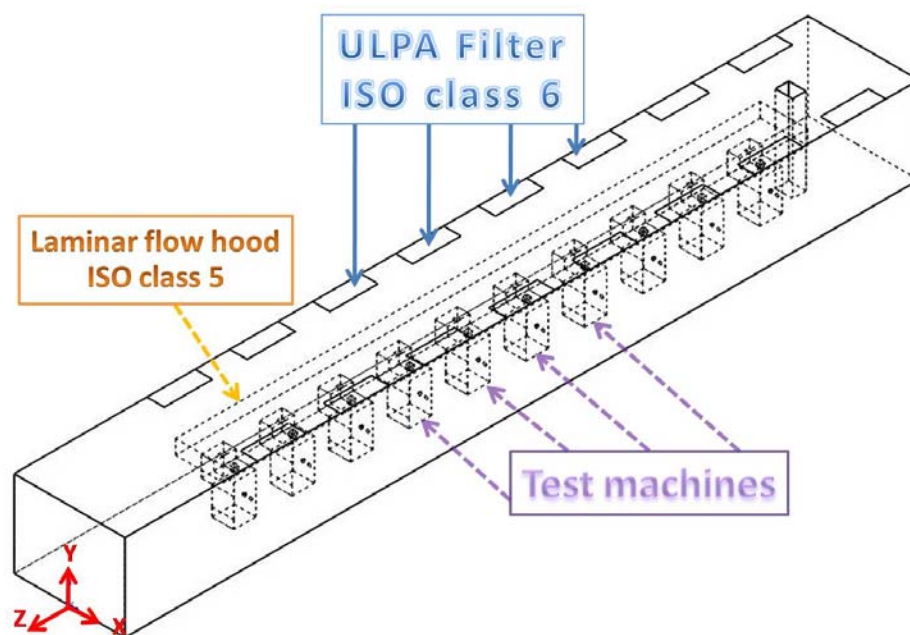


บทที่ 8

แนวทางในการปรับปรุงพฤติกรรมกรไหลเวียนอากาศภายในห้องสะอาด

จากการจำลองพฤติกรรมกรไหลของอากาศในบทที่ 6 ซึ่งเป็นการจำลองการไหลของอากาศในห้องสะอาดที่ใช้ประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ซึ่งรูปแบบห้องสะอาดมีการไหลเป็นการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Non unidirectional airflow หรือ turbulent mixed airflow) และมีลักษณะผสมกันระหว่างชั้นความสะอาดที่มาตรฐาน ISO14644-1 Class 5 กับ Class 6 อันเนื่องมาจากห้องสะอาดที่ใช้ประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์นั้นมีหลายกระบวนการประกอบ การทดสอบ และการทำความสะอาด ซึ่งทำให้ห้องต้องมีขนาดใหญ่ การสร้างห้องสะอาดตามมาตรฐาน ISO 5 เฉพาะบริเวณนั้นทำให้ลดต้นทุนการก่อสร้างและต้นทุนการดูแลรักษาอย่างมาก ตัวอย่างดังภาพที่ 8.1 แต่จากการจำลองพฤติกรรมกรไหลของอากาศในบทที่ 6 พบว่าเกิดการไหลวนของอากาศซึ่งอาจทำให้เกิดการปะปนของอนุภาคขนาดใหญ่ในระดับชั้นความสะอาด ISO Class 6 เข้ามาปะปนกับบริเวณระดับชั้นความสะอาด ISO Class 5 ในบทนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบบริเวณที่ใช้ทดสอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมกรไหลของอากาศให้ดีขึ้น โดยได้ทำการติดตั้งพลาสติกที่ความยาวต่าง ๆ กันซึ่งความยาววัดจากขอบด้านล่างสุดของ Laminar flow hood ISO Class 5 จากนั้นทำการหาความยาวที่เหมาะสมโดยใช้วิธีคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล

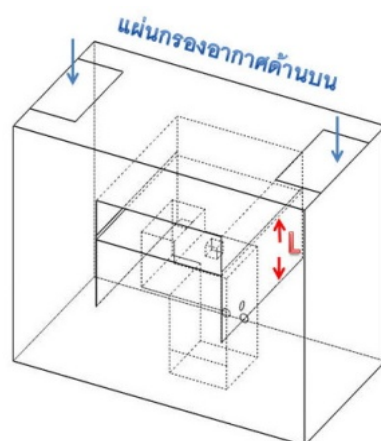


ภาพที่ 8.1

ลักษณะของห้องสะอาดบริเวณเครื่องทดสอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

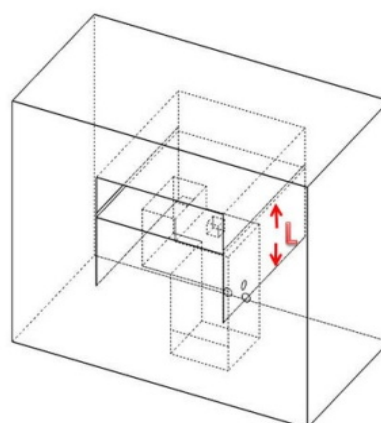
8.1 ลักษณะของแบบจำลอง

จากภาพที่ 8.1 เป็นภาพสายการทดสอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ 1 สายการทดสอบ ประกอบด้วยเครื่องทดสอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ 10 เครื่อง เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณ จึงทำการลดความซับซ้อนของสายการทดสอบโดยทำการวิเคราะห์เครื่องทดสอบเพียงเครื่องเดียวโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 คือ มีแผ่นกรองอากาศด้านบน ULPA Filter ISO Class 6 ภาพที่ 8.2 และกรณีที่ 2 คือ ไม่มีแผ่นกรองอากาศด้านบนดังภาพที่ 8.3 โดยทั้ง 2 กรณีมีลักษณะโดเมนที่มีความกว้าง 3.84 เมตร สูง 3 เมตร และ ลึก 2.025 เมตร (พิกัดที่ $X = \pm 1.92$ เมตร $Y = 0$ ถึง 3 เมตร และ $Z = -14.625$ ถึง -12.6 เมตร) ที่เท่ากัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ที่ความยาว (L) เท่ากับ 0 เซนติเมตร คือยังไม่ทำปรับปรุงพฤติกรรมการไหล และทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหลโดยการติดพลาสติกใสกันไฟที่ความยาว 40 เซนติเมตร, 70 เซนติเมตร และ 90 เซนติเมตร จากนั้นหาความยาวที่เหมาะสมในการติดตั้ง



ภาพที่ 8.2

ลักษณะของแบบจำลองห้องสะอาดอย่างง่ายกรณีที่ 1



ภาพที่ 8.3

ลักษณะของแบบจำลองห้องสะอาดอย่างง่ายกรณีที่ 2

8.2 สมมุติฐานในการจำลองการไหล

1. การไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตามเวลา
2. อากาศมีความหนืดและความหนาแน่นคงที่
3. ลักษณะการไหลของอากาศเป็นแบบ 3 มิติ

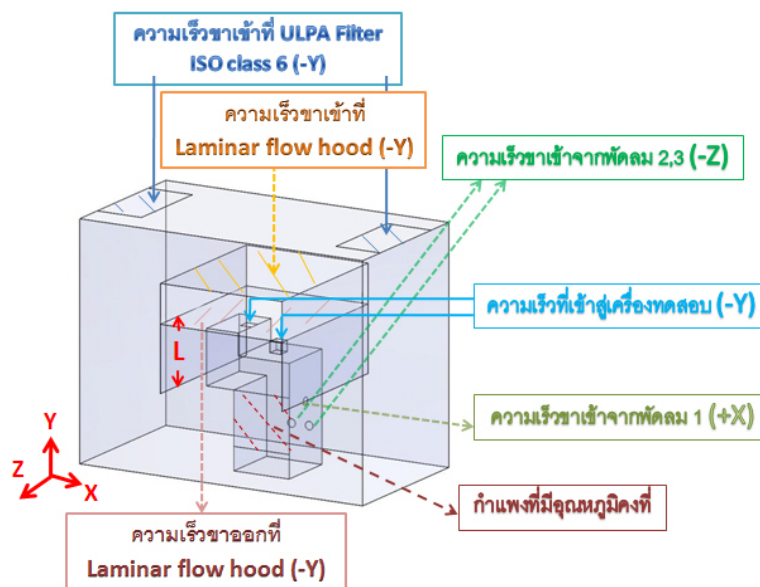
4. การไหลเป็นการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Non unidirectional airflow หรือ turbulent mixed airflow)

8.3 เงื่อนไขขอบเขต

กำหนดค่าคุณสมบัติของอากาศที่ 25°C และเงื่อนไขขอบเขตอื่น ๆ ตามตารางที่ 8.1 ซึ่งลักษณะการกำหนดที่บริเวณต่าง ๆ ดังภาพที่ 8.4 โดยกำหนดทางด้านทางด้านนอกถูกกำหนดเงื่อนไขในลักษณะสมมาตร และเงื่อนไขในบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ได้แสดงถูกกำหนดเป็นกำแพงซึ่งไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ตารางที่ 8.1
ค่าเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด

ชนิด	เงื่อนไขขอบเขต	
	ความเร็ว(m/s)	อุณหภูมิ (°C)
1. ความเร็วขาเข้าที่ ULPA filter ISO 6	0.4804	21.2
2. ความเร็วขาเข้าที่ laminar flow hood	0.508	-
3. ความเร็วขาออกที่ laminar flow hood	0.4681	21.2
4. ความเร็วที่เข้าสู่เครื่องทดสอบ	4.98	-
5. ความเร็วขาเข้าจากพัดลม 1	5.9	26.2
6. ความเร็วขาเข้าจากพัดลม 2,3	5.95	25.4
7. กำแพงที่มีอุณหภูมิคงที่	-	23.2



ภาพที่ 8.4

ลักษณะบริเวณที่กำหนดเงื่อนไขขอบเขต

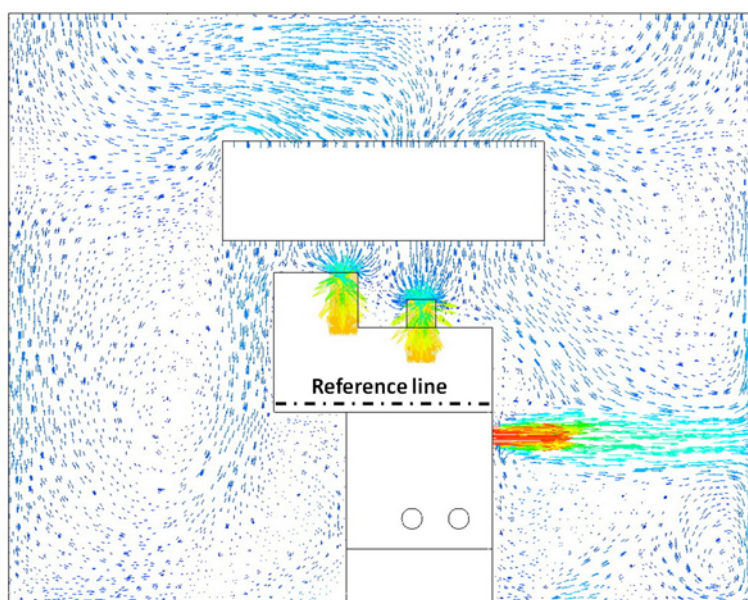
8.4 ผลการจำลองพฤติกรรมการไหลและวิเคราะห์ผล

นำผลที่ได้จากการจำลองพฤติกรรมการไหลหลังจากเวลาผ่านไป 10 นาที ที่เกิดขึ้นภายในห้องสะอาดอย่างง่ายที่ประกอบด้วยเครื่องทดสอบหัวอ่าน 1 เครื่องทดสอบ มาแสดงและอธิบายดังต่อไปนี้

8.4.1 ลักษณะการไหลที่เกิดขึ้น

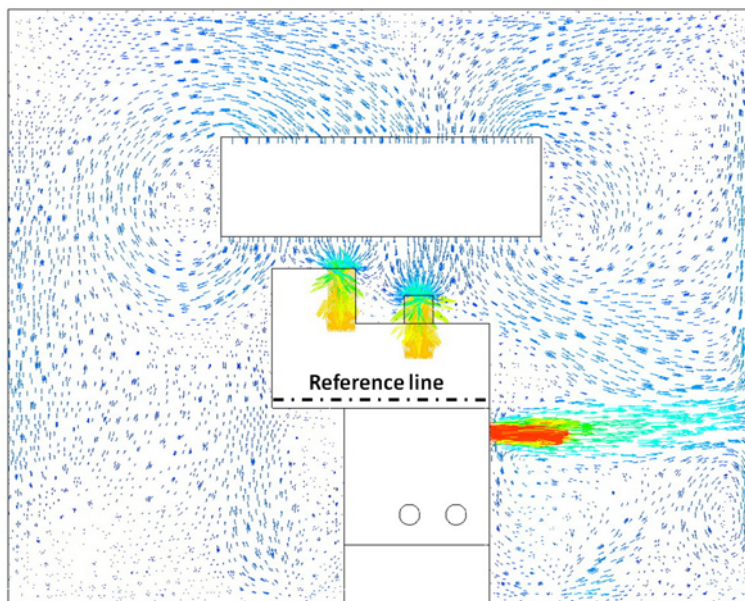
นำผลที่ได้จากการจำลองมาแสดงเป็นเวกเตอร์พล็อตในแนวสองมิติ $x - y$ ที่ระยะ $z = -13.6125$ เมตร (กึ่งกลาง) ดังแสดงในภาพที่ 8.5 ถึง 8.12 ซึ่งจากการสังเกตผลที่ได้พบว่าก่อนมีการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล ($L=0$ เมตร) นั้นทั้งในกรณีที่ 1 (ภาพที่ 7.5) และ 2 (ภาพที่ 8.6) พบว่า ณ ตำแหน่งอ้างอิง (Reference line ที่ $y = 1.03$ เมตร) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่หัวอ่านถูกทดสอบอยู่ ดังนั้นบริเวณนี้จึงเป็นตำแหน่งที่สนใจ ทิศทางเวกเตอร์และขนาดของความเร็วมีความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลมาจากรูปทรงของเครื่องทดสอบ ความเร็วเข้าและออกของ Laminar flow hood รูปทรงของ Laminar flow hood ทำให้เกิดลักษณะการไหลที่มีความปั่นป่วนเกิดการหมุนวนบริเวณทางด้านข้างเครื่องทดสอบซึ่งลักษณะการไหลแบบนี้อาจทำให้เกิดการเหนียวอนุภาคขนาดใหญ่จากความสะอาดมาตรฐาน ISO Class 6 เข้ามาปะปนกับอนุภาค

ขนาดเล็กกว่าในความสะดวกมาตรฐาน ISO Class 5 ซึ่งการปรับปรุงพฤติกรรมการไหลในงานวิจัยนี้ทำโดยการติดพลาสติกเพิ่มเข้าไปในส่วนบริเวณขอบด้านล่างของ Laminar flow hood ที่ความยาวต่าง ๆ 3 ค่าคือ 45 เซนติเมตร 70 เซนติเมตร และ 90 เซนติเมตรตามลำดับ ดังภาพที่ 8.7 ถึง 8.12 แสดงให้เห็นว่าการติดพลาสติกเพิ่มขึ้นจะทำให้ทิศทางการไหลมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นคือ บังคับให้ทิศทางการไหลลงมาในแนวดิ่งและมีความเร็วในแนวดิ่งมากขึ้น ซึ่งจาก ตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดพบว่า ที่ความยาวพลาสติก 70 เซนติเมตร (ภาพที่ 8.9 กรณีที่ 1 และภาพที่ 8.10 กรณีที่ 2) และ 90 เซนติเมตร (ภาพที่ 8.11 กรณีที่ 1 และภาพที่ 8.12 กรณีที่ 2) ให้ผลที่ดี



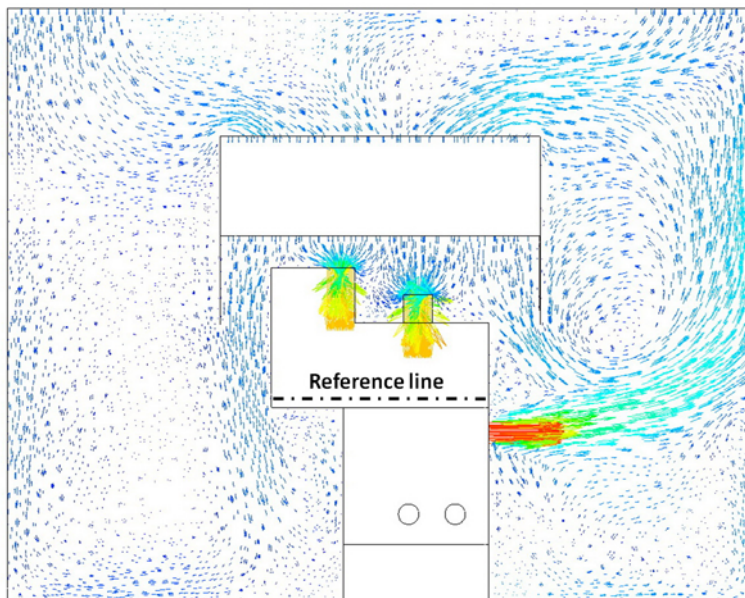
ภาพที่ 8.5

เวกเตอร์ความเร็วก่อนทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล ($L=0$) ในกรณีที่ 1



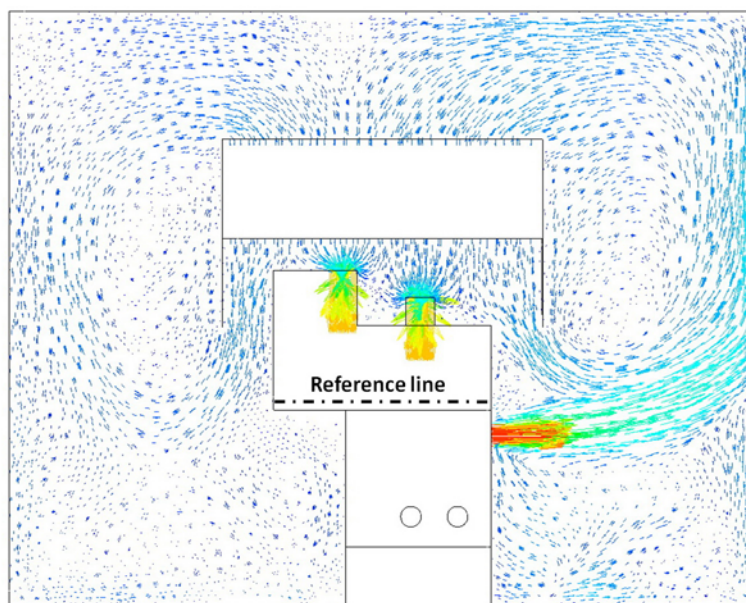
ภาพที่ 8.6

เวกเตอร์ความเร็วก่อนทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล ($L=0$) ในกรณีที่ 2



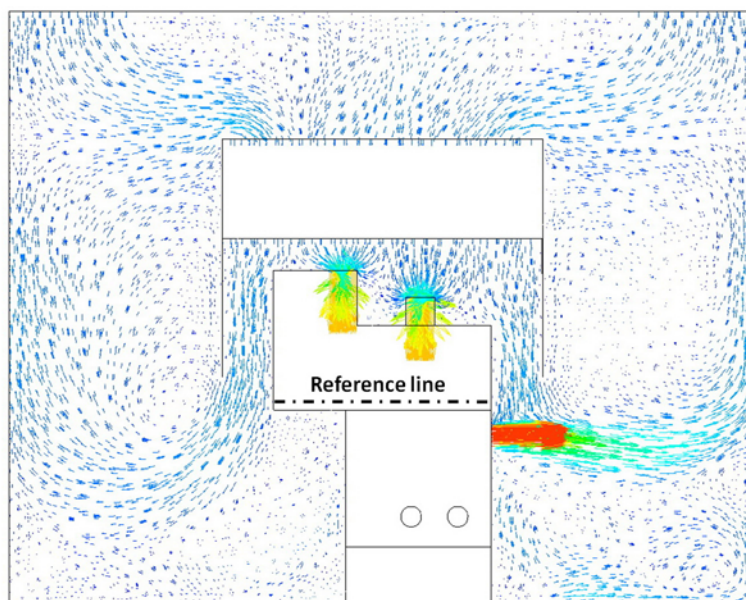
ภาพที่ 8.7

เวกเตอร์ความเร็วหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล
ที่ความยาวพลาสติก 45 เซนติเมตร ในกรณีที่ 1



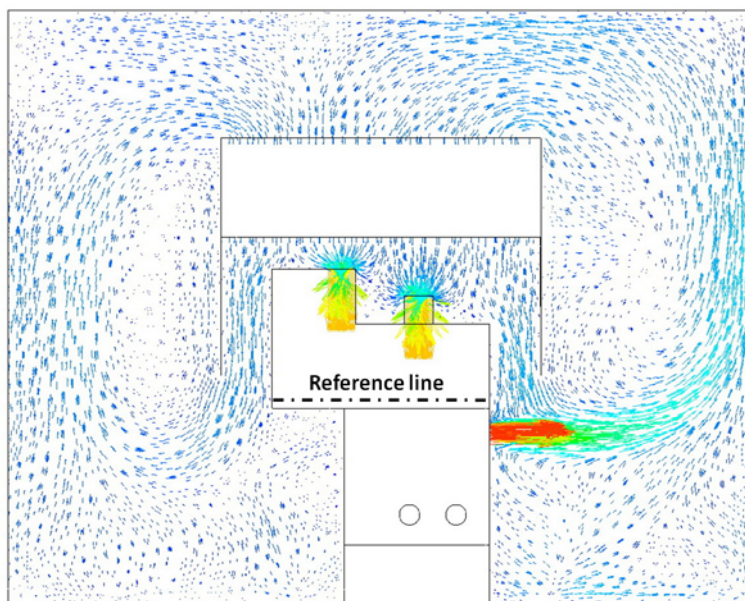
ภาพที่ 8.8

เวกเตอร์ความเร็วหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล
ที่มีความยาวพลาสติก 45 เซนติเมตร ในกรณีที่ 2



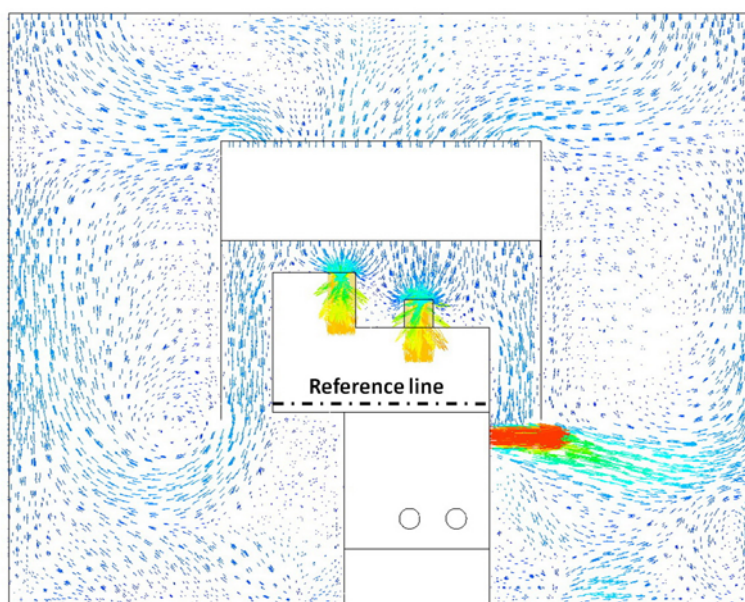
ภาพที่ 8.9

เวกเตอร์ความเร็วหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล
ที่มีความยาวพลาสติก 70 เซนติเมตร ในกรณีที่ 1



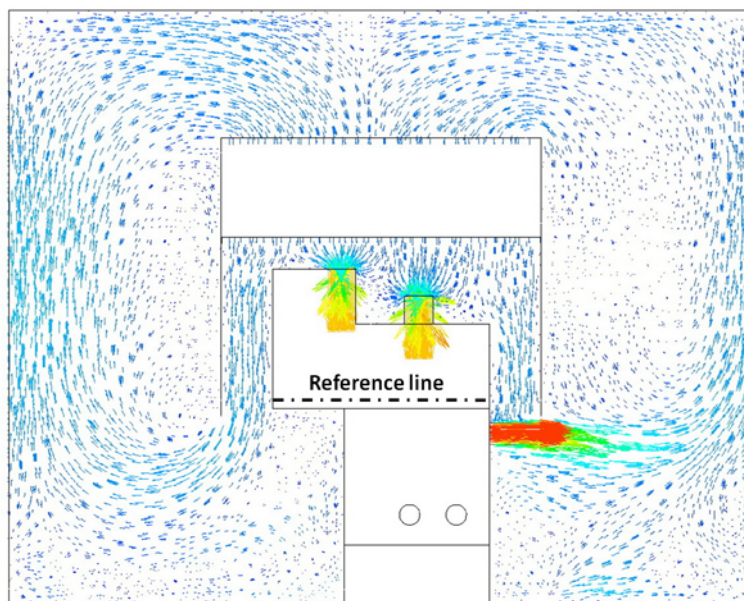
ภาพที่ 8.10

เวกเตอร์ความเร็วหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมไหล
ที่ความยาวพลาสติก 70 เซนติเมตร ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 8.11

เวกเตอร์ความเร็วหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมไหล
ที่ความยาวพลาสติก 90 เซนติเมตร ในกรณีที่ 1

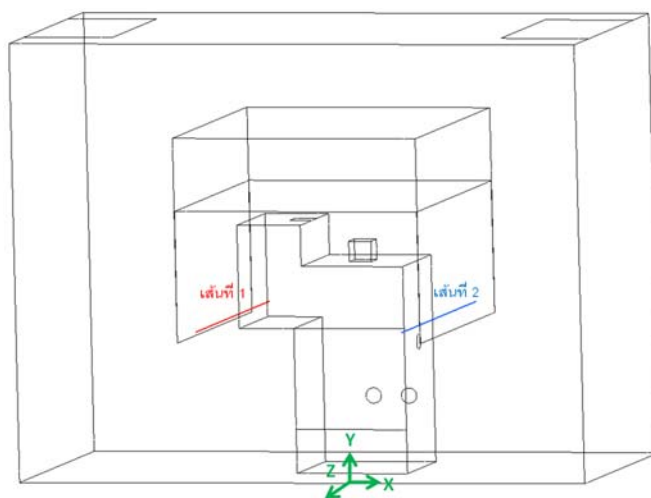


ภาพที่ 8.12

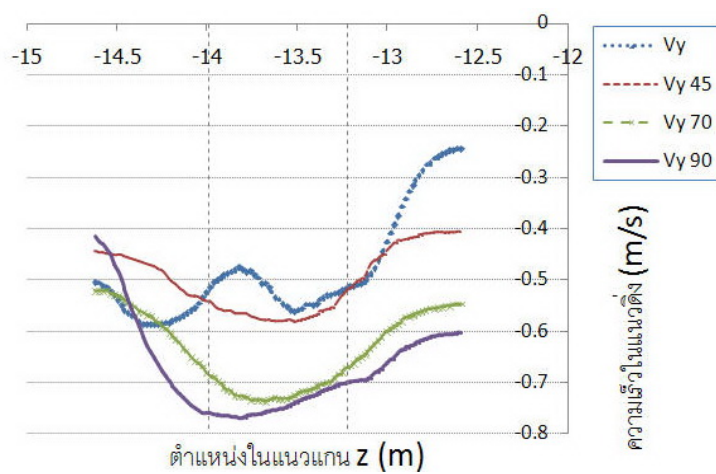
เวกเตอร์ความเร็วหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล
ที่ความยาวพลาสติก 90 เซนติเมตร ในกรณีที่ 2

8.4.2 ผลความเร็วในแนวดิ่ง

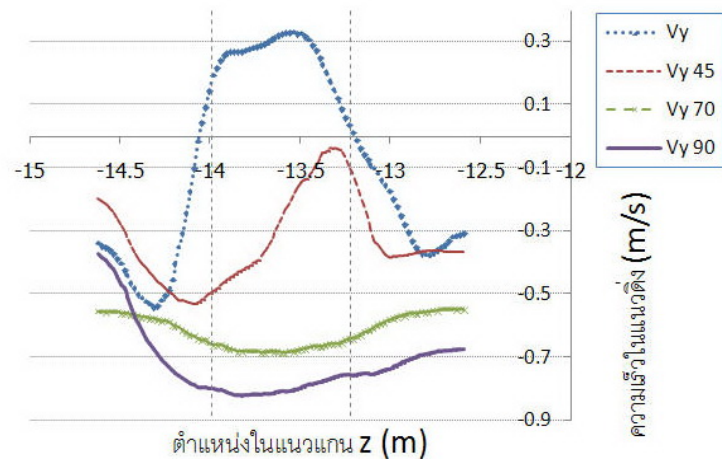
ค่าความเร็วที่ถูกกำหนดที่ออกจากหัวจ่ายมีค่ามากกว่า 0.3556 เมตรต่อวินาที (70 ฟุตต่อวินาที) ซึ่งจากการสร้างเส้นอ้างอิงเส้นที่ 1 ที่ตำแหน่ง $x = -0.7$ เมตร, $y = 1.03$ เมตร และเส้นอ้างอิงที่ 2 ที่ตำแหน่ง $x = +0.7$ เมตร, $y = 1.03$ เมตร ดังแสดงในภาพที่ 8.13 โดยพล็อตกราฟความเร็วในแนวดิ่งตามแนวแกน z ดังภาพที่ 8.14 ถึง 8.17 ซึ่งเส้นประในแนวดิ่งแสดงระยะของเครื่องทดสอบ (ขนาด) จะสังเกตเห็นได้ว่าการปรับปรุงพฤติกรรมการไหลโดยการติดพลาสติกเพิ่มเข้าไบนั้น ความเร็วในแนวดิ่งจะมีค่าสูงมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะที่ความยาว 70 เซนติเมตร (เส้นประกากบาทสีเขียว) และ 90 เซนติเมตร (เส้นทึบสีม่วง) ทั้ง 2 กรณี และทั้ง 2 เส้นอ้างอิง ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะการไหลซึ่งทำให้เวกเตอร์ความเร็วถูกบังคับให้มีทิศทางลงมาในแนวดิ่ง ดังนั้นความเร็วในแนวดิ่งนี้จึงเพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลดีในการระบายอากาศ และการหมุนเวียนของอนุภาค อีกทั้งยังสามารถลดความเร็วขาออกจาก Laminar flow hood ได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานอีกด้วย



ภาพที่ 8.13
ตำแหน่งเส้นอ้างอิง

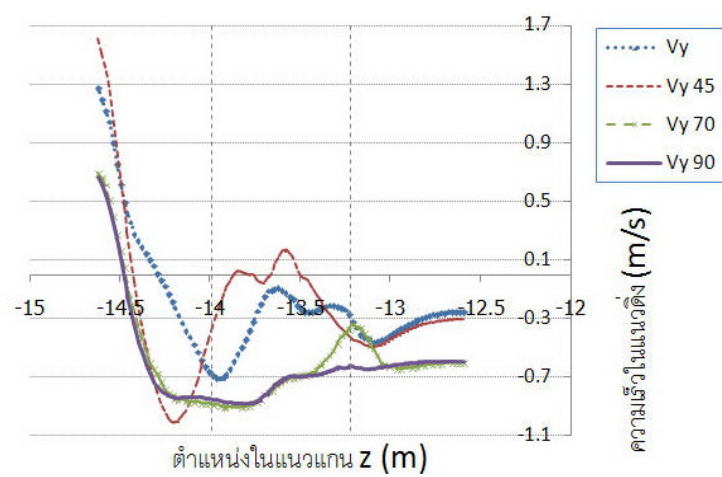


ภาพที่ 8.14
กราฟความเร็วในแนวตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 1 ในกรณีที่ 1



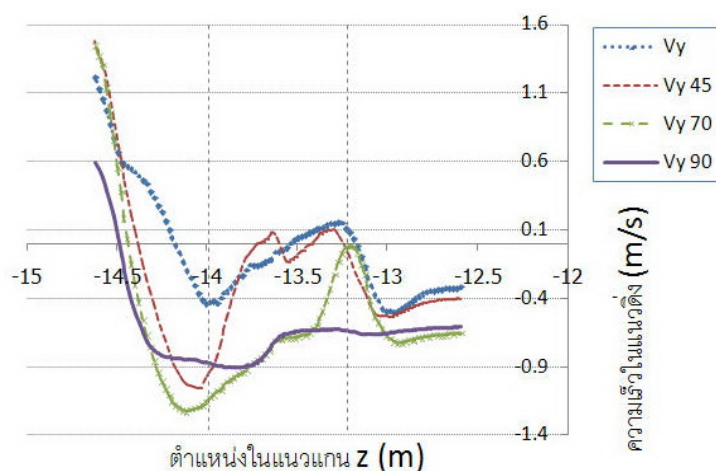
ภาพที่ 8.15

กราฟความเร็วในแนวตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 1 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 8.16

กราฟความเร็วในแนวตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ 1

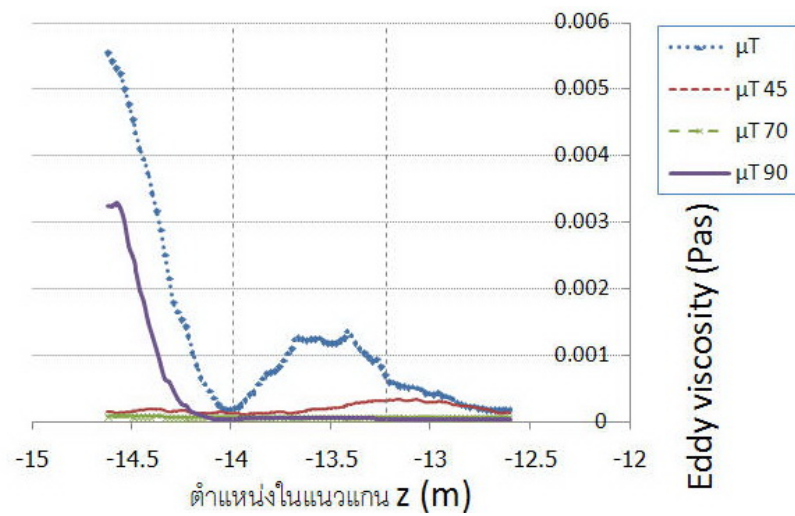


ภาพที่ 8.17

กราฟความเร็วในแนวตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ 2

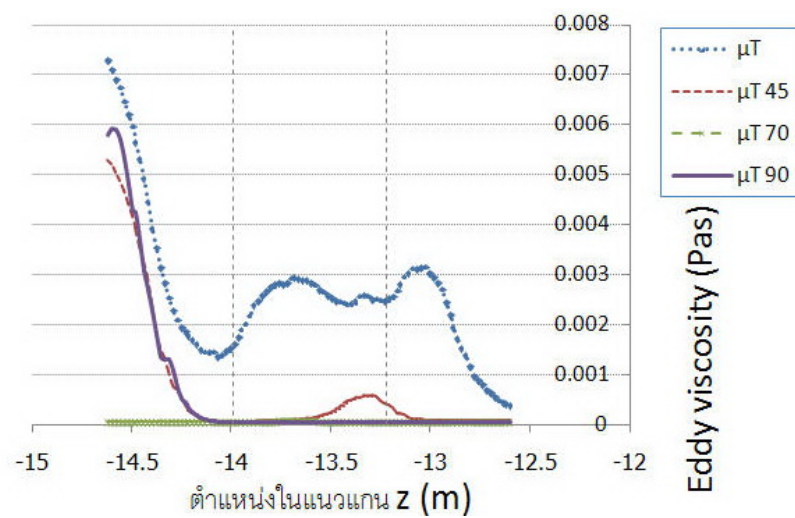
8.4.3 ผลความปั่นป่วนภายใต้ Laminar flow hood

จากเส้นอ้างอิงที่ถูกกำหนดดังภาพที่ 8.13 ได้นำค่าความหนืดแบบปั่นป่วน μ_T มาพล็อตเทียบกับระยะตามแนวแกน z ซึ่งแสดงถึงความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นโดยถ้าค่านี้มีค่ามาก แสดงว่ามีความปั่นป่วนสูง ซึ่งจากภาพที่ 8.18 ถึง 8.21 พบว่าหลังจากทำการปรับปรุงพฤติกรรม การไหลโดยการติดพลาสติกเพิ่มเข้าไปนั้น ค่าความหนืดปั่นป่วนมีค่าต่ำลง หรือการไหลมีความราบเรียบมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะที่ความยาว 70 เซนติเมตร (เส้นประกากบาทสีเขียว) และ 90 เซนติเมตร (เส้นทึบสีม่วง) ทั้ง 2 กรณี และทั้ง 2 เส้นอ้างอิง



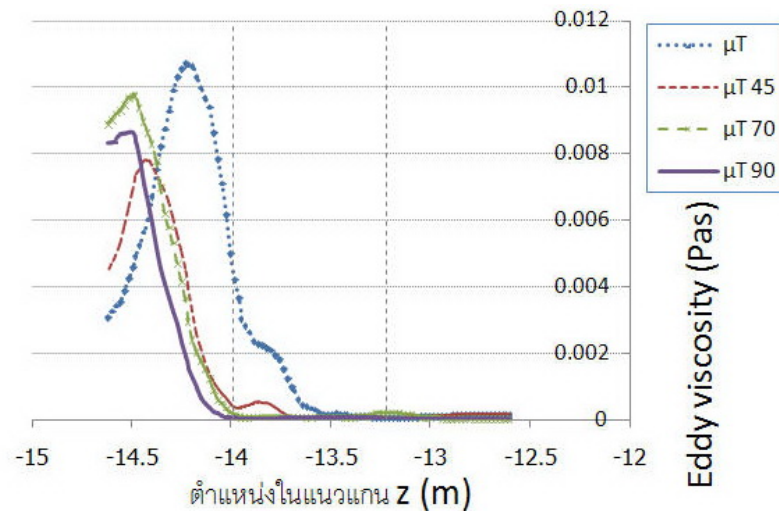
ภาพที่ 8.18

กราฟความหนืดแบบปั่นป่วนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 1 ในกรณีที่ 1



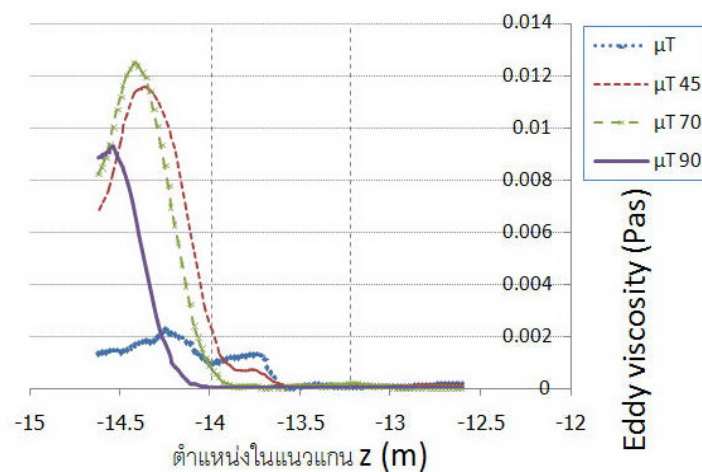
ภาพที่ 8.19

กราฟความหนืดแบบปั่นป่วนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 1 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 8.20

กราฟความหนืดแบบปั่นป่วนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ 1



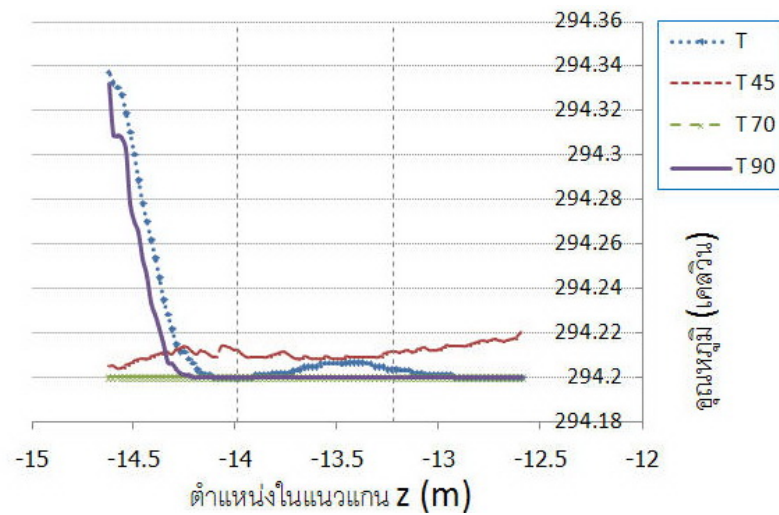
ภาพที่ 8.21

กราฟความหนืดแบบปั่นป่วนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ 2

8.4.4 ผลอุณหภูมิ

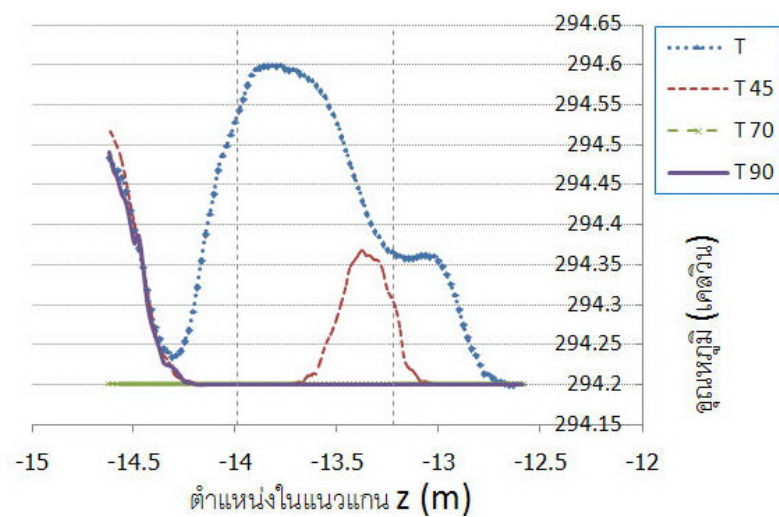
ค่าอุณหภูมิที่ถูกกำหนดภายในห้องสะอาดที่ใช้ประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์นั้น โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $19-24^{\circ}\text{C}$ ($292-297^{\circ}\text{K}$) ซึ่งจากผลที่ได้จากการพล็อตกราฟอุณหภูมิตามแนวระยะแกน z จากเส้นอ้างอิงที่ถูกกำหนดดังภาพที่ 8.13 นั้น ผลอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 8.22

ถึง 8.25 พบว่าค่าอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุงพฤติกรรมคาร์บอนไฮดรอกไซด์ในช่วงที่ถูกกำหนดและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



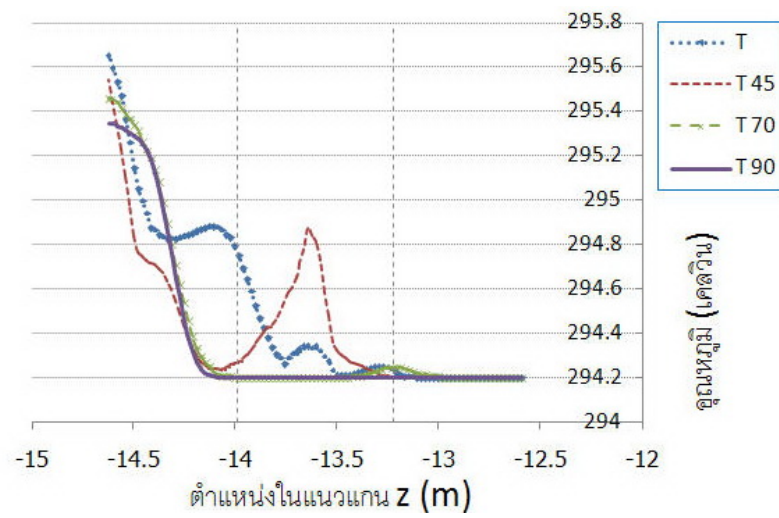
ภาพที่ 8.22

กราฟอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 1 ในกรณีที่ 1



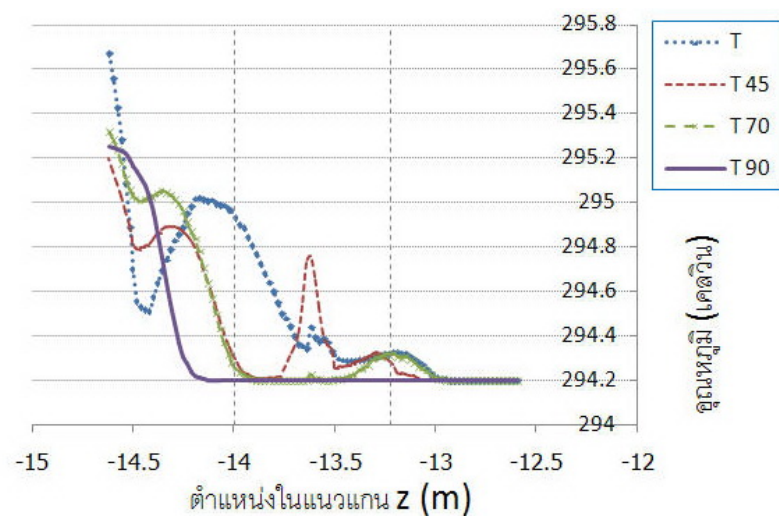
ภาพที่ 8.23

กราฟอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 1 ในกรณีที่ 2



ภาพที่ 8.24

กราฟอุณหภูมิต่ำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ 1



ภาพที่ 8.25

กราฟอุณหภูมิต่ำแหน่งต่าง ๆ ในแกน z ที่เส้นอ้างอิงที่ 2 ในกรณีที่ 2

8.5 สรุปผลการปรับปรุงพฤติกรรมการไหล

งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics) มาจำลองพฤติกรรมการไหลภายในห้องสะอาดที่ใช้ในการประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ซึ่งห้องสะอาดมีการไหลในแนวดิ่งและมีลักษณะผสมกันระหว่างระดับความสะอาดที่มาตรฐาน ISO14644-1 ใน ISO Class 5 กับ ISO Class 6 เพื่อลดต้นทุนการก่อสร้างและดูแลรักษา ซึ่งจากการจำลองพฤติกรรมการไหลพบว่าลักษณะการไหลเกิดการหมุนวน และการไหลมีความไม่สม่ำเสมอในบริเวณด้านข้างของเครื่องทดสอบหัวอ่าน และอาจเกิดการเหนียวนำอนุภาคนาโนใหญ่จากระดับความสะอาดมาตรฐาน ISO Class 6 เข้ามาปะปนกับอนุภาคนาโนเล็กกว่าในระดับความสะอาดมาตรฐาน ISO Class 5 ดังนั้นจึงได้ปรับปรุงพฤติกรรมการไหลโดยการติดพลาสติกเพิ่มเข้าไปในส่วนขอบด้านล่าง Laminar flow hood และหาความยาวที่เหมาะสม โดยพบว่าความยาวที่เหมาะสมกับการลงทุนติดตั้งคือ 70 เซนติเมตร ซึ่งให้ลักษณะการไหลมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ค่าความเร็วและอุณหภูมิก็อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด สามารถลดความเร็วขาออกจาก Laminar flow hood ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย