

물리적인 방법을 이용한 잡초 및 병해충방제 방법의 개발(I)

— 적외선 조사에 의한 잡초방제를 위한 사양토의 가열 효과—

Weed and Pest Control by Means of Physical Treatments(I)

— Effects of infrared irradiation on sandy loam for weed control—

강화석*	유창연**	신현동***	강위수*	오재헌*
정희원			정희원	정희원
W.S.Kang	C.Y.Yu	H.D.Shin	W.S.Kang	J.H.Oh

This study was to obtain basic information needed to develop the effective weed control method for the production of less polluted agricultural products by inducing viability loss of weed seeds in soil with infrared irradiation. Ceramic plates were heated by LPG with the aid of forced air and the infrared produced from plates was used as the heat source for heating soil. The soil heated in this study was sandy loam with four levels of moisture contents (0.5, 5.1, 9.1, 15.0% wb). The temperature distribution was measured at various soil depths when soil was irradiated with infrared for different irradiation time (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 0.5% and 5.1% wb, the soil depths which can induce viability loss of weed seeds was greatly increased with increasing irradiation time. When 30 seconds of irradiation time was applied on soil with moisture content of 9.1% or 15.0% wb, any depths of soil tested in this study was not reached to the temperature of 80°C. Generally, the soil depth being needed for viability loss of weed seeds was decreased with increasing moisture content of soil.

주요 용어(Key Words) : 열처리 잡초방제(thermal weed control), 적외선조사(infrared irradiation), 토양가열(soil heating), 잡초종자 발아억제(inhibition of weed germination)

1. 서론

우리 나라의 급속한 산업화에 따라 농촌 인구의 감소와 노령화 및 임금의 상승으로 인하여 효율적인 잡초 방제 기술이 요구되어 제초제 소비량도 1980년에 3,375 M/T 에서 1992년에는 5,369 M/T으로 사용량이 급증하여(농진청 농약

연구소, 1992), 전체 농약생산의 약 20%를 차지할 만큼 제초제 사용비율이 높아지고 있다(구자옥등, 1995) 따라서, 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 잔

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

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과
 ** 강원대학교 농업생명과학대학 자원식물개발학과
 *** 강릉대학교 산업대학 원예학과

류 독성, 약제 저항성 유발, 밀도 회복 효과(병해충의 번식력 증가, 작물의 영양 상태 변화, 천적의 밀도 감소)가 문제시되고 있다(최기문, 1993). 유기합성 농약 사용의 금지로서 1990년 미 농무성 보고서에서 "유기농법으로 재배한 농산물에 대한 국가적 금지 기준의 발전"을 입법화하였고(Parr, 1993), 1990년 스위스에서는 "유기농업으로 재배한 농산물의 판매 기준"을 설정하였다(VSBLO, 1992).

최근, 우리 나라는 생물 농약이나 지속적인 농업 등을 이용한 잡초 및 병해충의 방제를 시도하고 있다. 이와 같은 관점에서 잡초 종자의 발아 억제 및 사멸의 방법으로는 물리적인 방법을 이용한 잡초 방제 방법이 요구되는 것이 현실적이다.

지금까지 알려진 물리적 제초 방법에는 농기계를 이용한 재래적인 방법을 비롯하여 불꽃, 마이크로 파 및 적외선 등을 이용하는 방법이 알려져 있다.

Hall(1962)은 적외선을 농업에 응용하여 적외선의 전자파가 피가열체에 흡수되면 물체를 구성하고 있는 분자의 진동수와 회전 주파수가 같을 경우, 그 물질을 형성하고 있는 분자 내에서 공명 현상이 발생하기 때문에 증가된 진동 에너지는 열 및 활성화 에너지로 변화되는 원리를 응용하여 농산품 가공 건조 공정에 응용하였다. Toison(1952)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 있으나(양환승등, 1990), 적외선 방사 세라믹스를 이용하여 가열할 경우, 불꽃에 의한 직접 가열보다 열 손실이 적으므로

생육 중인 잡초 방제를 하기 위하여 적외선 방열시간을 20초로 하여도 충분하였다(Paish, 1989). 또한 Davis(1974)는 마이크로 파 발생 장치를 이용하여 잡초 및 병해충을 방제하기 위하여서는 최소한 16,000~78,000 kJ/m²의 에너지가 필요하므로 이 방제법은 경제성이 없다고 보고하였으나(Hightower et. al., 1974; Olsen, 1975; Wayland et al., 1975), Parish(1989)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 사양토 함수율에 따라 사양토의 온도 상승에 미치는 영향을 규명하여 효율적인 잡초 방제 기술의 개발을 위한 기초 자료로 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시토양 및 방열장치

토양 표면의 가열 처리시 토양의 온도 상승 효과에 관한 기초 실험을 하기 위한 토양은 발토양 중, 사양토를 토양시료 채취법에 의하여 채취하였다. 토양의 특성인 입도 분포는 입도 분석 시험법, 비중은 비중계에 의한 침강 분석법으로 행하였다. 실험에 이용된 토양의 입도 분포 및 비중을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Particle distribution and density of tested soil

	particle distribution (weight, %)			density (g/cm ³)
	sand	silt	clay	
sandy loam	83.0	13.2	3.8	2.56

본 실험에 이용된 적외선 방열장치와 LPG 공급 장치, 송풍기 및 자료 수집 장치를 Fig. 1에 나타내었다. 적외선 방열장치는 honeycomb type의 세라믹 재료로서 크기는 66×93mm, 두

계 13mm의 기관 3개를 연결하였고, 각 기관의 세공 직경은 1mm, 기관당 세공의 수는 1,899개이며 기공 면적은 14.91cm²이다. 적외선 기관의 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 방사판에 연소시켰다. LPG가 연소되어 세라믹 방사판에서 발생하는 온도는 1023±15°C로 측정되었다(Minolta사, TR-420).

공시 토양의 함수율은 Table 2에서 나타낸 바와 같이 토양별로 4개 수준씩, 적외선 방열시간은 각 함수율 수준별로 30, 60 및 90 초였다.

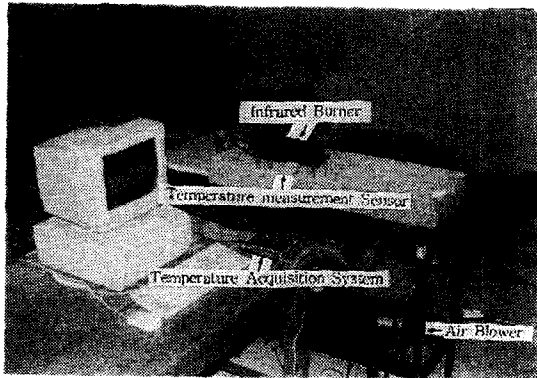


Fig. 1. Infrared irradiation apparatus and data collection instruments.

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

	sandy loam
moisture content(% , wb)	0.5, 5.1, 9.1, 15.0
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 발아하므로(양환승등, 1990), 토양의 온도 측정은 표면에서 3mm부터 27mm 까지 3mm 간격으로 측정하였다. 가열된

토양의 온도에서 저온인 토양깊이 방향으로 열이 흐르기 때문에, 본 실험에서는 온도 경계영역을 토양깊이 3mm 간격을 경계구간으로하여 토양깊이에 따른 온도변화를 측정하여 각 경계구간의 열전달을 분석하여 조사시간에 따른 토양깊이의 온도를 분석하였다.

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. 적외선 방사판의 크기 중 작은 변의 길이 L, 큰변의 길이 W, 방열장치와 토양 표면 사이의 거리 H의 비율, 즉 L/H값과 W/H값이 10보다 크면 복사를 위한 radiation shape factor가 0.8보다 크게 되어 열전달의 효율이 증가하므로(Holmam, 1976), 적외선을 이용한 실제 제조 작업기의 크기를 500×2000mm로 설계한다고 가정하였을 때 방사판을 토양 표면에서 50mm 정도로 유지하기 위하여 본 실험 방열장치는 토양 표면으로부터의 높이를 6mm로 하였다. 적외선 방사판에 LPG 및 공기(2,000 SCCM)를 혼합하여 점화한 다음, 방사판의 온도가 1023°C 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°C ~ 33°C 범위였다. 일반적으로 종자가 80°C 이상인 고온에서는 원형질 단백질의 응고, 원형질막의 액화, 전분의 점피화 등의 영향으로 인하여 발아가 억제되고(조재영, 1992), 종자의 병충해 방제는 대부분 80°C 이하에서 처리하고 있다(최봉호, 1991). 따라서, 본 실험에서는 토양 표면 부근의 잡초 종자를 발아

억제 및 사멸시킬 수 있는 온도를 80°C 이상으로 정하였고, 적외선을 여러 가지 처리의 조합으로 조사시켰을 때 매 3mm마다 토양의 깊이별 조사하는 동안과 조사 후 가열속도 및 온도, 최고온도의 토양깊이별 온도구배, 냉각속도 및 80°C 이상으로 유지되는 지속시간과 경제적인 에너지 측면을 감안하여 80°C 이상에서 3분이상 유지되는 깊이 등을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

적외선의 가열로 인한 토양의 온도 상승은 토양의 종류, 함수율, 입도 분포 및 적외선 조사시간 등에 영향을 받게 된다.

Fig. 2, 3, 4, 5 및 표3은 사양토의 함수율 별, 적외선 조사 시간 별 토양 깊이에 따른 온도 변화를 측정한 결과이다.

가. 함수율 0.5%

30초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 토양의 온도는 가열속도 135.8°C/min로 상온에서 97.3°C에 도달하였고, 6mm에서는 약 4배가 감소된 37.6°C/min의 가열속도로 토양의 온도는 48.4°C에 도달하였으나, 9mm에서는 4.8°C/min로 32.5°C이었고, 토양깊이 12mm이상에서의 토양의 온도는 전혀 증가하지 않았다(Fig.2-A). 조사가 끝난 후에는 토양의 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 117.4°C/min의 가열속도로 조사가 끝난 42초 후에 최고 179.3°C까지 가열되었고, 깊이 6mm에서 37.5°C/min로 112초후 118.5°C까지 온도가 상승하였으며, 9mm에서는 18.4°C/min의 가열속도로 182초후 88.3°C까지 상승하였다. 12mm 이상의 깊이에서는 80°C이상으로는 상승되지 않았다.

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을때, 3mm와 6mm, 6mm와 9mm, 9mm와 12mm사이에서 각 경계구간의 온도구배는 각각 20.3°C/mm, 10.1°C/mm, 6.1°C/mm로 열이동이 토양의 깊이가 증가할 수록 작아지므로

써 온도 구배가 감소되었다.

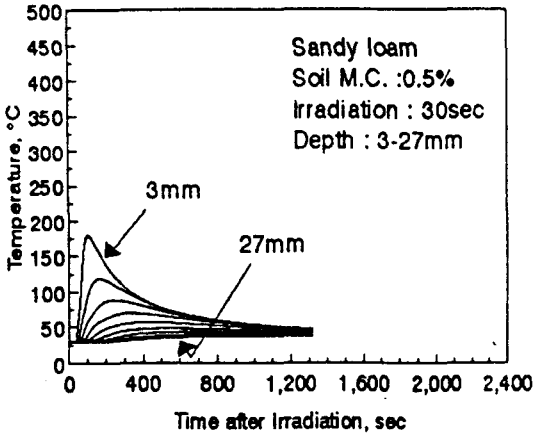
가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 -12.2°C/min로 냉각되다가, 12mm이상에서는 -0.6°C/min 이하로 서서히 냉각됨으로써 깊이가 깊어질수록 가열된 토양의 온도는 장시간 유지되는 것으로 분석되었다.

60초간 조사시키는 동안 토양 깊이 3mm에서 87.9°C/min로 120.3°C, 6mm에서 34.1°C/min로 66°C, 9mm에서 10.4°C/min로 42.6°C, 12mm에서는 가열속도 1.9°C/min로 33.8°C까지 온도를 증가시켰으나, 15mm이상에서 토양의 온도는 증가되지 않았다. 조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 87.8°C/min로 67초후 218.3°C까지, 6mm에서 35.7°C/min로 150초후 155.3°C, 9mm에서 19°C/min로 242초후 119.2°C, 12mm에서 10.0°C/min로 358초후 94.0°C까지, 15mm에서는 조사가 끝난 1초후에 온도가 상승되기 시작하여 4.9°C/min로 553초후 77.8°C까지 상승하였고, 80°C이상 유지되는 깊이는 14.8mm로 분석되었다.

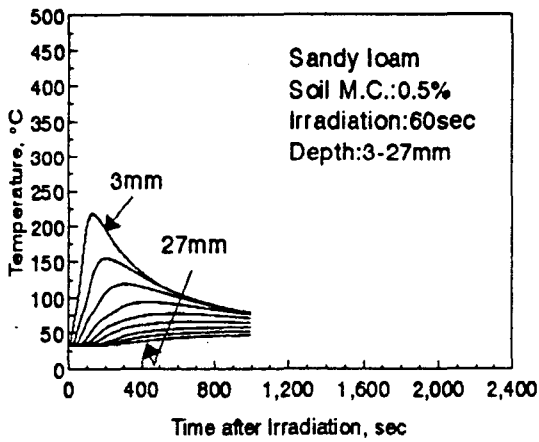
토양깊이 매 3mm 경계구간의 최고 온도의 토양깊이별 온도구배는 3mm와 6mm사이에서 21.0°C/mm가 12mm와 15mm에서 5.4°C/mm로 감소되었고, 냉각속도는 3mm에서 -12.2°C/min가 9mm에서 -1.5°C/min로 감소되었다(Fig.2-B)

90초간 조사시키는 동안 3mm에서의 온도는 가열속도 220.0°C/min로 357.6°C, 6mm에서는 가열속도 75.6°C/min로 140.2°C까지 도달하였으나, 18mm이상에서는 온도가 증가하지 않았다. 조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 3mm에서 가열속도 171.9°C/min로 26초 후 405.6°C까지 도달하였고, 6mm에서 12mm에서는 조사시키는 동안의 가열속도와 비슷한 경향이였으나, 15mm에서는 조사시키는 동안의 가열속도보다 2배 정도 감소된 8.3°C/min로, 18mm에서는 4.4배가 증가된 4.8°C/min로 감소되었다. 21mm에서는 흡수 에너지에 의하여 조사가 끝난 1초후부터 온도가 상승되기 시작하여 3.2°C/min로 62.9°C까지 온도를 증가시키므로써, 깊이가 깊어질 수록 흡수 에너지에 의하여 토양의 가열속도가 감소됨

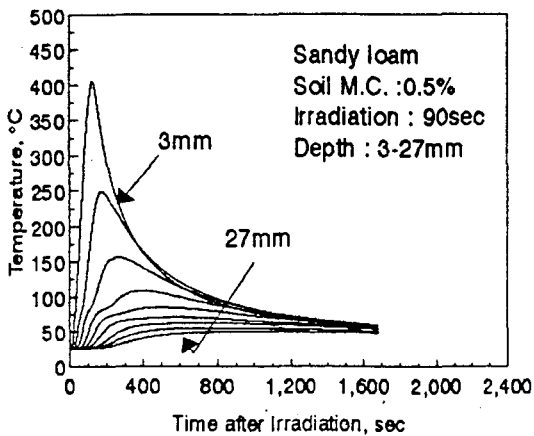
을 알 수 있었다.



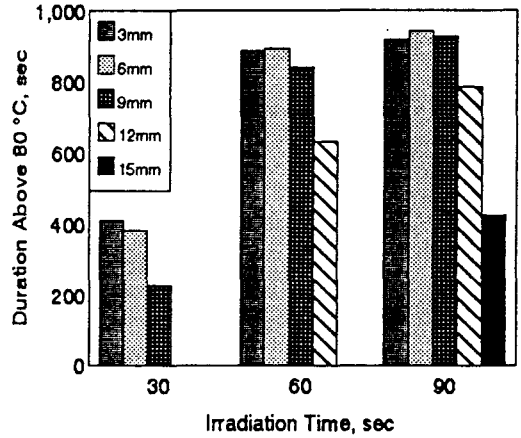
(A)



(B)



(C)



(D)

Fig. 2. Temperature distribution of sandy loam (0.5%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80 °C(D).

토양깊이 매 3mm 경계구간의 최고온도의 토양깊이별 온도구배는 3mm와 6mm사이에서는 52.2°C/mm에서, 18mm와 21mm 경계구역까지 각각 50% 정도 감소되다가, 21mm와 24mm 사이에서는 2.5°C/mm로 열이동이 적어짐으로써 온도 구배가 감소되었다. 가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 -35.6°C/min, 6mm에서 -11.7°C/min로 감소하였고, 9mm와 12mm에서 각각 -3.4°C/min, -1.1°C/min로 감소하다가, 15mm 이상에서 -0.3°C/min이하로 서냉하였다(Fig.2-C).

조사시간을 30초에서 60초로 증가시켰을 때 가열속도, 토양깊이 매 3mm 마다의 최고온도의 토양깊이별 온도구배 및 냉각속도는 거의 같은 경향이었으나, 토양온도 80°C이상 유지되는 시간은 30초간 조사시켰을 때 깊이가 9mm에서 228초였으나, 60초 간 조사시켰을때 12mm에서 630초로 증가되었다. 90초로 조사시간을 증가시켰을 때 조사시키는 동안 3mm에서 15mm사이에서의 가열속도는 60초간 조사시켰을때 보다 3~5배가 증가되었고, 흡수에너지에 의한 가열

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

		*below 80°C											
	Soil depth (mm)	0.5% wb			5.1% wb			9.1% wb			15.0% 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 Temperature, °C	3	179.5	218.3	405.6	107.3	302.4	281.1	99.0	310.6	302.7	97.1	111.7	244.4
	6	118.5	155.3	249.0	79.1	140.5	152.2	86.2	100.5	109.3	79.6	97.3	102.4
	9	88.3	119.2	156.6	68.5	88.6	92.7	68.5	99.3	99.8	55.6	96.4	100.7
	12	70.0	94.0	109.0	58.8	77.4	85.4	57.1	92.7	98.8	50.6	85.0	96.4
	15	57.1	77.8	85.2	52.3	69.9	79.2	47.9	71.6	97.6	44.8	69.2	81.3
	18	48.6	66.5	71.6	46.5	62.2	72.8	43.1	61.9	87.9	40.7	60.5	69.9
	21	43.6	58.3	62.9	41.9	54.9	66.0	37.8	52.0	68.0	37.1	52.3	58.5
	24	39.7	52.5	55.4	37.8	48.9	58.5	34.9	45.5	57.3	34.4	45.8	51.1
	27	37.6	47.6	50.1	35.9	44.8	53.5	33.5	40.7	49.4	34.7	42.6	46.7
Duration above 80°C, sec	3	409.0	881.0	917.0	179.0	474.0	679.0	47.0	205.0	387.0	45.0	179.0	232.0
	6	382.0	892.0	943.0	*	467.0	682.0	27.0	153.0	341.0	*	146.0	187.0
	9	228.0	839.0	926.0	*	304.0	572.0	*	123.0	273.0	*	124.0	179.0
	12	*	630.0	786.0	*	*	234.0	*	71.0	234.0	*	26.0	132.0
	15	*	*	424.0	*	*	*	*	*	181.0	*	*	44.0
	18	*	*	*	*	*	*	*	*	79.0	*	*	*

속도도 3mm에서 27mm까지 2배 정도가 상승되었고, 깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm에서 12mm까지 2배 정도가 증가되었으며, 80°C 유지시간과 토양깊이도 3mm 증가된 15mm에서 424초로 증가되었다(Fig.2-D).

나. 함수율 5.1%

30초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 온도는 가열속도 123.8°C/min로 상온에서 89.6°C에 도달하였고, 6mm에서는 3mm보다 약 2배가 감소된 63.0°C/min의 가열속도로 59.0°C에 도달하였으나, 9mm에서는 3mm보다 6배가 감소된 12.0°C/min로 34.9°C까지 가열되었고, 15mm 이상에서의 온도는 전혀 증가하지 않았다(Fig. 3-A).

조사가 끝난 후에는 토양의 흡수에너지에 의하여 3mm에서의 온도변화는 3가지 형태로 나

타났다. 즉, 89.6°C에서 92.5°C까지 17.4°C/min의 가열속도로 온도가 증가되었고, 92.5°C에서 14초간은 잠열에 의하여 토양의 수분이 증발되었으며, 그 이후에는 23.4°C/min로 조사가 끝난 38초 후에 최고 107.3°C까지 증가되었다. 6mm에서는 35.5°C/min로 조사가 끝난 34초후 79.1°C까지 직선적으로 온도가 상승하였다(Fig.3-A).

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을 때 3mm와 6mm, 6mm와 9mm, 9mm와 12mm사이에서 각 경계구간의 온도구배는 각각 9.4°C/mm, 3.5°C/mm, 3.2°C/mm로 적어 지므로써, 온도 구배는 토양의 깊이가 깊어질수록 감소되었다. 가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 -9.1°C/min로 냉각되다가, 15mm 이상에서는 -0.7°C/min 이하로 서서히 냉각되었다(Fig.3-A). 60초간 조사시키는 동안 토양 깊이 3mm에서는 상온에서 100°C까지 37초간 가열속도 117.6°C/min로 상승하였고, 남은 23초간은 수분

이 증발하였기 때문에 2.3배가 증가된 273.9°C/min로 232.5°C까지 도달되었다. 6mm에서는 63.5°C/min로 90.5°C, 9mm에서 41.9°C/min로 69.9°C, 12mm에서는 가열속도 13.2°C/min로 40.9°C까지 토양의 온도가 증가하였으나, 18mm이상에서는 증가되지 않았다. 조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 깊이 3mm에서 174.8°C/min로 24초 후 302.4°C까지 상승하였다. 6mm에서는 6초간 51°C/min로 92.2°C까지 도달한 후 2초동안 92.2°C를 유지하면서 잠열에 의하여 수분이 증발되었고, 연속적으로 31.5°C/min로 92초후 140.5°C까지 온도를 증가시켰다. 9mm에서는 11°C/min로 102초 후 88.6°C, 12mm에서 18.3°C/min로 120초후

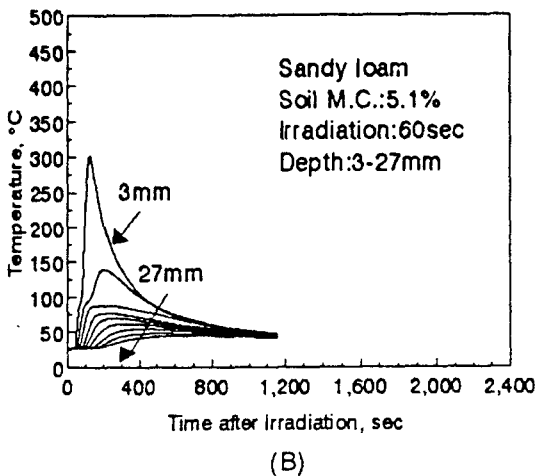
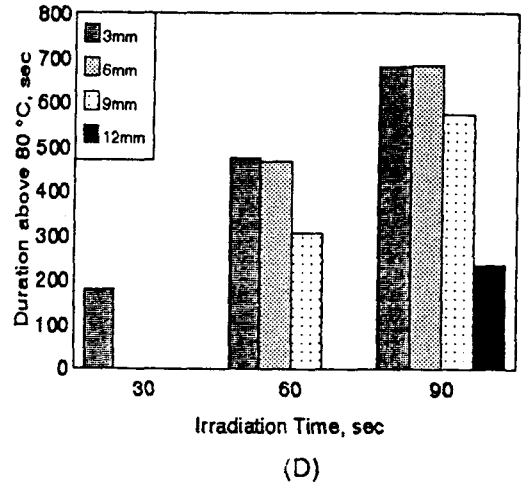
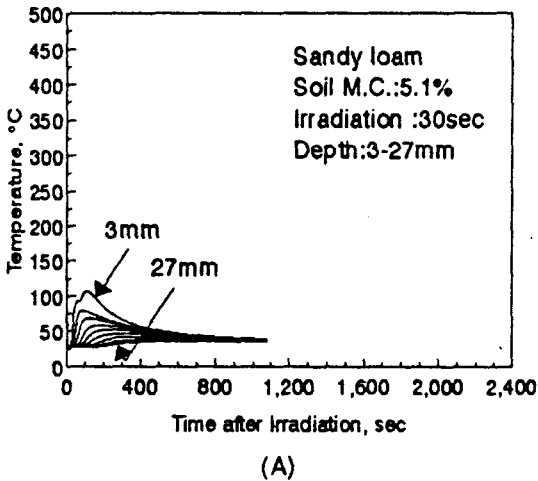
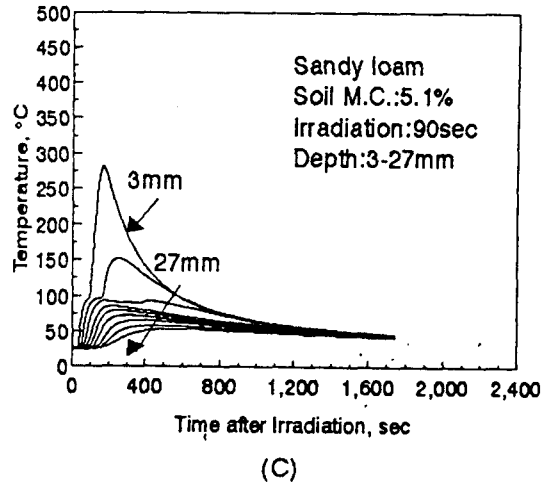


Fig. 3. Temperature distribution of sandy loam (5.1%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80°C(D).

77.4°C까지, 18mm에서는 조사가 끝난 2초후에 온도상승이 시작되어 6.4°C/min로 326초후 62.2°C까지 상승하였고, 80°C까지 유지되는 깊이는 11mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm에서 54.0°C/mm가 9mm와 12mm에서 3.7°C/mm로 감소되었고, 냉각속도는 3mm에

서 $-29.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 가 9mm에서 $-1.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 감소되었다(Fig.3-B).

90초간 조사시키는 동안 깊이 3mm에서의 온도변화는 상온에서 96.1°C 까지 58초간 가열속도 $72.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 온도가 증가되었고, 4초간 96.1°C 를 유지하면서 토양의 수분을 증발시켰으며, 건조된 토양은 $190.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 28초 후 281.1°C 까지 상승하므로서 각각 3가지 다른 가열속도로 토양의 온도가 증가되는 것으로 분석되었다. 6mm에서는 $45.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 94.2°C 까지, 9mm에서는 $37.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 82.0°C 까지 증가하였고, 9mm에서 21mm까지 매 3mm 토양깊이에 따라 가열속도는 2~3배 정도 감소되면서 증가하였으며, 24mm 이상에서는 온도가 증가하지 않았다. 조사가 끝난 후에는 흡수된 에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 가열속도 $60^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 96초 후에 281.1°C 까지 도달하였다. 6mm에서는 가열속도가 3단계로 온도가 증가하였다. 즉, 94.2°C 에서 96.1°C 까지 $7.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 증가하였고, 연속적으로 8초간 96.1°C 를 유지하면서 수분을 증발시켰으며, 수분증발이 끝난후에는 $99^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 34초 후 152.2°C 까지 증가되었다. 9mm에서도 3단계 건조속도곡선을 나타내었다. 즉, $10.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 58초 후에 92.5°C 까지 도달하였고, 잠열에 의하여 연속적으로 270초 동안을 $92.5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 온도범위를 유지시켰다. 12mm에서는 $14.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 224초후 85.4°C 까지 도달하였고, 15mm에서는 $17.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 79.4°C 까지 증가되었다. 21mm에서는 단지 흡수된 에너지에 의하여 조사가 끝난 직후 상승되기 시작하여 $5.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 58.5°C 까지 상승되었다.

최고온도의 토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm영역에서 $43.0^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 였고, 6mm에서 9mm에서 $19.8^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 로 2.2배 감소되었고, 9mm에서 24mm까지 $2.1 \sim 2.5^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 를 유지하였다.

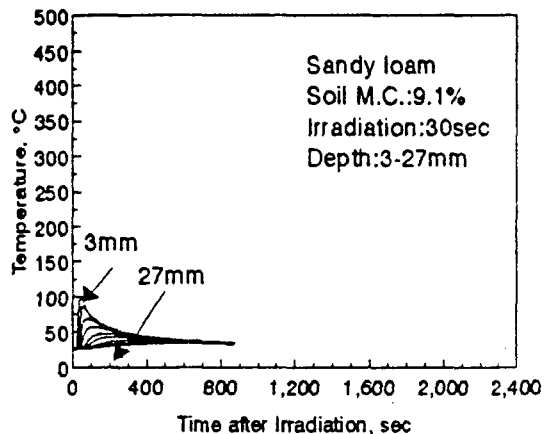
가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 $-21.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 6mm에서 $-4.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 4.3배가 감소되었고, 9mm와 27mm까지 $-0.9 \sim -0.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 서냉하였다(Fig.3-C).

30초간 조사시켰을 때 토양의 온도변화는 깊이 3mm에서만 3단계 가열속도로 증가되면서 80°C 이상은 3mm에서 179초간 지속되었고, 조사시간을 60초로 증가시켰을 때는 6mm까지 3단계 가열속도로 증가되면서 80°C 이상 유지시간은 9mm에서 304초간 지속되었다. 90초로 조사시간을 증가시켰을 때 6mm에서 3단계 가열속도로 온도가 증가되었고, 9mm에서는 잠열에 의하여 92.5°C 를 장시간 지속되었으며 80°C 이상 유지시간은 12mm에서 234초였다(Fig. 3-D).

다. 함수율 9.1%

30초간 조사시키는 동안 깊이 3mm에서의 온도는 가열속도 $146.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 상온에서 99.0°C 에 도달하였고, 6mm에서는 $115.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 83.7°C 에 도달하였으나, 9mm에서는 $51.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 51.8°C 이었고, 15mm 이상에서의 온도는 전혀 증가하지 않았다. 조사가 끝난 후에 토양의 흡수에너지에 의하여 3mm에서 온도가 더 이상 증가되지 않았으나, 6mm에서는 $75.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 2.5초후에 86.2°C , 9mm에서는 $29.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 34초후 68.5°C 까지 상승시키므로써, 80°C 이상 유지되는 깊이는 6.4mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을때, 3mm에서 15mm까지 각 경계구간의 토양 깊이별 온도구배가 $3 \sim 6^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 이었던



(A)

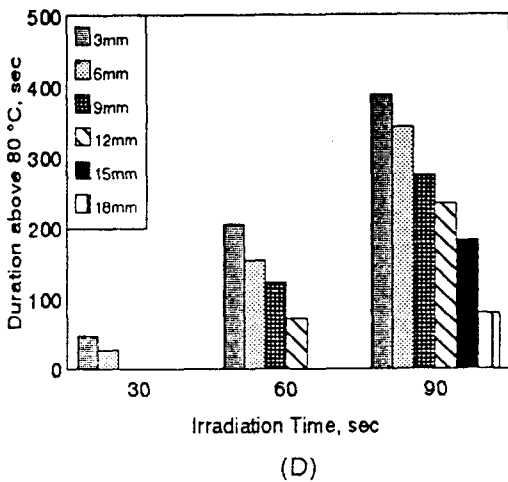
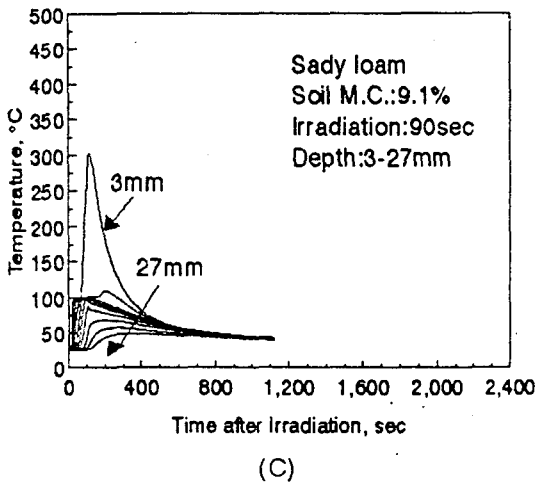
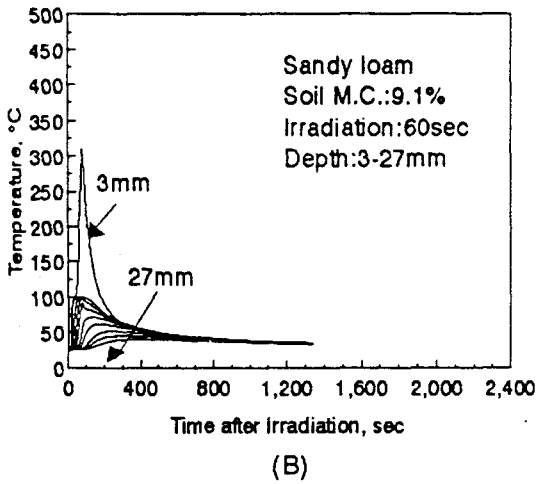


Fig. 4. Temperature distribution of sandy loam (9.1%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80 °C(D).

고, 가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 $-9.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 냉각되다가, 15mm 이상에서는 $-0.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하로 서서히 냉각되었다(Fig.4-A).

60초간 조사시키는 동안 3mm에서는 상온에서 100°C 까지 15초간 가열속도 $296.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 상승하였고, 증발점이 없이 계속적으로 35초간 25%가 감소된 $223.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 230.3°C 까지 도달하였다. 6mm에서는 40초간 $109.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 98.8°C 에 도달 한 후, 20초간은 잠열에 의하여 그 온도를 유지하면서 액상에서 기상으로 상변화가 일어났다. 9mm에서 $74.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 98.8°C , 12mm에서는 가열속도 $64.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 91.3°C 까지 온도를 증가시켰고, 24mm이상에서 온도는 증가되지 않았다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 3mm에서 $1204.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 4초후 310.6°C 까지 급속히 토양의 온도를 상승시켰다. 6mm에서는 계속적으로 20초간 98.8°C 을 유지시켰고, 9mm와 12mm에서도 각각 2초간 99.0°C 및 92°C 을 유지시켰다. 15mm에서는 56초간 $21.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 71.6°C 까지 상승시키므로써, 80°C 까지 유지되는 깊이는 14.3mm로 분석되었다.

매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm에서 $70.0^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 였으나, 6mm와 9mm사이에서는 9mm에서의 토양의 온도가 수분 증발점인 100°C 을 유지함으로써 온도구배 $0.4^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 로 평형상태가 되었다. 수분 증발점 이하인 9mm와 12mm사이에서는 92.7°C 로 $2.2^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ 로 열이동이 증가되었고, 12mm이상에서도 온도구배는 같은 경향으로 열이동이 되었다.

냉각속도는 3mm에서 $-46.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 토양온도 $90^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 인 6mm~12mm범위에서는 $-4.5 \sim -5.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 를 유지하다가, 15mm이상에서는 $-1.9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 이하로 감소되었다 (Fig.4-B) 90초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 온도는 3단계로 변화되었다. 즉, 14초간 가열 속도 $301.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 수분증발점인 95.5°C 까지 증가되다가, 잠열에 의하여 95.5°C 를 32초간 유지시킨 후 44초간은 건조되었기 때문에 $251.6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 279.6°C 까지 증가되었다. 6mm에서의 가열속도는 3

mm에서 보다 2.7배가 감소된 110.3°C/min로 99.3°C에 도달한 후 50초간 수분증발로 계속적으로 등온상태를 유지하였다.

9mm에서는 6mm에서의 가열속도 보다 1.6배 감소된 70.4°C/min로 98.5°C에 도달 한 후 28초간을 유지하였고, 12mm에서는 61°C/min로 98.5°C에 도달 한 후 18초간, 15mm에서는 48.9°C/min로 97.3°C까지 도달 한 후 2초간을 유지하였다. 조사가 끝난 후에는 흡수된 에너지에 의하여 깊이 3mm에서 가열속도 138.6°C/min로 10초 후 302.7°C까지 도달하였다. 6mm에서는 2초간 99.3°C를 유지한 후 5.8°C/min로 104초 후 109.3°C까지 증가시켰다. 9mm, 12mm, 15mm에서는 98.5°C를 각각 30초, 2초, 2초간을 유지시켰고, 80°C 유지시키는 토양의 깊이는 22.3mm까지였다.

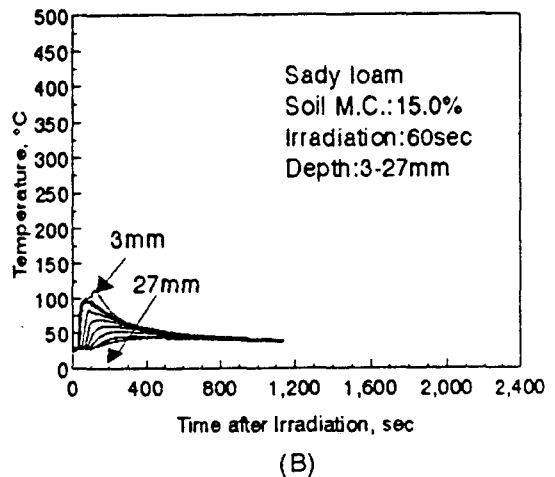
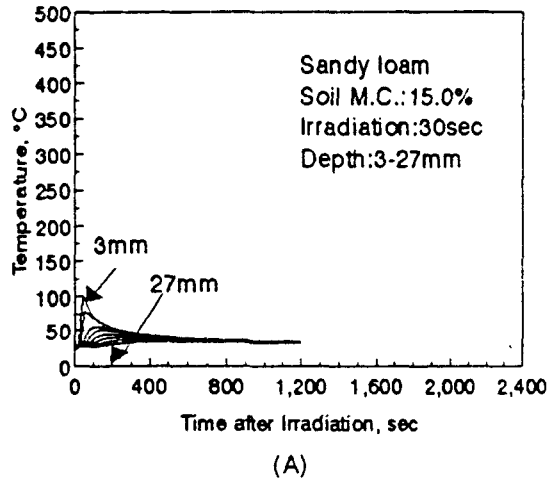
토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm사이에서 64.5°C/mm였다. 수분증발점인 100°C를 유지하는 깊이 9mm와 12mm, 12mm와 15mm 사이에서는 각각 0.3과 0.4°C/mm로 열 평형상태를 나타냈으나, 수분 증발점이하의 온도로 감소된 18mm와 21mm사이에서는 3.6°C/mm로 열 이동이 근소하게 증가되었다.

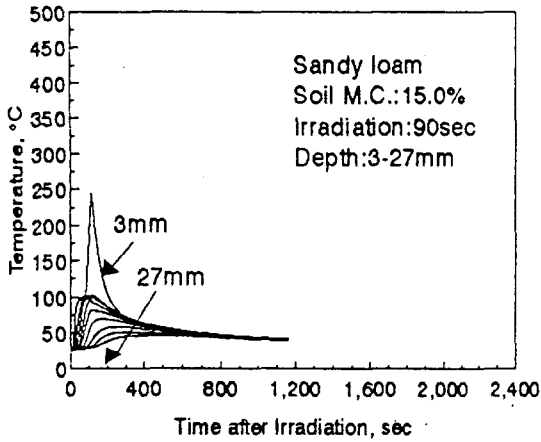
가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 -34.2°C/min, 6mm에서 -5.5°C/min로 감소되었고, 100°C부근의 9mm에서 15mm까지는 -2.7 ~ -1.4°C/min로 냉각하다가, 24mm이상에서는 -0.5°C/min이하로 서냉하였다(Fig. 4-C).

Fig. 4-D는 적외선 조사시간을 30, 60 및 90초별로, 토양 깊이별 온도를 측정한 결과이다. 30초간 조사시켰을 때 토양의 온도는 수분증발점 이하였고, 80°C 이상의 온도 유지시간은 6mm에서 27초간 이었다. 60초간 조사시켰을 때는 9mm까지 토양의 온도가 수분증발점까지 도달하여 80°C를 12mm에서 71초간 지속시켰다. 조사시간을 90초로 증가시켰을 때에는 수분 증발점이 15mm로 증가되어 80°C를 18mm까지 79초간 지속시켰다(Fig.4-D).

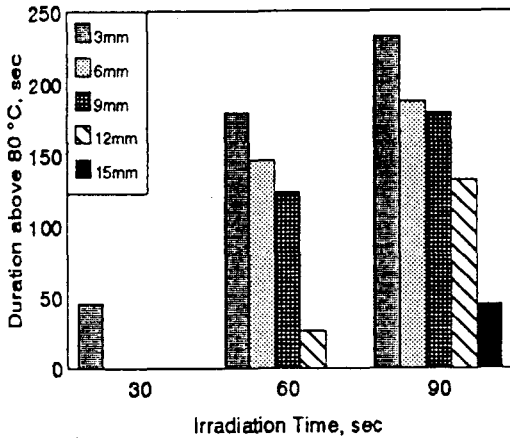
라. 함수율 15.0%

30초간 조사시키는 동안 3mm에서의 온도는 가열속도 136.8°C/min로 상온에서 97.1°C까지 도달하였고, 6mm에서는 102.4°C/min의 가열속도로 79.6°C에 도달하였으나, 12mm이상에서는 전혀 증가하지 않았다. 조사가 끝난 후에 토양의 흡수에너지에 의하여 토양깊이 3mm 및 6mm에서는 온도가 더 이상 증가되지 않았고, 9mm에서는 22.2°C/min의 가열속도로 56초후에 55.6°C까지 상승시키므로써, 80°C이상 유지되는 깊이는 5.4mm로 분석되었다.





(C)



(D)

Fig. 5. Temperature distribution of sandy loam (15.0%, wb) by soil depth when the irradiation were 30, 60, and 90 seconds, respectively(A, B, C) and duration above 80 °C(D).

토양깊이 매 3mm 간격의 최고온도를 기준으로 분석하였을 때, 3mm에서 6mm사이의 경계구간의 온도구배는 5.8°C/mm였고, 6mm에서 9mm 사이는 8.0°C/mm로 증가하였다가 9mm이상에서는 1.7°C/mm로 온도구배가 감소되었다.

가열된 토양 3mm 깊이에서의 냉각속도는 -8.7°C/min이었고, 9mm 이상에서는 -1.7°C/min로 서 냉되었다(Fig.5-A). 60초간 조사시키는 동안 토

양 깊이 3mm에서는 상온에서 가열속도 52초간 82.6°C/min로 100°C까지 도달하였고, 그 이후 8초간은 수분증발에 의하여 100°C를 유지하였다. 6mm에서는 42초간 96.4°C/min로 95.9°C까지 도달한 후, 18초간 등온상태를 유지하였다. 9mm에서는 67.0°C/min로 95.9°C까지, 12mm에서는 54.3°C/min로 82.5°C까지 증가하였으며, 24mm이상에서는 증가되지 않았다.

조사가 끝난 후에는 흡수에너지에 의하여 3mm에서 12초간은 수분증발 때문에 100°C를 유지하다가, 토양의 수분이 건조된 이후는 18.3°C/min로 111.7°C까지 증가시켰다. 6mm에서는 4초간 95.9°C를 유지시킨 후, 계속적으로 14°C/min로 97.3°C까지 증가시킨 후, 등온상태를 6초간 유지하였다. 9mm에서는 7.5°C/min로 96.4°C, 12mm에서는 25°C/min로 85.0°C, 15mm에서는 69.2°C까지 증가시켰고, 80°C이상 유지되는 깊이는 12.6mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm에서 6.8°C/mm였고, 6mm와 9mm사이에서는 9mm에서의 토양의 온도가 수분 증발점인 96.4°C까지 가열됨으로써 온도구배 0.3°C/mm로 열 평형상태를 유지하다가, 수분 증발점 이하로 가열된 9mm와 12mm사이에서는 3.8°C/mm로 온도구배가 증가되었다. 냉각속도는 3mm에서 -8.6°C/min였고, 수분증발점까지 가열된 6mm와 9mm에서는 -5.3°C/min 및 -5.1°C/min를 유지하다가, 18mm이상 깊이에서는 -1.0°C/min이하로 감소되었다 (Fig.5-B) 90초간 조사시키는 동안 토양깊이 3mm에서의 토양의 온도는 3단계로 변화되었다. 즉, 52초간 가열속도 81.7°C/min로 수분증발점인 100°C까지 증가되다가, 6초간 등온상태를 유지하면서 수분이 증발되었고, 건조된 토양은 32초간 가열속도 211.7°C/min로 212.9°C까지 상승되었다. 6mm에서의 가열속도는 3mm에서 보다 1.1배가 감소된 71.1°C/min로 100°C에 도달한 후 30초간 등온상태를 유지하였다. 9mm에서는 6mm에서의 가열속도 보다 1.5배 감소된 46.6°C/min로 99.3°C에 도달하였다. 12mm에서는 44.1°C/min로 95.4°C, 15mm에서는

33.7°C/min로 78.6°C까지 상승하였다.

조사가 끝난 후에는 흡수된 에너지에 의하여 토양깊이 3mm에서 8초간 가열속도 236.3°C/min로 244.4°C까지 증가시켰다. 6mm와 9mm에서는 계속적으로 32초 및 18초간 등온상태인 100°C를 유지하면서 수분을 증발시켰다. 12mm에서는 4초간 15.0°C/min로 96.4°C, 15mm에서는 6초간 27°C/min로 81.3°C, 18mm에서는 15°C/min로 69.9°C까지 증가시켰고, 80°C이상 유지되는 토양의 깊이는 15mm로 분석되었다.

토양깊이 매 3mm 경계구간의 온도구배는 3mm와 6mm사이에서 47.3°C/mm였으나, 수분증발점까지 가열된 6mm와 9mm 및 9mm와 12mm사이에서는 각각 0.6과 1.4°C/mm로 열 평형상태를 나타냈으나, 수분 증발점 이하까지 가열된 12mm와 15mm사이에서는 5.0°C/mm로 온도구배가 증가되었다.

가열된 토양의 깊이 3mm에서 냉각속도는 -13.1°C/min, 100°C까지 가열된 6mm, 9mm, 12mm에서는 -5°C/min정도로 감소되었고, 21mm이상에서는 -0.7°C/min이하로 서냉되었다(Fig.5-C).

Fig. 5-D는 적외선 조사시간을 30, 60 및 90초별로, 토양깊이 별 온도를 측정된 결과이다. 30초간 조사시켰을 때 토양의 온도는 수분증발점이하였고, 토양온도 80°C이상 유지 시간은 3mm에서 45초였다. 60초간 조사시켰을 때는 9mm까지의 온도가 수분증발점까지 도달하여 80°C를 12mm에서 26초간 지속시켰다. 조사시간을 90초로 증가시켰을 때에는 12mm까지 수분증발점까지 가열되어, 80°C이상을 15mm에서 45초간 유지시켰다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 적외선을 이용하여 토양내의 잡초종자를 무력화시키고 저공해 농산물을 생산하는데 필요한 잡초방제 방법을 개발하는데 요구되는 기초 자료를 제공하고자 수행되었다. 적외선 방사장치는 honeycomb type의 세라믹 재료인

기판(66×93×13mm) 3개로 구성되었으며 LPG 가스를 기판에 점화시켜 기판으로부터 방사되는 적외선을 토양가열을 위한 열원으로 사용하였다.

본 실험에 사용된 토양은 여러 다른 함수율(0, 5, 5.1, 9.1, 15.0% wb)을 갖는 사양토였다. 적외선 가열시 토양함수율 및 조사시간(30, 60, 90초)에 따른 토양 깊이별 온도분포가 측정되었으며 잡초종자의 발아력을 억제할 수 있는 조건인 80°C 이상에서 3분이상 지속될 수 있는 토양 함수율별 열 침투 깊이가 분석되었다.

본 연구에 의해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1) 함수율이 0.5%wb인 토양시료에서는, 적외선 조사시간 30초 일 때 80°C 이상에서 3분 이상 지속한 깊이는 9mm였으나, 조사시간을 각각 60초 및 90초로 증가시켰을 때 12mm 및 15mm로 각각 3mm씩 열 침투 깊이가 증가되었다.

2) 함수율이 5.1% wb인 토양시료에서는, 조사시간이 30초일 때 80°C 이상에서 3분 이상 지속한 깊이는 단지 3mm였으나, 60초 및 90초 동안 토양 열침투 효과 깊이가 각각 9mm 및 12mm로 증가되었다.

3) 함수율이 9.1% wb인 토양에서는, 조사시간이 30초 일 때 80°C 이상에서 3분 이상 지속한 열 침투 효과가 없었다. 반면 조사시간이 60초인 경우 3mm였고, 조사시간을 90초로 증가시킨 시료에서는 15mm까지 열 침투 깊이가 증가되었다.

4) 함수율이 15.0% wb인 토양시료에서는, 조사시간이 30초 일 때 역시 열 침투 효과가 없었고, 조사시간이 60초인 시료에서도 80°C 이상에서 3분 이상 지속한 깊이가 3mm였으나, 조사시간이 90초로 증가되었을 때에는 9mm까지 열 침투 깊이가 증가되었다.

5) 이상의 결과를 종합하여, 보면, 조사시간이 30초 이상씩 소요되어도 80°C 이상에서 3분 이상을 유지하는 토양의 가열효과는 적을 것으로 사료되며 잡초방제 기계를 개발할 경우 작업 능률이 대단히 적을 것으로 판단되기 때문에 토

양을 가열하여 잡초종자를 억제 하기에는 비효율적인 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 구자옥, 변종영, 전재철. 1995. 신고 잡초 방제학. 향문사
2. 조재영, 윤상현, 이은웅. 1992. 신고 재배 학원론. 향문사
3. 양환승, 구자옥, 변종영, 권용용. 1990. 최신 잡초방제학. 향문사
4. 최기문. 1993. 병해충의 종합방제. 지속적 농업과 환경보존 국제 심포지움, 서울대학교 농업 생명 과학대학 부속 농업개발연구소 발간 P64-75
5. 최봉호, 홍병희, 강광희, 김진모, 김석현. 1991. 신제 종자학. 향문사
6. "농약의 현황과 사용안전성". 농촌진흥청 농약연구소. 1992
7. 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.
8. Hall, C.W. 1962. Radiation in agriculture -theory of infrared drying-. Transactions of the ASAE. 5(1), p.14-16.
9. Hollman, J.P. 1976. Heat transfer. McG-RAW-HILL company
10. 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.
11. Olsen, R. G. 1975. A theoretical investigation of microwave irradiation of seeds in soil. Journal of Microwave Power 10(3). p.281-296.
12. Parish, S. 1989. Weed control test effects of infrared radiation, Agricultural engineer soil. Summer 1989. 44(2). p.53-55
13. 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 P12-30.
14. La Toison, M. 1952. Chauffage et sechage par lampes a rayonnement infrarouge. Editions Eyrolles, Paris, p15, 90
15. VSBLO. 1992. Richtlinien ber Verkaufsp-rodunkte aus biologischem/ kologischen Land- bau. VSBLO, Basel.
16. 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.