

การตรวจสอบเชิงตัวเลขของการใช้การไหลอากาศในเครื่องจักร อัตโนมัติเพื่อลดการปนเปื้อนของอนุภาคสำหรับกระบวนการผลิต ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

Numerical Investigation Of Using Airflow Inside Automation

Machine To Reduce Particle Contamination For HDD

Manufacturing Process

จตุพร ทองศรี อติสร ขาวคม วรรณพร สุขสุกาญจน

หน่วยวิจัยเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีความน่าเชื่อถือทางกล สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายใต้เกณฑ์การปนเปื้อนของอนุภาคน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงมีการติดตั้งพัดลมกรองอากาศทางด้านบนของเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อทำให้เกิดการไหลของอากาศภายใน โดยคาดหมายว่าการไหลของอากาศนั้นจะสามารถป้องกันอนุภาคจากภายนอก และกำจัดอนุภาคที่อยู่ภายในทำให้ลดการปนเปื้อนของอนุภาคในการผลิตได้ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายตรวจสอบเชิงตัวเลขการใช้การไหลของอากาศดังกล่าวด้วยพื้นฐานทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณภายใต้เงื่อนไขจริงของโรงงาน พบว่าพัดลมกรองอากาศให้รูปแบบการไหลของอากาศที่เหมาะสมซึ่งสามารถลดการปนเปื้อนของอนุภาคในเครื่องจักรได้ ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของอนุภาค

คำสำคัญ : พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การไหลของอากาศ, การปนเปื้อนของอนุภาค, เครื่องจักรอัตโนมัติ

Abstract

In a hard disk drive (HDD) manufacturing process, it is necessary to produce HDDs under a criterion of the lowest particle contamination. For this reason, fan filter units (FFUs) is installed on top of an automation machine (AM) to generate airflow inside. It is expected that the airflow can block particles from the outside and disperse particles inside the AM, causing the reduction of particle contamination in the production. This research aims to numerically investigate the use of airflow based on computational fluid dynamics under a condition of HDD factory. It was found that FFUs gives the optimum airflow pattern, which can reduce the particle contamination inside the AM. The results of this research can be applied to develop related machines to improve their efficiency in reducing particle contamination

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่สำคัญของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากการบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กบริเวณหัวอ่าน/เขียน (read/write head) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก หนึ่ยวนำให้เกิดการจัดเรียงตัวกันของแมกนีไทเซชันบนสื่อบันทึก (media) เกิดขึ้นเป็นบิต 0 และ 1 โดยขณะอ่าน หรือ เขียนข้อมูล ระยะห่างระหว่างหัวอ่าน/เขียนและสื่อบันทึกมีค่าประมาณ 3-10 nm ดังนั้นหากยังคงมีอนุภาคขนาดเล็กหลงเหลืออยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผลิตได้ อาจส่งผลกระทบต่ออ่าน/เขียนข้อมูลขณะใช้งานทำให้เกิดความผิดพลาดได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงจำเป็นต้องผลิตภายในห้องสะอาด (clean room) ที่มีการปนเปื้อนของอนุภาค (particle contamination) ในระดับต่ำตามเกณฑ์มาตรฐานของแต่ละโรงงานได้กำหนดไว้ เช่นการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ (head stack assembly, HSA) ของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แห่งหนึ่ง ถูกกำหนดให้ถูกผลิตในห้องสะอาดคลาส 100 ตามเกณฑ์ US FED STD 209E นั่นคืออนุภาคที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนและใหญ่กว่าได้ไม่เกิน 100 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต แต่ห้องสะอาดคลาส 100 ดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการสร้าง และการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ตลอดจนมีข้อกำหนดในการควบคุมคุณภาพค่อนข้างมาก ดังนั้นในการผลิตจริง ทางโรงงานจึงกำหนดให้ผลิตในห้องสะอาดคลาส 1,000 แทน นั่นคืออนุภาคที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนและขนาดใหญ่กว่าได้ไม่เกิน 1,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต แต่มีการติดตั้งพัดลมกรองอากาศ (Fan Filter Units, FFUs) ไว้ด้านบนเครื่องจักรผลิต โดยคาดการณ์ว่าอากาศที่ไหลจาก FFUs นั้นจะลดการปนเปื้อนของอนุภาคขณะผลิตจริงได้จากการอภิปรายปัญหานี้ร่วมกับวิศวกรของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แห่งหนึ่งซึ่งได้รายงาน ว่า ทางโรงงานมีการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และผลิตชิ้นส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องตลอดเวลาผ่านระบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง จึงต้องการที่จะตรวจสอบประสิทธิภาพของ FFUs แต่การหยุดสายพานการผลิตเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ FFUs ดังกล่าวแม้เพียง 10 นาทีอาจทำให้ทางบริษัทสูญเสียรายได้ไม่น้อยกว่า 300,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการนำพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบปัญหาดังกล่าว โดยไม่ต้องหยุดการผลิตแต่อย่างใด

จากการทบทวนวรรณกรรม FFUs จะถูกใช้ในห้องสะอาด และพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยทางด้านนี้ เช่น Liu และคณะ [1] ได้ใช้ CFD จำลองการไหลของอากาศภายในห้องผ่าตัดโรงพยาบาล และได้หาวิธีการลดการปนเปื้อนที่จะเกิดขึ้นกับผู้ป่วยที่จะผ่าตัดได้ Noh และคณะ [2] ประเมินความสำเร็จในการใช้ CFD เพื่อหาวิธีควบคุมการปนเปื้อนของอนุภาคในห้องสะอาดโดยอาศัยหลักการวัดความเข้มข้นของอนุภาค นอกจากนั้น Xu และคณะ [3] ได้ศึกษาความสามารถของ FFUs สำหรับประยุกต์ในห้องสะอาดให้มีประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนดียิ่งขึ้นเมื่อไม่นานมานี้เราได้ใช้ CFD จำลองเส้นทางของอนุภาคขนาดเล็กใน HDD [4] เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวางแผ่นกรองอากาศ (circulating filter) ของ HDD ในบทความล่าสุด [5] เราได้ใช้ CFD จำลองการไหลของอากาศในเครื่องจักรอัตโนมัติโดยใช้เงื่อนไขแวดล้อม (ambient condition) จริงที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม และได้สรุปว่าการไหลของอากาศที่เกิดภายในสามารถป้องกันอนุภาคจากภายนอก ทำให้ลดการปนเปื้อนของอนุภาคในขณะที่ผลิตได้ โดยเปรียบเทียบจากความเร็วของอากาศในเครื่องจักรซึ่งมีค่ามากกว่าความเร็วของอากาศภายนอกเครื่องจักรหลายเท่า ซึ่งเป็นเพียงการสรุปเพียงเบื้องต้นเท่านั้น ยังไม่ได้มีการจำลองโดยการปล่อยอนุภาคอย่างแท้จริง จากการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในโรงงานยังพบอีกว่า นอกจากการปนเปื้อนจะมาจากอนุภาคภายนอกซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆของพนักงานแล้ว ยังเกิดขึ้นเองภายในเครื่องจักรเนื่องจากการเคลื่อนที่หรือการเสียดสีกันของอุปกรณ์ภายในตัวเองอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อความเร็วอากาศจาก FFUs เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของอนุภาคมมากขึ้น ซึ่งสิ่งนี้ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ยังไม่ได้ศึกษาและรายงานในเอกสารอ้างอิง [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการขยายงานในเอกสารอ้างอิง[5] เพื่อตรวจสอบ และตอบคำถามดังต่อไปนี้ 1) ความเร็วอากาศจาก FFUs ที่ใช้อยู่ในโรงงานปัจจุบันเฉลี่ย 0.45 m/s สามารถป้องกันอนุภาคจาก

ภายนอกได้หรือไม่? โดยอาศัยการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาค 2) การไหลของอากาศภายในเครื่องจักรฯสามารถกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักรอัตโนมัติได้หรือไม่? และ 3) ความเร็วอากาศจาก FFUs มีผลต่อการปนเปื้อนของอนุภาคหรือไม่?

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบการไหลของอากาศในเครื่องจักรอัตโนมัติหาได้จาก การแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ของสมการอนุรักษ์ (conservation equations) และสมการความปั่นป่วน (turbulence equations) ซึ่งรูปแบบของสมการดังกล่าวสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง [6] ส่วนร่องรอยของอนุภาค (particle trace) คำนวณจากสมการสมดุลแรงอนุภาค (particle force balance equation) [6] ซึ่งเขียนดังนี้

$$du_p/dt = F_D(u_g - u_p) + g(\rho_p - \rho_g)/\rho_p + F_s \quad (1)$$

เมื่อสัญลักษณ์ตัวห้อย p แทนอนุภาค g แทนของเหลว ρ คือความหนาแน่น u แทนความเร็ว F_D คือแรงลาก (Drag Force) F_s คือแรงอื่นๆที่มากระทำกับอนุภาคเช่น แรงมวลเสมือน (virtual mass force) แรงยก (lift force) แรงดึงดูดระหว่างอนุภาค (attractive force between particles) ฯลฯ แต่แรงเหล่านี้ไม่มีผลกับอนุภาคขนาดเล็กที่พิจารณาในงานวิจัยนี้เนื่องจาก $\rho_p \gg \rho_g$

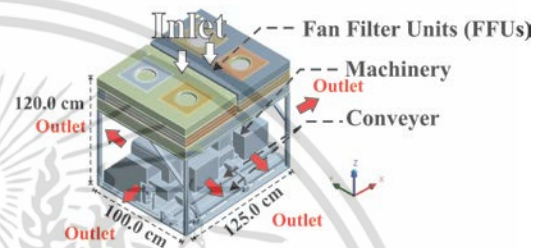
เพื่อที่จะศึกษาร่องรอยการเคลื่อนที่ของอนุภาค เราได้นำอนุภาคอูมิเนียมซึ่งเป็นหนึ่งในอนุภาคที่พบบ่อยในโรงงาน และทำให้เกิดการปนเปื้อนมาเป็นกรณีศึกษา อนุภาคอูมิเนียมนี้ ถูกสมมติให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.5 \mu\text{m}$ ซึ่งถือว่าเล็กมาก และมีความหนาแน่น $2,719 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งมากกว่าความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m^3 หลายเท่า ดังนั้นเราจึงได้ใช้การจำลองแบบทางเดียว (one way simulation) นั่นคือคำนวณหารูปแบบการไหลของอากาศในเครื่องจักรด้วยโปรแกรม FLUENT 14.5 ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Transition Shear Stress Transport แล้วจึงปล่อยอนุภาคเข้าไปในการไหลอากาศที่คำนวณได้ สุดท้ายโปรแกรมจึงคำนวณหาร่องรอยการเคลื่อนที่ของอนุภาค ซึ่งคำตอบที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมกับลักษณะของปัญหาในงานวิจัยนี้ [6]

3. วิธีวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 แบบจำลองเครื่องจักรอัตโนมัติ

เครื่องจักรอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ทำหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนย่อยต่างๆเข้ากับ HSA ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ 1) พัดลมกรองอากาศ (FFUs) ทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลเข้าสู่ตัวเครื่องจักร 2) เครื่องจักร (machinery) ทำหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ และ 3) สายพานลำเลียง (conveyor) ทำหน้าที่ลำเลียง HSA ที่ผลิตได้ไปยังตำแหน่งต่างๆ รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรฯที่ผ่านการลดความซับซ้อน (simplify) และทิศทางการไหลของอากาศเบื้องต้น



รูปที่ 1: แบบจำลองของเครื่องจักรอัตโนมัติ และลักษณะการไหลของอากาศ

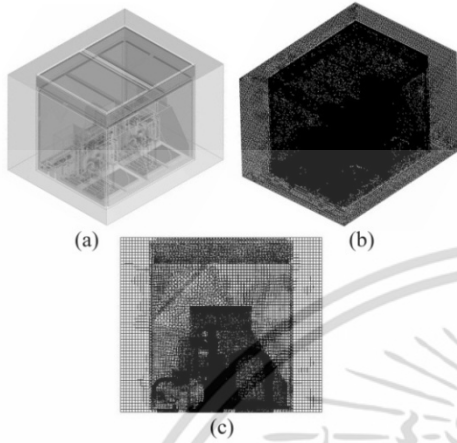
3.2 แบบจำลองอากาศและแบบจำลองเมฆ

เราต้องการศึกษาร่องรอยของอนุภาคทั้งหมดที่อยู่ภายในและอยู่ภายนอกของเครื่องจักรฯ ดังนั้นแบบจำลองอากาศ และแบบจำลองเมฆจึงถูกสร้างขึ้นดังรูปที่ 2(a) และ 2(b) ตามลำดับ แบบจำลองเมฆนี้ด้านในจะประกอบด้วยเมฆทรงสี่หน้า (tetrahedron) และทรงหกหน้า (hexahedron) ส่วนด้านนอกเป็นทรงหกหน้าเท่านั้น รูป 2(c) แสดงแบบจำลองเมฆบริเวณด้านข้าง ซึ่งประกอบไปด้วยเมฆทั้งสองชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว เราได้วิเคราะห์ความเป็นอิสระของเมฆ (mesh independent analysis) โดยกำหนดให้ขนาดของเมฆบริเวณผิวด้านอากาศเข้า (inlet) และอากาศออก (outlet) มีขนาดตั้งแต่ 1-4 cm พบว่าเมฆขนาด 2 cm ซึ่งมีจำนวน 1.15 ล้านโหนด (nodes) และ 5.24 ล้านเอลิเมนต์ (elements) มีความเหมาะสมทั้งในเรื่องของคำตอบ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

3.3 การกำหนดเงื่อนไขและค่าที่จำเป็นต่างๆ

เราใช้เงื่อนไขสภาพแวดล้อม (ambient condition) จริงที่วัดได้จากโรงงาน ได้แก่ ความเร็วอากาศจาก FFUs $0.45 \pm 0.05 \text{ m/s}$ ความดัน $106300 \pm 300 \text{ Pa}$ อุณหภูมิ $24.5 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเงื่อนไขความเร็วอากาศขาเข้า (velocity inlet) ส่วน Pressure Gauge 0 Pa ถูกกำหนดให้เป็น

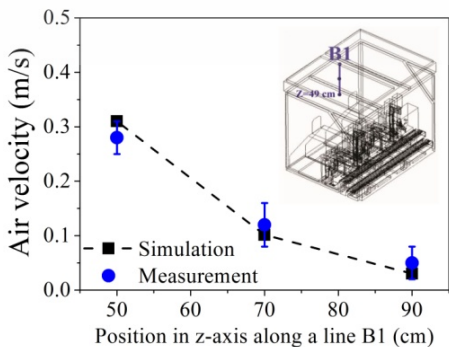
เงื่อนไขของความดันขาออก (pressure outlet) ส่วนค่าอื่นๆ ให้โปรแกรมกำหนดเอง (default value) โดยใช้การคำนวณแบบสภาวะคงที่ (steady state) จนกระทั่งคำตอบลู่เข้า (converge)



รูปที่ 2: (a) แบบจำลองของอากาศ (b) แบบจำลองเมช และ (c) ด้านข้างของแบบจำลองเมช

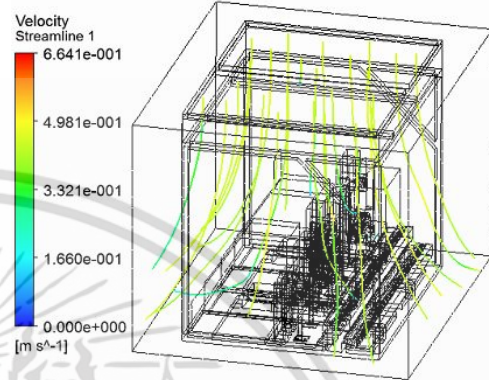
3.4 ความถูกต้องของผลการคำนวณ

โดยใช้แบบจำลองเมชในรูป 2(b) และเงื่อนไขสภาพแวดล้อมจริงของโรงงาน คำนวณด้วยโปรแกรม FLUENT 14.5 รูปที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศบนเส้นสมมติ B1 ที่ได้จากการวัดจริง และที่ได้จากการคำนวณ จำนวน 3 ตำแหน่ง ซึ่งจุดตั้งกล่าวอยู่ทางด้านหลังของเครื่องจักรฯ ผลการเปรียบเทียบพบว่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากความเร็วอากาศของ FFUs ที่ใช้ 0.45 m/s เป็นค่าเฉลี่ย แต่ความเร็วอากาศจริงที่วัดได้มีค่าไม่คงที่ คืออยู่ระหว่าง 0.40-0.50 m/s ในทำนองเดียวกัน เรายังได้เปรียบเทียบความเร็วบนเส้นสมมติอื่นๆ อีก 3 เส้น ซึ่งผลการเปรียบเทียบยังคงสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ดังนั้นผลการคำนวณของเรามีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 3: ผลการเปรียบเทียบความเร็วอากาศระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงบริเวณด้านหลังของเครื่องจักรฯ และค่าที่ได้จากการจำลอง

รูปที่ 4 แสดงเส้นกระแส (streamline) ของอากาศเมื่อกำหนดให้ความเร็วอากาศจาก FFUs มีค่า 0.45 m/s จะเห็นว่าอากาศจะไหลจาก FFUs เข้าไปในเครื่องจักรฯ และไหลออกทางด้านข้างทั้งสี่ด้านซึ่งสอดคล้องกับที่ตั้งเกตได้จากในโรงงาน

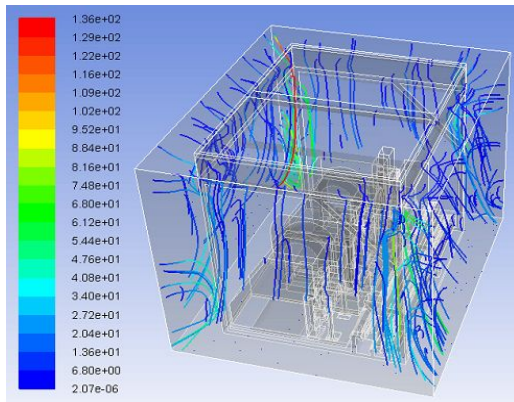


รูปที่ 4: เส้นกระแสการไหล (streamline) ของอากาศภายในเครื่องจักรอัตโนมัติ

เพื่อตรวจสอบว่าการไหลของอากาศในเครื่องจักรฯ นี้สามารถป้องกันอนุภาคจากภายนอกได้หรือไม่? เราได้ทดลองวัดความเร็วของอากาศที่ได้จากการหายใจ และการพูดในภาวะปกติของนักศึกษาหนึ่งคนจำนวน 100 ครั้ง พบว่ามีความเร็ว 0.19 ± 0.07 m/s ความเร็วนี้เราสมมติว่าเป็นความเร็วของอนุภาคอคูมิเนียมที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของพนักงานที่กำลังลอยไปที่เครื่องจักร เราจำลองสถานการณ์นี้ โดยกำหนดใช้อุณหภูมิอคูมิเนียม 100 อนุภาค ลอยเข้าไปในเครื่องจักรฯ แบบสุ่มจากทั้งสี่ด้านของบริเวณอากาศออก ด้วยความเร็ว 0.19 m/s ผลการจำลองแสดงถึงร่องรอยการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 5 พบว่าอนุภาคเข้าไปได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็ถูกการไหลของอากาศภายในพัดออกมาภายนอก ไม่สามารถลอยเข้าไปในเครื่องจักรฯ ได้ ในรูปเจดสีแสดงเวลาที่อนุภาคอยู่ในเครื่องจักรฯ (particle residence time) นอกจากนี้ เรายังได้จำลองโดยเพิ่มจำนวนอนุภาคจนถึง 500 อนุภาค และยังสามารถเปลี่ยนความเร็วของอนุภาคที่ปล่อยเข้าไปในเครื่องจักรฯ ให้เพิ่มขึ้นจนถึง 50 m/s ผลที่ได้ยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากโมเมนตัมของอนุภาคมีค่าน้อยมาก จึงไม่สามารถลอยผ่านกระแสอากาศเข้าไปได้ ดังนั้นการไหลของอากาศในเครื่องจักรฯ นี้สามารถป้องกันอนุภาคจากภายนอกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

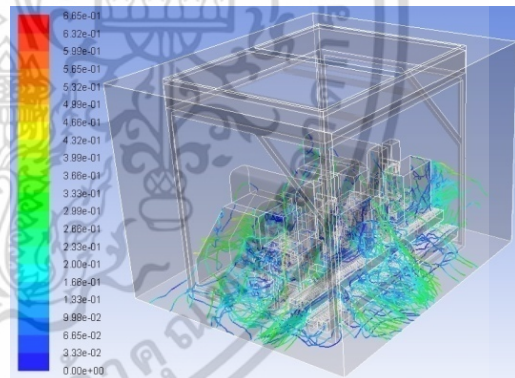


รูปที่ 5: ร่องรอยการเคลื่อนที่ของอนุภาคอณูมิเนียม ตัวอย่างจำนวน 100 อนุภาคเมื่อความเร็วอากาศจาก FFUs เป็น 0.45 m/s

เพื่อตรวจสอบว่าการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรนี้สามารถกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในได้หรือไม่? เราได้จำลองโดยปล่อยอนุภาคอณูมิเนียมแบบสุ่มจากบริเวณผิวของเครื่องจักร (machinery) รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างผลการจำลองร่องรอยของอนุภาคอณูมิเนียม 300 อนุภาค หลังการเคลื่อนที่ พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่ เมื่อหลุดออกจากผิวของเครื่องจักรแล้ว การไหลของอากาศภายในจะพัดอนุภาคดังกล่าวออกทางด้านทั้ง 4 มีบางส่วนเท่านั้นที่ตกลงบนสายพานลำเลียงเกิดการปนเปื้อนขึ้น เพื่อการวิเคราะห์อย่างละเอียด เรากำหนดให้เมชบริเวณสายพานลำเลียงมีขนาด 1.0 cm และเพิ่มจำนวนอนุภาคที่ปล่อยเป็น 1,000, 2,000 และ 3,000 อนุภาค ทุกๆกรณีปล่อย 100 ครั้ง แล้วนับจำนวนอนุภาคที่ตกลงบนสายพานลำเลียง (trapped) และอนุภาคที่ยังลอยอยู่ในเครื่องจักร (undetermined) ผลแสดงดังรูปที่ 7 พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่ถูกพัดออกจากเครื่องจักร อนุภาค 6.39%-6.67% ตกกลงบนสายพานลำเลียง ขณะที่ อนุภาค 3.23%-3.34% ยังลอยอยู่ในเครื่องจักรฯยังไม่สามารถกำหนดได้ว่าจะถูกกำจัดออกไปหรือตกลงบนสายพานลำเลียง ค่าความคลาดเคลื่อน (error bar) ของทุกข้อมูลอยู่ในช่วง 0.21%-0.34% ในทำนองเดียวกันเรายังได้จำลองโดยลดขนาดของเมชบริเวณสายพานฯให้มีขนาด 0.5 cm ทำให้เมชบริเวณดังกล่าวละเอียดขึ้น คือมีจำนวนโหนดเพิ่มประมาณ 8 หมื่นโหนด จำนวนเอลิเมนต์เพิ่มประมาณ 4 แสนเอลิเมนต์ ผลที่ได้แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อน ดังนั้นการไหลของอากาศในเครื่องจักรนี้สามารถกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นเองภายในได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องการศึกษาผลของความเร็วอากาศจาก FFUs ต่อการปนเปื้อนของอนุภาค เราจึงจำลองโดยการปล่อยอนุภาคอณูมิเนียมจำนวน 3,000 อนุภาค และเปลี่ยนความเร็วอากาศของ FFUs ตั้งแต่ 0.03 m/s จนถึงความเร็ว 0.65 m/s แล้วบันทึกเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคอณูมิเนียมที่ตกลงบนสายพานลำเลียง ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 8 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อความเร็วของ FFUs มีค่า 0.03 m/s ซึ่งเท่ากับความเร็วของอากาศภายนอกของเครื่องจักรฯ เมื่ออนุภาคหลุดออกมา ความเร็วอากาศจาก FFUs 0.03 m/s มีค่าน้อยเกินไปที่จะไล่อนุภาคดังกล่าวให้ออกไปได้ อนุภาคจึงยังลอยอยู่ในเครื่องจักรถึง 46.42% ขณะที่ตกลงบนสายพานเพียง 0.48% เท่านั้น เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศจาก FFUs การไหลของอากาศจะพัดอนุภาคที่ล่องลอยอยู่ให้ออกไปได้มากขึ้น ดังนั้นจำนวนอนุภาคที่ล่องลอยในเครื่องจักรฯจึงลดลง นั่นคือการไหลของอากาศภายในสามารถกำจัดอนุภาคที่ล่องลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนอนุภาคที่ตกลงบนสายพาน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วของอากาศจาก FFUs ซึ่งสอดคล้องกับที่ทางวิศวกรได้รายงานไว้

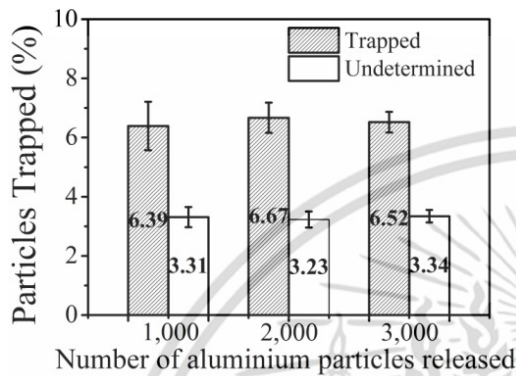


รูปที่ 6: ร่องรอยการเคลื่อนที่ของอนุภาคอณูมิเนียม ตัวอย่างจำนวน 300 อนุภาคเนื่องจากอิทธิพลของการไหลของอากาศในเครื่องจักรอัตโนมัติ

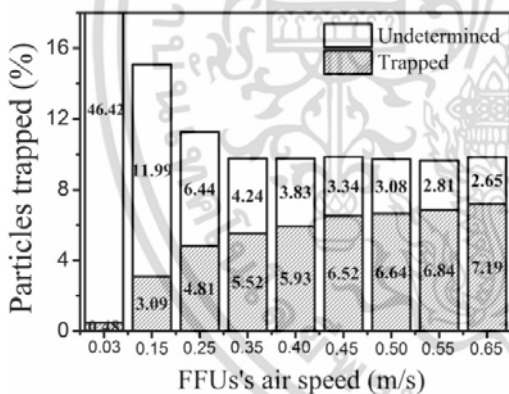
ในการจำลองนี้เราปล่อยอนุภาคแบบสุ่มจากทุกๆพื้นผิวของเครื่องจักร แต่ในความเป็นจริงมีชิ้นส่วนของเครื่องจักรฯเพียงบางชิ้นเท่านั้นที่ปล่อยอนุภาคออกมา ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่ตกลงบนสายพานที่แท้จริงต้องน้อยกว่าที่เราจำลองได้ในงานวิจัยนี้

สุดท้าย จากผลการจำลองทั้งหมด เราได้นำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลมาตรฐานความเร็วอากาศที่เหมาะสมของ FFUs สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ลดการปนเปื้อนภายใน

ห้องสะอาดจากเอกสารอ้างอิง [8] เราจึงเสนอว่า ความเร็วอากาศของ FFUs ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัตินี้ ควรอยู่ในช่วง 0.40-0.50 m/s จะสามารถลดการปนเปื้อนขณะผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำเสนอไปยังทางโรงงานเพื่อเป็นข้อมูลประกอบสำหรับปรับปรุงเครื่องจักรอัตโนมัติต่อไป



รูปที่ 7: เปอร์เซนต์ของจำนวนอนุภาคอลูมิเนียมที่ตกลงบนสายพานลำเลียง (trapped) และที่ยังล่องลอยในเครื่องจักรอัตโนมัติ (undetermined)



รูปที่ 8: เปอร์เซนต์ของจำนวนอนุภาคอลูมิเนียมที่ตกลงบนสายพานลำเลียงที่ความเร็วของอากาศจาก FFUs ค่าต่างๆ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการตรวจสอบการไหลของอากาศในเครื่องจักรอัตโนมัติที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายใต้สภาพแวดล้อมจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยการจำลองทาง CFD พบว่าเมื่อความเร็วอากาศจาก FFUs มีค่าอยู่ในช่วง 0.40-0.50 m/s การไหลของอากาศภายในเครื่องจักรอัตโนมัติสามารถป้องกันอนุภาคจากภายนอก และกำจัดอนุภาคที่เกิดขึ้นเองภายใน

ได้ เป็นการลดการปนเปื้อนของอนุภาคขณะผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบริษัทซีเทคเทคโนโลยี (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] R. Flaherty, "Clean rooms: continuing evolution of fan filter units for clean rooms," Filtration+Separation, Vol. 48, No. 4, pp.33-37, 2011.
- [4] J. Thongsri and V. Pongkom, "A Simulation of the number of particles trapped by the circulating filter of a hard disk drive and their trajectories" Applied Mechanics and Materials, Vols. 548-549, pp.953-957, 2014.
- [5] J. Thongsri and A. Khaokom, "Successful simulation of airflow in the microenvironment of an assembly automation machine and its implication," Advanced Materials Research, Vols. 931-932, pp.1063-1067, 2014.
- [6] Ansys Fluent 14.5, User's guide, October 2012.
- [7] International Organization for Standardization (ISO). ISO 14644-1 Cleanrooms and Associated Controlled Environments. Part 1: Classification of Air Cleanliness. Rolling Meadows, IL, USA: The Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST); 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้