

목재의 연소특성(1)

(질량감소와 착화지연)

김 춘 중*

Combustion Characteristics of Wood Materials (1)

(Mass Reduction and Ignition Delay)

Chun-Jung Kim

Key Words: Mass Burning Rate(질량연소율), Ignition Delay(착화지연), Char Combustion(착연소), Volatile Combustion(휘발연소), Urban Waste(도시쓰레기), Wood Fuel(목재연료).

Abstract

Combustion characteristics of the wood chips(balsa chips) were experimentally investigated with respect to the thermal recycle system of the urban waste. The urban waste contains plastics, vegetable and wood materials. Wood was chosen as an example of the one of the component of urban dust. A small wood chip was burned in a electric furnace by the micro-electric balance. The mass reduction rate was normalized by the initial mass of test piece and the time of volatile combustion end. When the mass of the wood chips(balsa chips) was larger than 0.5g, the combustion similarity was found on the normalized mass reduction rate.

1. 서론

도시쓰레기나 산업폐기물의 처리는 일반적으로 매립하든가 소각처리하는 방법으로 시행하고 있다. 소각처리는 폐기물에서 나오는 추출물과 같은 유해물질의 배출을 방지할수 있고, 체적의 축소

뿐만 아니라 연소할 때 발생하는 열에너지를 회수하여 이용하므로 폐열 회수와 함께 자원보호의 관점에서 유효한 처리법이지만, 한편으로 다이옥신 발생 등 또 다른 환경 오염 물질의 발생 원인이 되기도 한다. 이 때문에 최근에는 소각로에 관한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다.

예를 들면 도시 쓰레기 소각로에 있어

* 회원, 영남이공대학 기계과

서 공기 유동과 2차 공기의 공급상태가 연소율에 미치는 영향¹⁾, 다이옥신의 발생을 줄이기 위하여 노 내에서 CO 농도를 저감시키는 방법이 유효하다는 것을 실험 및 시뮬레이션 (simulation)에 의해 확인하였고²⁾, 오물 및 석탄의 슬러지 (sludge)에 대한 저공해 연소³⁾ 및 소형 소각로에 있어서 배기 가스의 특성⁴⁾ 등에 관한 연구가 최근에 활발하게 이루어지고 있다.

연소효율을 높이기 위한 소각로의 설계나 배기 가스 특성을 연구하기 위하여서는 연소 대상이 되는 여러 가지 폐기물의 공업 분석 값과 함께 연소 거동이나 연소 특성을 파악하고^{5)~9)}, 그것을 소각로의 설계나 제어에 반영시키는 것이 중요하다. 또 최근에는 도시 쓰레기를 선별하여 잘게 파쇄시켜, 불순물을 제거한 후 고품 연료(Refuse Derived Fuel, RDF)화를 검토하고 있으나^{10)~13)} 아직까지 도시 쓰레기로 성형시킨 RDF는 쓰레기의 종류나 크기에 따라 연소 형태나 연소 특성에 대한 충분한 자료가 없다. 따라서 어느 정도 크기로 파쇄하고 또 수분 함유량이 연소 특성에 어떤 영향을 미치는지에 대한 기초 자료가 필요하고¹⁴⁾, 그 자료를 기초로 하여 설계한 소각로로써 RDF나 도시 쓰레기를 연소시키면 연소효율의 향상 및 배기가스도 저감 될 것이다. 도시 쓰레기에는 플라스틱, 야채류, 목재 제품뿐만 아니라 종이류, 섬유류 등과 같이 식물성유가 많이 포함되어 있다.

또 도시 쓰레기에는 많은 수분(가정이나 나오는 쓰레기의 수분 함유율이 50% 이상, 부엌에서 배출되는 쓰레기의 수분 함유율은 70% 이상임¹⁵⁾)을 함유하고 있으므로 수분 함유량이 연소특성에 어떤 영향을 미치는가를 조사할 필요가 있다.

본 실험은 이 연구의 기초 단계 실험으로 연질 목재(soft wood)로 비교적 균질한 소재인 발-사(Balsa)재에 대한 연소 특성을 실험 조사하였다. 그리고 식물성 폐기물의 수분 함유율에 따른 연소 특성을 조사하기 위하여 수분 함유율을 인위적으로 쉽게 변화시킬 수 있도록 하기 위하여 수분흡수성이 좋은 목재인 발-사(Balsa)재를 선택하였다.

본 연구에는 시험편인 발사(Balsa)재를 적당한 크기로 절단하여 전기로 내 분위기 온도 변화에 대한 질량 변화와 착화성, 화염형태 등에 대한 연소 특성과의 관계를 조사하고, 재(灰) 및 연소화염의 형태와 같은 연소 특성에 대하여도 조사하였다.

2 실험장치 및 실험방법

본 연구는 전기로 내 고온 분위기 속에 시험편을 넣어 연소실험을 하였다. 고온 분위기에서 연소 특성을 조사하기 위하여 노 내 분위기 온도를 변화시켜 시험편의 크기에 따라 착화성 및 연소상태와의 관계를 조사하였다. 본 실험에서 사용한 실험 장치 및 시험편 받침대의 개략도를 그림1과 그림2에 나타내었다.

칸-탈(Kcantal)발열체 (640W×2개)에 의해 가열되는 내경 100mm, 외경 250mm, 높이 250mm의 원통형 전기로이다.

노의 밑에는 롤러(Roller)를 설치하여 좌우로 쉽게 이동 할 수 있도록 하였다. 또 노의 양쪽에는 관찰용 창(석영유리 50mm×250mm)과 시험편을 넣기 위한 셔터(Shutter)를 설치 하였다. 노(爐)내 온도는 CA 열전대로 측정하여 자동 온도 제어 장치에 의해 임의의 온도로 설정할

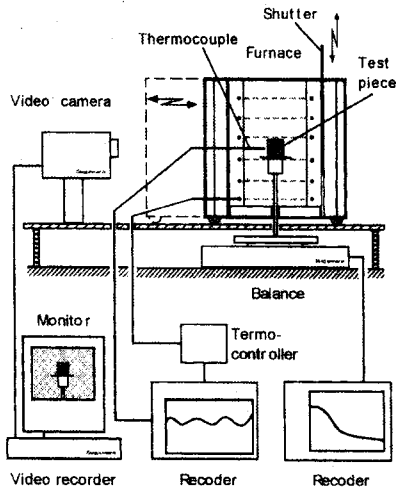


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

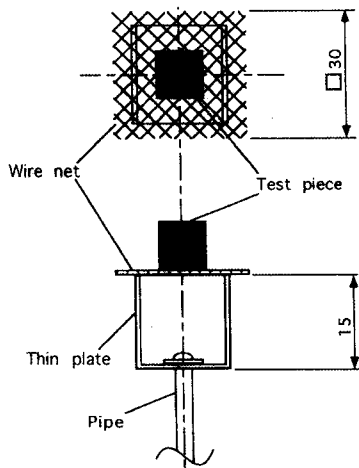


Fig.2 Combustion state of a balsa chip

수 있도록 하였다. 전기로 내 분위기 온도는 발열체 부근에 삽입한 열전대의 지시 값과 노내 중앙부에 설치된 열전대의 지시 값이 수도(數度)내에서 안정될 때 노내 중앙부 열전대 지시 값을 분위기 온도 T_a 라 한다.

시험편 받침대는 $\phi 6$ 인 스테인리스 파이프(stainless pipe)로 높이 15mm의 H형 스테인리스 판(stainless plate)으로 되어 있고, 그 위에 $\square 30$ mm 스테인리스 망(stainless wire net)을 설치하였다.

시험편 받침대 전체는 전기로 밑에 설치된 전자저울 위에 놓여 있고, 연소 중에 시험편의 질량변화를 측정할 수 있도록 하였다.

실험할 때는 이 시험편 받침대를 전기로 중심부에 설치 되도록 롤러(roller)를 이동시켜 연소실험을 하였다. 시험편의 질량변화는 받침대와 함께 전자저울에서 측정되고, 레코더(recorder)에 기록된다. 전자저울의 최소감도는 0.1mg이다.

연소현상은 관찰용 창을 통하여 비디오 카메라(video camera)로 촬영하였다. 연소상태는 시험편을 전기로 내로 넣고, 착화할 때까지 시간, 유염 연소 종료까지 시간, 화(char) 연소시간 및 연소할 때 시험편의 질량 변화를 조사하여 연소특성을 해석하였다.

시험편의 크기는 한 변이 2mm부터 25mm정도까지의 입방체이고, 체적 밀도는 $0.21\text{g}/\text{cm}^3$ 이다.

또 대기압 질소 분위기에서 열중량 측정기(thermo gravimeter, TG, Sinku-Fuko. IND MTS-9500)에 의해 열중량 분석한 것을 그림 3에 나타내었다. 온도가 상승하기 시작한 후 38분에서 중량이 급격하게 감소한 것은 노내에 산소를 공급하므로써 가연(可燃) 고체 성분이 연소하였기 때문이다.

이 결과로부터 발-사(Balsa)재는 수분 6.6%, 휘발분 74.2%, 고체 연소분(고정 탄소분, 그 외)18.0%, 회분 1.2%로 구성되어 있는 것을 알 수 있다. 그리고 비교적 저온인 200°C 부근에서 휘발분이

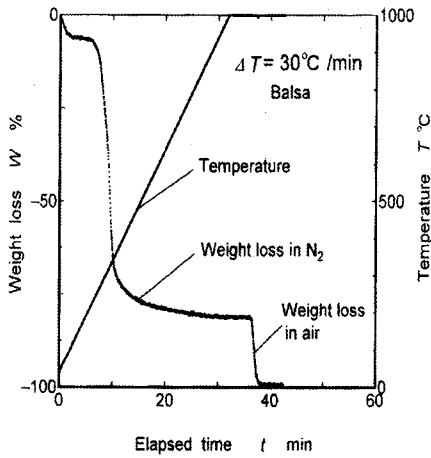


Fig.3 Thermogravimetry chart of the balsa

방출하기 시작한 것은 목재의 주성분인 셀룰로오스(cellulose)을 원료로 한 종이의 분석결과와 거의 일치한다.¹⁶⁾ 그러나 태평양 탄(太平洋 炭)과 비교하면 발-사(Balsa)재가 태평양 탄보다 휘발 분이 많고¹⁷⁾, 또 휘발 분의 방출이 석탄의 경우보다 저온(석탄 400°C부근)에서 방출되기 시작한다는 것을 알 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연소형태

그림 4는 노 내의 분위기 온도 500°C 일 때 시험편의 초기 질량 1.0g을 연소시켰을 경우 화염의 형태와 질량 변화를 나타낸 것이다.

비디오 카메라에 의해 관찰된 연소 화염의 형태와 시험편의 질량변화를 비교하면 다음과 같다.

시험편을 노 내에 넣으면, 처음에는 천천히 질량이 감소된다. 그 사이에 주위로부터 열을 받아 수분과 열분해에서

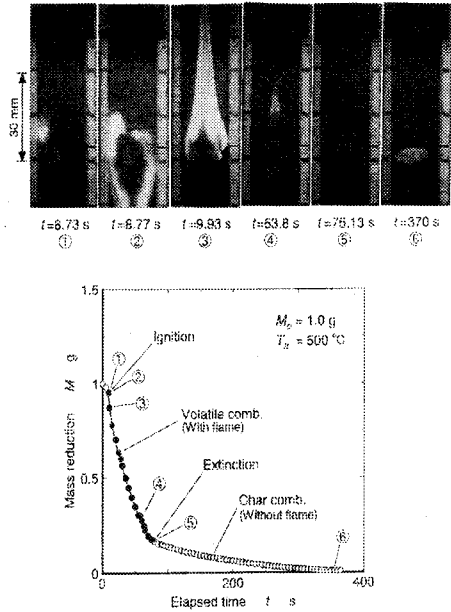


Fig.4 Combustion behavior and mass reduction rate

발생된 휘발 분이 방출되고, 순간적으로 착화 분위기가 된 부분에서 착화되어 작은 화염이 형성된다①. 이 화염은 순간적으로 커지고②, 그 후 확산화염으로 안정된다③. 이 안정 연소기간은 시험편의 열분해에서 발생하는 휘발 분에 의한 유염 연소는 끝나면 끝나고④, 그후 탄화물 연소인 고체연소로 변화된다⑤. 이 고체연소는 석탄의 촛(char)연소와 같은 형상이므로 촛(char)연소라 한다. 촛(char)연소 기간에서는 시험편에서 붉은 빛을 내면서 질량을 서서히 감소한다. 촛(char) 연소말기에서는 시험편의 모양이 붕괴되고, 붉은 빛은 점점 소멸되면서 일부는 회색의 재(灰)만 남는다. 일반적으로 고체연소 현상과 비교해 보면 ①의 시각까지가 수분의 증발을 포함한 예열 건조기간, ①은 착화, ②로부터 ⑤까지는 휘발연소 기간, ⑤에서 ⑥까지는 촛(char)연소기간, ⑥이후는 재

(灰)가 되는 기간이다. 이와 같은 현상을 R.H Essenhigh의 연소실험에서 입자가 큰 미분탄의 균질착화(Homogeneous Ignition)와 같은 현상을 나타내고 있다.¹⁸⁾ 따라서 시험편을 전기로 내에 넣은 후 착화할 때까지의 기간을 착화지연기간, 착화에서 화염이 꺼질 때까지의 기간을 유염 연소기간(휘발 분 연소간 또 volatile 연소기간)으로 한다. 또 화염이 꺼진 후부터 연소를 좌(char)연소기간이라 한다.

3.2 질량감소율

최대 3.0g (한 변이 24.3mm의 입방체), 최소 0.002g (한 변이 2mm의 입방체)의 시험편을 이용하여 연소실험을 하였다. 노내 온도가 500℃일 때 연소 시 질량감소를 시험편의 크기에 따라 구분하여 그림5에서 그림7에 나타내었다. 그림 중에서 ●표는 휘발 분의 방출에 의한 유염 연소기간을 나타낸 것이고, 그 전후는 착화지연기간과 좌(char)연소기간이다.

그림5는 시험편의 초기질량이 3.0g부터 0.3g까지 연소시켰을 경우 질량 감소를 나타낸 것이다. 시험편이 적을수록 유염 연소나 좌(char)연소가 빨리 끝나지만, 질량감소의 거동은 전체적으로 같은 경향을 나타내고 있다. 또 좌(char)연소로 변화할 때 질량 감소율은 시험편에 함유된 수분과 휘발 분을 합한 질량비율 80.8%와 거의 일치한다. 그림6는 시험편의 초기질량이 0.2g부터 0.05g까지 연소시켰을 경우 질량 감소를 나타낸 것으로서 초기질량이 0.05g경우를 제외하면 전체적인 경향은 그림5와 같지만, 시험편이 작기 때문에 연소시간 전체에 비하여 착화지연시간의 비가 크다. 또 착화(유염 연소 시작)할 때 질량감소는 그림5에 비하여 크고 (0.05g경우는 제

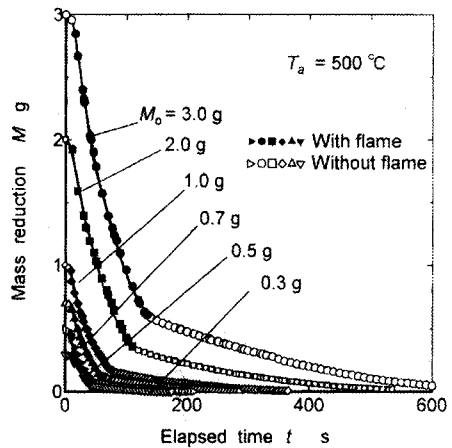


Fig.5 Mass reduction of the balsam chips ($T_a=500^\circ\text{C}$, $0.3\text{g} \leq M_0 \leq 3.0\text{g}$)

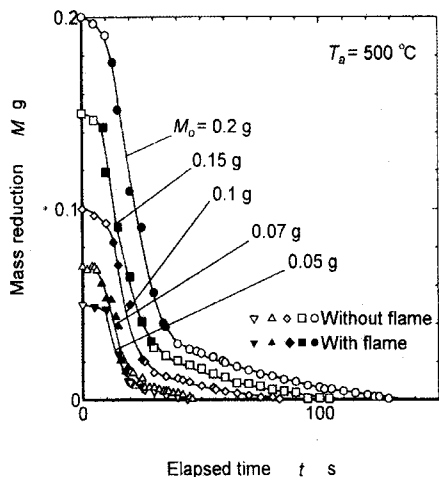


Fig.6 Mass reduction of the balsam chips ($T_a=500^\circ\text{C}$, $0.05\text{g} \leq M_0 \leq 0.2\text{g}$)

외), 시험편중의 수분에 상당하는 질량(6.6%)이상의 질량감소가 이루어진 후에 착화가 일어난다. 시험편이 크면 시험편 내부로 열 이동이 늦어, 중심부에서 수분의 방출이 이루어지기 이전에 표면에서 휘발분의 방출이 이루어진다. 즉 중심부가 완전히 건조되기 전에 착화가

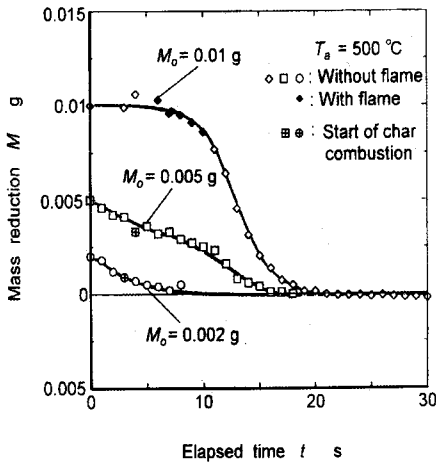


Fig.7 Mass reduction of the balsa chips ($T_a=500^\circ\text{C}$, $0.01\text{g}\leq M_0\leq 0.002\text{g}$)

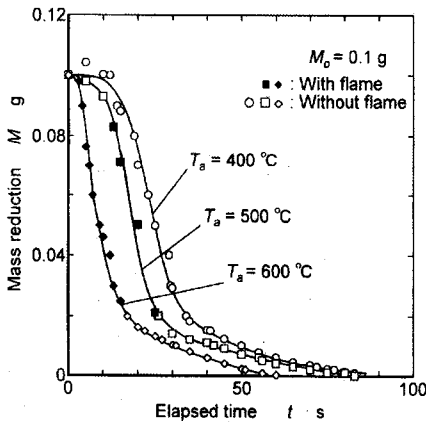


Fig.8 Mass reduction rate at various ambient temperature condition ($M_0=0.1\text{g}$)

이루어지기 때문에 질량감소량이 적게 된다. 이는 그림 3에 나타난 열 중량 분석 결과로부터, 또 석탄 슬러지(coal sludge) 액적 연소 때 표면 온도와 중심 온도를 측정 한 것 이든가¹⁹⁾, 석탄입자의 연소시 내부온도의 해석결과로도 추정할

수 있다²⁰⁾. 따라서 시험편이 작을수록 표면과 내부의 온도차가 적게 되고, 착화 이전에 수분의 증발이 완료되어 착화 때에는 질량감소비가 크게 된다. 시험편의 초기질량이 0.01g부터 0.002g까지 연소실험한 결과를 그림7에 나타 내었다.

그림6에 있어서 0.05g의 경우와 그림7에서 0.01g의 경우에서는 착화 이전에 질량 감소는 거의 나타나고 있지 않다. 이 상태는 입경이 적은 미분탄 연소의 경우와²¹⁾와 같이 시험편이 작기 때문에 시험편의 온도상승이 빨라서 수분과 가연 휘발분의 방출이 동시에 진행하며, 노 내의 분위기 온도가 높기 때문에 휘발분의 농도의 차이가 나기 때문이라 생각된다. 착화후의 화염 상태를 비디오에 의해 관찰하여 보면 시험편이 적은 경우의 착화는 시험편의 표면 부근에서 발생하고 있는 것이 밝혀졌으며, 시험편이 클 경우의 착화형태인 기상(氣狀)착화와는 착화형태가 다르게 나타 났다. 또한 그림7에서 0.01g의 경우에는 유염연소의 종료도 빨라서 휘발분에 상당하는 질량이 감소하기 이전에 화(char)연소가 일어난다. 시험편이 작은 0.005g과 0.002g의 경우에는 유염 연소가 관찰되지 않았으며, 화(Char)연소가 바로 이루어졌다. 이 경우 화(Char)연소 시작은 시험편을 노 내에 삽입한 후 수초내에서 이루어졌다. 그림8은 노내 분위기 온도를 400°C, 500°C, 600°C로 변화시켰을 때 초기 질량 0.1g의 시험 편에 대한 질량 감소와 연소 경과시간과의 관계를 나타 낸 것이다. 노 내의 분위기 온도가 낮을 경우에는 휘발 분의 초기 방출 속도가 느리기 때문에 초기 질량 감소비가 완만하고, 착화지연 기간은 길게 된다. 다음에 분위기 온도가 400°C 경우에는 유염연소인 착화가 일어나지 않고, 화(char)

연소 만이 관찰되었다. 그림 중에서 400°C의 경우 최(char) 연소 시작시각은 비디오 카메라에 의하여 관찰한 결과에 의하면 $t=34\text{sec}$ 이고, 그때 시험편의 잔존 질량은 다른 조건으로 실험 할 때 유염 연소 완료 때의 잔존질량과 거의 같게 된다. 이 경우 최(char) 연소가 시작되기 이전 시험편의 질량감소 경향은, 유염 연소가 일어나는 다른 경우와 거의 같다. 다시 말하면, 시험편의 주위를 둘러싸고 있는 화염으로부터 직접 가열된 경우와 분위기 온도만으로 가열된 경우와 비교하여 보아도 휘발 분의 방출 속도는 별 차이가 없다는 것을 표시하고 있다.

그렇지만 시험편의 표면에서 받은 열량보다는 시험편 내부로 전열되는 열전도 등과 같은 전열과정이 휘발 분의 방출속도에 영향을 주고 있다는 것으로 해석할 수 있다.

또 착화 지연에 미치는 영향도 가열을 시작한 후 시험편의 표면 근처에서 온도 상승 과정이 열분해 시작시기(질량감소가 시작되는 시기)와 분위기 온도와 관계가 아주 중요하며, 다음에 방출된 휘발 분이 반응을 일으켜 착화에 이르는 과정에 있어서도 분위기 온도와 관계가 연소현상을 지배하고 있다고 생각된다.

3.3 연소 특성에 미치는 시험편 질량의 영향

시험편의 질량과 노 내 분위기온도를 변화 시켰을 경우 유염 연소의 시작인 착화범위를 그림9에 나타내었다. 그림 중에서 실선은 시험편의 착화 한계로서 발-사(Balsa)재의 일반적인 착화 특성으로 볼 수 있다. 질량이 클수록 착화 가능한 온도는 낮아지고, 노내 분위기 온

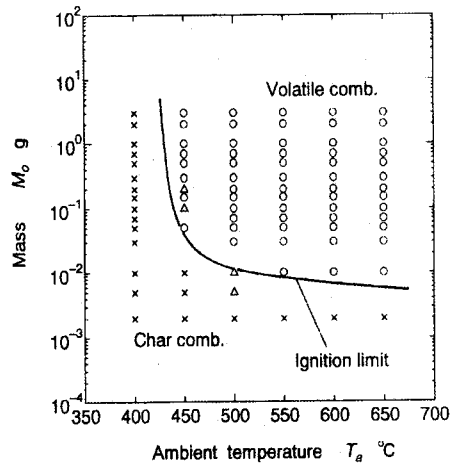


Fig.9 Ignition limit of balsa chips

도가 높을수록 질량이 작아도 착화가 잘 이루어진다.

시험 편에 함유된 휘발 분은 시험편의 질량에 비례하고, 또 초기에 있어서 휘발 분의 방출 량은 시험편의 표면적에 비례한다. 착화는 기상(氣狀)에서 일어나기 때문에 어느 정도 크기를 가진 가연 혼합기괴(可燃混合氣塊)를 고온 분위기 하에서 형성시킬 필요가 있다. 즉, 질량이 큰 시험편일 수록 시험편의 주위에 가연혼합기괴가 형성되기 쉽기 때문에, 착화 가능한 범위가 넓다고 생각된다.

분위기 온도가 400°C 경우에서는 시험편의 크기에 관계없이 착화가 일어나지 않았다. 이는 분위기 온도가 휘발 분의 가연 온도 한계 이하이기 때문으로 해석된다. 또 시험편의 질량이 0.005g인 경우에는 분위기 온도가 높아도 착화가 일어나지 않았다. 이는 시험편이 적기 때문에 휘발 분 방출의 절대량이 작고, 방출된 휘발 분이 가연 혼합기를 형성하기 이전에 확산에 의하여 희석되었기 때문인 것으로 생각된다.

시험편의 질량과 분위기 온도를 변화시켰을 경우 유염 연소 완료시각(소염시각)의 변화를 그림 10에 나타내었다. 질량이 클수록 시험편에 함유된 휘발 분의 절대량이 많기 때문에 유염 연소 종료시각이 늦게 된다. 단, 이 유염 연소 종료시각은 질량이 작은 시험편의 경우에는 초기 질량이 큰 것에 비하여 상대적으로 늦고, 초기 질량이 증가하여도 그것에 비례하여 유염 연소 종료시각이 늦지 않다. 이것은 시험편이 적게되어도 착화 지연 시간이 짧게 되지 않는 것에 영향을 받은 결과로 보여진다.

또 노 내의 분위기 온도가 높을수록 유염 연소 종료는 약간 빠르다.

이는 노 내의 분위기 온도가 상승하면 착화 지연이 단축되기 때문이고, 또 화염온도가 상승함으로써 시험편으로부터 휘발 분의 방출속도가 약간 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

3.4 연소 특성의 상사성

여러 가지 조건으로 연소실험 한 것을 연소 특성의 상사성에 대하여 검토하기 위하여 질량 감소는 초기 질량 M_0 을 기준으로 하고, 경과시간은 유염 연소 완료시각 t_f 를 기준으로 하여 연소시간 변화에 대한 질량감소율의 경향을 조사하였다. 그림 11은 초기 질량 1.0g의 시험편에 대하여 노 내의 분위기 온도를 변화시켜 조사한 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이 분위기온도가 450°C부터 650°C까지 데이터(data)는 모두 중첩됨을 알 수 있다. 노 내의 분위기 온도가 차이가 나면 유염 연소 종료시간, 질량 변화량 등과 같은 연소특성이 차가 나지만, 초기질량 M_0 와 유염 연소 종료시각(t_f)을 기준으로 한 상사(相似)성을 검토한 결과 동일한 연소 상태를 나타내고

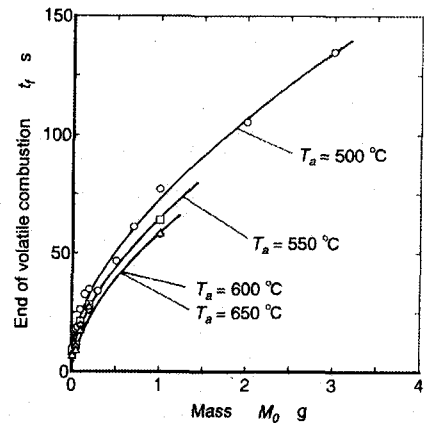


Fig.10 Effect of chip size and ambient temperature on volatile combustion time

있다는 것을 알 수 있다.

또한, 노 내의 분위기 온도를 변화시키면 휘발 분의 방출속도가 변화되고, 그것에 따라 다른 모든 연소 현상이 변화된다. 그리고 초기 질량(M_0)과 유염연소 완료시각(t_f)을 기준으로 하여 나타내면, 분위기 온도를 변화시켜도 유염연소로부터 착(char)연소로 변화될 때 시험편의 잔존 질량비는 같고, 이 값은 발사(Balsa)재의 고체성분(고체연소성분+회분 19.2%)에 거의 일치한다. 분위기 온도를 일정하게 해서 시험편의 초기 질량을 변화시켜 연소 실험한 결과를 같은 모양으로 상사성을 조사한 결과를 그림 12에 나타내었다.

즉, 시험편의 초기 질량이 어느 정도 이상으로 크게 되면, 앞에 설명한 연소 형태의 상사 관계가 성립하지만, 시험편이 적을 경우에는 상사관계가 성립되지 않는다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 앞에서 설명한 것 같이 시험편이 작게 되면 휘발 분의 방출 절대량이 작게 되어

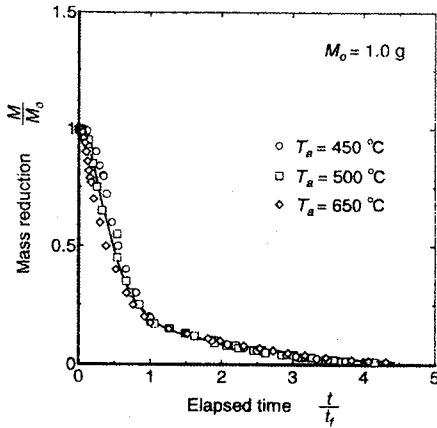


Fig.11 Normalized mass reduction rate at various ambient temperature conditions

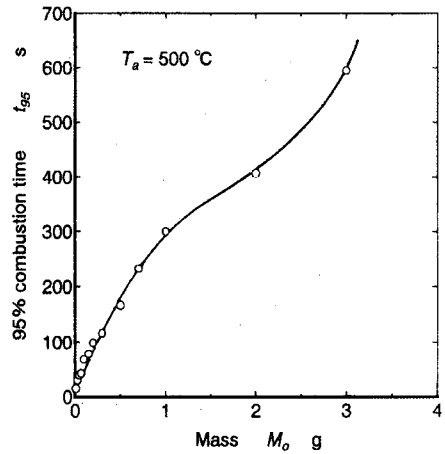


Fig.13 Burn-up time of 95% combustion

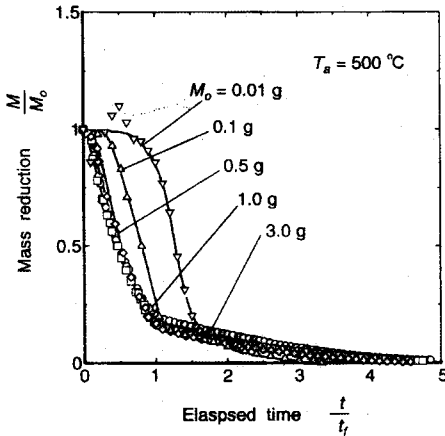


Fig. 12 Normalized mass reduction rate for balsa chips of various sizes

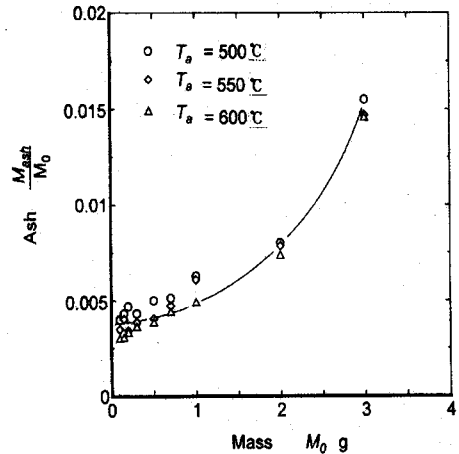


Fig.14 Residual ash after combustion

착화가 이루어지기 전에 휘발 분이 확산 되기 때문에 착화지연기간이 길던가, 또는 유염 연소기간이 짧기 때문인 것으로 사료된다.

3.5 착(char) 연소 종료 및 미연소 분량

고체 연소에서는 연소 후에 회분과 미연소의 탄소성분이 남기 때문에 시험편 초기 질량의 95%를 잃은 상태를 착(char) 연소 종료로 정의하고, 시험편의 크기와 착(char)연소 종료시간과의 관계를 그림 13에 나타내었다.

95%연소로 구한 착(char)연소 종료시

간은 시험편의 초기 질량에 대한 역 S자의 곡선이 되었다. 초기 질량이 비교적 작은 범위에서는 확(char)연소 종료시간은 시험편이 클수록 증가하지만 2.0g부근에서는 약간 완만하게 된다. 초기 질량이 증가할수록 확(char)연소 종료시간은 급격히 늦어지고, 실험 범위보다 초기 질량이 클 경우 ($M_0 > 3.0g$)에는 95%까지 연소가 진행되지 않았다. 시험편을 설정한 온도로 노 내에 장시간 방치 해 놓았을 경우 시험편의 잔존 질량을 그림14에 나타내었다.

열 중량 분석에 의해 시험편(Balsa재)중에 함유된 회분은 1.2%이지만, 시험편이 작을 경우에는 가연 분의 연소가 완전히 이루어져서 잔존질량이 회분보다 적게 나타났다. 이것은 측정 정도에도 문제가 있지만 회분의 일부가 연소중에 비산(飛散)된 것으로 생각된다.

한편 시험편의 초기 질량 3.0g인 경우에서는 회분비보다 많은 잔존질량이 남아있다. 이것은 확(char) 연소 종료 후에도 미연소분이 남아 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

연질목재(Balsa재)를 입방체로 절단하여 초기질량과 전기로 내 분위기 온도를 변화시켜 연소 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연질 목재인 발-사(Balsa)재의 질량이 0.05g보다 클 경우에는, 유염 연소, 확(char)연소 및 질량감소를 과 동일한 연소상태는 같은 경향을 나타내었다. 노 내 분위기 온도가 500℃인 경우 시험편의 질량이 0.005g보다 작을 경우에는 유염 연소가 관찰되지 않았으며, 처음부터 확(char)연소가 이루어졌다. 또 로내

의 분위기 온도가 400℃이하인 경우에서도 착화가 이루어지지 않았다.

2) 초기 질량이 큰 시험편(0.5g이상)에서는 착화지연, 유염 연소기간 확(char)연소기간은 질량과 함께 증가하지만 그 연소 형태는 변화하지 않았다. 초기 질량과 유염 연소 종료시각을 기준으로 하여 규격화하면 상사성(相似性)이 성립한다.

3) 연소 종료 후 시험편의 잔존 질량은 시험편의 질량이 클수록 회분비보다 많은 질량이 남는다는 것을 알 수 있었다.

후기

이 논문은 1999학년도 영남이공대학 연구조성비 지원에 의하여 수행되었으며, 영남이공대학의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Soongkee KIM, Donghon SHIN and Sangmin CHOI., 1996, "Comparative Evaluation of Municipal Solid Waste Incinerator Designs by Flow Simulation", Combustion and Flame, Vol.106, PP.241~251.
- 2) T.ISHIHI, M.KOYAMA, K. HIGASHIMURA and N.HIRAYAMA., 1994, "Combustion Characteristics in a Municipal Solid Waste Incinerator," Transactions of the JSME . Vol. 60 , No . 573 , PP. 280~286.
- 3) T. Abbas , P. Costen , G. DeSoete.,

- 1998 , “Combustion of Distillery Effluent.” 26th Int Symp. on Combustion, PP. 2487~2493.
- 4) T. MORIMUNE., 1993 , “Study on Performance of Small-Capacity Refuse Incinerator,” Transaction of the JSME, Vol. 59, No. 561. PP 342~346.
- 5) Chun-Jun , Kim , G. OGIWARA , and M. ARAI., 1998, “Combustion Characteristics of Balsa Chips(1),” Journal of the Japan Institute of Energy, Vol.77, No.10, PP.1019~1026.
- 6) T. ISHIMI , M. KOYAMA , K. HIGASHIMURA and N. HIRAYAMA., 1994 Combustion “Characteristics in a Municipal Solid Waste Incinerator ” , Transaction of the JSME. Vol. 60 .No. 573, PP. 287~294.
- 7) F. Y. ASAIEH and G. N. RICHARDS, “1989, “The Effect of Preheating on Ignition Temperature of Wood Char” , Combustion and Flame. Vol. 80 ,PP. 395~398.
- 8) D.H.SHIN, S.M.CHOI., 1998, “ A Study on the Bed Combustion of Solid Waste” , The 17th Symposium on KOSCO, PP.1~8.
- 9) Chun-Jung KIM, Woo-Sub Kim, M. ARAI and G. OGIWARA., 1999, “Combustion Characteristic of Wood Materials” , Proceeding of the KSME 1999 Spring Annual Meeting B, PP.755~760.
- 10) Keite J. Fritsky , David L. Miller and Micholas P Cernansky., 1994 , “ Methodology for Modeling the Devaltilization of Analysis of Municipal Solid Waste Components ” , Journal of Air & Waste Management Association, Vol. 44, PP. 1116~1123.
- 11) K. NAMBA , K. KIMOTO , E. FUJITA and T. NOKAJIMA., 1999 , “Behavior of Ignition and Combustion for Single Refuse Derived Fuel Particles” , Transaction of the JSME, Vol. 65 , N. 629, PP. 337~343.
- 12) N. HACHIYA , T. KITA , H. KAMIYA and M. Horio., 1997, “RDF Combustion Characteristics in Fluidized Bed” , Journal of the Japan Institue of Energy, Vol. 7.6 No. 10, PP 980~987.
- 13) S. MORI., 1996, “ Property of RDF in Combustion” , Combustion Society of Japan, No. 105, PP. 17~28.
- 14) K. NAMBA, K. KIMOTO, and T. Nakajima.,1998, “Characteristics of Pyrolytic and Burnt Gas for Pulverized Refuse. Derived Fuel” , Japan Solid Wasters Engineering Society, Vol. 9, No. 7, PP. 302~309.
- 15) Y. J. Kim, T. MATSUTO and N. TANAKA., 1995, “Effect of Raw Refuse Combustion on the Fuel Properties of RDF from Household waste” , Japan Solid Wasters Engineering Society, Vol. 11, No.1, PP.7~15.
- 16) T.KASHIWAGI and H.NAMBU., 1992, “Global kinetic constants for

- thermal Oxidative Degradation of a Cellulose paper” , Combustion and Flame, Vol88, pp.345~363.
- 17) T.SHIMADA, T.KUMAGAI.and S TAKEDA., 1997, “A Preliminary Experiment of Volatilization of Minerals in Coal Ash by Chlorination Treatment ” , Journal of the Japan Institute of Energy, Vol. 76 , No. 2, PP. 134~145.
- 18) Robert H. ESSENHIGH, Mahendra K. MISRA and David W. SHAW., 1989, “Ignition of Coal Particles” , Combustion and Flame, Vol. 77, PP. 3~30.
- 19) T . MATSUE , M . ARAL and N . HIROYASU., 1991, “The Evaporation and the Combustion of a Single Cool-Water Slurry Droplet on a Hot Surface” , Transaction of the JSME. Vol 57 , No. 533 , PP. 373~378.
- 20) F. W . Winter, H. E. Prah., 1997 , “Temperatures in a Fuel Particle Burning in a Fluidized Bed : The Effect of Drying , Devolatilization, and Char Combustion” , Combustion and Flame, Vol. 108, PP.302~314.
- 21) Mary J. WORNAT, Robert H. HURT and Kevin A. DAVIS., 1997, “ Single-particle combustion of two biomass char” , Twenty-sixth symposium(International) on combustion/The Combustion Institute, PP.3075~3083.