

## 화염을 이용한 잡초방제 연구

### Weed Control by Flame

姜和錫

文學洙

정회원

W. S. Kang

X. Z. Wen

#### SUMMARY

This study was to develop a kerosene flame weeder. An air compressor was driven through the PTO of a tractor to provide necessary air for fuel combustion and proper pressure to supply fuel from fuel tank to the nozzle. It was found that the flame was extinguished very easily by wind and vibration of the tractor. This trouble could be solved by attaching a burner cap, which is a modified venturi tube, at the end of the nozzle. The constructed flame weeder was tested for the weeding capability in the prepared field. Weed extinction rate and weight decrease rate were analysed.

Measured maximum flame temperature was 1,121°C when the fuel consumption was 13.41 kg/h and fuel supply pressure was 88.2 kPa. The maximum temperature occurred at 20cm from the front end the burner, and it decreased to 46°C as the distance increased to 110cm. The flame length of up to 70cm, where the flame temperature was higher than 372°C, would be used for weeding purpose.

Weed extinction rate and weight decreasing rate increased as the fuel consumption increased. The flame weeder was evaluated to be a practical weeder through improvement as the weed extinction rate and weight decrease rate were analysed to be 75% and 85%, respectively when the fuel consumption was 116.87 kg/ha.

**Keywords** : Flame weeder, Burner cap, Fuel consumption, Weed extinction rate, Weight decrease rate.

#### 1. 서 론

우리 나라를 비롯한 세계 각국에서는 화학비료와 제초제를 사용하지 않는 무공해 농산물을 재배하기 위한 유기 농업을 권장하고 있다. 우리 나라에서도 1997년에 공포된 환경농업육성법에서 농림부장관은 매 5년마다 환경농업의 발전을 위한 환경농업육성계획을 수립하도록 하였는데, 그 중에서 농약, 비료, 가축사료첨가제 등의 적절한 사용 및 감축방안을 포함하도록 하고 있으며, 환경농산물 품질관리요령(농림부고시 제 1999-3호) 6조에서는 열처리를 비롯한 온도조절 등에 의한 물리적인

제초방법을 선택하여 사용하도록 권장하고 있다. 외국의 예로서는 제초제를 포함한 유기합성 농약 사용을 최소화하기 위한 사항으로 1990년 미농무성 보고서에서 “유기농법으로 재배한 농산물에 대한 국가적 금지 기준의 발전”을 입법화하였고, 1990년 스위스에서는 “유기 농업으로 재배한 농산물의 판매 기준”을 설정하였다(VSBLO, 1992).

제초제의 사용은 환경오염을 유발하여 생태계를 파괴하는 한 원인이 될 뿐만 아니라, 농산물에 잔류하여 사람과 가축에도 나쁜 영향을 미칠 것으로 사료되어 농약 이용에 대한 경각심과 거부감이 점차 높아가고 있으며, 무공해 농산물을 생산하기

This study was supported by the research fund of the Research Institute of Agricultural Science, Kangwon National University. The article was submitted for publication in March 2001, reviewed in April 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2001. The authors are W. S. Kang and X. Z. Wen, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Kangwon National University, Chunchon, Korea. The corresponding author is W. S. Kang, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Kangwon National University, Chunchon, Korea. E-mail: <kangws@cc.kangwon.ac.kr>.

위하여 환경 친화적이며 사람·가축에게 해롭지 않은 화학적 또는 생물학적 농약이나 지속적인 농업 등을 이용한 잡초 및 병해충의 방제를 시도하고 있다.

잡초방제에서 열에너지의 이용은 비교적 경제적이며 실질적인 방법으로 알려지고 있다. 열의 이용은 소요 노동력을 감소시켜 주며, 기계적인 중경제초작업과 병행할 때 더 많은 효과를 볼 수 있다. 열을 이용하는 제초방법에는 퇴적물의 소각, 화염, 적외선, 증기, 액화질소 등을 이용하는 방법이 있다.

잡초 잎의 치사온도는 55~94℃로 알려져 있으나, Ellwanger 등(1973)은 열처리를 이용한 방제방법은 엽록소를 가진 식물에 94~100℃의 열을 0.1 초 이상 가열하였을 때 생리학적 및 세포학적으로 단계적으로 고사시키는 방법임을 보고하였다. 즉, 잡초를 50~70℃ 온도로 가열하면 단백질의 응고가 시작되고 부분적으로 갑자기 온도를 증가시키게 되면 세포의 강한 팽창으로 인하여 세포벽이 파괴된다.

Ascard(1990)와 Nemming 등(1994)에 의하면 화염을 이용한 잡초방제기계 개발 및 응용 시험이 European Weed Research Society(EWRS)에서 진행되고 있으며, 가격이 저렴하고 환경오염이 적은 LPG를 연소시켜 사용하는 열처리를 이용한 잡초방제기계가 연구되어 상품화 개발을 서두르고 있는 중이다. 국내에서는 무공해 식품에 대한 요구

가 커지고 있으나, 이에 대한 연구가 미진한 편이다.

따라서, 본 연구에서는 환경 및 인축에 유해한 제초제를 대신할 수 있고, 안전하게 사용할 수 있는 석유불꽃을 이용한 잡초방제기 개발에 필요한 기초실험을 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 석유불꽃 잡초방제기의 구성

석유불꽃 잡초방제기는 트랙터 동력취출장치(PTO)로부터 동력을 공급받아 공기압축기를 작동시킨 뒤, 발생된 압축공기를 두 부분으로 보내게 된다. 첫 번째는 연료탱크로 보내어 연료를 노즐까지 압송하면서 미립화 상태로 만드는데 사용하고, 두 번째는 버너에 공급하여 연료를 미립화시키면서 연소에 필요한 공기를 공급하는데 사용된다.

압축공기의 저장탱크에는 안전밸브를 설치하여 연속적으로 공급되는 공기의 압력이 설정압력보다 높을 경우에는 외부로 방출되도록 하였다. 연료탱크에는 압력조절 게이지를 장착하여 연소상태에 따라 압력을 조절하여 연료를 공급할 수 있도록 하였으며, 노즐에 공급하는 공기의 공급회로에도 압력조절 게이지를 장착하여 이상적인 연소가 일어날 수 있는 압력공기를 공급할 수 있도록 하였다.

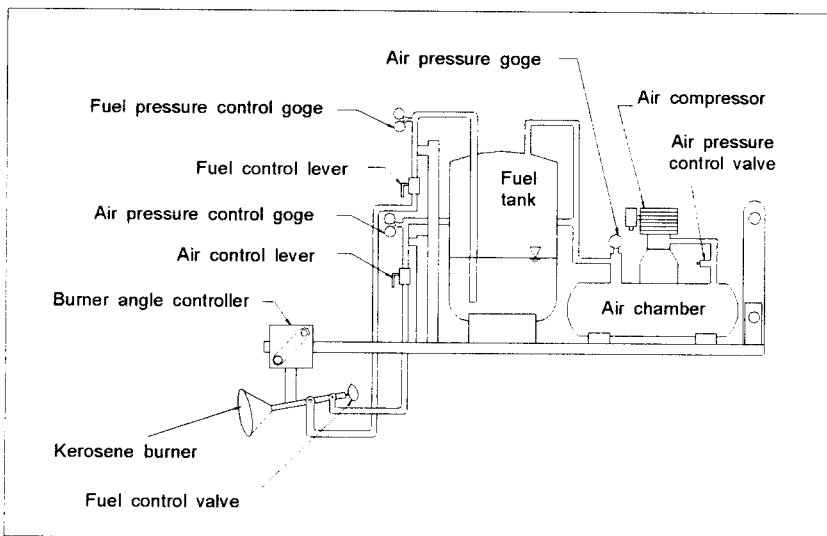


Fig. 1 Side view of kerosene flame weeder.

노즐은 예비실험을 통하여 분사공의 직경이 1.5 mm인 노즐을 채택하였다. 실제 방제작업에서 버너의 각도 및 높이를 방제조건에 따라 상하좌우로 조절할 수 있도록 제작하여 열처리 작업이 용이하게 하였다. 버너는 3개를 설치하여 트랙터의 작업 폭(약 80cm)에 해당되는 면적을 열처리 할 수 있도록 하였다. 형성된 화염이 항상 잡초의 아랫부분을 가열하도록 유도하면서 트랙터의 진행방향의 뒤로 열이 이동하면서 잡초에 열을 가하는 시간이 오래 지속되어, 잡초 방제효과를 증가시키는 역할을 할 수 있도록 버너의 뒤에 2,000(길이)×900(폭) mm 크기의 열풍계류장치를 부착하였다. 열풍계류장치 높이는 열의 이동이 토양의 지면에 근접하도록 앞부분을 30cm, 뒷부분은 20cm로 제작하였다. 이러한 모든 장치는 트랙터용 잡초 예취기의 후레임에 설치하여 필요한 경우에는 예취기와 겸용으로 사용하도록 하였다. 그림 1에는 석유용 잡초방제기의 측면도를 나타내었고, 그림 2와 그림 3에는 석유용 잡초방제기 I(1997년)과 II(1998년)를 나타내었다.

#### 나. 버너 캡의 제작

방제기 I(1997년)은 점화 후에 바람이나 기계 진동 등에 의하여 불꽃이 꺼지는 연소중단상태가 자주 발생하였기 때문에, 바람을 막아주고 온도상승효과를 높일 수 있는 덮개를 설치하였음에도 불구하고, 가끔씩 연소가 중단되었기 때문에, 실험의 진행이 불가능하였다. 이러한 연소의 중단현상을 방지하지 하기 위하여 방제기 II(1998년)에는 Venturi 관을 이용한 버너 캡(cap)을 제작하여, 각 버너의 끝에 장착하였다. 이 버너 캡을 제작하기

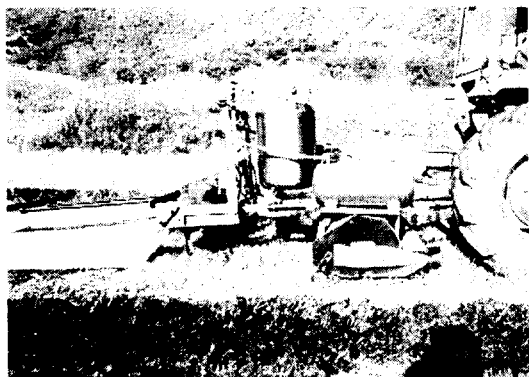


Fig 2. Kerosene flame weeder I (1997).

위하여 노즐의 연료 분사각을 측정하였다. 측정결과 노즐의 분사각은 연료탱크내의 압력이 78.4kPa 일 때 공기의 공급압력과 연료 공급량의 변화에 따라 24° ~ 38° 범위로 나타났다. 이 버너 캡은 내경이 41mm이었고, 캡의 선단에는 직경이 37mm 인 원의 둘레에 직경이 1mm인 작은 구멍 8개를 균일한 간격으로 뚫어서 일단 연소가 시작되면 8개의 구멍주위에 작은 불꽃이 생성되도록 하였다. 이 때 생성된 8개의 작은 불꽃은 Venturi 관 선단 주변의 압력강하에 의하여 캡의 중심부로 향하면서 연속적인 연소가 이루어지도록 하는 것이 관찰되었다. 잡초방제 실험에 앞서 트랙터에 부착된 석유용 잡초방제기의 노즐에 버너 캡을 장착한 후 하나씩 불꽃의 착화상태 및 외란에 의해 불꽃이 꺼지는가를 시험하였다. 외란은 트랙터 자체의 진동과 선풍기를 이용하여 화구주변에서의 외란을 대신하였다. 버너 캡은 연속적인 연소가 이루어지도록 함으로써 외란에 견디어 연속적인 연소가 이루어지는데 결정적인 작용을 하였다.

따라서, 본 실험에서는 방제기 II가 사용되었다.

#### 다. 실험포장

실험에 이용된 포장은 강원대학교 부속농장에 있는 전작포장이었고, 이른 봄에 경운 및 로터리 작업을 한 후 트랙터의 폭에 맞게 정리하여 왕복작업이 용이하도록 하였다. 시험포장에서 성장하는 잡초는 자연상태에서 발아 및 성장하는 것들로서, 그 종류는 바랭이, 피, 방동사니, 쇠비름, 중대가리, 냉이 등이다. 이 중에서 바랭이는 55.48%, 피는 18.62%로써 주로 화분과 잡초였다. 포장에는 작물을 파종하거나 이식하지 않았고, 자연적으로

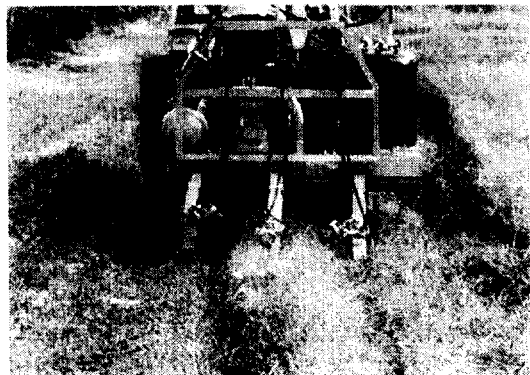


Fig 3. Kerosene flame weeder II (1998).

발아하여 성장하는 잡초를 대상으로 방제기 II를 이용한 제초효과를 분석하였다.

라. 실험방법

(1) 연료소모량

잡초실험에 앞서 연료탱크내의 압력과 연소에 필요한 공기의 압력을 변화시키면서 관찰한 결과 연료탱크내의 압력이 78.4kPa이고, 버너의 공기공급 조절밸브가 3에 위치하였을 때, 다른 압력에 비하여 그올림이 거의 없을 정도로 적었기 때문에 노즐에서 분사되는 액체 연료가 완전연소에 가까운 것으로 판단되었고, 화염도 비교적 이상적이기 때문에 모든 실험은 연료탱크내의 압력을 78.4 kPa로, 버너의 공기공급량은 조절밸브의 위치를 3에 고정시킨 상태에서 진행되었다.

실험에 사용된 버너에는 유량계가 부착되어 있지 않아 버너에 부착되어 있는 유량조절밸브의 단계별 유량을 반복 측정한 후, 평균값을 구하여 화염온도 측정실험의 연료공급량 변수로 사용하였다.

잡초실험에 앞서 연소에 공급되는 공기의 공급압력, 연료의 공급량을 변수로 하여 각각의 조합에서 일정한 시간 내에 실제로 버너에서 분사되는 연료를 용기에 수집하여 무게를 측정하여 연료의 시간당 소모량(kg/h)으로 환산하였다. 연소에 공급되는 공기의 공급압력은 압력 게이지를 사용하여 조절하였고 연료의 공급량은 버너에 달려있는 조절밸브를 사용하여 조절하였다. 연료의 시간당 소모량의 측정에서는 공기의 공급압력을 49, 58.8, 68.6, 78.4 88.2 kPa 5개 수준을 취하고, 연료의 공급은 버너에 달려있는 유량 조절밸브의 개도를 10개 수준으로 하여 3반복을 진행한 후 평균값을 취하였다. 실험에서 사용된 트랙터의 작업속도로 1ha의 면적을 처리하는데 소요되는 시간을 계산한 후 측정된 시간당 연료소모량을 이용하여 트랙터의 작업속도에 대응한 ha당 연료소모량으로 환산하였다.

(2) 화염의 온도 측정

화염온도의 측정에는 연료의 공급량을 13.41kg/h로 설정하고, 공기의 공급압력을 88.2kPa로 설정한 경우와 연료의 공급량을 11.59kg/h로 설정하고, 공기의 공급압력을 73.5kPa로 설정한 경우로 나누어 진행하였다. 석유버너의 착화상태 관찰은 석유버

너가 어느 정도 예열이 된 후에 시작하였다. 화염온도는 3×3×120cm 크기의 목재에 10cm 간격으로 Thermocouple을 가로로 장착한 후 온도측정 Board(DBK 19, IOtech)를 이용하여 화염의 길이 방향으로 중심부를 따라 온도를 측정하였다.

(3) 열처리 효과를 평가하는 척도

실험 후 열처리를 받은 잡초가 사멸하는 경우, 얼마 후에 회생하는 경우, 열처리를 함으로써 휴면타파 되는 종자가 발아하는 경우 등이 발생하기 때문에 처리구내에 있는 잡초의 열처리전과 열처리후의 개수의 변화를 고찰하기 위하여 개체사멸율(%)을 다음의 (1) 식으로 정의하였다. 또한 열처리전후의 중량변화를 고찰하기 위하여 중량감소율(%)을 (2)식과 같이 정의하였다.

$$\text{개체사멸율}(\%) = \frac{N_B - N_A}{N_B} \times 100 \quad (1)$$

단,  $N_A$ 는 열처리 후 생존해 있는 단위면적내의 잡초의 숫자

$N_B$ 는 열처리 전 생존해 있는 단위면적내의 잡초의 숫자

$$\text{중량감소율}(\%) = \frac{W_B - W_A}{W_B} \times 100 \quad (2)$$

단,  $W_A$ 는 처리구의 열처리 후 단위면적내에 생존한 잡초의 무게

$W_B$ 는 무처리구의 단위면적내에 생존한 잡초의 무게

개체사멸율은 열처리전 처리구 내에 생존하여 있는 단위면적내의 잡초의 숫자에 대한 열처리를 받아 사멸된 단위면적내의 잡초의 숫자의 비율로써, 열처리 효과로 인하여 얼마만큼의 잡초가 사멸하였는지를 나타내 주는 척도이다. 중량감소율은 무처리구내의 단위면적내에 생존한 잡초의 생체중에 대한 열처리를 받은 단위면적내의 사멸된 잡초의 중량의 비율로써, 이것은 열처리를 받아서 사멸하지는 않았으나 타격을 받아서 생장에 영향을 받은 잡초의 성장이 둔화된 정도를 나타내는 척도이다. 여기서 가열에 의한 휴면타파 때문에 발아되는 종자의 숫자가 열처리에 의해 사멸된 숫자보다 많으면 개체사멸율은 (-) 값을 나타낼 수 있다.

(4) 열처리 효과의 분석방법

열처리 후 처리효과를 알아보기 위하여 처리전

각 시험구내에서 임의로 4곳을 취하여 25cm × 50cm의 면적내에 생존하는 잡초의 종류별로 숫자를 세어둔 후, 그 면적 내에 생존해 있는 잡초를 모두 뽑아서 종류별로 개수와 생체중을 측정하였다. 처리구의 잡초는 처리가 끝나기 전에는 생체중을 측정할 수 없기 때문에 처리되지 않은 무처리구에서 성장한 잡초를 임의로 3곳을 취하여 25cm × 50cm의 면적내의 잡초의 생체중을 측정하여 처리구 잡초의 열처리를 진행하지 않았을 경우의 생체중으로 대체하였다. 무처리구의 시료로 채취된 잡초의 생체중량은 열처리된 시료의 생체중량과 비교함으로써 열처리가 잡초의 방제에 미치는 영향을 분석하는데 이용하였고, 처리구의 열처리 전후의 잡초종류별 숫자는 열처리에 의한 잡초의 감소비율을 평가하는데 이용하였다. 열처리 효과의 분석은 위에서 정의한 개체사멸율(%), 중량 감소율(%)을 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 연료소모량

잡초실험에 앞서 트랙터에 잡초방제기를 부착시키고 주행속도를 변화시키면서 트랙터의 주행속도를 측정한 결과 트랙터의 2단, 4단, 6단, 8단에 대응한 작업속도는 0.2, 0.42, 0.73, 1.50 m/s이었다.

잡초실험에서는 PTO축의 회전수를 622 rpm으로 설정하고, 공기의 공급압력을 78.4kPa로 설정하였는데 이때 연료의 공급량(시간당 소모량)은 9.55 kg/h이었다. 이것을 실험에 사용된 트랙터의 작업속도 0.2, 0.42, 0.73, 1.50 m/s로 작업할 때 대응한

ha당 연료소모량으로 환산하면 각각 116.87, 57.04, 32.36, 15.79 kg/ha이다.

#### 나. 화염의 온도

표 1은 노즐에 공급되는 연료의 공급량과 공기의 공급압력의 변화에 따른 각 지점에서의 화염 온도를 나타내고 있다. 표 1에 나타낸 바와 같이 연료의 공급량을 13.41kg/h로 하고, 공기의 공급압력을 88.2kPa로 설정하였을 때 화구로부터 가까운 거리(20~40cm 범위)의 화염온도는 연료의 공급량이 11.59kg/h이고, 공기의 공급압력을 73.5kPa로 설정하였을 때 보다 높게 나타났지만, 화구로부터의 거리(50cm 이상)가 증가하면 반대로 공기압력이 낮은 쪽의 불꽃이 높은 온도를 나타내었다. 그 이유는 공기의 공급압력이 증가되면 노즐에서 분사되는 연료의 입자가 더 작아지고 무화된 입자의 운동에너지가 증가하는 추세로 나타났다. 이는 연료소모량이 감소되어 많은 무화 입자가 화구로부터 가까운 거리(40cm 이하)에 집중되기 때문에 화구로부터 가까운 거리에 위치한 화염의 온도는 높게 나타나고, 화구로부터 비교적 먼 거리에 위치한 화염의 온도는 화염길이가 줄어든 관계로 낮게 나타난 것으로 판단된다. 화염의 최고온도는 화구로부터 20cm 떨어진 위치에서 1,121℃로 나타났다. 연료의 공급량을 13.41 kg/h, 공기의 공급압력이 88.2 kPa일 때 화구로부터 70cm 떨어진 지점의 온도가 300℃ 이상을 기록하였다. 따라서 목적에 따라 연료의 공급량과 공기의 공급압력을 조절하여 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1 Flame temperature (°C) by distance

Fuel feed rate(kg/h)	Pressure (kPa)		Distance from burner ( cm )										
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
13.41	88.2	max	923	1,135	1,083	983	812	624	436	276	167	90	53
		min	870	1,108	1,023	893	708	514	309	180	121	69	40
		aver-age	896	1,121	1,053	938	760	569	372	228	144	79	46
11.59	73.5	max	942	946	943	924	926	786	676	500	378	224	149
		min	927	916	895	868	869	732	626	421	303	167	104
		aver-age	934	931	919	896	897	759	651	460	340	195	126

**Table 2 Weed extinction rate and weight decrease rate by fuel consumption.**

Fuel consumption(kg/ha)	Extinction rate(%)	Weight decrease rate(%)
116.87	75.85 ± 5.96	84.65 ± 4.41
57.04	71.34 ± 6.12	65.61 ± 5.83
32.36	72.79 ± 4.86	77.80 ± 6.59
15.79	63.10 ± 17.05	48.08 ± 15.94

**다. 잡초방제효과**

표 2는 화염처리 후 13일이 경과되었을 때의 잡초방제효과를 나타낸 것이다. 연료소모량이 57.04 kg/ha인 경우를 제외하고 연료소모량의 증가에 따라 개체사멸율과 중량감소율 소모량의 증가에 따라, 불꽃이 잡초에 작용하는 시간이 더 길어지기 때문인 것으로 사료된다. 연료소모량이 57.04kg/ha 일 때와 32.36kg/ha일 때를 비교하면 개체사멸율과 중량감소율이 연료소모량의 증가에 따라 증가하지 않고 감소한 것으로 나타났는데 이는 실험오차에 기인하는 것으로 판단된다.

연료소모량이 116.87kg/ha 일 때에는 개체사멸율은 평균 75% 정도로 나타났고 중량감 버너로부터 20cm 떨어진 곳의 평균 최고 소모율은 평균 85% 정도로 나타났다.

**4. 결 론**

본 연구는 친환경농업경영을 위한 제초제의 사용을 감소시킬 목적으로 석유화염을 이용한 잡초방제기를 개발하는데 필요한 기초연구를 하였다. 트랙터의 동력취출 장치를 이용하여 공기압축기를 구동시키고, 압축된 공기는 석유노즐을 통한 연료공급에 필요한 압력과 연료의 연소에 필요한 공기량을 조절하는데 이용하였다. 석유노즐을 통하여 직접 연소시킬 경우에는 기계의 진동이나 바람 등의 외부여건에 의하여 연소가 쉽게 중단되는 현상이 관찰되었기 때문에 벤추리 관을 이용한 버너캡을 제작하여 노즐 선단에 부착하여 외부여건에 영향을 받지 않고 연속적인 연소가 이루어질 수 있도록 하였다.

제작된 잡초방제기로 작물을 재배하지 않은 실험포장에서 시험하여, 개체사멸율과 중량감소율을 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 화염의 최고온도는 연료의 공급량이 13.41 kg/h, 연료공급 압력이 88.2kPa일 때 온도는 1,121

℃였으며, 그 이상의 거리에서는 차차 감소하여 110cm 되는 곳에서는 46℃가 되었다. 화구로부터 70cm 떨어진 지점의 온도가 372℃로써 석유노즐로부터 약 70cm까지는 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

2) 연료소모량의 증가에 따라 개체 사멸율과 중량감소율은 모두 증가하는 추세를 나타내었다. 연료소모량이 116.87kg/ha일 때 개체 사멸율은 평균 75% 정도로 나타났고 중량감소율은 평균 85% 정도로 분석됨으로서 석유화염을 이용한 잡초방제기는 제초능력의 향상을 통하여 잡초를 방제하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

**참 고 문 헌**

1. 강화석, 유창연, 강위수, 이귀현, 강범선, 피상학, 김유덕, Ascard, J. Möller. 1998. 열처리를 이용한 잡초방제기 개발(최종보고서). 산업자원부.
2. 농촌진흥청 농약연구소. 1992. "농약의 현황과 사용안전성".
3. 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. p.178-184.
4. Ellwanger. T. C., W. E. Bingham, W. E. Chappel and S. A. Tolin, 1973. Cytological effects of ultra-high temperatures on corn. Weed science. 21(4):200-303.
5. Nemming, A. 1994. Costs of flame cultivation. Engineering for reducing pesticide consumption & operator hazards- Acta horicultureae 372:205-212.
6. VSBLO. 1992. Richtlinien ber Verkaufsprodukte aus biologischem / kologischen Landbau. VSBLO, Basel.