

๑
๖๒๐.๑๑๐๘๘๗
๘๗๒๓๗

๘๗

การวิเคราะห์ระบบหล่อเย็นของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข
ทางพลศาสตร์ของไหล

๕๖ ๐๓ ๒๕๖๒



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เมษายน ๒๕๕๒

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

S 350 505

การวิเคราะห์ระบบหล่อเย็นของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข
ทางพลศาสตร์ของไหล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
เมษายน 2552

สิทธิศักดิ์ รัชนิกร. (2552). การวิเคราะห์ระบบหล่อเย็นของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธี

คำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล. ปริญญาโท วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล).

กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

คณะกรรมการควบคุม: รศ.ดร.ไพศาล นามผล, ผศ.ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล โดยเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์จะทำการทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ภายใต้อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ อากาศจะถูกบังคับให้ไหลเข้าไปในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยพัดลมจำนวน 10 ตัว และจะถูกบังคับให้ไหลไปกระทบฮาร์ดดิสก์ จากนั้นจะถูกบังคับให้ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก การวิเคราะห์นี้ใช้แบบจำลองการไหล $k - \epsilon$ แบบปั่นป่วนมาตรฐานมาวิเคราะห์โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการไหลตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดด้วยอุปกรณ์ ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลระหว่างการวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลองการไหลกับการทดลอง พบว่ามีความสอดคล้องกัน จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าการไหลและอุณหภูมิของอากาศมีความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอและความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสียดของฮาร์ดดิสก์ โดยผลของการศึกษาในครั้งนี้เป็นส่วนสำคัญของเทคโนโลยีเพื่อการออกแบบเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์อย่างมีประสิทธิภาพในการลดปัญหาการเสียดของฮาร์ดดิสก์

คำสำคัญ (Keyword): การถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหล / ฮาร์ดดิสก์

**ANALYSIS OF COOLING SYSTEM OF HARD DISK DRIVE TESTER
USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**



**AN ABSTRACT
BY
SITTISAK RATCHANEERORN**

**Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University**

April 2009

Sittisak Ratchaneekorn. (2009). *"Analysis of cooling System of Hard Disk Drive Tester using Computational Fluid Dynamics"*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Associate Assoc.Prof. Dr. Paisarn Naphon, Asst. Prof. Dr. Jutarat Kurujareon.

The numerical results of the heat transfer and flow characteristics in the hard disk drive tester are presented. The testing of the hard disk drive with keeping drives within the normal and high temperatures in the tester has been introduced as one of the manufacturing processes of the hard disk drive. The cooling air entering the tester is induced by the 10 axial fans into the tester and is impinged the hard disk drives and then discharged to the atmosphere. The $k-\varepsilon$ standard turbulent model is applied to analyze the model. The results obtained from the model are verified by comparing with the measured data. Reasonable agreement is obtained from the comparison between the results obtained from the model and those from the experiment. The numerical results show that the flow and temperature distribution of cooling air are not uniformed. Which none-uniform temperature and accumulated heat are significantly factors to the failure of the hard disk drives. The results of this study are of technology importance for the efficient design and/or approved hard disk drive tester to decrease hard disk drive failure.

Key words: Heat transfer and flow characteristics / Hard Disk Drive Tester

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ระบบหล่อเย็นของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข

ทางพลศาสตร์ของไหล

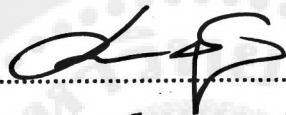
ของ

สิทธิศักดิ์ รัชนิกร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

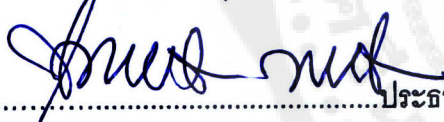


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ 17 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2552

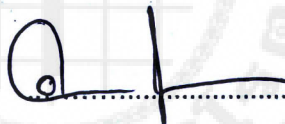
คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์



..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า



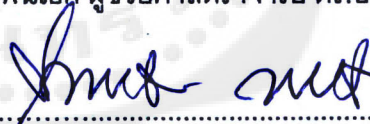
..... ประธาน

(พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อเนกัย สุขแสงพนมรุ้ง)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัยเรื่องนี้ และเชื้อเพื่อห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหล และการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TFHT) พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ คุรุเจริญ กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์จาก กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล รร.จปร. และคณาจารย์จาก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างดี

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจตลอดจนสนับสนุนในการศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำวิจัยนี้

สิทธิศักดิ์ รัชนิกร

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2 สมการพื้นฐานและการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล.....	6
สมการพื้นฐาน.....	6
แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน.....	8
ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method).....	9
การดิสครีตไทเซชัน (Discretisation).....	10
การประมาณค่าของอินทิกรัลพื้นผิว.....	12
กระบวนการหาคำตอบ (Solution algorithm).....	16
ขนาดและรูปทรงของแบบจำลอง.....	18
เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition).....	19
รูปแบบกริด.....	22
ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการจำลอง.....	25
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	26
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	26
การหาจำนวนกริดที่เหมาะสม.....	30
4 ผลและการวิเคราะห์.....	32
การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและการทำนาย.....	34
การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างดัดแปลง	
อันดับหนึ่ง และแบบระเบียบวิธีผลต่างดัดแปลงอันดับสอง	36
การศึกษาเชิงพารามิเตอร์.....	37
แนวทางในการปรับปรุงเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	68

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	77
สรุปผล.....	77
ข้อเสนอแนะ.....	78
บรรณานุกรม.....	79
อภิธานศัพท์.....	82
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	85



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 เปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ.....	31



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ส่วนประกอบของความเร็วที่ขึ้นอยู่กับเวลา.....	7
2 ปริมาตรควบคุม 3 มิติ.....	10
3 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่หนึ่ง	13
4 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่สอง.....	13
5 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก.....	14
6 รูปทรงของแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์.....	18
7 ขนาดของแบบจำลองด้านบนสำหรับการวิเคราะห์.....	18
8 ขนาดของแบบจำลองด้านหน้าสำหรับการวิเคราะห์.....	19
9 เงื่อนไขขอบเขตสำหรับการวิเคราะห์.....	20
10 Unstructured grids ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	22
11 การคำนวณของโปรแกรม.....	24
12 เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	27
13 ชุดเครื่องมือบันทึกค่าของอุณหภูมิ.....	28
14 ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	28
15 ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วลมภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	28
16 การวัดความเร็วลมในแต่ละช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์.....	29
17 กราฟเปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศ.....	30
18 กราฟเปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ.....	30
19 ลักษณะของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	32
20 การไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้านบน.....	33
21 การไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้านข้าง.....	33
22 ภาพตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์ด้านหน้าของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	34
23 ภาพตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์ด้านบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์.....	34
24 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของอากาศระหว่างการทดลองและการทำนาย.....	34
25 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศระหว่างการทดลองและการทำนาย.....	35
26 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของอากาศระหว่างการประมาณค่าแบบระเบียบวิธี ผลต่างต้นลมอันดับหนึ่งและแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง	36

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศระหว่างการประมาณค่าแบบระเบียบวิธี ผลต่างดันลมอันดับหนึ่งและแบบระเบียบวิธีผลต่างดันลมอันดับสอง.....	36
28 ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะต่างๆ.....	37
29 ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะต่างๆ.....	40
30 ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Z ที่ระยะต่างๆ.....	43
31 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะต่างๆ.....	46
32 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะต่างๆ.....	48
33 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Z ที่ระยะต่างๆ.....	51
34 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะต่างๆ.....	54
35 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะต่างๆ.....	61
36 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Z ที่ระยะต่างๆ.....	64
37 คอนทัวร์การกระจายตัวของอุณหภูมิของฮาร์ดดิสก์.....	66
38 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างฮาร์ดดิสก์และอากาศ.....	67
39 ภาพการปรับปรุงเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์แบบต่างๆ.....	68
40 เปรียบเทียบความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะ เท่ากับ 0.405 เมตรของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	69
41 เปรียบเทียบความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะเท่ากับ -0.045 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	70
42 เปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะเท่ากับ 0.405 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	71
43 เปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะเท่ากับ -0.045 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	72
44 เปรียบเทียบเวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะ เท่ากับ 0.405 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	73
45 เปรียบเทียบเวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะเท่ากับ -0.045 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	74
46 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของอากาศของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	75

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

47 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศของการปรับปรุงแบบต่างๆ.....	75
---	----



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ทันสมัย และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เรียกว่า “ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์” ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของคอมพิวเตอร์โดยจะทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำสำรองและเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ซึ่งจะต้องมีความสามารถในการประมวลผลและแม่นยำสูงมาก ไม่ว่าจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ประเภทใดก็ตามล้วนแต่ต้องมีฮาร์ดดิสก์ทั้งสิ้น

บริษัทที่ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทุกชิ้นที่ส่งออกจะต้องผ่านกรรมวิธีการทดสอบประสิทธิภาพทุกขั้นตอนก่อนถึงมือลูกค้า จากการสำรวจข้อมูลต่างๆภายในบริษัทที่ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นพบว่าเกิดปัญหา คือ การทดสอบฮาร์ดดิสก์ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ (เครื่องทดสอบ) โดย การทดสอบนั้นเป็นการทำงานจริงของฮาร์ดดิสก์ที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง ประสบปัญหาการเสียที่เกิดจากการทดสอบฮาร์ดดิสก์เป็นจำนวนมาก ซึ่งการเสียที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากฮาร์ดดิสก์ที่ทำการทดสอบมีอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด โดยเกิดจากปัญหาของระบบระบายความร้อนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งฮาร์ดดิสก์ที่เสียดังกล่าวจะส่งสัญญาณของผลอุณหภูมิที่สูงเกินไปยังหน่วยประมวลผลของเครื่องทดสอบ จากนั้นจะแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ เมื่อฮาร์ดดิสก์ที่ทำการทดสอบเกิดการเสียทำให้ต้องมีการนำฮาร์ดดิสก์นั้นไปทดสอบซ้ำ (REWORK) เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองทั้งเวลา ทรัพยากร และแรงงานคน

ดังนั้นจึงได้นำปัญหานี้มาทำการวิจัยเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถ่ายเทความร้อนในกาทดสอบฮาร์ดดิสก์ของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการระบายความร้อนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ เพื่อที่จะช่วยลดปัญหาการเสียของฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทดสอบแล้วเกิดความผิดพลาดขึ้นซึ่งจะทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิต คือประหยัดทรัพยากร เวลาและแรงงานคนของบริษัทที่ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของการทดสอบฮาร์ดดิสก์ ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่สามารถบรรจุฮาร์ดดิสก์ จำนวน 120 ตัว
2. ศึกษาและวิเคราะห์ด้วยวิธีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อช่วยลดปัญหาการเสีของฮาร์ดดิสก์ที่ทำการทดสอบในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์แล้วเกิดอุณหภูมิสูงกว่ากำหนด
2. เพื่อช่วยประหยัดเวลา และแรงงานคนที่จะต้องทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ซ้ำ

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการไหลและถ่ายเทความร้อน พบว่ามีการนำระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลมาศึกษาหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายความร้อนภายในระบบต่างๆ จึงได้รวบรวมข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิจัยไว้ดังนี้

พีเตอร์ เวอร์โบเวน และคณะ (Pieter Verboven; et al. 2000) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้แบบจำลองการไหลปั่นป่วน RNG $k-\omega$ มาวิเคราะห์การอบอาหารในเตาอบที่ให้ความร้อนโดยใช้พัดลมเป่าลมร้อนไปตามช่องใส่อาหารที่ใช้อบ เพื่อเป็นแนวทางในการลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการอบอาหาร พบว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเกิดความผิดพลาด 22% เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง

โจเซฟ ลาม และแอปเปิ้ล ชาน (Joseph Lam; & Apple Chan. 2000) นำระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของอากาศภายในระบบปรับอากาศของโรงยิมในประเทศจีน เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการสูญเสียพลังงานทั้งภาระความร้อนและกำลังไฟฟ้า พบว่าตำแหน่งการระบายอากาศออกมีผลต่อการสูญเสียพลังงาน

คาร์ริลโฮ ดา กราซา และคณะ (Carrilho da Graca; et.al. 2002) ศึกษาการไหลและการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบการระบายความร้อนในเวลากลางวันและการทำความเย็นในเวลากลางคืนภายในอาคาร 6 ชั้น ระหว่างเมืองไบจิงกับเมืองเซี่ยงไฮ้ ซึ่งมี

ความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอกอาคาร พบว่าตอนกลางคืนจะทำความเย็นได้ดีกว่าการระบายอากาศในเวลากลางวัน

ซอง และคณะ (H.Song; et al.2003) ศึกษาการไหลของอากาศและการถ่ายเทความร้อนภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเปรียบเทียบการศึกษาดำเนินการด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบจำลอง คือ Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ และ Reynolds stress method

อีเวลอย และคณะ (Eveloy; et al. 2004) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขในการทดสอบประสิทธิภาพและทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ประเภท Plastic Quad Flat Pack (PQFP) 160 ขา บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยกำหนดสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน พบว่าโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถประเมินจุดสำคัญ เพื่อกำหนดคุณลักษณะในการทดสอบอายุการใช้งาน และการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างเหมาะสม

เอมเร ออทเติร์ก (Emre Ozturk. 2004) ศึกษาการระบายความร้อนแบบบังคับของครีบบระบายความร้อนขนาดเล็กบนซีพียู โดยโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณวิเคราะห์ประสิทธิภาพของครีบบระบายความร้อน โดยเปรียบเทียบผลกระทบของแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน, การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี, จำนวนกริดที่เหมาะสม และความแตกต่างของรูปร่างครีบบระบายความร้อนขนาดเล็กที่มีผลต่อการไหลและถ่ายเทความร้อนของอากาศ

หยัง ฮี โซ และคณะ (Hyung -Hee Cho; et al.2004) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อดูผลของการระบายความร้อนด้วยหลักการ Ventilation Hub

ซาง ลิน และคณะ (Zhang Lin; et al. 2005) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของความแตกต่างของรูปแบบการติดตั้งระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิภายในสำนักงานในประเทศฮ่องกง

กุลกานี และดาส (Kulkarni; & Das. 2005) ศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลังจากติดตั้งครีบบระบายความร้อนบนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข

อูลด์ คาอัว และคณะ (Ould Khaoua; et al 2006) ศึกษาการไหลและการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลความแตกต่างของความเร็ว ทิศทางของลมและรูปแบบช่องระบายอากาศของหลังคาที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในเรือนกระจก พบว่าการระบายอากาศที่ดีที่สุด โดยการเปิดช่องระบายของหลังคาตามทิศทางของลม

เคียน ซู และคณะ (Qian Zou; et al. 2006) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของการออกแบบภาชนะบรรจุอาหาร ที่มีผลต่อความเย็นและการควบคุมอุณหภูมิในการรักษาความสดของอาหารที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะ

สุไรดิ และคณะ (Suraidi; et al. 2006) ศึกษาการไหลของอากาศภายใน 1-in ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 มิติโดยใช้แบบจำลอง $k-\epsilon$ มาตรฐาน เปรียบเทียบการไหลของอากาศของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหัวอ่าน เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดพลังงานลมและพลังงานไฟฟ้า

มอนเตซา และคณะ (Montesa; et al. 2007) ศึกษาด้วยวิธีการทดลองและระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของระบบระบายอากาศทั้งแบบธรรมชาติและแบบบังคับที่มีผลต่อการระบายความร้อนจากการเผาไหม้ภายในอาคารการทดสอบการเผาไหม้ขนาด 19.5 ม. X 19.5 ม. X 20 ม. เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารที่มีความปลอดภัยต่อการเกิดเพลิงไหม้ พบว่าการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีผลคล้ายคลึงกับการทดลอง โดยผลคือต้องเพิ่มขนาดของช่องระบายอากาศออกเพื่อลดอันตรายจากการเกิดเพลิงไหม้

หยุง ชิน เจียงและคณะ (Yung-Shin Tseng; et al. 2007) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าของตัวแปรต่างๆ คือ การวางตัวของแผงวงจร, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการเปิดของช่องว่างของช่องการไหลในการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กบนแผงวงจรโดยใช้การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่ออายุการใช้งานและต้นทุนในการผลิตคือการเปิดของช่องว่างของช่องการไหล อีกทั้งการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขยังช่วยลดการทำงานเพื่อการวิเคราะห์หลังครั้งหนึ่งเมื่อเทียบกับการทดลอง

รามิ กานดาสามี และมุจุมดาร์ (Ravi Kandasamy; & Mujumdar. 2008) ทำการศึกษาด้วยวิธีการทดลองและระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของขนาดของ Die คือ 5x5 มม. , 15x15 มม. และ 20x20 มม. ใน Ceramic Ball Grid Array (CBGA) รวมถึงการนำครีระบายความร้อนมาติดตั้งด้านบน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนทั้งแบบธรรมชาติและแบบบังคับ พบว่าขนาดของ Die, อุณหภูมิของ Die และแผงวงจร มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งแบบธรรมชาติและแบบบังคับ

เมนเดซ และคณะ (Mendez; et al. 2008) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อดูผลของการออกแบบละติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศของห้องพักผู้ป่วย 2 เตียงในโรงพยาบาลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ เพื่อความสะอาดและประหยัดค่าใช้จ่ายภายในโรงพยาบาล

จากการศึกษาบทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า การศึกษาการไหลและการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลมีอย่างแพร่หลาย จะแตกต่างกันในเรื่องของการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ แต่ในการประยุกต์ใช้กับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้นยังไม่มีการศึกษามาก่อน จึงเป็นที่มาในการทำวิจัยเรื่องนี้และเป็นแนวทางที่จะปรับปรุงการระบายความร้อนเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



บทที่ 2

สมการพื้นฐานและการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

สมการพื้นฐาน

สมการพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหลประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) ที่ให้ค่าเปลี่ยนไปแบบชั่วขณะ โดยในการคำนวณเราสมมติให้ของไหลเป็นของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ มีความมีหนืด มีอุณหภูมิคงที่และการไหลเป็นแบบการไหลสภาวะคงตัว มีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.1)$$

สมการนาเวียร์-สโตกส์

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2.2)$$

ให้ความเร็วและปริมาณต่างๆ ซึ่งค่าที่เปลี่ยนไปแบบชั่วขณะ (Instantaneous) มีค่าเท่ากับผลรวมของค่าเฉลี่ย (Mean) ซึ่งไม่ขึ้นกับเวลากับส่วนแสดงการกระเพื่อม (Fluctuations) ดังแสดงในภาพประกอบ 1 ดังนี้

$$u_i = \overline{u_i} + u'_i \quad (2.3)$$

โดยที่ $\overline{u_i}$ และ u'_i คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งและส่วนของการกระเพื่อมของส่วนประกอบความเร็ว

($i = 1, 2, 3$) ซึ่งค่าของ $\overline{u_i}$ ได้มาจาก

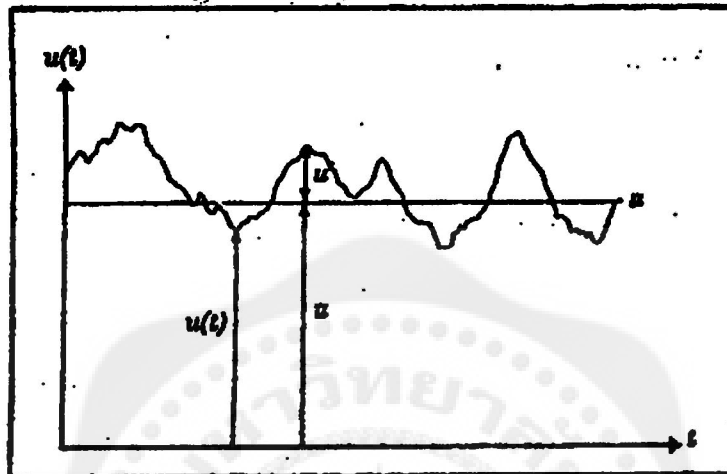
$$\overline{u_i} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u_i dt \quad (2.4)$$

โดยที่ Δt เป็นขนาดของช่วงเวลาซึ่งมีขนาดใหญ่มากพอเมื่อเทียบกับการกระเพื่อมของความปั่นป่วน ดังนั้น

$$\overline{u_i} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} (\overline{u_i} + u'_i) dt = \overline{u_i} + \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u'_i dt = \overline{u_i} + \overline{u'_i} \quad (2.5)$$

เนื่องจาก $\overline{u_i'} = 0$ ดังนั้น

$$\overline{u_i} = \overline{\overline{u_i}} \quad (2.6)$$



ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบของความเร็วที่ขึ้นอยู่กัเวลา

จะเห็นได้ว่าส่วนของเทอมเฉลี่ยช่วงเวลาหนึ่งของการกระเพื่อมของความปั่นป่วนมีค่าเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามค่า $\overline{u_i' u_j'}$ ไม่จำเป็นต้องมีค่าเป็นศูนย์ไปด้วยเช่นเดียวกับปริมาณอื่นๆ สามารถเขียนได้ให้รูปเดียวกัน

$$p = \overline{p} + p' \quad (2.7)$$

จากสมการนาเวียร์-สโตกส์ ที่ให้ค่าเปลี่ยนไปแบบชั่วขณะแทนค่าปริมาณต่างๆ ด้วยผลรวมของปริมาณเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งกับส่วนของการกระเพื่อมเนื่องจากความปั่นป่วนแล้ว ทำการเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาหนึ่ง สมการที่ได้สามารถเขียนให้อยู่ในแกนคาร์ทีเซียน (Cartesian Axis) ได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{p u_i}) = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{p u_i u_j}) = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.8 และ 2.9 เรียกว่า สมการค่าเฉลี่ยเรโนลด์นาเวียร์-สโตกส์ (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation, RANS) ซึ่งสมการที่ได้มีรูปแบบคล้ายคลึงกับสมการนาเวียร์-สโตกส์ ที่ให้ค่าเปลี่ยนแปลงไปแบบชั่วขณะ จะเห็นได้ว่าสมการที่แสดงการไหลแบบปั่นป่วนเป็นสมการอนุพันธ์ย่อยไม่เชิงเส้นอันดับที่สองและยังมีสมการอื่น ๆ อีกเชื่อมโยงกันอยู่ในระบบซึ่งยากต่อการหาผลเฉลยโดยวิธีแม่นยำตรงในทางคณิตศาสตร์ (Analytical Method) ในทุกวันนี้ยังไม่มีผลเฉลยแบบปิด (Close form Solution) สำหรับสมการนาเวียร์-สโตกส์ ดังนั้นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจึงเป็นที่นิยมในการหาผลเฉลยในปัจจุบัน และเพื่อให้เป็นปัญหาแบบปิด (Closure Problem) ในสมการ ที่ 2.9 เทอมความเค้นเรโนลด์ (Reynolds Stresses) $-\overline{\rho u_i' u_j'}$ จำเป็นต้องใช้แบบจำลองความปั่นป่วน

แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน

สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วนมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ที่นำมาใช้ในการจำลองปัญหาสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ คือ แบบจำลองมาตรฐาน $k-\varepsilon$ (Standard $k-\varepsilon$)

แบบจำลอง Standard $k-\varepsilon$

แบบจำลอง Standard $k-\varepsilon$ เทอมความเค้นเรโนลด์ จะถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอัตราความเค้นเฉลี่ย (Mean strain rate) (Versteeg & Malalasekera. 1995) โดย Eddy-viscosity ที่ซึ่งค่า Eddy-viscosity จะกำหนดให้สัมพันธ์กับพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulent kinetic energy, k) และอัตราการสูญเสีย (Dissipation rate, ε) โดยใช้ข้อสมมติฐานของ Boussinesq คือ

$$-\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2.10)$$

โดยที่ μ_t คือความหนืดของความปั่นป่วน (Eddy-viscosity) ซึ่งหาได้จาก

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

โดยที่ค่า C_μ เป็นค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 0.09 และ k คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน $\left(k = \frac{1}{2} \overline{u_i' u_i'} \right)$ ส่วน ε คือ อัตราการสูญเสียของความปั่นป่วน (Turbulent dissipation rate) สำหรับรูปของสมการที่ใช้ในการหาค่า k และ ε เป็นดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k - \rho \epsilon \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + \frac{\epsilon}{k} (C_{1\epsilon} G_k - C_{2\epsilon} \rho \epsilon) \quad (2.13)$$

โดยที่ค่า $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ ค่า G_k แทน อัตราการเกิดของพลังงานจลน์ความปั่นป่วน (Turbulent production rate) ขณะที่ $\rho \epsilon$ เป็นอัตราการสูญสลาย (Destruction rate) โดย G_k มีค่าเป็น

$$G_k = \mu_{eff} \left[\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right] \quad (2.14)$$

โดยทั่วไปแล้วค่า $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_{2\epsilon} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$ และ $\sigma_\epsilon = 1.3$

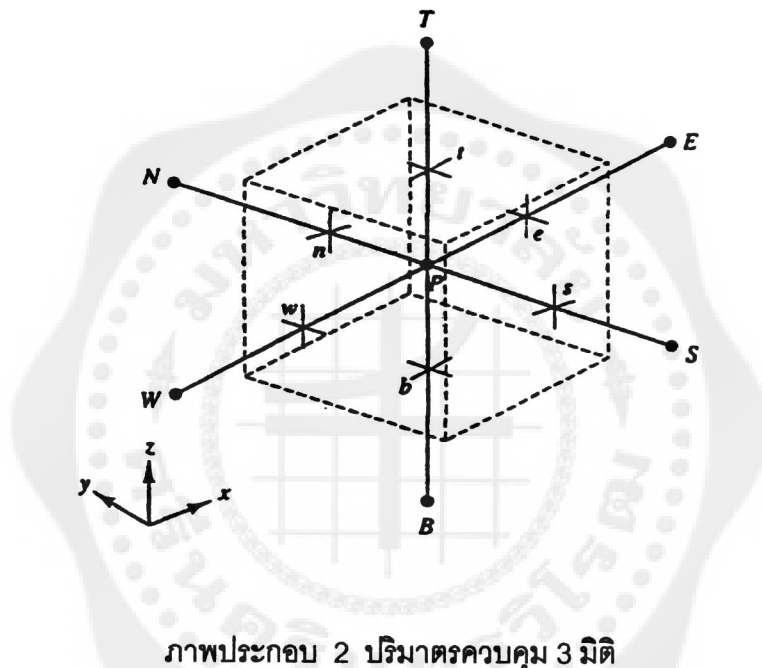
ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method)

ในการหาผลเฉลยของสมการควบคุม (Governing equation) ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งคู่ควบกันอยู่ ได้ใช้หลักวิธีพื้นฐานของปริมาตรควบคุม ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยแบ่งขอบเขตการคำนวณออกเป็นปริมาตรควบคุมย่อยๆ ทำการอินทิเกรตสมการควบคุมในแต่ละปริมาตรควบคุม พร้อมทั้งจัดให้อยู่ในรูปของสมการพีชคณิต ทำการดิสครีตสมการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปอินทิกรัล และทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปริมาตรต่างๆ ในปริมาตรควบคุมย่อยหนึ่ง ๆ กับปริมาณต่างๆ ในปริมาตรควบคุมย่อยข้างเคียงให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น จากนั้นจึงทำการแก้สมการ เพื่อหาผลเฉลยต่อไป ซึ่งระเบียบวิธีดังกล่าวเรียกว่าวิธีการคำนวณแบบปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method) และจะได้อธิบายต่อไป

รูปทั่วไปของสมการการส่งถ่ายปริมาณสเกลลาร์ (ϕ) ในปริมาตรควบคุมใดๆ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอินทิกรัลได้ดังนี้

$$\int_A \rho \phi \bar{u}_i \cdot \bar{n} dA = \int_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot \bar{n} dA + \int_{CV} S_\phi dV \quad (2.15)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น $\vec{n}$ คือ เวกเตอร์ความเร็ว A คือ พื้นที่ผิวของปริมาตร Γ_ϕ คือสัมประสิทธิ์การแพร่ของ ϕ $\nabla \phi$ คือ ค่าความชันของ ϕ S_ϕ คือ แหล่งกำเนิด (Source) ของ ϕ ต่อหน่วยปริมาตร เทอมต่างๆ ในสมการที่ (2-15) มีความหมายดังนี้ เทอมแรกทางด้านซ้ายของสมการ เป็นเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลา เทอมแรกทางด้านขวาของสมการ เป็นเทอมของการพา ส่วนเทอมที่สอง ด้านขวาของสมการเป็นเทอมการแพร่ การหาค่าอินทิเกรตสมการข้างต้นเป็นขั้นตอนต่อไปของการคำนวณแบบปริมาตรสืบเนื่อง ในการวิเคราะห์การไหลแบบ 3 มิติ จะกำหนดให้ค่า ϕ มีค่าเป็น u , v และ w ต่อไปเราจะพิจารณาปริมาตรควบคุมใดๆ ในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ปริมาตรควบคุม 3 มิติ

ภาพประกอบ 2 จุด P ตัวแทนของปริมาตรจะอยู่ตำแหน่งกลางของปริมาตร พื้นผิวแต่ละด้านของปริมาตรเขียนแทนด้วย e, w, n, s, t และ b ซึ่งหมายถึง พื้นผิวด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ ทิศใต้ ด้านบนและด้านล่างของจุด P ตามลำดับ ต่อไปเป็นการดิสครีตสมการ (2-15)

การดิสครีตไทเซชัน (Discretisation)

สมการอนุพันธ์ย่อยไม่เชิงเส้นที่ใช้อธิบายการไหลของของไหลนั้น เมื่อทำการดิสครีตในแต่ละเทอมจะได้ดังนี้

เทอมการพา (Convection term)

ทำการดิสครีตเทอมการพาจะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\int_A (\rho \phi u) \vec{n} dA &= [(\rho \phi A u)_e - (\rho \phi A u)_w] \\
&+ [(\rho \phi A v)_n - (\rho \phi A v)_s] \\
&+ [(\rho \phi A w)_t - (\rho \phi A w)_b]
\end{aligned} \tag{2.16}$$

สามารถเขียนสมการของการพาที่ทำการดิสครีตแล้วให้ง่ายขึ้นโดยการแทนด้วย $F = \rho u A$ โดยที่ค่า F คือ ฟลักซ์ของการพา (Convective flux) เขียนสมการ (2-16) ใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\int_A (\rho \phi u) \vec{n} dA &= [(F \phi)_e - (F \phi)_w] \\
&+ [(F \phi)_n - (F \phi)_s] \\
&+ [(F \phi)_t - (F \phi)_b]
\end{aligned} \tag{2.17}$$

เทอมการแพร่ (Diffusion term)

ทำการดิสครีตเทอมการแพร่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
&\left[\left(A \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(A \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \right] \\
&+ \left[\left(A \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n - \left(A \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s \right] \\
&+ \left[\left(A \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_t - \left(A \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_b \right] + \bar{S} \Delta V = 0
\end{aligned} \tag{2.18}$$

เมื่อ Γ คือค่าของสัมประสิทธิ์ของการแพร่ เพื่อความสะดวกเราจะใช้ตัวแปร $D = \frac{\Gamma A}{\partial x}$ แสดงแทนฟลักซ์ของการแพร่ (Diffusive flux) และสามารถเขียนสมการของการแพร่ที่ทำการดิสครีตแล้วได้ใหม่เป็น

$$\begin{aligned}
& \left[D_e(\phi_e - \phi_p) - D_w(\phi_p - \phi_w) \right] \\
& + \left[D_n(\phi_n - \phi_p) - D_s(\phi_p - \phi_s) \right] \\
& + \left[D_t(\phi_t - \phi_p) - D_b(\phi_p - \phi_b) \right] \\
& + (S_u + S_p \phi_p) = 0
\end{aligned} \tag{2.19}$$

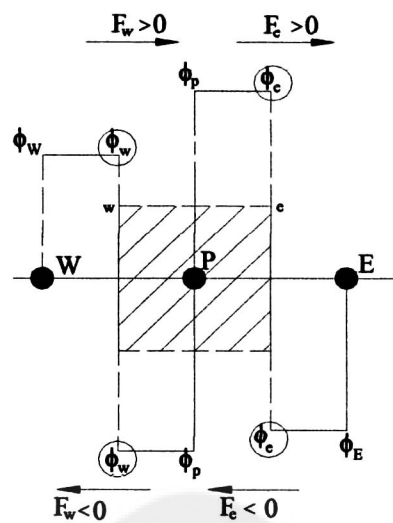
ค่า ϕ_e , ϕ_n , ϕ_s , ϕ_t และ ϕ_b เป็นค่าของ ϕ ที่พื้นผิวผนังของปริมาตร ซึ่งหาได้โดยการประมาณค่า ϕ และการประมาณค่า ϕ ที่บริเวณผิวของปริมาตรนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้ คือระเบียบวิธีผลต่างด้นลมอันดับที่หนึ่ง (First order upwind scheme) วิธีผลต่างด้นลมอันดับที่สอง (Second order upwind scheme) และระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK)

การประมาณค่าของอินทิกรัลพื้นผิว

ในการประมาณค่าเทอมที่เกิดการพานั้น งานวิจัยในครั้งนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ระเบียบวิธีผลต่างด้นลมอันดับที่หนึ่ง วิธีผลต่างด้นลมอันดับที่สอง และระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่อไป ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้ระเบียบวิธีผลต่างด้นลมอันดับที่สอง มาใช้ในการประมาณค่าเทอมที่เกิดการพา

ระเบียบวิธีผลต่างด้นลมอันดับที่หนึ่ง

สำหรับการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างด้นลมอันดับที่หนึ่งนั้น ค่าที่ต้องการหาคือค่า ϕ ในกรณี F_e เป็นค่าบวก ค่าของ ϕ_e จะถูกกำหนดให้เท่ากับค่า ϕ_p สังเกตว่าจะให้เท่ากับค่าที่อยู่ทางด้านปลายลูกศร กรณีที่ F_e เป็นค่าลบ ค่า ϕ_e จะถูกกำหนดให้เท่ากับ ϕ_E ดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับที่หนึ่ง

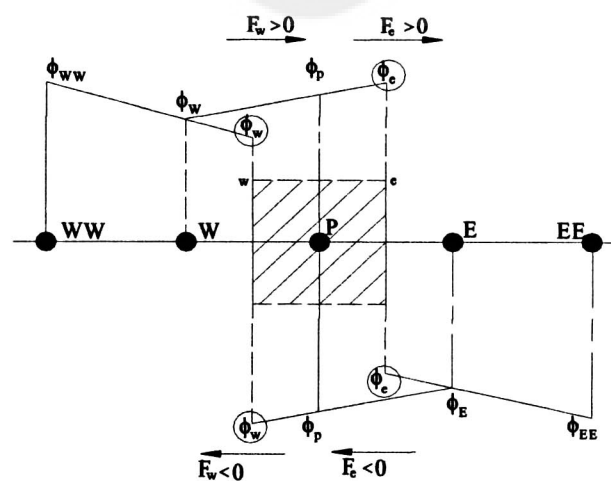
$$\begin{aligned} \phi_e &= \phi_p & : F_e > 0, & \quad \phi_e = \phi_E & : F_e < 0 \\ \phi_w &= \phi_W & : F_w > 0, & \quad \phi_w = \phi_p & : F_w < 0 \end{aligned}$$

ดังนั้นสมการเขียนได้ดังนี้

$$F_e \phi_e = \phi_p [F_e] + \phi_e [-F_e] \quad (2.20)$$

ระเบียบวิธีผลต่างอันดับที่สอง

ค่า ϕ จะประมาณค่าภายในที่พื้นผิวของปริมาตรโดยใช้ตำแหน่งริข้างเคียงอยู่ที่ท้ายลม ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับที่สอง

$$\phi_e = \frac{3}{2}\phi_p - \frac{1}{2}\phi_w \quad : \quad F_e > 0$$

$$\phi_w = \frac{3}{2}\phi_w - \frac{1}{2}\phi_{ww} \quad : \quad F_w > 0$$

$$\phi_e = \frac{3}{2}\phi_E - \frac{1}{2}\phi_{EE} \quad : \quad F_e < 0$$

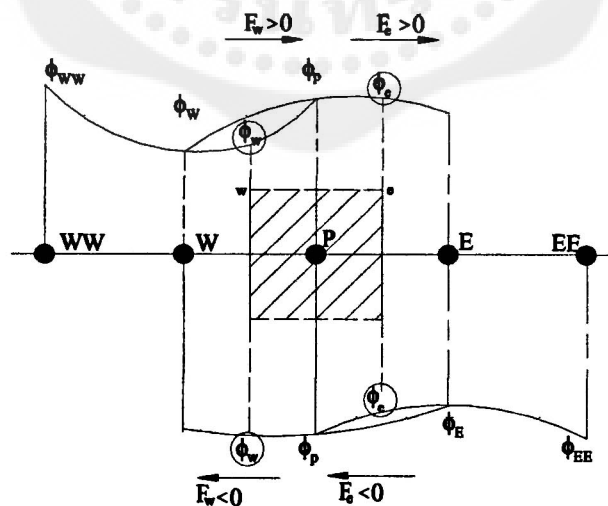
$$\phi_w = \frac{3}{2}\phi_p - \frac{1}{2}\phi_E \quad : \quad F_w < 0$$

ดังนั้นสมการเขียนได้ดังนี้

$$F_e \phi_e = \left(\frac{2}{3}\phi_p - \frac{1}{2}\phi_w \right) [F_e] - \left(\frac{2}{3}\phi_E - \frac{1}{2}\phi_{EE} \right) [-F_e] \quad (2.21)$$

ระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก

การประมาณค่า ϕ ด้วยระเบียบวิธีนี้ ตั้งสมมติฐานอยู่บนค่าเฉลี่ยของระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับที่สอง (Versteeg & Malalasekera, 1995) การหาค่าพื้นผิวนั้นหาได้จาก 2 กริดข้างเคียงอยู่ที่ปลายลม (Downstream) และอีก 1 กริดที่อยู่ต้นลม (Upstream)



ภาพประกอบ 5 การประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างแบบควิก

$$\phi_e = \frac{3}{8}\phi_E + \frac{3}{4}\phi_P - \frac{1}{8}\phi_W \quad : F_e > 0$$

$$\phi_W = \frac{3}{8}\phi_P + \frac{3}{4}\phi_W - \frac{1}{8}\phi_{WW} \quad : F_w > 0$$

$$\phi_e = \frac{3}{8}\phi_P + \frac{3}{4}\phi_E - \frac{1}{8}\phi_{EE} \quad : F_e < 0$$

$$\phi_W = \frac{3}{8}\phi_W + \frac{3}{4}\phi_P - \frac{1}{8}\phi_E \quad : F_w < 0$$

ดังนั้นสมการเขียนได้ดังนี้

$$F_e \phi_e = \left(\frac{3}{8}\phi_E - \frac{3}{4}\phi_P - \frac{1}{8}\phi_W \right) [F_e] - \left(\frac{3}{4}\phi_E - \frac{3}{8}\phi_P - \frac{1}{8}\phi_{EE} \right) [-F_e] \quad (2.22)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ϕ ของปริมาตรหนึ่งๆ กับตัวแปร ϕ_{nb} ของปริมาตรข้างเคียงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้ดังนี้

$$a_P \phi_P = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (2.23)$$

โดยที่ตัวห้อย nb หมายถึง ปริมาตรข้างเคียง ส่วน a_P และ a_{nb} เป็นสัมประสิทธิ์ของการทำให้อยู่ในรูปเชิงเส้นสำหรับตัวแปร ϕ_P และ ϕ_{nb} ตามลำดับ ซึ่งจำนวนของปริมาตรข้างเคียงมีค่าเท่ากับด้านที่ล้อมรอบปริมาตรที่พิจารณา ส่วน b เป็นเทอมที่เพิ่มมาจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ

การหาผลเฉลยโดยวิธีการแยกพิจารณา (Segregated method) เป็นการแยกส่วนในการคำนวณระหว่างสมการโมเมนตัมและสมการความต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณต้องสอดคล้องกัน สมการที่ (2-23) เป็นสมการโมเมนตัมที่ดิสครีตแล้วในแนวแกน x โดยได้พิจารณาผลของแรงที่เกิดจากความดัน (pA_f) และกำหนดให้ $\phi = u$

$$a_P u_P = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb} + \sum pA_f + B \quad (2.24)$$

โดยที่ A_f แทนพื้นที่ผิวที่พิจารณา B แทนแหล่งกำเนิดอื่นๆ ที่ปราศจากการกระจายความดันสำหรับการโมเมนตัม ในแนวแกน y และแนวแกน z ก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ส่วนสมการความต่อเนื่องที่ discretized แล้วแสดงได้ดังนี้

$$\sum_f^{N_{face}} \rho u_n A_f = 0 \quad (2.25)$$

โดยที่ N_{face} เป็นจำนวนผนังล้อมรอบปริมาตร u_n คือ ความเร็วที่ผนังปริมาตรการประมาณค่าของอินทิกรัลพื้นผิว

กระบวนการหาคำตอบ (Solution algorithm)

เพื่อให้ค่าความดันและความเร็วในสมการโมเมนตัมสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง ดังนั้นกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE (Semi - Implicit Method for Pressure - Linked Equations), SIMPLER (Semi - Implicit Method for Pressure - Linked Equations Consistent) และ PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operators) จึงถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบค่าความดันและความเร็วให้มีความสอดคล้องกัน (Versteeg & Malalasekera. 1995) จากสมการ (2-24) เราจะกำหนด p เพื่อให้ได้ค่าของ u และเพื่อปรับค่าที่ได้จากการคำนวณในรอบแรกเพื่อช่วยให้ลู่เข้าหาคำตอบเราจะเพิ่ม p' ขึ้นมา ดังนั้นสมการสามารถเขียนได้เป็น

$$a_p u_p^* = \sum_{nb} a_{nb} u_{nb}^* + \sum (p_w^* - p_e^*) A_f + B \quad (2.26)$$

โดยที่ p_w^* และ p_e^* เป็นค่าความดันของแต่ละปริมาตรที่ติดกัน ในการแก้สมการจะเริ่มต้นด้วยการสมมติค่าความดัน p^* เพื่อให้ได้ค่า u^* , v^* และ w^* และค่าที่ได้จะต้องที่สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้เพิ่มเทอม p' เข้ามาเพื่อปรับค่า p^* ในการคำนวณรอบต่อไป ซึ่งมีดังนี้

$$p = p^* + p', u = u^* + u', v = v^* + v' \quad (2.27)$$

โดยที่ p' เรียกว่า การตรวจสอบค่าความดัน (Pressure correction) ดังนั้นสมการ (2-26) สามารถเขียนได้เป็น

$$a_p u'_p = \sum_{nb} a_{nb} u'_{nb} + \sum (p'_w - p'_e) A_f + B \quad (2.28)$$

ในกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE จะไม่พิจารณาเทอม $\sum_{nb} a_{nb} u'_{nb}$ ดังนั้นจะได้สมการที่ดัดแปลงของการตรวจสอบค่าความดันในปริมาตรเป็นดังนี้

$$u'_p = d_f (p_w^* - p_e^*) \quad (2.29)$$

โดยที่เทอม d_f มีค่าเท่ากับ $d_f = \frac{A_f}{a_p}$ ในสมการโมเมนตัมที่ดัดแปลงแล้ว การปรับค่าความดันและอัตราการไหลผ่านผนังปริมาตรในแต่ละครั้งนั้น จะเป็นไปตามสมการนี้

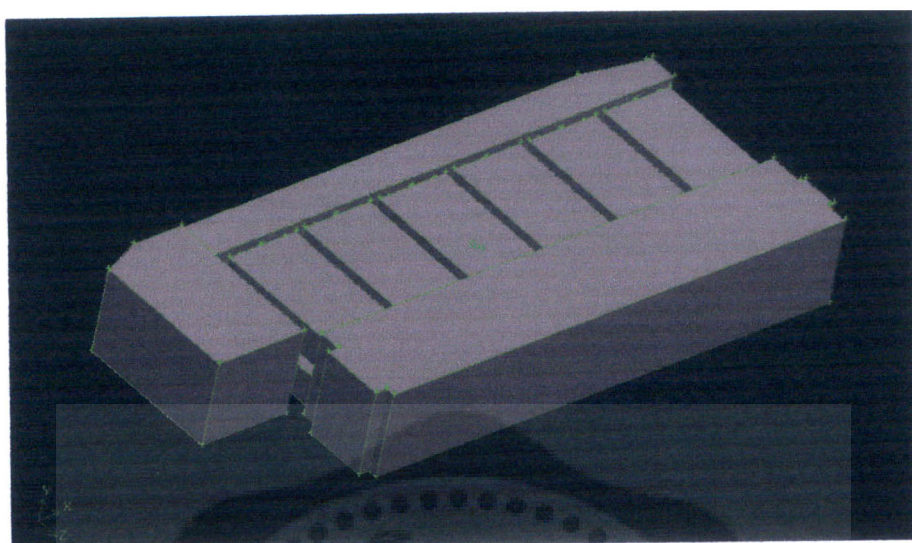
$$p^{new} = p^* + \alpha_p p' \quad (2.30)$$

โดยที่ α_p เป็นค่าแฟคเตอร์ของการปรับค่า สำหรับกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLEC นั้น เริ่มต้นจะเหมือนกับกระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE ที่กล่าวมาข้างต้น แต่ต่างกันที่ได้นำเทอม $\sum_{nb} a_{nb} u'_{nb}$ มาพิจารณาด้วย ซึ่งจะมีสัมประสิทธิ์ของ d_f เป็นฟังก์ชันของ $1 - \sum a_{nb} / a_p$ ดังนั้น สมการ

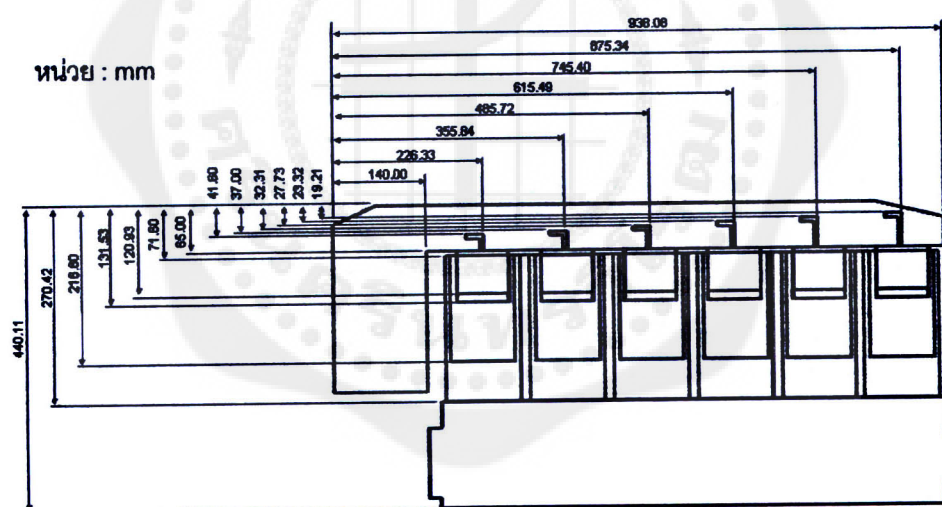
ที่ดัดแปลงของการตรวจสอบค่าความดันในปริมาตรที่พิจารณาจะเป็น $u'_p = \frac{d_f}{1 - \sum a_{nb} / a_p} (p_w^* - p_e^*)$

ส่วนกระบวนการหาคำตอบแบบ PISO นั้น ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของการคำนวณจาก SIMPLE โดยการเพิ่ม Neighbor correction และ Skewness correction ซึ่งได้เพิ่มวงจร (Loop) ในการคำนวณเพื่อให้ค่าความดันและความเร็วของสมการโมเมนตัมสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องเร็วขึ้น กระบวนการทำซ้ำนี้เรียกว่า การปรับค่าโมเมนตัม (Momentum correction) หรือ Neighbor correction กระบวนการหาคำตอบแบบ PISO นั้น ทำให้การใช้เวลาในการประมวลผลต่อรอบการคำนวณมากขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่จะทำให้จำนวนรอบในการทำซ้ำเพื่อเข้าสู่หาคำตอบลดลง สำหรับ Skewness correction นั้น เป็นตัวปรับค่าหลักการของมวลที่ผนังของปริมาตรและค่าความแตกต่างของการตรวจสอบค่าความดัน

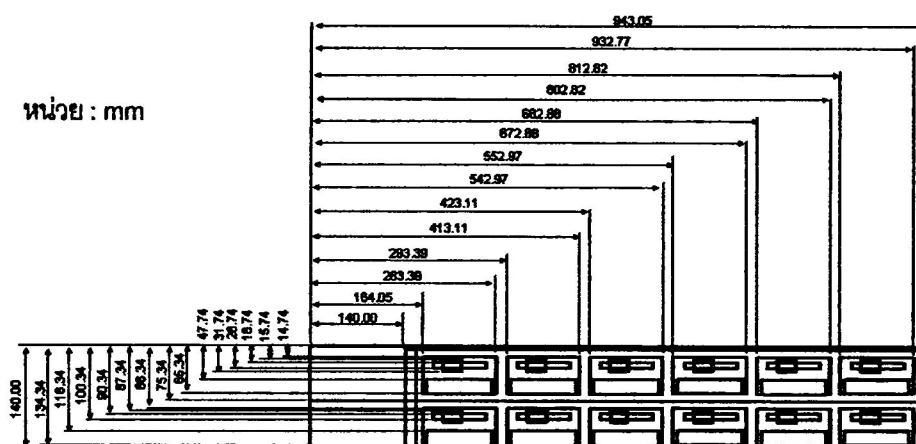
ขนาดและรูปทรงของแบบจำลอง



ภาพประกอบ 6 แสดงรูปทรงของแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์



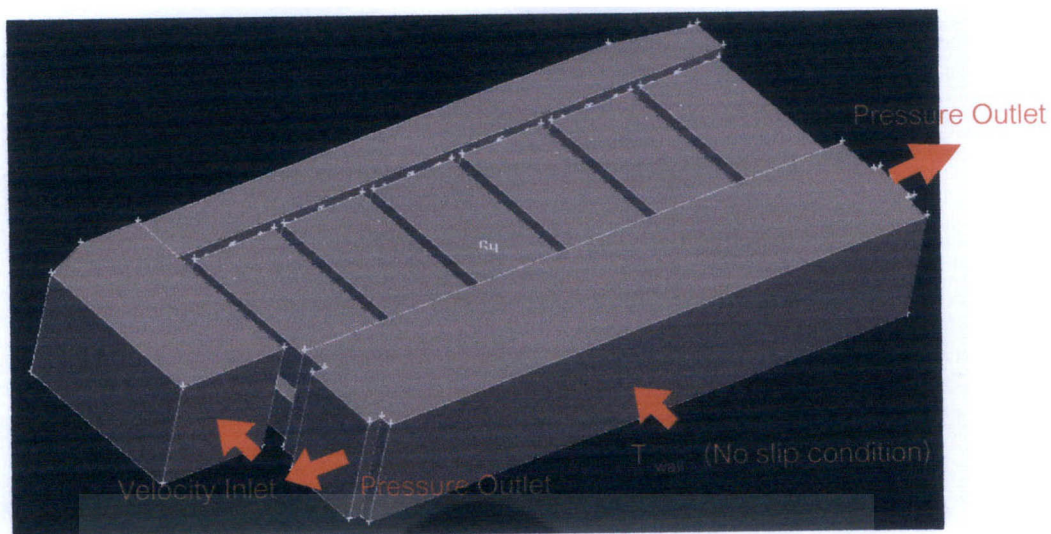
ภาพประกอบ 7 แสดงขนาดของแบบจำลองด้านบนสำหรับการวิเคราะห์



ภาพประกอบ 8 แสดงขนาดของแบบจำลองด้านหน้าสำหรับการวิเคราะห์

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition)

ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยสิ่งสำคัญที่ขาดเสียไม่ได้คือเงื่อนไขขอบเขต ดังนั้น เงื่อนไขขอบเขตเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในบริเวณขอบเขตของการคำนวณ ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจำเป็นต้องคำนึงถึงความเป็นจริงที่เกิดขึ้น เพื่อให้การจำลองปัญหาเหมือนจริงมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลถึงความถูกต้องของผลที่ได้จากการคำนวณ สำหรับการจำลองการไหลในงานวิจัยนี้ ได้ตรวจสอบตัวเลขเรย์โนลด์สอยู่ในช่วง $1400 \leq Re \leq 2400$ ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้นแบบจำลอง Standard $k-\epsilon$ จึงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้โดยที่ตำแหน่งทางเข้ากำหนดให้เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย พร้อมทั้งค่าของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนและอัตราการทำลายของความปั่นป่วน สำหรับบริเวณภายในของผนังที่กำหนดให้ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์และอุณหภูมิทางเข้าใช้ค่าประมาณ 25 องศาเซลเซียส และตำแหน่งทางออกกำหนดเป็นแบบ Pressure outlet ซึ่งสมมติให้ค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับศูนย์



ภาพประกอบ 9 แสดงเงื่อนไขขอบเขตสำหรับการวิเคราะห์

เงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้า (Inlet boundary condition)

ความเร็วของของไหลที่ไหลเข้าเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์นั้น กำหนดเป็นค่าความเร็วเฉลี่ย และค่าของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) และอัตราการสลายของความปั่นป่วน (ε) สามารถคำนวณหาค่า k และ ε ได้จากสมการ

$$k = \frac{3}{2}(\overline{uI})^2 \quad (2.31)$$

$$\varepsilon = C_{\mu}^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad (2.32)$$

เมื่อ C_{μ} คือค่าคงที่ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.09 และ l คือค่าคุณลักษณะความยาว (Turbulence characteristic length) สำหรับค่าความเข้มของการปั่นป่วน (Turbulence intensity, I) (FLUENT version 6.0: 2001) ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก

$$I = 0.16(R_e)^{-1/8} \quad (2.33)$$

เงื่อนไขขอบเขตที่ผนัง (Wall boundary condition)

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตที่บริเวณผนัง กำหนดให้ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ (No slip condition) และบริเวณใกล้ๆ ผนังกำหนดให้ใช้ฟังก์ชันผนังมาตรฐาน (Standard wall function) โดยกำหนดให้ค่าความเร็วเฉลี่ย สมการฟังก์ชันผนังมาตรฐานเขียนได้เป็น

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) \quad (2.34)$$

โดยที่

$$u^+ = \frac{\bar{u}_P C_\mu^{1/4} k_P^{1/2}}{\tau_w / \rho} \quad (2.35)$$

$$y^+ = \frac{\rho C_\mu^{1/4} k_P^{1/2} y_P}{\mu} \quad (2.36)$$

โดยที่ κ คือค่าคงที่ของวอนการ์มันน์ (Von karman constant) มีค่าเท่ากับ 0.42 ส่วน E คือ ค่าคงที่จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 9.81 $\bar{u}_P$ คือค่าความเร็วเฉลี่ยที่จุด P k_P คือค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนที่จุด P y_P คือระยะทางจากจุด P กับผนังและ μ คือค่าความหนืดของของไหล โดยทั่วไปแล้ว เมื่อ $y^+ > 11.25$ ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จะเป็นไปตามสมการ (2-53) แต่ที่ $y^+ < 11.25$ ค่าของความเร็วเฉลี่ยจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดแบบราบเรียบ (Laminar stress-strain relationship) ดังนี้

$$u^+ = y^+ \quad (2.37)$$

เงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก (Outlet boundary condition)

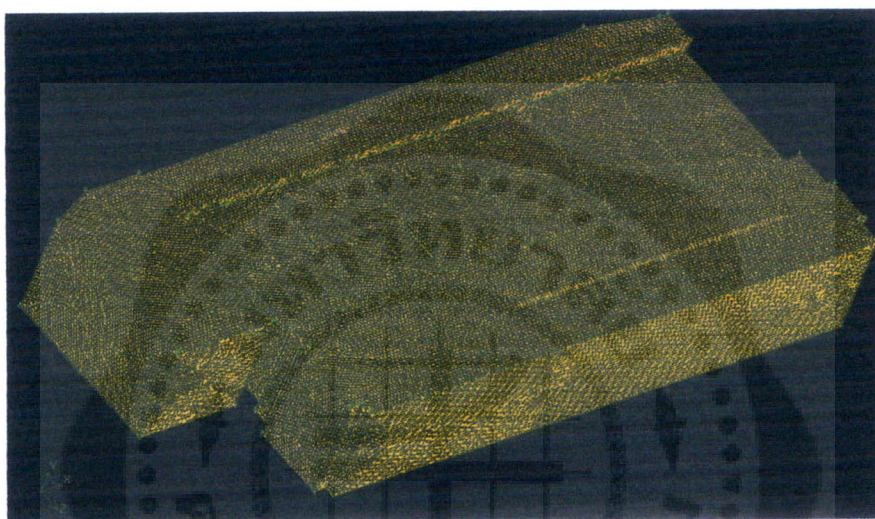
สำหรับเงื่อนไขขอบที่ทางออก กำหนดเป็นแบบ Pressure outlet ซึ่งสมมุติให้ค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยไม่คิดผลจากความดันที่ทางออกย้อนกลับ (Back pressure) และการไหลอยู่ในช่วงพัฒนาเต็มที่แล้ว (Fully developed)

เงื่อนไขขอบเขตสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- ทางเข้า ความเร็วของอากาศสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดทางเข้า ที่ u_{in} = กำหนดตามการคำนวณ อุณหภูมิอากาศทางเข้า (T_{in}) = อุณหภูมิห้อง ($T_r = 25.^\circ\text{C}$)
- ทางออก ความดันของอากาศที่ทางออก (P_{out}) = ความดันบรรยากาศ (P_{amb})
- ผนัง ไม่มีความร้อนเข้าและออกจากระบบ (Adiabatic surface)
ไม่มีการสั่นไถลระหว่างอากาศกับผนัง (No slip condition)
กำหนดฟลักซ์ความร้อนคงที่ ที่ฮาร์ดดิสก์ $q = 930$ วัตต์ต่อตารางเมตร (E. Ozturk. 2004)

รูปแบบกริด

ในส่วนของการคำนวณระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้น ได้ใช้ระเบียบปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป FLUENT ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และใช้การประมาณค่าภายในด้วยวิธี Second-order upwind เพื่อวิเคราะห์ระบบสมการที่เกี่ยวข้อง สำหรับพจน์ของความดันและความเร็วซึ่งคู่ควบกันอยู่ได้ใช้กระบวนการหาคำตอบใช้วิธี SIMPLE รูปแบบการจัดวางกริดแบบไม่เป็นโครงสร้าง (Unstructured grids) ซึ่งมีลักษณะกริดเป็นแบบสามเหลี่ยม

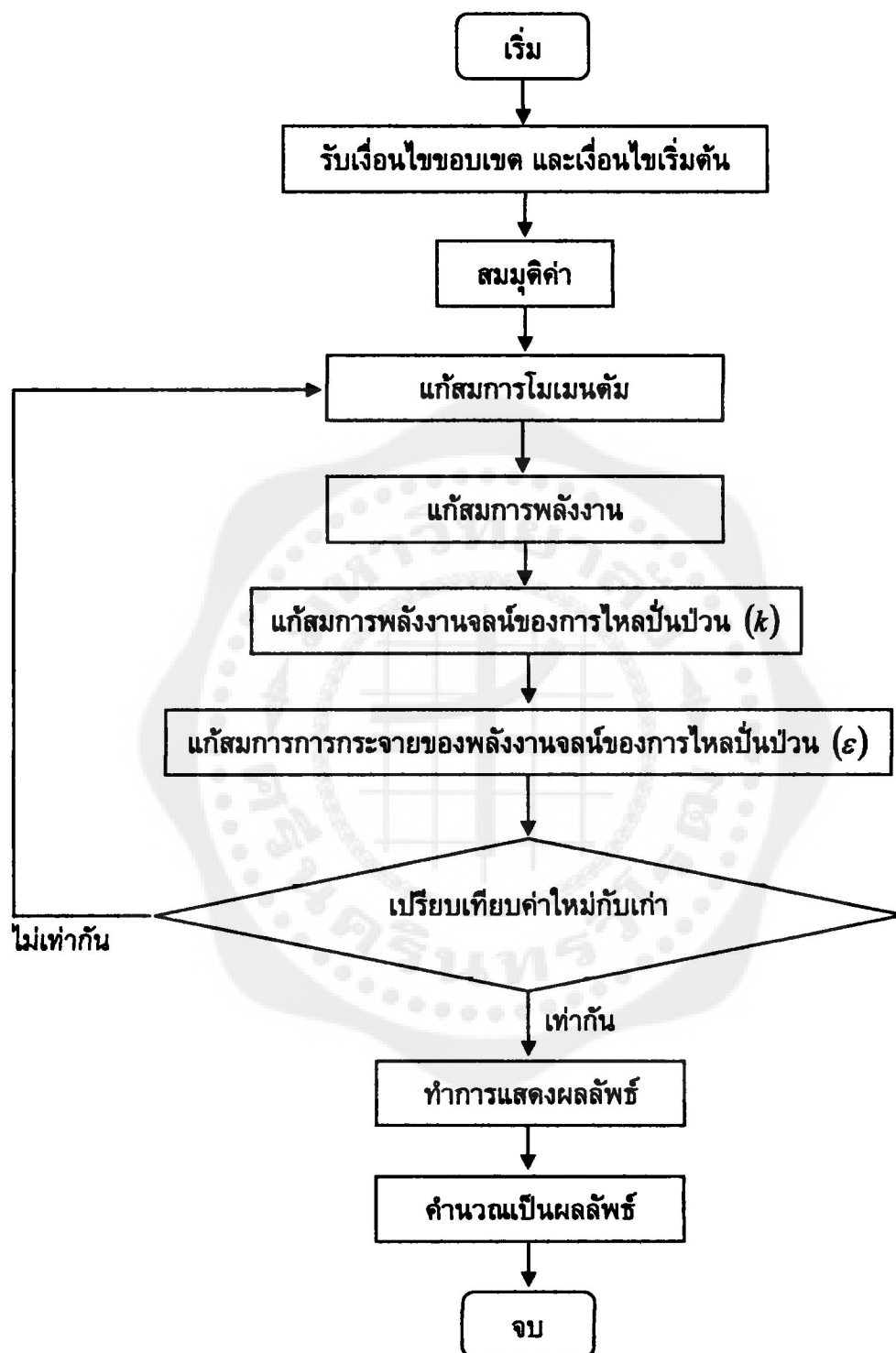


ภาพประกอบ 10 Unstructured grids ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมหาดังแสดงในภาพประกอบ 11 โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนในการหาคำตอบดังต่อไปนี้

1. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น และทำการสมมุติค่าเริ่มต้นในการคำนวณ
2. กำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ เป็นการไหลในช่องการไหลที่มีลักษณะผนังเป็นลอน โดยให้มีการไหลแบบปั่นป่วนแบบสองมิติ รวมทั้งมีการถ่ายเทความร้อน
3. คำนวณสมการโมเมนตัมเพื่อทำการหาความเร็ว
4. คำนวณสมการพลังงานเพื่อหาพลังงานรวมจำเพาะ
5. คำนวณค่าพลังงานจลน์ของการปั่นป่วน และอัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ของการปั่นป่วนโดยใช้แบบจำลอง $k - \epsilon$ model
6. กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3-5 ใหม่จนกระทั่งค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่าเดิม จะได้ผลการคำนวณที่ลู่เข้าหาคำตอบโดยใช้ Criterion convergence 10^{-3}

การหาผลเฉลยของสมการควบคุม (Governing equation) ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งคู่ควบกันอยู่ ได้ใช้หลักวิธีพื้นฐานของปริมาตรควบคุม ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยแบ่งขอบเขตการคำนวณออกเป็นปริมาตรควบคุมย่อยๆ ทำการอินทิเกรตสมการควบคุมในแต่ละปริมาตรควบคุม พร้อมทั้งจัดให้อยู่ในรูปของสมการพีชคณิต ทำการดิสครีตสมการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปอินทิกรัล และทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปริมาตรต่างๆ ในปริมาตรควบคุมย่อยหนึ่งๆ กับปริมาณต่างๆ ในปริมาตรควบคุมย่อยข้างเคียงให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น จากนั้นจึงทำการแก้สมการ เพื่อหาผลเฉลยต่อไป ซึ่งระเบียบวิธีดังกล่าวเรียกว่าวิธีการคำนวณแบบปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method) เป็นการประยุกต์กระบวนการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics) การจำลองการไหลของอากาศภายในอุโมงค์ลม ด้วยโปรแกรม FLUENT 6.0 โดยการวิเคราะห์ผลเพื่อหาคำตอบจากสมการ $k-\epsilon$ model ด้วยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และเงื่อนไขเริ่มต้น ในส่วนของการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์ของไหลที่ไหลภายในช่องการไหล ซึ่งถูกกำหนดให้วางในแนวนอน กำหนดให้อุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของเครื่องทดสอบ (T_{∞}) ไม่มีความร้อนเข้าและออกจากระบบ และฮาร์ดดิสก์มีค่าฮีทฟลักซ์คงที่ตลอดการวิเคราะห์ ส่วนอากาศที่ทางเข้า (T_{in}) มีค่าความเร็วคงที่ตลอดการวิเคราะห์



ภาพประกอบ 11 การคำนวณของโปรแกรม

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการจำลอง

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยวิธีการเชิงตัวเลขนั้น หลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากเป็นการประมาณค่า และใช้แบบจำลองความปั่นป่วน ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ ความผิดพลาดที่เกิดจากแบบจำลองเอง ความผิดพลาดที่เกิดจากดิสครีตและค่าความผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการทำซ้ำ (Iteration) รายละเอียดของค่าความผิดพลาดมี ดังต่อไปนี้

ความผิดพลาดที่เกิดจากแบบจำลอง คือ ค่าความแตกต่างระหว่างจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับช่องการไหลจริง และการไหลจริงกับการไหลในการจำลองที่เราตั้งสมมติฐานขึ้น ซึ่งคุณสมบัติของการไหลไม่สามารถที่จะกำหนดให้ถูกต้องกับของไหลที่เป็นจริงได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นที่แปรตามอุณหภูมิในของไหลจริง เงื่อนไขขอบเขตที่เรากำหนดไว้เป็นเพียงคาดคะเน ซึ่งไม่สามารถจะกำหนดให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุดได้ ความผิดพลาดที่เกิดจากการดิสครีตนั้นคือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณค่าของสมการอนุพันธ์ย่อย ซึ่งเราจำเป็นที่จะต้องตัดเทอมปลายของสมการอนุกรมเทเลอร์ (Taylor Series) ออกไป เพื่อที่จะทำให้เราได้มีการประมาณค่าได้ และเทคนิคการประมาณค่าแต่ละชนิดก็จะมีค่าความผิดพลาดแตกต่างกันไป สุดท้ายเป็นค่าความผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการทำซ้ำซึ่งในกระบวนการหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อยที่ได้ทำการดิสครีตแล้วนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้กระบวนการทำซ้ำ โดยที่กระบวนการทำซ้ำนี้จะมีการสิ้นสุดที่เป็นไปได้ยากมาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องกำหนดจุดให้กระบวนการทำซ้ำนั้นหยุด จุดนั้น เรียกว่า Criteria ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถที่จะลดให้น้อยลงได้โดยการกำหนดค่านี้ให้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเราจะต้องใช้เวลาในการจำลองมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีค่าความผิดพลาดที่เกิดจากจำนวนกริดไม่ละเอียดพอ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากแบบจำลองการไหลไม่ดีพอ

บทที่ 3

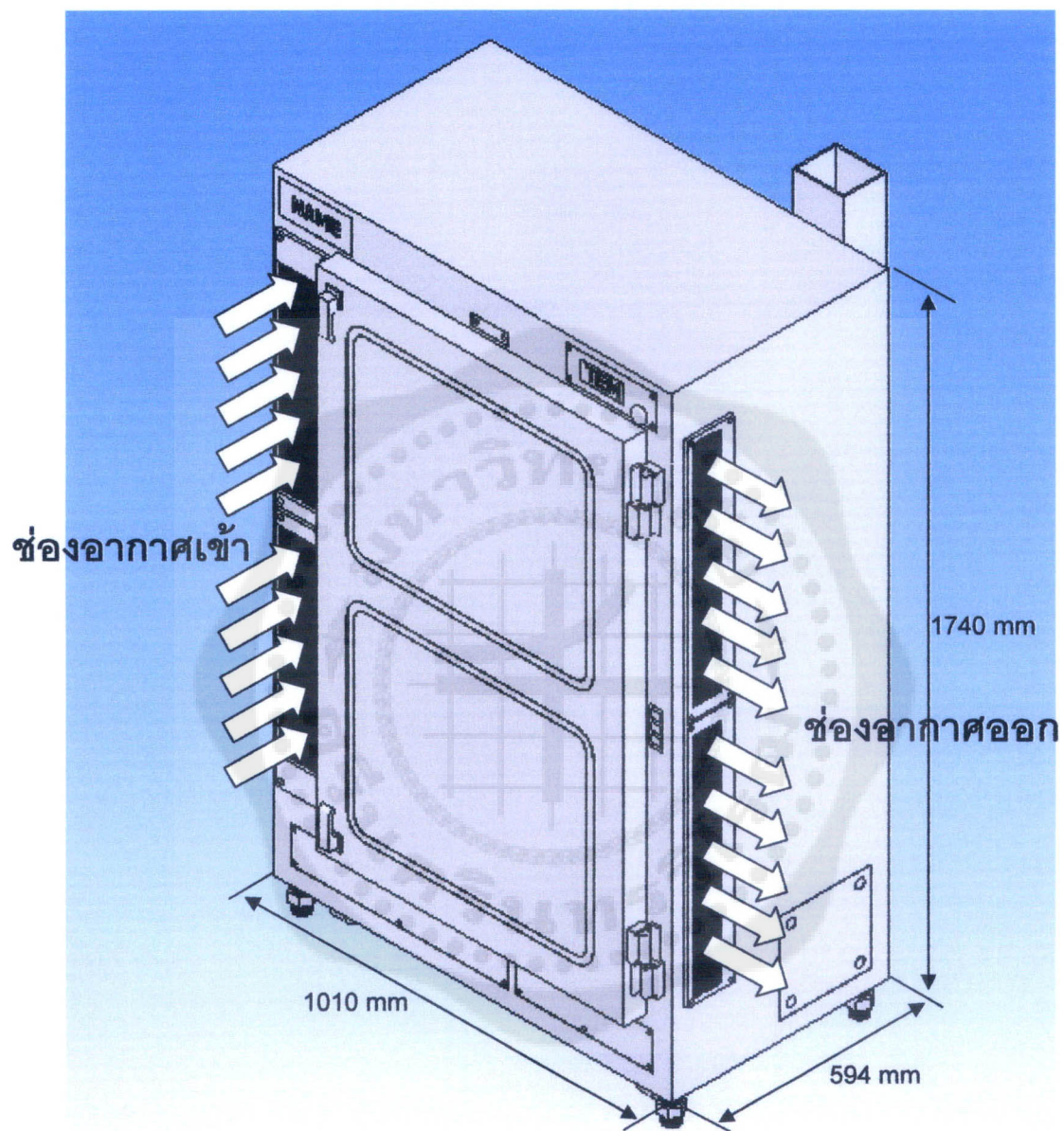
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดลองจะทำการทดลองวัดอุณหภูมิและความเร็วลมภายในช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยการนำชุดการทดลองติดตั้งตามตำแหน่งที่โดยทดสอบขณะเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ทำงานในสภาวะปกติ

ส่วนประกอบของชุดทดลอง

1. เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
2. ชุดเครื่องมือบันทึกค่าของอุณหภูมิ
3. ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
4. ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วลมภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์





ภาพประกอบ 12 เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



ภาพประกอบ 13 ชุดเครื่องมือบันทึกค่าของอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 14 ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



ภาพประกอบ 15 ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วลมภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

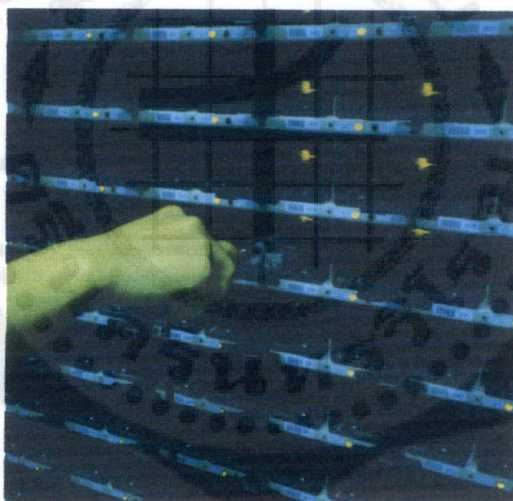
วิธีการทดลองวัดอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

1. ติดตั้งชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
2. ปิดประตูเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ จากนั้นทำการเปิดเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ เพื่อจ่ายไฟ 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ เพื่อให้เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ทำงาน

3. จากนั้นทำการเปิดเครื่องมือบันทึกค่าของอุณหภูมิ เพื่อบันทึกอุณหภูมิโดยเลือกช่วงเวลาในการบันทึกให้บันทึกทุก 1 นาที
4. พอลบเวลา 2 ชั่วโมง ทำการหยุดเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
5. ทำการบันทึกค่าข้อมูลที่บันทึกไว้ในเครื่องมือบันทึกค่าของอุณหภูมิโอนไปยังแผ่นดิสก์
8. ปิดเครื่องมือบันทึกค่าของอุณหภูมิและเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์เพื่อปล่อยให้เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

วิธีการทดลองวัดความเร็วลมของแต่ละช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

1. ทำการเปิดเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
2. นำชุดอุปกรณ์วัดความเร็วลมทำการติดตั้งเข้าไปในช่องใส่ฮาร์ดดิสก์

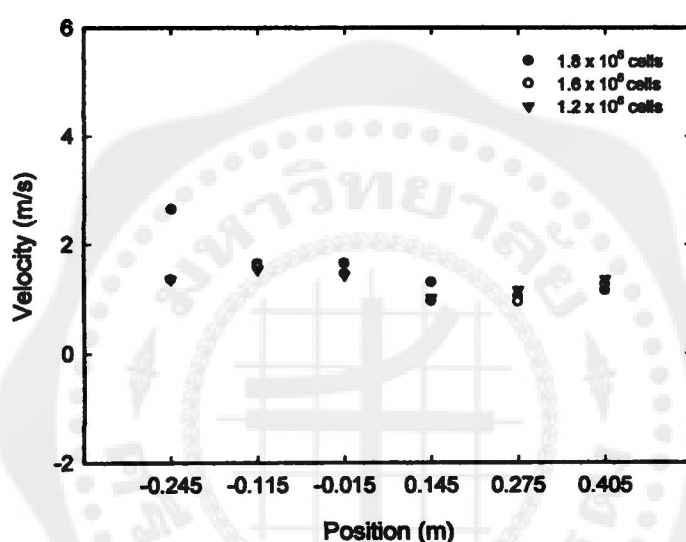


ภาพประกอบ 16 การวัดความเร็วลมในแต่ละช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์

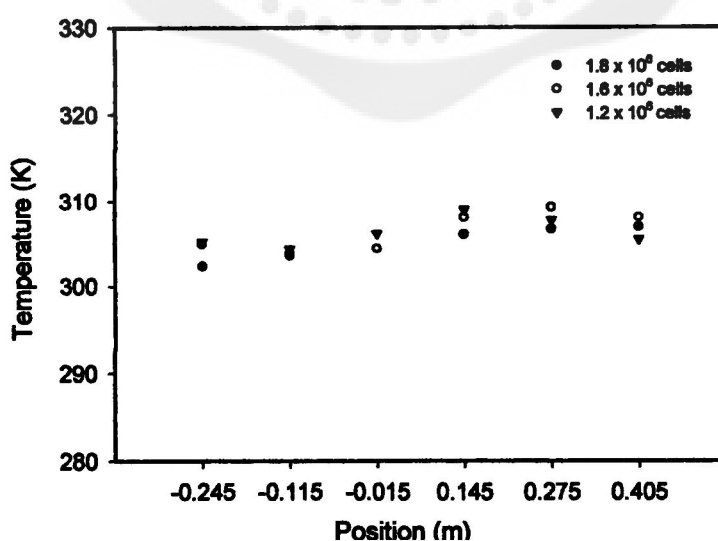
3. เปิดชุดอุปกรณ์วัดความเร็วลม โดยทำการวัดความเร็วลมโดยใช้ฟังก์ชันที่วัดความเร็วลมออกมาเป็นค่าเฉลี่ยทุก 60 วินาที จากนั้นบันทึกค่าจากการทำการวัด ภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

การหาจำนวนกริดที่เหมาะสม

ในส่วนของการคำนวณระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป FLUENT นั้นต้องคำนวณหาจำนวนกริดที่ละเอียดเหมาะสมเพื่อที่จะได้ผลของการวิเคราะห์ได้ค่าที่ผิดพลาดน้อยที่สุด และใช้เวลาในการวิเคราะห์เหมาะสมที่สุด โดยในงานวิจัยนี้หากริดที่เหมาะสมโดยเทียบผลของการวิเคราะห์กริด 3 จำนวน คือ 1.2×10^6 , 1.6×10^6 และ 1.8×10^6 โดยแสดงผลการเทียบด้วยภาพประกอบ 17-18 และตาราง 1



ภาพประกอบ 17 กราฟเปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศ



ภาพประกอบ 18 กราฟเปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ

ตาราง 1 เปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ

จำนวนกริด	อุณหภูมิอากาศ (K)						% ความ ผิดพลาด เฉลี่ย
	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5	ช่องที่ 6	
1.8×10^6	302.301	303.557	304.361	306.012	306.630	306.877	0.465
1.6×10^6	304.906	303.820	304.362	308.000	309.152	308.004	0.400
1.2×10^6	305.160	304.333	306.135	308.880	307.739	305.468	-

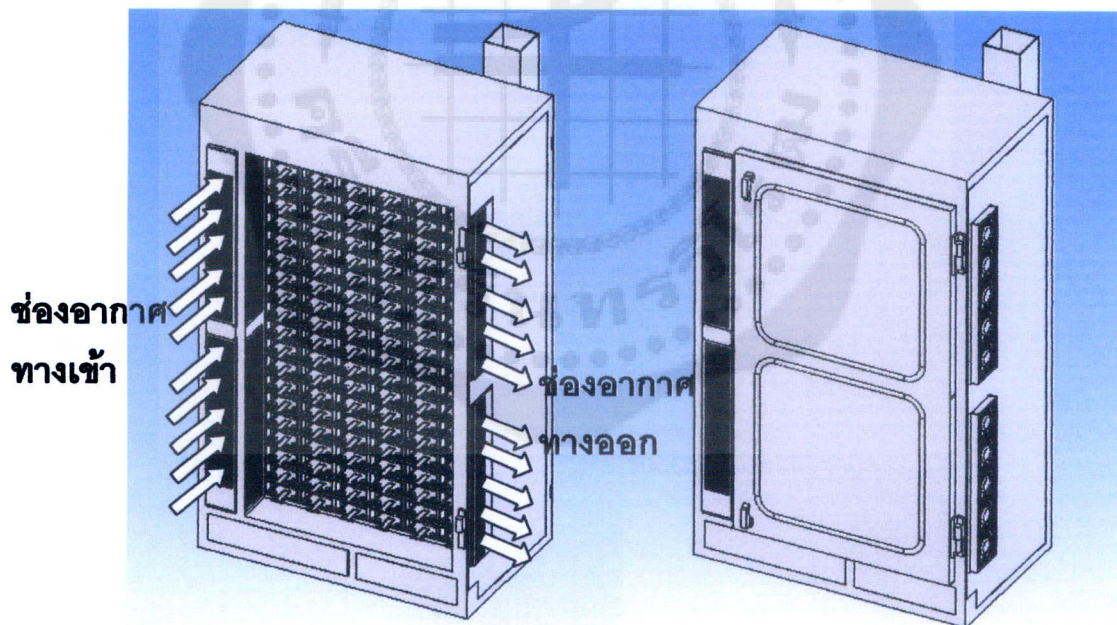
จากตาราง 1 ผลการคำนวณค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของกริดจำนวน 1.8×10^6 เทียบกับ 1.6×10^6 เท่ากับ 0.465 % และกริดจำนวน 1.6×10^6 เทียบกับ 1.2×10^6 เท่ากับ 0.400 % โดยมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1% ซึ่งอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ในการคำนวณ แต่เพื่อเพิ่มความมั่นใจในการวิเคราะห์ที่จะได้ผลที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้นจึงใช้ขนาดกริดจำนวน 1.8×10^6 ที่มีจำนวนมากที่สุดในการคำนวณบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการนำแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Standard $k - \varepsilon$) มาใช้ทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ในการทำนายได้กำหนดความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ เท่ากับ 5.02 เมตรต่อวินาที (คำนวณจากพัดลมที่ใช้งานจริง) และอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 930 วัตต์ต่อตารางเมตร (E. Ozturk, 2004) ซึ่งผลลัพธ์ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

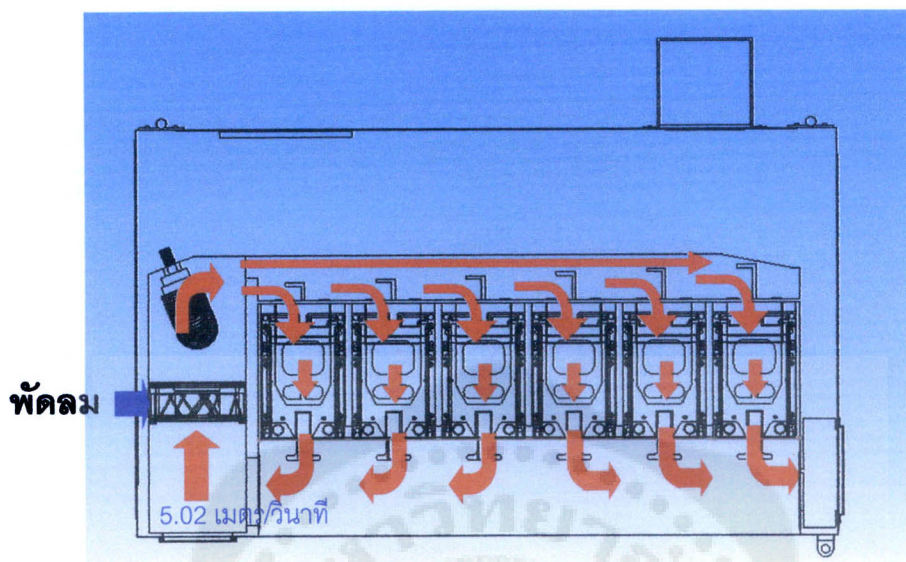
1. เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและการทำนาย
2. เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง และแบบระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง
3. การศึกษาเชิงพารามิเตอร์
4. แนวทางในการปรับปรุงเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



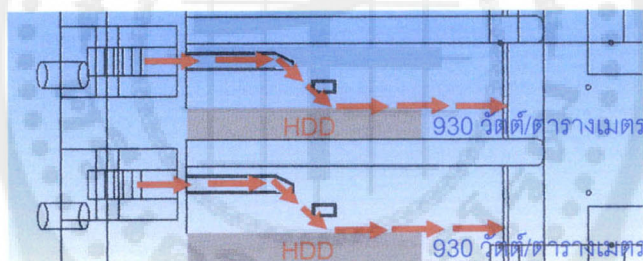
ภาพประกอบ 19 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

จากภาพประกอบ 19 แสดงถึงลักษณะของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่สามารถบรรจุฮาร์ดดิสก์จำนวน 120 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 20 แถวและแต่ละแถวมี 6 ช่อง ภายในเครื่องทดสอบ

ฮาร์ดดิสก์มีพัดลมดูดอากาศเข้าทั้งหมด 10 ตัว โดยทุก 2 แถวมีพัดลม 1 ตัวเพื่อดูดอากาศให้ไหลเข้าไปผ่านฮาร์ดดิสก์เพื่อระบายความร้อน



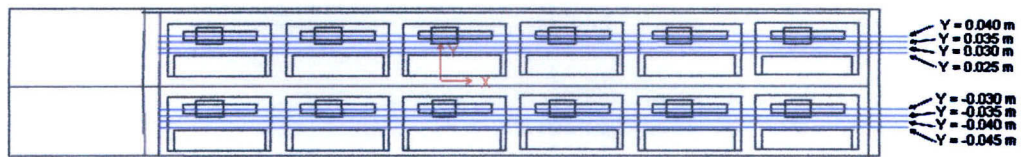
ภาพประกอบ 20 แสดงการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้านบน



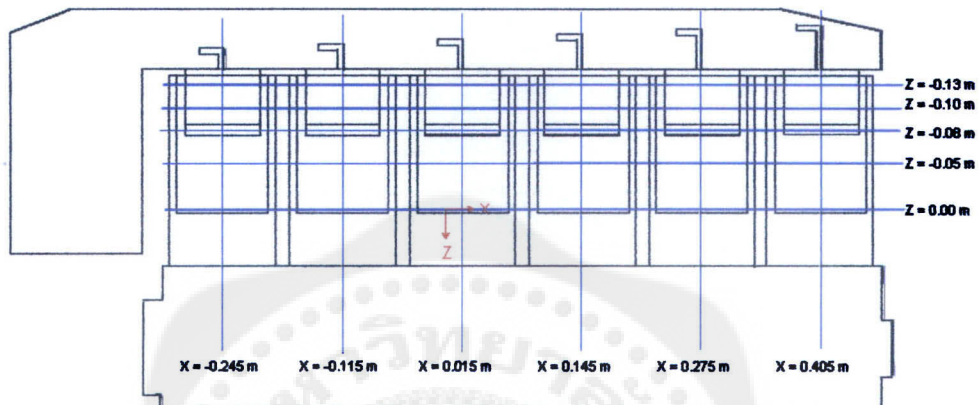
ภาพประกอบ 21 แสดงการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ด้านข้าง

ภาพประกอบ 20 และ 21 แสดงการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยอากาศไหลเข้าทางพัดลมด้านหน้า และจะไหลไปยังส่วนโค้งด้านหลัง จากนั้นอากาศจะถูกบังคับให้ไหลเข้าไปในช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์แต่ละช่องโดยแต่ละช่องมีส่วนที่บังคับทิศทางของอากาศให้ไหลผ่านบนฮาร์ดดิสก์ จากนั้นอากาศส่วนหนึ่งจะไหลออกสู่ภายนอกทางด้านขวามือและอีกส่วนหนึ่งจะไหลออกไปทางด้านซ้ายมือจากนั้นพัดลมจะดูดอากาศกลับเข้าไปใหม่

เนื่องจากลักษณะการไหลของพัดลมแต่ละตัวมีลักษณะสมมาตรกัน ดังนั้นจึงกำหนดการทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศของพัดลมเพียง 1 ตัวที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์ 12 ตัว เพื่อเป็นตัวแทนของพัดลมทั้งหมด 10 ตัว ที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์ 120 ตัว



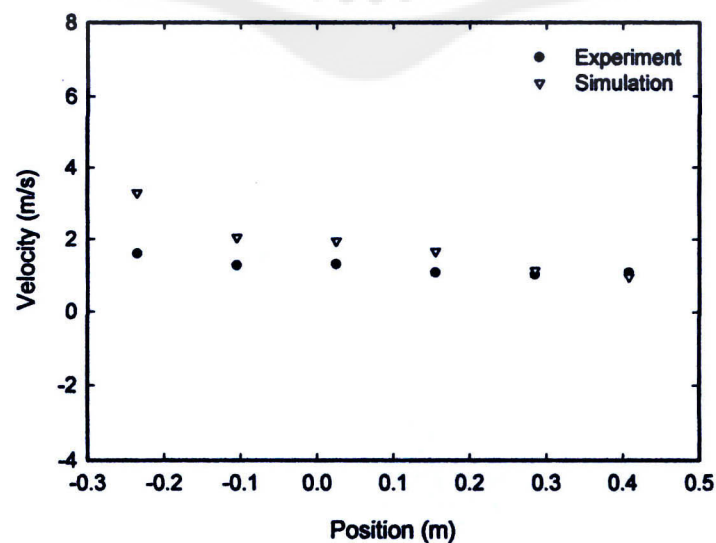
ภาพประกอบ 22 แสดงภาพตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์ด้านหน้าของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



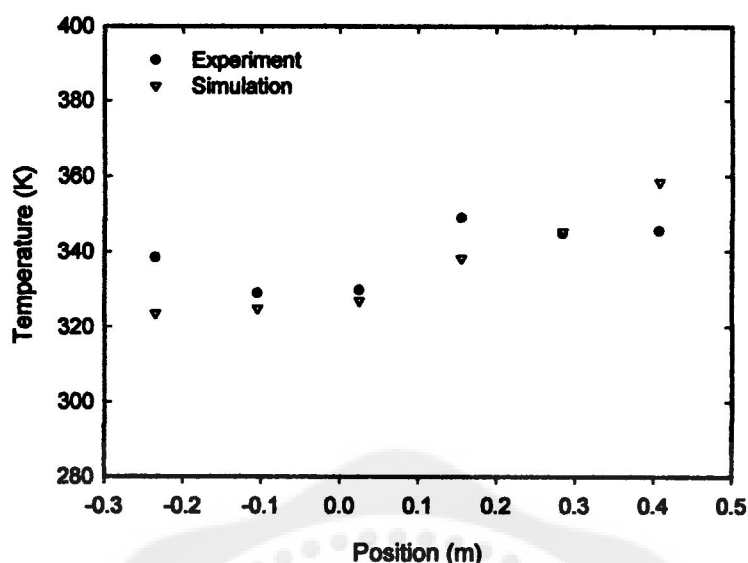
ภาพประกอบ 23 แสดงภาพตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์ด้านบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์

ภาพประกอบ 22 และ 23 แสดงตำแหน่งต่างๆ ในแนวแกน X, Y และ Z ของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่กำหนดให้ใช้พัดลมดูดอากาศเพียงตัวเดียวในการวิเคราะห์

เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและการทำนาย



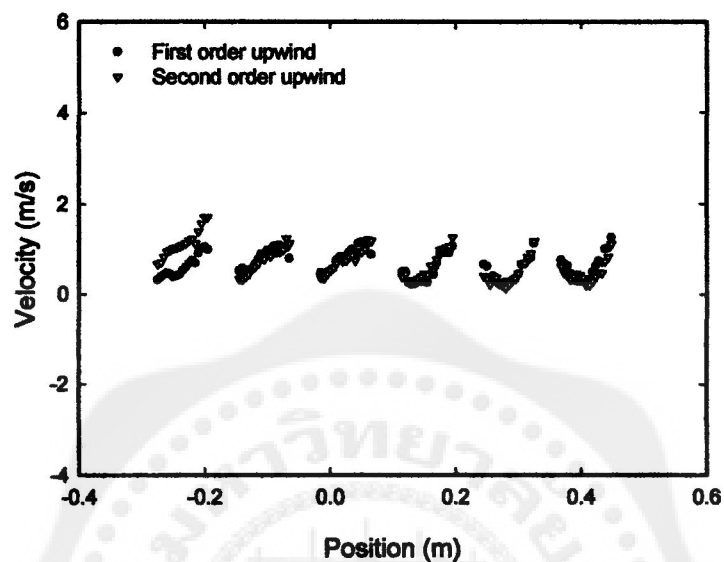
ภาพประกอบ 24 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของอากาศระหว่างการทดลองและการทำนาย



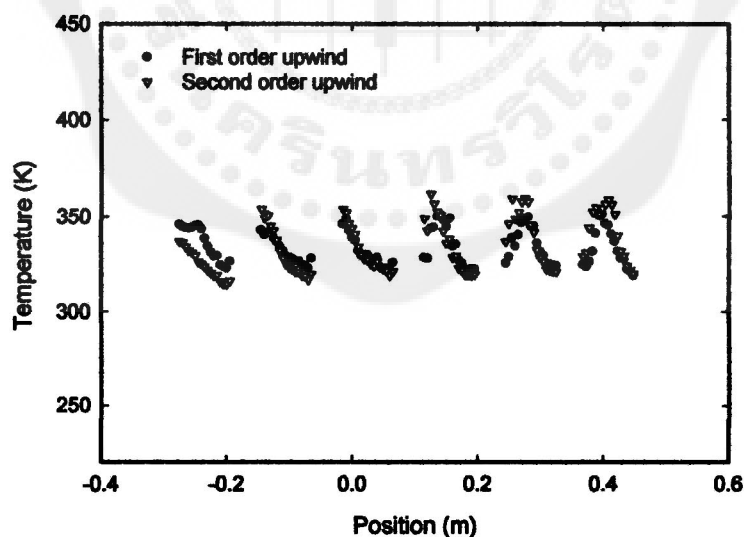
ภาพประกอบ 25 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศระหว่างการทดลองและการทำนาย

ภาพประกอบ 24 และ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ตรงบริเวณกึ่งกลางของช่องใส่ฮาร์ดดิสก์พบว่า ความเร็วของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์แต่ละช่องของการทดลองและการทำนาย พบว่าความเร็วของอากาศต่ำลงและอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น เมื่ออากาศไหลผ่านช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ที่ใกล้ขึ้น ผลที่ได้จากการทดลองและการทำนาย ถือว่ามีความสอดคล้องกัน โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2 เปอร์เซ็นต์

เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับหนึ่งและแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับสอง



ภาพประกอบ 26 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของอากาศระหว่างการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับหนึ่งและแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับสอง



ภาพประกอบ 27 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศระหว่างการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับหนึ่งและแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับสอง

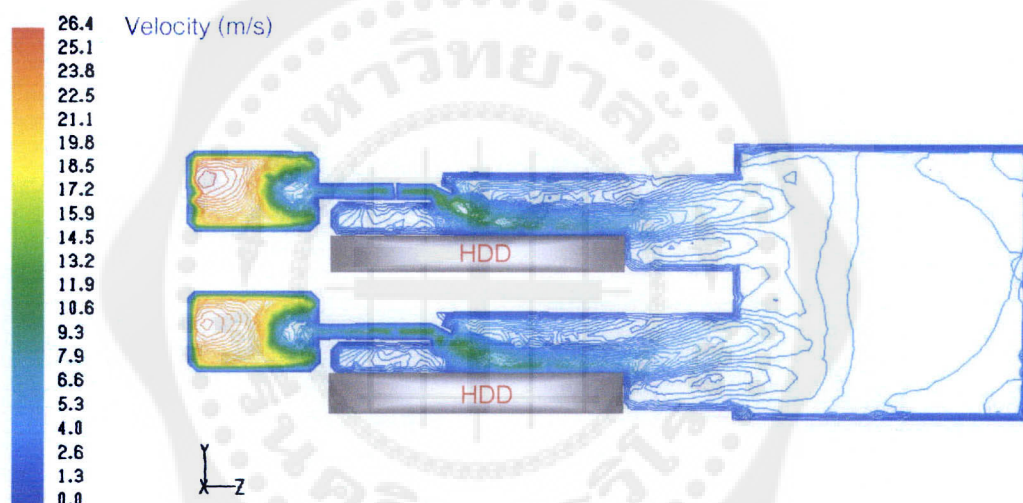
ภาพประกอบ 26 และ 27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากการประมาณค่าแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับหนึ่งและแบบระเบียบวิธีผลต่างอันดับ

อันดับสอง พบว่าความเร็วของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์แต่ละช่องของมีค่าใกล้เคียงกันแต่ถ้าต้องการค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าที่น้อยที่สุดต้องใช้ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง

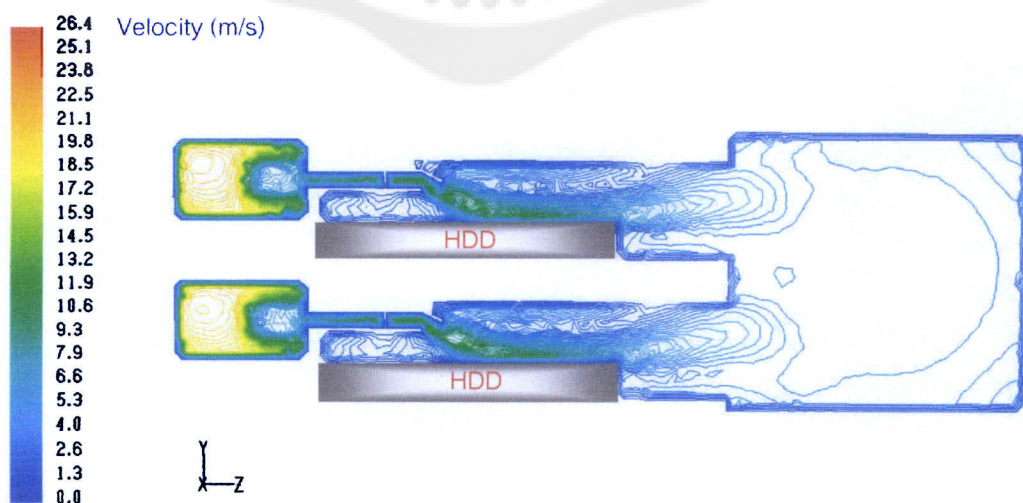
การศึกษาเชิงพารามิเตอร์

ในส่วนการศึกษาเชิงพารามิเตอร์ได้ศึกษาถึงลักษณะของความเร็วและการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศ รวมทั้งเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

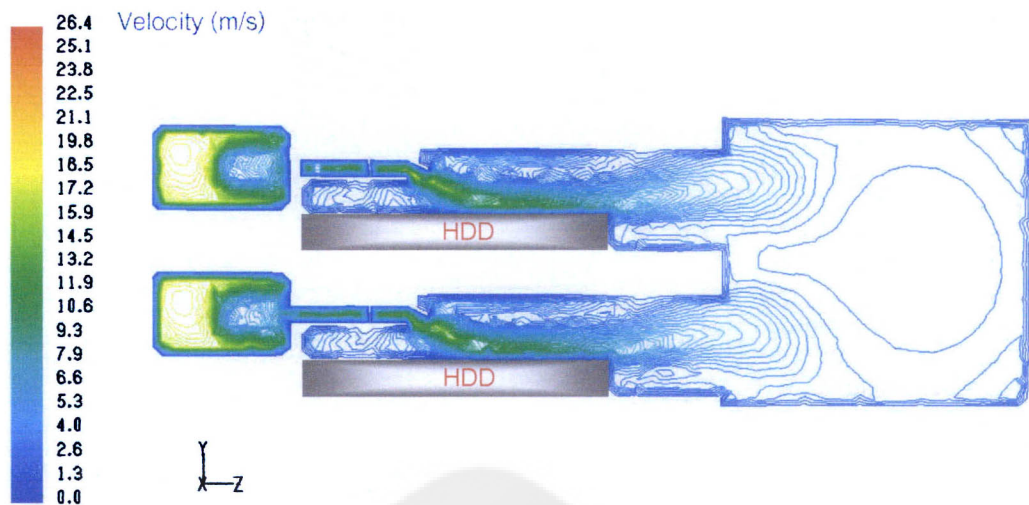
ลักษณะความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์



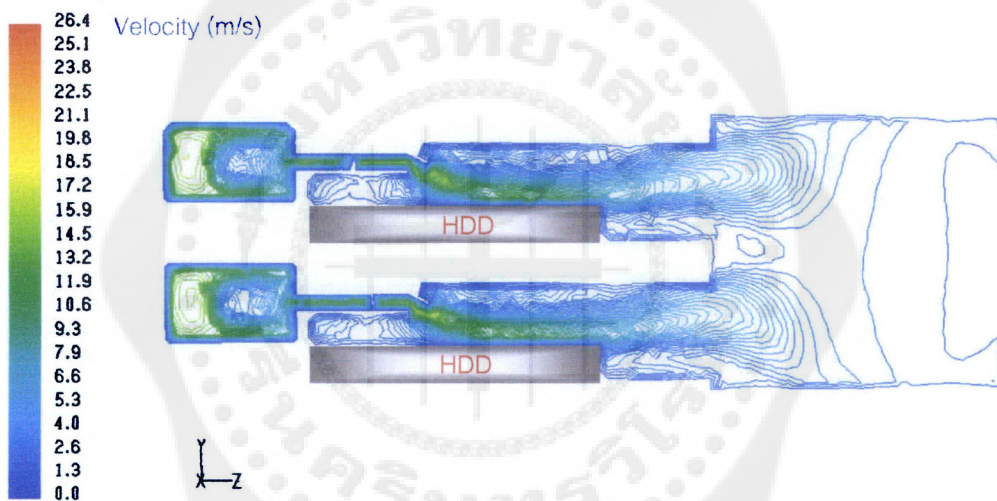
(a) $X = -0.245$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หนึ่ง)



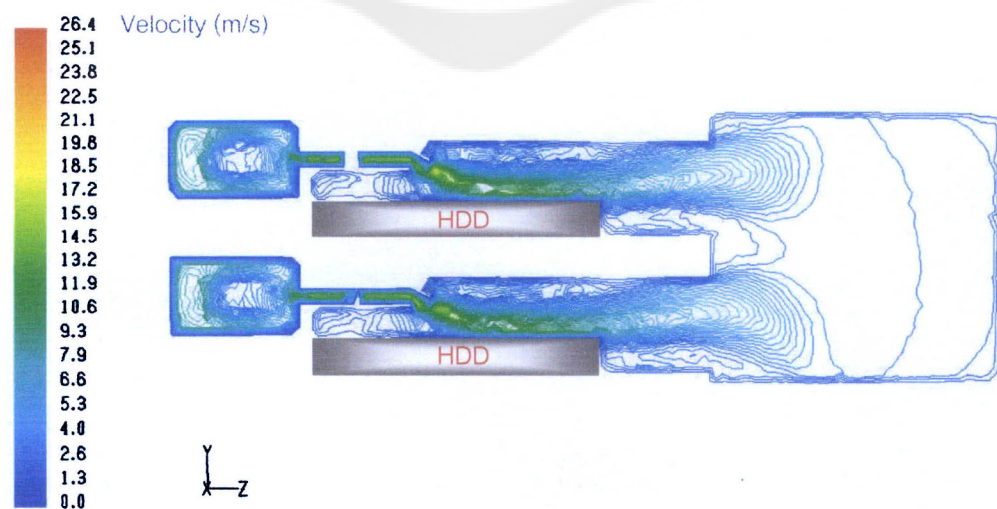
(b) $X = -0.115$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สอง)



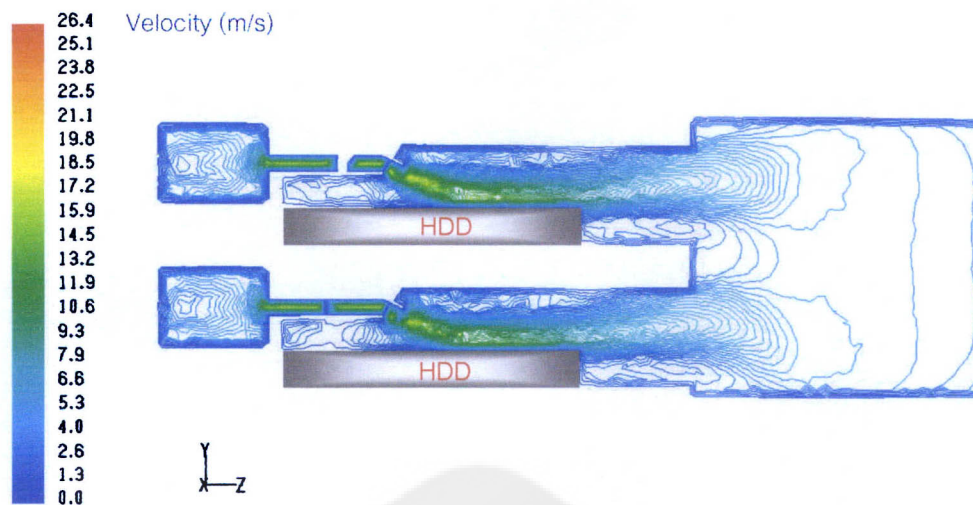
(c) $X = 0.015$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สาม)



(d) $X = 0.145$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สี่)



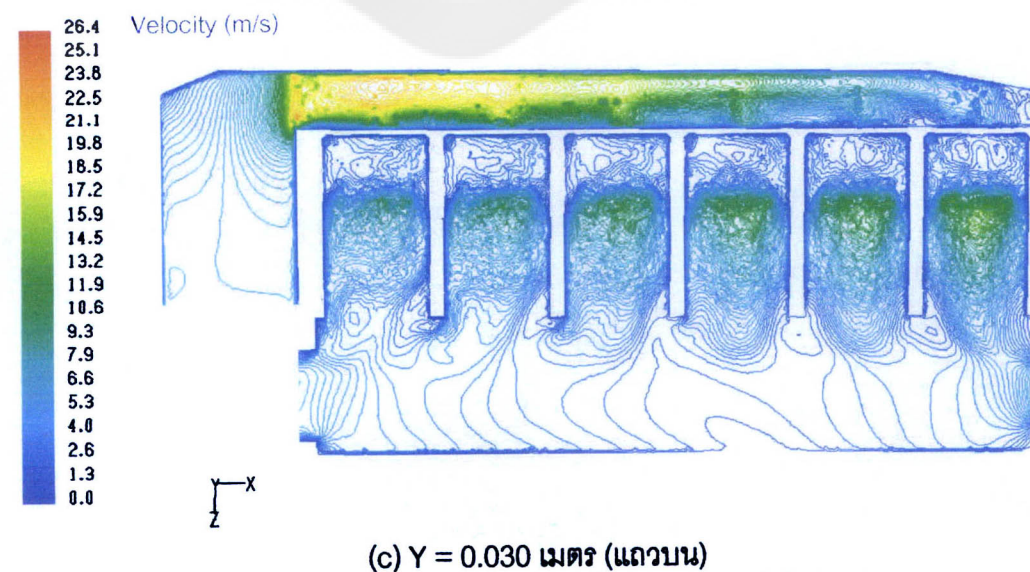
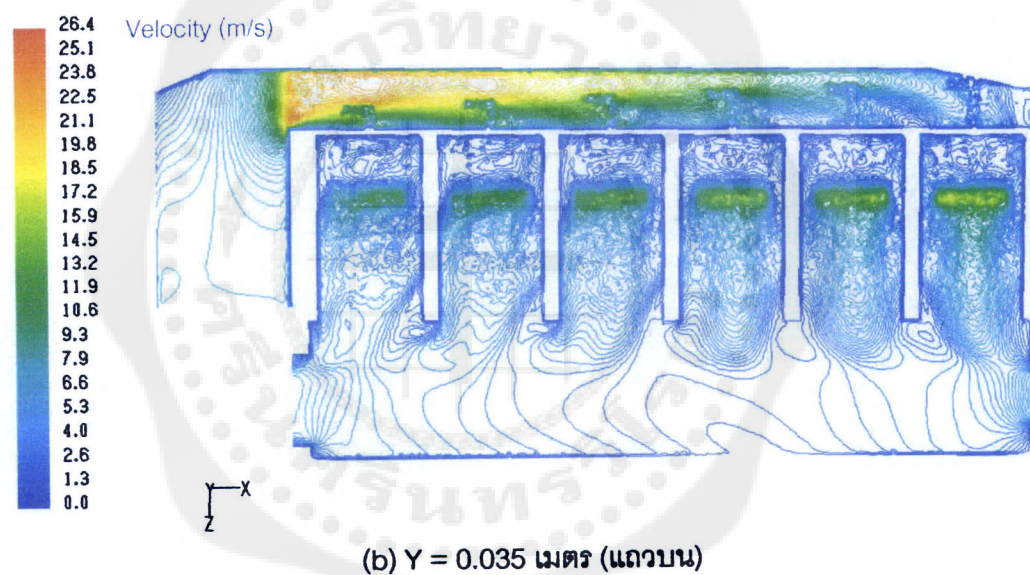
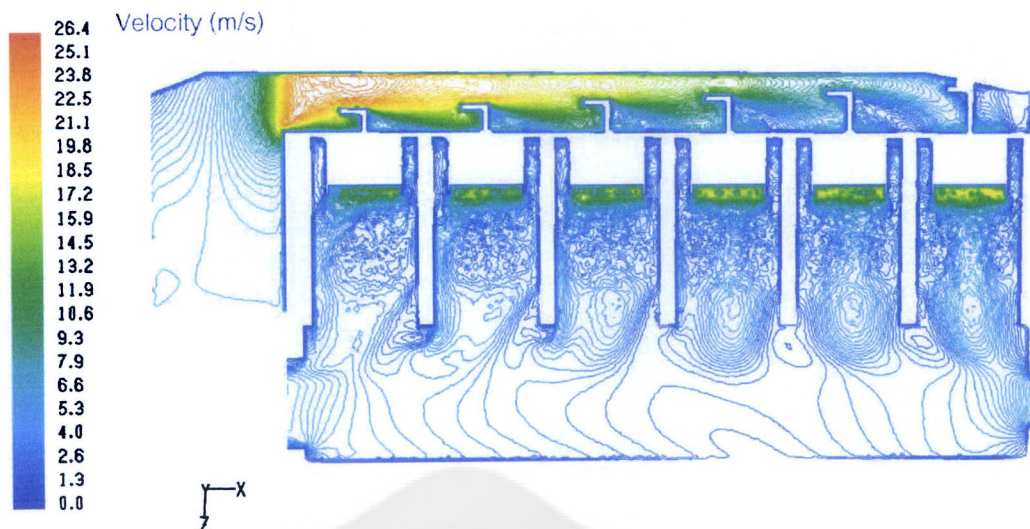
(e) $X = 0.275$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่ห้า)

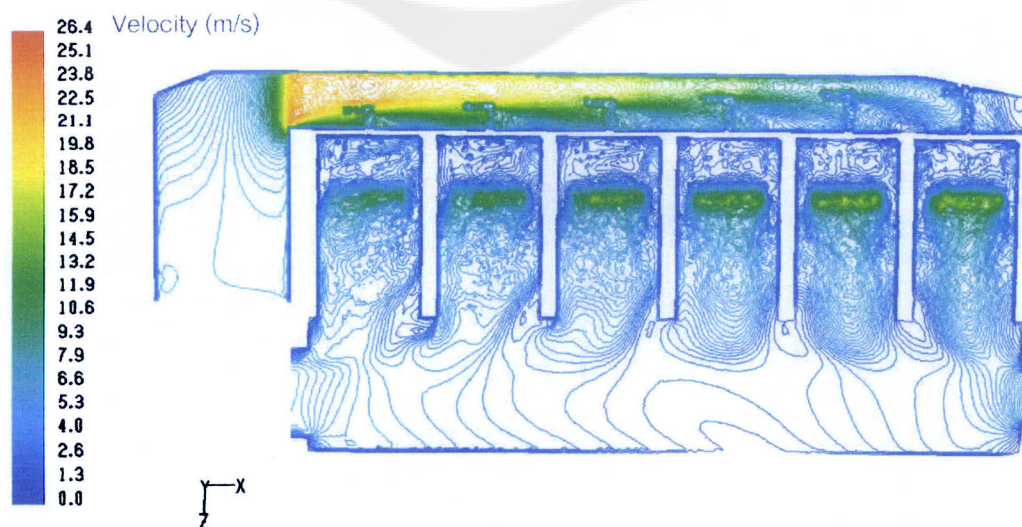
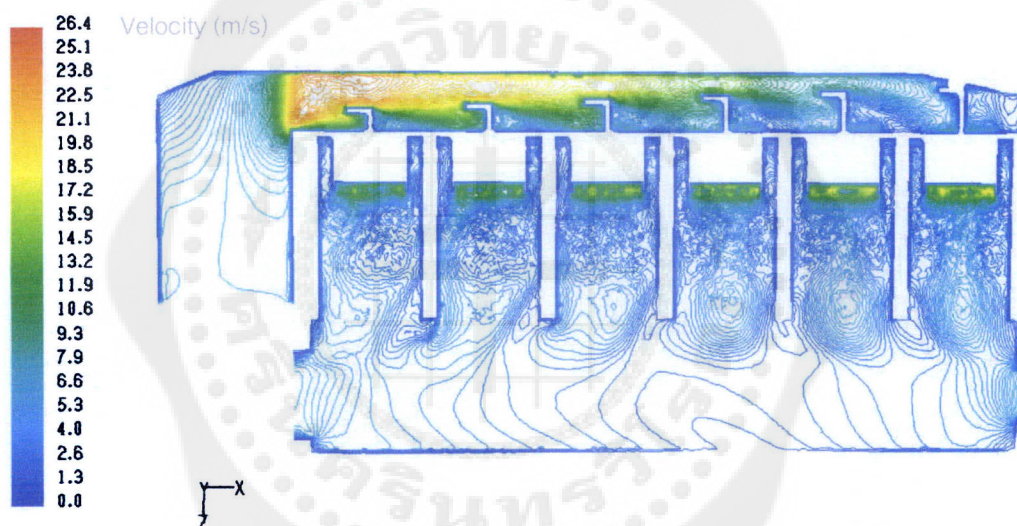
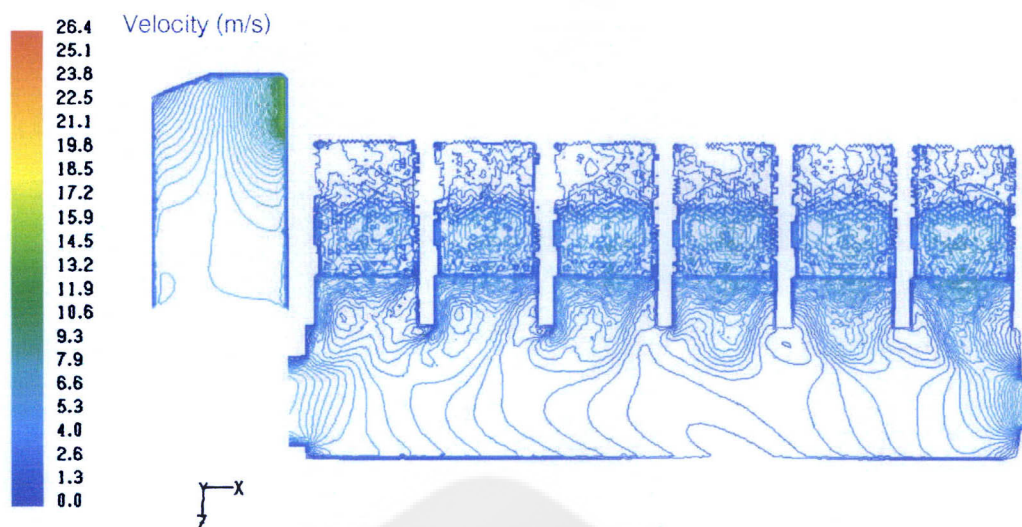


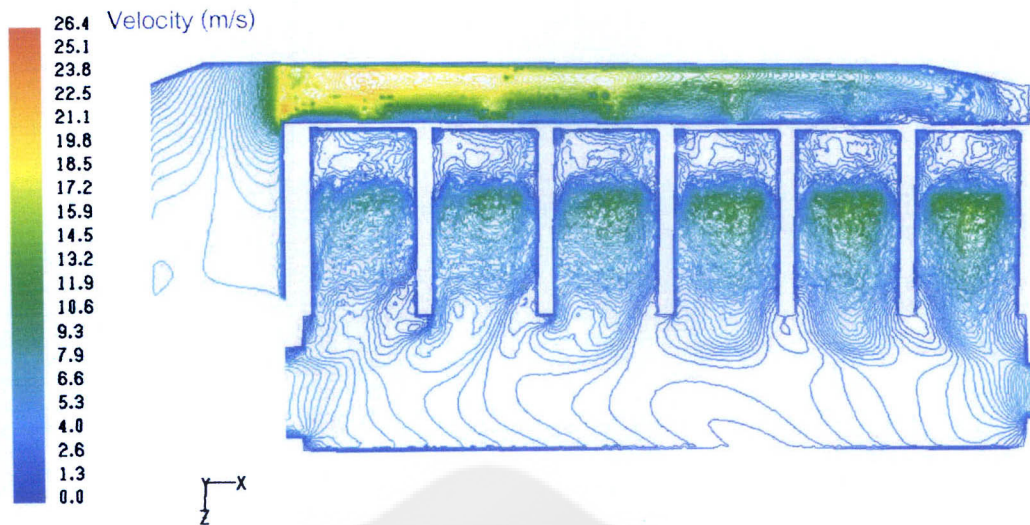
(f) $X = 0.405$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หก)

ภาพประกอบ 28 ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะต่างๆ

จากการภาพประกอบ 28 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแนวแกน X ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยอากาศจากพัดลมไหลเข้าทางด้านซ้ายมือ โดยอากาศจะไหลตามช่องบังคับอากาศด้านบนและจะถูกบังคับให้ไหลลงผ่านฮาร์ดดิสก์จากนั้นจะไหลออกไปด้านหน้าของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ โดยลักษณะการกระจายความเร็วที่ระยะต่างๆ มีความคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างที่ค่าของความเร็ว ซึ่งบริเวณของอากาศด้านบนที่ถูกบังคับให้ไหลลงผ่านฮาร์ดดิสก์มีความเร็วสูงขึ้นเมื่อระยะห่างของช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ห่างออกจากพัดลมทางเข้าของอากาศนั้นคือ ที่ระยะ X เท่ากับ -0.245 เมตรมีความเร็วต่ำสุด ที่ระยะ X เท่ากับ 0.405 เมตรมีความเร็วสูงสุด และบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่านความเร็วต่ำลงเมื่อระยะห่างของช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ห่างออกจากพัดลมทางเข้าของอากาศ ที่ระยะ X เท่ากับ -0.245 เมตรมีความเร็วสูงสุด ที่ระยะ X เท่ากับ 0.405 เมตรมีความเร็วต่ำสุด



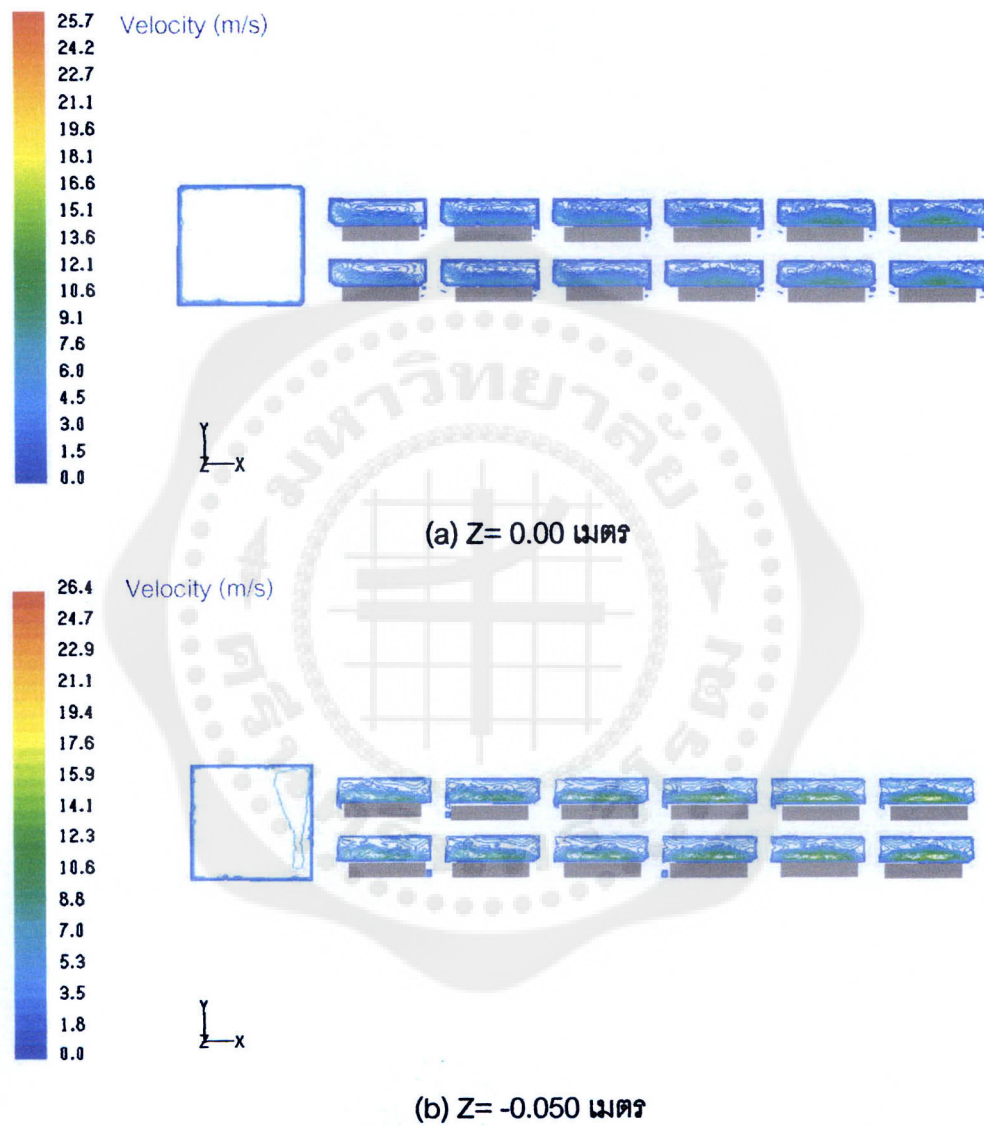


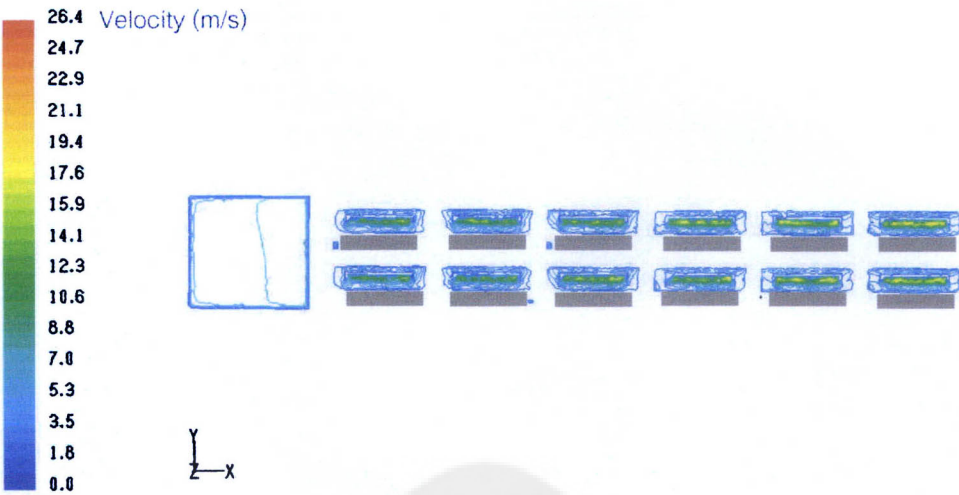
(g) $Y = -0.040$ เมตร (แถวล่าง)(h) $Y = -0.045$ เมตร (แถวล่าง)

ภาพประกอบ 29 ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะต่างๆ

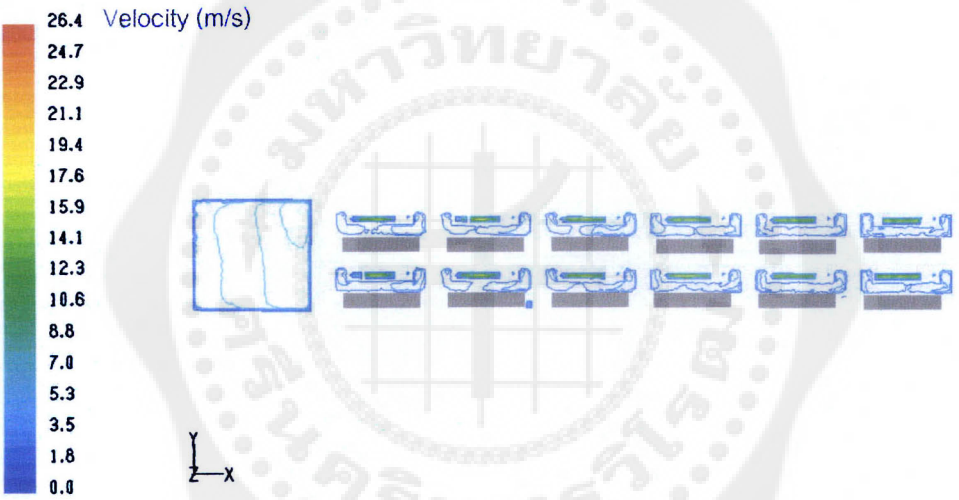
ภาพประกอบ 29 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน Y ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยอากาศไหลเข้าทางพัดลมด้านหน้าและจะมีความเร็วสูงขึ้นเมื่อถึงบริเวณส่วนโค้งด้านหลัง จากนั้นความเร็วจะต่ำลงเมื่อระยะห่างออกไป จากนั้นอากาศจะถูกบังคับให้ไหลเข้าในช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ พบว่าทั้งในบริเวณของอากาศด้านบนจากพัดลมที่ถูกบังคับให้ไหลลงผ่านฮาร์ดดิสก์และบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่านฮาร์ดดิสก์จะต่ำลงเมื่ออากาศจากพัดลมด้านบนไหลต่ำลง โดยลักษณะการกระจายความเร็วที่ระยะต่างๆ มีความคล้ายคลึงกัน แตกต่างกันที่ค่าความเร็ว นั่นคือที่แถวบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ที่ระยะ Y เท่ากับ 0.040 เมตร ความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Y เท่ากับ 0.025 เมตร

ความเร็วต่ำสุด และที่แถวล่างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ที่ระยะ Y เท่ากับ -0.030 เมตร ความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Y เท่ากับ -0.045 เมตรความเร็วต่ำสุด

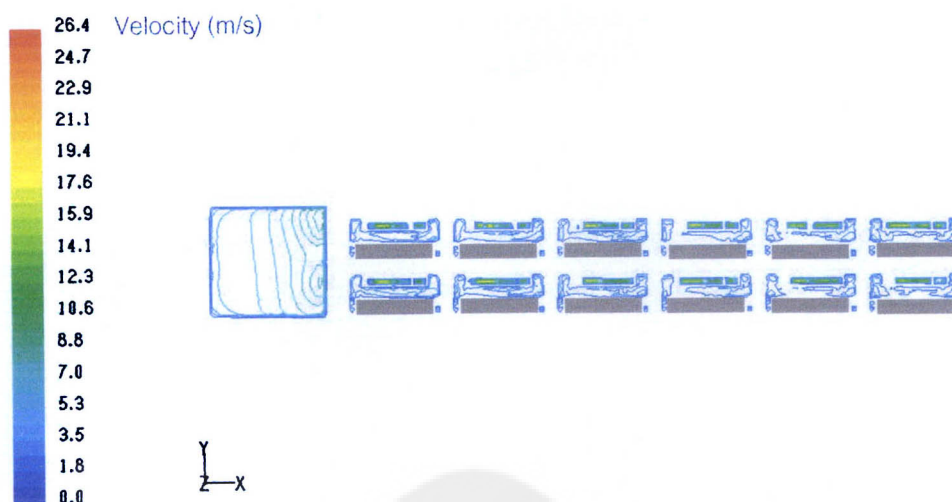




(c) Z= -0.080 เมตร



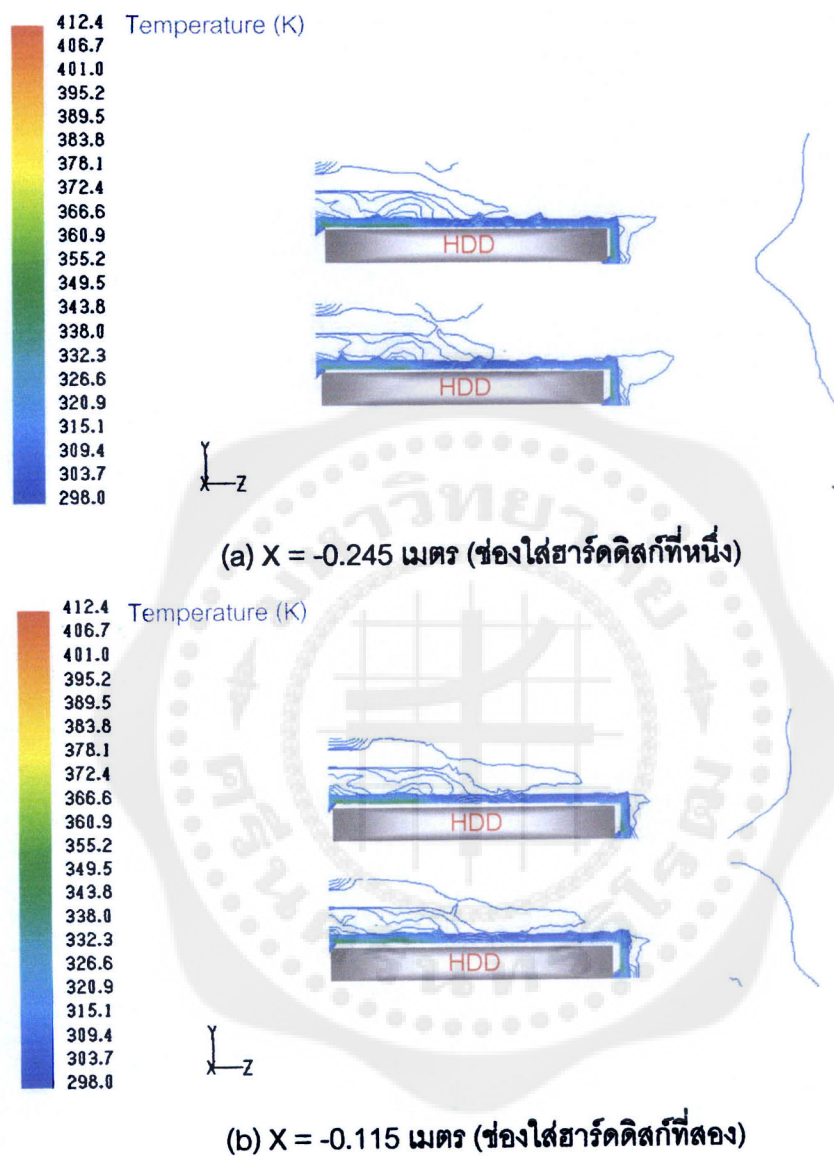
(d) Z= -0.100 เมตร

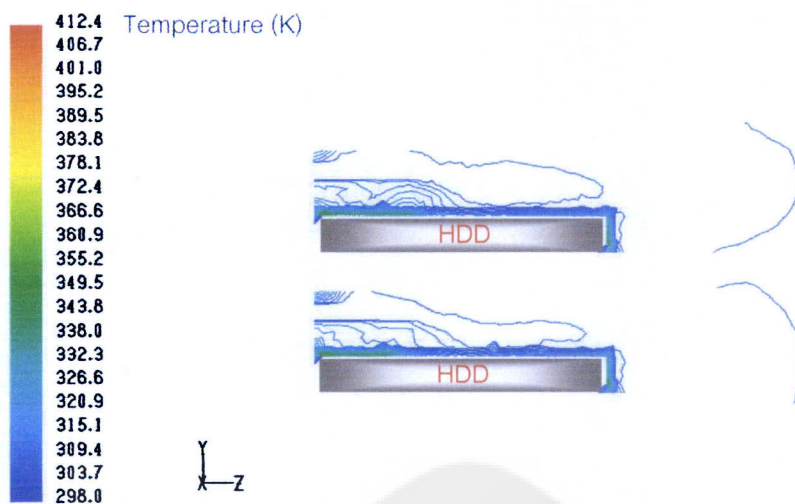
(e) $Z = -0.130$ เมตร

ภาพประกอบ 30 ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Z ที่ระยะต่างๆ

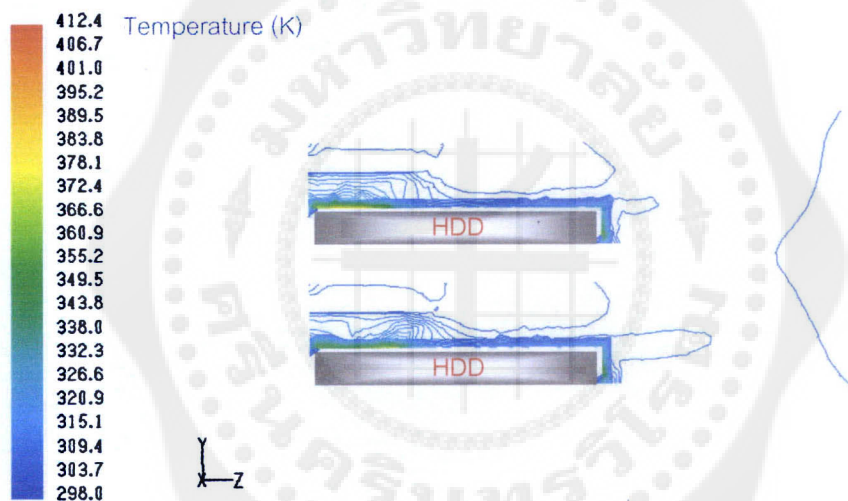
ภาพประกอบ 30 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน Z ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยบริเวณหน้าตัดที่อากาศจากพัดลมด้านบนกระทบฮาร์ดดิสก์โดยตรงความเร็วสูงสุด และเมื่ออากาศไหลไหลต่อไปทางด้านหน้าความเร็วจะต่ำลง นั่นคือที่ระยะ Z เท่ากับ -0.050 เมตร มีความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Z เท่ากับ 0 เมตร มีความเร็วต่ำสุด ส่วนบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่านการกระจายความเร็วต่ำลงเมื่อระยะห่างออกจากระยะอากาศจากพัดลมด้านบนบนกระทบฮาร์ดดิสก์ นั่นคือที่ระยะ Z เท่ากับ -0.080 เมตร มีความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Z เท่ากับ -0.130 เมตร มีความเร็วต่ำสุด

ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์

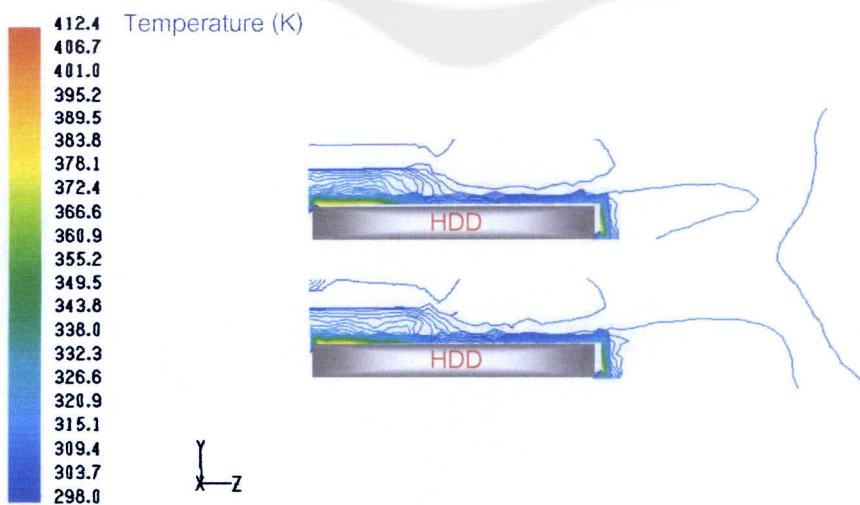




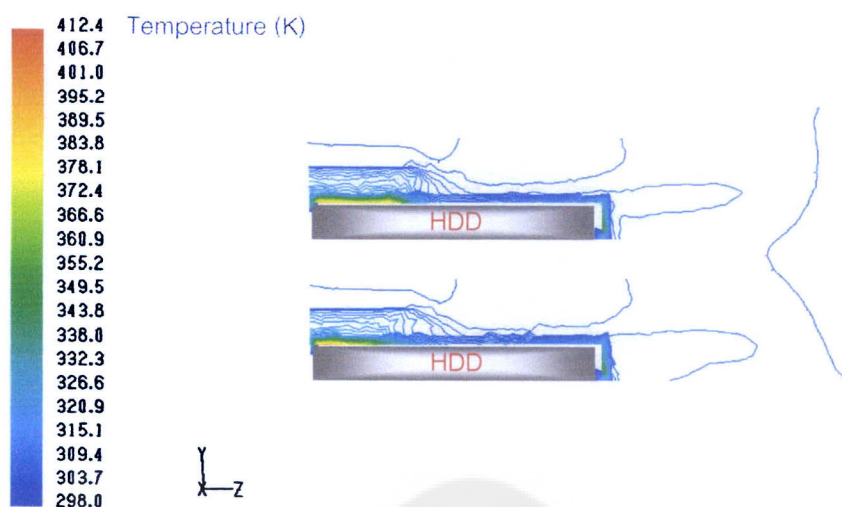
(c) $X = 0.015$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สาม)



(d) $X = 0.145$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สี่)



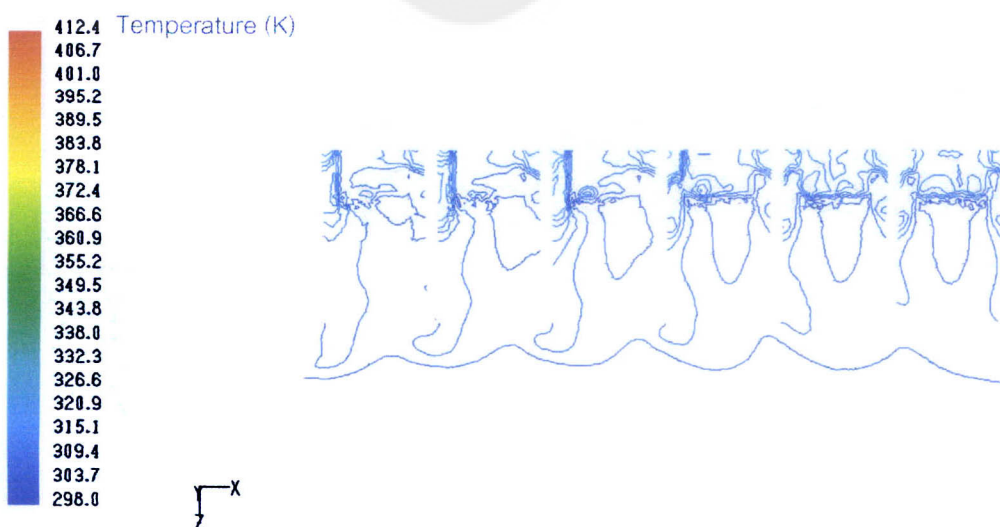
(e) $X = 0.275$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่ห้า)



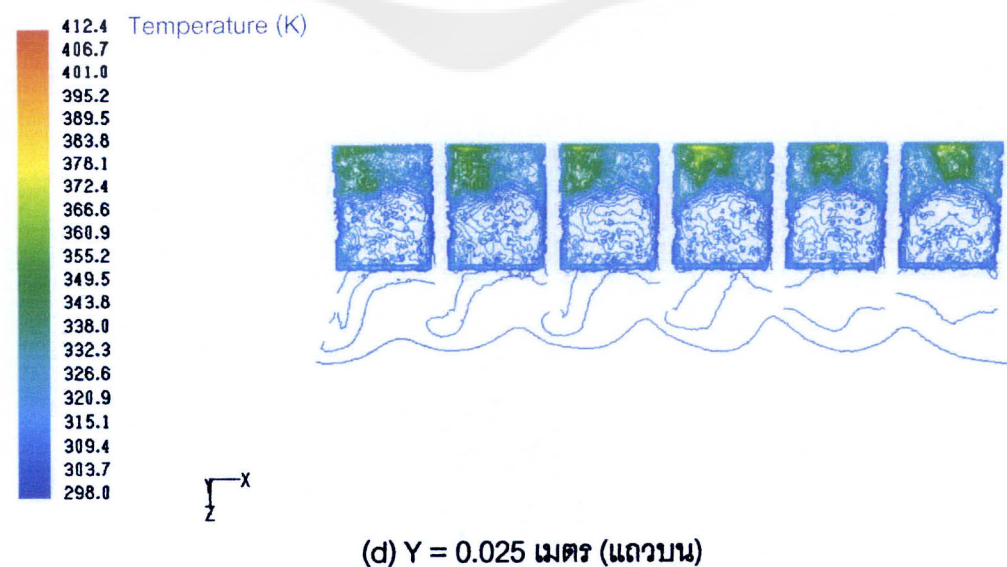
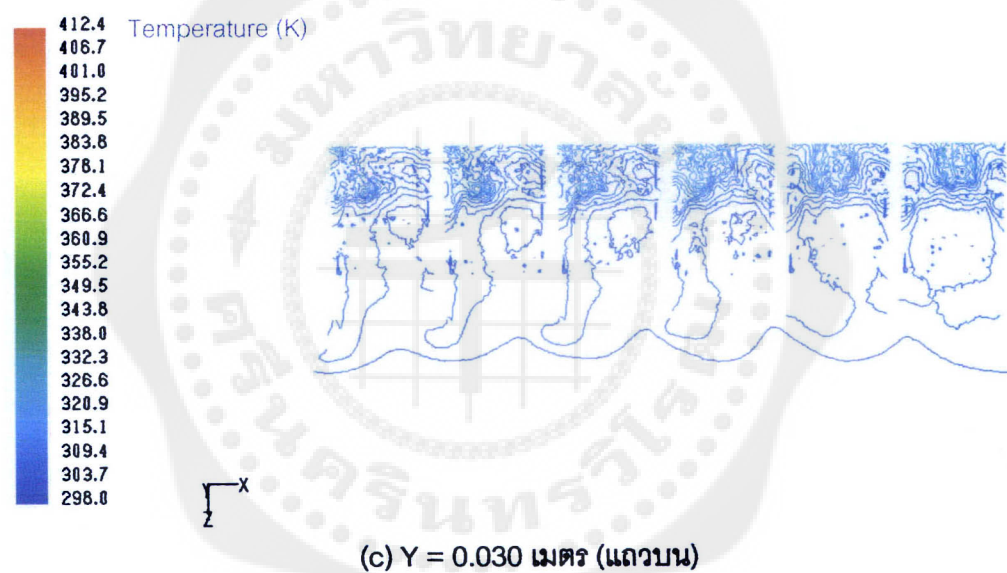
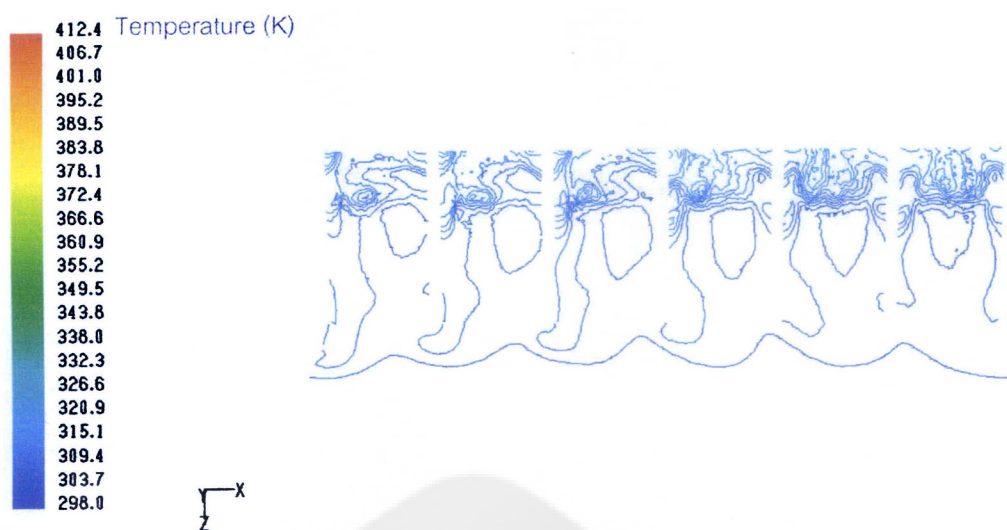
(f) $X = 0.405$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หก)

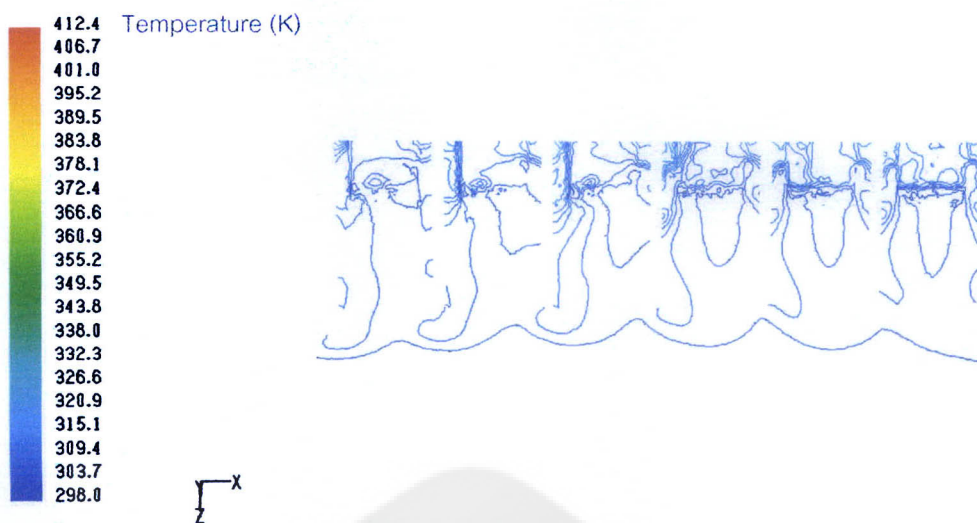
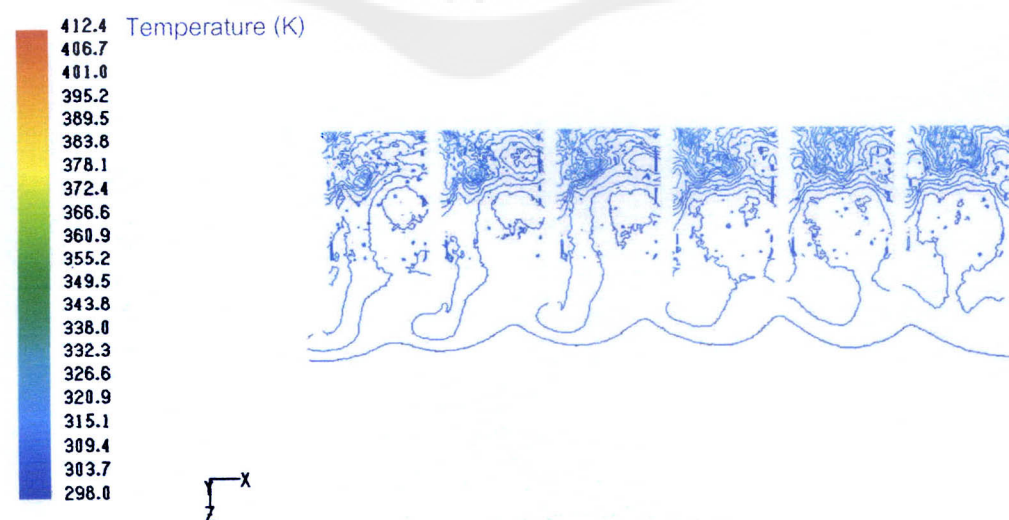
ภาพประกอบ 31 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะต่างๆ

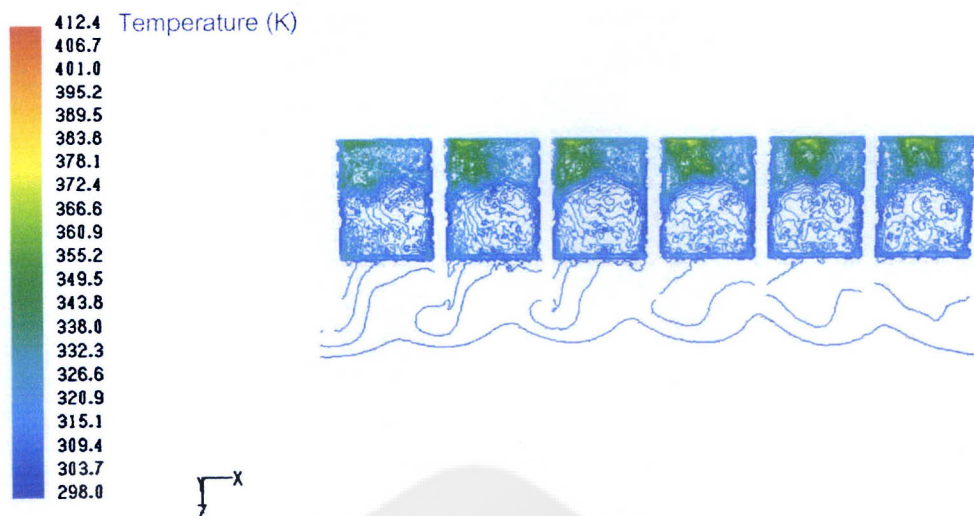
จากการภาพประกอบ 31 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแนวแกน X ที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งบริเวณของอากาศที่มีอากาศที่ถูกบังคับจากพัดลมให้ไหลลงมาจากฮาร์ดดิสก์มีการกระจายอุณหภูมิต่ำ เมื่อระยะห่างของช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ห่างออกจากพัดลมทางเข้าของอากาศ นั่นคือที่ระยะ X เท่ากับ -0.245 เมตรมีอุณหภูมิสูงสุด ที่ระยะ X เท่ากับ 0.405 เมตรมีอุณหภูมิต่ำสุด และบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่านการกระจายอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อระยะห่างของช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ห่างออกจากพัดลมทางเข้าของอากาศ ที่ระยะ X เท่ากับ -0.245 เมตร มีอุณหภูมิต่ำสุด ที่ระยะ X เท่ากับ 0.405 เมตรมีอุณหภูมิสูงสุด



(a) $Y = 0.040$ เมตร (แถวบน)

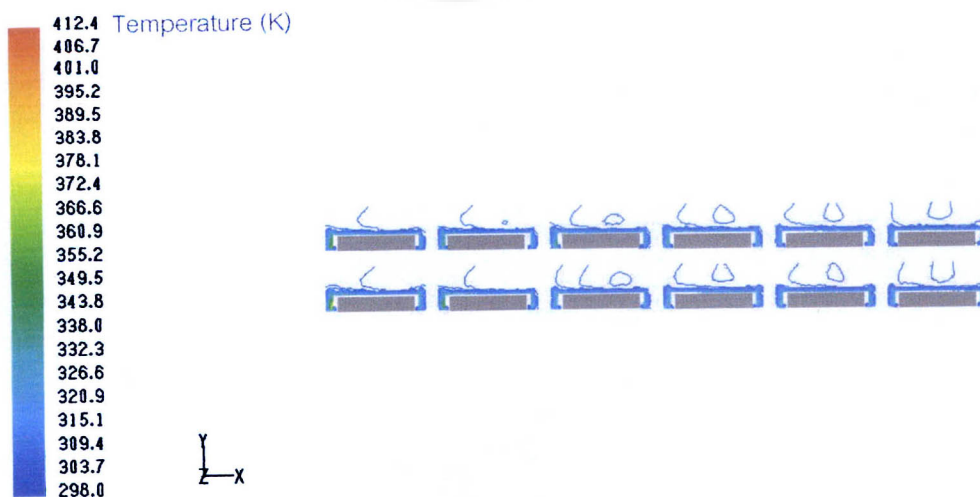


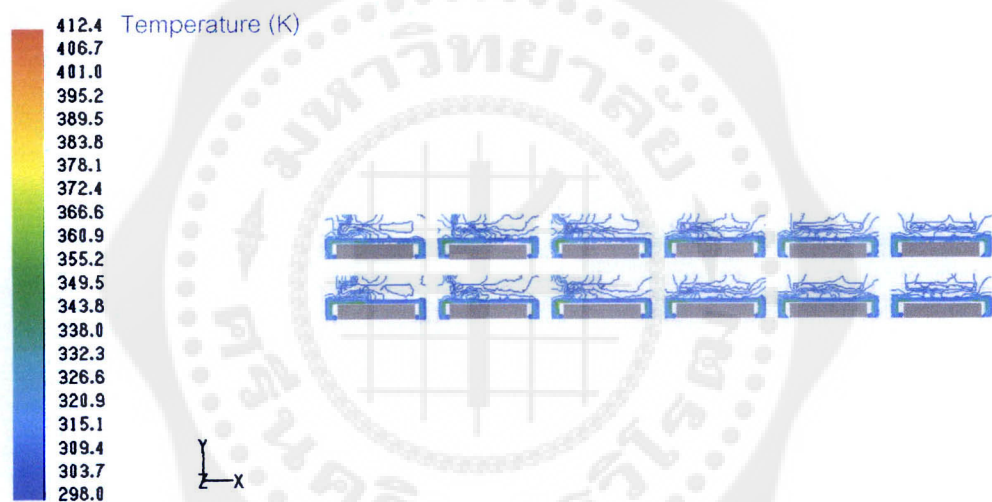
(e) $Y = -0.030$ เมตร (แถวล่าง)(f) $Y = -0.035$ เมตร (แถวล่าง)(g) $Y = -0.040$ เมตร (แถวล่าง)

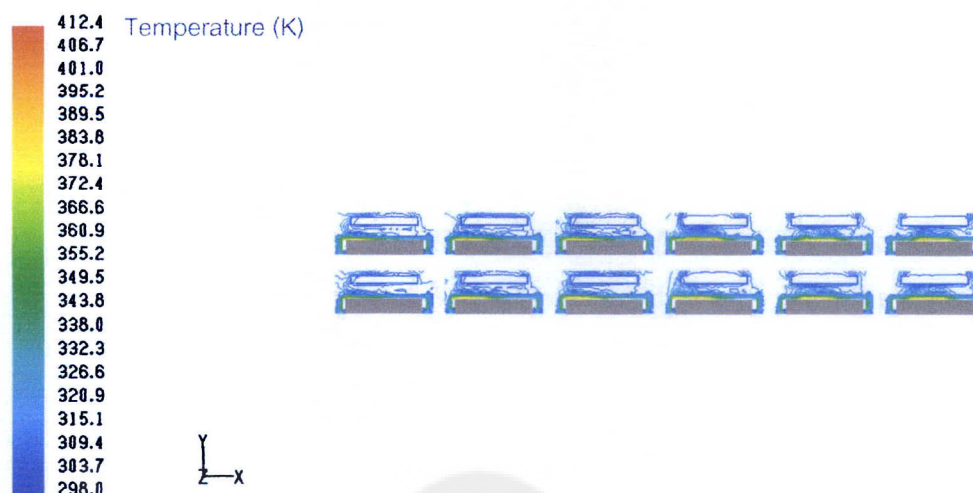
(h) $Y = -0.045$ เมตร (แถวล่าง)

ภาพประกอบ 32 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะต่างๆ

ภาพประกอบ 32 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน Y ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยบริเวณของอากาศที่อากาศจากพัดลมด้านบนถูกบังคับให้ไหลลงผ่านฮาร์ดดิสก์และบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่านฮาร์ดดิสก์จะสูงขึ้นเมื่ออากาศจากพัดลมด้านบนไหลต่ำลง เนื่องจากความเร็วต่ำลง นั่นคือที่แถวบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ที่ระยะ Y เท่ากับ 0.040 เมตร มีอุณหภูมิต่ำสุด ที่ระยะ Y เท่ากับ 0.025 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด และที่แถวล่างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ที่ระยะ Y เท่ากับ -0.030 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด ที่ระยะ Y เท่ากับ -0.045 เมตร มีอุณหภูมิต่ำสุด

(a) $Z = 0.00$ เมตร

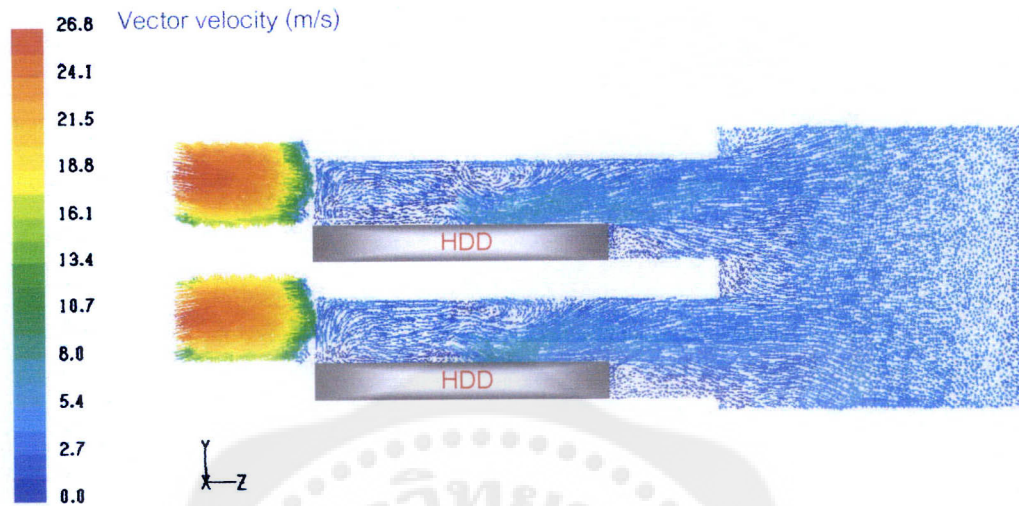


(e) $Z = -0.130$ เมตร

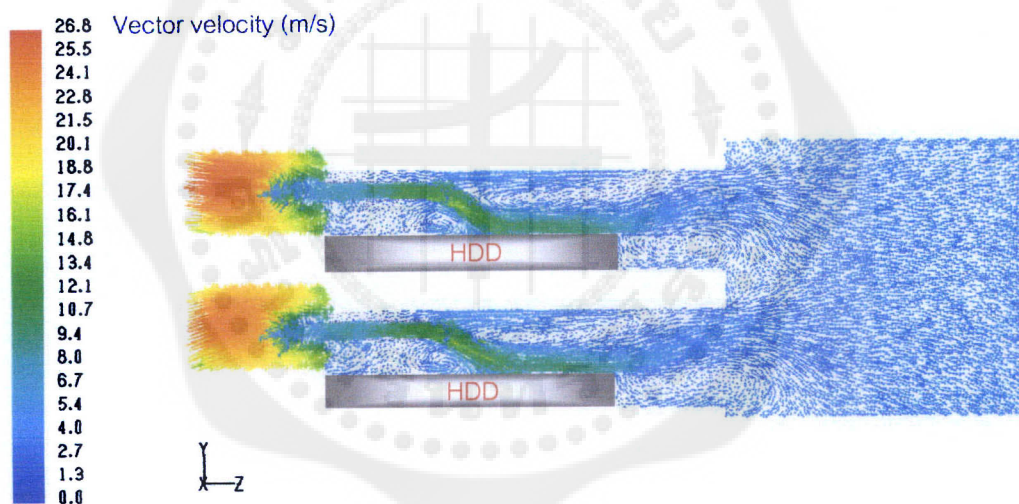
ภาพประกอบ 33 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Z ที่ระยะต่างๆ

ภาพประกอบ 33 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน Z ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยบริเวณหน้าตัดที่อากาศจากพัดลมด้านบนกระแทบฮาร์ดดิสก์โดยตรงการกระจายอุณหภูมิต่ำสุด และเมื่ออากาศไหลต่อไปทางด้านหน้าทำให้การกระจายอุณหภูมิบริเวณนั้นสูงขึ้น นั่นคือที่ระยะ Z เท่ากับ -0.050 เมตร มีอุณหภูมิต่ำสุด ที่ระยะ Z เท่ากับ 0 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด ส่วนบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่านการกระจายความเร็วต่ำลงเมื่อระยะห่างออกจากกระเปาะอากาศจากพัดลมด้านบนกระแทบฮาร์ดดิสก์ นั่นคือที่ระยะ Z เท่ากับ -0.080 เมตร มีอุณหภูมิต่ำสุด ที่ระยะ Z เท่ากับ -0.130 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด

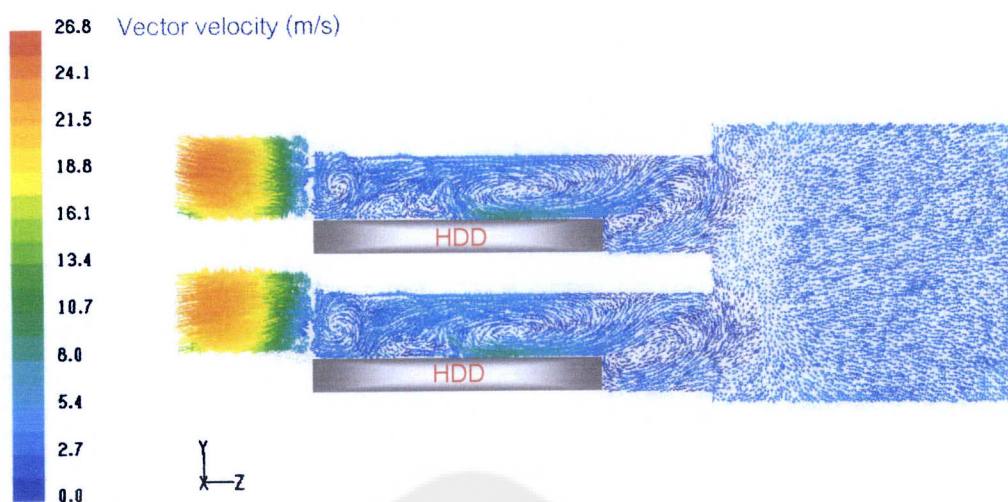
ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์



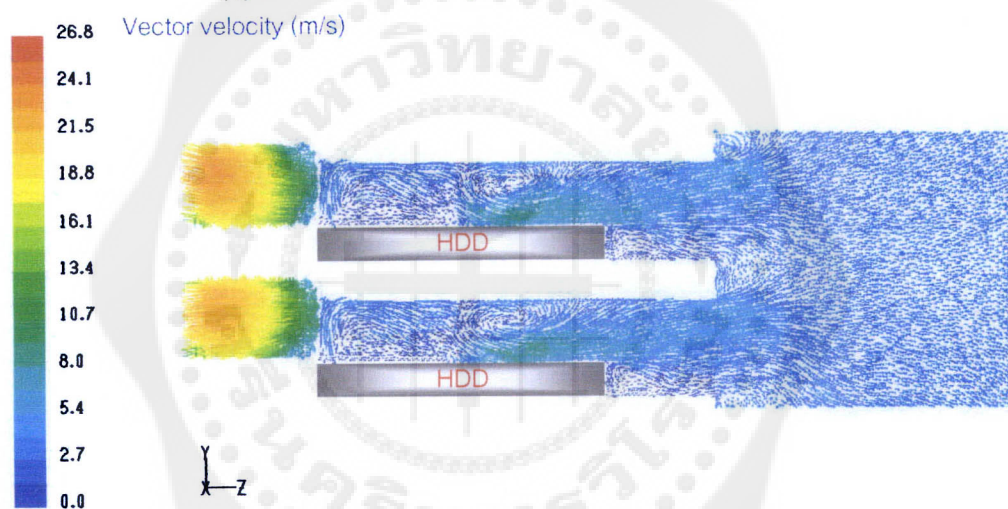
(a) $X = -0.290$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หนึ่ง)



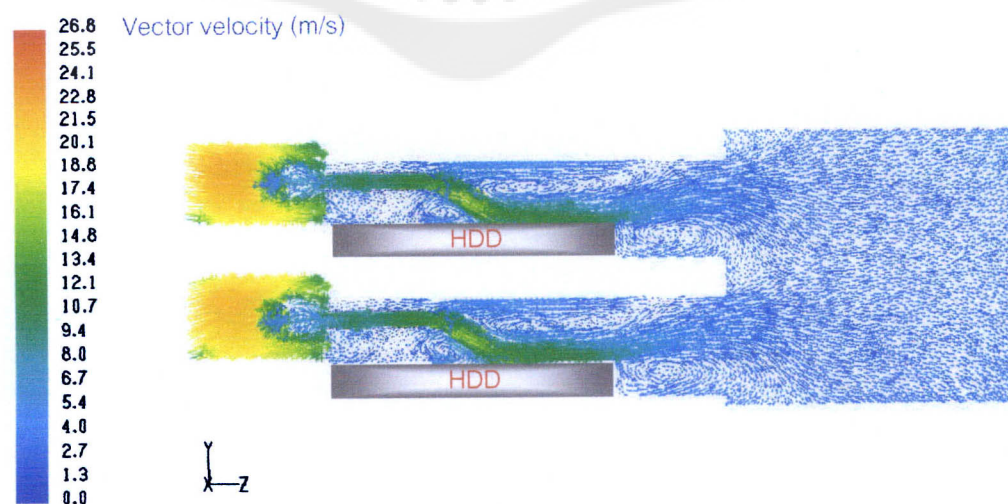
(b) $X = -0.245$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หนึ่ง)



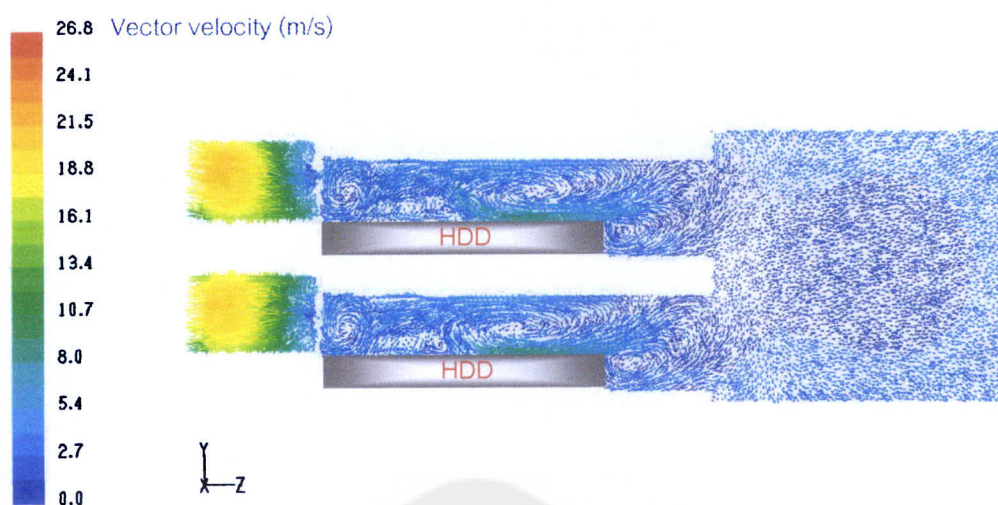
(c) $X = -0.200$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หนึ่ง)



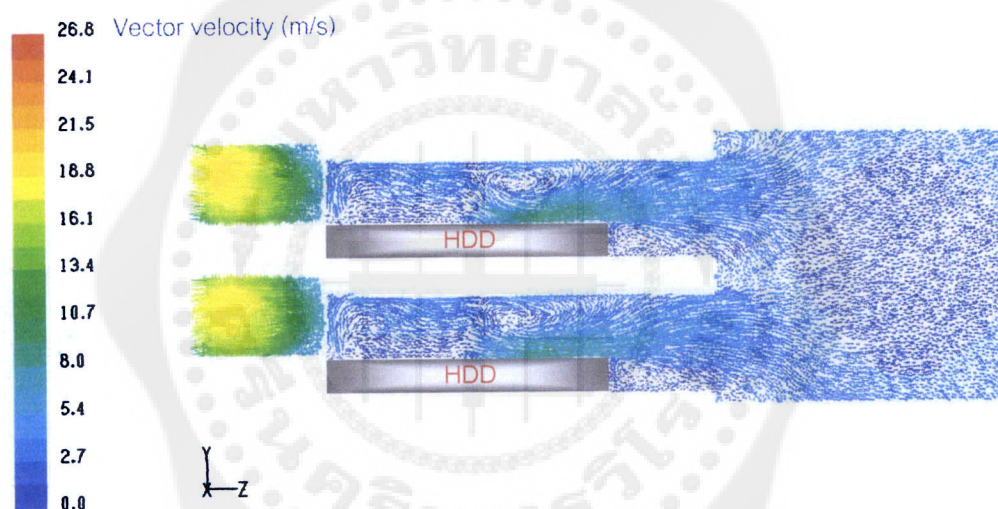
(d) $X = -0.160$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สอง)



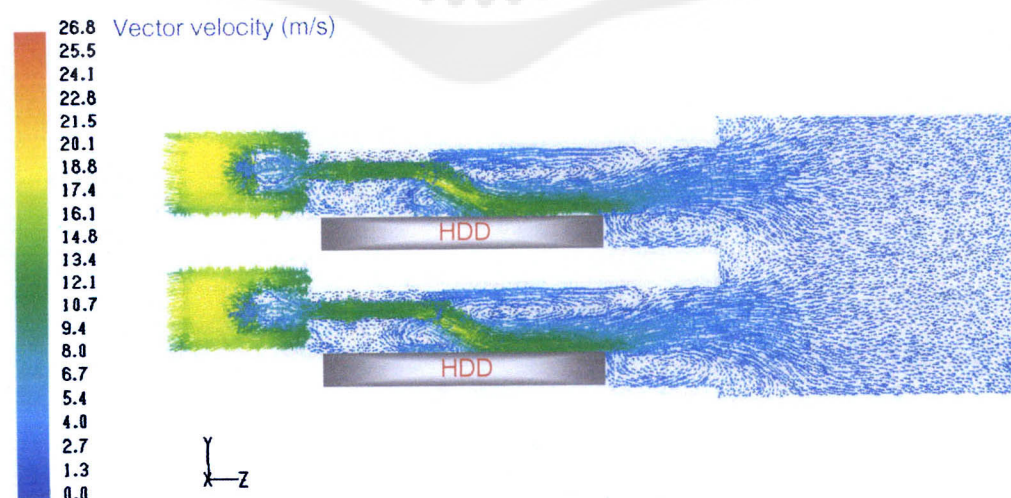
(e) $X = -0.115$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สอง)



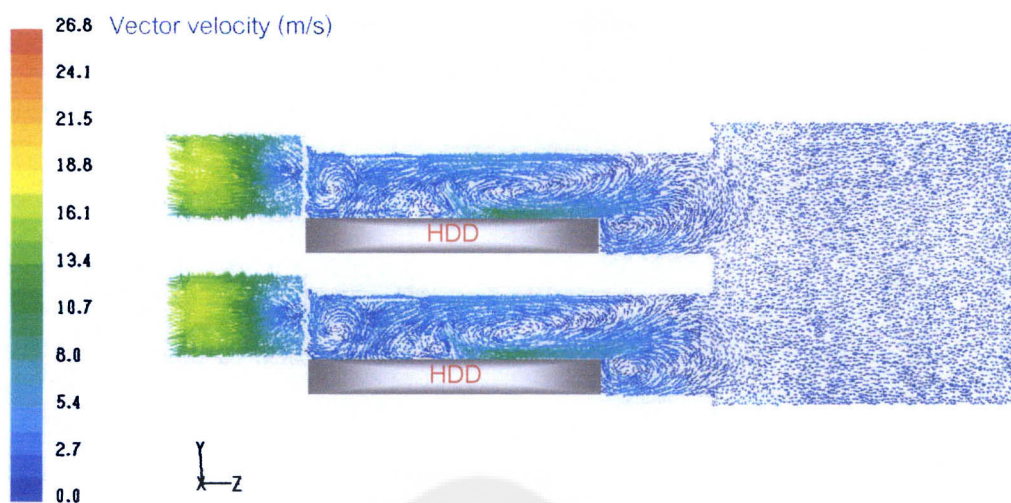
(f) $X = -0.070$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สอง)



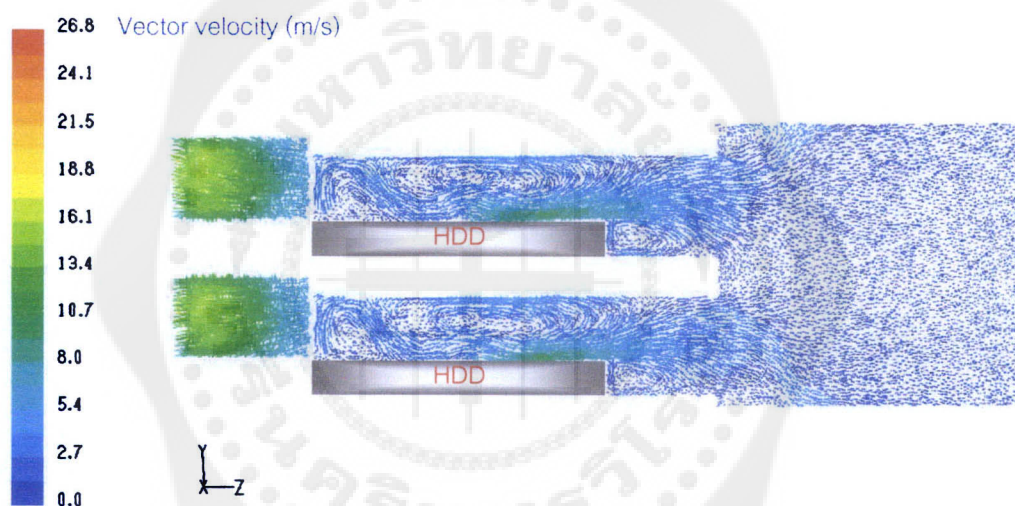
(g) $X = -0.030$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สาม)



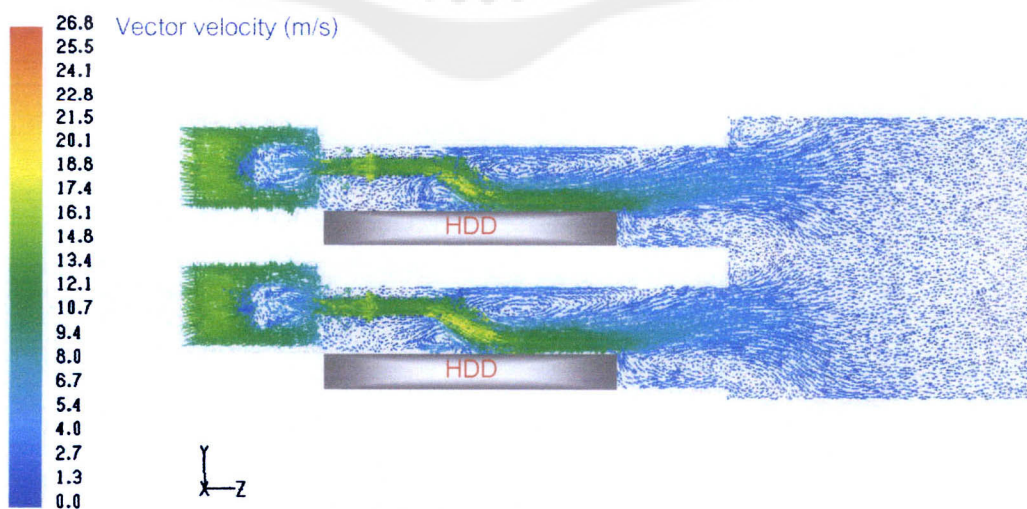
(h) $X = 0.015$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สาม)



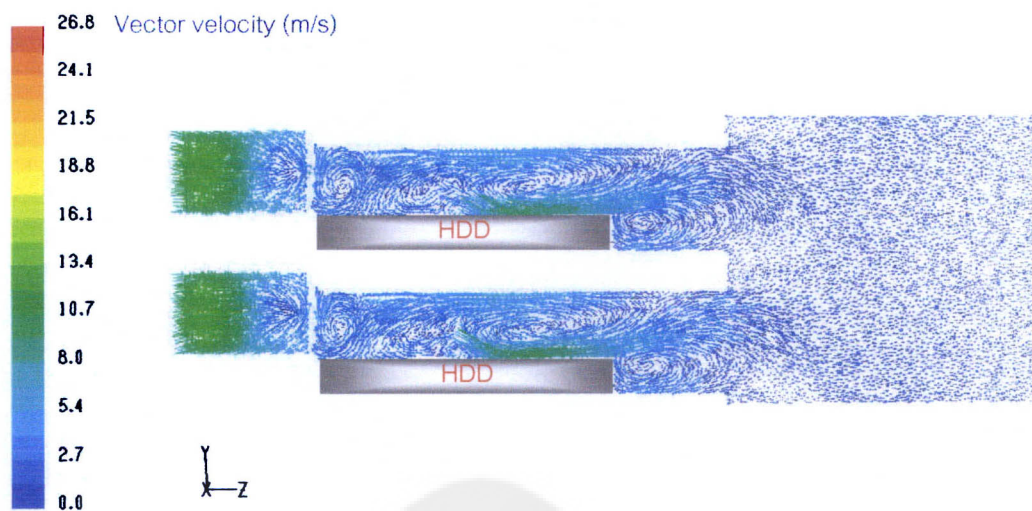
(i) $X = 0.060$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สาม)



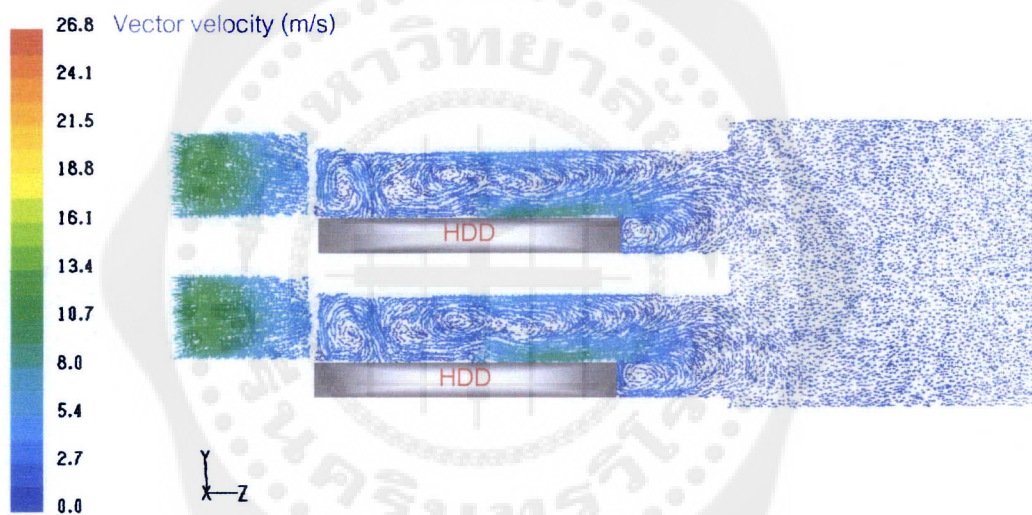
(j) $X = 0.100$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สี่)



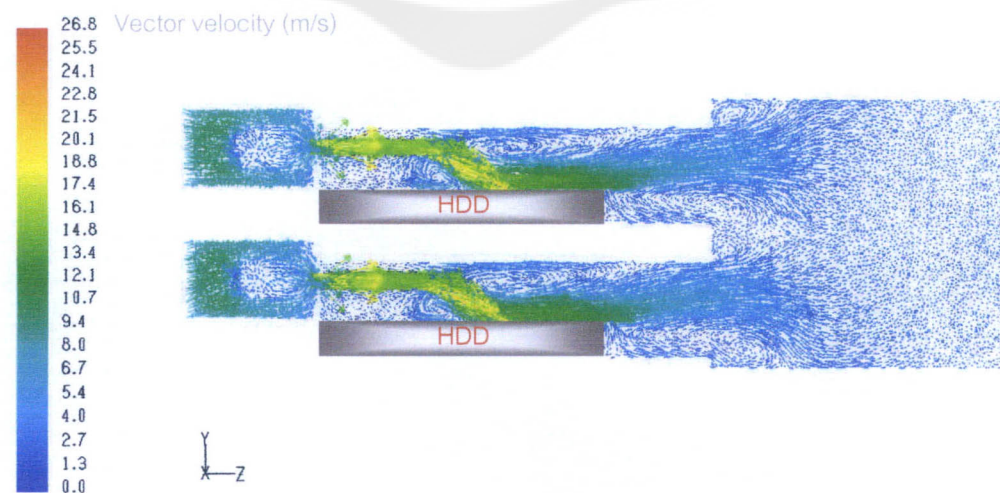
(k) $X = 0.145$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สี่)



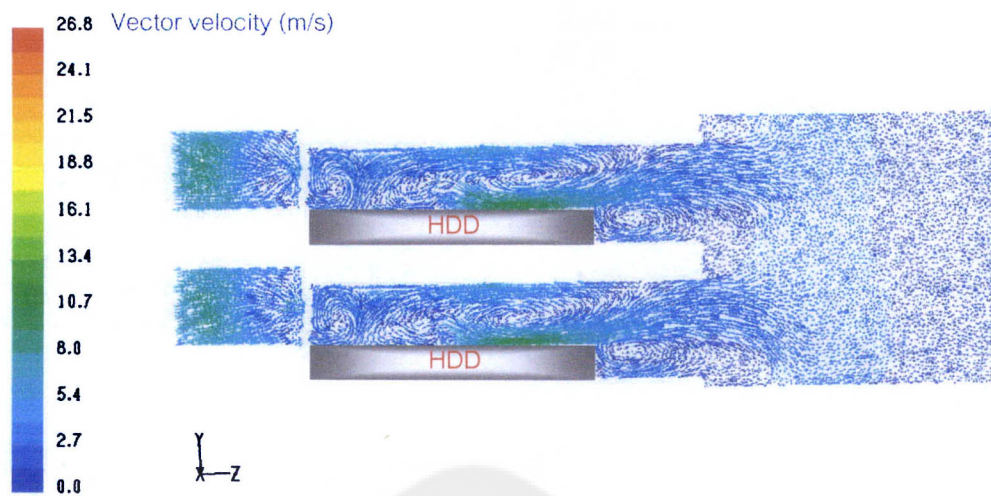
(l) $X = 0.190$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่สี่)



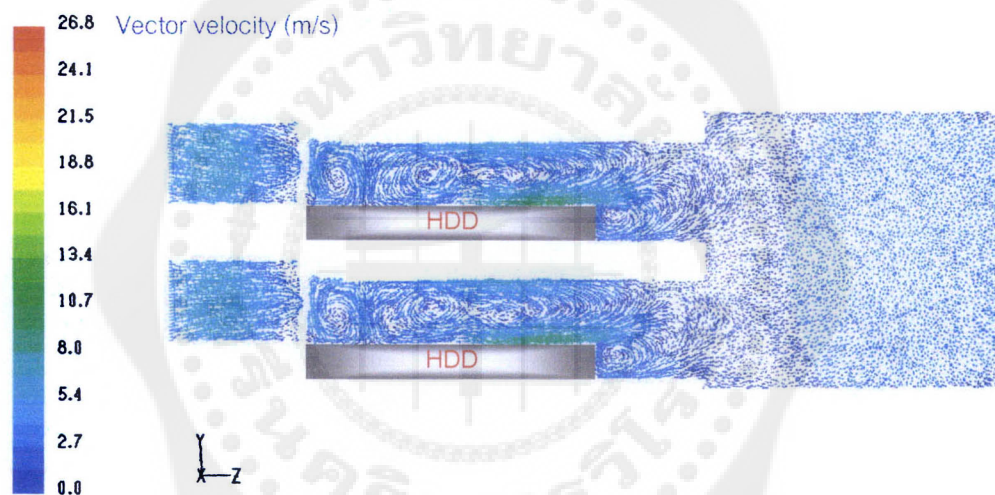
(m) $X = 0.230$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่ห้า)



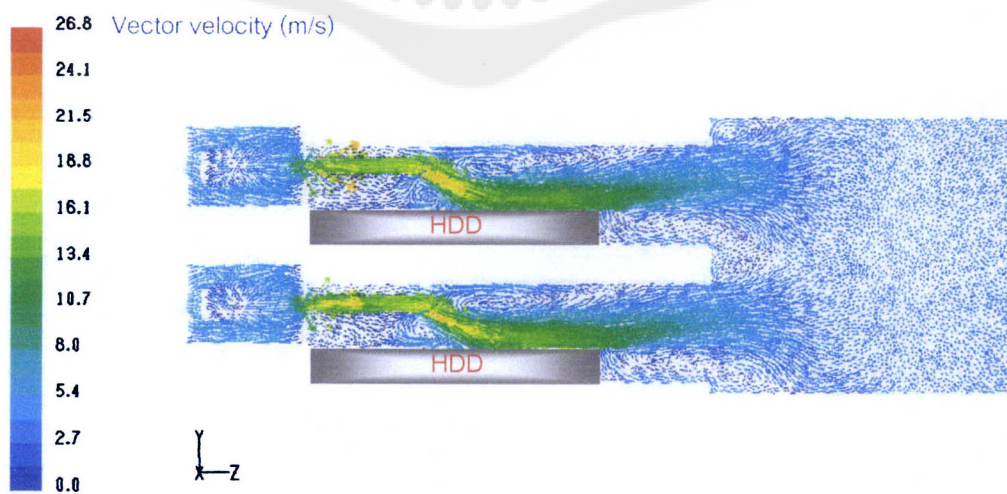
(n) $X = 0.275$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่ห้า)



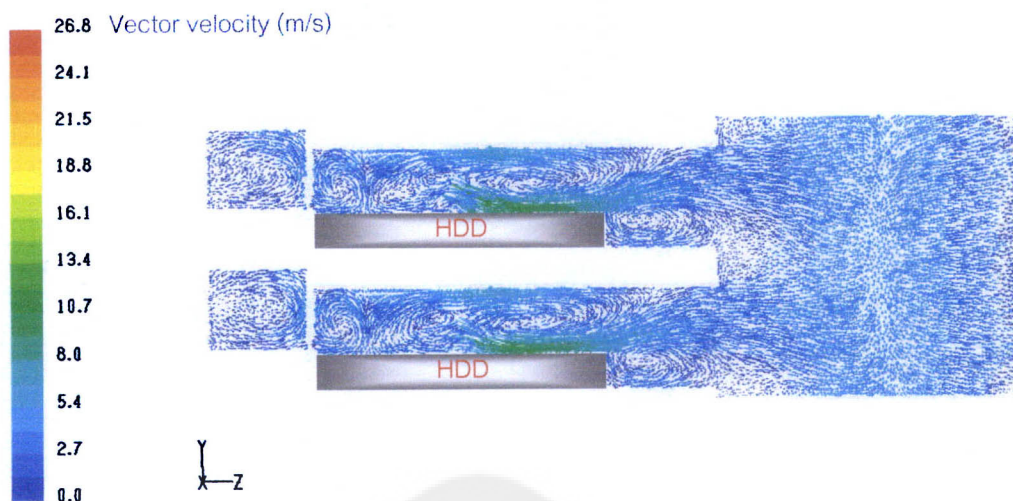
(o) $X = 0.320$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หน้า)



(p) $X = 0.360$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หนก)



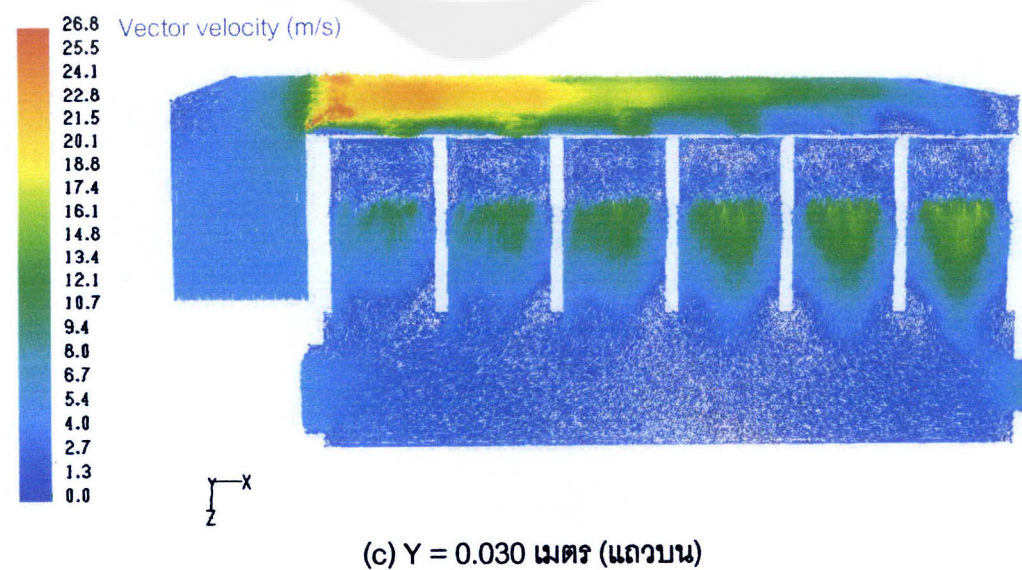
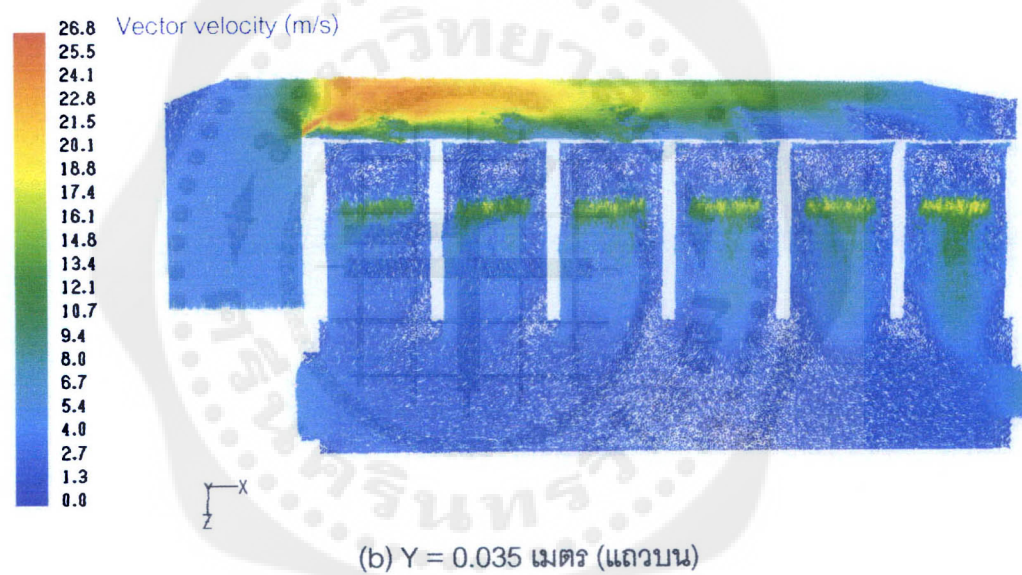
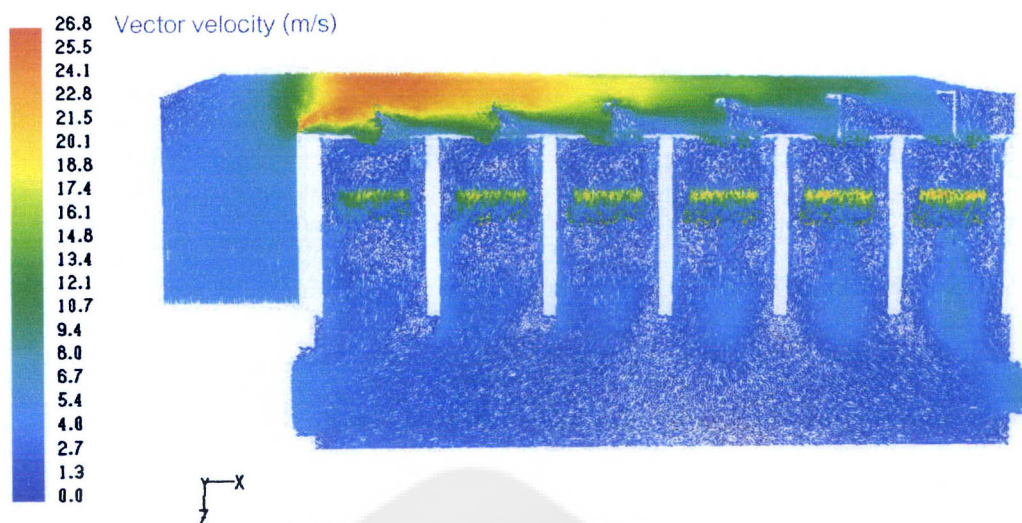
(q) $X = 0.405$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หนก)

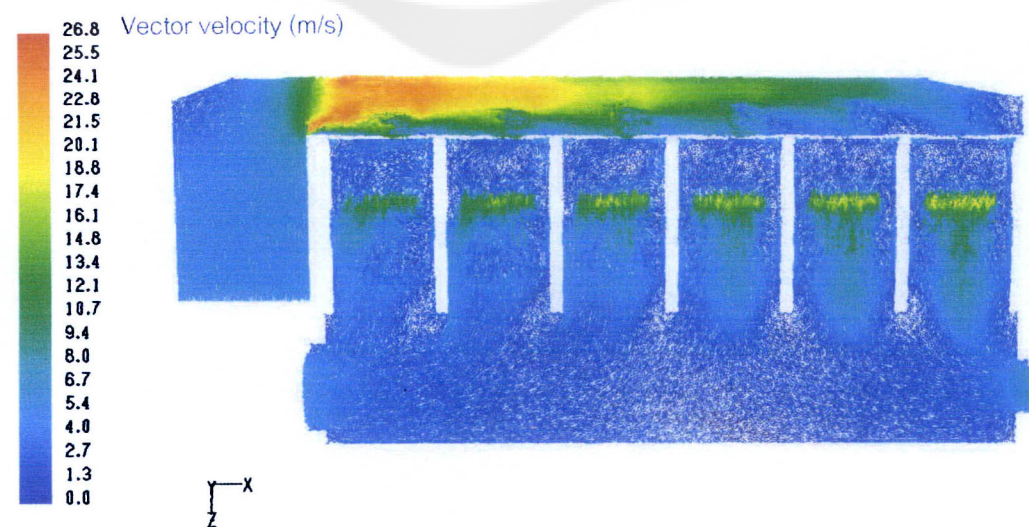
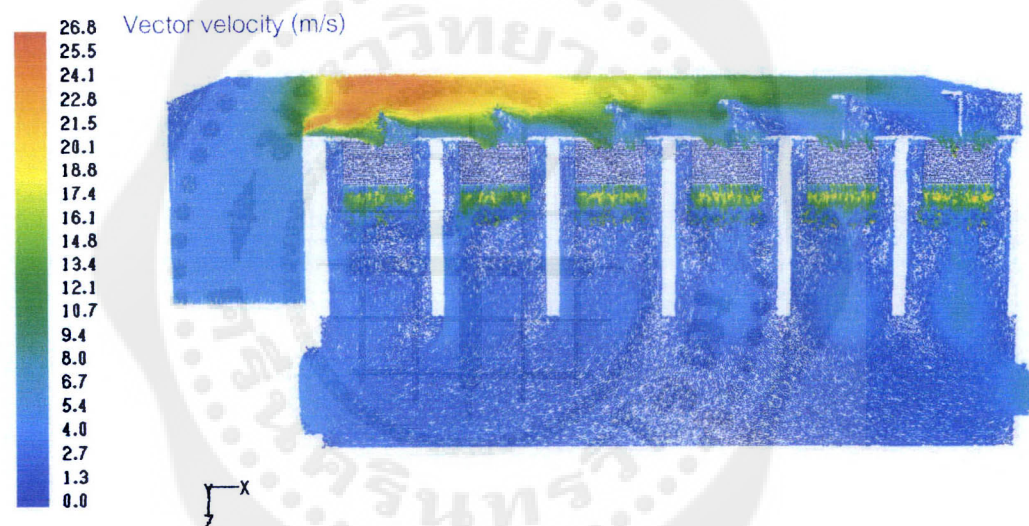
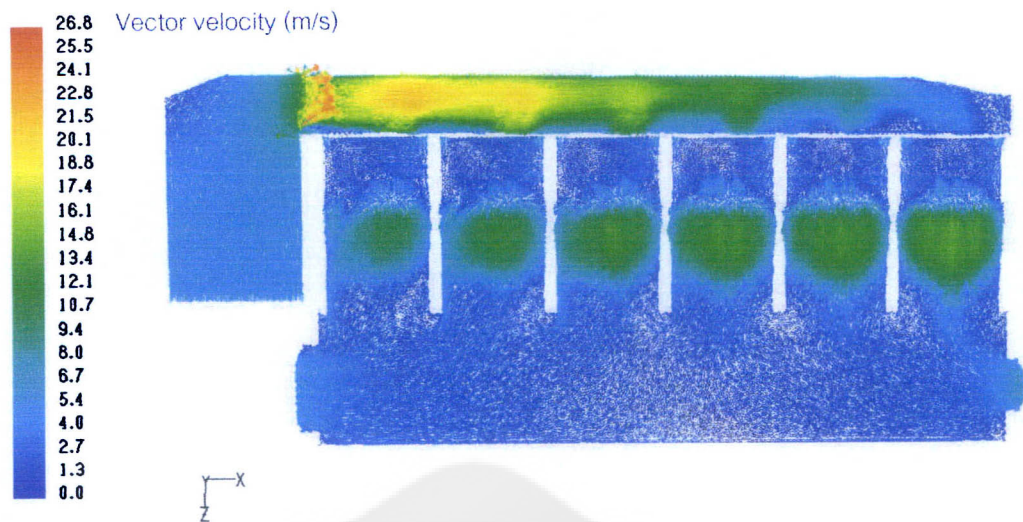


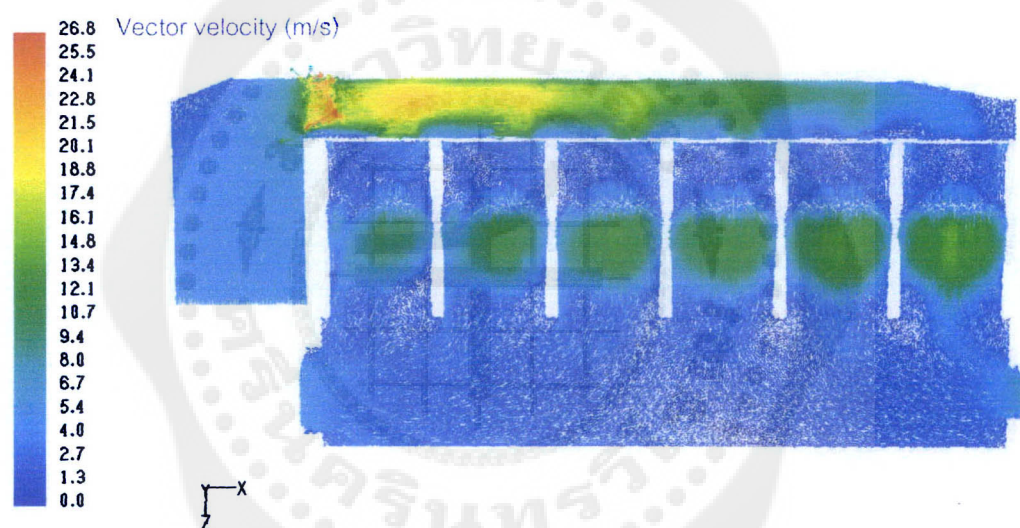
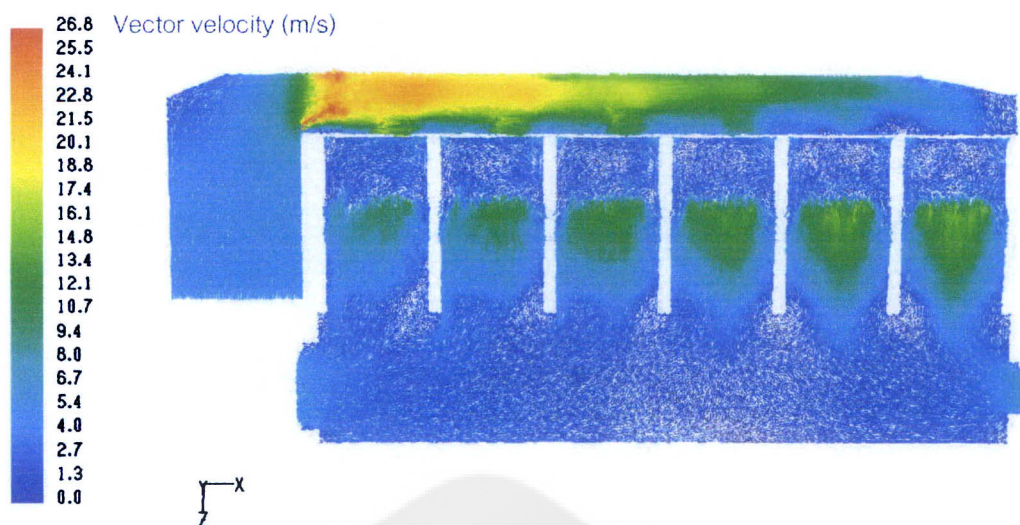
(r) $X = 0.450$ เมตร (ช่องใส่ฮาร์ดดิสก์ที่หก)

ภาพประกอบ 34 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X ที่ระยะต่างๆ

ภาพประกอบ 34 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน X ที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งเกิดการไหลวนของอากาศในบริเวณที่อากาศไม่ได้ถูกบังคับจากพัดลมให้ไหลเข้าในช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ คือที่ระยะ X เท่ากับ -0.290 เมตร -0.016 เมตร -0.030 เมตร 0.100 เมตร 0.230 เมตร และ 0.360 เมตร โดยเกิดขึ้น 3 บริเวณคือ ด้านในสุดซ้ายมือของฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ด้านใต้ส่วนที่บังคับทิศทางของอากาศ บริเวณที่อากาศจากพัดลมด้านบนกระทบฮาร์ดดิสก์ และด้านนอกสุดขวามือตรงขอบด้านหน้าฮาร์ดดิสก์ ส่วนบริเวณที่อากาศถูกบังคับจากพัดลมให้ไหลเข้าในช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์นั้น คือที่ระยะ X เท่ากับ -0.200 เมตร -0.070 เมตร 0.060 เมตร 0.190 เมตร 0.320 เมตร และ 0.405 เมตร เกิดการไหลวนเมื่อช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์อยู่ห่างออกจากพัดลมทางเข้า โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ช่องที่ 5 และช่องที่ 6 ที่ระยะ X เท่ากับ 0.320 เมตร และ 0.405 เมตร



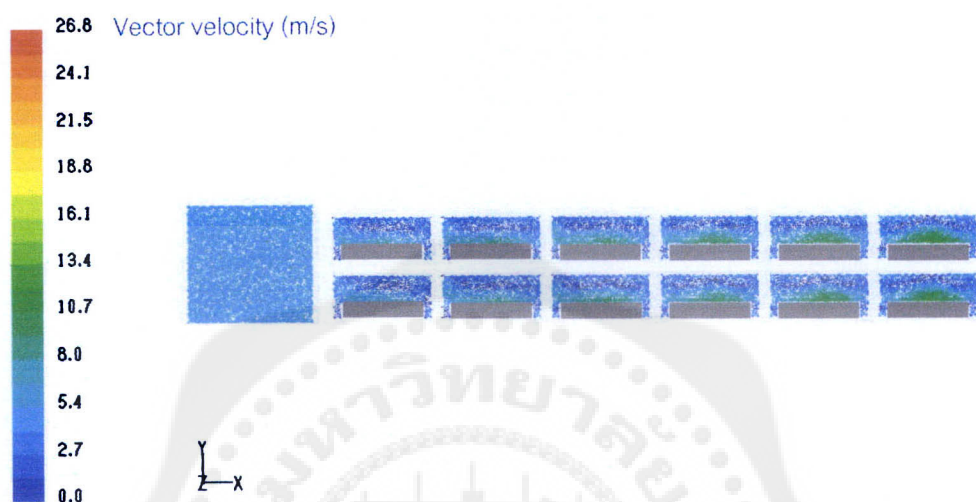




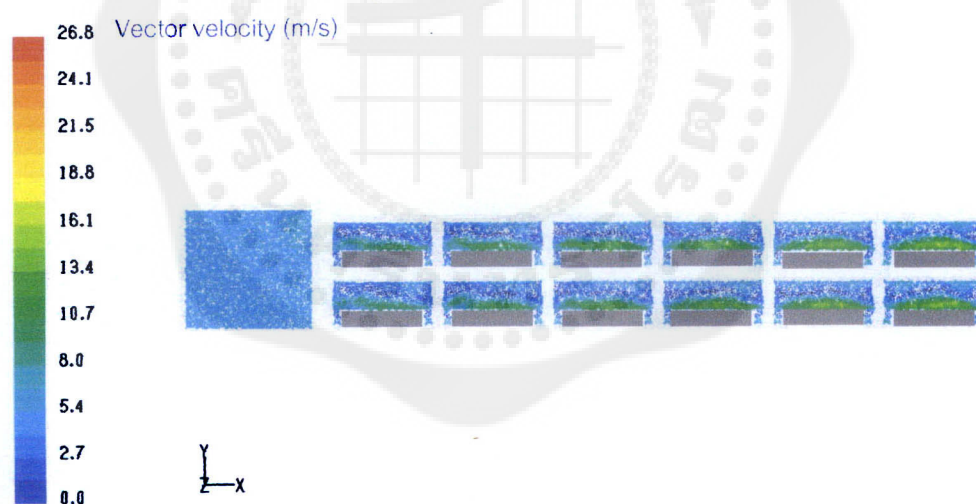
ภาพประกอบ 35 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะต่างๆ

ภาพประกอบ 35 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน Y ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยอากาศไหลเข้าทางด้านหน้า จากนั้นจะถูกบังคับให้ไหลผ่านเข้าไปในช่องบรรจุอาร์ดติสก์แต่ละช่อง จากนั้นอากาศที่ผ่านช่องบรรจุอาร์ดติสก์ช่องที่ 5 และช่องที่ 6 จะไหลออกสู่ภายนอกทางด้านขวามือและอากาศที่ผ่านช่องบรรจุอาร์ดติสก์ช่องแรก ช่องที่ 2 และช่องที่ 3 จะไหลออกไปทางด้านซ้ายมือจากนั้นพัดลมจะดูดอากาศกลับเข้าไปใหม่ ส่วนช่องที่ 4 จะไหลออกสู่ภายนอกทางด้านขวามือและไหลออกไปทางด้านซ้ายมือ เมื่อพิจารณาทิศทางการไหลของอากาศที่ระยะ Y ต่างๆ จะมีลักษณะคล้ายกัน แตกต่างกันเพียงปริมาณเวกเตอร์ นั่นคือ แถวบนของเครื่องทดสอบอาร์ดติสก์ที่ระยะ Y เท่ากับ 0.040 เมตร มี

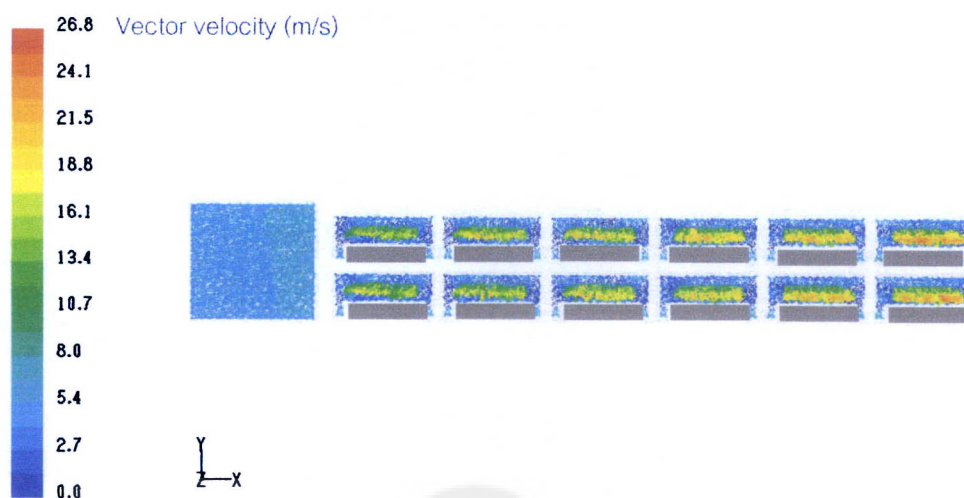
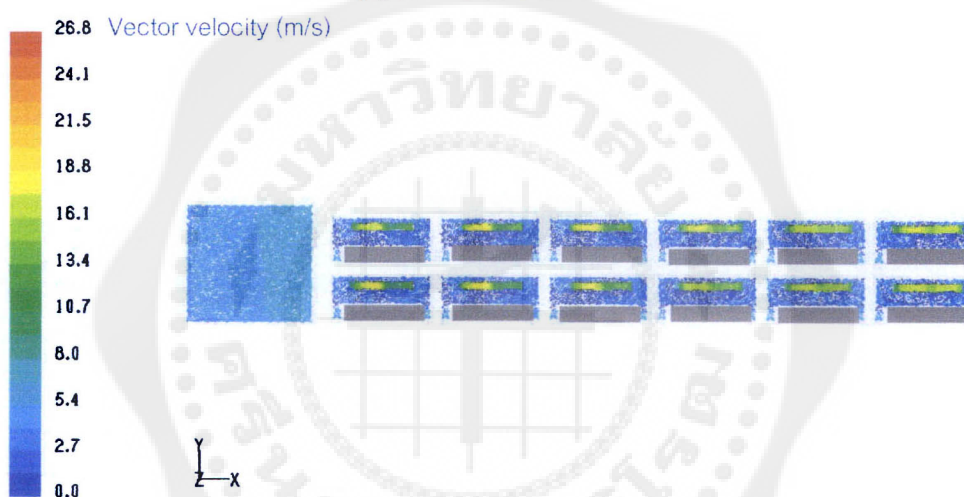
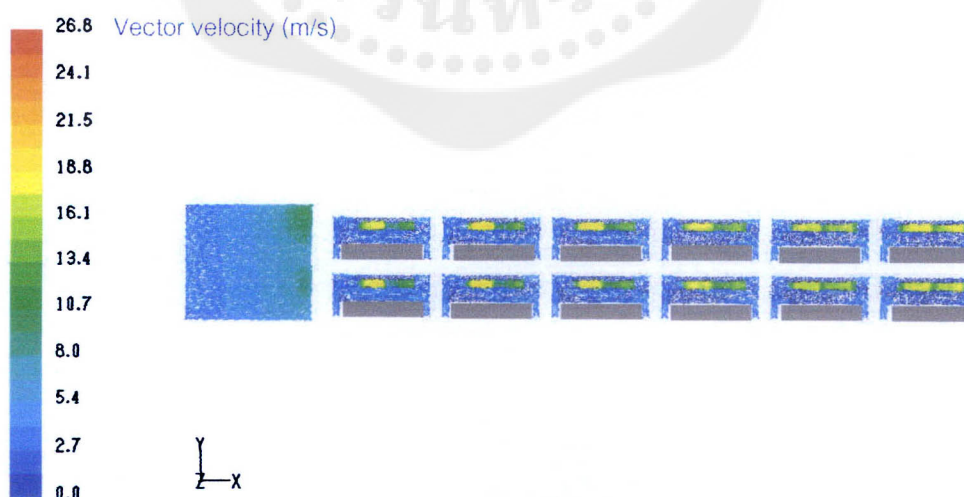
ปริมาณเวกเตอร์ความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Y เท่ากับ 0.025 เมตร มีปริมาณเวกเตอร์ความเร็วต่ำสุด และ
 แถวบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ที่ระยะ Y เท่ากับ -0.025 เมตร มีปริมาณเวกเตอร์ความเร็วสูงสุด ที่
 ระยะ Y เท่ากับ -0.045 เมตร มีปริมาณเวกเตอร์ความเร็วต่ำสุด



(a) $Z = 0.00$ เมตร



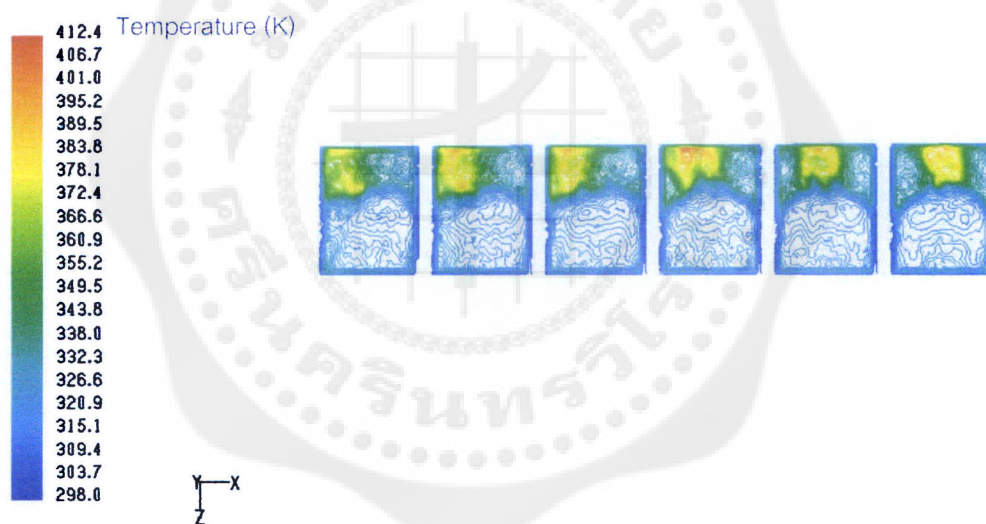
(b) $Z = -0.050$ เมตร

(c) $Z = -0.080$ เมตร(d) $Z = -0.100$ เมตร(e) $Z = -0.130$ เมตร

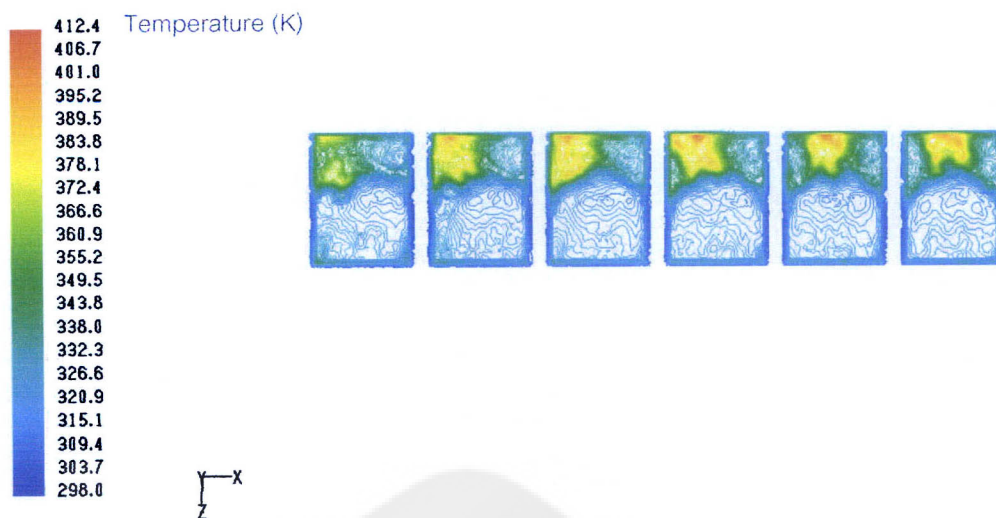
ภาพประกอบ 36 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Z ที่ระยะต่างๆ

จากภาพประกอบ 36 เป็นภาพพื้นที่หน้าตัดในแกน Z ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยอากาศจากพัดลม จะไหลจากด้านหลังมาสู่ด้านหน้าตามทิศทางที่กำหนดไว้ จากนั้นเมื่ออากาศไหลลงมากกระทบ ฮาร์ดดิสก์อากาศด้านข้างจะไหลวนขึ้นไปด้านบน โดยบริเวณหน้าตัดที่อากาศจากพัดลมด้านบน กระแทบฮาร์ดดิสก์โดยตรงความเร็วสูงสุด และเมื่ออากาศไหลไหลต่อไปทางด้านหน้าความเร็วจะต่ำลง นั่นคือที่ระยะ Z เท่ากับ -0.050 เมตร มีปริมาณเวกเตอร์ความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Z เท่ากับ 0 เมตร มี ปริมาณเวกเตอร์ความเร็วต่ำสุด ส่วนบริเวณของอากาศที่ไม่มีอากาศจากพัดลมด้านบนไหลผ่าน ปริมาณเวกเตอร์ความเร็วต่ำลงต่ำลงเมื่อระยะห่างออกจากระยะอากาศจากพัดลมด้านบนบนกระทบ ฮาร์ดดิสก์ นั่นคือที่ระยะ Z เท่ากับ -0.080 เมตร มีปริมาณเวกเตอร์ความเร็วสูงสุด ที่ระยะ Z เท่ากับ -0.130 เมตร มีปริมาณเวกเตอร์ความเร็วสูงสุดต่ำสุด

ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิฮาร์ดดิสก์

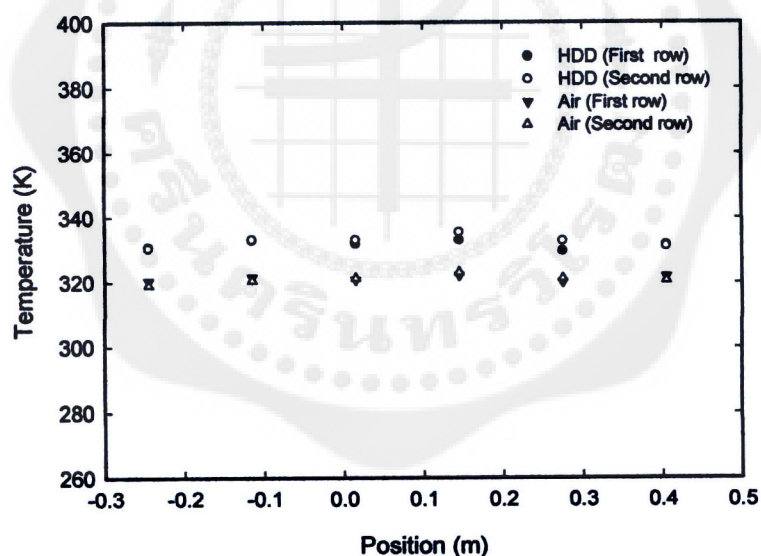


(a) ฮาร์ดดิสก์ด้านบน



(b) ฮาร์ดดิสก์ด้านล่าง

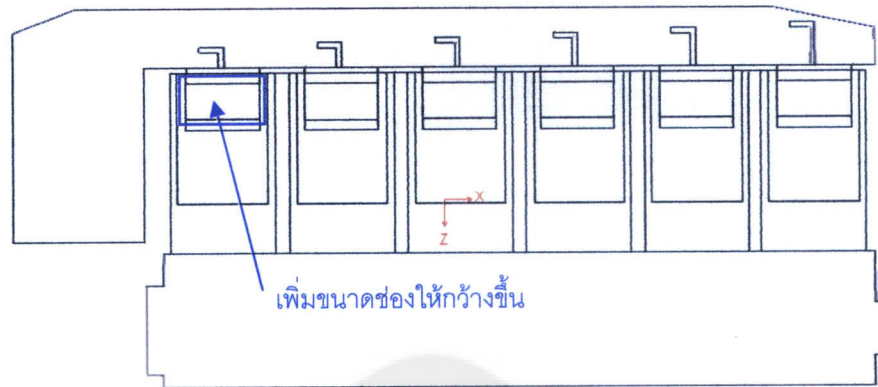
ภาพประกอบ 37 การกระจายตัวของอุณหภูมิของฮาร์ดดิสก์



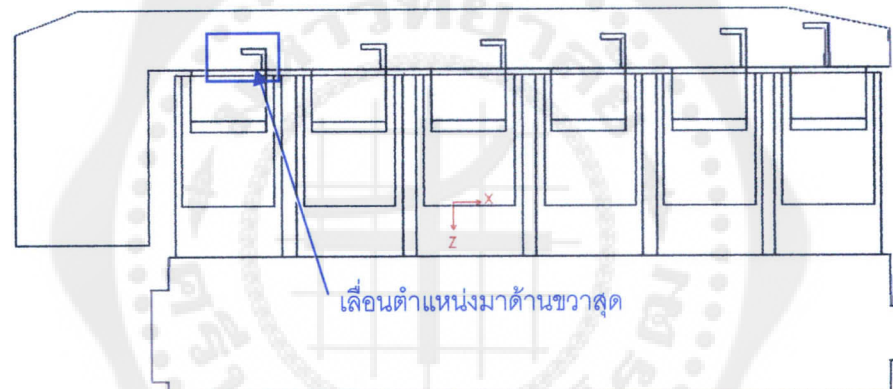
ภาพประกอบ 38 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างฮาร์ดดิสก์และอากาศ

ภาพประกอบ 37 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของฮาร์ดดิสก์ทั้งด้านบนและด้านล่าง และภาพประกอบ 38 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างฮาร์ดดิสก์และอากาศด้านบนฮาร์ดดิสก์ พบว่าอุณหภูมิของอากาศเหนือฮาร์ดดิสก์และฮาร์ดดิสก์มีความสอดคล้องกัน คือมีความเร็วต่ำลงและอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อช่องใส่ฮาร์ดดิสก์มีระยะห่างเพิ่มขึ้นจากพัดลมทางเข้า และความเร็วและอุณหภูมิของอากาศเหนือฮาร์ดดิสก์และฮาร์ดดิสก์ของด้านบนและด้านล่างมีความคล้ายคลึงกัน

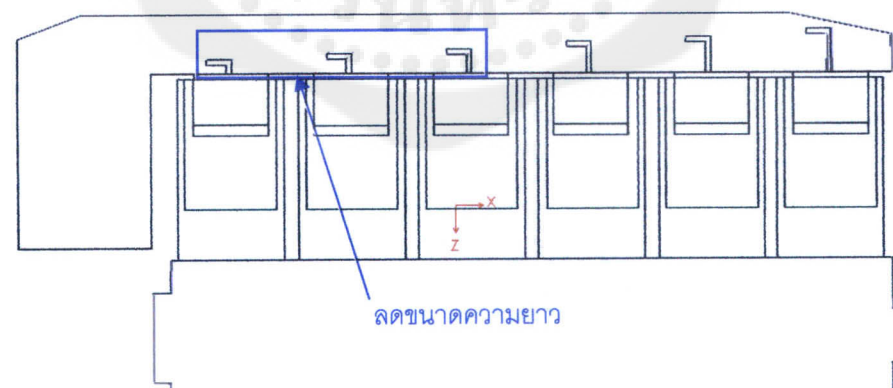
แนวทางในการปรับปรุงเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



(a) การปรับปรุงแบบที่ 1

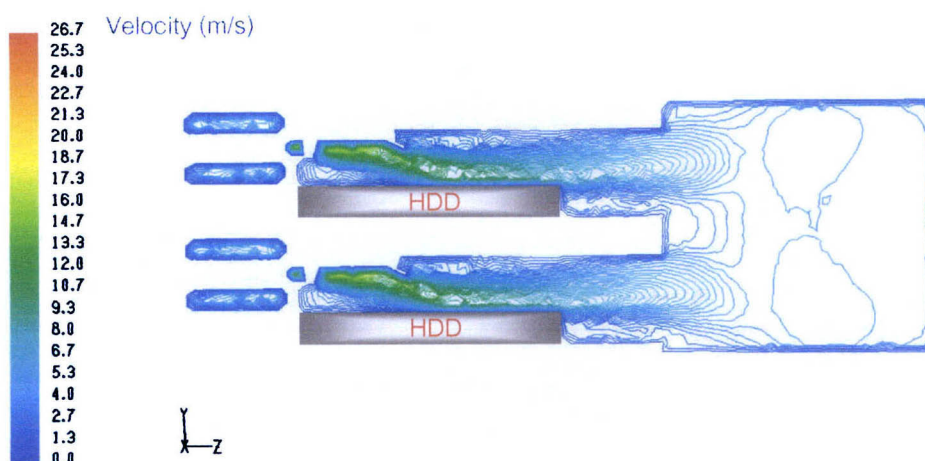


(b) การปรับปรุงแบบที่ 2

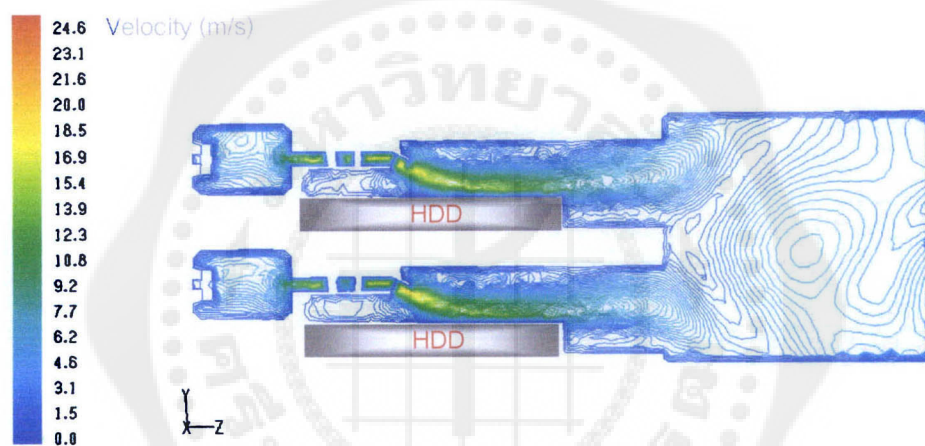


(c) การปรับปรุงแบบที่ 3

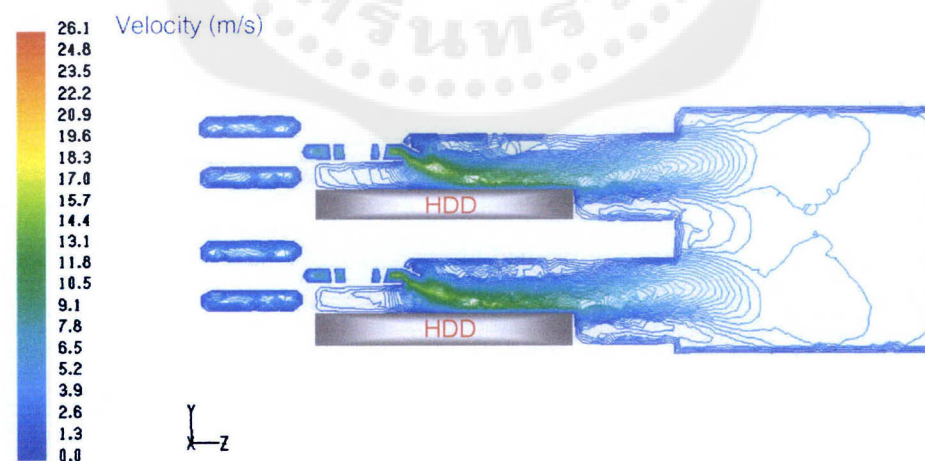
ภาพประกอบ 39 แสดงภาพการพัฒนาของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์แบบต่างๆ



(a) การปรับปรุงแบบที่ 1

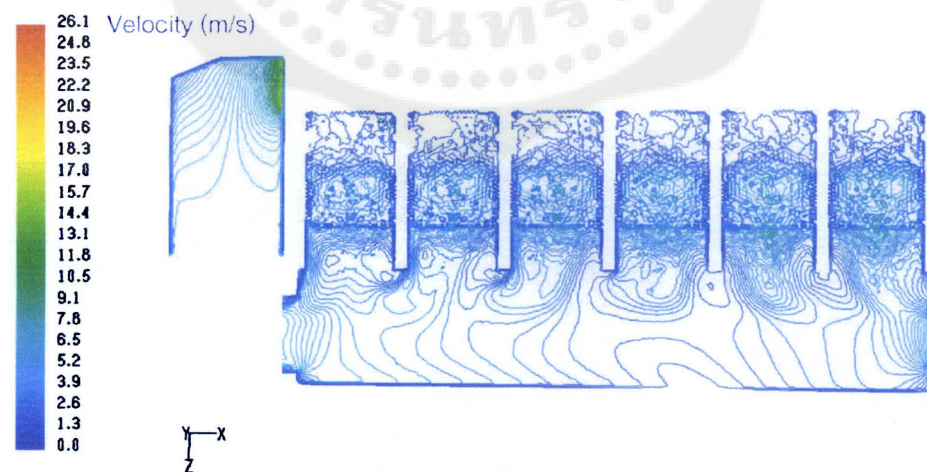
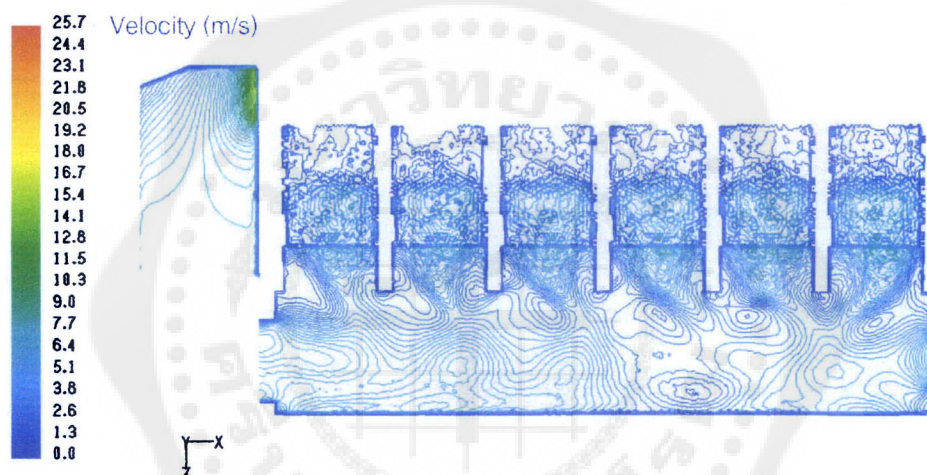
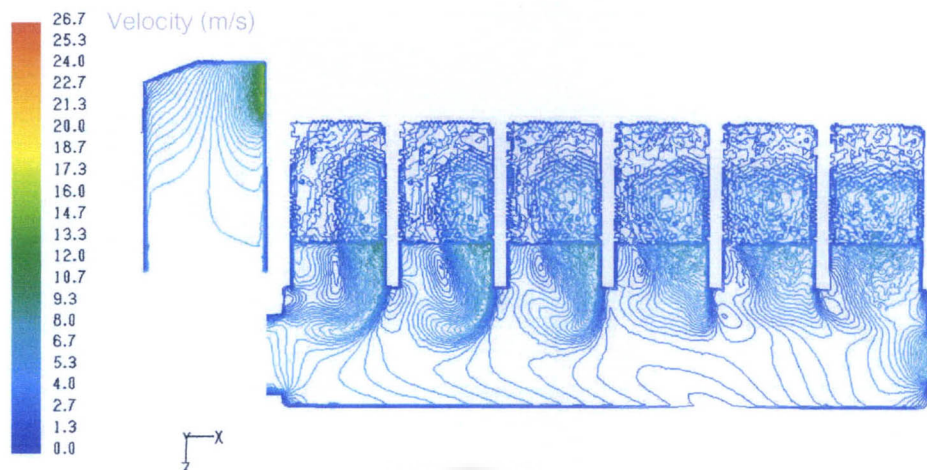


(b) การปรับปรุงแบบที่ 2

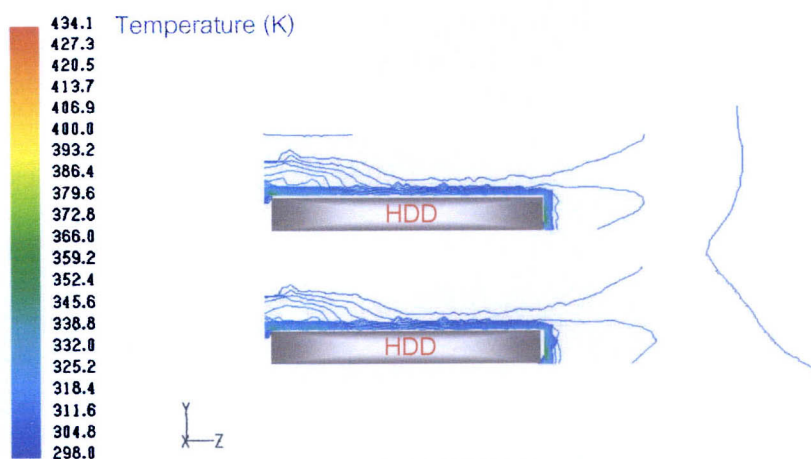


(c) การปรับปรุงแบบที่ 3

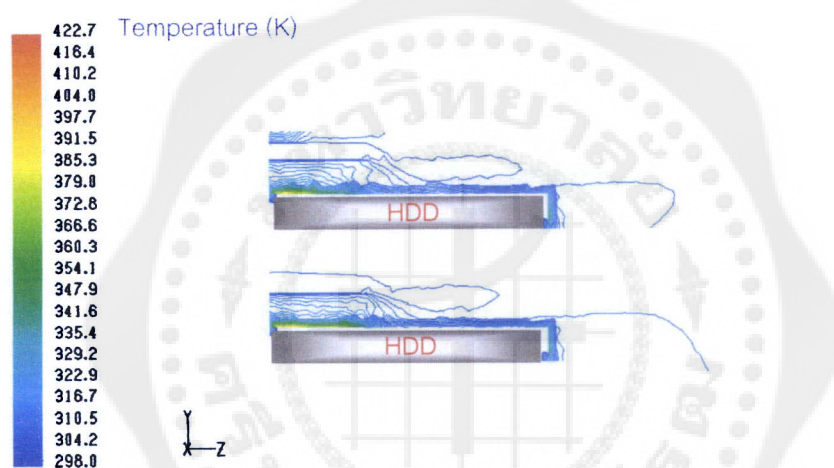
ภาพประกอบ 40 เปรียบเทียบความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X
ที่ระยะเท่ากับ 0.405 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ



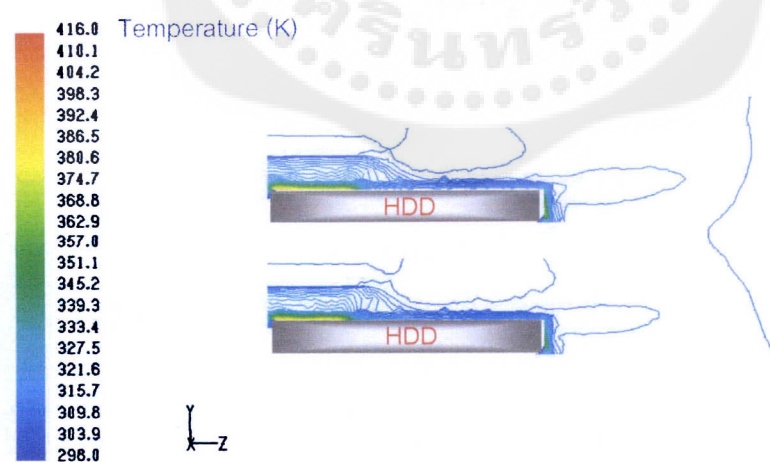
ภาพประกอบ 41 เปรียบเทียบความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y
ที่ระยะเท่ากับ -0.045 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ



(a) การปรับปรุงแบบที่ 1

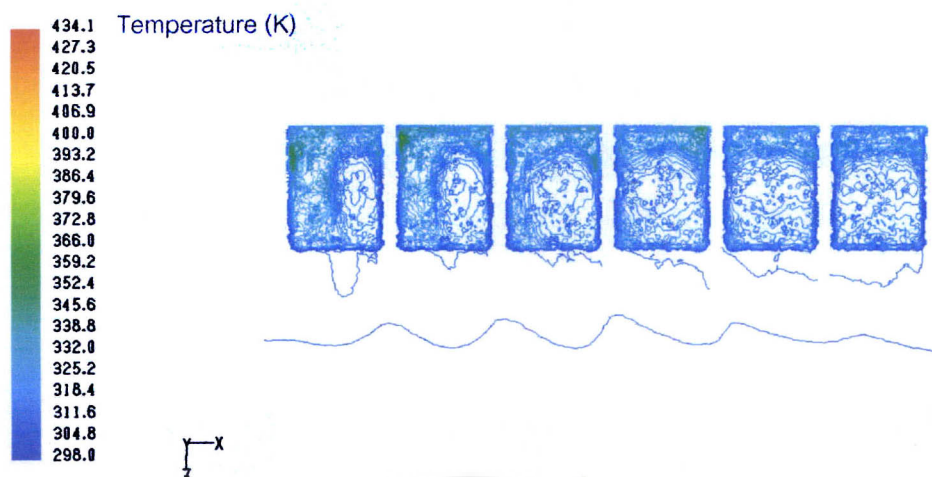


(b) การปรับปรุงแบบที่ 2

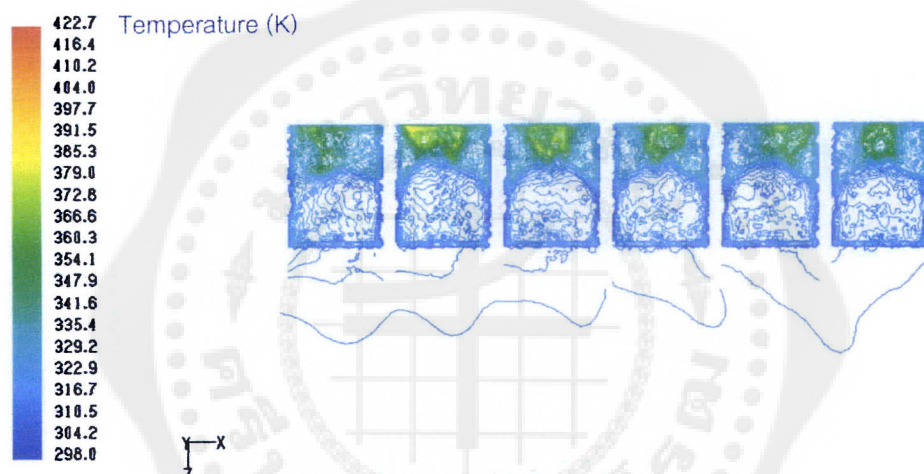


(c) การปรับปรุงแบบที่ 3

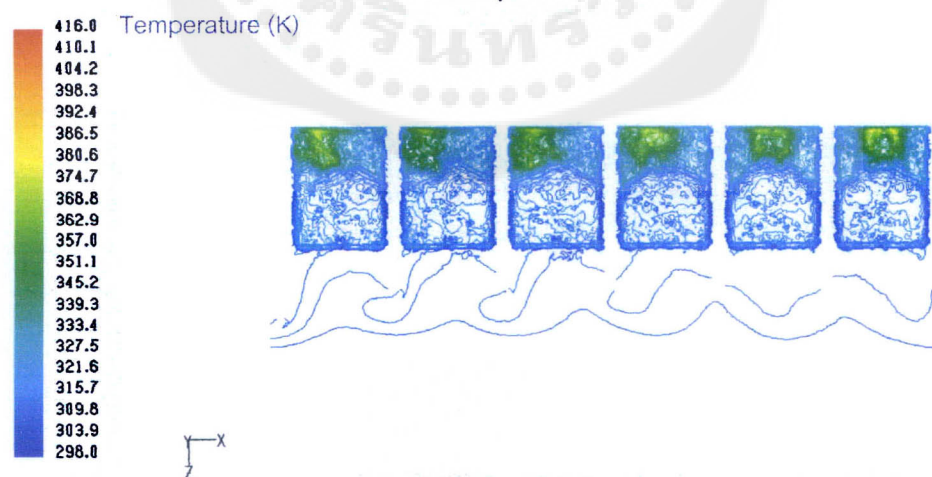
ภาพประกอบ 42 เปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X
ที่ระยะเท่ากับ 0.405 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ



(a) การปรับปรุงแบบที่ 1

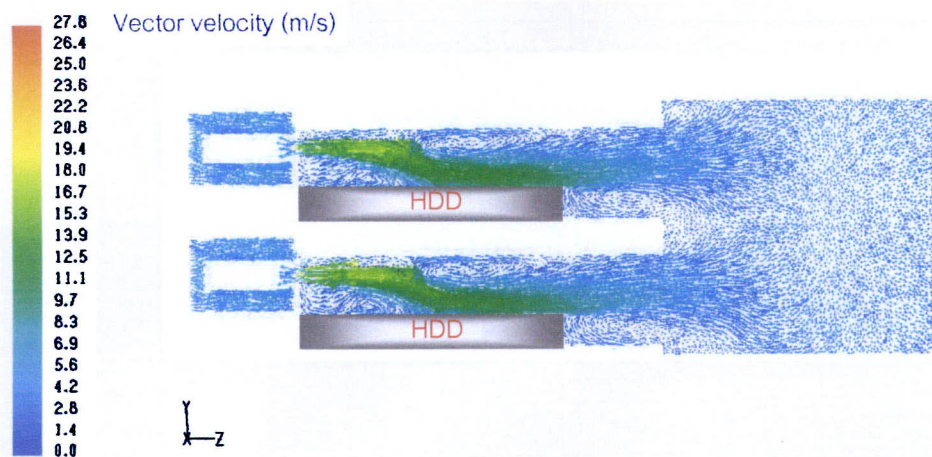


(b) การปรับปรุงแบบที่ 2

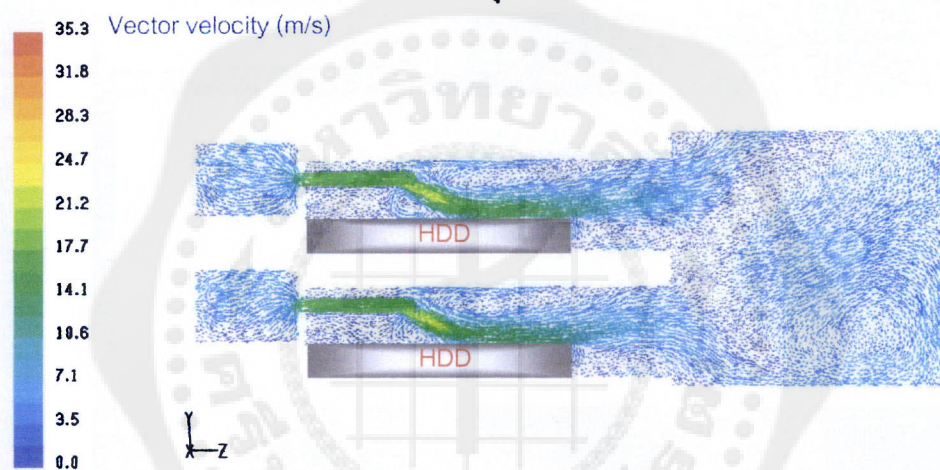


(c) การปรับปรุงแบบที่ 3

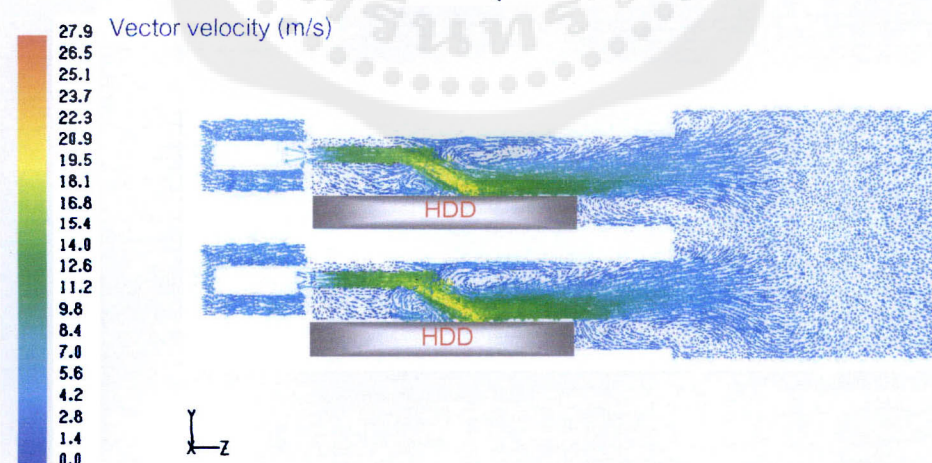
ภาพประกอบ 43 เปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y ที่ระยะเท่ากับ -0.045 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ



(a) การปรับปรุงแบบที่ 1

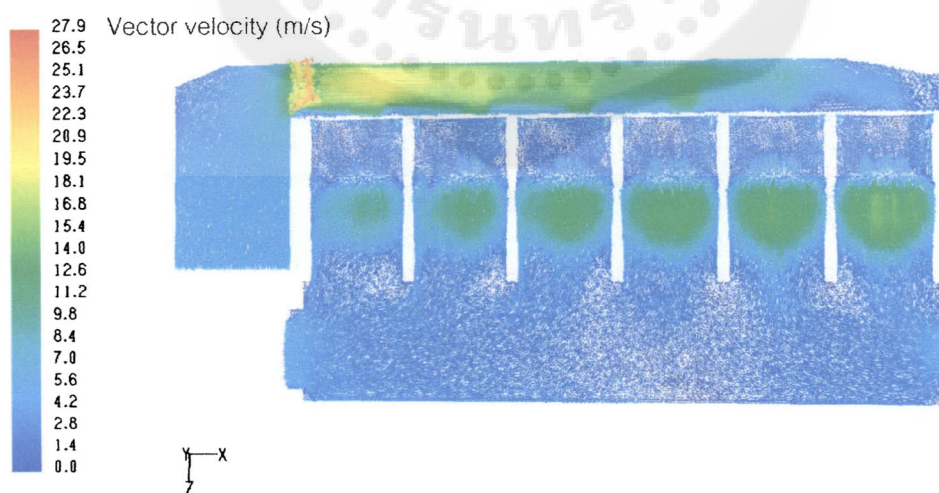
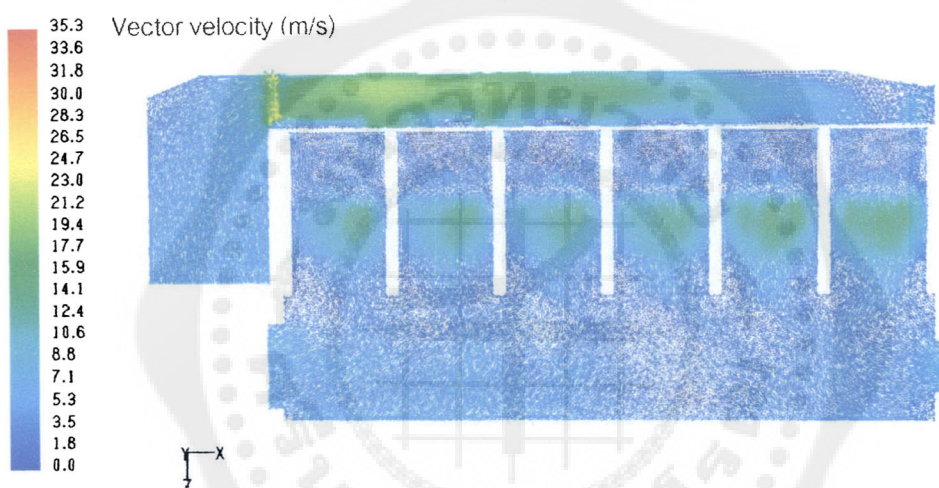
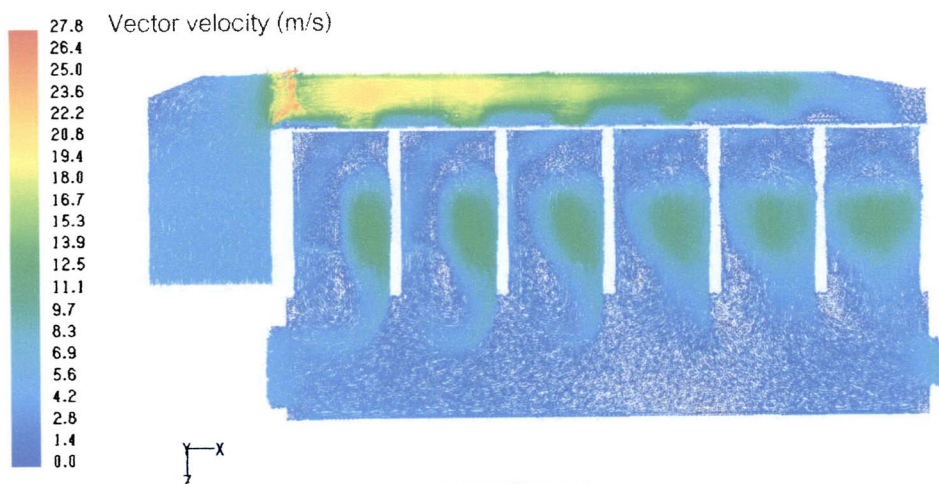


(b) การปรับปรุงแบบที่ 2

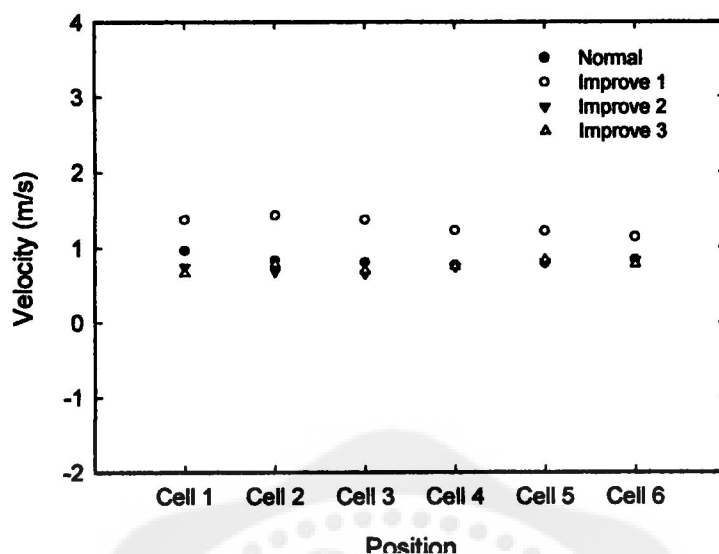


(c) การปรับปรุงแบบที่ 3

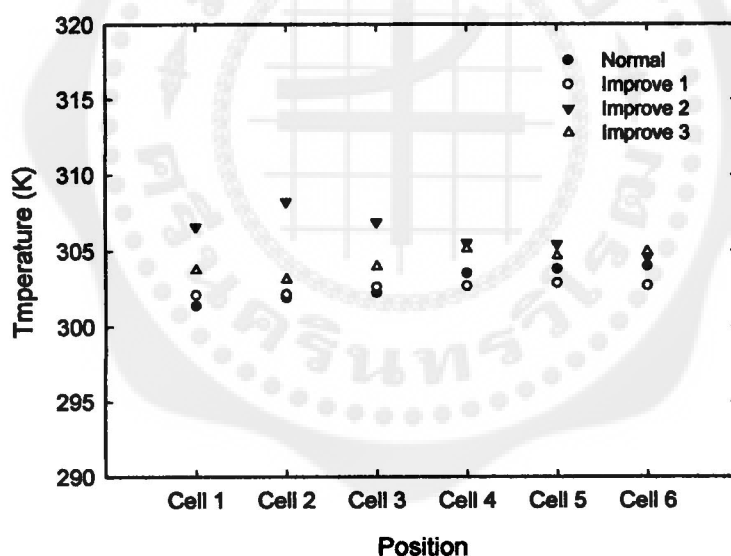
ภาพประกอบ 44 เปรียบเทียบเวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน X
ที่ระยะเท่ากับ 0.405 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ



ภาพประกอบ 45 เปรียบเทียบเวกเตอร์ความเร็วของอากาศที่พื้นหน้าตัดแกน Y
ที่ระยะเท่ากับ -0.045 เมตร ของการปรับปรุงแบบต่างๆ



ภาพประกอบ 46 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของอากาศของการปรับปรุงแบบต่างๆ



ภาพประกอบ 47 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศของการปรับปรุงแบบต่างๆ

ภาพประกอบ 40- 45 แสดงการเปรียบเทียบคอนทัวร์ความเร็วกับอุณหภูมิและเวกเตอร์ความเร็วของอากาศ และภาพประกอบ 47 แสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศของการปรับปรุงแบบต่างๆ หลังจากเปรียบเทียบพบว่า การปรับปรุงแบบที่ 2 โดยการเลื่อนตำแหน่งของตัวบังคับให้อากาศไหลเข้าทางด้านหลังฮาร์ดดิสก์อยู่ตำแหน่งขวาสุด และการปรับปรุงแบบที่ 3 โดยการลดความยาวของตัวบังคับให้อากาศไหลเข้าทางด้านหลังฮาร์ดดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 1-3 เพื่อให้อากาศไหลไปยังฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 4-6 เพิ่มขึ้น ไม่สามารถช่วยเพิ่มความเร็วและลดอุณหภูมิของอากาศได้ แต่การปรับปรุง

แบบที่ 1 โดยการเปิดช่องให้อากาศไหลผ่านด้านบนฮาร์ดดิสก์เพิ่มขึ้น สามารถช่วยเพิ่มความเร็วและลดอุณหภูมิของอากาศได้ และยังมีการกระจายความเร็วและลดอุณหภูมิของอากาศที่สม่ำเสมอตลอดฮาร์ดดิสก์ทั้ง 6 ตัว



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขได้ใช้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจำลองสถานะการไหลแบบไม่คงตัว 3 มิติ ที่ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องจำลองการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้แบบจำลอง $k-\varepsilon$ มีรูปแบบการวางกริดแบบไม่เป็นโครงสร้าง (Unstructured grids) ซึ่งผลที่ได้นำมาเสนอในลักษณะกราฟ และภาพเพื่อใช้ในการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหล ดังที่เสนอในบทที่ 4 ผลที่สามารถสรุปได้ดังนี้

- ความเร็วของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์แต่ละช่องของการทดลองและการทำนาย มีค่าต่ำลงและอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น เมื่ออากาศไหลผ่านช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ที่ใกล้ขึ้น ผลที่ได้จากการทดลองและการทำนายถือว่ามีความสอดคล้องกัน โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2 เปอร์เซ็นต์

- ความเร็วของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านฮาร์ดดิสก์ โดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างต้นลมอันดับสองมาวิเคราะห์ ให้ผลของค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าที่น้อยที่สุด

- คอนทิวรัลความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะห่างระหว่างช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์กับพัดลมเพิ่มขึ้นและเมื่ออากาศไหลต่ำลง โดยในบริเวณที่มีอากาศจากพัดลมไหลผ่านความเร็วมีค่าสูงขึ้น ส่วนในบริเวณที่มีอากาศจากพัดลมไหลผ่านความเร็วมีค่าต่ำลง และความเร็วมีค่าต่ำลงเมื่ออากาศไหลต่ำลง

- คอนทิวรัลการกระจายอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะห่างระหว่างช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์กับพัดลมเพิ่มขึ้นและเมื่ออากาศไหลต่ำลง โดยในบริเวณที่มีอากาศจากพัดลมไหลผ่านอุณหภูมิมีค่าต่ำลง ส่วนในบริเวณที่มีอากาศจากพัดลมไหลผ่านอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น และอุณหภูมิมีค่าสูงเมื่ออากาศไหลต่ำลง

- เวกเตอร์ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะห่างระหว่างช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์กับพัดลมเพิ่มขึ้นและเมื่ออากาศไหลต่ำลง โดยในบริเวณที่มีอากาศจากพัดลมไหลผ่านจะเริ่มเกิดการไหลวนที่ช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 4 ส่วนบริเวณที่ไม่มีอากาศจากพัดลมไหลผ่านจะเริ่มเกิดการไหลวนที่ช่องบรรจุฮาร์ดดิสก์ตัวแรก และการไหลวนจะเกิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และปริมาณเวกเตอร์ความเร็วมีค่าสูงเมื่ออากาศไหลต่ำลง

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าผลจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งทำให้เราทราบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ นับว่าเป็นทางเลือกที่ดีอีกอย่างหนึ่งเพราะจะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการออกแบบเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ การจำลองสภาวะการไหลแบบปั่นป่วนแบบไม่คงตัว 3 มิติ ภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ นั้นสามารถศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งจัดว่า เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการออกแบบ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การวิจัยมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้วิจัยได้จัดทำข้อเสนอแนะขึ้นเพื่อเป็นแนวทางต่อไปสำหรับงานวิจัยในอนาคต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- อาจเพิ่มขนาดของพัดลมทางเข้าเพื่อเพิ่มความเร็วอากาศทางเข้า
- อาจติดตั้งพัดลมดูดอากาศเข้าที่ด้านหน้าของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
- อาจติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่บริเวณทางออกด้านข้างของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
- อาจเปลี่ยนขนาดและรูปร่างตัวบังคับทิศทางการไหลของอากาศด้านหลังฮาร์ดดิสก์
- อาจเปลี่ยนขนาดและรูปร่างตัวบังคับทิศทางการไหลของอากาศด้านบนฮาร์ดดิสก์
- อาจลดอุณหภูมิทางเข้าของอากาศด้านหน้าของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์
- อาจเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมความเร็วภายในเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. (2535). *การถ่ายเทความร้อน*. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2542). *การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์*. วฟ. วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ.
- H.K. Versteeg; & W. Malalasekara. (1995). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*. 2nd ed. Longman, UK. pp. 41-48.
- P. Verboven; N. Scheerlinck; J. Baerdemaeker; & M. Nicola. (2000). Computational Fluid Dynamics modeling and validation of the isothermal air flow in a forced convection oven. In *Journal of Food Engineering*. V.43. pp. 41-53.
- C. Joseph; Lama; & L.S. Chanb. (2000) CFD analysis and energy simulation of a gymnasium. In *Building and Environment*. V.36. pp. 351-358.
- G.Carrilho; Q.Chen; L.R.Glicksman; & L.K.Norford. (2002). Simulation of wind-driven ventilative cooling systems for an apartment building in Beijing and Shanghai. In *Energy and Buildings*. V.34. pp.1-11.
- H. Song; M. Damodaran; & Y. Ng. Quock. (2003). Simulation of Flow Field and Particle Trajectories in Hard Disk Drive Enclosures. In *A thesis Singapore-Massachusetts Institute of Technology Alliance (SMA)*.
- V. Eveloy; P. Rodgers; & M.S.J. Hashmic. (2004). Application of numerical analysis to the optimization of electronic component reliability screening and assembly processes. In *Journal of Materials Processing Technology*. V.155–156. pp.1788–1796.
- E. Ozturk. (2004). CFD Analysis of heat sinks for CPU cooling with FLUENT. In *A thesis y. submitted to the Graduate school of Natural and Applied Science of Middle East technical university*.
- H.H. Cho; C.H. Won; D.H. Rhee; & S.K. Hong. (2004). Local Heat Transfer Characteristics in HDD with Ventilation Hub. In *A thesis Yonsei University Seoul Korea*.
- Z. Lin; T.T. Chow; C.F. Tsang; K.F. Fong; & L.S. Chan. (2005). CFD study on effect of the air supply location on the performance of the displacement ventilation system. In *Building and Environment*. V.40. pp.1051–1067.

- Kulkarni; & D. K. Das. (2005). Analytical and numerical studies on micro scale heat sinks for electronic applications. In *Applied Thermal Engineering*. V.25. pp. 2432–2449.
- S.A. Khaoua; P.E. Bourmet; C. Migeon; T. Boulard; & G. Chasse riaux. (2006). Analysis of Greenhouse Ventilation Efficiency based on Computational Fluid Dynamics. In *Biosystems Engineering*. V.95. pp. 83–98.
- Q. Zou; L.U. Opara b; & R. McKibbin. (2006). A CFD modeling system for air flow and heat transfer in ventilated packaging for fresh foods. In *Journal of Food Engineering*. V.77. pp.1048–1058.
- M.A. Suriadi; C.S. Tan; Q.D. Zhang; T.H. Yip; & K. Sundaravadivelu. (2006). Numerical investigation of airflow inside a 1-in hard disk drive. In *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. V.303. pp. 124–127.
- C.G. Montesá; E.S. Rojasa; A. S. Kaiserb; & A. Viedma. (2007). Numerical model and validation experiments of atrium enclosure fire in a new fire test facility. In *Building and Environment*.
- Y. S. Tseng; H.H. Fu; T.C. Hung; & B.S. Pei. (2007). An optimal parametric design to improve chip cooling. In *Applied Thermal Engineering*. V.27. pp.1823–1831.
- R. Kandasamy; & A.S. Mujumdar. (2008). Thermal analysis of a flip chip ceramic ball grid array (CBGA) package. In *Microelectronics Reliability*. V.48. pp. 261–273.
- C. Mendez; J.F. San Jose; & J.M. Villafruela. (2008). Optimization of a hospital room by means of CFD for more efficient ventilation. In *Energy and Buildings*. V.40. pp. 849–854.



อภิธานศัพท์

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน, m^2 .
C_p	=	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, $J/kg.K$
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของไหลที่เกิดจากการไหลผ่าน, m .
E	=	สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Equation)
f	=	สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน
g	=	ความเร่งอันเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, m/s^2
h	=	สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน, $W/m^2.^{\circ}C$
I	=	ค่าความเข้มของการปั่นป่วน (Turbulence intensity)
K	=	พลังงานที่เกิดจากการปั่นป่วนของการไหล
k	=	ค่าการนำความร้อน, $W/m.K$
L	=	ค่าคุณลักษณะความยาว (Characteristic length)
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของมวลของของไหล, kg/s
Nu	=	ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ (Nusselt number)
Pr	=	ตัวเลขพรานด์เติล (Prandtl number)
Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่, W/m^2
$\dot{q}$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยปริมาตร, W/m^3
Re	=	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Raynolds number)
T	=	อุณหภูมิ, $^{\circ}C$
$\dot{V}$	=	ปริมาตรอัตราการไหลของอากาศ, m^3/s

สัญลักษณ์ภาษากรีก

u_∞	=	ความเร็วฟรีสตรีม, m/s
v	=	ความหนืดจลน์ศาสตร์, m^2/s
μ	=	ความหนืดพลศาสตร์, kg/ms
ρ	=	ความหนาแน่น, kg/m^3
ε	=	การกระจายของพลังงานที่เกิดขึ้น
Δ	=	ค่าการเปลี่ยนแปลง
η	=	ประสิทธิภาพ
∞	=	ตัวแปรการไหลของอากาศ





ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายสิทธิศักดิ์ รัชนิกร
วันเดือนปีเกิด	9 กุมภาพันธ์ 2525
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	57 หมู่ 1 ต.บางบาล อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา 13250
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร 2
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท โซนี่ เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ศูนย์จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2539	มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสาธิตสถาบันราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
พ.ศ.2541	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสาธิตสถาบันราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
พ.ศ.2546	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ.2551	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ