การสกัดน้ำจากแอปเปิลสดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกล

จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด รุ่งทิวา ขุมคำ และ วริศรา ยั่งยืนกุล
นักศึกษา สาขาวิศวกรรมอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
อาทิตย์ ยาวุฑฒิ
อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
พานิช อินต๊ะ*
รองศาสตราจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-9755-1985 อีเมล: panich_intra@yahoo.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.08.001
รับเมื่อ 6 พฤษภาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 29 กรกฎาคม 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 15 กุมภาพันธ์ 2559
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

แอปเปิลเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีการนำเข้าสูง การนำแอปเปิลสดมาแปรรูปเป็นน้ำแอปเปิลเป็นเรื่องน่าสนใจ เนื่องจากเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน การสกัดน้ำแอปเปิลโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ในการสกัดเป็นวิธีการหนึ่งที่นำไปใช้ในการพัฒนาปริมาณและคุณสมบัติของน้ำแอปเปิล การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลในการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด โดยกำหนดให้ใช้ความดันคงที่ 1.5 บาร์ และระยะเวลาในการบีบอัด 5 นาที ในทุกสภาวะการทดลอง ในการศึกษาการสกัดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์กำหนดกระแสไฟฟ้า 5, 7.5 และ 10 แอมแปร์ และระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกระแสไฟฟ้าคือ 10, 15 และ 20 นาที ผลที่ได้เปรียบเทียบกับการสกัดโดยไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์หรือการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียว พบว่าสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำแอปเปิลสูงกว่าการไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์หรือการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียว และปริมาณน้ำแอปเปิลที่สกัดได้มีค่าสูงสุดที่กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ระยะเวลา 10 นาที ปริมาณน้ำแอปเปิลที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 7.98±3.15 กรัมต่อ 100 กรัม แอปเปิล และมีค่าความสว่างของสีที่ใกล้เคียงกับน้ำแอปเปิลที่สกัดโดยไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์หรือการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียว จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเนื้อแอปเปิลที่สภาวะดังกล่าวยังมีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกับแอปเปิลสด สนามไฟฟ้าแบบพัลส์มีผลต่อค่าความสว่างของสีน้ำแอปเปิล แต่ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สนามไฟฟ้าแบบพัลส์และระยะเวลาการสกัดมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิล และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดจะสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงและระยะเวลาการสกัดนาน

คำสำคัญ: แอปเปิล สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ การสกัดน้ำผลไม้

การอ้างอิงบทความ: จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด, รุ่งทิวา ขุมคำ, วริศรา ยั่งยืนกุล, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และ พานิช อินต๊ะ, "การสกัดน้ำจากแอปเปิลสดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกล," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2, หน้า 253–263, พ.ค.–ส.ค. 2559

Juice Extraction from Fresh Apples Using Pulsed Electric Field Combined with Mechanical Pressing

Juthathip Sritakerd, Rungtiva Kumkom and Warissara Yangyuenkul
Student, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

Artit Yawootti
Lecturer, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

Panich Intra*
Associate Professor, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-9755-1985, E-mail: panich_intra@yahoo.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.08.001
Received 6 May 2015; Accepted 29 July 2015; Published online: 15 February 2016
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Apples are very popular imported fruit which can be processed into other products such as preserved apple juice. The extraction of apple juice using pulsed electric field combined with mechanical pressing can be used to develop both quantity and quality of the apple juice. The purpose of this research is to apply this method on the experiments with the constant pressure of 1.5 bars for 5 minutes and other variables included the pulsed electric field determined current at 5, 7.5, and 10 amps at the duration of 10, 15, and 20 minutes respectively. The results were compared with the extract juice from mechanical pressing showing that the pulsed electric field combined with mechanical pressing process yielded better quality and quantity of apple juice. From 100 grams of apple at 5 amps with the duration of 10 minutes, the result yielded the highest quantity of apple juice extract at 7.98±3.15 grams with the brightness value of color similar to that of apple juice extracted from mechanical pressing. Moreover, the color of the apple pulps is similar to fresh apple. It can be concluded that pulsed electric field process affects a little bit on the color of apple juice but does not affect the Ph and total soluble solids. Pulsed electric field process and the duration of extraction accelerated the reaction of browning in apple. Finally, electric energy used to extract is higher with high currents and long duration of extraction.

Keywords: Apple, Pulsed Electric Field, Extraction of Juice

Please cite this article as: J. Sritakerd, R. Kumkom, W. Yangyuenkul, A. Yawootti, and P. Intra, "Juice extraction from fresh apples using pulsed electric field combined with mechanical pressing," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 26, no. 2, pp. 253–263, May.–Aug. 2016 (in Thai).

1. บทนำ

แอปเปิลเป็นผลไม้ที่รู้จักกันมานานมีประโยชน์ทางด้านโภชนาการสูง และเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่งในโลก [1] จึงเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจอันดับต้นๆในประเทศไทยพบว่าอัตราการบริโภคแอปเปิลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยในปี 2554 พบว่ามีการนำเข้าสูงสุดปริมาณ 1.3 แสนตัน คิดเป็นมูลค่าตลาดกว่า 9,000 ล้านบาท เทียบกับปี 2547 ตลาดมีมูลค่า 5,989 ล้านบาท โดยแอปเปิลที่นำเข้ามาในไทยมาจากจีนร้อยละ 74 จากอเมริการ้อยละ 13 จากนิวซีแลนด์ร้อยละ 11 และจากฝรั่งเศสร้อยละ 2 สาเหตุที่นำเข้าแอปเปิลจากจีนมากที่สุดเพราะมีราคาถูกกว่าแหล่งนำเข้าอื่น เช่น สหรัฐอเมริกา ซึ่งได้เปรียบในเรื่องของต้นทุนการขนส่ง แอปเปิลจากจีนที่ส่งมายังไทยนั้นคือพันธุ์ฟูจิเนื่องจากจีนมีการส่งออกแอปเปิล 2 สายพันธุ์เท่านั้นคือพันธุ์ฟูจิมีการส่งออกประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณการส่งออกทั้งหมด ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นแอปเปิลพันธุ์ Guoguang ซึ่งส่งออกไปเฉพาะในรัสเซีย และนอกจากมีการนำเข้าแอปเปิลสดแล้วยังมีการนำเข้าน้ำแอปเปิลอยู่ 3,000 ตันต่อปี แต่ในปี 2555 พบว่ามีการนำเข้าน้ำแอปเปิลลดลงและมีการส่งออกเพิ่มมากขึ้นถึง 4,000 ตันต่อปีนั่นหมายความว่าน้ำแอปเปิลกำลังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและตลาดต่างประเทศ ดังนั้นการนำแอปเปิลสดมาแปรรูปเป็นน้ำแอปเปิลจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ และในกระบวนการผลิตน้ำแอปเปิลนั้นมีวิธีการสกัดเพื่อทำให้ได้น้ำแอปเปิล น้ำแอปเปิลที่ได้จากการสกัดจะมีความเข้มข้นสูง สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ เช่น แยม ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม น้ำแอปเปิลแบบผสม เป็นต้น อีกทั้งยังเก็บไว้ได้นาน และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับแอปเปิลสดเมื่อหมดฤดูกาล [2]

การสกัดน้ำแอปเปิลมีหลายวิธี เช่น วิธีเชิงกล วิธีชีวภาพ ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นวิธีการสร้างความเสียหายให้แก่ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อจึงทำให้ได้ปริมาณน้ำสูงและลดระยะเวลาในการสกัด แต่ทั้ง 2 วิธีจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในกระบวนการผลิต จึงทำให้มีใช้พลังงานสูงและเป็นทำลายคุณภาพของน้ำผลไม้เนื่องจากผลของความร้อน เช่น สูญเสียวิตามิน เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่น เป็นต้น [3] แต่ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีใหม่ที่เพิ่งนำมาใช้ในการสกัดน้ำผลไม้และสารอาหารจากผัก คือ สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulsed Electric Field, PEF) ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้เกิดรูรั่วของเยื่อหุ้มเซลล์ จึงทำให้น้ำผลไม้หรือสารอาหารต่างๆ ซึมออกมาได้ง่าย ข้อได้เปรียบของการใช้ PEF นั่นคือการไม่ใช้ความร้อนในการสกัด จึงทำให้ช่วยประหยัดพลังงานและไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณภาพซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในกระบวนการผลิต นอกจากนี้การใช้ PEF ยังเป็นประโยชน์สำหรับการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย [3]–[6] ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของแต่ละวิธีการสกัด

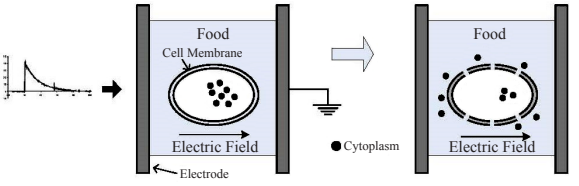
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของแต่ละวิธีการสกัด

วิธีการสกัด	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อจำกัด
วิธีทางกล	- ส่วนของน้ำผลไม้ไหลซึมออกมาในปริมาณมาก - สารอาหาร สารให้กลิ่นรส และสีอยู่ครบถ้วน - ใช้ระยะเวลาสั้น - กรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อน	- เหลือปริมาณน้ำที่ติดกากผลไม้สูง - ค่าใช้จ่ายสูงในเรื่องของอุปกรณ์ และเครื่องจักร	- เหมาะกับผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมากและมีลักษณะภายนอกที่เต่ง
วิธีทางชีวภาพ	- เป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด - ใช้ร่วมกับวิธีทางกลได้ - น้ำผลไม้ที่ได้มีลักษณะข้น	- ได้ปริมาณน้ำผลไม้น้อย - ใช้ระยะเวลานาน	- เหมาะกับผลไม้ที่มีปริมาณน้ำน้อยและมีเซลล์เนื้อเยื่อขนาดเล็กหรือเส้นใยที่มีลักษณะสั้น มีสารที่ละลายได้ในลักษณะคอลลอยด์
วิธีสนามไฟฟ้าแบบพัลส์	- ไม่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่มีเนื้อผลไม้ติดมา - เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้ความร้อนในการสกัด ทำให้ช่วยประหยัดพลังงาน	- มีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องทำการควบคุมเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยีนี้ทำการสกัด - ใช้เงินลงทุนสูง	- ในด้านการออกแบบทั้งระบบ เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการผลิตในปริมาณมาก - การออกแบบห้องสกัดที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า

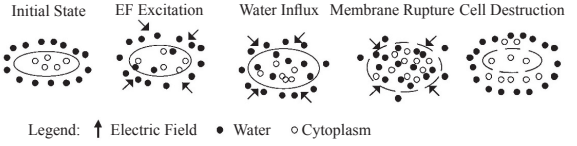
บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลในการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีผสมผสานในการสกัดน้ำผลไม้แบบการใช้พลังงานต่ำหรือแบบไม่ใช้ความร้อน และสามารถออกแบบชุดสกัดน้ำจากแอปเปิลสดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลเพื่อเป็นต้นแบบในการสกัดน้ำจากแอปเปิลสดระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้พลังงานต่ำ ไม่ทำลายคุณสมบัติของน้ำแอปเปิล และเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบมีราคาไม่แพง สามารถหาได้ภายในประเทศเพื่อช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ ทำให้ได้อุปกรณ์ที่มีราคาถูกกว่าและสามารถแข่งขันได้กับต่างประเทศซึ่งเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคทางด้านคุณภาพของอาหาร

2. หลักการอิเล็กโทรโพเลชัน

รูปที่ 1 แสดงหลักการอิเล็กโทรโพเลชัน (Electropolation) ที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางซ้อนกันโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ให้กับขั้วหนึ่งและให้อีกขั้วหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกราวด์ (Ground) โดยการสกัดน้ำผลไม้ด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์คือการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ในผลไม้ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพเลชันซึ่งเป็นกระบวนการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์โดยการเพิ่มค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) และค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการเพิ่มค่าความนำไฟฟ้าและสภาพยอมไฟฟ้าของเยื้อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์ หรือเป็นช่วงเวลาเกิดจากการจ่ายพัลส์แรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength) สูงประมาณ 3–5 กิโลโวลต์/เซนติเมตร และมีลักษณะเป็นพัลส์ในช่วงประมาณ 10 ns ถึง 20 μs ซึ่งสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่มีความเข้มสูงนี้จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าสูงเกินกว่าค่าความคงทนของไดอิเล็กตริก (Dielectric Strength) ของ



รูปที่ 1 หลักการอิเล็กโทรโพเลชัน [7]



รูปที่ 2 ลำดับขั้นของการอิเล็กโทรโพเลชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์ [7]

เยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดรูพรุน (Pores) เล็กๆ จำนวนมากขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโทรโพเลชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์ของจุลลินทรีย์แสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์สามารถคำนวณได้จาก [7]

$$V_{\text{cell}} = f r_{\text{cell}} E_{\text{cell}} \tag{1}$$

เมื่อ V_{cell} คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมที่เยื่อหุ้มเซลล์ f คือค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเซลล์ r_{cell} คือรัศมีวงนอกสุดของเยื่อหุ้มเซลล์ และ E_{cell} คือค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนจะทำให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกเซลล์กับไซโทพลาซึม (Cytroplasm) ซึ่งเป็นของเหลวภายในเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นและนำไปสู่การเบรกดาวน์ของเยื้อหุ้มเซลล์การเกิดรูพรุนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์อันเนื่องมาจากความเครียดสนามไฟฟ้า รูพรุนที่เกิดขึ้นมีผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลสารเข้าออกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เท่านั้น เซลล์ไม่ถูกทำลายมาก ประยุกต์ใช้กับการเตรียมขั้นต้นก่อนการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสได้ โดยพลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น ความนำไฟฟ้า อัตราการไหลของอาหารเหลวและความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งในทางทฤษฎี

สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ที่ใช้ในการสร้างพัลส์สนามไฟฟ้าของห้องฆ่าเชื้อได้จากสมการ [7]

$$P_{max} = 2k\pi\sigma E^2\left(\frac{Q}{\pi v}\right)^{3/2} \quad (2)$$

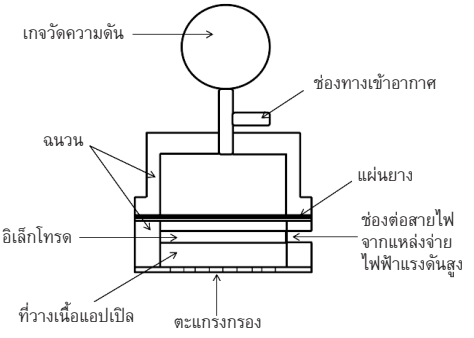
เมื่อ P_{max} คือกำลังไฟฟ้าสูงสุด Q คืออัตราการไหลของอาหารเหลว E คือความเข้มสนามไฟฟ้าของห้องฆ่าเชื้อ σ คือค่าความนำไฟฟ้าของอาหารเหลว v คือความเร็วในการไหลอาหารเหลวและ k คือสัดส่วนของความยาว (L) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของห้องสกัดคือ

$$k = \frac{L}{D} \quad (3)$$

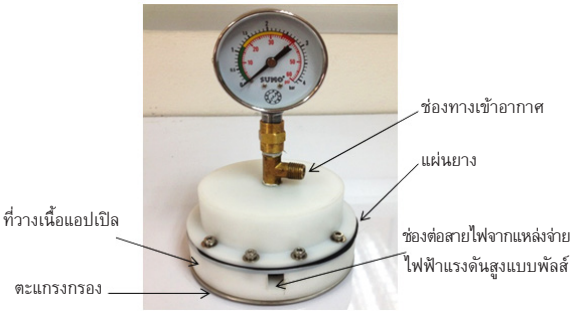
3. ระเบียบวิธีการทดลอง

3.1 ห้องสกัดสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลที่พัฒนาขึ้น

ห้องสกัดที่ออกแบบนี้เป็นแบบกะ (Bath) จะต้องสามารถสกัดน้ำจากแอปเปิลสดได้ โดยใช้ความเข้มสนามไฟฟ้า 6 กิโลโวลต์/เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ และกระแสไฟฟ้า 5, 7.5 และ 10 แอมแปร์ และการบีบอัดเชิงกลที่ความดัน 1.5 บาร์ โดยห้องสกัดต้นแบบจะต้องสามารถถอดประกอบและติดตั้งได้ง่าย มีราคาต้นทุนในการสร้างถูก และนอกจากนี้ห้องสกัดที่ออกแบบจะต้องมีความปลอดภัยในการใช้งานและมีการบำรุงรักษาต่ำ โดยอันตรายอันดับแรกที่จะเกิดขึ้นจากห้องสกัดเองคือ เนื่องจากไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่ด้านในเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเครียดสูงภายในห้องสกัด อันตรายจากไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าวสามารถทำให้ลดลงได้โดยการทำฉนวนไฟฟ้าทั้งสายไฟฟ้าแรงสูงและจุดที่มีการเชื่อมต่อกัน การแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใดๆ ออกจากกัน และการใช้วัสดุฉนวนที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟฟ้าและการลัดวงจรไฟฟ้าในขณะปฏิบัติงาน รูปที่ 3 แสดงลักษณะโครงสร้างของต้นแบบ



(ก) ภาพตัดขวางด้านหน้าของห้องสกัดที่สร้างขึ้น



(ข) ภาพถ่ายของห้องสกัดที่สร้างขึ้น

รูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างของต้นแบบห้องสกัดสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลที่สร้างขึ้น

ห้องสกัดสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลที่สร้างขึ้น โดยลักษณะของการออกแบบห้องสกัดจะมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกเนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยห้องสกัดที่ออกแบบประกอบด้วยอิเล็กโทรดทำจากสแตนเลสเกรด 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 88 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร

สำหรับการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด ซึ่งการออกแบบแผ่นอิเล็กโทรดจะต้องให้พื้นผิวถูกขัดให้มีความเรียบและเงางามอย่างสมบูรณ์ซึ่งถ้ามีลอยขีดหรือพื้นผิวไม่สมบูรณ์จะมีผลทำให้เส้นสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดการเบรกดาวน์ได้ง่าย โดยภายในห้องสกัดนี้มีช่องสำหรับต่อขั้วไฟฟ้าขั้วบวกเข้ากับอิเล็กโทรดขนาด 15 มิลลิเมตร โดยภาพถ่ายของห้องสกัดสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3 (ข)

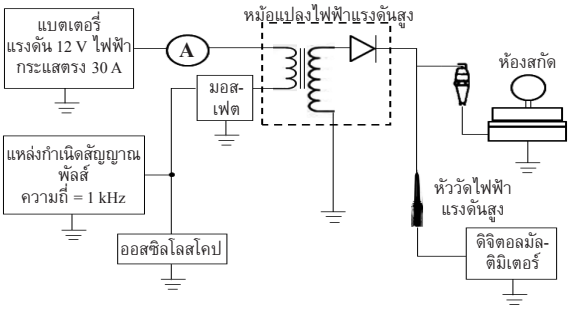
รูปที่ 4 ตัวอย่างชิ้นแอปเปิลสำหรับทดสอบ

3.2 ตัวอย่างชิ้นแอปเปิลสำหรับทดสอบ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบกับแอปเปิลพันธุ์ฟูจิ ขนาดน้ำหนักประมาณ 100–120 กรัม โดยนำแอปเปิลสดตัดให้เป็นชิ้นขนาด 2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาณ 120 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4

3.3 การทดสอบการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด

รูปที่ 5 แสดงไดอะแกรมการทดสอบการสกัดน้ำจากแอปเปิลสดที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสูงพัลส์ หัววัดไฟฟ้าแรงดันสูง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ห้องสกัดที่พัฒนาขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงพัลส์สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าขาออกขั้วบวกได้ในช่วง 10–30 กิโลโวลต์ และมีความถี่อยู่ในช่วง 10–30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบการสกัดน้ำจากแอปเปิลสดด้วย PEF โดยการนำชิ้นแอปเปิลที่หั่นปริมาณ 120 กรัม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนปริมาณเท่ากัน ส่วนแรกทำการทดลองโดย PEF ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลตามขอบเขตที่กำหนดในตารางที่ 1 และในส่วนที่ 2 ทำการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียวที่ความดัน 1.5 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติและปริมาณของน้ำแอปเปิลระหว่าง 2 การทดลอง นำน้ำแอปเปิลที่ผ่าน PEF และไม่ผ่าน PEF มาทำการตรวจวิเคราะห์สี โดยใช้เครื่องวัดสี (Color Meter) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid: TSS) โดยใช้อุปกรณ์วัด



รูปที่ 5 ไดอะแกรมการทดสอบการสกัดน้ำจากแอปเปิลสดสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกล

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Refractometer) วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดสอบการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด

เงื่อนไขในการทดสอบ	ค่าที่กำหนด
แรงดันไฟฟ้า	10 กิโลโวลต์
กระแสไฟฟ้า	5.0 7.5 10.0 แอมแปร์
ความถี่	1 กิโลเฮิรตซ์
ขั้วไฟฟ้า	ขั้วบวก
ความดัน	1.5 บาร์
ระยะเวลา	10, 15 และ 20 นาที
น้ำหนักของแอปเปิล	120 กรัม

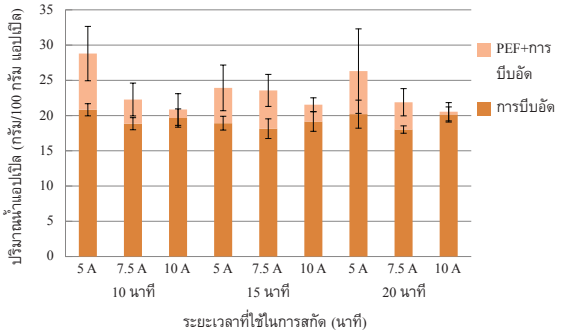
โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) วิเคราะห์ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ของเนื้อแอปเปิล โดยการถ่ายภาพและนำมาเปรียบเทียบกัน ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการทดสอบการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ปริมาณน้ำแอปเปิลที่ได้จากการสกัด

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณของน้ำแอปเปิลที่ได้จากการสกัดโดยการใช้ PEF ร่วมกับการบีบอัดเชิงกล จากตารางพบว่ามีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการสกัดโดยใช้วิธีการบีบอัดเชิงกลเพียงวิธีเดียว โดยการใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับการบีบอัดเชิงกลจะทำให้มีปริมาณน้ำ

เพิ่มขึ้นจากการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียวสูงสุดประมาณ 39.5% ที่กระแสไฟฟ้า 5 แอมป์และระยะเวลา 5 นาที และมีปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียวต่ำสุดประมาณ 1.95% กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์และระยะเวลา 20 นาที การจ่าย PEF ให้กับอิเล็กโทรดซึ่งสัมผัสกับเนื้อแอปเปิลจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตที่จะทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรู ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น [7] ทำให้มีน้ำแอปเปิลไหลซึมออกมามากกว่าวิธีการสกัดที่ไม่ใช้ PEF แสดงว่าการใช้ PEF ในการสกัดน้ำแอปเปิลส่งผลให้ปริมาณน้ำแอปเปิลเพิ่มขึ้น [9] ในกรณีการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียวจะสังเกตได้ว่าปริมาณของน้ำแอปเปิลจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาในการบีบอัดเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 6 กระแสไฟฟ้า 5.0 และ 7.5 แอมแปร์ จะสังเกตเห็นปริมาณน้ำแอปเปิลที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้า 10.0 แอมแปร์ ปริมาณน้ำแอปเปิลนั้นเพิ่มขึ้นน้อยมากเนื่องจากเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดเนื้อแอปเปิลที่สัมผัสกับอิเล็กโทรด



รูปที่ 6 ปริมาณน้ำแอปเปิลต่อระยะเวลาการสกัดที่กระแสไฟฟ้าต่าง ๆ

นั้นเกิดการแห้งติดกับอิเล็กโทรดซึ่งอาจเกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์ของเนื้อแอปเปิลนั้นมีการสะสมประจุไฟฟ้ามากในระยะเวลารวดเร็วจนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงมากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตอย่างมากจนทำให้เกิดการทำลายที่เยื่อหุ้มเซลล์อย่างถาวรเกิดเป็นรูขนาดใหญ่จึงอาจทำให้เกิดการดึงน้ำออกจากเซลล์ของเนื้อแอปเปิลส่งผลให้น้ำแห้งหรือระเหยออกไป [8] ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดอาจจะไม่ส่งผลต่อการสกัดมากนักเนื่องจากปริมาณน้ำแอปเปิลที่ได้ในแต่ละกระแสไฟฟ้ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

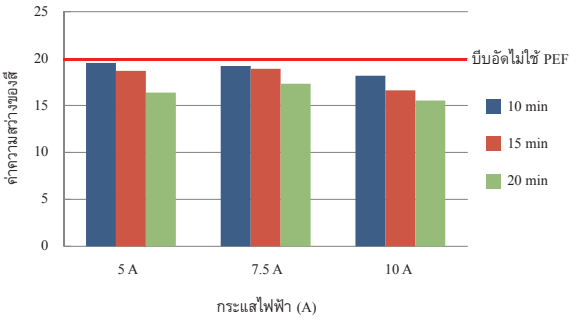
ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำแอปเปิลจากการสกัดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลและการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกลไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ระยะเวลา (นาที)	น้ำแอปเปิลจากวิธี PEF ร่วมการบีบอัดเชิงกล (กรัม/100 กรัม แอปเปิล)	น้ำแอปเปิลจากวิธีบีบอัดเชิงกล (กรัม/100 กรัม แอปเปิล)	ผลต่างของปริมาณน้ำแอปเปิล (กรัม/100 กรัม แอปเปิล)
5.0	10	28.80±3.86	20.82±0.87	7.98±3.15
	15	23.93±3.24	18.91±0.98	5.02±3.40
	20	26.31±5.99	20.20±1.99	6.11±6.23
7.5	10	22.28±2.33	18.84±0.85	3.44±1.68
	15	23.57±2.27	18.14±1.40	5.43±3.62
	20	21.89±1.93	18.02±0.52	3.87±1.60
10.0	10	20.86±2.25	19.65±1.30	1.21±3.20
	15	21.54±0.98	19.15±1.39	2.39±1.21
	20	20.54±1.30	20.15±1.07	0.39±2.17

4.2 ค่าสี

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่างของสีน้ำแอปเปิลระหว่างวิธีการสกัดที่ใช้ PEF ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลและการบีบอัดเชิงกลโดยไม่ใช้ PEF จากตารางที่ 3 พบว่าน้ำแอปเปิลจากการบีบอัดเชิงกลโดยไม่ใช้ PEF มีค่าความสว่างของสีสูงกว่าน้ำแอปเปิลที่ใช้ PEF ซึ่งอาจเนื่องจากการใช้ PEF มีผลทำให้การเสื่อมสลายของสีน้อยกว่าการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียวซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Loginova และคณะ [10]

แต่จากงานวิจัยของ Xiufang และคณะ [9] ที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มสนามไฟฟ้าที่มีต่อน้ำแอปเปิลโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์พบว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างของสีน้ำแอปเปิลสูงขึ้น โดยปกติทั่วไปแล้วค่าความสว่างของสีสังเกตได้จากอนุภาคแขวนลอยที่ไม่ละลายบางส่วนตกตะกอนอยู่ในน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีนั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับเอนไซม์ เช่น Peroxidase (POD) และ Polyphenol Oxidase (PPO) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและเป็นสาเหตุของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ Xiufang และคณะ [9] สรุปว่าการรักษาสีของน้ำแอปเปิลอาจจะเนื่องมาจากยับยั้งของ PPO และ POD



รูปที่ 7 ค่าความสว่างของสีน้ำแอปเปิลที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ

โดย PEF จากการทดลองนั้นได้ผลตรงข้ามอาจเนื่องจากเนื้อแอปเปิลที่ใช้ในการทดลองนั้นสัมผัสกับอากาศในระหว่างการเตรียมและการทดลองจึงทำให้สีของเนื้อแอปเปิลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของเอนไซม์ Polyphenol Oxidase จากรูปที่ 7 กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ระยะเวลาการสกัด 10 นาที พบว่า ค่าความสว่างของสีใกล้เคียงกับน้ำแอปเปิลที่บีบอัดโดยไม่ใช้ PEF มากกว่าที่สภาวะอื่น และที่ระยะเวลาการสกัด 10 นาที ในทุกกระแสไฟฟ้ามีค่าความสว่างของสีสูงกว่าที่ระยะเวลาอื่นเนื่องจากระยะเวลาการสกัดสั้นจะทำให้เนื้อแอปเปิลมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าต่ำและสัมผัสกับออกซิเจนน้อย ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ตารางที่ 3 ค่าสีของน้ำแอปเปิลที่ได้จากการสกัดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลและการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกลไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ระยะเวลาการสกัด (นาที)	ค่าสีระบบ CIE					
		L		a		b	
		PEF	ไม่ใช้ PEF	PEF	ไม่ใช้ PEF	PEF	ไม่ใช้ PEF
5.0	10	19.53±0.16	19.83±0.05	4.93±0.47	4.44±0.19	9.90±0.48	9.37±0.10
	15	18.69±0.46	19.64±0.19	4.93±0.41	4.53±0.19	9.24±0.33	9.42±0.17
	20	16.37±0.17	20.0.2±0.24	4.67±0.26	4.35±0.16	6.65±0.57	9.00±0.36
7.5	10	19.21±0.34	20.07±0.15	4.31±0.21	4.87±0.29	9.57±0.29	9.05±0.26
	15	18.91±0.76	19.65±0.20	4.00±0.31	4.44±0.22	7.78±0.23	9.28±0.15
	20	17.32±0.40	19.71±0.21	4.22±0.22	4.30±0.35	8.62±0.30	9.67±0.54
10.0	10	18.17±0.33	19.50±0.29	4.44±0.16	4.89±0.25	7.95±0.25	8.41±0.58
	15	16.61±0.34	19.75±0.04	4.24±0.20	4.35±0.34	6.25±0.22	9.33±0.19
	20	15.53±0.31	20.08±0.32	4.65±0.22	4.32±0.22	6.02±0.13	8.73±0.26

4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

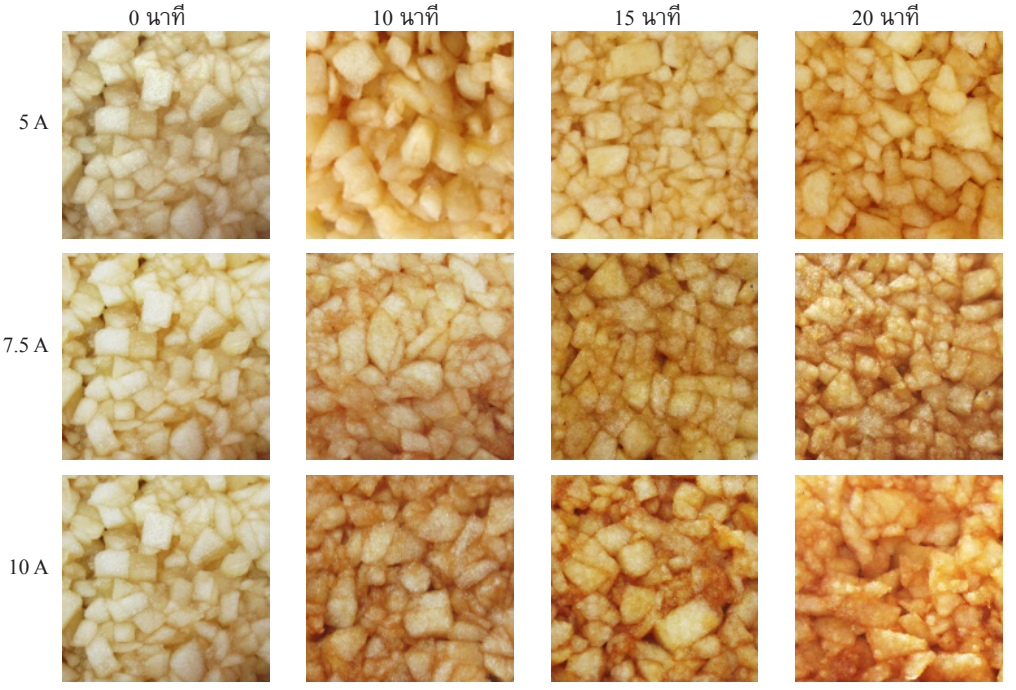
จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของน้ำแอปเปิลที่ผ่านการสกัดโดยการใช้ PEF ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลและบีบอัดโดยไม่ใช้ PEF จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแอปเปิลที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ระหว่าง 4.05±0.04 – 4.62±0.08 และ 11.13±0.15 – 11.58±0.14 ตามลำดับ แต่ปริมาณน้ำแอปเปิลจากการสกัดที่กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์มีปริมาณน้ำน้อยจึงควรที่จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแอปเปิลมากกว่าที่สภาวะอื่นความผิดพลาดอาจเกิดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคือ Refracto-Meter ซึ่งเครื่องมือนี้มีค่าในการวัดที่ไม่ละเอียด แต่จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่า PEF ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแอปเปิล ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือ pH ยังเป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ของน้ำแอปเปิล ซึ่งจากการทดลองนี้ได้น้ำแอปเปิลที่มีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอยู่ระหว่าง 4.05±0.04 – 4.54±0.17 แสดงว่าน้ำแอปเปิลที่ได้จากการสกัดมีค่าความเป็นกรดเพราะความเข้มข้นไฮโดรเนียมไอออนมีมากกว่า 10^{-7} โมลต่อลิตร

4.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิล

เนื้อแอปเปิลที่ผ่านการสกัดโดยการใช้ PEF จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งที่กระแสไฟฟ้า 5.0 แอมแปร์ เนื้อแอปเปิลจะมีสีที่ใกล้เคียงกับแอปเปิลสดมากที่สุด แต่ที่กระแสไฟฟ้า 7.5 และ 10.0 แอมแปร์ เนื้อแอปเปิลจะมีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นตามลำดับ แสดงว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นเนื้อแอปเปิลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น และจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าสีของเนื้อแอปเปิลในแต่ละระยะเวลาค่อนข้างจะใกล้เคียงกันดังรูปที่ 8 ทั้งนี้ Grimi และคณะ [3] ได้วิเคราะห์ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิลก่อนและหลังการจ่าย PEF พบว่า PEF ช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิล เนื่องจากเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้นระหว่างเนื้อแอปเปิลกับกระแสไฟฟ้าและออกซิเจนจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของเอนไซม์ Polyphenol Oxidase เปลี่ยน Phenol ไปเป็น Quinone จากนั้น Quinone อาจมีการเกิดปฏิกิริยาต่ออีกซึ่งจะทำให้เกิดการก่อตัวของเม็ดสี (Pigments) [11] นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิลอาจเกิดจากระยะเวลาการสกัดและการหั่น เนื่องจากระยะเวลาการสกัดนานทำให้เนื้อแอปเปิลมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นทำให้เอนไซม์ในเซลล์ของเนื้อแอปเปิลทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งเอนไซม์จะเป็นโปรตีนที่มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีทำให้

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแอปเปิลที่ได้จากการสกัดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลและการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกลไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ระยะเวลาการสกัด (นาที)	pH		TSS (°Brix)	
		PEF	ไม่ใช้ PEF	PEF	ไม่ใช้ PEF
5	10	4.10±0.08	4.18±0.10	11.33±0.58	11.32±0.03
	15	4.05±0.04	4.57±0.08	11.37±0.23	11.27±0.03
	20	4.13±0.05	4.52±0.17	11.13±0.15	11.22±0.03
7.5	10	4.40±0.11	4.49±0.11	11.17±0.58	11.35±0.05
	15	4.14±0.14	4.62±0.08	11.17±0.29	11.28±0.03
	20	4.32±0.10	4.40±0.16	11.23±0.25	11.37±0.03
10	10	4.54±0.17	4.15±0.16	11.58±0.14	11.25±0.05
	15	4.27±0.09	4.52±0.09	11.17±0.29	11.37±0.03
	20	4.42±0.12	4.59±0.09	11.25±0.25	11.23±0.03



รูปที่ 8 ภาพถ่ายของเนื้อแอปเปิลที่สัมผัสกับกระแสไฟฟ้าที่ระยะเวลาต่างกัน

เนื้อของแอปเปิลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงส่งผลให้น้ำแอปเปิลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลด้วย

5. สรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลในการสกัดน้ำจากแอปเปิลสด โดยกำหนดให้ใช้ความดันคงที่ 1.5 บาร์ บีบอัด 5 นาที ในทุกสภาวะการทดลอง ในการศึกษาการสกัดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์กำหนดกระแสไฟฟ้า 5, 7.5 และ 10 แอมแปร์ และระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกระแสไฟฟ้าคือ 10, 15 และ 20 นาที ผลที่ได้เปรียบเทียบกับการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียว พบว่าการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกลส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำแอปเปิลสูงกว่าการไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์หรือการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียวและปริมาณน้ำแอปเปิลที่สกัดได้มีค่าสูงสุดที่กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ระยะเวลา 10 นาที ปริมาณน้ำแอปเปิลที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 7.98±3.15 กรัมต่อ 100 กรัม แอปเปิล และมีค่าความสว่างของสีที่ใกล้เคียงกับน้ำแอปเปิลที่สกัดโดยไม่ใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์หรือการบีบอัดเชิงกลอย่างเดียว จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเนื้อแอปเปิลที่สภาวะดังกล่าวยังมีลักษณะสีที่ใกล้เคียงกับแอปเปิลสด สนามไฟฟ้าแบบพัลส์มีผลต่อค่าความสว่างของสีน้ำแอปเปิล แต่ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สนามไฟฟ้าแบบพัลส์และระยะเวลาการสกัดมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิล และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดจะสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงและระยะเวลาการสกัดนาน

ในการพัฒนาระบบการสกัดน้ำผลไม้โดยการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นควรจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีขนาดใหญ่หรือมีกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น และควรมีการพัฒนาในเรื่องของการออกแบบและวัสดุที่ใช้ในการสร้างเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานได้จริงในระดับอุตสาหกรรม สามารถถอดชิ้นส่วนประกอบเพื่อเตรียมการทดลองและทำความสะอาดได้อย่างสะดวก

กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการผลิตงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (รหัสโครงการ HRL-026) ขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิต ในงานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบทั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Poonsri, S. Supatarapan, O. Tantavirut, N. Tumrunglaohapan, and S.Vasir, *Promotion Handbook of the Fruit for the High (Deciduous Species)*, Bangkok: Kasetsart University, 1982.

[2] Bangkok Business Online. (2011, November 23). FTA Apple boosted its consumption jumped 9 billion. Bangkok Business Media Limited [Online]. Available from: http://www.bangkokbiznews.com

[3] G. Nabil, M. Fatine, L. Nikolaï, V. Eugène, and V. Jean, "Impact of apple processing modes on extracted juice quality: pressing assisted by pulsed electric fields," *Journal of Food Engineering*, vol. 103, pp. 52–61, 2011.

[4] P. Iurie, L. Nikolaï, V. Eugene, and M. P. Martine, "Pulsed electric field enhanced expression and juice quality of white grapes," *Separation And Purification Technology*, vol. 52, pp. 520–526, 2007.

[5] M. I. Bazhal, N. I. Lebovka, and E. Vorobiev, "Pulsed electric field treatment of apple tissueduring compression for juice extraction," *Journal of Food Engineering*, vol. 50, pp. 129–139, 2001.

[6] G. C. Schafran, J. F. Kolb, A. Stubbins, and K. H. Schoenbach, "System and method for high-voltage pulse assisted aggregation of algae," U.S. Patent 8 772 004 B2, 2014.

[7] J. P. Clark, "Pulsed electric field processing," *Food Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 66 – 67, 2006.

[8] P. Panmanee and V. Yuenyongputtakar, "The effects of the high electric field strength on beat in the prepared coconut initially before pulling out the water values by osmosis and mass transfer and the index rupture of membranes," in *14th The Graduate Research Conference, King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 2009.

[9] B. Xiufang, L. Fengxia, R. Lei, L. Jing, L. Bingjing, L. Xiaojun, and W. Jihong, "Effects of electric field strength and pulse rise time on physicochemical and sensory properties of apple juice by pulsed electric field," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 17, pp. 85–92, January 2013.

[10] K. V. Loginova, N. I. Lebovka, and E. Vorobiev, "Pulsed electric field assisted aqueous extraction of colorants from red beet," *Journal of Food Engineering*, vol. 106, pp. 127–133, 2011.

[11] H. Özoğlu and A. Bayındırlı, "Inhibition of enzymic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents," *Food Control*, vol. 13, pp. 213–221, June–July 2002.