

## 식품(김치)산업에서 세척수 사용량 절감에 관한 연구

이호상, 형 훈, 추광호, 이정락\*

서울대학교 공과대학 응용화학부

(1999년 6월 10일 접수, 1999년 6월 25일 채택)

### Rinsing Water Reduction in the Food (Kimchi) Industry

Hosang Yi, Hoon Hyung, Kwang-Ho Choo, Chung-Hak Lee\*

School of Chemical Engineering, College of Engineering, Seoul National University

#### 요 약

우리나라 고유의 식품산업으로서 최근 급격한 성장을 보이고 있는 김치제조 산업에서 원재료인 배추를 절인 후 염을 세척하는 과정에서 다량의 폐세척수가 발생한다. 본 연구에서는 세척수 사용량의 최적화를 통해 근원적으로 폐세척수 발생량을 저감하기 위한 접근 방법이 고찰되었다. 세척공정을 최적화하기 위한 방법으로 실제공장의 향류식 연속 세척공정 대신 연속 회분식 세척공정을 통한 모사실험이 수행되었으며 실제공정을 효과적으로 모사할 수 있었다. 동일한 원산지 배추에 대해 염절임 후 압의 추출된 표본간의 세척효율의 차이는 미미하였으나 배추의 원산지별 특성에 따라서는 세척효율면에서 상당한 차이를 보였다. 세척수 양을 3.3 L/head(포기)에서 2.7 L/head(포기)까지 감소시켰을 경우에 배추에 남아있는 COD, 탁도, 전기전도도,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 농도는 거의 유사하거나 완만하게 증가하는 경향성을 보였으나 세척수량을 2.4 L/head이하로 감소시킴에 따라 세척효율의 악화가 뚜렷이 나타났다. 관능시험에서 세척수의 사용량을 2.7 L/head까지 줄여도 김치의 품질에는 아무 영향이 없었으나 세척수 양을 2.4 L/head이하로 감소시켰을 경우에는 김치의 염분 농도가 너무 높아 져산 발효율이 저하되었고 짠맛과 함께 이미가 느껴졌다. 결국 제품의 품질에 전혀 영향을 미치지 않는 범위 내에서 세척수 사용량을 약 18%까지 절감할 수 있는 것으로 사료되었다.

**ABSTRACT :** In the Kimchi manufacturing industry that has recently been on its greatest growth, the rinsing process for salt-pickled Chinese cabbage in a brining step generates a vast amount of rinsing wastewater containing salts, colloids, and organics released from the raw material. In this study, the experimental method was developed to optimize the rinsing water consumption and thus to minimize the rinsing wastewater generation. The continuous counter-current rinsing basin in the actual plant was simulated through the lab-scale three batch-wise rinsing tanks. Rinsing efficiencies for the brined cabbage from the same brining tank were almost in the same level, whereas those varied substantially from source to source in the raw Chinese cabbage provided. When rinsing water used were decreased from 3.3 L/head to 2.7 L/head, no significant change was observed with respect to COD, turbidity, conductivity,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{Cl}^-$  concentrations in the extracted solution of the rinsed cabbage. However, the quality of the extracted solution was badly deteriorated as the amount of rinsing water used dropped down to below 2.7 L/head. The reduction of rinsing water up to 18% was proved to be possible without any negative effect on the quality of the product, Kimchi.

### 1. 서론

김치는 우리나라의 음식 문화에서 빼놓을 수 없는 부식으로 자리잡고 있고 앞으로도 계속 중요한 위치를 차지할 것으로 예상되며 현재 국제적으로 일본 등을 중심으로 차츰 우리 김치에 대한 선호도가 높아지고 있다. 국내의 김치에 대한 생산, 소비 형태를 보면 종전까지는 가족단위로 자급자족방식에 의해 생산/소비되던 김치가 산업화와 함께 핵가족화되고 생활형태가 달라짐에 따라 공장의 대량 생산단계를 거쳐 공급되는 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 1997년 6월 현재 전국의 김치 제조 산업체는 총 200개 업체로 연간 김치 생산능력은 총 210만 톤에 이르며, 95년 현재 총수출량 12,476톤에 수출액은 50,909천불에 달하는 등 규모뿐만 아니라 그 성장률도 매우 높아 김치 제조산업에 대한 앞으로의 전망은 매우 밝다고 할 수 있다[1].

가장 일반적인 배추김치의 제조공정과 발생된 폐수의 처리공정을 Fig. 1에 도시하였다. 배추 김치 제조공정은 크게 정선공정, 절임 및 세척 공정, 발효공정으로 나뉘며[2], 발생되는 주요 폐수는 절임공정 후 배출되는 폐염적수와 절인 배추에서 염을 제거하기 위한 세

척공정에서 배출되는 세척폐수로 크게 구분된다. 기존의 폐수처리 공정에서는 발생한 폐염적수와 폐세척수를 각각 균등조에서 혼합한 후 생물학적 활성슬러지 공정으로 처리한 후 화학응집, 모래여과를 거치게 되며 지역의 방류수 기준에 따라 활성탄여과 공정을 도입하기도 한다. 그러나 기존의 활성슬러지 공정은 폐수 중에 존재하는 고농도의 염에 의한 삼투압의 영향으로 생물학적 처리효율이 크게 저하되고 섬모상 미생물의 성장 때문에 플록형성과 침강성도 크게 영향을 받는다[3].

이와 같은 폐수처리의 근원적인 문제를 해결하기 위해 최근에 폐수의 고도처리 및 재사용 공정의 개발이 시도되고 있다. 하·폐수 처리에서는 콜로이드 물질 제거, 영양소(질소, 인)제거, 살균 등이 요구되는데 막분리 단독공정 또는 생물학적 처리공정과와 혼성시스템을 구성하여 중수를 생산할 수 있고 이 중수는 지하수 보충수, 청소수, 화장실 세척수 등으로 재이용함으로써 용수 및 폐수의 절감에 효과를 거두고 있다.[4,5]. 또한 산업체에서 폐수의 고도처리 후 공업용수로 공정내부에 재사용 함으로써 폐수감량 또는 무방류 시스템을 구축하여 오염예방에 크게 기여하고 있다[6,7,8].

김치산업의 폐염적수 재사용을 위해서는 화학침전

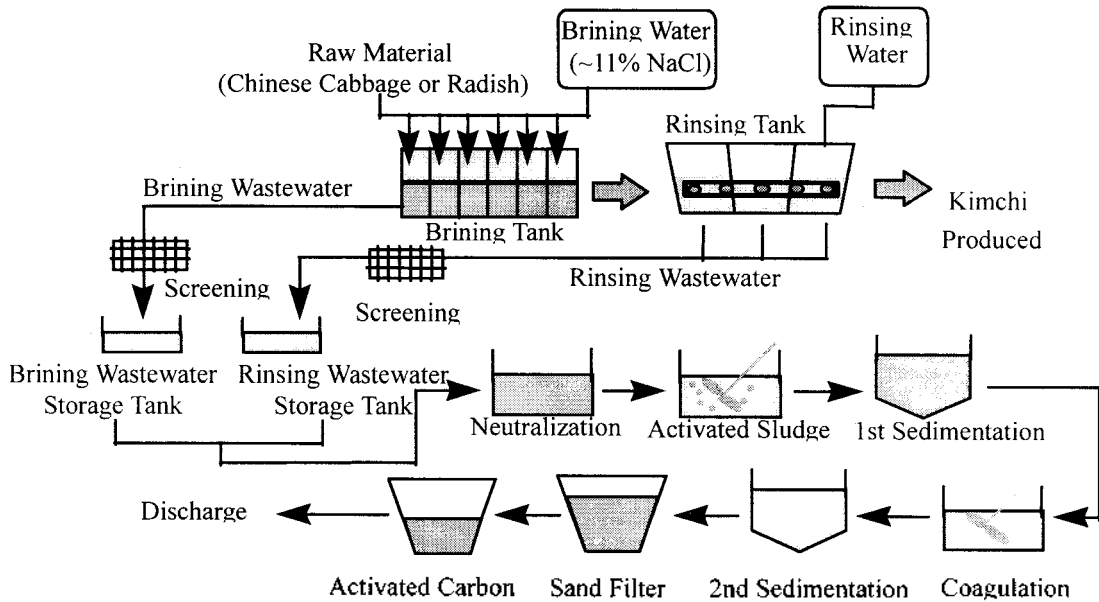


Fig. 1. Flowchart of the Kimchi manufacturing plant with wastewater treatment facilities.

과 막분리공정을 병행한 혼성 시스템이 최근에 처음으로 소개되었다[9]. 이 시스템에서는 NaOH를 이용하여 pH를 상승시킬 경우  $Mg(OH)_2$  화학침전물이 형성되면서 유기물이 무기침전물에 흡착되어 제거되고 침전물은 정밀여과를 통해 분리될 수 있으며 여과액은 중화 후 절임을 위한 염적수로 재사용되도록 공정이 설계되었다. 폐세척수 재사용 공정은 나노여과 또는 역삼투 공정을 이용하여 시도되었고 여과액은 세척수로 재순환되며 농축수는 절임폐수 재사용 공정을 거치도록 시스템이 구성되었으며 여과방식에 따른 경제성 평가도 시도되었다[10].

특히, 절임 후 수행되는 세척공정의 역할은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 배추에 묻어있는 유기오염물질을 제거하여 제품의 청결함을 유지하는 것이고 둘째는 염분을 제거하여 배추에 포함된 염분농도를 적정수준으로 낮추는 것이다. 그러나 사실상 유기오염물질의 제거는 대부분 절임공정에서 이루어지고 세척공정은 안전도를 고려한 확인작업이라고 할 수 있기 때문에 세척공정의 주된 역할은 배추의 염농도를 조절하는 것이라 할 수 있다. 세척공정에서 염이 충분히 제거되지 못하면 배추의 염분농도가 높아져 김치를 제조한 후 발효과정에서 젖산균의 활동이 저하되어 결국 발효 후 김치의 산도가 낮아져 김치 맛이 나빠지게 된다. 따라서 현재 실제 공장에서는 세척공정이 생산될 김치의 품질에 영향을 미칠 것을 우려하여 대부분의 경우 지나치게 과도한 양의 세척수를 사용하고 있으며 과학적 접근을 통한 세척수 사용량의 최적화는 전혀 시도되지 않았다.

그러므로 본 연구에서는 국내 김치 제조업체 중 강원도 횡성에 소재한 J 제조업체를 대상으로 근원적 폐수발생량의 억제를 위해 세척수의 사용량을 최적화하여 절감하는 연구를 수행하였다. 우선 세척수로 배출되는 염분의 실제공정에서의 농도를 모사하기 위한 과학적 접근 및 실험방법이 모색되었고 이 결과를 바탕으로 세척수량에 따른 세척정도의 비교실험과 아울러 제조된 김치의 품질특성을 비교평가하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 실험은 강원도 횡성에 위치한 J공장에서 수행

되었으며 세척실험을 위해 실제로 절임공정을 거친 3포기(head)의 배추를 임의로 표본추출하여 배추의 세척상태를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 각 실험의 원재료 배추는 원산지별로 4곳이었으며 각 실험 세트당 3포기의 배추를 절임탱크에서 유사한 크기의 표본을 임의추출하였고 원산지 A에 대해서는 동일한 실험을 3회 반복 수행하여 재현성을 검토하였다. 자세한 실험조건 및 방법은 Table 1에 주어져 있다.

Table 1. Experimental conditions for simulated batch-wise rinsing

Run #	Source of Raw Material	Dehydration Time between Rinsing Batches, sec	Residence Time in Each Rinsing Tank, sec
1	A	10	30
2	A	10	30
3	A	10	30
4	B	10	30
5	C	10	30
6	D	10	30

### 2.2. 세척방법의 모사

실제공장의 세척조는 길이 약 7m로서 향류(counter-flow) 방식으로 운전되고 있으며 현재 절임 배추 1 포기당 사용되는 세척수의 양은 약 3.3 L이고 세척조에서의 평균 체류시간은 90초이다. 세척수 사용량이 적합한지를 살펴보기 위해서는 실제 세척조에서 세척수의 유입유량을 줄여가며 세척을 진행하고 유량에 따른 세척상태를 확인하여야 하지만 실제로 공장의 생산라인에서 직접 실험을 수행하는 데에는 현실적으로 많은 한계가 있었다. 따라서 실제 연속 향류 세척 방식(continuous counter-current rinsing)을 실험실 규모의 3개의 회분식 세척조를 이용하여 모사하였다(Fig. 2). 각 회분식 세척조의 물의 부피는 3.3 L이었으며 실제공정에서의 세척과 동일한 세척효과를 나타내는 모사 실험 조건을 결정된 후 세척수의 양을 줄여가며 세척정도를 비교하는 실험을 수행하였다. 구체적인 회분식 세척조건을 보면, 먼저 절임공정에서 배추를 임의 추출하여 10초간

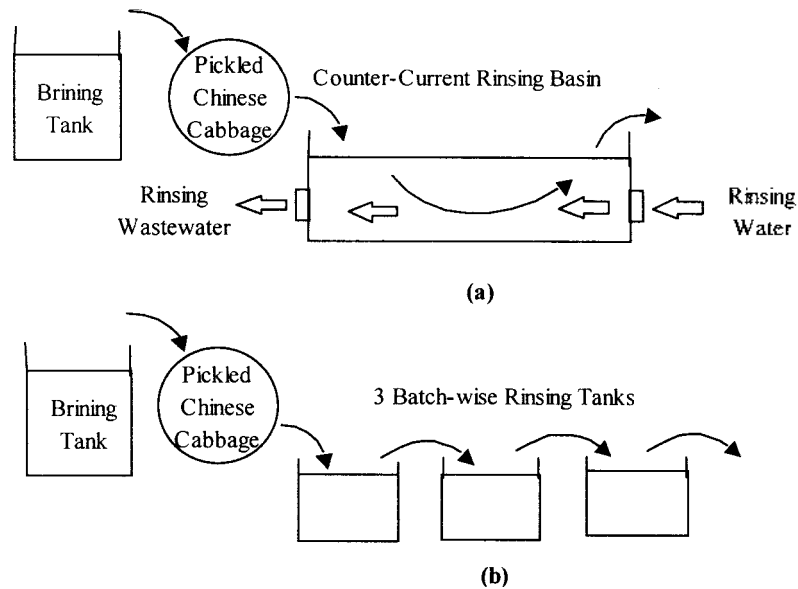


Fig. 2. Schematic of real and simulated rinsing processes.

자연탈수시킨 후 첫번째 세척조로 옮겨 충분한 혼합(mixing)상태에서 30초간 담그었다. 각 세척조 간에도 동일하게 10초동안의 자연탈수가 이루어졌고 각 세척조에서의 체류시간은 동일하게 30초였고 총 세척조 체류시간은 90초로 실제공장의 조건과 동일하게 유지되었다(Table 1). 세척이 완료된 배추의 세척 상태를 알아보기 위한 방법으로 2 L의 물에 세척을 끝낸 배추 3포기를 2분간 담그어 염과 유기물이 배추로부터 추출되도록 하였고 추출한 물의 수질을 분석함으로써 세척정도를 비교평가하였다.

### 2.3. 분석법

배추의 세척정도를 파악하기 위해 3단계의 회분식 세척을 거친 후 얻어진 배추를 2 L의 물에 2분간 담근 후 배어나오는 성분 중 탁도, 화학적 산소요구량(COD), 전도도(conductivity),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  등의 농도를 *Standard Methods*[11]에 따라 측정하였다. 실제공정에서 세척된 배추와 본 연구에서 시행한 모사세척방법에 의한 배추 사이의 세척정도의 비교를 위해 실공정에서 세척된 배추도 세척단계 후 동일한 방법의 추출과정을 거쳤고 동일한 항목에 대하여 분석하였다.

### 2.4. 관능시험

세척수 사용량 절감에 따른 김치 품질의 이상유무를 알아보기 위하여 각각의 세척 조건에서 세척된 배추로 김치를 제조하고 전문가 5인에 의한 품질의 관능시험을 실시하였다. 양념김치는 양념의 맛과 냄새로 인해 배추의 세척 상태에 따른 정확한 이미, 이취의 확인이 어려우므로 관능시험이 용이한 백김치를 제조하여 품질을 평가하였다. 절임공정을 거친 배추를 실험조건에 따라 세척수의 양을 달리하여 세척한 후, 불가식 부위를 제거하고 380-400g 단위로 절단한 다음 준비된 백김치용 양념을 동일하게 120g씩 고르게 바른 후 0℃에서 10일간 숙성한 후 관능시험을 실시하였다. 관능시험과 함께 제조된 김치를 분쇄하여 즙을 낸 후 염도, pH와 산도(acidity)도 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 세척공정모사

실험실 규모의 모사실험이 실제 공정에서의 세척 실험과 동일한 세척효과를 나타내는지 여부를 파악하기

위해 동일 원산지의 배추를 엄격한 후 임의 추출한 배추의 세척 특성과 원산지가 다른 배추의 세척특성을 상호비교하였다(Fig. 3). Fig. 3에서 실험번호 #1, 2, 3은 원산지 A, #4는 원산지 B, #5는 원산지 C, #6은 원산지 D에서 각각 공급된 배추를 포기당 3.3 L의 세척수를 사용하였을 때의 세척효과를 나타내고 있다. Fig. 3에서 보듯이 COD, 탁도, 전기전도도, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>를 포함한 모든 분석항목에 대해 실제 공정에서 세척된 배추와 회분식 모사세척을 통해 얻어진 배추의 세척상태가 거의 10% 이내의 오차범위에서 동일한 수준을 유지함을 알 수 있다. 즉, 회분식 세척을 통한 실험규모의 세척실험이 실제공정을 잘 모사하고 있음을 확인하였다.

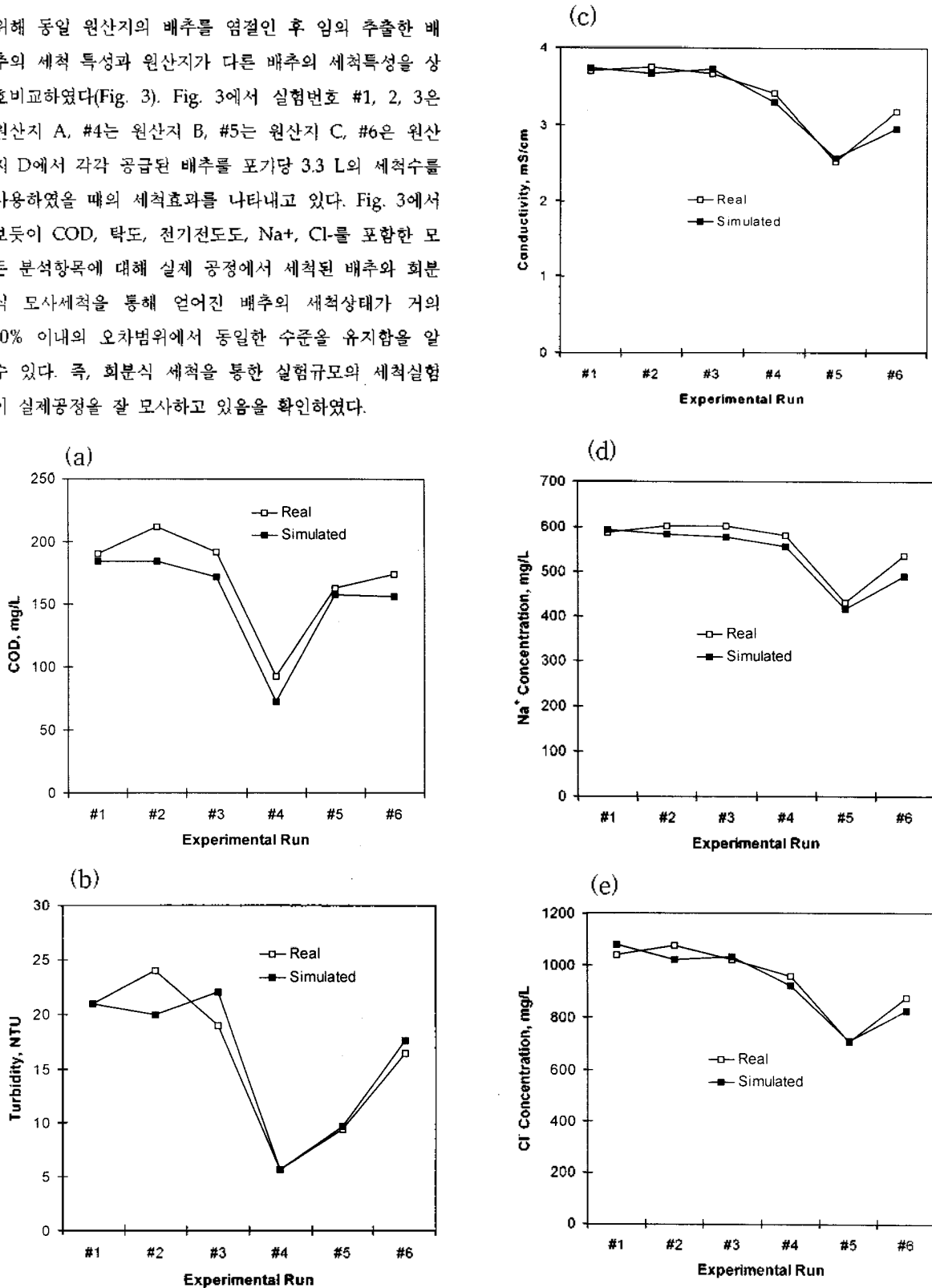


Fig. 3. Comparison of rinsing efficiency between real and simulated systems when 3.3 L of water per cabbage head was used. (a) COD, (b) turbidity, (c) conductivity, (d) Na<sup>+</sup>, (e) Cl<sup>-</sup>.

또한 동일 원산지 A에서 공급된 배추(Run# 1, 2, 3)를 실제공정에서 세척하였을 때 임의 추출표본에 관계 없이 COD의 경우 190 - 212 mg/L, 탁도의 경우 19 - 24 NTU, 전기전도도의 경우 3.7 - 3.8 mS/cm, Na<sup>+</sup>의 경우 588 - 602 mg/L, Cl<sup>-</sup>의 경우 1020 - 1075 mg/L로 거의 동일한 농도를 보여 임의추출에 따른 실험오차는 거의 무시할 만 함을 보여 주었다. 그러나 배추의 원산지가 바뀔 경우에는 세척효율의 차이가 아주 분명하게 드러났는데 배추의 절임 정도(총염분 함유율)를 나타내는 전기전도도는 2.52 - 3.75 mS/cm의 범위에서 거의 유사한 값을 보였지만 COD와 탁도는 원산지별로 최대 3배까지의 큰 농도차이를 보였다. 이것은 배추의 원산지별 특성에 의해 영향을 받았기 때문으로 추측되었다.

결국, 배추의 원산지별 특성에 따라 세척정도가 영향을 받지만 실험실 규모의 회분식 세척실험을 통해 충분히 실제공장의 세척공정을 모사할 수 있음을 확인하였다.

3.2. 세척수 절감효과

앞절에서 검증된 모사 세척 방법을 이용하여 세척수 사용량에 따른 세척정도를 파악하기 위하여 원산지가 다른 절임배추에 대하여 세척수 양을 포기당 3.3 L에서 2.0 L까지 감소시킨 후에 동일한 추출시험을 통하여 COD, 탁도, 전기전도도, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>의 농도변화를 검토하였다(Fig. 4).

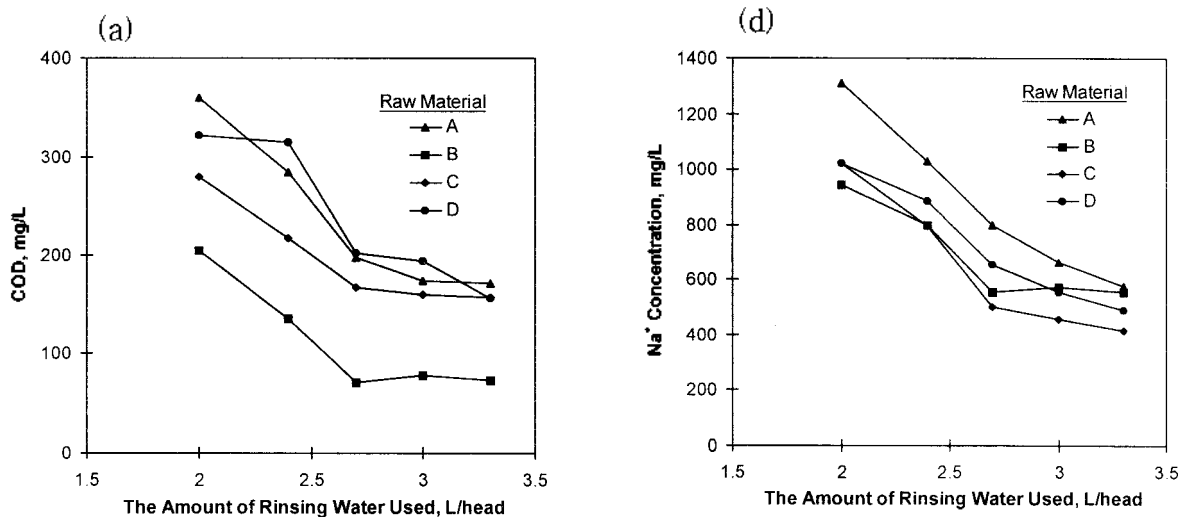
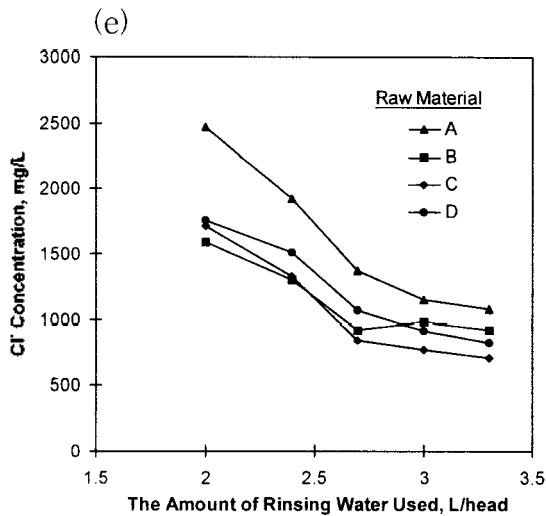


Fig. 4. Variation of rinsing efficiency as a function of rinsing water volume used. (a) COD, (b) turbidity, (c) conductivity, (d) Na<sup>+</sup>, (e) Cl<sup>-</sup>.



4종류의 서로 다른 원산지의 배추에 대하여 세척수량을 3.3 L/head에서 2.7 L/head까지 감소시켰을 경우에는 추출용액에서의 COD, 탁도, 전기전도도, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>의 농도가 거의 일정한 수준을 유지하거나 완만하게 증가하는 경향성을 보였다. 그러나 2.7 L/head미만의 세척수량에서는 세척수량 감소에 따라 거의 선형적으로 수질이 악화되는 현상이 관찰되었다. 그리고 이러한 경향성은 배추의 원산지에 관계없이 거의 유사하게 나타났다. 결국, 2.7 L/head미만의 세척수 사용량에서는 절임배추가 충분히 세척되지 않음을 알 수 있다. 따라서 전체적인 수질변화 추이로부터 얻을 수 있는 결론은 현재의 세척수 사용량을 현재 사용량의 약 18% 정도까지 (3.3 L/head에서 2.7 L/head까지) 줄여도 세척효율에서는 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다. 그러나 최종 제

품인 김치의 품질에 미치는 영향에 대한 검증시험이 요구되었고 다음 절에서 관능시험이 수행되었다.

### 3.3. 제품의 관능시험

전술한 바와 같이 세척수 사용량을 변화 시켜 세척한 배추를 이용하여 백김치를 담그고 숙성기간을 거친 후 최종 생산품인 김치의 염농도, pH, 산도(acidity)를 분석하고 관능시험을 실시하였다. 이취(odor), 이미(taste)를 시험하기 위한 관능시험에서는 시험자에게 선입관을 주지 않기 위하여 각 시료의 세척수량을 시험자에게 고지하지 않았다. 세척조건에 따른 관능시험 결과가 Table 2에 나타나 있다. 시험결과, 세척수의 양을 줄일수록 제조된 백김치의 염도 및 pH는 점차적으로 증가하였고 반면 산도는 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 pH가 증가하고 산도가 감소하는 경향을 보이는 이유는 세척수량을 감소시킴에 따라 김치의 염도가 증가하고, 따라서 젖산균의 활성이 감소하여 발효가 잘 일어나지 못하기 때문으로 사료된다. 그리고 2.4 L/head 이하에서는 높은 염농도로 인하여 젖산균에 의한 발효가 극히 저하되어 짠맛과 함께 이미가 느껴졌다. 결국 Fig. 4의 세척효율과 Table 2의 관능시험결과가 잘 일치함을 보여주고 있다. 그러므로 2.7 L/head까지 세척수의 사용량을 줄여도 제품의 품질에는 아무 영향이 없다는 결론을 내릴 수 있었고 결과적으로 기존의 세척수 사용량의 약 18%까지 절감할 수 있음을 확인하였다.

Table 2. Quality test of Bak-Kimchi prepared with Chinese cabbage that was rinsed with different water consumption

Rinsing Scheme	Rinsing Water Used, L/head	Salt, %	pH	Acidity, % as lactic acid	Odor	Taste
Real, countercurrent	3.3	1.78	4.62	0.20	Good	Good
	3.3	1.85	4.60	0.20	Good	Good
Simulated, batch-wise	3.0	1.91	4.66	0.22	Good	Good
	2.7	1.95	4.69	0.22	Good	Good
	2.4	2.01	4.86	0.18	Good	Not good
	2.0	2.00	4.86	0.18	Good	Bad

#### 4. 결 론

식품산업 중 우리나라의 가장 중요한 부식 중 하나인 김치제조 산업에서 김치의 제조과정 중 발생할 수 있는 폐수의 양을 근본적으로 절감시키기는 청정기술의 한 방법으로 절임배추의 세척을 위한 세척수 사용량 절감방법에 관한 연구가 시도되었다. 세척수 사용량의 절감을 위한 과학적 실험방법이 제시되었고 실제공정과 모사실험을 통해 상호 비교평가를 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

실제 향류식 세척공정 대신 실험실 규모의 3단계 연속 회분식 세척법을 도입하여 세척 후 추출실험에서 배출된 유기, 무기물질의 성분을 분석함으로써 세척상태의 모사가 가능하였다. 배추의 원산지별 특성에 따라 세척효율이 크게 영향을 받았지만 실험실 규모의 회분식 세척법이 실제공장의 세척공정을 충분히 모사할 수 있음을 확인하였다.

세척수량을 3.3 L/head에서 2.7 L/head까지 감소시켰을 경우에 추출용액에서의 COD, 탁도, 전기전도도,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 농도는 거의 일정한 수준을 유지하거나 완만하게 증가하는 경향성을 보였으나 세척수량을 2.7 L/head이하로 감소시킴에 따라 세척효율의 악화가 급격히 진행되었다.

관능시험에서 세척수량을 2.4 L/head 이하로 감소시켰을 경우 김치의 염농도가 높아 젖산균에 의한 발효가 극히 저하되었고 짠맛과 함께 이미가 느껴졌다. 이를 통하여 세척효율과 관능시험사이에 직접적인 관련이 있음을 확인하였다.

세척수의 사용량을 2.7 L/head까지 줄여도 김치의 품질에는 아무런 영향이 없었고 결국 실제 김치제조 공정에서 사용하고 있는 세척수 사용량을 약 18 %까지 절감할 수 있음을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구를 위한 연구비는 G7 환경과학기술개발사업에서 지원되었고 관능시험을 하여준 "종가집 김치공장"에 감사의 뜻을 전한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 절임식품공업 협회 - 한국김치, 1997.
- [2] Cheigh, H. S and Park, K. Y., Biochemical, microbiological, and nutrient aspects of Kimchi (Korean fermented vegetable products), *Critical Reviews in Food Sci. & Tech.*, 34, 175-203 (1994).
- [3] Gaudy, A. and Gaudy, E., *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*, McGraw-Hill, 1980.
- [4] Asano, T. and Levine, A. D., Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future, *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11), 1, 1996.
- [5] Maeda, M., Nakada, K., Kawamoto, K. and Ikeda, M., Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan, *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11), 51, 1996.
- [6] Hamoda, M. F. and Al-Awadi, S. M., Improvement of effluent quality for reuse in a dairy farm, *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11), 79, 1996.
- [7] Lee, S. H., Park, H. A., Lee, C. H., Lee, M. C., Pak, H. Y. and Chung, K. J., Clean technology in the crystal glass industry, *J. Cleaner Production*, 5(3), 207, 1997.
- [8] Kim, J. S., Kim, B.G., Lee, C.H., Kim, S.W., Jee, H.S., Koh, J.H. and Fane, A.G., Development of Clean Technology in Alcohol Fermentation Industry, *J. of Cleaner Production*, 5(4), 263-267, 1997.
- [9] 김재홍, 화학침천과 막분리를 이용한 김치산업의 무방류시스템 개발에 관한 연구, 서울대학교 석사 학위논문, 1997.
- [10] Yi, H. S., Kim, J.H., Hyung, H., Lee, S.H. and Lee, C.H., Cleaner Production Option in a Food (Kimchi) Industry, *Proceeding of the Second Asia-Pacific Cleaner Production Roundtable and Trade Expo, Brisbane, Australia, 21-24 April, 1999.*
- [11] APHA, AWWA, and WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Ed., Washington, DC, 1995.