

우리나라 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성 성분[†]

Element Compositions of Rice Husk and Rice Husk Ash in Korea

박승제*

정회원

S.J. Park

1. 서 론

현재 우리나라에서 매년 생산되는 농산부산물은 벼짚, 왕겨등이 주를 이루는데 에너지원으로서 적당한 것은 왕겨이다. 하지만 왕겨는 단순히 농업의 부산물로 여겨질 정도로 농민들의 소득증대에의 기여도가 매우 낮다. 또한 왕겨는 내외피가 규소로 치밀하게 피복되어 있으므로 부식되기 어려움에도 불구하고 왕겨를 축사의 깔개로 이용 후 퇴비화함에 따라 농지내 왕겨 환원속도가 부식속도 보다 빨라서 토양속에 미부식 왕겨가 누적되어 농지내 토양환경을 열악하게 하고 있으며 왕겨를 축사내 깔개로 이용함에 따라 어린 가축의 생육장애 등이 제기되고 있으며 장래에는 악취로 인한 대기오염 문제와 가축의 질병 문제등이 추가로 제기될 가능성이 많다.

벼 중에서 왕겨가 차지하는 중량 비율은 벼의 품종, 경작지의 기후조건, 토질, 경작법에 따라 차이가 있으나 보통 20% 정도로 계산하는 것이 일반적이다. 김지동 등(1981)은 약 16.3~26%, Beagle(1980)은 14~27% 정도라고 보고한 바 있다. 조명제 등(1981)은 왕겨의 발열량은 산지 및 품종에 따라 약간씩 다르나 국내 왕겨의 고위 발열량은 3750 kcal/kg 정도이며, 왕겨는 나무와 연소 특성이 유사하나 다만 회분 성분이 많아 점화에 필요한 열을 전달받기 위한 시간이 약간 지연되고 따라서 왕겨는 점화 온도가 나무보다 약간 높은 300~350℃ 정도로 추정된다고 보고하였다. Shimizu 등(1978)은 일본의 왕겨 산지 및 품종별로 발열량을 측정된 결과 산지 및 품종간에 큰 차이가 있으며, 회분의 함량이 증가할수록 발열량은 감소한다고 보고하였다. 김지동 등은 왕겨의 열분해 특성에 대한 연구결과, 110℃에서 흡착 수분은 증발이 거의 완료되며, 350℃에서 급속한 열분해가 진행되어 400℃에서 60% 정도의 질량감소를 일으키는데 이것은 석탄의 경우 400℃에서 겨우 질량감소가 일어나기 시작하는 것과 비교하여 볼 때 좀 더 용이한 열분해 특성을 가지는 것이라고 보고하였다. Shimizu 등(1978,1985)은 품종과 산지에 따라 차이가 있으나 일본에서 생산되는 왕겨의 경우 평균적인 조성에서 휘발분은 62%, 탄분은 20.5%, 회분은 17.5% 정도이며, 휘발분의 발열량은 3670 kcal/kg, 탄분의 발열량은 7640 kcal/kg 정도라고 보고하였으며 왕겨의 연소 특성에 대한 연구결과 過剩空氣 90~170%에서 연소 온도가 최대로(870℃) 나타났으며, 연소 시간은 過剩空氣가 많을수록 짧아지지만 대체로 10분 이하인 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 왕겨의 활용성 향상을 위한 기초 연구로서 우리 나라의 왕겨 생산 및 소비실태를 조사하고, 지역별 일품벼 품종을 중심으로 왕겨와 왕겨재의 화학적 조성 성분 분석과 발열량 및 왕겨재의 결정화 특성 분석을 통하여 지역별 품종별 왕겨의 특성을 구명하고자 하였다.

* : 전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부

† : 농림기술개발연구비에 의하여 수행되었습

2. 재료 및 방법

왕겨의 생산 및 소비 실태는 제주도를 제외한 8 개도에서 미곡종합처리장 67 개소, 일반 소규모 정미소 39개소, 일반 농가 57 가구를 1996년 7월에 방문하여 설문과 서류 조사를 통하여 자료를 수집하고 분석하였다.

왕겨의 화학적 조성은 CHON 분석기를 이용하여 분석하였으며 수분 함량은 105℃ 공기 오븐법을, 회분 함량은 600℃ 전기로에서 2시간 완전 연소시키는 방법을 이용하여 분석하였다. 발열량은 발열량계(Parr Instrument)를 이용하여 5반복 평균하였다.

왕겨재의 화학적 조성은 원자흡수분광광도계를 이용하여 분석하였으며 왕겨재의 실리카 결정화는 XRD 분석을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 왕겨의 실태조사

표 1은 지역별 왕겨 생산량을 분석한 것이며 표 2는 왕겨의 판매단가 및 판매 수익 그리고 왕겨의 이용처를 나타낸 것이다. '95년도 왕겨생산량은 약 80 여만톤이며 벼에서 차지하는 왕겨의 평균 중량비율은 18 %, 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 44,700 원, 경상북도가 최저로서 톤당 10,800 원의 분포를 보이며 평균은 톤당 21,900 원(양을 기준으로 환산,도별 산술 평균은 톤당 19,450원)으로 분석되었고 총 왕겨 판매액수는 약 177억7천만원 정도로 분석되었다. 제주도를 포함한 우리나라 전체를 고려하면 이보다 약 5% 정도 늘어날 것이다.

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) (%)
		1/4	2/4	3/4	4/4	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)	the other
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	2,221.4	96.3	3.7

나. 화학적 조성 성분

1) 왕겨 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 (1978)의 일본의 지역별, 품종별 왕겨성분 분석의 결과와 유사하다. 회분함량은 습량기준으로 약 13% - 17% 정도의 분포를 보이고 있는데 대체로 통일벼 계통의 품종에 비하여 낮은 수준으로 판단된다. 황과 질소의 성분은 매우 적어 연소시 배연가스내에 대기오염원인 질소산화물이나 황산화물이 적을 것으로 추측되며 이러한 결과는 박 등(1996)의 연구의 결과에서 보고된 바 있다.

표 4는 건량기준 회분함량과 고위발열량을 나타낸 것이다. 동일한 지역(전북 김제)의 동진과 계화 품종간에 동진 품종이 약 9.5% 정도의 더 많은 발열량을 보이고 있다. 회분 함량도 비슷한 상태에서 이와 같이 큰 발열량 차이를 보이는 것은 품종의 특성으로 보아야 할 것이다. 계화 품종은 탄소함량이 낮고 산소함량이 높은 특성을 보이고 있는데 이것이 발열량이 낮은 원인으로 판단된다. 또한 같은 동진 품종에서 평야지와 중산간지 간에는 평야지가 약 7% 정도 높게 나타나고 있는 것으로 분석된다.

나. 왕겨회분 조성 특성

표 5는 왕겨 회분의 화학적 조성 성분을 분석하여 나타낸 표이다. 표에서 보면 품종간 지역간에 있어서 일정한 경향은 발견되지 않으나 SiO₂의 함량이 최대 92.92% 정도로서 대체로 낮은 편이다. 이러한 현상은 최근에 규산질 비료를 거의 시비하지 않기 때문에 발생 가능한 현상으로 추측된다.

Table 3 Element 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	32.13	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	30.0808	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	30.2015	100
mean	14.76	10.18	37.09	5.54	0.34	0.02	32.04	

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

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	16.43
Higher Heating Value (kJ/kg)	17,424	17,506	16,516	16,306	16,249	16,604	15,975	16,679	16,657

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

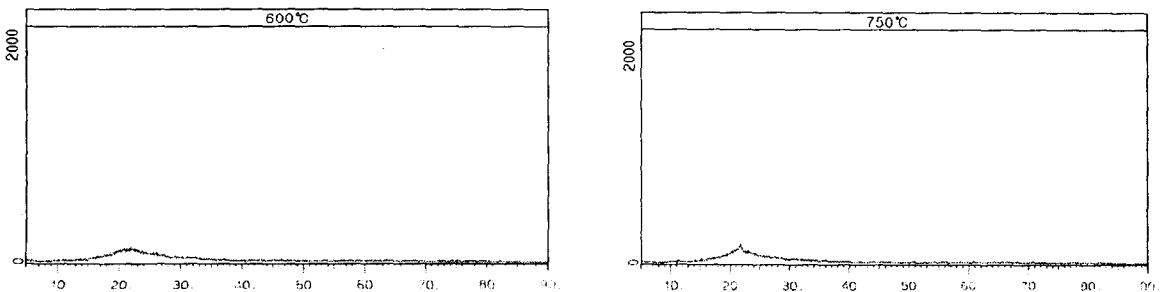
Table 5 Composition of rice-husk ash (% by weight)

Variety*	SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MnO ₂ (%)	etc (%)	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

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

다. 왕겨 회분의 결정화 특성

그림 1 은 전기로에서 2 시간동안 연소시킬 때의 온도별로 회분의 SiO₂ 성분의 결정화 특성을 비교한 것인데 900 °C 이상이 되면 피크현상이 현저한 것으로 판단할 때 결정화가 심해지는 것으로 사료된다. 또한 연소온도가 750 °C 이상으로 증가할수록 회분색깔이 점점 검어지는 현상이 나타났는데 이러한 현상은 회분내의 SiO₂ 가 SiO 로 변화되는 것 혹은 SiO₂ 가 결정화 되는 과정에 미량의 탄소성분이 결정 속에 갇히는 것 등에 기인한 것으로 사료된다(SiO: 검은 색, SiO₂: 흰 색).



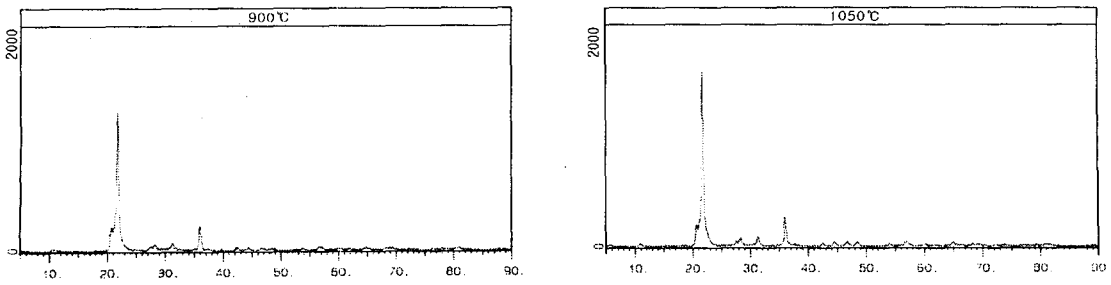


Fig 1. X-ray diffraction patterns of rice husk ash at different combustion temperature in muffle furnace (variety: Dongjin) .

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 왕겨의 활용성 향상을 위한 기초 연구로서 우리나라의 왕겨 생산 및 소비실태를 조사하고, 지역별 일품벼 품종을 중심으로 왕겨와 왕겨재의 화학적 조성 성분 분석과 발열량 및 왕겨재의 결정화 특성 분석을 통하여 지역별 품종별 왕겨의 특성을 구명하고자 하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 왕겨의 생산량은 약 80여만톤이며 이용처는 95% 정도가 축사의 깔개로 이용된 다음 퇴비화되었고 5% 정도는 상토 혹은 철강 생산의 보온재 등으로 이용되고 있다.

2. 분기별 왕겨 생산량은 1/4 분기에만 약 21% 정도로 조금 낮고 2, 3, 4 분기는 비슷한 수준으로 나타났으며 왕겨의 평균 판매단가는 톤당 21,900 원, 총 판매액수는 약 177억7천만원 정도로 분석되었다.

3. 왕겨의 성분분석 결과 품종간 지역간에 있어서 특별한 경향은 없었으나 계화 품종만 탄소함량이 낮고 산소함량이 높은 특성을 보였는데 이것이 발열량이 특히 낮은 원인으로 판단되었다. 또한 동일한 동진 품종에서 평야지가 중산간지보다 약 7% 정도 발열량이 높게 나타났다.

4. 왕겨 회분의 화학적 조성 성분은 품종간 지역간에 있어서 일정한 경향은 발견되지 않았으나 SiO₂의 함량이 최대 92.92% 정도로서 대체로 낮은 편이었다. 이러한 현상은 최근에 규산질 비료를 거의 시비하지 않기 때문에 발생 가능한 현상으로 추측된다.

참 고 문 헌

1. 김지동 외. 1981. 왕겨로부터 가연성 가스 제조에 관한 연구. 에너지 4(2):74-89.
2. 박승제. 1988. 왕겨 연소기를 이용한 온수보일러 시스템 개발. 서울대학교 박사학위논문.
3. 조명제 외. 1981. 왕겨 연소 보일러 개발에 관한 연구. 에너지 4(2):65-73.
4. Beagle, E.C.1978. Rice husk convention to energy. FAO Agricultural service bulletin.
5. Shimizu, H., A. Kanno & Y.Nishiyama. 1978. Physical properties of rice hull as the fuel. JSAM 39(4):477-481.
6. Shimizu, H. & T.Kimura. 1985. direct combustion properties of rice hull. JSAM 46(1):633-638.