

微生物生產的能源

蘇賢錫

國立臺灣師範大學物理系

前 言

1973 年的所謂能源危機，對世界各國發生莫大的影響。尤其是幾乎完全仰賴進口石油資源的我國，所受到的打擊極大，不僅產業界遭受其影響，而且家庭生活物資也受其波及，令人重新認識石油資源的重要性。雖然如此，不久之後，由於石油供需的緩和，乍看之下恢復平靜。然而，以石油為主的化石燃料極其有限，這事實毫無改變，因此，為了確保將來代替石油的能源，必須踏踏實實進行研究開發。本文簡單介紹一些技術。闡釋生物量透過微生物的作用來造成能源，以代替石油的過程。

生物量資源

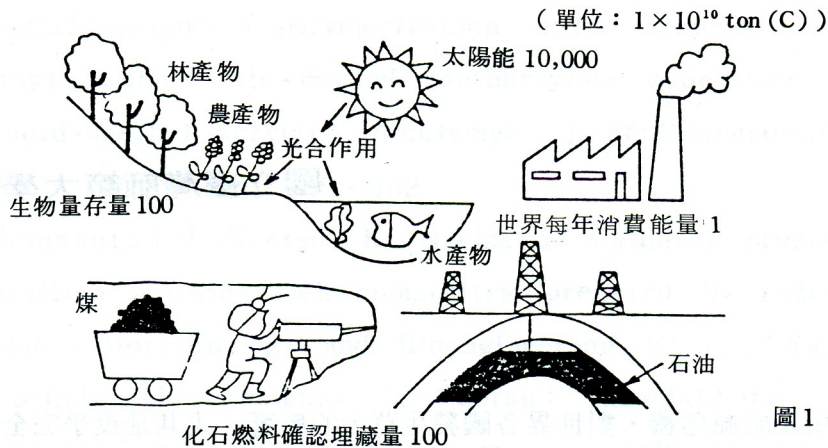
為了代替石油能源、太陽能、地熱、水力、風力、核能、海洋能等新技術正在開發中，而其中之一就是生物量能源。

具體而言，生物量（biomass）是指太陽能因光合作用而變成澱粉或纖維素等形態者（例如穀類、芋類、木材、海藻等），以及攝取這些植物體來生長的動物與微生物。

這種生物資源，地球上究竟有多少？有關資料如圖 1 所示。圖中數值的單位，一律換算成為碳 1×10^{10} 噸所具有的熱量。換言之，設太陽能的熱量為 10,000 單位，則相當於其 0.1% 的 10 單位透過光合作用而變換成為植物體，同時，地球上的生物量，其存量相當於 100 單位熱量，幾乎等於石油，煤等化石燃料埋藏量。

另一方面，世界每年消費能量是 1 單位，如果每年繼續維持這消費量，則 100 單位的化石燃料將於 100 年後耗費殆盡。

與其有限的化石燃料相較，生物量資源的每年生產量相當於 10 單位熱量，而且是用之不竭的所謂可復原的（renewable）資源，只要將每年透過光合作用來生產的植物體之 1/10 轉換成爲能量，即可應付全世界的消費能量。



石油或煤的發現以前，人類早已使用「燒柴」的方法來把生物量資源當燃料加以利用。生物量資源能量化的科技中，現在及將來最可能實現的酒精（乙醇）與甲烷燃料生產技術，簡單介紹如下。

酒精發酵

乙醇又稱「酒精」，自古以來人類將其當酒類來利用，但到近代，經過蒸餾的高濃度乙醇，因其優秀反應性，混合性及溶解性而普遍用爲有機化學工業原料或溶劑。然而，乙醇當燃料來用，這種用途最近普受各方面的矚目。

巴西早已擬定國家級計畫，以廣大國土栽培的甘蔗當原料來生產乙醇作爲汽車燃料，目前已經成爲世界最大產量的乙醇生產國，每年生產量大約 1000 萬 k1。其實，這種政策與技術，日本在中日戰爭時期就實行了。當時爲了彌補飛機用汽油的不足，日本政府在全國設立 13 家國營酒精工廠，以甘藷當主要原料，1944 年生產乙醇 17 萬 k1，悉數作爲汽油的代用燃料。後來由於能源危機，這種技術再度登場了。

乙醇發酵的原料包括甘蔗（榨液糖分大約 13 %），糖蜜（糖廠的副產物，糖分 50 ~ 60 %）等糖質原料，以及甘藷、樹薯、玉蜀黍等澱粉質原料（見表 1）。

表 1 生物量資源轉能法

原 料	轉 換 法	生 成 物
木材、稻草、稻殼	直接燃燒	熱
都市垃圾（紙、木片等）	乾餾、熱解	固態及氣態燃料
甘蔗、甜菜、糖蜜、果汁 芋類（甘藷、樹薯等） 穀類（米、麥、玉蜀黍等）	酒精發酵	酒 精 （乙 醇）
農產廢棄物（橘皮等） 水生植物（布袋草等） 海洋植物（海帶等） 糞尿（人畜） 廚房垃圾 污泥（下水道、工廠等） 有機廢水（食品工廠等）	甲烷發酵	甲 烷

乙醇生產過程是，首先將糖質原料的榨液（或原料溶液）送入發酵槽，再加入酵母菌就立即開始乙醇發酵（見圖 2）。

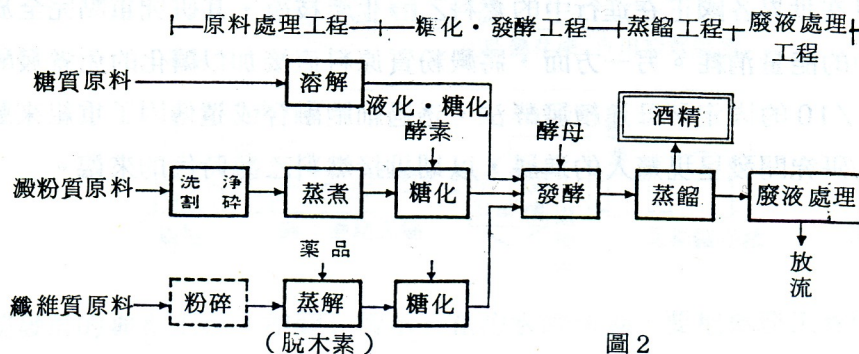


圖 2

如果採用澱粉質原料，則先作切碎、蒸煮等處理後，還要糖化工程，使澱粉變成葡萄糖。糖化時，要用酵母菌所生產的澱粉糖化酶（*amylase*）。然後，加上酵母菌來進行乙醇發酵。

此外，木材或稻草等纖維質原料的利用技術，目前正在研究開發中。

發酵後的液中乙醇濃度很低，只有 8～10 %。為了使其成為燃料，必須利用圖 3

所示的蒸餾裝置來濃縮或脫水成為含水乙醇（約 95 %）或無水酒精（99.5 %）。

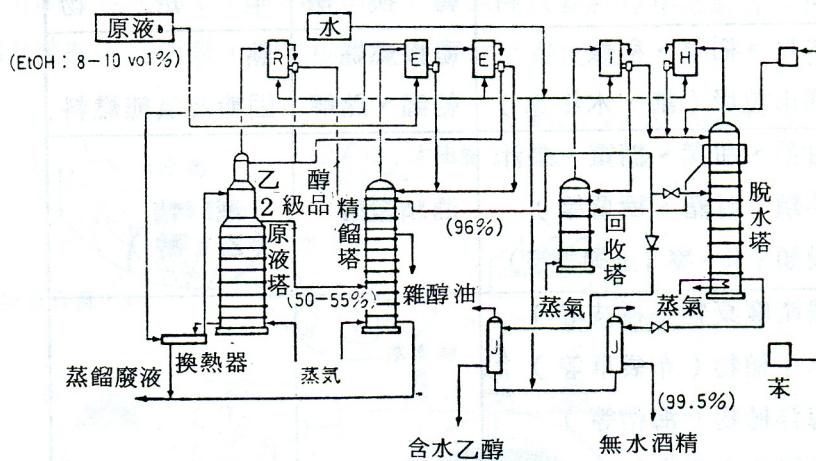


圖 3

要把乙醇當酒類或化學工業原料時，沒有太大問題，但若當石油的代替燃料來生產時，必須考慮一個重要事項，那就是生產過程的能量平衡（**energy balance**）問題。

乙醇生產工程，在原料的蒸煮與發酵液的蒸餾時，需要使用大量蒸氣，而且攪拌與唧筒的動力，亦需電力。目前這些能量幾乎全由石油燃料來提供。因此，如果生產工程所消耗的熱量超過乙醇生成物的熱量，則石油的代替燃料之生產，完全失去其意義。令人遺憾的是，就傳統的生產方式而言，這種能量平衡情況不甚令人滿意。

於是，現在世界各國正在進行中的燃料乙醇生產技術，其研究重點完全放在如何減少生產工程中的能量消耗。另一方面，將澱粉質原料直接加以糖化的免煮發酵法，將發酵時間縮短 1/10 的固定酵母連續發酵法，透過細胞融合或遺傳因子重組來製造優良菌種等，最近的研究開發呈現驚人的進展，以期迎接燃料乙醇時代的來臨。

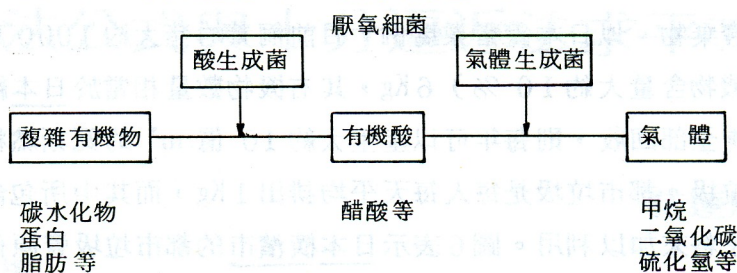
甲烷發酵

甲烷發酵是污濁河川或湖沼常見的自然淨化現象，水中的有機物因酸生成菌或甲烷生成菌等厭氧細菌（ anaerobic bacteria ）的作用而分解成為二氧化碳與甲烷（見圖 4）。

以人工方式產生甲烷發酵來淨化污濁物質，這就是污水處理場，英國倫敦在1900年左右就開始實行了。但在能源危機後，各國不再把甲烷發酵法當做普通的廢棄物處理法，而視作氣體燃料的生產法來積極進行研究開發了。

甲烷發酵法有幾個值得注目的優點。首先，其原料較乙醇發酵的原料為「髒」而且

「便宜」，亦即能夠廣泛利用廢棄物（見表 1）。其次，發酵後產生的氣體自動逸出液外，無需蒸餾工程，可以節省生產工程的消費能量。



例：葡萄糖		
$C_6H_{12}O_6$	$\longrightarrow 3CH_4 + 3CO_2$	
180g	67.2ℓ	67.2ℓ
1kg	373ℓ	373ℓ
	747ℓ	

圖 4

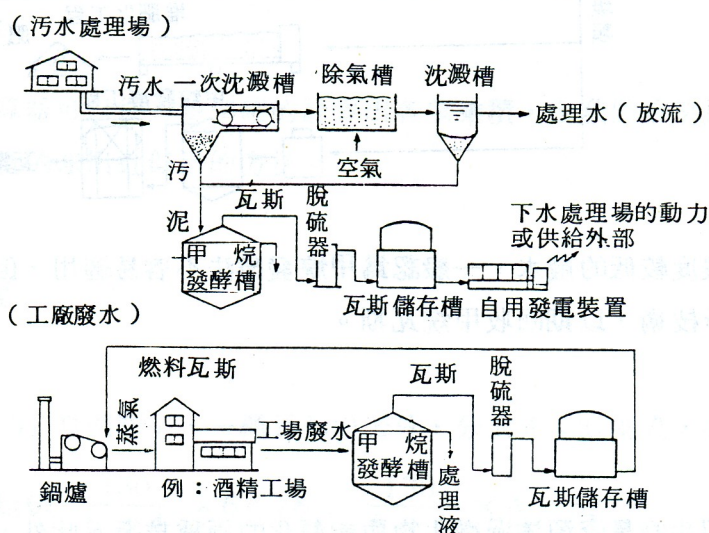


圖 5

甲烷發酵的典型工程，如圖 5 所示。在污水處理場，要把處理工程所發生的污泥蒐集起來，送入甲烷發酵槽，利用厭氧細菌把污泥中的有機物予以分解，而所發生的瓦斯要當自用發電裝置的燃料來使用。另一方面，工廠廢水的情形是，可溶性有機物較多，所以直接送入甲烷發酵槽，而所產生的瓦斯可以當鍋爐的燃料來使用。

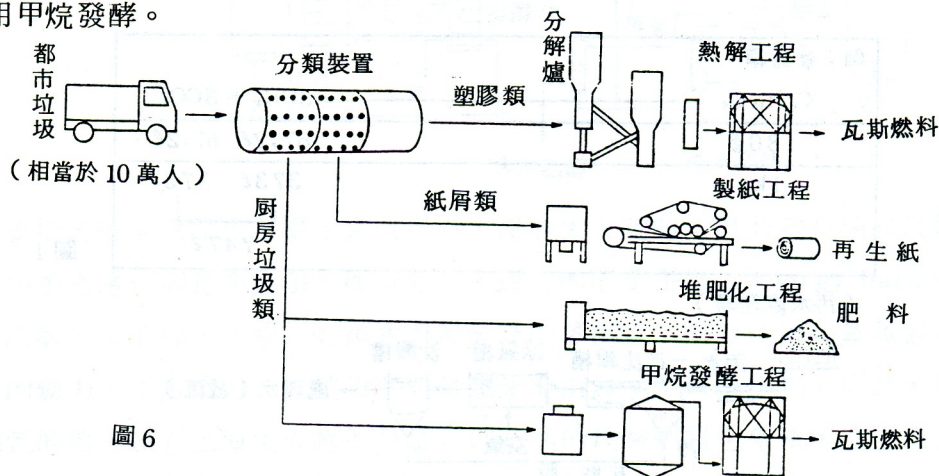
甲烷發酵有中溫發酵（ $37 \sim 38^\circ C$ ）與高溫發酵（ $53 \sim 54^\circ C$ ）二法，而高溫發酵法的處理效率較中溫發酵法高出三倍左右。甲烷發酵法通常適用於有機物濃度 1% 以上的較濃廢水，液中有機物 1 噸可以產生 $500 \sim 600 m^3$ 的瓦斯燃料（ CH_4 ：50~

60%，大約 5000 kcal/m^3)。

然則，除了污水與部分工廠廢水的處理以外，甲烷發酵將來可能適用於什麼分野呢？

首先是畜產廢棄物。以日本養豬業為例，目前飼養的豬大約 1000 萬頭。每頭豬每天排出糞尿（有機物含量大約 10 %）6 Kg，其有機物數量相當於日本總人口糞尿的三倍左右，如果能夠全部回收，則每年可以產生大約 10 億 m^3 的瓦斯燃料。

其次是都市垃圾。都市垃圾是每人每天平均排出 1 Kg，而其中所包含的廚房垃圾可以當甲烷發酵的原料來加以利用。圖 6 表示日本橫濱市的都市垃圾資源化工程概況，其中採用甲烷發酵。



至於有機物濃度較低的廢水，一般認為甲烷發酵法不容易適用，但最近各國針對這種廢水積極開發新技術，以期回收甲烷瓦斯。

後 記

以上簡單介紹生物量資源透過微生物而能源化的兩種技術。此外，還有纖維素資源的利用，經由光合菌的氫生產等生物科技，其前途充滿希望。

雖然如此，任何一種代用能源的生產方法（例如太陽能發電或地熱發電），其產量均不如現在的龐大石油消費量。

多方面開發新能源的同時，目前仍須節約能源。就現況而言，與其生產相當於現有石油資源的 10 %之代用能源，不如開發能夠節約 10 %的技術，其可能性反而較大。石油是整個人類的寶貴財產，希望大家儘量長期節約享用。

參考資料：「化學と教育」第 35 卷第 2 號（1987）