จลนพลศาสตร์การอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกในบัวบก *Centella asiatica* (Linn.) ระหว่างการอบแห้งแบบลมร้อน

Kinetics of Drying and Phenolic Compound Changes of *Centella asiatica* (Linn.) Urban During Hot Air Drying

ชลิดา เนียมนุ้ย[1] จิตวัต ศิวาวุธ[1] และ รพีพัฒน์ กะดีแดง[1]
Chalida Niamnuy[1], Jittawat Siwawut[1] and Rapeepat Kadeedang[1]

Abstract

Centella asiatica is the important source of phenolic compounds, which have the antioxidant and *inhibition* of cancer *cell* properties. The objective of this work was to study the influence of drying temperature on the kinetics of drying and changes of phenolic compounds in *C. asiatica* during hot air drying. In addition, the models used to predict the kinetics of drying and changes of phenolic compounds were developed. The drying air temperatures under this study were 50, 60 and 70 ^{O}C. *C. asiatica* samples were collected at various times of drying for the determination of moisture and phenolic compounds contents. It was observed that the moisture and phenolic compounds contents decreased with the increase in drying time and temperature. In addition, it was found that the Logarithmic model was the most suitable model to predict the drying kinetics of *C. asiatica*. The changes of phenolic compounds were found to follow the second-order reaction model. The reaction rate constant (*k*) were 0.000803, 0.001389 and 0.00154 (g dry solid/mg·min) for the drying temperature of 50, 60 and 70 ^{O}C, respectively.

Keywords: *Centella asiatica*, phenolic compounds, kinetic of drying, kinetic of changes

บทคัดย่อ

บัวบกเป็นแหล่งสำคัญของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและช่วย*ยับยั้งเซลล์มะเร็ง* วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงของใบบัวบกระหว่างการอบแห้งแบบลมร้อน และพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้งที่ทำการศึกษา ได้แก่ 50, 60 และ 70 ^{O}C โดยทำการเก็บตัวอย่างใบบัวบกที่เวลาการอบแห้งต่างๆ ไปวิเคราะห์ความชื้นและปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่าปริมาณความชื้นและสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสมการ Logarithmic มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบบัวบกด้วยลมร้อน และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกเป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองที่ทุกอุณหภูมิอบแห้ง โดยมีค่าคงที่ของปฏิกิริยา (*k*) เท่ากับ 0.000803, 0.001389 และ 0.00154 (กรัมแห้ง/มิลลิกรัม·นาที) สำหรับอุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70 ^{O}C ตามลำดับ

คำสำคัญ: บัวบก สารประกอบฟีนอลิก จลนพลศาสตร์การอบแห้ง จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลง

คำนำ

บัวบกเป็นแหล่งสำคัญของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือเพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองอย่างง่ายในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกของบัวบกระหว่างการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าปริมาณความชื้นและสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสมการ Logarithmic มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบบัวบก และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกเป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองที่ทุกอุณหภูมิอบแห้ง

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900
[1] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkhen Campus, Bangkok 10900

อุปกรณ์และวิธีการ

นำใบบัวบกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เก็บตัวอย่างใบบัวบกที่เวลาต่างๆ นำไปหาความชื้นและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ด้วยวิธีของ Eckhoff *et al*. (1982) และ Chew *et al*. (2011) ตามลำดับ จากนั้นจึงนำค่าจากการทดลองไปคำนวณทางสถิติเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกของใบบัวบกต่อไป

ผล

1. อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง

Figure 1 แสดงจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบางของใบบัวบก โดยเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้น (มาตรฐานแห้ง) และระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใบบัวบกมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 602.99% (มาตรฐานแห้ง)

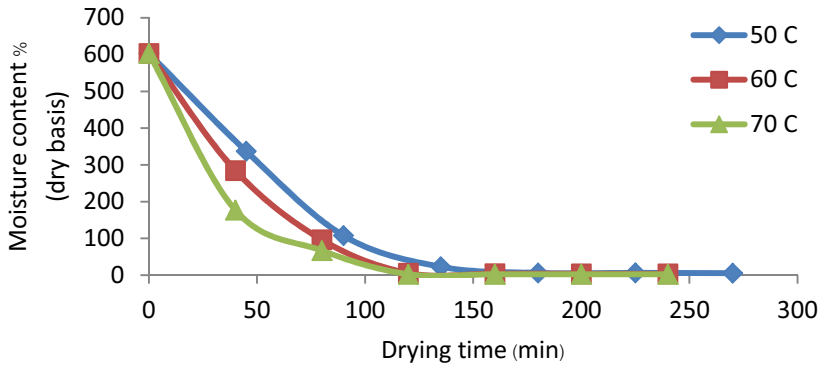

Figure 1 Relationship between percentage of moisture content and drying time at air temperatures 50, 60 and 70 °C

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ค่าความชื้นของใบบัวบกจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความชื้นสมดุลของใบบัวบกที่ทุกอุณหภูมิการอบแห้ง โดยเห็นได้ว่าความชื้นสมดุลของใบบัวบกมีค่าเท่ากับ 5.47, 3.91 และ 2.35% (มาตรฐานแห้ง) และเวลาในการอบแห้งที่ทำให้ใบบัวบกมีความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุล คือ 180, 120 และ 120 นาที สำหรับอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การอบแห้งสมุนไพรมักต้องการความชื้นสุดท้ายประมาณ 5% (มาตรฐานแห้ง) ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการอบแห้งใบบัวบกเท่ากับ 270, 120 และ 115 นาที สำหรับอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Table 1 Thin layer drying models involved

Model	Name
$MR = \exp(-kt)$	Newton
$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis
$MR = 1+at+bt^2$	Wang and Singh
$MR = a \exp(-kt)+(1-a) \exp(-kat)$	Two term exponential
$MR = a \exp(-kt)+c$	Logarithmic

ในการวิเคราะห์เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบบัวบกทำได้โดยการหาค่าคงที่ในสมการอบแห้งแบบชั้นบางรูปแบบต่างๆ ใน Table 1 โดยใช้ซอฟต์แวร์ Statistica version 8.0 (บริษัท statsoft, เมือง Tuka, ประเทศสหรัฐอเมริกา) และหาค่าความคลาดเคลื่อนของสมการในการทำนายค่าความชื้นของใบบัวบกระหว่างการอบแห้งในรูปของค่า R^2, SSE และ RMSE

Table 2 Empirical constants of Logarithmic model at drying temperature of 50, 60 and 70 °C

Name	Drying temperature (°C)	Parameter	R^2	SSE	RMSE
Logarithmic	50	a = 1.1751	0.98	0.0201	0.0537
		k = 0.0148			
		c = -0.0913			
	60	a = 1.0896	0.99	0.0076	0.0329
		k = 0.0198			
		c = -0.0460			
	70	a = 1.0505	0.99	0.0057	0.0285
		k = 0.0256			
		c = -0.0268			

SSE is the sum of squares for error, RMSE is root-mean-square error

จาก Table 2 พบว่าสมการ Logarithmic สามารถทำนายผลการอบแห้งบัวบกด้วยตู้อบลมร้อนได้ดีที่สุด เนื่องจากให้ค่า R^2 มากที่สุดเท่ากับ 0.98-0.99 แต่ค่า SSE และ RMSE จะน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0057-0.0201 และ 0.0537-0.0285 ตามลำดับ ในทางสถิติจึงถือได้ว่าสมการ Logarithmic เหมาะสำหรับการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของใบบัวบก

2. อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก

Table 3 Reaction kinetic models

Order	Model
0	$[A]_t-[A]_0=-kt$
1	$\ln\frac{[A]_t}{[A]_0}=-kt$
2	$\frac{1}{[A]_t}-\frac{1}{[A]_0}=kt$

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงดัง Figure 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับสอง ของการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกในใบบัวบกที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้ค่าคงที่ของปฏิกิริยา(k) จะพบว่าค่า R^2, SSE และ RMSE ของสมการซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคความถดถอยแบบเชิงเส้น (linear regression) (อำไพศักดิ์, 2553) มีค่าอยู่ในช่วง 0.89-0.99, 0.0886-1.4939 และ 0.1331-0.5466 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า R^2, SSE และ RMSE ของสมการปฏิกิริยาอันดับต่างๆ แล้วพบว่าสมการปฏิกิริยาอันดับสองมีความเหมาะสมในการใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด

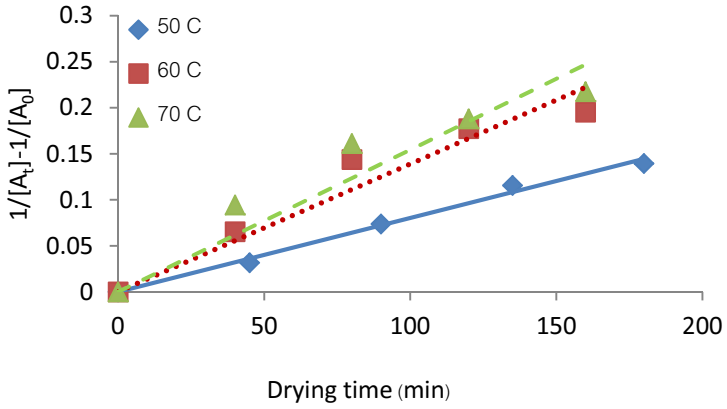

Figure 2 Relationship between the inverse of difference of concentration of phenolic compounds at any time (A_t) with that of the initial drying time (A_0)

วิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อจลพลศาสตร์การอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกในใบบัวบก รวมทั้งพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายค่าความชื้นของบัวบกและการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบบัวบก พบว่าสมการ Logarithmic สามารถทำนายผลการอบแห้งบัวบกด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 มากที่สุด แต่ค่า SSE และ RMSE น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าในช่วง 0.98-0.99, 0.0057-0.0201 และ 0.0537-0.0285 ตามลำดับ และในส่วนของการทำนายการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกที่เกิดจากการอบแห้ง ด้วยสมการจลนพลศาสตร์พบว่า การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับสอง ซึ่งสามารถทำนายผลการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกในใบบัวบกได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสมการจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับศูนย์และหนึ่ง โดยให้ค่า R^2 มากที่สุด แต่ค่า SSE และ RMSE น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าในช่วง 0.89-0.99, 0.0886-1.4939 และ 0.1331-0.5466 ตามลำดับ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้สนับสนุนทุนในดำเนินงานโครงงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำโครงงานนี้

เอกสารอ้างอิง

สมจิตร วงศ์กำชัย. 2544. ผลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากบัวบก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 180 หน้า.

Chew, K. K., S. Y. Ng, Y. Y. Thoo, M. Z. Khoo, W. M. Wan Aida and C. W. Ho. 2011. Effect of ethanol concentration, extraction time and extraction temperature on the recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity of Centella asiatica extracts. International Food Research Journal 18: 571-578.

Eckhoff, S. R., L. T. Black and R. A. Anderson. 1982. Predicting the Moisture Isotherm for Corn-Soy Milk from Individual Component Moisture Isotherm and their Possible effect on storage stability. Cereal Chemistry 59: 289-290.

Niamnuy, C., M. Nachaisin, N. Poomsa-ad and S. Devahastin. 2012. Kinetic modeling of drying and conversion/degradation of isoflavones during infrared drying of soybean. Food Chemistry 133: 946-952.