

## 폐압축보드를 이용한 바이오에탄올 생산

강양래<sup>1</sup>, 황진식<sup>1</sup>, 배기한<sup>1</sup>, 조훈호<sup>1</sup>, 이은정<sup>2</sup>, 조영손<sup>2</sup>, 남기두<sup>1\*</sup>

## Bioethanol Production by using Wasted MDF

Yang-Rae Kang<sup>1</sup>, Jin-Sik Hwang<sup>1</sup>, Ki-Han Bae<sup>1</sup>, Hoon-Ho Cho<sup>1</sup>, Eun-Jeong Lee<sup>2</sup>, Young-Son Cho<sup>2</sup>, and Ki-Du Nam<sup>1\*</sup>

Received: 15 December 2015 / Revised: 11 March 2016 / Accepted: 15 March 2016

© 2016 The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering

**Abstract:** The aim of this study attempted to verify the possibility of bioethanol production using wasted medium density fiberboard (wMDF). In order to produce bioethanol from wood cellulosic materials must be carried out the process of pretreatment, saccharification, fermentation and distillation. First, the wMDF was pretreated using sodium chlorite and pretreated wMDF was prepared to 8% slurry and then slurry was saccharified with the commercial enzyme (Cellic CTec3). The fermentable sugar and pH of saccharified substrate were about 5.5% glucose and 4.4, respectively. Herein we compared the results of ethanol yield according to the nutrients added or without addition to increase ethanol yield. Ethanol fermentation was finished in about 24 hours, but it was delayed in experimental group without nutrients. Ethanol content and fermentation ratio of the final fermented mash prepared by utilizing jar fermenter was 25.40 g/L and 86.64%, respectively. At this time, the maximum ethanol productivity was confirmed as 1.78 g/Lh (ethanol content 21.38 g/L, 12 h), and the overall ethanol productivity was 1.05 g/Lh (ethanol content 25.27 g/L, 24 h). Using fermented liquid we could produced bioethanol 95.37% by continuous distillator packed with cop-

per element in laboratory scale. These results show that wMDF has a potential valuable for bioethanol production.

**Keywords:** MDF, Bioethanol, Pretreatment, Saccharification, Fermentation

### 1. INTRODUCTION

세계 경제의 지속적인 발전과 더불어 기후변화와 자원 고갈이라는 문제가 대두되었으며, 각 나라마다 이를 해결하기 위해 고민하고 있다. 우리나라도 대표적인 에너지 소비국으로서 기후변화 대처를 위해 탄소 배출을 줄이는 자발적인 노력이 필요하며, 앞으로 국제사회로부터 온실가스 감축 의무국가로의 압박이 높아질 것으로 사료된다 [1].

기후변화 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로써 바이오연료가 부각되어 2000년 이후 세계적으로 바이오에탄올과 같은 수송용 바이오연료 사용이 급증하였으나 2010년부터는 증가가 둔화되고 있는 추세이다. 이는 국제 유가 하락과 더불어 바이오에탄올을 생산하기 위해 사용하는 원재료가 옥수수, 사탕수수, 카사바 등의 식량자원으로써 원료 부족과 곡물가 상승이라는 문제에 직면하였기 때문이다. 이를 해결하기 위해 초본계 또는 목본계 등의 비식용 자원을 활용하여 바이오에탄올을 생산하는 것으로 관심이 집중되었다. 하지만 이들 바이오매스로부터 바이오에탄올을 생산하기 위해서는 전처리, 당화 및 발효 등의 기술 개발과 안정적인 원료 공급이라는 해결 과제를 안고 있다 [2-6].

비식용 자원으로써 바이오에탄올을 생산하기 위해 전처리, 당화 등의 기술 개발이 지속적으로 진행되었으나 무엇보다도 원료의 안정적 공급이 가장 현실적인 문제이다. 그런 측

<sup>1</sup>일산실업(주) 칠서에탄올공장 부설기술연구소  
Il San Institute, Chilseo Ethanol Factory, Il San Trading Co., Ltd.,  
Haman 52001, Korea  
Tel: +82-55-586-8800, Fax: +82-55-586-8815  
e-mail: kdn@ilsanalc.com

<sup>2</sup>경남과학기술대학교 식물자원학과  
<sup>3</sup>Department of Plant Resources, Gyeongnam National University of  
Science & Technology, Jinju 52725, Korea

면에서 버려지는 폐자원을 활용한다면 안정적인 원료 공급과 동시에 폐자원을 처리할 환경처리 비용을 절감하는 효과가 있을 것으로 예상된다 [7,8].

압축보드 (medium density fiberboard, MDF)는 목재를 fiber로 분해한 후 수지를 도포하여 열압 및 성형한 밀도 0.4~0.8 g/cm<sup>3</sup>의 목질 판상으로 목질 판상재 중에서 가장 가공성이 뛰어나 2000년대에 수요가 증가하였다. MDF의 fiber 길이는 20~30 mm로 재활용을 위해 해리하면 길이가 10 mm 이하로 짧아져 MDF로 재활용하기에 적합하지 않아 전량 폐기되고 있다. 이와 같은 특성으로 우리나라에서는 매년 200만 m<sup>3</sup> 정도의 폐MDF가 발생하고 있으며, 버려지는 MDF는 생산 공장의 집중화와 폐가구의 시스템적 수집으로 효과적인 수거가 가능하기 때문에 자원으로 재활용하는 측면에서 잠재적 가치가 높을 것으로 평가된다. 따라서 버려지는 MDF를 활용하여 바이오에탄올을 생산한다면 비식용 자원을 사용하면서 안정적인 원료 공급이 가능하다는 장점과 더불어 폐기물을 효과적으로 재활용하는 측면 등 여러 가지 긍정적인 효과가 있을 것으로 판단된다 [9-12].

본 연구에서는 폐기되는 MDF를 이용하여 바이오에탄올 생산 가능성을 확인하기 위해 아염소산나트륨으로 전처리한 다음 효소 당화, 발효 및 증류 과정을 거쳐 에탄올 함량 95% 이상의 바이오에탄올을 생산하였다.

## 2. MATERIALS AND METHOD

### 2.1. 실험재료

본 연구의 재료인 폐MDF는 2013년에 동화기업 (Incheon, Korea)에서 생산한 것을 사용하였으며, 폐MDF를 분쇄기 (Cutting mill, Fritsch, Germany)로 분쇄하여 sieve size 1,000 µm를 통과한 분체를 실험에 사용하였다.

전처리에는 아염소산나트륨 (Daejung, Korea)을 사용하였고, 효소 당화에는 상업용 당화 효소 Cellic CTec3 (Novozymes, Denmark)를 사용하였다. 그리고 발효 실험은 jar fermenter (ST-M3-05, Fermentec, Korea)를 활용하였으며, 증류는 lab. scale의 연속식 증류장치 (Alc95-1.5L, Segang, Korea)로 에탄올을 농축하였고, 에탄올 함량은 밀도 비중계 (DMA 4500, Anton Paar, Austria)로 분석하였다.

### 2.2. 균주 및 배양조건

발효에 사용한 균주는 일산실업(주) 칠서에탄올공장에서 주정 생산용으로 사용하는 효모 (*Saccharomyces cerevisiae* IFO-M-07)를 사용하였다. 그리고 효모의 배양은 YPD 액체배지 [yeast extract (Difco, USA) 5 g/L, peptone (Difco, USA) 10 g/L, glucose (Junsei, Japan) 100 g/L, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (Junsei, Japan) 1 g/L, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (Junsei, Japan) 1 mg/L]에 접종한 후 32°C에서 24시간 배양한 것을 starter로 사용하였고, starter 10 vol%를 폐MDF 당화액에 혼합하여 32°C에서 96시간 발효하였다.

### 2.3. 폐MDF 전처리 및 당화액 제조

목질섬유소의 효과적인 전처리를 위해 분쇄한 폐MDF를 증류수에 침지하여 121°C에서 25분 동안 열수 처리로 합성수지를 제거한 다음 건조한 것을 시료로 하였다. 삼각 플라스크에 시료 300 g과 0.5 M acetic acid buffer 3,000 mL을 넣고 아염소산나트륨 120 g과 아세트산 수용액 24 mL을 첨가 후 전처리를 하였다 [13]. 최적의 전처리 조건을 설정하기 위해 아염소산나트륨 농도, 반응 온도와 시간 등을 비교하여 아염소산나트륨 농도 3.3%, 온도 80°C 조건에서 5~6시간 반응시켜 전처리를 하였다.

전처리한 폐MDF에 0.1N acetate buffer (pH 5.0)와 증류수를 가한 다음 pH 4.5~5.5로 조절하여 전처리 폐MDF 기질 농도를 4, 8 및 10%로 조제하였다. 당화에는 당화 효소 Cellic CTec3를 사용하였고, 효소 사용량은 기질 농도 대비 10%를 첨가 후 진탕 배양기에서 50°C, 140 rpm 조건으로 120시간 동안 당화하여 폐MDF 당화액을 제조하였다.

### 2.4. 폐MDF 당화액을 이용한 발효

전처리 폐MDF 당화액의 기질 농도 (4, 8, 12%)를 비교한 결과 8%로 제조한 폐MDF 당화액이 적합하였으며, 이를 기질로 발효 실험을 하기 위해 영양원 첨가 유무에 따른 결과를 비교하였다. 영양원을 첨가한 실험은 yeast extract 2 g/L, peptone 5 g/L, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1 g/L을 첨가한 다음 autoclave를 이용하여 100°C에서 60분 동안 살균한 후 32°C로 냉각하였고, 영양원을 첨가하지 않은 실험은 영양원 첨가 없이 동일한 조건으로 살균 및 냉각하여 실험에 사용하였다. 그리고 발효 실험은 플라스크 실험 결과를 토대로 scale up하여 jar fermenter에서 실험을 병행하였다.

### 2.5. 발효액의 종류

발효가 종료된 폐MDF 발효액을 농축하기 위해 증류장치를 활용하였다. 발효액을 여과 (200 mesh)한 다음 일산실업(주) 부설기술연구소에 설치된 연속식 에탄올 증류장치를 이용하여 95% 이상의 에탄올로 농축하였다. 폐MDF로 바이오에탄올을 생산하기 위한 전체 공정은 Fig. 1과 같다.

### 2.6. 당 분석방법

당화액의 당 농도를 분석하기 위해 syringe filter (0.2 µm)로 여과한 후 HPLC (High Performance Liquid Chromatography, Agilent 1260 series, USA)를 이용하였다. Column은 ZORBAX Carbohydrate Analysis (Agilent Technologies, 4.6×150 mm, 5 µm), 검출기는 RID (Refractive index detector)를 사용하였다. Column 온도는 30°C, 샘플의 주입량은 10 µL, 이동상의 유속은 0.8 mL/min로 설정하였고, 이동상은 75% acetonitrile 용액을 사용하였다.

### 2.7. 에탄올 분석방법

당화액의 당이 에탄올로 전환되는 것은 주정 산업에서 주로 활용하는 경시적 발효 패턴 분석법을 활용하였다. 발효액이

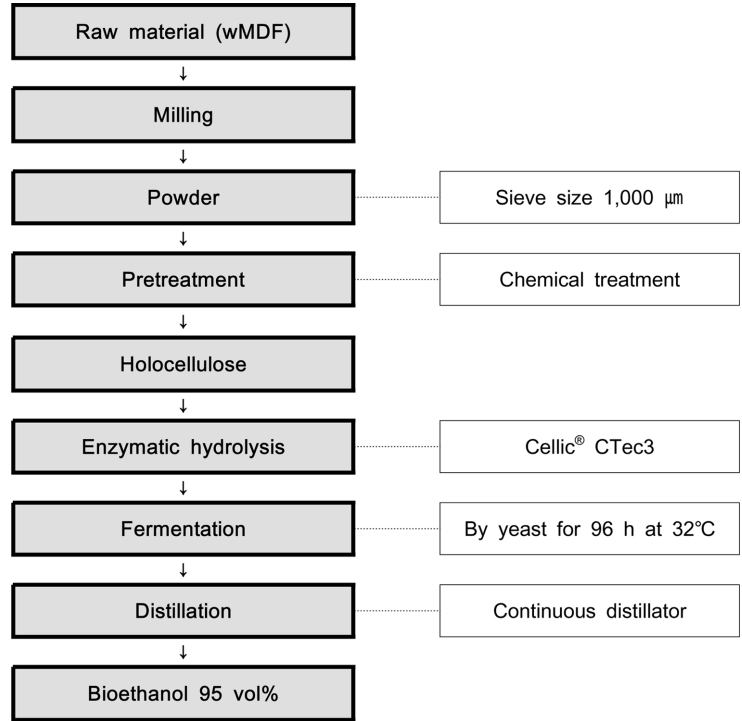
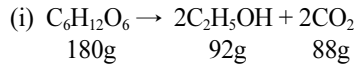


Fig. 1. Diagram of bioethanol production process using wMDF.

들어있는 삼각플라스크의 무게를 시간별로 측정하여 이론적으로 당이 에탄올로 전환될 때 함께 발생된 CO<sub>2</sub>의 무게를 계산하여 간접적으로 생성된 에탄올 함량을 측정하는 방법이다.



$$(ii) \text{에탄올 함량 (g/L)} = \frac{CO_2(g) \times \text{에탄올 분자량 (g/mol)}}{CO_2 \text{ 분자량 (g/mol)} \times \text{발효액 부피 (L)}}$$

그리고 최종적으로 발효가 끝난 발효액과 jar fermenter 실험의 발효액은 단식 증류방법 (국세청 주류분석규정)으로 증류한 다음 이를 밀도 비중계로 에탄올 농도를 측정하였으며, 95% 이상으로 증류한 증류액은 밀도 비중계로 직접 측정하였다.

### 2.8. 기타 분석방법

기질 농도 증가에 따른 점도 변화를 분석하기 위해 점도계 (DV2T, Brookfield, USA)로 측정하였으며, pH를 측정하기 위해 pH meter (Orion 3 star, Thermo, Singapore)를 사용하였다. 그리고 발효액의 효모 개체수는 특정 슬라이드 (Heamacytometer, Marienfeld, Germany)를 사용하여 일정량의 시료를 주입한 다음 현미경 (BX40, Olympus, Japan)으로 조류나 효모와 같은 개체수를 직접 계수하는 heamacytometer로 측정하

였다.

### 2.9. 통계처리

모든 분석 결과는 5회 반복 측정한 분석치를 평균값으로 계산하여 나타내었다.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. 당화액 분석

폐MDF 당화액의 적합한 기질 농도를 확인하기 위해 4, 8 및 10% 농도로 각각 제조한 다음 효소 당화를 실시하였다. 이들 당화액의 당 조성, 점도 및 pH 등을 분석하여 발효 기질의 특성을 비교하였으며, 결과는 Table 1과 같다.

먼저, 당 분석결과 효모가 이용 가능한 glucose가 가장 높은 함량을 보였으며, 그리고 xylose가 검출되었다. 그 외 rhamnose, arabinose, galactose 및 cellobiose는 흔적 이하였다. 그리고 기질 농도 증가에 따라 glucose와 xylose 함량은 증가하였으나 기질 농도대비 분해된 당 함량은 점차 감소하였다. 또한, 기질 농도 증가에 따라 점도가 급격히 증가하였고, 특히 10% 기질 농도에서는 점도가 13.2 cP로 높았다. 그리고 효모의 생육 및 증식에 적합한 pH는 통상적으로 pH 4.0~5.5이며, 당화액 pH가 4.2~4.5이기 때문에 pH 조절은 불필요한 것으로 확인되었다. 분석결과 당화율, 점도 등 발효하기에 적합한 기질 농도는 8%로 확인되어 이를 사용하여 발효 실

**Table 1.** Analysis results of enzymatic saccharification liquid using wMDF

DS <sup>1)</sup>	Sugar (mg/L)						Viscosity (cP/19°C)	pH
	Glucose	Xylose	Rhamnose	Arabinose	Galactose	Cellobiose		
4%	27,530	5,554	ND <sup>2)</sup>	ND	ND	ND	2.1	4.45
8%	55,368	8,063	ND	ND	ND	ND	6.2	4.40
10%	68,089	10,594	ND	ND	ND	ND	13.2	4.25

<sup>1)</sup>Dry substance. <sup>2)</sup>Not detected.

험을 진행하였다.

### 3.2. 영양원 무첨가 발효

폐MDF 당화액에 별도의 영양원 첨가 없이 살균 및 냉각을 한 다음 배양해 둔 효모 (*Saccharomyces cerevisiae* IFO-M-07)를 접종하여 96시간 동안 발효를 하면서 경시적인 분석을 하였다.

실험결과는 Fig. 2와 같이 발효시간이 지속될수록 에탄올 함량과 발효비율이 증가하는 것으로 나타났으며, 최종 발효 비율은 약 83~84%인 것으로 확인되었다. 영양원을 첨가하지 않았기 때문에 발효의 진행이 다소 늦었으나 폐MDF 당화액의 glucose는 대부분 에탄올로 전환되는 것으로 분석되며, 약 56시간 경에 발효가 종료되는 것이 확인되었다.

에탄올 발효가 다소 지연되는 것은 폐MDF 당화액에는 효모의 생장에 필요한 질소원, 무기물 등의 영양원이 부족하기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 속성 발효를 유도하고 발효 수율을 최적화하기 위해서는 영양원을 보충하여 효모의 성장 조건을 개선할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

### 3.3. 영양원 첨가 발효

폐MDF 당화액에는 효모의 생장에 필요한 영양원이 부족하기 때문에 영양원 (yeast extract 2 g/L, peptone 5 g/L, MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O 1 g/L)을 첨가하고 살균 및 냉각을 하였다. 여기에 배양해 둔 효모를 접종한 다음 발효를 하면서 경시적으로 분석하였다.

실험결과는 Fig. 3과 같이 발효시간이 지속될수록 에탄올

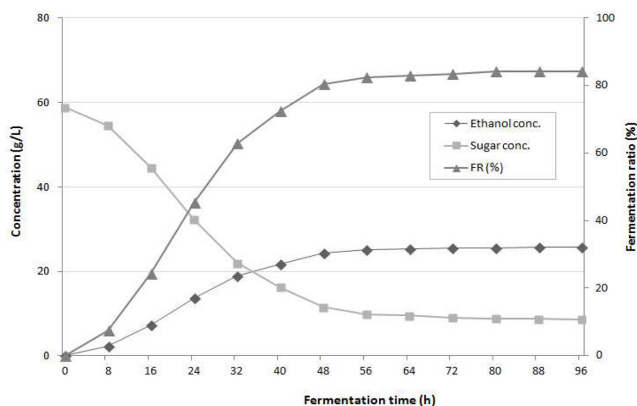
함량과 발효비율이 급격히 증가하였으며, 최종 발효비율은 약 85~86%에 이르는 것으로 확인되었다. 영양원을 첨가하지 않은 것과 비교하면 발효의 진행속도가 월등히 빨랐으며, 약 24시간 경에 발효가 종료되는 것으로 나타났다.

최종 실험결과는 Table 2와 같으며, 영양원을 첨가한 것이 영양원을 첨가하지 않은 것보다 발효비율은 약 1% 높았으며, 효모 개체수는 영양원을 첨가한 실험에서 약 2배 이상으로 많았다. 발효속도는 영양원을 첨가한 실험에서 월등히 빨랐으나 최종 발효비율의 차이가 작은 것은 초기 발효 기질 농도가 낮기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 기질 농도를 8%보다 높일 경우 급격한 점도 상승으로 오히려 당화율이 감소하였으므로 이후 실험에서 기질 농도를 8%로 유지하였다.

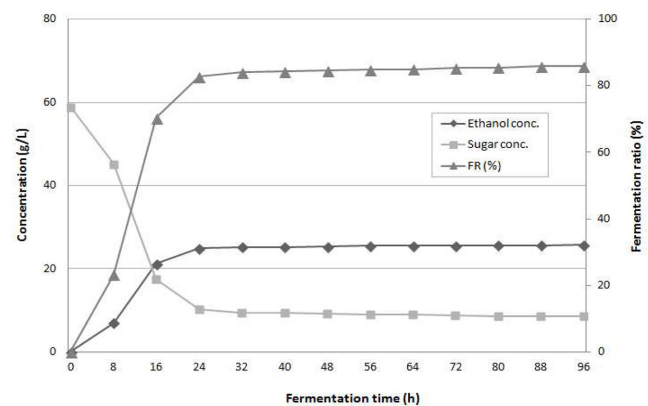
### 3.4. Jar fermenter 발효

플라스크 발효실험 결과를 바탕으로 scale up하여 jar fermenter를 이용하여 발효실험을 하였다. 당화액에 효모의 생장에 필요한 영양원 (yeast extract 2 g/L, peptone 5 g/L, MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O 1 g/L)을 첨가하고 살균 및 냉각을 실시하여 효모를 접종한 다음 발효를 하였다. 발효는 96시간 동안 진행하면서 glucose 함량, 에탄올 함량, 효모 개체수 및 pH 등을 분석하였다.

Jar fermenter에서 실험한 결과는 Table 3과 같이 최종 에탄올 함량은 25.40 g/L, 발효비율은 86.64%, 총 잔존환원당 (residual total sugar, RTS)은 0.2 g/L로 분석되어 대부분의 glucose가 에탄올로 전환된 것이 확인되었다. 이는 주정산업에서 주로 사용하는 전분질원료 (타피오카 및 쌀, 발효비율:



**Fig. 2.** Results of fermentation profiles when the nutrients were not added.



**Fig. 3.** Results of fermentation profiles when the nutrients were added.

**Table 2.** Results of fermentation experiments using wMDF

Strain	TS <sup>1)</sup> (g/L)	RTS <sup>2)</sup> (g/L)	Alcohol (g/L)	FR <sup>3)</sup> (%)	YN <sup>4)</sup> (cells/mL)	pH
Not added nutrients	59.90	0.6	26.30	85.82	20 × 10 <sup>6</sup>	3.85
Added nutrients	59.90	0.8	26.54	86.60	45 × 10 <sup>6</sup>	4.10

<sup>1)</sup>Total sugar (glucose content before fermentation). <sup>2)</sup>Residual total sugar (glucose content after fermentation). <sup>3)</sup>Fermentation ratio = [alcohol (g/L) ÷ TS (g/L) ÷ 0.6439 (factor) ÷ 0.7947 (density)] × 100. <sup>4)</sup>Yeast number.

**Table 3.** Results of jar fermenter fermentation experiments using wMDF

Strain	TS <sup>1)</sup> (g/L)	RTS <sup>2)</sup> (g/L)	Alcohol (g/L)	FR <sup>3)</sup> (%)	MPD <sup>4)</sup> (g/Lh)	OPD <sup>5)</sup> (g/Lh)	YN <sup>6)</sup> (cells/mL)	pH
Fermenter	57.29	0.2	25.40	86.64	1.78	1.05	30 × 10 <sup>6</sup>	4.01

<sup>1)</sup>Total sugar (glucose content before fermentation). <sup>2)</sup>Residual total sugar (glucose content after fermentation). <sup>3)</sup>Fermentation ratio = [alcohol (g/L) ÷ TS (g/L) ÷ 0.6439 (factor) ÷ 0.7947 (density)] × 100. <sup>4)</sup>Maximum ethanol productivity (ethanol 21.38 g/L, 12 h). <sup>5)</sup>Overall ethanol productivity (ethanol 25.27 g/L, 24 h). <sup>6)</sup>Yeast number.

85~86%)와 비교하더라도 발효비율이 떨어지지 않는 것으로 나타났다.

그리고 발효액 중의 효모 개체수는 30 × 10<sup>6</sup> cells/mL로 분석되어 일반적인 주정산업에서 회분식 발효공정의 대수증식기와 비교하면 50% 정도인 것으로 나타났다 [14]. 그러나 효모 개체수가 적어도 발효비율에 영향이 없는 것은 초기 발효기질의 발효성 당 함량이 낮기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 4와 같이 영양원 첨가로 속성 발효가 이뤄져 24시간 경에 발효가 종료되는 것으로 확인되었다. 최적 발효조건에서 최대 에탄올 생산성은 1.78 g/Lh (에탄올 함량 21.38 g/L, 12 h) 이었으며, 전체 에탄올 생산성은 1.05 g/Lh (에탄올 함량 25.27 g/L, 24 h)로 분석되었다. 일반적으로 주정산업에서 사용하는 전분질 원료의 에탄올 생산성은 현미 0.68 g/Lh, 쌀보리 1.03 g/Lh, 타피오카 1.28 g/Lh로 보고되고 있으며, 그리고 통상적으로는 0.58~0.64 g/Lh로 알려져 있다 [14,15]. 실험 결과에서 보듯이 전분질 원료를 사용한 에탄올 생산성과 비교하더라도 폐MDF 당화액의 발효 생산성이 뒤지지 않는 것이 확인되었다. 그리고 이후 96시간 동안 발효를 진행하였으나 에탄올 증가량은 미미하였으므로 24시간 내에 발효를 완료할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 폐MDF 당화액을 이

용한 최적 발효조건은 교반속도 100~150 rpm, pH 4.0~5.0 그리고 발효시간 24시간 발효하면 충분하다는 것이 확인되었다.

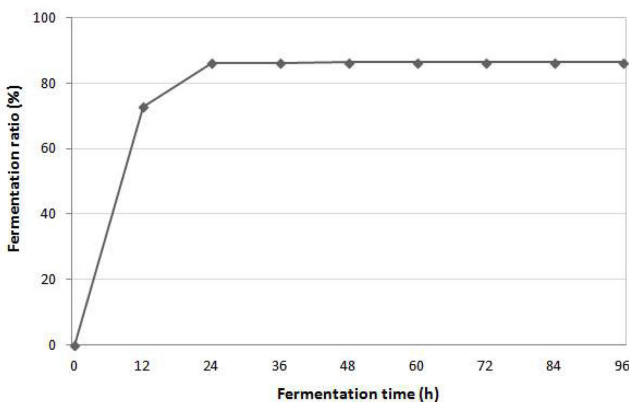
따라서 폐MDF를 활용하여 회분식 발효공정으로 scale up 실험 (pilot plant, demo scale)을 위해서는 경제적인 발효조 용량을 결정하여야 한다. 상기 결과로 에탄올 발효가 완료된 24시간을 기준으로 생산성을 평가하여 발효조를 설계한다면 기존의 회분식 주정발효와 비교하여 1.6 (1.05/0.64)배의 생산성이 향상되어 실질적으로 약 40%의 발효조 용량을 줄일 가능성을 확인하였다 [14].

**3.5. 폐MDF 발효액의 종류**

폐MDF 발효액에는 약 3~4%의 에탄올이 함유되어 있어 바이오에탄올로 사용하기 위해서는 농축하는 공정이 필요하다. 이는 일산실업(주) 부설기술연구소에 설치된 증류장치를 이용하여 Table 4와 같이 에탄올 함량 95.37%의 바이오에탄올로 농축하였으며, 이때 증류 폐액의 에탄올 함량은 0.03%로 분석되어 정상적인 증류가 진행된 것을 확인하였다.

**4. CONCLUSION**

본 연구는 해마다 폐기물로 버려지는 200만m<sup>3</sup>의 MDF를 이용하여 바이오에탄올 생산 가능성을 검토하기 위해 전처리, 효소 당화, 발효 및 증류 과정을 거쳐 최종적으로 에탄올 함량 95% 이상의 바이오에탄올을 제조하였다. 먼저, 아염소산나트륨으로 폐MDF를 전처리한 다음 4, 8 및 10%의 slurry를 제조하여 효소 당화를 하였으며, 전체적으로 당화가 원활하게 이뤄졌으나 점도 등을 감안하여 8% 당화액을 발효 기질로 선정하였다. 8% 폐MDF 당화액에는 glucose는 5.5%, xylose



**Fig. 4.** Results of fermentation profiles in jar fermenter when the nutrients were added.

**Table 4.** Ethanol contents after distillation

Strain	Ethanol contents (%)	Remarks
Bioethanol	95.37	
Distiller stillage	0.03	

는 0.8%로 분석되었고 pH는 4.4로 측정되었다. 이 당화액으로 발효실험을 실시한 결과 영양원을 첨가하지 않은 실험에서는 56시간 경에 발효가 종료되었으며, 영양원을 첨가한 실험에서는 24시간 경에 종료되었다. 따라서 속성발효를 위해서는 영양원을 첨가하면 24시간 내에 발효를 종료할 수 있어 시설 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 영양원을 첨가 후 jar fermenter에서의 발효실험 결과 최대 에탄올 생산성은 1.78 g/Lh (에탄올 함량 21.38 g/L, 12 h)였으며, 전체 에탄올 생산성 1.05 g/Lh (에탄올 함량 25.27 g/L, 24 h)로 분석되었다. 그리고 최종 에탄올 함량은 25.40 g/L, 발효비율은 86.64%로 분석되어 정상적인 발효가 이뤄진 것으로 확인되었다. 또한 발효액을 농축하기 위해 증류를 하였으며, 이때 에탄올 함량 95.37%의 바이오에탄올을 생산할 수 있었다. 이 연구 결과를 통해 폐기되는 MDF로 바이오에탄올 생산이 가능하다는 것을 확인하였고, 자원이 절대적으로 부족한 우리나라에서 폐자원을 활용한다는 측면에서 긍정적인 효과가 클 것으로 판단된다.

## Acknowledgements

본 연구는 중소기업청 기술혁신개발사업 (과제번호: S2086042)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Lee, J. S. (2013) Status and prospects of cellulosic ethanol R&D. *KIC News* 16: 2.
- Jang, H. S., J. H. Chung, and G. S. Kwon (2008) Development of transportation bio-energy and its future. *J. Microbiol. Biotechnol.* 36: 1-5.
- Kim, N. H. and G. J. Kwon (2009) Trend on technology development of bioenergy from woody biomass. *J. Forest Sci.* 25: 131-138.
- Nam, K. D. (2013) The development of biomass for bioethanol production, fermentation, distillation technology and its utilization. *BT News* 20: 2.
- Park, Y. C., J. W. Kim, and J. S. Kim (2011) Pretreatment characteristics of ammonia soaking method for cellulosic biomass. *Korean J. Chem. Eng.* 49: 292-296.
- Seo, H. B., J. G. Han, W. S. Choi, O. K. Lee, S. M. Lee, S. H. Choi, H. Y. Lee, and K. H. Jung (2008) Bioethanol production from wood biomass hydrolysate with supercritical water treatment. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 23: 494-498.
- Kim, J. S. (2013) The characteristics of alkaline pretreatment methods of cellulosic biomass. *Korean J. Chem. Eng.* 51: 303-307.
- Kim, Y. R., A. N. Yu, B. W. Chung, M. H. Han, and G. W. Choi (2009) Lignin removal from barley straw by ethanosolv pretreatment. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 24: 527-532.
- Bae, J. G., S. Y. Hong, E. H. Choi, J. K. Ahan, D. R. Jeon, and O. Y. Yang (2012) *Waste wood recycling scheme established advanced research institutions.* p. 156. Ministry of Environment, Korea.
- Choi, G. W., H. J. Jeon, B. O. Lee, K. W. Kang, J. S. Jeong, and B. W. Chung (2011) Production of bioethanol by using beverage waste. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 26: 417-421.
- Kim, Y. J. and S. M. Jeong (2013) Bioethanol fermentation of cellulosic food wastes by *pichia stipitis*. *Korea Society of Waste Management* 30: 478-485.
- Lee, S. M., J. Y. Park, S. B. Park, B. D. Park, and H. H. Jung (2011) *Industry status and trends of international standardization plate wood products.* pp. 22-23. Korea Forest Research Institute, Korea.
- Wise, L. E., M. Murphy, and A. A. Addieco (1946) Isolation of holocellulose from wood. *Paper Trade Journal* 122: 35-43.
- Nam, K. D. (2004) Alcohol fermentation technology. *Alcohol Industry* 24: 30-48.
- Choi, G. W., H. W. Kang, Y. R. Kim, and B. W. Chung (2008) Comparison of ethanol fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* CHY1077 and *Zyzzomonas mobilis* CHZ2501 from starch feedstocks. *Korean J. Chem. Eng.* 46: 977-982.