

## 사이클론 연소기를 이용한 탄화왕겨의 제조 (Ⅲ)<sup>†</sup>

### Production of Carbonized Rice Husk by a Cyclone Combustor (Ⅲ)

김 원 태*	노 수 영**
정회원	정회원
W. T. Kim	S. Y. No

#### SUMMARY

One of effective utilization technique of rice husk is known to carbonize it for using as the culture materials. A series of study on the production of carbonized rice husk by a cyclone combustor shows that the carbonized rice husk produced have a strong alkalinity. Therefore, carbonized rice husk produced by a cyclone combustor is required to neutralize with proper normality.

This work is the third part of a series on the production of carbonized rice husk by a cyclone combustor. In this work, the development of neutralization process was carried out in the range of experimental conditions recommended in the previous study. Those include the preheat temperature of combustion chamber of  $T_{16}=1273\sim 1373\text{K}$ , equivalence ratio  $\phi=1.68\sim 2.17$ , auxiliary gas flow rates  $Q_g=5.15\sim 6.43\text{ l/min}$ .

The injection technique of dilute acid was employed for neutralization. At the lower position of the outside of combustor, a dilute nitric acid selected as neutralization liquid was injected to the carbonized rice husk exhausted from the combustion chamber. The normalities of dilute nitric acid were varied to 0.01, 0.03 and 0.05N, respectively. The injection flow rates of the solution were changes from 1.7~4 l/min.

The required carbonized and neutralized rice husk could be obtained at the dilute nitric acid with normality of 0.03N and flow rate of dilute nitric acid of 2~3.5 l/min. However, the carbonized and neutralized rice husks of about 10~20% were destroyed by spray with high injection pressure.

**주요용어(Key Words)** : 탄화왕겨(Carbonized rice husk), 사이클론 연소기(Cyclone combustor), 노말농도(Normality), 희석질산(Dilute nitric acid), 중화장치(Neutralization rig)

---

This study was conducted by the research fund supported by Korea Science & Engineering Research Foundation(KOSEF) and article was submitted for publication in June 2000; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2000.

The corresponding author is S. Y. No, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea, E-mail : sooyoung@chungbuk.ac.kr

## 1. 서 론

왕겨는 성분함량중 규소 함량이 많은 편으로서 탄화된 후에도 대체로 왕겨의 형태를 그대로 유지하여 입자간 조직이 치밀하지 않아서 양호한 통기성을 가지고 있다. 또한 요철(凹凸)구조에 의한 수분 보존능력과 탄화물 자체의 함수능(含水能)이 높은 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 높은 온도의 탄화과정에서 병원성 미생물이 살균되고 잡초종자가 제거된 청정한 상토재료로서 사용 가능하다. 따라서, 고와 노, 김과 노 등은 이러한 탄화왕겨를 연속적이고 대량으로 제조 가능한 연소장치의 개발에 관한 연구를 실시하였다. 하지만, 탄류(炭類)는 식물체 구성물질중 유기물이 분해되어 수증기와 탄산가스로 기화되면서 무기 성분만이 남아 대부분 규산과 알칼리 양이온들만이 남게 되는데 이로 인하여 강한 알칼리성을 띠게 된다. 이처럼 왕겨도 pH=7.4인 중성에서 85% 정도 탄화되면 pH=10.7까지의 높은 알칼리성을 나타내게 된다. 이는 탄화에 의하여 왕겨의 유기조직이 분해

되면서 세포 구성원소로 화합물에 결합되어 있던 무기 양이온들이 유리의 산화물로 물에 쉽사리 해리(解離)되어 수산화물로 변하여 침출되면서 양이온들 즉, 염기의 수화(水和)에 의한 수산기가 증가되므로써 알칼리성을 나타내게 되는 것이다.

이러한 탄화된 왕겨에 적정 농도로 희석시킨 질산용액으로 중화처리할 경우 질산태질소(窒酸態窒素)가 함유되며 수용성 칼륨의 함량도 질산 중화처리에 의해 증가된다고 알려져 있다.

따라서 기존의 연구결과를 발전시켜 무게감량 기준 약 50% 정도 탄화시킨 왕겨에 적정농도의 희석질산으로 중화시키고, 원래의 형태를 그대로 유지하고 있는 청정배양토로서의 탄화왕겨를 제조할 수 있는 연소기를 개발하는데 이 연구의 목적이 있다. 이 연구에서는 희석질산을 이용한 탄화왕겨의 중화처리 및 중화처리시 분사압력에 의해 발생하는 탄화왕겨의 파손 정도를 확인하기 위하여 희석질산 농도를 0.01~0.05N, 분무유량 1.7~4 ℓ/min로 변화시켜 탄화 및 중화된 왕겨에 미치는 영향과 입도분포를 검토하였다.

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

## 2. 실험장치 및 방법

연속적으로 운전가능하면서 탄화로 인한 알칼리성의 성분을 제거시켜 청정한 상토물질로 이용하기 위해서 기존의 사이클론 연소기에 중화처리 장치 및 연소기 외부로 배출시킬 수 있는 배출장치의 부착이 필요하였다. 따라서, 연소기 하단부를 개량하여 로타리식 feeder를 장착하였고, 이곳을 통해 배출되어 나오는 탄화왕겨를 중화시키기 위하여 희석질산 분무장치를 제작, 설치하였다.

그림 1은 연속배출 및 자동중화처리장치가 부착된 연소기의 개략도를 나타낸 것이다. 이전의 장치와 비교해 장치의 달라진 점은 수거함(pocket) 부분의 모습이 정육면체의 형태에서 아랫단 부분이 좁아져 로타리휠더(rotary feeder)가 장착된 점과 중화처리장치가 부착되었다는 점이다.

그림 2에 변경된 수거함의 상세 도면을 나타내었다. 이렇게 변경시킨 이유는 수거함에 퇴적되는 탄화왕겨를 수거함 내부에 장시간 방치할 경우 적정의 무게감량으로 탄화시키려는 목적보다 오히려 더 탄화가 진행되어 무게 감량에 변화가 발생하였고, 또한 연속적으로 많은 양을 제조하는데 있어서 장애가 되는 점을 해결하기 위해서였다. 연속적으로 연소기 외부로 배출하기 위해서 그림 2에 나와있는 규격으로 스크류휠더를 제작하여 적정 당량비에서 제조되는 양에 따라 로타리휠더의 회전수를 정하였다.

탄화후 잔류하는 화염을 소화하고 알칼리 성분을 중화시키기 위하여 3-way 플런저 펌프(Y30, (주)영일), bourdon형 압력계((주)우진산전), 디지털

유량계(RN10LGBC32314NOS, 10~600 ℓ/h, Nitto, Japan) 및 분무용 노즐(HM1/8 RR3.6SQ, (주)한미노즐)로 이루어진 중화장치를 구성하였다. 그 외부수적으로 사용된 기기로는 중화액을 담아둘 50리터용 약액통, 폴리우레탄 호스, 펌프구동용 전동기(1.5kW 3상, (주)LG산전), 스크류휠더 구동용 전동기(0.37kW, (주)신명전기) 및 1/20 감속기를 사용하였다. 실험에 사용한 다수의 장비들은 질산의 부식성을 고려하여 내식성과 내산성에 강한 재료들을 사용하였다.

중화 처리를 위한 질산(HNO<sub>3</sub>)용액(Jin Chemical Co., Ltd)의 사양은 표 1과 같다.

연소기 외부로 연속적인 탄화왕겨의 배출과 중화처리의 실험을 위해 다음과 같은 조건하에서 실험을 수행하였다. 실험조건은 1단계 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 하여 연소기의 예열온도 T<sub>16</sub>=1273~1373K, 당량비 ϕ 1.68 및 2.17 ℓ/min, 공기유량 Q<sub>air</sub>=70m<sup>3</sup>/h, 보조가스유량 Q<sub>g</sub>=6.43~5.15 ℓ/min, 희석질산농도 0.01~0.05N로 하였다. 선행연구결과 당량비 1.68에서 제조된 탄화왕겨의 pH는 7~8, 당량비 2.17의 경우는 pH는 6.5~7.5 수준이었다. 따라서 식물 성장환경에 적합한 pH는 5~7 정도이므로 이들을 바탕으로 용액분무량은 1.7~4 ℓ/min 범위로 정하였다. 연소실험은 선행연구와 마찬가지로 각각의 예열온도별로 연소기 내부를

Table 1 Specification of nitric acid selected

FW (Formula Weight) = 63.02		
Specific gravity	about	1.38
Residue after ignition (as SO <sub>4</sub> )	Max	0.0006 %
Chloride(Cl)	Max	0.0006 %
Sulfate(SO <sub>4</sub> )	Max	0.0005 %
Heavy metals(as Pb)	Max	0.0001 %
Iron (Fe)	Max	0.00008 %
Arsenic (As)	Max	0.0001 %
Assay	Assay	60.0-62.0 %

Fig. 2 Details of modified pocket.

예열한 후 각 조건의 당량비에서 최소한의 보조가스를 사용하여 탄화왕겨를 제조하였다. 이렇게 제조되는 탄화왕겨는 수거함 내부에 퇴적되는데 이를 방지하기 위해 400~600rpm의 전동기 회전수를 조정하면서 스크류워더를 작동시켰다. 스크류워더에서 나오는 탄화왕겨는 잔류화염이 계속해서 남아있고 탄화과정으로 인해 작물의 성장조건 (pH=5~7 근처)보다 높은 알칼리 성질을 나타내기 때문에 각각의 농도로 희석된 희석질산을 배출되어 나오는 탄화왕겨에 분무시켰다. 이렇게 함으로써 화염의 소화효과 및 중화효과를 동시에 수행할 수 있었다.

두 가지 조건의 당량비 변화 및 보조가스 유량의 변화에 따라 제조되는 탄화왕겨에 희석질산을 분무하였는데 유량 조절 밸브를 사용하여 용액의 유량을 조절하였다.

희석질산의 농도 및 당량비, 보조가스 유량의 변화에서 각각 제조한 시료들은 pH를 측정하기 전 충분히 건조되어 있어야만 정확한 pH 값을 얻을 수 있다. 따라서 분무 후 희석질산에 의해 수분 함유량이 많은 탄화왕겨는 열풍식 건조기 (WFO-600ND, Tokyorikakikai)로 95℃를 유지한 채 24시간 동안 충분히 건조하였다. 이렇게 잘 건조된 상태의 시료로써 각 조건별 pH값을 구하였다.

pH 측정실험은 선행연구와 동일한 방법으로 진행되었다.

분무 또는 용액분사시 분사압력으로 인해 탄화왕겨의 입자형태가 분무전과 어떠한 형태를 보이는가를 알아보기 위해 입도분포를 측정하였다.

입도분포에 사용된 시료는 연소기 예열온도  $T_{1b}=1273K$ , 당량비  $\phi=1.68, 2.17$ , 보조가스 유량  $Q_g=6.43, 5.15 \text{ l/min}$ 의 조건에서 0.03N의 희석질산으로 중화시킨 후 잘 건조시킨 탄화왕겨를 사용하였다.

실험에 사용한 표준체(standard sieve, (주)청계상공사)의 직경은 각각 0.425, 0.5, 0.71, 0.85, 1.0, 1.19, 1.41, 1.68, 2.0 mm이었다. 시료의 양은 약 17그램 정도 칭량한 후 약 20분 동안 흔들어 주었다. 이렇게 흔들어 주고 난 후 각 체에 여과되고 남은 시료의 무게를 각기 측정하였다. 시료의 준비는 위의 무게 감량 실험에서 측정을 마치고 남은 각 조건의 탄화왕겨 및 임의의 생왕겨를 대상으로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 예열온도  $T_{1b}=1273K$ , 보조가스 유량  $Q_g=6.43 \text{ l/min}$ 의 경우 희석질산이 탄화왕겨의 pH에 미치는 영향을 희석농도 및 당량비  $\phi=1.68, 2.17$ 일 경우에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 희석질산의 농도가 농후해 질수록 pH는 급격히 산성에 가까워지고 있으며 당량비의 차이에 있어서

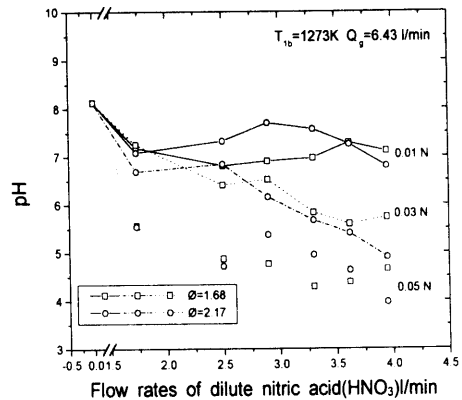


Fig. 3 Effect of dilute nitric acid on pH of carbonized rice husk for different equivalence ratio. ( $T_{1b}=1273K, Q_g=6.43 \text{ l/min}$ )

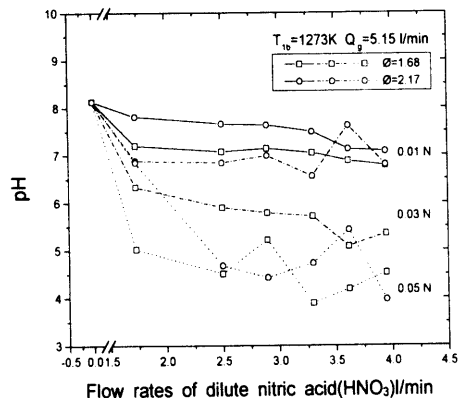


Fig. 4 Effect of dilute nitric acid on pH of carbonized rice husk for different equivalence ratio. ( $T_{1b}=1273K, Q_g=5.15 \text{ l/min}$ )

는 당량비  $\phi=1.68$ 보다  $\phi=2.17$ 에서 제조된 탄화왕겨의 pH값이 약간 더 높은 수치를 나타내었다. 희석농도의 경우, 0.01N로 희석시 탄화왕겨에 대한 분무유량의 증가가 pH에 미치는 영향은 그다지 차이가 없는 것으로 나타나고 있으며, 0.03N로 희석시 유량이 증가할수록 pH는 일정한 경사로서 감소하는 경향을 나타내고 있다. 0.05N로 희석하여 중화처리할 경우 소량의 희석질산을 분무하는데도 pH값은 급격히 떨어진 후 서서히 감소하며 pH=4 근처까지 감소하고 있다.

그림 4는 예열온도  $T_{1b}=1273K$ , 보조가스 유량  $Q_g=5.15 \ell/min$ 의 경우에 대해서 희석질산이 탄화왕겨의 pH에 미치는 영향을 희석질산 농도 및 당량비별로 나타낸 것이다. 그림 3과 약간 다른 점은 보조가스 유량  $Q_g=6.43 \ell/min$ 일 경우 희석농도의 차이별로 pH값의 구분이 있었다는 점인데 보조가스 유량  $Q_g=5.15 \ell/min$ 일 경우에 있어서는 0.03N의 희석질산 분무시 pH가 감소하다가 불규칙한 형태를 나타내고 0.05N의 경우에 있어서는 pH=5까지 감소한 뒤 유량의 변화에 따라 pH가 서서히 감소하는 경향을 나타낸다는 점이다. 이렇게 pH가 불규칙한 이유는 연소시 탄화의 불규칙성으로 탈미암아 탄화도가 일정한 경향을 가지지 못한 것이라고 판단된다.

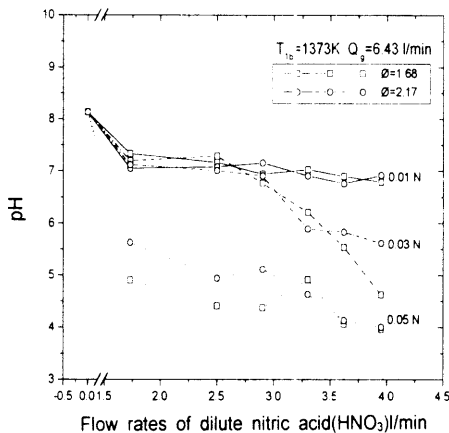


Fig. 5 Effect of dilute nitric acid on pH of carbonized rice husk for different equivalence ratio.  
( $T_{1b}=1373K$ ,  $Q_g=6.43 \ell/min$ )

그림 5는 예열온도  $T_{1b}=1373K$ , 보조가스 유량  $Q_g=6.43 \ell/min$ 의 경우에 대해서 희석질산이 탄화왕겨의 pH에 미치는 영향을 희석질산농도 및 당량비별로 나타낸 것이다. 예열온도  $T_{1b}=1273K$ 에서와 유사한 경향을 보이며 여기에서도 0.01N은 유량의 증가가 pH에 주는 효과는 그다지 나타나지 않고 있으며, 0.03N의 희석질산은 유량증가와 pH의 일정한 반비례 곡선을 나타내고 있고, 0.05N의 경우 적은 유량으로도 pH가 급격히 감소한 후 유량증가에 따라 서서히 감소하고 있다.

그림 6은 예열온도  $T_{1b}=1373K$ , 보조가스 유량  $Q_g=5.15 \ell/min$ 의 조건하에서 두 가지 당량비 및 희석질산 농도에 따라서 희석질산의 분무유량이 탄화왕겨의 pH에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림 5와 흡사하게 보조가스 유량  $Q_g=5.15 \ell/min$ 의 경우에는 모든 희석질산의 농도에서 pH값이 보조가스 유량  $Q_g=6.43 \ell/min$ 에서 보다 불규칙한 경향을 나타내고 있다. 여기에서도 0.01N은 유량의 증가와 pH 변화와는 별다른 효과가 나타나지 않고 있으며, 0.03N의 경우에 있어서는 완만한 경사 형태의 감소추세를 보이고 있고, 0.05N의 희석농도에서는 역시 급격히 pH가 하락한 후 유량이 증가할수록 pH는 서서히 감소하고 있음을 볼 수 있다.

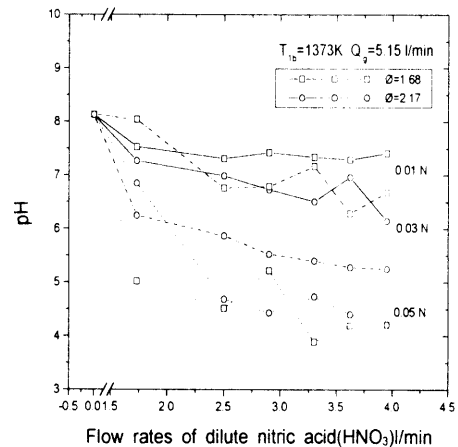


Fig. 6 Effect of dilute nitric acid on pH of carbonized rice husk for different equivalence ratio.  
( $T_{1b}=1373K$ ,  $Q_g=5.15 \ell/min$ )

이상의 4가지 경우의 그래프를 검토할 때 0.01N의 희석질산은 중화처리에 별로 효과가 없음을 알 수 있으며 0.03N의 희석질산은 pH=4.5~7의 범위 내에서 중화처리가 가능하며, 0.05N의 희석질산은 초반부에 급격한 pH 감소를 가져와 중화처리에 적절하지 못함을 알 수 있었다. 희석질산 농도가 0.05N인 경우 유량의 증가시 pH의 구배가 비교적 완만한 이유는 유량 증가시 증가한 분사압력으로 인하여 탄화왕겨에 점착하기가 어려웠기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 희석질산을 조제할 경우 0.03N의 농도로 하는 것이 적당하다고 여겨진다. 작물의 성장시 주변토양 즉 환경조건의 pH가 5~7의 범위에 존재하기 때문에 적절한 분무유량은 1.7~3.5 l/min의 범위 내에서 적절히 유량을 조절하는 것이 중화처리시 요구된다.

그림 7은 예열온도  $T_{1b}=1273K$ , 당량비  $\phi=1.68$ , 보조가스 유량  $Q_g=6.43$  l/min의 조건에서 0.03N의 희석질산으로 중화시킨 탄화왕겨의 입도분포를 분사압력별로 나타내고, 중화처리하지 않은 탄화왕겨의 입도분포와 비교한 것이다. 1.00mm 이하에 존재하는 입자들의 크기를 비교할 경우 중화처리한 탄화왕겨의 입자들이 중화처리하지 않은 입자들보다 더 많이 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 1.00mm 보다 큰 탄화왕겨의 입자들을 비교해 보면 중화처리하지 않은 것과 중화처리한 것 사이에는 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다. 분사압력의 영향 면에서는 분사압으로 인해 나타나는 입자의 분포차이는 뚜렷하지 않으며 단지 중화처리의 가부에 의해 입자의 분포가 나타났다.

그림 8은 같은 조건에서 보조가스 유량  $Q_g=5.15$  l/min일 때 입도분포를 나타낸 것이다. 그림 7에서 나타난 경향보다는 중화처리한 것과 처리하지 않은 탄화왕겨의 입도분포 차이가 현저하게 구분이 되고 있다. 특히 1.00mm 이하의 크기에 존재하는 탄화왕겨의 입자들의 경우 뚜렷한 구분이 되고 있다. 분사압에 의한 영향은 구분짓기 어려울 정도로 미미한 차이를 보이고 있다. 또한 1.00mm 보다 큰 입자들은 중화처리 전과 처리 후의 차이가 그다지 나타나고 있지 않다.

그림 9와 그림 10은 동일한 연소기 예열온도, 당량비  $\phi=2.17$ 에서 보조가스 유량  $Q_g=6.43$  l/min와  $Q_g=5.15$  l/min의 경우에 대한 입도분포를 비교

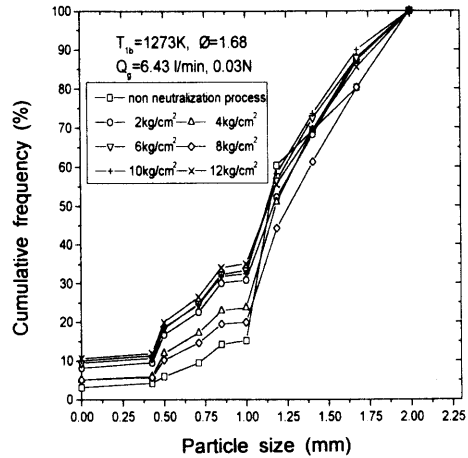


Fig. 7 Particle size distribution of carbonized rice husk for injection pressures at 0.03N. ( $T_{1b}=1273K$ ,  $\phi=1.68$ ,  $Q_g=6.43$  l/min)

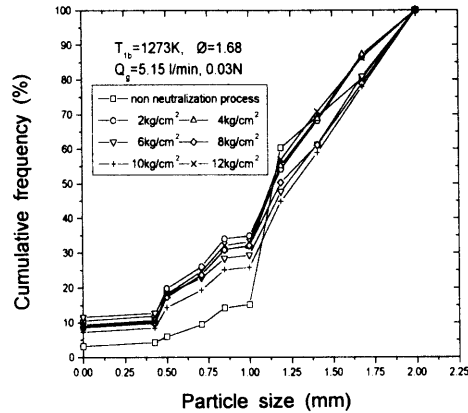


Fig. 8 Particle size distribution of carbonized rice husk for injection pressures at 0.03N. ( $T_{1b}=1273K$ ,  $\phi=1.68$ ,  $Q_g=5.15$  l/min)

한 것이다. 보조가스 유량  $Q_g=6.43$  l/min의 경우 당량비  $\phi=1.68$ 의 경우에서 보다 두 처리구에 대한 차이는 더 감소하였다. 보조가스 유량  $Q_g=5.15$  l/min의 경우 중화처리한 탄화왕겨의 입도분포는 분사압력에 따른 차이를 조금씩 보이고 있으나 전체적인 경향은 유사하게 나타났다.

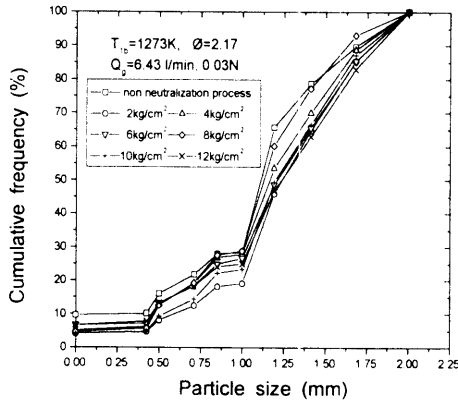


Fig. 9 Particle size distribution of carbonized rice husk for injection pressures at 0.03N.  
( $T_{1b}=1273K$ ,  $\phi=2.17$ ,  $Q_g=6.43$  l/min)

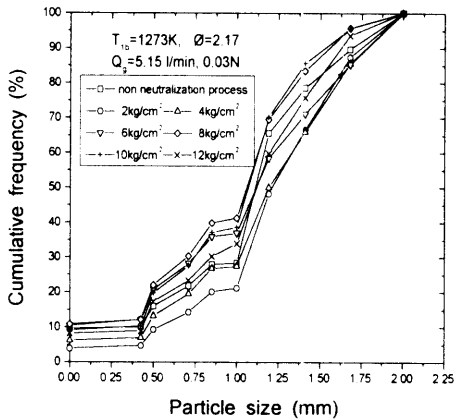


Fig. 10 Particle size distribution of carbonized rice husk for injection pressures at 0.03N  
( $T_{1b}=1273K$ ,  $\phi=2.17$ ,  $Q_g=5.15$  l/min)

따라서 위 네 가지 경우를 통해서 중화처리로 인한 탄화왕겨의 입도의 변화는 10~20%의 차이를 보이고 있는데 수분의 함유능력, 통기성 등의 문제에 직결되는 본래의 왕겨 형태를 유지하는가에 대한 문제는 크게 영향을 받고 있지 않은 것으로 나타났다. 다만 10~20%의 원형 손실이 수반됨을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

농가 부산물인 왕겨를 무게 감량 기준 약 50% 정도 탄화시킨 청정배양토인 탄화왕겨를 연속적으로 제조하고 중화처리가 가능한 연소기를 개발하기 위하여 운송장치, 중화처리 그리고 탄화왕겨의 입도분포에 관하여 분석하였다. 이 연구를 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 식물의 성장환경에 적절한 배양물질의 pH는 5~7 정도이므로 연속적으로 제조되어 나오는 탄화왕겨는 중화처리하여 사용할 필요가 있으며, 이를 위해서 중화액으로 적정한 것은 물로 희석시킨 질산이다. 희석 질산의 농도는 0.03N이 가장 적절하였으며 중화에 필요한 희석질산의 소요량은 2~3.5 l/min의 범위내에서 분무시켜 주는 것이 적당하다고 판단하였다.

2) 중화처리로 인하여 염려되는 탄화왕겨의 본래 형태의 유지문제 즉, 수분의 함유성과 통기성 문제는 중화처리 전의 탄화왕겨보다 10~20% 정도 파손이 되었다.

#### 참 고 문 헌

1. Ray, A. J., G. Mahanty and A. Ghose. 1991. Effect of catalysts and temperature on silicon carbide whiskers formation from rice husk, J. Mat. Sci. Lett. 10:227-229.
2. Hong, S. D. 1992. Study on the Application of Carbonized Rice Hull As Environmentally Controlled Cultivation Medium for Vegetable Crops-Effect of pH of Carbonized Rice Hull on the Growth of Several Vegetable Crops, Jour. Agr. Sci., Chungbuk Nat'l Univ. 10(1):125-132. (In Korean)
3. Ko, G. P. and S. Y. No. 1998. Production of Carbonized Rice Husk by a Cyclone Combustor (I), J. of Korean Soc. for Agricultural Machinery 23(1):13-20. (In Korean)
4. Kim, W. T. and S. Y. No. 1998. Development of

- cyclone combustor for producing carbonized rice husk, Proc. of Sustainable Energy and Environmental Technology-Challenges and Opportunities 14-17 June 1998 Gold Coast, Australia pp. 437-444.
5. Kim, W. T. and S. Y. No. 1999. Production of Carbonized Rice Husk by a Cyclone Combustor (II), J. of Korean Soc. for Agricultural Machinery 24(6):487-492. (In Korean)
6. Lee, Y. H., S. D. Hong, Y. Y. Kim, H. C. Jeong and S. K. Kang. 1981. Neutralization of Rice Hull Charcoal with Nitric Acid Solution and its Neutritional Effect on Tobacco Seedlings, J. Korean Soc. Soil, Sci. Fert. 14(3):130-136. (In Korean)
7. Lee, Y. H. and S. D. Hong. 1985. Nutritional Effect of Carbonized Tobacco Leaf Debris Neutralized by Nitric and Phosphoric Acid on Nursery Seedlings, J. Korean Soc. Soil, Sci. Fert. 18(1):89-93. (In Korean)