

마이크로컴퓨터 시스템을 이용한 표고버섯의 감압건조에 대한 연구

崔在鎔·金恭煥·全在根*

아주대학교 생물공학과, 서울대학교 식품공학과*

Design and Evaluation of a Microcomputer-based Vacuum Drying System for Shiitake Mushrooms

Jae-Yong Choi, Kong-Hwan Kim and Jae-Kun Chun*

Department of Biotechnology, Ajou University, Suwon

*Department of Food Science & Technology, Seoul National University, Suwon

Abstract

Strain gauges attached on the Bourdon tube and load cell were used as the sensors for measuring the vacuum pressure in drying chamber and the weight loss of Shiitake mushrooms respectively. The vacuum drying system was interfaced further with the Bear II microcomputer. The interface devices used were built with such IC chips as MC 6821, ADC 0809, SN 74244 and SN 7424. The relationship between readings of vacuum gauge (P, mm Hg) and digital outputs (D) from the microcomputer was represented by $P = 3.08 D - 13.4875$ ($r = 0.9999$). The weights of drying sample (W) were also related with the digital outputs (D) by $W = 0.4076 D - 6.4762$ ($r = 0.9999$). During the vacuum drying of Shiitake mushrooms, the data on pressure and weight were recorded at regular intervals using an acquisition program on the microcomputer system. The Page model was fitted well to the drying data of Shiitake mushrooms, resulting in the following empirical equations: $(M - M_e)/(M_0 - M_e) = \exp(-0.1569t^{1.0046})$ at 400 mm Hg up to 14 hours and $(M - M_e)/(M_0 - M_e) = \exp(-0.1385t^{1.2688})$ at 600 mm Hg up to 8 hours.

서 론

표고버섯 (Shiitake mushroom, *Lentinus edodes*)은 독특한 향과 맛을 지니고 비타민 B₁, B₂ 등을 많이 함유한 영양가 높은 알카리성 식품이다.⁽¹⁾ 그러나 생체의 경우 높은 수분함량(약 90%)으로 인한 낮은 저장성 때문에 일반적으로 병조림, 염장, 건조 등의 가공과정을 거치게 되는데 대부분 건조에 의해 가공되고 있다.⁽²⁾

최근에 전자산업의 비약적인 발전으로 마이크로프로세서의 대량생산에 의한 저렴한 가격때문에 여러 산업분야에서 이를 활용한 연구가 행해졌고^(3,4) 이에 부응하여 식품산업에서도 점차적으로 생산공정의 자동화가 이루어지고 있다. 그러나 국내에서는 식품산업의 공정 제어에 마이크로컴퓨터를 널리 이용하지 못하는 실정이고 최, 강 등이⁽⁵⁻⁷⁾ 마이크로컴퓨터를 건조공정에 접속시켜 공정의 자동화를 이룩하는 등 몇몇 특정분야에서 실험실 규모로 연구되어 왔다.

본 연구에서는 마이크로컴퓨터를 이용한 표고버섯의 감압건조공정에 필요한 제어시스템을 설계·제작하고 자동적으로 공정변수(압력 및 온도)를 제어하고 무게를 계속하는 감압건조시스템을 운영하여 표고버섯이

감압상태에서 어떤 기작으로 건조되는 지를 밝히고자 한다.

재료 및 방법

재료

건조용 표고버섯은 수분함량 87%(WB), 평균무게 15~20g, 갓의 장경이 6~7cm, 단경이 5~6cm인 것을 시중에서 구입하여 원형 또는 세로방향으로 한 번 절단하여 사용하였다.

실험장치

본 연구에서 사용된 감압건조장치는 Fig. 1과 같이 크게 세 부분으로 나눌 수 있다.

즉, 첫째로 무게를 측정할수 있는 하중변환기(load cell), 압력계측장치인 부르돈관(Bourdon tube), 진공펌프 및 응축기 등으로 구성된 감압건조기, 둘째로 6502 마이크로프로세서를 CPU로 사용하고 48K byte RAM과 12K byte Rom을 내장한 Bear II 마이크로컴퓨터의 확장 slot에 출력모니터, 디스크 드라이브, 프린터 등을 접속시킨 마이크로컴퓨터시스템, 셋째로 감

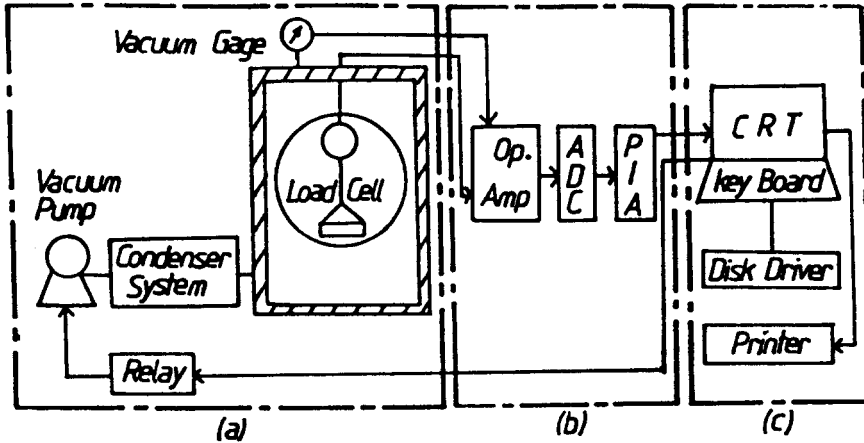


Fig. 1. Schematic representation of a computer interfaced vacuum dryer: (a) vacuum dryer (b) interface system (c) microcomputer system

감압건조기와 마이크로컴퓨터시스템을 연결시키는 접속 장치로 구성되어 있다.

접속장치의 설계 및 제작

감압건조기와 마이크로컴퓨터시스템을 연결시켜 주는 접속시스템은 PIA(Peripheral interface adapter), ADC(Analog to digital converter), tristate buffer, clock divider 등을 각각 MC 6821, ADC 0809, LS 74244, LS 7474 등의 IC 칩으로 구성하여 마이크로컴퓨터의 확장 slot에 접속하여 사용하였다.

감압계측장치의 제작

감압계측장치인 부르돈관의 표면에 4개의 strain gauge를 접착시켜 Wheatstone bridge를 형성하였다. 압력변화에 대한 Wheatstone bridge회로의 출력전압변화가 매우 작아서 A/D 변환기의 입력전압범위 (0~5V)에 들도록 Fig. 2와 같이 증폭회로를 제작하여 압력계측값이 마이크로컴퓨터에 입력되게 하였다.

무게계측장치의 제작

감압건조과정 중 수분증발량을 측정하기 위해 링 (ring)형의 하중변환기에 접착된 4개의 strain gauge로 Wheastone bridge를 형성하여 무게변화에 따른 bridge의 출력전압변화가 A/D변환기의 입력전압범위에 들도록 증폭회로를 Fig. 3과 같이 제작하여 무게계측값이 마이크로컴퓨터에 입력되도록 하였다.

건조방법

표고버섯 80g을 하중변환기에 올려 놓고 Fig. 4와 같은 흐름도로 감압건조용 프로그램을 작동시켜 건조실내의 압력값과 무게측정값을 ADC channel을 통해 컴퓨터에 입력하여 이 측정값을 프린터에 기록하고 건조실내의 압력은 컴퓨터의 soft switch를 통해 제어하도록 하였다.

위와 같은 방법으로 온도변화 (50°C, 60°C), 압력변화(400mmHg, 600mmHg), 시료의 형태 (원형, 반절) 등 공정변수를 조합하여 실험하였다.

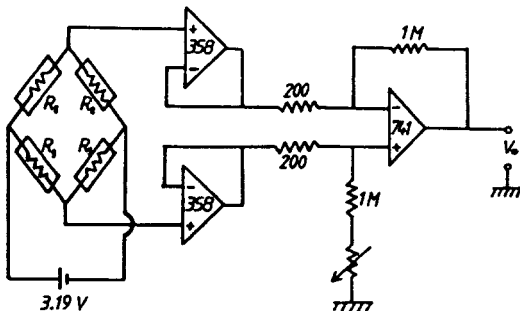


Fig. 2. Circuit of pressure sensing device

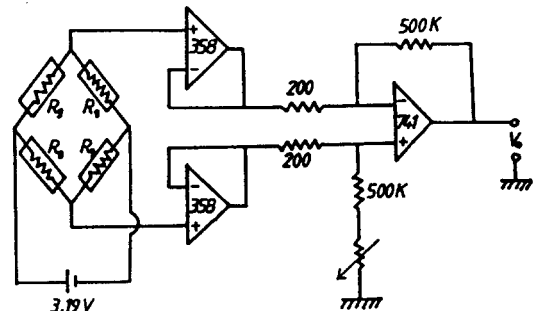


Fig. 3. Circuit of weighing device

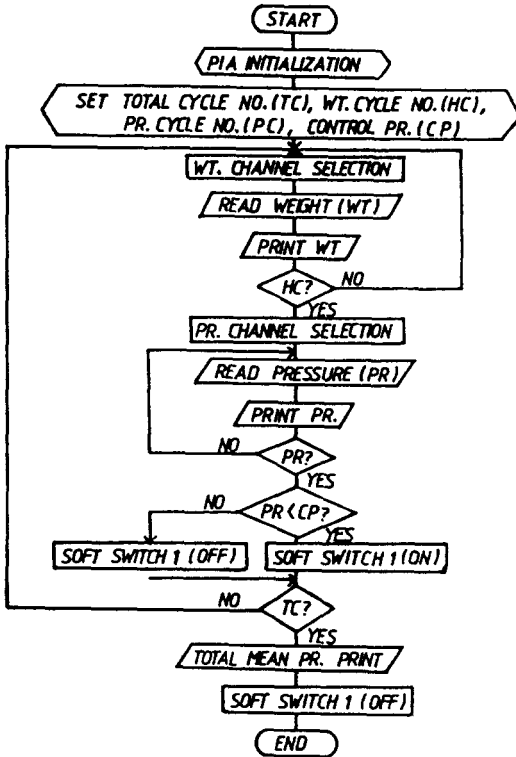


Fig. 4. Flow chart for vacuum drying process control

수분점량

시료의 수분함량은 105°C 건조법으로 측정하였다.⁽⁶⁾

결과 및 고찰

변수계측치의 컴퓨터 입력

부르돈관에서 발생한 아날로그 전압신호를 디지털화하여 마이크로컴퓨터에 입력된 디지털값(D)과 부르돈관에 나타난 압력계의 지시진공도(P)의 관계식은 식1과 같이 직선적인 상관계수($r=0.9999$)를 보였다. strain gauge가 부착된 하중변환기의 선반에 0~90g의 표준분동을 놓고 하중변환기에서 발생한 아날로그 전압신호를 디지털화하여 컴퓨터에 입력된 디지털값(D)과 표준분동무게(W)와의 상관관계도 식2와 같이 높은 직선적인 상관계수($r=0.9999$)를 보였다.

$$P=3.0800D-13.4875 \quad (r=0.9999) \dots\dots\dots (1)$$

$$W=0.4076D-6.4762 \quad (r=0.9999) \dots\dots\dots (2)$$

여기서 W와 P는 환산된 무게(g)와 압력(mmHg)이고 D는 10진수의 컴퓨터 출력값으로 0~255이다.

표고버섯의 감압건조곡선

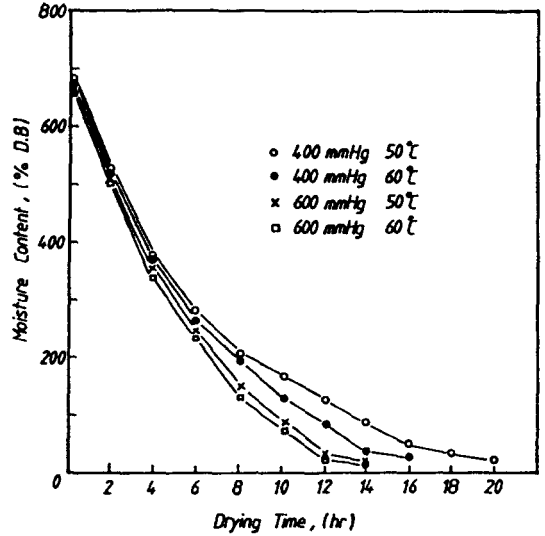


Fig. 5. Vacuum drying curve of whole Shiitake mushrooms

감압건조과정 중 原型 및 半切 표고버섯의 수분함량 변화는 각각 Fig.5와 6과 같았다. 즉, 원형표고버섯의 경우 진공도 400mmHg에서 보다 600mmHg에서 수분함량 20%(DB)에 약 2~6시간 더 빠르게 도달하였고 반절 표고버섯의 경우는 약 2~4시간 더 빠르게 도달하였다.

건조온도를 10°C 높였을 때 원형표고버섯의 경우 진공도 400mmHg에서 건조후반에서는 상당한 영향을 미쳤

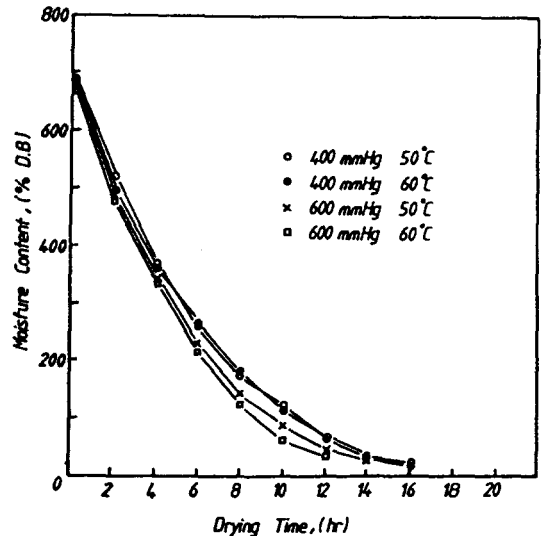


Fig. 6. Vacuum drying curve of cut Shiitake mushrooms

으나 진공도 600mmHg에서 건조기간 중 비교적 작은 영향을 미쳤다. 한편 반절표고버섯의 경우 진공도 400mmHg에서는 온도의 영향이 거의 나타나지 않았고 진공도 600mmHg에서는 원형표고버섯의 경우와 비슷한 양상을 보였다. 이와 같이 50°C보다 60°C에서 감압건조하는 것이 건조가 약간 빠르게 진행되었으나 건조된 표고버섯의 색이 검게 변하는 등 품질의 저하를 가져왔다. 진공도 400mmHg, 50°C에서 반절표고버섯은 건조가 원형표고버섯에 비해 훨씬 빠르게 진행되었으나 이 외의 건조조건에서는 원형과 반절표고버섯이 건조곡선에 별 차이를 보이지 않았다. 따라서 표고버섯의 감압건조에서는 온도나 시료의 형태가 건조속도에 그다지 큰 영향을 미치지 못했고 진공도가 더 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있었다. 그러나 풋고추의 경우는 진공도보다 시료의 상태가 건조속도에 더 큰 영향을 미친다는 손 등의⁽⁶⁾ 보고로 미루어 농산물의 종류에 따라 건조공정 변수들이 건조속도에 영향을 미치는 정도가 다르다고 할 수 있다.

표고버섯의 감압건조기작

표고버섯은 대부분 감율건조기간에서 건조가 일어나므로 고체식품내의 수분이동에 대한 이론식을 본 표고버섯의 실험결과에 도입하여 감압건조기작을 유추할 수 있다. 감율건조기간 동안 수분이동기작은 크게 모

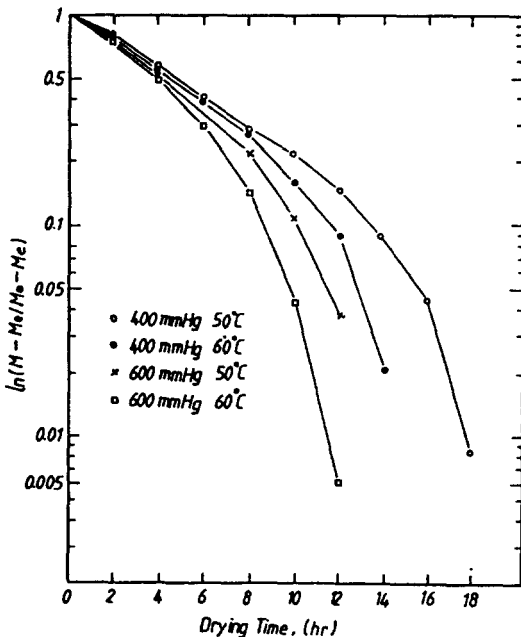


Fig. 7. Plot of dimensionless moisture content vs. drying time (whole mushrooms)

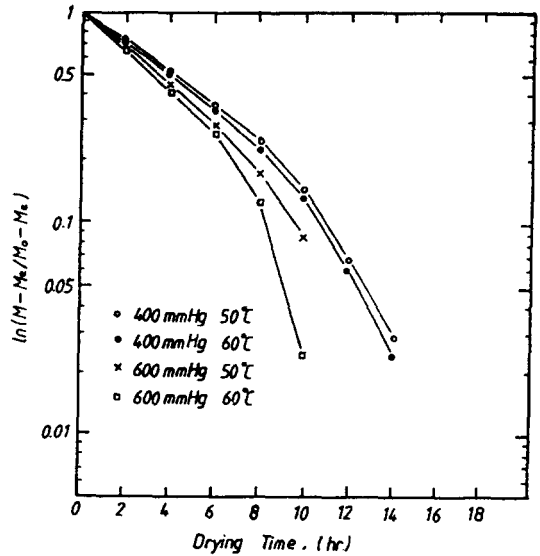


Fig. 8. Plot of dimensionless moisture content vs. drying time (cut mushrooms)

세관이동과 확산으로 나누는데 대부분의 농산물에서와 같이 표고버섯도 확산에 의해 건조된다고 보고 Exponential model(식 3)에 적용시켜⁽⁹⁾ 본결과 Fig. 7과 8과 같았다.

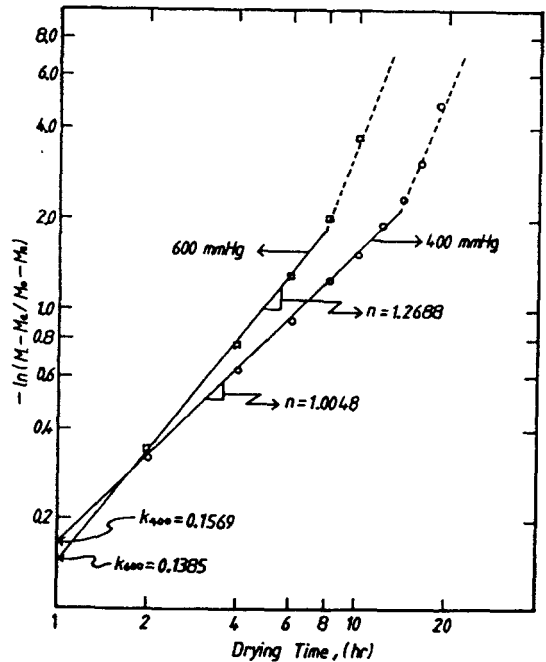


Fig. 9. Graphical determination of empirical constants (whole mushrooms, 50°C)

그러나 시간에 따라 건조상수(k)가 변하기 때문에 Exponential model로는 표고버섯의 건조기작을 정확히 나타낼 수 없어 확산기작 중 Page model(식4)에 실험 결과를 적용시켰다.⁽¹⁰⁾

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-kt) \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-kt^n) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 k와 n은 실험상수이고 M_o, M_e, M은 각각 초기, 평형, 임의시간에서의 수분함량(DB %)이며 t는 감압건조시간(hr)이다. 일정한 온도(50°C)하에서 압력에 따른 실험상수(k, n)를 구하기 위하여 원형표고버섯의 건조실험결과를 식 4에 적용시켜 본 결과 Fig. 9와 같았다.

즉 400mmHg에서 약 14시간까지는 k=0.1569, n=1.0048 또한 600mmHg에서는 8시간정도까지 k=0.1385, n=1.2688의 값으로 Page model에 적용시킬 수 있었다. 반절표고버섯의 경우도 Page model에 적용시켜 linear regression으로 구한 실험상수는 약 8시간까지 400mmHg에서 k=0.1407, n=1.0917 600mmHg에서 k=0.1939, n=1.0060이었다. 이 결과 같은 건조조건하에서 원형 및 반절표고버섯의 실험상수(k, n)에 큰 차이가 없음을 알 수 있어 앞서 지적한 바와 같이 표고버섯의 경우 시료의 상태가 감압건조에 미치는 영향이 적다는 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과로부터 건조중 수분확산계수와 표고버섯의 두께가 일정하다는 가정하에서 원형표고버섯의 대략적 감압건조식은 진공도 400mmHg 및 600mmHg에서 식 5와 6으로 반절표고버섯의 경우 식 7과 8로 각각 표시되었다.

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-0.1569t^{1.0048}) \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-0.1385t^{1.2688}) \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-0.1407t^{1.0917}) \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{M-M_e}{M_o-M_e} = \exp(-0.1939t^{1.0060}) \dots\dots\dots (7)$$

이상과 같이 측정장치에 간단한 센서를 부착시키고 감압건조용 접속장치와 마이크로컴퓨터를 적절히 연결시켜 건조실내의 압력을 일정하게 유지시키면서 시료의 수분증발량을 자동적으로 측정할 수 있다는 것을 보여 주었다. 또한 이 장치를 이용하여 표고버섯을 감압건조시켜 표고버섯의 감압건조기작을 밝힐 수 있었

다.

따라서 본 연구는 표고버섯의 감압건조 뿐만 아니라 식품산업의 여러 공정에서 마이크로컴퓨터를 활용하여 저렴한 비용으로 손쉽게 공정의 자동화를 이룩할 수 있다는 것을 보여 주었다.

요 약

건조실내의 압력과 건조시료의 수분감소량을 측정하기 위해 부르돈관과 하중변환기 표면에 strain gauge를 부착시켜 감응장치로 이용하였다. 이 감응장치를 Bear II 마이크로컴퓨터에 접속시켜 마이크로컴퓨터 감압건조시스템을 구성하였다. 접속장치로는 MC 6821, ADC 0809, SN 74244, SN 7474 등의 IC 칩이 사용되었다.

컴퓨터의 디지털출력값(D)과 감압건조실내의 압력(P)과의 관계는 P=3.0800D-13.4875(r=0.9999)로 나타났고 시료무게(W)와의 관계는 W=0.4076D-6.4762(r=0.9999)이었다.

표고버섯은 감압건조하는 동안 마이크로컴퓨터시스템을 이용하여 얻은 압력과 무게측정값의 자료로부터 표고버섯의 감압건조곡선을 얻었다. 이 결과 표고버섯의 감압건조에서는 온도나 시료의 형태가 건조속도에 그다지 큰 영향을 미치지 못했고 감압건조실내의 압력이 더 큰 영향을 미쳤다.

감압건조하에서 표고버섯내의 수분이동은 Page model을 따랐으며 그 관계식은 50°C에서 건조된 원형 표고버섯의 경우 400mmHg에서 건조를 시작한 후 14시간 정도까지는 (M-M_e)/(M_o-M_e)=exp(-0.1569t^{1.0048})로, 600mmHg에서 8시간정도까지는 (M-M_e)/(M_o-M_e)=exp(-0.1365t^{1.2688})이었다.

감사의 말

본 연구는 1986년 한국과학재단의 차관연구비에 의하여 이룩된 연구의 일부로 한국과학재단에 깊은 감사를 드립니다.

문 헌

1. 조덕봉, 김동필, 최춘순 : 한국영양지, 10(1), 53(1981)
2. 최국지 : 강원대학 연구논문집, 제9집(1975)
3. Parsons, J.E., Dunlap, J.L., Mckinion, J.M., Phene, C.J. and Baker, D.N.: *Trans. ASAE*, 23(3), 589(1980)

4. Mitchell, B.W. and Drury, L.N.: *Trans. ASAE*, **24**(5), 1363(1981)
 5. 최부들, 전재근: 한국식품과학회지, **19**(2), 129(1987)
 6. 전재근, 강준수: 한국농화학회지, **30**(1), 65(1987)
 7. 최부들, 전재근: 한국식품과학회지, **19**(3), 200(1987)
 8. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. (1984)
 9. Chu, S.T. and Hustrulid, A.: *Trans. ASAE*, **11**(5), 705(1968)
 10. Chhinnan, M.S.: *Trans. ASAE*, **27**(2), 610(1984)
-
- (1987년 8월 26일 접수)