

## 일본의 줄가열에 대한 연구 및 산업화

이남혁 · 김영호

신소재연구단

### Study and Industrialization on the Joule Heating in Japan

Nam-Hyouck Lee, Young-Ho Kim

*New Food Resources Research Group*

Joule heating은 내부 가열법 중의 하나이며, Ohm의 법칙에 따라서 식품에 직접 전기를 통전하여 식품이 갖고 있는 전기저항성에 의해서 식품자체를 자기 발열시키는 가열방법이다. 따라서 Joule 가열을 Ohmic heating 또는 통전가열이라고도 부르고 있다. 열전달성이 느린 고형물 또는 고점도의 Paste형 식품도 어느 정도 전도성이 있으면 신속하면서도 균일하게 열처리를 할 수 있다.

최근 일본에서는 통전가열에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, Joule 가열 연구 및 산업화 동향의 일부를 소개하고자 한다.

### Joule 가열에 대한 연구 동향

#### 1. 식품종합연구소

식품종합연구소에서는 최근 Joule 가열을 이용하여 액상식품 살균에 대한 연구를 진행하고 있다. 특히, 액상식품의 각종 미생물 포자에 대한 살균법으로 미생물 포자를 살균할 때에는 교류 고전계(High Electric Field AC)를 이용하였다.

교류 고전계의 원리는 그림 1에 나타낸 바와 같이 전계인가 유니트를 통과할 때 좌우의 전극을 사이에 놓고 인가한 교류전계에 따라서 시료 중을 흐르는 전류가 전기저항을 갖는 시료에 대하여 통전가열을 행한다. 이때의 온도

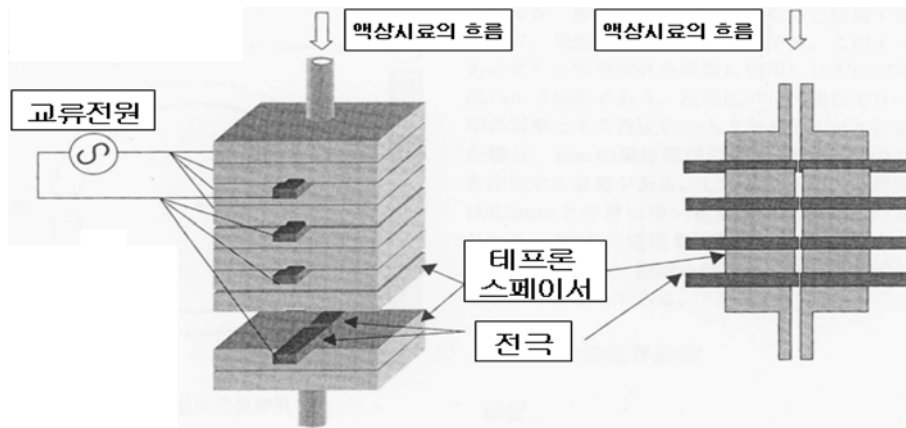


그림 1. 전극 유니트와 종단면

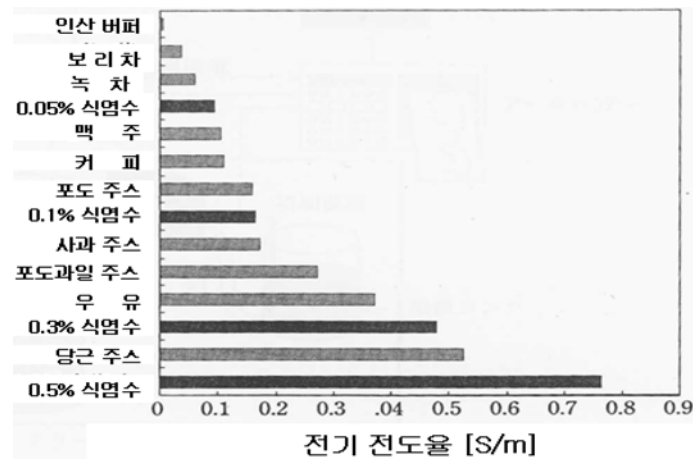


그림 2. 각종 액상식품의 전기전도율

상승은 Joule의 법칙에 따라서 시료의 전기전도율에 비례하며, 인가전계의 2승에 비례한다.

각종 액상 식품은 그림 2에 나타난 바와 같이 고유의 전기전도율을 갖고 있기 때문에 같은 조건의 전계를 인가 처리를 하더라도 시료의 온도는 각각 다르게 나타난다. 또한 처리온

도는 살균효과에 크게 기여를 하기 때문에 일정 온도가 되도록 인가전계 외에 초기온도, 유속을 적절히 조절하여야 한다.

액체 중에 부유하고 있는 세포에 외부로부터 전계를 인가하면 세포 양측에 반경  $r$ 에 비례하는 쿨롬(coulomb)력이 작용한다. 쿨롬력은 그림

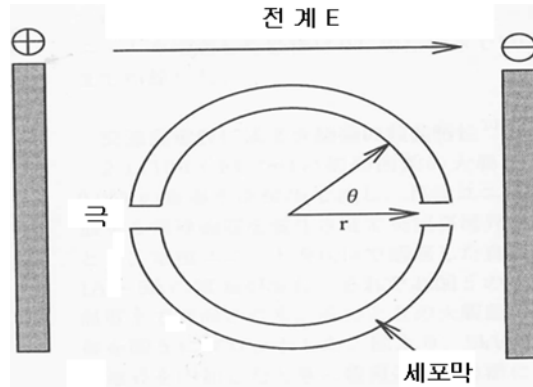


그림 3. 세포막의 전기천공

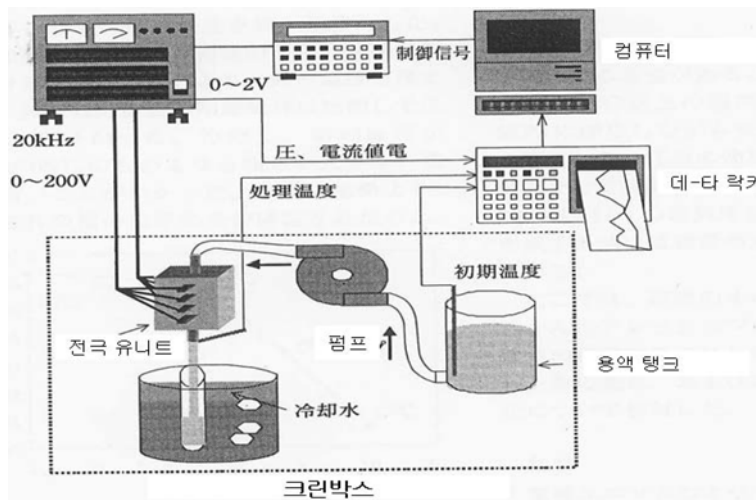


그림 4. 교류 고전계 처리 장치(6L/h)

3에서의 극( $\theta=0$ )에서 최대가 된다. 인가전계가 높아져 세포막이 그 힘에 견디지 못하게 되었을 때 세포막이 기계적인 손상을 받으며 표면에 미세한 구멍이 뚫리게 되는데 이 현상을 전기천공(電氣穿孔)이라고 한다. 이때의 역치(閾值)는 세포의 종류와 관계없이 세포 1개당 약 1V

인 것으로 알려져 있다. 발생한 전기천공이 작을 때에는 가역적으로 회복되지만, 손상의 정도가 클 때에는 회복이 되지 않으며 최종적으로 세포는 사멸하게 된다.

교류 고전계 장치는 전원부, 전극 유니트로부터 구성되어 있으며, 전원부는 그림 4와 같이

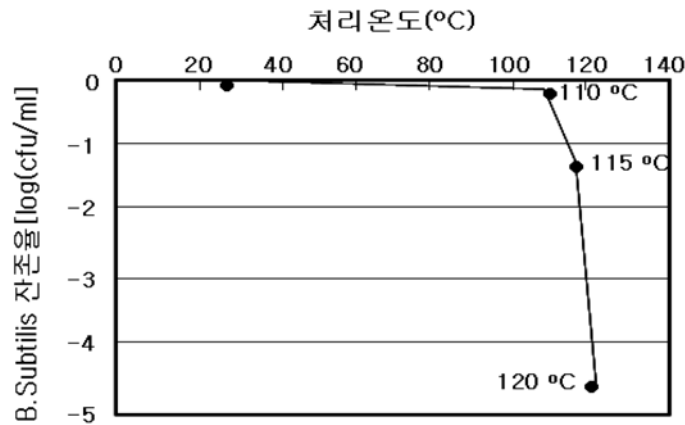


그림 5. 교류 고전계 처리에 의한 오렌지 주스 중의 고초균포자의 살균 효과

표 1. 교류 고전계 처리에 의한 각종 미생물의 살균 효과

처리온도	<i>S. cerevisiae</i>	<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>B. cereus</i>	<i>A. acidocaldarius</i>	<i>Geosteraother mophilus</i>
65°C	○	△				
70°C	○	○				
110°C			×	×		
115°C			△	△	×	
120°C			○	○	○	×
130°C			○		○	×
135°C						△
140°C						○

○: 3대수 값 이상 저감, △: 2대수 값 이상 저감, ×: 1대수 값 이하 저감

발신기로 만들어진 주파수 20 kHz의 교류신호를 전력 증폭기로 최대 200 V의 전압, 최대 5 A의 전류에 전력 증폭한 교류를 전극 유니트의 전극에 급전하도록 하였다. 액체 시료는 용액 탱크로부터 액송 펌프로 100~150 ml/s의 일정 유속으로 전극 유니트의 시료공급로에 주입한다. 전극 유니트를 통과한 액체는 0°C의 냉각

수에서 20°C 이하까지 냉각하도록 구성되어 있다. 이상과 같이 하여 얻어진 결과는 그림 5 및 표 1과 같다.

## 2. 동해대학

동해대학은 창립 후 약 70년 된 대학으로서

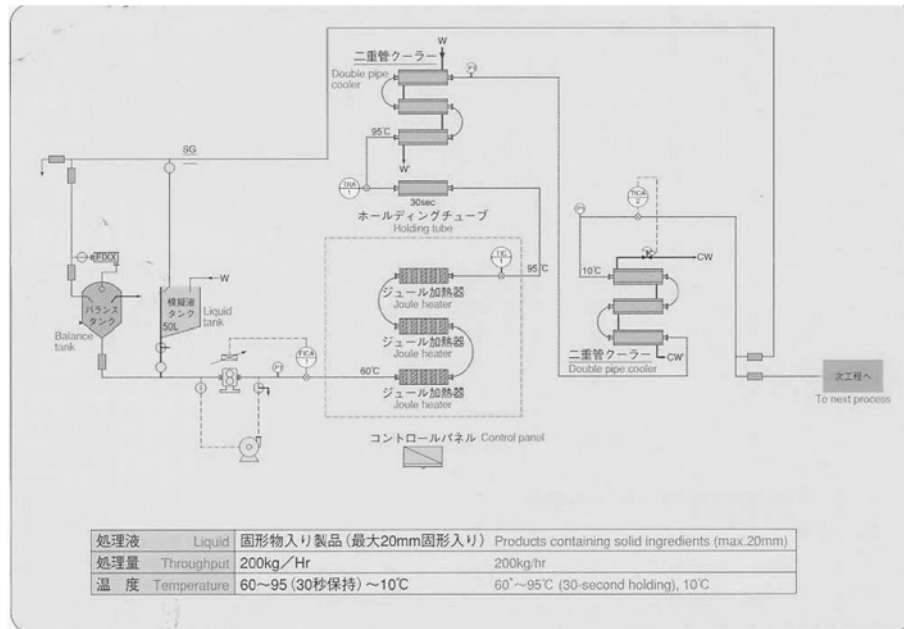


그림 6. Iwai Joule 가열기기의 시스템화 설계도

학부별로 전국에 퍼져있는 일본의 사립대학 중 그 규모가 가장 큰 것으로 알려져 있다. 이곳에서는 (주)Frontier Engineering로부터 실험용 Joule 가열장치를 제공받아 연구하고 있으며, 주로 어육의 겔형성능에 미치는 Joule 가열과 직접가열의 비교연구를 진행 중에 있다.

어육을 소금갈이(0.5 M NaCl) 후 Joule 가열을 하면 약 15초만에 중심온도 90°C까지 도달되었으나, 직접 가열의 경우는 35분 정도 걸렸다. 또한 겔강도 및 탄력성에 있어서도 Joule 가열한 것이 우수하게 나타났다. 어육의 경우 50~60°C 부근에서 “Modori” 현상(겔의 노화 현상)이 일어나는데 이 온도대를 Joule 가열은 순간적으로 통과하기 때문에 “Modori” 현상을 억

제시키는 작용을 하였을 것으로 추측하고 있다. 그 결과 겔의 품질이 기존의 직접 가열법 보다 우수하게 나타난 것으로 고찰하고 있다.

## Joule 가열기기의 산업화 동향

### 1. IWAI 기계 공업 주식회사

Iwai 기계공업주식회사는 동경에 본사를 두고 있으며, 오사카, 후쿠오카, 북해도에 지사를 두고 있다. 또한 타이완, 북경, 방콕에 해외지사를 두고 있으며, 각종 열처리기기 및 냉각기 등의 시스템 설비를 전문으로 하는 업체이다.

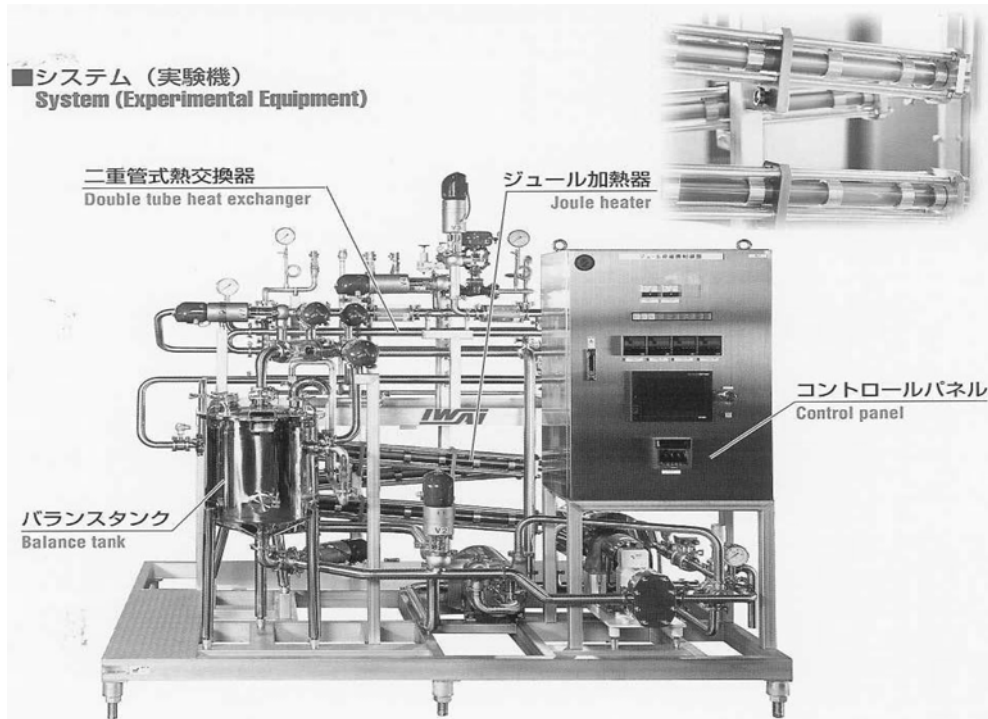


그림 7. Joule 가열장치 시스템

최근 들어 Joule 가열장치의 시스템화를 완성하여 어묵, 딸기잼, 미소(된장), 야채스프, 커피추출액 등의 살균목적으로 이들 공장에 설치한 성과가 있으며, 이 외에 고추장, 두유, 파스타소스, 각종 과일잼 등의 살균, 죽류, 치즈 등의 가공시험을 마쳤다.

Iwai 기계의 Joule 가열 시스템의 특성은 그림 6과 같다. 기본적인 Joule 가열의 시스템 type은 STP형(multi-flow shell and tube type heat exchanger), SSP형(single flowshell and tube type heat exchanger), Scraped-surface heat exchanger의 3가지 type으로 이루어져 있다.

STP형은 저점성 및 작은 고형물이 혼입되어 있는 시료에 적합하며, SSP형은 다루기 어려운 고형물이 혼입되어 있는 시료, Scraped-surface heat exchanger는 고점성에 작은 고형물이 혼입되어 있는 시료에 적합하도록 설계되어 있다.

그림 7과 같은 Joule 가열기기를 이용하여 예를 들어 딸기의 원형이 들어있는 잼을 열처리하였을 때의 모습은 그림 8과 같다. 95°C에서 30초간 열처리(살균)를 하여도 딸기의 원형이 그대로 남아있었으며, 관능검사에서도 Flavor가 살아있다고 한다.

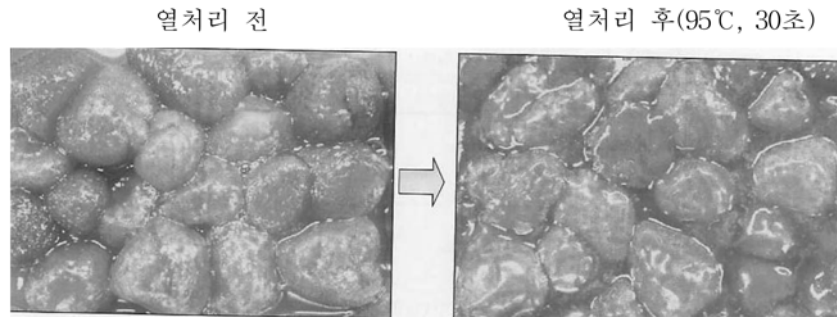


그림 8. Joule 가열에 의한 말기의 열처리 전 · 후



그림 9. 실험용 연속식 Joule 가열 장치

## 2. Power point international(주)

Power point international(주)는 영국계 회사로서 약 10년 전에 일본으로 완전히 이전해온 Joule 가열기기 전문 회사이다. 산업용은 생산

하지 않고, 실험용 Joule 가열 장치만을 생산하고 있다. 대부분 액체시료의 살균용으로서 소스류, 스프류, 주스 등을 살균하는 실험 장치이다 (그림 9).

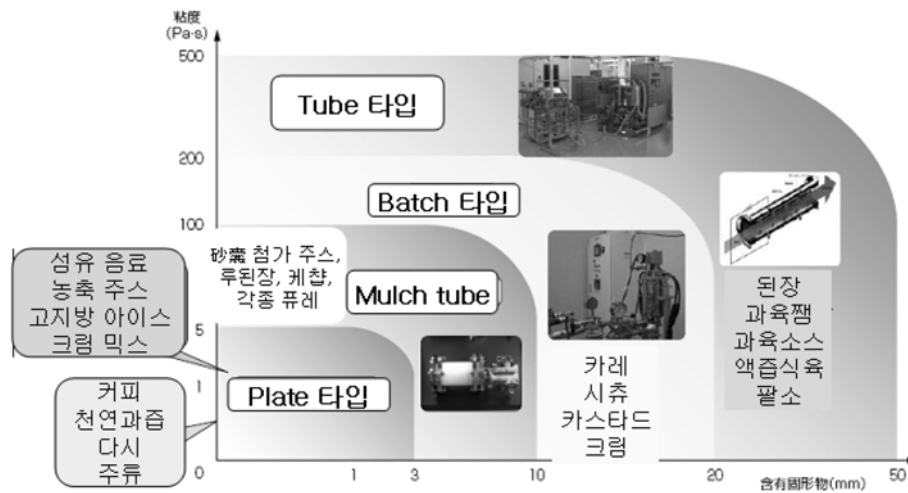


그림 10. Joule 가열 장치의 상품 지도

### 3. Izumi Food Machinery(주)

Izumi Food Machinery는 1925년에 설립된 역사가 오래된 회사이다. 주 업종은 살균, 멸균 기술 및 시스템엔지니어링기술을 기반으로 하여 식품업계는 물론 의약업계, 화학업계 등에 가열, 냉각, 포장 등의 생산 시스템 설비를 전문으로 하고 있다.

최근 들어 Joule 가열 장치의 시스템 설비에 상당부분 주력을 하고 있으며, 특히 전극에 관

한 자체 연구를 계속적으로 진행하고 있다. 본 회사의 연구팀에서 개발한 전극은 링 타입 및 커튼 타입의 전극이 있었으며, 현재 이 타입은 생선구이, 햄버거, 닭꼬치, 군어묵, 로스트비프, 튀김류 등의 생산라인에 1차 가열용으로 활용하고 있다. 또한 세라믹(전기전도를 가능케 함) 전극을 개발하여 실용화 준비를 하고 있다. 현재 가장 많이 활용하고 있는 Joule 가열 장치는 tube 타입, batch 타입, mulch tube 타입, plate 타입 등이며, 이들의 용도는 그림 10과 같다.