บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าในภาคอุตสาหกรรมหรือธุรกิจต่าง ๆ ในประเทศไทย เป็นตัวที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ระบบเศรษฐกิจของประเทศที่สำคัญ การเติบโตของภาคอุตสาหกรรมหรือธุรกิจต่าง ๆ มีความเติบโตและก้าวหน้าตามการพัฒนาทางเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการแข่งขันและการส่งออกต่าง ๆ จึงเป็นสิ่งที่จะต้องให้ความสนใจและจริงจังต่อปัจจัยที่จะกระทบไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านคุณภาพมาตรฐานของสินค้า ความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ ขีดความสามารถทางด้านการตลาดและการจัดการ ตลอดจนวิสัยทัศน์ที่มีต่อแนวโน้มการการพัฒนาประเทศ และปัจจุบันการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ของไทยได้เดินไปพร้อมการการพัฒนาประเทศด้วยเช่นกัน ทั้งในเรื่องของตัวนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้ความสามารถมากยิ่งขึ้น และการพัฒนาดังกล่าวก็ต้องมีห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการที่มีความพร้อมต่อการปฏิบัติมากขึ้นด้วย ซึ่งในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จะประกอบด้วยเครื่องมือหรืออุปกณ์ที่อำนวยความสะดวกในการทดลองที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีเครื่องที่มีความแม่นยำในการทดสอบสารตัวอย่างนั้น ๆ ด้วย จากผลที่ต้องการความแม่นยำจึงจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพสูง ดังนั้นศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนมากจะมีเครื่องมือที่มีราคาแพง ๆ อย่างเช่นเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับแยกสารประกอบที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง สามารถทดสอบได้ทั้งเชิงคุณภาพและทดสอบเชิงปริมาณโดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ราคาต่อเครื่องประมาณ 2,500,000.00 บาท หรือเครื่องเขย่าสารเคมีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับเขย่าสารเคมีให้เข้ากันหรือไม่ให้จับตัวกัน ราคาต่อเครื่องประมาณ 160,000.00 บาท จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าราคาเครื่องมือต่าง ๆ ที่เราต้องใช้ในการวิเคราะห์ค่อนข้างมีราคาที่แพงมาก จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือต่าง ๆ ขึ้นมาใช้เองโดยที่ไม่ต้องสั่งซื้อหรือนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพราะเนื่องจากบางหน่วยงานที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือดังกล่าวแต่ไม่มีงบประมาณและไม่สามารถจัดหาเครื่องมาใช้ได้ ทำให้การทดลองหรือทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารเกิดความผิดพลาดหรือใช้เวลานาน โดยเฉพาะเครื่องเขย่าสารเคมีทางวิทยาศาสตร์ เป็นเครื่องที่ต้องสั่งซื้อหรือนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาสูง ซึ่งเครื่องดังกล่าวสามารถทำขึ้นเองและใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศได้ โดยศึกษาการทำงานของเครื่องและประยุกต์

จากเครื่องแบบเดิมที่ใช้งานอยู่ แต่จะออกแบบให้ระบบการทำงานสามารถทำงานเทียบเท่ากับเครื่องที่ซื้อมาในราคาที่แพง ๆ ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องเขย่าสาร
2. เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจของการใช้งานเครื่องเขย่าสาร

กรอบแนวคิดในการวิจัย

เครื่องเขย่าสารที่จะพัฒนาขึ้นนี้ สามารถทำงานได้เทียบเท่าหรือดีกว่าเครื่องเขย่าสารที่ผลิตจากต่างประเทศ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ได้แก่

1. ด้านแรงเขย่าสาร ที่สามารถปรับระดับความแรงได้ 7 ระดับ
2. ด้านทิศทางการเขย่าสาร ที่สามารถเคลื่อนที่ไปด้านหน้า-หลัง และเคลื่อนที่เป็นวงกลม อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนทิศทางได้ทันทีในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน
3. ด้านการรองรับอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถใช้ได้กับหลอดทดลองทางวิทยาศาสตร์รูปทรงต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์จับยึด
4. ด้านวัสดุอุปกรณ์ สามารถถอดทำความสะอาด หรือหาอุปกรณ์ทดแทนได้ง่าย สามารถหาได้ภายในประเทศไทย

ขอบเขตการวิจัย

1. มอเตอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติหมุนด้านเดียว
2. อัตราการเขย่าสาร 140 ครั้งต่อนาที
3. ระยะเวลาที่ตั้งสำหรับการทำงานมากที่สุด 99 นาที
4. น้ำหนักของสารในแต่ละครั้งสามารถรับน้ำหนักได้ 1- 10 กิโลกรัม
5. ใช้สำหรับหลอดทดลองชนิดต่าง ๆ ของ Flasks (หลอดทดลองมาตรฐานที่ ใช้สำหรับเขย่าสารโดยเฉพาะ) ที่มีขนาด 250 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตรได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์จับยึด

นิยามศัพท์

เครื่องเขย่าสาร คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับจับยึดภาชนะรูปทรงต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยเครื่องดังกล่าวสามารถควบคุมความเร็ว ทิศทางของการเขย่า ระยะเวลา ได้ตามคุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิดอย่างเหมาะสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องเขย่าสารมีคุณสมบัติเทียบเท่าเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ แต่มีราคาถูก และสามารถหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานมาทดแทนได้ในประเทศไทย

2. เครื่องเขย่าสารมีเสียงสัญญาณเตือน เมื่อเริ่มหรือหลังจากเครื่องทำงานเสร็จ

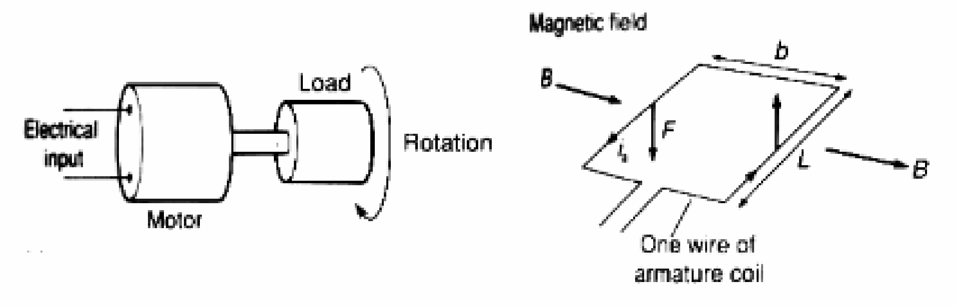
3. การออกแบบรูปทรงของเครื่องที่มีความทันสมัย

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลเรื่องมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motors)

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิมตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั่วไปเห็นชนิดเปิด (Open Type) กล่าวคือ ขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็กจะพับเป็น 8 ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับลวด อย่างไรก็ตามเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องเดียวกันสามารถใช้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ (มงคล ทองสงคราม, 2546)



ภาพที่ 1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์กระแสตรง
ที่มา: มงคล ทองสงคราม, 2546

1. **ชนิดของมอเตอร์** (Type of Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เราเห็นกันทั่วไปนั้นมีด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดจะเรียกตามวิธีการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coils) ของมันเข้ากับวงจรอาร์เมเจอร์ คุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์แต่ละชนิดนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพของโหลดกำหนดเอาไว้ (ปัญญา ทองสงคราม, 2546) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จำแนกได้ เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 ชั้นท์มอเตอร์ (Shunt Motor)

1.2 ซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)

1.3 คอมเพานต์มอเตอร์ (Compound Motor)

นอกจากนี้ยังจำแนกได้ 3 ชนิด ตามลักษณะของการปกปิดของฝาครอบมอเตอร์ คือ

1.3.1 Totally Enclose มอเตอร์ชนิดนี้ปิดหมดเลยใช้ที่แช่อยู่ในของเหลวหรือในที่มีความชื้นมากจึงต้องหุ้มมอเตอร์ ให้มิดชิด ไม่ให้ความชื้นเข้าไปทำลายอาร์เมเจอร์

1.3.2 Same Enclose มีบางส่วนของมอเตอร์เปิด ทั้งนี้เพื่อให้อากาศช่วยระบายความร้อนของฝาครอบ แต่บางส่วนก็ปิดไว้เพื่อไม่ให้ฝุ่นของมอเตอร์เข้าไปทำให้สกปรก

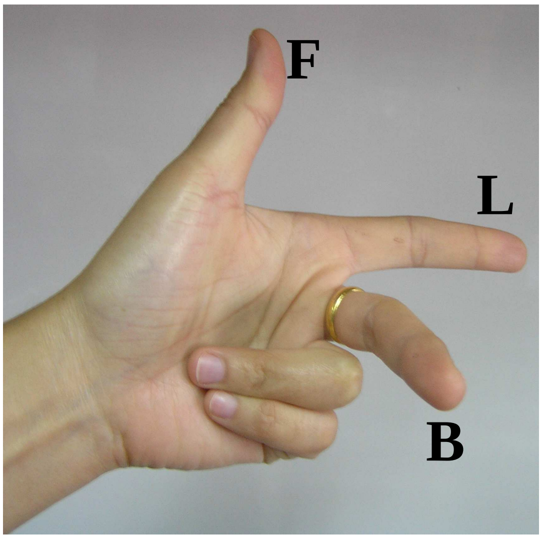
1.3.3 Totally open ฝาครอบมอเตอร์เปิดหมด ทำให้มอเตอร์ระบาย (Cooling Systems) ความร้อน ดีกว่า 2 แบบแรก แต่ในโรงงานจะต้องไม่มีสิ่งที่เป็นอันตรายต่อมอเตอร์ เช่น สะเก็ดไฟซึ่งเกิดขึ้นจากการเชื่อมหรือหินลับ ปลิวเข้าไปทำอันตรายต่อมอเตอร์ เป็นต้น

2. **หลักการของมอเตอร์** (Principle of the Motor)

เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำ และปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้ (วิจิตร บุญยธโรกุล, 2549)

3. **กฎมือซ้ายสำหรับมอเตอร์** (Left Hand Rule for Motor)

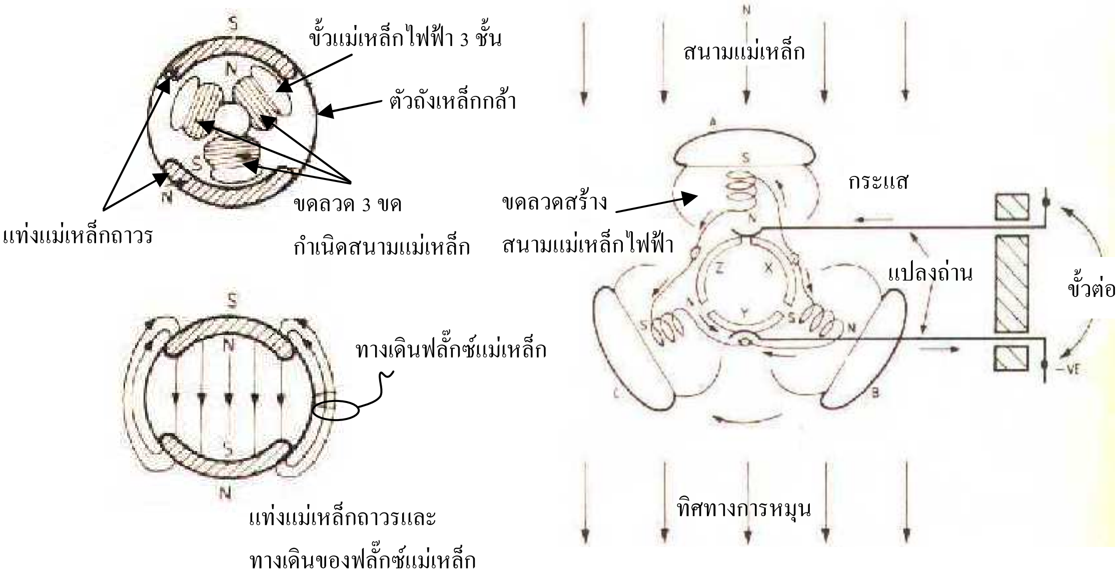
เนื่องจากมีความสัมพันธ์อย่างแน่นนอน เกิดขึ้นระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็ก ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำและทิศทางที่ตัวนำเคลื่อนที่ ซึ่งความสัมพันธ์ของปริมาณเหล่านี้ให้ตั้งเป็นกฎของมอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งกฎนี้ได้นำไปใช้แบบเดียวกับกฎมือขวาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, 2538)



ภาพที่ 2 กฎมือซ้ายของสนามแม่เหล็ก

การเริ่มหมุนโดยการผ่านอุปกรณ์ความคุมโดยตรง

การเริ่มหมุนวิธีนี้นิยมกันเพราะง่ายสะดวกวงจรการทำงานสามารถแสดงตามภาพที่ 3 ในทางปฏิบัติใช้ได้กับมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 5 hp กระแสขณะเริ่มหมุนไม่เกิน 2 เท่า ของกระแสปกติ (1.25-2) โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 1.5 เท่า จากกระแสเริ่มต้น Start ดังกล่าวจะทำให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานตัดมอเตอร์ออกจากวงจรมอเตอร์ไม่สามรถหมุนได้แม้ว่าจะเริ่มหมุนมอเตอร์ใหม่อีกครั้งก็จะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดิมอีก (ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, 2538)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ที่มา: อดิศักดิ์ ชิณะวงศ์, 2543

การเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Starting of D.C Motor) ในการที่เราจะเริ่มใช้มอเตอร์ทำงานนั้น ในกรณีของ D.C. Motor เราสามารถอ้างได้หลายวิธี (ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล, 2547) คือ

1. การเริ่มหมุนโดยต่อผ่านอุปกรณ์ควบคุมตรง
2. การเริ่มหมุนโดยอาศัยการปรับแรงเคลื่อนให้ต่ำลง
3. การเริ่มหมุนแบบอาศัยตัวต้านทานเข้าช่วย

การควบคุมมอเตอร์ (Motor control)

การควบคุมมอเตอร์ หมายถึง การทำให้มอเตอร์ทำงานตามคำสั่ง และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อตัวมอเตอร์ อุปกรณ์เครื่องจักรที่ต่อกับมอเตอร์ รวมถึงทำให้เกิด ความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วยจุดประสงค์ของการควบคุมมอเตอร์เพื่อทำการเริ่มเดินมอเตอร์ (Starting) เพื่อการ

หยุดมอเตอร์ (Stopping) เพื่อการกลับทางการหมุน (Reversing) เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (Running) เพื่อการควบคุมความเร็ว (Speed control) เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (Safety of operator) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์และระบบ (protection from damage) เพื่อการบำรุงรักษาอุปกรณ์เริ่มเดินมอเตอร์ (Maintenance of starting requirement) (วิจิตร บุญยธโรกุล, 2549)

ประเภทของการควบคุมมอเตอร์ แบ่งตามลักษณะการสั่งอุปกรณ์ควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน เป็น 3 ประเภท (ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, 2538) คือ

1. การควบคุมด้วยมือ (Manual control) การควบคุมด้วยมือ เป็นการสั่งงานให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานควบคุมให้ระบบกลไกทางกลทำงานซึ่งการสั่งงานให้ระบบกลไกทำงานนี้โดยส่วนมากจะใช้คนเป็นผู้สั่งงานแทบทั้งสิ้น ซึ่งมอเตอร์จะถูกควบคุมจากการสั่งงานด้วยมือ โดยการควบคุมผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ท็อกเกิ้ลสวิตช์ (Toggle switch) เซฟตี้สวิตช์ (Safety switch) ดรัมสวิตช์ (Drum switch) ตัวควบคุมแบบหน้าจาน (Face plate control) เป็นต้น

2. การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic control) โดยการใช้สวิตช์ปุ่มกด (Push button) ที่สามารถควบคุมระยะไกล (Remote control) ได้ ซึ่งมักจะต่อร่วมกับสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic switch) ที่ใช้จ่ายกระแสจำนวนมาก ๆ ให้กับมอเตอร์แทนสวิตช์ธรรมดาซึ่งสวิตช์แม่เหล็กนี้อาศัยผลการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรการควบคุมมอเตอร์กึ่งอัตโนมัตินี้ต้องอาศัยคนคอยกดสวิตช์จ่ายไฟให้กับสวิตช์แม่เหล็กทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดึงดูดหน้าสัมผัสมาแตะกันและจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ และถ้าต้องการหยุดมอเตอร์ก็จะต้องอาศัยคนคอยกดสวิตช์ปุ่มกดอีกเช่นเดิม จึงเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมกึ่งอัตโนมัติ

3. การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control) การควบคุมแบบนี้จะอาศัยอุปกรณ์ชี้นำ (Pilot device) คอยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่าง ๆ เช่น สวิตช์ลูกลอยทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำในถังคอยสั่งให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเมื่อน้ำหมดถัง และสั่งให้มอเตอร์หยุดเมื่อน้ำเต็มถัง สวิตช์ความดัน (Pressure switch) ทำหน้าที่ตรวจจับความดันลมเพื่อสั่งให้ปั๊มลมทำงานเทอร์โมสตัท ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าตามอุณหภูมิสูงหรือต่ำ เป็นต้น วงจรการควบคุมมอเตอร์แบบนี้เพียงแต่ใช้คนกดปุ่มเริ่มเดินมอเตอร์ในครั้งแรกเท่านั้น ต่อไปวงจรก็จะทำงานเองโดยอัตโนมัติตลอดเวลา

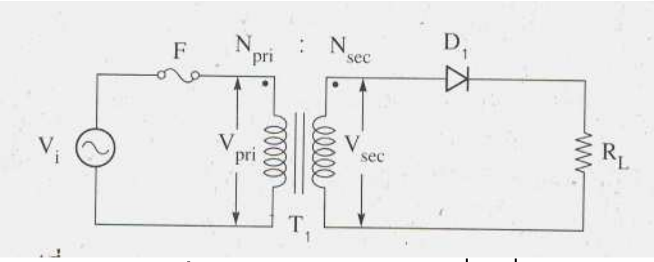
วงจรภาคจ่ายไฟ (Rectifier Circuit)

วงจรภาคจ่ายไฟ คือวงจร ที่ทำหน้าที่แปลงไฟในระบบกระแสไฟฟ้าสลับให้ออกมาเป็นกระแสไฟฟ้าตรงที่ขั้วขาออกของวงจร ในปัจจุบันนี้นิยมใช้ Semiconductor diode มาทำหน้าที่เป็นตัว

แปลงรูปคลื่นจากไฟสลับให้เป็นไฟตรง ซึ่งต่อไปจะใช้คำว่า วงจรแปลงไฟ วงจรแปลงไฟที่นิยมใช้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้คือ

1. **การแปลงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น** (Half wave Rectifier)

วงจร Half wave Rectifier ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับ ไดโอดและโหลด ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงไซเกิ้ลบวกนั้น ไดโอดจะอยู่ในภาวะ Forward bias จะทำให้ความต้านทานของไดโอดมีค่าต่ำและเกิดกระแสไหลผ่านตัวไดโอดได้ง่าย ทำให้เกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมที่โหลด ในขณะเดียวกันเมื่อแรงเคลื่อนไฟสลับเปลี่ยนเป็นซีกลบ ไดโอดจะอยู่ในภาวะ Reverse bias ซึ่งจะทำให้มีความต้านทานภายในสูงมาก ในช่วงนี้วงจรจะมีสภาวะเปรียบเสมือนกับเปิดวงจร (Open circuit) ทำให้กระแสไม่สามารถไหลไปสู่โหลดได้ จึงทำให้แรงเคลื่อนตกคร่อมเป็นศูนย์ (เจน สงสมพันธุ์, 2537)



ภาพที่ 4 การแปลงไฟแบบครึ่งคลื่น

ที่มา: เจน สงสมพันธุ์, 2537

แรงเคลื่อนที่แรงดันขาออก จะมีรูปคลื่นในซีกบวก ส่วนซีกลบจะหายไป ซึ่งหากค่าแรงดันไฟตรงที่ออกมาในลักษณะนี้ จะต้องใช้วิธีการเฉลี่ยค่ารูปคลื่นที่มีอยู่ในช่วง 1 ไซเกิ้ลออกให้ที่ความสูงเท่า ๆ กันตลอด ในทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป จะใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูงเข้าไปแก้ไขและหาค่า แต่ในที่นี้จะไม่กล่าว แต่จะนำผลที่ได้มาแสดงดังสมการที่ 1

$$Vdc = 0.318\ Vm \qquad \text{สมการ (1)}$$

โดยที่ Vm = ค่าแรงเคลื่อนไฟสลับที่มีค่าชั่วขณะสูงสุด (V)

Vdc = ค่าแรงเคลื่อนที่ได้จากการแปลงไฟแบบครึ่งคลื่น (V)

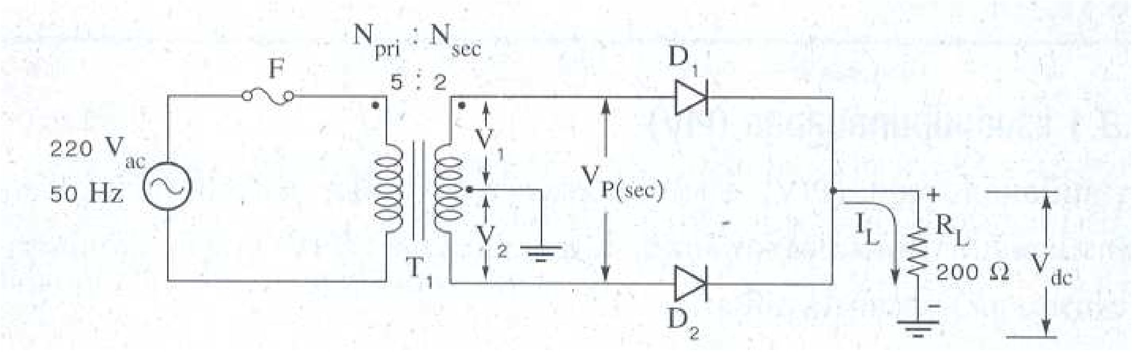
2. **การแปลงไฟแบบเต็มคลื่น** (Full wave Rectifier)

จากการแปลงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นจะพบว่าแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงที่ได้ทางขาออกมีค่าต่ำมาก ดังนั้นหากต้องการแรงดันทางขาออกมากจึงต้องเพิ่มแรงดันขาเข้ามากตาม ซึ่งในบาง

โอกาสเป็นไปได้ยาก ดังนั้นหากใช้เทคนิคการแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นเข้าไปจะทำให้สามารถแก้ปัญหาข้างต้นได้ง่าย การแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นสามารถแบ่งวงจรการแปลงได้เป็น 2 แบบ คือ แบบมีแทปกลาง และ แบบบริดจ์

2.1 แบบมีแทปกลาง (Center – Tapped Full wave Rectifier)

วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าแบบนี้ทำงานได้โดยอาศัยการพันหม้อแปลงแบบมีแทปกลางร่วมกันกับ ไดโอดอีก 2 ตัว เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้เป็นแบบ Center – Tapped กล่าวคือมีขดทุติยภูมิ 2 ขด หรือขดทุติยภูมิแบ่งครึ่งกึ่งกลางออกมา ดังนั้นถ้ามีแรงดันเข้ามาที่ขดปฐมภูมิจะปรากฏแรงดันที่ขดทุติยภูมิด้วย ถ้าหากขณะนั้นแรงดันขาเข้าเป็นไซเกิ้ลบวก จะทำให้ขดทุติยภูมิเป็นไซเกิ้ลบวกและมีทิศทางขั้วเสริมกันทั้ง 2 ขด ในช่วงนี้ไดโอด D1 ได้รับ Forward bias จะทำให้นำกระแสได้ง่ายทำให้มีกระแสไหลผ่านจากขด V1 ผ่าน D1 ไปยังโหลด ในช่วงนี้ D2 จะได้รับ Reverse Bias ทำให้ไม่มีกระแสผ่านได้ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นแบบมีแทปกลาง
ที่มา: เจน สงสมพันธุ์, 2537

ถ้าแรงดันขาเข้าเป็นไซเกิ้ลลบ จะทำให้ไดโอด D2 ได้รับ Forward bias แทน และมีกระแสดไหลผ่านจากขด V2 ไปยังไดโอด D2 และเข้าสู่โหลด เหมือนกันกับในช่วงไซเกิ้ลบวก ในช่วงนี้จะพบว่าทั้งในช่วงไซเกิ้ลบวกและลบนั้น ทิศทางกระแสที่ไหลผ่านโหลดจะเป็นทิศทางเดียวกันดังนั้นถ้าหากแรงดันขาเข้าเคลื่อนผ่านไปใน 1 ไซเกิ้ล

จากผลของการต่อวงจรแบบเต็ม ทำให้ได้รูปคลื่นในซีกบวก 2 รูปต่อไซเกิ้ล ดังนั้นแรงดันเฉลี่ยของไฟตรงที่ได้รับ ย่อมจะมีค่ามากกว่าแบบคลื่น 2 เท่าใน 1 ไซเกิ้ล ซึ่งสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2

Vm	=	2(0.318 Vm)	=	0.636 Vm

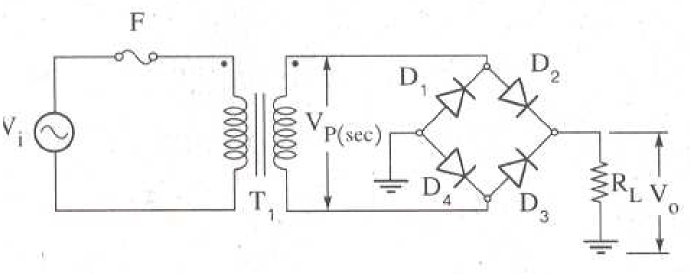
สมการ (2)

ขีดจำกัดของการเลือกใช้ไดโอดในวงจรเต็มคลื่นแบบ Center-Tapped คือ ค่า Im หรือ ค่านำกระแสสูงสุด และ ค่า PIV

ในที่นี้ขอสรุปว่า ค่า Im จะมีค่าของกระแสไม่ต่ำกว่า 1.2 เท่า ของกระแสที่โหลดต้องใช้ แต่ค่า PIV ของไดโอดในวงจรแบบนี้ต้องมีค่าเป็น 2Vm ทั้งนี้เนื่องจากว่าในช่วงที่ไดโอด Reverse bias นั้นจะมีแรงดันตกคล่อมที่เกิดจากผลรวมของหม้อแปลงทางด้านขดทุติยภูมิขด 1 และ ขด 2 รวมกันอยู่ ซึ่งเท่ากับ 2Vm นับว่าเป็นข้อเสียของวงจรแบบนี้นอกเหนือจากการที่ให้แรงดันไปตรงสูงกว่าแบบครึ่งคลื่น เมื่อเทียบกับ แหล่งจ่ายไฟเดียวกันนับว่าเป็นข้อดีอันหนึ่งแล้ว วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นแบบนี้ยังมีข้อเสียอีกข้อหนึ่ง กล่าวคือค่าแรงดันที่หม้อแปลงใช้ในขดทุติยภูมิจะมีแรงดันรวมกันทั้ง 2 ขดมากกว่าค่าของแรงดันปกติ ที่ต้องการเป็น 2 เท่าเช่นกัน (นภัทร วัจนเทพินทร์, 2547)

2.2 วงจรแบบบริดจ์ (Bridge rectifier circuit)

วงจร bridge เป็นวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นแบบหนึ่ง ประกอบไปด้วยไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงแบบไม่ต้องมี Center tapped และแรงดันที่ขดทุติยภูมิใช้เพียงแค่ Vm เดียว ไม่ต้องถึง 2 Vm แบบใน center tapped ใช้อยู่ในขณะที่ป้อนสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับ ซึ่งมีรูปคลื่นเป็น sine เข้าไปในวงจร ในช่วงรูปคลื่นของไซเกิ้ลบวก ไดโอด D1-D3 จะได้รับการ Forward bias ทำให้เกิดกระแสไหลจาก D1 ผ่านโหลดไปยัง D3 ช่วงนี้ทำให้แรงเคลื่อนตกคร่อมโหลดมีค่าและรูปร่างเหมือนกันรูปคลื่นที่จ่ายเข้ามาในขณะนี้เป็น Sine ที่มีไซเกิ้ลบวก ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์

ที่มา: เจน สงสมพันธุ์, 2537

ในขณะเดียวกัน ไดโอด D2, D4 ได้รับการ Reverse bias ทำให้ความต้านทานภายในสูงมากจึงไม่มีแสไหลผ่านได้ ดังนั้นในช่วงนี้ไดโอด D2, D4 จะไม่ทำงาน

ต่อมาในช่วงของไซเกิ้ลลบเข้ามา ไดโอด D2, D4 จะได้รับการ Forward bias แทน ทำให้มีกระแสไหลจาก D4 ผ่านโหลดเข้า D2 ในช่วงนี้จะสังเกตเห็นว่า ขั้วแรงดันที่โหลด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขั้วแต่อย่างใด ในช่วงนี้จะได้รูปคลื่น sine ที่มีลักษณะเหมือนกับรูปคลื่นของแรงดันขาเข้าตกคล่อมโหลด แต่ต่างกันทีรูปคลื่นที่แรงดันขาเข้าเป็นช่วงที่อยู่ในไซเกิ้ลลบ แต่รูปคลื่นที่ตกคล่อมโหลดได้ในช่วงไซเกิ้ลบวก

สำหรับไดโอด D1, D3 ในช่วงนี้ จะได้รับการ Reverse bias ดังนั้นอาจจะสรุปได้ว่าในแต่ละไซเกิ้ลของแรงดันขาเข้า เมื่อผ่านวงจรแปลงไฟแบบบริดจ์ จะทำให้ได้รูปคลื่นตกคล่อมที่โหลดเป็นรูปคลื่นไซน์เฉพาะซีกบวก 2 รูปผลของแรงดันตกคล่อมโหลด ทำให้สามารถเขียนสมการแรงดันไฟตรงเฉลี่ยได้ดังสมการที่ 3

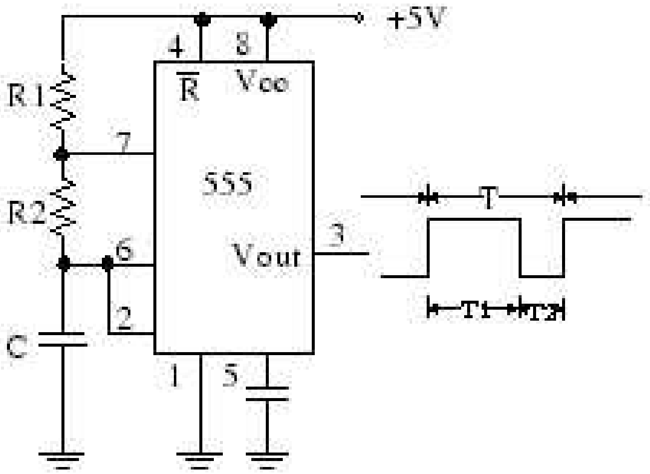
$$Vdc = 2(0.318Vm) = 0.636\ Vm \qquad \text{สมการ (3)}$$

ซึ่งจะเหมือนกันกับค่าแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเฉลี่ย จากการแปลงไฟแบบ Center tapped ทุกประการ ในกรณีที่แรงดันกระแสไฟฟ้าตรงที่ต้องการมีต่ำ เราสามารถเลือกใช้วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นได้ทั้ง 2 แบบ แล้วแต่ความสะดวกและโอกาส แต่ถ้าใช้แบบ Center tapped จะดีกว่า

ในกรณีที่แรงดันกระแสไฟฟ้าตรงที่ต้องการมีค่าสูง ควรจะเลือกใช้แบบบริดจ์ ทั้งนี้เนื่องจากแบบ Center tapped นั้น จะต้องมีแต่ลวดทางทุติยภูมิ ของหม้อแปลง 2 ขด อีกทั้งในทางปฏิบัติการพันหม้อแปลงที่มีแรงดันทางทุติยภูมิมีค่าสูงมาก มีปัญหามากเพราะโอกาสที่จะให้แรงเคลื่อนที่ปรากฏในแต่ละขดมีค่าเท่า ๆ กัน เป็นไปได้ยาก ทำให้มีปัญหาต่อการใช้งานของวงจรบวก ด้วยเหตุนี้ในกรณีของแรงเคลื่อนขาออกที่ต้องการมีค่าสูงควรเลือกใช้แบบบริดจ์ และอีกทั้งยังเป็นการประหยัดขนาดหม้อแปลงลงเมื่อเทียบกันกับแบบ Center tapped (ยืน ภู่วรวรรณ, 2540)

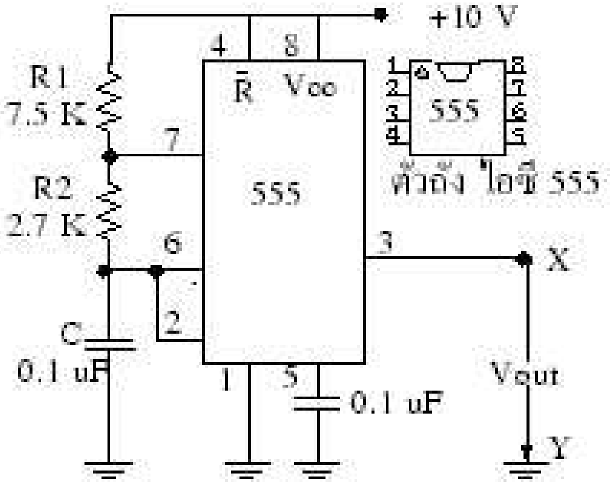
วงจรตั้งเวลา (ไอซี TIMER)

ไอซี Timer ที่กล่าวถึงคือไอซี 555 เป็นไอซีที่ประยุกต์ใช้งานซึ่งไม่ต้องการความแม่นยำสูงมากนักได้อย่างกว้างขวาง ภาพที่ 7 เช่น การใช้เป็นตัวผลิตความถี่ (As table Multivibrator) ความถี่ที่ผลิตได้เป็นสัญญาณภาพประกอบที่สี่เหลี่ยม (Square Wave) (มงคล ทองสงคราม, 2546) ซึ่งมีวงจรพื้นฐาน ภาพที่ 8 และการใช้ ไอซี 555 เป็นโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์



ภาพที่ 7 วงจรผลิตความถี่พื้นฐานใช้ ไอซี 555

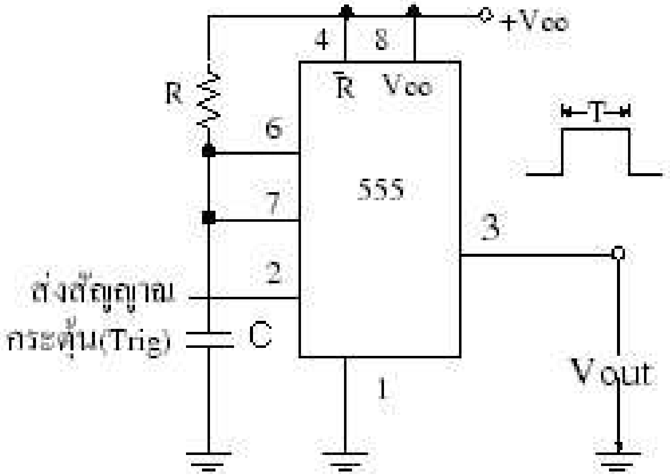
ที่มา: มงคล ทองสงคราม, 2546



ภาพที่ 8 วงจรผลิตความถี่ที่ออกแบบแล้ว

ที่มา: มงคล ทองสงคราม, 2546

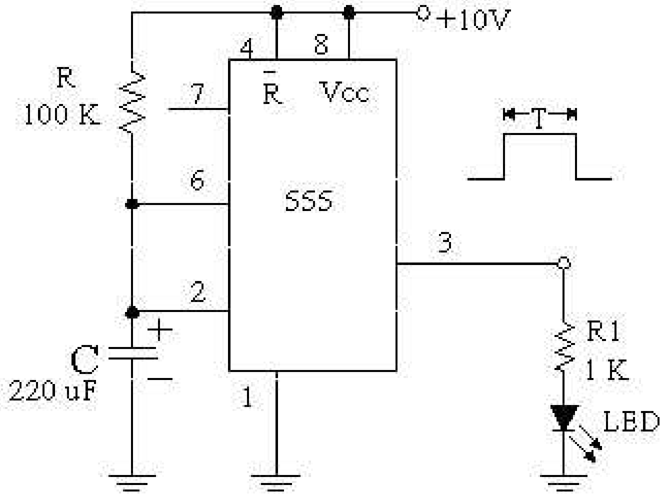
การใช้ ไอซี 555 เป็นโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ โมโนสเตเบิลเป็นวงจรที่เอาต์พุตเสถียรที่ระดับลอจิก "0" หรือ "1" เพียงสถานะเดียวเมื่อได้รับสัญญาณ กระตุ้นจะเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุตไปเป็นสถานะที่ไม่เสถียรชั่วขณะนานเท่ากับ ช่วงเวลาที่กำหนดโดย RC วงจรพื้นฐานเป็น (อนันต์ คัมภิรานนท์, 2547) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์
ที่มา: อนันต์ คัมภิรานนท์, 2547

การสร้างสัญญาณ Single Shot

โดยหลักการของการสร้างสัญญาณ Single Shot คือ วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ นั่นเองเพียงแต่สร้างสัญญาณ ครั้งเดียวแล้วหยุด การหาค่าคาบเวลาทำได้เช่นเดียวกับวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

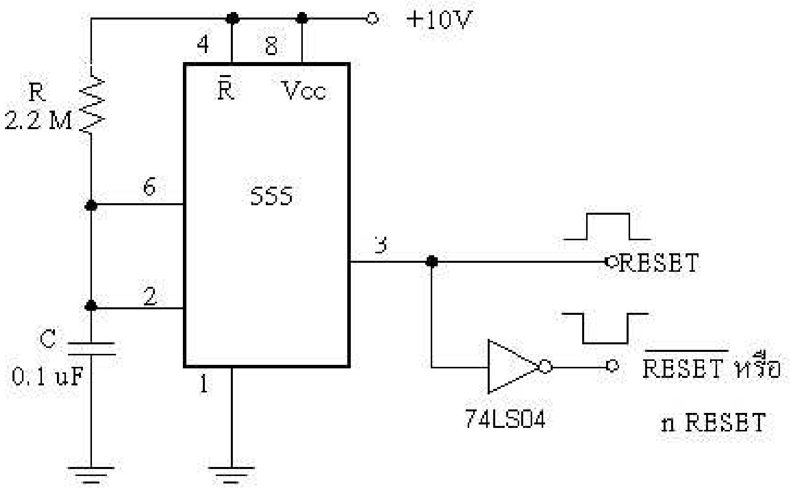


ภาพที่ 10 วงจร Single Shot คาบเวลา T ของวงจรคือ T = 0.693 RC
ที่มา: สง่า ศรีศุภปรีดา, 2546

การตรวจสภาพการทำงานของวงจรทำงาน ของวงจรนี้ คือ ทุกครั้งที่จ่ายไฟให้วงจร จะได้สัญญาณพัลส์ 1 ครั้ง นานเท่ากับคาบเวลา T

การนำวงจร Single Shot ไปใช้งาน สามารถทำได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. การสร้างสัญญาณ Clear ระบบตอนเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power on Reset) ดังภาพ

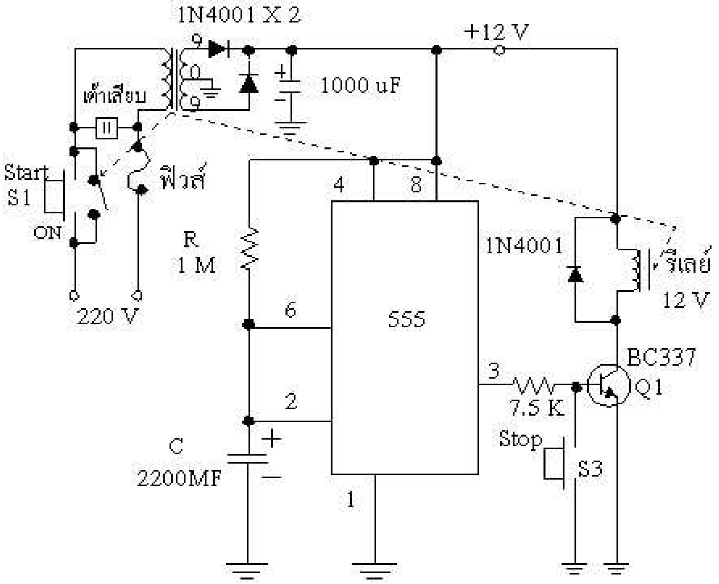


ภาพที่ 11 วงจรพื้นฐานของ Single Shot
ที่มา: สง่า ศรีศุภปรีดา, 2546

จากวงจรในภาพที่ 11 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วงจร เอาต์พุตทั้งสองจะส่งสัญญาณ Reset และ สัญญาณ nReset ซึ่งมีความกว้างประมาณ 0.693 RC วินาทีออกไป (สง่า ศรีศุภปรีดา, 2546)

2. วงจรตั้งเวลา เปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นวงจรที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณตามเวลาที่ออกแบบไว้โดยอาศัยอุปกรณ์ภายนอก ดังนั้นวงจรตั้งเวลาจะมีความเที่ยงตรงค่อนข้างสูง ไอซีที่นิยมนำมาสร้างเป็นวงจรตั้งเวลาได้ดีที่สุดเบอร์หนึ่งคือ ไอซีเบอร์ 555 เพราะมีคุณสมบัติในการหน่วงเวลาที่ดี และนานพอสมควร

ลักษณะการทำงาน เมื่อกดสวิทช์ S1 จะเริ่มมีไฟเลี้ยงวงจร ไอซี 555 เริ่มส่ง highไป on ทรานซิสเตอร์ Q1 เพื่อให้รีเลย์ทำงาน คือหน้าสัมผัส S2 ต่อ ไฟ 220 โวลต์ แทน S1 จ่ายไฟให้เต้าเสียบเพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อหมดเวลา เอาต์พุตของ 555 จะเริ่มเป็น "0" ทำให้ Q1 off ปลดสวิทช์ S2 ตัดไฟทั้งวงจร หากจะหยุดกลางคันก่อนหมดเวลาก็กดสวิทช์ S3 ลัดวงจรขาเบส ของ Q1 ทำให้ Q1 off ได้เช่นเดียวกัน (เจน สงสมพันธุ์, 2537)



ภาพที่ 12 แสดงการใช้วงจร single shot ประยุกต์เป็นวงจรปิด-เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า

ที่มา: เจน สงสมพันธุ์, 2537

เครื่องเขย่าที่มีจำหน่ายและใช้ในปัจจุบัน

1. เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech รุ่น SK-300 ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13 เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech รุ่น SK-300

ที่มา : http://www.thaiexlabs.com/product.index.php?lang=th (27 September 2007)

1.1 ผู้ผลิต/จำหน่าย/ราคา

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย บริษัท ไทยเอกซ์แล็บ จำกัด ราคา 88,000.00 บาท

1.2 คุณลักษณะทางเทคนิค

- ความถี่ 10 ถึง 300 rpm +/-1
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 5 ถึง 40 C ความชื้น 50-80%RH
- การสั่นแบบ Orbital, Reciprocating (Forward, Backward) เป็น Option
- แอมปลิจูดการสั่น 20, 30 และ40 mm (30 mm เป็น Standard)
- ระบบ Control เป็น Digital Opto-electric feedback
- ตั้งเวลาได้ถึง 999 ชั่วโมง 59 นาที ตั้งเวลาหยุดได้ถึง 99 นาทีน้อยสุด 1 นาที
- วัสดุทำจากโลหะเคลือบสี
- ขนาด Platform 350X350 mm
- ขนาดภายนอก 410X490X160 mm
- ใช้ไฟฟ้า 230VAC, 50/60 Hz
- น้ำหนักประมาณ 24 กิโลกรัม

2. เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech รุ่น SK-600 ดังภาพที่ 14

ภาพที่ 14 เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech รุ่น SK-600
ที่มา : http://www.thaiexlabs.com/product.index.php?lang=th (27 September 2007)

2.1 ผู้ผลิต/จำหน่าย/ราคา

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย บริษัท ไทยเอกซ์แล็บ จำกัด ราคา 110,000.00 บาท

2.2 คุณลักษณะทางเทคนิค

- ความถี่ 10 ถึง 300 rpm +/-1
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 5 ถึง 40 C ความชื้น 50-80%RH
- การสั่นแบบ Orbital (Forward, Backward), Reciprocating เป็นOption
- แอมปลิจูดการสั่น 20, 30, 40 mm (30 mm เป็น Standard)
- ระบบ Control เป็น Digital Opto-electric feedback
- ตั้งเวลาได้ถึง 999 ชั่วโมง 59 นาที ตั้งเวลาหยุดได้ถึง 99 นาทีน้อยสุด 1 นาที
- วัสดุทำจากโลหะเคลือบสี
- ขนาด Platform 450X450 mm
- ขนาดภายนอก 510X595X160 mm
- ใช้ไฟฟ้า 230VAC, 50/60 Hz
- น้ำหนักประมาณ 29 กิโลกรัม

3. เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech **รุ่น** SK- 71 **ดังภาพที่** 15

ภาพที่ 15 เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech รุ่น SK-71
ที่มา : http://www.thaiexlabs.com/product.index.php?lang=th (27 September 2007)

3.1 ผู้ผลิต/จำหน่าย/ราคา

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย บริษัท ไทยเอกซ์แล็บ จำกัด ราคา 160,000.00 บาท

3.2 คุณลักษณะทางเทคนิค

- ความถี่ 10 ถึง 300 rpm +/-1
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 5 ถึง 40 C ความชื้น 50-80%RH
- การสั่นแบบ Orbital (Forward, Backward), Reciprocating เป็น Option
- แอมปลิจุดการสั่น 30, 40,50,60,70 mm (30 mm เป็น Standard)
- ระบบ Control เป็น Digital opto-electric feedback
- ตั้งเวลาได้ถึง 999 ชั่วโมง 59 นาที ตั้งเวลาหยุดได้ถึง 99 นาที น้อยสุด 1 นาที
- วัสดุทำจากโลหะเคลือบสี
- ขนาด Platform 755X481 mm
- ขนาดภายนอก 820X610X152 mm
- ใช้ไฟฟ้า 230VAC, 50/60 Hz
- น้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม

4. **เครื่องเขย่าสาร รุ่น** OS 70 **ดังภาพที่** 16

ภาพที่ 16 เครื่องเขย่าสาร รุ่น OS 70

ที่มา : http://www.scilution.com/product.detail.php?lang=th&cat=36498&id=642005# (27 September 2007)

4.1 ผู้ผลิต/จำหน่าย

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย บริษัท ซายน์ลูชั่น จำกัด

4.2 คุณลักษณะทางเทคนิค

- ความถี่ 10 ถึง 300 rpm +/-1
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 5 ถึง 40 C ความชื้น 50-80%RH
- การสั่นแบบ Orbital, Reciprocating (Forward, Backward) เป็น Option
- แอมปลิจูดการสั่น 30, 40, 50, 60 และ70 mm (30 mm เป็น Standard)
- ระบบ Control เป็น Digital Opto-electric feedback
- ตั้งเวลาได้ถึง 999 ชั่วโมง 59 นาที ตั้งเวลาหยุดได้ถึง 99 นาที น้อยสุด 1 นาที
- วัสดุทำจากโลหะเคลือบสี
- ขนาด Platform 755X481 mm ขนาดภายนอก 820X610X152 mm
- ใช้ไฟฟ้า 230VAC, 50/60 Hz
- น้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม

อุปกรณ์ตัวอย่างของเครื่องเขย่าสาร

ภาพที่ 17 อุปกรณ์ตัวอย่างของเครื่องเขย่าสาร
ที่มา : http://www.scilution.com/product.detail.php?lang=th&cat=36498&id=642005# (27 September 2007)

ลักษณะของเครื่องเขย่าสารเคมีชนิดต่าง ๆ

1. **เครื่องเขย่าสารชนิดหมุนรอบ พร้อมแผ่นรอง** (SP200)

คุณลักษณะทั่วไป เป็นเครื่องเขย่าสารละลายที่มีประสิทธิภาพสูงรูปลักษณ์สวยงามและใช□งานง่าย ผู้ใช้สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานของเครื่องได□ ตั้งความเร็วรอบได□ตั้งแต□ 30 – 300 รอบต่อนาที (rpm) แผ่นรอง (Platform) มีรอบการหมุนพอเหมาะ เพื่อของผสมจะเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถควบคุมอัตราเร็วของการหมุนได□อย่างแม่นยำสามารถตั้งเวลาได□นานที่สุด 99 ชั่วโมง 59 นาที สามารถตั้งเวลาและอัตราเร็วได□สะดวกโดยการใช□ปุ่มหมุนปรับ (jog shuttle switch) แสดงผลแบบดิจิทัลผ่านจอ LCD ไม่ว่าจะเป็น เวลาจำนวนรอบต่อนาที (rpm) และกราฟ (Power Bar-Graph) ในเครื่องมี System memory สำหรับการตั้งค่าต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ทำขึ้น (User Setting) มีการเร่ง

อัตราเร็วของการหมุนอัตโนมัติในอัตราที่พอเหมาะและปิดเครื่องอัตโนมัติเมื่อครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ แผ่นรอง(platform) ใช้ได้กับขวดตัวอย่างที่มีรูปร่างหลากหลาย

ภาพที่ 18 เครื่องเขย่าสารชนิดหมุนรอบ พร้อมแผ่นรอง (SP200)

ที่มา : http://www.instrumentscenter.com/Shaker-SHR-2D.htm (27 September 2007)

2. **เครื่องเขย่าสาร** (Shaker)

เครื่องเขย่าสารชนิดนี้ใช้ได้กับภาชนะหลายแบบ หลายขนาด โดยไม่ต้องเปลี่ยนถาดเขย่า เช่น ขวดตัวอย่าง หลอดทดลอง สามารถปรับลักษณะการเขย่าให้เป็นแบบ Reciprocal / Orbital โดยการเลื่อนปุ่มควบคุมด้านหน้า ระบบป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินขนาด สามารถนำเข้าตู้อบเพาะเชื้อเพื่อใช้งานร่วมกันได้

ภาพที่ 19 เครื่องเขย่าสาร แบบ Reciprocal / Orbital

ที่มา : http://www.sithiporn.co.th/index.hp?name=spd&group=52 (27 September 2007)

3. เครื่องเขย่าสารแบบซ้ายขวา

เป็นเครื่องเขย่าที่ทำงานในลักษณะที่หมุนไปด้านซ้ายและขวา หรือที่เรียกกันว่าเครื่องเขย่าชนิดไปกลับ

ภาพที่ 20 เครื่องเขย่าสารแบบซ้ายขวา

ที่มา : http://www.eng.ru.ac.th/envi/Lab/Lab1.htm (27 September 2007)

4. เครื่องเขย่าสารแบบวงกลม

เป็นเครื่องเขย่าที่ทำงานในลักษณะที่หมุนเป็นวงกลม ส่วนมากจะหมุนไปในทิศทางเดียว

ภาพที่ 21 เครื่องเขย่าสารแบบวงกลม

ที่มา : http://www.eng.ru.ac.th/envi/Lab/Lab1.htm (27 September 2007)

การตรวจสอบต้นแบบของเครื่องเขย่าสาร

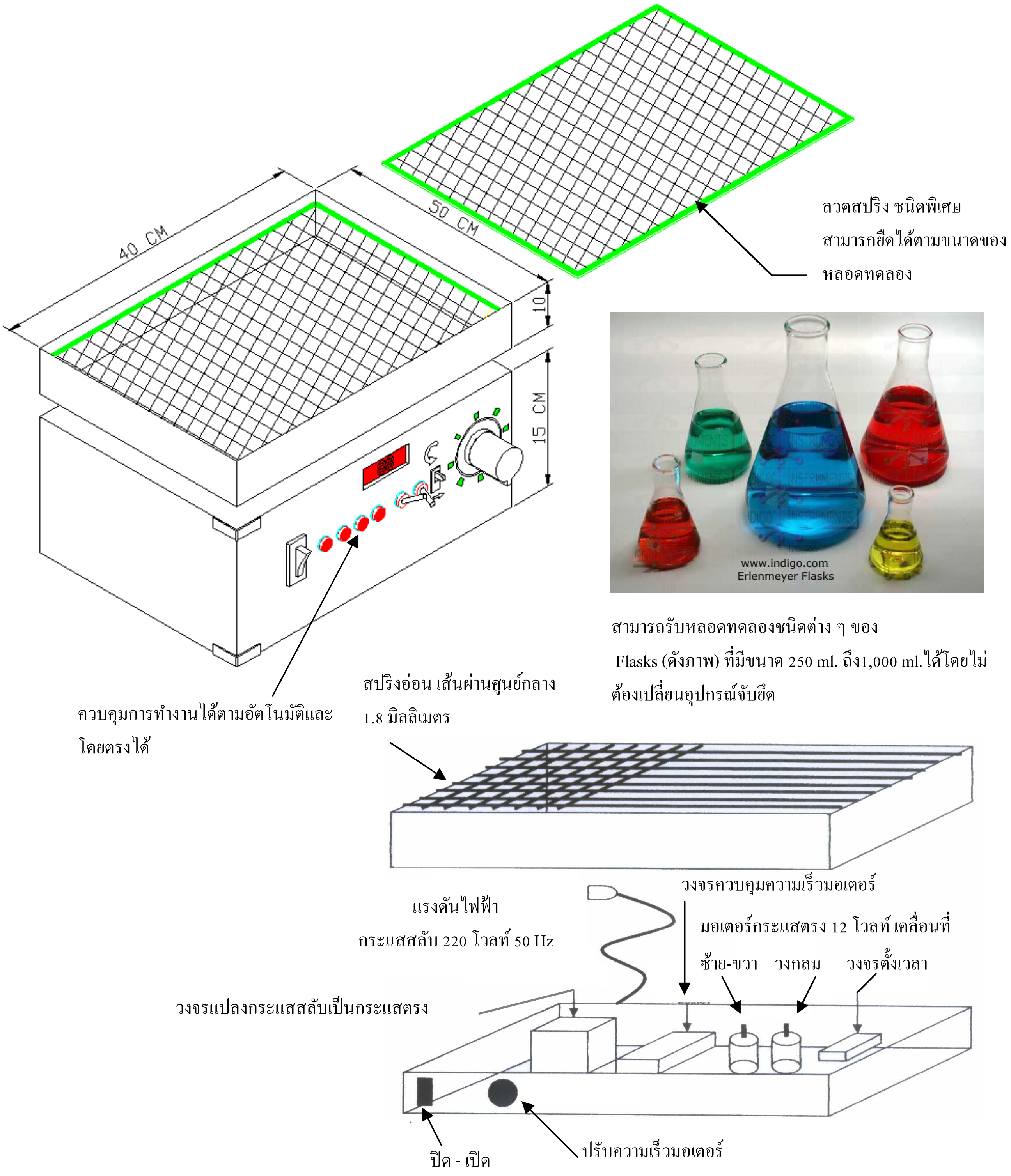
1. เครื่องเขย่าสารหรือเชื้อแบบการหมุนส่าย

เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เชื้อที่เลี้ยงในอาหารเหลว ได้รับออกซิเจน จากการวางขวดอาหารเหลวบนฐานเครื่องที่มีเครื่องกลที่ทำให้มีการหมุนส่ายไปมาตลอดเวลา เชื้อที่เลี้ยงในสภาพดังกล่าวนี้ และต้องการออกซิเจน จะสามารถเติบโตได้ดี โดยได้มีการปรับปรุงอุปกรณ์บางส่วนสำหรับใช้งาน เช่น การเจาะรู สายยางที่สามารถยืดได้ตามขนาด ดังภาพ

ภาพที่ 22 เครื่องเขย่าสารหรือเชื้อ

ที่มา: http://www.sci.tsu.ac.th/bi291/index.php? Option=Content&task =view&id=115&Itemid=145 (27 September 2007)

การออกแบบโครงสร้างเครื่องเขย่าสาร



ภาพที่ 23 ออกแบบโครงสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องเขย่าสาร

สารเคมีที่นำมาทดสอบ

จะเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับด้านอาหาร เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่เป็นอัตลักษณ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต เช่น การใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรมอาหาร คาร์โบไฮเดรต นับว่าเป็นสารอาหารที่มีบทบาทอย่างมากต่ออุตสาหกรรมอาหารเพราะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบหลัก เป็นสารให้ความคงตัวเป็นวัตถุเจือปนในอาหารต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น

การใช้ประโยชน์ของน้ำตาลในอุตสาหกรรมอาหาร การนำเอาน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร อาจพิจารณาได้จากคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำตาล ได้แก่

1. ความหวาน และกลิ่นของน้ำตาล (Sweetness and Flavor) น้ำตาลแต่ละชนิดมีความหวานไม่เท่ากัน การเปรียบเทียบความหวานจะใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ โดยให้ซูโครสมีความหวานมีค่าเป็น 100 หรือ 1 เท่า ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบความหวาน เรียกว่า ความหวานสัมพันธ์ (Relative Sweetness)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำตาล	ความหวานสัมพันธ์
ซูโครส	100
ฟรุคโทส	140-175
น้ำตาลอินเวอร์ท (Invert Sugar)	100-130
น้ำผึ้ง	97
กลูโคส	70-75
กากน้ำตาล (Molasses)	74
น้ำเชื่อมข้าวฟ่าง (Sorghum Syrup)	69
น้ำเชื่อมข้าวโพด (Corn Syrup)	60
มอลโทส	30
แลคโทส	15
ซูโครส	1
ไซคลาเมต (Cyclamate)	30
ดัลซิน (Dulcin)	200
แซคคารีน (Saccharin)	300-500

ที่มา: http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/unit503.html (24 February 2012)

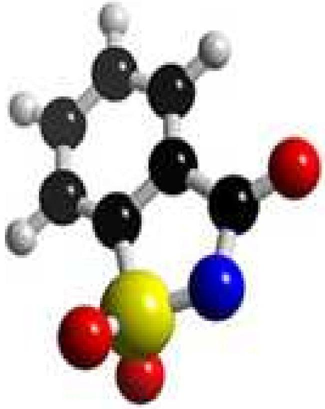
ซูโครสมีคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือไปจากการให้ความหวาน คือ ทำหน้าที่ให้กลิ่นรสแก่อาหารได้แม้ว่าความหวานของอาหารอาจจะไม่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำซูโครสมาผสมกับเกลือแล้ว จะช่วยลดความเค็ม ซึ่งนับว่ามีความสำคัญมากสำหรับการถนอมอาหารด้วยเกลือเช่น เนื้อเค็ม อาหารหมักดอง เป็นต้น

2. การเกิดน้ำตาลไหม้ (Caramel Formation) น้ำตาลไหม้หรือคาราเมลเกิดจากซูโครส ซึ่งเป็นของผสมของน้ำตาลที่ปราศจากน้ำ (Sugar Anhydrides) สูตรคือ $C12H20O10'$ $C24H32O18$ และ $C36H50O25$ น้ำตาลไหม้ให้ประโยชน์ในการผลิตอาหารโดยเป็นสารให้สี และกลิ่นรส เช่น ใช้ผสมทำเบียร์ บรั่นดี เครื่องดื่ม น้ำเชื่อม อาหารดอง และลูกกวาด เป็นต้น สมบัติบางประการที่ควรคำนึงถึงคือ น้ำตาลไหม้ควรมีพีเอชที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น น้ำตาลไหม้ที่ใช้สำหรับทำเบียร์ควรมีพีเอช 6.9 สำหรับทำเครื่องดื่มควรมีพีเอช 3 เป็นต้น การใช้น้ำตาลไหม้ที่มีพีเอชไม่เหมาะสมในการผลิตอาหารแต่ละชนิด อาจทำให้เกิดตะกอนในอาหารได้

3. การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Antioxidant Effect) ซูโครสมีสมบัติในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่น จึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียสี กลิ่น รส และกรดแอสคอร์บิคในอาหาร ทั้งนี้เพราะก๊าซออกซิเจนสามารถละลายอยู่ในสารละลายซูโครสได้น้อยกว่าในน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำตาลความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ จะมีอากาศละลายอยู่เพียง 1/6 เท่าของอากาศที่สามารถละลายได้ในน้ำ การเกิดออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิคในผลไม้แช่แข็ง จะถูกหยุดยั้งไว้ได้ร้อยละ 10-90 ถ้ามีซูโครส กลูโคส ฟรุคโทส หรือน้ำเชื่อมข้าวโพด อย่างใดอย่างหนึ่งผสมอยู่ นอกจากนี้ซูโครสยังช่วยลดการสูญเสียกลิ่น และรสของผลไม้ ช่วยลดการเกิดกลิ่นหืนของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ช่วยลดการสูญเสียวิตามินเอ ในการทำไข่ผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) อีกด้วย

4. น้ำตาลในอาหารประเภทเจล (Sugar in Gels) อาหารประเภทเจล เช่น แยม และเยลลี่ เป็นต้น โดยทั่วไปประกอบด้วยน้ำตาลร้อยละ 75 และเพคทินร้อยละ 1-2 มีพีเอชระหว่าง 2.6-3.4 ซึ่งน้ำตาลจะทำหน้าที่เป็นสารดูดน้ำในเจล ขณะทำแยมในช่วงการต้มน้ำตาลกับผลไม้ จะเกิดน้ำตาลอินเวอร์ทบางส่วน ซึ่งน้ำตาลอินเวอร์ทนี้จะช่วยป้องกันการตกผลึกของแยมในระหว่างการเก็บรักษา และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา แต่ถ้ามีน้ำตาลอินเวอร์ทมากเกินไปก็จะทำให้แยมมีลักษณะเหลวเหมือนน้ำผึ้งในขณะเก็บรักษา น้ำตาลเหลว หรือน้ำเชื่อม (Liquid Sugar or Syrup) เป็นสารละลายของน้ำตาลซูโครสในน้ำ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี 3 ชนิด คือ น้ำเชื่อมซูโครส (Sucrose Type) น้ำเชื่อมอินเวอร์ท (Inverted Type) และน้ำเชื่อมที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาล และจากวัตถุดิบอื่นๆ มักมีสีน้ำตาลดำ หรือเกือบดำ นำมาใช้เป็นสารให้กลิ่น รส และสีของอาหาร เช่น น้ำตาลไหม้ (Caramel Syrup) กากน้ำตาลโมลาส และน้ำเชื่อมที่ผลิตจากแป้ง (Starch Hydrolyzates) เป็นต้น

แซคคารีน (Saccharin) หรือขัณฑสกร คือ สารให้ความหวาน (Sweetener) ที่เป็นสารสังเคราะห์ ถูกค้นพบและใช้ในอาหารมาควบคู่กันกับ ไซคลาเมท (Cyclamate) ทนความร้อน ละลายน้ำได้ดี ขัณฑสกรให้ความหวาน (Relative Sweetness) สูงกว่าน้ำตาลทราย (Sucrose) ถึง 300-700 เท่า ใช้เป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล (Sugar Substitute) ให้รสหวานจัด และติดลิ้น บางคนอาจรู้สึกได้รสขมด้วยถ้าใช้ในปริมาณมาก สารนี้ไม่ให้พลังงานจึงเป็นที่ใช้กันแพร่หลายในอาหารควบคุมน้ำหนักพลังงานต่ำ รวมทั้งในน้ำอัดลมและน้ำหวานต่างๆ แต่สำหรับในประเทศไทยไม่อนุญาตให้ใช้ขัณฑสกรในเครื่องดื่ม



ภาพที่ 24 การตกผลึกของแซคคารีน
ที่มา: http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=60803 (24 February 2012)

ดัลซิน (Dulcin) หรือซูครอล (Sucrol) มีความหวาน 200 เท่าของน้ำตาลทราย

ไซคลาเมต (Cyclamate) สารนี้ให้ความหวานสูงกว่าน้ำตาลทราย 30 เท่า และไม่ให้พลังงาน ไซคลาเมตและขัณฑสกร เป็นที่นิยมใช้ในอาหารประเภทต่าง ๆ ซึ่งทำให้อาหารไม่ออกรสหวานเอียนหรือขมเวลากิน และไม่ทำให้ได้รสหวานติดลิ้นอยู่หลังจากกินอาหารนั้นหมดแล้ว

น้ำตาลอินเวิร์ต (Invert sugar) คือ สารให้ความหวาน (Sweetener) 100-130 เท่า เตรียมโดยการนำน้ำเชื่อมจากน้ำตาลซูโครส (Sucrose) มาทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) ย่อยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ด้วยกรด หรือเอนไซม์ (Enzyme) ทำให้ได้น้ำตาลฟรุกโตส (Fructose) และกลูโคส (Glucose) อย่างละเท่า ๆ กัน ในธรรมชาติพบน้ำตาลอินเวอร์ตในน้ำผึ้ง (Honey)

สมบัติทางกายภาพของน้ำตาล

ความหวาน (Sweetness) ปัจจุบันใช้ซูโครสเป็นมาตรฐานของความหวาน เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่น (ตารางที่ 2) ความหวานของซูโครสมีค่าเท่ากับ 1 ฟรุกโทสหวานมากที่สุด ซูโครสหวานรองลงมา และหวานน้อยที่สุดคือแลกโทส

ความหวานของน้ำตาลขึ้นอยู่กับการรับรสที่ต่อมลิ้นของแต่ละคน ความเข้มข้น และอุณหภูมิของสารละลาย หากอุณหภูมิสูงขึ้นจะรู้สึกหวานขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 2 ความหวานของน้ำตาลบางชนิดเปรียบเทียบกับซูโครส

น้ำตาล	ความหวาน
ฟรุกโทส	1.7
น้ำตาลอินเวอร์ท	1.6
ซูโครส	1
กลูโคส	0.7
มอลโทส	0.5
แลกโทส	0.4

ที่มา: http://www.thaigoodview.com/node/18637 (24 February 2012)

การละลาย (Solubility) น้ำตาลละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 65 ความเข้มข้นหรือปริมาณของสารที่ละลายในน้ำ (Soluble solid) สามารถวัดด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า รีแฟรกโตมิเตอร์ (Refractometer) ใช้หลักการวัดค่าการหักเหของแสง มีหน่วยวัดคือ องศาบริกซ์ (°Brix) หมายถึง ร้อยละของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย ตัวอย่างเช่น น้ำตาล 40 กรัมละลายในน้ำ 60 กรัม เป็นสารละลาย 100 กรัม วัดความ เข้มข้นได้ 40 องศาบริกซ์

ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาลแต่ละชนิดแตกต่างกัน ฟรุกโทสละลายดีกว่าน้ำตาลชนิดอื่น รองมาคือ ซูโครส ส่วนกลูโคสและมอลโทสละลายได้ดีพอกัน แลกโทส ละลายได้น้อยที่สุด สำหรับน้ำตาลหลายชั้นส่วนมากไม่ละลายในน้ำ ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิสูงการละลายของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การละลายของซูโครสที่อุณหภูมิต่าง ๆ

% ซูโครส	% น้ำ	อุณหภูมิ (°C)
0	100	100
40	60	101
60	40	103
80	20	112
90	10	123
99.6	0.4	170

ที่มา: http://www.thaigoodview.com/node/18637 (24 February 2012)

เดือดของสารละลายน้ำตาล (Boiling point) เมื่อน้ำตาลละลายในน้ำเป็นสารละลาย เรียกว่าน้ำเชื่อม น้ำเชื่อมมีจุดเดือดสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณน้ำตาลที่ละลาย ปกติน้ำบริสุทธิ์มีจุดเดือดที่ 100 °C แต่สารละลายหรือน้ำเชื่อมมีจุดเดือดสูงกว่า 100 °C จุดเดือดสูงขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำเชื่อม ดังนั้นอาจเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำเชื่อมโดยการวัดจุดเดือดของน้ำ เชื่อมนั้น (ตารางที่ 4) นอกจากนั้นน้ำเชื่อมที่จุดเดือด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

การดูดและการเก็บรักษาความชื้น (Hygroscopicity) ผลึกน้ำตาลบริสุทธิ์มีสมบัติดูดความชื้นเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) เกินกว่าร้อยละ75 น้ำตาลทรายจะดูดความชื้นได้เร็วและจับตัวกันเป็นก้อนน้ำตาลแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดและเก็บรักษาความชื้นแตกต่างกัน ฟรุกโทสดูดความชื้นได้ดีมาก รองลงมา กลูโคส ซูโครส มอลโทส และแลกโทส ตามลำดับ ฟรุกโทสเป็นส่วนประกอบในน้ำตาลอินเวอร์ท น้ำผึ้ง น้ำเชื่อมข้าวโพด และกากน้ำตาล ดังนั้นอาหารที่มีฟรุกโทสเป็นส่วนผสมจึงเก็บความชื้นได้นาน ทำให้อาหารมีลักษณะนุ่มและชุ่มฉ่ำน่ารับประทาน เช่น ขนมเค้ก คุกกี้ ที่ใช้ส่วนผสมของน้ำผึ้ง หรือน้ำเชื่อมข้าวโพด

ตารางที่ 4 ลักษณะความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่จุดเดือดต่างกัน

อุณหภูมิ (ซ)	ลักษณะน้ำเชื่อม	ลักษณะการเดือด	ลักษณะในน้ำเย็นจัด	ตัวอย่างอาหารที่ใช้น้ำเชื่อมในระยะนั้น
105-106	ใส	เดือดเป็นฟองใหญ่	ตกลงก้นภาชนะแล้วละลาย	น้ำเชื่อมใส่ของหวานมีน้ำแข็ง ใส่น้ำผลไม้ปั่น ขนมโก๋ ทองเอก สัมปันนี

ตารางที่ 4 (ต่อ)

อุณหภูมิ (ซ)	ลักษณะน้ำเชื่อม	ลักษณะการเดือด	ลักษณะในน้ำเย็นจัด	ตัวอย่างอาหารที่ใช้น้ำเชื่อมในระยะนั้น
110-112	เป็นเส้นคล้ายเส้นด้าย (Thread)	เดือดพล่านเป็นฟองขนาดกลาง สีใส	เป็นเส้นหรือพรายยาวประมาณ 2 นิ้ว	ทองหยิบ ทองหยอด ฝอยทอง กรอบเค็มครองแครงชนิดเคลือบชื้น
112-115	ปั้นเป็นก้อนอ่อนไม่อยู่ตัว (Soft ball)	เดือดเป็นฟองขนาดกลาง สีเหลืองใส	หยดในน้ำเย็นเป็นก้อนอ่อนแต่ไม่อยู่ตัว เมื่อยกจากน้ำจะแบนราบ	ขนมเหนียว กรอบเค็มและครองแครงชนิดเคลือบแห้ง มะพร้าวแก้ว ฉาบ อาลัว fondant fudge
118-120	ปั้นเป็นก้อนอยู่ตัว (Firm ball)	เดือดเป็นฟองขนาดเล็กลง สีเข้มขึ้น แต่ใส	เป็นก้อนอยู่ตัว ยกจากน้ำไม่แบนราบ	Caramel ฉาบ ทอฟฟี่นม
121-130	ปั้นเป็นก้อนแข็ง (Hard ball)	เดือดเป็นฟองเล็ก สีเข้มขึ้น	เป็นก้อนแข็งแต่เมื่อยกจากน้ำยังหยุ่นได้	ถั่วเคลือบ กระยาสารท ทอฟฟี่
132-143	เส้นแข็งหักได้ (Soft crack)	เดือดเป็นฟองข้น สีเข้มขึ้น	เป็นเส้นแข็งหักได้แต่ไม่เปราะ	ทอฟฟีใส ทอฟฟีเนย ตังเม
149-154	เส้นแข็งเปราะ (Hard crack)	เดือดเป็นฟองข้น สีเข้มขึ้น	หยดในน้ำแยกเป็นเส้นแข็งและเปราะ	ถั่วตัด ถั่วกระจก สายไหม
160	หลอมเหลวใส (Clear liquid)	น้ำเชื่อมยังคงใสอยู่	เหลว	-
170	เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Caramel)	เดือดเป็นฟองเล็กๆ สีน้ำตาล มีกลิ่นไหม้	หยดในน้ำเป็นก้อนแข็งและมีสีน้ำตาลไหม้	ทำน้ำตาลเคี่ยวไหม้ (caramel)

ที่มา : ที่มา: http://www.thaigoodview.com/node/18637 (24 February 2012)

การตกผลึก (Crystallization) เมื่อเคี่ยวน้ำเชื่อมให้เข้มข้นอิ่มตัวจนน้ำตาลไม่สามารถละลายได้อีก เรียกว่า สารละลายน้ำเชื่อมที่อิ่มตัว หรือน้ำเชื่อมอิ่มตัว หากปล่อยให้เย็นลงอย่างระมัดระวังโดยไม่ให้ตกผลึก น้ำเชื่อมนี้จะมีน้ำตาลละลายอยู่มากกว่าที่ควรเป็น ณ อุณหภูมินั้นจะเกิดภาวะอิ่มตัวยวดยิ่งและอาจแข็งตัวเป็นแผ่นคล้ายกระจกได้ โดยไม่ตกผลึก แต่น้ำตาลส่วนเกินจะเริ่มตกผลึกเป็นผงละเอียดในภายหลัง เห็นได้จากถั่วตัด ถั่วกระจกใหม่ ๆ น้ำตาลอยู่ในภาวะอิ่มตัวยวดยิ่งแข็งใสไม่ตกผลึก เมื่อเก็บไว้นาน น้ำตาลบางส่วนตกผลึกเป็นผงน้ำตาลละเอียด ถั่วกระจกมีลักษณะขุ่น ไม่ใส การตกผลึกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการการทำอาหารที่ต้องการรสหวานจัด เช่น แยม เยลลี่ นิยมใช้ฟรุกโทสเป็นตัวให้ความหวาน ถ้าใช้ซูโครสหรือกลูโคสทำให้เกิดผลึกของน้ำตาลเมื่อใช้ในปริมาณมาก ๆ สมบัติทางเคมีของน้ำตาล

1. การหมัก (Fermentation) เป็นกระบวนการที่เกิดจากจุลินทรีย์ย่อยน้ำตาลภายใต้สภาพที่มีหรือไม่มี อากาศ ตัวอย่างเช่น ยีสต์ย่อยน้ำตาลแล้วได้เป็นแอลกอฮอล์ ใช้เวลาหมัก 2-4 สัปดาห์ ทำให้ได้เครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ ได้แก่ เบียร์ ไวน์ กระแช่ เป็นต้น ส่วนแบคทีเรียกลุ่มแลกติกย่อยน้ำตาลแลกโทสในนมแล้วได้กรดแลกติก ทำให้ได้เป็นนมเปรี้ยว เนยแข็ง เป็นต้น

2. การย่อยสลาย (Hydrolysis) การย่อยสลายของน้ำตาลหลายชั้นให้เป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น การต้มเคี่ยวน้ำเชื่อมภายใต้สภาวะเป็นกรดหรือเอนไซม์ ทำให้ซูโครสถูกย่อยสลายเป็นกลูโคสและฟรุกโทส เรียกกระบวนการนี้ว่า อินเวอร์ชัน (Inversion) น้ำตาลที่ได้ เรียกว่า น้ำตาลอินเวอร์ท (Invert sugar) ปฏิกิริยาการสลายตัวเร็วขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงเบสช่วยในการสลายตัวของน้ำตาลชั้นเดียว บางครั้งทำให้เกิดผลเสียกับอาหาร เช่น ทำให้อาหารเปลี่ยนสี รสและกลิ่นของอาหารเสียไป

3. จุดหลอมตัว (Melting point) ผลึกของน้ำตาลหลอมตัว เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ซูโครสหลอมตัวที่อุณหภูมิ 160 – 180 °C มอลโทสมีจุดหลอมตัวต่ำกว่าซูโครส ส่วนกลูโคสหลอมตัวที่อุณหภูมิ 86 °C การหลอมตัวนี้ถ้าใช้อุณหภูมิสูงทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไหม้หรือคาราเมล (Caramel) เรียกกระบวนการนี้ว่า คาราเมไลเซชัน (Caramelization) ทำให้อาหารเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลไหม้ใช้แต่งสีของอาหาร เช่น ซีอิ๊วดำ ซีอิ๊วหวาน น้ำอัดลมประเภทโคล่า

การเก็บรักษาน้ำตาล

น้ำตาลดูดความชื้นได้ง่ายควรเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและไม่ให้อากาศเข้าได้ วางไว้ห่างจากความร้อน น้ำตาลทรายแดงมีความชื้นสูงจึงมักจับตัวเป็นก้อนแข็ง ก่อนนำมาใช้ให้เก็บน้ำตาลในภาชนะที่คลุมด้วยผ้าชุบน้ำบิดหมาดสักครู่ จะทำให้บดเป็นผงได้ง่ายขึ้น

ส่วนน้ำตาลปี๊บที่วางจำหน่ายบรรจุอยู่ในปี๊บมีถุงพลาสติกรองอีกชั้นหนึ่ง แบ่งขายโดยบรรจุถุงพลาสติกขนาดเล็ก น้ำตาลปี๊บแบบแบ่งขายเมื่อเก็บไว้นาน ๆ เกิดการแยกตัวของน้ำเหนียว ๆ ออกจากน้ำตาลปี๊บ แสดงว่าน้ำตาลปี๊บนั้นมีคุณภาพด้อยลงก่อนที่จะเสื่อมเสียจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ น้ำตาลปี๊บมีอายุการเก็บ 1 ปี โดยไม่มีการใส่สารกันบูด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคการผลิตและภาชนะบรรจุที่ช่วยยืดอายุการเก็บ ปัจจุบันมีการบรรจุน้ำตาลปี๊บในถุงพลาสติกปิดสนิทพร้อมติดฉลากแสดงวันเดือน ปีผลิตและวันหมดอายุบนฉลาก

การละลายของน้ำตาล

เครื่องมือ Polari meter มีประโยชน์มากในการหาเปอร์เซ็นต์น้ำตาลซูโครสซึ่งหลักการคือหาค่า Observed Rotation หรือเรียกกันว่า Pol. Reading นำมาคำนวณ หรือ อ่านในตารางสำเร็จ ก็จะทราบค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลซูโครสโดยประมาณ ซึ่งเรียกกันว่าเปอร์เซ็นต์โพล (% Pol) ซึ่งต่อ ๆ ไปค่าเปอร์เซ็นต์โพลที่อ่านได้จากตารางนั้นจะเรียกว่า “Pol” เช่น Pol in Cane

Pol in Cane หมายถึง % Pol ที่อ่านได้จากตารางของน้ำอ้อยที่สกัดได้จากอ้อยโดยตรง

Pol in mixed juice หมายถึง % Pol ที่อ่านได้จากตารางของน้ำอ้อยรวมเป็นต้น

ต่อมามีการสร้างสเกลสำเร็จจากการที่พบว่าน้ำตาลบริสุทธิ์ (purity = 100%) จำนวน 26.00 กรัม ละลายใน 100 ml ของน้ำที่ 20 °C เมื่อส่องดูโดยใช้ Polari meter จะอ่านค่าได้ใกล้เคียง 100 ° จึงจัดสเกลนี้ให้เป็น 100 หรือเรียกว่า 100 °Z (Saccharometer Scale) และใช้น้ำหนัก 26.00 กรัม เป็นน้ำหนักมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างที่ต้องการตรวจ % น้ำตาลซูโครส โดย Polari meter (Saccharometer or Sucromat)

เพราะฉะนั้น Pol reading หรือ Observed rotation คือ ค่า Pol ซึ่งอ่านได้โดยตรงจากการวิเคราะห์สารละลายน้ำตาลตัวอย่างโดยไม่ได้เทียบเท่ากับ Normal weight ของ Sucrose (Normal weight ของ Sucrose คือ 26 กรัม ของ Pure sucrose ในน้ำ 100 ml ที่ 20 °C)

แต่ถ้าต้องการตรวจสอบ % Sucrose โดย Polari meter ก็ต้องใช้น้ำหนักตัวอย่าง = 26 กรัม เป็นน้ำหนักมาตรฐาน หรืออาจจะสังเกตจากการละลายของน้ำตาล

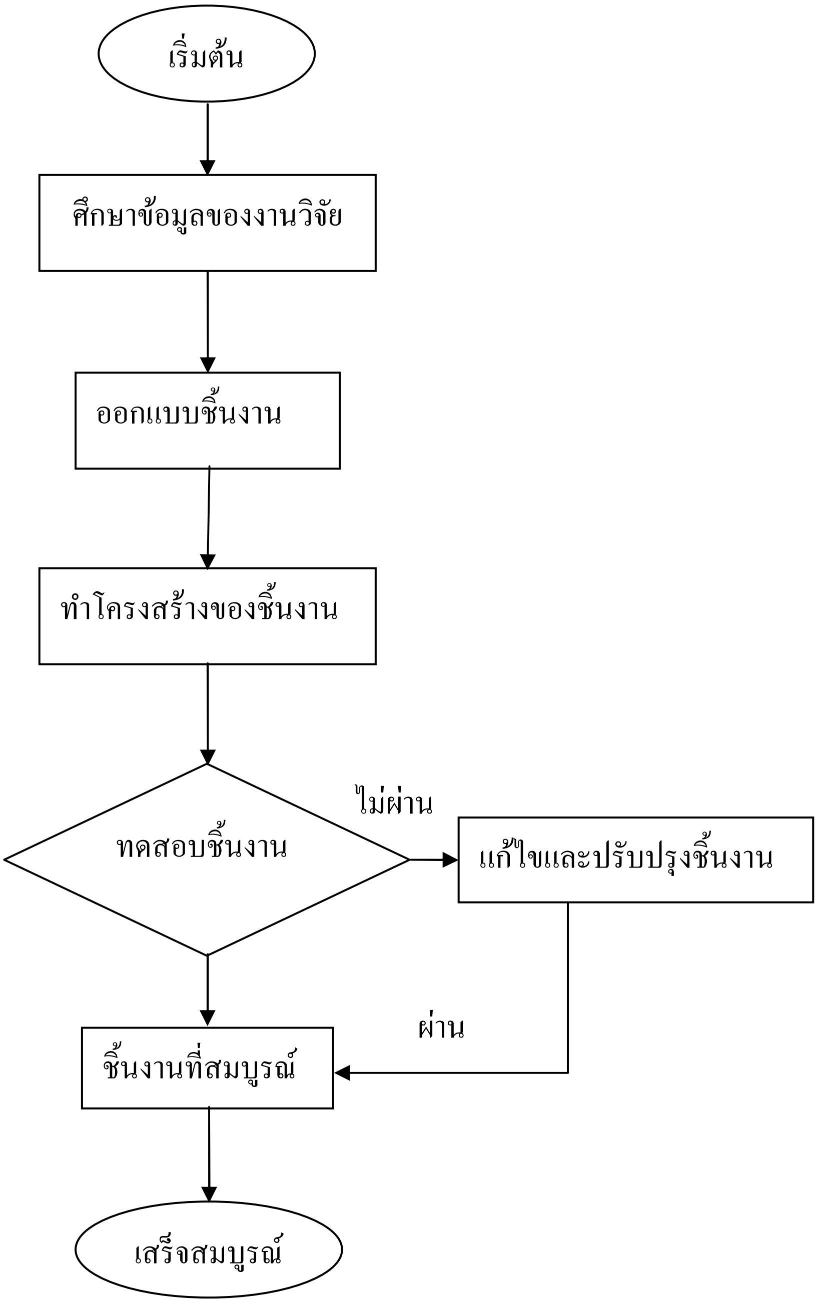
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวางแผนดำเนินการ

ในการดำเนินการสร้างเครื่องเขย่าสาร สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนในการดำเนิน การทำงานได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล
2. ทำการออกแบบและสร้างเครื่อง
3. ทดสอบการทำงาน
4. วิเคราะห์ สรุปผลการทำงาน
5. จัดทำภาคนิพนธ์

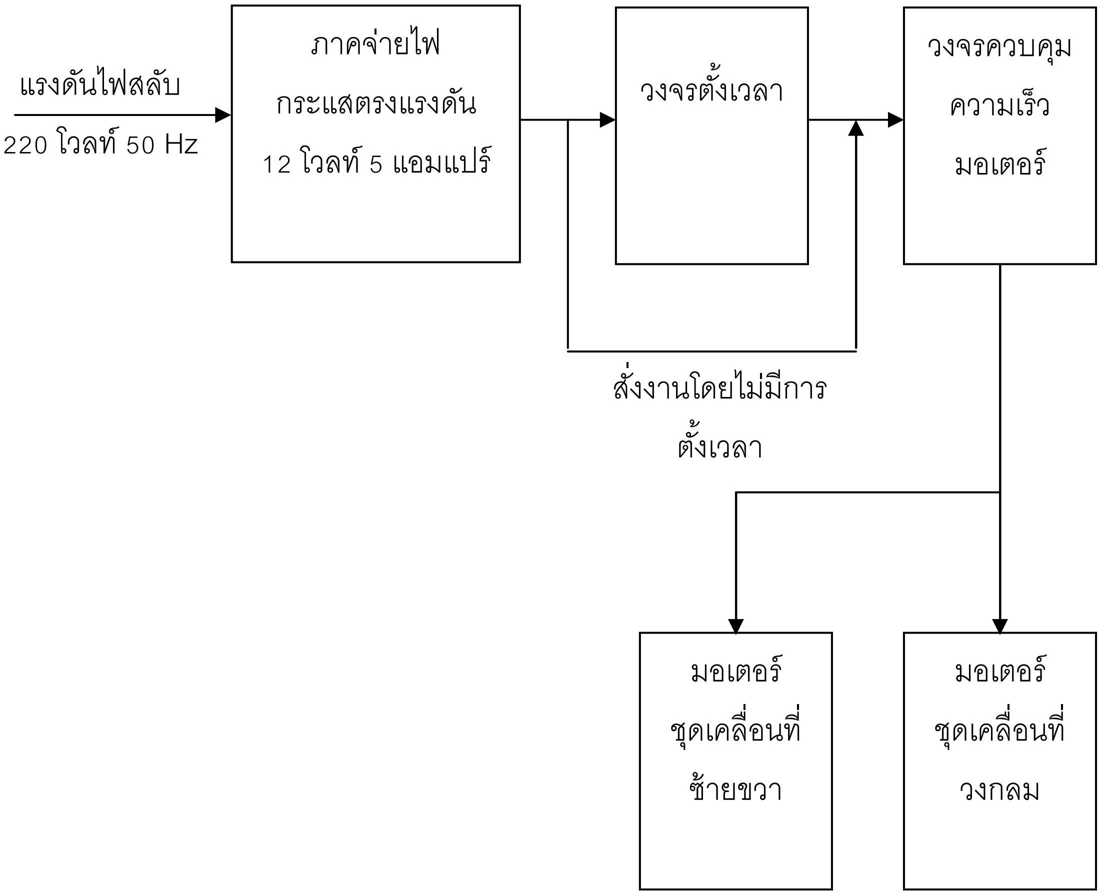
เริ่มจากการเลือกหัวข้อภาคนิพนธ์ ที่จะทำการเสนอหัวข้อเมื่อเลือกได้แล้ว นำหัวข้องานวิจัยนั้นไปแก้ไขจนกว่าจะเป็นที่พอใจ เมื่อตกลงในขอบเขตหรือเนื้อหาได้แล้ว ต้องมาศึกษาข้อมูลและแนวทางในการทำงานในส่วนต่าง ๆ เมื่อได้ข้อมูลมาพอแล้ว นำมาวิเคราะห์อีกครั้งเพื่อดำเนินการออกแบบภาคนิพนธ์ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือขอบเขตที่เสนอ เมื่อออกแบบได้ลงตัวแล้ว นำมาสร้างตามแบบที่ออกแบบไว้แล้ว ทำการทดสอบจนบรรลุเป้าหมาย ดังแผนภาพที่ 25 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 25 ขั้นตอนการดำเนินงาน

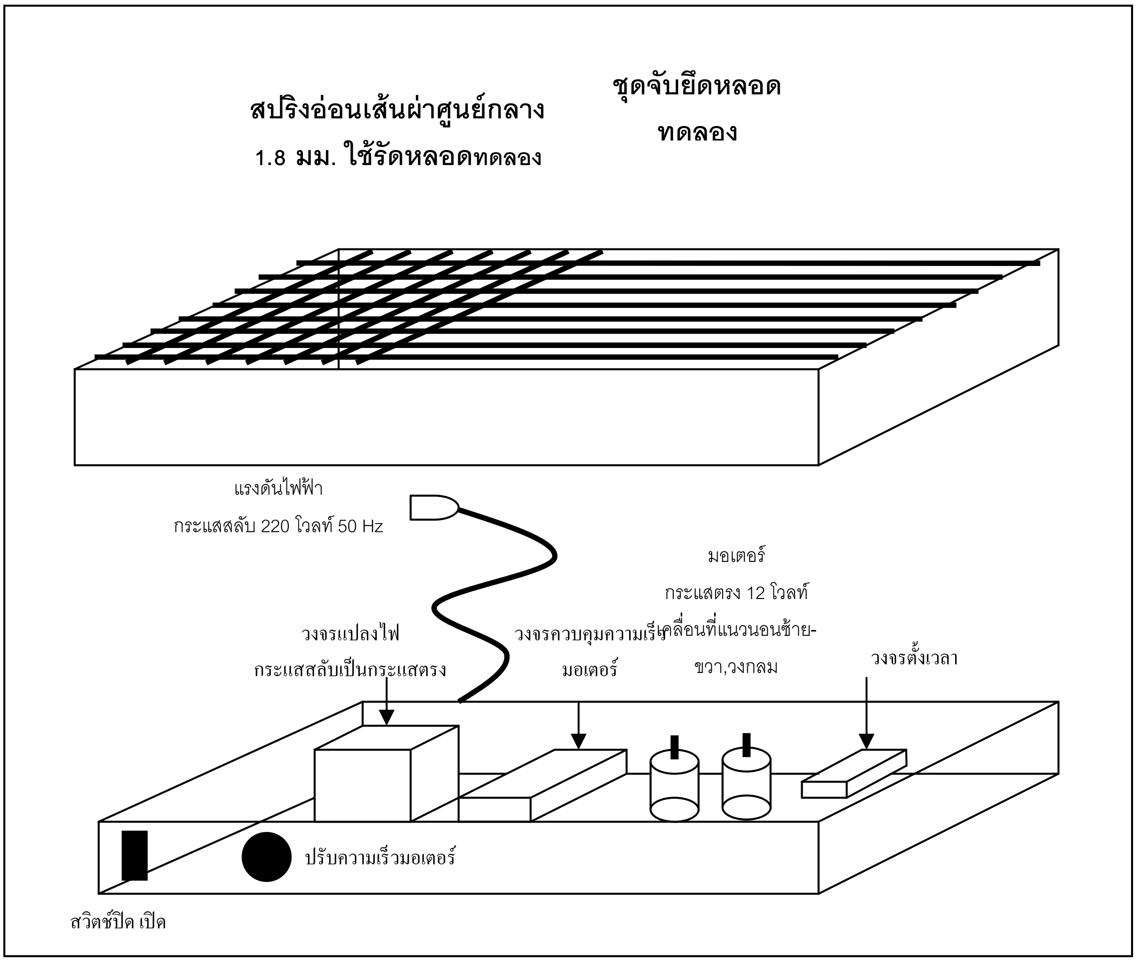
การออกแบบและสร้างเครื่อง

1. การออกแบบโครงสร้างเครื่องเขย่าสาร



ภาพที่ 26 แผนผังการทำงานของเครื่องเขย่าสาร

การทำงานของเครื่องเขย่าสาร โดยส่วนใหญ่ภายในวงจรจะใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงในการควบคุมดังนั้นเมื่อเริ่มทำงาน จะต้องมีการแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลท์ 50 Hz มาเป็นกระแสตรง 12 โวลท์ 5 แอมแปร์ เนื่องจากมอเตอร์ใช้กระแสไฟมาก เมื่อเริ่มทำงานจะมีสวิตซ์เลือกว่าจะทำงานโดยตรงหรือใช้วงจรตั้งเวลา วงจรตั้งเวลาจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลเพื่อความแม่นยำในการสั่งงาน เมื่อทำการสั่งงานแล้วจะผ่านไปที่วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์เพื่อปรับแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ โดยการสั่งงานจะมีสวิตซ์เลือกสั่งงานให้มอเตอร์ทำงานทีละชุด โดยมอเตอร์จะหมุนแบบวงกลมและซ้ายขวา

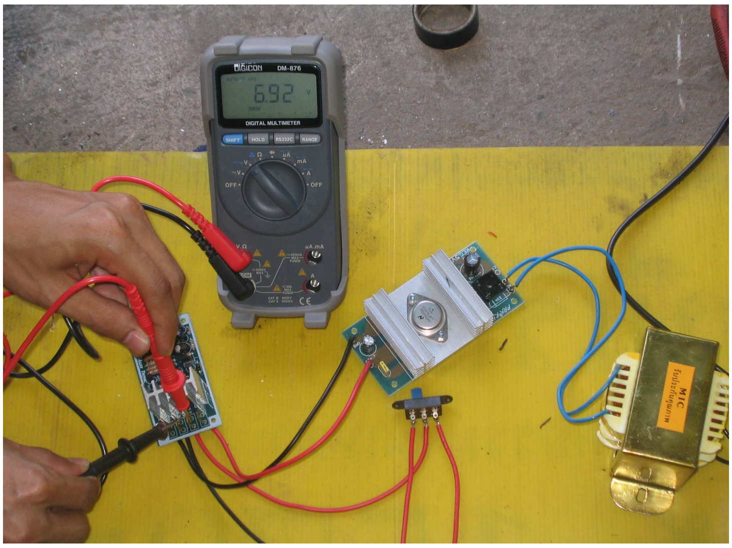


ภาพที่ 27 แบบโครงสร้างของเครื่องเขย่าสาร

ทดสอบการทำงาน

ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเขย่าสาร โดยจะทำการพิจารณาในเรื่อง

1. ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเขย่าสาร
2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ทดสอบตัวอย่างละ 26 กรัม ต่อน้ำละลาย 100 ml



ภาพที่ 28 ภาพดิจิตอลมิเตอร์

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเขย่าสาร ใช้เครื่องมือในการทดสอบ คือ ดิจิตอลมิเตอร์ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นที่ 1 ทำการทดลองโดยนำเครื่องเขย่าสาร มาเขย่าสารเคมีในปริมาณและเวลาที่กำหนด ซึ่งมีลำดับในการทดลองดังนี้

1.1 นำสารเคมีแซคคารีน (Saccharin), ดัลซิน (Dulcin), ไซคลาเมต (Cyclamate) และน้ำตาลอินเวอร์ท (Invert Sugar) น้ำหนัก 26 กรัม เท่ากันลงในหลอดทดลองชนิดที่มีฝาปิดจำนวน 8 หลอด

1.2 นำหลอดทดลองที่เติมสารเคมีแล้วทั้ง 4 ชนิดไปยึดติดกับเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป จำนวน 4 หลอด และยึดติดกับเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ จำนวน 4 หลอดเท่ากัน

1.3 เติมน้ำละลายลงในหลอดทดลอง จำนวน 8 หลอด ปริมาณ 100 ml เท่ากัน

1.4 เปิดเครื่องเขย่าสารเคมีทั้งสองเครื่องพร้อมกัน โดยกำหนดเวลาหยุดเครื่องนาทีละ 1 ครั้ง

1.5 เมื่อสารเคมีหลอดทดลองใดละลายหมดจะดึงออกจากตัวยึดหลอดทดลองแล้วจดบันทึกเวลาที่ได้จากการทดลองในแต่ละสารตัวอย่างของเครื่องเขย่าสารเคมีสองชนิด

ขั้นที่ 2 ทำการบันทึกผลการทดลองโดยพิจารณา 2 เรื่องคือประสิทธิภาพของเครื่องเขย่าสาร และปริมาณสารเคมีที่กำหนด

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการทดลองของเครื่องเขย่าสารเคมี โดยจะเปรียบเทียบความเร็วและคุณภาพของสารตัวอย่างที่เขย่าออกมา ระหว่างเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป กับเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยจะทดลองทั้งหมด 4 ชนิด แต่ละชนิดจะใช้สารตัวอย่างที่ต่างกันในการทดลองเป็นจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยจะเปรียบเทียบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการทดสอบระหว่างเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปกับเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

ชนิดของเครื่องเขย่าสาร	ระยะเวลาในการเขย่าสาร (จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการเขย่า 4 ตัวอย่าง)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4
เครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป	28 นาที	19 นาที	10 นาที	13 นาที
เครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่	27 นาที	18 นาที	8 นาที	11 นาที

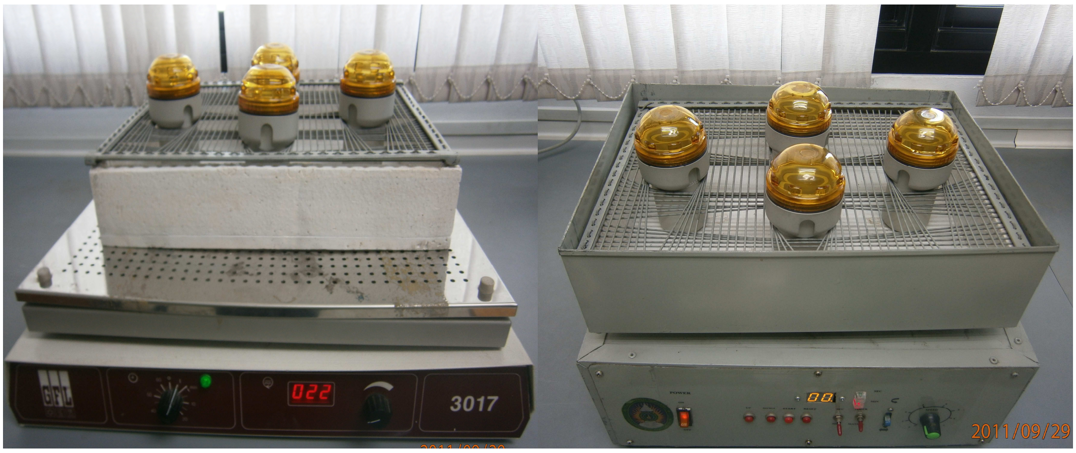
ตัวอย่างที่ 1 ชื่อสารเคมี แซคคารีน (Saccharin) เวลาปกติที่เขย่า 30 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป ที่เขย่าได้ 28 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ ที่เขย่าได้ 27 นาที

ตัวอย่างที่ 2 ชื่อสารเคมี ดัลซิน (Dulcin) เวลาปกติที่เขย่า 20 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป ที่เขย่าได้ 19 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ ที่เขย่าได้ 18 นาที

ตัวอย่างที่ 3 ชื่อสารเคมี ไซคลาเมต (Cyclamate) เวลาปกติที่เขย่า 10 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป ที่เขย่าได้ 10 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ ที่เขย่าได้ 8 นาที

ตัวอย่างที่ 4 ชื่อสารเคมี น้ำตาลอินเวอร์ท (Invert Sugar) เวลาปกติที่เขย่า 15 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป ที่เขย่าได้ 13 นาที
เวลาของเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ ที่เขย่าได้ 11 นาที

การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปกับเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ซึ่งจะแสดงเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปและเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่



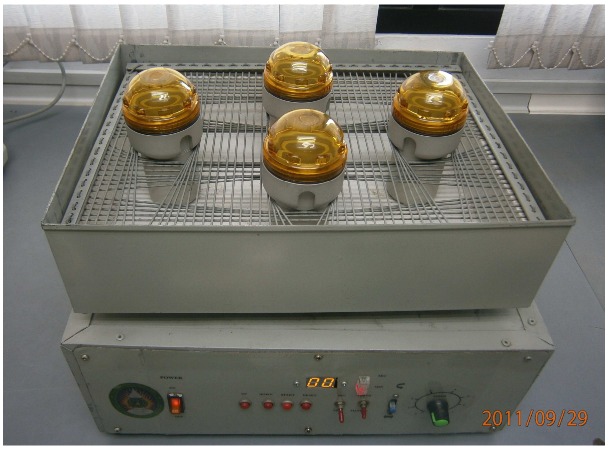
ภาพที่ 29 เครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปกับเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่

จากการทดลองดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถเขย่าสารเคมีได้เร็วกว่าเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป และคุณภาพของสารตัวอย่างที่เขย่าออกมาไม่ต่างกัน ถึงแม้ว่าการเริ่มต้นทำงานในสารตัวอย่างแรกอาจจะช้าไปบ้างแต่เมื่อได้เขย่าไประยะหนึ่งแล้วจะสามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้มากกว่าเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป

สารตัวอย่างจากเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปคุณภาพของสารตัวอย่างที่ได้จากการเขย่านั้นมีลักษณะผสมกันได้ช้ากว่าเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ เนื่องจากเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่มีตัวปรับความเร็วในการทำงานที่มากกว่าเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปใช้ระยะเวลาในการเขย่าที่มีจำนวนสารตัวอย่างที่ใช้ในการเขย่า 4 ตัวอย่าง ครั้งที่ 1 ใช้เวลา 28 นาที ครั้งที่ 2 ใช้เวลา 19 นาที ครั้งที่ 3 ใช้เวลา 10 นาที ครั้งที่ 4 ใช้เวลา 13 นาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ดังภาพที่ 29

ภาพที่ 30 เครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไปที่กำลังเขย่าสารตัวอย่าง

สำหรับสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ จะเห็นว่าสารตัวอย่างที่ได้จากการเขย่าจะมีลักษณะที่เป็นการผสมเข้ากันได้ดี ซึ่งเกิดจากการปรับความเร็วที่เหมาะสมในช่วงเวลาการเขย่าสาร ระยะเวลาในการเขย่าที่มีจำนวนสารตัวอย่างที่ใช้ในการเขย่า 10 ตัวอย่าง ครั้งที่ 1 ใช้เวลา 27 นาที ครั้งที่ 2 ใช้เวลา 18 นาที ครั้งที่ 3 ใช้เวลา 8 นาที ครั้งที่ 4 ใช้เวลา 11 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าเครื่องเขย่าสารเคมีทั่วไป ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 31 เครื่องเขย่าสารเคมีที่พัฒนาขึ้นใหม่ที่กำลังเขย่าสารตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการนำงานวิจัยมาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการทำวิจัยครั้งนี้กลุ่มผู้ทำวิจัยได้แยกการทดสอบดังนี้

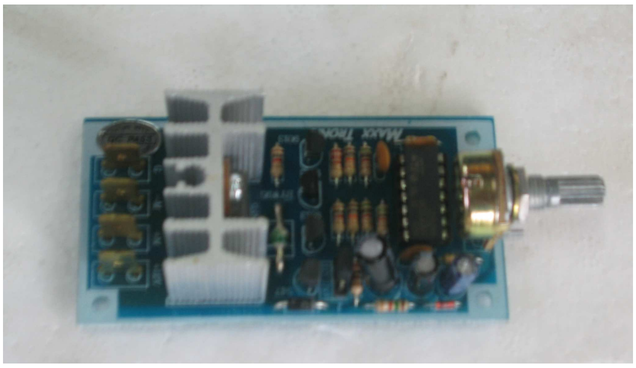
การทำงานของแต่ละส่วนของเครื่องเขย่าสารเคมี

1. ส่วนจ่ายไฟตรง 12 VDC. 5 A.

ภาพที่ 32 แสดงวงจรจ่ายไฟ 12 VDC. 5 A.

วงจรภาคจ่ายไฟตรงมีหน้าที่เป็นตัวป้อนพลังงานให้กับวงจรภาคต่าง ๆ เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์และมอเตอร์กระแสตรงทั้ง 2 ตัว หลักการทำงานโดยการรับแรงดันไฟสลับจากหม้อแปลงที่แปลงไฟสลับ 220 โวลท์ เป็นไฟสลับ 12 โวลท์ เมื่อรับแรงดันจากหม้อแปลงจะทำการเรียงกระแสโดยวงจรบริดจ์เร็กติไฟเออร์ หลังจากนั้นจะควบคุมแรงดันโดย IC เร็กกูเลเตอร์ เบอร์ LM 7812 ทำให้แรงดันที่ออกมาจะคงที่ที่ 12 โวลท์ และจะถูกกรองให้เรียบโดยคาปาซิเตอร์

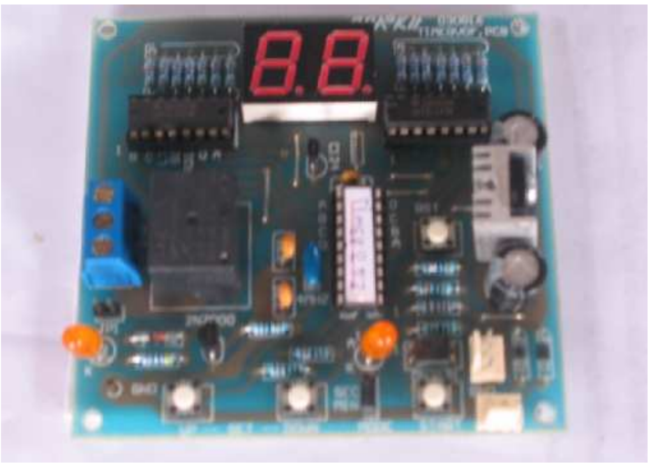
2. วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์



ภาพที่ 33 แสดงวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

จากวงจรเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรง 12 โวลท์ จะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ให้ลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามความต้องการโดยการปรับที่ตัวต้านทานปรับค่า โดยวงจรควบคุมความเร็วที่ใช้จะนำหลักการของวงจรคอนเวอร์เตอร์มาใช้โดยการทำให้แรงดันที่จ่ายให้ทำงานและหยุดเป็นช่วง ๆ ดังนั้นเมื่อนำแรงดันทั้ง 2 ช่วง มาเฉลี่ยทำให้แรงดันค่าใหม่มีค่าลดลง การปรับลักษณะนี้ทำให้แรงดันตกคร่อมมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามที่ผู้ใช้งานกำหนด

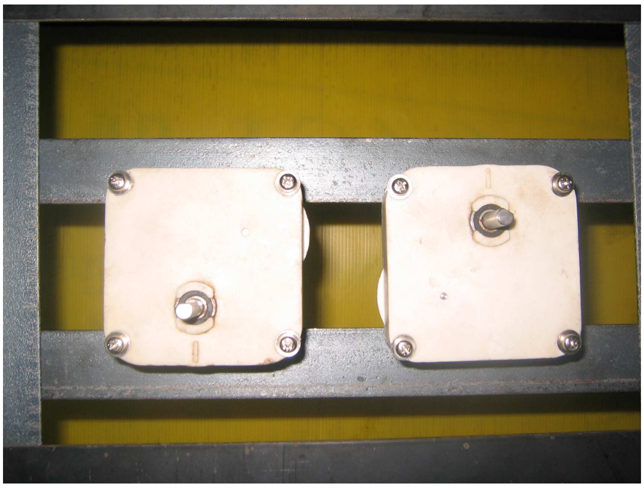
3. วงจรตั้งเวลา



ภาพที่ 34 แสดงวงจรตั้งเวลา

วงจรตั้งเวลาจะใช้หน่วยประมวลผลกลางหรือภาคคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC ทำหน้าที่ควบคุมการกำหนดเวลาในการปิด เปิด หน้าสัมผัสของรีเลย์ วงจรที่ใช้งานออกแบบให้ตั้งเวลาเป็นวินาทีหรือนาทีก็ได้ การทำงานโดยการเลือกเวลาที่จะตั้งให้เครื่องทำงานโดยการกดปุ่ม UP หรือ DOWN เพื่อปรับเวลาขึ้นลง หลังจากนั้นเมื่อต้องการให้เริ่มทำงานให้กดปุ่ม START ส่วนแสดงผลจะใช้ 7 SEGMENT จะเริ่มนับถอยหลังจากค่าที่กำหนดจนถึง 0 เมื่อต้องการจะเริ่มทำงานหรือตั้งเวลาใหม่ให้กดปุ่ม RESET ทุกครั้ง

4. มอเตอร์กระแสตรง



ภาพที่ 35 แสดงมอเตอร์กระแสตรงทั้ง 2 ชุด

มอเตอร์ที่ใช้งานเป็นมอเตอร์กระแสตรงความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นมอเตอร์แบบมีเฟืองทดในตัวเนื่องจากจะต้องนำแกนมอเตอร์ไปต่อกับเพลาข้อเหวี่ยงจึงต้องการมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูง ภายในเครื่องจะประกอบด้วยมอเตอร์ 2 ตัว คือ ตัวที่ 1 จะควบคุมการหมุนเป็นวงกลม ส่วนตัวที่ 2 จะควบคุมการเคลื่อนที่ซ้ายขวา

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละส่วน

1. ส่วนจ่ายไฟ

ทำการทดสอบโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทำการวัดค่าในแต่ละส่วนของภาคจ่ายไฟโดยทำการเปรียบเทียบค่าที่ต้องการกับค่าที่วัดได้จริงเห็นว่าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงค่าที่ต้องการมาก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 6 แสดงแรงดันไฟแต่ละจุดของภาคจ่ายไฟ

ค่าแรงดัน	**แรงดันที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง**	**แรงดันที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง**	**แรงดันที่เอาท์พุทของเร็กติไฟเออร์**	**แรงดันที่เอาท์พุทเรกกูเลเตอร์**
ค่าแรงดันที่ต้องการ	220 VAC	12.00 VAC	12.00 VDC	12.00 VDC
ค่าแรงดันที่วัดได้	223 VAC	11.98 VAC	12.86 VDC	11.71 VDC

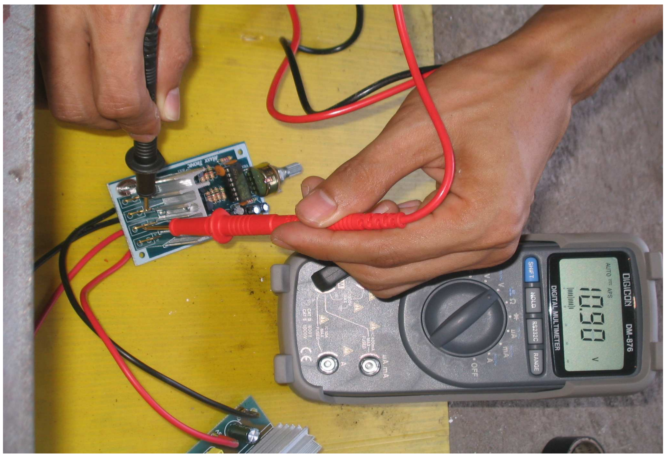
ภาพที่ 36 แสดงการใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดัน

2. วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

จากการทดสอบวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการวัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์สามารถอธิบายดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงแรงดันชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์

ทดสอบครั้งที่	**ตำแหน่งตัวต้านทานปรับค่า**	**แรงดันมอเตอร์ชุดหมุนวงกลม(โวลท์)**	**แรงดันมอเตอร์ชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวา(โวลท์)**
1	ซ้ายสุด	0	0
2	กึ่งกลาง	6.32	6.78
3	ขวาสุด	11.23	11.65



ภาพที่ 37 แสดงการวัดค่าแรงดันวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

3. วงจรตั้งเวลา

เมื่อทำการทดสอบการทำงานแล้วทางกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในเรื่องเวลาในการใช้งานเนื่องจากวงจรจะต้องมีการจ่ายไฟตลอดเวลาจึงต้องมีการทดสอบว่าสามารถใช้งานได้นานหรือไม่ โดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเวลาต่าง ๆ การใช้งานไม่มีปัญหาใด ๆ เกิดขึ้นเครื่องยังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงการทดสอบในเรื่องความทนทานในการใช้งาน (เวลาในการทดสอบ)

ทดสอบครั้งที่	มอเตอร์ชุดที่	เวลาในการทดสอบ (นาที)	สถานะการทำงาน
1	1	5	ใช้งานได้
	2	5	ใช้งานได้
2	1	10	ใช้งานได้
	2	10	ใช้งานได้
3	1	15	ใช้งานได้
	2	15	ใช้งานได้

หมายเหตุ มอเตอร์ชุดที่ 1 หมุนเป็นวงกลม

มอเตอร์ชุดที่ 2 เคลื่อนที่ซ้ายขวา

4. การรับน้ำหนักของมอเตอร์

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบในเรื่องความทนทานในการใช้งาน (น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ)

ทดสอบครั้งที่	**มอเตอร์ชุดที่**	**น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (กิโลกรัม)**	**สถานะการทำงาน**
1	1	5	ใช้งานได้
	2	5	ใช้งานได้
2	1	10	ใช้งานได้
	2	10	ใช้งานได้

หมายเหตุ มอเตอร์ชุดที่ 1 หมุนเป็นวงกลม
มอเตอร์ชุดที่ 2 เคลื่อนที่ซ้ายขวา

จากการทดสอบโดยการนำของเหลวโดยใช้น้ำเปล่าทำการทดสอบการรับน้ำหนักของเครื่องว่าสามารถรับน้ำหนักได้เท่าใด โดยกลุ่มผู้วิจัยได้กำหนดน้ำหนักของของเหลวไว้ที่ 5 และ 10 กิโลกรัม ผลจากการทดสอบเครื่องสามารถรับน้ำหนักได้ โดยเครื่องสามารถเขย่าของเหลวได้เป็นปกติทั้งแบบหมุนเป็นวงกลมและเคลื่อนที่ซ้ายขวา

การประกอบเครื่องเขย่าสาร

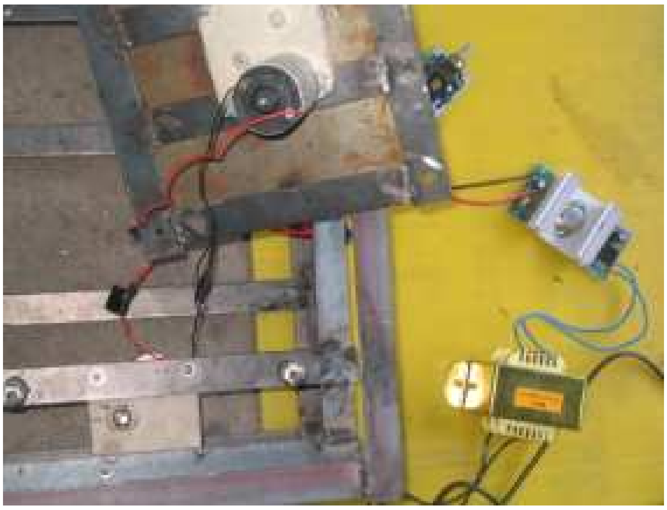
ขั้นตอนในการประกอบเครื่องเขย่าสารมีขั้นตอนดังนี้

1. การประกอบโครงสร้าง

โครงสร้างที่ใช้ทำประกอบจากการนำเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว หนา 2 มม. มายึดติดโดยการเชื่อมไฟฟ้าโดยในขณะที่ทำการเชื่อมต้องมีการใช้เหล็กฉากวัดองศาในการเข้ามุมให้ได้ 90 องศาตลอดเวลา เนื่องจากในขณะที่ทำการเชื่อมจะเกิดความร้อนที่ทำให้รูปทรงของเหล็กเปลี่ยนแปลงแบบจากที่กำหนดไว้ซึ่งอาจทำให้รูปทรงของเครื่องบิดตัวได้

ภาพที่ 38 แสดงการทำโครงสร้างของเครื่องเขย่าสาร

ยึดมอเตอร์กระแสตรงทั้ง 2 ชุด เข้ากับโครงสร้างโดยให้แกนมอเตอร์ทั้ง 2 ชุด หันขึ้นด้านบน ทำโครงยึดมอเตอร์โดยใช้เหล็กเส้นขนาด 1 นิ้ว หนา 2 มม. ทำเป็นโครง ให้มอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนเป็นวงกลมอยู่ด้านบนมอเตอร์ชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวาอยู่ด้านล่างโดยให้โครงสร้างชุดหมุนวงกลมยึดกับแกนมอเตอร์ชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวา



ภาพที่ 39 แสดงตำแหน่งการยึดมอเตอร์โดยมองจากด้านบน

ภาพที่ 40 แสดงตำแหน่งการยึดมอเตอร์โดยมองจากด้านข้าง

การควบคุมการเคลื่อนที่ของถาดใส่อุปกรณ์ ออกแบบให้เคลื่อนที่ได้ 2 รูปแบบ คือ เคลื่อนที่เป็นวงกลมและซ้ายขวา โดยการเคลื่อนที่แบบซ้ายขวาจะใช้แผ่นเหล็กยึดหนีศูนย์กลางของการหมุนมอเตอร์คล้ายกับการหมุนของล้อรถไฟส่วนการเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นวงกลมจะใช้วิธีคล้ายกัน แต่จะไม่มีแผ่นเหล็กต่อออกมาจะยึดถาดวางบนเพลาข้อเหวี่ยง

ภาพที่ 41 แสดงการใช้เพลาข้อเหวี่ยงชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวา

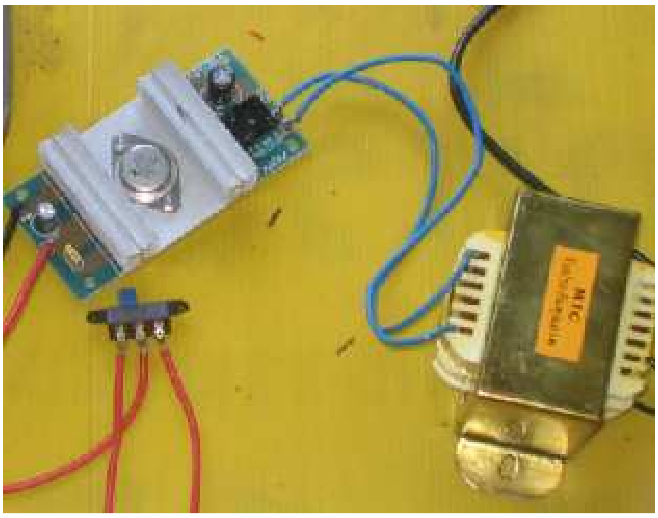
ภาพที่ 42 แสดงการใช้เพลาข้อเหวี่ยงชุดเคลื่อนที่วงกลม

2. การประกอบวงจรควบคุม

2.1 การประกอบส่วนจ่ายแรงดันไฟตรง

ทำการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงลง จาก 220 โวลท์ ลดลงเป็น 6,9,12 และ 24 โวลท์ โดยด้านปฐมภูมิ 220 โวลท์ ให้ต่อกับสายไฟ AC และสวิตซ์ POWER 220 โวลท์ 10 A. ส่วนด้านทุติยภูมิให้ต่อกับวงจรแปลงไฟ (Rectifier Circuit) โดยใช้วงจรแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบค่าคงที่ 12 VDC. โดยการต่อสายไฟเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะใช้การบัดกรี

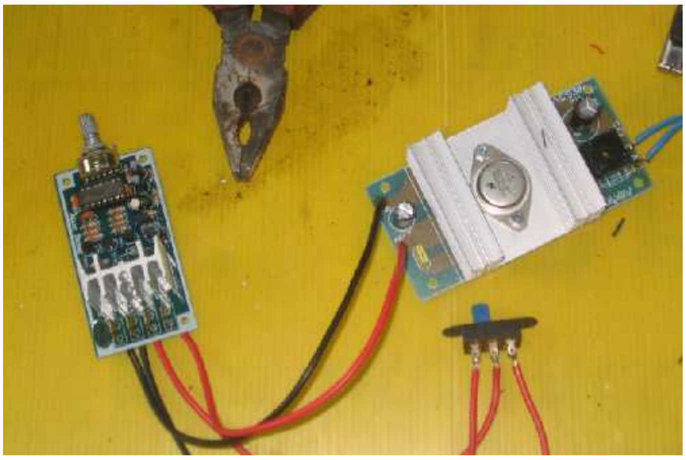
ภาพที่ 43 แสดงการบัดกรีวงจร



ภาพที่ 44 แสดงการต่อชุดจ่ายไฟ

2.2 การประกอบชุดปรับความเร็วมอเตอร์

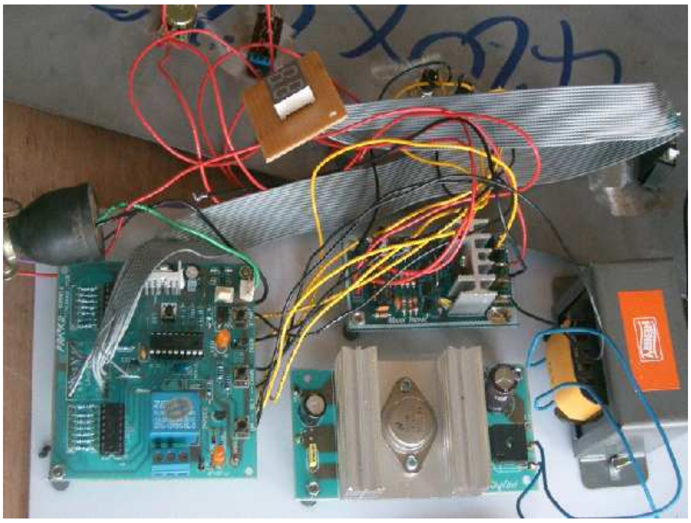
เมื่อได้ชุดจ่ายไฟแล้วทำการวัดแรงดันให้ได้ 12 โวลท์จากนั้นทำการบัดกรีด้านเอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับด้านอินพุทของวงจรปรับความเร็วมอเตอร์โดยให้ไฟบวกต่อที่ +V และไฟลบต่อที่–V จากนั้นต่อเอาท์พุทของวงจรปรับความเร็วมอเตอร์เข้ากับมอเตอร์ทั้ง 2 ชุด โดย –M เข้าที่ขั้วลบของมอเตอร์ +M ต่อผ่านสวิตช์ 2 ทาง ก่อนเข้าขั้วบวกของมอเตอร์เพื่อเลือกให้มอเตอร์ทำงานทีละตัว โดยการปรับความเร็วจะปรับที่ตัวต้านทานปรับค่าได้



ภาพที่ 45 แสดงการต่อชุดปรับความเร็วมอเตอร์

2.3 การประกอบชุดตั้งเวลา

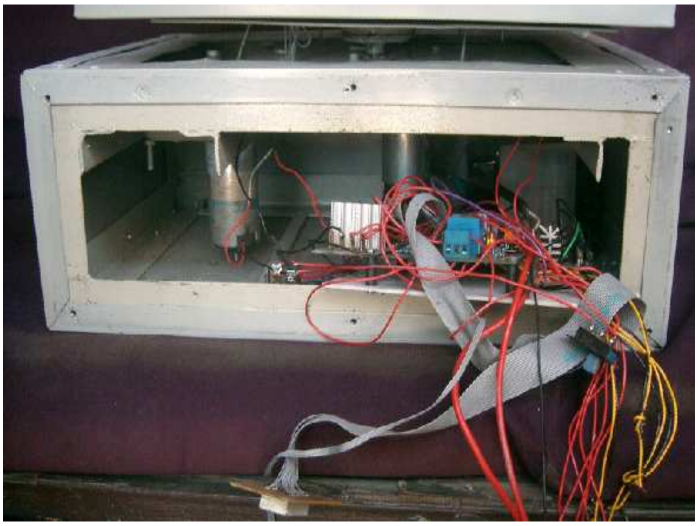
จ่ายแรงดันไฟตรง 12 โวลท์ ให้วงจรตั้งเวลาทำการบัดกรีอุปกรณ์แสดงผล คือ 7 Segment และสวิตช์สั่งงานต่าง ๆ ออกมายึดกับแผ่นเหล็กด้านหน้าของเครื่องทำการต่อแรงดัน 12 โวลท์ที่ขา Common ของรีเลย์ในวงจรตั้งเวลา ต่อขา NO ของรีเลย์เข้ากับสวิตช์ 2 ทางเพื่อเลือกการทำงานแบบควบคุมเองหรือตั้งเวลาก่อนเข้าชุดจ่ายไฟของวงจรปรับความเร็วมอเตอร์



ภาพที่ 46 แสดงการต่อชุดตั้งเวลา

2.4 การประกอบวงจรเข้ากับโครงสร้างของเครื่อง

เมื่อทำการประกอบวงจรเสร็จเรียบร้อยทำการยึดแผ่นวงจรกับแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันลายทองแดงด้านล่างของวงจรจะลัดวงจรเมื่อสัมผัสกับโครงเหล็กด้านล่าง หลังจากนั้นนำวงจรทั้งหมดเข้าไปวางภายในโครงของเครื่องที่เตรียมไว้ทำการยึดน็อตให้แข็งแรงทำการใช้เข็มขัดรัดสายมัดเก็บสายไฟเพื่อความเป็นระเบียบและความปลอดภัย



ภาพที่ 47 แสดงการประกอบวงจรเข้ากับเครื่อง

3. การสร้างถาดใส่ภาชนะสำหรับทดลอง

ทำการสร้างโดยใช้เหล็กแผ่นพับเป็นเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเปิดด้านบนซึ่งมีขนาดความกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร ส่วนสายรัดภาชนะจะใช้สปริงอ่อนเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. ต่อกันเป็นตรงร้อยบนโครงเหล็กสี่เหลี่ยมที่เจาะรูร้อยไว้โดยทำการร้อยเป็นตาข่าย 2 ชั้นวางขวางกัน

ภาพที่ 48 แสดงกล่องใส่ภาชนะทดลอง

ภาพที่ 49 แสดงการใช้สปริงทำสายรัดภาชนะทดลอง

ภาพที่ 50 แสดงการประกอบถาดใส่ภาชนะทดลอง

ผลการทดสอบการใช้งานเครื่อง

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเขย่าสารเมื่อทำเสร็จครั้งที่ 1 พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของถาดใส่ภาชนะ

การเคลื่อนที่ของถาดใส่ภาชนะเมื่อสั่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมจะไม่มีการเคลื่อนที่หนีจุดศูนย์กลางแต่จะหมุนเป็นวงกลมทำให้สารที่นำมาทดสอบไม่มีการแกว่งให้ผสมกันส่วนการสั่งงานให้เคลื่อนที่ซ้ายขวามีเสียงดัง

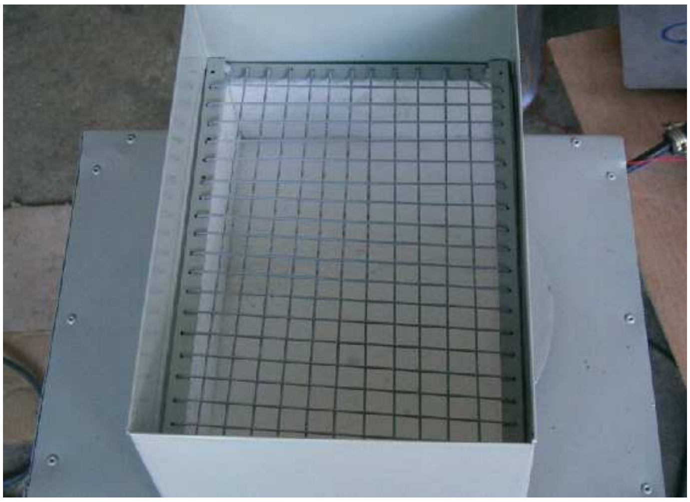
2. โครงสร้างไม่สมดุล

โครงสร้างบิดตัวเนื่องจากเวลาเชื่อมความร้อนทำให้แผ่นเหล็กบิดตัวทำให้เวลานำมาประกอบแล้วแต่ละด้านจะไม่ได้ฉากกันและความสูงของโครงสร้างสูงเกินไปทำให้เวลาทำงานเครื่องจะสั่น

3. การรัดภาชนะทดลองไม่กระชับ

ช่องว่างที่เกิดจากการร้อยสปริงอ่อนมีความห่างมากเกินไปทำให้ไม่สามารถจับหลอดทดลองที่มีขนาดเล็กได้

ภาพที่ 51 แสดงเครื่องเขย่าสารที่ทำเสร็จครั้งที่ 1



ภาพที่ 52 แสดงถาดใส่ภาชนะทดลองเมื่อทำเสร็จครั้งที่ 1

การพัฒนาเครื่องเขย่าสาร ครั้งที่ 1

1. การเคลื่อนที่ของถาดใส่ภาชนะ

1.1 วิธีการพัฒนา

การเคลื่อนที่แบบเป็นวงกลมให้ถาดเคลื่อนที่บนแผ่นโลหะอีกชั้นโดยยึดบนแกนมอเตอร์ที่ติดเพลาข้อเหวี่ยงใช้สปริงอ่อนทำการยึดแผ่นโลหะทั้ง 4 ด้านเพื่อไม่ให้หมุนรอบตัวเอง การเคลื่อนที่ซ้ายขวาใช้สปริงขนาดเล็กลงเพื่อลดเสียงดัง

1.2 ผลการพัฒนา

การเคลื่อนที่เป็นวงกลมเป็นไปตามที่กำหนดทดสอบกับหลอดทดลองและสารตัวอย่างที่เตรียมไว้ ตัวอย่างสารสามารถผสมเข้ากันเป็นอย่างดี เสียงขณะใช้งานลดความดังลงมาจากเดิม

1.3 ปัญหาที่พบ

เมื่อทำการออกแบบระบบการเคลื่อนที่ใหม่ทำให้การทำงานของมอเตอร์ต้องใช้กำลังมากขึ้นส่งผลให้ความเร็วของมอเตอร์ช้าลง

2. โครงสร้างไม่สมดุล

2.1 วิธีการพัฒนา

ออกแบบโครงสร้างให้ความสูงลดลง ขยายด้านกว้างและด้านยาวของเครื่อง ทำการยึดเหล็กให้ได้ฉากก่อนทำการเชื่อม ทำการรองด้านล่างของเครื่องโดยใช้ลูกยางทั้ง 4 ด้าน เพื่อทำการปรับระดับ

2.2 ผลการพัฒนา

โครงสร้างที่ทำใหม่ได้สมดุลไม่มีการสั่นขณะใช้งาน

2.3 ปัญหาที่พบ

หลังจากการแก้ไขไม่พบปัญหาในเรื่องโครงสร้าง

3. การรัดภาชนะทดลอง

3.1 วิธีการพัฒนา

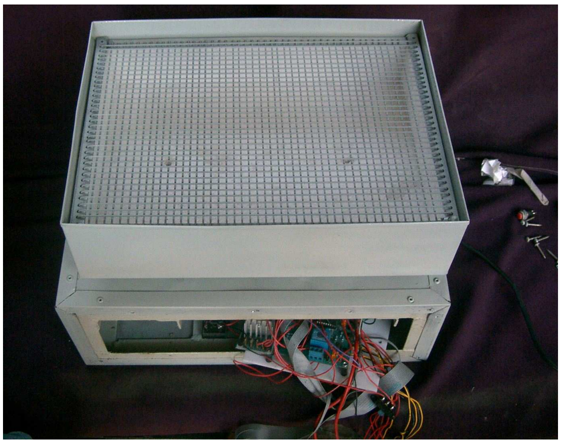
ทำการเจาะรูร้อยสายให้ถี่ขึ้นโดยเจาะให้ห่างกัน 1 ซม. โดยเพิ่มจำนวนของสปริงอ่อนที่นำมาทำเป็นสายรัดให้ยาวขึ้น

3.2 ผลการพัฒนา

การจับภาชนะขนาดเล็กทำได้ดีขึ้นและการทดลองนำหลอดทดลองหลายหลอดมาทดลองพร้อมกันหลอดทดลองก็ไม่มีการกระทบกัน

3.3 ปัญหาที่พบ

หลังจากการแก้ไขไม่พบปัญหาในเรื่องการจับหลอดทดลอง



ภาพที่ 53 แสดงเครื่องเขย่าสารที่ทำการพัฒนาครั้งที่ 1

การพัฒนาเครื่องเขย่าสาร ครั้งที่ 2

1. วิธีการพัฒนา

การพัฒนาเครื่องเขย่าสารครั้งที่ 2 จะทำการพัฒนาในเรื่อง การเก็บรายละเอียดความเรียบร้อยของเครื่อง ได้แก่ การทำอักษรบอกหน้าที่ของแต่ละปุ่ม การติดดวงไฟแสดงผลสถานะของเวลาที่เลือกใช้งานว่าเป็นนาทีหรือวินาที และการติดคู่มือการใช้งาน

2. ผลการพัฒนา

การใช้งานสะดวกขึ้น ผู้ใช้งานสามารถศึกษาวิธีการใช้งานจากคู่มือที่ติดไว้ด้านข้างของเครื่อง

3. ปัญหาที่พบ

การใช้สติ๊กเกอร์ในการติดตัวอักษรอาจลอกได้ถ้าเกิดการขูดขีดควรมีการเคลือบตัวอักษรอีก 1 ชั้น เพื่อความคงทนในการใช้งาน

ภาพที่ 54 แสดงเครื่องเขย่าสารที่ทำการพัฒนาครั้งที่ 2

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานเครื่องเขย่าสารเคมีให้ตกตะกอน สิทธิภาพของเครื่องอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากวงจรที่ใช้ควบคุมเวลามีความแม่นยำสูง วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์สามารถปรับได้ตามต้องการ ทิศทางของการเขย่าสารเคมีสามารถสั่งงานให้ทำได้ 2 ลักษณะ คือ หมุนเป็นวงกลมและเคลื่อนที่ซ้ายขวา การตั้งเวลาในการทำงานสามารถตั้งให้ทำงานได้ทั้งแบบวินาทีและนาที การรับน้ำหนักของของเหลวในการเขย่าสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 10 กิโลกรัม ดังนั้นราคาเครื่องต้นแบบของเครื่องเขย่าสารเคมีชนิดนี้ประมาณ 8,094 บาท ต่อเครื่อง

อภิปรายผล

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องโดยทำการแยกการทดสอบทีละภาคได้ผลการทดลองดังนี้

1. ภาคจ่ายไฟ แรงดันเอาท์พุทที่ต้องการไป จ่ายให้กับวงจรภาคต่าง ๆ ในเครื่องตามที่กำหนด คือ 12 VDC โดยวงจรสามารถกำเนิดแรงดันได้อยู่ที่ 11.71 VDC ค่าที่ผิดพลาดอยู่ที่ 0.29 VDC ซึ่งผิดพลาดน้อยมาก ไม่เป็นผลกับวงจร

2. วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ออกแบบให้สามารถปรับลดหรือเพิ่ม โดยการกำหนดแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ จากการทดสอบแรงดันโดยการปรับค่าตัวต้านทาน 3 ระดับ ได้ผล คือ เมื่อ ปรับให้อยู่ตำแหน่งซ้ายสุด มอเตอร์ชุดหมุนวงกลมวัดได้ 0 โวลท์ มอเตอร์ชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวาวัดได้ 0 โวลท์ ปรับให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง มอเตอร์ชุดหมุนวงกลมวัดได้ 6.32 โวลท์ มอเตอร์ชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวาวัดได้ 6.78 โวลท์ ปรับให้อยู่ตำแหน่งขวาสุด มอเตอร์ชุดหมุนวงกลมวัดได้ 11.23 โวลท์ มอเตอร์ชุดเคลื่อนที่ซ้ายขวาวัดได้ 11.65 โวลท์

3. วงจรตั้งเวลา เมื่อทำการทดสอบการทำงานแล้วทางกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในเรื่องเวลาในการใช้งานเนื่องจากวงจรจะต้องมีการจ่ายไฟตลอดเวลาจึงต้องมีการทดสอบว่าสามารถใช้งานได้นานหรือไม่ โดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเวลา 5,10,15 นาที การใช้งานไม่มีปัญหาใด ๆ เกิดขึ้นเครื่องยังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

4. การรับน้ำหนักของเหลวที่นำมาทดสอบ โดยใช้นำเปล่าทำการทดสอบการรับน้ำหนักของเครื่องว่าสามารถรับน้ำหนักได้เท่าใด โดยกลุ่มผู้วิจัยได้กำหนดน้ำหนักของของเหลวไว้ที่ 5 และ 10

กิโลกรัม ผลจากการทดสอบเครื่องสามารถรับน้ำหนักได้ โดยเครื่องสามารถเขย่าของเหลวได้เป็นปกติทั้งแบบหมุนเป็นวงกลมและเคลื่อนที่ซ้ายขวา

ข้อเสนอแนะ

1. โครงสร้างของเครื่องยังมีบางส่วนที่ต้องแก้ไขเนื่องจากโครงสร้างทำจากเหล็กทำให้มีน้ำหนักมาก ทำให้การเคลื่อนย้ายไม่สะดวก ควรใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงแต่มีน้ำหนักเบาหรืออาจใช้โครงเหล็กแต่ให้มีความหนาน้อยกว่า 2 มม.

2. ชิ้นส่วนในการกำหนดทิศทางการหมุนทำจากเหล็กเวลาเคลื่อนที่จึงเกิดการเสียดสีทำให้มีเสียงดัง ควรใช้วัสดุที่ทำให้เสียงเบาลง เช่น พลาสติก เป็นต้น

3. ระบบการตั้งเวลาควรมีการออกแบบโปรมแกรมในการใช้งานให้ง่ายและสะดวกกับผู้ใช้ ไม่ควรมีขั้นตอนในการใช้งานหลายขั้นตอนซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้งานสับสน

4. ถาดใส่ภาชนะทดลองควรออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวกและควรมีการออกแบบอุปกรณ์จับภาชนะทดลองหลาย ๆ แบบเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

5. โครงสร้างภายนอกในส่วนที่เป็นมุมควรหาวัสดุป้องกันหุ้มอีกครั้งเพื่อป้องกันอันตรายเนื่องจากทำจากเหล็กทำให้มีความคมอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน

6. ควรออกแบบให้ทิศทางในการหมุนคงที่ สม่ำเสมอ ไม่มีการส่ายไปมา เมื่อมีการปรับความเร็วให้สูงขึ้นหรือช้าลงเพราะจะทำให้สารที่ทำการเขย่าส่วนผสมไม่เข้ากัน

7. ควรทำการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องให้เข้าใจเสียก่อนลงมือทำว่างานวิจัยที่ผ่านมามีหลักการทำงานอย่างไร มีข้อดีข้อเสียอย่างไร เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำมาพัฒนา เป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายก่อนลงมือทำจริง

รายการอ้างอิง

กนกอร อินทรพีเชษฐ์.(2523). *เคมีอาหาร.* ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เจน สงสมพันธุ์. (2537). *เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์.* กรุงเทพฯ : หจก.เม็ดทรายพริ้นติ้ง.

ไทยเอกซ์แล็บ.(2007) “*เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ Jeiotech รุ่น SK-300*” [online]. Available: http://www.thaiexlabs.com/product.index.php?lang=th (Access date: September, 2007).

ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล. (2547). *เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.* กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะศึกษา.

นภัทร วัจนเทพินทร์.(2547). *อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.* กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

บริษัท ซายน์ลูชั่น จำกัด. (2007) “*เครื่องเขย่าสาร รุ่น OS 70*” [online].Available: http://www.scilution.com/product.detail.php?Lang=th&cat=36498&id=642005# (Access date: September, 2007).

บริษัท สิทธิพรแอสโซซิเอส จำกัด.(2007) “*เครื่องเขย่าสาร แบบ Reciprocal / Orbital*” [online]. Available: http://www.sithiporn.co.th/index.php?name=spd&group= (Access date: September, 2007).

ปัญญา ยอดโอวาท.(2546). *เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.* กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

มงคล ทองสงคราม.(2546). *เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.* กรุงเทพฯ : 23 บุ๊คเซ็นเตอร์.

มหาวิทยาลัยรามคำแหง.(2007).“*เครื่องเขย่าสารแบบซ้ายขวา*”[online].Available: http://www.eng.ru.ac.th/envi/Lab/Lab1.htm (Access date: September, 2007).

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2007). “*เครื่องเขย่าสารหรือเชื้อ*” [online].Available: http://www.sci.tsu.ac.th/bi291/index.php?option=content&task=view&id=115&Itemid=145 (Access date: September, 2007).

ยืน ภู่วรวรรณ.(2540). *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม* 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วิจิตร บุญยธโรกุล. (2549). *ระบบควบคุมมอเตอร์.* กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2525). *ทฤษฎีอาหาร:หลักการถนอมอาหารและควบคุมคุณภาพอาหาร เล่ม 2.* กรุงเทพฯ : บี.เอฟ.ไอ

ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. (2538). *มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.* กรุงเทพฯ : บริษัท ประชาชน จำกัด.

ศูนย์รวมอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ทุกชนิด. (2007). “*Scientific & Laboratory Instruments Center*” [online]. Available: http://www.instrumentscenter.com/Shaker-SHR-2D.htm (Access date: September, 2007).

สง่า ศรีศุภปรีดา. (2546). *ดิจิทัลเทคนิค*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เอมพันธ์.

อดิศักดิ์ ชิณะวงศ์. (2543). “*มอเตอร์กระแสตรง*” [online]. Available: http://www.technicnan.ac.th/nan_ntc/adisak51/page21.html (Access date: March, 2012).

อนันท์ คัมภิรานนท์. (2547). *ดิจิทัลเทคนิค ภาคทฤษฎี*. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊ค.

อัญชลินทร์ สิงห์คำและคณะ. (2012). “*เคมีอาหาร 1*” [online]. Available: http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/unit503.html (Access date: February, 2012)

Myfirstbrain. (2012). “*เคมี*” [online]. Available:http//www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID =60803 (Access date: February, 2012)

Patent storm. (2007). “*Glossary of biotechnology and genetic engineering*” [online]. Available: http://www.fao.org.docrep/003/X3910E/X3910E22.htm (Access date: September, 2007).

Thaigoodview. (2012). “*ประเภทของน้ำตาล*” [online]. Available: http://www.thaigoodview.com/node/18637 (Access date: February, 2012)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดอุปกรณ์

ตารางภาคผนวกที่ ก1 รายละเอียดของอุปกรณ์เครื่องเขย่าสาร

รายการอุปกรณ์	สถานที่จำหน่าย	ภาพ
1. หม้อแปลงขนาด 5 A.	ร้านประกิต ถนนบ้านหม้อ	
2. วงจรแปลงไฟ ขนาด 5 A.	ร้านประกิต ถนนบ้านหม้อ	
3. บริดจ์เร็กติไฟเออร์ขนาด 5 A.	ร้านอี พี เอส ถนนบ้านหม้อ	
4. วงจรปรับความเร็วมอเตอร์	ร้านณัฐพงษ์ ถนนบ้านหม้อ	
5. วงจรตั้งเวลา	ร้านประกิต ถนนบ้านหม้อ	
6. มอเตอร์ 12 VDC	ร้านฟ้าใส บ้านหม้อพลาซ่า ชั้น 2	
7. สปริงอ่อน 1.8 มม. ยาว 30 ซม.	ซอยมหาจักร คลองถม	

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานเครื่องเขย่าสาร

ขั้นตอนการใช้งาน

1. เปิดเครื่องโดยการกดปุ่ม POWER ON
2. เลือกการควบคุม
   - ต้องการควบคุมเอง เลือกสวิตซ์ไปที่ MANUAL
   - ต้องการควบคุมด้วยเครื่อง เลือกสวิตซ์ไปที่ TIMER
3. เลือกทิศทางการหมุน
   - ต้องการเขย่าแนวซ้าย – ขวา เลือกสวิตซ์
   - ต้องการเขย่าแบบวงกลม เลือกสวิตซ์
4. เลือกความเร็วในการเขย่า โดยการปรับปุ่ม SPEED

   (หากเลือกการทำงานแบบ MANUAL เครื่องทำงานทันทีที่ตั้งความเร็ว)
5. ตั้งเวลาในการเขย่าในกรณีเลือกการทำงานแบบ TIMER

   5.1 เลือกหน่วยของเวลา
   - ต้องการทำงานไม่นาน เลือกสวิตซ์ไปที่ SEC (ไฟสีแดงสว่าง)
   - ต้องการทำงานนาน เลือกสวิตซ์ไปที่ MIN (ไฟสีเขียวสว่าง)

   5.2 กำหนดเวลา
   - ต้องการเพิ่มค่า กดปุ่ม UP
   - ต้องการลดค่า กดปุ่ม DOWN

   5.3 กดปุ่ม START 3 ครั้ง เครื่องจะทำงานทันที
6. หากต้องการตั้งเวลาใหม่ กดปุ่ม RESET

ภาคผนวก ค
คุณลักษณะทั่วไปของเครื่องเขย่าสาร

คุณลักษณะทั่วไป

เป็นเครื่องเขย่าสาร มีโครงสร้างคงทน แข็งแรง มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน และมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์

คุณสมบัติเฉพาะ

1. เป็นเครื่องเขย่าผสมสารตัวอย่างในภาชนะแบบ Vortex ชนิดตั้งโต๊ะ

2. สามารถเปลี่ยนแท่นเขย่าให้เหมาะสมกับลักษณะของภาชนะบรรจุตัวอย่างได้

3. สามารถเลือกการทำงานได้ว่า จะทำงานต่อเนื่อง หรือให้ทำงานเมื่อมีภาชนะตัวอย่างมาสัมผัสกับแท่นเขย่า

4. สามารถปรับอัตราความเร็วในการเขย่าได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งแบบเขย่าสารและแบบ Vortex

5. พร้อมอุปกรณ์ประกอบ

5.1 แท่นเขย่าสำหรับใช้กับหลอดทดลองสามารถใช้กับหลอดใส่สารได้ครั้งละ 1 หลอด จำนวน 1 อัน

5.2 แท่นเขย่าสำหรับใช้กับหลอดทดลองสามารถใช้กับหลอดใส่สารได้พร้อมกันหลายหลอด หรือใช้กับพลาสติกใส่สาร จำนวน 1 อัน

6. สามารถใช้กับไฟฟ้า 220 โวลท์

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นาย สวิต ฉิมเรือง

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Sawit Chimruang

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3-9204-00281-24-1

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

4. **หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก** พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต โทร 089-626-0291 E-mail: Vela20021@hotmail.com

5. **ประวัติการศึกษา**

   ปริญญาโท วศ.ม. (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

   ปริญญาตรี คอ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ-เครื่องมือกล) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

   สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

   คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบอุตสาหกรรม

7. **ประสบการณ์ทำงานและการดำรงตำแหน่งหน้าที่**

2549 - ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต และหัวหน้าฝ่ายพัสดุ ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ อาจารย์พิเศษ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
2546 -2548	เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2545 - 2546	วิศวกรบริหารอุตสาหกรรม บริษัท เอ็นพีอี อินดัสตรี (ไทยแลนด์) จำกัดและ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นาย องค์การณ์ แท่นประยุทธ

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Ongkarn tanprayutt

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3-4705-00010-80-4

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

4. **หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก** พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร

   ศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต โทร 081-632-1785 E-mail: ongkarn_tan@Dusit.ac.th

5. **ประวัติการศึกษา**

   ปริญญาเอก Ph.D ปรัชญาการจัดการ

   ปริญญาโท กศ.ม. การอุดมศึกษา

   ปริญญาตรี กศ.บ. อุตสาหกรรมศิลป์ (ช่างยนต์, ช่างไฟฟ้า, โลหะ)

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

   วัสดุและกรรมวิธีการผลิต

   วัสดุศาสตร์

   เทคนิคเครื่องหัตถกรรมโลหะ

   การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

7. **ประสบการณ์ทำงานและการดำรงตำแหน่งหน้าที่**

   ปี พ.ศ. 2548-ปัจจุบัน ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

   ปี พ.ศ. 2546-2548 หัวหน้าศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถาบันราชภัฏสวนดุสิต

   ปี พ.ศ.2542 - 2546 คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต

   ปี พ.ศ.2532 – 2535 คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต

   ปี พ.ศ.2532 - 2535 หัวหน้าฝ่ายยานพาหนะ สำนักงานอธิการบดี หัวหน้าภาควิชาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ผู้ร่วมโครงการวิจัยที่ 1

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นางสาวสิรวัลภ์ เรืองช่วย

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Sirawan Ruangchuay
2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** -
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ สังกัดหลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
4. **หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก**

   โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

   ที่อยู่ 295 ถนนราชสีมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 02-2445000 ต่อ 5479

   โทรสาร 02-2445603 E-mail: sirawanr@gmail.com

5. **ประวัติการศึกษา**

   วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี

   วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยศิลปากร
6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

   การบำบัดพิษของของเสียอันตรายโดยการดูดซับด้วยวัสดุธรรมชาติ

   การบำบัดพิษของของเสียอันตรายโดยกระบวนการตรึง

   การลดความเป็นพิษของโลหะหนักด้วยกระบวนการทางเคมี
7. **ประสบการณ์ทำงานและการดำรงตำแหน่งหน้าที่**

   ปัจจุบัน อาจารย์ สังกัดหลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

ผู้ร่วมโครงการวิจัยที่ 2

1. **ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** นายกาญจนศักดิ์ จารุปาณ

   ชื่อ- นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Karnchanasak Charupan
2. **เลขบัตรประจำตัวประชาชน** -
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ประจำศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
4. **หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก** พร้อมหมายเลขโทรศัพท์

   ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ที่อยู่ 295 ถนนราชสีมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0-2244-5000 ต่อ 5457 โทรสาร 0-2244-5455 E-mail: karn43@hotmail.com
5. **ประวัติการศึกษา**

   วศ.ม.(วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

   วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ**

   การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนและความเย็น

   การวิเคราะห์ทางเคมีในผลิตภัณฑ์อาหาร
7. **ประสบการณ์ทำงานและการดำรงตำแหน่งหน้าที่**

   พ.ศ. 2543 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำศูนย์เครื่องมือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต