

축분 혼합 고형연료의 연소성에 관한 실험적 연구

손영목* · 김형만** · 김무근**

Experimental Study on the Combustion Characteristics of the Solid Fuels Blended with Domestic Animal Excreta

Young-Mog Son, Hyung-Man Kim and Moo-Geun Kim

Key Words: Domestic Animal Excreta, Solid Fuel, Combustion Characteristics

Abstract

Rivers of our country are in the serious state of water pollution because of sewages, factory wastes, domestic animal excreta, and so forth. The development of waste water treatment technology applied in a small-scaled farm is urgent because the government regulation becomes strict. In the present study, four types of solid fuels are made by blending domestic animal excreta, rice hulls and briquets, and its combustion characteristics is investigated by analyzing burning pictures. Domestic animal excreta sampled from a farm in Kimhae was dried with sunlight. From experimental results, it is shown that combustion characteristics of solid fuels becomes better by blending rice hulls which have superior ignitability. Since solid fuel made by blending domestic animal excreta with rice hulls can burn continuously, it can be appropriate for the heating fuels.

I. 서론

우리나라 주요하천의 수질은 생활하수 및 공단폐수 등의 유입으로 오염이 심화되고 있으며, 특히 낙동강은 생활하수, 공단폐수와 함께 축산단지로부터 유입되는 분비물, 폐수 등으로 인하여 오염이 심각한 수준에 있다.

국회는 97년에 축산폐수의 처리에 관한

* 인제대학교 대학원 기계공학과

** 인제대학교 기계자동차공학과

법을 개정하여 간이축사 폐수정화조의 설치대상지역을 상수원 보호구역 등 특정 지역에서 전국으로 확대 실시토록 하였으며, 축산폐수 배출시설의 허가 및 신고 대상시설을 강화하여 소규모 축산농가들의 폐수처리방법에 대한 개발이 시급한 실정이 되었다. 우리나라의 97년도 전국 분뇨 발생량은 1일 46,872톤으로 이중 98.6%인 46,232톤이 정화조·분뇨처리시설과 해양투기 등으로 처리되고 미수거량인 640톤은 퇴비화 등의 방법으로 처리되고 있다.

본 연구에서는 축분을 분리하여 축산폐수의 BOD를 감소시킴으로써 환경문제를 해

결하는 동시에 분리된 축분을 축사 및 화
 화단지 등의 난방에너지원으로 활용할 수
 있는 환경 친화적인 기술을 개발하고자
 한다. 즉, 가축의 배설분뇨를 분리시켜 액
 상은 배수처리 시설에 도입하여 처리 후
 방류시키거나 슬러지 등의 액상비료로서
 사용하고, 고형성분의 배설물은 유기물을
 안정화하여 위생적으로 문제가 생기지 않
 는 형태의 제품으로서 연료화를 행하고자
 한다. 이 시스템의 흐름을 알기 쉽게 개략
 도로 Fig 1에 나타냈다^[1-3].

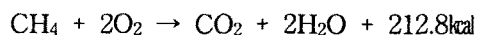
고농도 축산폐수인 가축 (소, 돼지, 닭
 등)의 분뇨를 처리함에 있어서 기존의 퇴
 비화 방법과 더불어 화훼단지, 축사 등의
 농가에서 필요로 하는 저가(低價)의 난방
 용 연료로서 사용할 수 있는 방법을 검토
 하고, 본 연구에서 독창적으로 시도하게
 되는 축산분뇨의 고형 연료화 방법에 대
 해 실험적으로 연구하고자 한다^[4].

건조장치를 이용하여 고형 연료화 함과
 동시에 폐수처리도 겸함으로서 만들어진
 고형 연료는 저장과 운반이 간편하고, 탈
 취장치를 이용하여 분뇨의 냄새를 제거하
 기 쉬우므로 연료로 사용하는데 거부감을
 줄일 수 있다. 또한 건조장치에 의하여 수
 분량을 조절할 수 있고 고형화 하기 전에
 석탄, 톱밥, 그리고 농가에서 쉽게 구할 수
 있는 짚이나 겨를 적절하게 혼합함으로써
 난방용 연료에 적합한 발열량을 가진 고
 형 연료를 만들 수 있는 장점이 있다.

특히 지방화시대를 맞이하여 환경오염물
 질의 발생지 처리를 원칙으로 한 지역관
 리 책임제가 도입되고, 자치단체의 지역환
 경 관리책임을 강화하고 있는 추세에서
 이와 같은 기술개발은 낙동강과 인접한
 지역적 특성을 고려하여 볼 때 매우 필요
 하다고 여겨진다.

II. 축분 혼합 고형연료의 경제적 효과

축분의 고형연료화 기술개발은 경제·산업
 적으로 많은 효과가 있다. 먼저 경제적 효
 과를 계산하기 위해 축분의 열량을 구하고
 타 연료와 비교하였다. 축분을 분리하여 연
 료화 하는 기술은 과거에 쓰인 기술과는 달
 리 체계적으로 시도되는 연구이므로 축분의
 열량을 측정된 데이터가 존재하지 않아서,
 축산분뇨의 메탄가스화 연구에서 측정된 열
 량을 사용하여 계산한다. 축산분뇨에서 발
 생된 메탄가스를 연소시킬 경우 다음의 화
 학반응식으로부터 열량을 구한다.



위와 같이 계산하여 추정된 축산분뇨의
 kg당 열량은 424 kcal/kg이다. 예를 들어, 이
 열량을 기초로 하여 97년도 전국 분뇨발
 생량 46,872톤/일을 연료화 하는 경우
 연간 7.25×10^{12} kcal의 열량을 얻을 수 있다.
 Table 1에 나타낸 난방연료 중에서 경
 유를 기준으로 단순히 비교해 볼 때, 축분
 을 고형연료화 하여 얻을 수 있는 경제
 적 효과는 연간 3220억원에 이른다.

그리고 폐기물-에너지화(waste-to-energy)
 플랜트는 경제적인 면과 환경적 측면에서
 비교해 볼 때 매립이 어려운 경우에 효과
 적인 방법이며, 매립용지의 지가가 매우
 높거나 인구밀도가 높은 지역, 지하수 수위
 가 높고 매립지에서 발생하는 메탄가스를
 에너지화 할 수 없는 경우나 폐기물 에너지
 화 소각로의 설치비가 예외적으로 짙 경
 우, 소각재를 재활용함으로써 소각으로 인
 한 환경적 악영향을 줄일 수 있는 경우에
 바람직한 대안으로 활용될 수 있다.

Ⅲ. 연소성 실험 결과 및 토의

본 연소실험의 고행연료의 재료로 사용한 축분은 김해시 소재 축산농가에서 우분을 채취한 것이다. 우분은 그 자체로도 연료로 사용할 수 있으나, 점화성과 연소성이 부족하여 주변에서 쉽게 구할 수 있는 연탄과 왕겨를 여러 비율로 섞고 충분히 건조시킨 후 연소실험을 행하였다. 연소실험에 이용되었던 고행연료의 성분비를 Table 2에 나타낸다.

축분의 연소성을 비교·분석하기 위하여 Fig 2에 나타낸 실험장치를 이용하였다. 고행연료를 담아 태울 수 있도록 사진에 나타난 지지장치를 케이스 별로 하나씩 4개를 만들었고, 고행연료가 타는 모양을 촬영할 수 있도록 고속카메라를 사용하였다. 고속카메라는 초당 1000 프레임까지 촬영 가능하나, 축분 고행연료의 연소현상을 촬영하는데에는 초당 30 프레임의 속도로 촬영하였다. 각 고행연료의 연소성을 비교하기 위하여 조건을 다음과 같이 같게 하여 실험을 행하였다. 가스화염을 이용하여 80초간 고행연료를 착화시키고, 5분간 타는 모양을 관찰하였다. 영상 데이터는 착화 종료전, 그리고 이후에는 매 1분마다 고속카메라로부터 컴퓨터로 입력하였다.

연소실험 전·후에 축분고행연료를 촬영하여 외관상 변화를 Fig 3 ~ 6에 나타낸다. Fig 3은 『축분 : 연탄 = 1 : 1』의 경우로서, 연소전·후를 비교해 볼 때 외관상 큰 변화가 없었다. Fig 4는 『축분 : 왕겨 = 1 : 1』로서, 완전 연소되어 재만 남아있는 것을 볼 수 있다. 왕겨의 경우는 연소성이 우수한 재료로서 축분의 단점을 보완할 수 있는 혼합물임을 알 수 있다. Fig 5 및

6은 『축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/2 : 1/2』, 『축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/4 : 1/4』의 경우로, 절반만 재로 변하고 나머지는 그대로 남아있음을 볼 수 있다.

Fig 7 ~ 10은 연소과정을 고속 카메라로 분석한 사진이다. 『축분 : 연탄 = 1 : 1』의 경우 다른 조건에 비해 점화가 잘 되지 않았으며, 점화 직후에 조금의 연기만 보였을 뿐 지속적으로 연소되지는 않았다. 『축분 : 왕겨 = 1 : 1』은 점화가 쉽게 되었으며, 다른 조건들과 비교해 볼 때 육안으로 보일 정도의 화염이 보였다. 그리고 연소 3분 후부터 화염은 없어졌으나 연기를 내면서 반응물질은 완전 연소되었다. 『축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/2 : 1/2』는 점화가 잘 되지 않았고, 점화 후 3분 정도 연소된 뒤 더 이상 타지 않았다. 『축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/4 : 1/4』는 비교적 쉽게 점화되었으며 화염은 보이지 않았으나 5분 후에도 연기는 보였다. 이는 축분은 점화성이 부족하나 왕겨를 혼합해서 점화성을 보완할 경우, 연탄보다 충분히 연소를 완료함을 알 수 있다.

위의 연소실험에서 관찰한 축분 고행연료의 타는 모양은 화염이 있는 것과는 명백하게 다르다. 즉, 연기만 내는 경우에는 고체 표면에만 반응하는 장소가 존재하고 있다. 이러한 연소방법은, 많은 공기거품을 갖고 있는 물질이나 가는 고체연료를 뭉친 물질에 일어나고, 일반적으로 다공성 연료라고 불리고 그 연소방법을 '연기만 내는 연소', '무염연소(無炎燃燒)' 등으로 부른다. 일반적으로 탄소성분이 많을수록 연기만 내는 연소로 된다. 화염을 만들 수 없을 정도의 미소량이라고 할 수 있는 연료가스의 열분해에 의해 발생시킨 나머지에 꽤 많은 탄소가 남는다. 탄소는 상당히

고온이 아니면 증발하지 않으므로 고체형태 그대로이다. 고체형태 그대로 타기 위해서는 산소는 표면을 향해서 확산하여 오지 않으면 되지 않으나, 다행히 다공성이므로 가까운 곳에 산소가 충분히 존재하여 연기만 내는 연소를 유지할 수 있게 된다. 공기중의 산소 농도를 높게 하면, 적열 반응면의 온도가 상승하고 연료가스를 많이 발생함과 동시에 높은 산소농도 때문에 반응성이 좋게 되어 화염이 형성되는 것처럼 된다^[5].

이와 같이 연소학적 측면에서 축분 고품 연료의 연소방법을 개선할 경우에는 본 연구에서 추구하는 축사 등의 난방용 연료로서 가치가 있으리라 사료된다. 축분을 연료로 사용하고 남은 재는 양질의 퇴비로 사용할 수 있어 최상의 환경 친화적 시스템을 구축할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 고농도 축산폐수인 가축(소, 돼지, 닭 등)의 분뇨를 처리함에 있어서 기존의 퇴비화 방법과 더불어 화훼단지, 축사 등의 농가에서 필요로 하는 저가(低價)의 난방용 연료로서 사용할 수 있는 방법을 검토하였다. 화석연료가 고갈되어 가고 최근 배럴당 10달러이던 유가가 30달러 가까이 치솟고 있어 대체에너지로서 축분 고품연료의 가치는 충분하리라 여겨진다. 이에 대한 경제성 분석을 통하여 축분 고품연료의 열량을 단순하게 경유로 환산하였을 때 경제적 이득이 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 추구하고 있는 축분의 고품 연료로서의 가능성을 검토하기 위하여 연

소실험을 하였다. 대상은 우분을 택하였고 주변에서 쉽게 구할 수 있는 왕겨와 연탄을 혼합하였다. 연소실험의 결과, 축분은 점화성이 부족하여 쉽게 태울 수 없는 단점을 점화성이 우수한 왕겨와 혼합하여 보완할 수 있었고 연소조건을 개선할 경우 지속적으로 연소가 가능하게 되어 난방용 연료로서 우수하다고 여겨진다.

참고문헌

- [1] 平野 陽三, “廢棄物處理・リサイクル事典”, 産調出版, 1996.
- [2] 日本廢棄物學會, “ 廢棄物ハンドブック ”, オーム社, 1996.
- [3] 廢棄物資源化便覽 編輯委員會 著 , “廢棄物資源化便覽”, 韓國資源再生公社, 1989.
- [4] 김형만, 김무근, “축산폐수 정화조의 오염 저감을 위한 축분의 고품 연료화 기술개발”, 제10회 김해발전연구 과제 세미나, 2000. 3. 31.
- [5] 新岡 嵩, “燃える”, オーム社, 1994.

Table 1. 난방연료 종류별 발열량과 가격.

연료	발열량 (kcal/ℓ)	유효발열량 (kcal/ℓ)	가격 (원/ℓ)
경유	9,200	7,360	408
병커A유	9,400	7,520	275
병커B유	9,700	7,760	269
병커C유	9,900	7,920	257
LPG	12,000	10,200	516 (원/kg)

Table 2. 고형화연료의 성분비.

성분비
① 축분 : 연탄 = 1 : 1
② 축분 : 왕겨 = 1 : 1
③ 축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : $\frac{1}{2}$: $\frac{1}{2}$
④ 축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : $\frac{1}{4}$: $\frac{1}{4}$

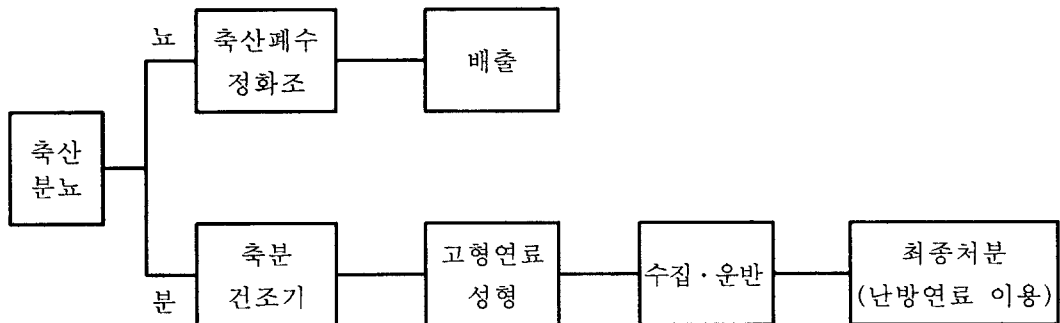


Fig 1. 가축분뇨를 이용한 고형 연료화 장치 개략도.

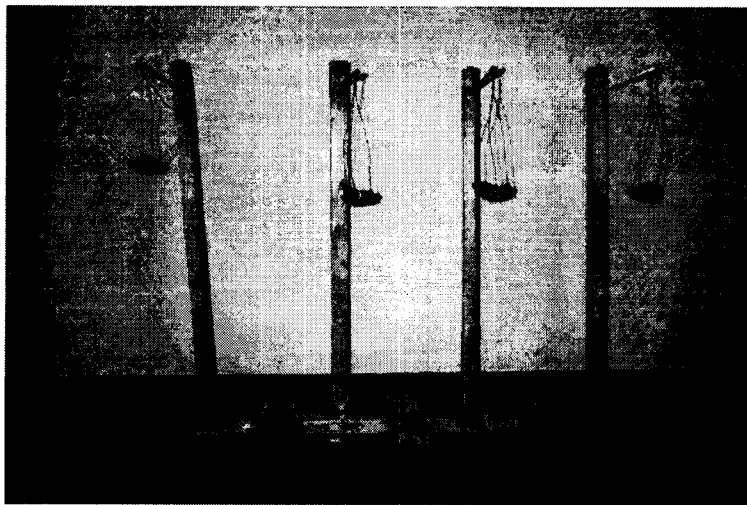
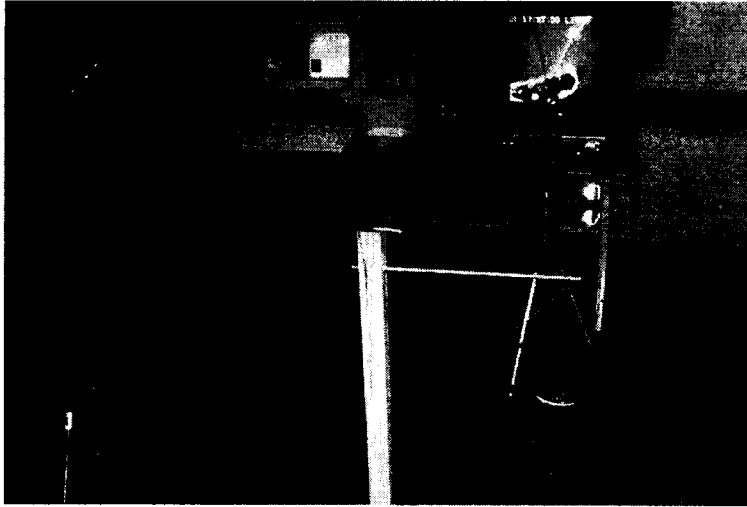


Fig 2. 측분 연소실험 장치.

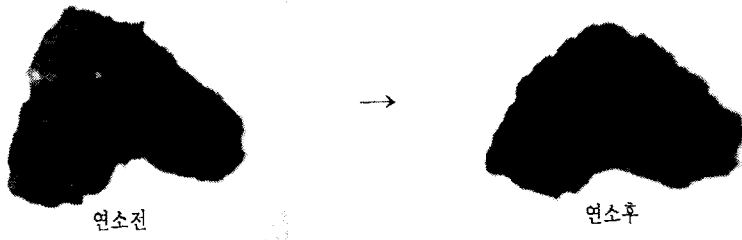


Fig 3 축분 : 연탄 = 1 : 1

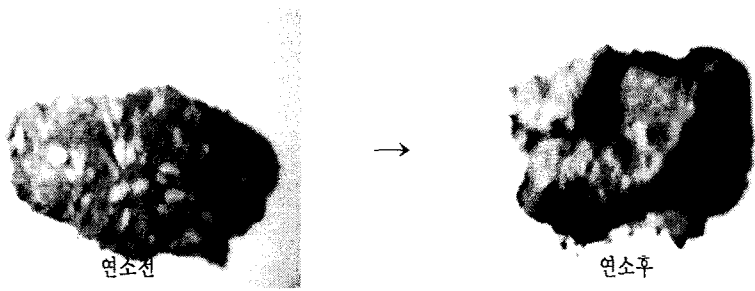


Fig 4 축분 : 왕겨 = 1 : 1

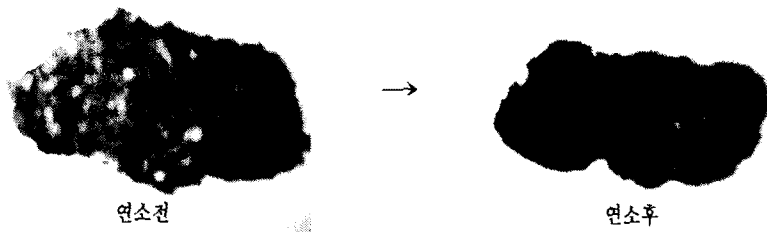


Fig 5 축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/2 : 1/2

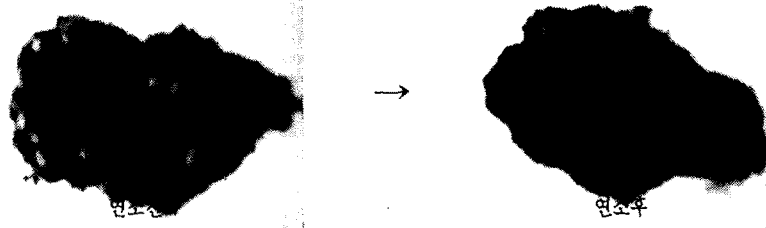
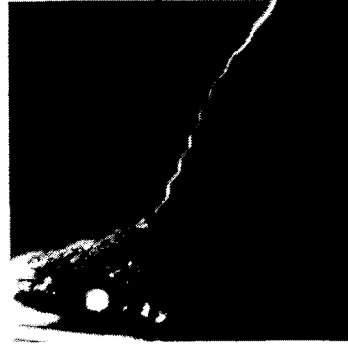


Fig 6 축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/4 : 1/4



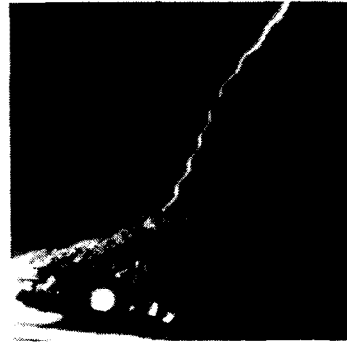
점화 시작



1분 후

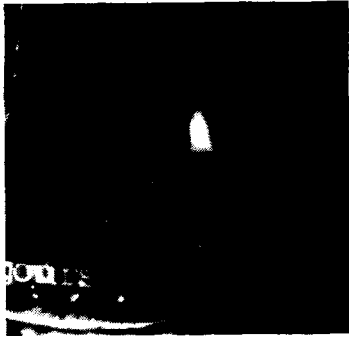


3분 후



5분 후

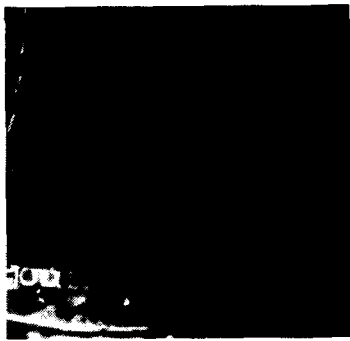
Fig 7. 축분 : 연탄 = 1 : 1



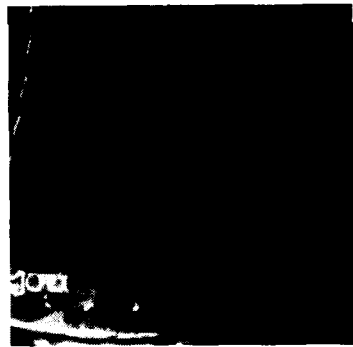
점화 시작



1분 후

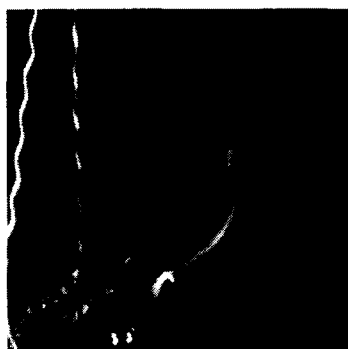


3분 후

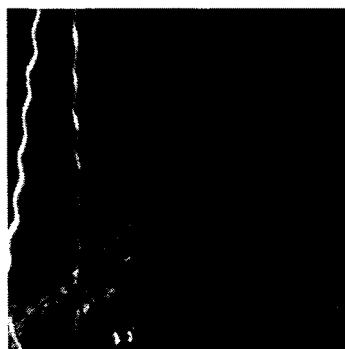


5분 후

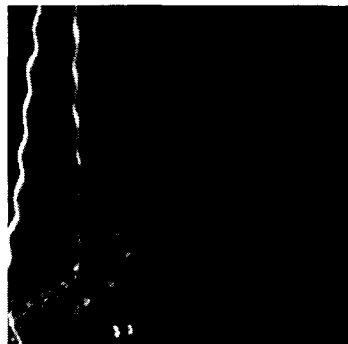
Fig 8. 축분 : 왕겨 = 1 : 1



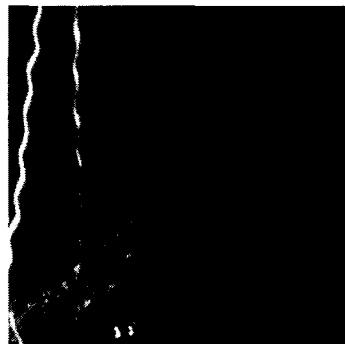
점화 시작



1분 후



3분 후



5분 후

Fig 9. 축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/2 : 1/2



점화 시작



1분 후



3분 후



5분 후

Fig 10. 축분 : 연탄 : 왕겨 = 1 : 1/4 : 1/4