

왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성 성분과 열적 특성

박승제 김명호 신현명

Chemical Compositions and Thermal Characteristics of Rice Husk and Rice Husk Ash in Korea

S. J. Park M. H. Kim H. M. Shin

Abstract

For better and large utilization of rice husk, the production and consumption status, differences in chemical composition and heating value due to region and variety, and thermogravimetric characteristic of rice husk were studied. In addition, the differences in chemical composition due to region and variety and the crystallization characteristic of rice husk ash were also studied. Approximately 800,000 M/T of rice husk was produced per year in Korea, which is about 18% of the paddy production by weight. Noticeable varietal and regional difference pattern in chemical composition was not found among the domestic rice husk samples. Their average ash content and higher heating value were 16.4% and 16,660 kJ/kg by dry basis, respectively. A relation seemed to exist between the carbon content and higher heating value. Noticeable difference pattern in chemical composition was not found among the domestic rice husk ash samples. The SiO₂ contents were a little low, the maximum being 92.9%, and the contents of major components such as CaO, MgO, and K₂O were also lower compared with foreign rice husk ash due to the deficiency of compost matters in domestic soils. Thermogravimetry study showed the thermal decomposition of rice husk started at about 250°C, followed by relatively fast combustion of combustible gas until the temperature rose to 350°C. After 350°C, combustion of the carbon component proceeded relatively slowly as the temperature increased. Therefore, the ignition temperature of the rice husk could be estimated around 300°C. Crystallization of SiO₂ in the rice husk ash was found from the combustion temperature of 750°C and became distinctly when the combustion temperature exceeded 900°C. The ash became darker with SiO₂ crystallization.

Keywords : Chemical composition, Heating value, Rice husk, Rice husk ash, Thermogravimetry, X-ray diffraction

1. 서 론

현재 우리나라의 수도작에서 매년 생산되는 농산 부산물은 벗짚, 왕겨 등이 주를 이루는데 에너지원으로서 적당한 것은 왕겨이다. 하지만 왕겨는 단순히 농업의 폐기물로 여겨질 정도로 농민들의 소득증대에의 기여도가 매우 낮다. 또한 왕겨는 내외피가 규소로 치밀하게 피복되어 있으므로 부식되기 어려움에도 불구하고 왕겨를 축사의 갈개로 이용한 후 퇴비

화함에 따라 농지의 토양을 오염시킬 우려가 있다.

벼 중에서 왕겨가 차지하는 중량 비율은 벼의 품종, 경작지의 기후조건, 토질, 경작법에 따라 차이가 있으나 보통 20% 정도로 계산하는 것이 일반적이다. 김 등(1981)은 약 16.3~26%, Beagle(1978)은 14~27% 정도라고 보고한 바 있다. 조 등(1981)은 왕겨의 발열량은 산지 및 품종에 따라 약간씩 다르나 국내 왕겨의 고위 발열량은 15,680 kJ/kg 정도이며, 왕겨는 나무와 연소 특성이 유사하나 다만 회분 성분이 많아 점

The article was submitted for publication in June 2005, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2005. The authors are Seung Je Park, Professor, KSAM member, Myoung Ho Kim, Associate Professor, KSAM member, Bioindustrial Machinery Engineering Major, Chonbuk National University, and Hyun Myung Shin, Associate Professor, School of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu, Korea. The corresponding author is S. J. Park, KSAM member, Professor, Bioindustrial Machinery Eng. Major, Division of Bioresource Systems Engineering (Institute of Agri. Sci. & Tech.), Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk 561-756, Korea; Fax : +82-63-270-2620; E-mail : <sjpark@chonbuk.ac.kr>

화에 필요한 열을 전달받기 위한 시간이 약간 지연되고 따라서 왕겨는 점화 온도가 나무보다 약간 높은 300~350°C 정도로 추정된다고 보고하였다. Shimizu 등(1978)은 일본의 왕겨 산지 및 품종별로 발열량을 측정한 결과, 산지 및 품종 간에 큰 차이가 있으며, 회분의 함량이 증가할수록 발열량은 감소한다고 보고하였다. 김지동 등(1981)은 왕겨의 열분해 특성에 대한 연구결과, 110°C에서 흡착 수분은 증발이 거의 완료되며, 350°C에서 급속한 열분해가 진행되어 400°C에서 60% 정도의 질량감소를 일으키는데 이것은 석탄의 경우 400°C에서 겨우 질량감소가 일어나기 시작하는 것과 비교하여 볼 때, 좀 더 용이한 열분해 특성을 가지는 것이라고 보고하였다. Shimizu 등(1978)과 Shimizu와 Kimura(1985)는 품종과 산지에 따라 차이가 있으나 일본에서 생산되는 왕겨의 경우 평균적인 조성에서 휘발분은 62%, 탄분은 20.5%, 회분은 17.5% 정도이며, 휘발분의 발열량은 15,340 kJ/kg, 탄분의 발열량은 31,940 kJ/kg 정도라고 보고하였으며, 왕겨의 연소 특성에 대한 연구결과, 과잉공기 90~170%에서 연소 온도가 최대로(870°C) 나타났으며, 연소 시간은 과잉공기가 많을수록 짧아지지만 대체로 10분 이하인 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 왕겨의 활용성 향상을 위한 기초 연구로서 우리나라의 왕겨 생산 및 소비실태를 조사하고, 지역별 일품 벼 품종을 중심으로 왕겨와 왕겨재의 화학적 조성 성분 분석과 발열량을 측정하여 품종별 왕겨의 성분 특성을 구명하고자 하였으며, 왕겨재의 결정화 특성 분석 그리고 왕겨의 열분해도를 통하여 왕겨의 열적 특성을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 실험방법

왕겨의 생산 및 소비 실태는 제주도를 제외한 8개 도에서

평야, 중간, 산간지로 개략적으로 구분하여 미곡종합처리장 67개소 일반 소규모 정미소 39개소, 일반 농가 57가구를 1996년 7월에 방문하여 설문과 서류 조사를 통하여 자료를 수집하고 분석하였다. 설문내용은 미곡종합처리장과 일반 정미소의 경우에는 전체적인 운영관련 내용, 시설 및 기계 기술 관련 내용, 부산물 처리 관련 내용 등 이었으며, 일반 농가에서는 주로 왕겨의 소비 실태에 관한 내용이었다. 설문의 정확도를 높이기 위하여 미곡종합처리장에서는 가능하면 관련 서류를 직접 확인하는 절차를 가졌다.

왕겨의 화학적 조성은 원소분석기(Elemental Analyzer, Flash EA 1112 series, 한국기초과학연구소 서울분소)를 이용하여 분석하였으며, 수분 함량은 105°C 공기 오븐법을, 회분 함량은 600°C 전기로에서 2시간 완전 연소시키는 방법을 이용하여 측정하였다. 발열량은 발열량계(Parr Instrument), 열분해도는 열중량분석기(TGA, 한국기초과학연구소 서울분소)를 이용하여 측정하고 분석하였으며, 모든 자료는 3~5 반복 측정하여 평균하였다. 왕겨재의 화학적 조성은 원자흡수분광광도계를 이용하여 분석하였으며, 왕겨재의 실리카 결정화는 XRD 분석법을 이용하였다(전북대학교 공동실험관).

3. 결과 및 고찰

가. 왕겨의 실태조사

표 1은 지역별 왕겨 생산량을 분석한 것이며, 표 2는 왕겨의 판매단가 및 판매수익 그리고 왕겨의 이용처를 나타낸 것이다. '95년도 왕겨생산량은 약 80여만톤이며, 벼에서 차지하는 왕겨의 평균 중량비율은 18% 정도로서 지역간 품종간 큰 차이는 없는 것으로 분석된다. 일반적으로 왕겨가 벼에서 차지하는 무게가 통일계는 20%, 일반계는 15% 수준인 것을 감

Table 1 Regional production of rice husk

Province	Paddy yield (1,000 M/T) (A)	Production of rice husk (1,000 M/T)					Ratio (B/A) (%)
		1st quarter	2nd quarter	3rd quarter	4th quarter	Total (year) (B)	
Kyonggi	557	17.5	22.6	29.7	30.7	100.5	18.0
Kangwon	182	7.6	7.6	7.1	8.1	30.4	16.7
Chungbuk	269	10.2	13.5	13.3	12.0	49.0	18.2
Chungnam	720	31.2	33.7	32.0	36.4	133.3	18.5
Chonbuk	767	29.2	34.3	39.2	33.0	135.7	17.7
Chonnam	868	29.2	44.6	43.7	41.3	158.8	18.3
Kyongbuk	612	22.5	29.0	30.0	28.2	109.7	17.9
Kyongnam	525	23.6	22.3	22.5	24.0	92.4	17.6
Total	4,500	171	207.6	217.5	213.5	809.8	18.0

Table 2 Regional price and use of rice husk

Province	Price (won/tonne)	Earnings (million won)	Use of rice husk (%)	
			Compost (Bedding)	Other use
Kyonggi	14,200	1427.1	100	0
Kangwon	13,700	416.5	100	0
Chungbuk	12,300	602.7	95	5
Chungnam	14,500	1932.9	100	0
Chonbuk	21,100	2863.3	95	5
Chonnam	44,700	7098.4	90	10
Kyongbuk	10,800	1184.8	90	10
Kyongnam	24,300	2245.3	100	0
Mean	19,450	2,217.96	95.71	3.7

안하면 이것은 조사 품종이 통일계와 일반계의 중간 정도의 성질을 가지는 것으로 판단된다. 왕겨의 이용처는 95% 이상이 축산시설의 깔개(사용 후 퇴비화) 및 축분의 혼합재(퇴비화), 과수원의 잡초제거재(자연 퇴비화) 등에 이용되고 나머지는 마늘이나 딸기 재배시의 상토, 철강재 생산시의 보온재 등에 이용되는 것으로 조사되었다. 분기별 왕겨 생산량은 1/4 분기에만 21.1% 수준으로 조금 낮고 2, 3, 4 분기는 비슷한 수준으로 나타났으며, 왕겨의 평균 판매단가는 전라남도가 최고로서 톤당 44,700원, 경상북도가 최저로서 톤당 10,800원의 분포를 보이며 평균 판매단가는 톤당 21,900원(양을 기준으로 환산할 경우, 도별 산술 평균은 톤당 19,450원)으로 분석되었고 총 왕겨 판매액수는 약 177억 7천만원 정도로 분석되었다. 제주도를 포함한 우리나라 전체를 고려하면 이보다 약 5% 정도 늘어날 것으로 생각된다. 왕겨의 판매단가에서 전라남도가 유독 전체 평균의 2배 이상으로 높은 것은 축산

농가에서 왕겨를 가축의 배당 재료로 사용하고 난 후 이 왕겨를 퇴비로 이용하는 체계를 매우 선호했던 때문으로 추정할 수 밖에 없다. 그 다음 높은 지역이 경상남도 지역으로서 평균보다 약 25% 정도 높은 가격으로 판매하였는데 이유는 전라남도와 같을 것으로 추측된다. 남도 농업에서 가격이 이렇게 높은 또 다른 이유는 농업 소득이 많은 전업농이 상대적으로 많기 때문이 아닐까 추측된다.

나. 화학적 조성 성분

1) 왕겨의 조성 특성

왕겨의 성분분석을 위하여 지역별 일품벼를 중심으로 5 품종(일반벼 계통)을 선택하고, 지역별 편차 여부를 파악하기 위하여 평야지(전북 김제시, 경기 안산시), 중산간지(경남 함안군 군북면), 산간지역(경남 함양, 전북 남원군 운봉면)에서 시료를 구입하였다. 성분분석 결과는 표 3과 같은데 품종별, 지역별로 약간씩의 차이를 보이나 품종간 지역간에 있어서 특별한 경향은 찾기가 어렵다. 이러한 결과는 Shimizu 등 (1978)의 일본의 지역별, 품종별 왕겨성분 분석의 결과와 유사하다. 그러나 계화 품종(전북 김제)은 특히 탄소 함량이 적고 산소 함량이 높은 특징을 보이고 있는데, 이것은 품종에 따라 성분이나 발열량에서 차이를 보인다는 일반적인 현상에 속하는 것으로 판단되며, 탄소 함량이 낮은 것은 당연히 발열량이 낮은 결과를 낳게 된다. 회분함량은 습량기준으로 약 13~17% 정도의 분포를 보이고 있는데 통일벼 계통의 품종에 비하여 낮고, 일반계 품종 보다는 약간 높은 수준으로 판단된다. 황과 질소의 성분은 매우 적어 연소시 배연가스 내에 대기오염원인 질소산화물이나 황산화물이 적을 것으로 추측되며 이러한 결과는 Kim 등(1997)의 연구에서 보고된 바 있다.

Table 3 Chemical composition of rice husk (% by weight)

Variety*	Ash (%)	Moisture (%)	Carbon (%)	Hydrogen (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)	Oxygen (%)	Total (%)
I	13.15	12.08	39.092	5.439	0.497	0.0500	29.692	100
II	13.50	10.16	38.240	5.564	0.367	0.0390	32.130	100
III	15.44	9.51	37.771	5.287	0.314	0.0190	31.659	100
IV	17.11	9.65	37.314	5.577	0.266	0.0022	30.081	100
V	16.44	9.77	36.747	5.454	0.372	0.0330	31.184	100
VI	13.34	10.02	36.612	5.427	0.343	0.0290	34.229	100
VII	13.48	10.45	32.736	5.843	0.315	0.0190	37.157	100
VIII	15.65	9.84	38.268	5.736	0.285	0.0195	30.202	100
Mean	14.76	10.19	36.10	5.54	0.34	0.03	32.30	

* I : Dongjin (Buan), II : Dongjin (Kimje), III : Dongjin (Hamyang), IV : Dongjin (Haman), V : Whasung (Haman), VI : Odae (Namwon), VII : Kyewha (Kimje), VIII : Chuchung (Ansan)

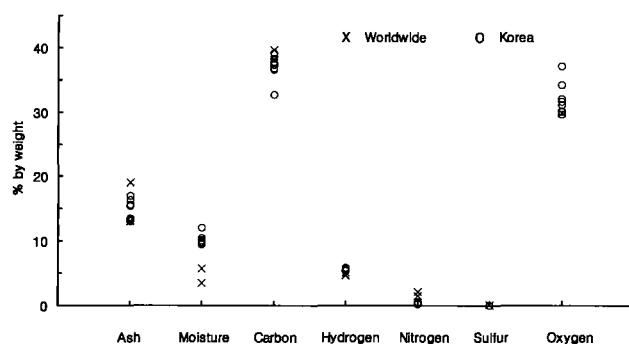


Fig. 1 Comparison of chemical composition between worldwide and Korean rice husk.

그림 1은 세계 여러 나라의 대표적인 왕겨의 조성 성분(Beagle, 1978)과 표 3의 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 편의상 세계 여러 나라 왕겨의 조성성분의 경우는, 최대값과 최저값만을 선택하여 그 범위만이 나타나도록 도시하였다. 세계 여러 나라의 왕겨의 조성은 우리나라의 것에 비하여 회분 함량, 탄소, 질소 및 황의 함량이 높은 특성을 보이고 있다. 이것은 장립종 품종의 왕겨의 특성에 가까우며, 우리나라의 통일벼 계통과 약간 유사한 면이 있는 것으로 판단된다.

표 4는 건량기준 회분함량과 고위발열량을 나타낸 것이다. 회분 함량은 중량비율로 평균 16.43%, 발열량은 16,657 kJ/kg 으로 나타났는데, Shimizu 등(1978)의 일본의 평균치 17.5%, 16,060 kJ/kg와 비교할 때 우리나라 왕겨의 회분 함량은 약 1% 포인트 낮고 발열량은 약 600 kJ/kg 정도 높다. 회분 함량과 발열량 간에는 별 관계가 없는 것으로 판단되며 동일한

지역(전북 김제)의 동진과 계화 품종 간에는 동진 품종이 약 9.5% 정도 더 많은 발열량을 보이고 있다. 회분 함량이 비슷한 상태에서 이와 같이 큰 발열량의 차이를 보이는 것은 품종의 특성으로 보아야 할 것이다. 계화 품종은 탄소함량이 낮고 산소함량이 높은 특성을 보이고 있는데 이것이 발열량이 낮은 원인으로 판단된다. 왕겨의 성분 중에서 탄소의 성분이 많은 품종(I, II, VIII)이 발열량도 높은 특징을 보이는 것으로 판단할 때(탄소의 함량과 발열량간에는 정비례의 경향을 보이고 있음)회분의 함량보다 탄소의 함량이 발열량과 더 많은 상관관계를 가지는 것으로 생각된다. Shimizu 등(1978)은 회분 함량이 증가할수록 발열량은 감소한다고 보고하였는데, 본 연구의 결과와는 약간 상이한 결과이다. 탄소의 함량이 비슷한 경우에는 당연히 회분의 함량과 발열량 간에는 상관관계가 나타나리라 판단된다. 또한 같은 동진 품종에서 평야지와 중산간지 간에는 평야지가 약 7% 정도 높게 나타나고 있는 것으로 분석된다. 이것은 토양의 유기질 함량이 평야지가 중산간지보다 많다는 것으로 판단해야 할 것이다.

2) 왕겨 회분 조성 특성

표 5는 왕겨 회분의 화학적 조성 성분을 분석하여 나타낸 표이다. 표에서 보면 품종간 지역간에 있어서 일정한 경향은 발견되지 않으나 SiO_2 의 함량이 최대 92.92% 정도로서 대체로 낮은 편이다. 이러한 현상은 토양에 규산질 성분이 부족하기 때문에 발생 가능한 현상으로 추측된다. 이러한 규산질 성분의 부족은 벼의 도복이 쉬운 결과를 낳게 되며, 양질의 퇴

Table 4 Higher heating value of rice husk (dry basis)

Variety*	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Mean
Ash (% by weight)	14.96	15.03	17.06	18.94	18.22	14.83	15.06	17.36	15.68
Higher Heating Value ($\times 10^3$ kJ/kg)	17.42	17.51	16.52	16.31	16.25	16.60	15.98	16.68	17.15

* Same as Table 3

Table 5 Composition of rice husk ash (% by weight)

Variety*	SiO_2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	Al_2O_3 (%)	MnO_2 (%)	Others (%)	Total (%)
I	92.92	0.224	0.240	0.996	2.142	0.100	0.342	0.112	0.114	2.810	100
II	86.21	0.271	0.274	0.847	0.873	0.057	0.286	0.114	0.095	10.973	100
III	90.55	0.278	0.278	0.991	1.059	0.057	0.309	0.123	0.153	6.202	100
IV	87.88	0.304	0.206	0.631	0.403	0.071	0.191	0.091	0.088	10.135	100
V	87.60	0.280	0.280	0.871	0.937	0.071	0.268	0.113	0.153	9.427	100
VI	87.39	0.199	0.158	0.770	0.403	0.071	0.183	0.136	0.080	10.610	100
VII	89.92	0.278	0.290	0.755	0.714	0.071	0.321	0.099	0.134	7.418	100
VIII	90.96	0.388	0.298	0.829	0.543	0.113	0.208	0.120	0.238	6.303	100

* Same as Table 3

비를 많이 시비하여야 이러한 결과를 방지할 수 있을 것이다. 재래식 농법에서는 왕겨를 태우고 그 재(규산질)를 퇴비와 혼합하여 시비하였기 때문에 토양에 규산질 성분 부족이 나타나지 않았을 것이다.

그림 2는 세계 여러 나라의 왕겨재의 성분(Beagle, 1978)과 표 5의 성분을 함께 나타낸 것이다. 역시 그림 1에서와 같이 편의상 세계 여러 나라 왕겨재의 조성성분의 경우는, 최대값과 최저값만을 선택하여 그 범위만이 나타나도록 도시하였다. 다른 나라의 왕겨재의 성분은 SiO_2 , CaO , MgO 및 K_2O 등의 주요 무기질 원소 함량이 우리나라 것에 비하여 높은 특징을 보이고 있다. 이러한 결과도 전술한 바와 같이 우리나라 토양의 퇴비질 부족에 기인하는 것으로 판단된다. 그림 3은 동진(전북 김제) 품종의 열분해도 실험 결과인데, 온도를 매우 천천히 증가시키면서 온도와 시간에 따른 시료의 중량변화를 나타낸 것이다. 온도에 따른 열분해와 연소로 인한 중량 감소 현상이 시각적 특성으로 잘 나타나 있는데, 그림에서 보면 100°C가 되기 전에 수분은 대부분 증발되어 수분으로 인한 중량 감소는 100°C가 되기 전에 거의 완료되었으며, 250°C

부근에서부터 열분해가 발생하기 시작해 350°C 까지 가연성 가스의 연소가 비교적 빠르게 이루어지고, 350°C가 지나면서 탄소 성분의 연소가 비교적 서서히 진행되는 것으로 분석된다. 이것으로 판단할 때 왕겨의 점화온도는 약 300°C 정도로 추정되는데, 조명제 등(1981)의 300~350°C의 결과와 크게 다르지 않다. 또한 김지동 등(1981)의 열분해 특성과 비교할 때 약 50°C의 편차가 있을 뿐 경향은 유사한 것으로 생각된다. 본 연구에서는 250~350°C에서, 김지동 등(1981)은 300~400°C에서 가연성 가스의 열분해가 진행되었던 것은 분석기 기의 정밀도 등에서 차이가 있었기 때문으로 판단된다. 탄소 연소로 인한 중량 감소량은 약 37% 정도로 분석되는데, 이는 동진(김제) 품종의 성분분석 결과에서 나타난 탄소함량 약 38% 와 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다.

4. 왕겨 회분의 결정화 특성

그림 4는 전기로에서 2시간 동안 연소시킬 때의 온도별로 회분의 SiO_2 성분의 결정화 특성을 XRD(X-ray diffractometry)로 분석하여 비교한 것인데, 그림에서 가로축은 X-선 조사각도, 세로축은 X-선 강도(반사된 것)이다. 그림에서 어떤 각도에서도든 뾰족하게 X-선 강도가 높은 것이 나타나면 결정화가 많이 진행된 것으로 해석한다. 그림에서 보면, 750°C에서 연소된 회분은 결정화 현상이 나타나기 시작하는 수준으로서 결정이 거의 발생하지 않은 것으로 판단되며, 연소 온도가 900°C 이상이 되면 XRD 피크현상이 현저한 것으로 판단할 때 결정화가 심해지는 것으로 생각된다. 또한 연소온도가 750°C 이상으로 증가할수록 회분색깔이 점점 검어지는 현상이 나타났는데 이러한 현상은 회분 내의 SiO_2 가 SiO 로 변화되는 것 혹은 SiO_2 가 결정화되는 과정에 미량의 탄소성분이 결정 속에 갇히는 것 등에 기인한 것으로 판단되는데 회분의 결정화와 회분의 검은색은 상관관계가 매우 큰 것으로 사료된다(SiO : 검은색, SiO_2 : 흰색).

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 왕겨의 활용성 향상을 위한 기초 연구로서 우리나라의 왕겨 생산 및 소비실태를 조사하고, 지역별 일품 벼 품종을 중심으로 왕겨와 왕겨재의 화학적 조성 성분 분석과 빌열량을 측정하여 품종별 왕겨의 성분 특성을 구명하고자 하였으며, 왕겨재의 결정화 특성 분석 그리고 왕겨의 열분해도를 통하여 왕겨의 열적 특성을 분석하고자 하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

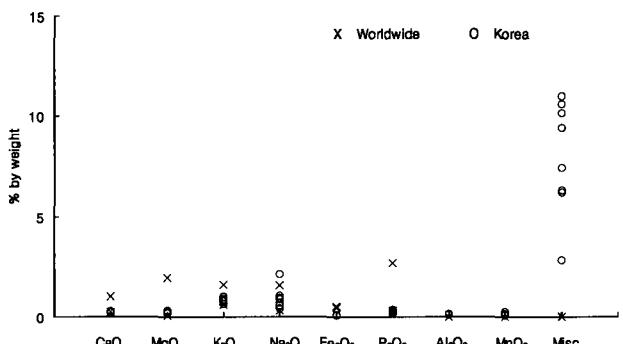


Fig. 2 Comparison of chemical composition between worldwide and Korean rice husk ash.

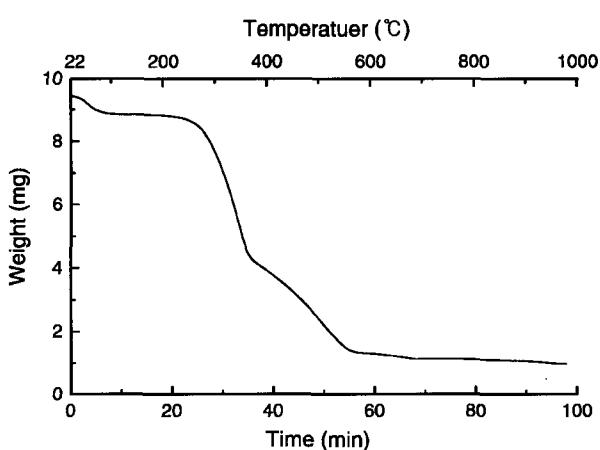


Fig. 3 Thermogravimetry pattern of rice husk (variety : Dongjin).

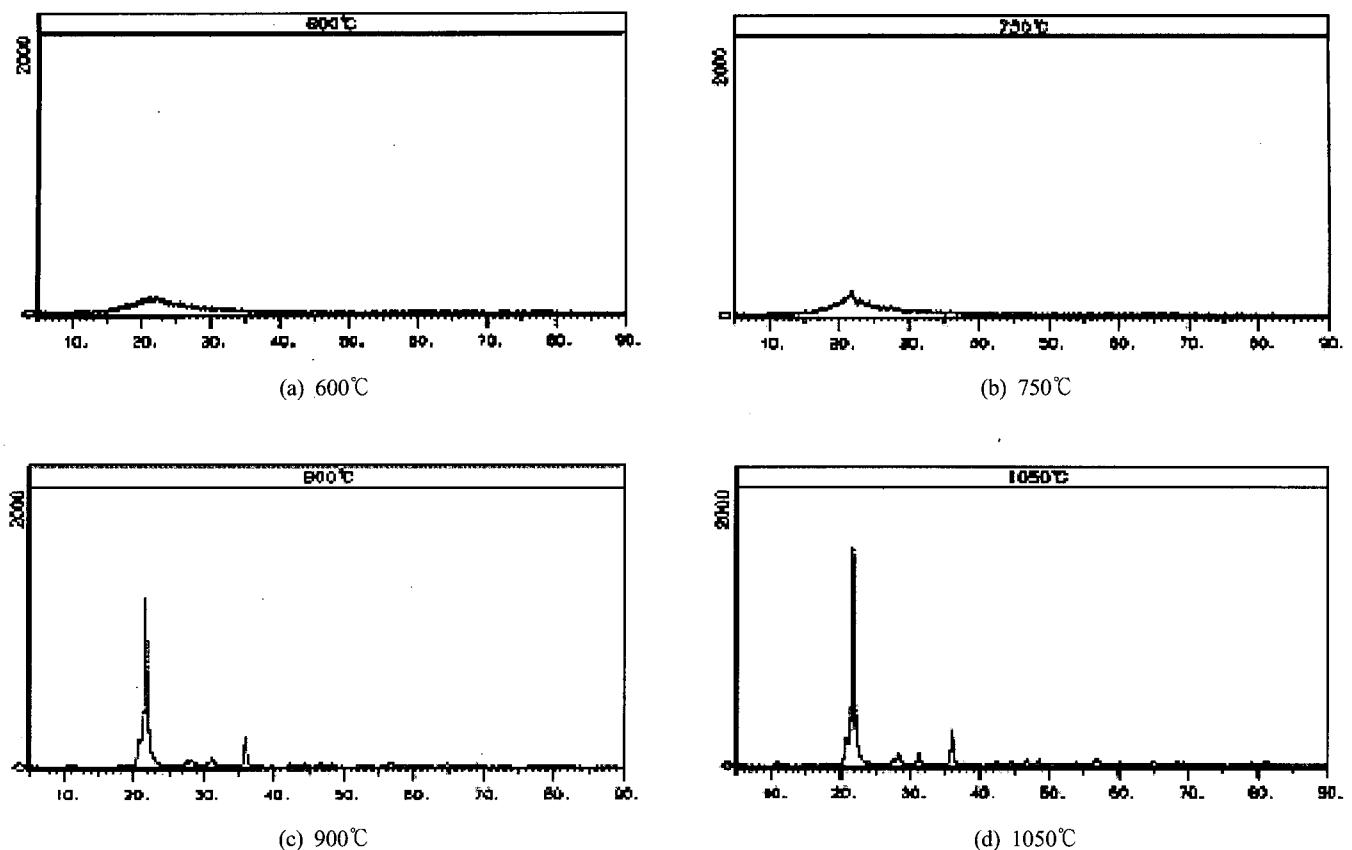


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of rice husk ash at different combustion temperature in a muffle furnace (variety : Dongjin).

(1) 왕겨의 생산량은 약 80여만톤이며 벼에서 차지하는 왕겨의 중량비율은 평균 18% 정도로서 품종간 지역간 별 차이가 없으며, 이용처는 95% 정도가 축사의 깔개로 이용된 다음 퇴비화 되었고 5% 정도는 상토 혹은 철강 생산의 보온재 등으로 이용되고 있다. 분기별 왕겨 생산량은 1/4 분기에만 약 21% 정도로 조금 낮고 2, 3, 4 분기는 비슷한 수준으로 나타났으며 왕겨의 평균 판매단가는 톤당 21,900원, 총 판매액수는 약 177억 7천만원 정도로 분석되었다.

(2) 왕겨의 성분분석 결과 품종간 지역간에 있어서 특별한 경향은 없었으나 계화 품종만 탄소함량이 낮고 산소함량이 높은 특성을 보였는데 이것이 별열량이 특히 낮은 원인으로 판단되었다. 또, 동일한 동진 품종에서 평야지가 중산 간지보다 약 7% 정도 별열량이 높게 나타났다. 견량기준 중량비로서 회분의 함량은 평균 16.43%, 별열량은 16,660 kJ/kg로 분석되었으며, 왕겨의 탄소 성분 함량과 별열량 간에는 상당한 상관관계가 있는 것으로 분석되었다.

(3) 왕겨 회분의 화학적 조성 성분은 품종간 지역간에 있어서 일정한 경향은 발견되지 않았으나 SiO_2 의 함량이 최대 92.92% 정도로서 대체로 낮은 편이었다. 또한 CaO , MgO 및 K_2O 등의 주요 무기질 원소 함량도 세계 여러 다른 나라의 것에 비하여 낮은 특징을 나타냈다. 이러한 결과는 우리나라 토양의 퇴비질 부족에 기인하는 것으로 판단된다.

(4) 왕겨의 열분해 특성은 100°C가 되기 전에 수분 증발은 거의 완료가 되었으며, 250°C 부근에서부터 열분해가 발생하기 시작하여 350°C까지 가연성 가스 연소가 비교적 빠르게 이루어지고, 350°C가 지나면서 탄소 성분의 연소가 비교적 서서히 진행되는 것으로 분석되었다. 이것으로 판단할 때 왕겨의 점화온도는 약 300°C 정도로 추정된다.

(5) 왕겨 회분의 결정화 특성은 XRD 분석 결과, 연소 온도가 750°C 이상이 되면 발생하기 시작하여 900°C 이상이 되면 결정화가 매우 심한 것으로 판단되었으며, 특히 결정화가 심해질수록 회분의 색깔도 검은색이 증가하는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. Beagle, E. C. 1978. Rice husk convention to energy. FAO Agricultural service bulletin.
2. Kim, M. H., C. S. Kim and S. J. Park. 1997. Performance of a pilot-scale rice husk incinerator. *J. of Korean Soc. Agric. Mach.* 22(1):21-29.
3. Shimizu, H., A. Kanno and Y. Nishiyama. 1978. Physical properties of rice hull as the fuel. *J. of Japanese Soc. Agric. Mach.* 39(4):477-481 (In Japanese).
4. Shimizu, H. and T. Kimura. 1985. Direct combustion properties of rice hull. *J. of Japanese Soc. Agric. Mach.* 46(1):633-638 (In Japanese).
5. 김지동 외. 1981. 왕겨로부터 가연성 가스 제조에 관한 실험연구. *에너지* 4(2):74-89.
6. 조명제, 박영재, 최경빈, 강점룡. 1981. 왕겨 연소 보일러 개발에 관한 연구. *에너지* 4(2):65-73.