

벤투리 진공건조에 의한 폐 감귤박으로부터 리모넨 분리 및 바이오 에탄올 생산

김승건 · 이호원[†]

제주대학교 화학공학과
(2023년 12월 19일 접수, 2024년 1월 8일 수정, 2024년 1월 15일 채택)

Separation of Limonene from Waste Citrus Peels by Venturi Vacuum Drying and Production of Bioethanol

Seung-Geon Kim and Ho-Won Lee[†]

Department of Chemical Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
(Received December 19, 2023; Revised January 8, 2024; Accepted January 15, 2024)

초 록

벤투리를 이용한 진공건조 공정에 의해 폐 감귤박으로부터 리모넨을 분리하고 건조된 감귤박을 이용하여 바이오 에탄올을 생산하였다. 벤투리를 이용한 진공건조가 열풍건조 및 자연건조에 비해 수분 및 리모넨의 제거에 매우 효과적 이었으며, 벤투리 진공건조에 의해 건조된 감귤박이 에탄올 발효에 가장 적절하였다. 벤투리 진공건조에 의해 15시간 동안 건조된 감귤박의 수분 및 리모넨 함량은 각각 17.0% 및 3.2%이었다. 벤투리 진공건조에 의해 리모넨을 함유한 정유와 플로럴 워터를 각각 얻을 수 있었으며, 벤투리 진공건조에 의해 분리된 정유의 양은 4.21 mL/kg 감귤박이었고, 분리된 정유의 79.9%는 리모넨이었다.

Abstract

Limonene was separated from waste citrus peels by a vacuum drying process with a venturi, and bioethanol was produced from dried citrus peels. Vacuum drying using venturi was very effective in removing moisture and limonene compared to hot air drying and natural drying. Citrus peels prepared by venturi vacuum drying were the most suitable for ethanol fermentation. The moisture and limonene content of the citrus peels dried for 15 hours were 17.0% and 3.2%, respectively. By venturi vacuum drying, essential oil containing limonene and floral water were obtained, respectively. The amount of essential oil separated by venturi vacuum drying was 4.21 mL essential oil/kg citrus peel, 79.9% of the separated essential oil was limonene.

Keywords: Vacuum drying, Venturi, Waste citrus peel, Limonene, Bioethanol

1. 서 론

감귤은 사과나 배 등의 다른 과일에 비해 저장성이 떨어지고, 수확기에 일시적으로 대량 출하가 되므로 가격 하락을 방지하기 위한 물량 조절과 비상품 감귤의 처리를 위해 감귤의 가공을 확대할 필요가 있다[1].

제주특별자치도에서 생산되는 감귤의 약 10~20%가 가공용으로 처리되고 있다. 이에 따라 매년 5~7만 톤의 감귤박이 발생하는데, 2016년부터 감귤박의 해양투기가 불가능하게 됨에 따라 감귤박의 처리에 어려움을 겪고 있다[2].

현재 감귤껍질을 이용한 바이오젤 등의 화장품, 약품(한약) 재료로

의 활용 등의 연구가 진행되고 있지만, 감귤박에 남아 있는 농약 등으로 인해 산업화에는 어려움이 있다. 따라서 감귤박의 다양한 분리 공정과 가공을 통해 새로운 수유 창출이 필요하다[3,4].

감귤껍질에는 대략 0.21 v/w%의 정유(精油, essential oil)가 함유되어 있고, 정유의 70~90%는 리모넨으로 알려져 있다. 그러나 감귤가공 공장에서 배출되는 감귤박에는 내피가 포함하고 있어 감귤박의 정유 함량은 이보다 낮을 것으로 판단되나 감귤박의 정유 함량에 대한 정확한 함량은 아직 보고된 바 없다[5].

리모넨은 향이 좋고 세척력이 우수하여 각종 어린이용 로션, 크림 등 화장품에 사용되고 식물 살충제, 세정제 및 얼룩 제거제, 공기 청정제, 페인트의 식육 용매 대체 제품, 페인트 제거제, 왁스 제거제, 모델 비행기 접착제의 용제, 스티커 자국 제거제, 감귤 향을 내는 식품 첨가제, 향수의 향료, 기계 부품의 기름 제거와 같은 세척 목적 용매로 사용되고 있다. 최근에는 청소 제품에서 사용량이 증가하고 있으며 알킬로이드의 쓴맛을 가리기 위한 향으로 일부 의약품에 사용되고 있다[6-8].

[†] Corresponding Author: Jeju National University
Department of Chemical Engineering, Jeju 63243, Korea
Tel: +82-64-754-3684 e-mail: hwlee@jeju.ac.kr

바이오 에탄올은 가장 대표적인 바이오 연료로서 전체 바이오 연료의 80%를 차지하고 있다. 바이오 에탄올은 휘발유를 대체하는 운송용 연료로 활용하고 있는데, 높은 산소 함유량에 따른 강한 부식성 등으로 휘발유를 전적으로 대체하지는 못하고 첨가제의 형태로 이용되고 있다[9].

현재 바이오 에탄올 생산에 사용되는 원료 대부분은 곡류 유래의 전분이나 열대작물에서 얻어지는 당류이다. 미국에서는 대부분이 옥수수 전분의 가수분해 시에 얻어지는 포도당을 원료로 하여 바이오 에탄올을 생산하고 있고, 브라질에서는 사탕수수에서 얻어지는 설탕을 원료로 하고 있다[10]. 따라서 바이오 에탄올 원료로서 식량으로 사용되는 농산물을 대체할 수 있는 바이오매스의 확보 및 활용이 필요하며, 이에 따라 볏짚이나 나무 등의 목질계와 해조류 등을 활용한 바이오 에탄올을 생산하려는 연구가 진행되고 있다[11].

건조된 감귤박에 남아 있는 리모넨은 감귤박을 발효하여 바이오 에탄올을 생산할 때 저해물질로 작용한다고 알려져 있다[12]. 따라서 저비용으로 감귤박 내의 리모넨의 분리가 가능하다면, 분리된 리모넨을 활용할 수 있을 뿐만 아니라 리모넨이 분리, 제거된 감귤박으로부터 바이오 에탄올 발효 생산할 때 바이오 에탄올 생산효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감귤박에 함유된 리모넨을 분리하는 기존의 감귤박 처리 기술로는 100~150 °C 스틱을 이용하여 분리하는 방식이 주로 사용되어왔으나, 이 방법은 리모넨 분리효율과 건조 설비를 분리 설치해야 하고 에너지 소모가 많아 경제성이 없다. 반면에 벤틀리를 이용한 진공건조 공정은 벤틀리와 연결된 챔버를 벤틀리에 의해 감압하고, 감압하에서 리모넨(대기압에서 비점은 175 °C)과 수분의 비점을 낮추어 리모넨을 분리하는 방식으로서 진공펌프를 사용하지 않고 벤틀리만을 이용하여 챔버를 감압시키므로 기존 방법에 비해 에너지를 크게 절약할 수 있는 장점이 있다. 따라서 벤틀리를 이용한 진공건조 공정에 의해 감귤박으로부터 리모넨을 분리하고, 건조된 감귤박으로부터 바이오 에탄올을 생산한다면 감귤박의 처리뿐만 아니라 리모넨의 분리 및 바이

오 에탄올의 생산효율 증대의 효과를 동시에 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 벤틀리를 이용한 진공건조 공정에 의해 감귤박으로부터 리모넨을 분리 가능성을 확인하고, 이러한 과정 중에 건조된 감귤박을 이용하여 바이오 에탄올을 생산하는 기술에 대한 기초 데이터를 제시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 장치

본 연구에 사용한 폐 감귤박은 서귀포에 있는 감귤가공공장에서 배출된 것을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 폐 감귤박은 죽(porridge) 형태로서 부패를 방지하기 위하여 냉동고에서 보관한 후 필요에 따라 상온에서 해동한 후 사용하였다. 일반적인 진공건조기는 건조기 내를 감압하기 위하여 진공펌프를 사용하지만, 벤틀리 진공건조기는 벤틀리에서 분사되는 유체의 운동에너지를 이용하여 감압한다. 벤틀리 진공건조기는 일반적인 진공건조기에 비해 소형화 및 경량화가 가능하고 소음과 진동이 거의 없으며 구조가 간단하여 고장률이 낮고 보수가 간단하다.

본 연구에서 사용한 벤틀리 진공건조기의 모식도를 Figure 1에 나타내었다. 감귤박을 넣는 챔버, 가열기, 온도 및 압력계이지, 콘덴서, 냉각수 공급 펌프, 수조 및 순환펌프로 이루어져 있다. 챔버에 감귤박을 넣고 챔버의 온도를 올려주면서 순환펌프를 이용하여 수조의 물을 벤틀리에 공급하면 챔버에 진공이 걸리면서 감귤박의 수분과 정유가 기체 상태로 콘덴서로 이동한다. 콘덴서에서는 수분과 정유가 응축되고 응축된 수분과 정유는 밀도차에 의해 층 분리가 일어난다.

본 연구에서 감귤박의 진공건조는 냉동된 폐 감귤박을 상온에서 해동을 한 다음, 진공건조기의 챔버에 넣고 건조하였다. 이때 평균 가열 온도는 110 °C, 챔버의 평균온도는 50 °C, 압력은 -95 kPa로 유지하며 15시간 동안 건조하였다.

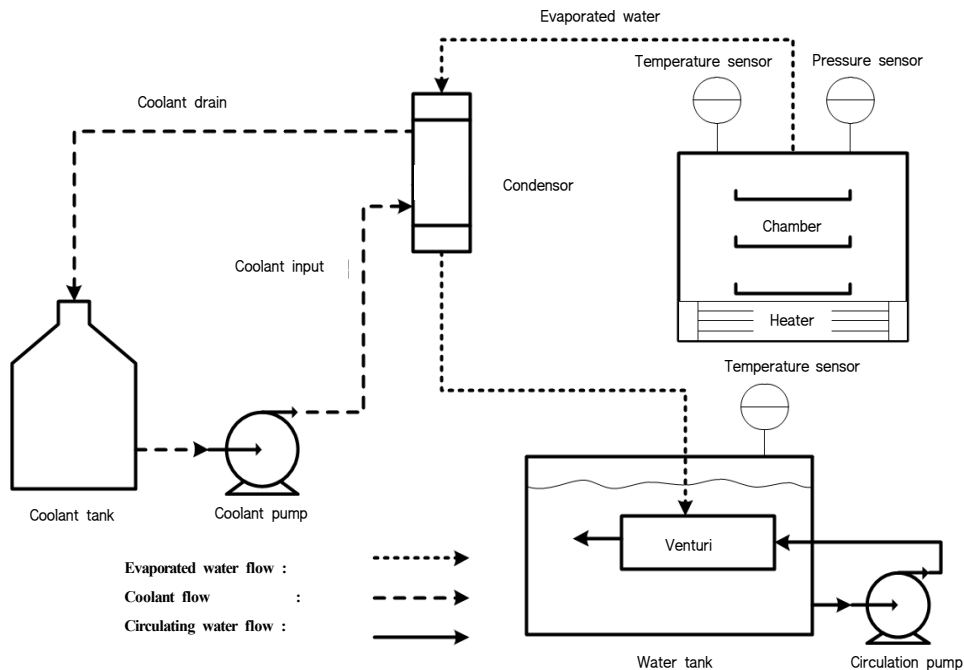


Figure 1. Schematic diagram of the venturi vacuum dryer.

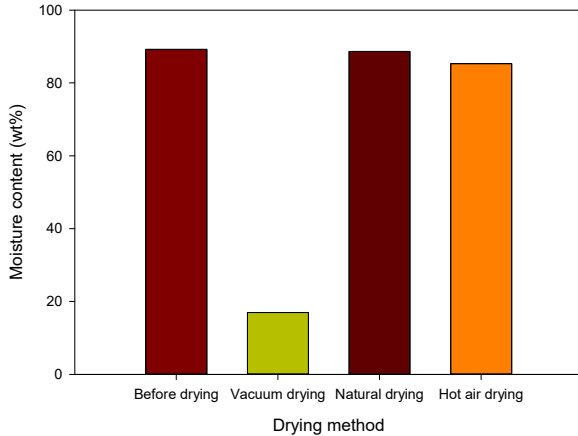


Figure 2. Moisture content of citrus peels before drying and after 15 hours of drying.

2.2. 당화 및 에탄올 발효

당화와 발효의 동시 효과를 알아보기 위하여 감귤박을 당화제로 당화한 다음, 에탄올 발효 효모를 넣고 발효하는 방법(Run-1)과 당화제와 에탄올 발효용 효모를 동시에 첨가하여 발효하는 방법(Run-2)을 각각 이용하여 에탄올 발효를 하고 두 방법을 비교하였다.

2.3. 분석방법

추출된 정유 중의 리모넨의 함량은 GC/MS로 측정하였다. 에탄올 발효 용액에서의 에탄올 농도는 발효 용액을 0.45 μm 실린지 필터로 여과한 후 여과액의 에탄올 농도를 굴절계(refractometer)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건조 방법에 따른 수분 및 리모넨 함량 변화

벤투리 진공건조, 자연건조 및 열풍건조에 의해 감귤박을 각각 건조하고, 건조 방법에 따른 수분 및 리모넨 함량을 비교하였다.

건조 전과 진공건조, 자연건조 및 열풍건조에 의해 15시간 동안 건조된 감귤박의 수분함량을 측정하고, 그 결과를 Figure 2에 나타내었다. 건조 전의 감귤박 수분함량은 89.2%이었으며, 15시간 건조 후의 진공건조, 열풍건조 및 자연건조에 의해 건조된 감귤박의 수분함량은 각각 17.0%, 85.3% 및 88.6%이었다. 따라서 본 연구에서 사용한 진공건조가 자연건조와 열풍건조에 비해 감귤박의 수분 제거에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

건조된 감귤박으로부터 정유를 추출하기 위하여 노르말 헥산을 사용하여 용매추출하였다[13]. 건조한 감귤박 1 g을 100 mL 듀란병에 넣고 여기에 노르말 헥산 10 mL를 첨가하여 웨이킹 인큐베이터(25 °C, 150 rpm)에서 1시간 동안 추출하였고, 추출된 정유 중의 리모넨의 함량은 GC/MS로 측정하였다[13].

Figure 3에 진공건조, 열풍건조 및 자연건조에 의해 15시간 동안 건조된 감귤박의 리모넨 함량을 나타내었다. 벤투리 진공건조, 열풍건조 및 자연건조에 의해 건조된 감귤박의 리모넨 함량은 각각 3.2%, 22.4% 및 41.6%이었다. 따라서 벤투리 진공건조가 열풍건조 및 자연건조에 비해 수분뿐만 아니라 리모넨의 제거에 매우 효과적임을 확인할 수 있었다.

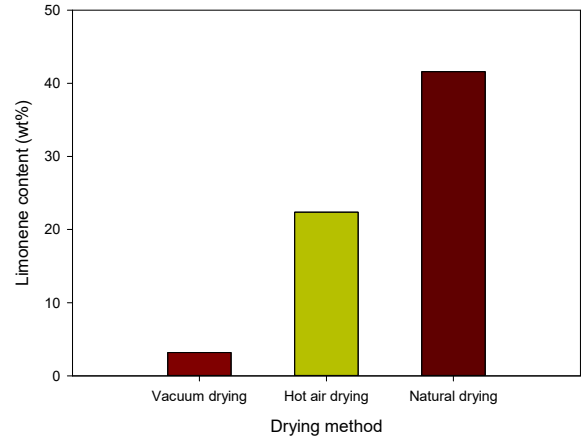


Figure 3. The content of limonene in dried citrus peels.

자연건조 또는 열풍건조에 의해 감귤박을 건조할 때는 리모넨 등의 정유가 그대로 대기 중으로 방출되어 정유의 활용이 불가능하다. 하지만 벤투리 진공건조 방법은 감귤박으로부터 수분과 정유의 제거가 가능할 뿐만 아니라 분리된 수분과 정유의 회수가 가능하다. 즉 벤투리를 이용하여 감귤박을 건조하게 되면 감귤박에 함유된 수분과 정유는 기화되면서 감귤박에서 분리되고, 기화된 수분과 정유는 콘덴서에 의해 응축되어 액체 상태로 상 변화되어 회수된다. 상 변화된 수분과 정유는 각각 친수성 및 소수성으로서 밀도차에 의해 두 층으로 분리되며, 위층과 아래층은 각각 리모넨을 함유한 정유 층과 플로럴 워터이다. 벤투리 진공건조에 의해 추출된 정유의 양은 4.21 mL/kg 감귤박이었으며, 추출된 정유의 79.9%는 리모넨이었다.

3.2. 건조 감귤박의 에탄올 발효

당화와 발효의 동시 효과를 알아보기 위하여 Run-1과 Run-2를 각각 이용하여 에탄올 발효를 하고 두 방법을 비교하였다.

Run-1은 250 mL 세럼병에 증류수 100 mL를 채우고 감귤박 일정량을 넣은 다음, 당화제를 2 mL를 넣고 50 °C, 100 rpm으로 운전되는 웨이킹 인큐베이터에서 48시간 동안 당화한 후에 *Saccharomyces cerevisiae* 5 g을 넣고 실링 한 다음, 40 °C, 100 rpm으로 운전되는 웨이킹 인큐베이터에서 48시간 동안 발효하였다.

Run-2는 250 mL 세럼병에 증류수 100 mL를 채우고 감귤박 일정량을 넣은 다음, 당화제를 2 mL와 *Saccharomyces cerevisiae* 5 g을 각각 넣고 실링을 한 후, 40 °C, 100 rpm으로 운전되는 웨이킹 인큐베이터에서 에탄올 발효를 48시간 실시하였다.

Figure 4는 발효 방법과 당화제의 종류에 따른 발효 에탄올의 농도 변화를 나타낸 그림이다. 감귤박의 당화에 사용한 당화제는 Celluclast, Viscozyme, Pectinex 및 Saczyme로 모두 4 종류를 사용하였다. 에탄올 발효에 사용한 감귤박은 벤투리 진공건조에 의해 건조한 감귤박을 분쇄기로 분쇄하여 감귤박의 크기가 12 mm의 것을 사용하였다.

Run-1에서는 Pectinex를 사용하였을 때, 에탄올 농도가 가장 높게 나타났으며, Run-2에서는 Celluclast를 사용하였을 때, 에탄올 농도가 가장 높게 나타났다. 또한 당화제의 종류와 관계없이 모든 조건에서 알코올 농도는 Run-2가 Run-1에 비해 높게 나타나, 당화제의 종류와 관계없이 당화와 발효를 동시에 하는 것이 당화와 발효를 순차적으로 하는 방법에 비해 더 효과적임을 알 수 있었다. 당화제로 Celluclast를 사용하였을 때, Run-1과 Run-2 방법으로 발효한 에탄올 농도는 각각

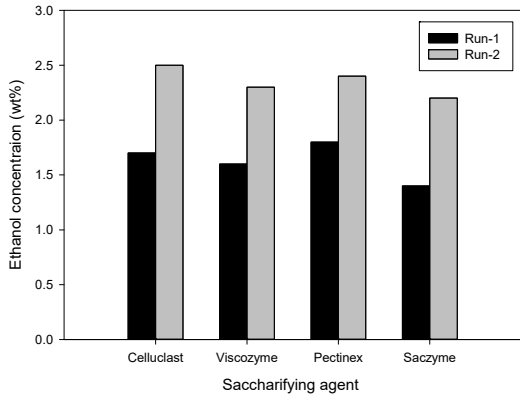


Figure 4. Changes in the concentration of ethanol by type of saccharifying agent and fermentation method.

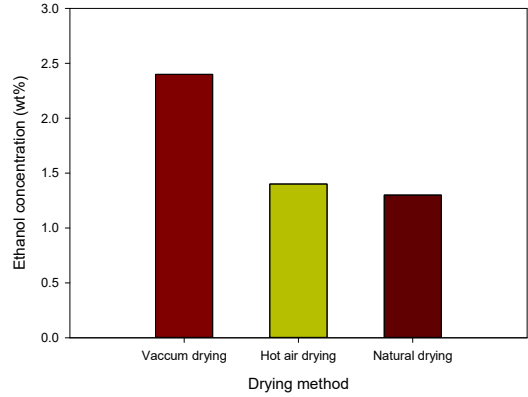


Figure 6. Change in the concentration of ethanol for dried citrus peels.

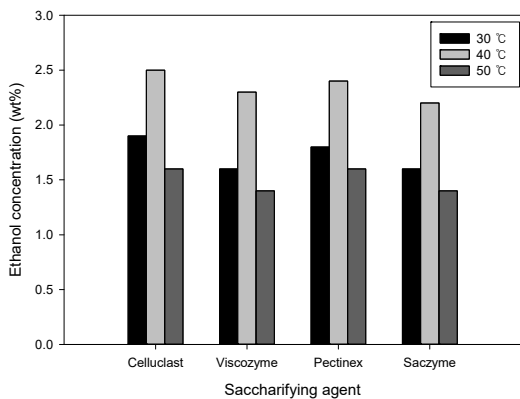


Figure 5. Changes in the concentration of ethanol by type of saccharifying agent and fermentation temperature.

1.7%와 2.5%이었다.

일정량(5 g)의 진공 건조된 감귤박에 당화제와 알코올 발효용 효모를 동시에 넣고 발효 온도를 각각 30 °C, 40 °C 및 50 °C로 하고 교반 속도를 100 rpm로 설정한 셰이킹 인큐베이터에서 48시간 발효하였을 때, 온도 변화에 따른 알코올의 농도 변화를 Figure 5에 나타내었다. 당화제의 종류와 관계없이 에탄올의 농도는 40 °C > 30 °C > 50 °C 순으로 높게 나타났으며, Celluclast를 당화제로 사용하고 발효온도가 40 °C일 때, 에탄올 농도는 2.5%였다.

에탄올의 농도가 40 °C일 때 최대가 되는 이유는 당화공정은 온도가 증가할수록 반응 속도뿐만 아니라 당화 수율이 증가하는 반면에 온도가 증가할수록 효모의 활성이 감소하기 때문인 것으로 판단된다 [14].

건조 방법이 서로 다른 감귤박을 사용하여 에탄올 발효를 실시하고, 건조방법에 따른 효과를 서로 비교하였다. 벤틀리 진공건조, 자연건조 및 열풍건조 방법에 의해 각각 15시간 동안 건조된 감귤박 5 g에 증류수 100 mL, Celluclast 2 mL, 효모 5 g을 넣고 마개로 밀봉한 다음, 셰이킹 인큐베이터에서 48 시간 동안 발효한 후 에탄올의 농도를 측정하고 그 결과를 Figure 6에 나타내었다. 이때 셰이킹 인큐베이터의 발효 조건은 40 °C, 100 rpm으로 하였다. 벤틀리 진공건조, 열풍건조 및 자연건조에 의한 감귤박의 에탄올 농도는 각각 2.4%, 1.4% 및 1.3%로 나타나 진공건조에 의해 건조한 감귤박이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 Figure 3에 나타낸 바와 같이 에탄올 발효 저해를

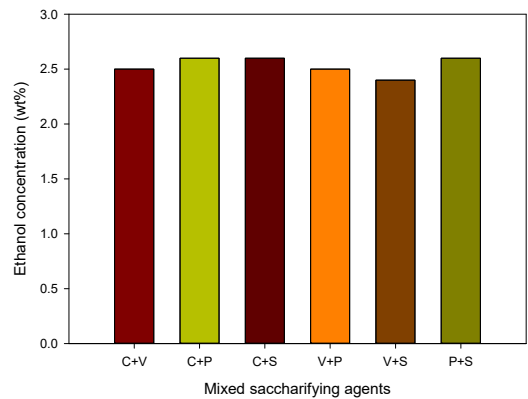


Figure 7. Changes in the concentration of ethanol when two types of saccharifying agents are mixed.

일으키는 리모넨이 벤틀리 진공건조에 의해 3.2%까지 감소하였기 때문으로 판단된다.

당화제 혼합 사용의 효과를 살펴보았다. 이때 사용한 당화제는 모두 4 종류로서 Celluclast (C), Viscozyme (V), Pectinex (P) 및 Saczyme (S)를 사용하였다.

두 종류의 당화제를 각각 1 mL씩 혼합(총 당화제 첨가량은 2 mL)하여 에탄올 발효를 실시하고 그 결과를 Figure 7에 나타내었다. 이때의 발효 조건은 동시발효(Run-2)로서 발효조건은 감귤박 5 g, 증류수 100 mL, 당화제 2 mL, 효모 5 g, 발효 온도 40 °C, 교반 100 rpm, 발효시간 48 시간으로 하였다.

Figure 5에 나타낸 바와 같이 Celluclast를 단독으로 사용하였을 때 에탄올 농도가 가장 높게 나왔고 Saczyme를 단독으로 사용하였을 때 에탄올 농도가 가장 낮게 나타났으나 Celluclast 또는 Saczyme를 다른 당화제와 혼합하여 사용한 경우에 혼합 당 화제 간의 에탄올 농도 차이는 거의 없었다. 혼합 당화제를 사용하였을 때, 에탄올 농도는 각각 C+V 2.5%, C+P 2.6%, C+S 2.6%, V+P 2.5%, V+S 2.4% 및 P+S 2.6%이었다.

세 종류의 당화제를 혼합 사용하여 Run-2의 발효조건에서 에탄올 발효를 실시하고 그 결과를 Figure 8에 나타내었다. 이때 총 당화제 양은 각각 2 mL로 하고 각 당화제의 양은 같게 하였다. 혼합 당화제 변화에 따른 에탄올 농도의 차이는 거의 없었다. 또한 세 종류의 당화제를 혼합 사용하였을 때의 발효 에탄올 농도는 두 종류의 혼합 당화제와 단일 당화제를 사용하였을 때의 에탄올 농도와 거의 차이가 없

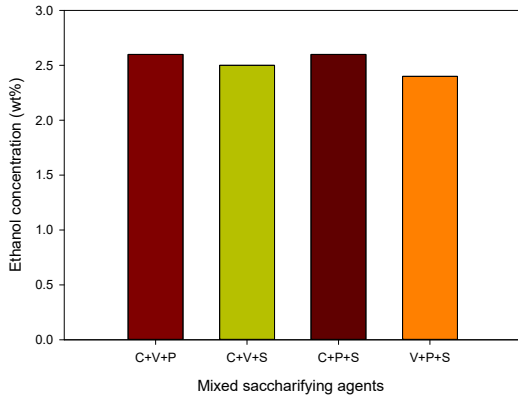


Figure 8. Changes in the concentration of ethanol when three types of saccharifying agents are mixed.

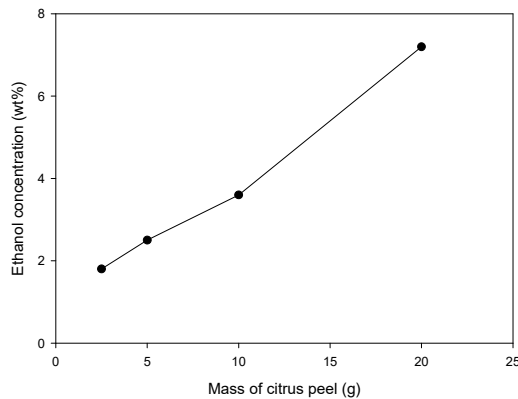


Figure 9. Change in ethanol concentration with mass of citrus peel.

었다. 혼합 당화제별 발효 알코올의 농도는 C+V+P 2.6%, C+V+S 2.5%, C+P+S 2.6% 및 V+P+S 2.4%였다.

Figure 9에 벤투리 진공건조 된 감귤박의 질량 변화에 따른 에탄올의 농도 변화를 나타내었다. 이때 발효 조건은 Run-2으로 하였으며, 당화제로는 Celluclast를 사용하였다. 본 실험조건에서 에탄올 농도는 감귤박의 양이 증가할수록 거의 직선적으로 증가하였다. 감귤박이 2.5, 5.0, 10 및 20 g일 때의 에탄올 농도는 각각 1.8%, 2.5%, 3.6% 및 7.2%이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 벤투리를 이용한 진공건조 공정에 의하여 감귤박으로부터 리모넨을 분리하고 건조된 감귤박을 이용하여 바이오 에탄올을 생산하기 위한 연구로서 감귤박으로부터 리모넨의 분리와 바이오 에탄올 생산에 대한 기초자료를 제시하였다.

벤투리 진공건조, 열풍건조 및 자연건조에 의해 15시간 동안 건조된 감귤박의 수분함량은 각각 17.0%, 85.3% 및 88.6%이었고, 리모넨 함량은 각각 3.2%, 22.4% 및 41.6%이었다. 따라서 벤투리 진공건조가 열풍건조 및 자연건조에 비해 수분뿐만 아니라 리모넨의 제거에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

벤투리 진공건조에 의해 리모넨을 함유한 정유와 플로럴 워터를 각각 얻을 수 있었으며, 벤투리 진공건조에 의해 분리된 정유의 양은 4.21 mL/kg 감귤박이었고, 추출된 정유의 79.9%는 리모넨이었다.

벤투리 진공건조, 열풍건조 및 자연건조에 의한 감귤박의 에탄올 농도는 각각 2.4%, 1.4% 및 1.3%로 나타나 진공건조에 의해 건조한 감귤박이 가장 적절하였다. 이러한 결과는 에탄올 발효 저해를 일으키는 리모넨이 벤투리 진공건조에 의해 3.2%까지 감소하여 리모넨의 저해 반응이 감소되었기 때문으로 판단된다.

당화제의 종류와 관계없이 당화와 발효를 동시에 하는 것이 당화와 발효를 순차적으로 하는 방법에 비해 에탄올 생산에 더 효과적임을 알 수 있었다. 또한 한 종류의 당화제를 사용한 경우와 두 종류 이상의 당화제를 혼합한 혼합 당화제를 사용한 경우 간의 발효 에탄올 농도의 차이는 없었다.

감 사

이 논문은 2022학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

References

1. Y. J. Yang, Postharvest Quality of Satsuma Mandarin Fruit Affected by Controlled Atmosphere, *Hortic. Sci. Technol.*, **19**, 145-148 (2001).
2. J. M. Park and Y. I. Kim, A method for preparing Citrus pulp pellet with calcium oxide(CaO) without drying, *KR Patent* 101494807 B1 (2015).
3. D. S. Kim and Y. J. Sung, Manufacturing Functional Pulp Mold with Citrus Pomace, *J. Korea TAPPI*, **52**, 58-66 (2020).
4. Y. D. Kim, W. J. Ko, K. S. Koh, y. J. Jeon, and S. H. Kim, Composition of flavonoids and antioxidative activity from juice of Jeju native citrus fruits during maturation, *Korean J. Nutr.*, **42**, 278-290 (2009).
5. S. M. Park, K. Y. Ko, and I. H. Kim, Optimization of d-limonene extraction from tangerine peel in various solvents by using soxhlet extractor, *Korean Chem. Eng. Res.*, **53**, 717-722 (2015).
6. E. Y. Song, Y. H. Choi, K. H. Kand, and J. S. Koh, Free sugar, organic acid, hesperidin, naringin and inorganic elements changes of Cheju citrus fruits according to harvest date, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 303-312 (1998).
7. S. H. Kim and J. S. Koh, Physicochemical properties and chemical compositions of citrus fruits produced in Cheju, *Agric. Chem. Biotechnol.*, **38**, 541-545 (1995).
8. Y. S. Hong, Y. S. Lee, and K. S. Kim, Comparison of volatile flavor compounds of yuzu, kumquat, lemon and lime, *Korean J. Food Preserv.*, **24**, 394-405 (2017).
9. S. B. Lee and H. Kim, The effect of acid hydrolysis and enzymatic saccharification in bioethanol production process using fruit peels, *Appl. Chem. Eng.*, **25**, 619-623 (2014).
10. D. H. Kim, H. S. Lee, C. S. Kim, E. G. Kim, and H. Kim, Policy suggestion as the analysis of bio-ethanol demand, *J. Agric. Life Sci.*, **47**, 127-135, (2013).
11. C. K. Na, M. K. Song, and C. I. Son, Ethanol production from seaweeds by acid-hydrolysis and fermentation, *New Renew. Energ.*, **7**, 6-16 (2011).
12. H. J. Bae, H. K. Shin, and I. S. Choi, Method for removing limonene and device for removing limonene in biomass saccharification liquid and bioethanol production using removal method, *PCT/KR2014-007693* (2015).

13. M. Kim, *Evaluation of Bioactivities and Chemical Constituents on Essential Oils and Subcritical Water Extracts from Citrus Unshiu and Citrus limon Leaves in Jeju*, MS Dissertation, Jeju National University, Jeju, Korea (2022).
14. J. B. Na, and J. S. Kim, The optimum condition of SSF to ethanol production from starch biomass, *Korean Chem. Eng. Res.*, **46**, 858-862 (2008).

Authors

Seung-Geon Kim; Ph.D., Lecturer, Department of Chemical Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea; jyushin@jejunu.ac.kr
Ho-Won Lee; Ph.D., Professor, Department of Chemical Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea; hwlee@jejunu.ac.kr