

저온 살균용 펄스형 고압 대전류 전원장치 개발

유동욱*, 김학성*, 백주원*, 류홍제*, 임근희*, E.P. Pavlov*, 박선순**

*한국전기연구소 전력전자부 (TEL.0551-80-1451) **다원산업(주) (TEL.0345-492-8660~2)

Development of a HVHC-PEF Power Supply for Low Temperature Pasteurization

D.W. Yoo*, H.S. Kim*, J.W. Baek*, H.J. Ryoo*, G.H. Rim*, E.P. Pavlov*, S.S. Park**,

*Power Electronics Div. KERI **Dawon Industrial Electronics Co., Ltd.

Abstract High Voltage High Current Pulsed Electric Fields (HVHC-PEF) is a promising technology for the non-thermal pasteurization of foods and a sound complement or replacement to traditional thermal pasteurization, which inactivates bacteria and other microorganisms harmful to humans, but also degrades color, flavor, texture and nutrients. Foods can be pasteurized with pulsed electric fields at ambient or refrigerated temperatures for a short treatment time of seconds or less and the fresh-like quality of food is preserved.

Although successful in laboratory tests, applying HVHC-PEF to food pasteurization on a large scale presents many unresolved engineering problems. In this paper the design considerations for 25kV 1kA class HVHC-PEF pasteurization equipment are analyzed and experimental results are discussed.

되고 있다. 그 중에서 특히 고압 대전류 펄스형 전계 (High Voltage High Current Pulsed Electric Fields : 이하 HVHC-PEF 라고 칭함.) 처리기술은 21세기 식품공업에 큰 변화를 가져올 고도의 기술로 평가되고 있다. 이들 방법은 재래의 열적, 화학적 방법과는 달리 전기적 및 물리적 조작으로서 앞으로 이들 기술이 실용화되면 미래의 소비자들에게 오늘날 식품보다 품질면에서 훨씬 우수하고, 천연의 영양성분을 그대로 함유하고 있으며, 신선하고 식미가 우수한 고품질의 안전한 식품을 제공할 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발한 HVHC-PEF 처리기술은 기존의 직접가열 살균처리 가공법과는 달리 액체내에 살아있는 세균 또는 미생물에 고압 대전류 펄스형 전계를 가함으로써 그 이중막을 터뜨려 살균처리하는 기술이다. 따라서 본 논문은 이와 관련된 기술 중 장치 개요와 설계 기준 및 장치 구성에 대해서 주로 언급하였으며, 직접 실험을 통하여 제시한 장치의 우수한 동작 특성을 입증하였다.

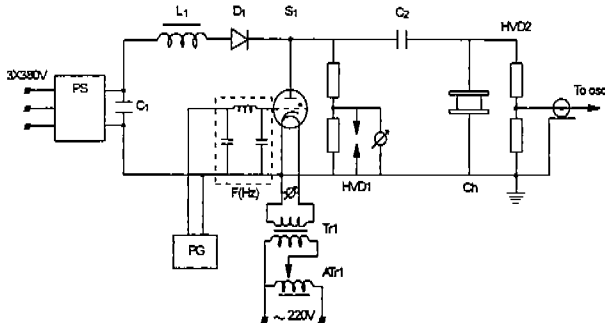
1. 서 론

2. 장치 개요

최근 소비자들의 건강에 대한 관심이 고조됨에 따라 천연상태의 품질을 가능한 유지한 최소가공식품 (minimal processing foods)에 대한 수요가 증가되고 있다. 최소가공법은 식품 본래의 신선한 품질을 가능한 그대로 유지하면서 안전한 보존수명을 부여할 수 있는 가공방법을 말한다.

오늘날 식품공업에서 사용되고 있는 보존법은 대부분 가열조작(thermal operation) 또는 식품보존제 첨가 등에 의한 화학적 조작(chemical operation)에 의존하고 있다. 그러나 가열조작에서는 열에 의한 영양성분의 파괴, 텍스처의 변화, 향기성분의 손실 등 품질 손실을 피할 수 없으며, 인공보존료를 첨가 사용하지 않는 경향이다. 따라서 식품가공 및 포장기술에 기술 혁신이 요청되고 있으며 여러 가지 비가열 가공 (nonthermal process) 기술이 개발

종래의 살균처리 방식(우유인 경우)은 약 72℃에서 30분간 처리하는 저온살균법과 135℃에서 2~3초 동안 살균하는 순간 고온살균법이 대부분이었다. 전자인 경우는 비타민(혹은 영양분) 파괴의 최소화를 누릴 수 있는 장점이 있는 반면에 장기간에 걸쳐 보관이 어려운 단점이 있다. 또한 후자인 경우는 장기간에 걸쳐 보관이 용이한 장점이 있는 반면에 비타민(혹은 영양분) 파괴의 단점이 있다. 본 연구에서 제안한 HVHC-PEF 살균 처리방식은 약 45℃ 이하에서 분당 1~2ℓ(1~2ℓ/min)를 살균 처리하는 목표로 장치를 설계하였다. HVHC-PEF 방식은 일반적으로 Exponential Wave 방식과 Square Wave 등 2가지 방식이 있다. 장치의 효율적인 측면에서는 후자인 Square Wave 가 월등히 좋으나 장치의 설계 및 구성에 난이도가 따른다.



NO	Name
1	PS-Power Supply (+15kV 20kW)
2	C ₁ -Capacitor
3	C ₂ -Capacitor
4	S-Thyratron (25kV 1kA)
5	Tr1-Transformer heating
6	Atr1-Autotransformer
7	D1-Diode
8	L ₁ -Inductance(Choke)
9	Ch-Treatment Chamber
10	PG-Pulse Generator (500V 100A, 5μs, 0~400Hz)
11	F-HF Filter
12	HVD1-High-Voltage Divider
13	HVD2-High-Voltage Divider
14	High-Voltage Cable
15	Blocking-Signalling System

그림 1. 개발된 Exponential Wave 방식 HVHC-PEF 처리장치 블록도

따라서 본 연구에서는 박테리아 사멸의 원인을 간단히 파악할 수 있는 목적으로 구성된 Exponential Wave 방식 HVHC-PEF 처리장치의 연구 결과를 제시하고자 한다. 장치의 구성은 커패시터 충전용 고압 전원장치부(PS), 커패시터 방전용 스위치로 사용한 Thyratron SW, 및 구동회로부(PG), 25kV 1kA급의 Electrode를 포함하고 그의 절연구조를 지니고 있는 살균 처리 챔버(Ch.) 등으로 이루어져 있다. 특히 살균 처리 챔버의 설계 및 제작은 선진 외국에서도 고 난이도에 해당하는 기술로 인식되고 있으며 이에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 또한 살균 처리시 발생하는 거품(Bubble) 문제이다. 거품은 챔버 내부의 구조, 냉각, 전원장치 및 HVHC 정밀계측 등의 잘못된 설계에 기인되는 문제로서 스파크로 인한 Electrode 파손, 소음, 처리 효율저하 등에 영향을 미치게 되며 궁극적으로 주 소자의 파손을 일으키게 된다. 따라서 이에 대한 심도있는 연구도 진행되어야 한다.

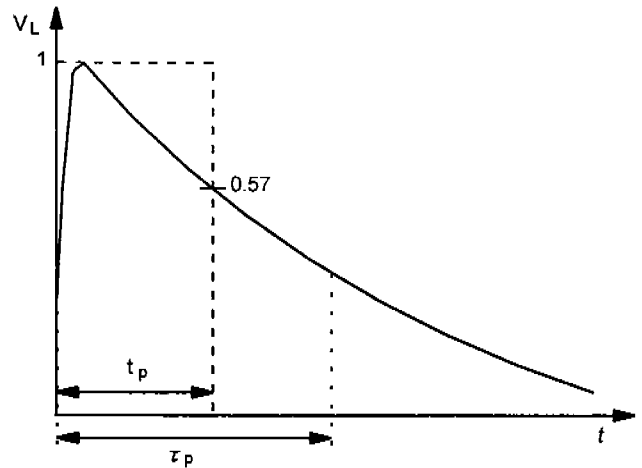


그림 2. 장치의 이론적 특성 파형

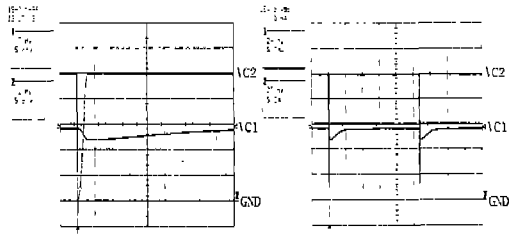
그림 1은 본 연구에서 개발한 Exponential Wave 방식 HVHC-PEF 처리장치 블록도를 나타내고 있다. 또한 그림 2는 장치의 이론적 특성 파형을 보여주고 있다. 그림 2에서 알 수 있듯이 실제 살균 처리 영역은 Time t_p 의 구간이며 그 이후의 구간은 에너지 손실 구간이다. 따라서 살균 처리 효율 및 장치효율 부분에서 Exponential Wave 방식은 Square Wave 방식에 비해 뒤진다는 점을 알 수 있다. 이러한 부분에 대한 대안책은 다음과 같다.

- Time 시정수 $\tau_p(\mu s)$ 를 줄이기 위해서는 커패시터 수를 줄이고, 처리 용기(TC)의 내부면적을 줄이며 반복 주파수 $f(Hz)$ 를 증가시켜야 한다.
- 극 간격 $E(kV/cm)$ 를 줄이기 위해서는 링을 끼우든지 커패시터 충전전압을 줄여야 한다.
- 분당 처리용량 $V_{flow}(l/min)$ 을 변화하기 위해서 반복 주파수 $f(Hz)$ 를 변화시켜야 한다.

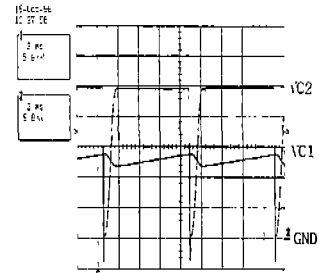
3. 실험 결과 및 검토

상기의 설계 기준 및 장치 구성으로 사과 주스에 적용하여 다음과 같은 연구 결과를 얻었다. Exponential 방식의 HVHC-PEF 처리에 의한 시료 용액의 온도 변화는 약 25kV 1kA 적용에도 40°C 미만으로 비가열 살균효과를 나타내었다. 또한 시료 용액의 성분변화에 큰 영향을 나타내지 않았고 전압과 펄스의 처리수가 많을수록 미생물의 사멸효과가 높았다. 즉 미생물 사멸을 조사 결과 20kV 800A의 고전압펄스 적용시 세균, 효모, 곰팡이가 거의 사멸되었고 25kV 1kA에서는 완전 사멸되었다. 그리고 HEFP 처리에 의한 신선사과 주스의 이화학적 성분 변화중 25kV 1kA, 32펄스의 수로 처리시 사과 주스의 갈변을 일으키는 효소의 활성을 저해하는 효과를 나타내었다.

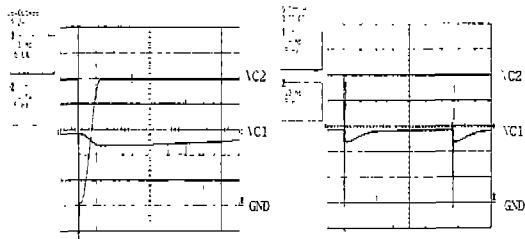
실험 파형 (F=8[Hz])



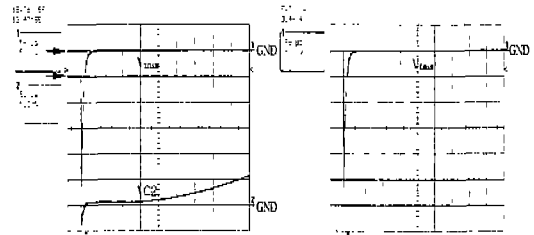
실험 파형 (F=120[Hz])



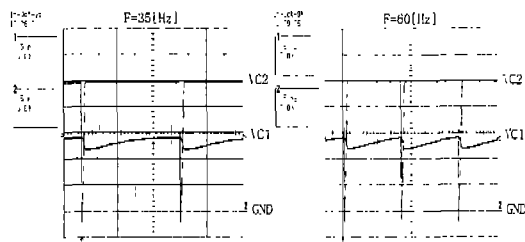
실험 파형 (F=15[Hz])



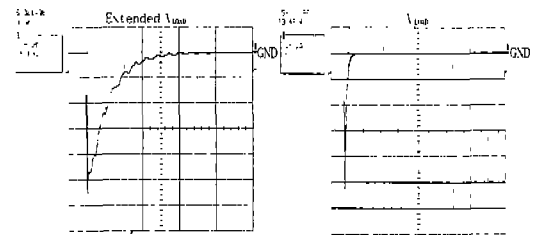
실험 파형 (F=8[Hz], V_{LOAD}, VC2)



실험 파형 (F=35[Hz], 60[Hz])



실험 파형 (F=8[Hz], V_{LOAD})



참고 문헌

- [1] Q. Zhang et al, "Engineering Aspects of Pulsed Electric Field Pasteurization", Journal of Food Engineering 25, pp.261-281, 1995
- [2] B. Qin et al, "Food Pasteurization Using High-Intensity Pulsed Electric Fields", Food Tech., pp.55-60, 1995
- [3] 유동욱 외 3인, "저온살균용 고전압 발생장치 개발 연구", 한국전기연구소 보고서, 1996