การตรวจจับความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV ภายในอาคารสูงในฮ่องกง

จากบทความ Detecting Faults in Hong Kong High-Rise
โดย Youming Chen, Haitao Wang, Cary W. H. Chan, and Jianying Qin
ASHRAE Journal, Vol. 56, No. 1 (Jan 2014), pp. 46-51

แปลและเรียบเรียงโดย
วิชุดา เมตตานันท
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

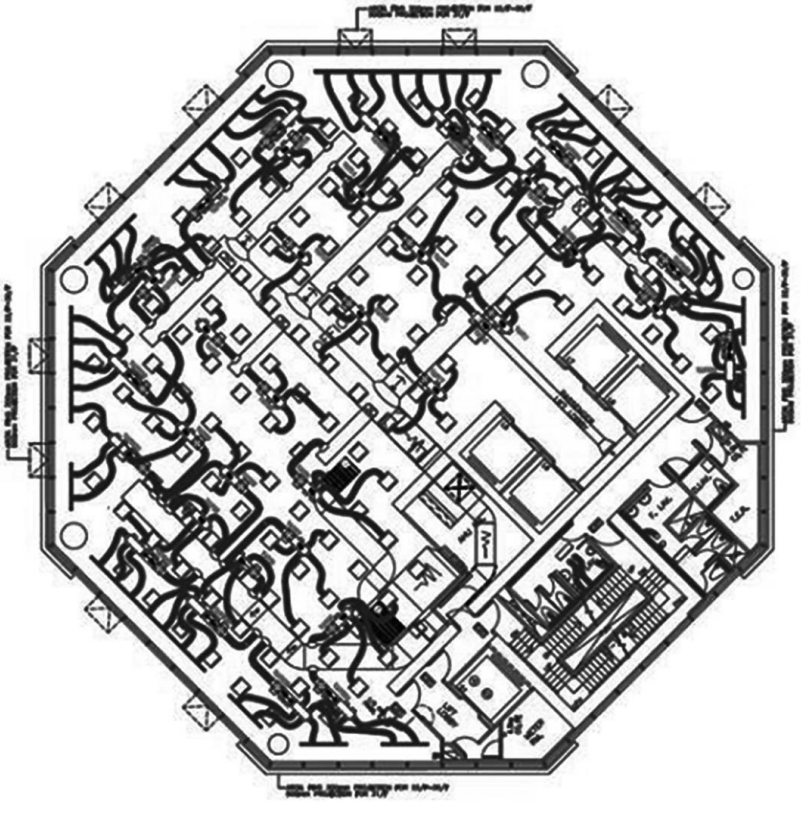
หลังจากมีการติดตั้งระบบตรวจจับความผิดพลาดเกือบ 1,200 จุดที่หัวจ่ายระบบส่งลมเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (VAV terminal) ภายในอาคารเคมบริดจ์เฮ้าส์ที่ฮ่องกง ส่งผลให้สามารถลดค่าไฟฟ้าของอาคารได้ถึง 13% ต่อปี

อาคารแห่งนี้เป็นอาคารสำนักงานที่สร้างมาแล้ว 10 ปี มีจำนวนชั้นทั้งหมด 36 ชั้น ประกอบด้วยพื้นที่ใช้สอย 29,484 ตารางเมตร โดยมีชั้นที่ 20 และชั้นดาดฟ้าเป็นห้องเครื่อง ตัวอาคารแบ่งเป็น 2 โซน คือ ชั้นที่ 1 ถึง 25 เป็นโซนด้านล่าง และ ชั้นที่ 26 ถึง 36 เป็นโซนด้านบน อาคารมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 2 เครื่องตั้งอยู่ที่ชั้น 20 ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายเทความเย็นจากโซนด้านล่างมายังโซนด้านบน โดยภายในอาคารจะได้รับการปรับอากาศจากท่อส่งลมเย็นชนิด VAV จำนวน 1 ท่อต่อชั้น และมีเครื่องจ่ายลมประเภทปริมาตรอากาศคงที่ทำหน้าที่จ่ายอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกในอัตรา 1,377 cfm (650 ลิตรต่อวินาที) ให้กับแต่ละชั้น อากาศบริสุทธิ์นี้จะถูกส่งไปยังห้องส่งจ่ายลมเย็น (AHU) ของแต่ละชั้น

โดยพัดลมจำนวน 3 ชุด ส่วนอากาศหมุนเวียน (Return air) จะถูกส่งกลับมายังห้อง AHU ผ่านช่องใต้เพดาน

แผนผังของระบบปรับอากาศสำหรับชั้นหนึ่งๆ แสดงดังรูปที่ 1 โดยที่ AHU 1 ชุดซึ่งรวมทั้งอุปกรณ์ติดตามและควบคุมสามารถส่งจ่ายอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกได้ที่อัตราการไหลที่เพียงพอ มีอุณหภูมิที่เหมาะสม และสามารถสร้างความดันอากาศที่เหมาะสมได้ ส่วนหัวจ่ายระบบส่งลมเย็นประเภท VAV นั้นทำหน้าที่รักษาระดับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณที่ใช้ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยการปรับปริมาตรอากาศที่จ่ายออกไปยังพื้นที่นั้นๆ ซึ่งหัวจ่ายลม VAV นั้นเมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลานานหลายปีมักจะเสีย ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในบริเวณที่ใช้ไม่ตรงตามระดับที่ต้องการ ทำให้ภาวะสบายลดลง และมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

ตัวอาคารมีหัวจ่ายลม VAV จำนวน 1,186 ชุด กระจายอยู่ในช่องใต้เพดานแบบปิด ส่งผลให้ยากต่อการตรวจสอบหัวจ่ายทั้งหมดโดยคน เนื่องจากต้องใช้คนจำนวนมากและมีความไม่สะดวกในการขอเข้าไปในพื้นที่ของผู้เช่าพื้นที่ในอาคาร ซึ่งหากใช้เจ้าหน้าที่จำนวน 2 คนในการตรวจสอบหัวจ่ายลม VAV ของอาคารสำนักงานที่มีลักษณะเดียวกันจะต้องใช้เวลาถึง 6 เดือน โดยในปัจจุบันระบบการควบคุมและจัดการพลังงาน (Energy management and control system) หรือ EMCS นั้นไม่สามารถตรวจสอบการเสียของหัวจ่ายลม VAV ได้ แต่ถ้าใช้เครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนความผิดปกติ (Fault detection and diagnosis) หรือ FDD สำหรับหัวจ่ายลม VAV จะสามารถช่วยปรับปรุงภาวะสบาย เพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์หัวจ่ายลม ลดค่าบำรุงรักษา และลดการใช้พลังงานลงได้



รูปที่ 1 แผนผังของระบบปรับอากาศ 1 ชั้น

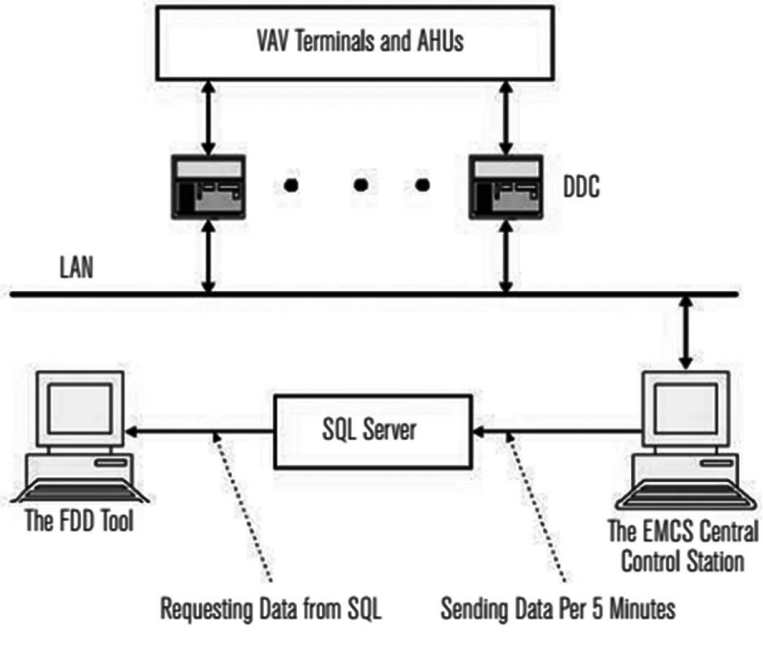
สำหรับโครงการของอาคารเคมบริดจ์เฮาส์นี้ได้มีการพัฒนาเครื่องมือ FDD แบบออนไลน์ขึ้นเพื่อหาและระบุความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV เครื่องมือ FDD ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของ EMCS ได้อย่างอัตโนมัติ และแสดงข้อมูลความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV ในลักษณะที่เข้าใจได้ง่ายให้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมอาคาร

การนำเครื่องมือ FDD มาใช้กับอาคารเคมบริดจ์เฮาส์นี้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ในระยะที่ 1 ช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2552 เป็นช่วงการพัฒนาตัวเครื่องมือ FDD และในระยะที่ 2 ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึงปัจจุบันเป็นช่วงนำเครื่องมือที่พัฒนาแล้วมาทดลองใช้งาน ซึ่งในช่วงทดลองใช้งานนั้นตัวเครื่องมือ FDD ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของการรายงานผล และทำการปรับแก้เครื่องมือ อันเป็นผลเนื่องมาจากการรายงานผลความผิดปกติของของหัวจ่ายลม VAV ผิดพลาดจากความเป็นจริง

เครื่องมือ FDD สำหรับหัวจ่ายลม VAV

เครื่องมือตรวจสอบและแจ้งเตือน FDD สำหรับหัวจ่ายลม VAV อาศัยกลยุทธ์การตรวจสอบและแจ้งเตือนแบบดั้งเดิม ซึ่งประกอบด้วยการใช้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Residual-based cumulative sum control chart หรือ CUSUM control chart) และหลักการของสมดุลมวลและสมดุลพลังงานในการออกแบบเพื่อหาต้นตอความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV โดยตัวเครื่องมือ FDD จะถูกติดตั้งภายในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบทำงานด้วยตนเอง (Stand-alone) เครื่องหนึ่งซึ่งโครงสร้างของการรวมเครื่องมือ FDD เข้ากับระบบการควบคุมและจัดการพลังงาน EMCS แสดงไว้ในรูปที่ 2

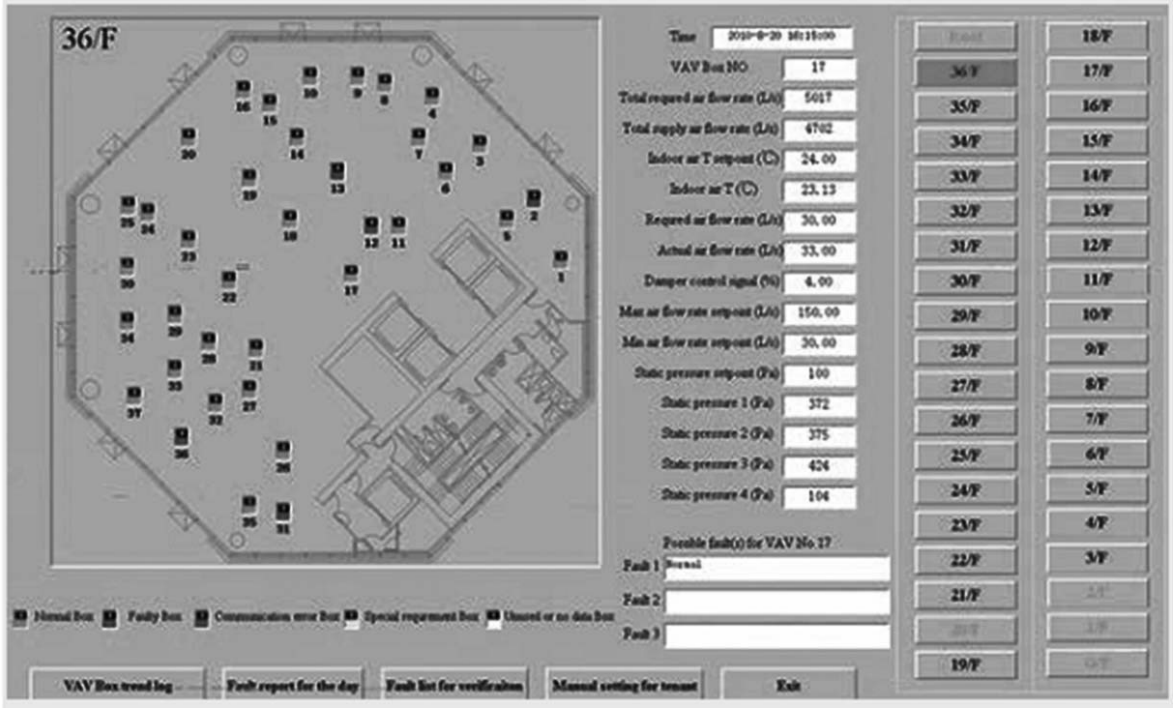
เครื่องมือ FDD นี้ไม่ส่งผลต่อการทำงานของระบบปรับอากาศ และไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดใดๆ เพิ่มเติม การทำงานทำโดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดและสัญญาณควบคุมของระบบ EMCS ของอาคารที่มีอยู่เดิมเท่านั้น โดยตัว



รูปที่ 2 การใช้งานเครื่องมือ FDD แบบออนไลน์กับ EMCS

เครื่องมือจะทำงานใน 5 หน้าที่ คือ การเก็บข้อมูลการทำงาน การตรวจจับความผิดปกติ การแจ้งเตือนเมื่อมีความผิดปกติ การสร้างกราฟแสดงข้อมูลการทำงานของกล่อง VAV โดยอัตโนมัติ และการรายงานผลความผิดปกติโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 3 ได้แสดงหน้าเชื่อมต่อข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานของเครื่องมือ FDD ทางด้านซ้ายของหน้าเชื่อมต่อจะแสดงแผนผังของหัวจ่ายลม VAV ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในอาคาร สีที่แสดงสัญลักษณ์หัวจ่ายลม VAV จะแสดงถึงสถานะการทำงานของหัวจ่ายลม ณ ขณะนั้นๆ ถ้าแสดงเป็นสีเขียวแสดงว่าทำงานได้ปกติ ถ้าเป็นสีแดงหมายถึงหัวจ่ายลม VAV ไม่ทำงาน ถ้าเป็นสีชมพูบานเย็นแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลจากหัวจ่ายลม ถ้าเป็นสีเหลืองแสดงว่าหัวจ่ายลมต้องการการตรวจสอบเป็นพิเศษ และถ้าเป็นสีขาวหมายถึงหัวจ่ายลมนี้ไม่ถูกใช้งานหรือไม่มีข้อมูล บริเวณตรงกลางของหน้าเชื่อมต่อข้อมูลจะแสดงรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ของหัวจ่ายลมที่เลือกดู ส่วนด้านขวามือของหน้าเชื่อมต่อข้อมูลแสดงปุ่มเลือกชั้นของอาคารที่ต้องการจะแสดงข้อมูลของหัวจ่ายลม ด้านล่างของหน้าเชื่อมต่อข้อมูลจะมีปุ่มเพื่อเลือกให้เครื่องมือ FDD รายงานผลอื่นๆ เช่น รายงานความผิดปกติประจำวัน และรายงานแสดงหัวจ่ายลมที่ต้องการการซ่อมบำรุงหรือการตรวจสอบเพื่อยืนยันความผิดปกติต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่เครื่องมือ FDD สร้างขึ้นมานี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานในการเข้าถึงแบบแปลนของหัวจ่ายลม VAV และเห็นถึงสาเหตุของความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถแจ้งต่อผู้เช่าในอาคารเพื่อขอเข้าไปตรวจสอบได้ เครื่องมือ FDD นี้สามารถนำไปปรับใช้กับระบบปรับอากาศชนิด VAV แห่งอื่นได้เพียงปรับหน้าเชื่อมต่อข้อมูลให้แสดงจำนวนและตำแหน่งหัวจ่ายลมตรงกับของระบบปรับอากาศที่นำไปใช้งาน



รูปที่ 3 หน้าเชื่อมต่อข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานของเครื่อง FDD

นวัตกรรม

เครื่องมือ FDD แบบออนไลน์นี้อาจเป็นเครื่องมือของ EMCS เครื่องมือแรกที่พัฒนาเพื่อแจ้งความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV สำหรับอาคารพาณิชย์ ซึ่งตัวเครื่องมือได้ผ่านการทดสอบอย่างหนักเพื่อยืนยันความสามารถในการทำงาน โดยนวัตกรรมหลักๆ ประกอบด้วย

- การศึกษาโดยการสำรวจในพื้นที่จริง ซึ่งจากการตรวจสอบในพื้นที่จริงพบหัวจ่ายลม VAV ของอาคารเคมบริดจ์เฮาส์ที่ทำงานผิดปกติอย่างชัดเจน จำนวน 13 จุด และเครื่องมือเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติเหล่านี้ได้รับการพัฒนาขึ้น
- การใช้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมในการตรวจจับความผิดปกติ ซึ่งการใช้แผนภูมิช่วยปรับปรุงความถูกต้องของการวินิจฉัยความผิดปกติโดยการขจัดผลที่ไม่ต้องการจากข้อมูลที่ได้รับผลกระทบจากข้อมูลก่อนหน้า และยังเพิ่มความสามารถในการรับมือกับการวินิจฉัยความผิดปกติจำนวนมากๆ ได้ โดยการลดผลกระทบจากการแกว่งของข้อมูลที่เกิดขึ้นโดยปกติลง
- นอกจากนี้ได้มีการใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีที่มาจากสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน ในการหาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดกับหัวจ่ายลม VAV กฎเหล่านี้เป็นกฎง่ายๆ ซึ่งช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความมั่นใจที่จะใช้เครื่องมือ FDD

ตัวเครื่องมือ FDD แสดงสภาวะการทำงานของหัวจ่ายลม VAV และสาเหตุต่างๆ ของความผิดปกติ โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ของหัวจ่ายลม ค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด และสัญญาณควบคุมต่างๆ ที่มีอยู่แล้วตามปกติใน EMCS แล้วนำมาแสดงผลเป็นสถิติความผิดปกติ และรายงานผลความผิดปกติเพื่อใช้ในการตรวจสอบยืนยัน ซึ่งระดับความผิดปกติของหัวจ่าย VAV จะถูกแบ่งเป็นหลายระดับขึ้นกับระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น รายการความผิดปกติที่แสดงสามารถอำนวยความสะดวกให้กับการแก้ไขความผิดปกติและปรับปรุงประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและการซ่อมบำรุง นอกจากนี้ เงื่อนไขพิเศษต่างๆ ของผู้เช่า เช่น ผู้เช่าอยู่ระหว่างการลาพักร้อน หรือพื้นที่กำลังทำการตกแต่งภายในหรือกำลังทำการซ่อมแซมได้ถูกรวมอยู่ในการพิจารณาของเครื่องมือ FDD เพื่อลดสาเหตุการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด

การใช้งานและการบำรุงรักษา

ตัวเครื่องมือ FDD จะทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานต่างๆ ใน EMCS โดยอัตโนมัติ และแจ้งข้อมูลความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV ที่ชัดเจนให้แก่ผู้ใช้งาน ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพการทำงานและการซ่อมบำรุงหัวจ่ายลม VAV ส่งผลให้เจ้าหน้าที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและง่ายขึ้น เครื่องมือ FDD จะตรวจสอบสถานะการเปิดหรือปิดการทำงานของหัวจ่ายลม VAV และ AHU ต่างๆ อย่างอัตโนมัติ สถานะการทำงานต่างๆ ของหัวจ่ายลม VAV จะไม่ส่งผลต่อการทำงานเครื่องมือ FDD ทำให้เครื่องมือ FDD ทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องการการบำรุงรักษาและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ

ประโยชน์ด้านการใช้พลังงานของอาคาร

การใช้เครื่องมือ FDD ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารเคมบริดจ์เฮาส์เป็นอย่างมาก ภาระการทำความเย็นในปี พ.ศ. 2552 และ 2553 ในวันทำงาน (8.00 น. ถึง 18.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และ 8.00 น. ถึง 14.00 น. ของวันเสาร์) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยในปี พ.ศ. 2553 ภาระการทำความเย็นของอาคารเคมบริดจ์เฮาส์มีค่าเท่ากับ 6,430,883 kWh ซึ่งลดลงถึง 980,250 kWh จากปีก่อนหน้า คิดเป็นผลประหยัดของค่าไฟฟ้าอันเนื่องมาจากระบบปรับอากาศเท่ากับ 13.23% ต่อปี หลังจากมีการใช้เครื่องมือ FDD

ตารางที่ 1 ภาระการทำความเย็นของอาคารเคมบริดจ์เฮาส์เฉพาะวันทำงานในปี พ.ศ. 2552 และ 2553 (ข้อมูลจาก EMCS)

เดือน	ภาระทำความเย็น พ.ศ. 2552 (kWh)	ภาระทำความเย็น พ.ศ. 2553 (kWh)
มกราคม	307,454	254,106
กุมภาพันธ์	455,624	267,892
มีนาคม	431,875	399,369
เมษายน	450,375	370,491
พฤษภาคม	657,499	594,552
มิถุนายน	883,080	649,638
กรกฎาคม	946,323	823,336
สิงหาคม	950,534	845,983
กันยายน	911,237	825,909
ตุลาคม	665,992	599,282
พฤศจิกายน	454,377	460,675
ธันวาคม	296,763	339,652
รวม	**7,411,133**	**6,430,885**
ผลประหยัด		13.23%

สรุป

เครื่องมือ FDD สามารถช่วยตรวจจับและวินิจฉัยความผิดปกติของหัวจ่ายลม VAV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มภาวะสบายของผู้ใช้งานอาคาร เพิ่มคุณภาพการบริการของฝ่ายอาคาร ลดแรงงานและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และลดการใช้ไฟฟ้าได้ถึง 13.23%