

샤워형 초음파 장치를 이용한 농약 제거 효율에 관한 연구

조승인[†]·허웅*·김정국**

Study on the elimination of agricultural chemicals using shower type ultrasonic cleaner

Sheung In Cho, Woong Hur, Jungkuk Kim

Key Words: Ultrasonic(초음파), Cleaning(세정), Residue agricultural medicines(잔류농약)

Abstract

This paper describes a shower type ultrasonic cleaning system using particle acceleration, developed for better effectiveness in washing out agricultural chemicals from fruits or vegetables, compared to the existing bath type ultrasonic cleaning system. The shower type system consists of a signal generator, a transducer, and a spouting nozzle, mainly. The system has been tested based on the method recommended by Korea Food and Drug Administration. It is found that shower type system shows better performance and cost-effectiveness than the bath type system that is commercially available .

기호설명

λ 는 파장, V_0 는 음속, f 는 주파수

1. 서 론

최근 초음파는 통신, 비파괴검사, 의용생체공학, 세정등의 다양한 분야에 응용되고 있으며, 그 활용범위가 계속 증가하고 있다. 이 중 초음파를 이용한 세정분야는 일반적으로 산업용 세정 용도로 많이 사용되어 왔으나, 초음파 세정의 우수함을 가정용으로 접목하려는 시도가 현재 활

발히 진행 중이다. 초음파 세정방법 중 보편적인 것은 수조식(Bath type)으로, 수조에 물을 담아 초음파 진동을 밑바닥으로부터 전달하여 세정하는 방법으로, 한번에 많은 양의 세정을 요하는 곳에서 많이 사용되고 있다. 그러나 수조내의 오염으로 피세정물이 재 오염되는 단점과 소량의 피세정물이라도 많은 양의 물을 소비해야하는 문제점을 지니고 있다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 소량의 물을 소비하며, 재오염의 우려가 없는, 또한 세정시간을 월등히 단축할 수 있는 샤워형 초음파 세정시스템을 개발하였다. 개발한 시스템의 효용성을 알아보기 위하여, 기존 방식의 수조식 세정 시스템과 개발한 샤워형(Shower type) 세정시스템을 과일과 야채에 포함된 이피엔(EPN:고독성 농약) 제거에 사용하여 그 제거율을 및 장단점을 비교분석하였다.

[†] 명지대학교 전자공학과 석사과정

E-mail :ul-tech@ul-tech.com

TEL : (031)455-4603 FAX : (031)455-4604

* 명지대학교 전자공학과 교수

** 명지대학교 전자공학과 조교수

2. 샤워형 초음파 세정 시스템

2.1 초음파세정

초음파는 진동자를 통하여 탄성과 관성에 따라 파동을 발생한다. 이러한 파동 에너지를 이용한 기술 중 하나인 초음파 세정은 파동 전파에 따라 세정액이 진동을 함으로써 세정된다. 저주파수의 세정에서 나타나는 물속의 공기입자가 수축운동 및 확장운동을 통해 폭발하여 발생하는 캐비테이션(Cavitation) 현상과 고주파수에서 발생하는 수분자의 진동 가속도를 이용한다. 액중에 초음파를 방사하면, 주파수에 상응하는 정재파가 발생하여, $\lambda/2$ 의 정수배에 상응하는 위치에서 음압이 가장 높아지는 위치인, 세정성이 우수한 구간이 생겨나게 된다. 즉, λ 는 1파장이므로, $\lambda = v_0/f$ 이다. 본 논문에서 구현한 시스템의 최대 주파수인 $f=1.6[\text{MHz}]$ 의 경우는 0°C 의 물을 기준으로 음속은 $v_0=1500 [\text{m/sec}]$ 이므로 $\lambda = 1500[\text{m/sec}]/1.6[\text{MHz}]$ 이고, $\lambda = 0.9375[\text{mm}]$ 가 된다. 즉 $0.9375/2$ 인 $0.46875[\text{mm}]$ 마다 조밀한 세정 구간이 생겨나게 된다. 본 논문에서 구현된 시스템에서는 피세정물에 상처를 줄 수 있는 캐비테이션(Cavitation) 현상이 없으면서 고주파 대역의 세정구간이 조밀하게 구성되는 $1.6[\text{MHz}]$ 의 주파수 대역을 선택하였다. 구현된 시스템은 초음파 세정의 여러 방법 중 샤워방식을 적용하였다. 초음파 세정기는 발진부와 진동부 및 노즐부로 구성이 되어 있으며, 발진기는 일정 주파수로 진동하는 고주파 전기신호를 발생시켜 진동부로 보내 초음파를 발생시키고, 진동부가 삽입된 노즐부에서는 유량의 흐름을 제어함으로써 진동부에서 발생하는 초음파를 유체에 안정적으로 방사시키는 역할을 한다. 그림1은 구현된 초음파 시스템의 블록도이다.

2.1.1 발진부

발진시스템의 출력은 최대 $30[\text{Watt}]$ 이며 출력주파수는 $800[\text{KHz}] \sim 1.6[\text{MHz}]$ 이다. 시스템의 구성은 전원공급을 위한 파워보드(Power Board), 자체 상태점검과 아날로그 대 디지털 변환(A/D) 제어 및 모니터링을 위한 모니터링 보드(Monitoring Board), 이상 상태 발생을 알리기

위한 릴레이 알람보드(Relay/ Alarm Board)로 구성 하였다. 그림2는 구현된 발진부를 보인다.

2.1.2 진동부

진동부는 발진부로부터 받은 전기적인 신호를 기계적인 신호로 변환하는 부분으로 PZT형(납, 지르코늄, 티탄산바륨) 세라믹 진동자를 사용한다. 샤워형으로 설계된 노즐은 흘러 떨어지는 물에 초음파를 발생시켜, 입자가속도를 이용한 세정을 유도한다. 그림3은 진동자이다.

2.1.3 노즐부

노즐부는 유수의 형태를 결정짓는 부분으로, 본 논문에서 구현된 노즐은 기존 유수식의 단출력(one-way output) 방식에서 나타난 단점인 세정면적의 협소함을 보완하고자 새롭게 디자인된 다출력(multi-way output) 방식을 채택하였다. 노즐로부터 나온 물은 초음파의 방사 이전에 중력에 의해 아래로 흘러 떨어지고, 초음파의 영향을 받은 후부터는 중력과 함께 고주파대역의 발진부에서 발생하는 초음파에 의해 액체분자의 입자가속도가 매우 커지게 된다. 이에 발생하는 큰 마찰력과 충격력은 초정밀(SUB-Micron, $0.1\mu\text{m}$)세정을 가능하게 하며, 큰 입자가속도의 영향에 의해 부가적으로 액체분자가 무화(Vaporization)되는 현상을 나타내게 된다. 샤워노즐은 이러한 효과와 더불어 세정 표면적의 확대를 통해 세정효과를 극대화한다. 그림4는 구현된 샤워형의 노즐부이고, 그림5는 샤워형 초음파 세정기의 세정원리이다.

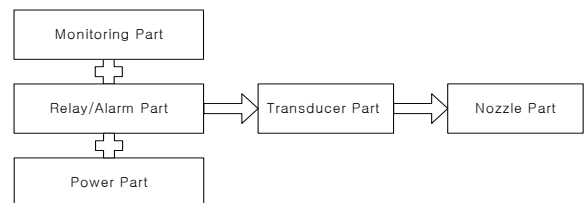


Fig. 1 Block diagram of ultrasonic system.



Fig. 2 Generator system.



Fig. 3 Transducer.



Fig. 4 Multi way Nozzle.

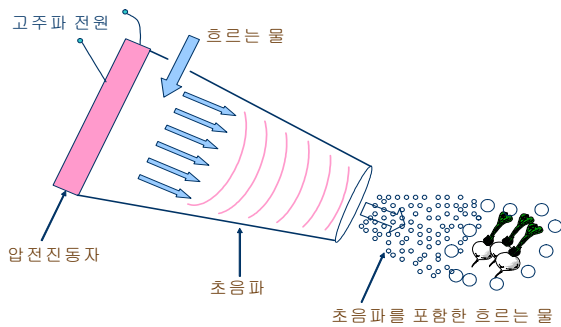


Fig. 5 Process of shower type ultrasonic cleaning.

3. 실험 및 결과

3.1 실험1의 방법

표1은 실험에 사용된 샤워형과 수조형의 초음파 세정시 유량에 따라 나타나는 음압과 소비전류 및 전력, 주파수를 비교하고 있다. 음압은 초음파를 가하지 않은 물에서는 0 [mV]를 나타내며, 초음파를 가함과 동시에 음압이 나타나게 된다. 음압은 샤워형이 수조형과 비교하여 200[mV] 높게 나타났다. 음압의 측정은 일본 혼다(HONDA)사의 음압측정기기(HUS-5)를 사용 하였고 측정거리는 노즐로부터 20[mm]이다. 본 연구의 신뢰성을 확보하기 위해서 수조형은 시중의 모기업에서 과일세정기로 판매하여 상용화된 제품을 선정하여 실험하였고, 실험시간은 60초로 모두 동일하게 주었다. 실험1은 샤워형(Shower Type)과 수조형(Bath Type)의 세정 능력을 비교하기 위한 실험으로 샤워형은 2[L/min]의 유량을 사용하여 실험하였고, 수조형은 5[L]의 물을 사용하여 실험하였다. 1차는 물만을 이용하여 세정하였고, 2차는 물에 초음파를 방사하여 세정하였다. 세정대상의 잔존오염물이 동일 농도를 갖도록 하기 위해 상추의 오염물을 수돗물로 1차 세정, 아세톤(acetone) 30[%]용액으로 2차 세정을 한 후 다시 수돗물로 3차 세정 및 건조를 하였다. 이후 새로운 농약(EPN 유제, 미성)을 사용약량 기준에 의거, 희석액(20[mL] EPN[유제/20L water])을 제조하여, 상추를 30초간 침지 후 1일간 건조하였으며, 잔존농약의 농도는 5.53 [PPM]로 측정되었다. 세정실험은 샤워형과 수조형의 세정방식으로 잔류농약의 분석은 농약잔류시험방법(KFDA)에 따라 지씨(GC: Gas chromatographic)법으로 분석하였다.

Table 1 Spec. between Shower type & Bath type.

| Type | Flux [L/Min] | Input Current [A] | Power[watt] /frequency [KHz] | Sound Pressure [mV] |
|----------------------------------|--------------|-------------------|------------------------------|---------------------|
| Shower Type | 0.8 | 1 | 30/1600 | 180~200 |
| | 1.2 | 1 | | 160~180 |
| | 2.0 | 1 | | 140~160 |
| Shower Cleaning Distance 20 [mm] | | | | |
| Bath Type | 5 | 2 | 250/40 | 15 |

3.1.1 실험1의 결과 및 고찰

Table 2 Elimination rate of the EPN.

| Type | Condition | EPN [PPM] | Elimination [%] |
|-------------------------------|------------------|-----------|-----------------|
| Shower Type | water | 3.67 | 33.6 |
| | water+ultrasonic | 3.02 | 45.4 |
| Bath Type | water | 3.88 | 29.8 |
| | water+ultrasonic | 3.84 | 30.6 |
| Shower Cleaning Distance [mm] | | | 100 |

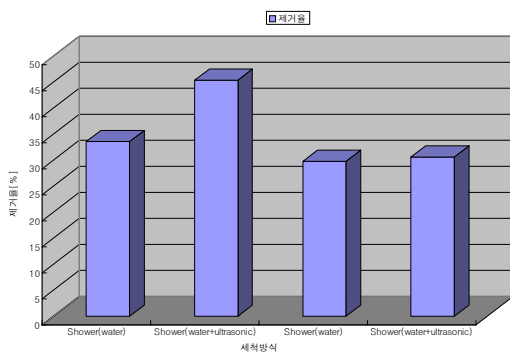


Fig. 6 Chart of elimination rate

표2는 이피엔(EPN)의 제거율을 실험방법에 따라 나타낸 결과이고, 세정거리는 100[mm]이격하여 실험하였다. 그림6은 세정방법에 따른 이피엔의 제거율을 나타낸다. 그래프에서 나타내듯이 샤워형의 초음파세정에서 잔존 오염물이 적게 나타나는 것을 볼 수가 있다. 위의 실험 결과에서처럼

이피엔에 대한 세정 효과는 샤워식이 15[%]정도 우수한 세정효과를 나타냈다.

3.2 실험2의 방법

두 번째 실험은 샤워형을 대상으로 1~4[L/min]의 유량 및 유량을 단계적으로 조절하며 실험하였고 세정능력에 대한 실험을 추가하였다. 세정거리는 50[mm]이격하여 실험하였다. 실험 대상의 준비와 실험의 방법은 실험1과 동일한 환경과 조건으로 하였다.

3.2.1 실험2의 결과 및 고찰

Table 3 Elimination rate of shower type by flow quantity.

| Type | Flux (L/min) | Consistency (PPM) | Elimination (%) |
|-------------------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Shower Type | 1 | 1.17 | 52.8 |
| | 2 | 1.24 | 50.0 |
| | 3 | 1.16 | 53.2 |
| | 4 | 1.1 | 55.6 |
| Shower Cleaning Distance [mm] | | | 50 |

표3은 샤워형의 유량에 따른 제거율을 나타내며, 유량은 잔존 오염물제거에 영향을 주지 못하는 것을 알 수가 있다.

3.3 실험3의 방법

세 번째 실험은 과일과 야채에 대한 세정력 비교를 위해 사과에는 인공적으로 캡탄(Captan)을 희석농도로 도포 후 2시간을 건조하고 세정비교 실험을 하였다. 세정력 비교 조건은 총 5가지로 세정전의 농약의 농도 분석, 샤워형으로 10초 세정 및 1분 세정, 수조형을 이용하여 7[L]의 물로 7분간 세정 후 흐르는 수돗물에 10초간 세정, 세제를 이용하여 5[L]의 물에 1분 세정 후 10초간 수돗물로 세정 하였다. 샤워형의 경우 세정거리는 30 [mm]이격하여 실험하였다

3.3.1 실험3의 결과 및 고찰

Table 5 Comparison of elimination rate of Captan using various types.

| Type | consistency [PPM] | Elimination [%] |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| before clean | 0.087 | - |
| Shower(10초) | 0.018 | 78.9 |
| Shower(1분) | 0.014 | 83.9 |
| Bath(7분) | 0.062 | 28.7 |
| Detergent(1분) | 0.063 | 27.6 |
| Shower Cleaning Distance [mm] | | 30 |

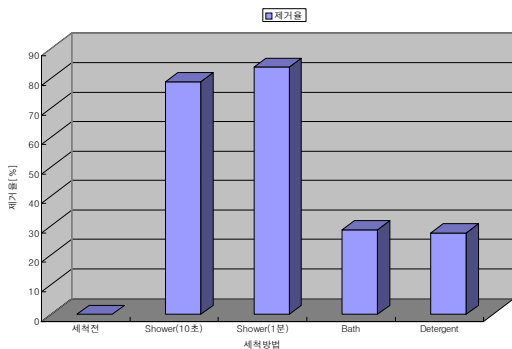


Fig. 7 Chart of elimination rate.

위의 표5와 그림7은 캡탄을 도포한 사과의 세정 후 잔류 농약 농도와 그 제거율에 관한 실험 결과를 나타낸 것이다. 결과에서와 같이 과일에서의 잔존농약의 제거 효과는 샤워형으로 1분간 세정이 가장 효과가 높았으며, 샤워형 10초, 수조형, 세제의 순으로 농약의 제거율은 샤워형이 가장 월등한 결과를 나타내었다.

4. 결 론

실험1,2,3의 각기 조건이 다른 3가지의 실험을 통하여 분석한 결과 흐르는 물에 초음파를 방사하여 세정하는 것이 담긴 물에서 방사하여 세정하는 것보다 잔류농약 제거율이 높았으며, 그 차이는 약 10[%] ~ 50[%]로 나타났고, 세정시 노즐로 유입되는 물의 양은 세정의 효과에 큰 영향을 끼치지 않는 요소로 나타났다. 하지만 샤워형의

경우 매 실험마다 변화를 시켜온 노즐과 피세정물과의 거리는 세정력을 결정짓는 중요한 변수로 사료가 된다. 또한 수조형은 잔류농약 제거를 위한 초음파 세정이 종료 후 오염된 수조내의 물에 의해 재오염된 것으로 사료된다. 일반적으로 식품 의약품 안정청(KFDA)의 기준에 의거하여 잔존농도 허용 기준치인(5[PPM])의 잔존 농도를 넘는 야채나 과일은 없으나 미세농도의 잔존 오염물은 검출이 되었다. 극소량의 오염물을 제거하고자 할 때는 기준에 이용해 오던 세제나 기타 물리적인 방법으로 통한 세정보다는 샤워형 세정기를 이용하는 것이 효과적이며, 잔존 농약을 대부분 제거한다고 할 수가 있다. 또한 재오염의 우려가 없으며, 물의 소비가 적고 짧은 시간에도 우수한 세정 효과를 나타내는 개발된 샤워형의 세정기는 유용하게 활용되리라 사료가 된다.

후 기

세정의 효율증대 및 더욱 많은 신뢰성확보를 위해 피세정물과의 거리, 유량, 반응 시간 및 세정의 가장 유용한 주파수 및 전력에 대한 연구가 추가적으로 필요하리라 사료된다.

참고문헌

- (1) R.Kuc, 1986, Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, IEEE Tras, Vol.UFFC-33 NO.3, pp.359-368.
- (2) G. Kossoff, 1964, Ultrason, IEEE Trans, Vol. SU-11 NO.2, pp.95.
- (3) Dale Ensminger, 1988, Ultrasonics, Marcel Dekker, first edition, pp.273-358.
- (4) Poulter,L.N.J, 1986, signal processing methode applied in the ultrasonic inspection of PWR inlet nozzles. NDT Intern, Vol.19,pp.141-144
- (5) Gladwell,G.M.L, 1968, The cacylation of mechanical impedances relating to an indenter vibrating on the surface of a semi-infinite elastic body, Sound and vibration, vol.8 , pp215-220