# บทที่ 4

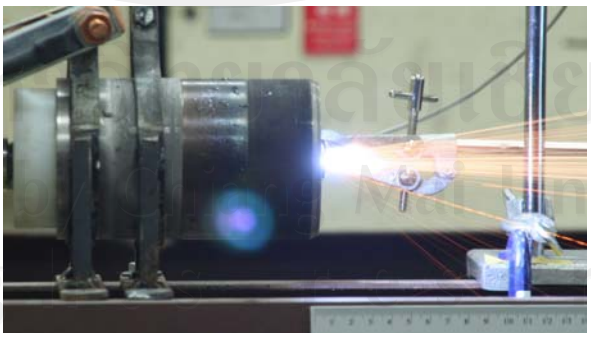
# ชุดทดสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และ วิธีดำเนินการทดสอบ

บทนี้แสดงถึงชุดทดสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และวิธีดำเนินการทดสอบหัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ได้ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวข้องและทำการออกแบบ โดยมีเนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

## 4.1 ชุดทดสอบ

### 4.1.1 หัวเผาพลาสมาต้นแบบ

หัวเผาพลาสมาความร้อนต้นแบบใช้หลักการสร้างพลาสมาจากการแตกตัวของอิเล็กตรอนภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูง (High Field Electrons Emission) พลาสมาส่วนแรกจะเกิดขึ้นบริเวณจุดอาร์คที่ผิวโลหะซึ่งใช้เป็นขั้วแคโทด (cathode) หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจากพลาสมาของโลหะดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้อิเล็กตรอนของ carrier gas รอบๆ ขั้วแคโทดแตกตัวเป็นพลาสมาอย่างต่อเนื่อง พลาสมาส่วนที่สองจะเกิดจากการแตกตัวของ carrier gas ภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูงระหว่างขั้วแคโทด (cathode) และ แอโนด (anode) ที่ประกอบอยู่ในหัวเผาโดยตรง ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการอัดอากาศซึ่งใช้เป็น carrier gas ผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดจากการอาร์คของไฟฟ้ากระแสตรง (DC arc) ขนาด 19 kW ผ่านช่องว่างระหว่างขั้วแคโทด (cathode) และ ขั้วแอโนด (anode) จนอากาศที่ใช้เป็น carrier gas นั้นแตกตัวเป็นพลาสมาความร้อน



รูป 4.1 หัวเผาพลาสมาต้นแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.1.2 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า**

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC to DC Converter Transformer) ที่ให้กระแสไฟฟ้าขาออก (Output Current ) 50 A และแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output Voltage) 380 V

รูป 4.2 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

**4.1.3 ห้องเผาจำลองขนาดห้องปฏิบัติการ**

ห้องเผาจำลองขนาดห้องปฏิบัติการจะทำการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและทำการติดตั้งเทอร์โมคอปเปิลชนิด เค (Thermocouple K- Type) เพื่อทำการวัดอุณหภูมิห้องเผาขณะทำการทดสอบการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างด้วยหัวเผาพลาสมาต้นแบบ

รูป 4.3 ห้องเผาจำลองที่ใช้ในการทดสอบการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

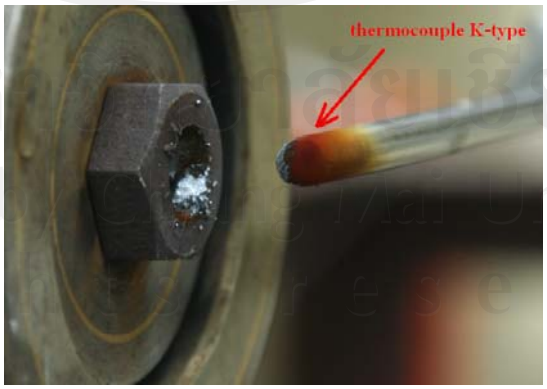
**4.1.4 ขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง**

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการเผาทำลายเป็นแผงวงจรคอมพิวเตอร์ที่ชำรุด นำมาตัดให้ได้ขนาดพอเหมาะบรรจุในห้องเผาจำลองเพื่อทำการทดสอบต่อไป

รูป 4.4 แผงวงจรคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง
ในการทดสอบประสิทธิภาพการเผาทำลายของหัวเผาพลาสมาต้นแบบ

**4.1.5 หัววัดอุณหภูมิ**

หัววัดอุณหภูมิเป็นเทอร์โมคอปเปิลชนิด เค (Thermocouple K-Type) ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 $^{o}$C ถึง +1,350 $^{o}$C




รูป 4.5 เทอร์โมคอปเปิลชนิด เค (Thermocouple K- Type)
ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.1.6 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ**

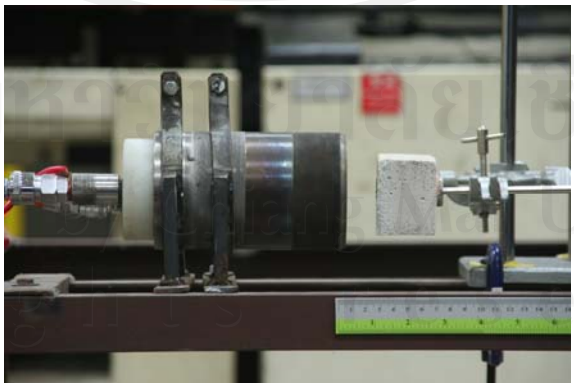
เครื่องอ่านอุณหภูมิระบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE 51 J/K สามารถอ่านอุณหภูมิได้ -200 $^{o}$C ถึง +1,370 $^{o}$C

รูป 4.6 เครื่องอ่านอุณหภูมิระบบดิจิตอล ยี่ห้อ FLUKE 51 J/K ที่ใช้ในการอ่านค่าอุณหภูมิ

**4.2 วิธีดำเนินการทดสอบ**

**4.2.1 การวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมา**

การวัดค่าอุณหภูมิเปลวพลาสมาจะทำการวัดโดยใช้เทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple) สัมผัสกับแกนกลางของเปลวพลาสมาโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 4.7

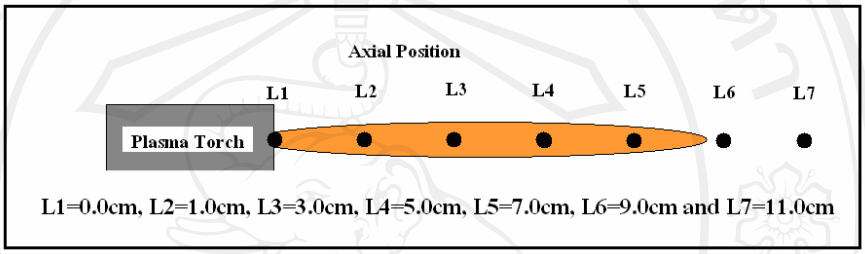


รูป 4.7 แสดงวิธีการวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาโดยใช้เทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.2.1.1 การวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาในแนวแกนกลาง (Axial Position)**

ทำการวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาโดยใช้เทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple) สัมผัสกับแนวแกนกลาง (Axial Position) ของเปลวพลาสมาโดยตรง ที่ระยะห่างจากปากหัวเผาเท่ากับ ระยะ L1=0.0 cm, L2 = 1.0 cm, L3 =3.0 cm, L4 = 5.0, L5 = 7.0 cm , L6 = 9.0 cm และ L7 = 11.0 cm ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.8

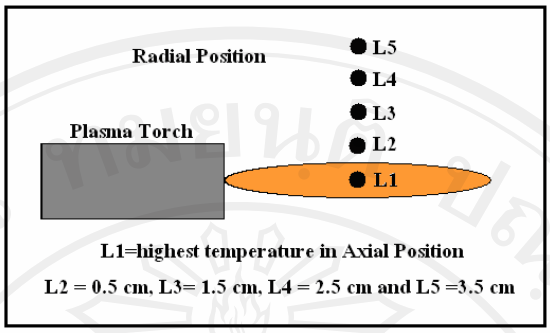



รูป 4.8 แสดงการวัดค่าอุณหภูมิในแนวแกนกลาง (Axial Position) ของเปลวพลาสมาที่ระยะต่างๆ

**4.2.1.2 การวัดอุณหภูมิเปลวพลาสมาในแนวรัศมี (Radial Position)**

ทำการวัดค่าอุณหภูมิเปลวพลาสมาจะทำการวัดโดยใช้เทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple) ในแนวรัศมี (Radial Position) ตั้งฉากกับแกนกลางเปลวพลาสมาเป็นระยะ L1=0 cm, L2=0.5 cm, L3=1.5 cm, L4=2.5 และ L5=3.5 cm ตามลำดับ โดยระยะจะวัดอ้างอิงจากจุดที่มีอุณหภูมิในแนวแกนสูงที่สุดดังแสดงในรูป 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




รูป 4.9 แสดงการวัดค่าอุณหภูมิในแนวรัศมี (Radial Position)
ตั้งฉากกับแกนกลางเปลวพลาสมาที่ระยะต่างๆ

**4.2.2 ทดสอบการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์**

ทดสอบการเผาทำลายขยะอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างน้ำหนัก 200 g ที่บรรจุภายในห้องเผาจำลองขนาดห้องปฏิบัติการ โดยทำการวัดอุณหภูมิห้องเผาขณะทำการเผาทำลายและเก็บตัวอย่างขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เผาทำลายในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเผาทำลายของหัวเผาพลาสมาต้นแบบ

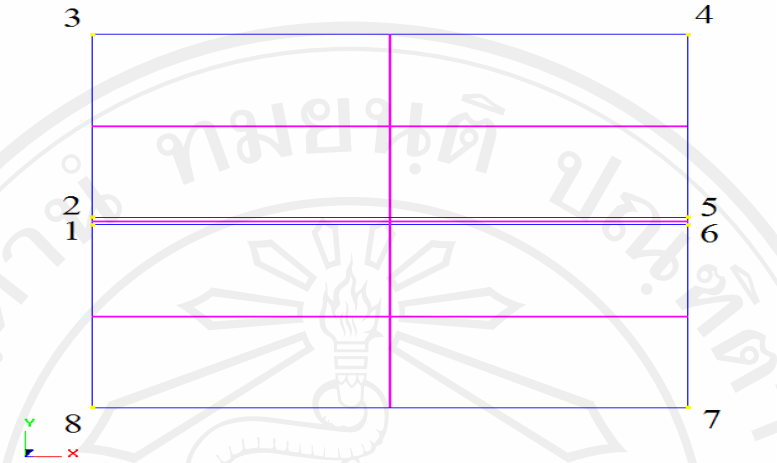
**4.3 การจำลองการถ่ายเทความร้อนหของเปลวพลาสมาด้วยโปรแกรม CFD**

แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของเปลวพลาสมาจะสมมุติให้เปลวพลาสมามีพฤติกรรมเป็นการไหลของก๊าซร้อน (Hot Jet Flow) ที่พุ่งออกจากหัวเผาพลาสมาต้นแบบใน 2 กรณี คือ ก๊าซร้อนพุ่งออกสู่บรรยากาศโดยตรง และ ก๊าซร้อนพุ่งออกสู่ห้องเผาไหม้จำลอง ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม CFD ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน โดยมีรายละเอียดการสร้างแบบจำลองเพื่อการประมวลผลดังนี้

**4.3.1 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของเปลวพลาสมาสู่บรรยากาศโดยตรง**

สร้างแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) เพื่อเป็นปริมาตรควบคุมที่จะทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนแสดงดังรูป 4.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




รูป 4.10 แบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y)
สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนของเปลวพลาสมาสู่บรรยากาศโดยตรง

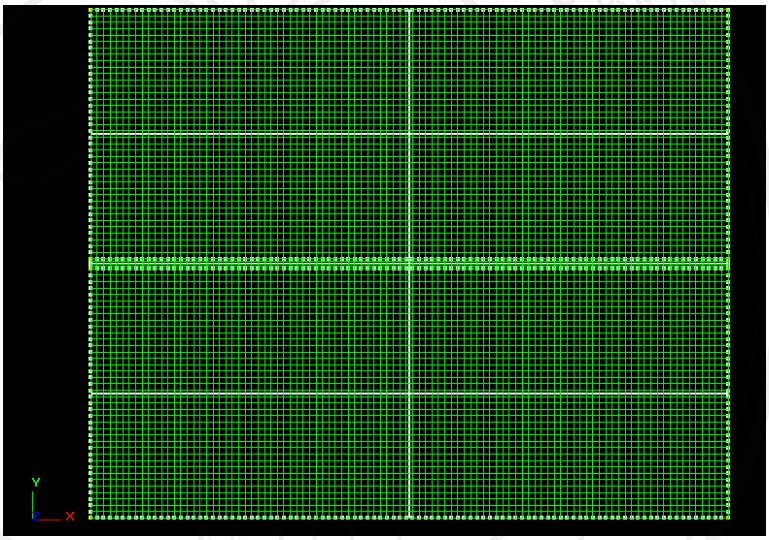
รายละเอียดการกำหนดจุดเพื่อสร้างแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) แสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 รายละเอียดการกำหนดจุดเพื่อสร้างแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศโดยตรง

| จุดที่ | พิกัด (x,y) | |
|---|---|---|
| | x | y |
| 1 | 0 | -0.4 |
| 2 | 0 | 0.4 |
| 3 | 0 | 20 |
| 4 | 45 | 20 |
| 5 | 45 | 0.4 |
| 6 | 45 | -0.4 |
| 7 | 45 | -20 |
| 8 | 0 | -20 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการวิจัยนี้จะสร้างกริด (Grid) แบบ Structured Grid ที่เหมาะสำหรับแบบจำลอง 2 มิติ ที่มีลักษณะสี่เหลี่ยม ซึ่งมีจำนวนเซลล์ทั้งหมด 8118 เซลล์ ลักษณะเซลล์แสดงดังรูป 4.11



รูป 4.11 การสร้าง Grid ในแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y)
สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศโดยตรง

การกำหนดตำแหน่งเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ของแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศโดยตรงในรูป 4.10 แสดงดังตาราง 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 การกำหนดตำแหน่งเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ของแบบจำลองสำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศโดยตรง

| เส้นเชื่อมจุด | ก๊าซร้อนพุ่งออกสู่บรรยากาศโดยตรง |
|---|---|
| 1,2 | inlet |
| 2,3 | outlet |
| 3,4 | outlet |
| 4,5 | outlet |
| 5,6 | outlet |
| 6,7 | outlet |
| 7,8 | outlet |
| 8,1 | outlet |

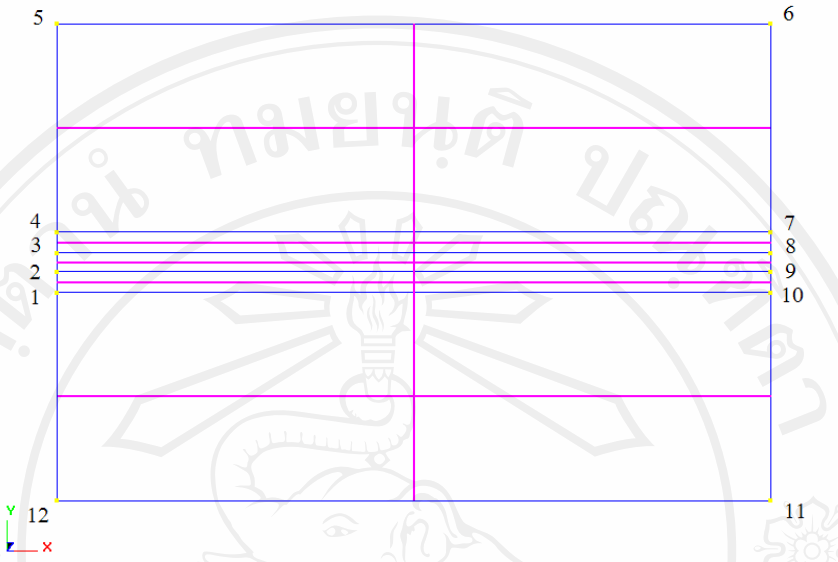
การกำหนดเงื่อนไขขอบที่ทางเข้า (Inlet) เป็นแบบกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ (Fix Mass) เท่ากับ 0.006 kg/s ซึ่งมีอุณหภูมิที่ทางเข้าเท่ากับอุณหภูมิของเปลวพลาสมาที่วัดได้จากทางออกของหัวฉีด (Nozzle) ในแต่ละค่ากระแสไฟฟ้า (A) ที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด และความดันที่ทางเข้าเท่ากับ 101000 $N/m^2$

การกำหนดเงื่อนไขขอบที่ทางออก (Outlet) ให้ทางออกมีอุณหภูมิเท่ากับ 30 $^{o}C$ และความดันเท่ากับ 101000 $N/m^2$

**4.3.2 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของเปลวพลาสมาสู่ห้องเผาจำลอง**

สร้างแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) เพื่อเป็นปริมาตรควบคุมที่จะทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน โดยความยาวของด้านต่างๆ ในแบบจำลองได้อ้างอิงจากขนาดของห้องเผาจำลองขนาด 20 cm x 30 cm ที่มีทางระบายไอเสียขนาด 2.54 cm ที่ใช้ในงานวิจัย รายละเอียดแสดงดังรูป 4.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




รูป 4.12 แบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y)
สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเผาจำลอง

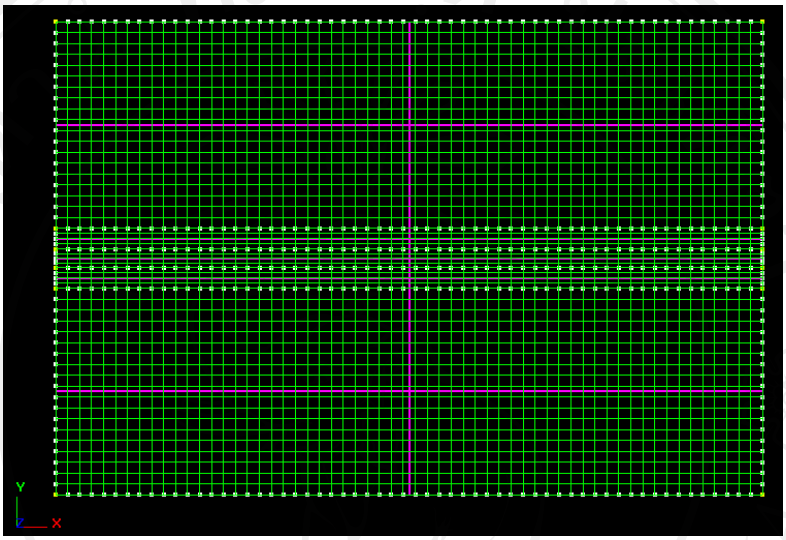
รายละเอียดการกำหนดจุดเพื่อสร้างแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเผาจำลอง แสดงดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 รายละเอียดการกำหนดจุดเพื่อสร้างแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเผาจำลอง

| จุดที่ | พิกัด (x,y) | | จุดที่ | พิกัด (x,y) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | x | y | | x | y |
| 1 | 0 | -1.27 | 7 | 30 | 1.27 |
| 2 | 0 | -0.4 | 8 | 30 | 0.4 |
| 3 | 0 | 0.4 | 9 | 30 | -0.4 |
| 4 | 0 | 1.27 | 10 | 30 | -1.27 |
| 5 | 0 | 10 | 11 | 30 | -10 |
| 6 | 30 | 10 | 12 | 0 | -10 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการวิจัยนี้จะสร้างกริด (Grid) แบบ Structured Grid ที่เหมาะสำหรับแบบจำลอง 2 มิติ ที่มีลักษณะสี่เหลี่ยม ซึ่งมีจำนวนเซลล์ทั้งหมด 2950 เซลล์ ลักษณะเซลล์แสดงดังรูป 4.13



รูป 4.13 การสร้าง Grid ในแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพิกัด (x,y) สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเผาจำลอง

การกำหนดตำแหน่งเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ของแบบจำลองสำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเผาจำลองในรูป 4.12 แสดงดังตาราง 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 การกำหนดตำแหน่งเงื่อนไขขอบของแบบจำลองสำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องเผาจำลอง

| เส้นเชื่อมจุด | กรณีก๊าซร้อนพุ่งออกสู่ห้องเผาไหม้จำลอง | เส้นเชื่อมจุด | กรณีก๊าซร้อนพุ่งออกสู่ห้องเผาไหม้จำลอง |
|---|---|---|---|
| 1,2 | wall | 7,8 | outlet |
| 2,3 | inlet | 8,9 | outlet |
| 3,4 | wall | 9,10 | outlet |
| 4,5 | wall | 10,11 | wall |
| 5,6 | wall | 11,12 | wall |
| 6,7 | wall | 12,1 | wall |

การกำหนดเงื่อนไขขอบที่ทางเข้า (Inlet) เป็นแบบกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ (Fix Mass) เท่ากับ 0.006 kg/s ซึ่งมีอุณหภูมิที่ทางเข้าเท่ากับ 1210 K ซึ่งเป็นอุณหภูมิของเปลวพลาสมาที่วัดได้จากทางออกของหัวฉีด (Nozzle) เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 50 A และความดันที่ทางเข้าเท่ากับ 101000 $N/m^2$

การกำหนดเงื่อนไขขอบที่ทางออก (Outlet) ให้ทางออกมีอุณหภูมิเท่ากับ 30 $^{o}C$ และความดันเท่ากับ 101000 $N/m^2$

การกำหนดเงื่อนไขขอบที่ผนัง (Wall) ให้ผนังมีคุณสมบัติเป็น Adiabatic

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved