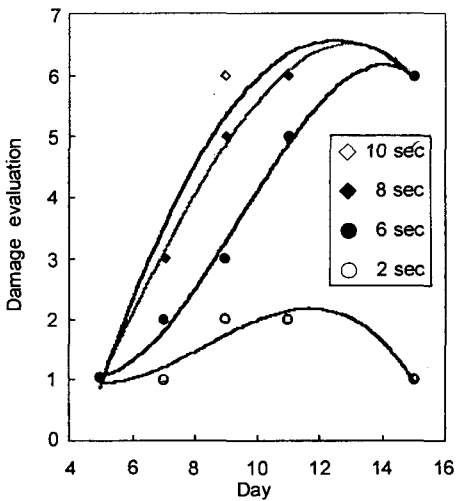


Fig. 9 Damage evaluation of weeds after discharge treatment(at 2~10 sec).

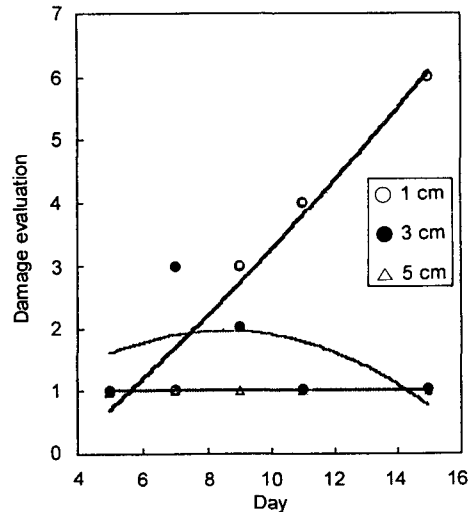


Fig. 10 Damage evaluations of weeds after discharge treatment(at 1~5 cm).

4. 결 론

농산물의 생산, 유통 및 저장 단계에서 병충해와 잡초 방제를 위해 여러 종류의 농약을 사용해 왔으나 최근 환경문제 및 위생 문제에 대한 의식이 높아짐에 따라서 농약을 미량 소량만 살포하거나 전혀 사용하지 않는 병충해 및 잡초 방제법의 개발이 절실히 요구되므로 본 연구는 농약을 전혀 사용하지 않는 전기방전식 잡초방제기의 개발을 목표로 소용량의 고전압 펄스방전 장치를 제작하여, 공시잡초인 바랭이를 대상으로 방제효과를 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 방전처리를 받지 않은 잡초 종자는 99%의 발아율을 나타냈으나 파종전 방전처리를 한 것은 발아율이 30% 정도로서 발아억제 효과가 가장 높았다. 또한 방전 전압을 1 kV~3 kV로 증가시키에 따라 발아율이 낮아짐을 알 수 있었다.

2. 2초~6초간 방전을 받은 잡초 종자는 발아율이 비슷하게 높았으나, 10초간 방전을 받은 잡초 종자는 발아율이 최대 63%, 최소 10% 정도로 낮았다.

3. 1 cm~2 cm의 거리에서 방전을 받은 잡초 종자는 발아율이 최대 80%, 최소 33% 정도로 낮으나 방전거리가 3 cm 이상일 경우에는 발아율이 최대 99%, 최소 53%로서 발아억제 효과가 낮아짐을 알 수 있었다.

4. 방전 전압을 1 kV 받은 잡초는 생육상태가 정상이었으나, 2 kV~3 kV 방전전압을 받은 잡초는 일수가 경과함에 따라 점점 쇠약하여져서 14~15일 후에 고사하였다.

5. 방전을 받은 시간이 2초인 잡초는 생육상태가 거의 정상적이었으나, 6초~8초간 방전을 받은 잡초는 발아 후 일수가 경과됨에 따라 점차로 쇠약하여져서 14~15일 후에는 고사함을 알 수 있었다.

6. 방전거리를 1 cm로 하여 방전을 받은 잡초는 일수가 경과함에 따라 점차로 쇠약하여져서 14~15일 후에는 고사하였으나, 방전거리를 3 cm~5 cm에서 방전을 받은 잡초는 생육상태가 정상이었다.

5. 참 고 문 헌

1. 加藤安郎, 山下律池. 1987. 高周波誘電加熱による穀物害蟲の防除, 일본농업기계학회지, 49(5): 443-450.
2. 松尾昌樹, 盛出, 内野敏剛. 1990. 靜電式常溫煙霧機の走行撒布特性と有孔圓錐電極の開発 일본농업기계학회지, 52(6):61-66.
3. 松尾昌樹, 内野敏剛, 飯本光雄. 1987. 外部環狀電極を用いた誘導帶電式 2流體ノズルの靜電撒布特性, 일본농업기계학회지, 49(5):459-466.
4. 松尾昌樹, 内野敏剛, 飯本光雄. 1986. エレクトロダインの靜電撒布特性について(1), 일본농업기계학회지, 48(1):25-31.
5. 松尾昌樹, 内野敏剛, 飯本光雄. 1986. エレクトロダインの靜電撒布特性について(1), 일본농업기계학회지, 48(3, 4):295-301.
6. 津賀辛之介, 市來秀之, 梶山道雄. 1988. 施設園藝における靜電撒布法の研究(1), 일본농업기계학회지, 50(1):61-68.
7. 津賀辛之介, 市來秀之, 梶山道雄. 1988. 施設園藝における靜電撒布法の研究(1), 일본농업기계학회지, 50(2):27-35.
8. 津賀辛之介, 市來秀之, 梶山道雄. 1988. 施設園藝における靜電撒布法の研究(1), 일본농업기계학회지, 50(3):77-84.
9. Akihiro N., T. Miyamoto and A. Mizuno. 1992. A Portable Weed-control device using high frequency AC voltage. 靜電氣學會講演論文集 '92. pp. 241-244.
10. Diprose, M. F. and F. A. Benson. 1984. Electrical methods of killing plants, J. agric. Engng Res., 30:197-209.
11. Kaufman, K. R. and L. W. Schaffner. 1982. Energy and economics of electrical weed control., Trans. of the ASAE, 25(2):297-300.
12. Miyamoto, T., M. Kinoshita and A. Mizuno. 1993. A Portable Weed Control Device. 靜電氣學會講演論文集 '93. pp. 399-402.
13. Sakata, S., T. Miyamoto and A. Mizuno. 1995. A Weed Control Device Using Rotary Discharge Electrode. 靜電氣學會講演論文集 '95. pp. 197-198.
14. Wilson, R. G. JR and F. N. Anderson. 1981. Control of three weed species in sugarbeets with an electrical discharge system, Weed Science, 29 (1), pp. 93-97.