

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความร้อน (Radiant Cooling Panel Air Conditioning: RCP-AC) เริ่มมีการนำมาประยุกต์งานในประเทศไทย เช่น สยามบิณสุวรรณ์ภูมิ และอาคารสำนักงานของบริษัท EEC Engineering Network การแผ่รังสีความร้อนอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เพื่อปรับสภาพอุณหภูมิในห้องที่มีคนอาศัยอยู่ ให้เกิดความรู้สึกสบาย หรือ มีสภาวะความสบายอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

ระบบ RCP แบบติดตั้งบนฝ้าเพดานมีประสิทธิภาพในการทำความร้อนสูง เพราะแผ่รังสีถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังด้านอื่น ๆ และต่ำกว่าอุณหภูมิอุปกรณ์เครื่องใช้และผู้ที่อยู่อาศัยในห้องปรับอากาศ แผงที่เพดานจะรับภาระความร้อนสัมผัสจากในห้อง โดยแผงจะต้องได้รับการป้องกันไม่ให้เกิดการควบแน่นจนกลายเป็นหยดน้ำ (Condensation) ระบบ RCP จึงใช้งานร่วมกับระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated Outdoor Air System: DOAS) ซึ่งเป็นระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ผ่านเครื่องเติมอากาศ (Outdoor Air Unit: OAU) ที่ออกแบบเพื่อการควบแน่นความชื้นจนอากาศแห้งอากาศแห้งที่จ่ายเข้าสู่พื้นที่ต่าง ๆ จะไปดูดซับความชื้น ทำให้สามารถควบคุมความชื้นได้ดี และเครื่องปรับอากาศไม่ต้องทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำ ทำให้แผงแผ่รังสีแห้งอยู่ตลอดเวลา ช่วยลดภาระการทำความสะอาดและลดความเสี่ยงจากการสะสมของเชื้อโรค

ระบบ RCP-DOAS มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน แต่ก็อาจมีข้อจำกัดการควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากการเคลื่อนไหวของลมภายในห้องปรับอากาศค่อนข้างต่ำ การพาความร้อนออกจากห้องได้น้อย การควบคุมสภาวะความสบายอุณหภูมิภายในห้องและความสามารถทำความเย็นอาจจะต่ำกว่าระบบปรับอากาศทั่วไปที่สามารถตอบสนองต่อโหลดได้รวดเร็ว [1]

ระบบควบคุมของ RCP-DOAS ที่ปัจจุบันมักจะควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative Control: PID Control) อาจส่งผลให้ระบบตอบสนองต่อโหลดได้ช้าหรือไม่มั่นคง โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าการใช้พลังงานอาจแกว่งอยู่มาก และเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ได้ช้า จึงเป็นช่องว่างให้พัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อีก

ปัจจุบันมีการทำ “แบบจำลองระบบควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (Model Predictive Control: MPC)” หรือการควบคุมแบบคาดเดาตามแบบจำลองคาดการณ์ผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และเลือกตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมที่ดีที่สุดมาป้อนให้กับระบบ คำนวณค่าตัวแปรที่ได้จากการคาดการณ์ในอนาคตและค่าที่วัดได้ช่วงเวลาปัจจุบัน หาค่าตัวแปรที่เหมาะสม ให้ได้ค่าใกล้เคียงกับ

ค่าที่กำหนด (Set point) ให้มากที่สุด เพื่อปรับแก้และเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบควบคุมเข้าสู่สภาวะคงตัวอย่างนุ่มนวล รวดเร็ว และใช้เวลาน้อยลง [2]

งานวิจัยที่ผ่านมา พบงานด้านระบบการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีจากพื้น (Hydronic radiant floor systems: HRF) หรือ Radiant Slab System ที่ใช้ MPC ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่ใช้งานในตึกสำนักงาน โดยเปรียบเทียบและทดลองกับระบบควบคุมพื้นฐาน (Baseline control) มีการจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB และติดตั้งใช้งานจริง พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 34% เมื่อเทียบกับการควบคุมพื้นฐานแบบป้อนกลับ (Baseline feedback control) ประหยัดการใช้พลังงานในช่วงฤดูหนาวได้ 16% และในช่วงฤดูร้อนประหยัดพลังงานได้ 29-50% เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศพื้นฐาน [3] และสามารถลดกำลังงานของปั๊มน้ำเย็นและระบบระบายความร้อน ในขณะที่ยังคงอยู่ในสภาวะความสบายอุณหภูมิเท่าเดิมหรือดีกว่าเดิม [4]

ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้งาน MPC ร่วมกับระบบทำความร้อน ทำความเย็นและการระบายอากาศ (Heating, Ventilation, and Air-conditioning: HVAC System) มีวิธีการควบคุมความร้อนและความเย็นในอาคารแบบบูรณาการเพื่อลดการใช้พลังงาน และรักษาอุณหภูมิภายในอาคารตามที่ต้องการ โดยใช้ข้อมูลตามการพยากรณ์สภาพอากาศในท้องถิ่น นำการเรียนรู้ของเครื่องจักรขั้นสูง (Advanced machine learning: AML) รวมถึงแบบจำลองกระบวนการอะแดปทีฟที่เพี้ยน (Adaptive Gaussian Process) แบบจำลองฮิดเด็นมาคอฟ (Hidden Markov Model) เอพิโซดดิสคอฟเวอรี (Episode Discovery) และเซมิมาคอฟ (Semi-Markov) มาปรับแต่งและนำไปใช้การควบคุมแบบคาดการณ์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Model Predictive Control: NMPC) สามารถลดการใช้พลังงานได้ 30.1% ในฤดูร้อน และลดได้ 17.8% ในฤดูหนาว เปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดเวลาและอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม [5]

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นที่มาของความสนใจในการวิจัยด้านการนำ MPC มาประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความเย็นที่มีระบบเติมอากาศแบบอิสระ (RCP-DOAS) โดยแผ่แผ่ความเย็นเป็นแบบแขวนฝ้า (Ceiling RCP) สำหรับสภาวะอากาศแบบประเทศไทย ซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น และมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสำหรับอาคารเป็นสัดส่วนที่สูงถึง 60% ในขณะที่ต้องรักษาสภาพความสบายทางอุณหภูมิและคุณภาพอากาศในอาคารด้วย ซึ่งเป็นโจทย์วิจัยที่มีความท้าทายเป็นอย่างยิ่ง

งานวิจัยนี้นำผลการทดสอบการควบคุมระบบแบบเดิมของ RCP-DOAS มาสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (MPC) โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อจำลองการควบคุมของระบบ RCP-DOAS ให้มีการตอบสนองต่อโหลด หรือเข้าสู่สภาวะความสบายได้นุ่มนวลและรวดเร็วมากขึ้น และจะสามารถควบคุมได้เร็วกว่าการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของ PID Control

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาพารามิเตอร์จากการสร้างแบบจำลองการถ่ายโอนความร้อนของแผงแผ่รังสีความเย็นสำหรับการปรับอากาศ ที่ทำงานภายใต้สภาวะอากาศแบบประเทศไทย

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองการควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (Model Predictive Control) สำหรับระบบปรับอากาศแบบแผงแผ่รังสีความเย็น (Radiant Cooling Panel) ที่มีระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated Outdoor Air System)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 นำผลการทดสอบระบบ RCP-DOAS เป็นระยะเวลาต่อเนื่องประมาณ 1 เดือน จากห้องทดสอบที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) บางขุนเทียน มาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองสำหรับการควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (MPC)

1.3.2 สร้างแบบจำลองห้องทดสอบและตัวควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อให้สะดวกต่อการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมของ RCP-DOAS ในอนาคต

1.3.3 เปรียบเทียบผลการควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้ากับเทคนิคอื่นเพียงเทคนิคเดียว อาทิ PID Control ด้วยการจำลองระบบบนโปรแกรม MATLAB Simulink

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นแบบแผงแผ่รังสีความเย็นและระบบควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า

1.4.2 ออกแบบการทดสอบในคอมพิวเตอร์ โดยการนำค่าพารามิเตอร์ของห้องทดสอบในรูปแบบวงจรความร้อน (Thermal circuit) มาจำลองบนโปรแกรม MATLAB Simulink

1.4.3 ออกแบบและจำลองตัวควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้าด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink โดยใช้เครื่องมือสำเร็จรูป (Toolbox) ของซอฟต์แวร์ MATLAB

1.4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองระบบควบคุมสองแบบ (MPC และ PID control) และสรุปผล

1.4.5 เขียนบทความวิจัย เพื่อนำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

1.4.6 สรุปผลการวิจัย จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แบบจำลองสำหรับการทดสอบระบบปรับอากาศแบบ RCP-DOAS ในรูปแบบวงจรความร้อน (Thermal circuit)

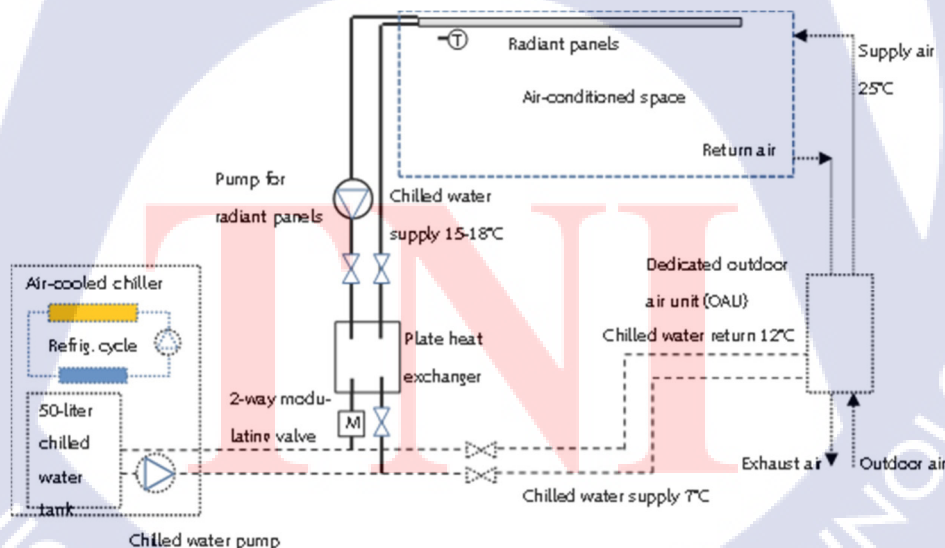
บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความเย็นที่ควบคุมด้วยเทคนิค MPC ได้รับการคาดหวังว่าจะนำมาประยุกต์ใช้พัฒนาระบบปรับอากาศ ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยตัวควบคุม MPC นั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความเย็นและระบบควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า รวมถึงข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบน้ำเย็น (Water cooled chiller system)

ระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความเย็นที่ใช้น้ำเย็น (Chilled water) เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน (Heat transfer medium) ดังรูปที่ 2.1 [6] ซึ่งแสดงผังไดอะแกรมวงจรน้ำเย็นของระบบ ซึ่งน้ำเย็นที่ใช้มี 2 ระดับอุณหภูมิ คือ น้ำเย็นอุณหภูมิ 7°C สำหรับใช้จัดการความชื้นหรือความร้อนแฝง (Latent load) ในห้องปรับอากาศและการระบายอากาศด้วยระบบเครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air unit) หรือ OAU เป็นหลัก และอุณหภูมิน้ำเย็นที่สูงกว่า (15-18°C) ที่ใช้กับ RCP เพื่อการจัดการภาระความร้อนสัมผัส (Sensible load) ภายในห้องเท่านั้น



รูปที่ 2.1 แผนผังวงจรน้ำเย็นระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสี [6]

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ดังรูปที่ 2.2 [6] ผลิตน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 7°C สำหรับการปรับอากาศ โดยน้ำเย็นจะจ่ายโดยตรงให้กับเครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (OAU) น้ำเย็นกลับมีอุณหภูมิออกแบที่ 12°C สำหรับน้ำเย็นที่จ่ายให้แผงแผ่รังสีแบบแขวนเพดาน จะมีการยกอุณหภูมิให้สูงขึ้นที่ $15\text{--}22^{\circ}\text{C}$ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) วาล์วน้ำอัตโนมัติ (Modulating valve) และเซนเซอร์อุณหภูมิ (Temperature sensor) ทำหน้าที่ปรับหรือควบคุมอุณหภูมิน้ำเย็นให้ได้ตามความต้องการ และจากแผนภาพวงจรน้ำเย็นสำหรับแผงแผ่รังสีแบบแขวนเพดาน เป็นวงจรที่แยกจากวงจรน้ำเย็นหลักของเครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 2.2 เครื่องทำน้ำเย็นและถังเก็บน้ำเย็นและน้ำร้อน [6]

ห้องทดลองระบบปรับอากาศมีขนาดเล็ก ดังนั้น จึงมีการติดตั้งถังเก็บน้ำเย็น (Chilled water tank) ขนาด 50 ลิตร ภายนอกห้อง สำหรับการรักษาอุณหภูมิน้ำเย็นให้ค่อนข้างคงที่ขณะระบบทำงาน

เครื่องทำน้ำเย็นเป็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled water chiller) ขนาดทำความเย็นพิกัด (Cooling capacity) $41,800 \text{ BTU/H}$ ($12.2 \text{ kW}_{\text{th}}$) เครื่องทำน้ำเย็นโปรแกรมให้สามารถผลิตน้ำเย็นได้ระหว่าง $5\text{--}25^{\circ}\text{C}$ เครื่องทำน้ำเย็นติดตั้งสวิตช์ตรวจสอบการไหล โดยคอมเพรสเซอร์จะหยุดการทำงานเมื่อการไหลน้ำเย็นในระบบต่ำ และอาจสร้างความเสียหายให้คอมเพรสเซอร์ ด้านการระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น มีการติดตั้งชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลตต่ออนุกรมกับคอนเดนเซอร์ สำหรับการผลิตน้ำร้อนในระหว่างที่คอมเพรสเซอร์มีการทำงาน โดยน้ำร้อนที่ผลิตได้จะเก็บในถังน้ำร้อนขนาด 20 ลิตร

น้ำเย็นที่จ่ายให้กับแผงแผ่รังสีแบบเพดาน ใช้เป็นตัวกลางในการรับความร้อนสัมผัสจากห้องปรับอากาศ น้ำเย็นที่ใช้มีอุณหภูมิที่สูงกว่าน้ำเย็นที่ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็นโดยตรง

ด้านปฐมภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Primary side) จะต่อกับวงจรน้ำเย็นหลักของเครื่องทำน้ำเย็น ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากด้านทุติยภูมิ (Secondary side) ซึ่งต่อกับวงจรน้ำเย็นของแผงแผ่รังสีแบบเพดาน ในการทำงานเมื่อน้ำเย็นไหลผ่านแผงแผ่รังสีแบบเพดานและรับความร้อนจากห้องปรับอากาศแล้ว น้ำเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และไหลกลับไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนวาล์วอัตโนมัติซึ่งติดตั้งที่ด้านปฐมภูมิจะทำหน้าที่ปรับอัตราการจ่ายน้ำเย็น (7°C) จากวงจรน้ำเย็นหลักเพื่อดึงความร้อนออกจากน้ำเย็นในวงจรทุติยภูมิ ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิผิวของแผงแผ่รังสีแบบเพดานได้ตามที่กำหนด (เช่น $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$)

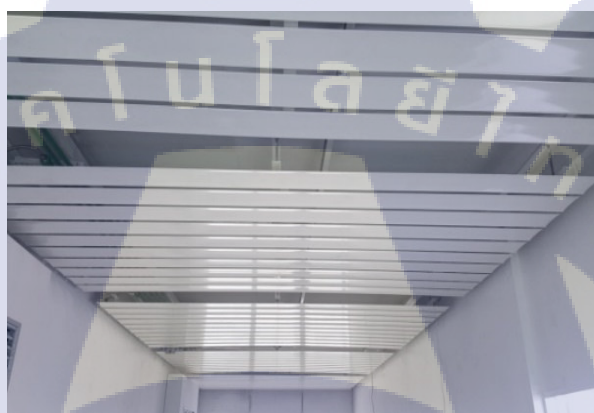
2.2 ระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความเย็น (Radiant Cooling Panel)

ระบบปรับอากาศชนิดนี้ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นหลัก และเป็นที่ยอมรับมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีทำให้นutzerรู้สึกสบายกว่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการพาความร้อนระหว่างอากาศเย็นกับพื้นผิวผนัง ทำให้ผิวผนังของมนุษย์ไม่แห้งจนเกินไป ปัจจุบันพบการติดตั้งแผงแผ่รังสีความเย็น (Radiant Cooling Panel) ดังรูปที่ 2.1 [6] ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ติดตั้งฝังไว้ในพื้นคอนกรีต บนระบดเพดาน หรือ ติดตั้งซ่อนในผนัง และนอกผนัง โดยจะอาศัยน้ำเย็นจากระบบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ไหลผ่านท่อน้ำเย็นที่ถูกติดตั้งอยู่กับผิวสัมผัส ทำให้อุณหภูมิที่ผิวสัมผัสมีอุณหภูมิต่ำกว่าทุกจุดภายในห้อง การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวแผงกับบรรยากาศโดยรอบ จะทำให้ห้องปรับอากาศมีสภาวะความสบายอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพื้นที่ หากสามารถควบคุมปริมาณน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบพร้อมกับระบบระบายอากาศได้ดี

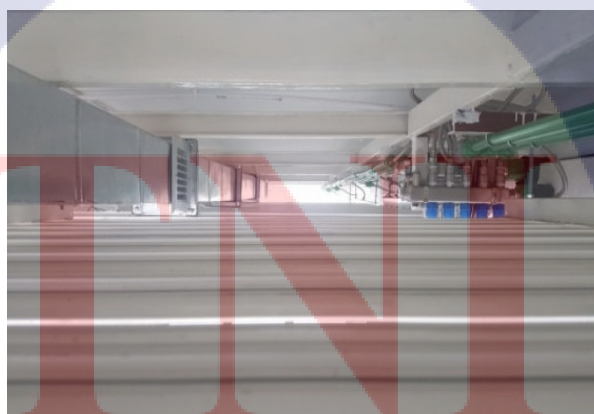


รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายแผงแผ่รังสีความเย็นก่อนติดตั้ง [6]

รูปที่ 2.4 [6] แสดงภาพถ่ายของการติดตั้งชุดแผงแผงแผ่รังสีแบบเพดาน จากวงจรน้ำเย็น แผงเพดานทั้ง 5 แผง ที่ติดตั้งแบบขนาน โดยมีแมนิโฟลด์ รูปที่ 2.5 [6] ทำหน้าที่กระจายน้ำเย็นในปริมาณเท่าๆ กันไปยังแผงแผ่รังสีทั้ง 5 โดยที่แมนิโฟลด์จะมีวาล์วประตูและวาล์วปรับอัตราการไหล สำหรับแผงแบบติดตั้งเพดานแต่ละชุด ท่อน้ำเย็นที่ใช้ในห้องปรับอากาศเป็นชนิด PPR เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{4}$ นิ้ว ไม่มีการติดตั้งฉนวน เนื่องจากน้ำเย็นที่ใช้มีอุณหภูมิ 15 - 22°C และห้องมีการควบคุมความชื้นเป็นอย่างดี โดยท่อน้ำเย็นที่ติดตั้งภายนอกห้องทดลองจะมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นและป้องกันการควบแน่นของหยดน้ำจากอากาศภายนอกที่ร้อนและชื้นกว่า



รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายด้านล่างของแผงแผ่รังสีความเย็น [6]



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายด้านบนของแผงแผ่รังสีความเย็น [6]

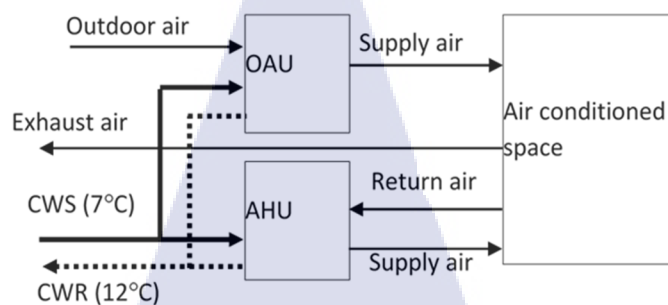
2.3 ระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air system)

ระบบแผงแผ่รังสีความร้อนต้องทำงานร่วมกับระบบที่ใช้จัดการความชื้นภายในห้องและความชื้นของอากาศภายนอกที่เติมเข้ามา หรือ ระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air system: DOAS) ซึ่งมีเครื่องเติมอากาศภายนอก (Outdoor air unit: OAU) ดังรูปที่ 2.6 [6]



รูปที่ 2.6 เครื่องเติมอากาศแบบอิสระ [6]

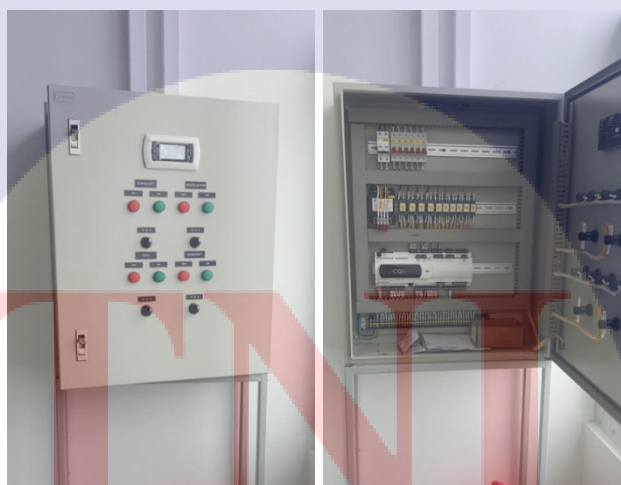
OAU ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเติม เครื่องเติมอากาศจะใช้คอยล์เย็นเป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมความชื้นและจัดการกับภาระความร้อนแฝงทั้งหมดของห้องทดสอบ (ทั้งอากาศภายนอกและอากาศหมุนเวียนภายในห้อง) รวมถึงความร้อนสัมผัสบางส่วนในห้อง ซึ่งจะมีเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) จัดการกับความร้อนสัมผัสของห้องในส่วนที่เหลือ และเนื่องจากเครื่อง OAU จัดการความร้อนแฝงทั้งหมดไปแล้ว ฉะนั้นที่เครื่อง AHU จึงไม่มีการควบแน่นของน้ำ ระบบนี้จึงลดปัญหาการสะสมของจุลินทรีย์และเชื้อโรคในอาคารน้อยกว่าระบบปรับอากาศปกติ ระบบนี้ยังสามารถควบคุมความชื้นได้ง่ายขึ้น และมั่นใจได้ว่าปริมาณอากาศภายนอกจะถูกนำเข้าสู่ระบบตามมาตรฐาน สำหรับระบบแผงแผ่รังสีความร้อน (RCP) จะใช้งาน AHU ที่ติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศดังแผนภาพในรูปที่ 2.7 [6]



รูปที่ 2.7 แผนภาพระบบเติมอากาศแบบแยกอิสระ [6]

2.4 ระบบควบคุมการปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศแบบแผงแผ่รังสีความเย็นแบบเพดาน (RCP) ทำงานร่วมกับเครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air unit: OAU) และใช้พัดลมระบายอากาศ (Ventilation air fan: VAF) ในการปรับและสร้างคุณภาพอากาศที่ดีในอาคาร อุปกรณ์ทั้ง 3 สามารถสั่งการผ่านระบบควบคุมอัตโนมัติ หรือ Programmable logical controller (PLC) ที่ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดต่างๆ ที่ติดตั้งภายในห้อง กล้องควบคุมชุด PLC แสดงดังรูปที่ 2.8 [6]



รูปที่ 2.8 ตู้ควบคุมระบบปรับอากาศ [6]

การทำงานของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic control) เพื่อสร้างความสะดวกสบายของห้องทดสอบ โดยการควบคุมอุณหภูมิที่รับรู้สีก (Operative temperature, OT) ให้ได้ตามการตั้งค่า สำหรับงานระบบในอาคารประเภทสำนักงานที่ใช้งานทั่วไปและแพร่หลาย

การควบคุมการสั่งการอุปกรณ์ระบบปรับอากาศอาศัยข้อมูลเวลา (Time) และข้อมูลตรวจวัดสถานะในห้องปรับอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

- (1) อุณหภูมิอากาศในห้อง (Room air temperature)
- (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้อง (Room air relative humidity)
- (3) อุณหภูมิผิวของแผงแผ่รังสีแบบเพดาน (Radiant ceiling panel temperature)
- (4) อุณหภูมิแผ่รังสีของห้อง หรือ อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโดยรอบ (The mean radiant temperature)
- (5) ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ concentration)

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิแผ่รังสีใช้สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิที่รับรู้สีก ส่วนความชื้นสัมพัทธ์อากาศใช้คำนวณค่าอุณหภูมิควบแน่น (Dew point temperature) การแสดงชุดข้อมูลป้อนจากการตรวจวัดทำโดยระบบควบคุม PLC และเซนเซอร์ต่างๆ ซึ่งตารางที่ 2.1 แสดงชนิดข้อมูลป้อนเข้า-ออก ของระบบควบคุม PLC รวมถึงอุปกรณ์และรุ่นที่ติดตั้งและใช้งาน

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลสัญญาณเข้า (Input signal) และส่งออก (Output signal) สำหรับสั่งการทำงานเครื่องเติมอากาศแบบอิสระ ซึ่งจะควบคุมพัดลมหมุนเวียนและวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำเย็นของเครื่อง โดยการควบคุมค่าอุณหภูมิควบแน่นด้วยพัดลมระบายอากาศ จะเป็นการสั่งเปิด/ปิดพัดลมและแฉกเปอร่อากาศที่ติดตั้งในห้อง และควบคุมด้วยค่าระดับคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องทดสอบ สำหรับแผงแผ่รังสีความเย็นจะเป็นการควบคุมการเปิดปิดน้ำเย็นที่จ่ายเข้าแผงด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่รับรู้สีก (OT)

ตารางที่ 2.1 ตารางข้อมูลป้อนเข้า-ออกระบบควบคุม PLC

ลำดับ	ข้อมูล	ชนิดข้อมูล				รุ่นอุปกรณ์
		AI	DI	AO	DO	
1	อุณหภูมิอากาศในห้อง	1				Carel DPWC111000 Temperature (-10 - 60°C)
2	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้อง	1				Carel DPWC111000 Temperature (-10 - 60°C)
3	อุณหภูมิแผ่รังสีของห้อง	1				MRT=MEAN RADIANT TEMP
4	อุณหภูมิแผงเพดานรังสี	1				PT100

ตารางที่ 2.1 ตารางข้อมูลป้อนเข้า-ออกระบบควบคุม PLC (ต่อ)

ลำดับ	ข้อมูล	ชนิดข้อมูล				รุ่นอุปกรณ์
		AI	DI	AO	DO	
5	วาล์วควบคุม CV-PHX			1		1/2"Johnson 2 WAY, VG 1205AN+VA9104-GGA-3S#Go41
6	วาล์วควบคุม CV-OAU			1		Belimo EV15R+ BAC
7	ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1				Dwyer CDT-2N40-LCD, Rang 0 to 2000 ppm CO ₂
8	แดมเปอร์อากาศทั้ง VD-EXH				1	AS&D 5Nm Runing 70...100 sec AC/DC 24V.±10%
9	แดมเปอร์อากาศเต็ม VD-OA				1	AS&D 5Nm Runing 70...100 sec AC/DC 24V.±10%
10	พัดลมอากาศทั้ง FAN-EXH		2		2	Local
11	พัดลมอากาศเต็ม FAN-OA		2		2	Local
12	พัดลมหมุนเวียนอากาศ FAN-OAU		1		1	UNIAIRE
13	ปั๊มหมุนเวียนน้ำเย็น PUMP-RCF		1		1	CALPEDA
14	อุณหภูมิอากาศนอกห้อง	1				Carel Sensor for Duct T+H 10/90% rH
15	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศนอกห้อง	1				Carel Sensor for Duct T+H 10/90% rH
16	แรงดันอากาศภายในห้อง	1				HUBA-DPT, -100 TO +100 Pa + PITOT TUBE 8"
17	อุณหภูมิอากาศฮีทไปป์	1				Carel Sensor for Duct T+H 10/90% rH

J. Feng และคณะ [8] ได้ทดสอบอาคารที่ใช้ระบบแผ่รังสีความร้อนในพื้นที่คอนกรีตพร้อมแหล่งทำความเย็นแบบไอ พบว่ามีการประหยัดพลังงาน แต่การควบคุมระบบยังคงตอบสนองได้ช้า ความสามารถในการทำความเย็นยังมีข้อจำกัด สิ่งที่ทีมวิจัยกลุ่มนี้ได้ดำเนินการ คือ

- 1) สร้างแบบจำลองไดนามิกที่ง่ายของระบบที่ใช้ตัวควบคุม MPC ทำนายแบบเรียลไทม์
- 2) ทดสอบตัวควบคุม MPC สำหรับการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนในกรณีศึกษา

พัฒนาแบบจำลอง MPC เพื่อควบคุมการใช้พลังงานของอาคาร ตัวควบคุม MPC ถูกเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพื้นฐานเดิม สำหรับการใช้งานในฤดูหนาว ที่สภาพอากาศที่แห้งและร้อน พบว่าตัวควบคุม MPC สามารถรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยการทำงานของพื้นที่ได้ตามมาตรฐาน EN 15251 Category II ในระดับมากกว่า 95% ของชั่วโมง สำหรับทุกพื้นที่ในขณะที่วิธีการควบคุมตามกฎพื้นฐาน เพียงแต่รักษาระดับสถานะความสบายอุณหภูมิเฉพาะพื้นที่หลัก เมื่อเทียบกับวิธีการควบคุมตามกฎพื้นฐานกับตัวควบคุม MPC พบว่า ตัวควบคุม MPC ลดการใช้พลังงานของหอหล่อเย็น (Cooling Tower) ลงได้ถึง 55% และ ลดการใช้พลังงานในการสูบน้ำได้ถึง 25%

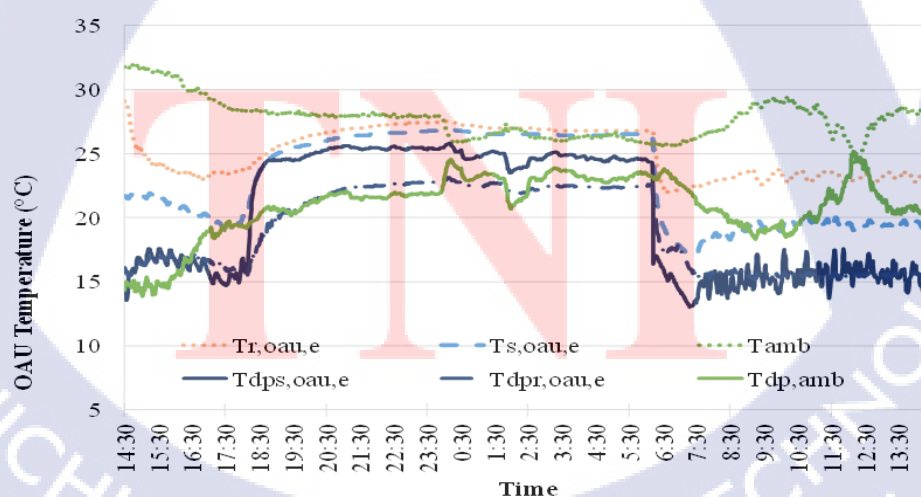
บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

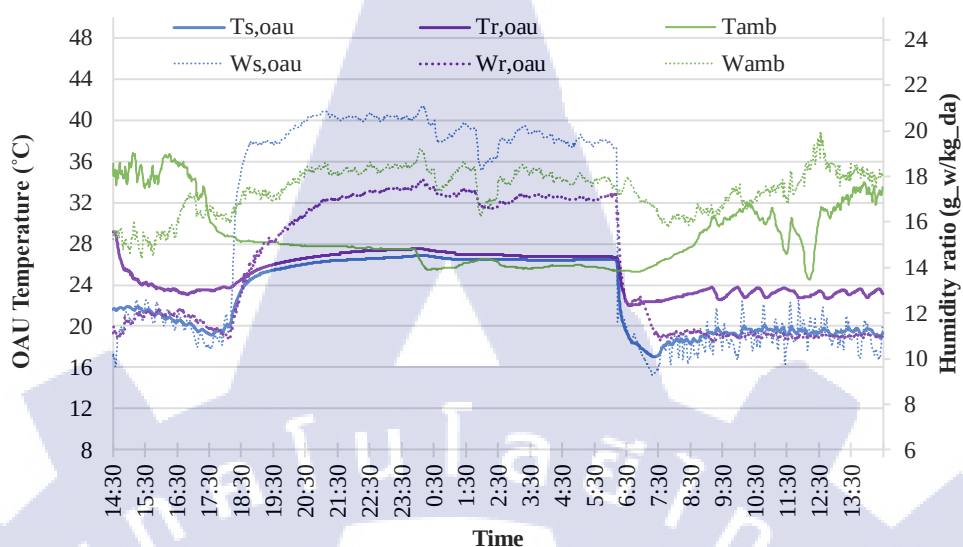
3.1 แนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้เพื่อจำลองปรับปรุงและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวควบคุม 2 แบบ คือ MPC กับ PID ที่ใช้งานกับระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความร้อน (Radiant Cooling Panel) ที่ทำงานร่วมกับระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated Outdoor Air System: DOAS) เรียกรวมกันเป็น RCP-DOAS พบว่าระบบควบคุมเดิม หรือ PID มีความล่าช้าในการทำให้อุณหภูมิห้องเข้าสู่ช่วงค่าสถานะความสบายอุณหภูมิ (Thermal comfort zone) และช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ทำให้ใช้พลังงานในการควบคุมระบบมากเกินไปจนความจำเป็นได้

ตัวแปรรบกวน (Disturbance) ของระบบ เช่น อุณหภูมิจากภายในและภายนอกที่มีความผันผวน (Fluctuated) ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 $T_{r,oau,e}$ คือ อุณหภูมิอากาศดูดออกภายนอกห้อง $T_{s,oau,e}$ คืออุณหภูมิอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้อง T_{amb} คืออุณหภูมิแวดล้อม $T_{dp,amb}$ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศแวดล้อม $T_{dpr,oau,e}$ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่ถูกดูดออกจากห้อง $T_{dps,oau,e}$ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศจ่ายเข้าสู่ห้อง W_{amb} คือ อัตราส่วนความชื้นอากาศแวดล้อม $W_{r,oau}$ คือความชื้นอัตราส่วนของอากาศที่ถูกดูดออก และ $W_{s,oau}$ คืออัตราส่วนความชื้นอากาศจากภายนอกเข้าสู่ห้อง ซึ่งเป็นตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อการควบคุมระบบทั้งสิ้น

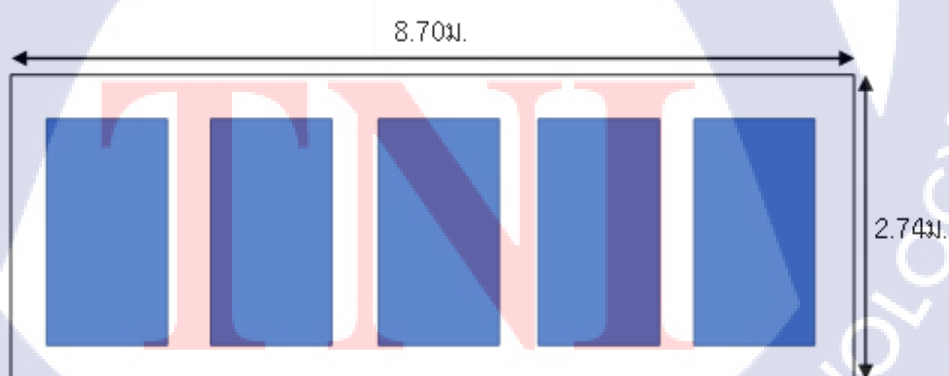


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงอุณหภูมิและอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่มีความผันผวน [6]



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงอัตราส่วนอุณหภูมิและความชื้นที่มีความผันผวน [6]

งานวิจัยได้นำค่าพารามิเตอร์จากห้องทดสอบขนาด กว้าง 2.74 เมตร x ยาว 8.70 เมตร x สูง 2.60 เมตร มีพื้นที่ 23.8 ตารางเมตร ดังแบบแปลนในรูปที่ 3.3 [6] ที่ติดตั้งระบบ RCP-DOAS ภายในห้องทดสอบ ห้องทดสอบตั้งอยู่บนชั้นดาดฟ้า ของอาคารหนึ่งในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) วิทยาเขตบางขุนเทียน



รูปที่ 3.3 ขนาดห้องทดสอบ [6]

ภาพถ่ายห้องทดสอบที่แสดงลักษณะทางกายภาพ (Physical) ดังรูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5 [6] และแปลงการถ่ายโอนความร้อน ให้อยู่ในรูปแบบวงจรความร้อน (Thermal Circuit) และจำลองบนโปรแกรม MATLAB Simulink เปรียบเทียบตัวควบคุม และทำการพัฒนาแบบจำลองระบบควบคุม MPC เพื่อหาค่าพารามิเตอร์และปรับจูนอัตราการใช้พลังงานของน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น ให้เหมาะสมกับระบบ RCP-DOAS และคาดหวังว่าผลการคำนวณจะแสดงว่าระบบที่ควบคุมแบบ MPC จะเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิและความชื้นได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายด้านนอกห้องทดสอบของระบบ RCP-DOAS [6]



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายด้านในห้องทดสอบของระบบ RCP-DOAS [6]

3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ในการสร้างแบบจำลองห้องทดสอบและตัวควบคุม MPC เพราะมีเครื่องมือสำเร็จรูป สะดวกต่อการทำวิจัย และสามารถนำประยุกต์ใช้งานกับคอนโทรลเลอร์ได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว ใช้ได้กับทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซี

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การสร้างแบบจำลองห้องทดสอบ

ทำการแปลงห้องทดสอบของระบบ RCP-DOAS ทางกายภาพ จากรูปที่ 3.5 เป็นวงจรการไหลของความร้อนให้เสมือนวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 3.6 โดยนำค่าการนำความร้อนของวัสดุผนัง พื้น หลังคาและความหนาของห้องทดสอบให้อยู่ในรูปแบบค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance: R) และ นำค่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัสดุ มวลสารของวัสดุ และ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของวัสดุ ให้อยู่ในรูปแบบค่าความจุความร้อน (Thermal Capacity: C) โดยมีการกำหนดจุดวัดอุณหภูมิ (Temperature: T) ของห้องทดสอบที่ต้องการวัดค่าและนำไปควบคุม

ที่จุด Trf เป็นอุณหภูมิผิวภายนอกด้านบนของแผ่นฝ้าที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศภายนอก (T_o) อุณหภูมิท้องฟ้า (T_{sky}) ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (E_s) และการดูดกลืนแสงค่าสัมประสิทธิ์ของหลังคา (α) มี C1 เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของชั้นบนของหลังคา

ที่จุด Trf,u เป็นอุณหภูมิผิวใต้หลังคามี C2 เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของใต้หลังคาโดยที่ R1 คือค่ามวลของหลังคา

ที่จุด Trp,ab เป็นอุณหภูมิผิวด้านบนของแผงแผ่รังสีความร้อน มี C3 เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของด้านบนของแผงที่รวมอุณหภูมิผิวด้านบนของท่อน้ำเย็นและอากาศที่ไหลผ่านช่องว่างระหว่างพื้นใต้หลังคา และด้านบนของแผง (Rgap) โดยรวมอิทธิพลจากการพาความร้อนโดยตรงของมวลท่อน้ำและการถ่ายเทความร้อนจากน้ำเย็น

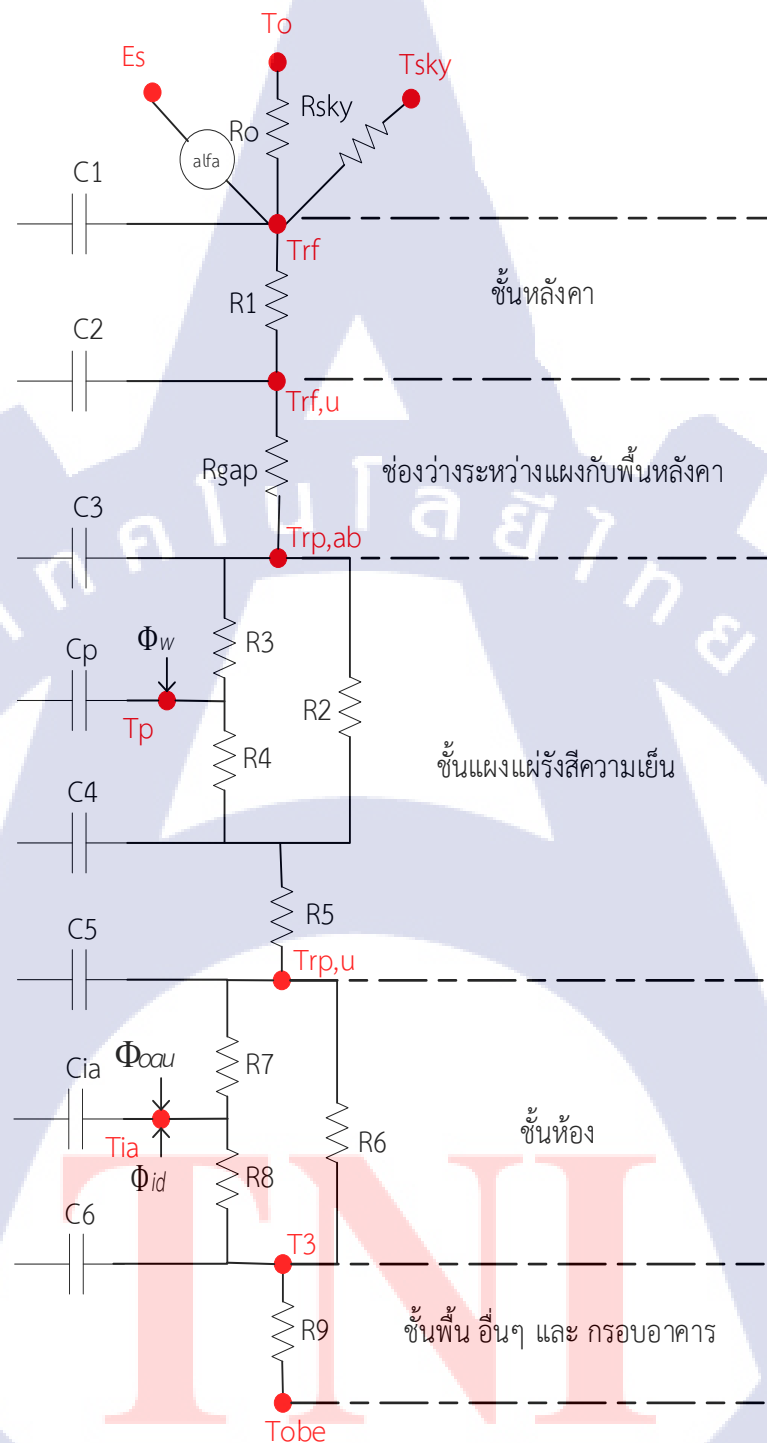
ที่จุด Tp เป็นอุณหภูมิของท่อน้ำเย็นมี Cp เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของท่อ ที่รวมอุณหภูมิของผิวท่อน้ำเย็นที่วางแนบสัมผัสกับด้านบนแผ่นฝ้าอลูมิเนียม และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอด โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อและจากน้ำเย็น โดยที่ R2 R3 และ R4 คือค่ามวลของท่อน้ำเย็น

ที่จุด Trp,u เป็นอุณหภูมิผิวด้านล่างของแผงแผ่รังสีความร้อน มี C5 เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงผิวของแผงด้านล่าง โดยรวมอุณหภูมิผิวด้านล่างของแผงแผ่รังสีความร้อน โดยการนำความร้อนของแผ่นอลูมิเนียม R5 คือ ค่ามวลของแผ่นอลูมิเนียม การพาความร้อนและการแผ่รังสีของผิวแผงแผ่รังสีไปยังผิวภายในห้อง

ที่จุด Tia เป็นอุณหภูมิด้านในห้องทดสอบมี Cia เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงอากาศภายในห้อง โดยรวมการพาความร้อนของการแผ่รังสีของผิวผ้า การพาความร้อนของมนุษย์ที่อยู่ภายในห้องและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในห้อง ปริมาณความร้อนภายในและการถ่ายเทความร้อนของระบบเดิมอากาศแบบอิสระ ที่มี R6 R7 และ R8 คือค่ามวลของผนัง

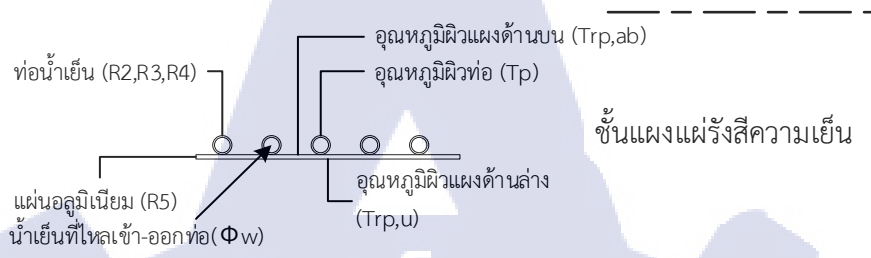
ที่จุด T3 เป็นอุณหภูมิที่พื้นของห้องทดสอบมี C6 เป็นที่กักเก็บพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของผิวพื้น โดยรวมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบและอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ของห้องทดสอบ (Tobe) ที่มี R9 เป็นมวลของพื้น





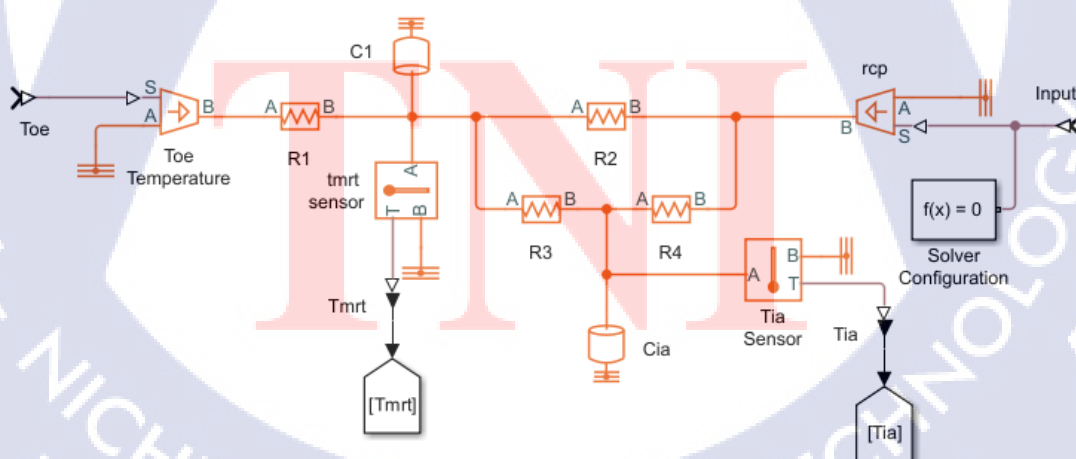
รูปที่ 3.6 วงจรการไหลของความร้อนห้องทดสอบ

จากวงจรการไหลของความร้อนห้องทดสอบ ที่มีการไหลของความร้อนระหว่างในชั้นแผงแผ่รังสีความร้อนตั้งแต่จุด Trp,ab ถึงจุด Trp,u หรือ อุณหภูมิของผิวด้านบนและล่างของแผงแผ่รังสี ดังภาพตัดขวางในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพตัดขวางของแผงแผ่รังสีความร้อน

ภายในโปรแกรม กำหนดตัวกำเนิดอุณหภูมิ (Temperature Source) และใส่เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ที่จุด Tia ที่เป็นอุณหภูมิอากาศภายในห้อง และ $T1$ หรือ อุณหภูมิเฉลี่ยผิวของห้องทดสอบ จะถูกไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่รับรู้สีก (Operative Temperature, Top) ซึ่งเป็นตัวแปรที่จะต้องถูกควบคุม โดยจะมีตัวแปรควบคุมอุณหภูมิของห้องทดสอบคือที่จุด Toe เป็นอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร พลังงานความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์บุคคลภายในห้องและค่าความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรที่จัดการได้ยาก แบบจำลองห้องทดสอบถูกด้วย MATLAB Simulink โดยใช้ Simscape Toolbox ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรการไหลของความร้อนห้องทดสอบบน MATLAB Simulink

แทนค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) และ ค่าความจุความร้อน (Thermal Capacity) ที่หาได้จากการนำข้อมูลอุณหภูมิของห้องทดสอบ จากการวัดค่าจริงของแต่ละจุดและบันทึกลงในตารางในภาคผนวก ข ดังตารางที่ ข.1 ทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยปรับปรุงโครงสร้างข้อมูลจากตาราง (Normalization) เพื่อใช้ทำนายหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (Coefficient) และ ค่าที่บ่งบอกจุดตัดแกน (Intercept) ของแต่ละจุดที่ต้องการหาค่าดังสมการที่ 3.1 [9]

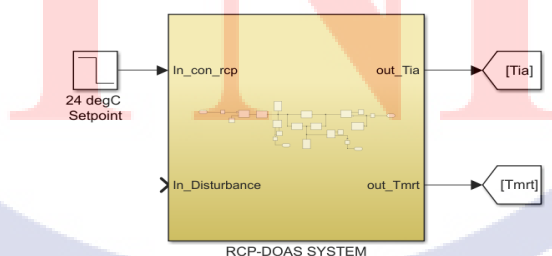
$$|y| = |m1 * x1| + |m2 * x2| + ... |mn * xn| + |b| \quad (3.1)$$

โดยงานวิจัยนี้ได้เขียนโปรแกรมวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ โดยใช้ ภาษา python และ แพคเกจสำเร็จรูป (packages) โดยใช้ scikit-learn และ pandas เพื่อระบุค่าความต้านทานความร้อน ค่าความจุความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนของแบบจำลองจะได้ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ห้องทดสอบ

Thermal Resistance, R ($m^2 K / W$), and Thermal Capacity, C (Jm^2 / K)					
R1	R2	R3	R4	C ₁	C _{ia}
0.698	10.997	0.435	0.178	4.048×10^5	3.332×10^3

จากวงจรการไหลของความร้อนห้องทดสอบดังรูปที่ 3.8 นำมาสร้างระบบย่อย (Create Subsystem) เพื่อให้ห้องทดสอบระบบ RCP-DOAS ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 3.9 เพื่อนำไปใช้งานกับระบบควบคุมต่อไป



รูปที่ 3.9 ระบบย่อยห้องทดสอบระบบ RCP-DOAS บน MATLAB Simulink

3.3.2 ตัวแปรบรรณระบบควบคุมห้องทดสอบ

ตารางที่ 3.2 [6] แสดงข้อมูลของห้องทดลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาระการปรับอากาศของระบบแผ่รังสี ห้องทดลองตั้งอยู่ที่ละติจูด 13.57°N , ลองติจูด 100.5°E ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้เป็นข้อมูลรายชั่วโมงรอบ 1 ปี จากสถานีวัดรังสีอาทิตย์ที่ตั้งอยู่ที่ มจร. วิทยาเขตบางขุนเทียน การใช้งานห้องเป็นแบบสำนักงาน เวลาทำงานจันทร์-ศุกร์ 8:00-17:00 น. ผู้ใช้ห้องทดสอบสมมติให้นั่งทำงานแบบทั่วไป มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง 65 W/person และ 55 W/person ตามลำดับ ค่าภาระความร้อนภายในห้องทดสอบ เพดาน 10.0 W/m^2 พื้น 5.0 W/m^2 หน้าต่าง 100.0 W/m^2 ผนังทึบ 5.0 W/m^2 ค่าความเป็นฉนวนของเสื่อผ้ากำหนดเท่ากับ 0.5 clo ห้องติดตั้งหลอดไฟฟ้า LED ค่าความเข้มของการส่องสว่าง 10.0 W/m^2 ทั้งนี้ค่าความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแบ่งเป็นการแผ่รังสีความร้อนร้อยละ 60 และการพาความร้อนร้อยละ 40 ในการวิเคราะห์กำหนดค่าความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าเท่ากับ 17.5 W/m^2 อนึ่งข้อมูลข้างต้นอ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE และข้อมูลการใช้พลังงานอาคารสำนักงานของประเทศไทย

ตารางที่ 3.2 ตารางภาระความร้อนภายในห้องทดสอบโดยประมาณ [6]

เพดาน	(10 W/m^2)	238 W
พื้น	(5 W/m^2)	119 W
หน้าต่าง	(100 W/m^2)	949 W
ผนังทึบ	(5 W/m^2)	251 W
คน	(3-5 persons, 65 W/person , 55 W/person)	300 W
หลอดไฟฟ้า	(10 W/m^2)	45 W
อุปกรณ์ไฟฟ้า	(17.5 W/m^2)	238 W
ความร้อนรวม		2,140 W

รังสีอาทิตย์และภาวะอากาศภายนอก ค่ารังสีอาทิตย์รวมในระหว่างสัปดาห์สูงสุดที่ประมาณ $1,000\text{ W/m}^2$ ($3,600\text{ J/hr/m}^2$) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายจากท้องฟ้าค่อนข้างต่ำไม่เกินกว่า 500 W/m^2 ในช่วงเที่ยงวัน

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรบนละติจูด $13^{\circ} 45'$ เหนือ ลองติจูด $100^{\circ} 31'$ ตะวันออก อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 2 เมตร กรุงเทพมหานครอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ปกคลุมในช่วงฤดูหนาว ทำให้

กรุงเทพมหานครมีอากาศเย็นและแห้ง กับมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ปกคลุมในช่วงฤดูฝน ทำให้อากาศชื้นและมีฝนตกทั่วไป

กรุงเทพมหานครมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและร้อนอบอ้าวในฤดูร้อน ส่วนในฤดูหนาวไม่หนาวมากนัก มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี $26.6-30.9^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 36.2°C และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 21.6°C โดยมีอากาศร้อนจัดในเดือนเมษายนและพฤษภาคม วัดอุณหภูมิสูงสุดได้ 38.2°C [6]

ตัวแปรกระบวนการห้องทดสอบมีผลทำให้อุณหภูมิของห้องทดสอบนั้นมีความผันผวน และเป็นตัวแปรที่จัดการได้ยาก ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร พลังงานความชื้นของรังสีดวงอาทิตย์ บุคคลภายในห้องและค่าความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งมีภาระความร้อนภายในห้องทดสอบโดยประมาณรวม $2,140\text{ W}$

3.3.3 การออกแบบตัวควบคุม MPC

แบบจำลองห้องทดสอบระบบ RCP-DOAS จากรูปที่ 3.6 ได้ถูกกำหนดจำนวนตัวแปร ดังนี้ ตัวแปรที่ถูกจัดการ (Manipulated Variables, MV) ที่จะป้อนเข้าห้องทดสอบ คือ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิ และตัวแปรออกที่วัดได้ (Measured Outputs, MO) ของห้องทดสอบ คือ อุณหภูมิที่รับรู้สีกได้ (Operative temperature) อุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิว ตัวแปรกระบวนการระบบห้องทดสอบ (Measured Disturbance, MD) คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร พลังงานความชื้นของรังสีดวงอาทิตย์ บุคคลภายในห้องและค่าความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามหัวข้อที่ 3.2.2 ได้มีการทดสอบและปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม MPC ให้ระบบมีการควบคุมที่เข้าสู่ Set point ได้รวดเร็ว นุ่มนวล และคงที่ พบว่าผลการกำหนดค่าตัวแปรของตัวควบคุม MPC ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางกำหนดค่าตัวแปรของตัวควบคุม MPC ที่ตั้งค่าบน MATLAB Simulink

Sample time	1 วินาที
Prediction horizon	10 วินาที
Control horizon	2 วินาที
Constraints Inputs MV	0 ต่ำสุด – 100 สูงสุด
Weights MV	0.0201897
Weights MO	4.95303
I/O Attributes MV (vdc)	0 Nominal Value, 1 Scale Factor
I/O Attributes MO (deg C)	23 Nominal Value, 1 Scale Factor
I/O Attributes MD (deg C)	1 Scale Factor

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 นำค่าพารามิเตอร์ห้องทดสอบสร้างแบบจำลองบนโปรแกรม MATLAB Simulink ในรูปแบบวงจรความร้อน

3.4.2 สร้างตัวแปรบรรกวนห้องทดสอบบนโปรแกรม MATLAB Simulink

3.4.3 ปรับปรุงและแก้ไขจุดบกพร่องของแบบจำลองห้องทดสอบ

3.4.4 ออกแบบตัวควบคุม MPC บนโปรแกรม MATLAB Simulink

3.4.5 ทดลองนำตัวควบคุมทั้งสองได้แก่ MPC และ PID มาประยุกต์ใช้งานกับแบบจำลองห้องทดสอบ

3.4.6 วิเคราะห์และอภิปรายผลเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างตัวควบคุมทั้งสอง

3.4.7 สรุปผลวิจัย

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5.1 ห้องทดสอบระบบ RCP-DOAS

แบบวงจรการไหลของความร้อนเสมือนวงจรไฟฟ้า ที่ใช้หลักการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เมื่อนำมาเขียนในรูปแบบสมการเชิงอนุพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยรวมถึงอิทธิพลของการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีไว้ด้วยกัน โดยข้อกำหนดสมดุลพลังงานที่ว่า การไหลของพลังงานความร้อน (Heat Flux) ที่เข้ามาที่โนด (Node) เท่าไรก็ออกไปเท่านั้น

3.5.2 อุณหภูมิที่จุด T_{ia}

คำนวณหาค่า อุณหภูมิที่จุด T_{ia} ด้วยสมการที่ 3.2

$$C_{ia} \frac{dT_{ia}}{dt} = \frac{T_{rp,u} - T_{ia}}{R_3} + \frac{T_3 - T_{ia}}{R_4} \frac{F_f}{F_{obe}} + \frac{\Phi_{id}}{F_{obe}} - \frac{\Phi_{oau}}{F_{obe}} \quad (3.2)$$

3.5.3 อุณหภูมิที่จุด T_3

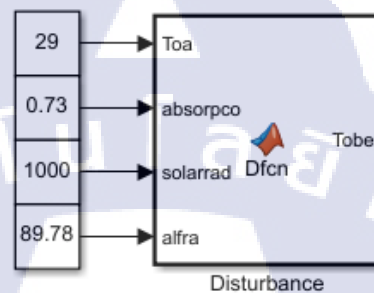
คำนวณหาค่า อุณหภูมิที่จุด T_3 ด้วยสมการที่ 3.3

$$C_6 \frac{dT_3}{dt} = \frac{T_{ia} - T_3}{R_8} + \frac{T_{rp,u} - T_3}{R_6} + \frac{T_{obe} - T_3}{R_9} \quad (3.3)$$

โดยที่อุณหภูมิตัวแปรบรรกวนห้องทดสอบคืออุณหภูมิเปลือกผิวด้านนอกห้องทดสอบ T_{obe} คำนวณโดยสมการที่ 3.4 [2]

$$T_{obe} = T_{oa} + \frac{a_{obe} I_{obe}}{\alpha_{obe}} \quad (3.4)$$

นำสมการที่ 3.4 ไปเขียนเป็น MATLAB Function และป้อนข้อมูลตัวแปรกระบวนการระบบ จากข้อที่ 3.2.2 ได้ดังรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 อุณหภูมิตัวแปรกระบวนการห้องทดสอบเปลือกผิวด้านนอกห้องทดสอบบน

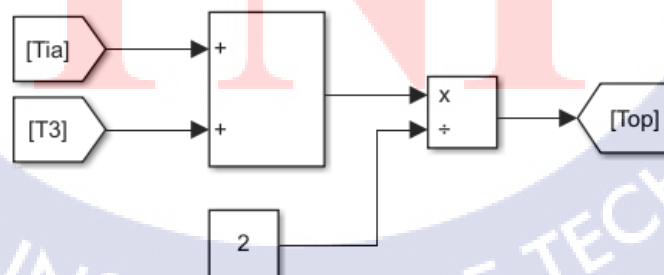
MATLAB Simulink

3.5.4 อุณหภูมิที่รับรู้สีกได้ T_{op}

คำนวณหาค่า อุณหภูมิที่รับรู้สีก T_{op} โดยสมการที่ 3.5

$$T_{op} = \frac{T_{ia} + T_3}{2} \quad (3.5)$$

นำสมการที่ 3.5 ไปเขียนเป็น Simulink Model ได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 อุณหภูมิที่รับรู้สีกได้ บน MATLAB Simulink

3.5.5 ระบบควบคุม MPC

แบบจำลองระบบควบคุม MPC ช่วยทำนายผลลัพธ์ได้โดยลดขั้นตอนการคำนวณ ดังนั้นสามารถประมาณผลลัพธ์การแก้แบบจำลองหึ่งทดสอบ RCP-DOAS ออกมาเป็นเส้นตรงได้ โดยที่ระบบไม่แปรผันตามเวลา (Linear Time Invariant, LTI) ดังสมการที่ 3.6

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx\end{aligned}\tag{3.6}$$

ในตัวควบคุม MPC แบบจำลองการทำนายจะต้องแปลงเป็นระบบเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-time system) การทำนายจะจำแนกเวลาโดยใช้การประมาณผลต่างไปข้างหน้า ดังสมการที่ 3.7 – 3.10

$$\begin{aligned}x_{t+1} &= A_d x_t + B_d u_t \\ y_t &= C_d x_t\end{aligned}\tag{3.7}$$

โดยที่

$$A_d = I + T_s A\tag{3.8}$$

$$B_d = T_s B\tag{3.9}$$

$$C_d = C\tag{3.10}$$

T_s คือเวลาสุ่มตัวอย่าง

การปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวควบคุม MPC ควบคุมอินพุตโดยการคำนวณแก้ปัญหา ถูกปรับให้เหมาะสมแบบมีข้อจำกัด (Constrained) ในแต่ละช่วงการสุ่มตัวอย่าง ด้วยการคำนวณฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function) ดังสมการที่ 3.11

$$\min_u J = \sum_{k=1}^p \left\{ y_t + k^T Q_t y_t + k + \Delta_{ut+k}^T R_t^{\Delta u} \Delta_{ut+k}^T + u_{ut+k}^T R_t^u u_{ut+k}^T \right\}\tag{3.11}$$

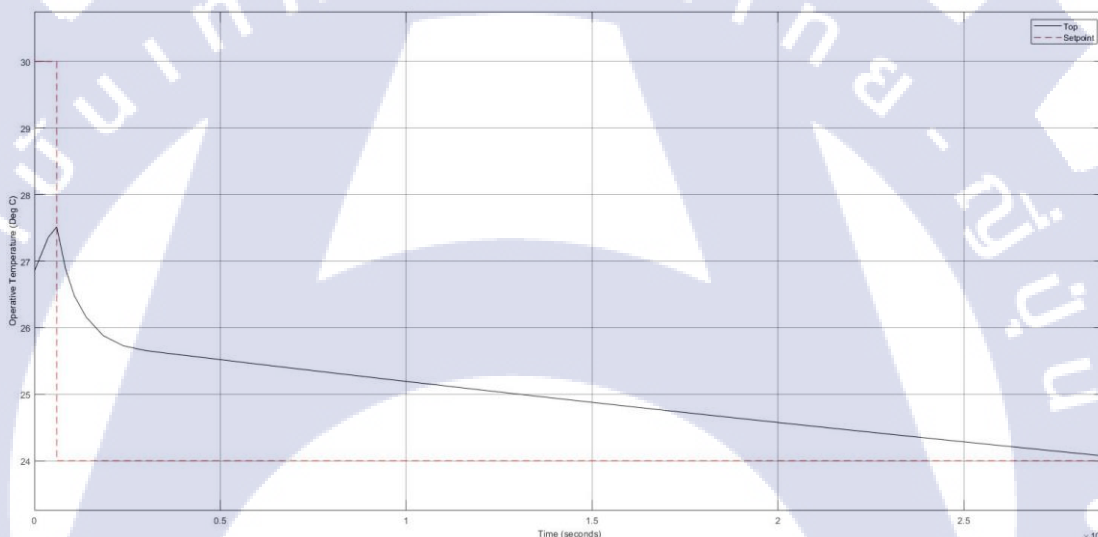
มีเงื่อนไขดังนี้

$$\begin{aligned}y_t^{\min} &\leq y_{t+k} \leq y_t^{\max} \\ \Delta u_t^{\min} &\leq \Delta u_{t+k} \leq \Delta u_t^{\max} \\ u_t^{\min} &\leq u_{t+k} \leq u_t^{\max}\end{aligned}$$

บทที่ 4

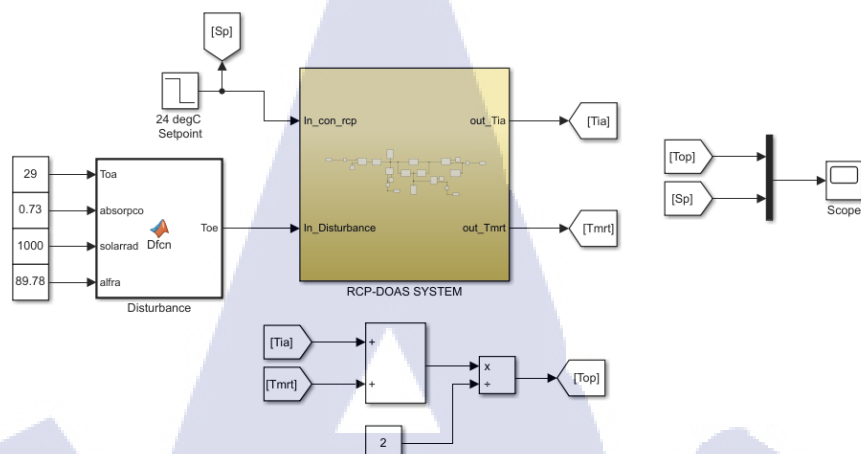
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

แบบจำลองห้องทดสอบได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ดังรูปที่ 3.8 ทำการจำลองป้อนค่าอุณหภูมิรับรู้สีก (OT) โดยกำหนดค่าที่ต้องการควบคุมที่ 24°C ป้อนสัญญาณหรืออินพุตเป็นแบบหนึ่งหน่วย (Step Function) โดยกำหนดอินพุตให้ได้ค่าที่ต้องการควบคุมใน 10 นาทีข้างหน้า โดยไม่มีตัวควบคุมและตัวแปรกระบวนการระบบ เพื่อดูลักษณะอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้จากแบบจำลองดังรูปที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิรับรู้สีก (OT) ไม่สามารถเข้าสู่ค่าที่ต้องการควบคุมได้โดยเร็ว และระบบมีความล่าช้าเป็นอย่างมาก



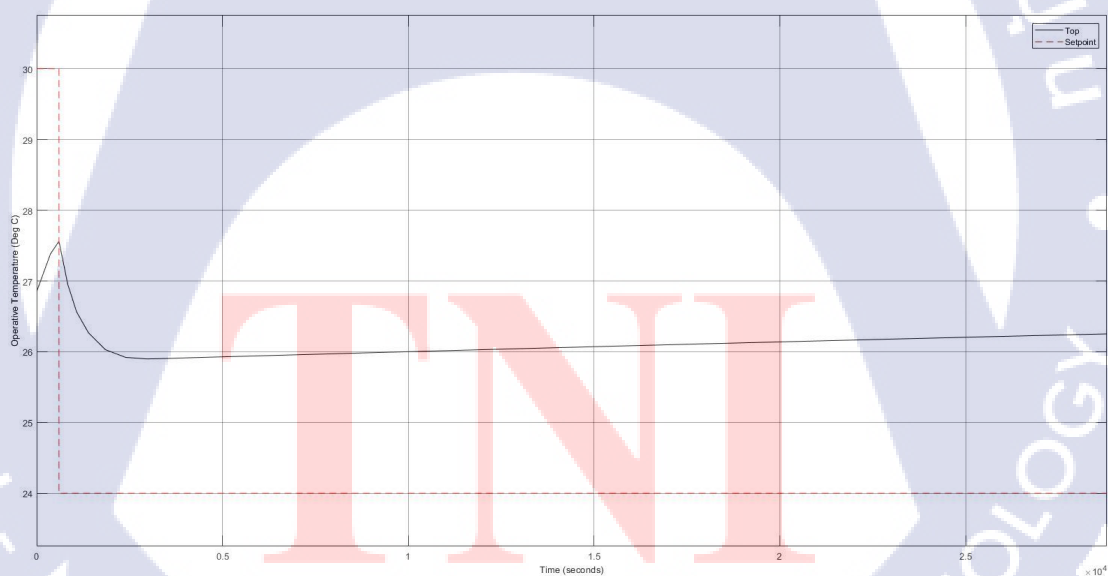
รูปที่ 4.1 ผลการจำลองห้องทดสอบกรณีไม่มีตัวควบคุมและตัวแปรกระบวนการระบบ

จากแบบจำลองห้องทดสอบรูปที่ 3.9 ระบบย่อยห้องทดสอบระบบ RCP-DOAS บน MATLAB Simulink ทำการใส่ตัวแปรกระบวนการห้องทดสอบ โดยที่ยังไม่มีตัวควบคุมที่ออกแบบตามข้อที่ 3.2.2 และป้อนอุณหภูมิตัวแปรกระบวนการระบบที่มาจากการคำนวณดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แบบจำลองห้องทดสอบที่มีตัวแปรรบกวน

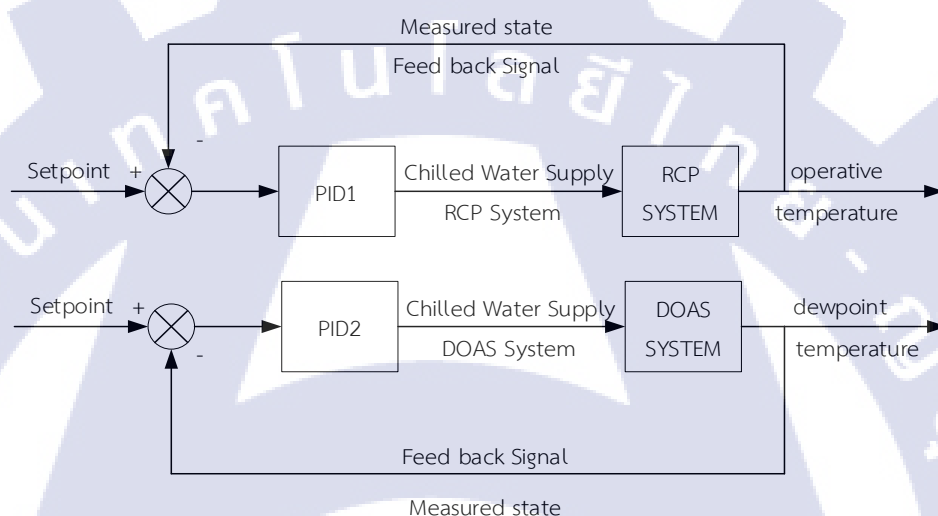
เพื่อคุณลักษณะอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้จากแบบจำลอง ที่มีตัวแปรรบกวนระบบดังรูปที่ 4.3 เมื่อใส่อุณหภูมิตัวแปรรบกวนระบบ แล้วทำการจำลองป้อนค่าที่ต้องการควบคุม พบว่าอุณหภูมิรับรู้สัณฐานไม่สามารถเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมได้



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองแบบจำลองห้องทดสอบที่มีตัวแปรรบกวนโดยที่ยังไม่มีตัวควบคุม

การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบควบคุมสำหรับระบบปรับอากาศแบบ RCP-DOAS ของห้องทดสอบ โดยการเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุม MPC และ PID เพื่อควบคุมทั้งอุณหภูมิที่รับรู้และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

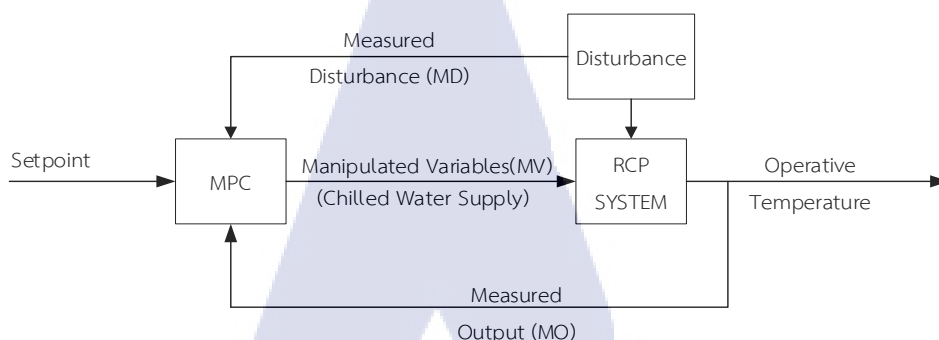
แผนภาพบล็อกกระบบควบคุม PID ของระบบ RCP-DOAS ณ ปัจจุบัน ดังรูปที่ 4.4 ตัวควบคุม PID สำหรับจุดที่ตั้งไว้ (Set point) ของอุณหภูมิที่รับรู้ของ RCP จะอยู่ที่ 24°C ในขณะที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างของ DOAS จุดที่ตั้งไว้ คือ 15°C เพื่อให้แน่ใจว่ามีการนำความชื้นออกจากอากาศ หรืออากาศบริสุทธิ์ที่ระบายอากาศได้อย่างเพียงพอไม่ให้เกิดหยดน้ำค้าง



รูปที่ 4.4 แผนภาพบล็อกกระบบควบคุม PID ของระบบ RCP-DOAS

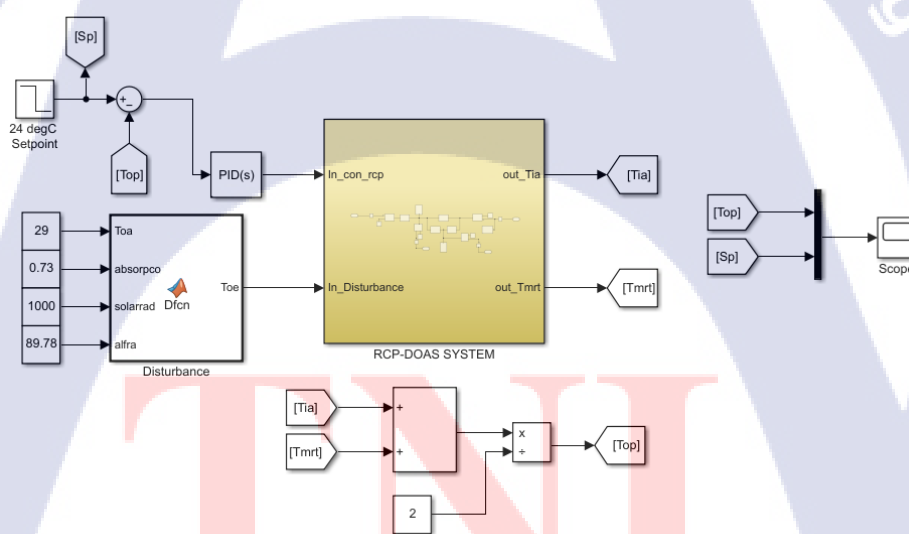
แบบจำลองห้องทดสอบเน้นการปรับปรุงการควบคุมการทำงานของระบบ RCP เนื่องจากเป็นระบบที่ทำอุณหภูมิได้ล่าช้าเมื่อเทียบกับระบบ DOAS ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่า แผนภาพบล็อกกระบบควบคุม MPC ของระบบ RCP ดังรูปที่ 4.5

ตัวควบคุม MPC สำหรับค่ากำหนดของจุดที่ตั้งไว้ สำหรับอุณหภูมิที่รับรู้ของ RCP จะอยู่ที่ 24°C ในขณะที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างของ DOAS นั้นใช้ตัวควบคุม PID ดังเดิม ที่ตั้งค่าไว้ที่ 15°C



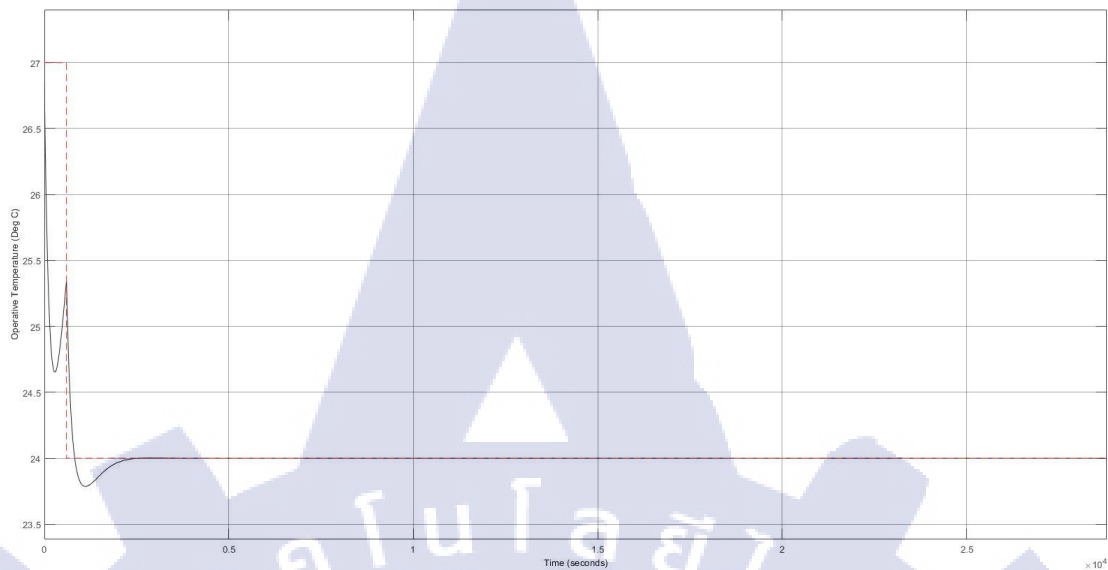
รูปที่ 4.5 แผนภาพบล็อกระบบควบคุม MPC ของระบบ RCP

แบบจำลองระบบ RCP-DOAS ที่ออกแบบตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมดุลความร้อน และกำหนดค่าพารามิเตอร์จากผลการทดลองจริง ส่วนการจำลองการควบคุม PID ทำโดยปรับจนให้ได้ค่าใกล้เคียงของจริงมากที่สุดบน MATLAB Simulink ดังรูปที่ 4.6



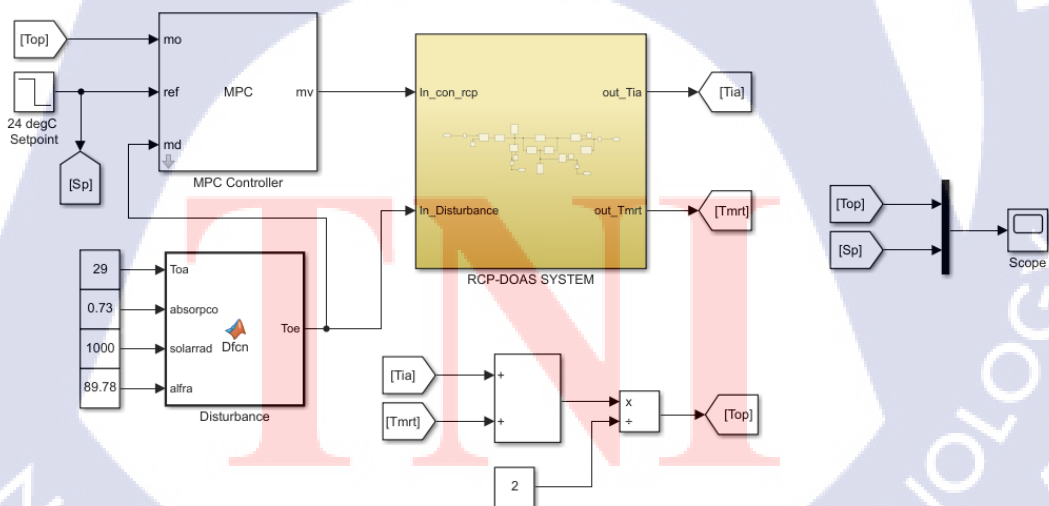
รูปที่ 4.6 แบบจำลองระบบ RCP-DOAS ตัวควบคุม PID บน MATLAB Simulink

ผลการจำลองระบบ RCP-DOAS ด้วยตัวควบคุม PID บนโปรแกรม MATLAB Simulink ดังรูปที่ 4.7 ตัวควบคุม PID สามารถควบคุมอุณหภูมิที่รับรู้ถึงค่าที่ต้องการควบคุมที่ 24°C ที่เวลา 2377.25 วินาที (**39.6 นาที**) โดยมีค่า Rise Time ที่ 440 วินาที Setting time ที่ 660 วินาที และค่า Overshoot 1.88% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ 4.7



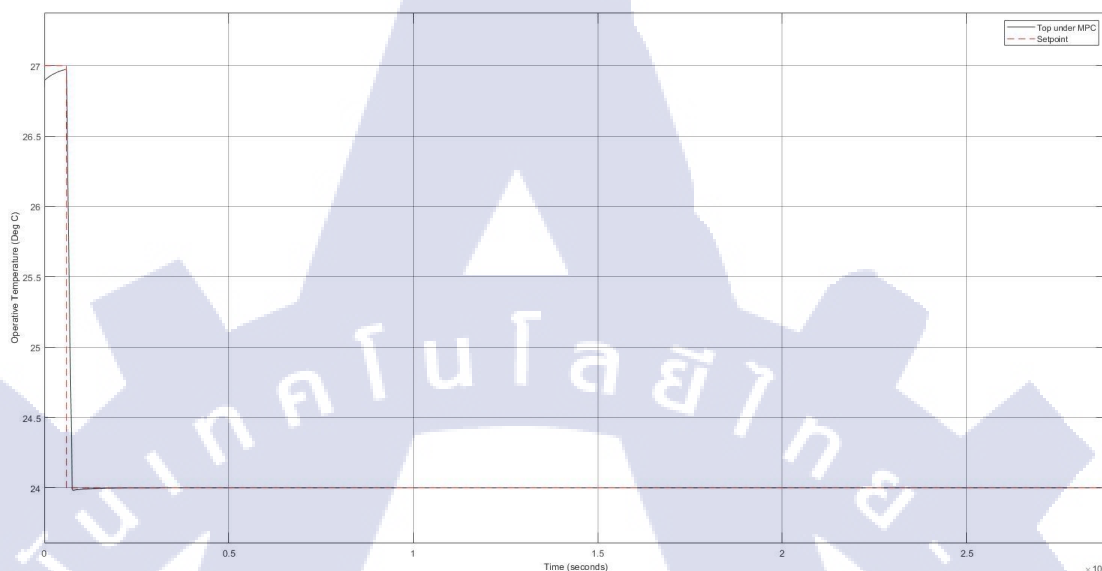
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองระบบ RCP-DOAS ด้วยตัวควบคุม PID บน MATLAB Simulink

การพัฒนาตัวควบคุม MPC กับระบบ RCP จำลองระบบบนโปรแกรม MATLAB Simulink ดังรูปที่ 4.8 และปรับตั้งค่ากำหนดตัวแปรตาม **Error! Reference source not found.** โดยตัวแปรปรับตั้งค่าได้มาจากการออกแบบตัวควบคุมบน MATLAB Simulink



รูปที่ 4.8 แบบจำลองระบบ RCP-DOAS ด้วยตัวควบคุม MPC บน MATLAB Simulink

ผลทำนายอุณหภูมิการทำงานของ RCP ดังรูปที่ 4.9 สามารถเข้าใกล้จุดที่ต้องการควบคุม และเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 1320.7 วินาที (22.01 นาที) เร็วกว่าตัวควบคุม PID 17.59 นาที



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองระบบ RCP ด้วยตัวควบคุม MPC บน MATLAB Simulink

ดังนั้นตัวควบคุม MPC ควรถูกนำมาใช้บน PLC ของระบบ RCP-DOAS ในรูปแบบของ ภาษา Structured Text (ST) เพื่อให้สถานะของห้องเข้าใกล้จุดที่ต้องการควบคุม และเข้าสู่สภาวะคงตัวได้รวดเร็ว ในขณะที่สามารถรักษาสภาพความสบายทางความร้อนไว้ได้ พร้อมศักยภาพในการประหยัดพลังงาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยระบบปรับอากาศแบบแผ่รังสีความร้อน (Radiant Cooling Panel: RCP) ร่วมกับระบบจัดการอากาศภายนอก (Dedicated Outdoor Air System: DOAS) เป็นการทำงานร่วมกัน ระหว่างสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม (MET) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (สทญ.) และบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE) ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) วิทยาเขตบางขุนเทียน เพื่อพัฒนาการแบบจำลองระบบควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (Model Predictive Control: MPC) เพื่อการทำนายและควบคุมระบบปรับอากาศ RCP-DOAS อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้อุณหภูมิแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ภาวะเสถียรเร็วยิ่งขึ้น

จากผลการทดสอบระบบดั้งเดิม ณ ห้องทดสอบของ JGSEE ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นที่หลากหลายในระหว่างวัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพเพื่อควบคุมการไหลของน้ำเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ RCP ให้ดีขึ้นและเร็วขึ้นได้

5.1 สรุปผลการวิจัย

แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equation: ODE) แปลงมาจากวงจรความร้อนเทียบเท่าแบบพลวัต (Dynamics) และพัฒนาแบบจำลองระบบควบคุมพีแอลซีของห้องทดสอบ RCP-DOAS บนโปรแกรม MATLAB Simulink พร้อมด้วยการเปรียบเทียบผลการควบคุมจากตัวควบคุม PID และ MPC ที่พัฒนาขึ้น พบว่าผลการควบคุมโดย MPC มีการลู่เข้าสู่ภาวะสมดุลอย่างนุ่มนวลขึ้น และเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมที่ 24°C สำหรับการทำงานของระบบปรับอากาศ RCP-DOAS ได้เร็วขึ้น 17.59 นาที

ในระยะต่อไปของโครงการวิจัย ตัวควบคุม MPC จะถูกนำไปใช้เพื่อควบคุมสภาวะการไหลของน้ำเย็นที่จ่ายไปของระบบ RCP-DOAS ด้วยการทดลองจริง โดยสามารถคาดหวังได้ว่าจะทำให้ระบบ RCP-DOAS มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีและประหยัดพลังงานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การพัฒนาการออกแบบตัวควบคุม MPC ให้ควบคุมแบบ Multi Input-Output (MIMO) ได้ ทำให้สามารถควบคุมได้ทั้ง RCP และ DOAS พร้อมกันได้

5.2.2 ใช้สมการ ODE ในการสร้างระบบ (Plant) ของห้องทดสอบเป็นแบบ Simulink Model หรือแบบ State-space model ที่ดีกว่าการใช้ Simscape สำเร็จรูป



บรรณานุกรม

- [1] P. Chaiwiwatworakul et al., “Knowing and Understanding the Radiant Cooling Air Conditioner,” [Online]. Available: <https://fb.watch/2xWcVSKses>. [Accessed: October 3, 2020].
- [2] D. Zhang et al., “Experimental investigation on model predictive control of radiant floor cooling combined with underfloor ventilation system,” *Energy*, vol. 176, no. 2, pp. 23–33, June 2019.
- [3] J. Joe and P. Karava, “A model predictive control strategy to optimize the performance of radiant floor heating and cooling systems in office buildings,” *Applied Energy*, vol. 245, no. 4, pp. 65–77, July 2019.
- [4] X. Pang et al., “Testing and demonstration of model predictive control applied to a radiant slab cooling system in a building test facility,” *Energy and Buildings*, vol. 172, no. 37, pp. 432–441, August 2018.
- [5] B. Dong and K. P. Lam, “A real-time model predictive control for building heating and cooling systems based on the occupancy behavior pattern detection and local weather forecasting,” *Building Simulation*, vol. 7, no. 1, pp. 89–106, February 2014.
- [6] P. Chaiwiwatworakul and JGSEE, “An Investigation of Air-Conditioning using a Dedicated Outdoor Air System Hybrid with Radiant Cooling for Office Buildings in Thailand Hot-Humid Climate,” (Research Project Report), Bangkok: King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 2020.
- [7] A. Harudeen, “Wiener Nonlinear Model Predictive Control with Laguerre Function for Binary Distillation Column,” M.S. thesis (Electrical Engineering), Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2011.
- [8] J.D. Feng et al., “Model predictive control of radiant slab systems with evaporative cooling sources,” *Energy Build.*, vol. 87, no. 19, pp. 199–210, January 2015.
- [9] กอบเกียรติ สระอุบล, *เรียนรู้ Data Science และ AI: Machine Learning ด้วย Python*, กรุงเทพฯ: หสม มีเดีย เนทเวิร์ค, 2563.

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

THAI - JAPANESE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก

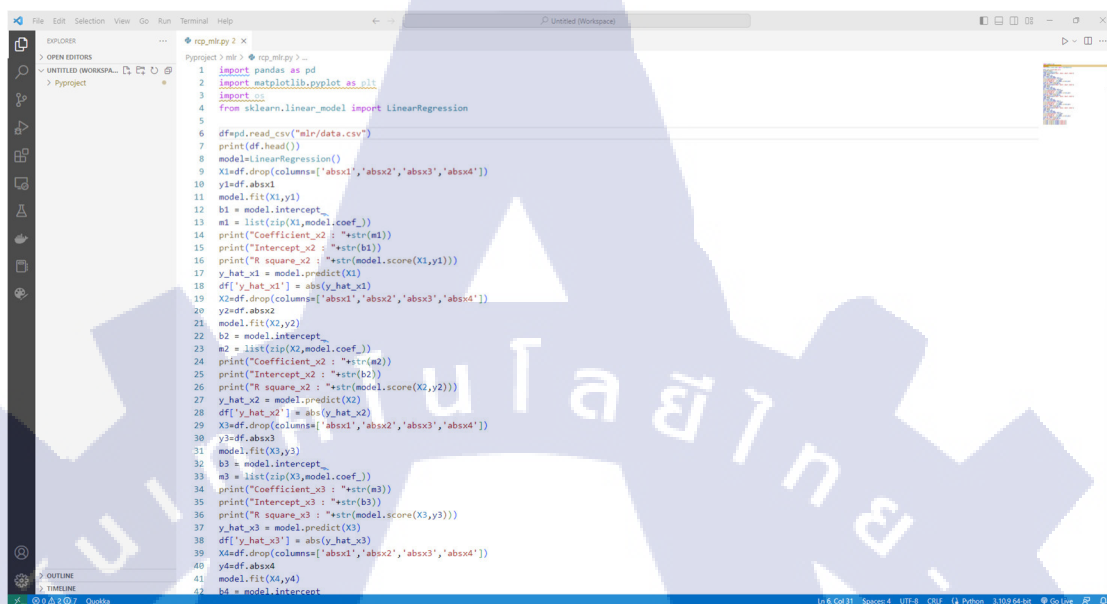
TNI

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองแบบและออกแบบตัวควบคุม

TNI

โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองแบบและตัวควบคุม

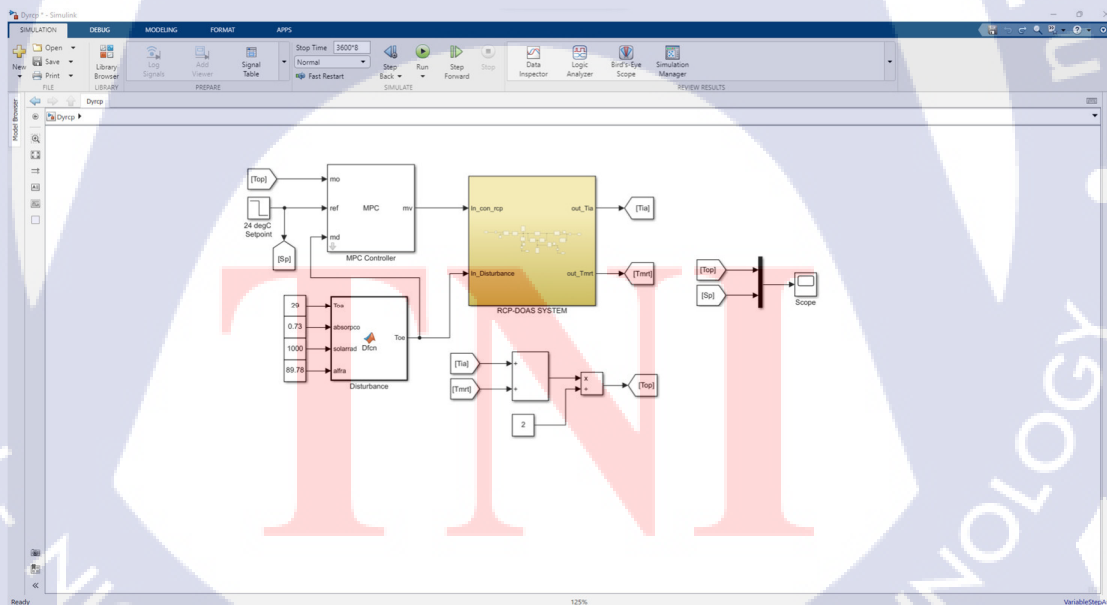


```

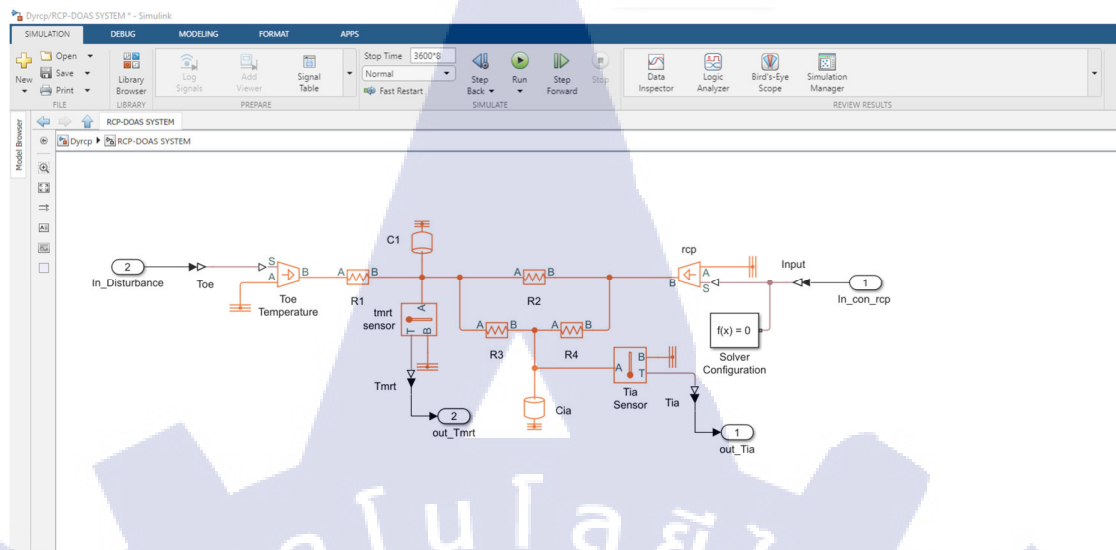
1 import pandas as pd
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import os
4 from sklearn.linear_model import LinearRegression
5
6 df=pd.read_csv("mlr\data.csv")
7 print(df.head())
8 model=LinearRegression()
9 X=df.drop(columns=['absx1','absx2','absx3','absx4'])
10 y=df.absx1
11 model.fit(X1,y1)
12 b1 = model.intercept_
13 m1 = list(zip(X1,model.coef_))
14 print("Coefficient_x2 : "+str(m1))
15 print("Intercept_x2 : "+str(b1))
16 print("R square_x2 : "+str(model.score(X1,y1)))
17 y_hat_x1 = model.predict(X1)
18 df['y_hat_x1'] = abs(y_hat_x1)
19 X2=df.drop(columns=['absx1','absx2','absx3','absx4'])
20 y2=df.absx2
21 model.fit(X2,y2)
22 b2 = model.intercept_
23 m2 = list(zip(X2,model.coef_))
24 print("Coefficient_x2 : "+str(m2))
25 print("Intercept_x2 : "+str(b2))
26 print("R square_x2 : "+str(model.score(X2,y2)))
27 y_hat_x2 = model.predict(X2)
28 df['y_hat_x2'] = abs(y_hat_x2)
29 X3=df.drop(columns=['absx1','absx2','absx3','absx4'])
30 y3=df.absx3
31 model.fit(X3,y3)
32 b3 = model.intercept_
33 m3 = list(zip(X3,model.coef_))
34 print("Coefficient_x3 : "+str(m3))
35 print("Intercept_x3 : "+str(b3))
36 print("R square_x3 : "+str(model.score(X3,y3)))
37 y_hat_x3 = model.predict(X3)
38 df['y_hat_x3'] = abs(y_hat_x3)
39 X4=df.drop(columns=['absx1','absx2','absx3','absx4'])
40 y4=df.absx4
41 model.fit(X4,y4)
42 b4 = model.intercept_

```

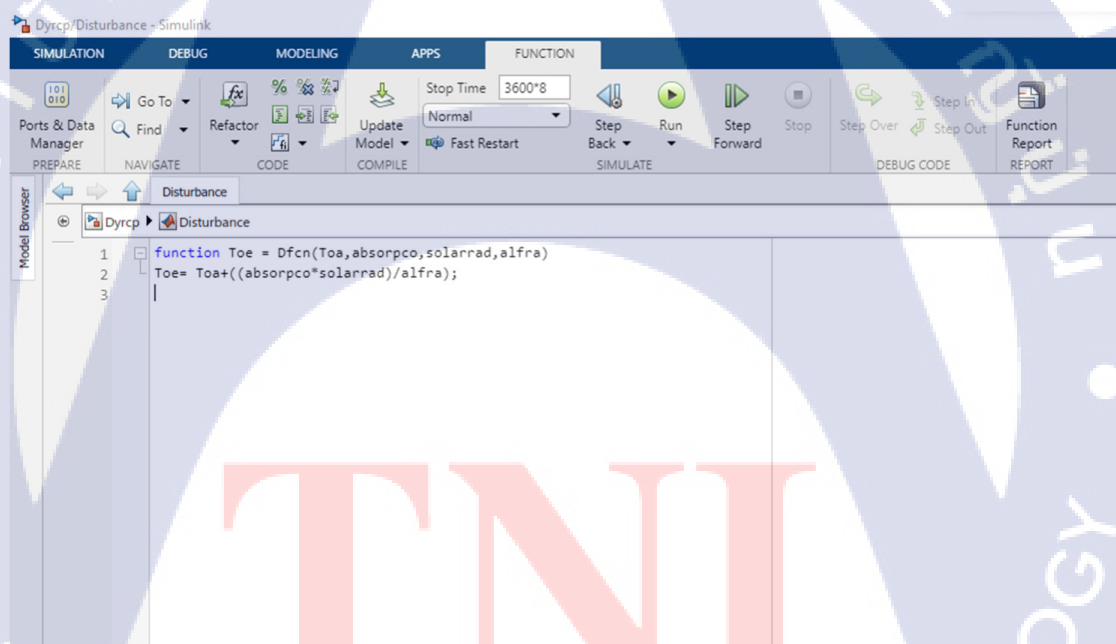
รูปที่ ก.1 รูปหน้าต่างโปรแกรม Visual Studio Code ที่ใช้หาค่า R และ C



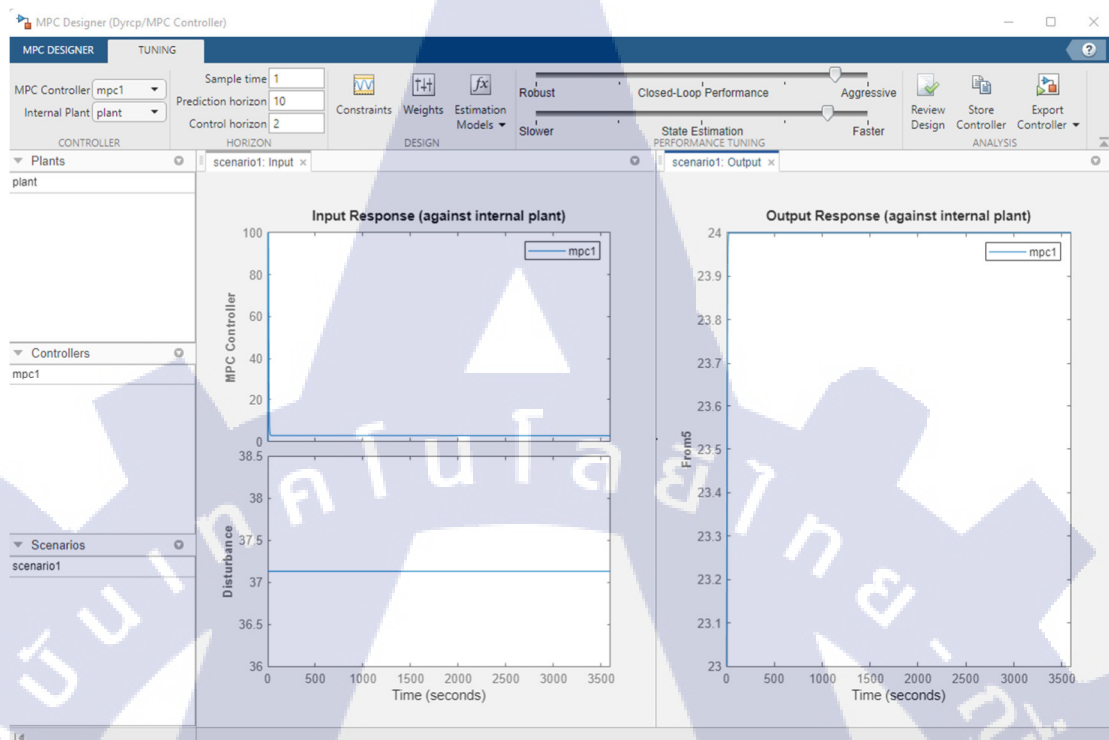
รูปที่ ก.2 รูปหน้าต่างโปรแกรม MATLAB Simulink



รูปที่ ก.3 รูปวงจรความร้อนบน MATLAB Simulink



รูปที่ ก.4 รูปการใช้ MATLAB Function เขียนตัวแปรบนระบบ



รูปที่ ก.5 รูปหน้าต่างการออกแบบตัวควบคุม

The screenshot shows the 'Code Generation Report' window. The 'Generated Files' section lists 'Dyrcp.exp'. The main area displays the generated Structured Text (ST) code for the MPC controller. The code is organized into sections for initialization, control logic, and output calculation. Key elements include variable declarations, function calls, and conditional logic. The code is displayed in a text editor with line numbers and syntax highlighting.

รูปที่ ก.6 รูปตัวควบคุมแปลงเป็น Structured text (ST)

ภาคผนวก ข.

อุณหภูมิห้องทดสอบ

TNI

อุณหภูมิห้องทดสอบ

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus,s	Tchwr,rp,s
6:00	25.9	82.6	22.7	16.7	1.2	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.2	27.9
6:01	25.8	82.0	22.5	16.5	1.3	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.2	27.9
6:02	25.7	82.2	22.5	16.4	1.3	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.2	27.9
6:03	25.8	81.6	22.4	16.4	1.2	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.2	27.9
6:04	25.7	81.5	22.3	16.3	1.1	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.3	27.9
6:05	25.7	81.3	22.3	16.4	1.3	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.3	27.9
6:06	25.6	81.5	22.2	16.2	1.3	28.3	27.9	28.1	23.1	27.9	27.3	27.9
6:07	25.6	81.7	22.3	16.2	1.2	28.3	27.8	28.0	23.1	27.9	27.6	27.9
6:08	25.7	81.5	22.3	16.3	1.2	28.2	27.6	27.9	23.1	26.8	26.7	26.5
6:09	25.8	81.3	22.4	16.5	1.3	28.0	27.5	27.8	23.0	26.7	18.7	26.4
6:10	25.8	81.1	22.3	16.4	1.5	27.7	27.4	27.6	22.7	26.7	10.9	26.4
6:11	25.7	81.1	22.2	16.3	0.9	27.4	27.3	27.4	22.3	26.5	11.9	26.3
6:12	25.8	81.1	22.3	16.4	1.2	27.1	27.1	27.1	22.0	26.1	12.4	25.8
6:13	25.7	81.0	22.2	16.3	1.1	26.6	25.5	26.0	21.7	22.0	12.8	20.4
6:14	25.7	80.0	22.0	16.1	1.1	25.5	23.7	24.6	21.4	17.6	13.0	14.6
6:15	25.7	80.0	22.0	16.2	1.4	24.3	23.1	23.7	21.1	16.7	13.0	13.8
6:16	25.8	80.2	22.1	16.3	1.3	23.2	22.8	23.0	20.8	16.5	13.0	13.9
6:17	25.7	80.5	22.1	16.3	1.3	22.5	22.4	22.4	20.6	16.2	13.0	13.7
6:18	25.6	79.7	21.8	15.9	1.1	21.9	22.1	22.0	20.4	16.0	13.0	13.6
6:19	25.8	79.8	22.0	16.3	1.5	21.4	21.9	21.6	20.1	15.8	13.0	13.5
6:20	25.7	79.9	22.0	16.2	1.3	21.0	21.7	21.4	19.9	15.7	12.9	13.4
6:21	25.7	80.3	22.1	16.2	1.4	20.7	21.6	21.1	19.7	15.6	12.9	13.3

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
6:22	25.7	80.6	22.1	16.2	1.1	20.5	21.4	21.0	19.6	15.5	12.8	13.3
6:23	25.7	81.1	22.2	16.2	1.3	20.3	21.4	20.8	19.4	15.4	12.7	13.2
6:24	25.7	81.6	22.3	16.3	1.4	20.2	21.3	20.7	19.2	15.4	12.5	13.2
6:25	25.8	82.0	22.5	16.5	1.2	20.1	21.2	20.6	19.1	15.3	12.4	13.1
6:26	25.6	82.3	22.4	16.3	1.3	20.0	21.2	20.6	18.9	15.3	12.1	13.1
6:27	25.7	82.3	22.4	16.4	1.3	19.9	21.1	20.5	18.8	15.2	12.0	13.1
6:28	25.7	82.6	22.5	16.4	1.4	19.8	21.1	20.5	18.6	15.2	11.8	13.1
6:29	25.6	83.2	22.5	16.3	1.6	19.8	21.1	20.5	18.5	15.3	11.5	13.2
6:30	25.7	83.4	22.7	16.5	1.8	19.8	21.2	20.5	18.4	15.5	11.3	13.5
6:31	25.6	83.7	22.6	16.4	2.0	19.8	21.3	20.5	18.3	15.8	11.1	14.0
6:32	25.7	84.1	22.8	16.6	1.6	19.9	21.5	20.7	18.1	16.4	10.9	14.7
6:33	25.7	83.9	22.8	16.6	1.8	20.1	21.8	20.9	18.0	17.1	10.7	15.6
6:34	25.8	83.5	22.7	16.6	1.8	20.3	22.0	21.2	17.9	17.7	10.5	16.3
6:35	25.7	83.2	22.6	16.5	2.0	20.6	22.2	21.4	17.8	18.1	10.3	16.8
6:36	25.7	83.4	22.7	16.6	1.9	20.8	22.4	21.6	17.7	18.5	10.3	17.2
6:37	25.8	83.5	22.7	16.6	2.0	21.0	22.6	21.8	17.6	18.8	10.5	17.6
6:38	25.6	83.4	22.6	16.4	2.4	21.2	22.8	22.0	17.5	19.1	10.7	18.0
6:39	25.7	82.5	22.5	16.4	2.4	21.4	22.9	22.2	17.4	19.4	11.0	18.3
6:40	25.6	82.4	22.4	16.3	2.7	21.6	23.1	22.4	17.3	19.6	11.2	18.5
6:41	25.6	82.1	22.3	16.3	2.8	21.8	23.2	22.5	17.3	19.8	11.2	18.8
6:42	25.6	82.3	22.4	16.2	3.1	22.0	23.4	22.7	17.2	20.0	11.1	19.0
6:43	25.6	82.3	22.3	16.2	3.2	22.1	23.5	22.8	17.1	20.2	11.0	19.2
6:44	25.6	81.7	22.2	16.1	3.5	22.3	23.6	22.9	17.1	20.4	10.9	19.4
6:45	25.6	80.7	22.0	16.1	4.0	22.4	23.7	23.0	17.0	20.5	10.6	19.6

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp, amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr, oau,s	Tchwr, rp,s
6:46	25.7	80.3	22.0	16.1	4.1	22.5	23.7	23.1	16.9	20.7	10.5	19.7
6:47	25.6	80.4	21.9	16.0	4.5	22.6	23.8	23.2	16.9	20.8	10.3	19.8
6:48	25.5	80.4	21.9	16.0	4.9	22.7	23.9	23.3	16.8	20.9	10.1	20.0
6:49	25.6	80.7	22.1	16.1	5.0	22.7	23.9	23.3	16.7	21.0	10.0	20.1
6:50	25.5	80.8	22.0	16.0	6.0	22.8	24.1	23.4	16.6	21.1	9.8	20.2
6:51	25.6	80.5	22.0	16.1	6.1	22.9	24.2	23.5	16.6	21.2	9.7	20.4
6:52	25.6	80.4	22.0	16.1	6.7	23.0	24.3	23.6	16.5	21.3	9.6	20.5
6:53	25.7	80.4	22.0	16.2	7.2	23.1	24.3	23.7	16.4	21.4	9.5	20.6
6:54	25.6	79.7	21.9	16.0	7.8	23.1	24.4	23.8	16.4	21.5	9.4	20.7
6:55	25.6	78.8	21.6	15.8	8.5	23.2	24.4	23.8	16.3	21.6	9.3	20.7
6:56	25.7	78.8	21.8	16.1	9.9	23.2	24.4	23.8	16.2	21.6	9.2	20.8
6:57	25.7	78.9	21.8	16.1	11.6	23.3	24.4	23.9	16.1	21.7	9.1	20.9
6:58	25.6	78.6	21.6	15.9	14.2	23.3	24.5	23.9	16.1	21.8	9.0	21.0
6:59	25.6	78.7	21.7	15.9	17.0	23.3	24.5	23.9	16.0	21.8	8.9	21.0
7:00	25.7	77.9	21.6	15.9	19.2	23.3	23.6	23.4	15.9	21.5	8.8	20.9
7:01	25.7	78.1	21.6	15.9	21.7	23.1	23.5	23.3	15.9	21.5	8.7	20.9
7:02	25.7	78.1	21.5	15.9	24.3	23.0	23.5	23.3	15.8	21.5	8.6	21.0
7:03	25.6	78.2	21.6	15.9	26.9	22.9	23.5	23.2	15.7	21.5	8.6	21.0
7:04	25.7	77.7	21.5	15.9	30.7	22.9	23.5	23.2	15.7	21.6	8.5	21.1
7:05	25.7	77.7	21.5	15.9	32.7	22.8	23.5	23.1	15.6	21.6	8.4	21.1
7:06	26.0	77.8	21.8	16.3	33.9	22.8	23.5	23.1	15.5	21.6	8.3	21.2
7:07	25.8	77.4	21.6	16.1	34.4	22.8	23.5	23.1	15.5	21.7	8.2	21.2
7:08	25.9	77.2	21.6	16.2	34.3	22.8	23.5	23.1	15.4	21.7	8.2	21.3
7:09	25.9	77.2	21.6	16.1	34.1	22.8	23.5	23.1	15.4	21.7	8.1	21.3

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
7:10	25.9	76.9	21.5	16.1	34.5	22.8	23.5	23.2	15.3	21.8	8.0	21.4
7:11	25.8	76.6	21.4	16.0	35.4	22.8	23.5	23.2	15.3	21.8	7.9	21.4
7:12	25.9	76.5	21.5	16.1	36.1	22.8	23.6	23.2	15.2	21.9	7.9	21.5
7:13	25.9	76.4	21.5	16.1	37.2	22.8	23.6	23.2	15.1	21.9	7.8	21.5
7:14	26.0	76.3	21.5	16.2	38.6	22.8	23.6	23.2	15.1	22.0	7.7	21.6
7:15	26.0	75.7	21.4	16.1	40.2	22.8	23.6	23.2	15.0	22.0	7.8	21.6
7:16	26.0	76.0	21.4	16.1	41.0	22.9	23.6	23.2	15.0	22.1	7.9	21.7
7:17	26.0	75.8	21.4	16.1	42.6	22.9	23.7	23.3	14.9	22.1	8.2	21.7
7:18	26.1	75.3	21.4	16.3	43.1	22.9	23.7	23.3	14.9	22.1	8.6	21.8
7:19	26.0	75.4	21.3	16.1	44.4	22.9	23.7	23.3	14.9	22.2	8.9	21.8
7:20	26.0	75.2	21.3	16.1	44.9	23.0	23.7	23.4	14.9	22.2	9.2	21.9
7:21	26.0	74.7	21.2	16.1	45.9	23.0	23.8	23.4	14.8	22.2	9.5	21.9
7:22	26.2	74.9	21.4	16.3	46.8	23.0	23.8	23.4	14.8	22.3	10.3	22.0
7:23	26.1	74.4	21.2	16.2	48.1	23.1	23.8	23.4	14.8	22.3	10.6	22.0
7:24	26.0	73.9	21.0	16.0	48.8	23.1	23.8	23.5	14.8	22.4	10.6	22.1
7:25	26.2	73.7	21.1	16.2	49.3	23.1	23.9	23.5	14.8	22.4	10.6	22.1
7:26	26.2	73.6	21.1	16.2	49.8	23.1	23.9	23.5	14.8	22.4	11.1	22.1
7:27	26.2	73.8	21.1	16.2	49.6	23.2	23.9	23.5	14.8	22.5	11.7	22.2
7:28	26.2	73.5	21.0	16.1	50.2	23.2	23.9	23.6	14.8	22.5	11.9	22.2
7:29	26.2	71.8	20.7	16.0	50.1	23.2	23.9	23.6	14.8	22.5	12.5	22.2
7:30	26.3	71.1	20.6	16.0	51.1	23.3	24.0	23.6	14.8	22.6	13.6	22.3
7:31	26.3	71.5	20.7	16.1	52.5	23.3	24.0	23.7	14.9	22.6	14.6	22.3
7:32	26.2	71.2	20.6	16.0	54.1	23.4	24.0	23.7	14.9	22.6	14.7	22.3
7:33	26.3	71.0	20.6	16.0	55.2	23.4	24.0	23.7	14.9	22.7	14.7	22.4

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus,s	Tchwr,rp,s
7:34	26.4	71.2	20.7	16.2	56.7	23.4	24.1	23.8	15.0	22.7	14.9	22.4
7:35	26.4	71.0	20.7	16.2	58.0	23.5	24.1	23.8	15.0	22.7	15.0	22.4
7:36	26.3	70.7	20.5	16.0	59.4	23.5	24.1	23.8	15.0	22.7	14.7	22.4
7:37	26.4	70.4	20.5	16.0	61.3	23.5	24.1	23.8	15.0	22.8	14.4	22.5
7:38	26.3	70.2	20.5	16.0	62.5	23.5	24.1	23.8	15.1	22.8	14.4	22.5
7:39	26.5	69.9	20.6	16.2	62.9	23.5	24.2	23.9	15.1	22.8	14.4	22.5
7:40	26.4	70.2	20.5	16.1	63.1	23.6	24.2	23.9	15.1	22.8	14.8	22.5
7:41	26.4	70.1	20.5	16.1	63.4	23.6	24.2	23.9	15.1	22.8	15.9	22.5
7:42	26.5	70.1	20.6	16.2	63.7	23.6	24.2	23.9	15.1	22.9	17.0	22.6
7:43	26.4	69.2	20.3	16.0	64.3	23.6	24.2	23.9	15.2	22.9	17.1	22.6
7:44	26.4	69.2	20.3	16.0	65.0	23.7	24.2	24.0	15.2	22.9	17.0	22.6
7:45	26.6	68.8	20.4	16.2	66.2	23.7	24.3	24.0	15.2	22.9	15.5	22.6
7:46	26.4	68.9	20.2	15.9	67.0	23.7	24.3	24.0	15.2	22.9	14.2	22.6
7:47	26.4	69.0	20.3	16.0	67.9	23.7	24.3	24.0	15.2	22.9	13.1	22.7
7:48	26.5	68.9	20.3	16.1	67.3	23.7	24.3	24.0	15.1	23.0	12.1	22.7
7:49	26.6	68.3	20.3	16.1	67.1	23.7	24.3	24.0	15.1	23.0	12.9	22.7
7:50	26.6	68.5	20.4	16.2	67.3	23.7	24.3	24.0	15.0	23.0	14.0	22.7
7:51	26.6	69.2	20.5	16.3	67.8	23.7	24.3	24.0	15.0	23.0	15.0	22.7
7:52	26.6	69.1	20.5	16.3	68.3	23.7	24.3	24.0	15.0	23.0	16.4	22.7
7:53	26.5	69.1	20.4	16.1	70.3	23.7	24.3	24.0	15.1	23.0	16.7	22.7
7:54	26.6	69.1	20.5	16.3	73.6	23.7	24.3	24.0	15.1	23.0	16.8	22.8
7:55	26.7	69.2	20.6	16.4	78.8	23.8	24.4	24.1	15.1	23.1	16.9	22.8
7:56	26.7	69.5	20.7	16.4	115.2	23.8	24.4	24.1	15.2	23.1	17.0	22.8
7:57	26.7	69.4	20.6	16.4	125.4	23.9	24.5	24.2	15.2	23.1	17.2	22.8

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
7:58	26.7	69.4	20.6	16.5	95.3	23.9	24.5	24.2	15.3	23.1	17.2	22.9
7:59	26.7	69.4	20.6	16.4	94.3	23.9	24.5	24.2	15.3	23.2	17.3	22.9
8:00	26.8	69.4	20.8	16.6	95.0	23.9	24.3	24.1	15.4	23.1	16.0	22.9
8:01	26.7	69.3	20.6	16.4	95.3	23.9	24.3	24.1	15.4	23.1	15.0	22.9
8:02	26.7	69.4	20.7	16.5	95.6	23.9	24.3	24.1	15.4	23.2	14.3	22.9
8:03	26.7	69.3	20.6	16.4	95.0	23.9	24.3	24.1	15.4	23.1	13.2	22.9
8:04	26.8	69.4	20.7	16.5	94.6	23.9	24.3	24.1	15.4	23.2	13.2	22.9
8:05	26.7	69.4	20.7	16.5	93.0	23.8	24.3	24.1	15.3	23.2	14.3	22.9
8:06	26.8	69.6	20.8	16.6	91.3	23.8	24.3	24.1	15.3	23.2	16.0	22.9
8:07	26.9	68.8	20.7	16.7	92.6	23.9	24.3	24.1	15.4	23.2	17.2	22.9
8:08	26.8	69.2	20.7	16.5	93.9	23.9	24.3	24.1	15.4	23.2	17.4	22.9
8:09	26.9	69.1	20.8	16.7	98.0	23.9	24.3	24.1	15.5	23.2	16.8	22.9
8:10	26.8	69.0	20.6	16.5	101.2	23.9	24.3	24.1	15.5	23.2	14.4	23.0
8:11	26.9	68.5	20.6	16.6	105.7	23.9	24.3	24.1	15.4	23.2	12.8	23.0
8:12	26.9	68.9	20.7	16.7	112.4	23.9	24.4	24.1	15.4	23.2	13.5	23.0
8:13	26.8	68.9	20.6	16.5	115.3	23.9	24.4	24.1	15.4	23.2	15.0	23.0
8:14	26.7	69.2	20.6	16.5	119.7	23.9	24.4	24.1	15.4	23.3	16.3	23.0
8:15	26.7	68.7	20.5	16.4	125.7	23.9	24.4	24.2	15.4	23.3	17.3	23.0
8:16	26.8	68.5	20.5	16.5	130.7	23.9	24.4	24.2	15.4	23.3	17.3	23.0
8:17	26.9	68.2	20.5	16.5	176.2	24.0	24.5	24.2	15.4	23.3	17.4	23.0
8:18	26.9	68.0	20.4	16.5	173.2	24.0	24.6	24.3	15.5	23.3	17.4	23.1
8:19	26.9	67.7	20.4	16.5	143.8	24.0	24.5	24.3	15.5	23.4	16.1	23.1
8:20	27.0	68.0	20.6	16.7	145.6	24.0	24.5	24.3	15.4	23.4	13.5	23.1
8:21	27.1	66.9	20.4	16.6	146.0	24.0	24.5	24.3	15.4	23.4	12.3	23.1

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
8:22	26.9	67.2	20.3	16.5	143.9	24.0	24.5	24.2	15.3	23.4	13.2	23.1
8:23	27.0	67.9	20.6	16.7	147.8	24.0	24.5	24.2	15.3	23.4	14.2	23.1
8:24	27.0	67.7	20.5	16.7	240.6	24.0	24.6	24.3	15.2	23.4	14.2	23.1
8:25	27.1	67.4	20.6	16.8	262.6	24.0	24.7	24.4	15.2	23.4	14.2	23.2
8:26	27.3	66.5	20.5	16.9	285.4	24.1	24.8	24.4	15.2	23.5	14.8	23.2
8:27	27.4	65.2	20.3	16.9	177.6	24.1	24.7	24.4	15.2	23.5	16.2	23.2
8:28	27.4	65.5	20.4	17.0	151.4	24.1	24.6	24.4	15.2	23.5	17.0	23.2
8:29	27.3	65.4	20.3	16.9	149.8	24.1	24.6	24.4	15.2	23.5	17.1	23.2
8:30	27.4	66.0	20.5	17.0	139.4	24.2	24.6	24.4	15.3	23.5	17.2	23.2
8:31	27.4	66.0	20.5	17.1	131.6	24.2	24.6	24.4	15.3	23.5	17.2	23.2
8:32	27.5	65.5	20.4	17.1	163.7	24.2	24.6	24.4	15.3	23.5	15.5	23.2
8:33	27.5	65.8	20.5	17.1	326.1	24.2	24.8	24.5	15.3	23.5	14.2	23.2
8:34	27.6	65.4	20.6	17.3	311.5	24.2	24.9	24.6	15.2	23.6	14.2	23.3
8:35	27.6	64.8	20.3	17.1	221.2	24.2	24.9	24.5	15.2	23.6	14.3	23.3
8:36	27.6	65.3	20.5	17.2	203.2	24.2	24.8	24.5	15.2	23.6	14.4	23.3
8:37	27.7	65.2	20.6	17.4	328.8	24.3	24.9	24.6	15.2	23.6	14.5	23.3
8:38	27.7	64.9	20.5	17.3	370.2	24.3	25.1	24.7	15.2	23.7	14.1	23.3
8:39	27.8	65.0	20.6	17.5	260.8	24.3	25.0	24.7	15.1	23.7	13.3	23.4
8:40	27.8	65.7	20.8	17.6	216.6	24.4	24.9	24.6	15.1	23.7	13.1	23.3
8:41	27.8	65.7	20.8	17.6	228.6	24.4	24.9	24.6	15.1	23.7	14.0	23.4
8:42	27.9	65.8	20.9	17.8	314.1	24.4	25.0	24.7	15.2	23.7	15.6	23.4
8:43	28.1	65.5	21.0	17.9	301.6	24.5	25.1	24.8	15.2	23.7	16.8	23.4
8:44	28.1	64.7	20.9	18.0	281.6	24.5	25.1	24.8	15.3	23.8	17.6	23.4
8:45	28.2	64.3	20.8	17.9	321.8	24.6	25.2	24.9	15.4	23.8	17.7	23.5

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus,s	Tchwr,rp,s
8:46	28.1	64.6	20.8	17.9	325.4	24.6	25.3	25.0	15.4	23.9	16.3	23.5
8:47	28.2	63.9	20.8	18.0	403.4	24.7	25.4	25.0	15.4	23.9	15.2	23.5
8:48	28.1	64.7	20.9	17.9	335.6	24.7	25.4	25.1	15.4	23.9	15.1	23.5
8:49	28.1	64.7	20.8	17.8	335.1	24.7	25.4	25.1	15.5	23.9	15.0	23.6
8:50	27.9	65.2	20.8	17.7	359.7	24.8	25.4	25.1	15.5	24.0	15.1	23.6
8:51	28.2	63.7	20.6	17.8	387.1	24.8	25.5	25.1	15.5	24.0	15.0	23.6
8:52	28.2	64.0	20.8	18.0	376.8	24.8	25.5	25.2	15.5	24.0	15.0	23.6
8:53	28.2	63.8	20.7	17.9	318.8	24.8	25.5	25.1	15.4	24.0	14.4	23.6
8:54	28.1	63.5	20.5	17.7	342.0	24.8	25.4	25.1	15.4	24.0	15.1	23.6
8:55	28.1	62.8	20.4	17.7	341.6	24.9	25.5	25.2	15.4	24.0	17.1	23.6
8:56	28.2	63.7	20.7	17.9	265.2	24.9	25.4	25.1	15.5	24.0	18.3	23.7
8:57	28.2	64.5	20.9	18.0	228.5	24.9	25.3	25.1	15.5	24.0	18.3	23.6
8:58	28.2	64.7	20.9	18.0	230.5	24.9	25.2	25.1	15.6	24.0	18.1	23.6
8:59	28.2	64.7	20.9	18.0	210.6	24.9	25.2	25.0	15.6	24.0	17.8	23.7
9:00	28.2	64.8	20.9	18.0	219.4	24.9	25.4	25.1	15.7	24.1	16.4	23.7
9:01	28.2	64.6	20.9	18.0	378.4	24.9	25.6	25.2	15.6	24.1	15.1	23.8
9:02	28.2	64.4	20.8	18.0	508.3	24.9	25.8	25.4	15.6	24.2	15.1	23.8
9:03	28.4	63.8	20.9	18.2	440.7	25.0	25.9	25.5	15.6	24.3	16.2	23.9
9:04	28.5	62.1	20.5	18.1	385.3	25.1	25.9	25.5	15.6	24.3	17.3	23.9
9:05	28.5	62.8	20.7	18.1	467.0	25.1	25.9	25.5	15.6	24.3	17.4	23.9
9:06	28.4	62.5	20.6	18.1	553.8	25.2	26.1	25.6	15.6	24.4	16.1	23.9
9:07	28.6	61.7	20.6	18.3	599.0	25.3	26.2	25.7	15.6	24.4	14.8	24.0
9:08	28.8	62.0	20.8	18.5	559.0	25.3	26.1	25.7	15.6	24.3	14.9	23.8
9:09	28.8	61.1	20.5	18.4	533.7	25.3	25.9	25.6	15.6	23.9	16.3	23.2

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
9:10	29.0	61.0	20.7	18.7	598.2	25.3	25.8	25.5	15.6	23.5	17.8	22.8
9:11	28.8	60.8	20.4	18.3	567.4	25.2	25.5	25.4	15.6	22.7	18.8	21.6
9:12	28.8	61.3	20.6	18.5	546.6	25.0	25.1	25.0	15.7	21.5	18.8	20.1
9:13	28.8	60.9	20.5	18.4	578.1	24.6	24.5	24.6	15.8	20.1	18.7	18.3
9:14	28.9	60.1	20.4	18.4	508.8	24.1	23.9	24.0	15.8	18.7	18.6	16.6
9:15	29.0	60.0	20.4	18.5	371.0	23.6	23.4	23.5	15.9	18.1	18.4	16.0
9:16	28.9	60.5	20.5	18.5	341.9	23.1	23.0	23.0	15.9	17.7	18.1	15.5
9:17	28.9	60.9	20.6	18.5	315.4	22.6	22.7	22.6	16.0	17.2	16.8	15.0
9:18	28.8	61.1	20.6	18.4	269.6	22.2	22.4	22.3	16.0	17.1	15.7	15.0
9:19	28.7	62.0	20.7	18.4	246.6	21.9	22.4	22.1	16.0	17.4	15.9	15.6
9:20	28.6	62.6	20.7	18.3	282.2	21.7	22.5	22.1	16.0	17.9	16.0	16.4
9:21	28.6	62.2	20.7	18.3	237.5	21.7	22.7	22.2	16.0	18.5	15.7	17.1
9:22	28.6	62.2	20.7	18.3	285.4	21.8	22.8	22.3	16.0	18.9	15.5	17.7
9:23	28.5	63.0	20.8	18.3	385.9	21.9	23.0	22.4	16.0	19.2	14.5	18.0
9:24	28.5	62.6	20.7	18.2	511.0	22.0	23.3	22.6	15.9	19.5	13.6	18.4
9:25	28.6	62.7	20.8	18.3	457.3	22.2	23.5	22.8	15.9	19.8	13.6	18.7
9:26	28.6	62.9	20.8	18.3	602.1	22.3	23.7	23.0	15.9	20.1	14.9	19.0
9:27	28.6	62.7	20.8	18.4	532.9	22.5	23.8	23.2	15.9	20.4	17.2	19.4
9:28	28.7	62.5	20.8	18.4	572.8	22.7	24.0	23.4	15.9	20.6	17.8	19.6
9:29	28.7	61.9	20.7	18.4	582.1	22.9	24.1	23.5	16.0	20.9	17.9	19.9
9:30	28.9	62.0	20.9	18.7	576.1	23.1	24.2	23.7	16.0	21.1	16.7	20.1
9:31	29.0	62.1	21.0	18.8	581.6	23.2	24.4	23.8	16.0	21.3	15.6	20.4
9:32	29.0	61.8	20.9	18.8	578.2	23.4	24.5	23.9	16.0	21.5	15.6	20.6
9:33	29.0	62.3	21.1	18.9	604.3	23.5	24.6	24.1	16.0	21.6	15.6	20.8

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
9:34	28.9	63.4	21.2	18.8	433.7	23.6	24.6	24.1	16.0	21.8	15.6	21.0
9:35	28.8	62.8	21.0	18.6	530.3	23.7	24.7	24.2	16.0	21.9	15.6	21.1
9:36	28.8	62.6	21.0	18.7	570.1	23.8	24.8	24.3	16.0	22.1	15.7	21.3
9:37	29.1	62.6	21.2	19.0	580.3	23.9	24.9	24.4	16.0	22.2	15.4	21.5
9:38	29.1	62.6	21.2	19.0	574.4	24.0	25.0	24.5	15.9	22.4	15.4	21.6
9:39	29.1	62.7	21.2	19.0	567.8	24.1	25.0	24.6	15.9	22.5	15.6	21.7
9:40	29.1	62.9	21.3	19.1	452.9	24.2	25.0	24.6	15.9	22.6	15.6	21.9
9:41	29.1	62.9	21.3	19.1	562.2	24.2	25.1	24.7	15.9	22.7	15.9	22.0
9:42	29.1	63.1	21.3	19.1	555.9	24.3	25.2	24.8	15.9	22.8	16.0	22.1
9:43	29.0	63.1	21.3	19.0	554.1	24.4	25.3	24.8	15.9	22.9	15.6	22.2
9:44	29.1	63.3	21.4	19.2	545.1	24.5	25.3	24.9	15.9	23.0	15.7	22.3
9:45	29.1	63.5	21.5	19.2	579.2	24.5	25.4	24.9	15.9	23.1	15.8	22.4
9:46	29.2	63.6	21.6	19.4	584.5	24.6	25.4	25.0	15.9	23.2	15.8	22.5
9:47	29.3	63.4	21.6	19.4	589.8	24.6	25.5	25.1	15.9	23.3	14.6	22.6
9:48	29.3	63.4	21.6	19.4	596.0	24.7	25.5	25.1	15.9	23.3	13.5	22.7
9:49	29.1	63.9	21.6	19.3	611.7	24.7	25.6	25.2	15.9	23.4	14.3	22.8
9:50	29.3	63.5	21.7	19.5	535.1	24.8	25.6	25.2	15.9	23.5	14.3	22.9
9:51	29.2	63.9	21.7	19.4	620.3	24.8	25.7	25.3	15.9	23.6	13.5	23.0
9:52	29.1	64.3	21.6	19.3	595.7	24.9	25.7	25.3	15.8	23.6	13.4	23.1
9:53	29.2	64.3	21.8	19.4	565.4	24.9	25.7	25.3	15.8	23.7	14.6	23.1
9:54	29.2	63.5	21.6	19.3	650.1	25.0	25.8	25.4	15.8	23.8	14.7	23.2
9:55	29.3	63.1	21.6	19.5	636.2	25.0	25.8	25.4	15.8	23.6	13.6	22.9
9:56	29.3	63.3	21.6	19.4	628.1	25.0	25.6	25.3	15.8	23.2	14.6	22.5
9:57	29.1	64.6	21.8	19.4	619.1	24.9	25.5	25.2	15.8	23.0	14.8	22.2

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
9:58	29.1	64.1	21.6	19.3	645.2	24.9	25.3	25.1	15.8	22.3	14.9	21.2
9:59	29.0	64.1	21.6	19.2	663.7	24.7	25.0	24.8	15.8	21.3	17.0	20.0
10:00	29.0	63.9	21.5	19.1	673.6	24.5	24.9	24.7	15.9	20.9	19.0	19.4
10:01	29.1	64.8	21.8	19.4	673.6	24.2	24.5	24.3	16.0	19.7	18.9	17.9
10:02	28.9	65.7	21.9	19.2	643.2	23.8	23.9	23.9	16.1	18.5	18.8	16.4
10:03	28.9	64.8	21.6	19.1	644.9	23.4	23.6	23.5	16.2	18.1	18.7	16.0
10:04	29.0	63.1	21.3	19.0	632.7	23.0	23.4	23.2	16.3	17.8	18.5	15.6
10:05	29.0	62.1	21.0	18.8	630.5	22.7	23.2	22.9	16.3	17.5	18.2	15.3
10:06	29.0	61.6	20.9	18.7	640.0	22.4	23.1	22.8	16.4	17.5	16.9	15.5
10:07	29.1	61.5	20.9	18.9	647.5	22.2	23.2	22.7	16.4	17.9	15.4	16.1
10:08	29.1	61.0	20.8	18.9	643.4	22.2	23.3	22.8	16.4	18.4	14.5	16.8
10:09	29.2	60.8	20.8	19.0	649.4	22.2	23.5	22.9	16.3	19.0	15.1	17.5
10:10	29.4	60.5	21.0	19.3	515.8	22.4	23.6	23.0	16.3	19.4	16.1	18.0
10:11	29.3	61.6	21.1	19.2	583.6	22.5	23.7	23.1	16.3	19.6	16.3	18.4
10:12	29.0	61.3	20.8	18.8	670.8	22.6	23.9	23.3	16.3	20.0	16.2	18.7
10:13	29.2	61.1	20.9	19.0	692.7	22.8	24.2	23.5	16.3	20.3	16.2	19.1
10:14	29.1	61.2	20.8	18.8	703.1	23.0	24.3	23.7	16.3	20.6	16.2	19.4
10:15	29.1	61.1	20.8	18.8	697.4	23.2	24.5	23.8	16.3	20.8	16.2	19.7
10:16	29.1	60.9	20.8	18.8	695.1	23.3	24.6	24.0	16.3	21.1	16.2	20.0
10:17	29.0	61.8	20.9	18.8	618.5	23.5	24.7	24.1	16.3	21.3	16.2	20.2
10:18	29.1	61.9	21.1	19.0	690.7	23.6	24.8	24.2	16.3	21.5	16.2	20.5
10:19	29.2	61.2	21.0	19.1	522.1	23.8	24.9	24.3	16.3	21.7	16.0	20.7
10:20	29.3	61.9	21.2	19.2	404.2	23.9	24.8	24.3	16.3	21.8	14.9	20.9
10:21	29.1	61.6	21.0	19.0	715.3	23.9	25.0	24.5	16.3	22.0	14.1	21.1

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oauss	Tchwr,rp,s
10:22	29.1	61.8	21.0	18.9	686.0	24.0	25.2	24.6	16.2	22.2	14.0	21.3
10:23	28.8	62.2	20.9	18.6	609.3	24.2	25.3	24.7	16.2	22.4	14.0	21.5
10:24	29.0	63.0	21.3	19.0	355.2	24.2	25.2	24.7	16.1	22.5	14.8	21.7
10:25	28.9	62.3	20.9	18.7	405.5	24.3	25.1	24.7	16.1	22.6	16.5	21.8
10:26	29.0	62.7	21.1	18.9	228.6	24.4	25.1	24.8	16.2	22.7	17.9	21.9
10:27	28.9	62.9	21.1	18.8	243.2	24.4	25.1	24.7	16.2	22.7	17.1	22.0
10:28	28.7	64.0	21.3	18.7	255.6	24.5	25.2	24.8	16.2	22.9	15.9	22.2
10:29	28.7	64.2	21.3	18.7	263.6	24.5	25.2	24.9	16.2	23.0	14.9	22.3
10:30	28.7	64.7	21.4	18.7	301.1	24.5	25.3	24.9	16.2	23.1	14.7	22.4
10:31	28.5	64.7	21.2	18.5	371.6	24.6	25.5	25.0	16.1	23.2	16.8	22.5
10:32	28.6	64.5	21.3	18.6	491.1	24.7	25.7	25.2	16.2	23.3	17.9	22.7
10:33	28.6	64.5	21.2	18.5	375.5	24.8	25.8	25.3	16.2	23.5	16.7	22.8
10:34	28.8	64.8	21.5	18.9	340.5	24.8	25.6	25.2	16.2	23.3	15.9	22.6
10:35	28.6	65.8	21.6	18.8	308.5	24.8	25.4	25.1	16.2	22.9	15.0	22.1
10:36	28.6	66.2	21.7	18.8	295.2	24.8	25.3	25.0	16.2	22.7	14.0	21.9
10:37	28.5	66.1	21.6	18.7	290.3	24.6	25.0	24.8	16.1	22.0	15.0	21.0
10:38	28.5	66.0	21.5	18.7	275.7	24.4	24.6	24.5	16.2	21.1	17.4	19.8
10:39	28.7	66.3	21.8	19.0	275.0	24.2	24.5	24.3	16.2	20.7	18.5	19.4
10:40	28.6	65.9	21.6	18.7	303.4	24.0	24.3	24.2	16.3	20.5	18.8	19.1
10:41	28.4	66.4	21.5	18.6	351.2	23.7	24.0	23.9	16.4	19.5	18.7	17.8
10:42	28.5	67.0	21.8	18.7	425.8	23.4	23.6	23.5	16.4	18.4	18.7	16.3
10:43	28.3	67.4	21.7	18.6	531.8	23.0	23.5	23.3	16.5	17.9	18.6	15.8
10:44	28.3	67.3	21.6	18.5	428.2	22.7	23.3	23.0	16.6	17.7	18.2	15.5
10:45	28.4	67.3	21.7	18.6	338.3	22.4	23.0	22.7	16.6	17.4	16.2	15.3

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp, amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr, oau,s	Tchwr, rp,s
10:46	28.4	67.2	21.7	18.6	279.4	22.2	22.8	22.5	16.6	17.5	15.2	15.5
10:47	28.3	67.4	21.6	18.5	255.1	22.0	22.7	22.3	16.6	17.7	15.6	16.0
10:48	28.3	67.1	21.6	18.5	247.0	21.9	22.8	22.3	16.6	18.2	15.2	16.6
10:49	28.3	67.2	21.6	18.5	227.5	21.9	22.9	22.4	16.6	18.7	15.2	17.4
10:50	28.1	68.1	21.7	18.3	215.8	22.0	23.0	22.5	16.6	19.1	16.3	17.8
10:51	28.1	68.5	21.7	18.4	238.5	22.1	23.1	22.6	16.6	19.4	16.4	18.2
10:52	28.1	68.6	21.8	18.4	418.8	22.2	23.5	22.8	16.6	19.7	16.4	18.6
10:53	28.1	67.5	21.5	18.2	819.1	22.4	24.0	23.2	16.6	20.1	16.4	19.0
10:54	28.3	67.3	21.7	18.6	887.8	22.7	24.4	23.6	16.6	20.5	16.4	19.4
10:55	28.5	67.0	21.7	18.7	524.0	22.9	24.5	23.7	16.6	20.8	16.4	19.7
10:56	28.5	66.5	21.7	18.7	410.7	23.1	24.4	23.8	16.6	21.0	16.4	19.9
10:57	28.6	66.4	21.7	18.8	587.1	23.3	24.6	24.0	16.6	21.2	16.4	20.2
10:58	28.6	65.8	21.6	18.8	570.6	23.5	24.8	24.2	16.6	21.5	15.4	20.5
10:59	28.6	65.8	21.6	18.7	669.8	23.6	25.0	24.3	16.6	21.7	14.5	20.7
11:00	28.6	66.8	21.8	18.9	656.4	23.8	25.0	24.4	16.5	21.8	15.1	20.9
11:01	28.2	67.1	21.6	18.4	671.8	23.9	25.1	24.5	16.5	22.0	16.2	21.1
11:02	28.5	66.9	21.7	18.7	850.4	24.0	25.2	24.6	16.5	22.2	17.5	21.3
11:03	28.5	66.2	21.6	18.7	830.4	24.2	25.4	24.8	16.6	22.3	18.8	21.5
11:04	28.6	65.2	21.5	18.7	639.7	24.3	25.4	24.8	16.6	22.4	18.8	21.6
11:05	28.9	65.5	21.8	19.2	123.4	24.4	25.0	24.7	16.6	22.4	18.8	21.7
11:06	28.6	66.3	21.7	18.8	102.3	24.4	24.6	24.5	16.7	22.4	18.1	21.8
11:07	28.6	66.5	21.7	18.8	94.7	24.3	24.6	24.5	16.7	22.5	15.6	21.9
11:08	28.3	67.4	21.7	18.6	91.3	24.3	24.6	24.4	16.6	22.6	14.1	22.0
11:09	28.2	68.1	21.8	18.5	91.3	24.2	24.6	24.4	16.6	22.6	14.0	22.1

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
11:10	28.2	67.9	21.7	18.4	93.8	24.2	24.6	24.4	16.5	22.7	14.8	22.2
11:11	28.3	69.4	22.1	18.7	99.0	24.2	24.6	24.4	16.5	22.8	16.0	22.3
11:12	28.0	70.1	22.1	18.5	102.9	24.2	24.7	24.4	16.5	22.9	17.3	22.4
11:13	28.1	70.8	22.2	18.6	100.8	24.2	24.7	24.5	16.5	22.9	17.7	22.5
11:14	28.1	70.7	22.3	18.7	96.0	24.2	24.7	24.5	16.5	23.0	16.6	22.5
11:15	27.9	70.8	22.1	18.4	86.9	24.2	24.8	24.5	16.5	23.1	17.4	22.6
11:16	28.0	71.1	22.2	18.5	77.1	24.3	24.8	24.5	16.6	23.1	18.3	22.7
11:17	27.9	70.9	22.1	18.4	71.1	24.3	24.8	24.5	16.6	23.2	18.3	22.8
11:18	28.0	70.8	22.2	18.4	64.9	24.3	24.8	24.6	16.6	23.2	18.3	22.8
11:19	27.9	71.2	22.2	18.5	57.9	24.3	24.8	24.6	16.6	23.3	18.3	22.9
11:20	27.7	71.8	22.2	18.2	48.1	24.4	24.8	24.6	16.6	23.3	16.5	22.9
11:21	27.6	72.5	22.2	18.1	40.6	24.3	24.8	24.6	16.6	23.3	13.9	23.0
11:22	27.5	73.3	22.3	18.1	38.6	24.3	24.7	24.5	16.5	23.2	12.5	22.8
11:23	27.4	72.7	22.1	17.8	45.6	24.2	24.5	24.4	16.5	22.8	12.5	22.3
11:24	27.2	72.7	21.8	17.5	62.1	24.1	24.4	24.3	16.4	22.5	14.0	22.0
11:25	27.0	76.1	22.4	17.6	86.4	24.0	24.4	24.2	16.4	22.5	15.5	21.9
11:26	26.8	76.9	22.4	17.5	116.0	24.0	24.4	24.2	16.4	22.4	15.9	21.8
11:27	26.7	74.3	21.8	17.1	144.8	23.9	24.4	24.2	16.4	22.3	16.7	21.7
11:28	26.7	76.1	22.1	17.2	168.8	23.9	24.5	24.2	16.4	22.2	18.0	21.5
11:29	26.5	75.6	21.9	16.9	203.9	23.9	24.5	24.2	16.4	22.1	18.0	21.4
11:30	26.5	74.5	21.6	16.8	242.5	23.8	24.5	24.2	16.4	22.1	17.9	21.3
11:31	26.4	73.0	21.1	16.4	275.4	23.8	24.6	24.2	16.4	22.0	18.0	21.3
11:32	26.2	76.0	21.6	16.4	563.3	23.8	24.8	24.3	16.4	22.0	18.0	21.2
11:33	26.1	75.0	21.3	16.2	864.1	23.9	25.1	24.5	16.5	22.1	18.0	21.2

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oauss	Tchwr,rp,s
11:34	26.3	73.2	21.1	16.3	905.1	24.0	25.3	24.6	16.5	22.1	17.7	21.1
11:35	26.4	74.0	21.4	16.5	939.6	24.1	25.4	24.7	16.4	22.1	16.1	21.1
11:36	26.4	73.2	21.2	16.4	941.2	24.1	25.4	24.7	16.4	22.0	15.7	21.0
11:37	26.6	72.7	21.3	16.7	940.4	24.1	25.4	24.8	16.4	22.0	15.9	21.0
11:38	26.7	73.9	21.6	16.9	796.6	24.2	25.3	24.8	16.3	21.9	16.1	20.9
11:39	26.9	74.4	21.9	17.3	726.1	24.2	25.3	24.7	16.3	21.9	16.2	20.9
11:40	27.1	72.6	21.8	17.5	318.7	24.2	25.0	24.6	16.3	21.8	16.2	20.8
11:41	27.2	71.3	21.6	17.4	246.2	24.1	24.6	24.3	16.3	21.6	16.1	20.6
11:42	27.2	71.4	21.5	17.3	197.3	23.9	24.1	24.0	16.3	20.8	16.1	19.6
11:43	27.2	71.8	21.6	17.4	190.8	23.6	23.7	23.7	16.3	19.9	16.1	18.6
11:44	27.0	72.9	21.8	17.4	212.5	23.3	23.6	23.4	16.3	19.6	16.0	18.3
11:45	27.0	72.1	21.6	17.2	242.7	23.1	23.5	23.3	16.3	19.4	16.3	18.0
11:46	27.0	72.4	21.6	17.3	238.5	22.9	23.3	23.1	16.3	19.2	17.9	17.7
11:47	27.0	73.2	21.8	17.3	233.3	22.7	23.2	22.9	16.4	19.0	18.0	17.5
11:48	27.0	73.3	21.8	17.3	216.8	22.5	23.1	22.8	16.4	19.1	18.1	17.7
11:49	27.0	74.9	22.2	17.5	224.2	22.5	23.2	22.8	16.5	19.3	18.1	18.1
11:50	26.7	75.5	22.0	17.2	210.6	22.4	23.3	22.8	16.5	19.6	17.2	18.4
11:51	26.6	76.5	22.2	17.2	227.9	22.4	23.4	22.9	16.5	20.0	16.3	19.0
11:52	26.5	77.1	22.2	17.1	219.1	22.5	23.5	23.0	16.5	20.3	16.3	19.3
11:53	26.4	77.4	22.2	17.0	146.9	22.6	23.5	23.0	16.5	20.5	16.3	19.6
11:54	26.3	78.4	22.3	16.9	94.9	22.6	23.4	23.0	16.5	20.6	17.3	19.8
11:55	26.3	78.9	22.3	16.9	69.3	22.7	23.4	23.0	16.6	20.7	18.1	20.0
11:56	26.2	79.6	22.4	16.8	54.9	22.7	23.4	23.1	16.6	20.9	18.2	20.2
11:57	26.1	80.0	22.4	16.7	45.8	22.8	23.4	23.1	16.6	21.0	18.2	20.4

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่วันที่ 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
11:58	26.0	81.0	22.5	16.7	44.3	22.8	23.5	23.2	16.7	21.2	18.2	20.5
11:59	25.9	81.4	22.5	16.6	46.1	22.9	23.6	23.2	16.7	21.3	18.2	20.7
12:00	26.0	81.6	22.6	16.7	48.5	22.9	23.6	23.2	16.7	21.4	17.4	20.9
12:01	26.0	81.4	22.5	16.7	49.4	23.0	23.6	23.3	16.7	21.6	17.4	21.0
12:02	26.0	80.7	22.5	16.7	48.5	23.0	23.7	23.3	16.7	21.7	17.2	21.1
12:03	26.0	81.7	22.6	16.8	45.9	23.0	23.7	23.4	16.7	21.8	14.8	21.3
12:04	26.0	80.8	22.4	16.6	41.4	23.1	23.7	23.4	16.6	21.9	13.9	21.4
12:05	25.6	84.2	22.7	16.4	42.8	23.1	23.8	23.4	16.6	22.0	14.7	21.5
12:06	25.0	88.3	22.9	15.9	52.4	23.1	23.8	23.5	16.6	22.0	15.9	21.6
12:07	24.7	88.7	22.7	15.5	63.2	23.2	23.9	23.5	16.6	22.1	17.2	21.7
12:08	24.6	89.6	22.8	15.5	75.2	23.2	23.9	23.6	16.7	22.2	18.3	21.8
12:09	24.4	90.3	22.7	15.2	92.3	23.3	24.0	23.6	16.7	22.3	18.4	21.9
12:10	24.4	91.3	22.9	15.3	112.4	23.3	24.1	23.7	16.8	22.4	18.4	22.0
12:11	24.3	91.2	22.7	15.2	132.6	23.4	24.2	23.8	16.8	22.5	18.5	22.1
12:12	24.4	90.1	22.7	15.3	160.3	23.4	24.3	23.8	16.9	22.6	17.6	22.2
12:13	24.3	90.1	22.5	15.0	207.5	23.5	24.4	23.9	16.9	22.7	16.6	22.3
12:14	24.3	90.6	22.7	15.1	285.7	23.6	24.6	24.1	16.9	22.8	16.6	22.3
12:15	24.3	87.0	22.0	14.8	356.1	23.7	24.8	24.2	16.9	22.9	15.7	22.5
12:16	24.4	87.0	22.1	15.0	417.9	23.8	25.0	24.4	16.9	23.1	15.7	22.6
12:17	24.3	87.1	22.0	14.8	449.0	23.9	25.2	24.5	16.9	23.2	17.6	22.6
12:18	24.3	87.5	22.1	14.9	469.0	24.0	25.3	24.7	16.9	23.2	18.0	22.7
12:19	24.4	88.1	22.3	15.0	767.3	24.2	25.6	24.9	16.9	23.4	17.2	22.8
12:20	24.6	88.0	22.5	15.3	1035.3	24.4	26.2	25.3	16.9	23.7	17.1	23.0

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
12:21	24.7	88.2	22.6	15.5	1027.7	24.6	26.4	25.5	17.0	23.8	16.0	23.1
12:22	24.9	88.0	22.7	15.7	841.4	24.8	26.4	25.6	16.9	23.8	15.8	23.2
12:23	24.9	86.5	22.5	15.6	542.9	24.9	26.0	25.5	16.9	23.8	16.3	23.1
12:24	24.9	88.4	22.9	15.9	367.5	24.9	25.7	25.3	16.9	23.7	16.1	23.1
12:25	25.0	87.4	22.8	15.9	895.4	24.9	25.9	25.4	16.9	23.7	16.5	23.2
12:26	25.3	87.8	23.1	16.4	971.0	24.9	26.1	25.5	16.9	23.9	16.8	23.3
12:27	25.4	83.9	22.5	16.1	702.8	25.0	26.1	25.5	17.0	23.9	16.8	23.3
12:28	25.5	86.5	23.1	16.5	750.8	25.0	25.9	25.5	17.0	23.7	16.8	23.1
12:29	25.5	86.3	23.1	16.5	860.4	25.0	25.9	25.5	17.0	23.4	16.9	22.7
12:30	25.6	87.8	23.4	16.8	890.0	25.0	25.8	25.4	17.0	23.1	18.1	22.3
12:31	26.0	86.5	23.5	17.2	874.5	24.9	25.6	25.2	17.1	22.4	19.2	21.4
12:32	26.1	82.8	22.9	17.0	869.5	24.7	25.2	25.0	17.1	21.5	19.3	20.2
12:33	26.2	84.3	23.3	17.3	873.2	24.5	25.0	24.8	17.2	21.1	19.3	19.8
12:34	26.2	84.5	23.4	17.4	879.0	24.3	24.9	24.6	17.3	20.9	18.8	19.5
12:35	26.6	84.4	23.7	17.9	815.4	24.1	24.7	24.4	17.3	20.5	17.6	19.1
12:36	26.6	83.0	23.5	17.8	619.7	23.9	24.4	24.2	17.4	20.2	17.6	18.7
12:37	26.9	81.8	23.5	18.1	724.8	23.7	24.2	23.9	17.4	19.9	16.4	18.4
12:38	27.1	81.1	23.6	18.3	841.4	23.5	24.2	23.8	17.4	19.7	16.4	18.2
12:39	27.2	80.5	23.6	18.5	827.0	23.3	24.1	23.7	17.4	19.5	17.8	17.9
12:40	27.4	78.0	23.2	18.4	828.6	23.2	24.0	23.6	17.5	19.4	18.0	17.7
12:41	27.4	76.5	22.9	18.3	824.7	23.1	23.9	23.5	17.5	19.2	17.0	17.6
12:42	27.2	76.0	22.6	18.0	825.5	22.9	23.9	23.4	17.5	19.2	15.8	17.6
12:43	27.0	79.0	23.1	18.0	826.7	22.9	23.9	23.4	17.4	19.4	15.4	18.0
12:44	27.2	76.7	22.7	18.0	831.5	22.9	24.0	23.4	17.4	19.7	15.3	18.4

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
12:45	27.1	76.0	22.5	17.8	830.2	22.9	24.1	23.5	17.4	20.1	15.3	18.9
12:46	26.8	76.6	22.4	17.4	832.4	23.0	24.2	23.6	17.3	20.4	15.3	19.3
12:47	27.0	76.2	22.5	17.7	830.0	23.1	24.3	23.7	17.3	20.6	15.2	19.5
12:48	27.0	75.9	22.4	17.7	830.7	23.2	24.4	23.8	17.3	20.9	15.2	19.8
12:49	27.3	75.7	22.7	18.1	830.4	23.3	24.5	23.9	17.2	21.1	15.1	20.1
12:50	27.4	75.8	22.8	18.2	830.7	23.4	24.7	24.0	17.2	21.3	15.0	20.3
12:51	27.5	74.8	22.6	18.2	829.4	23.5	24.8	24.1	17.2	21.5	15.0	20.5
12:52	27.7	74.7	22.8	18.5	829.4	23.6	24.9	24.2	17.1	21.6	15.1	20.7
12:53	27.6	74.0	22.6	18.3	829.5	23.7	25.0	24.4	17.1	21.8	15.1	20.9
12:54	27.6	74.6	22.7	18.4	834.3	23.9	25.0	24.4	17.1	22.0	15.2	21.1
12:55	27.7	73.7	22.5	18.3	830.8	24.0	25.1	24.6	17.1	22.1	16.1	21.3
12:56	27.7	72.9	22.4	18.3	828.0	24.1	25.2	24.6	17.1	22.3	17.1	21.4
12:57	27.8	73.4	22.6	18.5	832.3	24.2	25.3	24.7	17.1	22.4	17.2	21.6
12:58	27.6	73.7	22.5	18.3	830.8	24.3	25.4	24.8	17.1	22.5	17.2	21.7
12:59	27.8	73.8	22.7	18.6	832.9	24.4	25.5	24.9	17.1	22.7	17.1	21.9
13:00	27.8	72.6	22.4	18.4	832.1	24.5	25.6	25.0	17.1	22.8	17.1	22.0
13:01	28.0	72.9	22.7	18.7	825.9	24.6	25.7	25.1	17.1	22.9	15.7	22.2
13:02	27.7	71.7	22.2	18.2	830.9	24.6	25.7	25.2	17.0	23.0	14.5	22.3
13:03	27.8	71.4	22.1	18.3	828.6	24.7	25.8	25.2	17.0	23.1	15.5	22.4
13:04	27.7	71.6	22.1	18.1	822.1	24.8	25.8	25.3	16.9	23.2	15.6	22.5
13:05	27.6	72.1	22.1	18.1	826.9	24.8	25.9	25.3	16.9	23.3	15.3	22.6
13:06	27.6	71.8	22.1	18.0	824.3	24.9	25.9	25.4	16.9	23.4	17.1	22.7
13:07	27.7	72.8	22.3	18.2	828.0	25.0	26.0	25.5	16.9	23.5	18.3	22.8
13:08	27.7	72.7	22.3	18.2	827.9	25.0	26.0	25.5	16.9	23.6	17.4	22.9

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
13:09	27.8	71.6	22.2	18.3	825.9	25.1	26.0	25.6	16.9	23.6	16.7	22.9
13:10	27.9	68.7	21.6	18.0	825.6	25.1	26.0	25.5	16.9	23.3	15.6	22.5
13:11	28.1	69.5	22.0	18.5	828.0	25.1	25.9	25.5	16.8	23.0	14.5	22.2
13:12	27.9	69.3	21.7	18.1	821.3	25.0	25.8	25.4	16.8	22.9	14.3	22.1
13:13	27.9	69.7	21.8	18.2	813.3	25.0	25.8	25.4	16.7	22.8	15.5	21.9
13:14	28.0	70.1	22.0	18.4	812.2	24.9	25.5	25.2	16.7	22.1	16.9	20.9
13:15	28.0	70.4	22.1	18.4	812.7	24.7	25.2	24.9	16.8	21.2	17.9	19.8
13:16	28.0	69.7	21.9	18.3	817.1	24.5	25.0	24.7	16.8	20.9	19.1	19.5
13:17	27.9	70.0	21.9	18.2	822.4	24.3	24.8	24.6	16.8	20.7	18.3	19.2
13:18	28.0	69.3	21.8	18.3	825.1	24.1	24.7	24.4	16.9	20.4	16.6	18.9
13:19	28.1	69.3	22.0	18.5	816.9	23.9	24.5	24.2	16.9	20.1	16.4	18.5
13:20	28.3	68.0	21.8	18.5	821.4	23.7	24.4	24.1	16.9	19.9	17.8	18.3
13:21	28.4	68.1	21.9	18.7	821.1	23.6	24.3	23.9	16.9	19.7	17.8	18.0
13:22	28.4	68.3	22.0	18.7	816.3	23.4	24.2	23.8	16.9	19.5	16.1	17.8
13:23	28.4	67.9	21.8	18.7	812.2	23.3	24.2	23.7	16.9	19.6	15.1	18.0
13:24	28.4	68.3	22.0	18.8	814.9	23.2	24.2	23.7	16.9	19.8	14.9	18.4
13:25	28.4	68.9	22.1	18.9	818.6	23.2	24.3	23.7	16.8	20.0	14.9	18.7
13:26	28.4	67.7	21.9	18.7	817.1	23.2	24.4	23.8	16.8	20.5	15.0	19.2
13:27	28.3	68.7	22.0	18.7	744.3	23.3	24.5	23.9	16.8	20.8	15.0	19.6
13:28	28.2	69.5	22.1	18.6	817.9	23.4	24.6	24.0	16.8	21.0	15.0	19.9
13:29	28.1	68.9	21.9	18.4	814.3	23.5	24.7	24.1	16.8	21.2	15.6	20.1
13:30	28.1	69.4	22.0	18.5	823.9	23.6	24.9	24.2	16.8	21.4	16.6	20.4
13:31	28.3	68.4	21.9	18.7	835.3	23.8	25.0	24.4	16.8	21.6	16.8	20.7
13:32	28.6	68.1	22.1	19.1	836.4	23.9	25.1	24.5	16.8	21.8	16.8	20.9

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaui,s	Tchwr,rp,s
13:33	28.8	67.7	22.2	19.2	824.4	24.0	25.2	24.6	16.8	22.0	16.8	21.1
13:34	28.6	68.0	22.1	19.0	843.0	24.2	25.3	24.8	16.8	22.2	16.8	21.3
13:35	28.6	67.6	22.0	19.0	857.1	24.3	25.5	24.9	16.8	22.4	16.9	21.5
13:36	28.5	68.8	22.2	19.0	868.5	24.4	25.6	25.0	16.8	22.6	16.9	21.7
13:37	28.4	69.6	22.3	19.0	843.5	24.5	25.7	25.1	16.8	22.7	16.1	21.9
13:38	28.5	68.7	22.2	19.0	837.7	24.6	25.7	25.2	16.8	22.8	15.2	22.0
13:39	28.6	69.1	22.4	19.2	864.8	24.7	25.8	25.3	16.8	23.0	14.3	22.2
13:40	28.5	68.8	22.2	19.0	794.3	24.8	25.8	25.3	16.8	23.1	13.4	22.3
13:41	28.6	68.3	22.2	19.1	838.1	24.9	25.9	25.4	16.7	23.2	13.0	22.4
13:42	28.7	68.5	22.3	19.2	843.3	24.9	26.0	25.4	16.6	23.3	12.7	22.5
13:43	28.4	69.3	22.2	18.9	838.3	25.0	26.0	25.5	16.6	23.3	12.8	22.5
13:44	28.4	69.9	22.4	19.0	826.0	25.0	25.9	25.4	16.6	23.1	13.4	22.2
13:45	28.4	69.9	22.3	18.9	821.5	25.0	25.8	25.4	16.5	22.8	14.4	21.9
13:46	28.2	70.2	22.3	18.7	815.1	24.9	25.7	25.3	16.5	22.7	15.3	21.7
13:47	28.1	70.5	22.2	18.6	807.7	24.9	25.5	25.2	16.6	22.0	15.4	20.8
13:48	28.2	69.8	22.2	18.7	811.4	24.7	25.2	24.9	16.6	21.2	15.5	19.9
13:49	28.1	70.1	22.1	18.6	756.3	24.5	25.0	24.7	16.6	20.9	16.0	19.4
13:50	28.1	70.2	22.1	18.5	543.5	24.2	24.5	24.3	16.6	19.9	17.4	18.1
13:51	28.1	70.5	22.2	18.6	811.0	23.8	24.0	23.9	16.7	18.7	17.9	16.7
13:52	28.0	70.4	22.1	18.5	801.6	23.4	23.8	23.6	16.8	18.3	16.8	16.2
13:53	28.1	70.6	22.2	18.5	803.1	23.1	23.6	23.3	16.8	18.0	16.6	15.9
13:54	28.2	69.3	22.0	18.6	804.6	22.8	23.5	23.1	16.8	18.0	16.2	16.0
13:55	28.3	69.1	22.1	18.8	715.9	22.6	23.4	23.0	16.9	18.2	15.5	16.3
13:56	28.3	69.4	22.1	18.7	811.6	22.5	23.5	23.0	16.9	18.6	16.2	16.8

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp, amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr, oau,s	Tchwr, rp,s
13:57	28.2	68.9	21.9	18.5	789.5	22.5	23.7	23.1	16.9	19.1	16.5	17.5
13:58	28.2	69.5	22.1	18.6	810.9	22.6	23.9	23.2	16.9	19.5	15.8	18.1
13:59	28.1	69.8	22.0	18.5	459.9	22.7	23.9	23.3	16.9	19.8	15.5	18.5
14:00	28.1	70.8	22.3	18.7	374.3	22.8	23.9	23.4	16.9	20.1	15.5	18.8
14:01	28.0	70.5	22.1	18.5	798.2	22.9	24.2	23.6	16.9	20.4	15.4	19.2
14:02	28.1	69.7	22.0	18.5	819.7	23.1	24.5	23.8	16.9	20.7	15.4	19.6
14:03	28.1	69.3	21.9	18.4	809.6	23.3	24.7	24.0	16.9	21.0	15.4	19.9
14:04	28.1	69.4	22.0	18.5	808.0	23.4	24.8	24.1	16.9	21.2	14.4	20.1
14:05	28.1	68.8	21.9	18.5	810.4	23.6	24.9	24.3	16.8	21.5	13.6	20.4
14:06	28.3	69.1	22.1	18.7	815.4	23.7	25.1	24.4	16.8	21.7	13.6	20.7
14:07	28.2	68.6	21.9	18.6	826.2	23.9	25.2	24.5	16.7	21.9	13.6	20.9
14:08	28.4	68.1	21.9	18.8	804.3	24.0	25.3	24.7	16.7	22.1	13.5	21.1
14:09	28.5	68.0	22.0	18.8	465.9	24.1	25.2	24.7	16.7	22.2	13.1	21.3
14:10	28.4	68.1	21.9	18.7	740.5	24.2	25.3	24.8	16.6	22.4	13.2	21.5
14:11	28.4	68.6	22.1	18.8	845.9	24.3	25.6	25.0	16.6	22.6	13.8	21.7
14:12	28.3	68.5	21.9	18.6	833.3	24.5	25.7	25.1	16.6	22.7	13.7	21.9
14:13	28.3	68.8	22.0	18.7	825.4	24.6	25.8	25.2	16.5	22.9	14.2	22.0
14:14	28.2	69.0	22.0	18.6	709.4	24.7	25.8	25.2	16.5	23.0	14.1	22.2
14:15	28.3	68.8	22.0	18.7	538.4	24.7	25.7	25.2	16.5	23.1	13.4	22.3
14:16	28.3	69.0	22.1	18.8	474.7	24.8	25.7	25.2	16.5	23.1	12.6	22.4
14:17	28.4	67.4	21.8	18.7	816.8	24.8	25.8	25.3	16.4	23.2	12.1	22.5
14:18	28.5	67.1	21.8	18.8	801.9	24.9	26.0	25.4	16.4	23.1	12.3	22.3
14:19	28.5	67.6	21.9	18.8	788.3	24.9	25.9	25.4	16.3	22.8	12.4	21.9
14:20	28.5	66.6	21.7	18.7	780.7	24.9	25.8	25.3	16.3	22.8	12.4	21.9

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
14:21	28.4	67.8	21.9	18.8	770.0	24.8	25.6	25.2	16.3	22.3	13.1	21.2
14:22	28.3	69.2	22.1	18.8	773.3	24.7	25.3	25.0	16.3	21.5	14.1	20.2
14:23	28.4	68.5	22.0	18.8	769.4	24.6	25.2	24.9	16.3	21.1	15.0	19.7
14:24	28.3	67.9	21.8	18.6	757.2	24.3	24.8	24.6	16.4	20.2	15.6	18.6
14:25	28.4	68.7	22.1	18.8	760.2	24.0	24.3	24.2	16.4	19.1	16.4	17.1
14:26	28.4	68.0	21.9	18.7	754.3	23.6	24.1	23.9	16.5	18.6	18.0	16.6
14:27	28.7	67.4	22.0	19.0	745.2	23.3	23.9	23.6	16.6	18.3	18.3	16.3
14:28	29.0	67.5	22.4	19.6	742.1	23.0	23.6	23.3	16.7	18.1	17.4	16.0
14:29	28.7	67.1	22.0	19.1	741.9	22.8	23.5	23.2	16.7	17.9	16.9	15.8
14:30	28.6	67.7	22.0	18.9	737.6	22.6	23.5	23.0	16.8	18.0	16.3	16.1
14:31	28.5	68.0	22.0	18.8	727.2	22.5	23.6	23.0	16.8	18.4	15.0	16.7
14:32	28.5	67.8	21.9	18.8	724.8	22.5	23.7	23.1	16.8	18.9	14.4	17.3
14:33	28.4	68.1	22.0	18.8	732.6	22.6	23.8	23.2	16.8	19.3	14.9	17.9
14:34	28.1	68.7	21.8	18.4	731.5	22.7	24.0	23.3	16.8	19.7	15.6	18.4
14:35	28.4	68.7	22.1	18.8	740.6	22.8	24.2	23.5	16.8	20.0	15.6	18.7
14:36	28.4	68.9	22.1	18.8	745.5	23.0	24.3	23.6	16.8	20.3	15.6	19.1
14:37	28.6	68.4	22.2	19.1	755.6	23.2	24.5	23.8	16.8	20.6	15.5	19.4
14:38	28.8	67.5	22.2	19.3	800.4	23.3	24.7	24.0	16.9	20.9	15.5	19.8
14:39	28.9	67.3	22.2	19.3	791.7	23.5	24.9	24.2	16.9	21.2	15.5	20.1
14:40	28.8	67.2	22.1	19.2	782.3	23.7	25.0	24.3	16.9	21.4	14.7	20.3
14:41	28.9	66.2	22.0	19.3	738.4	23.8	25.1	24.5	16.8	21.6	14.1	20.6
14:42	28.8	67.1	22.1	19.3	653.7	24.0	25.1	24.5	16.8	21.8	14.2	20.8
14:43	28.9	67.3	22.2	19.3	731.4	24.1	25.2	24.6	16.8	22.0	14.0	21.0
14:44	28.8	67.2	22.1	19.3	722.5	24.2	25.3	24.7	16.8	22.2	13.7	21.2

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp, amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr, oau,s	Tchwr, rp,s
14:45	28.6	67.7	22.1	19.1	691.3	24.3	25.4	24.8	16.7	22.3	13.7	21.4
14:46	28.6	67.3	22.0	19.0	684.9	24.4	25.4	24.9	16.7	22.5	13.9	21.6
14:47	28.7	67.6	22.1	19.1	681.3	24.5	25.5	25.0	16.7	22.6	14.1	21.8
14:48	28.8	66.5	21.9	19.1	677.5	24.6	25.6	25.1	16.7	22.8	14.0	21.9
14:49	28.9	66.0	21.9	19.3	672.1	24.6	25.7	25.1	16.6	22.9	13.2	22.1
14:50	29.1	65.5	22.0	19.5	669.7	24.7	25.7	25.2	16.6	23.0	13.1	22.2
14:51	29.1	64.9	21.8	19.4	666.0	24.8	25.8	25.3	16.6	23.1	13.1	22.3
14:52	29.1	66.3	22.2	19.6	668.4	24.8	25.7	25.3	16.5	22.9	13.2	22.1
14:53	29.1	65.8	22.0	19.5	668.8	24.9	25.7	25.3	16.5	22.7	14.0	21.8
14:54	29.0	65.6	21.9	19.3	668.6	24.9	25.7	25.3	16.5	22.7	14.0	21.8
14:55	28.8	66.5	21.9	19.1	669.4	24.8	25.5	25.1	16.5	22.2	13.4	21.1
14:56	28.8	67.0	22.1	19.2	674.2	24.7	25.2	24.9	16.5	21.4	13.1	20.1
14:57	28.6	67.4	22.0	18.9	683.4	24.5	25.0	24.8	16.5	21.1	13.8	19.7
14:58	28.7	67.4	22.1	19.2	688.5	24.3	24.8	24.6	16.5	20.6	14.9	19.1
14:59	28.8	67.0	22.1	19.2	692.4	24.1	24.4	24.3	16.6	19.6	15.5	17.8
15:00	29.0	65.9	22.0	19.3	698.3	23.7	24.1	23.9	16.6	18.8	15.7	16.8
15:01	29.1	66.4	22.2	19.5	697.1	23.4	23.9	23.7	16.6	18.5	16.0	16.5
15:02	29.0	66.9	22.2	19.4	692.5	23.2	23.8	23.5	16.7	18.3	15.4	16.2
15:03	29.0	66.7	22.1	19.4	700.7	22.9	23.6	23.3	16.7	18.0	14.2	16.0
15:04	28.8	66.8	22.0	19.2	703.3	22.7	23.5	23.1	16.7	18.1	13.3	16.1
15:05	28.7	66.9	22.0	19.1	595.8	22.5	23.5	23.0	16.7	18.3	13.2	16.4
15:06	28.9	67.0	22.1	19.3	695.3	22.5	23.6	23.0	16.7	18.6	13.4	17.0
15:07	28.8	66.8	22.0	19.1	680.6	22.5	23.8	23.2	16.7	19.2	13.4	17.6
15:08	28.7	66.4	21.8	19.0	437.1	22.6	23.8	23.2	16.7	19.5	13.3	18.2

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
15:09	28.8	67.2	22.1	19.2	623.4	22.7	23.9	23.3	16.7	19.9	13.3	18.6
15:10	28.8	67.1	22.1	19.2	469.9	22.8	24.1	23.5	16.6	20.2	13.2	18.9
15:11	28.4	68.1	22.0	18.8	475.1	23.0	24.1	23.6	16.6	20.4	13.2	19.2
15:12	28.3	68.9	22.1	18.7	334.0	23.1	24.2	23.6	16.6	20.7	13.6	19.5
15:13	28.2	69.2	22.0	18.6	297.3	23.2	24.2	23.7	16.6	20.9	15.3	19.8
15:14	28.2	69.9	22.1	18.6	344.5	23.3	24.3	23.8	16.7	21.1	17.1	20.1
15:15	28.2	69.3	22.0	18.6	325.4	23.4	24.4	23.9	16.7	21.3	17.2	20.3
15:16	28.3	69.5	22.2	18.8	241.2	23.5	24.5	24.0	16.8	21.5	17.2	20.6
15:17	28.2	70.0	22.2	18.8	206.4	23.6	24.5	24.1	16.8	21.6	16.1	20.8
15:18	28.4	69.7	22.3	19.0	200.9	23.7	24.5	24.1	16.8	21.8	15.2	21.0
15:19	28.3	69.7	22.3	18.9	201.5	23.8	24.6	24.2	16.8	21.9	15.2	21.1
15:20	28.3	69.9	22.3	18.9	206.5	23.9	24.7	24.3	16.8	22.1	14.3	21.3
15:21	28.4	69.9	22.4	19.0	214.1	23.9	24.8	24.3	16.8	22.2	13.5	21.5
15:22	28.4	69.8	22.3	19.0	224.0	24.0	24.9	24.4	16.7	22.4	13.4	21.6
15:23	28.2	69.2	22.0	18.6	239.8	24.0	24.9	24.5	16.7	22.5	12.9	21.8
15:24	28.2	69.0	22.0	18.6	262.0	24.1	25.0	24.6	16.7	22.6	12.3	21.9
15:25	28.1	69.5	22.0	18.5	250.0	24.2	25.1	24.6	16.6	22.7	12.7	22.1
15:26	28.0	69.1	21.8	18.3	257.6	24.2	25.1	24.7	16.6	22.8	12.7	22.2
15:27	28.2	69.6	22.1	18.6	392.8	24.3	25.3	24.8	16.5	23.0	12.2	22.3
15:28	28.0	69.0	21.8	18.3	283.0	24.4	25.4	24.9	16.5	23.1	12.6	22.4
15:29	28.0	69.8	22.0	18.4	245.5	24.4	25.3	24.9	16.4	23.1	13.2	22.5
15:30	28.1	70.0	22.1	18.5	225.6	24.5	25.3	24.9	16.4	23.2	12.5	22.6
15:31	28.0	69.9	22.0	18.4	219.9	24.5	25.3	24.9	16.4	23.3	12.5	22.7
15:32	27.8	70.8	22.0	18.2	217.8	24.6	25.3	25.0	16.3	23.3	13.9	22.8

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
15:33	27.8	71.4	22.1	18.2	216.1	24.6	25.3	24.9	16.3	23.2	14.6	22.6
15:34	27.8	72.3	22.3	18.3	213.9	24.6	25.2	24.9	16.3	22.9	14.6	22.2
15:35	27.7	72.1	22.2	18.2	211.4	24.5	25.2	24.8	16.3	22.8	14.6	22.1
15:36	27.7	72.1	22.2	18.2	208.9	24.5	25.1	24.8	16.3	22.7	14.6	22.0
15:37	27.7	71.5	22.1	18.2	206.0	24.5	25.1	24.8	16.3	22.6	14.7	21.9
15:38	27.7	71.4	22.0	18.1	204.4	24.4	25.0	24.7	16.4	22.6	15.4	21.8
15:39	27.6	71.8	22.1	18.1	203.3	24.4	25.0	24.7	16.4	22.5	16.3	21.7
15:40	27.7	70.6	21.8	18.0	203.2	24.3	24.9	24.6	16.4	22.3	16.5	21.5
15:41	28.1	70.4	22.2	18.6	203.7	24.3	24.7	24.5	16.5	21.6	16.6	20.6
15:42	27.8	71.3	22.2	18.3	205.0	24.1	24.4	24.2	16.5	20.9	16.6	19.7
15:43	27.8	71.6	22.2	18.3	207.4	23.9	24.2	24.0	16.5	20.6	16.6	19.4
15:44	27.8	71.4	22.1	18.3	212.1	23.7	24.1	23.9	16.6	20.4	16.6	19.1
15:45	27.8	70.4	21.9	18.2	218.1	23.5	24.0	23.7	16.6	20.1	17.5	18.7
15:46	27.7	70.4	21.8	18.0	223.9	23.4	23.8	23.6	16.7	19.9	17.9	18.5
15:47	27.7	71.1	21.9	18.0	229.3	23.2	23.8	23.5	16.7	19.7	17.0	18.3
15:48	27.6	71.5	22.0	18.1	232.2	23.1	23.8	23.4	16.7	19.9	16.2	18.6
15:49	27.6	71.5	22.0	18.0	233.2	23.0	23.8	23.4	16.7	20.1	15.2	18.8
15:50	27.6	72.2	22.2	18.1	234.8	23.0	23.9	23.4	16.7	20.3	14.7	19.2
15:51	27.7	71.9	22.2	18.2	238.3	23.0	24.0	23.5	16.7	20.7	14.7	19.7
15:52	27.8	71.4	22.2	18.3	243.3	23.1	24.1	23.6	16.7	21.0	15.7	20.0
15:53	27.9	70.9	22.1	18.3	248.9	23.2	24.2	23.7	16.7	21.2	17.8	20.2
15:54	27.9	71.6	22.3	18.4	257.2	23.3	24.3	23.8	16.8	21.4	18.5	20.5
15:55	27.9	71.6	22.3	18.5	263.1	23.4	24.5	24.0	16.8	21.6	17.8	20.7
15:56	27.8	71.5	22.2	18.4	276.3	23.6	24.6	24.1	16.8	21.7	16.7	20.9

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
15:57	27.9	71.5	22.3	18.5	286.6	23.7	24.7	24.2	16.8	21.9	16.5	21.1
15:58	27.9	71.2	22.2	18.4	316.4	23.8	24.8	24.3	16.8	22.1	16.5	21.3
15:59	27.9	70.3	21.9	18.2	328.2	23.9	24.9	24.4	16.8	22.2	16.5	21.4
16:00	28.0	71.3	22.3	18.5	307.2	24.0	24.8	24.4	16.8	22.3	16.5	21.6
16:01	27.9	70.7	22.1	18.4	278.9	24.0	24.9	24.5	16.8	22.4	17.3	21.7
16:02	28.0	69.8	21.9	18.3	266.9	24.1	24.9	24.5	16.8	22.5	17.8	21.8
16:03	27.9	70.3	22.0	18.3	262.7	24.2	25.0	24.6	16.8	22.6	16.9	22.0
16:04	27.7	70.9	22.0	18.1	256.5	24.2	25.0	24.6	16.8	22.7	16.6	22.1
16:05	27.7	70.7	21.9	18.1	248.9	24.3	25.0	24.6	16.8	22.8	16.5	22.2
16:06	27.7	70.6	21.9	18.1	241.0	24.3	25.1	24.7	16.8	22.9	16.5	22.3
16:07	27.6	71.1	21.9	18.0	232.6	24.3	25.1	24.7	16.8	23.0	16.5	22.4
16:08	27.7	71.2	22.0	18.1	227.2	24.4	25.1	24.7	16.8	23.0	16.6	22.5
16:09	27.9	71.3	22.2	18.4	226.4	24.4	25.1	24.8	16.8	23.1	15.3	22.6
16:10	27.9	70.8	22.1	18.4	229.6	24.4	25.2	24.8	16.7	23.2	14.2	22.6
16:11	28.0	71.4	22.3	18.6	233.2	24.5	25.2	24.8	16.7	23.2	14.2	22.7
16:12	28.0	70.8	22.2	18.5	237.5	24.5	25.2	24.8	16.6	23.3	15.3	22.7
16:13	27.9	71.2	22.2	18.4	242.8	24.5	25.1	24.8	16.6	23.0	16.1	22.4
16:14	27.9	70.8	22.1	18.3	239.4	24.5	25.1	24.8	16.6	22.7	15.9	22.0
16:15	27.9	71.3	22.2	18.4	240.9	24.5	25.0	24.7	16.6	22.6	16.3	21.9
16:16	27.8	71.1	22.1	18.2	255.1	24.4	25.0	24.7	16.6	22.6	16.6	21.9
16:17	27.8	70.7	22.0	18.2	245.0	24.4	24.8	24.6	16.6	22.2	15.4	21.4
16:18	27.8	70.3	21.9	18.1	244.2	24.2	24.5	24.3	16.6	21.3	14.4	20.2
16:19	27.8	70.6	22.0	18.2	270.7	24.0	24.2	24.1	16.5	20.6	14.4	19.4
16:20	27.8	71.0	22.1	18.3	312.8	23.7	24.1	23.9	16.5	20.4	15.7	19.1

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
16:21	27.8	70.7	22.0	18.2	316.7	23.6	24.0	23.8	16.6	20.1	17.8	18.8
16:22	27.7	70.2	21.8	18.0	363.5	23.4	23.9	23.6	16.6	19.9	18.6	18.5
16:23	28.1	69.8	22.1	18.5	341.7	23.2	23.8	23.5	16.7	19.6	18.6	18.2
16:24	28.1	68.6	21.8	18.4	331.8	23.1	23.6	23.4	16.7	19.4	18.5	17.9
16:25	28.2	68.6	21.9	18.5	339.8	23.0	23.5	23.2	16.8	19.2	17.9	17.7
16:26	28.2	68.2	21.8	18.4	284.0	22.8	23.4	23.1	16.8	19.1	16.8	17.7
16:27	28.3	68.2	21.8	18.6	192.7	22.7	23.3	23.0	16.8	19.3	16.5	17.9
16:28	28.2	68.4	21.8	18.5	184.4	22.7	23.3	23.0	16.8	19.6	16.6	18.4
16:29	28.2	68.7	21.9	18.6	182.2	22.7	23.4	23.1	16.8	20.0	17.4	18.9
16:30	28.1	68.5	21.8	18.4	180.9	22.7	23.6	23.2	16.8	20.3	18.4	19.4
16:31	28.1	67.8	21.6	18.3	178.6	22.8	23.6	23.2	16.8	20.5	17.8	19.6
16:32	28.2	67.7	21.6	18.4	173.9	22.9	23.7	23.3	16.8	20.7	16.6	19.8
16:33	28.1	68.4	21.7	18.3	170.4	23.0	23.8	23.4	16.8	20.9	16.2	20.1
16:34	28.0	68.7	21.7	18.3	167.7	23.1	23.9	23.5	16.8	21.1	16.2	20.3
16:35	28.0	67.9	21.5	18.1	165.3	23.1	24.0	23.6	16.8	21.3	17.3	20.5
16:36	28.1	67.1	21.4	18.2	164.3	23.2	24.0	23.6	16.8	21.4	18.3	20.7
16:37	28.0	67.3	21.4	18.1	163.5	23.3	24.1	23.7	16.8	21.6	18.3	20.9
16:38	28.0	67.4	21.4	18.1	164.0	23.4	24.2	23.8	16.8	21.7	18.3	21.0
16:39	27.9	68.0	21.5	18.1	167.6	23.5	24.3	23.9	16.8	21.9	18.3	21.2
16:40	27.9	68.4	21.6	18.1	173.4	23.6	24.4	24.0	16.8	22.0	18.3	21.3
16:41	27.8	68.5	21.5	18.0	228.2	23.7	24.5	24.1	16.8	22.2	18.3	21.5
16:42	27.9	68.5	21.6	18.1	179.0	23.8	24.6	24.2	16.8	22.3	18.3	21.6
16:43	27.9	68.9	21.7	18.1	157.3	23.9	24.6	24.2	16.8	22.4	18.4	21.7
16:44	27.9	69.0	21.7	18.1	171.7	23.9	24.6	24.3	16.8	22.5	18.4	21.9

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
16:45	27.8	68.9	21.6	18.0	177.4	24.0	24.7	24.3	16.8	22.6	18.2	22.0
16:46	27.9	69.3	21.7	18.1	160.0	24.1	24.7	24.4	16.8	22.6	16.9	22.1
16:47	27.8	69.6	21.7	18.0	150.7	24.1	24.7	24.4	16.8	22.7	16.1	22.2
16:48	27.7	69.7	21.6	17.9	146.7	24.1	24.7	24.4	16.7	22.8	15.8	22.3
16:49	27.8	70.0	21.8	18.1	143.7	24.1	24.8	24.5	16.7	22.9	15.7	22.3
16:50	27.8	70.4	21.9	18.1	142.5	24.2	24.8	24.5	16.6	22.9	15.8	22.4
16:51	27.8	70.9	22.0	18.2	143.6	24.2	24.8	24.5	16.6	23.0	16.7	22.5
16:52	27.7	71.3	22.1	18.2	146.5	24.2	24.9	24.6	16.6	23.1	18.1	22.6
16:53	27.7	71.0	22.0	18.1	149.3	24.3	24.9	24.6	16.6	23.1	18.3	22.7
16:54	27.8	71.6	22.2	18.3	151.9	24.3	24.9	24.6	16.6	23.2	17.3	22.7
16:55	27.8	70.6	22.0	18.3	153.2	24.4	25.0	24.7	16.6	23.3	15.9	22.8
16:56	27.8	69.9	21.8	18.1	154.4	24.4	25.0	24.7	16.6	23.3	16.9	22.9
16:57	27.8	70.5	22.0	18.2	210.4	24.4	25.1	24.8	16.6	23.4	18.3	22.9
16:58	27.6	71.2	21.9	18.0	227.8	24.5	25.2	24.9	16.6	23.5	17.3	23.0
16:59	27.8	71.1	22.1	18.3	252.5	24.6	25.3	24.9	16.5	23.5	16.2	23.1
17:00	27.9	70.5	22.0	18.3	304.3	24.6	25.4	25.0	16.5	23.6	16.1	23.1
17:01	27.9	70.6	22.1	18.3	303.3	24.7	25.5	25.1	16.5	23.7	16.7	23.2
17:02	28.0	70.6	22.1	18.4	299.8	24.7	25.5	25.1	16.5	23.7	16.9	23.3
17:03	28.0	70.2	22.1	18.5	295.4	24.8	25.5	25.2	16.5	23.8	16.1	23.3
17:04	28.1	68.9	21.8	18.3	291.6	24.8	25.5	25.2	16.5	23.6	17.2	23.1
17:05	27.9	69.2	21.7	18.2	285.3	24.9	25.4	25.1	16.5	23.3	18.7	22.7
17:06	28.2	69.2	22.0	18.5	274.5	24.8	25.3	25.1	16.5	23.0	18.7	22.4
17:07	28.1	69.2	21.9	18.4	264.2	24.8	25.2	25.0	16.5	23.0	18.8	22.3
17:08	28.2	69.2	22.0	18.6	254.0	24.7	24.9	24.8	16.5	22.2	18.7	21.3

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaus	Tchwr,rp,s
17:09	28.1	68.2	21.7	18.3	244.7	24.5	24.5	24.5	16.6	21.2	18.7	20.0
17:10	28.3	68.4	21.9	18.7	237.0	24.2	24.3	24.2	16.6	20.7	18.6	19.4
17:11	28.4	67.8	21.9	18.7	225.5	24.0	24.1	24.0	16.6	20.4	18.5	19.1
17:12	28.3	68.1	21.9	18.7	189.9	23.7	23.8	23.8	16.6	20.0	18.5	18.7
17:13	28.4	67.8	21.9	18.7	192.0	23.5	23.6	23.5	16.7	19.7	18.4	18.3
17:14	28.3	68.3	21.9	18.7	191.2	23.2	23.5	23.3	16.7	19.4	17.5	17.9
17:15	28.4	68.6	22.1	18.8	169.1	23.0	23.3	23.2	16.7	19.3	17.1	17.9
17:16	28.4	68.7	22.0	18.8	169.7	22.9	23.3	23.1	16.7	19.5	17.2	18.2
17:17	28.3	68.5	22.0	18.7	162.8	22.8	23.4	23.1	16.8	19.9	17.2	18.7
17:18	28.3	67.7	21.8	18.6	153.1	22.8	23.5	23.2	16.8	20.3	17.0	19.3
17:19	28.3	67.8	21.8	18.6	128.9	22.9	23.6	23.2	16.8	20.6	15.7	19.6
17:20	28.2	68.2	21.8	18.5	131.4	22.9	23.6	23.3	16.8	20.7	14.7	19.8
17:21	28.0	68.2	21.6	18.2	128.1	23.0	23.7	23.3	16.7	20.9	13.9	20.1
17:22	28.1	68.3	21.7	18.4	114.6	23.0	23.8	23.4	16.7	21.1	13.2	20.3
17:23	28.0	68.9	21.8	18.3	65.1	23.1	23.8	23.4	16.6	21.2	13.4	20.5
17:24	28.0	69.4	21.9	18.3	51.8	23.1	23.7	23.4	16.6	21.3	14.2	20.7
17:25	27.9	69.3	21.8	18.2	47.2	23.2	23.8	23.5	16.6	21.5	15.4	20.8
17:26	28.0	69.8	21.9	18.3	44.5	23.2	23.8	23.5	16.6	21.6	15.9	21.0
17:27	28.0	69.1	21.8	18.3	42.1	23.3	23.9	23.6	16.5	21.7	14.8	21.2
17:28	27.9	68.9	21.7	18.2	40.4	23.3	23.9	23.6	16.5	21.9	14.3	21.3
17:29	27.9	69.4	21.8	18.2	38.3	23.4	24.0	23.7	16.5	22.0	14.2	21.4
17:30	28.0	69.8	21.9	18.3	37.4	23.4	24.0	23.7	16.5	22.1	14.2	21.5
17:31	27.9	70.0	21.9	18.2	45.2	23.5	24.1	23.8	16.4	22.2	14.2	21.7
17:32	27.8	69.6	21.7	18.1	56.1	23.5	24.1	23.8	16.4	22.3	14.1	21.8

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
17:33	27.9	69.6	21.8	18.2	54.0	23.6	24.2	23.9	16.4	22.4	14.9	21.9
17:34	27.8	67.8	21.3	17.9	60.5	23.6	24.3	24.0	16.4	22.5	15.9	22.0
17:35	27.9	68.0	21.4	18.0	43.1	23.7	24.3	24.0	16.4	22.5	16.0	22.1
17:36	28.0	68.4	21.6	18.2	35.2	23.8	24.3	24.0	16.3	22.6	16.0	22.2
17:37	27.9	69.0	21.7	18.1	33.4	23.8	24.3	24.1	16.3	22.7	16.0	22.2
17:38	27.9	69.5	21.8	18.1	33.4	23.9	24.4	24.1	16.3	22.7	16.0	22.3
17:39	27.9	70.1	22.0	18.3	37.2	23.9	24.4	24.1	16.3	22.8	16.0	22.4
17:40	27.9	69.3	21.8	18.2	29.8	23.9	24.4	24.2	16.3	22.9	15.9	22.5
17:41	27.8	68.2	21.4	18.0	27.9	24.0	24.4	24.2	16.3	22.9	15.8	22.5
17:42	27.8	67.3	21.2	17.8	31.4	24.0	24.5	24.2	16.3	23.0	15.7	22.6
17:43	27.9	66.7	21.2	17.9	39.1	24.0	24.5	24.3	16.3	23.0	15.7	22.7
17:44	27.8	66.5	21.0	17.7	39.2	24.0	24.6	24.3	16.3	23.1	15.7	22.7
17:45	27.8	66.8	21.1	17.8	36.7	24.1	24.6	24.3	16.2	23.1	15.5	22.8
17:46	27.9	67.1	21.2	17.9	36.5	24.1	24.6	24.4	16.2	23.2	15.5	22.8
17:47	27.8	66.9	21.1	17.8	32.7	24.1	24.6	24.4	16.2	23.2	15.7	22.9
17:48	27.9	67.1	21.2	17.9	26.0	24.2	24.6	24.4	16.2	23.2	16.8	22.9
17:49	27.8	67.1	21.2	17.8	24.7	24.2	24.6	24.4	16.2	23.3	18.0	22.9
17:50	27.8	67.5	21.3	17.8	24.0	24.2	24.6	24.4	16.2	23.3	18.0	23.0
17:51	27.8	67.3	21.2	17.7	23.4	24.3	24.7	24.5	16.2	23.3	18.1	23.0
17:52	27.8	67.4	21.2	17.7	22.9	24.3	24.7	24.5	16.2	23.4	18.1	23.1
17:53	27.7	67.7	21.2	17.7	23.0	24.3	24.7	24.5	16.2	23.4	18.1	23.1
17:54	27.8	68.2	21.4	18.0	23.8	24.3	24.7	24.5	16.3	23.4	18.1	23.1
17:55	27.8	68.4	21.4	17.9	24.8	24.3	24.7	24.5	16.3	23.5	17.4	23.2
17:56	27.7	68.1	21.3	17.7	26.2	24.3	24.8	24.6	16.2	23.5	14.3	23.2

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp, amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,ou,s	Tchwr,rp,s
17:57	27.8	68.1	21.4	17.9	25.4	24.3	24.8	24.6	16.2	23.5	14.0	23.2
17:58	27.7	68.5	21.4	17.9	24.3	24.3	24.8	24.6	16.1	23.5	16.1	23.2
17:59	27.7	68.4	21.4	17.8	22.5	24.3	24.8	24.6	16.1	23.6	17.5	23.3
18:00	27.8	67.9	21.3	17.8	19.8	24.4	24.7	24.5	16.1	23.5	17.9	23.3
18:01	27.7	67.8	21.2	17.7	17.5	24.4	24.7	24.5	16.1	23.6	17.9	23.3
18:02	27.8	67.6	21.3	17.9	16.4	24.4	24.7	24.5	16.1	23.6	17.9	23.3
18:03	27.7	67.7	21.2	17.7	15.7	24.4	24.7	24.5	16.2	23.6	17.9	23.3
18:04	27.7	67.9	21.3	17.8	14.4	24.4	24.7	24.5	16.2	23.6	17.9	23.4
18:05	27.7	68.3	21.4	17.8	13.5	24.4	24.7	24.6	16.2	23.6	17.9	23.4
18:06	27.7	68.8	21.4	17.8	12.4	24.4	24.8	24.6	16.2	23.7	17.8	23.4
18:07	27.6	69.2	21.4	17.7	11.5	24.4	24.8	24.6	16.2	23.7	17.8	23.4
18:08	27.5	69.3	21.4	17.6	10.1	24.5	24.9	24.7	16.2	24.4	3.6	24.4
18:09	27.7	69.4	21.6	17.9	8.8	24.7	25.0	24.8	16.3	24.7	4.1	24.7
18:10	27.6	69.4	21.5	17.8	7.9	24.8	25.0	24.9	16.4	24.6	4.5	24.6
18:11	27.6	69.1	21.4	17.7	7.5	25.0	25.1	25.0	16.5	24.8	4.8	24.8
18:12	27.7	69.3	21.5	17.8	6.5	25.1	25.1	25.1	16.6	24.8	5.1	24.8
18:13	27.6	69.5	21.5	17.8	5.8	25.2	25.2	25.2	16.7	24.9	5.4	24.9
18:14	27.6	69.8	21.6	17.8	5.5	25.3	25.2	25.3	16.8	25.0	5.7	25.0
18:15	27.6	70.0	21.6	17.8	4.9	25.4	25.3	25.3	16.9	25.0	5.9	25.0
18:16	27.6	70.2	21.7	17.9	4.4	25.5	25.3	25.4	17.0	25.1	6.2	25.1
18:17	27.7	70.3	21.8	18.0	3.5	25.6	25.4	25.5	17.1	25.1	6.4	25.1
18:18	27.6	70.8	21.8	18.0	3.0	25.7	25.4	25.5	17.1	25.2	6.6	25.2
18:19	27.7	71.1	21.9	18.0	2.2	25.7	25.4	25.6	17.2	25.2	6.9	25.2
18:20	27.6	71.2	21.9	17.9	1.7	25.8	25.4	25.6	17.3	25.3	7.1	25.3

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,oaurs	Tchwr,rp,s
18:21	27.5	70.0	21.6	17.7	1.4	25.8	25.5	25.7	17.4	25.3	7.3	25.3
18:22	27.5	70.0	21.5	17.7	0.7	25.9	25.5	25.7	17.5	25.3	7.5	25.3
18:23	27.5	70.3	21.7	17.8	0.7	25.9	25.5	25.7	17.5	25.4	7.7	25.4
18:24	27.5	70.5	21.7	17.7	0.7	26.0	25.5	25.8	17.6	25.4	7.9	25.4
18:25	27.5	70.4	21.7	17.8	0.4	26.0	25.5	25.8	17.7	25.4	8.1	25.4
18:26	27.5	70.2	21.6	17.7	0.0	26.0	25.6	25.8	17.8	25.4	8.3	25.4
18:27	27.5	70.6	21.7	17.8	-0.2	26.1	25.6	25.8	17.8	25.4	8.5	25.4
18:28	27.4	70.4	21.5	17.6	0.0	26.1	25.6	25.8	17.9	25.5	8.7	25.5
18:29	27.5	70.3	21.6	17.7	0.0	26.1	25.6	25.9	18.0	25.5	8.9	25.5
18:30	27.4	70.3	21.6	17.6	-0.2	26.1	25.6	25.9	18.0	25.5	9.1	25.5
18:31	27.6	70.2	21.7	17.8	-0.5	26.2	25.6	25.9	18.1	25.5	9.3	25.5
18:32	27.5	70.4	21.6	17.7	-0.2	26.2	25.6	25.9	18.2	25.5	9.4	25.5
18:33	27.4	70.2	21.5	17.5	0.1	26.2	25.6	25.9	18.2	25.5	9.6	25.5
18:34	27.5	70.4	21.6	17.7	-0.5	26.2	25.6	25.9	18.3	25.5	9.8	25.5
18:35	27.4	70.5	21.6	17.6	-0.2	26.2	25.6	25.9	18.4	25.5	9.9	25.5
18:36	27.4	70.6	21.6	17.6	-0.2	26.2	25.6	25.9	18.4	25.5	10.1	25.5
18:37	27.4	70.7	21.6	17.6	-0.2	26.2	25.6	25.9	18.5	25.5	10.2	25.5
18:38	27.4	70.9	21.7	17.7	0.1	26.2	25.7	25.9	18.5	25.5	10.4	25.5
18:39	27.5	71.0	21.7	17.7	0.3	26.2	25.7	26.0	18.6	25.6	10.6	25.6
18:40	27.4	71.2	21.7	17.6	0.2	26.3	25.7	26.0	18.6	25.6	10.7	25.6
18:41	27.3	71.1	21.6	17.5	0.3	26.3	25.7	26.0	18.7	25.6	10.9	25.6
18:42	27.4	71.4	21.8	17.7	0.0	26.3	25.7	26.0	18.8	25.6	11.0	25.6
18:43	27.5	71.4	21.8	17.8	0.2	26.3	25.7	26.0	18.8	25.6	11.2	25.6
18:44	27.5	71.4	21.8	17.8	0.0	26.3	25.7	26.0	18.9	25.6	11.3	25.6

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 19.00 น.(ต่อ)

Time	Tamb	RHamb	Tdp,amb	Tsky	Eeg	Ta,s	Tmrt,s	To,s	Tdp,s	Trp,s	Tchwr,ou,s	Tchwr,rp,s
18:45	27.5	70.4	21.6	17.7	0.3	26.3	25.7	26.0	18.9	25.6	11.4	25.6
18:46	27.3	70.5	21.5	17.5	0.4	26.3	25.7	26.0	19.0	25.6	11.6	25.6
18:47	27.5	70.7	21.7	17.8	0.1	26.3	25.7	26.0	19.0	25.6	11.7	25.6
18:48	27.5	71.2	21.8	17.8	0.1	26.3	25.7	26.0	19.1	25.6	11.8	25.6
18:49	27.4	71.5	21.8	17.8	0.1	26.3	25.7	26.0	19.1	25.6	12.0	25.6
18:50	27.3	71.2	21.7	17.6	0.5	26.3	25.7	26.0	19.2	25.6	12.1	25.6
18:51	27.5	71.2	21.8	17.8	0.1	26.3	25.7	26.0	19.2	25.6	12.2	25.6
18:52	27.5	71.1	21.8	17.7	0.4	26.3	25.7	26.0	19.3	25.6	12.3	25.6
18:53	27.5	71.4	21.9	17.9	0.4	26.3	25.7	26.0	19.3	25.6	12.5	25.6
18:54	27.4	71.3	21.8	17.7	0.3	26.3	25.7	26.0	19.4	25.6	12.6	25.6
18:55	27.5	71.2	21.8	17.8	0.7	26.3	25.7	26.0	19.4	25.6	12.7	25.6
18:56	27.5	71.1	21.8	17.8	0.5	26.3	25.7	26.0	19.5	25.6	12.9	25.6
18:57	27.5	70.4	21.6	17.7	0.7	26.3	25.7	26.0	19.5	25.6	13.0	25.6
18:58	27.4	70.6	21.6	17.6	0.5	26.3	25.7	26.0	19.5	25.6	13.1	25.6
18:59	27.5	71.2	21.8	17.9	0.7	26.3	25.7	26.0	19.6	25.6	13.2	25.6
19:00	27.5	71.2	21.8	17.8	0.7	26.3	26.0	26.1	19.6	25.9	13.3	25.9

ภาคผนวก ค.
รายการสัญลักษณ์

TNI

รายการสัญลักษณ์

R	คือ	ค่าความต้านทานความร้อน, m^2K/W
C	คือ	ค่าความจุความร้อน, Jm^2/K
MV	คือ	ตัวแปรขาเข้าที่ถูกจัดการ
MO	คือ	ตัวแปรขาออกที่วัดได้
MD	คือ	ตัวแปรกระบวนการที่วัดได้
C_{ia}	คือ	ค่าความจุความร้อนของอากาศภายในห้อง, Jm^2/K
T_{ia}	คือ	ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง, $^{\circ}C$
T_3	คือ	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยผนังภายในห้อง, $^{\circ}C$
T_{obe}	คือ	ค่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องและอื่นๆ, $^{\circ}C$
T_{oa}	คือ	ค่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกห้อง, $^{\circ}C$
T_{op}	คือ	อุณหภูมิที่รับรู้สักรได้, $^{\circ}C$
$T_{rp,u}$	คือ	อุณหภูมิที่ผิวด้านล่างของแผงแผ่รังสี, $^{\circ}C$
α_{obe}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีของห้อง
I_{obe}	คือ	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์, W/m^2
α_{obe}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหมุนเวียน, W/m^2K
F_{obe}	คือ	พื้นที่และผนังห้องทดสอบ, m^2
F_f	คือ	พื้นที่ของห้องทดสอบ, m^2
Φ_{id}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนภายใน, W
$\Phi_{\alpha u}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องเติมอากาศแบบแยกอิสระ, W