정전기장을 이용한 보리종자의 효율적 발아에 관한 연구

[1]박동희

A Study on the Efficient Germination of Barley Seed using Electrostatic Field

[1]Dong-Hee Park

요 약

본 논문은 110V 이하의 낮은 직류 및 교류전원을 이용하여 보리종자의 발아율을 높이는 방법에 관한 것이다. 여기서 사용된 실험장치는 평행평판이며, 정전기장의 크기를 키우기 위하여 평판의 밑면을 위면 크기보다 더 넓도록 설계하였다. 결과적으로 평판에 공급된 정전기장의 크기는 3종류로 첫 번째 400V/㎝에서 600V/㎝까지, 두 번째 600V/㎝에서 900V/㎝까지, 그리고 세 번째 2200V/㎝에서 2400V/㎝까지 만들었다. 평행평판의 내부에서 정전기장을 해석하기 위한 방법으로 유한차분법을 적용하였다. 본 논문에서 실험에 사용된 식물종자는 국내에서 생산된 보리종자를 사용하였다. 본 논문에서 제시된 정전기장을 이용한 보리종자의 평균 발아율은 57%이고, 2.45GHz의 마이크로파를 이용한 경우는 65%이며, 대조군의 경우는 31%의 결과가 나왔다. 정전기장을 이용한 경우와 2.45GHz의 마이크로파를 이용한 경우의 중요한 차이점은 건식방법과 습식방법이다. 이 두 방법을 실질적인 종자발아에 적용할 경우는 각각 실험방법의 장단점을 고려하여 적합한 방식을 선택해야 한다.

Abstract

This paper discusses methods for increasing the germination rate of barley seeds using low direct and alternating current power below 110V. The experimental apparatus used here is a parallel plate, with the bottom surface of the plate designed to be wider than the top surface to increase the size of the electrostatic field. As a result, three different magnitudes of electrostatic fields were created on the plates: the first ranging from 400V/cm to 600V/cm, the second from 600V/cm to 900V/cm, and the third from 2200V/cm to 2400V/cm. The finite difference method was applied to analyze the electrostatic field inside the parallel plate. The plant seeds used in the experiments were barley seeds produced domestically. The average germination rate of barley seeds using the presented electrostatic field in this paper was 57%, while it was 65% when using a microwave of 2.45GHz, compared to a control group with a result of 31%. An important difference between using the electrostatic field and the 2.45GHz microwave is the dry method and wet method. When applying these two methods to practical seed germination, it is necessary to consider the advantages and disadvantages of each experimental approach and choose the appropriate method accordingly.

Keywords: *Seed Germination, Barley Seed, Electrostatic Field, Parallel Plate Capacitor, 2.45GHz Microwave*

[1] *한국교통대학교 전자공학과 교수(dhpark@ut.ac.kr)*

Received: May. 24, 2023, Revised: Jun. 14, 2023, Accepted: Jun. 16, 2023

I. 서론

대기 중 이산화탄소 농도의 증가로 나타나는 주요한 변화는 대기의 온도상승이다. 이러한 기후변화는 자연현상인 가뭄, 사막화, 태풍, 및 홍수 등에 의해 농업생산성에 부정적인 영향을 미친다. 특히 농작물은 일정한 기온, 강수 및 일조 등의 조건에서 최적의 생육을 보장받을 수 있지만 기후변화로 인한 기온상승에서는 농작물의 생육과 수확량이 감소할 가능성이 높다[1][2].

이러한 기후변화에 대한 미래농업은 스마트농업의 필요성을 더욱 강조한다. 특히 농업분야에 정보통신기술을 융복합한 스마트팜은 기후변화 대응과 식량의 안정적인 생산과 관련된 기반기술 확대 등의 문제점을 극복하기 위한 해결책으로 제시되고 있다[3][4][5].

최근 스마트팜에 있어 최적의 식물 생육환경을 만들기 위한 다양한 종류의 센서와 전기장치 등이 개발 중이다. 특히 식물종자의 발아율 향상과 발아시간 단축과 관련한 전기장치의 개발은 아직 미흡하다. 따라서 이와 같은 전기장치 중 하나로 전자기장을 이용한 식물발아를 촉진하는 방법과 관련된 연구가 필요하다. 국내에서는 2006 년에 전계와 자계가 식물종자의 발아와 초기생장에 미치는 영향이 연구되었다[6]. 이 연구에서 모의실험장치에 인가된 전압원은 20kV 와 0.2mA 의 교류전원을 사용했다. 실험결과는 벼 종자의 경우 0.3kV 에서 발아율이 높게 나타났으며 0.7kV 이상에서는 오히려 발아가 억제되었다. 무 종자는 대조군과 비교하여 정전기장에 노출된 경우 모두 발아율이 낮았다. 배추종자의 경우는 정전기장의 노출 강도에 따라 발아율은 증가하였고, 수박종자의 경우는 벼 종자와 같이 0.3kV 의 정전자계에서 가장 높게 나타났다.

국내의 다른 연구는 2022 년에 2.45 GHz 마이크로파 에너지를 200W 에서 1KW 까지 200W 씩 증가하면서 아까시와 소나무 종자의 발아율 증가와 발아시간을 단축하는 연구를 실험적으로 진행하였다[7]. 아까시 종자의 실험 결과는 전자기에너지가 400W 이며 노출시간이 1 분 30 초에서 5 분 30 초까지 범위에서 가장 높은 발아율을 나타낸다. 소나무종자는 200W 이며 노출시간이 10 초와 1 분 30 초에서 발아율이 높게 나타났다. 이 논문에서의 결과는 전자기에너지가 종자 발아와 함께 새싹 성장에 도움이 된다는 것을 입증하였다.

국외의 경우는 1999 년에 콩 종자의 전기적 처리방법이 연구되었다[8]. 이 연구에서 제안된 자동 종자처리장치는 75kV, 50Hz 전압원과 판형 캐패시터로 구성되었다. 콩 종자의 전기적 실험결과는 대조군이 30%의 발아율을 갖는데 반해서 전기장을 2 에서 16kV/cm 까지 그리고 시간은 1 초에서 30 초간 인가하였을 때 99%의 발아율을 보였다. 2012 년에는 펄스 전기장이 보리종자의 발아에 미치는 영향이 연구되었다[9]. 이 연구의 전압원은 0 에서 1.2KV/cm 의 크기를 갖고 0 에서 20 시간 그리고 2 초의 펄스 간격을 갖고 종자에 인가되었다. 보리종자의 가장 높은 발아율은 800V 에서 나타났다. 또 다른 국외 연구는 2013 년에 정전장을 적용한 종자 발아 촉진방법이 발표되었다[10]. 이 연구에서는 0-5kV 고전압 가변 전원장치와 6cm 의 간격을 갖는 알루미늄 평행평판을 사용하였다. 토마토 종자의 전기적 실험결과로 대조군 종자의 발아율이 92% 인데 반해서 2kV 에 20 초간 노출된 종자의 발아율은 100%였다. 이와 같은 전자기장을 이용한 방법의 장점은 특별한 화학비료 없이 토양과 수질을 보호하며 식물종자의 발아율 증가와 발아시간의 단축으로 모종 또는 묘목 등의 생산성을 향상시킬 수 있다는 것이다.

본 논문에서는 110V 이하의 낮은 직류와 교류전압에서 보리종자의 발아율을 실험한다. 실험을 위한 모의실험장치는 평행평판을 선택하였다. 평판의 가장자리에서 정전기장의 크기를 높게 만들기 위하여 평판의 한쪽 크기를 키웠다. 이 평판에 공급되는 전압원은 2 가지로 DC 60V 정전압과 60Hz 를 갖는 AC 110V 를 선택하였다. 평행평판의 내부에서 정전기장을 수치해석하기 위하여 유한차분법을 적용하였다. 본 논문의 결과는 참고문헌 [7]에서 제시한 2.45GHz 의 마이크로파를 이용한 발아율 향상 방법과 비교하였다. 본 논문에서 제시된 실험적 방법에 사용된 재료는 모두 국내에서 생산된 보리종자이다.

II. 재료 및 방법

2.1 재료

일반적으로 식물종자가 싹을 틔우기 위해서는 탄수화물, 지방, 단백질 등과 같은 에너지를 그 종자의 배젖이나 떡잎에 저장한다. 식물종자의 발아는 크게 3 단계로 구분할 수 있다. 첫 단계는 건조상태에 있는 종자가 수분함량이 35%에서 45%까지 도달하도록 수분을 흡수하여 배아가 부풀어 오르면서 배축이 확장을 시작하는 것이다. 두 번째는 활성화 단계로 배아가 부풀어 오르면 효소 활동을 자극하는 호르몬이 생성되며 효소는 종자에 저장된 전분과 단백질을 당과 아미노산으로 분해하여 성장하는 배아에 에너지를 공급한다. 이 과정은 발아의 첫 징후가 나타나는 종피가 파열될 때까지 계속된다. 세 번째 단계는 배아가 눈에 띄게 자라면서 유근이 나오고 곧이어 1 차 뿌리와 떡잎이 나온다. 온도에 따라서 떡잎과 뿌리의 성장이 다르게 나타난다[11].

본 논문에서 실험을 위한 재료는 여러 식물종자를 대신하여 발아율이 높고 빠른 보리종자를 선택하였다. 본 논문에 사용된 보리종자로 2022 년에 국내에서 수확한 보리종자를 2023 년 1 월에 시장에서 구입하였다. 건조한 보리 등 맥류 종자는 일반 상온에서 보관하면 2 년 정도 수명을 유지할 수 있고, 저온에서 보리종자를 보관하면 5 년 정도로 장기간 저장할 수 있다[12].

2.2 평행평판의 전압 및 정전기장 해석

본 논문은 보리종자의 발아를 효율적으로 지원하기 위하여 정적 전기장 에너지를 공급할 수 있는 시스템을 설계 및 해석하였다. 정적 전기장 에너지를 공급하기 위한 장치는 평행평판이며, 평판의 가장자리에서 정전기장의 크기를 크게 하기 위해서 평판의 한쪽을 넓게 키웠다. 이 장치의 내부 영역에서 정전기장 분포를 해석하기 위한 해석적 모델은 그림 1 과 같다.

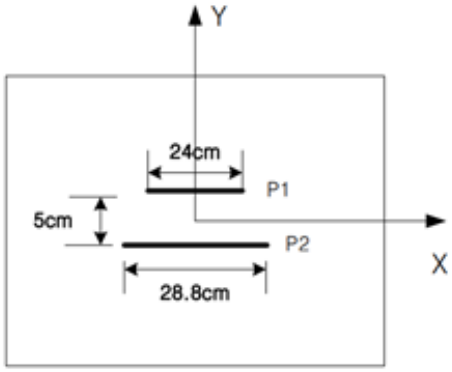
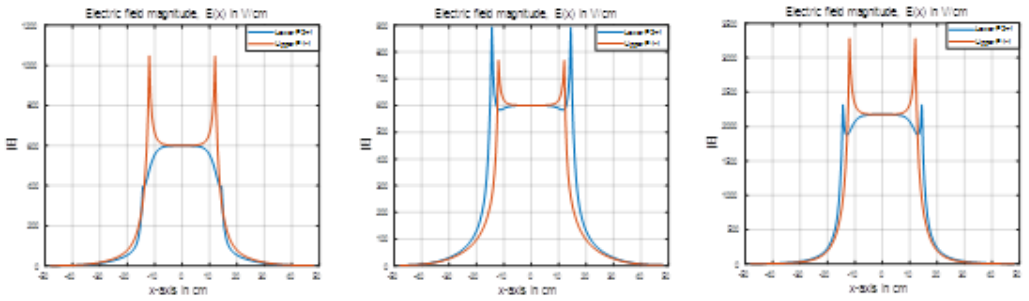


Figure 1. Two-dimensional structure for the analytical model of the parallel plate
그림 1. 평행평판의 해석적 모델을 위한 2 차원 구조

그림 1 의 2 차원 평면에서 평판의 크기는 위쪽 평판 P1 이 24cm, 아래쪽 평판 P2 가 28.8cm, 그리고 평판 사이의 간격은 5cm 이며, 내부는 자유공간영역으로 선택하였다. 평행평판의 내부 및 외부에서의 정전기장을 해석하기 위한 수치적 방법으로 유한차분법을 이용하였다. 2 차원 해석 영역의 전체적 크기는 96cm X 96cm 이며, 셀의 크기는 $\Delta x = \Delta y = 0.48$cm 으로 등간격을 갖는다. 평행평판 P1 과 P2 에 인가된 전압은 DC 60V 와 AC 110V 이다. 이에 대한 해석결과는 그림 2 에 제시하였다.

그림 2(a)는 DC 60V 를 위쪽 평판 P1 에 인가하였을 때 평판 바로 아래 P1-1 에서 x 축에 따른 정전기장의 크기를 나타낸다. 정전기장의 크기 |E|은 평판의 중심에서 600V/cm 이고, 가장자리에서는 P1-1 의 경우 1050V/cm, P2+1 은 400V/cm 를 나타낸다.

그림 2(b)는 DC 60V 를 아래쪽 평판 P2 에 인가하였을 때 정전기장 크기 |E|는 P2+1 에서 600V/cm 이고 가장자리에서는 900V/cm 를 갖는다. 또 P1-1 의 위치에서 600V/cm 이고 가장자리에서는 770V/cm 의 크기를 갖는다. 그림 2(C)는 AC 110V 를 아래쪽 평판 P2 에 인가했을 때 정전기장의 크기 |E|는 P2+1 의 위치에서 2200V/cm 이고 가장자리에서는 2400V/cm 이다. 또 위쪽 평판 P1-1 에서 2200V/cm 이고 가장자리에서는 3300V/cm 를 나타낸다.



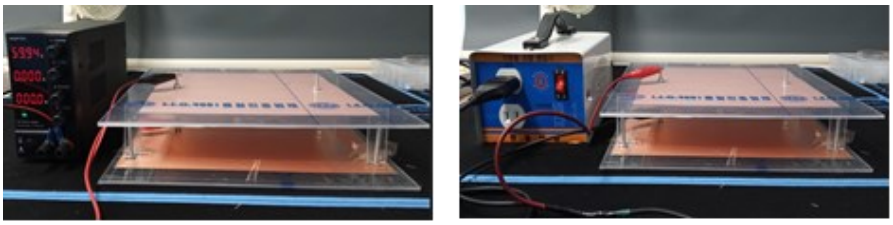
(a) (b) (c)

Figure 2. The magnitude of the electrostatic field analyzed within the parallel plates as a function of the applied voltage in a two-dimensional parallel plate configuration. (a) After applying DC 60V to P1, positions P1-1 and P2+1, (b) After applying DC 60V to P2, positions P1-1 and P2+1, (c) After applying AC 110V to P1 and P2, positions P1-1 and P2+1.

그림 2. 2 차원 평행평판에 인가된 전압에 따른 평판 내에서 해석된 정전기장의 크기. (a) DC 60V 가 P1 에 인가된 후 위치 P1-1 과 P2+1, (b) DC 60V 가 P2 에 인가된 후 위치 P1-1 과 P2+1, (C) AC 110V 가 P1 과 P2 에 인가된 후 위치 P1-1 과 P2+1.

2.2 보리 종자 발아실험

발아실험을 위한 보리종자를 물에 담가서 물에 뜬 것은 버리고 가라앉은 종자만을 선택하였다. 실험을 위한 평행평판은 그림 1 의 구조와 동일한 크기로 그림 3 와 같이 설계 및 제작하였다. 선택된 종자는 100 립씩 묶어 컵에 담고 평행평판 정전기장 실험장치의 가장자리에 놓는다.



(a) DC 60V (b) AC 110V

Figure 3. Parallel plate electrostatic field germination experimental device.

그림 3. 평행평판 정전기장 발아실험장치.

발아실험을 위한 전원공급방법은 3 가지를 선택하였다. 첫 번째는 DC 60V 의 전원을 평판 P 1 에 인가한 후 평판 내부 P2+1 의 가장자리에서 정전기장의 크기는 400 V/cm 에서 600 V/cm 범위의 값을 공급한다. 이 값은 그림 2(a)에 제시되었다. 두 번째는 DC 60V 의 전원을 평판 P2 에 인가한 후 평판 내부 P2+1 의 가장자리에서 정전기장의 크기는 600 V/cm 에서 900 V/cm 범위의 값을 갖는다. 이 값은 그림 2(b)에 제시되었다. 세 번째는 그림 2(C)에 제시된 것과 같이 AC 110 V 의 전원을 평판 P2 에 인가한 후 평판 내부 P2+1 의 가장자리에서 정전기장의 크기는 2200 V/cm 에서 2400 V/cm 범위의 값을 갖는다.

위 세가지 방법 모두에서 보리종자에 정전기장을 투과시키기 위한 시간은 30 분 단위로 180 분까지 선택하였다. 정전기장을 각각 투과시킨 후 보리종자를 페트리접시에 담아 항온기에 두고 발아실험을 진행하였다. 이 때 항온기의 온도는 24 oC 로 고정하였고, 항온기에서 72 시간이 지난 후 보리종자의 발아상태를 확인하였다.

실험결과의 합당함을 입증하기 위하여 참고문헌 [7]에서 제시된 전자기파 에너지를 발아실험에 적용하였다. 여기서 사용된 주파수는 2.45GHz 이며, 전자기파 에너지는 각각 200W, 400W, 그리고 600W 의 크기를 갖는다. 또한 보리종자에 에너지를 투과시키기 위하여 물 500ml 의 유리비이커를 사용했다. 이 때 물의 깊이는 10.3cm 이므로 보리에 전달되는 실제적 에너지는 각각

120mW, 240mW, 그리고 360mW 가 된다. 또한 노출시간은 각각 20 초, 40 초, 그리고 60 초가 되도록 하였다. 이것에 대한 발아율 결과는 막대그래프로 그림 8 에 제시하였다.

III. 결과 및 논의

발아실험을 위한 위 3 가지 전원공급방법에 따라서 정전기장을 각각 투과시킨 후 항온기에서 72 시간이 지난 후 보리종자의 발아상태와 그 중 가장 크게 자란 새싹을 대조군과 함께 그림 4, 그림 5, 그리고 그림 6 에 각각 제시하였다. 그림 4(a)의 대조군 새싹은 크기면에서 나머지 모든 새싹과 비교하여 상대적으로 작다는 것을 육안으로 확인할 수 있다.

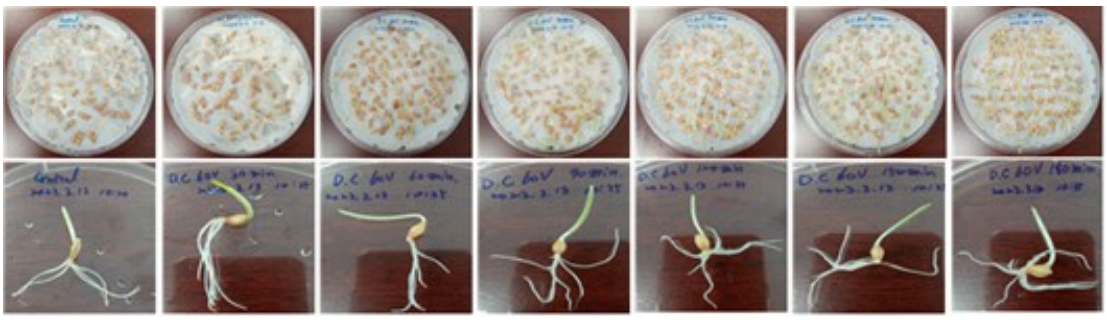


Figure 4. After applying DC 60V to P1 of the experimental device, germination status of barley seeds and the largest barley sprout at position P2+1 inside the plate were observed at different time intervals. (a) Control group, (b) 30 minutes, (c) 60 minutes, (d) 90 minutes, (e) 120 minutes, (f) 150 minutes, (g) 180 minutes.
그림 4. 실험장치의 P1 에 DC 60V 를 인가 후 평판 내부 P2+1 위치에서 투과 시간별 보리종자의 발아상태 및 가장 큰 새싹 보리. (a) 대조군, (b) 30 분, (c) 60 분, (d) 90 분, (e) 120 분, (f) 150 분, (g) 180 분.

Figure 5. After applying DC 60V to P2 of the experimental device, germination status of barley seeds and the largest barley sprout at position P2+1 inside the plate were observed at different time intervals. (a) 30 minutes, (b) 60 minutes, (c) 90 minutes, (d) 120 minutes, (e) 150 minutes, (f) 180 minutes.
그림 5. 실험장치의 P2 에 DC 60V 를 인가 후 평판 내부 P2+1 위치에서 투과 시간별 보리종자의 발아상태 및 가장 큰 새싹 보리. (a) 30 분, (b) 60 분, (c) 90 분, (d) 120 분, (e) 150 분, (f) 180 분.

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

Figure 6. After applying AC 110V to P1 and P2 of the experimental device, germination status of barley seeds and the largest barley sprout at position P2+1 inside the plate were observed at different time intervals. (a) 30 minutes, (b) 60 minutes, (c) 90 minutes, (d) 120 minutes, (e) 150 minutes, (f) 180 minutes.
그림 6. 실험장치 P1 과 P2 에 AC 110V 를 인가 후 평판 내부 P2+1 위치에서 투과 시간별 보리종자의 발아상태 및 가장 큰 새싹 보리. (a) 30 분, (b) 60 분, (c) 90 분, (d) 120 분, (e) 150 분, (f) 180 분.

그림 4, 그림 5, 그리고 그림 6 에 대한 최종 발아율(GR)을 그래프로 나타내어 그림 7 에 제시하였다. 그림 7 의 결과로부터 보리종자에 대한 대조군의 최종 발아율은 31%이다. 또한 그림 4, 그림 5, 그리고 그림 6 에 제시된 사진으로부터 72 시간동안 발아된 새싹보리의 형태적 크기를 비교한 결과 대조군의 새싹 길이가 제일 작다는 것을 육안으로 확인할 수 있다.

그림 7 에서 DC 60V, P1 은 첫 번째 방법으로 DC 60V 를 실험장치 내 평판 P1 에 공급하였을 때 공급시간에 대한 보리종자의 발아율을 나타내며 전체 평균 발아율은 51%이다. DC 60V, P2 는 두 번째 방법으로 DC 60V 를 평판 P2 에 공급하였을 때 보리종자의 평균 발아율은 55.5%이다. AC 110V, P1, P2 는 세 번째 방법으로 AC 110V 를 평판 P2 에 공급하였을 때 평균 발아율은 58.3%이다. 이 결과로부터 평판 내에 정전기장의 크기가 클수록 보리종자의 발아율이 높게 나타난다.

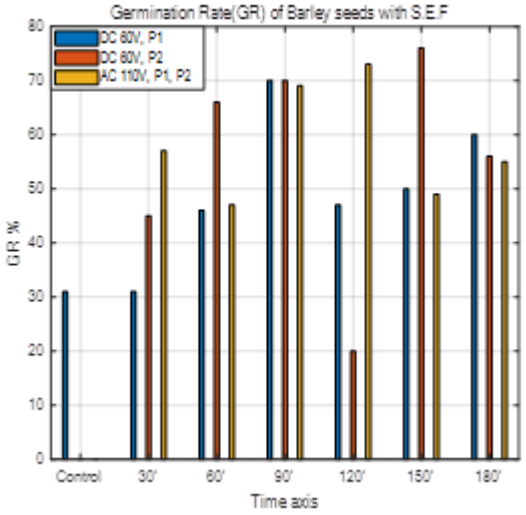


Figure 7. Comparison of germination rates of barley seeds due to exposure time to applied voltages in the experimental device: DC 60V P1, DC 60V P2, and AC 110V P1 P2.
그림 7. 실험장치에 인가된 전압 DC 60V P1, DC 60V P2, 그리고 AC 110V P1 P2 와 투과시간에 따른 보리종자의 발아율 비교.

그림 7 에서 정전기장에 노출된 시간이 90 분 일 때 발아율이 70%로 가장 높다. 또 가장 높은 발아율은 평판 P2 에 DC 60V 가 150 분간 인가되었을 때 발아율이 77%이다. 그러나 가장 낮은 발아율을 나타낸 시간은 120 분 일 때 20%로 나타났다. 이와 같이 불규칙적인 발아율의 원인규명은 보리종자의 생물학적 분석이 필요하다. 그림 7 의 결과로부터 정전기장이 식물종자의 발아율에 기여하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

이 결과의 합당함을 입증하기 위하여 2.45 GHz 의 전자기파가 보리종자에 투과되었을 때 발아율을 실험하여 그림 8 에 제시하였다.

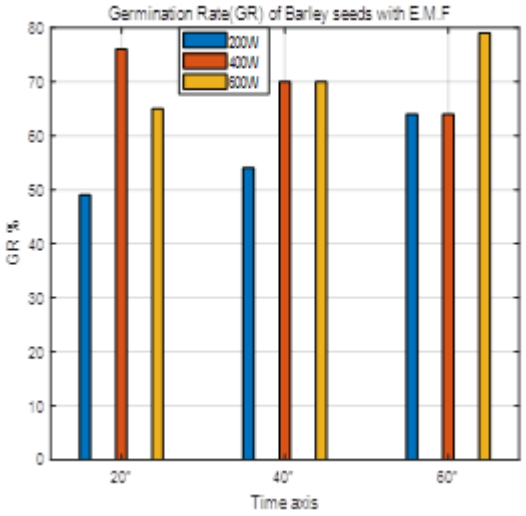


Figure 8. Comparison of germination rates of barley seeds due to exposure time to the intensity of 2.45 GHz microwaves: 200W, 400W, and 600W.
그림 8. 2.45 GHz 마이크로파의 세기 200W, 400W, 그리고 600W 와 투과시간에 따른 보리종자의 발아율 비교.

그림 8 의 결과로부터 전자기파 에너지가 높게 투과될수록 보리종자의 평균 발아율은 증가한다. 전자기파 에너지 600W 를 60 초간 투과 시켰을 때 79%의 평균 발아율이 가장 높게 나타났다. 그림 7 과 그림 8 의 결과를 비교하면 2.45 GHz 의 전자기파 에너지를 투과한 경우가 정전기장을 투과한 경우보다 평균 발아율이 10%정도 높다. 이것의 주요 원인은 보리종자에 정전기장을 투과하는 건식방법과 전자기파 에너지를 투과시키는 습식방법의 차이 때문이다.

IV. 결론

본 논문은 110V/cm 이하의 낮은 전압에서 최대 3 시간 이하로 정전기장을 보리종자에 투과하였을 때 보리종자의 발아율이 대조군과 비교하여 20%이상 향상됨을 확인 하였다. 또 정전기장의 크기가 클수록 발아율도 증가하였다. 여기서 사용된 발아실험장치는 평행평판을 선택하였으며, 해석적 방법을 통해 설계 및 제작하였다. 특히 평행평판의 가장자리에서 높은 정전기장을 얻기 위하여 아래쪽 평판이 위쪽 평판보다 크게 선택하였다.

본 실험결과의 합당함을 입증하기 위하여 2.45GHz 마이크로파를 이용한 발아실험과 비교하였다. 두 방법의 비교결과는 정전기장을 이용한 평균 발아율이 10%정도 낮게 나타났다. 그 주요한 원인 중 하나는 건식방법과 습식방법의 차이라고 생각된다. 본 논문에서 정전기장을 이용한 발아실험방법은 건식방법이고, 마이크로파를 이용한 방법은 습식방법이다. 이 두 방법을 실제적으로 종자발아에 적용할 때는 각각 장단점을 갖는다. 결과적으로 110V 이하의 낮은 전압에서도 전자기에너지가 식물종자의 발아에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 향후 연구는 정전기장을 이용한 발아촉진방법을 산림종자로 확대 적용하는 것과 정자기장을 이용한 발아촉진방법을 연구할 계획이다.

V. 참고문헌

[1] Lee Deok-Bae, Sim Gyo-Moon, Impact of Climate Change on Agriculture and Countermeasures, Agricultural Outlook 2011 (I), Korea Rural Economic Institute, pp. 319-344, 2011.
[2] Lee Byeon-woo, Impact and Response of Climate Change on Global Agriculture, Global Agriculture, Korea Rural Economic Institute, Vol. 146, pp. 79− 94, 2012.
[3] Jonyoung Lee, ShinHo Kim, SaeBom Lee, HyeonJin Choi, JaiJin Jung, ‘‘A Study on the Necessity and Construction Plan of the Internet of Things Platform for Smart Agriculture’’, Journal of KMS, Vol. 17, No. 11, pp. 1313− 1324, 2014.
[4] Bong-Hi Shin, Hye-Kyoung Jeon, “ICT-based Smart Farm Design”, Journal of CIT, Vol. 10, No. 2, pp. 15− 20, 2020.
[5] Jin-Sup Jung, Kyung-Il Khoe, “6th Industrialization of Agriculture Utilizing the Technology of 4th Industrial Revolution”, Journal of Convergence for Information Technology, Vol. 8, No. 5, pp. 211-217, 2018
[6] Jae-Duk Moon, Nam-Yul Kyon, “Effects of Electric and Magnetic Fields to Seed Germination and Its Early Growth”, Trans. KIEE, Vol. 55C, No. 6, pp. 328-333, 2006.
[7] Dong-Hee Park, “Effect of Microwave Exposure on The Efficient Germination of Acacia and Pine Seeds,” Journal of KNUT, Vol. 57, pp. 7-10, 2022.
[8] R. Morar, R. Munteanu, E. Simion, I. Munteanu, and L. Dascalescu, “Electrostatic Treatment of Bean Seeds”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 35, No. 1, 1999.
[9] K. Dymek, P. Dejmek, V. Panarese, António A. Vicente, L. Wadsö, C. Finnie, and F. Gómez Galindo, “Effect of pulsed electric field on the germination of barley seeds”, K. Dymek et al. / LWT - Food Science and Technology 47, pp. 161-166, 2012.
[10] M. S. Patwardhan, W. Z. Gandhare, “Enhancement of Seed Germination by Applying Electrostatic Field”, 2013 Annual IEEE India Conference (INDICON).
[11] Barley growth & development, Department of Industry and Investment NSW, 2010.
[12] Barley - Agricultural Technology Guide 118, Rural Development Administration, 2018.

저자소개

박동희 (*Dong-Hee Park*)

1992 년 8 월 중앙대학교 전자공학과 박사
1997 년 펜실베니아 주립대학교 전자공학과 Post-Doc.
1992 년 4 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 밀리미터파 안테나 설계 및 해석, 무선전력전송, 전자파응용 등