การศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

A Study of User Behavior on a Commercialized Freezer Based or Using Decision Tree Learning

การศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

A Study of User Behavior on a Commercialized Freezer Based or Using Decision Tree Learning

เบญจมาศ ปิยะ

การค้นคว้าอิสระเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2558

©2559
เบญจมาศ ปิยะ
สงวนลิขสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

ผู้วิจัย เบญจมาศ ปิยะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ถิรพล วงศ์สอาดสกุล)

ผู้เชี่ยวชาญ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิ่งกาญจน์ สุขคณาภิบาล)

(ดร.ศันสนีย์ เทพปัญญา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

29 พฤศจิกายน 2559

เบญจมาศ ปิยะ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ, พฤศจิกายน 2559, บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
การศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (32 หน้า)
อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.ถิรพล วงศ์สอาดสกุล

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันตู้แช่เชิงพาณิชย์มีความนิยมใช้งานในหมู่ร้านค้า แต่ปัญหาที่พบคือตู้แช่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง ทำให้ต้นทุนของร้านสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามมีระบบ FTC (อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่อาดุยโน่) ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของตู้แช่ให้คงที่ เพื่อไม่ใช้เกิดปัญหาตู้แช่มีอุณหภูมิที่ต่ำมากทำให้เกิดน้ำแข็งและสินค้าเสียหาย แต่ยังมีการบริโภคไฟฟ้าที่สูงอยู่ บทความนี้จึงนำเสนอการใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Learning) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ เพื่อพัฒนาระบบ FTC เดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำให้มีค่าใช้จ่ายในค่าไฟฟ้าลดลง โดยมีการเก็บข้อมูลแบบแยกหมวดหมู่เพื่อหาค่ามาตรฐานมาใช้กำหนดเวลาและจะมีระบบเตือนผู้ใช้งานในกรณีที่เปิดตู้เย็นเกินเวลาที่กำหนด และหลังจากใช้งานระบบ FTC Behavior (อุปกรณ์ควบคุมตู้แช่แบบเพิ่มพฤติกรรมผู้ใช้งาน) มีการใช้งานเปิดปิดตู้แช่จริงลดลง 18.16% และค่าไฟฟ้าที่น้อยลง 4%

คำสำคัญ: ตู้แช่เชิงพาณิชย์, พฤติกรรมของผู้บริโภค, การประหยัดพลังงานไฟฟ้า, อาดุยโน่, ต้นไม้ตัดสินใจ

Piya, B. M.S. (Information Technology and Management), November 2016,
Graduate School, Bangkok University.
A Study of User Behavior on a Commercialized Freezer on Decision Tree Learning
(32 pp.)
Advisor: Thirapon wongsaardsakul, Ph.D.

ABSTRACT

At present, commercial fridge is popular in a store, but the problem is that it has high electricity consumption and it makes even more costs. However, we have a system to control and stabilize the temperature of fridge called Arduino (Freezer temperature Controller Using Arduino: FTC) in order to prevent uncontrolled low temperature causing a damage to a product. Nevertheless, FTC has a domestic consumption for electricity. This article shows the use of Decision Tree Learning technique for study of usage behavior, development of the FTC to be more efficient, and reduction in electricity usage by the data classification to find out the standards to specify time, and to have a system of the alert in case of opening a fridge for a long time. The result shows that the time of using a fridge in FTC with Decision Tree Learning is 18.75% and the electric consumption is 4.4% lower than that of the original FTC.

Keywords: Commercial freezer, User Behavior, Arduino, Decision Tree Learning, Saving Electricity

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิ่งกาญจน์ สุขคณาภิบาล ที่ให้คำปรึกษาซึ่งเป็นประโยชน์ ในการวิจัยจนงานวิจัยครั้งนี้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนสำเร็จไปได้ด้วยดี ตลอดจนร้านโรจณพรรณที่อนุญาตให้ศึกษาเก็บข้อมูลของตู้แช่ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มาไว้ ณ โอกาสนี้

BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานอาดุยโน่ (Arduino)	4
2.2 องค์ประกอบตู้แช่เชิงพาณิชย์ (Freezer)	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.4 พฤติกรรมความต้องการของผู้บริโภค	7
2.5 การประหยัดพลังงานไฟฟ้า	9
2.6 การจำแนกข้อมูลโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานการวิจัย	
3.1 ประเภทของงานวิจัย	13
3.2 กรอบแนวคิดตามทฤษฎี	13
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	14
3.4 การทดสอบเครื่องมือ	14
3.5 วิธีการเก็บข้อมูล	21
3.6 วิธีการทางสถิติ	22
3.7 วิธีการคำนวนต้นไม้ตัดสินใจ	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 บทวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การสรุปข้อมูล 26

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐาน 29

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 31

5.2 อภิปรายผล 31

5.3 ปัญหาและอุปสรรค 31

5.4 แนวทางการแก้ไข 32

5.5 การพัฒนาระบบงานในอนาคต 32

บรรณานุกรม 33

ภาคผนวก ก คู่มือการติดตั้งโปรแกรม WEKA 3.7 jre 35

ภาคผนวก ข โปรแกรม WEKA 39

ประวัติผู้เขียน 44

เอกสารข้อตกลงว่าด้วยการอนุญาตให้ใช้สิทธิ์ในรายงานการค้นคว้าอิสระ

BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1: ตารางบันทึกเวลาการเปิดปิดใช้งานตู้แช่ 21
ตารางที่ 3.2: ตารางบันทึกค่าไฟฟ้า 21

BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1: Arduino Duemilanove ต้นแบบของ Arduino 5
ภาพที่ 2.2: แผนภาพโครงสร้างต้นไม้ 10
ภาพที่ 2.3: เทคนิคกระบวนการสร้าง Decision Tree Learning 11
ภาพที่ 3.1: การติด Sensors for Arduino ไว้ที่บานประตู 14
ภาพที่ 3.2: สถาปัตยกรรมระบบ 15
ภาพที่ 3.3: สถาปัตยกรรมระบบ 16
ภาพที่ 3.4: ระบบการทำงานก่อนการเก็บข้อมูล 17
ภาพที่ 3.5: ระบบการทำงานหลังการเก็บข้อมูล 18
ภาพที่ 3.6: เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า 19
ภาพที่ 3.7: ระบบการทำงานการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้า 20
ภาพที่ 3.8: ตัวอย่างตัวแปรของผลลัพธ์จากการทดลองที่นำมาคำนวณ 23
ภาพที่ 3.9: ตัวอย่างตัวแปรของผลลัพธ์จากการทดลองที่นำมาคำนวณ 24
ภาพที่ 4.1: ผลการคำนวณการแบงกลุมขอมูลตามความคลายคลึง 27
ภาพที่ 4.2: ผลการคำนวณโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจก่อนการแจ้งเตือน 27
ภาพที่ 4.3: ผลการคำนวณโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจหลังการแจ้งเตือน 28
ภาพที่ 4.4: ผลการคำนวณระยะเวลาการเปิดตู้แช่ที่ควรแจ้งเตือน 28
ภาพที่ 4.5: กราฟแสดงค่าการเปิดปิดการใช้งานที่น้อยลง 29
ภาพที่ 4.6: กราฟแสดงค่าไฟฟ้าที่น้อยลง 30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันตู้แช่เชิงพาณิชย์มีบทบาทสำคัญในธุรกิจร้านค้าเป็นอย่างมาก และเนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่ร้อน ในการรักษาสินค้าให้ไม่เน่าเสีย และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ปัจจัยหลักของงานวิจัยนี้มีสองประการคือ ประการแรกเรื่องการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปิดปิดตู้เย็นเพื่อนำไปพัฒนาระบบเพื่อส่งเสียงแจ้งเตือนผู้ใช้งานในกรณีใช้งานตู้แช่เกินเวลาที่กำหนดโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Learning) ประการที่สองเรื่องพฤติกรรมการใช้งานของผู้บริโภคกับระบบเสียงแจ้งเตือนผู้ใช้งานมีผลทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้า

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าครัวเรือนในจังหวัดลำปาง พบว่าพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ครัวเรือนมีผลกระทบต่อค่าไฟฟ้าจริง โดยใช้นโยบายโครงการประหยัดไฟกำไรสองต่อ ด้วยเหตุผลที่ว่าเป็นประโยชน์ต่อครัวเรือนโดยตรงซึ่งจะได้ลดค่าไฟฟ้า โดยมีครัวเรือนเห็นด้วยต่อนโยบายนี้ถึงร้อยละ 98 ความรู้เรื่องการใช้ไฟฟ้าก็เป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งของการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ เช่น ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของครัวเรือน ฯลฯ (สุวิทย์ สายสุเขียว, 2545) สำหรับร้านค้าทั่วไปตู้แช่เชิงพาณิชย์เป็นที่นิยมใช้มากเพราะการใช้งานที่สะดวก แต่ปัญหาที่พบอุณหภูมิภายในตู้เย็นไม่คงที่ทำให้สินค้ากลายเป็นน้ำแข็งและเสียหาย มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง ทำให้ต้นทุนของร้านสูงตามไปด้วย อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่ (Freezer Temperature Controller Using Arduino: FTC) ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการทดแทนอุปกรณ์ที่ควบคุมความเย็นของตู้แช่เดิม แบบเครื่องควบคุมอุณหภูมิ อัตโนมัติ (Thermostat) เนื่องด้วยตัววัดอุณหภูมิไม่สามารถวัดได้ค่าแบบตามเวลาจริง (Real Time) และสามารถพบตู้แช่นี้ตามท้องตลาดทั่วไปเพราะราคาถูก สามารถแก้ไขปัญหาโดยนำเอาโปรแกรมอาดุยโน่ (Arduino) มาปรับค่าเซนเซอร์อุณหภูมิให้เป็นค่าแบบ Real Time ทำการประมวลผลและสั่งงานให้รีเลย์จ่ายไฟฟ้าไปยังคอมเพรสเซอร์ (Compressor) และงานวิจัยอุปกรณ์ควบคมอุณหภูมิตู้แช่ด้วยอาดุยโน่ (ธนพนธ์ สุพัฒนกิจกุล, 2559) ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของตู้แชให้คงที่ เพื่อไม่ใช้เกิดปัญหาตู้แช่มีอุณหภูมิที่ต่ำมากทำให้เกิดน้ำแข็งและสินค้าเสียหาย แต่ก็ยังมีการบริโภคไฟฟ้าที่สูงอยู่

บทความนี้จึงนำเสนอการใช้เทคนิค Decision Tree Learning เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ เพื่อพัฒนาระบบ FTC เดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการนำเอาระบบ FTC เดิมมาเปรียบเทียบกับระบบ FTC Behavior (อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่อาดุยโนโดยเพิ่มพฤติกรรมผู้ใช้งาน) และทำให้มีค่าใช้จ่ายในค่าไฟฟ้าลดลง โดยมีการเก็บข้อมูลแบบแยกหมวดหมู่เพื่อหาค่ามาตรฐานมาใช้กำหนดเวลาและจะมีระบบเตือนผู้ใช้งานในกรณีที่เปิดตู้เย็นเกินเวลาที่กำหนด

เมื่อนำระบบ FTC เปรียบเทียบกับระบบ FTC Behavior (อุปกรณ์ควบคุมตู้แช่แบบเพิ่มพฤติกรรมผู้ใช้งาน) จะพบว่าจากการทดลองจริงพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดตู้แช่จริงลดลง 18.75% และมีค่าไฟฟ้าที่ลดลง 4.4%

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยดังนี้

1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทตู้แช่โดยใช้เทคนิค Decision Tree Learning

2) เพื่อพัฒนาระบบ FTC ให้เป็นแบบใหม่โดยบวกส่วนที่เป็นพฤติกรรมการใช้งาน เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตของการคนควาอิสระในครั้งนี้ กำหนดขอบเขตของการศึกษา คือศึกษาพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทตู้แช่เชิงพาณิชย์ และนำข้อมูลที่ได้มาปรับใช้เป็นเสียงแจ้งเตือนผู้ใช้งานที่ใช้งานเกินเวลาที่กำหนดเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยข้อมูลที่ใชในการศึกษาครั้งนี้ จากเอกสารทางวิชาการ บทความ ตลอดจนงานวิจัยตาง ๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ทราบว่าพฤติกรรมการใช้งานการเปิดปิดประตูตู้แช่ มีผลต่อระบบการบริโภคไฟฟ้าของตู้แช่

2) ได้ชุดแจ้งเตือนการใช้งาน การส่งเสียงเตือนที่เหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1.5 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1) ตู้แช่เชิงพาณิชย์ หมายถึง ตู้แช่ที่ออกแบบไว้สำหรับการใช้งานด้านการค้า โดยสามารถมองเห็นสินค้าภายในตู้ได้อย่างสะดวก พบตามร้านค้าสะดวกซื้อต่าง ๆ

2) Arduino หมายถึง อุปกรณ์ที่มีหน่วยประมวลผลและความจำขนาดเล็กภายในตัวเอง สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลได้ทั้งแบบดิจิตอลและอนาล็อก ใช้พลังงานน้อย ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้งานในรูปแบบที่เรียกว่า Embedded เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าอัจฉริยะทั้งหลาย

3) ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Learning) หมายถึง การจัดข้อมูลให้อยู่ในแผนภาพต้นไม้แสดงทางเลือกและเหตุการณ์เพื่อแสดงลำดับขั้นตอนทางเลือกที่มีอยู่ทั้งหมด และเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นตลอดจนผลของการเลือกทางเลือกภายใต้เหตุการณ์ต่าง ๆ คือ จุดตัดสินใจ (Decision Nodes) แทนด้วย, กิ่งแขนงแสดงทางเลือก หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นไปได้

4) WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) หมายถึง ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล และรวบรวมเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลหลาย ๆ เทคนิคเข้าไว้ด้วยกัน แถมยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ได้ง่าย ๆ ผ่านทางหน้าจอ GUI (Graphic User Interface) ของ WEKA

5) Machine Learning หมายถึง การได้มาซึ่งความรู้ หรือ ความเข้าใจ หรือทักษะโดยการศึกษาคำสั่ง หรือประสบการณ์ ในที่นี้จะเน้นไปที่การเรียนรู้ในเครื่องจักร

บทที่ 2
ฟวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้อธิบายถึงเรื่องวรรณกรรมและบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยประกอบไปด้วย องค์ประกอบตู้แช่เชิงพาณิชย์ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานอาดุยโน่ พฤติกรรมความต้องการของผู้บริโภค การประหยัดพลังงานไฟฟ้า และการนำเอาเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมาใช้ในการประมวลผล

2.1 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานอาดุยโน่ (Arduino)

ตู้แช่เชิงพาณิชย์มีหลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน และเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องเปิดใช้งานตลอดเวลาเพื่อให้ทำความเย็นได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบทำความเย็นใช้แบบอัดไอโดยการใช้สารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการทำงานของระบบ สารทำความเย็น R-22 เป็นที่นิยมในตู้แช่เชิงพาณิชย์เพราะมีราคาถูก แต่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้สารชนิดนี้ได้ถูกยกเลิกให้ใช้ตั้งแต่ปี ระบบที่ทำความเย็น (Refrigeration) จะประกอบไปด้วยระบบดังต่อไปนี้ 1) ระบบใช้กลไก (Mechanical) เป็นการทำความเย็นแบบอัดไอ 2) ระบบไม่ใช้กลไก (Nonmachanical) ระบบที่สร้างหรือทำความเย็นให้เกิดขึ้นโดยไม่ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนหรือกลไกใด ๆ เป็นนิยมใช้แพร่หลายได้แก่ การทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorbtion) แบบใช้ไอน้ำ (Steam Jet) (สมคิด ยงหอม, 2552)

2.1.1 การทำความเย็น (Refrigeration)

การทำความเย็น คือการลดและรักษาระดับของอุณหภูมิ เพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้เหมาะสมตามที่ต้องการ รวมถึงการปรับสภาพอากาศให้มีความสะอาด มีการถ่ายเทหมุนเวียนและมีความชื้นที่เหมาะสม เช่นใช้ในระบบเครื่องปรับอากาศ ในการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม บ้านสำนักงาน หรือที่ทำการต่าง ๆ (สมคิด ยงหอม 2554)

2.1.2 การควบคุมอุณหภูมิทำความเย็น

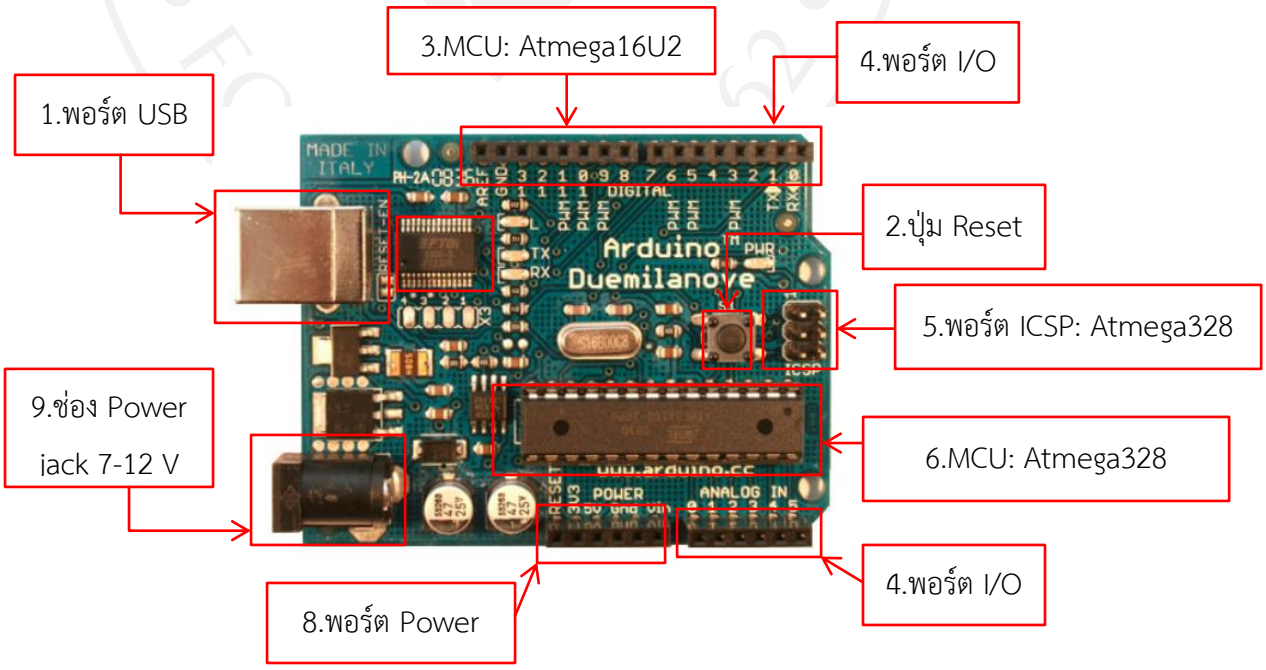
การทำให้ระบบไม่ทำความเย็นมากจนเลยจุดเยือกแข็งต้องมีอุปกรณ์ควบคุมเทอมโมสตัท (Thermostat) ผลิตจากโลหะชนิดต่างกันสองแผ่น ประกบกันเมื่อได้กระแสไฟฟ้าจะเกิดความร้อนซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวจนเกิดการโค้งงอทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านต่อไป และโลหะเย็นลงแผ่นโลหะทั้งสองแผ่นจะกลับมาประกบกันอีกครั้ง ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านต่อไปได้ (ธราธร มั่นแย้ม, ทนงชัย หล้าวัน และสหพล สิงคะปะ, 2556)

ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่จำเป็นต้องเสียบปลักอยู่ตลอดเวลา เพื่อรักษาความเย็นของอาหารภายในตู้เย็นจึงมีการบริโภคไฟฟ้ามากพอควร การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการใช้ตู้เย็น ก็ควรเลือกตู้เย็นที่มี มีปุ่มกดละลายน้ำแข็ง เนื่องจากการละลายน้ำแข็งในท่อทำแข็งหรือคอยส์เย็นจะทำให้ตู้เย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น พบว่าการเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าใหม่เหมาะสมกับการใช้งานก็มีความสำคัญแต่การที่จำทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่แท้จริงนั้น ควรมาจากพฤติกรรมการใช้งานและระบบมากกว่า (วีระ ธีระวงศ์สกลุ, 2540)

2.2 องค์ประกอบตู้แช่เชิงพาณิชย์ (Freezer)

Arduino (อ่านว่า อา-ดู-อิ-โน่ หรือจะเรียกว่าอาดุยโน่ ก็ได้) คือไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นแบบที่เรียกว่า Open Hardware กล่าวคือ Arduino อุปกรณ์ที่มีแบบส่วนประกอบเป็นมาตรฐานที่เปิดเผย หมายความว่า สามารถทำเองโดยใช้แบบที่มีการเปิดเผยทั่วไปก็ได้ หรือสามารถซื้อหาได้ง่าย มีราคาถูก มีซอฟแวร์ให้ใช้งานฟรี สามารถนำไปใช้งานทั่วไปหรือแบบธุรกิจได้โดยไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ เป็นรูปแบบที่มีข้อมูลมากที่สุดบนอินเตอร์เน็ต การพัฒนาทำได้ง่ายเพราะมีตัวอย่างมากมายและไม่ต้องเขียนโปรแกรมในรูปแบบ Low Level หมายความว่าสามารถใช้คำสั่งเขียนโปรแกรมได้เสมือนโปรแกรมภาษาชั้นสูงทั่วไป

ภาพที่ 2.1: Arduino Duemilanove ต้นแบบของ Arduino



ที่มา: A DHT11 Class for arduino. (2014). Retrieved from http://playground.arduino.cc/Main/DHT11Lib.

จากภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นของอาดุยโน่จะประกอบด้วยทั้งหมด 9 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1) USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2) Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3) MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

4) I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

5) ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

6) MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

7) I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขาA0-A5

8) Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin

9) Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

ตู้แช่เชิงพาณิชย์มีหลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานและเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องเปิดใช้งานตลอดเวลาเพื่อให้ทำความเย็นได้อย่างต่อเนื่องซึ่งระบบทำความเย็นใช้แบบอัดไอโดยการใช้สารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการทำงานของระบบสารทำความเย็น R-22 เป็นที่นิยมในตู้แช่เชิงพาณิชย์เพราะมีราคาถูก พบว่าการทำความเย็นแบบนี้ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ถ้าหากมีการใช้งานตู้แช่อย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดปัญหา เช่น เป็นนำแข็งได้ง่าย และค่าไฟฟ้าที่สูง (สมคิด ยงหอม 2552)

2.2.1 การพัฒนาโปรแกรม

อาดุยโน่ใช้พื้นฐานของภาษาซีพลัสพลัส (C++) เป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์ที่มีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) นักพัฒนาไม่จำเป็นต้องเขียนการควบคุมเองทั้งหมด สามารถเลือกจากคำสั่งจากโปรแกรมแปลภาษาซี (C-Compiler) ทำให้การพัฒนาเป็นไปได้ง่ายมากสุด (บริษัท อีทีที จำกัด, 2552)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานของตู้แช่นั้นจะเป็นการวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ตู้แช่ให้มีความคงที่เพื่อรักษาอุณหภูมิ หรือการวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาลักษณะการใช้งานตู้แช่ในแบบต่าง ๆ ดังงานวิจัยที่กล่าวถึงต่อไปนี้

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่ด้วยอาดุยโน่ ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของตู้แช่ให้คงที่ เพื่อไม่ใช้เกิดปัญหาตู้แช่มีอุณหภูมิที่ต่ำมากทำให้เกิดน้ำแข็งและสินค้าเสียหาย แต่ก็ยังมีการบริโภคไฟฟ้าที่สูงอยู่ พบว่าอย่างไรก็ตามตู้แช่ก็ยังมีการบริโภคไฟฟ้าที่สูงอยู่และยังไม่มีการนำเอาพฤติกรรมผู้ใช้งานเข้ามาปรับใช้เพื่อให้ได้การใช้งานจริงออกมา (ธนพนธ์ สุพัฒนกิจกุล, 2559)

งานวิจัยนี้เป็นการสำรวจสมรรถนะเชิงอุณหภูมิและภาวการณ์ใช้งานของตู้เย็น-ตู้แช่เยือกแข็งในครัวเรือนในมาเลเซีย โดยสำรวจตู้เย็น-ตู้แช่เยือกแข็งจำนวน 26 ตู้ นำข้อมูลด้านต่างๆ ได้แก่ แหล่งความร้อน ตำแหน่งที่ติดตั้ง อุณหภูมิห้อง และความถี่ในการเปิดปิดประตูตู้มาวิเคราะห์เพื่อระบุพฤติกรรมการใช้งานของผู้บริโภค Saidur, Masjuki, Mahlia และ Nasrudin (2002)

จากการศึกษางานวิจัยพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่ได้ศึกษามามีการเก็บพฤติกรรมการใช้ของตู้แช่นำไปประยุกต์กับการใช้งานจริง โดยที่ต่างกับงานวิจัยนี้ที่มีการนำพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่มาประยุกต์เข้ากับการควบคุมอุณหภูมิตู้แช่

2.4 พฤติกรรมความต้องการของผู้บริโภค

การศึกษาพฤติกรรมการเลือกดื่มน้ำอัดลมของประชาชนเขตจตุจักร มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมบริโภคน้ำอัดลม การใช้เกณฑ์ความถี่ของการซื้อและบริโภคน้ำอัดลม การพัฒนาด้านการตลาดในการสนองความต้องการของผู้บริโภคในเขตจัตุจักร

ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ ประชาชนทั่วไปในเขตจัตุจักร จำนวน 171,868 คน กลุ่มตัวอย่าง 120 คน การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยการดำเนินการ คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ฐานนิยมพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุระหว่าง 21-25 ปี มีสถานภาพโสด มีอาชีพ นักเรียน/ นักศึกษา มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 5,000 – 7,500 บาท และมีระดับการศึกษาปริญญาตรี เครื่องดื่มที่ผู้บริโภคชอบดื่มมากที่สุด อันดับ 1 คือ แป๊ปซี่ รองลงมาคือ โค้ก แฟนต้า สไปร์ท มิรินด้า และเซเว่นอัพ ผู้บริโภคส่วนใหญ่เลือกซื้อบรรจุภัณฑ์น้ำอัดลมที่มีลักษณะขวดแก้ว รองลงมาคือ กระป๋อง ขวดพลาสติก และอื่นๆตามลำดับ ในด้านปริมาณการดื่มน้ำอัดลมเนื่องจากดับกระหาย ดื่มน้ำอัดลมในช่วงกลางวัน ส่วนใหญ่ซื้อน้ำอัดลมจากร้านสะดวกซื้อ ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความเห็นว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อน้ำอัดลมโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.39 อยู่ใน

ระดับปานกลาง โดยที่ปัจจัยอันดับหนึ่งได้แก่ ความสะดวกในการเลือกซื้อ ลดความกระหาย และทำให้สดชื่น (สิทธิพร เกตุเดชา, 2550)

2.3.1 พฤติกรรมการใช้งานตู้แช่

ในปัจจุบันมีการใช้งานตู้แช่เชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากทั้งในร้านค้าและในครัวเรือน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้แช่หลัก ๆ คือพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่ประกอบไปด้วย

1) การที่นำอาหารหรือสิ่งของที่ร้อนหรือยังอุ่นแช่ในตู้เย็น

2) ลดการเปิดตู้แช่โดยไม่จำเป็น เพราะค่าไฟฟ้าจะเพิ่มตามจำนวนครั้งของการเปิดตู้แช่

3) เลิกเปิดประตูตู้แช่ค้างไว้เป็นเวลานาน ๆ

4) ไม่แช่ของจนแน่นเกินไป เพราะความเย็นจะไหลเวียนไม่สะดวก

5) อย่าตั้งตู้แช่ใกล้เตาไฟหรือหม้อหุงข้าว หรือถูกแสงอาทิตย์โดยตรง เพราะจะทำให้ตู้แช่ระบายความร้อนไม่ดี สิ้นเปลืองไฟ (“การประหยัดไฟฟ้าเกี่ยวกับตู้เย็น”, ม.ป.ป.)

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคในการเลือกซื้ออาหารสำเร็จรูปแช่แข็งจากร้านค้าปลีกแบบสะดวกซื้อในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของผู้บริโภคและภาพลักษณ์ต่าง ๆ ที่มีต่อการตัดสินใจซื้ออาหารแช่แข็ง และในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive Research Methodology) รวมถึงเชิงสารวจ (Exploratory Research) ที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากแบบสอบถาม (Questionnaire) กับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้บริโภคอาหารแช่แข็งสำเร็จรูปแบบ Ready to Eat จากร้านค้าปลีกแบบสะดวกซื้อ (Convenience Stores) ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 400 ตัวอย่าง จากการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง แบบตามสะดวกโดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ช่วงเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยการใช้ตารางแจกแจง ความถี่ เป็นค่า ผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเป็นเพศหญิงและมีอายุประมาณ 30 ปี มีอาชีพเป็นพนักงานเอกชนหรือพนักงานบริษัทมากที่สุด ประกอบกับส่วนใหญ่จะมีรายได้ประมาณ 1 หมื่นบาท และเป็นผู้ที่มีสถานภาพโสด ซึ่งในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารแช่แข็งนั้น กลุ่มตัวอย่างจะให้ความสำคัญกับการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (Ready to Eat) นั้น คือ จำนวนกล่องหรือถุงที่ซื้อ (ชัยสิทธิ์ เอกพงศ์ไพศาล, 2555)

จะเห็นได้ว่าปัญหาหลัก ๆ ของการใช้งานพลังงานไฟฟ้าของตู้แช่จะเป็นการเปิดประตูตู้แช่บ่อยๆครั้ง หรือเป็นเป็นเวลานานจะทำให้เปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น บทความวิจัยนี้จึงเน้นให้มีการเปิดใช้งานและเวลาการใช้งานที่น้อยลงเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

2.5 การประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องทำงานตลอดเวลาอย่างไม่มีวันหยุด เพราะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความเย็น และยืดอายุอาหารให้อยู่ได้นานขึ้น ดังนั้นหากมีวิธีใดที่จะช่วยลดการใช้ไฟของตู้เย็นได้ก็น่าสนใจไม่น้อย เพราะจะช่วยให้ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นต้นทุนหลัก ๆ ของร้านค้าลงไปได้อีก โดยเทคนิคในการประหยัดไฟจากการใช้ตู้เย็นแถมยังช่วยถนอมตู้เย็นให้ใช้ไปได้อีกนานด้วยมีเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

1) แช่ของในช่องแช่แข็งให้พอดี

2) เลือกตำแหน่งแช่ของให้เหมาะสม

3) ปรับอุณภูมิให้เหมาะสม

4) ตรวจสอบสภาพของยางขอบตู้เย็น

5) ทำความสะอาดขดลวดคอนเดนเซอร์

6) อย่าเปิดตู้เย็นบ่อย หรือเปิดทิ้งไว้นาน ๆ

7) ละลายน้ำแข็งและล้างตู้เย็นเสมอ

นอกจากนี้ก็ควรวางตู้เย็นในตำแหน่งที่เหมาะสม ไม่ชิดกำแพงจนเกินไป และไม่ตั้งอยู่ในที่ที่มีสภาพอากาศร้อนจัด เช่น ในจุดที่แสงแดดส่องถึงเกิน 6 ชั่วโมง รวมถึงอย่านำของร้อนไปใส่ในตู้เย็นทันทีด้วย เพราะก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตู้เย็นต้องทำงานหนักขึ้นเปลืองไฟขึ้นอีกมาก

ไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตและกิจกรรมต่าง ๆ ประเทศไทยมีการแบ่งกลุ่มการใช้ไฟฟ้าได้ดังนี้ กลุ่มบ้านและที่อยู่อาศัย กลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมเกษตรกรรม กลุ่มธุรกิจร้านค้า พลังงานคือสิ่งที่ใช้เพื่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือให้มีการเคลื่อนที่ของมวลสารจากสภาพหนึ่งไปอีกสภาพหนึ่ง (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2551) พลังงานไฟฟ้าคือพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการแยกตัวออกมาหรือเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือโปรตอนหรืออนุภาคอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน และไหลเข้าผ่านวงจรต่างๆทำให้ผลของกระแสไฟฟ้าเกิดผลต่าง อาทิ อำนาจสนามแม่เหล็ก แสงสว่าง ความร้อน เป็นต้น การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอยู่ 2 ปัจจัยอันได้แก่ 1) ปัจจัยเชิงโครงสร้าง ลักษณะทางกายภาพและสถานภาพของอาคารและที่อยู่อาศัยเป็นตัวแปรสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้า 2) ปัจจัยเชิงพฤติกรรม ลักษณะการดำรงชีวิตของแต่ละบุคคล เจตคติ ความรู้ และการตอบสนอง ต่อการใช้งาน (โอภาส สุขหวาน, 2556)

งานวิจัยการทดลองหาแนวทางการประหยัด พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้วิธิการระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์โดยการไม่ฉีดน้ำยาเหลวเปรียบเทียบกับการฉีดน้ำยาเหลวที่คอมเพรสเซอร์ โดยใช้สารทาความเย็น R-22 เป็นสารทำงานความเร็วลมและความเร็วถาดหมุนคงที่ตลอดการทดลองจากการทดลองพบว่า SECave อยู่ที่ 9.76 และ 8.71 COPave อยู่ที่ 4.27 และ 9.66 และความชื้นลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 16.82 และ 16.70 วิธีการฉีดน้ำยาเหลวจะทำให้อุณหภูมิของ

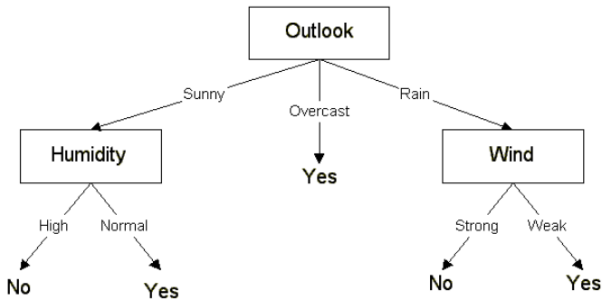
คอมเพรสเซอร์ลดลงและส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงผลจากการวิจัยสามารถนำไปสร้างอุปกรณ์การฉีดน้ำยาเหลวเพื่อลดอุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์ซึ่งจะส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของคอมเพรสเซอร์ (ภาคภูมิ เสือคำ, สถาพร ทองวิค, 2554)

2.6 การจำแนกข้อมูลโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

การใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) นั้นมีความจำเป็นในการทำงานวิจัยนี้เนื่องจากต้นไม้การตัดสินใจนั้นมีส่วนช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนมาก ๆ ได้ โดยจำลองความเป็นไปได้ของสิ่งที่เราสนใจและเงื่อนไขทั้งหมดที่ได้จากข้อมูลแต่ละตัวทำให้มองเห็นภาพรวมและวิธีการที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น และต้นไม้การตัดสินใจยังช่วยในการตัดสินใจทำสิ่งต่าง ๆ โดยใช้วิธีการที่ดีที่สุดได้ง่ายขึ้นกว่าการไม่ได้ใช้ต้นไม้การตัดสินใจ

ขั้นตอนวิธีการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Algorithm) เป็นหนึ่งในเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลเพื่อการแบ่งประเภทข้อมูล โดยขั้นตอนวิธีนี้จะทำการสร้างตัวแบบการทำนายที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างต้นไม้ซึ่งประกอบไปด้วยโหนดราก (Root Node) โหนดภายใน (Internal Node) และโหนดใบ (Leaf Node) ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2: แผนภาพโครงสร้างต้นไม้



ที่มา: สิทธิชัย คำคง. (ม.ป.ป.). การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining). สืบค้นจาก https://mahara.org/artefact/file/download.php?file=162194&view=45421.

วิธีการสร้างต้นไม้การตัดสินใจนั้นจะรับชุดข้อมูลที่ระบุคลาสของข้อมูลเหล่านั้นเป็นข้อมูลนำเข้าหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Set) และจะให้ผลลัพธ์เป็นตัวแบบการทำนายที่มีลักษณะเป็นต้นไม้ซึ่งตัวแบบการทำนายนี้จะใช้ในการทำนายคลาสของชุดข้อมูลนำเข้าถัดไปที่ไม่ได้ระบุคลาสดังแสดงในรูปภาพที่ 2.2

สูตรคำนวณเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากลาง และนำเอาค่ากลางไปตั้งเป็นค่ามาตรฐานในการตั้งเวลาการเปิดปิดประตูตู้แช่

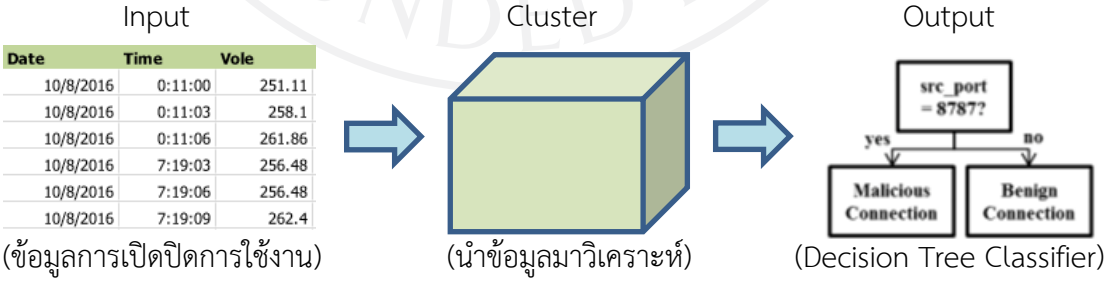
สูตรที่ 1 ถ้าเลือกคุณสมบัติ (Attribute) X เป็น Node โดยที่คุณสมบัติ X มีค่า (Value) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด n ค่า ซึ่ง node ที่สร้างจากคุณสมบัติ X แบ่งข้อมูลจำนวน S ข้อมูล ออกตามกิ่ง (Link) โดยมีจำนวนข้อมูลในแต่ละกิ่งเป็น {s1, s2, ...sn} ค่าเอนโทรปีหลังจากแบ่งข้อมูลตามคุณสมบัติ X สามารถคำนวณ

$$\mathrm{Ex(S)} = \sum_{i=l}^{n} \left| \frac{Si}{S} \right| E(si) \quad (1)$$

สูตรที่ 2 ค่าเกนของคุณสมบัติ (Attribute) X สามารถคำนวณได้จากการ ลบค่าเอนโทรปีทั้งหมดของชุดข้อมูล S กับค่าเอนโทรปีที่ได้หลังจากแบ่งข้อมูลด้วยคุณสมบัติ X สามารถคำนวณ

$$Gain(X) = E(S) - Ex(s) \quad (2)$$

ภาพที่ 2.3: เทคนิคกระบวนการสร้าง Decision Tree Learning



(ข้อมูลการเปิดปิดการใช้งาน) (นำข้อมูลมาวิเคราะห์) (Decision Tree Classifier)

กระบวนการสร้างต้นไม้ตัดสินใจโดยทั่วไปแล้วจะมีขั้นตอน โดยสรุปดังต่อไปนี้

1) เริ่มต้นสร้างโหนดขึ้นมาหนึ่งโหนดจากชุดข้อมูล

2) ถ้าข้อมูลทั้งหมดอยู่ในกลุ่มเดียวกันแล้ว ให้โหนดที่สร้างขึ้นนั้นเป็นโหนดใบและตั้งชื่อแยกตามกลุ่มของข้อมูลนั้น

3) ถ้าข้อมูลไม่มีคุณลักษณะใดที่เหมาะสมในการแบ่งกลุ่ม ให้โหนดที่สร้างขึ้นนั้นเป็นโหนดใบและตั้งชื่อตามกลุ่มที่มีข้อมูลสนับสนุนมากที่สุด

4) ถ้าข้อมูลภายในโหนดมีหลากหลายกลุ่มปะปนกันให้ทำการเลือกคุณลักษณะที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากอินฟอร์เมชันเกน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการจำแนกกลุ่ม

5) เมื่อได้ตัวทดสอบการตัดสินใจ ให้สร้างกิ่งของต้นไม้ด้วยค่าต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ของตัวทดสอบ และแบ่งข้อมูลออกตามกิ่งต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น

6) พิจารณาข้อมูลในแต่ละกิ่ง ถ้าพบว่าข้อมูลทั้งหมดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ให้ต่อกิ่งด้วยโหนดใบ และกำหนดค่าด้วยกลุ่มของข้อมูลนั้น แต่ถ้าพบว่าข้อมูลมีหลากหลายกลุ่มปะปนกัน ให้ทำการวนซ้ำการหาตัวทดสอบการตัดสินใจที่เหมาะสมต่อไป

7) ทำการวนซ้ำแบ่งข้อมูลและแตกกิ่งของต้นไม้ไปเรื่อย ๆ โดยการวนซ้ำจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้เป็นจริง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน การศึกษาพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดประตูตู้แช่โดยใช้อุปกรณ์อาดุยโนในการทำงาน บันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้า และการส่งเสียงแจ้งเตือนผู้ใช้งานตู้แช่ โดยมีโปรแกรม WEKA ในการช่วยประมวลผล

3.1 ประเภทของงานวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติ (Action Research) เพื่อมุ่งแก้ไขปัญหาการเปิดใช้งานตู้แช่เป็นเวลานานของลูกค้า จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่สูง เราจึงศึกษาพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่โดยการนำเอา Sensors for Arduino ไปติดไว้ที่ตู้แช่เพื่อบันทึกการเปิด-ปิดการใช้งาน โดยนำเอาข้อมูลการใช้งานมาคำนวณโดยใช้โปรแกรม WEKA ในการแยกประเภทของผู้ใช้งานออกมา เพื่อให้ทราบว่าช่วงเวลาไหนที่มีการใช้งานมากเป็นพิเศษจะทำการแจ้งเตือนในช่วงเวลานั้น โดยการติดตั้งเสียงเตือน เพื่อเป็นการประหยัดค่าไฟฟ้าที่เป็นปัญหาหลักของร้านโรจณพรรณ

3.2 กรอบแนวคิดตามทฤษฎี

การจำแนกข้อมูลด้วยต้นไม้ตัดสินใจจะเป็นกระบวนการสร้างต้นไม้ขึ้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจจากข้อมูลที่มีหมวดหมู่ข้อมูลแนบอยู่ด้วย ต้นไม้ตัดสินใจจะประกอบไปด้วยโหนดต่าง ๆ (ที่ไม่ใช่โหนดใบ non-leaf node) ที่ซึ่งถูกใช้ในการแสดงถึงเงื่อนไขหรือแอทริบิวหนึ่ง ๆ ของข้อมูลโดยที่แต่ละกิ่งก้านของโหนดหนึ่ง ๆ จะหมายถึงค่าที่เป็นไปได้จากการทดสอบกับแอทริบิวนั้น ๆ และจะประกอบไปด้วยโหนดใบ (leaf node) ที่ซึ่งจะมีหมวดหมู่ข้อมูลจัดเก็บอยู่ โดยโหนดต่าง ๆ ที่ไม่ใช่โหนดใบจะถูกแทนด้วยสี่เหลี่ยมและโหนดใบจะถูกแทนด้วยวงรีตามลำดับ

หลังจากทำการสร้างต้นไม้ตัดสินใจแล้วเราจะสามารถใช้ต้นไม้ตัดสินใจในการจำแนกข้อมูลได้ โดยจะทำการจำแนกหมวดหมู่ของข้อมูลเรคคอร์ดหนึ่ง ๆ ด้วยการเปรียบเทียบแอทริบิวที่อยู่ในโหนดรากกับค่าของแอทริบิวในเรคคอร์ดที่พิจารณา โดยจะทำการเปรียบเทียบจากโหนดรากไปจนถึงโหนดใบ เมื่อเราทราบถึงโหนดใบจะทำให้เราทราบถึงหมวดหมู่ข้อมูลของเรคคอร์ดที่ทำการพิจารณา

โดยต้นไม้การตัดสินใจจะถูกนำมาใช้ช่วยในการตัดสินใจและจำแนกข้อมูลที่ถูกเก็บมาจากสถานที่ทดสอบ เพื่อนำมาใช้ในการช่วยจำแนกข้อมูลระยะเวลาในการเปิดปิดประตูตู้แช่ในแต่ละครั้งว่ามีการเปิดปิดตู้แช่นานเกินไปหรือไม่

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

รายละเอียดของซอฟต์แวร์ ในการพัฒนาจะใช้ซอฟต์แวร์หลักในการดำเนินการดังนี้

3.3.1 Arduino Software IDE Version 1.6.7

3.3.2 WEKA

รายละเอียดของฮาร์ดแวร์

3.3.3 Arduino Shield

3.3.4 Sensors For Arduino

3.3.5 Modules For Arduino

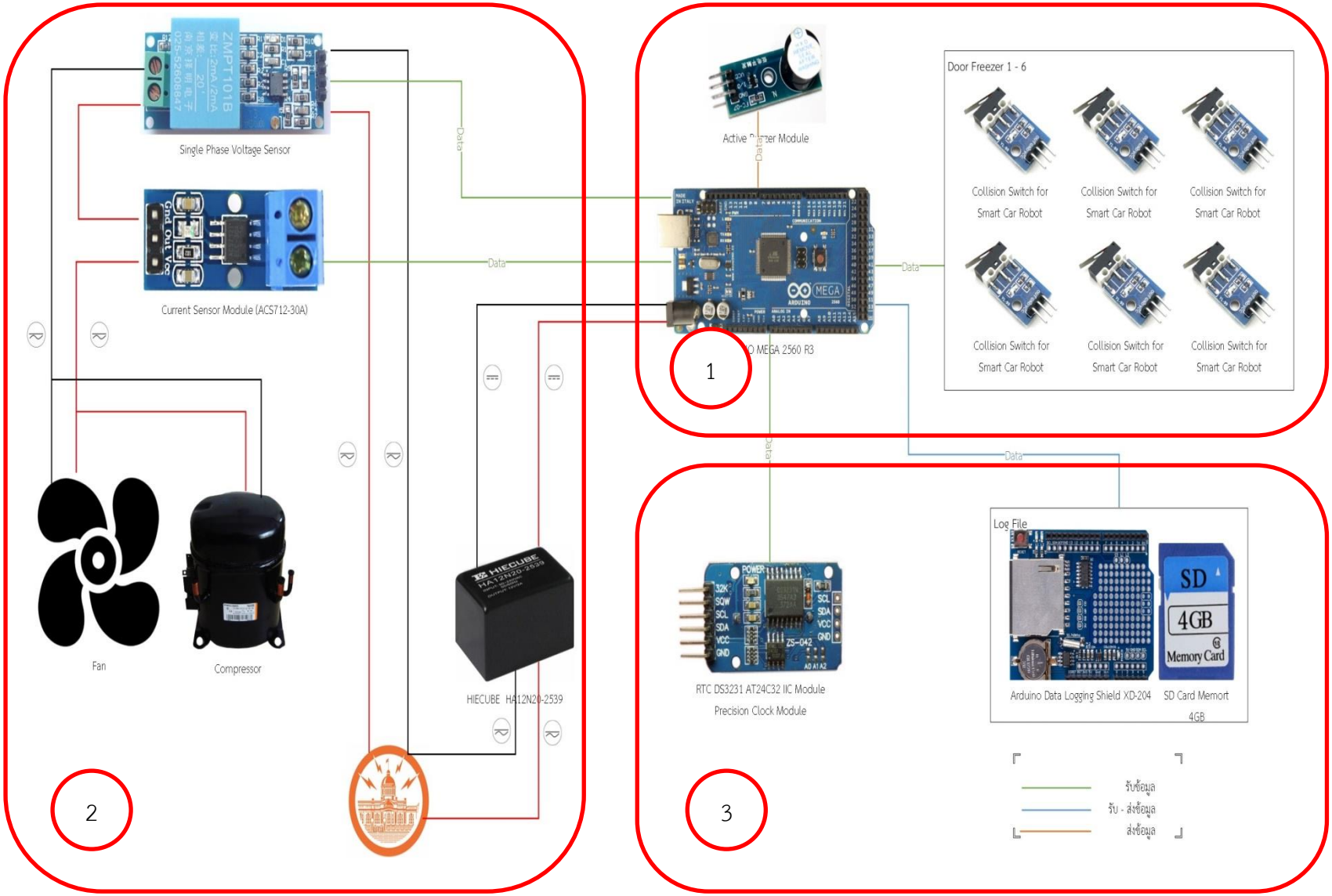
3.4 การทดสอบเครื่องมือ

การติดตั้ง Current Sensor Module บนประตูตู้แช่ เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลการใช้งานผ่านโปรแกรม Arduino และนำเอาข้อมูลไปคำนวณโดยโปรแกรม WEKA เพื่อ Cluster แบ่งช่วงเวลาออกมาเป็นกลุ่ม และเลือกกลุ่มที่มีผู้ใช้งานมากที่สุด เพื่อจะทำการแจ้งเตือนผู้ใช้งานเวลาที่เปิดใช้งานนานเกินไป หรือเปิดตู้แช่ทิ้งไว้เกินเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 3.1: การติด Sensors for Arduino ไว้ที่บานประตู

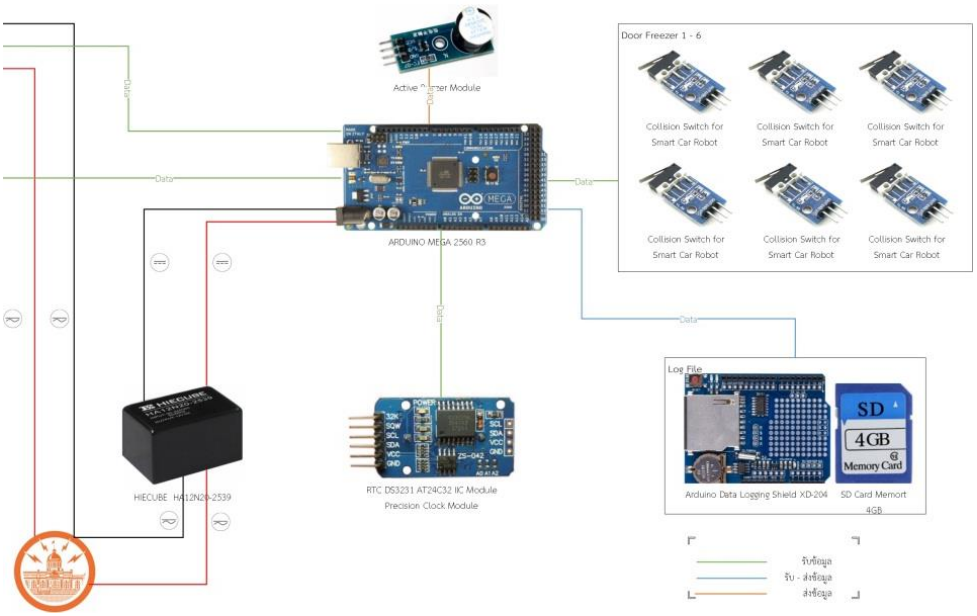
วิธีการติด Sensors for Arduino ไว้ที่บานประตูเพื่อทำการบันทึกข้อมูลผู้ใช้งาน โดยเก็บข้อมูลจากการเปิดปิดตู้แช่และบันทึกข้อมูลไว้ในโปรแกรม Arduino

ภาพที่ 3.2: สถาปัตยกรรมระบบ



จากภาพที่ 3.2 ตำแหน่งหมายเลข 1 คือ ส่วนการทำงานของการตรวจจับการเปิดปิดประตูตู้แช่โดยใช้ Collision Switch for Smart Car Robot ทั้ง 6 ตัวในการตรวจจับการเปิดปิดประตูตู้แช่ทั้ง 6 บาน ซึ่งเมื่อมีการใช้งานประตูตู้แช่สวิตซ์ดังกล่าวจะทำการส่งสัญญาณไปที่ Arduino Mega 2650 ให้ทำการดำเนินการจับเวลาการเปิดประตูตู้แช่ว่าเกิดค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งถ้ามีการเปิดประตูตู้แช่เกินระยะเวลาที่กำหนด Arduino Mega 2650 จะส่งสัญญาณไปที่ตัว Active Buzzer ส่งสัญญาณแจ้งเตือนทันที แต่ในกรณีที่การใช้งานไม่เกินระยะเวลาที่กำหนดไว้ Arduino Mega 2650 จะไม่มีการส่งสัญญาณไปที่ Active Buzzer ในขณะเดียวกันตำแหน่งหมายเลข 2 จะทำการส่งค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้แช่โดยวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านตัว Current Module และ Single Phase Sensor และส่งไปยัง Arduino Mega 2650 จากนั้น Arduino Mega 2650 จะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปให้ส่วนหมายเลข 3 บันทึกผลลงบน SD Card

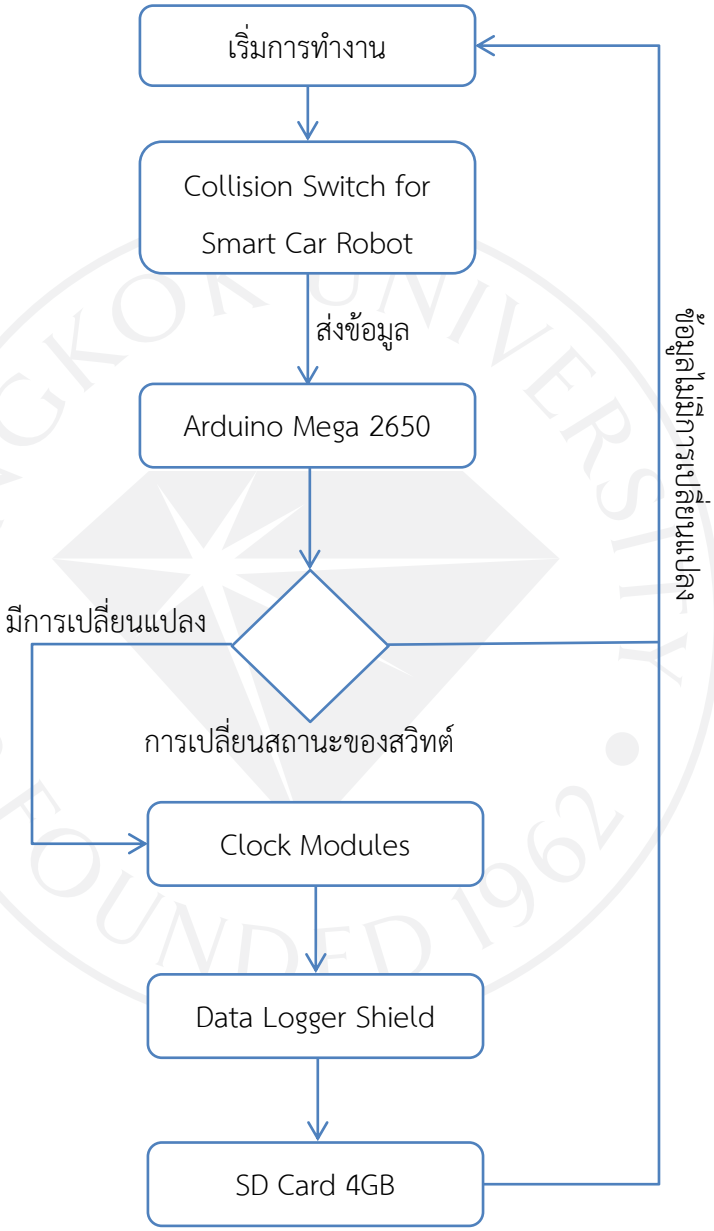
ภาพที่ 3.3: สถาปัตยกรรมระบบ



จากภาพที่ 3.3 ไฟฟ้ากระแสสลับจากปลั๊กไฟกำลังไฟฟ้า 220V โดยกระแสสลับไฟผ่านสายไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ HIECUBE HA12N20-2539 เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรงกำลังไฟฟ้า 5 V ไปยังอุปกรณ์อาดุยโน่และอุปกรณ์ต่าง ๆ จากนั้นสวิตช์เช็คการชน (Collision Switch) จะส่งสัญญาณดิจิตอลเป็น 0 การทดลองครั้งที่ 1 อาดุยโน่จะตรวจจับสัญญาณวนซ้ำไปเรื่อย ๆ เมื่อมีการเปิดประตูตู้แช่จะมีการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็น 1 อาดุยโน่จะบันทึกเวลาที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณไว้ในหน่วยความจำเมมโมรี่ของอาดุยโน่ และเมื่อมีการปิดประตูตู้แช่สัญญาณ

ดิจิตอลจะกลับเป็น 0 เมื่อนั้นอาดุยโน่จะนำเวลาที่เปิดประตูและเวลาที่ปิดประตูมาคำนวณหาค่าระยะเวลาที่เปิดประตู แล้วถึงบันทึกลงในเมมโมรี่การ์ด และกลับไปทำงานวนซ้ำต่อไป

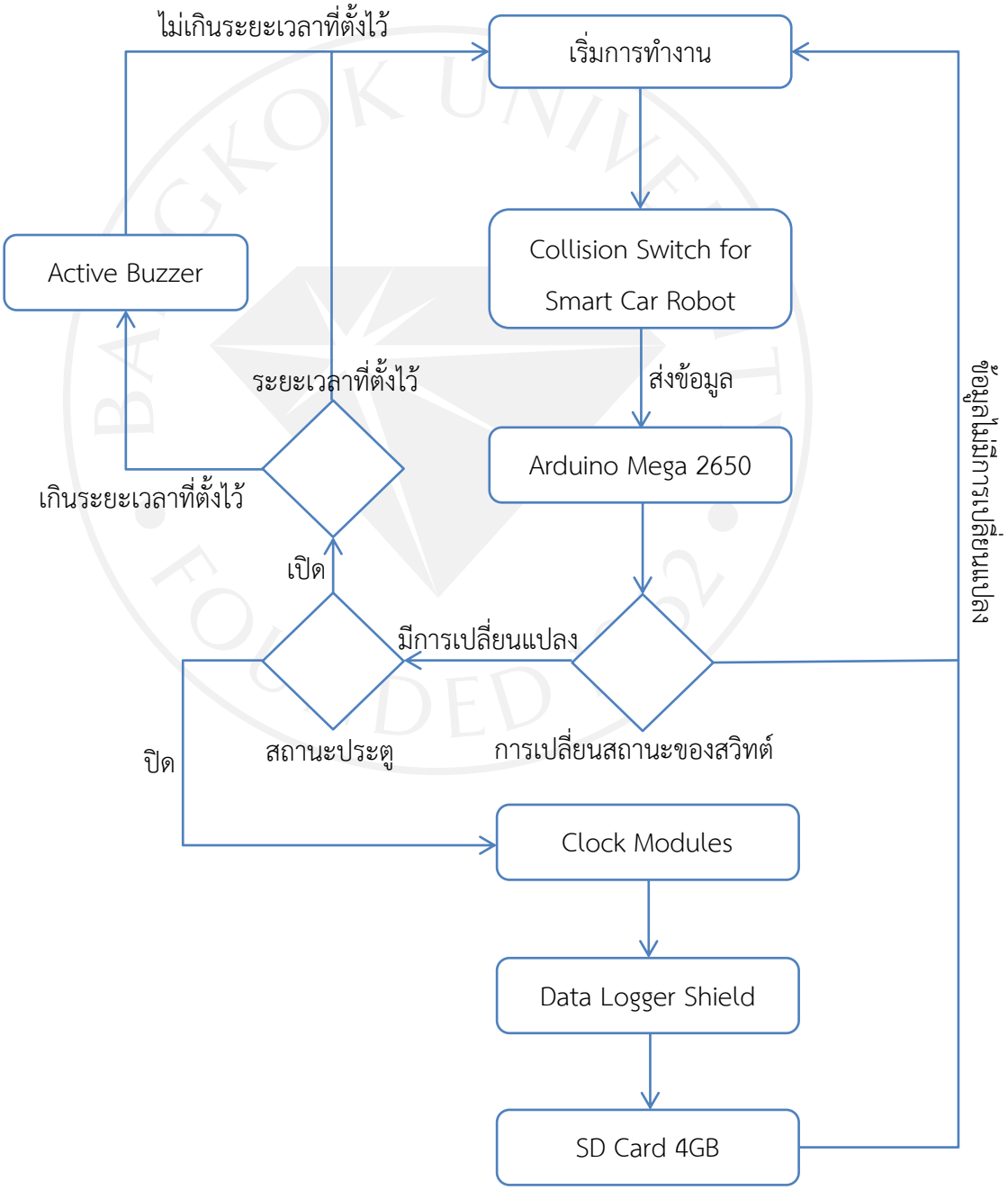
ภาพที่ 3.4: ระบบการทำงานก่อนการเก็บข้อมูล



จากภาพที่ 3.4 เป็นการแสดงการทำงานของขั้นตอนในการเก็บข้อมูลการเปิดปิดประตูตู้แช่ โดยเมื่อเริ่มการทำงานแล้ว Collision Switch for Smart Car Robot จะเป็นตัวตรวจจับการเปิดปิดประตูตู้แช่ เมื่อพบว่ามีการเปิดปิดประตูตู้แช่แล้วตัวสวิตช์จะทำการส่งข้อมูลไปยัง Arduino Mega

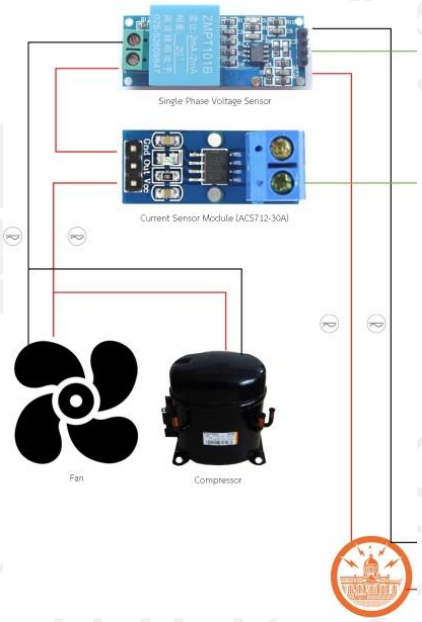
2650 เพื่อตรวจสอบสถานะการเปลี่ยนแปลงของสวิตซ์ โดยถ้าสวิตซ์มีการเปลี่ยนแปลงจะทำการส่งข้อมูลไปยัง Clock Modules เพื่อบันทึกเวลาและระยะเวลาที่เปิดปิดประตูตู้แช่จากนั้นจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยัง Data Logger Shield เพื่อทำการบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงบน SD Card จากนั้นจึงเริ่มการทำงานใหม่ไปเรื่อย ๆ โดยมีการนำต้มไม้การตัดสินใจมาใช้ช่วยตัดสินใจในส่วนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสวิตซ์และระยะเวลาที่ประตูตู้แช่ได้ทำการเปิดปิด

ภาพที่ 3.5: ระบบการทำงานหลังการเก็บข้อมูล



หลังจากเก็บข้อมูลพฤติกรรมการเปิด-ปิดประตูมาได้ 7 วัน นำข้อมูลในเมมโมรี่การ์ดมาใช้โปรแกรม WEKA ในการคำนวณ แยกประเภทของข้อมูล เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจเพื่อให้ได้ค่ากลาง และนำผลลัพธ์นั้นไปเปลี่ยนแปลงการเตือนเปิดประตูในอาดุยโน่ การทดลองครั้งที่ 2 อาดุยโน่จะตรวจจับสัญญาณดิจิตอลจากสวิตช์เช็คการชน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเป็น 1 จะบันทึกเวลาที่เปลี่ยนแปลง และวนซ้ำตรวจเช็คเวลา เมื่อเกินจากระยะเวลาที่ตั้งไว้ อาดุยโน่จะส่งสัญญาณให้ลำโพง (Active Buzzer) ส่งเสียงเตือนแก่ผู้ใช้งานระบบ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ยินเสียงเพราะมีประตูตู้แช่เปิดค้างทิ้งไว้เกินเวลาที่กำหนด เมื่อมีการปิดประตูตู้แช่แล้ว อาดุยโน่จะหยุดส่งสัญญาณให้ลำโพงส่งเสียงเตือน และบันทึกผลลงในเมมโมรี่การ์ดเหมือนครั้งที่ 1 ดังภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.6: เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

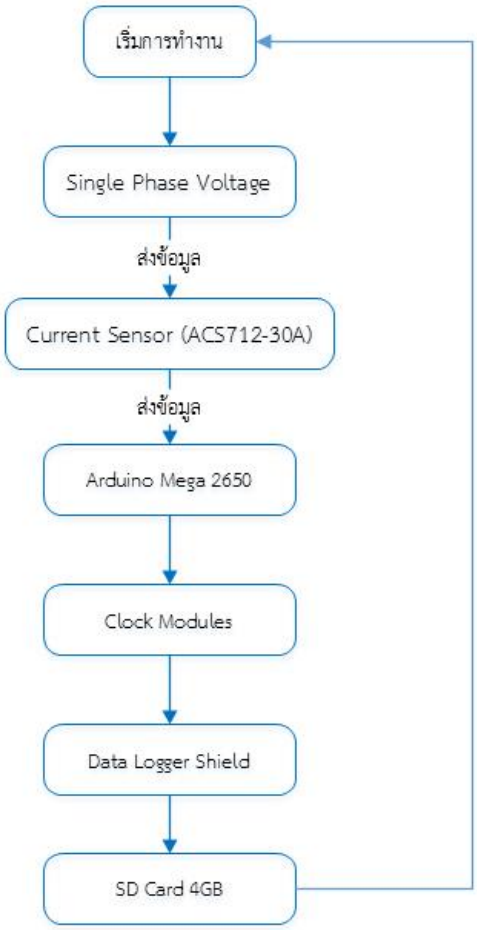


จากภาพที่ 3.6 ต่อไฟฟ้ากระแสสลับจากปลั๊กไฟกำลังไฟฟ้า 220V โดยขา Line และขา Neutral เข้าที่อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (Single Phase Voltage) และขา Line ลากต่อไปยังอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor (ACS712-30A)) จากนั้นเชื่อมสาย Line และ Neutral ไปยัง Compressor และ FAN เพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสจะส่งค่าไฟฟ้าที่วัดได้ หน่วยเป็นโวลต์ (Volt) กับอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าจะวัดกระแสไฟฟ้าเป็นหน่วยแอมป์ (Amp) ส่งไปยังอาดุยโน่ เพื่อคำนวณหาค่าไฟฟ้าออกมาเป็นหน่วยวัตต์(Watt) โดยมีหลักการทางคณิตศาสตร์ คือ

โวลต์ (Volt) x แอมป์ (Amp) = วัตต์ (Watt)

และนำค่าทั้ง 3 รวมทั้งเวลาที่มีการวัดไปบันทึกลงในเมมโมรี่การ์ด เพื่อใช้ในการศึกษาผลการทดลองด้านไฟฟ้า

ภาพที่ 3.7: ระบบการทำงานการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้า



จากภาพที่ 3.7 เป็นขั้นตอนการทำงานของการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของตู้แช่โดยใช้ตัววัดความต้านทาน (Current Sensor (ACS712-30A)) และเฟสวัดโวลต์ไฟฟ้า (Single Phase Voltage) ในการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้แช่จากนั้นตัววัดทั้งสองตัวจะทำการส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าไปยัง Arduino Mega 2650 เพื่อเป็นการบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากตัววัดและทำการบันทึกลงบน SD Card ที่ได้จัดเตรียมไว้

3.5 วิธีการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 3.1: ตารางบันทึกเวลาการเปิดปิดใช้งานตู้แช่

Date	Door Number	Time Open	Time Close	Session
08/09/59	1	9:22:33	9:22:36	3
08/09/59	1	9:25:12	9:25:40	28
08/09/59	1	9:39:09	9:39:18	9
08/09/59	1	10:25:49	9:53:23	14
08/09/59	1	10:34:28	10:26:03	14
08/09/59	1	10:36:28	10:36:36	40
08/09/59	1	10:36:56	10:37:50	8

จากตารางที่ 3.1 การบันทึกเวลาปิดเปิดจาก โปรแกรม Arduino ที่บันทึกเวลาการเปิด ปิด การใช้งานของลูกค้าร้านโรจณพรรณ โดยการที่นำเอา Sensors For Arduino ไปติดไว้ที่ประตูตู้บานที่1 เพราะการใช้งานของแต่ละบานก็ไม่เท่ากัน และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่ ระยะเวลาในการเปิดปิดประตูตู้แช่ และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเวลาที่เหมาะสมในการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ปิดประตูตู้แช่ในกรณีที่มีการเปิดประตูตู้แช่เอาไว้เกินเวลาที่กำหนดเอาไว้

ตารางที่ 3.2: ตารางบันทึกค่าไฟฟ้า

Date	Time	Vole	Amp	Watt
10/08/59	0:11:00	251.11	0.26	65.65
10/08/59	0:11:03	258.1	0.27	68.67
10/08/59	0:11:06	261.86	0.26	69.32
10/08/59	7:19:03	256.48	0.27	69.55
10/08/59	7:19:06	262.4	0.27	70.13
10/08/59	7:19:09	255.41	0.27	71.63
10/08/59	7:19:12	259.71	0.28	70.43

จากตารางที่ 3.2 การบันทึกค่าไฟฟ้าตู้แช่โดยโปรแกรม Arduino ที่บันทึกค่าไฟฟ้าจากการใช้งานของลูกค้าร้านโรจณพรรณ ในตารางสามารถทราบถึงการใช้ไฟฟ้าแบบเป็นรายนาทีได้ เพื่อใช้ในการวัดค่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยที่สามารถนำข้อมูลที่ได้มาไปใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้แช่ก่อนที่จะทำการติดตั้งการแจ้งเตือนเวลาเปิดปิดประตูและหลังติดตั้งการแจ้งเตือนเวลาเปิดปิดประตูเข้าไปเพื่อที่จะสามารถทราบได้ว่าหลังจากติดตั้งการแจ้งเตือนเวลาเปิดปิดประตูแล้วการใช้ใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างไร

3.6 วิธีการทางสถิติ

การคำนวณความแม่นยำ

โดยทั่วไปแล้วการวัดความแม่นยำในการทำนายนั้นจะใช้วิธีหาอัตราส่วนระหว่างจำนวนการทำนาย ที่ถูกต้องกับจำนวนการทำนายทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{accuracy} = \frac{\text{number of correct prediction}}{\text{total prediction}}$$

การวัดความแม่นยำด้วยสมการข้างต้นไม่เพียงพอกับการจำแนกประเภทของการทำเหมืองข้อมูล เพราะการจำแนกประเภทนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงความแม่นยำในแต่ละคลาสด้วย ซึ่งการคำนวณความแม่นยำแบบปกตินั้นสามารถคำนวณความแม่นยำโดยรวมได้เท่านั้น ดังนั้นในการคำนวณความแม่นยำเฉพาะกลุ่ม จำเป็นต้องใช้ฟังก์ชั่นการคำนวณอื่นเข้ามาช่วยด้วยซึ่งได้แก่ Precision, Recall และ Specificity ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{precision} = \frac{\text{true positive}}{\text{true positive} + \text{false positive}}$$

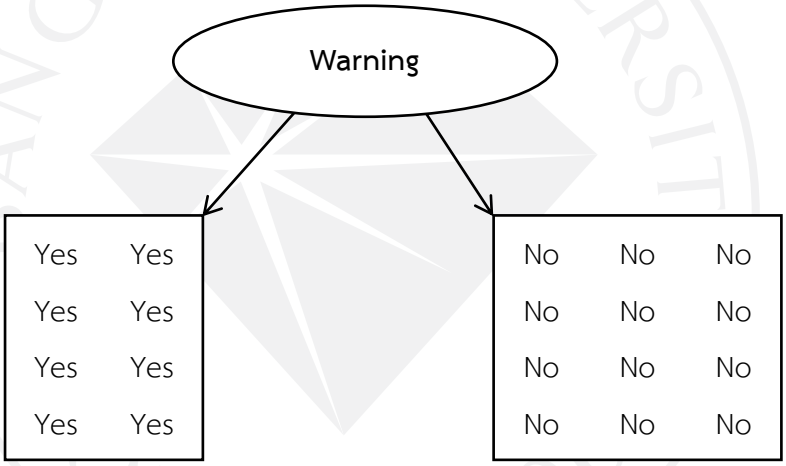
$$\text{recall} = \frac{\text{true positive}}{\text{true positive} + \text{fals negative}}$$

$$\text{specificity} = \frac{\text{true negative}}{\text{true negative} + \text{false positive}}$$

3.7 วิธีการคำนวนต้นไม้ตัดสินใจ

การคำนวณหาต้นไม้ตัดสินใจเป็นการนำ Training Dataset มาคำนวณเพื่อให้ได้ต้นไม้การตัดสินใจที่สามารถบอกได้ว่าเมื่อพบตัวแปรแต่ละแบบควรจะตัดสินใจทำงานขั้นตอนต่อไปอย่างไรที่เหมาะสมกับการทำงานในรูปแบบต่าง ๆ โดยการคำนวณในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3.1 มาใช้ โดยสุ่มนำข้อมูลจำนวน 20 ชุด จากข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณเพื่อให้ได้ต้นไม้การตัดสินใจ ซึ่งการที่จะคำนวณผลออกมาได้นั้นจะต้องมีการแบ่งคลาสก่อนโดยใช้ Yes และ No เป็นตัวแบ่งคลาสตามเงื่อนไขของแอททริบิวต์ของข้อมูลที่ได้เก็บมา โดยจะเก็บการแบ่งคลาสไว้ในแอททริบิวต์ Warning ซึ่งเป็นแอททริบิวต์ที่ใช้สำหรับบอกว่าควรจะแจ้งเตือนการใช้งานตู้แช่หรือไม่ สามารถคำนวณตามสูตรทั้งหมดในขั้นตอนดังต่อไปนี้

ภาพที่ 3.8: ตัวอย่างตัวแปรของผลลัพธ์จากการทดลองที่นำมาคำนวณ



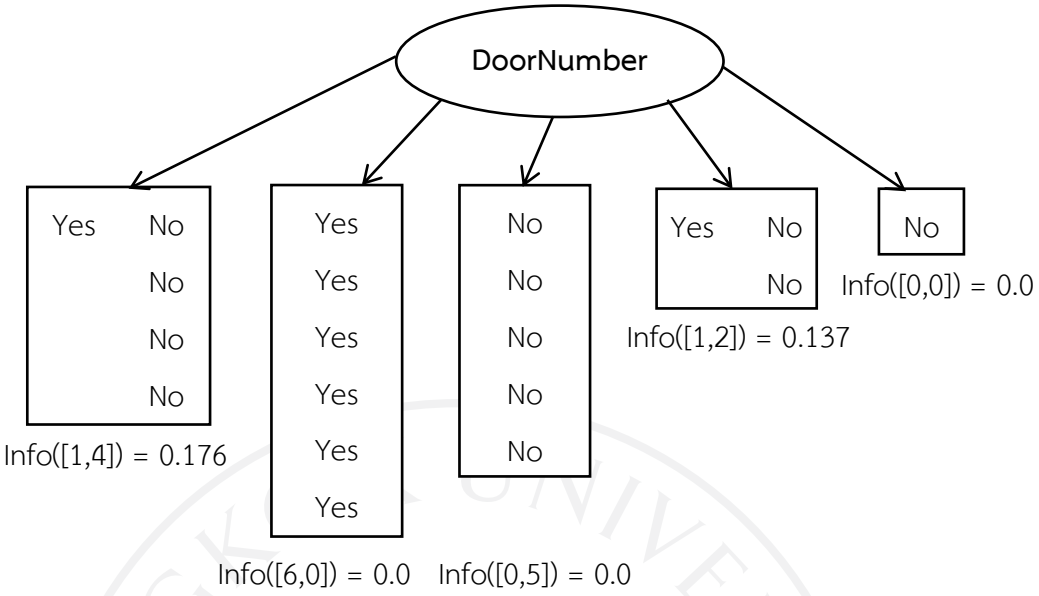
$$\text{info(T)} = -\left[\frac{8}{20} \times \log_2\left(\frac{8}{20}\right)\right] - \left[\frac{12}{20} \times \log_2\left(\frac{12}{20}\right)\right] \quad (1)$$

$$= 0.97 \text{ bits}$$

Info(T) เป็นฟังก์ชัน ที่ระบุปริมาณข้อมูลที่ต้องการเพื่อให้สามารถจำแนกคลาสที่ต้องการได้

จากสูตรที่ 1 เป็นการนำ Root node ที่ได้ทดลองเลือกมาจากตารางผลลัพธ์ที่ได้มาเพื่อหาค่า info(T) และเมื่อคำนวณได้ผลลัพธ์ออกมาแล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า gain ต่อไป

ภาพที่ 3.9: ตัวอย่างตัวแปรของผลลัพธ์จากการทดลองที่นำมาคำนวณ



$$\text{Average Information} = \text{info}([2,3],[6,0],[0,5],[1,2],[0,1]) \quad (2)$$
$$= \frac{5}{20} \times 0.176 + \frac{6}{20} \times 0.0 + \frac{5}{20} \times 0.0 + \frac{3}{20} \times 0.137 + \frac{1}{20} \times 0.0$$
$$= 0.05085 \text{ bits}$$

$\text{Info}_x(T)$ คือ ฟังก์ชันที่ระบุปริมาณข้อมูลที่ต้องการเพื่อการจำแนกคลาสของข้อมูลโดยใช้ attribute X เป็นตัวตรวจสอบเพื่อแยกข้อมูล

จากสูตรที่ 2 นั้นจะเป็นการนำแอททริบิวต์ทุกตัวในตารางผลลัพธ์ของข้อมูลคำนวณหาค่า $\text{info}_x(T)$ ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการคำนวณแอททริบิวต์ DoorNumber มาแสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า $\text{info}_x(T)$ เพื่อนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้ไปแทนค่าในสูตร gain เพื่อหาค่า gain ต่อไป และเนื่องจากแอทริบิวต์ DoorNumber ยังไม่สามารถจัดกลุ่มข้อมูลให้เป็นคลาสเดียวกันได้ทั้งหมดจึงจำเป็นต้องสร้างต้นไม้การตัดสินใจต่อไปโดยพิจารณาเลือกจากแอททริบิวต์ที่เหลือในตารางข้อมูลที่มีค่า gain สูงที่สุดต่อลงไปเรื่อย ๆ จนกว่ากลุ่มข้อมูลจะสามารถเป็นคลาสเดียวกันได้ทั้งหมด

$$\text{gain(DoorNumber)} = \text{info(T)} - \text{info}_{\text{DoorNumber}}\text{(T)} \quad (3)$$
$$= 0.97 - 0.05085$$
$$= 0.929 \text{ bits}$$

จากสูตรที่ 3 เป็นการนำค่า info(T) และค่า $info_x(T)$ จากสูตรที่ 1 และ 2 มาแทนลงไปเพื่อคำนวณหาค่า gain ซึ่งมีหน่วยเป็น bits ออกมาใช้สำหรับเปรียบเทียบการจำแนกคราสของแอททริบิวต์ได้ ซึ่งจะนำแอททริบิวต์ที่มีค่า gain มากที่สุดมาเขียนเป็นโหนดลูกต่อจาก root node

บทที่ 4
บทวิเคราะห์ข้อมูล

จากการคำนวณโดยโปรแกรม WEKA คือการนำเอาข้อมูลการเปิดปิดใช้งานตู้แช่จำนวนมาก มาแบ่งกลุ่มช่วงเวลาการใช้งานโดยวิธีการ Cluster เปนโมดูลการทำเหมืองขอมูลแบบการแบงกลุม (Clustering) แบงกลุมขอมูลตามความคลายคลึง (Similarity) ทราบถึงช่วงเวลาการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่เท่าไหร่ และสามารถนำไป Classify เพื่อให้ได้ต้นไม้ตัดสินใจที่แสดงถึงการทำงานที่ลดลง

4.1 การสรุปข้อมูล

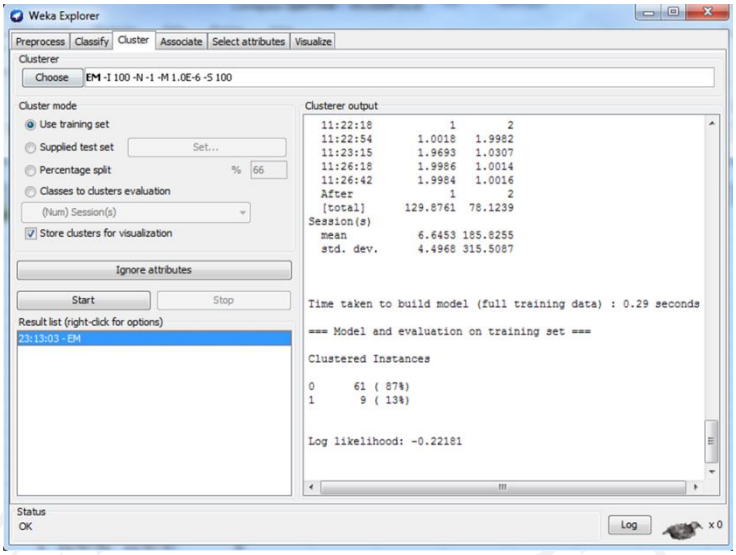
การทดลองโดยใช้โปรแกรม WEKA

โปรแกรม WEKA เริ่มพัฒนามาตั้งแตป 1997 โดยมหาวิทยาลัย Waikato ประเทศนิวซีแลนด เปนซอฟตแวรสำเร็จ ภาพประกอบประเภทฟรีแวร อยูภายใตการควบคุมของ GPL License ซึ่งโปรแกรม WEKA ไดถูกพัฒนามาจากภาษาจาวาทั้งหมด ซึ่งเขียนมาโดยเนนกับงานทางดานการเรียนรูดวยเครื่อง (Machine Learning) และ การทำเหมืองขอมูล (Data Mining) โปรแกรมจะประกอบไปดวย โมดูลยอย ๆ สำหรับใชในการจัดการขอมูล และเปนโปรแกรมที่สามารถใช Graphic User Interface (GUI) โดยมี ฟงกชันสำหรับการทำงานรวมกับขอมูล ไดแก Pre-Processing, Classification, Regression, Clustering, Association Rules, Selection และ Visualization

จากการที่โปรแกรม WEKA นั้นสามารถทำเหมืองข้อมูลได้นั้นผู้วิจัยจึงได้นำโปรแกรม WEKA มาใช้ช่วยทำต้นไม้การตัดสินใจโดยการนำข้อมูลของการใช้งานตู้แชในช่วงเวลาทั้งหมด 7 วัน ที่ทำการเก็บข้อมูลมาทั้งหมด โดยใช้ข้อมูลในส่วนของระยะเวลาที่ประตูตู้แช่ได้ถูกเปิดปิดมาคำนวณว่าควรจะตั้งการเตือนการเปิดประตูตู้แช่อย่างไรให้เหมาะสม

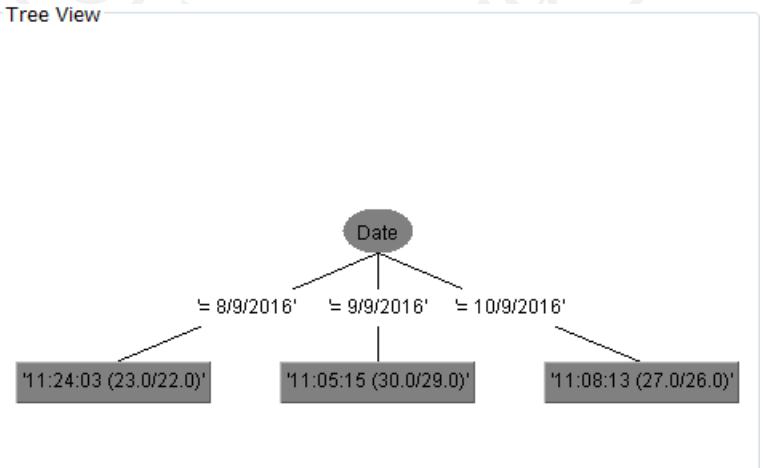
โดยการที่จะสามารถได้ต้นไม้การตัดสินใจออกมาจากตัวโปรแกรม WEKA นั้นผู้วิจัยจำเป็นที่จะต้องนำไฟล์ที่เก็บข้อมูลทั้งหมดมาแปลงเป็นไฟล์ชนิด CSV จากเดิมที่เป็นไฟล์ xlxs หรือไฟล์ Excel ที่เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี เพื่อให้โปรแกรม WEKA สามารถอ่านข้อมูลจากไฟล์ที่ต้องการนำไปใช้คำนวณหาผลลัพธ์ต่าง ๆ ตามที่ผู้วิจัยต้องการ

ภาพที่ 4.1: ผลการคำนวณการแบงกลุมขอมูลตามความคลายคลึง



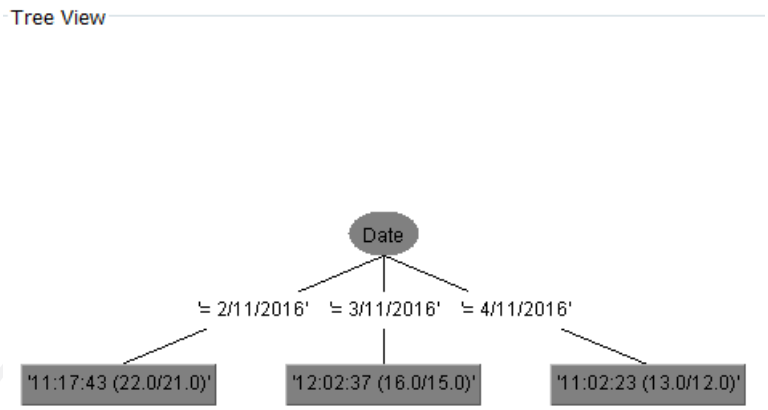
จากภาพที่ 4.1 แสดงถึงผลของข้อมูลการใช้งานตู้แช่ก่อนการใช้งานการแจ้งเตือน การทดลองตั้งแต่วันที่ 8-10/10/59 ช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น. เฉลี่ยอยู่ที่ 4.49 นาทีซึ่งเป็นเวลาการเปิดใช้งานถึง 9 ครั้งในช่วงเวลานั้นเป็นซึ่งเป็นเวลาที่นาน เพื่อเป็นการลดการใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจึงจะตั้งเวลาในการแจ้งเตือนที่ครึ่งหนึ่งของการใช้งานปกติจากเฉลี่ยอยู่ที่ 4.49 นาทีให้ตั้งเฉลี่ยอยู่ที่ 2.245 = 2 นาที

ภาพที่ 4.2: ผลการคำนวณโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจก่อนการแจ้งเตือน



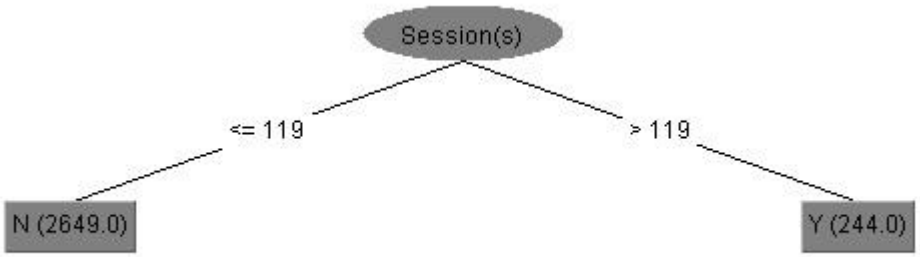
จากภาพที่ 4.2 ผลการคำนวณโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจก่อนการแจ้งเตือนแสดงให้เห็นถึงการใช้งานรวมในช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น. ของในแต่ละวัน

ภาพที่ 4.3: ผลการคำนวณโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจหลังการแจ้งเตือน



จากภาพที่ 4.3 ผลการคำนวณโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจหลังการแจ้งเตือนหลังการใช้การแจ้งเตือน วันที่ 2-4/11/59 ช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น. แสดงถึงผลรวมการใช้งานในแต่ละวันที่มีการใช้งานที่ลดน้อยลงตามลำดับ

ภาพที่ 4.4: ผลการคำนวณระยะเวลาการเปิดตู้แช่ที่ควรแจ้งเตือน

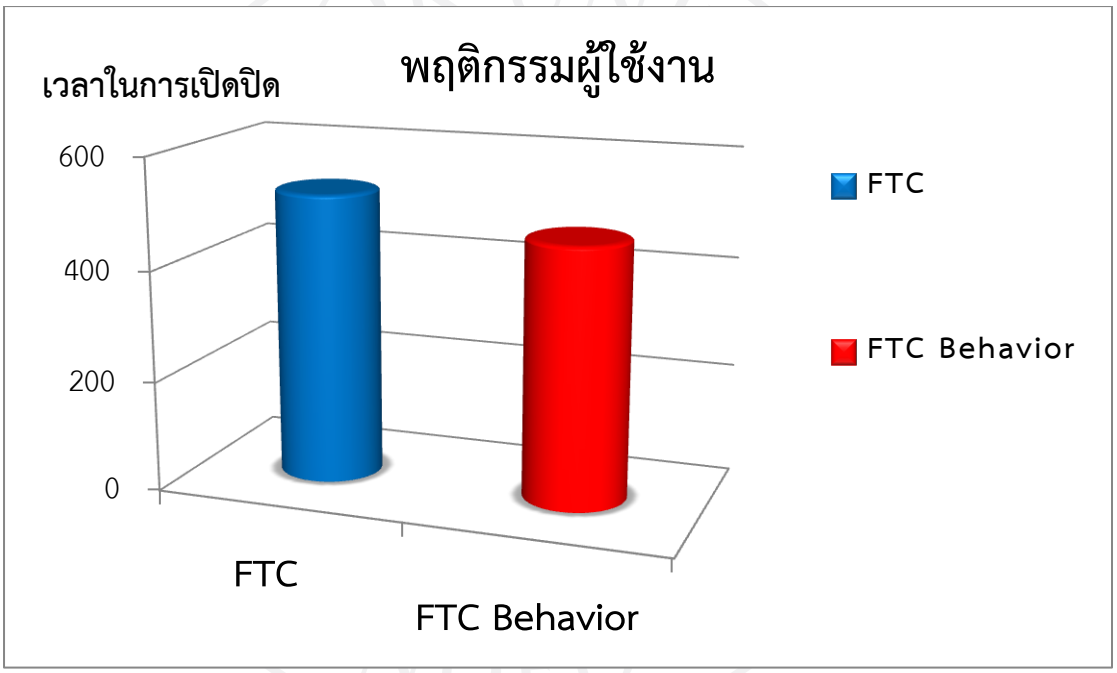


จากภาพที่ 4.4 ผลการคำนวนโดยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจการทำงานของระบบแจ้งเตือนระยะเวลาการเปิดประตูของตู้แช่โดยผู้ใช้งานตลอดระยะเวลาการเก็บผลทดสอบ แสดงให้เห็นว่ามีจำนวนการใช้งานตู้แช่ที่เกิน 2 นาทีอยู่ 244 ครั้ง และจำนวนการเปิดใช้งานตู้แช่ที่ไม่เกิน 2 นาที อยู่ 2,649 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการทดสอบ

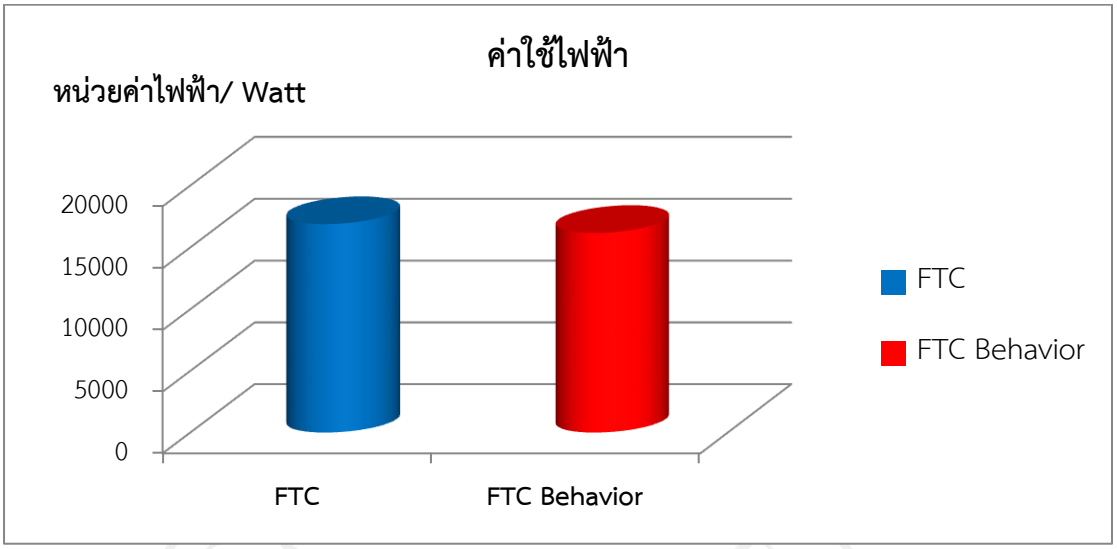
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐาน

จากการศึกษาระบบ FTC Behavior แบบการเชื่อมต่อข้อมูลพฤติกรรมผู้ใช้งาน จำนวน 9 วัน เวลา 6.00 - 22.00 น. รวมเป็น 144 ชั่วโมง โดยใช้โปรแกรม WEKA ได้ Cluster เพื่อทำการแยกกลุ่มตามช่วงเวลาการใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาที่สำคัญคือช่วง 11.00 – 14.00 น. และช่วง 17.00 - 19.00 น. ที่มีการใช้งานตู้แช่มากเป็นพิเศษ จึงยกเอาเวลาในช่วง 11.00 – 14.00 น. มาใช้ในการแจ้งเตือนเพราะมีความเหมาะสมกว่าและจะไม่ส่งผลกระทบกับช่วงเวลาอื่น ๆ จากการคำนวณพบว่าเวลาที่เหมาะสมอยู่ที่ 2 นาทีต่อการใช้งานเปิดปิด 1 ครั้ง

ภาพที่ 4.5: กราฟแสดงค่าการเปิดปิดการใช้งานที่น้อยลง



ภาพที่ 4.6: กราฟแสดงค่าไฟฟ้าที่น้อยลง



จากภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการเปิดปิดการใช้งานที่น้อยลงแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดตู้แช่จริงลดลง 18.75 % และค่าไฟฟ้าที่น้อยลง 4.4 % แสดงว่าพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดตู้แช่เชิงพาณิชย์ที่น้อยลง มีผลต่อการทำงานของ Compressor และส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจริง

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

เนื่องจากปัญหาการกินพลังงานไฟฟ้าของตู้แช่ที่สูงทำให้ต้นทุนของร้านค้าสูงตามไปด้วย ปัจจัยหลัก ๆ คือพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดตู้แช่ของลูกค้า ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้งานตู้แช่ของผู้ใช้งานในร้านค้าโดยใช้อุปกรณ์ Arduino ในการบันทึกข้อมูลการใช้งานและข้อมูลการใช้พลังงานของตู้แช่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาไปวิเคราะห์หาวิธีการที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้แช่ให้ได้อย่างเหมาะสมและนำเทคนิคการจำแนกข้อมูลต้นไม้การตัดสินใจมาเพื่อช่วยในการจำแนกข้อมูลแต่ละส่วน ผลที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยนี้ คือ จะได้ระบบแจ้งเตือนการเปิดประตูตู้แช่ด้วยเสียงเมื่อเปิดประตูตู้แช่เกินระยะเวลาที่กำหนดเอาไว้

5.2 อภิปรายผล

1) จากการศึกษาพฤติกรรมการใช้งานเปิดปิดตู้แช่เพื่อนำมาปรับเพิ่มเสียงแจ้งเตือนผู้ใช้งานไม่ให้เปิดใช้งานเป็นเวลานาน และส่งผลกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้จริง โดยมีการเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและนำเอาข้อมูลมาประมวลผลโดยโปรแกรม WEKA และได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการแจ้งเตือน เวลาที่ตั้งในการแจ้งเตือนคือไม่เกิน 2 นาทีผลที่ได้คือมีเวลาการเปิดใช้งานที่น้อยลงและทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า

2) หลังจากได้ทำการตั้งเวลาแจ้งเตือนการเปิดปิดประตูตู้แช่ไปแล้วจากผลการเก็บข้อมูลพบว่ามีการเปิดปิดประตูตู้แช่ในระยะเวลาที่สั้นลงจากเดิมก่อนที่จะทำการติดตั้งสัญญาณเตือนการใช้งาน 18.75 % และมีผลทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้แช่ลดลงจากเดิม 4.4 %

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1) ข้อมูลของตัว WEKA มีน้อยไม่เพียงพอ

2) Arduino มีความทนทานต่ำทำให้อุปกรณ์เสียอยู่บ่อย ๆ

3) Arduino มีความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลเป็นบางครั้ง

4) Decision tree มีสูตรการทำที่ซับซ้อนมาก

5.4 แนวทางการแก้ไข

1) เตรียม Arduino สำรองไว้ในกรณีที่อุปกรณ์เสียหาย

2) ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ทำการบันทึกไว้ตลอด

3) ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทำ Decision tree จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

5.5 การพัฒนาระบบงานในอนาคต

1) พัฒนาให้ระบบมีความแม่นยำในการทำงานมากขึ้น

2) พัฒนาให้ระบบสามารถปิดประตูตู้แช่ได้เองหลังจากมีการเปิดประตูตู้แช่เกินเวลาที่กำหนด

BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2551). สืบค้นจาก http://www.deqp.go.th.

ธราธร มั่นแย้ม, ทนงชัย หล้าวัน และสหพล สิงคะปะ. (2556). *การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนกรณีศึกษาภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

บดินทร์ อินต๊ะจัก. (2556). *การศึกษาพฤติกรรมการบริโภคเครื่องดื่มน้ำอัดลมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

ชูชาติ อารีจิตรารุสรณ์. (2539). *การพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยดีสีชาร์จทางไฟฟ้า*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

วิชุดา ไชยศิวามงคล. (2540). *การใช้โปรแกรม WEKA*. สืบค้นจาก http://home.kku.ac.th/wichuda/DMining/1WEKA_doc.pdf.

สำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2544). สืบค้นจาก http://energy.go.th/lawgeneral_link4.html.

สมคิด ยงหอม. (2554). *การศึกษาสมรรถนะเครื่องแช่แข็งขนาดเล็กที่ใช้สารทำความเย็น R-22 กับ R-290*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

สุระสิทธิ์ ทรงม้า. (2557). *Comparative efficiency of classification data by ID3 with different discretization techniques*. สืบค้นจาก http://research.dusit.ac.th/new/e-Journal/inner-detail.php?inid=433&page=1&type=a

โอภาส สุขหวาน. (2556). สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, 7*.

Pacharawongsakda, E. (2016, December). *Introduction to data mining and big data analytics*. N.P.: King Mongkut's University.

A DHT11 Class for Arduino. (2014). Retrieved from http://playground.arduino.cc/Main/DHT11Lib.

Han, J., & Kamber, M.. (2006). *Data mining: Concepts and techniques*. MA: Morgan Kaufmann.

Saidur, R., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., & Nasrudin, A. R. (2002). Factors affecting refrigerator-freezers energy consumption. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development, 19*(2), 57-68.

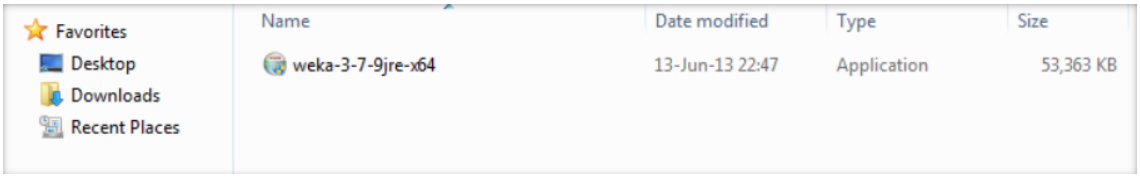
Rahman, S., Sidik, N. M., & Jauhari, I. (2005). *Temperature performance and usage conditions of domestic refrigerator-freezers in malaysia*. Retrieved from http://eprints.um.edu.my/6915/1/Factors_affecting_refrigerator-freezers_energy_consumption.pdf.

BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

ภาคผนวก ก
คู่มือการติดตั้งโปรแกรม WEKA 3.7 jre

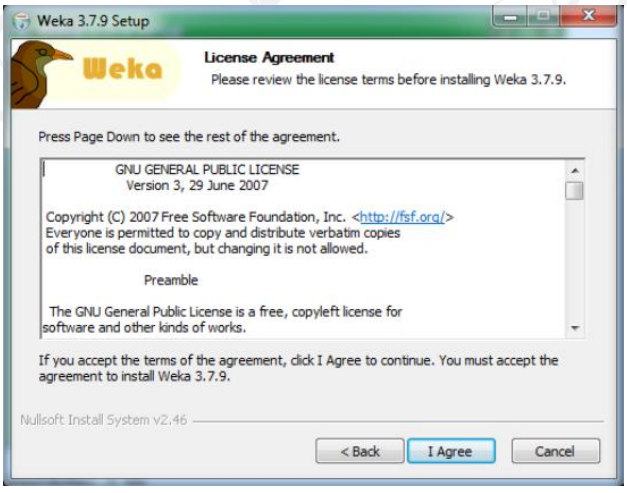
BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

ดาวน์โหลดได้ที่ http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/WEKA/downloading.html

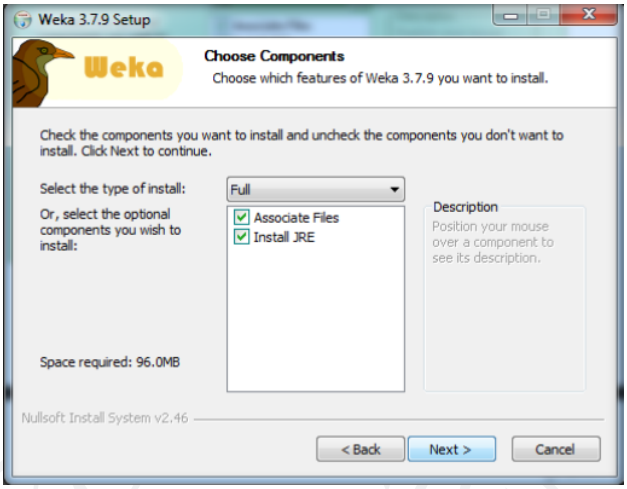


1) ดาวน์โหลดโปรแกรม และ ดับเบิลคลิกตัวติดตั้งโปรแกรม WEKA

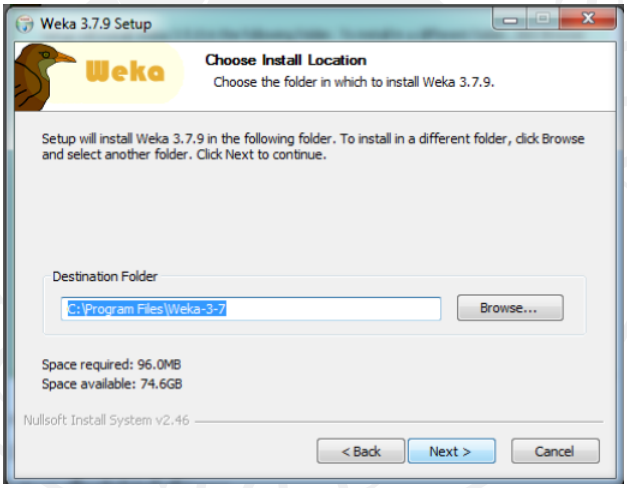
2) กด Next เพื่อทำการติดตั้ง



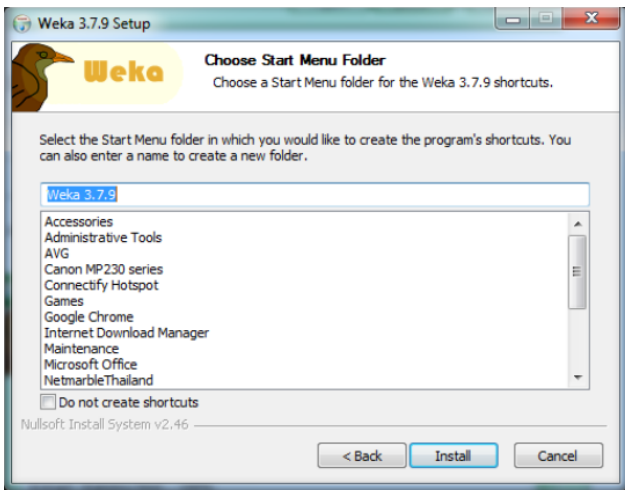
3) มีปุ่มให้เลือก3ปุ่มให้เราทาการคลิกปุ่ม IAgree เพื่อยินยอมตามข้อตกลง



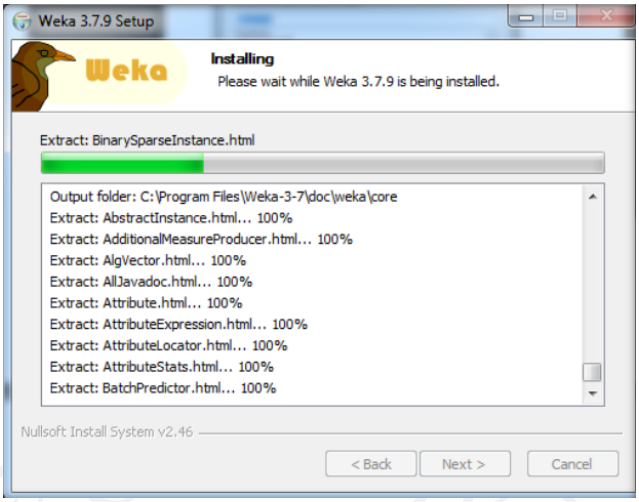
4) มีปุ่มให้เลือก 3 ปุ่มให้เราทาการคลิกปุ่มNextเพื่อทาการติดตั้งต่อไป



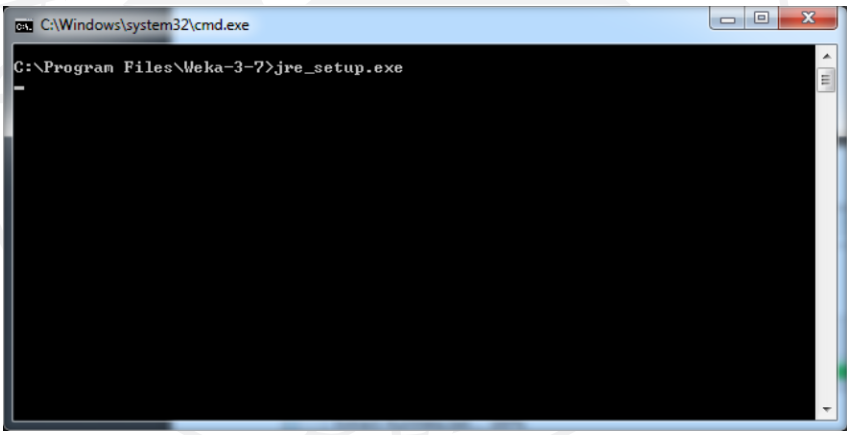
5) คลิกปุ่มBrowseเพื่อเลือกเก็บแฟ้มWEKA ให้เราทาการคลิกปุ่มNext เพื่อทาการติดตั้งต่อไป



6) มีปุ่มให้เลือก 3 ปุ่ม ให้เราทำการคลิกปุ่ม Install เพื่อทาการติดตั้งต่อไป



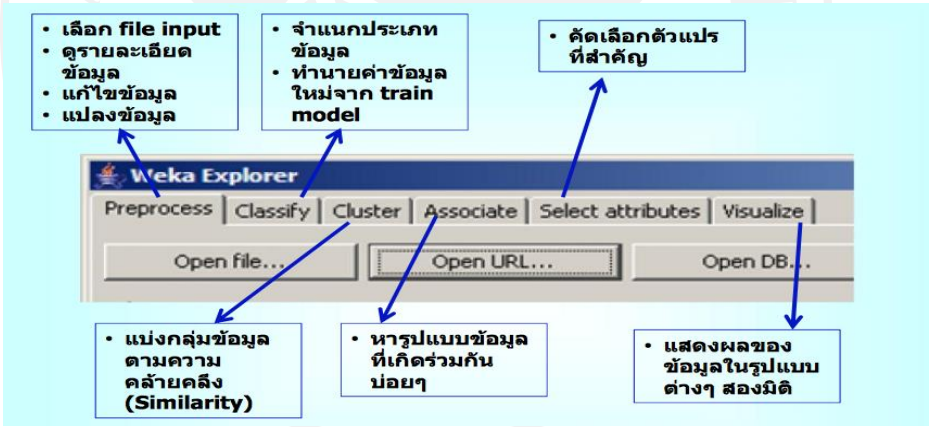
7) จะพบหน้าจอ installing รอจนกว่าแถบสีส้มจะขึ้นเต็ม เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วจะปรากฏหน้าต่างนี้ขึ้นมา เราไม่ต้องกดปิดหน้าต่างนี้จะปิดอัตโนมัติหลังจากติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาคผนวก ข
โปรแกรม WEKA

โปรแกรม WEKA ใช้ในการคำนวณ โดยเทคนิค Cluster ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูล และใช้เทคนิค Classify ในการคำนวณหาค่าต้นไม้เพื่อเปรียบเทียบการใช้งาน หลังจากเปิดโปรแกรมขึ้นมาแล้วจะพบหน้าจอดังภาพให้ทำการกดปุ่ม Explorer

หลังจากกดปุ่ม Explorer มาแล้วโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอใหม่ขึ้นมาโดยมีแถบเครื่องมือต่าง ๆ ดังภาพ



ที่มา: วิชุดา ไชยศิวามงคล. (2540). การใช้โปรแกรม WEKA. สืบค้นจาก http://home.kku.ac.th/wichuda/DMining/1WEKA_doc.pdf.

- Preprocess การเตรียมขอมูล เลือก File Input พิจารณา รายละเอียดขอมูล แกไขขอมูล แปลงขอมูล

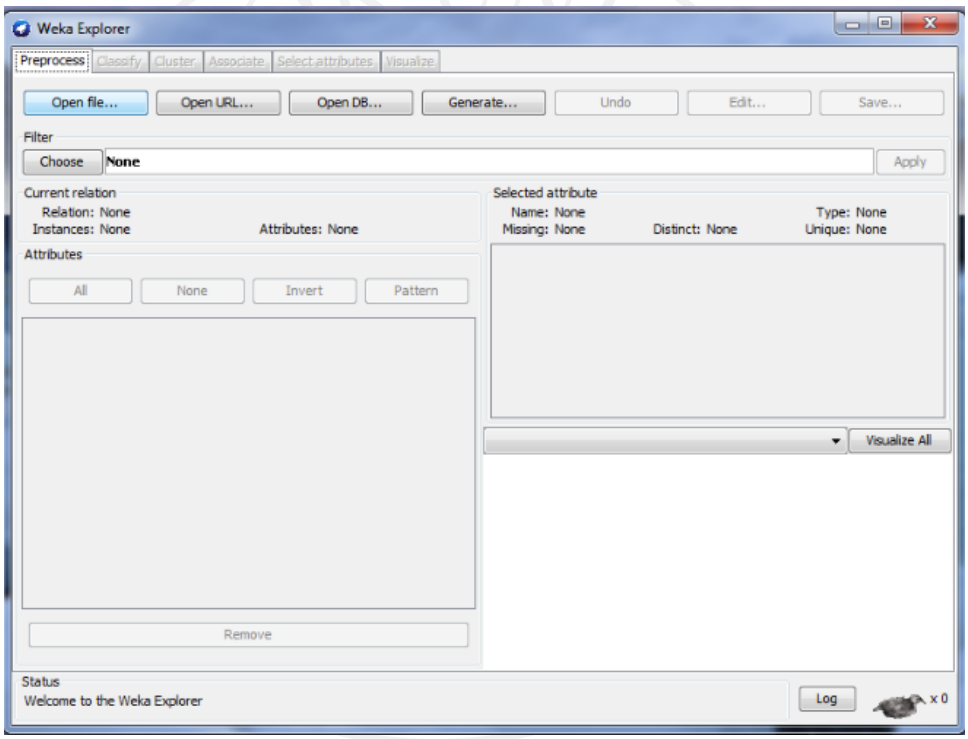
- Classify เปนโมดูลการทำเหมืองขอมูลแบบการจำแนก ประเภท (Classification) จำแนกประเภทขอมูลทำนายคา ขอมูลใหมจาก Train Model

- Cluster เปนโมดูลการทำเหมืองขอมูลแบบการแบงกลุม (Clustering) แบงกลุมขอมูลตามความคลายคลึง (Similarity)

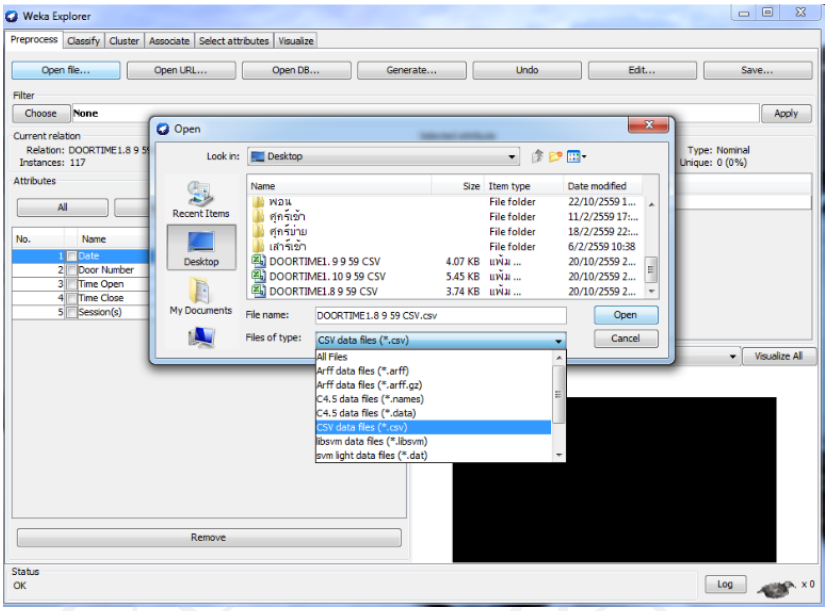
- Associate เปนโมดูลการทำเหมืองขอมูลแบบกฎ ความสัมพันธ (Association Rule)

- Select Attribute คัดเลือกตัวแปรที่สำคัญ

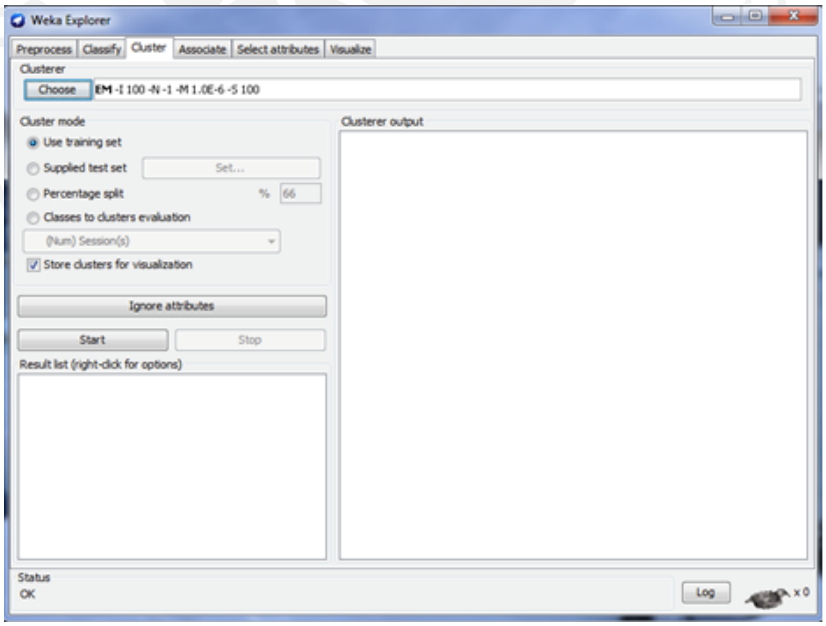
- Visualize แสดงผลของขอมูลในรูปแบบตาง ๆ สองมิติ

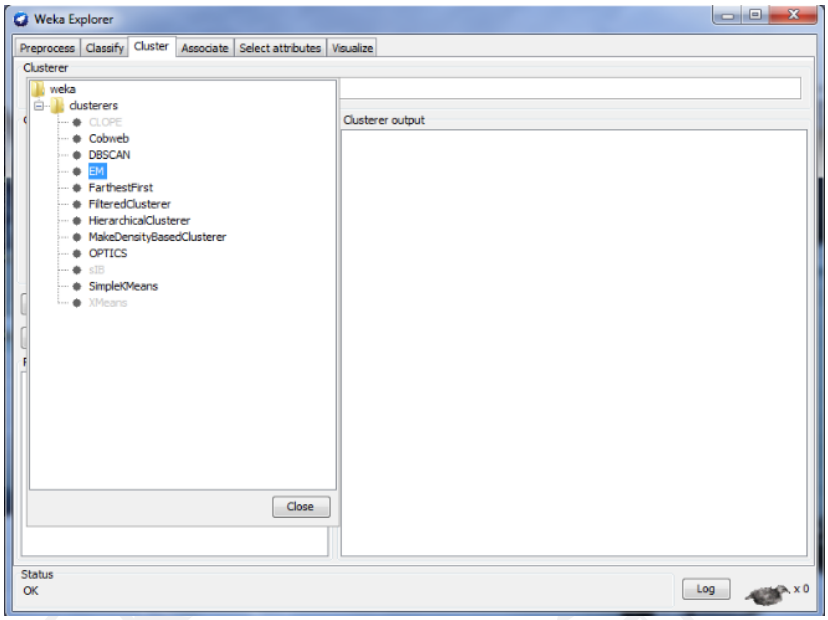


เพื่อเป็นการนำเอาข้อมูลที่บันทึกจากโปรแกรม Arduino ที่อยู่ในรูปแบบของ Microsoft Excel มาทำการแบ่งกลุ่มการใช้งาน ข้อมูลที่จะนำมาคำนวณได้นั้น ต้องเป็น Microsoft Excel และใช้นามสกุล .CSV เพื่อให้โปรแกรมสามารถอ่านได้



วิธี Cluster เปนโมดูลการทำเหมืองขอมูลแบบการแบงกลุม (Clustering) แบงกลุมขอมูลตามความคลายคลึง (Similarity) เพื่อสามารถให้โปรแกรมคำนวณหาค่าได้อย่างถูกต้องตามสูตรการแยกประเภท




Weka Explorer
Preprocess
Classify
Cluster
Associate
Select attributes
Visualize
Clusterer
weka
clusterers
CLOPE
Cobweb
DBSCAN
EM
FarthestFirst
FilteredClusterer
HierarchicalClusterer
MakeDensityBasedClusterer
OPTICS
sIB
SimpleKMeans
XMeans
Clusterer output
Close
Status
OK
Log
x 0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวเบญจมาศ ปิยะ

อีเมล benjamas.piya@bumail.net

ประวัติการศึกษา ระดับปริญญาตรี คณะบริหารธุรกิจ สาขาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนสามัคคีวิทยาคม

ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนเชียงรายวิทยาคม

ระดับประถมศึกษาโรงเรียนบ้านสันโค้งเชียงรายจรูญราษฎ์

BANGKOK UNIVERSITY FOUNDED 1962

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ข้อตกลงว่าด้วยการอนุญาตให้ใช้สิทธิในวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์

วันที่ 24 เดือน มกราคม พ.ศ. 2560

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) เบญจลักษ์ ชัยยะ อยู่บ้านเลขที่ 584/2
ซอย 6 ถนน สันมิคิว ตำบล/แขวง หอยเวียง
อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด เชียงราย รหัสไปรษณีย์ 57000
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ รหัสประจำตัว 7580700123
ระดับปริญญา ☐ ตรี ☑ โท ☐ เอก
หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งต่อไปนี้เรียกว่า **"ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ"** ฝ่ายหนึ่ง และ

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งอยู่เลขที่ 119 ถนนพระราม 4 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 ซึ่งต่อไปนี้เรียกว่า **"ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ"** อีกฝ่ายหนึ่ง

ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ และ ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ ตกลงทำสัญญากันโดยมีข้อความดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิขอรับรองว่าเป็นผู้สร้างสรรค์และเป็นผู้มีสิทธิแต่เพียงผู้เดียวในงานสารนิพนธ์/วิทยานิพนธ์หัวข้อ การศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้ชาวเขาเผ่าเชิงพาณิชย์ ด้วยเทคนิคอีนไม้ตัดสินใจ

ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ (ต่อไปนี้เรียกว่า **"สารนิพนธ์/วิทยานิพนธ์"**)

ข้อ 2. ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิตกลงยินยอมให้ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิโดยปราศจากค่าตอบแทนและไม่มีกำหนดระยะเวลาในการนำสารนิพนธ์/วิทยานิพนธ์ ซึ่งรวมถึงแต่ไม่จำกัดเพียงการทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ต่อสาธารณชน ให้เช่าต้นฉบับหรือสำเนางาน ให้ประโยชน์อันเกิดจากลิขสิทธิ์แก่ผู้อื่น อนุญาตให้ผู้อื่นใช้สิทธิโดยจะกำหนดเงื่อนไขอย่างหนึ่งอย่างใดด้วยหรือไม่ก็ได้ ไม่ว่าทั้งหมดหรือเพียงบางส่วน หรือการกระทำอื่นใดในลักษณะทำนองเดียวกัน

ข้อ 3. หากกรณีมีข้อขัดแย้งในปัญหาลิขสิทธิ์ในสารนิพนธ์/วิทยานิพนธ์ระหว่างผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิกับบุคคลภายนอกก็ดี หรือระหว่างผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิกับบุคคลภายนอกก็ดี หรือมีเหตุขัดข้องอื่นๆ เกี่ยวกับลิขสิทธิ์ อันเป็นเหตุให้ผู้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิไม่สามารถนำงานนั้นออกทำซ้ำ เผยแพร่ หรือโฆษณาได้ ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิยินยอมรับผิดและชดใช้ค่าเสียหายแก่ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิในความเสียหายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นแก่ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิทั้งสิ้น

สัญญานี้ทำขึ้นสองฉบับ มีข้อความเป็นอย่างเดียวกัน คู่สัญญาได้อ่านและเข้าใจข้อความในสัญญานี้โดยละเอียดแล้ว จึงได้ลงลายมือชื่อให้ไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน และเก็บรักษาไว้ฝ่ายละฉบับ

ลงชื่อ.....ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ
(นางสาวเบญจลักษ์ ปิยะ)

ลงชื่อ.....ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ
(อาจารย์อัฏฐิภา จุลพิสิฐ)
ผู้อำนวยการสำนักหอสมุดและศูนย์การเรียนรู้

ลงชื่อ.....พยาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤติกา ลิ้มลาวัลย์)
รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ลงชื่อ.....พยาน
(ดร.ถิรพล วงศ์สอาดสกุล)
ผู้อำนวยการหลักสูตร/ ผู้รับผิดชอบหลักสูตร