

표고버섯의 熱風乾燥速度論에 關한 研究*

식품제조과 조교수	조	덕	봉
조교수	김	동	필
전임강사	최	춘	순

I. 서 론

표고버섯은 3대味の 하나로 잘 알려진 식품으로서 열풍건조를 해야 천일건조시에 생기는 포자의 비산, 버섯 세포조직의 교질화, 광택 등 여러가지 품질의 저열화를 막을 수 있으므로 일본에서는 열풍건조를 해야만 그 商品的 가치를 인정하고 있다.

표고버섯의 열풍건조에 관해서는 일본에서 경험적으로 양호한 건조결과를 얻을 수 있었던 건조방법이 平尾武司 등에 의하여 많이 알려져 있으며^{1~3}, 예비건조, 본건조, 본건조후기 및 마무리건조의 4단계로 나누어서 행하는데 건조온도 범위는 보통 45~60°C의 범위를 사용하고 이는 45°C보다 낮은 온도에서 건조시키는 경우에는 포자의 비산과 갓이 벌어져 끝이 말아지는 등 품질저하가 일어나고, 55°C이상의 고온에서 건조를 수행하면 초기 수분함량이 많으므로 익을 우려가 있기 때문이다.

한편 식품의 열풍건조에 대한 Kinetics연구는 사과절편, 곡류, 생선, 감자절편, 콩단백 등에 관하여 연구된 바 있으며, 식품의 건조는 일반 고체(inert matter)의 건조와는 달리 일정한 건조조건에서는 항율건조기간(constant drying rate period)이 일반적으로 존재치 않고, 대부분 감속건조기간(falling rate period)으로 진행되며, 감속건조기간은 초기의 모세관 현상에 의한 제1감속건조기간(primary falling rate period)과 수분층의 확산에 기인하는 약간 더 느린 제2감속건조기간(secondary falling rate period)이 있다^{4~8}.

열풍건조 과정 중 건조속도를 좌우하는 중요한 인자는 온도, 습도, 풍속 등이 있으나, 실제 현장의 설비를 고려할 때 습도의 조절은 쉬운 문제가 아니므로 습도는 38~41%로 고정시킨 상태(한국의 10월하순에서 11월 상순)에서 온도와 풍속의 변화에 따른 건조속도의 변화를 고찰하였다. 이때 온도의 선정은 건조속도가 빠른 것만으로 결정될 수 없고, 표고버섯의 맛 성분인 Guanyl산과 향기 성분인 Lenthionine⁹이 버섯 내부에서 단백질이나 당류¹⁰로 부터 생성효소에 의하여 생성되는데, 최적온도가 35~40°C라는 점을 고려하여 내부 온도가 35~40°C가 될 수 있도록 외부 건조공기 온도를 45~50°C로 선정했다. 풍속에 대

* 本 論文은 1979年度 光州 保健專門大學 學術研究 助成費에 의하여 이루어진 것임.

해서는 품질에 미치는 영향이 크게 문제되고 있지 않으므로, 건조속도가 최대가 될 수 있는 풍속을 알기 위해 1.0~3.1m/sec로 변화시켜 적합한 풍속을 선정코자 한 것이다. 선정된 조건에서 속도론적인 연구를 하기 위해서 건조양상으로 부터 판단되는 mathematical model을 설정하여, Kinetic model을 유도하고자 한 것이며, 이러한 Kinetics는 항을 건조속도를 위한 온도 상승방법을 Programming하는 등 Simulator이나 건조의 최적화(optimization)에 응용할 수 있다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 재 료

본 실험에 사용한 표고버섯은 山聯 1호 품종을 참나무에 접종 재배하여 채취하였으며 시료의 평균 무게는 25~35g, 갓의 장경이 7~8cm, 단경이 5~6cm의 크기의 것으로 개산율(開傘率) 70% 정도에 달했을 때 채취하였다. 채취시기는 9월 하순부터 10월 초순 경이고 품질면에서는 향신(香辛)에 해당된다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

실험에 사용한 건조 장치의 개략도는 Fig.1과 같고, 사용기기는 Table 1과 같다.

건조조건에 영향을 미치지 않는 상태로 건조에 따른 시료의 무게 감량을 측정하기 위하

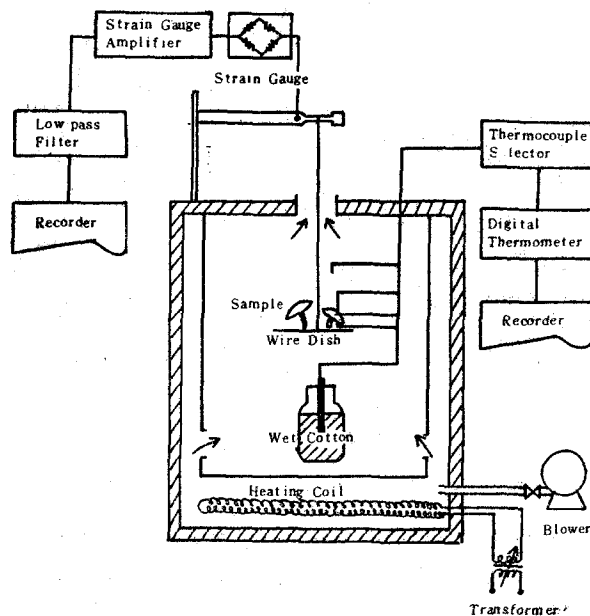


Fig.1. Schematic diagram of dehydration apparatus

Table 1. Instruments Used.

Name of Apparatus	Specification	Manufacturer	Remark
Drying oven	45×40×40cm	Dong Yang, Korea	Internal Structures Changed
Dynamic Strain Amplifier	Model DPM-6E 6 Channel	Kyowa Electronic, Japan	
Low Pass Filter	5~25 Hz, 6 Channel	Kyowa Electronic, Japan	
Thermocouple Selector	Model Y2001 10 Channel	FLUKE, U.S.A.	
Digital Thermometer	Model 2190 A accuracy ±0.5°C	FLUKE, U.S.A.	
Recorder	Model Servocoder inkless type, 2 channel	WATANABE, Japan	
Slidac	40 amp 0~130 volts	Japan	
Blower	1.15 amp. 100 volt	Dong Kyun, Korea	
Thermocouple	Copper-constantan gauge #24, insulated with asbestos	U.S.A	

여 Fig.1에 보인 바와 같이, Cantilever type strain gauge load cell을 제작하여 연속적으로 무게 감량을 측정할 수 있게 하였으며, 이 load cell은 두께 2mm, 폭 20mm, 길이 200mm, Aluminum재료로 만들어졌으며, load cell의 output은 dynamic strain gauge amplifier로 증폭한 다음 풍속의 영향에 따른 noise를 제거하기 위하여 low pass filter를 통과시켜 기록기에 기록하였다.

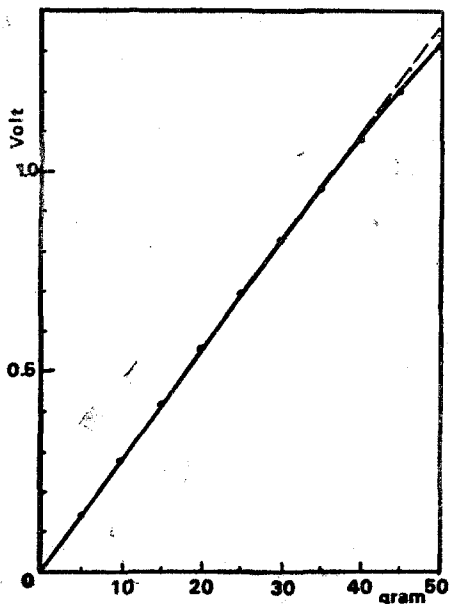


Fig.2. Calibration curve for the cantilever type strain gauge load cell.

이 Cantilever type load cell의 무게에 따른 output voltage 변화량은 검량곡선 Fig.2에 보인 바와 같으며 0~30g까지는 sensitivity가 0.028 volt/g으로 거의 직선으로 변화하며 30g이상에서는 약간 sensitivity가 둔화되는 미소용량 load cell이다.

한편 투입 열풍은 Blower의 valve를 조절하여 풍량을 변화시켰고, 풍속을 풍속계 (Anemometer)로 측정하여 원하는 풍속으로 일정하게 유지시켰으며 온도의 조절은 Ni-Cr선에 공급되는 전력량을 Transformer로 변화시켜 건조실 열풍온도가 필요한 온도가 되도록 조정하였다. 이때 온도의 측정은 열풍온도와 시료의 여러부분의 온도를 측정하기 위하여 T-type(copper-constantan gage

No. 24. made in U.S.A) thermocouple로 측정하였으며 버섯의 외부(버섯과 접촉하지 않음), 버섯의 표면, 내부, 뒷표면 및 증발접시의 십지 등에 5개의 thermocouple을 심어 두었으며 이들 thermocouple output은 thermocouple selector를 통하여 Digital thermometer와 recorder에 동시 연결하여 시간에 따른 온도를 연속적으로 기록 감시할 수 있도록 하였다. 습도는 증발접시의 wet cotton십지에서 켄 wet bulb temperature로 부터 psychrometric chart¹¹에 의해 계산해 낸다.

III. 실험 결과 및 고찰

건조현상은 수분증발로 인하여 sample의 무게가 감소되는 것이 특징이므로 무게감량으로 표현되는 건조양상은 cantilever type strain gauge load cell로 측정된 결과 시간의 경과에 대해 Fig.3과 같았다. Fig.3의 data를 일정시간 간격으로 무게를 계산한 후, 105°C 건조법으로 측정된 초기 수분함량(87.4% wet base)으로부터 각 시간에서의 무게를 건물기준 수분함량(water content, dry weight base), X로 환산한다. 건물기준 수분함량을 사용한

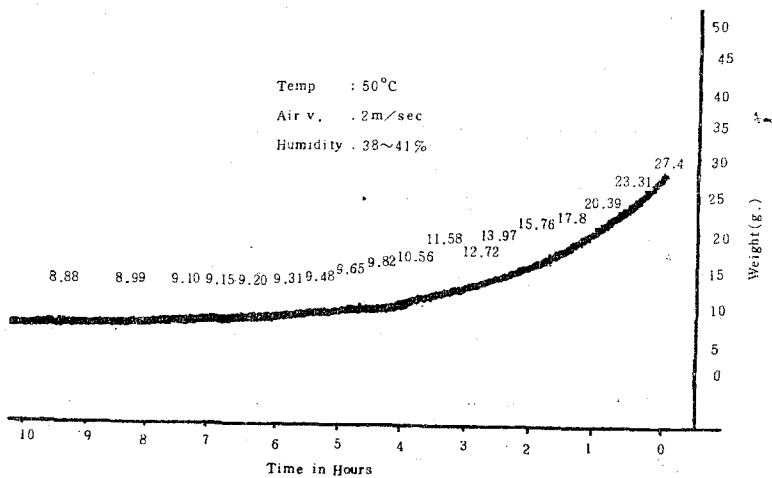


Fig.3. Dehydration phenomena represented as weight reduction at 50°C 2m/sec

이유는 건물(dry matter)은 건조의 전 과정을 통하여 변하지 않는 량이므로 이 값을 이용하여 표준화(normalize)하면, 실험에 사용한 버섯 sample의 량 혹은 무게가 다르더라도 초기 수분함량에 따라 같은 값으로 표현되기 때문에 비교하기가 쉬워지고 또한 X에 대해서 유도한 식이면, 량이나 무게에 상관없이 적용될 수 있게 되기 때문이다. Fig.4는 대표적인 실험 예로서 열풍온도 50°C, 풍속 2m/sec, humidity 38~41%의 조건에서, 건조한 시간의 경과에 대한 수분함량의 변화와 각 위치의 온도 변화를 나타내었다.

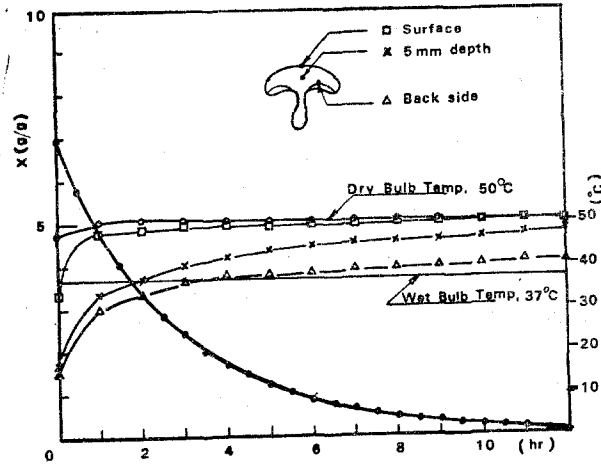


Fig.4. Water Content variation and temperature change during the dehydration period.

수분함량의 변화는 건조시간의 경과에 따라 지수함수적으로 감소함을 볼 수 있으며, 건조속도는 이 함수를 시간에 대해 미분한 값으로 표현되므로 또한 지수함수적으로 감소될 것이다. 따라서 건조곡선 방정식 및 건조속도에 관한 mathematical model을 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$X = Ae^{-kt} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{dX}{dt} = -Ak \cdot e^{-kt} = Be^{-kt} \dots\dots\dots(2)$$

단, X는 수분함량(water content, g of water/g. of dry matter), A, B는 상수(constants) k는 건조속도정수(dehydration rate constant hr⁻¹)이다. 상수 A, B는 t=0일 때에 해당되는 초기조건(initial condition)으로 A는 초기수분함량(g.H₂O/g.dry matter) B는 초기건조속도(g.H₂O/g.dry matter. hr)를 의미하고 있다. Mathematical model (1), (2)에 대해서 A, B, k 등의 상수값을 구하기 위해서 (1)식의 양변에 자연대수(natural log)를 취하면

$$\ln X = -kt + \ln A \dots\dots\dots(1)'$$

$$\therefore \log X = -\frac{k}{2.303} t + \log A \dots\dots\dots(1)''$$

가 된다. 그러므로 log X와 t를 일반 모눈종이(common monograph)에 그리거나, 또는 X와 t를 반대수용지(semi-log paper)에 그리면 직선이 얻어지고 이 직선의 slope는,

$$\text{slope} = -\frac{k}{2.303}$$

$$\therefore k = -2.303 \times \text{slope}$$

가 된다.

Fig.5는 수분함량 X 와 시간 t 를 semilog paper에 plot한 것이고, 이 그림으로부터 초기 수분함량 A 는,

$A=6.94(\text{g.H}_2\text{O/g.dry matter})$ 이고,

$$\text{slope} = \frac{\log 0.85 - \log 3.0}{6 - 2.34} = -0.15$$

$$\therefore k = -2.303 \times (-0.15) = 0.345(\text{hr}^{-1})$$

따라서, 초기 건조속도 상수 B 는,

$$B = -A k = -6.94 \times 0.345 = -2.39 (\text{g.H}_2\text{O/g.dry matter.hr})$$

가 된다.

그러므로 열풍온도 50°C , 풍속 2m/sec , humidity $38\sim 41\%$ 에서 건조곡선식 X 는

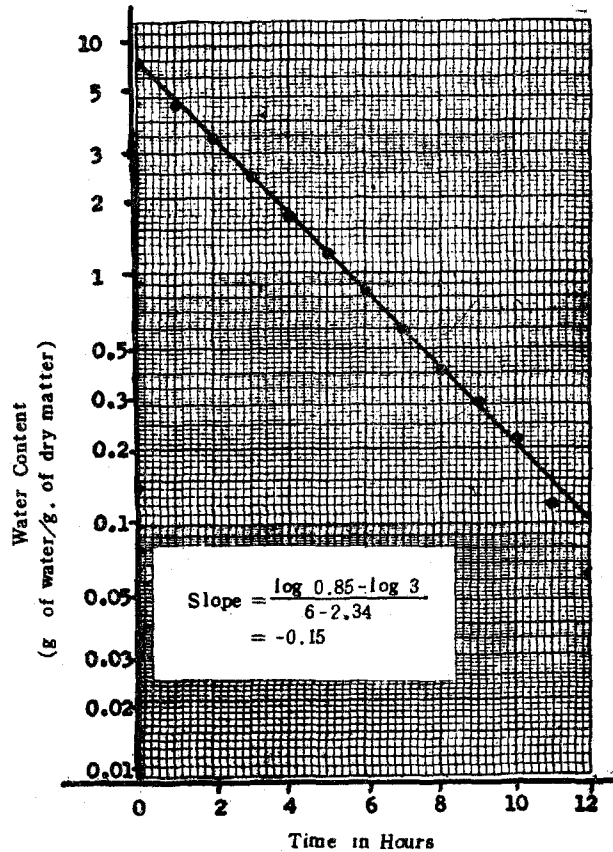


Fig.5. Water Content variation curve plotted in semilog scale.

$$X = 6.94e^{-0.345t} \dots\dots\dots(3)$$

건조속도식 dX/dt 는,

$$dX/dt = -2.39 e^{-0.345t} \dots\dots\dots(4)$$

라는 Kinetic model이 얻어졌다.

한편 열풍온도 $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 풍속 2m/sec 로 건조시킬때 버섯의 표면온도, 뒷면온도 및 심층부의 온도는 Fig.4에 나타난 바와 같았다. 심층부는 생버섯의 두께를 측정할 때 두터운 중앙부가 10mm 정도이므로 중앙부 stem 바로 윗부분 깊이 5mm 에서 측정되었는데, 건조가 진행됨에 따라 심층부의 온도가 점점 상승함을 알 수 있었다. 버섯의 표면온도 및 뒷면의 온도도 건조가 진행됨에 따라 서서히 상승하였다. 건조시간의 경과에 따라 건조속도가 느려지는 반면에 심층부의 온도가 점점 상승하여 표면온도와의 차이가 점점 줄어드는 것으로 판단할 때 표면에서 일어나는 수분증발이 점점 버섯 내부로 이동함을 알 수 있었고, 또 건조속도는 표면과 심층부의 온도차에 비례함을 알 수 있었다. 버섯 뒷면의 온도가 때로는 심층부의 온도보다 낮은 경우를 볼 수 있었던 것은, 뒷면은 주름이 많으므로 thermocouple의 위치가 주름과 주름이 맞닿는 가장 깊은 주름속에 놓이면 이런 현상이 나타난 것으로 이러한 곳은 뒷면쪽으로 이동된 수분이 열풍과 반대 방향으로 역류하여 증발하기가 쉽지 않기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 곳이 아닌 뒷면의 온도는 일반적으로 심층부의 온도보다 높았다.

건조속도에 미치는 열풍온도의 영향을 고찰하기 위해서 풍속을 일정하게 고정시키고 (1.5m/sec), 열풍온도를 변화시키면서 각각의 열풍온도에 대해서 건조실험을 하였다. 실험결과는 예측한 대로 건조곡선이 지수함수적으로 감소하였으므로 감소율을 나타내는 건조속도정수 k 값은 Fig.6의 각각의 slope에서 구할 수 있고 온도를 상승시킬수록 직선의 기울기는 증가하므로, 건조속도가 빨라짐을 알 수 있었다. 온도상승에 대해 건조속도가 증가하는 것은 일반적인 반응속도론에서는 Arrhenius relationship으로 설명하고 있으므로 Fig.7에 건조속도정수 k 에 대한 Arrhenius plot을 시도해 보았고, 그 결과 건조속도는 Arrhenius 관계에 따라 온도에 대해서 지수 함수적으로 빨라진다는 것을 확인할 수 있었다. 건조속도가 열풍온도에 대해서 Arrhenius관계에 있다는 의미는, 온도를 상승시키면 증기압이 상승되고 따라서 건조속도가 빨라지기 때문이다.

건조속도에 미치는 풍속의 영향을 검토하기 위해서 온도를 일정하게 45°C 로 고정하고 풍속을 1.0m/sec 에서 부터 점차 높혀 3.1m/sec 까지 변화시켜 앞의 실험과 같은 방법으로 실험한 후, 계산된 실험결과를 semi-log paper에 plot하면, Fig.8와 같으며 Fig.8에서 구한 직선의 기울기인 건조속도정수 k 값을 풍속에 대해서 plot하면 Fig.9과 같이 표현된다. 그런데 Fig.9에 의하면 1.0m/sec 에서 부터 2.0m/sec 까지는 풍속의 증가에 따라 반응속도정수 k 값이 상승함을 볼 수 있으나 2.0m/sec 이상으로 풍속을 더욱 높여 주면, k 값이 오히려 감소하는 현상을 볼 수 있다. 풍속에 따라 k 값이 상승하는 범위에서는 풍속이 빨라짐에 따라 수분증발이 촉진되어 k 값이 상승되었으나, k 값이 감소하는 범위에서는 버섯의 표면온

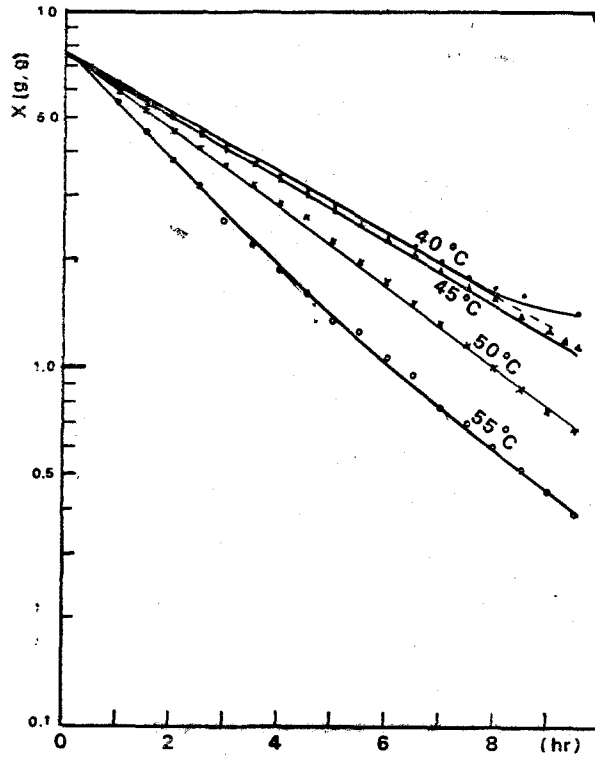


Fig. 6. Effect of temperature on water content in relation to time at constant Air velocity(1.5m/sec)

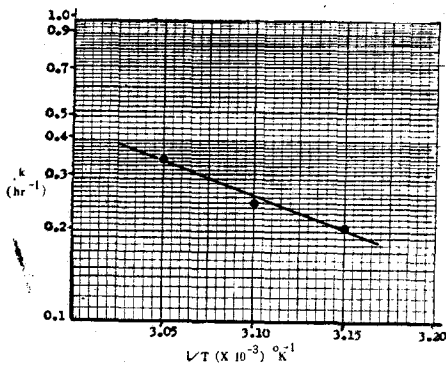


Fig. 7. Arrhenius Plot for the Dehydration rate Constant.

도나 내부온도가 동시에 떨어지는 실험결과를 나타내고 있어서, 표면경화현상(case hardening)이 일어나서 내부의 수분이동이 표면의 경화된 부분을 통과하기가 더욱 어려워진 것으로 판단된다. 따라서 건조속도를 좌우하는 인자로서는 온도 풍속외에도 표면경화현상을 막을 수 있는 다른 중요한 인자를 조절해야 할 것으로 생각된다. 이상의 실험으로부터는 풍속은 2m/sec가 적합한 건조 조건에 해당된다고 판단할 수 있다.

위의 실험고찰에 의하면, 온도는 높을수록 건조속도가 빠르고 풍속은 2m/sec가 최적상태라고 판단할 수 있었는데, 버섯의 맛과 품질면에서 50°C를 넘으면, 품질 저하가 예측되므로, 가장 적합한 건조조건이란, 열풍온도 50°C, 풍속 2m/sec일 때라고 볼 수 있다. 이

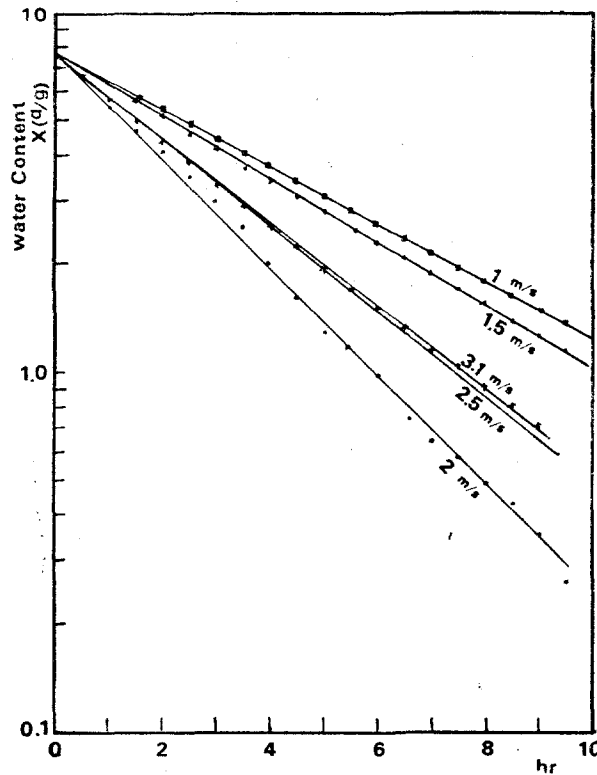


Fig.8. Effect of air velocity on water content in relation to time at constant temperature 45°C

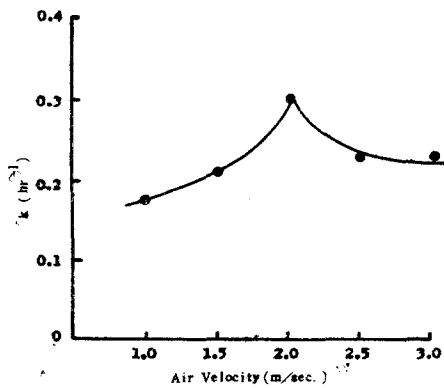


Fig.9. Effect of Air velocity on the dehydration rate constant k, at constant temperature 45°C

조건에서 건조실험을 행한 후 mathematical model을 설정하여 Kinetic model을 유도하면 건조곡선식은

$$X = 6.94e^{-0.345t}$$

건조속도식 dX/dt 는

$$\frac{dX}{dt} = -2.39e^{-0.345t}$$

로 얻어진다.

VI. 결 론

표고버섯의 열풍건조에 있어서 건조속도를 좌우하는 인자로서 열풍온도, 풍속의 영향을 고찰해 보았더니 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

풍속을 1.5m/sec로 일정하게 유지하면서 온도를 40°C에서 부터 55°C까지 변화시키면 온도가 높을수록, 건조속도는 증가했다. 또 건조속도 정수는 온도상승에 대해 Arrhenius relationship을 따른다.

온도를 45°C로 고정시킨 상태에서 풍속을 변화시키면, 1.0m/sec에서부터 2m/sec까지는 풍속을 증가시킬수록 건조속도가 증가했으나, 3.1m/sec까지는 풍속을 높이면 오히려 건조속도가 감소하였다.

적합한 건조조건的一例로서 50°C, 2m/sec에 대해서, 건조현상을 속도론적인 입장에서 규명하기 위해서 건조곡선식 및 건조속도식을 유도하였더니 각각 $X=6.94e^{-0.345t}$, $dX/dt = -2.39 e^{-0.345t}$ 라는 Kinetic model이 얻어졌다.

謝 辭

본 연구실험을 하는 동안 실험을 도와 주셨던 광주보건전문대학 식품제조과 정영화 조교님과 전남대학교 공과대학 기계공학과 조규중 교수님께 깊은 감사를 드리고, 아울러 본 연구를 위하여 학술연구 조성비를 하사하시어 격려해 주신 광주보건전문대학 정 부 학장님께 심심한 감사를 드립니다.

References

1. 平尾武司, シイタケ乾燥法, 農山漁村文化協會, 東京 昭和 53年.
2. 河合 晃, シイタケの熱風乾燥における 適正排氣量および溫度, 菌蕈研究所研究報告 5 51(1966)
3. 河合 晃, 乾燥による シイタケの光澤 芳香すよび 亂沓, 菌蕈研究所研究報告 5 56 (1966).
4. Sykes, S.M., F.H.C. Kelly, Kinetics of Drying Apple Slice., *J.Sci. Fd. Agric.*, 20 644 (1969).
5. Roman, G.N., E. Rostein & M. J. Urbicain. Kinetics of Water Vapor Desorption from Apples, *J. Fd. Sci.*, 44(1) 193 (1979).
6. 中馬 豊, 村田 敏, 岩元 陸夫, 穀類の乾燥に関する 基礎的 實驗, 農業機械學會誌 31(3) 250
7. Brennan, J.G., J.R. Butters. N.D. Cowell, A.E.V. Lilly, Ed. Food Engineering Operations 2nd ed. (Applied Science 1976)
8. Hansen, J.R., Dehydration and Hydration Kinetics of Soybean Proteins, *J. Agric. Food. Chem.*, 26(2), 297 (1978)
9. Ito, Y., M. Toyoda, H. Suzuki, M. Iwaida, Gas-liquid Chromatographic Determination with Special Reference to the relation between Carbon Disulfide and Lenthionine, *J. of Fd. Sci.*, 43(4) 1287. (1978)
10. 古田 博, 菅原龍幸, 林 淳三, 于し シイタケ 各種柄の 遊離糖, 遊離糖フルニールすよび 有機酸含量について, 日本食品工業學會誌, 26(8) 356 (1979)
11. Earle, R.L., Unit Operations in Food Processing. (Pergamon. 1966)

Kinetics of Drying Shiitake Mushroom, *Lentinus edodes* sanryun No.1

Duk-Bong Cho, Dong-Pil Kim Choon-Soon Choi
Department of Food Technology
Gwangju Health Junior College

>Abstract<

Dehydration phenomena has been studied for the shiitake mushroom *Lentinus edodes* sanryun No. 1, through which examine the effect of temperature and air velocity and derivation of its kinetics.

Temperature effect for the dehydration rate constant were examined under the constant air velocity (1.5m/sec) with the variation of temperature from 40°C to 55°C. Water content were reduced exponentially with the course of time and calculated dehydration rate constant values varies with temperature with an Arrhenius-type relationship, which had been expected in the chemical reaction kinetics.

Influence of air velocity for the dehydration rate constant under the constant temperature (45°C) showed interesting results. For the range 1.0m/sec to 2.0m/sec, dehydration rate constant values are increased with the air velocity, but for the 2.0 to 3.1m/sec, dehydration rate constant values are decreased which were caused by case hardening.

One of the selected conditions in the optimal dehydration range, temperature 50°C, air velocity 2m/sec, and its measured humidity 38~41%, mathematical model of dehydration curve and dehydration rate equations were developed and the resulting kinetic models were, $X=6.94e^{-0.345t}$ and $dX/dt=-2.39 e^{-0.345t}$.