บทที่ 2

การสำรวจผลงานวิจัยพัฒนาในอดีต

ผลงานวิจัยพัฒนาในอดีตเกี่ยวกับ เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่รวบรวมมานี้ จะเน้นการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง และศึกษาถึงผลกระทบต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ และ/หรือ เงื่อนไขการเดินเครื่อง นอกจากนี้ยังสำรวจหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีผู้เสนอไว้สำหรับใช้ทำนายอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ ผลงานส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาค้นคว้าในห้องปฏิบัติการ ส่วนการศึกษาในระดับอุตสาหกรรมนั้นยังมีการตีพิมพ์เผยแพร่น้อยมาก อนึ่งการวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นของต่างประเทศ

Saburo Kamei และ Ryozo Toei (1952) ได้ศึกษาทดลองระบบการอบแห้งโดย เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมโดยใช้เครื่องอบแห้งที่มีท่อยาว 14.47 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 4 นิ้ว และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในการทดลองอบแห้ง $CuSO_4$, active carbon, ผงขี้เลื่อย, $(NH_4)_2SO_4$, $CaCO_3$, ถ่านหินผง

Saburo Kamei และ Ryozo Toei (1954) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระบบการอบแห้งแบบใหม่ๆ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบอุโมงค์ แบบถาด ในการทดลองอบแห้ง $(NH_4)_2SO_4$, Polyvinyl Chloride (PVC) resin, $CaCO_3$ และ แป้งมันฝรั่ง

Saburo Kamei, Ryozo Toei และ Masakatsu Hiraoka (1956) ได้ศึกษาระบบ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมและการประยุกต์ใช้งานกับวัสดุต่างๆ เพื่อหา สภาวะการปฏิบัติงานที่เหมาะสมสำหรับอบแห้ง Polyvinyl Chloride, $CaSO_4$, Ammonium sulfate กลูโคส, Pulverized iron, Pyrites, $CaCO_3$, Siliga gel ในกรณีอบแห้งวัสดุผงละเอียด ได้พบว่าควรใช้พวก Venturi Scrubber และ ถุงกรอง (Bag filter) เป็นตัวแยกวัสดุ จะให้ผลดีกว่าการใช้เพียงไซโคลน

Dunbar (1959) ได้ศึกษาการประยุกต์เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบใหม่ๆ ในการอบแห้งเยื่อกระดาษซึ่งผลิตทางเคมี (Chemical pulps) ในการทดลองจะอบแห้งเยื่อที่ไม่ผ่านการฟอกสี แล้วเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพในด้านต่างๆ กับเยื่อที่อบแห้งโดยวิธีที่ใช้กันทั่วไป นอกจากนี้ได้ทดลองอบแห้งเยื่อฟอกสีที่มีความขาว = 80 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม พบว่าเมื่ออบแห้งแล้วความขาวของเยื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Czeslaw Leszezynski (1966) ได้ศึกษา เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในการอบแห้งเยื่อกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งอื่นๆ ที่ใช้กันทั่วไป ในด้านค่าใช้จ่าย ด้านคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อ และด้านอุปกรณ์

Perovic (1967) ได้เสนอวิธีการประมาณความยาวที่ต้องใช้ของท่ออบแห้งแบบพาหะลมโดยใช้กฎจลน์ศาสตร์ ความยาวดังกล่าวจะเป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

$$L = f(t,w,G) \qquad ....(2.1)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของท่ออบแห้ง

t คือเวลาของการอบแห้ง

w คือความเร็วของลมร้อน

G คือ อัตราการป้อนวัสดุ

Kauh, J.Y. (1969) ได้เสนอวิธีการทำนายพฤติกรรมของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณแก้สมการแบบจำลองแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกับผลข้อมูลจากการทดลองจริง ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้สามารถนำไปประมาณค่าเงื่อนไขต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ในการเดินเครื่อง

Opman (1971) ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะในการอบแห้งต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่ออบแห้งแบบพาหะลม (n_d) ซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการ

$$n_d = Wr/LC(t_1-t_o) \quad ....(2.2)$$

โดยที่ r คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (kcal/kg)

C คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซ (kcal/kg.C)

t_o คือ อุณหภูมิของอากาศ (°C)

t_1 คือ อุณหภูมิการอบแห้ง (°C)

L คือ อัตราเร็วเชิงมวลของอากาศ ($Kg/m^2.hr$)

W คือ อัตราเร็วเชิงมวลของน้ำที่ระเหย ($Kg/m^2.hr$)

ค่า L, W สามารถคำนวณได้เป็นฟังก์ชันของ t_1 โดยการแก้สมการดุลความร้อนร่วมกับข้อมูลทางจลน์ศาสตร์ ในการทดลองอบแห้งถั่วปน(Shredded peat) จากความชื้นเริ่มต้น 40 - 70 % ในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมพบว่าได้ค่า n_d ที่มากที่สุดเมื่ออบแห้งที่ t_1= 670 °C

Radcliffe (1971) ได้ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบด้วย เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ชนิดต่างๆ โดยอธิบายจุดเด่นและจุดด้อย และการประยุกต์ใช้งาน

Debrand และ Stanley (1974) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลในกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยจำแนกตามค่าความเร็วและรูปแบบการไหลของวัสดุในเครื่องอบแห้ง ที่ตำแหน่งความยาวต่างๆของท่ออบแห้ง นอกจากนี้ยังสร้างสมการสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุ และสภาวะต่างๆในการปฏิบัติงาน เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ อัตราการป้อนวัสดุของเครื่องอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซกับวัสดุที่กำลังเคลื่อนที่ในเครื่องอบแห้งจะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ จุดป้อนวัสดุ จุดบริเวณท่อโค้งของท่ออบแห้ง และจุดของไซโคลน ดังนี้

$$Nu = 0.00076\ Re^{1.64}\ Pr^{0.5} \quad ....(2.3)$$

โดยที่ Nu คือ Nusselt number (-)

Re คือ Reynolds number (-)

Pr คือ Prandtl number (-)

Sheth,Shah และ Gomakale (1977) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยทดลองอบแห้งสารอนินทรีย์ เช่น $CaCO_3$, $MgCO_3$, SiO_2,และ Calcium silicate ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิอบแห้งประมาณ 70 °C พร้อม คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวล นอกจากนี้ยังอธิบายการประยุกต์ใช้งานของเครื่องอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ด้วย

Brink Hans Juergen (1977) ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวด้วยเครื่องอบแห้งแบบ Centrifugal flash อธิบายเกี่ยวกับการปฏิบัติงานพื้นฐานและเสนอแนะแนวปฏิบัติเพื่อประหยัดพลังงาน

Lindeman และ Motek (1978) ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดต่างๆพร้อมกับเสนอตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน โดยรายงานถึงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งคือท่อในแนวดิ่ง และ เครื่องแยกวัสดุจากลม เช่น ไซโคลน วัสดุเปียกและลมร้อนจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของเครื่องอบแห้ง วัสดุที่นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้ มีอาทิ เช่น ถั่ว ทราย สลัดจ์น้ำโสโครก (Sewage Sludge)

Ashworh และ Carter (1980) ได้วิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งประเภทพาความร้อนแบบต่าง ๆ โดยแสดงเป็นฟังก์ชันของประสิทธิ์ภาพเชิงพลังงาน ค่าใช้จ่ายหลัก และเวลาที่วัสดุอยู่ในเครื่อง ในการออกแบบเครื่องอบแห้ง ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงเกณฑ์ความสำคัญและเงื่อนไขของการอบแห้ง (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, อุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนที่ทางเข้าเครื่องอบแห้ง และศักยภาพการอบแห้งของลมทิ้ง) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิ์ภาพเชิงพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ประสิทธิ์ภาพการอบแห้งจะสูงขึ้น ถ้าสามารถเพิ่มอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนที่ทางออกให้สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (เพื่อให้ความสามารถในการพาความชื้นของลมร้อนมีค่าสูงสุด) แนวทางที่จะบรรลุเงื่อนไขเหล่านี้ได้ ได้แก่ ในเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่านต้อง

ควบคุมให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งขาเข้าสูงไว้ ในกรณีการอบแห้งธรรดา แต่ถ้ามีการหมุนเวียนลมทิ้งกลับมาใช้อีก ต้องควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งให้มีค่าปานกลาง เป็นต้น

เกณฑ์สำคัญอีกอันหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ เวลาในการอบแห้งทั้งหมด (Overall drying time) ซึ่งผู้วิจัยทดสอบกับการอบแห้งแบบถาดที่ปฏิบัติงานเป็นงวด , เครื่องอบแห้งแบบไหลผ่าน เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ความยาวต่างๆ กัน จากข้อมูลเหล่านี้ผู้ออกแบบสามารถคำนวณขนาดของเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการผลิตตามต้องการ สรุปแล้วในการออกแบบต้องอาศัยพารามิเตอร์ 3 กลุ่มซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนหรือขัดแย้งกันระหว่างขนาดเครื่องอบแห้งกับประสิทธิ์เชิงพลังงาน นอกจากนี้ได้กล่าวถึงผลกระทบซึ่งกันและกันของค่าใช้จ่ายหลักกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ใช้ในการออปติไมเซชันของค่าใช้จ่ายรวม พบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจะสำคัญกว่าค่าใช้จ่ายหลัก จากนั้น ได้ยกตัวอย่างการทำการลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบแบนด์และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบดที่มีค่า NTU สูง, เครื่องอบแห้งแบบหมุน, เครื่องอบแห้งแบบถาดและเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่มีค่า NTU ปานกลาง และยังยกตัวอย่างการทำออปติไมเซชันของ ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบเบื้องต้นภายใต้ข้อบังคับทั่วไปใน เครื่องอบแห้งแบบถาดที่ปฏิบัติงานเป็นงวดและเครื่องอบแห้งแบบหมุนไหลสวนทาง การนำผลที่ได้เหล่านี้ไปประยุกต์กับการอบแห้งวัสดุหลายแบบ นับเป็นการกระตุ้นให้มีการออกแบบเครื่องอบแห้งที่สามารถปฏิบัติงานด้วยลมร้อนที่มีความชื้นสูง

Poole และ Thygeson (1980) ได้ศึกษาพลังงานที่คงที่และพลังงานที่เป็นตัวแปรซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ เครื่องอบแห้งประเภทพาความร้อนในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเน้นผลที่อัตราการปล่อยลมทิ้ง(ซึ่งมีความร้อนสัมผัสปริมาณมาก) มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งนอกจากนี้ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งโดยอาศัยสมการดุลของพลังงาน และวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมของอัตราการปล่อยลมทิ้งของระบบในแง่ค่าใช้จ่ายต่อกำไร

Barr, D.J. (1980) ได้อธิบายพัฒนาการของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยอธิบายหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดต่างๆ ตั้งแต่เครื่องอบแห้งแบบง่ายๆ เช่น Thermo Venturi มาจนถึงแบบ Ring dryer ซึ่งบางชนิดจะเหมาะสมกับการอบแห้งวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายถึงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิด Multistage และ ชนิด Closed circuit drying(เพื่อใช้อบแห้งวัสดุพิษ)

Jewell และคณะ (1980) ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในการอบแห้งเส้นใบยาสูบ (Cut Tobacco) และออกแบบเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่โดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง ในระดับนำร่อง (Pilot Scale)

Barr (1980) ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานในการอบแห้งของอุตสาหกรรมแป้งและอธิบายถึงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม และ แบบโรตารี ซึ่งประเด็นสำคัญคือการปฏิบัติงานในสภาวะเงื่อนไขที่ถูกต้อง การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ และการออกแบบเครื่องอบแห้งชนิด Multistage

Waller (1980) ได้ศึกษาการจัดการด้านพลังงานของระบบอบแห้งและเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าเชื้อเพลิง เพื่อช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน

Kai Richardt (1980) ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานในการอบแห้ง ซึ่งพบว่าการประหยัดพลังงานมีหลายวิธี เช่น การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบใหม่ๆ การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น

Kamice และ Mielczarski (1981) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม และแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับวัสดุที่อบแห้งในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Reynolds number

Viktorin และ Houska (1981) ได้แนะนำแนวทางการเลือกเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยอธิบายหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ (ซึ่งจะแสดงในรูปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน) และประโยชน์ในการใช้งาน

Lee David , Tunne และ Julian (1983) ได้ศึกษาระบบการอบแห้งแบบพาหะลมที่มีการติดตั้ง อุปกรณ์กระจายวัสดุเพื่อให้วัสดุกระจายตัวได้ดีในลมร้อน และอธิบายหน่วยหลัก ๆ ของระบบ เช่น หน่วยป้อนวัสดุ หน่วยกระจายวัสดุ พัดลม ท่ออบแห้ง เป็นต้น ตลอดจนการประยุกต์ใช้งานและเงื่อนไขในการอบแห้ง

Matsumoto และ David (1984) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งธัญญพืชที่อัตราการอบแห้งคงที่ใน เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ตัวแปรที่สนใจมีหลายตัว เช่น อุณหภูมิของลม ความชื้นวัสดุที่ป้อนเข้า ความเร็วของลม อัตราการป้อนวัสดุเพื่อนำมาทำนายหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของแบบจำลองได้ศึกษาถึงผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ และแนวทางในการออกแบบ

Matsumoto และ David (1984) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งธัญญพืชที่อัตราการอบแห้งช้าลงใน เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยใช้สมการพื้นฐานของการแพร่มาอธิบายช่วงการอบแห้งที่ช้าลง และพิจารณาความชื้นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของท่ออบแห้งในรูปของ ความต้านทานภายนอกและความต้านภายใน ต่อการถ่ายเทมวลในกรณีที่ค่า Biot number มากกว่า 100 พบว่าความต้านทานการแพร่ภายในวัสดุ (Internal Diffusion Resistance) จะมีผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการอบแห้ง

Marti ,H. Cunir Karlsruhe (1984) ได้ศึกษาการอบแห้งวัสดุผงละเอียด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) และอนุภาคพีวีซี ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมขนาด Pilot scale โดยใช้อุณหภูมิอากาศเข้าประมาณ 100-200 °C และยังได้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับทำนายพฤติกรรมของเครื่องอบแห้ง โดยจะเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลอง

Abbott, Gwin และ Edwards (1985) ได้แสวงหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเยื่อกระดาษด้วยเครื่องอบแห้งแบบ Yankee และด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมโดยการจำลองระบบต่างๆ เช่น ระบบการเผาไหม้ การถ่ายเทอากาศ และ ระบบการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Noden และ Derk (1987) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดต่าง ๆ และพบว่าเครื่องแต่ละชนิด จะให้ผลในการปฏิบัติงานแตกต่างกันทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนวัสดุ การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นวิธีการออกแบบเครื่องอบแห้ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง

Sazhin และคณะ (1988) ได้เสนอวิธีการประเมินคุณสมบัติทางจลน์ศาสตร์ของการอบแห้งพอลิเมอร์ที่ใช้ทำเส้นใย (Fiber-forming Polymers) โดยทดลองอบแห้ง Cellulose di-acetate และ Cellulose tri-acetate ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม แล้วใช้วิธีการทางสถิติ (Polynomial regression อันดับ 2) ในการกำหนดสมการทำนายคุณสมบัติข้างต้นส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและ ค่าประสิทธิภาพการอบแห้งจะแสดงเป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่างๆของกระบวนการอบแห้ง

Barr (1989) ได้ศึกษาระบบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมโดยพิจารณาระยะเวลาที่วัสดุอยู่ในเครื่อง (Residence time) สำหรับกรณีที่มีการป้อนกลับวัสดุบางส่วนและ ระบบการอบแห้งแบบวงแหวน (Ring dryer) นอกจากนี้ยังแนะนำการควบคุมระบบต่วงๆของเครื่องอบแห้งและเงื่อนไขการป้อนวัสดุอบแห้ง

ชนันต์ และ วิโรจน์ (2533) ได้ศึกษาการปรับปรุงและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม และ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยทำการทดลองกับเครื่องอบแห้งขนาดเล็ก ในการทดลองอบแห้งแป้งข้าวเจ้าได้มีการปรับตัวแปรสำคัญบางอย่าง เช่น อัตราการไหลของลมร้อน อุณหภูมิของลมร้อนเป็นต้น เพื่อดูผลกระทบที่มีต่อการอบแห้งและ ค่า ส.ป.ส.การถ่ายเทความร้อน จากนั้นได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น

ทิพมณี และ วุฒินันท์ (2529) ได้คำนวณออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับหลักการอบแห้งและ การขนถ่ายวัสดุแบบพาหะลม จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณออกแบบโดยพิจารณาตัวแปรที่สำคัญ เช่น อัตราการป้อนวัสดุ ความดันลด และอุณหภูมิลมร้อน