

Badania mechanizmu i kinetyki zintegrowanych procesów fermentacji ciemnej i hydrotermicznej karbonizacji odpadów spożywczych

Jedną z ostatnio intensywnie badanych zrównoważonych technologii odzyskiwania energii z biomasy odpadowej jest proces hydrotermicznej karbonizacji (ang. hydrothermal carbonisation - HTC), zwany też moką pirolizą. HTC to chemiczna konwersja związków organicznych w zawiesinie wodnej do tzw. biokarbonizatu w temperaturze ok. 180°C i ciśnieniu ok. 1MPa. W HTC moką biomasę można przetworzyć na węglowo-podobny biokarbonizat (ang. hydrochar), możliwy do wykorzystania w energetyce lub rolnictwie do użyźniania gleby. A produktami końcowymi, oprócz tego biokarbonizatu są także frakcja ciekła bogata w łatwo biodegradowalne substancje organiczne i niewielka ilość gazów. Dotychczas większość badań nad HTC koncentrowała się na otrzymaniu biokarbonizatu ale ostatnio obserwuje się duże zainteresowanie połączeniem HTC z fermentacją beztlenową (ang. anaerobic digestion - AD). AD to dobrze ugruntowana biotechnologia, w wyniku której otrzymujemy biogaz dzięki archebakteriom, które tworzą końcowy produkt odpadowy tzw. poferment (ang. digestate sludge – DS.). W literaturze jest bardzo mało danych dotyczących połączenia HTC z kwaśną, ciemną fermentacją (ang. dark fermentation - DF), której głównym produktem jest biowodór (bioH_2) – czyste paliwo, alternatywny dla paliw kopalnych nośnik energii. Wytwarzanie bioH_2 za pomocą DF jest najbardziej przyjaznym dla środowiska i zrównoważonym sposobem, ale jego wydajność musi zostać znacznie zwiększona, a koszty produkcji obniżone. Jednym z głównych kosztów produkcji wodoru jest cena surowca. Wydaje się, że odpady spożywcze (np. frakcja organiczna odpadów kuchennych) mogą być właściwym substratem dla DF. Ilość odpadów spożywczych (ang. food waste - FW) w większości krajów europejskich wzrosła do prawie 130 mln ton w 2020 roku, a FW to największy składnik stałych odpadów komunalnych, stanowiący średnio ok. 45% globalnego składu. Ponadto, FW zawierają trudno biodegradowalne składniki organiczne (ang. recalcitrant organic residue - ROR), zwłaszcza ligninę i peptydoglikan, które nie są rozkładane przez bakterie beztlenowe i zmniejszają produkcję netto bioH_2 . Konwencjonalny zakład biologicznego przetwarzania FW generuje 30% ROR z całego materiału FW. Proponowana integracja HTC biomasy odpadowej z fermentacją kwaśną wychodzi naprzeciw wyzwaniom gospodarki wodorowej. Ponadto integracja bioprosesu wytwarzania biowodoru - DF z HTC może być właściwym podejściem do pełniejszego i dającego wartość dodaną wykorzystania kwaśnej fermentacji do produkcji bioH_2 . Integracja HTC i DF jest zgodna z wymogami gospodarki o obiegu zamkniętym.

Obiektem badań jest mieszanina FW i pofermentu (stanowiącego inokulum w DF), której optymalny skład (np. odpowiedni stosunek C/N) zapewni maksymalizację produkcji bioH_2 . Ciemnej fermentacji kwaśnej poddany będzie nie tylko płynny produkt HTC, ale zawiesina biokarbonizatu. Jego rola w procesie DF zostanie szczegółowo przeanalizowana. Oczekuje się, że będzie miał pozytywny wpływ na produkcję H_2 ze względu na właściwości adsorpcyjne toksyn (np. fenoli) powstających podczas HTC i ułatwienie immobilizacji bakterii. Bardzo ważną jest prawidłowa kolejność obu operacji chemicznego (HTC) i biologicznego (DF) sposobu przetwarzania odpadów spożywczych. Dlatego zostaną sprawdzone dwa warianty: (1) najpierw DF odpadów, z której faza ciekła będzie skierowana do fermentacji metanowej (MF), a pozostałość do HTC; (2) najpierw HTC odpadów, z której faza ciekła będzie kierowana do DF, a po fermentacji ciemnej do fermentacji metanowej (MF).

Bardzo istotne jest zbadanie mechanizmów i kinetyki procesów biochemicznych DF i zintegrowanym z nimi procesem hydrotermicznym, bo tylko dzięki temu będzie można zoptymalizować pod względem energetycznym ten układ, którego realizacja praktyczna powinien być już przedmiotem projektu wdrożeniowego.

Określenie kinetyki reakcji procesu HTC odgrywa kluczową rolę w osiągnięciu głównego celu, jakim jest odzysk energii z mokrej biomasy. Do tej pory zaproponowano kilka modeli kinetycznych HTC dla czystych substratów, takich jak glukoza, fruktoza oraz złożonych odpadów biomasy lignocelulozowych, takich jak osady ściekowe, poferment, ale nie dla FW lub ich mieszanin. Parametry kinetyczne HTC wspomnianych substratów określono w różnych warunkach procesowych, jednak potrzebne są dalsze badania w celu zrozumienia mechanizmu procesu i opracowania bardziej wiarygodnych modeli oraz sformułowania dokładniejszej kinetyki reakcji. Brak jest również dokładnej kinetyki DF, z pełnym bilansem masowym poszczególnych składników we wszystkich trzech fazach, i opisem zmian składu konsorcjum bakterii i kinetyki ich wzrostu. Właściwa sekwencja etapów, znajomość kinetyki HTC i DF, dobór odpowiedniego składu surowców, czasu przebywania w reaktorze HTC oraz temperatury procesu pozwolą na optymalizację odzysku energii z mokrej biomasy i maksymalizację wydajności biowodoru.

Uzyskane wyniki przyczynią się do poszerzenia podstawowej wiedzy o procesach hydrotermicznej karbonizacji i fermentacji ciemnej oraz umożliwi dalsze powiększanie skali tych procesów biorafineryjnych wykorzystujących mokre odpady spożywcze.