

รายงานeartasrtarโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า วิชา 2102499

การพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์สำหรับบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยใช้

แบบจำลองอนุกรมเวลา

Solar Irradiance Forecasting for Chulalongkorn University Location  
Using Time Series Models

นายชยัน เรียนดี เลขประจำตัว XXXX

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. จิตโกมุท ส่องศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 25xx

## บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลา ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานด้านการจัดการพลังงาน โครงการนี้พิจารณาการหาแบบจำลอง การจัดการกับข้อมูลที่หายไปหรือความต่างกันของช่วงเวลาในข้อมูล การพัฒนาแบบจำลองที่คำนึงถึงข้อมูลที่มีเทรนด์ตามฤดูกาล และการวิเคราะห์ผลจากตัวแปรทางอากาศที่เกี่ยวข้อง ในโครงการนี้ได้จัดการข้อมูลที่หายไปด้วยการเติมค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่ผ่านการแยกแยะตามสภาพภูมิอากาศ การแยกแยะนั้น ประกอบด้วยการแบ่งข้อมูลตามฤดู ซึ่งคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงความชันของอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ และประกอบกับการใช้เอชวีเอ็ม สำหรับปัญหาเรื่องช่วงเวลาที่แตกต่างกันในข้อมูลแต่ละตัวแปร โครงการนี้ได้ใช้การประมาณค่าในช่วงแบบสไปลน์เพื่อเติมค่าข้อมูลที่มีความถี่ต่างกันต่ำกว่าค่าความเข้มแสง สำหรับแบบจำลองนั้น โครงการนี้ได้ใช้แบบจำลองอาร์ิมาที่มีเทรนด์แยกฤดูและตัวแปรภายนอก การกำจัดเทรนด์นั้นใช้วิธีการหาอนุกรมฟูรีเยร์ และผลการทดลองพบว่าตัวแปรทางสภาพอากาศซึ่งได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันอากาศ อุณหภูมิ และความเร็วลม นั้น มีผลน้อยมากต่อคุณภาพของแบบจำลอง เราจึงสรุปว่าการใช้แบบจำลองอาร์ิมาที่มีเทรนด์แยกฤดูจึงเหมาะสมกับการพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์

**คำสำคัญ:** การตอบสนองความต้องการ, การควบคุมอุณหภูมิ (ใส่ 3-5 คำ คั่นด้วย comma)

## Abstract

This project considers a solar irradiance forecasting using time series models which finds an application in solar power prediction for energy management. The focuses of this project are on finding practical time series models for solar forecasting, proposing the effective approaches for missing-data and asynchronous sampled data issues, improving the models by removing seasonal trends from the historical data, and analyzing the effect of exogenous inputs which may be included in the models to improve the forecast. A time series prediction typically requires a complete set of historical data while the global horizontal irradiance (GHI) data in Thailand are frequently missing for consecutive days. This project proposes a data-missing imputation technique using the mean value of GHI averaged over the data corresponding to the same weather type. The required weather classification consists of two steps: a seasonal segmentation based on detecting changes of monotonic properties of temperature and humidity time series, and a nonlinear support vector machine (SVM) that uses weather labels from the previous seasonal segmentation. For asynchronous sampled data issue, the relevant variables in Thailand has the lower sampling rate than GHI. This project uses Spline interpolation to fill all data to be at the sampling rate. Autoregressive integrated moving average models (ARIMA) is considered in this project. To improve the accuracy, this project proposes two techniques for seasonal effect removal including Seasonal ARIMA models (SARIMA) and removal of seasonal trend fitted by Fourier Series. These models may be further improved if exogenous inputs are included in the models, known as ARIMA with Exogenous Variables (ARIMAX). Our studies found that other meteorological inputs which are relative humidity, air pressure, local temperature and wind speed marginally affect the accuracy of the forecast. At the end, we recommend to use SARIMA as the forecasting model based on a model selection criterion.

**Keywords:** solar forecasting, ARIMAX models, Seasonal ARIMA, Fourier series, imputation (three to five)

## หมายเหตุ:

1. บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวรวมกันไม่เกิน 1 หน้า
2. รายงานควรมีความยาวไม่เกิน 25 หน้า (ไม่รวมปก บทคัดย่อ สารบัญ กิตติกรรมประกาศ เอกสารอ้างอิง และภาคผนวก)

## สารบัญ

<b>1</b>	<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1	ที่มาและความสำคัญของโครงการ . . . . .	1
1.2	วัตถุประสงค์ของโครงการ . . . . .	1
1.3	ขอบเขตของโครงการ . . . . .	1
1.4	ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากโครงการ . . . . .	2
<b>2</b>	<b>หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ผลลัพธ์ของโครงการและการอภิปรายผล</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>บทสรุป</b>	<b>3</b>
4.1	สรุปผลการดำเนินการ . . . . .	3
4.2	ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข (ถ้ามี) . . . . .	3
4.3	ข้อเสนอแนะ (ถ้ามี) . . . . .	3
<b>5</b>	<b>กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้งานใน LaTeX</b>	<b>4</b>
6.1	การใส่ตาราง . . . . .	4
6.2	การใส่รูป . . . . .	4
6.3	การพิมพ์สมการ . . . . .	5
6.4	การใส่เอกสารอ้างอิง . . . . .	6
<b>7</b>	<b>ภาคผนวก (ถ้ามี)</b>	<b>6</b>
7.1	ภาคผนวก ก. . . . .	6
7.2	ภาคผนวก ข. . . . .	6

# 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

หัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมา เหตุผล หรือแรงจูงใจ ที่ทำให้ตัดสินใจเลือกหัวข้อโครงการนี้ และประโยชน์หรือความสำคัญของโครงการนี้ต่อการพัฒนาองค์ความรู้ในด้านต่างๆ เช่น ในเชิงวิชาการ เชิงเศรษฐกิจ เชิงวิศวกรรม ไม่ใช่กล่าวถึงการพัฒนาตัวนิสิตหรือสิ่งที่นิสิตจะได้รับ นิสิตอาจนำเสนอข้อมูล เช่น สถิติ ตาราง กราฟ เป็นต้น เพื่อสนับสนุนเหตุผล และความสำคัญ นิสิตควรเขียนแยกแต่ละประเด็นเป็นย่อหน้า การเขียนต้องกระชับ เข้าประเด็นโดยไม่อ้อมค้อม ซึ่งรวมถึงทุกส่วนในรายงานนี้ด้วย ไม่ควรอธิบายสิ่งที่เยิ่นเย้อและเป็นสิ่งที่รู้กันอยู่แล้ว เช่น “การประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญที่ทุกคนต้องคำนึงถึง” “ในอนาคตหุ่นยนต์จะมีบทบาทเข้ามาทำงานแทนมนุษย์อย่างสิ้นเชิง” หรือ “ในยุคดิจิทัลจะช่วยให้มนุษย์สื่อสารและทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นหากมีโครงข่ายสื่อสารทั่วโลก”

ในส่วนถัดมาให้อธิบายว่าหัวข้อโครงการที่เลือกทำนี้มีประเด็นปัญหาสำคัญอะไรบ้าง มีรายละเอียดหรือลักษณะของปัญหาอย่างไร มีใครที่เคยแก้ปัญหาลักษณะนี้หรือคล้ายกันมาก่อนบ้าง ถ้าโครงการนี้เป็นการต่อยอด หรือปรับปรุงผลงานจากโครงการที่ทำมาก่อนหน้า หรือจากวรรณกรรม ควรต้องชี้ว่าผลงานเก่ามีจุดด้อย หรือจุดอ่อนอะไร และโครงการนี้จะช่วยแก้ไข หรือปรับปรุงอะไร ในการกล่าวถึงงานที่ผู้อื่นได้ทำมาแล้ว จะต้องใส่เอกสารอ้างอิงให้ชัดเจน เช่น บทความที่กล่าวถึงเรื่อง XX พบได้ใน [?] การคัดลอกผลงานของผู้อื่น ไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วน โดยไม่อ้างอิงแหล่งที่มา ถือเป็นการกระทำที่ผิดต่อศีลธรรมและจรรยาบรรณ หากพบว่านิสิตมีการกระทำความผิดดังกล่าว นิสิตจะได้รับเกรด U หรือ F

ย่อหน้าสุดท้ายให้อธิบายถึงสิ่งที่คาดหวังว่าจะได้เมื่อจบโครงการ (ไม่ใช่สิ่งที่ตัวนิสิตจะได้รับ) และวิธีการที่ใช้ หรือแนวทางการดำเนินการของโครงการนี้โดยย่อ พร้อมแสดงถึงข้อดี หรือประเด็นที่น่าสนใจใหม่ในโครงการนี้ หากมีแผนผังความคิด (Mind Map) ที่จะช่วยให้เข้าใจโครงสร้างของโครงการได้ง่าย ก็ขอให้ใส่ในหัวข้อนี้ด้วย ความยาวรวมของหัวข้อนี้ไม่ควรยาวเกินสองหน้า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์ คือผลลัพธ์สุดท้าย (Outcome) ของโครงการ วัตถุประสงค์จะคล้ายกับหัวข้อโครงการ เพียงแต่มีรายละเอียดและความชัดเจนมากกว่าหัวข้อ วัตถุประสงค์ควรเรียงถึงสิ่งที่เป็รูปธรรม เช่น ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ (Device) ประดิษฐ์หรือหาคะแนน (Algorithm) หาพารามิเตอร์หรือสถานะที่เหมาะสม (Characterization or Optimization) ออกแบบและสร้างระบบ (System Integration) ศึกษาและเปรียบเทียบ (Study and Comparison) พัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development) วัตถุประสงค์ไม่ควรเป็นเพียงการกระทำ (Actions) ของนิสิต เช่น เรียนรู้การใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ศึกษาการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ ทำความเข้าใจคณิตศาสตร์ เรียนรู้การใช้งานและทดสอบเครื่องมือ เป็นต้น นิสิตควรเขียนวัตถุประสงค์ให้กระชับ ไม่ควรยาวเกินหกบรรทัด และสามารถแยกเป็นข้อๆ เพื่อความชัดเจนได้ (ไม่ควรเกินสามข้อ) เช่น

1. เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้าน XX
2. เพื่อสร้างต้นแบบอุปกรณ์ XX ในการแก้ปัญหา YY
3. เพื่อพัฒนาชุดซอฟต์แวร์ XX ในการแก้ปัญหา YY
4. เพื่อหาแนวทางในการ XX

ตัวอย่างวัตถุประสงค์ของโครงการหัวข้อ “การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อเสถียรภาพชั่วคราวของระบบไมโครกริด”

1. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อเสถียรภาพชั่วคราวของไมโครกริด ทั้งในสถานะที่เชื่อมต่อกับกริดภายนอก และสถานะแยกโดด
2. เพื่อวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพชั่วคราวของไมโครกริดเมื่อเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ขึ้นในระบบ

รายละเอียดในส่วนวัตถุประสงค์โครงการในวิชา 2102499 นั้นจะต้องตรงกับที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการวิชา 2102490 ทุกประการ ถ้าหากในระหว่างการสอนขอโครงการ คณะกรรมการได้มีความเห็นให้เพิ่ม ลด แก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ นิสิตก็จะต้องจะแก้ไขตามคำแนะนำของคณะกรรมการด้วย

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของโครงการไม่ใช่ภาพรวมของโครงการ ดังเช่นในวัตถุประสงค์ แต่เป็นการบอกเงื่อนไข สภาวะแวดล้อมที่ถูกสมมุติขึ้นสำหรับปัญหารวมถึงผลลัพธ์ที่คาดหวังว่า จะมีขอบเขตอย่างไรที่วัดได้ โดยแยกเป็นข้อๆ แต่ละข้อต้องเป็นรูปธรรมที่ชัดเจน และต้องสามารถวัดได้ในเชิงปริมาณไม่ใช่เชิงคุณภาพ เช่น เร็ว ควรเปลี่ยนเป็น อัตราอย่างน้อย 20 bps มีประสิทธิภาพสูง ควรเปลี่ยนเป็น ประสิทธิภาพอย่างน้อย 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ตัวอย่างขอบเขตของโครงการ

1. โครงการนี้พิจารณาศึกษาระบบ XX ภายใต้สถานะ YY เท่านั้น และจะทดลองในกรณีศึกษาทั้งหมด N กรณี ได้แก่ กรณี A กรณี B และกรณี C

2. โครงการนี้จะพัฒนาอุปกรณ์ XX ต้นแบบที่มีข้อกำหนด (Specification) ดังนี้ ข้อกำหนด A ข้อกำหนด B และข้อกำหนด C

ตัวอย่างขอบเขตของโครงการหัวข้อ “เครื่องตรวจจับระดับความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายน้ำ”

1. ใช้หลักการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงย่านแสงสีแดง
2. สามารถใช้กับสระว่ายน้ำที่ต้องเติมคลอรีน ที่มีขนาดไม่เกิน 400 ลบ.ลิตร
3. สามารถวัดค่าความเป็นกรดต่างได้ในช่วง pH 6.5-7.5 โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 0.05$
4. สามารถตรวจจับได้อย่างรวดเร็ว โดยมีเวลาตอบสนองไม่เกิน 2 ms

ขอบเขตของโครงการในรายงานวิชา 2102499 นั้นจะต้องตรงกับที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการวิชา 2102490 โดยนิสิตสามารถเพิ่มขอบเขตได้ แต่ห้ามลดลง หากในระหว่างการสอบข้อเสนองาน คณะกรรมการได้มีความเห็นให้เพิ่ม ลด แก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงขอบเขต นิสิตก็จะต้องแก้ไขตามคำแนะนำของคณะกรรมการด้วย

#### 1.4 ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากโครงการ

ให้นิสิตอธิบายถึงผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรมที่ชัดเจนจากการทำโครงการนี้ โดยเลือกเฉพาะผลลัพธ์ที่เด่นและเป็นผลลัพธ์หลัก เช่น

1. ชุดซอฟต์แวร์ที่รับรูปภาพถ่ายของตา และแยกแยะได้ว่ามีอาการเสื่อมของโรคต้อกระจกตาหรือไม่
2. ชุดคำสั่งตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง (Model Predictive Control หรือ MPC) ด้วยภาษา XX ที่ใช้ควบคุมระบบ YY ตามเวลาจริง (Real time)
3. รูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณหาแบบจำลองของระบบ XX พร้อมทั้งชุดคำสั่งเชิงเลขในการแก้ปัญหา

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่คาดหวังจากโครงการหัวข้อ “การจำลองระบบทดสอบสำหรับใช้ศึกษาปัญหาเสถียรภาพชั่วคราวในระบบส่งไฟฟ้ากำลัง” ระบบทดสอบที่สามารถนำไปใช้ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพชั่วคราวได้อย่างถูกต้อง

ผลลัพธ์ของโครงการในวิชา 2102499 จะต้องตรงกับที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการวิชา 2102490 ห้ามลดมาตรฐานลง ถ้าในระหว่างการสอบข้อเสนองาน คณะกรรมการได้มีความเห็นให้ปรับปรุงผลลัพธ์ของโครงการ นิสิตก็จะต้องแก้ไขตามความเห็นของคณะกรรมการด้วย

## 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงการนั้น ย่อมต้องมีการใช้หลักวิชาความรู้ทางวิศวกรรมซึ่งอาจจะเป็นหลักการพื้นฐานที่นิสิตเคยเรียนมาแล้ว หรืออาจจะเป็นหลักการเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่นิสิตต้องศึกษาเพิ่มเติม ความมุ่งหมายของหัวข้อส่วนนี้ คือการปูพื้นฐานทฤษฎีให้ผู้อ่านสามารถติดตาม และทำความเข้าใจโครงการได้ เนื้อหาที่ไม่ควรใส่คือ หลักการหรือทฤษฎีทั่วไปที่อยู่ในตำราพื้นฐาน และไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงการ แม้ในกรณีที่มีความเกี่ยวข้องก็ไม่จำเป็นต้องอธิบายโดยละเอียด เหมือนการลอกมาจากตำรา สิ่งที่น่าสนใจอธิบายคือ หลักการหรือทฤษฎีขั้นสูง หรือการต่อยอดมาจากทฤษฎีพื้นฐาน ตัวอย่างเช่น งานที่เกี่ยวกับการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) อาจมีการกล่าวถึงหลักการวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectral Analysis) [?] นิสิตควรต้องระบุและอธิบายถึงหลักการและทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในโครงการ ไม่ว่าจะเป็นการ ตาราง กราฟ สถิติ ขั้นตอน วิธีการ วงจร ระบบ อุปกรณ์ ฯลฯ แต่ไม่ควรนำสิ่งเหล่านี้มาแปะไว้เฉยๆ โดยไม่มีคำอธิบาย หรืออธิบายน้อยมาก นิสิตควรชี้ให้เห็นชัดเจนว่าหลักการและทฤษฎีต่างๆ จะถูกนำไปใช้อย่างไร การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเพื่อแก้ปัญหาที่กำหนดขึ้นจะต้องมีความถูกต้องและเหมาะสมในเชิงวิศวกรรม เช่น ใช้สมการคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง เลือกใช้เทคนิคและเครื่องมือ (เช่น ซอฟต์แวร์) ที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม เป็นต้น

การเขียนควรเรียบเรียงเนื้อหาให้ต่อเนื่อง สั้นและกระชับแต่ได้ใจความ ความยาวโดยรวมไม่ควรเกินสิบหน้า การเขียนสามารถแยกเป็นหัวข้อย่อยได้ตามความเหมาะสม เนื่องจากรายงานโครงการนี้เป็นงานเขียนทางวิชาการ การเขียนจะต้องเป็นไปตามหลักการเขียนงานทางวิทยาศาสตร์ เช่น การใช้ตัวแปรต้องมีความคงเส้นคงวา (Consistency) การอ้างสมการและการเลือกใช้สัญลักษณ์ ควรเป็นไปตามนิยม (Conventional) และไม่สับสน ภาษาที่ใช้ต้องเป็นภาษาเขียน ไม่ใช่ภาษาพูด การเขียนไม่ควรใช้ภาษาไทยสลับกับภาษาอังกฤษ ถ้ามีศัพท์ภาษาอังกฤษให้พยายามหาคำไทยที่นิยมใช้ (จากราชบัณฑิตยสภา หรือแหล่งอื่นๆ เป็นต้น) หรือพิจารณาเขียนทับศัพท์ แล้ววงเล็บศัพท์ภาษาอังกฤษไว้ข้างหลัง เฉพาะครั้งแรกที่พบศัพท์คำนี้ในรายงานเท่านั้น หากนิสิตต้องการศึกษาแนวทางเพิ่มเติม ในการเขียนบทความหรือรายงานทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ภาษาไทย ขอแนะนำให้นิสิตอ่านหนังสือ ภาษาไทยสำหรับงานเขียนทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดย ศ.ดร.มงคล เดชนครินทร์

ในรายงานทั้งหมดจะต้องมีการอ้างอิงในรูปแบบที่ถูกต้อง ขอให้ดูตัวอย่างการอ้างอิงที่อยู่ท้ายตัวอย่างรายงานนี้ ข้อเสนอแนะคือ พยายามหลีกเลี่ยงการอ้างอิงสิ่งที่ย่อยบนอินเทอร์เน็ต เพราะหน้าเว็บไซต์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ทำให้อาจไม่พบข้อมูลนั้นๆ เมื่อต้องการกลับมาดูอีก ถ้าเป็นไปได้ควรจะแทนด้วยสิ่งพิมพ์เช่น หนังสือ วารสาร บทความ รายงาน ฯลฯ ที่ให้สาระเหมือนกัน นอกจากนี้สัปดาห์นี้ควรใช้ Microsoft Word ในการเรียงลำดับรูป ตาราง สมการ และเอกสารอ้างอิงแบบอัตโนมัติด้วย

### 3 ผลลัพธ์ของโครงการและการอภิปรายผล

จากหัวข้อผลลัพธ์ที่คาดหวังของโครงการนั้น ในหัวข้อนี้ให้แสดงให้เห็นว่า สิ่งที่ได้คาดหวังดังกล่าวได้บรรลุครบทุกข้อหรือไม่ และแสดงได้ด้วยผลการทดลอง การทดสอบระบบ หรือการวิเคราะห์อย่างไร โดยนำเสนอผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานและผลลัพธ์สุดท้าย ผลการทดลองหรือการทดสอบต้องครบถ้วนสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ให้อธิบายสมมติฐาน ระบบที่จำลอง (ถ้ามี) พารามิเตอร์ของส่วนประกอบต่างๆในการจำลองระบบให้ครบถ้วน และแสดงผลการทดลองในรูปแบบตารางและกราฟ ก่อนนำเสนอผลการทดลอง ขอให้ห็นิสิตอธิบายโดยภาพรวมก่อนด้วยว่า ผลการทดลองที่เสนอนั้น มีที่การทดลอง แต่ละการทดลองต้องการจะตอบคำถามใด และคาดหวังผลอย่างไร จากการทดลองนั้น เมื่อนำเสนอผลการทดลองแล้วให้อธิบายว่าเป็นไปตามที่คาดหวังหรือไม่ และเพราะอะไร (ต้องมีเหตุผลทางทฤษฎีมาสนับสนุนด้วย) นิสิตควรเลือกนำเสนอผลลัพธ์ที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับโครงการที่ทำ ไม่ควรแสดงจำนวนการทดลองมากและเยิ่นเย้อโดยไม่จำเป็น เช่น การปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในผลการจำลอง แล้วดูว่าส่งผลอย่างไร ขอให้ แสดงผลเฉพาะการปรับค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นเท่านั้น ในหัวข้อนี้ นิสิตอาจจะแบ่งเป็นหัวข้อย่อย (ตามผลการทดลอง หรืออย่างไรก็ได้แล้วแต่) ตามความเหมาะสม

ขอให้ห็นิสิตใส่ใจกับความชัดเจนของข้อมูล กราฟทุกกราฟ ตารางทุกตาราง เมื่อพิมพ์รายงานลงบนกระดาษขาวดำแล้ว ต้องสามารถอ่านได้ แยกเส้นกราฟได้ อ่านคำอธิบายกราฟ (Legend) ได้ มีคำกำกับแกนและคำอธิบายรูปภาพชัดเจน รูปภาพควรใช้เป็นแบบเวกเตอร์ (Vector Graphic) เนื่องจากรูปแบบเวกเตอร์จะสามารถยืดขยายได้ ไม่เหมือนกับรูปแบบไบนารี (Binary) ที่เก็บรายละเอียดแบบพิกเซล (Pixel) ซึ่งจะเสียความละเอียด (Resolution) ไปเมื่อขยายรูปให้ใหญ่ขึ้น ถ้าใช้โปรแกรม MATLAB ในการวาดกราฟ ไม่ควรบันทึกเป็นไฟล์ JPG แล้วนำมาวางในรายงานบนโปรแกรม Microsoft Word เพราะจะได้รูปที่ไม่คมชัด ให้ห็นิสิตใช้คำสั่ง Copy Figure ซึ่งอยู่ในเมนู Edit ของหน้าต่างรูปภาพของโปรแกรม MATLAB แล้วจึงนำมาวางในรายงาน จะได้รูปที่ชัดเจนกว่า หากข้อมูลเป็นตาราง ในส่วนของคำอธิบายตารางต้องบอกให้ชัดเจนว่า ตัวเลขในตารางคืออะไร หน่วยอะไร ควรมีการเน้นตัวเลขในตารางเพื่อให้ผู้อ่านสังเกตความแตกต่างได้โดยง่าย

สิ่งที่สำคัญสุดท้าย คือการอภิปรายและวิเคราะห์ผลการทดลอง ว่า เป็นไปตามสมมติฐานที่ได้หรือไม่อย่างไร โดยอธิบายตามหลักทฤษฎีที่ได้อ้างอิงไว้ในหัวข้อหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ขอให้ห็นิสิตเข้าใจด้วยว่า การวิเคราะห์ผลการทดลองไม่ใช่การอ่านผลการทดลองหรือการอ่านกราฟ แต่เป็นการให้เหตุผลว่า ผลการทดลองที่ได้นั้นเป็นไปตามทฤษฎีหรือสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่อย่างไร นิสิตอาจจะเขียนอภิปรายเป็นส่วนหนึ่งในหัวข้อย่อยที่กล่าวถึงผลลัพธ์ของโครงการแต่ละอย่าง หรือจะตั้งเป็นหัวข้อย่อยแยกต่างหากในหัวข้อนี้ก็ได้อีกเช่นกัน

หากโครงการของนิสิตมีการทดลอง ขอให้ห็นิสิตอภิปรายผลการทดลอง โดยมีหลักการทางวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรรมมาสนับสนุน เช่น อภิปรายเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง โดยมีเหตุผลทางทฤษฎีมาประกอบ

สำหรับโครงการของนิสิตที่อาจจะไม่ได้มีผลการทดลองเพื่อตอบคำถามวิจัยใดๆ เช่น อาจจะเป็นการพัฒนาโปรแกรม หรือการพัฒนาต้นแบบ หรือการศึกษามาตรฐานใดแบบหนึ่ง ขอให้เขียนหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์วิจารณ์ผลลัพธ์ของโครงการที่ได้ว่าเป็นอย่างไร ใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบแล้วได้ผลเป็นอย่างไร ผลเป็นไปตามที่คาดหวังหรือไม่ เนื่องจากเหตุผลใด

### 4 บทสรุป

#### 4.1 สรุปผลการดำเนินการ

ให้ห็นิสิตเขียนสรุปผลลัพธ์ของโครงการให้ชัดเจน โดยอธิบายประโยชน์และแนวทางการนำโครงการไปใช้งานในอนาคต ให้อภิปรายว่าโครงการได้บรรลุวัตถุประสงค์สำเร็จตามขอบเขตที่กำหนดไว้หรือไม่ อย่างไร บทสรุปไม่ควรมีความเหมือนแบบคัดลอก

#### 4.2 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข (ถ้ามี)

ในหัวข้อนี้ให้ห็นิสิตกล่าวถึง ปัญหาและอุปสรรคที่ได้พบระหว่างการดำเนินงานมาจนถึงปัจจุบัน และให้อธิบายว่านิสิตได้หลบเลี่ยงหรือแก้ไข ปัญหาอย่างไรบ้าง เช่น ถ้าต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการ เจื่อนไข หรือผลลัพธ์ที่ตั้งใจไว้แต่แรก ควรบอกว่าด้วยเหตุผลอะไร และควรมีข้อมูลมารองรับการตัดสินใจนั้นๆ ด้วย

#### 4.3 ข้อเสนอแนะ (ถ้ามี)

ในส่วนนี้ให้ห็นิสิตเสนอแนะสิ่งที่ควรพิจารณาและดำเนินการต่อไปในอนาคต เช่น ควรจะศึกษาผลของปัจจัยใดเพิ่มเติม ควรจะปรับเปลี่ยนวิธีการทำโครงการอย่างไร ควรจะพิจารณาปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ใดในการทดลอง หรือควรจะแก้ไขข้อบกพร่องของอุปกรณ์ต้นแบบอย่างไร

## 5 กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากนิสิตต้องการเขียนคำขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนการทำโครงการ อาจารย์ที่ปรึกษา กรรมการสอบโครงการ นิสิตรุ่นพี่ เพื่อน หรือ รุ้มน้อง ให้เขียนคำขอบคุณไว้ที่ส่วนนี้ ทั้งนี้การอ้างถึงชื่อแหล่งทุนให้เขียนชื่อเต็ม ส่วนการอ้างถึงชื่อบุคคลอื่นให้ใช้ชื่อจริงพร้อมนามสกุลและคำนำหน้า

## 6 ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้งานใน LaTeX

ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างการใช้คำสั่ง LaTeX เบื้องต้น สำหรับ tutorial นั้นมีมากมายบน Internet ตัวอย่างเอกสารประกอบการใช้งาน LaTeX ภาษาไทยที่ได้อีกหนึ่งคือจาก อ.ดร. จิตตา หวานวารี [?] เป็น template สำหรับวิทยานิพนธ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แต่ได้อธิบายการใช้คำสั่งเบื้องต้นไว้โดยละเอียด

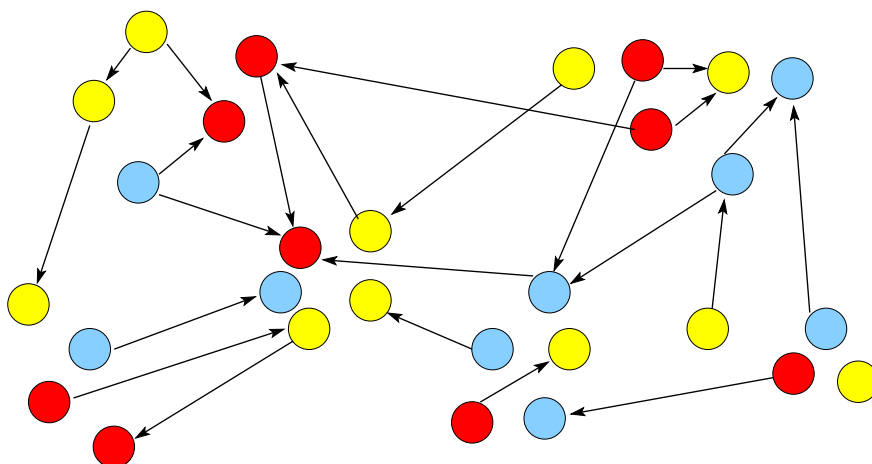
### 6.1 การใส่ตาราง

ตาราง 1: ตัวอย่างตาราง

Item	Font	Font Type	Font Size
Title	Garamond	Bold	20
Author names	Garamond	Bold	12
Author affiliation/email	Garamond	Regular	11
Abstract/Keywords	Garamond	Regular	11
Level 1 headings	Garamond	Bold	12
Level 2 headings	Garamond	Bold	11
Level 3 headings	Garamond	Regular	11
Figure/table captions	Garamond	Regular	11
Main text/References	Garamond	Regular	11

### 6.2 การใส่รูป

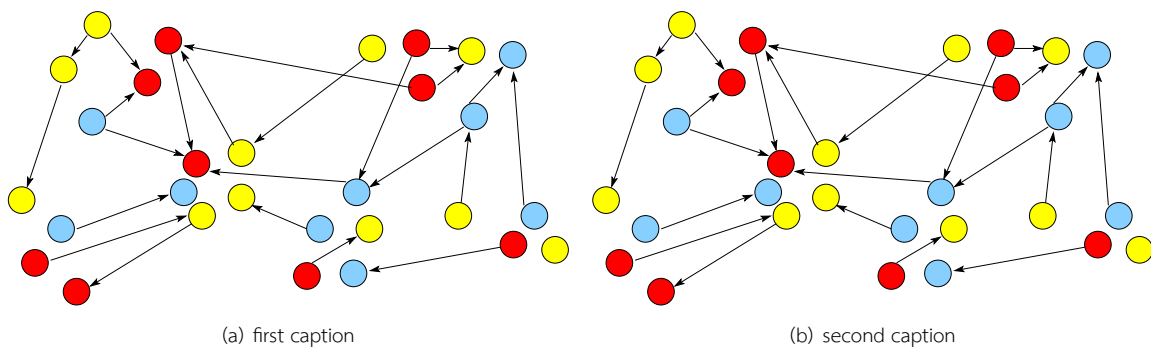
การใช้รูปในงานที่ compile ด้วย Xe<sub>La</sub>TeX จะใช้รูป format .eps, .pdf, .jpg, .png เป็นต้น ขอให้ใช้ vector graphic เป็นหลัก สำหรับรูปผลการทดลองหรือการวาดแผนผังต่างๆ เนื่องจากรูปแบบเวกเตอร์จะสามารถยืดขยายได้ไม่เหมือนกับรูป binary ที่เก็บรายละเอียดแบบ pixel และจะมีการเสีย resolution ไปหากขยายรูป zoom ให้ใหญ่ขึ้น



รูป 1: แบบจำลองเชิงกราฟ



รูป 2: สภาพการเชื่อมโยงของสมอง (ที่มา: Shutterstock.com รูปโดย: Alex Mit)



รูป 3: ตัวอย่างการใช้ subfigure

### 6.3 การพิมพ์สมการ

กรณีพิมพ์สมการมีทั้งที่แทรกในบรรทัด เช่น  $y = Cx$  หรือการแยกเป็นบรรทัดใหม่

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (1)$$

การใช้ package 'align' จะสามารถเขียนสัญลักษณ์ต่างๆ ได้มากกว่า 1 บรรทัด มีได้หลายคอลัมน์ และสามารถจัดเรียงตำแหน่งได้ด้วย เช่น

$$x = 2 \quad (2)$$

$$y = 3 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} z &= x \times y \\ &= p \end{aligned} \quad (4)$$

การไม่ใส่หมายเลขสมการ สามารถใช้คำสั่ง หรือ **notag** ได้ โดยปกติแล้วหากไม่ใส่อะไรเลย สมการทุกสมการจะมีหมายเลขกำกับเสมอ หลักการใส่เลขสมการคือ จะใส่เลขสมการที่ต่อเมื่อสมการนั้นจะถูกอ้างถึงในภายหลัง ดังนั้นการอ้างอิง (cross reference) สามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง **ref** หรือ **eqref** กับ **label** ตัวอย่างเช่น สมการ (2) กล่าวไว้ว่า  $x = 2$

package 'eqnarray' ก็จะเป็นอีก environment หนึ่งที่ใช้เรียงสมการออกเป็น array

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (5)$$

$$y = Cx + Du \quad (6)$$



ถ้าหากมีสมการหลายบรรทัดและต้องการเรียงในแนว center ให้ใช้ package 'gather'

$$y = \sum_{n=0}^1 000.5^n + \sin(2\pi nt) + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log n}{n} \quad (7)$$

$$z = \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-st} g(t) \quad (8)$$

## 6.4 การใส่เอกสารอ้างอิง

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงให้อิงตามรูปแบบที่ใช้ในบทความวิชาการเดียวกันทั้งรายงาน การอ้างอิงถึงเอกสารต่างชนิดกัน (เช่น หนังสือ บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ บทความที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ วิทยานิพนธ์) จะมีรูปแบบการอ้างอิงที่ต่างกัน และเป็นไปตามความนิยมหรือมาตรฐานต่าง ๆ ตัวอย่างรูปแบบการอ้างอิงแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้มากในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคือ รูปแบบการอ้างอิงของ IEEE ตามเอกสาร

<https://ieee-dataport.org/sites/default/files/analysis/27/IEEECitationGuidelines.pdf>

การเรียงลำดับรายการเอกสารอ้างอิงแบบ IEEE ให้เรียงตามการอ้างถึงในเนื้อหาของรายงาน (อ้างถึงก่อนใช้ตัวเลขน้อย อ้างถึงทีหลังใช้ตัวเลขที่มากกว่า) โดยรายการเอกสารอ้างอิงตั้งข้างต้น ต้องปรากฏอยู่ในเนื้อหาความภายในรายงานด้วย (ไม่ต้องใส่เอกสารอ้างอิงที่ไม่ได้มีการอ้างถึงในรายงาน)

เอกสารอ้างอิงจะทำได้โดยง่าย หากใช้ **bibtex** โดยหลักการคร่าวๆ คือต้องมีไฟล์ฐานข้อมูลของเอกสารอ้างอิง เก็บในรูปแบบ **file.bib** ซึ่งบรรจุรหัสของเอกสารอ้างอิงที่ผู้ใช้ตั้งเอง และรายละเอียดของเปเปอร์นั้นๆ (สร้างได้โดยง่ายจากการใช้ Google Scholar ช่วย) ตัวอย่างการใช้งานคือ การใช้คำสั่ง **cite** เมื่อต้องการจะอ้างถึงเอกสารนั้นๆ เช่น หลักการ system identification เบื้องต้นนั้นสามารถอ่านได้จาก [?] เป็นต้น

## 7 ภาคผนวก (ถ้ามี)

ภาคผนวกเป็นข้อความที่ไม่สามารถใส่ไว้ในเนื้อหาหลักได้ แต่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจรายละเอียดของโครงการได้มากยิ่งขึ้น ในหัวข้อนี้ให้ใส่รายละเอียดหรือข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น ซึ่งไม่สำคัญเท่ากับที่อยู่ในเนื้อหาหลัก เช่น

- ทรัพยากรพื้นฐานเพิ่มเติม เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจวิธีการที่ใช้ในโครงการได้ดีขึ้น แต่การไม่ใส่รายละเอียดนี้ต้องไม่ทำให้ผู้อ่านไม่สามารถติดตามหรือเข้าใจเนื้อหาหลักได้
- Data Sheet ของอุปกรณ์ที่เลือกใช้
- Specification ของฮาร์ดแวร์ต่างๆ
- Features ของซอฟต์แวร์ที่ใช้
- Source Code ของโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นมาเอง หรือดัดแปลงมา
- Device Characteristics ของชิ้นส่วนในโครงการ

ภาคผนวกอาจแบ่งออกเป็นหลายส่วน ตามหัวข้อเรื่อง เช่น

### 7.1 ภาคผนวก ก.

### 7.2 ภาคผนวก ข.