

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันสำปะหลัง

Convective heat transfer coefficient of cassava

กันต์ชนวรรณ พิศิลป์¹, ศักชัย จงจำ¹ และ อำไพศักดิ์ ธิบุญมา¹

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 โทรสาร 0-4535-3308

*E-mail : Pisil_james@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันสำปะหลังในรูปแบบสมการ $h_c = (k/X_o)C(RePr)^n$ โดยทำการทดลองอบแห้งมันสำปะหลังภายใต้เงื่อนไข คือ อุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำไปหาค่า C และ n ด้วยการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งหรือความเร็วลม จะทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า C และ n มีค่าเท่ากับ 1.9702 และ 0.1859 ตามลำดับ

คำหลัก: การอบแห้งด้วยลมร้อน, มันสำปะหลัง, สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

Abstract

The aim of this research was to determine convective heat transfer coefficient of cassava with the formula $h_c = (k/X_o)C(RePr)^n$. To achieve this purpose, cassava was dried under the followings conditions: drying temperatures of 50, 60 and 70°C as well as the air velocities of 0.6, 1.0, 1.5 and 2.0 m/s, respectively. Consequently, experimental data were used to obtain the value of the constant C and exponent n by regression analysis. It was found from the experimental results that convective heat transfer coefficient increases with increment of drying temperature or air velocity. Additionally, it should be note that C and n are 1.9702 and 0.1859, respectively.

Keywords: Hot air drying, Cassava, Convective heat transfer coefficient.

1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยรองจากข้าว ข้าวโพด ยางพารา และประเทศไทยยังเป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่ของโลกอีกด้วย สามารถผลิตมันสำปะหลังได้ถึง 26.60 ล้านตันต่อปี บนเนื้อที่ประมาณ 7.91 ล้านไร่ ผลผลิตที่ได้ นำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปทั้งหมด โดยแปรรูปเป็น

มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง และเอทานอล เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง อาทิเช่น อาหารสัตว์ อุตสาหกรรมอาหาร สิ่งทอ รวมถึงการผลิตเอทานอล [1] แต่เนื่องจากหิวมันสดไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเพราะจะเน่าเสีย จึงนำหิวมันสดมาแปรรูปโดยหั่นหิวมันสดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำมาตากแดด ซึ่งวิธีการตากแดดนั้นเป็นวิธีที่ดั้งเดิม

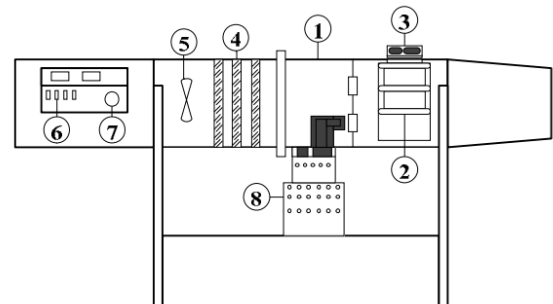
ของการอบแห้งพืช ซึ่งใช้เวลานานหลายวัน [2] และระหว่างที่ตากมันเส้นบนลานตากจะต้องมีการกลับด้านเป็นระยะๆ เพื่อให้มันเส้นแห้งเร็วขึ้น แต่จะปนเปื้อนด้วยฝุ่นละอองซึ่งมีผลกระทบต่อ การส่งออกมันเส้นของไทย โดยมันเส้นที่มีคุณภาพดีจะต้องมีสีขาวสะอาด มีปริมาณฝุ่นและทรายน้อย [3] ดังนั้น หากต้องการลดระยะเวลาการตากมันเส้นสำหรับและลดปริมาณสิ่งปนเปื้อน สามารถทำได้โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆ การอบแห้งด้วยลมร้อนโดยการพาความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาความร้อนได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของการไหล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ การพาความร้อนตามธรรมชาติและการพาความร้อนโดยการบังคับ ซึ่งการพาความร้อนโดยการบังคับนั้นเกิดขึ้นเมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วด้วยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เมื่อของไหลมีความเร็ว และมีตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า Anwar and Tiwari [4] ได้ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันฝรั่งที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันฝรั่งเท่ากับ $25.98 \text{ W/m}^2\text{°C}$ Goyal and Tiwari [5] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและมวลในระบบการอบแห้งพืช และมีรายงานค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลี $12.68 \text{ W/m}^2\text{°C}$ Kavak Akpinar [6] ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันฝรั่งและแอปเปิ้ล พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ในช่วง $20.65 - 30.22 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ซึ่งหากทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนก็สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ จะเห็นว่ามีปริมาณต่างๆ มากมายที่มีอิทธิพลต่อการพาความร้อน

และหากสามารถออกแบบเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็จะทำให้เกิดความก้าวหน้าในวิศวกรรมด้านต่างๆ อันจะเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรม [7] ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยทำการทดลองอบแห้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด โดยการพาความร้อนแบบบังคับ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบอันจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) ซึ่งใช้พลังงานจากขดลวดความร้อน (Heater) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดทดลองประกอบด้วย

1) ห้องอบแห้ง 2) ถาดผลิตภัณฑ์ 3) โหลดเซลล์ซึ่งน้ำหนักยี่ห้อ TRANSCCELL รุ่น FAD-5 (rate capacity 10 kg) 4) ขดลวดความร้อน 5) พัดลม 6) ชุดควบคุมอุณหภูมิลมร้อน 7) ชุดปรับความเร็วลม 8) ชุดบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL800 (setting accuracy $\pm 0.2 \%$ of full scale)

รายละเอียดของชุดทดลองมีดังนี้ ขนาดของห้องทดลองเท่ากับ $25 \times 150 \times 25$ เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×สูง) อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นขดลวดความร้อนกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 6 kW พัดลมเป็นแบบไหลตามแนวแกนมอเตอร์ขนาด 500 W โดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับ Data logger ในส่วนของความเร็วอากาศอบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ วัดโดยใช้ hot wire anemometer สำหรับการ

เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์วัดโดยใช้โหลดเซลล์ และต่อเข้า Data logger เพื่อบันทึกค่า

2.2. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้มันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นผลิตภัณฑ์ในการทดลอง ซึ่งจะนำมันสำปะหลังสดที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 189 -194 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มาหั่นเป็นชิ้นตามขวาง ให้มีขนาดความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร จนได้น้ำหนักมันสำปะหลังที่จะใช้ในการทดลองแต่ละครั้งเท่ากับ 200 กรัม แล้วนำมาเรียงบนถาดอบแห้ง โดยไม่ให้ซ้อนทับกัน จากนั้นทำการอบแห้งภายใต้เงื่อนไข คือ อุณหภูมิลมร้อน เท่ากับ 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วลม เท่ากับ 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์คงที่ ซึ่งความชื้นสุดท้ายที่ได้ประมาณ 17.7 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ในระหว่างการทดลองนั้นได้ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทุก ๆ 5 นาที โดยใช้ Data logger

2.3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันสำปะหลังสามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ [8-10]

$$h_c = \frac{k}{X_0} C(\text{Re Pr})^n \quad (1)$$

เมื่อ

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

k คือ การนำความร้อนของอากาศชั้น ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

X_0 คือ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (m)

C คือ ค่าคงที่

Re คือ Reynolds number

Pr คือ Prandtl number

n คือ ค่าคงที่

Reynolds number สำหรับการคำนวณหาค่า h_c หาได้จากสมการที่ (2)

$$\text{Re} = \frac{\rho v X_0}{\mu} \quad (2)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศชั้น (kg/m^3)

v คือ ความเร็วของการไหล (m/s)

μ คือ ความหนืดแบบไดนามิกของอากาศชั้น (N s/m^2)

Prandtl number สำหรับการคำนวณหาค่า h_c หาได้จากสมการที่ (3)

$$\text{Pr} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (3)$$

เมื่อ

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศชั้น ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)

อัตราความร้อนที่ใช้สำหรับการระเหยความชื้น หาได้จากสมการที่ 4 [11]

$$\dot{Q}_e = 0.016 h_c [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \quad (4)$$

$$\dot{Q}_e = 0.016 \frac{k}{X_0} C(\text{Re Pr})^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \quad (5)$$

เมื่อ

$\dot{Q}_e$ คือ อัตราความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำ ($\text{J/m}^2\text{s}$)

P คือ ความดันไอ (N/m^2)

T_c คือ อุณหภูมิของตัวอย่างทดลอง ($^{\circ}\text{C}$)

γ คือ ความชื้นสัมพัทธ์

T_e คือ อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

คำนวณหาความชื้นระเหย จากสมการที่ (5) โดยการหารด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ คูณด้วยพื้นที่ของผาและเวลา ดังสมการ

$$m_{ev} = 0.016 \frac{k}{X_0 \lambda} C(\text{Re Pr})^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] A_t t \quad (6)$$

กำหนด

$$0.016 \frac{k}{X_0 \lambda} [P(T_c) - \gamma P(T_e)] A_t t = Z \quad (7)$$

แทนค่า Z จากสมการที่ (7) ในสมการที่ (6) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{m_{ev}}{Z} = C(\text{Re Pr})^n \quad (8)$$

เมื่อ

m_{ev} คือ มวลของน้ำที่ระเหย (kg)

λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหย (J/kg)

A_t คือ พื้นที่ของผา (m^2)

t คือ เวลา (s)

หลังจากนั้นสามารถจัดสมการที่ (8) ให้อยู่ในรูปแบบสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\ln \left[\frac{m_{ev}}{Z} \right] = \ln C + n \ln(\text{Re Pr}) \quad (9)$$

หรือ

$$y = mx + C$$

เมื่อ

$$y = \ln \left[\frac{m_{ev}}{Z} \right]$$

$$x = \ln(\text{Re Pr})$$

$$m = n$$

$$C = \ln(C)$$

3. ผลและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบผา ได้ผลการทดลองดังนี้

3.1 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลม

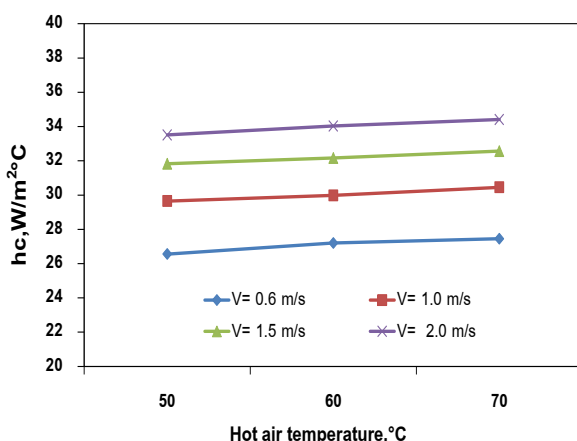
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน อุณหภูมิลมร้อน และความเร็วลม ที่ใช้ในการอบแห้งมันสำปะหลัง ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วลม เท่ากับ 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองอธิบายได้ดังนี้

1.) กรณีพิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ จากรูปที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วจะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วลมจะมีผลทำให้ค่า Reynolds number (Re) และค่าการนำความร้อนของอากาศขึ้น (k) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Prandtl number (Pr) ลดลงหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้น จากการทดลองยังพบว่า ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากกว่าที่ความเร็วลม 0.6, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที เท่ากับ 20.30, 11.62, 5.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้น หากพิจารณาที่ทุกๆ ความเร็วลม พบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนเพิ่มขึ้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์

2.) กรณีพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ จากรูปที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จะมีผลทำให้ค่า Re และค่า k เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Pr เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.67 และ 1.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ทุกๆ อุณหภูมิอบแห้ง เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.07 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 26.55 – 34.41 $W/m^2\text{ }^{\circ}C$ โดยมีค่าใกล้เคียงกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมันฝรั่งซึ่งเท่ากับ 25.98 $W/m^2\text{ }^{\circ}C$ [4]



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ที่อุณหภูมิและความเร็วลมต่างๆ

3.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการอบแห้งมันสำปะหลังด้วยลมร้อน สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$h_c = \frac{k}{x_0} (1.9702)(Re Pr)^{0.1859} \quad (10)$$

โดยสมการที่ (10) สามารถใช้ได้ค่อนข้างแม่นยำ ในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 50-70 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.6-2.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมันสำปะหลังด้วยลมร้อน จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนและความเร็วลมมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนหรือความเร็วลมจะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในส่วนของการวิเคราะห์พบว่า C และ n มีค่าเท่ากับ 1.9702 และ 0.1859 ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และหลักสูตรบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2556, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.oae.go.th> เข้าดูเมื่อวันที่ 26/04/2013
- [2] Tiwari, G.N. Solarenergy fundamentals, Design, Modelling and Applications, Centre for Energy Studies Indian Institute of Technology, Delhi New Delhi-110016, India.
- [3] ทศพร วิมุกตาคม และ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ. การจำลองสภาพของการอบแห้งมันสำปะหลังเส้นด้วยลมร้อน, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 143-153.
- [4] Anwar, S.I., Tiwari, G.N. (2001). Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions, Energy Conversion and Management, 42, 627-637.

- [5] Goyal, R.K., & Tiwari, G.N. (1998). Heat and mass transfer relation for crop drying, *Drying Technology*, 16(8), 1741-1754.
- [6] Kavak Akpınar, E. (2005). Evaluation of convective heat transfer coefficient of various crops in cyclone type dryer, 46, 2439-2454.
- [7] อนุสรณ์ สุขเกษม. การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบท่งทรงกระบอก (2550), วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2552
- [8] Anil Kumar, A., Tiwari, G.N. (2007). Effect of mass on convective mass transfer coefficient during open sun and greenhouse drying of onion flaker, *Journal of Food Engineering*, 79, 1337-1350.
- [9] Anwar, S.I., Tiwari, G.N. (2001). Convective heat transfer coefficient of crops in forced convection drying-an experimental study, *Energy conversion and Management*, 42,1687-1698.
- [10] Dilip Jain, D. (2006). Determination of convective heat and mass transfer coefficients for solar drying of fish, *Biosystems Engineering*, 94(3), 429-435.
- [11] Hartnett, J.P., and Minkowycz, W.J. (2004). Experimental determination of Convective heat transfer coefficient of some agricultural products in forced convection drying, *Int. Comm. Heat Mass transfer*, 31(4), 585-595.