

온풍난방기용 건타입 중유버너의 분사특성과 연소특성

Spraying and Combustion Characteristics of Heavy Oil in the Gun Type Burner for Hot Air Heater

김영중*	유영선*	장진택*	윤진하*	연태용**
정회원	정회원	정회원	정회원	
Y. J. Kim	Y. S. Ryou	J. T. Chang	J. H. Yun	T. Y. Yeon

ABSTRACT

To find the best combustion conditions in the heavy oil burner kinetic viscosity of heavy oil A, B and C at different temperature range, from 40 to 140°C, and the droplet sizes of the heavy oils at different temperature and pump pressure were measured. And, combustion characteristics were investigated under the different conditions : two different heavy oil and three different oil temperature. At temperature of 70, 100, 130°C the kinetic viscosity of heavy oil A and B are 7.9, 5.7, 4.3 and 30.4, 13.7, 7.9cSt, respectively. The greatest and smallest viscosity were 7,455 cSt at C oil on 27°C and 4.26cSt at A oil on 140°C. The magnitude of viscosity difference between at 100°C and 140°C under 6 cSt in cases of A and B oil, but more than 30cSt on C oil. Of the droplet sizes, the biggest and smallest droplet size in A oil were 98 μm at oil temperature of 130°C(4.3cSt), pump pressure of 1.57MPa and 72 μm at 70°C(7.9cSt), 2.35MPa, while of the B oil they were 67 μm at 70°C(30.4cSt), 1.57MPa and 52 μm at 130°C(7.9cSt), 2.35MPa, respectively. It appeared that as spraying pressure increased the droplet size decreased, however, no distinct differences were found in the effects of kinetic viscosity on the droplet sizes of the test range. The best combustion performance was observed when droplet size, spraying pressure and oil temperature were 73 μm, 2.35MPa and 70°C producing CO₂ of 13.1%, CO of 13ppm and flue gas temperature of 250°C in A oil combustion. For B oil, it was 100°C, 2.35MPa, 52 μm, producing CO₂ of 14.1%, CO of 10ppm and flue gas temperature of 260°C. In general, it appeared that better combustion results were observed in the smaller droplets produced burner condition.

주요용어(Key Words): 중유(Heavy Oil), 입자크기(Droplet Size), 동점도(Kinetic Viscosity), 연소(Combustion)

1. 서 론

중유는 잔사유, 보일러유, 벙커유 또는 C중유라고도 하며 사용목적에 따라 적당히 조절하므로 그 특성도 다양하고 규격도 각국마다 상이하다 (이, 1998). 우리 나라에서 중유는 동점도, 인화점, 유동점 등의 여러 기준에 의해 A, B, C 중유로 분류되는데 일반적으로 50°C에서의 동점도와 중유에 포함되

는 유황의 무게비율(%)로 구분된다. A중유는 동점도가 20cSt 이하로 유황 함유량은 2.0% 이하, B중유는 50 이하, 3.0%, C중유는 540 이하, 4.0%로 규정되어진다. 보통 정유회사에서는 중유 C를 비등점 350°C에서 증류한 다음 A유는 C유분 70%, 경유유분 30%를 섞어 만들고 B유는 A, C유를 대강 반반씩 섞어서 제조한다. 중유 연소는 중유의 높은 점도 때문에 예열의 필요성이 있으며 대규모 용량시설에서는

* 농업기계화연구소

** 신홍콘트롤

건타입버너 보다는 로타리식 버너로 연소한다. C중유는 대도시 및 근교지역에서는 대기환경오염방지법에 의해 원칙적으로 연소가 금지되어 있고 일반주유소에서는 구입이 곤란하며 일부 해안지방 및 제주도에서 온풍난방기 및 온수보일러시스템 연료로 사용되고 있다. 대규모 시설원예단지에는 수백만 킬로칼로리의 중유 온수보일러 난방시스템이 사용되고 있으며 버너종류는 로타리식버너가 주로 사용되고 있다. 건타입 중유버너의 용량은 소형으로 주로 20~30만kcal 짜리가 주종을 이루고 있으며 A, B중유를 사용한다. 중유버너의 수요는 중유 구입이 상대적으로 쉬운 제주도에 1,000대, 남부 해안지방에 약 500대로 연간 시장규모는 약 25억으로 업계에서는 추정하고 있다.

경유는 우리나라 온실난방유의 주종으로 90% 이상을 차지한다. 1997년 겨울 면세 경유가격이 507원/l였을 때 중유가격은 360원으로서 100원당 유효발열량은 경유 1,164kcal, 중유 1,753kcal로서 경유 온풍난방과 비교할 때 33%, 600평 온실기준으로는 400만원의 연료비 절감효과가 있었다 (권, 1998). 건타입버너에서 중유 사용은 경유와는 달리 중유의 높은 점도 때문에 가열장치를 부착하여 중유의 유동성을 증가시켜 분사해야 한다. 현재 우리나라 대부분의 건타입 중유버너는 외국에서 완제품을 수입하거나 주요부품이 수입되어 조립되고 있다. 국내 중유버너생산업체에 의하면 수입중유버너는 생산국의 중유성질에 맞게 설계 제작되어 우리나라의 중유성질과는 과히 맞지 않아 여러 가지 문제를 야기하고 또 중유질이 낮아 불완전연소로 인한 그을음(soot)이 많이 발생하여 연소 효율이 해가 갈수록 저하하며 (60~70%) 고장이 자주 발생한다고 한다. 현재 중유는 점도 때문에 B중유의 경우 100~130℃로 가열하여 분사시키는데 가열온도 및 분사 압력에 대한 분사입자의 크기라든가 분사입자와 연소 성능에 관한 관계자료가 찾아보기 힘든 실정이다.

본 연구의 목적은 건타입 중유버너에서 중유의 점도 특성에 따른 분사입자의 특성과 이에 따른 연소 특성을 규명하여 중유 연소에 대한 이해를 높이고 효율적인 중유사용지침 마련과 중유버너 설계에 관한 기초자료를 수집하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험설계

중유의 분사특성과 연소특성을 조사하기 위해 현재 사용중인 중유 분사조건을 고려하여 분사압력 3수준, 온도 3수준으로 정했다(표 1). 각 측정값은 3반복의 평균값을 취하였다.

나. 점도 측정

점도 측정은 중유 A, B, C에 관하여 측정하였다. B유는 A, C유를 50%씩 배합하여 제조하였다. 중유는 국내 A정유회사의 제품으로 주요성분과 물리적 성질은 표 2와 같다.

Table 1 Experimental variables and their levels

Variables	Levels	No. of level
Pressures, MPa (kg/cm ²)	1.57, 1.96, 2.35 (16, 20, 24)	3
Temperatures (°C)	70, 100, 130	3

Table 2 Characteristics of heavy oil A and C

Item	Heavy oil A	Heavy oil C
Pour point (°C)	-12	12
Gravity, API at 60°C	28.0	16.4
Density, kg/L at 15°C	0.8867	0.9502
Viscosity, kin, cst at 50°C	8.791	402.1
Components (%)		
C	83.01	85.34
H	18.59	12.49
N	0.07	0.11
O ₂	0.35	0.2~1
S	0.5	0.5

중유의 동점도 측정을 위하여 1ℓ의 중유를 용기에 넣고서 항온조에서 가열시켜 정해진 온도에 도달하면 회전식점도계(Model B Viscometer, Tokyo Keiki Co.)로 절대점도(absolute viscosity)를 측정하고 동시에 메스실린더와 저울을 사용하여 밀도를 측정하였다. 각 온도에서의 동점도(kinetic viscosity)는 절대점도를 밀도로 나눈 값을 취했다. 항온조에는 비등점이 140℃인 실리콘유를 사용하여 100℃ 이상 범위에서도 중유의 점도 측정이 가능하도록 하였다.

다. 분사입자의 입경 측정

분사입자의 입경 측정은 말븐입자측정기(Malvern particle sizer 2600)를 사용하였다. 말븐입자측정기는 광산란기술을 분무입자 측정에 적용한 것으로 편리성, 정확성 및 반복성은 이미 여러 문헌에서 입증되었다(Lefebvre, 1989). 본 시험에서 규정하는 입자크기는 말븐입자분석기에서 계산되는 값으로 입자크기에 따른 분사량을 누적시켰을 때 전체 분사량의 50% 되는 지점에서의 입자크기다. 렌즈의 초점거리는 300mm로 정했으며 입자크기 측정범위는 5.8~564 μm 이다. 측정위치는 노즐선단으로부터 레이저선까지의 거리가 200mm인 지점으로 정하였다. 그림 1은 중유버너 및 말븐입자측정장치를 보여준다.

중유버너에는 3kW 짜리 히터가 부착되어 있고 hago 노즐(3.75gals/hr, 60°, hollow cone type)에서 가열된 중유를 분사시킨다. 분사펌프(Suntec, E4NA 10015P, FRANCE)는 최고 토출압력이 24kgf/cm²인 기어펌프를 사용하였으며 분사압력 조절은 압력계 이저를 펌프에 부착하여 압력 조정나사를 조정하여 실시하였고 송풍기의 풍량은 전 시험조건에서 13.8

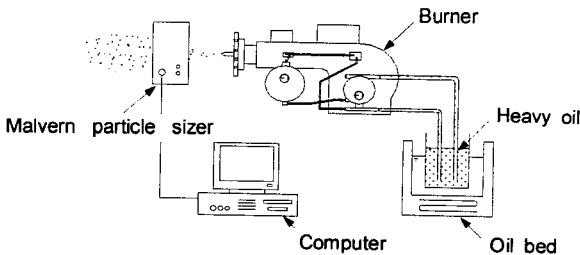


Fig. 1 Experimental set-up for droplet size measurement.

m³/min로 고정하였다. 이 때 유조에는 비등점이 140℃인 실리콘유를 채워 100℃ 이상의 분사조건도 만족시켰다.

라. 연소특성 측정

연소특성 측정은 분사입자 측정에서 사용한 버너를 중유온풍기(Model SHAH-200H, 연소로 Ø776×L2140, 2 Pass, 열교환기 Ø76.3×L2120)에 부착하여 실시하였다. 시험변수와 수준은 실험설계에 따라 수행하였으며 연소가스분석기로는 Kane-May MODEL KM-9104를 사용하여 배기가스의 성분을 측정하고 비교함으로써 최적 연소조건을 결정하였다. 과잉공기비의 측정방법으로는 4가지가 있으며(김 등, 1995) 본 시험에서 사용한 연소가스분석기의 과잉공기비 측정방법은 완전 연소시의 CO₂치, 즉 완전 연소시 최대 CO₂양과 분석기에서 측정되는 CO₂양의 비로 나타난다.

3. 결과 및 고찰

가. 중유의 동점도

그림 2는 반로그 그래프로 중유 A, B, C, 및 경유의 동점도를 온도에 따라 나타냈다. 온도범위는 상온 27℃에서부터 140℃로 동점도는 최고 7455 cSt(C유, 27℃), 최저 4.26cSt(A유, 140℃)로 나타났다.

온도 변화에 따른 동점도 변화 특성은 기대했던

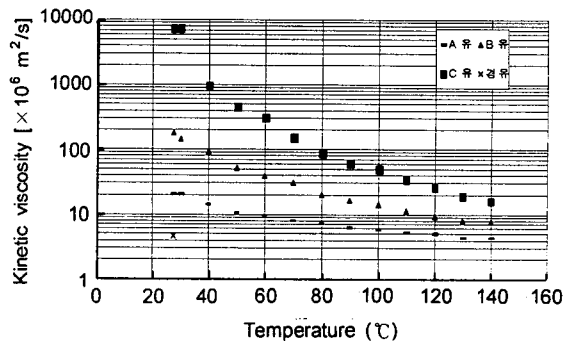


Fig. 2 Kinetic viscosity of heavy oil A, B and C.

대로 역비례 관계였고 증유의 종류에 따라서 큰 차이를 보였다. 100℃를 넘어서 140℃까지 A, B 유는 6cSt 이하의 변화가 관측되었고 C증유는 30cSt 이상의 변화를 보였다. 온도 70, 100, 130℃에서 A증유의 동점도는 7.9, 5.7, 4.3 cSt 이고 B증유는 30.4, 13.7, 7.9cSt 로 측정되었으며 온도가 증가함에 따라 점도는 감소하였다.

나. 분사 특성

(1) 입자크기

그림 3는 증유 A와 B의 온도와 압력에 따른 증유 입자 크기를 나타냈다. A증유 입자의 최대크기는 130℃(4.3cSt) 1.57MPa에서 98 μm로 나타났고 최소 입자크기는 70℃(7.9cSt), 2.35MPa에서 72 μm로 나타났으며 B증유의 입자크기는 최고 67 μm로서 온도 70℃, 점도 30.4cSt, 압력 1.57MPa에서 발생하였고 최소입자는 52 μm로 온도 130℃, 점도 7.9cSt, 압력 2.35MPa에서 발생하였다. A, B 증유는 공통적으로 압력이 클수록 입자크기가 줄어들었으며 입자크기에 미치는 점도의 영향은 A 증유에서는 뚜렷하게 나타나지 않았고 B 증유에서는 점도가 작아짐에 따

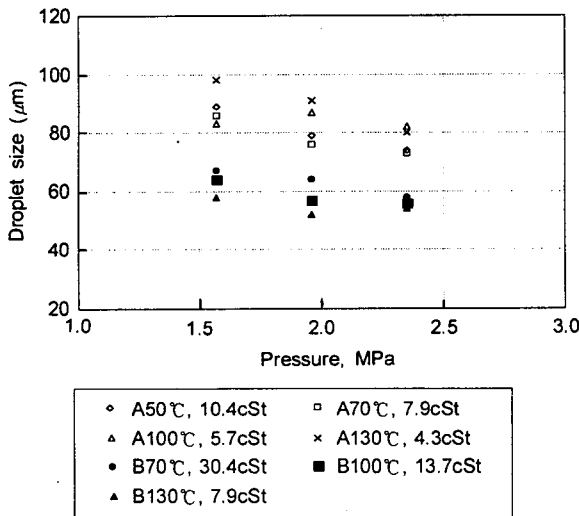


Fig. 3 Droplet size changes of heavy oil A and B by temperature and pressure in the heavy oil burner with hago nozzle of 3.75gal/hr and 60°.

라 입자크기가 감소되었으나 높은 압력에서는 크게 차이가 나지 않았다.

일반적으로 점도가 증가함에 따라 입자크기는 크게 나타나는 경향이 있다고 알려졌으나 사실은 유량계수(flow number, m²), 노즐의 종류, 유체의 표면장력(surface tension) 등에 따라 상반되는 결과가 보고되었다. Wang과 Lefebvre(1987)에 의하면 디젤유에 폴리부테인(polybutene)을 섞어 여러 점도의 유체를 만든 후 DELAVAN 노즐 90° 로 시험한 결과 같은 압력(0.3~2.0MPa)에서 입자의 크기는 점도가 높을수록 커지는 경향을 보였지만 같은 점도에서 유량계수(flow number, m²)가 작은 경우에는 유량계수가 큰 유체보다는 평균입자가 작다는 것을 발견하였다.

본 시험에서 사용한 Swirl 타입 노즐은 일정압력에서 점도가 작은 유체는 점도가 큰 유체보다 분사량(질량기준)이 적은 특징을 가지고 있으며 일정한 압력과 온도에서 경유의 분사량이 물의 분사량 보다 적은 이유도 분사실내의 와류속도로 인하여 유체 통과면적이 감소하기 때문이다(Donker, 1998). 다른 이유로는 레이저 측정지점에서 입자의 중첩현상이 생길 수 있고 유체가 노즐에서 분사될 때 분열길이(breakup length)가 점도 및 분사압력에 따라 다르므로 측정지점의 위치에 따라 평균입자가 다를 수도 있다. Chiger(1991)는 유체의 점도와 표면인장력(surface tension)이 평균입자(SMD)에 미치는 영향은 문헌에 따라 서로 상충되는 결과가 많아서 명확히 정의할 수 없다고 하였다. 본 시험에 사용한 hago 노즐은 콘타입 분사각도 60° 인 노즐이며 분사각이 작을수록 점도가 평균입자에 미치는 영향이 작다고 알려졌다(T. F. Su, 1997).

(2) 입자분포

그림 4는 A, B 증유의 최적 분사조건에서 입자의 분포상태를 보여준다. A 증유의 평균입자는 72.86 μm이었고 B 증유는 50.87 μm으로 나타났다. A 증유의 입자분포 특성은 71.5 μm를 기준으로 보면 전체의 48.7%가 71.5 μm 보다 작은 입자였던 반면에 B 증유는 79.5%가 71.5 μm 보다 작게 나타났다. 이와 같은 입자분포의 특성 때문에 전체적으로 B 증유의 입자분포가 A 증유보다 작게 나타난 것으로 판단된다. 이 분사조건하에서 연소특성은 Table 4와 5에서 보면 A,

B 증유의 CO₂, CO, 배기가스 온도는 각각 13.1%, 13ppm, 250℃ 및 14.1%, 10ppm, 261℃가 되었다. 이러한 연소 특성은 입자분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨진다.

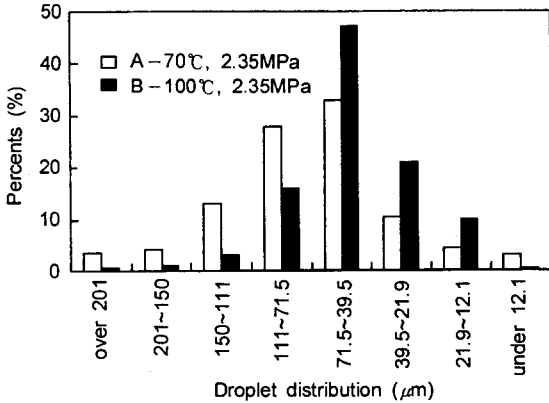


Fig. 4 Droplet distribution of heavy oil A and B by the different atomization conditions.

다. 연소 특성

(1) 연소성능

증유 A, B의 연소 특성은 연료의 분사압력과 온도를 변화시키면서 배기가스의 성분을 조사한 것으로 표 3과 4에 요약되었다.

전체적인 경향을 살펴보면 분무입자가 작을수록 연소성능이 우수함을 알 수 있었다. 증유 A의 온도 50℃에서 CO₂의 발생량이 10.8~13.8%로 우수했지만 CO의 농도가 온도 70℃에서의 연소보다 약 10ppm 더 배출되었으며 이에 따른 불완전연소로 배기가스의 온도도 210℃ 근처로 유온 70℃에서의 250℃ 보다 30~40℃ 낮게 연소되었음을 알 수 있었다. 따라서, 증유 A의 CO₂와 CO 발생량 및 배기가스 온도 등을 고려하면 적정 연소조건은 유온을 70℃로 유지시키면서 2.35MPa의 압력으로 분사, 연소하는 것이 가장 바람직스럽다는 것을 알 수 있었다. 이 때 분무입자의 크기는 73 μm, 동점도는 7.9cSt, CO₂와 CO 발생량 및 배기가스 온도는 각각 13.1%, 13ppm

Table 3 Combustion characteristics of heavy oil A in the different temperature and pressure

Temp (°C)	Viscosity (cSt)	Pressure (MPa)	Excess air ratio	CO ₂ (%)	CO (ppm)	O ₂ (%)	Flue gas temp. (%)	Efficiency (%)	Droplet size (μm)
50	10.4	1.57	1.46	10.8	26	6.6	196	91.8	89
		1.96	1.26	12.4	24	4.5	216	92.1	79
		2.35	1.14	13.8	23	2.7	224	92.5	74
70	7.9	1.57	1.61	9.8	14	7.9	240	88.4	86
		1.96	1.35	11.7	13	5.4	245	90.1	76
		2.35	1.2	13.1	13	3.5	250	91	73
100	5.7	1.57	1.72	9.2	24	8.7	212	89.4	89
		1.96	1.42	11.1	31	6.2	238	89.9	87
		2.35	1.3	12.1	17	4.8	237	90.9	82
130	4.3	1.57	1.7	9.3	20	8.6	223	88.9	98
		1.96	1.48	10.6	19	6.8	234	90.3	91
		2.35	1.34	11.7	19	5.4	212	91.7	80

Table 4 Combustion characteristics of heavy oil B in the different temperature and pressure

Temp. (°C)	Viscosity (cSt)	Pressure (MPa)	Excess air ratio	CO ₂ (%)	CO (ppm)	O ₂ (%)	Flue gas temp. (%)	Efficiency (%)	Droplet size (μm)
70	30.4	1.57	1.53	10.3	21	7.2	211	90.6	67
		1.96	1.17	13.4	19	3.1	237	91.8	64
		2.35	NOT AVAILABLE						58
100	13.7	1.57	1.37	11.5	11	5.7	240	89.8	62
		1.96	1.28	12.3	10	4.6	255	90.2	57
		2.35	1.11	14.1	10	2.2	261	91.2	52
130	7.9	1.57	1.55	10.2	10	7.4	239	88.9	63
		1.96	1.35	11.7	7	5.4	251	89.8	56
		2.35	1.24	12.7	4	4.1	212	91.7	54

및 250℃, 과잉공기비는 1.2로 나타났다. 한편 B 중유의 적정연소조건(Table 4)은 유온 100℃, 2.35MPa로 이 때 분사입자의 크기는 52 μm, 동점도는 13.7 cSt로 조사되었고 CO₂와 CO 발생량 및 배기가스 온도는 각각 14.1%, 10ppm 및 261℃, 과잉공기비는 1.11로 나타났다. 불완전 연소를 나타내는 척도 중의 하나는 배기가스 중의 CO의 농도로 판단할 수 있다. A, B 중유의 배기가스중 CO가 차지하는 비중은 전체적으로 보면 A 중유(13~31ppm)가 B 중유(4~21ppm)보다 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 여러 각도에서 볼 수 있겠지만 가장 합리적 이유는 분사입자 크기가 A 중유(73~91 μm)보다는 B 중유(52~67 μm)가 작다는 데서 기인한다고 볼 수 있을 것이다. 그 이유로는 분사입자가 크면 공중에 체류하는 시간이 짧고 따라서 연소실 벽이나 바닥에 부착하여 불완전 연소를 야기하여 CO 발생이 많아지는 직접적인 원인이 되었을 것이다.

(2) 각 변수사이의 상관관계

표 5는 시험변수와 측정된 값 사이에서의 상관계수를 나타내었다. 입자크기는 공히 압력에 역비례 관계가 있었으며 즉 압력이 커질수록 입자가 작아졌던($r = 0.74(p = 0.005)$, $0.85(p = 0.007)$) 반면 동점도

의 영향은 명확하게 나타나지 않았다 ($r = -0.508$, 0.612). 이는 앞에서 기술한대로 어떤 점도범위에서는 점도보다는 노즐의 형상이라든지 다른 요인이 입자크기 결정에 더 큰 작용을 하는 것으로 추정된다. 입자크기가 CO₂ 발생량에 미치는 영향은 각각 $-0.875(p = 0.0002)$ 및 $-0.642(p = 0.085)$ 로서 입자가 작을수록 연소가 성공적이었다는 것을 알 수 있었고 CO의 발생량은 B 중유에서는 분사입자 크기와 밀접한 관계를 보였지만 ($r = 0.795$) A 중유에서는 $r = 0.338$ 로서 시험조건 범위에서 입자크기의 영향은 뚜렷하지 못했다. 이는 어떤 다른 인자가 CO 생성과 관련이 있는 것이라 여겨진다. 연소효율은 CO₂ 생성량에 따른다고 볼 수 있지만 CO 양과의 관계는 미미한 것으로 나타났다.

(3) 과잉공기비와 CO₂ 양과의 관계

그림 5는 A, B 중유의 과잉공기비대 배기가스중의 CO₂ 농도를 보여준다. 과잉공기비와 CO₂는 거의 직선적인 관계를 보여주며 회귀방정식 $Y = -7.89X + 22.46 (R^2 = 0.98)$ 으로 표시될 수 있었다. 과잉공기비 1.15~1.2 범위에서 CO₂ 농도는 13~14%로 과잉공기비를 이 수준에 맞추는 것이 중유버너의 연소 효율 증가에 도움을 줄 수 있을 것이다.

Table 5 Pearson correlation coefficients between the variables in the combustion of heavy oil A and B (upper values in the cell is A oil and lower is B oil combustion)

	Temperature	Viscosity	Pressure	Excess air ratio	CO ₂	CO	O ₂	Flue gas tm	Efficiency	Droplet size
Temperature	1.0									
Viscosity	-0.979 -0.99	1.0								
Pressure	0.0 0.23	0.0 -0.249	1.0							
Excess air ratio	0.459 0.124	0.478 -0.073	-0.857 -0.839	1.0						
CO ₂	-0.485 -0.139	0.502 0.089	0.853 0.843	-0.99 -0.995	1.0					
CO	-0.037 -0.91	0.106 0.941	-0.229 -0.492	0.108 0.211	-0.114 -0.183	1.0				
O ₂	0.478 0.152	-0.494 -0.103	-0.858 -0.841	0.992 0.995	-0.999 -0.999	0.124 0.168	1.0			
Flue gas tm	0.054 0.145	-0.187 -0.232	0.344 0.196	-0.231 -0.402	0.231 0.406	-0.573 -0.255	-0.241 -0.404	1.0		
Efficiency	-0.418 -0.42	0.522 0.434	0.62 0.689	-0.806 -0.735	0.796 0.740	0.232 0.171	-0.792 -0.746	-0.373 -0.275	1.0	
Droplet size	0.554 -0.556	-0.508 0.612	-0.742 -0.852	0.862 0.65	-0.875 -0.642	0.338 0.795	0.876 0.634	-0.333 -0.456	-0.589 -0.246	1.0

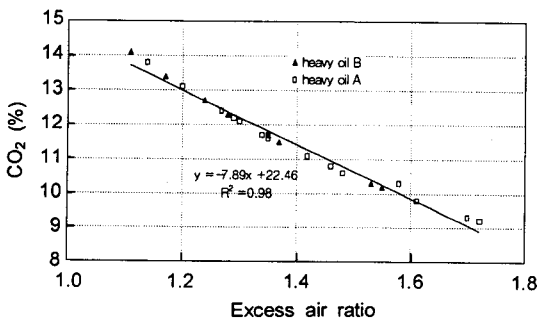


Fig. 5 Relationship between CO₂ concentration and excess air ratio in the combustion of heavy oil A and B.

4. 결 론

건타입 중유버너에서 우리 나라 중유의 최적 연소

조건을 규명하기 위하여 A, B, C 중유를 대상으로 온도에 따른 동점도, 온도와 분사압력에 따른 연소 특성을 조사하였다. 사용노즐은 hollow cone swirl 타입 노즐로 분사각 60° 공칭분사용량 3.75gals/hr였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

1) 중유의 동점도를 조사한 결과 온도 70, 100, 130℃에서 A 중유의 동점도는 7.9, 5.7, 4.3 cSt 이고 B 중유는 30.4, 13.7, 7.9cSt로 측정되었으며 온도가 증가함에 따라 점도는 감소되었다. 최고점도는 C 중유 27℃에서 7,455cSt, 최저점도는 A 중유 140℃에서 4.26cSt로 관측되었다. 100~140℃에서 동점도의 변화 폭은 A, B 유는 6cSt 이하인 반면 C 유에서는 30cSt 이상을 보이고 있었다.

2) A 중유 입자의 최대크기는 130℃(4.3cSt) 1.57 MPa에서 98 μm로 나타났고 최소입자크기는 70℃ (7.9cSt), 2.35MPa에서 72 μm로 나타났으며 B 중유의

최고입자 크기는 70℃(30.4cSt) 압력 1.57MPa에서 67 μm로 최소입자는 130℃(7.9cSt), 압력 2.35MPa에서 52 μm로 나타났다. 분사압력이 커질수록 입자크기는 줄어들었지만 점도에 따른 입자크기의 변화는 뚜렷하지 못했다. 이는 보다 더 심층적 연구가 필요한 과제라 여겨진다.

3) A 증유의 적정 연소조건은 70℃, 2.35MPa으로 분무입자의 크기는 73 μm, 동점도는 7.9cSt, CO₂와 CO 발생량 및 배기가스 온도는 각각 13.1%, 13ppm 및 250℃, 과잉공기비는 1.2로 나타났다. B 증유의 적정 연소조건은 100℃, 2.35MPa로 이 때 분무입자의 크기는 52 μm, 동점도는 13.7cSt로 조사되었고 CO₂와 CO 발생량 및 배기가스 온도는 각각 14.1%, 10ppm 및 261℃, 과잉공기비는 1.11로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 권영삼. 1998. 시설원예 에너지 절감 대응방안. 시설원예 에너지절감대책심포지움, 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터.
2. 김광열, 노수영. 1995. 연소공학. pp. 78-80. 동화기연.
3. 이진열. 1998. 유류공학. 효성출판사.
4. Chigier, N. 1991. Future research in atomization and sprays. Atomization and sprays 2000. pp. 1-25. Workshops Proc. marriot hotel, Gaithersburg, MD.
5. Donker, Marcel. 1988. Personal correspondence. Fluid instruments BV, Eindhoven, Netherands.
6. Lefebvre, A. H. 1989. Atomization and Sprays. pp. 391-403. Hemisphere Publishing Corporation.
7. Su, T. F., J. M. Su, C. B. Kozma Warrick and P. V. Farrell. 1997. Effects of fuel viscosity and ambient temperature on spray characteristics from multi-hole nozzle injectors. proceedings of ICLASS-'97.
8. Wang, X. F. and A. H. Lefebvre. 1987. Mean drop sizes from pressure-swirl nozzles, AIAA J. Propul. Power 3(1):11-18.

1. 권영삼. 1998. 시설원예 에너지 절감 대응방안. 시설원예 에너지절감대책심포지움, 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터.