

전자기장 에너지를 이용한 아카시 종자의 효율적 발아에 관한 연구

¹박동희, ^{2*}곽윤식, ³고균병, ⁴김학원, ⁵문철, ⁶박만복,
⁷송석일, ⁸송창익, ⁹임성묵, ¹⁰정호기

A Study on the Efficient Germination of Acacia(Robinia pseudoacacia) Seeds using Electromagnetic Fields Energy

¹Park Donghee, ^{2*}Kwak Yoonsik, ³Ko Kyunbyoung, ⁴Kim Hagwone, ⁵Mun Cheol,
⁶Park Manbok and ⁷Song Seokil, ⁸Song Changick, ⁹Lim Sungmuk, ¹⁰Jung Hogi

요약

본 논문에서는 아카시 종자의 발아율 향상을 위하여 종자의 외부적 자극으로 전자기장 에너지를 이용하였다. 전자기장 에너지는 모두 세 종류로 정자기장, 정전기장, 그리고 전자기장인 마이크로파가 있다. 정자기장 에너지를 건식방법으로 90분간 투과시킨 종자의 발아율은 대조군과 비교하여 10%이상 향상되었고, 정전기장 에너지 역시 건식방법으로 90분간 투과시킨 종자의 발아율은 20%이상 향상되었다. 또 전자기장 에너지로 2.45 GHz를 갖는 마이크로파 에너지를 습식방법으로 3분간 투과시킨 종자의 발아율은 25%이상 향상되었다. 실험결과 마이크로파를 투과시킨 종자에서 발아율이 가장 높고 그리고 새싹길어도 가장 크게 성장하였다. 결과적으로 본 논문에서는 마이크로파 에너지를 습식방법으로 종자에 투과시킴으로 종자의 발아율과 새싹 성장이 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

Abstract

This paper utilized electromagnetic field energy as an external stimulus to enhance the germination rate of acacia(Robinia pseudoacacia) seeds. Electromagnetic field energy comprises three types: static magnetic field(SMF) energy, static electric field(SEF) energy, and microwave(MW) energy. When SMF energy was applied to seeds through a dry method for 90 minutes, the germination rate increased by more than 10% compared to the control group. Similarly, SEF energy applied through a dry method for 90 minutes resulted in an improvement of over 20% in the germination rate. Furthermore, when MW energy at 2.45 GHz was applied to the seeds through a wet method for 3 minutes, the germination rate increased by over 25%. Experimental results showed that seeds treated with MW energy exhibited the highest germination rate and the greatest sprout growth. Consequently, this paper confirms that treating seeds with MW energy through a wet method yields the most superior germination rate and seedling growth.

Keywords: Seed Germination, Robonia pseudoacacia Seed, Microwave Energy, Helmholtz Coil, Parallel Plate Capacitor

¹ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (dhpark@ut.ac.kr)

^{2*} 교신저자 한국교통대학교, 컴퓨터공학과, 교수 (yskwak@ut.ac.kr)

³ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (kbko@ut.ac.kr)

⁴ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (khw@ut.ac.kr)

⁵ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (chmun@ut.ac.kr)

⁶ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (ohnmuri@ut.ac.kr)

⁷ 한국교통대학교, 컴퓨터공학과, 교수 (sisong@ut.ac.kr)

⁸ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (c.song@ut.ac.kr)

⁹ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (smlim@ut.ac.kr)

¹⁰ 한국교통대학교, 전자공학과, 교수 (hogijung@ut.ac.kr)

I. 서론

기후변화 문제의 해결을 위하여 유엔은 산림분야의 중요성을 강조하고 있다. 2020 년을 기준으로 전 세계 산림 면적은 총 40.6 억 헥타르(ha)로서, 전체 육지 면적의 약 31%를 차지하고 있다. 전 지구적 산림목표에서 유일한 정량목표인 산림면적과 관련하여, 2010 년부터 2030 년까지 아시아, 유럽, 오세아니아 지역은 증가추세가 기대되는 반면 아프리카와 남아메리카 지역은 과거에 비해 산림면적이 여전히 감소하고 있다. 일부 국가에서 산림면적 및 조림계획을 유지 및 증진하기 위한 목표를 수립하여 발표하였는데 이 중 대표적으로 호주는 2030 년까지 10 억 그루를 조림할 목표를 제시하였다. 또 브라질은 조림면적을 2 백만 헥타르로 증대하고, 일본은 산림면적을 2,500 만 헥타르로 유지할 목표를 제시하였다. 우리나라의 산림면적은 650 만 헥타르로 전 국토의 64%에 해당하며, 이는 OECD 국가 중 핀란드(73%), 스웨덴(69%), 일본(68%)에 이어 네 번째로 높은 산림비율을 갖고 있다[1][2].

우리나라는 기후변화에 대응하기 위한 산림분야 주요정책으로 제 6 차 산림기본계획(2018 ~ 2037)을 수립하여 추진 중이다. 이 계획의 주요내용은 국내 온실가스 감축 및 흡수에 기여할 수 있도록 탄소 흡수력이 높은 수종 발굴 및 신규 산림 조성이다. 또 목재 건축재 활용성 향상과 산림 탄소관리체계 등을 구축하여 화석연료 대체를 통한 온실가스 감축을 추진하는 것이다[2][3].

우리나라의 활엽수종으로 아까시나무, 자작나무, 백합나무에 대한 탄소 저장량 및 변화량을 비교한 결과 아까시나무에서 가장 높게 나타났다. 아까시나무는 탄소 흡수량이 우수한 속성수로 목재의 치밀함과 단단함을 나타내는 전건비중이 높고 휨 강도도 높기 때문에 기존 조림 수종을 대체할 수 있을 것으로 기대된다[4][5][6][7][8].

이와 같이 묘목을 다량으로 빠르게 생산하기 위한 방법적 연구가 필요하다. 참고문헌 [9]는 직류전원 60 V, 60 Hz 를 갖는 교류전원 110V 그리고 주파수 2.45 GHz 의 마이크로파 에너지를 이용하여 참나무 종자의 발아율을 비교하였다. 이 논문의 결과는 대조군과 비교하여 5%이상의 발아율 향상을 나타낸다. 결과적으로 직류전원 60 V 에 의한 낮은 정전기장 에너지를 이용하여도 마이크로파를 이용한 방법과 비교하여 근사한 발아율 향상 결과를 나타낸다. 이와 같이 종자 발아는 종자의 활력, 온도, 시간과 같은 여러 내부 요인 외에 특정한 외부 자극에 의해서도 발아 특성이 달라질 수 있다는 것을 보였다[9].

본 논문에서는 우수한 조림 수종인 아까시 종자의 발아율을 향상시키기 위하여 외부적 자극으로 전자기장 에너지를 선택하였다. 전자기장 에너지는 모두 세 종류로 정자기장, 정전기장, 그리고 전자기장인 마이크로파이다. 정자기장 에너지를 투과하기 위하여 원형 헬름홀츠 코일을 사용하였고, 정전기장 에너지를 공급하기 위하여 평행평판, 그리고 마이크로파 에너지를 투과시키기 위하여 전자 레인을 사용하였다. 또한 발아 이후 28 일째에 새싹의 성장을 관찰하기 위해 새싹의 줄기 크기, 무게, 그리고 새싹 건조 후 무게를 고찰하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 재료

본 논문은 아까시나무의 종자를 이용하여 발아특성을 연구하였다. 아까시나무는 북미가 원산지이고, 콩과에 속하는 교목성 수종이며 녹화 등 다목적 활용성을 갖는 활엽수 수종이다. 국내에는 1891 년 중국으로부터 최초 도입된 이후 적응성이 우수한 것으로 판정되어 1980 년대까지 국토녹화사업과 연료림 등을 위하여 32 만 헥타르에 조림되었다. 아까시나무는 척박한 토양에서도 생육이 왕성하고 집단적으로 조림이 가능하여 바이오매스, 밀원, 목재 등 자원으로 이용할 수 있는 성장이 빠른 경제수종으로 평가되고 있다. 유럽, 특히 헝가리는 1710 년~1720 년에 아까시나무를 도입하였고, 현재까지 우량목 선발, 종자공급원 조성 등 유전형질 개량 사업을 지속적으로 추진하였다[6][10].

본 논문에서 사용된 아까시 종자는 2023 년에 중국에서 수확한 종자로 11 월에 구입하였다. 이들 종자를 물에 침전시킨 뒤 물에 뜬 종자는 제거하고 나머지 침적된 종자만을 6 시간정도

담가 두었다. 또 물리적으로 상처를 입거나 변형된 종자는 수선법으로 선별하여 제거하였다. 매번 실험에 사용된 종자 수는 250 립씩 선택하였다.

2.2 전자기적 에너지 해석

본 논문은 아카시나무의 종자 발아율 향상을 위하여 외부적 자극 요인으로 전자기장 에너지를 사용하였다. 전자기장 에너지로는 정자기장, 정전기장, 그리고 마이크로파 에너지이다. 정자기장의 에너지원인 자속밀도 B mT를 해석 및 설계하기 위하여 원형 헬름홀츠 코일을 선택하였다. 원형 헬름홀츠 코일은 그림 1 과 같이 반경 R 을 갖고 코일이 N 회 감긴 동일한 2 개의 원형 코일로 z 축을 따라 대칭적으로 놓여 있다. 두 코일 사이의 간격 L 은 코일반경 R 과 동일한 거리만큼 떨어져 있다. 코일에 흐르는 전류의 방향은 모두 동일하도록 설계한다.

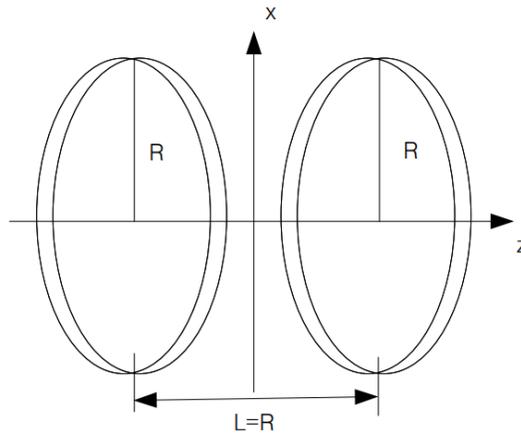


Figure 1. Circular Helmholtz coil with radius R
그림 1. 반경 R 을 갖는 원형 헬름홀츠 코일

그림 1 에서 두 코일 사이에서의 자속밀도 B 는 z 축을 중심으로 대칭적인 축 방향 성분만을 갖는다. 따라서 다음과 같이 단순화된다[11].

$$B_z(z) = \frac{\mu_0 NI}{2R} \left[\frac{1}{(1 + ((z+R/2)/R)^2)^{3/2}} + \frac{1}{(1 + ((z-R/2)/R)^2)^{3/2}} \right] \quad (1)$$

여기서 μ_0 는 자유공간영역에서의 투자율 값이다. 식 (1)을 이용하여 헬름홀츠 코일 내부 영역에서의 자속밀도 B 를 해석하였다. 설계된 모델의 크기는 반경 $R = 7.5$ cm, 코일의 회전 수 $N=400$, 그리고 전류 I 의 크기는 1.25 A 를 선택하였다. 이에 대한 해석 결과는 그림 3(a)에 제시하였다.

정전기장의 에너지원인 정전기장 E V/cm 을 해석 및 설계하기 위하여 평행평판을 선택하였다. 평행평판의 해석적 모델은 그림 2 와 같다. 평판의 가장자리에서 정전기장의 크기를 크게 만들기 위해서 평판의 한쪽을 넓게 키웠다. 그림 2 에서 평판의 크기는 위쪽 접지평판이 30 cm, 아래쪽 전원평판이 35 cm, 그리고 평판 사이의 간격은 10 cm 이다. 평판의 내부는 자유공간영역으로 선택하였다. 평행평판의 해석은 유한차분법을 사용하였으며 셀의 크기는 $\Delta x = \Delta y = 0.25$ cm 인 등간격을 갖는다. 평행평판에 인가된 전압은 DC 60 V 이다. 이에 대한 해석결과는 그림 3(b)에 제시하였다[9].

마이크로파 에너지원인 전력 P 를 해석하기 위하여 유리 비이커에 물은 담은 습식방법을 선택하였다. 습식방법은 일정한 높이를 갖는 물속에 종자를 넣고 마이크로파를 투과시킨다.

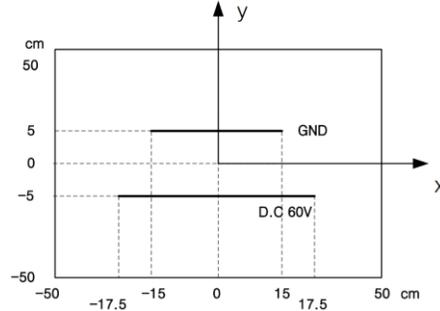


Figure 2. Two-dimensional structure for analytical models of parallel plates
 그림 2. 평행평판의 해석적 모델을 위한 2 차원 구조

여기서 사용된 마이크로파의 주파수는 2.45 GHz 이고 전력은 P 는 400 W 이다. 물의 높이 12 cm 에 대한 물의 깊이에 따른 침투 에너지 크기는 그림 3(c)와 같다.

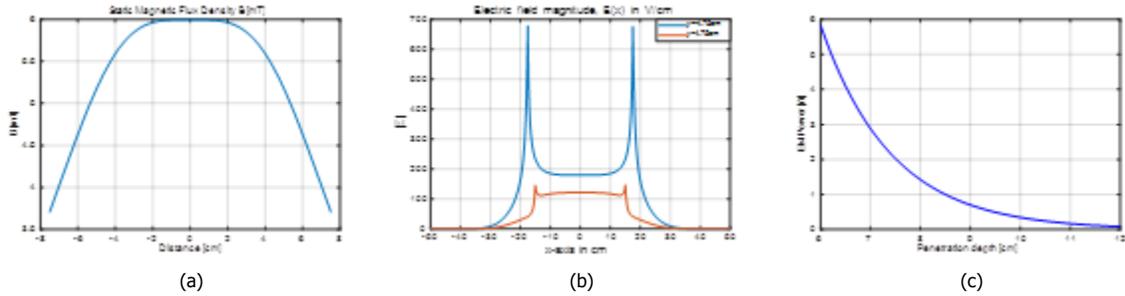


Figure 3. Changes in the magnitude of magnetic, electric, and electromagnetic field energies
 (a) Magnetic flux density inside the Helmholtz coil (b) Electrostatic field inside the parallel plate (c) Microwave energy inside the water

그림 3 자기장, 전기장, 그리고 전자기장 에너지의 크기 변화
 (a) 헬름홀츠코일 내부 자속밀도 (b) 평행평판 내부 정전기장 (c) 물속 내부에서 마이크로파 에너지

2.3 아까시 종자 발아실험

발아실험을 위해 사용된 외부적 자극방법은 모두 4 가지로 정자기장, 정전기장, 마이크로파, 그리고 열에너지이다. 정자기장 에너지를 투과하기 위하여 그림 4 (a)와 같이 원형 헬름홀츠코일을 사용하였고 정전기장 에너지를 투과하기 위해서는 그림 4 (b)와 같이 직사각형 평행평판을 사용하였다. 2.45 GHz 마이크로파 에너지를 투과시키기 위해서는 일반형 전자레인지리를 사용하였고 열에너지로 열처리법을 사용하였다. 매번 실험을 위해 선택된 종자 수는 250 립씩 묶어 패트리 접시에 담아 실험하였다.

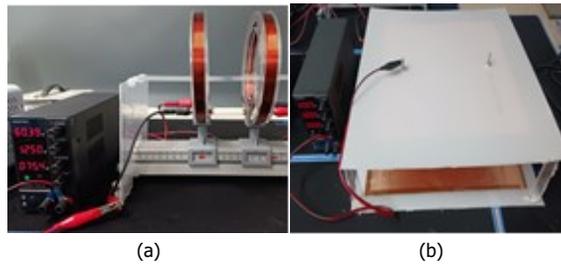


Figure 4. Static magnetic field and electrostatic field experiment device
 (a) Circular Helmholtz coil (b) Rectangular parallel plate

그림 4. 정자기장 및 정전기장 실험장치
 (a) 원형 헬름홀츠 코일 (b) 직사각형 평행평판

정자기장 에너지 투과를 위해 헬름홀츠 코일에 인가된 전류의 크기는 1.25 A 이다. 여기서 사용된 코일의 모델은 PH0845HEL 이다. 이 때 코일의 중심축상의 범위 $-2 < z \text{ cm} < 2$ 에서 자속밀도의 크기 B 는 6 mT 이다. 이 값은 그림 3(a)에서 제시했다. 정전기장의 투과를 위해 DC 60 V 의 전원을 평행평판 아래쪽 평판에 인가하였다. 이 때 평판의 가장자리에서 정전기장의 크기는 190 V/cm 에서 680 V/cm 범위의 값을 갖는다. 이 값은 그림 3(b)에 제시했다. 위 두 가지 방법 모두에서 에너지를 아까시 종자에 투과한 시간은 90 분이다. 정자기장 에너지를 투과시키기 위하여 2.45 GHz 의 마이크로파 에너지 400 W 를 8.8 cm 의 깊이를 갖는 500 mL 의 유리 비이커에 투과하였다. 이 때 아까시 종자가 3 분동안 받은 에너지의 크기는 대략적으로 0.8 W 의 값을 갖고, 물의 온도는 41 °C 이다. 열처리법에 의한 발아실험으로써 아까시 종자를 순수 물의 온도 41 °C 에 3 분간 담가 두었다.

위 4 가지 방법으로 처리된 아까시 종자를 펄트리 접시에 담아 항온기에 두고 발아실험을 진행하였다. 이 때 항온기의 온도는 24 °C 로 고정하였고, 항온기에서 6 일이 지난 후 종자의 발아상태와 그 중 가장 크게 자란 새싹을 대조군과 함께 그림 5 에 각각 제시하였다.

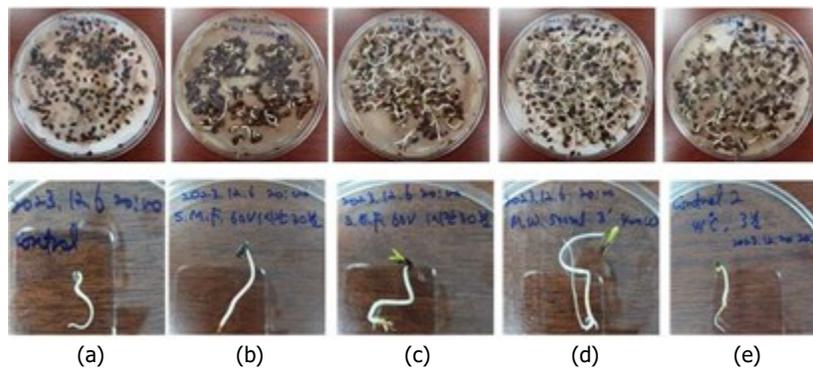


Figure 5. Comparison of germination status and largest sprouts of acacia seeds using the control group and four methods

(a) Control, (b) static magnetic field of 1.25 A, (c) electrostatic field of 60 V, (d) microwave of 400 W, (e) heat treatment

그림 5. 대조군과 4 가지 방법에 의한 아까시 종자의 발아상태 및 가장 큰 새싹 비교

(a) 대조군, (b) 1.25 A 의 정자기장, (c) 60 V 의 정전기장, (d) 400 W 의 마이크로파, (e) 열처리법

대조군과 마이크로파, 정전기장, 그리고 정자기장 에너지를 투과시킨 종자의 새싹 성장과정을 외형적으로 관찰하기 위하여 가장 우수하게 자란 새싹 중 10 개씩 무작위로 선택하여 50 구 트레이에 옮겨 심었다. 그림 6 은 평균온도 15 °C 의 실내에서 14 일간 자란 새싹의 모습을 나타낸다. 똑같이 10 개의 새싹을 트레이에 심었지만 흙 밖으로 나온 새싹은 대조군에서 6 개, 마이크로파 에너지 투과에서 10 개, 그리고 정전기장과 정자기장 에너지 투과에서 9 개이다.

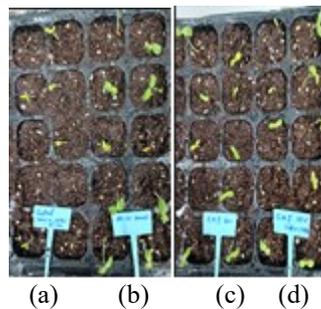


Figure 6. Comparison of sprouts grown for 14 days after germination

(a) control, (b) microwave at 400 W, (c) electrostatic field at 60 V, (d) static magnetic field at 1.25 A

그림 6. 발아 이후 14 일간 자란 새싹 비교

(a) 대조군, (b) 400 W 의 마이크로파, (c) 60 V 의 정전기장, (d) 1.25 A 의 정자기장

이어서 대조군과 전자기장 에너지를 투과한 종자의 새싹 성장을 비교하기 위하여 새싹의 줄기 크기와 무게를 비교하였다. 이 때 최종 성장한 새싹의 수는 대조군과 정자기장의 경우 9 개, 그리고 마이크로파 및 정전기장은 10 개이다.

이는 외부에서 전자기적 에너지를 받은 종자의 새싹 성장이 대조군과 비교하여 빠르다는 것을 보인다. 그림 7은 발아된 새싹을 트레이에 이식 후 28 일째가 된 새싹의 성장을 나타낸다.

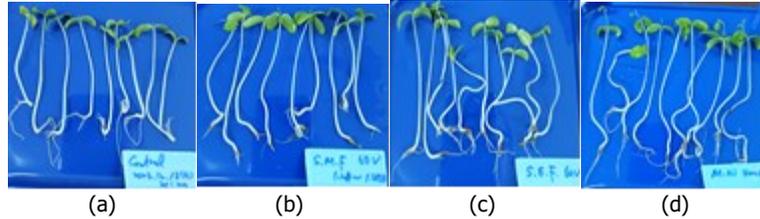


Figure 7. Comparison of external size of final grown sprouts after germination
(a) control, (b) 1.25A electrostatic field, (c) electrostatic field, (d) microwave

그림 7. 발아 후 최종 성장한 새싹의 외형적 크기 비교

(a) 대조군, (b) 1.25 A 정전기장, (c) 정전기장, (d) 마이크로파

III. 결과 및 논의

아까시 종자의 발아율 상태는 그림 5에 제시되었다. 이 종자의 발아율 향상을 위해 사용된 외부적 자극요인은 전자기장 에너지이다. 이 결과에서 대조군 1은 전자기장의 에너지와 열처리법(대조군 2)의 새싹과 비교하여 발아속도가 더디다는 것을 외견상으로 알 수 있다. 그림 5에 대한 최종적인 새싹 발아율(GR)을 그래프로 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8의 결과로부터 아까시 종자에 대한 대조군 1의 최종 발아율은 21%인 것에 비교하여 정자기장 에너지를 투과한 종자의 발아율 35%, 정전기장 에너지를 투과한 종자의 발아율 43%, 마이크로파 에너지를 투과한 종자의 발아율은 48%, 그리고 열처리법에 의한 종자의 발아율 36%를 나타낸다. 마이크로파 에너지를 투과한 종자의 발아율이 가장 높게 나타났다. 이는 대조군 1과 비교하여 27% 그리고 대조군 2와 비교하여 12% 향상된 결과이다. 이 결과로부터 전자기장 에너지가 아까시 종자의 발아율에 기여하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

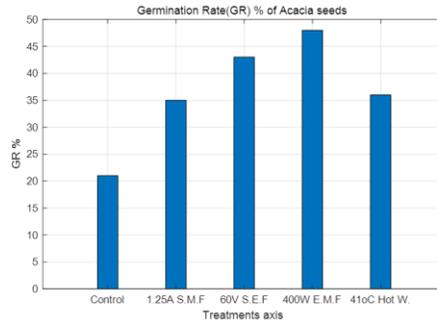


Figure 8. Comparison of germination rates of acacia seeds

그림 8. 아까시 종자의 발아율 비교

또한 그림 6에서 발아 후 새싹 성장과정을 외형적으로 비교한 결과는 대조군이 전자기장 에너지를 투과시킨 종자의 새싹과 비교하여 성장이 더디다는 것을 알 수 있다. 또한 새싹의 실질적 성장 비교를 위하여 새싹의 줄기에 대한 크기와 새싹의 무게 그리고 건조된 새싹의 무게를 각각 비교하였다. 여기서 비교된 새싹은 트레이에 옮겨 심은 뒤 28일까지 성장한 것으로 대조군, 1.25 A 정자기장, 60 V 정전기장, 그리고 400 W 마이크로파 에너지를 투과한 종자의 새싹이다. 그림 9는 새싹의 크기, 무게 그리고 건조 후 무게를 박스플롯(box plot)으로 나타냈다.

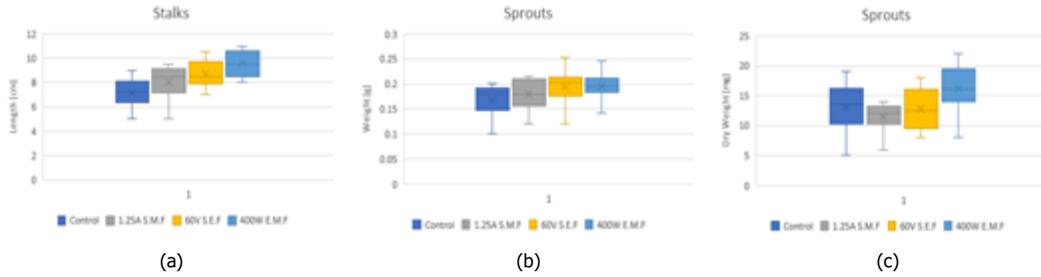


Figure 9. Comparison of sprout stalks, sprout weights, and weights after drying of acacia seeds
 (a) Length of stalk (b) Weight of sprout (c) Weight of sprout after drying

그림 9. 아까시 종자의 새싹 줄기, 새싹 무게, 및 건조 후 무게 비교
 (a) 줄기의 길이 (b) 새싹의 무게 (c) 새싹 건조 후 무게

그림 9의 박스플롯에서 맨 아래의 실선은 길이 또는 무게에 대한 최소값을 의미하며, 맨 위 실선은 최대값을 나타낸다. 또한 직사각형 모양의 박스 아래와 위는 1 사분위와 3 사분위를 나타내며 박스 안에 표기되어 있는 실선은 중간 번호의 길이를 나타낸다. 박스 안에 있는 x 표시는 길이의 평균값을 의미한다. 따라서 박스의 크기가 작으면 작을수록 비슷한 길이의 줄기가 많이 분포한다는 것을 의미한다. 그러므로 최대값, 최소값, 중간값이 큰 값을 가지면서 동시에 박스의 크기가 작으면 작을수록 새싹의 성장이 좋다는 것을 나타낸다. 그림 9 (a)에서 400 W의 마이크로파 에너지를 3분간 투과시킨 아까시 종자의 새싹 줄기가 가장 크게 나타났다. 그림 9 (b)에서 60 V 정전기장의 에너지를 90분간 투과시킨 새싹의 최대 무게가 가장 높지만 전체적인 무게에서 마이크로파 에너지를 받은 새싹의 무게가 크다는 것을 확인할 수 있다. 또 그림 9 (c)의 건조 후 새싹 무게에서 역시 마이크로파를 투과시킨 종자의 새싹 무게가 가장 높게 나타났다. 이 결과로부터 마이크로파 에너지를 습식방법으로 종자에 투과시켰을 때 종자의 발아율이 가장 높고 그리고 새싹 성장이 가장 우수하게 나타났다.

IV. 결론

현재의 기후변화에 대응하기 위한 여러 방법 중 가장 시급한 것 중 하나는 다량의 이산화탄소를 빠르게 흡수할 수 있는 방법일 것이다. 주요 산림 및 조림 수종에 있어 아까시나무는 탄소 흡수량이 우수하고 또 속성수로서 탄소 저장량 역시 매우 높다. 본 논문은 우수한 조림수종인 아까시 종자의 발아율을 향상시키기 위하여 외부적 자극으로 전자기장 에너지를 선택하였다. 전자기장 에너지는 모두 세 종류로 정자기장, 정전기장, 그리고 마이크로파이다. 마이크로파 에너지를 투과시킨 종자에서 발아율이 가장 높고 그리고 새싹 성장이 가장 우수하게 자랐다. 이 결과의 주요한 이유 중 하나는 마이크로파 에너지를 습식방법으로 종자에 투과시킨 결과이다.

본 논문의 후속 연구는 이 연구방법을 아까시 종자 이외에 다른 조림수종으로 확대 실시함과 아울러 정자기장 에너지의 크기 변화에 따른 발아율과 새싹의 성장에 대한 비교를 연구할 계획이다.

V. 감사의 글

2023년 한국교통대학교 산학협력단 지원을 받아 수행하였음.

VI. 참고문헌

[1] Eun-ho Choi, "Implications of the publication of Global Forest Goals Report for 2021," National

- Institute of Forest Science, No. 105, 2021.
- [2] Cheon-hwan Lee, Eun-chang Lee, Se-jin Ahn, Su-hyeon Han, “Analysis of domestic policies and R&D trends in the forest sector to respond to climate change,” GTC brief, Vol. 1, No. 2, pp. 9-22, Dec. 2020.
- [3] Moon-il Kim, So-min Yoo, Na-hui Kim, Won-a Lee, Bo-young Ham, Chol-ho Song and Woo-kyun Lee, “Climate Change Impact on Korean Forest and Forest Management Strategies”, Korean J. Environ. Biol., Vol. 35, No. 3, pp. 413-425, Sep. 2017.
- [4] Mi-kyoung Han, Kyeong-jin Kim, Keum-chul Yang, “Comparison of Carbon Storages, Annual Carbon Uptake and Soil Respiration to Planting Types in Urban Park”, Korean J. Environ. Ecol., Vol. 28, No. 2, pp. 142-149, Apr. 2014.
- [5] Sun-jeoung Lee, Jong-su Yim, Jin-take Kang, Rae-hyun Kim, Yow-han Son, Gawn-su Park, Yeong-mo Son, “Application and Development of Carbon Emissions Factors for Deciduous Species in Republic of Korea”, J. of Climate Change Research, Vol. 8, No. 4, pp. 393-399, Dec. 2017.
- [6] Tae-lim Kim, Hye-min Lim, Kyung-mi Lee, Chang-young Oh, Il-hwan Lee and Hwan-su Hwang, “Plus Tree Selection of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) for Tree Improvement of Timber Characteristics”, Korean J. Plant Res., Vol. 36, No. 1, pp. 91-99, Jan. 2023.
- [7] Yeong-mo Son, So-won Kim, Sun-jeoung Lee and Jeong-soo Kim, “Estimation of Stand Yield and Carbon Stock for *Robinia pseudoacacia* Stands in Korea”, J. of Korean Forest Society, Vol. 103, No. 2, pp. 264-269, Jun. 2014.
- [8] So-ra Kim, Jung-eun Song, Chun-hee Park, Su-hui Min, Sung-hee Hong, Jun-hyuk Yun, and Yeong-mo Son, “Development of Diameter Distribution Change and Site Index in a Stand of *Robinia pseudoacacia*, a Major Honey Plant”, J. of Korean Society of Forest Science, Vol. 111, No. 2, pp. 311-318, Jun. 2022.
- [9] Dong-hee Park, “A Study on the Improvement of Germination Rate of Oak Seeds by Electrostatic Field Penetration”, Journal of KNUT, Vol. 58, pp. 5-9, Dec. 2023.
- [10] Jae-soon Song, Hak-yun Kim, Jun-soo Kim, Seung-hwan Oh and Hyun-je Cho, “Vegetation Classification and Ecological Characteristics of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Plantations in Gyeongbuk Province, Korea”, J. of Korean Society of Forest Science, Vol. 112, No. 1, pp. 11-22, Jan. 2023.
- [11] Sidi M. Ahmed Ghaly, M. O. Khan, “Design, Simulation, Modeling, and Implementation of a Square Helmholtz Coil in Contrast with a Circular Coil for MRI Applications”, Eng. Technology & Applied Science Research, Vol. 9, No. 6, pp. 4990-4995, Nov. 2019.

저자소개



박동희(Donghee Park)

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

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



곽윤식(Yoonsik Kwak)

1994 년 3 월 : 경희대학교 공학박사
1991 년 5 월 ~ 현재 : 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 센서네트워크, 인터넷 통신 등



고균병(Kyun-Byoung Ko)

2004 년 3 월 ~ 2007 년 2 월 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2007 년 3 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : OFDM, MIMO, Cooperative Relay, C-V2X 등



김학원(Hagwone Kim)

1991 년 3 월 ~ 2008 년 2 월 LG 전자 DA 연구소
2008 년 3 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 에너지변환, 전력전자



문철(Cheol Mun)

2001 년 2 월 연세대학교 전자공학과 박사
2003 년 8 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 무선통신시스템, 협력자율주행, V2X 통신 등



박만복(Manbok Park)

2002 년 2 월 ~ 2017 년 1 월 ㈜만도 책임연구원.
2017 년 2 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 자율주행, 인공지능, 차량동역학 및 제어 등



송석일(Seokil Song)

2003 년 2 월 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)
2003 년 7 월 ~ 현재 : 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 데이터베이스, 스토리지 시스템, 분산 병렬 시스템, 빅데이터, 딥러닝 등



송창익(Changick Song)

2014 년 8 월 런던임페리얼공대 Post-Doc.
2014 년 9 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 다중안테나 기술, 차량통신시스템, 네트워크 로드밸런싱, 딥러닝 등



임성목(Sungmook Lim)

2014 년 3 월 연세대학교 전기전자공학부 Post-Doc.
2014 년 4 월 ~ 현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : V2X, 5G/6G Communication Systems, 인공지능 등



정호기(Hogi Jung)

2011 년 3 월~2016 년 7 월 한양대학교 미래자동차공학과 조교수
2016 년 8 월~현재 한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야: 미래형자동차, 컴퓨터비전, 딥러닝 활용