

가정용 전자렌지의 마이크로파 처리가 식품의 보존성에 미치는 영향

우임선 · 고용덕* · 정희엽* · 서창환* · 정신교 · 박희동
경북대학교 식품공학과, (주)LG전자 생활시스템 연구소*

Effects of Microwave Treatment on the Preservation of Foods

Im-Sun Woo, Young-Duck Ko*, Hee-Youp Jeong*, Chang-Hwan Seo*
Shin-Kyo Chung, and Heul-Dong Park

Dept. of Food Science and Technology, Kyungpook National University

**Living System Research Laboratory, LG Electronics Inc.*

Abstract

The effects of microwave treatment on the perservation of foods, such as a seaweed soup and seasoned radish shreds, were studied. Microwave treatment of microbial cell suspensions revealed that viable cells decreased dramatically when heated to 60°C. However, it was unlikely that microwave treatment to 60°C is enough to decrease the viable cell counts efficiently in a seaweed soup and radish shreds. It was thought that microwave heating to at least 70°C as a final temperature was an important factor to reduce microbial cell counts in foods. When foods were heated to 70°C with a repetitive 15 sec "on" followed by 30 sec "off", no big differences were observed in viable counts during storage at 20°C for 3 days, as compared to those treated with a full power. The microwave treatment with three stages was designed to solve problems associated with variations depending on food volumes and difficulties of heat diffusion in a solid food to be irradiated with a microwave oven. The three stage method was found to have a similar efficiency in the reduction of viable cell counts in foods to microwave treatment at a full power and to conventional methods, such as water bath heating or boiling for 3 min with a gas range.

Key words : microwave, viability, food microorganism

서 론

일반적으로 대부분의 식품은 상당 수의 미생물에 오염되어 있으며 또한 이들을 취급하는 도중에 공기, 물 또는 용기로부터 미생물이 오염될 기회가 매우 많다. 식품에 오염된 미생물은 저장중 증식을 계속하여 각종 변패 및 부패

현상을 일으키게 되어 식품의 질을 저하시키게 된다[1]. 특히 식중독 미생물은 인간이 오염된 식품을 섭취함으로써 야기되는 식중독의 원인이 되며 병원 미생물은 각종 질병을 일으켜 심한 경우에는 죽음에 이르게 하기도 한다[2]. 따라서 식품 중의 미생물의 살균은 식품 가공 및 저장에 있어서 매우 중요한 일이라 할 수

있다. 식품내 미생물의 분포 및 오염정도는 식품의 종류, 제조시의 관리상태, 살균 및 저장 등의 조건에 따라 많은 차이가 있으며 오염 미생물의 종류도 매우 다양하다. 식품내 미생물의 수를 줄이고 증식을 억제함으로써 식품의 저장성 및 안전성을 높이기 위한 여러가지 방법들이 개발되고 발달되어 왔다[1]. 이러한 방법들 중의 하나로서 마이크로파의 이용을 들 수 있다. 마이크로파는 일반적으로 300~30,000MHz의 주파수를 가진 전자파로서 단시간에 조사물체의 온도를 높일 수가 있기 때문에 식품의 조리, 해동 및 가공에 널리 이용되고 있다[3-5]. 현재 전자렌지용으로는 915, 2,450, 5,800, 22,125MHz 등 4개의 주파수가 지정되어 있으며 세계적으로 공업용으로는 915MHz, 가정용으로는 2,450MHz의 주파수가 주로 이용되고 있다[7, 8]. 이러한 마이크로파를 이용한 미생물의 제어는 그 사용이 간편하고 처리시간을 달리함으로써 처리 강약의 조절이 용이한 장점이 있기 때문에 마이크로파를 이용한 식품중의 미생물 살균에 관하여 많은 연구가 진행되었다[4-19]. 마이크로파에 의한 미생물의 살균은 특히 저온성 세균에 효과가 강하여 60°C에서 15초 처리로써 $10^7 \sim 10^8 \text{cell/ml}$ 의 저온성 세균을 전부 사멸시킬 수 있다고 한다[9]. 이외에도 대두유(soy milk)에 접종한 *Salmonella* sp.[10]와 쇠고기에 존재하는 미생물[11] 및 칠면조 고기에 존재하는 병원성 미생물[12], *Staphylococcus aureus*[13, 14], *Escherichia coli*[15, 16], *Serratia marcescens*[17], *Saccharomyces cerevisiae*[18], *Halobacterium halobium* 과 *Bacillus subtilis*[19] 등에도 마이크로파가 살균효과를 가지는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 가정용 전자렌지의 마이크로파 처리가 식품의 보존성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 우리나라 대표적인 국의 하나인 미역국과 대표적 나물의 하나인 무나물을 마이크로파로 처리한 후 보존 중의 생균수, 산도 등의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

식품재료

마이크로파 처리가 식품의 보존성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시판되는 즉석 미역국(J社, Korea)과 본 연구실에서 조리한 무나물을 사용하였다. 미역국은 시판되고 있는 건조된 형태의 즉석 미역국 35g을 물 700ml의 비율로 혼합하여 직화로 끓기 시작한 후부터 5분 가열하여 조리하였으며, 무나물은 일반 재래 시장에서 판매되는 무 6kg을 껍질을 제거하고 채 썰기한 후 물 2ℓ를 넣어 가열하다가 끓기 시작한 후 20분 더 가열하고 참기름, 소금 등으로 양념하여 조리하였다.

마이크로파의 처리

미생물 현탁액의 마이크로파 처리는 정지기까지 배양한 균체를 0.9% NaCl 용액으로 2회 세척한 후 1ml당 세포수가 10^{10} 정도가 되게 0.9% NaCl 용액에 현탁하였다. 미생물 현탁액의 초기온도를 20°C가 되게 조절한 후 전자렌지(MR301M, LG Co. Korea)로 일정한 온도가 될 때까지 2,450MHz의 마이크로파를 처리하면서 온도의 변화를 fluoroptic thermometer(950-Multichannel, Luxtron Co., CA)로 측정하여 일정한도에 도달하게 처리하였다. 식품의 마이크로파 처리는 조리한 식품을 실온에서 뚜껑을 열어둔 채 12시간 동안 방치하여 미생물에 오염시킨 후 미역국은 600g, 무나물은 200g씩을 1ℓ의 플라스틱 비이커에 담아 초기온도를 20°C로 조절하였다. 이것을 전자렌지로 일정한 온도가 될 때까지 마이크로파를 처리하면서 식품의 온도 변화를 측정하여 일정한도에 도달하는 시간을 결정한 후, 이후의 실험은 이 조건에 맞추어 행하였다. 마이크로파를 처리한 미생물 현탁액 또는 식품은 냉각에 소요되는 시간에 의한 오차를 줄이기 위하여 4°C로 급냉시킨 후 사용하였다.

식품의 저장 조건

마이크로파 또는 일반 가열처리한 식품을 20℃로 조절한 항온기에 3일간 보관하면서 24시간 간격으로 분석에 사용하였다.

생균수의 조사

미생물 현탁액 또는 저장 중의 식품을 0.9% NaCl 용액으로 적당하게 희석한 후 50 μ l 씩 영양한천배지(0.3% Bacto beef extract, 0.5% Bacto peptone, 1.5% agar)에 도말하여 37℃에서 24시간 동안 배양한 후 성장한 콜로니 수를 측정하여 1ml당 생균수를 log 값으로 환산하여 나타내었다.

산도 및 pH의 측정

시료의 pH는 pH meter(model 340, Mettler toledo Co. Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 산도는 시료를 Whatman No. 2 여지로 여과한 여액 20ml를 0.1N NaOH로 중화적정하여 측정하였으며, 산도는 시료 1ml을 중화하는데 소비된 NaOH의 양을 초산 함량으로 환산하여 나타내었다[17].

결과 및 고찰

마이크로파의 살균력 조사

식품 중에 오염되어 식품을 변패시키며 식중독을 일으킬 수 있는 *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* 및 *Staphylococcus aureus* 등을 대상으로 하여 마이크로파에 의한 미생물의 살균력을 조사하였다. 초기 미생물 세포수가 10^{10} 정도인 미생물 현탁액에 최종 온도가 30℃에서 90℃까지 10℃ 간격으로 마이크로파를 처리한 후 생균수를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 3종의 균주 모두 처리온도가 증가함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였다. *E. coli*와 *S. aureus*의 경우 50℃까지는 온도의 증가에 따른 생균수의 감소가 미약하여 50℃ 처리시 생균수가 초기에 비하여 1/10 정도로 밖에 감소하지 않았다. 그

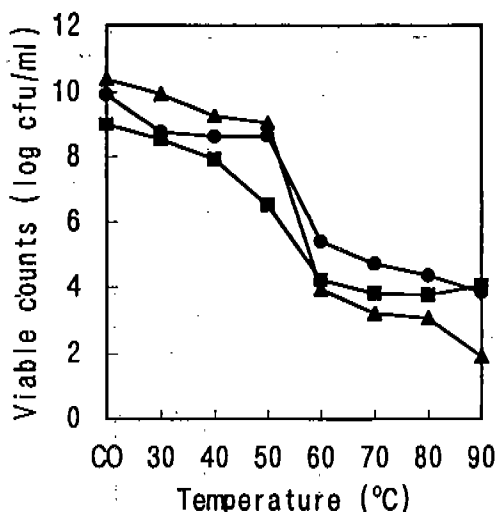


Fig. 1. Effects of microwave treatment on the viable counts of various microorganisms. Microbial cell suspensions in 0.9% NaCl were heated with microwave radiation to the temperature shown below the figure. Viable cells were counted after microwave-treated cells were grown on agar media for 24 hours. CO represents the one before microwave treatment as a control.

- : *Escherichia coli*
- : *Bacillus subtilis*
- ▲—▲ : *Staphylococcus aureus*

러나 50℃에서 60℃로 10℃ 상승시에는 1ml당 생균수가 10^9 에서 $10^5 \sim 10^4$ 으로서 약 $1/10^4 \sim 1/10^5$ 로 급격히 감소하여 초기 생균수에 비하여 $1/10^5 \sim 1/10^6$ 수준을 나타내었다. 그리고 60℃ 이후의 온도구간에서는 다시 약하게 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상으로 미루어 보아 마이크로파에 의한 미생물의 살균을 위해서는 최소한 60℃ 이상의 온도로 처리하는 것이 중요함을 알 수 있었다. 그러나 *B. subtilis*의 경우에는 온도의 증가에 따라 거의 균일한 살균력의 증가를 보였으나 60℃로 처리한 경우에 생균수의 감소율이 10^5 정도로서 *E. coli*와 유사한 경향을 나타내었다.

마이크로파 처리조건에 따른 보존 중 식품의 생균수 변화

가. 최종 온도의 영향

식품의 보존성에 미치는 마이크로파의 처리 온도의 영향을 조사하기 위해 미역국과 무나물을 조리하여 상온에서 12시간 방치하여 미생물을 오염시킨 후 각각 최종 온도가 60, 70 및 80°C가 되게 마이크로파를 처리하여 20°C 항온기에서 보존하면서 24시간마다 생균수를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 마이크로파를 최종 온도가 70°C와 80°C가 되게 처리한 경우에는 처리 직후의 두 식품 모두에서 거의 0에 가까운 생균수를 보인 반면 60°C 처리식품에서는

생균수가 약 1/10로 감소하였다. 보존 중 식품 내의 생균수 역시 60°C 처리구에서는 무처리구에 비하여 약 1/10 수준을 유지하였으며 70 및 80°C 처리구에서 미역국의 경우에는 무처리구의 약 1/10³을 유지하여 살균효과가 뚜렷하게 나타났다. 그러나 무나물의 경우에 있어서는 살균효과가 미역국에 비하여 다소 낮게 나타나 70 및 80°C의 경우에도 보존 중 식품내의 미생물 증가율이 무처리구나 60°C 처리구에 비해 오히려 증가하였으나 전체적으로 생균수는 다소 낮은 수준을 유지하였다. 그러므로 식품에 마이크로파를 처리할 경우 최종 온도가 최소한 70°C 정도는 되어야 할 것으로 생각된다.

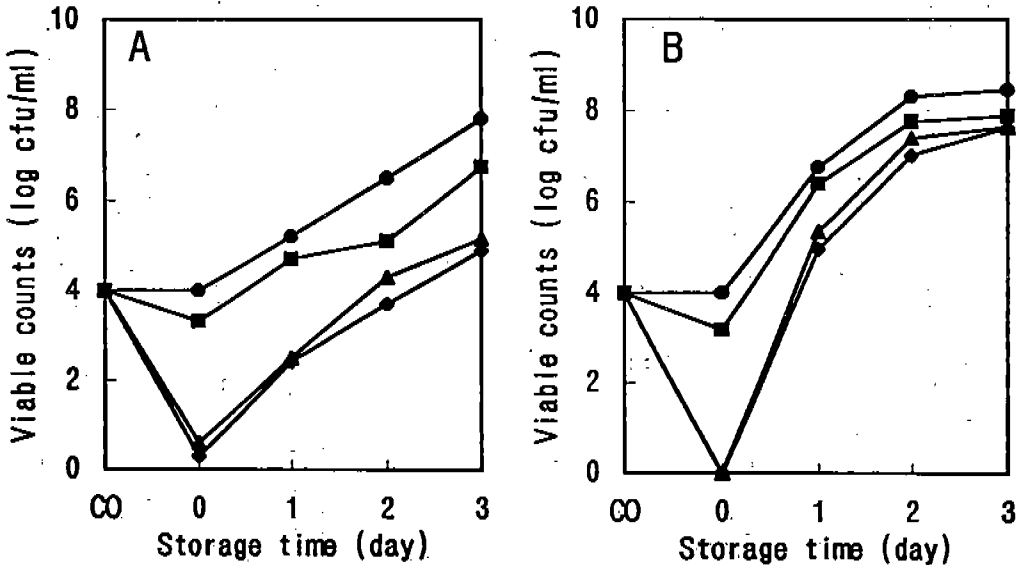


Fig. 2. Effects of final temperatures heated with microwave radiation on the viable counts in a seaweed soup (A) and radish shreds (B) during storage. After foods were heated with microwave radiation to various final temperatures, viable cells were counted during storage at 20°C for 3 days.

●—● : Nontreated ■—■ : 60°C ▲—▲ : 70°C ◆—◆ : 80°C

나. 마이크로파 출력별 영향

마이크로파의 최대 출력을 사용하여 연속적으로 식품을 가열할 경우에는 식품의 가장자리나 표면의 온도가 다른 부위보다 더욱 증가하여 식품의 일부가 너무 심하게 가열되며 다른

부분은 그 이하의 낮은 온도로 가열되는 현상이 발생함을 관찰하였다(자료 미제시). 이러한 문제점을 해결하기 위하여 마이크로파를 연속적으로 발생시키는 대신에 일정시간 간격으로 마이크로파의 작동을 중지시킴으로써 열의 식

품내 확산을 도와줄 수 있다. 따라서 연속식 가열 방법과 15초 작동 및 30초 작동 중지를 계속하는 방법으로 최종 온도가 70°C가 되게 마이크로파를 처리한 후 보존 중 식품내의 생균수를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 무처리의 경우에는 초기 생균수가 미역국과 무나물 모두 약 10⁴정도였으며 마이크로파 처리구들은 출력에 관계없이 처리 후 균이 거의 사멸한 상태가

되었다. 20°C에서 보존 1일째부터 생균수는 무처리나 마이크로파 처리구 모두에서 비슷한 비율로 증가하였다. 보존 3일째에는 마이크로파 처리구들의 생균수는 무처리구에 비해 미역국의 경우는 약 1/10³정도, 무나물의 경우에는 약 1/10정도로 나타났다. 그러나 마이크로파 출력별 식품내 생균수 차이는 거의 없어 유사한 살균효과를 나타내었다.

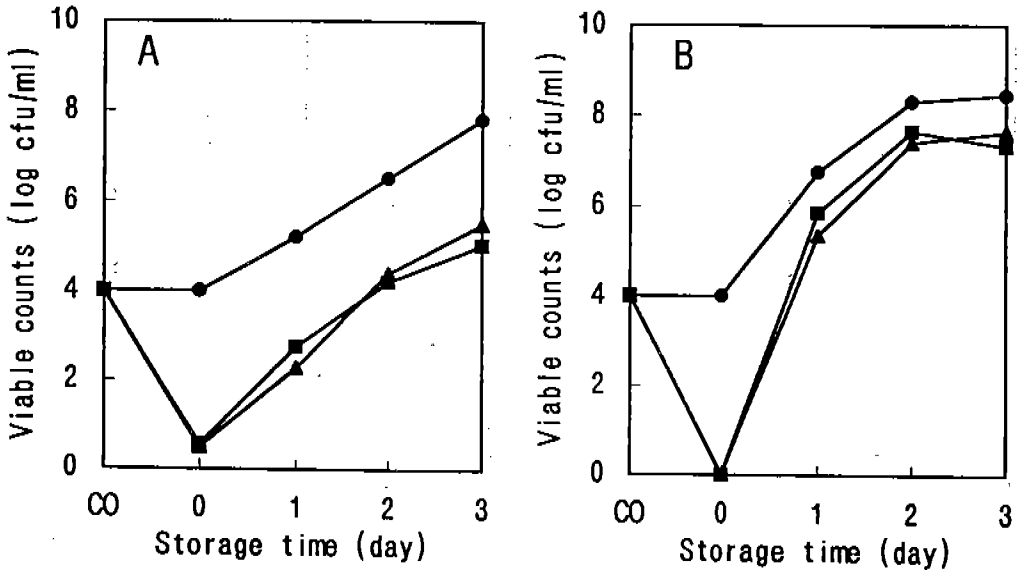


Fig. 3. Effects of output powers of microwave oven on the viable counts in a seaweed soup (A) and radish shreds (B) during storage. After foods were heated with microwave radiation to 70°C, viable cells were counted during storage at 20°C for 3 days.

●—● : Nontreated ■—■ : Full power ▲—▲ : 15" on/30" off

3단계 처리법에 의한 마이크로파 처리시 온도의 변화 및 보존 중 식품의 생균수 변화 마이크로파로 식품을 처리할 경우에 있어서 식품의 양에 따라 그 처리시간이 달라지게 된다. 가정용 전자렌지와 같이 식품의 양을 일정하게 사용하지 않을 때에는 각각의 경우에 알맞은 처리 시간을 조절해 주어야 하는 불편함이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 일환으로 고안된 새로운 출력방법인 3단계 처리법은 출력방법에 있어서 3가지 단계로서 마이크로파를 처리하게 된다. 이것은 마이크로파 처리시 식품의 양에 따라 마이크로파 처리시간을

조절하여 일정 목적 온도까지 처리할 수 있도록 고안된 방법이다. 본 실험에서 사용한 온도는 상기 전 항까지의 연구결과를 토대로 가장 저온으로서 식품의 변화에 가장 적게 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되며 살균 효과가 상당히 강하게 나타난 70°C를 목적 온도로 하였다. 3단계에 의한 처리는 1차로 15초 작동, 30초 작동중지를 반복하면서 온도 감지장치가 온도 변화를 인식하여 목적온도까지 상승시키는데 필요한 처리시간을 결정한 후, 2차로 전자렌지의 최대 출력으로 60°C까지 온도를 올린 다음, 3차로 다시 15초 작동 30초 작동중지를 반복하

면서 식품내 열의 확산을 유도하다가 식품의 온도가 목적온도에 도달하면 작동이 자동적으로 중지되게 된다. 이러한 3단계 처리법에 의한 마이크로파 처리시 시간에 따른 온도의 변화는 Fig. 4와 같이 1단계에서 온도가 서서히 상승하다가 2단계에서 온도의 증가가 최대 출력에 의해 급격히 증가한 다음 3단계에서 다시 온도가 서서히 증가하는 곡선을 나타내었다. 최종 처리온도는 68°C 부근으로서 비교적 본 연구의 목적에 적합하게 설계되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 3단계 처리법에 의한 마이크로파 처리시 살균효과를 최대 출력과 비교한 결과는 Fig. 5와 같다. 3단계 처리법에 의한 마이크로파 처리 후 보존 중인 미역국 및 무나물에서의 생균수 역시 최대 출력으로 처리한 것과 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 미역국의 경우 전체적으로 마이크로파의 처리효과가 Fig. 2 및 Fig. 3의 경우에서보다 낮게 나타났는데 이는 초기의 미역국에 오염된 미생물 생균수가 낮았기 때문으로 추정된다.

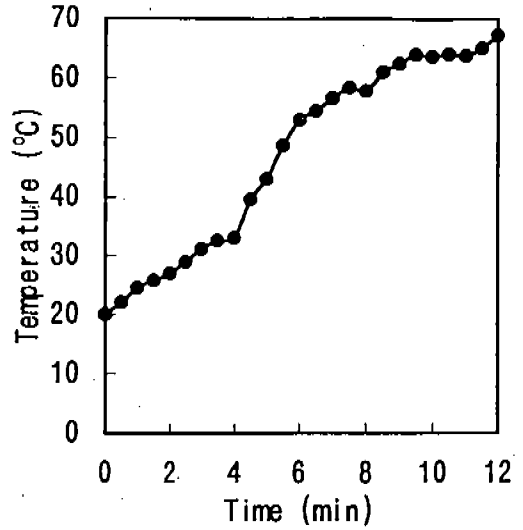


Fig. 4. Changes of temperature in foods during the microwave treatment with a three stage method. The three stage method was designed for microwave oven to operate as follows; on for 15 sec and off for 30 sec for the microwave sensor to recognize the changes of temperature first followed by on with a full power to around 60°C, and then on for 15 sec and off for 30 sec again for the heat diffusion through the foods.

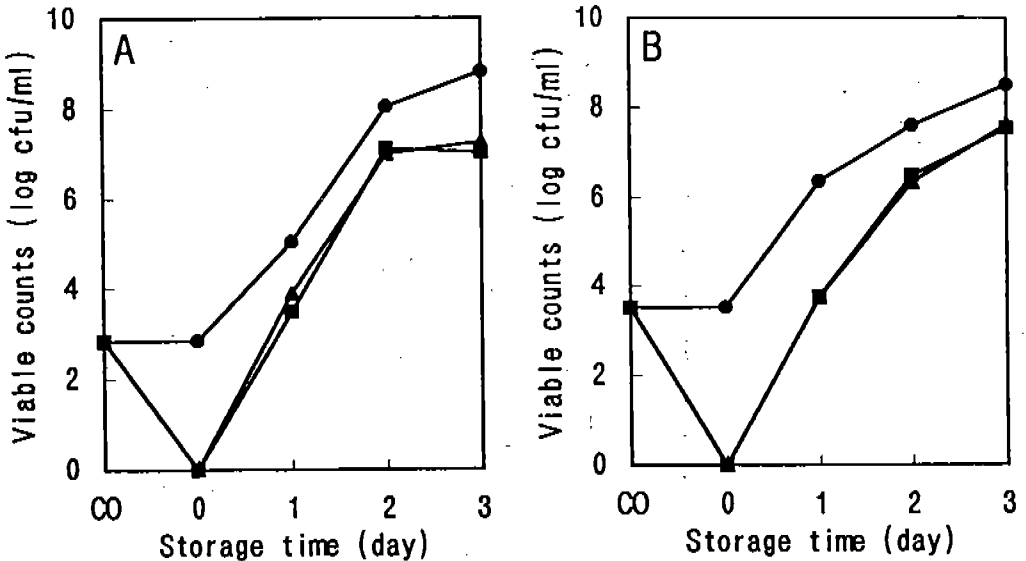


Fig. 5. Effects of microwave treatment with a three stage method on the viable counts in a seaweed soup (A) and radish shreds (B) during storage. The conditions were same as those used in Fig. 3.
 ●—● : Nontreated ■—■ : Three stage treated ▲—▲ : Full power treated

3단계 처리법에 의한 마이크로파 처리와 기존 열처리에 따른 식품의 보존성 변화

3단계 처리법으로 마이크로파를 처리한 것과 항온수조를 사용하여 최종 온도 70°C가 되게 처리한 것 직화로 끓기 시작한 후 3분간 더 가열처리한 것을 보존하면서 식품내 미생물의 생균수, pH 및 산도의 변화를 측정된 결과는 각각 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다. 생균수 변화의 경

우 미역국 및 무나물 모두 무처리구에서 1ml당 약 10³의 초기균수에서 보존 1일째부터 생균수가 증가하여 보존 3일째에는 약 10⁸을 나타내었다. 그러나 각각의 처리구에서 보존 3일간 무처리구에 비하여 생균수가 1/10² 수준으로 낮게 나타나 항온수조 및 직화 3분 끓인 것 모두 거의 유사한 결과를 나타내었다(Fig. 6).

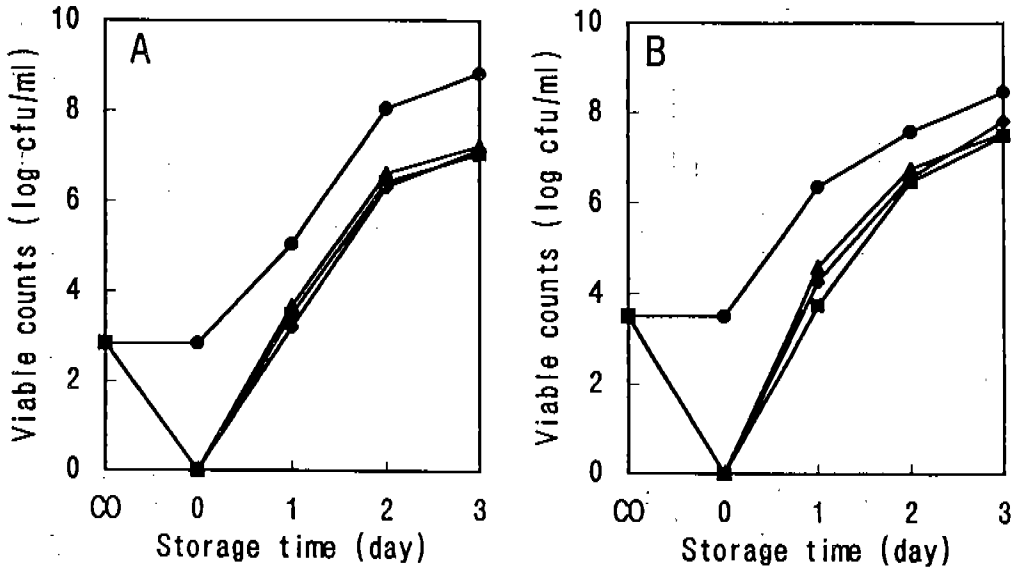


Fig. 6. Comparison of the effect of microwave treatment with a three stage method and other conventional heating methods on the viable counts in a seaweed soup (A) and radish shreds (B) during storage.

●—● : Nontreated ■—■ : Three stage treated ▲—▲ : Water bath heated to 70°C
◆—◆ : Boiled for 3 min.

3단계 처리법에 의한 마이크로파의 처리와 항온 수조로 가열처리한 것 및 직화로 3분간 끓인 것들을 3일간 20°C에서 보존하면서 pH와 산도를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 미역국 및 무나물의 경우 pH는 무처리구와 그 외 다른 처리구 모두 보존 1일까지는 거의 변화가 없었으며 2일째부터 모두 감소하기 시작하였다. 그러나 무처리구의 pH는 매우 급격하게 감소한 반면 다른 처리구들은 상대적으로 적게 감소하였다. 특히 무나물의 경우에 있어서 각각의 처리구에서는 거의 pH 변화가 일어나지 않았다. 산도의 변화는 무처리구의 경우 보존 1일째부

터 산도가 증가하여 3일째에는 미역국은 초기의 약 2.5배, 무나물은 초기의 약 4배까지 산도가 증가하였다. 다른 처리구들에서는 증가폭이 매우 낮아 3일 후에는 무처리구에 비해 미역국은 약 60%, 무나물의 경우에는 약 45% 정도를 나타내었다. 각 처리구들 간의 차이는 미역국 및 무나물의 경우 모두 유사한 증가경향을 나타내었다(Fig. 7). 각 처리구에서 pH와 산도의 변화폭이 적은 것은 식품내에 존재하던 미생물이 마이크로파 또는 기존의 가열처리에 의해 생균수가 감소함으로써 이들이 보존 중 증식하여 생산하는 산의 양이 상대적으로 적어지기

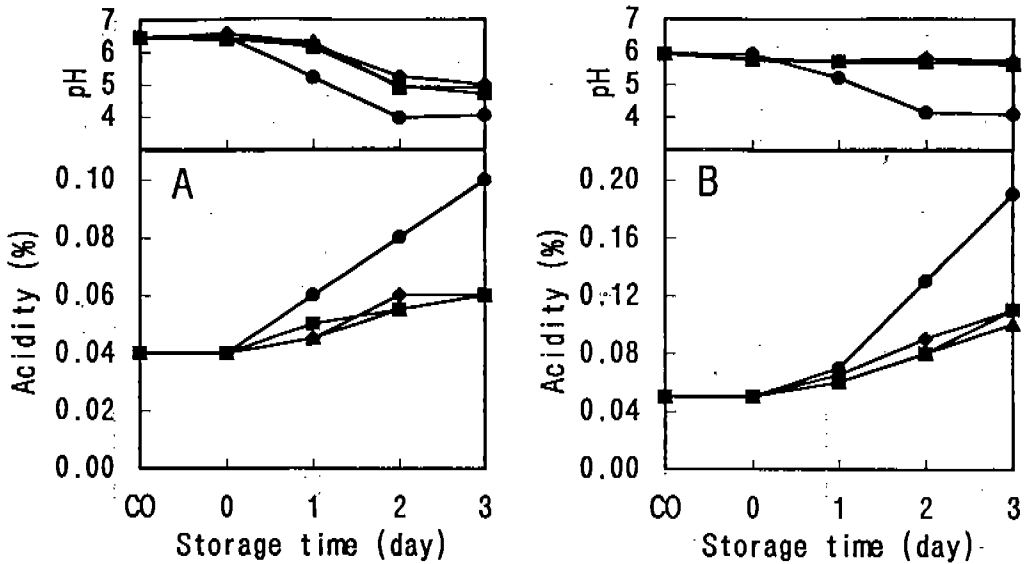


Fig. 7. Comparison of the effect of microwave treatment with a three stage method and other conventional heating methods on the changes of pH and acidity in a seaweed soup (A) and radish shreds (B) during storage.

●—● : Nontreated ■—■ : Three stage treated ▲—▲ : Water bath heated to 70°C
◆—◆ : Boiled for 3 min.

때문으로 추정된다. 두 식품에서 3단계 처리법에 의한 마이크로파의 처리와 기존의 다른 가열처리와의 생균수, pH 및 산도의 변화가 거의 차이가 없는 것으로 보아 간단히 식품의 열을 증가시킬 수 있는 마이크로파의 장점을 그대로 식품의 보존에 적용시킬 수 있는 아주 좋은 방법으로 생각된다.

요 약

가정용 전자렌지의 마이크로파의 처리로 식품의 변화를 최소화하면서 살균력이 강한 최저 처리온도를 확인하기 위하여 미역국 및 무나물에 마이크로파를 처리한 후 20°C에 저장하면서 생균수의 변화를 조사하였다. 먼저 식품에 오염되어 식중독을 일으킬 수 있는 *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* 및 *Staphylococcus aureus* 등의 미생물 세포 현탁액에 마이크로파를 처리한 결과 60°C이하의 처리로서는 그 살균효과가 미약하였으나, 그 이상에서는 강하게 나타났다. 따라서 미역국과 무나물을 대상으로 60, 70 및

80°C의 온도도 마이크로파를 처리한 후 보존 중 생균수의 변화를 측정된 결과, 70°C 이상에서 살균력이 강하게 나타났다. 그러나 전자렌지의 작동을 연속작동 및 15초 작동-30초 작동 중지를 계속하는 방법으로 처리를 달리할 경우 생균수의 변화에는 거의 차이가 없었다. 식품의 양에 따라 목적온도로 처리하는데 걸리는 시간을 자동적으로 조절하고 마이크로파 처리 중 열의 고체식품내 확산을 돕기 위하여 고안된 3단계 처리법에 의한 효과를 조사한 결과 연속처리의 경우와 거의 동일한 살균효과를 나타내었다. 3단계 처리법과 기존의 항온수조 가열 및 3분간 끓인 경우 미역국 및 무나물 모두 생균수, pH 및 산도의 변화에 거의 유사한 결과를 나타내어 가정용 전자렌지를 사용한 3단계의 마이크로파 처리는 처리식품의 양에 관계없이 식품을 간편하고도 신속하게 처리할 수 있을 뿐 아니라 식품의 온도를 고온으로 높이지 않고 약 70°C의 비교적 저온으로 처리하기 때문에 수분의 증발로 인한 맛의 변화를 줄일 수 있으며 식품의 보존성을 증대시킬 수 있는 아주 우수한 방법으로 생각된다.

감사의 말

본 연구는 1995년도 (주)LG 전자의 용역 연구비에 의해 수행된 연구결과의 일부분으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Adams, M. R. and Moss, M. O.(1995) Food microbiology, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
2. Mossel, D. A. A., Corry, J. E. L., Struijk, J. B. and Baird, R. M.(1995) Essentials of the microbiology of foods : a textbook for advanced studies, John Wiley & Sons, NY, USA.
3. Carroll, L. E.(1989) Hydrocolloid functions to improve stability of microwavable foods. Food Technol., 43, 96-100.
4. Rosenberg, U. and Bogl, W. (1987) Microwave thawing, drying, and baking in the food industry. Food Technol., 41, 85-91.
5. Rosenberg, U. and Bogl, W.(1987) Microwave pasteurization, sterilization, blanching, and pest control in the food industry. Good Technol., 41, 92-98, 121.
6. Pothakamury, U. R., Barbosa-Canovas, G. V. and Swanson, B. G.(1993) Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes. Food Technol., 47, 85-93.
7. 中川 善傳(1988) 마이크로파 殺菌. J. Antibac. Antifung. Agents., 16, 131-135.
8. 肥後 温子(1987) 電子レンジマイクロ波 食品 利用 핸드ブック, 日本工業新聞社, 日本
9. Cunningham, F. E.(1980) Influence of microwave radiation in Psychrotrophic Bacteria. J. Food Protec., 43, 651-655.
10. Bookwalter, G. N., Shukla, T. P. and Kwolek, W. F.(1982) Microwave processing to destroy Salmonella in corn-soy-milk blends and effect on product quality. J. Food Sci., 47, 1683-1686.
11. Lin, W. and Sawyer, C. (1988) Bacterial survival and thermal responses of beef loaf after microwave processing. J. Microwave Power and Electromagnetic Energy, 23, 183-194.
12. Aleixo, J. A. G., Swaminathan, B., Jamesen, K. S. and Pratt, D. E.(1985) Destruction of pathogenic bacteria in turkeys roasted in microwave ovens. J. Food Sci., 50, 873-875, 880.
13. Dreyfuss, M. S. and Chipley, J. R. (1980) Comparison of effects of sublethal microwave radiation and conventional heating on the metabolic activity of *Staphylococcus aureus*. Appl. Environ. Microbiol., 39, 13-16.
14. Khalil, H. and Villota, R. (1988) Comparative study on injury and recovery of *Staphylococcus aureus* using microwaves and conventional heating. J. Food Protec., 51, 181-186.
15. Hiroshi, F., Hiroshi, U. and Yasuo, K. (1992) Kinetics of *Escherichia coli* destruction by microwave irradiation. Appl. Environ. Microbiol., 58, 920-924.
16. Vela, G. R., and Wu, J. F.(1979) Mechanism of lethal action of 2,459-MHz radiation on Microorganisms. Appl. Environ. Microbiol. 37(3) : 550-553.
17. Gerencser, V. F., Barnothy, M. F. and Barnothy, J. M. (1962) Inhibition of bacterial growth by magnetic fields. Nature, 196, 539-541, 33.
18. van Nostran, F. E., Reynolds, R. J. and Hedrick, H. G. (1967) Effects of high magnetic field at different osmotic pressures and temperatures on mutiplication of *Saccharomyces cerevisiae*. Appl. Microbiol., 15, 561-563.
19. Moore, R. L. (1979) Biological effects of magnetic fields : Studies with microorganisms. Can. J. Microbiol., 25, 1145-1151.
20. A. O. A. C. (1995) Official methods and analysis, 16th Ed., Association of official analytical chemists, Washington D. C., USA.