

연속식 장치에 의한 초음파살균의 실험적 연구

허필우*, 이양래, 임의수
한국기계연구원

The Experimental Research for Ultrasonic Sterilization by a Continuous Device

Pil Woo Heo*, Yang Lae Lee, Eui Su Lim
Korean Institute of Machinery and Materials
pwheo@mailgw.kimm.re.kr

Abstract

음료수 제조공정에서 살균처리는 필수이며, 이때 살균시간과 살균온도는 맛과 향에 영향을 미친다. 기존에 열에 의한 살균처리보다 살균시간과 살균온도를 낮추어 음료수의 맛과 향을 자연그대로 유지하고 품질을 개선하기 위해 초음파와 열을 병행한 살균처리연구를 수행하였다. 실험장치는 자체개발한 연속식 heptagonal 초음파처리조를 사용하였고, 대장균과 microbacteria를 대상으로 살균처리실험을 수행하였다. 연구결과 상온초음파처리실험에서 처리속도 2 l/min에서 살균효과를 확인하였다. 처리용량 증대를 위해 상온초음파처리후 저온실험결과 3 l/min에서 살균효과를 확인하였다.

I. 서론

매질속에 강력한 초음파를 조사하여 살균하는 연구는 실험실 차원에서 많이 보고되고 있다. 1975년 Alliger는 초음파의 순간적인 조사에 의해 세포벽이 얇아지게 된다는 연구결과를 발표하였으며, 1980년대에는 초음파와 열을 동시에 가했을 때의 효과에 대한 연구와 화학살균제를 동시에 사용했을 때의 효과에 대해 보고되었다. 지금 까지 연구결과로부터 소규모로 진행된 초음파의 살균효과는 충분히 입증되고 있으나 실제 공정에 적용되기 위해서는 초음파 에너지 밀도의 유지가 필요하며 보다 크고 강력한 장치가 필요하다. 또한 아직까지 연속식 초음파장치에 대한 연구는 batch type에 비해 상대적으로 빈약하다. 주요연구로는 1986년 Evans에 의해 사과 사이다를 대상으로 1134l/hr로 살균

한 데를 들 수 있으며 실용화에 근접한 예로 볼 수 있다. 현재 음료수 제조공정에서 살균처리는 필수이며, 이때 살균시간과 살균 온도는 맛과 향에 영향을 미친다. 기존에 열의 의한 살균처리보다 살균시간과 살균온도를 낮추어 음료수의 맛과 향을 자연 그대로 유지하고 품질을 개선하기 위해 초음파와 열을 병행한 살균처리 연구를 수행하였다. 주요 내용을 살펴보면 먼저 연구에 사용된 자체 개발된 연속식 초음파 살균장치를 소개하고 연속식에 의한 상온 초음파 처리와 열과 초음파처리를 병행한 연구를 수행하였다.

II. 본론

제 1 절 실험장치의 구성

1. heptagonal 초음파처리조

연속식 식품제조공정을 감안하여 볼 때 batch type 보다는 연속식이 더 적합하며, 또한 가온 초음파처리 보다는 열을 가하지 않는 상온 초음파처리가 훨씬 유용할 것이다. 그러나 초음파살균의 특성상 상온 초음파처리를 위해서는 보다 더 긴 처리시간과 적정한 에너지밀도의 유지가 필요하게 된다. 따라서 연속식 pentagonal 초음파처리조에 기초하여 상온 초음파처리가 가능한 heptagonal 초음파처리조를 설계하였다.

주요 설계내용을 정리하면 다음과 같다.

용량 : 20 l

단면 : heptagonal (한변의 길이 : 67.8mm)

높이 : 1197mm

초음파트랜스듀서 : 40KHZ

초음파트랜스듀서의 개수 : 14개/만 × 7 = 98개
input power : 98 × 50W = 4,900W/
push-pull 트랜스듀서 : 40KHz, 1000W
에너지 밀도 : 0.295W/ml
처리시간 : 처리속도 2 l/min의 경우 10min

여기서, 처리시간을 늘리기 위해 pentagonal 보다 용량을 증가시켰으며, 초음파에 의해 정제과가 발생하는 것을 방지하고 적정한 에너지밀도와 처리조의 높이를 유지하기 위해 한 변이 67.8mm인 heptagonal로 설계하였다. 또한 push-pull 트랜스듀서 (40KHz, 1000W) 를 처리조 중앙에 설치하여 병용하도록 하였으며, 20℃의 상온상태에서 사용할 수 있도록 하였다.

2. 실험장치구성

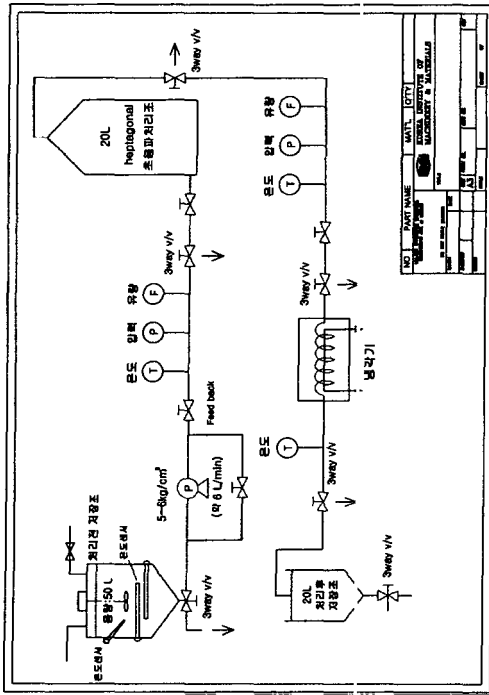


그림 1. 실험장치 계통도

살균실험장치는 상온 초음파처리실험과 가온 초음파처리실험이 모두 가능하도록 구성하였으며, 처리전 저장조에 실험온도를 조절할 수 있도록 heater를 설치하고 실험대상의 세균을 매질내에 균일하게 분포시키기 위해서 교반기를 설치하였다. 이송용 펌프는 최대유량이 6 l/min이고, 가압실험도 가능하도록 feed back 라

인을 이용하여 5~6kg/cm² 정도까지 이송압력을 높일 수 있게 하였으며, heptagonal 초음파처리조 전후에서 시료채취를 할 수 있도록 3 way 밸브를 설치하였다. 그리고 heptagonal 초음파처리조에서 처리된 시료는 냉각기에서 상온으로 냉각된 다음, 20 l의 처리후 저장조에 저장되게 된다. 실험장치의 계통도는 그림 1과 같으며 제작된 실험장치는 그림 2에 나타내었다.

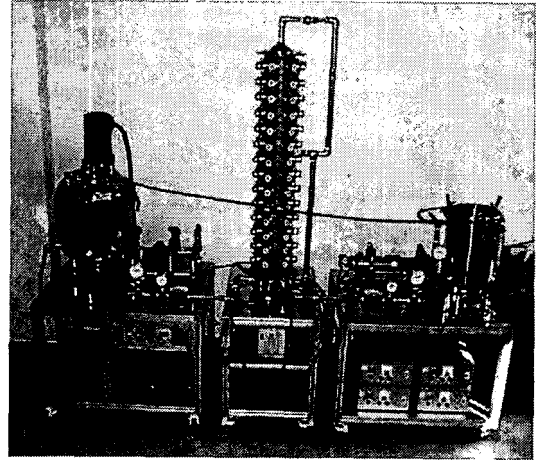


그림 2. 살균실험장치

제 2 절 실험결과

1. 상온 초음파처리실험결과

상온 초음파실험은 다음과 같은 방법으로 수행하였다.

용기 및 line 살균을 위한 증류수 순환(95℃, 15분)
→ 냉각(20℃) → 균주투여 및 교반(1분) → 초음파처리(유속 2 l/min) → 생균수 검사

균주는 E. Coli KCTC2441과 E. Coli DH5α를 사용하였고 증식용 배지는 nutrient broth를 이용하였으며, E. Coli 검사용 배지로 dexoycholate agar를 이용하여 35℃에서 24시간 동안 배양한 후 생균수를 검사하였다.

E. Coli KCTC2441과 E. Coli DH5α에 대한 상온 초음파실험결과는 표1에 나타내었으며, 표에서 보는 바와 같이 처리속도 2 l/min에서 100% 사멸됨이 확인되었다.

표 1. 상온 초음파처리실험결과

균의 종류	균수 (cells/ml)		살균효과
	처리전	처리후	
E. Coli KCTC2441	2×10^1	0	100%
E. Coli KCTC DH5 α	52×10^1	0	100%

한편, 처리속도에 따른 상온 초음파처리실험도 수행하였으며, 표2 와 표3 의 실험결과에서 보는 바와 같이 처리속도가 2 l/min에서 3 l/min와 5 l/min으로 증가함에 따라 살균효과는 감소하는 것으로 나타났다.

표 2. E. Coli KCTC2441의 처리속도에 따른 상온 초음파처리실험결과

처리속도	균수 (cells/ml)		살균효과
	처리전	처리후	
2 l/min	2×10^1	0	100%
3 l/min	63×10^2	45×10^1	92.9%
5 l/min	33×10^1	3×10^1	90.9%

표 3. E. Coli KCTC DH5 α 의 처리속도에 따른 상온 초음파처리실험결과

처리속도	균수 (cells/ml)		살균효과
	처리전	처리후	
2 l/min	52×10^0	0	100%
3 l/min	294×10^3	68×10^2	97.6%
5 l/min	35×10^1	56×10^0	84%

2. 가온 초음파처리실험결과

초음파와 55℃의 저온조건을 병행하는 상태에서의 살균효과를 알아보기 위해 가온 초음파처리실험을 수행하였다.

대상의 균주는 일반적으로 대장균(E. Coli)보다는 내열성이 강한 microbacterium(M. lacticum KCTC 1625)을 선택하였으며, 이 균은 63℃에서 30분, 또는 75℃에서 15분간 생존할 수 있는 것으로 보고되고 있으

나, 실제로 이 균의 내열성을 알아보기 위해 실험조건인 55℃에서 초기 균수를 변화시켜 가면서 시간에 따른 생존균수를 검사하였으며, 그림3 에 나타내었다.

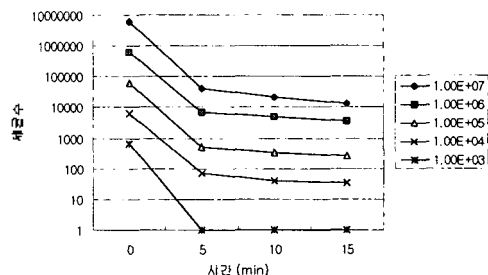


그림 3. microbacterium의 내열성(55℃)

이와 같은 예비실험과정을 거쳐서 microbacterium에 대한 가온(55℃) 초음파처리실험을 수행하였으며, 실험방법은 용기 및 line 살균을 위한 증류수 순환(95℃, 15분) 과정 후 55℃의 실험온도로 냉각시킨 다음 균주를 투여하고 교반(1분간)한 후 3 l/min의 처리속도로 초음파처리를 하였다. 표4 의 실험결과, 처리전의 균수 351 cells/ml가 처리 후 37 cells/ml로 감소하여 89.5%의 살균효과를 보이고 있으며, 이 결과는 초음파와 저온살균을 분리하여 수행한 상온 초음파처리 후 저온살균실험의 결과와 비교분석하여 다음에 기술하였다.

표 4. microbacterium(M. lacticum KCTC 1625)의 가온(55℃) 초음파처리실험결과

실험조건	균수 (cells/ml)		살균효과
	처리전	처리후	
3 l/min 초음파 +55℃	351	37	89.5%

3. 상온 초음파처리 후 저온실험결과

가온 초음파처리실험은 상온 초음파처리와 저온(55℃)살균을 동시에 한 것으로서, 이것들을 분리하여 series로 실험해 봄으로써 두 방식의 효과를 비교해 보고자 하였다. 따라서 처리속도(3 l/min)의 상온 초음파처리 후 그 시료를 바로 저온(55℃)으로 유지하고 5분간격으로 생존균수를 검사하는 방법으로 실험을 수행하였으며, 그 결과는 표5 에 나타내었다.

표 5. 상온 초음파처리 후 저온(55℃)살균실험결과

균의 종류	상온초음파처리 (3ℓ/min)후 균수		저온(55℃)살균		
	처리전 (cells/ml)	처리후 (cells/ml)	5분 (cells /ml)	10분 (cells /ml)	15분 (cells /ml)
microbacterium (M. lacticum KCTC 1625)	243×10 ²	53×10 ²	○	○	○
대장균 (E. Coli KCTC 2441)	812×10 ²	145×10 ²	○	○	○
	63×10 ²	45×10 ¹	○	○	○

실험결과에서 보는 바와 같이, 대장균뿐만 아니라 내열성이 보다 강한 microbacterium까지도 상온 초음파처리 후 55℃의 저온살균과정에서 5분 이내에 살균되었다. 여기서 E. Coli KCTC2441은 55℃에서 약 30분간 생존하고, M.lacticum KCTC1625은 65℃에서 약 30분간을 생존할 수 있는 것을 감안하여 볼 때 초음파의 살균효과를 확인할 수가 있다.

또한 전술한 가온 초음파처리실험과 상온 초음파처리실험 후 저온살균실험은 상온 초음파처리와 저온(55℃)살균처리를 병행하고 분리하는 차이만 있을 뿐, 처리속도 3ℓ/min와 처리온도 55℃ 등 여타실험방법은 동일하기 때문에 양자의 실험결과를 객관적으로 비교해 볼 수 있으며, 2가지 처리과정을 병행한 가온 초음파처리실험에서는 microbacterium의 살균효과가 89.5%로 나타났으나, 2가지 처리과정을 분리해서 수행한 상온 초음파처리 후 저온살균실험에서는 완전히 사멸된 것으로 나타남에 따라 상온 초음파처리 후 저온살균실험이 훨씬 더 효과적인 것으로 분석되고 있다. 그리고 사멸에 걸리는 시간에 있어서도 가온 초음파처리실험에서는 초음파처리조 통과시간 약 7분 동안에도 100% 사멸이 되지 않았으나 상온 초음파처리 후 저온살균실험에서는 5분 이내에 완전히 사멸됨으로써 후자쪽이 훨씬 더 짧게 걸리는 것으로 나타났다.

한편, 기존에 사용되어 오고 있는 저온살균법은 65℃에서 30분간 살균하는 것으로서 이것과 비교해 볼 때 살균시간을 최소 84%(30분에서 5분 이내) 단축할 수 있고, 살균온도도 10℃(65℃에서 55℃) 정도 낮출 수 있는 방식이며, 현재의 처리속도 3ℓ/min도 표2 와 표3의 처리속도에 따른 상온 초음파실험결과를 고려하여 볼 때 5ℓ/min정도까지는 증대가 가능한 것으로 분석되기 때문에 상온 초음파처리 후 저온살균법은 초음파

를 이용한 살균법에 경제성과 실용성을 부과해주는 처리방식이라고 할 수 있다.

적용효과로서는 살균시간을 단축하고 살균온도를 낮출 수 있음에 따라 음료수의 맛과 향을 자연그대로 유지하여 품질을 개선할 수 있다는 것을 가장 큰 장점으로 들 수가 있다.

III. 결 론

본 연구를 통해 자체 개발된 연속식 heptagonal 초음파 장치의 가능성을 제시하였다. 즉 대장균에 대한 상온 초음파 실험결과 처리속도 2 ℓ/min에서 대장균이 100% 사멸되었으며 상온 초음파처리 후 (3ℓ/min) 저온 (55℃) 실험결과, 대장균과 microbacterium이 역시 5분 이내에 100% 사멸되었다. 이 결과는 기존의 65℃, 30분간의 저온 살균법과 비교해 볼 때 살균시간을 최소 84% 단축하고, 살균온도는 10℃ 정도 낮출 수 있는 장점이 있다. 특히 상온 초음파처리 후 저온 살균방식을 이용하면 처리속도를 5ℓ/min 정도까지 구현될 수 있는 것으로 분석되기 때문에 경제성과 실용성을 함께 부여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 초음파의 적용에 의해 살균시간을 단축하고 살균온도를 낮출 수 있음에 따라 음료수의 품질(맛과 향)을 개선하는데 일조를 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. D. A. Evans, 'Application of ultrasound for disinfection and pasteurization', Dep. of Food Science and Nutrition Univ. of Massachusetts, pp. 259-271, 1986
2. M. L. Garcia, J. Burgos, B. Sanz, J. A. Ordonez, 'Effect of heat and ultrasonic waves on the survival strains of bacillus subtilis', J. of Applied Bacteriology 67, pp. 619-628, 1989
3. R. M. G. Boucher, 'A tool to improve biocidal efficacy of sterilants or disinfectants in hospital and dental practice', Canadian J. of Pharmaceutical Sciences, v.14, n.1, pp. 1-12, 1979
4. F. J. Sala, J. Burgos, S. Condon, P. Lopez, J. Raso, 'Effects of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes', New Methods of Food Preservation, pp. 176-204
5. G. Sierra, R. M. G. Boucher, 'Ultrasonic synergistic effects in liquid-phase chemical sterilization', Applied Microbiology, v.22, n.2, pp. 160-164, 1971