

การศึกษาความดันตกคร่อมสำหรับห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของลำไย
ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวดิ่ง
Study of Pressure Drop for Longan Sulfurdioxide Fumigation Chamber
using Vertical Forced-Air System

พรเทพ จอมเมือง¹, จาตุพงษ์ วาฤทธิ์¹, สมเกียรติ จาตุรงค์ล้ำเลิศ¹ และ จักรพงษ์ พิมพ์พิมพ์²
Pornthep Chommuang¹, Jatuphong Varith¹, Somkiat Jaturonglumler¹ and Jakaphong Pimpimol²

Abstract

This objective of this research was to study the air flow resistance in term of pressure drop (ΔP) on the packed-longan basket which is an important factor for the design of vertical forced-air system in SO_2 fumigation process. The study was conducted by collecting ΔP from the test rig where the baskets were arranged into 1, 4 and 5 columns and 2-10 stacking levels. The data were analyzed for the relationship for the factors affecting ΔP using Buckingham Pi theorem with two dimensionless groups. These were a group of flow characterization, e.g., Euler's number (Eu) and Renolds' number (Re), and a group of basket arrangement, e.g., ratio between equivalent diameter of basket column to basket stacking height (D/L). Results showed that Eu had no relationship with ΔP as well as other dimensionless groups. However, ΔP increased with increasing Re , meanwhile Re expressed exponentially relationship with D/L for each specific air flow rate. The ΔP was in a range of 10-500 Pa. At a given D/L , ΔP can be predicted from the relationship between Re and D/L with the error of 3.16 percent compared to the result from the experiment.

Key word: pressure drop, forced-air, longan

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความต้านทานการไหลอากาศหรือค่าความดันตกคร่อม (ΔP) ของตะกร้าบรรจุผลลำไยสดฝืนผ้า ซึ่งมีความสำคัญในการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวดิ่ง (vertical forced-air) สำหรับการรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทำการศึกษาโดยการเก็บข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในกลุ่มตัวแปรไร้มิติจากชุดทดสอบที่มีการจัดเรียงตะกร้าลำไยแบบ 1, 4 และ 5 ตะกร้า/ ชั้น และมีการวางซ้อนในแนวดิ่ง 2 ถึง 10 ชั้น จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับค่า ΔP ด้วยทฤษฎีบท Buckingham Pi Theorem ได้ตัวแปรไร้มิติแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้อธิบายพฤติกรรมการไหล ได้แก่ Euler's number (Eu) กับ Renolds' number (Re) และกลุ่มที่ใช้อธิบายรูปแบบการจัดเรียง ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดชั้นตะกร้ากับกำลังสองของความสูงชั้นตะกร้า (AL^2) และอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของคอลัมน์ตะกร้ากับความสูงชั้นตะกร้า (D/L) ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ตัวเลข Eu ไม่มีความสัมพันธ์รูปแบบใด ๆ กับค่า ΔP และกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มอื่น ๆ แต่พบว่า ค่า ΔP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตัวเลข Re ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบยกกำลังกับค่า D/L และยังคงแตกต่างกันในแต่ละอัตราการไหล ΔP มีค่า อยู่ระหว่าง 10-500 Pa จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลข Re กับค่า D/L จึงสามารถทำนายค่า ΔP เมื่อทราบค่า D/L และอัตราการไหลอากาศที่ต้องการ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.16 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ ความดันตกคร่อม, การหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ, ลำไย

คำนำ

การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ผลลำไยสดเป็นเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่จำเป็นสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดเพื่อการส่งออก จากการศึกษาของวิไลพรและศุภลักษณ์ (2547) พบว่า การรม SO_2 กับผลลำไยสดในปัจจุบัน

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Department of Agricultural and Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

² ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² Department of Post harvest Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

เกิดการตกค้างของ SO_2 โดยมักมีสาเหตุมาจากระบบการจัดการที่ไม่ได้มาตรฐาน ระบบการหมุนเวียนอากาศที่ไม่ทั่วถึงรวมถึง การจัดเรียงตะกร้าที่ไม่เหมาะสม ทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ การใช้ระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ (forced-air) ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายในการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตภัณฑ์หลายชนิด (Fraser, 1998) และถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการรวม SO_2 กับผลล้าไยสด โดยจักรพงษ์และคณะ (2550) ได้มีการนำระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับแบบ อุโมงค์ (tunnel forced-air) มาใช้ในระบบรวมการรวม SO_2 ผลล้าไยในระดับกิ่งอุตสาหกรรม สามารถลดความเข้มข้นของ SO_2 ที่ใช้ลงถึง 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรรม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบปกติ โดยที่ไม่พบการตกค้างของ SO_2 ในเนื้อ และยังป้องกันการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกได้อีกด้วย

การออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง (vertical forced-air) เป็นอีกแนวคิดหนึ่งซึ่งเป็นการบังคับ อากาศให้ไหลผ่านตะกร้าล้าไยต่างจากการหมุนเวียนอากาศแบบ tunnel forced-air โดยพัดลมหมุนเวียนอากาศที่จะใช้จะต้อง สามารถเอาชนะความต้านทานอากาศของตะกร้าล้าไยที่เกิดจากการจัดเรียงหลายรูปแบบตามปริมาณผลผลิต ค่าเหล่านี้ สามารถแสดงอยู่ในรูปของค่าความดันตกคร่อม (Pressure drop, ΔP) ในการออกแบบระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับใน แนวตั้งนี้ ได้ประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์มิติของบัตกิงแฮมไพ (Buckingham Pi) (White, 2008) ในการศึกษาเนื่องจากเป็น วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยลดความยุ่งยากในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่าง ๆ ในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งอาจมีหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง ทำให้อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless numbers) เพื่อให้สามารถคาดการณ์การ เปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นได้ โดยไม่ต้องทำการทดลองทั้งหมด (สมศักดิ์, 2547)

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้อธิบายการ เปลี่ยนแปลงค่า ΔP ของตะกร้าบรรจุล้าไยสดที่จัดเรียงสำหรับการรวม SO_2 ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง สำหรับประกอบการคำนวณหาขนาดพัดลมหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสม สำหรับการรวม SO_2 ได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิเคราะห์มิติ กำหนดพารามิเตอร์ที่คาดว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ΔP ของระบบการหมุนเวียนอากาศแบบ บังคับในแนวตั้ง โดยตั้งสมมติฐานให้ความดันตกคร่อมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์จำนวน 7 พารามิเตอร์ จากนั้น จัดกลุ่มพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปไร้มิติด้วย Buckingham Pi method (White, 2008) โดยใช้มิติพื้นฐานแบบ MLtT และ ตรวจสอบกลุ่มตัวแปรไร้มิติด้วยมิติพื้นฐาน FLtT

การเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ค่า ถูกทดลองในชุดจำลองการหมุนเวียนอากาศ แบบบังคับในแนวตั้ง โดยจัดเรียงตะกร้าบรรจุล้าไยรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 36 cm x 56 cm x 15 cm (กว้าง x ยาว x สูง) ในชุดท่อลม 3 ขนาด สำหรับการจัดเรียงตะกร้าล้าไย 1, 4 และ 5 ตะกร้า/ ชั้น และสามารถวางซ้อนกันในแนวตั้งตั้งแต่ 2-10 ชั้น พัดลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal fan) ขนาด 3 Hp ถูกติดตั้งด้านบนของชุดท่อลม ซึ่งอัตราการไหลของพัดลมถูกกำหนด เป็น 3 ระดับ โดยใช้ อุปกรณ์ปรับรอบมอเตอร์ (Inverter) วัดค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในชุดทดสอบด้วยอุปกรณ์วัดค่าความเร็ว ลม Testo 400 ใช้เซนเซอร์แบบ Hot bulb จากนั้น คำนวณหาอัตราการไหลอากาศและความเร็วลมเฉลี่ยภายในชุดทดสอบ

วัดค่า ΔP ของตะกร้าล้าไยที่จัดเรียง 1, 4 และ 5 ตะกร้า/ ชั้น และมีการวางซ้อนกันขึ้นไปทีละ 2 ชั้น อ่านค่าโดยใช้ เครื่อง Testo 454 ตำแหน่งละ 3 จุด จนครบทุกรูปแบบการจัดเรียง และทุกระดับอัตราการไหลอากาศ

การหาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ แทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองลงในกลุ่มตัวแปรไร้มิติ จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากกราฟของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ โดยใช้กราฟเปรียบเทียบ จากนั้นวิเคราะห์สมการถดถอย โดยพิจารณาระดับความน่าเชื่อถือ จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2)

ผล

จากการทดลองพบว่า ค่า ΔP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นตะกร้า อัตราการไหลของอากาศ และยังคงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียง ค่า ΔP จะค่อนข้างสูงเมื่อจัดเรียงแบบ 1 ตะกร้า/ ชั้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 130-500 Pa รองลงมา คือการจัดเรียงแบบ 5 และ 4 ตะกร้า/ ชั้น ตามลำดับ โดยค่า ΔP จะมีค่าต่ำสุด ประมาณ 15 Pa เมื่อจัดเรียงแบบ 4 ตะกร้า/ชั้น วางซ้อนกัน 2 ชั้น ที่อัตราการไหล 0.6 m³/s และมีค่าสูงสุด ประมาณ 495 Pa เมื่อจัดเรียงแบบ 1 ตะกร้า/ชั้น วางซ้อนกัน 10 ชั้น ที่อัตราการไหล 1.0 m³/s (Table 1)

ผลการจัดกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า ΔP ทั้งหมด 7 พารามิเตอร์ ด้วย Buckingham Pi method ได้กลุ่มตัวแปรไร้มิติแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ 1) กลุ่มที่ใช้อธิบายคุณสมบัติการไหลของอากาศ ได้แก่ Euler's

number (Eu) กับ Reynolds' number (Re) 2 กลุ่มที่อธิบายรูปแบบการจืดเรียง ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของชั้นตะกร้ากับความสูงของการวางซ้อน (D/L) และอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดชั้นตะกร้ากับกำลังสองของความสูงของการวางซ้อนตะกร้า (A/L^2)

Table 1 Changes of ΔP by using different flow rate and arrangement.

No. of stack	Flow rate (m ³ / min.)	ΔP at different level of stack (Pa)				
		2	4	6	8	10
1	0.6	128.6	145	153.7	179	182.6
	0.8	232.5	269.3	287.3	306.9	321
	1.0	369.3	422.3	442.7	490.2	495.2
4	0.6	14.7	25.1	45.9	73.7	97.5
	0.8	20.5	66.3	98.9	141.6	181.5
	1.0	45.7	103.8	163.3	223.4	293.6
5	0.6	27.3	49.8	76.5	86.4	100
	0.8	54.3	99.7	140.2	157.9	180
	1.0	93.4	164	218.7	251	281.4

เมื่อหาความสัมพันธ์ร่วมของกลุ่มตัวแปรไร้มิติกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 2 จากกราฟ พบว่า กลุ่มของตัวแปรไร้มิติทั้งค่า A/L^2 และค่า D/L ไม่มีความสัมพันธ์รูปแบบใดๆ กับค่า Eu แต่พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่า Re ซึ่งอยู่ในรูปความสัมพันธ์แบบยกกำลัง เลือกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re กับ D/L สามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า ΔP เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มากกว่า 0.9 และอยู่ในรูปตัวแปรที่สามารถนำไปใช้ได้ง่าย (Figure 1)

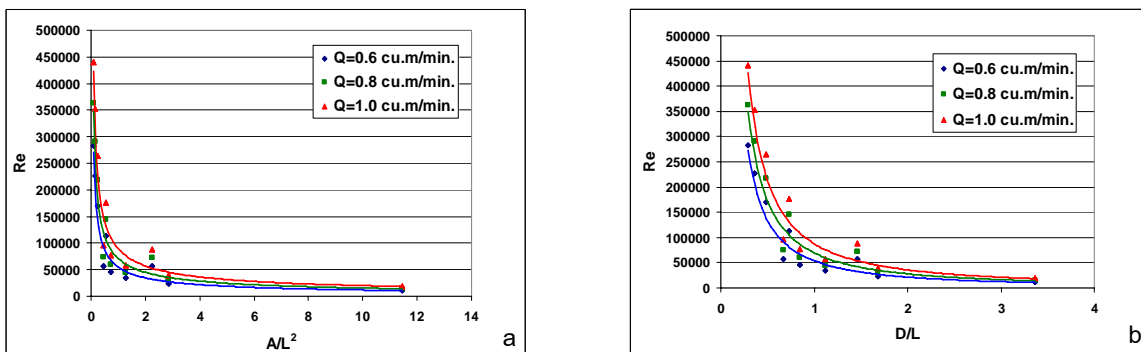


Figure 1 The relationship between dimensionless groups.

การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re ที่ได้จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2 กับค่า ΔP พบว่า มีความสัมพันธ์ในแบบลอการิทึม โดยการเพิ่มขึ้นของ Re จะทำให้ค่า ΔP จะเพิ่มขึ้นตาม และยังคงแตกต่างกันในแต่ละระดับการไหลของอากาศเช่นกัน (Figure 2)

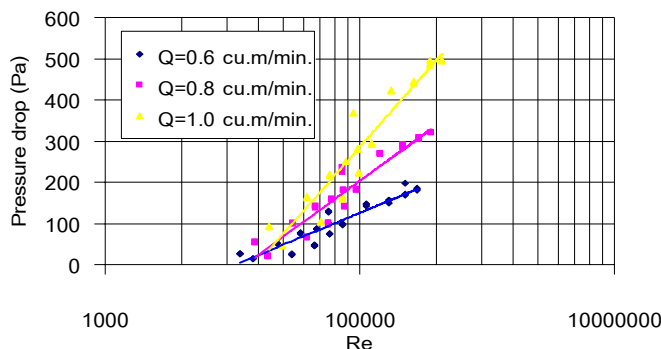


Figure 2 The relationship between ΔP and Re .

วิจารณ์

จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ร่วมของค่า Re กับค่า D/L พบว่า ที่ระดับอัตราการไหลของอากาศที่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงค่า Re เป็นผลมาจากรูปแบบการจัดเรียงตะกร้า (D/L) สามารถอธิบายได้คือ ตัวเลข Re จะมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10,760 เมื่อมีการจัดเรียงจำนวนตะกร้า/ ชั้นที่มากที่สุด มีจำนวนชั้นในการวางซ้อนน้อยที่สุด และมีอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นรูปแบบการจัดเรียงที่มีความต้านทานการไหลของอากาศน้อยที่สุดในทางกลับกัน ตัวเลข Re จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 382,709 เมื่อมีความต้านทานการไหลของอากาศที่มาก กล่าวคือ มีจำนวนตะกร้า/ ชั้นที่น้อยที่สุด แต่จำนวนชั้นในการวางซ้อนมากที่สุด และใช้ระดับอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด

เมื่อพิจารณาตัวเลข Re ($\rho vL/\mu$) กำหนดให้อากาศมีความหนืด (μ) และความหนาแน่น (ρ) คงที่ขณะทำการทดลอง เท่ากับ 1.86×10^{-5} N.s/m² และ 1.164 kg/m³ ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่า Re_L คือ ระดับความสูงของชั้นตะกร้า (L) และความเร็วของอากาศ (v) สอดคล้องกับการทดลองของบัญชา (2549) และ Freund (2003) โดยค่า ΔP จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับความหนาของชั้นวัสดุ และความเร็วในการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยตัวเลข Re เช่นกัน

เนื่องจากสมการความสัมพันธ์สำหรับทำนายค่า ΔP ที่มีขอบเขตของปัจจัยที่กว้าง จึงไม่สามารถทำนายค่า ΔP จากความสัมพันธ์ได้ดีในทุกช่วง ซึ่งทำให้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงถึง 32 เปอร์เซ็นต์ แต่ความคลาดเคลื่อนจากการทำนายค่า ΔP จะลดลงเมื่อกำหนดขอบเขตของปัจจัยให้แคบลง ได้แก่ การกำหนดอัตราการไหลของอากาศ และรูปแบบการจัดเรียงตะกร้า (D/L) ที่ต้องการ จะทำให้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเหลือเพียง 3 เปอร์เซ็นต์

สรุป

ค่า ΔP ของตะกร้าบรรจุผลลำไยสดรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้ระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของชั้นตะกร้า (L) และความเร็วการไหลของอากาศ (v) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของค่า Re การทำนายค่า ΔP จากความสัมพันธ์จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นเมื่อมีการกำหนดรูปแบบการจัดเรียง และอัตราการไหลที่แน่นอน จากความสัมพันธ์ สามารถนำไปทำนายค่า ΔP ของตะกร้าลำไย เพื่อให้ประกอบการคำนวณหาขนาดของพัดลมหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสมสำหรับการรม SO_2 ผลลำไยด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้งได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการวิจัย เรื่อง การออกแบบห้องรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับผลลำไยสดด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบ forced-air ในระดับอุตสาหกรรม โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่เชื้อเพื่อวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ พิมพ์พิมล ,จาตุรงค์ วาฤทธิ์ และ สมเกียรติ จาตุรงค์ล้ำเลิศ. 2550. การรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับผลลำไยสดด้วยวิธีหมุนเวียนอากาศแบบ forced-air. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. 87 น.
- บัญชา ธนปิยะวงษ์. 2549. คุณลักษณะทางความร้อนและการไหลในห้องเผาไหม้แบบชั้นวัสดุกลมอัด. วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 105 น.
- วิไลพร เคหะลูน และ ศุภลักษณ์ ทิพทามูล. 2547. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในผลลำไยสด. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 37 น.
- สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. 2547. กลศาสตร์ของไหล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 736 น.
- Fraser, W. H. 1998. Tunnel forced-air coolers for fresh fruit & vegetables. Ministry of agriculture, food and rural affairs. The government of Ontario. Canada. 14 p.
- Freund, H., T. Zeiser, F. Huber, E. Klemm and G. Brenner. 2003. Numerical simulations of single phase reacting flows in randomly packed-bed reactors and experimental validation. Chemical engineering science. 58: 903-910.
- White, M.F. 2008. Fluid mechanics. University of Rhode Island. McGraw Hill. Sixth edition. New York. 864 p.