

เครื่องกระตุ้นซากสัตว์ด้วยไฟฟ้า Electrical Stimulator for Cattle Carcass

อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ¹ และ วริษฐ์ ธรรมศิริโรจน์²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประดิษฐ์และทดสอบการใช้งานเครื่องกระตุ้นซากสัตว์ด้วยไฟฟ้า เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัตว์ให้มีความนุ่มของเนื้อได้เร็วกว่าการบ่มซากทั่วไป เครื่องต้นแบบที่สร้างใช้วงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตช์ มีแรงดันเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับบวกลบแบบสี่เหลี่ยม ความถี่ 12 เฮิร์ตซ์ ± 300 โวลต์ 5 แอมแปร์ โดยทำการทดลองกับโคขุน 15 ตัว อายุเฉลี่ยประมาณ 1.9 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 485 กิโลกรัม และน้ำหนักซากเฉลี่ย 332.73 กิโลกรัม ทำการแบ่งซากเป็น 2 ซีก ซีกหนึ่งไม่กระตุ้น อีกซีกการกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าขนาด 300 โวลต์ ทำการกระตุ้น 3 นาที ภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงหลังสัตว์ตาย และทำการบ่มในห้องเย็นอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดค่า pH และอุณหภูมิซากที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ผลปรากฏว่า การกระตุ้นซากมีผลต่อการลดลงของค่า pH อย่างรวดเร็ว โดยจะต่ำกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น ส่วนอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้จะถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้าก็ตาม

คำสำคัญ : การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า, ซากสัตว์, สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

Abstract

An electrical stimulator for cattle carcass used in the improvement of quality of meat was constructed and tested. The stimulator is a full-bridge inverter, which IGBTs used as the switching devices. The prototype can supply 12 Hz square-wave voltage with the amplitude of ± 300 V and 5 A rated current. The experiment was conducted to the effect of electrical stimulation (ES) on postmortem muscle pH and temperature. Fifteen Brahman steers, 1.9 years old, 485 kg average and 332.73 kg carcass-average, were studied in this research. Each cow was slaughtered and spitted longitudinally into two sides. One side was not stimulated, but the other was electrically stimulated within 1 hour postmortem before chilling. The ac voltage was 300 V supplying for 3 minutes. Every stimulated side was measured for pH and temperature at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 and 24 hours postmortem. Each carcass from ES is much lower muscle pH than that from non ES. However, the electrical stimulation had no influence on postmortem muscle temperature.

Keywords : electrical stimulation, cattle carcass, switching power supply

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

การบริโภคเนื้อโคมีความนิยมกันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะผู้บริโภคจะคำนึงถึง สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความนุ่มของเนื้อ เนื้อที่มีความนุ่มมากแม้จะมีราคาแพง แต่ผู้บริโภคยอมเสียเงินเพิ่มเพื่อซื้อบริโภคเนื้อโคเป็นเนื้อที่มีปัญหาเรื่องความนุ่ม เนื่องจากเป็นสัตว์ใหญ่ ใช้เวลาเลี้ยงนาน ประกอบกับลักษณะของเส้นใยกล้ามเนื้อค่อนข้างหยาบจึงทำให้เหนียวมากกว่าสัตว์อื่น แม้ว่าปัจจุบันจะมีการนำโคอายุน้อยมาขุนด้วยอาหารชั้นเพื่อลดระยะเวลาในการเลี้ยงก่อนส่งโรงฆ่า เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพเนื้อแต่ก็ยังมีความเหนียวมากกว่าเนื้อสัตว์อื่น ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันสามารถที่จะเพิ่มความนุ่มของเนื้อได้ โดยวิธีการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวกระตุ้นชากภายหลังสัตว์ตาย ไม่เกินหนึ่งชั่วโมง เพื่อลดระยะเวลาการแช่แข็ง และประหยัดค่าใช้จ่ายในการแช่เย็น การวิจัยนี้จึงได้ ทำการสร้างเครื่องกระตุ้นชาก เพื่อลดการสังเขจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง และเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อค่า pH และอุณหภูมิของชาก ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพเนื้อ [1-2]

2. หลักการกระตุ้นชากด้วยไฟฟ้า

หลักการโดยทั่วไปของการกระตุ้นชากด้วยไฟฟ้า คือ จะช่วยเพิ่มความนุ่มของเนื้อสัตว์ขึ้น โดยความนุ่มที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นจากการหดตัวอย่างรุนแรงของกล้ามเนื้อ ทำให้โครงสร้างของกล้ามเนื้อเกิดการแตกหักและอ่อนแอลง [3] โดยจะเร่งการสลายไกลโคเจน และ creatin phosphates ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะสมในกล้ามเนื้ออย่างมากทำให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็วเข้าสู่ rigor mortis เร็วขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะการเกร็งตัว (rigor mortis) ของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ถูกฆ่าให้เร็วขึ้น และลดระยะเวลาการเก็บบ่มชากที่แช่ในห้องแช่เย็น จะทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบ่มชากในห้องเย็น และเพื่อจะได้ความนุ่มของเนื้อเร็วขึ้น

รูปแบบการกระตุ้นชากด้วยไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

2.1 แรงดันต่ำ

ระดับแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 20-90 V กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 1 A การกระตุ้นใช้เวลาไม่เกิน 20 วินาที โดยการกระตุ้นต้องทำทันทีหลังเอาเลือดออก เนื่องจากการกระตุ้นด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำต้องอาศัยการกระตุ้นกล้ามเนื้อผ่านระบบประสาทที่ยังทำงานอยู่

2.2 แรงดันสูง

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ระหว่าง 500-700 V กระแสไฟฟ้าใช้มากกว่า 5 A ระยะเวลาการกระตุ้นไม่เกิน 90 วินาที การกระตุ้นจะต้องทำภายในเวลา 60 นาที หลังจากแทงคอเอาเลือดออกจากชาก การกระตุ้นชากด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงนี้ เป็นการกระตุ้นกล้ามเนื้อโดยตรง [2-4]

ในการกระตุ้นทั้งสองระบบ จะมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงสั้นๆ เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างรุนแรง และช่วงที่ไม่ได้จ่ายแรงดันไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะคลายตัวสู่สภาวะเดิม

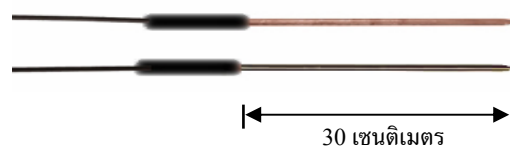
การใช้แรงดันไฟฟ้าสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่า [4] และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกระตุ้นชากได้ดีกว่าแบบแรงดันต่ำ ดังนั้นการสำรวจจริงในที่นี้จะพิจารณาออกแบบที่แรงดันสูง แต่เอกสารในการทดสอบ [3-4] ได้จากการทดสอบวัวที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักชากมาก โดยเฉลี่ย 387.2 กิโลกรัม กระแสไฟฟ้าในการทดสอบไม่เกิน 3 A

แต่ถ้าทำการทดสอบวัวในประเทศไทยซึ่งวัวมีขนาดเล็กกว่า และน้ำหนักเบาว่า ในที่นี้น้ำหนักชากเฉลี่ย 332.73 กิโลกรัม (ทดลอง 15 ตัว) จะทำให้กระแสไฟฟ้าทดสอบสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากมีขนาดเล็ก และพื้นที่หน้าตัดชากน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามไม่น่าเกิน 5 A ขณะเดียวกันผู้วิจัยมีความคิดว่า สามารถทำการทดสอบด้วยแรงดันต่ำกว่า 500 V ได้ โดยในการออกแบบแรงดันไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายไฟให้อินเวอร์เตอร์ โดยไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าประมาณ 300 V (ซึ่งได้จากการเรียงกระแสจากระบบไฟฟ้า 220 V, 50 Hz) จากการทดสอบได้ค่ากระแสสูงสุดไม่ถึง 5 A

3. รายละเอียดของเครื่องกระตุ้นชาก

3.1 แท่งกระตุ้นชากด้วยไฟฟ้า

แท่งกระตุ้นไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการกระตุ้นชาก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 ประกอบด้วยแท่งทองแดง (กราวด์รอต) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร และมีความยาว 30 เซนติเมตร 1 แท่ง และแท่งเหล็กชุบสังกะสี (ปลายแหลม คล้ายกราวด์รอต) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร มีความยาว 30 เซนติเมตร 1 แท่ง โดยแท่งทั้งสองจะมีปลอกหุ้มด้านเดียวเพื่อเป็นฉนวน และต่อขั้วไฟเข้าด้วย



รูปที่ 1 แท่งกระตุ้นชาก

3.2 รูปคลื่นไฟฟ้า

เอกสารต่าง ๆ ที่ได้จากการค้นคว้าส่วนใหญ่จะอ้างถึงคุณภาพเนื้อจากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแต่ไม่ได้กล่าวอ้างถึงการสร้างเครื่องกระตุ้นชาก ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการทดลองหารูปคลื่นที่เหมาะสม สำหรับการกระตุ้นชาก โดยเริ่มจาก การทดลองสอดแท่งกระตุ้นเข้าทางตัวเนื้อทั้งสองด้านทางแนวตั้งของชาก ต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 300 V ปรากฏว่าชากมีอาการเกร็ง (หดตัว) มากในช่วงแรกที่มีการกระตุ้นเท่านั้น และไม่มีอาการคลายตัวของกล้ามเนื้อชาก ซึ่งจะส่งผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อของชากไม่มีการฉีกตัวหรือสลายตัวได้ช้า จึงได้ทำการทดลองวัดความต้านทานของเนื้อชาก โดยสังเกตผลของโอห์มมิเตอร์แบบเข็ม ตอนแรกเข็มจะกระดิกมาก และคงค่านั้นไว้ ใช้เวลานานเป็นชั่วโมงที่เข็มจะค่อย ๆ ลดลงเป็นศูนย์ ดังนั้นการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงกระตุ้นชากนั้น จะทำให้อัตราการฉีกตัวของชากค่อนข้างช้า เนื่องจากไม่มีการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ จึงเปลี่ยนมาใช้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ เมื่อทำการวัดความต้านทานของชาก ตอนแรกเข็มจะกระดิกมาก สักครู่เข็มจะค่อย ๆ ลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ อาการกระดิกของเข็มจะคล้าย ๆ กับการนำโอห์มมิเตอร์ไปต่อกับตัวเก็บประจุ ทำให้เข้าใจได้ว่าขณะที่นำเครื่องวัดโอห์มมาต่อกับชากนั้น ความต้านทานในของชากจะเป็นแบบโอห์มมิกค่อนข้างสูง ขั้วไฟฟ้าและชากจะทำตัวเหมือนตัวเก็บประจุ โดยขั้วไฟฟ้าเป็นเสมือนแผ่นตัวนำของตัวเก็บประจุ และชากเป็นเสมือนไดอิเล็กตริก

จากผลการกระตุ้นโดยอาศัยโพลีเมอร์รูปคลื่นไซน์ ผลการกระตุ้นดีขึ้น แต่ว่าการหดตัวของซากและการคลายตัวของซาก ต้องใช้จำนวนไซเคิลถึง 27 ไซเคิล ที่จะทำให้ไม่มีการสับตัวของซาก (บีบและคลาย) ต่อมาได้ทำการทดสอบการใช้การกระตุ้นซากเป็นโพลีเมอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีการกลับหัวไปมา ผลการกระตุ้นซากมีการหดตัวและคลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 2 และใช้เวลา 18 ไซเคิล (ที่จะไม่มีการสับตัวของซาก) ซึ่งน้อยกว่าการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแบบไซน์ จึงได้ข้อสรุปว่า ควรจะใช้รูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับเป็นบวก ลบแบบสี่เหลี่ยม น่าจะดีกว่าการใช้แบบไซน์ เพราะใช้เวลาน้อยกว่า และอัตราการลดของค่า pH เร็วกว่า (โดยการวัดค่า pH แสดงดังรูปที่ 3 วัดจากซีโรทรีที่ 8) ดังแสดงผลของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในรูปที่ 4 และความถี่ไม่สูงมากเกินไป ถ้าใช้ความถี่ 50 Hz การสับตัวของตัวซากจะค่อนข้างแรง และผู้วิจัยได้ทำการทดลองลดความถี่ลงเรื่อยๆ จนได้ความถี่ที่เหมาะสม ซึ่งในที่นี้ใช้เพียง 12 Hz เพื่อให้การสับตัวของซากลดลงอย่างเหมาะสม และเพื่อให้แท่งโพรบที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไม่หลุดออกจากตัวซาก

3.3 วงจรส่วนกำลังงานและส่วนควบคุม

วงจรกำลังจะใช้วงจรฟูลบริดจ์ ใช้ IGBT เป็นสวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ ความถี่ 12 Hz โดยที่สัญญาณในการควบคุมจะอาศัยหลักการเปิด ปิดสัญญาณให้ IGBT นำกระแสสลับกันเป็นคู่ ๆ การควบคุมจะใช้ไอซี TL494 ในการสร้างสัญญาณ PWM (Pulsewidth Modulation) ที่มีความถี่ 12 Hz และส่งสัญญาณผ่านวงจรสร้าง dead time โดยให้สัญญาณมีความชันมากเป็นแบบ monostable และผลของสัญญาณเอาต์พุตทั้งสองที่ได้นำไปขับนำมอสเฟตกำลัง #IRF510 แล้วส่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ผ่านหม้อแปลงพัลส์แบบแยกกราวด์ 4 ชุด โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสี่เหลี่ยมบวกลบใช้ขับเกต-อิมิตเตอร์ของไอจีบีทีแต่ละตัว โดยสัญญาณ G_1S_1 , G_3S_3 นำไปขับ IGBT Q_1 , Q_3 พร้อมกัน และสัญญาณ G_2S_2 , G_4S_4 นำไปขับ IGBT Q_2 , Q_4 พร้อมกัน ดังรูปที่ 5

ในการสร้างเครื่องเพื่อให้มีเสถียรภาพมากขึ้น จึงเพิ่มวงจรป้องกันกระแสเกินไว้ ในที่นี้จะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไอซี MC3423 ทำหน้าที่ตัดกระแสเกินที่ตั้งค่าไว้ในที่นี้ 5 A ถ้าเกินจากค่านี้จะสั่งการทำงานให้หน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดออก ทำให้คอยล์ (coil) ของคอนแทคเตอร์ (contactor) ไม่มีไฟเลี้ยง หน้าสัมผัสของคอนแทคเตอร์ ซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz จึงเปิดวงจร ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร วงจรก็ไม่สามารถทำงานได้ โดยวงจรป้องกันดังกล่าวแสดงในรูปที่ 6

เครื่องทดสอบต้นแบบแสดงดังในรูปที่ 7 และผลจากการทดสอบเปอร์เซ็นต์แรงดันเรกกูเลชันของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายเป็นดังรูปที่ 8

4. ผลการทดลอง

ทำการเทียบแท่ง เพื่อต่อหัวไฟฟ้าให้กับซาก (โดยอายุของโคเคลีย์ 1.9 ปี) ที่ตำแหน่งเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ โดยทำการวัดแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีซาก (ไม่มีโหลด) มีค่าแรงดันเอาต์พุต ± 300 V และวัดแรงดันเอาต์พุตขณะมีซาก (มีโหลด) โดยทำการวัดแรงดันในช่วงการกระตุ้นในไซเคิลแรก และหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์แรงดันเรกกูเลชันที่ได้จากสมการที่ (1) ดังกราฟในรูปที่ 8

$$\% \text{ voltage regulation} = \left(\frac{V_{\text{no load}} - V_{\text{load}}}{V_{\text{load}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อพล็อตน้ำหนักซากกับกระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นในไซเคิลแรก ให้ความสัมพันธ์ดังกราฟในรูปที่ 9

ผลที่ได้สามารถอธิบายในรูปที่ 8 และ 9 ได้ว่า กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นจะมีแนวโน้มแปรผกผันกับน้ำหนักของซาก และผลของการทดสอบเครื่องแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่ได้ จะลดลงในขณะมีโหลด ผลของเปอร์เซ็นต์แรงดันเรกกูเลชัน 25% (สูงสุด) ในช่วงไซเคิลแรกของรูปคลื่นแรงดัน

นอกจากนั้นแล้วผลจากการทดสอบในไซเคิลหลัง ๆ แรงดันยอตกบวกลบจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง (ไม่ได้แสดงในที่นี้) เนื่องจากกระแสโหลดมีค่าลดลง ในการกระตุ้นซากจะหยุดกระตุ้นที่ไซเคิลที่ 19 เนื่องจากไซเคิลนี้จะไม่มีการสับตัวของกล้ามเนื้อซากทุกซากที่มาทดสอบ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวัดค่า pH จากซากที่กระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ กับซากที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ภายหลังสัปดาห์ในชั่วโมงต่าง ๆ ผลแสดงดังในตารางที่ 2

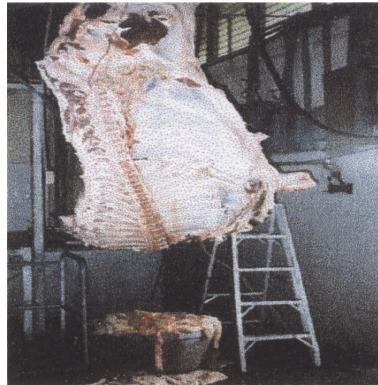
จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ซากซีกที่ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้านั้นสามารถลดค่า pH ได้เร็วกว่าซีกที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้า และค่า pH คงค่าอยู่ที่ 5.55 ตั้งแต่ภายหลังการกระตุ้นชั่วโมงที่ 10 ส่วนซีกที่ไม่มีการกระตุ้นจะยังคงมีค่าค่อย ๆ ลดลง และจะให้ค่าคงที่ 5.55 ที่ชั่วโมงที่ 35 ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกับตัวซาก (ไม่ได้แสดงค่าไว้) ทำให้การกระตุ้นสามารถเร่งการทำงานของเอนไซม์คาเพซิน ทำให้เร่งการสลายตัวของโปรตีนเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อ และลดระยะเวลาการบ่มซากให้น้อยลงสอดคล้องกับ [3,5] ทำให้เกิดสภาวะการเกร็งตัวได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นการเร่งการสลายโปรตีนให้เร็วขึ้นจะทำให้เนื้อนุ่มขึ้น [6]

ส่วนผลของอุณหภูมิของซาก ถึงแม้ว่าจะมีการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าหรือไม่ก็ตาม ผลที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกัน แต่การทดลองพบว่า อุณหภูมิของซากมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง และสิ้นสุดที่ 3 องศาเซลเซียสตามอุณหภูมิของห้องเย็น ภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง (ไม่ได้แสดงในที่นี้)

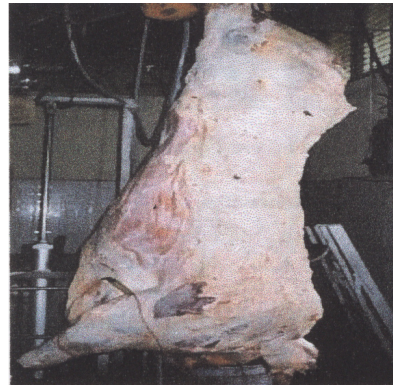
5. สรุปผลการทดลอง

ในการทดสอบเครื่องกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้า สามารถทดสอบกับซากโคที่มีน้ำหนักมาก ๆ ได้ดี เนื่องจากความต้านทานจะมีค่ามาก กว่าซากโคที่มีน้ำหนักน้อย ทำให้กระแสต่ำ และเรกกูเลชันแรงดันของเครื่องดีที่สุด แต่ผลที่ได้เป็นสภาวะการทดสอบในไซเคิลแรกเท่านั้น ในสภาวะอยู่ตัวกระแสในอินเวอร์เตอร์จะมีค่าลดลงอย่างมาก ทำให้แรงดันเรกกูเลชันไม่เกิน 5% ซึ่งถือว่าเป็นเกณฑ์โดยทั่วไปของเครื่องเพาเวอร์ซัพพลาย นอกจากนั้นเครื่องสามารถนำไปใช้งานทางด้านปฏิบัติได้ และสามารถลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศได้

ผลของการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้า จะมีค่า pH ลดลงเร็วกว่าผลของซากที่ไม่ได้กระตุ้นด้วยไฟฟ้า ทำให้เกิดสภาวะการเกร็งตัวได้เร็วขึ้น ระยะเวลาการบ่มซากในห้องแช่เย็นน้อยลง จึงช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้

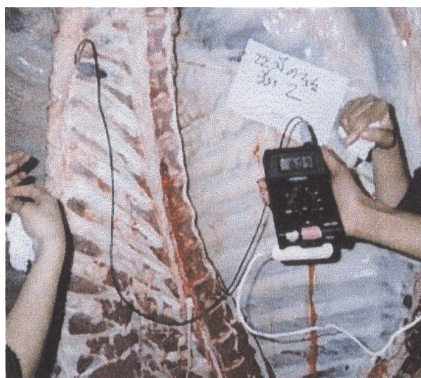


(ก) กล้ามเนื้อหัดตัว

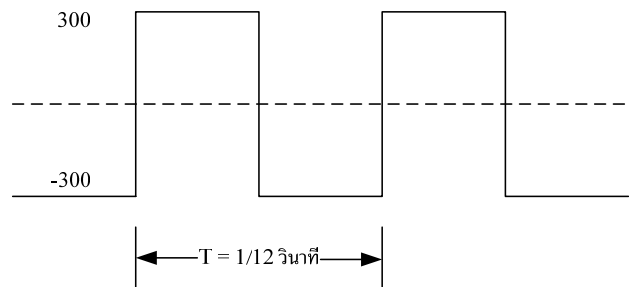


(ข) กล้ามเนื้อคลายตัว

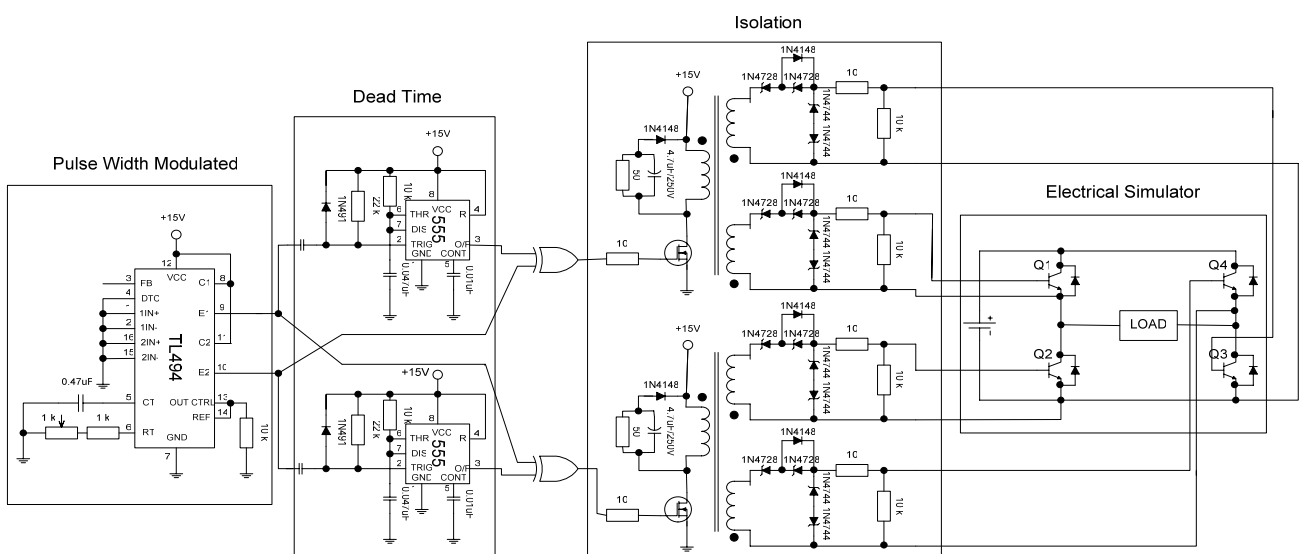
รูปที่ 2 การบีบ และคลายตัวของกล้ามเนื้อซาก



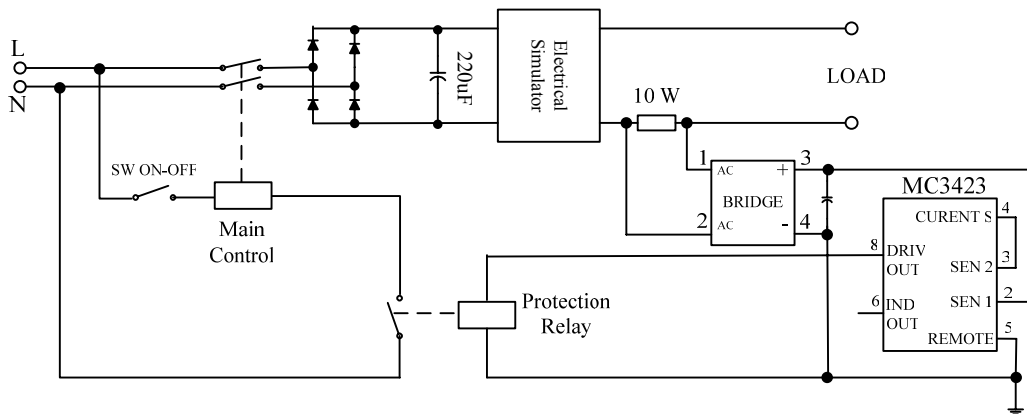
รูปที่ 3 การวัดค่า pH ซี่โครงที่ 8 ของซาก



รูปที่ 4 รูปคลื่นที่ใช้กระตุ้นซาก



รูปที่ 5 วงจรกำลังและวงจรควบคุม

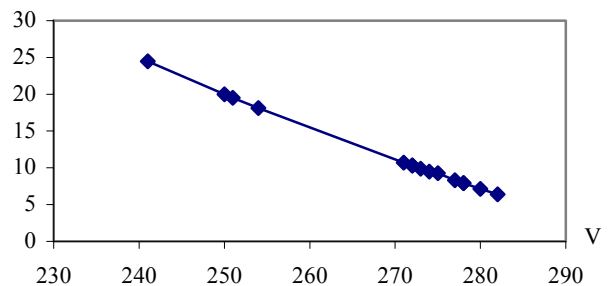


รูปที่ 6 วงจรป้องกันกระแสเกิน



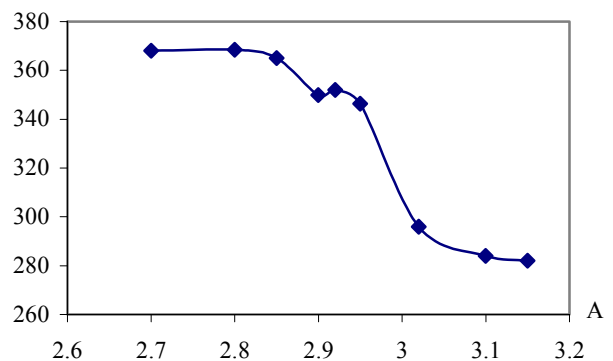
รูปที่ 7 เครื่องกระตุ้นชากโดยไฟฟ้า

%Voltage Regulation



รูปที่ 8 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด V_{AB} เทียบกับ % แรงดันเรกกูเลชัน

kg



รูปที่ 9 กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นในไซเคิลแรกเทียบกับน้ำหนักชาก

ตารางที่ 1 ผลจากการทดสอบเครื่องภายใต้อายุและน้ำหนักของชาก โดยใช้แรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด $V_{noload} = 300$ V

อายุ (ปี)	น้ำหนักชาก (kg)	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นในไซเคิลแรก (A)	แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด V_{AB} ในช่วงไซเคิลแรก (V)	% แรงดันเรกกูเลชัน
2	287	3.1	250	20
2	349	2.9	275	9.25
1.8	364	2.8	278	7.91
2	368	2.7	282	6.38
2.2	282	3.15	241	24.48
2.1	280	3.1	251	19.52
1.9	351	2.9	277	8.3
2	352	2.92	274	9.49
2.1	348	2.95	272	10.29
2.2	346	2.95	271	10.7
2.2	285	3.1	254	18.11
2.1	296	3.02	272	10.29
1.9	373	2.8	280	7.14
1.8	365	2.85	278	7.91
2	345	2.95	273	9.89

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ภัทรภรณ์ จางวนิชเลิศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทพร เจ้าทรัพย์ จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) และอาจารย์เสาวลักษณ์ ผ่องลำเจียก จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน คุณวุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์ นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. รวมทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ทุกคน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่ปฏิบัติการทดลอง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกับตัวซาก

ชั่วโมงที่	ค่า pH		อุณหภูมิซาก	
	กระตุ้นซาก	ไม่กระตุ้นซาก	กระตุ้นซาก	ไม่กระตุ้นซาก
1	6.29	6.82	38.80	38.80
2	5.69	6.41	34.02	34.03
3	5.68	6.31	29.23	29.24
4	5.68	6.23	26.44	26.48
5	5.67	6.13	22.97	22.98
6	5.66	5.94	21.76	21.79
8	5.63	5.82	19.07	19.05
10	5.55	5.66	16.88	16.86
24	5.55	5.62	9.45	9.48

เอกสารอ้างอิง

- [1] จันทพร เจ้าทรัพย์ และ ภัทราภรณ์ จางวนิชเลิศ “การเปรียบเทียบผลการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้าที่มีต่อคุณภาพเนื้อ,” เอกสารงานวิจัยสภาวิจัยแห่งชาติ ปี 2544, หน้า 1-23.
- [2] ศรีน้อย จินดาสาพร, “การปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโคขุนด้วยการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า,” วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2531.
- [3] C.Y. Ho, M.H. Stromer, G. Rouse, and R.M. Robos, “Effect of electrical stimulation and postmortem storage on changes in Titin, Nebulin, Desmin, Troponin-T and muscle ultrastructure in Bos indicus crossbred cattle,” Journal of Animal Science Issue 75, 1997, pp.366-376.
- [4] M.S. Rhee and B.C. Kim, “Effect of low voltage electrical stimulation and temperature conditioning on postmortem changes in glycolysis and calpains activities of Korean native cattle,” Journal of Meat Science, Issue 58, pp.231-237.
- [5] E. Dransfield, D. J. Etherington, and M. A. Taylor, “Modeling post-mortem tenderization-II: Enzyme changes during storage of electrically stimulated and non-stimulated beef,” Journal of Meat Science, Issue 34, 1993, pp.217-234.
- [6] D.M. Ferguson, J. Shaun-Tzong, H. Hearnshaw, R. Samantha, and J.M. Thomson, “Effect of electrical stimulation on protease activity and tenderness of M. longissimus from cattle with different of Bos indicus content,” Journal of Meat Science, Issue 55, 2000, pp. 265-272.