

木薯酒精燃料之程序合成與設計

陳錫仁*、黃詩芸、黃筱涵、簡士傑

淡江大學化學工程與材料工程學系

摘要--本文進行木薯製造生質酒精燃料之化工程序合成與設計，以年產量三萬公噸、純度達 99.5 wt% 與體積分率達 99.3 vol% 以上之無水酒精為設計目標。以木薯為原物料，經過液化、醱化與發酵作用產生粗製酒精，接著利用滲透蒸發法進行酒精的純化，使用親水性薄膜，將酒精與水分離。其次，針對滲透蒸發整體製程進行熱能整合，探討其節能減碳之成效。最後，進行木薯製造生質酒精燃料製程之經濟評估，計算其年製造成本與生質酒精每公升之製造成本。本文應用“ Aspen Plus”、“ Aspen Custom Modeler” (ACM) 與“ SuperTarget” 三套化工程序軟體；前兩者用於程序合成與設計，後者則用於狹點分析及換熱器網路合成。

關鍵字：生質酒精、程序合成與設計、滲透蒸發、換熱器網路合成、經濟評估、木薯

論文編號：G-027

Abstract —In this work, we have presented a chemical process synthesis and design for the production of bioethanol from cassava. The study aims to simulate a plant capacity of 30,000 metric tons per year of 99.9 wt% (or >99.3 vol%) purity of ethanol fuel. Starting with cassava as the raw material, we use the liquefaction, saccharification, and fermentation process to accomplish the making of crude ethanol; then, pervaporation process with the hydrophilic membrane is used in the purification stage. Additionally, we have conducted heat integration for the cassava-to-ethanol with pervaporation process. Ultimately, we have also carried out an economic evaluation for the cost of manufacture and the cost of bioethanol per liter. Three kinds of software are utilized in the research—Aspen Plus, Aspen Custom Modeler (ACM), and SuperTarget. The first and second are applied to implement the process synthesis and design; the third is applied to perform the pinch analysis and the synthesis of heat exchanger network.

Keywords: Bioethanol, Process Synthesis and Design, Pervaporation, Economic Evaluation, Cassava

一、前言

為因應高油價時代以及減碳議題，酒精被當作燃料或是摻配進汽油中，稱為「酒精汽油」，成為汽、機車的動力來源，以減少石油的用量，相對也降低二氧化碳的排放量，而酒精的製造也趨於重要，因此近幾年來，生質物被大量用來製成酒精，稱為「生質酒精」，做為酒精燃料的來源。前幾年，政府也推動「綠

色公務車先行計畫」與「北高都會區酒精汽油推動計畫」，提供 E3 酒精汽油（煉製汽油內添加 3% 酒精）於可使用車輛，也增加了販售酒精汽油之加油站。由於未來政府會大力的推動 E3 酒精汽油的使用量，而國內酒精產量明顯不足，所以政府也將提供生質酒精工廠設廠以及休耕農田種植生質酒精原料之補助，希望能有效達到減碳目標，同時提高土地使用率和增

加農民收入。生質酒精是藉由「生質物」透過酵母菌進行發酵，將原料中的醣分解為酒精，接著利用純化法將水份與酒精分離，製成高濃度的無水酒精。而本研究的主要目的是利用木薯做為原料，製造生質酒精之程序合成與設計。圖 1 為木薯製造生質酒精之方塊流程，本製程採用分別水解發酵法 (Separate Hydrolysis and Fermentation, SHF) [1]，將木薯經過液化、醱化、發酵等過程製造出低濃度之含水酒精。之後利用滲透蒸發法，將酒精純度提高至 99.5wt%，以年產量為 3 萬公噸為目標，配合政府政策用來提供做為 E3 酒精汽油之酒精原料。研究中使用化工製程模擬軟體 Aspen Plus® [2]，利用此軟體進行整體程序的合成與設計。在滲透蒸發純化的部分，結合了 Aspen Custom Modeler® (ACM) 模擬軟體，設計吾人所需求之滲透蒸發薄膜膜組，並於穩態下模擬其用於酒精脫水之設計，並將此模組匯入至 Aspen Plus 軟體中進行滲透蒸發之整體酒精脫水程序。

二、研究方法

製程所採用的生質物為木薯，參考文獻[3]中的基本物性，其中木薯澱粉的直鏈澱粉含量大約在 17-23%，熱焓值約為 14-17 J/g，糊化溫度在 85°C 左右。並設定進料之組成，其主要成份為澱粉 68 wt%、水份 13 wt%、纖維素 8 wt%、蛋白質 3 wt%、其他成份 8 wt%。在熱力學模式的部份，選用 NRTL (Non-Random Two Liquid) 模式，於低壓下對液相物質進行修正。在醱化反應器的部分，所使用的模組為“RStoic”，轉化率為 99%，其參考反應式如下：



而在發酵反應器的部分，所使用的模組亦為“RStoic”，轉化率為 100%，其參考反應式如下：



對於滲透蒸發薄膜的設計，參照美國賓州里海大學化工系 Luyben 教授 [4] 之數學模式設定，在穩態下進行酒精脫水程序，其中考慮了酒精與水在薄膜兩端之質量傳送以及能量平衡。在此使用四個滲透蒸發模組進行酒精脫水後，可得到濃度 99.5 wt% 以及體積分率為 99.6 vol% 之無水酒精。

三、熱能整合

吾人針對木薯製造生質酒精製程進行熱能整合 [5]，選出 8 個換熱器進行狹點分析 [6]，包含 3 股熱物流及 5 股冷物流，其步驟如下：

1. 數據擷取：

吾人首先利用 Aspen Plus 的模擬結果，擷取出換熱器 T-Q (溫度/熱焓) 值，經適當線性化分段後，得到所需的冷熱物流資料，然後輸入至 SuperTarget [7] 進行狹點分析。

2. 狹點分析：

設定最小趨近溫度 (ΔT_{\min}) 為 10°C 進行狹點分析。

3. 換熱器網路合成：

藉由換熱器網路合成的經驗法則，完成最小趨近溫度 $\Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ 之網格圖。圖 4 為木薯製造生質酒精製程於 $\Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ 時換熱器網路合成圖。

4. 換熱器網路組態設計：

結合圖 2 與圖 4，最後將此製程在 $\Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ 之換熱器網路組態設計繪製於圖 5。此圖即為木薯製造生質酒精製程之最後組態設計圖。

四、經濟評估

藉由狹點分析與換熱器網路合成，吾人得到最小趨近溫度 $\Delta T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ 的換熱器網路配對資料後，可進一步進行經濟評估，利用製造成本 (Cost of Manufacture, COM) 之分析，計算木薯製造生質酒精製程之製造成本，以及生質酒精每公升之製造成本，並假設一年操作時

數為 8000 小時。而製造成本計算公式如下(含折舊)：

$$COM=0.28FCI+2.73C_{OL}+1.23(C_{UT}+C_{RM}+C_{WT})$$

其中，FCI 為固定設備成本， C_{OL} 為操作成本， C_{UT} 為公用設施成本， C_{RM} 為原料成本， C_{WT} 為廢棄物處理成本。

五、結果與討論

本製程中，每年木薯的使用量為 8 萬公噸，以年產量三萬公噸、純度達 99.5 wt% 與體積分率達 99.3 vol% 以上之無水酒精為設計目標。其模擬之結果如下：

1. 以 8,000 小時為年操作時數，每年木薯進料量為八萬公噸，由滲透蒸發全製程可產出 30,700 公噸 (39,876 公秉) 之無水酒精，而酒精產物之體積分率可達 99.6 vol%。
2. 未經熱能整合時所需熱公用設施 531 kW，冷公用設施則為 594 kW，經熱能整合後發現，熱公用設施降低為 170 kW，冷公用設施降低為 233 kW，節能效益顯著。
3. 經過經濟評估後，吾人計算出滲透蒸發全製程在熱能整合前的年製造成本為 $US\$23.8 \times 10^6$ ，無水酒精每公升之製造成本為 $US\$0.6$ ；在熱能整合後的年製造成本為 $US\$23.6 \times 10^6$ ，無水酒精每公升之製造成本為 $US\$0.59$ 。而未來薄膜的價格可能會降低，因此製程所耗費之成本也將會降低。

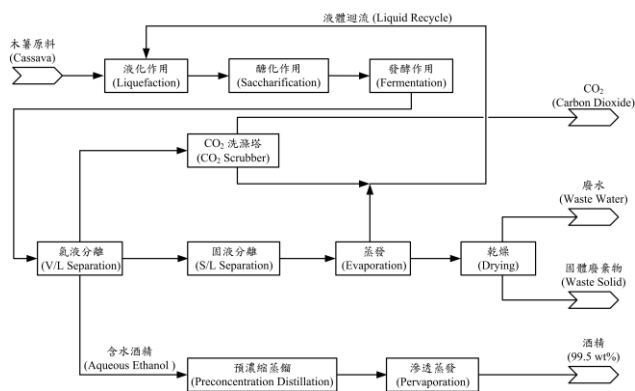


圖 1、木薯製造生質酒精製程之方塊流程圖

六、參考文獻

- [1] 陳建孝、林畢修平，纖維酒精製程簡介與未來展望，永續產業發展雙月刊，第 35 期，第 6-15 頁 (2007)。
- [2] AspenPlus, ASPEN PLUS User's Guide, Version 7.3, Aspen Tech., Boston, Ma, U.S.A. (2011).
- [3] 邱亞伯，樹薯之物理化學特性及應用，博士論文，國立屏東科技大學，屏東 (2004)。
- [4] Luyben, W. L., "Control of a Column/Pervaporation Process for Separating the Ethanol/Water Azeotrope," Ind. Eng. Chem. Res., 48, 3484-3495, (2009).
- [5] Turton, R., R. C. Bailie, W. B. Whiting, and J. A. Shaeiwitz and D. Bhattacharyya, "Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes," 4th ed., Prentice Hall, New Jersey, U.S.A. (2012).
- [6] Linnhoff, B., "Pinch Analysis - A State-of-the-Art Overview," Trans. IChemE., Part A, 71, 503-522 (1993).
- [7] SuperTarget, SUPERTARGET User's Guide, Linnhoff March Ltd., Cheshire, U.K. (2010).

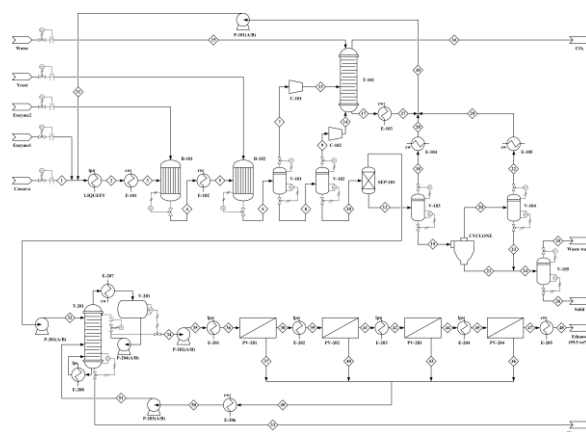


圖 2、木薯製造生質酒精製程之程序流程圖

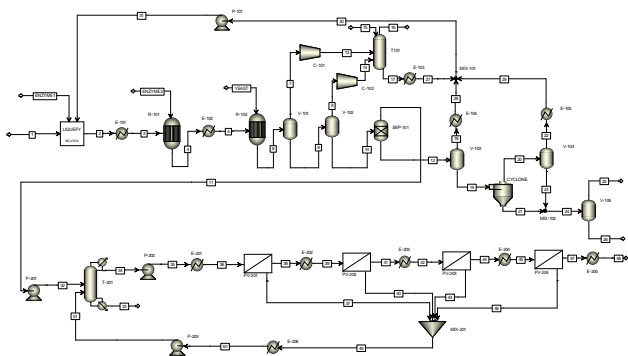


圖 3、Selexol 製程之 Aspen Plus 流程模擬圖

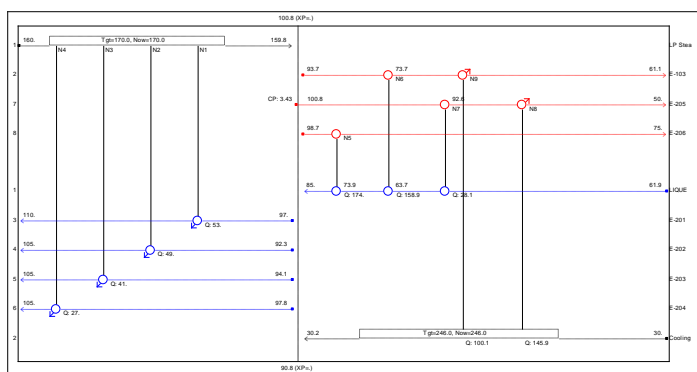


圖 4、木薯製造生質酒精製程於 $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ 時換熱器網路合成

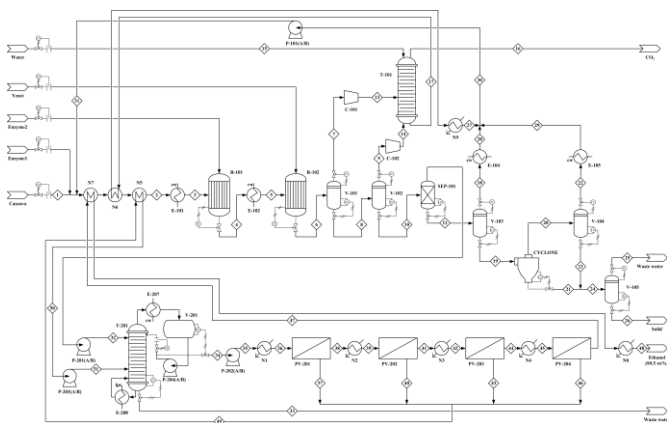


圖 5、木薯製造生質酒精製程於 $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ 時之最後組態設計