

이젝터를 이용한 세정기술 개발의 기초연구

박 상 규* · 양 희 천*†

* 전남대학교 기계설계공학부

Basic Investigation for the Development of Cleaning Technology with Ejector

Sang Kyoo Park* and Hei Cheon Yang*†

* School of Mechanical Design Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

(Received August 16, 2016 ; Revised November 9, 2016 ; Accepted November 14, 2016)

Key Words: Cleaning Technology(세정기술), Annular Nozzle Ejector(환형노즐 이젝터), Mass Ratio(유량비), Buoyancy and Horizontal Jet(부력 및 수평분류), Residual Pesticide(잔류농약)

초록: 본 논문은 환형노즐 이젝터를 이용하여 세정수 공급과 기포생성을 동시에 할 수 있는 세정기술 개발을 위한 기초연구를 목적으로 한다. 환형노즐 이젝터의 피치변화에 따른 구동 및 부유체의 정량적 유동특성과 세정수조에 분출되는 분류의 정성적 가시화 이미지를 분석하였으며, 세정물의 농약 잔류물 성분의 농도를 검증하였다. 피치가 증가하면 구동유량은 증가하는 반면에, 유량비는 감소하였다. 피치가 증가하면 분류는 부력분류나 평형분류 거동을 나타내며, 잔류농약의 농도는 감소 후 증가하였다.

Abstract: The paper presents a basic investigation for the development of cleaning technology employing an annular nozzle ejector for application to cleaning water supply and air bubble generation. The quantitative flow characteristics of the primary and suction flows, the qualitative visualization behavior of the mixed jet, and the percentage concentration of pesticide residual at different values of the ejector screw pitch were investigated. It was seen that the primary flow rate increased, while the mass ratio decreased with increase in screw pitch. Further, the mixed jet behaved like a buoyancy jet or horizontal bubbly jet, and the residual concentration of pesticide first decreased and then increased with increase in screw pitch.

1. 서 론

수질오염은 자연수가 가지고 있는 물리적, 화학적, 생물학적 특성이 자연적 또는 인위적 요인에 의해서 변하여 수자원으로 이용하는데 지장을 초래하거나 수환경의 변화를 야기하고, 수중 생물의 생태에 영향을 미칠 수 있는 상태로 수질이 악화되는 현상을 말한다. 자연수는 물리적으로 청정하고 주위온도와 수온이 비슷하며, 화학적으로 무독성이며, 생물에 필요한 적당한 산소와 무기질을 함유하여 생물학적으로는 수중생물의 서식을 위해 생태적으로 안정된 상태를 유지한 물을 말한다. 그러나 오염물질은 인간의 생활 및 산업활동에 의

해서 발생하며, 오염물질이 지표수나 지하수에 유입되어 수질의 저하를 초래하고 수자원 및 수중 생태계를 파괴시킨다.

생활하수는 수질오염의 원인물질 중에서 약 70% 정도를 차지하여 가장 비중이 크다. 생활하수는 주방에서 배출되는 유기물질, 목욕과 세탁에서 나오는 세제성분 그리고 화장실에서 배출되는 암모니아성 질소화합물 등을 포함한다. 또한 산업 발달과 더불어 각종 오염물질이 포함된 산업용 폐수도 중요한 수질 오염원이며, 농경지의 농약 및 화학비료 성분, 축사에서 배출되는 가축의 분비물 등이 수질 오염의 원인이 된다.^(1,2)

수자원 보호와 수질오염 방지를 위해 세제에 사용되는 계면활성제의 구비조건은 과거에 비해서 자원의 절약 및 환경 친화적인 측면이 강조되고 있다. 특히 사용 후에 하수로 배출되기 때문에 하

† Corresponding Author, heyang@jnu.ac.kr

© 2017 The Korean Society of Mechanical Engineers

수처리 설비나 자연생태계에서 쉽게 분해되어 수질환경에 미치는 영향의 최소화가 요구된다.^(2,3) 한편 익히지 않고 먹는 경우가 많은 과일이나 채소류는 어떤 식품보다 안전성과 위생에 대한 관심이 높기 때문에 위생적인 세정이 필요하다. 일반적으로 과일이나 채소류는 흐르는 물을 이용하여 씻거나 초음파, 오존 및 자외선 등을 이용하는 세정방법이 활용되고 있다. 이러한 과일이나 채소류의 세정에서는 손상을 방지하여 신선도를 유지할 수 있고, 위생적인 측면과 환경오염 측면을 고려하여 무 세정제 또는 세정제 사용을 최소화할 수 있는 진보적인 세정기술 개발에 관심이 높아지고 있다.^(2,4)

혁신적인 세정기술의 개발 필요성에 부응하여 최근에 들어서 미세기포를 활용한 연구노력이 증대되고 있다.⁽⁵⁻¹¹⁾ 미세기포는 수중에서 수축되어 용해되는 과정의 물리화학적 효과⁽¹²⁻¹⁴⁾에 의한 물분자 클러스터의 소집단화로 표면장력이 작아져 세정 대상에 흡착 및 침투력이 향상되고, 접촉면적이 증대된다. 또한 미세기포가 수축되어 붕괴되는 과정의 질적 활성화 작용으로 오염원과 쉽게 결합하기 때문에 세정도 향상 및 세정시간 단축이 가능하고, 미생물의 살균소독과 난분해성 유기물의 산화분해 등의 정화작용이 가능한 것으로 알려지고 있다.⁽⁴⁾

모든 산업 분야에서 강조되고 있는 기술혁신과 신기술에 의한 경쟁력 강화, 고효율 친환경기술의 적용추세에 따라 세정기술도 비약적인 발전을 거듭하여 세정조건을 스스로 인지하여 작동하는 인공지능 세정기술까지 등장하고 있다. 그러나 외력에 의해 발생하는 수류를 이용하여 세정물에 물리적인 힘을 가하는 과정이나 세제의 사용에는 큰 변화가 없다. 세정의 기본 원리는 오염물질이 세정물에 부착하는 힘인 계면장력보다 큰 힘으로 세정물에 부착된 오염물질을 제거하는 것이다. 따라서 세제를 투입하여 계면장력을 감소시킨 후에 수류에 의한 기계적인 힘으로 오염물질을 분리하게 된다. 그러나 외력에 의한 과도한 수류는 세정장치의 부하증가와 세정물의 손상을 유발할 수 있지만 기포의 물리화학적 활성화효과를 이용하면 과도한 수류로 발생하는 문제점들을 극복할 수 있기 때문에 기포를 응용하는 기술이 세정에 활용되고 있다.⁽¹⁰⁾

1990년대 중반 일본에서 본격적으로 연구가 시작된 미세기포 응용기술은 환경정화, 의료 및 건강관리, 미소기계 및 반도체 세정, 수산양식 분야

등에 활용되고 있다. 그러나 미세기포 응용기술을 처음으로 도입한 일본에서도 식재료의 세정에 적용하는 기술수준은 초기단계이며, 국내에서는 수질정화와 세탁기 응용 관련 기술 등으로 응용범위가 제한적이고 식재료의 세정과 관련된 연구결과도 많지 않은 실정이다.^(12,15-17) 또한 미세기포를 활용하는 기존의 대부분의 연구들은 초음파 가진이나 전기 이온수 방식과 같은 별도의 미세기포 발생기술을 이용하고 있다. 특히 업체류를 대량으로 세척하는 공정에서는 공기 압축기나 송풍기와 연결된 분사노즐들을 통해 공기를 공급하므로 부력이 큰 기포들이 생성되어 빠르게 수표면으로 부상되기 때문에 세정효율이 낮고, 공기 공급설비의 설치 및 운전 경제성이 문제점으로 지적되고 있다.

본 연구는 별도의 부가설비 없이 이젝터를 이용하여 세정수 공급과 기포생성을 동시에 할 수 있는 세정기술 개발을 위한 기초연구로, 이젝터의 구동유량과 기포 발생량 및 부력 조절을 용이하게 함으로써 식재료 세정 시 손상을 방지하고 세정효율을 극대화할 수 있는 기술개발에 필요한 자료제공을 목적으로 한다. 따라서 환형노즐 이젝터의 피치변화에 따른 정량적 유동특성과 세정수조에 분출되는 분류의 정성적 이미지 분석을 통해 세정효율에 미치는 분류거동의 영향을 예측하고, 세정물의 농약 잔류물 성분의 농도를 검증하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1의 개략도에 나타난 실험장치는 세정수조, 전동 모터-펌프, 환형노즐 이젝터, 컨베이어벨트 및 가시화장치, 제어부 및 측정부 등으로 구성하였다. 0.9m×0.9m×1.8m 사양의 세정수조는 가시화를 위해 앞면을 아크릴로 제작하였다. 전동 모

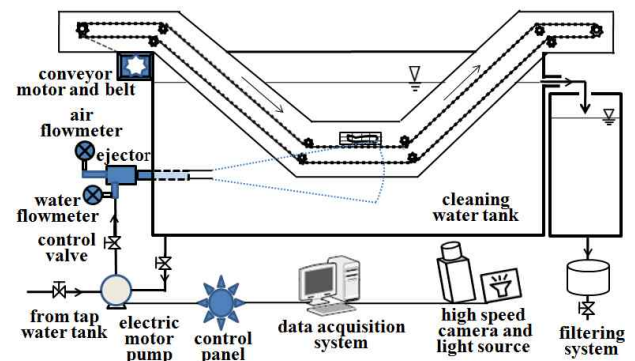


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

Table 1 Dimensions of the annular nozzle ejector

Dimension	d_p	d_s	d_m	d_d	L_m	L_d	α	β
Value [mm or deg]	26	26	26	35	290	130	59	7.7

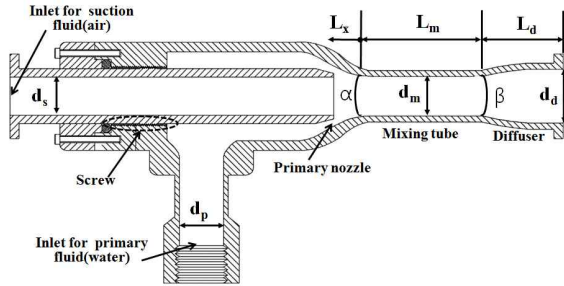


Fig. 2 Schematic diagram of an annular nozzle ejector with screw

터-펌프에 의해서 구동되는 이젝터의 구동유량은 전자제어 유량계(Kometer, KTM-800), 이젝터의 부압부를 통해 유입되는 공기량은 오리피스 유량계(Kometer, DPE-S)를 이용하여 측정하였으며, 유량계의 정확도는 각각 $\pm 1.0\%$ 와 $\pm 2.0\%$ 이다.^(2,4) 제어부에 의해서 작동되는 5마력 용량의 전동기와 펌프가 직렬로 조합된 전동 모터-펌프는 세정수조에서 월유(overflow)되는 오염된 세정수는 별도의 처리수조를 통해 여과된 후 방류되거나 재순환되도록 시스템을 구성하였다. 또한 컨베이어벨트는 1마력 용량의 모터에 의해서 구동되어 세정물 적층함을 제어할 수 있도록 설계하였다. 이젝터에서 분출된 혼합유동의 가시화 이미지는 고속 카메라(Phantom Miro eX2)와 조명장치를 이용하여 획득하였다.^(2,4)

Fig. 2는 환형노즐 이젝터의 개략도이며, Table 1은 이젝터 각부의 사양을 나타낸다. 이젝터는 스크류 조절로 출구 단면적이 변하는 구동노즐, 구동 및 부유체 유입구, 혼합관과 디퓨저로 구성된다. 디퓨저 출구는 수조 밀면에서 20cm 떨어진 측면 중앙에 위치한다. 환형노즐의 0피치는 혼합관 입구에서 1.0mm 떨어진 지점이며, 1피치 거리는 1.5mm이다.^(4,18) 본 연구의 실험범위는 1~11피치로 설정하였으며, 이는 혼합관 입구로부터 2.5mm~ 17.5mm 사이에 노즐선단이 위치하는 조건이다.

2.2 실험방법

유동실험은 수조에 수돗물을 채우고, 임의의 피

치에서 모터-펌프를 가동하여 정상 유동조건에 도달하면 구동유체의 압력과 유량, 부유체인 공기의 유량을 측정한 후 피치를 변화시키며 실험을 반복적으로 수행하였다. 또한 세정효율에 미치는 분류의 정성적 거동의 영향을 분석하기 위하여 전면 조명조건에서 수조에 분출되는 혼합유동의 가시화 이미지를 획득하였다.^(4,18) 가시화 이미지 획득실험에서는 모터-펌프와 이미지 획득장치의 트리거를 동시에 구동시키면 후(post) 트리거 설정으로 정해진 구간의 이미지 획득이 완료된다. 그리고 가시화 응용 소프트웨어⁽¹⁹⁾의 활성화 모드에서 디퓨저 출구에서 분출이 시작되는 순간인 기준시점부터 획득 이미지를 재저장하게 된다.^(2,20) 획득한 이미지의 정성적 분석을 위해 분류의 중심이 디퓨저 출구 중심선으로부터 이탈하는 정도, 분류 선단의 수평 도달거리 및 세정물 적층함 위치 부근의 미세화된 기포의 분포도를 비교하였다.

세정 실험용 식재료로 선정된 호박과 오이의 농약 잔류물 검증실험은 다음과 같은 과정으로 진행하였다. 첫 번째는 에타보키삼(ethaboxam)이 주성분인 살충제와 물을 1:20의 비로 희석한 용액에 호박과 오이를 일정시간 동안 담근 후에 건조시켜 실험용 표본을 만들었다. 두 번째는 Fig. 1에 도시한 컨베이어 모터를 작동시켜 세정물 적층함을 컨베이어 시스템의 수평부 중앙에 위치시킨 후 3분 동안 세정하는 단계이다. 이 단계에서는 유동특성 실험에서와는 달리 이젝터에 제공되는 세정수는 별도의 수돗물 저장조로부터 공급되며, 세정으로 오염되어 부상되는 세정수는 별도의 저장조로 월류되어 여과된 후에 방류된다. 마지막 단계에서는 세정 후 건조시킨 세정물의 에타보키삼 잔류물 농도(ppm)을 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC, high performance liquid chromatography)⁽²¹⁾를 이용하여 분석하였다. 잔류물 검출을 위한 전처리 과정은 다음과 같다.

- 세정된 호박과 오이 껍질 10g에 증류수 20ml를 가하여 균질화한 후 약 2시간 동안 방치한다.
- 아세토니트릴 20ml를 넣고 3분간 균질화한 후 추출액을 막 필터(1 μ m)로 감압 여과한다. 그리고 염화나트륨 10g을 첨가하여 강력하게 흔들어 층 분리 시까지 정치시킨다.
- 층 분리된 아세토니트릴을 무수황산나트륨에 통과시켜 탈수하여 40 $^{\circ}$ C 이하에서 감압 농축한다.
- 1% 메탄올을 함유한 디클로메탄 2ml로 용해시킨 후 막 필터(0.2 μ m)로 여과하여 HPLC(고성능 액체 크로마토그래피)로 분석한다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2에 도시한 환형노즐 이젝터의 피치를 증가시켜 노즐출구 선단이 혼합관 입구로부터 멀어지면 노즐출구 단면적이 증가하기 때문에 유동특성이 변하게 된다. 이러한 유동특성 변화를 확인하기 위해서 구동유체 유입구에서 측정된 압력(P_p)과 체적유량(Q_p) 변화를 Fig. 3과 Fig. 4에 도시하였다. 정상 운전되는 진동 모터-펌프에 의해 일정한 힘이 구동유체에 전달되므로 피치가 증가하여 노즐출구 단면적이 넓어지면 유동저항이 감소하기 때문에 구동유체의 압력은 감소하고 유량은 증가하게 된다.^(18,22) 본 연구의 실험범위인 1~11피치에서 압력은 최대 약 8.3bar로부터 최소 약 1.4bar로 감소하였다. 한편 1피치에서 약 2.3m³/h인 구동유량은 7피치에서는 약 14.0m³/h로 증가하였으며, 7피치 이후에는 증가량이 적어서 거의 일정한 특성을 나타낸다.

Fig. 5는 구동노즐 출구에서의 구동유체의 물성치와 유속을 이용하여 식 (1)과 같이 산출한 레이

놀드 수 변화를 나타낸다.

$$Re = \frac{U_n d_n}{\nu_w} \quad (1)$$

여기서 U_n 은 식 (2)와 같이 계산되는 노즐출구의 유속을 나타내며, ν_w 는 23℃인 구동유체의 동점성 계수를 나타낸다.

$$U_n = \frac{Q_p}{\pi d_n^2 / 4} \quad (2)$$

여기서 $d_n(=2(r_2-r_1))$ 은 환형노즐 출구의 수력직경을 나타내며, r_1 과 r_2 는 각각 부유체 유입관의 외부 반경과 구동노즐 축소부의 내부 반경을 나타낸다. 피치증가에 따라 증가 후 거의 일정한 특성을 갖는 구동유량과는 달리 레이놀드 수는 증가 후 약간 감소하는 경향을 나타낸다. 이러한 감소하는 특성은 구동유량의 증가율에 비해서 출구 단면적의 증가율이 커서 구동유체의 노즐출구 유속이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 정량적으로 고찰

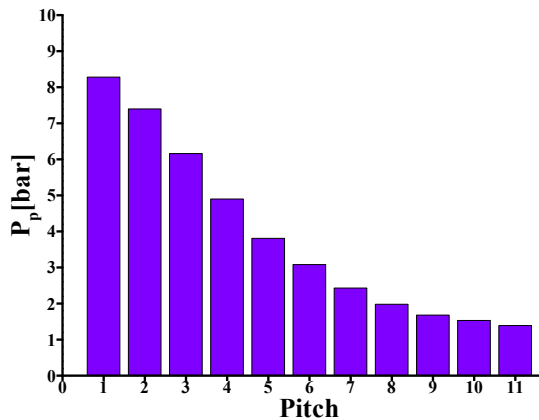


Fig. 3 Primary flow pressure with screw pitch

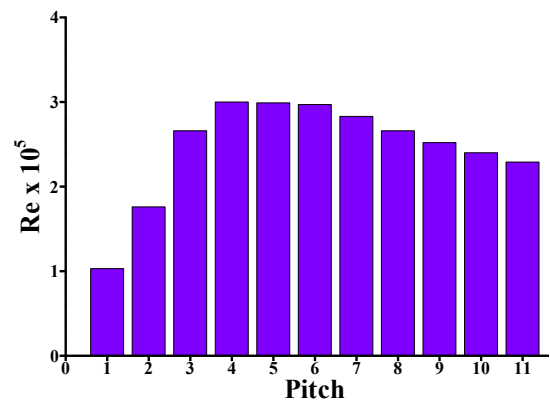


Fig. 5 Reynolds number with screw pitch

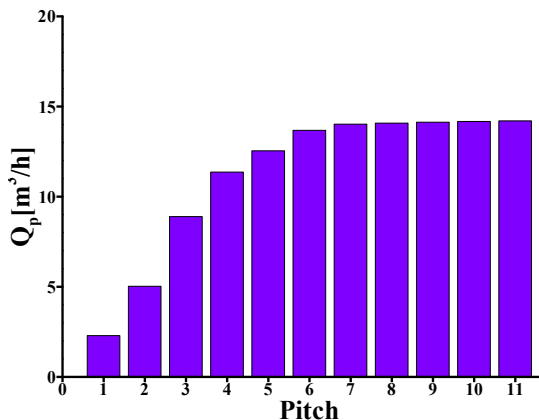


Fig. 4 Primary flow rate with screw pitch

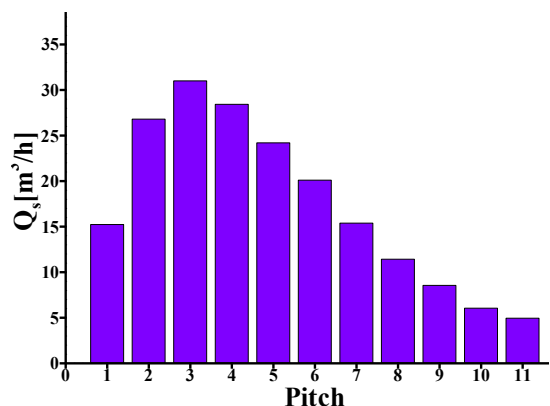


Fig. 6 Suction flow rate with screw pitch

하면, 실험범위의 피치조건에서 레이놀드 수는 $1.03 \times 10^5 \sim 3.0 \times 10^5$ 범위의 값으로 산출되었으며, 4피치에서 11피치로 피치가 증가하면 레이놀드 수는 약 24% 정도 감소하였다. 산출된 레이놀드 수는 기포 미세화와 물질전달을 촉진할 수 있는 난류특성을 나타내는 레이놀드 수 범위임을 확인할 수 있다.⁽²³⁾

환형노즐 이젝터의 피치변화로 노즐출구 단면적과 구동유량이 변하면 베르누이 정리에 따라 부압이 증감하기 때문에 유입되는 부유체의 유량이 변하게 된다. Fig. 6은 부유체 유입구에서 측정한 유입공기의 체적유량(Q_s) 변화를 나타낸다. 피치가 커지면 증가 후 거의 일정한 특성을 갖는 구동유량과는 달리 유입 공기량은 3피치까지 증가하여 약 $31.0\text{m}^3/\text{h}$ 로 최대치에 도달한 후 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 피치변화에 따른 구동유량과 환형노즐 출구 단면적 변화에 의해 발생하는 부압의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.⁽¹⁸⁾ 유입 공기량과 구동유량의 정량적 변화를 비교하면, 1피치에서 3피치로 피치가 증가하면 공기량은 약 2배 정도 증가하지만 Fig. 4에서 확인할 수 있는 것과 같이 구동유량은 약 4배 정도 증가하므로 구동유량에 비해서 유입 공기의 증가율이 낮게 나타난다. 또한 4피치에서 11피치까지 공기량은 약 84% 정도 감소하지만 Fig. 5에서 고찰한 것과 같이 레이놀드 수는 약 24% 정도 감소하므로 구동유량에 비해서 유입 공기량의 감소율이 크다는 사실을 유추할 수 있다. 이와 같이 구동유량에 비해서 유입 공기량의 증가율은 낮고 감소율이 높은 이유는 비압축성 구동유체인 물과 압축성인 공기의 유동특성 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

세정수 공급과 기포생성을 동시에 할 수 있는 세정장치에서는 세정수인 구동유체와 부유체인 공기의 유입량 비가 중요한 설계변수가 된다. Fig. 7

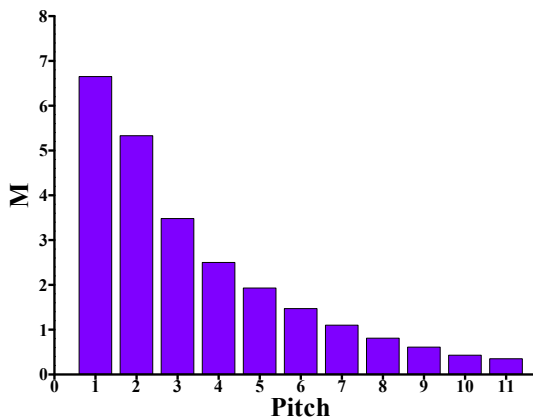


Fig. 7 Mass ratio with screw pitch

은 구동 및 부유체의 유량을 이용하여 식 (3)과 같이 산출되는 유량비(mass ratio) 변화를 나타낸다.

$$M = \frac{Q_s}{Q_p} \quad (3)$$

피치가 증가하면 유량비가 감소하므로 환형노즐 출구가 혼합관 입구에 근접하면 유량비가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.⁽²²⁾ 이는 노즐선단이 혼합관 입구 부근에 위치하면 노즐의 출구 단면적이 작아서 구동유체의 유속은 커지고, 이에 비례하여 부압

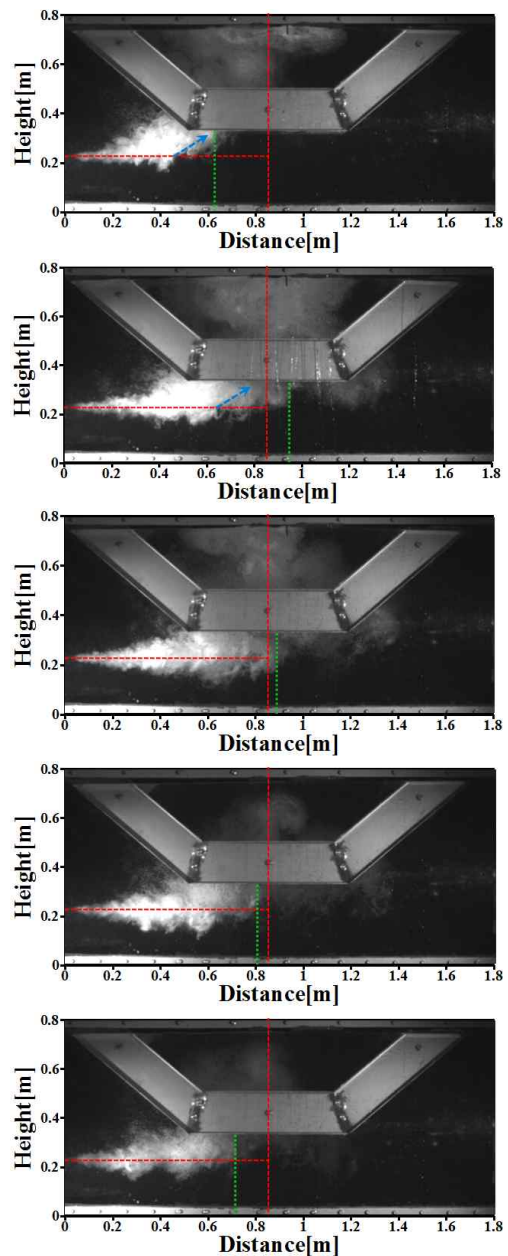


Fig. 8 Typical visualized images of 1, 3, 5, 7, 9 pitches (from top to bottom) at injection time of 1.5s

이 증가하므로 유입 공기량이 많아지기 때문이다. 반면에 4피치 이상으로 피치가 커지면 구동유량은 증가하지만 부압이 감소하여 유입 공기량이 줄어들기 때문에 유량비가 감소하는 것으로 판단된다.

세정수와 유입공기가 혼합되어 디퓨저에서 세정수로 분출되는 분류의 거동은 구동유체인 세정수의 운동량과 기포의 미세화에 기인한 부력의 크기에 따라 세정효율에 영향을 미치는 중요한 성능변수이다. Fig. 8은 피치변화에 따라 세정수조에 분출되어 1.5초 경과 후의 혼합유동의 가시화 거동을 나타낸다. 유량비가 상대적으로 큰 1피치와 3피치에서는 유입 공기량에 비해서 구동유체의 운동량이 작아서 이젝터내에서 전단력과 난류혼합효과가 약하기 때문에 기포의 미세화가 충분치 못한 것으로 판단된다. 따라서 분류의 중심영역에 클러스터를 형성하고 있는 큰 기포들에 의한 부력의 영향으로 부력분류의 특성이 나타나게 된다.^(4,18) 이러한 부력분류의 영향으로 1피치에서는 컨베이어 시스템의 수평부 선단 앞쪽에서 기포밀도가 높은 분류영역이 중심선을 완전히 이탈하며, 3피치에서는 컨베이어 시스템의 수평부 아래쪽 약 65cm 부근에서 분류의 중심선을 이탈하여 상향유동이 형성되는 것을 알 수 있다. 이는 이젝터 내에서 기포의 미세화 부족으로 생성된 크기가 큰 기포들에 의한 부력의 상향효과가 구동유체의 운동량에 의해 유도되는 수평이동 효과보다 크기 때문이다. 또한 1피치에서는 분류 중심영역의 선단 도달거리는 컨베이어의 수평부 선단 부근이며, 분류의 선단에서 미세화되어 상향하는 기포들이 컨베이어 수평부 위쪽 앞부분에 주로 분포되는 것을 알 수 있다. 3피치에서는 분류선단이 컨베이어 수평부 중앙 이후까지 도달하고 수평부 위쪽 거의 전 영역에 부상된 기포가 분포되는 것을 알 수 있다.

한편 5, 7, 9피치에서는 분류 영역에 분포하는 기포들의 상향효과에 비해서 운동량에 의한 수평이동 효과가 상대적으로 크기 때문에 거의 수평분류의 거동이 나타난다.^(4,18) 이는 Fig. 4, 5, 7의 결과에 나타난 것과 같이 유입 공기량은 작고 운동량은 커서 이젝터 내에서 전단작용과 난류효과에 의해 기포의 미세화가 촉진되므로 부력에 의한 상향효과보다 구동유체의 운동량에 의한 수평이동 효과가 상대적으로 크기 때문이다. 5피치에서는 분류 중심영역의 선단이 컨베이어 시스템 수평부 중앙 이후까지 도달하지만, 피치가 더 커지면 구동유체의 운동량 감소에 기인하여 도달거리가 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 5피치 이후에는 부상되어

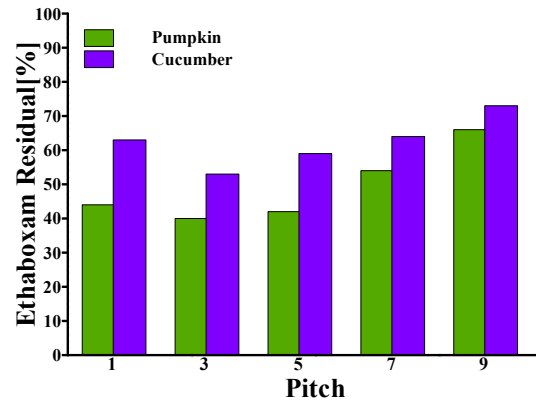


Fig. 9 Percentage ethaboxam residual of 1, 3, 5, 7, 9 pitches for pumpkin and cucumber

컨베이어 수평부 위쪽 중앙 부근에 분포하는 기포들의 분포영역이 점차 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 세정한 후에 HPLC를 이용하여 분석한 호박과 오이의 에타보키삼 잔류물 농도를 세정하지 않은 표본과 비교한 백분율 농도를 나타낸다. 에타보키삼이 주성분인 농약과 물을 1:20의 비로 희석했을 때 에타보키삼 농도는 약 660 ppm이며, 희석액에 담긴 후 건조시킨 호박과 오이 표본의 평균 에타보키삼 농도는 약 18ppm과 29ppm 정도로 나타났다. 피치가 증가하면 잔류물 농도는 감소한 후 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 경향은 유량비가 크거나 부력분류의 거동을 보이는 피치조건의 잔류물 농도가 낮은 반면에, 유량비가 작거나 수평분류의 거동을 보이는 피치조건에서 상대적으로 잔류물 농도가 높게 나타나는 것을 의미한다. 전체적으로 1, 3, 5피치의 잔류물 농도는 약 40~60% 정도이며, 7피치 이후에는 상대적으로 잔류물 농도가 높아지는 것을 알 수 있다. 구동유체의 운동량은 비교적 크지만 유입 공기량이 많아서 부력분류의 거동이 나타나고, 세정물 적층함이 위치하는 컨베이어 수평부 중앙 위쪽에 부상된 기포들의 분포밀도가 높고 분포영역이 넓은 3피치의 잔류물 농도가 가장 낮게 나타났다. 또한 1피치에서도 3피치와 유사한 부력분류의 거동이 나타나지만 부상된 기포들이 세정물 적층함의 앞쪽에 주로 분포되기 때문에 3피치에 비해서 세정효과가 약하여 잔류물 농도가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 한편 5피치에서는 수평분류의 거동을 보이지만 분류 중심영역의 선단이 컨베이어의 수평부 중앙 이후까지 도달하고, 미세화된 기포들이 적층함이 위치하는 수평부 중앙 부근에 주로 분포하기 때문에 잔류물 농도가 2번째로 낮게 나타나는 것으로 판

단된다. 7피치 이후에는 수평분류의 선단도달 거리가 짧아지고, 컨베이어 수평부 위쪽에 분포하는 기포들이 감소하여 세정효과가 약화되기 때문에 잔류물 농도가 증가하는 것으로 사료된다. 부력분류의 특성이 나타나는 1피치와 3피치의 세정 메커니즘은 상대적으로 크기가 큰 기포들과 상향하는 강한 수류에 의한 세정물과의 접촉마찰 효과에 기인하는 것으로 판단되며, 5피치 이후에는 1피치나 3피치와는 달리 미세화된 기포들의 질적 활성화 작용에 의해 기포들의 흡착력이 커지고 접촉면적이 넓어져서 계면장력을 약화시키는 효과에 기인하는 것으로 판단된다. 한편 호박에 비해서 오이의 잔류물 농도가 높게 나타나는 것은 호박표면에 비해서 오이표면이 매끄럽지 못하여 기포의 접촉 및 흡착력이나 수류의 마찰효과가 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

익히지 않고 먹는 식재료는 세정과정의 손상을 방지하여 신선도를 유지할 수 있는 세정기술이 요구된다. 특히 상추나 깻잎과 같은 엽채류는 큰 기포나 강한 수류로 접촉 마찰력이 커지면 쉽게 손상될 수 있기 때문에 약한 수류나 미세기포의 활성화효과를 이용하는 세정이 필요하며, 호박이나 오이와 같은 과채류나 과일류는 상대적으로 손상 위험성이 적기 때문에 큰 기포와 강한 수류에 의한 세정이 효율적일 것으로 판단된다. 따라서 세정물의 종류 및 상태에 따라 환형노즐 이젝터의 피치 변화만으로 세정수 공급과 기포의 양 및 부력을 조절함으로써 세정성을 최적화할 수 있는 세정기술 개발이 가능할 것으로 사료된다. 이러한 진보된 세정기술은 무세제 세정에서는 분류특성에 따른 수류의 동역학적 거동과 기포의 물리화학적 활성화효과로 세정효율을 높일 수 있고, 세제 사용 시에는 무세제 세정의 장점뿐만 아니라 미세기포의 활성화효과로 세제의 용해를 촉진시킬 수 있기 때문에 세제의 사용량 및 환경오염 부하저감 효과를 동시에 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

향후에는 세정수와 기포가 혼합된 분류 및 기포의 거동에 대한 정량적 검증실험과 세정제 주입여부, 세정물 종류, 적층함 위치 등의 실험 및 설계 변수를 고려한 성능검증을 통해 이젝터를 이용한 세정기술 개발에 필요한 진보된 자료를 제공할 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

4. 결 론

세정수 공급과 기포생성을 동시에 할 수 있는 세정기술 개발을 목적으로 환형노즐 이젝터의 피

치변화에 따른 정량적 유동특성과 세정수조에 분출되는 분류의 정성적 거동을 분석하고, 세정물의 농약 잔류물 농도를 검증한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

이젝터의 피치가 증가하면 구동유량은 증가하고 유입 공기량은 증가 후 감소하였으며, 유량비는 감소하였다.

피치에 따른 구동유체의 운동량 변화와 이젝터 내에서 유입공기의 미립화 특성에 따라 세정수조에 분출되는 혼합유동은 부력분류 또는 수평분류의 거동을 나타낸다.

피치가 증가하면 농약 잔류물의 농도는 감소 후 증가하며, 유량비가 크거나 부력분류의 거동이 나타나는 피치의 잔류물 농도가 낮고 유량비는 작고 수평분류의 거동이 나타나는 피치의 잔류물 농도가 상대적으로 높게 나타났다.

본 연구결과는 식재료의 종류에 따라 환형노즐 이젝터의 피치 변화만으로 세정수의 운동량과 기포의 부력을 조절하여 세정효율을 최적화할 수 있는 세정기술 개발에 필요한 기초자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013R1A1A4A01010854).

참고문헌 (References)

- (1) Palaniappan, M., Gleick, P. H., Allen, L., Cohen, M. J., Christian-Smith, J. and Smith, C., 2010, *Clearing the Waters; A Focus on Water Quality Solutions*, UNON Publishing Services Section, Nairobi.
- (2) Peng, L., Park, S. K. and Yang, H. C., 2014, "Visualization on Fine Bubble Behavior for Cleaning Application," *Proceedings of 2014 KSME Fall Annual Meeting*, KSME14F-Th16E034.
- (3) Rang, M. J., 2009, "Trend on Development and Application of High Performance Surfactants for Detergents," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 20, No. 2, pp. 126~133.
- (4) Kim, D. J., Du, H., Jang, D. H. and Yang, H. C., 2013, "Experimental Investigation on Air Bubble Behavior for Development of Cleaning Technology," *Proceedings of the KSME 2013 Fall Annual Meeting*, pp. 4188~4193.
- (5) Reuter, F., Mettin, R., Lippert, A., Holsteyns, F. and

- Okorn-Schmidt, H., 2013, "Single Bubble Cleaning and Vortex Flow," *Solid State Phenomena*, Vol. 195, pp. 165~168.
- (6) Miyamoto, M., Ueyama, S., Hinomoto, N., Saitoh, T., Maekawa, S. and Hirotsuji, J., 2007, "Degreasing of Solid Surfaces by Microbubble Cleaning," *Japanese J. Appl. Phys.*, Vol. 46, No. 3A, pp. 1236~1243.
- (7) Ohl, C. D., Arora, M., Dijkink, R., Janve, V. and Lohse, D., 2006, "Surface Cleaning from Laser-Induced Cavitation Bubbles," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, pp. 074102-1~074102-3.
- (8) Sharma, P. K., Gibcus, M. J., van der Mei, H. C. and Busscher, H. J., 2005, "Influence of Fluid Shear and Microbubbles on Bacterial Detachment from a Surface," *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 71, No. 7, pp. 3668~3673.
- (9) Song, W. D., Hong, M. H., Lukyanchuk, B. and Chong, T. C., 2004, "Laser-Induced Cavitation Bubbles for Cleaning of Solid Surface," *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 6, pp. 2952~2956.
- (10) Ushida, A., Hasegawa, T., Takahashi, N., Nakajima, T., Murao, S., Narumi, T. and Uchiyama, H., 2012, "Effect of Mixed Nanobubble and Microbubble Liquids on the Washing Rate of Cloth in an Alternating Flow," *J. Surfact. Deterg.*, Vol. 15, pp. 695~702.
- (11) Wu, Z., Chen, H., Dong, Y., Mao, H., Sun, J., Chen, S., Craig, V. S. J. and Hu, J., 2008, "Cleaning using Nanobubbles: Defouling by Electrochemical Generation of Bubbles," *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 328, pp. 10~14.
- (12) Ikeura, H., Kobayashi, F. and Tamaki, M., 2011, "Removal of Residual Pesticides in Vegetables using Ozone Microbubbles," *J. Hazard. Mater.*, Vol. 186, pp. 956~959.
- (13) Takahashi, M., Chiba, L. and Li, P., 2007, "Formation of Hydroxyl Radicals by Collapsing Ozone Microbubbles under Strongly Acidic Conditions," *J. Phys. Chem. B*, Vol. 111, pp. 11443~11446.
- (14) Takahashi, M., Chiba, L. and Li, P., 2007, "Free-Radical Generation from Collapsing Microbubbles in the Absence of a Dynamic Stimulus," *J. Phys. Chem. B*, Vol. 111, pp. 1343~1347.
- (15) Ikeura, H., Kobayashi, F. and Tamaki, M., 2011, "Removal of Residual Pesticide, Fenitrothion, in Vegetables by Using Ozone Microbubbles Generated by Different Methods," *J. Food Eng.*, Vol. 103, pp. 345~349.
- (16) Lee, W. J., Lee, C. H., Yoo, J. Y., Kim, K. Y. and Jang, K. I., 2011, "Sterilization Efficiency of Washing Method Using Based on Microbubbles and Electrolyzed Water on Various Vegetables," *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, Vol. 40, No. 6, pp. 912~917.
- (17) Kim, Y. J., Jung, J. O. and Jung, Y. J., 2015, "Complex Mal-odor Treatment of Foodwaste with Micro-bubble Generated from Enhanced Wet Scrubber," *J. Environ. Sci. Int.*, Vol. 24, No. 1, pp. 73~79.
- (18) Park, S. K. and Yang, H. C., 2013, "Mixed Flow Characteristics of Aeration Process for Recirculation Aquaculture System Using Ejector," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 37, No. 9, pp. 847~854.
- (19) 2013, Phantom Camera Control Software (Version 2.2.737.0), Vision Research.
- (20) Kim, D. J., Park, S. K. and Yang, H. C., 2015, "Mixed Flow and Oxygen Transfer Characteristics of Vertical Orifice Ejector," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 39, No. 1, pp. 61~69.
- (21) Kupiec, T., 2004, "Quality-Control Analytical Methods: High-Performance Liquid Chromatography," *Int. J. Pharm. Compd.*, Vol. 8, No. 3, pp. 223~227.
- (22) Du, H., Jang, D. H., Kim, D. J. and Yang, H. C., 2012, "Experimental Study of Oxygen Transfer Characteristics in an Aeration System Using an Annular Nozzle Ejector," *Proceedings of the KSME 2012 Fall Annual Meeting*, pp. 2926~2931.
- (23) Lima Neto, I. E., Zhu, D. Z. and Rajartnam, N., 2008, "Horizontal Injection of Gas-Liquid Mixtures in a Tank," *J. Hydraulic Eng.*, Vol. 134, No. 12, pp. 1722~1731.