

음식물류폐기물을 이용한 최대 환원당 생성 조건 도출

한지훈, 강홍식, 이영환, 최용혁, 안중화*

강원대학교 공과대학 환경공학과

johnghwa@kangwon.ac.kr*

Optimization of reducing sugar production using food waste

Ji-Hun Han, Hong-Sik Kang, Young-Hwan Lee, Yong-Hyeok Chae, Johng-Hwa Ahn*

Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Kangwon National

University

johnghwa@kangwon.ac.kr*

1. 서론

지금까지 인류의 생활을 영위하기 위해 사용되어온 에너지 자원은 주로 석유와 같은 화석연료에 의존하고 있다. 그러나 이러한 화석연료는 매장량에 한계를 가지고 있으며 지구온난화 유발 등의 문제로 대체에너지의 개발 필요성이 대두되고 있다(박대원, 2010). 이러한 대체에너지 중 바이오매스를 이용한 바이오에탄올은 다양한 원료에서 생물학적인 방법에 의해 전환되며, 원료는 일반적으로 탄수화물을 다량 포함하고 있는 사탕수수, 옥수수 등의 녹말작물을 이용하여 바이오에탄올을 생산 할 수 있다. 하지만 이와 같은 곡물 원료 등을 이용할 경우 곡물가격 급등, 산림자원 파괴 등의 부작용을 가져 올 수 있다. 외국의 경우 옥수수, 사탕수수를 대단위로 재배하여 에탄올을 생산 및 상업화를 추진하고 있지만 국토면적이 좁은 한국의 상황과 적합하지 않기 때문에 버려지는 음식물류폐기물을 이용하여 에탄올을 생산하고자 한다(박세준, 2009).

우리나라 2010년 기준 전국 음식물류폐기물 하루 발생량은 13,428 톤으로 전체 하루 발생되는 폐기물 49,159 톤의 27%에 해당한다. 2003년 이후 감소추세를 나타내고 있는 생활폐기물 발생량에 반해, 음식물류폐기물 발생량이 차지하는 점유율은 현재 점점 증가하고 있는 실정이다(환경부, 2010). 따라서 본 연구에서는 음식물류폐기물을 이용하여 바이오에탄올생산 효율을 증대시킬 수 있는 최대 환원당 생성조건을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 음식물류폐기물

본 연구에서는 강원대학교 구내식당으로부터 수거한 음식물류폐기물을 가정용 믹서기로 파쇄 후 105℃에서 건조하여 사용하였다. 총고형물은 21538±1217 mg/L, 휘발성고형물 18137±1112 mg/L, 수분 81.1±0.2%, 가연분 16.0±0.1%, 회분 2.9±0.2% 이며 총 당과 환원당은 건조 음식물류폐기물 g 당 158.5±11 mg, 52.22±7 mg 으로 나타났다(Table 1).

<Table 1> Characteristics of Food Waste

List	Value
Total solid(mg/L)	21538±1217
Volatile solid(mg/L)	18137±1112
Moisture(%)	81.1±0.2
combustible material(%)	16.0±0.1
Ash(%)	2.9±0.2
Total sugar(mg/g)	158.5±11
Reducing sugar(mg/g)	52.22±7

2.2 음식물류폐기물 가수분해실험

한국 Novozyme사에서 구입한 효소 Viscozyme L(Table 2)을 사용하여 건조된 음식물류폐기물을 가수분해하였다. 음식물류폐기물 200 g 당 당화효소 Viscozyme L 10 ml, 완충용액 190 ml를 첨가한 후 Shaking incubator(VS-8480)에서 150 rpm으로 혼합하면서 온도 35~55°C, 반응시간 9~15시간범위에서 가수분해를 진행하였다(Table 3). 일정한 pH를 유지하기 위하여 pH 5인 완충용액(Acetic acid buffer solution)을 사용하였다. 가수분해 후 시료를 30 ml씩 채취하여 원심분리를 돌린 후 얻은 당화액을 증류수로 희석하여 측정하였다.

<Table 2> Characteristics of Viscozyme L

Range	Carbohydrases, Cellulase, b-glucanase, hemicellulase and xylanase
pH	3.3~5.5
Temperature(°C)	40~50
Activity(FBG/g)	100

2.3 환원당 측정

환원당은 3,5-dinitrosalicylic acid(DNS)법(Gail, 1959)으로 측정하였으며, DNS와 Rochelle염으로 발색하여 흡광도를 측정하는 정량분석법이다. 희석한 당화액 3 ml에 DNS 시약 3 ml를 혼합하여 가열기(Heating block, HS-R200)에서 5분간 90°C에서 반응한 후 Rochelle 염 1 ml를 바로 넣어주고 실내에서 상온까지 방냉하였다. 분석방법은 575 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

온도(X_1)(35, 45, 55°C), 시간(X_2)(9, 12, 15시간)을 변화시키면서 총 9개의 실험조건을 설계하였다. 여기서 45°C, 12시간을 중앙값으로 선택하여 실험을 하였고 반응표면 분석법을 사용하여 결과를 도출하였다. 중앙점에서 환원당의 농도가 가장 높았으며 온도 또는 반응시간이 중앙값을 벗어날 때는 감소하는 경향을 보였다(Table 3).

<Table 3> Experimental design and observed reducing sugar concentration

Trial	Condition		Reducing sugar concentration(mg/g)
	Temperature(°C)	Reaction time(hr)	
1	35	9	64.6
2	55	9	45.0
3	35	15	107.1
4	55	15	101.3
5*	45	12	148.4±10.3
6	35	12	102.7
7	55	12	97.5
8	45	9	116.1
9	45	15	145.4

*Central point was replicated five times (average value ± standard deviation)

가수분해 진행 후 생산되는 환원당농도를 종속변수로 1차에서 2차모델로 차수를 증가하면서 반응표면분석을 수행하였다. Trial 1~5(Table 1)를 이용하여 1차모델을 분석해 본 결과 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.346$). Trial 6~9를 추가하여 2차 모델을 적용해 본 결과 통계적으로 유의하였다($p<0.01$). 적합성 결여(lack of fit)는 유의하지 않으며($p=0.763$), 결정계수(R^2)가 95.4%로 신뢰성이 높은 모델로 나타났다. X_2 , X_1^2 , X_2^2 항의 p-value는 0.001, 0.015, 0.001으로 유의성이 인정되지만 X_1 , X_1X_2 의 p-value는 0.250, 0.511로 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 이에 상관관계가 가장 적은 시간과 온도의 교차 항을 소거하여 추정모델을 다시 산정하였다(윤호철, 2007). 그 결과 새로운 모델은 통계적으로 유의하였으며($p<0.01$), 적합성결여의 p-value가 0.810, 결정계수는 95.1%의 적합한 모델(식 1)로 분석되었다. 이 때 모든 항의 p-value는 0.05이하로 통계적으로 유의하였다.

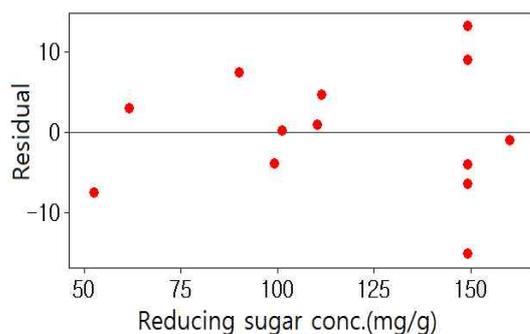
$$Y = -1225 + 44.23X_1 + 57.97X_2 - 0.4972X_1^2 - 2.119X_2^2 \quad (1)$$

여기서, Y : 환원당 생성량

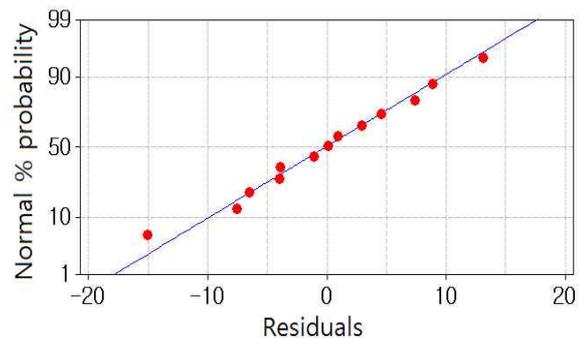
X_1 : 가수분해 온도

X_2 : 가수분해 반응시간

온도와 반응시간에 대한 모델의 적절성을 진단하기 위하여 정규 확률 그래프와 잔차 그래프를 나타내었다. 잔차 그래프는 퍼짐이 증가하거나 또는 감소한다면, 등분산을 만족하지 않는다고 판정한다. 잔차 그래프 (Figure 1(a))를 살펴보면 수평밴드 내에서 위아래로 고르게 분포되어 있어 불편성을 만족하며 x축을 따라서 비슷하므로 등분산성도 만족한다고 볼 수 있다. 정규확률 그래프 (Figure 1(b))를 보면 잔차들이 대체로 직선으로 나타나므로 근사적으로 정규분포를 따르는 것으로 나타났다.



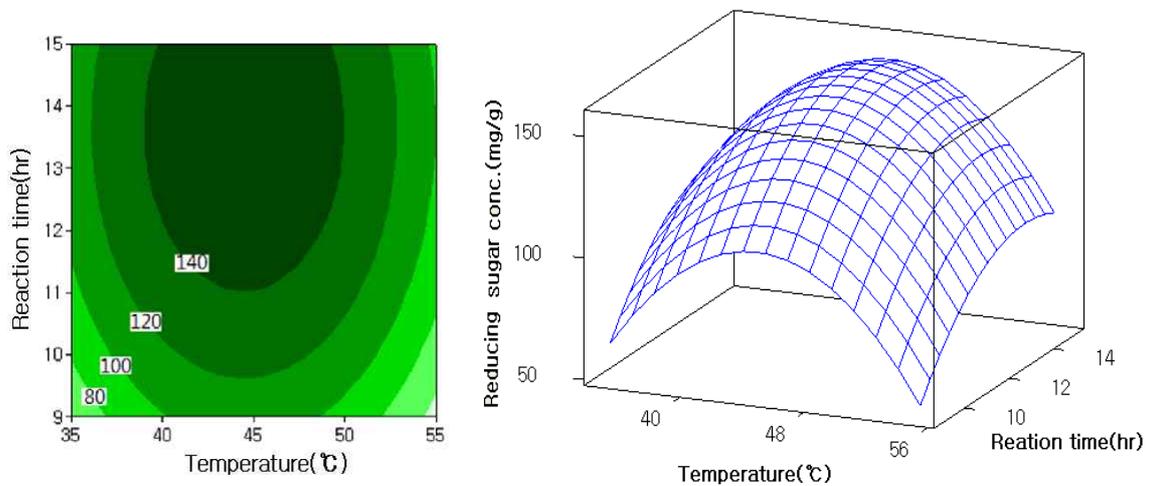
(a) Residual plot



(b) Normal probability plot

<Figure 1> Residual and normal probability plots of the model (Equation 1) for reducing sugar concentration

반응표면분석에 의한 등고선도(Figure 2(a))를 살펴보면 간격이 x축보다 y축에 조밀한 것을 확인할 수 있으며, 이는 시간에 따른 환원당농도 생성량이 온도보다 민감하다는 것을 보여준다. 모델링 결과 주어진 조건하에서 환원당농도를 최대 생성할 수 있는 조건은 온도 45°C, 반응시간 13.7시간이며, 최댓값은 건조음식물류폐기물 g 당 환원당 154.8 mg로 나타났다.



(a) Two dimensional contour plots

(b) Three dimensional contour plots

<Figure 2> Two and three dimensional contour plots of the model for reducing sugar concentration in temperature and reaction time

4. 결론

실험 조건내에서 온도 45°C, 반응시간 13.7시간일 때 환원당 생성농도는 건조 음식물류폐기물 g 당 154.8 mg으로 예측되었다. 시간에 따른 환원당 생성농도가 온도보다 민감하였다.

감사의 글

본 연구는 강원녹색환경지원센터 14차년도(2013년) 산학협력 연구 개발 사업에 의하여 진행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김성준, 에탄올 발효방법에 따른 음식물류 폐기물의 바이오에탄올 생산성 비교, *한국생물공학회지*, **25**, 471~477(2010)
2. 박대원, 회분식 반응기에서 음식물쓰레기를 이용한 바이오에탄올 생산, *대한환경공학회지*, **32**, 609~614(2010)
3. 박세준, 과일폐기물을 이용한 바이오에탄올 생산에 관한 연구, *한국수소및신에너지학회 논문집*, **20**, 142~150(2009)
4. 윤호철, 임 표, 임재규, 열가소성 수지 저항용접에서 발열체 간격의 최적화에 관한 연구, *대한용접학회 추계학술발표대회논문집*, **48**, 26~28(2007)
5. 환경부 : 2010년 전국 폐기물 발생 및 처리현황(2011)
6. Gail L. M, Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for determination of reducing sugar, *Analytical Chemistry*, **31**, 426(1959)