บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การผลิตน้ำตาลทราย

น้ำตาลทราย คือ น้ำตาลซูโคสที่อยู่ในรูปผลึกซึ่งสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด อาทิเช่น อ้อย (Sugar cane), ต้นตาล (Sugar palm), ต้นมะพร้าว (Coconut palm), ต้นเมเปิ้ลน้ำตาล (Sugar maple) และหัวบีท (Sugar beet) เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลของไทยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต

2.1.1 ประเภทของน้ำตาลทราย

2.1.1.1 น้ำตาลทรายดิบ (Raw sugar)

มีลักษณะเป็นผลึกหรือเกล็ดสีน้ำตาลเข้มสี มีสิ่งสกปรกเจือปนสูง มีความความชื้นและความบริสุทธิ์ต่ำ โดยทั่วไปค่าสีของน้ำตาลจะสูงกว่า 1,500 ICUMSA (หน่วยมาตรฐานที่ใช้วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำตาล) ในการผลิตจะใช้น้ำอ้อยผสมปูนขาว ให้ความร้อนจนทีอุณหภูมิ 100 – 105 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านการกรอง ของเหลวดังกล่าวจะถูกส่งไปที่หม้อต้มระเหยเพื่อทำให้ข้นขึ้นจนมีความเข้มข้นระหว่าง 60 – 65 องศาบริกซ์ จากนั้นส่งไปยังหม้อเคี่ยวความดันต่ำภายใต้สุญญากาศ จนเกิดผลึกที่มีความเข้มข้น 92 – 93 องศาบริกซ์ ซึ่งจะถูกนำไปแยกผลึกน้ำตาลดิบออกจากกากน้ำตาล (Molasses) ที่หม้อปั่น

2.1.1.2 น้ำตาลทรายขาว (White sugar)

มีลักษณะที่เป็นผลึกใส สีขาวถึงเหลืองอ่อน มีกากน้ำตาลติดอยู่เป็นส่วนน้อย มีความชื้นเล็กน้อย เกล็ดน้ำตาลร่วนไม่ติดกัน โดยทั่วไปจะมีค่าสีของน้ำตาลประมาณ 46 - 200 ICUMSA มีค่าความหวาน (Polarization) ไม่น้อยกว่า 99.50 องศาบริกซ์ เป็นน้ำตาลทรายที่ได้จากการนำเอาน้ำตาลทรายดิบมาผ่านกระบวนการเพื่อสกัดเอาสิ่งเจือปนในน้ำตาลทรายดิบออก 2 วิธี ดังนี้

(1) วิธีใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผ่านลงไปในน้ำปูนขาวและน้ำอ้อย เพื่อให้ทำปฏิกิริยากันแล้วจึงกรองเอาน้ำอ้อยออก ก่อนนำไปเคี่ยวให้ตกผลึก หลังจากผ่านการปั่นแยกผลึกน้ำตาลแล้วจะใช้น้ำฉีดเอากากน้ำตาลออกจากผลึก และใช้ไอน้ำเป่าไล่ความชื้นแล้วนำไปเข้าเครื่องทำให้เย็น

(2) วิธีใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านลงไปในน้ำปูนขาวและน้ำอ้อย เพื่อทำให้ปฏิกิริยากันเพื่อแยกสีและสิ่งสกปรกออกแล้วนำไปกรอง ก่อนจะนำไปเคี่ยวให้ตกผลึกต่อไป ซึ่งน้ำตาลที่ได้จะขาวสะอาดกว่าวิธีแรก

2.1.1.3 น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refined sugar)

มีลักษณะที่เป็นผลึกสีขาวใส มีความบริสุทธิ์สูง โดยจะมีค่าสีไม่เกิน 45 ICUMSA ในการผลิตจะนำน้ำตาลทรายดิบมาผสมกับน้ำเชื่อมสำหรับล้างผลึกในถังผสมที่อุณหภูมิ 50 °c จากนั้นนำไปแยกน้ำเชื่อมออกจากน้ำตาลทรายดิบที่หม้อปั่นน้ำตาลทราย (Affination centrifuge) และนำน้ำตาลทรายที่ได้ไปหลอมละลายใหม่ที่หม้อหลอม (Melter) ผสมกับสารช่วยกรองและผงถ่านฟอกสีแล้วจึงนำไปกรอง ต้มระเหยและเคี่ยวจนตกผลึกเป็นเกร็ดน้ำตาลจึงนำไปอบแห้ง

2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมีลักษณะคล้ายกัน สำหรับโรงงานขนาดใหญ่กับโรงงานขนาดเล็กจะมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ในกระบวนการผลิตประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การเตรียมอ้อย การหีบอ้อย และการต้ม เคี่ยวและปั่น

2.1.2.1 การเตรียมอ้อย

เนื่องจากอ้อยที่ขนส่งมายังโรงงานนั้นมีลักษณะเป็นลำยาว ดังนั้นก่อนนำอ้อยไปผ่านการหีบเพื่อรีดน้ำอ้อยนั้นจึงต้องมีการเตรียมอ้อย เพื่อทำให้การหีบมีประสิทธิภาพ โดยเริ่มจากสายพานลำเลียงอ้อยจากรถบรรทุกที่จุดรับอ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิต อ้อยจะถูกส่งไปยังชุดมีดเพื่อตัดอ้อยออกเป็นท่อนก่อนนำไปยังเครื่องตีอ้อยให้แตก และผ่านชุดมีดอีกครั้งเพื่อสับอ้อยให้เป็นฝอยละเอียดชิ้นเล็กๆ จากนั้นจึงลำเลียงไปยังชุดลูกหีบ

2.1.2.2 การหีบอ้อย

อ้อยที่ผ่านการเตรียมอ้อยมาแล้วจะถูกส่งมายังชุดลูกหีบเพื่อรีดน้ำอ้อยออกมา ลูกหีบที่ใช้จะมีประมาณ 5 ชุด (แล้วแต่โรงงาน) น้ำอ้อยที่ได้จากชุดลูกหีบชุดแรกจะถูกส่งไปยังหม้อต้ม ส่วนน้ำอ้อยที่ได้จากลูกหีบชุดถัดๆ มาจะลำเลียงกลับมาพรมอ้อยที่กำลังหีบในชุดก่อนหน้าเพื่อเพิ่มความเข้มข้น ส่วนที่ลูกหีบชุดสุดท้ายจะพรมอ้อยด้วยน้ำอุ่น ชานอ้อยที่เหลือจากการหีบจะถูกส่งไปยังห้องเผาไหม้ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ส่วนที่เหลือจะถูกแยกลำเลียงไปเก็บเป็นเชื้อเพลิงสำรองในช่วงปิดหีบหรือขายให้แก่อุตสาหกรรมอื่นๆที่ใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป ซึ่งชานอ้อยที่ได้จะมีความชื้นประมาณ 80 % โดยน้ำหนัก

2.1.2.3 การต้ม เคี่ยว และปั่น

น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบจะถูกอุ่นให้ร้อนประมาณ 65 องศาเซลเซียส และปรับค่า pH ให้เป็นกลาง (pH = 7) จากนั้นจะส่งไปยังหม้อต้มระเหยจนมีความเข้มข้น 60 – 65 องศาบริกซ์ จากนั้นส่งไปยังหม้อเคี่ยวความดันต่ำภายใต้สุญญากาศ จนเกิดผลึกที่มีความเข้มข้น 92 – 93 องศาบริกซ์ และถูกนำไปแยกผลึกน้ำตาลดิบออกจากน้ำตาล (Molasses) และน้ำเชื่อมที่หม้อปั่น

2.1.3 ชานอ้อยผลิตผลพลอยได้จากอ้อยและน้ำตาล [1-2]

โดยเฉลี่ยในการแปรรูปอ้อย 1 ตัน ในกระบวนการผลิตน้ำตาลจะต้องใช้พลังงานในการแปรรูปทั้งสิ้น 25-30 กิโลวัตต์ชั่วโมง และใช้ไอน้ำอีก 0.4 ตัน เพื่อให้ได้

(1) น้ำตาลทรายประมาณ 105-110 กิโลกรัม

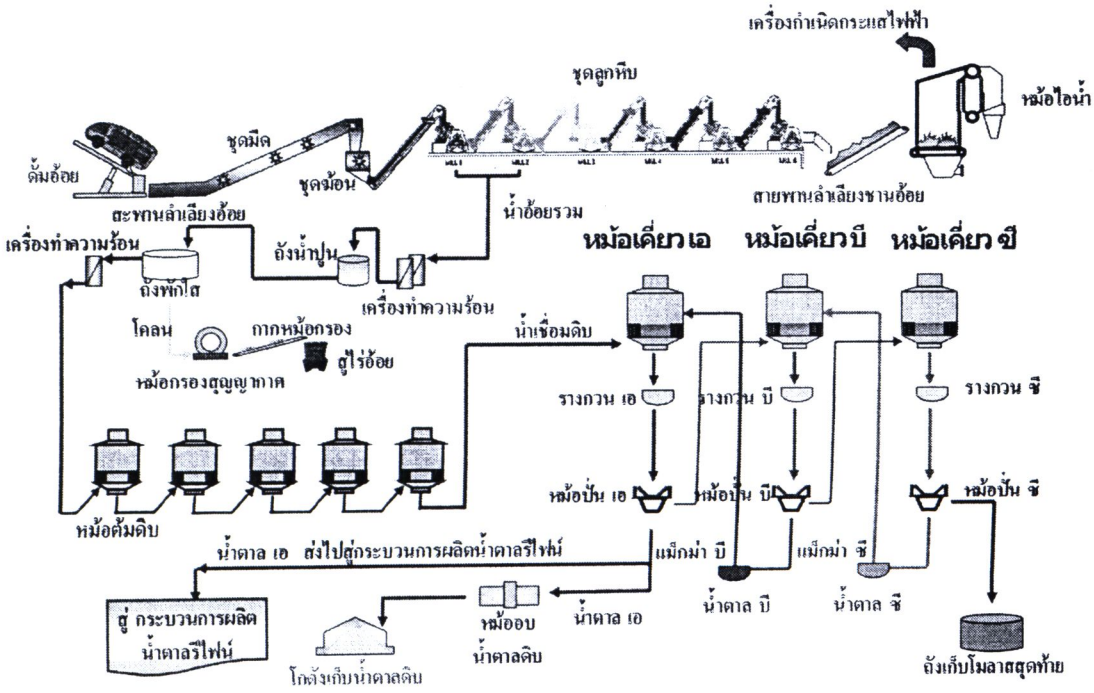
(2) น้ำ 500-510 กิโลกรัม

(3) กากอ้อยหรือชานอ้อย (ความชื้นร้อยละ 50-52) 270-290 กิโลกรัม สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 100 กิโลวัตต์ชั่วโมง

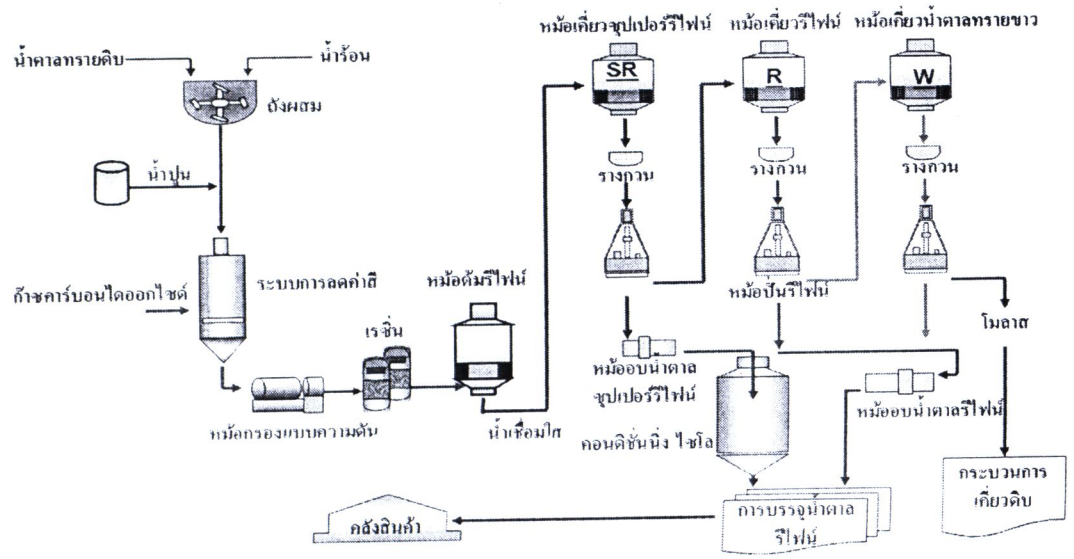
(4) กากตะกอนหม้อกรอง (ความชื้นร้อยละ 70-72) 28-40 กิโลกรัม

(5) กากน้ำตาล 50-60 กิโลกรัม

น้ำตาลที่ได้จากกระบวนการผลิตถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ส่วนที่เหลือนั้นสามารถนำไปใช้ภายในโรงงานน้ำตาล หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีก เรียกว่า ผลิตผลพลอยได้ (By-products) ซึ่งได้แก่ ชานอ้อย (Bagasse), กากตะกอนหม้อกรอง (Filter mud), กากน้ำตาล (Molasses) เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 ขบวนการผลิตน้ำตาลดิบจากอ้อย



ภาพที่ 2.2 ขบวนการผลิตน้ำตาลรีไฟน์จากอ้อย

2.2 ชานอ้อย

หมายถึง ส่วนของลำต้นอ้อยที่ผ่านการหีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว มีส่วนประกอบอย่างหยาบๆ คิดเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของชานอ้อยเปียก (ความชื้นร้อยละ 48) คือ ชานอ้อยหรือไฟเบอร์ (Fiber) 48.5 %, น้ำ 48 %, น้ำตาล 3 % และสารประกอบอื่นๆ นอกจากที่กล่าวแล้ว 0.5 % ชานอ้อยจึงจัดเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง อาทิเช่น [3]

2.2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิง

ชานอ้อยใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า สำหรับใช้ภายในโรงงานน้ำตาลนั่นเองชานอ้อยสามารถใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel oil) ได้ดี ชานอ้อยที่มีความชื้นร้อยละ 50 % หนัก 3 ตันเมื่อเผาจะให้พลังงานไล่เลี่ยกับน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก 1 ตัน

2.2.2 การผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อย

เส้นใยอ้อยเหมาะสมที่จะนำมาทำเยื่อกระดาษมาก คือ จัดเป็นเยื่อชนิดดี และฟอกสีได้ง่าย ข้อเสีย คือ จำเป็นจะต้องแยก Pith ออกก่อนทำเยื่อ การทำเยื่อกระดาษก็เพื่อที่จะละลายส่วนที่เป็นลิกนินและเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ออกจากชานอ้อย ลิกนินเป็นส่วน หนึ่งซึ่งยึดเส้นใยของชานอ้อยให้ติดกัน ทำให้ไม่สามารถทำให้ได้กระดาษแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนเฮมิเซลลูโลสถ้ามีอยู่เกิน 20% จะทำให้กระดาษที่ได้ขาดง่ายเกินไป ไม่เหนียวและหยุ่นตัว ก่อนทำเยื่อกระดาษ จะต้องนำชานอ้อยมาล้าง และแยกส่วนที่เรียกว่า "พิท" (Pith) ออกก่อน เยื่อที่เหลืออยู่จะถูกนำ ไปย่อย หรือผสมกับส่วนผสมหนึ่ง หรือมากกว่าตามสูตร ซึ่งมักจะปิดบังไม่เปิดเผยเสร็จแล้วนำไปผ่านความร้อน 10 - 12 นาที สิ่งที่ได้เรียกว่า เยื่อกระดาษ ต่อมาเยื่อกระดาษจะถูกนำไปทำให้ขาวโดยการฟอกด้วยนม หรือสารเคมี แล้วแต่ว่าจะนำ เยื่อกระดาษนั้นไปใช้ทำอะไร

2.2.3 ใช้เป็นอาหารสัตว์

ชานอ้อยถ้าให้สัตว์กินโดยตรงมักจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับรสชาติ การย่อยของสัตว์ ตลอดจนมีอัตราส่วนต่ำระหว่างอาหารที่สัตว์กินกับน้ำหนักตัวที่เพิ่ม วิธีที่ดีก็คือนำมาหมักก่อนที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ วัสดุที่หมักประกอบด้วยชานอ้อย 1 ตัน (ความชื้นร้อยละ 55 %), โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 % ของน้ำหนักแห้ง, กากน้ำตาลร้อยละ 15 %, ยูเรียร้อยละ 0.8 % และข้าวโพดร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ผสมแล้วทำให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 60 % หมักไว้ 4 - 6 สัปดาห์ จึงให้เป็นอาหารสัตว์

2.2.4 ใช้ผลิตวัสดุทดแทนไม้โดยอาศัยกาว เช่น การผลิตไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด (Particle board) ไม้อัดผิวเส้นใย (fiber-overlaid plywood) และแผ่นกันความร้อน (Insulating board) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการผลิตไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 3

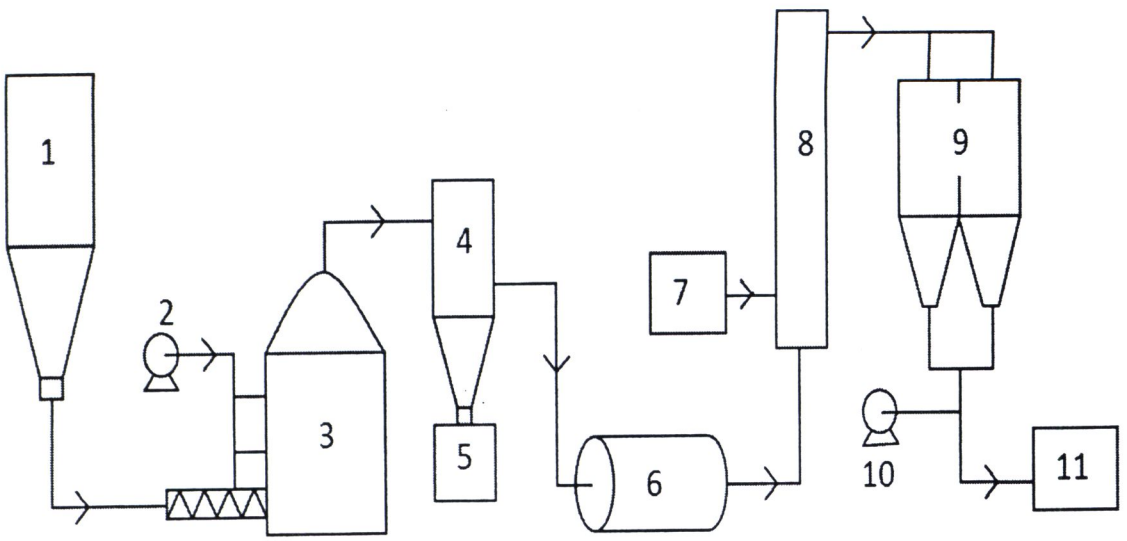
2.2.5 ใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยนำชานอ้อยไปหมักร่วมกับปุ๋ยคอกกากตะกอนหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังใช้ปูคอกสัตว์เพื่อรองรับมูลสัตว์ และทำปุ๋ยหมักต่อไป

2.2.6 ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิต Furfural, Furfuryl alcohol และ Xylitol

2.2.7 ใช้เป็นวัตถุคลุมดินเพื่อรักษาความชื้นของดินและป้องกันวัชพืช

2.3 กระบวนการอบแห้งชานอ้อยขั้นพื้นฐาน (Pre-drying)

จากภาพที่ 2.3 ฝุ่นชานอ้อยที่อยู่ในไซโล (1) จะถูกป้อนเข้าเตาด้วยระบบสกรูขนถ่าย (Screw conveyer) โดยมีเครื่องเป่า (2) เป่าป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นชานอ้อยและอากาศให้ไหลหมุนวนตามเข็มนาฬิกาเข้าไปภายในเตาเผาชีวมวลจากชานอ้อย (3) ตัวเตาเผาได้ถูกสร้างขึ้นเป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.4 m สูง 2.2 m ภายในเตาก่อด้วยอิฐและซีเมนต์ทนความร้อน เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จะผลิตก๊าซร้อนไหลเข้าสู่ไซโคลน (4) เพื่อทำการแยกขี้เถ้าออกจากไอร้อน โดยขี้เถ้าจะตกลงไปยังถังเก็บขี้เถ้า (5) เพื่อรอการโกยไปทิ้งต่อไป จากนั้นไอร้อนจะไหลผ่านเตาเผาเก่า (6) ซึ่งเดิมเป็นเตาเผาที่ใช้ฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงและถูกยกเลิกไปเมื่อนำเตาเผาชีวมวลจากชานอ้อย (3) มาใช้ จากนั้นไอร้อนจะเข้าสู่ห้องอบชานอ้อย (8) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับชานอ้อยที่ออกมาจากถังเก็บชานอ้อย (7) จากนั้นก๊าซไอร้อนและชานอ้อยจะไหลไปสู่ไซโคลน (9) เพื่อทำการแยกเอาชานอ้อยที่ผ่านการอบหมาดแล้วไปเก็บยังกระบวนการอบแห้งชานอ้อยหลัก (Main drying) (11) โดยมีเครื่องดูดลม (10) สร้างแรงดูดให้ชานอ้อยผสมกับไอร้อนและทำหน้าที่แยกไอร้อนทิ้งออกจากชานอ้อยหลังอบ



ภาพที่ 2.3 เตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer) ประกอบไปด้วย 1 Silo; 2 Blower; 3 Furnace; 4 Cyclone; 5 Ash collector; 6 Old furnace; 7 Bagasse bin; 8 Drying chamber; 9 Cyclone; 10 Blower; 11 Main drying

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงฝุ่นชานอ้อยให้เป็นพลังงาน โดยทั่วไปมี 2 ประเภท คือ การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) และการผลิตก๊าซมวลชีวภาพโดยใช้อากาศ (Air gasification) แต่งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการเผาไหม้โดยตรงซึ่งเป็นประเภทของเตาเผาชีวมวลจากฝุ่นชานอ้อย (Furnace) ที่ทางโรงงานพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการเผาไหม้ฝุ่นชานอ้อยซึ่งเป็นมวลชีวภาพที่เหลือจากขบวนการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดมาแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-drying) ดังนั้นเมื่อแยกพิจารณาส่วนประกอบและอุปกรณ์ในการอบแห้งชานอ้อยโดยกระบวนการเผาไหม้โดยตรง จะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ

-ส่วนป้อนชีวมวลเข้าสู่เตาเผาชีวมวลจากฝุ่นชานอ้อย (Furnace)

-ส่วนห้องเผาไหม้

-ส่วนดักฝุ่นละอองและอนุภาคแข็งก่อนการอบแห้งชานอ้อย

-ส่วนอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น

2.4 ส่วนป้อนชีวมวลเข้าสู่เตาเผาชีวมวลจากฝุ่นชานอ้อย (Furnace)

ในส่วนอุปกรณ์ป้อนชีวมวลนี้ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณชีวมวลที่เข้าสู่เตาเผา เพื่อป้องกันการทะลักหรือกระเด็นออกของชีวมวลขณะป้อนเข้าสู่เตาและป้องกันการทำปฏิกิริยาก่อนเข้าสู่เตาเผา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงแบบสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดเบื้องต้นในหัวข้อย่อยถัดต่อไป

ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแข็งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มีด้วยกันหลายประเภท ได้แก่ [4,5]

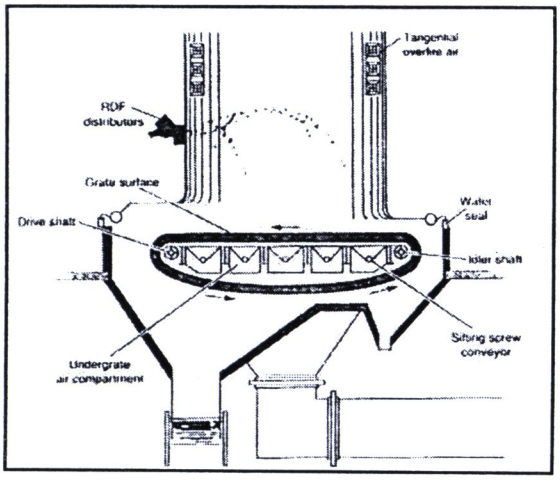
2.4.1 ระบบใช้แรงงานคนป้อนเชื้อเพลิง ระบบนี้อาศัยคนงานที่มีความชำนาญในการกระจายเชื้อเพลิงให้ทั่วสม่ำเสมอบนตะกรันเตาไฟที่ทำจากเหล็กหล่อเป็นตอนๆ อากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้จะถูกส่งจากใต้เตาเหนือตะกรับเตาไฟ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ

2.4.2 ระบบสโตกเกอร์ (Stoker) เป็นระบบแรกที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกลแทนแรงงานคน ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูก และสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิดแต่ระบบสโตกเกอร์มีขีดความสามารถในการผลิตไอน้ำร้อนในระดับต่ำ ระบบสโตกเกอร์สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.4.2.1 ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน

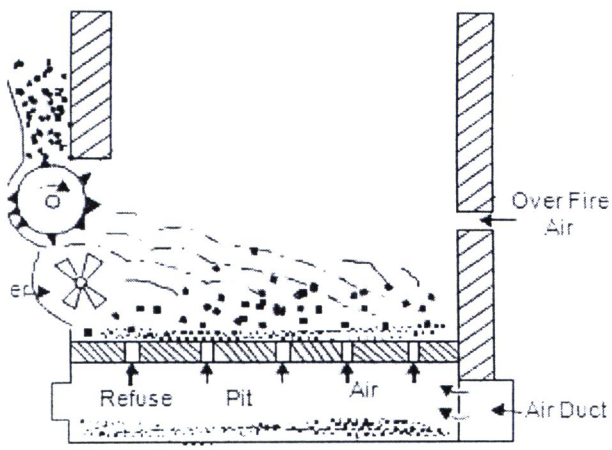
เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน หรือสูงกว่าตำแหน่งทางเข้าของอากาศส่วนแรกที่ถูกส่งไปช่วยในการเผาไหม้ โดยป้อนเชื้อเพลิงให้อยู่บนตะแกรง จากนั้นอากาศส่วนแรกถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของตะแกรงผ่านขึ้นมาเผาไหม้เชื้อเพลิงบนตะแกรง อากาศอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของตะแกรงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้สมบรูณ์ ข้อเสียของการเผาไหม้ระบบนี้ คือการควบคุมปริมาณของอากาศที่ป้อนเข้าใต้ตะแกรงนั้นทำได้ยาก เพราะจะขึ้นอยู่กับความสูงและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่กองอยู่บนตะแกรง และนอกจากนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างสูง เพราะต้องป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากผนังเตาเพื่อทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างคงที่ เตาที่ใช้กับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาทางด้านบนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน คือ

(1) ระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน (Traveling Grate Stoker) เชื้อเพลิงจะถูกป้อนออกจากถังเก็บ (Hopper) โดยสายพานตีนตะขาบ ซึ่งจะเคลื่อนที่พาเชื้อเพลิงผ่านเข้าไปในเตาเพื่อเผาไหม้ การลุกไหม้จะลุกคืบจากด้านบนของชั้นเชื้อเพลิงลงสู่ด้านล่าง ในขณะที่เชื้อเพลิงถูกพาให้เคลื่อนที่ไปยังอีกด้านหนึ่งของเตา เมื่อสายพานเลื่อนไปจนสุดทางอีกด้านหนึ่งเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้หมดพอดี เถ้าที่เหลืออยู่จะตกลงสู่ที่รองรับทางด้านล่าง ดังภาพที่ 2.4 ข้อดีของสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน คือ ระบบการทำงานไม่ยุ่งยาก เพราะมีอุปกรณ์น้อยและสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้หมด เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วของสายพานได้ และปริมาณควันและเขม่าที่ปล่อยออกมามีน้อย



ภาพที่ 2.4 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน

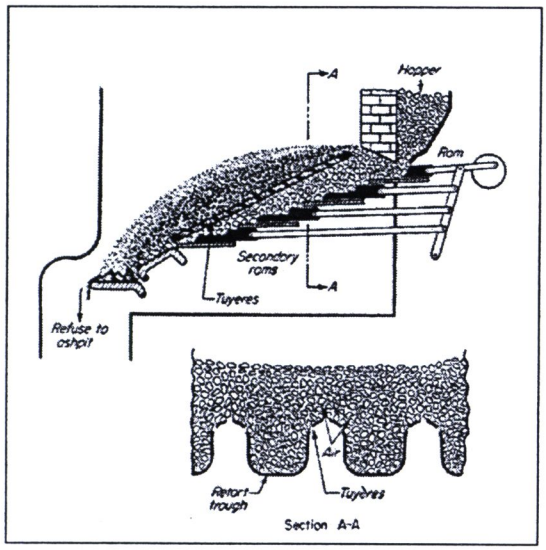
(2) ระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย (Spaeder fired stoker) เชื้อเพลิงถูกส่งเข้าเตา ในลักษณะกระจายไปทั่วห้องเผาไหม้ด้วยเครื่องป้อน ซึ่งมีลักษณะคล้ายใบพัดเป็นตัวหมุนวักเอาเชื้อเพลิงเข้าสู่ เตา เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กหรือเป็นผงจะเกิดการเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะลอยตัวอยู่ภายในเตา ส่วนเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ก็จะตกลงมาบนตะแกรงและเกิดการเผาไหม้บนตะแกรง ตะแกรงอาจมีการสั่นเป็นจังหวะเพื่อให้เถ้าร่วงลงสู่ด้านล่างดังภาพที่ 2.5 (ตะแกรงนี้อาจแทนได้ด้วยสายพานตีนตะขาบ) ระบบการเผาไหม้แบบนี้จำเป็นต้องใช้อากาศเหนือไฟที่ด้านหลังและด้านข้างเตา เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้พอเพียงต่อการเผาไหม้อย่างสมบรูณ์ บางครั้งจำเป็นต้องติดตั้งหัวพ่นอากาศใกล้เครื่องกระจายเชื้อเพลิงเพื่อช่วยเป่าเชื้อเพลิงละเอียดให้กระจายออกไป ข้อดีของการเผาไหม้ระบบนี้ คือ การที่เชื้อเพลิงกองอยู่บางๆ บนตะแกรงทำให้ความดันอากาศไหลผ่านเชื้อเพลิงมีค่าน้อยกว่าสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน ดังนั้นการควบคุมอากาศที่ป้อนใต้ตะแกรงสามารถทำได้ง่ายกว่า ข้อเสีย คือ มีปริมาณเขม่าและควันออกจากปล่องมากจึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับดักขี้เถ้าที่ออกจากปล่องสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 2.5 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย [6]

2.4.2.2 ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง

เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงไปตามรางให้เคลื่อนตัวลึกเข้าไปในเตาตลอดเวลา ทำให้เกิดความดันขึ้นในเชื้อเพลิงส่วนล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงส่วนบนขยับขึ้นด้านบนได้ วิธีนี้จะทำให้สารระเหยที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงระเหยขึ้นสู่ส่วนบนจึงทำให้ติดไฟได้ง่ายขึ้นและเกิดการเผาไหม้ขึ้นได้อย่างสมบรูณ์ เชื้อเพลิงที่ลุกไหม้หมดแล้วเป็นเถ้าซึ่งอยู่ส่วนบนสุดจะถูกเชื้อเพลิงตอนล่างดันกระจายลงสู่ที่รองรับเถ้า ดังภาพที่ 2.6 การควบคุมการเผาไหม้ของระบบนี้สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงระยะชักหรืออัตราเร็วของตัวดันเชื้อเพลิง ส่วนปริมาณอากาศที่ส่งเข้าเตาก็สามารถปรับให้พอเหมาะกันได้ที่ช่องอากาศเข้าเตา อากาศที่ส่งเข้าเตาเพื่อช่วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงนี้จะผ่านเข้าไปในเตาได้ทางช่องหรือพวยรับลม (Tuyeres) ข้อดีของระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง คือ การป้อนเชื้อเพลิงทางด้านล่างจะช่วยลดควันได้ เพราะสารระเหยที่ปล่อยออกจากเชื้อเพลิงจะไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิงที่ร้อนทำให้เผาไหม้หมด

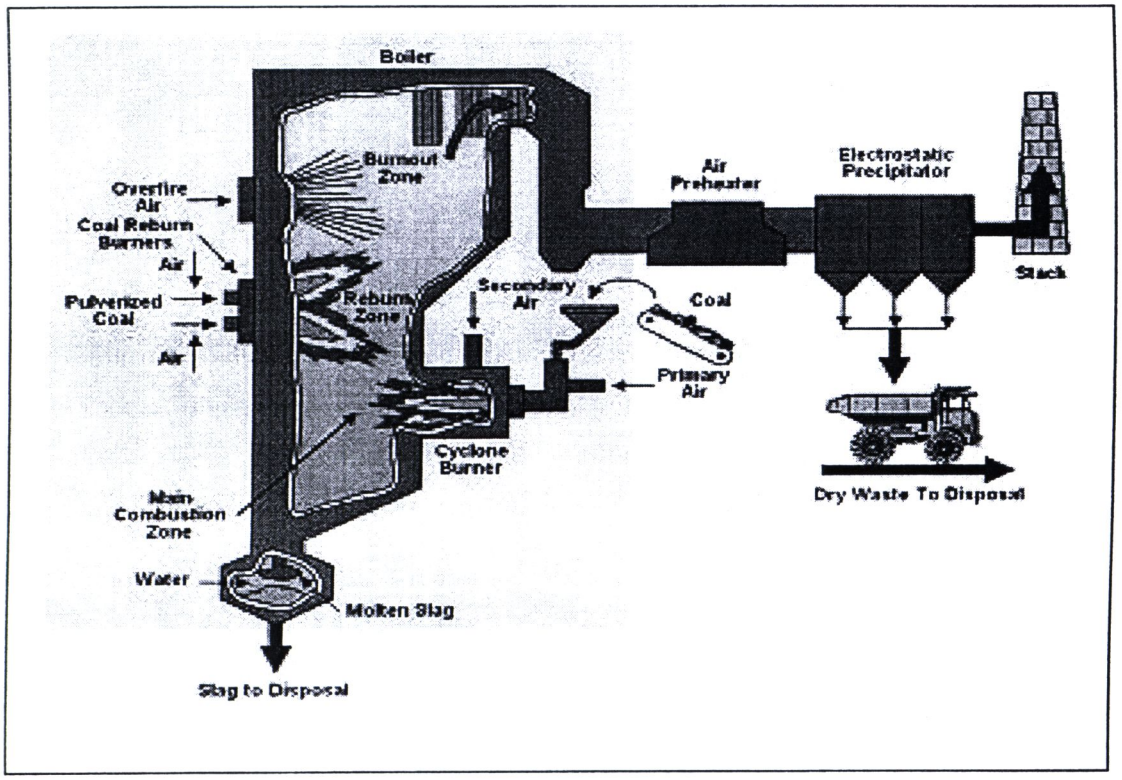


ภาพที่ 2.6 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง

2.4.3 ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverised)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาระบบพัลเวอร์ไรซ์จะเกิดขึ้นในลักษณะที่เชื้อเพลิงแขวนลอยอยู่ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาแบบนี้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะแขวนลอยอยู่ในอากาศภายในเตา อากาศส่วนแรกจะถูกอุ่นก่อนส่งเข้าเตา เพื่อใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่อากาศส่วนที่สองถูกส่งเข้าเตาโดยตรงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบรูณ์ ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกพัดพาออกจากเตาเผาติดมากับแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ข้อได้เปรียบของการเผาระบบนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องมีระบบตะแกรงที่จะต้องให้ความร้อนในการเผาไหม้สูง เพราะระบบสโตกเกอร์ที่กล่าวมาแล้วนั้น เชื้อเพลิงจะเผาไหม้ได้จะต้องได้รับความร้อนที่สูงเพียงพอจากเชื้อเพลิงเก่าบนตะแกรง จากเหตุดังกล่าวข้างต้นจึงต้องให้เตาเผาระบบสโตกเกอร์มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะทำให้ความร้อนภายในเตาเผามีค่าสูงพอแก่เชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ต่อไป ดังนั้นเตาเผาระบบพัลเวอร์ไรซ์นี้จึงให้ความร้อนในการเผาไหม้ได้สูงกว่า ข้อเสียของระบบพัลเวอร์ไรซ์นี้ คือ การควบคุมเถ้าทำได้ยาก ดังนั้นจึง

ต้องมีระบบกำจัดเถ้าที่ดีซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาทำได้ยาก เพราะถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมตัวของเถ้าเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ ซึ่งจะทำให้เตาเผาเสียหายได้ เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องแห้งเพียงพอจึงต้องมีการอบแห้ง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการเพิ่มราคาต้นทุนและพลังงานที่ใช้

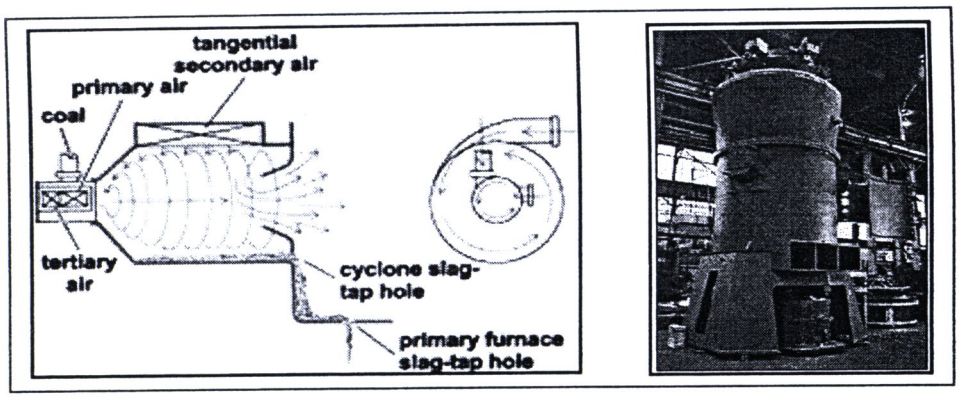


ภาพที่ 2.7 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบพัลเวอร์ไรซ์

2.4.4 ระบบไซโคลน (Cyclone)

เตาเผาระบบไซโคลน เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับระบบพัลเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบดเชื้อเพลิงลงได้ การเผาไหม้ในระบบไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal water-cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาระบบไซโคลนมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาระบบพัลเวอร์ไรซ์เมื่อคิดต่อหน่วยปริมาตร อากาศจะเข้าสู่เตาเผาในแนวสัมผัสกับผนังของห้องเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Turbulence) ในห้องเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้ดียิ่งขึ้น อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตาระบบไซโคลนสูงถึง 1,650 °C ซึ่งจะทำให้ขี้เถ้าถูกเผาไหม้กลายเป็นขี้โลหะเหลว (Liquid Slag) ได้ประมาณ 30 -50 % และเหลือขี้เถ้าที่ปนออกมากับแก๊สร้อนเพียง 70-50% ขี้โลหะเหลวที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาระบบไซโคลนนี้สามารถปล่อยออกทางด้านล่างของเตาเผาได้

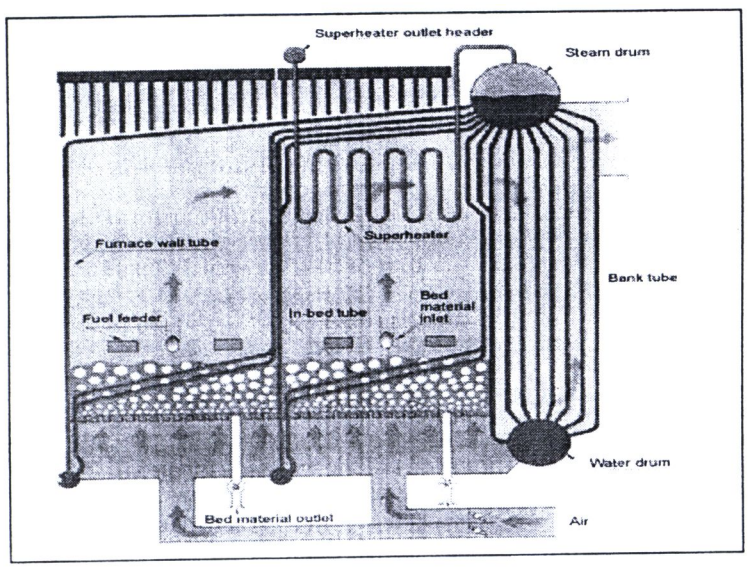
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
11 ส.ค. 2556
208812



ภาพที่ 2.8 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน

2.4.5 ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

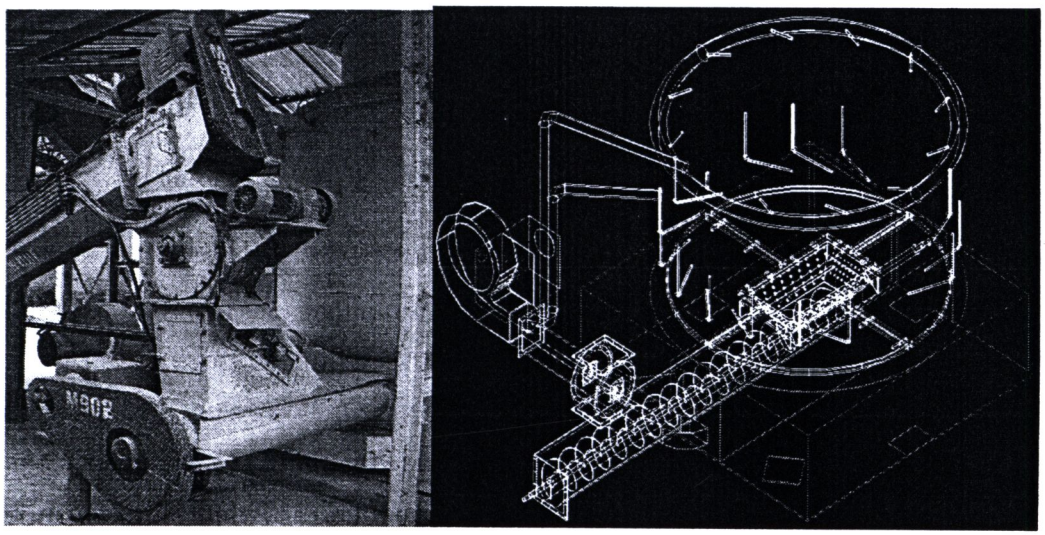
อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง และเมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งเชื้อเพลิงที่วางอยู่จะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล ในตอนเริ่มติดเตานั้นเบดจะได้รับความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่ว ๆ บริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) เช่น ทราย หรือ สารที่ทำปฏิกิริยา (Reaction Material) เช่น หินปูน (Limestone) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดภายใน ข้อดีของระบบฟลูอิดไดซ์เบด คือมีสารเฉื่อย เช่น ทราย เป็นเบด จึงทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนได้ดี เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว นอกจากนี้ตัวเบดยังช่วยอมความร้อนทำให้เตามีความเสถียร ไม่ดับง่าย และเกิดการเผาไหม้ในตัวเตาเผาได้อย่างทั่วถึง จึงทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าเท่ากันและสม่ำเสมอ เตาระบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟลูอิดไดซ์เบด

2.4.6 ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงแบบสกรูขนถ่ายวัสดุ (Screw conveyer)

โดยทั่วไประบบนี้จะใช้กับเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงในปริมาณที่ต่ำ และมีอุปกรณ์ซับซ้อนน้อยกว่าแบบอื่นๆ สามารถป้องกันการทะลักออกของเชื้อเพลิงและการทำปฏิกิริยาก่อนเข้าสู่เตาเผาได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงแบบสกรูขนถ่ายวัสดุในการป้อนเชื้อเพลิงฝุ่นชานอ้อยให้กับเตาเผาชีวิมวลจากฝุ่นชานอ้อย (Furnace) โดยมีเครื่องเป่าช่วยในการกระจายฝุ่นชานอ้อยภายในเตา ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 เตาเผาชีวมวลจากฝุ่นชานอ้อย (Furnace)

2.5 ส่วนห้องเผาไหม้

จากภาพที่ 2.3 และ 2.10 พบว่า การเผาไหม้โดยตรงของฝุ่นชานอ้อยในเตาเผา จะทำให้เกิดก๊าซไอร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งชานอ้อยในช่วงของการอบแห้ง (Drying chamber) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีและปัจจัยต่างที่มีผลต่อการเผาไหม้ ดังนี้

2.5.1 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในกระบวนการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับเกิดการลุกไหม้ และคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก แต่จะใช้อากาศแทน โดยอากาศจะมีออกซิเจนและการไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นมีปะปนกันอยู่น้อยมาก (ในอากาศจะมีออกซิเจน ประมาณร้อยละ 21 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 79 โดยปริมาตรหรือก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 23 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก) ซึ่งมีขั้นตอนของกระบวนการเผาไหม้ในเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็ง คือ เริ่มต้นด้วยก๊าซออกซิเจนสัมผัสกับผิวเชื้อเพลิง ลำดับที่สองเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ลำดับที่สามมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาที่ผิว ลำดับที่สี่การทำปฏิกิริยากันระหว่างก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์กับก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน (C), ออกซิเจน (O_2), ไฮโดรเจน (H_2) และธาตุอื่นๆ ที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) เมื่อนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้จะมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้ [7]

2C	+	O_2	⟶	2CO	+	110,380 kj/kg-mol	2.1
2CO	+	O_2	⟶	$2CO_2$	+	283,180 kj/kg-mol	2.2
$2H_2$	+	O_2	⟶	$2H_2O$	+	286,470 kj/kg-mol	2.3
S	+	O_2	⟶	SO_2	+	ความร้อน	2.4
N	+	O_2	⟶	NO_2	+	ความร้อน	2.5

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเผาไหม้มีอยู่ด้วยกัน 4 ประการ คือ

(1) อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical Air) คือปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง และเปลี่ยนคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและกำมะถันให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติอากาศที่ใช้ตามทฤษฎีมีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ ซึ่งปรากฏการณ์ที่เห็นได้อย่างชัดเจน 2 ประการของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และส่วนประกอบของคาร์บอนในก๊าซทิ้ง การแก้ปัญหาดังกล่าวคือต้องใช้ปริมาณอากาศมากกว่าเดิมให้เกินพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

(2) การสัมผัสระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศหรือออกซิเจน คือการที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจน ระบบการเผาไหม้พลังงานทดแทนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีนี้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นของแข็ง การบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มผิวสัมผัสให้มากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดได้ดีและรวดเร็วขึ้น

(3) อุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการเผาไหม้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง หรือการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศ นั้นมีผลโดยตรงกับอุณหภูมิ และการเผาไหม้จะเกิดช้าๆในตอนแรก และจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้สูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการ สำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นได้เอง และต่อเนื่อง (Spontaneous Combustion) นั้นจะต้องมีปริมาณความร้อน จากภายนอกช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงพอต่อการเผาไหม้ แบบต่อเนื่องได้ โดยปกติแล้วการเผาไหม้นั้นต้องการอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว แต่การทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้มากน้อยแค่ไหนนั้นมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดข้อเสียได้เช่นกัน คือทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่นสารประกอบของไนโตรเจน (NO_x) หรืออาจทำให้เกิดเถ้าหลอมรวมตัวเป็นขี้โลหะ (Slag) เกาะติดอยู่บนผนังที่เป็นเหล็กที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน เป็นเหตุให้เกิดการกัดกร่อน

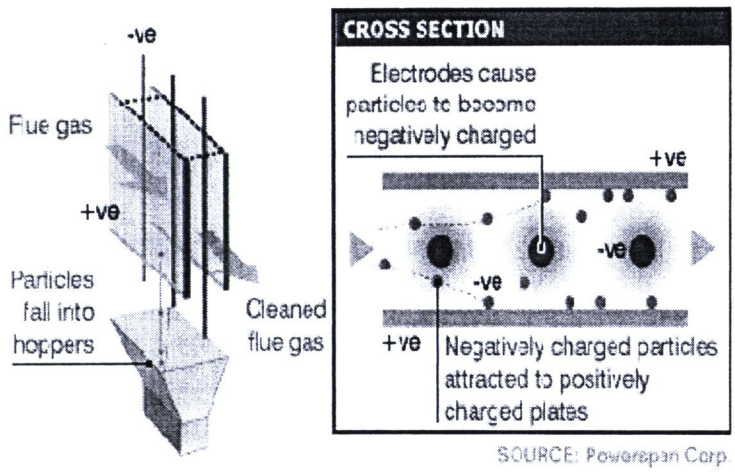
(4) เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้สมบูรณ์ เวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรมีเวลานานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้มากที่สุด แต่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จนหมดเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก เพราะต้องใช้เวลานานมากและเสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้เตาเผาประสิทธิภาพสูงหรืออาจต้องมีระบบไหลเวียนของเชื้อเพลิงเพื่อนำมาเผาไหม้ใหม่ (Recirculation System)

2.6 ส่วนดักฝุ่นละอองและอนุภาคแข็งก่อนการอบแห้งชานอ้อย

เทคโนโลยีการกำจัดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลก่อนที่จะถูกปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมจะอยู่ในรูปของฝุ่นละอองและขี้เถ้า ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแยกฝุ่นแบบลมหมุน (Cyclone separator) ในการดักจับขี้เถ้าออกจากก๊าซไอร้อนก่อนนำไปอบแห้งชานอ้อยซึ่งจะกล่าวรายละเอียดเบื้องต้นในหัวข้อย่อยถัด โดยทั่วไปเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการดักจับฝุ่นละอองและขี้เถ้า ที่ใช้กันอยู่มีดังนี้

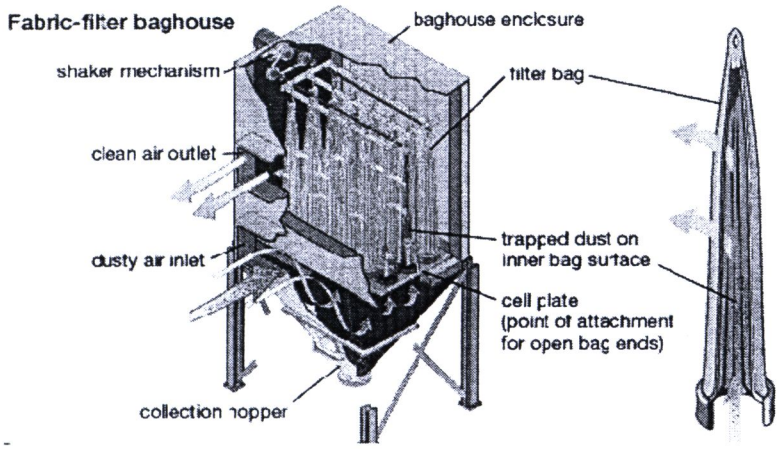
2.6.1 เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้า (Electrostatic precipitator)

อุปกรณ์นี้ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตในการกำจัดฝุ่นละออง โดยเมื่อฝุ่นละอองเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าจะทำให้ฝุ่นละอองมีประจุไฟฟ้า และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังถังเก็บ ซึ่งมีประจุไฟฟ้าขั้วตรงข้ามกับฝุ่นละอองๆ ก็จะถูกดูดให้ติดกับแผ่นรวบรวม (collector plates) ที่อยู่ภายในถังเก็บฝุ่น ระบบนี้ถือว่ามีประสิทธิภาพสูงมากในการดักจับฝุ่น



ภาพที่ 2.11 เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้า (Electrostatic precipitator)

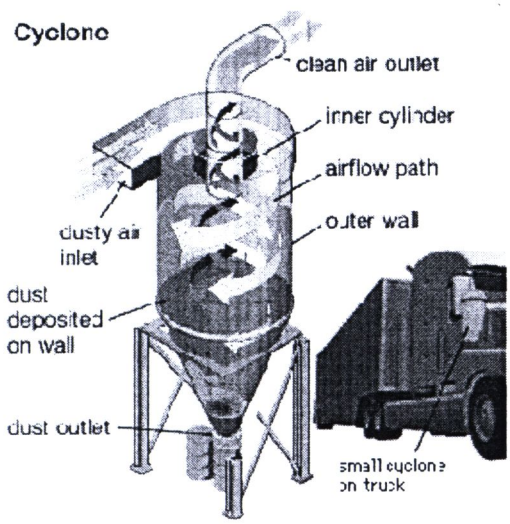
2.6.2 เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter) เป็นอุปกรณ์ที่มีถุงกรองเป็นตัวกรองแยกฝุ่นละอองออกจากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้



ภาพที่ 2.12 เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter)

2.6.3 เครื่องแยกฝุ่นแบบลมหมุน (Cyclone separator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกฝุ่นละอองออกจากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยใช้หลักของแรงเหวี่ยงเพื่อให้ก๊าซซึ่งมีฝุ่นละอองผสมอยู่เกิดการหมุนตัว จะทำให้ฝุ่นละอองซึ่งมีน้ำหนักมากกว่ารวมตัวกันและถูกแยกออกมา ซึ่งในงานวิจัยนี้

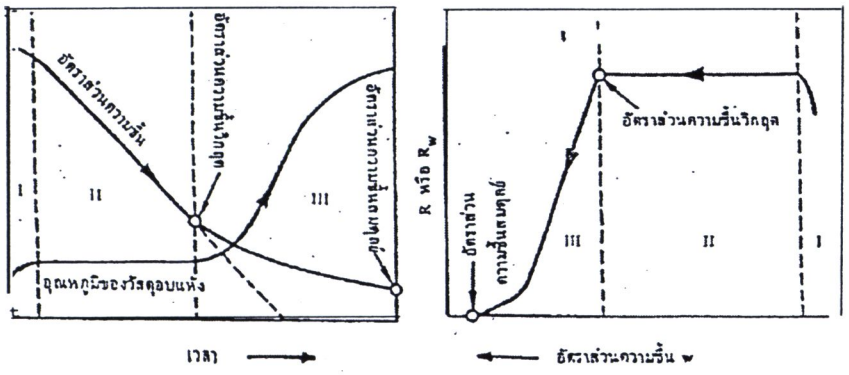


ภาพที่ 2.13 เครื่องแยกฝุ่นแบบลมหมุน (Cyclone separator)

2.7 ลักษณะของการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย

เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งวัสดุที่เปียกอย่างมาก ภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่คงที่ ยกตัวอย่าง เช่น ในกรณีที่วางวัสดุเปียกชิ้นภายในกระแสลมปริมาณมากที่มีอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลมคงที่ ถ้าลองวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งนี้กับเวลาจะได้เส้นกราฟคล้ายคลึงกับของภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 เส้นลักษณะเฉพาะสำหรับการอบแห้ง [8]

การอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

(2) ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่

(3) ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุนี้มาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขคงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) ตราบใดที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับช่วงนี้จะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ดังเห็นได้จากรูป อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วงที่ 2 นี้ ดังนั้นความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ (Constant drying rate) ในช่วงเวลาที่ 3 ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิววัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพแห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลง เพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับนอกจากจะลดลงแล้ว ความร้อนนี้ยังต้องใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุด้วย การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วงเวลาที่ 2 และ 3 มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤต (Critical moisture content)

เงื่อนไขในการอบแห้งวัสดุอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการอบแห้ง และเงื่อนไขภายในตัววัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกจะเกี่ยวข้องกับวิธีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธี

กำจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายใน ได้แก่ องค์ประกอบและรูปร่าง, อัตราส่วนความชื้น, อัตราส่วนความชื้นสมดุลของวัสดุอบแห้งและอัตราส่วนความชื้นมีชื่อเรียกว่า เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าไอร้อนที่ถูกผลิตขึ้นจากเตาเผาจะไหลไปรวมกับชานอ้อยชื้นเพื่ออบแห้งชานอ้อยในทิศทางการไหลแบบขนานกัน เพราะฉะนั้นเตาอบแห้งชานอ้อยที่ทำการศึกษานี้จึงจัดเป็นแบบเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ชนิดป้อนแบบไม่มีเครื่องกระจายวัสดุ

จากความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้งที่กล่าวไปนั้นเพื่อต้องการให้เข้าใจลักษณะแลกลไกของการอบแห้ง อันจะเป็นแนวทางไปสู่การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต่อไป

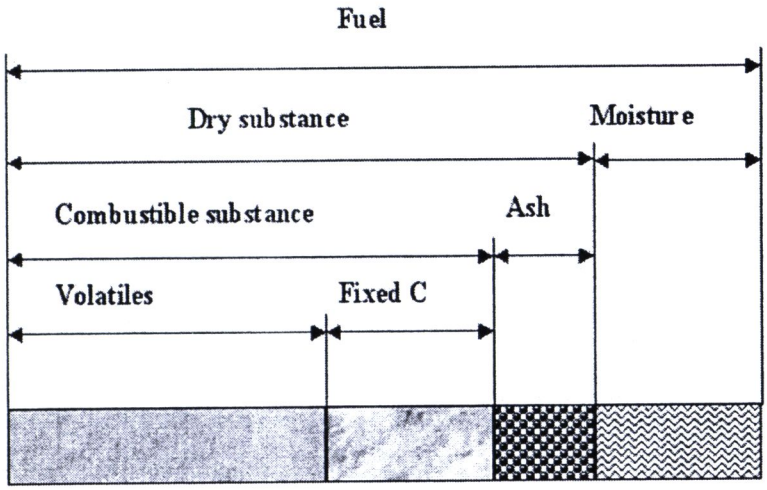
2.8 การวิเคราะห์เชื้อเพลิง

2.8.1 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) และการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (Ultimate analysis)

(1) การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) นี้จะใช้หาอัตราส่วนโดยมวลของสารประกอบทางเคมี 4 อย่าง คือ สารระเหย (Volatile matters), คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon), ความชื้น (Moisture) และขี้เถ้า (Ash)

(2) การวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (Ultimate analysis) นี้จะใช้หาอัตราส่วนโดยมวลของความชื้น (moisture) ขี้เถ้า (Ash), ธาตุคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), ไนโตรเจน (N), กำมะถัน (S) ในสารประกอบ ข้อมูลที่จากการวัดวิธีนี้จะใช้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ของสารประกอบ

ภาพที่ 2.15 เชื้อเพลิงฝุ่นชานอ้อยที่เหลือจากขบวนการผลิตไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด



ภาพที่ 2.16 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงโดยปริมาณในแต่ละส่วนจะขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง [9]

2.8.2 การหาค่าความร้อน (Calorific value)

ค่าความชื้นขอฝุ่นชานอ้อย ขึ้นกับพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้ของเส้นใยฝุ่นชานอ้อย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบของฝุ่นชานอ้อย และเงื่อนไขของการเผาไหม้ ซึ่งค่าความร้อนที่เกี่ยวข้องมี 3 ประเภท คือ

(1) ค่าความร้อนทั้งหมด (Gross Calorific Value, GCV) หรือ Higher Heating Value (HHV) คือ ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในออกซิเจนคาลอรี่มิเตอร์ โดยอุณหภูมิสุดท้ายประมาณ 20-35 °C ได้ขี้เถ้า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และมีคายพลังงานจากการควบแน่น

(2) ค่าความร้อนสุทธิ (Net Calorific Value, NCV) หรือ Lower Calorific Value คือ ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ โดยค่าความร้อนในส่วนของไอน้ำ จะถ่ายเทให้แก่สิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่เกิดการควบแน่นของไอน้ำในระบบ ซึ่งค่าความร้อนสุทธิ (NCV) มีค่าเท่ากับค่าความร้อนทั้งหมด (GCV) ลบด้วยค่าความร้อนในการทำให้น้ำในชานอ้อยกลายเป็นไอ

(3) ค่าความร้อนจริง (Actual Calorific Value) คือ ค่าความร้อนสุทธิ (NCV) ลบด้วยค่าความร้อนที่ให้กับอากาศ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1999 Kilicaslan. I. และ คณะ [10] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง " Sugar cane as an alternative energy source for turkey " ได้วิเคราะห์การนำกากอ้อยที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศตุรกีมาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้งยังนำก๊าซเสียจากการเผาไหม้ของกากอ้อย (245 °C) มาใช้อบกากอ้อยจากความชื้น 50 % ลดเหลือความชื้น 32.86 % ก่อนป้อนเป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ อีกทั้งยังศึกษาเชิงเศรษฐศาตร์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของระบบที่มีการอบกากอ้อยก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำและระบบที่ไม่มีการอบกากอ้อยก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำ พบว่าระบบที่มีการอบกากอ้อยก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำมีต้นทุนต่อกว่า

ในปี ค.ศ. 2003 Barroso. J. และ คณะ [11] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "On the optimization of boiler efficiency using bagasse as fuel." ได้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแบบสโตกเกอร์ที่ใช้กากอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาลเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีการหาความร้อนที่สูญเสียไปของหม้อไอน้ำ 4 ทาง ได้แก่ ความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน ความร้อนที่สูญเสียไปกับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ความร้อนที่สูญเสียไปกับขี้เถ้า และความร้อนที่สูญเสียไปกับการนำพาความร้อนแบบต่างๆ

ในปี ค.ศ. 2004 Juan H. Sosa-Arnao และคณะ [12] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "Sugar cane bagasse drying" ได้วิเคราะห์การนำชานอ้อยมาอบลดความเชื้อก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม (Cogeneration) โดยเปรียบเทียบวิธีการลดความชื้นของชานอ้อย 2 วิธี ระหว่างการอบแห้งชานอ้อยด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลม (Pneumatic dryers) กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากไอเสียก่อนระบายทิ้ง ให้กับชานอ้อยสำหรับเผาไหม้ (Pre-heater) พบว่า การใช้เครื่องอบแห้งด้วยลมมีประสิทธิภาพการอบลดความชื้น, ราคาและพื้นที่ในการติดตั้งดีกว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากไอเสียก่อนระบายทิ้ง

ในปี ค.ศ. 1982 Vie A. Cundy และคณะ [13] ได้ศึกษาเรื่อง "Combustion of bagasse" ได้วิเคราะห์การนำฝุ่นชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องพ่นไฟ (Burner) ในสภาวะที่มีอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ 5 % เพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพต้องใช้ชานอ้อยที่มีความชื้น 16 % เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

ในปี พ.ศ. 2537 นรินพร ดงไม้สถิต์ [14] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง " การอบแห้งชานอ้อยโดยใช้ก๊าซร้อนจากหม้อน้ำของโรงงานน้ำตาล " ได้ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งชานอ้อย ได้แก่ ความหนาของกองชานอ้อย อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซร้อน การลดความชื้นของก๊าซร้อนและระยะเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนมวลน้ำที่ระเหยต่อมวลชานอ้อยแห้งเพิ่มขึ้นด้วยอัตราลดลง โดยก๊าซร้อนที่ใช้ได้จากการจำลองสภาวะในห้องปฏิบัติการที่ความชื้นของก๊าซร้อน 2 ระดับ คือ 7% และ 10% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิอบแห้งคงที่ 200 °C และความชื้น ของชานอ้อยเริ่มต้นประมาณ 50% มาตรฐานเปียก พบว่า ที่อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซร้อน 1,011 kg/hr-m^2 ความชื้นก๊าซร้อน 7% by wt. (300% excess air) อบชานอ้อยหนา 8 ซม. เป็นเวลานาน 5 นาที เป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งชานอ้อยในงานวิจัยนี้

ในปี พ.ศ. 25348 คมสันต์ นาคพันธ์ [15]ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "การประเมินทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของการใช้ประโยชน์จากกากอ้อยเพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม "ได้พิจารณาระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม 2 แบบคือ หม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์และหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้วิธีหาค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับกรณีต่างๆ ได้แก่ ความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน ความร้อนที่สูญเสียไปกับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ความร้อนที่สูญเสียไปกับขี้เถ้า และความร้อนที่สูญเสียไปกับ

การนำพาความร้อนแบบต่างๆ พบว่า ระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมที่เหมาะสมกับโรงงานน้ำตาลรวมผล คือ ห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์ (ไม่มีระบบลดความชื้นกากอ้อยก่อนเข้าสู่ระบบ) ซึ่งมี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการสูงกว่าหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ในปี พ.ศ. 2547 สิริพันธ์ ขุมทรัพย์ [16] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "การศึกษาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชานอ้อยในเตาเผาแบบสเปรดเดอร์สโตคเกอร์ในอุสาหกรรมน้ำตาล" ได้ศึกษาการเผาไหม้ของชานอ้อยในเตาเผาแบบแบบสเปรดเดอร์สโตคเกอร์ และวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้ชานอ้อยเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยเก็บตัวอย่างจากเถ้าถ่านของชานอ้อยบริเวณหน้าสโตเกอร์ ใต้ครัม และใต้ดัสคอลเลคเตอร์ ของหม้อน้ำขนาด 250 ตันต่อชั่วโมง ที่กำลังผลิต 230 ตันต่อชั่วโมง ความดันไอน้ำ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรพบว่า ความร้อนสูญเสียจากเชื้อเพลิงส่วนไม่เผาไหม้ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากเถ้าถ่านบริเวณทางออกใต้ดัสคอลเลคเตอร์ และจากการวิเคราะห์โดยใช้การคำนวณพบว่า การลดความชื้นเชื้อเพลิงชานอ้อยสามารถลดความร้อนสูญเสียเนื่องจากก๊าซร้อนทิ้งได้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้

ในปี พ.ศ. 2546 รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล และ คณะ [17] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "การศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรของเครื่องอบแห้งแบบสายพานเคลื่อน" ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำงาน ของเครื่องอบแห้งแบบสายพานเคลื่อนที่เป็นกรณีศึกษาจากเครื่องอบแห้ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเครื่องอบแห้ง แล้วนำไปเขียนโปรแกรมหาความสัมพันธ์คำนวณโดยใช้วิธีนิวตันราฟสัน เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน อัตราส่วนความชื้นผลิตภัณฑ์เริ่มต้น อัตราเร็วเชิงมวลของลมร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้ง อัตราการป้อนผลิตภัณฑ์ โดยมีเงื่อนไขของแบบจำลอง ดังนี้ อุณหภูมิของลมร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้ง 95 °C ข้าวเกรียบกุ้งมีขนาดเฉลี่ย ความกว้าง 0.035 m x ความยาว 0.005 m x ความหนา 0.003 m อัตราส่วนความชื้นเริ่มต้นของข้าวเกรียบกุ้งเท่ากับ 0.14 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของอากาศแวดล้อมเท่ากับ 34.6 °C และ 0.6 kg water/kg dry air ตามลำดับ พบว่า เครื่องอบแห้งใช้พลังงานในการอบแห้ง 5.9 G/h ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเท่ากับ 49.9 % ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนเท่ากับ 512.3 บาท/ชั่วโมง เมื่อเทียบเวลาที่ใช้อบแห้งระหว่างผลการจำลองแบบกับการผลการวัดจากเครื่องอบแห้งทำงานจริง สามารถลดเวลาในการอบลงได้ 8.9 % ซึ่งลดพลังงานความร้อนที่ให้เครื่องอบแห้ง 918 kJ/h และอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 70.58 kg/h หรือ 1.2 % ของอัตราเดิม

ในปี พ.ศ. 2542 อนันต์ จันทร์สคราญ [18] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "การจัดการการใช้ชานอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาล" ได้ศึกษาการใช้ชานอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ยังเสนอทางเลือกที่มีในการนำชายอ้อยไปใช้ประโยชน์นอกเหนือจากในอุตสาหกรรมน้ำตาล ในการวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมน้ำตาล พบว่ามี 2 ปัจจัยที่ทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพต่ำ ปัจจัยแรกคือ ปริมาณอากาศทางทฤษฎีที่ใช้ในการเผาไหม้มากเกินไป จากการศึกษางานวิจัยในต่างประเทศพบว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 140-150% ส่วนอีกปัจจัยหนึ่งคือ ชานอ้อยที่เป็นเชื้อเพลิงมีความชื้นสูง (ประมาณ 50%) ซึ่งการปรับปรุงทำได้โดยใช้ก๊าซร้อนทิ้งมาอบแห้งชานอ้อย จากข้อมูลของโรงงานน้ำตาลที่ทำการสำรวจพบว่าพลังงานในก๊าซร้อนทิ้งสามารถใช้ อบแห้งชานอ้อยให้มีความชื้นเหลือเพียง 35% จากทั้ง 2 ปัจจัยข้างต้นได้คำนวณปริมาณชานอ้อยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยกำหนดให้ปริมาณ อากาศทางทฤษฎีเป็น 150% (และ161% สำหรับโรงงาน ก) และการอบแห้งชานอ้อยให้เหลือความชื้น 40% และ 35% พบว่า สามารถลด

ปริมาณการใช้ชานอ้อยลงได้สูงสุด 20-30% ของชานอ้อยที่ใช้ทั้งหมดในฤดูหีบอ้อย สำหรับการใช้ประโยชน์จากชานอ้อย โรงงานน้ำตาลสามารถนำชานอ้อยที่เหลือใช้มาขายให้กับอุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัด ซึ่งจะขายได้ในราคา 250 บาทต่อตัน ที่ความชื้น 50% นอกจากนี้โรงงานน้ำตาลสามารถทำการผลิตไฟฟ้าขายโดยใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะให้ผลตอบแทนเทียบเท่ากับ 294 บาทต่อตัน

ในปี พ.ศ. 2547 ธงชัย ประจักษ์สูตร [19] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง "การเพิ่มศักยภาพของกากชานอ้อยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมครัวเรือน" พบว่า ชานอ้อยมีความหนาแน่น 195.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความชื้น 63.39 % ปริมาณเถ้า 6.87 % สารระเหยง่าย 26.55 % และคาร์บอนคงที่ 3.19 % นำไปตากแดด 4 วัน ชานอ้อยจะมีความชื้น 19.66 % มีค่าความร้อนสูงสุดคือ 3,306.59 แครอรี่ต่อกรัม เมื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่งจะใช้กากชานอ้อย แกลบข้าวและฟางข้าวเป็นส่วนผสมและใช้แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล มูลสัตว์และดินเหนียวเป็นตัวประสาน ซึ่งพบว่าเชื้อเพลิงแท่งมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงกว่าชานอ้อยมาก