

물리적인 방법을 이용한 잡초 및 병해충 방제 방법의 개발† — 적외선 조사에 의한 잡초방제를 위한 양토의 가열 효과 —

강화석* 유창연** 신현등*** 강위수* 오재현*

Weed and Pest Control by Means of Physical Treatments

— Effects of infrared irradiation on loam for weed control —

Whoa Seug Kang*, Chang Yeon Yu**, Hyun Dong Shin***, Wie-Soo Kang* and Jae Heun Oh*

Abstract

The viability loss or death of weed seeds buried in soil can be induced by infrared irradiation which has good penetration in moist soil. By using this principle of pre-emergence soil-treatment, the study was carried out to obtain basic information needed to develop the effective weed control method for the production of less polluted agricultural products. An apparatus for irradiating infrared was constructed by using ceramic material with high emissivity. The LPG was used as fuel for producing infrared by heating ceramic material. The soil heated in this study was loam with four levels of moisture contents (0.6, 5.7, 10.7, 15.1 % wb). The temperature distribution was measured at various soil depths when soil with different moisture content was irradiated with infrared for three different times (30, 60, 90 sec). The soil depths with duration time of minimum 3 minutes over 80°C, temperature inducing viability loss of weed seeds, were investigated.

When the moisture content of soil was 0.6 and 5.7 % wb, the soil depths which can induce viability loss of weed seeds was greatly increased with increasing irradiation time. However, any

† 이 논문은 1994년도 교육부 학술연구 조성비(농업과학분야)에 의하여 연구되었음.

* 강원대학교 농업기계공학과(Dept. of Arg.Mech., Coll. of Arg. & Life Sciences, Kangwon Nat'l Univ.)

** 강원대학교 식물응용과학부(School of the Plant Application Science, Kangwon Nat'l Univ., Chunchon 200-701)

*** 강릉대학교 원예학과(Dept of Hort., Kangnung Nat'l Univ.)

depths of soil tested in this study was not reached to the temperature of 80°C when 30 seconds of irradiation time was applied on soil with moisture content of 10.7 or 15.1 % wb. Generally, the soil depth needed for viability loss of weed seeds was decreased with increasing moisture content of soil. Also, longer irradiation time was required to induce viability loss of weed seeds with increasing moisture content of soil.

서 론

전세계적으로 미국·유럽·일본·오스트레일리아 등이 제초제 다량 사용국들이며, 우리나라 또한 1993년에 5,178M/T을 생산하여 전체 농약생산의 약 20%를 차지할 만큼 제초제 사용비율이 높아져 왔다.¹⁾ 그러나 우리 나라를 비롯한 세계 각국에서는 작물 재배시 화학비료와 제초제를 사용하지 않는 무공해 농산물을 재배하기 위한 유기 농업 농작물 재배시 화학비료와 농약의 사용 증가로 인하여 유기합성 농약의 부작용인 ① 잔류 독성 ② 약제 저항성 유발 ③ 밀도 회복 효과(병해 충의 번식력 증가, 작물의 영양 상태 변화, 천적의 밀도 감소)가 문제 시되고 있다.²⁾ 유기합성 농약 사용의 금지로서 1990년 미농무성 보고서에서 “유기농법으로 재배한 농산물에 대한 국가적 금지 기준의 발전”을 입법화하였고, 1993년 “유아와 어린이 음식물에서의 농약”이란 미국립 연구 보고서³⁾ 및 1990년 스위스에서는 “유기 농업으로 재배한 농산물의 판매 기준”을 설정하였다.⁴⁾

잡초 방제법은 대부분 간단하게 제초제를 사용하는 화학적 방제가 있고, 곤충 혹은 미생물을 사용하는 생물적 방제가 최근 연구되고 있다. 물리적 잡초 방제법 중에서는 가장 오랫동안 사용할 수 취·경운·예취·소각 등으로 생육중인 잡초를 방제하는 방법은 많은 노동력이 요구되고 있고, 휴면중인 잡초의 종자나 발아억제 및 사멸시키는 피복·열처리·침수처리가 있다.⁵⁾ 열을 이용한 물리적인 잡초 방제법은 고온⁶⁻¹²⁾, 동결¹³⁾, 적외선^{14,15)}, 전기장^{16,17)}, microwave¹⁸⁻²¹⁾ 등이 있으며, 1940년에서 1960년까지 열처리는 전작물의 짚과 그루터기가 혐기적으로 분해되는 과정에서 발아억제물질이 분비되므로 지

표면에 분포되어 있는 잡초종자를 사멸시키는 동시에 그루터기를 없애는 이중효과와 병해충 방제를 하기 위해서만 사용되었다.²²⁾ 열처리를 이용한 잡초 방제는 잡초처리 시기와 방법에 따라 분류된다. 처리 시기에 따라 작물의 묘판에 1m²(깊이 2cm까지) 당 6~10만개 매립되어 있는 잡초 종자를 잡초 발생전 토양처리법 원리를 이용하여 잡초 종자 발아 억제 및 사멸하는 토양처리형 방법이 있고, 작물과 잡초가 토양으로부터 이미 발생한 후 처리하는 경엽처리형방법에 대한 연구가 유럽에서는 활발히 진행되고 있다.^{6-12,14,15,20)} 또한 불꽃을 이용한 잡초방제법이 화학적 제초제처럼 사용할 수 있는 불꽃 제초 방제기계 개발과 응용 시험이 European Weed Research Society(EWRS)에서 진행되고 있으며, 가격이 저렴하고 환경오염이 적은 LPG를 연소시켜 사용하는 열처리를 이용한 잡초 방제기계가 연구되어 상품화 개발을 서두르고 있는 중이다.^{23,24)} 국내에서는 무공해 식품에 대한 요구가 커지고 있으나, 아직 이에 대한 연구가 진행되지 않고 있다.

Hall²⁵⁾은 적외선을 농업에 응용하여 농산품 가공 건조 공정에 응용하였고, La Toison²⁶⁾은 모래의 함수율 증가에 따른 적외선 침투 효과를 분석한 결과 완전 건조된 모래는 적외선을 30% 흡수하였으나, 함수율 4%~9%인 모래에서는 80~88%의 적외선 침투 효과를 관찰함으로써 함수율 증가에 따라 모래에서는 적외선 침투가 증가됨을 보고하였다. 일반적인 열처리로 토양 표면의 잡초를 방제 할 때에는 토양의 함수율 증가에 따라 열 손실도 증가하기 때문에, 분재용 토양이나 복토용 토양에서는 잡초 종자 사멸과 토양 전염성의 병원균, 곤충, 선충 등을 방제하기 위하여 60~70°C에서 20~30분간 열처리를 하고 있으나²⁷⁾, 적외선 방사 세라믹스를 이용하여

가열할 경우, 불꽃에 의한 직접 가열보다 열 손실이 적으므로 생육 중인 잡초 방제를 하기 위하여 적외선 방열시간을 20초로 하여도 충분하였다.¹⁵⁾ 또한 Davis¹⁸⁾는 마이크로 파 발생 장치를 이용하여 잡초 및 병해충을 방제하기 위하여서는 최소한 1,600~78,000 kJ/m²의 에너지가 필요하므로 이 방법은 경제성이 없다고 보고하였으나^{17,19,21)}, Parish¹⁵⁾는 적외선 발생 장치로 잡초 방제에 필요한 에너지가 마이크로 파를 이용한 잡초 방제법의 약 1.5% 이하인 200~400 kJ/m²임을 관찰하였다. 따라서, 본 연구에서는 여러 가지 물리적인 잡초 방제법 중에서 가장 효율이 좋을 것으로 고려되는 적외선 방사 세라믹스에서 방출되는 적외선이 양토 함수율에 따라 양토의 온도 상승에 미치는 영향을 규명하여 효율적인 잡초 방제 기술의 개발을 위한 기초 자료로 제공하고자 하였다.

材料 및 方法

가. 공시토양 및 방열장치

토양 표면의 가열 처리시 토양의 온도 상승 효과에 관한 기초 실험을 하기 위한 토양은 밭 토양 중, 양토를 토양 시료 채취법(KSF 2301)에 의하여 채취하였다. 토양의 특성인 입도 분포는 입도 분석 시험법(KSF 2302), 비중은 비중계에 의한 침강 분석법(KSF 2308)으로 행하였다. 실험에 이용된 토양의 입도 분포 및 비중을 Table1에 나타내었다.

Table 1. Particle distributions and density of tested soil.

	particle distribution (weight %)			density (g/cm ³)
	sand	silt	clay	
loam	62.0	35.2	2.8	2.63

본 실험에 이용된 적외선 방열장치와 LPG 공급장치, 송풍기 및 자료 수집 장치를 Fig. 1에 나타내

었다. 적외선 방열장치는 honeycomb type의 세라믹 재료로서 크기는 66×93mm, 두께 13mm의 기판 3개를 연결하였고, 각 기판의 세공 직경은 1mm, 기판당 세공의 수는 1,899개이며 기공 면적은 14.91cm²이다. 적외선 기판의 가열시 LPG의 압력이 0.196 bar에서 송출 비율 192.3 SCCM(standard cubic centimeter per minute)이었고, 가열 효과를 향상시키기 위하여 공기를 2,000 SCCM으로 공급하여 LPG를 세라믹 방사 판에 연소시켰다. LPG가 연소되어 세라믹 방사 판에서 발생하는 온도는 1023 ± 15℃였다. 공시 토양의 함수율은 Table 2에서 나타낸 바와 같이 토양별로 4개 수준씩, 적외선 방열시간은 각 함수율 수준별로 30, 60 및 90 초이었다.

Table 2. Moisture content and irradiation time levels of tested soil.

	loam
moisture content(% , wb)	0.6, 5.7, 10.7, 15.1
irradiation time (sec)	30, 60, 90

나. 토양 온도의 측정

잡초의 종자가 토양 중에서 발아하는 깊이는 잡초의 종류에 따라 다르나, 대부분 토양 표면으로부터 25mm 이내에서 발아하므로³⁾, 토양의 온도 측정은 표면에서 3mm부터 27mm 까지 3mm 간격으로 측정하였다. 온도 측정용 센서는 열전대(type K)를 Fig. 1과 같이 Al₂O₃ 다공판의 세공(1mm×1mm)에 넣고 접점을 전기 용접하여 이용하였다. 방열장치를 일정한 위치에 설치하기 위하여 토양 상자(H×L×W=10×90×40cm) 중앙에 8.5×24.5cm 직사각형의 4개의 모서리에 10cm 높이를 가진 봉을 4개 고정시켜 그 위에 방열장치 (적외선 방사판; L×W=66×274mm)를 설치하였다. 중앙 부분에는 9개의 온도센서가 부착된 다공판을 설치하고, 그 위와 주변에 토양 시료를 산포시켜 온도 측정을 하는

토양의 깊이를 정확히 유지시켰다.

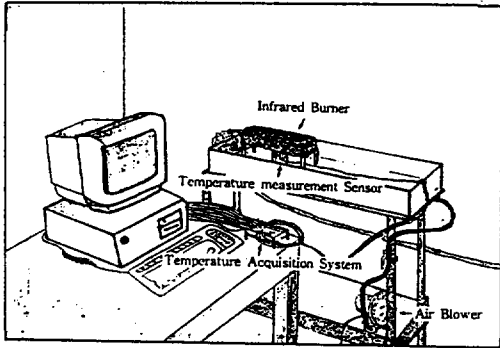


Fig. 1. Infrared irradiation apparatus and data collection instruments.

적외선 방사판의 크기 중 작은 변의 길이 L 과 방열장치와 토양 표면 사이의 거리 H 의 비율, 즉 L/H 값이 10보다 크면 복사를 위한 radiation shape factor가 0.8 보다 크게 되어 열전달의 효율이 증가하므로²⁸⁾, 적외선을 이용한 실제 제초 작업기의 크기를 $500 \times 2000\text{mm}$ 로 설계한다고 가정하였을 때 방사판을 토양 표면에서 50mm 정도로 유지하기 위하여 본 실험 방열장치는 토양 표면으로부터의 높이를 6mm로 하였다. 적외선 방사판에 LPG 및 공기를 혼합하여 점화한 다음, 방사판의 온도가 약 1000°C 내외가 된 후에 토양을 각각 30초, 60초 및 90초 동안 가열한 후, LPG와 공기의 공급을 차단하고 방사판을 제거하여 토양의 온도가 80°C 이하로 될 때까지 매 2초마다의 토양 깊이별 온도를 기록하였으며, 이때 주위의 온도는 $26^\circ\text{C} \sim 33^\circ\text{C}$ 범위였다.

結果 및 考察

적외선의 가열로 인한 토양의 온도 상승은 토양의 종류, 함수율, 입도 분포 및 적외선 조사시간 등에 영향을 받게 된다. 일반적으로 종자가 80°C 이상인 고온에서는 원형질 단백질의 응고, 원형질막의 액화, 전분의 점피화등의 영향으로 인하여 발아가 억제되

고⁵⁾, 종자의 병충해 방제는 대부분 80°C 이하에서 처리하고 있다.²⁹⁾ 따라서, 본 실험에서는 토양 표면 부근의 잠초 종자를 발아억제 및 사멸시킬 수 있는 온도를 80°C 이상으로 정하고, 적외선을 여러 가지 처리의 조합으로 방열시켰을 때 토양의 각 깊이에 따른 최고 온도, 가열 속도, 가열 기간중의 온도 구배 및 80°C 이상으로 유지되는 지속 시간 등을 분석하였다.

Fig. 2, 3, 4, 5 및 표 3은 양토의 함수율 별, 적외선 조사 시간 별 토양 깊이에 따른 온도 변화를 측정된 결과이다. 가열된 토양의 온도에서 저온인 토양깊이 방향으로 열이 흐르기 때문에, 본 실험에서는 온도 경계영역을 토양깊이 3mm 간격을 경계 구간으로하여 토양깊이에 따른 온도변화를 측정하여 각 경계구간의 열전달을 분석하여 조사시간에 따른 토양깊이의 온도를 분석하였다.

1. 함수율 0.6%

건조된 토양을 30초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 온도는 가열속도 $114.6^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 상온에서 90.3°C 에 도달하였고, 6mm에서는 약 3배가 감소된 $26.0^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 토양의 온도는 45.8°C 에 도달하였으나, 9mm에서는 $1.4^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 33.9°C 이었고, 깊이 12mm이상에서의 토양의 온도는 전혀 증가하지 않았다(Fig.2-A). 조사가 끝난 후에는 토양의 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 $87.7^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 조사가 끝난 46초 후에 최고 157.5°C 까지 가열되었고, 깊이 6mm에서 $31.2^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 118초후 107.1°C 까지 온도가 상승하였으며, 9mm에서는 $15.2^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 196초후 83.7°C 까지 상승하였다. 12mm 이상의 깊이에서는 80°C 이상으로는 상승되지 않았다.

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을때, 3mm와 6mm, 6mm와 9mm, 9mm와 12mm사이에서 각 경계구간의 온도구배는 각각 $16.8^\circ\text{C}/\text{mm}$, $7.7^\circ\text{C}/\text{mm}$, $4.9^\circ\text{C}/\text{mm}$ 로 열 이동이 토양의 깊이가 증가할 수록 작아지므로써 온도 구배가 감소되었다.

가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 $-8.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 냉각되다가, 12mm 이상에서는 $-0.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하로 서서히 냉각됨으로써 깊이가 깊어질수록 가열된 토양의 온도는 장시간 유지되는 것으로 분석되었다.

60초간 조사시키는 동안 토양 깊이 3mm에서 $133.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 168.3°C , 6mm에서 $39.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 73.8°C , 9mm에서 $7.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 41.4°C , 12mm에서는 가열속도 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 34.2°C 까지 토양의 온도를 증가시켰으나, 15mm이상에서는 가열속도 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하

였으며 21mm에서는 토양의 온도변화가 없었다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 $128.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 46초후 267.1°C 까지, 6mm에서 $46.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 118초후 164.9°C , 9mm에서 $22.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 204초후 116.6°C , 12mm에서 $10.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 314초후 87.6°C , 15mm에서 $6.6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 370초후 73.8°C 까지 토양의 온도가 상승하였고, 18mm 이상에서는 가열속도 $4.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하로 떨어졌고 토양깊이 12mm부터는 80°C 이상 상승하지 않았다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm

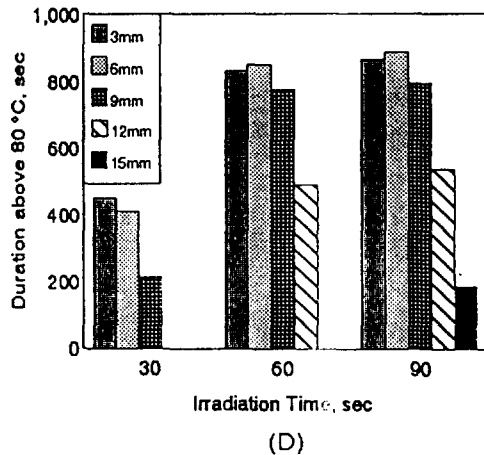
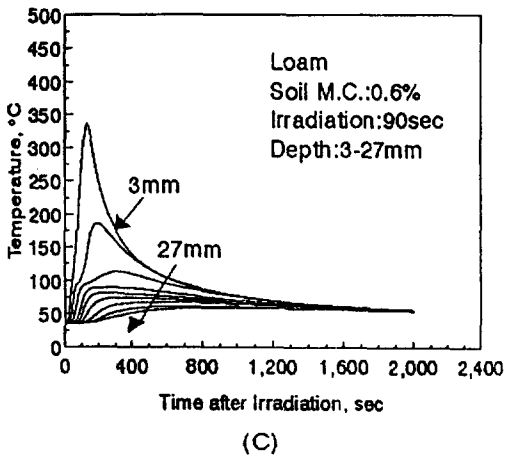
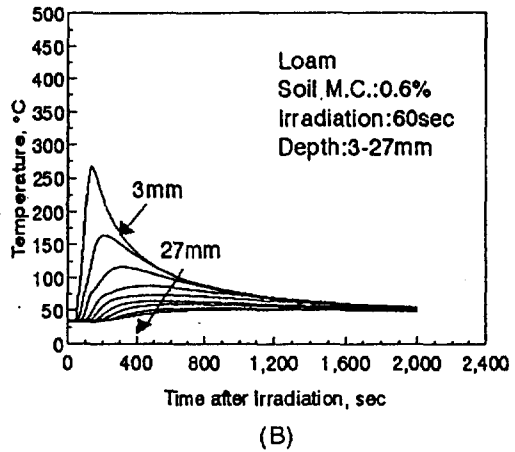
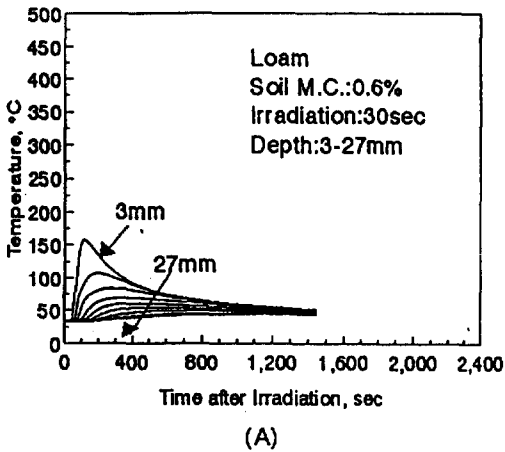


Fig. 2. Temperature distributions of loam(0.6%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80°C (D).

와 6mm사이에서 34.0°C/mm가 12mm와 15mm에서 4.6°C/mm로 감소되었고, 냉각속도는 3mm에서 -18.5°C/min가 9mm에서 -1.7°C/min로 감소되었다(Fig. 2-B).

90초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 토양의 온도는 가열속도 164.6°C/min로 285.9°C, 6mm에서 46.0°C/min로 108.3°C, 9mm에서 34.19°C/min로 90.3°C, 12mm에서 20.9°C/min로 69.42°C, 15mm에서 9.9°C/min로 51.8°C까지 도달하였으나, 18mm이상에서는 가열속도 2.72°C/min로 온도변화의 폭이 줄어들다가 21mm에서는 0.3°C/min이하로 토양의 온도변화가 거의 없었다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 가열속도 107.6°C/min로 28초 후 336.1°C, 6mm에서 가열속도 54.4°C/min로 186.3°C까지 도달하였고 9mm에서는 조사시간동안의 가열속도보다 5배 감소한 7.1°C/min이었고, 12mm에서는 5.6°C/min, 15mm에서는 7.5°C/min로 오히려 가열속도가 증가한 것은 12mm의 위치에 있는 열전대에 이물질이나 작은 돌이 위치하고 있어서 가열속도가 역전된 것으로 사료된다. 18mm에서는 7.8°C/min로 계속 비슷하게 유지되다가 21mm 이상에서는 4.5°C/min 이하로 감소되지만 67.7°C까지 토양의 온도를 증가시키므로써, 토양깊이가 깊어질 수록 흡수 에너지가 토양의 가열속도에 미치는 영향이 클 수 있었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm사이에서는 49.3°C/mm에서, 6mm와 9mm 경계구역까지 각각 50% 정도 감소되다가, 12mm와 15mm 사이에서는 2.8°C/mm로 열이동이 적어짐으로써 온도구배가 감소되었다.

가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 -30.0°C/min, 6mm에서 -7.5°C/min로 감소하였고, 9mm와 12mm에서 각각 -1.8°C/min, -0.4°C/min로 감소하다가, 15mm이상에서 -0.3°C/min이하로 서냉하였다(Fig.2-C).

조사시간이 30초에서 60초로 증가시켰을 때 가열속도, 토양깊이 매 3mm 마다의 온도구배 및 냉각

속도는 거의 같은 경향이었으나, 토양온도 80°C이상 유지되는 시간은 30초간 조사시켰을 때 깊이가 9mm에서 212초였으나, 60초 간 조사시켰을때 12mm에서 490초로 증가되었다. 90초로 조사시간을 증가시켰을 때 조사시키는 동안 3mm에서 15mm사이에서의 가열속도는 60초간 조사시켰을 때 보다 1.5~2배가 증가되었고, 흡수에너지에 의한 가열속도도 3mm에서 27mm까지 2배 정도가 상승되었고, 깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm에서 9mm까지 1.5배 정도가 증가되었으며, 80°C 유지시간과 토양깊이도 3mm 증가된 15mm에서 182초로 증가되었다(Fig.2-D).

2. 함수율 5.7%

함수율 5.7%인 토양을 30초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 온도는 가열속도 133.9°C/min로 상온에서 93.7°C에 도달하였고, 6mm에서는 약 2배가 감소된 67.4°C/min의 가열속도로 60.2°C에 도달하였으나, 9mm에서는 16배가 감소된 8.2°C/min로 31.3°C이었고, 토양깊이 15mm이상에서의 토양의 온도는 거의 증가하지 않았다.

조사가 끝난 후에는 토양의 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서의 가열속도는 64.8°C/min의 가열속도로 28초후 최고 123.9°C까지 상승하였으며 6mm에서는 48.6°C/min로 26초후 81.3°C까지 온도가 상승하였다(Fig.3-A).

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을 때 3mm와 6mm, 6mm와 9mm, 9mm와 12mm사이에서 각 경계구간의 온도구배는 각각 14.2°C/mm, 4.1°C/mm, 3.7°C/mm로 적어지므로써, 온도구배는 토양의 깊이가 깊어질 수록 감소되었다.

가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 -9.9°C/min로 냉각되다가, 12mm 이상에서는 -1.1°C/min 이하로 서서히 냉각되었다(Fig.3-A).

60초간 조사시키는 동안 토양 깊이가 3mm에서는 상온에서 155.8°C까지 가열속도 128.1°C/min로 상승하였고, 6mm에서는 64.0°C/min로 91.7°C, 9mm에서 41.7°C/min로 69.9°C, 12mm에서는 가열속도 12.7°C/

Table 3. Changes of peak temperature and duration above 80°C with different soil type, moisture content and irradiation time in tested soil.

*below 80°C

	Soil depth (mm)	0.6%, wb			5.7%, wb			10.7%, wb			15.1%, wb		
		Irradiation time (sec)			Irradiation time (sec)			Irradiation time (sec)			Irradiation time (sec)		
		30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Peak Temp., °C	3	157.5	267.1	336.1	123.9	221.4	286.4	181.0	183.4	295.7	129.5	241.0	427.8
	6	107.1	164.9	186.3	81.3	114.1	129.0	89.1	95.4	108.5	86.9	98.8	192.4
	9	84.0	116.6	113.4	68.9	85.2	90.8	72.8	87.4	90.8	70.6	97.6	100.0
	12	69.2	87.6	89.6	57.8	74.5	81.1	59.5	75.5	81.5	56.4	94.2	97.3
	15	60.5	73.8	81.3	51.1	67.0	73.3	51.8	67.2	72.8	48.9	74.0	98.1
	18	54.0	64.8	74.3	45.3	59.7	65.3	46.0	59.0	64.3	43.3	60.7	96.1
	21	49.1	59.5	617.7	40.5	52.3	58.1	41.2	52.0	56.6	40.0	54.0	95.4
	24	44.8	53.5	61.4	137.1	47.2	51.5	37.8	46.0	49.8	39.7	47.7	89.1
	27	43.8	51.5	58.5	35.2	43.8	46.7	36.1	41.7	44.8	35.6	46.7	60.5
Duration Time above 80°C, sec	3	449.0	832.0	865.0	160.0	361.0	516.0	149.0	293.0	401.0	94.0	203.0	454.0
	6	410.0	848.0	886.0	24.0	317.0	491.0	68.0	190.0	338.0	36.0	140.0	449.0
	9	212.0	776.0	794.0	*	130.0	274.0	*	106.0	175.0	*	*	301.0
	12	*	490.0	536.0	*	*	60.0	*	*	66.0	*	*	250.0
	15	*	*	182.0	*	*	*	*	*	*	*	*	201.0
	18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	138.0
	21	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	64.0
	24	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	15.0
	27	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

min로 40.9°C까지 토양의 온도를 증가시켰으나, 18 mm이상에서 토양의 온도는 증가되지 않았다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 151.4°C/min로 26초후 221.4°C까지 상승하였다. 6mm에서는 17.2°C/min로 78초후 114.1°C까지 토양의 온도를 증가시켰다. 9mm에서는 15.8°C

/min로 58초후 85.2°C, 12mm에서 21.4°C/min로 94초후 74.5°C까지, 18mm에서는 9.3°C/min로 204초후 59.7°C까지 토양의 온도가 상승하였고, 토양온도 80°C까지 유지되는 토양의 깊이는 11mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm

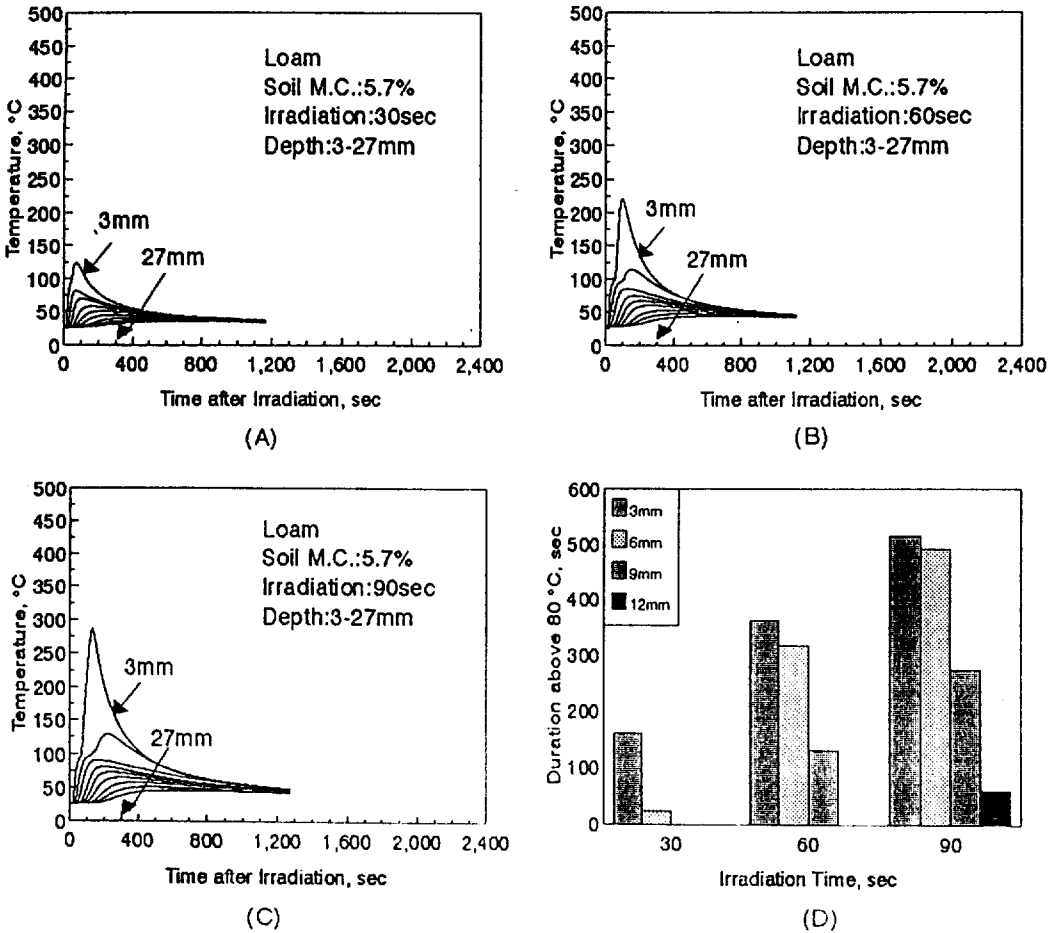


Fig. 3. Temperature distributions of loam(5.7%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80°C(D).

와 6mm에서 35.8°C/mm가 9mm와 12mm에서 3.0°C/mm로 감소되었고, 냉각속도는 3mm에서 -21.7°C/min가 9mm에서 -2.0°C/min로 감소되었다(Fig.3-B).

90초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 토양의 온도변화는 상온에서 240.5°C까지 가열속도 142.5°C/min로 토양의 온도가 증가되었고, 6mm에서는 46.1°C/min로 95.4°C까지, 9mm에서는 36.2°C/min로 81.3°C까지 증가하였고, 21mm이상에서는 토양의 온도가 거의 증가하지 않았다. 조사가 끝난 후에는 흡수된 에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 가열속

도 125.2°C/min로 22초 후 286.4°C까지 도달하였다. 6mm에서는 17.7°C/min의 가열속도로 114초후에 129°C까지 증가하였고 100°C 부근에서는 수분증발에 의한 잠열로 92초간 가열속도가 완만해지다가 다시 129°C까지 증가하였다. 9mm에서는 15.9°C/min의 가열 속도로 36초후 90.8°C까지 상승하였다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm영역에서 52.5°C/mm였고, 6mm에서 9mm에서 12.7°C/mm로 4.1배 감소되었고, 9mm에서 24mm까지 2.2~3.2°C/mm를 유지하였다. 가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 -28.1°C/min, 6mm

에서 $-4.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 5.7배가 감소되었고, 9mm와 27mm까지 $-1.2 \sim -0.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 서냉하였다(Fig.3-C).

30초간 조사시켰을 때 토양의 온도변화는 토양깊이 3mm에서만 3단계 가열속도로 증가되면서 토양 온도 80°C 유지는 6mm까지 24초간 지속시켰고, 60초로 조사시간을 증가시켰을 때 6mm까지 3단계 가열속도로 증가되면서 토양온도 80°C 유지는 9mm에서 130초 간 지속시켰다. 90초로 조사시간을 증가시켰을 때 6mm까지 3단계 가열속도로 토양온도가 증가되었고, 9mm에서는 잠열에 의하여 100°C 부근의 온도를 장시간 지속함으로써 80°C 이상 유지는 12mm에서 60초간 지속 할 수 있었고 전체적으로 60초, 90초에서의 80°C 유지시간이 30초 가열 때보다 2배이상 길게 관찰되었고 유지하는 토양의 깊이도 깊었다(Fig.3-D).

3. 함수율 10.7%

함수율 10.7%인 토양을 30초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 토양의 온도는 가열속도 $179.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 상온에서 117.3°C 에 도달하였고, 6mm에서는 $101.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 토양의 온도는 89.1°C 에 도달하였으나, 9mm에서는 $37.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 46.5°C 이었고, 토양깊이 15mm이상에서의 토양의 온도는 거의 증가하지 않았다. 조사가 끝난 후에 토양의 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 $273^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 14초후에 181°C , 6mm에서는 약 7배가 감소된 $36.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 18초후에 89.1°C , 9mm에서는 $39.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 40초후 72.8°C 까지 상승되었고 12mm에서는 가열속도 $20.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 92초후 59.5°C , 15mm부터는 가열속도가 선형적으로 감소하였고, 80°C 이상 유지하는 토양의 깊이도 7.4mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm영역에서 $30.6^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 였고, 6mm에서 9mm에서 $5.4^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 로 5.7배 감소되었고, 9mm에서 15mm까지 $2.6 \sim 4.4^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 를 유지하였다. 가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 $-19.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 냉각

되다가, 12mm 이상에서는 $-1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하로 서서히 냉각되었다(Fig.4-A).

60초간 조사시키는 동안 토양 깊이 3mm에서는 상온에서 98.7°C 까지 거의 일직선으로 증가하다가 토양중의 수분증발로 인해 가열속도가 완만해졌으나 $74.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 다시 증가하였으며 6mm에서는 $65.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 93.2°C 에 도달하였고, 9mm에서 $48.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 77.2°C , 12mm에서는 가열속도 $21.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 50.1°C 까지 토양의 온도를 증가시켰고, 18mm이상에서 토양의 온도는 증가되지 않았다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 $158.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 32초후 183.4°C 까지 급속히 토양의 온도를 상승시켰다. 6mm에서는 계속적으로 23초간 98.8°C 을 유지시켰고, 9mm와 12mm에서는 각각 $18.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 34초후에 87.4°C , $26.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 58초후 75.5°C 에 도달하였으며 가열속도는 오히려 증가하였다. 15mm에서는 90초간 $21.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 67.2°C 까지 상승시키므로써, 80°C 까지 유지되는 토양의 깊이는 10.4mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm영역에서 $29.3^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 였고, 6mm에서 9mm에서 $2.7^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 로 10.9배 감소되었고, 9mm에서 24mm까지 $4.0 \sim 2.0^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 를 유지하였다. 냉각속도는 토양깊이 3mm에서 $-17.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 토양온도 $75^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$ 인 6mm~12mm범위에서는 $-9.0 \sim -1.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 를 유지하다가, 15mm이상 깊이에서는 $-1.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하로 감소되었다(Fig. 4-B).

90초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서는 $153.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 258.7°C 까지 증가되었으며, 6mm에서의 가열속도는 3mm에서 보다 3배가 감소된 $46.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 96.6°C 에 도달하였고, 9mm에서는 $39.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 85.9°C , 12mm에서는 $27.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 67.5°C 에 도달하였고 21mm이상에서는 온도변화가 거의 없었다.

조사가 끝난 후에는 흡수된 에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 가열속도 $158.6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 14초 후 295.7°C 까지 도달하였다. 6mm에서는 3mm에서보다 20배 감소된 $7.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 96초 후 108.5°C 까지 증가

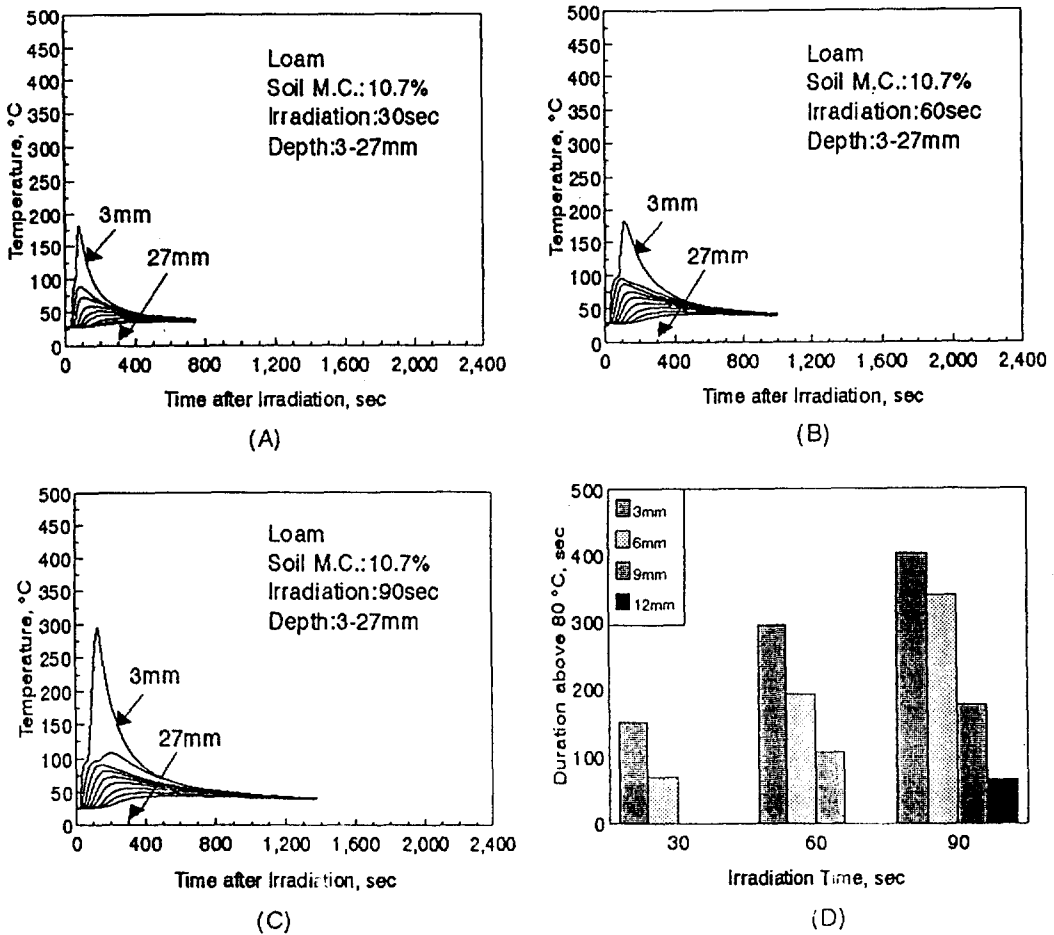


Fig. 4. Temperature distributions of loam(10.7%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80°C(D).

시켰다. 9mm, 12mm, 15mm에서는 각각 90.8°C, 81.5°C, 72.8°C까지 상승하였으며 80°C 유지시키는 토양의 깊이는 13.9mm까지였다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm영역에서 62.4°C/mm였고, 6mm에서 9mm에서 5.9°C/mm로 10.6배 감소되었고, 9mm에서 24mm까지 2.3 ~ 3.1°C/mm를 유지하였다. 가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 -33.9°C/min, 6mm에서 -4.3°C/min로 감소되었고, 73-90°C의 토양온도인 9mm에서 15mm까지 -2.4 ~ -1.3°C/min로 냉각하다가, 24mm이상에서는 -0.7°C/min이

하로 서서히 냉각되었다(Fig.4-C).

Fig. 4-D는 적외선 조사시간을 30, 60 및 90초별로, 토양 깊이별 80°C이상 유지하는 시간을 측정한 결과이다. 전체적으로 60초, 90초에서의 80°C유지시간이 30초 가열 때보다 2배이상 길게 관찰되었고 유지하는 토양의 깊이도 깊었다.

4. 함수율 15.1%

함수율 15.1%인 토양을 30초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 토양의 온도는 가열속도 138.3°C/min로 상온에서 98.8°C에 도달하였고, 6mm에서

는 113.5°C/min의 가열속도로 토양의 온도는 83.5°C에 도달하였으나, 9mm에서는 74.2°C/min로 64.6°C이었고, 토양깊이 15mm이상에서는 가열속도가 1.44°C/min이하로 토양의 온도는 거의 증가하지 않았다.

조사가 끝난 후에 토양의 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 131.7°C/min의 가열속도로 14초 후에 129.5°C, 6mm에서는 약 4배가 감소된 34.2°C/min의 가열속도로 6초후에 86.9°C, 9mm에서는 90.3°C/min로 4초후 70.6°C까지 상승되었고 12mm에서는 가열속도 19.4°C/min로 82초후 56.4°C, 15mm부터는

가열속도가 선형적으로 감소하였고, 80°C 이상 유지하는 토양의 깊이도 7.7mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을 때, 3mm에서 6mm사이의 경계구간의 온도구배는 14.2°C/mm였고, 6mm에서 9mm사이에는 5.4°C/mm로 증가하였다가, 9mm이상에서는 4.7°C/mm로 온도구배가 감소되었다.

가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 -14.1°C/min로 냉각되다가, 12mm 이상에서는 -1.3°C/min 이하로 서서히 냉각되었다(Fig5-A).

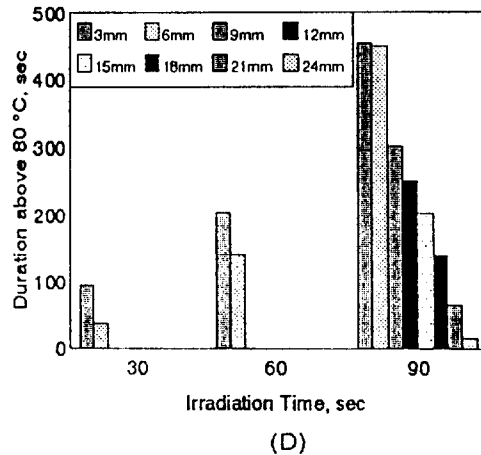
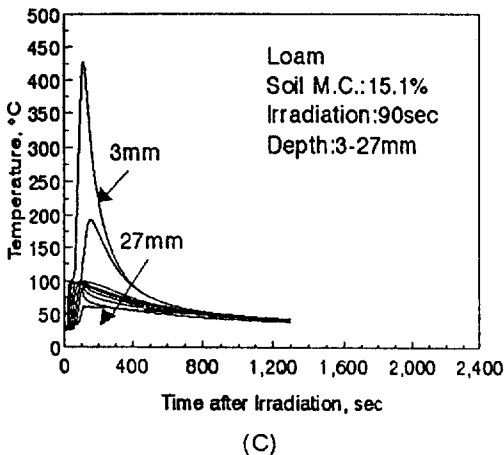
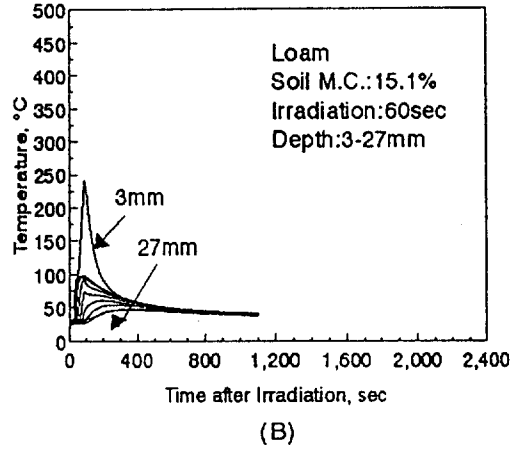
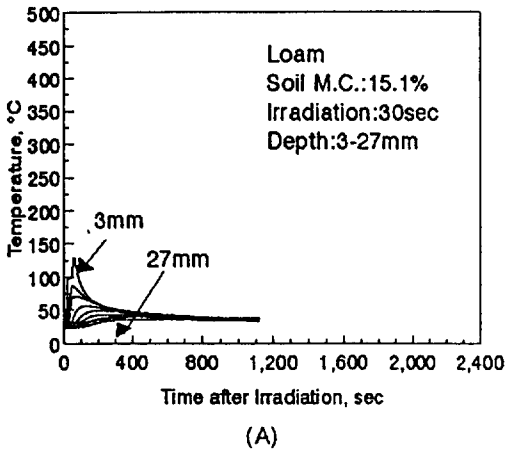


Fig. 5. Temperature distributions of loam(15.1%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80°C(D).

60초간 조사시키는 동안 토양 깊이가 3mm에서는 상온에서 232.5°C까지 201.7°C/min의 가열속도로 증가하였으며, 6mm에서는 69.6°C/min로 98.3°C에 도달하였고, 9mm에서 68.4°C/min로 97.6°C, 12mm에서는 가열속도 65.5°C/min로 93.0°C까지 토양의 온도를 증가시켰고, 24mm이상에서 토양의 온도는 거의 증가되지 않았다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 토양깊이가 3mm에서 127.5°C/min로 4초후 241°C까지 토양의 온도를 상승시켰다. 6mm에서는 98.8°C까지 15°C/min의 가열속도로 증가되었으며, 9mm와 12mm에서는 각각 1.8°C/min로 97.6°C, 37.5°C/min로 2초후 94.2°C에 도달하였으며 15mm에서는 4초간 57.9°C/min로 74°C까지 상승시키므로써, 80°C까지 유지되는 토양의 깊이는 14.1mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm에서 47.4°C/mm였고, 6mm와 15mm사이에서는 9mm에서의 토양의 온도가 수분 증발점인 97.6°C까지 가열됨으로써 온도구배 0.5 ~ 1.1°C/mm로 열 평형상태를 유지하다가, 수분 증발점이하로 가열된 15mm와 18mm사이에서는 4.4°C/mm로 온도구배가 증가되었다. 냉각속도는 토양깊이 3mm에서 -32.6°C/min가 토양온도 94°C~98°C인 6mm~12mm 범위에서는 -5.3 ~ -4.9°C/min를 유지하다가, 15mm이상 깊이에서는 -1.7°C/min이하로 감소되었다 (Fig. 5-B).

90초간 조사시키는 동안 토양깊이가 3mm에서는 267.3°C/min로 400.9°C까지 증가되었으며, 6mm에서의 가열속도는 3mm에서 보다 5배가 감소된 52.4°C/min로 106.8°C에 도달하였고, 9mm에서는 46.9°C/min로 99.3°C, 12mm에서는 46.6°C/min로 97.3°C에 도달하였고 15mm이상의 토양의 깊이에서도 약 40°C/min이상의 가열속도로 86.6°C까지 증가하다가 27mm에서는 14.8°C/min의 속도로 53.7°C까지 증가하였다.

조사가 끝난 후에는 흡수된 에너지에 의하여 토양깊이가 3mm에서 가열속도 161.4°C/min로 10초 후 427.8°C까지 도달하였다. 6mm에서는 3mm에서보다 2배 감소된 95.1°C/min로 54초 후 192.4°C까지 증가

시켰다. 9mm, 12mm, 15mm에서는 각각 100°C, 97.3°C, 98.1°C까지 상승하였으며 80°C 유지시키는 토양의 깊이는 25mm까지로 지금까지의 처리조합중 80°C이상 유지하는 토양의 깊이가 가장 깊었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm사이에서 78.5°C/mm였고, 수분 증발점까지 가열된 9mm와 21mm사이에서는 각각 0.2 ~ 0.9°C/mm로 열 평형상태를 나타냈고, 수분 증발점 이하까지 가열된 24mm와 27mm사이에서는 9.5°C/mm로 온도구배가 증가되었다.

가열된 토양의 깊이가 3mm에서 냉각속도는 -53.9°C/min, 6mm에서 -14.7°C/min로 감소되었고, 95°C이상의 토양온도인 9mm에서 15mm까지 -3.7 ~ -2.0°C/min로 냉각하다가, 27mm이상에서는 -0.5°C/min이하로 서서히 냉각되었다(Fig. 5-C).

Fig. 5-D는 적외선 조사시간을 30, 60 및 90초별로, 토양 깊이별 80°C이상 유지하는 시간을 측정한 결과이다 전체적으로 60초, 90초에서의 80°C유지시간이 30초 가열 때보다 2배이상 길게 관찰되었고 유지하는 토양의 깊이도 깊었다.

要 約

본 연구는 잡초 발생 전 토양 처리법(pre-emergence soil-treatment)의 원리를 이용하여 수분이 많은 토양에도 열 침투가 좋은 적외선으로 토양을 조사하여 토양 내에 매립되어 있는 잡초 종자의 발아를 억제 및 사멸시키면서 저공해 농산물을 생산하는데 필요한 잡초 방제 방법을 개발하는데 요구되는 기초 자료를 제공하고자 수행되었다. 적외선 방사장치는 방사열이 높은 세라믹 재료를 사용하여 제작하였고, LPG는 방사 판에서 적외선을 발생하기 위해서 연료로 사용되었다.

본 실험에 사용된 토양은 여러 다른 함수율(0.6, 5.7, 10.7, 15.1% wb)을 갖는 양토였다. 적외선 가열 시 토양함수율 및 조사시간(30, 60, 90초)에 따른 토양 깊이별 온도 분포가 측정되었으며 잡초 종자의 발아력을 억제시킬 수 있는 조건인 80°C 이상에서 3분 이상 지속될 수 있는 토양 함수율 열 침투 깊

이가 분석되었다.

본 연구에 의해 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 합수율이 0.6%wb인 토양의 경우, 적외선 조사시간을 30초에서 60초 또는 90초로 증가시켰을 때 토양 시료의 잡초 종자 발아 억제 깊이는 9mm, 12mm, 15mm로 각각 3mm씩 증가되었다.
- 2) 합수율이 5.7% wb인 토양의 경우, 조사시간이 30초일 때 토양 시료에서 잡초 종자 발아 억제 깊이는 단지 3mm이하였으나, 60초 및 90초 동안 조사시킨 토양에서는 잡초 종자 발아 억제 깊이가 각각 6mm~9mm 및 9mm로 증가되었다.
- 3) 합수율이 10.7% wb인 토양에 있어서 조사시간이 30초일 경우는 잡초 종자 발아 억제에 필요한 온도가 유지되지 않았다. 반면 조사시간이 60초인 경우는 잡초 종자 발아 억제 깊이가 6mm였고, 조사시간을 90초로 증가시켰을 때는 9mm까지 잡초 종자 발아 억제 깊이가 증가하였다.
- 4) 합수율이 15.1% wb인 토양에 있어서 조사시간이 30초인 경우는 잡초 종자 발아 억제를 위한 온도 조건을 기대할 수 없었다. 그러나 조사시간이 60초인 경우는 잡초 종자 발아 억제 온도 조건을 만족하는 토양 깊이가 3mm였으며 조사시간이 90초로 증가되었을 때는 15mm로 12mm 증가되었다.

参考文献

1. 구자옥, 변종영, 전재철. 1995. 신고 잡초방제학. 향문사.
2. 최기문. 1990. 병해충의 종합방제. 지속적 농업과 환경보존 국제 심포지움, 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발 연구소 발간. pp. 64-75.
3. Parr, J.F. and Hornick, S.B. 1993. The evolution of sustainable agriculture in the united states : A recent historical perspective. 지속적 농업과 환경보존 국제 심포지움 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소 발간 pp. 12-30.
4. VSBLO. 1992. Richtlinien ber Verkaufsprodukte aus biologischem/ kologischen Landbau. VSBLO, Basel.
5. 조재영, 윤상현, 이은상. 1992. 신고 재배학원론. 향문사.
6. Ascard, J. 1989. Thermal weed control with flaming in onions. 30th Swedich Crop Proecction Conferende, Weeds and weed control. Vol. 2. Reports. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. pp. 35-40.
7. Ascard, J. 1992. Flaming for weed control: effect of plant size and density on dose responses. IXe Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbs/ 9th International Symposium on the Biology of Weeds, September 16-18, 1992, Dijon, France, ANPP Annales, pp. 163-172.
8. Ascard, J. 1990. Thermal weed control with flaming in onions. Ver ff. Bundesanstalt für agarbiologie Linz/Donau(germany) 20, p.175-188.
9. Balsari, P., Berrato, R., Ferrero, A. 1994. Flame weed control in lettuce crop. Acta horiculturae 372, Engineering for reducing pesticide consumption & operator hazards, pp. 231-222.
10. Casini, P. Calamai, P. and Vecchio, V. 1993. Flame weeding research in central Italy. Proceeding of 4th international conference I.F.O. A.M. on "Non-chemical weed control", pp. 117-123.
11. Dierauer, H.U. and Pfiffner, L. Effects of flame weeding in organic vegetable growing on ground beetles (col. carabidae). Proceeding of 4th international conference I.F.O.A.M. on "Non-chemical weed control", pp. 135-138.
12. Hoffmann M. 1990. Thermisch Unkrautbekä

- fung -Stand und Zukunftperspektiven (Summary: Thermal weed control -present state of knowledge and perspectives) Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz XII, 439-445 22.
13. Fergedal, S. 1993. Ogräbekämping genom fry-sning med flytaande kväve och kolsyresn sen jämförelse med flamning (Summary: Weed control by freezing with liquid nitrogen and carbon dioxide snow - A comparison between flaming and freezing). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering, Report 165. Alnarp, Sweden. 38pp.
 14. Ascard, J. 1994. Soil cultivation in darkness reduced weed emergence. *Acat Horiticulturae*, 372, 167-177.
 15. Parish, S. 1989. Weed control - testing the effects of infrared radiation. *Argricultural engineer soil. Summer 1989*. 44(2). pp. 53-55.
 16. Klimov, A. A., V. N. Savchuck and V. I. Bayev. 1970. Electrophysical parameters and properties of plant tissue exposed to the action of a spark discharge. *Applied Electrical Phenomena* 1. pp.64-68.
 17. Wayland, J. R., M. G. Merkle, F. S. Davis, R. M. Menges and R. Robinson. 1975. Control of weeds with U.H.F. electromagnetic fields. *Weed Res.* p. 15: 1-5.
 18. Davis, F. S. 1974. New techniques in weed control via microwaves. July 17th Paper presented to Southern Nurserymen's Association, Nacogdoches, Texas, U. S. A.
 19. Hightower, N. C., E. C. Burdette and C. P. Burns. 1974. Investigation of the use of microwave energy for weed seed and wood products insect control. Final Technical Report. Project E-230-901. June. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, U.S.A.
 20. Lal, R. and W. B. Reed. 1980. The effect of microwave energy on germination and dormancy of wild oat seeds. *Canadian Agricultural Engineering* 22(1). pp.85-88.
 21. Olsen, R. G. 1975. A theoretical investigation of microwave irradiation of seeds in soil. *Journal of Microwave Power* 10(3). pp. 281-296.
 22. Chinanzavava, S. Grsshandler, W.L. and Davis, D.C. 1986. Analysis of heat Transfer in soil During open field burning. *American society of agricultural engineering* 29(6). pp. 1797-1801.
 23. Ascard, J. 1990. Weed control in ecological vegetable farming. In: Granstedt, A.(ed.). *Proceeding of the Ecological Agriculture. NJF-seminar 166. Alternative agriculture -no.5.* Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. pp. 178-184.
 24. Nemming, A. 1994. Costs of flame cultivation. *Acta horiculturae* 372, Engineering for reducing pesticide consumption & operator hazards. pp. 205-212.
 25. Hall, C.W. 1962. Radiation in agriculture-theory of infrared drying-. *Transactions of the ASAE.* 5(1), pp.14-16.
 26. La Toison, M. 1952. Chauffage et sechage par lampes a rayonnement infrarouge. Editions Eyrolles, Paris, p.15, 90.
 27. Hollman, J.P. 1976. Heat transfer. McGRAW-HILL company.
 28. 양환승, 구자옥, 변종영, 권용용. 1990. 최신 잡초방제학. 향문사.
 29. 최봉호, 홍병희, 강광희, 김진모, 김석현. 1991. 신제 종자학. 향문사.