

### 3. 纖維乙醇之製程 (Cellulosic ethanol process)

#### 3.1 稀酸水解製程 (Diluted-acid hydrolysis process)

乙醇之稀酸水解製程起源於 1898 年，由德國所建立。第一次世界大戰期間，美國建立了兩座以所謂之 American Process 作為製程（即單一步驟之稀硫酸水解製程）之乙醇生產工廠，而後因木材產量下降，這兩座工廠在大戰後即關閉，僅剩下小規模之稀酸水解研究持續在美國農業部（U.S. Department of Agriculture, USDA）之 Forest Products Laboratory 進行。第二次世界大戰期間，因乙醇出現短缺，使得美國之 War Production Board 在鼓勵「木材轉換成乙醇」之研究外，也指揮 Forest Products Laboratory 改良德國在 1932 年所研發之 Scholler Process，提出 Madison Wood Sugar process。1980 年代，因能源議題再起，稀酸水解製程之研究又重新受到重視，美國能源部（U.S. Department of Energy, DOE）與農業部也開始大量支持這方面之研究。

目前採用稀酸水解製程之生質乙醇工廠有美國之 BC International 公司（BCI）與 Tembec and Georgia Pacific 公司等。（U.S. DOE, 2006a）

為了因應纖維素與半纖維素差異，稀酸水解製程分成兩個階段：第一階段（First stage）係於較溫和之條件下，將半纖維素解聚合（Depolymerize）或水解成單糖，並避免單糖發生降解（Degradation）；第二階段（Second stage）則以最佳化之條件，將纖維素水解成葡萄糖，並避免葡萄糖發生降解。

在稀酸水解製程中（Brink, 1993），如圖 3 所示，料源先研磨成粉末狀，並導入螺旋送料機（Screw conveyor），以蒸氣除去揮發性物質，然後進行第一階段水解，將半纖維素與第二階段水解後由水解液分離出來之寡合體（Oligomers），一起被水解成己糖（Hexose sugars）與戊糖（Pentose sugars）。

第一階段水解後之含糖溶液被導入液體萃取器（Liquid extraction unit），而呈現泥漿狀（Slurry）之流出物（Effluent）則導入分離器（Separator）進行固液分離，分離後之液體導入液體萃取器，固體則導入粉碎機（Disintegrator）增加細度與接觸面積，而後再導入敏化器（Sensitization unit），透過敏化作用提高纖維素之水解速率，然後將敏化後之固體與液體一起進行第二階段水解。

第二階段水解後之泥漿狀產物，則導入分離器進行固液分離，分離後之液體則導回第一階段，固體則利用濕式氧化法（Wet oxidation process）進行後續之殘渣處理，產製 CO<sub>2</sub>、甲烷（Methane）、甲酸（Formic acid）、甲醇（Methanol）等副產品。

經液體萃取器萃取剩餘之萃取物則併入殘留物（Residue）處理程序，而萃取所得之水解液（Hydrolyzate）則導入醱酵槽，將六碳糖與五碳糖轉換成 Fermentation beer（乙醇、微生物與水之混合物）與 CO<sub>2</sub>，前者先經分離回收微生物，再蒸餾取得乙醇，而殘留之

木質素、未分解之纖維素、半纖維素、灰分與其他有機物則經收集再利用。

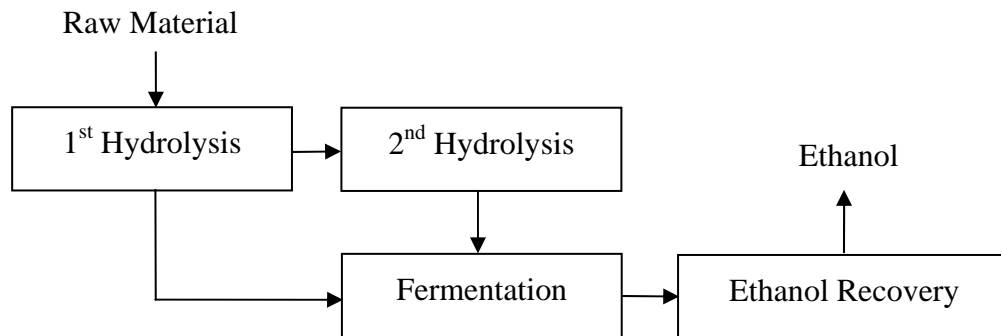


圖 3 稀酸水解製程 (Szengyel, 2000)

### 參考資料

Brink, D. L. 1993. Method of treating biomass material. U.S. Patent No. 5,221,357.

DOE. 2006a. U.S. Department of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy. Available at: [www.eere.energy.gov/biomass/dilute\\_acid.html](http://www.eere.energy.gov/biomass/dilute_acid.html). Accessed 10 April 2006.

Szengyel, Z. 2000. Ethanol from wood cellulose enzyme production., Lund University, Sweden: Lund.