

# การจำลองการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรอัตโนมัติด้วย พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการประยุกต์ใช้เพื่อลดการ ปนเปื้อนของอนุภาค

## Airflow Simulation inside Automation Machine using Computational Fluid Dynamics and Its Application for Reducing Particle Contamination

จตุพร ทองศรี

หน่วยวิจัยเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีความน่าเชื่อถือทางกล สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต  
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ในบทความวิชาการนี้ เรากล่าวถึงการจำลองการไหลของอากาศ (Airflow) ภายในเครื่องจักรอัตโนมัติ (Automation Machine) และการนำไปใช้เพื่อลดการปนเปื้อนของอนุภาค (Particle Contamination) ด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) ในการจำลองเราใช้เงื่อนไขสภาพแวดล้อม (Ambient Conditions) เช่น อุณหภูมิ ความดัน และความเร็วของอากาศจริงที่วัดได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ผลการจำลองแสดงถึงรูปแบบการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรอัตโนมัติที่สามารถทำหน้าที่กั้นตัวป้องกันอนุภาคจากภายนอก และมีประสิทธิภาพลดการปนเปื้อนของอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักรขณะทำงานด้วย เราพบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยย่อ หลักเชิงสมการที่ซับซ้อน และนำเสนอระเบียบวิธีของการจำลอง เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ ความรู้จากบทความนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับออกแบบเครื่องจักรอัตโนมัติแบบอื่นๆ เพื่อลดการปนเปื้อนของอนุภาคได้

**คำสำคัญ :** พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การไหลของอากาศ, การปนเปื้อนของอนุภาค, เครื่องจักรอัตโนมัติ

### Abstract

In this academic article, we introduce a simulation of airflow inside an automation machine (AM) and its application for reducing particle contamination using the computational fluid dynamics. In the simulation, we used an actual ambient condition such as temperature, pressure and air velocity measured from a factory. The result of simulation shows that airflow pattern inside the AM can act as a particle blocker from outside and has more efficiency in reducing particle contamination inside the AM while it is working. We briefly review a relevant theory, neglect complicated equations, and present a methodology of simulation in order to easy to understand. The knowledge in this article can be applied as fundamental information for designing the other automation to reduce particle contamination.

**Keywords :** Computational Fluid Dynamics, Airflow, Particle Contamination, Automation Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศไทย ซึ่งการส่งออกเครื่องใช้และอุปกรณ์เหล่านี้ สร้างรายได้ให้กับประเทศไทยมากมาย ในปี 2011 ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์คิดเป็นมูลค่า 30% ของการส่งออกทั้งหมดของประเทศ มีการจ้างงานคิดเป็นร้อยละ 14 ของการจ้างงานทั้งหมด การผลิตชิ้นส่วนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องผลิตภายในห้องสะอาด (Clean Room) ที่มีการปนเปื้อนของอนุภาค (Particle Contamination) ในระดับต่ำ ตามเกณฑ์มาตรฐานของแต่ละชนิดของอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ (Automation Machine) แทนแรงงานคนในการปฏิบัติงาน เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต และที่สำคัญเป็นการลดการปนเปื้อนของอนุภาคอีกด้วย ตัวอย่างเช่น การผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จ (Head Stack Assembly, HSA) ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ถูกกำหนดให้ผลิตในห้องสะอาดคลาส 100 นั่นคืออนุภาคที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน ได้ไม่เกิน 100 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต แต่ห้องสะอาดคลาส 100 ดังกล่าวนั้นมีค่าใช้จ่ายในการสร้าง และการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ตลอดจนมีข้อกำหนดในการควบคุมคุณภาพค่อนข้างมาก ดังนั้นในการผลิตจริงบางโรงงานจึงกำหนดให้ผลิตชุดหัวอ่านสำเร็จในห้องสะอาดคลาส 1,000 แทน นั่นคืออนุภาคที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน ได้ไม่เกิน 1,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต แต่มีการติดตั้งพัดลมกรองอากาศ (Fan Filter Unit, FFU) ไว้บนเครื่องจักรผลิต โดยคาดหวังว่าการไหลของอากาศนั้นจะลดการปนเปื้อนของอากาศได้

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล จากการทบทวนวรรณกรรม ไม่พบว่ามีรายงานที่เกี่ยวกับการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณศึกษาการไหลของอากาศเพื่อลดการปนเปื้อนของอากาศในเครื่องจักรแบบนี้โดยตรง แต่มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเอกสารที่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ชัดเจนว่าเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่มีการเปิดเผยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสะอาด และอุปกรณ์อื่นๆ [1-4] แต่ยังคงใช้หลักการของพลศาสตร์ของไหลเป็นหลักสำคัญเช่นเดียวกัน Liu และคณะ [1] ได้ตรวจสอบอิทธิพลของคอมพิวเตอร์รูปแบบการไหลของอากาศในห้องผ่าตัดโรงพยาบาล Noh และคณะ [2] ประสบความสำเร็จในการควบคุมการปนเปื้อนของอนุภาคในห้องสะอาดโดยอาศัยหลักการวัดความเข้มข้นของอนุภาค ร่วมกับพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Naphon และคณะ [3] ได้ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศในตู้ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ปัจจุบันงานวิจัยบางส่วนของเราเองก็ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแก้ปัญหาตรวจสอบ และพัฒนาระบบการผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ หนึ่งในงานเหล่านั้นเช่น การใช้หลักการนี้ตรวจสอบการไหลของอากาศในเครื่องประกอบอัตโนมัติของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง [4] เพื่อหาเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับลดการปนเปื้อนของอนุภาคได้ ที่กล่าวอ้างมาทั้งหมดนี้สามารถยืนยันได้ว่าพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมีบทบาทสำคัญในการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ ตลอดจนระบบการผลิตต่างๆ ให้มีสมบัติสอดคล้องกับความต้องการได้

จากประสบการณ์ที่มีในการทำวิจัยร่วมกับภาคอุตสาหกรรม ทำให้เรามีโอกาสใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมจริงหลายครั้ง ในบทความนี้ เรามีจุดประสงค์แนะนำการประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อหาวิธีลดการปนเปื้อนของอนุภาคในเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยย่อ หลักเบื้องสมการที่ซับซ้อน เน้นระเบียบวิธีในการแก้ปัญหาเพื่อให้เข้าใจง่าย จึงยกตัวอย่างด้วยงานวิจัยของผู้แต่งเองที่ได้ทำร่วมกับภาคอุตสาหกรรม จึงเหมาะกับนักศึกษา วิศวกร ช่างเทคนิค ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป แม้มีพื้นฐานด้านนี้เพียงบางส่วน ก็สามารถนำความรู้ที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ได้

## 2. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

รูปแบบการไหลของอากาศสามารถหาได้จาก การแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ของสมการที่เกี่ยวข้องได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ชัดเจนว่าเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่มีการเปิดเผยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการอนุรักษ์ (Conservation Equation) และสมการความปั่นป่วน (Turbulence Equation) ซึ่งสมการอนุรักษ์ประกอบด้วย สมการอนุรักษ์มวล (1), สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (2) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (3) [5]

$$\partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho v) = S_m \quad (1)$$

$$\partial (\rho v) / \partial t + \nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau) + \rho g + F \quad (2)$$

$$\partial (\rho E) / \partial t + \nabla \cdot (v(\rho E + p)) = -\nabla \cdot (\Sigma_j h_j j_j) + S_h \quad (3)$$

เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่นของอากาศ  $t$  คือเวลา  $\tau$  คือเทนเซอร์ความเค้น (Stress Tensor)  $S_m$  และ  $S_h$  คือเทอมของแหล่งกำเนิด (Source Term)  $p$  คือความดันสถิต (Static Pressure)  $\rho g$  และ  $F$  คือแรงโน้มถ่วง และ แรงกระทำจากภายนอกตามลำดับ

สมการความปั่นป่วนมีมากมายหลายสมการ เช่น  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$  และอื่นๆ ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ และเหมาะสมสำหรับการศึกษาปัญหาทางวิศวกรรมที่แตกต่างกัน แต่ในบทความนี้ เราใช้ Transition Shear Stress Transport (Transition SST) ซึ่งเป็นแบบจำลองความปั่นป่วนที่ได้รับความนิยมในภาคอุตสาหกรรม [5] เนื่องจากให้ผลการคำนวณที่มีความน่าเชื่อถือสูง Transition SST ประกอบด้วย สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulence Kinetic Energy,  $k$ ) สมการอัตรากระจายเฉพาะ (Specific Dissipation Rate,  $\omega$ ) สมการทรานสิชั่นธิคเนส เรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Transition Momentum Thickness Reynolds Number,  $Re_{\theta}^*$ ) และสมการอินเตอร์มิทเทนซี (Intermittency,  $\gamma$ ) เนื่องจากพื้นที่ในบทความนี้ มีจำกัด จึงไม่สามารถแสดงสมการ และอธิบายความหมายทั้งหมดได้ ผู้ที่สนใจสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ในเอกสารอ้างอิง [5] ในการคำนวณด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนนี้ คอมพิวเตอร์จะต้องแก้ 3 สมการอนุรักษ์ และ 4 สมการความปั่นป่วน รวมทั้งหมด 7 สมการ โดยอาศัยหลักการของระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) เพื่อหาคำตอบ

ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัดจะใช้แก้ปัญหาคำนวณของไหลโดยแบบจำลองของของไหล (Fluid Model) จะถูกแบ่งย่อยออกเป็นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า ปริมาตรควบคุม

(Control Volume) สมการอนุรักษ์ย่อยทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องในปริมาตรควบคุมนี้จะถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นระบบสมการพีชคณิตจำนวนมาก เมื่อกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น และปริมาณที่เกี่ยวข้องต่างๆ ครบถ้วน คอมพิวเตอร์จะแก้ระบบสมการดังกล่าวเพื่อหาคำตอบในปริมาตรควบคุมอย่างต่อเนื่องจนครบทั้งแบบจำลองวัตถุ แล้วรายงานผลในรูปแบบของผลลัพธ์เพื่อต่อการวิเคราะห์

### 3. ระเบียบวิธีการแก้ปัญหา

#### 3.1 แบบจำลองเครื่องจักรอัตโนมัติ

ต่อไปเรายกตัวอย่างการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแก้ปัญหาจริงในภาคอุตสาหกรรม ข้อมูลบางส่วนนำมาจากเอกสารอ้างอิง [4] จุดมุ่งหมายของงานนี้คือต้องการหารูปแบบการไหลของอากาศ และตรวจสอบความเป็นไปได้ ในการใช้การไหลของอากาศจากพัดลมกรองอากาศเพื่อลดการปนเปื้อนของอนุภาคในเครื่องจักร

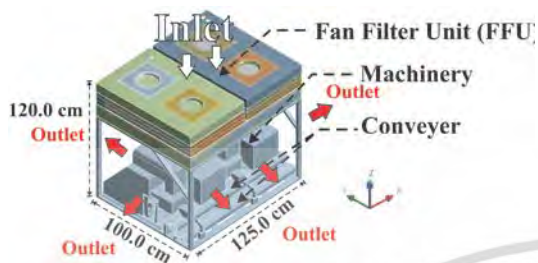
ขั้นตอนการวิจัยเป็นดังนี้ เราได้วัดขนาดของเครื่องจักรอัตโนมัติจริง เขียนแบบจำลองของเครื่องจักรนี้ในคอมพิวเตอร์ และได้ตรวจสอบลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรเบื้องต้น เพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขค่าขอบ (Boundary Condition) รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองเครื่องจักรอัตโนมัติที่มีการลดความซับซ้อนลง (Simplify) เฉพาะในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้อง และลักษณะการไหลของอากาศที่สังเกตได้เบื้องต้น เครื่องจักรอัตโนมัติเครื่องนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1) พัดลมกรองอากาศ (FFU) ทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกผ่านตัวกรองอากาศ ไหลเข้าสู่เครื่องจักร แล้วไหลออกด้านข้างทั้งสองด้าน 2) เครื่องจักร (Machinery) ทำหน้าที่ผลิตสินค้าและ 3) สายพานลำเลียง (Conveyor) ทำหน้าที่ลำเลียงสินค้าที่ผลิตได้ไปยังเครื่องจักรชนิดอื่นๆ ที่อยู่ติดกันต่อไป

#### 3.2 แบบจำลองของไหล และแบบจำลองเมช

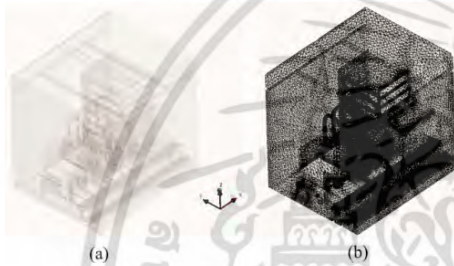
อาศัยแบบจำลองดังรูปที่ 2 เราได้ใช้โปรแกรม FLUENT ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ซิเกท เทคโนโลยีฯ สร้างแบบจำลองของเหลวซึ่งได้ถูกนำไปเป็นต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองเมชต่อไป โดยแบบจำลองของเหลว และแบบจำลองเมชที่ใช้ในงานนี้แสดงดังรูปที่ 2 (a) และ (b) ตามลำดับ ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเมชมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญ เพราะทั้งชนิด ขนาด และคุณภาพของเมชมีผลต่อทั้งเวลาที่ใช้คำนวณ และผลเฉลยที่ได้ ดังนั้นเราจึงได้วิเคราะห์ความเป็นอิสระของเมช (Mesh Independent Analysis) ด้วย



รูปที่ 1: แบบจำลองของเครื่องจักรอัตโนมัติ และลักษณะการไหลของอากาศเบื้องต้น



รูปที่ 2: (a) แบบจำลองของไหล และ (b) แบบจำลองเมช

เพื่อที่จะได้แบบจำลองเมชที่เหมาะสม นั่นคือผลการคำนวณไม่ขึ้นกับ ชนิด ขนาดและรูปร่างของเมช เราได้สร้างแบบจำลองเมช 5 แบบจำลอง โดยให้มีความละเอียดแตกต่างกันเฉพาะในบริเวณทางอากาศออก (Outlet) และบริเวณใกล้สายพานลำเลียง แบบจำลองเมชทั้งหมดที่ได้มีจำนวน โหนด และเอลิเมนต์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.25-1.44 ล้านโหนด และ 6.54-7.65 ล้านเอลิเมนต์ตามลำดับ เมื่อคำนวณและเปรียบเทียบผลด้วยการวิเคราะห์ความเป็นอิสระของเมช เราพบว่าแบบจำลองเมชที่มีจำนวน 1.28 ล้านโหนด และ 6.84 ล้านเอลิเมนต์ มีความเหมาะสมทั้งในแง่ของผลการคำนวณที่ได้ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

### 3.3 กำหนดเงื่อนไขและค่าที่จำเป็นต่างๆ

ขั้นตอนี่สำหรับกำหนดค่าต่างๆให้โปรแกรม FLUENT ใช้ในการคำนวณ การคำนวณมีสองแบบคือสถานะคงที่ (Steady-State) และสถานะขึ้นกับเวลา (Transient) ส่วนใหญ่การคำนวณสถานะคงที่จะใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าสถานะขึ้นกับเวลา ซึ่งมีการกำหนดค่าก่อนข้างซับซ้อน และใช้เวลาในการคำนวณมาก แต่ได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลยที่มีความน่าเชื่อถือกว่าสถานะคงที่ ในงานวิจัยนี้เราได้คำนวณแบบสถานะคงที่ ค่าที่จำเป็นสำหรับการคำนวณเป็นค่าจริงที่ได้จากการวัดสภาพแวดล้อม (Ambient Condition) ในโรงงานอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ค่าที่วัดได้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ตัวแปร	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิ	24.5±0.1 °C
ความดัน	106300±300 Pa
ความเร็วอากาศเข้า	0.45±0.05 m/s

ค่าในตารางที่ 1 ใช้กำหนดความเร็วอากาศเข้า (velocity inlet) และค่าอ้างอิง (Reference Value) เราใช้ความดันขาออก (Pressure Outlet) เป็นอีกเงื่อนไขสำหรับการคำนวณค่าต่างๆแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : ค่าที่กำหนดความดันขาออก

ตัวแปร	ค่าที่วัดได้
Pressure Gauge	0 Pa
Backflow Turbulent Intensity	5 %
Backflow Turbulent Viscosity Ratio	10

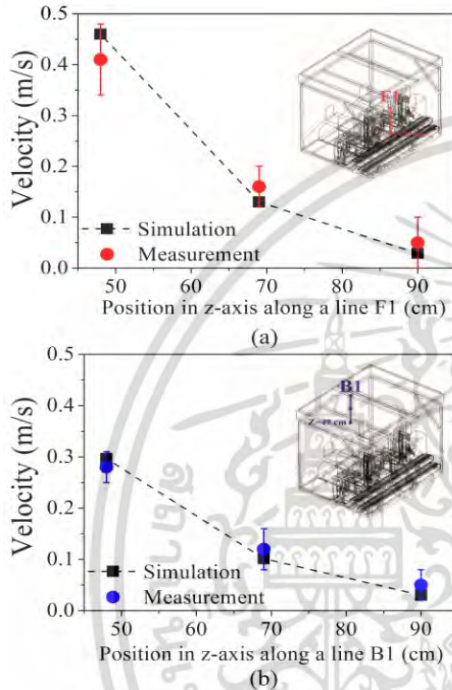
กำหนดค่าต่างๆดังตารางที่ 1 และ 2 แล้วคำนวณแบบสถานะคงที่จำนวน 1200 ครั้ง (Iteration) โดยมีเกณฑ์การลู่เข้าสัมบูรณ์ของค่าตอบเป็น  $10^{-6}$  ผลการคำนวณจะเริ่มคงที่ซึ่งสามารถนำผลไปวิเคราะห์เพื่อแสดงรูปแบบการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรอัตโนมัติได้

### 4. ผลการคำนวณและการอภิปราย

โดยใช้แบบจำลองเมชในรูปที่ 2 (b) ร่วมกับการคำนวณ โดยใช้สมการความปั่นป่วนแบบ Transition SST ในโปรแกรม FLUENT เราได้รูปแบบการไหลของอากาศในเครื่องจักรอัตโนมัติทุกๆบริเวณตามต้องการ เราแบ่งการรายงานผลการจำลองออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณ ความเป็นไปได้ในการป้องกันอนุภาคจากภายนอก และความเป็นไปได้ของการกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นภายใน

เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณ เราได้วัดความเร็วของอากาศจริงขณะเครื่องจักรทำงานเพื่อเปรียบเทียบ โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบขดลวดความร้อน (Hot Wire Anemometer) ที่มีค่าความ

ละเอียด  $\pm 0.03$  m/s ทำการวัดความเร็วเฉลี่ยในพื้นที่ 3 บริเวณที่ตัวอย่าง ได้แก่ ด้านหน้า ด้านหลัง และสายพานลำเลียง รูปที่ 3 (a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วอากาศบริเวณด้านหน้าของเครื่องจักรบนเส้น F1 ที่ตำแหน่งบนแกน Z เท่ากับ 49, 68 และ 90 cm ในทำนองเดียวกัน รูปที่ 3 (b) แสดงผลการเปรียบเทียบบริเวณด้านหลังของเครื่องจักรบนเส้น B1 ที่ระยะ Z เดียวกัน

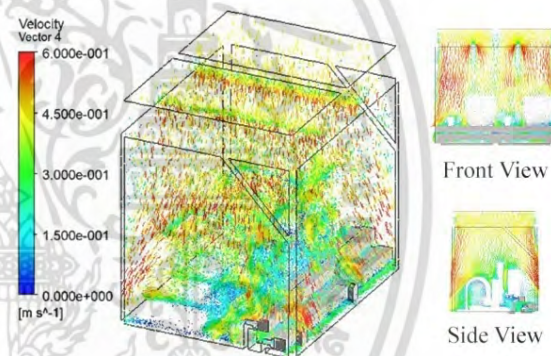


รูปที่ 3: ผลการเปรียบเทียบความเร็วอากาศระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและที่ได้จากการวัดจริงบริเวณ (a) ด้านหน้า และ (b) ด้านหลังของเครื่องจักรฯ

ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าทั้งสองนั้นมีความสอดคล้องกัน ความแตกต่างเล็กน้อยที่เกิดขึ้นนี้อาจมีสาเหตุจากความเร็วอากาศที่ออกจากพัดลมกรองอากาศมีค่าไม่คงที่ นั่นคือ จากการวัดจริงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.40-0.50 m/s แต่เราได้ใช้ค่าเฉลี่ย 0.45 m/s เป็นความเร็วขาเข้า เมื่อกำหนดให้ความเร็วอากาศขาเข้าเป็น 0.40 และ 0.50 m/s พบว่าค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากที่ได้จาก 0.45 m/s เล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในช่วงของความคลาดเคลื่อนที่เกิดการวัด เรายังได้เปรียบเทียบความเร็วของอากาศทั้งสองบริเวณบนเส้นสมมติอื่นอีก 2 เส้น ซึ่งผลทั้งหมดสอดคล้องกันเป็นอย่างดี นอกจากนี้ เรายังได้วัดความเร็วอากาศที่บริเวณสายพานลำเลียงด้วย พบว่ามันอยู่ในช่วง 0.08-0.22 m/s ในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าจากการคำนวณอยู่ในช่วง 0.09-0.21 m/s นั่นคือผลการคำนวณของเรามีความน่าเชื่อถือ

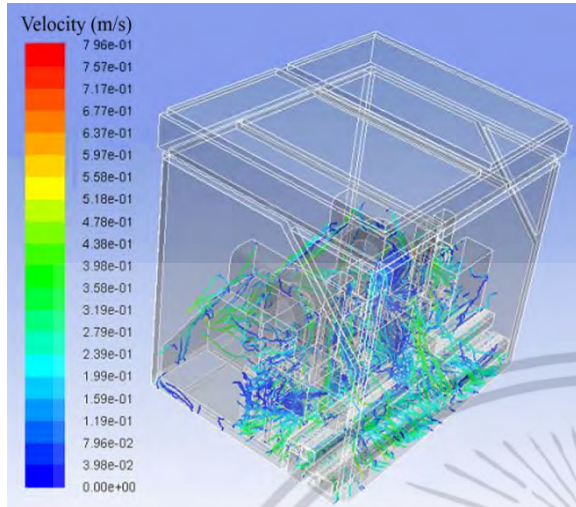
เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการป้องกันอนุภาคจากภายนอกไม่ให้ไหลเข้ามาภายในเครื่องจักรอัตโนมัติ รูปที่ 4 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (Velocity Vector) ของอากาศในเครื่องจักรฯ เมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่าอากาศจะไหลจากพัดลมกรองอากาศสู่เครื่องจักรอัตโนมัติ และไหลออกทางด้านข้างทั้งสี่ด้านดังที่คาดการณ์ไว้แล้ว เมื่อพิจารณาเฉพาะบริเวณขอบของเครื่องจักร พบว่าความเร็วลมดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 0.23 - 0.60 m/s ตลอดทั้งเครื่อง เมื่อเทียบกับค่าความเร็วอากาศด้านนอกเครื่องที่เราวัดได้ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.03 m/s จะเห็นได้ว่ามีค่าสูงมากกว่า ดังนั้น โอกาสที่อนุภาคจากภายนอกที่จะลอยเข้าสู่เครื่องประกอบอัตโนมัติได้จึงเป็นไปได้ยาก



รูปที่ 4: เวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในเครื่องจักร

เนื่องจากในขณะผลิต การเคลื่อนไหว และการเสียดสีกันของอุปกรณ์ต่างๆภายในเครื่องจักรฯอาจปลดปล่อยอนุภาคทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ ดังนั้นเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นภายใน เราจึงได้จำลองเหตุการณ์นี้ โดยปล่อยอนุภาคอนุภาคกลม (DPM) ซึ่งมีความหนาแน่น  $\rho = 2,719$  kg/m<sup>3</sup>,  $C_p = 871$  J/kg-K) ซึ่งเป็นอนุภาคหนึ่งที่พบบ่อยในโรงงาน ในผลจำลองการไหลของอากาศที่คำนวณได้ อนุภาคนี้มีขนาด 0.5 ไมครอน ถูกปล่อยออกจากบริเวณต่างๆของเครื่องจักรฯแบบสุ่ม จำนวน 500 อนุภาค โดยใช้แบบจำลอง Discrete Phase Model (DPM) ในโปรแกรม FLUENT รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างร่องรอย (Particle Trace) ของอนุภาค 500 อนุภาคซึ่งถูกปล่อยแล้วเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากอิทธิพลของอากาศที่ออกจาก

พัฒนารองอากาศโดยที่เจดสีแสดงถึงความเร็วของอนุภาคขณะเคลื่อนที่



รูปที่ 5: ร่องรอยของอนุภาคอนุกรมนิยมจำนวน 500 อนุภาคที่เคลื่อนที่เนื่องจากอากาศที่ออกจากพัดลมกรองอากาศจากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าอนุภาคส่วนใหญ่จะถูกอากาศที่ออกจากพัดลมกรองอากาศบังคับให้เคลื่อนที่ออกจากเครื่องจักรอัตโนมัติ มีเพียงอนุภาคส่วนน้อยเท่านั้นที่ตกลงบนสายพานลำเลียงและทำให้เกิดการปนเปื้อนขึ้น ดังนั้นการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรนี้สามารถกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นจากภายในเครื่องจักรเองได้

อาศัยระเบียบวิธีวิจัยดังที่กล่าวมานี้ เรายังได้คำนวณความเร็วอากาศที่เหมาะสมสำหรับเครื่องจักรตัวอย่างนี้ด้วย เราพบว่าความเร็วจากพัดลมกรองอากาศในช่วง 0.40-0.50 m/s จะมีประสิทธิภาพในการป้องกัน และลดการปนเปื้อนของอนุภาคได้ดีที่สุด เนื่องจากความเร็วช่วงนี้จะทำให้มีจำนวนอนุภาคตกลงบนสายพานลำเลียงน้อยที่สุด ความเร็วของอากาศที่น้อย หรือมากเกินไปจะทำให้เกิดการปนเปื้อนมาก รายละเอียดของผลการวิจัยได้ถูกรายงานไปยังโรงงานเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิต โดยปกติโรงงานจะมีการผลิตสินค้าด้วยระบบอัตโนมัติตลอด 24 ชั่วโมง หากหยุดการผลิตจะทำให้สูญเสียรายได้ แต่การใช้พลศาสตร์ของไหลเช่นนี้สามารถจำลองเหตุการณ์ และแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยไม่ต้องหยุดสายการผลิตแต่อย่างใด นับเป็นอีกแนวทางหนึ่งในแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาคการผลิตได้ ความรู้ที่ได้จากวารสารนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอัตโนมัติในอุตสาหกรรมชนิด

อื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของอนุภาคในขณะผลิตได้

## 5. สรุป

บทความวิชาการนี้ได้กล่าวถึงการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณจำลองรูปแบบการไหลของอากาศในเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยเราได้ยกตัวอย่างงานวิจัยจริงที่ได้ทำร่วมกับภาคอุตสาหกรรม พบว่าอากาศที่ออกจากพัดลมกรองอากาศที่ถูกติดตั้งบนเครื่องจักรอัตโนมัติอยู่ในช่วง 0.40-0.50 m/s นอกจากนี้จะสามารถป้องกันอนุภาคจากภายนอกที่จะไหลเข้าสู่ตัวเครื่องจักรแล้ว ยังทำหน้าที่กำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นจากภายในเครื่องจักรเองได้อีกด้วย เป็นการลดการปนเปื้อนของอนุภาคในขณะทำการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

## 6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Liu, H. Wang and W. Wen, "Numerical simulation on a horizontal airflow for airborne particles control in hospital operating room," Building and Environment, Vol.44, No.11, pp.2284-2289, 2009.
- [2] K.C.Noh, H.S. Kim and M.D. Oh, "Study on contamination control in a minienvironment inside clean room for yield enhancement based on particle concentration measurement and airflow CFD simulation," Building and Environment, Vol.45, No.4, pp.825-831, 2010.
- [3] P. Naphon, S. Ratchaneekorn and J. Kurujareon, "Heat transfer and flow characteristics in the hard disk drive tester," International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol.36, No.8, pp.820-826, 2009.
- [4] J. Thongsri and A. Khaokom, "Successful simulation of airflow in the microenvironment of an assembly automation machine and its implication," Accepted by Advanced Materials Research. Advanced Materials Research, Vols.931-932, pp. 1063-1067, 2014.
- [5] Ansys Fluent 14.5, User's guide, Chapter 4, 2012 Turbulence, October 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้