

밤의 화염박피 시스템 최적화에 관한 연구(I)
- 국내산 밤의 화염박피 특성 예측모델 개발 -
Study on Optimization of Flame Peeling System for
Chestnut(I)
- Development of Simulation Model for Flame Peeling
Characteristics -

김중훈 박재복 최창현 권기현
정희원 정희원 정희원 정희원
J. H. Kim J. B. Park C. H. Choi K. H. Kwon

ABSTRACT

The chestnut is a well-known and important forest product in Korea. The annual production of chestnut is about 95,000 tons and its cultivating area is 80,000 ha. However, the peeling process of outer and inner skins of chestnut is very difficult due to hardness and adhesiveness of chestnut skin. The purpose of this study was to develop a prediction model for flame peeling characteristics of domestic chestnuts, and to evaluate an optimization model to determine the operation conditions of the chestnut flame peeling system. The results of this study were summarized as follows.

It was found that the flame peeling characteristics of domestic chestnuts were affected by the flame temperature, and the flame time. The peeling ratio and the heating depth were increased as the flame temperature and the flame time were increased. The peeling ratio and the heating depth were increased linearly when those were less than 85 % and 2 mm, respectively. As the hardness of chestnut shell was decreased, the peeling ratio was increased. A simulation model was developed to predict the peeling ratio and the heating depth based on the hardness of the chestnut shell, the flame temperature, and the flame time of the peeling system. The model was evaluated by comparing the measurement and the prediction of the peeling ratios and heating depths, and showed the good relationship.

Keywords : Chestnut, Flame peeling, Peeling system, Optimization.

1. 서 론

밤의 세계 생산량은 1970년대 연평균 약 45만 톤에서 1980년대에 50만 톤으로 증가하였으며, 1990년대 이후에는 약 45~50만 톤을 유지하고 있다. 주요 생산국으로는 우리나라를 비롯해 중국, 터키, 이탈리아 등이며, 생산된 물량이 세계 전체 생산량의 약 76%를 차지하고 있다. 2001년도 기준으로 국가별 생산현황은 중국이

24%, 이탈리아 16%, 터키 12%, 일본이 5%를 차지하고 있으며, 우리나라는 세계 제 2위의 생산국으로 96천 톤을 생산하여 세계 생산량의 19%를 차지하고 있다.

농산물의 박피공정은 외관의 향상 및 식용하거나 가공하기 편하게 할 목적으로 껍질 등 필요 없는 부분을 제거하는 공정으로, 농산물을 가공하기 위한 전처리 공정으로 이용되거나 박피된 농산물을 소비자에게 직접 유통할 때 사용된다. 일반적으로 농산물의 박피방법에는

The authors are Jong Hoon Kim, Senior Researcher, Je Bok Park, Principle Researcher, Ki Hyun Kwon, Researcher, Korea Food Research Institute, and Chang Hyun Choi, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University. The corresponding author is J. H. Kim, Senior Researcher, Korea Food Research Institute, Songnam, 463-746, Korea. E-mail : <jhkim@kfri.re.kr>.

스팀박피(flash steam peeling), 절단 칼날을 이용한 박피(knife peeling), 연삭 마모식 박피(abrasion peeling), 화학적 박피(caustic peeling) 및 화염박피(flame peeling) 등과 같은 5가지 방법이 주로 사용되어지고 있다(Fellows 1988; Cheng 1992). 국내에서 밤 박피에 관한 연구는 밤의 껍질을 약화시키는 화학적인 처리방법(서 1974), 밤 껍질의 연소방법(이 1975), 원심력과 절단 칼날을 이용한 밤 껍질 절단방법 등이 수행되었고 일부 시작품 기계가 개발되었으며, 김 등(1997)은 화염박피 방법을 이용하여 손실을 최소화하고 대량의 밤을 자동적으로 박피할 수 있는 밤 박피 시스템을 개발하여 발표하였다.

화염박피 방법은 시료가 회전하면서 운반되는 고온의 화로를 통과하면서 껍질을 연소시켜 박피하는 방식으로 연소된 껍질은 마찰력 등을 이용하여 제거하도록 되어있다. 이러한 박피방법은 대량처리가 가능하며 공정의 자동화가 쉽고, 밤과 같은 껍질이 단단한 시료의 박피에 효율적인 것으로 나타나고 있으나, 시료가 고온에 노출되므로 고온의 영향을 받게 된다. 화염박피된 밤의 경우에도 일정한 두께로 열침투되는 것으로 나타났다(박 등 1997; 김 등 1997). 이러한 열침투 깊이는 화염박피 밤의 사용용도에 따라 결정할 필요가 있다. 생울로 유통시에는 손실율을 고려하여 열침투 깊이를 결정해야 하며, 가공제품의 원료로 사용할 때에는 가공특성에 따라 열침투 깊이를 선정해야 한다. 썬 등의 원료로 이용시에는 열침투 깊이가 커져도 사용 가능할 것이며, 박피밤 상태에서 당침투가 필요한 마른그라트 등의 가공제품에서는 열침투 깊이를 제한할 필요가 있다. 그러므로 화염박피 밤의 박피효율은 박피율과 함께 박피된 밤의 열침투 깊이를 고려해야 한다.

화염박피 방법을 이용한 밤의 주요 박피요인으로는 밤의 물리적 특성 중 박피효율에 영향을 미치는 밤 외피의 경도와 화염박피 공정의 연소온도, 연소시간 등으로 나타났다(박 등 1997; 김 등 1997; 김 등 1998).

본 연구는 밤의 화염박피 시스템의 최적화에 관한 연구로서 화염박피 방법을 이용한 밤 박피시스템의 주요 박피요인인 시료의 경도, 연소온도, 연소시간에 따른 화염박피 특성을 분석하고 박피요인에 따른 박피율과 열침투 깊이를 예측 할 수 있는 국내산 밤의 화염박피 특성 예측모델을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 화염박피 시스템

Fig. 1은 실험에 사용된 화염박피 시스템의 도면을 나타낸 것으로, 밤 시료를 일정한 속도로 고온의 화로에 투입하기 위하여 원료밤 이송 콘베어①와 진동 공급기를 설치하였으며, 이송 공급 장치로부터 공급된 밤에 화염을 분사하여 밤의 내외피를 순간적으로 연소시키는 화염박피 장치② 및 화염박피 장치에서 내외피가 연소된 밤의 내외피를 마찰력을 이용하여 제거하여 주는 연속 마찰식 내외피 제거장치③로 구성되어 있다.

화염박피 장치의 연소실은 600℃ 이상의 고온에서 밤 껍질을 연소시키는 작업이 이루어지므로 고온에서도 균열이나 비틀림 등이 일어나지 않는 내화벽돌 재질로 길이는 300 mm, 높이는 135 mm, 두께는 70 mm이고, 연소실 안에는 원료밤을 일정한 속도로 연소실을 통과시키는 원통형 회전 연소장치, 회전 연소장치 구동 변속모터, 회전 연소장치의 하단에 설치된 화염분사 장치로 구성되어 있다. 또한 연소실에는 연소실의 온도를 측정하기 위한 열전대 온도센서(K type thermo couple, Korea)와 가스량을 조절할 수 있는 가스량 조절기(IR400, SMC, Japan)를 설치하였으며, 밤 원료의 연소속도를 미세하게 조절할 수 있는 구동모터 속도제어 인버터(SVO22GS, LG, Korea)를 설치하여, 박피특성 실험에서 연소온도와 연소시간 등을 조절하여 실험을 수행할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 화염박피 시스템을 나타내고 있다.

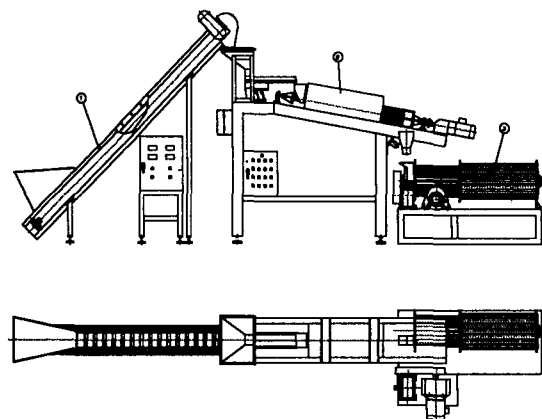


Fig. 1 Schematic diagram of the flame peeling system.



Fig. 2 View of flame peeling system for chestnut.

나. 공시재료

시료는 충남 공주시 임업협동조합에서 구입한 은기 품종의 증을로서 생을을 육안과 비중선별을 통하여 상처과, 해충과, 비정상과를 제거하고 정상과를 본 실험의 재료로 사용하였다. 비중선별은 시료채취의 균일화를 위하여 수행되었으며, 비중 1.02(Be')의 염수에서 가라앉은 생을을 수도물에서 염을 깨끗이 제거한 후 사용하였다.

다. 실험방법

화염박피 특성 실험은 화염박피 장치에서 연소온도와 연소시간을 설정한 후 밤 외피 경도별로 박피실험을 수행하여, 연소온도와 연소시간에 따른 박피율과 열침투 깊이를 분석하였다.

박피율은 농산물의 박피실험에서 가장 중요한 평가 항목으로서, 투입된 시료 밤에 대하여 박피공정 후 완전히 박피된 밤의 비율로서 식 (1)과 같이 계산하였다. 본 연구에서 박피율은 박피공정 중 깨진 밤, 상처 입은 밤 및 내피의 일부분이 남아 있는 밤은 박피되지 않은 밤으로 포함시켜 계산하였다.

$$Peeling\ ratio\ (\%) = \frac{Number\ of\ peeled\ samples}{Number\ of\ total\ input\ samples} \times 100 \quad (1)$$

화염박피 시 고온에 박피 대상체가 노출되므로 고온에 의한 영향을 받게 된다. 밤의 경우 박피된 밤의 일정한 두께로 열침투 깊이가 나타난다. 열침투 깊이가 깊어지면 밤의 가공특성이 나빠지고, 생을로 유통 시에는

열침투 부분을 제거하여야 하므로 열침투 깊이는 손실율과 밀접한 관계를 가지고 있어 박피조건을 결정시 중요한 평가기준이다(김 1997). 열침투 깊이는 시각적으로 확연히 구분되어 화염박피 후 박피된 밤을 이등분한 후 자를 이용하여 열이 밤 과육에 침투한 깊이를 측정하였다.

박피특성 실험에서 연소온도와 연소시간은 김 등(1997)이 국내산 밤의 화염박피시의 적정 박피조건으로 보고한 연소온도 600~800℃, 연소시간 15~30초 범위로 설정하여, 연소온도는 600, 650, 700, 750, 800℃로 50℃ 간격으로, 연소시간은 15, 20, 30, 35 초로 5초 간격으로 박피 실험을 수행하였다. 또한 밤의 화염박피에서 중요한 요인의 하나로 알려진 밤 외피 경도(김 1998)는 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm²(12.7, 14.7, 16.7, 18.6, 20.6 MPa)에서 박피실험을 수행하였다. 이때 연속 마찰식 내외피 제거기의 마찰회전속도는 160 rpm이었다. 본 실험은 조건별로 매회 100개의 밤을 사용하였으며, 3회 반복실험하여 산술평균값으로 박피율과 열침투 깊이를 나타내었다.

화염박피 예측 모델의 적정 변수선정 및 박피율과 열침투 깊이 예측 방정식은 통계프로그램인 SAS 6.11의 변수 선택법과 다중회귀분석을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 연소온도에 따른 화염박피 특성

1) 연소온도에 따른 박피율

Fig. 3은 연소시간이 20초일 때 연소온도에 따른 박피율을 나타낸 것이다. 동일 연소온도에서는 밤 외피의 경도가 감소함에 따라 박피율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 김 등(1998)이 발표한 밤 외피 경도에 따른 화염박피 특성실험 결과와 일치한다. 연소온도에 따른 박피율의 변화에 대한 회귀분석을 실시한 결과에서 박피율 회귀방정식의 결정계수(R²)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm²에서 0.99, 0.99, 0.96, 0.93, 0.99로 나타났다.

Fig. 4는 연소시간이 30초일 때 연소온도에 따른 박피율을 나타낸 것으로, 연소온도에 따른 박피율의 변화에 대한 회귀분석을 실시한 결과에서 박피율 회귀방정식의 결정계수(R²)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm²에서 0.90, 0.92, 0.92, 0.97, 0.99로 나타났다. 밤 외피 경도가 1900, 2100 g/mm²에서는

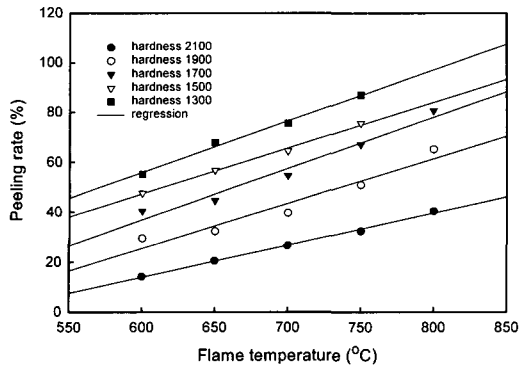


Fig. 3 Peeling ratio according to the flame temperature with 20sec of the flame time.

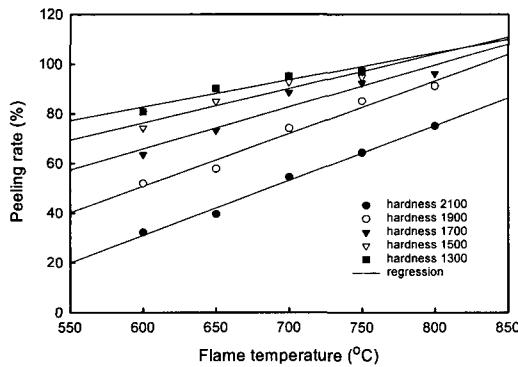


Fig. 4 Peeling ratio according to the flame temperature with 30sec of the flame time.

연소시간이 15, 20, 25초일 때와 같이 연소온도가 증가함으로서 박피율도 선형적으로 증가하였으나, 밤 외피 경도가 1300, 1500, 1700 g/mm²에서는 연소온도가 증가함에 따라 박피율은 2차 함수형태로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 박피율이 85% 이상에서는 연소온도가 증가함에 따라 박피율의 증가폭이 적어지기 때문이다.

연소온도에 따른 박피율 실험결과에서 국내산 밤의 화염 박피율은 연소시간이 일정할 때 연소온도가 증가함에 따라 박피율이 85% 미만에서는 선형적으로 증가하였고, 박피율이 85% 이상에서는 연소온도가 증가함에 따라 박피율의 증가폭이 적어지는 것으로 나타났다. 또한 같은 연소온도에서는 밤의 외피 경도가 감소함에 따라 박피율이 증가하는 것으로 나타났다.

2) 연소온도에 따른 열침투 깊이

Fig. 5는 연소시간이 20초일 때 연소온도에 따른 열침투 깊이를 나타낸 것이다. 연소온도가 600, 650, 700,

750, 800°C로 증가함에 따라 밤 외피 경도가 1700 g/mm²일 때 열침투 깊이는 1.05, 1.12, 1.31, 1.53, 1.86 mm으로 연소온도가 증가할수록 열침투 깊이가 커지는 것으로 나타났다. 연소시간이 20초일 때 연소온도에 따른 열침투 깊이 변화에 대한 회귀분석을 실시한 결과에서 열침투 깊이 회귀방정식의 결정계수(R²)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm²에서 0.99, 0.99, 0.95, 0.97, 0.98로 연소온도가 증가함에 따라 열침투 깊이가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 동일한 연소온도에서는 밤 외피 경도가 적을수록 열침투 깊이가 깊어지는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 연소시간이 30초일 때 연소온도에 따른 열침투 깊이를 나타낸 것이다. 연소시간이 20초일 때와 같이 연소온도가 증가함에 따라 열침투 깊이가 증가하는 경향을 나타냈으나, 연소온도 750°C 이상에서는 연소온도 증

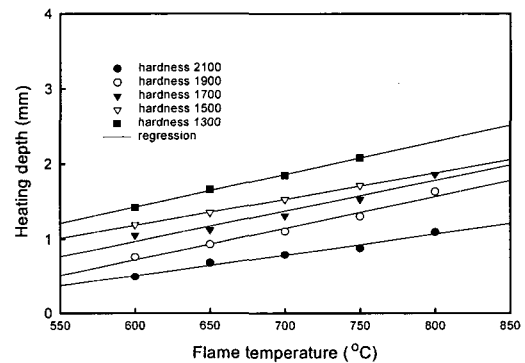


Fig. 5 Heating depth according to the flame temperature with 20sec of the flame time.

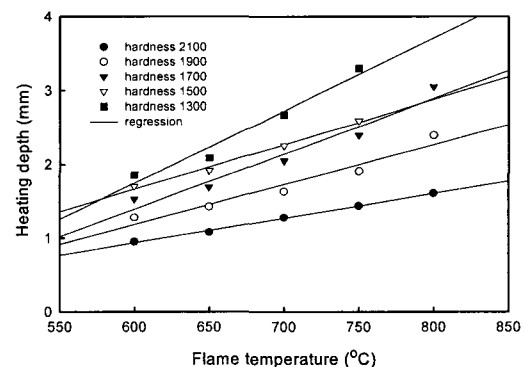


Fig. 6 Heating depth according to the flame temperature with 30sec of the flame time.

가에 따른 열침투 깊이 증가폭이 크게 나타났으며, 외피 경도가 낮은 경우에서 열침투 깊이 증가폭이 더욱 크게 나타났다. 연소온도에 따른 열침투 깊이에 관한 회귀분석을 실시한 결과에서 열침투 깊이 회귀방정식의 결정계수(R^2)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm^2 에서 0.96, 0.99, 0.95, 0.94, 0.99로 나타났다.

국내산 밤의 화염박피에서 연소온도에 따른 열침투 깊이는 연소온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 연소온도가 750°C 미만이며 밤 외피 경도가 1700 g/mm^2 이상의 경우에는 선형적으로 증가하나 연소온도가 750°C 이상이며 밤 외피 경도가 1700 g/mm^2 미만에서는 연소온도 증가에 따른 열침투 깊이 증가폭이 커지는 것으로 나타났다. 또한 같은 연소온도에서는 밤의 외피 경도가 감소함에 따라 열침투 깊이가 증가함을 알 수 있었다.

나. 연소시간에 따른 화염박피 특성

1) 연소시간에 따른 박피율

Fig. 7은 연소온도가 650°C일 때 연소시간에 따른 박피율을 나타내고 있다. 연소시간에 따른 박피율의 변화에 대한 회귀분석을 실시한 결과에서 연소시간이 증가함에 따라 박피율은 선형적으로 증가하는 것으로 나타났고, 동일한 연소시간에서는 밤 외피 경도가 감소함에 따라 박피율이 증가하는 것으로 나타났다. 박피율 회귀방정식의 결정계수(R^2)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm^2 에서 0.99, 0.98, 0.99, 0.97, 0.98로 나타났다.

Fig. 8은 연소온도가 750°C일 때 연소시간에 따른 박피율을 나타낸 것이다. 동일한 연소온도에서 연소시간이 증가함에 따라 박피율은 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 밤 외피 경도가 1700 g/mm^2 미만이며 연소온도가 25초 이상일 때 박피율의 증가폭이 현저히 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 연소온도에 따른 박피율 특성에서와 같이 박피율이 85% 이상에서는 박피조건에 따른 박피율 증가폭이 줄어드는 경향을 보여주고 있다. 연소시간에 따른 박피율의 변화에 대한 회귀분석을 실시한 결과에서 박피율 회귀방정식의 결정계수(R^2)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm^2 에서 0.94, 0.99, 0.99, 0.98, 0.98로 나타났다.

동일한 연소온도에서 연소시간이 증가함에 따라 박피율은 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 외피경도가

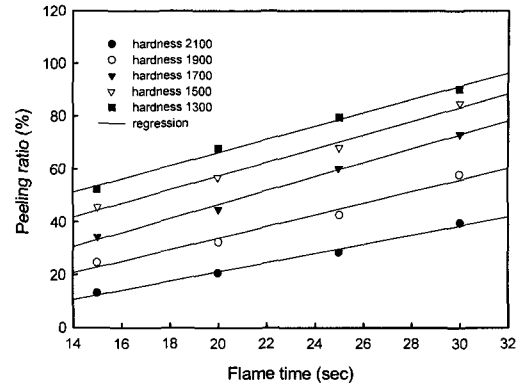


Fig. 7 Peeling ratio according to the flame time with 650°C of the flame temperature.

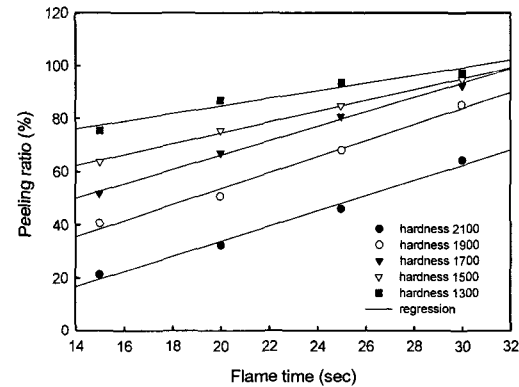


Fig. 8 Peeling ratio according to the flame time with 750°C of the flame temperature.

1700 g/mm^2 미만이며 연소온도가 25초 이상일 때 박피율의 증가폭이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 연소온도에 따른 박피율 변화의 분석결과에서와 같이 박피율이 85% 이상에서는 박피조건에 따른 박피율 증가폭이 줄어드는 것으로 나타났다.

2) 연소시간에 따른 열침투 깊이

Fig. 9는 연소온도가 650°C일 때 연소시간에 따른 열침투 깊이를 나타내고 있다. 연소시간이 15, 20, 25, 30 초로 증가함에 따라 외피경도가 1900 g/mm^2 일 때 열침투 깊이는 0.76, 0.93, 1.21, 1.43 mm으로 연소시간이 증가함에 따라 열침투 깊이가 증가하는 경향을 나타냈으며, 동일한 연소시간에서 밤 외피 경도가 감소함에 따라 열침투 깊이가 증가하는 것으로 나타났다. 연소온도가 650°C일 때 열침투 깊이 회귀방정식의 결정계수(R^2)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100

g/mm²에서 0.99, 0.98, 0.97, 0.99, 0.99로 나타났다.

Fig. 10은 연소온도가 750℃일 때 연소시간에 따른 열침투 깊이를 나타낸 것이다. 연소온도 650℃와 동일하게 연소시간 증가에 따른 열침투 깊이는 증가하는 경향을 나타내고 있고, 연소시간 25초 이상이고 밤 외피 경도가 1700 g/mm² 미만의 경우에는 연소시간 증가에 대한 열침투 깊이의 증가율이 커지는 것으로 나타났다. 연소시간에 따른 열침투 깊이 변화에 대한 회귀 분석을 실시한 결과에서 열침투 깊이 회귀방정식의 결정계수(R²)는 밤 외피의 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm²에서 0.92, 0.93, 0.94, 0.98, 0.99로 나타났다.

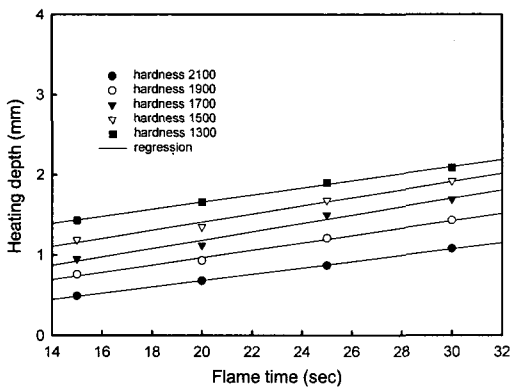


Fig. 9 Heating depth according to the flame time with 650℃ of the flame temperature.

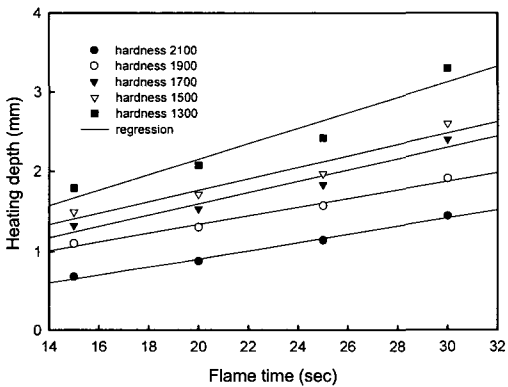


Fig. 10 Heating depth according to the flame time with 750℃ of the flame temperature.

다. 화염박피 특성 예측모델

1) 예측모델 및 적정 변수선택

국내산 밤의 화염박피 특성 분석결과에서 박피율은 연

소온도와 연소시간이 증가함에 따라 증가하였으며, 증가하는 경향은 박피율이 85% 미만에서는 선형적으로 증가하였고, 85% 이상에서는 연소온도와 연소시간의 증가에 대하여 박피율의 증가폭이 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 동일한 연소온도와 연소시간에서는 밤 외피 경도가 적을수록 박피율은 증가하였다. 열침투 깊이는 연소온도와 연소시간이 증가함에 따라 증가하였으며, 열침투 깊이의 증가하는 경향은 열침투 깊이가 2 mm 미만에서는 선형적으로 증가하였고, 열침투 깊이가 2 mm 이상에서는 연소온도와 연소시간의 증가에 따른 열침투 깊이 증가폭이 커지는 것으로 나타났다. 그러므로 박피율과 열침투 깊이 예측 방정식의 모델은 식 (2)와 같이 독립변수인 밤 외피경도, 연소온도, 연소시간의 1차항과 2차항으로 구성하였다.

$$Peeling\ ratio = F(X_1, X_2, X_3, X_1^2, X_2^2, X_3^2)$$

$$Heating\ depth = F(X_1, X_2, X_3, X_1^2, X_2^2, X_3^2) \quad (2)$$

where, X₁ : hardness of the chestnut shells (g/mm²)

X₂ : flame temperature (°C)

X₃ : flame time (sec)

우선 국내산 밤의 화염박피 특성 결과를 토대로 선정된 식 (2)의 박피율과 열침투 깊이 모델에서 적정 변수를 선택하기 위하여 SAS 프로그램의 변수 선택법을 실시하였다. 사용된 변수 선택법은 수정된 결정계수 (adjusted R²) 선택법으로, 이 방법은 선정된 모델의 변

Table 1 Result of the adjusted R² selection in SAS

Model	No. of variable in model	Adjusted R ²	Variable in model
Peeling ratio	1	0.378	X ₁ ²
	2	0.717	X ₃ , X ₁ ²
	3	0.974	X ₁ , X ₁ ² , X ₂ ²
	4	0.977	X ₁ , X ₃ , X ₁ ² , X ₂ ²
	5	0.978	X ₁ , X ₃ , X ₁ ² , X ₂ ² , X ₃ ²
	6	0.978	X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₁ ² , X ₂ ² , X ₃ ²
Heating depth	1	0.359	X ₁ ²
	2	0.678	X ₁ ² , X ₃ ²
	3	0.943	X ₁ ² , X ₂ ² , X ₃ ²
	4	0.943	X ₂ , X ₁ ² , X ₂ ² , X ₃ ²
	5	0.942	X ₁ , X ₂ , X ₁ ² , X ₂ ² , X ₃ ²
	6	0.942	X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₁ ² , X ₂ ² , X ₃ ²

수들의 모든 경우의 수에 대하여 수정된 결정계수가 큰 순으로 나타낸다. Table 1은 수정된 결정계수 선택법의 결과를 나타낸 것이다. Table 1에서 박피율, 열침투 깊이 예측 방정식의 변수는 수정된 결정계수가 가장 크며 변수의 수가 적은 경우를 선정하였다. 박피율 예측 방정식은 밤 외피 경도의 1차항, 연소시간 1차항, 밤 외피 경도 2차항, 연소온도 2차항, 연소시간 2차항으로 총 5개의 변수를 선정하였으며, 열침투 깊이 예측 방정식은 밤 외피 경도 2차항, 연소온도 2차항, 연소시간 2차항으로 총 3개의 변수를 선정하였다.

2) 박피율 예측 방정식

국내산 밤의 화염 박피율 예측 방정식은 적정 변수로 선정된 외피 경도 1차항, 연소시간 1차항, 외피 경도 2차항, 연소온도 2차항, 연소시간 2차항으로 이루어진 예측모델에서 밤 외피 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm², 연소온도가 600, 650, 700, 750, 800℃, 연소시간이 15, 20, 25, 30 초일 때 화염박피 실험결과를 토대로 SAS 6.11 프로그램의 다중 회귀분석을 실시하여 개발하였다. 박피율 예측 방정식은 식 (3)과 같다.

$$Y = a + bX_1 + cX_3 + dX_1^2 + eX_2^2 + fX_3^2 \quad (3)$$

where, Y : peeling ratio (%), X₁ : hardness of the chestnut shells (g/mm²), X₂ : flame temperature (°C), X₃ : flame time (sec), a : -55.848591, b : 0.074989, c : 1.276174, d : -0.000038779, e : 0.000125, f : 0.025043

박피율 방정식의 회귀분석 결과에서 결정계수(R²)는 0.979이고, 회귀방정식의 적합도를 나타내는 F 값은 811.17이며, 그 확률은 0.0001로서 통상적인 유의수준 0.05보다 훨씬 적으므로 식 (3)의 박피율 방정식은 유의한 것으로 분석되었다. 박피율 예측 방정식에서 독립변수들의 적정 범위는 밤 외피의 경도(X₁)가 1500~2100g/mm², 연소온도(X₂)는 600~800℃, 연소시간(X₃)은 5~30 초이다. 독립변수간의 수치 차이에 의하여 밤 외피 경도 2차항의 상수(d)는 매우 적은 값으로 나타났으나 밤 외피 경도의 2차항은 박피율을 예측하는데 매우 중요함을 알 수 있었다.

Fig. 11에서와 같이 박피율 예측 방정식을 이용한 예측값과 실험에 의한 박피율의 관계는 매우 선형적으로 나타났으며, 실험값과 예측값의 관계를 나타내는 결정계수가 0.97로서 박피율 예측 방정식의 예측값과 실험값은 잘 일치하는 것으로 나타났다.

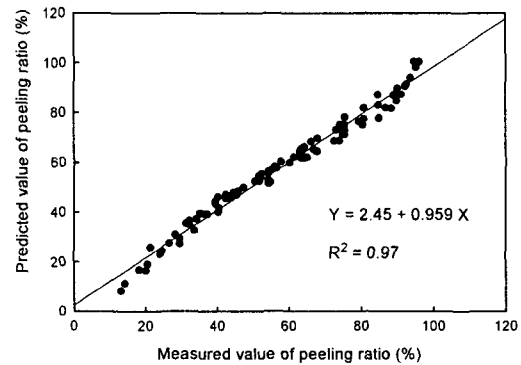


Fig. 11 Relationship between measured and predicted peeling ratio.

3) 열침투 깊이 예측 방정식

국내산 밤의 열침투 깊이 예측 방정식은 적정 변수로 선정된 밤 외피 경도 2차항, 연소온도 2차항, 연소시간 2차항으로 이루어진 예측모델에서 밤 외피 경도가 1300, 1500, 1700, 1900, 2100 g/mm², 연소온도가 600, 650, 700, 750, 800℃, 연소시간이 15, 20, 25, 30 초일 때 화염박피 실험결과를 토대로 SAS 6.11 프로그램의 다중 회귀분석을 실시하여 개발하였다. 열침투 깊이 예측 방정식은 식 (3)과 같다.

$$Y = a + bX_1^2 + cX_2^2 + dX_3^2 \quad (3)$$

where, Y : peeling ratio (%), X₁ : hardness of the chestnut shells (g/mm²), X₂ : flame temperature (°C), X₃ : flame time (sec), a : 0.512236, b : -0.000000403, c : 0.000003105, d : 0.001252

열침투 깊이 방정식의 회귀분석 결과에서 결정계수(R²)는 0.943이고, 회귀방정식의 적합도를 나타내는 F 값은 503.868이며, 그 확률은 0.0001로서 통상적인 유의수준 0.05보다 훨씬 적으므로 식 (3)의 열침투 깊이 방정식은 유의한 것으로 분석되었다. 열침투 깊이 예측 방정식에서 독립변수들의 적정 범위는 밤 외피의 경도(X₁)가 1500~2100g/mm², 연소온도(X₂)는 600~800℃, 연소시간(X₃)은

5~30 초로서, 이때 열침투 깊이는 0~4 mm의 값을 나타낸다. 이와 같이 열침투 예측 방정식에서 독립변수 값이 종속변수에 비하여 매우 큰 값을 가지고 있어, 독립변수 2차항의 상수(b, c, d) 값이 매우 적은 값으로 나타났다.

Fig. 12는 열침투 깊이 예측 방정식을 이용한 예측값과 실험에 의한 박피율의 관계를 보여주고 있다. Fig. 12에서 실험값과 예측값의 관계는 선형적이며 결정계수가 0.96으로 박피율 예측 방정식의 예측값과 실험값은 잘 일치하는 것으로 나타났다.

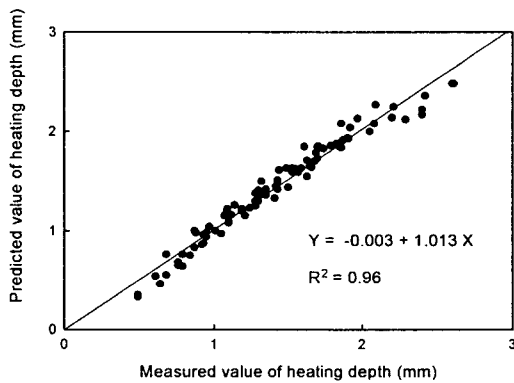


Fig. 12 Relationship between measured and predicted heating depth.

4. 요약 및 결론

본 연구는 화염박피 방법을 이용한 밤 박피시스템의 주요 박피요인인 시료의 경도, 연소온도, 연소시간에 따른 화염박피 특성을 분석하고 박피요인에 따른 박피율과 열침투 깊이를 예측 할 수 있는 국내산 밤의 화염박피 특성 예측모델을 개발하고자 하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

화염박피 방법을 이용한 밤의 박피에서 주요 박피요인으로는 밤 외피의 경도, 연소온도, 연소시간으로 나타났다. 이들 박피요인에 대하여 국내산 밤의 화염박피 특성을 분석하였다. 박피율은 연소온도와 연소시간이 증가함에 따라 증가하였으며, 증가하는 경향은 박피율이 85% 미만에서는 선형적으로 증가하였고, 85% 이상에서는 연소온도와 연소시간의 증가에 대하여 박피율의 증가폭이 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 동일한 연소온도와 연소시간에서는 밤 외피 경도가 적을수록 박피율은 증가하였다. 열침투 깊이는 연소온도와 연

소시간이 증가함에 따라 증가하였으며, 열침투 깊이의 증가하는 경향은 열침투 깊이가 2 mm 미만에서는 선형적으로 증가하였고, 열침투 깊이가 2 mm 이상에서는 연소온도와 연소시간의 증가에 따른 열침투 깊이 증가폭이 커지는 것으로 나타났다.

밤 외피의 경도, 연소온도, 연소시간에 따른 화염박피 특성을 이용하여, 박피율과 열침투 깊이를 예측하는 국내산 밤의 화염박피 특성 예측모델을 개발하였다. 개발된 박피율 및 열침투 깊이 예측모델은 밤 외피의 경도, 연소온도, 연소시간의 2차항을 포함하고 있으며, 국내산 밤의 화염박피 특성을 잘 나타내고 있다. 예측모델의 검증결과 예측값과 측정값의 회귀 결정계수(R^2)가 0.96 이상으로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. Cheng, L. M. 1992. Food Machinery. Ellis Horwood Ltd. England.
2. Fellows, P. 1988. Food Processing Technology. Ellis Horwood Ltd. England.
3. Kim, J. H., J. B. Park and C. H. Choi. 1997. Development of chestnut peeling system. J. of the Korean Society or Agricultural Machinery 22(3):289-294. (In Korean)
4. Kim, J. H., J. B. Park, C. H. Choi and J. M. Kim. 1998. Effects of flame peeling characteristics on the hardness of the chestnut shells. J. of the Korean Society or Agricultural Machinery 23(4):351-358. (In Korean)
5. Park, J. B., J. H. Kim, D. M. Kim, J. T. Kim and K. H. Kweon. 1997. Study on the development of chestnut peeling machineries. Report of Korea Food Research Institute G1147-0758. (In Korean)
6. Suh, K. S., P. J. Han and S. J. Lee. 1974. Studies on the processing of chestnut. Korean J. Food Science Technology 6(2):98-102. (In Korean)
7. 이양희, 김길환. 1975. 밤의 성숙도에 따른 저장성 및 박피효율에 관한 연구. 한국과학기술연구소 연구 보고서.