

시설농업난방 경유대체유로서 페타이어오일의 연소 특성

Combustion Qualities of Waste Tire Oil as Substituting Light Oil for Greenhouse Heating

김 영 중

정회원

Y. J. Kim

유 영 선

정회원

Y. S. Ryou

강 금 춘

정회원

K. C. Kang

이 건 중

정회원

K. J. Lee

윤 진 하

정회원

J. H. Yun

SUMMARY

This study was initiated in order to find an alternative fuel substituting for light oil, the most common fuel for heating greenhouse. The tire oil used in this research was produced by pyrolysis process, one of the final products besides steel string and carbon black, in which waste tires, as a form of chopped pieces broken by shredding machine, are heated up to 200~300°C with maximum restraining of oxygen supply. In order to justify light oil equivalent qualities in tire oil combustion characteristics were defined in the way of comparing kinetic viscosities in the wide range of temperature, flame sizes and exhaust gas components in the various combustion conditions. We found that kinetic viscosity of tire oil was lower than light oil by 1 to 2 cSt in the temperature range showing better flowing mobility in the fuel line of the burner and no significant difference in flame size between the two oils in the all combustion treatments. However, much more NO and SO₂ were detected from the exhaust gases of tire oil than light oil combustions. In fact, tire oil contains more nitrogen and total sulfur, by 25 times and 40 times respectively, than light oil, according to the composition analysis. Tolerable limit for SO₂ discharge amount defined by the national air pollution standards is under 540ppm, so tire oil combustion satisfies the requirement though. It is desirable if sulfur and nitrogen filtering process shall be added in the tire oil production line. Except the exhaust gas components, all greenhouse heating qualities of tire oil including hot air temperature are very identical to those of light oil.

주요용어(Key Words) : 페타이어오일(Waste tire oil), 연소(Combustion), 화염(Flame), 배기가스(Exhaust gas), 열분해(Pyrolysis)

1. 서 론

페타이어 발생량은 1997년의 경우 약 2,000만개로서 그 중 약 61%가 재활용되고 있다. 정부에서

는 페타이어 재활용율을 2002년까지 85%로 계획하고 있으며, 이를 위해 페타이어를 이용한 다양한 용도의 재생제품 기술개발 및 재생제품에 대한 수요기반 확충에 힘을 쏟고 있으나 근본적인 처리

This article was submitted for publication in August 2000; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2000. The corresponding author is Y. J. Kim, Researcher, Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Suhdun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-100, Korea. E-mail: <kim0yoj@rda.go.kr>. This project was funded the Agricultural R&D Promotion Center. We are very grateful for the grant that could initiate this research.

방안 수립에 대한 대책이 미진하여 대부분 방치 또는 보관되고 있는 실정이다. 페타이어의 이용방법으로는 페타이어를 원형으로 이용하는 방법과 소각에 따른 발생열을 이용하는 방법 및 분말가공 방식을 통한 재활용방법 등이 있다. 원형 이용방법으로는 페타이어를 재생하여 재활용하는 방법, 어초나 사방공사 등에 이용하는 방법이 있으며, 소각방법으로는 페타이어의 직접소각방법(direct combustion), 열분해 방법(gasification and pyrolysis) 등이 있고 분말가공 방법으로는 페타이어를 분쇄하여 분말화 된 고무입자를 가공하여 보드블록이나 고무벽돌 등을 제조하여 건설자재로 이용하거나 고속도로 등의 아스팔트 포장에 이용되는 고무 아스팔트 등에 이용하는 방법이다. 직접소각은 완전산화방법이라 할 수 있고 gasfication은 제한산화 방법이고 pyrolysis는 비산화적 방법으로 무산소 상태의 열분해로 가스, 액체와 차르가 최종산물이다. 페타이어의 저온열분해 공정은 원형 또는 파쇄된 페타이어를 산소공급이 차단된 분해로에 투입하고서 일정시간동안 약 500℃ 이하에서 가열하는 것으로서 이 때 페타이어오일 (40~60%), 카본블랙(20~30%), 철심 (5~10%), 미량의 가스 등이 타이어로부터 분해된다. 페타이어의 열이용율은 일본 51%, 미국 77%로 우리 나라의 3%에 비해 월등히 높다.

시설농업에서 페타이어 재활용은 페타이어를 건류소각 하므로써 그 열로서 온실난방을 시도한 바 있으나 설치비용이 고가일 뿐만 아니라 고온의 소각열로 인한 시설장치의 내구성 및 원료공급문제에 부딪쳐 크게 보급되지 못하였다. 1999년도 면세유 공급량은 2,449천kl로 이중 시설농업난방유로 사용되는 경유, 중유공급량은 1,724천kl가 되며 이 중 약 70%가 시설농업난방유로 사용된다. 면세경유의 가격은 IMF시대에는 리터당 약 700원을 정점으로 근래에는 350원으로 안정되어 있으나 난방비용은 여전히 농업경영비에서 30% 정도의 큰 비율을 차지하고 있으며, 총경영비에서 난방비가 차지하는 비용이 지속적으로 증가하여 경유대체 연료의 개발이 시급한 실정이다. 페타이어 열분해로 의한 페타이어오일의 경유대체 효과는 연간 약 1,000만개를 페타이어오일 생산으로 처리한다고 할 때 약 6만kl, 전체 난방비의 8%로 200억원으로 추정된 바 있다(김, 1998). 본 연구의 목적은

페타이어오일의 경유대체 연료로서의 가능성, 경유버너에서 연소상태 및 난방성능 등을 경유와 비교시험하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 페타이어오일의 특성

페타이어오일의 특성규명을 위해 원소분석, 발열량과 수분 함량을 조사하였다. 발열량측정기로는 PARR 1261 Calorimeter, 유기원소분석기는 C.H.N.-1000 Elemental Analyzer와 총유황분석기로는 SC-432DR Sulfur Analyzer를 사용하였고, 발열량 분석방법으로는 KS M2057, 수분 분석방법으로는 KS M2058, 황분 분석방법은 KS M2060에 따랐다. 위 제 분석은 한국에너지기술연구소에 의뢰하여 실시하였다.

나. 동점도

페타이어오일의 동점도를 측정하기 위하여 로타리식 디지털점도계(Brookfield DV-II)를 사용하였고 점도측정의 온도범위는 0~40℃에서 실시하였으며, 이때 밀도도 같이 측정하여 동점도를 계산하였다. 페타이어오일의 온도조정은 실리콘유를 담은 전기가열식열수조에서 하였다.

다. 연소 특성

페타이어오일과 경유의 연소 특성을 조사하기 위하여 온풍기버너에서 화염의 길이 및 지름, 배기가스 성분 및 매연농도, 연료소비량 등을 조사하였다(표 1과 그림 1).

사용버너는 분사압력 980kPa에서 14.175 l/hr (3.75 gallons/hr)를 분사하는 노즐을 부착한 건타입 경유버너로서 공기량은 에어덤퍼를 조정하면서 electronic balometer로 측정하였고 분사압력은 펌프에 압력계를 부착하고서 분사압력스크류로 조정하였다. 풍량은 7.5, 11.47, 13.88, 20.46m³/min로 4수준으로 하였고 분사압력은 588, 784, 980, 1176, 1372kPa, 5수준으로 전부 20개의 처리를 만들어 각 처리에서 화염의 길이 및 지름을 디지털카메라

Table 1. Experiments conducted to figure out the combustion characteristics of waste tire oil and light oil

	Checking items	Equipment	Condition	Remarks	
Dimension of flame	Length and diameter	Digital camera	Airflow rate: 4 levels (7.5, 11.47, 13.88, 20.46 m ³ /min) injection pressure: 5 levels (588, 784, 980, 1176, 1372KPa)	Gun type burner(14.175 ℓ/hr)	
Combustion performance	Hot air temp.	Hot air and exhaust gas temp.	T type thermocouple	Same as above	
	Components of exhaust gas	O ₂ , CO ₂ , CO, NO, SO ₂ , air ratio, T _{gas} , T _{air} , Smoke scale	Exhaust gas analyzer (eurotron greenline)	Same as above	
	Fuel consumption	Fuel consumption rate(kg/hr)	Electronic balance	Same as above	

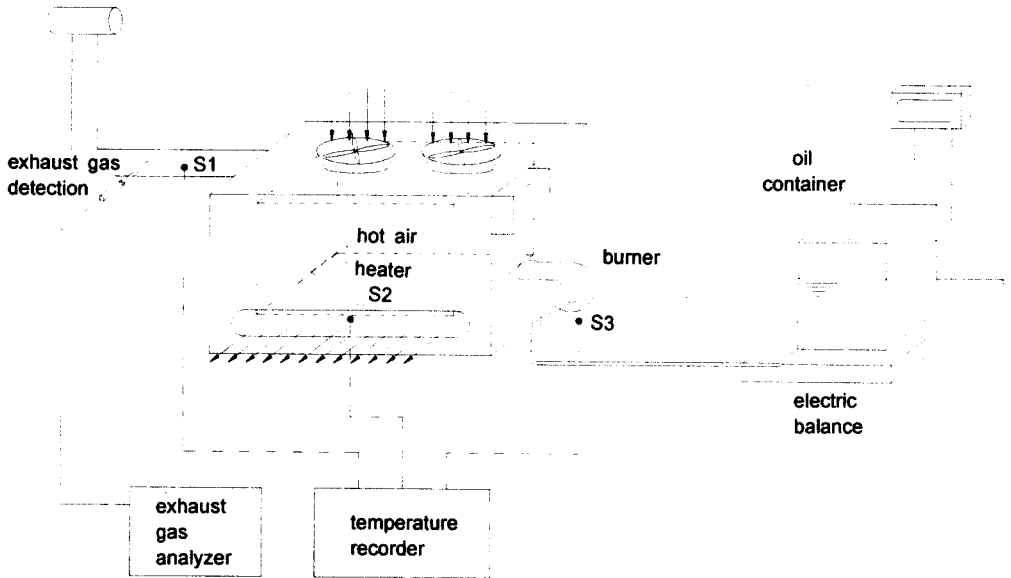


Fig. 1 Measurements of combustion related parameters in the hot air heater.

로 촬영하여 컴퓨터에서 출력하여 그 크기를 정하였다. 화염크기를 정밀하게 읽기 위하여 투명아크릴상자를 만들고 아크릴판에 가로 100mm 세로 50mm 간격으로 눈금을 표시하였으며, 외기의 기

류영향을 최소화 하기 위하여 상자 안으로 분사시켜 사진을 찍었다. 또한 버너를 온풍기에 부착하여 각 처리에서 온풍온도와 배기가스의 성분, 연료소비량을 측정하였다(그림 1).

Table 2. Compositions and calorific value of the waste tire oil and the light oil

Oil \ Item	Compositions				Calorific value (kcal/kg)	Water content (wt, %)	Specific gravity (25C)
	Carbon (wt%)	Hydrogen (wt%)	Nitrogen (wt%)	Total sulfur (%)			
Waste tire oil	83.70	11.20	0.25	0.38	10,400	3.04	0.9
Light oil(B Co.)	85.9	13.85	0.01	0.09	9,200	0	0.83

3. 결과 및 고찰

가. 성분과 발열량

표 2에 페타이어오일과 경유의 성분과 발열량을 비교하여 나타내었다. 페타이어오일과 경유의 탄소와 수소비율은 중량기준으로 83.7, 11.2%, 85.9, 13.85%로 경유가 조금씩 높았다. 반면, 질소와 전유황은 페타이어오일이 0.25, 0.38%로 경유의 0.01, 0.09% 보다 25배, 40배 정도 더 함유하고 있음을 알 수 있었다. 보일러용 경유의 유황 규정치는 0.2%로 페타이어오일은 규정치 이상을 함유하고 있음을 알 수 있었지만 저유황 사용지역 이외의 난방용 규정치 1% 이하는 만족시키는 것으로 나타났다. 경유는 수분이 검출되지 않았지만 페타이어오일은 수분을 3.04% 정도 함유하고 있었고 비중은 페타이어오일이 0.9, 경유가 0.83으로 조사되었다. 발열량은 페타이어오일이 10,400 kcal/kg으로 중유와 비슷하고 경유의 9,200 kcal/kg 보다 1,200 kcal/kg 더 높아 발열량 측면에서 본다면 페타이어오일의 연료가치가 경유보다 우수하다고 볼 수 있었다.

나. 동점도

그림 2는 페타이어오일과 경유의 동점도를 보여준다. 점도 측정범위는 0℃에서 40℃로서 전체적으로 페타이어오일의 동점도는 경유보다 1~2℃ 낮았다. 5℃에서 페타이어오일의 동점도는 5cSt인 반면에 경유의 동점도는 6.8cSt로 측정되었다. 장기간 연소시험에서도 온풍난방기 버너운전에서 필터가 막힌다든지 화염이 꺼지는 현상은 발견되지 않았다.

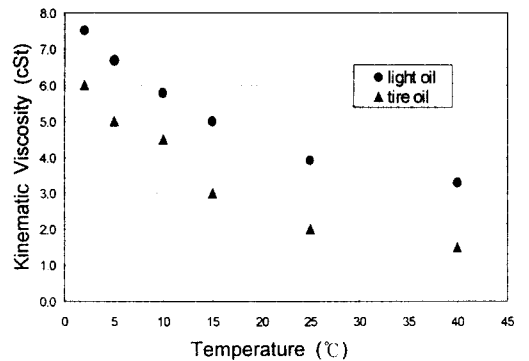
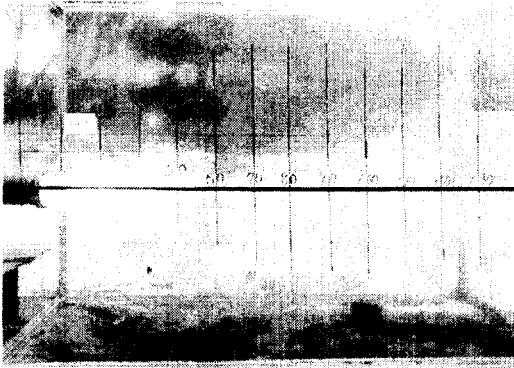


Fig. 2 Comparison of kinematic viscosity between waste tire oil and light oil.

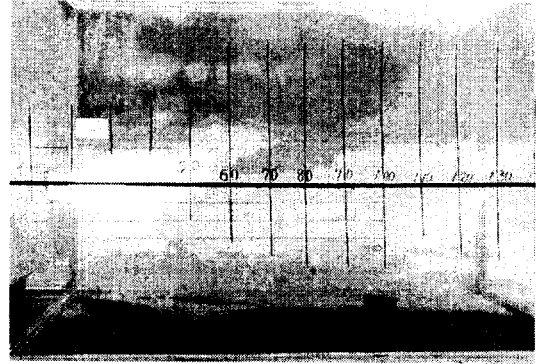
다. 화염크기

그림 3, 4는 대표적인 연소조건에서 화염크기를 비교한 것이다. 분사압력 980kPa과 풍량 11.47 m³/min에서 페타이어오일과 경유의 화염크기의 길이는 600, 620mm, 지름은 210, 140mm로 관측되었다. 페타이어오일의 화염길이는 경유보다 20mm가 짧은 반면에 지름은 70mm가 긴 것으로 나타났다.

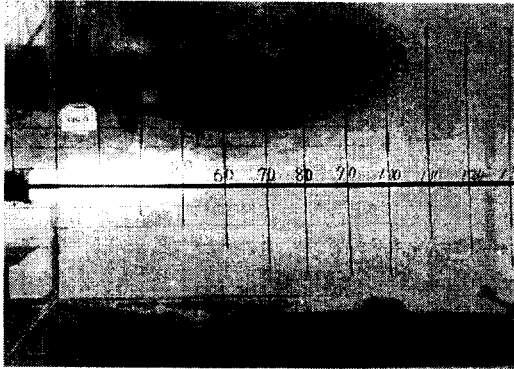
분사압력 588kPa, 풍량 7.5m³/min (그림 4)에서 페타이어오일의 화염크기는 길이와 지름이 각각 800, 200mm로 경유의 680, 160mm를 증가하고 있다. 표 3은 각기 다른 분사조건에서 페타이어오일과 경유의 화염크기를 나타낸다. 전체적으로 표 3에서 보면 페타이어오일의 화염길이는 경유보다 길게 관측되었지만 지름의 크기에 관해서는 일정한 성향을 보이지 않았다. SAS ANOVA 분석에 의하면 귀무가설 즉 “화염의 길이는 오일의 종류에 따라 다르다”, “화염의 지름은 오일의 종류에 따라 다르다”는 명제를 모두 5% 수준에서 기각시



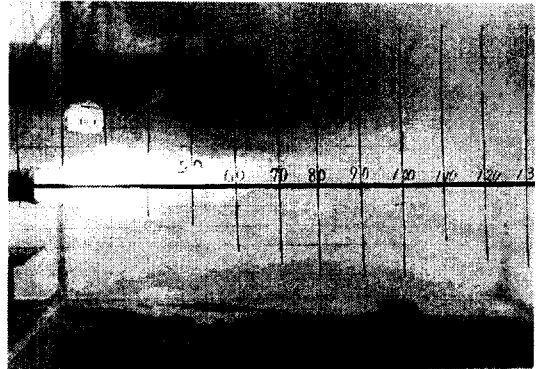
Waste tire oil



Tire oil



Light oil



Light oil

Fig. 3 Flame size of light oil and waste tire oil at injection pressure of 980 kPa and air supply amount of 11.47m³/min.

Fig. 4 Flame size of light oil and waste tire oil at injection pressure of 588 kPa and air supply amount of 7.5m³/min.

킴으로서 페타이어오일과 경유의 화염크기는 차이가 없다는 것이 입증되었다. 이러한 길이의 차이는 분사량(표 4)과 관계가 있는 것으로 추측되며 전체적으로 페타이어오일의 분사량이 경유보다 1~2kg/hr 더 분사되었지만 부피기준으로 환산하면 3% 이내에 있다는 것을 알 수 있었다. 분사량 차이는 비중과 점도의 차이로 인해 발생한 것으로 사료된다.

화염의 색깔은 경유가 페타이어오일보다 더 진한 노란빛을 띄고 있었다. 오일연소에서 화염이 좋다는 것은 오렌지색깔을 띄고 불꽃은 힘있게 적당한 길이로 굽게 나와야 하며 탄산가스 함량이 완전연소 기준에 근접해야 한다. 육안적 조건을 만

족시키는 대표적 화염이 그림 3이라 할 수 있겠다.

라. 배기가스

페타이어오일과 경유를 건타입버너가 부착된 온풍기의 연소로에 분사 연소시키고 그 배기가스를 연통 50cm에서 채취하였다(그림 1). 페타이어오일의 전체적 연소경향은 경유와 배기가스온도, CO농도 등에서는 어떤 경향치를 발견할 수 없었지만 황산화물(SO₂)과 일산화질소(NO)에서는 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 이는 표 1에서 나타난 바와 같이 오일의 구성성분 차이 때문인 것으로 보인다.

Table 3. Flames dimensions of waste tire oil and light oil at the different combustion conditions

Injection pressure (kPa)	Air supply rate(m ³ /min)	Dimension of flame (mm)					
		Waste tire oil			Light oil		
		Length	Diameter	Injection rate(kg/hr)	Length	Diameter	Injection rate(kg/hr)
588	7.5	800	200	11.2	680	160	10.1
	11.47	600	150		520	150	
	13.88	550	140		500	130	
	20.46	520	120		480	120	
784	7.5	700	160	12.5	680	160	11.2
	11.47	620	130		560	150	
	13.88	600	140		520	140	
	20.46	580	120		510	110	
980	7.5	880	170	14.4	870	180	12.7
	11.47	600	210		620	140	
	13.88	580	160		600	120	
	20.46	570	130		510	120	
1176	7.5	880	180	15.5	980	180	13.8
	11.47	760	160		650	160	
	13.88	700	150		620	150	
	20.46	650	140		560	110	
1372	7.5	1050	190	16.4	880	220	15.0
	11.47	810	200		950	150	
	13.88	700	140		620	140	
	20.46	650	130		600	130	

보통 온풍난방기 제조업체에서 적정 분사조건을 결정할 때 주요 고려사항은 O₂ 비율, CO₂ 비율, CO 농도, NO, SO₂, 배기가스온도 등을 고려하여 정하는 바 경유의 경우 O₂ 5% 부근, CO₂ 11~12% 정도가 기준이 된다. 이에 가장 적합한 분사 조건이 980kPa와 11.47m³/min, 1372kPa와 13.88m³/min 이 될 수 있다(Kim, 1999a). 그러나 1372kPa, 13.88m³/min의 배기가스온도(270~280℃)는 분사량

이 많아서 너무 높다고 볼 수 있다. 따라서 본 시험에서 사용한 온풍기에 적합한 분사조건은 980kPa, 11.47m³/min이 합리적이라 할 수 있다. 이 조건에서 페타이어오일과 경유의 CO₂ 비율은 11.8, 11.5%로 나타났지만 페타이어오일의 NO는 422ppm 으로 경유의 42ppm에 비해 9배나 높았으며 경유의 SO₂는 0ppm, 페타이어오일은 185ppm으로 계측되었다. 이 수치는 우리 나라 대기오염 저

Table 4. Compositions of exhaust gas in tire oil and light oil combustions in the furnace situated in the hot air heater

Injection pressure (kPa)	Air supply rate(m ³ /min)	Compositions of exhaust gas									
		Tire oil and light oil (<i>italic char.</i>)									
		O ₂ (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	air ratio	T _{gas} (C)	T _{air} (C)	smoke scale	
588	7.5	2.5	193	13.7	302	169	1.14	177	27	8	
		3.3	82	13.1	36	0	1.18	181	33	9	
	11.47	8.5	0	9.2	321	125	1.68	237	27	6	
		9.2	94	8.7	27	0	1.79	235	33	3	
	13.88	10.4	38	7.8	244	47	1.97	250	26	4	
		11.0	1346	7.4	6	0	2.09	246	33	3	
	20.46	12.8	7514	6.1	125	31	2.54	253	26	5	
		15.9	3599	3.7	22	68	4.10	187	32	5	
	784	7.5	1.3	8982	14.6	222	180	1.06	172	26	9
			1.2	11523	14.7	27	327	1.06	169	33	9
11.47		6.0	4	11.1	433	154	1.39	242	25	5	
		6.9	0	10.4	40	0	1.49	243	33	2	
13.88		9.2	10	8.7	329	48	1.77	259	24	3	
		9.5	0	8.5	34	0	1.82	257	33	2	
20.46		11.4	194	7.1	194	16	2.18	272	22	4	
		11.8	2101	6.8	4	0	2.28	270	33	4	
980		7.5	1.2	off	14.7	252	off	1.06	158	30	7
			0.6	off	15.1	31	off	1.03	164	32	8
	11.47	5.1	0	11.8	422	185	1.32	254	30	2	
		5.4	1	11.5	47	0	1.34	251	31	1	
	13.88	7.5	0	10.0	393	171	1.55	273	28	4	
		11.0	21	7.4	28	0	2.1	284	33	2	
	20.46	10.2	0	8.0	291	95	1.94	286	27	2	
		10.6	off	7.6	31	off	2.02	285	32	1	
	1176	7.5	1.5	off	14.5	221	off	1.08	139	29	8
			1.1	off	14.8	36	off	1.06	156	32	9
11.47		4.0	3	12.6	391	273	1.23	252	29	4	
		4.1	0	12.5	51	0	1.24	256	32	2	
13.88		6.5	3	10.7	386	238	1.44	274	28	2	
		6.5	0	10.7	48		1.44	281	33	1	
20.46		9.0	18	8.9	315	130	1.74	295	27	2	
		9.6	0	8.4	38		1.84	295	31	2	
1372		7.5	1.2	off	14.7	252	off	1.06	141	27	8
			1.3	off	14.6	33	over	1.07	151	31	8
	11.47	1.9	21	14.1	348	252	1.10	268	26	6	
		2.6	0	13.7	52	0	1.14	267	31	3	
	13.88	5.2	0	11.7	429	243	1.33	285	28	4	
		6.0	0	11.1	49	0	1.39	273	28	1	
	20.46	8.3	0	9.4	356	169	1.65	308	29	2	
		8.5	0	9.2	49	0	1.68	306	29	1	

유황 1.0% 이하지역 대기환경기준치 540ppm 보다 낮고 또한 매연농도가 6 이하이므로 온풍난방기 연료로 사용해도 무방한 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

페타이어 저온열분해로 취득한 페타이어오일을 시설농업 난방유로 사용하고자 하는 노력의 일환으로 페타이어오일의 연료특성과 연소특성을 경유와 비교하고자 이 시험을 수행하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1) 페타이어오일의 원소성분은 탄소, 수소비율은 83.7%, 11.2%로 경유의 85.9%, 13.85%와 큰 차이를 보이지 않았지만 질소, 전유황은 각각 0.25, 0.38%로 경유의 0.01, 0.09% 보다 월등히 높았으므로 인해 배기가스 성분에서 질소화합물과 황화합물도 높게 나타났다.

2) 페타이어오일과 경유의 동점도는 5℃에서 5cSt, 6.8cSt로 페타이어오일이 경유보다 조금 낮았으며 버너의 연료공급은 원활히 이루어졌다.

3) 페타이어오일의 연소특성시험은 건타입버너에서 분사압력과 버너의 풍량을 조절하여 화염크기와 배기가스 성분을 경유와 비교하여 조사한 결과 적정연소조건은 분사압력 980kPa, 풍량 11.47 m³/min 이었으며, 이 때 페타이어오일의 화염의 길이, 지름 및 배기가스온도는 각각 760mm, 160mm, 254℃, 경유는 650mm, 160mm, 251℃로 측정되었다. 통계분석에 의하면 두 오일의 화염크

기는 차이가 없는 것으로 나타났다.

4) 배기가스 중의 SO₂와 NO 농도는 페타이어오일이 185, 422ppm으로 경유의 0, 47ppm보다 월등히 높았으나 대기오염 배출허용기준 (540ppm) 이하로 나타나 경유대체유로 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 사료되지만 이를 감소시킬 수 있는 공정투입이 열분해공정에 포함되는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. 김홍모. 1998. 시설농업 난방용 연료회수를 위한 페타이어의 저온열분해 처리기술개발. 농림기술개발사업계획서
2. 김광렬, 노수영. 1995. 연소공학 동화기술
3. Kim, Y. J. and et al. 1999. Spraying and combustion characteristics of heavy oil in the gun type burner for hot air heater. J. KSAM 24(2):107-114
4. Kim, Y. J. 1999. Development of LPG hot air heater for greenhouse heating. Proceedings of the KSAM 1999 summer conference. pp. 313-319
5. Kim, Y. J. and et al. 2000. Heat recovery characteristics of the hot water supply system with exhaust heat recovery unit attached to the hot air heater for plant bed heating in the greenhouse. J. KSAM. 25(3):221-226.