ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในขบวนการผลิต (Processing Equipment)

-Vacuum Driers

วิธีการทำแห้งภายใต้สูญญากาศ (Vacuum dehydration) สามารถใช้ผลิตภัณฑ์แห้งที่มีคุณภาพสูงได้ดี แต่ต้นทุนการผลิตสูงกว่าวิธีอื่น ๆ การทำแห้งภายใต้สูญญากาศ อุณหภูมิของอาหารและอัตราเร็วของน้ำที่ถูกดึงออกจะถูกควบคุมโดยระดับของสูญญากาศ และปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านไปยังอาหารโดยระดับของสูญญากาศและปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านไปยังอาหารโดยการนำความร้อนและการแผ่รังสี ซึ่งวิธีทำแห้งภายใต้สูญญากาศสามารถควบคุมความร้อนได้ถูกต้องและแน่นอนกว่าวิธีใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อน

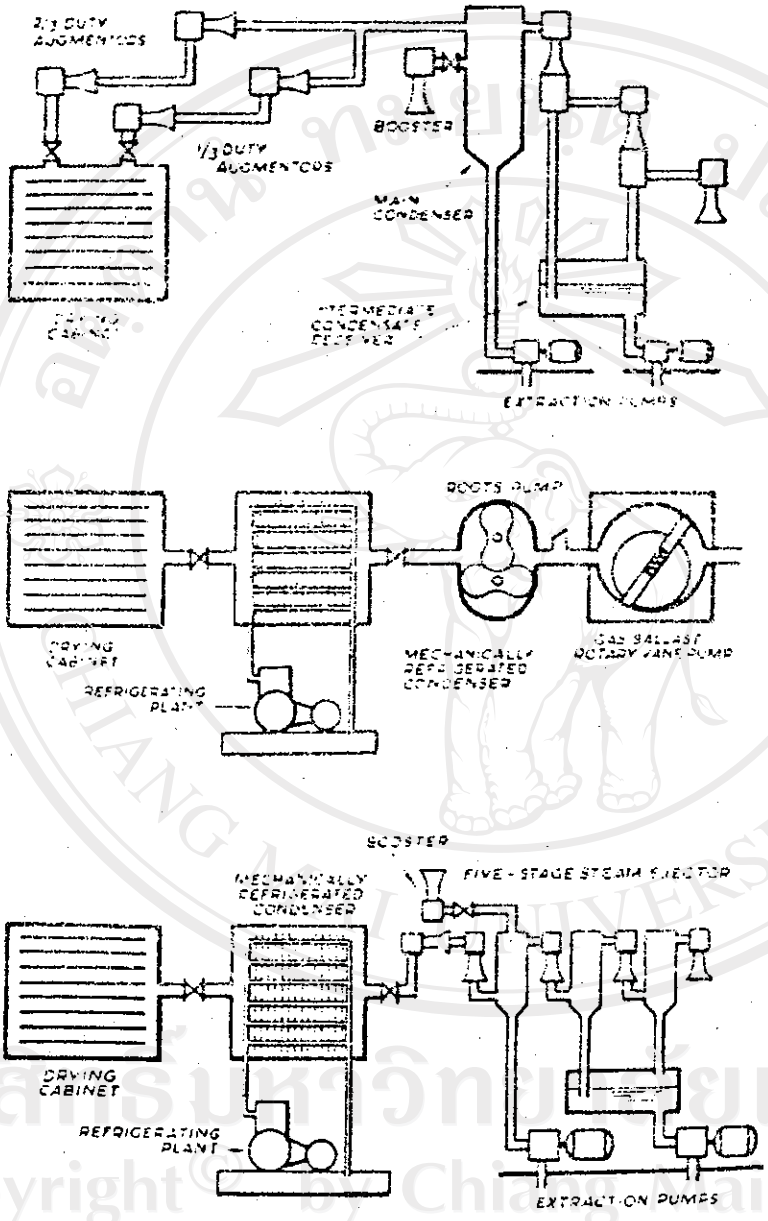
ระบบการทำแห้งภายใต้สูญญากาศมีส่วนสำคัญและจำเป็น 4 ส่วน ซึ่งรวมเป็น Vacuum chamber ส่วนต่าง ๆ สามารถอยู่สลับที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันได้ดังรูป ก.1

ระดับของสูญญากาศ (Degree of Vacuum)

ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่าประมาณ 15 psi หรือ 30 นิ้วปรอท ซึ่งเท่ากับ 760 มม.ปรอท หรือ 1 นิ้วปรอท มีค่าประมาณ 25 มม. ที่ 1 บรรยากาศ (30 นิ้ว = 760 มม.ปรอท) น้ำบริสุทธิ์เดือดที่ 100°C ที่ 10 นิ้ว หรือ 250 มม.ปรอท น้ำบริสุทธิ์เดือดที่ 72.2°C และที่ 2 นิ้ว หรือ 50 มม. ปรอท น้ำบริสุทธิ์เดือดที่ 38.3°C

การทำแห้งภายใต้สูญญากาศสูง ๆ (High Vacuum) เกิดที่ความดันต่ำเป็นมิลลิเมตรปรอท หรือทอร์ (millimeter = torr) ความดันของสูญญากาศ 2 ทอร์ เท่ากับ 2/760 ของความดันบรรยากาศ โดยทั่ว ๆ ไปขบวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



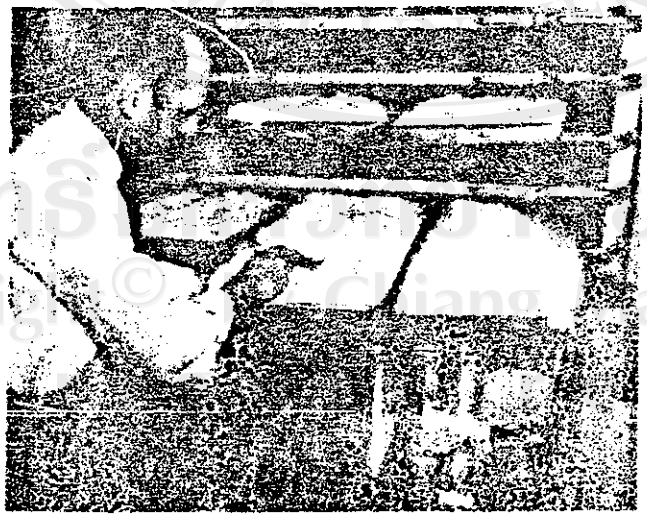
รูป ค.1 ส่วนต่าง ๆ ของระบบการทำแห้งภายใต้สุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำแห้งภายใต้ภาวะแช่แข็งจะเกิดในช่วงความดันสูญญากาศ 2-0.1 มม.ปรอท (หรือ torr)

-Vacuum Shelf Driers

การทำแห้งภายใต้สูญญากาศชนิดหนึ่งคือ batch type vacuum shelf drier ถ้าของเหลวเช่นน้ำผลไม้เข้มข้นถูกทำให้แห้งที่ความดันสูงกว่า 5 มม. น้ำผลไม้จะเดือดและกระจาย แต่ถ้าความดันอยู่ในช่วง 3 มม. หรือต่ำกว่า น้ำผลไม้จะกลายเป็นไอได้ การทำแห้งของน้ำผลไม้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นปุยคล้ายฟองน้ำ (puffed spongy) ดังรูป ก.2 อุณหภูมิที่ดีควรต่ำกว่า 37.8°ซ จึงจะใช้ได้ ข้อดีคือ ละลายน้ำได้เร็วมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสน้อย รูปร่างลักษณะ (rigidity) ของผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นปุย

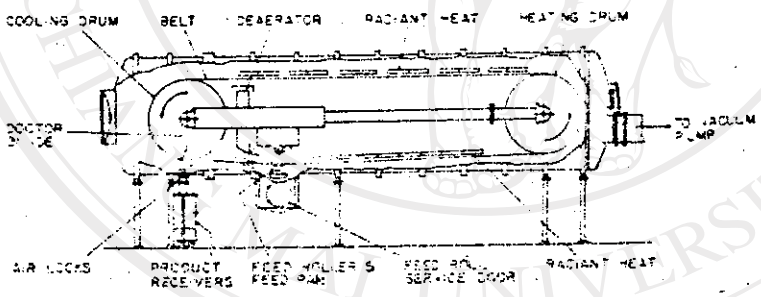


รูป ก.2 Batch Type Vacuum Shelf Drier

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

-Continuous Vacuum Belt Drier

เครื่องมือการทำแห้งจะถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องดังรูป ก.3 เครื่องทำแห้งนี้ใช้ในอุตสาหกรรมทางการค้าได้แก่ พวก citrus juice crystals, instant tea และอาหารสำเร็จรูปที่เป็นของเหลว ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้โดยใช้เครื่องมือชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นปุยบาง ๆ



รูป ก.3 Continuous Vacuum Belt Drier

-Freeze Drying

การทำแห้งภายใต้ภาวะแช่แข็งสามารถใช้ในการกำจัดน้ำออกจากอาหารได้อย่างดีโดยเฉพาะอาหารที่เป็นของเหลวเช่น กาแฟ น้ำผลไม้ต่าง ๆ แต่ก็ยังเหมาะในการทำแห้งอาหารที่เป็นของแข็งพวก สตอเบอรี่ กุ้ง ไก่ เห็ด ข้อดีคือ กลิ่นรส สี ลักษณะพื้นผิวของอาหารเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สะดวกในการเก็บรักษาดีกว่าวิธีอื่น ๆ

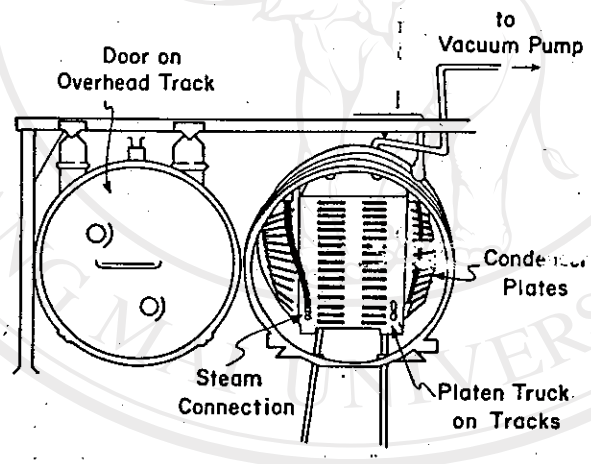
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการของการทำแห้งในสภาพแช่แข็งอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ไอน้ำสามารถระเหิดออกจากผิวของน้ำแข็ง โดยน้ำแข็งไม่เกิดการหลอมตัวคือ เปลี่ยนจากของแข็งไปเป็นกาซโดยไม่ผ่านการเป็นของเหลวเรียกว่า การระเหิด การระเหิดจะเกิดที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ หรือต่ำกว่า และความดันใน Vacuum chamber เท่ากับ 4.7 มม. หรือน้อยกว่านี้ ปกติความดันสูญญากาศที่มีประสิทธิภาพสูงอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 2 มม.ปรอท และต้องควบคุมความร้อนไม่ให้น้ำแข็งหลอมตัว ไอความชื้นจะระเหิดที่อัตราเร็วใกล้จุดสูงสุด การระเหิดจะเกิดจากผิวหน้าของน้ำแข็งต่อเนื่องเข้าไปสู่ใจกลางของชิ้นอาหาร ตอนสุดท้ายของการระเหิดของน้ำแข็งอาหารจะมีความชื้นต่ำกว่า 5 % และอาหารที่ถูกแช่แข็งจะไล่โมเลกุลของน้ำออกจนหมดทำให้ได้อาหารที่มีโครงสร้างพรุนแห้งคล้ายฟองน้ำ (porus sponge-like) ดังนั้นต้องระมัดระวังในการเก็บรักษา

เครื่องมือการทำแห้งในสภาพแช่แข็งต้องสามารถควบคุมแหล่งให้ความร้อนคือ ความร้อนที่ส่งผ่านจากแหล่งกำเนิดไปยังอาหาร ตัวกำจัดความชื้นโดยปกติคือ ตัวควบแน่น (Condenser) ระดับความดันและเครื่องมือที่ใช้นำอาหารเข้าออกได้ เครื่องมือทำแห้งในสภาพแช่แข็งที่ใช้ปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (batchwise) แม้ว่าแบบต่อเนื่อง (Continuous freeze dryer) กำลังนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางก็ตาม

แบบของเครื่องทำแห้งในสภาพแช่แข็ง (Conventional Freeze dryer) ดังรูป ก.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ก.4 เครื่องทำแห้งในสภาพแช่แข็งแบบไม่ต่อเนื่อง (Conventional Batch Freeze Dryer)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

Exponential regression*

$$Y = A.e^{B.x} \quad \text{หรือ} \quad \ln y = Bx + \ln A$$

เมื่อ $$b = \frac{n\Sigma x \ln y - (\Sigma x)(\Sigma \ln y)}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$a = \frac{\Sigma \ln y - b\Sigma x}{n}$$

n = จำนวนชุดของข้อมูล (x, y)

r = Correlation coefficient

$$r = \frac{b\sqrt{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}}{\sqrt{n\Sigma(\ln y)^2 - (\Sigma \ln y)^2}}$$

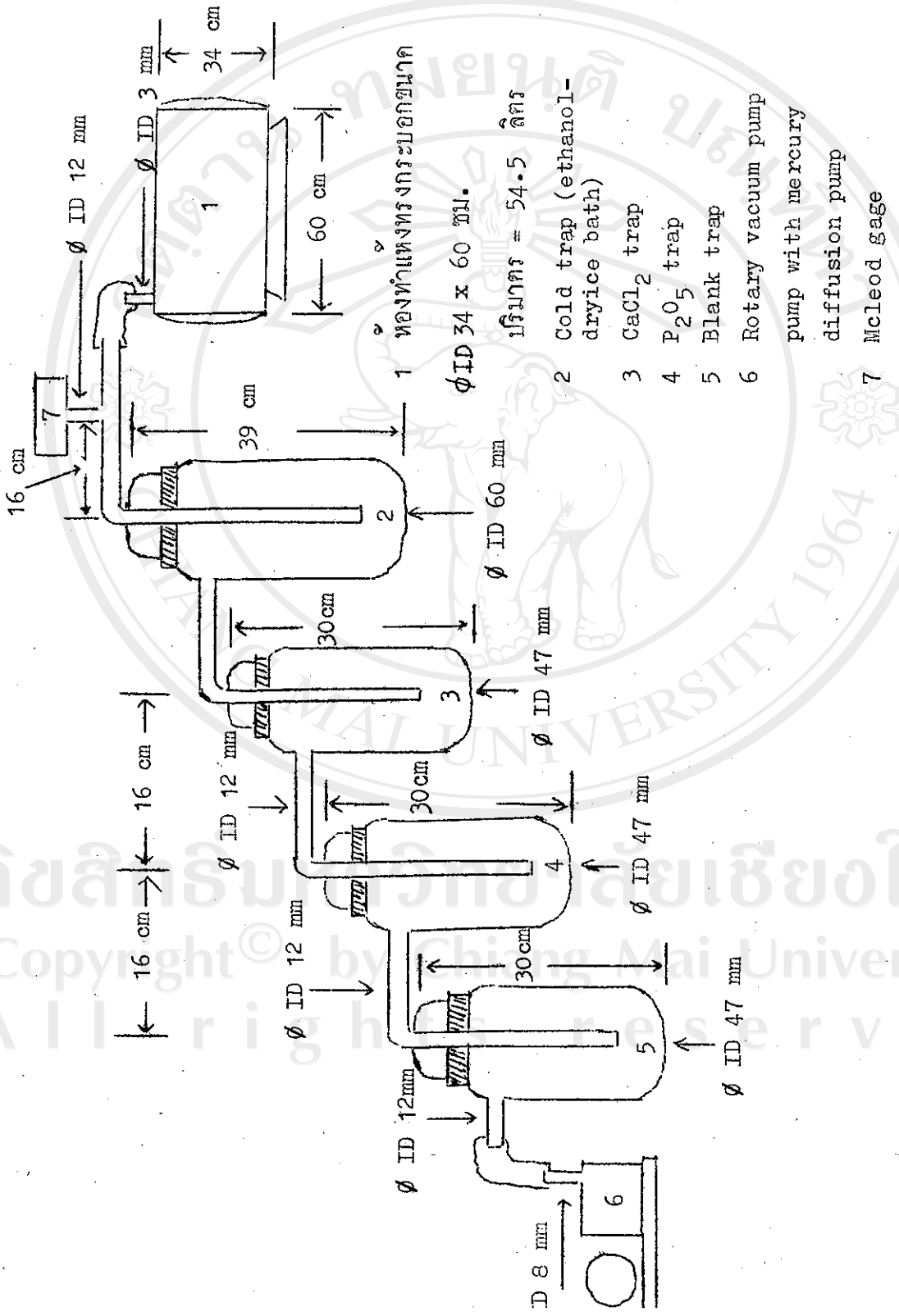
$$= \frac{n\Sigma x \ln y - (\Sigma x)(\Sigma \ln y)}{\sqrt{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}\sqrt{n\Sigma(\ln y)^2 - (\Sigma \ln y)^2}}$$

*A. Book Stephen, "Statistics, McGraw Hill, New York, 1977.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของเครื่องทำแห้งที่ออกแบบ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved