

마이크로파 진공가열방법이 효소의 불활성화에 미치는 영향

문은경 · 한기영 · 김석신* · 김상용** · 노봉수
서울여자대학교 식품 미생물공학과, *카톨릭대학교 식품영양학과,
**동양제과(주) 기술연구소

Effects of Microwave Vacuum Heating on Inactivation of Enzymes

Eun-Kyung Moon, Ki-Young Han, Suk-Shin Kim*,
Sang-Young Kim** and Bong-Soo Noh

Department of Food and Microbial Technology, Seoul Women's University

*Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea

**R & D Center, TongYang Confectionery Co.

Abstract

Microwave vacuum heating method (2450 MHz) was used for a low intensity of heat treatments. High vacuum under the microwave heating could bring low temperature condition. Inactivation of α -amylase, β -amylase, glucoamylase and peroxidase by microwave vacuum heating were investigated at 60-80°C. It was compared with conventional heating. The heating condition of microwave vacuum heating was confirmed by the destruction of ascorbic acid. When thermal inactivations of the enzymes by microwave vacuum heating were determined, it was less effective than that of conventional method at the initial stage of heating. It was due to a lag time of microwave heating. However, the heating time for complete inactivation of the enzymes by microwave vacuum heating could be reduced comparing with that of conventional heating. Optimum conditions for inactivation of the enzymes could be obtained by microwave vacuum heating.

Key words: microwave, vacuum, glucoamylase, amylase, peroxidase, inactivation

서 론

과일 주스, 양조주 등의 식품에서 효소가 잔존하게 되면 품질의 변화를 야기시켜 저장성을 떨어뜨린다. 과일주스나 야채주스를 제조할 경우 효소나 미생물을 사멸시키기 위해 살균공정을 거치게 되는데 식품을 안정화시키는 방법으로 열처리를 가장 많이 사용한다. 이 경우 살균시간에 따라서 비타민 등 영양성분의 손실이 뒤따르게 되고 생물학적 유용성을 바꾸어 놓거나 향미성분을 손실시킨다⁽¹⁾. 또한 청주나 포도주등을 오래 숙성시키면 미생물의 대사 또는 효소의 작용으로 향미가 변하여 바람직하지 못한 냄새를 내게 되므로 청주등을 제품으로 생산하는 경우 술의 살균과정을 통하여 잔존 효소를 불활성화시킨다. 그러나 고온에서 증진의 가열 방법으로 살균하게 되면 영양성분외에 휘발성 향기 성분들이 제거될 우려가 있다. 따라서, 식품

저장에 필요한 열처리 강도를 줄일 수 있는 방법이 다각도로 연구되고 있다^(2,4). 1990년대 들어와서 열에 의한 영향을 최소화하기 위한 공정으로 electric 또는 magnetic field를 이용한 microwave radiation, ionizing radiation, light pulse, high isobaric pressure, chemical agents 등이 개발되고 연구가 진행되어 왔다⁽⁵⁻¹¹⁾.

마이크로파는 전자파의 일종으로 통상 주파수가 300~3,000 MHz 혹은 그 이상의 주파수를 갖는 극초단파를 총칭하는 것으로 현재 많이 쓰이고 있는 것은 915 MHz (파장 32 cm)와 2,450 MHz (파장 12 cm)⁽¹²⁾으로 식품의 데치기 공정, 조리, 건조, 저온살균, 살균, 해동 등의 다양한 공정으로 식품산업에 이용되어져 왔다⁽¹³⁾. 마이크로파 에너지는 마이크로파의 주파수에 의해 진동되어 생긴 에너지를 가지고 빠른 속도로 움직이는데 이러한 과정에서 어떤 물질이 마이크로파를 흡수하게 되면 온도의 상승으로 나타난다. 종래의 가열은 발열체에 의한 복사, 대류, 전도에 의한 가열인데 반해 마이크로파 가열은 분자운동에 의한 내부발열을 주체로 하기 때문에 특별한 열매체가 필요 없으며 매

Corresponding author: Bong-Soo Noh, Department of Food and Microbial Technology, Seoul Women's University, Nowon-gu, Seoul 139-774, Korea

우 빠르게 피가열체 내부에 침투하여 열에너지로 변환하기 때문에 열전도에 요하는 시간이 불필요하다⁽¹⁴⁻¹⁵⁾. 또한 전파가 내부로 진입되어 가열되기 때문에 내부와 표면의 온도차가 비교적 적게 된다. 따라서 마이크로파는 내부 발열에 의한 균일 가열에 의해 전체가열 시간이 짧아 식품의 외부와 내부가 거의 동등한 살균 효과가 얻어지며 전체 살균시간이 짧아 맛, 향, 색, 열에 민감한 물질의 품질유지에 적합한 가열 시스템이다⁽¹⁶⁻¹⁹⁾.

이러한 마이크로파의 성질을 이용하여 Decareau 등⁽²⁰⁾은 macaroni를 건조시킨 경우 색깔과 조직감이 좋고 bacteria 수도 많이 감소하였으며 Meisel⁽²¹⁾은 과일주스를 마이크로파 진공건조하였을 때 건조분말에서 ascorbic acid와 dehydroascorbic acid의 양이 거의 유지되었으며 다른 건조 방법보다 휘발성 성분에 대한 영향이 적었다고 보고하였다.

콩속의 lipoxigenase와 trypsin inhibitor는 열안정성 때문에 기존의 가열 방법에 의해서 불활성시키기가 쉽지 않으나 Esaka 등⁽²²⁾의 연구에서는 마이크로파에 의해 4분 내에 완전히 불활성화됨을 보여 주었다. 또한 Owusu-Ansah 등⁽²³⁾은 canola 종자씨내의 myrosinase를 불활성화시키기에 있어 마이크로파 가열이 성공적이라고 했다. 이외에도 마이크로파를 이용하여 효소를 불활성화시키거나 미생물을 사멸시키는 연구가 많이 진행되었는데⁽²⁴⁻³⁰⁾ 이와 같은 연구들에 의하면 마이크로파 가열처리가 기존의 방법에 비해 처리시간이 짧으며 영양성분의 파괴나 휘발성 성분의 손실이 적음을 알 수 있었다. 그러나 정 등⁽³¹⁾은 마이크로파를 이용하여 ground beef patties를 가열처리한 것과 기존의 방법으로 가열처리한 것을 비교하여 본 결과 bacteria수와 향기성분 면에서 마이크로파 가열처리가 오히려 기존의 가열처리 방법보다 더 바람직하지 않았다고 하였다. 이러한 결과는 그의 다른 연구⁽³²⁾에서도 보고되었는데 이것은 마이크로파의 경우 유도되어진 진동과 짧은시간동안 처리한 것과 마이크로파에 의한 것으로 생각되었다.

한편, 赤星⁽³³⁾은 감압하에서 마이크로파를 조사하여 β -amylase를 실험시켜 기존의 방법과 비교하여 마이크로파 가열의 특수효과를 연구하였는데 기존의 가열과 비교해서 마이크로파 가열이 단시간내에 실험시킬 수 있었다. 같은 온도에서 가열 시간이 감소하는 것은 마이크로파의 특수효과 때문이라고 보고하였다.

본 실험의 목적은 가열에 의한 식품의 품질 변화를 최소로 하기 위한 방법에 하나로 마이크로파 진공가열에 의한 저온 가열처리를 행하면서 마이크로파의 특

수효과를 확인하고자 기존의 열처리 방법과 비교하였으며 이를 위해 비타민 C의 손실정도가 동일한 조건에서, 마이크로파 진공가열 방법이 식품의 품질에 관여하는 효소의 불활성화에 미치는 영향을 알아보하고자 하였다. 효소로는 양조주에 관여하는 amylase와 과일이나 야채 등에 폭넓게 함유되어 있는 peroxidase의 불활성화에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

L-Ascorbic acid(Avondale Laboratories, England) 분말을 5% HPO₄로 희석하여 비타민 C 용액으로 사용하였다. α -Amylase(東京化成工業(株)), β -amylase(東京化成工業(株)), glucoamylase(두산기술원)는 pH 4.5~5.2 인 50 mM 초산완충용액으로 희석한 후 30~55°C에서 1시간 동안 교반하면서 활성시킨 후 여과하여 그 여액을 효소액으로 사용하였다. Peroxidase 조효소액은 오이를 갈아서 면포로 압착시킨 후 그 즙액을 두차례 여과하여 그 여액을 조효소액으로 사용하였다.

마이크로파 진공가열방법

Fig. 1과 같이 전자렌지(LG, ER-7020B, 2450 MHz) 한쪽 벽에 구멍을 내고 tube를 끼워 감압용 플라스크-cold trap-진공펌프를 연결하였다. Cold trap에는 dry ice를 채워 증발되는 시료가 진공펌프로 들어가는 것을 막았다. 감압용 삼각 플라스크내에 미세한 유리관을 잘게 잘라 넣어 감압에 의한 증발을 억제하는 효과를 유도하였다. 여기에 29 mL의 완충용액과 1 mL의 효소액을 넣고 전자렌지내에서 일정시간 가열처리한 후 곧바로 얼음욕조에 넣어 냉각 시켰다.

기존의 가열방법

순환조(Model 9-11, Jeio Tech., Korea)를 이용하여 수욕조의 온도를 일정하게 유지시키고三口플라스크내에 29 mL의 완충용액을 넣고 자석교반기로 계속 교반하여 가열온도를 일정하게 유지한 뒤 1 mL의 시료

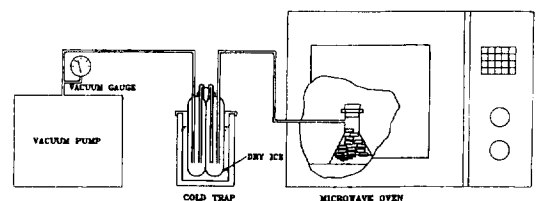


Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus for microwave-vacuum heating.

를 넣어 교반, 가열하였다. 일정시간 가열처리를 한 후 시료를 채취하여 곧 바로 얼음욕조에 넣어 냉각시켰다⁽⁴⁴⁾.

비타민 C 측정

2,4-Dinitrophenyl hydrazine (DNP) 방법⁽⁴⁵⁾으로 측정하였다. 비타민 C 용액을 가열처리한 후 2 mL를 취해 dichlorophenol indophenol(DCP)용액 1 mL을 가한 뒤 1분간 방치하였다. SnCl₂ 0.2 mL를 첨가하고 DNP 1 mL를 넣어 50°C에서 1시간 방치한 다음 85% H₂SO₄ 5 mL를 서서히 가한 후 분광광도계(Hewlett Packard 8452A, diode array spectrophotometer)로 540 nm에서 흡광도를 측정하여 총 비타민 C를 구하였다. DCP를 가하지 않고 위의 방법과 같이 처리하여 산화형 비타민 C를 구한 뒤 총 비타민 C에서 가감하여 환원형 비타민 C를 구하였다.

Amylase 활성 측정법

가용성 전분용액 5 mL를 기질로 하여 효소액 1 mL를 가한 것과 효소액 대신에 증류수 1 mL를 가한 것을 대조구로 하였다. 반응용 시료와 대조구를 완충용액으로 최적 pH를 맞추고 최적 온도에서 효소액을 반응시킨 후 냉각하여 활성을 정지시켰다. 0.1 N I₂ 용액 20 μ L를 가하고 660 nm에서의 흡광도를 측정하여 1분당 흡광도의 변화를 1 unit (arbitrary unit)으로 하였다⁽⁴⁶⁾.

Peroxidase 활성 측정법

50 mM 초산완충용액(pH 5.5) 3.0 mL에 효소액 0.02 mL, 3 mM H₂O₂ (Hayashi pure chemical Co. Ltd.) 0.6 mL와 1% *p*-phenylenediamine (Junsei chemical Co. Ltd.) 0.8 mL를 차례로 혼합한 후에 반응시켜 얻은 생성물의 흡광도를 475 nm에서 측정하였다. 이 때 1분당 흡광도의 변화를 1 unit으로 하였다⁽⁴⁷⁾.

Microwave power의 영향

0.1% 비타민 C 용액과 α -amylase 효소액을 만들어 30배 희석한 후 감압 플라스크에 넣고 마이크로파로 열 처리를 하였다. 본 실험에서 사용한 전자렌지의 최대출력은 650W로 0-650W에서 microwave power가 10단계(1-10)의 버튼으로 구분되어 있다. Microwave 출력을 달리하여(microwave power button 2, 4, 8) 가열처리 하였을 때의 비타민 C 파괴정도와 가열시간과의 관계를 조사하였다.

마이크로파 진공가열방법과 기존의 가열방법간의 비교

전자렌지 내에 시료를 넣은 감압용 플라스크와 진공펌프를 연결하여 가열할 때 감압정도에 의해 온도가 변화되므로 microwave 출력버튼을 1, 2로하고 압력을 160, 260, 360 mmHg로 달리하여 가열하였을 때 처리시간에 따른 비타민 C 파괴정도를 조사하였다. 한편 기존의 가열방법에 따라 비타민 C의 파괴와 각 효소의 불활성 정도를 비교하였다.

결과 및 고찰

비타민 C 에 의한 온도예측

Fig. 2a는 Microwave 출력버튼 2, 4, 8 별로 1~5분간 가열처리 하여 가열시간에 따른 비타민 C의 파괴정도를 나타낸 것이다. 1분간 가열한 경우 비타민 C의 잔존량은 microwave 출력정도간에 차이가 적었으며 lag time의 영향으로 초기부터 1차반응을 보이지 못하고 lag time이후부터 직선적인 관계를 나타내는 형태를 보여주고 있으나 microwave 출력버튼을 1로 낮추고 감압정도는 160, 260, 360 mmHg로 달리하여 10분간 가열했을 때 가열시간에 따른 비타민 C 파괴정도는 1차반응 관계식에 따르고 있음을 보여 주었다(Fig. 2b). 감압정도에 따라 다른 경향을 보였는데 이는 감

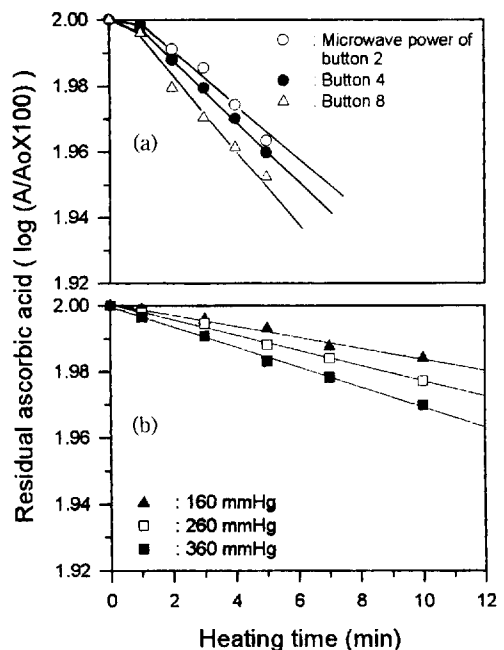


Fig. 2. Destruction of vitamin C by microwave vacuum heating. a: at the different microwave power, b: at the different vacuum condition with the power of button number 1 of microwave oven.

Table 1. Rate constant for destruction of vitamin C with conventional heating

Temperature (°C)	Rate constant (min ⁻¹)
60	0.00531
65	0.00695
70	0.00903
75	0.01198
80	0.01485

압정도가 크면(160 mmHg) 상평형에 의해 끓는 점이 내려가므로 낮은 온도를 유지할 수 있기 때문이다. Microwave 출력세기를 낮게 선택한 것은 출력세기를 크게 할 경우 증발이 매우 많이 일어나 5분 이상 가열할 경우 시료가 거의 증발되어 버리고 향기성분과 같이 낮은 휘발도를 갖는 성분의 경우 기존의 마이크로파 가열 방법은 적용하기가 어렵기 때문에 출력세기를 낮게 하였다. 한편, 증발량을 최소화할 목적으로 감압용 플라스크내부에 첨가된 미세 유리관의 효과를 파악하기 위하여 증발된 양을 조사한 결과, cold trap에서 얻어진 양은 1%미만이었으며 이중 비타민 C 함량을 측정된 결과 0.04%로 아주 작은 값으로 나타나 이 정도의 양은 무시할 수 있었다.

가열 온도를 60~80°C로 달리하여 10분간 기존의 방법으로 가열하였을 때 비타민 C의 파괴속도 상수는 일차반응으로 나타났다(Table 1). 이것을 Arrhenius 관계식에 대입하면

$$k = A_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

A₀: 빈도계수 [min⁻¹], E_a: 활성화 에너지 [J/kmol]

R: 기체상수 [8,314 J/kmol · K], T: 절대온도(K)

k: 1차반응속도상수 [min⁻¹]

식 (1)을 이용하여 활성화에너지를 구하고 Arrhenius 관계식을 이용하여 마이크로파 진공가열에서의 가열온도를 예측하였는데 두 온도에서의 반응속도 상수간의 관계는 식 (2)와 같으며

$$\ln \frac{K_m}{K_c} = -\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_m} \right) \quad (2)$$

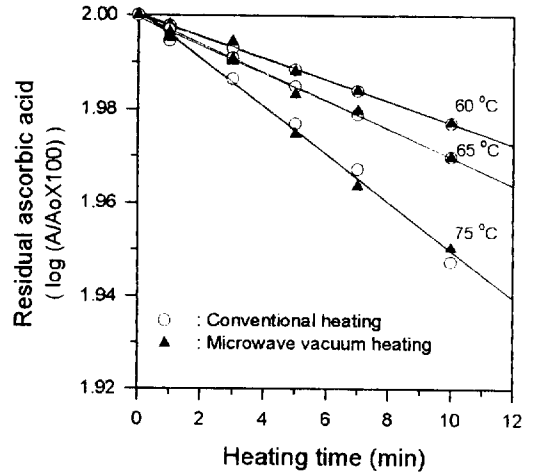
K_m: 마이크로파 진공가열시 비타민 C 파괴속도 상수

K_c: 기존의 가열방법에 의한 비타민 C 파괴속도 상수

T_m: 마이크로파 진공가열시 온도

T_c: 기존의 가열방법시 온도

이 관계로부터 마이크로파 진공가열시 온도(T_m)을 구하면

**Fig. 3.** Destruction of vitamin C by microwave vacuum heating and conventional method.

$$T_m = \frac{1}{\frac{R}{E_a} \ln \frac{K_m}{K_c} + \frac{1}{T_c}} \quad (3)$$

이다.

Fig. 3은 기존의 방법으로 가열한 것과 감압하에서 마이크로파로 가열한 것의 비타민 C 파괴곡선을 비교한 것이다. 60, 65°C는 microwave 출력버튼 1로 260, 360 mmHg 압력하에서 가열한 것이며 75°C는 microwave 출력버튼 2로 360 mmHg 압력하에서 가열한 것이다. 그리고 각각의 경우 기존의 열처리 방법으로 비교하였다. 계산된 활성화에너지를 대입하여 식 (3)에 의하여 가열시의 온도를 예측한 결과 마이크로파 진공의 경우 60.29, 65.24, 75.40°C로 기존의 가열방법의 경우 가열온도가 60, 65, 75°C인 것과 비교하여 각각 0.48, 0.36, 0.53%의 오차를 나타내 가열온도 조건이 거의 같다고 가정하고 이 조건에서 각각 효소의 활성도를 측정하여 불활성화 정도를 비교하였다.

마이크로파 진공가열방법에 의한 효소의 열불활성화

Fig. 4a는 microwave 출력을 달리하여 1~4분간 가열했을 경우 α-amylase의 실활되는 정도를 나타낸 것이다. 초기 1분 동안에는 잔존효소활성이 91.3~95.9%로 실활이 많이 일어나지 않았는데 이는 lag time의 영향 때문으로 보인다. Microwave 출력버튼이 4일 경우에는 2분간 처리시 거의 대부분이 실활되었다. Fig. 4b는 microwave 출력버튼을 1로 하고 압력을 160, 260, 360 mmHg로 달리하여 10분동안 가열했을 때의 α-amylase의 실활정도를 나타낸 것이다. 초기 1분 동안에는 lag time 영향으로 효소활성이 97.5~97.8% 남아 실

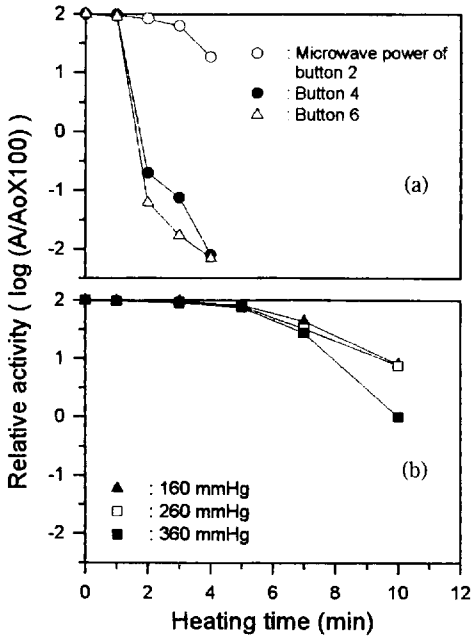


Fig. 4. Inactivation of α -amylase by microwave vacuum heating. a: at the different microwave power, b: at the different vacuum condition with the power of button number 1 of microwave oven.

활정도가 적었으며 감압정도에 따른 α -amylase의 실활되는 정도의 차이는 크지 않았다. 360 mmHg의 경우 10분간 가열했을 때 거의 99%가 실활되었다.

65°C에서 기존의 가열 방법에 의한 비타민 C의 파괴속도($k=0.00695 \text{ min}^{-1}$)과 360 mmHg하에서 microwave power 1로 가열하였을 때 비타민 C 파괴속도($k=0.00738 \text{ min}^{-1}$)은 5.7%의 차이를 보였는데 기존의 가열의 경우 반응속도상수의 표준편차가 거의 0에 가까운 반면에 마이크로파 진공가열의 경우 반응속도상수의 표준편차가 6% 정도로 나타나 5.7%의 차이는 실험오차로 간주하였다. 이 조건에서 α -amylase의 실활 정도를 비교하였는데 Fig. 5a와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 9분 이전에서는 기존의 가열 방법에 의한 α -amylase의 불활성 정도가 컸으나 9분 이후에는 마이크로파 진공가열 방법에 의해서 α -amylase가 완전히 실활되었다. Fig. 5b는 microwave 출력버튼 1, 압력 260 mmHg인 조건에서의 마이크로파 진공가열 방법에 의한 α -amylase 실활곡선과 60°C에서의 가열에 의한 실활 곡선을 비교한 것이다. 이 두 조건 역시 비타민 C 파괴속도가 같게 나타났던 조건으로 5분간 가열했을 때 효소력이 64.4%, 마이크로파 진공가열의 경우는 77.2% 남아 있어 6분 이전에서는 기존의 가열방

법에 의한 α -amylase의 불활성 정도가 더 컸으나 6분 이상 가열했을 경우는 마이크로파 진공가열 방법에 의한 불활성 정도가 더 큰 것으로 나타났다. 10분 이상 가열할 경우 마이크로파 진공가열에 의해 α -amylase의 실활 정도가 차이가 더 컸는데 이것은 기존의 열처리 방법은 열에 의해서만 효소의 활성이 영향을 받는데 비하여 마이크로파 진공가열에서는 열에 의한 영향이외에 마이크로파에 의해 분자내부의 심한 진동을 일으켜 효소단백질의 활성부위에 영향을 준 것이 아닌가 생각된다^(38,39). 이 결과는 감압하에서 마이크로파를 조사하여 효소를 실활시켜 기존의 방법과 비교한 赤星⁽⁴⁰⁾의 결과와 일치했다. 赤星⁽⁴¹⁾은 마이크로파 가열방법이 같은 온도에서 기존의 가열 방법보다 가열처리 시간이 적은 이유는 마이크로파의 특수 효과가 존재하기 때문이며 그로 인하여 자연 단백질(native protein)과 생리활성 물질에 존재하는 관능기들이 전장에 배향되어 심한 진동을 받아 변성되거나 생리활성 능력이 떨어지기 때문이라고 하였다. 또한 Stevens⁽⁴²⁾는 electromagnetic field가 각각의 세포나 조직 등과 작용하여 생물학적 변화를 일으키며 DNA와 RNA의 기능을 저해시킨다고 하였다. 그러나 이러한 microwave 특수효과를 입증하기는 매우 어려우며 Decareau⁽⁴³⁾는 microwave에 의한 미생물의 사멸이나 효소의 실활은 단지 열에 의해서만 영향을 받는다고 하였고, Goldblith 등⁽⁴⁴⁾은 *Escherichia coli*와 *Bacillus subtilis*에 대한 마이크로파 가열방법과 기존의 가열방법의 영향에 대한 연구에서 미생물들은 단지 열에 의해서만 파괴된다고 하였다.

65°C에서 가열에 의한 비타민 C의 파괴정도와 같은 조건으로 360 mmHg 감압하에서 microwave 출력버튼 1로 가열한 조건에서 β -amylase의 실활정도를 비교한 결과 α -amylase와 유사한 경향을 보였다(Fig. 5c). 가열시간 4분 이후부터는 마이크로파 진공 가열 방법에 의해서 효소의 실활이 기존의 방법보다 더 빠른 속도로 진행되었으며 10분간 가열했을 때 기존의 가열방법에 의한 효소력은 56.4%, 마이크로파 진공가열에 의한 효소력은 2.9%로 큰 차이를 보였다(Fig. 5d). 결국 비타민 C 파괴속도는 같은 조건이지만 β -amylase 효소의 실활속도는 낮은 온도 조건하에서 마이크로파 진공가열방법이 기존의 가열방법 보다 더 빠르므로 효과적인 가열방법이라 할 수 있을 것이다.

Fig. 6a에서 보는 바와 같이 내열성이 강한 glucoamylase는 α -amylase와 β -amylase 보다 높은 온도에서 열불활성화시키는데 필요한 가열시간도 증가하였다. 가열시간에 따라 효소의 열불활성화는 가열시간

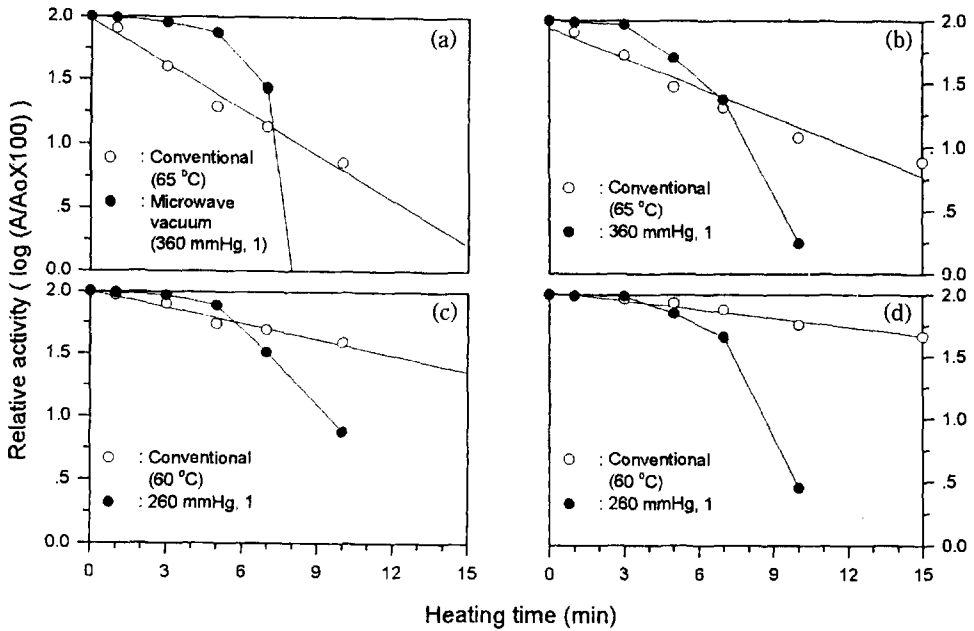


Fig. 5. Inactivation of α - and β -amylase by microwave vacuum heating and conventional method. It was heated by microwave vacuum method at the power of the button 1 under vacuum at 260 mmHg and conventional heating at 60°C. a: at 65°C (α -amylase), b: at 60°C (α -amylase), c: at 65°C (β -amylase), d: at 60°C (β -amylase).

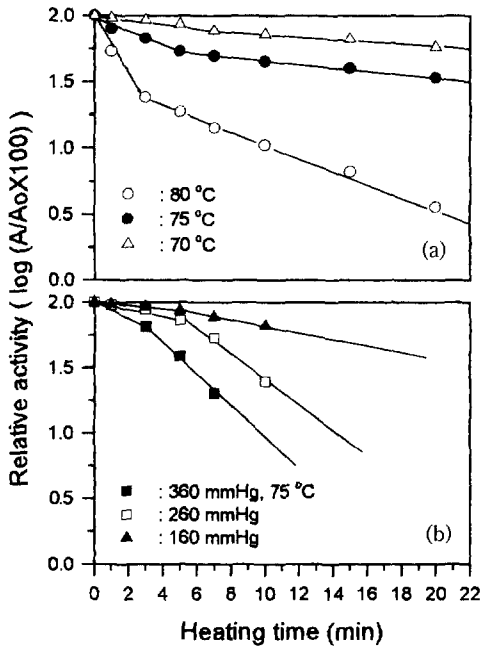


Fig. 6. Inactivation of glucoamylase by conventional method (a) and microwave vacuum heating (b) at power of the button 2 in microwave oven.

이 증가함에 따라 변성된 효소단백질이 열침투로부터 보호하여 상대적으로 열에 안정한 형태의 불활성화

곡선을 나타내는 biphasic 형태의 곡선을 보여 주고 있는데 마이크로파 출력버튼을 2로 하여 감압을 걸었을 때는 이러한 현상이 나타나지 않고 초기 1분간 효소력이 96.8~95.0%로 감압조건별로 효소의 열불활성 정도가 비슷하였으나 가열이 진행됨에 따라 효소의 실활 정도의 차이가 증가하였다. 전반적으로 초기에 미세한 lag time에 의한 적은 양의 불활성화가 이루어지고 있으며 이후부터는 훨씬 빠른 속도로 불활성화가 이루어지고 있어 열처리 이외의 효과가 내재하고 있음을 암시하였다(Fig. 6b).

가열온도 70~80°C에서 20분간 기존 방법으로 가열함에 따라 peroxidase의 실활정도를 나타낸 것이 Fig. 7a와 같으며 Fig. 7b는 microwave 출력버튼을 2로 하고 압력을 160, 260, 360 mmHg 로 달리하여 1~12분간 가열하였을 때의 peroxidase의 실활정도를 나타낸 것이다. 가열시간 5분까지는 감압정도에 따른 차이가 적었으나 가열이 진행됨에 따라 압력별로 실활정도가 달랐다. Peroxidase는 열에 안정하여 α -amylase나 β -amylase에 비해 가열온도가 높았고 가열시간이 길었다. 70°C에서 가열한 경우 amylase는 빠른 속도로 실활되었으나 peroxidase는 20분간 가열하여도 실활정도가 크지 않았으며 실활속도가 느렸다. 75°C에서 가열한 것과 microwave power 2로 360 mmHg 하에서 가열한 비타민 C의 파괴곡선은 거의 같았으며 이 조건

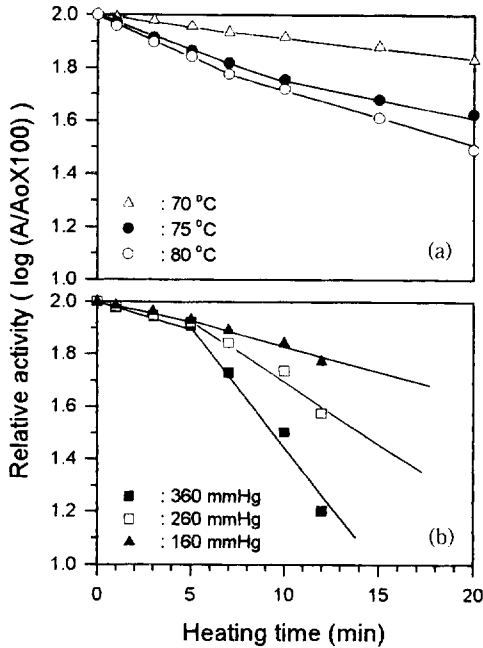


Fig. 7. Inactivation of peroxidase by conventional method (a) and microwave vacuum heating (b) at the power of the button 2 in microwave oven.

에서 5분간 가열했을 때 기존의 열처리 방법은 효소력이 73.5%, 마이크로파 진공가열에 의한 것은 효소력이 81.2%로 가열시간 6분 이전에서는 마이크로파 진공가열에 의한 peroxidase의 실활정도가 기존의 가열 방법보다 적었으나 그 이후에는 마이크로파 진공가열 방법에 의한 실활속도가 빠른 것으로 나타났다. 이것은 앞의 amylase 실험의 결과와 유사한 경향으로 같은 온도 조건에서 기존의 가열방법보다 마이크로파 진공가열이 효소가 완전히 실활되는데 걸리는 시간이 적었으며 실활속도가 빨랐다. 이러한 결과로 보아 마이크로파의 특수효과가 존재하는 것으로 생각되며 당화나 액화복적으로 가공과정중 이용된 효소가 더 이상의 반응이 바람직하지 않다면 열에 의한 식품의 품질 변화를 최소화하기 위해 저온에서 효소를 불활성화시키는 방법으로 마이크로파 진공가열방법을 선택하는 것이 기존의 가열방법보다 더 바람직한 방법이라 할 수 있을 것이다.

요 약

식품의 저장과 가공과정에서 품질을 저해시키는 바람직하지 못한 효소를 불활성화시키기 위하여 식품을 살균시키는 경우 고온에서 가열처리하게 되면 다른

성분들이 파괴될 우려가 있다. 따라서 열에 의한 영양 파괴를 최소화 하기 위해 감압상태에서 마이크로파를 이용하여 저온에서 가열처리하는 방법을 사용하였다. 이 가열방법을 사용하여 α -amylase와 β -amylase, glucoamylase, peroxidase의 열불활성화를 측정하였고 이를 기존의 가열방법과 비교하였다. 60°C에서 기존의 방법으로 가열했을 경우와 260 mmHg의 감압상태하에서 microwave (출력버튼 1)를 이용하여 가열했을 경우 비타민 C 파괴 정도는 거의 같았다. 이와같은 조건에서 α -amylase와 β -amylase의 불활성화를 조사하였으며 초기에는 lag time의 영향으로 기존의 방법에 비해 잔존활성이 많이 남아 있었으나 완전히 실활되는데 걸리는 시간은 마이크로파 진공가열방법을 이용한 경우가 더 짧았다. 또한 75°C에서 기존의 열처리 방법으로 했을 경우와 360 mmHg의 감압상태에서 microwave (출력버튼 2)를 이용하여 가열했을 경우 비타민 C 파괴정도가 거의 같았는데 이와 같은 조건에서 glucoamylase와 peroxidase의 불활성화를 조사하였으며 실활되는데 걸리는 시간은 이 경우에도 마이크로파 진공가열 방법을 이용한 경우가 더 짧았다. 저온에서 마이크로파 진공가열방법에 의해 효소를 불활성화시키는 가열조건을 얻었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 보건복지부의 보건의료기술연구 개발사업 "마이크로파 진공건조기술을 이용한 건강보조식품의 건조분말화 연구"와 서울여자대학교 교내연구비에 의해 수행되었음을 깊이 감사 드립니다.

문 헌

1. Karel, M., Fennema, O.R., Lund, D.B.: *Physical Principles of Food Preservation*. Marcel dekker, Inc., New York and Basel, p.31 (1975)
2. Ohlsson, T.: Minimal processing preservation methods of the future: An overview. *Trends in Food Sci. Technol.*, **5**, Nov., 341 (1994)
3. 최수진, 노봉수 : 신제품 개발전략으로서 hurdle technology, *식품과학과 산업*, **29**, 45 (1996)
4. Banks, J.G., Board, R.G., Sparks, N.H.: Natural antimicrobial systems and their potential in food preservation of the future. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, **8**, 103 (1986)
5. Lopez, P., Sala, F.J., Jaan, L., Condon, S., Raso, J. and Burgos, J.: Inactivation of peroxidase, lipoxygenase and polyphenol oxidase by nanothermosonication. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 252 (1994)
6. Mertens, B. and Knorr, D.: Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.*, **5**, 124

- (1992)
7. Loaharanu, P.: Food irradiation. In *New Methods of Food Preservation*, Gould, G.W. (Ed.), Blackie Academic & Professional, p.90 (1995)
 8. Knorr, D.: Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology. In *New Methods of Food Preservation*, Gould, G.W. (Ed.), Blackie Academic & Professional, p. 159 (1995)
 9. Sala, F.J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P. and Raso, J.: Effect of heat and ultrasound on microorganism and enzymes. In *New Methods of Food Preservation*, Gould, G.W. (Ed.), Blackie Academic & Professional, p. 176 (1995)
 10. Fryer, P.: Electrical resistance heating of foods. In *New Methods of Food Preservation*, Gould, G.W. (Ed.), Blackie Academic & Professional, p.205 (1995)
 11. Sitzmann, W.: High voltage pulse techniques for food preservation. In *New Methods of Food Preservation*, Gould, G.W. (Ed.), Blackie Academic & Professional, p.236 (1995)
 12. Kim, S.S.: Microwave vacuum drying of plain yogurt. Ph.D thesis. The Ohio State University (1991)
 13. 금준석: 마이크로파 가열에 의한 새로운 식품개발과 응용. *식품기술*, 7, 81 (1994)
 14. Mudgett, R.E.: Microwave properties and heating characteristics of foods. *Food Technol.*, 6, 84 (1986)
 15. Daniel, B.: Microwave formulation: A new wave of thinking. *Prepared foods*, 70 (1987)
 16. Yoshida, H., Nirooma, N. and Kajimoto, G.: Microwave heating effects on relative stabilities of tocopherols in oils. *J. Food Sci.*, 34, 1042 (1991)
 17. Risch, S.J.: Flavours for microwavable foods. *Cereal Food World*, 34, 226 (1989)
 18. Velupillai, L., Verma, L.R. and Wadsworth, J.I.: Quality aspects of microwave-vacuum-dried parboiled rice. *Trans. ASAE*, 32, 1759 (1989)
 19. Canet, W. and Hill, M.A.: Comparison of several blanching methods on the texture and ascorbic acid content of frozen potatoes. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 22, 273 (1987)
 20. Decareau, R.V.: *Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, Inc., Orlando, Fla, p.1 (1985)
 21. Meisel, N.: Microwave vacuum drying by Gigavec process for continuous manufacture of instantly soluble fruit powders. *Microwave Energy Appl. Newsletter*, 12(6), 3 (1989)
 22. Esaka, M., Susuki, K. and Kubota, K.: Effects of microwave heating on lipoxigenase of winged bean seeds. *J. Food Sci.*, 52, 1738 (1987)
 23. Owusu-Ansah, Y.J. and Marianchult, M.: Microwave inactivation of myrosinase in canola seeds. *J. Food Sci.*, 56, 1372 (1991)
 24. Daniel, Y.C. and Cunningham, F.E.: Effect of microwaves on microorganisms in foods. *J. Food Prot.*, 43, 641 (1980)
 25. Maheshwari, P.N., Stanley, D.W. and Vande-Voort, F.R.: Microwave treatment of dehulled rapeseed to inactivate myrosinase and its effect on oil and meal quality. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 57, 194 (1980)
 26. Wang, S.H. and Toledo, M.C.F.: Inactivation of soybean lipoxigenase by microwave heating: Effect of moisture content and exposure time. *J. Food Sci.*, 52, 1344 (1987)
 27. David B.J., Robert, C.L. and David, A.S.: Enzymatic hydroperoxide initiated effects in fresh fish. *J. Food Sci.*, 52, 596 (1987)
 28. Crespo, F.L. and Ockerman, H.W.: Thermal destruction of microorganisms in meat by microwave and conventional cooking. *J. Food Prot.*, 40, 442 (1977)
 29. Self, K.P., Burfoot, D., Wilkins, T.J. and James, S.J.: Microwave pasteurisation of prepacked sliced ham. In *Process Engineering in the Food Industry*, Elsevier Appl. Sci., U.K., p.33 (1990)
 30. List, G.R., Mounts, T.L., Lanser, A.C. and Holloway, R. K.: Effects of moisture, microwave heating and live steam treatment on phospholipase D activity in soybeans and soy flakes. *J. Am. Oil Chem Soc.*, 67, 867 (1990)
 31. Chung, M.S. and Chung, S.S.: Conventional and microwave energy during refrigerated storage. *Foods Biotechnol.*, 2, 80 (1993)
 32. Bodrero, K.O., Pearson, A.M. and Magee, W.T.: Optimum cooking times for flavor development and evaluation of flavor quality of beef cooked by microwaves and conventional methods. *J. Food Sci.*, 45, 613 (1980)
 33. 赤星高一: 마이크로파加熱による アミラーゼおよびフルコアミラーゼの失活. 日本食品學會 第24回大會 シニホシウム講演集, p.33 (1977)
 34. 박관화, 김재욱, 신재두, 노봉수: Papaya 중의 단백질 분해효소와 peroxidase의 열불활성화. *한국식품과학회지*, 11, 171 (1979)
 35. Wiley, J.: *Methods of Vitamin Assay*. Association of vitamin chemists. Inc., p.312 (1966)
 36. 주현규, 조광연, 박종균, 조규성, 채수규, 마상조: 식품 분석법, 학문사, 서울 p.280 (1995)
 37. 윤은석, 강수정, 노봉수, 최연호: 돼지감자 peroxidase의 분리와 특성. *한국식품과학회지*, 25, 565 (1993)
 38. Dodge, C.H. and Glaser, Z.R.: Trends in nonionizing electromagnetic radiation bioeffects research and related occupational health aspects. *J. Microwave Power*, 12, 319 (1977)
 39. Cope, F.W.: Superconductivity-A possible mechanism for nonthermal biological effects of microwaves. *J. Microwave Power*, 11, 267 (1976)
 40. 赤星高一: 마이크로파加熱によるペロキシダーゼの失活. 日本食品學會 第24回大會 シニホシウム講演集, p.48 (1977)
 41. 赤星高一: 食品製造 における電子工學技術. 日本食品學會 第24回大會 シニホシウム講演集, p.38 (1977)
 42. Stevens, W.K.: Scientists debate health hazards of electromagnetic fields. *The New York Times*, July 11 (1989)
 43. Goldblith, S.A. and Wang, D.I.C.: Effects of microwaves on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Appl. Microbiol.*, 15, 1371 (1967)