

## ผลของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

### Effect of Hydrochloric Concentration, Temperature and Time on Properties of Inverted Sugar Syrup

พิมทอง มารคทรัพย์<sup>1\*</sup> และ วรณูช ศรีเจษฎารักษ์<sup>2</sup>

Pimthong Marksub<sup>1\*</sup> and Voranuch Srijesdaruk<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>1\*</sup> Graduate student in Master of Science of Technology Faculty, Khonkaen University, Muang, Khonkaen, Thailand 40002

<sup>2</sup> Lecturer of Technology Faculty, Khonkaen University, Muang, Khonkaen, Thailand 40002

\*Corresponding author, E-mail: t-a-n-aa@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

การไฮโดรลิซิสน้ำตาลทรายโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCL) เป็น acid reagent ที่สภาวะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 3 ระดับ คือ 0.25, 0.5 และ 1 นอร์มัล ที่เวลา 3 ระดับ คือ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสที่เพิ่มสูงขึ้นและมีผลต่อค่ากิจกรรมน้ำ (Aw) ลดลง ( $p \leq 0.05$ ) ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท และพบว่าในสภาวะที่ผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่มีปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสสูงที่สุด คือความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1.0 นอร์มัล อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง โดยมีปริมาณ กลูโคสและฟรุกโตส เป็น  $0.455 \pm 0.008$  และ  $0.422 \pm 0.004$  กรัม/กรัม น้ำหนักแห้งตามลำดับ และมีค่า Aw  $0.752 \pm 0.001$

คำสำคัญ: น้ำตาลทราย ไฮโดรลิซิส น้ำเชื่อมอินเวอร์ท

#### Abstract

Hydrolysis of cane sugar was produced by hydrochloric acid as acid reagent at concentration 0.25, 0.50 and 1.00 N, for 2, 3 and 4 hours and at temperatures 60, 70 and 80°C. It was found that all three factors increased glucose and fructose levels but decreased water activity of inverted sugar ( $p \leq 0.05$ ). The highest of the glucose and fructose condition was 1 N hydrochloric acid at 70°C for 2 hours. The amount of glucose and fructose were  $0.455 \pm 0.008$  and  $0.422 \pm 0.004$  g/g sample dry basic, respectively, and water activity  $0.752 \pm 0.001$ .

**Keywords:** sucrose, hydrolysis, invert sugar syrup

## 1. บทนำ

ประเทศไทย มีศักยภาพในการปลูกอ้อยเป็นอย่างมาก เมื่อนำอ้อยมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำตาลจะสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศไทยได้อย่างมหาศาล จากรายงานของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2556/2557) พบว่าประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากประเทศบราซิล และเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน โดยตลาดส่งออกหลักยังคงเป็นกลุ่มประเทศในเอเชีย ได้แก่ อินโดนีเซีย กัมพูชา เวียดนาม จีน ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และไต้หวัน ซึ่งคาดว่ากลุ่มประเทศเหล่านี้จะมีความต้องการบริโภคน้ำตาลในปี 2557 เพิ่มขึ้นตามปัจจัยเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้น ดังนั้นจึงถือเป็นโอกาสของประเทศไทยในการขยายตลาดในภูมิภาคนี้ให้มากยิ่งขึ้น แต่จำเป็นต้องมีการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตเพื่อลดต้นทุน (Torres and Oliveira, 1999) รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำตาลให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นตัวเลือกให้แก่ผู้บริโภค และยังถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่น้ำตาล

น้ำตาล คือ สารให้ความหวานตามธรรมชาติชนิดหนึ่ง มีเรียกกันหลายแบบขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของน้ำตาลแต่ในทางเคมีโดยทั่วไป หมายถึง ซูโครส หรือ แซคคาไรส ซึ่งเป็นไดแซคคาไรด์ ที่มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสย่อยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ด้วยกรดหรือเอนไซม์ ทำให้ได้น้ำตาลกลูโคส (glucose) และฟรุกโตส (fructose) อย่างละเท่าๆกันและเรียกน้ำตาลที่ผ่านการไฮโดรลิซิสว่า น้ำตาลอินเวอร์ท (invert sugar) ซึ่งมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย เพราะสมบัติเด่นของน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งมีความหวานมากกว่า และตกผลึกได้ยากกว่า (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2532) และโดยทั่วไปน้ำตาลอินเวอร์ทที่ผลิตจากน้ำตาลซูโครส มีการผลิตโดยใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ

กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) (Gehlwan, 2001) และยังมี การพัฒนากระบวนการไฮโดรลิซิสน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ (Ettalibi & Baratti, 2001) เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต

น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและในครัวเรือน และจากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ทจากน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ หรือมีการใช้กรดซัลฟูริกเป็น acid reagent โดยใช้อุณหภูมิสูง 98-103 องศาเซลเซียส (US Patent 1,181,086 (Apri, 25,1916)) เราจึงสนใจศึกษาปัจจัยในการผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ทจากน้ำตาลทรายดิบที่ไม่ผ่านกระบวนการฟอกสี ที่มีกลูโคสและฟรุกโตสปริมาณสูง โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เพราะเป็นกรดที่สามารถเปลี่ยนซูโครสเป็นกลูโคสและฟรุกโตสได้โดยใช้อุณหภูมิต่ำ และน้ำตาลทรายดิบเมื่อละลายจะมีสีเหลืองอ่อน เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่ำสีของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทยังคงมีลักษณะสีเหลืองทองคล้ายน้ำผึ้ง และได้น้ำเชื่อมอินเวอร์ท ที่เป็นของเหลว ไม่ตกผลึก มีความสะดวกในการใช้ และสามารถผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ และเวลา ที่มีผลต่อการผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสสูงที่สุดและคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกต่อคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

นำน้ำตาลทรายดิบได้รับจากโรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์ ผลิตปี 2556/2557 มีค่าไอ (Icumsa Unit) 713 IU ค่าความชื้นประมาณร้อยละ 0.09 ค่า Pol 99.63 ขนาด

เกล็ด 0.82 มิลลิเมตร มาทำไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก(HCl) 3 ระดับ คือ 0.25 0.5 และ 1 นอร์มัล ที่เวลา 3 ระดับ คือ 2 3 และ 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำตาลทรายดิบ 500 กรัม ต่อน้ำจืด อีออนร้อน 250 มิลลิตรตามวิธีของวรุณ (2538) รูปที่ 1

### 3.2 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ตดังนี้

3.2.1 ปริมาณน้ำตาล (ซูโครส กลูโคสและฟรุกโตส) โดยใช้เครื่อง High-Performance Liquid Chromatography, HPLC (วรุณ, 2538)

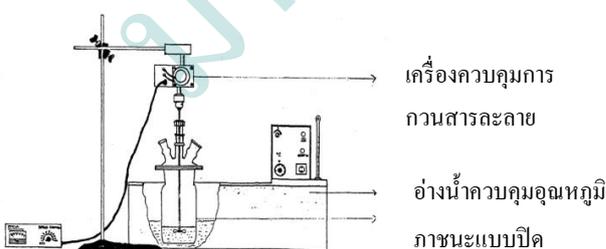
3.2.2 ความเข้มข้นน้ำตาล(Icumsa unit) ตามวิธีICUMSA Method GS1/3-7(2002)

3.2.3 วิเคราะห์ค่า  $L a^* b^*$  ตามวิธี AOAC (1995)

3.2.4 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ( $A_w$ ) โดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์-แอกทิวิตี ยี่ห้อ AQUALAB รุ่น 3TE สหรัฐอเมริกา

### 3.3 การวางแผนการทดลองทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบ Factorial Completely Randomize Design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95



รูปที่ 1 เครื่องมือสำหรับการไฮโดรไลซีน้ำตาลทราย (วรุณ ศรีเจษฎารักษ์, 2538)

## 4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ต่อคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ต

ปัจจัยร่วมของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก มีผลต่อปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และ ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity,  $A_w$ ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) คือ เมื่ออุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้น ปริมาณของซูโครสและค่ากิจกรรมของน้ำลดลง แต่ปริมาณของกลูโคสและฟรุกโตสเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 1 เนื่องจากอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เพิ่มขึ้น สามารถตัดพันธะไกลโคซิดิกของซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ได้เป็นกลูโคสและฟรุกโตสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงเป็นผลให้ปริมาณของซูโครสลดลง ประกอบกับน้ำเชื่อมอินเวอร์ตที่ได้มีความสามารถในการละลายที่มากกว่าซูโครส และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีส่วนทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำลดลง โดยสภาวะการผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ตที่ทำให้มีปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสสูงที่สุดเหมือนกันมี 6 สภาวะคือที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1.0 นอร์มัล อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง กับที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1.0 นอร์มัล อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุกโตสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจึงคัดเลือกสภาวะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1.0 นอร์มัล อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากใช้เวลาในการไฮโดรไลซิสน้อยกว่า และมีปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส เป็น  $0.014 \pm 0.004$   $0.455 \pm 0.008$  และ  $0.422 \pm 0.004$  กรัม/กรัม น้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลของอุณหภูมิกับเวลาต่อคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ต

จาก 2 ปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาต่อคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ตพบว่า อุณหภูมิ และเวลา มีผลต่อ

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ที่มีต่อปริมาณ ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และค่ากิจกรรมของน้ำของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

สิ่งทดลอง	การทดลอง	ปริมาณน้ำตาล (กรัม/กรัมน้ำหนักแห้งแห้ง)			a <sub>w</sub>
		ซูโครส	กลูโคส	ฟรุคโตส	
1	60°C, 2 hr., 0.25 N	0.981±.019 <sup>a</sup>	0.007±.003 <sup>g</sup>	0.002±.003 <sup>s</sup>	0.840±.016 <sup>bc</sup>
2	60°C, 2 hr., 0.50 N	0.704±.007 <sup>c</sup>	0.111±.002 <sup>k</sup>	0.105±.002 <sup>k</sup>	0.827±.005 <sup>d</sup>
3	60°C, 2 hr., 1.0 N	0.170±.020 <sup>k</sup>	0.377±.013 <sup>c</sup>	0.359±.007 <sup>c</sup>	0.767±.001 <sup>i</sup>
4	60°C, 3 hr., 0.25 N	0.965±.031 <sup>ab</sup>	0.006±.004 <sup>q</sup>	0.005±.001 <sup>rs</sup>	0.843±.007 <sup>abc</sup>
5	60°C, 3 hr., 0.50 N	0.617±.019 <sup>f</sup>	0.153±.008 <sup>j</sup>	0.144±.009 <sup>i</sup>	0.817±.006 <sup>e</sup>
6	60°C, 3 hr., 1.0 N	0.082±.010 <sup>lm</sup>	0.425±.004 <sup>c</sup>	0.403±.002 <sup>c</sup>	0.761±.003 <sup>ji</sup>
7	60°C, 4 hr., 0.25 N	0.952±.031 <sup>b</sup>	0.011±.002 <sup>pq</sup>	0.009±.000 <sup>st</sup>	0.849±.004 <sup>a</sup>
8	60°C, 4 hr., 0.50 N	0.552±.002 <sup>g</sup>	0.178±.002 <sup>l</sup>	0.171±.001 <sup>i</sup>	0.812±.003 <sup>e</sup>
9	60°C, 4 hr., 1.0 N	0.042±.005 <sup>no</sup>	0.438±.009 <sup>b</sup>	0.411±.004 <sup>b</sup>	0.751±.003 <sup>l</sup>
10	70°C, 2 hr., 0.25 N	0.955±.018 <sup>ab</sup>	0.014±.003 <sup>op</sup>	0.012±.002 <sup>q</sup>	0.839±.012 <sup>bc</sup>
11	70°C, 2 hr., 0.50 N	0.434±.003 <sup>h</sup>	0.239±.004 <sup>h</sup>	0.229±.002 <sup>h</sup>	0.799±.003 <sup>f</sup>
12	70°C, 2 hr., 1.0 N	0.014±.004 <sup>op</sup>	0.455±.008 <sup>a</sup>	0.422±.004 <sup>a</sup>	0.752±.001 <sup>kl</sup>
13	70°C, 3 hr., 0.25 N	0.884±.047 <sup>c</sup>	0.022±.001 <sup>o</sup>	0.019±.001 <sup>p</sup>	0.846±.001 <sup>ab</sup>
14	70°C, 3 hr., 0.50 N	0.317±.010 <sup>i</sup>	0.294±.005 <sup>g</sup>	0.282±.002 <sup>g</sup>	0.784±.005 <sup>g</sup>
15	70°C, 3 hr., 1.0 N	0.010±.005 <sup>p</sup>	0.459±.005 <sup>a</sup>	0.422±.001 <sup>a</sup>	0.750±.004 <sup>l</sup>
16	70°C, 4 hr., 0.25 N	0.874±.053 <sup>c</sup>	0.030±.001 <sup>h</sup>	0.026±.001 <sup>o</sup>	0.841±.001 <sup>abc</sup>
17	70°C, 4 hr., 0.50 N	0.243±.011 <sup>j</sup>	0.335±.001 <sup>f</sup>	0.319±.003 <sup>f</sup>	0.775±.002 <sup>h</sup>
18	70°C, 4 hr., 1.0 N	0.011±.004 <sup>p</sup>	0.460±.005 <sup>a</sup>	0.421±.002 <sup>a</sup>	0.750±.001 <sup>l</sup>
19	80°C, 2 hr., 0.25 N	0.878±.006 <sup>c</sup>	0.038±.001 <sup>m</sup>	0.035±.000 <sup>n</sup>	0.843±.001 <sup>abc</sup>
20	80°C, 2 hr., 0.50 N	0.168±.015 <sup>k</sup>	0.374±.001 <sup>c</sup>	0.354±.004 <sup>c</sup>	0.763±.006 <sup>i</sup>
21	80°C, 2 hr., 1.0 N	0.013±.004 <sup>op</sup>	0.462±.001 <sup>a</sup>	0.420±.004 <sup>a</sup>	0.752±.000 <sup>kl</sup>
22	80°C, 3 hr., 0.25 N	0.837±.012 <sup>d</sup>	0.050±.001 <sup>l</sup>	0.047±.002 <sup>m</sup>	0.841±.001 <sup>abc</sup>
23	80°C, 3 hr., 0.50 N	0.105±.006 <sup>l</sup>	0.406±.008 <sup>d</sup>	0.382±.005 <sup>d</sup>	0.760±.001 <sup>ijk</sup>
24	80°C, 3 hr., 1.0 N	0.016±.005 <sup>op</sup>	0.464±.005 <sup>a</sup>	0.417±.001 <sup>a</sup>	0.753±.001 <sup>kl</sup>
25	80°C, 4 hr., 0.25 N	0.826±.008 <sup>d</sup>	0.056±.003 <sup>l</sup>	0.053±.003 <sup>l</sup>	0.837±.004 <sup>c</sup>
26	80°C, 4 hr., 0.50 N	0.060±.004 <sup>mm</sup>	0.437±.013 <sup>b</sup>	0.410±.010 <sup>b</sup>	0.752±.006 <sup>kl</sup>
27	80°C, 4 hr., 1.0 N	0.019±.004 <sup>op</sup>	0.464±.001 <sup>a</sup>	0.410±.005 <sup>b</sup>	0.749±.001 <sup>l</sup>

หมายเหตุ a,b,c,d,...,q ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆของน้ำตาลอินเวอร์ทที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test

ค่าความเข้มสีน้ำตาล (Icumsa unit) L และ a\* ของเชื่อมอินเวอร์ทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือเมื่ออุณหภูมิกับเวลาเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความเข้มสีน้ำตาลและค่า a\* (ค่าสีแดง) ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่า L (ค่าความสว่าง) จะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลง ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิกับเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) มากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มสีน้ำตาล และค่า a\* (ค่าสีแดง) ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่า L คือค่าความสว่างจะมีค่าลดลงจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและเมื่ออุณหภูมิกับเวลาเพิ่มขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทลดลงแต่แตกต่างกันไม่มากนัก (Bemiller and Whistler,

2009) ดังตารางที่ 2 แต่ปัจจัยร่วมของอุณหภูมิกับเวลา ไม่มีผลต่อค่า b\* คือค่าความเป็นสีเหลือง ( $p > 0.05$ ) ผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับอุณหภูมิต่อสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

จาก 2 ปัจจัยของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับอุณหภูมิ มีผลต่อค่าความเข้มสีน้ำตาล L a\* และ b\* ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความเข้มสีน้ำตาล a\* และ b\* ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทเพิ่มขึ้น แต่ค่า L (ค่าความสว่าง) มีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลง ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเข้มสีน้ำตาล a\* (ค่าสีแดง) และ b\* (ค่าสีเหลือง)

ตารางที่ 2 ปัจจัยร่วมของอุณหภูมิกับเวลาที่มีผลต่อความเข้มสีน้ำตาล L a\* และ b\* ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

อุณหภูมิกับเวลา	ความเข้มสีน้ำตาล (ICUMSA UNIT)	L	a*	b* <sup>ns</sup>
60°C, 2 hr.	1464.27±95.21 <sup>c</sup>	52.09±1.75 <sup>a</sup>	25.43±1.35 <sup>d</sup>	73.86±2.18
60°C, 3 hr.	1471.83±101.07 <sup>c</sup>	51.68±1.86 <sup>ab</sup>	25.99±1.91 <sup>cd</sup>	74.18±2.58
60°C, 4 hr.	1477.33±139.32 <sup>c</sup>	51.45±2.20 <sup>ab</sup>	26.33±2.11 <sup>cd</sup>	74.33±2.34
70°C, 2 hr.	1460.55±116.10 <sup>c</sup>	51.32±2.21 <sup>ab</sup>	26.33±1.13 <sup>cd</sup>	74.76±2.55
70°C, 3 hr.	1544.35±113.85 <sup>bc</sup>	51.08±2.61 <sup>ab</sup>	27.18±2.12 <sup>bcd</sup>	75.46±2.94
70°C, 4 hr.	1632.09±175.88 <sup>abc</sup>	50.95±2.33 <sup>ab</sup>	27.41±1.91 <sup>abc</sup>	75.70±3.36
80°C, 2 hr.	1631.63±203.30 <sup>abc</sup>	50.29±2.52 <sup>abc</sup>	27.95±2.44 <sup>abc</sup>	75.65±3.37
80°C, 3 hr.	1707.77±267.11 <sup>ab</sup>	49.51±3.03 <sup>bc</sup>	28.60±2.79 <sup>ab</sup>	75.27±4.06
80°C, 4 hr.	1765.76±336.34 <sup>a</sup>	48.61±2.81 <sup>c</sup>	29.21±2.99 <sup>a</sup>	74.96±3.32

หมายเหตุ a,b,c,d ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test [ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )]

มีค่าเพิ่มขึ้นและค่า L (ค่าความสว่าง) มีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว ลดลงคือหากความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก มากกว่า 0.50 นอร์มัลและใช้อุณหภูมิมากกว่า 70 องศา

เซลเซียสจะทำให้ค่าความสว่างของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท ลดลง จากผลของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล(Bemiller and Whistler, 2009) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความเข้มสีน้ำตาล L a\* และ b\* ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

	ความเข้มสีน้ำตาล (ICUMSA UNIT)	L	a*	b*
อุณหภูมิกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก				
60°C, 0.25 N	1454.04±37.36 <sup>def</sup>	50.24±1.08 <sup>cd</sup>	25.58±1.32 <sup>de</sup>	71.98±1.25 <sup>c</sup>
60°C, 0.5 N	1404.65±41.77 <sup>f</sup>	52.52±1.29 <sup>ab</sup>	25.02±1.33 <sup>c</sup>	73.40±1.77 <sup>d</sup>
60°C, 1.0 N	1554.75±151.26 <sup>cd</sup>	52.46±2.25 <sup>ab</sup>	27.15±2.05 <sup>c</sup>	76.99±1.55 <sup>b</sup>
70°C, 0.25 N	1529.33±157.06 <sup>cde</sup>	48.84±1.64 <sup>de</sup>	26.48±1.73 <sup>cd</sup>	72.13±1.78 <sup>de</sup>
70°C, 0.5 N	1429.52±69.46 <sup>ef</sup>	53.12±1.83 <sup>a</sup>	25.72±1.54 <sup>de</sup>	75.36±1.74 <sup>c</sup>
70°C, 1.0 N	1678.14±98.90 <sup>b</sup>	51.39±1.81 <sup>bc</sup>	28.73±1.38 <sup>b</sup>	78.44±2.01 <sup>a</sup>
80°C, 0.25 N	1499.32±58.07 <sup>cdef</sup>	48.57±1.05 <sup>c</sup>	26.37±1.10 <sup>cd</sup>	71.43±1.72 <sup>c</sup>
80°C, 0.5 N	1585.48±86.11 <sup>bc</sup>	51.82±2.19 <sup>ab</sup>	27.56±1.45 <sup>c</sup>	77.06±1.82 <sup>b</sup>
80°C, 1.0 N	2020.36±233.87 <sup>a</sup>	48.02±3.14 <sup>c</sup>	31.83±1.46 <sup>a</sup>	77.39±3.68 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ a,b,c,...,f ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test

ตารางที่ 4 ปัจจัยร่วมของเวลากับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ที่มีผลต่อค่าความเข้มสีน้ำตาล L a\* และ b\* ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

	ความเข้มสีน้ำตาล (ICUMSA UNIT)	L*	a*	b*
เวลากับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก				
2 hr., 0.25 N	1467.56±61.20 <sup>d</sup>	49.54±1.09 <sup>cd</sup>	25.97±1.19 <sup>c</sup>	72.12±1.11 <sup>c</sup>
2 hr., 0.5 N	1441.36±110.68 <sup>d</sup>	52.70±1.36 <sup>ab</sup>	25.64±1.53 <sup>c</sup>	74.89±1.80 <sup>b</sup>
2 hr., 1.0 N	1647.53±203.05 <sup>bc</sup>	51.45±2.75 <sup>ab</sup>	28.09±2.24 <sup>b</sup>	77.27±2.35 <sup>a</sup>
3 hr., 0.25 N	1473.50±40.26 <sup>d</sup>	49.31±1.39 <sup>d</sup>	26.10±1.35 <sup>c</sup>	71.68±1.10 <sup>c</sup>
3 hr., 0.5 N	1495.38±107.50 <sup>d</sup>	52.34±2.33 <sup>a</sup>	26.23±1.97 <sup>c</sup>	75.25±1.70 <sup>b</sup>
3 hr., 1.0 N	1755.07±244.31 <sup>ab</sup>	50.63±3.13 <sup>bc</sup>	29.44±2.48 <sup>ab</sup>	77.98±2.64 <sup>a</sup>
4 hr., 0.25 N	1541.62±153.33 <sup>cd</sup>	48.80±1.01 <sup>d</sup>	26.36±1.85 <sup>c</sup>	71.74±1.66 <sup>c</sup>
4 hr., 0.5 N	1482.91±96.91 <sup>d</sup>	52.43±1.84 <sup>a</sup>	26.42±1.85 <sup>c</sup>	75.68±1.63 <sup>b</sup>
4 hr., 1.0 N	1850.65±301.44 <sup>a</sup>	49.79±3.33 <sup>cd</sup>	30.18±2.65 <sup>a</sup>	77.58±2.52 <sup>a</sup>

หมายเหตุ a,b,c,d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test

ผลของเวลากับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกต่อสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท

จาก 2 ปัจจัยของเวลากับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความเข้มข้นน้ำตาล  $L$   $a^*$  และ  $b^*$  ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือค่าความเข้มข้นน้ำตาล  $a^*$  (ค่าสีแดง) และ  $b^*$  (ค่าสีเหลือง) ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่สูงขึ้นส่วนค่า  $L$  (ค่าความสว่าง) จะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลง คือหากความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกมากกว่า 0.5 นอร์มัล และใช้อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความสว่างของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทลดลงจากผลของปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังตารางที่ 4

#### 5. การอภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสสูงที่สุดและศึกษาคุณสมบัติของน้ำเชื่อมอินเวอร์ท ทำได้ น้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่มีความหวานมากกว่าซูโครส เนื่องจากมีกลูโคสและฟรุกโตสในปริมาณที่สูงและตกผลึกได้ยากกว่า (กล้านรงค์ ศรีวรรต, 2532) มีค่า  $A_w$  0.749-0.849 ซึ่งมีค่า  $A_w$  ค่อนข้างสูงแต่จุลินทรีย์โดยทั่วไปไม่สามารถเจริญได้ จะมีเพียงออสโมฟิลิกยีสต์เท่านั้นที่สามารถเจริญได้ (Molan, 1992) และสีที่ได้มีสีน้ำตาลทอง มีค่า  $L$  (ค่าความสว่าง)  $a^*$  (ค่าสีแดง) และค่า  $b^*$  (ค่าสีเหลือง) อยู่ระหว่าง 46.51-53.42 24.72-32.94 และ 71.06-79.36 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับสีของน้ำผึ้ง ซึ่งน้ำผึ้งจากดอกกล้วยไม้มีค่าสี 47.93, 25.55 และ 69.60 ตามลำดับ (วรรณุช ศรีเจษฎารักษ์, 2555) และเมื่อนำมาใช้สามารถใช้ในปริมาณน้อยก็ให้ความหวานเท่าเทียมกับน้ำตาลทราย และเนื่องจากเป็นสารละลายจึงมีความสะดวกในการใช้งานอีกทั้งเป็นทางเลือกหนึ่ง

ให้แก่ผู้บริโภค และหากนำมาผลิตน้ำเชื่อมอินเวอร์ทในระดับอุตสาหกรรมสามารถใช้กับเครื่องมือในอุตสาหกรรมน้ำตาลได้

#### 6. บทสรุป

ผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณกลูโคส ฟรุกโตส ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณซูโครสและ  $A_w$  ลดลง ( $p \leq 0.05$ ) ของน้ำเชื่อมอินเวอร์ทและสภาวะที่สามารถผลิตกลูโคสและฟรุกโตสได้สูงที่สุดมีหลายสภาวะ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมคือที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1.0 นอร์มัล อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง โดยมีปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุกโตสเป็น  $0.014 \pm 0.004$   $0.455 \pm 0.008$  และ  $0.422 \pm 0.004$  กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (1.12%:51.69%:47.19% ตามลำดับ) และปัจจัยร่วมของอุณหภูมิกับเวลา อุณหภูมิกับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก และเวลากับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก มีผลต่อความเข้มข้นน้ำตาล ( $I_{cumsa}$  unit) ค่าสี  $L$  (ค่าความสว่าง)  $a^*$  (ค่าสีแดง) และ  $b^*$  (ค่าสีเหลือง) เพิ่มขึ้น ยกเว้นปัจจัยร่วมของอุณหภูมิกับเวลาที่ทำให้ค่า  $b^*$  (ค่าสีเหลือง) ไม่แตกต่างกัน ( $p \leq 0.05$ ) แต่ค่า  $L$  คือความสว่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำเชื่อมอินเวอร์ทที่ผลิตได้ให้สีน้ำตาลทอง คล้ายสีของน้ำผึ้ง ซึ่งเป็นน้ำเชื่อมที่มีสีแตกต่างจากน้ำเชื่อมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้บริโภค

#### 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมาในโอกาสนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2532). เทคโนโลยีน้ำตาล.  
กรุงเทพมหานคร: คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2556).

ข่าวเศรษฐกิจ. (ออนไลน์). สืบค้นจาก  
<http://www.ocsb.go.th/th/home/index.php>.

(20 มี.ค. 2557)

วรนุช ศรีเจษฎารักษ์. (2538). การผลิตน้ำตาลฟรุกโตส  
และกลูโคสจากน้ำตาลทราย. (ออนไลน์).

สืบค้นจาก [http://pikul.lib.ku.ac.th/Fulltext\\_SUGAR/SUG010042/SUG010042a.pdf](http://pikul.lib.ku.ac.th/Fulltext_SUGAR/SUG010042/SUG010042a.pdf). (16 ก.พ. 2557)

วรนุช ศรีเจษฎารักษ์. (2555). กระบวนการผลิต และ  
คุณภาพน้ำผึ้งงาไซบริสที่ช่วยวิธีอบแห้ง  
แบบไมโครเวฟสุญญากาศและอบแห้งแบบ  
สุญญากาศ. คณะเทคโนโลยีการอาหาร:  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

AOAC. (1995). Official Method of Analysis. 16<sup>th</sup> ed.  
Association Official Analytical Chemists,  
Virginia.

Bemiller, J.N. and Whistler, R.L. (2009). Starch:  
Chemistry and Technology Academic  
Press. New York.

Ettalibi M., Baratti J. C. (2001). Sucrose hydrolysis by  
thermostable immobilized inulinases from  
Aspergillus ficuum. Enzyme and Microbial  
Technology. 28 : 596–601.

Gehlwan J K. (2001). New technology for invert  
sugar and high fructose syrups from  
sugarcane, Indian Journal of Chemical  
Technology. Vol 8. pp.28-32.

International commission for uniform methods of  
sugar analysis. (2013). ICUMSA Method  
GS1/3-7(2002): The determination of raw  
sugars and coloured syrups at pH 7.0.  
(Online). Available from :

<http://www.icumsa.org/index.php?id=121>  
(1995, April 1)

Molan PC. (1992). The antibacterial activity of honey.

1. The nature of the antibacterial activity. Bee  
World. 73(1): 5-28.

Torres, A.P., and Oliveira, F.A.R. (1999). Application

of the acid hydrolysis of sucrose as a  
temperature indicator in continuous thermal  
processes. Journal of Food Engineering. 40 :  
181-188.

US Patent 1,181,086. (April, 25, 1916). United States

Patent and Trademark Office. Process of  
making inverted-sugar syrup.

(ออนไลน์). สืบค้นจาก

<http://pdfpiw.uspto.gov/> (12 มี.ค. 2557)