

식음료폐기물을 이용한 바이오에탄올 생산

전형진¹, 이병오², 강경우¹, 정준성¹, 정봉우², 최기욱^{1*}

Production of Bioethanol by Using Beverage Waste

Hyungjin Jeon¹, Byung-Oh Lee², Kyungwoo Kang¹, Jun-seong Jeong¹, Bong-Woo Chung², and Gi-Wook Choi^{1*}

접수: 2011년 9월 20일 / 게재승인: 2011년 10월 17일
© 2011 The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering

Abstract: Because beverage waste contains a lot of sugar, it can be used as a valuable resource for energy. But beverage waste is discharged through the water treatment. To prevent the waste of the energy resource, we produced bioethanol by using beverage waste in this study. In order to produce bioethanol, we added distillers stillage and NaOH for fermentation condition (nutrients and pH adjustment). As a results, ethanol concentration was 5.92 vol%. In contrast, ethanol concentration of blank (not added nutrients) was low and fermentation rate was very slow. Because components of the distillers stillage help the yeast growth, fermentation yield and rate was improved. Finally, we operated distillation and dehydration process by using fermented mash and produced fuel bioethanol (more than 99.5 wt%). We think that this results may provide useful information with application of commercial ethanol production using beverage waste.

Keywords: Bioethanol, Beverage waste, Fermentation, Distillation, Dehydration

1. 서론

수송용 에너지부분에서 액체연료는 매우 중요한 에너지원이며, 현재 수송용 액체연료로서 휘발유와 디젤이 사용되고 있다. 하지만 지속되는 고유가와 화석연료의 고갈, 환경오염 등으로 인하여 대체에너지의 필요성이 점점 대두되고 있다. 이 중에서도 바이오에탄올은 열량, 연소 발생물질, 경제성 면에서 석유를 대체하여 현재 화석연료의 문제점을 해결해줄 수 있는 신재생에너지로서 매우 활발한 연구가 진행되고 있다 [1-3].

바이오에탄올은 당을 함유한 바이오매스를 이용하여 발효를 통하여 생산할 수 있으며, 에탄올 생산에 이용되는 바이오매스의 종류에 따라서 1세대, 2세대로 구분할 수 있다. 먼저 1세대 바이오매스를 이용한 바이오에탄올 생산 공정에서는 사탕수수나 카사바 등과 같은 당질계나 전분질계 바이오매스를 이용하는 공정이다. 1세대 바이오매스는 다른 바이오매스보다 쉽게 효모가 발효에 사용할 수 있는 당으로 전환이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 1세대 바이오매스를 이용한 공정은 식량자원과의 경합으로 인한 바이오매스 공급부족의 위험성을 항상 가지고 있다는 단점이 있다. 다음으로 2세대 바이오매스를 이용한 에탄올 생산 공정은 벃짚, 보릿짚, 억새와 같은 셀룰로스계 바이오매스를 이용한다. 2세대 바이오매스는 1세대 바이오매스와 비교하여 가격이 저렴하고, 양 또한 풍부하다는 장점을 가지고 있지만, 셀룰로스계 바이오매스는 식물의 복잡한 구조로 인해 발효 가능한 당으로 전환하기가 힘들며, 당으로 전환하기 위한 전처리 공정의 수반으로 인한 생산단가도 높아진다는 단점이 있다 [4-9].

현재 브라질, 미국과는 달리 우리나라와 같이 경지면적이 좁고 식량 자급률이 낮은 집약농업국가는 1세대 바이오매스를 이용한 연료용 바이오에탄올 생산과 상용화에 대한 현실

¹(주)창해에탄올

¹Changhae Institute of Cassava and Ethanol Research, Changhae Ethanol Co., Ltd, Jeonju 561-203, Korea
Tel: +82-63-214-7800, Fax: +82-63-214-7805
e-mail: changrd@chethanol.com

²전북대학교 생물공정공학과

²Department of Bioprocess engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

적인 부담이 많은 것이 사실이다. 또한 2세대 바이오매스를 이용한 바이오에탄올 생산 역시 바이오매스의 수급이 어려우며, 현재 연구 중인 기술로서 상용화를 통한 생산 역시 어려움이 많다. 이러한 어려움으로 인해 국내에서는 에탄올 생산을 위한 바이오매스의 다양화와 새로운 바이오에탄올 생산공정의 개발이 필요한 실정이다. 유기성폐기물로부터 에탄올 생산에 의한 유기성폐기물의 재이용은 부존자원이 빈약한 국내의 실정을 감안해 볼 때 큰 의미를 갖는다. 또한 석유화학 공정으로부터 야기되는 오염물의 저감 정책 그리고 재생가능하고, 환경 친화적인 당을 이용해 제한된 화석연료로부터 충원되는 Hydrocarbon을 대체하려는 Green technology가 점점 우위를 차지하는 추세이다. 뿐만 아니라 바이오매스를 폐기물로 처리할 경우 발생하는 이산화탄소는 그대로 대기 중에 방출되는 반면, 바이오매스에 의해 생산된 에너지를 그대로 사용한다면 화석연료의 사용에 따른 온실가스의 방출량을 상쇄함으로써 결과적으로 바이오매스 유래 에너지 사용은 온실가스 방출량을 획기적으로 감소시킬 수 있다 [2,10-13].

유기성폐기물 중에서 식음료폐기물은 주로 식음료 제조공장의 생산과정에서 발생한 공정불량품이나, 유통과정에서 발생한 유통기한이 지난 제품을 총칭한다. 이러한 식음료폐기물은 현재 다른 용도로서 활용되지 못하고 제조업체에서 대부분 폐수처리를 통하여 처리되고 있어 많은 비용이 사용되고 있는 실정이며, 또한 이러한 유기성폐기물의 활용에 대한 방안으로 현재 메탄과 수소 생산과 같은 바이오가스 생산에 대한 연구에 편중되어 있다. 하지만 식음료폐기물에는 다량의 당이 함유되어 있기 때문에 저장과 수송이 용이한 액체연료인 에탄올의 발효기질로서 활용가능성을 충분히 가지고 있으며, 또한 당이 단당류로 존재하기 때문에 당화공정이 필요하지 않으므로 공정상 매우 유리하며 폐기물을 에너지원으로 재사용을 할 수 있으므로 친환경적이며 경제적인 공정이라는 장점을 가지고 있다 [13-14].

본 연구에서는 식음료폐기물을 에탄올 발효기질로서의 이용가능성을 검토하기 위해 식음료폐기물의 특성을 분석하고 특성에 맞는 처리를 통하여 발효에 의한 에탄올을 생산하고, 생산된 에탄올을 농축시키기 위해 증류공정 및 탈수공정을 이용하여 연료용 바이오에탄올을 생산하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에 사용된 식음료폐기물은 C 음료 제조회사에서 유통기한이 지난 식음료폐기물을 공급받아 사용하였다. 식음료폐기물에 영양원으로서 발효폐액 (전분질계 원료 사용)을 사용하였으며, 현재 (주)창해에탄올 생산 공장에서 반제품으로 생산된 것을 이용하였다. 또한 영양원 공급을 위해 사용된 K_2HPO_4 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $(NH_4)_2HPO_4$ 는 JUNSEI사 제품을 구매하여 사용하였으며, 요소는 (주)남해화학의 제품을 구매하여 사용하였다. 그리고 pH 조절을 위하여 사용된 NaOH는 JUNSEI사 제품을 구매하여 이용하였다. 발효에 사용된 효모는 (주)창해에탄올에서 사용하고 있는 산업용 균주인

Saccharomyces cerevisiae CHY1011 (KCTC11250BP)을 이용하였다. 마지막으로 식음료폐기물의 발효, 증류 및 탈수는 (주)창해에탄올에 설치된 Pilot plant를 사용하여 에탄올을 생산하였다.

2.2. 식음료폐기물 pH 조절 및 발효

먼저 식음료폐기물 1 L를 2 L 삼각플라스크에 투입한 후, 영양원 (발효폐액)을 각각 식음료폐기물 첨가 대비 5~15 vol%를 첨가하였다. 이어서 식음료폐기물의 pH를 측정 후, NaOH를 첨가하여 pH를 4.5로 조절하였다. 식음료폐기물을 살균처리하기 위하여 Autoclave를 이용하여 121°C에서 15분동안 살균처리를 한 후, 32°C가 될 때까지 냉각하였다. 식음료폐기물을 발효하기 위해 사용된 균주는 *S. cerevisiae* CHY1011 (KCTC11250BP)을 사용하였고 YPD액체배지 (yeast extract 20 g/L, peptone 20 g/L, glucose 100 g/L)에 접종한 후 32°C에서 24시간동안 배양하였다. 배양액 7 vol%를 식음료폐기물에 합병하고 Incubator에서 32°C의 조건으로 발효를 실시하여 에탄올을 생산하였다.

2.3. 식음료폐기물 발효액의 증류 및 탈수

발효된 식음료폐기물을 농축하기 위해 증류공정과 탈수공정을 이용하였다. 먼저 증류 및 탈수설비를 가동하기 위한 식음료폐기물 발효액을 확보하기 위해 (주)창해에탄올 연구소에 설치된 발효조 (Fig. 1)를 이용하여 발효를 실시하였다. 사용된 식음료폐기물의 양은 70 L였으며, 영양원으로서 발효폐액을 10 vol%첨가하였다. 발효공정을 통해 생산된 발효액은 (주)창해에탄올 연구소에 설치된 증류장치 (Fig. 1)를 이용

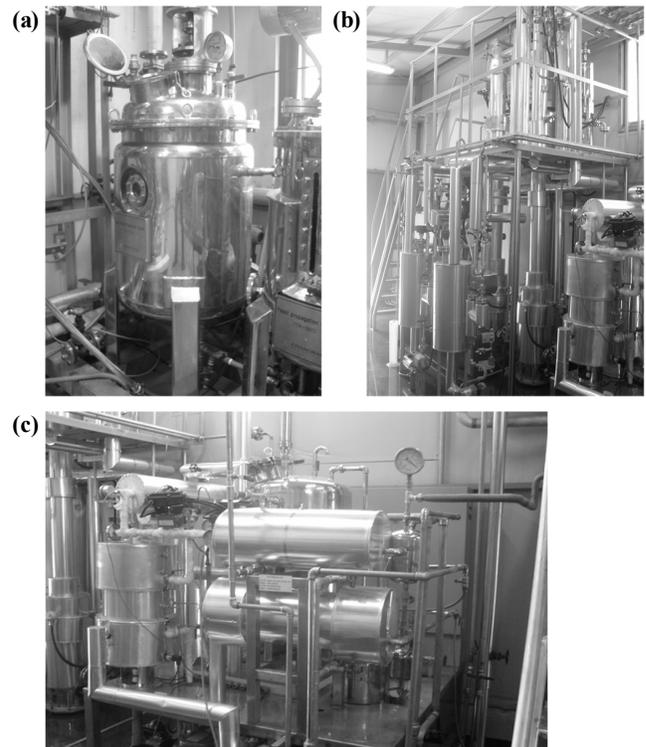


Fig. 1. Pilot plant: (a) fermentation, (b) distillation, (c) dehydration.

하여 농축을 실시하였다. 증류장치는 상압증류방식이며, Mash column과 Rectification column으로 2개의 Column으로 구성되어 있어 Mash column에서 1차 농축 및 고액 분리를 실시하였으며, Rectification column에서 2차 농축을 실시하여 94.2 wt%의 에탄올을 생산하였다. 증류공정을 통해 생산된 에탄올의 수분을 제거하여 무수에탄올을 생산하기 위해 (주)창해에탄올 연구소에 설치된 탈수설비 (Fig. 1)를 이용하였다. 이 탈수설비는 단일 다중관식 PSA (Pressure Swing Adsorption) 공정 설비이며, 수분 흡착을 위해 흡착 column에 충전한 흡착제로는 Zeochem사의 3 Å 제올라이트를 이용하였다. Fig. 2에 식음료폐기물을 이용하여 연료용 바이오에탄올 생산까지의 공정을 Diagram으로 나타내었다.

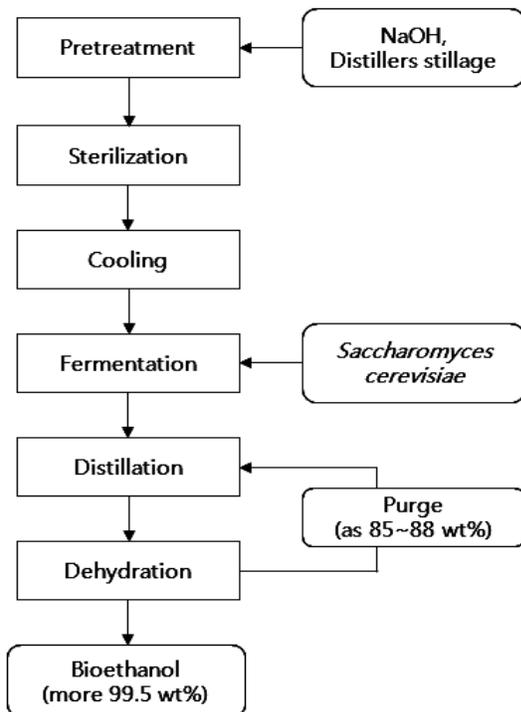


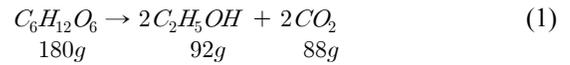
Fig. 2. Diagram of ethanol production process using beverage waste.

2.4. 분석방법

식음료폐기물에 함유된 당 농도를 측정하기 위해서 Syringe filter (0.2 μm)를 이용하여 여과한 후 HPLC (High Performance Liquid Chromatography, Waters사)를 이용하여 분석하였다. Column은 Bio-rad사의 Aminex HPX-87H column을 사용하였으며 oven temperature는 60°C, detector temperature는 40°C로 설정하였다.

식음료폐기물에 함유된 당이 에탄올로의 전환을 확인하기 위해 수시분석을 실시하였으며, 식음료폐기물 발효액이 든 삼각플라스크의 무게를 수시로 측정함으로써 분석을 실시하였다. 이는 발효공정에서 CO₂가 발생하여 삼각플라스크의 무게가 감소하게 되는데 이를 이용하여 발효로 인한 에탄올 농도를 측정할 수 있다. (1)에서 볼 수 있듯이 당이 발효공정에 의해 에탄올로 전환될 때 함께 발생하는 CO₂의 무게를 이용하여 간접적으로 생성되는 에탄올의 함량을 측정할 수 있는

것이며, 에탄올 농도를 (2)와 같이 계산할 수 있다 [15].



$$Ethanol\ conc. (g/L) = \frac{CO_2(g) \times E(g/mol)}{C(g/mol) \times V(L)} \quad (2)$$

CO₂ = 발생된 CO₂ 질량.
 E = Ethanol 분자량.
 C = CO₂ 분자량.
 V = 발효액 부피.

발효가 종료된 식음료폐기물의 에탄올 농도는 발효액을 원심분리한 후 다시 Syringe filter (0.2 μm)를 이용하여 여과하여 HPLC (Waters사)을 이용하여 생산된 에탄올의 농도를 측정하였다. Column은 당 농도 분석에 사용했던 것과 마찬가지로 Bio-rad사의 Aminex HPX-87H column을 사용하였으며 oven temperature는 60°C, detector temperature는 40°C로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식음료폐기물 특성분석

식음료폐기물의 특성을 분석하기 위해 당 농도, pH, 밀도, 점도를 측정하였으며, 결과를 Table 1에 나타내었다. 먼저 당 농도를 분석한 결과 9.2 wt% (92 g/L)의 당을 함유하고 있었으며, Glucose와 Fructose의 단당류 형태로 존재하고 있어 별도의 당화공정 없이 발효가 가능한 형태로 존재하고 있었다. 다음으로 pH를 분석한 결과는 3.24로 분석되어 *S. cerevisiae*의 최적 조건이 4.5에 비해 낮은 수치를 나타내고 있어 pH 조절 없이 식음료폐기물을 이용하여 바로 발효할 경우 에탄올 생산 수율이 저하될 것으로 분석되었다.

Table 1. Analysis results of beverage waste

Sugar (wt%)	pH	Acidity	Density (g/mL)
9.30	3.24	4.8	1.043
(Fructose: 4.32, Glucose: 4.98)			

3.2. 영양원 무첨가 후 발효

식음료폐기물을 별도의 영양원 첨가 없이 pH 조절과 살균 및 냉각 후에 *S. cerevisiae*를 접종하여 발효를 실시하였다. 76시간동안 발효를 수행한 결과, 생산된 에탄올의 농도는 13.8 g/L로 분석되었으며, 발효수율은 약 29.35%였다 (Fig. 3). 영양원을 첨가하지 않고 발효를 실시한 결과 다량의 당이 에탄올로 전환되지 않고 그대로 잔존하였다. 이는 *S. cerevisiae*의 생장에 필요한 영양원이 부족하여 발효수율이 낮게 나타난 것으로 분석된다. 결론적으로 식음료폐기물은 발효의 기질 원으로 사용되는 당은 풍부하게 함유되어 있지만 에탄올 생산 균주의 생장에 필요한 영양원은 함유되어 있지 않아 식음료

폐기물만을 이용하여 에탄올 발효는 어려운 것으로 사료되며, 이를 보완하기 위해 영양원을 첨가하여 효모의 성장 조건을 개선시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

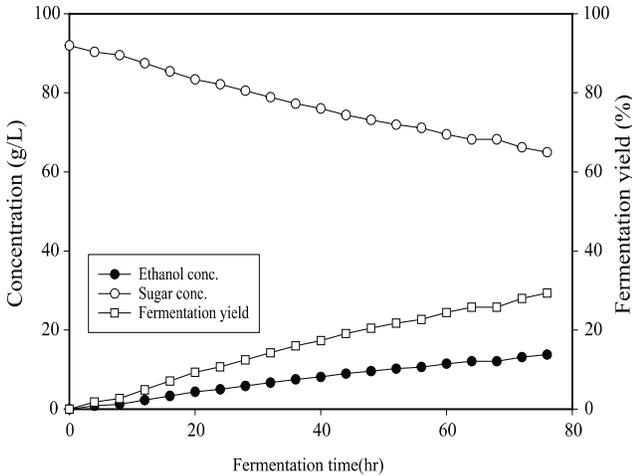


Fig. 3. Results of fermentation process(not added nutrients).

3.3. 영양원 제조 및 첨가 후 발효

식음료폐기물에는 에탄올 생산 균주의 성장에 필요한 영양원이 부족하기 때문에 영양원 (K_2HPO_4 1 g/L, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.25 g/L, $(NH_4)_2HPO_4$ 0.5 g/L, $CO(NH_2)_2$ 0.5 g/L)을 첨가하고 pH 조절, 살균 및 냉각을 실시하여 발효를 수행하였다. 76시간동안 발효를 수행한 결과 40.35 g/L의 에탄올을 생산하였고, 발효수율은 85.82%였다 (Fig. 4.). 이는 영양원을 첨가하지 않고 발효를 실시한 결과와 달리 효모의 성장 조건이 영양원을 첨가함으로써 개선되어 에탄올 생산 측면에서 우수한 수율을 나타냈다. 에탄올 생산성은 0.53 g/L-h (에탄올 농도 40 g/L 도달 기준)로 분석되었다.

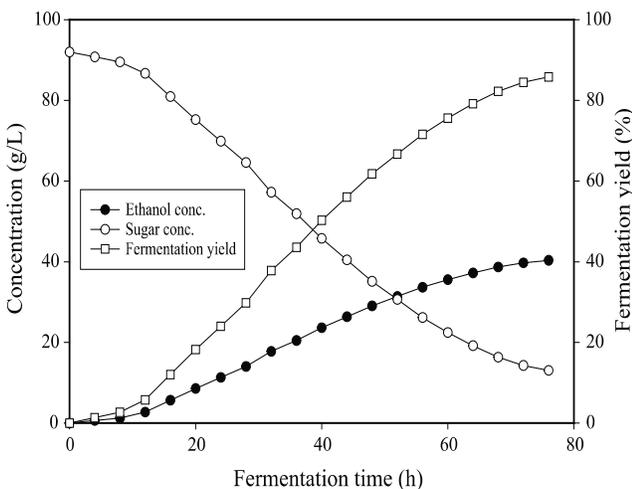


Fig. 4. Results of fermentation process (after added nutrients).

3.4. 발효폐액 첨가 후 발효

현재 전분질계 바이오매스 기반 에탄올 생산 공정에서는 별도의 영양원을 첨가하지 않고 발효하여도 약 10~12 vol%의

에탄올을 생산하고 있다. 이는 전분질계 바이오매스에 당 외에 효모의 성장에 도움을 주는 영양원들이 존재하고 있을 것이라 예상되어 분석을 실시하여 결과를 Table 2에 나타내었으며, 증류공정에서 반제품으로 생산되는 발효폐액을 5 vol%, 10 vol%, 15 vol%로 첨가한 후 식음료폐기물에 첨가하고 pH 조절, 살균과 냉각 후에 *S. cerevisiae*를 접종하여 발효를 실시하였다 (Fig. 5). 발효가 끝난 후에 에탄올 농도를 분석한 결과 44~46 g/L이었다. 발효폐액을 첨가하여 발효를 실시한 결과 인위적으로 영양원 (K_2HPO_4 1 g/L, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.25 g/L, $(NH_4)_2HPO_4$ 0.5 g/L, $CO(NH_2)_2$ 0.5 g/L)을 제조하여 첨가한 발효액보다 더 높은 발효수율을 나타내고 있어 더 효율적인 방법이라고 볼 수 있으며, 특히 발효 속도면에서 매우 우수한 것으로 나타났다 (Fig. 4). 영양원을 첨가한 발효액은 76시간 경과 후 약 83%의 수율을 나타내고 있지만 발효폐액을 15 vol%를 첨가한 발효액에서는 약 32시간이 경과하면 발효가 종료된 것으로 분석되었다. 에탄올 생산성도 1.79 g/L-h (에탄올 농도 40 g/L 도달 기준)으로 분석되었다. 인위적으로 첨가한 발효액과 발효폐액을 영양원으로서 첨가한 발효액에서의 에탄올 생산성 차이가 나타나는 요인은 발효폐액에 함유된 조단백질, 조지방, UGF (Unknown Growth Factor)가 효모의 성장조건을 인위적으로 영양원을 제조 후 첨가한 실험 구보다 더 개선시킬 수 있었기 때문에 발효 속도를 더욱더 촉진시킨 것이라 판단되었다.

Table 2. Contents of distillers stillage

Component	Content(%)
Crude protein	5.52
Crude fat	10.42
Crude fiber	0.01
Crude ash	4.16
Volatile basic nitrogen	0.03
Moisture	66.11

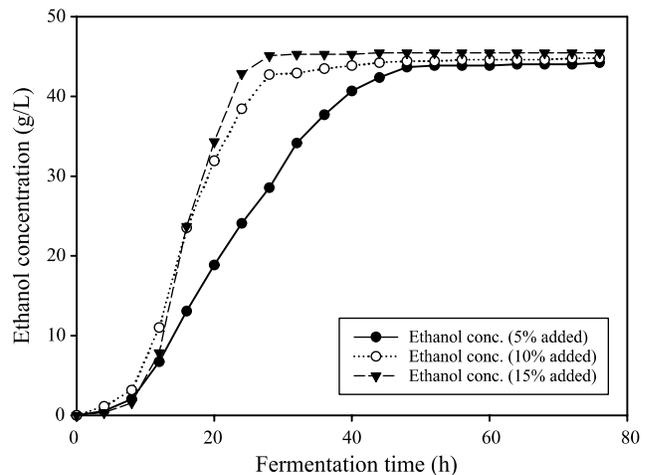


Fig. 5. Results of fermentation process (after added distillers stillages).

3.5. 식음료폐기물 발효액의 종류 및 탈수

식음료폐기물을 이용한 발효액에는 약 4~5 wt%의 에탄올이 함유되어 있지만 연료용 바이오에탄올로 사용하기 위해서는

농축공정이 필요하다. 발효액을 농축시키기 위해 증류공정과 탈수공정을 이용하였으며, (주)창해에탄올 연구소에 설치된 증류장치를 이용하여 92.40 wt% (Table 3)까지 1차 농축시킬 수 있었다. 이 때 물과 에탄올의 공비점 형성으로 인해 증류공정에서 수분을 제거하지 못 해 (주)창해에탄올 연구소에 설치된 단일 다중관식 PSA 설비를 이용하여 탈수 공정을 실시하여 99.77 wt% (Table 3)까지 농축하여 연료용 바이오에탄올을 생산할 수 있었다. PSA 공정에서 흡착제인 제올라이트를 재생하고 발생 된 Purge액의 에탄올 농도는 85~88 wt%였으며, 이는 다시 증류공정을 통해 농축한 후, 탈수공정을 이용하여 무수에탄올을 생산할 수 있었다 (Fig. 6).

Table 3. After distillation and dehydration, ethanol contents

Process	Content (wt%)
Distillation	92.40
Dehydration	99.77

4. 결론

본 연구에서는 생산단계나 유통단계에서 사용되지 못하고 버려지는 식음료폐기물을 이용하여 바이오에탄올을 생산하였다. 본 연구 결과 식음료폐기물의 pH가 3.24로 분석되어 *S. cerevisiae*에 의한 발효공정의 수율이 낮을 것으로 예상되어 NaOH와 같은 염기성 물질을 첨가하여 pH를 최적조건인 4.5로 조절하였다. 식음료폐기물을 영양원을 첨가하지 않고 발효한 경우 효모의 영양원 부족으로 인해 에탄올 농도 (13.8 g/L)와 발효 수율 면에서 낮게 분석되었다. 이를 보완하기 위해 전분질계 에탄올 생산공정에서 발생하는 폐액을 영양원으로 첨가한 결과 효모의 생육 조건을 개선시킬 수 있었으며 식음료폐기물에 함유된 당을 모두 사용할 수 있어 에탄올 농도 또한 45 g/L 이상으로 분석, 발효속도 또한 발효 폐액을 10 vol% 이상 첨가했을 시 발효 30시간이면 완료할 수 있었다. 결론적으로 식음료폐기물은 단독발효는 식음료폐기물에 함유된 영양원이 부족하여 효모의 성장을 억제하여 높은 에탄올 생산 수율을 기대하기 힘들기 때문에 영양원을 첨가해야만 높은 수율을 기대할 수 있었으며, 영양원으로서 전분질계 에탄올 공정에서 발생하는 발효 폐액을 첨가할 경우 매우 우수한 효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 식음료폐기물 발효액을 이용하여 증류와 탈수공정을 통해 에탄올을 농축시킬 수 있었고, 그 결과 99.7 wt%의 연료용 무수에탄올을 생산할 수 있었다. 이는 폐기물인 바이오매스와 저렴한 영양원 (발효폐액)을 이용하여 바이오에탄올을 생산할 수 있으므로 인해 에탄올 생산 비용에서 가장 큰 부분을 차지하는 바이오매스 부분을 절감 할 수 있어 에탄올 생산 단가를 낮출 수 있을 것이라 판단되며 생산 공정 또한 복잡하지 않아 향후 Scale-up을 통한 상업화에도 매우 많은 가능성을 가지고 있다고 판단된다.

감사

본 논문은 수도권매립지관리공사와의 공동연구 (유기성폐기물을 이용한 바이오에탄올 생산)에 의해 수행된 연구결과임.

References

- Zaldivar, J., H. Nielsen, and L. Olsson (2001) Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56: 17-34.
- Han, M. H., Y. Kim, Y. R. Kim, B. W. Chung, and G. W. Choi (2011) Bioethanol production from optimized pretreatment of cassava stem. *Korean J. Chem. Eng.* 28: 119-125.
- Hahn-Hagerdal, B., M. Galbe, M. F. Gorwa-Greuslund, G. Liden, and G. Zacchi (2007) Bio-ethanol - the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends Biotechnol.* 24: 549-556.
- Schell, D. J., J. Farmer, M. Newman, and J. D. McMillan (2003) Dilute sulfuric acid pretreatment of corn stover in pilot-scale reactor investigation of yield, kinetics and enzymatic digestibilities of solids. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 105: 69-85.
- Kang, H. J., H. X. Li, Y. J. Kim, and S. J. Kim (2010) Comparison of bioethanol productivity using food wastes by various culture modes. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 25: 471-477.
- Chang, V. and M. Holtzapple (2000) Fundamental factors affecting viomass enzymatic reactivity. *Appl. Bio-Chem. Biotechnol.* 84-86: 5-37.
- Ingram, L. O. and J. Doran (1995) Conversion of cellulosic materials to ethanol. *FEMS Microbiol. Rev.* 16: 235-241.
- Chen, L. J., Y. L. Xu, F. W. Bai, W. A. Anderson, and M. Y. Murray (2005) Observed quasi-steady kinetics of yeast cell growth and ethanol formation under very high gravity fermentation condition. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 10: 115-121.
- Taherzadeh, M. J. and K. Karimi (2007) Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. *Bioresources* 2: 472-499.
- Choi, C. H., E. S. Lee, P. G. Hwang, Y. S. Ju, and S. J. Jin (2005) A study on the fermentation process in the production of organic acids from foodwastes. *J. Korea Society of Waste Management* 22: 79-85.
- Lee, N. J., H. S. Kim, I. S. Cha, and J. S. Choi (2011) A study on characteristic of the bio-ethanol produced on fruit wastes for direct ethanol fuel cell (DEFC). *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society* 22: 257-264.
- Gyunggi Research Institute, Strategies to utilize waste energy in gyeonggi-do, http://www.gri.re.kr/korea/jsp/publication/research_list.jsp?fnun=02&snum=01.(2010).
- Sudokwon Landfill Site Management Corporation, A study on production of bioethanol by using food wastes, http://library.slc.or.kr/search/Search.ax?sid=1&s=S_PYB&st=DESC.(2010).
- Lee, J. C., J. H. Kim, H. S. Park, and D. W. Pak (2010) Bioethanol production using batch reactor from foodwastes. *Korean Society of Environmental Eng.* 32: 609-614.
- Kim J. H. and M. H. Yoon (2011) Development of ethanol producing *Saccharomyces cerevisiae* strain using high concentration galactose. *J. Appl. Biol. Chem.* 54: 41-46.