

마이크로웨이브를 이용한 볏짚 내 탄수화물 추출 최적화

변민우, 임주홍, 오호식, 안중화*
 강원대학교 공과대학 환경공학과
 (johngghwa@kangwon.ac.kr*)

Optimization of microwave-assisted extraction of carbohydrate from rice straw using response surface methodology

Min-Woo Byeon, Ju-Hong Lim, Ho-Sik Oh, Johng-Hwa Ahn*
 Department of Environmental Engineering, College of Engineering,
 Kangwon National University
 (johngghwa@kangwon.ac.kr*)

1. 서론

전 세계적으로 농산 폐기물은 매년 20~30억 톤 이상이 나오고 있으며 아시아에서 생산되는 농산 폐기물의 양은 연간 약 8억 톤 이상으로 이 중 60%정도가 섬유성 농산 폐기물이다(신현승과 유연우, 2005). 이러한 섬유성 농산 폐기물의 주요 성분은 셀룰로오스(cellulose), 헤미셀룰로오스(hemicellulose), 리그닌(lignin) 등이며, 이 중에서도 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스에는 석유를 대체하여 화학제품 및 바이오에너지를 생산할 수 있는 원료인 글루코스(glucose)와 식품 및 의료산업에 있어 고부가가치의 원료인 자일로즈(xylose) 및 아라비노즈(arabinose) 등이 포함되어 있다. 일반적으로 비목질계 섬유성 농산 폐기물에는 글루코스 6.86%, 자일로즈 7.57%, 아라비노즈 2.62%, 갈락토오스(Galactose) 1.61%, 만노오스(Mannose) 1.17%가 함유되어 있다(신현승과 유연우, 2005). 문헌(Yoshida 등, 2010)에 따르면 탄수화물 추출 최적 조건에서 자일로 올리고당 생성 또한 최적조건을 갖는다고 제시하였다. 볏짚에서의 탄수화물 추출 최적 조건을 도출한다면 자일로 올리고당의 가수분해 전 단계인 자일로즈 추출 또한 최적의 조건을 찾을 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 본 연구에서는 당 함량이 비교적 높고 주변에서 쉽게 구할 수 있는 볏짚을 이용하여 마이크로웨이브 조사를 통해 탄수화물 추출의 최적 조건을 도출하고자 한다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 볏짚

실험에 사용된 재료는 강원도 춘천시 동내면 신촌리 부근에서 채취한 볏짚으로 24시간 건조 후 가정용 믹서기로 분쇄 후 80 mesh체에 거른 후 탄수화물 추출 효율을 높이기 위해 문헌(Wang 등, 2005)에 제시된 내용을 토대로 전처리하여 재료로 사용하였다. 볏짚의 탄수화물 함량은 0.55 mg/g으로 나타났다.

2.2 마이크로웨이브 조사

마이크로웨이브 조사는 Microwave accelerated reaction system(MARS5, CEM Coporation, 2,450MHz, 최대출력 1,600W)를 사용하였다. 마이크로웨이브 조사 시 탄수화물 추출에 있어 최적의 고액비는 1:20으로 볏짚 1 g과 증류수 20 mL를 용기에 넣어 온도(130-160℃)와 조사시간(2-10분)을 달리하여 조사하였다(Yoshida 등, 2010).

2.3 탄수화물 측정

탄수화물에 대한 측정은 Anthrone-Sulfuric acid method(Brummer와 Cui, 2005)을 이용하여

UV-spectrophotometer(PG Instruments, T60U) 630 nm에서 흡광도를 측정해 탄수화물 농도를 측정하였다. 표준용액으로는 D-(+)-Glucose(대정)을 이용해 측정하였다.

2.4 중심합성계획법

실험에서 사용한 실험계획법은 2차 모형의 추정을 위한 연구에 일반적으로 사용되는 최적화 알고리즘인 반응표면분석법(response surface methodology)의 중심합성계획법(central composit design)을 적용하였다. 중심합성계획법은 실험계획의 바람직한 특성인 직교 블록화 및 회전성의 구현이 용이하며 2차 모형의 제곱 항들을 효율적인 추정이 가능하다(Körbahti, 2007). 최적조건을 도출하기 위해 총 13회로 설계하였으며 실험에서의 순수오차를 보정하기 위해 중앙점은 5회 반복하였다.(표 1)

3. 결과 및 고찰

3.1 마이크로웨이브 조사에 따른 탄수화물 변화

중심합성계획 설계를 토대로 마이크로웨이브를 조사하여 측정한 탄수화물의 변화를 표 1에 나타내었다. 탄수화물 측정 결과 온도변수에서는 160℃를 기준으로, 시간변수에서는 6분을 기준으로 수치가 감소하는 경향을 나타내었다. 중앙점(160℃, 6분) 5회 반복 측정에 대한 탄수화물 평균값은 0.668 (mg/g)로 가장 높게 나왔다.

표 1. 중심합성계획 설계 조건 따른 마이크로웨이브 조사 시 탄수화물 변화

| Trial | Temperature(°C) | Time(min) | Carbohydrate(mg/g) |
|-----------------|-----------------|-----------|--------------------|
| 1 | 130 | 2 | 0.570 |
| 2 | 190 | 2 | 0.567 |
| 3 | 130 | 10 | 0.526 |
| 4 | 190 | 10 | 0.504 |
| 5 ^{a)} | 160 | 6 | 0.668±0.011 |
| 6 | 130 | 6 | 0.608 |
| 7 | 190 | 6 | 0.620 |
| 8 | 160 | 2 | 0.561 |
| 9 | 160 | 10 | 0.521 |

^{a)}Center point was replicated five time (average±standard deviation).

3.2 중심합성계획법의 회귀 모형 변화 분석

탄수화물 함량을 종속변수로 반응표면분석을 수행하였으며 실험점에서 탄수화물 함량에 대한 1차 선형모델의 적합성을 분석하였다. 그 결과 적합성결여의 p-value가 0.001(p<0.05)로 적합하지 않은 모델로 분석되어 2차 모델로 분석하였다. 분석결과 통계적으로 유의하며(p<0.01), 적합성결여의 p-value가 0.063(p>0.05)로 적합한 모델로 분석되었고 결정계수(R²)가 93.7%로 신뢰성이 높은 모델로 나타났다. 모델의 분석결과를 표 2에 나타내었다. 분석 결과로 얻은 계수를 이용해 식 1과 같은 회귀 모형식을 도출하였다.

$$Y = -3.48 \times 10^{-1} + 0.01X_1 + 0.08X_2 - 0.03 \times 10^{-3}X_1^2 - 0.64 \times 10^{-3}X_2^2 - 0.63 \times 10^{-4}X_1X_2 \quad (\text{식 1})$$

위 식에서,

Y = 탄수화물 함량

X₁ = 온도

X₂ = 시간

표 2. 회귀모형 변화 분석 결과

| | Degree of freedom | Sum of square | Mean square | F-value | p-value |
|-------|-------------------|---------------|-------------|---------|---------|
| 회귀분석 | 5 | 0.047067 | 0.009413 | 20.83 | 0.000 |
| 선형 | 2 | 0.003817 | 0.006586 | 14.57 | 0.003 |
| 제곱 | 2 | 0.043026 | 0.021513 | 47.60 | 0.000 |
| 상호작용 | 1 | 0.000225 | 0.000225 | 0.50 | 0.503 |
| 잔차오차 | 7 | 0.003164 | 0.000452 | | |
| 적합성결여 | 3 | 0.002564 | 0.000855 | 5.70 | 0.063 |
| 순수오차 | 4 | 0.0006000 | 0.000150 | | |
| 전체 | 12 | 0.050231 | | | |
| R^2 | 0.937 | | | | |

그림 1에 제시된 반응표면분석에 의한 등고선 간격이 x축 보다 y축에 조밀한 것을 볼 수 있으며, 이는 탄수화물 추출에 있어 마이크로웨이브 조사 시 온도($p=0.067$)보다 시간($p=0.002$)에 더 민감하게 반응하다는 것을 보여준다. 적정 온도와 시간이 지나치면 오히려 당 함량이 떨어짐을 확인할 수 있었다. 반응표면분석을 통해 도출한 마이크로웨이브 최적 조건은 158.7°C , 5.5분이고 이 때 탄수화물 농도는 0.664 mg/g 으로 예측되었다.

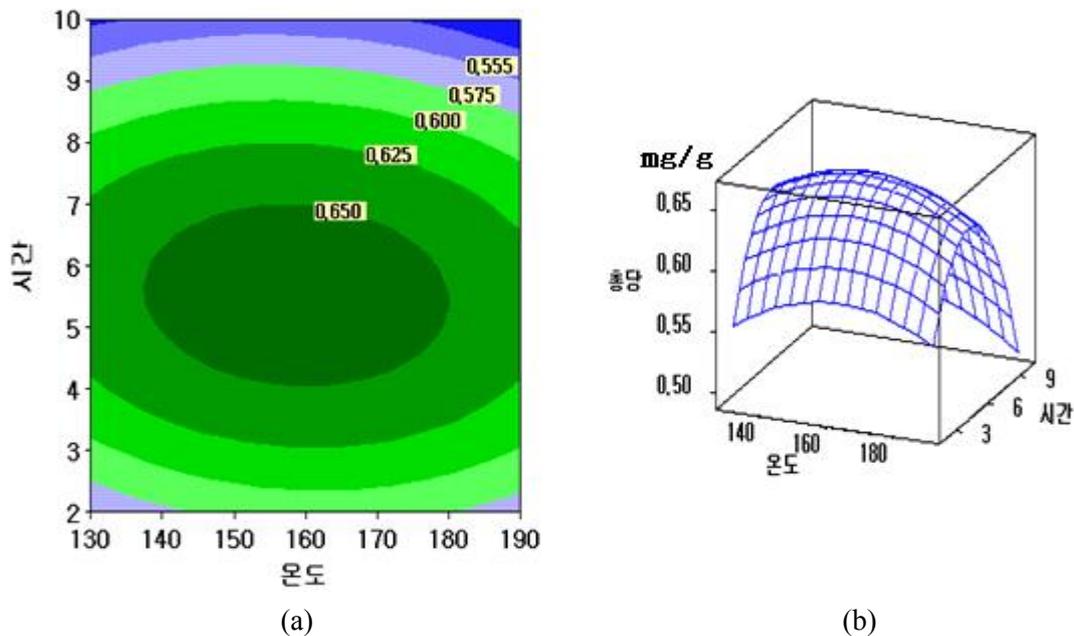


그림 1. 반응표면분석에 의한 (a)등고선 플롯 (b)표면 플롯

4. 결론

본 실험 조건하에서 마이크로웨이브 조사 온도 158.7°C , 조사 시간 5.5분일 때 벗짚으로부터 얻은 탄수화물 농도가 0.664 mg/g 으로 최대치로 예측되었다. 탄수화물의 농도는 마이크로웨이브 조사 온도보다는 조사 시간에 더 민감하게 반응하였다.

사사

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

참고문헌

1. 신현승, 유연우, “농산 폐기물을 이용한 자일로즈, 아라비노즈, 셀룰로오즈 생산 공정”, *한국신재생에너지학회지*, **Vol. 17** (2005).
2. Brummer, Y., Cui, S., “Understanding carbohydrate analysis”, Taylor and Francis Group, LLC (2005).
3. El-Tayeb, T., Abdellhafez, A., Ali, S., Ramadan, E., "Effect of acid hydrolysis and fungal biotreatment on agro-industrial waste for obtainment of free sugars for bioethanol production", *Brazilian Journal of Microbiology*, **Vol. 43**, pp.1523-1535 (2012)
4. Körbahti, B., “Response surface optimization of electrochemical treatment of textile dye wastewater”, *Journal of Hazardous Materials*, **Vol. 145**, pp. 277-286 (2007)
5. Wang, F., Hu, G., Xiao, J. and Liu, Y., “Improvement in the productivity of xylolig osaccharides from rice straw by xylanase with ultrafiltration”, *Archives of Biological Science*, **Vol. 63**, pp.161-166 (2011)
6. Yoshida, T., Tsubaki, S., Teramoto, Y. and Azuma, J., “Optimization of microwave-assisted extraction of carbohydrates from industrial waste of corn starch production using response surface methodology”, *Bioresource Technology*, **Vol. 101**, pp. 7820-7826 (2010).