

Biomass 利用과 生物工學

康 順 善

濟州大學校 農科大學

1. 序 論

1970年「한개뿐인 地球村」에 대한 Rome Club의 “成長의 限界”란 研究報告書에서 現在와 같은 人口의 爆發的 增加와 經濟成長이 將來에도 계속된다면 地球의 有限한 資源과 環境이 限界를 넘어 破滅的인 結果가 초래 한다고 警告한 후 10년이 지나서 1980년 6월 國聯 人口活動基金(UNFPA)은 「世界人口의 現狀」이란 報告書를 發表했다. 그 內容에서 지적 했듯이 人口問題는 “南”(發展途上國)만이 問題가 아니라 “北”(先進工業國)에도 심각한 問題로 「未來의 衝擊」이라고 지적하고 있다.

現在 地球人口는 46億이며 今世紀末에는 61億으로 推計되고 있다. 더우기 北의 大量消費 生活, 南의 近代化 工業化의 進전은 都市人口의 爆發的 增加로 유도되어져 그 結果는 先進工業國은 人口의 3/4, 開發途上國은 人口의 1/2이 都市에 集中케 된다.

人口問題와 食糧問題는 表裏一體化한 것으로 世界의 穀物生産量은 1950年 7億 t, 1970年 12億 t, 1980年 14.5億 t으로 年平均 2,500萬 t으로 等差級數的으로 增加하는 반면에 世界人口는 1950年 25億, 1970年 36億으로 年率 1.9진 후의 等比級數로 增加하므로서 1985년에는 人口 48億에 이르는 것으로 推計하고 있다. 이 추세로 간다면 今後は 人口 增加率이 穀物增産率을 웃돌고 있어 世界의 食糧의 壓迫時代가 到來된다는 것을 豫告하고 있다.

國土가 狹小, 人口는 過多過密, 資源이 否足한 우리나라로서

- 1) 耕地의 高度利用으로 食糧自給率 向上
- 2) 單位耕地面積當 收穫率 向上
- 3) 遊休資源을 利用하는 Biomass 變換技術의 高度化등 同時에 解決하여야 할 問題들이 다.

2 亞熱帶農業研究

第一問題는 現在 食糧自給率의 低下를 上昇시키는 것으로 主食을 米穀이외의 雜穀類 生産意慾과 消費를 向上시킬 수 있는 農業政策과 施策의 實施가 必要하다.

第二問題는 遺傳子操作 같은 生物工學 技術을 有效이 利用하여 生産性이 높은 品種을 育成함은 물론 組織培養 技術을 確立하여 物質生産에 利用하는 方式이다. 1902年 獨植物學者 Cottlieb Haberlandt 가 植物에서 細胞를 분리하여 培養하려고 시도한 이래 많은 연구자들에 의하여 계속 진보시켜 오늘에 와서는 生化學, 遺傳學, 植物生理學, 生合成의 研究에 유력한 方法으로 이용되고 있다. 이 組織培養方法이 實用化의 努力은 生物工學의 尖端 技術로 의심치 않는다.

第三의 問題는 世界的인

人口增加에 따른 綜合的인 食糧資源(穀物需給, 蛋白質需給)의 需給不安의 解決策으로 Biomass를 原料로한 Biomass 變換技術로서

(1) Biomass 原料를 效率 좋은 分解로 單糖類(Glucose), 少糖類를 生産하여 直接 energy로 이용하는 것이다.

微生物工學技術을 利用한 單純蛋白質(Single cell protein) 生産과 飼料化, 大豆, 油糧 粒子蛋白質, 小麥 및 他雜穀蛋白質利用, 葉蛋白質의 抽出과 食用化, 海洋高蛋白質源의 養殖과 魚肉濃縮物 開發, 養魚飼料開發, 淡水蛋白藻類(Spilina) 등, Biomass源에서 蛋白質을 開發 發展시킬 필요가 있다.

(2) 高 Energy 成分抽出, Terpen類, 油脂類, Steroid, Lignin 等 確保

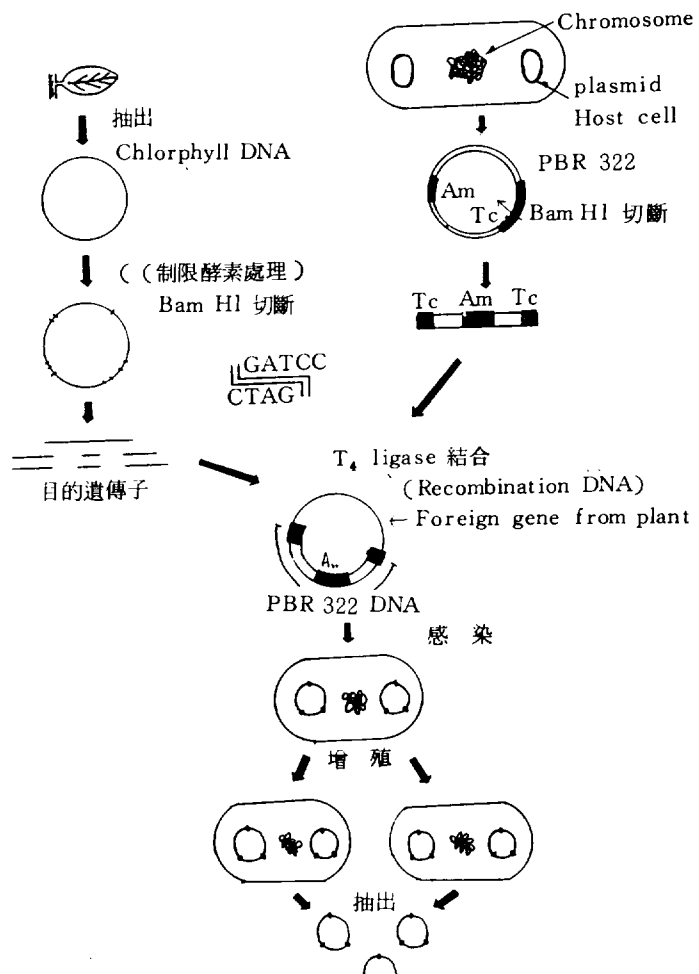


圖 1. 植物 葉綠體 DNA Cloning

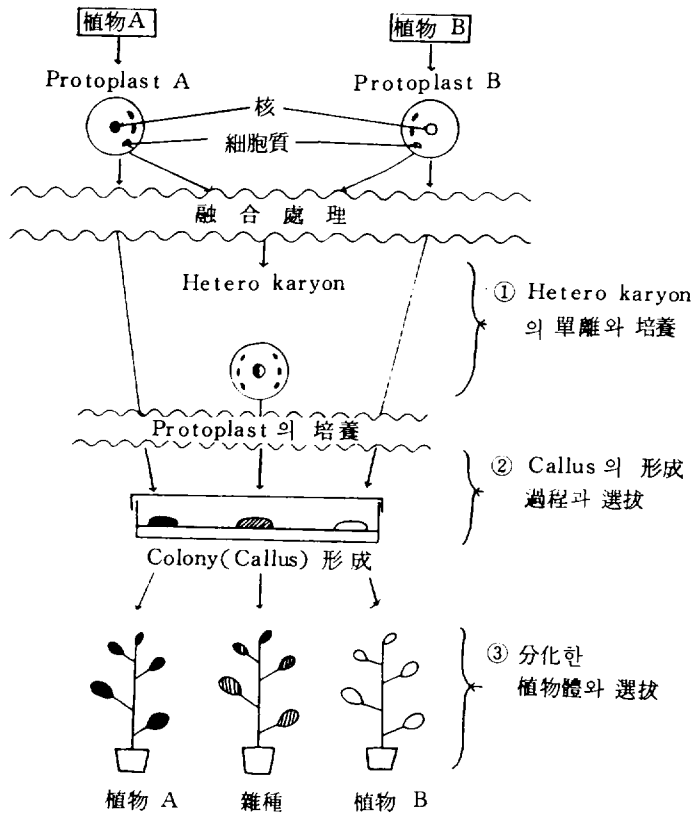


圖 2. 組織培養 體系

(3) 高品位燃料確保, 酢酸, Methanol, Furfural, Acetone, Butanol, Methane, 水素 등을 生産

(4) 人類生存을 위한 基礎化學物質 生産을 위한 原料生産이다.

人類生存의 第二의 問題는 化石資源 困窮이다. 化石資源 以外의 가능한 Energy 는 水力, 原子力, 核融合 Energy 로 그 一部는 水力發電, 原子力發電技術로 實用化되고 있다. 또한 實用實驗段階로서 風力, 波力, 潮汐, 海洋溫度差, 地熱 등을 利用한 Energy 實用化 開發이 實시되고 있으며 相當한 進전이 이룩되고 있다. (表 1, Energy 供給豫測 參照)

太陽 Energy 利用은 植物

에 의한 光合成이며 이를 Biomass 變換技術로 生態系 循環을 원활히 할 필요가 있다.

表 1. Energy 供給豫測(石炭換算: 億 t)

	1980年	2000年	2020年	40年間增加分
石油	50	61	38	△ 12
天然 Gas	20	54	41	21
石炭	28	59	92	64
非在來石油	-	2	14	14
原子力	3	30	108	105
水力	5	12	19	14
自然再生	9	19	34	25
合計	115	237	345	230

4 亞熱帶農業研究

이는 生物工學方法으로 Biomass의 價値化를 3段階로 區分시키는 것이다.

一段階價値化; 農業廢棄物 및 未利用資源을 燃料로 이용키 위하여 熱Energy로 變換시키는 것이다. 多精類를 含有하는 Xylane, Cellulose, Hemicellulose, Holocellulose를 Energy로 價値化이다.

二段階價値化; 第一段階에서 熱Energy로 이용된 다음의 殘査(灰)를 肥料로 農地에 還元시킴으로서 有機農業의 確立이다.

三段階價値化; 一段階의 農業廢棄物 未利用資源을 加工原料로의 轉換으로 高品位價値化이다. 이같은 人類生存에 重要한 Biomass를 段階的으로 價値化 시키는데 필수적인 Biotechnology 展開, 問題點을 서술코져 한다.

2. Biomass와 Biotechnology 接點

Biomass는 太陽Energy를 이용하여 이루어진 光合成의 結果 生成된 植物體를 原料로한 生物量을 뜻한다.

Biotechnology는 生物作用을 이용하는 技術體系로서 物質生産에 대한 直接的 技術은 물론 尖端技術인 貴傳操作에 의한 育種技術도 포함된다.

原料로서의 Biomass는

① 農產系資源; 耕, 草地에서 취득 가능한 Biomass量(野殘査, 農產廢棄物, 園藝加工廢棄物, 農產加工廢棄物, 醱酵食品棄物)

② 熱帶性植物

③ Energy 植物

④ 林產系資源(未利用樹種, 間伐林, 木材工場殘査分, 林產物)

⑤ 畜產廢棄物 및 人糞尿, 廢水등이 있다. 生物有機體乾物量으로 180×10^{10} ton, Biomass量으로 100×10^{10} ton으로 Energy 소비량의 100 배에 해당된 巨大한 量이다.(表 2, Biomass資源量 參照)

表 2. Biomass 資源量

生物有機體乾物量	180×10^{10} ton
換算炭素量	80×10^{10} ton C, D. W/ 2.2
Biomass 量	100×10^{10} ton (1)
Energy 消費	1×10^{10} ton ($\frac{1}{100}$)
食糧消費	0.05×10^{10} ton ($\frac{1}{2000}$)
石油推定매 장량	20×10^{10} ton (29×10^{10} kcal)
石炭매 장량	50×10^{10} ton "

이러한 Biomass 原料는 일반적으로 工業原料로서 불리한 점이 많다. 그 이유로 生産地 分散으로 原料 收集費用이 많고 加溫을 위한 Energy 가 多量 消費되어 最終用途의 燃料로 이용하는데는 불리하다. 이 뿐만 아니라 Biomass 生産量은 土地面積에 制限이 있고 生産季節의 變動 Biomass 종류가 多様하므로써 그 適用技術도 多様하여져 하나의 技術方法을 適用하는데 큰 問題點이 있다. 이러한 問題에는 근본적으로 해결할 수 없는 문제도 있지만 새로운 技術開發에 따라 해결이 기대되는 것도 있다.

Biomass 라는 植物體를 原料로 하는것은 Biotechnology 應用이 문제해결에 接近할 수가 있다. 이제 그 接點을 圖4에서와 같이 Biomass 生産 Biomass 利用을 위한 原料處理 및 加工工程의 3段階로 Biotechnology 展開가 기대된다.

原料로서 Biomass 는 農林業의 産物로 이용하기 쉬운 澱粉質은 人間의 食糧과 直接競合한다. Biomass 生産에 적합한 지역에서는 지금까지 食糧生産을 土地에 의존하여 왔으나, Biomass 의 有利한 確保라는 點에서 土地의 限界를 넘은 水界를 이용한 植物體를 生産 (곤藻類, 海草等) 하여 이용되어야 한다.

食糧으로 이용된 素材를 出發原料로 생각했을 때 原料費가 問題다. 특히 energy 源으로 alcohol 生産을 시도했을 때 原料費의 부담은 크다. 반면에 木材나 농작물 줄기(주성분 Cellulose)를 이용할 때는(原料費는 절감되지만 alcohol 生産費는) 高價이다. 各 素材를 原料로한 alcohol 生産費와 原料費의 比率은 圖5에서 나타내고 있다.

이상의 問題를 해결하기 위하여 問題를 導出하여 그 接近方法을 생각해 보면

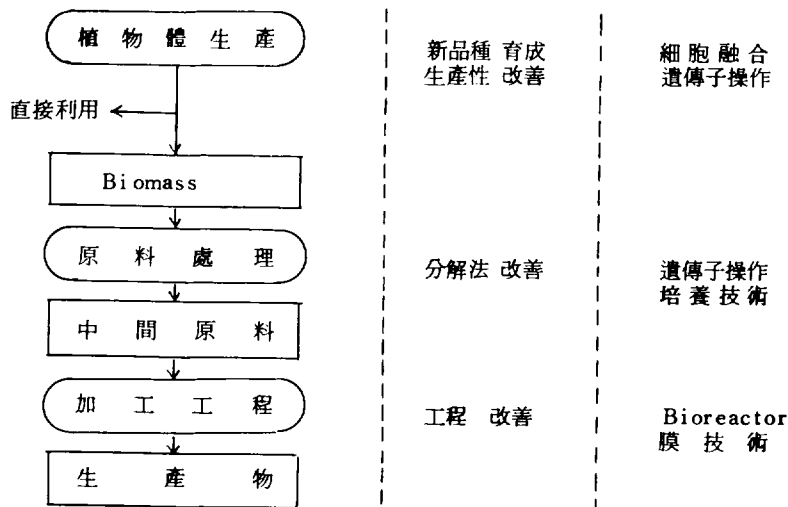


圖 4. Biomass 와 Biotechnology

問題 1, 現在の土地生産性 限界
接近; 海水系 砂漠 등의 農業不適
地에서의 Biomass 生産 可能化

問題 2, 原料費가 비교적 높은
Biomass (澱粉質, 糖質)

接近; 原料의 生産性を 向上시킬
수 있는 品種改良

問題 3, 製造費가 높은 Biomass
(Cellulose)

接近 3, Cellulose 分解法을 改
善하는 製造工程 改良

問題 4, Energy 로 이용이 不利
한 경우

接近, alcohol 이외의 物質生産
으로 轉換

그 例로 加水分解에 의한 酵素法
(圖 3. Cellulose 加水分解參照) 이용
은 Cellulose 를 가수분해하는데 en-
ergy 소모없이 常溫에서 反應시킴
으로서 lignin 이 있는 原料에 대해 分解率 70-90 %로 應用價値가 높다.

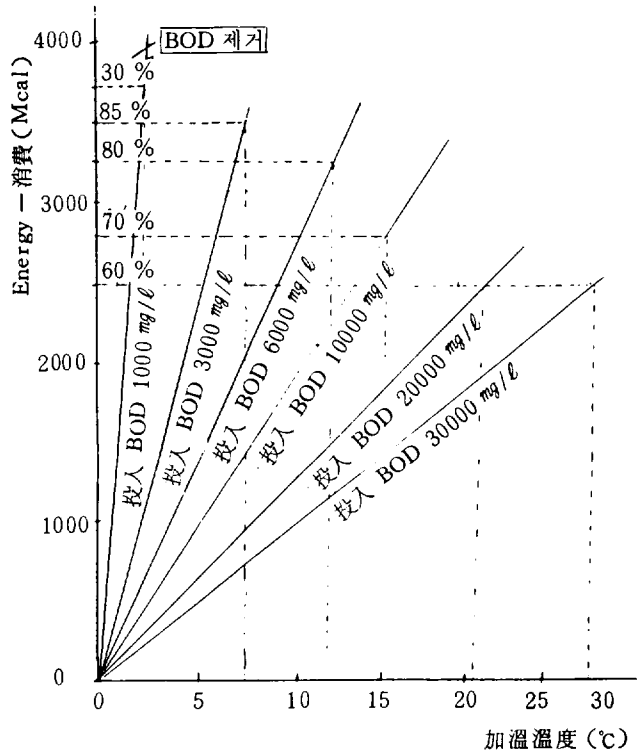


圖 5. 加温温度와 Energy 自給性

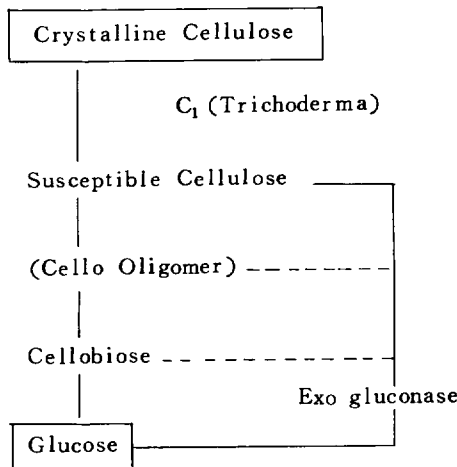


圖 3. Cellulose 酵素的 加水分解 段階

木材는 lignin이 20-30% 정도 함유되고 있어 어느정도 脫 lignin 하든지 微粉碎로 하여 酵素와 Cellulose 接觸面積을 增加할 필요가 있다. 또한 強力한 分解力을 가진 加水分解酵素 Cellulase 를 생산하는 微生物의 檢索, Screening 問題, Cellulase 生産 育種等에 기대할만 하다.

副産物인 Glucose, Xylose, lignin 等を 原料로한 中間製品 生産을 유도해야 될 것이다.

3. Biomass 와 Energy

선진공업국에서는 石油, 石炭등의 Hard Energy 에 代替할 Soft Energy 로 Biomass (量的生物資源)를 중요시 하고 있다. Bioenergy 에 대한 問題性이 없는것도 아니다. 그러나 非石油生産國인 우리로서는 Hard 와 Soft 의 長點을 취하여 Energy 需要增大에 따른 長期的인 安全確保라는 차원에서 alcohol 발효폐액에서의 methane Gas 燃料 回收, Energy 절약형 alcohol 分 抽出 醱酵法 및 膜分離技術등 Hard分野의 技術을 Soft分野에 應用하려는 研究는 世界的으로 주목되고 있다.

Biomass 方法으로 얻어진 糖을 醱酵시키면 10%의 alcohol이 함유된 水溶液이 된다.

燃料用 alcohol 를 분리하는데 現在는 alcohol 수용액을 加熱하여 alcohol 를 증발시켜 분리하는 蒸溜法을 채용하고 있다. 이러한 증류법은 大量의 熱Energy 가 필요하므로 Bio-mass 에서의 燃料 alcohol 生産에는 최대의 장애가 된다. 生産費가 높을뿐만 아니라, alcohol 燃料生産에 필요한 Energy 投入量과 製品으로서의 alcohol 이 가진 熱Energy 收支가 불균형이라는 問題에서 alcohol 농도를 높이는 醱酵微生物을 開發하여 蒸溜를 간단히 하는 方法이 고려될 수 있다. 그 例로 住友重機械 Enpilotech 에서는 alcohol 工場에 高速 methane 발효법으로 處理하여 methane gas 를 發生시켜서 alcohol 증류등의 工場Energy 로 자급하면 投入Energy 를 回收할 수 있는 Energy 절약형 方法으로 Energy 收支를 개선할 수 있다.

Biogas 生成은 Biomass 가 自然狀態의 嫌氣的 條件下에서 methane gas 를 生成하는 것으로 天然 gas 의 主成分과 같아 收集하여 使用하면 되는 것이다. 이러한 例는 農村의 畜産 廢棄物을 콘크리트통 속에 充填시켜 발효시킴으로서 生成된 methane gas 를 소규모적이거나 燃料로 이용되고 있다.

醱酵原理는 傳統의 技術과 같으나, 新技術開發(탱크내 기계적 교반법, 使用菌株의 선택과 作用機作 研究等)과 實用化로 대규모 工場의 廢液도 充分히 處理될 수 있도록 plant 單位 실험이 시도되어야 할 것이다. 또한 오염도가 높은 食品工場의 폐액을 처리할 수 있는 公害防止機器로 methane 발효장치 개발, alcohol (以下 alc.) 醱酵速度를 높이고 분리에너지

가 적게 드는 抽出醱酵法 開發과 alc. 生産微生物은 alc. 를 싫어하므로 저농도의 良好한 환경중에서 활발히 活動할 수 있도록 물에 難容이고 alc. 溶解性인 특수용매를 개발하여 발효막내에 出入시키므로써 물과 alc. 를 分離시키는데 alc. 醱酵法의 開發은 alc. 분리에서 따르는 無 Energy 化가 可能한 것이다.

海水 淡水化 및 超純水製造장치에 이용하는 膜에 의한 투과기술을 應用하여 적은 Energy 로 물과 alc. 를 分離하므로써 높은 Energy 소비에 의한 分溜를 개량할 수 있다.

이 방법은 特殊한 高分子膜을 투과체로 하여 물과 alc. 혼합액에 壓力을 가하여 투과시킴으로써 分子量이 적은 水分子로만 추출되고 alcohol 은 回收된다.

이같은 Hard 技術 開發로 이룩된 성과를 Biomass 에 이용할 수 있을 때 自給 Energy 供給을 높임으로서 Energy 節約이 이루어지고 安定된 Energy 確保가 可能해지는 것이다.

4. Biomass 에 의한 燃料生産方式

Biomass 를 이용한 燃料生産은 太陽Energy 를 生物機能에 이용하기 쉬운 Energy 型으로 變換시키는 Process 이다. 太陽 Energy 를 효율 좋게 固定하는 수목, 草 藻類 등에 의해 有機物을 생산하여 原料로 하든가 農林畜産廢棄物 및 都市 廢棄物을 原料로 하여 物理的 化學的 生化學的 方法으로 燃料을 生産한다. 機械的으로는 乾燥, 割碎 固形化한 燃料로 하는 것은 木質 Biomass 이지만 使用하기 어려운 燃料이다. 水分이 많고 腐蝕性 및 有害한 gas 發生이 쉬운 都市廢棄物에 應用은 부적당하다.

熱分解(pyrolysis)는 制限된 酸素下에서 이용되는 方法이며, 化學적환원은 有機物을 高溫 加壓으로 油와 gas 가 발생한다. gas 중에 水素, 一酸化炭素가 있어 methanol 을 생성시킬 수 있다. Purox 法, Torrox 法이 있다. model plant 設計와 試作品이 이루어지고 있지만 大量 實用化에는 이르지 않고 있다.

圖 7 은 都市廢棄物處理 例를 나타내고 있다. 木材와 같은 Biomass 의 熱分解에서는 $H_2 : CO = 1:3$ 비로 생성되며 이외에 二酸化炭素, 水蒸氣, 炭化水素를 가진 $2,380 \text{ Kcal} / m^3$ 정도의 gas 가 생성된다. 이를 methanol 로 전환시키면 木材 2.3 t 에서 1 t 의 methanol 이 생성되며 水素 0.12 t 첨가에선 0.9 t 木材에서 1 t 의 methanol 이 回收된다. Energy 變換 効率は 34-38 % 이다. 木材의 熱分解로 直接液體연료를 얻는 方法으로 Occidental petroleum 法, Pittsburgh Energy Research Center 의 水素添加法이 있다.

醱酵法에는 methane 醱酵法, alcohol 醱酵法, acetone, butanol 醱酵法이 있다.

Methane 醱酵法은 多種의 微生物 복합체로 水分이 많은 廢棄物 특히 B.O.D. 가 높은 廢液의 一段階處理에 적합하다. Lignin 이외의 대부분의 Biomass 성분은 methane 으로

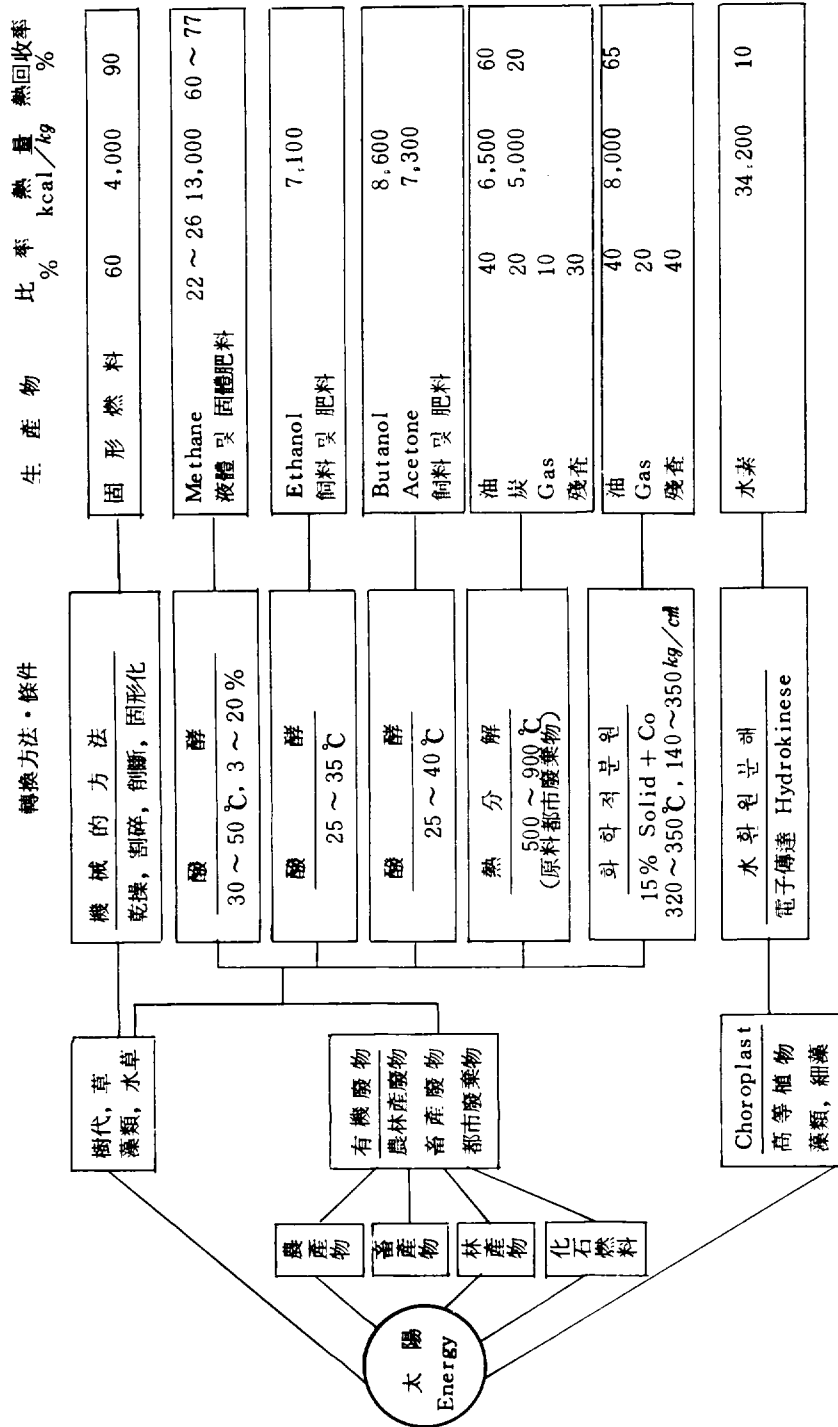


圖 6. Biomass 에서 燃料 生產 方式

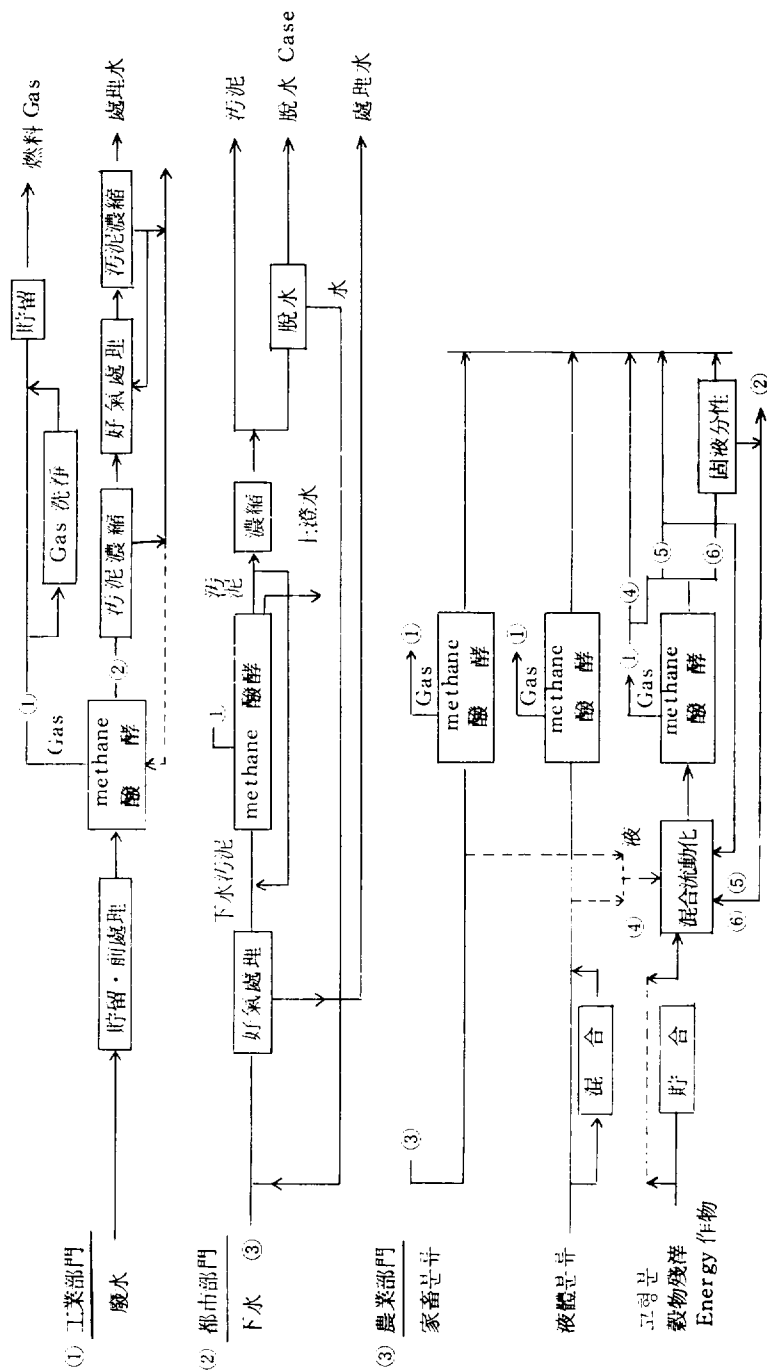


圖 7. 各種廢棄物 Biomass の methane 醱酵 system

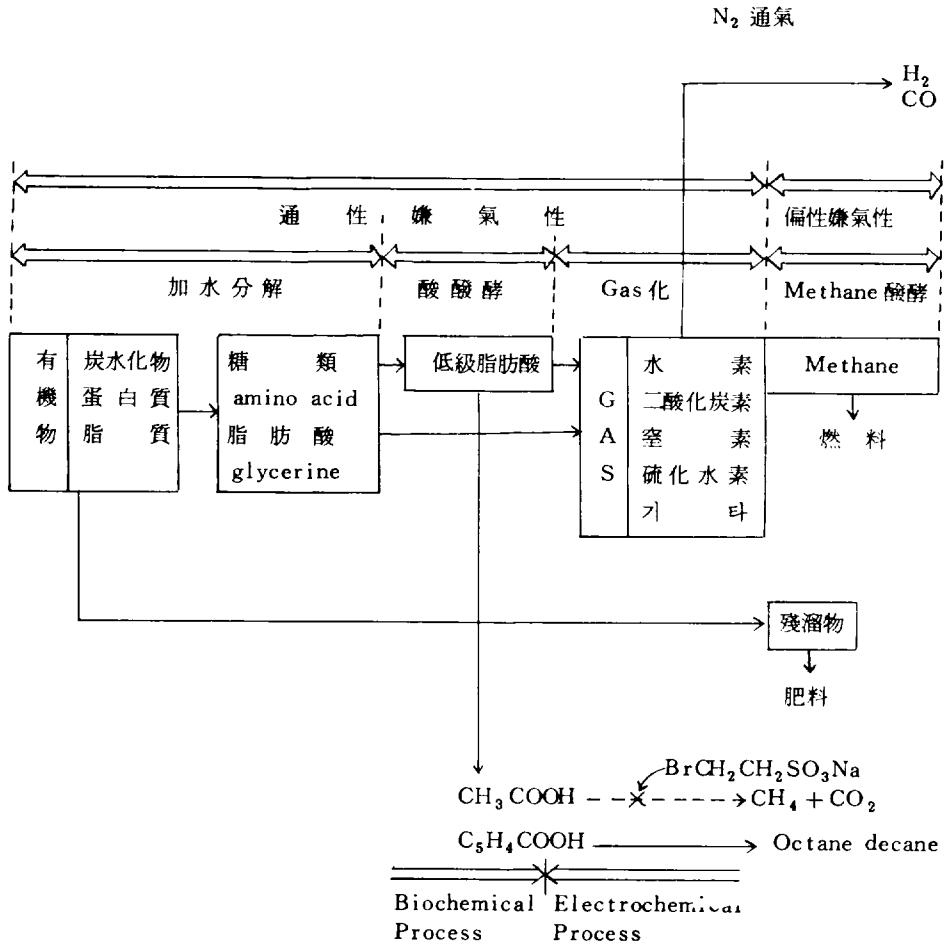


圖8. methane 醱酵過程

變換시켜 生成되는 gas 를 回收하여 精製하는것이 용이하므로 유리하다. 그러나 嫌氣醱酵과정에서 醱酵速度가 늘이고, 長時間이 소요되 큰 장치를 필요로 하므로 Process 管理가 용이치 않다. 嫌氣醱酵에서 발효적용 범위를 유지하는데 保溫에 따른 加溫 Energy 가 소비된다. 이러한 短點을 改善하기 위해서 有機物分解, 酸生成과정(最適 PH 4.5), gas 化과정 (PH 6.0 -6.5) 3 段階로 區分하여 工程管理를 하는것이 有利하다.

이 方法은 活性汚泥, 畜産廢棄物, 都市廢棄物 處理에 실용화되고 있다. 아직도 生成 gas 를 적극적으로 燃料로 이용되고 있지는 않다. 食料 飼料 肥料 및 其他 有用한 物質回收를 綜合化 體系化한 복합이용 System이 美國에서는 開發되어지고 있다. 그 한 例로 海藻利用복

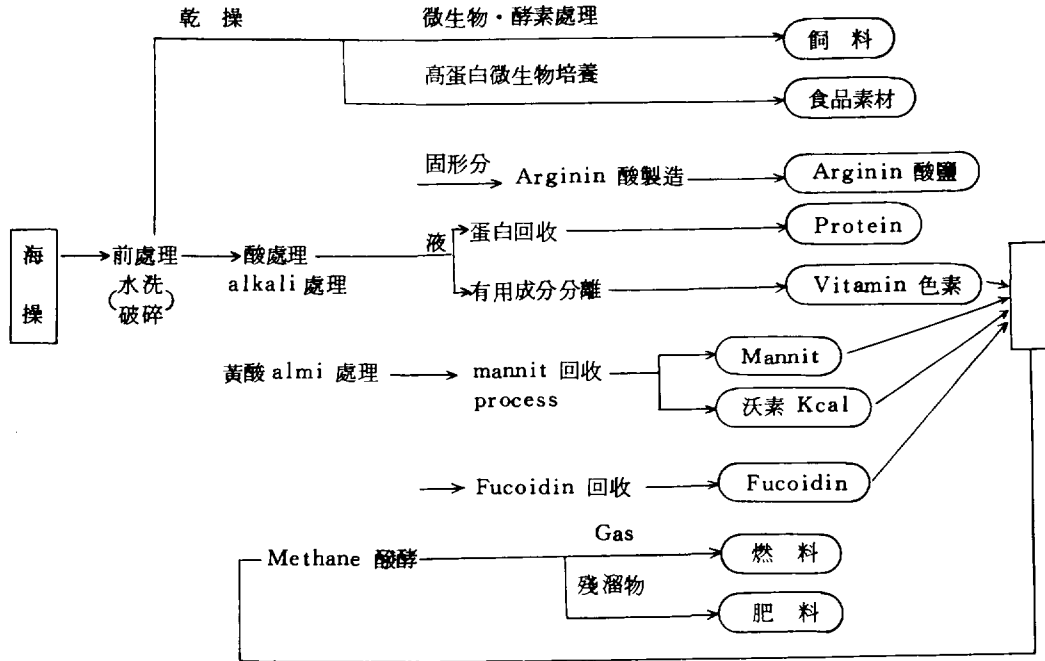


圖 9. 海藻의 複合利用 System

합 System 계획도는 圖 9이다. 갈래곰보를 例를 들면 平均値로서 糖質 50%, 蛋白質 8%, 지질 1%, 섬유 6%, 灰分 20%, 水分 10%이다. 酸處理로서 arginin 酸이 생산되고 이 처리 과정에서 食品素材가 되는 蛋白質, Vitamin, 色素가 回收된다. alkali 處理 黃酸 almi 처리로 mannit, 沃度가리 및 Fucoidin 회수 된다.

Biomass인 藻類는 세척건조하여 직접 이용할 수 있는 材料가 되지만 微生物 酵素 分解法으로 高蛋白質 微生物을 培養하여 S.C.P로 이용하는 것도 유리하다.

이 Process에서 殘査는 methane 醱酵法을 이용하므로서 methan을 회수하여 處理加工用 燃料로 이용하고 醱酵후 殘査는 海草生産用 肥料로 使用할 수 있다. 그 이외에 海藻는 acrylic acid(生長抑制), laminarin(血壓降下) 등의 生理活性物質과 Phloroglucin, tannin, bromophenol, terpenoid, sesquiterpene 등 有用物質도 함유하고 있다. Giant Gelp를 이용한 gas 생산방법도 개발되고 있다. 그 예로 10萬 acre 海中養殖施設로 濕重 3,400t/년 gelp를 채취하여 6億 m^3 (45萬 t) methanegas와 飼料 85萬 t, 魚類 49萬 t을 생산하고 있다. gas 熱量은 4,500-6,000 kcal/ m^3 로 그대로 이용도 되지만, 二酸化炭素, 硫化水

素를 제거, 加壓하여 天然 gas 로 이용한다. 1ton의 有機物에서 methane 250-370 m³ (2.25 ~ 3.25 × 10⁶ kcal)가 생성된다(原料에서 Energy 回收率은 60-80%) 殘査는 B.O.D.가 높아 好氣的 處理로서 肥料 및 飼料로 이용된다.

Ethanol, Aceton, Butanol, 발효는 당질 및 澱粉質原料에 확립된 技術로 대개는 大規模 生産이 이루어져 왔다.

木材酸糖化液, 硫酸 pulp液 이용에 대한 實用化技術은 單一原料에서 순수미생물계를 이용한 것이나 多成分系 難分解 Biomass 原料에 대한 技術은 아직 확립되어 있지 않다.

太陽Energy 를 直接 이용하여 植物 藻類의 Chloroplast에서 光合成明 反應으로 H₂O의 光分解로 水素 및 電氣 Energy 를 導出し키는 方法이 開發되고 있다.

Chloroplast 중의 光學系II (PSII), 光學系I (PSI)의 電子傳達系에 H₂O의 電子酸化還元電位를 酸素-水素(+0.6v)에서 -0.6v(ferredoxin, methyl pyrogen 환원)까지 電位差를 가져갈 수가 있다. 이때의 電子-脫水素系에 光照射만으로 水素가 발생한다(圖 10, 太陽Energy 에 의한 水素發生 參照)이 系를 固定化시켜 연속 사용하는 技術, 燃料電池化技術 개발이 이루어지고 있다. 또한 海洋性藻類에 의한 水素發生法이 유망시 되고 있다.

methane 醱酵에 의한 有機物의 生化學的 變換과정에서 gas 發生을 2段階로 區分하여 보면, (圖 8, methane 醱酵 process 參照)

第一段階

加水分解; 복잡한 有機系固形物, 廢液(炭水化物, 蛋白質, 脂質로 구성)을 단순한 有機物로 低分子化(amino acids, 脂肪酸, glycerine)되어 세균의 體內에 섭취되는 단계

酸醱酵; 酸生成菌 作用으로 低級脂肪酸, 水素, 有機酸, 질소, 黃化水素, CO₂.C₄類 alcohol 類에 분해되는 과정

第二段階

methane 醱酵; methane 生成菌(表 3, methane 菌 分類)에 의해 methane, CO₂ 最終 生産物이 發生한다.

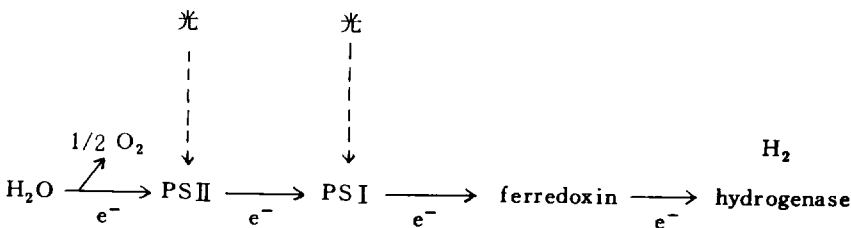


圖 10. 太陽 Energy 에 의한 水素發生

表 3. 最近的 METHAN 菌의 分類

ORDER	FAMILY	GENUS	SPECIES
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	[M. formicicum M. bryanlii M. thermoautotrophicum]
		Methanobrevibacter	[M. ruminantium M. arboriphilus M. smithii]
	Methanococcales	Methanococcaceae	[M. rannielii M. roltae]
		Methanomicrobiaceae	[M. mobile M. cariadi M. mavisnigri]
Methanomicrobiales	Methanospirillum	Methanospirillum	M. hungatei
	Methanosarcinaceae	[Methanosarcina Methanotherix]	[M. barkeri M. soehngenii]
			0.22
			0.28
			0.34
			0.36
			0.46
			0.51
			0.55
			0.65

Range of S_{AB} values for each taxonomic level

이 상의 과정을 총괄해서 methane 醱酵라 한다. 지금은 methane 만 回收 利用하고 있지 만 各種制御로 中間段階 生産物이 回收 利用 可能性이 있다. 反應工學的으로 各 Subsystem 을 互히 效率 좋게 結合시켜 操業하는게 중요하다. 水素는 methane 生成 前段階로 Energy 回收率은 理論的으로 좋으며 醱酵時間도 단축될 수 있으며 methane 細菌이 酸素에 弱한 厭 성형기성인데 비해 水素發生菌은 好성형기성으로 취급이 용이하다. 工業原料로도 用途가 높 다. 아직도 N₂ gas 통기에 의한 水素回收가 시도되고 있다. 실정이나 효율 좋은 方法이 개 발되어져야겠다.

低級脂肪酸 回收는 Bromethane sulfonate 같은 조해제를 methane 발효계에 첨가 시 킴으로서 gas 발생을 정지시켜 酢酸, Propion 酸 酪酸, Valerianic 酸이 축적된다. 이는 발 효원료, 공업원료로 活用할 수 있고, 電氣化學的 환원으로 Octane, Decane 등 炭化水素로 전환할 수 있다.

methane 醱酵는 다양한 原料에 多種의 微生物이 關여하는 복잡한 反應系로서 各微生物에 대한 反應機作이 지금도 不不明하여 醱酵系를 操業할 수 있는 方法이 確立되고 있지 않다. 그래서 關聯된 微生物을 분리 固定하여 대사반응, 효소작용기작 解明으로 代謝制御醱酵技術 로 有用物質生産이 可能해질 것이다.

또한 methane 발효는 原料의 多樣性 集荷 저장 수송문제를 고려하여 地域的으로 利用할 수 있는 간단한 Biogas system을 개발할 필요가 있다.

California 州에서 이용되는 Landfill은 흥미있는 방법으로 都市廢棄物을 땅에 매몰시 켜 발생하는 Biogas 를 회수, 유효히 이용하는 것이다.

圖 10 과 같이 40-100 feet 깊이 로 웅덩이를 파서 주위에 粘 土를 바르고 廢棄物을 投入하 여 間間이 土層과 微生物을 積 중하여 파이프를 삽입 한 다 음 그 管을 통해 Biogas 를 회수하는 것이다.

Biogas 의 組成은 methane 45%, CO₂ 35%, 질소 18% O₂ 2%였었다. 이 方法은 廢 棄物處理와 Biogas 회수 이용 이라는 측면에서 매우 간단 한 매몰식 乾式 system이다.

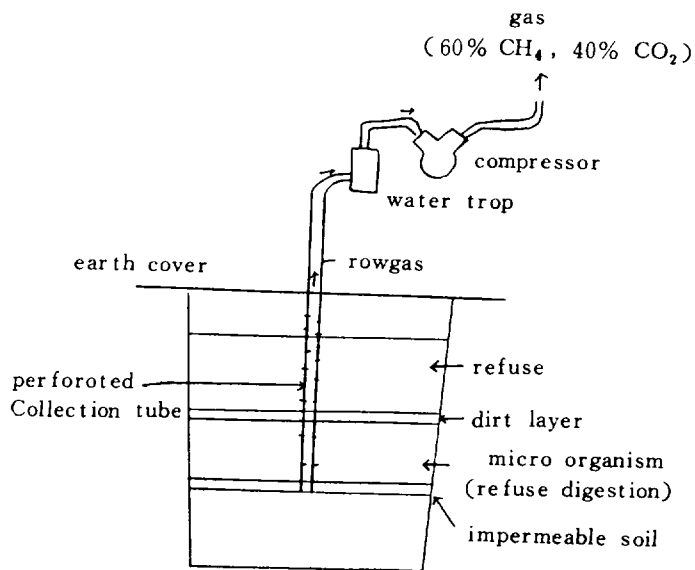


圖 11. Landfill 模式圖

5. 廢棄物 Biomass 와 methane 醱酵 Process 구성

廢棄物 Biomass 의 methane 발효는 一般的으로 嫌氣性細菌이 作用하여 有機物의 低分子化反應을 촉진하며 때로는 嫌氣性消化와 同意로 사용되는 경우가 많다. 이것은 廢棄物 Biomass 특징인 有機物組成의 다양성으로 관련미생물이 순차적인 발효반응 經過없이는 最終生産物 methane 化에 이를 수 없다. 곧 複합발효 system이다. 그래서 各種菌間에 活性균형을 維持하는 것이 methane 발효에서 운전상의 基本的인 操作要件이다.

methane 발효 process 는 廢棄物 處理와 Energy 회수를 共用하는 경우가 많다.

廢棄物 處理 目的上 methane 醱酵의 流出液은 固液分離를 거쳐 淸澄化된 液을 外部로 유출하는데 汚濁物質 排出基準值 이하에서 방류하여야 한다. 실제로 폐기물처리 methane 발효는 B.O.D. 농도, C.O.D. 농도가 放流基準를 상회하므로 好氣性 生物處理 工程으로 酸化處理해야 하며, 醱酵液에서 分離된 醱酵菌體 및 醱酵汚濁는 脫水 또는 汚濁處理工程에 따라 處分한다. 各種 廢기물의 methane 발효와 발효잔사의 처리공정을 포함한 基本的인 process 구성은 圖 11 에서와 같다. methane 醱酵에 의한 Energy 회수율에 큰 장애가 되는것은 醱酵殘渣處理의 良否는 Energy 회수시설로서 methane 醱酵 Process 의 立地조건, 廢기물 Biomass 의 종류선택에 직접 影響을 준다.

methane 醱酵 system이 구체적 例로서 産業廢水에 적용되는 경우 醱酵處理 flow는 圖 12 와 같다.

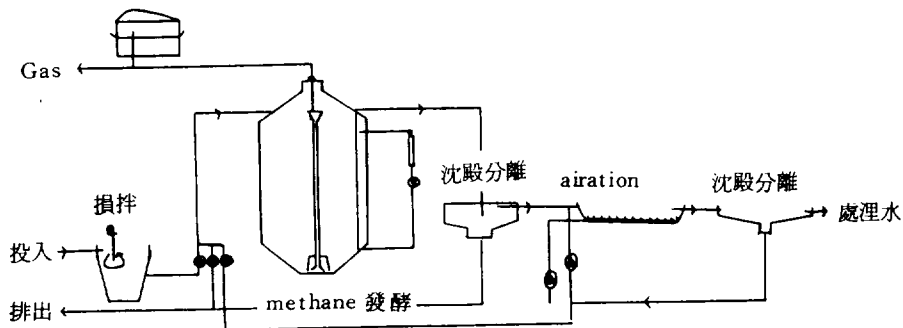


圖 12. 工業廢水의 methane 醱酵 process

6. Methane 醱酵의 熱收支

복합醱酵系로서 methane 醱酵의 有機物 分解速度는 온도 영향이 크다. 分解速度를 높여 발효기의 효율을 높이는 데는 발효기內를 加溫하는 方法이 이용된다.

온도조건으로 中溫醱酵法은 $25^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ 高溫발효법은 $45^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}$ 를 유지하는 것이 일반적이다. 이같은 加溫은 Energy 회수면에서 마이너스 要因이 된다. 이러한 加溫熱量은 醱酵로 회수되는 methane gas로 보충하지 않으면 Energy 化 process로 成立되지 않는다.

폐기물 Biomass의 methane 化 Process에 관해서는 B.O.D. 負荷 $2\text{ kg}/\text{m}^3$ 발효조용적, 24時間 methane 醱酵한다고 가정했을 때 발효조용량 $1,000\text{ m}^3$, 발효조용적 750 m^3 熱關流率 $0.75\text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}$, 投入廢棄物溫度(外氣로 損失 20%로 산정했을 때 加溫溫度와 그에 상당한 消費 Energy 量 및 投入廢棄物의 B.O.D. 농도를 척도로한 加溫溫度와 Energy 自給성을 圖 13에서 알 수 있다.

이 계산에서 投入 B.O.D. 농도에 따라 B.O.D. 分解率을 단계적으로 변화시켜 가온 한계 온도를 表示했다. 이는 廢棄物 Biomass의 醱酵分解의 難易性에 따라 定해진다. B.O.D. 농도가 $2 \times 10^3\text{ mg}/\ell$ 이상의 廢棄物은 methane 醱酵處理로서 分해율 60%이다. B.O.D. $1 \times 10^3\text{ mg}/\ell$ 의 希薄廢水는 methane 醱酵의 無加溫에서 進行시키지 않으면 正味 Energy 回收가 不可하다.

投入 B.O.D. 농도 $10 \times 10^3\text{ mg}/\ell$ 는 加溫限界 15°C 전후의 冬期에 中溫醱酵時는 Energy 回收가 곤란하다.

投入 B.O.D. 농도 $30 \times 10^3\text{ mg}/\ell$ 는 冬期에 高溫醱酵時 熱量自給이 곤란하다.

이같이 Energy 回收를 目的할 때는 醱酵速度, methane 菌이 증식속도를 고려하여 가능한 가온온도를 낮추고 理想的 狀態는 無加溫조건으로 발효처리하는 것이 Energy 化 Process로 적합하다.

廢棄物 自體가 熱을 가진 産業廢水의 경우는 무가온 발효처리로서 충분하다. Scale up에의 한 발효조 규모의 擴大 및 醱酵處理의 不安定性이 증가하는것도 檢査될 問題이다. 醱酵槽에서 流出되는 菌體의 捕捉과 反송방법, 固定床에 菌體를 付差시켜 流出을 防止하는 固定化微生物法으로 醱酵時間을 대폭 단축시킴으로서 醱酵率을 높이고 安定시키는 醱酵技術問題 解決은 적은 가온으로 methane 醱酵를 完成시켜 Energy 회수효율을 높일 수 있다. 이같은 技術的 改善은 중요한 今後의 課題이다.

7. Biomass 와 飼料

世界的으로 食糧 특히 蛋白質 부족이 예상되고 있어 微生物蛋白質(S.C.P.) 실용화 연구가 진행되고 있다. 日本을 例로 들면 畜産食品의 原材料로 1980 년도에 飼料용곡류 1,500 萬 t, (蛋白質 換算 300 萬 t)을 수입하고 있어 日本畜産이 輸入飼料에 의존한다는 점이 특징이다. 이 問題의 解決을 위하여 農林水産省에서 1,2次 5 個年研究計劃(1970 ~ 1980 年)에 따라 n-parafin, methanol, 中間原料에서의 S.C.P 飼料生産 研究開發을 進行了다. 연구결과에서 S.C.P는 飼料價値가 높고 安定性에는 의문의 여지가 없다.

그러나 S.C.P 生産原材料가 되는 石油成分인 n-parafin, 天然 gas는 輸入한다는 취약점이 있다.

蛋白質의 重要성과 부족이 예측되는 전략물자로 고려할 때 S.C.P 生産은 大替 輸入과 같은 價値를 가지고 있다.

國產原料로 代替할 수 있는 것은 Biomass 的 農林水産廢棄物 이용이다. (例로 감귤가공에서 稻酵母生産等) 그러나 原料의 계속 공급으로 連續可動이 如否가 成敗다. 原料로서 人排泄物, 糞尿, 生活廢水를 이용하는 것도 効果적이다.

이러한 廢棄物處理는 주로 活性汚泥法으로 淨化되고 있다. 이 方法은 微生物을 이용한 것으로 活性汚泥는 S.C.P에 相當하다. 活性汚泥 및 methane 醱酵菌體를 飼料로 이용하는 것은 營養가가 극히 낮고 악취가 강하여 飼料로 부적당하다.

微生物菌體를 飼料로 直接 利用하는 技術的 問題는 菌體收集技術 家畜消化의 難易 혐 잡물 제거 등이다.

폐수淨化에 따른 S.C.P 生産은 종래 方法과는 달리 利用率을 向上시킬 필요가 있다. S. C.P를 가축에 直接 利用보다는 소동물에 利用시킨 后 飼料로 하는 것이 効果적이다. (例로 플랑크톤 飼料生産) 곧 自然界에서 食物연쇄조합을 利用한 方法이다. 小動物로 貧毛類(지렁이류), 蠕類와 動物性플랑크톤이다.

이들 동결건조품의 蛋白質量은 5.7%로 含硫 amino acid를 제외하곤 그 組成이 양호하다. 營養가 評價에서도 대두류의 1.5배, 맥류효모의 2 활정도 높은 것으로 評價되고 있다. 그 例로 계분에 微生物을 培養키켜

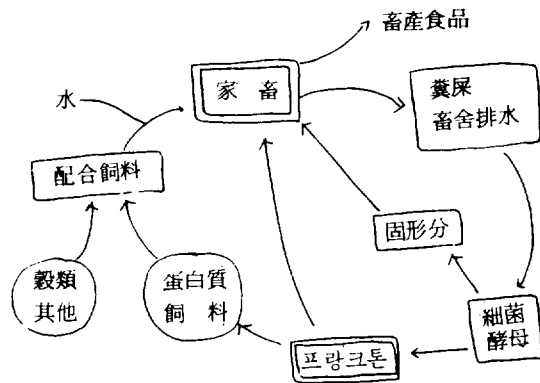


圖 13. Plankton Recycle system

은 菌體로 동물성 플랑크톤 培養飼料로 利用하여 回收된 플랑크톤을 가축사료중 蛋白質 給源으로 利用하는 것이 Biomass 이용면에서 効果적이다. (圖 13. Plankton recycle system 參照)

結 論

Biomass 利用은 生態系의 순환作用을 技術的으로 利用하는 것으로 問題解決에 接近은 Biotechnology 應用밖에 없다.

Hard Energy 에 대신할 Soft Energy 개발이 社會的 經濟적 要求로, Biomass 생산면 에 유전공학, 세포융합, 조직배양기술의 利用으로 문제해결에 기여할 것이고, Biomass 原料處理와 加工段階에 他 醱酵技術, 酵素利用技術, Bioreactor 技術, 膜技術 분리정제기술을 이용한 Biomass 기술이 長期的 觀點에서 開發할 重要性이 있다.

○ 農産廢棄物의 飼料化, 畜産廢棄物 林産廢棄物을 methane 醱酵시켜 生成되는 Biogas 的 Energy 化, 殘査의 肥料化로 有機農業의 확립

○ 海藻복합利用 system 개발로 海藻增殖, 海藻飼料化 有效물질생산 methane 발효이용 으로 Marine Energy Station 구상

○ Biomass 的 地域的 분산 Energy 저밀도, 많은 含水量, 容積 등으로 인한 原料집하의 곤란으로 Biomass 利用은 地域資源 特性에 合致되는 多目的이고 순환적인 종합 이용할 수 있는 소규모적인 地域분산형 개발이 목표이어야 한다.

○ 嫌氣醱酵인 methane 醱酵는 복합발효 System이므로 醱酵機作을 段階的으로 管理할 수 있도록 하므로서 好氣的 段階에서 生成되는 中間物質 및 水素 gas 有效적 회수와 이용이 개발.

○ methane 醱酵 System을 生活廢水, 工場廢水 處理에 利用하는데 無加溫 正味 Energy 回收利用開發이 必要하다.

參 考 文 獻

1. J.S. Robinson ; Fuels from Biomass, Technology and Feasibility ; Noyes Data Corp., New Jersey, U.S.A p.107 (1980).
2. H.A. Barker ; Bacterial Fermentation, John Wiley & Sons, Inc, New York, p.1. 1956.
3. O. Svendsby *et al* ; V. Ferment. Technol., 59, No.6 (1981)
4. F. Bergius ; 2nd Eng.Chem., 29, 247 (1927).
5. F.P.Lery *et al* ; U.S Departments of Energy, Progress report, No.11, Jan-Mar, 1980.
6. 福井作藏 ; 日本文部省 科研費 Energy 特別 研究. 生均 Energy 利用と開發, 成果報告, 昭 55 年, p.38 (1980).