



วิทยานิพนธ์

การคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย โดยใช้
รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR

TEMPERATURE CALCULATION ON THAI – RESEARCH –
REACTOR FUEL ROD BY USING COOLOD-N2 AND
EUREKA-2/RR COMPUTER CODES

นายสุพงษา เขตต์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๔๕



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)

ปริญญา

ฟิสิกส์

ฟิสิกส์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์
COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR

Temperature Calculation on Thai-Research-Reactor Fuel Rod by Using COOLOD-N2
and EUREKA-2/RR Computer Codes

นายผู้วิจัย นายสุพงษา เขตต์ศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระศักดิ์ วีระภาสพงษ์, D.Eng.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เพ็ญจันทร์ ชิงห์, วท.ม.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุทธิรา วสุวานิช, M.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์เอกชัย หุ่นนิวัฒน์, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย โดยใช้
รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR

Temperature Calculation on Thai-Research-Reactor Fuel Rod by Using
COOLOD-N2 and EUREKA-2/RR Computer Codes

โดย

นายสุพงษา เขตต์ศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2881-1

สุพงษา เขตต์คีรี 2549: การคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย
โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR ปรินญาวิทยาศาสตร์
มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ ประชานกรรมการที่ปรึกษา:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระศักดิ์ วีระภาสพงษ์, D.Eng. 106 หน้า
ISBN 974-16-2881-1

การวิเคราะห์เชิงความร้อนและเชิงกลศาสตร์ของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทยสามารถคำนวณ
ได้ด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR เพื่อหาอุณหภูมิ
ของแท่งเชื้อเพลิง ฟลักซ์ความร้อน การไหลของมวล และความเร็วของตัวทำให้เย็นภายในแกน
ปฏิกรณ์

การวิเคราะห์ได้ทำการคำนวณที่กำลังความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ไม่เกิน 2 MW โดยผล
การคำนวณได้เปรียบเทียบกับผลจากการวัดและจากรายงานการวิเคราะห์ความปลอดภัยของแท่ง
เชื้อเพลิง TRIGA MARK III

Suphongsak Khetkeeree 2006: Temperature Calculation on Thai-Research-Reactor
Fuel Rod by Using COOLOD-N2 and EUREKA-2/RR Computer Codes. Master of
Science (Physics), Major Field: Physics, Department of Physics. Thesis Advisor:
Assistant Professor Teerasak Veerapasong, D.Eng. 106 pages.
ISBN 974-16-2881-1

Thermal and hydraulics analysis of Thai-Research Reactor have been calculated by
using COOLOD-N2 and EUREKA-2/RR computer code in order to obtain fuel temperature,
heat flux, mass flow and coolant velocity in the reactor core.

The analyses have been done at the power ascending to 2MW thermal. The results have
been compared to recently measured ones and previous measured values from standard TRIGA
MARK III safety analysis report.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ชีระศักดิ์ วีระภาสพงษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ซึ่งได้อบรมสั่งสอนความรู้ในทุกด้าน ให้คำปรึกษา ควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจทานและแนะนำการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รศ. เพ็ญจันทร์ ชิงห์ กรรมการวิชาเอก ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ คำปรึกษาแนะนำในการทำและแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รศ. สุทธิรา วสุวานิช กรรมการวิชาการ ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ คำปรึกษาแนะนำในการทำและแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านในสถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้ ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ด้านวิชาการในสาขาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คุณชนรรจน์ แสงจันทร์ วิศวกรนิเวศลิษฐ์ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความรู้ความเข้าใจ ข้อมูลและหลักการวิเคราะห์ของรหัสคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ Mr. Toshimitsu Ohnishi ที่ให้ความรู้ความเข้าใจและข้อมูลการวิเคราะห์เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูนิเวศลิษฐ์โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคน สำหรับคำปรึกษา ความช่วยเหลือ ประสพการณ์ต่าง ๆ กำลังกายและกำลังใจที่มีให้เสมอมา

และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง คุณพ่อบุญเพ็ง คุณแม่ปราณี พี่จรรยา และพี่ก้อแก้ว สำหรับการช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่าง และกำลังใจตลอดเวลาที่ได้ศึกษาเล่าเรียน

สุพงษา เขตต์ศิริ

กันยายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
กระบวนการถ่ายโอนความร้อน	4
การนำความร้อน	4
การพาความร้อน	7
การแผ่รังสีความร้อน	7
การถ่ายโอนความร้อนภายในของแข็ง	8
การถ่ายโอนความร้อนภายในของแข็งที่มีการก่อกำเนิดความร้อนภายใน	8
การถ่ายโอนความร้อนภายในของแข็งที่ไม่มีการก่อกำเนิดความร้อนภายใน	8
การถ่ายโอนความร้อนไปยังของไหล	9
การไหลแบบชั้นและการไหลแบบปั่นป่วน	9
สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของของไหล	10
การถ่ายโอนความร้อนไปยังของไหลขณะเดือด	11
การเดือดของของไหลในบ่อน้ำ	11
การไหลของของไหลในท่อ	15
การสูญเสียหลัก	15
การสูญเสียรอง	17
ทฤษฎีที่ใช้ในรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2	21
ทฤษฎีที่ใช้ในรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	65
สรุป	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2	74
ภาคผนวก ข ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M	82
ภาคผนวก ค ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA	94
ภาคผนวก ง ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO	99
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการขยายแบบกรวย	19
2 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการลดแบบกรวย	20
3 แสดงสภาพนำความร้อนของเนื้อเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่างๆ	31
4 แสดงสภาพนำความร้อนของฮีเลียมที่อุณหภูมิต่างๆ	32
5 แสดงความนำความร้อนของช่องว่าง	32
6 แสดงสภาพนำความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม	33
7 แสดงข้อมูลตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกน	34
8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณของช่องที่มีความร้อน	49
9 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณของช่องที่ไม่มีความร้อนบริเวณแผ่นนิรภัย	49
10 แสดงสมบัติของแต่ละบริเวณของช่องที่ไม่มีความร้อนบริเวณ 10 รูด้านข้างปล่อง	49
11 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละโนหนด	57
12 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณ	57
13 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละรอยต่อ	58
14 แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมีของชิ้นส่วนเชื้อเพลิง	59
15 แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกนและความกว้างของแต่ละชั้น	64
16 แสดงผลอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุดจากการวัด 2 จุด และผลจากการคำนวณ อุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด การไหลมวล และความเร็วของตัวทำให้เย็นด้วย รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 ที่ $FR = 1.21$ และ $FR = 1.345$	65
17 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าจากการคำนวณกับค่าจากการวัด	66
18 แสดงผลจากการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 กับค่าที่วัดโดย GA เมื่อเดินเครื่องที่กำลัง 2 MW	67
19 แสดงผลจากการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR กับค่าที่วัดโดย GA เมื่อเดินเครื่องที่กำลัง 2 MW	68

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงกราฟของฟลักซ์ความร้อนที่แปรผันกับผลต่างอุณหภูมิผิวเชื้อเพลิง และอุณหภูมิอิมิตัวของของเหลว ในการเดือดของของไหลในบ่อน้ำ	11
2 แสดงรอยต่อที่มีการขยายทันที	17
3 แสดงรอยต่อที่มีการขยายแบบกรวย	18
4 แสดงรอยต่อที่มีการลดแบบทันที	19
5 แสดงรอยต่อที่มีการลดแบบกรวย	20
6 แสดงแบบจำลองสำหรับการคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง	21
7 แสดงภาคตัดขวางของพื้นที่การไหลสำหรับหนึ่งแท่งเชื้อเพลิง	29
8 แสดงแบบจำลองแท่งเชื้อเพลิงภายในแกนปฏิกรณ์วิจัยไทย	35
9 แสดงภาคตัดขวางบริเวณแผ่นกริดด้านล่าง	36
10 แสดงภาคตัดขวางของบริเวณก่อนออกจากแผ่นกริดด้านล่าง	37
11 แสดงภาคตัดขวางหลังออกจากแผ่นกริดด้านล่าง	38
12 แสดงภาคตัดขวางของแท่งเชื้อเพลิงบริเวณเหนือกริดล่าง	39
13 แสดงการหามุมจากรัศมีของแท่งเชื้อเพลิง	40
14 แสดงภาคตัดขวางก่อนเข้าแผ่นกริดด้านบน	41
15 แสดงการหามุมจากรัศมีของแท่งเชื้อเพลิง	41
16 แสดงภาคตัดขวางภายในแผ่นกริดด้านบน	42
17 แสดงแบบจำลองปล่องแกนปฏิกรณ์วิจัยไทย	44
18 ตำแหน่งการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความต้านทานเนื่องจากรูปทรงที่แผ่นนิรภัย	45
19 ตำแหน่งการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความต้านทานเนื่องจากรูปทรงที่ 10 รูด้านข้าง	47
20 แสดงปล่องแกนปฏิกรณ์เมื่ออยู่ในบ่อปฏิกรณ์	51
21 แสดงแบบจำลองสำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR	52
22 แสดงผลอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุดจากการวัดและการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2	66

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)
C_p	คือ ความร้อนจำเพาะของตัวกลาง ($J / kg \cdot K$)
D, D_r	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
De	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (m)
e	คือ พลังงานจำเพาะของของไหลรวม
f_c	คือ ตัวประกอบความเสียหายสำหรับช่องระหว่างแท่งเชื้อเพลิง
F	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน
F_b	คือ ตัวประกอบกำกับการเพิ่มของอุณหภูมิตัวทำให้เย็นที่ไหลผ่านแท่งเชื้อเพลิง
F_f	คือ ตัวประกอบกำกับการเพิ่มของอุณหภูมิของฟิล์ม
F_k	คือ แรงเสียดทาน (N)
F_w	คือ ตัวประกอบกำกับการเพิ่มของอุณหภูมิของวัสดุหุ้ม
F_G	คือ ตัวประกอบกำกับการเพิ่มของอุณหภูมิของช่องว่าง
F_U	คือ ตัวประกอบกำกับการเพิ่มของอุณหภูมิของเนื้อเชื้อเพลิง
g	คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (m / s^2)
G	คือ อัตราการไหลของมวล ($kg / m^2 s$)
h	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ($W / m^2 K$)
h_B	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของตัวทำให้เย็น ($W / m^2 \cdot K$)
h_{fg}	คือ ความร้อนของการกลายเป็นไอ (kJ / kg)
h_G	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของช่องว่าง ($W / m^2 \cdot K$)
H	คือ เอนทัลปีของตัวทำให้เย็น (J)
H_f	คือ เอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัว (J)
H_{fg}	คือ เอนทัลปีของการกลายเป็นไอ (J)
k	คือ สภาพนำความร้อนของตัวกลาง ($W / m \cdot K$)
k_c	คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุหุ้ม ($W / m \cdot K$)
k_f	คือ สภาพนำความร้อนของฟิล์ม ($W / m \cdot K$)
k_U	คือ สภาพนำความร้อนของเนื้อเชื้อเพลิง ($W / m \cdot K$)
L	คือ ความยาวของท่อ (m)
P	คือ ความดันสัมบูรณ์ ($kg / cm^2 abs.$)

P_w	คือ ความดันของของไหลที่ผนังการถ่ายโอนความร้อน ($kg/cm^2 abs.$)
Pr	คือ เลขพรันเดิล
Pr_b	คือ เลขพรันเดิลของของไหล
Pr_f	คือ เลขพรันเดิลของฟิล์ม
q_w	คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ผนัง (วัสดุหุ้ม)
$\dot{q}$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อน (W)
$\dot{q}_c$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำ (W)
$\dot{q}_h$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการพา (W)
$\dot{q}_r$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการแผ่รังสี (W)
Q	คือ อัตราการก่อกำเนิดความร้อนภายใน (W)
$\dot{Q}$	คือ อัตราการก่อกำเนิดความร้อนภายในตัวกลางต่อหน่วยปริมาตร (W/m^3)
R_C	คือ รัศมีของผิวด้านนอกวัสดุหุ้ม (m)
R_G	คือ รัศมีของผิวด้านในวัสดุหุ้ม (m)
R_U	คือ รัศมีของผิวเนื้อเชื้อเพลิง (m)
Re	คือ เลขเรย์โนลด์สของของไหล
Re_f	คือ เลขเรย์โนลด์สของฟิล์ม
Re_{inter}	คือ เลขเรย์โนลด์สสำหรับช่องระหว่างแท่ง
S	คือ อัตราส่วนระหว่างระยะช่วงเกลียวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง
T	คือ อุณหภูมิผิวการถ่ายโอนความร้อน (K)
T_c	คือ อุณหภูมิผนังวิกฤต ($^{\circ}C$)
T_{in}	คือ อุณหภูมิที่ทางเข้าแกนปฏิกรณ์ ($^{\circ}C$)
T_ℓ	คือ อุณหภูมิของของไหล ($^{\circ}C$)
T_{out}	คือ อุณหภูมิที่ทางออกแกนปฏิกรณ์ ($^{\circ}C$)
T_{ONB}	คือ อุณหภูมิเมื่อเริ่มการเดือดแบบนิวคลีเอต (K)
T_{sat}	คือ อุณหภูมิที่ความดันไออิ่มตัว ($^{\circ}C$)
T_w	คือ อุณหภูมิที่ผนังการถ่ายโอนความร้อน ($^{\circ}C$)
u	คือ พลังงานภายในจำเพาะของของไหล
$\bar{v}$	คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อ (m/s)
v_{inter}	คือ ความเร็วของไหลภายในช่องระหว่างแท่ง
V	คือ ปริมาตรของวัตถุ (m^3)

x	คือ คุณภาพ
และ	
α	คือ สภาพแพร่ความร้อน (thermal diffusivity) (m^2 / s)
β	คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร ($1 / K$)
ε	คือ ความยาวผิวภายในท่อ (m)
ε_r	คือ ค่าการแผ่รังสี (emittance)
σ	คือ ความตึงผิว (N / m)
σ_s	คือ ค่าคงตัวของสเตฟาน – โบลทซ์มานน์
σ_{sat}	คือ ความตึงผิวอิ่มตัว (N / m)
ρ	คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง (kg / m^3)
ρ_f	คือ ความหนาแน่นของฟิล์ม (kg / m^3)
ρ_g	คือ ความหนาแน่นของกระแส (steam) (kg / m^3)
μ	คือ ความหนืดพลศาสตร์ของของไหล ($kg / m \cdot s$)
μ_f	คือ ความหนืดพลศาสตร์ของฟิล์ม ($kg / m \cdot s$)
μ_{sat}	คือ ความหนืดพลศาสตร์ที่อุณหภูมิอิ่มตัว ($kg / m \cdot s$)
μ_w	คือ ความหนืดพลศาสตร์ที่อุณหภูมิของผิวแห้งเชื้อเพลิง
Φ	คือ ฟังก์ชันศักย์โน้มถ่วง

**การคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย โดยใช้รหัส
คอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR**

**Temperature Calculation on Thai – Research – Reactor Fuel Rod by Using
COOLOD-N2 and EUREKA-2/RR Computer Codes**

คำนำ

หลักการพื้นฐานในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของหลักการป้องกันที่ดีที่สุด (defence-in-depth principle) ซึ่งมีความปลอดภัยสามชั้น โดยความปลอดภัยชั้นที่หนึ่งเป็นการออกแบบระบบและส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้งาน โดยต้องมีระดับชั้นของความเชื่อถือได้สูง และโอกาสของการทำหน้าที่ผิดพลาดต้องมีค่าน้อยมาก ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพ ทั้งระเบียบปฏิบัติทางวิศวกรรมในการออกแบบ การเลือกวัสดุ วิธีการประดิษฐ์ การตรวจสอบ การทดสอบ และรวมถึงการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องหรือการตรวจสอบเป็นช่วง ๆ เพื่อหาสิ่งที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ มีการป้องกันการออกแบบและการสร้าง โดยการเบี่ยงเบนจากการทำงานปกติตลอดชั่วชีวิตของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ต้องอยู่ภายในพิสัยที่ยอมรับได้ ความปลอดภัยชั้นที่สองเป็นการเตรียมวิธีในการรับมือกับการเบี่ยงเบนที่เกิดจากการรวมเข้าด้วยกันของระบบการตรวจสอบเครื่องปฏิกรณ์ ความปลอดภัยชั้นที่สามเป็นการเสริมระดับความปลอดภัยอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะความปลอดภัยเชิงวิศวกรรม ซึ่งเตรียมไว้สำหรับสาธารณะชนเพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่ไม่น่าเป็นไปได้ สำหรับการวิเคราะห์เครื่องปฏิกรณ์โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์ก็เป็นส่วนหนึ่งในการตรวจสอบเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อความมั่นใจได้ในการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ว่าเครื่องปฏิกรณ์ได้ทำงานตามปกติ โดยรหัสคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณนั้นมีด้วยกันหลายอย่าง เช่น รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD ที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนที่สถานะคงตัว รหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA ที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนที่สถานะชั่วครู่ และรหัสคอมพิวเตอร์ SRAC ที่คำนวณทางนิวตรอนิกส์ เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR ที่สถาบันการวิจัยพลังงานปรมาณูญี่ปุ่น (Japan Atomic Energy Research Institute ,JAERI) ได้พัฒนาขึ้น เพื่อใช้วิเคราะห์เชิงพลศาสตร์และเชิงความร้อนภายในเครื่องปฏิกรณ์วิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาการใช้งานรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR
2. เพื่อประยุกต์ใช้รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR กับเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย

ขอบเขตของการวิจัย

การทำวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้งานรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และ EUREKA-2/RR สำหรับคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง พลิกซ์ความร้อน การไหลของมวล และความเร็วของตัวทำให้เย็นของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย และเปรียบเทียบผลการคำนวณ กับผลการวัดจากเครื่องปฏิกรณ์ และผลจากรายงานความปลอดภัยของแท่งเชื้อเพลิง TRIGA MARK III ของบริษัท General Atomics (GA)

การตรวจเอกสาร

Kaminaga (1991, 1994, 1996) ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนารหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N ที่ใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิในสถานะคงตัวของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดแผ่น โดยเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดแท่งได้ ซึ่งเรียกรหัสคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการปรับปรุงนี้ว่า COOLOD-N2 โดยได้แสดงคู่มือการใช้งานอย่างย่อ และตัวอย่างในการวิเคราะห์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์วิจัยญี่ปุ่น-4 (JRR-4) ต่อมาได้พัฒนารหัสคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์อุบัติเหตุเนื่องจากความไวปฏิกิริยา ที่เรียกว่า EUREKA-2 โดยรหัสคอมพิวเตอร์นี้ สามารถวิเคราะห์นิวตรอนิกซ์และพฤติกรรมทางอุณหพลศาสตร์ที่ภาวะชั่วครู่ของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการทำให้เย็นด้วยน้ำ และได้ปรับปรุงรหัส EUREKA-2 สำหรับเครื่องปฏิกรณ์วิจัย โดยเรียกว่า EUREKA-2/RR ซึ่งได้เพิ่มโปรแกรมย่อยสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน อุณหภูมิ ONB และฟลักซ์ความร้อนเป็นต้น โดย Masanori Kaminaga ได้ทำคู่มือการใช้งาน พร้อมทั้งตัวอย่างการวิเคราะห์ของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยของญี่ปุ่น-3 (JRR-3) และเครื่องปฏิกรณ์วิจัยของญี่ปุ่น-4 (JRR-4) และยังได้ใช้รหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ในการวิเคราะห์อุบัติเหตุของเครื่องปฏิกรณ์วิจัย RSG-GAS ของประเทศอินโดนีเซีย โดยสมมติให้มีการใส่ความไวปฏิกิริยาเข้าไปในแกน และสมมติให้เครื่องปฏิกรณ์สูญเสียการไหลของตัวทำให้เย็น

Saengchantr and Kaminaga (2004) ได้ทำการประยุกต์ใช้รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 สำหรับการวิเคราะห์เครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย โดยได้ใช้แบบจำลองเชื้อเพลิงชนิดแท่ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง

Sengupta *et al.* (2004) ได้ทำการวิเคราะห์การขนส่งความร้อนจากแกนปฏิกรณ์ของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยด้วยการพาความร้อน และวิเคราะห์ความปลอดภัยในกรณีที่แท่งเชื้อเพลิงชำรุด ต่อมาได้ทำการศึกษาการใช้รหัสคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์พลศาสตร์เชิงความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ Apsara ของอินเดียเพื่อวิเคราะห์ความปลอดภัยของการทำให้เย็นภายในแกนปฏิกรณ์ขณะเดินเครื่องปกติ เดินเครื่องในภาวะชั่วครู่และระหว่างการเกิดอุบัติเหตุพื้นฐาน แต่เนื่องจากความซับซ้อนของการถ่ายโอนความร้อนจึงมีความจำเป็นต้องใช้หลักการคำนวณเชิงตัวเลข

กระบวนการถ่ายโอนความร้อน

กระบวนการส่งผ่านความร้อนได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

1. การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลางของของแข็ง ซึ่งเป็นไปตามกฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์ (Fourier's law of conduction) คือ

$$\dot{q}_c = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

เมื่อ

$\dot{q}_c$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำ มีหน่วยวัตต์ (W)
k	คือ สภาพนำความร้อนของตัวกลาง มีหน่วยวัตต์ต่อเมตรเคลวิน ($W / m \cdot K$)
A	คือ พื้นที่หน้าตัดในการนำความร้อน มีหน่วยตารางเมตร (m^2)
$\frac{dT}{dx}$	คือ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ มีหน่วยเคลวินต่อเมตร (K / m)

1.1 การนำความร้อนในสถานะคงตัว

ในการพิจารณาการนำความร้อนนั้น เมื่อพิจารณาปริมาตรควบคุมที่มีการถ่ายโอนความร้อนไหลผ่าน โดยอาศัยกฎการอนุรักษ์พลังงานหรือความสมดุลของพลังงาน ทำให้ได้สมการการนำความร้อน เป็น

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{Q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

เมื่อ	$\dot{Q}$	คือ อัตราการก่อกำเนิดความร้อนภายใน มีหน่วยวัตต์ต่อปริมาตร (W / m^3)
	α	คือ สภาพแพร่ความร้อน (thermal diffusivity) มีหน่วยตารางเมตรต่อวินาที (m^2 / s)
		$\alpha = \frac{k}{C_p \rho}$

C_p	คือ ความร้อนจำเพาะ มีหน่วยจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน ($J / kg \cdot K$)
ρ	คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง มีหน่วยกิโลกรัมต่อปริมาตร (kg / m^3)
$\frac{\partial T}{\partial t}$	คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีหน่วยเคลวินต่อวินาที (K / s)

การนำความร้อนในสถานะคงตัว คือการนำความร้อนที่ไม่ขึ้นกับเวลา ดังนั้นพจน์ทางขวามือของสมการ (2) คือ $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ จะได้

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{Q}}{k} = 0 \quad (3)$$

1.1.1 การนำความร้อนในพิกัดทรงกระบอกที่มีการก่อกำเนิดความร้อนภายใน

เนื่องจาก ∇^2 ในพิกัดทรงกระบอก คือ

$$\nabla^2 = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

ดังนั้น สามารถเขียนสมการ (3) ได้ใหม่เป็น

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{Q}}{k} = 0 \quad (4)$$

ในการพิจารณาการนำความร้อนในพิกัดทรงกระบอก เนื่องจากมีสมมาตรของการนำความร้อนและพิจารณาเฉพาะในแนวระนาบเท่านั้น จะได้ว่าการนำความร้อนเฉพาะในแนวรัศมี นั่นคือ

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{Q}}{k} = 0 \quad (5)$$

ซึ่งมีผลเฉลยทั่วไปเป็น

$$T = -\frac{\dot{Q}r^2}{4k} + c_1 \ln r + c_2 \quad 0 \leq r \leq a \quad (6)$$

เมื่อ a เป็นรัศมีของทรงกระบอก

1.1.2 การนำความร้อนในพิศัตรงกระบอกที่ไม่มีการก่อกำเนดความร้อนภายใน

การนำความร้อนที่ไม่มีการก่อกำเนดความร้อนภายใน นั้นคือ $\dot{Q} = 0$ ซึ่งทำให้สมการ (5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0$$

และมีผลเฉลยทั่วไปเป็น

$$T = c_3 \ln r + c_4 \quad (7)$$

1.2 การนำความร้อนในภาวะชั่วครู่

พิจารณาก่อนวัตถุที่มีปริมาตร V ที่ให้ความร้อนออกมา ถ้าวัตถุนั้นมีการก่อกำเนดความร้อนขึ้นภายใน จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน จะได้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจะเท่ากับ อัตราการก่อกำเนดความร้อนภายในบวกกับอัตราการนำความร้อนที่ออกจากวัตถุ นั่นคือ

$$V\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \dot{Q} + \dot{q}_c \quad (8)$$

แทนค่า $\dot{q}_c$ จากสมการ (1) ในสมการ (8) จะได้

$$V\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \dot{Q} - kA \left(\frac{dT}{dx} \right)_s \quad (9)$$

เมื่อ $\left(\frac{dT}{dx} \right)_s$ คือ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิที่ผิวการนำความร้อน

2. การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่เคลื่อนที่ได้ เช่น ของไหล ซึ่งเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) คือ

$$\dot{q}_h = hA_h\Delta T \quad (10)$$

เมื่อ	$\dot{q}_h$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการพา มีหน่วยวัตต์ (W)
	h	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน มีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ($W / m^2 \cdot K$)
	A_h	คือ พื้นที่หน้าตัดของการพาความร้อน มีหน่วยตารางเมตร (m^2)
	ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวการพาและของไหล มีหน่วยเคลวิน (K)

3. การแผ่รังสีความร้อน

การนำความร้อนและการพาความร้อนนั้นเป็นการถ่ายโอนความร้อนผ่านตัวกลาง ส่วนการแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง โดยพลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามสมการของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ (Stefan – Boltzmann equation) คือ

$$\dot{q}_r = \sigma_s \varepsilon_r A_r T^4 \quad (11)$$

เมื่อ	$\dot{q}_r$	คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการแผ่รังสี มีหน่วยวัตต์ (W)
	σ_s	คือ ค่าคงตัวของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ เท่ากับ $5.68 \times 10^{-8} W / m^2 \cdot K^4$
	ε_r	คือ ตัวประกอบการสับเปลี่ยน (interchange factor) ไม่มีหน่วย
	A_r	คือ พื้นที่ผิวการแผ่รังสี มีหน่วยตารางเมตร (m^2)

การถ่ายโอนความร้อนภายในของแข็ง

1. การถ่ายโอนความร้อนภายในของแข็งที่มีการก่อกำเนิดความร้อนภายใน

การถ่ายโอนความร้อนในเนื้อเชื้อเพลิงที่มีรูปทรงกระบอก จะเป็นการถ่ายโอนความร้อนที่มีการก่อกำเนิดความร้อนอยู่ภายใน ถ้าให้แท่งเชื้อเพลิงมีรัศมีเป็น R_U โดยสมมติอุณหภูมิที่ผิวเชื้อเพลิงเป็น T_U จากสมการ (6) จะได้

$$T_U = -\frac{\dot{Q}R_U^2}{4k} + c_1 \ln R_U + c_2 \quad (12)$$

เนื่องจากที่แกนกลางของแท่งเชื้อเพลิงไม่มีการถ่ายโอนความร้อน นั่นคือ

$$\left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=0} = 0$$

ถ้าสมมติให้อุณหภูมิที่แกนกลางของแท่งเชื้อเพลิงเป็น T_{U0} จะได้

$$T_{U0} = \frac{\dot{Q}R_U^2}{4k} + T_U$$

หรือผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิที่ผิวเนื้อเชื้อเพลิงจะเท่ากับ

$$T_{U0} - T_U = \frac{\dot{Q}R_U^2}{4k} \quad (13)$$

2. การถ่ายโอนความร้อนภายในของแข็งที่ไม่มีการก่อกำเนิดความร้อนภายใน

การพิจารณาผลต่างระหว่างผิวด้านในและผิวด้านนอกของวัสดุหุ้ม จะพิจารณาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ นั่นคือ

$$\dot{q}_c = -kA \frac{dT}{dx}$$

ถ้าพิจารณาในพิกัดทรงกระบอก จะได้ $A = 2\pi r l$ ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวของทรงกระบอกที่มีความยาว l รัศมี r และกำหนดให้ T_{UI} เป็นอุณหภูมิที่ผิวด้านในของวัสดุหุ้มรัศมี R_{UI} ส่วน

อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของวัสดุหุ้มเป็น T_{uo} โดยที่ผิวด้านนอกมีรัศมี R_{uo} จะได้ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวด้านในและผิวด้านนอกของวัสดุหุ้มเป็น

$$T_{ui} - T_{uo} = \frac{\dot{q}_c}{2\pi k l} \ln \frac{R_{uo}}{R_{ui}} \quad (14)$$

การถ่ายโอนความร้อนไปยังของไหล

การถ่ายโอนความร้อนไปยังของไหลนั้น จะพิจารณาหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนจากลักษณะรูปแบบการไหล

1. การไหลแบบชั้นและการไหลแบบปั่นป่วน

ในการพิจารณาของไหลที่ไหลในท่อ จะมีลักษณะการไหลอยู่สองแบบคือ การไหลแบบชั้น (laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) โดยการไหลทั้งสองนี้ถูกแบ่งด้วยเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ซึ่งเป็นปริมาณไร้มิติ ที่เท่ากับ

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (15)$$

เมื่อ

- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ มีหน่วยเมตร (m)
- v คือ ความเร็วของของไหล มีหน่วยเมตรต่อวินาที (m/s)
- μ คือ ความหนืดพลศาสตร์ของของไหล มีหน่วยกิโลกรัมต่อเมตรวินาที ($kg/m \cdot s$)

การไหลแบบชั้น จะมีค่า $Re < 2000$ และการไหลแบบปั่นป่วน $Re > 2500$ ส่วนค่า $2000 < Re < 2500$ จะเป็นการไหลแบบผสมโดยจะมีทั้งการไหลแบบชั้นและแบบปั่นป่วน

สำหรับการพิจารณาการไหลที่ไหลในท่อที่ไม่มีภาคตัดขวางเป็นวงกลม เราสามารถใช้เส้นผ่านศูนย์กลางชลศาสตร์ (hydraulic diameter) หรือเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (equivalent diameter) แทนได้ โดย

$$De = 4 \times \frac{\text{พื้นที่ภาคตัดขวางที่ของไหลไหลผ่าน}}{\text{เส้นรอบวงของท่อ(เส้นรอบวงเปียก)}} \quad (16)$$

เพื่อความสะดวกในการใช้งาน จะนิยามการไหลของมวล G เป็นผลคูณของความหนาแน่น ρ ของของไหลกับความเร็ว v ของของไหล นั่นคือ

$$G = v\rho \quad (17)$$

ดังนั้น เลขเรย์โนลด์ จะเขียนใหม่ได้ ดังนี้

$$Re = \frac{De G}{\mu} \quad (18)$$

2. สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของของไหล

จากหลักการวิเคราะห์มิติ สามารถนิยามปริมาณไร้มิติ อีกสองปริมาณ ดังนี้

$$Nu = \frac{hDe}{k} \quad (19)$$

และ

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (20)$$

เมื่อ Nu คือ เลขนัสเซิลต์ (Nusselt number)

Pr คือ เลขพรันเดิล (Prandtl number)

ซึ่งผลจากการศึกษาทดลองการถ่ายโอนความร้อน สามารถหาความสัมพันธ์ สำหรับกรณีที่ของไหล (ยกเว้นโลหะเหลว) ไหลในท่อยาวตรง เป็นสหสัมพันธ์ของดิตตัส-โบล์เตอร์ (Dittus-Boelter correlation) ดังนี้

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (21)$$

ถ้าอุณหภูมิระหว่างของแข็งและของไหลมีความหนืดมากจะมีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนมาก ซึ่งสามารถปรับปรุงสมการ (21) ได้เป็น

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (22)$$

เมื่อ μ คือ ความหนืดพลศาสตร์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล

μ_w คือ ความหนืดพลศาสตร์ที่อุณหภูมิของผิวแท่งเชื้อเพลิง

สำหรับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของก๊าซ (รวมทั้งฮีเลียม) โดยส่วนใหญ่จะมีค่า Pr ประมาณ 0.70 ซึ่งทำให้สมการ (21) ลดรูปลงเหลือ

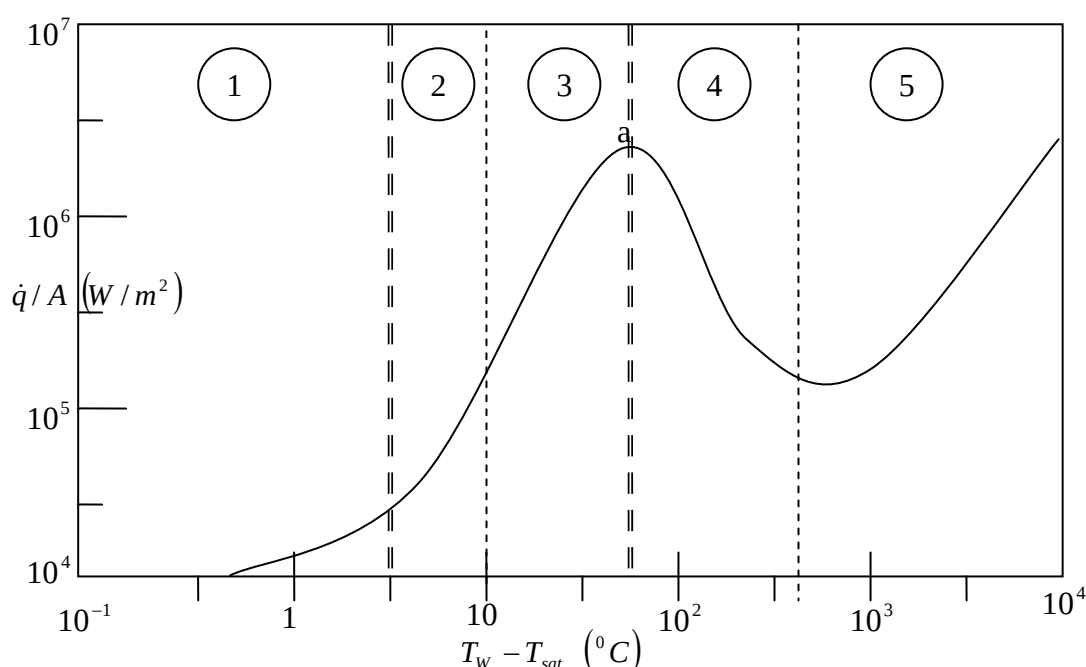
$$Nu = 0.020Re^{0.8} \quad (23)$$

การถ่ายโอนความร้อนไปยังของไหลขณะเดือด

การเดือดของตัวทำให้เย็นมีผลต่อประสิทธิภาพของการถ่ายโอนความร้อนจากผิวแท่ง เชื้อเพลิงไปยังตัวทำให้เย็น โดยการเดือดของตัวทำให้เย็นทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน เปลี่ยนไป ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาการเดือดของของไหลในบ่อน้ำ (pool boiling) เพื่ออ้างอิงถึง สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนขณะที่ตัวทำให้เย็นเกิดการเดือดขึ้น

1. การเดือดของของไหลในบ่อน้ำ

การเดือดของของไหลที่อยู่ในบ่อน้ำ เมื่อมีแท่งความร้อนอยู่ภายในบ่อ ลักษณะการเดือด เป็นดังภาพที่ 1 สามารถแบ่งบริเวณการเดือดได้เป็น 5 บริเวณ ดังนี้



ภาพที่ 1 แสดงกราฟของฟลักซ์ความร้อนที่แปรผันกับผลต่างของอุณหภูมิผิวเชื้อเพลิง และอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว ในการเดือดของของไหลในบ่อน้ำ

บริเวณที่ 1 เป็นบริเวณที่เกิดการพาแบบเฟสเดี่ยว ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำเริ่มมีการเคลื่อนที่ โดยน้ำในบริเวณนั้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ความดันไออิ่มตัวเล็กน้อย และจะลอยขึ้นไปจนพื้นผิวน้ำแล้วระเหยกลายเป็นไอ สำหรับอัตราการถ่ายโอนความร้อนสำหรับช่วงนี้เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาแบบอิสระ ดังนั้นสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน สำหรับการไหลแบบชั้น ($Re \leq 2000$) จะเป็นไปตามสหสัมพันธ์คอลเลียร์ (Collier correlation) คือ

$$Nu = 0.17 Re_f^{0.33} Pr_f^{0.43} \left\{ \frac{(Pr_\ell)_f}{(Pr_\ell)_w} \right\}^{0.25} \left\{ \frac{\rho^2 \beta De^3 g_c (T_w - T_\ell)}{\mu^2} \right\}_f^{0.1} \quad (24)$$

- เมื่อ Re_f คือ เลขเรย์โนลด์ของฟิล์ม ไม่มีหน่วย
 Pr_f คือ เลขพรันเดิลของฟิล์ม ไม่มีหน่วย
 $(Pr_\ell)_f$ คือ เลขพรันเดิลของของไหลที่อุณหภูมิฟิล์ม ไม่มีหน่วย
 $(Pr_\ell)_w$ คือ เลขพรันเดิลของของไหลที่อุณหภูมิวัสดุหุ้ม ไม่มีหน่วย
 T_w คือ อุณหภูมิของวัสดุหุ้ม มีหน่วยเคลวิน (K)
 T_ℓ คือ อุณหภูมิของของไหล มีหน่วยเคลวิน (K)
 β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร มีหน่วยต่อเคลวิน ($1/K$)

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ($Re \geq 2500$) เป็นไปตามสหสัมพันธ์ของคิตต์ส-โบลต์เซอร์ ดังสมการ (21) ส่วนช่วง $2000 < Re < 2500$ สามารถหาได้จากการประมาณค่าภายในช่วงระหว่างสมการ (21) และสมการ (24)

บริเวณที่ 2 สำหรับบริเวณที่ 2 และ 3 นี้ จะเรียกว่าเป็น การเดือดแบบนิวคลีเอต (nucleate boiling) โดยในบริเวณที่ 2 นี้ เป็นช่วงเริ่มการเดือดแบบนิวคลีเอต (ONB) ซึ่งการเริ่มเดือดแบบนี้มีฟลักซ์ความร้อนเป็นไปตามสหสัมพันธ์ของเบิร์กเลส – เรเซโนว (Bergles-Resenow) คือ

$$\frac{\dot{q}}{A} = 0.025293 P^{1.156} \frac{9}{5} (T_{ONB} - T_{sat})^{\frac{2.1615}{0.0234}} \quad (25)$$

- เมื่อ $\frac{\dot{q}}{A}$ คือ ฟลักซ์ความร้อน มีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
 T_{ONB} คือ อุณหภูมิเมื่อเริ่มการเดือดแบบนิวคลีเอต มีหน่วยเคลวิน (K)
 T_{sat} คือ อุณหภูมิที่ความดันไออิ่มตัว มีหน่วยเคลวิน (K)
 P คือ ความดัน มีหน่วยปาสกาล (Pa)

สำหรับการเดือดในบริเวณที่ 2 นี้ จะเริ่มเกิดฟองอากาศขึ้นในของเหลวที่ร้อนจัดและการเดือดแบบซบตุล (subcooled boiling) เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไหลต่ำกว่าอุณหภูมิที่ความดันไออิ่มตัวแต่อุณหภูมิของผิวถ่ายโอนความร้อนมีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่ความดันไออิ่มตัว ซึ่งพลักซ์ความร้อนของการเดือดแบบนี้เป็นไปตามสหสัมพันธ์ของเซนที่ได้ปรับปรุงแล้ว (modified Chen correlation) คือ

$$\frac{\dot{q}}{A} = 0.023 Re_b^{0.8} Pr_b^{0.4} \frac{k}{D_e} (T_w - T_\ell) + S(0.00122) \frac{k_f^{0.79} C_{p,f}^{0.45} \rho_f^{0.49} (T_w - T_{sat})^{1.24} (P_w - P)^{0.75}}{\sigma^{0.5} \mu_f^{0.29} h_{fg}^{0.24} \rho_g^{0.24}} \quad (26)$$

และการเดือดแบบนิวเคลียตอิ่มตัวเป็นไปตามสหสัมพันธ์ของเซน คือ

$$\frac{\dot{q}}{A} = F 0.023 \{Re_f (1-x)\}^{0.8} Pr_f^{0.4} \frac{k_f}{D_e} (T_w - T_{sat}) + S(0.00122) \frac{k_f^{0.79} C_{p,f}^{0.45} \rho_f^{0.49} (T_w - T_{sat})^{1.24} (P_w - P)^{0.75}}{\sigma^{0.5} \mu_f^{0.29} h_{fg}^{0.24} \rho_g^{0.24}} \quad (27)$$

เมื่อ

$$S = \frac{1}{1 + 0.12 Re'^{1.14}}, \quad Re' < 32.5$$

$$S = \frac{1}{1 + 0.42 Re'^{0.78}}, \quad 32.5 \leq Re' < 70.0, \quad Re' = \frac{|G| D_e}{\mu_f} 10^{-4}$$

$$S = 0.1, \quad Re' \geq 70.0$$

$$F = 1.0, \quad \frac{1}{x_{tt}} \leq 0.1$$

$$F = 2.35 \left(\frac{1}{x_{tt}} + 0.213 \right)^{0.736}, \quad \frac{1}{x_{tt}} > 0.1$$

$$\frac{1}{x_{tt}} = \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_f}{\mu_g} \right)^{0.1}$$

หมายเหตุ คุณภาพ (quality, x) เป็นตัวแปรของระบบไอและของเหลว นิยามเป็นเศษส่วนมวลของไอในของผสม หรืออาจเขียนในพจน์ของอุณหพลศาสตร์เป็น

$$x = \frac{H - H_f}{H_{fg}}$$

เมื่อ	H	คือ เอนทัลปีของของผสมในช่องของตัวทำให้เย็น มีหน่วยจูล (J)
	H_f	คือ เอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัว มีหน่วยจูล (J)
	H_{fg}	คือ เอนทัลปีของการกลายเป็นไอ มีหน่วยจูล (J)

สำหรับบริเวณที่เป็นการเดือดแบบซับลูบ คุณภาพจะเป็นลบ

บริเวณที่ 3 เป็นการเดือดแบบนิวเคลียตที่ฟองอากาศเริ่มมีมากขึ้นจนปกคลุมผิวการถ่ายโอนความร้อน โดยฟลักซ์ความร้อนจะขึ้นไปสูงสุดที่จุด a ซึ่งเรียกอุณหภูมิที่จุดนี้ว่า อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุดของการเดือดแบบนิวเคลียต (departure of nucleate boiling; DNB) โดยเป็นไปตามสหสัมพันธ์ของลุนด์ (Lund correlation) ดังต่อไปนี้

$$\frac{\dot{q}}{A} = 0.5 f_c \rho v_{inter} C_p (T_c - T_{out}) \quad (28)$$

เมื่อ	f_c	คือ ตัวประกอบความเสียหายสำหรับช่องระหว่างแท่งเชื้อเพลิง
		$f_c = 0.55 Re_{inter}^{-0.37}$
	Re_{inter}	คือ เลขเรย์โนลด์สำหรับช่องระหว่างแท่ง
		$Re_{inter} = 2 \rho v_{inter} D_r (S-1) / \mu_{sat}$
	v_{inter}	คือ ความเร็วของไหลภายในช่องระหว่างแท่ง หน่วยเมตรต่อวินาที
		$v_{inter} = v [1.0 - 0.98 e^{-2.2(S-1)}]$
	D_r	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเชื้อเพลิง หน่วยเมตร (m)
	T_c	คือ อุณหภูมิผนังวิกฤต มีหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)
		$T_c = T_{sat} (1 + 6 \sqrt{\theta_c})$

และ

$$\theta_c = q_c \sigma_{sat} / P \mu_{sat} g h_{fg}$$

เมื่อ	q_c	คือ ฟลักซ์ความร้อน มีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W / m^2)
	σ_{sat}	คือ ความตึงผิวที่อุณหภูมิอิ่มตัว มีหน่วยนิวตันต่อเมตร (N / m)
	μ_{sat}	คือ ความหนืดพลศาสตร์ที่อุณหภูมิอิ่มตัว หน่วยปาสกาลวินาที ($Pa \cdot s$)
	h_{fg}	คือ ความร้อนของการกลายเป็นไอ มีหน่วยจูลต่อกิโลกรัม (J / kg)
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (m / s^2)

บริเวณที่ 4 สำหรับบริเวณที่ 4 และ 5 เป็นการเดือดแบบฟิล์ม โดยในบริเวณที่ 4 จะเป็นการเดือดแบบผสมระหว่างการเดือดแบบนิวเคลียสกับการเดือดแบบฟิล์ม โดยฟองอากาศที่ปกคลุมผิวการถ่ายโอนความร้อนทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนได้ไม่ดี ทำให้ฟลักซ์ความร้อนลดลง

บริเวณที่ 5 เป็นบริเวณที่การเดือดแบบฟิล์มที่มีการสร้างฟิล์มที่เสถียรแล้ว โดยการถ่ายโอนความร้อนจะเป็นการแผ่รังสีความร้อน โดยฟลักซ์ความร้อนจะเพิ่มขึ้นจนผิวแห้งเชื้อเพลิงหลอมละลาย สำหรับบริเวณที่ 4 และบริเวณที่ 5 จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

การไหลของของไหลในท่อ

1. ธรรมชาติของของไหล

ในปี พ.ศ. 2426 ออสบอร์น เรย์โนลด์ (Osborne Reynolds) วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้ทดลองหาแบบการไหลในท่อ ซึ่งมีการไหลอยู่ด้วยกันสามแบบ คือ การไหลแบบชั้น แบบผสมและแบบปั่นป่วน โดยได้แบ่งการไหลแต่ละแบบด้วยอัตราส่วนของแรงเฉื่อย (inertia force) ต่อแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล (viscous force) นั่นคือ

$$Re = \frac{vD}{\mu/\rho} = \frac{\rho vD}{\mu} \quad (29)$$

สำหรับการไหลแบบชั้น $Re \leq 2000$

สำหรับการไหลแบบผสม $2000 < Re \leq 2500$

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน $Re \geq 2500$

2. การสูญเสียหลัก

การสูญเสียหลัก (major losses) คือ การสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทานเนื่องจากความหนืดของของไหลและแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างของไหลกับผนังท่อ จากสมการของแบร์นูลลีจะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + E_{loss} \quad (30)$$

ดังนั้น การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงจะได้

$$E_{loss} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + (z_1 - z_2) \quad (31)$$

2.1 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบชั้น

การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงสำหรับกรณีนี้สามารถเขียนได้ในรูป

$$E_{loss} = F \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (32)$$

โดยที่

$$F = \frac{64}{Re} \quad (33)$$

- เมื่อ F คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน ไม่มีหน่วย
 L คือ ความยาวของท่อ มีหน่วยเมตร (m)
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีหน่วยเมตร (m)

2.2 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน

การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงสำหรับกรณีนี้สามารถเขียนได้ในรูป

$$E_{loss} = F \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (34)$$

และสามารถหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานได้จากสหสัมพันธ์ต่อไปนี้

สหสัมพันธ์บลาสซุส (Blasius correlation)

$$F = 0.316 Re^{-0.25} \quad (35)$$

สหสัมพันธ์คาร์แมน-นิกูราดส์ (Karman-Nikuradse correlation)

$$\frac{1}{\sqrt{F}} = 2.0 \log_{10} (Re \sqrt{F}) - 0.8 \quad (36)$$

3. การสูญเสียรอง

การสูญเสียรอง (minor losses) คือ การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงของท่อ โดยขนาดของการสูญเสียขึ้นกับชนิดและจำนวนของการเปลี่ยนแปลงรูปทรง การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงจะขึ้นกับความเร็ว v ของไหลภายในท่อนั้น คือ

$$E_{loss} = K \frac{v^2}{2g} \quad (37)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง

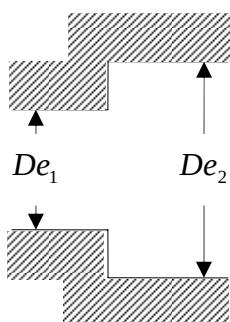
3.1. การสูญเสียของท่อที่มีการขยายทันที

การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงของท่อที่มีการขยายทันทีสามารถเขียนได้เป็น

$$E_{loss} = K \frac{v_1^2}{2g}$$

เมื่อ

v_1 คือ ความเร็วของของไหลก่อนผ่านรอยต่อ



ภาพที่ 2 แสดงรอยต่อที่มีการขยายทันที

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงจะเท่ากับ

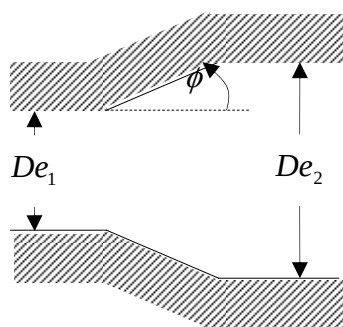
$$K = \left(1 - \frac{De_2^2}{De_1^2}\right)^2 \quad (38)$$

3.2. การสูญเสียของท่อที่มีการขยายแบบกรวย

การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงสำหรับท่อที่มีการขยายแบบกรวย เขียนได้เป็น

$$E_{loss} = K \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (39)$$

เมื่อ v_2 คือ ความเร็วของของไหลหลังผ่านรอยต่อ



ภาพที่ 3 แสดงรอยต่อที่มีการขยายแบบกรวย

สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการขยายแบบกรวย แสดงดังตารางที่ 1

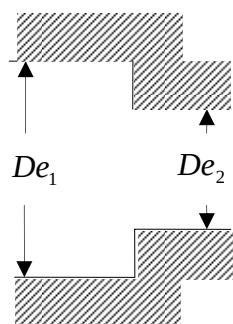
3.3. การสูญเสียของท่อที่มีการลดแบบทันที

การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงสำหรับท่อที่มีการลดแบบทันที เขียนได้เป็น

$$E_{loss} = K \frac{v_2^2}{2g} \quad (40)$$

ตารางที่ 1 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการขยายแบบกรวย

De_2 / De_1	$2\phi^\circ$						
	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1.2	0.02	0.04	0.09	0.16	0.25	0.35	0.37
1.4	0.03	0.06	0.12	0.23	0.36	0.50	0.53
1.6	0.03	0.07	0.14	0.26	0.42	0.57	0.61
1.8	0.04	0.07	0.15	0.28	0.44	0.61	0.65
2.0	0.04	0.07	0.16	0.29	0.46	0.63	0.68
2.5	0.04	0.08	0.16	0.30	0.48	0.65	0.70
3.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.48	0.66	0.71
4.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.49	0.67	0.72
5.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.50	0.67	0.72



ภาพที่ 4 แสดงรอยต่อที่มีการลดแบบทันที

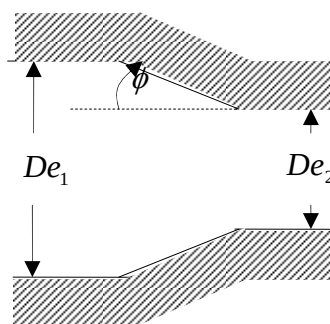
สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการลดแบบทันที สามารถประมาณค่าได้ดังสมการ

$$K = 0.45 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \quad (41)$$

3.4. การสูญเสียของท่อที่มีการลดแบบกรวย

การสูญเสียพลังงานต่อหน่วยแรงสำหรับท่อที่มีการลดแบบกรวย เขียนได้เป็น

$$E_{loss} = K \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \quad (42)$$



ภาพที่ 5 แสดงรอยต่อที่มีการลดแบบกรวย

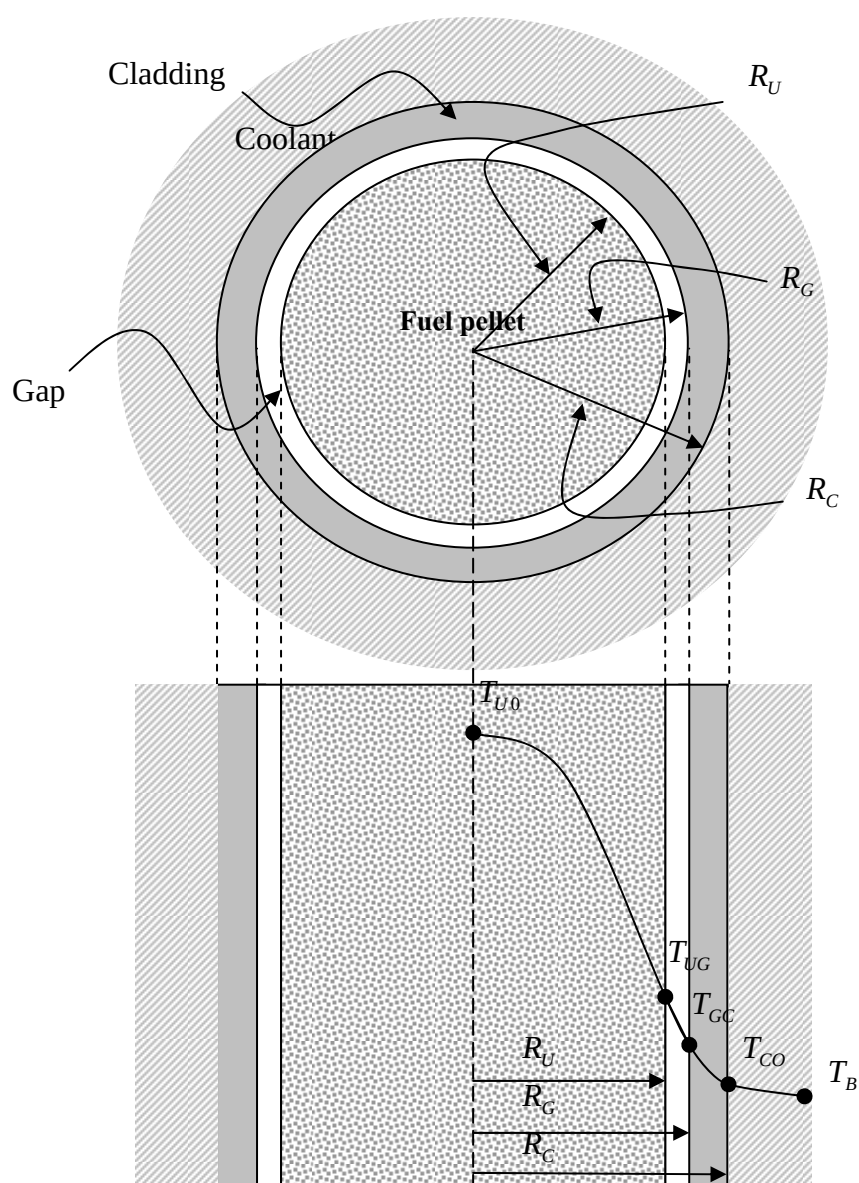
สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการลดแบบกรวย แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับรอยต่อที่มีการลดแบบกรวย

De_1 / De_2	$2\phi^\circ$								
	6°	10°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°
1.5	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04
3	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04

ทฤษฎีที่ใช้ในรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

แบบจำลองของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 จะพิจารณาการนำความร้อนในหนึ่งมิติ และสมมติให้การก่อกำเนิดความร้อนภายในเนื้อเชื้อเพลิงมีค่าคงตัวตามแนวรัศมี โดยแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงแบบจำลองสำหรับการคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง

พิจารณการนำความร้อนในหนึ่งมิติของพิกัดทรงกระบอก จะได้อุณหภูมิของแต่ละจุด ดังนี้

1. อุณหภูมิที่ตัวทำให้เย็นที่ไหลผ่านแท่งเชื้อเพลิง (T_B)

$$T_B = T_{in} + F_b \frac{1}{GAC_p} \int_0^L Q(z) dz \quad (43)$$

2. อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของวัสดุหุ้ม (T_{CO})

$$T_{CO} = T_B + F_f \frac{\dot{q}}{2h_B} \frac{R_U^2}{R_C} \quad (44)$$

3. อุณหภูมิที่ผิวด้านในของวัสดุหุ้ม (T_{GC})

$$T_{GC} = T_{CO} + F_w \frac{\dot{q} R_U^2}{2k_C} \ln \frac{R_C}{R_G} \quad (45)$$

4. อุณหภูมิที่ผิวของเนื้อเชื้อเพลิง (T_{UG})

$$T_{UG} = T_{GC} + F_G \frac{\dot{q} R_U}{2h_G} \quad (46)$$

5. อุณหภูมิสูงสุดของเนื้อเชื้อเพลิง (T_{U0})

$$T_{U0} = T_{UG} + F_U \frac{\dot{q} R_U^2}{4k_U} \quad (47)$$

เมื่อ	F_b	คือ ตัวประกอบการเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำให้เย็น ไม่มีหน่วย
	F_f	คือ ตัวประกอบการเพิ่มอุณหภูมิของฟิล์ม ไม่มีหน่วย
	F_w	คือ ตัวประกอบการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุหุ้ม ไม่มีหน่วย
	F_G	คือ ตัวประกอบการเพิ่มอุณหภูมิของช่องว่าง ไม่มีหน่วย
	F_U	คือ ตัวประกอบการเพิ่มอุณหภูมิของเนื้อเชื้อเพลิง ไม่มีหน่วย
	R_C	คือ รัศมีของผิวด้านนอกวัสดุหุ้ม มีหน่วยเมตร (m)

R_G	คือ รัศมีของผิวด้านในวัสดุหุ้ม มีหน่วยเมตร (m)
R_U	คือ รัศมีของผิวเนื้อเชื้อเพลิง มีหน่วยเมตร (m)
h_B	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของตัวทำให้เย็น มีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ($W / m^2 \cdot K$)
h_G	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของช่องว่าง มีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน ($W / m^2 \cdot K$)
k_c	คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุหุ้ม มีหน่วยวัตต์ต่อเมตรเคลวิน ($W / m \cdot K$)
k_U	คือ สภาพนำความร้อนของเนื้อเชื้อเพลิง มีหน่วยวัตต์ต่อเมตรเคลวิน ($W / m \cdot K$)

1. แบบจำลองการคำนวณการถ่ายโอนความร้อน

1.1 การถ่ายโอนความร้อนเมื่อของไหลเป็นของไหลเฟสเดียว

สำหรับการไหลแบบชั้น ($Re \leq 2000$) จะเป็นไปตามสหสัมพันธ์คอลเลียร์ ดังสมการ (24)

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ($Re \geq 2500$) จะเป็นไปตามสหสัมพันธ์ของดิตตัส-โบล์เตอร์ ดังสมการ (21)

สำหรับช่วงที่ค่า $2000 < Re < 2500$ สามารถหาได้จากการประมาณค่าภายในช่วงระหว่างสมการ (21) และสมการ (24)

1.2 การถ่ายโอนความร้อนขณะเดือดแบบนิวคลีเอต

อุณหภูมิเริ่มต้นของการเดือดแบบนิวคลีเอต (ONB) หาได้จากสหสัมพันธ์ของเบิร์กเลส - เรเซโนว ดังสมการ (25)

อุณหภูมิของการเดือดแบบซบซู่ได้จากสหสัมพันธ์ของเซนที่ปรับปรุงแล้วดังสมการ (26)

และอุณหภูมิของการเดือดแบบนิวคลีเอตเต็มตัวหาได้จากสหสัมพันธ์ของเซน สมการ (27)

1.3 ฟลักซ์ความร้อนที่จุดสิ้นสุดของการเดือดแบบนิวคลีเอต (DNB)

สามารถหาได้จากสหสัมพันธ์ของลุนด์ ดังสมการ (28)

ทฤษฎีที่ใช้ในรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR

1. พลศาสตร์ของของไหล

1.1 สมการของไหลในท่อกระแส

ผลเฉลยของสมการของไหลได้จากสมการการอนุรักษ์ของพลังงาน มวล และการไหลของของไหล โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการไหลในหนึ่งมิติ ของไหลมีสมบัติเอกพันธ์ และมีสมมูลของความร้อน

สมการมวลของไหล

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial G}{\partial x} \quad (48)$$

สมการพลังงานของไหล

$$A \frac{\partial(\rho e)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left[G \left(H + \frac{v^2}{2} + \Phi \right) \right] + q_w \frac{\partial A_w}{\partial x} \quad (49)$$

สมการการไหลของของไหล

$$A \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} = - \frac{\partial(vG)}{\partial x} - A \frac{\partial P}{\partial x} - \rho g A \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\partial F_k}{\partial x} \quad (50)$$

เมื่อ	F_k	คือ แรงเสียดทาน มีหน่วยนิวตัน (N)
	e	คือ พลังงานจำเพาะของของไหลรวม
		$e = u + \frac{v^2}{2} + \Phi$
	u	คือ พลังงานภายในจำเพาะของของไหล
	H	คือ เอนทัลปีของของไหล
		$H = u + \frac{P}{\rho}$
	Φ	คือ ฟังก์ชันศักย์โน้มถ่วง
		$g = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$
	q_w	คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ผนัง (วัตต์/ม ²)

A_w คือ พื้นที่ผิวน้ำสำหรับการถ่ายโอนความร้อน

A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหลของของไหล

1.2 สมการรวมของของไหลในท่อกระแส

สมการของไหลที่แท้จริงที่ใช้ในรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ได้จากผลรวมของสมการของไหลในท่อตลอดปริมาตรครึ่ง V โดยสมการมวลและพลังงานของไหลจะประยุกต์ไปใช้กับปริมาตรที่ i ที่เชื่อมต่อกับรอยต่อ j ที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างปริมาตร K และ L ซึ่งผลที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

1.2.1 สมการมวลของไหล

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum_j G_{ij} \quad (5)$$

เมื่อ M_i คือ มวลในปริมาตร V_i

W_{ij} คือ อัตราการไหลของมวลจากรอยต่อ j ไปยังปริมาตร V_i

1.2.2 สมการพลังงานของไหล

$$\frac{dU_i}{dt} = -\frac{\ell_i}{2A_i} \frac{d}{dt} \left(\frac{\bar{G}_i^2}{\bar{\rho}_i} \right) + \sum_j G_{ij} \left(h_{ij} + \frac{v_{ij}^2}{2} + z_{ij} - \bar{z}_i \right) + Q_i \quad (52)$$

เมื่อ U_i คือ พลังงานภายในรวมของปริมาตร V_i

ℓ_i คือ ความยาวของปริมาตร V_i

$\bar{G}_i$ คือ อัตราการไหลของมวลเฉลี่ยของปริมาตร V_i

$\bar{\rho}_i$ คือ ความหนาแน่นของของไหลเฉลี่ยของปริมาตร V_i

A_i คือ พื้นที่การไหลของปริมาตร V_i

H_{ij} คือ เอนทัลปีเฉพาะที่ที่รอยต่อ j ของของไหลที่เข้าหรือออกจากปริมาตร V_i

v_{ij} คือ ความเร็วของไหลเฉพาะที่ที่รอยต่อ j ของของไหลที่เข้าหรือออกจากปริมาตร V_i

$z_{ij} - \bar{z}_i$ คือ ความสูงที่เปลี่ยนจากจุดศูนย์กลางมวลของปริมาตร V_i ที่ $\bar{z}_i$ ไปยัง

รอยต่อ j

Q_i คือ อัตราของพลังงานความร้อนที่ถ่ายโอนไปยังปริมาตร V_i

เพื่อการหาพลังงานของพลังงานจลน์ที่รวมถึงอัตราการไหลของมวลเฉลี่ย $\bar{G}_i$ สมมติให้ ปริมาตร V_i มีพื้นที่การไหลคงตัว A_i ทั้งด้านที่ไหลเข้าและไหลออก สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\bar{G}_i = \frac{\left(\sum_{j,in} G_{ij} \right) \left(\sum_{j,in} v_j A_j \right) - \left(\sum_{j,out} G_{ij} \right) \left(\sum_{j,out} v_j A_j \right)}{\sum_{j,in} v_j A_j - \sum_{j,out} v_j A_j + \frac{\sum_{j,in} G_{ij} - \sum_{j,out} G_{ij}}{\bar{\rho}_i}} \quad (53)$$

เมื่อ G_{ij} เป็นการไหลของมวลที่เข้าหรือออกจาก (เครื่องหมายลบ) ปริมาตร V_i ผ่านพื้นที่ รอยต่อ A_j ด้วยความเร็วรอยต่อ v_j

เอนทัลปีรอยต่อ H_{ij} และความเร็วรอยต่อ v_{ij} จะหาได้จากพื้นที่การไหลรอยต่อแท้จริง A_j ที่เชื่อมระหว่างปริมาตรหนึ่งไปยังปริมาตรอื่นๆ หรือแหล่งกำเนิดการไหลนิยามของเอนทัลปี รอยต่อและพลังงานจลน์จะกำหนดโดยสมบัติของไหลของแหล่งกำเนิดการไหล G_{ij} นั่นคือ

$$H_{ij} = \bar{H}_i + \frac{\bar{v}_i^2}{2} - \frac{\bar{v}_{ij}^2}{2} + (\Delta H_i)_q + (\Delta H_{ij})_s \quad (54)$$

เมื่อ $\bar{H}_i$ คือ เอนทัลปีเฉลี่ยของปริมาตรแหล่งกำเนิด V_i

$\frac{\bar{v}_i^2}{2}$ คือ พลังงานจลน์ต่อหน่วยมวลเฉลี่ยของปริมาตรแหล่งกำเนิด V_i

$\frac{\bar{v}_{ij}^2}{2}$ คือ พลังงานจลน์ต่อหน่วยมวลของการไหลขึ้นทันที G_{ij} ของพื้นที่

รอยต่อ A_j

$(\Delta H_i)_q$ คือ การเปลี่ยนของเอนทัลปีรอยต่อจากศูนย์กลางของปริมาตรไปยัง รอยต่อเนื่องจากการร้อนขึ้นภายในปริมาตรแหล่งกำเนิด V_i

$(\Delta H_{ij})_s$ คือ การเปลี่ยนของเอนทัลปีเนื่องจากการแยกเฟสที่รอยต่อ j ภายใน ปริมาตรแหล่งกำเนิด V_i

1.2.3 สมการการไหลของของไหล

สมการรวมของของไหลในท่อสำหรับวิถี j จากศูนย์กลางปริมาตร K ไปยังศูนย์กลางปริมาตร L

$$I_j \frac{dG_j}{dt} = (P_K - P_{Kgj}) - (P_L - P_{Lgj}) - F_{f_K} - F_{f_L} - F_{f_r} - \int_{K_0}^{L_i} dF - \int_K^L \frac{d(vG)}{A} \quad (55)$$

เมื่อ K_o คือ ด้านทางออกของปริมาตร K ที่อยู่ติดกับพื้นที่รอยต่อ A_j
 L_i คือ ด้านทางเข้าของปริมาตร L ที่อยู่ติดกับพื้นที่รอยต่อ A_j
 P_K, P_L คือ ความดันอุณหพลศาสตร์ที่ศูนย์กลางมวล
 P_{Kgj} คือ ผลต่างความดันจากศูนย์กลางปริมาตร K ถึงรอยต่อ j
 P_{Lgj} คือ ผลต่างความดันจากรอยต่อ j ถึงศูนย์กลางปริมาตร L
 F_{f_K}, F_{f_L} คือ การสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานภายในแต่ละครั้ง
 ปริมาตร

$$F_{f_K} = 4f \left(\frac{\ell}{2De} \right) \left(\frac{\rho \bar{v} |\bar{v}|}{2} \right) \Phi_{2P}$$

F_{f_r} คือ พจน์ความเสียดทานส่วนเหลือที่หาได้จากเงื่อนไขสถานะคงตัว

$\int_{K_o}^{L_i} dF$ คือ ความเสียดทานจากการหดหรือขยายระหว่างปริมาตร K และ L

$\int_K^L \frac{d(vG)}{A}$ คือ พจน์ฟลักซ์โมเมนตัมสำหรับการเปลี่ยนพื้นที่และความหนาแน่น

ระหว่างปริมาตร K และ L

f คือ ตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิง

ℓ คือ ความยาวของปริมาตร

Φ_{2P} คือ ตัวคูณความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเมื่อการไหลของของไหลสองเฟส

I_j คือ ความเฉื่อยเรขาคณิตสำหรับรอยต่อ j

$$I_j = \frac{\ell_K}{2A_K} + \frac{\ell_L}{2A_L}$$

G_j คือ การไหลของมวลที่รอยต่อ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค ACER TravelMate 3200
2. รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และคู่มือภาษาอังกฤษ
3. รหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR และคู่มือ ภาษาอังกฤษ
4. รหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M และคู่มือ ภาษาอังกฤษ
5. รหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA และคู่มือ ภาษาอังกฤษ
6. รหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO และคู่มือ ภาษาอังกฤษ

วิธีการ

ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาการคำนวณอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง โดยใช้รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR แต่การใช้รหัสคอมพิวเตอร์ทั้งสองในการคำนวณต้องสร้างไฟล์ขาเข้าที่สอดคล้องกับแท่งเชื้อเพลิงที่พิจารณา ดังนั้นในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับสร้างไฟล์ขาเข้าสำหรับแต่ละรหัสคอมพิวเตอร์ ดังต่อไปนี้

ข้อมูลทั่วไปของเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1

1. บ่อปฏิกรณ์มีความกว้าง 3.5 เมตร ยาว 12 เมตร ลึก 8.5 เมตร โดยใช้น้ำมวลเบาไว้สูงประมาณ 8 เมตร จากก้นบ่อปฏิกรณ์
2. แกนปฏิกรณ์ เป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 55 เซนติเมตร สูงประมาณ 2 เมตร
3. แท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.746 เซนติเมตร ยาวประมาณ 76.2 เซนติเมตร มีเนื้อเชื้อเพลิงเป็น U-ZrH (Uranium-Zirconium hydride) และมีด้านบนและด้านล่างของเนื้อเชื้อเพลิงเป็นกราไฟต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนนิวตรอน ในเนื้อเชื้อเพลิงมีปริมาณยูเรเนียม 235 ประมาณร้อยละ 20 และร้อยละ 8.5 ค่อน้ำหนัก

4. ภายในแกนปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยมที่มีช่องทั้งหมด 121 ช่อง โดยมีช่องใส่แท่งเชื้อเพลิงอยู่ 105 แท่ง ช่องใส่แท่งควบคุม 5 แท่ง ช่องใส่เครื่องตรวจวัดนิวตรอน 3 ช่องและช่องใส่ตัวอย่างสำหรับอบรังสี 8 ช่อง

1. ข้อมูลสำหรับการสร้างไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

1.1. สหสัมพันธ์การถ่ายโอนความร้อนได้ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนคือ สหสัมพันธ์ของคิตตซ์ - โบลเตอร์

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

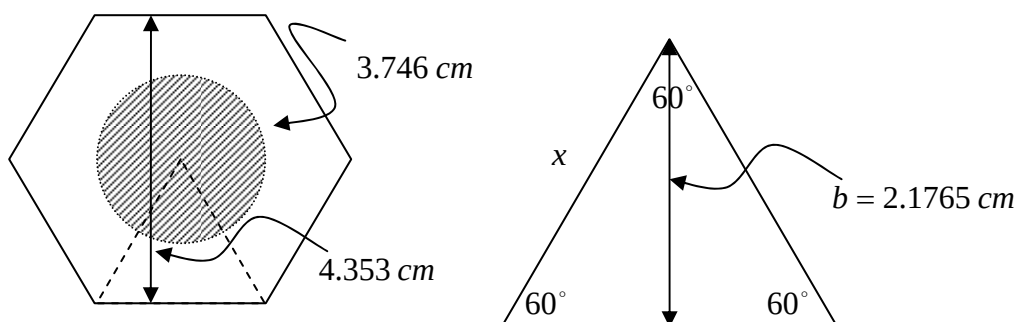
1.2. การคำนวณ ความดันภายในแกนปฏิกรณ์

สามารถหาได้จากความดันบรรยากาศบวกกับ ความดันที่เกิดจากน้ำ เมื่อแกนปฏิกรณ์อยู่ลึกจากผิวน้ำประมาณ 6 เมตร

$$\begin{aligned} P &= P_{water} + P_{atm} \\ &= 5964 + 10332.3 \\ &= 16297.3 \left(\frac{kg}{m^2} \right) = 1.62973 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \end{aligned}$$

1.3. การคำนวณพื้นที่การไหล

ในการคำนวณพื้นที่การไหลต่อหนึ่งแท่งเชื้อเพลิง จะแบ่งเป็นรูปหกเหลี่ยม โดยที่แต่ละแท่งเชื้อเพลิงอยู่ห่างกัน 4.3536 เซนติเมตร และแท่งเชื้อเพลิงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.746 เซนติเมตร ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงภาคตัดขวางของพื้นที่การไหลสำหรับหนึ่งแท่งเชื้อเพลิง

หนึ่งด้านของสามเหลี่ยมยาว ($x = b / \cos 30^\circ$)	เท่ากับ	2.5132 cm
พื้นที่สามเหลี่ยมด้านเท่า ($A_\Delta = xb / 2$)	เท่ากับ	2.7350 cm ²
พื้นที่ของหกเหลี่ยม ($A = 6 \times A_\Delta$)	เท่ากับ	16.410 cm ²
พื้นที่ของวงกลม ($d = 3.746$ cm)	เท่ากับ	11.022 cm ²
ดังนั้นพื้นที่การไหล	เท่ากับ	16.410 - 11.022 = 5.388 cm ²

1.4. ในแกนปฏิกรณ์มีเชื้อเพลิงอยู่ทั้งหมด 105 แท่ง และคิดว่าแท่งควบคุม 4 แท่งใส่อยู่ 60 % ดังนั้นคิดได้ว่ามีแท่งเชื้อเพลิงอยู่ 107.4 แท่ง

1.5. เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล

สามารถหาได้จากสมการ (16) นั่นคือ

$$De = 4 \frac{5.388}{\pi(3.746)} = 1.8313 \text{ cm}$$

1.6. สภาพนำความร้อนของเนื้อเชื้อเพลิง

สภาพนำความร้อนของเนื้อเชื้อเพลิงเป็นไปตามสมการ

$$k = 0.175846 + 7.49437 \times 10^{-5} T (^\circ C) \quad (W / cm \cdot ^\circ C)$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นตารางได้ดังตารางที่ 3

1.7. สภาพนำความร้อนของช่องว่าง

สภาพนำความร้อนของช่องว่างจะเป็นสภาพนำความร้อนของฮีเลียมที่บรรจุไว้ระหว่างเนื้อเชื้อเพลิงกับวัสดุหุ้ม โดยมีความกว้างประมาณ 0.0038 เซนติเมตร ซึ่งสภาพนำความร้อนของฮีเลียม (ที่ความดันบรรยากาศ 1.013×10^3 Pa) มีค่าดังตารางที่ 4

สำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 ต้องการข้อมูลขาเข้าเป็นความนำของช่องว่าง ซึ่งแปรผันตามความกว้างของช่องว่าง ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้ประมาณให้ช่องว่างกว้าง 0.0038 เซนติเมตร ตั้งแต่ อุณหภูมิ 0.0 – 120.0 °C ส่วนที่อุณหภูมิ 150 °C จะให้ช่องว่างลดลง 4 เท่าของ

ความกว้างเดิมเนื่องจากการขยายตัวของเนื้อเชื้อเพลิง และที่อุณหภูมิ 200°C และ 300°C จะให้ช่องว่างลดลงเป็น 8 เท่าและ 80 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ความนำของช่องว่างแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 แสดงสภาพนำความร้อนของเนื้อเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		สภาพนำความร้อน	
$^{\circ}\text{C}$	K	$W / \text{cm} \cdot K$	$\text{kcal} / \text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}$
0	273	0.17585	15.11924
100	373	0.18334	15.76361
200	473	0.19083	16.40797
300	573	0.19833	17.05234
400	673	0.20582	17.69670
500	773	0.21332	18.34107
600	873	0.22081	18.98543
700	973	0.22831	19.62980
800	1073	0.23580	20.27417
900	1173	0.24330	20.91853
1000	1273	0.25079	21.56290
1100	1373	0.25828	22.20726
1200	1473	0.26578	22.85163
1300	1573	0.27327	23.49600
1400	1673	0.28077	24.14036
1500	1773	0.28826	24.78473
1600	1873	0.29576	25.42909
1700	1973	0.30325	26.07346
1800	2073	0.31074	26.71783
1900	2173	0.31824	27.36219
2000	2273	0.32573	28.00656

ตารางที่ 4 แสดงสภาพนำความร้อนของฮีเลียมที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		สภาพนำความร้อน	
$^{\circ}C$	K	$W / cm \cdot K$	$kcal / m \cdot hr \cdot ^{\circ}C$
0	273	0.00141	0.12123
227	500	0.00211	0.18142
427	700	0.00278	0.23902
627	900	0.00335	0.28803
827	1100	0.00389	0.33446

ตารางที่ 5 แสดงความนำความร้อนของช่องว่าง

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความนำความร้อน ($W / cm^2 \cdot K$)
0	0.3711
120	0.4684
150	1.9771
200	4.2668
300	49.569

1.8. สภาพนำความร้อนของวัสดุหุ้ม

วัสดุหุ้มทำจาก เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steels) ดังนั้นจากตารางสภาพนำความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นดังตารางที่ 6

1.9. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิววัสดุหุ้ม

วัสดุหุ้มเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งมีค่าความหยาบประมาณ 0.046 มิลลิเมตร ดังนั้นจากแผนภาพของมูดดี (Lewis F. Moody) จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานประมาณ 0.065

ตารางที่ 6 แสดงสภาพนำความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม

อุณหภูมิ		สภาพนำความร้อน	
$^{\circ}\text{C}$	K	$W / \text{cm} \cdot K$	$\text{kcal} / \text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}$
27	300	0.14	12.0372
227	500	0.17	14.6166
427	700	0.20	17.1960
527	800	0.22	18.9156

1.10. ข้อมูลรูปทรงแท่งเชื้อเพลิง

รัศมีของเนื้อเชื้อเพลิง	เท่ากับ	1.8184	cm
ช่องว่าง หนา	เท่ากับ	0.0038	cm
วัสดุหุ้ม หนา	เท่ากับ	0.0508	cm
ระยะจากเนื้อเชื้อเพลิงถึงช่องทางออก	เท่ากับ	13.4556	cm
ระยะจากเนื้อเชื้อเพลิงถึงช่องทางเข้า	เท่ากับ	12.8068	cm
ความยาวของเนื้อเชื้อเพลิง	เท่ากับ	38.1	cm

1.11. ตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกน

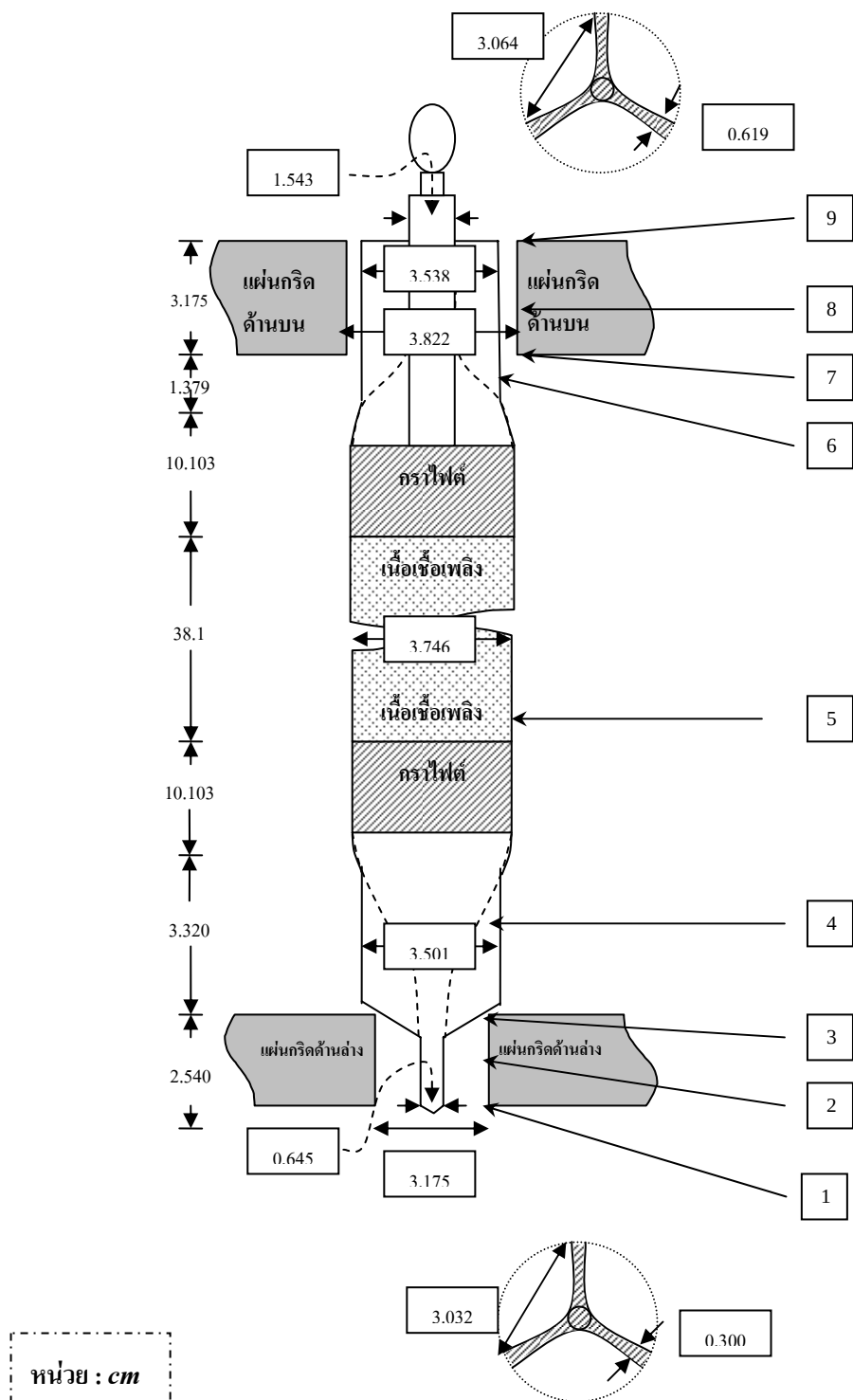
ตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกน (axial peaking factor) ได้จากข้อมูลของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกนจะแสดงการกระจายความร้อนตามแนวความยาวของแท่งเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์ ในขณะที่ใส่แท่งควบคุมที่ระยะต่างๆ ดังตารางที่ 7 ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะใช้ตัวประกอบยอดสุดเมื่อมีการดึงแท่งควบคุมขึ้น 60 %

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกน

ตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกน					
ความสูง (cm)	แท่งควบคุมถูก ดึงออก 100%	แท่งควบคุมถูก ดึงออก 80%	แท่งควบคุมถูก ดึงออก 70%	แท่งควบคุมถูก ดึงออก 60%	แท่งควบคุมถูก ดึงออก 50%
1.91	0.69	0.75	0.78	0.82	0.86
5.72	0.84	0.93	0.95	1.00	1.03
9.53	1.05	1.10	1.14	1.19	1.21
13.34	1.19	1.23	1.26	1.28	1.29
17.15	1.26	1.28	1.30	1.31	1.29
20.96	1.26	1.26	1.26	1.23	1.20
24.77	1.18	1.15	1.13	1.09	1.04
28.58	1.03	0.97	0.95	0.90	0.87
32.39	0.83	0.75	0.70	0.68	0.70
36.20	0.66	0.57	0.53	0.51	0.51

1.12. สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับช่องที่มีความร้อน

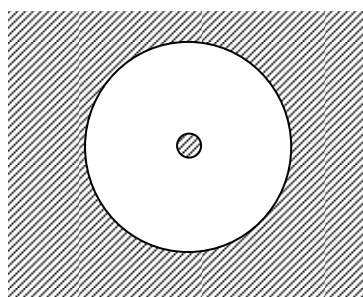
แบบจำลองแท่งเชื้อเพลิง เมื่ออยู่ในแกนปฏิกรณ์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8 โดยที่แท่งเชื้อเพลิงจะวางอยู่บนแผ่นกริดด้านล่างและมีแผ่นกริดด้านบนเป็นตัวประกอบแท่งเชื้อเพลิงไว้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงได้เป็น 9 บริเวณดังต่อไปนี้



ภาพที่ 8 แสดงแบบจำลองแท่งเชื้อเพลิงภายในแกนปฏิกรณ์วิจัยไทย

บริเวณที่ 1 เป็นบริเวณก่อนเข้าแผ่นกริดด้านล่าง

เส้นผ่านศูนย์กลางปล่องแกนภายนอก	เท่ากับ	54.61 cm
ปล่องแกนหนา	เท่ากับ	0.635 cm
ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางปล่องแกนภายใน	เท่ากับ	53.34 cm
พื้นที่การไหลภายในปล่องแกน	เท่ากับ	2234.58 cm ²
พื้นที่วงกลมนอก ($d = 3.175$ cm)	เท่ากับ	7.9173 cm
พื้นที่ของวงกลมเล็ก ($d = 0.645$ cm)	เท่ากับ	0.3267 cm
พื้นที่การไหลภายในแผ่นกริดด้านล่าง	เท่ากับ	7.5906 cm



ภาพที่ 9 แสดงภาคตัดขวางบริเวณแผ่นกริดด้านล่าง

การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สามารถหาได้จากสมการ (41) นั่นคือ

$$K = 0.45 \left(1 - \frac{7.5906}{2234.58} \right)^2$$

$$= 0.447$$

ซึ่งมีความยาวที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 0.0 cm

การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องภายในแผ่นกริดด้านล่าง)

$$De = 4 \frac{7.5906}{\pi(3.175 + 0.645)} = 2.53 \text{ cm}^2$$

พื้นที่การไหล สำหรับบริเวณนี้ เท่ากับ 7.5906 cm²

บริเวณที่ 2 บริเวณภายในแผ่นกริดด้านล่าง

บริเวณนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การไหล ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงจะเท่ากับ

$$K = 0.0$$

ความยาวที่พิจารณา (ความหนาของแผ่นกริดด้านล่าง) เท่ากับ 2.54 cm

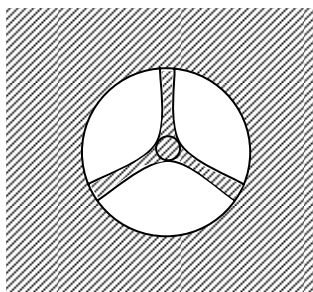
การคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องภายในแผ่นกริดด้านล่าง)

$$De = 2.53 \text{ cm}$$

พื้นที่การไหล สำหรับการไหลในบริเวณนี้เท่ากับ 7.5906 cm^2

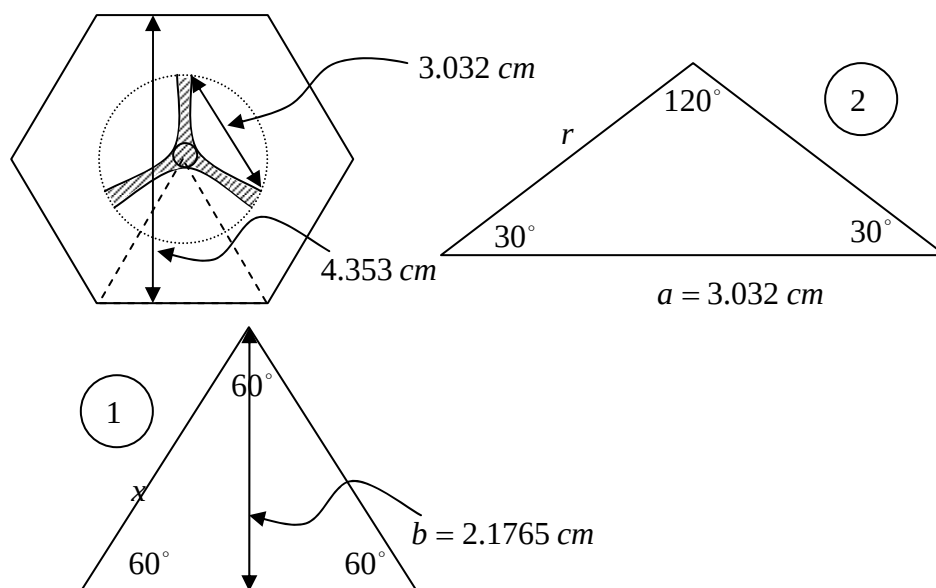
บริเวณที่ 3 บริเวณก่อนออกจากแผ่นกริดด้านล่าง

ภาคตัดขวางของบริเวณก่อนออกจากแผ่นกริดด้านล่าง แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงภาคตัดขวางของบริเวณก่อนออกจากแผ่นกริดด้านล่าง

พื้นที่วงกลมภายในแผ่นกริดด้านล่าง	เท่ากับ	7.9173 cm^2
วงกลมเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง	เท่ากับ	0.645 cm
พื้นที่ของวงกลมเล็ก	เท่ากับ	0.3267 cm^2
ก้านมีความหนา	เท่ากับ	0.303 cm
ความยาวของก้าน (รัศมีวงกลมใหญ่ ลบ วงกลมเล็ก)	เท่ากับ	1.265 cm
พื้นที่ของหนึ่งก้าน	เท่ากับ	0.3833 cm^2
พื้นที่ของสามก้าน	เท่ากับ	1.1499 cm^2
ดังนั้นพื้นที่การไหลก่อนออกจากแผ่นกริดด้านล่าง	เท่ากับ	6.4407 cm^2



ภาพที่ 11 แสดงภาคตัดขวางหลังออกจากแผ่นกริดด้านล่าง

สำหรับการหาพื้นที่การไหลของภาคตัดขวางนี้ พิจารณาจากภาพสามเหลี่ยมภาพที่ 11 (1)

หนึ่งด้านของสามเหลี่ยมยาว ($x = b / \cos 30^\circ$)	เท่ากับ	2.5132 cm
พื้นที่สามเหลี่ยมด้านเท่า ($A_\Delta = xb / 2$)	เท่ากับ	2.7350 cm ²
พื้นที่ของหกเหลี่ยม ($A = 6 \times A_\Delta$)	เท่ากับ	16.410 cm ²
รัศมีของวงกลมใหญ่ ($r = a / 2 \cos 30^\circ$)	เท่ากับ	1.7506 cm
เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมใหญ่	เท่ากับ	3.5012 cm
พื้นที่ของวงกลมเล็ก ($d = 0.645$ cm)	เท่ากับ	0.3267 cm ²
ก้านมีความหนา	เท่ากับ	0.303 cm
ความยาวของก้าน (รัศมีวงกลมใหญ่ ลบ วงกลมเล็ก)	เท่ากับ	1.4281 cm
พื้นที่ของหนึ่งก้าน	เท่ากับ	0.4327 cm ²
พื้นที่ของสามก้าน	เท่ากับ	1.2981 cm ²
ดังนั้นพื้นที่การไหลหลังจากแผ่นกริดด้านล่าง	เท่ากับ	14.785 cm ²

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับการเพิ่มพื้นที่ทันทีได้จากสมการ (38) นั่นคือ

$$K = \left(1 - \frac{6.4407}{14.785}\right)^2 = 0.318$$

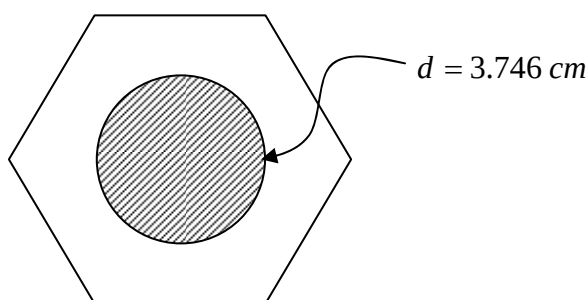
ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 0.0 cm
เส้นรอบวงเปียก สามารถหาได้ดังต่อไปนี้	
เส้นรอบวงกลมกลม ($d = 3.175 \text{ cm}$)	เท่ากับ 9.9746 cm
เส้นรอบวงกลมเล็ก ($d = 0.645 \text{ cm}$)	เท่ากับ 2.0263 cm
เส้นด้านข้างก้านยาว 6 ด้าน	เท่ากับ 7.59 cm
ดังนั้นเส้นรอบวงเปียก	เท่ากับ 17.7792 cm
ซึ่งสามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล ได้เป็น	

$$De = 4 \frac{6.4407}{17.7792} = 1.4490 \text{ cm}$$

และพื้นที่การไหล สำหรับบริเวณนี้	เท่ากับ 6.4407 cm^2
----------------------------------	------------------------------

บริเวณที่ 4 บริเวณครึ่งล่างของแท่งเชื้อเพลิง

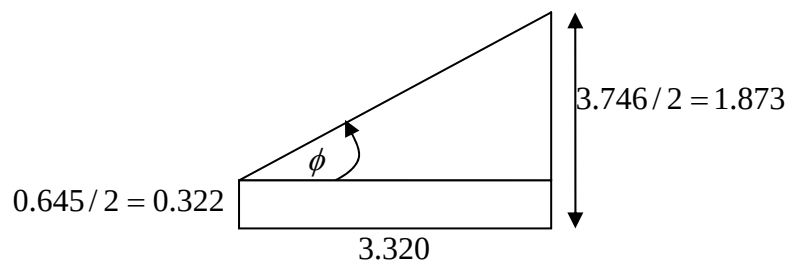
จากบริเวณที่ 3 ได้พื้นที่การไหลหลังจากออกจากแผ่นกริดด้านล่าง เท่ากับ 14.785 cm^2 ส่วนภาคตัดขวางของแท่งเชื้อเพลิงเหนือครึ่งด้านล่าง แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงภาคตัดขวางของแท่งเชื้อเพลิงบริเวณเหนือครึ่งล่าง

พื้นที่ของหกเหลี่ยม	เท่ากับ 16.410 cm^2
พื้นที่ของวงกลม ($d = 3.746 \text{ cm}$)	เท่ากับ 11.022 cm^2
ดังนั้นพื้นที่การไหล	เท่ากับ 5.388 cm^2

การหาอุณหภูมิความชันภายในช่องการไหลสามารถหาได้จากภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงการหามุมจากรัศมีของแท่งเชื้อเพลิง

จากภาพที่ 13 สามารถหามุม ϕ ได้จาก

$$\phi = \arctan\left(\frac{1.873 - 0.322}{3.320}\right) = 25.04^\circ$$

และ พิจารณาว่าเสมือนการไหลในท่อกลม ดังนั้น

$$\left(\frac{d_1}{d_2}\right) = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = \sqrt{\frac{14.785}{5.388}} = 1.656$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับการลดพื้นที่แบบกรวย สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2 จะได้

$$K = 1.0713$$

ความยาวที่พิจารณา

เท่ากับ 3.320 cm

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล สามารถคำนวณได้จากบริเวณพื้นที่การไหลที่น้อยที่สุด

$$De = 4 \frac{5.388}{\pi(3.746)} = 1.8313 \text{ cm}$$

และพื้นที่การไหล สำหรับบริเวณนี้

เท่ากับ 5.388 cm²

บริเวณที่ 5 บริเวณเนื้อเชื้อเพลิงและกราไฟต์

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การไหล จะได้เป็น

$$K = 0.0$$

ความยาวที่พิจารณา เท่ากับ 58.306 cm

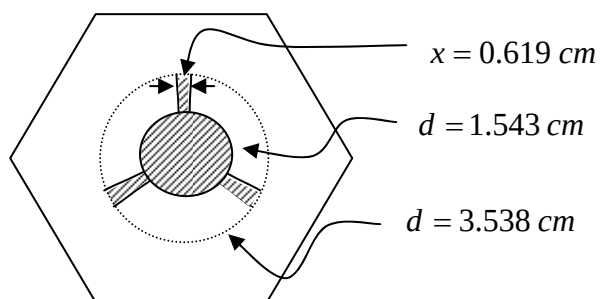
เส้นผ่านศูนย์กลางกลมคำนวณได้จาก

$$De = 4 \frac{5.388}{\pi(3.746)} = 1.8313 \text{ cm}$$

และพื้นที่การไหลสำหรับบริเวณนี้ เท่ากับ 5.388 cm^2

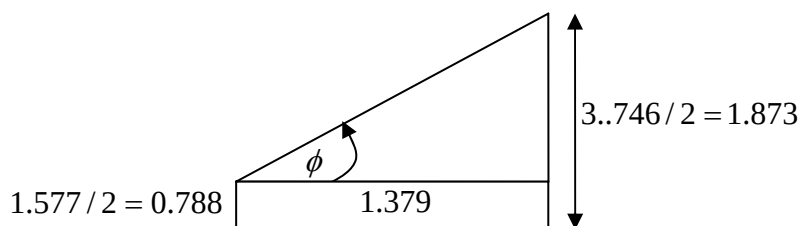
บริเวณที่ 6 บริเวณกรีดด้านบน

พื้นที่การไหลบริเวณเนื้อเชื้อเพลิง เท่ากับ 5.388 cm^2



ภาพที่ 14 แสดงภาคตัดขวางก่อนเข้าแผ่นกรีดด้านบน

พื้นที่ของหกเหลี่ยม	เท่ากับ	16.410	cm^2
พื้นที่ของวงกลม ($d = 1.543 \text{ cm}$)	เท่ากับ	1.8699	cm^2
ก้านหนึ่งก้านกว้าง	เท่ากับ	0.619	cm
ก้านหนึ่งก้านยาว	เท่ากับ	0.9975	cm
พื้นที่ของหนึ่งก้าน	เท่ากับ	0.6175	cm^2
พื้นที่ของสามก้าน	เท่ากับ	1.8524	cm^2
ดังนั้นพื้นที่การไหล	เท่ากับ	12.688	cm^2



ภาพที่ 15 แสดงการหามุมจากรัศมีของแท่งเชื้อเพลิง

สำหรับการหามุม ϕ สามารถหาได้จากภาพที่ 15 นั่นคือ

$$\phi = \arctan\left(\frac{1.873 - 0.788}{1.379}\right) = 38.20^\circ$$

และ พิจารณาว่าเสมือนการไหลในท่อกลม ดังนั้น

$$\left(\frac{d_1}{d_2}\right) = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = \sqrt{\frac{12.688}{5.388}} = 1.5346$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงได้จากตารางที่ 1 ได้ค่าเป็น

$$K = 0.644$$

ความยาวที่พิจารณาเท่ากับ 1.379 cm

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลสามารถคำนวณได้จากด้านที่น้อยที่สุด

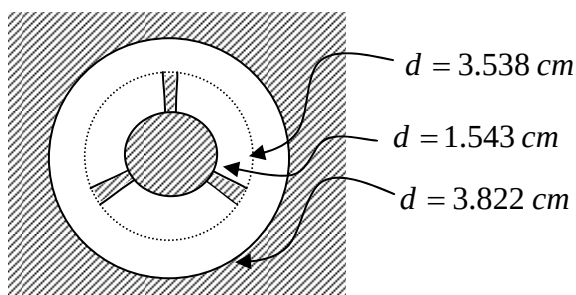
$$De = 4 \frac{5.388}{\pi(3.746)} = 1.8313 \text{ cm}$$

พื้นที่การไหล สำหรับบริเวณนี้ เท่ากับ 5.388 cm²

บริเวณที่ 7 บริเวณก่อนเข้าแผ่นกริดด้านบน

พื้นที่การไหลก่อนเข้าแผ่นกริดด้านบน เท่ากับ 12.688 cm²

ภาคตัดขวางภายในแผ่นกริดด้านบนแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงภาคตัดขวางภายในแผ่นกริดด้านบน

พื้นที่ของวงกลมนอก ($d = 3.822 \text{ cm}$) เท่ากับ 11.4728 cm²

พื้นที่ของวงกลมเล็ก ($d = 1.543 \text{ cm}$) เท่ากับ 1.8699 cm²

ก้านหนึ่งก้านกว้าง	เท่ากับ	0.619	cm
ก้านหนึ่งก้านยาว	เท่ากับ	0.9975	cm
พื้นที่ของหนึ่งก้าน	เท่ากับ	0.6175	cm ²
พื้นที่ของสามก้าน	เท่ากับ	1.8524	cm ²
ดังนั้นพื้นที่การไหล	เท่ากับ	7.7505	cm ²

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับการลดพื้นที่การไหลอย่างทันทีคือ

$$K = 0.45 \left(1 - \frac{7.7505}{12.688} \right)^2 = 0.068$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ	0.0	cm
เส้นรอบวงเปียกสามารถพิจารณาได้ดังนี้			
เส้นวงเปียก ด้านนอก	เท่ากับ	$\pi(3.822) =$	12.0072 cm
เส้นรอบวงของวงกลมเล็ก	เท่ากับ	$\pi(1.543) =$	4.8475 cm
เส้นรอบหนึ่งก้าน พิจารณาแค่ สามด้าน	เท่ากับ	$0.619 + 2 \times 0.9975 =$	2.6140 cm
เส้นรอบของสามก้าน	เท่ากับ	$3 \times 2.6140 =$	7.8420 cm
เส้นรอบวงของวงกลมเล็กไม่รวมที่ติดก้าน	เท่ากับ	$4.8475 - 3 \times 0.619 =$	2.9905 cm
เส้นรอบวงเปียกรวม	เท่ากับ	$12.0072 + 7.8420 + 2.9905 =$	22.8397 cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล สามารถหาได้จากด้านที่น้อยที่สุด			

$$De = 4 \frac{7.7505}{22.8397} = 1.3574 \text{ cm}$$

และพื้นที่การไหล สำหรับบริเวณนี้	เท่ากับ	7.7505	cm ²
----------------------------------	---------	--------	-----------------

บริเวณที่ 8 บริเวณภายในแผ่นกริดด้านบน

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนพื้นที่ คือ

$$K = 0.0$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ	3.175	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ	1.3574	cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ	7.7505	cm ²

บริเวณที่ 9 บริเวณออกจากแผ่นกริดด้านบน

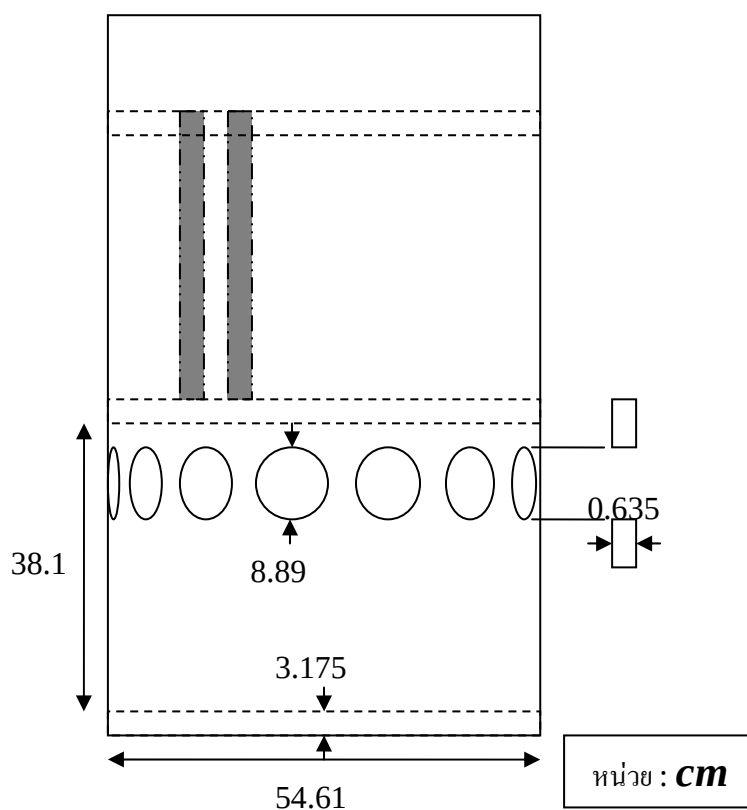
สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงสำหรับการเพิ่มพื้นที่ทันที เมื่อมีพื้นที่ด้านทางออกมีค่ามากๆ คือ

$$K = 1.0$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 0.0 cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ 1.3574 cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ 7.7505 cm ²

1.13. สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับช่องที่ไม่มีความร้อน

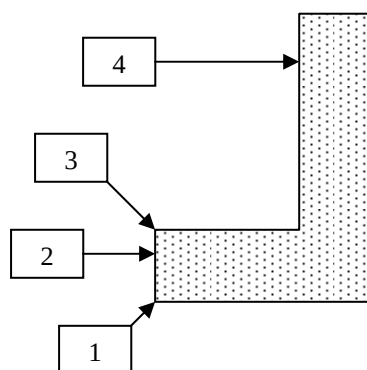
ช่องที่ไม่มีความร้อน หมายถึงช่องที่ไม่ได้ผ่านแท่งเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องปฏิกรณ์วิจัยไทยนั้นได้พิจารณาว่ามีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ ช่องที่มาจากด้านล่างของปล่องแกนผ่านแผ่นนิรภัย และช่องด้านข้างปล่อง 10 ช่อง



ภาพที่ 17 แสดงแบบจำลองปล่องแกนปฏิกรณ์วิจัยไทย

ทางเข้าด้านล่างปล่อง

สำหรับบริเวณปล่องด้านล่างจะผ่านแผ่นนิรภัย โดยสามารถแบ่งตำแหน่งการสูญเสียได้ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ตำแหน่งของการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงที่แผ่นนิรภัย

บริเวณที่ 1 บริเวณก่อนเข้าแผ่นนิรภัย (ก้นปล่องแกนปฏิกรณ์)

พื้นที่การไหลระหว่างผ่านแผ่นนิรภัยประมาณเท่ากับ 1067.254 cm^2 มีเส้นรอบวงเปียกเท่ากับ 286.88 cm ด้านล่างปล่องเป็นบ่อน้ำ ซึ่งมีพื้นที่การไหลมากกว่าพื้นที่การไหลผ่านแผ่นนิรภัย ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับการลดพื้นที่อย่างทันที จะได้เป็น

$$K = 0.45 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2 = 0.45$$

ความยาวที่พิจารณา

เท่ากับ 0.0 cm

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล ของช่องภายในแผ่นนิรภัยหาได้จาก

$$De = 4 \times \frac{1067.254}{286.88} = 14.88 \text{ cm}$$

พื้นที่การไหล

เท่ากับ 1067.254 cm^2

บริเวณที่ 2 บริเวณภายในแผ่นนิริภัย

บริเวณนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การไหล ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง จะได้เป็น

$$K = 0.0$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 3.175	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ 14.88	cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ 1067.254	cm ²

บริเวณที่ 3 บริเวณหลังจากผ่านแผ่นนิริภัย

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในปล่องแกน เท่ากับ 53.54 cm

พื้นที่การไหลภายในปล่องแกน เท่ากับ 2251.37 cm²

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับการเพิ่มพื้นที่ทันทีที่สามารถหาได้จากสมการ

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{1067.254}{2251.37}\right)^2$$

$$= 0.277$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 0.0	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ 14.88	cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ 1067.254	cm ²

บริเวณที่ 4 บริเวณภายในปล่องแกน

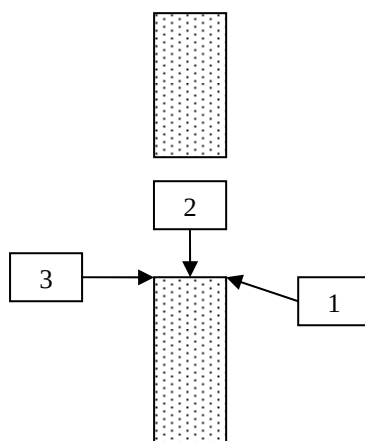
บริเวณนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การไหล ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง จะได้

$$K = 0.0$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 38.1	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ 53.54	cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ 2251.37	cm ²

ทางเข้าด้านข้างปล่องแกน

แบบจำลองของช่องวงกลม 10 วง รอบปล่องแกนปฏิกรณ์แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ตำแหน่งการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงที่ 10 รูด้านข้างปล่อง

บริเวณที่ 1 บริเวณก่อนเข้าช่อง

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของวงกลมรอบแกน	เท่ากับ	8.89	cm
พื้นที่การไหลของวงกลมรอบแกนหนึ่งวง	เท่ากับ	62.072	cm ²
พื้นที่การไหลของวงกลมทั้งหมด (10 รู)	เท่ากับ	620.72	cm ²

บริเวณนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การไหลจากบ่อน้ำไปยังพื้นที่การไหลที่น้อยกว่า ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง จะได้

$$K = 0.45$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ	0.0	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ	8.89	cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ	620.72	cm ²

บริเวณที่ 2 บริเวณภายในช่อง

บริเวณนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การไหล ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง จะได้

$$K = 0.0$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 0.635 cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ 8.89 cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ 620.72 cm ²

บริเวณที่ 3 บริเวณหลังออกจากช่อง

สำหรับบริเวณนี้พื้นที่การไหลเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มพื้นที่การไหลทันที แต่เนื่องจากพื้นที่ที่ออกไปนั้นมีความมากกว่ามากๆ ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง จะได้เป็น

$$K = 1.0$$

ความยาวที่พิจารณา	เท่ากับ 0.635 cm
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล	เท่ากับ 8.89 cm
พื้นที่การไหล	เท่ากับ 620.72 cm ²

ดังนั้นสามารถสรุปข้อมูลการหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล พื้นที่การไหล และความยาวของช่วงที่พิจารณาของช่องที่มีความร้อน ดังตารางที่ 8 ส่วนของช่องที่ไม่มีความร้อนบริเวณแผ่นนิรภัยจะแสดงดังตารางที่ 9 และช่องที่ไม่มีความร้อนบริเวณ 10 รู รอบปล่องแกนปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณของช่องที่มีความร้อน

บริเวณที่	K	De (cm)	พื้นที่การไหล (cm^2)	ความยาว (cm)
1	0.447	2.530	7.5906	0.00
2	0.000	2.530	7.5906	2.54
3	0.318	1.4490	6.4407	0.00
4	1.071	1.8313	5.3880	3.32
5	0.000	1.8313	5.3880	58.306
6	0.644	1.8313	5.3880	1.379
7	0.068	1.3574	7.7505	0.00
8	0.000	1.3574	7.7505	3.175
9	1.000	1.3574	7.7505	0.00

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณของช่องที่ไม่มีความร้อนบริเวณแผ่นนิรภัย

บริเวณที่	K	De (cm)	พื้นที่การไหล (cm^2)	ความยาว (cm)
1	0.450	14.88	1067.25	0.00
2	0.000	14.88	1067.25	3.175
3	0.277	14.88	1067.25	0.00
4	0.000	53.54	2251.37	38.10

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณของช่องที่ไม่มีความร้อนบริเวณ 10 รู ด้านข้างปล่อง

บริเวณที่	K	De (cm)	พื้นที่การไหล (cm^2)	ความยาว (cm)
1	0.45	8.89	620.72	0.00
2	0.000	8.89	620.72	0.635
3	1.0	8.89	620.72	0.00

ข้อมูลสำหรับการสร้างไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR

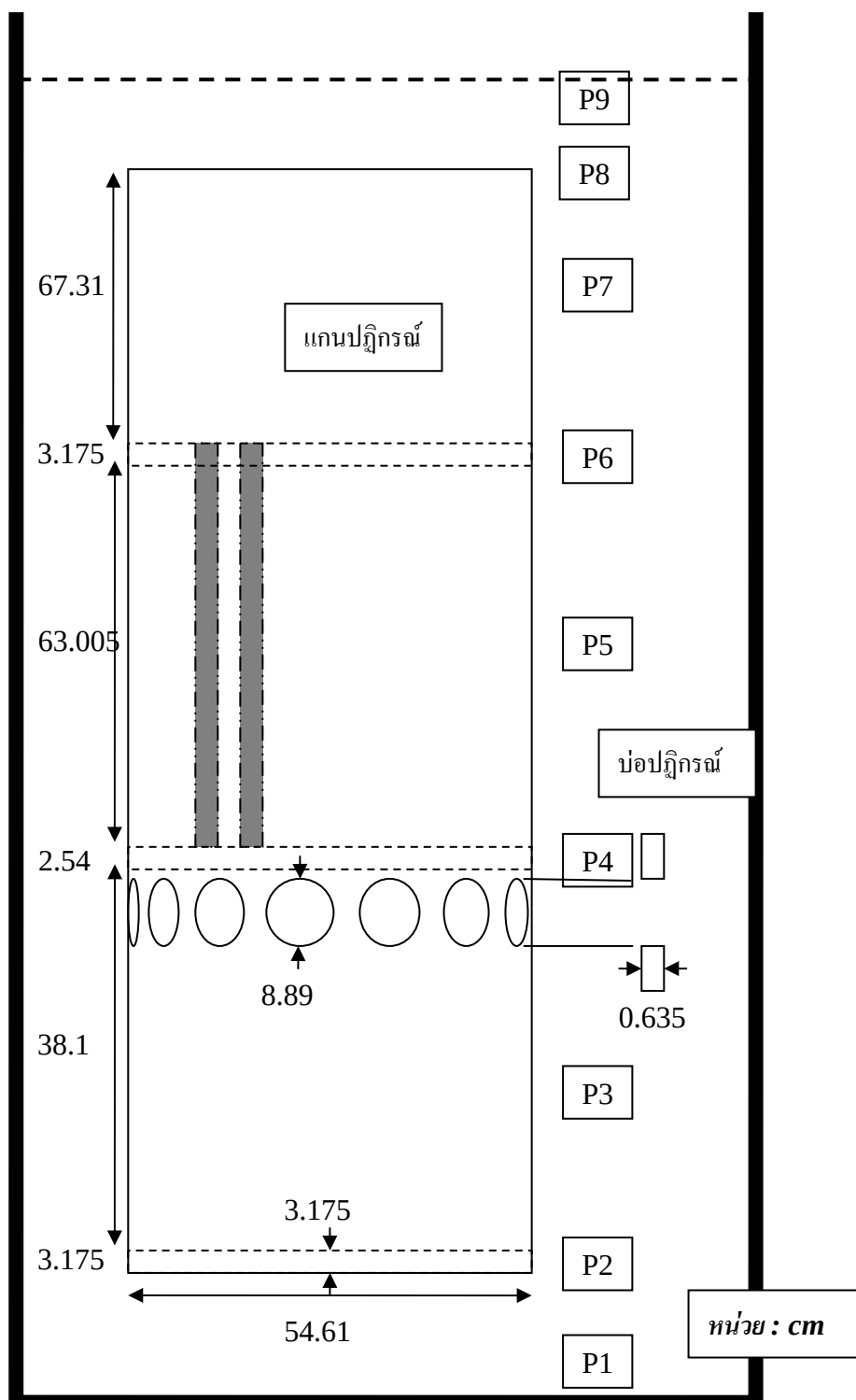
ในการสร้างไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ต้องอาศัยข้อมูลของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2, DISSUE3M, ICETEA และ PREDISCO โดยใช้ข้อมูลของแต่ละรหัสคอมพิวเตอร์ดังต่อไปนี้

1. รหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2
 - อัตราการไหลของมวลภายในแกน
 - ความเร็วของตัวทำให้เย็น
2. รหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M
 - ตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก (weighting factor or Q-fraction)
3. รหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA
 - อุณหภูมิตัวทำให้เย็นในช่องสำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR
4. รหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO
 - ความดันภายในช่องสำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR

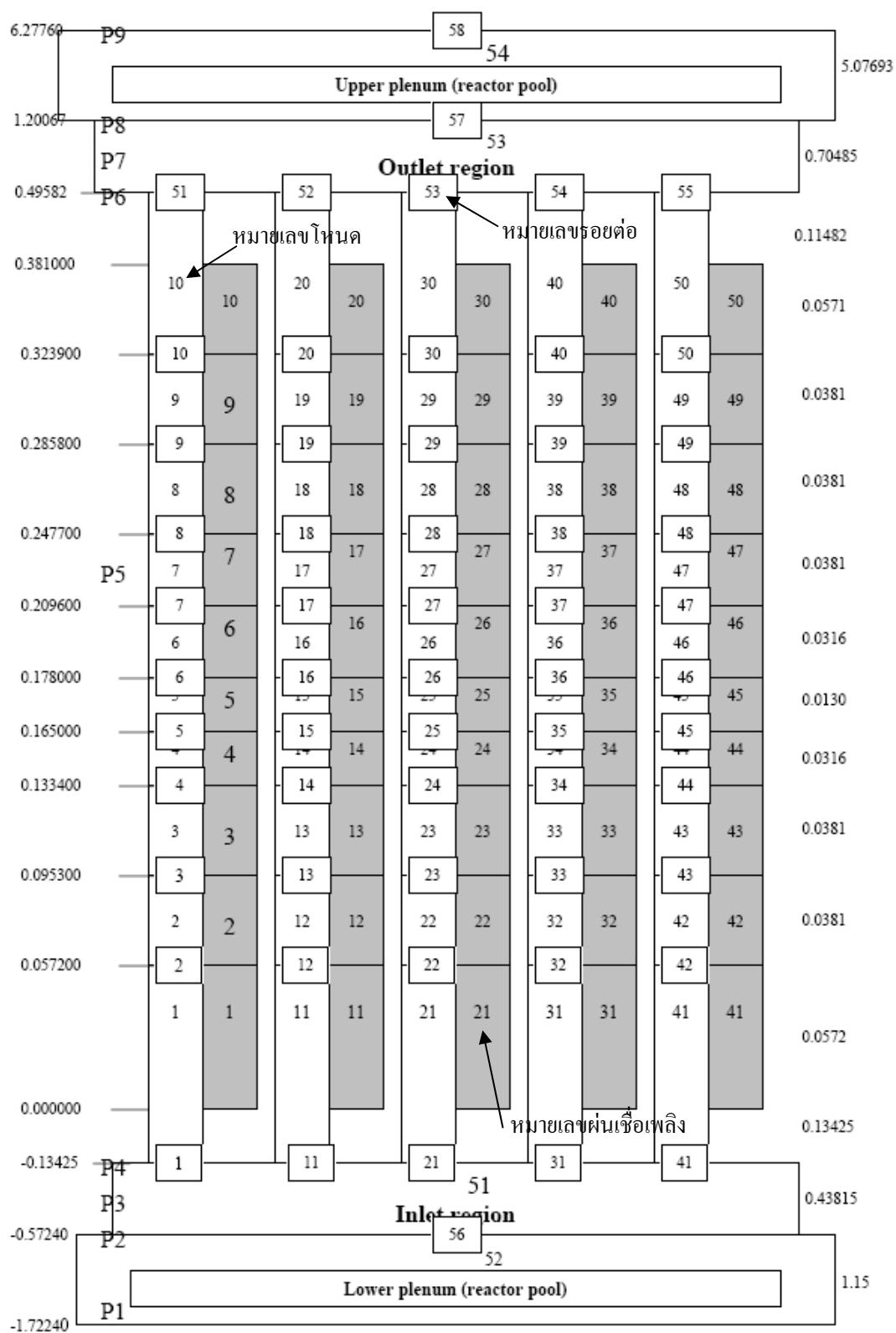
ส่วนการวิเคราะห์หาความเร็วของตัวทำให้เย็นในแต่ละ โหนด (ปริมาตร) และสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงต้องพิจารณาจากแบบจำลองดังภาพที่ 20 ซึ่งสามารถสร้างเป็นแบบจำลองของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ได้ดังภาพที่ 21 โดยแต่ละตำแหน่ง P1 ถึง P9 จะสมมูลกัน

แบบจำลองของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA2/RR จะพิจารณาเป็นแผ่นเชื้อเพลิง (ส่วนที่แรเงาในภาพที่ 21) 5 ชุด โดยชุดที่หนึ่ง (หมายเลขเชื้อเพลิงที่ 1-10) เป็นของแท่งเชื้อเพลิงที่ร้อนที่สุดหนึ่งแท่ง ส่วนชุดที่สอง สาม สี่ และ ห้า เป็นแผ่นเชื้อเพลิงที่เสมือนกับประกอบด้วยแท่งเชื้อเพลิงที่สามารถกำหนดได้จากตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมี ในที่นี้ได้ให้ชุดที่สอง สาม สี่ และ ห้า ประกอบด้วยแท่งเชื้อเพลิง 19, 22, 37 และ 30 แท่งตามลำดับ

ส่วนสีขาวในภาพที่ 21 จะเป็นช่องทำความเย็นที่แบ่งออกเป็น 5 ช่อง ตามแผ่นเชื้อเพลิงที่เชื่อมต่อกับปริมาตรทางเข้า (แผ่นนิรภัยถึงแผ่นกริดด้านล่าง) และปริมาตรทางออก (แผ่นกริดด้านบนถึงปากปล่องแกน) โดยแบ่งเป็นปริมาตรควบคุมเรียงต่อกัน



ภาพที่ 20 แสดงปล่องแกนปั๊มเมื่ออยู่ในบ่อปั๊ม



ภาพที่ 21 แสดงแบบจำลองสำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง และความเร็วของตัวทำให้เย็นจะแบ่งการพิจารณาเป็น 9 บริเวณ ดังต่อไปนี้

บริเวณ P1 บริเวณก้นบ่อปฏิกรณ์

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล เท่ากับ 3.277 m

พื้นที่การไหล เท่ากับ 8.4342 m²

ความเร็วของตัวทำให้เย็นหาได้จากกรไหลของมวลของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 ซึ่งมีการไหลของมวลที่กำลัง 2.0 MW เท่ากับ 9.214 kg/s และความหนาแน่นของน้ำที่ 35 °C เท่ากับ 994 kg/m³ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วของตัวทำให้เย็น} &= \frac{9.214 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{994} / \text{พื้นที่การไหล (m}^2\text{)} \\ &= 9.2696 \times 10^{-3} / \text{พื้นที่การไหล} \end{aligned} \quad (56)$$

ดังนั้น ความเร็วของตัวทำให้เย็นที่บริเวณ P1 จะเท่ากับ

$$v_{P1} = \frac{9.2696 \times 10^{-3}}{8.4342} = 0.10991 \text{ cm/s}$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง เนื่องจากการไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การไหล ดังนั้น

$$K_{P1} = 0.0$$

บริเวณ P2 บริเวณแผ่นนิริภัย

พื้นที่การไหล เท่ากับ 1066.832 cm²

เส้นผ่านศูนย์กลางกลางศาสตร์สมมูล เท่ากับ 24.37 cm

เส้นรอบวงเปียก เท่ากับ 175.08 cm

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง สำหรับการลดพื้นที่ทันที หาได้จากสมการ

$$K_{P2} = 0.45 \left(1 - \frac{A_{P3}}{A_{P1}} \right)^2$$

แต่เนื่องจาก $A_{P1} \gg A_{P3}$ ดังนั้น

$$K_{P2} = 0.45$$

จากสมการ (56) จะได้ความเร็วมวลเท่ากับ

$$v_{P2} = \frac{9.2696 \times 10^{-3}}{0.106683} = 8.6889 \text{ cm/s}$$

บริเวณ P3 บริเวณระหว่างแผ่นกริดด้านล่างกับแผ่นนิรภัย

พื้นที่การไหลของปล่องแกนเหนือแผ่นนิรภัย (A_{P3}) เท่ากับ 2234.6 cm^2

พื้นที่การไหลของ 10 รูรอบปล่องแกน ($A_{10 \text{ hole}}$) เท่ากับ 620.72 cm^2

ความยาวจากแผ่นนิรภัยถึงแผ่นกริดด้านล่าง (L_{P3}) เท่ากับ 38.1 cm

ความเร็วของบริเวณที่ P3 หาได้จากสมการ (56) นั่นคือ

$$v_{P3} = \frac{9.2696 \times 10^{-3}}{0.22346 + 620.72} = 3.2464 \text{ cm/s}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล หาได้จาก

$$De_{P3} = 4 \frac{2234.6}{\pi(54.61 - 2(0.635))} = 53.34 \text{ cm}$$

ความหนืดจลศาสตร์ที่อุณหภูมิ 35°C เท่ากับ $7.355 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ดังนั้นจะได้เลขเรย์โนลด์ เป็น

$$Re_{P3} = \frac{De_{P2} v_{P2}}{\nu} = \frac{0.5334 \times 0.041482}{7.355 \times 10^{-7}} = 3.0084 \times 10^4$$

จากสหสัมพันธ์ของคาร์แมน – นิคูราตซ์ จะได้ตัวประกอบความเสียดทานเป็น

$$F_{P3} = 0.023479$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงสำหรับบริเวณ P3 จะเท่ากับ

$$K_{P3} = F_{P3} \frac{L_{P3}}{De_{P3}} = (0.023479) \frac{38.1}{53.34} = 0.016771$$

บริเวณ P4 บริเวณแผ่นกริดด้านล่าง

พื้นที่การไหล (109×7.5906) เท่ากับ 827.38 cm^2

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล เท่ากับ 2.53 cm

ความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{P4}) หาได้จากสมการ

$$v_{P4} = \frac{109A_{P5}}{A_{P4}} v_{P5} = \frac{5.388}{7.5906} 16.27$$

ดังนั้นความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{P4}) เท่ากับ 11.549 cm/s

ซึ่งจะได้สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง เป็น

$$K_{P4} = 0.45 \left(1 - \frac{v_{P3}}{v_{P5}} \right)^2 = 0.45 \left(1 - \frac{3.2464}{16.27} \right)^2 = 0.2883$$

บริเวณ P6 บริเวณแผ่นกริดด้านบน

พื้นที่การไหล (109×7.7505) เท่ากับ 844.83 cm^2

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล เท่ากับ 1.3574 cm

ความเร็วของตัวทำให้เย็นที่บริเวณ P6 หาได้จากสมการ

$$v_{P6} = \frac{A_{P5}}{(A_{P7})} v_{P5} = \frac{5.388}{7.7505} 16.27$$

ดังนั้นความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{P6}) เท่ากับ 11.311 cm/s

ความเร็วของตัวทำให้เย็นที่บริเวณ P7 หาได้จาก

$$v_{P7} = \frac{109A_{P5}}{(A_{P7})} v_{P5} = \frac{5.388 \times 109}{844.83} 16.27$$

ดังนั้นความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{P7}) เท่ากับ 4.276 cm/s

ซึ่งจะได้สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง เป็น

$$K_{P6} = \left(1 - \frac{v_{P7}}{v_{P5}} \right)^2 = \left(1 - \frac{4.276}{16.27} \right)^2 = 0.543$$

บริเวณ P7 บริเวณแผ่นกริดด้านบนกับปากปล่องแกนปฏิกรณ์

ความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{p7})	เท่ากับ 4.276 cm/s
ความยาวที่พิจารณา (L_{p7})	เท่ากับ 67.31 cm
พื้นที่การไหล (A_{p7})	เท่ากับ 2234.6 cm ²
เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (De_{p7})	เท่ากับ 53.34 cm

ดังนั้นจะได้เลขเรย์โนลด์เป็น

$$Re_{p7} = \frac{De_{p7} v_{p7}}{\nu} = \frac{0.5334 \times 0.04276}{7.355 \times 10^{-7}} = 3.101 \times 10^4$$

จากสหสัมพันธ์ของคาร์แมน-นิคูราดซ์ จะได้ตัวประกอบความเสียดทานเป็น

$$F_{p7} = 0.02384$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรง จะได้เป็น

$$K_{p7} = F_{p7} \frac{L_{p7}}{De_{p7}} = (0.02384) \frac{67.31}{53.34} = 0.0294$$

บริเวณ P8 บริเวณปากปล่องแกนปฏิกรณ์

ความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{p8})	เท่ากับ 4.276 cm/s
--------------------------------------	--------------------

สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงสำหรับทางออกไปยังบ่อจะเท่ากับ

$$K_{p8} = 1.0$$

บริเวณ P9 บริเวณผิวน้ำ

ความเร็วของตัวทำให้เย็น (v_{p9}) จะเท่ากับที่บริเวณ P1 ซึ่งเท่ากับ 1.0991×10^{-3} m/s และเนื่องจากพื้นที่การไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงมีค่าเป็น

$$K_{p9} = 0.0$$

จากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมา สามารถเขียนเป็นตารางข้อมูลของโหนด (ปริมาตร) บริเวณ (P1 – P9) และรอยต่อได้ดังตารางที่ 11 ตารางที่ 12 และตารางที่ 13 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละโหนด

หมายเลขโหนด	พื้นที่การไหล (m^2)	De (m)	ความยาว (m)
1 – 10	5.388 E-4	1.8313 E-2	0.05561
11 – 20	1.0237 E-2	1.8313 E-2	0.05561
21 – 30	1.1854 E-2	1.8313 E-2	0.05561
31 – 40	1.9936 E-2	1.8313 E-2	0.05561
41 – 50	1.6164E-2	1.8313 E-2	0.05561
51	2.2346 E-1	5.334 E-1	0.43815
52	8.4342 E+0	3.277 E+0	1.15000
53	2.2346 E-1	5.334 E-1	0.70485
54	8.4342 E+0	3.277 E+0	5.07693

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละบริเวณ

บริเวณ	De (cm)	พื้นที่การไหล (cm^2)	K	ความเร็ว (cm/s)
P1	327.7	84342.0	0.0000	0.1099
P2	24.37	1066.83	0.4500	8.6889
P3	53.34	2234.6	0.0176	3.2464
P4	2.53	827.38	0.2498	11.549
P5	1.8313	587.29	-	16.27
P6	1.3574	844.83	0.543	11.311
P7	53.34	2234.6	0.0294	8.6889
P8	53.34	2234.6	1.0000	8.6889
P9	327.0	84342.0	0.0000	0.1099

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละรอยต่อ

หมายเลขรอยต่อ	การไหลของมวล (ton / hr)	พื้นที่การไหล (m^2)
1-10	0.96678	5.388E-4
11-20	13.777	1.0237E-2
21-30	10.635	1.1854E-2
31-40	17.885	1.9936E-2
41-50	14.502	1.6164E-2
51	0.96678	5.388E-4
52	13.777	1.0237E-2
53	10.635	1.1854E-2
54	17.885	1.9936E-2
55	14.502	1.6164E-2
56	26.345	2.2346 E-1
57	26.345	2.2346 E-1

ตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมีและตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกนที่ใช้เป็นไฟล์ขาเข้าสำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M สามารถคำนวณได้จากรหัสคอมพิวเตอร์ MCNP4 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 14 และตารางที่ 15 ตามลำดับ โดยไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M จะเป็นผลคูณของตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกนกับตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมี

สำหรับรหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA จะมีไฟล์ขาเข้าเป็นข้อมูลตัวประกอบถ่วงน้ำหนักของรหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M และอัตราการไหลของมวลจากรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

ส่วนไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO จะเป็นอุณหภูมิที่รอยต่อที่ได้มาจากรหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากรูปทรงและความเร็วของตัวทำให้เย็นที่ส่วนต่างๆ ของแบบจำลองของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR

ตารางที่ 14 แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมีของชั้นส่วนเชื้อเพลิง

	หมายเลขเชื้อเพลิง	ID.เชื้อเพลิง	ตัวประกอบยอดสุด	หมายเหตุ
1	C11	9865	1.600000	
2	C1	9859	1.596920	
3	D17	10049	1.566969	
4	C10	9866	1.557087	
5	C9	9220	1.544555	
6	D18	10024	1.534594	
7	D15	10048	1.498129	
8	D14	10047	1.488007	
9	C2	9867	1.482665	
10	D12	10041	1.471417	
11	D11	10050	1.447171	
12	E18	9864	1.407972	
13	E20	10022	1.398643	
14	E19	10021	1.388185	
15	E22	10018	1.385978	
16	B6	8566	1.383771	
17	E23	10023	1.373262	
18	E24	10019	1.373262	
19	D2	10025	1.365497	
20	E16	9861	1.340969	
21	E2	10020	1.313999	
22	B5	8583	1.313435	
23	C7	9221	1.311177	
24	D16	10247	1.294193	SHIM II CTR
25	B1	8563	1.293626	
26	C3	9863	1.282823	

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวโน้มของชั้นส่วนเชื้อเพลิง

	หมายเลขเชื้อเพลิง	ID.เชื้อเพลิง	ตัวประกอบยอดสุด	หมายเหตุ
27	D13	10246	1.263977	SHIM I CTR
28	D3	10042	1.254227	
29	D1	10097	1.249630	SAFETY CTR
30	E3	10027	1.238686	
31	B4	8606	1.213208	
32	E15	9226	1.191640	
33	E14	9862	1.184616	
34	D9	10088	1.167585	
35	E4	10026	1.146330	
36	B2	8649	1.143961	
37	D4	10044	1.095050	
38	B3	8595	1.084829	
39	E12	9868	1.082419	
40	D10	10245	1.079406	REGULATING CTR
41	C5	9225	1.064908	
42	D5	10045	1.040621	
43	D8	9227	1.019856	Instrumentation Fuel Elements
44	D6	10046	0.994051	
45	E11	9860	1.305791	
46	E21	8622	0.970557	
47	E17	8611	0.965593	
48	E1	8628	0.964351	
49	F23	8618	0.941306	
50	F27	8625	0.938182	
51	D7	10043	0.935055	
52	F24	8627	0.934429	
53	C6	9228	0.926287	Instrumentation Fuel Elements
54	F22	8615	0.925033	

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวโน้มของชั้นส่วนเชื้อเพลิง

	หมายเลขเชื้อเพลิง	ID.เชื้อเพลิง	ตัวประกอบยอดสุด	หมายเหตุ
55	F28	8629	0.922524	
56	F29	8577	0.909325	
57	F30	8644	0.908066	
58	F25	8600	0.903025	
59	F26	8636	0.890396	
60	F19	8619	0.87265	
61	F20	8575	0.869473	
62	F2	8602	0.86693	
63	F1	8613	0.861839	
64	F21	8559	0.861202	
65	G34	8603	0.858654	
66	F3	8585	0.853553	
67	F18	8635	0.851	
68	G28	8604	0.845251	
69	G27	8607	0.836291	
70	G29	8624	0.831163	
71	E7	9222	0.827313	
72	E13	8609	0.827313	
73	F4	8588	0.825387	
74	G35	8630	0.818316	
75	G23	8558	0.815099	
76	G26	8592	0.809945	
77	G4	8593	0.794448	
78	F17	8637	0.788622	
79	G36	8570	0.786678	
80	G2	8648	0.779544	
81	G24	8567	0.778246	
82	G3	8574	0.776297	

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวโน้มของชั้นส่วนเชื้อเพลิง

	หมายเลขเชื้อเพลิง	ID.เชื้อเพลิง	ตัวประกอบยอดสุด	หมายเหตุ
83	F5	8645	0.772398	
84	G21	8638	0.769146	
85	F15	8587	0.74893	
86	F16	8586	0.74893	
87	E5	8565	0.739115	
88	F14	8580	0.724680	
89	E6	9219	0.704921	
90	F6	8601	0.702940	
91	E8	9223	0.685075	
92	E10	9224	0.685075	
93	G17	8579	0.681095	
94	F13	8576	0.676448	
95	G18	8569	0.688470	
96	G16	8651	0.661145	
97	F7	8643	0.655143	
98	E9	8621	0.654476	
99	F8	8597	0.645792	
100	F12	8646	0.642447	
101	F9	8561	0.638430	
102	F10	8626	0.628374	
103	G15	8617	0.625688	
104	F11	8562	0.621657	
105	G9	8571	0.621657	
106	G10	8614	0.612238	
107	G11	8640	0.600775	
108	G14	8599	0.596047	
109	G12	8647	0.584544	sum of peaking = 109.0

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมีของชิ้นส่วนเชื้อเพลิง

หมายเลขเชื้อเพลิง		ID.เชื้อเพลิง	ตัวประกอบยอดสุด	หมายเหตุ
110	A1	C.T.	0	Central trimble
111	C4	Transient	0	Transient CTR
112	C8	IIT	0	Isotope Irradiation Tube
113	C12	IIT	0	Isotope Irradiation Tube
114	G1	-	0	
115	G5	IIT	0	Isotope Irradiation Tube
116	G6	IIT	0	Isotope Irradiation Tube
117	G7	-	0	
118	G8	ND	0	Neutron Detector
119	G13	-	0	
120	G19	-	0	
121	G20	ND	0	Neutron Detector
122	G22	Pneumatic	0	Pneumatic samples transfer
123	G25	-	0	
124	G30	ND	0	Neutron Detector
125	G31	-	0	
126	G32	IIT	0	Isotope Irradiation Tube
127	G33	IIT	0	Isotope Irradiation Tube
45 Elements of LEU. 20%		64 Elements of STD. 8.5%		
105 fuel elements + 4 fuel follower control rods = 109				

ตารางที่ 15 แสดงตัวประกอบยอดสุดตามแนวแกนและความกว้างของแต่ละชั้น

หมายเลขชั้น	ความกว้าง (cm)	ระยะทาง (cm)	ตัวประกอบยอดสุด
1	5.72	5.72	0.86500
2	3.81	9.53	1.09500
3	3.81	13.34	1.23500
4	3.16	16.50	1.29180
5	1.30	17.80	1.31000
6	3.16	20.96	1.26500
7	3.81	24.77	1.16000
8	3.81	28.58	0.99500
9	3.81	32.39	0.79100
10	5.71	38.10	0.55011

สถานที่และระยะเวลาการทําวิจัย

สถานที่ทําการวิจัย

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกองปฏิบัติการ สำนักงาน
ปฏิบัติการปริมาณเพื่อสันติ

ระยะเวลาทําการวิจัย

ระหว่างปีการศึกษา 2547 ถึง ปีการศึกษา 2549

ผลและวิจารณ์

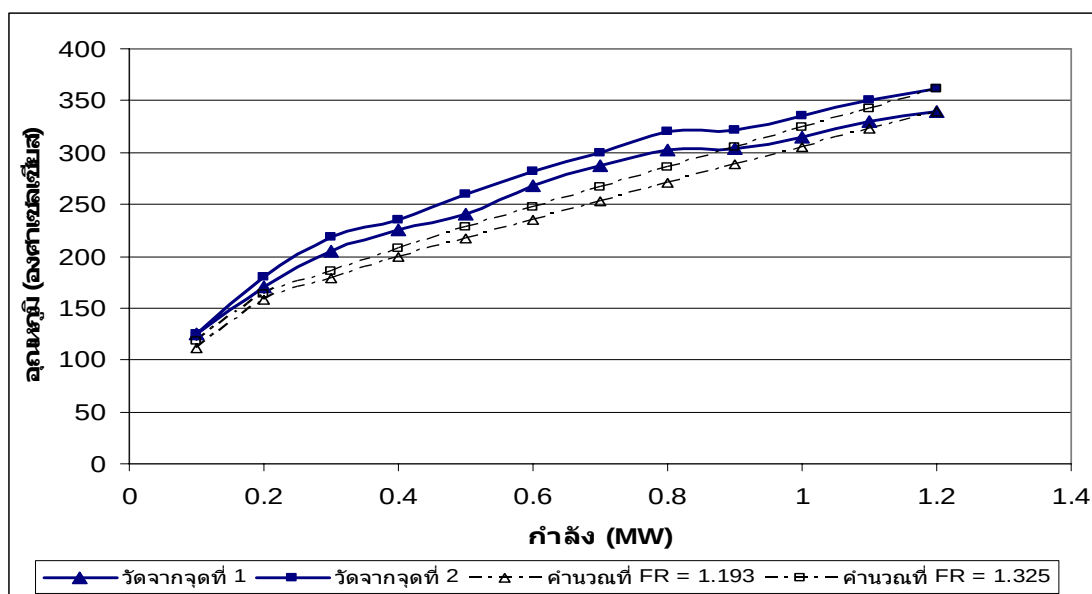
1. ผลการคำนวณของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

การคำนวณอุณหภูมิสูงสุดของแท่งเชื้อเพลิงด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 โดยคำนวณที่กำลัง 0.1 MW ถึง 1.2 MW ซึ่งผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดอุณหภูมิสูงสุดของแท่งเชื้อเพลิงที่วัดได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงผลอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุดจากการวัด 2 จุด และผลจากการคำนวณอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด การไหลของมวล และความเร็วของตัวทำให้เย็นด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 ที่ $FR = 1.193$ และ $FR = 1.325$

กำลัง (MW)	อุณหภูมิเชื้อเพลิง จากการวัด		FR = 1.193			FR = 1.325		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	T (°C)	G (kg / s)	V _{ch} (cm / s)	T (°C)	G (kg / s)	V _{ch} (cm / s)
	(°C)	(°C)						
0.1	125	125	111.60	2.993	5.21	118.79	2.993	5.21
0.2	170	180	158.54	4.041	7.05	163.29	4.041	7.05
0.3	205	218	179.35	4.428	7.73	185.92	4.428	7.73
0.4	225	235	198.79	4.937	8.62	207.15	4.937	8.63
0.5	241	260	217.46	5.316	9.29	227.63	5.316	9.3
0.6	268	282	235.68	5.703	9.98	247.62	5.703	9.99
0.7	287	300	253.51	6.381	11.17	267.19	6.381	11.18
0.8	302	320	271.11	6.660	11.67	286.5	6.660	11.68
0.9	304	321	288.46	6.924	12.14	305.52	6.924	12.15
1	315	335	305.57	7.175	12.59	324.29	7.175	12.6
1.1	330	350	322.48	7.413	13.01	342.86	7.413	13.03
1.2	339	361	339.23	7.640	13.42	361.25	7.640	13.44

และสามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 22 และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการวัดได้ดังตารางที่ 17



ภาพที่ 22 แสดงผลอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุดจากการวัดและการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

ตารางที่ 17 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าจากการคำนวณกับค่าจากการวัด

P(MW)	อุณหภูมิ (°C)		% ความแตกต่าง	อุณหภูมิ (°C)		% ความแตกต่าง
	FR =1.193			FR =1.325		
	การวัด	การคำนวณ		การวัด	การคำนวณ	
0.1	125	111.60	-10.7	125	118.79	-5.0
0.2	170	158.54	-6.7	180	163.29	-9.3
0.3	205	179.35	-12.5	218	185.92	-14.7
0.4	225	198.79	-11.6	235	207.15	-11.9
0.5	241	217.46	-9.8	260	227.63	-12.5
0.6	268	235.68	-12.1	282	247.62	-12.2
0.7	287	253.51	-11.7	300	267.19	-10.9
0.8	302	271.11	-10.2	320	286.5	-10.5
0.9	304	288.46	-5.1	321	305.52	-4.8
1	315	305.57	-3.0	335	324.29	-3.2
1.1	330	322.48	-2.3	350	342.86	-2.0
1.2	339	339.23	0.1	361	361.25	0.1

จากภาพที่ 22 และข้อมูลในตารางที่ 17 จะเห็นว่ามีความแตกต่างมากในช่วง 0.3 MW ถึง 0.8 MW เนื่องจากความไม่แน่นอนของความนำภายในช่องว่างที่เกิดขึ้นเพราะอาจมีเนื้อเชื้อเพลิงบางส่วนสัมผัสกับวัสดุหุ้มแต่ไม่สม่ำเสมอ และการใช้ตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมีเป็นค่าคงตัว แต่ในช่วง 0.9 MW ถึง 1.2 MW ผลการคำนวณค่อนข้างแตกต่างกันน้อย เนื่องจากความนำในช่องว่างค่อนข้างมีค่าที่แน่นอนขึ้นเพราะการขยายตัวของเนื้อเชื้อเพลิงได้ทำให้การสัมผัสกับวัสดุหุ้มได้ดีขึ้น

สำหรับผลการคำนวณที่กำลัง 2 MW จะเปรียบเทียบกับข้อมูลทั่วไปที่บริษัท General Atomic (GA) ได้ทำการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์วิจัย ซึ่งตารางที่ 18 จะแสดงผลการคำนวณของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 กับค่าที่วัดโดย GA

ตารางที่ 18 แสดงผลจากการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 กับค่าที่วัดโดย GA เมื่อเดินเครื่องที่กำลัง 2 MW

	ค่าที่วัดโดย GA	การคำนวณที่ FR = 1.193	การคำนวณที่ FR = 1.325
อุณหภูมิวัสดุหุ้มเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	128	130.5	131.6
อุณหภูมิเชื้อเพลิงเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	272	269.5	283.9
อุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	540	467.5	501.9
อุณหภูมิที่ทางออก ($^{\circ}\text{C}$)	82.2	93.76	100.2
ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย (W / cm^2)	46.5	43.98	48.85
ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (W / cm^2)	92.7	61.9	68.8
การไหลของมวล (kg / s)	9.6	9.2	9.2
ความเร็วการไหลเฉลี่ย (cm / s)	18.2	16.3	16.3

ผลจากการเปรียบเทียบในตารางที่ 18 จะเห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทางออกและฟลักซ์ความร้อนสูงสุดมีความแตกต่างค่อนข้างมาก สำหรับฟลักซ์ความร้อนสูงสุดอาจเกิดจากการแบ่งชั้นตามแนวแกนยังมีความละเอียดน้อยไป จึงทำให้ไม่เห็นตำแหน่งที่เกิดฟลักซ์สูงสุด ส่วนอุณหภูมิที่ทางออก อาจเกิดจากการกำหนดความนำในช่องว่างได้ไม่เหมาะสม

2. ผลการคำนวณของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR

ในการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ได้ทำการคำนวณที่กำลัง 2 MW เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกับการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และค่าที่วัดของ GA ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงผลจากการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR กับค่าที่วัดโดย GA เมื่อเดินเครื่องที่กำลัง 2 MW

	ค่าที่วัดโดย GA	คำนวณด้วย EUREKA2/RR
อุณหภูมิวัสดุหุ้มเฉลี่ย ($^{\circ}C$)	128	131.5
อุณหภูมิเชื้อเพลิงเฉลี่ย ($^{\circ}C$)	272	349.3
อุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด ($^{\circ}C$)	540	568.6
อุณหภูมิที่ทางออก ($^{\circ}C$)	82.2	86.3
ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย (W/cm^2)	46.5	42.2
ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด (W/cm^2)	92.7	82.5

จากตารางที่ 19 จะเห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิเชื้อเพลิงเฉลี่ยและฟลักซ์ความร้อนสูงสุดมีความแตกต่างมาก เนื่องจากการแบ่งความละเอียดของชั้นตามแนวแกนไม่ทำให้เห็นบริเวณที่เกิดฟลักซ์สูงสุดได้ การใช้ข้อมูลความเร็วของตัวทำให้เย็นและการไหลของมวลของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 ที่มีความคลาดเคลื่อน และการประมาณการไหลของมวลและความเร็วของตัวทำให้เย็นสำหรับแต่ละช่องไม่เหมาะสม

สรุป

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้งานรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 และรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ในการคำนวณอุณหภูมิเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยไทย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปว-1/1, TRR1/M1) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ผลการคำนวณอุณหภูมิเชื้อเพลิงด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 ที่กำลัง 0.1 MW ถึง 1.2 MW ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลการวัดจริง แต่จะมีช่วงที่ความแตกต่างมากในช่วง 0.3 MW ถึง 0.8 MW เนื่องจากความไม่แน่นอนของความนำภายในช่องว่างที่เกิดขึ้นเพราะอาจมีเนื้อเชื้อเพลิงบางส่วนสัมผัสกับวัสดุหุ้มและการใช้ตัวประกอบยอดสุดตามแนวรัศมีเป็นค่าคงตัว แต่ในช่วง 0.9 MW ถึง 1.2 MW ผลการคำนวณค่อนข้างมีความแตกต่างน้อย เนื่องจากความนำในช่องว่างค่อนข้างมีค่าที่แน่นอนขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของเนื้อเชื้อเพลิงได้ทำให้การสัมผัสกับวัสดุหุ้มได้ดีขึ้น

ผลการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 กับข้อมูลทั่วไปของ General Atomic (GA) ที่กำลัง 2 MW จะเห็นว่าผลการเปรียบเทียบของอุณหภูมิความร้อนของเชื้อเพลิงเฉลี่ย อุณหภูมิวัสดุหุ้มเฉลี่ย ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย การไหลของมวลและความเร็วการไหลของตัวทำให้เย็น มีความแตกต่างเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด และอุณหภูมิที่ทางออก ยังมีความแตกต่างอยู่มาก เนื่องจากการแบ่งชั้นการวิเคราะห์ที่แบ่งชั้นไม่ละเอียดพอที่จะเห็นตำแหน่งที่แท่งเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิและฟลักซ์ความร้อนสูงสุดได้

ผลการคำนวณด้วยรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR กับข้อมูลทั่วไปของ General Atomic (GA) ที่กำลัง 2 MW ผลการเปรียบเทียบจะเห็นว่าอุณหภูมิของวัสดุหุ้มเฉลี่ย อุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด อุณหภูมิที่ทางออก และฟลักซ์ความร้อนสูงสุดมีความแตกต่างเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิเชื้อเพลิงเฉลี่ย และฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย ยังมีความแตกต่างอยู่มาก เนื่องจากการใช้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนจากรหัสคอมพิวเตอร์อื่น ๆ และการประมาณค่าไม่เหมาะสม

จากข้อมูลการคำนวณและผลเปรียบเทียบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ในแบบจำลองของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 สำหรับงานวิจัยนี้สามารถใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิแท่ง

เชื้อเพลิงเฉลี่ย อุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงสุด อุณหภูมิวัสดุหุ้มเฉลี่ย ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย การไหลของมวล และความเร็วของตัวทำให้เย็นได้ดี แต่ไม่เหมาะสำหรับการคำนวณหาอุณหภูมิของตัวทำให้เย็นที่ทางออกและฟลักซ์ความร้อนสูงสุด ส่วนแบบจำลองของรหัสคอมพิวเตอร์ EUREKA-2/RR ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้คำนวณหาอุณหภูมิวัสดุหุ้มเฉลี่ย อุณหภูมิแท่งเชื้อเพลิงสูงสุด อุณหภูมิของตัวทำให้เย็นที่ทางออก ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ย และฟลักซ์ความร้อนสูงสุด แต่ไม่เหมาะสำหรับการคำนวณหาอุณหภูมิเชื้อเพลิงเฉลี่ย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

โครงการปฏิบัติการทางเทคโนโลยีนิวเคลียร์และปฏิกิริยาปฏิบัติ. 2548. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย.
โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

ชาญ อดุลงาน. 2523. กลศาสตร์ของไหล. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตพระนครเหนือ
, กรุงเทพฯ.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2545. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล.
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุนันท์ ศรีณขนิษฐ์. 2545. การถ่ายเทความร้อน. สำนักพิมพ์ ศ.ส.ท., กรุงเทพฯ.

Almenas, K and R. Lee. 1992. **Nuclear Engineering : An Introduction**. Springer-Verlag, New
York.

Black&Veatch. 1996. **Power Plant Engineering**. Chapman&Hall, New York, U.S.A.

Boyce, E.W. and R.C. DiPrima. 1997. **Elementary Differential Equations and Boundary
Value Problems**. John Wiley&Sons, Inc., New York.

Collier, J.G. and J.R. Thome. 1994. **Convective Boiling and Condensation**. 3rd ed. Clarendon
Press-Oxford, New York.

Dietrich, J.R. and W.H. Zinn. 1958. **Solid Fuel Reactor**. Addison-Wesley Publishing
company, Inc., Reading, Massachusetts, U.S.A..

Etherington, H. 1958. **Nuclear Engineering Handbook**. McGraw-Hill book company, New
York, U.S.A.

Glasstone, S and A Sesonske. 1994. **Nuclear Reactor Engineering : Reactor Design Basics.**
vol.1. 4th ed. Chapman&Hall, London.

Glasstone, S and A Sesonske. 1994. **Nuclear Reactor Engineering : Reactor Design Basics.**
vol.2. 4th ed. Chapman&Hall, London.

Kaminaga, M. 1991. **Preliminary Reactivity Insertion Accidents Analysis of the Multi-Purpose Research Reactor RSG-GA. Siwabessy using EUREKA-2 Code.** Japan Atomic Energy Research Institute.

Kaminaga, M. 1994. **COOLOD-N2 : A Computer Code, for the Analyses of Steady State Thermal-Hydraulics on Research Reactor.** Japan Atomic Energy Research Institute.

Kaminaga, M. 1996. **EUREKA-2/RR- : A Computer Code for the Reactivity Accident Analyses in Research Reactor.** Japan Atomic Energy Research Institute.

Murray, R.L. 1959. **Nuclear Reactor Physics.** Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., U.S.A.

Ozisik, M.N. 1993. **Heat Conduction.** 2nd ed. John Wiley&sons, Inc., New York, U.S.A.

Saengchantr, D and M Kaminaga. 2004. **COOLOD-N2 : A Computer Code, for the Analyses of Steady State Thermal-Hydraulics on Thai Research Reactor-1/Modification-1.** Office of Atoms for Peace, Thailand.

IAEA-RCA Training Course on Experimental Research Reactor Physics. International Atomic Energy Agency and Reactor Group, Bhabha Atomic Research Centre, India. 2004

General Atomic Company. n.d. **Standard Triga Mark III Safety Analysis Report.**n.p.,USA.

Zweifel, P.F. 1973. **Reactor Physics.** McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

ภาคผนวก ก.1. ตัวอย่างไฟล์นำเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2

```

COOLOD-N THERMAL HYDRAULIC CALC. (*TRR-1/M1 107.4 FUEL RODS) 2/08/2006 FOR 2.0 MW
C CORE FLOW RATE 7.0 M3/MIN GA002 GA BENCHMARK CALCULATION
C =====<CARD B1>=====
C INFORM
C 1
C
C =====<<<<<CARD B2>>>>>=====
C IAMAX IMAX JMAX NMAX NPLOT KEY(1) KEY(2) KEY(3) IDMAX
C 1 5 12 1 1 1 5 0 3
C
C =====<<<<<CARD C>>>>>=====
C QRR(MW) PFLOW(KG/SEC) *TIN(DEG) DT(DEG) JAMX
C 2.0 66.874 35.0 0.0 1
C
C =====<CARD E1>=====
C H1 H2 H3 A B C D ITWC
C 0.023 0.0 0.0 0.800 0.400 0.01 0.0 1
C
C =====<CARD E2>=====
C FRATE VIN VOUT PRESIN RAMF
C 1.0 0.0 0.0 1.3715 0.0
C
C =====<CARD F1>=====
C TRIGA MARK III ROD TYPE FUEL
C
C =====<CARD F21>=====
C NPMX NFUEL MA UDENST POROTY IDPMX IDCX EAREA FRATEN
C 1 107.4 2 0.16655 0.2 1 1 5.0011 1.000
C
C =====<CARD FNEW>=====
C WID0(CM) RD0(CM) SSR0 (-)
C 1.8313 3.746 1.162
C
C =====<CARD F221>=====
C Fuel Pellet UZr-H W/CM.C
C N221
C 5
C T221 K221
C 0.00 0.1758
C 500.00 0.2133
C 1000.00 0.2508
C 1500.00 0.2883
C 2000.00 0.3257
C
C =====<CARD F222>=====
C Gap heat transfer data
C N222
C 5
C T222 K222
C 0.00 0.3711
C 120.00 0.4684
C 150.00 1.9771
C 200.00 4.2668
C 300.00 185.7132
C
C =====<CARD F223>=====
C Cladding thermal conductivity data
C N223
C 5
C T223 K223
C 0.0 0.13553
C 500.0 0.21453
C 1000.0 0.29353
C 1500.0 0.37253
C 2000.0 0.45153
C
C =====<CARD F3> Hot Channel factor =====
C FR FCOOL FFILM FHFLX FCLAD FBOND FMEAT

```

```

1.325 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
C
C ===== <CARD F4 > Axail peaking factors =====
C          FZ          DDZ          ZET
C          0.697        1.91        0.065
C          0.782        3.81        0.065
C          0.954        3.81        0.065
C          1.135        3.81        0.065
C          1.221        3.81        0.065
C          1.250        3.81        0.065
C          1.174        3.81        0.065
C          1.040        3.81        0.065
C          0.859        3.81        0.065
C          0.649        3.81        0.065
C          0.487        1.90        0.065
C          0.405        0.00        0.065
C
C ===== <CARD F51> FUEL PLATE TITLE =====
C
C TRIGA TYPE FUEL
C
C ===== <CARD F52> Fuel plate data =====
C          NPROD  FLOC  IDPL  KMX  IPLOT  IOUT
C          1.0    1.000  1    1    1    1
C
C ===== <CARD F53> Coolant channel data =====
C          ICHL(1) NHEAT(1) FRATEC(1)
C          1        2.0    1.000
C
C ===== <CARD F6 > FUEL PLATE CONFIGURATION DATA =====
C          XA    XB    XC    YA    HA    HB    HC
C          1.8184 0.0038 0.0508 0.0  12.8068 38.1 13.4556
C
C ===== <CARD F76 > COOLANT CHANNEL CONFIGURATION DATA =====
C          YCHI(DE)  XCHI(AREA)  MSFLW*8+1  MSFUEL
C          1.8313    5.388        9        5
C
C
C ===== <CARD F77> PRESSURE LOSS CALCULATION DATA =====
C          ZETA    DH    ZLAM    HDE    AR
C          0.447    0.000  0.0    2.53    7.5906
C          0.00    2.54    64.0    2.53    7.5906
C          0.318    0.000  0.0    1.449    6.4407
C          1.071    3.32    0.0    1.8313    5.388
C          0.0     58.306  64.0    1.8313    5.388
C          0.644    1.375  0.0    1.8313    5.388
C          0.068    0.000  0.0    1.3574    7.7505
C          0.0     3.175  64.0    1.3574    7.7505
C          1.00    0.000  0.0    1.3574    7.7505
C
C
C ===== <CARD G1 > CONTROL CARD =====
C          KVELO  Inlet  Outlet  IHTC  KBFLG  NCMAX  NATIP
C          1      5      3      4      0      2      0
C
C
C ===== <CARD G2 > CORE BYPASS DATA (1) =====
C          MSFLW
C          4
C
C
C ===== <CARD G3> CORE BYPASS DATA (2) =====
C          ZETA    DH    ZLAM    HDE    AR
C          0.45     0.000  0.0    14.88    1067.254
C          0.00     3.175  64.0    14.88    1067.254
C          0.277    0.000  0.0    14.88    1067.254
C          0.00     38.1    64.0    53.34    2251.37
C
C
C ===== <CARD G2 > CORE BYPASS DATA (1) =====
C          MSFLW
C          3
C
C
C ===== <*CARD G3> CORE BYPASS DATA (2) =====
C          ZETA    DH    ZLAM    HDE    AR
C          0.45     0.000  0.0    8.89     620.72
C          0.00     0.635  64.0    8.89     620.72

```

```

          1.0      0.000  0.0    8.89    620.72
C
C ===== <CARD G4 > COOLANT CHANNEL CONFIGURATION IDENTITY DATA =====
C
C ((JMSH(NN,NNP,JJ, KK), NNP=1, NPMAX), KK=1, KMAX)
C 1
C 2
C 3
C 4
C 5
C 6
C 7
C 8
C 9
C for non heated channel
C 1
C 2
C 3
C 4
C 1
C 2
C 3
C
C ===== <CARD G5> VOID FRACTION CALCULATION DATA =====
C
C      CB      GLIM
C      1.41    500.0
C
C ===== <CARD G6 > DEBUG CONTROL CARD =====
C
C IDBG
C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
C
C
C ===== <CARD P1> PLOT CONTROL CARD (1) =====
C
C      WITHX  WITHY  TMIN  TMAX  PMIN  PMAX  HMIN  HMAX
C      140.0  200.0   0.0  800.0  0.0   4.0   0.0  200.0
C
C ===== <CARD P2> PLOT CONTROL CARD (2) =====
C
C NEW
C
C ===== <CARD P3> FIGURE TITLE CARD =====
C
C TRR-1 TRIGA-ROD CORE CASE:GA BENCHMARK
C
C ===== <CARD P4> PLOT CONTROL CARD (3) =====
C
C      ID1 ID2 ID3 ID4 ID5 ID6 ID7 NS1 NS2 NS3 NS4 NS5 NS6 NS7
C      11  13  23  14  12  22  21   0   0   0   0   0   0   0
C
C

```

ภาคผนวก ก 2. ตัวอย่างไฟล์ขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ COOLOD-N2 อย่างย่อ

```

*****
**
**   COOLOD-N THERMAL HYDRAULIC CALC. (*TRR-1/M1 107.4 FUEL RODS) 2/08/2006 **
**   RESULTS OF CALCULATION AND USED VALUES **
**
*****
0
    *** REACTOR CORE ***
    REACTOR THERMAL POWER = 2.00 MW
    AREA OF TOTAL FUEL CHANNELS = 537.12 CM2
    CORE FLOW RATE = 9.214 KG/S

    NUMBER OF FUEL ELEMENTS = 107.4 ELEMNTS

    TRIGA MARK III ROD TYPE FUEL = 107.4 (ELEMNTS)
    AVERAGE HEAT GENERATION = 45.14 (W/CM3)
    AVERAGE MASS FLUX = 164.900 (KG/M2
SEC)

    COOLANT TEMP. --(SEPARATED MODEL) KITE = 0
1    COOLOD-N THERMAL HYDRAULIC CALCULATION CASE = (IA- 1 JA- 1)
    CALCULATION DATE 2006- 9- 6 PAGE 3
0
*****
**
**   TRIGA MARK III ROD TYPE FUEL **
*****

-----
AVERAGE CHANNEL TEMPERATURE DISTRIBUTION
-----

    FLOW CHANNEL AREA = 5.00 CM2
    NUMBER OF FUEL PLATES

TRIGA TYPE FUEL = 1.0

----- TEMPERATURE DISTRIBUTION -----
|      J      COOLANT      CLADDING      CLADDING      FUEL MEAT      FUEL MEAT      |
|      (DEG.C)      SURFACE      INNER      OUTER      MAXIMUM      |
|      (DEG.C)      (DEG.C)      (DEG.C)      (DEG.C)      (DEG.C)      |
|  1      35.00      122.63      132.01      150.87      291.72      |
|  2      37.02      123.81      134.32      153.81      311.15      |
|  3      41.73      125.81      138.59      159.33      349.65      |
|  4      47.41      127.53      142.69      164.79      389.27      |
|  5      53.81      128.05      144.34      167.15      407.68      |
|  6      60.51      128.01      144.68      167.79      413.73      |
|  7      67.09      127.00      142.68      165.40      397.21      |
|  8      73.09      125.46      139.39      161.24      367.91      |
|  9      78.23      123.39      134.93      155.60      327.81      |
| 10      82.31      120.75      129.50      148.55      280.06      |
| 11      85.38      118.37      124.97      142.53      242.07      |
| 12      86.58      116.99      122.48      139.20      222.35      |
|-----|
** HOT CHANNEL FACTORS (EXCEPT FZ) **
F(COOLANT)= 1.000 F(FILM)= 1.000 F(CLAD)= 1.000
F(BOND)= 1.000 F(MEAT)= 1.000

----- HEAT TRANSFER CONDITION -----
|      J      FZ      TRANSFER      H E A T      F L U X      XAA      H E A T      |
|      (W/CM2.C)      COEFFICIENT      IN PLATE SURFACE      (CM)      GENERATION      |
|      (W/CM2.C)      (W/CM2)      (KC/M2.HR)      (CM)      (W/CM3)      |
|  1      0.697      0.3238      28.372      0.24391E+06      0.000      31.466      |
|  2      0.782      0.3667      31.832      0.27366E+06      0.000      35.303      |
|  3      0.954      0.4619      38.834      0.33385E+06      0.000      43.068      |
|  4      1.135      0.5767      46.201      0.39719E+06      0.000      51.239      |
|  5      1.221      0.6694      49.702      0.42728E+06      0.000      55.122      |

```

6	1.250	0.7539	50.883	0.43743E+06	0.000	56.431
7	1.174	0.7977	47.789	0.41083E+06	0.000	53.000
8	1.040	0.8083	42.334	0.36394E+06	0.000	46.951
9	0.859	0.7743	34.967	0.30060E+06	0.000	38.779
10	0.649	0.6872	26.418	0.22711E+06	0.000	29.299
11	0.487	0.6008	19.824	0.17042E+06	0.000	21.986
12	0.405	0.5421	16.486	0.14173E+06	0.000	18.284

**** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 10**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 11**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 12**** CONVERGED.
 **** ITERATION COUNT = 12**** CONVERGED.

1 COOLOD-N THERMAL HYDRAULIC CALCULATION CASE = (IA- 1 JA- 1)
 CALCULATION DATE 2006- 9- 6 PAGE 4

TRIGA TYPE FUEL (TRIGA MARK III ROD TYPE FUEL)

CHANNEL DIMENSION = 1.666 * 5.001 (CM)
 CHANNEL VELOCITY = 16.31 (CM/SEC)

TEMPERATURE DISTRIBUTION						
J	COOLANT (DEG.C)	CLADDING SURFACE (DEG.C)	CLADDING INNER (DEG.C)	FUEL MEAT OUTER (DEG.C)	FUEL MEAT MAXIMUM (DEG.C)	
1	35.00	126.08	138.64	159.07	346.22	
2	37.71	127.28	141.34	162.62	371.44	
3	44.06	129.31	146.40	169.37	421.38	
4	51.69	131.01	151.28	175.86	472.45	
5	60.29	131.47	153.24	178.63	496.12	
6	69.30	131.29	153.58	179.34	503.86	
7	78.13	130.16	151.13	176.46	482.62	
8	86.19	128.52	147.14	171.49	444.89	
9	93.08	126.33	141.78	164.56	392.91	
10	98.55	123.60	135.32	156.07	330.95	
11	102.67	121.19	130.03	148.95	281.62	
12	104.28	119.82	127.18	145.02	255.99	

** HOT CHANNEL FACTORS (EXCEPT FZ) **

F(COOLANT)= 1.345 F(FILM)= 1.345 F(CLAD)= 1.345
 F(BOND)= 1.345 F(MEAT)= 1.345

HEAT TRANSFER CONDITION						
J	FZ	TRANSFER COEFFICIENT (W/CM2.C)	HEAT IN PLATE (W/CM2)	FLUX SURFACE (KC/M2.HR)	XAA (CM)	HEAT GENERATION (W/CM3)
1	0.697	0.4190	38.161	0.32806E+06	0.000	42.322
2	0.782	0.4780	42.814	0.36807E+06	0.000	47.483
3	0.954	0.6126	52.231	0.44902E+06	0.000	57.927
4	1.135	0.7834	62.141	0.53421E+06	0.000	68.917
5	1.221	0.9391	66.849	0.57469E+06	0.000	74.139
6	1.250	1.1040	68.437	0.58834E+06	0.000	75.900
7	1.174	1.2354	64.276	0.55257E+06	0.000	71.285
8	1.040	1.3452	56.940	0.48950E+06	0.000	63.149
9	0.859	1.4144	47.030	0.40431E+06	0.000	52.158
10	0.649	1.4186	35.533	0.30547E+06	0.000	39.407
11	0.487	1.4393	26.663	0.22922E+06	0.000	29.571
12	0.405	1.4266	22.174	0.19062E+06	0.000	24.592

1 COOLOD-N THERMAL HYDRAULIC CALCULATION CASE = (IA- 1 JA- 1)
 CALCULATION DATE 2006- 9- 6 PAGE 5


```

| ST(5)I 1.365 0.00000 0.00021 16.49
| ST(5)O 1.307 0.00020 0.00041 16.49
| ENTRA 1.307 0.00000 0.00041 16.49
| FUEL1 1.294 0.00004 0.00045 16.49 106.44 110.5 126.0 -15.50 38.16 301.57 6.28 0.69
| FUEL2 1.292 0.00001 0.00046 16.50 106.39 110.5 127.2 -16.73 42.81 343.56 25.3 0.59
| FUEL3 1.289 0.00001 0.00047 16.55 106.31 110.4 129.3 -18.83 52.23 421.44 23.1 0.44
| FUEL4 1.285 0.00001 0.00048 16.60 106.22 110.3 131.0 -20.62 62.14 493.36 20.4 0.33
| FUEL5 1.281 0.00001 0.00049 16.67 106.14 110.2 131.4 -21.25 66.85 515.43 17.4 0.26
| FUEL6 1.277 0.00001 0.00050 16.76 106.05 110.0 131.2 -21.29 68.44 509.87 14.2 0.21
| FUEL7 1.274 0.00001 0.00052 16.85 105.97 109.7 130.1 -20.46 64.28 464.25 11.0 0.17
| FUEL8 1.270 0.00001 0.00053 16.94 105.88 109.3 128.5 -19.16 56.94 401.15 8.14 0.14
| FUEL9 1.266 0.00001 0.00054 17.02 105.80 108.9 126.3 -17.38 47.03 324.62 5.56 0.12
| FUEL10 1.263 0.00001 0.00055 17.08 105.72 108.5 123.6 -15.08 35.53 240.59 3.45 0.10
| FUEL11 1.259 0.00001 0.00056 17.14 105.6 108.09 121.1 -13.10 26.66 177.95 1.75 0.07
| FUEL12 1.257 0.00001 0.00056 17.16 105.5 107.86 119.8 -11.96 22.17 146.66 1.02 0.05
| *WO 1.257 105.2 107.56 68.44 153.52 0.88 0.01
| EXIT 1.244 0.00004 0.00061 17.16
| ST(6)I 1.244 0.00001 0.00062 11.07
| ST(6)O 1.244 0.00000 0.00062 11.07
| ST(7)I 1.244 0.00000 0.00062 11.07
| ST(7)O 1.241 0.00001 0.00062 11.07
| ST(8)I 1.241 0.00006 0.00068 11.07
| ST(8)O 1.241 0.00000 0.00068 11.07
| O_PLE 1.241 0.00000 0.00068 0.00

```

----- DNB HEAT FLUX CALCULATED BY LUND -----

HEAT FLUX OF CLAD --- $Q^*FR^*FH^*FL$
 (KARMAN - NIKURADSE EQUATION WAS USED FOR WALL LOSS CALCULATION)
 1

-----*--PLOT INPUT DATA FROM FT05 - *-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7--

WITHX	WITHY	TMIN	TMAX	PMIN	PMAX	HMIN	HMAX
140.000	200.000	0.000	800.000	0.000	4.000	0.000	200.000

NEWI= NEW

TITLE= TRR-1 TRIGA-ROD CORE CASE:GA BENCHMARK

IDPLOT= 1	IDPLOT= 2	IDPLOT= 3	IDPLOT= 4	IDPLOT= 5	IDPLOT= 6	IDPLOT= 7
11	13	23	14	12	22	21
NSMBL = 1	NSMBL = 2	NSMBL = 3	NSMBL = 4	NSMBL = 5	NSMBL = 6	NSMBL = 7
0	0	0	0	0	0	0

-----*--PLOT INPUT DATA FROM FT11 - *-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7--

IA= 1 JA= 1 N= 1 NP= 1 K= 1

J	X(J)	TCOOLANT	TCLAD	TMEAT	TSAT	TONB	PRESS	HEAT FLUX
1	0.000	35.00	126.08	346.22	106.44	110.58	1.29440	38.16
2	1.910	37.71	127.28	371.44	106.39	110.56	1.29249	42.81
3	5.720	44.06	129.31	421.38	106.31	110.49	1.28870	52.22
4	9.530	51.69	131.01	472.45	106.22	110.39	1.28494	62.13
5	13.340	60.29	131.47	496.12	106.14	110.22	1.28119	66.84
6	17.150	69.30	131.29	503.86	106.05	110.00	1.27746	68.43
7	20.960	78.13	130.16	482.62	105.97	109.71	1.27375	64.27
8	24.770	86.19	128.52	444.89	105.88	109.36	1.27006	56.93
9	28.580	93.08	126.33	392.91	105.80	108.96	1.26637	47.02
10	32.390	98.55	123.60	330.95	105.72	108.52	1.26268	35.53
11	36.200	102.67	121.19	281.62	105.63	108.09	1.25898	26.66
12	38.100	104.28	119.82	255.99	105.59	107.86	1.25713	22.17

NORMAL END

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ DISSEE3M

ภาคผนวก ข 1. ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M

```

1 10109
5 1 19 22 37 30
1
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
41 42
43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62
63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79
80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99
100101102103104105106107108109
QFRAC.DAN INPUT ICDTDA : F(Y)=(FR*AXIAL)at 60% (4) (5) (6)
1.31200E+00 1.30948E+00 1.28492E+00 1.27681E+00 1.26654E+00 1.25837E+00
1.60000E+00 1.59692E+00 1.56697E+00 1.55709E+00 1.54456E+00 1.53459E+00
1.90400E+00 1.90033E+00 1.86469E+00 1.85293E+00 1.83802E+00 1.82617E+00
2.04800E+00 2.04406E+00 2.00572E+00 1.99307E+00 1.97703E+00 1.96428E+00
2.09600E+00 2.09197E+00 2.05273E+00 2.03978E+00 2.02337E+00 2.01032E+00
1.96800E+00 1.96421E+00 1.92737E+00 1.91522E+00 1.89980E+00 1.88755E+00
1.74400E+00 1.74064E+00 1.70800E+00 1.69723E+00 1.68356E+00 1.67271E+00
1.44000E+00 1.43723E+00 1.41027E+00 1.40138E+00 1.39010E+00 1.38113E+00
1.08800E+00 1.08591E+00 1.06554E+00 1.05882E+00 1.05030E+00 1.04352E+00
8.16000E-01 8.14429E-01 7.99154E-01 7.94115E-01 7.87723E-01 7.82643E-01
***
1.22847E+00 1.22017E+00 1.21579E+00 1.20656E+00 1.18668E+00 1.15454E+00
1.49813E+00 1.48801E+00 1.48267E+00 1.47142E+00 1.44717E+00 1.40797E+00
1.78277E+00 1.77073E+00 1.76437E+00 1.75099E+00 1.72213E+00 1.67549E+00
1.91760E+00 1.90465E+00 1.89781E+00 1.88341E+00 1.85238E+00 1.80220E+00
1.96255E+00 1.94929E+00 1.94229E+00 1.92756E+00 1.89579E+00 1.84444E+00
1.84270E+00 1.83025E+00 1.82368E+00 1.80984E+00 1.78002E+00 1.73181E+00
1.63296E+00 1.62193E+00 1.61611E+00 1.60384E+00 1.57742E+00 1.53469E+00
1.34832E+00 1.33921E+00 1.33440E+00 1.32428E+00 1.30245E+00 1.26717E+00
1.01873E+00 1.01184E+00 1.00821E+00 1.00056E+00 9.84077E-01 9.57421E-01
7.64046E-01 7.58883E-01 7.56159E-01 7.50423E-01 7.38057E-01 7.18066E-01
***
1.14689E+00 1.13831E+00 1.13650E+00 1.13469E+00 1.12608E+00 1.12608E+00
1.39864E+00 1.38818E+00 1.38598E+00 1.38377E+00 1.37326E+00 1.37326E+00
1.66439E+00 1.65194E+00 1.64931E+00 1.64669E+00 1.63418E+00 1.63418E+00
1.79026E+00 1.77688E+00 1.77405E+00 1.77123E+00 1.75778E+00 1.75778E+00
1.83222E+00 1.81852E+00 1.81563E+00 1.81274E+00 1.79897E+00 1.79897E+00
1.72033E+00 1.70747E+00 1.70475E+00 1.70204E+00 1.68911E+00 1.68911E+00
1.52452E+00 1.51312E+00 1.51072E+00 1.50831E+00 1.49686E+00 1.49686E+00
1.25878E+00 1.24937E+00 1.24738E+00 1.24539E+00 1.23594E+00 1.23594E+00
9.51078E-01 9.43966E-01 9.42465E-01 9.40964E-01 9.33818E-01 9.33818E-01
7.13308E-01 7.07974E-01 7.06849E-01 7.05723E-01 7.00364E-01 7.00364E-01
***
1.11971E+00 1.09960E+00 1.07748E+00 1.07702E+00 1.07517E+00 1.06124E+00
1.36550E+00 1.34097E+00 1.31400E+00 1.31343E+00 1.31118E+00 1.29419E+00
1.62494E+00 1.59575E+00 1.56366E+00 1.56299E+00 1.56030E+00 1.54009E+00
1.74784E+00 1.71644E+00 1.68192E+00 1.68120E+00 1.67831E+00 1.65657E+00
1.78880E+00 1.75667E+00 1.72134E+00 1.72060E+00 1.71764E+00 1.69539E+00
1.67956E+00 1.64939E+00 1.61622E+00 1.61552E+00 1.61275E+00 1.59186E+00
1.48839E+00 1.46166E+00 1.43226E+00 1.43164E+00 1.42918E+00 1.41067E+00
1.22895E+00 1.20687E+00 1.18260E+00 1.18209E+00 1.18006E+00 1.16477E+00
9.28538E-01 9.11859E-01 8.93519E-01 8.93136E-01 8.91600E-01 8.80051E-01
6.96404E-01 6.83894E-01 6.70140E-01 6.69852E-01 6.68700E-01 6.60039E-01
***
1.06077E+00 1.05192E+00 1.03646E+00 1.02847E+00 1.02470E+00 1.01572E+00
1.29363E+00 1.28282E+00 1.26398E+00 1.25423E+00 1.24963E+00 1.23869E+00
1.53941E+00 1.52656E+00 1.50413E+00 1.49253E+00 1.48706E+00 1.47404E+00
1.65584E+00 1.64201E+00 1.61789E+00 1.60541E+00 1.59953E+00 1.58552E+00
1.69465E+00 1.68050E+00 1.65581E+00 1.64304E+00 1.63702E+00 1.62268E+00
1.59116E+00 1.57787E+00 1.55469E+00 1.54270E+00 1.53704E+00 1.52358E+00
1.41005E+00 1.39828E+00 1.37773E+00 1.36711E+00 1.36210E+00 1.35017E+00
1.16426E+00 1.15454E+00 1.13758E+00 1.12880E+00 1.12467E+00 1.11482E+00
8.79665E-01 8.72319E-01 8.59504E-01 8.52875E-01 8.49748E-01 8.42306E-01
6.59749E-01 6.54240E-01 6.44628E-01 6.39656E-01 6.37311E-01 6.31730E-01
***
9.94831E-01 9.77145E-01 9.71385E-01 9.57420E-01 9.39991E-01 9.38048E-01
1.21321E+00 1.19164E+00 1.18462E+00 1.16759E+00 1.14633E+00 1.14396E+00

```

1.44372E+00	1.41805E+00	1.40969E+00	1.38943E+00	1.36413E+00	1.36131E+00
1.55291E+00	1.52530E+00	1.51631E+00	1.49451E+00	1.46730E+00	1.46427E+00
1.58930E+00	1.56105E+00	1.55185E+00	1.52954E+00	1.50169E+00	1.49859E+00
1.49225E+00	1.46572E+00	1.45708E+00	1.43613E+00	1.40999E+00	1.40707E+00
1.32240E+00	1.29889E+00	1.29123E+00	1.27267E+00	1.24950E+00	1.24692E+00
1.09189E+00	1.07248E+00	1.06615E+00	1.05083E+00	1.03170E+00	1.02956E+00
8.24982E-01	8.10315E-01	8.05539E-01	7.93958E-01	7.79505E-01	7.77893E-01
6.18736E-01	6.07736E-01	6.04154E-01	5.95468E-01	5.84628E-01	5.83420E-01

8.97941E-01	8.89559E-01	8.87584E-01	8.85113E-01	8.73224E-01	8.53309E-01
1.09505E+00	1.08483E+00	1.08242E+00	1.07941E+00	1.06491E+00	1.04062E+00
1.30311E+00	1.29095E+00	1.28808E+00	1.28449E+00	1.26724E+00	1.23834E+00
1.40166E+00	1.38858E+00	1.38550E+00	1.38164E+00	1.36308E+00	1.33199E+00
1.43452E+00	1.42113E+00	1.41797E+00	1.41402E+00	1.39503E+00	1.36321E+00
1.34691E+00	1.33434E+00	1.33138E+00	1.32767E+00	1.30984E+00	1.27996E+00
1.19360E+00	1.18246E+00	1.17984E+00	1.17655E+00	1.16075E+00	1.13428E+00
9.85545E-01	9.76346E-01	9.74178E-01	9.71465E-01	9.58417E-01	9.36559E-01
7.44634E-01	7.37683E-01	7.36045E-01	7.33996E-01	7.24137E-01	7.07622E-01
5.58475E-01	5.53263E-01	5.52034E-01	5.50497E-01	5.43103E-01	5.30717E-01

8.36282E-01	8.15121E-01	1.07075E+00	7.95857E-01	7.91786E-01	7.90768E-01
1.01986E+00	9.94051E-01	1.30579E+00	9.70557E-01	9.65593E-01	9.64351E-01
1.21363E+00	1.18292E+00	1.55389E+00	1.15496E+00	1.14906E+00	1.14758E+00
1.30542E+00	1.27238E+00	1.67141E+00	1.24231E+00	1.23596E+00	1.23437E+00
1.33601E+00	1.30221E+00	1.71059E+00	1.27143E+00	1.26493E+00	1.26330E+00
1.25442E+00	1.22268E+00	1.60612E+00	1.19378E+00	1.18768E+00	1.18615E+00
1.11164E+00	1.08352E+00	1.42331E+00	1.05791E+00	1.05250E+00	1.05114E+00
9.17870E-01	8.94645E-01	1.17521E+00	8.73501E-01	8.69034E-01	8.67916E-01
6.93502E-01	6.75954E-01	8.87938E-01	6.59979E-01	6.56603E-01	6.55759E-01
5.20126E-01	5.06966E-01	6.65954E-01	4.94984E-01	4.92452E-01	4.91819E-01

7.71871E-01	7.69309E-01	7.66745E-01	7.66232E-01	7.59556E-01	7.58527E-01
9.41306E-01	9.38182E-01	9.35055E-01	9.34429E-01	9.26287E-01	9.25033E-01
1.12015E+00	1.11644E+00	1.11272E+00	1.11197E+00	1.10228E+00	1.10079E+00
1.20487E+00	1.20087E+00	1.19687E+00	1.19607E+00	1.18565E+00	1.18404E+00
1.23311E+00	1.22902E+00	1.22492E+00	1.22410E+00	1.21344E+00	1.21179E+00
1.15781E+00	1.15396E+00	1.15012E+00	1.14935E+00	1.13933E+00	1.13779E+00
1.02602E+00	1.02262E+00	1.01921E+00	1.01853E+00	1.00965E+00	1.00829E+00
8.47175E-01	8.44364E-01	8.41550E-01	8.40986E-01	8.33659E-01	8.32530E-01
6.40088E-01	6.37964E-01	6.35837E-01	6.35412E-01	6.29875E-01	6.29023E-01
4.80066E-01	4.78473E-01	4.76878E-01	4.76559E-01	4.72407E-01	4.71767E-01

7.56470E-01	7.45647E-01	7.44614E-01	7.40481E-01	7.30125E-01	7.15573E-01
9.22524E-01	9.09325E-01	9.08066E-01	9.03025E-01	8.90396E-01	8.72650E-01
1.09780E+00	1.08210E+00	1.08060E+00	1.07460E+00	1.05957E+00	1.03845E+00
1.18083E+00	1.16394E+00	1.16232E+00	1.15587E+00	1.13971E+00	1.11699E+00
1.20851E+00	1.19122E+00	1.18957E+00	1.18296E+00	1.16642E+00	1.14317E+00
1.13470E+00	1.11847E+00	1.11692E+00	1.11072E+00	1.09519E+00	1.07336E+00
1.00555E+00	9.91164E-01	9.89792E-01	9.84297E-01	9.70531E-01	9.51189E-01
8.30272E-01	8.18393E-01	8.17259E-01	8.12722E-01	8.01356E-01	7.85385E-01
6.27316E-01	6.18341E-01	6.17485E-01	6.14057E-01	6.05469E-01	5.93402E-01
4.70487E-01	4.63756E-01	4.63114E-01	4.60543E-01	4.54102E-01	4.45052E-01

7.12968E-01	7.10883E-01	7.06708E-01	7.06186E-01	7.04096E-01	6.99913E-01
8.69473E-01	8.66930E-01	8.61839E-01	8.61202E-01	8.58654E-01	8.53553E-01
1.03467E+00	1.03165E+00	1.02559E+00	1.02483E+00	1.02180E+00	1.01573E+00
1.11293E+00	1.10967E+00	1.10315E+00	1.10234E+00	1.09908E+00	1.09255E+00
1.13901E+00	1.13568E+00	1.12901E+00	1.12817E+00	1.12484E+00	1.11815E+00
1.06945E+00	1.06632E+00	1.06006E+00	1.05928E+00	1.05614E+00	1.04987E+00
9.47726E-01	9.44954E-01	9.39405E-01	9.38710E-01	9.35933E-01	9.30373E-01
7.82526E-01	7.80237E-01	7.75655E-01	7.75082E-01	7.72789E-01	7.68198E-01
5.91242E-01	5.89512E-01	5.86051E-01	5.85618E-01	5.83885E-01	5.80416E-01
4.43431E-01	4.42134E-01	4.39538E-01	4.39213E-01	4.37914E-01	4.35312E-01

6.97820E-01	6.93106E-01	6.85759E-01	6.81554E-01	6.78397E-01	6.78397E-01
8.51000E-01	8.45251E-01	8.36291E-01	8.31163E-01	8.27313E-01	8.27313E-01
1.01269E+00	1.00585E+00	9.95187E-01	9.89084E-01	9.84503E-01	9.84503E-01
1.08928E+00	1.08192E+00	1.07045E+00	1.06389E+00	1.05896E+00	1.05896E+00
1.11481E+00	1.10728E+00	1.09554E+00	1.08882E+00	1.08378E+00	1.08378E+00
1.04673E+00	1.03966E+00	1.02864E+00	1.02233E+00	1.01760E+00	1.01760E+00
9.27590E-01	9.21323E-01	9.11558E-01	9.05968E-01	9.01772E-01	9.01772E-01
7.65900E-01	7.60726E-01	7.52662E-01	7.48047E-01	7.44582E-01	7.44582E-01
5.78680E-01	5.74770E-01	5.68678E-01	5.65191E-01	5.62573E-01	5.62573E-01

4.34010E-01	4.31078E-01	4.26509E-01	4.23893E-01	4.21930E-01	4.21930E-01

6.76817E-01	6.71019E-01	6.68381E-01	6.64155E-01	6.51447E-01	6.46670E-01
8.25387E-01	8.18316E-01	8.15099E-01	8.09945E-01	7.94448E-01	7.88622E-01
9.82211E-01	9.73797E-01	9.69967E-01	9.63835E-01	9.45393E-01	9.38460E-01
1.05650E+00	1.04744E+00	1.04333E+00	1.03673E+00	1.01689E+00	1.00944E+00
1.08126E+00	1.07199E+00	1.06778E+00	1.06103E+00	1.04073E+00	1.03309E+00
1.01523E+00	1.00653E+00	1.00257E+00	9.96233E-01	9.77171E-01	9.70005E-01
8.99672E-01	8.91965E-01	8.88457E-01	8.82840E-01	8.65948E-01	8.59598E-01
7.42848E-01	7.36485E-01	7.33589E-01	7.28951E-01	7.15003E-01	7.09760E-01
5.61263E-01	5.56455E-01	5.54267E-01	5.50763E-01	5.40224E-01	5.36263E-01
4.20947E-01	4.17341E-01	4.15700E-01	4.13072E-01	4.05168E-01	4.02197E-01

6.45076E-01	6.39226E-01	6.38161E-01	6.36564E-01	6.33366E-01	6.30700E-01
7.86678E-01	7.79544E-01	7.78246E-01	7.76297E-01	7.72398E-01	7.69146E-01
9.36147E-01	9.27657E-01	9.26112E-01	9.23794E-01	9.19154E-01	9.15284E-01
1.00695E+00	9.97816E-01	9.96154E-01	9.93661E-01	9.88670E-01	9.84507E-01
1.03055E+00	1.02120E+00	1.01950E+00	1.01695E+00	1.01184E+00	1.00758E+00
9.67614E-01	9.58839E-01	9.57242E-01	9.54846E-01	9.50050E-01	9.46050E-01
8.57479E-01	8.49703E-01	8.48288E-01	8.46164E-01	8.41914E-01	8.38369E-01
7.08010E-01	7.01590E-01	7.00421E-01	6.98668E-01	6.95158E-01	6.92231E-01
5.34941E-01	5.30090E-01	5.29207E-01	5.27882E-01	5.25231E-01	5.23019E-01
4.01206E-01	3.97567E-01	3.96905E-01	3.95912E-01	3.93923E-01	3.92265E-01

6.14123E-01	6.14123E-01	6.06074E-01	5.94237E-01	5.78035E-01	5.76411E-01
7.48930E-01	7.48930E-01	7.39115E-01	7.24680E-01	7.04921E-01	7.02940E-01
8.91227E-01	8.91227E-01	8.79547E-01	8.62369E-01	8.38856E-01	8.36499E-01
9.58630E-01	9.58630E-01	9.46067E-01	9.27590E-01	9.02298E-01	8.99763E-01
9.81098E-01	9.81098E-01	9.68240E-01	9.49331E-01	9.23446E-01	9.20851E-01
9.21184E-01	9.21184E-01	9.09111E-01	8.91356E-01	8.67052E-01	8.64616E-01
8.16334E-01	8.16334E-01	8.05635E-01	7.89901E-01	7.68364E-01	7.66205E-01
6.74037E-01	6.74037E-01	6.65203E-01	6.52212E-01	6.34429E-01	6.32646E-01
5.09272E-01	5.09272E-01	5.02598E-01	4.92782E-01	4.79346E-01	4.77999E-01
3.81954E-01	3.81954E-01	3.76949E-01	3.69587E-01	3.59510E-01	3.58499E-01

5.61761E-01	5.61761E-01	5.58498E-01	5.54687E-01	5.64546E-01	5.42139E-01
6.85075E-01	6.85075E-01	6.81095E-01	6.76448E-01	6.88470E-01	6.61145E-01
8.15239E-01	8.15239E-01	8.10503E-01	8.04973E-01	8.19280E-01	7.86763E-01
8.76896E-01	8.76896E-01	8.71802E-01	8.65853E-01	8.81242E-01	8.46266E-01
8.97448E-01	8.97448E-01	8.92235E-01	8.86147E-01	9.01896E-01	8.66100E-01
8.42642E-01	8.42642E-01	8.37747E-01	8.32031E-01	8.46818E-01	8.13209E-01
7.46732E-01	7.46732E-01	7.42394E-01	7.37328E-01	7.50433E-01	7.20648E-01
6.16567E-01	6.16567E-01	6.12986E-01	6.08803E-01	6.19623E-01	5.95031E-01
4.65851E-01	4.65851E-01	4.63145E-01	4.59985E-01	4.68160E-01	4.49579E-01
3.49388E-01	3.49388E-01	3.47359E-01	3.44988E-01	3.51120E-01	3.37184E-01

5.37218E-01	5.36670E-01	5.29549E-01	5.26807E-01	5.23513E-01	5.15267E-01
6.55143E-01	6.54476E-01	6.45792E-01	6.42447E-01	6.38430E-01	6.28374E-01
7.79621E-01	7.78826E-01	7.68492E-01	7.64512E-01	7.59732E-01	7.47765E-01
8.38583E-01	8.37729E-01	8.26613E-01	8.22332E-01	8.17191E-01	8.04318E-01
8.58238E-01	8.57364E-01	8.45987E-01	8.41606E-01	8.36344E-01	8.23170E-01
8.05826E-01	8.05005E-01	7.94324E-01	7.90210E-01	7.85269E-01	7.72900E-01
7.14106E-01	7.13379E-01	7.03913E-01	7.00267E-01	6.95889E-01	6.84927E-01
5.89629E-01	5.89028E-01	5.81212E-01	5.78202E-01	5.74587E-01	5.65536E-01
4.45497E-01	4.45044E-01	4.39138E-01	4.36864E-01	4.34133E-01	4.27294E-01
3.34123E-01	3.33783E-01	3.29354E-01	3.27648E-01	3.25600E-01	3.20471E-01

5.13064E-01	5.09759E-01	5.09759E-01	5.02035E-01	4.92635E-01	4.88758E-01
6.25688E-01	6.21657E-01	6.21657E-01	6.12238E-01	6.00775E-01	5.96047E-01
7.44569E-01	7.39772E-01	7.39772E-01	7.28563E-01	7.14922E-01	7.09296E-01
8.00881E-01	7.95721E-01	7.95721E-01	7.83665E-01	7.68992E-01	7.62940E-01
8.19652E-01	8.14371E-01	8.14371E-01	8.02032E-01	7.87015E-01	7.80821E-01
7.69597E-01	7.64638E-01	7.64638E-01	7.53053E-01	7.38953E-01	7.33137E-01
6.82000E-01	6.77606E-01	6.77606E-01	6.67339E-01	6.54845E-01	6.49691E-01
5.63119E-01	5.59492E-01	5.59492E-01	5.51014E-01	5.40697E-01	5.36442E-01
4.25468E-01	4.22727E-01	4.22727E-01	4.16322E-01	4.08527E-01	4.05312E-01
3.19101E-01	3.17045E-01	3.17045E-01	3.12241E-01	3.06395E-01	3.03984E-01

4.79326E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5.84544E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6.95608E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7.48217E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7.65753E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
** (85)	(86)	(87)	(88)	(89) (90)
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
** (91)	(92)	(93)	(94)	(95) (96)
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
** (97)	(98)	(99)	(100)	(101) (102)
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
** (103)	(104)	(105)	(106)	(107) (108)
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
** (109)				
1.0				
1.0				
1.0				
1.0				
1.0				
1.0				
1.0				
1.0				
1.0				
10				
1 1 1 1 1 1 1 1 1				
11.0				
21.0				
31.0				
41.0				
51.0				
61.0				
71.0				
81.0				
91.0				
101.0				
1 1 1 1 1 1 1 1 1				
11.0				
21.0				

```

31.0
41.0
51.0
61.0
71.0
81.0
91.0
101.0
  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
11.0
21.0
31.0
41.0
51.0
61.0
71.0
81.0
91.0
101.0
  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
11.0
21.0
31.0
41.0
51.0
61.0
71.0
81.0
91.0
101.0
  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
11.0
21.0
31.0
41.0
51.0
61.0
71.0
81.0
91.0
101.0

```

ภาคผนวก ข 2. ตัวอย่างไฟล์ขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ DISSUE3M อย่างย่อ

EUREKA2	CHANNEL DISTRIBUTIONS					----- RESULT NO.3
	1	2	3	4	5	
1	1.94492334D-03	3.35561390D-02	3.19822780D-02	4.01808503D-02	2.48582135D-02	
2	1.57985629D-03	2.72575173D-02	2.59791272D-02	3.26388011D-02	2.01922647D-02	
3	1.74679858D-03	3.01377802D-02	2.87242954D-02	3.60877276D-02	2.23259694D-02	
4	1.21545269D-03	2.09703988D-02	1.99868673D-02	2.51104573D-02	1.55347934D-02	
5	1.24393986D-03	2.14618856D-02	2.04553151D-02	2.56989905D-02	1.58988880D-02	
6	1.68820706D-03	2.91268990D-02	2.77608238D-02	3.48772453D-02	2.15771040D-02	
7	1.72204335D-03	2.97107083D-02	2.81331262D-02	3.55762960D-02	2.20095694D-02	
8	1.42187066D-03	2.45317715D-02	1.90380829D-02	2.93749187D-02	1.81730365D-02	
9	1.07430227D-03	1.85351050D-02	1.43843279D-02	2.21943830D-02	1.37307403D-02	
10	1.20753267D-03	2.08337536D-02	1.61682129D-02	2.49468378D-02	1.54335698D-02	

SUM= 1.0000000000D+00
 OOKINA OSEWA DESUGA INPUT DATA NO MINAOSHI O SHITEMIMASHO
 GOKIGENYO !!

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA

ภาคผนวก ก 1. ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA

```

5
HOT CHANNEL NO.1 *NODE,MW,KG/S,-,C* 3*7.318/109 flow = 0.20141
10 1.2 0.20141 1.0 35.0
1.94492E-03
1.57986E-03
1.74680E-03
1.21545E-03
1.24394E-03
1.68821E-03
1.72204E-03
1.42187E-03
1.07430E-03
1.20753E-03
CHANNEL NO.2 3*7.318/109 flow * 19 = 3.8268
10 1.2 3.8268 1.0 35.0
3.35561E-02
2.72575E-02
3.01378E-02
2.09704E-02
2.14619E-02
2.91269E-02
2.97107E-02
2.45318E-02
1.85351E-02
2.08338E-02
CHANNEL NO.3 2*7.318/109 flow * 22 = 2.9541
10 1.2 2.9541 1.0 35.0
3.19823E-02
2.59791E-02
2.87243E-02
1.99869E-02
2.04553E-02
2.77608E-02
2.81331E-02
1.90381E-02
1.43843E-02
1.61682E-02
CHANNEL NO.4 2*7.318/109 flow * 37 = 4.9682
10 1.2 4.9682 1.0 35.0
4.01809E-02
3.26388E-02
3.60877E-02
2.51105E-02
2.56990E-02
3.48772E-02
3.55763E-02
2.93749E-02
2.21944E-02
2.49468E-02
C5 2*7.318/109 flow * 30 = 4.0283
10 1.2 4.0283 1.0 35.0
2.48582E-02
2.01923E-02
2.23260E-02
1.55348E-02
1.58989E-02
2.15771E-02
2.20096E-02
1.81730E-02
1.37307E-02
1.54336E-02

```

ภาคผนวก ก 2. ตัวอย่างไฟล์ขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ ICETEA

```

1      TEMPERATURE DISTRIBUTION CASE NO. 1
0      HOT CHANNEL NO.1 *NODE,MW,KG/S, -,C* 3*7.318/109 flow = 0.20141
0      CORE MASS FLOW INLET POWER
      POWER TON/HR KG/S TEMP. FACTOR
      MW      (-)
0      0.12000E+01 0.72508E+00 0.20141E+00 0.35000E+02 0.10000E+01
0 JUN  NODE POWER ENTHALPY TEMPERATURE
   NO. NO. PRACTION DISTRI. DISTRIBUTION
      (-) MW KCAL/KG KCAL/KG C C
1 | --- | 0.19449E-02 0.23339E-02 0.35020E+02 0.36404E+02 0.36384E+02
2 | --- | 0.15799E-02 0.18958E-02 0.37787E+02 0.38911E+02 0.38902E+02
3 | --- | 0.17468E-02 0.20962E-02 0.40035E+02 0.41278E+02 0.41275E+02
4 | --- | 0.12155E-02 0.14585E-02 0.42520E+02 0.43385E+02 0.43386E+02
5 | --- | 0.12439E-02 0.14927E-02 0.44250E+02 0.45134E+02 0.45138E+02
6 | --- | 0.16882E-02 0.20259E-02 0.46019E+02 0.47220E+02 0.47228E+02
7 | --- | 0.17220E-02 0.20664E-02 0.48421E+02 0.49646E+02 0.49658E+02
8 | --- | 0.14219E-02 0.17062E-02 0.50871E+02 0.51883E+02 0.51893E+02
9 | --- | 0.10743E-02 0.12892E-02 0.52894E+02 0.53659E+02 0.53668E+02
10 | --- | 0.12075E-02 0.14490E-02 0.54423E+02 0.55282E+02 0.55290E+02
11 | --- | 0.56141E+02 0.56148E+02

```

```

1      TEMPERATURE DISTRIBUTION CASE NO. 2
0      CHANNEL NO.2 3*7.318/109 flow * 19 = 3.8268
0      CORE MASS FLOW INLET POWER
      POWER TON/HR KG/S TEMP. FACTOR
      MW      (-)
0      0.12000E+01 0.13776E+02 0.38268E+01 0.35000E+02 0.10000E+01
0 JUN  NODE POWER ENTHALPY TEMPERATURE
   NO. NO. PRACTION DISTRI. DISTRIBUTION
      (-) MW KCAL/KG KCAL/KG C C
1 | --- | 0.33556E-01 0.40267E-01 0.35020E+02 0.36276E+02 0.36256E+02
2 | --- | 0.27258E-01 0.32709E-01 0.37533E+02 0.38553E+02 0.38543E+02
3 | --- | 0.30138E-01 0.36165E-01 0.39574E+02 0.40702E+02 0.40699E+02
4 | --- | 0.20970E-01 0.25164E-01 0.41831E+02 0.42616E+02 0.42615E+02
5 | --- | 0.21462E-01 0.25754E-01 0.43401E+02 0.44205E+02 0.44207E+02
6 | --- | 0.29127E-01 0.34952E-01 0.45008E+02 0.46099E+02 0.46104E+02
7 | --- | 0.29711E-01 0.35653E-01 0.47189E+02 0.48302E+02 0.48311E+02
8 | --- | 0.24532E-01 0.29438E-01 0.49414E+02 0.49425E+02 0.50344E+02
9 | --- | 0.18535E-01 0.22242E-01 0.51251E+02 0.51945E+02 0.51956E+02
10 | --- | 0.20834E-01 0.25001E-01 0.52639E+02 0.53419E+02 0.53428E+02
11 | --- | 0.54199E+02 0.54208E+02

```

1	TEMPERATURE DISTRIBUTION CASE NO. 3					
0	CHANNEL NO.3					
0	2*7.318/109 flow * 22 = 2.9541					
		CORE	MASS FLOW	INLET	POWER	
		POWER		TEMP.	FACTOR	
		MW	TON/HR	C	(-)	
0		0.12000E+01	0.10635E+02	0.29541E+01	0.35000E+02	0.10000E+01
0	JUN	POWER	POWER	ENTHALPY		TEMPERATURE
	NO.	PRACTION	DISTRI.	DISTRIBUTION		
	NO.	(-)	MW	KCAL/KG	KCAL/KG	C C
1	---			0.35020E+02		0.35000E+02
	1	0.31982E-01	0.38379E-01		0.36571E+02	0.36552E+02
2	---			0.38122E+02		0.38110E+02
	2	0.25979E-01	0.31175E-01		0.39382E+02	0.39375E+02
3	---			0.40643E+02		0.40639E+02
	3	0.28724E-01	0.34469E-01		0.42036E+02	0.42034E+02
4	---			0.43429E+02		0.43430E+02
	4	0.19987E-01	0.23984E-01		0.44398E+02	0.44401E+02
5	---			0.45368E+02		0.45372E+02
	5	0.20455E-01	0.24546E-01		0.46360E+02	0.46366E+02
6	---			0.47352E+02		0.47359E+02
	6	0.27761E-01	0.33313E-01		0.48698E+02	0.48708E+02
7	---			0.50045E+02		0.50057E+02
	7	0.28133E-01	0.33760E-01		0.51409E+02	0.51420E+02
8	---			0.52774E+02		0.52784E+02
	8	0.19038E-01	0.22846E-01		0.53697E+02	0.53707E+02
9	---			0.54621E+02		0.54629E+02
	9	0.14384E-01	0.17261E-01		0.55318E+02	0.55326E+02
10	---			0.56016E+02		0.56024E+02
	10	0.16168E-01	0.19402E-01		0.56800E+02	0.56807E+02
11	---			0.57584E+02		0.57591E+02

1	TEMPERATURE DISTRIBUTION CASE NO. 4					
0	CHANNEL NO.4					
0	2*7.318/109 flow * 37 = 4.9682					
		CORE	MASS FLOW	INLET	POWER	
		POWER		TEMP.	FACTOR	
		MW	TON/HR	C	(-)	
0		0.12000E+01	0.17886E+02	0.49682E+01	0.35000E+02	0.10000E+01
0	JUN	POWER	POWER	ENTHALPY		TEMPERATURE
	NO.	PRACTION	DISTRI.	DISTRIBUTION		
	NO.	(-)	MW	KCAL/KG	KCAL/KG	C C
1	---			0.35020E+02		0.35000E+02
	1	0.40181E-01	0.48217E-01		0.36179E+02	0.36158E+02
2	---			0.37338E+02		0.37322E+02
	2	0.32639E-01	0.39167E-01		0.38279E+02	0.38267E+02
3	---			0.39220E+02		0.39212E+02
	3	0.36088E-01	0.43305E-01		0.40261E+02	0.40257E+02
4	---			0.41302E+02		0.41299E+02
	4	0.25110E-01	0.30133E-01		0.42026E+02	0.42024E+02
5	---			0.42750E+02		0.42750E+02
	5	0.25699E-01	0.30839E-01		0.43491E+02	0.43492E+02
6	---			0.44232E+02		0.44235E+02
	6	0.34877E-01	0.41853E-01		0.45238E+02	0.45242E+02
7	---			0.46244E+02		0.46250E+02
	7	0.35576E-01	0.42692E-01		0.47270E+02	0.47277E+02
8	---			0.48296E+02		0.48305E+02
	8	0.29375E-01	0.35250E-01		0.49143E+02	0.49154E+02
9	---			0.49990E+02		0.50002E+02
	9	0.22194E-01	0.26633E-01		0.50630E+02	0.50642E+02
10	---			0.51270E+02		0.51281E+02
	10	0.24947E-01	0.29936E-01		0.51990E+02	0.52000E+02
11	---			0.52709E+02		0.52719E+02

```

1    TEMPERATURE DISTRIBUTION CASE NO. 5
0    C5                                2*7.318/109 flow * 30 = 4.0283
0
0    CORE POWER          MASS FLOW          INLET          POWER
0    POWER          TON/HR          KG/S          TEMP.          FACTOR
0    MW          POWER          C          (-)
0    0.12000E+01  0.14502E+02  0.40283E+01  0.35000E+02  0.10000E+01
0 JUN  NODE  POWER          ENTHALPY          TEMPERATURE
0 NO.  NO.  PRACTION          DISTRIBUTION          C          C
0          (-)          MW          KCAL/KG          KCAL/KG          C          C
1 | --- | 0.24858E-01  0.29830E-01  0.35020E+02  0.35904E+02  0.35883E+02
2 | --- | 0.20192E-01  0.24231E-01  0.36788E+02  0.37507E+02  0.37492E+02
3 | --- | 0.22326E-01  0.26791E-01  0.38225E+02  0.39019E+02  0.39010E+02
4 | --- | 0.15535E-01  0.18642E-01  0.39813E+02  0.40366E+02  0.40361E+02
5 | --- | 0.15899E-01  0.19079E-01  0.40918E+02  0.41484E+02  0.41481E+02
6 | --- | 0.21577E-01  0.25893E-01  0.42049E+02  0.42817E+02  0.42816E+02
7 | --- | 0.22010E-01  0.26412E-01  0.43584E+02  0.44367E+02  0.44369E+02
8 | --- | 0.18173E-01  0.21808E-01  0.45150E+02  0.45796E+02  0.45801E+02
9 | --- | 0.13731E-01  0.16477E-01  0.46442E+02  0.46931E+02  0.46938E+02
10 | --- | 0.15434E-01  0.18520E-01  0.47419E+02  0.47968E+02  0.47977E+02
11 | --- | 0.48517E+02  0.48527E+02
1NORMAL END ?! NO KIDDING. I CAN NOT BELIEVE IT.

```


ภาคผนวก ง

ตัวอย่างไฟล์ขาเข้าและขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO

ภาพผนวก ง 1. ตัวอย่างไฟฟ้าเข้าของรหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO

5					
HOT CHANNEL (NO.1)					
UP					
15 14 1					
-1.722400	-0.572380	-0.1342300	0.0572	0.0953	0.1334
0.165000	0.178000	0.2096000	0.2477	0.2858	0.3239
0.495820	1.200700	6.2776000			
0.0	0.4500	0.019224	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.033	1.0	0.0			
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07				
35.000	35.000	35.000	37.773	40.030	42.520
44.252	46.025	48.431	50.883	52.904	54.432
56.148	56.148	56.148			
1 1.6706					
0.0000873	0.06890	0.091317	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.089433	0.033811	0.0000873			
0.0000873	0.026461	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.03381	0.0000873				
3.27E+0	5.334E-1	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
5.334E-1	3.27E+0				
CHANNEL NO.2					
UP					
15 14 1					
-1.722400	-0.572380	-0.1342300	0.0572	0.0953	0.1334
0.165000	0.178000	0.2096000	0.2477	0.2858	0.3239
0.495820	1.200700	6.2776000			
0.0	0.4500	0.019224	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.033	1.0	0.0			
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07				
35.000	35.000	35.000	37.518	39.567	41.829
43.402	45.012	47.196	49.425	51.262	52.649
54.208	54.208	54.208			
1 1.6706					
0.0000873	0.06890	0.091317	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.089433	0.033811	0.0000873			
0.0000873	0.026461	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.03381	0.0000873				
3.27E+0	5.334E-1	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
5.334E-1	3.27E+0				
CHANNEL NO.3					
UP					
15 14 1					
-1.722400	-0.572380	-0.1342300	0.0572	0.0953	0.1334
0.165000	0.178000	0.2096000	0.2477	0.2858	0.3239
0.495820	1.200700	6.2776000			
0.0	0.4500	0.019224	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.033	1.0	0.0			
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07				
35.000	35.000	35.000	38.110	40.639	43.430
45.372	47.359	50.057	52.784	54.629	56.024
57.591	57.591	57.591			
1 1.6706					
0.0000873	0.06890	0.091317	0.1386	0.1386	0.1386

0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.089433	0.033811	0.0000873			
0.0000873	0.026461	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.03381	0.0000873				
3.27E+0	5.334E-1	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
5.334E-1	3.27E+0				
CHANNEL NO.4					
UP					
15 14 1					
-1.722400	-0.572380	-0.1342300	0.0572	0.0953	0.1334
0.165000	0.178000	0.2096000	0.2477	0.2858	0.3239
0.495820	1.200700	6.2776000			
0.0	0.4500	0.019224	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.033	1.0	0.0			
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07				
35.000	35.000	35.000	37.322	39.212	41.299
42.750	44.235	46.250	48.305	50.002	51.281
52.719	52.719	52.719			
	1	1.6706			
0.0000873	0.06890	0.091317	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.089433	0.033811	0.0000873			
0.0000873	0.026461	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.03381	0.0000873				
3.27E+0	5.334E-1	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
5.334E-1	3.27E+0				
CHANNEL NO.5 (CONTROL FUEL)					
UP					
15 14 1					
-1.722400	-0.572380	-0.1342300	0.0572	0.0953	0.1334
0.165000	0.178000	0.2096000	0.2477	0.2858	0.3239
0.495820	1.200700	6.2776000			
0.0	0.4500	0.019224	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.033	1.0	0.0			
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.07	0.07				
35.000	35.000	35.000	36.770	38.213	39.807
40.915	42.048	43.585	45.154	46.448	47.427
48.527	48.527	48.527			
	1	1.6706			
0.0000873	0.06890	0.091317	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.089433	0.033811	0.0000873			
0.0000873	0.026461	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386	0.1386
0.03381	0.0000873				
3.27E+0	5.334E-1	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4	1.666E-4
5.334E-1	3.27E+0				

ภาคผนวก ง 2. ตัวอย่างไฟล์ขาออกของรหัสคอมพิวเตอร์ PREDISCO

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 1										
HOT CHANNEL (NO.1)										
UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1										
JUN NO.	NODE NO.	JUNC. IN AND OUT PRESS. KG/CM2	NODE CENTER PRESS. KG/CM2	HIGHT FROM BASE PLANE M	HYDRO DIA. M	KFORM (-)	KFRIC (-)	JUNC. TEMP C	JUNC. FLOW RATE M/S	NODE FLOW RATE M/S
1	1	1.67060D+00	1.61344D+00	-1.72240D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.64892D-01	3.50000D+01	8.73000D-05	8.73000D-05
2	2	1.55629D+00		-5.72380D-01	4.50000D-01	4.50000D-01	3.50000D+01	6.89000D-02		
2	2	1.55630D+00	1.53452D+00	-5.72380D-01	5.33400D-01	4.50000D-01	2.61522D-02	3.50000D+01	6.89000D-02	2.64610D-02
3	3	1.51274D+00		-1.34230D-01	1.92240D-02	1.92240D-02	3.50000D+01	9.13170D-02		
3	3	1.51265D+00	1.39136D+00	-1.34230D-01	1.66600D-04	1.92240D-02	1.98668D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
4	4	1.27018D+00	1.24676D+00	5.72000D-02	1.66600D-04	0.00000D-01	1.89258D+00	3.77730D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
4	4	1.27018D+00		5.72000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	3.77730D+01	1.38600D-01		
5	5	1.22335D+00	1.20070D+00	9.53000D-02	1.66600D-04	0.00000D-01	1.81154D+00	4.00300D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
5	5	1.22335D+00		9.53000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	4.00300D+01	1.38600D-01		
6	6	1.17807D+00	1.16001D+00	1.33400D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.74543D+00	4.25200D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
6	6	1.17807D+00		1.33400D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	4.25200D+01	1.38600D-01		
7	7	1.14196D+00	1.13449D+00	1.65000D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.69054D+00	4.42520D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
7	7	1.14196D+00		1.65000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	4.42520D+01	1.38600D-01		
8	8	1.12702D+00	1.10995D+00	1.78000D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.62510D+00	4.60250D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
8	8	1.12702D+00		1.78000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	4.60250D+01	1.38600D-01		
9	9	1.09290D+00	1.07330D+00	2.09600D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.54902D+00	4.84310D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
9	9	1.09290D+00		2.09600D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	4.84310D+01	1.38600D-01		
10	10	1.05366D+00	1.03468D+00	2.47700D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.49892D+00	5.08830D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
10	10	1.05366D+00		2.47700D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	5.08830D+01	1.38600D-01		
11	11	1.01572D+00	0.97307D-01	2.85800D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.46203D+00	5.29040D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
11	11	1.01572D+00		2.85800D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	5.29040D+01	1.38600D-01		
12	12	0.97890D-01	0.97890D-01	3.23900D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.42831D+00	5.44320D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
12	12	0.97890D-01		3.23900D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	5.44320D+01	1.38600D-01		
13	13	0.81893D-01	0.98887D-01	4.95820D-01	1.66600D-04	3.30000D-02	5.61480D+01	8.94330D-02		
13	13	0.81902D-01		4.95820D-01	3.30000D-02	3.30000D-02	5.61480D+01	8.94330D-02		
14	14	0.74958D-01	0.78430D-01	1.20070D+00	5.33400D-01	1.00000D+00	2.25931D-02	5.61480D+01	3.38110D-02	3.38100D-02
14	14	0.74960D-01		1.20070D+00	1.00000D+00	1.00000D+00	5.61480D+01	3.38110D-02		
15	15	0.24948D-01	0.49954D-01	6.27760D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.14089D-01	5.61480D+01	8.73000D-05	8.73000D-05
PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 1										
HOT CHANNEL (NO.1)										
UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1										
JUN NO.	NODE NO.	RHO KG/M3	FORM LOSS M	FRIC. LOSS M	POTENTIAL HEAD M	DP LOSS M	REYNOLDS NUMBER			
1	1	0.99400E+03	0.00000E+00	-0.22533E-10	-0.11500E+01	0.00000E+00	0.38813E+03			
2	2	0.99400E+03	0.10891E-03	-0.76688E-06	-0.43815E+00	0.10891E-03	0.19190E+05			
3	3	0.99400E+03	0.81730E-05	-0.22358E+01	-0.19143E+00	0.11632E-03	0.32214E+02			
4	4	0.99353E+03	0.00000E+00	-0.22358E+01	-0.19143E+00	0.11632E-03	0.32214E+02			
4	4	0.99306E+03	0.00000E+00	-0.42390E+00	-0.38100E-01	-0.22356E+01	0.33816E+02			
5	5	0.99267E+03	0.00000E+00	-0.42390E+00	-0.38100E-01	-0.22356E+01	0.33816E+02			
5	5	0.99229E+03	0.00000E+00	-0.40575E+00	-0.38100E-01	-0.26595E+01	0.35329E+02			
6	6	0.99176E+03	0.00000E+00	-0.40575E+00	-0.38100E-01	-0.26595E+01	0.35329E+02			
6	6	0.99124E+03	0.00000E+00	-0.32425E+00	-0.31600E-01	-0.30653E+01	0.36667E+02			
7	7	0.99088E+03	0.00000E+00	-0.32425E+00	-0.31600E-01	-0.30653E+01	0.36667E+02			
7	7	0.99051E+03	0.00000E+00	-0.12920E+00	-0.13000E-01	-0.33895E+01	0.37858E+02			
8	8	0.99014E+03	0.00000E+00	-0.12920E+00	-0.13000E-01	-0.33895E+01	0.37858E+02			
8	8	0.98977E+03	0.00000E+00	-0.30189E+00	-0.31600E-01	-0.35187E+01	0.39382E+02			
9	9	0.98926E+03	0.00000E+00	-0.30189E+00	-0.31600E-01	-0.35187E+01	0.39382E+02			
9	9	0.98876E+03	0.00000E+00	-0.34695E+00	-0.38100E-01	-0.38206E+01	0.41316E+02			
10	10	0.98824E+03	0.00000E+00	-0.34695E+00	-0.38100E-01	-0.38206E+01	0.41316E+02			
10	10	0.98767E+03	0.00000E+00	-0.33573E+00	-0.38100E-01	-0.41676E+01	0.42698E+02			
11	11	0.98717E+03	0.00000E+00	-0.33573E+00	-0.38100E-01	-0.41676E+01	0.42698E+02			
11	11	0.98668E+03	0.00000E+00	-0.32747E+00	-0.38100E-01	-0.45033E+01	0.43775E+02			
12	12	0.98630E+03	0.00000E+00	-0.32747E+00	-0.38100E-01	-0.45033E+01	0.43775E+02			
12	12	0.98593E+03	0.00000E+00	-0.14436E+01	-0.17192E+00	-0.48308E+01	0.44808E+02			
13	13	0.98551E+03	0.00000E+00	-0.14436E+01	-0.17192E+00	-0.48308E+01	0.44808E+02			
13	13	0.98509E+03	0.13457E-04	-0.17400E-05	-0.70488E+00	-0.62743E+01	0.35438E+05			
14	14	0.98509E+03	0.58284E-04	-0.17400E-05	-0.70488E+00	-0.62743E+01	0.35438E+05			
14	14	0.98509E+03	0.00000E+00	-0.68826E-10	-0.50769E+01	-0.62743E+01	0.56097E+03			
15	15	0.98509E+03	0.00000E+00	-0.68826E-10	-0.50769E+01	-0.62743E+01	0.56097E+03			
DP LOSS = HEAD LOSS BETWEEN BASE JUNCTION AND INLET JUNCTION NO. N										
PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 2										
CHANNEL NO.2										
UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1										
JUN NO.	NODE NO.	JUNC. IN AND OUT PRESS. KG/CM2	NODE CENTER PRESS. KG/CM2	HIGHT FROM BASE PLANE M	HYDRO DIA. M	KFORM (-)	KFRIC (-)	JUNC. TEMP C	JUNC. FLOW RATE M/S	NODE FLOW RATE M/S
1	1	1.67060D+00	1.61344D+00	-1.72240D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.64892D-01	3.50000D+01	8.73000D-05	8.73000D-05
2	2	1.55629D+00		-5.72380D-01	4.50000D-01	4.50000D-01	3.50000D+01	6.89000D-02		
2	2	1.55630D+00	1.53452D+00	-5.72380D-01	5.33400D-01	4.50000D-01	2.61522D-02	3.50000D+01	6.89000D-02	2.64610D-02
3	3	1.51274D+00		-1.34230D-01	1.92240D-02	1.92240D-02	3.50000D+01	9.13170D-02		

3	---	1.51265D+00	-1.34230D-01	1.92240D-02	1.66600D-04	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
4	---	1.26976D+00	5.72000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
4	---	1.26976D+00	5.72000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
5	---	1.22272D+00	9.53000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
5	---	1.22272D+00	9.53000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
6	---	1.17718D+00	1.33400D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
6	---	1.17718D+00	1.33400D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
7	---	1.14069D+00	1.65000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
7	---	1.14069D+00	1.65000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
8	---	1.12561D+00	1.78000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
8	---	1.12561D+00	1.78000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
9	---	1.09093D+00	2.09600D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
9	---	1.09093D+00	2.09600D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
10	---	1.05091D+00	2.47700D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
10	---	1.05091D+00	2.47700D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
11	---	1.01237D+00	2.85800D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
11	---	1.01237D+00	2.85800D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
12	---	9.74810D-01	3.23900D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
12	---	9.74810D-01	3.23900D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
13	---	8.10907D-01	4.95820D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
13	---	8.10907D-01	4.95820D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
14	---	7.41495D-01	1.20070D+00	1.00000D+00	1.00000D+00	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
14	---	7.41495D-01	1.20070D+00	1.00000D+00	1.00000D+00	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
15	---	2.40905D-01	6.27760D+00	0.00000D-01	0.00000D-01	1.99146D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 2

CHANNEL NO.2

UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1

JUN NO.	NODE NO.	RHO KG/M3	FORM LOSS M	FRIC. LOSS M	POTENTIAL HEAD M	DP LOSS M	REYNOLDS NUMBER
1	---	0.99400E+03	0.00000E+00	-0.22533E-10	-0.11500E+01	0.00000E+00	0.38813E+03
2	---	0.99400E+03	0.10891E-03	-0.76688E-06	-0.43815E+00	0.10891E-03	0.19190E+05
3	---	0.99400E+03	0.81730E-05	-0.22411E+01	-0.19143E+00	0.11632E-03	0.32137E+02
4	---	0.99314E+03	0.00000E+00	-0.42691E+00	-0.38100E-01	-0.22410E+01	0.33578E+02
5	---	0.99245E+03	0.00000E+00	-0.40980E+00	-0.38100E-01	-0.26679E+01	0.34980E+02
6	---	0.99153E+03	0.00000E+00	-0.32873E+00	-0.31600E-01	-0.30777E+01	0.36167E+02
7	---	0.99087E+03	0.00000E+00	-0.13143E+00	-0.13000E-01	-0.34064E+01	0.37215E+02
8	---	0.99019E+03	0.00000E+00	-0.30843E+00	-0.31600E-01	-0.35379E+01	0.38547E+02
9	---	0.98974E+03	0.00000E+00	-0.35640E+00	-0.38100E-01	-0.38463E+01	0.40221E+02
10	---	0.98881E+03	0.00000E+00	-0.34294E+00	-0.38100E-01	-0.42027E+01	0.41799E+02
11	---	0.98748E+03	0.00000E+00	-0.33544E+00	-0.38100E-01	-0.45456E+01	0.42734E+02
12	---	0.98680E+03	0.00000E+00	-0.14827E+01	-0.17192E+00	-0.48811E+01	0.43626E+02
13	---	0.98604E+03	0.13457E-04	-0.17514E-05	-0.70488E+00	-0.63637E+01	0.34453E+05
14	---	0.98604E+03	0.58284E-04	-0.70794E-10	-0.50769E+01	-0.63637E+01	0.54537E+03
15	---	0.98604E+03	0.00000E+00			-0.63637E+01	

DP LOSS = HEAD LOSS BETWEEN BASE JUNCTION AND INLET JUNCTION NO. N

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 3

CHANNEL NO.3

UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1

JUN NO.	NODE NO.	JUNC. IN AND OUT PRESS. KG/CM2	NODE CENTER PRESS. KG/CM2	HIGHT FROM BASE PLANE M	HYDRO DIA. M	KFORM (-)	KFRIC (-)	JUNC. TEMP C	JUNC. FLOW RATE M/S	NODE FLOW RATE M/S
1	---	1.67060D+00	1.61344D+00	-1.72240D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.64892D-01	3.50000D+01	8.73000D-05	8.73000D-05
2	---	1.55629D+00		-5.72380D-01	4.50000D-01	4.50000D-01	3.50000D+01	6.89000D-02	6.89000D-02	2.64610D-02
3	---	1.51274D+00	1.53452D+00	-1.34230D-01	5.33400D-01	1.92240D-02	2.61522D-02	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
4	---	1.51265D+00	1.39163D+00	-1.34230D-01	1.66600D-04	1.92240D-02	1.98038D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
5	---	1.27074D+00	1.24746D+00	5.72000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	1.87488D+00	3.81100D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
6	---	1.22414D+00	1.20167D+00	5.72000D-02	0.00000D-01	0.00000D-01	1.78776D+00	3.81100D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
7	---	1.17924D+00	1.16142D+00	1.33400D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.71364D+00	4.06390D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
8	---	1.14362D+00	1.13625D+00	1.33400D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.65211D+00	4.34300D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
9	---	1.12888D+00	1.11218D+00	1.65000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.57874D+00	4.53720D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
10	---	1.09548D+00	1.07618D+00	1.65000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01	1.50875D+00	4.53720D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
11	---	1.09548D+00		1.78000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01		4.73590D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
12	---	1.09548D+00		1.78000D-01	0.00000D-01	0.00000D-01		4.73590D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
13	---	1.09548D+00		2.09600D-01	0.00000D-01	0.00000D-01		5.00570D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
14	---	1.09548D+00		2.09600D-01	0.00000D-01	0.00000D-01		5.00570D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
15	---	1.05690D+00		2.47700D-01	0.00000D-01	0.00000D-01		5.27840D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
16	---	1.05690D+00		2.47700D-01	0.00000D-01	0.00000D-01		5.27840D+01	1.38600D-01	1.38600D-01

11	---	1.01991D+00	1.03839D+00	2.85800D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.46123D+00	5.46290D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
11	---	1.01991D+00		2.85800D-01		0.00000D-01		5.46290D+01	1.38600D-01	
12	---	9.83948D-01	1.00192D+00	3.23900D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.42755D+00	5.60240D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
12	---	9.83948D-01		3.23900D-01		0.00000D-01		5.60240D+01	1.38600D-01	
13	---	8.27295D-01	9.05591D-01	4.95820D-01	1.66600D-04	3.30000D-02	1.39677D+00	5.75910D+01	8.94330D-02	1.38600D-01
13	---	8.27387D-01		4.95820D-01		3.30000D-02		5.75910D+01	8.94330D-02	
14	---	7.58000D-01	7.92693D-01	1.20070D+00	5.33400D-01	1.00000D+00	2.24813D-02	5.75910D+01	3.38110D-02	3.38100D-02
14	---	7.58011D-01		1.20070D+00		1.00000D+00		5.75910D+01	3.38110D-02	
15	---	2.58251D-01	5.08131D-01	2.20070D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.11662D-01	5.75910D+01	8.73000D-05	8.73000D-05

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 3

CHANNEL NO.3

UP FLOW CASE.		FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1					
JUN NO.	NODE NO.	RHO KG/M3	FORM LOSS M	FRIC. LOSS M	POTENTIAL HEAD M	DP LOSS M	REYNOLDS NUMBER
1	---	0.99400E+03	0.00000E+00	-0.22533E-10	-0.11500E+01	0.00000E+00	0.38813E+03
2	---	0.99400E+03	0.10891E-03	-0.76688E-06	-0.43815E+00	0.10891E-03	0.19190E+05
3	---	0.99400E+03	0.81730E-05	-0.22287E+01	-0.19143E+00	0.11632E-03	0.32317E+02
4	---	0.99294E+03	0.00000E+00	-0.41994E+00	-0.38100E-01	-0.22285E+01	0.34135E+02
5	---	0.99203E+03	0.00000E+00	-0.40042E+00	-0.38100E-01	-0.26485E+01	0.35799E+02
6	---	0.99086E+03	0.00000E+00	-0.31834E+00	-0.31600E-01	-0.30489E+01	0.37347E+02
7	---	0.99004E+03	0.00000E+00	-0.12626E+00	-0.13000E-01	-0.33672E+01	0.38738E+02
8	---	0.98963E+03	0.00000E+00	-0.29328E+00	-0.31600E-01	-0.34935E+01	0.40539E+02
9	---	0.98907E+03	0.00000E+00	-0.33793E+00	-0.38100E-01	-0.37868E+01	0.42419E+02
10	---	0.98740E+03	0.00000E+00	-0.32729E+00	-0.38100E-01	-0.41247E+01	0.43799E+02
11	---	0.98628E+03	0.00000E+00	-0.31974E+00	-0.38100E-01	-0.44520E+01	0.44832E+02
12	---	0.98549E+03	0.00000E+00	-0.14117E+01	-0.17192E+00	-0.47717E+01	0.45820E+02
13	---	0.98438E+03	0.13457E-04	-0.17314E-05	-0.70488E+00	-0.61834E+01	0.36208E+05
14	---	0.98438E+03	0.58284E-04	-0.67363E-10	-0.50769E+01	-0.61834E+01	0.57316E+03
15	---	0.98438E+03	0.00000E+00				

DP LOSS = HEAD LOSS BETWEEN BASE JUNCTION AND INLET JUNCTION NO. N

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 4

CHANNEL NO.4

UP FLOW CASE.		FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1								
JUN NO.	NODE NO.	JUNC. IN AND OUT PRESS. KG/CM2	NODE CENTER PRESS. KG/CM2	HIGHT FROM BASE PLANE M	HYDRO DIA. M	KFORM (-)	KFRIC (-)	JUNC. TEMP C	JUNC. FLOW RATE M/S	NODE FLOW RATE M/S
1	---	1.67060D+00		-1.72240D+00		0.00000D-01		3.50000D+01	8.73000D-05	
2	1		1.61344D+00	-5.72380D-01	3.27000D+00	4.50000D-01	1.64892D-01	3.50000D+01	6.89000D-02	8.73000D-05
2	---	1.55629D+00		-5.72380D-01		4.50000D-01		3.50000D+01	6.89000D-02	
2	2		1.53452D+00	-1.34230D-01	5.33400D-01	1.92240D-02	2.61522D-02	3.50000D+01	9.13170D-02	2.64610D-02
3	---	1.51274D+00		-1.34230D-01		1.92240D-02		3.50000D+01	9.13170D-02	
3	---	1.51265D+00		-1.34230D-01		1.92240D-02		3.50000D+01	9.13170D-02	
3	3		1.39099D+00	5.72000D-02	1.66600D-04	0.00000D-01	1.99512D+00	3.73220D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
4	---	1.26943D+00		5.72000D-02		0.00000D-01		3.73220D+01	1.38600D-01	
4	---	1.26943D+00	1.24582D+00	9.53000D-02	1.66600D-04	0.00000D-01	1.91632D+00	3.92120D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
5	---	1.22223D+00		9.53000D-02		0.00000D-01		3.92120D+01	1.38600D-01	
5	---	1.22223D+00		9.53000D-02		0.00000D-01		3.92120D+01	1.38600D-01	
5	5		1.19939D+00	1.33400D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.84347D+00	4.12990D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
6	---	1.17650D+00		1.33400D-01		0.00000D-01		4.12990D+01	1.38600D-01	
6	---	1.17650D+00		1.33400D-01		0.00000D-01		4.12990D+01	1.38600D-01	
6	6		1.15810D+00	1.65000D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.78807D+00	4.27500D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
7	---	1.13972D+00		1.65000D-01		0.00000D-01		4.27500D+01	1.38600D-01	
7	---	1.13972D+00		1.65000D-01		0.00000D-01		4.27500D+01	1.38600D-01	
7	7		1.13212D+00	1.78000D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.74209D+00	4.42350D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
8	---	1.12453D+00		1.78000D-01		0.00000D-01		4.42350D+01	1.38600D-01	
8	---	1.12453D+00		1.78000D-01		0.00000D-01		4.42350D+01	1.38600D-01	
8	8		1.10697D+00	2.09600D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.68728D+00	4.62500D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
9	---	1.08942D+00		2.09600D-01		0.00000D-01		4.62500D+01	1.38600D-01	
9	---	1.08942D+00		2.09600D-01		0.00000D-01		4.62500D+01	1.38600D-01	
9	9		1.06907D+00	2.47700D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.62355D+00	4.83050D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
10	---	1.04875D+00		2.47700D-01		0.00000D-01		4.83050D+01	1.38600D-01	
10	---	1.04875D+00		2.47700D-01		0.00000D-01		4.83050D+01	1.38600D-01	
10	10		1.02916D+00	2.85800D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.56479D+00	5.00020D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
11	---	1.00959D+00		2.85800D-01		0.00000D-01		5.00020D+01	1.38600D-01	
11	---	1.00959D+00		2.85800D-01		0.00000D-01		5.00020D+01	1.38600D-01	
11	11		9.90522D-01	3.23900D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.52494D+00	5.12810D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
12	---	9.71463D-01		3.23900D-01		0.00000D-01		5.12810D+01	1.38600D-01	
12	---	9.71463D-01		3.23900D-01		0.00000D-01		5.12810D+01	1.38600D-01	
12	12		8.87971D-01	4.95820D-01	1.66600D-04	3.30000D-02	1.49670D+00	5.27190D+01	8.94330D-02	1.38600D-01
13	---	8.04539D-01		4.95820D-01		3.30000D-02		5.27190D+01	8.94330D-02	
13	---	8.04631D-01		4.95820D-01		3.30000D-02		5.27190D+01	8.94330D-02	
13	13		7.69853D-01	1.20070D+00	5.33400D-01	1.00000D+00	2.28524D-02	5.27190D+01	3.38110D-02	3.38100D-02
14	---	7.35076D-01		1.20070D+00		1.00000D+00		5.27190D+01	3.38110D-02	
14	---	7.35087D-01		1.20070D+00		1.00000D+00		5.27190D+01	3.38110D-02	
14	14		4.84601D-01	2.20070D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.19854D-01	5.27190D+01	8.73000D-05	8.73000D-05
15	---	2.34115D-01		6.27760D+00		0.00000D-01		5.27190D+01	8.73000D-05	

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 4

CHANNEL NO.4

UP FLOW CASE.		FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1					
JUN NO.	NODE NO.	RHO	FORM	FRIC.	POTENTIAL	DP	REYNOLDS

NO.	NO.	KG/M3	LOSS M	LOSS M	HEAD M	LOSS M	NUMBER
1	---	0.99400E+03	0.00000E+00	-0.22533E-10	-0.11500E+01	0.00000E+00	0.38813E+03
2	---	0.99400E+03	0.10891E-03	-0.76688E-06	-0.43815E+00	0.10891E-03	0.19190E+05
3	---	0.99400E+03	0.81730E-05	-0.22453E+01	-0.19143E+00	0.11632E-03	0.32078E+02
4	---	0.99321E+03	0.00000E+00	-0.42922E+00	-0.38100E-01	-0.22451E+01	0.33397E+02
5	---	0.99257E+03	0.00000E+00	-0.41290E+00	-0.38100E-01	-0.26744E+01	0.34717E+02
6	---	0.99175E+03	0.00000E+00	-0.33217E+00	-0.31600E-01	-0.30873E+01	0.35793E+02
7	---	0.99114E+03	0.00000E+00	-0.13314E+00	-0.13000E-01	-0.34194E+01	0.36737E+02
8	---	0.99052E+03	0.00000E+00	-0.31344E+00	-0.31600E-01	-0.35526E+01	0.37931E+02
9	---	0.98967E+03	0.00000E+00	-0.36364E+00	-0.38100E-01	-0.38660E+01	0.39420E+02
10	---	0.98881E+03	0.00000E+00	-0.35048E+00	-0.38100E-01	-0.42296E+01	0.40900E+02
11	---	0.98810E+03	0.00000E+00	-0.34156E+00	-0.38100E-01	-0.45801E+01	0.41969E+02
12	---	0.98779E+03	0.00000E+00	-0.15127E+01	-0.17192E+00	-0.49217E+01	0.42761E+02
13	---	0.98677E+03	0.13457E-04	-0.17600E-05	-0.70488E+00	-0.64344E+01	0.33734E+05
14	---	0.98677E+03	0.58284E-04	-0.72305E-10	-0.50769E+01	-0.64343E+01	0.53398E+03
15	---	0.98677E+03	0.00000E+00				

DP LOSS = HEAD LOSS BETWEEN BASE JUNCTION AND INLET JUNCTION NO. N

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 5

CHANNEL NO.5 (CONTROL FUEL)

UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1

JUN NO.	NODE NO.	JUNC. IN AND OUT PRESS. KG/CM2	NODE CENTER PRESS. KG/CM2	HIGHT FROM BASE PLANE M	HYDRO DIA. M	KFORM (-)	KFRIC (-)	JUNC. TEMP C	JUNC. FLOW RATE M/S	NODE FLOW RATE M/S
1	---	1.67060D+00	1.61344D+00	-1.72240D+00	3.27000D+00	0.00000D-01	1.64892D-01	3.50000D+01	8.73000D-05	8.73000D-05
2	---	1.55629D+00	1.53452D+00	-5.72380D-01	5.33400D-01	4.50000D-01	2.61522D-02	3.50000D+01	6.89000D-02	2.64610D-02
3	---	1.51274D+00	1.39055D+00	-1.34230D-01	1.66600D-04	1.92240D-02	2.00545D+00	3.50000D+01	9.13170D-02	1.38600D-01
4	---	1.26852D+00	1.24468D+00	5.72000D-02	1.66600D-04	0.00000D-01	1.94534D+00	3.67700D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
5	---	1.22085D+00	1.19763D+00	9.53000D-02	1.66600D-04	0.00000D-01	1.88852D+00	3.82130D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
6	---	1.17442D+00	1.15564D+00	1.33400D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.84017D+00	3.98070D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
7	---	1.13685D+00	1.12909D+00	1.65000D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.80508D+00	4.09150D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
8	---	1.12134D+00	1.10317D+00	1.78000D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.76326D+00	4.20480D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
9	---	1.08502D+00	1.06376D+00	2.09600D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.71462D+00	4.35850D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
10	---	1.04250D+00	1.02182D+00	2.47700D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.66979D+00	4.51540D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
11	---	1.00115D+00	9.80950D-01	2.85800D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.63419D+00	4.64480D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
12	---	0.96758D-01	8.71991D-01	3.23900D-01	1.66600D-04	0.00000D-01	1.60164D+00	4.74270D+01	1.38600D-01	1.38600D-01
13	---	7.83264D-01	7.48510D-01	4.95820D-01	5.33400D-01	3.30000D-02	2.32118D-02	4.85270D+01	8.94330D-02	3.38100D-02
14	---	7.13664D-01	4.62694D-01	1.20070D+00	3.27000D+00	1.00000D+00	1.28158D-01	4.85270D+01	3.38110D-02	8.73000D-05
15	---	2.11713D-01	6.27760D+00	2.47700D-01		0.00000D-01		4.85270D+01	8.73000D-05	

PRESSURE DISTRIBUTION CASE NO. 5

CHANNEL NO.5 (CONTROL FUEL)

UP FLOW CASE. FRICTION COEFFICIENT MODE AT TURBULENT ZONE = 1

JUN NO.	NODE NO.	RHO KG/M3	FORM LOSS M	FRIC. LOSS M	POTENTIAL HEAD M	DP LOSS M	REYNOLDS NUMBER
1	---	0.99400E+03	0.00000E+00	-0.22533E-10	-0.11500E+01	0.00000E+00	0.38813E+03
2	---	0.99400E+03	0.10891E-03	-0.76688E-06	-0.43815E+00	0.10891E-03	0.19190E+05
3	---	0.99400E+03	0.81730E-05	-0.22569E+01	-0.19143E+00	0.11632E-03	0.31913E+02
4	---	0.99370E+03	0.00000E+00	-0.43572E+00	-0.38100E-01	-0.22568E+01	0.32899E+02
5	---	0.99340E+03	0.00000E+00	-0.42299E+00	-0.38100E-01	-0.26925E+01	0.33889E+02
6	---	0.99291E+03	0.00000E+00	-0.34185E+00	-0.31600E-01	-0.31155E+01	0.34779E+02
7	---	0.99264E+03	0.00000E+00	-0.13795E+00	-0.13000E-01	-0.34573E+01	0.35456E+02
8	---	0.99237E+03	0.00000E+00	-0.32756E+00	-0.31600E-01	-0.35953E+01	0.36296E+02
9	---	0.99215E+03	0.00000E+00	-0.38404E+00	-0.38100E-01	-0.39228E+01	0.37326E+02
10	---	0.99192E+03	0.00000E+00			-0.43069E+01	

```

11 | 10 | 0.98986E+03      -0.37400E+00 -0.38100E-01      0.38328E+02
    | --- | 0.98959E+03      0.00000E+00      -0.46809E+01
    | 11 | 0.98939E+03      -0.36603E+00 -0.38100E-01      0.39163E+02
12 | --- | 0.98918E+03      0.00000E+00      -0.50469E+01
    | 12 | 0.98895E+03      -0.16187E+01 -0.17192E+00      0.39959E+02
    | --- | 0.98872E+03      0.13457E-04      -0.66656E+01
13 | 13 | 0.98872E+03      -0.17877E-05 -0.70488E+00      0.31548E+05
    | --- | 0.98872E+03      0.58284E-04      -0.66656E+01
14 | 14 | 0.98872E+03      -0.77314E-10 -0.50769E+01      0.49939E+03
    | --- | 0.98872E+03      0.00000E+00      -0.66656E+01

      DP LOSS = HEAD LOSS      BETWEEN BASE JUNCTION AND INLET JUNCTION NO. N
NORMAL END.  I CAN T BELIEVE IT !

```