



วิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
กรณีศึกษาสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

An Analysis of Heat Transfer in Nuclear Reactor Pool
A Case Study for Research Reactor at Office of Atoms for Peace

นายสุทธิพงษ์ บุญมาก

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
กรณีศึกษาสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

An Analysis of Heat Transfer in Nuclear Reactor Pool

A Case Study for Research Reactor at Office of Atoms for Peace

โดย

นายสุทธิพงษ์ บุญมาก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย
สาขา

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
กรณีศึกษาสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

An Analysis of Heat Transfer in Nuclear Reactor pool

A Case Study for Research Reactor at Office of Atoms for Peace

นามผู้วิจัย นายสุทธิพงษ์ บุญมาก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ
(..... รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ, Ph.D.)

กรรมการ
(..... อาจารย์อภิชิต แจ่มบำรุง, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา
(..... อาจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(..... รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบพระคุณ อาจารย์อภิชิต แฉ่งบำรุง กรรมการที่ปรึกษา และอาจารย์เสรี เสวตเสรณี กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณศิริพล เชื้ออินตะ ผอ.โครงการปฏิบัติการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ที่อนุญาตให้ใช้ข้อมูลเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในการทำการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณมงคล จุลละนันท์ อดีตหัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ฯ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนนิสิตวิศวกรรมความปลอดภัย ภาคพิเศษ รุ่น 4 และเพื่อนร่วมงาน ในงานจัดการเครื่องปฏิกรณ์ทุกท่าน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อและให้กำลังใจในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภรรยาที่ให้การสนับสนุน ผลักดันและให้กำลังใจยามท้อแท้ในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงได้

สุทธิพงษ์ บุญมาก
พฤษภาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย	4
ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล	14
ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	19
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	22
หอระบายความร้อน	24
การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล	29
โปรแกรมช่วยการคำนวณและวิเคราะห์	32
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการวิจัย	37
สมมติฐานการวิจัย	38
ผลและวิจารณ์	40
หลักการทำงานของระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย	40
การวิเคราะห์ผลการคำนวณระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย	46
วิเคราะห์การระบายความร้อนป้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยด้วย CFD	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
สรุปผลการวิจัย	67
ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1	71
ภาคผนวก ข ประเภทของเครื่องถ่ายเทความร้อน	73
ภาคผนวก ค ประเภทของหอระบายความร้อน	78
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การกำหนดเงื่อนไขและข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์	51
2	แสดงการเปรียบเทียบผลจาก CFD กับค่าที่วัดจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์จริง	56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ของ U-235	6
2	บ่อปฏิกรณ์ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1	8
3	แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1	9
4	แสดงกราฟความหนืดของของไหล	15
5	การแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศที่ผ่านหอระบายความร้อนโดยไดอะแกรม Psychometric chart	26
6	ช่วงอุณหภูมิเรนจ์และแอปโพรช	28
7	ระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1	40
8	แสดงรายละเอียดการระบายความร้อนบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยปัจจุบัน	49
9	แบบจำลองบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยที่ใช้ในการศึกษา	50
10	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวตั้งบ่อที่อัตราการไหล 1000 GPM	53
11	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวนอนระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อ ที่อัตราการไหล 1000 GPM	54
12	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร ตำแหน่งครึ่งบ่อ และ 8 เมตร ตำแหน่งปากบ่อที่อัตราการไหล 1000 GPM	54
13	แสดงการกระจายตัวของน้ำภายในบ่อ ที่อัตราการไหล 1000 GPM	55
14	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบที่อัตราการไหล 1000 GPM	55
15	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวตั้งบ่อ ที่อัตราการไหล 700 GPM	57
16	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวนอนระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อ ที่อัตราการไหล 700 GPM	58
17	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร ตำแหน่งครึ่งบ่อ และ 8 เมตร ตำแหน่งปากบ่อที่อัตราการไหล 700 GPM	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	แสดงการกระจายตัวของน้ำภายในบ่อ ที่อัตราการไหล 700 GPM	59
19	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ ที่อัตราการไหล 700 GPM	59
20	แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow	60
21	แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow มองจากด้านบน	61
22	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวาง ตามแนวตั้งบ่อ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow	61
23	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวาง ตามแนวนอนที่ระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อ เมื่อมีการปรับย้าย ตำแหน่ง Inlet Flow	62
24	แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดแนวนอน ที่ระยะ 4 เมตร ตำแหน่งครึ่งบ่อ และ 8 เมตร ตำแหน่งปากบ่อ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow	63
25	แสดงการกระจายตัวของน้ำภายในบ่อ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow	63
26	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow	64
ภาพผนวกที่		
ข1	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหลตามระยะทางของการไหล	74
ข2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบไหลสวนทาง	75
ข3	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก	76
ค1	หอระบายความร้อนชนิดระบายอากาศตามธรรมชาติ	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค2	หอระบายความร้อนแบบปล่อยไฟ	80
ค3	หอระบายความร้อนชนิดเป่าอากาศเข้าสวนทางกับน้ำ	82
ค4	หอระบายความร้อนชนิดเป่าอากาศจากล่างขึ้นบน	83
ค5	หอระบายความร้อนแบบดูดอากาศออก	84

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

CFD	การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics)
$^{\circ}\text{C}$	หน่วยของความร้อน องศาเซลเซียส
$^{\circ}\text{F}$	หน่วยของความร้อน องศาฟาเรนไฮต์
K	หน่วยของความร้อน องศาสมบูรณ์เคลวิน
R	ค่าคงตัวของก๊าซ ($\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$)
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (กิโลจูล/วินาที)
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม-เคลวิน)
ρ	ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ΔT	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (เคลวิน)
ΔP	การเปลี่ยนแปลงความดัน (นิวตัน/ตารางเมตร)
τ	ความเค้นเฉือน (นิวตัน/ตารางเมตร)
F	แรงเฉือน (นิวตัน)
μ	สัมประสิทธิ์ของความหนืด
ν	ความหนืดจลนศาสตร์ของของไหล (Kinematic Viscosity) ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)
U	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
R_e	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (ไร้มิติ)
u_{∞}	ความเร็วของกระแสอิสระ (m/s)
L	ความหนาของตัวกลางตามทิศทางการไหล (เมตร)
C_a	ค่าคาวิตีเทชันนัมเบอร์ (ไร้มิติ)
P_v	ความดันสมบูรณ์ (นิวตัน/ตารางเมตร)
Q_x	อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง (วัตต์)
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (วัตต์/ตารางเมตร-เคลวิน)
A_s	พื้นที่ผิวของแข็ง (ตารางเมตร)
$Q_{\text{conv}, x} =$	อัตราการพาความร้อน (วัตต์)
T_s	อุณหภูมิที่ผิวของแข็ง (เคลวิน)
T_f	อุณหภูมิของไหลที่ไหลผ่านผิวของแข็ง (เคลวิน)
Q_{rad}	อัตราการแผ่รังสีความร้อน (เคลวิน)

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

ε	ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของพื้นผิว (Emissivity)
σ	ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ = 5.67×10^{-8} (W/m. ² K ⁴)
T_{sur}	อุณหภูมิผิวของสิ่งแวดล้อมโดยรวม (เคลวิน)
LOAD	ความสามารถในการทำความเย็น (กิโลแคลลอรี)
W	อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อชั่วโมง)
ΔT	เรนจ์หรือช่วงการทำความเย็น (องศาเซลเซียส)
NWB	อุณหภูมิที่อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกตามธรรมชาติ (Natural Wet Bulb Temperature) วัดเป็นองศาเซลเซียส
R	ค่าความร้อนเกิดขึ้นจากการแผ่รังสี (Radiative Heat)
C	ค่าความร้อนเกิดขึ้นจากการพา (Convective Heat)
m/s	หน่วยความเร็ว (เมตรต่อวินาที)
Q	การเคลื่อนที่ของความร้อนอย่างสม่ำเสมอ, W
k	ความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity of Material), W/mK
A	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับความร้อนที่เคลื่อนที่ผ่าน, m ²
T	ค่าอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ, K
X	ความหนาของผนังที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m

**การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
กรณีศึกษาสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ**

**An Analysis of Heat Transfer in Nuclear Reactor Pool
A Case Study for Research Reactor at Office of Atoms for Peace**

คำนำ

ในปี พ.ศ. 2505 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันตินำเอาเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปว.-1/1 มาใช้ประโยชน์จากนิวเคลียร์เป็นครั้งแรก การใช้งานนั้นมุ่งหมายเพื่อให้เป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบเอนกประสงค์ ที่ใช้สำหรับการฝึกหัดการวิเคราะห์ วิจัย และผลิตสารกัมมันตรังสี แท่งเชื้อเพลิงเป็นของผสมระหว่างเนื้อเชื้อเพลิงนิวเคลียร์กับธาตุหน่วงนิวตรอน (Moderator) ซึ่งใช้ยูเรเนียมเป็นเชื้อเพลิง และไฮโดรเจนอยู่ในรูปสารประกอบเซอร์โคเนียมไฮไดรด์ (Zirconium hydride) เป็นธาตุหน่วงนิวตรอนอัดแน่นเป็นแท่งอยู่ภายในโลหะรูปทรงกระบอกที่ทำด้วยสแตนเลสสตีลเบอร์ 304 (Stainless Steel No. 304) ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนและทนต่ออุณหภูมิสูง ๆ ได้ดี นอกจากนี้ยังมีแท่งควบคุมที่ประกอบด้วยเชื้อเพลิงนิวเคลียร์กับธาตุหน่วงนิวตรอนอยู่ส่วนล่างของแท่งควบคุม แท่งเชื้อเพลิงและแท่งควบคุมประกอบอยู่ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Core) แห่อยู่ในน้ำ น้ำนั้นนอกจากจะทำหน้าที่ลดพลังงานของนิวตรอน (Slow down) แล้ว ยังทำหน้าที่สะท้อนนิวตรอน (Reflector) และระบายความร้อน (Coolant) ให้กับเครื่องปฏิกรณ์อีกด้วยจึงจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยให้มีความเหมาะสมถูกต้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ในขณะเดียวกันก็ต้องมีความพอเพียงเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

แต่ทั้งนี้ ด้วยสภาพการใช้งานที่ผ่านมากกว่า 40 ปี ระบบระบายความร้อนอาจมีการเสื่อมสภาพตามการใช้งาน รวมถึงอาจขาดการดูแล บำรุงรักษาที่ดีเพียงพอ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์ความพอเพียงของระบบระบายความร้อนเพื่อป้องกันมิให้เกิดอันตรายต่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ อันอาจนำไปสู่อุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ในอนาคต อีกทั้งป้องกันอันตรายแก่ผู้ดำเนินการควบคุมการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ผู้ใช้ประโยชน์และผู้ปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียง

ข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย มีอยู่ว่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อปฏิกรณ์ (Bulk Water Temperature) ในระหว่างที่มีการเดินเครื่องปฏิกรณ์จะต้องไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส ถ้าเกินจากที่กำหนดจะต้องหยุดการเดินเครื่องปฏิกรณ์โดยทันที เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องปฏิกรณ์

ดังนั้นประเด็นหลักสำหรับการวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ณ. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เพื่อให้ทราบถึงแนวคิด หลักการและทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบระบายความร้อน รวมถึงปัจจัยภายนอกและตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบ เช่น อุณหภูมิของอากาศภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ฯ ความเร็วของน้ำที่ใช้ระบายความร้อน รวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องถ่ายเทความร้อน และหอระบายความร้อน เป็นต้น โดยนำมาทำการคำนวณค่าตามทฤษฎีและเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการใช้งานจริงในปัจจุบัน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้มีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาร่วมวิเคราะห์แบบจำลองระบบระบายความร้อนดังกล่าว เพื่อเป็นการยืนยันว่าระบบระบายความร้อนมีความพอเพียง เหมาะสมแก่สภาพการใช้งานในปัจจุบัน และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยและตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการระบายความร้อนของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย
2. เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของระบบในปัจจุบัน หรือเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจถึงภาพรวมของระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบมีความสำคัญและทำงานเกี่ยวเนื่องกันอย่างไร อุปกรณ์ใดบ้างต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือต้องปรับปรุงเพิ่มเติม รวมถึงการจัดทำตารางการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมสำหรับระบบอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยของระบบระบายความร้อนซึ่งจะทำให้สามารถแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของความปลอดภัยได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

2. เป็นแนวทางการจัดทำงบประมาณในการปรับปรุงที่สมเหตุสมผลและได้ประโยชน์สูงสุด อันจะช่วยยกระดับความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์ฯ โดยรวม และลดค่าความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุทางรังสี ให้อยู่ในระดับที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ

3. สามารถนำแนวความคิดที่ได้จากการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้งาน ในการศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสม พอเพียงของระบบระบายความร้อนในสถานประกอบการอื่น ๆ ได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

2. ข้อมูลด้านปัจจัยต่างๆ เป็นไปตามการออกแบบตั้งแต่เบื้องต้น การเลือกอุณหภูมิแวดล้อมของโครงการต้นแบบเป็นไปตามค่าจากสถานะปัจจุบัน

3. การวิจัยใช้การวิเคราะห์จากผลการคำนวณตามทฤษฎี รวมทั้งการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Solid Works 2004 และ โปรแกรมวิเคราะห์ Cosmos Flowworks 2004 ช่วยแสดงผลของอุณหภูมิที่กระจายจากแหล่งกำเนิดความร้อน (แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ) ผู้สิ่งแวดล้อมต่างๆภายในบ่อ

การตรวจเอกสาร

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ได้ทำการวิจัยโดยอาศัยข้อมูล แนวคิด และทฤษฎี เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และปรับปรุงงานวิจัย ที่ได้รวบรวมไว้ดังต่อไปนี้

1. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (Research Reactor)
2. ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล
3. ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)
5. หอระบายความร้อน (Cooling Tower)
6. หลักการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD)
7. โปรแกรมช่วยการคำนวณ และวิเคราะห์
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

ความหมาย หรือนิยามของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย คืออะไร สมาคมมาตรฐานอเมริกัน (American Standards Association) ให้คำจำกัดความซึ่งผู้ใช้ส่วนใหญ่ยอมรับไว้ดังนี้ คือ

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย คือ สิ่งประดิษฐ์ซึ่งถูกออกแบบเพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดของนิวตรอนและ/หรือรังสีแกมมา สำหรับงานวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์มูลฐานและฟิสิกส์ประยุกต์ ชีววิทยา เคมีช่วยในการตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นจากรังสีต่อวัสดุต่างๆ เป็นต้น

คุณลักษณะที่เด่นของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยก็คือ มีท่อส่งนิวตรอนหลายท่อที่ถูกติดตั้งไว้ใกล้แกนเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะนำนิวตรอนและรังสีแกมมาออกมาจากแกน เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังใช้เครื่องปฏิกรณ์ในการผลิตไอโซโทปบางชนิดอีกด้วย”

จากคำจำกัดความดังกล่าวจะเห็นว่าเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย มีลักษณะแตกต่างจากเครื่องปฏิกรณ์กำลัง (Power Reactor) อย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ เครื่องปฏิกรณ์กำลังจะนำเอาพลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชชันมาใช้ประโยชน์และทิ้งกัมมันตภาพรังสีออกไป ส่วนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยจะใช้ประโยชน์จากผลผลิตของปฏิกิริยาฟิชชันเป็นหลัก ซึ่งก็คือกัมมันตภาพรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอนุภาคนิวตรอนและระบายความร้อนทิ้งออกไป

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยก็คือ ค่า “ฟลักซ์” (Flux) ฟลักซ์ คือ การวัดความเข้มของนิวตรอน สามารถให้คำจำกัดความได้ว่า คือ จำนวนนิวตรอนที่วิ่งผ่านลงบนพื้นที่ซึ่งมีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ในเวลา 1 วินาที (นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที) นิวตรอนฟลักซ์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเฉพาะจำนวนนิวตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา แต่ยังขึ้นอยู่กับความเร็วของนิวตรอนเหล่านั้นด้วย

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบันจะมีค่านิวตรอนฟลักซ์ ประมาณ 10^{12} n/cm²-sec บางเครื่องอาจมีค่าฟลักซ์สูงมากกว่า 5×10^{14} n/cm²-sec

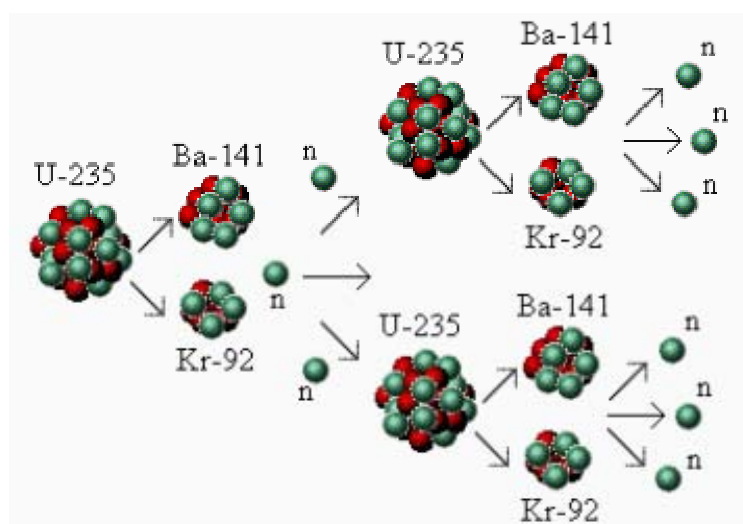
เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มมีเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อทำการวิจัยเป็นครั้งแรก ณ.สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เมื่อปี พ.ศ.2505 มีชื่อเป็นทางการว่า “เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1” หรือ “ปปว-1” มีขนาดกำลังเครื่อง 1 เมกกะวัตต์ความร้อน ต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2520 ได้ทำการเปลี่ยนแปลงแกนเครื่องปฏิกรณ์ใหม่ มีขนาดกำลังเครื่อง 2 เมกกะวัตต์ความร้อน จึงมีชื่อใหม่ว่า “เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1)” หรือชื่อสากลว่า “TRR-1/M1” ซึ่งย่อมาจาก “Thai Research Reactor -1/ Modification 1”

ปปว-1/1 เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ปัจจุบันใช้สนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้กับหน่วยงานต่างๆ มากกว่า 40 ปี เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูทำงานเป็นระบบที่ประกอบขึ้นเพื่อควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) เช่น ระบบระบายความร้อน ระบบป้องกันอันตรายจากรังสี เป็นต้น การผลิตนิวตรอนจากหลักการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และการควบคุมปฏิกิริยานี้จึงเป็นที่มาของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (Nuclear Research Reactor)

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปว-1/1 เป็นแบบบ่อน้ำ (Pool type reactor) มีแกนปฏิกรณ์ (Reactor Core) ทรงกระบอกที่ทำจาก aluminum ซึ่งโครงสร้างของแกนปฏิกรณ์แขวนติดอยู่กับ สะพานเหล็กที่อยู่เหนือบ่อปฏิกรณ์ ใช้แท่งเชื้อเพลิงที่มีลักษณะแท่งทรงกลม (Rod type) จำนวน 109 แท่งโดยเนื้อเชื้อเพลิงเป็นชนิด Uranium Zirconium Hydride (UZrH) ชนิดความเข้มข้น ยูเรเนียมต่ำ (Low enrich uranium, 20% U235) บรรจุอยู่ในเปลือกหุ้มแท่งเชื้อเพลิง (Fuel cladding) ที่ทำจากโลหะ stainless steel เบอร์ 304 (SS304) และมีระบบควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในสภาวะ ที่ต้องการ โดยมีแท่งควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Control Rod) ของเครื่องปฏิกรณ์ทำหน้าที่ดังกล่าว จำนวน 5 แท่ง ภายในบรรจุสาร Boron carbide (B4C) ที่มีคุณสมบัติดูดจับนิวตรอนที่ดี

หลักการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู คือ เมื่อยูเรเนียม 235 ที่อยู่ในเนื้อเชื้อเพลิง ได้ถูก ทำให้แตกตัวด้วยนิวตรอนที่มาจากแหล่งต้นกำเนิดนิวตรอน (Neutron source) ก็จะทำให้เกิด ปฏิกิริยาการแตกตัวของ U-235 ที่จะให้พลังงานความร้อนและนิวตรอนอีกจำนวนหนึ่งออกมา ดังภาพที่ 1 ส่วน U-235 หลังจากการเกิดปฏิกิริยาสิ้นสุดลงก็จะกลายสภาพเป็นผลิตภัณฑ์จาก ปฏิกิริยาการแตกตัว ที่เรียกว่า Fission product และนิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ในครั้งแรก ก็จะวิ่งไปกระทบกับ U-235 ที่อยู่ใกล้เคียงทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ต่อไปเรื่อยๆ และในการเดินเครื่องปฏิกรณ์จะควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์นี้ โดยใช้แท่งควบคุมในการดูดจับ นิวตรอนที่เกิดขึ้นให้มีจำนวนเท่าที่เราต้องการ เนื่องจากระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์จะแปรผัน ตามจำนวนความเข้มข้นของนิวตรอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Neutron flux)



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ของ U-235

ระบบต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

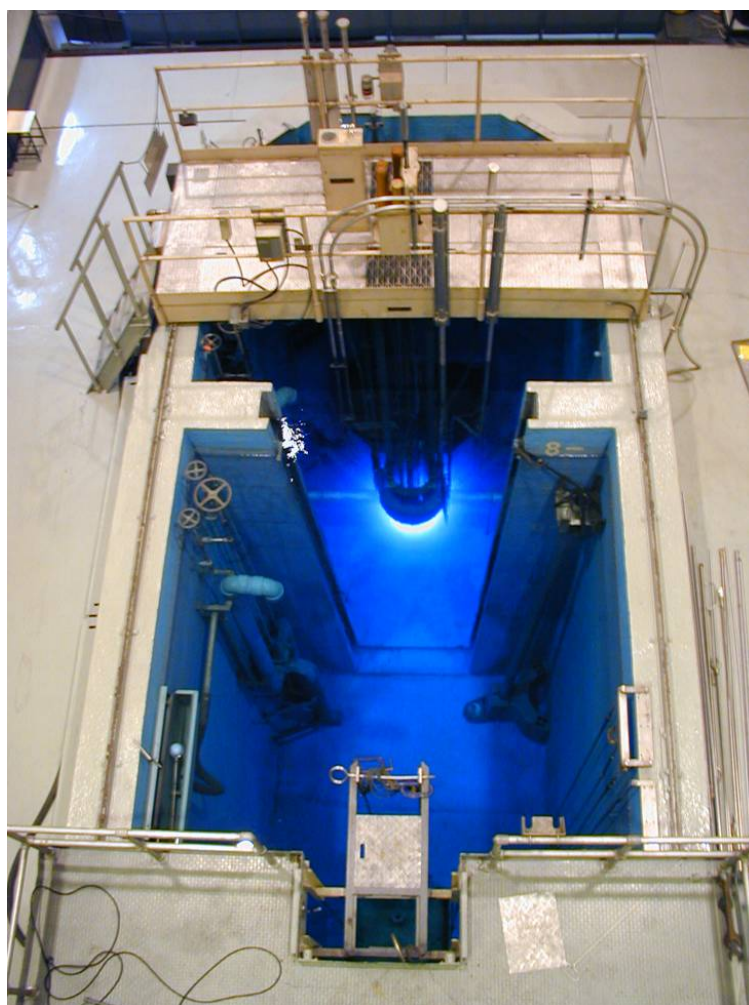
เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ประกอบไปด้วยระบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. อาคารเครื่องปฏิกรณ์และระบบหมุนเวียนอากาศ

อาคารเครื่องปฏิกรณ์เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนาแน่นเป็นพิเศษ สูง 5 ชั้น ภายในติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย บ่อปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ใช้พื้นที่ตั้งแต่ชั้น 1 ถึง ชั้น 4 รวมถึงห้องทำงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์ฯ พื้นที่บริเวณภายในที่ตั้งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ทั้งหมด เรียกว่า บริเวณกักอากาศ (Gas Tight Area) และในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว จำเป็นต้องมีการจัดระบบอากาศเข้าและออกภายในบริเวณกักอากาศอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพื่อให้การระบายอากาศออกสู่บรรยากาศภายนอกอาคารปฏิกรณ์ฯ ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัยสูงสุดตามมาตรฐานสากล

2. บ่อปฏิกรณ์และการกำบังรังสี

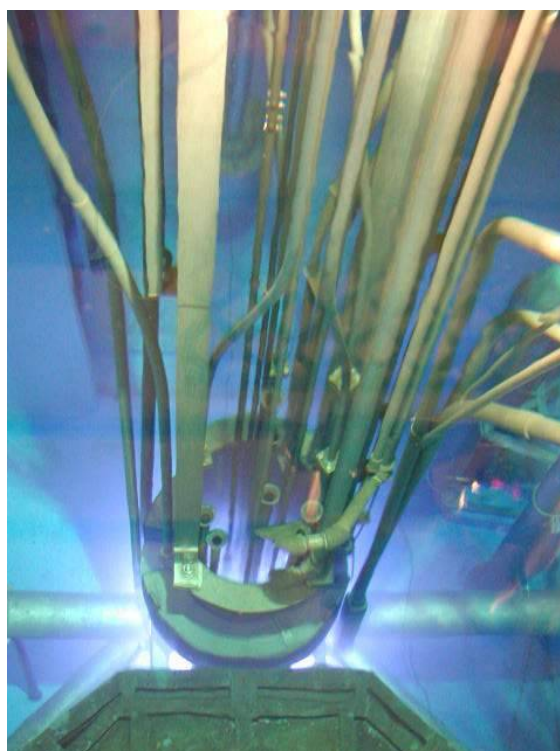
บ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ผนังด้านข้างของบ่อจะมีท่อนสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ซึ่งเป็นท่อของระบบระบายความร้อนฝังทะลุผ่านด้านข้างของบ่อ ส่วนผนังบ่อเป็นผนังคอนกรีตชนิดความหนาแน่นสูง (High density concrete) ที่มีความหนาแน่น 3.5 gm/cm^3 ส่วนบนสุดของบ่อหนา 1.5 ฟุต และจะเพิ่มความหนาเป็นชั้นๆ ชั้นละ 1 ฟุต ตามระดับความสูง ชั้นล่างสุดจะมีความหนามากที่สุดคือ 4.5 ฟุต ขนาดของบ่อปฏิกรณ์โดยประมาณ กว้าง 3.5 เมตร ยาว 12 เมตร ลึก 8.5 เมตร สามารถบรรจุน้ำได้ประมาณ 64,800 แกลลอน (หรือประมาณ 245 ลูกบาศก์เมตร)



ภาพที่ 2 บ่อปฏิกรณ์ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

3. แกนปฏิกรณ์และส่วนประกอบ

การจัดเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์จะมีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal array) แกนเครื่องปฏิกรณ์จะบรรจุอยู่ในถังอลูมิเนียมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 55 เซนติเมตร สูงประมาณ 2 เมตร ภายในแท่งเชื้อเพลิงจะบรรจุอยู่ในลักษณะตั้งตรง ส่วนบนและส่วนล่างของแท่งเชื้อเพลิงเป็น Graphite reflector ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนนิวตรอนให้กลับเข้ามาทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงภายในแกน โดยแกนปฏิกรณ์และอุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่ใต้น้ำที่มีคุณสมบัติกำบังรังสีที่ดี



ภาพที่ 3 แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

4. ระบบระบายความร้อน

เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู คือ การใช้ประโยชน์จากนิวตรอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ได้จึงต้องมีการระบายออกจากแกนปฏิกรณ์ โดยใช้ระบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) มีหลักการทำงาน คือ น้ำที่อยู่ในแกนปฏิกรณ์เมื่อได้รับความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ก็จะลอยสูงขึ้น และน้ำเย็นที่อยู่เบื้องล่างก็จะลอยขึ้นมาแทนที่ เมื่อน้ำร้อนลอยตัวขึ้นมาก็จะถูกดูดออกไปด้วยเครื่องสูบน้ำ (ระบบปฐมภูมิ) ด้วยอัตราการไหลประมาณ 1,050 แกลลอนต่อนาที ส่งผ่านไปที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ส่วนความร้อนที่เพิ่มขึ้นของน้ำในระบบทุติยภูมิ (Secondary) ก็จะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ ที่บริเวณหอระบายความร้อน (Cooling tower)

ระบบควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย

ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ถ้าเกิดกรณีฉุกเฉินที่จะก่อให้เกิดอันตรายได้ เครื่องปฏิกรณ์ฯ จะดับโดยอัตโนมัติโดยแท่งควบคุมจะตกลงไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำให้ปฏิกิริยาถูกโซ่ลดลง และหยุดในที่สุดเรียกว่า เครื่องปฏิกรณ์ SCRAM เมื่อเกิดกรณีต่อไปนี้

1. อุณหภูมิแท่งเชื้อเพลิงเกินกว่า 600 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิจุดหลอมเหลววัสดุหุ้มแท่งเชื้อเพลิง ประมาณ 1200 องศาเซลเซียส)
2. กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ มากเกินกว่า 110 เปอร์เซนต์ คือ 2.2 เมกกะวัตต์
3. เมื่อกระแสไฟฟ้าของระบบควบคุมขัดข้อง

นอกจากนั้นแล้วยังมีระบบ Interlock ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถเพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ อย่างต่อเนื่องได้ เช่น ในกรณีการเพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ เร็วเกินไปหรือในกรณีที่ดึงแท่งควบคุมขึ้นพร้อมกันตั้งแต่ 2 แท่งขึ้นไป เป็นต้น

เพื่อให้เครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำงานได้อย่างปลอดภัยขณะทำการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ น้ำในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ จำเป็นต้องดูแลรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้อย่างสม่ำเสมอ ข้อกำหนดมาตรฐานของน้ำในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ มีดังนี้

1. ความนำไฟฟ้า (Conductivity) ไม่เกิน 2 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร
2. อุณหภูมิของน้ำในบ่อไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
3. ค่าความเป็นกรดค่า (PH) ของน้ำในบ่อ ประมาณ 5.5-6.0
4. ระดับน้ำในบ่อควรอยู่ระหว่าง 7.85-8.00 เมตร

ระบบรักษาความปลอดภัยให้กับเครื่องปฏิกรณ์ฯ อีกชุดก็คือ ระบบหล่อเย็นแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน (Emergency Core Cooling System) ทำหน้าที่ ระบายความร้อนออกจากเชื้อเพลิง ในกรณีที่สูญเสีย น้ำในบ่อปฏิกรณ์ซึ่งเป็นระบบหล่อเย็นปกติ

ระบบหล่อเย็นแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน จะเริ่มทำงานอัตโนมัติเมื่อน้ำในบ่อปฏิกรณ์ลดลง 16 ฟุตจากระดับปกติหลังจากเครื่องปฏิกรณ์ดับอัตโนมัติ โดยระบบจะฉีดน้ำเข้าไปในบ่อปฏิกรณ์ทางด้านบนของแกนปฏิกรณ์ด้วยอัตรา 20 แกลลอนต่อนาที จนกว่าอุณหภูมิของเชื้อเพลิงจะลดลงเหลือต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส

การซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 เริ่มติดตั้งใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 และได้ใช้งานมาจนถึงทุกวันนี้ ปัจจุบันเครื่องปฏิกรณ์ทำงานอยู่ที่ระดับกำลัง 1.2 เมกะวัตต์ความร้อน เดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ สัปดาห์ละ 46 ชั่วโมง ตลอดเวลาที่ใช้งานนอกจากต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ อย่างเคร่งครัดแล้วจำเป็นต้องมีการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเพื่อให้เครื่องปฏิกรณ์ฯ สามารถทำงานตามความต้องการได้อย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

การซ่อมบำรุงเครื่องปฏิกรณ์ฯ แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. ซ่อมบำรุงประจำสัปดาห์

การซ่อมบำรุงประจำสัปดาห์นั้นปกติจะกระทำทุกวันจันทร์ก่อนการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ในแต่ละสัปดาห์ ส่วนใหญ่จะเน้นตรวจสอบอุปกรณ์สนับสนุนในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ เป็นหลัก ดังนี้

1.1 ระบบระบายความร้อน เป็นการตรวจดูการรั่วไหลของท่อและวาล์วน้ำต่างๆ ล้างทำความสะอาดห่อระบายความร้อน ตรวจสอบระดับน้ำในบ่อปฏิกรณ์ เป็นต้น

1.2 ระบบระบายอากาศ เป็นการตรวจดูการรั่วไหลของท่อลมต่างๆ ระบบกรองอากาศ ตรวจสอบการทำงานของปั๊มลม เป็นต้น

2. ซ่อมบำรุงประจำปี (Yearly Maintenance)

การซ่อมบำรุงประจำปี จะดำเนินงานในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กลางเดือนมีนาคม ของทุกปี ใช้ระยะเวลาประมาณ 6 สัปดาห์ โดยจะทำการตรวจสอบและซ่อมแซมอุปกรณ์ทุกระบบ ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับตัวเครื่องปฏิกรณ์โดยตรง และในส่วนอุปกรณ์สนับสนุนการเดินเครื่องปฏิกรณ์ ดังนี้

2.1 ระบบไฟฟ้า เป็นการปฏิบัติงานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า หม้อแปลงและมอเตอร์ของระบบต่าง ๆ ที่เป็นระบบหลักในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบต่างเพื่อให้เครื่องปฏิกรณ์ฯ

2.2 ระบบวัดและควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ฯ เป็นการปฏิบัติงานเกี่ยวกับระบบวัดและควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ฯ รวมถึงระบบวัดและควบคุมอื่นๆ ในห้องควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ฯ ประกอบไปด้วยการตรวจสอบสภาพ และทำความสะอาดสายเคเบิล และขั้วต่อต่างๆ การตรวจวัดระบบต่างๆ การปรับเทียบระบบต่างๆ การเปลี่ยน หรือซ่อมแซม อะไหล่อุปกรณ์ฯ ชิ้นส่วนแผงวงจร ตามความจำเป็นเพื่อให้ระบบต่างๆ อยู่ในสภาพสมบูรณ์ มีความถูกต้องแม่นยำที่สุด

2.3 ระบบระบายความร้อน เป็นการปฏิบัติงานเกี่ยวกับอุปกรณ์ระบบระบายความร้อนทั้งหมด ประกอบไปด้วยการล้างทำความสะอาด หอระบายความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์และปั๊มน้ำ

2.4 ระบบลมและระบายอากาศในบริเวณกักอากาศ ประกอบไปด้วยการตรวจสอบเครื่องอัดลม ด้านจ่ายลมเข้าและดูดอากาศออก ระบบกักอากาศ รวมถึง ตรวจเปลี่ยนตัวกรองอากาศ

2.5 อุปกรณ์สำหรับการอบรังสี เป็นงานซ่อมบำรุงเกี่ยวกับอุปกรณ์สำหรับอบรังสี ซึ่งรวมทั้งอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์ฯ

2.6 ระบบรักษาคุณภาพของน้ำในบ่อปฏิกรณ์ ประกอบไปด้วยการทำความสะอาดบ่อปฏิกรณ์ เครื่องกรองน้ำ ตรวจท่อและวาล์วน้ำ รวมถึงถังเรซิน

2.7 ระบบระบายความร้อนของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ฉุกเฉิน (Emergency Core Cooling System) ตรวจสอบการทำงานของระบบควบคุม ถังแรงดันน้ำ เพื่อให้ระบบ อยู่ในสภาพสมบูรณ์ พร้อมทำงานเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

2.8 เชื้อเพลิง แกนเครื่องฯ และการทดลองเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์ฯ ประกอบด้วย การวัดค่า Shutdown margin ตรวจสอบแท่งควบคุม การตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิง การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม การปรับเทียบระดับกำลัง การปรับตำแหน่งหัววัดกำลัง การปรับเทียบค่าของแท่งควบคุม

2.9 วัดนิวตรอนฟลักซ์ เป็นการวัดนิวตรอนฟลักซ์ ในท่ออาบรังสีในแกนปฏิกรณ์ฯ ขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์

2.10 ระบบสนับสนุนทั่วไป ประกอบไปด้วยงานเตรียมระบบเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิง งานเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นในการซ่อมบำรุง งานเตรียมเครื่องป้องกันอันตรายในการทำงานประจำตัวบุคคล เช่น ถุงมือ หน้ากากกันฝุ่น รองเท้ายาง หมวกนิรภัย เป็นต้น

การรักษาความปลอดภัยเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

เครื่องปฏิกรณ์ฯ ทุกเครื่องที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องมีระบบการรักษาความปลอดภัยไว้อย่างเข้มงวดและรัดกุมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อผลิตไฟฟ้า (Power Reactor) ยังต้องมีมาตรการรักษาความปลอดภัยไว้อย่างดีมาก สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 นอกไปจากมาตรการความปลอดภัยในการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ฯเองแล้ว ยังมีคณะกรรมการความปลอดภัยโรงงานนิวเคลียร์ (Nuclear Facility Safety Sub-Committee) รับผิดชอบในส่วนการตรวจสอบความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์ฯทั้งหมด นอกจากนั้นสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติยังจัดให้มีเวรยามรักษาความปลอดภัยอาคารปฏิกรณ์ฯ รวมทั้งมีมาตรการตรวจสอบบุคคลเข้าออกอย่างเข้มงวดอยู่ตลอดเวลา

ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล

นิยาม

ของไหล หมายถึงสสารที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงเฉือนมากระทำ ถึงแม้จะมีแรงเฉือนเพียงเล็กน้อยก็ตาม เช่น ของเหลว หรือก๊าซ

เมื่อของไหลไหลผ่านพื้นที่ผิวสัมผัสจะเกิดความเค้นเฉือน ดังสมการความหนืดของนิวตัน คือ

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dz} \quad (1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \tau &= \text{ความเค้นเฉือน (N/m}^2\text{)} \\ F &= \text{แรงเฉือน (N)} \\ A &= \text{พื้นที่ผิวสัมผัส (m}^2\text{)} \\ \mu &= \text{สัมประสิทธิ์ของความหนืด} \\ \frac{du}{dz} &= \text{ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะทาง (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

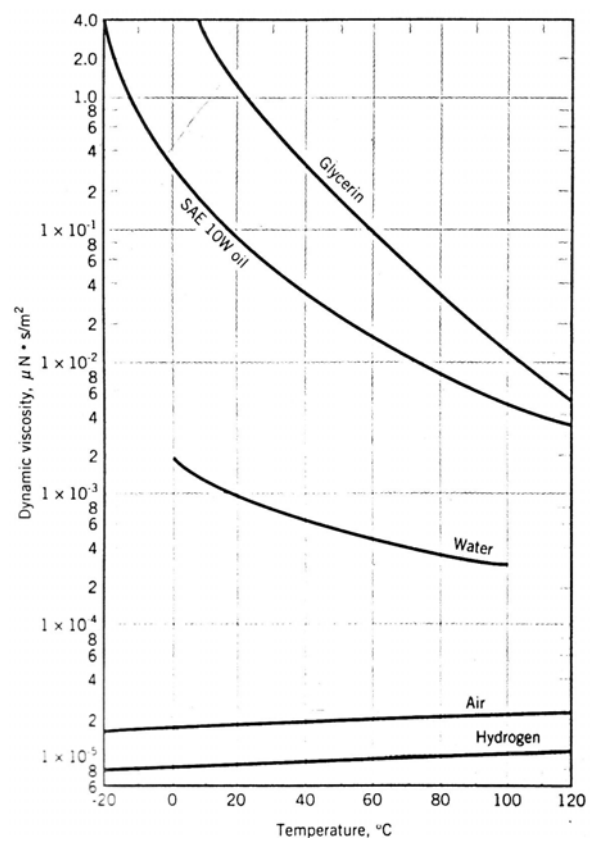
ของไหลที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเรียกว่าของไหลนิวโตเนียน (Newtonian Fluid)

การกำหนดความหนืดของของไหลในรูปของความหนืดต่อความหนาแน่นคือ

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \nu &= \text{ความหนืดจลน์ศาสตร์ของของไหล (Kinematic Viscosity) (N-s/m}^2\text{)} \\ \rho &= \text{ความหนาแน่นของของไหล มาจากมวลต่อปริมาตร (Kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$



ภาพที่ 4 แสดงกราฟความหนืดของของไหล
ที่มา: เสรี (2548)

คุณสมบัติของของไหล

ของไหลที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียงมาก จะมีการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นน้อย หรืออาจกำหนดเป็นค่าคงตัวได้ ของไหลที่มีความเร็วต่ำเรียกว่า การไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) จากสมการสถานะของอุณหพลศาสตร์สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในระบบอุณหภูมิกิ่งที่ได้อีกคือ

$$\Delta\rho = \frac{\Delta P}{RT} \quad (3)$$

โดยที่ $\Delta\rho$ = การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น (kg/m^3)
 ΔP = การเปลี่ยนแปลงความดัน (N/m^2)
 R = ค่าคงตัวของก๊าซ (kJ/kmol-K)
 T = อุณหภูมิ (K)

การเปลี่ยนแปลงของความดัน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ เช่น หากทำของไหลที่มีความเร็วสูงให้มีความเร็วลดลง พลังงานจลน์จะถูกถ่ายโอนไปสะสมไว้ในรูปของความดัน ซึ่งเป็นพลังงานศักย์ชนิดหนึ่ง ดังนั้นตามกฎอนุรักษ์พลังงาน สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วได้ว่า

$$\Delta P = \rho \Delta(U^2 / 2) \quad (4)$$

โดยที่ U = ความเร็ว (m/s)

ความเร็วและอัตราการไหล

ความเร็วของการไหล คือระยะทางที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา

อัตราการไหล คือ ปริมาณของของไหลที่เคลื่อนที่ไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรืออาจเป็นมวลหรือน้ำหนักของของไหลที่ไหลไปในหนึ่งหน่วยเวลาก็ได้

$$q = \int_A u dA = UA \quad (5)$$

โดยที่ q = อัตราการไหล (m^3/s)
 U = ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
 A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)
 μ = ความเร็วการไหลของอนุภาค (m/s)

สมการ (5) ไม่คิดความหนาแน่นของของไหล เพราะมีค่าคงที่ เป็นของไหลที่ไม่อัดตัว
 สมการอนุรักษ์การไหล

$$q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \quad (6)$$

ปริมาตรควบคุม คือ ขอบเขตปริมาตรที่กำหนดขึ้นในสนามการไหล เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติการไหล

อัตราส่วนความเร็วของการไหลต่อความเร็วเสียง เรียกว่าตัวเลขมัค (Mach number) ซึ่งแบ่งได้ตามประเภทของการไหลคือ

Subsonic flow	$M < 1$
Sonic flow	$M = 1$
Supersonic flow	$M > 1$
Hypersonic flow	$M \gg 1$

ค่าคงที่ที่แสดงลักษณะและความสัมพันธ์ของการไหล คือค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds number) เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยกับแรงหนืด

$$R_e = \frac{u_\infty L}{\nu} \quad (7)$$

โดยที่ R_e = ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (ไร้มิติ)
 u_∞ = ความเร็วของกระแสอิสระ (m/s)

$$\begin{aligned} v &= \text{ความหนืดจลนศาสตร์ของของไหล (N-s/m}^2\text{)} \\ L &= \text{ระยะใดๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการไหล (m)} \end{aligned}$$

ค่าคาวิตีชันนัมเบอร์ (Cavitation number or Euler number) คือ อัตราส่วนระหว่างความดันกับแรงเฉื่อย ซึ่งเป็นการไหลที่มีความแตกต่างของความดันเป็นสำคัญ เช่น การไหลที่เกิดโพรงไอ

$$C_a = \frac{P - P_v}{\rho U^2} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } C_a &= \text{ค่าคาวิตีชันนัมเบอร์ (ไร้มิติ)} \\ P &= \text{ความดัน (N/m}^2\text{)} \\ P_v &= \text{ความดันสมบูรณ์ (N/m}^2\text{)} \\ \rho &= \text{ความหนาแน่น (Kg/m}^3\text{)} \\ U &= \text{ความเร็ว (m/s)} \end{aligned}$$

สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการไหลจากสมการอนุรักษ์มวล และสมการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$Q = \rho q C_p \Delta T \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } Q &= \text{อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/s)} \\ \rho &= \text{ความหนาแน่นของไหล (Kg/m}^3\text{)} \\ q &= \text{อัตราการไหลของไหล (m}^3\text{/s)} \\ C_p &= \text{ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-K)} \\ \Delta T &= \text{อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (K)} \end{aligned}$$

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

กฎการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

สุนันท์ (2545) เมื่อใดก็ตามที่มีความต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุดก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้มีชื่อว่า ความร้อน ซึ่งในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) จะศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทของพลังงาน (Heat Transfer) แต่ก็เป็นการศึกษาเฉพาะในกรณีที่ระบบอยู่ในภาวะที่สมดุลแล้วเท่านั้น แต่ไม่สามารถทำนายว่าการเปลี่ยนแปลงนั้น มีความรวดเร็วเพียงใด ศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อน จะช่วยต่อเติมกฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ด้วยการวิเคราะห์ที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนได้

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์แบบนั้นจำเป็นต้องทราบถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ รวม 3 แบบด้วยกัน คือ

1. การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ หรือ การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)
2. การถ่ายเทความร้อนแบบการพา หรือ การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)
3. ถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี หรือ การแผ่รังสี (Radiation Heat Transfer)

1. การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ หรือ การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนแบบการนำหรือการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียว ที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุดังกล่าว ก็จะมีการถ่ายเทความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ของวัตถุนั้น

อัตราของการถ่ายเทความร้อนจริงนั้น ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ฉะนั้นอัตราการนำความร้อนจึงมีค่าเป็น

$$Q_x = -kA \frac{\Delta T}{L} \quad (10)$$

โดยที่ Q_x = อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง มีหน่วยเป็น W
 k = ค่าการนำความร้อนของตัวกลาง มีหน่วยเป็น W/m. K
 A = พื้นที่ของตัวกลางที่ตั้งฉากกับทิศทางไหล มีหน่วยเป็น m^2
 ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยเป็น K
 L = ความหนาของตัวกลางตามทิศทางการไหล มีหน่วยเป็น m

สมการนี้มีชื่อเรียกว่า กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Combustion) เครื่องหมายลบที่อยู่ทางด้านขวาของสมการ เป็นผลที่เนื่องมาจากกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกล่าวไว้ว่าความร้อนจะต้องไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ความลาดชันของอุณหภูมิจะมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจะลดน้อยลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น

2. การถ่ายเทความร้อนแบบพา หรือการพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

เมื่อการไหลสัมผัสกับผิววัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ก็จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนแบบพา หรือการพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อนนี้จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท

2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection or Natural Convection)

แรงที่ทำให้ของไหลเกิดความเคลื่อนไหวในการพาความร้อนแบบอิสระนั้น เกิดมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในการไหลที่เนื่องมาจากการที่ของไหลสัมผัสผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน และทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างของการพาความร้อนแบบอิสระนี้ ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านในวันที่อากาศสงบเงียบ การพาความร้อนภายในกาต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อน หรือการถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนของแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ในช่วงที่ไม่มีลมพัด

2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection)

การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อ มีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนหรือเย็นกว่า เนื่องจากของไหลของการพาความร้อนแบบบังคับ มีความเร็วสูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีขนาดเท่า ๆ กับการพาความร้อนแบบอิสระจึงมีจำนวนมากกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นความร้อนแบบไหนก็ตาม ต่างก็มีสมการสำหรับหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในรูปของการระบายความร้อนของนิวตันเป็น

$$Q_{\text{conv},x} = hA_s (T_s - T_f) \quad (11)$$

โดยที่ $Q_{\text{conv},x}$ = อัตราการพาความร้อน มีหน่วยเป็น W

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน มีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

A_s = พื้นที่ผิวของแข็ง มีหน่วยเป็น m^2

T_s = อุณหภูมิที่ผิวของแข็ง มีหน่วยเป็น $\text{K} (^{\circ}\text{C})$

T_f = อุณหภูมิของไหลที่ไหลผ่านผิวของแข็ง มีหน่วยเป็น $\text{K} (^{\circ}\text{C})$

3. ถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี หรือ การแผ่รังสี (Radiation Heat Transfer)

ความร้อนจากการนำและการพา จะไหลผ่านได้ในกรณีที่มีสื่อกลาง (Media) เท่านั้น สำหรับความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะไหลผ่านได้ แม้กระทั่งในสุญญากาศ ในการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีพลังงานจะเคลื่อนไปในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง

จำนวนพลังงานที่ถูกส่งออกจากผิวในรูปรังสีความร้อน (Radiant Heat) นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์และลักษณะผิว

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวดังกล่าวหนึ่งไปสู่อีกผิวดังกล่าวหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุตัวกลาง

รังสีความร้อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่งๆ จะมีค่าลดลงเนื่องจากถูกดูดกลืนเอาไว้ ในขณะที่รังสีที่ผ่านเข้าไปยังสุญญากาศจะไม่ถูกดูดกลืน ในทางปฏิบัติอาจถือว่ารังสีที่ผ่านบรรยากาศ จะไม่ถูกดูดกลืนไว้เลย เพราะการดูดกลืนรังสีในอากาศมีค่าน้อยมาก

การคำนวณหาการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกันจากกฎของ สเตฟาน โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann)

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (12)$$

โดยที่ Q_{rad} = อัตราการแผ่รังสีความร้อน (W)
 ε = ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของพื้นผิว (Emissivity)
 σ = ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ = $5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \text{ K}^4)$
 A = พื้นที่ผิวของการแผ่รังสี (m^2)
 T_s = อุณหภูมิผิวที่แผ่รังสี (K)
 T_{sur} = อุณหภูมิผิวของสิ่งแวดล้อมโดยรอบ (K)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

นักสิทธิ์ (2536) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่งซึ่งอาศัยหลักการให้ของไหลที่ร้อนวิ่งผ่านภายในท่อเล็กๆ ส่วนของไหลที่เย็นอีกชนิดหนึ่งจะวิ่งผ่านผิวของท่อ เพื่อให้เกิดการถ่ายเท ความร้อนระหว่างกันโดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน ซึ่งการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีทั้งสำหรับเพิ่มอุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนเอาความร้อนจากของไหลกลับมาใช้ใหม่

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือ ชนิดไหลผ่าน (flow through type) และชนิดสะสมความร้อน (heat accumulate type) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไหลผ่านนั้นจะมีลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งส่งถ่ายให้ของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยการส่งผ่านผนังกันโดยตรง ด้วยเหตุนี้เองของไหลทั้ง 2 ชนิดนี้จะไหลอยู่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเวลาเดียวกัน ส่วนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดสะสมความร้อนของไหลที่มีหน้าที่ให้ความร้อนกับของไหลที่รับความร้อนจะผลัดกันไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในการไหลสลับกันนี้เองของไหลที่รับความร้อนจะรับเอาความร้อนที่ได้เก็บสะสมไว้

ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากทีของไหลชนิดให้ความร้อนได้ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปแล้ว

ในการคำนวณเพื่อหาลักษณะของการส่งถ่ายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปนั้น เราจะพิจารณาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการไหลของของไหล และความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลเข้ากับอุณหภูมิของของไหลออกจากวงจรนั้น ๆ ทั้งนี้ให้ เป็นไปตามสมการของการถ่ายเทความร้อน ดังต่อไปนี้

$$Q = MC(\Delta T) \quad (13)$$

กำหนดให้

- Q = ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (เมกกะวัตต์)
- M = อัตราการไหลของมวลของของไหลต่อวินาที (กิโลกรัม/วินาที)
- C = สัมประสิทธิ์ของการระบายความร้อนจำเพาะ (เมกกะจูล/ กิโลกรัม-องศาเซลเซียส)
- ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

แต่

$$M = w\rho \quad (14)$$

กำหนดให้

- w = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
- ρ = ความหนาแน่นจำเพาะ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

เอาสมการ 3.2.2 แทนในสมการ 3.2.1 จะได้ดังนี้

$$Q = w\rho C(\Delta T) \quad (15)$$

หอระบายความร้อน

จิระพล (2530) น้ำเป็นของไหลที่สามารถนำไปใช้ในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ให้สูงไปและสามารถทำงานได้เป็นปกติ เราจะสังเกตเห็นการใช้น้ำในการระบายความร้อนอยู่ทั่วไป แม้กระทั่งในหม้อน้ำรถยนต์ของเราเอง การระบายความร้อนด้วยน้ำมีหลักการง่าย ๆ คือ การนำน้ำที่จะอุณหภูมิต่ำ ผ่านเขาไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นน้ำก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและช่วยรับเอาความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นออกมา ปกติถ้าเราสามารถหาแหล่งน้ำที่มีปริมาณมากพอ เราก็จะสามารถสูบน้ำจากแหล่งน้ำนั้นมาผ่านตัวอุปกรณ์ระบายความร้อนและทิ้งไปได้เลย แต่สำหรับการระบายความร้อนที่มีปริมาณความร้อนสูง ๆ เราจำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมาก ซึ่งการที่เราจะสูบน้ำมาระบายความร้อนและทิ้งไปเลย นับว่าเป็นการสิ้นเปลืองและเป็นการใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำอย่างไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง นอกจากนี้ปัญหานี้ในการหาแหล่งน้ำดังกล่าวก็ไม่ใช่ว่าจะหาได้อย่างง่าย ๆ ดังนั้นจึงมีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่จะช่วยในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านตัวระบายความร้อนมาแล้วนี้ให้มีอุณหภูมิต่ำลงมากเพียงพอที่จะสามารถหมุนเวียนน้ำกลับไประบายความร้อนได้อีกครั้งหนึ่ง อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ก็คือ หอระบายความร้อนนั่นเอง ซึ่งสามารถทำให้เราใช้น้ำในการระบายความร้อนหมุนเวียนได้โดยมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปน้อยมาก จึงนับว่าเป็นการใช้น้ำในการระบายความร้อนได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

การใช้หอระบายความร้อนช่วยในการระบายความร้อน เป็นขบวนการที่ทำให้ความร้อนที่มีอยู่ในน้ำระบายออกสู่อากาศโดยใช้วิธีการระเหยตัวของน้ำ (evaporation) โดยมีการสูญเสียน้ำไปส่วนหนึ่ง แต่น้ำส่วนใหญ่มักจะควบแน่นกลับมามีน้ำได้อีก โดยปกติเราสามารถจะนำเอาหอระบายความร้อนไปใช้ในการระบายความร้อนของน้ำในการหล่อเย็นอุปกรณ์ใด ๆ ก็ได้ เช่น การระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ และแม้กระทั่งการหล่อเย็นอุปกรณ์ในขบวนการผลิตหรือน้ำเย็นที่ใช้หล่อเลี้ยงโรงไฟฟ้า แต่ส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้ในการระบายความร้อนให้กับระบบปรับอากาศ (water cooled air conditioning) ซึ่งนับว่าเป็นการใช้งานที่แพร่หลายมากที่สุด จากสิ่งดังกล่าวที่ผ่านมาทำให้เราจำเป็นต้องทราบทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ประกอบการพิจารณา เลือกหรือวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของหอระบายความร้อนได้อย่างเหมาะสม เช่น หลักการทำงานของหอระบายความร้อนประเภทของหอระบายความร้อน และทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะของการระบายความร้อน

1. หลักการทำงานของหอระบายความร้อน

การที่หอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปอากาศได้นั้น เราสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการง่าย ๆ คือ หอระบายความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการฉีดน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ให้กระจายไปเป็นฝอยละอองเล็ก ๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (fill) ละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (sensible heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันน้ำบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำแฝงในอากาศ เพราะอากาศเองยังมีปริมาณไอน้ำแฝงที่ยังไม่อิ่มตัว น้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มมากขึ้นได้อีก ซึ่งกระบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำจำเป็นต้องใช้ความร้อน ดังนั้นน้ำส่วนที่ระเหยตัวจะดึงเอาความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลือ ซึ่งตามทฤษฎีสามารถคาดคะเนได้ว่า การระเหยตัวของน้ำปริมาณเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถจะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่เหลืออีก 99 เปอร์เซ็นต์ได้ถึงประมาณ 6 องศาเซลเซียส ดังนั้นหอระบายความร้อนจึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่บรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

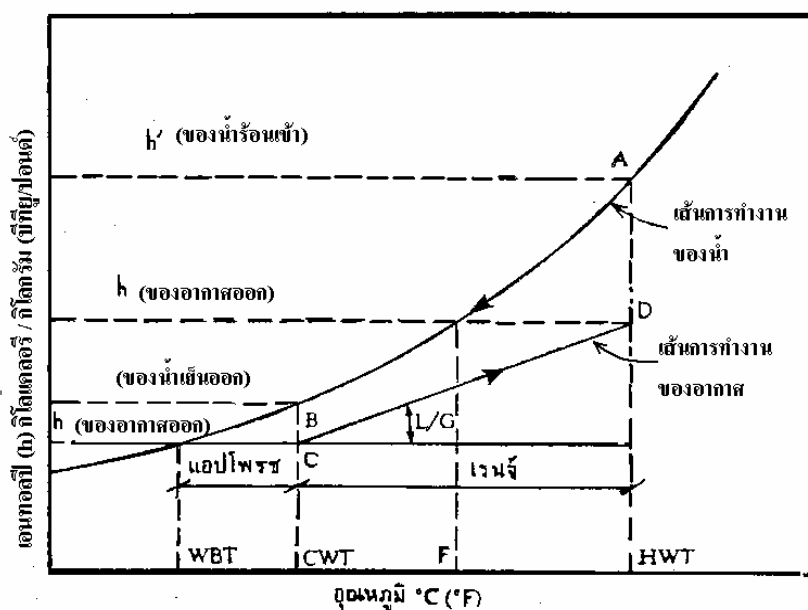
ปัจจัยที่จะช่วยในการเร่งกระบวนการลดอุณหภูมิของหอระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมีดังนี้

1.1 การแตกตัวเป็นฝอยของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

1.2 การเพิ่มเนื้อที่ในการถ่ายเทความร้อน (wetted surface) เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากขึ้น

1.3 การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มปริมาณของอากาศ

เราสามารถอธิบายกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่อากาศได้โดยอาศัยการพล็อตลงบนแผ่น Psychrometric และอาศัยกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศที่ผ่านหอระบายความร้อน โดยไดอะแกรม Psychrometric chart

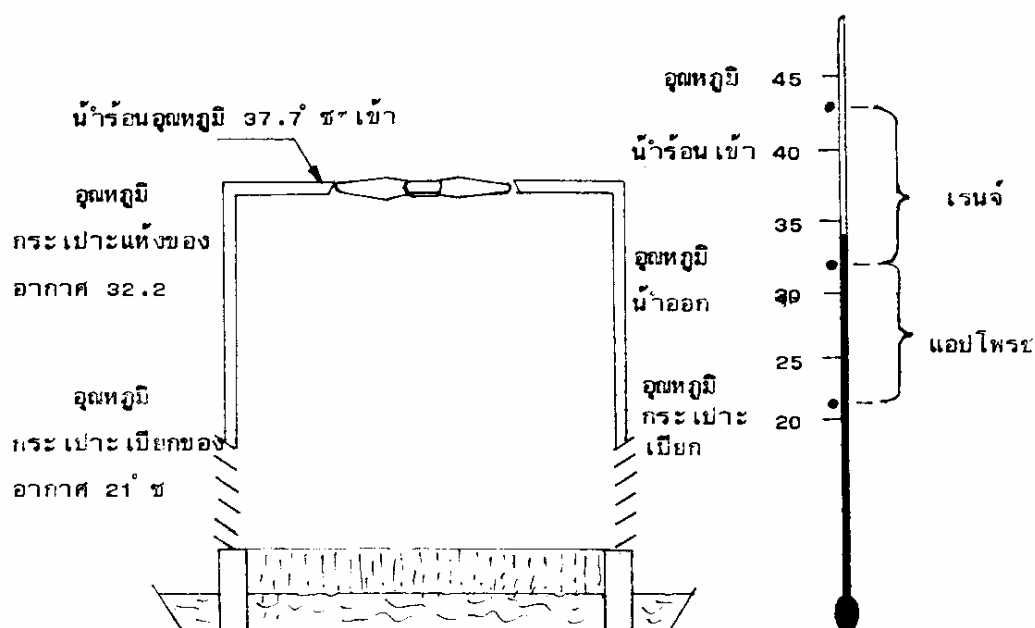
พิจารณาจากภาพ จะเห็นว่าเป็นการแสดงสภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างน้ำกับอากาศ โดยที่น้ำร้อนจะเข้าสู่หอระบายความร้อนที่จุด A และถูกลดอุณหภูมิลง เนื่องจาก อากาศรับความร้อนและความชื้นไป รวมทั้งการที่มีน้ำส่วนหนึ่งระเหยตัว อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนจึงตกมาอยู่ที่จุด B ส่วนอากาศที่เข้าหอระบายความร้อนที่จุด C และได้รับทั้งความร้อนกับความชื้นจากน้ำ จะมีการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้น (เพิ่มเอนทาลปี) จนไปอยู่ที่จุด D จากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ ปริมาณความร้อนที่น้ำคายออกมาจะดีงเท่ากับปริมาณความร้อนที่อากาศรับเข้าไป

2. ทฤษฎีการวิเคราะห์ลักษณะการระบายความร้อนของหอระบายความร้อน

ในการ วิเคราะห์ลักษณะของการระบายความร้อนนั้น ก่อนอื่นจะต้องทำความเข้าใจความหมายของคำบางคำเสียก่อน เราทราบคืออยู่แล้วว่าหอระบายความร้อนสามารถทำการลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลงได้โดยความสามารถของอากาศรอบ ๆ ที่ดูดเอาความชื้นไป นั้นหมายความว่าหอระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศได้ ซึ่งสิ่งนี้จะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเป็นอย่างมาก ตามทฤษฎีแล้วอุณหภูมิ

ต่ำที่สุดที่เราสามารถทำได้มากน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนคือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่หอระบายความร้อนนั่นเอง หมายความว่าในกรณีเช่นนี้อากาศที่ออกจากหอระบายความร้อนจะอึดตัวด้วยไอน้ำ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้น้ำเย็นลงจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและช่วงอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าสู่หอระบายความร้อน เราเรียกว่า แอปโพรช (approach) โดยทั่ว ๆ ไปถ้าเรากำหนดสภาวะอื่น ๆ ให้คงที่ และเราสามารถหมุนเวียนน้ำผ่านหอระบายความร้อนได้มากเท่าใด อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนก็จะยิ่งเข้าใกล้กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของน้ำที่จะหมุนเวียนผ่านหอระบายความร้อนก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อการกระจายความร้อน ซึ่งจะถูกจำกัดด้วยเครื่องสูบน้ำ

ส่วนช่วงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนกับอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อน เราเรียกว่า เรนจ์ (range) แต่ในการทำงานของหอระบายความร้อนนั้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเป็นอุณหภูมิที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการทำงานของหอระบายความร้อน ถ้าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ผ่าน เข้าหอระบายความร้อนยิ่งต่ำเท่าไร ก็ยิ่งทำให้หอระบายความร้อนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับค่าแอปโพรช และเรนจ์นั้น เราจะถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของหอระบายความร้อน ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความหมายของแอปโพรชและ เรนจ์ได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ช่วงอุณหภูมิเรนจ์และแอปโพรช

นอกจากแอปโพรชและเรนจ์แล้วยังมีศัพท์อีกตัวหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือ จำนวนตันของ หอระบายความร้อน 1 ตันของหอระบายความร้อนจะเท่ากับอัตราการระบายความร้อน 3900 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า 1 ตันของหอระบายความร้อนเท่ากับ อัตราการระบายความร้อนของน้ำ 13 ลิตรต่อวินาที ให้มีอุณหภูมิลดลง 5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ กระเปาะเปียก 27 องศาเซลเซียส หรืออาจจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า น้ำ 1 กิโลกรัม ระเหย กลายเป็นไอจะต้องใช้ความร้อนประมาณ 600 กิโลแคลอรี โดยจะมีน้ำระเหยกลายเป็นไอ 1% และน้ำอีก 99 % จะถูกทำให้เย็นลง 6 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าจะหาความสามารถในการทำงาน ของหอระบายความร้อนจะได้ดังนี้

$$\text{LOAD} = W \cdot \Delta T \quad (16)$$

ให้

LOAD = ความสามารถในการทำความเย็น (กิโลแคลอรี)

W = อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อชั่วโมง)

ΔT = เรนจ์หรือช่วงการทำความเย็น (องศาเซลเซียส)

แต่ 1 ตันของหอยความร้อนเท่ากับ 3900 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

ดังนั้นหากจะหาความสามารถในการทำงานของหอยความร้อนในหน่วยของตันของหอยความร้อน ก็สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{LOAD} = \frac{W \cdot \Delta T}{3900} \quad (17)$$

แต่ 1 ตัน ของหอยความร้อนเท่ากับ 3.517×10^{-3} เมกกะวัตต์

ดังนั้นหากจะหาความสามารถในการทำงานของหอยความร้อนในหน่วยของเมกกะวัตต์ ก็สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{LOAD} = \frac{W \cdot \Delta T (3.517 \times 10^{-3})}{3900} \quad (18)$$

จากสมการดังกล่าวนี้ยังไม่สามารถถือได้ว่าเป็นความสามารถที่แท้จริง ดังนั้นหากจะหาค่าความสามารถที่แท้จริงของการทำงานของหอยความร้อนจะได้โดยจะต้องหาค่าแฟกเตอร์แก้ไขที่แท้จริง (correction factor) และเมื่อหาค่าแฟกเตอร์แก้ไขที่แท้จริงแล้ว เราจะนำไปคูณกับค่าความสามารถในการทำงานของหอยความร้อนที่คำนวณได้ ก็จะได้ค่าความสามารถในการทำงานของหอยความร้อนที่แท้จริง

การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล

การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics เรียกโดยย่อว่า CFD) เข้ามามีบทบาทและเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบทางวิศวกรรม หรือการศึกษางานทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบโดยอาศัยการทดลองจริง บางปัญหานั้นต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการทดลองในอดีต เช่น การทำนายพฤติกรรมของของไหลโดยรอบเครื่องบินโดยสารขนาดใหญ่ เพื่อให้ทราบถึงแรงยกและเสถียรภาพในขณะที่ทำการบิน การออกแบบลักษณะของใบพัดกังหันของเครื่องบินไฟฟ้าตามเข็มนาฬิกา เพื่อให้ทราบถึงปรากฏการณ์ของการไหลผ่านใบพัดที่จะก่อให้เกิดแรงดันที่สูงสุด เป็นต้น ดังนั้นการ

คำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล จึงมีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของไหล ไม่ว่าจะเป็นการหาค่าความเร็ว ความดัน รวมไปถึงระดับของอุณหภูมิ (เสถียรธรรม, 2545)

วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ผสมผสานความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computers) เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยการาฟิกส์ (Color Graphics) ทำให้เข้าใจในปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี สามารถปรับปรุง คัดแปลงรูปแบบของการออกแบบ จนได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ก่อนนำไปสร้างจริงหรือทำการทดลองเพื่อความมั่นใจในการออกแบบนั้นต่อไป

1. กระบวนการแก้ปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นปัญหา ด้านกลศาสตร์ของแข็ง การถ่ายเทความร้อน ด้านการไหล หรือปัญหาอื่นๆ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ปัญหานั้นกับปัจจัยหรือองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ (ก) ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้น (ข) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษานั้น (ค) ลักษณะรูปร่าง (Geometry) ของปัญหา หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

1.1 ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย จัดได้ว่าเป็นหัวใจซึ่งแสดงถึงความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในปัญหานั้นๆ เช่น การวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนจำเป็นต้องเริ่มจากสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายความสมดุลของการถ่ายเทความร้อน การวิเคราะห์ปัญหาการไหลเริ่มจากระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แสดงถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน เป็นต้น

1.2 เงื่อนไขขอบเขต เงื่อนไขขอบเขตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันขึ้น หากปัญหาที่ทำการวิเคราะห์เป็นปัญหาแบบไม่อยู่ตัว (Unsteady) เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Conditions) จำเป็นต้องถูกประยุกต์เข้าด้วยกัน เงื่อนไขขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงไปจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน

1.3 ลักษณะรูปร่าง รูปแบบของปัญหาด้านพลศาสตร์ของไหลโดยทั่วไปในงานวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ล้วนมีรูปร่างที่ซับซ้อน หากลักษณะรูปร่างซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้พฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้นนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่าระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและเงื่อนไขขอบเขตยังเป็นเช่นเดิม

2. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ (ก) ขั้นตอนการสร้างลักษณะรูปร่างของปัญหาและเงื่อนไขขอบเขต เป็นขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้น (Pre-processor) (ข) ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา (Analysis) ซึ่งเป็นหัวใจของการคำนวณภายในโปรแกรม และ (ค) ขั้นตอนของกระบวนการขั้นท้าย (Post-processor) เพื่อการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

2.1 กระบวนการขั้นต้น กระบวนการขั้นต้นเริ่มจากการสร้างโดเมนของการไหลที่ต้องการทำการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนนับตั้งแต่การสร้างเส้นขอบ (Line) การสร้างพื้นผิว (Surface) รวมไปถึงการสร้างปริมาตร (Volume) หากเป็นการไหลในสามมิติ จากนั้นจึงแบ่งโดเมนของการไหลที่ได้สร้างขึ้นนี้ออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) เล็ก ๆ หรือออกเป็นตาราง (Mesh) ย่อย ๆ โดยเส้นตารางเหล่านี้ตัดกันที่จุดต่อ (Grid หรือ Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาผลลัพธ์ของการไหล ได้แก่ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น จากนั้นจึงกำหนดคุณสมบัติของของไหล และเงื่อนไขขอบเขตสำหรับปัญหานั้น ตามลำดับ

2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการวิเคราะห์จัดได้ว่าเป็นหัวใจของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป การแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นเอลิเมนต์หรือตารางขนาดเล็กๆ เพื่อสามารถใช้ฟังก์ชันง่ายๆ สำหรับแทนลักษณะของการไหลผ่านเอลิเมนต์หรือตารางขนาดเล็กๆ นั้น ฟังก์ชันดังกล่าวจะถูกแทนลงไปในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการไหล ผสมเข้ากับการคำนวณทางคณิตศาสตร์บางอย่างเพื่อทำการลดค่าผิดพลาด ก่อให้เกิดระบบสมการทางพีชคณิตขนาดใหญ่ซึ่งจำเป็นต้องแก้โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ต่อไป

การแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นเอลิเมนต์ขนาดเล็กๆ หรือเป็นตารางที่มีความถี่มากขึ้นไป ก่อให้เกิดจำนวนจุดต่อซึ่งประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) มากขึ้นตามไปด้วย อันเป็นผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณและปริมาณหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ในทางตรงกันข้าม จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ (Solution Accuracy) สูงมากขึ้น เป็นการ

นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์เข้ากับระบบสมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อหาผลลัพธ์ของการไหลที่จุดต่อ อันได้แก่ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น

2.3 กระบวนการขึ้นท่าย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของการวิเคราะห์การไหลนั้น โดยปกติจะมีจำนวนมากซึ่งขึ้นโดยตรงกับจำนวนของจุดต่อและต่างล้วนอยู่ในรูปแบบของค่าตัวเลข หากต้องการเข้าใจในพฤติกรรมของสภาวะการไหลจะต้องนำค่าเหล่านี้มานำเสนอพร้อมกันสามารถทำได้ในหลายรูปแบบ ได้แก่ การพล็อตเวกเตอร์ ณ ทุก ๆ จุดต่อตลอดทั้งโดเมนของการไหลเพื่อแสดงขนาดและลักษณะทิศทางของการไหลและสภาวะการหมุนวนในบริเวณต่างๆ การพล็อตด้วยเส้นชั้น (Contour Lines) การนำเสนอเหล่านี้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ช่วยให้เกิดความเข้าใจในปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาอันจะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น

โปรแกรมช่วยการคำนวณ และวิเคราะห์

โปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks

สุรสิทธิ์ (2547) โปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks เป็นโปรแกรมออกแบบเครื่องกลอัตโนมัติใช้งานร่วมกับโปรแกรม Microsoft Windows ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถถ่ายทอดความคิดของตนเอง ออกสู่ภาพสเกตช์ได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งสามารถกำหนดขนาด การทดลอง สร้างแบบจำลองและกำหนดโครงสร้างละเอียดได้ ทั้งนี้ การคำนวณและการแสดงผล โปรแกรมนี้จะทำงานร่วมกับ COSMOS

1. แนวคิดของโปรแกรม Solidworks

คือให้สามารถออกแบบแบบจำลองได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ในรูป 3 มิติ และการแยกชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้นออกให้เห็นเด่นชัด ซึ่งผู้ใช้งานต้องมีทักษะด้านคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.1 ความรู้ทั่วไปด้านโปรแกรม Windows เช่น การเปิดเอกสาร การจัดเก็บ การสร้างรูปภาพประกอบรูปภาพ เป็นต้น

1.2 ความรู้พื้นฐานการออกแบบด้านวิศวกรรมเครื่องกล

1.3 การเลือกฟังก์ชันในโปรแกรม Solidworks เช่น เมนู การใช้เมาส์ Toolbars และการเลือก Filter เป็นต้น

2. การออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks

ผู้ใช้งานต้องกำหนดความต้องการของแบบจำลองภาพเสมือนที่ออกแบบ เพื่อให้สอดคล้องกับการตอบสนองของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบ โดยพิจารณาถึงความใกล้เคียงต่อสภาพการใช้งานจริง ณ ปัจจุบันของระบบระบายความร้อนและ สิ่งที่วางแผนไว้ล่วงหน้าว่าหากต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงระบบเกิดขึ้นในอนาคต ขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

2.1 ระบุความต้องการในการใช้งาน

2.2 สร้างแบบจำลองภาพเสมือนตามแนวคิดให้สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งาน

2.3 สร้างแบบจำลองภาพเสมือนเบื้องต้น

2.4 วิเคราะห์แบบจำลองภาพเสมือน

2.5 ปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองภาพเสมือน

การวิจัยนี้หากมีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาร่วมวิเคราะห์แบบจำลองระบบระบายความร้อนดังกล่าว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้หลักการออกแบบจำลองภาพเสมือนให้เหมาะสมตามเทคนิคการออกแบบที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น

โปรแกรมสำเร็จรูป COSMOSFloWork

เป็นฟังก์ชันการทำงาน ซึ่งจะ Add in ของโปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks หลังจากวาดรูปชิ้นงาน (Object) ด้วยโปรแกรม Solidworks แล้ว จะใช้ COSMOS ในการคำนวณค่าต่าง ๆ และวิเคราะห์แบบจำลองภาพเสมือน แสดงผลในรูปแบบ 3 มิติตามข้อมูลจริงจากการทำงานที่ตั้งค่าไว้แล้ว

CosmosFlowworks เป็นโปรแกรมที่ใช้หลักการคำนวณแบบ CFD ซึ่งครอบคลุมถึงการวิเคราะห์การไหลในสภาวะ และรูปแบบต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. สามารถวิเคราะห์การไหลได้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ
2. การไหลผ่านด้านนอกของวัตถุ และการไหลภายในวัตถุ
3. การไหลในสภาวะคงที่ และ สภาวะไม่คงที่
4. ของเหลวที่ไม่มีการอัดตัว และแก๊สที่อัดตัวได้รวมถึง subsonic transonic และsupersonic
5. Non-Newtonian liquids เฉพาะการไหลแบบราบเรียบ
6. ของเหลวที่อัดตัวได้ (การอัดตัวที่เป็นผลมาจากความดัน)
7. การไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน
8. การไหลแบบบังคับผ่านพัคคูลัม รวมทั้ง Swirling Flows
9. Multi-species flows
10. การไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนภายในของไหลหรือของแข็งและการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและของแข็ง
11. การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิว
12. การไหลที่มีผลจากแรงโน้มถ่วง
13. การไหลผ่านวัสดุรูพรุน
14. การไหลของของไหลที่มีหยดน้ำหรืออนุภาคของของแข็ง

15. ความหยาบหรือเรียบของผนัง

16. ผนังที่เคลื่อนที่หรือหมุนได้

17. การไหลในภาชนะที่หมุนตัวได้

การวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks สำหรับสร้างภาพเสมือนในการจำลองระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในส่วนของบ่อปฏิกรณ์ฯ เป็นหลักและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ให้ใกล้เคียง เหมาะสมกับความเป็นจริงมากที่สุด หลังจากนั้นจึงใช้ COSMOSFloWork เป็นโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์การทำงานของระบบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Davis (2000) วิเคราะห์ความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกำลังโดยทำการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิที่พื้นผิวของน้ำและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผนังของบ่อ ด้วยสมการ Conservation of Mass, Momentum และพลังงาน โดยการใช้ Computer Code ช่วยในการวิเคราะห์ เนื่องจากต้องการทราบว่าความร้อนสามารถถ่ายเทในส่วน of Two Phase Flow ระหว่าง Liquid และ Gas ได้หรือไม่ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของสองสถานะ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผนังบ่อ

Kim *et al.* (2001) ใช้โปรแกรม RELAP 5 ในการวิเคราะห์ Loss of Flow Accident เพื่อสังเกตพฤติกรรมของอัตราการไหล, อุณหภูมิ, ระดับน้ำ และ กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย HANARO ของเกาหลีใต้ ในสภาวะ Steady State Condition และ Transient Condition ว่ามีความเกี่ยวข้องกับ Critical Heat Flux มากน้อยเพียงใด ผลการวิเคราะห์พบว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่มีกำลังเครื่องต่ำกว่า 2 MW จะไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะดังกล่าวเนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนแบบ Natural Circulation Cooling ในระบบเข้ามาช่วยแทน

Raghavan and Rahman (1996) ศึกษา Transient response ของกรณีศึกษาการนำความร้อนบนแผ่นทดลองที่มีตัวกำเนิดความร้อนวางอยู่ และมีอากาศไหลผ่านเป็นตัวพาความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ โดยทำการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิที่พื้นผิวของส่วนต่างๆ ด้วยสมการ อนุกรมมวลและโมเมนตัม และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ตัวแปรสำคัญที่มีผล

ต่อการวิเคราะห์ ได้แก้ตัวแปรไร้มิติ Richardson number, Reynolds number, Fourier number, prandtl number ระยะห่างของตัวกำเนิดความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ผลการวิเคราะห์แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว และระยะเวลาที่เกิด Transient ของอุณหภูมิ

Yu and Yogendra (2000) ทำการทดลองการพาความร้อนของอากาศในพื้นที่ปิดที่มีช่องระบายอากาศอยู่ด้านบน โดยมีวัตถุต้นกำเนิดความร้อนวางอยู่ภายใน ผลจากการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิหลายๆ ตำแหน่งในพื้นที่ปิด มีค่าใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรมแบบ CFD ในการคำนวณผล

สุรสิทธิ์ (2547) ศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ที่พิกเข้าเป็นเสาไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชิ้นงานเมื่อถูกแรงกระทำ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SolidWorks และ Cosmos ช่วยในการคำนวณและแสดงผล

ธงชัย (2548) ศึกษาการระบายอากาศในอุโมงค์ร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิเฉลี่ยในชั่วโมงโดยวิเคราะห์ การนำความร้อนของสายไฟฟ้า และการพาความร้อนของอากาศที่ถูกบังคับการไหลด้วยพัดลมระบายอากาศ ด้วยทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics Theory) ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Theory) และใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MATLAB ช่วยในการคำนวณและแสดงผล

สุคนธ์ (2549) ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากเตาหลอมอะลูมิเนียมออกสู่สิ่งแวดล้อมในอาคารโรงหลอม และทำการออกแบบปรับปรุงระบบระบายอากาศให้เหมาะสมกับปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนแบบจำลองอาคาร โรงหลอมอะลูมิเนียมที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม SolidWorks 2004

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหน่วยประมวลผลความเร็วสูง
2. เครื่องพิมพ์ชนิดใช้แสงเลเซอร์
3. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
4. เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ
5. โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล ที่ใช้ คือ COSMOS FlowWorks 2004 และ SolidsWorks 2004 ในการจำลองบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปฏิกิริยา

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปฏิกิริยาของสำนักงานปฏิกิริยาเพื่อสันติ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อการทำงานของระบบระบายความร้อน เช่น Heat Exchanger และ Cooling Tower เป็นต้น เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดว่าอุปกรณ์เหล่านั้นมีการทำงานที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอย่างไร โดยจะเน้นศึกษาระบบเพื่อให้เครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำงานได้ในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเดินเครื่องปฏิกรณ์ปฏิกิริยาในปัจจุบันเป็นสำคัญ

2. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น และการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศึกษาทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)

2.2 ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

2.3 ศึกษาทฤษฎี และผลการศึกษาวิเคราะห์ของระบบระบายความร้อนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา

3. รวบรวมสถิติ และตรวจวัดข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย
4. ศึกษาลักษณะแบบแปลนของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยและองค์ประกอบ สร้างแบบจำลองอาคารขนาดตามจริง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SolidsWorks 2004
5. ศึกษาแหล่งกำเนิดความร้อน ระบบระบายความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ศึกษารูปแบบการกระจายความร้อนปัจจุบัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล COSMOS FlowWorks 2004 มาใช้ในการวิเคราะห์
6. ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยการตรวจวัดค่าอุณหภูมิในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่ระยะต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม
7. ออกแบบระบบระบายความร้อนในอาคารเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ที่สามารถช่วยลดความร้อนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยอย่างมีประสิทธิภาพ นำโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล COSMOS FlowWorks 2004 มาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความร้อนหลังจากปรับปรุง
8. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ วิเคราะห์ผลการคำนวณ เพื่อดูความเพียงพอของการระบายความร้อน และทดสอบหาวิธีการปรับปรุงระบบตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
9. สรุปผลพร้อมเสนอแนวทางการปรับปรุง และข้อเสนอแนะ

สมมติฐานการวิจัย

1. การถ่ายเทความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย อาจเกิดการสะสมความร้อนบริเวณโดยรอบแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ สูงพอที่จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ

2. ความร้อนที่สะสมภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ อาจเป็นอันตรายต่อการเดินเครื่องปฏิกรณ์ ปริมาณวิจัย รวมถึงอุปกรณ์สนับสนุน ทำให้เกิดความเสียหายหรือทำงานผิดพลาดได้ รวมถึงอัตราการไหลของน้ำเข้าอาจไม่เหมาะสม พอเพียงต่อระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ เป็นผลให้ไม่สามารถเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ต่อเนื่องได้เป็นเวลานาน

3. ลักษณะทางกายภาพของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ และตำแหน่งทางน้ำเข้าบ่อปฏิกรณ์ ไม่เหมาะสม อาจมีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์การระบายความร้อนภายในบ่อปฏิกรณ์ในลักษณะอื่นๆ ได้อีกทางหนึ่ง

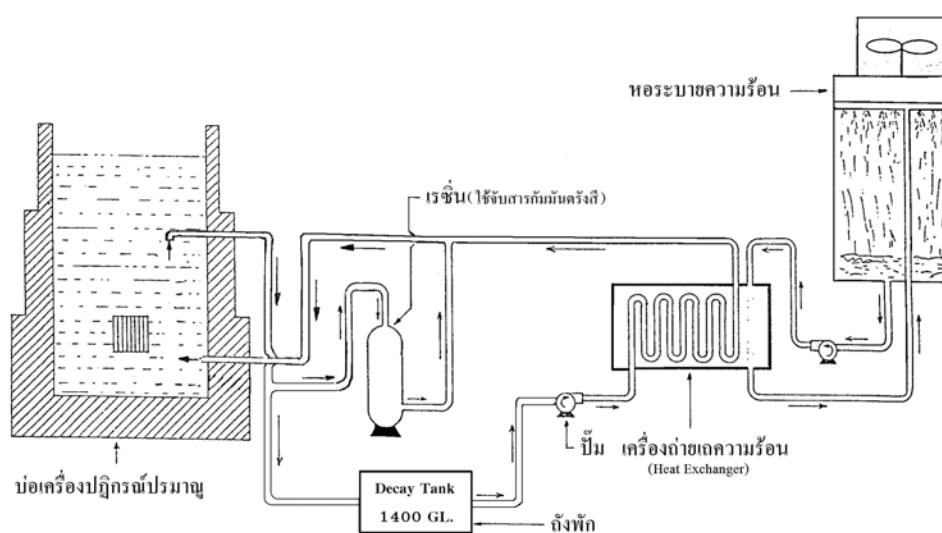
ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ผลการศึกษาระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในปัจจุบัน และ วิเคราะห์การระบายความร้อนบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยด้วย CFD

หลักการทำงานของระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยมุ่งใช้ประโยชน์จากนิวตรอนฟลักซ์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ฯ ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันของเครื่องปฏิกรณ์จะถูกระบายทิ้งออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ออกสู่บรรยากาศภายนอก

การระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ซึ่งใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้น การระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ จะใช้หลักการของการพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Convection) ดังแสดงในรูปที่ 7 กล่าวคือ น้ำร้อนในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ จะลอยขึ้นสู่ด้านบนของบ่อและจากหลักการดังกล่าว น้ำที่มีอุณหภูมิสูงดังกล่าวจะถูกระบายออกจากบ่อทางด้านบนของบ่อผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนและไหลกลับเข้าสู่บ่อทางด้านส่วนล่างของบ่อปฏิกรณ์



ระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ แบบ NATURAL CONVECTION

ภาพที่ 7 ระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

ระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญดังนี้

1. ระบบปฐมภูมิ (Primary Cooling System) ของระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ฯ จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้

1.1 เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนระบบปฐมภูมิ (Primary pump) ขนาด 40 แรงม้า จำนวน 2 ชุด (สำรอง 1 ชุด)

1.2 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ประกอบด้วย

1.2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) จำนวน 1 ชุด

1.2.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกกับท่อ (Shell & Tube Heat Exchanger) จำนวน 1 ชุด

มีหลักการทำงานคือ น้ำที่อยู่ในแกนปฏิกรณ์เมื่อได้รับความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่แตกตัวอย่างต่อเนื่องจะถูกส่งผ่านจากแท่งเชื้อเพลิงไปยังน้ำซึ่งหล่อเลี้ยงแท่งเชื้อเพลิงภายในบ่อปฏิกรณ์ ทำให้น้ำที่บรรจุอยู่ภายในบ่อมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียส น้ำเมื่อได้รับความร้อนจะลอยสูงขึ้น และน้ำเย็นที่อยู่เบื้องล่างก็จะไหลลอยหมุนเวียนขึ้นมาแทนที่เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้แล้วน้ำในบ่อปฏิกรณ์ส่วนหนึ่งก็จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับระบบทุติยภูมิอีกทีหนึ่ง ส่วนความร้อนที่เพิ่มขึ้นของน้ำในระบบทุติยภูมิ (Secondary) ก็จะถูกระบายออกสู่บรรยากาศที่บริเวณหอระบายความร้อน (Cooling tower)

1.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากระบบปฐมภูมิไปสู่ระบบทุติยภูมิ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้มีอยู่ 2 ชุด คือ แบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) และแบบเปลือกกับท่อ (Shell & Tube Heat Exchanger)

1.3.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เป็นชนิดที่อาศัยการทำงานของน้ำ 2 ระบบซึ่งสวนทางกัน น้ำในระบบปฐมภูมิจะวิ่งไประหว่างแผ่นประกบสลับด้วยการวิ่งสวนทาง

กับน้ำในระบบทุติยภูมิอีกช่องหนึ่ง ซึ่งเป็นช่องระหว่างแผ่นเช่นเดียวกัน โดยที่น้ำทั้ง 2 ระบบนี้จะไม่มีโอกาสสัมผัสกันโดยตรงแต่จะส่งถ่ายความร้อนผ่านแผ่นสแตนเลสติดไปยังน้ำอีกระบบหนึ่งเท่านั้น

1.3.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ชนิดนี้เป็นชนิดที่ทำจากอลูมิเนียม น้ำทั้ง 2 ระบบจะวิ่งสวนทางกันอยู่ในเปลือกและท่อ ตามข้อกำหนดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อกำหนดว่าสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ 1 เมกะวัตต์ ที่อัตราการไหล 700 ยูเอส. แกลลอนต่อนาที สำหรับระบบปฐมภูมิและที่อัตราการไหล 1400 ยูเอส. แกลลอนต่อนาที สำหรับระบบทุติยภูมิ

2. ระบบทุติยภูมิ (Secondary Cooling System) ของระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้

2.1 เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนระบบทุติยภูมิ (Secondary pump) ขนาด 60 แรงม้า จำนวน 2 ชุด (สำรอง 1 ชุด)

2.2 หอระบายความร้อน (Cooling tower) ประกอบด้วย

2.2.1 หอระบายความร้อน ขนาด 800 ตัน จำนวน 1 ชุด

2.2.2 หอระบายความร้อน ขนาด 500 ตัน จำนวน 1 ชุด

เป็นระบบระบายความร้อนอีกระบบหนึ่งที่ใช้ในการระบายความร้อนให้กับเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งระบบนี้สัมพันธ์กันกับระบบปฐมภูมิ และเป็นระบบที่ไม่สัมผัสกับแกนเครื่องปฏิกรณ์โดยตรง แต่เป็นระบบที่รับการถ่ายเทความร้อนมาจากระบบปฐมภูมิอีกทีหนึ่งเพื่อระบายออกสู่ภายนอก ดังมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ ที่สำคัญ เช่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) และหอระบายความร้อน (Cooling Tower)

2.3 หอระบายความร้อน เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับระบายความร้อนให้กับน้ำในระบบทุติยภูมิ มีรูปร่างลักษณะคล้าย ๆ กับหอสูง การทำงานของหอระบายความร้อนเป็นการทำงานที่ต่อเนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน กล่าวคือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำหน้าที่รับ

การส่งถ่ายความร้อนจากระบบปฐมภูมิ ส่งผ่านมายังท่อทางต่าง ๆ เข้าสู่หอระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก

ปัจจุบันเครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำงานอยู่ที่ระดับกำลัง 1200 กิโลวัตต์ความร้อน ส่วนการทำงานของระบบระบายความร้อนมีการใช้งานอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองชนิดร่วมกันโดยมีอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำในระบบ ต่าง ๆ ดังนี้

1. ระบบปฐมภูมิ

อัตราการไหล	1050	ยูเอส.แกลลอน/นาทึ
หรือ เท่ากับ	3.97425	ลูกบาศก์เมตร/ นาทึ
อุณหภูมิน้ำเข้า	31	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิน้ำออก	35.5	องศาเซลเซียส

2. ระบบทุติยภูมิ

อัตราการไหล	1600	ยูเอส.แกลลอน/นาทึ
หรือ เท่ากับ	6.056	ลูกบาศก์เมตร/ นาทึ
อุณหภูมิน้ำเข้า	28.5	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิน้ำออก	33.5	องศาเซลเซียส

คำนวณปริมาณความร้อนที่ระบายออกของวงจรปฐมภูมิ จากข้อมูลที่ได้วัดได้จริงเมื่อมีการเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่ระดับกำลัง 1.2 เมกกะวัตต์ความร้อน ด้วยสมการที่ (9)

อัตราการไหล 1050 ยูเอส. แกลลอน/นาทีก

หรือเท่ากับ 3.97425 ลบ.ม./นาทีก

อุณหภูมิน้ำเข้า (T_1) 31 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำเข้า (T_2) 35.5 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: 1 ยูเอส. แกลลอน เท่ากับ 3.785 ลิตร

หรือเท่ากับ 3.785×10^{-3} ลบ.ม.

สัมประสิทธิ์การระบายความร้อนจำเพาะ 4.187 กิโลจูล/กิโลกรัม-เซลเซียส

หรือเท่ากับ 4.187×10^{-3} เมกกะจูล/กิโลกรัม-เซลเซียส

แทนค่าในสมการที่ (9)

$$Q = \frac{3.97425 \times 1000 \times 4.187(35.5 - 31) \text{ เมกกะวัตต์}}{60 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.248 \text{ เมกกะวัตต์}$$

คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ระบายออกของวงจรทุติยภูมิ จากข้อมูลที่ได้จริงเมื่อมีการเดินเครื่องปฏิกรณ์ที่ระดับกำลัง 1.2 เมกกะวัตต์ความร้อน

อัตราการไหล 1600 ยูเอส. แกลลอน/นาทีก

หรือเท่ากับ 6.056 ลบ.ม./นาทีก

อุณหภูมิน้ำเข้า (T_1) 28.5 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำเข้า (T _i)	33.5	องศาเซลเซียส
-----------------------------------	------	--------------

แทนค่าในสมการที่ (9)

$$Q = \frac{6.056 \times 1000 \times 4.187(33.5 - 28.5) \text{ เมกกะวัตต์}}{60 \times 10^3}$$

$$= 2.1085 \text{ เมกกะวัตต์}$$

จากค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้ เมื่อนำมาพิจารณาจะพบว่า ปริมาณความร้อนที่ระบายออกของน้ำในวงจรทุติยภูมินั้นอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าปริมาณความร้อนของน้ำในวงจรปฐมภูมิ

สำหรับระบบพายุภูมิในปัจจุบันมีการทำงานร่วมกับหอระบายนความร้อน 800 ตัน เป็นหลัก ซึ่งหอระบายนความร้อนนี้ สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากหอระบายนความร้อนได้จากสมการที่ (18) ตามข้อมูลที่วัดได้จริงจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ 1.2 เมกะวัตต์ ดังนี้

อัตราการไหล 1600 ยูเอส. แกลลอน/นาทีก

หรือเท่ากับ 6.056 ลบ.ม./นาที

อุณหภูมิน้ำเข้า (T_1)	33.5	องศาเซลเซียส
---------------------------	------	--------------

อุณหภูมิน้ำเข้า (T_2)	28.5	องศาเซลเซียส
---------------------------	------	--------------

อุณหภูมิกะเปาะเปือก 27 องศาเซลเซียส

แทนค่าในสมการที่ (19)

$$Q = \frac{6.056 \times 60 \times (33.5 - 28.5) \times (3.517 \times 10^{-3})}{3900} \text{ เมกะวัตต์}$$

$$= 1.311 \text{ เมกะวัตต์}$$

พิจารณาจากค่าความสามารถในการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนจากค่าที่คำนวณได้ เมื่อนำมาพิจารณาจะพบว่า ปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากหอระบายความร้อนของน้ำในวงจรทุติยภูมิอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากวงจรปฐมภูมิ

การวิเคราะห์ผลการคำนวณระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติใช้งานมานานกว่า 40 ปี ทั้งนี้ไม่รวมถึงระบบระบายความร้อนที่ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อที่ใช้งานมานานกว่า 40 ปี แล้ว ดังนั้นประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ย่อมลดลงไปตามกาลเวลา โดยเฉพาะในระบบระบายความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ เรามีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายสิ่งหลายอย่างด้วยกัน เช่น ป้อนน้ำ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และหอระบายความร้อน ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของการทำงานของระบบระบายความร้อนทั้งสิ้น

ผลการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากวงจรปฐมภูมิ จากข้อมูลที่วัดได้จริง จะได้ค่าปริมาณความร้อน 1.248 MW จากวงจรทุติยภูมิ ปริมาณความร้อน 2.1085 MW และจากหอระบายความร้อน ปริมาณความร้อน 1.311 MW ซึ่งค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้ เมื่อนำมาพิจารณาจะพบว่าค่าความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ทั้งในวงจรปฐมภูมิ วงจรทุติยภูมิ และหอระบายความร้อน นั้นยังคงสามารถระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ได้อย่างพอเพียงและปลอดภัยแก่เครื่องปฏิกรณ์รวมถึงอุปกรณ์สนับสนุนการเดินเครื่องปฏิกรณ์ต่าง ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ระบุไว้ใน Safety Analysis Report ของเครื่องปฏิกรณ์และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามสภาวะระดับพลังงานที่เดินเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่กำลังสม่ำเสมอ 1.2 MW ในปัจจุบัน

ซึ่งหากพิจารณาให้ดีแม้ว่า การระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์จะยังคงทำงานได้อย่างพอเพียงกับสภาวะของระบบปัจจุบัน แต่ค่าปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากวงจรปฐมภูมิ และจากหอระบายความร้อน 800 ตัน นั้นมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนที่เครื่องปฏิกรณ์ผลิตออกมา

ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยควรมีการเผื่อค่าไว้ในระบบ ซึ่งจากสูตรการคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากสมการ (9) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่า ปริมาณความร้อน นั้นมาจาก 2 ตัวแปรสำคัญด้วยกันคือ ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate) ที่มีอยู่ในปัจจุบัน กับค่าความแตกต่างกันระหว่างน้ำเข้า (T_1) และน้ำออก (T_2) จากระบบ

เนื่องจากประเทศเราเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน อุณหภูมิของอากาศในหน้าร้อนจะอยู่ในเกณฑ์สูง และประกอบกับมีความชื้นสัมพัทธ์สูง การใช้ข้อกำหนดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และหอบระบายความร้อนมาเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขทางอุณหภูมิ จึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำออกจากบ่อปฏิกรณ์เพื่อไประบายความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอกให้เป็นไปตามความต้องการได้มากนัก ฉะนั้นตัวแปรที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะสามารถปรับปรุงให้การระบายความร้อนออกจากบ่อปฏิกรณ์ได้มากขึ้นกว่าในปัจจุบัน คือค่าอัตราการไหลของน้ำทั้งสองระบบ

ดังนั้นควรที่จะกำหนดความสามารถในการระบายความร้อนของวงจรปฐมภูมิ ให้สามารถระบายความร้อนลงได้จนอุณหภูมิน้ำเข้าบ่อปฏิกรณ์เท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีอัตราที่มากขึ้นกว่าในปัจจุบันก็จะเป็นการช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบได้มากยิ่งขึ้น

วิเคราะห์การระบายความร้อนบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยด้วย CFD

ข้อมูลของงานวิจัยการระบายความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แบบจำลองบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

1.1 บ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยที่ใช้ในการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 8 มีขนาดโดยประมาณ กว้าง 3.5 เมตร ยาว 10 เมตร และลึก 8.5 เมตร ภายในบ่อสามารถบรรจุน้ำได้ประมาณ 64,800 แกลลอน (ประมาณ 245 ลบ.ม.) ผนังด้านข้างบ่อจะมีท่อสเตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ซึ่งเป็นท่อของระบบระบายความร้อนฝังทะลุผ่านด้านข้างของบ่อเพื่อให้หน้าร้อนระบายออกทางด้านบน 2 ช่องทาง และมีช่องทางที่ให้น้ำเข้าด้านล่าง 2 ช่องทาง ขนาดเท่ากัน ภายในประกอบด้วย

1.1.1 แกนเครื่องปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นถังอลูมิเนียมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 เซนติเมตร สูงประมาณ 2 เมตร ภายในบรรจุแท่งเชื้อเพลิงในลักษณะตั้งตรง แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ และอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดอยู่ภายใต้น้ำ

1.1.2 ก้านยึดแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯให้ติดกับสะพาน

1.1.3 เทอร์มอลคอลัมน์ (thermal column)

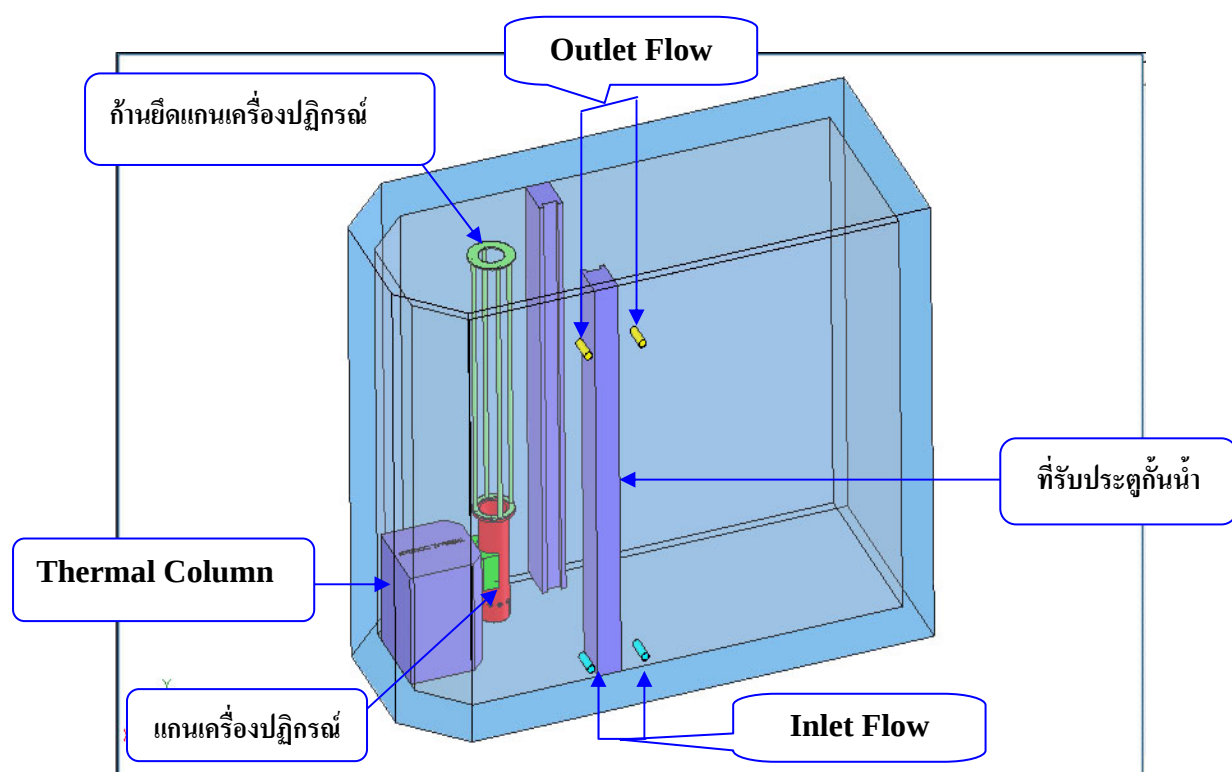
1.1.4 ร่องประตูของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ

แบบจำลองบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม SolidWorks 2004 ซึ่งภายในมีช่องทางน้ำเข้าทั้งหมด 2 ช่องทาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มีช่องทางระบายระบายความร้อน 2 ช่องทาง เพื่อให้ น้ำร้อนระบายออกทางด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 9

1.2 องค์ประกอบภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยสำหรับการศึกษาค้างนี้
พิจารณาเฉพาะที่มีผลต่อการกระจายความร้อนประกอบด้วย แกนเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Core) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 เซนติเมตร เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณและปริมาณหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์

1.3 ทำการวิเคราะห์การไหลเป็นแบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม COSMOS FloWorks 2004 ของไหลที่ใช้คือน้ำ (WaterSP) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยขณะที่มีการทำงานอยู่ ความเร็วของน้ำที่เข้าสู่บ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยทางช่องที่ให้น้ำเข้า (Inlet Volume Flow) มีอัตราการไหลเป็น 1000 แกลลอนต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัดน้ำที่เข้าสู่บ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย แหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) มาจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ ขณะทำงานอยู่ที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ความร้อน รวมถึงความเร็วของน้ำที่ฉีดเข้าทางด้านบนของแกนเครื่องฯเพื่อแทนระบบกระจายสารรังสีไนโตรเจน-16 ด้วย Diffuser Pump มีอัตราการไหลประมาณ 80 แกลลอนต่อนาที

1.4 ในกรณีศึกษาจะไม่คิดผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศ และความดันภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ รวมถึงการถ่ายเทความร้อนจากผิวของวัสดุอื่นๆสู่น้ำภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ นอกเหนือจากการถ่ายเทความร้อนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯเท่านั้น



ภาพที่ 9 แบบจำลองบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยที่ใช้ในการศึกษา

2. การตั้งค่าเงื่อนไขการวิเคราะห์โดย CFD

การตั้งค่ากำหนดเงื่อนไขและข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความร้อนในแบบจำลองบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ ใช้กำหนดรูปแบบการคำนวณของปัญหาการไหล เช่น หน่วยประเภทการไหล สภาพอุณหภูมิ และความละเอียดในการคำนวณ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดเงื่อนไขและข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

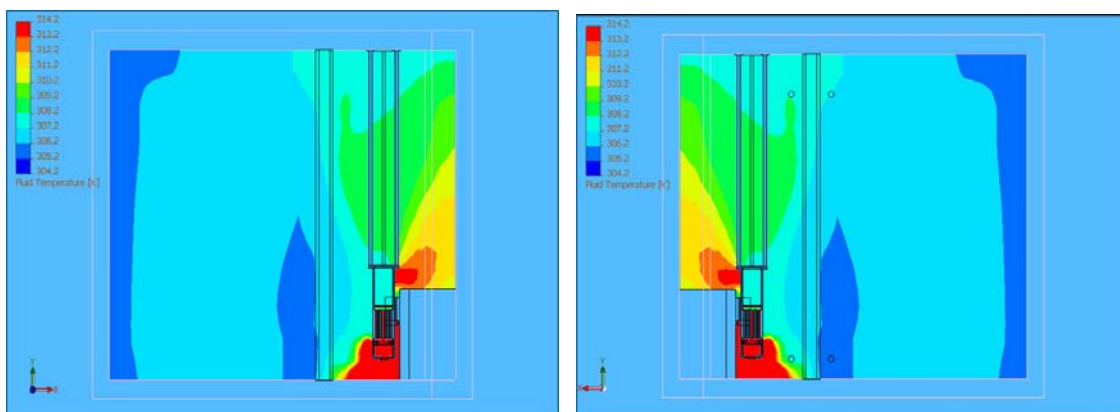
เงื่อนไข	ข้อมูลนำเข้า	หมายเหตุ
Project Name	<i>Reactor</i>	ชื่อที่ใช้ในการวิเคราะห์
Unit System	<i>USA</i>	หน่วยที่ใช้
Fluid Type	<i>WaterSP</i>	ตัวกลางที่วิเคราะห์คือ น้ำ
Physical Feature	<i>Flow type: Laminar and Turbulent</i>	รูปแบบของไหล
Analysis Type	<i>Internal</i>	การไหลภายในปริมาตร
Roughness	<i>Default smooth walls</i> <i>(0 microinches)</i>	ผนังราบเรียบ
Default Wall Condition	<i>Adiabatic wall</i>	ไม่คิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง
Initial and Ambient Condition	<i>Thermodynamic parameters</i> <i>Static Pressure: 101325 Pa</i> <i>Temperature: 308.2 K</i>	สถานะที่เริ่มต้นวิเคราะห์ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิในระบบ 35 เซลเซียส
Result and Geometry Resolution	<i>Default result resolution level 2;</i> <i>Automatic Minimum gap size and wall thickness</i>	ความละเอียดในการคำนวณ ใช้การตั้งค่าอัตโนมัติระดับ 2
Inlet Boundary Condition	<i>Inlet Flow Rate : Inlet 1 = 500 GPM</i> <i>Inlet 2 = 500 GPM</i> <i>Temperature: 304.2 K</i> <i>Inlet Core Flow Rate = 80 GPM</i> <i>Temperature: 307.7 K</i>	เงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นการคำนวณ อัตราการไหลและอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เงื่อนไข	ข้อมูลนำเข้า	หมายเหตุ
Outlet Boundary Condition	<i>Static Pressure :</i> <i>Default value (101325 Pa, 307.7 K)</i> <i>of Static Pressure at the Outlet 1, 2</i>	เงื่อนไขขอบเขตทางออก ของระบบ ความดันและอุณหภูมิ
Heat Sources (ต้นกำเนิดความร้อน)	<i>Heat surface sources :</i> <i>Heat Generation Rate</i> <i>เทอร์โมคัปเปิล Reactor<1> 1200 KW</i>	ต้นกำเนิดความร้อนพื้นผิว อัตราการกำเนิดความร้อน อุปกรณ์ต้นกำเนิดและค่าตั้งต้น
Goals (ผลลัพธ์)	<i>Type: Global Goals</i> <i>Value: Average Temperature of Fluid</i> <i>Face / Component: -</i>	ชนิดคำนวณทั้งระบบ ค่าผลลัพธ์คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งระบบ
	<i>Type: Surface Goals</i> <i>Value: Maximum Temperature of Fluid</i> <i>Face / Component: Outlet face 1, 2</i>	ชนิดคำนวณเฉพาะพื้นผิว ค่าผลลัพธ์คือ อุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งผิวที่คำนวณ
	<i>Type: Surface Goals</i> <i>Value: InCore Volume Flow Rate</i> <i>Face / Component: Inlet Core</i>	ชนิดคำนวณเฉพาะพื้นผิว ค่าผลลัพธ์คือ อุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งผิวที่คำนวณ
	<i>Type: Surface Goals</i> <i>Value: Inlet Volume Flow Rate</i> <i>Face / Component: Inlet Face 1, 2</i>	ชนิดคำนวณเฉพาะพื้นผิว ค่าผลลัพธ์คือ อุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งผิวที่คำนวณ
	<i>Type :Volume Goals</i> <i>Value : Average Temperature of Fluid</i> <i>Face / Component: เทอร์โมคัปเปิล Reactor<1></i>	ชนิดคำนวณปริมาตร ค่าผลลัพธ์คือ อุณหภูมิสูงสุดตำแหน่งปริมาตรที่คำนวณ

3. ผลการระบายความร้อนภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ที่อัตราการไหล 1000 แกลลอนต่อนาที

ผลของอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 10 - 14 การถ่ายเทความร้อนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์สู่ร่างกายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปริมาณวิจัย เป็นดังนี้

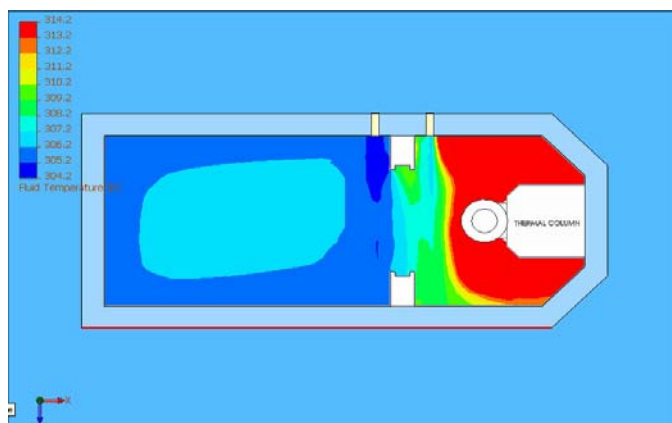


(a) ด้านหน้าของบ่อ

(b) ด้านหลังของบ่อ

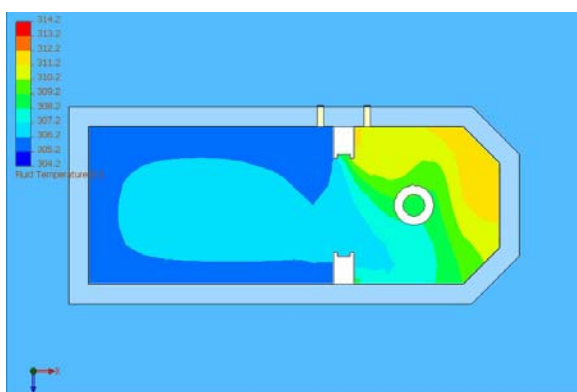
ภาพที่ 10 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวตั้งบ่อที่อัตราการไหล 1000 GPM

จากภาพตัดขวางตามแนวตั้งต้นบ่อ – ท้ายบ่อ จะสังเกตเห็นการกระจายความร้อนเป็นแนวเฉียงรูปกรวยทะแยงไปทางต้นบ่อ ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำเข้าทางด้านล่างเข้าไปไล่ความร้อนบริเวณพื้นบ่อให้กระจายขึ้นด้านบน แต่เกิดการปะทะกันระหว่างน้ำเข้าบ่อกับกระแสน้ำที่มาจาก diffuser pump ที่ตกลงมาจากด้านบนแกนเครื่องปฏิกรณ์ จึงทำให้เห็นปริมาณความร้อนสะสมอยู่บริเวณใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์บางส่วน แต่ความร้อนส่วนใหญ่ที่ผลิตออกมาจากแกนเครื่องปฏิกรณ์จะกระจายตัวขึ้นไปทางด้านบนเพื่อที่จะระบายออกไปสู่ทางน้ำออกด้านบนบ่อปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการถ่ายเทความร้อนภายในบ่อปฏิกรณ์เป็นไปตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนตามธรรมชาติ

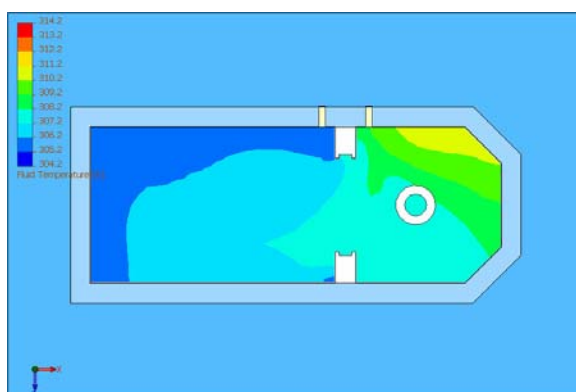


ภาพที่ 11 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ.ตำแหน่งตัดขวางตามแนวนอนระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อ ที่อัตราการไหล 1000 GPM

จากรูปตัดขวางตามแนวนอนที่ระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อจะสังเกตเห็นการกระจายความร้อนที่บริเวณใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ มีความร้อนสูงสะสมใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯแผ่กระจายเป็นวงกว้างเกือบเท่าบริเวณพื้นบ่อเล็ก ซึ่งเป็นผลมาจากพลังงานของเครื่องที่ผลิตออกมา แล้วโดน diffusion pump กดลงมาจากด้านบน ในขณะที่บ่อใหญ่การกระจายตัวของความร้อนบริเวณพื้นบ่อไม่มากนัก เนื่องจากมีท่อน้ำเย็นเข้ามาระบายความร้อนอยู่ตลอดเวลา



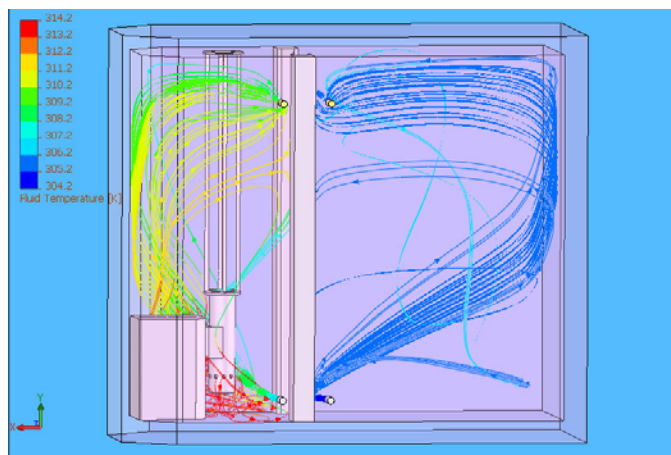
(a) ตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร



(b) ตัดแนวนอนที่ระยะ 8 เมตร

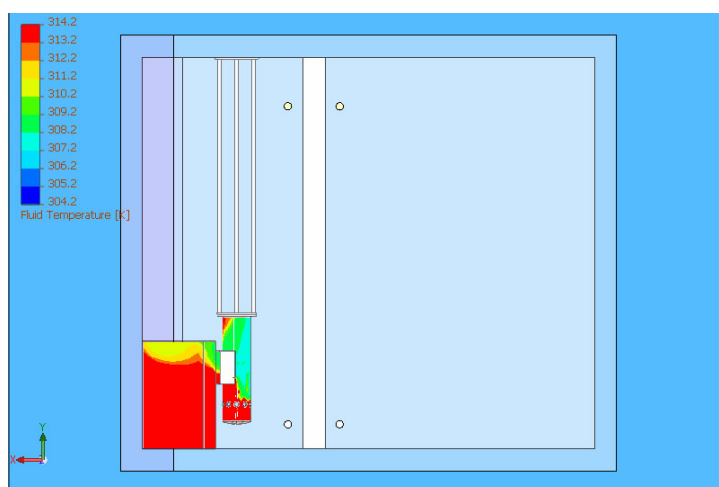
ภาพที่ 12 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ.ตำแหน่งตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร ตำแหน่งครึ่งบ่อ และ 8 เมตร ตำแหน่งปากบ่อ ที่อัตราการไหล 1000 GPM

จากรูปตัดแนวนอน ที่ระยะ 4 เมตร และ 8 เมตร จะเห็นการกระจายตัวของความร้อนของบ่อเล็ก ซึ่งจะกระจายความร้อนไปสู่บ่อใหญ่มากขึ้นตามระดับความสูงของบ่อและเวลาที่ผ่านไป ซึ่งเป็นผลจากการกระจายความร้อนทางด้านล่างเพื่อไประบายออกทางด้านบนของบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ ตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแต่เบื้องต้น ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COSMOS Floworks จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 แสดงการกระจายตัวของน้ำภายในบ่อ ที่อัตราการไหล 1000 GPM

จากภาพที่ 13 จะสังเกตเห็นการกระจายตัวของอัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้ามาจากด้านล่างของบ่อปฏิกรณ์ เพื่อนำความร้อนที่สะสมภายในบ่อออกไประบายทิ้งที่ช่องระบายน้ำทางด้านบน



ภาพที่ 14 แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ
ที่อัตราการไหล 1000 GPM

จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าของไหลบริเวณผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงเนื่องมาจากการระบายความร้อนออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ถ่ายเทออกมาสู่น้ำบริเวณรอบๆเป็นหลัก ซึ่งค่าอุณหภูมิของน้ำรอบๆบริเวณผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรมประมาณ 58.72 องศาเซลเซียส

4. การตรวจสอบผลการวิเคราะห์แบบจำลอง (Validation Model)

ตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD โดยทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิจริง ณ บริเวณตำแหน่งต่างๆ ภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ เช่น อุณหภูมิน้ำออกจากบ่อ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ่อ และอุณหภูมิของไหลบริเวณผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นนำผลที่ได้จากการตรวจวัดมา ทำการเปรียบเทียบผลการกระจายของอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD เช่นกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่า ค่าอุณหภูมิจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD มีค่าสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจริง แสดงว่าโปรแกรม CFD ที่เลือกใช้นี้สามารถวิเคราะห์ผลได้ถูกต้องแม่นยำ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ต่อไปในการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิการถ่ายเทความร้อนภายในบ่อปฏิกรณ์ภายหลังมีการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย

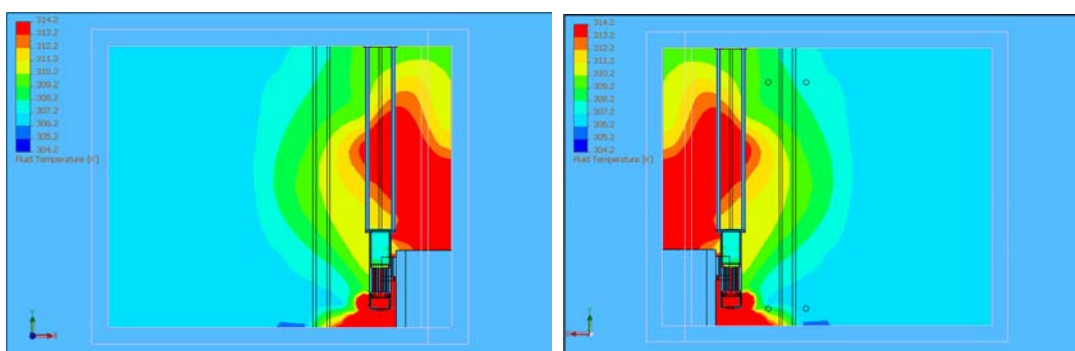
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลจาก CFD กับค่าที่วัดจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์จริง

Thermal Power 1.2 MW	ผลจากการวัดค่าจริง (องศาเซลเซียส)	ผลจากการวิเคราะห์ ด้วย CFD (องศาเซลเซียส)	% error
อุณหภูมิน้ำออกจากบ่อ	34.5	35.5 - 36	2.89 – 4.3
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ่อ	35.0	36	2.85
อุณหภูมิของไหลบริเวณ ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์	62.13	58.72	5.28

5. อัตราการไหลจุดวิกฤติที่อัตราการไหล 700 แกลลอนต่อนาที

การทดสอบอัตราการไหลที่เป็นจุดวิกฤติ ที่จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนยอมรับไม่ได้ นั่นคือ ทำให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ (bulk temperature) มีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ซึ่งระบุไว้ใน SAR (safety analysis reports) ของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำได้โดยการใช้โปรแกรม COSMOS Flowworks ช่วยในการคำนวณ โดยการปรับลดอัตราการไหลลงจากสภาวะการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ ปกติที่ 1000 แกลลอนต่อนาที ลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบอัตราการไหลที่เป็นจุดวิกฤติดังกล่าว

ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าวทำให้พบว่าอัตราการไหลของระบบปฏิกิริยาที่เป็นจุดวิกฤติ อยู่ที่ 700 แกลลอนต่อนาที ดังสามารถอธิบายได้ตามภาพที่ 15 - 19 ดังนี้

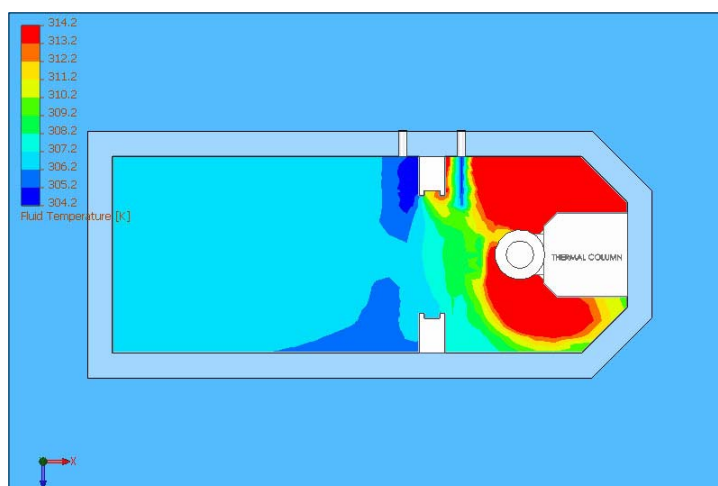


(a) ด้านหน้าของบ่อ

(b) ด้านหลังบ่อ

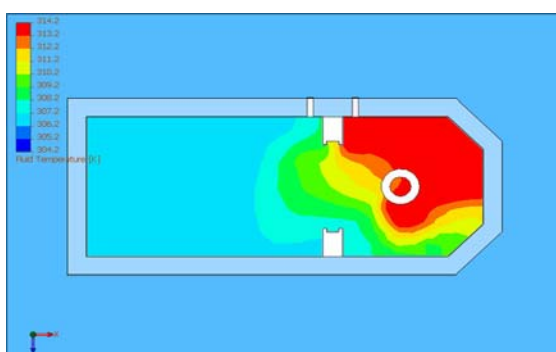
ภาพที่ 15 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวตั้งบ่อ
ที่อัตราการไหล 700 GPM

ภาพตัดขวางตามแนวตั้งด้านหน้าของบ่อ จะสังเกตเห็นการกระจายความร้อนเป็นแนวเฉียงไปสะสมทางต้นบ่อและจากทางด้านล่างเฉียงขึ้นทางด้านบนมากขึ้นเป็นบริเวณกว้างกว่าภาพที่ 10 ที่มีอัตราการไหลเป็น 1000 แกลลอนต่อนาที เนื่องจากมีการสะสมความร้อนอยู่ทั้งบริเวณใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯและบริเวณเหนือเทอร์โมคอลลัมน์เป็นปริมาณมากทำให้การถ่ายเทความร้อนจากก้นบ่อ เพื่อไประบายออกทางด้านบนต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นนั่นเอง

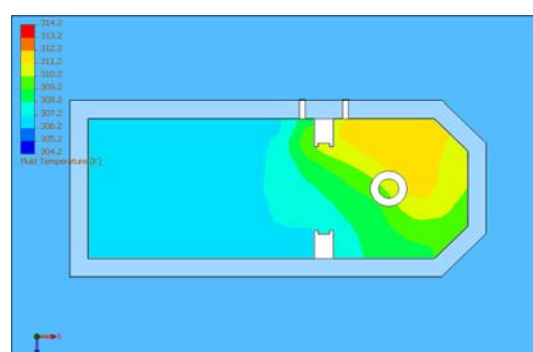


ภาพที่ 16 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ.ตำแหน่งตัดขวางตามแนวนอนระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อ ที่อัตราการไหล 700 GPM

ภาพตัดขวางตามแนวนอนที่ระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อจะสังเกตเห็นการกระจายตัวของความร้อนที่บริเวณใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ของบ่อเล็กที่มีความร้อนสูงแพร่กระจายไปสู่บริเวณบ่อใหญ่ได้มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของบ่อใหญ่สูงขึ้นมากกว่าภาพที่ 11 เนื่องจากอัตราการไหลที่ลดลงจาก 1000 แกลลอนต่อนาที เหลือเพียง 700 แกลลอนต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากบ่อปฏิกรณ์ลดลงจากสภาวะการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯปกติ



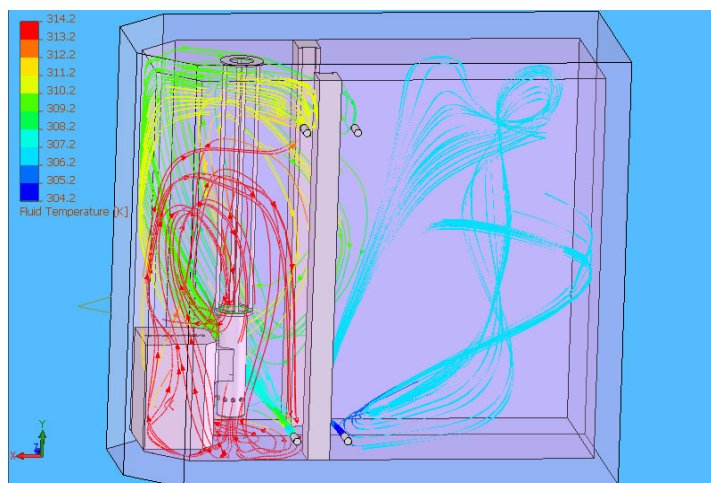
(a) ตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร



(b) ตัดแนวนอนที่ระยะ 8 เมตร

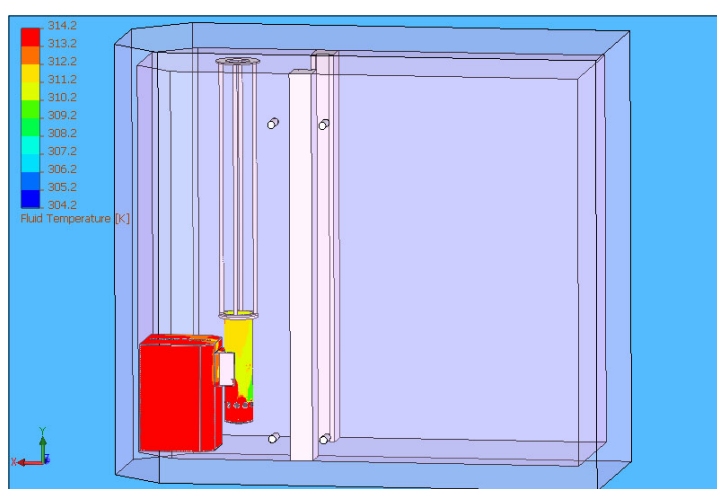
ภาพที่ 17 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ.ตำแหน่งตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร ตำแหน่งครึ่งบ่อ และ 8 เมตร ตำแหน่งปากบ่อ ที่อัตราการไหล 700 GPM

จากภาพตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร และ 8 เมตร จะเห็นว่าการกระจายตัวของความร้อน ทั้งในบ่อใหญ่และบ่อเล็ก มีการกระจายตัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COSMOS Flowworks จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 แสดงการกระจายตัวของน้ำภายในบ่อ ที่อัตราการไหล 700 GPM

จากภาพที่ 18 จะสังเกตเห็นการกระจายตัวของการไหลเวียนน้ำบริเวณบ่อเล็กค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของ diffuser pump บริเวณเหนือแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ รวมถึง การลดลงของอัตราการไหลทำให้การถ่ายเทความร้อนจากก้นบ่อ เพื่อไประบายออกทางด้านบนต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นกว่าเมื่อมีอัตราการไหล 1000 แกลลอนต่อนาที

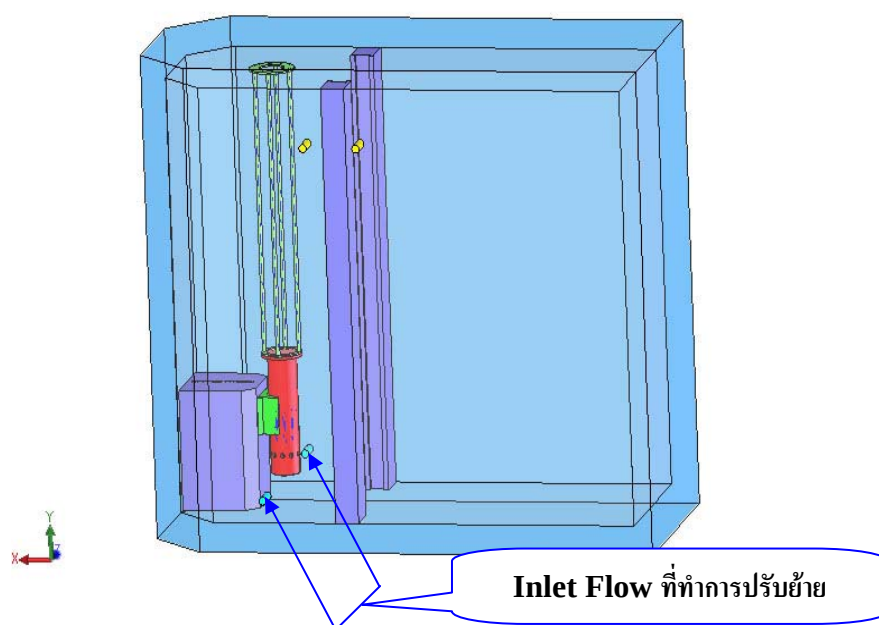


ภาพที่ 19 แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบที่อัตราการไหล 700 GPM

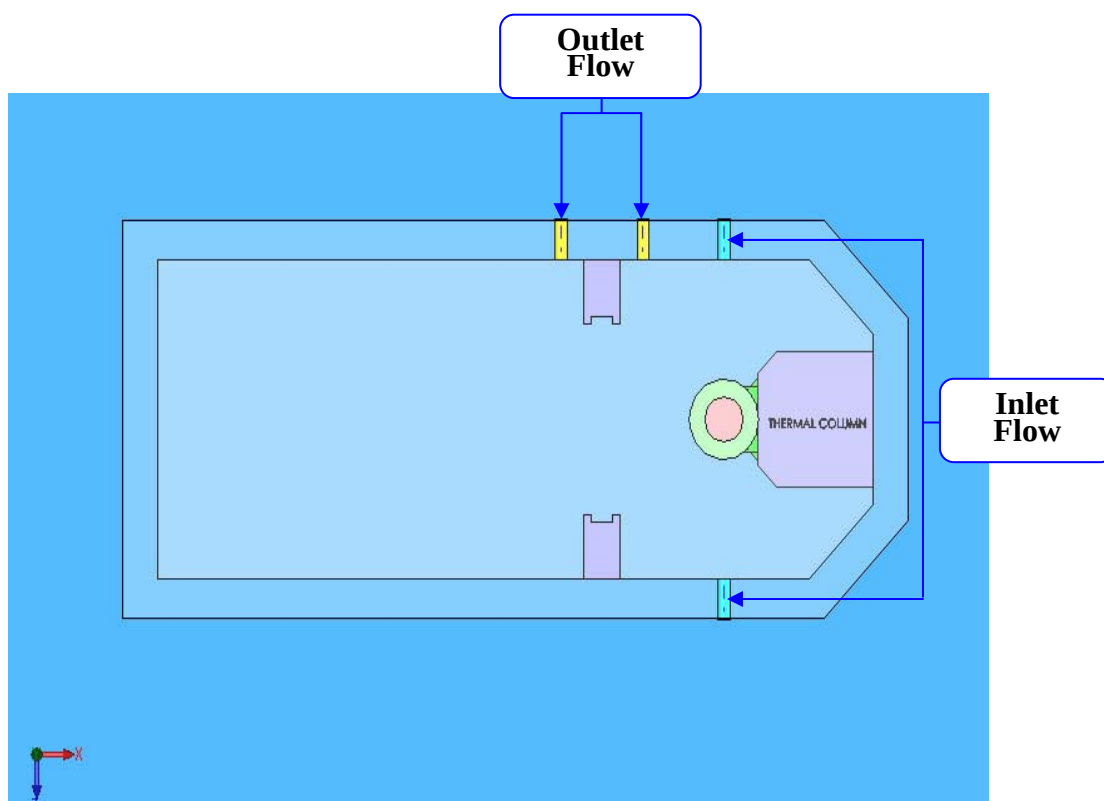
จากภาพที่ 19 แสดงให้เห็นอุณหภูมิของไหลบริเวณผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการไหลลดลงจะทำให้การระบายความร้อนบริเวณดังกล่าวลดต่ำลงด้วย เป็นผลให้มีอุณหภูมิสะสมบริเวณดังกล่าวสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ผลิตออกมาจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ไม่สมดุลกับปริมาณการถ่ายเทความร้อนออกจากบ่อปฏิกรณ์ที่อัตราการไหล 700 แกลลอนต่ออนาที อุณหภูมิบริเวณรอบแกนเครื่องปฏิกรณ์วัดได้ 61.79 องศาเซลเซียส

6. การทดลองปรับแต่งแบบจำลอง

การทดลองปรับแต่งแบบจำลองกระทำโดยการเปลี่ยนตำแหน่งท่อน้ำเข้าบ่อปฏิกรณ์ฯ จากเดิมบริเวณใกล้ที่รองรับประตูกั้นน้ำทั้งสองด้าน มาอยู่ที่บริเวณกลางแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ โดยกำหนดให้ Boundary Condition ต่าง ๆ รวมถึงอัตราการไหลเป็น 1000 แกลลอนต่ออนาที เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะการเดินเครื่องในปัจจุบันในกรณีแรก ของการใช้โปรแกรม CFD เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในบ่อปฏิกรณ์

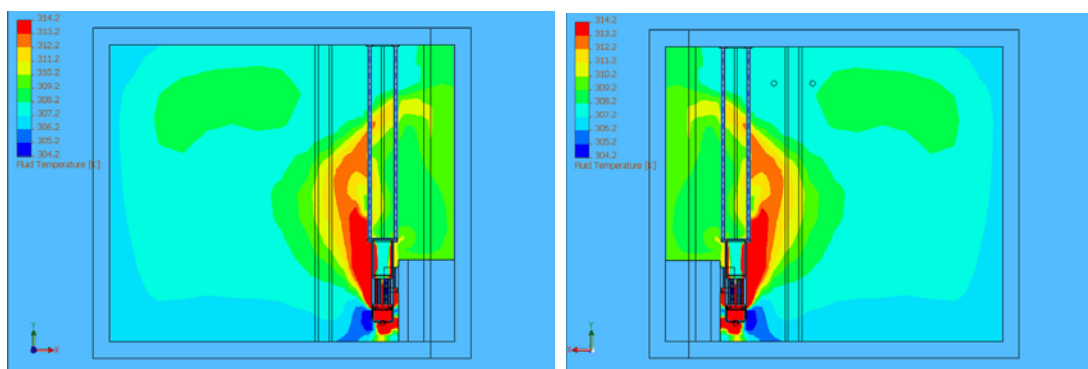


ภาพที่ 20 แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow



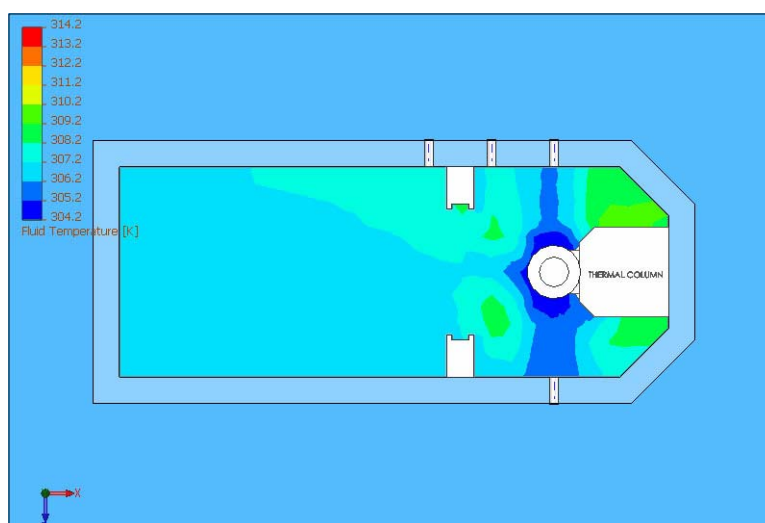
ภาพที่ 21 แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow มองจากด้านบน

ซึ่งผลการทดลองที่ได้รับแสดงในภาพที่ 22 - 26 ดังนี้



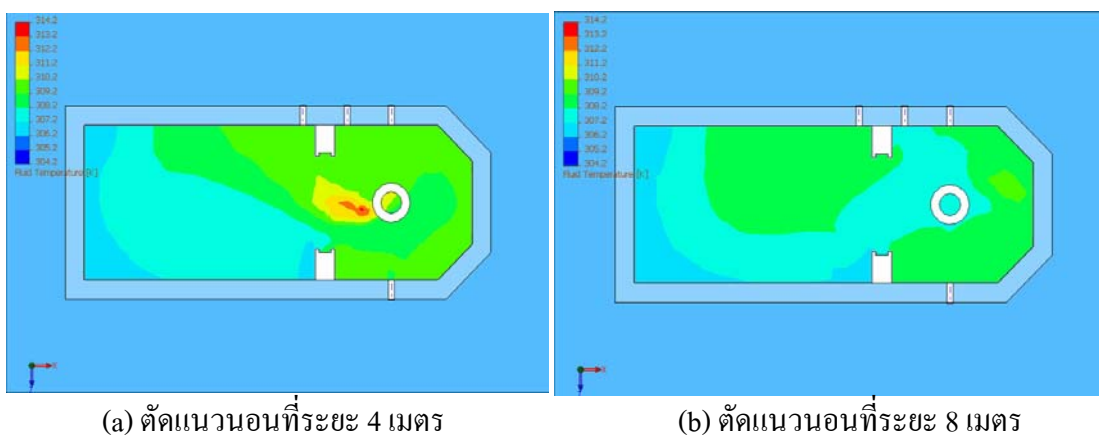
ภาพที่ 22 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวตั้งบ่อ
เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow

จากภาพที่ 22 จะสังเกตเห็นการกระจายความร้อนเป็นแนวทะแยงเฉียงจากด้านล่างขึ้นไป ด้านบน และจากต้นบ่อเฉียงขึ้นไปทางด้านท้ายบ่อ ซึ่งเป็นลักษณะตรงข้ามกับรูปที่ 10 ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่ามาจากอิทธิพลของกระแสท่อน้ำเข้า ซึ่งอยู่ 2 ฟังตรงข้ามมาแกนเครื่องปฏิกรณ์มาปะทะกับกระแสน้ำจาก diffuser pump ที่พุ่งจากด้านบนของแกนเครื่องปฏิกรณ์ลงสู่ด้านล่าง รวมถึงน้ำร้อนใต้แกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ที่ถูกดันให้ลอยตัวขึ้นเพื่อไประบายออกทางด้านบน จึงทำให้เห็นการกระจายตัวของความร้อนในลักษณะดังกล่าว



ภาพที่ 23 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดขวางตามแนวนอนที่ระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow

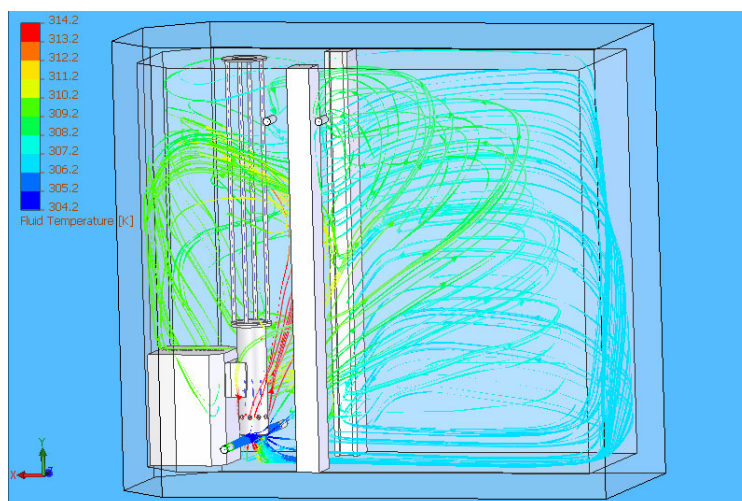
จากรูปตัดแนวนอนที่ระยะ 1 เมตร จากพื้นบ่อจะเห็นว่าอุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวลดต่ำกว่าในการทดลองทั้ง 2 กรณีข้างต้น เนื่องจากน้ำเย็นเข้ามาไล่ความร้อนที่สะสมบริเวณพื้นบ่อให้กระจายความร้อนขึ้นสู่ด้านบนได้มากขึ้น ทำให้ไม่มีปริมาณความร้อนสะสมหลงเหลือที่บริเวณพื้นบ่อมากเท่ากับเมื่อเทียบจากสองกรณีแรก



ภาพที่ 24 แสดงอุณหภูมิของน้ำในรูปของแถบสี ณ ตำแหน่งตัดแนวนอนที่ระยะ 4 เมตร

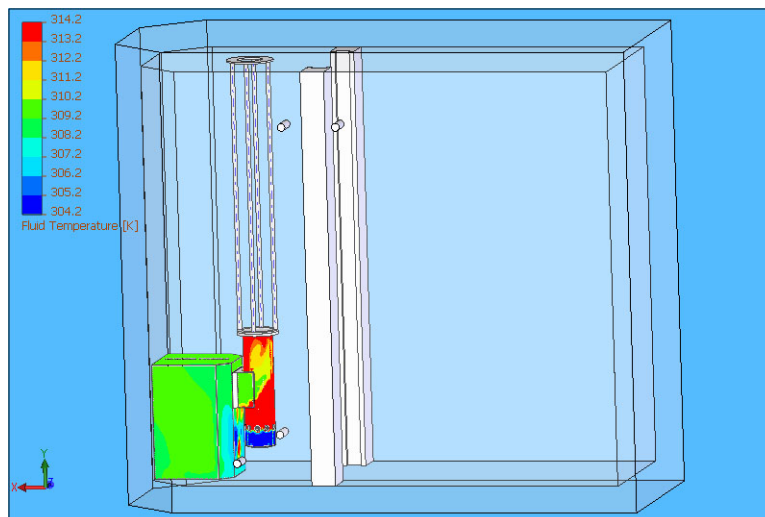
ตำแหน่งครึ่งบ่อ และ 8 เมตร ตำแหน่งปากบ่อ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow

จากภาพตัดแนวนอน ที่ระยะ 4 เมตร และ 8 เมตร จะเห็นว่าการกระจายตัวของความร้อนเกิดขึ้นทั่วไปทั้งในบ่อใหญ่และบ่อเล็ก อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 38 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิของน้ำบริเวณทางออกด้านบนอยู่ที่ 37 – 38 องศาเซลเซียส ซึ่งก็เป็นการยืนยันได้ถึงการถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ดีขึ้นกว่ากรณีแรก



ภาพที่ 25 แสดงการกระจายตัวของน้ำภายในบ่อ เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow

จากภาพที่ 25 แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงการไหลเวียนของการกระจายตัวของความร้อนภายในบ่อปฏิกรณ์ฯ ที่กระจายไปทั่วทั้งบ่อ



ภาพที่ 26 แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ
เมื่อมีการปรับย้ายตำแหน่ง Inlet Flow

จากภาพอุณหภูมิของไหลที่บริเวณผิวแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการย้ายตำแหน่งทางน้ำเย็นเข้ามาระบายความร้อนในบ่อปฏิกรณ์ดังกรณีเช่นนี้ แกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบ เช่น Thermal Column มีอุณหภูมิลดลงอย่างเห็นได้ชัด ถึงแม้ว่าในการวิจัยครั้งนี้จะมีได้คำนึงถึงอุณหภูมิผิวของวัสดุก็ตามแต่ก็สามารถทำนายได้ว่าผิวของแกนเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ประกอบก็จะต้องมีอุณหภูมิลดลงเช่นกัน

7. วิเคราะห์ผลจาก CFD

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COSMOS Flowworks พบว่าในกรณีแรก เมื่ออัตราการไหลเป็น 1000 แกลลอนต่อนาที ตามสภาวะการทำงานจริงของการเดินเครื่องปฏิกรณ์ ปริมาณวิจัยที่ระดับกำลัง 1200 กิโลวัตต์ความร้อน แสดงให้เห็นว่าอัตราการระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ มีความเหมาะสมพอเพียง เนื่องจากพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงที่ 35 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากโปรแกรมพบว่ามีความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 5% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และยืนยันได้ว่าสามารถนำโปรแกรม COSMOS Flowworks มาช่วยในการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี

กรณีที่ 2 การหาอัตราการไหลจุดวิกฤติที่อัตราการระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ไม่สามารถยอมรับได้ พบว่าจุดวิกฤติอยู่ที่อัตราการไหล 700 แกลลอนต่อนาที ที่อัตราการไหลดังกล่าวทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเกินข้อกำหนดทางวิศวกรรมของเครื่องปฏิกรณ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้เกิดความเสียหายต่อ resin เป็นสำคัญ เพราะจะทำให้ resin ซึ่งเป็นตัวกรองสารรังสีที่ปนเปื้อนมากับน้ำในระบบปฐมภูมิ มีความสามารถในการกรองสารรังสีลดลง

กรณีที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งท่อทางน้ำเข้าสู่บ่อเครื่องปฏิกรณ์เป็นบริเวณตรงข้ามแกนเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองฝั่ง ที่อัตราการไหลเป็น 1000 แกลลอนต่อนาที จะพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ 38 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าในกรณีแรก แต่แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนตำแหน่งดังกล่าวจะช่วยให้มีการถ่ายเทความร้อนที่สะสมภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ให้ระบายความร้อนออกมาสู่น้ำซึ่งเป็นตัวระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

8. ปัญหาที่พบจากการใช้ CFD

การใช้ CFD ในการวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Solidwork 2004 เป็นโปรแกรมช่วยในการสร้างแบบจำลองบ่อปฏิกรณ์ และใช้โปรแกรม COSMOS Flowworks 2004 เป็นโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ระบบระบายความร้อน ปัญหาที่พบจึงมีความเกี่ยวเนื่องกันทั้งสองโปรแกรม แต่ส่วนใหญ่มักจะพบปัญหาในช่วงการวิเคราะห์ การแก้ปัญหาจึงต้องทำทั้งในส่วนการแก้แบบจำลองร่วมกับแก้ไขข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใส่เป็นปัจจัยเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ระบบระบายความร้อน ซึ่งการวิจัยนี้จะได้แสดงตัวอย่างของปัญหาที่พบร่วมกันทั้งสองโปรแกรมพอสังเขป ดังนี้

8.1 แบบจำลองที่จะใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COSMOS Flowworks นั้นจะต้องเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะปิดเท่านั้น จึงจะสามารถวิเคราะห์ได้

8.2 แบบจำลองที่เป็นลักษณะปิดดังกล่าวไม่สามารถใช้การขึ้นรูปแล้วขยาย (extrude) ขึ้นเป็นแบบจำลองได้ จึงต้องทำการเปลี่ยนรูปแบบเป็นการขึ้นรูปแล้วขยายเป็นแบบเปลือก (shell) ในส่วนของผนังบ่อในทุก ๆ ด้าน จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ได้

8.3 ขั้นตอนการใส่ Boundary Condition ในส่วนของ Inlet และ Outlet นั้น ไม่สามารถกำหนดในรูปแบบของ Volume Flow Rate ทั้งหมดได้ วิธีการที่จะสามารถวิเคราะห์ได้จะต้องมีส่วนของ Outlet อย่างน้อย 1 ช่องเปิด ที่กำหนดให้เป็น Outlet Static Pressure

8.4 ขั้นตอนการใส่ Heat Sources นั้นมีให้เลือกทั้งแบบ Surface Sources และแบบ Volume Sources ซึ่งในการวิจัยนี้ต้องใช้ Surface Sources ในส่วนของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ เนื่องจากเมื่อใส่เป็น Volume Sources แล้ว ส่วนของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ จะหลอมละลายก่อนการวิเคราะห์เสร็จสิ้น

5. การวิเคราะห์ด้วย COSMOS Floworks นั้นจะใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และส่วนประกอบของแบบจำลอง รวมถึงการใส่ค่าข้อกำหนดต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ว่ามีมากน้อยเท่าใด ซึ่งหากมีอุปกรณ์และส่วนประกอบของแบบจำลองมาก อาจต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานขึ้น จึงต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลความเร็วสูง และต้องมีหน่วยความจำ (RAM) อย่างต่ำ 1 GHZ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนตามธรรมชาติ ตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และพลศาสตร์ของไหล ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณพบว่าการระบายความร้อนออกจากบ่อเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยเป็นไปอย่างเหมาะสม พอเพียงสำหรับการเดินเครื่องปฏิกรณ์ฯในสภาวะปัจจุบัน

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ ทำให้มองเห็นภาพการกระจายตัวของความร้อนซึ่งง่ายต่อการเข้าใจ และอธิบายปัญหาของการไหลได้อย่างละเอียด ผลการวิเคราะห์จากการสร้างโมเดลจำลองพบว่ามีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ทำให้สามารถทำการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของบ่อ และตัวแปรที่เพิ่มอัตราการไหลของน้ำ ทำให้สามารถลดอุณหภูมิของแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯลงได้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นผลให้ทำการปรับปรุงแก้ไขที่สาเหตุได้อย่างเหมาะสม

การปรับปรุงดังกล่าวมีผลต่อความมั่นคง ปลอดภัยของระบบการทำงานแบบต่อเนื่องของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับการเดินเครื่องปฏิกรณ์ ระบบสนับสนุน รวมถึงผู้ใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย และลดค่าความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุทางรังสี ให้อยู่ในระดับที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ

ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศ และความดันภายในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อให้ได้ผลที่ละเอียดและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ด้านการขยายผลงานวิจัยสามารถนำแนวความคิดที่ได้จากการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้งาน ในการศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสม พอเพียงขั้นต่ำของระบบระบายความร้อนในสถานประกอบการอื่น ๆ ได้เช่น อาคารที่มีเครื่องกำเนิดความร้อน หรือห้องเครื่องยนต์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และทำให้งานวิจัยสามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อส่วนรวมในอนาคต

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จิระพล ฉายชัย. 2530. 30 เรื่องน่ารู้เทคนิคการปรับอากาศ. กรุงเทพฯ.
- ธงชัย อุทัยรัตน์. การศึกษาเชิงวิเคราะห์ในระบบระบายอากาศสำหรับอุโมงค์ร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. 2536. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). ปรับปรุงและพิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.
- วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2526. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2521. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย- 1/ ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปว-1/1). สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, กรุงเทพฯ.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. 2545. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สุรสิทธิ์ พลพันธ์. 2547. การออกแบบเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์ที่פקเข้าป็นเสาไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสฏฐวรรธ สุจิตกวัตตกุล. 2545. การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลด้วยระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. Mechanical Technology Magazine 8. แหล่งที่มา: http://www.se-ed.com/mechanical/me8/me8_73.asp, 5 มีนาคม 2549.
- เสรี ศุภราทิตย์. 2548. กลศาสตร์ของไหล. หจก.สยามสเตชันเนอรีซ์ฟฟลายส์, กรุงเทพมหานคร.
- Alfa-Laval Thermal. 1986. Calculation Sheet for OAEP. Alfa-Laval Thermal AB, Lund, Sweden.

General Atomic Company. 1977. **Safety Analysis Reports.** G.A. California printing for OAEP, Thailand.

Holman, J.P. n.d. **Heat Transfer.** SI Metric Edition, McGraw-Hill Book Company
International Edition, Inc., U.S.A.

Raghavan J. and M.M. Rahman. 1996. **Transient Response of Discrete Heat Sources on
A Conducting board in the Presence of Cross Flow Mixed Convection.**

Energy Conversion Engineering Conference. Available Source:
<http://ieeexplore.ieee.org/iel3/4058/11980/00553920.pdf>, September 4, 2005.

SolidWorks Company. 2004. **Introducing SolidWorks for user guide.** SolidWorks Company,
New York.

_____. 2004. **Introducing COSMOSFloWork for user guide,** SolidWorks Company,
New York.

Yu, E. and Y.K. Joshi. 2000. **Natural Convection Air Cooling of Electronic Components in
Partially Open Compact Horizontal Enclosures.** IEEE Transactions Components and
Packaging Technologies. Available Source:
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6144/18032/00833037.pdf>, September 5, 2005.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1

การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1

เครื่องปฏิกรณ์ฯ ปปว-1/1 เดินเครื่องมายาวนานกว่า 40 ปี คิดเป็นจำนวนพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาทั้งหมดกว่า 1700 เมกะวัตต์-วัน โดยมีสถิติการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสามารถแยกประเภทของงานการศึกษาวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. งานวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ (Neutron Activation Analysis) หรือ NAA เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง
2. งานผลิตไอโซโทป (Radioisotope) เพื่อใช้ในทางการแพทย์ ในการวินิจฉัย และบำบัดโรค ไอโซโทปที่ผลิต คือ I-131 Sm-153 และไอโซโทปที่ใช้ในทางการเกษตร P-32
3. งานศึกษาด้าน นิวเคลียร์ฟิสิกส์ การทดลองต่างๆทางวิศวกรรมเครื่องปฏิกรณ์ฯ (Reactor Engineering) รวมทั้งการศึกษากายภาพโดยใช้นิวตรอน (Neutron Radiography) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของการตรวจสอบโดยไม่ทำลายชิ้นงาน (Non-destructive Testing หรือ NDT)
4. งานฝึกอบรมสำหรับเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ฯ (Reactor Operator Training) เพื่อเป็นเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย และยังเป็นเครื่องมือสำหรับการศึกษาในด้านต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ฯ

นอกจากประโยชน์และการใช้งานในด้านต่างๆดังกล่าวมาแล้ว ยังมีการให้บริการวิเคราะห์ตัวอย่างให้หน่วยราชการอื่นๆ และหน่วยงานเอกชน เช่น เทคนิคการอบนิวตรอนและฉายรังสีแกมมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพอัญมณี เช่น โทแพซ ทัวมาลีน เป็นต้น

ภาคผนวก ข

ประเภทของเครื่องถ่ายเทความร้อน

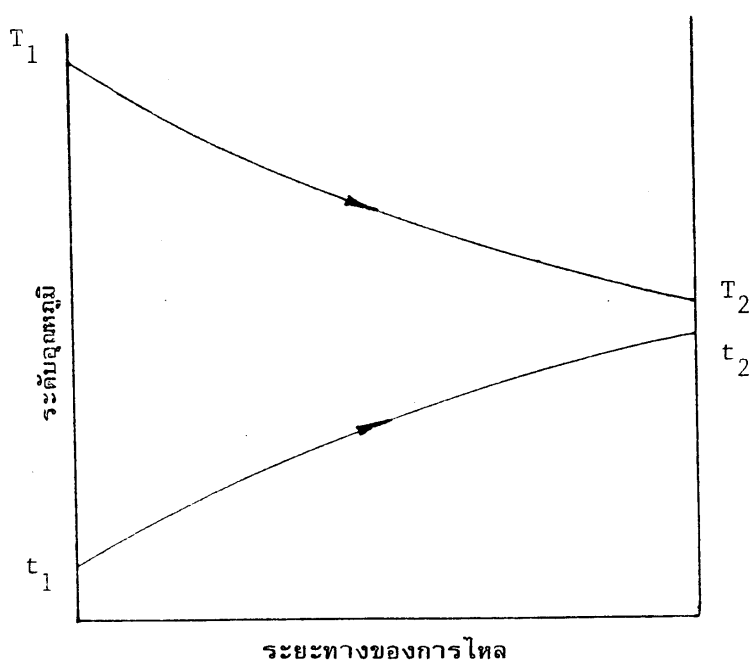
ประเภทของเครื่องถ่ายเทความร้อน (Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ การจำแนกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วอาจจำแนกออกได้เป็น 3 แบบ

1. แบบท่อสองชั้น (Concentric Tube)

ชนิดท่อสองชั้น (Concentric Tube) นี้อยู่ในลักษณะของท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกัน ส่วนการไหลของของไหลนั้นอาจไหลสวนทางกัน เรียกว่า Counter Flow หรือไหลขนานกัน เรียกว่า Parallel Flow

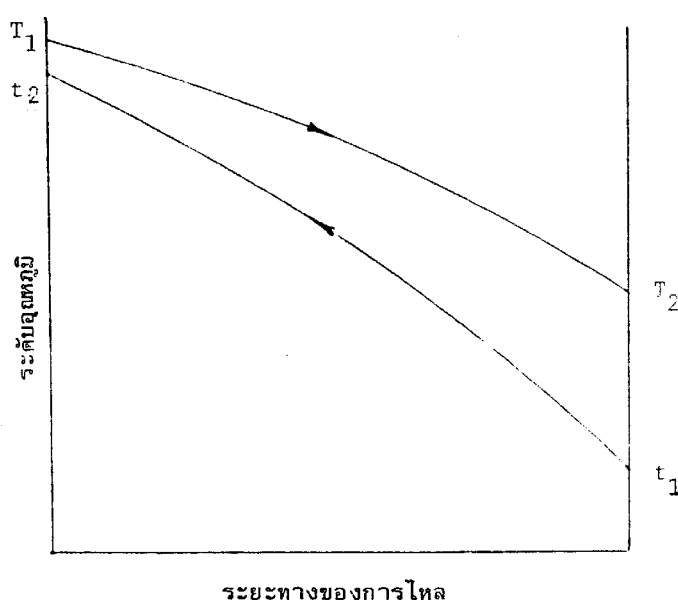
1.1 แบบไหลขนาน แบบนี้ของไหลร้อนกับของไหลเย็นจะไหลไปในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกัน อุณหภูมิของของไหลร้อนจะค่อย ๆ ลดลงในขณะเดียวกันอุณหภูมิของของไหลเย็นจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังภาพผนวกที่ ข1



ภาพผนวกที่ ข1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหลตามระยะทางของการไหล

ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน ของไหลที่ให้ความร้อนไหลเข้า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ T_1 และไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ T_2 หลังจากถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลเย็น ในขณะเดียวกันของไหลที่รับความร้อนจะไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ t_1 และไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิ t_2 ซึ่งจะได้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล $(T_1 - t_1)$ ที่ทางเข้ามากกว่าผลต่าง $(T_2 - t_2)$ ที่ไหลออกมา

1.2 แบบไหลสวนทาง ลักษณะของไหลแบบนี้ของไหลร้อนและของไหลเย็นจะมีทิศทางการไหลสวนทางกัน อุณหภูมิของของไหลร้อนจะค่อย ๆ ลดลงในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่อุณหภูมิของของไหลเย็นจะเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม ดังภาพผนวกที่ ข2



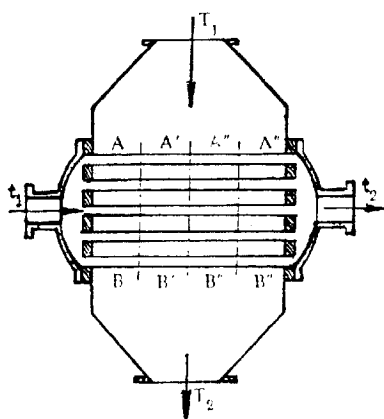
ภาพผนวกที่ ข2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

จากภาพเมื่อพิจารณาจะพบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางของการไหลสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีการไหลแบบไหลสวนทางกัน ในกรณีนี้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไหลที่ปลายด้านอุณหภูมิสูง ($T_1 - t_2$) จะน้อยกว่าผลต่างที่ปลายทางด้านอุณหภูมิต่ำ ($T_2 - t_1$) เพียงเล็กน้อย

2. แบบที่ของไหลมีทิศทางการไหลตั้งฉากกัน (Cross Flow)

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลจะไหลในทิศทางตั้งฉากต่อกัน การสร้างนั้นอาจจะให้อยู่ในลักษณะของไหลเดี่ยวเดียว (Single Pass) หรือไหลสองเที่ยว (Double Pass) หรือมากกว่านี้ก็ได้

2.1 แบบไหลตั้งฉาก ลักษณะของการไหลแบบนี้ถ้าพิจารณาตามรูปที่ 4 จะพบว่า การถ่ายเทความร้อนที่จุด A จะเกิดขึ้นระหว่างของไหลร้อนที่อุณหภูมิทางเข้า T_1 และของไหลเย็นที่อุณหภูมิทางเข้า t_1 เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่จุด A อุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด A' จะสูงกว่าที่จุด A ด้วยปริมาณ dt แม้ว่าอุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด B จะเป็น t_1 เท่ากับที่จุด A แต่อุณหภูมิของของไหลร้อนที่จุด B จะต่ำกว่าที่จุด A ด้วยปริมาณ dT สรุปแล้วอุณหภูมิของของไหลเย็นที่จุด A กับจุด B ย่อมไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนอย่างละเอียดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก จึงสลับซับซ้อนกว่าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางหรือแบบไหลขนาน



ภาพผนวกที่ ข3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก

3. แบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube)

แบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube) ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ ของไหลอย่างหนึ่งจะอยู่ในเชลล์ อีกอย่างหนึ่งจะอยู่ในท่อ ส่วนการไหลนั้นอาจอยู่ในลักษณะแบบไหลสวนทางหรือแบบไหลขนานกัน หรือทั้งไหลสวนทางและไหลขนานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเดียวกันก็ได้ นอกจากนี้ของไหลอาจจะมีทิศทางตั้งฉากกับท่อด้วย

สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อนั้น เพื่อเพิ่มความเร็วและความอลวนของของไหลในเชลล์ ในการที่จะเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน มักจะใส่แผ่นบังกั้นการไหลไว้ในเชลล์ซึ่งเรียกว่าแผ่นแบบเฟิลไว้ด้วย แผ่นแบบเฟิลนี้ใช้สำหรับยึดท่อภายในเชลล์ด้วย

ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness) คือ อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทจริงๆ ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทได้มากที่สุด

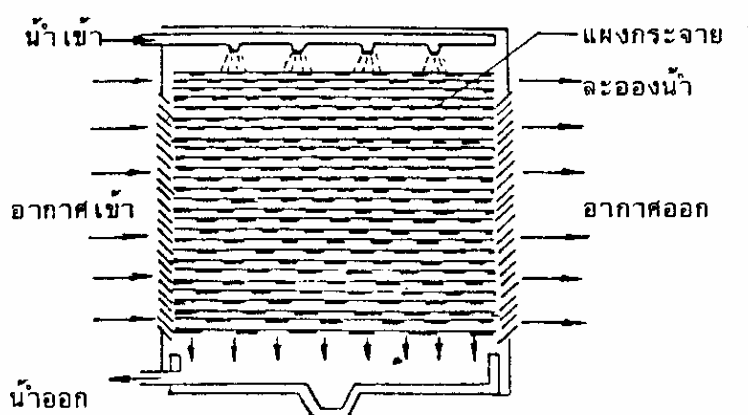
$$\varepsilon = \frac{\text{actual heat transfer}}{\text{maximum possible heat transfer}} \quad (1)$$

ภาคผนวก ค
ประเภทของหอระบายความร้อน

ประเภทของหระบายความร้อน (Cooling Tower)

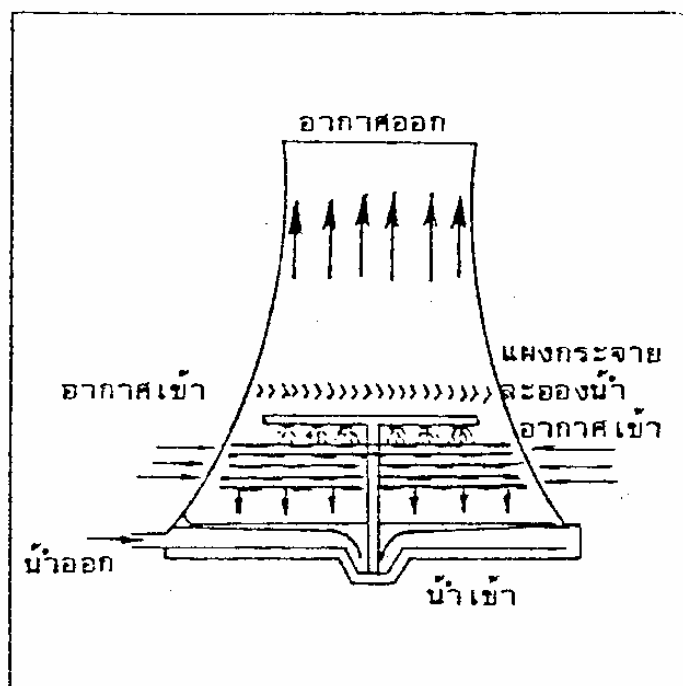
สามารถจำแนกประเภทของหระบายความร้อนได้หลายประเภท แต่ในที่นี้จะจำแนกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท ตามวิธีการทำให้อากาศเคลื่อนไหว นั่นคือ แบบใช้การเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติ (natural draft) และแบบอาศัยพัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหว (mechanical)

1. หระบายความร้อนชนิดอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ หระบายความร้อนประเภทนี้เป็นหระบายความร้อนอย่างง่ายที่ใช้การสเปรย์น้ำลงมาจากข้างบนและตัวหระบายความร้อนมีเหมือนกับแผงโปร่งที่ทำให้อากาศสามารถพัดผ่านได้ โดยที่อากาศจะพัดผ่านในแนวนอน ผ่านแผงกระจายละอองน้ำ จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง สำหรับด้านยาวของหระบายความร้อนจะอยู่ในทิศทางที่ลมพัดผ่าน ส่วนด้านกว้างของหระบายความร้อน ประเภทนี้จะไม่สามารถกว้างได้มากนัก เพื่อทำให้ความเสียดทานต่อการ เคลื่อนไหวของอากาศน้อยที่สุด การใช้หระบายความร้อนประเภทนี้มีอยู่แต่ละเฉพาะในยุคต้น ๆ ของหระบายความร้อน แต่ในปัจจุบันการใช้หระบายความร้อนประเภทนี้ได้ลดลง เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างและระบบปั๊มนอกจากนี้ยังมีเรื่องของทิศทาง และความเร็วของลมที่พัดผ่าน ซึ่งทำให้ยากแก่การควบคุมอุณหภูมิของน้ำ และยังต้องการสถานที่ตั้งที่เปดโล่ง ดังนั้นหระบายความร้อนประ เภทนี้ถ้าจะมีใช้ก็เพียงแต่ระบบปรับอากาศขนาดเล็กเท่านั้น ดังภาพผนวกที่ ค1



ภาพผนวกที่ ค1 หระบายความร้อนชนิดระบายอากาศตามธรรมชาติ

สำหรับหอบายความร้อนประเภทนี้ยังมีใช้อยู่ปัจจุบันก็น่าจะเป็นประเภทที่เรียกว่า
หอบาย ความร้อนแบบไฮเพอร์โบลิก หรือแบบปล่องไฟ (hyperbolic or chimney)
ดังภาพผนวกที่ ค2



ภาพผนวกที่ ค2 หอบายความร้อนแบบปล่องไฟ

หอบายความร้อนประเภทนี้จะใช้หลักการในการเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติ โดยอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านหอบายความร้อน และเนื่องจากหอบายความร้อนประเภทนี้อาศัยหลักของความหนาแน่นของอากาศ จึงทำให้หอบายความร้อนประเภทนี้มีความสูงมากกว่า 400 ฟุต และมีลักษณะเหมือนกับปล่องไฟที่ภายในกลวง ส่วนล่างสูงประมาณ 30 ฟุต หรือมากกว่านั้น ซึ่งจะเป็นช่องให้อากาศ เข้า และจะมีแผงกระจายละอองน้ำที่ทำการกระจายน้ำที่มีอุณหภูมิให้เป็นละออง อากาศจะถูกดูดเข้ามา เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศที่ ส่วนบนของหอบายความร้อนกับส่วนล่าง กล่าวคือ อากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงจะลอยตัวขึ้นอยู่เบื้องบนของหอบายความร้อน ส่วนอากาศที่เย็นและแห้งกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ทางด้านล่างของหอบายความร้อน โครงสร้างโดยทั่วไปทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

หอบายความร้อนประเภทไฮเปอร์โบลิค สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในที่ที่อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ต่ำและมีความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ต่ำ นั่นหมายถึง อากาศในตอนหน้าหนาว ดังนั้นการใช้งานหอบายความร้อนเช่นนี้จึงขึ้นกับสถานที่ตั้งและภูมิอากาศของสถานที่ใช้งานด้วย

ข้อดีของหอบายความร้อนชนิดนี้ก็คือ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ เนื่องจากไม่ต้องอาศัยพัดลมในการช่วยดูดอากาศ จึงไม่ต้องการพลังงานไฟฟ้าในการใช้กับพัดลม และนอกจากนี้โอกาสที่อากาศที่รับความร้อนไปแล้วจะหวนกลับมาสู่ทาวเวอร์อีกก็เป็นไปได้มาก และหอบายความร้อนชนิดนี้นิยมใช้กับโรงไฟฟ้า

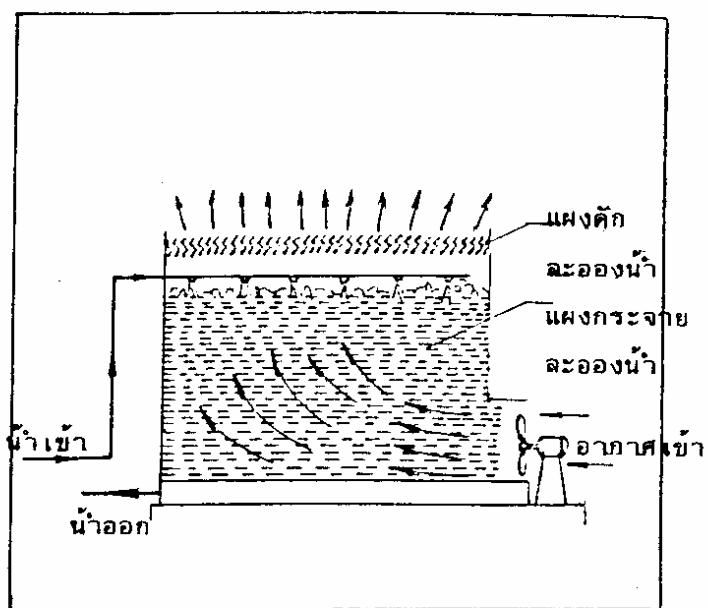
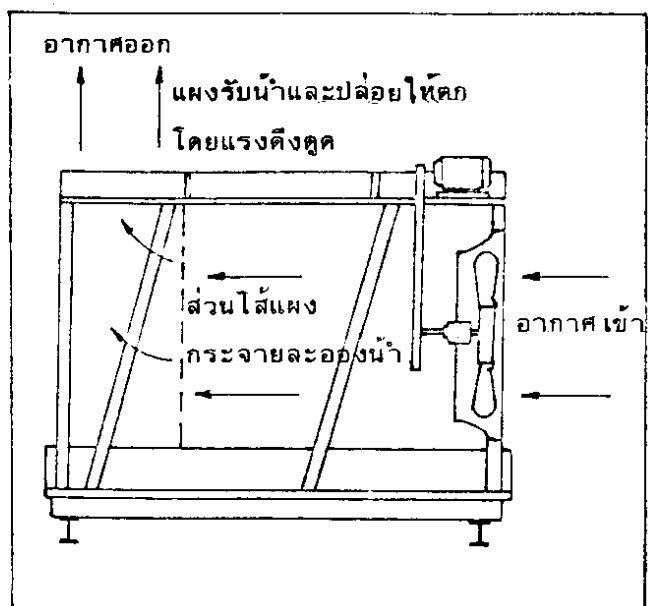
2. หอบายความร้อนชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกด (mechanical draft tower)

หอบายความร้อนชนิดนี้ต้องอาศัยพัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหวผ่านแผงกระจายน้ำ ลักษณะของการที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง จึงทำให้เกิดขบวนการการถ่ายเทความร้อนได้ดี และสามารถควบคุมได้ง่าย ทำให้ลดขนาดของหอบายความร้อนได้และช่วยประหยัดต้นทุนในการสร้างหอบายความร้อนลงได้มาก

หอบายความร้อนชนิดนี้ มักจะมีพัดลมมากกว่าหนึ่งตัว เพื่อช่วยในการควบคุมความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของกระเปาะเปียกที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงปีจะแตกต่างจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้สำหรับการออกแบบ หรือมีฉะนั้นพัดลมก็อาจจะต้องใช้ชนิดที่มีหลายความเร็ว หรือใช้ตัวควบคุมความเร็วรอบของพัดลมก็ได้

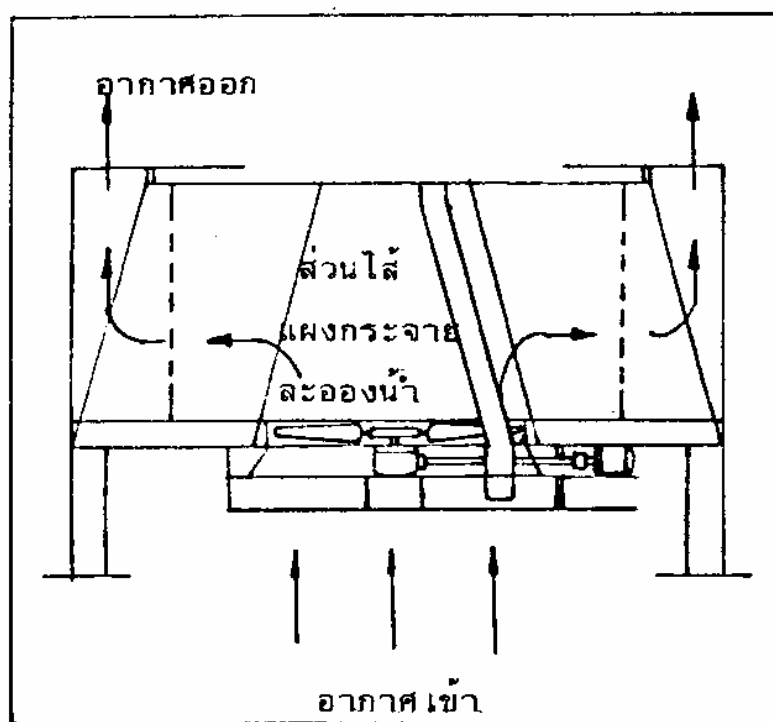
เราสามารถแบ่งหอบายความร้อนประเภทนี้ออกตามลักษณะของการนำอากาศเข้าสู่ตัวหอบายความร้อนได้ 2 แบบด้วยกันคือ แบบเป่าเข้าไปในตัวหอบายความร้อน (forced draft) และแบบดูดอากาศออกจากหอบายความร้อน (induced draft) ซึ่งจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

2.1 หอบายความร้อนแบบเป่าอากาศเข้า ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้พัดลมที่ติดตั้งบริเวณทางเข้าของลม เป่าผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และทำให้อากาศสัมผัสกับหยดน้ำผ่านแผงดักละอองน้ำ (drift eliminator) แล้วออกสู่บรรยากาศ ส่วนใหญ่แล้วตัวพัดลมมักจะอยู่ในแกนนอนและเป่าอากาศ ส่วนใหญ่แล้วตัวพัดลมจะอยู่ในแกนนอนและเป่าอากาศในแกนนอนเข้าไป แล้วออกสู่ส่วนบนของหอบายความร้อน ดังภาพผนวกที่ ค3



ภาพผนวกที่ ค3 หอระบายความร้อนชนิดเป่าอากาศเข้าสวนทางกับน้ำ

หอบายความร้อนชนิดเป่าอากาศเข้าอีกชนิดหนึ่งที่ปรับปรุงการเคลื่อนไหวของอากาศให้ดีขึ้นคือ ชนิดที่เป่าอากาศจากข้างใต้ (under flow) ดังภาพผนวกที่ ค4



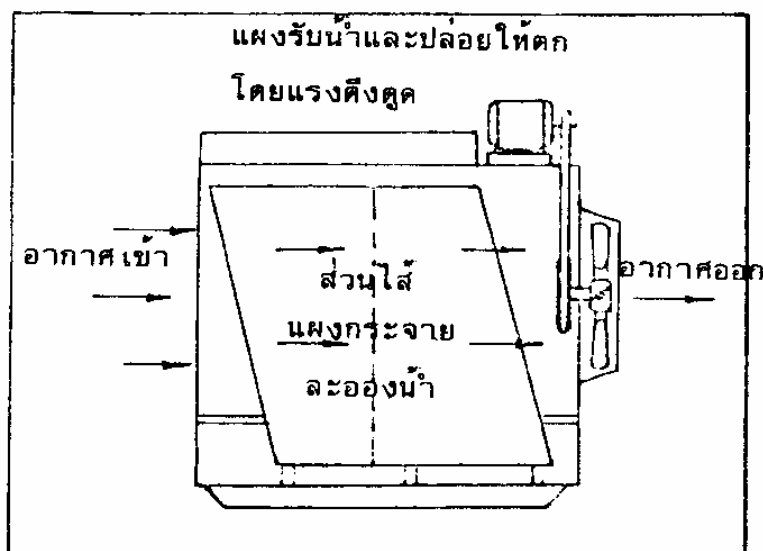
ภาพผนวกที่ ค4 หอบายความร้อนชนิดเป่าอากาศจากล่างขึ้นบน

อากาศจะถูกเป่าขึ้นที่ส่วนกลางของหอบายความร้อนจากใต้กัน อากาศจะผ่านไปโดยตรง จากส่วนล่างขึ้นสู่ด้านบน และจะช่วยลดเสียงของหอบายความร้อน เนื่องจากอากาศผ่านบริเวณด้านล่างโดยตรง บริเวณผิวโดยรอบของหอบายความร้อนจึงไม่ต้องมีช่องลม (louver) อยู่ จึงทำให้หอบายความร้อนประเภทนี้แลดูสวยงาม และสามารถติดตั้งให้เข้ากับรูปแบบสถาปัตยกรรมของอาคารได้ดี

ลักษณะการกระจายของอากาศจะไม่ดีนัก เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของอากาศและการเป่าอากาศเข้า จะทำให้อากาศเข้าสู่ตัวหอบายความร้อนเป็นเฉพาะจุดมากกว่า อากาศที่ออกจากตัวหอบายความร้อนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะทำให้อากาศที่ร้อนและชื้น หวนกลับเข้าสู่หอบายความร้อนและลดประสิทธิภาพของหอบายความร้อนได้ แต่หอบายความร้อนประเภทนี้มีข้อดีตรงที่เสียงจะเงียบกว่า เนื่องจากเสียงจากต้นกำเนิดจะแพร่กระจาย

เข้าไปในตัวหอระบายความร้อน และต้องผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในหอระบายความร้อน กว่าจะออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ จึงทำให้เสียงถูกลดลงไปได้

2.2 หอระบายความร้อนแบบดูดอากาศออกซึ่ง เป็นหอระบายความร้อนประเภทที่ดูดลมออกจากหอระบายความร้อน โดยปกติแล้วพัดลมที่ใช้ในการดูดอากาศ จะติดอยู่บริเวณส่วนบนของตัวหอระบายความร้อน อากาศจะถูกดูดผ่านเข้าทางด้านข้าง และผ่านตะแกรงหรือแผงกระจายละอองน้ำในขณะที่น้ำที่มีอุณหภูมิสูงตกลงจากเบื้องบน หอระบายความร้อนประเภทนี้มีข้อดีอยู่ที่ว่าการกระจายของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอากาศถูกดูดเข้า อากาศจึงเข้าสู่หอระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ดังภาพผนวกที่ ค5



ภาพผนวกที่ ค5 หอระบายความร้อนแบบดูดอากาศออก

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายสุทธิพงษ์ บุญมาก
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 11 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2515
สถานที่เกิด	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า-โทรคมนาคม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรนิวเคลียร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ