

씻지 않는 쌀의 가공 공정 개발(I)

- 질량수지 분석 -

Development of a Process for Clean-Washed Rice Processing(I)

- Mass Balance Analysis -

장 동 일*	한 우 석*	김 동 철**	이 상 효**
정회원	정회원	정회원	
D. I. Chang	W. S. Han	D. C. Kim	S. H. Lee

ABSTRACT

This study was conducted to decide several design criterion for clean-washed rice processing system development. A computer simulation was used to predict and analyze the mass balances and moisture changes of the process of clean-washed rice processing system.

The following results were obtained from this study.

1. In order to attain the processing capacity of 1,000kg/h of the clean-washed rice processing system, that of the system was designed as 1,400kg/h which was based on the safety factor of 40% and handling capability of mass variations occurred during processing.
2. It was analyzed that the proper time required for aqueous cleaning process should be within one minute.
3. The final moisture content of clean-washed rice was controlled being 15%(w.b.) for the sake of safe storage.
4. It was proven that the optimum drying time was three minutes for the clean-washed rice dried by a rotary dryer.

주요용어(Key Words): 질량수지 분석(Mass balance analysis), 씻지 않는 쌀(Clean-washed rice), 쌀 가공공정(Rice processing process), 세미공정(Rice cleaning process)

1. 서 론

국내의 쌀 생산량은 '96년 4,696 천톤, '97년 5,450 천톤으로 꾸준히 5,000 천톤 내외의 쌀이 생산되고 있다. 그러나 쌀 소비율은 외식산업의 증가와 고기

류의 소비증가 등 식생활의 변화로 쌀 1인당 연간 소비율이 '96년 105.5kg, '97년 102.4kg으로 계속 줄어들고 있다. 또한 외식비의 지출형태를 보면 성인 계층은 한식, 아동층은 중국음식을 선호하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있으며 영양소 섭취는 에너지,

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과
** 한국식품개발연구원

지방, 칼슘 등이 파소섭취되는 것으로 보고되고 있다. 이러한 이유로 쌀이 대량 소비되는 대중식당을 겨냥한 쌀 가공식품과 영양소를 첨가한 가공쌀 등이 개발되고 있다.

현재 국내에서 생산되는 쌀은 미곡종합처리장, 소형 도정공장에서 가공되어 유통되고 있으며 최근에는 정미기로 도정 후 물을 가수하여 연미하는 연미기도 사용되고 있다. 이렇게 연미기로 가공된 쌀은 통상적으로 청결미라는 명칭으로 불리며 이렇게 생산된 청결미는 각종 브랜드명을 달고 시중에 유통되고 있다. 이 청결미는 명칭은 소비자에게는 깨끗하다는 의미를 주지만 여전히 취반하기전 세미되어야 하는 불편한 문제점을 안고 있다. 따라서 쌀이 대량으로 소비되는 소비지나 새로운 브랜드기술을 요구하는 생산자의 요구를 만족시킬 수 있는 새로운 정

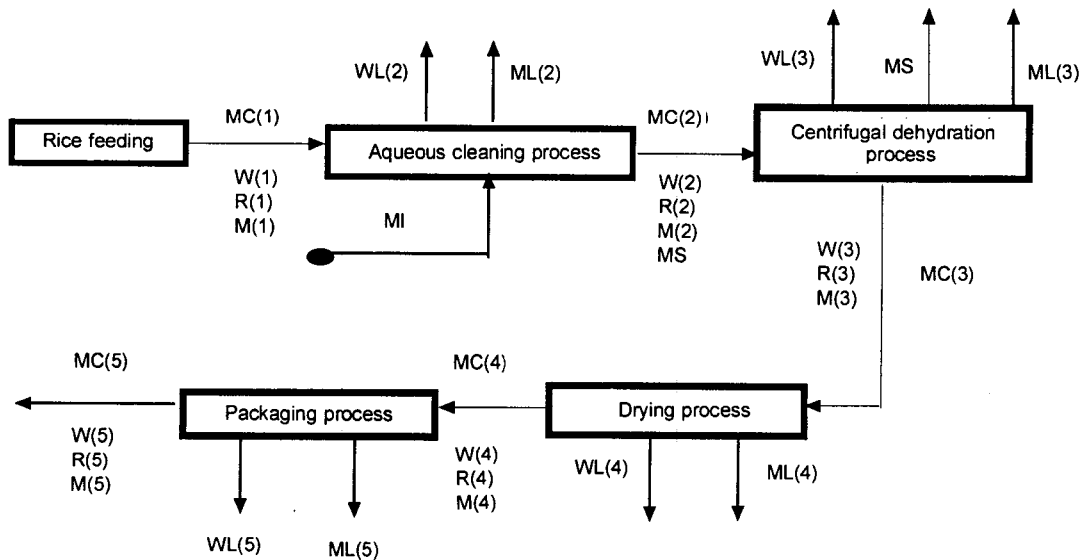
미가공기술인 씻지 않는 쌀 생산을 위한 공정의 개발이 필요하게 되었다.

본 연구의 목적은 RPC 등에서 사용하기에 적합한 대규모 용량의 씻지 않는 쌀 생산 가공 공정 시스템을 개발하는데 있다. 구체적인 목적은 질량수지 분석(Mass balance analysis)을 실시하여 씻지 않는 쌀의 가공 공정별 처리 용량, 함수율 변화 등을 산출함으로써 시스템의 설계기준을 결정하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 가공 공정

씻지 않는 쌀을 생산하기 위한 기본공정은 Fig. 1 과 같다. 먼저 원료인 쌀이 호퍼를 통해 투입되는 투



i	: Process	MI	: Weight of absorbed water per hour(kg/h)
W(i)	: Weight of rice per hour(kg/h)	WL(i)	: Weight loss of water per hour(kg/h)
R(i)	: Weight of dry rice per hour (kg/h)	ML(i)	: Weight loss of dry rice(kg/h)
M(i)	: Weight of water in rice per hour(kg/h)	MS	: Water weight of rice's surface(kg/h)
MC(i)	: Moisture content of rice (decimal, wet basis)		

Fig. 1 Process flow diagram with variables of mass balance analysis.

입 공정이 선행되며 투입된 쌀은 물과 함께 스크류로 이송되면서 1차 세미공정을 거치게 된다. 1차 세미공정은 로울러, 금망, 출구저항장치로 구성되며 금망에 의하여 세미효과가 나타나며 출구저항 장치에 의하여 백도를 변화시키도록 되어 있다. 1차 세미된 쌀은 탈수공정에 물과 함께 투입되어 2차 세미되며 원심력에 의하여 표면에 묻은 물과 표층에 흡수된 물이 탈수되도록 하였다.

탈수공정을 거친 쌀은 세미공정중 흡수된 물로 인하여 함수율이 약간 증가하므로 안전 저장과 유통을 위한 적정 함수율까지 낮출 수 있고 연속적으로 건조할 수 있도록 회전식 건조기를 사용하였다.

나. 질량수지(Mass balance) 분석조건

1) 원료투입공정(1)

가공되는 백미는 품종과 초기함수율에 따라 세미공정중의 처리용량과 함수율의 변화가 서로 다르게 나타난다. 이에 따라 가공시스템의 처리용량 특히 건조공정에서 건조가 부족하게 이루어져 최종상품이 유통중 변질될 우려가 있다. 그러므로 임의의 한 품종에 맞추어 질량수지(Mass balance) 분석을 실시할 경우에는 적절한 설계기준이 도출될 수 없다. 따라서 본 연구에서 분석되어지는 품종은 흡수특성에 따른 분류(표 1)와 농촌진흥청 권장품종을 고려하여

코시히카리, 봉광, 낙동을 선정하였으며, 초기함수율은 14%, 15%로 가정하였다.

씻지 않는 쌀 가공시스템의 처리용량은 1,000kg/h로 설계하였다.

2) 세미공정(2)

세미하기 위하여 투입되는 물의 총량은 세미공정 후 백도와 탁도를 측정하여 설계기준상태를 만족하는 최소의 물을 공급되도록 설정되어야 하므로 이 물의 양은 차후 시작기의 성능시험에서 그 기준을 설정하여야 될 것으로 사료된다.

질량수지(Mass balance) 분석에서는 이 물의 양을 200kg/h 처리용량의 씻지 않는 쌀 처리장치에 사용되는 가수비 1.4(물의 중량/백미의 중량) 가정하였다. 쌀은 흡습성 재료로 세미과정중 수분을 흡수하여 함수율이 증가한다. 그에 따라서 쌀의 중량은 초기 투입량보다 증가하는데 증가되는 함수율의 예측은 다음의 식(1) Becker의 수분확산방정식(Becker, 1960)을 이용하여 계산하였으며 20℃ 품종별 계수 K 값은 코시히카리 3.941×10^{-2} , 봉광 4.985×10^{-2} , 낙동 5.886×10^{-2} 을 사용하였다(김성곤 외, 1984).

$$m - m_0 = kt \dots\dots\dots (1)$$

$$k = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (m_s - m_0) \frac{S}{V} \times \sqrt{D}$$

- 여기서, m : 함수율 (d.b.)
- m₀ : 초기 함수율 (d.b.)
- t : 침지 시간(min)
- m_s : 백미표면의 유효 수분 함량(d.b.)
- S : 백미의 표면적(cm²)
- V : 백미의 체적(cm³)
- D : 확산계수(cm²/min)

3) 탈수공정(3)

Table 1 Classification of milled rice based on water absorption rate at 20℃¹⁾

Content Item	Water absorption rate (k × 10 ⁻² , cm/min)		
	Group I (3.4~4.2)	Group II (4.5~5.7)	Group III (5.8 <)
Japonica type rice variety	Sobaegy Chugwang Koshihikari	Boggwang Sumjin Jinjubbyo	Samnam Nagdong Nongbaeg

백미가 세미공정을 거친 후에는 탈수 공정을 거치게 된다. 탈수공정은 백미 표면에 묻은 물을 탈수기의 원심력을 이용하여 제거하도록 되어 있다. 이 공정에서 백미가 탈수될 때 벽면과 백미간의 충돌로 깨미가 발생할 가능성이 있는데 본 연구에서는 백미의 손실율을 1%로 가정하였다.

4) 건조공정(4)

대부분의 농산물은 일정한 공기조건하에서 건조될 때 3가지 형태의 건조현상을 나타내는데 첫 단계는 예열기간, 두 번째 단계는 향률 건조기간, 세 번째는 감률 건조기간으로 나뉜다. 통상적으로 농산물

에서는 향률 건조기간이 짧거나 없으나 세척 후의 농산물의 경우는 감률 건조모델로써 건조속도를 예측할 수 있다. 또한 세미된 백미의 수분 흡수정도는 표층까지만 침투하는데 이러한 현상은 건조시 필요한 물의 잠열을 Othmer의 증발잠열식보다는 자유수로 가정하여 습구온도 때의 물의 잠열을 사용해도 무방한 것을 의미한다.

최종 상태의 쌀의 함수율은 7저장성과 유통을 고려하여 15%(wb)로 설정하였다.

건조과정은 다음의 식(2) 향률 건조 모델을 이용했으며 필요한 열전달계수와 산물밀도는 각각 식(3)과 식(4)을 이용하였다(고학균 외, 1993).

Table 2 Mathematical models for mass balance analysis

	Weight of rice (kg/h) W(i)	Moisture content (%, wb) MC(i)	Weight of water in rice (kg/h) M(i)	Weight of dry rice and weight loss of dry rice (kg/h)
Rice feeding (1)	Constant	MC(1)	$W(1) \times MC(1)$	$R(1) = W(1) - M(1)$
Aqueous cleaning process (2)	$M(2) + R(2)$	$m = \frac{MC(1)}{1 - MC(1)} + K \times \sqrt{T}$ $MC(2) = \frac{m}{1 + m}$	$\frac{MC(2) \times R(2)}{1 - MC(2)}$	$R(2) = R(1) - WL(2)$ $WL(2) =$ $\frac{R(1) \times \text{loss ratio}}{1 - MC(2)}$ $ML(2) = M(1) - (MS + M(2))$
Centrifugal dehydration process (3)	$M(3) + R(3)$	$MC(3) = MC(2)$	$\frac{MC(3) \times R(3)}{1 - MC(3)}$	$R(3) = R(2) - WL(3)$ $WL(3) =$ $\frac{R(2) \times \text{loss ratio}}{1 - MC(3)}$ $ML(3) = MS + M(2) - M(3)$
Drying process (4)	$M(4) + R(4)$	$MC(4)$	$\frac{MC(4) \times R(4)}{1 - MC(4)}$	$R(4) = R(3) - WL(4)$ $WL(4) =$ $\frac{R(3) \times \text{loss ratio}}{1 - MC(4)}$ $ML(4) = M(3) - M(4)$
Packaging process (5)	$M(5) + R(5)$	$MC(5) = MC(4)$	$M(5) = M(4)$	$R(5) = R(4)$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{h \times A (T_d - T_w)}{h_{fg} \times W_d} \dots\dots\dots (2)$$

$$h = 0.429G^{0.37} \dots\dots\dots (3)$$

$$B = 537.5873 + 1.2227M \dots\dots\dots (4)$$

- 여기서, h : 건조공기의 대류 열 전달 계수(W/m² ° K)
 A : 단면적(m²)
 T_d : 건조 공기의 건구 온도(°C)
 T_w : 건조 공기의 습구 온도(°C)
 h_{fg} : 습구 온도에서의 물의 잠열(J/kg)
 W_d : 피건조물의 건물중량(kg)
 G : 건조공기의 질량유량(kg/m²-h)
 B : 산물밀도(kg/m³)
 M : 함수율(% w.b.)

다. 수학적 모델

각 공정별 중량과 함수율의 변화는 다음의 수학적 모델(Table 2)에 의하여 계산되었다.

3. 결과 및 고찰

가. 가공용량

1) 함수율 변화

쌀의 함수율 증가는 세미시간과 품종에 따른 확산 계수의 차이로 조금씩 차이를 보이고 있다. Fig. 2와 Fig. 3는 물의 수온이 20°C, 백미의 초기 함수율이 14%와 15%일 때의 품종별 함수율 변화를 나타낸 것이다.

초기 함수율이 14%일 때는 코시히카리 15.8%, 봉광 17.5%, 낙동 18.1%으로 나타났으며 초기 함수율이 15%일 때는 코시히카리 16.8%, 봉광 18.5%, 낙동 19.1%으로 나타났다.

최소의 함수율 증가를 나타내는 코시히카리는

1.8%의 증가를 보이고 최대 함수율 증가 특성을 가진 낙동의 증가율은 초기 함수율 보다 4.1%가 증

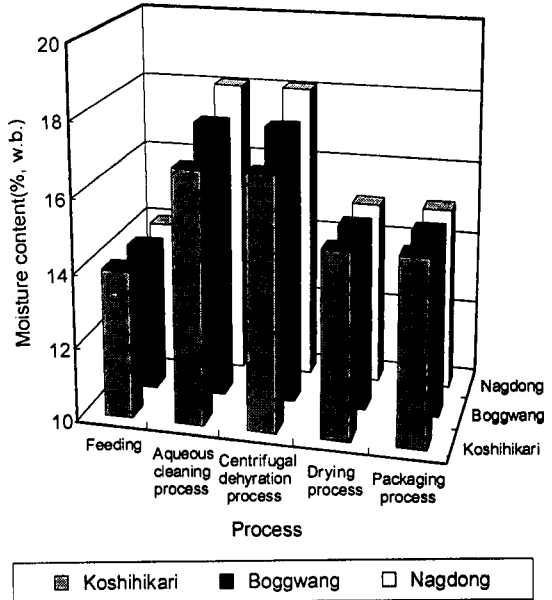


Fig. 2 Changes of the moisture content of three rice varieties for each processing stage (20°C, 14%(w.b)).

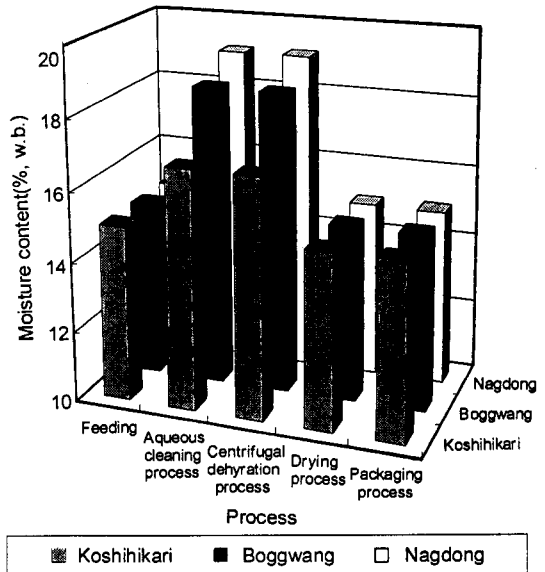


Fig. 3 Changes of the moisture content of three rice varieties for each processing stage (20°C, 15%(w.b.)).

가된다. 이러한 품종간의 차이로 인하여 건조공정중 건조되어야 하는 수분량의 차이가 발생하여 함수율이 적게 변화하는 품종을 기준으로 설계시에는 그보다 많이 수분을 흡수하는 품종을 가공 처리시 건조가 적게 이루어지는 현상이 발생될 것으로 판단된다.

2) 중량 변화

세미공정중의 함수율의 변화로 공정별 처리해야 될 처리용량이 변하게 된다. Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 것처럼 세미공정을 거친 후의 품종별 중량변화는 코시히카리 1,023kg/h, 봉광 1,032kg/h, 낙동 1,040kg/h로 초기의 중량 1,000kg/h에서 최대 40kg/h까지 증가하였다. 탈수공정을 거친 후의 중량 변화는 코시히카리 1,013kg/h, 봉광 1,022kg/h, 낙동 1,030kg/h였다.

이런 함수율 변화와 중량변화를 종합적으로 고려할 때 최대 함수율 증가를 보이는 품종인 낙동을 기준으로 설계를 한 후 운전시에 작업환경에 맞

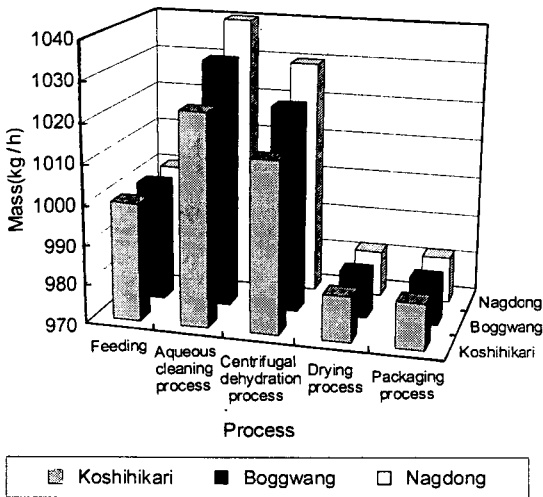


Fig. 4 Changes of the rice weight of three rice varieties for each processing stage (20°C, 14%(w.b.)).

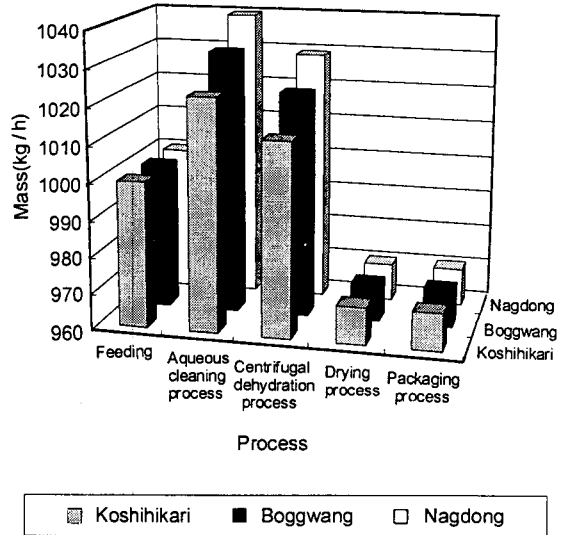


Fig. 5 Changes of the rice weight of three varieties of rice for each processing stage (20°C, 15%(w.b.)).

추어 적절한 운전방법을 선택해야 할 것으로 사료된다.

따라서 처리용량 1,000kg/h를 처리하기 위한 품종은 낙동으로 결정하였으며 또한 현장에서의 적응성을 높이기 위한 방안으로 RPC 운영자들의 의견을 참고한 안전율 40%을 고려하여 1,400kg/h를 처리하도록 해야 할 것으로 분석되었다.

나. 세미시간 및 건조시간

Fig. 6은 세미시간별 함수율 증가를 나타낸 것인데 세미공정중 백미는 이처럼 세미시간이 증가하면 함수율이 증가하게 된다. 함수율 변화는 식(1)에 의하여 흡수 시간의 평방근에 비례하여 증가되는데 함수율이 증가되며 건조공정에서의 건조 에너지와 건조시간에 영향을 주게 된다. 따라서 세미시간은 적절히 설정해 주어야 하는데 최소의 양이 흡수되는 시간인 1분을 세미시간으로 설정하였다.

Table 3 Calculated values of drying time

(Unit : min)

Drying temp and RH	30 °C			40 °C			50 °C		
	40 %	45 %	50 %	40 %	45 %	50 %	40 %	45 %	50 %
Variety									
Nagdong	1.9	2.1	2.6	1.8	2.1	2.5	1.3	1.6	1.8

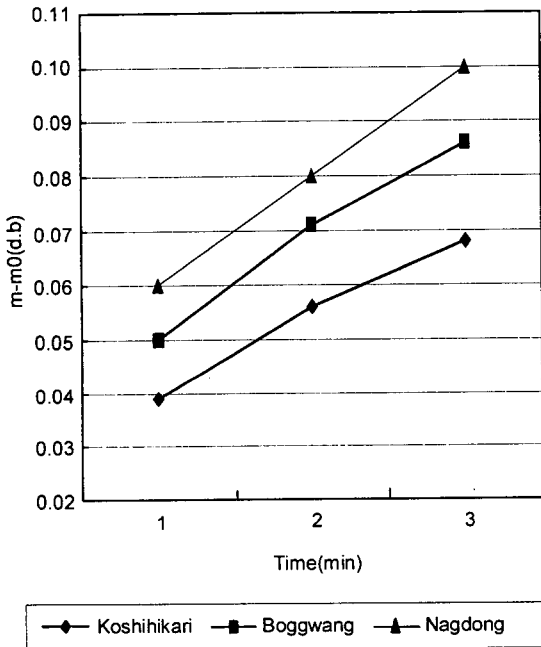


Fig. 6 Relation between the moisture gain and the absorption time for three varieties.

표 3은 초기함수율이 15%일 때 낙동이 최종함수율 15%까지 건조되는데 필요한 시간들을 각 조건별로 나타낸 것이다. 이때의 풍속은 5.5m/s이다. 최소 온도는 외기온도가 낮을 경우 연료비를 적게 사용할 수 있는 연속식 건조기의 추천온도인 30°C를 기준으로 하여 3수준, 상대습도 40%~50% 범위의 3수준으로 하여 시뮬레이션 하였다.

건조 조건이 30°C, 50%일 때 건조 소요시간이 약 2.6분 필요한 것으로 나타났다. 따라서 건조기내에

서 이러한 송풍조건일 때 백미의 체류시간은 약 3분 정도가 필요한 것으로 분석되었다. 따라서 회전식 건조기로 백미를 건조하기 위해서는 건조기내의 백미의 체류시간을 3분으로 설정하여 시스템을 설계하여야 할 것이다.

4. 요약 및 결론

씻지 않는 쌀 가공공정 시스템 개발을 위한 시스템 설계 전 단계로써 각 공정별 적정가공 용량과 설계기준을 산출하기 위하여 질량수지(Mass balance) 분석을 하였다.

질량수지 분석결과와 고찰에 의하여 각 공정별 설계 기준을 다음과 같이 설정하였다.

1) 1,000kg/h의 용량의 씻지 않는 쌀을 가공하기 위해서는 최대 중량변화를 일으키는 낙동벼를 기준으로 하여 가공용량은 안전율 40%를 고려하여 1,400kg/h가 되어야 한다.

2) 세미시간은 세미 후 증가되는 백미의 함수율을 고려하여 건조시간이 짧게 되도록 하여야 하며, 최대 1분 이내에서 1차 세미가 될 수 있도록 되어야 한다.

3) 건조 후 최종상품인 씻지 않는 쌀의 저장성과 유통성을 고려하여 최종 함수율은 15%가 적합한 것으로 판단된다.

4) 회전식 건조기에서 씻지 않는 쌀의 최종 함수율까지 건조되기 위해서는 풍속 5.5m/s, 상대습도 65%, 송풍온도 35°C일 때 3분 이내의 체류시간을 가지도록 드립의 경사각과 직경 및 길이를 결정해야

한다.

참 고 문 헌

1. 김성곤, 정순자, 김 관, 채제선, 이정행. 1984. 수화특성에 의한 쌀의 분류. 한국농화학회지 27(3):204-210.
2. 고학균 외 6인. 1993. 농산가공기계학. 향문사.
3. 고학균 외 12인. 1995. 미국 종합처리장치. 문우당.
4. 금동혁. 1986. 습공기의 성질계산을 위한 컴퓨터 프로그램. 한국농업기계학회지 13(3):91-98.
5. 장홍희. 1994. 미국종합처리장의 에너지 모델 개발. 석사학위논문. 충남대학교.
6. 정종훈, 최영수, 권홍관. 1998. 중·소형 연미기의 성능평가 및 성능개선에 관한 연구(I). 한국농업기계학회지 23(3):245-252.
7. 통계청. 1998. 도표로 본 통계.
8. 한국과학기술원. 1987. 미국의 종합처리기술 개발에 관한 연구.
9. Becker, W. H. 1960. On the Absorption of Liquid Water by the Wheat Kernel. American Association of Cereal Chemists 37:309-312.



학 위 취 득

성 명 : 홍 지 향 (洪 志 享)

생 년 월 일 : 1962년 7월 29일

취 득 학 위 명 : 공 학 박사

학 위 수여 대학 : Clemson Univ.

학 위 취 득 년 월 일 : 1998년 8월 3일

학 위 논 문 : Dynamic Thermal Properties of Meat in a Continuous Flow Cooking System