วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 33 ฉบับที่ 1 (31-42) มกราคม - กุมภาพันธ์ 2549
KKU Engineering Journal Vol. 33 No. 1 (31-42) January – February 2006

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสเพื่อการผลิตน้ำเชื่อม :วิธีตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อนและวิธีคาร์บอเนชั่น *

รุ่งทิวา เมธาอาภานนท์[1] วิไลวรรณ ช่วยยก[2] สีรุ้ง ปรีชานนท์[3]

[1] นิสิตชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2] อาจารย์ แผนกวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตสุพรรณบุรี
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email : seeroong.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสในสองวิธีคือ วิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน (cold liming) และวิธีคาร์บอเนชั่น (carbonation) เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการทำน้ำอ้อยให้ใสในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อม เพื่อการใช้งานจริงของเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยที่อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยสมบัติของน้ำอ้อยหลังการทำให้ใสควรมีค่าสี (ICUMSA) และความขุ่นที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยยังคงปริมาณน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลรีดิวซิ่งในปริมาณที่เหมาะสม ภาวะที่ใช้ทดลองในแต่ละวิธีใช้ค่า pH ของน้ำอ้อยเป็นปัจจัยผันแปร โดยอาศัยการเติมปูนขาว และคาร์บอนไดออกไซด์ (สำหรับวิธีคาร์บอเนชั่น) ในปริมาณที่แตกต่างกัน สมบัติของน้ำอ้อยหลังการทำให้ใสถูกรายงานในแง่ของค่าสี ค่าความขุ่น ปริมาณตะกอน และความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่ง โดยพบว่าวิธีคาร์บอเนชั่นเป็นวิธีที่ให้ผลการทำใสดีกว่าวิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน ภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำน้ำอ้อยใสคือ การเติมปูนขาวที่อุณหภูมิ 55 °ซ จนน้ำอ้อยมีค่า pH เท่ากับ 11 แล้วจึงทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่องจนมี pH 9 ทำการแยกตะกอน นำส่วนใสของน้ำอ้อยมาทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 70 °ซ จนได้ pH 7 จะได้น้ำอ้อยที่มีค่าสี 12000 ที่ 19.6 บริกซ์เปอร์เซ็นต์ ค่าความขุ่น 3% และมีน้ำตาลรีดิวซิ่ง 13 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : การทำน้ำอ้อยให้ใส การผลิตน้ำเชื่อม การตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน คาร์บอเนชั่น

---

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2548

The comparative study of methods used to clarify sugar-cane juice for cane syrup production: cold liming and carbonation*

Rungthiwa Methaapanon[1] Wilaiwan Chouyyok[2] Seeroong Prichanont[3]

[1] Graduate student, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
[2] Lecture, Department of Science, Faculty of General Education, Rajamangala University of Technology Suvanaphumi Supanburi campus
[3] Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Email : seeroong.p@chula.ac.th

ABSTRACT

The objective of this paper is to comparatively study two methods of sugar-cane juice clarification which are cold liming and carbonation. The study is to determine suitable operating conditions for a juice clarification step in cane syrup production for practical applications of sugar cane farmers in Danchang district, Supanburi province. The obtained sugar-cane juice after clarification step should be of the lowest possible color (ICUMSA) and turbidity values while still contain suitable amounts of sucrose and reducing sugars. Sugar-cane juice pH was used as a variable parameter which could be varied using lime and carbon dioxide (for carbonation method). Quality of clarified juice was reported in terms of color value, turbidity, weight of the sediment, and reducing sugar concentration. Carbonation was found to be a better method over cold-liming. Suitable operating conditions were determined at 55 °C pH 11 during lime adding step, carbon dioxide addition then follows until pH 9 is obtained. The second carbonation step should be carried out at 70 °C until pH 7 is achieved. The obtained clarified sugar-cane juice is of 12000 ICUMSA at 19.6 brix percent, 3% turbidity, and 13 g/l reducing sugar.

Keywords : sugar-cane clarification, cane syrup production, cold liming, carbonation

* Original manucript submitted: June 6, 2005 and Final manucript received: December 2, 2005

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการทำน้ำตาลทราย เพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออก ซึ่งน้ำตาลทรายถือเป็นสินค้าที่มีมูลค่าการส่งออกอยู่ใน 20 อันดับต้นของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมน้ำตาลประสบปัญหาราคาภายในประเทศและตลาดโลกตกต่ำอย่างต่อเนื่อง ทำให้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเกษตรกรไร่อ้อย แม้ว่าราคาอ้อยในปีนี้ (2548) จะมีราคาสูงขึ้นกว่าปีที่แล้ว อันเนื่องมาจากเศรษฐกิจที่ดีขึ้นและมีการใช้วัตถุดิบพวกชีวมวล เช่น ข้าวโพด มันสัมปะหลัง อ้อย ฯลฯ ในการผลิตเอทานอล ซึ่งจะนำมาผสมกับแก๊ซโซลีน เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น การแปรรูปอ้อยเป็นน้ำเชื่อมก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ เกษตรกรสามารถรวมกลุ่มกันผลิตขึ้นเองได้ และยังเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนได้ โดยน้ำเชื่อมที่ได้จากกระบวนการนี้จะยังคงมีกลิ่นหอมของน้ำอ้อยซึ่งจะมีความแตกต่างจากน้ำเชื่อมที่ได้จากการละลายน้ำตาลทราย นอกจากนี้น้ำเชื่อมที่ได้ยังสามารถพัฒนาต่อได้ โดยการสกัดสมุนไพรที่มีในท้องถิ่นเติมลงในน้ำเชื่อมก่อนจะปล่อยให้ตกผลึกอย่างช้าๆ เป็นน้ำตาลกรวดสมุนไพร เกษตรกรสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่งขายผู้ประกอบการน้ำหวานและผู้ประกอบการอื่นในท้องถิ่นที่ต้องการใช้น้ำเชื่อมเป็นองค์ประกอบในอาหาร ดังนั้นการผลิตน้ำเชื่อมมีขั้นตอนการผลิตดังรูปที่1

รูปที่ 1 *กระบวนการผลิตน้ำเชื่อม*

น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อย จะมีลักษณะขุ่นและมีสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากประกอบด้วยสารเจือปนหลายชนิด ดังตารางที่ 1 ซึ่งจะส่งผลต่อความบริสุทธิ์ และลักษณะปรากฏของน้ำอ้อย ดังนั้นน้ำอ้อยดิบจึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำใสเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ให้เหลือเป็นสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นและความบริสุทธิ์สูงที่สุด ทั้งนี้มีรายงานว่าที่ค่า pH ของน้ำอ้อยดิบ (pH 5.2-5.3) ซึ่งเป็นกรดอ่อนจะเกิดการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่ง [Monclin, 1995] ส่วนในภาวะที่เป็นด่าง (ซึ่งเป็นภาวะที่สารปนเปื้อนตกตะกอนได้ดี) จะทำให้น้ำตาลรีดิวซิ่งสลายตัว โดยการทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนอิสระจากโปรตีนในน้ำอ้อยที่อุณหภูมิสูงเกิดเป็นสีน้ำตาล เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) [Pritchart, 1993] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่า pH ของน้ำอ้อยเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการทำน้ำอ้อยให้ใส

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
น้ำตาล	75 - 92
- ซูโครส	72 - 88
- กลูโคส	2 - 4
- ฟรุคโตส	2 - 4
เกลือ	3.0 - 7.5
- ของกรดอนินทรีย์	1.5 - 4.5
- ของกรดอินทรีย์	1.0 - 3.0
สารอินทรีย์อิสระ	0.5 - 2.5
- กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid)	0.1 - 0.5
- กรดอะมิโน (Amino Acid)	0.5 - 2.0
สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่น้ำตาลอื่นๆ	
- โปรตีน	0.5 - 0.6
- แป้ง	0.001 - 0.050
- ยาง	0.30 - 0.60
- แว็กซ์ ไขมัน และ ฟอสฟาไทด์ (Phosphatide)	0.05 - 0.15
- สารอื่นๆ ไม่สามารถระบุชนิด	3.0 - 5.0

ตารางที่ 1 *องค์ประกอบของน้ำอ้อยดิบ [Meade, 1963]*

น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบ จะมีสีเขียวคล้ำ เนื่องจากสารปนเปื้อนที่ละลายและไม่ละลายในน้ำอ้อย ซึ่งสารปนเปื้อนเหล่านี้สามารถกำจัดได้ด้วยสารเคมีร่วมกับการให้ความร้อน ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่าการทำให้ใส มีด้วยกัน 5 วิธีคือ

1. วิธีตกตะกอนด้วยปูนขาว (liming) เป็นวิธีการที่ใช้ปูนขาวในการตกตะกอนควบคู่กับการให้ความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ การเติมปูนขาวก่อนให้ความร้อน (cold liming) และการให้ความร้อนก่อนการเติมปูนขาว (hot liming) โดยปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสเฟตได้เป็นเกลือแคลเซียมที่ไม่ละลายน้ำ และทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรดอินทรีย์ในน้ำอ้อย [Honig, 1952] ทำให้เกิดการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมและกรดอินทรีย์ตามลำดับ และยังเป็นการกำจัด โปรตีน ไขมัน แว็กซ์ ยางรวมทั้งสารอินทรีย์อื่นๆด้วย

2. วิธีคาร์บอเนชั่น (carbonation) เป็นการทำงานร่วมกันของปูนขาวและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ปูนขาวจะดูดซับ (adsorb) หรือ จับ (adhere) สารปนเปื้อน รวมถึงสารที่ทำให้น้ำอ้อยมีสีผิดปกติหลังจากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จะไปจับกับปูนขาวเพื่อตกตะกอนในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ (สมการที่1) ดังนั้นจึงตกตะกอนได้เร็ว ขั้นตอนที่ 2 ป้อนคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งเพื่อการตกตะกอนแคลเซียมและสิ่งปนเปื้อนที่เหลืออยู่ โดย

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับปูนขาวดังสมการที่ 1 และ กับน้ำดังสมการที่ 2 โดยจะสังเกตได้ว่าตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น [United State Environmental Protection Agency , 2005] และทำให้ pH ของน้ำอ้อยจะลดลงเรื่อยๆ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในวิธีการคาร์บอเนชั่นไม่ควรเกิน 55°ซ เพื่อลดการสลายตัวของน้ำตาลรีดิวซิ่งที่อุณหภูมิสูง

$$CaO + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 \qquad (1)$$

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow 2H^+ + CO_3^{2-} \qquad (2)$$

3.วิธีซัลฟิเตชัน (sulfitation) เป็นการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ควบคู่กับการตกตะกอนด้วยปูนขาว ซึ่งเป็นวิธีการที่นอกจากจะทำให้น้ำอ้อยใสแล้วยังเป็นการฟอกสีของน้ำอ้อยด้วย แต่ข้อเสียคืออาจทำให้เกิดการตกค้างของซัลเฟอร์ในน้ำอ้อย และเป็นผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

4. วิธีฟอสฟาเตชัน (phosphatation) เป็นการเติมกรดฟอสฟอริกหลังการเติมปูนขาวเพื่อให้เกิดตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

5. วิธีตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ (magnesia) เป็นวิธีการคล้ายกับการเติมปูนขาว แต่เกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่า จึงไม่เหมาะสมต่อการทำน้ำอ้อยให้ใส

จากวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสทั้ง 5 วิธี พบว่าวิธีที่ 1 และ 2 เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีอื่น ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสในสองวิธี คือ วิธีการเติมปูนขาวก่อนการให้ความร้อน และ วิธีคาร์บอเนชั่น โดยพิจารณาสมบัติของน้ำอ้อยในแง่ของค่าสี (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, ICUMSA) ค่าความขุ่น ปริมาณตะกอน และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการทำน้ำอ้อยให้ใส (มีค่าสี และความขุ่นน้อยที่สุด) ในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อม เพื่อการใช้งานจริงของเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยที่ อ. ด่านช้าง จ. สุพรรณบุรี

สารเคมีและวิธีการทดลอง

สารเคมี

ตัวอย่างน้ำอ้อยได้มาจากไร่อ้อยใน อ. ด่านช้าง จ. สุพรรณบุรี สารเคมีต่างๆ ได้แก่ ปูนขาว (CaO เกรดห้องปฏิบัติการ ความบริสุทธิ์ 96% จากบริษัท UNILAB) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 สำหรับใช้กับอาหาร จากบริษัท TIG) คอปเปอร์ซัลเฟต เพนตะไฮเดรต ($Cu(II)SO_4.5H_2O$ เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99% จากบริษัท UNIVAR) โพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต เตตระไฮเดรต ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$ เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99% จากบริษัท UNIVAR) โซเดียมไฮดรอกไซด์ จาก บริษัทไทยสงวนวัฒน์เคมีภัณฑ์ กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 37% จากบริษัท Merck และ น้ำกลั่นจากการกลั่นซ้ำสองครั้ง ในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการทดลอง

การเก็บรักษาน้ำอ้อย

กรองน้ำอ้อยที่ได้จากการหีบด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอากากและตะกอนขนาดใหญ่ออก หลังจากนั้นนำมาแบ่งใส่ถุงทนความเย็นในปริมาตรถุงละ 1 ลิตร เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°ซ เมื่อต้องการทำการทดลองนำน้ำอ้อยแช่แข็งมาทำละลายที่อุณหภูมิห้องก่อนการใช้งาน

การทำน้ำอ้อยให้ใส

วิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน

ตวงน้ำอ้อยตัวอย่างปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เตรียมเช่นนี้จำนวน 7 ใบ โดยระบุให้มีหนึ่งตัวอย่างที่ไม่มีการเติมปูนขาว แต่มีการให้ความร้อนจนถึงจุดเดือด ส่วนอีก 6 ตัวอย่างมีการเติมปูนขาวในปริมาณที่แตกต่างกัน (0.1 - 1 กรัม/น้ำอ้อย 250 มิลลิลิตร) นำตัวอย่างทั้งหกไปใส่ไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น INNOVA 4000 บริษัท New Brunswick Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ 40°ซ ความเร็วรอบการเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาให้ความร้อนด้วยแผ่นให้ความร้อน (รุ่น CIMAREC2 บริษัท Thermolyne ประเทศสหรัฐอเมริกา) จนถึงอุณหภูมิจุดเดือด แยกส่วนของตะกอนออกจากน้ำอ้อยใสด้วยเครื่องเหวี่ยงตะกอน (รุ่น Kubota7820 บริษัท Kubota Corporation ประเทศญี่ปุ่น) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 15 นาที (ดูตารางที่ 2 ประกอบ)

วิธีคาร์บอเนชั่น

ตวงน้ำอ้อยตัวอย่างปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เตรียมเช่นนี้จำนวน 7 ใบ หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งเจ็ดไปใส่ไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 55°ซ (รุ่น Template Junior P6-8J บริษัท PECHNE ประเทศสหราชอาณาจักร) เมื่อน้ำอ้อยมีอุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วเติมปูนขาวในปริมาณ 0.1 -1 กรัม เพื่อให้ได้ค่า pH ตามต้องการ ทิ้งให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้การกวนด้วยใบพัดจากด้านบนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำอ้อยโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่อัตรา 2 ลิตรต่อนาที ความดัน 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ควบคู่กับการวัดค่า pH จนกระทั่งได้ pH ของน้ำอ้อยที่ต้องการ (ช่วง pH 7 ถึง 9) นำสารละลายส่วนใสด้านบนมาแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 70°ซ แล้วเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำอ้อยอีกครั้งจนกระทั่งได้น้ำอ้อยที่ pH 7 (ดูตารางที่ 3 ประกอบ)

ตัวอย่างควบคุม คือน้ำอ้อยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้ใส

ชื่อตัวอย่าง*	ปริมาณปูนขาว (กรัม)	pH สุดท้ายหลังเติมปูนขาว
CL5	-	5.3
CL6	0.10	6.5
CL7	0.15	7.1
CL8	0.20	8.7
CL9	0.30	9.2
CL10	0.50	9.9
CL11	1.00	10.7

ตารางที่ 2 *แสดงปริมาณปูนขาวที่ใช้ และค่า pH สุดท้ายของน้ำอ้อย สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยที่มี pH เริ่มต้น 5.3 ที่ตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน*

*ตัวเลขที่แสดงในชื่อตัวอย่าง แสดงค่า pH สุดท้ายหลังการเติมปูนขาว

ชื่อตัวอย่าง*	ปริมาณปูน-ขาว (กรัม)	pH หลังเติมปูนขาว	pH หลังการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ครั้งที่ 1	pH หลังการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ครั้งที่ 2
CA7-7	0.17	7.3	7.0	-
CA10-9-7	0.5	10.0	9.0	7.0
CA11-9-7	1.0	11.0	9.0	6.9
CA11-8-7	0.9	11.2	8.0	7.0
CA11-7	0.8	11.0	7.0	-

ตารางที่ 3 *แสดงปริมาณปูนขาวที่ใช้ pH ของน้ำอ้อยหลังการเติมปูนขาวและคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละครั้ง สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยที่ทำให้ใสด้วยวิธีการคาร์บอเนชั่น โดย pH เริ่มต้นของน้ำอ้อยเท่ากับ 5.3*

*ตัวเลขที่แสดงในชื่อตัวอย่าง (CA x-y-z) x = pH หลังการเติมปูนขาว y= pH หลังการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ครั้งที่ 1 y = pH หลังการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งที่ 2

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำอ้อยใส

- วัดค่าบริกซ์เปอร์เซนต์ (%Brix) โดยใช้ รีแฟรคโตมิเตอร์ (Arihand Industry แบบพกพา. ประเทศอินเดีย) โดยทุกครั้งทำการวัดและอ่านจนค่าที่ได้จากตัวอย่างเดียวกันมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.2 บริกซ์เปอร์เซนต์
- การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำอ้อย โดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Spectrophonic 20 Genesis บริษัท Spectrophonic Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ทำการวัดตัวอย่างเดียวกันซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation) ไม่เกิน 1% ค่าสีคำนวณได้ดังสมการที่ 3 [พิมพ์สุดา และศันสนีย์ 2546]

$$\text{ค่าสี (ICUMSA)} = \frac{Abs \times 100.000}{App.D \times D} \qquad (3)$$

โดยที่ Abs คือ ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร
App.D คือ ความหนาแน่นปรากฏของน้ำอ้อยที่ค่าดูดกลืนแสงนั้นๆ
D คือ ความกว้างเซลล์ (cuvette) ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1 เซนติเมตร

- การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งในน้ำอ้อยใช้วิธีการทดสอบแบบเฟลิ่ง (Fehling's Test) โดยน้ำตาลรีดิวซิ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างของคอปเปอร์ซัลเฟต ได้สารประกอบคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ ซึ่งมีสีแดง [James, 1995] โดยแต่ละตัวอย่างน้ำอ้อย ทำการไตเตรตซ้ำจนกระทั่งมีความคลาดเคลื่อนของปริมาตรน้ำอ้อยที่ใช้ในการไตเตรตแตกต่างกันไม่เกิน 0.5 มิลลิลิตร
- วิเคราะห์หาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น โดยนำตะกอนที่ได้หลังจากการปั่นแยกไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 5 วัน นำมาชั่งน้ำหนักของตะกอนแห้ง โดยหักน้ำหนักของบีกเกอร์และปูนขาวที่เติมเพื่อตกตะกอนออก
- การวิเคราะห์ความขุ่น (Turbidity) นำน้ำอ้อยที่ผ่านการทำให้ใสแล้วมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 900 นาโนเมตร โดยกำหนดให้ %ความขุ่น = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 900 นาโนเมตร x 100 [พิมพ์สุดา และศันสนีย์ 2546]

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลของวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสต่อค่าสี

วิธีการทำให้ใส	ตัวอย่าง	ค่าสี[1] (ICUMSA)	ปริมาณตะกอน[2] (g)	ความขุ่น[1] (%)	น้ำตาลรีดิวซิ่ง[2] (mg/l)
-	ควบคุม	30393.02	2.40	35.70	9339.4
วิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน	CL5	10122.78	4.20	29.90	20775.5
	CL6	13616.77	4.10	29.90	10531.0
	CL7	13208.59	5.95	27.10	10494.8
	CL8	26498.82	7.80	3.20	9980.4
	CL9	27919.28	9.50	1.40	9788.5
	CL10	23837.51	7.20	0.60	8276.4
	CL11	25666.14	5.80	1.10	3841.5
วิธีคาร์บอเนชั่น	CA7-7	17257.71	5.03	4.40	13945.21
	CA10-9-7	13853.24	5.20	0.90	16158.73
	CA11-9-7	16370.05	20.60	3.10	13051.28
	CA11-8-7	12243.80	19.20	2.30	8775.86
	CA11-7	19024.43	14.00	2.00	9089.29

ตารางที่ 4 *ผลการทดลองการทำน้ำอ้อยให้ใสด้วยวิธีการต่างๆ ต่อคุณสมบัติของน้ำอ้อยตัวอย่าง*

1 ค่าที่ให้ผลในเชิงบวก ควรเป็นค่าตัวเลขที่น้อยกว่าค่าตัวเลขควบคุม
2 ค่าที่ให้ผลในเชิงบวก ควรเป็นค่าตัวเลขที่มากกว่าค่าตัวเลขควบคุม

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการทำน้ำอ้อยให้ใสด้วยวิธีการเติมปูนขาวก่อนให้ความร้อน และวิธีคาร์บอเนชั่นจะได้น้ำอ้อยที่มีค่าสีต่ำกว่าค่าตัวอย่างควบคุม โดยพบว่าในวิธีการเติมปูนขาวก่อนเพื่อให้ความร้อนค่าสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า pH ที่สูงขึ้น โดยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ pH ประมาณ 8-9 ทั้งนี้อาจเป็นผลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดอะมิโนได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเมอร์สีน้ำตาล แสดงดังสมการที่ 4 ซึ่งเกิดขึ้นได้ภายใต้ภาวะที่เป็นด่างและอุณหภูมิสูง ที่น่าสนใจคือตัวอย่างที่ไม่มีการเติมปูนขาว (CL5) ให้ค่าสีที่ต่ำที่สุดแสดงว่าการให้ความร้อนแต่เพียงอย่างเดียวสามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่ก่อให้เกิดสีได้บางส่วน

Aldehyde / Ketone + Amino Acids ⟶ Melanoidins (4)
น้ำตาลรีดิวซิ่ง โปรตีน โพลิเมอร์สีน้ำตาล

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตัวอย่างที่ผ่านการทำให้ใสโดยการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนให้ความร้อนกับวิธีการคาร์บอเนชั่น พบว่าค่าสีของตัวอย่างที่ pH 10 และ 11 ของการทำให้น้ำอ้อยใสด้วยการเติมคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำกว่าการทำให้ใสด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนให้ความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากวิธีคาร์บอเนชั่นใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่ำกว่าจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือนอนเอนไซเมติก บราวนิ่ง (Non-enzymatic Browning) ได้น้อยกว่า

แต่อย่างไรตามเมื่อเปรียบเทียบค่าสีที่มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดจากทั้งสองวิธี (CL7 และ CA11-8-7) พบว่าการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ขั้นตอน ให้ค่าสีสูงกว่าเพียงประมาณ 10% แสดงให้เห็นว่าที่ภาวะที่ให้ค่าสีต่ำที่สุดของแต่ละวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

ผลของวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสต่อความขุ่น

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าน้ำอ้อยใสในทุกๆตัวอย่างมีค่าความขุ่นน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม และสอดคล้องกับผลที่ได้จากปริมาณตะกอน (ดูหัวข้อ 3.3) เมื่อพิจารณาความขุ่นของน้ำอ้อยใสเมื่อตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน พบว่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มสูงขึ้น โดยลดลงอย่างรวดเร็วที่ค่า pH ประมาณ 8 ซึ่งลักษณะความขุ่นของน้ำอ้อยที่ pH ต่ำกว่าและสูงกว่า 8 สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับที่มีผู้รายงานว่าสารปนเปื้อนในน้ำอ้อยจะตกตะกอนได้ดีในภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความขุ่นลดลงตามไปด้วย ในส่วนของน้ำอ้อยที่ผ่านกระบวนการคาร์บอเนชั่น พบว่า ค่าความขุ่นของทุกๆตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าความขุ่นของน้ำอ้อยควบคุมมาก

ผลของวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสต่อลักษณะและปริมาณตะกอน

จากลักษณะของตะกอนและวิธีการตกตะกอนที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากวิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อนมีลักษณะเบา ตกตะกอนไม่แน่น มีบางส่วนที่ลอย

ขึ้นมาใกล้ผิวหน้าของเหลว ทำให้การแยกตะกอนออกจากน้ำอ้อยโดยการทิ้งให้ตกตะกอนไม่สามารถทำได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างที่ทำการเติมปูนขาวที่ pH ต่ำกว่า 8 จะได้ตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็กต่างจากกรณีอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ลักษณะตะกอนและการตกตะกอนด้วยวิธีคาร์บอเนชั่น พบว่าการตกตะกอนที่ pH หลังการเติมปูนขาวเป็น 11 (CA11-9-7 และ CA11-8-7) เป็นไปได้ดีที่สุด เนื่องจากการทำน้ำอ้อยให้ใสด้วยวิธีคาร์บอนเนชั่นทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารประกอบไม่ละลายน้ำ ทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถตกได้อย่างรวดเร็ว และสามารถแยกตะกอนออกมาได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องเหวี่ยงตะกอน

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกอนที่ได้จากทุกๆตัวอย่าง มีปริมาณมากกว่าตัวอย่างควบคุม และความร้อนมีผลให้สิ่งเจือปนตกตะกอนได้โดยไม่ต้องมีการใช้สารเคมี (ตัวอย่าง CL5) อย่างไรก็ดีตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยปูนขาวมีค่าเพิ่มตามค่า pH ที่สูงขึ้น เนื่องจากที่ pH สูงขึ้น พบว่าค่าการละลายของสิ่งเจือปนในน้ำอ้อยลดลง ดังนั้นจึงสามารถตกตะกอนสิ่งเจือปนได้ปริมาณมากกว่า [Honig, 1953] เมื่อพิจารณาจากปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการคาร์บอเนชั่น พบว่าปริมาณตะกอนที่เกิดจากการเติมคาร์บอนไดออกไซด์หลังการเติมปูนขาวที่ pH 11 (CA11-9-7; CA11-8-7; CA11-7) ให้ปริมาณตะกอนที่สูงกว่าที่ pH อื่นๆ โดยน้ำหนักตะกอนของทั้งสองวิธีสูงสุดที่ pH ประมาณ 9 สำหรับการทำน้ำอ้อยให้ใสด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน (CL9) และ การป้อนคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนที่ 1 ของวิธีคาร์บอเนชั่น (CA11-9-7) ทั้งนี้เนื่องจากเป็น pH ที่สิ่งเจือปนสามารถละลายได้ต่ำที่สุด (Honeywell International Inc.) โดยการทำน้ำอ้อยให้ใสด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อนปริมาณตะกอนจะลดลงเมื่อ pH มีค่ามากกว่า 9 ในขณะที่วิธีคาร์บอเนชั่นปริมาณตะกอนจะลดต่ำลงเมื่อการป้อนคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับขั้นตอนที่ 1 มี pH ต่ำกว่า 9 ทั้งนี้เนื่องจาก pH ไม่เหมาะสมกับการตกตะกอน

ผลของวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสต่อความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งในน้ำอ้อย

จากตารางที่ 4 เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่ง ในตัวอย่างควบคุมเป็นเกณฑ์ อธิบายได้ว่าในตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งสูงกว่าค่าของตัวอย่างควบคุมแสดงให้เห็นว่าที่ภาวะการทดลองนั้นๆทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งมากขึ้น ซึ่งคือที่ภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิสูง ซึ่งแสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 5 ส่วนในกรณีที่ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าที่ภาวะการทดลองนั้นๆทำให้เกิดการสลายตัวของโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิ่ง โดยที่ภาวะเป็นด่าง น้ำตาลรีดิวซิ่งจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนอิสระในน้ำอ้อยที่อุณหภูมิสูง เกิดเป็นสีน้ำตาล ซึ่งแสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 4

$$\underset{\text{ซูโครส}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{น้ำ}}{H_2O} \xrightarrow{H^+} \underset{\text{กลูโคส}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ฟรุคโตส}}{C_6H_{12}O_6} \qquad (5)$$

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4 พบว่าที่เกือบทุกภาวะการทดลองให้ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งในตัวอย่างใกล้เคียงกับกรณีของตัวอย่างควบคุม ยกเว้นตัวอย่าง CL11 ซึ่งใช้วิธีตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน และมีค่า pH หลังการเติมปูนขาวเท่ากับ 11 พบการ

สลายตัวของน้ำตาลรีดิวซิ่งในปริมาณที่สูงซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่วนในตัวอย่าง CL5 ซึ่งเป็นน้ำอ้อยตัวอย่างที่มีการให้ความร้อนจนเดือดโดยไม่มีการเติมปูนขาว พบว่ามีการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะที่ภาวะกรดและอุณหภูมิสูงเป็นภาวะที่เอื้อต่อการแตกตัวของน้ำตาลซูโครส (สมการที่ 5)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งในน้ำอ้อยหลังการทำให้ใสด้วยวิธีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของตัวอย่าง CA11-8-7 และ CA11-7 มีค่าต่ำกว่า CL11 แต่มากกว่าตัวควบคุม ซึ่งแสดงว่ามีการสลายตัวของน้ำตาลรีดิวซิ่งน้อยกว่า แต่น่าแปลกใจที่ตัวอย่าง CA7-7 CA10-9-7 และ CA11-9-7 มีค่าน้ำตาลรีดิวซิ่งสูงกว่าตัวควบคุม แสดงให้เห็นว่านอกจาก pH และ อุณหภูมิแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลการเกิดน้ำตาลรีดิวซิ่ง

เกณฑ์ของค่าสีพิจารณาจากค่าสีของน้ำเชื่อมมาตรฐานที่ 65 บริกซ์ ควรมีค่าน้อยกว่า 21000 ส่วนของปริมาณตะกอนและความขุ่นใช้ค่าที่ให้ผลการเปลี่ยนแปลงความใสของน้ำอ้อยอย่างชัดเจนเป็นเกณฑ์และความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งพิจารณาเทียบกับตัวอย่างควบคุม จากตารางที่ 4 พบว่ามี 3 ตัวอย่างที่ให้ผลเชิงบวกต่อค่าสี ปริมาณตะกอน ความขุ่น และการไม่สลายตัวของน้ำตาลรีดิวซิ่ง คือ ตัวอย่างที่ CA10-9-7 CA7-7 และ CA11-9-7 ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำอ้อยที่ผ่านการทำให้ใสด้วยวิธีคาร์บอเนชั่นทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่าง CA10-9-7 และ CA7-7 พบว่าการตกตะกอนยังต้องอาศัยเครื่องปั่นแยกช่วย ซึ่งจะทำให้เกิดความยุ่งยากเมื่อนำไปใช้จริงในภาคเกษตรกรรม ดังนั้นจากการศึกษานี้เราพบว่าวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสด้วยวิธีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ขั้นตอน โดยที่ pH หลังการเติมปูนขาวเป็น 11 pH หลังการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งที่ 1 เป็น 9 และ pH หลังการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งที่ 2 เป็น 7 (CA11-9-7) เป็นวิธีการทำให้ใสที่ให้ผลดีที่สุดต่อน้ำอ้อยจากแหล่งที่ศึกษา

บทสรุป

เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใส 2 วิธี คือ วิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน และ วิธีการคาร์บอเนชั่น โดยใช้ปริมาณปูนขาวแตกต่างกัน และมีผลให้ได้ค่า pH แตกต่างกันด้วย พบว่าวิธีการตกตะกอนด้วยปูนขาวและวิธีการคาร์บอเนชั่นให้ผลของค่าสีที่ดีที่สุดไม่แตกต่างกันมาก อย่างไรก็ดีการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนการให้ความร้อน มีข้อด้อยที่เห็นได้ชัดในแง่ของลักษณะตะกอนซึ่งได้ตะกอนในลักษณะเบา ตกตะกอนยาก รวมทั้งให้ความขุ่นสูงที่ค่า pH ต่ำ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าวิธีการทำน้ำอ้อยให้ใสที่เหมาะสมกับอ้อยจากแหล่งที่ทำการศึกษา คือวิธีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการเติมปูนขาวที่อุณหภูมิ 55°ซ จนน้ำอ้อยมี pH ประมาณ 11 แล้วจึงทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่องจนมี pH เป็น 9 แล้วแยกตะกอนออก หลังจากนั้นจึงทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 70°ซ จนน้ำอ้อยเป็นกลาง ได้น้ำอ้อยใสที่มีสมบัติดังนี้ ค่าสี (ICUMSA) 12000 ที่ 19.6 บริกซ์เปอร์เซนต์ ความขุ่น 3% และมีน้ำตาลรีดิวซิ่ง 13 กรัมต่อลิตร

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2548

6. เอกสารอ้างอิง

Honig,B.P. 1952. "A Contribution to the Clarification of Cane Sugar Juice." ***The Sugar Journal.*** อ้างอิงใน *Sugar technology vol.1* โดย บวรเทพ จาติกวนิช, บริษัท ประชาชน, กรุงเทพฯ, 1979.

Honig, B.P., Pieter, D.R. 1953. **Principles of Sugar Technology Vol. 1**, New York : Elsevier Press.

Honeywell International Inc., www.honeywell.com , 10 January 2005.

James, C.S. 1995. **Analytical Chemistry of Foods**. 1st edition. Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall.

Meade, G.P.; Chen; J.C., Guilford, L.S. 1963. **Cane Sugar Handbook: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists** 9th edition. Canada : John Wiley & Sons Inc.

Monclin, 1995. **Process for producing refined sugar**, United States Patent No.5468301.

Pritchart, M.K. 1993. **Relationship of sugars to colour of processed potatoes.** Department of Plant science, University of Manitoba.

United States Environmental Protection Agency., http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch09, 29 January 2005.

พิมพ์สุดา แก้วมณี และ ศันสนีย์ คูณกลาง, 2546. **การควบคุมการเปลี่ยนสีของน้ำตาล ทรายดิบ** ปริญญานิพนธ์ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยบูรพา.