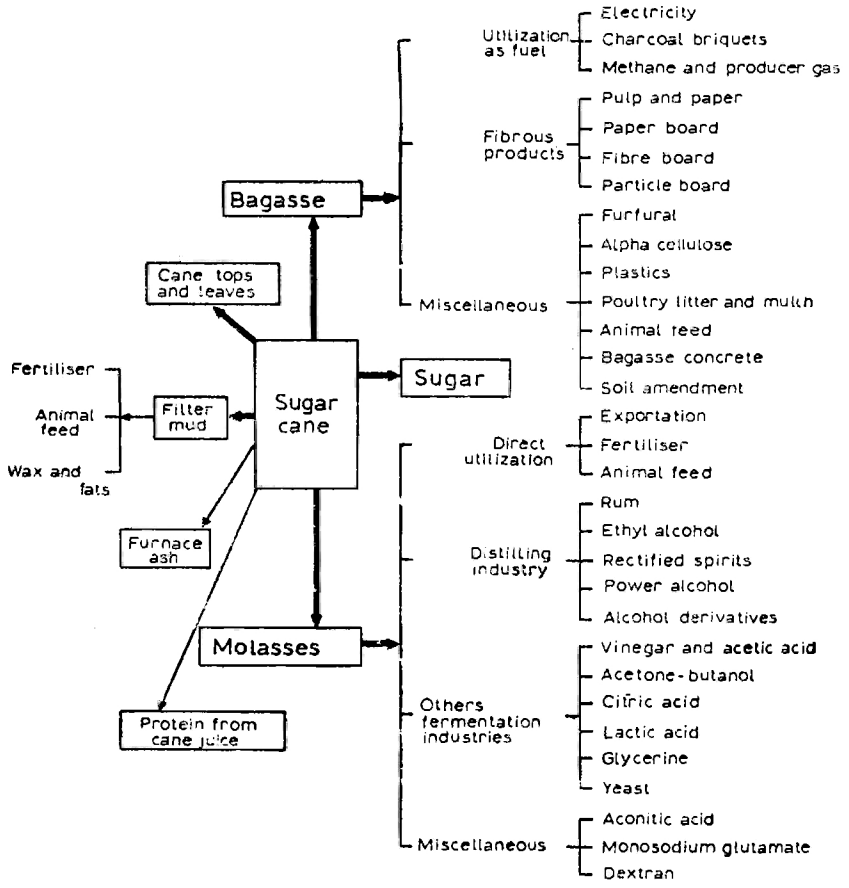
ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล

โดย ... ปกิต อุตมโชติ วท.บ.

(แปลจาก : By–products of the cane sugar industry โดย J. M. Paturau)

(ต่อจากฉบับที่แล้ว)



ปกิต อุดมโชติ. "ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล" *วารสารน้ำตาล* 16, 4 (ก.ค.-ส.ค. 2523) 18-27

กากอ้อย (Bagasse)

คุณสมบัติ

1. ส่วนประกอบทางเคมีและฟิสิกส์

เมื่ออ้อยเข้าหีบในโรงงาน จะถูกสกัดเอาน้ำอ้อยออก ส่วนที่เหลือคือกากอ้อยซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำ, ไฟเบอร์, และมีสารที่ละลายน้ำได้ (Soluble solid) ปนอยู่นิดหน่อย ส่วนประกอบพวกนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของอ้อย, การตัด และประสิทธิภาพของโรงงาน

ค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบเหล่านี้มี :

ความชื้น (Moisture)	46–52 % (เฉลี่ย 49 %)
ไฟเบอร์ (Fiber)	43–52 % (,, 48.7 %)
Soluble solid (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล)	2–6 % (,, 2.3 %)

ส่วนประกอบที่เป็นไฟเบอร์จะไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วย cellulose, pentosans และ lignin

cellulose เป็น polysaccharide มีสูตรโมเลกุลทั่วๆ ไปว่า $(C_6H_{10}O_5)n$ ส่วนประกอบส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อเยื่อ จะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมีสิ่งเจือปนมาด้วย เช่น lignin, pentosans, gums, tannins, ไขมัน, สารที่ทำให้เกิดสี ส่วนประกอบของเนื้อเยื่อใน cellulose จะบริสุทธิ์และมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกับ glucose ที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาว (long polymer chain of glucose) จะแตกต่างกันที่คุณสมบัติของ cellulose ที่ลำดับการต่อกันเป็นลูกโซ่ และ bagasse cellulose นี้จะมี polymer chain 2,000–3,000 หน่วย

จากคุณสมบัติการละลายใน caustic soda เราสามารถแบ่ง cellulose ได้คือ

α – cellulose : ละลายได้ในสารละลาย caustic soda (17.5 %) ที่อุณหภูมิห้อง

β – cellulose : ละลายได้ใน caustic soda (17.5 %) แต่จะตกตะกอนได้ง่าย เมื่อสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด

γ – cellulose : ละลายได้ใน caustic soda (17.5 %) แต่ไม่ตกตะกอน เมื่อสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด แต่จะตกตะกอนในแอลกอฮอล์

ความถ่วงจำเพาะของ cellulose ประมาณ 1.55

มีเพียง α – cellulose เท่านั้นที่ประกอบด้วย cellulose ล้วน ๆ ส่วนต่าง ๆ ของพืช

ซึ่งสามารถละลายได้ในสารละลายของ caustic soda (17.5%) ขณะเย็น เราจะเรียกว่า hemicellulose และ hemicellulose นี้ การต่อกันเข้าเป็นลูกโซ่จะต่างจาก cellulose ตรงที่จะมี pentose มากกว่า glucose และมีลูกโซ่สั้นกว่าประมาณ 40 หน่วย สำหรับ Holocellulose นั้นจะเป็นตัวที่ใช้สำหรับบ่งถึง cellulose และ hemicellulose เกิดขึ้นจากไม้และกากอ้อย

มีวิธีหลายอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของ cellulose และวิธีที่เป็นที่รู้จักกันในการหา cellulose ในกากอ้อยคือวิธีของ Cross & Bevan method อย่างไรก็ตามจากวิธีการวิเคราะห์ทั้งหลาย เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นว่าวิธีของ Kurschner & Hoffer method เป็นวิธีที่ดีที่สุด

Pentosans เป็นรูปหนึ่งของ hemicellulose เมื่อ hydrolysis จะได้ xylose, arabinose และ uronic acid แต่ถ้าต้มด้วยกรดเกลือ (HCl) pentosans จะเปลี่ยนเป็น furfural

$$\underset{\text{Pentosan}}{C_5H_8O_4} \longrightarrow \underset{\text{Pentose}}{C_5H_{10}O_5} \longrightarrow \underset{\text{furfural}}{C_5H_4O_2}$$

ปฏิกริยานี้จะใช้สำหรับหาปริมาณของ Pentosans ได้

Lignin เป็นชื่อบ่งถึงสารเคมีที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ ส่วนมากประกอบด้วย cellulose และ hemicellulose โครงสร้างทางเคมีจะเป็น aromatic (วงแหวน) ขนาดใหญ่ ประกอบด้วย benzene ring และ methylated phenolic groups มาก แต่สูตรโครงสร้างของสารนี้ยังไม่แน่นอน

ลักษณะโครงสร้างของต้นอ้อยประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่เป็น fiber หลายชนิดที่สำคัญที่สุดมี 2 ชนิด และยังเหลืออยู่ในกากอ้อยด้วย คือ

1. ชนิดที่เป็นผนังหนาและเหนียว เป็นเซลล์รูปทรงกระบอกของท่อลำเลียงน้ำและอาหารหรือเรียกว่า true fiber

2. เซลล์ชนิดที่มีผนังบางและอ่อนนุ่ม เป็น parenchyma ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนอยู่ภายในลำต้น เรียกว่า pith

ส่วนที่เป็น vessel จะอยู่รวมกับท่อลำเลียงน้ำและอาหาร เนื่องจากมีลักษณะที่ไม่เป็นไฟเบอร์ และในระยะที่แยก pith ออก เนื้อเยื่อของพวก vessel จะถูกดึงออกมาด้วย ฉะนั้นส่วนนี้จะเรียกรวมเป็นส่วนของ pith

True fiber และ pith จะมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เหมือนกัน แต่โครงสร้างต่างกันอย่างมาก เมื่อดูตามน้ำหนัก อัตราส่วนจะอยู่ในราว 2.5 : 1 true fiber จะมีความยาวมากกว่าความกว้าง เฉลี่ยได้ประมาณ 70 เท่า ประสิทธิภาพในการยึดหรือหดตัวมีมาก ขึ้นกับสภาพว่าแห้งหรือเปียก การจับตัวกันของ fiber อันหนึ่งกับอันใกล้เคียงจะชิดกันมาก เพราะแรงเกาะกันมีมาก เพราะเหตุนี้ทำให้ไฟเบอร์ในกากอ้อยสามารถนำมาทำเป็นแผ่นได้เป็นอย่างดี

สำหรับ Pith ซึ่งมีขนาดและรูปร่างไม่แน่นอนสามารถจำแนกได้ตามคุณสมบัติในการดูดซึม เนื่องจากไม่มีคุณสมบัติในการยึดเกาะ จึงทำให้การทำเป็นแผ่นไม่ดี มีแรงเกาะกันน้อย และทำให้แห้งได้ช้า อย่างไรก็ตาม การดูดซึมของเซลล์ประเภทนี้สามารถดูดซึมได้มากและเป็นหลายเท่าของน้ำหนักเซลล์ ประโยชน์ของเซลล์พวกนี้มีจำกัด คือใช้เป็น molasses carrier ในการทำอาหารสัตว์

ตารางเปรียบเทียบขนาดของ fiber

พืช	ความยาว	อัตราส่วน ความยาว : ความกว้าง
อ้อย		
Fiber	1.5	70
Pith	0.3	5
Vessel segment	1.0	9

2. พลังงานที่ได้จากกากอ้อย

มีสูตรหลายสูตรที่จะหาปริมาณความร้อนที่ได้จากกากอ้อย แต่มีสูตรพอที่จะเชื่อถือได้จาก Pritzelwitz van der Horst ของ Java และ Hessey ของออสเตรเลีย ดังนี้

ของ Pritzelwitz van der Horst :

Gross calorific value : $4550 - 10\,S\,\% - 45.5\,W\,\%$ Kcal/Kg

Net calorific value : $4250 - 10\,S\,\% - 48.0\,W\,\%$ Kcal/Kg

ของ Hessey :

Gross calorific value : $4636 - 12.3\,S\,\% - 46.46\,W\,\%$ Kcal / Kg

Net calorific value : $4324 - 12.3\,S\,\% - 49.04\,W\,\%$ Kcal / Kg

โดย W = ความชื้นของกากอ้อย (%)

S = Soluble solid (%)

∴ เราจะได้ค่าเฉลี่ยของปริมาณความร้อนที่ได้จากกากอ้อยดังนี้

Gross calorific value = 2340 Kcal/kg (4200 BTU/lb)

Net calorific value = 1920 Kcal/kg (3450 BTU/lb)

เนื่องจากเราไม่สามารถทำให้ไอน้ำที่อยู่ในเตาเผากลั่นตัวเป็นน้ำและถ่ายเทความร้อนแฝง (latent heat) ออกมาได้ ฉะนั้นค่า Net calorific value จึงเป็นค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการให้ความร้อนจากเชื้อเพลิงนั้น

ถ้าเราจะใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นแทนกากอ้อย โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้น้ำมัน, ถ่านหิน หรือแก๊ส หรือไม้ ค่าปริมาณความร้อนดังแสดงตามตารางนี้

ชนิดของเชื้อเพลิง	GCV	NCV
น้ำมัน	100,00 Kcal/Kg	9,300 Kcal/Kg
ถ่านหิน	6,700 Kcal/Kg	6,500 Kcal/Kg
แก๊ส	12,250 Kcal/Kg	11,200 Kcal/Kg
	หรือ 8,900 Kcal/m^3	8,100 Kcal/m^3
ไม้สด (ความชื้น 30 %)	3,225 Kcal/Kg	2,800 Kcal/Kg
ไม้แห้ง(„ 15 %)	3,990 Kcal/Kg	3,600 Kcal/Kg

ความสมดุลย์ของเชื้อเพลิงเหล่านี้ในรูปของกากอ้อย สามารถจะแสดงเป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ได้ ดังนั้นเราจะพูดได้ว่า ถ้าใช้กากอ้อย (ความชื้น 49 %) 1 ตัน จะเท่ากับใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ

0.18 ตัน ของ น้ำมัน

0.28 ตัน „ ถ่านหิน

0.15 ตัน „ แก๊ส (หรือ 0.209 m^3)

0.55 ตัน „ ไม้ (แห้ง)

3. การเก็บรักษากากอ้อย

ก) ทั่วไป

ต้นทุนของกากอ้อยซึ่งขายในรูปพลังงานความร้อน โดยปกติจะเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับค่าขนถ่าย, เก็บรักษา และขนส่ง

ประโยชน์โดยตรงของกากอ้อยคือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานน้ำตาล กากอ้อยจะมีความหนาแน่นประมาณ 160 Kg/m^3 ติดไฟได้ง่าย

เนื่องจากยังมีน้ำตาลติดเหลืออยู่ในกากอ้อย รวมทั้งความชื้นและยีสต์อีกด้วยจึงทำให้เกิดขบวนการหมัก (fermentation) เป็นแอลกอฮอล์และจะเปลี่ยนเป็น acetic acid อีกเมื่อมีแบคทีเรียและออกซิเจน เนื่องจากปฏิกิริยาหมักนี้ทำให้เกิดความร้อนและปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ fiber ส่วน pith จะถูกทำลายได้ง่ายกว่า fiber และคุณภาพของ pith จะเสื่อมลง จากปรากฏการณ์นี้ทำให้มีผู้คิดค้นที่จะใช้ประโยชน์ทางชีววิทยาเพื่อที่จะไม่ให้ส่วนที่เป็น pith ถูกทำลาย

ข) The Ritter System

The Ritter System เป็นการเก็บกากอ้อยเป็นกอง ๆ โดยชุบสารละลายทางชีววิทยาเพื่อป้องกันไม่ให้ fiber มีคุณภาพเสื่อมลง

Ritter ได้ทำการทดลองเองในปี 1930 แต่เริ่มใช้ครั้งแรกในโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อปี 1956 ที่ The Ngoye Paper Mill ที่ Felixton อาฟริกาใต้

สารละลายที่ใช้นี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย lactic acid bacteria ซึ่งมีกากน้ำตาลเป็นอาหาร bacteria พวกนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีถ้ามี pH 4.0 – 4.5 จะป้องกันไม่ให้จุลชีพที่ไม่ต้องการเจริญเติบโตได้ในกากอ้อย จะทำให้ไม่มีการสูญเสีย fiber และคุณภาพก็ไม่เสื่อมลง

เมื่อลูกหีบทำงาน กากอ้อยจากโรงงานจะถูกนำไปผสมกับสารละลายทางชีววิทยาทำให้เป็น 4 % suspension และนำไปใส่ไว้ในถังคอนกรีต ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับเก็บ พื้นคอนกรีตจะมีร่องขนานกันและขวาง เพื่อให้กากอ้อยสะเด็ดน้ำ และนำสารละลายมาใช้ใหม่ได้

กากอ้อยจะไหลไปตามท่อและรวมกันเป็นกองใหญ่ ท่อนี้จะปรับได้ง่าย ในโรงงานเล็กๆ ความสูงของกากอ้อยประมาณ 15 เมตร ถ้าเป็นโรงงานใหญ่ที่มีกำลังหีบมากกว่า 300 ตัน/วัน การเก็บจะสูงได้ถึง 25 เมตร

กากอ้อยที่นำมาเก็บจะดูดซับสารละลายทางชีววิทยาประมาณ 50 % ของของเหลวที่ใช้ ปริมาณของของเหลวที่หายไปจะสังเกตได้และแทนที่โดยใช้น้ำสะอาดและใส่เชื้อลงไปในอัตรา 0.25 % ของสารละลายที่หมุนเวียน

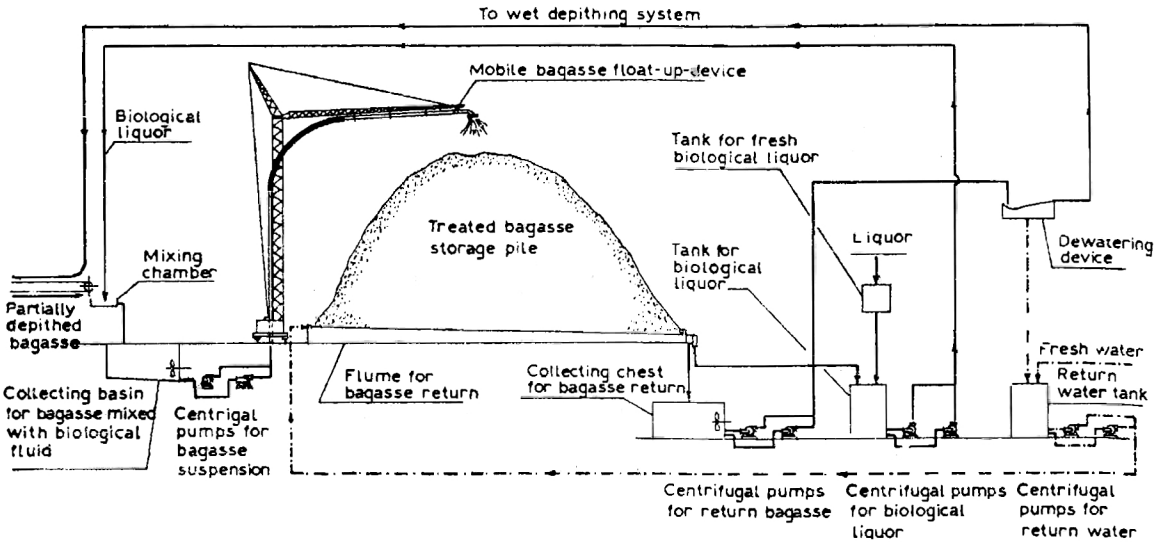


Fig. 10A. "Ritter System" for bagasse storage area. (By permission from J. E. Atchison

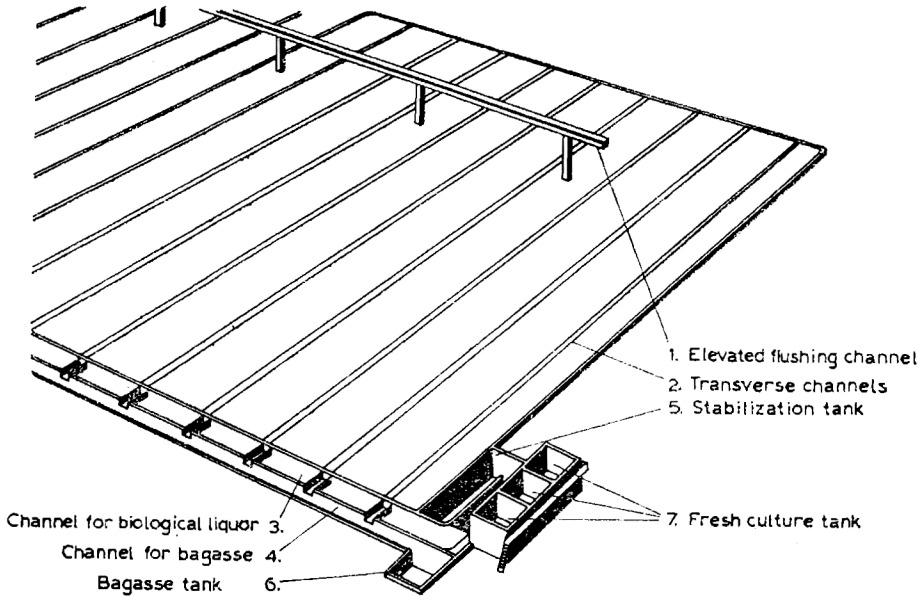


Fig. 10B. "Ritter System": detail of storage area. (Courtesy J. Mobius, Aschaffenbarger Zellstiffwerke A.G.)

กากอ้อยที่ไหลมาตามท่อจะนำไปในถังใหญ่มีที่คน เครื่องจะแยกเอา pith ที่เสียแล้วออกจาก fiber แล้วนำไปบีบน้ำออก fiber เมื่อบีบเอาน้ำออกแล้วก็ส่งไปยังโรงงานกระดาษ ปริมาณน้ำที่ถูกบีบออกมานี้มีปริมาณมาก เมื่อนำไปกรองก็สามารถนำไปใช้ใหม่ได้อีก

สำหรับกากอ้อย ถ้าเราจะอัดเก็บแบบธรรมดาจะกินเนื้อที่ประมาณ 0.384 ตัน ของกากอ้อยแห้ง/ ตารางเมตร แต่พื้นที่ที่ใช้เมื่อผ่านขบวนการ Ritter แล้วจะได้ถึง 3.22 ตันของกากอ้อยแห้ง/ตารางเมตร

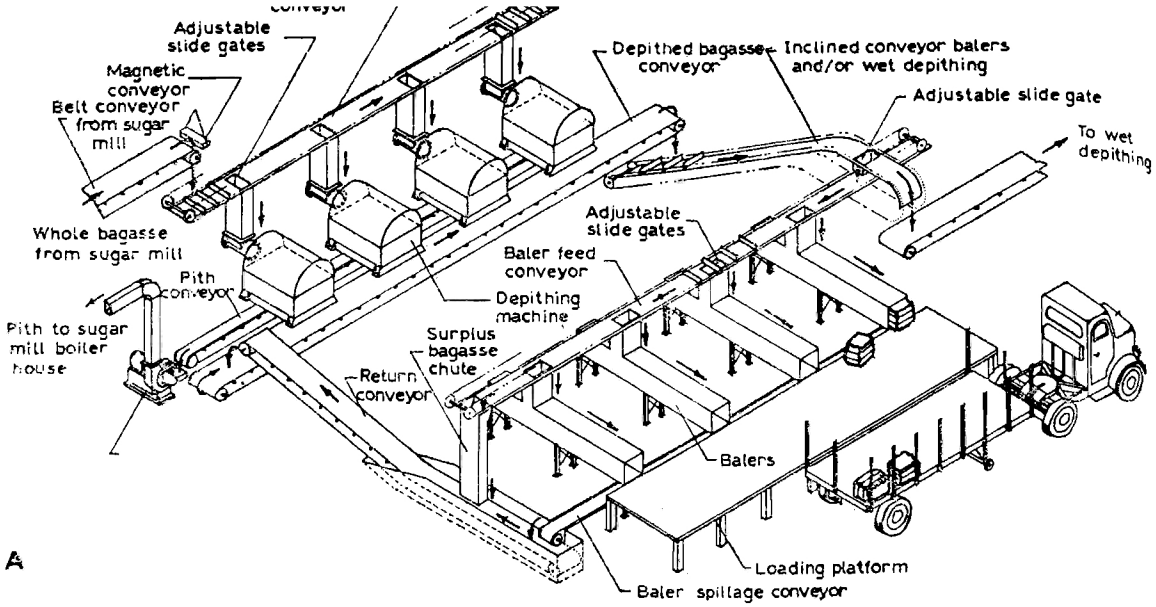
ข้อดีของ Ritter System

1) ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายน้อยลง
2) ไม่เสี่ยงต่อการที่กากอ้อยไหม้ไฟได้ง่าย
3) ไม่มีปัญหาเรื่องฝุ่นเล็ก ๆ และอันตรายจากกากอ้อยชิ้นเล็ก ๆ
4) ค่าใช้จ่ายคนงานลดลง $\frac{1}{4}$ เท่า
5) ไม่ต้องใช้ลวดหรือตาข่ายคลุม
6) คุณภาพของกากอ้อยหลังเก็บมีคุณภาพดีมาก

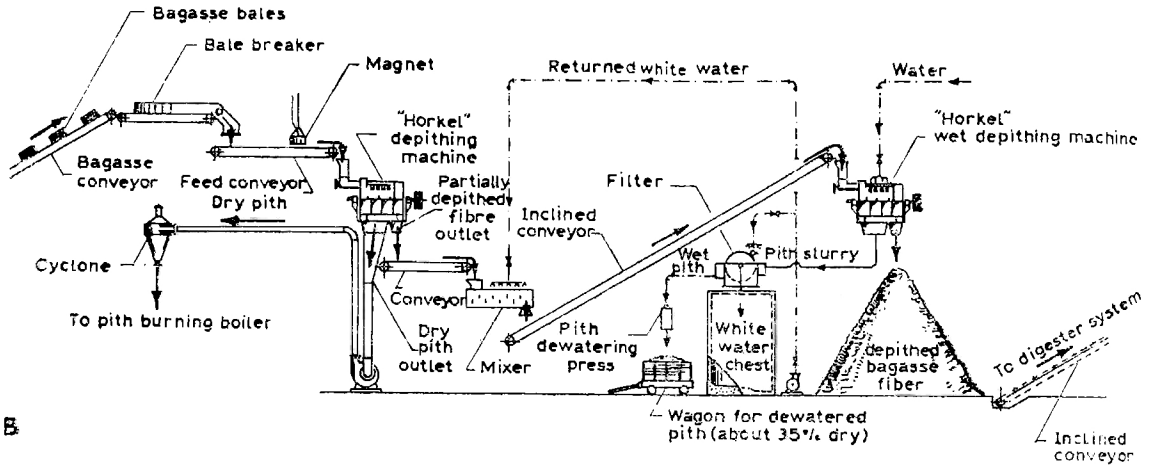
4. Depithing

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า กากอ้อยนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย จึงทำให้มีความสำคัญเพิ่มขึ้น เราแยกกากอ้อยได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนไฟเบอร์และ pith วิธีการที่จะแยก pith ออกจากไฟเบอร์ทำได้หลายวิธี แต่เราแบ่งใหญ่ ๆ ได้เป็น 3 ชนิด คือ

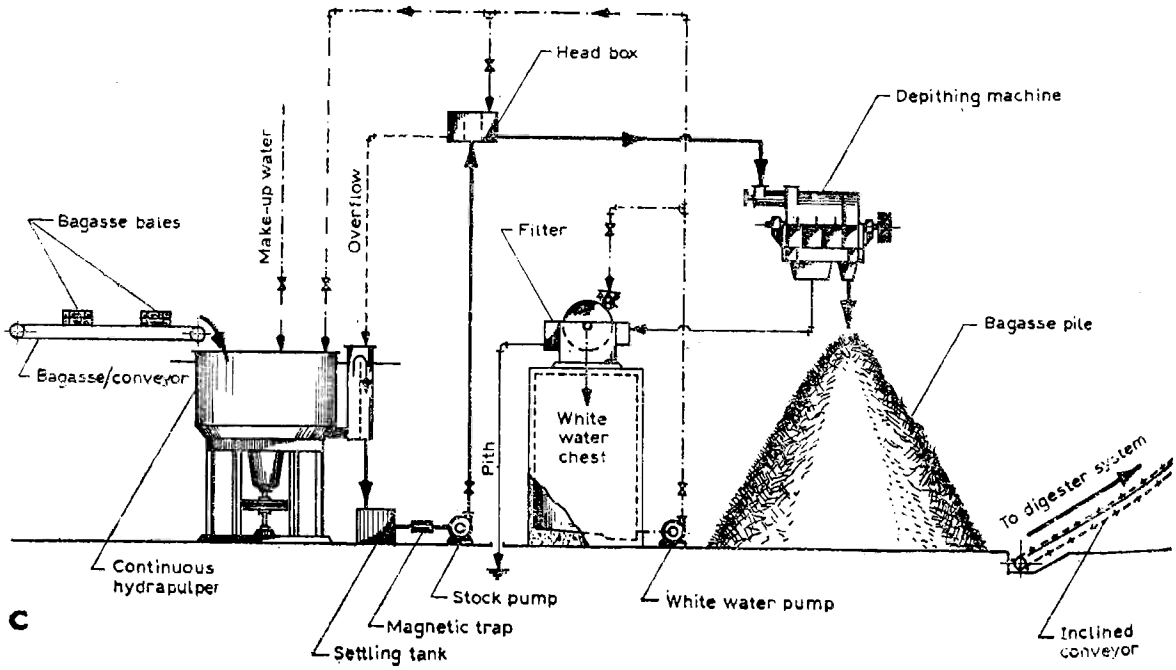
1) Dry depithing system รวมถึงการแยก pith หลังจากที่ทำให้กากอ้อยแห้งแล้วในที่เก็บกากอ้อย
2) Humid depithing system เป็นการใช้ประโยชน์หรือปรับปรุงโดยตรงจากกากอ้อยที่ออกจากโรงงาน ซึ่งมีความชื้นประมาณ 49 %
3) Wet depithing system เป็นการนำกากอ้อยมาผสมในของเหลว


Adjustable slide gates
Magnetic conveyor
Belt conveyor from sugar mill
Depithed bagasse conveyor
Inclined conveyor balers and/or wet depithing
Adjustable slide gate
To wet depithing
Whole bagasse from sugar mill
Pith conveyor
Adjustable slide gates
Baler feed conveyor
Depithing machine
Pith to sugar mill boiler house
Surplus bagasse chute
Return conveyor
Balers
Loading platform
Baler spillage conveyor

A


Bagasse bales
Bale breaker
Magnet
Returned white water
Water
"Horkel" depithing machine
"Horkel" wet depithing machine
Bagasse conveyor
Feed conveyor Dry pith
Partially depithed fibre outlet
Filter
Inclined conveyor
Cyclone
Wet pith
Pith slurry
To pith burning boiler
Conveyor
Dry pith outlet
Mixer
Pith dewatering press
White water chest
Depithed bagasse fiber
To digester system
Wagon for dewatered pith (about 35% dry)
Inclined conveyor

B


Head box
Depithing machine
Make-up water
Overflow
Bagasse bales
Filter
Bagasse pile
Bagasse/conveyor
White water chest
Pith
To digester system
Continuous hydrapulper
Stock pump
White water pump
Magnetic trap
Settling tank
Inclined conveyor

C

A : "Humid" bagasse depithing and baling station at sugar mill.

B : Two-stage, dry + wet pith separation system at pulp mill.

C : Wet secondary pith separation system at pulp mill.

(อ่านต่อฉบับหน้า)

□ □ □