

Hemicellulose의 酵素分解와 醱酵

韓文熙 · 崔良燾 · 朴明玉

(韓國科學技術院 · 生物工學 硏究部)

1. 序論

昨今の 에너지 波動을 通해 그 限界點이 屢히 證明된 바와 같이 이제 世界는 必야흐로 심각한 資源의 不足 現象을 겪고 있으며, 따라서 새로운 資源의 開發과 함께 賦存 資源의 効率的인 活用化 方案이 서둘러 논의 되고 있는 실정이다. 無限한 太陽 에너지를 효율적으로 固定하여 그 産物을 우리 人間에게 提供하여 온 地球上의 녹색식물은 그 주요 구성 성분인 炭水化合物로서 尤호한 生物資源 生産의 基本이 되어 왔다. 그러나 이러한 莫大한 量과 多樣한 形態와는 달리 이들의 이용은 극히 일부에 국한된 실정이다. 따라서 農産 및 林産 資

源을 包含한 生物資源의 효율적인 活用을 모색한다는 것은 現時點에서 너무도 당연한 시대적인 요청이라 하겠다.

農産廢棄物의 一般組成은 表 1에서와 같이 cellulose가 36%, hemicellulose가 25%, 그리고 Lignin과 기타 물질로 되어 있다. 이러한 生物資源을 活用 하려는 努力은 그중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 cellulose에 국한되어 왔다.

그러나 hemicellulose가 植物의 조직 내에서 cellulose와 함께 서로 混合된 상태로 共存한다는 사실과 그 物量을 감안 하면 hemicellulose의 活用に 對한 意義는 더욱 增大된다.

지금까지 hemicellulose의 活用に 對한

Table 1. Composition of agriculture residues and woods

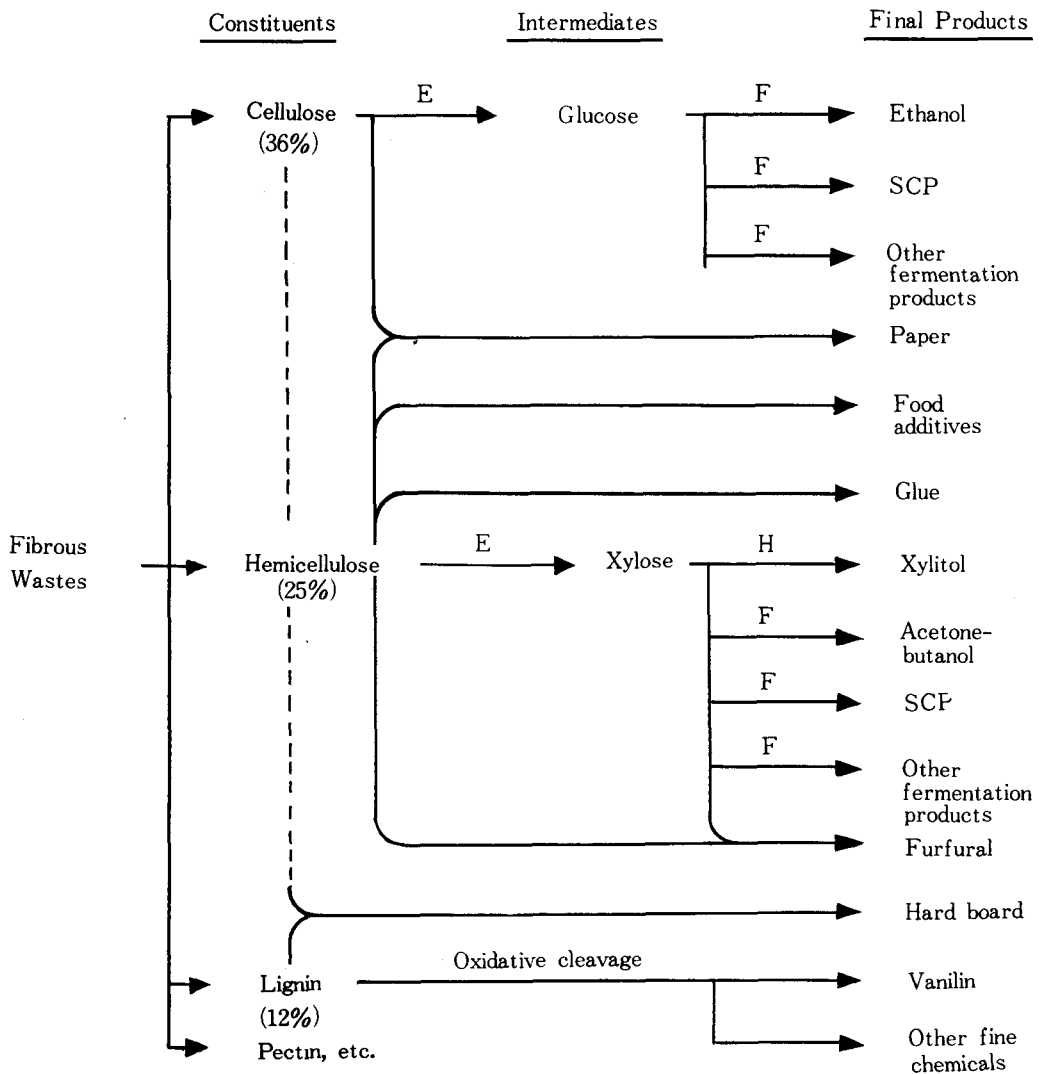
Unit : %

Material	Hexosans	Pentosans	Lignin	Ash
Barley straw	40	19	14	11
Rice straw	39	17	10	12
Wheat straw	36	19	15	10
Rice hulls	36	15	19	20
Corn stover	36	16	15	4
Corn hull	37	28	10	-
Bagasse	41	30	14	-
Sorghum straw	33	20	20	-
Oak	45	18	15	10
Pine	52	20	27	-

연구가 부진 했던 것은, 그의 構成 單位物質이 六炭糖인 포도당 (glucose) 만으로 이루어진 單純重合體인 cellulose와는 달리, hemicellulose 는 여러 종류의 糖類單位物質로 구성되어 있으며 特히 大部分이 五炭糖인 複合重合體이기 때문이다. 特히 이 五炭糖은 六炭糖과 달리 미생물에 의한 발효 기질로 적합 하지 않다고 믿어져 왔는데, 近來에 研究된 바에 의하면 五炭

糖도 六炭糖과 같은 效率의 좋은 발효 기질이 될수 있다고 報告되어 있다.

이와 같이 農産廢棄物과 같은 生物資源을 재사용 하여 有用한 產物을 생산하는 過程을 간추려 보면 그림 1 과 같다. 따라서 여기서는 特히 hemicellulose의 다양한 용도에 대해 살펴보고 그의 種類와 이를 利用한 醱酵에 대해 略述 하고저 한다.



F: Fermentation, E: Enzymatic Process, H: Hydrogenation

Fig. 1. Utilization of Agricultural Wastes

2. Hemicellulose의 種類

1891年 E. Schulze는 Hemicellulose를 定義하기를 『植物的 細胞壁을 구성하는 多糖類 中에서 물과 극히 저농도의 NaOH 溶液에는 녹지 않으나 4~5%의 NaOH 溶液에는 녹으며 저농도의 무기산의 존재하에서 가열하면 cellulose보다 쉽게 가수 분해 되어 五炭糖과 六炭糖을 生成하는 物質의 總稱』이라 했다. 그러나 近來에 水溶性 비전분질 다당류의 存在가 報告 됨으로서 『植物的 세포벽을 구성 하거나 저장 조직에 존재하는 다당류 中에서 六炭糖과 五炭糖으로 구성된 단순 및 복합 다당류』로 定義 되기에 이르렀다.(1)

化學構成을 보면 cellulose는 給源에 관계없이 β 1,4-glucoside 결합에 의해 순수한 포도당 만으로 이루어진 單純, 直鎖, 化合物 인데 비해 hemicellulose는 이처럼 直鎖의 單純 重合體는 극히 드물고 대체로 다양한 分枝와 側鎖를 가지고 있으며 基本 骨格도 오탄당 및 육탄당으로 이루어진 複合 重合體이다. 이러한 化學的 生理的 特性에 의해 hemicellulose의 구조는 식물의 種類에 따라 多樣한 變化를 보일 뿐 아니라 존재 部位에 따라서도 현저한 차이를 나타낸다. 따라서 主構成 成分이 되는 糖 殘基의 種類에 따라 分類하면 다음과 같다(2)

가. D-xylan과 L-arabino-xylan

Xylan은 옥수수 穗軸, 목재 및 짚과 같은 木質化한 세포에 널리 分布 되어 있고 hemicellulose系 多糖類의 半 이상을 차지하고 있으며, xylan의 含量은 1년생 草本의 경우 乾物 무게의 약 30%, 輕質木은 20~25% 軟質木은 7~12%, 옥수수 穗軸은 25%, 그리고 밀기울은 15%를 차지한다. 陸地 植物에서 추출

한 D-xylan의 化學 구조는 대체로 (1→4)- β -D-xylopyranoside 결합에 의한 基本 骨格이 形成되고 D-xylose와 함께 L-arabinose, glucuronic acid, 4-O-methyl-D-glucuronic acid 등이 단일 혹은 複數 殘基로 分枝 혹은 側鎖 결합을 이루고 있다.

穀類 및 草本과 같은 외떡잎 식물에 존재하는 D-xylan은 L-arabinose의 含量이 xylose 다음으로 높은게 特徵인 반면 木本 및 쌍떡잎 식물에 존재하는 D-xylan은 4-O-methyl-D-glucuronic acid와 3-O-acetyl基가 xylose 다음으로 높은 含量을 보이고 있다.

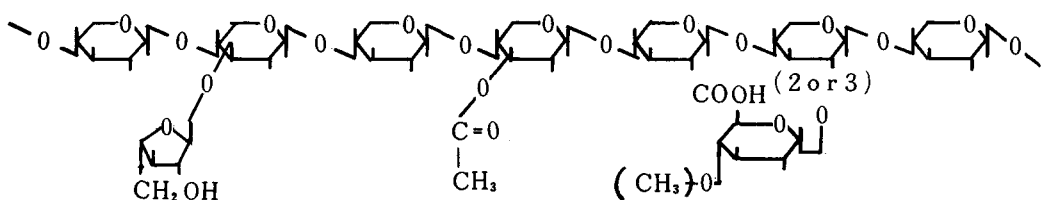
또한 赤藻類, *Rhodymenia Palmata*에 존재하는 hemicellulose는 (1→3)- 및 (1→4)- β -D-xylopyranoside 결합이 1:3의 비율로 이루어져 있다고 보고 되었다.

나. D-mannan, glucomannan, 과 galactomannan

D-mannose를 主要 構成 成分으로 하는 貯藏性 多糖類로서 木材 및 植物的 種子에 널리 分布되어 있는데 細胞膜에 3~12%의 含量을 보이며 구성당 殘基의 比率는 glucose와 mannose가 1:2 혹은 1:3 정도로 구성되어 있다. 植物에서 추출한 mannan과 glucomannan은 (1→4)- β -D-mannopyranoside 결합에 의한 mannose의 直鎖로 이루어져 있으며 glucose 혹은 galactose가 mannopyranose 殘基의 C₆에 單一側鎖로 결합되어 있는게 보통이다.

다. D-galactan과 L-arabino-galactan

D-galactan은 대체로 L-arabinose와 함께 arabinogalactan으로 存在하는데 이는 水溶性



으로서 대부분의 침엽수에 존재하며 낙엽송의 경우에는 약 25% 가량 존재한다. 화학 구조는 지극히 분지가 심하여 많은 側鎖를 가지는데 기본骨格은(1→6)- 및 (1→3)-, 혹은 (1→4)-β-D-galaotopyranoside 결합에 의해 이루어져 있으며 arabinose가 (1→3)-β-L-arabinofuranoside 결합에 의한 側鎖를 이룬다.

라. β-Glucan

보리와 귀리 등의 저장 조직에 존재하는 β-glucan은 수용성 gum質이다. 이들은 (1→4)- 및 (1→3)-β-D-glucoside 결합이 半半程度로 이루어진 直鎖의 基本骨格 구조를 가진다.

3. Hemicellulose의 酵素分解

가. Hemicellulose의 種類와 特性.

Hemicellulase(glycan hydrolase, EC3. 2. 1)는 hemicellulose를 分解시키는 一連의 酵素를 일컫는다. 이들은 작용하는 基質의 種類에 따라 D-xylanase, L-arabinanase, D-galactanase, D-mannanase, 그리고 β-D-glucanase 등으로 나누어진다. 그러나 앞서 記述한 바와 같이 hemicellulose는 여러가지 構成糖 殘基가 여러 形態의 결합에 의해 이루어진 복잡한 화합물이므로 이를 分解하는 효소의 종류도 여러가지 이다. 예를 들어 L-arabino-D-xylan의 경우에 있어서 xylopyranoside 결합을 分解하는 各各 다른 個個의 효소 모두를 xylanase라고 총칭한다. 이와같이 hemicellulase는 基質인 hemicellulose와 같이 매우 널리 분포되어 있는데(3), 그중 곰팡이에서 生産된 효소가 특히 주목을 받는 것은 높은 活性도와 함께 安定성이 뛰어나기 때문이다.

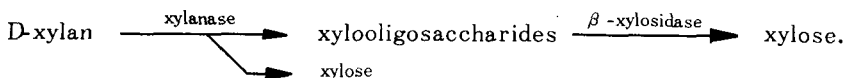
(1) Xylanase와 β-xylosidase.

高分子의 xylan(重合度 약 100單位)이 酵素에 의하여 그 구성 단위 물질인 xylose로 分解되는 과정을 살펴보면 다음과 같이 두 단계로 나눌 수 있다. 먼저 xylanase에 의해

xylan 骨格의 (1→4)-β-D-xylopyranoside 결합이 分解되어 주로 重合度가 2~4 단위인 xylooligosaccharide가 生成되어 이렇게 해서 生成된 寡糖類는 glycosidase의 一種인 β-xylosidase에 의해 단당류 xylose가 生成된다.

D-xylanase는 척추 동물의 組織을 除外하고는 地球上의 모든 생물체에 널리 分布되어 있으며 *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, *Ceratocystis paradoxa*, *Penicillium janthinellum*, *Bacillus subtilis*, 그리고 *Streptomyces xylophagus* 등의 微生物이 生産하는 효소에 대한 연구가 활발히 행해졌다. 곰팡이에서 生産되는 효소는 일반적으로 最適 pH가 3.5~5.5로서 비교적 酸性에서 더 活性가 높으며 pH에 따른 安定성은 대단히 우수하여 pH2.5~10 사이에서 安定한 것으로 보고되고 있다. 溫度에 따른 反應性은 50°C에 이르기까지 대체로 증가하나 60°C를 넘어 서면서 급격히 變性, 失活되는 경향을 보이고 있다. 細菌에서 生産되는 xylanase는 最適 pH가 곰팡이성 효소보다 높아서 대체로 中性 쪽에서 活性를 보이며 pH5.0~7.3 범위에서 安定한 것으로 報告되고 있다.

xylanase는 xylan을 不規則적으로 分解하여 xylooligosaccharide를 生成하게 되는데 작용기구는 대체로 endo-型的 加水分解 型態를 취하게 되며 따라서 液化酵素의 작용을 하는 것으로 생각된다. 또한 이렇게 해서 生成된 과당류는 효소의 특성에 따라 더욱 分解가 일어나게 되어 xylobiose와 xylose를 최종 산물로 生産하게 되는데 일부 xylanase는 xylotriose를 더 이상 分解할 수 없어서 최종 산물로서 남기는 경우도 있다. 곰팡이가 生産하는 xylanase의 경우 性質이 조금씩 다른 複數 酵素의 존재는 보편적으로 알려진 사실이다. 一般的으로 *Aspergillus niger*가 生産하는 xylanase는 균주에 따라서 多樣하며, 이제까지 알려진



xylanase의 類型도 10餘 가지에 이르고 있다.⁴¹

Gorbacheva等은 *A. niger*로부터 한가지 種類의 xylanase를 分離했음을 報告하였고, Sasaki等은 2가지 種類, 그리고 Takenish等은 *A. niger*, van Tieghem에서 3가지 種類를 分離하여 그 特性을 究명한 바 있다. 最近에 와서 John은 5가지, 그리고 Reilly等은 10가지 種類의 xylanase를 chromatography法으로 分離했음을 報告하였다. 그러나 著者들의 研究室에서 分離된 *A. niger* KG 79에서는 2가지 種類의 xylanase를 生成하였으며 이들에 對한 特性을 究명한 바 있다. 이와같이 分離된 두 種類의 xylanase는 酵素的 特性에는 큰 차이가 없었으나, 다만 xylanase I은 xylan으로부터 arabinose 側鎖를 절단하나, xylanase II는 절단하지 못한다는 것을 觀察하였다.

β -Xylosidase (β -D-xyloside xylohydrolase, EC3. 2. 1. 27)는 二糖類를 單糖類로 分解시키는 glycoside의 一種이다. Xylanase에 의해 生成된 xylooligosaccharide는 β -xylosidase에 의해 D-xylose로 糖化된다. 곰팡이에서 生成된 효소는 xylanase와 같이 最適 pH가 산성이며 細菌性 효소는 中性에서 가장 活性이 높다.

β -Xylosidase는 cellobiose와 같이 xylobiose 이외에도 xylooligosaccharide에 作用하여 非還元性 末端에서부터 xylose殘基를 분해 生成하나 xylobiose에 對한 활성이 제일 크며 xylooligosaccharide의 重合度가 증가 할수록 反대로 활성이 감소하게 되며 xylan과 같은 高分子 물질은 xylobiase의 基質로는 적합하지 않다.

*A. niger*가 生成하는 β -xylosidase는 合成反應에 해당하는 轉移反應 활성이 있다고 보고 되었다. 加水分解 反應 結果 生成된 xylose가 효소에 의해 적절한 xylooligosaccharide 수용체의 C₁에 轉移되어 새로운 β -(1→4)-결합이 생기게 되어 가수 분해의 逆反應이 일어나게 된다.

(2) Arabinanase

Arabinanase는 (1→5)- α -L-arabinofuranoside 결합에 의한 直鎖의 기본 骨格과 (1→3)- α -L-arabinofuranoside 결합에 의한 側鎖를 분해할 수 있는 가수 분해 효소이다.

이들은 또한 arabinoxylan의 측쇄로 결합되어 있는 avrabinose를 분해 유리 시키기로 한다. *A. niger*에서 分離한 酵素는 두 종류의 결합 모두가 同一한 활성기에 의해 분해되며 exo型으로서 非還元性 末端에서 부터 작용하게 된다.

(3) Galactanase

Galactan과 arabinogalactan의 (1→3) 및 (1→5)- β -D-galactopyranosyl 결합에 작용하는 효소가 보고 되었으며 이들은 불규칙적으로 galactan을 분해한다.

(4) Mannanase

D-mannanase [(1→4)- β -D-mannan mannanohydrolase E(3. 2. 1.78)]은 D-mannan의 (1→4)- β -D-mannopyranoside 결합을 분해하는 효소인데 endo-型的 효소로서 glucose 및 galactose와 mannose와의 결합에도 작용하며 大豆 種皮의 軟化에 利用 되기도 한다.

(5) β -Glucanase

수용성 gum 물질인 β -glucan의 (1→4) 및 (1→3)- β -D-glucopyranoside 결합을 분해하는 β -glucanase는 麥芽 糖化液등에 작용하여 gum 물질을 분해 함으로서 粘度를 低下시켜 여과를 용이하게 하는 등의 작용을 한다.

나. Hemicellulose의 가수분해 공정

Hemicellulose와 같은 高分子 物質을 효소적으로 활용 하기 위해서는 普遍的으로 利用 될 수 있는 構成 單位 物質로 分解 轉換하여야 한다.

Cellulose에 비해 hemicellulose는 結晶 構造가 없으므로 산·알칼리 혹은 酵素에 의해 비교적 온화한 조건에서 쉽게 가수분해 되어지며

따라서 収率도 cellulose(약 50%)보다 훨씬 높은 70~80%에 이른다.

酸加水分解의 경우 일반적으로 0.1~2%의 鹽酸 혹은 黃酸의 존재 하에서 100~170°C 에서 약 1~5시간에 걸쳐 가수 분해가 행해진다(표 2).

효소를 사용한 가수분해 工程은 酵素의 作用을 용이하게 하기 위한 原料 物質의 前處理와 酵素의 調整, 그리고 효소에 의한 가수 분해 및 분해 산물의 정제 과정으로 내변할 수 있다. 前處理 過程은 기계적 방법에 의한 粉碎와 알칼리(가성소오다 1~3%) 등을 사용

Table 2. A summary of acid hydrolytic process of hemicellulose

Starting material	Acid concentration	Temp. (°C)	Time	Liquid/solid RATIO(w/w)	Yield (%)	Purity (%)	Authors
Rice hull	0.1N HCl	120	2 hrs	20	-	68.4	Sasaki, et al.
Corn cobs	0.9~1.0% H ₂ SO ₄	114~124	3 hr	10	95	-	Nakhmanovich
"	0.2~10.0% H ₂ SO ₄	90~140	4~14 hr	-	52	98.6	Schultz and Moudry
"	water	140	90 min	-	-	-	
"	0.2% H ₂ SO ₄	160	20 min	-	70	-	Kobayashi, et al.
Corn stover	4.4% H ₂ SO ₄	100	50 min	17	94	77.8	Sitton, et al.
Maize cob	0.5% H ₂ SO ₄	150~170	40 min	-	72	70~80	Harwood and Mackie
Rye grass	2% H ₂ SO ₄	150	10 min	10	74	60.0	Grant, et al.
Wheat straw	1% H ₂ SO ₄	100	5.5 hrs	13	70	67.4	Wike.

그러나 選擇性的 결여와 副反應의 진행으로 인하여 생기는 furfural등과 같은 副産物이 다음 過程의 醱酵등에 영향을 미치게 되는 것 등이 重要的 결함으로 지적되고 있다. 반면에 효소를 이용한 가수 분해법은 매우 온화한 조건에서 이루어 짐으로 熱에너지의 절약을 꾀할 수 있으며 選擇的 효소를 사용하므로서 특정한 분해 산물을 높은 효율과 순도로 얻을 수 있고 또한 부반응이 없으므로 분해산물의 이용에 별다른 영향을 미치지 않는 등의 長點이 있다. 이제까지 여러 가지 農産廢棄物을 利用하여 酵素的 加水分解 工程에 의한 xylose의 生産에 關한 研究도 몇가지 報告되어 있으며, 表 3에 要約하였다.

한 化學的 방법이 있으며 효소는 곰팡이가 이용하여 생산하는게 보편적이다. 이러한 효소적 방법에 의해 xylose를 생산하는 代表的인 工程은 그림 2와 같다. 이 工程을 通하여 보리짚 1M/T에서 精製 xylose를 115kg 生産할 수 있으며, 만일 原料로서 옥수수 穗軸을 使用할 경우에는 1M/T當 적어도 200kg의 xylose를 生産할 수 있다.

4. D-xylose를 利用한 醱酵.

가. Xylitol의 生産

Xylose를 環元시켜서 얻어지는 xylitol은 새로운 甘味料로서 使用되고 있다. xylitol은 自然의 여러 가지 果實이나 채소류 즉 딸기, 나

Table 3. A summary of enzymatic hydrolysis process of pentosan

Starting material	Pretreatment condition	Hydrosis condition	Yield (%)	Purity (%)	Authors
Corn cob	5% NH ₃ 30°C 5days 2% NaOH 30°C 6hrs	55°C, 24hr "	72	79.9	Kusakabe, et al.
White birch	3% NaOH 30°C 5days	"	86	92.7	"
Rice straw	5% NH ₃ 30°C 5days	"	59	70.8	"
Barley straw	1% NaOH 30°C 1day	30°C, 48hr	86.8	87	Han and Choi

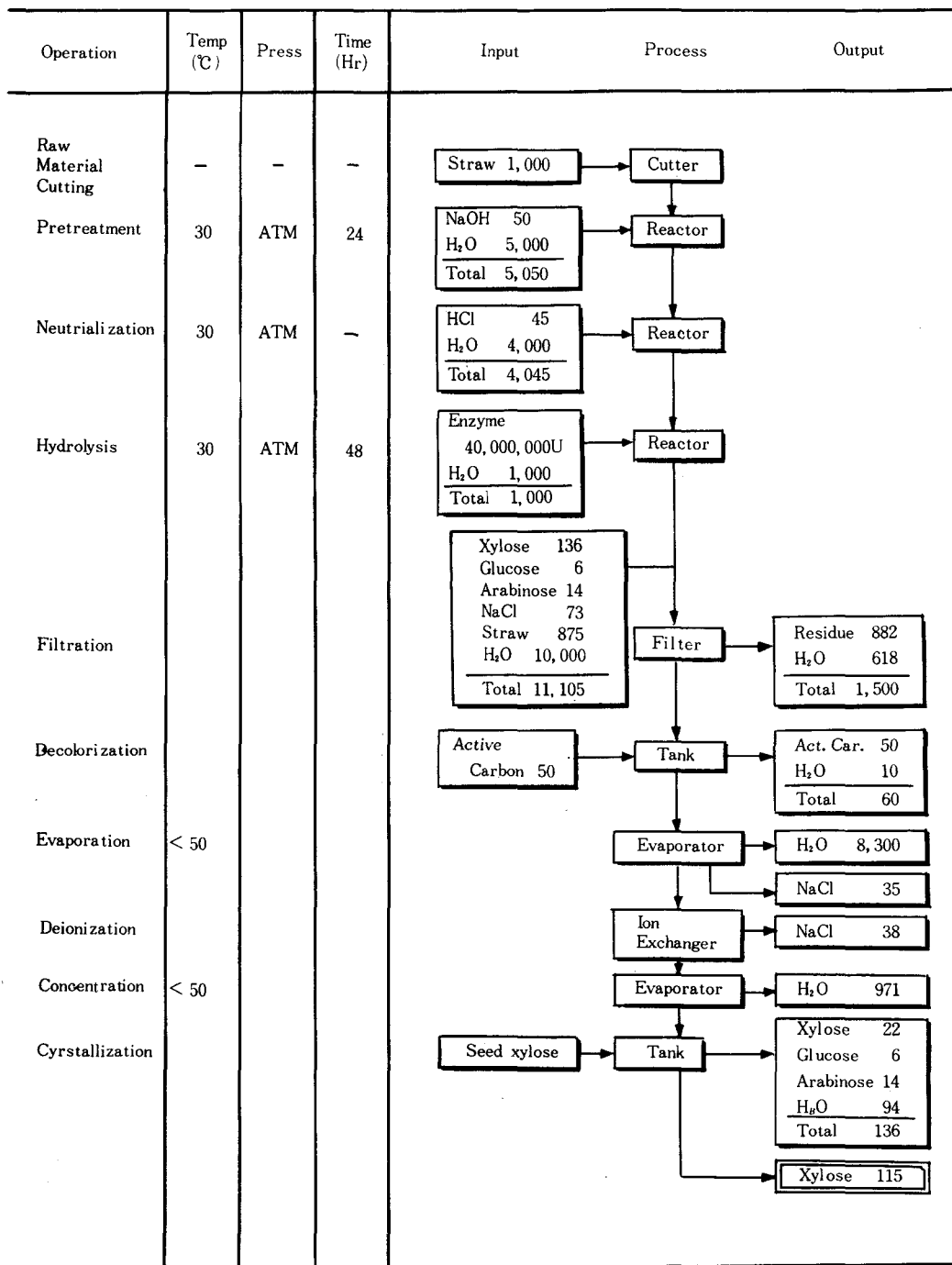


Fig. 2. A flow diagram and material balance of the hydrolysis and purification process

무 딸기, 꽃상추 및 꽃양배추 등이 널리 존재하고 있다. 人體에 있어서는 glucuronic acid-xylose cycle의 중간 대사 산물로 生體内に 존재한다. xylitol은 糖도와 營養價가, 雪糖과 同等하여 食糖의 代用으로 사용될 수 있으며, 특히 代謝過程에서 insulin을 필요로 하지 않으므로 糖尿病 患者에게 營養과 甘味를 供給할 수 있는 特徵이 있다. 또한 산뜻하고 신선한 독특한 감미와 함께 齒齒予防에 탁월한 效果를 나타내는 것으로 報告되고 있다.⁵⁾

Xylose를 還元시켜 xylitol을 얻는 方法은 金屬觸媒와 水素를 사용하여 化學적으로 환원시키는 方法과 微生物에 의한 生物學的 轉換法이 있다.

미생물에 의한 轉換法에서는 두가지 回路가 발표되었는데 NADPH-specific xylose reductase에 의해 xylose가 xylitol로 직접 전환되는 回路와 xylose가 isomerase에 의해 xylulose로 먼저 變換된 후에 NAD-specific xylitol dehydrogenase에 의해 환원 反應이 일어나는 간접적 전환 회로가 있다. 前者는 주로 *Candida polymorpha*, *Candida tropicalis*, *Penicillium* sp.와 같은 酵母 및 곰팡이에서 일어나며 後者는 *Enterobacter liquefacience* 및 *Corynebacterium* sp.와 같이 細菌에서 주로 일어난다. 최근 *Candida tropicalis*를 사용하여 약95% 이상의 전환율을 보였다는 보고도 있다.

나. Acetone-butanol 醱酵

거의 모든 *Clostridium* sp.에 의해 혐기적 조건에서 이 발효가 일어난다. 특히 *C. acetobutylicum*을 사용하여 D-xylose와 같은 五炭糖을 基質로 acetone-butanol를 溶媒를 醱酵生産하는 研究가 많이 이루어 졌다. 이것은 2차 세계대전 때까지만 해도 産業적으로 매우 유용한 工程이었다. Acetone은 폭약의 제조 원료가 되었으며 butanol은 도료 및 합성 고무의 원료가 될 수 있었다. 그러나 石油化學工業의 발달과 함께 이 醱酵工程은 쇠퇴하게

되었는데, 앞으로 석유 제품 값의 昂騰과 더불어 다시 經濟性을 띠게 될 展望이다.

*C. acetobutylicum*에 의해 acetone-butanol 발효가 일어나는 生化學的 回路는 그림3과 같다. 이 발효는 pH의 영향이 크며 最適 pH 5~7로 중성 쪽에 가까운데 발효 과정에서 中間代謝 產物로 산의 생성을 동반하므로 最適 pH 유지가 重要한 因子가 된다. 또한 이때生成되는 acetone:butanol 비율은 1:2 정도이며 butanol의 농도가 1.6~2.4%에 이르면 미생물의 성장이 저지되는 현상을 보인다.⁶⁾

다. Ethanol 醱酵

곰팡이 *Fusarium oxysporum*은 xylose를 利用하여 pentose phosphate pathway와 Embden Meyerhof pathway에 의해 pyruvate를 중간 대사 물질로 거쳐 ethanol과 CO₂를 생산한다.

3 xylose → 5 pyruvate → 5 acetaldehyde → 5 ethanol. 또한 酵母의 경우 *Kluyveromyces-lactis*와 *Saccharomyces amurcae*에 의한 것이 발표되었으며 *Schizosaccharomyces pombe*의 경우는 xylose보다 xylulose를 기질로 利用하는 傾向을 보였다.

細菌은 *Bacillus macerans*, *B. polymyxa*, *clostridium perfringens*, *C. acetobutylicum* 등에서 ethanol 발효가 보고되었다. *Bacillus macerans*에 의한 ethanol 발효에서 生長최적 pH는 7.6~8.4이었으나 ethanol 생산 효율은 산성 조건에서 증가함을 보였다.

라. 기타

Enteric group에 속하는 細菌은 xylose를 발효하여 lactic acid, acetic acid 및 succinic acid와 같은 有機酸 및 2,3-butanediol을 생산한다. 또한 *Bacillus*와 *Clostridium*에 속하는 세균은 2,3-butanediol과 ethanol을 발효 산물로 생산하기도 한다. 이들은 대체로 산성 조건에서는 ethanol 및 butanediol의 수율이 높고, 알칼리성 pH에서는 有機酸의 생산성이 높다고 한다.

*Candida*屬의 酵母는 xylose를 炭素源으로

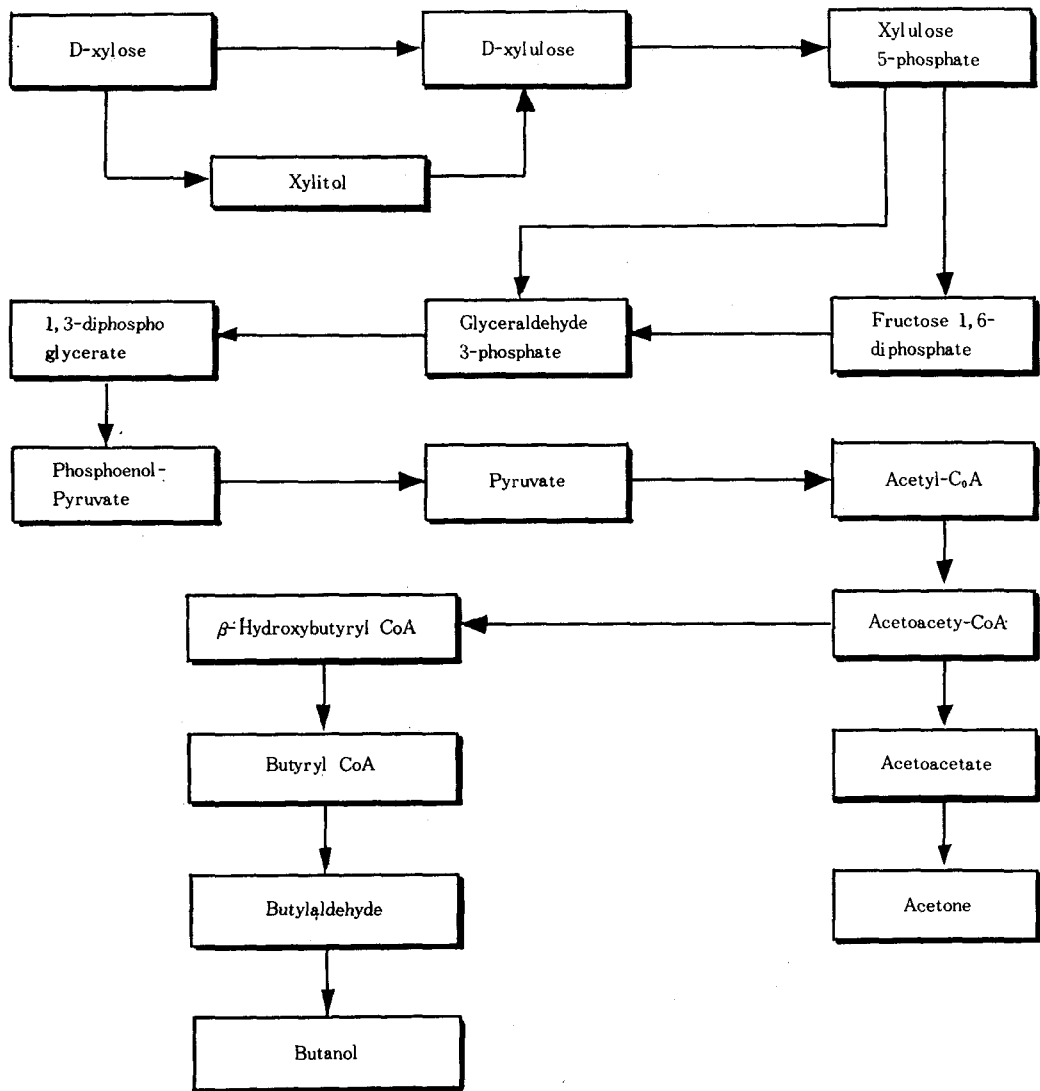


Fig. 3 Metabolic pathways for the fermentation of acetone-butanol from xylose by *Clostridium Sp.*

하여 높은 細胞蛋白質의 생산성을 보임으로서 單細胞 蛋白質(SCP)로서 이용 될 수 있다. 이외에도 五炭糖을 이용하여 높은 収率로 細胞 蛋白質을 生産하는 菌株가 보고 되고 있다.

Xylose는 또한 포도당 이성화 효소(glucose isomerase)의 誘導物質로 사용되어 지는데, 최근 xylooligosaccharide가 xylose보다 우수한 誘導物質로 작용함이 보고 되기도 했다.

5. 結言

Hemicellulose는 物量面에서 cellulose에 이어 두번째로 再活用이 가능한 有用 자원이다. 그러나 그 대부분이 五炭糖으로 구성되어 있어 醱酵 基質로 사용하기에 主저함이 없지 않았으나, 研究結果 六炭糖과 同一한 炭素 収率을 나타내는 것으로 報告되어 있다. 따라서 五炭糖은 포도당과 마찬가지로 ethanol 발효의

기질로 사용될 수 있으며 유기산 및 有機 溶 媒 발효 그리고 單細胞 蛋白質 발효에 利用될 수 있다.

그러나 現時點에서 이들을 이용한 발효 산업의 경제성은 포도당을 이용한 工業的 生産 工程과 마찬가지로 좋은 편은 아니다. 더구나 五炭糖 발효의 生産性은 六炭糖 발효에 비해 다소 낮은 것으로 나타나고 있으며, *Fusarium oxysporum*에 의한 ethanol 발효 속도는 yeast에 의한 것 보다 늦은 것이 問題이다.

그러나 石油 製品價의 昂등과 醱酵技術의 發達은 멀지 않은 將來에 이들의 經濟性을 約束해 줄 수 있을 것이며, 廢資源의 再活用 또는 生物資源과 같은 再生資源의 積極的인 活用이라는 側面에서 볼 때에 그 展望은 매우 밝다고 生覺한다. 또한 實質的으로 xylose로부터 xylitol과 같은 有用製品의 生産은 hemicellulose의 利用에 있어서 새로운 可能性을 제시해 주고 있다.

參考文獻

1. T. E. Timell: in "Advances in Carbohydrate Chemistry," Academic Press, Vol. 20, 410 (1965).
2. R. L. Whistler and E. L. Richards: in "The Carbohydrate," W. Pigman and D. Horton, eds, Academic Press, New York, 1970.
3. R. F. H. Dekker and G. N. Richards: in "Advances in Carbohydrate Chemistry," R. S. Tipson and D. Horton, eds., Academic Press, Vol. 32, 277 (1976).
4. 한문희 · 최양도: Hemicellulose와 hemicellulase 의 화학, 한국산업미생물학회지, 9 (3), (1981).
5. J. N. Counsell: "Xylitol," Applied Science Publishers, Ltd. London (1978).
6. S. L. Rosenberg: Fermentation of pentose sugars to ethanol and other neutral products by microorganisms, Enzyme Microb. Technol. 2, 185 (1980).

