

有機固形廢物로부터 食用蛋白質의 生産

朴 來 正

〈弘益大 教授〉

最近 世界的인 資源의 不足狀態를 극복하기 위한 하나의 方法으로서, 또는, 適切한 環境管理를 위하여 有機固形廢物의 再資源化 問題가 심각히 고려되고 있다. 특히, 産業 및 都市에서 배출되는 有機固形廢物中에서 셀룰로오스질 物質이 차지하는 比重은 매우 크며, 만일 이 셀룰로오스질 물질로부터 食糧資源을 얻어 낼 수단 있다면 未來의 食糧資源開發 面에 있어서나 이들 廢棄物의 有効適切한 處分面에 있어서 크나큰 성과가 아닐 수 없다. 주로 이들 廢物의 活用 問題는 世界 1, 2次 大戰中과 같은 經濟的으로 어려운 與件下에서 대두되었던 것으로, 앞으로 世界의 賦存資源의 점차적인 고갈과 人口의 增加로 因해 世界는 점차 經濟的으로 어려운 與件下에 놓이게 될 것이고, 새로운 에너지源과 아울러 食糧資源의 開發은 人類의 生存을 위한 크나큰 과제가 아닐 수 없다.

셀룰로오스질 물질의 資源化 方法에 있어서 도 여러가지가 있을 수 있으나 그 중에도 酵素과 酸加水分解에 依해 糖으로 轉換하는 問題

는 매우 흥미로운 것으로서, 이에 대한 研究가 多角度로 進行되고 있는 실정이다.

여기에서는 현재까지 開發된 셀룰로오스의 食糧資源으로의 轉換方法 中에서 가장 유망한 方法의 하나로서, 酸加水分解하여 糖을 얻고 여기에 蛋白質 構成에 매우 效率이 높은 *Candida utilis* 醱酵法을 간단히 記述하고자 한다.

I. 酸-加水分解

酸-加水分解 方法으로서 是 1,2次 大戰中에 獨逸에서 開發한 Bergius法과 Sholler法이 대표적인 方法인데, 2次 大戰中에 美國에서 開發한 Madison Wood Sugar Process가 生産速度와 收得率面에 있어서 훨씬 우월한 것으로 알려져 있어 이에 대한 것을 설명하고자 한다.

1. 酸-加水分解化學과 動力學

우선 Madison法의 酸-加水分解化學과 動力學을 보면 다음과 같다. 셀룰로오스의 酸-加水分解時 일어나는 反應은 α -Cellulose가 分

解되어 glucose, mannose, galactose, fructose의 hexose로 되고 hemicellulose는 xylose, arabinose등의 pentose로 된다. 그러나 그 중 일부의 糖은 酸에 의해서 더욱 分解되어 다음과 같은 物質을 生成하기도 한다.

- 1) $C_5H_{10}O_5 \rightarrow C_5H_4O_2 + 3H_2O$
pentose furfural
- 2) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_6H_6O_3 + 3H_2O$
Hexose Hydroxymethyl furfural
- 3) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_5H_8O_3 + HCOOH + H_2O$
Hexose Levulinic acid formic acid
- 4) $C_6H_{12}O_6$ or $C_5H_{10}O_5 \rightarrow$ Humic Substances

Hexose pentose sludge
反應速度는 다음 式으로 表示될 수 있으며

$$r_A = \frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A$$

r = 反應速度

C = 濃度

k_1 = 反應速度常數(1次)

t = 時間

反應速度常數는 1次라는 것이 밝혀 졌다. glucose 生成에 대한 것은,

$$k_1 = 1.86 \times 10^{14} C_s^{1.02} e^{-\frac{32,700}{RT}} \text{ min}^{-1}$$

으로서 밝혀졌다. 收得率은 溫度(170~190°C) 酸의 濃度(0.4~1.6% H_2SO_4), 液:固 比(20:1~5:1)가 증가할 수록 증가하는 경향을 보인다.

2. 回分操作法

回分操作法の 工程圖를 보면 그림 1과 같으며 이 工程圖에 의하면 回分(Batch)당 전체 작업 시간은 4.75시간이고 하루에 5回 80ton을 처리할 수 있고 轉換率은 裝入 乾物當 糖分 43%를 얻을 수 있다.

먼저 分解槽(Digester)에 原料를 넣고 水蒸氣로 加熱하여 300°F가 되게 한 후, 再循環 加水分解 液과 Make-up acid를 가하여 酸의 濃度を 0.5%로 유지하면서 加水分解한다. 加水

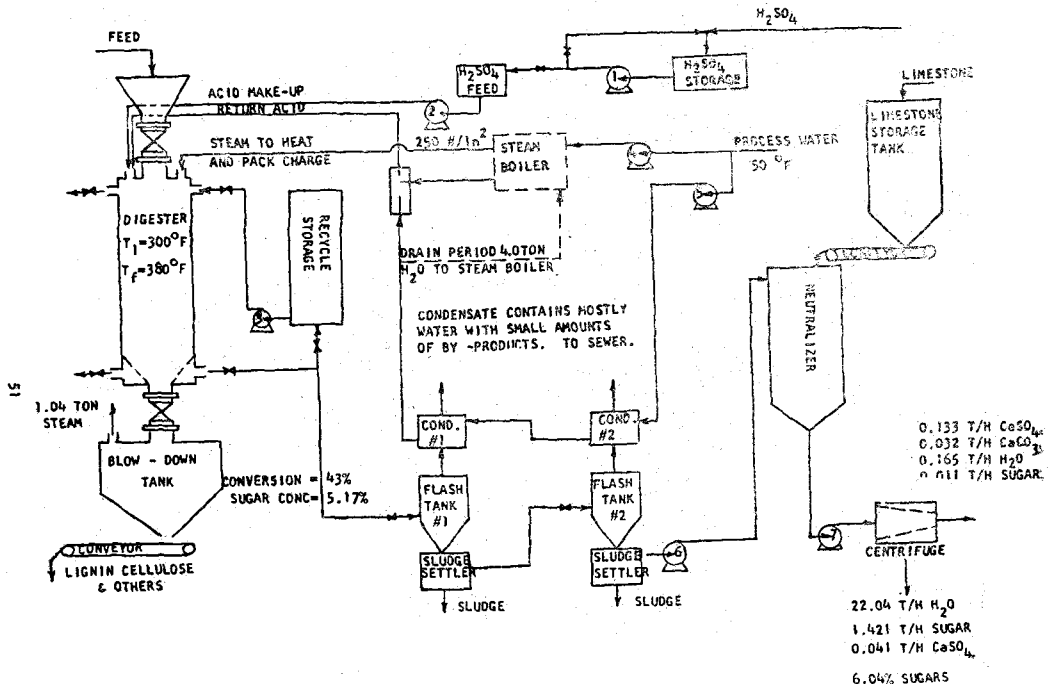


그림 1. 回分法-工程

分解液은 再循環시키고 그 중 25%는 Flash Tank에서 flash蒸發을 시키고 humus 물질의 sludge를 제거 한다. Flash과정에서 생성된 수증기는 蒸流熱交換器에서 分解槽에 사용되는 물과 熱交換시킨다. 또 分解槽에서 分解後 잔류하는 Lignin은 밀으로 불어내어 제거한다.

Flash Tank에서 濃縮한 加水分解液은 中和槽에서 CaCO_3 로 中和한 후 CaSO_4 Slurry를 遠心分離器에서 分離하여 6.04%의 糖液을 얻는다.

3. 連續操作法

連續操作的 경우도 回分操作에서와 같이 加水分解, Flash 蒸發, 中和, 遠心分離의 4個操作을 거친다. (그림 2)

小規模일 경우에는 回分操作法이 有利하나 大規模일 경우에는 連續操作法이 有利하며

Madison法에 있어서는 1日 125ton 規模부터 連續操作法이 有利해진다.

連續反應器는 screw press가 달린 몇 개의 反應管으로 되어 있으며, 原料와 희석산을 screw conveyor에 의해 第1反應器에 보내 낮은 溫度에서 짧은 Residence time(2分)을 주어 hemicellulose부분을 가수분해 하고 第2反應器에서는 뜨거운 희석산과 혼합하여 200°C에서 유지하면서 α -cellulose를 가수분해 한다. 第3,4反應器에서도 역시 같은 과정이 계속된다. 加水分解物은 Flash Tank로 보내어 濃縮하고 中和槽에서 中和하고 遠心分離하여 6.17%의 糖液을 얻는다.

II. 醱酵工程

셀룰로오스 加水分解液을 利用하여 酵母를 얻는 데는 Torula Yeast가 주로 이용되는데

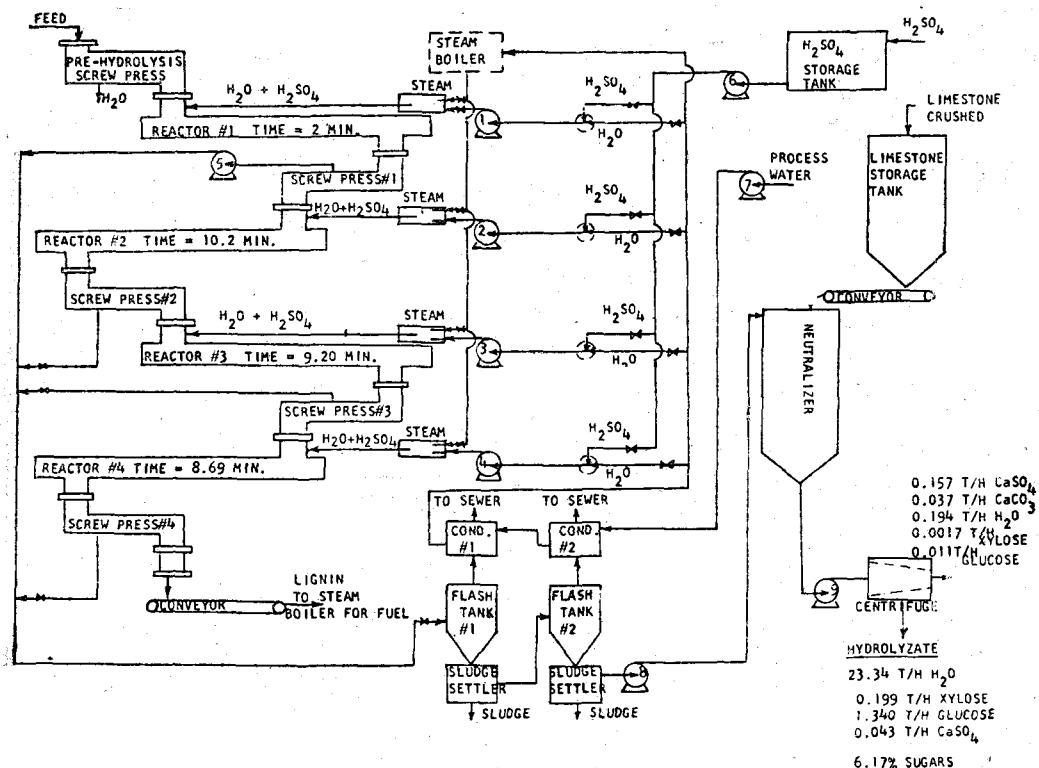
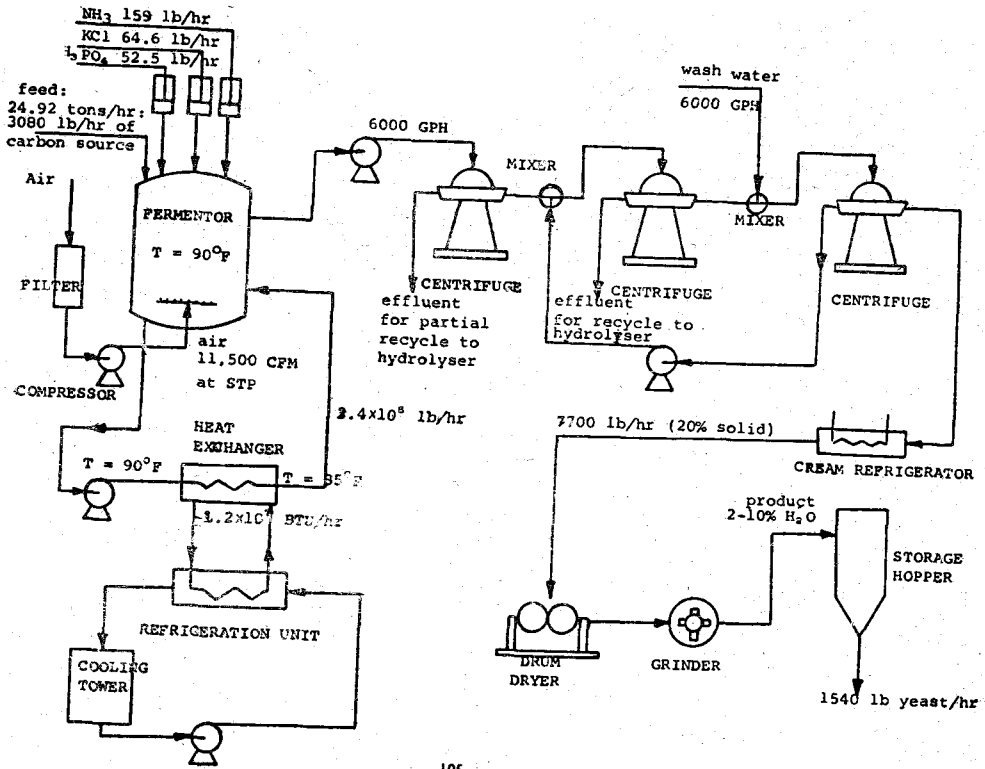


그림 2 連續法 工程



105

그림 3 醱酵 工程表

그 이유로서는 Torula Yeast가 넓은 범위의 炭素源을 同和하는 능력이 있어 특히 加水分解液에 들어있는 Pentose를 同和할 수 있다는 점과 낮은 pH 3~5 범위에서 生長하므로 酸 加水分解液에 적합하다는 점이다. 또 낮은 pH에서는 病菌의 生長이 불가능하므로 容器의 滅菌에 큰 문제가 없다는 점이다.

連續加水分解法에 의해서 얻어진 加水分解液을 이용하여 Candida utilis 醱酵工程圖를 보면 그림 3과 같다.

0.199ton의 xylose와 1.340ton의 glucose를 함유한 즉 糖濃度 6.17%의 溶液을 24.92ton/hr을 醱酵槽에 送入하고 여기 배양에 필요한 N源, P源, K源, NH₃, H₃PO₄, KCl로서 각각 159lb/hr, 52.5lb/hr, 64.6lb/hr를 첨가한다. 酸素要求量은 평균적으로 잘 操業되는 工程에 있어서 건세포 1lb당 1.05lb의 酸素가 되므로 시간당 乾酵母 生産量 1,540lb에 대해

서는 1,615lb가 所要하게 된다. 또, 이 중에서 培地에의 吸收率은 15%이므로 空氣의 量으로서는 $(1615)/(0.15)(0.21) = 51,200\text{lb/hr}$ 가 되고, 이것을 68°F 1atm에서의 부피로 환산하면 11,500CFM이 된다.

醱酵時 生成되는 熱量은 1ton의 酵母當 15.6×10^6 BTU이므로 $(15.6 \times 10^6)(1,540/2,000) = 12 \times 10^6$ BTU/hr의 熱이 제거되어야 한다. 그렇게 하기 위해서는 醱酵液을 90°F에서 외부 冷凍系로 뽑아 내어 冷却시킨 후 85°F에서 醱酵槽로 돌려 보내도록 하여야 한다.

만일 表面水의 溫度가 65~70°F이하이면 기계적인 冷却裝置나 冷却塔는 필요 없게 되고 이 부분의 에너지는 절약할 수 있다.

醱酵槽에서 나오는 流出液中의 酵母濃도는 溶液 1當 20~30.85g의 乾物固體를 含有하게 된다. 여기서 菌體를 分離하기 위해서는 遠心分離器를 사용하는것이 가장 보편적인 방법이

고 遠心分離 能力은 다음식으로 표시될 수 있다.

$$Q = \frac{kd_p^2(\rho_p - \rho_L)}{\mu} \cdot \frac{r_e W^2 V}{g_c S_e}$$

여기서 Q=遠心分離器를 통한 流速

K=常數

d_p =粒子的 直徑

ρ_p, ρ_L =粒子和 液體의 密度

r_e =遠心分離器의 有效直徑

W=遠心分離器의 回轉速度

μ =液體의 粘度

V=遠心分離器內의 液體 保持容量

S_e =粒子的 有效 沈降距離

6,000 gallon/hr의 醱酵液이 첫째 遠心分離器에 들어가서 약 200g/l로 濃縮된다.

濃縮된 paste는 좋지 못한 맛이나 냄새를 제거하기 위해서 向流洗滌에 의해서 세척된다. 세척 번 遠心分離器를 통과하는 동안 약 10배 가량 濃縮되어 약 20%의 乾燥 固形物을 함유한 paste로 된다.

이 paste는 二重 Drum 大氣乾燥器로 乾燥

한다. 이 때 들어가는 酵母는 80~85%의 水分을 含有하므로 乾燥後 水分 含量이 2~10%가 되기 위해서는 12,350lb의 水分이 제거되어야 한다. Drum乾燥器 表面 1ft²당 1hr當 3.5lb의 生産物이 생성되므로 전체 Drum乾燥器의 表面積은 440ft²이 되어야 한다.

乾燥된 酵母는 hammer mill로 分碎하여 체로 친 후 하루의 生産量을 저장할 수 있는 저장 hopper로 들어가고 이것은 포장 bag이나 드럼에 포장하여 출고하게 된다.

III. 酵母의 營養學的 價値

酵母의 營養學的 價値는 이미 잘 알려진 사실로서 蛋白質 含量이 약 50%로서 大豆粕의 44%에 비해 높고 動物粕의 50%와 같은 값이므로 좋은 蛋白質 供給源이 될 수 있다.

Torula酵母의 蛋白質을 構成하고 있는 아미노酸 組成을 다른 蛋白質의 아미노酸 組成과 비교해 보면 表 1과 같다.

表 1 酵母와 다른 蛋白質의 必須아미노酸 含量 (mg/gN)

Amino 酸	Torula	Brewerb	Casein	Cottorseed	Soybean	Egg
Tryptophan	86	96	84	74	86	103
Threonine	315	318	269	221	246	311
Isoleucine	449	324	412	236	335	415
Leucine	501	436	632	369	482	550
Lysine	493	446	504	268	395	400
Total Samino acid	153	187	218	188	195	342
Phenyl alanine	319	257	339	327	309	361
Valine	392	368	465	308	328	464
Arginine	451	304	256	702	452	410
Histidine	169	169	190	166	149	150

아미노酸 組成에 있어서도 酵母蛋白은 Lysine의 좋은 供給源이 될 수 있고 Tryptophan Threonine과 같은 必須 아미노酸도 多量 含有하고 있다는 것을 알 수 있다. 이 외에도 酵母

는 Vitamin B Complex가 풍부하고 酵素等도 포함되어 있어 가금류, 물고기, 애완동물의 蛋白質 供給源으로 주로 사용되기도 하고 일부는 食品의 強化用으로 이용되기도 한다.

Ⅳ. 經濟性 問題

現在 有機廢物로 부터 酵母醱酵를 商業的으로 遂行하고 있는 것은 Sulfite pulp工場에서 배출되는 黑液과 乳加工 工場의 有機廢物인 Whey가 있다.

Sulfite 廢液으로 부터의 酵母生産은 資本費用이 많이 먹히는 不利한 점이 있으나, 廢水의 處理 및 廢棄物의 再資源化란 점에 있어서 美國, 캐나다, 스칸디나비아제국등 선진국에서 成功的으로 生産되고 있다.

셀룰로오스질 有機固形廢物로서 林産廢物, 農産廢物, 기타 都市有機固形廢物을 酸-加水分解하여 糖을 얻고 이로부터 酵母醱酵를 하는 것은 일부 林産廢物에 對한 것을 제외하고는 아직 研究段階에 있어 實現되기 爲해서는 시간이 더 걸려야 할 것 같다. 그러나 현재까지 개발된 酸·加水分解法과 酵母發酵法을 토대로 경제분석한 것을 보면, 表 2와 같이 廢

表 2. 有機廢物의 加水分解糖에 對한 經費

糖 源	經費/lb糖(Cents)*
糖 密	2.4~3.2
Bagasse	3.03~4.32
廢 紙	2.91~3.93
都市有機廢物	1.81~2.07

糖密을 제외하고는 日産500ton 규모의 3단계 연속가수분해법에 의해 계산하였음.

棄物의 處分費까지 계산했을 경우에는 廢紙나 都市有機廢物의 糖化經費는 糖密보다 오히려 低價인 것을 볼 수 있어 앞으로 이들 廢物을 위한 工程이 開發된다면 상당히 有望할 것으로 간주되고 있다.

大戰中 獨逸에서 林産廢物을 糖化하여 酵母를 生産하고 이것을 國民食生活의 蛋白質 給源으로 사용하였다는 點으로 미루어 보아 셀룰로오스질 有機廢物로 부터의 蛋白質을 生産하는 問題는 食糧의 價格이 비싸고 食糧이 不足한 나라에서는 심각히 考慮하여 볼 만한 問題라고 생각된다.

◎ 알 림 ◎

本誌는 本會 會員會社 및 研究團體, 그리고 官界·學界·企業界에 계신 讀者 여러분을 위해서 編輯·製作되고 있습니다.

지금까지 本誌를 愛讀해 주신 讀者 여러분께 감사드리고, 혹시 配達事故나 住所移轉 등으로 제대로 郵送받지 못한 분들이 계시면 즉시 다음으로 연락해 주시기 바랍니다. 계속 愛讀을 바라마지 않습니다.

연락처 食品工業誌 編輯室

(265-8760, 266-6035)