

## 볏짚 및 보리짚의 퇴비화를 위한 폭쇄의 효과

최 정 · 허성운 · 이동훈 · 최충렬  
경북대학교 농과대학 농화학과

### The Effects of Steam Explosion Treatment on Composting Process with Rice and Barley Straw

Jyung Choi, Sung-Woon Heo, Dong-Hoon Lee, Choong-Lyeal Choi (Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea, Tel : 053-950-5717, Fax : 053-953-7233, e-mail : choij@bh.kyungpook.ac.kr)

**Abstract** : This study was conducted to evaluate the effect of steam explosion treatment on composting with rice straw and barley straw. The composting was performed under the condition of 25°C, water content 70%, C/N ratio 30, and aeration of 100ml/min. The content of cellulose, lignin, and total carbon of compost were increased by steam explosion. During composting process total nitrogen of the compost from rice straw and steam exploded rice straw increased by 2~2.5 percent, whereas that from steam exploded barley straw increased by 1.7 percent.

However total nitrogen of compost from barley straw decreased by 0.41 percent. Therefore, barley straw is a kind of difficulty material for composting, but the composting was proceeded easily by steam explosion treatment, compared to raw barley straw.

**Key words** : Rice straw, Barley straw, Compost, Steam explosion, C/N ratio.

## 서 론

우리나라의 농업은 1960년대 이후 화학비료를 집약적으로 투입하여 단위면적당 고수확, 고소득을 올리는 농업정책으로 일관하였다. 그러나 최근에는 환경오염이 사회문제로 대두됨에 따라 소비자들은 무공해 농산물을 선호하게 되어, 농약이나 화학비료를 적게 사용하고 퇴비의 사용량을 늘리자는 움직임이 일고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 실정하에 국내에서 매년 발생되고 있는 농업부산물로 볏짚은 785만톤, 보리짚은 59만톤에 이를 정도로 많은 양에 달하고 있으나, 농촌의 인구감소 및 노령화에 따른 노동력 부족으로 인하여 이들을 퇴비로 이용하는 양은 오히려 감소하고 있는 실정이다. 그리고, 농업기계를 이용하여 현장에서 탈곡하기때문에 수확시 짚류는 그대로 토양 표면에 산포하거나 연소시킨다. 토양에 산포된 짚은 저온 건조한 동계의 기상 및 토양조건에 의해 유기물 분해 미생물의 활동이 어려워 미분해 상태로 방치되어 이듬해 작물과 질소경쟁을 함으로써 작물의 생육초기에 질소기아 현상을 초래할 수 있다.<sup>2)</sup>

따라서 유기성 폐기물에 의한 환경오염을 경감시키고 오

히려 이를 이용하는 것이 효과적이다. 고품질의 농산물을 생산하기 위해서는 유기물이 함유된 건강한 토양이 필요하며 이를 위해선 많은 퇴비의 시용이 요구된다. 그럼으로 퇴비화가 쉬운 자원은 물론 퇴비화가 지극히 어려운 자원 일지라도 그 자원의 성상에 따라 효율적으로 퇴비화하는 방법을 개발할 필요가 있다.<sup>3)</sup>

본 연구는 볏짚이나 보리짚의 효율적인 퇴비화 방법을 찾고자 폭쇄기법을 이용하여 조직을 연화시켜 단기간에 퇴비화하는 방법을 개발하고, 퇴비화과정 중 퇴비화 재료의 이화학성 변화를 관찰하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

본 연구에 사용된 볏짚과 보리짚은 경상북도 칠곡군에 있는 한 농가로부터 구입하여 3~5cm크기로 절단하여 실험에 행하였다. 사용된 재료의 이화학적 성질은 Table 1과 같았다. 총 탄소 함량이 볏짚은 48.2%, 보리짚은 52.4%이었으며, cellulose 및 lignin함량은 보리짚이 볏짚보다 각각 33.1, 10.8%로 높게 나타났다.

Table 1. Physico-chemical properties of rice straw and barley straw.

(unit : % of dry matter)

Sample	pH (1:10)	EC (1:10) (mS/m)	T-C (%)	T-N (%)	Cation (%)				Cellulose (%)	Lignin (%)
					K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O		
Rice straw	6.5	1.80	48.2	0.91	2.25	0.34	0.14	0.19	27.2	8.3
Barley straw	6.1	4.26	52.4	0.51	4.37	0.41	0.15	0.65	33.1	10.8

Table 2. Physico-chemical properties of pretreatment rice straw and barley straw by steam explosion

(unit : % of dry matter)

Sample	pH (1:10)	EC (1:10) (mS/m)	T-C (%)	T-N (%)	Cation (%)				Cellulose (%)	Lignin (%)
					K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O		
S.R	4.0	1.66	50.2	0.93	1.91	0.33	0.17	0.20	33.2	13.9
S.B	3.7	3.19	52.9	0.39	4.57	0.43	0.19	0.77	35.8	15.1

S.R : Steam exploded rice straw

S.B : Steam exploded barley straw

**폭쇄방법**

폭쇄방법은 볏짚과 보리짚을 절단하여 폭쇄기로 220℃, 25기압 하에서 1분간 폭쇄 처리하였다. 이러한 폭쇄 기법은 내압용기 중에서 고온(200~240℃), 고압(16~34 kg/cm<sup>2</sup>)의 수증기로 단시간(1~9min) 증해시킨 후 급속하게 대기 중으로 방출하여 단열팽창에 의해 급속히 냉각시키는 방법이다. 증해에 의해 Hemicellulose는 가용화되고, Lignin은 고온, 고압의 수증기에 의해 부분적으로 가수분해되어 저분자화되어 열에 의한 연화가 일어나기 때문에 재료의 조직이 유연하게 된다. 그 후 재료는 감압으로 노즐을 통해 대기압으로 방출되기 때문에 시료간 및 폭쇄 장치의 내벽과의 충돌과 마찰에 의해 조직이 파쇄된다.

**실험방법**

폭쇄처리한 볏짚을 퇴비화하기 위하여 재료의 수분함량을 조사한 후 부족되는 수분은 농가에서 구입한 볏짚퇴비와 증류수의 비율 1:10의 비율로 혼합진탕하여 정치한 후 상정액을 첨가하여 최종 수분함량이 60%가 되도록 조절하였으며, C/N율은 요소비료를 첨가하여 30으로 조절하여 혼합하였다. 본 연구에 사용된 퇴비반응조는 두께 5mm의 아크릴을 이용하여 원통형의 20ℓ 반응조를 만들었다. 여기에 혼합된 재료를 넣고 상온에서 정치한 후 aerator로 100ml/min의 속도로 공기를 공급하여 퇴비화시키면서 재료를 퇴적한 후 1, 2, 4, 8, 12 및 16주 마다 시료를 채취하여 재료의 이화학적 분석에 사용하였다.

**분석방법**

각 재료의 이화학적 성질은 농촌진흥청에서 고시한 비료의 품질 검사방법 및 시료채취기준에 준하여 행하였으며, pH와 EC는 토양화학분석법에 따라 측정하였다.

전질소는 Kjeldahl법, 전탄소는 Tyurin법 및 Elemental Analyzer(Carlo Erba EA1108), 그리고 무기성분은 원자흡광분석기(PERKIN ELMER 2380)를 사용하여 분석하였고,

cellulose와 lignin은 목재과학실험서에 따라 정량하였다.

**결과 및 고찰**

**폭쇄에 의한 변화**

폭쇄된 볏짚과 보리짚의 이화학적 성분은 Table 2와 같았다.

볏짚 및 보리짚은 폭쇄에 의해 pH가 4.0, 3.7로서 낮아졌고, EC는 1.66, 3.19mS/m로 각각 감소하였다. 그러나 cellulose, lignin 및 총 탄소 함량은 폭쇄에 의하여 증가되었음을 알 수 있었다.

**pH 및 EC의 변화**

각 시료의 퇴비화과정 동안 pH의 변화는 Table 3과 같았다.

Table 3에서 보여주는 바와 같이 일반적으로 pH는 퇴비화 초기에는 pH가 8~10정도로 상승하지만 퇴비화가 진행됨에 따라 유기물이 분해되는 과정에서 유기산 또는 질산이 생성되어 pH는 서서히 저하되어 최종적으로 6~7정도로 된다.<sup>5)</sup> 이와는 달리 폭쇄물의 경우에는 pH는 초기에 4 이하로 떨어지지만 퇴비화가 진행됨에 따라 pH가 상승하여 안정화되는 것을 볼 수 있다. 각 시료의 퇴비화과정 동안 EC의 변화는 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Changes of pH during composting process of rice and barley straw.

Sample	pH						
	Composting period (week)						
	0	1	2	4	8	12	16
Rice straw	6.5	8.7	8.9	8.8	7.7	6.7	6.4
Barley straw	6.1	7.5	7.9	7.7	7.7	7.7	7.7
S.R*	4.0	4.1	7.8	8.3	8.5	7.0	6.9
S.B**	3.7	3.8	3.8	5.8	6.3	8.4	8.4

S.R\*:Steam exploded rice straw S.B\*\*:Steam exploded barley straw

Table 4. Changes of EC during composting process of rice and barley straw.(mS/m)

Sample	EC						
	Composting period (week)						
	0	1	2	4	8	12	16
Rice straw	1.80	1.29	0.95	1.24	1.56	1.88	2.21
Barley straw	3.56	2.43	1.96	2.62	2.58	2.84	3.08
S.R*	1.66	1.48	1.46	1.55	1.57	1.60	1.70
S.B**	3.19	3.11	3.29	3.59	4.41	4.42	4.47

S.R: Steam exploded rice straw S.B: Steam exploded barley straw

EC는 수용성염류의 다소를 나타내는 지표로 사용되고 있다. Table 4에서 보여주는 바와 같이 전체적으로 퇴비가 진행됨에 따라 EC가 높아지는 것으로 나타났다. 이는 퇴비화 과정 중 재료속에 함유된 염기가 무기화 되어 유출 되어 나오기 때문이라고 여겨진다.

C/N비의 변화

볏짚과 보리짚의 퇴비화 과정에서 총탄소의 함량과 총질소의 함량, 그리고 탄질비는 퇴비의 부숙도를 판정하는데 이용되어지고 있다.<sup>6,7,8)</sup>

따라서 퇴비화 과정 중 시료의 총탄소 및 총질소 함량을 측정하고 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서 보는 바와 같이 총탄소 함량은 시간이 경과할수록 모두 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이는 퇴비화 과정에서 미생물이 탄소를 에너지원으로 이용하였기 때문이다. 반면에 퇴비화가 진행되는 동안 총질소의 함량은 증가하였다. 이는 처음에 C/N비를 30으로 조절하기 위해 요소를 첨가하였고, 그후 미생물에 의해 분해된 질소 화합물은 미생물의 체세포 형성에 이용되었기 때문으로 여겨지며, 또한 각 재료는 미생물에 의해 분해되기 때문에 상대적으로

Table 5. Changes of total carbon(T-C) and total nitrogen(T-N) content during composting process of rice and barley straw. (unit : % of dry matter)

Sample	EC						
	Composting period (week)						
	0	1	2	4	8	16	
T-C	Rice straw	48.2	46.5	44.9	39.2	37.3	36.9
	Barley straw	52.4	51.8	51.5	50.4	49.8	47.0
	S.R*	50.2	49.1	48.4	45.7	42.7	40.8
	S.B**	52.9	51.9	51.6	50.8	48.5	47.3
T-N	Rice straw	1.61	1.70	2.21	2.69	3.16	3.67
	Barley straw	1.74	0.95	1.07	1.30	1.30	1.33
	S.R*	1.67	1.67	1.79	2.34	3.07	4.01
	S.B**	1.76	1.72	1.78	1.80	2.54	3.43

S.R: Steam exploded rice straw S.B: Steam exploded barley straw

유기물의 함량은 감소하고 생성되는 퇴비 중의 lignin과 humus 자체내의 질소 함량이 증가하기 때문에 고찰된다.

볏짚이나 볏짚폭쇄물로 퇴비화 하면 16주 후에 총질소가 2~2.5%만큼 증가하는 것으로 나타났으나 보리짚은 폭쇄한 것으로 퇴비화 하였을때는 1.7%가 증가하지만, 폭쇄처리를 하지 않은 보리짚으로 퇴비화하면 16주 후에 총질소함량이 0.41% 감소하였다. 이것은 보리짚을 폭쇄처리하면 퇴비화가 일어나 미생물의 발육에 의해 총질소 함량이 증가하나 생보리짚의 경우는 퇴비화가 거의 일어나지 않고, 첨가한 질소마저 휘발하여 감소하는 결과를 보여주고 있다.

Fig. 1에는 퇴비화 과정 중 각 시료의 총탄소함량과 총질소함량의 비인 C/N비의 변화를 나타내었다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 C/N비는 퇴비화 기간이 경과할수록 모두 감소하는 경향을 보인다. 퇴비화 시키기 위하여 처음에 재료의 C/N비를 30으로 조절하려고 요소액을 첨가해 주었다. 보리짚에는 첨가해 준 요소액이 잘 흡수되지 않고 표면만 소량 묻어있고 나머지는 반응조 밑바닥에

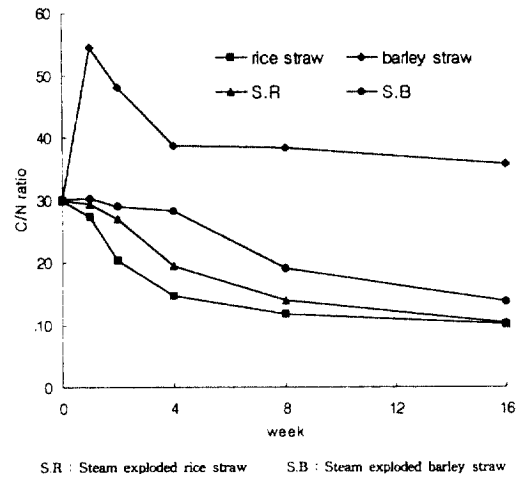


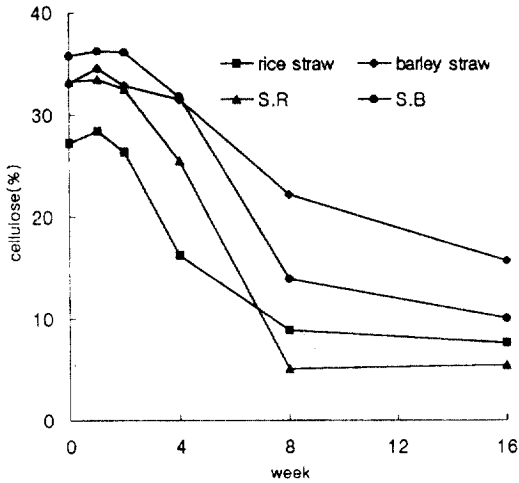
Fig. 1. Changes of C/N ratio during composting process of rice and barley straw

떨어져서 질소가 침출수로 유실되는 양이 많았기 때문에 C/N비가 커지고 이로 인해 퇴비화의 진행이 느리게 된 것으로 고찰된다.

볏짚의 C/N비는 퇴비화 초기부터 급격히 감소하였지만, 폭쇄처리를 하였을 때는 볏짚과 보리짚 모두 퇴비화 후기에 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 폭쇄처리를 한 시료는 8주부터 퇴비화 진행이 활발하게 이루어졌다는 것을 시사하고 있다.

Cellulose, Lignin, Ash 함량 변화

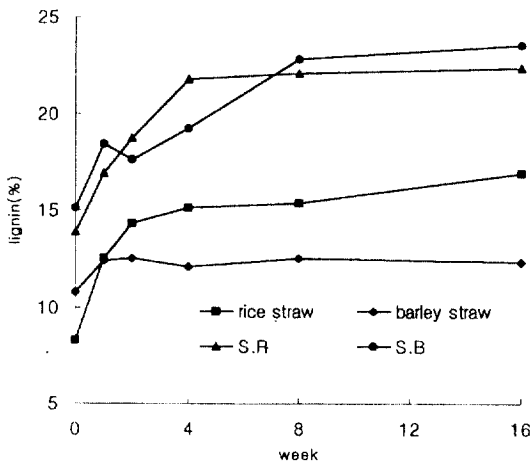
퇴비화 기간에 따라 각 시료 중의 cellulose와 lignin의 함량 변화는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.



S.R : Steam exploded rice straw S.B : Steam exploded barley straw

Fig. 2. Changes of cellulose content during composting process of rice and barley straw

Fig. 2에서 보는 바와 같이 각 시료의 cellulose 함량은



S.R : Steam exploded rice straw S.B : Steam exploded barley straw

Fig. 3. Changes of lignin content during composting process of rice and barley straw

퇴비화가 진행될수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 이것은 미생물이 탄소원으로 cellulose를 이용하기 때문이다. 퇴비화가 원만하게 진행되지 않은 보리짚의 cellulose 함량이 16주 후에도 15.7%로 아주 높았다. 이는 미생물이 탄소원을 충분히 이용하지 못하였다는 것을 설명하고 있으며, 보리짚의 특성상 폭쇄와 같은 전처리 없이 고속퇴비화하는 것은 불가능함을 설명해주고 있다.

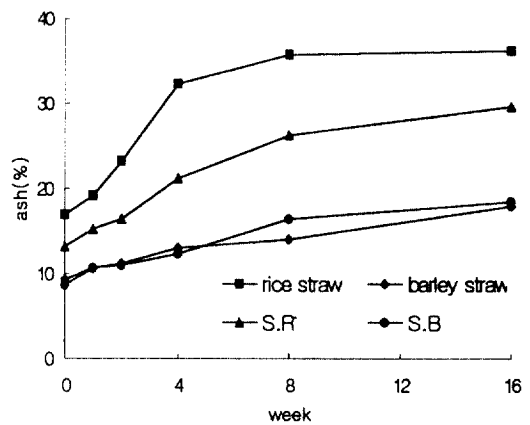
Fig. 3에서는 lignin 함량이 퇴비화기간 중 계속 증가하는 현상을 보여 주고 있다. 이것은 퇴비화 기간 중 lignin의 총량이 증가한 것이 아니라, 절대량은 감소하였을지라도 상대적으로 다른 성분들의 함량이 감소하였기 때문에 상대적으로 증가한 것으로 나타났다. 이 결과는 lignin은

퇴비 중에 미생물에 의하여 분해되기 어려운 탄소원이라는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 4에서는 각 시료의 퇴비화 과정 중 ash의 함량 변화를 나타내었다.

유기물을 퇴비화 하여도 회분의 절대량에는 변함이 없다. 그런데 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 퇴비화 기간 중에 ash의 절대량은 항상 일정하게 유지되지만 유기물은 분해 유실되어 전체량이 계속 감소하기 때문에 회분 함량은 퇴비화 기간 중 상대적으로 계속 증가하는 것으로 나타났다.

이와 같이 재료를 폭쇄처리하면 재료의 공극량이 증가하는 동시에 유효표면적이 증가하여 수분침투가 용이해지고 이로 인해 퇴비화 기간을 단축 할 수 있다. 이외에도 폭쇄 처리는 고온, 고압의 수증기에 의해 병원성균 및 잡초 종자의 제거에도 매우 효과적이다.



S.R : Steam exploded rice straw S.B : Steam exploded barley straw

Fig. 4. Change of ash content during composting process of rice and barley straw

### 요 약

벼짚과 보리짚을 효율적으로 퇴비화하기 위하여 이들을 폭쇄처리하여 퇴비화 하였다. 벼짚과 보리짚을 폭쇄 처리하였을 때 유기산의 생성으로 원시료에 비해 pH가 각각 4.0, 3.7로서 낮아졌고, EC도 1.66, 3.19mS/m로 감소하였으며, cellulose, lignin 및 총 탄소 함량은 증가되었다.

퇴적 16주 후에 벼짚이나 벼짚폭쇄물에서는 총질소가 2~2.5%가 더 증가한 것으로 나타났으나, 보리짚은 폭쇄를 하면 1.7%가 증가하지만 폭쇄처리를 하지 않은 시료는 오히려 0.41% 감소하였다. 이런 결과로 보리짚은 퇴비화가 어려운 재료이지만 폭쇄처리를 하면 퇴비화가 용이해짐을 알 수 있다. 벼짚의 C/N비는 퇴비화 초기부터 급격히 감소하였지만, 폭쇄처리를 한 벼짚과 보리짚은 퇴비화 후기에 급격히 감소하였다. 이것은 폭쇄처리로 유기산이 생성

되어 초기에는 낮은 pH때문에 미생물의 생육이 어려웠으나, 퇴비화가 진행됨에 따라 안정하게 되어 퇴비화가 더 잘 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

따라서 재료를 폭쇄처리하면 공극량이 증가하는 동시에 유효 표면적이 증가하여 퇴비화 기간을 단축 할수 있으며, 고온, 고압의 수증기에 의해 병원성균 및 잡초 종자가 제거된다. 이는 폭쇄처리에 의해 퇴비화가 효율적으로 진행된다는 것을 시사한다.

### 참고문헌

1. Ki-Woon Chang(1997). Symposium *Composting Technology of Food & Organic Waste*. National Institute of Environmental Research, 134-165
2. Joo-Sam Lee, Ki-Woon Chang, Sung-Hyun Cho, Chong-Yun Kim(1996). Effect of Compost Application on Yield and Chemical Components of Chinese Cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr) and Changes of Soil Physico-Chemical Properties in Organic Farming. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.*, 29(4) : 365-370
3. Sung-Joon Yoo, Kyung-Sook Whang, Sun-Ik Kim, Ki-Woon Chang(1996). Effect of Organic Amendments on Rhizosphere Microflora of Tomato Plant. *J.Korean Soc. Soil. Sci. Fert.*, 29(3) : 297-302
4. Recel, Modesto R.(1994). Use of Bio-Organic Fertilizer in Agricultural Production in the Philippines. *International Seminar on the Use of Microbio and Organic Fertilizer in Agricultural Production*, 8-14
5. Tadahiro MORI, Aisei NARITA, Toshihiro AMIMOTO, and Mitsuo CHINO(1981). Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(4) : 477~486.
6. Jeoung-Yoon Seo(1988). Changes of Chemical Compounds in Compost of municipal Refuse. 1. Changes of Carbon Compounds, *Korean J. Environ. Agric.*, 7(2) : 136-145
7. Jeoung-Yoon Seo(1988). Changes of Chemical Compounds in Compost of municipal Refuse. 2. Changes of Nitrogen Compounds, *Korean J. Environ. Agric.*, 7(2) : 146-152
8. Jeoung-Yoon Seo(1988). Changes of Chemical Compounds in Compost of municipal Refuse. 3. Changes of C/N Ratios in Compost, *Korean J. Environ. Agric.*, 8(1) : 55-59