

과일폐기물을 이용한 바이오에탄올 생산에 관한 연구

박세준*, 도윤호**, 최정식***, 윤영훈***, 차인수***†

*동신대학교 대학원, **동신대학교 친환경농식품산업화센터, ***동신대학교 수소에너지학과

A Study on Bio-ethanol Production from Fruit Wastes

SEJOON PARK*, YUNHO DO**, JEONGSIK CHOI***, YOUNGHOON YOON***, INSU CHA***†

**Grad. School of Dongshin Univ.*

***Center for Organic Agri-Food Industrialization, Dongshin Univ.*

****Hydrogen & Fuel Cell Tech., Dongshin Univ. 252, Daeho-dong, Naju-Si, Jeollanam-do, 520-714, Korea*

ABSTRACT

This paper presents bio-ethanol production from fruit wastes as it possibly alternate fossil fuel in the future. To illustrate the component ratio in exocarps of fruit wastes such as pears, apples, and persimmons, the amount of moisture, lignin, α , β , γ -cellulose, and ash content were respectively examined by the ingredient analysis. Also, the amount of the glucose obtained from the enzyme hydrolysis using the axocarps was investigated. It was found in our results that the energy efficient process requires different temperature conditions for the saccharification step(50°C) and the fermentation step(30°C) in ethanol synthesis.

KEY WORDS : Renewable energy(재생에너지), Bio-ethanol(바이오에탄올), Fruit waste(과일폐기물), Saccharification(당화), Fermentation(발효), Enzyme hydrolysis(효소가수분해)

1. 서 론

바이오에너지는 동식물 등의 유기체에 저장되어 있는 환경 친화적 에너지로 여타의 재생에너지와는 다른 특성을 지닌다. 이러한 바이오에너지는 바이오매스의 열화학적 또는 생물학적 전환에 의해 생산되며, 전기의 생산 또는 천연 화학 산업의 원료로서의 활용뿐만 아니라 수송용 연료(bio-diesel, bioethanol, biogas)로서의 사용도 가능하다¹⁾.

그 중 바이오에탄올에 사용되는 원료는 사탕수

수, 당밀 등과 같은 당질계 작물이나 옥수수, 쌀, 보리 등의 곡류 및 감자, 고구마 같은 전분계 작물의 원료를 사용하고 있다²⁾. 바이오에탄올을 생산하기 위한 발효 원료로 이러한 식량을 사용하기 때문에, 세계 연료용 에탄올 생산 현황을 살펴보면 미국, 브라질 등의 당질 작물이 풍부한 국가로 한정되어 있는 실정이며, 비교적 경지면적이 좁은 우리나라에서 바이오에탄올생산을 위해 값비싼 식량을 사용한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. 따라서 용이하게 원료를 확보할 수 있고 우리주위에서 쉽게 접할 수 있으며 국내에서 지속적으로

†Corresponding author : ischa@dsu.ac.kr

공급받을 수 있는 Cellulosic 원료를 사용해야 하는데, 이를 충족할 수 있는 원료가 바로 과일폐기물이라 할 수 있다. 국내 공영과일도매시장에서 발생하는 과일폐기물의 연간 처리량은 131,746톤, 그 처리비용은 55억 원에 달하며, 재생에너지의 원료로써 과일폐기물과 같은 바이오매스(biomass)의 이용은 처리비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 에너지 자원이 부족한 국내의 실정을 감안하면 큰 의미를 부여한다.

Cellulosic 바이오매스를 활용하기 위한 연구는 국내에서도 많이 연구되어 오고 있으나 대부분 실험적 연구에 지나지 않아 실용화는 상당히 어려운 실정이다. 그 이유는 Cellulosic 바이오매스 자원의 공급과 전처리 문제를 현실적으로 취급하지 않은 결과였다. Cellulosic 바이오매스는 성숙도(maturity)와 건조정도에 따라 결정성(crystallinity)이 달라지며, 결정성이 클수록 분해되기 어렵다. 따라서 이러한 결정성이 큰 Cellulosic 바이오매스를 결정성이 적은 팽윤(swollen) 상태로 만드는 전 처리공정이 어렵기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 과일폐기물을 기질로 하여 바이오에탄올을 대량으로 생산할 수 있는 발효공정의 기초 자료를 마련하고자 에탄올 발효 기질로써 과일폐기물의 이용 가능성 검토, 가수분해 효율을 높이기 위한 물리적, 화학적 전 처리 방법 규명, 산업용 효소에 의한 개별 효소 가수분해 등을 고찰하고자 한다.

2. 실험 준비/방법/분석

2.1 실험 준비

2.1.1 가수 분해 효소

시료의 전 처리는 먼저 각각의 과일폐기물(배, 사과, 감)을 외과피와 중과피, 내과피로 분리하였고, 외과피만을 건조 후 파쇄 하여 200mesh 체에 걸러 주었다. 전 처리한 과일폐기물의 효소 가수분해를 위해 Spirizyme[®] Plus FG와 Viscozyme[®] L의 두 가지 효소를 개별 및 혼합 효소 가수분해

실험에 사용하였다. Spirizyme[®] Plus FG는 *Aspergillus niger* 유래 1,4-alpha-D-glucan-glucohydrolase (EC3.2.1.3)이며, 이 효소는 액화된 starch 함유 기질 중 1,4- 및 1,6-alpha 결합을 가수분해하며 발효를 위해 분쇄된 시료의 당화에 사용되는 효소의 일종이다. 이 효소의 최적 활성 범위는 pH 4.2~4.6 및 60~63°C 이다.

반면 Viscozyme[®] L은 *Aspergillus aculeatus* 유래 다중복합효소로서 arabanase, cellulase, β -glucanase, hemicellulase, xylanase 등을 포함하는 광범위 carbohydrases의 한 종류이다. 최적 활성 조건은 pH 3.3~5.5, 25~55°C 이며, 주로 곡물이나 야채류의 처리를 위해 또는 식물체로부터 유용 물질 추출을 위해 식물 세포벽을 가수 분해하기 위해 주로 사용되는 효소이다. 또한 비 전분질계 폴리사카라이드를 분해하여 전분의 발효를 촉진, 점도 감소 및 추출율을 증가시키기 위해 사용된다.

2.1.2 *Saccharomyces cerevisiae*

본 실험에 사용된 에탄올 생산 균주는 동신대학교 친환경농식품산업화센터에서 배양시킨 *Saccharomyces cerevisiae* COAFI 8111 를 사용하였으며, YPD agar slant에 계대 배양하여 활성을 증가시켰다. 계대 배양한 균을 15mL YPD broth에 식균하여 24시간 30°C에서 정지 배양하여 균주의 활성을 높인 후 각각의 에탄올 발효 실험을 위한 종균으로 사용하였다.

2.1.3 기본 배지

*S. cerevisiae*의 배양을 위해 YPD agar 및 broth (Difco)를 사용하였고, YPD 배지는 yeast extract 2.5g/L, peptone 2.5g/L, glucose 100g/L, $\text{MaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.25g/L, K_2HPO_4 1g/L를 함유한 배지로서 에탄올 발효를 위해 전 배양 및 seed 접종을 위한 기본 배지로 사용하였다.

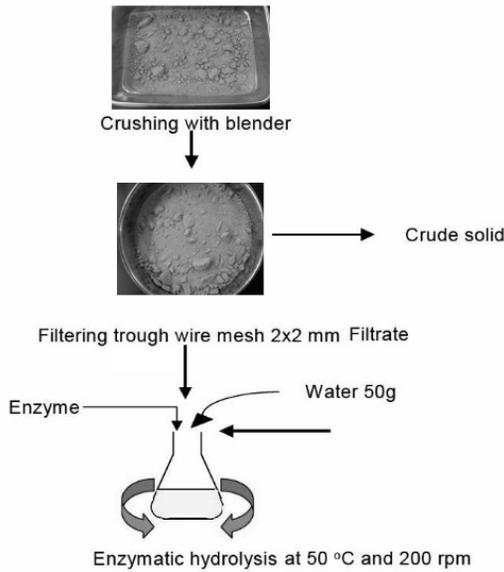


Fig. 1 Pre-treatment and enzymatic hydrolysis of fruit waste

2.2 실험 방법

2.2.1 과일폐기물의 효소 가수분해

250mL Erlenmeyer플라스크에 파쇄된 각각의 과일폐기물 5g에 증류수 250mL을 가하여 혼합하고 3N NaOH로 pH를 4.5±0.2로 조절한 후 50°C 진탕배양기 (DSK 512, daeil engineering, korea)에서 200 rpm의 교반 속도로 개별 및 혼합 효소 가수분해를 실시하였다. 개별 효소 가수분해는 미리 계산한 효소량을 첨가하여 3시간 동안 실시하였다. 각 개별 효소 실험과 동일한 조건에서 효소를 첨가하지 않은 경우도 함께 실험하여 각각의 대조액으로 사용하였다. 개별 효소 가수분해의 데이터를 근거로 하여 혼합 효소 가수분해를 위한 최적 첨가량으로 선정하여 개별 효소 가수분해와 동일한 조건에서 혼합 효소 가수분해 실험을 실시하였다. 본 실험에서 실시된 과일폐기물의 전처리 및 효소 가수분해의 모식도 Fig. 1과 같다.

2.2.2 과일폐기물 배지의 에탄올 발효

과일폐기물의 효소 가수분해 후, 121°C에서 15

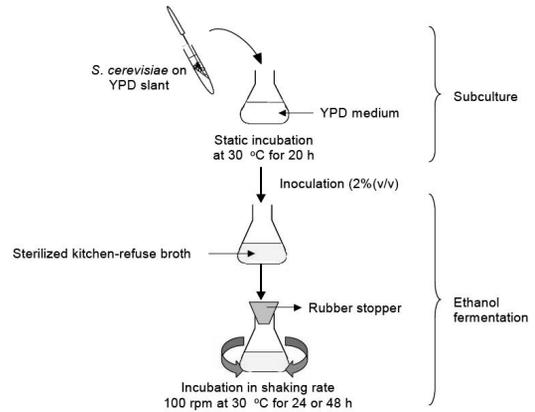


Fig. 2 Ethanol fermentation of fruit waste by *S. cerevisiae*

분간 멸균하여 에탄올 발효를 위한 과일폐기물 배지로 사용하였다. 에탄올 발효 실험은 고무마개가 장착된 250mL Erlenmeyer 플라스크에 150mL의 과일폐기물 당화 액에 2 (v/v %)의 seed culture를 식중하여 초기 pH 4.5에서 30°C, 100 rpm, 24 시간 동안 진탕 배양하였다. 에탄올 생산율은 에탄올 수율(YE/S)을 근거로 하여 식 (1)과 같이 계산하였다³⁾. 또한 배지를 이용한 에탄올 발효과정을 Fig. 2에 나타내었다.

$$Y_{E/S} = \frac{\text{Ethanol produced}(g)}{\text{Substrate}(kg)} \quad (1)$$

2.3 분석 방법

2.3.1 수분 정량

과일폐기물의 수분 함량은 폐기물공정시험법에 따라 측정하였다. 파쇄한 과일폐기물을 105~110°C에서 4 시간 동안 건조 및 30 분간 항량 한 다음, 전·후 무게차를 구하고 다음 계산식에 따라 계산하였다.

$$\text{수분함량}(\%) = (W_1 - W_2) \times 100 \quad (2)$$

W_1 : 시료의 중량(g)

W_2 : W_1 을 건조하여 항량이 되었을 때의 중량(g)

2.3.2 pH 측정

분쇄한 과일폐기물 5g에 증류수 50mL를 가하고 110rpm에서 30 분간 진탕한 후 상등액을 pH meter를 이용하여 측정하였다.

2.3.3 회분 정량

미리 전기로에서 600°C로 강열하여 항량한 용기에 파쇄한 과일폐기물 2g을 정확히 취하여 heating mental에서 예비 건조를 실시하고 550~600°C 전기로에서 회화하여 백색 또는 회백색의 재가 남을 때까지 회화한 후 데시케이트에서 항량하여 다음 계산식에 따라 계산하였다.

$$\text{회분량}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{S} \times 100 \quad (3)$$

W_0 : 항량이 된 회화용기의 중량(g)

W_1 : 회화 후 용기와 시료의 중량(g)

S : 시료의 중량(g)

2.3.4 α - β - γ -셀룰로스 정량

2.3.4.1 α -셀룰로스의 측정 방법

시료의 α -셀룰로스 측정법은 한국 산업규격 KS M 7044에 따라 실시하였다. 즉 약 5g의 풍건시킨 시료를 정확히 달아서 300mL의 뚜껑이 덮힌 비커에 넣고, 비커를 전체 높이의 1/2까지 잠기도록 20°C 항온 물중탕 장치 속에 30분간 방치한 다음 20°C의 17.5% 수산화나트륨 용액 50mL를 피펫(50ml)을 사용하여 시료가 균일하게 습윤 되도록 추가하였다. 추가 개시 후 3분 30초 방치한 후 끝이 평탄한 교반용 유기 유리 막대를 사용하여 5분간 시료를 짓이겨, 시료를 충분히 헤리시켜 알칼리액의 흡수를 균일하게였다. 또한 20분간 20°C 항온 물중탕 장치 속에 방치한 다음 20°C의 증류수 50mL를 피펫으로 추가하여 내용물을 유기 유리 막대로 약 1분간 교반하였다. 그 다음에 20°C의 항온 물중탕 장치 속에 5분간 방치하였고, 뷰흐너 깔때기에 무게가 측정된 면포를 간 다음 처리된 시

료를 옮겼다. 펌프로 감압하여 거르고 다시 유기 유리 막대를 사용하여 압축한 다음에 이 거른 액은 다시 되돌려서 1회 다시 거르고, 이 거른 액 80mL를 얻을 때까지 압착하였다. 증류수 900mL를 사용하여 감압, 탈수를 반복하여 세척하고, 거른 액 및 세척액은 20°C에서 1L로 하여 다음의 β -셀룰로스의 시험으로 사용하였다. 시료에 10% 아세트산 40mL를 추가하고, 5분간 방치해서 산액을 시료 내에 충분히 침투시킨 후 감압한 다음 1L의 끓는 물로 세척하였다. 그 후 면포와 함께 시료를 떼어내고, 적당한 크기의 시계 접시에 옮겨 80°C로 30분간 건조한 다음 면포와 함께 시료를 무게가 측정된 병에 옮겨 넣어 100~105°C로 건조시켜 항량하였다. 건조된 잔류 시료의 무게를 달아 α -셀룰로스의 수득률을 계산할 수 있고, 수득률 α 는 식 (4)에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{W}{S \times R} \times 100 \quad (4)$$

W : 잔류 섬유 건조 무게(g)

S : 시료(g)

R : 절건비

2.3.4.2 β - γ -셀룰로스의 측정 방법

위의 실험에서 얻은 1L의 거른액 500mL를 비커에 분취하여 30% 아세트산 40mL를 가하고 끓지 않을 정도로 100°C 가까이 물중탕 장치에서 서서히 가열하여 β -셀룰로스를 응집시킨다. 20분간 냉각해서 β -셀룰로스를 비커 밑바닥에 침강시킨 후 경사법에 의하여 β -셀룰로스를 무게를 아는 거름종이 위에 옮겨 모아 더운 증류수로 세척하였다. 거름종이와 함께 무게 다는 병에 넣어 100~105°C 항온 건조기에서 항온이 될 때까지 건조한 후 절건비의 시료에 준하여 항량하였다. β -셀룰로스(%)의 수득률 β 는 다음 식 (5)에 의해 계산될 수 있고, 소수점 이하 첫째 자리까지 보고한다.

$$\beta = \frac{W \times 2}{S \times R} \times 100 \quad (5)$$

W : 응집 침전물 건조 무게(g)
 S : α-셀룰로스 시험 공시료(g)
 R : 절건비

또한 γ-셀룰로스(%)의 수득률은 식 (6)에 의해서 계산 된다.

$$\gamma = 100 - (\alpha + \beta) \quad (6)$$

γ : γ-셀룰로스(%)
 α : α-셀룰로스(%)
 β : β-셀룰로스(%)

2.3.5 환원당 정량

여과한 시료 적당량에 DNS 시약 2.2mL을 첨가하여 끓는 물에서 5 분 동안 중탕시켜 발색시킨 후 575nm에서 흡광도를 측정하고, glucose를 표준 시료로 사용하여 동일 조건 하에서 발색시켜 측정 한 흡광도와 비교함으로써 유리된 환원당의 양을 측정하였다.

※ DNS 시약

4.5% (w/v) NaOH 300mL를 3,5-dinitrosalic-lic acid (DNS) 880mL와 혼합한 후 potassium sodium tartrate 225g을 녹여 A solution을 조제한 다. 10 % (w/v) NaOH 22mL에 결정 phenol 10g을 녹여 증류수로 100mL로 채운다. 이 용액 69mL에 NaHCO₃ 6.9g을 녹여 B solution을 조제하고 A와 B 용액을 혼합하여 2일간 안정시킨 후 여과하여 사용하였다.

2.3.6 리그닌 정량

시료 약 1g을 취하여 절건 시료의 무게를 계산한다. 시료를 속슬렛추출기에 넣고 알코올-벤젠 혼합 용매를 사용하여 6시간정도 수지분을 추출하였다. 추출 후에는 감압하여 용매를 제거하고 풍건

하거나 또는 60℃ 이하의 온도에서 건조하였다.(탄닌분이 많은 시료(감 등)는 알코올-벤젠 혼합 용매로 추출하기 전에 알코올 용매로 4시간 정도 추출하는 것이 좋다.) 건조된 탈지 시료를 100mL의 비커에 옮기고, 약 20℃의 온도를 유지하는 물중탕 장치에 두고, 여기에 약 20℃의 72% 황산 15mL를 한 방울씩 넣으며, 유리막대로 균일하게 잘 저으면서 물중탕 장치에서 4시간 동안 계속 유지한다. 반응물을 560mL의 증류수로 씻어 1L의 삼각플라스틱에 넣고,(황산 농도는 약 3%가 된다.) 역류냉각기를 장치하고 4시간동안 끓인다. 반응물을 정지하여 불용해 잔류물을 가라앉게 한다. 무게를 달아 놓은 유리 거르개 1G4로 감압하여 거른 후 500mL의 뜨거운 증류수로 세척한다. 잔류물이 들어 있는 유리 거르개를 무게 다는 병에 넣고 105±3℃로 조절된 항온 건조기에서 4시간가량 건조하고 데시게이터에 넣어 냉각시킨 후 무게를 다다. 다시 항온 건조기에서 1시간가량 건조하고 방랭하여 무게를 달아, 연속 2회의 무게의 차가 1mg 이하로 될 때까지 반복하여 잔류물의 무게를 측정하였다. 리그닌L(%)은 다음과 같이 계산하여 소수점 이하 첫째 자리까지 보고하였고, 그 식은 다음과 같다.

$$L = \frac{W}{S} \times 100 \quad (7)$$

S : 시료의 절건 무게(g)
 W : 잔류물의 무게(g)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 과일폐기물의 특성

과일폐기물의 수분함량과 pH, 회분량은 Fig. 3~Fig. 5에 나타내었다. 수분함량은 배가 85.3%로 가장 높게 나타났으며, 사과 83.5%, 감 77.7% 순으로 나타나 각각의 과일폐기물의 수분함량은 통계적으로 유의한 차이를 보였다.(F=3.132, P<0.12) pH는 감이 5.06, 배 4.66, 사과 4.54 순으로 나타났 다.(F=370.92, P<0.01) 회분량은 사과 3.49%로 가

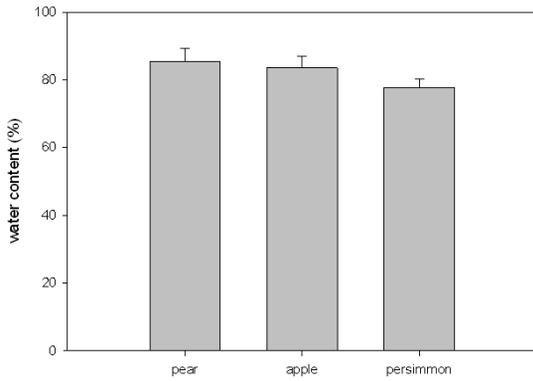


Fig. 3 Water contents of pear, apple, and persimmon

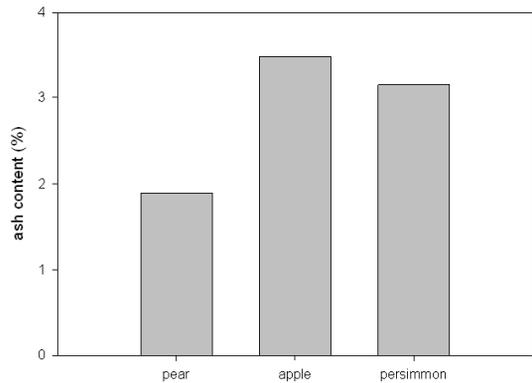


Fig. 5 Ash contents of pear, apple, and persimmon

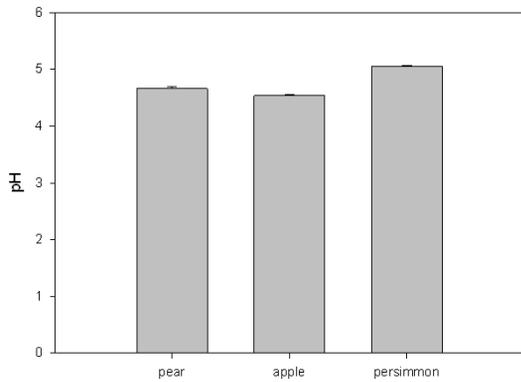


Fig. 4 pH of pear, apple, and persimmon

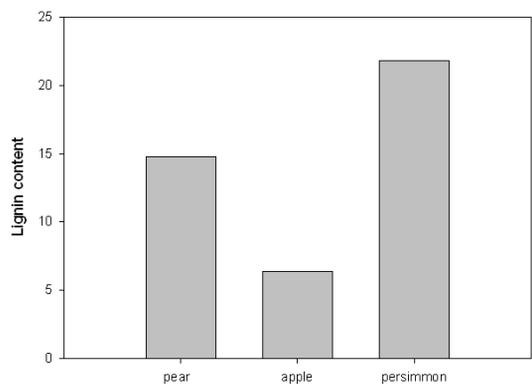


Fig. 6 Lignin contents of pear, apple, and persimmon

장 높게 나타났으며, 감 3.15%, 배 1.90% 순으로 나타났다.(F=415.92, P<0.01) 또한 배, 사과, 감 세 가지 시료 모두 10~15 Brix° 정도의 당을 함유하고 있는 것으로 나타났다.

3.2 과일폐기물의 리그닌 및 셀룰로오스 함량

효소가수분해 전 리그닌 함량은 감이 21.8%로 가장 높게 나타났으며 배 14.8%, 사과 6.4%, 순으로 나타났다.(Fig. 6) 반면, 셀룰로오스 함량을 보면 α -셀룰로오스의 경우 배가 4.93%로 가장 높게 나타났으며 감 1.36%, 사과 1.30% 순으로 나타나 리그닌 함량과 반비례하는 것을 확인할 수 있다.(F=512.19, P<0.01)

β -셀룰로오스의 경우 감이 3.52%로 가장 높은 함량을 나타내었고 사과 2.64%, 배 2.52%로 나타났다.(F=15.12, P<0.01) 또한 γ -셀룰로오스는 사과 96.59%로 가장 높게 나타났으며 감 95.18%, 배 87.54%로 리그닌 함량과 동일한 순으로 나타났다.(F=116.40, P<0.01, Fig. 7)

헤미셀룰로오스는 베타셀룰로오스와 감마셀룰로오스의 합(%)으로 산정할 수 있는데, 사과가 99.22%로 가장 높은 비율을 차지하고 있고, 감 98.70%, 배 90.06%로 나타나 사과와 감의 헤미셀룰로오스 함량은 차이가 없었으며, 배는 사과와 감에 비해 낮은 헤미셀룰로오스 함량을 가지고 있다.

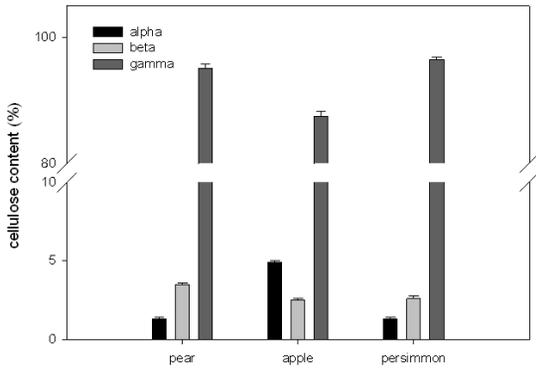


Fig. 7 α , β , and γ -cellulose contents

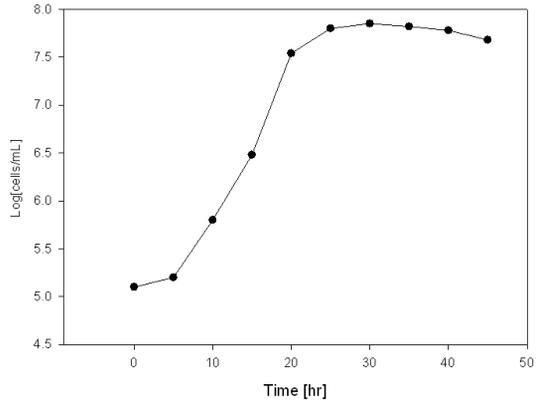


Fig. 8 Proliferation curve of *S. cerevisiae*

Table 1 Water, pH, ash, Lignin, α , β , γ -cellulose contents of respective fruit wastes

종류 \ 함량	배	사과	감
수분(%)	85.3	83.5	77.7
pH	4.66	4.54	5.06
회분량	1.90	3.49	3.15
리그닌	14.8	6.4	21.8
α -셀룰로오스	4.93	1.30	1.36
β -셀룰로오스	2.52	2.64	3.52
γ -셀룰로오스	87.54	96.59	95.18

Table 2 Variation of reducing sugar concentration by enzyme hydrolysis reaction

	before (Mean \pm S.D, mg/ml glucose)	after (평균 \pm S.D, mg/ml glucose)
pear	175.7 \pm 0.1	pear 674.01 \pm 0.1
apple	98.4 \pm 0.1	apple 445.65 \pm 0.1
persimmon	242.2 \pm 0.2	persimmon 587.964 \pm 0.3

3.3 *S. cerevisiae* 식균

실험에 앞서 과일폐기물의 에탄올 발효를 위한 *S. cerevisiae* 종균의 적절한 식중량을 결정하기 위해 YPD broth 배지를 이용하여 30°C에서 48 시간 정치 배양을 실시하였다. 전 배양 실험 동안 주기적으로 시료를 채취하여 시간 경과에 따른 개체 수가 다르게 나타났다.(Fig. 8) *S. cerevisiae*는 약 4 시간의 지체기(lag phase)를 보이다 12시간을 전·후해서 대수 성장기(exponential phase)를 거쳐 24 시간 전·후에서 정지기(stationary phase)를 나타내었다. 따라서 20시간의 전 배양 후 얻어진 균체를 모든 회분식 에탄올 발효 실험을 위한 식중(seed culture)으로 사용하였다. 또한 효모가 첨가된 배, 사과, 감의 외과피를 25°C의 혐기조건에서 배양하여 알코올발효가 발생되도록 하였다.

3.4 개별 효소 가수분해

과일폐기물로부터 에탄올의 생산을 위해 *S. cerevisiae*가 대사할 수 있는 당당류 또는 이당류로의 전환이 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 또한 가수분해는 바이오매스를 이용한 에탄올 발효에서 가장 핵심 부분이며 비용이 가장 많이 소요되는 부분이라 할 수 있다. 본 실험에서는 과일폐기물 중의 전분질 성분의 효율적인 가수분해를 위해 glucoamylase를 사용하였다. 또한 과일폐기물 중의 섬유소 성분의 가수 분해를 위해 복합 carbohydrases를 사용하였다. 본 실험에서는 건조 과일폐기물 단위 g당 두 가지 산업용 효소를 각각 첨가하여 개별 가수분해를 실시하였다. 대조군과 2 AGU/g-dry 과일폐기물의 glucoamylase의 첨가량에서 50°C, 3 시간 효소 반응 후에 환원당(reducing sugar)의 농도 변화 및 생성된 glucose를 Table 2에 나타내었다.

Table 3 Reducing sugar concentration of pear, apple, and persimmon after enzyme hydrolysis reaction and alcohol fermentation

1: Glucoamylase
 2: Complex carbohydrases
 3: 1+2
 Mean±S.D.<0.01, mg/ml glucose

pear 1	61.34	apple 1	2.30	persimmon 1	20.72
pear 2	33.08	apple 2	5.83	persimmon 2	7.34
pear 3	74.21	apple 3	143.10	persimmon 3	21.98

3.5 과일폐기물의 에탄올 발효

과일폐기물의 복합 효소 가수 분해물에 *S. cerevisiae*를 식중하여 24시간 동안 에탄올 발효를 실시하였다. *S. cerevisiae*의 균체수는 약 2시간의 지체기를 거쳐 10시간을 전후하여 직선적으로 증가하여 약 15시간을 전 후하여 정체기를 나타내었다. 정체기 이후에는 약간의 감소 현상을 보였는데 이것은 발효 기질 중의 영양분이 고갈되었음을 의미하고 있다.(Fig. 8) 주요 기질인 glucose 및 환원당은 균체수의 증가에 따라 급격히 감소하여 15시간 후에는 거의 대부분이 소모되어 에탄올로 전환되었다. 이때 약 29.1g/L의 높은 에탄올이 생성되었다. 또한 건조 과일폐기물 중량 당 에탄올 생산율로 환산해 보면 0.23g-ethanol/g-dry food waste의 에탄올 수율에 해당된다. Nakamura 등(2003)이 보고한 수치에 따르면 그들은 스팀 노출(steam explosion) 방법으로 모델 가정 음식물쓰레기를 전 처리한 다음 동시 당화 발효법에 의해 0.20g-ethanol/g-dry food waste의 에탄올 수율을 얻었다고 보고 하였으며⁴⁾, 그들보다 높은 에탄올 수율을 나타낸 것이다. 이것은 과일폐기물 또한 에탄올 생산을 위한 우수한 대체기질로의 활용 가능성을 시사하고 있으며, 경제적인 측면에서 높은 경쟁력을 가지고 있다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 과일폐기물을 에탄올 발효 기질로서의 이용 가능성을 검토하기 위해 산업용 효소

에 의한 개별 및 혼합 가수분해를 실시하여 과일 폐기물을 기질로 하는 에탄올 대량 생산을 위한 발효 공정의 기초 자료를 마련하고자 하였다. 먼저 수거된 과일폐기물의 간단한 박피 과정과 외과피의 파쇄 과정 후의 성상을 살펴보고, 산업용 혼합 효소 즉, glucoamylase(*Aspergillus niger* 유래한 glucoamylase(EC 3.2.1.3)) 및 복합 carbohydrases(*Aspergillus aculeatus* 유래 다중 복합 효소로서 arabanase, cellulase, β-glucanase, hemicellulase, xylanase 등을 포함)를 이용해 과일폐기물로부터 고 농도의 glucose를 생산하기 위해 개별 및 혼합 효소 가수분해를 수행하였다.

개별 가수분해 실험은 pH 4.5, 50°C, 200rpm으로 3시간 반응시간에서 glucoamylase 및 carbohydrases 첨가에 따른 과일폐기물로부터 생산된 glucose 및 환원당을 비교하였다. 과일폐기물의 복합 효소 가수 분해물에 *S. cerevisiae*를 식중하여 24시간 동안 에탄올 발효를 실시한 결과 주요 기질인 환원당은 발효 직후 급격히 감소하여 에탄올로 전환되었다. 이러한 결과는 과일폐기물을 에탄올 생산을 위한 우수한 대체 기질로의 활용 가능성을 시사하고 효소 가수분해를 통한 발효 기질 및 에탄올 생산을 위한 우수한 바이오매스로 판명되었다. 또한 과일폐기물의 가수분해 조건, 발효조건 및 과일폐기물 에탄올 발효에 대한 결과들은 과일폐기물을 포함한 유기성 폐자원을 발효 기질로 이용하고자 하는 다양한 생물 공정을 위한 과학적 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- 1) Ayhan Demirbas(2007), "Progress and recent trends in biofuels". Progress in Energy and Combustion Science. pp. 1-18
- 2) 한국에너지기술연구원(2007), "신재생에너지

- 경제성분석”. 재정경제부. pp. 87-111
- 3) Marco A. das N., Kimura T., Shimizu N., and Shiiba K.(2006), “Production of alcohol by simultaneous saccharification and fermentation of low-grade wheat flour”. Brazilian Archives of Biology and Technology, 49(3), pp. 481-490.
- 4) Nakamura Y. and Sawada T.(2003), Ethanol Production from Artificial Domestic Household Waste Solubilized by Steam Explosion, Biotechnology and Bioprocess Engineering 8(3): pp. 205-210