

ผลของน้ำมันในน้ำผลไม้ที่มีต่อการสูญเสียสารให้กลิ่นรส ในกระบวนการ Osmotic Distillation

อำไพ ชนะไชย¹ นิษณา จันทสุทธิบุตร² และ ประรณนา โพธิ์มา²
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของน้ำมันในน้ำผลไม้ที่มีต่อการสูญเสียสารให้กลิ่นรสและการเปียกของเยื่อแผ่นในกระบวนการ Osmotic Distillation (OD) ด้วยเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำแบบเส้นใยกลวงโพลีไวนิลไอดีน-ฟลูออไรด์ (polyvinylidene-fluoride, PVDF) โดยใช้สารละลายจำลองของสารให้กลิ่นรส (ethyl acetate และ ethyl hexanoate) และน้ำมัน limonene ผลการทดลองพบว่า ในกรณีที่ไม่มี limonene ในสารป้อน ฟลักซ์ของน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าฟลักซ์และค่าการสูญเสีย ethyl acetate สูงกว่าของ ethyl hexanoate เล็กน้อย

ในช่วงความเข้มข้นของ limonene ที่ศึกษา (0-1,000 ppmv) พบว่า limonene ไม่ทำให้เยื่อแผ่นเกิดการเปียก แต่มีผลให้สภาพการซึมผ่านและการกักกันสารให้กลิ่นรสลดลงอย่างมาก โดยที่เมื่อความเข้มข้นของ limonene เพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ของน้ำลดลงในขณะที่ค่าฟลักซ์และค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของ limonene 200 ppm มีค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้นร้อยละ 46 และร้อยละ 61 สำหรับ ethyl acetate และ ethyl hexanoate ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มี limonene

คำสำคัญ : ออสโมติก ดิสทิลเลชัน / เอทิล อะซีเตท / เอทิล เฮกซาโนเอท / PVDF / Wettability

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

² นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

Effect of Oil in Fruit Juice on Flavor Loss in Osmotic Distillation Process

Ampai Chanachai¹, Nissana Jantasuttibaworn², and Pratana Phoma²
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

This research studied the effect of oil in fruit juice on flavor loss and membrane wettability in osmotic distillation process (OD) with hydrophobic hollow fiber polyvinylidene-fluoride (PVDF) membrane. The model solutions of flavors (ethyl acetate and ethyl hexanoate) and limonene oil were used. In case of absence of limonene in feed solution, the results showed that water flux slightly decreased while flavor fluxes and flavor losses increased with increasing flavor concentration. Flux and percentage loss of ethyl acetate were slightly higher than those of ethyl hexanoate.

In the range of limonene concentration studied (0-1,000 ppmv) the membrane was not wetted, however, permeability and flavor retention properties of membrane decreased considerably. When limonene concentration was increased, water flux decreased significantly while flavor fluxes and flavor losses increased. For solution at 200 ppmv limonene concentration, the flavor loss increased 46% and 61% for ethyl acetate and ethyl hexanoate, respectively, comparing with solution in the absence of limonene.

Keywords : Osmotic Distillation / Ethyl Acetate / Ethyl Hexanoate / PVDF / Wettability

¹ Lecturer, Department of Chemical Engineering.

² B.Eng. Student, Department of Chemical Engineering.

1. บทนำ

กระบวนการ osmotic distillation (OD) เป็นกระบวนการเยื่อแผ่นแบบหนึ่งในกลุ่ม membrane contactor ซึ่งใช้เยื่อแผ่นรูพรุนไม่ชอบน้ำ (hydrophobic porous membrane) กั้นระหว่างสารป้อนที่ต้องการเพิ่มความเข้มข้นกับสารละลายออสโมติก (สารละลายเกลือความเข้มข้นสูง) เนื่องจากเยื่อแผ่นที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นที่ไม่ชอบน้ำหรือ non wetted ดังนั้นไอหรือก๊าซเท่านั้นที่จะเข้าไปในรูพรุนของเยื่อแผ่นได้ น้ำในสารละลายที่มีศักย์ทางเคมี (chemical potential) สูงคือด้านสารป้อนจะระเหยและผ่านเยื่อแผ่นในรูปของไอ และเกิดการกลั่นตัวในด้านที่มีศักย์ทางเคมีต่ำกว่าคือด้านสารละลายเกลือ ผลต่างของศักย์ทางเคมีที่เป็นแรงขับเคลื่อนในกระบวนการ OD เกิดขึ้นเนื่องจากผลต่างขององค์ประกอบของสารละลายสองด้าน ไม่ใช่ผลต่างของอุณหภูมิ

OD สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับสารที่ไวต่อความร้อนและแรงกล เช่น สารอาหารต่างๆ [1] จึงสามารถใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ได้ดี นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ และสามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารได้สูงโดยไม่มีขีดจำกัดเนื่องจากความดันออสโมติกสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis)

การที่ OD สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีการประยุกต์ใช้สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้เป็นหลัก [2-7] อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำผลไม้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลากหลายชนิด กล่าวคือ นอกจากน้ำตาลซูโครสที่เป็นองค์ประกอบหลักแล้วยังมีโปรตีน เยื่อ (pulp) สารให้กลิ่นรส (flavor) และน้ำมัน เป็นต้น ดังนั้นการดำเนินการในกระบวนการ OD ของน้ำผลไม้จึงให้ผลที่แตกต่างไปจากกระบวนการ OD ของสารละลายจำลอง ทั้งในแง่ของการลดลงของฟลักซ์และการสูญเสียสารให้กลิ่นรส

Alves และคณะ [6] พบว่าฟลักซ์ในกระบวนการ OD ของน้ำส้มลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มดำเนินการ ในขณะที่ฟลักซ์ของสารละลายซูโครสจะค่อนข้างคงที่ในช่วงแรก และจะลดลงหลังจากที่ดำเนินการนานประมาณ 6 ชั่วโมง ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุน่าจะมาจากโปรตีนและเยื่อที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bailey และ

คณะ [4] ซึ่งศึกษา OD ของน้ำองุ่น ซึ่งน้ำองุ่นที่มีการบำบัดในเบื้องต้นด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน เพื่อแยกเยื่อและเพคตินออกไป จะมีค่าฟลักซ์สูงกว่าฟลักซ์ของน้ำองุ่นที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด โดยผู้วิจัย [4, 6] ไม่ได้กล่าวถึงน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำผลไม้

ในการศึกษากระบวนการ OD ของสารละลายซูโครส [8-9] พบว่าในกรณีที่สารละลายซูโครสผสมด้วย limonene oil (องค์ประกอบหนึ่งในน้ำส้มและน้ำผลไม้อื่น) 0.2 %w เยื่อแผ่นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) จะเกิดการเปียก (wet) ทันที และจะให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ผสมน้ำมันผสม แต่ถ้าสารละลายซูโครสไม่มี limonene oil จะไม่พบการเปียกของเยื่อแผ่นเลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง น้ำมันเป็นสาเหตุที่ทำให้ฟลักซ์ลดลงและทำให้เยื่อแผ่นเกิดการเปียกด้วย แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำมัน 0.2 %w (2,000 ppm) นั้นสูงกว่าน้ำมันที่มีในน้ำผลไม้มาก โดยน้ำส้มจะมี limonene 18.4-276 ppm และมีน้ำมันรวม 22-400 ppm [10-11]

จากรายงานของ Barbe และคณะ [12] ซึ่งศึกษาการกักกันของสารให้กลิ่นรส ได้แก่ ethanol, 3-methylbutanol, ethyl acetate (EA), alpha-pinene, beta-myrcene, ethyl hexanoate (EH) และ limonene ด้วยกระบวนการ OD ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า ค่าฟลักซ์สารให้กลิ่นรส/ฟลักซ์น้ำ (J_i/J_w) ของน้ำองุ่นและน้ำส้มสูงกว่าของสารละลายจำลองมาก เช่นกรณีของ ethyl acetate (เยื่อแผ่นโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP), Celgard 2500) มีค่า J_i/J_w ของสารละลายจำลอง น้ำองุ่น และน้ำส้มประมาณ 1×10^{-4} , 25×10^{-4} และ 50×10^{-4} ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า OD ของน้ำผลไม้จริงมีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสมากกว่าสารละลายจำลองถึง 25-50 เท่า แต่ยังไม่ทราบเหตุผลที่ชัดเจนที่ทำให้ J_i/J_w สูงขึ้นมากสำหรับน้ำองุ่นและน้ำส้ม แม้ว่าในสารละลายจำลองนั้นจะมี limonene ผสมอยู่ด้วยก็ตาม แต่มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่พบในน้ำผลไม้ไม่มากคือแค่ 1 ppm ซึ่งผู้วิจัยไม่ได้รายงานปริมาณของ limonene ในน้ำองุ่นและน้ำส้มที่ศึกษา

การที่น้ำมันมีความไม่ชอบน้ำสูง จึงเป็นไปได้ที่น้ำมันจะเกิดการดูดซับและสะสมที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ซึ่งจะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าหาเยื่อแผ่น ในขณะที่เดียวกันจะไปเสริมการเคลื่อนที่ของสารให้กลิ่นรสเนื่องจากมีความไม่ชอบ

น้ำเช่นเดียวกัน ดังนั้นน้ำมันที่มีในน้ำผลไม้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ฟลักซ์ของน้ำลดลงและสูญเสียสารให้กลิ่นรสมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำมันที่มีในน้ำผลไม้ที่มีต่อค่าฟลักซ์ของน้ำและการสูญเสียสารให้กลิ่นรส รวมทั้งศึกษาผลของน้ำมันที่มีต่อการเปียกของเยื่อแผ่นในกระบวนการ OD เพื่อเป็นประโยชน์ในการหาแนวทางลดหรือควบคุมการสูญเสียสารให้กลิ่นรสและป้องกันการเปียกของเยื่อแผ่นต่อไป

2. อุปกรณ์และการทดลอง

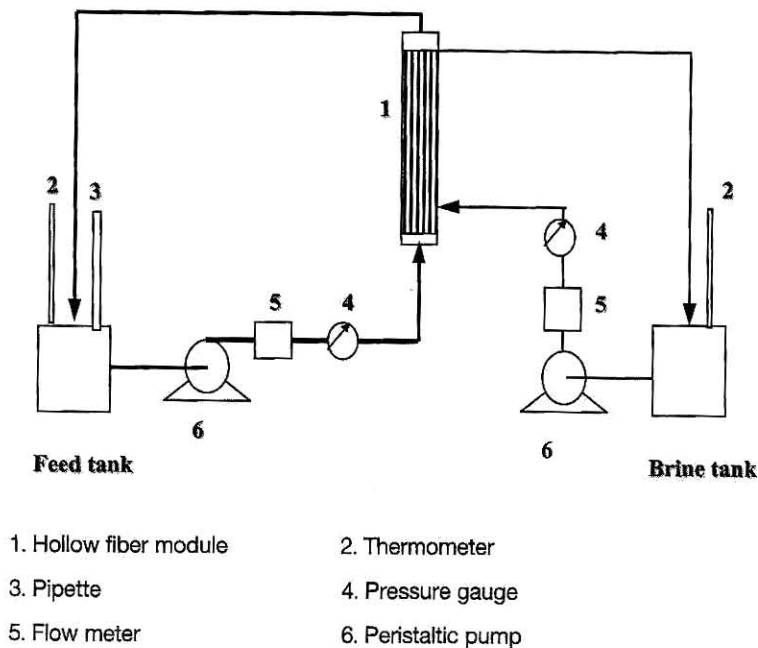
2.1 สารเคมี

Ethyl acetate 99.9% จากบริษัท Mallinckrodt ส่วน ethyl hexanoate $\geq 99\%$ และ limonene ((R)-(+)-limonene) 97% ชื่อจากบริษัท Aldrich คุณสมบัติที่สำคัญของสารเหล่านี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติที่สำคัญของสารให้กลิ่นรส [13-16]

Compound	MW	จุดเดือด (°ซ)	P^{sat} ที่ 25 °ซ (มม.ปรอท)	γ^∞ in water ที่ 25 °ซ (std. deviation)	Relative volatility ^a $\alpha_{i/w}$	Hydrophobic constant log P
เอทิล อะซิเตท	81.1	71.1	87.32	70 (4)	259	0.73
เอทิล เฮกซาโนเอท	144.2	168	1.18	32,700 (920)	1,638	2.80
ลิโมนีน	136.3	176	0.66	370,000 (37,000)	10,365	4.57

^a คำนวณจาก $\alpha_{i/w} = \gamma_i^\infty P_i^{sat} / P_w^{sat}$ [15]; γ_i^∞ = สัมประสิทธิ์แอกติวิตีของสาร i สำหรับสารละลายเจือจางในน้ำ และ P^{sat} คือ ความดันไออิ่มตัว



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์ osmotic distillation

2.2 อุปกรณ์ Osmotic distillation

ชุดอุปกรณ์ Osmotic distillation แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสารละลายป้อนจากถังป้อนจะถูกป้อนเข้าสู่โมดูลของเยื่อแผ่นทางด้านในท่อ (tube) ของเยื่อแผ่นเส้นใยกลวงด้วยปั๊ม Peristaltic (6) (Masterflex easy load II, Cole-Parmer Instrument Company) สารละลายรีเทนเททท์ออกจากเยื่อแผ่นจะถูกนำกลับเข้าสู่ถังป้อน ในขณะที่เดียวกัน สารละลายเกลือเข้มข้นจะถูกป้อนเข้าสู่โมดูลของเยื่อแผ่นทางด้านนอกท่อ (shell) ของเยื่อแผ่น ซึ่งจะเกิดการถ่ายเทมวลจากด้านสารละลายป้อน (ด้านในท่อ) ไปสู่ด้านสารละลายเกลือ (ด้านนอกท่อ) ทำให้ปริมาตรของสารละลายป้อนหรือรีเทนเททท์ลดลง แต่ปริมาตรของสารละลายเกลือจะเพิ่มขึ้น สามารถวัดปริมาตรที่เปลี่ยนไปได้จากการอ่านความสูงที่ปีเปต (3) ซึ่งมีอยู่ทั้งในถังป้อนและถังสารละลายเกลือ

ถังป้อนและถังสารละลายเกลือบรรจุอยู่ใน water bath (YCW-010 series, KK.) ควบคุมอุณหภูมิด้วย thermostat ส่วนอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายเกลือสามารถปรับได้ที่ปั๊มและวัดอัตราการไหลด้วย flow meter (5)

เยื่อแผ่นที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นรูพรุนแบบเส้นใยกลวง โพลีไวนิลไอฟลูออไรด์-ฟลูออไรด์ (polyvinylidene-fluoride, PVDF) ของบริษัท Memcor Australia เยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุน 0.2 μm มีจำนวนเส้นใย 30 เส้นใย และมีพื้นที่เยื่อแผ่น 0.0138 m^2

2.3 การทดลอง

การศึกษาผลของน้ำมันในน้ำผลไม้ที่มีต่อค่าการกักกันสารให้กลิ่นรสในกระบวนการ OD นี้ ทดลองโดยใช้สารละลายจำลอง ซึ่งประกอบด้วยสารให้กลิ่นรสที่พบในน้ำส้มเป็นปริมาณมากสองชนิดด้วยกันคือ ethyl acetate และ ethyl hexanoate โดยมี limonene ซึ่งเป็นน้ำมันที่พบมากในน้ำส้ม เป็นน้ำมันในสารละลายจำลอง

วิธีการดำเนินการทดลองคือ จัดชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 วัดปริมาตรของสารละลายป้อนและสารละลายเกลือเริ่มต้นก่อนที่จะเติมลงในถังป้อน ดำเนินการกระบวนการ OD จนครบ 7 ชั่วโมง จากนั้นวัดปริมาตรของสารละลายป้อน (รีเทนเททท์) และสารละลายเกลือที่เวลาสุดท้าย รวมทั้งวัด

ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในสารละลายป้อนเริ่มต้นและที่เวลาสุดท้าย ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี GC Agilent 6890 (FID) และทำการตรวจสอบปริมาณเกลือ CaCl_2 ในสารละลายป้อนที่เวลาสุดท้าย

โดยทำการทดลองใช้สารละลายเกลือ CaCl_2 45.0 %w มีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายเกลือเป็น 222 มล./นาที และ 132 มล./นาที ตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิของทั้งสารป้อนและสารละลายเกลือให้คงที่ที่ 34 °ซ และสำหรับสารละลายป้อนที่มี limonene เป็นองค์ประกอบนั้น หลังจากดำเนินการ OD แล้วจะต้องล้างเยื่อแผ่นด้วย 0.1 M NaOH เป็นเวลา 30 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ค่าฟลักซ์รวม (J , $\text{l/m}^2\text{h}$) และค่าฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรส (J_i , $\text{l/m}^2\text{h}$) คำนวณได้ดังนี้

$$J = \frac{V_o - V_f}{At} \quad (1)$$

$$J_i = \frac{V_o C_{i,o} - V_f C_{i,f}}{At} \times 10^{-6} \quad (2)$$

โดยที่ V_o และ V_f คือปริมาตรของสารละลายป้อนที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลาสุดท้าย (l) ตามลำดับ

$C_{i,o}$ และ $C_{i,f}$ คือความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในสารละลายป้อนที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลาสุดท้าย ตามลำดับ (ppmv)

A คือพื้นที่เยื่อแผ่น (m^2) และ

t คือเวลาในการทดลอง (ชม.)

ส่วนค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรส (%Loss) คำนวณโดยสมการที่ (3)

$$\%Loss_i = \frac{V_o C_{i,o} - V_f C_{i,f}}{V_o C_{i,o}} \times 100 \quad (3)$$

จากอัตราส่วนฟลักซ์สารให้กลิ่นรสต่อฟลักซ์น้ำ คิดเทียบเป็นความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในเฟอมีเอท ($C_{i,p}$ ในหน่วย ppmv) ได้ดังสมการที่ (4)

$$C_{i,p} = \frac{J_i}{J_w} \times 10^6 \quad (4)$$

เมื่อ J_w คือฟลักซ์ของน้ำ ($\text{l/m}^2\text{h}$)

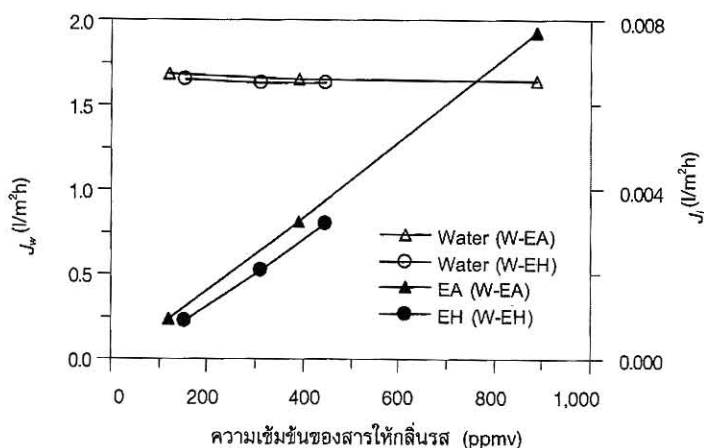
2.4 การตรวจสอบการเป็ยงของเยื่อแผ่น

การเป็ยงของเยื่อแผ่น ตรวจสอบโดยการวิเคราะห์หาปริมาณเกลือในรีเทนเททหลังจากดำเนินการ OD แล้ว โดยการไตเตรทด้วยสารละลาย $AgNO_3$ 0.0124 M และใช้โพแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ ถ้าพบ $CaCl_2$ (เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีส้มอิฐ) แสดงว่าเยื่อแผ่นเกิดการเป็ยง ทำให้มีเกลือจากด้านสารละลายเกลือมาอยู่ด้านสารป้อน

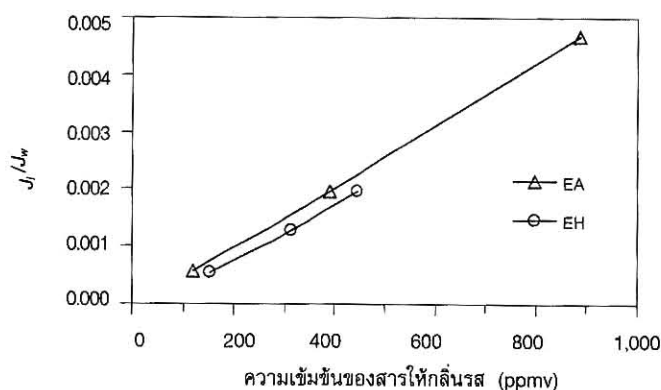
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสต่อค่าฟลักซ์และการสูญเสียสารให้กลิ่นรสในกรณีที่ไม่ม่ limonene ในสารละลายป้อน ผลของ

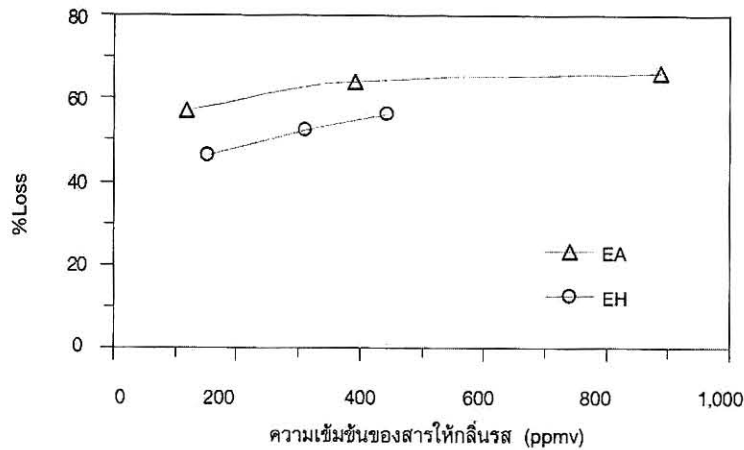
ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสต่อค่าฟลักซ์ของสารละลาย ethyl acetate และสารละลาย ethyl hexanoate มีแนวโน้มที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยที่ฟลักซ์น้ำมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ฟลักซ์สารให้กลิ่นรสสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรส ทั้งนี้เป็นเพราะว่า สำหรับสารละลายเจือจางนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสมีค่ามากขึ้น จะทำให้ water activity ในสารละลายลดลงเพียงเล็กน้อย [17] จึงทำให้แรงขับเคลื่อนการถ่ายเทมวลมีค่าค่อนข้างคงที่ ฟลักซ์น้ำจึงมีค่าลดลงไม่มาก ในขณะที่ activity ของสารให้กลิ่นรสจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [17] เป็นผลให้ค่าฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรส ethyl acetate และ ethyl hexanoate สูงขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรส EA (ethyl acetate) และ EH (ethyl hexanoate) ที่มีต่อค่าฟลักซ์น้ำและฟลักซ์สารให้กลิ่นรส ของสารละลาย EA-water และสารละลาย EH-water



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสต่อ J_a/J_w ของสารละลาย EA-water และสารละลาย EH-water



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสต่อการสูญเสียสารให้กลิ่นรส ของสารละลาย EA-water และสารละลาย EH-water

จะเห็นได้ว่าสัดส่วนฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรสต่อฟลักซ์ของน้ำ (J_i/J_w) ในรูปที่ 3 มีค่าค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วง 5×10^{-4} ถึง 4×10^{-3} อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในเฟอมีเอท ($C_{i,p}$, สมการที่ (4)) พบว่าความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในเฟอมีเอทสูงกว่าความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในสารละลายป้อนเริ่มต้นถึง 4.8-5.3 เท่า และ 5.8-8.8 เท่า สำหรับสารละลาย ethyl acetate และ ethyl hexanoate ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งหมายความว่าเยื่อแผ่นไม่สามารถกักสารให้กลิ่นรส ethyl acetate และ ethyl hexanoate ได้ หรืออีกนัยหนึ่งสารให้กลิ่นรสชอบที่จะผ่านเยื่อแผ่นมากกว่าน้ำนั่นเอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารให้กลิ่นรสมีความไม่ชอบน้ำสูง จึงเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวหน้าเยื่อแผ่นซึ่งไม่ชอบน้ำเหมือนกันได้มากกว่าน้ำ จึงทำให้มีความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นสูงกว่าใน bulk ประกอบกับโมเลกุลของสารให้กลิ่นรสเหล่านี้ระเหยง่ายกว่าน้ำมาก ($\alpha_{i,w}$ สูง, ตารางที่ 1) จึงระเหยและแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้มากกว่าน้ำ ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในเฟอมีเอทจึงสูงกว่าความเข้มข้นในสารละลายป้อน

ผลการทดลองข้างต้นนี้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Barbe และคณะ [12] ซึ่งศึกษากระบวนการ OD ของสารละลายจำลองของสารให้กลิ่นรสหลายชนิด สำหรับเยื่อแผ่น PVDF (Durapel WVSP) มีค่า J_i/J_w ของสารละลาย ethyl acetate และ ethyl hexanoate ประมาณ

1.1×10^{-4} และ 1×10^{-6} ตามลำดับ แต่เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นในสารละลายที่มีเพียง 1 ppmv และ 0.01 ppmv สำหรับ ethyl acetate และสารละลาย ethyl hexanoate แล้วจะมีค่า $C_{i,p}/C_{i,0}$ ประมาณ 110 และ 100 ตามลำดับ

ฟลักซ์ของ ethyl acetate สูงกว่าฟลักซ์ของ ethyl hexanoate เพียงเล็กน้อย (รูปที่ 2) แม้ว่า ethyl hexanoate จะระเหยง่ายกว่า แต่ก็มีความหนืดสูงกว่า ethyl acetate จึงแพร่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นได้ยากกว่า ทำให้ฟลักซ์ของ ethyl acetate สูงกว่าฟลักซ์ของ ethyl hexanoate ไม่มากนัก ส่งผลให้ค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรส ethyl acetate จะมีค่าสูงกว่า ethyl hexanoate เล็กน้อย (รูปที่ 4)

จากการที่ค่าฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรสมีค่ามากขึ้นแต่ฟลักซ์ของน้ำค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 2) ค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรส ethyl acetate และ ethyl hexanoate จึงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในสารละลายเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4

เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสมีค่าสูงมากประมาณร้อยละ 40-70 ซึ่งในการใช้งานจริงของกระบวนการ OD ไม่ต้องการให้สารให้กลิ่นรสต่างๆ ในน้ำผลไม้ผ่านเยื่อแผ่นไปได้ มีงานวิจัยที่รายงานว่าโมเลกุลของสารที่ระเหยง่ายสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้มากเช่นกัน เช่น Alves และ Coelho [6] พบว่า OD ของสารละลายน้ำตาลซูโครส 45 %w ซึ่งมีส่วนผสมของ citral และ ethyl

butyrate อย่างละ 18 ppm จะมีการสูญเสีย citral และ ethyl butyrate ถึงร้อยละ 12 และร้อยละ 14 ตามลำดับ นอกจากนี้จากผลการศึกษา OD โดย Ali และคณะ [7] มีค่าการสูญเสีย hexyl acetyl ร้อยละ 37-73 ethyl butyrate ร้อยละ 43-77 benzaldehyde ร้อยละ 36-52 และ hexanol ร้อยละ 25-38 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นไม่สามารถกักกันสารให้กลิ่นรสได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรหาวิธีลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสเหล่านี้ให้น้อยลง โดยการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินการให้เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มอัตราการไหลของสารป้อน ซึ่งจะทำให้การระเหยของสารให้กลิ่นรสที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นลดลง เป็นผลให้การระเหยของสารให้กลิ่นรสที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นลดลงไปด้วย สารให้กลิ่นรสจึงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นน้อยลง

3.2 ผลของ limonene ต่อค่าฟลักซ์และการสูญเสียสารให้กลิ่นรส

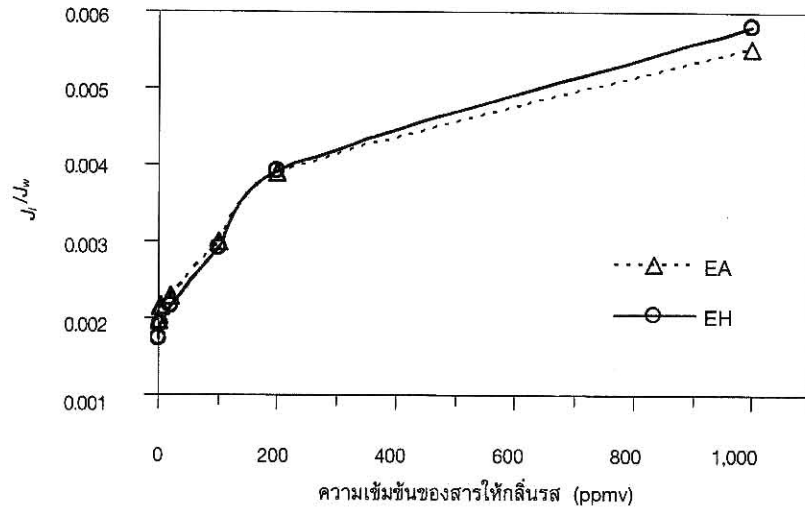
รูปที่ 5 แสดงผลของความเข้มข้นน้ำมัน limonene ที่มีต่อค่าฟลักซ์ต่างๆ ที่เวลาสุดท้าย (7 ชั่วโมง) ของสารละลายผสม water - ethyl acetate - limonene และ สารละลายผสม water - ethyl hexanoate - limonene โดยความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสคงที่ที่ 420 ppm จะเห็นได้ว่าฟลักซ์น้ำลดลงอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของ limonene เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2 ซึ่งฟลักซ์น้ำมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้น จึงกล่าวได้ว่าการลดลงอย่างมากของฟลักซ์น้ำเมื่อความเข้มข้นของ limonene เพิ่มขึ้น น่าจะมาจากสาเหตุอื่นมากกว่าที่จะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของ water activity สาเหตุที่เป็นไปได้ก็คือ limonene เป็นสารที่มีความไม่ชอบน้ำสูง (ดูจาก hydrophobic constant, $\log P$, ตารางที่ 1) จึงเกิดการดูดซับและสะสมอยู่ที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านชั้น limonene เข้าสู่ผิวหน้าเยื่อแผ่นได้ยากขึ้น ยิ่งเมื่อความเข้มข้นของ limonene เพิ่มขึ้น ความหนาของชั้น limonene ก็จะมีมากขึ้นไปด้วย

ทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำยิ่งลดลง

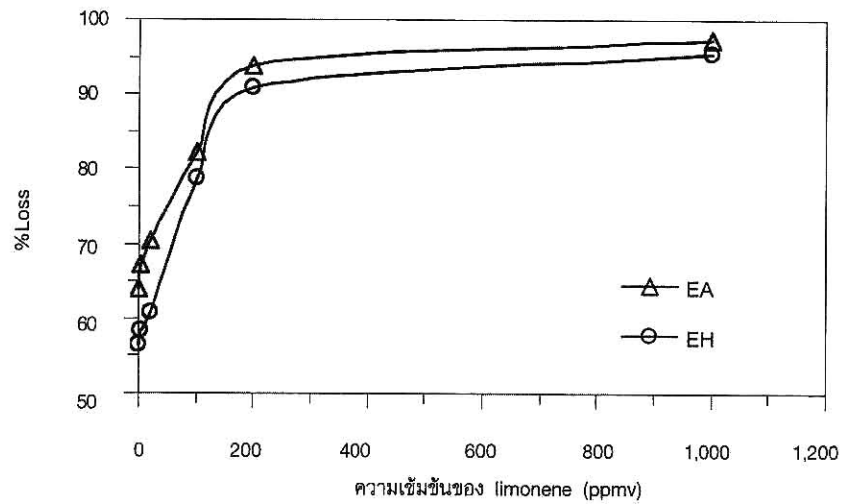
นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า limonene ในสารละลายมีผลต่อฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรสอย่างเห็นได้ชัด ทั้งๆ ที่ความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในสารละลายมีค่าคงที่คือ 420 ppm การที่ฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ limonene อาจเนื่องมาจากการสะสมของ limonene ที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น และด้วยเหตุที่ ethyl acetate และ ethyl hexanoate ต่างก็เป็นสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ จึงสามารถละลายและแพร่ผ่านชั้นของ limonene ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเช่นเดียวกัน ได้ดีกว่าน้ำ ทำให้ค่าฟลักซ์ของสารให้กลิ่นรสมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ทั้งสารละลายผสม water - ethyl acetate - limonene และสารละลายผสม water - ethyl hexanoate - limonene มีค่าสัดส่วน J_w/J_w อยู่ระหว่าง 0.0017 ถึง 0.0058 ดังรูปที่ 6 คิดเป็นความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในเฟอมีเอทถึง 1,700-5,800 ppmv ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นของสารให้กลิ่นรสในสารป้อนเริ่มต้น (420 ppmv) หลายเท่า และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ limonene มีค่ามากขึ้น จึงทำให้ค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสมีค่ามากขึ้นตามความเข้มข้นของ limonene ด้วย (รูปที่ 7) เห็นได้ชัดว่า limonene มีผลอย่างมากต่อการทำให้สูญเสียสารให้กลิ่นรสมากขึ้น ทั้งนี้เพราะสารให้กลิ่นรสจะละลายและแพร่ผ่านชั้นของ limonene ที่สะสมอยู่ที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นได้ดีกว่าน้ำ ดังที่กล่าวมาแล้ว

จากการพิจารณาการลดลงของค่าฟลักซ์น้ำ พบว่าไม่มีช่วงที่ฟลักซ์ลดลงอย่างกะทันหันที่จะแสดงว่าเยื่อแผ่นเกิดการเปื่อย และจากการตรวจสอบปริมาณของ CaCl_2 ไม่พบว่ามี CaCl_2 ในรีเทนเทท อีกทั้งเยื่อแผ่นสามารถล้างด้วย NaOH ให้มีคุณสมบัติเหมือนเยื่อแผ่นเริ่มต้นได้ จึงสรุปได้ว่าในช่วงความเข้มข้นของ limonene ถึง 1,000 ppmv น้ำมันไม่ทำให้เยื่อแผ่นเกิดการเปื่อย ซึ่งปริมาณของ limonene ที่เคยมีรายงานว่าทำให้เยื่อแผ่นเกิดการเปื่อย คือ 2,000 ppmw [8-9]



รูปที่ 6 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันที่มีต่อ J_i/J_w ของสารละลาย limonene-EA-water และสารละลาย limonene-EH-water



รูปที่ 7 ผลของความเข้มข้นของน้ำมันที่มีต่อ %Loss ของสารให้กลิ่นรสของสารละลาย limonene-EA-water- และสารละลาย limonene-EH-water

4. บทสรุป

กระบวนการ OD ของสารละลายที่ไม่มี limonene จะมีฟลักซ์น้ำค่อนข้างคงที่ แต่ในกรณีที่มี limonene ฟลักซ์น้ำลดลงอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของ limonene เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของ limonene 200 ppm ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ limonene ที่พบในน้ำส้ม [11] จะมีฟลักซ์น้ำลดลงถึงร้อยละ 24 เทียบกับกรณีที่ไม่มี limonene จึงเป็นไปได้ว่าน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำผลไม้เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ฟลักซ์ในกระบวนการ OD ของน้ำผลไม้ต่ำกว่าฟลักซ์ของสารละลายจำลองออกไปจากสาเหตุจากโปรตีน เพคติน และเยื่อ [4, 6]

นอกจากนั้น limonene ยังมีผลต่อการสูญเสียสารให้กลิ่นรสอีกด้วย โดยที่เมื่อความเข้มข้นของ limonene เพิ่มขึ้น ค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสก็เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของ limonene 200 ppm มีค่าการสูญเสีย ethyl acetate และ ethyl hexanoate เท่ากับร้อยละ 93.7 และร้อยละ 90.9 สำหรับ ตามลำดับ หรือมีค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสเพิ่มขึ้นร้อยละ 46 และร้อยละ 61 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มี limonene

ในช่วงความเข้มข้นของน้ำมัน limonene 0-1,000 ppmv น้ำมันไม่ทำให้เยื่อเกิดการเปื่อย หรือกล่าวได้ว่าปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ (270 ppmw) ต่ำกว่าที่จะทำให้เกิดเยื่อเกิดการเปื่อย

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสในกระบวนการ OD ของน้ำผลไม้ เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตจริงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

1. Kunz, W., Benhabiles, A., and Ben-Aïm, R., 1996, "Osmotic Evaporation through Macroporous Hydrophobic Membranes: A Survey of Current Research and Applications", *Journal of Membrane Science*, Vol. 121, No. 1, pp. 25-36.

2. Rodrigues, R.B., Menezes, H.C., Cabral,

L.M.C., Dornier, M., Rios, G.M., and Reynes, M., 2004, "Evaluation of Reverse Osmosis and Osmotic Evaporation to Concentrate Camu-Camu Juice (*Myrciaria dubia*)," *Journal of Food Engineering*, Vol. 63, No. 1, pp. 97-102.

3. Bélafi-Bakó, K., Koroknai, B., 2006 "Enhanced Water Flux in Fruit Juice Concentration: Coupled Operation of Osmotic Evaporation and Membrane Distillation," *Journal of Membrane Science*, Vol. 269, No. 1-2, pp. 187-193.

4. Bailey, A.F.G., Barbe, A.M., Hogan, P.A., Johnson, R.A., and Sheng, J., 2000, "The Effect of Ultrafiltration on the Subsequent Concentration of Grape Juice by Osmotic Distillation," *Journal of Membrane Science*, Vol. 164, No. 1-2, pp. 195-204.

5. Vaillant, F., Jeanton, E., Dornier, M., and O'Brien, G.M., 2001, "Concentration of Passion Fruit Juice on an Industrial Pilot Scale using Osmotic Evaporation," *Journal of Food Engineering*, Vol. 47, No. 3, pp. 195-202.

6. Alves, V.D. and Coelho, I.M., 2006, "Orange Juice Concentration by Osmotic Evaporation and Membrane Distillation: A Comparative Study," *Journal of Food Engineering*, Vol. 74, No. 1, pp. 125-133.

7. Ali, F., Dornier, M., Duquenoy, A., and Reynes, M., 2003 "Evaluating Transfers of Aroma Compounds during the Concentration of Sucrose Solutions by Osmotic Distillation in a Batch-type Pilot Plant," *Journal of Food Engineering*, Vol. 60, No. 1, pp. 1-8.

8. Mansouri, J. and Fane, A.G., 1999, "Osmotic Distillation of Oily Feeds," *Journal of Membrane Science*, Vol. 153, No. 1, pp. 103-120.

9. Xu, J.B., Lange, S., Bartley, J.P., and Johnson, R.A., 2004, "Alginate-coated Microporous PTFE Membranes for Use in the Osmotic Distillation of Oily Feeds," *Journal of Membrane Science*,

Vol. 240, No. 1-2, pp. 81-89.

10. Selli, S., Cabaroğlu, T., and Canbas, A., 2004 "Volatile Flavour Components of Orange Juice Obtained from the cv. Kozan of Turkey," *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 17, No. 6, pp. 789-796.

11. Shaw, P.E., Lebrun, M., Dornier, M. Ducamp, M.N., Courel, M., and Reynes, M., 2001, "Evaluation of Concentrated Orange and Passionfruit Juices Prepared by Osmotic Evaporation," *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, Vol. 34, No. 2, pp. 60-65.

12. Barbe, A.M., Bartley, J.P., Jacobs, A.L., and Johnson, R.A., 1998, "Retention of Volatile Organic Flavour/Fragrance Components in the Concentration of Liquid Foods by Osmotic Distillation," *Journal of Membrane Science*, Vol. 145, No. 1, pp. 67-75.

13. Ragazzo-Sanchez, J.A., Chalier, P., Chevalier, D., and Ghommidh, C., 2006, "Electronic Nose Discrimination of Aroma Compounds in Alcoholised Solutions," *Sensors and Actuators B*, Vol. 114, No. 2, pp. 665-673.

14. Fichan, I., Larroche, C., and Gros, J.B., 1999, "Water Solubility, Vapor Pressure, and Activity Coefficients of Terpenes and Terpenoids," *Journal of Chemical and Engineering Data*, Vol. 44, No. 1, pp. 56-62.

15. Sancho, M.F., Rae, M.A., and Downing D.L., 1997 "Infinite Dilution Activity Coefficients of Apple Juice Aroma Compounds," *Journal of Food Engineering*, Vol. 34, No. 2, pp. 145-158.

16. Savary, G., Guichard, E., Doublier, J.-L., and Cayot N., 2006, "Mixture of Aroma Compounds: Determination of Partition Coefficients in Complex Semi-Solid Matrices," *Food Research International*, Vol. 39, No. 3, pp. 372-379.

17. Pozderovic, A., Moslavac, T., and Pichler, A., 2006, "Concentration of Aqua Solutions of Organic Components by Reverse Osmosis. I: Influence of Trans-Membrane Pressure and Membrane Type on Concentration of Different Ester and Aldehyde Solutions by Reverse Osmosis," *Journal of Food Engineering*, Vol. 76, No. 3, pp. 387-395.