การตรวจวัดและประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง:โครงการวิจัยสหกิจศึกษาระดับปริญญาตรี

Measurement and evaluation of 3-phase induction motors at actual operating conditions: A Co-operative Education With Undergraduate Research Project

สมิต ชัยศักดิ์เลิศ[1] เอกชัย ดีศิริ[1] ชัยรัตน์ วิสุทธิรัตน์[1]สุรพล จันทร[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2410/2 ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 Tel: (662) 579 1111 E-mail: akekachai.de@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นตรวจวัดและประเมินหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง โดยการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานงานจริงในแต่ละรูปแบบการใช้งาน ผลการทดสอบมอเตอร์จะมีค่าประสิทธิภาพลดลงประมาณ1%-2.9% สาเหตุเกิดจากการขับโหลดที่ต่ำกว่าค่าพิกัดหรือการชำรุดภายในตัวของมอเตอร์เพียงเล็กน้อย แต่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์มากนัก จากการประเมินหาประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นถือว่ามอเตอร์ยังคงมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีอยู่

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพมอเตอร์, ปั๊มสูบน้ำ

Abstract

This article is to measure and evaluate the efficiency of a 3 phase induction motor. Under the working conditions by measuring the electrical current, voltage and power of the motor at the actual operating conditions in each usage pattern. The results of the testing will be reduced by about 1% -2.9%. The cause of the drive is lower than the coordinates or the internal damage of the motor only slightly. But does not affect the main performance of the motor.

Keywords: efficiency, 3 phase electric motor, water pump

1. บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรต่างๆ เนื่องจากการทำหำหน้าที่เป็นตัวต้นกำลังเป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่างๆ โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่งในบรรดามอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งถูกใช้งานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและสายพานของระบบการผลิต เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพมีความน่าเชื่อถือสูง การบำรุงรักษาง่ายและราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น เมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานานย่อมมีการเสื่อมสภาพหรือมีความผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องรับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลาความเสียหายที่เกิดขึ้นทางกลจากความร้อนและทางไฟฟ้าจะกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของมอเตอร์ผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจส่งผลต่อการทำงานของเครื่องจักรและระบบการผลิตโดยรวมทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามเป้า กล่าวคือสร้างความเสียหาย เช่น ผลผลิตไม่ได้ตามเป้า เสียเวลาและโอกาส รวมถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นด้วย

แต่อย่างไรก็ตามการวัดและการประเมินหาประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ3เฟสโดย การหยุดหมุนมอเตอร์ จึงเป็นไปได้ยากอาจจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานและทำงานของมอเตอร์ได้

ดังนั้นจึงมีการตรวจวัดและประเมินหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานจริง ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบด้วยวิธีการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานงานจริง เพื่อ วัดและประเมินหาประสิทธิภาพของ มอเตอร์เหนี่ยวนำ3เฟส ด้วยการคำนวณจากสูตรพื้นฐาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3เฟส (Motor Selection)

ปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึงสำหรับการเลือกใช้ทั้งประเภทและขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อ ความถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะของงานและความต้องการให้มีค่าประสิทธิผลและประสิทธิภาพสูงสุดอาจพิจารณาได้จากค่ากำหนดที่ถูกระบุไว้บนแผ่นป้ายข้อมูล(Nameplate)

โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ดังนี้

2.1.1 ค่าพิกัดกำลังงานทางกล (Mechanical Power Rating) หมายถึงค่ากำลังงานทางกลที่มอเตอร์สามารถให้ได้ในการขับโหลดที่ค่าพิกัด โดยทั่วไปมักแสดงในหน่วยของแรงม้า (hp) และหน่วยวัตต์ (watt) ทั้งนี้ค่าพิกัดกำลังงานทางกลยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่สำคัญซึ่งจำเป็นในการนำมาพิจารณาถึงสภาวะเงื่อนไขในการทำงานด้วย คือ ค่าแรงบิดและความเร็วรอบ ตามสมการที่ (1)

$$\text{Horsepower} = \text{Torque} \times \text{Speed} \quad (1)$$

โดยที่ Horsepower คือ ค่าพิกัดกำลังแรงม้าของมอเตอร์
(1 hp = 746 Watt)
Torque คือ ค่าแรงบิดที่แกนของมอเตอร์ (Nm.)
Speed คือ ค่าความเร็วรอบมอเตอร์ (rad/sec)

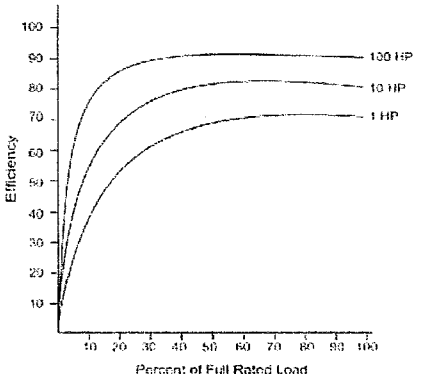
โดยปกติมอเตอร์ที่ทำงานที่ความเร็วต่ำมักจะมีค่าแรงบิดสูงถ้าคิดจากค่ากำลังแรงม้าที่เท่ากัน ดังนั้น เพื่อการทนต่อค่าแรงบิดที่สูงได้ มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำจึงต้องมีการออกแบบหรือต้องการส่วนประกอบที่แข็งแรงกว่ามอเตอร์ที่ทำงานรอบสูง จึงทำให้โดยทั่วไปมอเตอร์รอบต่ำมักจะมีขนาดใหญ่กว่า น้ำหนักมากกว่า รวมถึงมีราคาแพงกว่ามอเตอร์รอบสูงด้วย

2.1.2 ค่ากระแสพิกัด (Current Rating) หมายถึงปริมาณกระแสด้านเข้าของมอเตอร์ภายใต้สภาวะ การทำงานแบบเต็มที่ (Full-load) โดยทั่วไปค่ากระแสพิกัดที่ระบุไว้บนแผ่นป้ายข้อมูลมักถูกนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาขนาดของอุปกรณ์ ป้องกันการขับโหลดเกินของมอเตอร์ อย่างไรก็ตาม มอเตอร์บางตัวอาจยอมให้มีการทำงานเกินจากค่าพิกัด กระแสได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย หากมอเตอร์ตัวนั้นมีการระบุค่าตัวประกอบ บริการ (Service Factor: SF) มากกว่า 1.0 ยกตัวอย่าง เช่น ถ้ามอเตอร์มีการระบุค่า SF = 1.15 จะมีความหมายว่ามอเตอร์สามารถขับโหลดเกินจากค่าพิกัดได้ 15%

2.1.3 รหัสอักษร (Code Letter) มาตรฐาน NEMA กำหนดให้ใช้รหัสอักษรนี้เพื่อคำนวณหาค่ากระแสขณะยึดโรเตอร์ (Locked rotor current) หรือค่ากระแสกระชากขณะสตาร์ท (Starting inrush current) กรณีสตาร์ทโดยตรง (Direct online) ซึ่งรหัสอักษรนี้จะมีความสัมพันธ์ตามค่า kVA/hp ประโยชน์จากการทราบค่ากระแสกระชากขณะสตาร์ท ก็เพื่อใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของ มอเตอร์ (Overcurrent device) โดยจะต้องตั้งให้มีค่าสูงกว่าเพื่อให้มอเตอร์สามารถสตาร์ทได้

2.2 ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะอยู่ในช่วงประมาณ 75% – 98% และอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามการออกแบบรวมถึงช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งมอเตอร์ตามประสิทธิภาพได้เป็น 3 ประเภทคือ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มอเตอร์ประสิทธิภาพมาตรฐาน และมอเตอร์ประสิทธิภาพต่ำ โดยมอเตอร์แต่ละประเภทจะมีค่าประสิทธิภาพต่างกันประมาณ 4% อย่างไรก็ตาม ค่าประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์ยังขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดที่ขับ ด้วยดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าช่วงการขับโหลดที่เหมาะสมเพื่อจะให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดควรอยู่ที่ ประมาณ 80% - 100% ของค่าพิกัด และที่สำคัญควรหลีกเลี่ยงการให้มอเตอร์ขับโหลดต่ำกว่าค่าพิกัดมากๆ หรือการ เดินเครื่องเปล่า (No-load operation) เพราะจะทำให้มอเตอร์มีค่าประสิทธิภาพการทำงานต่ำ



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพ และการขับโหลดของมอเตอร์

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาวิธีการวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่สภาวะการทำงานจริง วิธีการวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ด้วยวิธีการวัดประสิทธิภาพของ มอเตอร์ตามมาตรฐานที่ยอมรับกันแพร่หลายคือ มาตรฐาน IEC60034 และ IEEE-112 โดยใช้เครื่องมือวัดพื้นฐานคลิปแอมป์ แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)

3.2 ศึกษาวิธีการวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ตามมาตรฐาน IEC60034 และ IEEE-112

ทำการศึกษาวิธีการวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์ตามมาตรฐาน IEC60034 และ IEEE-112 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการทดสอบประเมินประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริงและนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ ค่าประสิทธิภาพจาก(Name plate) หาค่าความแตกต่างว่ามีข้อดีข้อเสียเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไรเพื่อที่จะสามารถนำมาตรฐานนี้มาเป็นส่วนประกอบในการ

ตรวจวัดและประเมินหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้เป็นต้น

3.3 ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวัดและประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยวิธีหาค่าแรงดัน ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานจริงการวัดค่าต่างๆ ในสภาวะการทำงานจริงของมอเตอร์ 3 เฟส มีเงื่อนไขว่าค่าแรงดันจะต้องเป็นค่าที่วัดแบบสายถึงสาย (Line-to-Line voltage) เช่นเดียวกับค่ากระแส (Line current) โดยหากค่ากระแสในแต่ละสายที่วัดได้มีค่าไม่เท่ากันอาจใช้ค่าเฉลี่ยได้ สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดต้องเป็นกำลังรวมทั้ง 3 เฟส (Pin) ซึ่งหากเครื่องวัดที่ใช้เป็นแบบ 1 เฟส ให้นำค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้คูณด้วยสามก่อนนำไปคำนวณ

รูปที่ 2 การวัดค่ากระแส ค่าแรงดัน และค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ 3 เฟส

3.3.1 จากวิธีการวัดและการหาค่ากระแส ค่าแรงดัน และค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ 3 เฟส จะทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ตามสมการดังนี้

$$\eta = \frac{Pout}{Pin} x100\ \% \qquad (2)$$

3.4 วิเคราะห์เนื้อหาและรวบรวมข้อมูล

เมื่อผ่านการตรวจสอบ ก็ถึงขั้นตอนการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลต่างๆ จากการทดสอบและการตรวจวัดและประเมินหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการใช้สูตรพื้นฐานในการคำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต่อไป

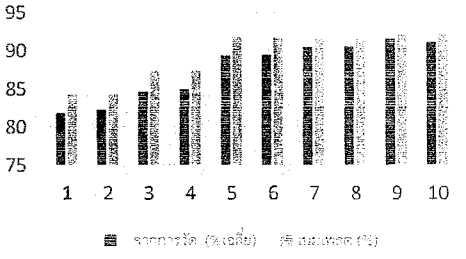
4.ผลการดำเนินงานวิจัย

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 3 สามารถจำแนกผลการหาประสิทธิภาพตามประเภทของการใช้งาน โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการวัด กับ ค่าประสิทธิภาพจากเนมเพลตได้ดังนี้

4.1 จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง พบว่า มอเตอร์ที่ใช้งานในส่วนของปั๊มสูบน้ำหมุนเวียนในหอกลั่น ซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชม. มีขนาด 5.36 HP, จากการวัดหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จาก(Name plate) นั้นมีประสิทธิภาพ 84.3% ประสิทธิภาพจากการวัดจริงได้ 81.85% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ลดลงได้ 2.45%

ตารางที่ 1 ตารางค่าเฉลี่ยของการวัด ค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวนทั้งสิ้น 10 ตัว วัดทั้งหมด 4 ครั้งๆ ละ 1 สัปดาห์ เป็นเวลา 1 เดือน

มอเตอร์ตัวที่	ค่าเฉลี่ยจากการวัด				ประสิทธิภาพของมอเตอร์	
	kW	V	I	P.F.	จากการวัด (%เฉลี่ย)	เนมเพลต (%)
1	3.3	392.65	7.5	0.79	81.85	84.3
2	3.33	392.65	7.6	0.79	82.3	84.3
3	9.13	392.93	18	0.88	84.68	87.4
4	9.08	396.05	17.8	0.87	84.95	87.4
5	13.78	395.8	25.2	0.89	89.38	91.7
6	13.8	395.83	25.2	0.89	89.45	91.7
7	18.93	386.88	35.8	0.87	90.53	91.5
8	18.95	387	35.5	0.87	90.55	91.5
9	15.68	388.35	28.5	0.89	91.55	92.2
10	14.98	388.3	28.5	0.90	91.1	92.2



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพมอเตอร์ระหว่างค่าจากการวัด เทียบกับค่าจากเนมเพลต

4.2 จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง พบว่า มอเตอร์ที่ใช้งานในส่วนของปั๊มสูบน้ำส่าในหอกลั่น ซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชม. มีขนาด 14.75 HP, จากการวัดหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จาก(Name plate) นั้นมีประสิทธิภาพ 87.4% ประสิทธิภาพจากการวัดจริงได้ 84.5 % โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ลดลงได้ 2.9%

4.3 จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง พบว่า มอเตอร์ที่ใช้งานในส่วนของปั๊มสูบน้ำกากส่าเอาไปทิ้ง ซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชม. มีขนาด 20 HP, จากการวัดหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จาก(Name plate) นั้นมีประสิทธิภาพ 91.7% ประสิทธิภาพจากการวัดจริงได้ 89.38% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ลดลงได้ 2.32%

4.4 จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง พบว่า มอเตอร์ที่ใช้งานในส่วนของปั๊มสูบน้ำหล่อเย็น ซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชม. มีขนาด 30 HP, จากการวัดหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จาก(Name plate) นั้นมีประสิทธิภาพ 91.5% ประสิทธิภาพจากการวัดจริงได้ 90.5% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ลดลงได้ 1%

4.5 จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริง พบว่า มอเตอร์ที่ใช้งานในส่วนของปั๊มสูบน้ำโสโครก ซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชม. มีขนาด 25 HP, จากการวัดหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จาก(Name plate) นั้นมีประสิทธิภาพ 92.2% ประสิทธิภาพจากการวัดจริงได้ 91.1% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ลดลงได้ 1.1%

5.สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการตรวจวัดหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แล้วพบว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์3 เฟส ที่สภาวะการทำงานจริงนั้นจะมีค่าต่ำกว่าค่าใน(Name Plate) อยู่ไม่ห่างกันมากนักเนื่องจากค่าประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ใน (Name Plate) จะมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ80-95% แต่ที่สภาวะการทำงานจริง มอเตอร์จะมีค่าประสิทธิภาพลดลงประมาณ 1%-2.9% สาเหตุเกิดจากการขับโหลดที่ต่ำกว่าค่าพิกัดหรือการชำรุดภายในตัวของมอเตอร์เพียงเล็กน้อย แต่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์มากนัก จากการประเมินหาประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นถือว่ามอเตอร์ยังคงมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีอยู่ แต่ถ้าประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์แล้วถ้าพบว่ามอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำกว่า 50% ควรพิจารณาว่าควรจะเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่หรือไม่ ซึ่งผู้วิจัยห่วงเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษา ค้นคว้า และเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าอีกทั้งเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ส่วนผลิตและวิศวกรรม บริษัท แสงโสม จำกัด ทุกท่าน ที่สนับสนุนข้อมูลและเอื้อเฟื้อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ภัควี หะยะมิน และชัยพล ธงชัยสุรัชต์กูล, การประเมินสภาพของการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ, การประชุมวิชาการทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและหุ่นยนต์, สมาคมวิชาการหุ่นยนต์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2016.

[2] บุญทัน ศรีบุญเรือง, "การทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์", ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรสภาพ, คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3] ฤชากร จิรกาลวสาน, "ภาระและประสิทธิภาพมอเตอร์", บทความวิชาการ ชุดที่ 11, สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย