

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการปรับปรุงท่อปรัยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235

เสนอต่อ

สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

จัดทำโดย

ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

เมษายน 2553

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235

เสนอต่อ

สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

จัดทำโดย

ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

รายชื่อคณะวิจัย

1) พล.อ.ต.ปรีชา วรรณภูมิ	ที่ปรึกษาโครงการ
2) รศ. ดร. ศานติ วิริยะวิทย์	ที่ปรึกษาโครงการ
3) ผศ.อวยชัย จีระชน	ที่ปรึกษาโครงการ
4) ดร.ณัฏพร อินทรเทพ	ประธานโครงการ
5) ดร.ชนินทร์ ตรงจิตภักดี	นักวิจัย
6) ดร.ไชยวัฒน์ กล้าพล	นักวิจัย
7) ดร.พงศ์ธร พรหมบุตร	นักวิจัย
8) ดร.พัชราภรณ์ บุญยวานิชกุล	นักวิจัย
9) ดร.มนต์ชัย สุระรัตน์ชัย	นักวิจัย
10) ผศ.ดร.เวชพงศ์ ชูติชูเดช	นักวิจัย
11) นายเบญจพล ปิยวนิชพงษ์	ผู้ช่วยวิจัย
12) นายชวน อวิโรธนานนท์	ผู้ช่วยวิจัย
13) นางสาวพรพรรณ คงพันธุ์จิตร	ผู้ช่วยวิจัย
14) นายปฎิญา กุมสันเทียะ	ผู้ช่วยวิจัย
15) นางสาวศันสนีย์ อุ่ณคณที	เลขานุการ

สารบัญ

บทที่ 1	ความเป็นมาของโครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235
1.1	ที่มาและความสำคัญของโครงการ
1.2	วัตถุประสงค์ของโครงการ
1.3	วิธีการดำเนินงาน
1.4	รายละเอียดของรายงานฉบับสมบูรณ์
บทที่ 2	การศึกษาและออกแบบท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235
2.1	การปฏิบัติการกิจฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235
2.2	รูปแบบของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดั้งเดิม
2.3	การศึกษาผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ต่อการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวง
2.4	การศึกษาโครงสร้างจุดจับยึดท่อโปรยสารฝนหลวงกับเครื่องบินซีเอ็น 235
2.5	การศึกษาการจัดสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงโดยใช้วัสดุประกอบ
บทที่ 3	การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงโดยใช้วัสดุประกอบ
3.1	การทดสอบชิ้นงาน
3.2	การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวง
บทที่ 4	การทดสอบตัวต้นแบบของท่อโปรยสารฝนหลวงดัดแปลง
4.1	แผนการทดสอบต้นแบบท่อโปรยสารดัดแปลงในบรรยากาศ
4.2	รูปแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในบรรยากาศ
4.3	ผลการทดสอบในบรรยากาศ
บทที่ 5	สัมมนาโครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235
5.1	รายงานการสัมมนา
5.2	สรุปผลของการสัมมนา
บทที่ 6	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ
6.1	สรุปการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวง
6.2	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงในอนาคต
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก.	

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1: (ซ้าย) แสดงท่อปล่อยสารฝนหลวงที่จะถูกนำไปติดใต้ท้องเต็มตัว (ดนตรี และ พจนนัท, 2551) และ (ขวา) ส่วนทางเข้าสารฝนหลวง.....	2
รูปที่ 1.2: ลักษณะของกลุ่มสารฝนหลวงที่ถูกปล่อยออกมาจากท่อโปรยสารรูปตัววาย	2
รูปที่ 2.1: แผนแบบสามมิติแสดงขนาดและรูปทรงของเครื่องบินซีเอ็น 235-220	6
รูปที่ 2.2: แสดงภาพเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ขณะทำการปล่อยสารฝนหลวง ก) เป็นภาพถ่ายจากทางด้านข้าง และ ข) เป็นภาพถ่ายจากทางด้านล่างของเครื่องบิน	7
รูปที่ 2.3: (ขวา) ภาพถ่ายจากด้านหลังของส่วนหางเครื่องบินซีเอ็น 235-220 หลังเสร็จภารกิจฝนหลวงประจำวัน คราบสีขาวคือรอยสะสมของสารฝนหลวงบนพื้นผิวเครื่องบิน	8
รูปที่ 2.4: (บน) ภาพสามมิติจำลองท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดั้งเดิมพร้อมลูกศรแสดงทิศทางการไหล และ (ล่าง) แผนแบบสามมิติของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดั้งเดิม (ดนตรี และพจนนัท 2552)	10
รูปที่ 2.5: แผนแบบเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ที่จำลองลงในระเบียบวิธีการคำนวณทางคอมพิวเตอร์	12
รูปที่ 2.6: แสดงเส้นทางการไหลของอากาศด้านล่างเครื่องบินซีเอ็น 235-220 เส้นการไหลมีสีต่างๆ กันตามลำดับตัวเลขบ่งชี้ ไม่เกี่ยวข้องกับความหมายเชิงกายภาพ	13
รูปที่ 2.7: แสดงบริเวณความดันเกจ (gauge pressure) ที่เกิดขึ้นโดยรอบเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ขณะที่ทำการบินที่ความเร็วปฏิบัติการ ที่มุมปะทะ 7 องศา (หน่วย: Pa)	13
รูปที่ 2.8: ภาพคอนทัวร์ขนาดความเร็วของอากาศที่ไหลภายในท่อโปรยสารฝนหลวงที่หน้าตัด A-A (ดูตำแหน่งตัด A-A ได้จากรูปเล็กมบนซ้ายของภาพ) หน่วยเป็น m/s^2	14
รูปที่ 2.9: ภาพแสดงเส้นการไหลของอากาศที่ออกมาจากท่อโปรยสารฝนหลวง	15
รูปที่ 2.10: ภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการกระจายของสารฝนหลวงในคอมพิวเตอร์โดยใช้คอนทัวร์อุณหภูมิกับการกระจายตัวของสารฝนหลวงจริงในบรรยากาศ	16
รูปที่ 2.11: รูปแบบของท่อยาวพาสอากาศที่มีการศึกษาเพื่อการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงในเบื้องต้น (ซ้าย) แบบจำลองสามมิติในคอมพิวเตอร์ และ (ขวา) ตำแหน่งปลายท่อที่จะใช้ติดตั้งท่อยาวพาสอากาศ	18
รูปที่ 2.12: การจำลองการไหลสองมิติด้วยคอนทัวร์การกระจายอุณหภูมิ (หน่วย: K) โดยเฉพาะส่วนปลายท่อ กิ่งเพื่อเปรียบเทียบผลการใช้ท่อยาวพาสอากาศ (ดนตรี และ พจนนัท, 2551)	19
รูปที่ 2.13: ภาพการจำลองการไหลแบบสองมิติเมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศออกจากปลายท่อกิ่ง แสดงการกระจายตัวของสารฝนหลวงด้วยคอนทัวร์อุณหภูมิ (หน่วย: K)	20
รูปที่ 2.14: ภาพด้านบนของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิมและดัดแปลงใหม่ในส่วนปลายของท่อกิ่ง	21
รูปที่ 2.15: (ต่อ) ภาพด้านบนของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิมและดัดแปลงใหม่ในส่วนปลายของท่อกิ่ง	22
รูปที่ 2.16: ภาพเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ที่ติดตั้งท่อโปรยสารฝนหลวงแบบต่างๆ ที่มองจากด้านข้าง (ซ้าย) และด้านล่าง (ขวา) การจำลองการไหลใช้คอนทัวร์อุณหภูมิที่มีค่าอุณหภูมิเดียวกัน กับเส้นการไหล	24

รูปที่ 2.17: ภาพเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ที่ติดตั้งท่อโปรยสารฝนหลวงแบบต่างๆ ที่มองจากด้านข้าง (ซ้าย) และด้านล่าง (ขวา) การจำลองการไหลใช้คอนทัวร์อุณหภูมิที่มีค่าอุณหภูมิต่างๆ กันตามสี.....	25
รูปที่ 2.18: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่สะสมบนผิวเครื่องบินกับพิกัดในแนวแกน x สีของจุดแสดงรูปแบบของท่อโปรยสารที่ทำให้เกิดการสะสมนั้น (หน่วย: K).....	26
รูปที่ 2.19: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่สะสมบนผิวเครื่องบินกับพิกัดในแนวแกน y สีของจุดแสดงรูปแบบของท่อโปรยสารที่ทำให้เกิดการสะสมนั้น (หน่วย: K).....	27
รูปที่ 2.20: ตำแหน่งของจุดยึดท่อโปรยสารฝนหลวง	28
รูปที่ 2.21: การจำลองการกระจายตัวของแรงกรณีที่ 1 (150 องศา)	29
รูปที่ 2.22: การจำลองการกระจายตัวของแรงกรณีที่ 2 (180 องศา)	29
รูปที่ 2.23 แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในจุดยึดต่างๆ	30
รูปที่ 2.24: ภาพส่วนต่างๆ ของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิมที่มีชิ้นประกอบบางส่วนเป็นอะลูมิเนียม	32
รูปที่ 2.25: ตัวอย่างองค์ประกอบของโครงสร้างแซนด์วิช	34
รูปที่ 2.26: ตัวอย่างแกนที่ใช้ในโครงสร้างแซนด์วิช	34
รูปที่ 2.27: เส้นใยสำเสร็จรูปสำหรับชั้นทดสอบแบบแซนด์วิช	34
รูปที่ 2.28: แสดงตัวอย่างการสร้างชั้นทดสอบสำหรับโครงสร้างแซนด์วิช	35
รูปที่ 3.1: สภาพไม่เสถียรของโฟมโพลียูรีเทน.....	37
รูปที่ 3.2: ชิ้นงานแผ่นคาร์บอนตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม	37
รูปที่ 3.3: การทดสอบแรงดึงชิ้นงานแผ่นคาร์บอน ก) ระหว่างทดสอบ ข) เมื่อเกิดความเสียหาย	38
รูปที่ 3.4: ชิ้นงานแผ่นคาร์บอนที่ผ่านการทดสอบจนกระทั่งเสียหาย.....	38
รูปที่ 3.5: การทดสอบชิ้นงานแผ่นแซนด์วิชสำหรับการรับแรงดัดและเฉือน	39
รูปที่ 3.6: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดั้งเดิมพร้อมรายละเอียด	41
รูปที่ 3.7: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดัดแปลงที่ 1 (ท่อตรง).....	42
รูปที่ 3.8: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดัดแปลงที่ 2 (ท่อโค้ง).....	42
รูปที่ 3.9: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดัดแปลงที่ 3 (ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม)	43
รูปที่ 3.10: การสร้างแม่พิมพ์ส่วนต่อของปลายท่อรูปตัววาย (Y-tube) ตามแบบปรับปรุง.....	43
รูปที่ 3.11 แสดงการเรียงโฟมพีวีซีที่บนเส้นใยคาร์บอนชั้นใน.....	44
รูปที่ 3.12: ส่วนหลักของท่อรูปตัววาย (Y-tube)	45
รูปที่ 3.13: ส่วนต่อของปลายท่อกิ่งแบบดั้งเดิม.....	45
รูปที่ 3.14 ส่วนต่อของปลายท่อกิ่งแบบดัดแปลงที่ 2 (ท่อโค้ง).....	45
รูปที่ 4.1: ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกฝังด้วยท่อวัดความดันสถิตที่ทำจากท่อทองแดง.....	48
รูปที่ 4.2: แสดงตำแหน่งติดตั้งท่อวัดความดันสถิตที่ส่วนกลางท่อโปรยสารและปลายท่อโปรยสาร	48
รูปที่ 4.3: ภาพถ่ายด้านข้างของท่อโปรยสารต้นแบบทั้งสามรูปแบบที่บินทดสอบพร้อมโปรยสารฝนหลวง	52
รูปที่ 4.4: ภาพถ่ายเบื้องหลังเครื่องบินซีเอ็น 235 พร้อมท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 3 (บน) และภาพถ่ายปลายท่อเดียวกัน (ล่าง) แสดงให้เห็นสารฝนหลวงสีขาวที่สะสมบริเวณด้านหลังท่อ	54
รูปที่ 4.5: ภาพถ่ายเบื้องหลังเครื่องบินซีเอ็น 235 พร้อมท่อโปรยสารต้นแบบ (บน)	55

รูปที่ 4.6: ภาพถ่ายเบื้องหลังเครื่องบินซีเอ็น 235 พร้อมท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 1 (บน).....	56
รูปที่ 5.1: ภาพการประชุมสัมมนา.....	61

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1: แสดงแสดงข้อมูลการบินปฏิบัติการของเครื่องบินซีเอ็น 235-220	12
ตารางที่ 2.2: ผลการทำงานของท่อโปรยสารทั้งสามรูปแบบ จากสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านของเครื่องบินซีเอ็น 235-220 และอัตราการใช้เชื้อเพลิง.....	28
ตารางที่ 2.3: ผลการคำนวณแรงสูงสุดที่รับได้ของจุดยึดแบบต่างๆ	31
ตารางที่ 4.1: แผนการทดสอบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบ.....	49
ตารางที่ 4.2: ค่าเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการจำลองการใช้เชื้อเพลิง	50
ตารางที่ 4.3: ค่าเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการจำลองการใช้เชื้อเพลิง	51

ความเป็นมาของโครงการปรับปรุง ท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

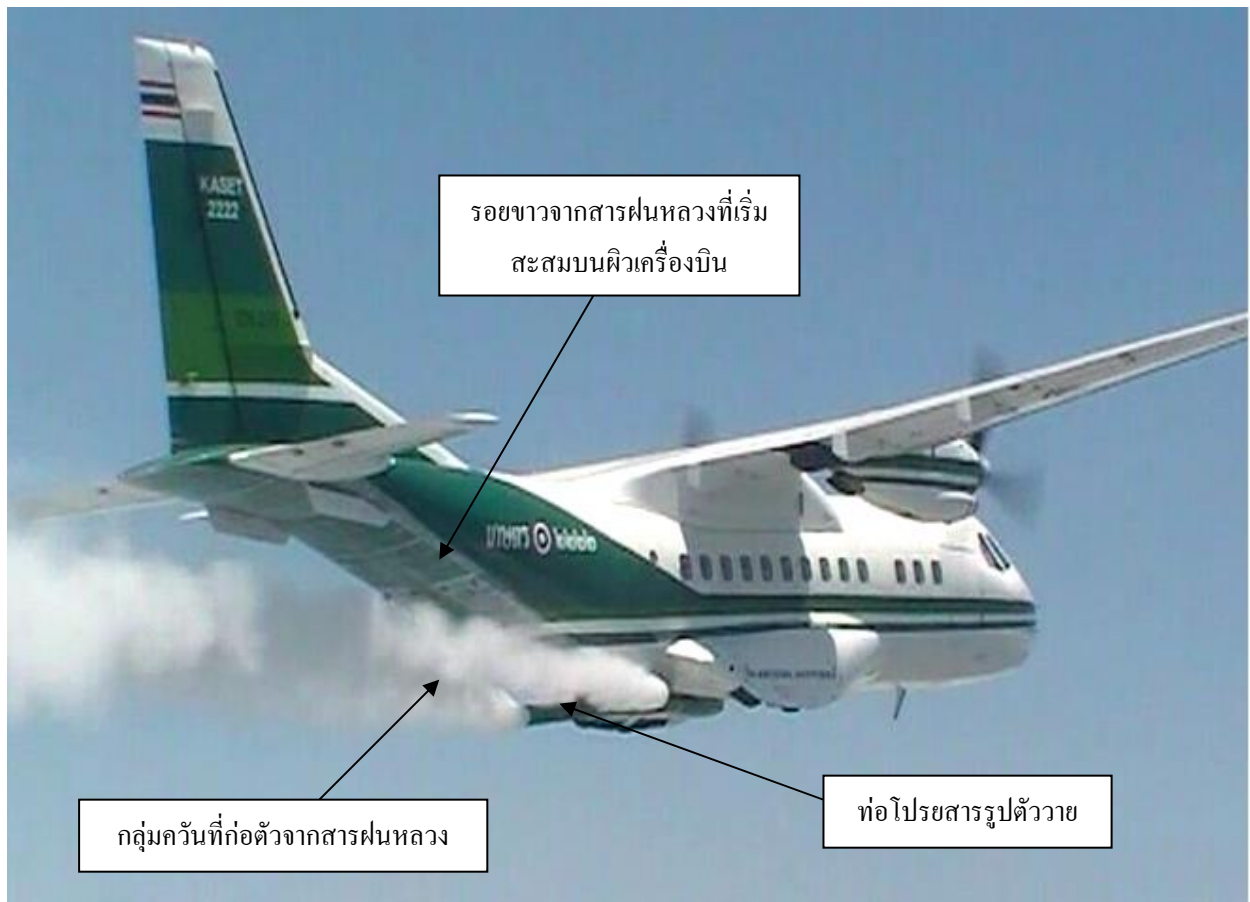
ภารกิจปฏิบัติการฝนหลวงของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตรโดยใช้เครื่องบินซีเอ็น 235 สำหรับการทำฝนหลวงในเมฆอุ่นจะทำการบินปฏิบัติการอยู่ที่ระดับ 7,000 – 8,000 ฟุต (สุรศักดิ์ และคณะ, 2543) เครื่องบินจะทำการบรรทุกสารฝนหลวงประมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อหนึ่งเที่ยวบิน และใช้วิธีโปรยสารฝนหลวงผ่านทางช่วงท้องใต้ลำตัว (Under fuselage belly) โดยอาศัยท่อโปรยสารฝนหลวงที่มีลักษณะเป็นรูปตัววาย (Y-duct) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ติดตั้งขนานกับท้องเครื่อง เพื่อส่งผ่านสารฝนหลวงออกสู่ชั้นบรรยากาศบริเวณด้านข้างลำตัวของเครื่อง สารฝนหลวงที่ส่งออกมาจะถูกอากาศพัดขึ้นไปสู่ด้านท้ายของเครื่องและเกิดเป็นแนวการฟุ้งกระจาย กินพื้นที่มากที่สุดบริเวณที่ใกล้กับส่วนหางของเครื่องบินตามรูปที่ 1.2 สารฝนหลวงบางส่วนจึงติดอยู่บนผิวเครื่องตามแนวฟุ้งกระจาย

ฝ่ายซ่อมบำรุงของส่วนการบิน สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร ประสบปัญหาอย่างมากในการบำรุงรักษาผิวโครงสร้างของเครื่องบินซีเอ็น 235 โดยเฉพาะบริเวณด้านล่างลำตัวใกล้ส่วนหาง ส่วนของหางระดับและพื้นบังคับทั้ง Elevator และ Rudder ที่อยู่ในแนวฟุ้งกระจายของสารฝนหลวง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกาะสะสมตัวของสารฝนหลวงบนพื้นผิวเครื่องบินที่การทำความสะอาดหลังเที่ยวบินทุกครั้งไม่สามารถกำจัดได้หมด ทำให้เกิดเป็นสนิมอลูมิเนียมตามตะเข็บรอยต่อแผ่น รวมทั้งรอบหัวสลักย้ำและรอบหัวสลักเกลียวในบริเวณดังกล่าวได้ง่าย ส่งผลให้เครื่องบินต้องเข้ารับการซ่อมบำรุงผิวของแผ่นบุโครงสร้างบ่อยครั้งกว่าที่จำเป็นตามมาตรฐาน นอกจากนี้ การที่เครื่องบินซีเอ็น 235 เป็นเครื่องบินแบบปรับความดันอากาศได้ (Pressurized aircraft) และมีช่องทางระบายอากาศอยู่ทางท้ายเครื่อง สารฝนหลวงที่ฟุ้งกระจายมาจึงเข้าไปสะสมอยู่ในทางระบายอากาศนั้น ทำให้ประสบปัญหาการไหลย้อนกลับของสารเข้าไปในห้องโดยสารเครื่องบิน เป็นอุปสรรคต่อการทำงานและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อทั้งนักบินและเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการด้วย

การศึกษาเพื่อหาแนวทางป้องกันการสะสมของสารฝนหลวงบนผิวโครงสร้างจะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบท่อโปรยสารฝนหลวงใหม่ตามหลักการทางอากาศพลศาสตร์ ทำให้การกระจายตัวของสารฝนหลวงในบริเวณที่ใกล้เคียงกับส่วนหางของเครื่องลดลงแต่ให้ผลของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างใกล้เคียงกับรูปแบบเดิม การเปลี่ยนแปลงจะช่วยยืดเวลาที่ต้องเข้ารับการซ่อมบำรุงผิวโครงสร้างออกไปได้ ลดงบประมาณทางด้านการบำรุงรักษาเครื่องให้กับส่วนการบินฯ ได้ทางหนึ่ง และช่วยลดการรบกวนและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับเจ้าหน้าที่และนักบินได้อีกด้วย



รูปที่ 1.1: (ซ้าย) แสดงท่อปล่อยสารฝนหลวงที่จะถูกนำไปติดตั้งที่ห้องเติมตัว (ดนตรี และ พจนนัท, 2551) และ (ขวา) ส่วนทางเข้าสารฝนหลวง



รูปที่ 1.2: ลักษณะของกลุ่มสารฝนหลวงที่ถูกปล่อยออกมาจากท่อโปรยสารรูปตัววาย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรคต่างๆ จากการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงจากการใช้ท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235 แบบเดิม
- 2) เพื่อศึกษา จัดแปลง และปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235 ให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการฝนหลวง

1.3 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือการศึกษาผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ของท่อโปรยสารฝนหลวงและเครื่องบินซีเอ็น 235 เพื่อให้ได้รูปแบบของท่อต้นแบบตัวใหม่ และการจัดสร้างตัวต้นแบบของท่อโปรยสารเพื่อการทดสอบบินในชั้นบรรยากาศ ในการนี้ผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ต่อการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงและสมรรถนะของเครื่องบินซีเอ็น 235 ใช้การศึกษาที่เน้นการจำลองการไหลโดยระเบียบวิธีการคำนวณในคอมพิวเตอร์ (Computational Fluid Dynamics) และมีการทดสอบในบรรยากาศเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากการจำลองการไหลในบางส่วน ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการเก็บข้อมูลในการปฏิบัติงานจริงด้วยภาพถ่าย วีดีโอ และการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานผ่านทางส่วนการบิน จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงขณะที่เครื่องบินอยู่ในสภาวะเสมือนการบินปฏิบัติการจริง นำปัจจัยที่เป็นผลกระทบสำคัญต่อการฟุ้งกระจายมาใช้ในการออกแบบรูปร่างของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบใหม่ โดยเลือกรูปแบบที่มีผลลดการกระจายตัวของสารฝนหลวงสู่บริเวณทางที่น่าสนใจ 3 รูปแบบ โดยที่ยังคงลักษณะด้านหน้าของท่อตัววายอยู่ คือ 1) แบบที่ส่วนปลายเป็นท่อตรงแต่มีหน้าตัดเปิดออกทางด้านข้างลำตัว 2) แบบที่ส่วนปลายเป็นท่อโค้งออกเปิดทางออกด้านข้างเช่นกัน และ 3) แบบที่ส่วนปลายเป็นท่อโค้งและมีปลอกหุ้มเพื่อลดการไหลแยกตัว โดยนำรูปแบบทั้งสามตัวไปสร้างเป็นตัวต้นแบบเพื่อทดสอบบินจริงในบรรยากาศ

ส่วนของการจัดสร้างตัวต้นแบบ คณะวิจัยได้จัดให้มีการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นท่อโปรยสาร และรูปแบบของตัวจับยึดกับลำตัวเครื่องบิน เมื่อได้รูปร่างของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบใหม่ที่เหมาะสมทางอากาศพลศาสตร์ แผนแบบจะถูกส่งไปให้ผู้สร้างเพื่อจัดสร้างตัวต้นแบบโดยเน้นการจัดสร้างในประเทศเพื่อประโยชน์ของการดำเนินการเพิ่มเติมในอนาคต ตัวต้นแบบที่ได้จะเป็นแบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าทางอากาศพลศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทำงานจริงของท่อโปรยสารฝนหลวงในชั้นบรรยากาศ การบินทดสอบจะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของท่อโปรยสารในขั้นสุดท้าย

ขั้นตอนในการดำเนินงานจึงเป็นไปดังนี้

- 1) ศึกษาเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลทางอากาศพลศาสตร์และทางโครงสร้างจากการปฏิบัติงานจริงของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบเดิม
- 2) ออกแบบและสร้างระบบทดสอบทางการไหลและทางโครงสร้าง เพื่อใช้ตรวจสอบท่อโปรยสารฝนหลวง
- 3) ออกแบบท่อโปรยสารฝนหลวง ด้วยวิธีต่างๆ โดยเริ่มจากการใช้ท่อบายพาสอากาศ (By-pass air duct) วิเคราะห์ความเป็นไปได้จากการจำลองการไหลและการจำลองความแข็งแรงของโครงสร้าง (โดยเน้นที่ตัวจับยึด) ในคอมพิวเตอร์
- 4) ทดสอบและวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการสร้างท่อโปรยสารในห้องปฏิบัติการ
- 5) ออกแบบและสร้างท่อต้นแบบที่จะนำไปใช้ในการทดสอบบนเครื่องบินปฏิบัติการ ซีเอ็น 235
- 6) ติดตั้งท่อต้นแบบและอุปกรณ์ทดสอบบนเครื่องบิน โดยความอนุเคราะห์เครื่องบินจากสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร
- 7) ทดสอบและวิเคราะห์ผลของการดัดแปลงท่อโปรยสารฝนหลวง จากการทดลองใช้ท่อต้นแบบในการบินจริงในบรรยากาศ
- 8) สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและปรับใช้ในการปฏิบัติงานจริงของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบปรับปรุงบนเครื่องบิน ซีเอ็น 235 ต่อไป
- 9) จัดสัมมนา และทำเอกสารประกอบอันได้แก่
 - 9.1) เอกสารรายงานเบื้องต้น (Preliminary report) จำนวน 10 เล่ม
 - 9.2) เอกสารร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (Draft final report) จำนวน 30 เล่ม
 - 9.3) เอกสารรายงานผลการศึกษา ฉบับสมบูรณ์ จำนวน 10 เล่ม พร้อมด้วยฉบับย่อสำหรับผู้บริหารเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จำนวนอย่างละ 10 เล่ม และบันทึกลงในแผ่น CD ด้วย

1.4 รายละเอียดของรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานฉบับสมบูรณ์นี้จะแสดงรายละเอียดของการวิเคราะห์ผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ต่อรูปแบบของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบต่างๆ การวิเคราะห์แรงที่จะเกิดขึ้นบนโครงสร้างตัวจับยึดกับเครื่องบิน และการจัดสร้างท่อโปรยสารตัวต้นแบบด้วยวัสดุที่มีในประเทศ โดยส่วนนี้ทั้งหมดจะอยู่ในรายงานบทที่ 2 จากนั้นในบทที่ 3 จะเป็นขั้นตอนของการสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงปรับปรุงเป็นตัวต้นแบบและในส่วนของบทที่ 4 จะเป็นในส่วนของการขั้นตอนการทดสอบและผลการทดสอบ ในบทที่ 5 เป็นรายงานการสัมมนากับผู้ปฏิบัติการ และสุดท้ายบทที่ 6 เป็นการสรุปการดำเนินงานและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

บทที่ 2

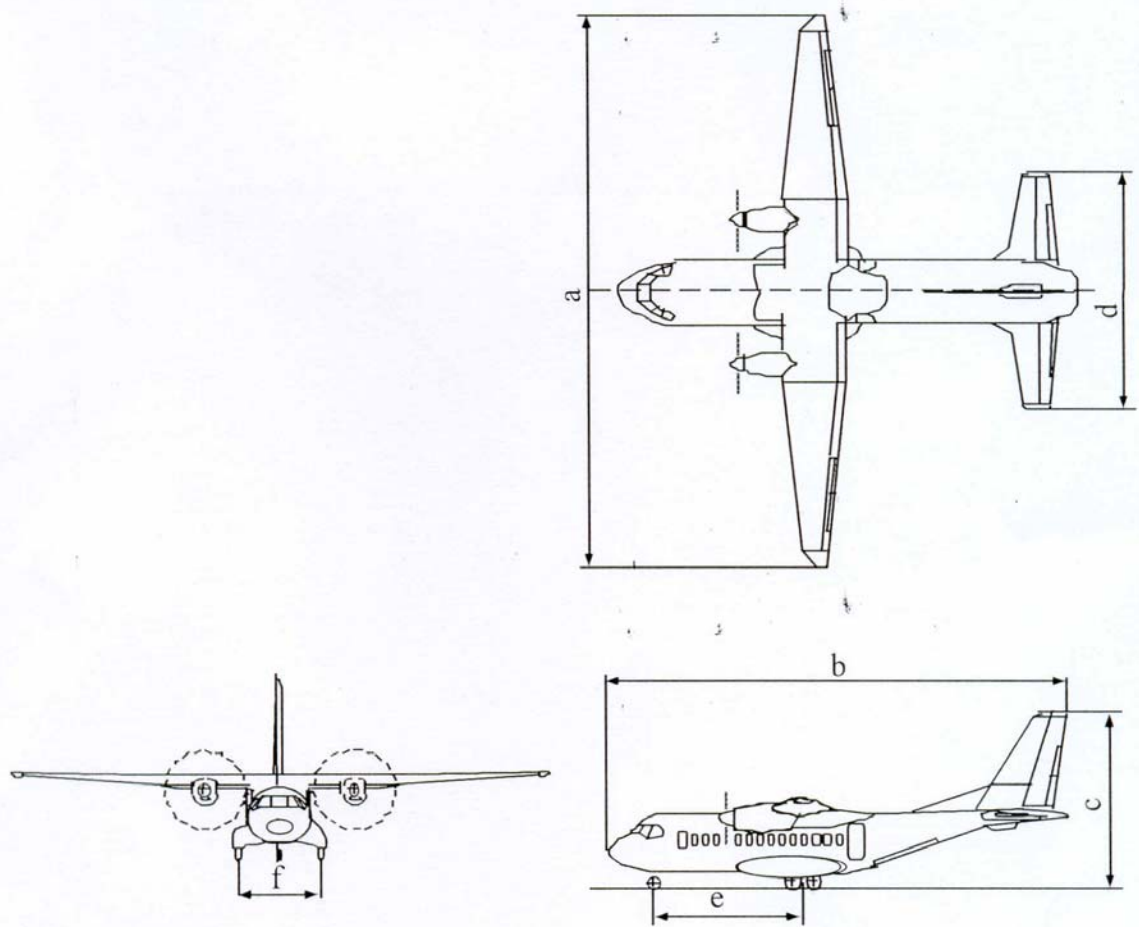
การศึกษาและออกแบบ

ท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235

2.1 การปฏิบัติการกิจฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235

เครื่องบินซีเอ็น 235 ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจฝนหลวงของส่วนการบินมีทั้งหมด 2 ลำ (เครื่องหมายเลข 2221 และ 2222, อ้างอิงจาก สุรศักดิ์ และคณะ, 2543) ใช้กำลังขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์เทอร์โบพร็อบแบบสองเครื่องและมีระบบปรับอากาศ จึงมีการนำไปใช้ในการบินธุรการ เช่นเดียวกับการบินสนับสนุนปฏิบัติการฝนหลวง เครื่องบินมีความจุและรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก จึงเหมาะสมกับการบรรทุกสารฝนหลวงเพื่อการทำฝนในเมฆอุ่น (น้ำหนักบินขึ้นสูงสุดคือ 15,800 กิโลกรัม และมีช่องเก็บสินค้าขนาด 5.3 ลูกบาศก์เมตร) รูปที่ 2.1 แสดงแผนแบบของเครื่องบินซีเอ็น 235-220 (Indonesian Aerospace, 2006)

ในการปฏิบัติงานทั่วไป เครื่องบินซีเอ็น 235 สามารถบินเดินทางได้ด้วยความเร็วประมาณ 230 นอต แต่ในการทำฝนหลวงนักบินจะบินด้วยความเร็วคงที่ประมาณ 130 นอต เท่านั้น โดยจะทำการบินที่ความเร็วคงที่จนกว่าสารฝนหลวงที่บรรทุกมาจะถูกปล่อยหมด ด้วยระบบปรับอากาศ เครื่องบินลำนี้สามารถบินไต่ระดับได้สูงถึง 25,000 ฟุต แต่เนื่องจากเครื่องจะถูกใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นเท่านั้น เครื่องจึงทำการบินที่ระดับ 8,500 ฟุต เพื่อปล่อยสารฝนหลวงประมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อหนึ่งเที่ยวบินดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากเครื่องบินติดตามขณะที่เครื่องบินซีเอ็น 235 ทำการปล่อยสารฝนหลวงจริงออกมาทางด้านล่างก่อนไปทางท้ายของเครื่อง จะสังเกตเห็นกลุ่มสารฝนหลวงเป็นลักษณะควันพุ่งสีขาว โดยปกติหนึ่งหน่วยบินจะทำการบินหลายเที่ยวบินต่อวันตามความต้องการของนักวิชาการฝนหลวง



a. Overall span	25.81 m
b. Overall length	21.40 m
c. Overall height	8.18 m
d. Horizontal stabilizer span	10.60 m
e. Wheel base	6.92 m
f. Wheel track	3.90 m

รูปที่ 2.1: แผนแบบสามมิติแสดงขนาดและรูปทรงของเครื่องบินซีเอ็น 235



ก) ภาพถ่ายจากด้านข้าง



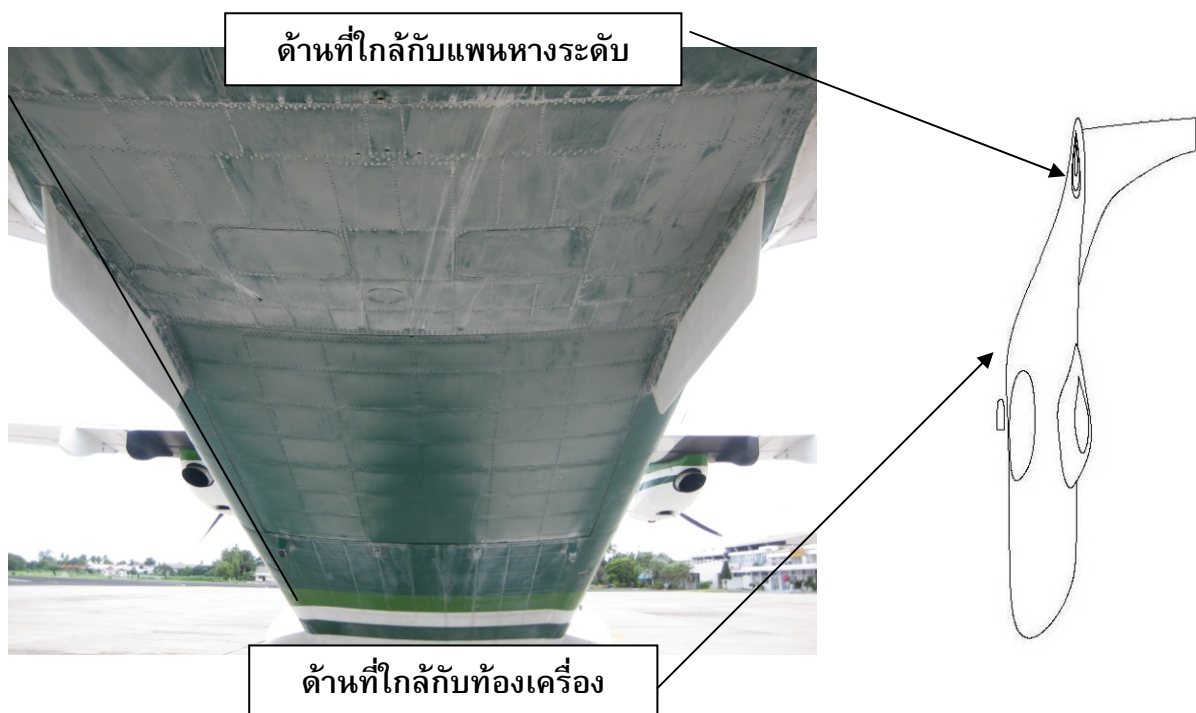
ข) ภาพถ่ายจากด้านล่าง

รูปที่ 2.2: แสดงภาพเครื่องบินซีเอ็น 235 ขณะทำการปล่อยสารฝนหลวง ก) เป็นภาพถ่ายจากทางด้านข้าง และ ข) เป็นภาพถ่ายจากทางด้านล่างของเครื่องบิน

จะเห็นว่าสมรรถนะโดยรวมของเครื่องบินซีเอ็น 235 มีส่วนช่วยในการปฏิบัติการกิจฝนหลวงให้ประสบความสำเร็จด้วยดีเสมอมา แต่การใช้เครื่องบินชนิดนี้กับงานฝนหลวงก่อให้เกิดปัญหาในการบำรุงรักษาเครื่อง สาเหตุมาจากการที่สารฝนหลวงที่ถึงแม้จะถูกปล่อยโดยท่อโปรยสารบริเวณท้องใต้ลำตัวเครื่องบิน (Under fuselage belly) จะยังคงมีบางส่วนที่จะถูกพัดกลับเข้าหาลำตัวเครื่องและไปสะสมในบริเวณพื้นผิวโครงสร้างด้านส่วนหางของเครื่องบิน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.2 ก) ที่เป็นควันฟุ้งสีขาวบางๆ เรียบไปกับท้องหางของเครื่อง สารฝนหลวงที่สะสมจะก่อให้เกิดสนิมอลูมิเนียมตามตะเข็บรอยต่อแผ่น รอบหัวสลักย้ำ และรอบหัวสลักเกลียวที่ส่วนท้ายเครื่อง แนวการสะสมของสารฝนหลวงจะเห็นได้จากรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงภาพท้องหางเครื่องบินซีเอ็น 235

หลังจากปฏิบัติการฝึกฝนหลวงประจำวัน ภาพถ่ายนี้แสดงให้เห็นแนวการสะสมตัวของสารฝนหลวงเป็นคราบสีขาวบนพื้นเครื่องบินสีเขียว โดยในช่วงต้นคราบจะกินพื้นที่ส่วนด้านข้างของท้องเครื่องเท่านั้น แต่จะกระจายตัวกินพื้นที่ทางทั้งหมดเมื่อเข้าใกล้ส่วนที่ติดกับแพนหางระดับ

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับสารฝนหลวงในลักษณะนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากรูปทรงของเครื่องบินที่ส่วนด้านล่างของหางมีมุมยกขึ้นประมาณ 47 องศา ใช้เป็นช่องทางเปิดเข้าออกของสัมภาระ กระแสอากาศที่ไหลด้านท้องล่างของเครื่องจะพยายามไหลขนานไปกับพื้นผิวลำตัวเพื่อให้เครื่องบินพวยพุ่งตัวอยู่ในอากาศได้ ทำให้เกิดการพัดพาสารฝนหลวงขึ้นสู่ด้านบนเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่ารูปร่างของตัวเครื่องบินเองเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งในการฟุ้งกระจายหรือการพัดพาสารฝนหลวงไปที่ส่วนหางด้านท้ายเครื่อง อีกหนึ่งปัจจัยที่เข้ามาควบคุมการเคลื่อนที่ของสารก็คือลักษณะของอากาศที่ออกมาซึ่งเกิดจากรูปแบบของท่อโปรยสารฝนหลวง



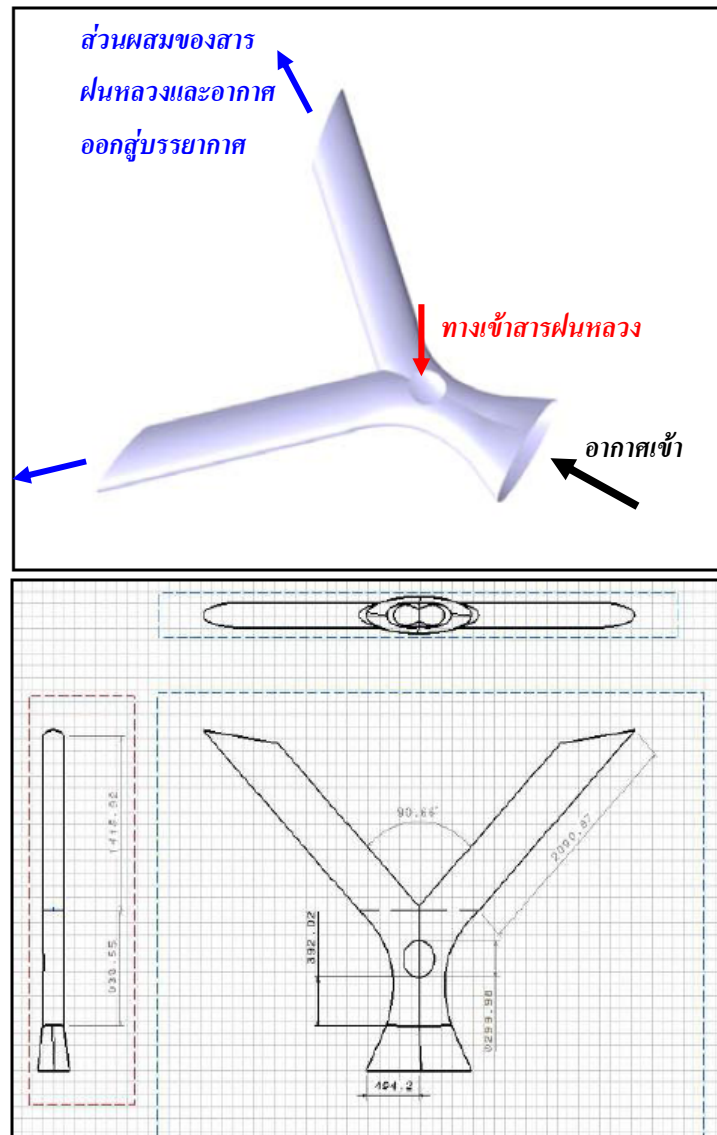
รูปที่ 2.3: (ขวา) ภาพถ่ายจากด้านหลังของส่วนหางเครื่องบินซีเอ็น 235-220 หลังเสร็จภารกิจฝนหลวงประจำวัน คราบสีขาวคือรอยสะสมของสารฝนหลวงบนพื้นผิวเครื่องบิน (ซ้าย) แสดงตำแหน่งเปรียบเทียบกับแผนแบบเต็มลำของเครื่องบิน

2.2 รูปแบบของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดั้งเดิม

การโปรยสารฝนหลวงออกจากเครื่องบินซีเอ็น 235 ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจในปัจจุบันจะทำการปล่อยสารออกมาจากช่วงท้องใต้ลำตัวเครื่อง ผ่านช่องเจาะที่อยู่ระหว่างเฟรม 24 (STA11232) และเฟรม 25 (STA11740) ของเครื่อง (CN235 maintenance manual, 1998) ไปตามท่อแนวตั้งที่มีความสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อส่งต่อไปยังส่วนของท่อโปรยสารฝนหลวงที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4 อันเป็นท่อนำอากาศรูปตัววาย (Y-duct) ที่ติดตั้งขนานไปกับท้องใต้ลำตัวเครื่องบิน ตัวท่อเปิดรับอากาศเข้าด้วยทางเข้าเดี่ยวหน้าตัดรูปวงรีขนาดเส้นแกนเอก (Major axis) ยาว 1.10 เมตร เส้นแกนโท (Minor axis) ยาว 0.30 เมตร ใช้อากาศที่เร่งความเร็วผ่านส่วนคอดของท่อ (อัตราส่วนความเร็วเร่งประมาณ 1.4 เท่าของความเร็วเครื่องบิน) พัดสารฝนหลวงที่ถูกส่งลงมาจากด้านบนตรงช่วงคอดคอดให้ไหลเข้าท่อกิ่งของตัววายที่แยกออกด้านข้างเป็นมุมประมาณ 100 องศา ท่อกิ่งมีหน้าตัดเป็นรูปวงรีเช่นกันขนาดเส้นแกนเอกยาว 0.48 เมตร และเส้นแกนรองยาว 0.24 เมตร สารฝนหลวงจะถูกส่งออกสู่บรรยากาศที่บริเวณด้านหลังของฐานเก็บล้อใกล้กับส่วนที่หักยกขึ้นไปเป็นทางเครื่องบิน ปลายทางออกท่อกิ่งมีหน้าตัดที่เกือบจะตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสอากาศอิสระ ความเร็วที่ทางออกจะใกล้เคียงกับความเร็วของเครื่องบิน ต่ำกว่าเล็กน้อย

ตัวท่อโปรยสารสร้างขึ้นด้วยวัสดุประกอบ (Composite material) ความหนาประมาณ 4-6 มิลลิเมตร มีน้ำหนักโดยรวมประมาณ 50 กิโลกรัม นอกจากยึดติดกับท่อแนวตั้งเพื่อปล่อยสารฝนหลวง ท่อยังถูกยึดกับโครงสร้างของเครื่องบินอีก 8 ตำแหน่ง ทำจากอลูมิเนียมซึ่งเป็นตัวยึดกับสลักเข้ากับโครงสร้างของเครื่องบิน ปากทางเข้าอากาศมีแกนเสริมความแข็งแรงสองแกน ออกแบบให้เป็นรูปรีเยวคล้ายแพนอากาศเพื่อลดแรงต้าน ในท่อบางหลังช่องปล่อยสารฝนหลวงจากด้านบนไปจนถึงท่อกิ่งถูกบุด้วยสแตนเลสเพื่อป้องกันการกระแทกของสารฝนหลวงต่อวัสดุประกอบ ส่วนบุนี้ทำให้ท่อโปรยสารมีน้ำหนักมากเกินความจำเป็น ส่วนปลายของท่อกิ่งที่มีความยาว 1.27 เมตรจากปลายท่อสามารถถอดแยกออกจากตัวท่อหลักได้

เมื่อสารฝนหลวงถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ อากาศที่ไหลออกตรงปลายท่อบางมีแนวโน้มที่จะออกมาด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วรอบนอก แรงดันในกระแสอากาศภายนอกท่อจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของสาร ทำให้ตำแหน่งที่สารถูกปล่อยออกเมื่อเทียบกับแรงดันอากาศรอบเครื่องบินจึงมีความสำคัญต่อการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวง การปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงจึงจำเป็นจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย



รูปที่ 2.4: (บน) ภาพสามมิติจำลองท่อโปรยสารแผ่นทองแบบดั้งเดิมพร้อมลูกศรแสดงทิศทางการไหล และ
(ล่าง) แผนแบบสามมิติของท่อโปรยสารแผ่นทองแบบดั้งเดิม (ดนตรี และพจนนัท 2552)

2.3 การศึกษาผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ต่อการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวง

2.3.1 การศึกษาอากาศพลศาสตร์รอบเครื่องบินและท่อโปรยสารฝนหลวงรูปแบบดั้งเดิม

ในขั้นต้น การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ของเครื่องบินซีเอ็น 235 และท่อโปรยสารฝนหลวงใช้ผลที่ได้จากการจำลองการไหลโดยระเบียบวิธีการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ (หรือที่เรียกกันว่า Computational Fluid Dynamics, CFD) การศึกษาด้วยวิธีนี้ช่วยให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณรอบลำตัวเครื่องและแนวโน้มการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงที่ถูกปล่อยออกมาได้ชัดเจนเนื่องจากผลการคำนวณสามารถทำให้มีความละเอียดในเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ได้ดีเมื่อเทียบกับขนาดของเครื่องบิน

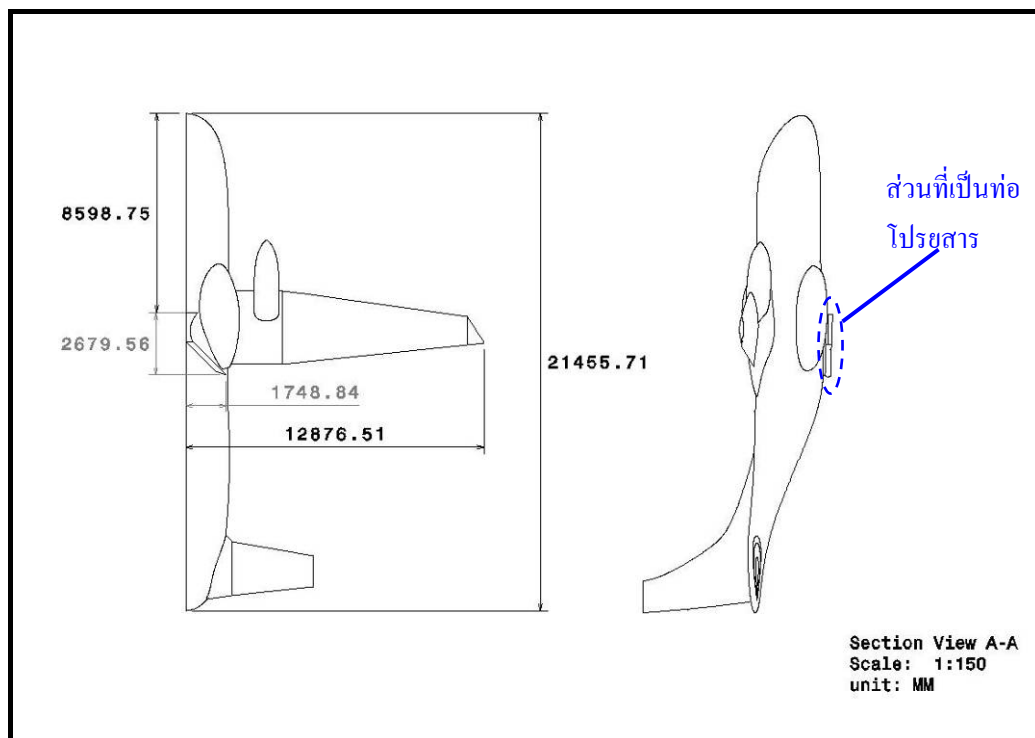
การจำลองการไหลกระทำโดยใช้โปรแกรม Fluent ซึ่งเป็นโปรแกรม CFD ที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยประยุกต์และอุตสาหกรรม ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการจำลองการไหลได้มาจากการเก็บข้อมูลในระหว่างการปฏิบัติงานจริงซึ่งรวบรวมโดยฝ่ายปฏิบัติการของส่วนการบิน ตั้งแต่วันที่ 24-30 เมษายน 2552 มีค่าสรุปดังตารางที่ 2.1 วิธีการจำลองการไหลด้วย CFD จะมีลักษณะของการจัดตั้งข้อกำหนดใกล้เคียงกับการทดสอบแบบจำลองของเครื่องบินขนาดเท่าตัวจริงในอุโมงค์ลมตรงที่รูปแบบการจำลองในคอมพิวเตอร์จะเป็นการสมมุติให้เครื่องบินอยู่กับที่แล้วมีกระแสอากาศไหลผ่านเท่าความเร็วบินจริง เพื่อให้สภาวะการไหลที่จำลองในคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกับลักษณะการฟุ้งกระจายที่สังเกตจากภาพถ่าย วีดีโอ และข้อมูลทางทฤษฎี

แบบจำลองเครื่องบินดังแสดงในรูปที่ 2.5 ถูกกำหนดให้ทำการบินที่มุมปะทะประมาณ 7 องศา โดยไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนพื้นบังคับต่างๆ และการทำงานของใบพัดเครื่องยนต์ เนื่องจากได้ทำการศึกษาในเบื้องต้นแล้วว่ามีความสำคัญต่อการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงน้อย แบบจำลองเป็นแบบครึ่งตัวตามแนวยาวเนื่องจากการไหลของอากาศสามารถสมมุติให้เป็นแบบสมมาตรซ้ายขวาได้ในการคำนวณ ช่วยให้ประหยัดเวลาในการคำนวณได้ ขอบเขตพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณก็จะมีขนาดกว้างและยาวพอที่จะสรุปให้การไหลของอากาศรอบเครื่องบินเสมือนการไหลในบรรยากาศได้ (Freestream condition)

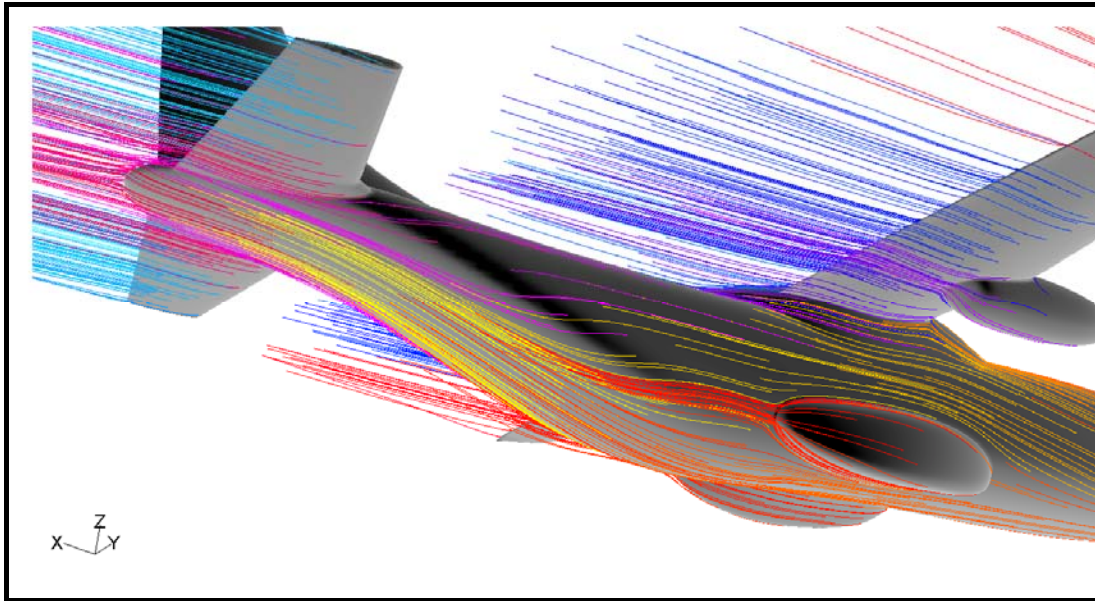
ที่นำหน้าบินขึ้นตามข้อมูลที่ได้รับและมุมปะทะ 7 องศา เครื่องบินซีเอ็น 235 สร้างสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านเท่ากับ 1.258 และ 0.340 ตามลำดับ (เทียบกับพื้นที่ปีก 60 ตารางเมตร) การไหลของอากาศรอบลำตัวมีลักษณะดังที่เห็นในรูปที่ 2.6 คือมีการไหลด้านล่างลำตัว (ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการติดตั้งท่อโปรยสารฝนหลวง) ราบเรียบไปกับส่วนของลำตัวเครื่อง ดูได้จากเส้นการไหล (Path lines) ที่ไล่จากส่วนท้องของเครื่องบินไปตามส่วนหางจนไปถึงส่วนล่างของแพนหางระดับ อากาศบางส่วนจากด้านข้างลำตัวก็จะถูกดูดเข้าหาด้านล่างของส่วนหางที่หักยกขึ้นรวมทั้งมีกระแสอากาศบางส่วนที่เกิดการม้วนตัวรอบๆ ข้างลำตัวทำให้เกิดเป็นกระแสอากาศปั่นป่วนอีกด้วย การที่กระแสอากาศมีลักษณะเป็นดังนี้สืบเนื่องมาจากบริเวณนี้เป็นส่วนที่มีความดันอากาศต่ำกว่ารอบนอก สังเกตได้จากรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นภาพตัดตามยาวของเครื่องบินที่ระนาบสมมาตร คอนทัวร์สีที่แสดงคือความดันเกจที่เทียบกับความดันบรรยากาศ บริเวณที่เป็นช่องทางออกของท่อโปรยสารรูปตัววายมีค่าความดันเป็นติดลบ

ตารางที่ 2.1: แสดงข้อมูลการบินปฏิบัติการของเครื่องบินซีเอ็น 235-220

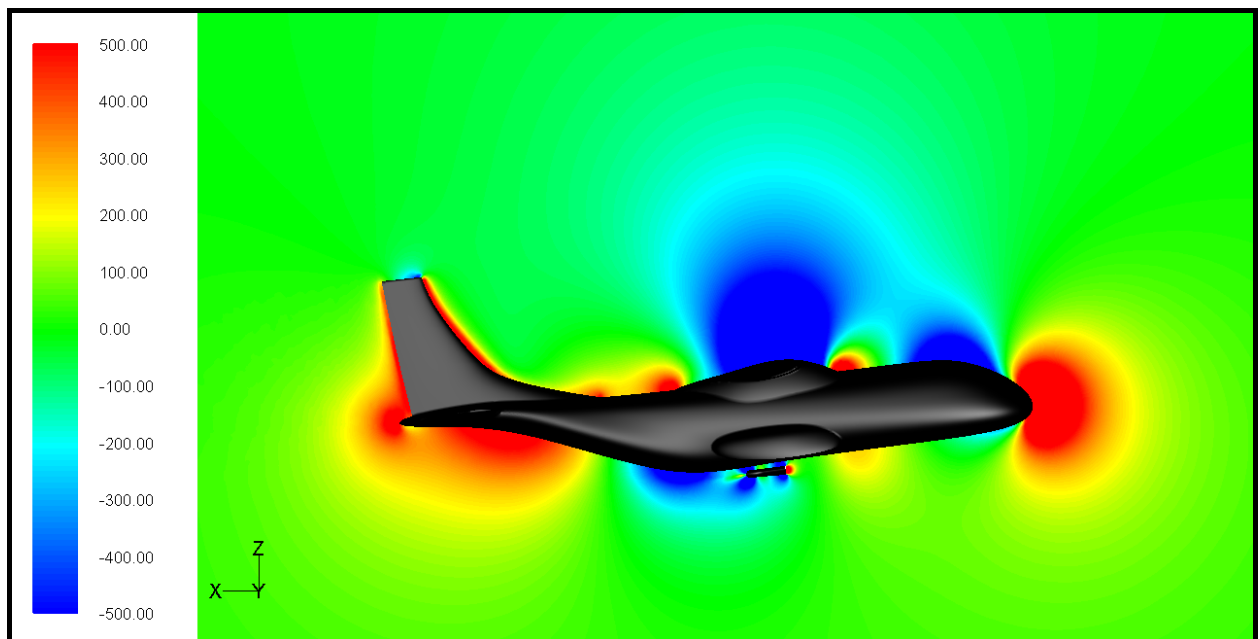
1. Take-off weight	14,761 kgs
2. Flight altitude	2,591 m (8,500 ft)
3. Indicated airspeed	66.88 m/s (130 knots)
4. Air density (from the standard atmosphere)	0.947 kg/m^2
5. True airspeed	75.48 m/s
6. Flap condition	No flap



รูปที่ 2.5: แผนแบบเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ที่จำลองลงในระเบียบวิธีการคำนวณทางคอมพิวเตอร์



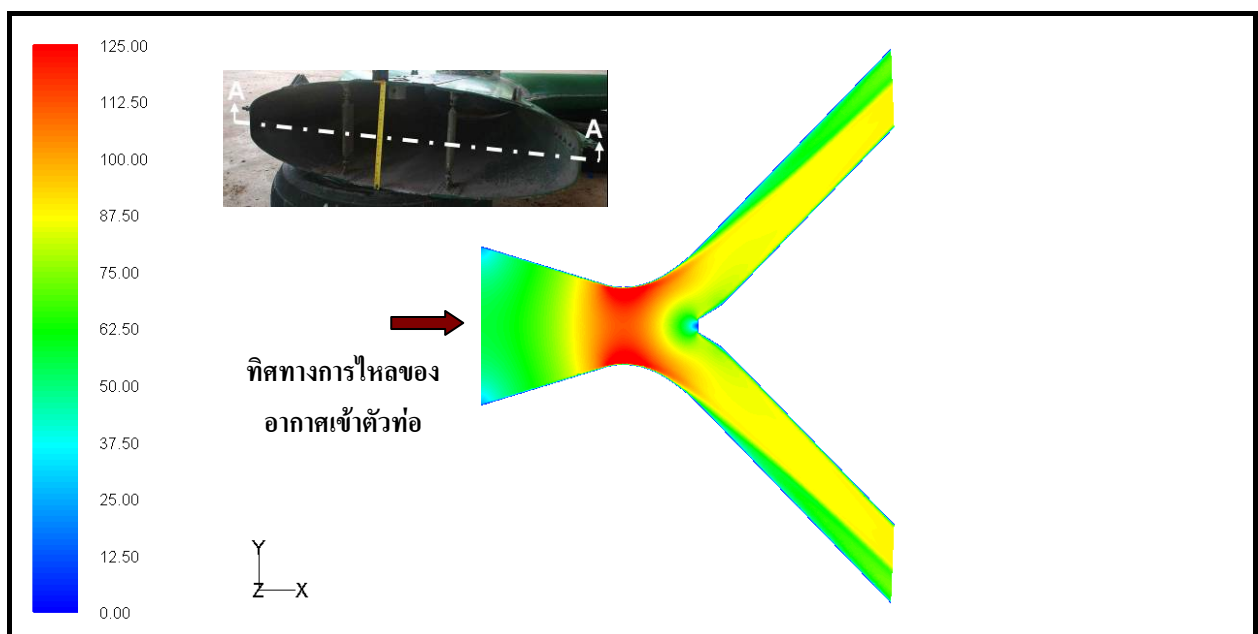
รูปที่ 2.6: แสดงเส้นทางการไหลของอากาศด้านล่างเครื่องบินซีเอ็น 235-220 เส้นการไหลมีสีต่างๆ กันตามจุดเริ่มต้นของเส้น ไม่เกี่ยวข้องกับความหมายเชิงกายภาพ (ท่อโปรยสารฝนหลวงไม่ได้ถูกแสดงไว้เพื่อความชัดเจนของภาพ)



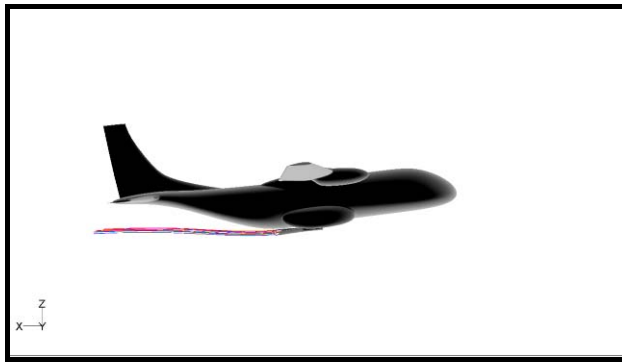
รูปที่ 2.7: แสดงบริเวณความดันเกจ (gauge pressure) ที่เกิดขึ้นโดยรอบเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ขณะที่ทำการบินที่ความเร็วปฏิบัติการ ที่มุมปะทะ 7 องศา (หน่วย: Pa)

เมื่อตรวจสอบการไหลของอากาศภายในท่อ (รูปที่ 2.8) จากคอนทัวร์ขนาดความเร็วของกระแสน้ำในท่อที่หน้าตัด A-A (ดูหน้าตัด A-A จากรูปมุมมองซ้าย) จะเห็นว่าอากาศที่ผ่านเข้าท่อนำอากาศมีการเร่งความเร็วจนมีค่าสูงสุดที่บริเวณที่พื้นที่เล็กสุด ตามรูปแบบดั้งเดิมของท่อส่วนนี้จะตรงกับปากทางเข้าสารเคมีที่มีลิ้นกันแนวเฉียงทำให้ปากทางเข้าถูกปิดไปบางส่วน (ดูรูปที่ 1.1) ส่งผลให้ในความเป็นจริงสารปนหลวจะถูกส่งเข้าสู่ท่อโปรยสารห่างจากบริเวณที่กระแสน้ำในท่อมีความเร็วสูงที่สุดไปเล็กน้อย เมื่ออากาศไหลเข้าใกล้ส่วนท่อกิ่ง อากาศก็จะลดความเร็วลงก่อนจะเร่งกลับขึ้นมามากขึ้นเมื่อเข้าไปในส่วนของท่อกิ่ง ความเร็วในท่อกิ่งจะค่อนข้างคงที่แต่มีความเร็วออกสู่บรรยากาศสูงกว่าความเร็วเครื่องบินเล็กน้อย (ปริมาณอากาศที่ไหลออกมีอัตราการไหลประมาณ 5.49 kg/s ต่อหนึ่งกิ่ง) โดยรวมรูปแบบของท่อโปรยสารดั้งเดิมสามารถทำงานได้ตามคาดหมาย จุดที่ทำให้เกิดการไหลที่ติดขัด (ความเร็วต่ำ) ไม่ได้กินบริเวณกว้างมากนัก

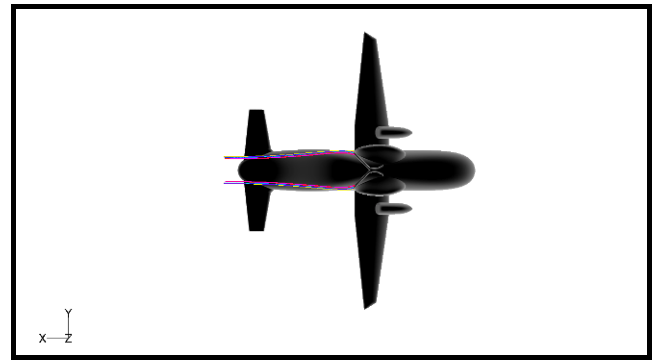
ทิศทางการไหลของสารปนหลวโดยรวมสามารถดูได้จากเส้นการไหลของอากาศที่ออกมาจากท่อกิ่ง รูปที่ 2.9 แสดงเส้นการไหลเมื่อมองจากด้านข้างและด้านล่างของเครื่องบินตามลำดับ จะเห็นว่าลำอากาศที่ออกมาจากท่อไม่ได้มีผลกระทบโดยตรงต่อแพนหางของเครื่องบินเพราะมีเส้นทางโดยรวมต่ำกว่าระดับความสูงของแพนหางค่อนข้างมาก ถึงแม้จะมีการไหลที่หักขึ้นและม้วนตัวเข้าหาแกนกลางของเครื่องบินเล็กน้อยก็ตาม แต่สิ่งที่พบในการปฏิบัติงานจริงก็คือสารปนหลวมีการกระจายตัวที่กินพื้นที่กว้างกว่าทิศทางการไหลโดยรวม การฟุ้งกระจายที่เกิดขึ้นนั้นมาจากลักษณะการไหลปั่นป่วนรอบลำตัวเครื่องบิน



รูปที่ 2.8: ภาพคอนทัวร์ขนาดความเร็วของอากาศที่ไหลภายในท่อโปรยสารปนหลวที่หน้าตัด A-A (ดูตำแหน่งตัด A-A ได้จากรูปเล็กมุมมองซ้ายของภาพ) หน่วยเป็น m/s^2



Side view

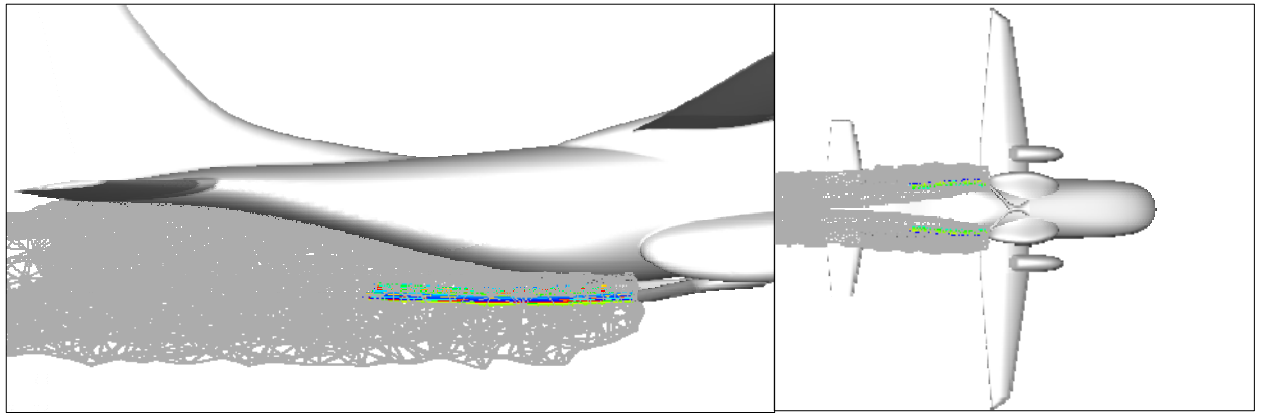


Bottom view

รูปที่ 2.9: ภาพแสดงเส้นการไหลของอากาศที่ออกมาจากท่อโปรยสารฝนหลวง

วิธีการจำลองการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงที่ออกมาจากท่อโปรยสารนั้นสามารถทำได้โดยใช้อุปมาการกระจายตัวของความร้อนจากปลายท่อโปรยสาร ในโปรแกรมจำลองการไหล หน้าตัดตรงปลายท่อโปรยสารถูกกำหนดให้มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศไป 100 องศา (300 K หรือ 27°C สำหรับบรรยากาศ และ 400 K หรือเท่ากับ 127°C ที่ปลายท่อ) อากาศที่ไหลออกจากปลายท่อก็จะพาความร้อนไปสู่จุดต่างๆ ด้านหลังเครื่องบินเสมือนกับการกระจายตัวของสารฝนหลวงในอากาศ การเปลี่ยนแปลงของความร้อนบนพื้นผิวแบบจำลองเครื่องบินก็จะใช้เป็นแนวเทียบกับการสะสมตัวของสารฝนหลวงบนโครงสร้าง

คอนทัวร์สามมิติของอุณหภูมิที่มีค่าเดียวกันถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นแนวเทียบกับการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงตามที่สำรวจเห็นเป็นกลุ่มควันสีขาวในภาพถ่าย รูปที่ 2.10 แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการไหลในคอมพิวเตอร์ที่มีรูปเครื่องบินพร้อมเส้นคอนทัวร์อุณหภูมิ ดูคล้ายร่างแหด้านหลังท่อโปรยสารฝนหลวงและมีเส้นการไหลลากผ่านกลางไปทางด้านหลังของเครื่อง (รูปที่ 2.10 ก) กับภาพถ่ายเครื่องบินขณะทำการบินโปรยสารฝนหลวงจริง (รูปที่ 2.10 ข) จะเห็นได้ว่าในมุมของภาพที่ใกล้เคียงกัน คอนทัวร์ล้อมรอบบริเวณที่อุณหภูมิมีค่าเดียวกันมีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงกับกลุ่มควันฟุ้งของสารฝนหลวง เมื่อมองจากด้านข้างของเครื่อง กลุ่มสารฝนหลวงเมื่อถูกปล่อยออกมาจากปลายท่อก็จะถูกพัดไล่ขึ้นด้านบนบนบริเวณกว้างกว่าแนวเส้นการไหล ทำให้สารฝนหลวงบางส่วนเลยไปกับพื้นผิวด้านล่างของหางเครื่อง ในขณะที่เมื่อมองจากด้านข้าง กลุ่มควันของสารฝนหลวงที่ถูกปล่อยออกมาจะกระจายตัวกึ่งวงกว้างขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ไปทางด้านหลัง ส่งผลให้ในที่สุดกลุ่มควันจากท่อทั้งสองสายรวมตัวเป็นกลุ่มใหญ่บริเวณด้านล่างแพนหางระดับก่อนจะฟุ้งผ่านไป



ก) ภาพจำลองการไหลที่มีการแสดงคอนทัวร์อุณหภูมิและเส้นการไหล



ข) ภาพถ่ายภาพการฟุ้งกระจายของสารจากการปฏิบัติการจริง

รูปที่ 2.10 ภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการกระจายของสารฝนหลวงในคอมพิวเตอร์โดยใช้คอนทัวร์อุณหภูมิกับการกระจายตัวของสารฝนหลวงจริงในบรรยากาศ

จากการศึกษาผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ต่อการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงในทอรูปแบบดั้งเดิม จะเห็นได้ว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้สารฝนหลวงบางส่วนเข้าไปสัมผัสและสะสมตัวบนผิวโครงสร้างมาจากทิศทางการไหลของอากาศหลังจากถูกปล่อยออกมาจากท่อ ที่มีแนวโน้มที่จะถูกดูดให้เข้าหาลำตัวเครื่องบินมากกว่าที่จะไปตามกระแสอากาศอิสระรอบนอก เนื่องจากบริเวณปลายท่ออยู่ในส่วนที่มีความดันอากาศต่ำ นอกจากนี้การไหลปั่นป่วนของกระแสอากาศรอบลำตัวเครื่องบินและตัวอากาศที่ออกมาจากท่อโปรยสารเองก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงที่กินบริเวณกว้างไปจนถึงส่วนหางด้านบนของเครื่องบินซีเอ็น 235 อันเป็นธรรมชาติของกระแสอากาศปั่นป่วนที่ทำให้การกระจายตัวของปริมาณที่อยู่ในอากาศเช่นมวลของสารเคมีเป็นไปได้ด้วยดี เพื่อเป็นการแก้ปัญหาทางคณะวิจัยฯ จึงมุ่งความสนใจในการดัดแปลงท่อโปรยสารโดยใช้วิธีเบี่ยงปลายท่อปล่อยสารฝนหลวงให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่กระแสนปั่นป่วนและความดันอากาศมีผลกระทบน้อยที่สุด

2.3.2 การศึกษาอากาศพลศาสตร์ของท่อโปรยสารรูปแบบใหม่

ด้วยข้อจำกัดในระยะเวลาดำเนินการ การศึกษารูปแบบใหม่ของท่อโปรยสารจึงเลือกที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของท่อให้น้อยที่สุด นั่นคือให้ขนาดของท่อและรูปแบบวิธีการโปรยสารยังเป็นในลักษณะใกล้เคียงกับของดั้งเดิม อย่างที่กล่าวไปแล้วในการศึกษารูปแบบดั้งเดิม ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการฟุ้งกระจายคือตำแหน่งของการปล่อยสารและปริมาณกระแสอากาศปั่นป่วนที่ไหลเข้าด้านหลังเครื่อง เนื่องจากการทำการเปลี่ยนแปลงใดๆ กับส่วนประกอบของลำตัวเครื่องบินเพื่อลดกระแสปั่นป่วนจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องบินมากจนเกินไป คณะวิจัยจึงมุ่งเน้นการดำเนินงานที่ส่วนของท่อโปรยสารเท่านั้น และเนื่องจากการไหลของกระแสอากาศในท่อส่วนรับอากาศมีลักษณะที่ยอมรับได้ การปรับปรุงตัวท่อจึงเลือกที่จะกระทำกับส่วนปลายของท่อโปรยสารเท่านั้น โดยมีการศึกษารูปแบบต่างๆ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

การศึกษาท่อบายพาสอากาศ

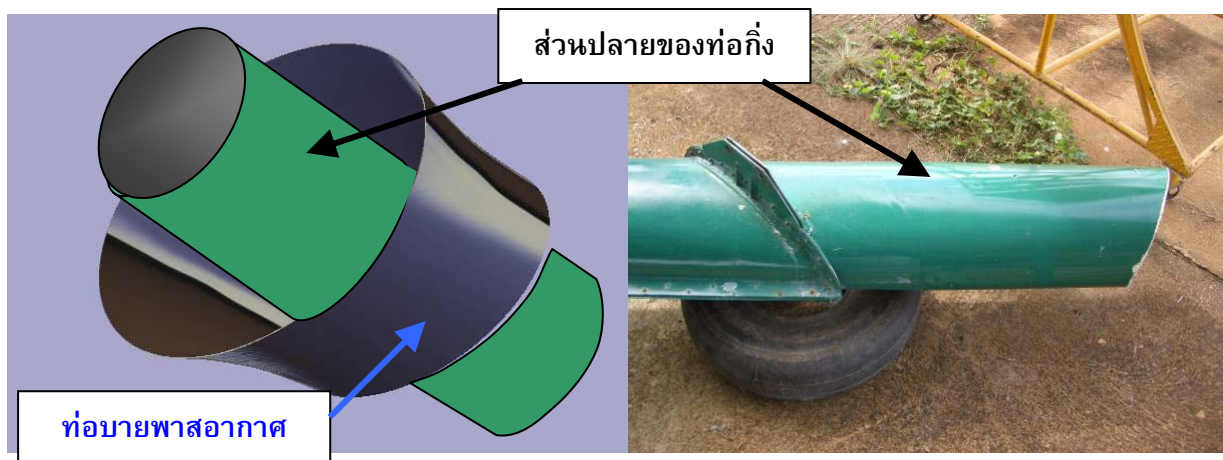
ในขั้นต้นของการดำเนินงาน มีการศึกษาการใช้ท่อบายพาสอากาศ (By-pass air duct) หุ้มรอบนอกท่อโปรยสารผ่นหลวง ตรงส่วนปลายของท่อถึง ลักษณะที่เรียกว่าท่อบายพาสอากาศคือท่อที่มีขนาดหน้าตัดกว้างกว่าท่อหลักและถูกติดตั้งครอบท่อเดิมไว้โดยมีเส้นแกนกลางของท่อทั้งสองเป็นเส้นเดียวกัน (Co-axial duct) อากาศที่ไหลผ่านรอบนอกของท่อโปรยสารจะถูกบีบด้วยกรอบของท่อบายพาสอากาศให้มีความเร็วที่ต่างไปจากอากาศที่ไหลผ่านภายนอก รูปแบบของท่อบายพาสอากาศที่เมื่อติดตั้งกับปลายของท่อโปรยสารจะมีลักษณะดังเห็นได้ในรูปที่ 2.11 รูปซ้ายมือ

ผลที่ได้ออกมาจากการศึกษาขั้นต้นนี้มาจากการจำลองการไหลรอบท่อแบบสองมิติด้วยโปรแกรม CFD โดยกำหนดเงื่อนไขการไหลแบบสองมิติให้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นในแบบสามมิติ (ดูผลการศึกษาย่างละเอียดได้ใน ดนตรี และ พจนนธ์, 2551) จากการวิเคราะห์ผลพบว่าท่อบายพาสอากาศไม่ได้ช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อการฟุ้งกระจายของสารผ่นหลวงที่ชัดเจนมากนัก จากรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นการแสดงภาพการกระจายตัวของความร้อนที่ปล่อยออกมาจากปลายท่อถึง (ใช้วิธีเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิแทนการฟุ้งกระจายของสารผ่นหลวงในลักษณะเดียวกันกับการศึกษาท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม) การจำลองการไหลที่เห็นเป็นเสมือนมุมมองของท่อถึงจากด้านข้างของเครื่อง และมีอากาศใต้เครื่องไหลผ่านท่อจากซ้ายไปขวา อุณหภูมิที่ปลายท่อถึงถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 400 K (127°C) เช่นเดิม ในขณะที่อุณหภูมิบรรยากาศจะต่ำกว่า

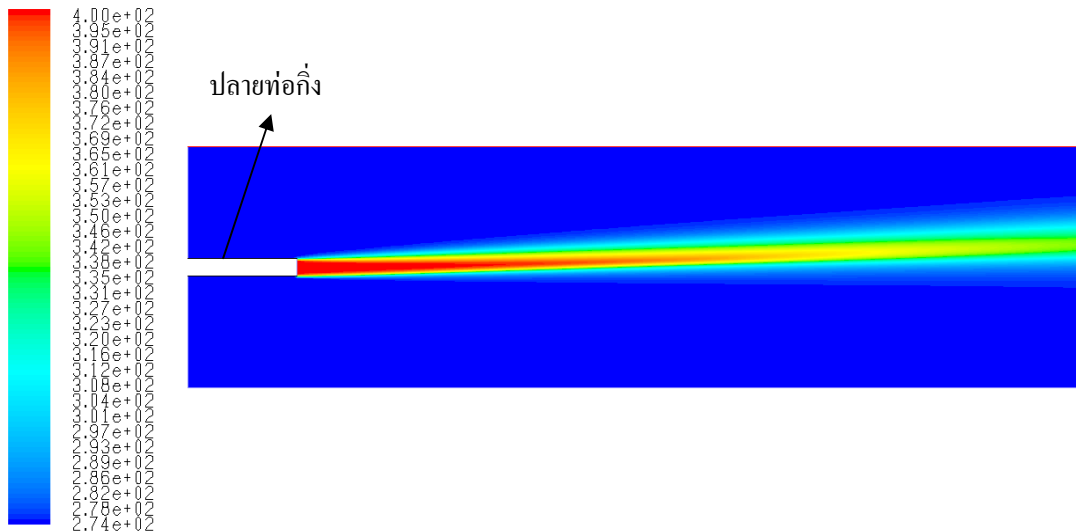
ในการศึกษามีการทดสอบการไหลกับท่อบายพาสอากาศหลายรูปแบบแต่นำมาเสนอไว้ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่าง 1) การไหลแบบไม่มีท่อบายพาส 2) มีท่อบายพาสที่เป็น Straight nozzle (แบบที่ 1) และ 3) มีท่อบายพาสที่เป็น Curved nozzle (แบบที่ 2) จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 2.12 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกระแสอากาศที่ออกมาจากท่อแบบมีและไม่มีบายพาสอากาศมีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือในแบบที่ใส่บายพาสอากาศความร้อนจะกระจายตัวเร็วกว่าบ้าง ทำให้ปริมาณความร้อนที่ส่งไปถึงบริเวณขอบของภาพ (ระยะความห่างใกล้เคียงกับตำแหน่งของแพนหางระดับ) มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ทิศทางการไหลของกระแสอากาศหลักแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลย มากไปกว่านั้นการเปลี่ยนรูปทรงของท่อบายพาสอากาศมีส่วนช่วยให้เกิด

การเปลี่ยนแปลงต่อลักษณะการไหลน้อยมาก จากการสังเกตรูปที่ 2.12 ข) กับ ค) ทั้งปริมาณของ ความร้อนที่ส่งถ่ายไปยังตำแหน่งสุดท้ายของภาพและทิศทางการไหลไม่มีความแตกต่างกันเลย จะมีก็แต่การกระจายตัวออกแนวกว้างของอนุภาคน้ำในแบบที่ 2 (Curved nozzle) ที่มีมากกว่า

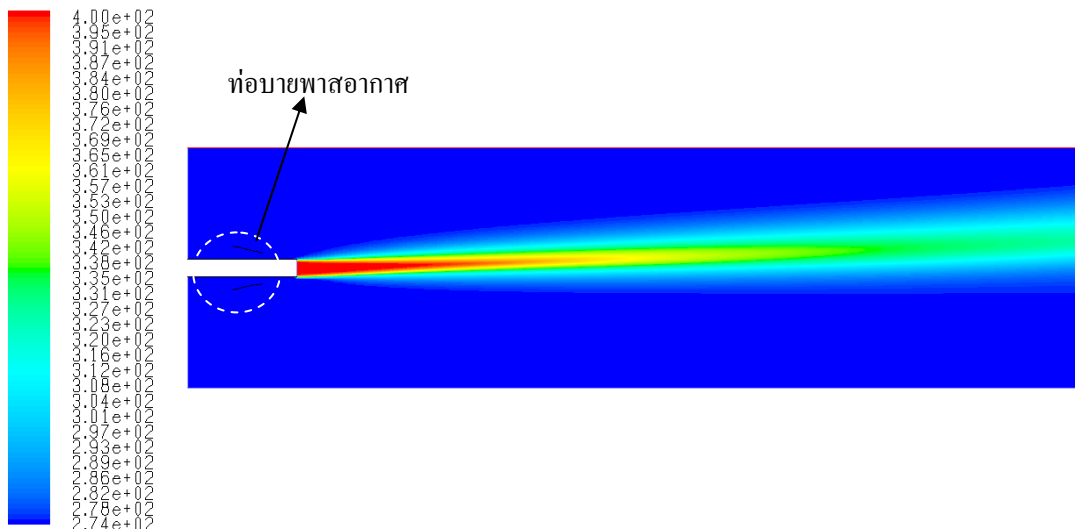
ผลของการศึกษาบ่งชี้ว่าการใช้ท่อบายพาสอากาศมีแนวโน้มที่จะส่วนช่วยลดการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงไปที่ส่วนของปลายหางเครื่องบินได้บ้าง แต่อาจจะทำให้มีการกระจายตัวของสารเพิ่มขึ้นในตำแหน่งอื่นเนื่องจากทิศทางการไหลของอากาศที่ออกมาจากท่อโดยรวมยังคงเหมือนเดิม ความเป็นไปได้ในการใช้ท่อบายพาสอากาศกับท่อโปรยสารฝนหลวงจริงจึงยังไม่เห็นผลที่ชัดเจนนัก



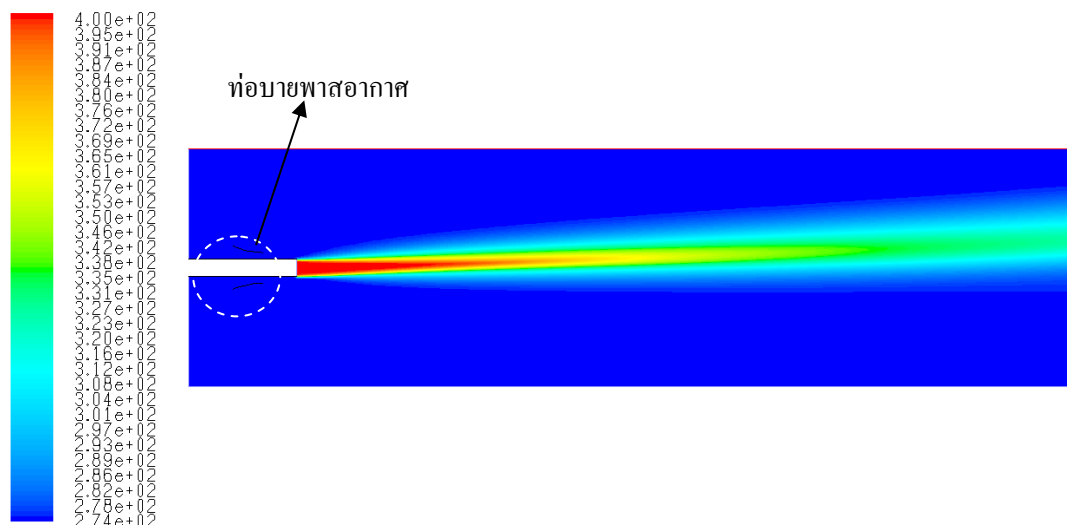
รูปที่ 2.11: รูปแบบของท่อบายพาสอากาศที่มีการศึกษาเพื่อการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงในเบื้องต้น (ซ้าย) แบบจำลองสามมิติในคอมพิวเตอร์ และ (ขวา) ตำแหน่งปลายท่อทิ้งที่จะใช้ติดตั้งท่อบายพาสอากาศ (ดนตรี และพจนนธ์, 2551)



ก) แบบจำลองสองมิติของท่อโปรยสารที่ไม่มีท่อบายพาสอากาศ



ข) แบบจำลองสองมิติของท่อโปรยสารที่มีท่อบายพาสอากาศแบบที่หนึ่ง: Straight nozzle

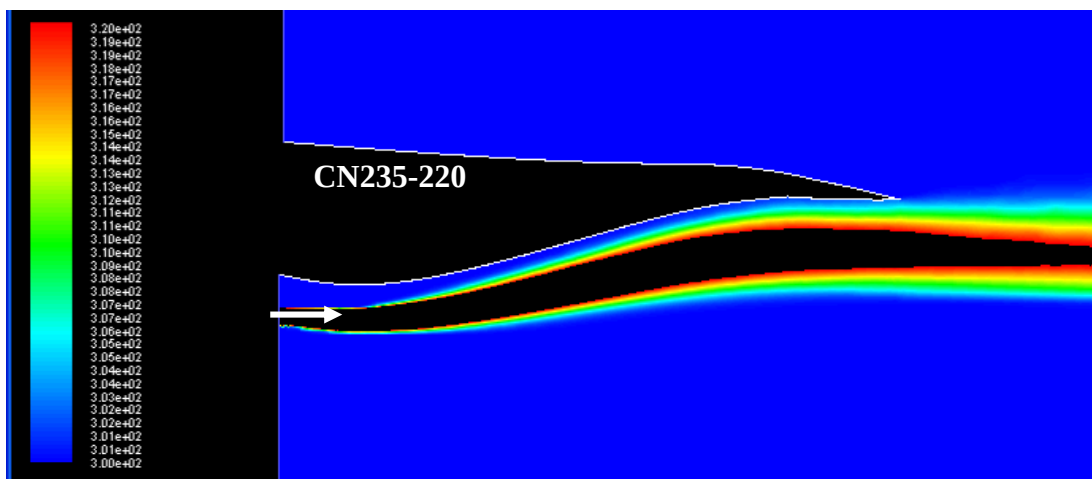


ค) แบบจำลองสองมิติของท่อโปรยสารที่มีท่อบายพาสอากาศแบบที่สอง: Curved nozzle

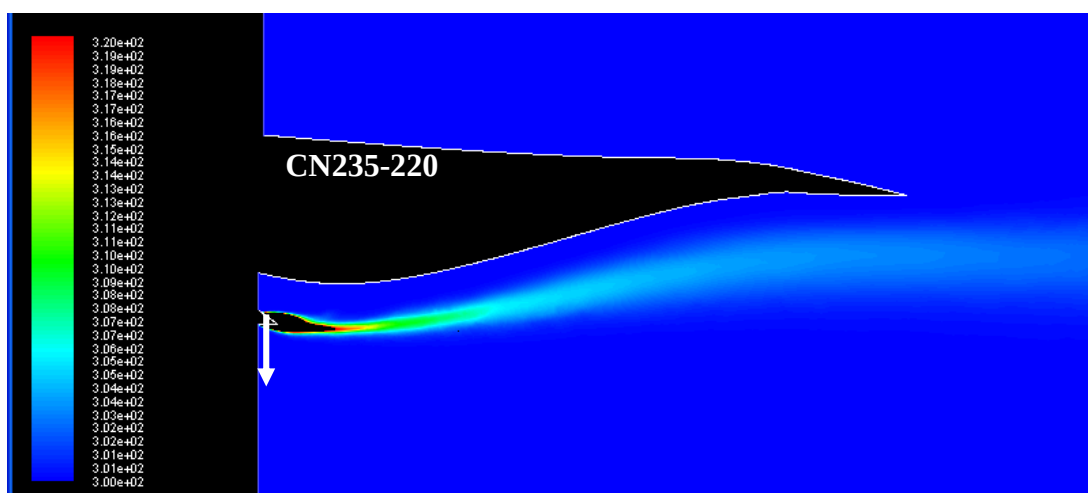
รูปที่ 2.12: การจำลองการไหลสองมิติด้วยคอนทัวร์การกระจายอุณหภูมิ (หน่วย: K) โดยเฉพาะส่วนปลายท่อ
กึ่งเพื่อเปรียบเทียบผลการใช้ท่อบายพาสอากาศ (ดนตรี และ พจนนทร์, 2551)

การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลออกที่ปลายท่อกึ่ง

การศึกษารูปร่างที่ปลายท่อเริ่มต้นมาจากการศึกษาผลกระทบในรูปแบบสองมิติก่อน รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบการไหลแบบสองมิติของอากาศรอบลำตัวเครื่องบินซีเอ็น 235-220 (เห็นเป็นแถบสีดำใหญ่ตรงกลางรูป) อากาศที่มีความร้อนสูง (400 K) ถูกปล่อยออกมาจากปลายท่อกึ่งด้านล่างของเครื่องบิน (ด้านซ้ายของภาพที่มีลูกศรสีขาวแสดงทิศทางการปล่อยอากาศ) กระแสอากาศอิสระไหลจากซ้ายไปขวาและมีเงื่อนไขขอบเขตใกล้เคียงกับการไหลแบบสามมิติ คอนทัวร์ของอุณหภูมิถูกใช้เปรียบเทียบการกระจายตัวของสารปนหลวงเช่นเดิม จะเห็นได้ว่าแถบสีที่แสดงอุณหภูมิในพื้นที่การไหลด้านล่างเครื่องบินมีการเปลี่ยนแปลงค่ามากเมื่อการปล่อยอากาศจากท่อกึ่งเป็นแบบที่มีทิศทางขนานไปกับกระแสอิสระ (รูปที่ 2.13 ก) ปริมาณความร้อนที่ถูกพัดไปด้านหลังของเครื่องบินในกรณีนี้มีค่าสูงกว่าเมื่อจัดให้มีการปล่อยอากาศออกจากปลายท่อกึ่งในทิศทางขวางกระแสอากาศอิสระอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 2.13 ข)



ก) ปากทางท่อโปรยสารที่ทิศทางออกตามกระแสอากาศอิสระ

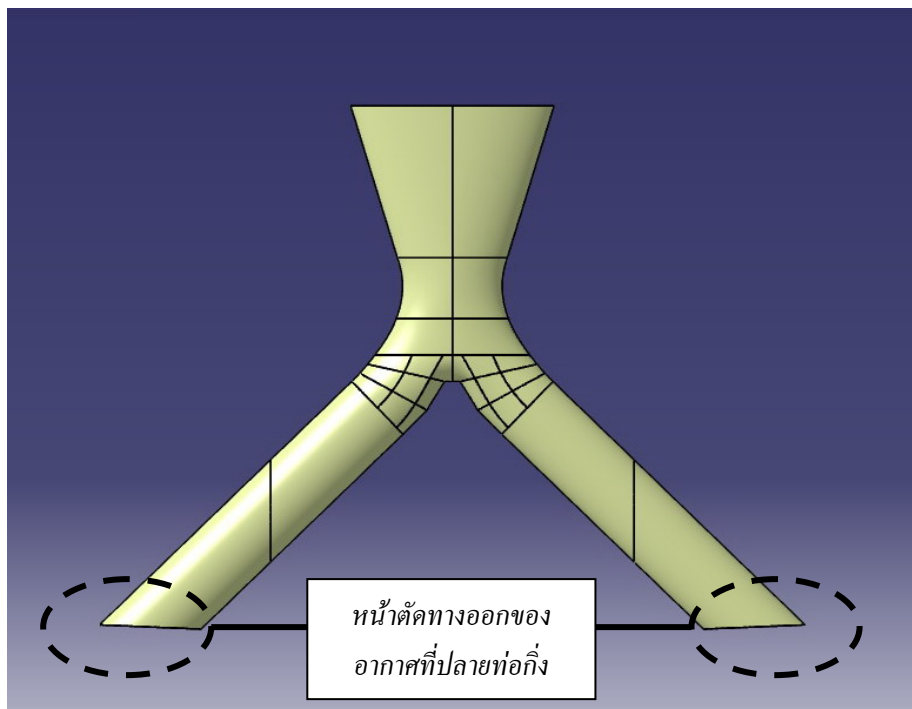


ข) ปากทางท่อโปรยสารที่ทิศทางออกขวางกระแสอากาศอิสระ

รูปที่ 2.13: ภาพการจำลองการไหลแบบสองมิติเมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศออกจากปลายท่อกึ่ง แสดงการกระจายตัวของสารปนหลวงด้วยคอนทัวร์อุณหภูมิ (หน่วย: K)
ลูกศรสีขาวบอกทิศการไหลจากปลายท่อ

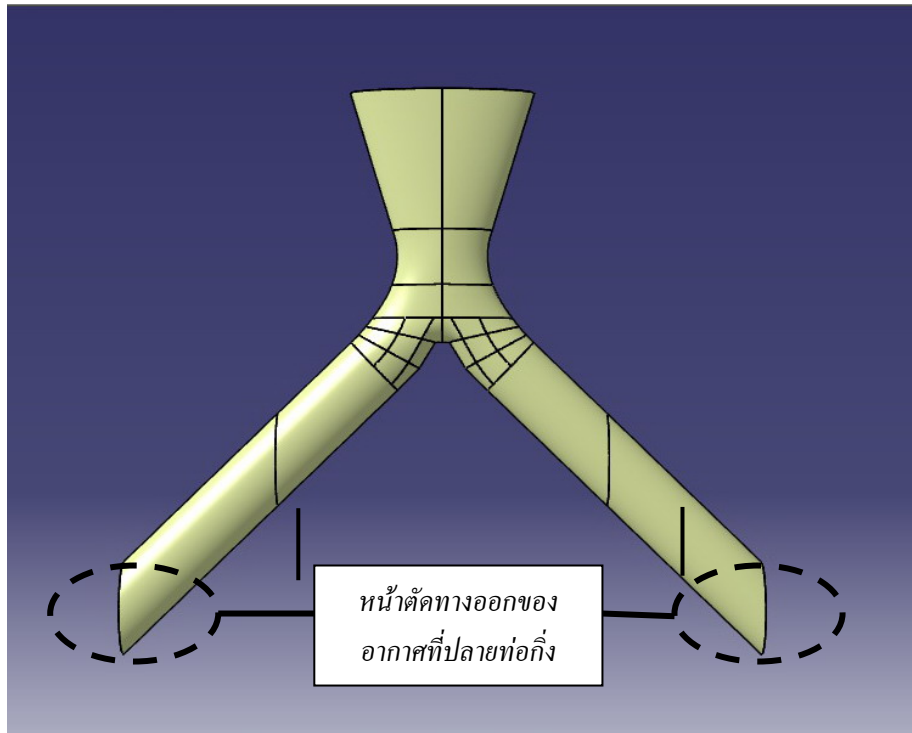
การศึกษารูปแบบใหม่ของปลายท่อกิ่ง

จากการศึกษาเบื้องต้นของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม จะเห็นได้ว่ารูปแบบนั้นมีปากทางออกของอากาศที่ปลายท่อกิ่งเป็นรูปวงรีและมีหน้าตัดที่เกือบจะตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสอากาศอิสระ (รูปที่ 2.14 ก) หนึ่งในผลของการเปิดทางออกลักษณะนี้ทำให้การไหลของกระแสอากาศที่ออกมาจากท่อมีแนวโน้มที่จะไหลเข้าหาลำตัวเครื่องบินมากขึ้นตามที่ได้แสดงผลไว้ในหัวข้อ 2.3.1 ในขั้นตอนนี้คณะวิจัยฯ ได้ทำการออกแบบส่วนปลายของท่อกิ่งใหม่ โดยคำนึงข้อจำกัดของความยาวและระยะโดยรวมให้ไม่กระทบต่อการขึ้นลงของเครื่องบิน รูปแบบใหม่อีกสองรูปแบบที่ได้มาคือการจัดให้เป็นส่วนปลายของท่อกิ่งเป็นแบบท่อตรงเหมือนเดิม แต่ทำหน้าตัดให้เปิดออกทางด้านข้างขนานกับทิศทางการไหลของกระแสอิสระแทน (รูปที่ 2.14 ข) กับเปลี่ยนท่อตรงส่วนปลายนี้ให้โค้งออกโดยขนาดหน้าตัดด้านในเท่าเดิม แต่มีปลอกหุ้มด้านนอกที่มีการออกแบบเพื่อลดกระแสแยกไหลรอบท่อ ทำให้อากาศรอบท่อมีความราบเรียบมากขึ้น

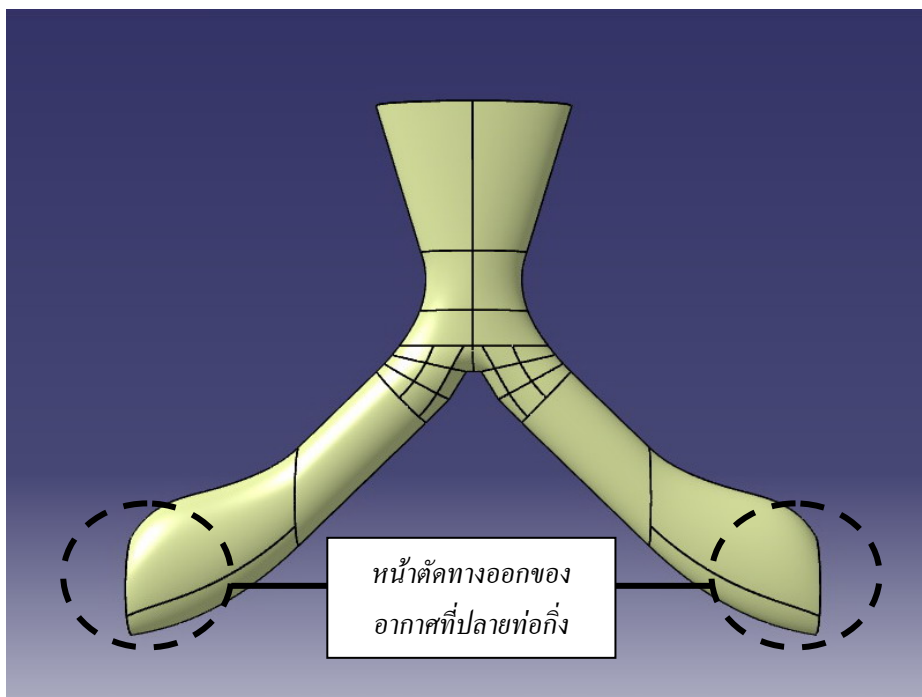


ก) รูปแบบท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดั้งเดิม

รูปที่ 2.14 ภาพด้านบนของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิมและดัดแปลงใหม่ในส่วนปลายของท่อกิ่ง



ข) รูปแบบท่อโปรยสารฝนหลวงดัดแปลงแบบที่หนึ่ง: ท่อตรง



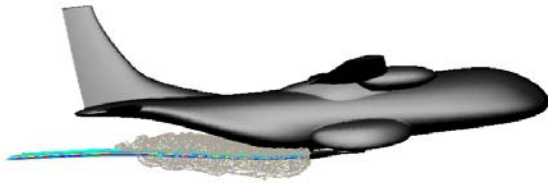
ค) รูปแบบท่อโปรยสารฝนหลวงดัดแปลงแบบที่สอง: ท่อโค้ง

รูปที่ 2.15 (ต่อ) ภาพด้านบนของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิมและดัดแปลงใหม่ในส่วนปลายของท่อนัก

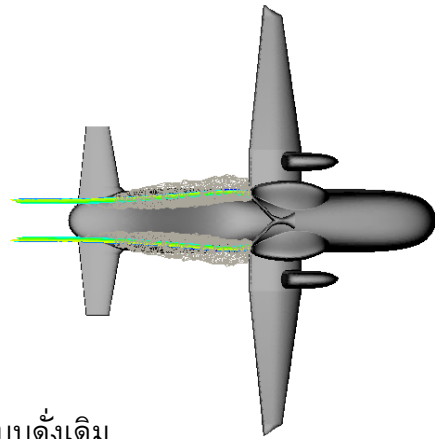
ผลที่ได้จากการจำลองการไหลแบบสามมิติพร้อมเครื่องบินซีเอ็นด้วยโปรแกรม CFD มีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อมีการดัดแปลงปลายท่อ (ทำการจำลองการไหลเหมือนกรณีอื่นๆ คือให้ปากทางออกของท่อทิ้งปล่อยความร้อนออกมาที่อุณหภูมิ 400 K หรือ 127°C) ดูได้จากการเปรียบเทียบการทำงานของท่อทั้งสามแบบในรูปที่ 2.16 ซึ่งแสดงเส้นการไหล และคอนทัวร์อุณหภูมิค่าเดียวกัน ท่อโปรยสารแบบดัดแปลงทั้งสองแบบจะทำให้ทิศทางการไหลโดยรวมของกระแสอากาศที่ออกมาจากท่อมีการหันเหลงด้านล่างและออกด้านข้างมากขึ้นเมื่อเทียบกับในตอนที่ใช้ท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม (ดูที่เส้นการไหล) ในส่วนนี้ท่อดัดแปลงแบบที่ 2 (ท่อโค้ง) จะทำให้ทิศทางการไหลขยายออกด้านข้างมากที่สุด เมื่อมาวิเคราะห์ถึงขอบเขตการกระจายตัวของสารปนหลวง (ดูจากคอนทัวร์อุณหภูมิที่มีค่าเดียวกัน) ท่อดัดแปลงจะกินพื้นที่ในการกระจายน้อยกว่าแบบดั้งเดิม โดยมีท่อดัดแปลงแบบที่ 1 (ท่อตรง) มีแนวโน้มของการกระจายตัวของอุณหภูมิน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ผลโดยดูที่ปริมาณของความร้อนสะสมบนพื้นผิวเครื่องบินก็เป็นอีกหนึ่งตัวบ่งชี้ปริมาณสารปนหลวงที่จะมีแนวโน้มเข้าสะสมตัวบนโครงสร้าง รูปแบบท่อที่ดัดแปลงแล้วจะช่วยให้ความร้อนสะสมบนพื้นผิวน้อยลง จากรูปที่ 2.17 ซึ่งแสดงคอนทัวร์อุณหภูมิที่มีค่าต่างกันตามสีที่แสดงไว้ในแถบด้านซ้ายของรูป รูปทางด้านซ้ายมือแสดงคอนทัวร์อุณหภูมิตามพื้นผิวของเครื่องบิน จะเห็นได้ว่าปริมาณอุณหภูมิที่มีค่าความร้อนสูงกว่าปกติจะกินพื้นที่ผิวเครื่องบินในแนวเส้นที่ขนานกับเส้นทางการไหลของกระแสอากาศที่ออกมาจากท่อโปรยสาร (เปรียบเทียบรูปที่ 2.16 กับ 2.17) โดยท่อดัดแปลงแบบที่ 2 อันเป็นท่อโค้งจะทำให้เกิดความร้อนสะสมบนผิวล่างของเครื่องบินน้อยที่สุด เช่นเดียวกันกับเมื่อพิจารณารูปทางด้านขวามือ ซึ่งเป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศรอบลำตัวบนระนาบที่ขนานกับลำตัวเครื่องบินและตัดผ่านกึ่งกลางของปากทางออกท่อทิ้ง ผลการกระจายความร้อนที่มีต่ออากาศโดยรอบจะน้อยลงเมื่อทำการดัดแปลงส่วนปลายของท่อโปรยสารเป็นสองรูปแบบใหม่

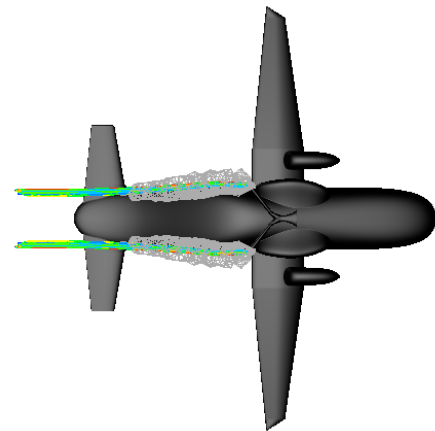
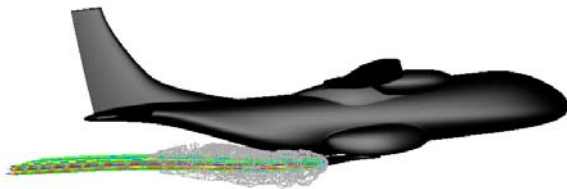
SIDEVIEW



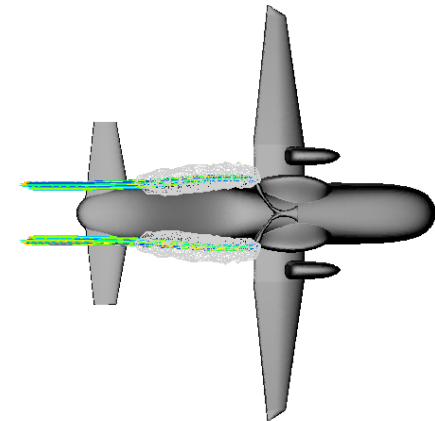
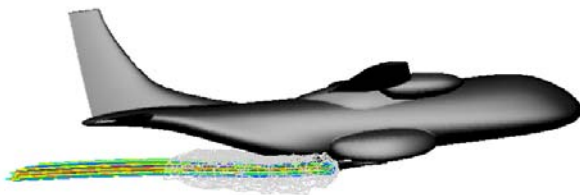
BOTTOMVIEW



ก) ท่อโปรยสารฝนหลวงรูปแบบดั้งเดิม

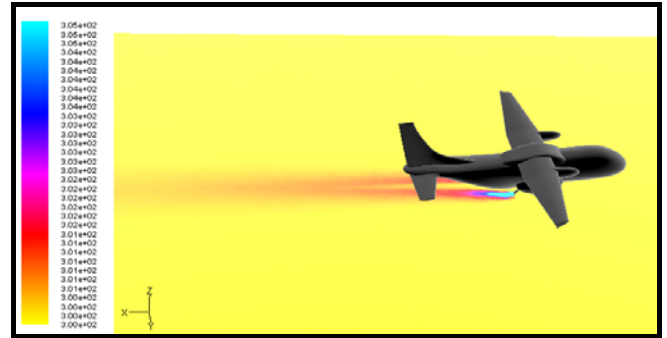
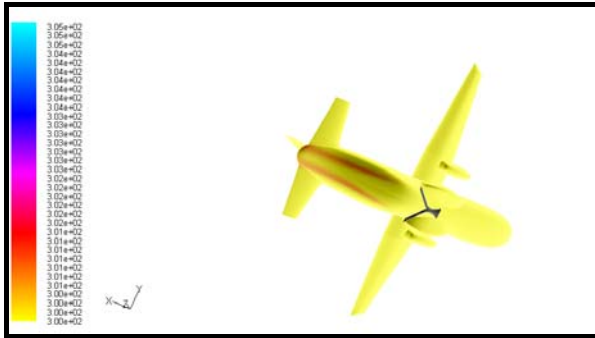


ข) ท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดัดแปลงแบบที่ 1: ท่อตรง

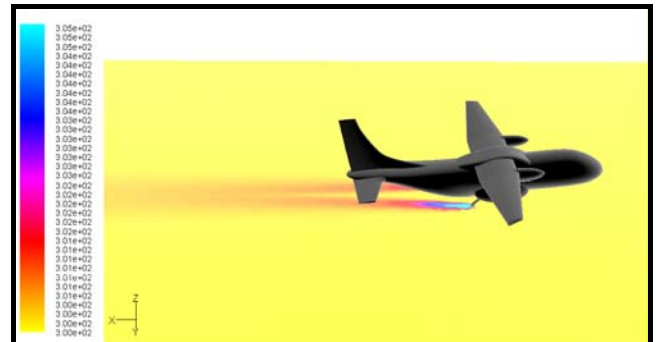
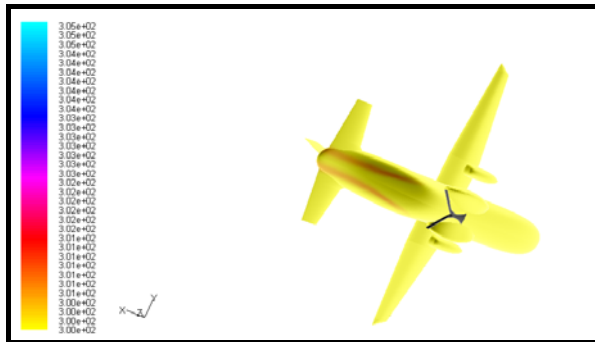


ค) ท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดัดแปลงแบบที่ 2: ท่อโค้ง

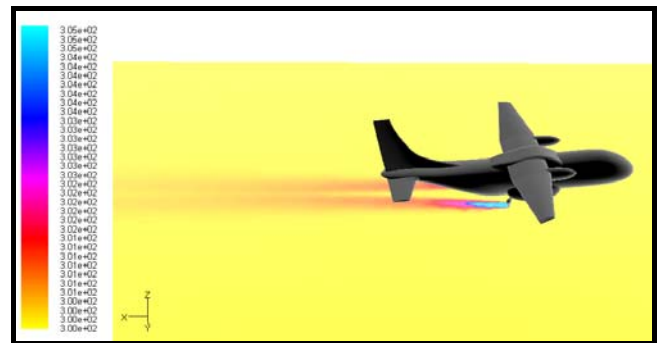
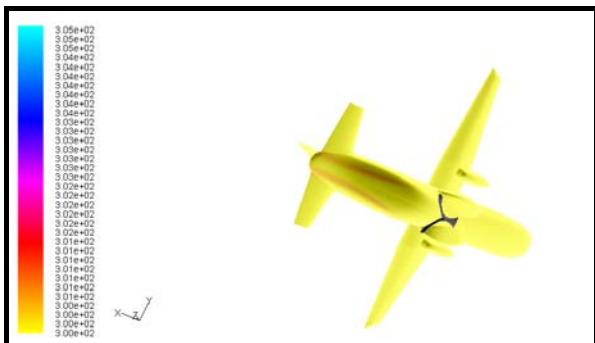
รูปที่ 2.16 ภาพเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ที่ติดตั้งท่อโปรยสารฝนหลวงแบบต่างๆ ที่มองจากด้านข้าง (ซ้าย) และด้านล่าง (ขวา) การจำลองการไหลใช้คอนทัวร์อุณหภูมิที่มีค่าอุณหภูมิเดียวกัน กับเส้นการไหล



ก) ท่อโปรยสารฝนหลวงรูปแบบดั้งเดิม



ข) ท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดัดแปลงแบบที่ 1: ท่อตรง

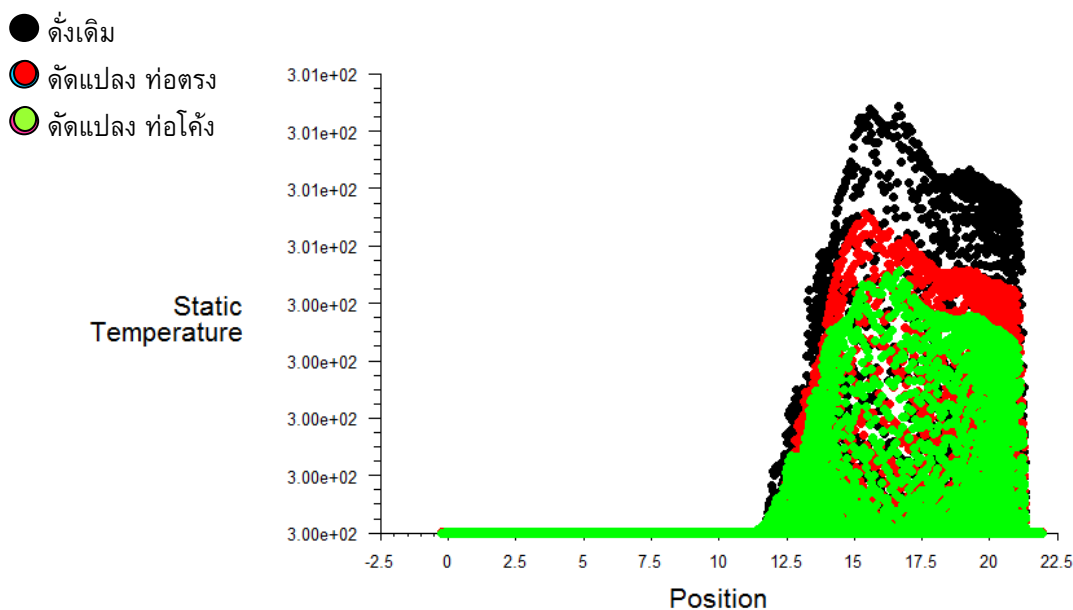


ค) ท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดัดแปลงแบบที่ 2: ท่อโค้ง

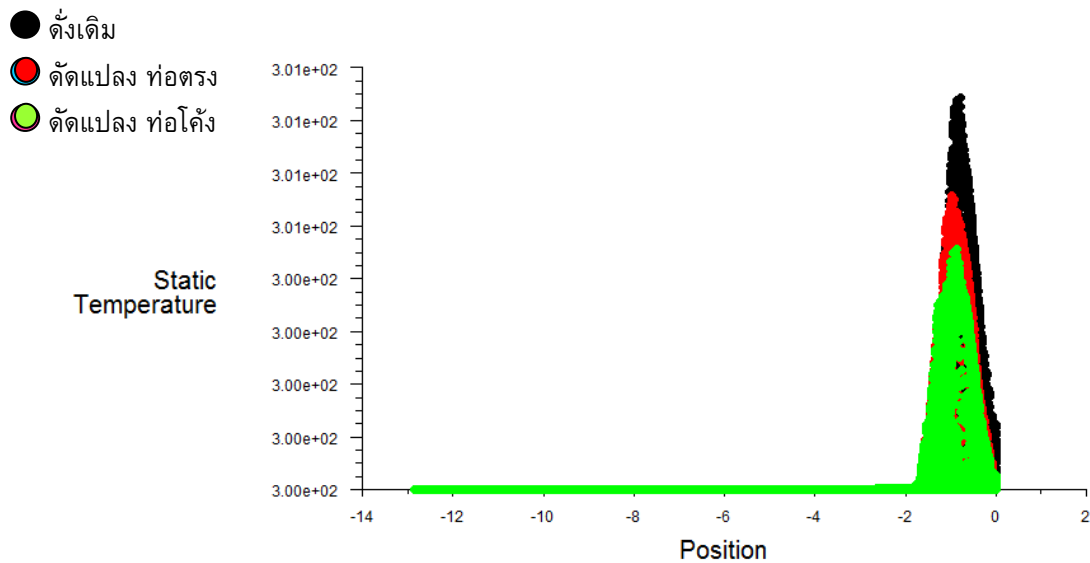
รูปที่ 2.17: ภาพเครื่องบินซีเอ็น 235-220 ที่ติดตั้งท่อโปรยสารฝนหลวงแบบต่างๆ ที่มองจากด้านซ้าย (ซ้าย) และด้านล่าง (ขวา) การจำลองการไหลใช้คอนทัวร์อุณหภูมิที่มีค่าอุณหภูมิต่างๆ กันตามสี รูปด้านซ้ายแสดงค่าบนพื้นผิวเครื่องบิน และด้านขวาแสดงค่าในอากาศรอบตัวเครื่องบิน

เพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนขึ้น อุณหภูมิที่จุดต่างๆ บนพื้นผิวเครื่องบินถูกนำมาแสดงค่าบนกราฟโดยเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิกับตำแหน่งของจุดที่สอดคล้องกับค่านั้นๆ ตามพิกัดแกน x (ตามยาวของลำตัวเครื่องบิน) และตามพิกัดแกน y (ตามขวางของเครื่องบิน) ทำทั้งในส่วนของท่อแบบดั้งเดิมและท่อดัดแปลงทั้งสอง ในที่นี้พิกัด $(0,0)$ คือตำแหน่งด้านหน้าสุดของตัวเครื่อง รูปที่ 2.18 แสดงค่าอุณหภูมิตามพิกัด x ต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิเริ่มเพิ่มสูงขึ้นในท่อทุกรูปแบบเมื่ออยู่ที่พิกัดหลัง $x = 11$ เมตร ซึ่งเทียบได้กับตำแหน่งด้านหลังของปลายท่อโปรยสารฝนหลวงนั่นเอง อุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวจากการใช้ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 2 (ท่อโค้ง) มีค่าต่ำที่สุดในทุกๆ พิกัด x ส่วนท่อดัดแปลงแบบที่ 1 (ท่อตรง) มีค่าสูงขึ้นมาเล็กน้อย ในขณะที่ท่อโปรยสารฝนหลวงแบบดั้งเดิมมีค่าสูงแตกต่างกว่าชัดเจน รวมทั้งมีการเริ่มต้นสะสมความร้อนเร็วกว่าแบบอื่น (อุณหภูมิพุ่งขึ้นสูงเร็วกว่าแบบอื่นหลังจากผ่านพิกัดปลายท่อไปแล้ว)

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปที่ 2.19 การสะสมของความร้อนบนพื้นผิวเครื่องบินตามตำแหน่งในพิกัด y ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงที่เห็นตามแนวพิกัด x ที่มีความแตกต่างเพิ่มขึ้นมาอีกอย่างหนึ่งก็คือตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด เมื่อมองดูในพิกัด y ค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดของท่อแต่ละแบบจะเลื่อนออกตามแนวกว้างมากขึ้น โดยเรียงลำดับจากด้านในลำตัวเครื่องบินออกไปหาด้านนอกได้เป็น ท่อแบบดั้งเดิม ท่อดัดแปลงแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศจากท่อโปรยสารเปลี่ยนไปเช่นเดียวกันนั่นเอง เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิสูงสุดที่สะสมบนพื้นผิวเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ท่อแบบดั้งเดิม ท่อดัดแปลงให้ผลการสะสมอุณหภูมิลดประมาณ 2% ค่าที่ได้ไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบเป็นผลการสะสมของสารฝนหลวงได้โดยตรง จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบจริงต่อไป



รูปที่ 2.18: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่สะสมบนผิวเครื่องบินกับพิกัดในแนวแกน x สีของจุดแสดงรูปแบบของท่อโปรยสารที่ทำให้เกิดการสะสมนั้น (หน่วย: K)



รูปที่ 2.19: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่สะสมบนผิวเครื่องบินกับพิกัดในแนวแกน y สีของจุดแสดงรูปแบบของท่อโปรยสารที่ทำให้เกิดการสะสมนั้น (หน่วย: K)

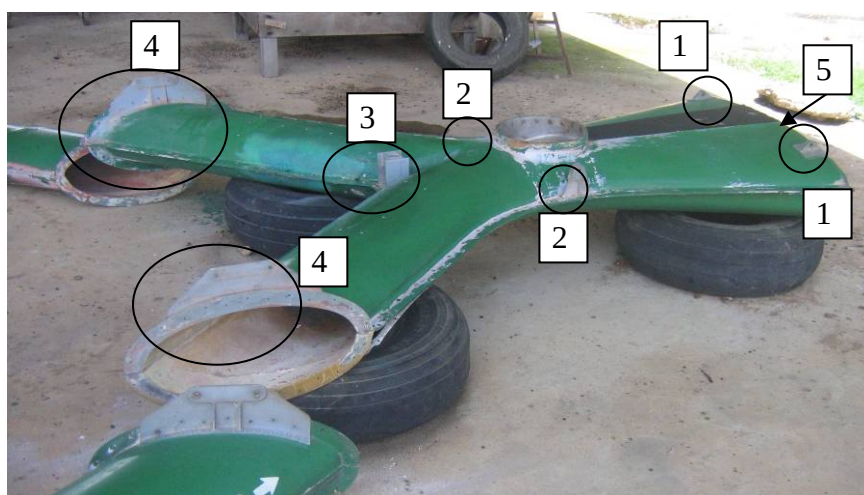
ในแง่ของประสิทธิภาพในการทำงาน ท่อโปรยสารแบบดัดแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบดั้งเดิมให้ผลการทำงานที่ใกล้เคียงกัน ดูได้จากตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงอัตราการไหลของอากาศในท่อ (mass flow rate) ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก (C_L) และแรงต้าน (C_D) ของเครื่องบินซีเอ็น 235-220 เมื่อติดตั้งท่อโปรยสารแบบต่างๆ จะเห็นได้ว่าในแง่ของการปฏิบัติการกิจของเครื่องบิน การเปลี่ยนรูปแบบท่อโปรยสารฝนหลวงมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องบินเพียงเล็กน้อย เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านซึ่งเป็นตัวกำหนดสมรรถนะของเครื่องบินมีการเปลี่ยนแปลงแค่ในระดับทศนิยมจุดที่สาม ทำให้สามารถเลือกท่อรูปแบบดัดแปลงทั้งสองตัวนี้มาใช้ในการทดสอบจริงได้ ในส่วนของความสามารถในการปล่อยสารฝนหลวง อัตราการไหลของอากาศภายในท่อแสดงให้เห็นว่าท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 2 (ท่อโค้ง) น่าจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบท่อดั้งเดิมที่ค่อนข้างมาก ในขณะที่ท่อดัดแปลงแบบที่ 1 (ท่อตรง) กลับทำให้อัตราการไหลลดลงไปเล็กน้อย

ตารางที่ 2.2: ผลการทำงานของท่อโปรยสารทั้งสามรูปแบบ จากสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านของเครื่องบินซีเอ็น 235 และอัตราการไหลในท่อ

รูปแบบท่อ	C_L	C_D	Mass flow rate (kg/s)
ท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม	1.258	0.340	5.489
ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 1 (ท่อตรง)	1.256	0.337	5.223
ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 2 (ท่อโค้ง)	1.261	0.340	6.209

2.4 การศึกษาโครงสร้างจุดจับยึดท่อโปรยสารฝนหลวงกับเครื่องบินซีเอ็น 235

จากข้อสรุปของคณะผู้วิจัยฯ ในตอนเริ่มต้นที่จะดำเนินการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวง โดยที่จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักของท่อและอากาศยานให้น้อยที่สุด ทางด้านการศึกษา โครงสร้างจึงได้ดำเนินการตรวจสอบความแข็งแรงของจุดยึดในโครงสร้างเดิมของท่อโปรยสารฝนหลวงกับตัวอากาศยาน โดยตำแหน่งจุดยึดดังแสดงในรูปที่ 2.20 มีด้วยกันทั้งหมด 10 จุดยึด แยกเป็น 5 รูปแบบ ตามรายละเอียดในรูปที่ 2.21 และ 2.22



รูปที่ 2.20: ตำแหน่งของจุดยึดท่อโปรยสารฝนหลวง

ข้อมูลของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณความแข็งแรงอันได้แก่ Aluminum 2024-T4 มีคุณสมบัติทางกลดังต่อไปนี้ (Beer, 2005)

Young Modulus: 73 GPa

Poisson Ratio: 0.33

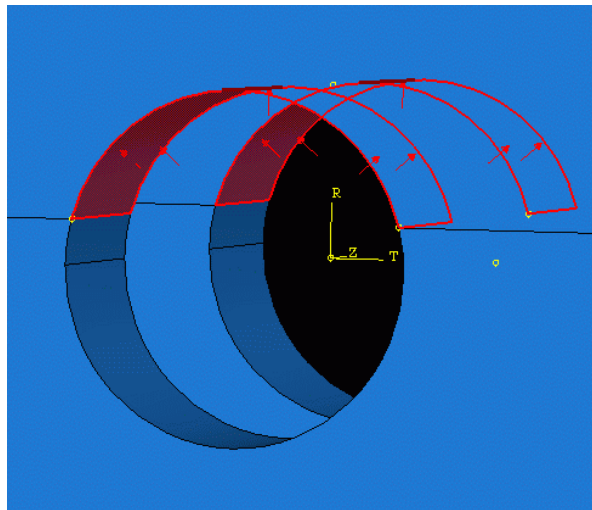
Yield Stress: 325 MPa

ขั้นตอนการคำนวณ จะนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ทางชิ้นส่วนประกอบจำกัด (Finite Element Analysis) ลักษณะของชิ้นส่วนประกอบเป็นชนิด Linear, Tetrahedral Solid Element โดยใส่แรงแบบ Pressure Load (ความดัน) ในทิศทางขึ้น บริเวณผิวสัมผัสด้านในของชิ้นงาน ในการคำนวณได้จำลองแบบการเชื่อมต่อของสลัก 2 กรณีคือ

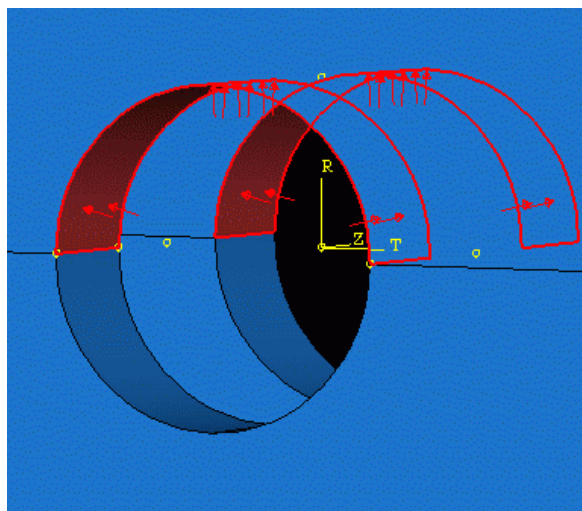
กรณีที่ 1: การกระจายตัวของแรงมีพื้นที่บางส่วนของชิ้นงาน (150 องศา) ซึ่งเป็นการจำลองการสัมผัสแบบไม่สมบูรณ์ของชิ้นส่วนของจุดยึด ดังแสดงในรูปที่ 2.21

กรณีที่ 2: การกระจายตัวของแรงมีพื้นที่ครึ่งบนของชิ้นงาน (180 องศา) ซึ่งเป็นการจำลองการสัมผัสแบบสมบูรณ์ของชิ้นส่วนของจุดยึด ดังแสดงในรูปที่ 2.22

ผลการคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นในจุดยึดแบบต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.23 และตารางที่ 2.3 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าและตำแหน่งที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 กรณี โดยสีแดงแสดงบริเวณที่มีความเค้นสูง สีน้ำเงินแสดงบริเวณที่มีความเค้นต่ำ



รูปที่ 2.21: การจำลองการกระจายตัวของแรงกรณีที่ 1 (150 องศา)

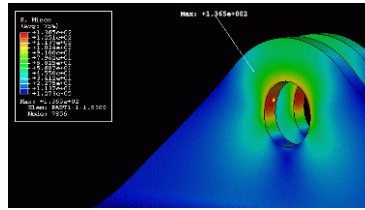


รูปที่ 2.22: การจำลองการกระจายตัวของแรงกรณีที่ 2 (180 องศา)

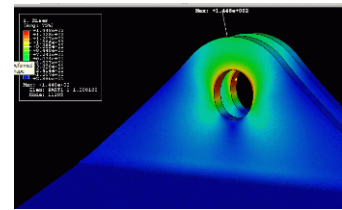
ลักษณะจุดยึด



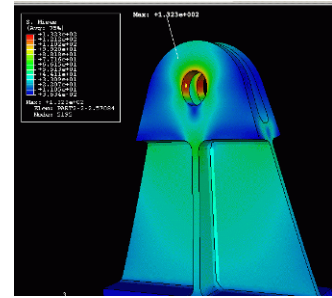
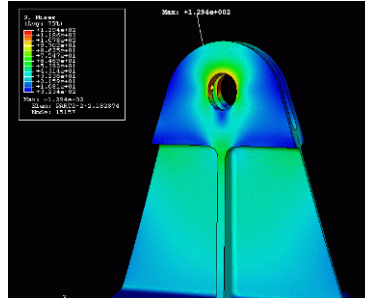
กรณีที่ 1



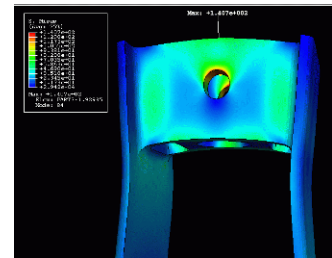
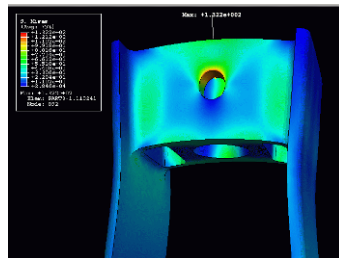
กรณีที่ 2



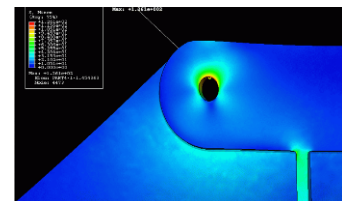
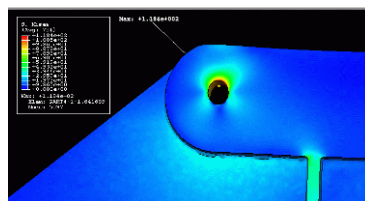
ก) จุดยึดแบบที่ 1 (มีจำนวน 2 ชั้น)



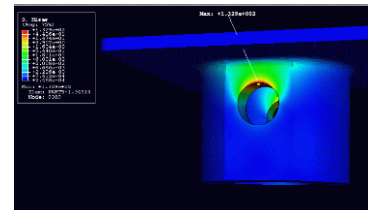
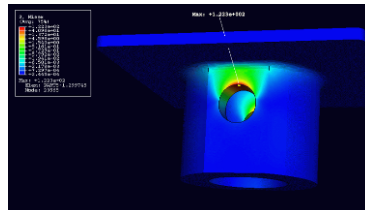
ข) จุดยึดแบบที่ 2 (มีจำนวน 2 ชั้น)



ค) จุดยึดแบบที่ 3 (มีจำนวน 1 ชั้น)



ง) จุดยึดแบบที่ 4 (มีจำนวน 4 ชั้น)



จ) จุดยึดแบบที่ 5 (มีจำนวน 1 ชั้น)

รูปที่ 2.23 แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในจุดยึดต่างๆ

ตารางที่ 2.3: ผลการคำนวณแรงสูงสุดที่รับได้ของจุดยึดแบบต่างๆ

จุดยึดแบบที่	การเชื่อมต่อกับสลัก	แรงสูงสุดที่รับได้ (N)	แรงสูงสุดที่รับได้ (kg)
1	กรณีที่ 1	21,035	2,144
	กรณีที่ 2	23,796	2,425
2	กรณีที่ 1	37,237	3,795
	กรณีที่ 2	43,705	4,455
3	กรณีที่ 1	48,770	4,791
	กรณีที่ 2	54,988	5,605
4	กรณีที่ 1	21,409 (x2 แผ่น)	2,182 (x2)
	กรณีที่ 2	24,122 (x2 แผ่น)	2,458 (x2)
5	กรณีที่ 1	47,625	4,854
	กรณีที่ 2	52,592	5,361

จากผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่า ตำแหน่งที่สามารถรับแรงได้น้อยที่สุดคือ จุดยึดแบบที่ 1 ซึ่งรับแรงได้ 2,144 กิโลกรัม ซึ่งความสามารถในการรับแรงสูงสุดของแต่ละจุดยึดจะนำไปใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบท่อโปรยสารที่จะสร้างขึ้นใหม่ต่อไป

2.5 การศึกษาการจัดสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงโดยใช้วัสดุประกอบ

ท่อโปรยสารฝนหลวงที่ใช้ในปัจจุบันสร้างขึ้นด้วยวัสดุประกอบใยแก้วยึดติดกับอะลูมิเนียมในบริเวณช่องปล่อยสารฝนหลวง ทางเข้า้อากาศ และจุดยึดกับลำตัวเครื่องบิน (รูปที่ 2.24 ก-ค) มีน้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม รูปแบบของท่อมี 2 ส่วนยึดติดเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.24 ก จากการสังเกตสภาพของท่อโปรยสารฝนหลวงในปัจจุบันพบว่ามีสภาพของการแยกชั้นของใยแก้วที่วางเรียงตัวอย่างชัดเจนโดยเฉพาะส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นทางออกของสารฝนหลวง (รูปที่ 2.24 ง) หากมองในทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศภายในท่อจะพบว่าผนังภายในช่วงรอยแยกมีการสะสมของสารเคมีเนื่องจากการใช้งานอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งด้านล่างมีการกัดกร่อนเป็นสนิม การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงในลำดับแรกจึงมีความประสงค์ที่จะสร้างท่อที่มีรูปทรงดั้งเดิมเพื่อให้สามารถทดแทนท่อที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งมีสภาพทรุดโทรมตามการใช้งานดังการสังเกตข้างต้น และปรับปรุงรูปทรงของท่อให้มีการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงในช่วงปล่อยสารฝนหลวงน้อยลง การศึกษาในส่วนนี้จะมุ่งเน้นในการเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานตามแบบท่อในปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนการพิจารณาจากการทดสอบวัสดุตามมาตรฐานโดยคณะวิจัยฯ กำลังดำเนินการศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ใช้ในการสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงขึ้นมาใหม่



ก) ท่อโปรยสารฝนหลวงแบบปัจจุบัน



ข) ช่องปล่อยสารฝนหลวง



ค) ปากท่อทางเข้าของอากาศ



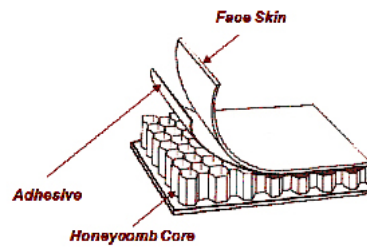
ง) ปลายทางออกของท่อทิ้ง

รูปที่ 2.24: ภาพส่วนต่างๆของท่อโปรยสารแบบดั้งเดิมที่มีชิ้นประกอบบางส่วนเป็นอะลูมิเนียม

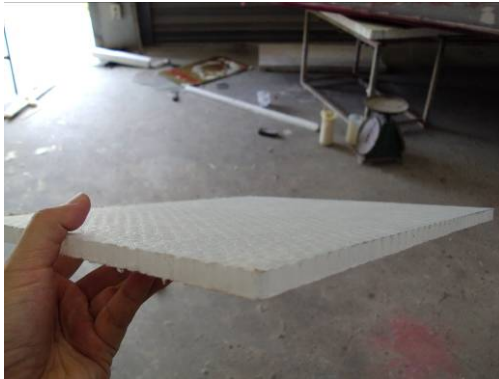
การเลือกวัสดุในการสร้างท่อพิจารณาจากความแข็งแรงของวัสดุเมื่อมีแรงต่างๆ กระทำต่อท่อโปรยสาร นั่นคือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของตัวท่อเมื่อเครื่องบินทำการบินภายในกรอบการบินที่กำหนดตาม FAR part 25 และแรงที่เกิดจากแรงดันเมื่อท่อปะทะกับอากาศ จากการศึกษากรอบการบิน พบว่า เครื่องบินสามารถทำการบินภายใต้อัตราส่วนของแรงต่อน้ำหนักไม่เกิน 3.8 และแรงดันที่ได้รับเมื่อเครื่องบินบินปฏิบัติการมีค่าน้อยมาก เนื่องจากอากาศสามารถไหลผ่านท่อออกไปได้สะดวก คณะวิจัยฯ จึงได้พิจารณาความแข็งแรงของท่อโปรยสารผนหลวงโดยพิจารณากรณีแรกเป็นสำคัญและเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาเพื่อให้ได้น้ำหนักสุทธิน้อยกว่าเดิม นั่นคือ แรงที่กระทำต่อท่อโปรยสารเคมีมีค่าน้อยลงทำให้มีโอกาสเสียหายยากขึ้น

นอกจากประเด็นของแรงจากน้ำหนักของท่อเองแล้วประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบท่อโปรยสาร คือ สมบัติภายใต้การกระแทก เนื่องจากภายในท่อโปรยสารเคมีมีโอกาสที่จะได้รับแรงกระทำที่ค่อนข้างไม่แน่นอนซึ่งเกิดการการไหลปั่นป่วน โดยทั่วไปวัสดุประกอบ (Composite material) สามารถเสียหายได้อย่างง่ายดายจากแรงกระแทกเนื่องจากจะส่งผลทำให้เกิดการแยกชั้นและเป็นต้นเหตุแห่งการพังของโครงสร้างได้ ด้วยเหตุนี้คณะวิจัยฯ จึงเสนอการใช้งานโครงสร้างแซนด์วิช (Sandwich structure) ที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงดัดสูง และสามารถดูดซับพลังงานที่เกิดจากการกระแทกได้ดีกว่าการใช้งานวัสดุประกอบที่มีการเรียงหลายชั้นหรือแผ่นลามิเนตต่างๆ ไป

โครงสร้างแซนด์วิชเป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งที่ได้รับการเรียกขานเนื่องจากการประกอบกันมีรูปแบบคล้ายกับแซนด์วิช องค์ประกอบของโครงสร้างแซนด์วิชที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับโครงสร้างอากาศยานโดยทั่วไปมี 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.25 ประกอบด้วย แผ่นประกบ (Face skin) และ แกน (Core) ในรูปเป็นตัวอย่างของแกนรูปทรงรังผึ้ง (Honeycomb) และการเชื่อมต่อแผ่นประกบ/แกนใช้กาว (Adhesive) เป็นตัวยึด แผ่นประกบเป็นองค์ประกอบสำคัญในการรับแรงในระนาบและแกนเป็นส่วนสำคัญสำหรับต้านทานแรงนอกระนาบ วัสดุที่ใช้ในแต่ละองค์ประกอบสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับระดับของการนำโครงสร้างแซนด์วิชไปใช้งาน วัสดุที่คณะวิจัยฯ ได้ทำการศึกษาสำหรับการสร้างท่อโปรยสารผนหลวงประกอบด้วยแผ่นประกบคาร์บอน/อีพ็อกซีที่ใช้แกนเป็นแผงรังผึ้ง (รูปที่ 2.26 ก) หรือโฟมโพลียูรีเทน (รูปที่ 2.26 ข) หรือ โย แก้ว/อีพ็อกซีสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยโยแก้ว 2 ชั้นเชื่อมต่อกันด้วยการสานด้วยโยแก้วสามารถขึ้นรูปได้อย่างง่ายดายโดยชุบอีพ็อกซีจากนั้นโยแก้วจะมีการแยกชั้นอย่างสม่ำเสมอและสามารถกำหนดระยะห่างระหว่างชั้นได้จากการสั่งซื้อจากผู้ผลิต รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างแซนด์วิชแบบโยแก้วที่คณะวิจัยฯ ทำการศึกษาหลังจากขึ้นรูปด้วยการชุบอีพ็อกซี รูปที่ 2.28 แสดงการสร้างชั้นทดสอบตั้งแต่เตรียมตัดเส้นโยที่ต้องการใช้ในการขึ้นรูปเพื่อทดสอบเฉพาะแผ่นประกบที่มีการเรียงเส้นโยในทิศทางแตกต่างกันจนถึงการสร้างชิ้นงานโครงสร้างแซนด์วิชเพื่อทำการทดสอบความต้านทานต่อการโก่ง



รูปที่ 2.25: ตัวอย่างองค์ประกอบของโครงสร้างแซนด์วิช



ก) แผงรังผึ้งสำหรับขึ้นทดสอบแบบแซนด์วิช



ข) โฟมโพลียูรีเทนสำหรับขึ้นทดสอบแบบแซนด์วิช

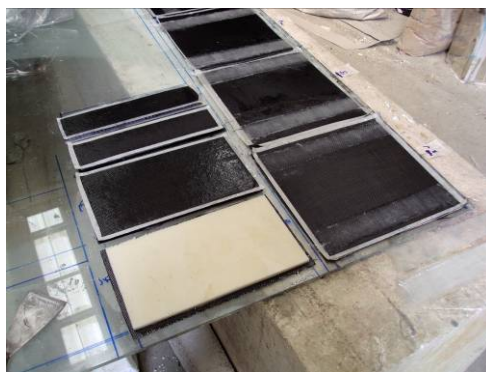
รูปที่ 2.26: ตัวอย่างแกนที่ใช้ในโครงสร้างแซนด์วิช



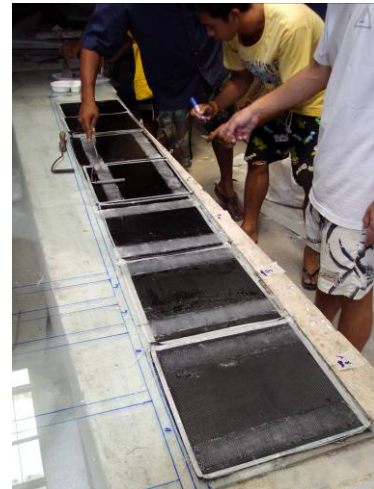
รูปที่ 2.27: เส้นใยสำเร็จรูปสำหรับขึ้นทดสอบแบบแซนด์วิช



ก) การเตรียมสร้างขึ้นทดสอบความแข็งแรง



ข) การสร้างขึ้นทดสอบแบบแซนด์วิช



ค) การสร้างขึ้นทดสอบความแข็งแรง

รูปที่ 2.28: แสดงตัวอย่างการสร้างขึ้นทดสอบสำหรับโครงสร้างแซนด์วิช

การดำเนินงานต่อไปในการสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงคือการทดสอบความแข็งแรงของขึ้นทดสอบข้างต้นเพื่อหาสมบัติทางกลของเส้นใยที่ต้องการนำไปใช้สำหรับแผ่นประกบ เลือกชนิดของโครงสร้างแซนด์วิชที่มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับสร้างเป็นท่อต้นแบบเพื่อติดตั้งกับเครื่องบินซีเอ็น 235-220 เพื่อใช้วัดแรงที่กระทำต่อท่อโปรยสารฝนหลวงขณะปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อใช้ในการปรับปรุงท่อในส่วนที่ 2 ต่อไป

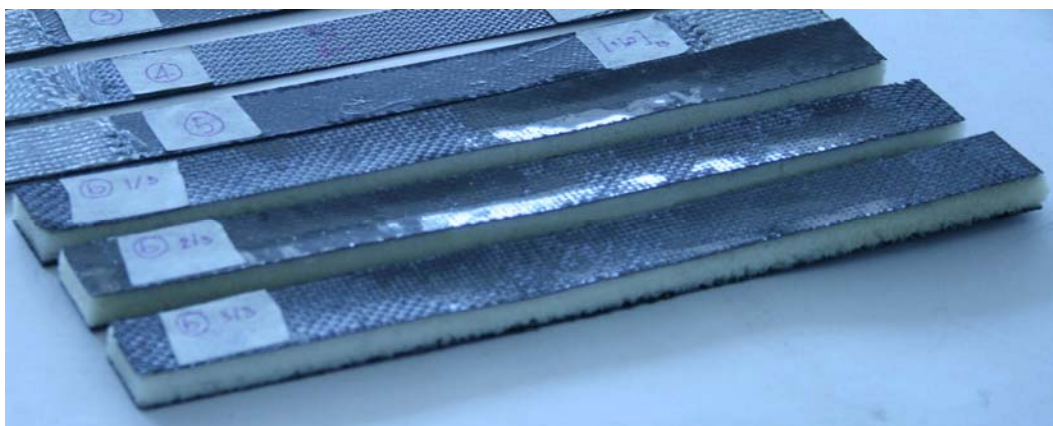
การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงโดยใช้วัสดุประกอบ

ตามที่ทางคณะวิจัยได้ดำเนินการศึกษาโดยการจำลองการไหลโดยระเบียบวิธีการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ หรือ CFD ดังที่นำเสนอไว้ในรายงานบทที่ 2 ข้อมูลทางกายภาพของท่อโปรยสารฝนหลวงแบบเดิมและรูปแบบที่ได้รับการออกแบบปรับปรุงเพื่อควบคุมการฟุ้งกระจายของสารถูกนำมาออกแบบต่อในเรื่องของโครงสร้างสำหรับกาจัดสร้างเป็นท่อโปรยสารต้นแบบ การดำเนินงานเพิ่มเติมในส่วนนี้ประกอบไปด้วยการทดสอบชิ้นงานและการสร้างท่อตั้งทั้งตามรูปแบบดั้งเดิม รูปแบบปรับปรุงแบบที่ 1 (ท่อตรง) แบบที่ 2 (ท่อโค้ง) และแบบที่ 3 (ท่อโค้งปลอกหัก) ตามรายละเอียด ดังนี้

3.1 การทดสอบชิ้นงาน

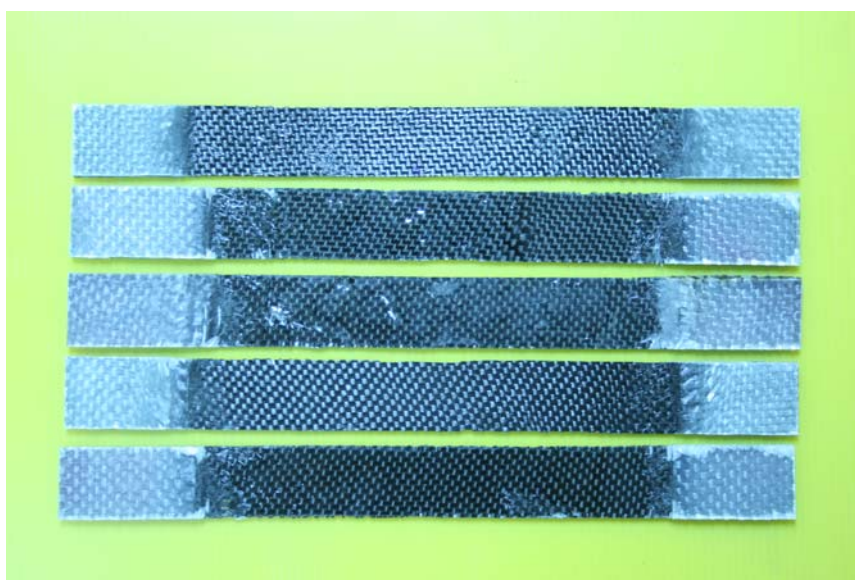
การทดสอบหาสมบัติทางกลของวัสดุเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งที่สามารถช่วยให้คณะวิจัยทราบถึงความต้านทานต่อแรงและกำลังของวัสดุ การศึกษาสมบัติทางกลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ทางสถิติศาสตร์และจลนศาสตร์ ด้วยข้อจำกัดทางด้านข้อมูลของภากรรมการทำให้เกิดขึ้นจากสภาพการบินจริงที่ต้องขออนุญาตเก็บข้อมูลในภายหลังทำให้ทางคณะวิจัยได้ทำการศึกษาในรูปแบบแรกเท่านั้นเพื่อนำมาใช้ประกอบในการออกแบบเบื้องต้น โดยในส่วนของ การทดสอบทางสถิติศาสตร์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือกับภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประเภทแรงดึง แรงเฉือนและความต้านทานต่อแรงดัด

ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเปรียบเสมือนชิ้นส่วนที่เป็นตัวแทนของท่อโปรยสารเคมีที่จัดสร้างขึ้นด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน นั่นคือ แผ่นแซนด์วิชที่มีรายละเอียดตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นประกบและแกน โดยคณะวิจัยได้เลือกเส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุที่ใช้ในการสร้างแผ่นประกบเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ความต้านทานต่อแรงและกำลังสูง สำหรับแกนได้เลือกจาก 2 ประเภท คือ แกนรังผึ้งและแกนโฟมโพลียูรีเทนนั้น ผลปรากฏว่า เมื่อทำการขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยวัสดุทั้ง 2 ประเภทพบว่าแกนรังผึ้งมีน้ำหนักสูง ส่วนแกนที่เป็นโฟมโพลียูรีเทนมีสภาพที่ไม่เสถียร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ทำให้ความสม่ำเสมอในการรองรับแผ่นประกบมีปัญหาซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้นของความเสียหายในการใช้งานได้ ส่วนแผ่นแซนด์วิชที่สามารถขึ้นรูปได้เองนั้นมีราคาค่อนข้างราคาสูงและจัดหาตัวแทนจำหน่ายในจำนวนจำกัดที่ต้องการใช้ได้ยาก คณะวิจัยจึงเลือกแกนแซนด์วิชประเภทโฟมพีวีซีซึ่งมีผู้จำหน่ายในจำนวนที่ต้องการในการศึกษาเบื้องต้น โฟมมีความเสถียรและน้ำหนักเบาซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับการสร้างท่อโปรยสารเคมี



รูปที่ 3.1: สภาพไม่เสถียรของโพลีฟลูออรีเทน

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานสำหรับแผ่นประกบเนื่องจากการทำงานของแผ่นประกบเป็นส่วนที่ใช้รับแรงดึงและแรงกดเป็นหลัก การทดสอบนี้ดำเนินการตามมาตรฐานของเอเอสทีเอ็ม (American Society for Testing and Materials:ASTM) ประเภท ดี3039/ดี3039เอ็ม-00 (D3039/D3039M-00) ซึ่งแผ่นคาร์บอนที่ใช้ในการสร้างท่อถูกนำมาเรียงซ้อนกันให้ได้ความหนาตามมาตรฐานจากนั้นจึงตัดให้เป็นชิ้นส่วนตรง มีโยแก้วประกบปลายทั้ง 2 ด้านเพื่อเพิ่มความหนาให้เครื่องมือทดสอบสามารถจับชิ้นงานได้อย่างแน่นหนา ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ชิ้นทดสอบถูกสร้างในทิศทางเรียงตัวของเส้นใยที่แตกต่างกันไป เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับพฤติกรรมทางกายภาพของวัสดุ



รูปที่ 3.2: ชิ้นงานแผ่นคาร์บอนตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม

การทดสอบแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3 ชิ้นงานได้รับการติดตั้งเข้ากับเครื่องมือทดสอบถูกจับยึดที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ในระหว่างการทดสอบสามารถวัดแรงและระยะยืดที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ ผลที่ได้หลังจากการทดสอบพบว่าความต้านทานแรงดึงและกำลังของชิ้นทดสอบแปรผันไปตามทิศทางการเรียงเส้นใย ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดสำหรับการเรียงตัวตรงกับทิศทางของแรงค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงและความเสียหายของทั้งชิ้นเกิดจากการขาดจากกันโดยสมบูรณ์ของเส้นใยในแนวขวางของทิศทางของแรงตลอดทั้งชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.4



ก)



ข)

รูปที่ 3.3: การทดสอบแรงดึงชิ้นงานแผ่นคาร์บอน ก) ระหว่างทดสอบ ข) เมื่อเกิดความเสียหาย

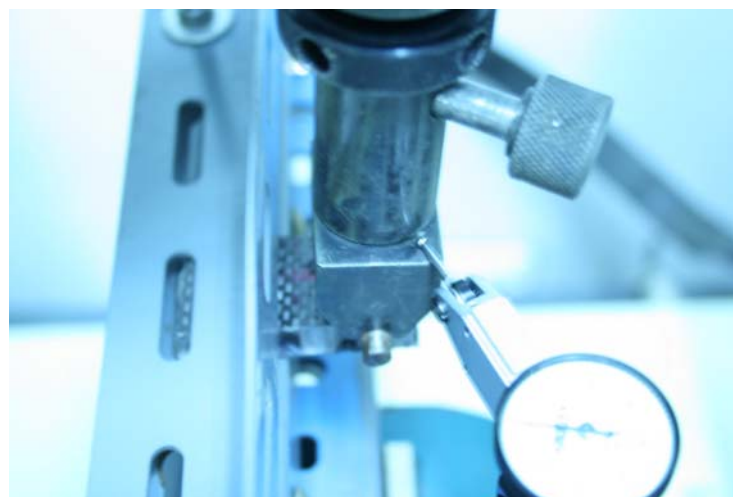


รูปที่ 3.4: ชิ้นงานแผ่นคาร์บอนที่ผ่านการทดสอบจนกระทั่งเสียหาย

การทดสอบแรงดัดและแรงเฉือนของชิ้นงานแผ่นแซนด์วิชเป็นการทดสอบเฉพาะสำหรับการนำไปใช้สร้างท่อโปรยสารเคมี ขนาดของชิ้นงานได้รับการกำหนดตามความหนาที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงดัดและแรงเฉือนซึ่งปรากฏจากแบบของท่อเดิมมีความหนาประมาณ 5-6 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่เพียงพอคณะวิจัยจึงได้เลือกความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ซึ่งไม่เพิ่มน้ำหนักให้ท่อโปรยสารเคมีและแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากหน้าตัดที่รับแรงดัดและแรงเฉือนเพิ่ม การทดสอบแรงดัดและแรงเฉือนแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.5 มีการบันทึกแรงและระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงานเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความแข็งแรงต่อแรงดัดและแรงเฉือนได้ ผลที่ได้รับพบว่าโฟมโพลียูรีเทนที่มีความไม่เสถียรมีความต้านทานทั้ง 2 น้อยกว่าแกนรังผึ้งและโฟมพีวีซีมาก ดังนั้นโฟมพีวีซีจึงมีความเหมาะสมที่สุดจากการคัดเลือกโดยใช้น้ำหนักและความแข็งแรงเป็นสำคัญ



ก) ทดสอบแรงดัด



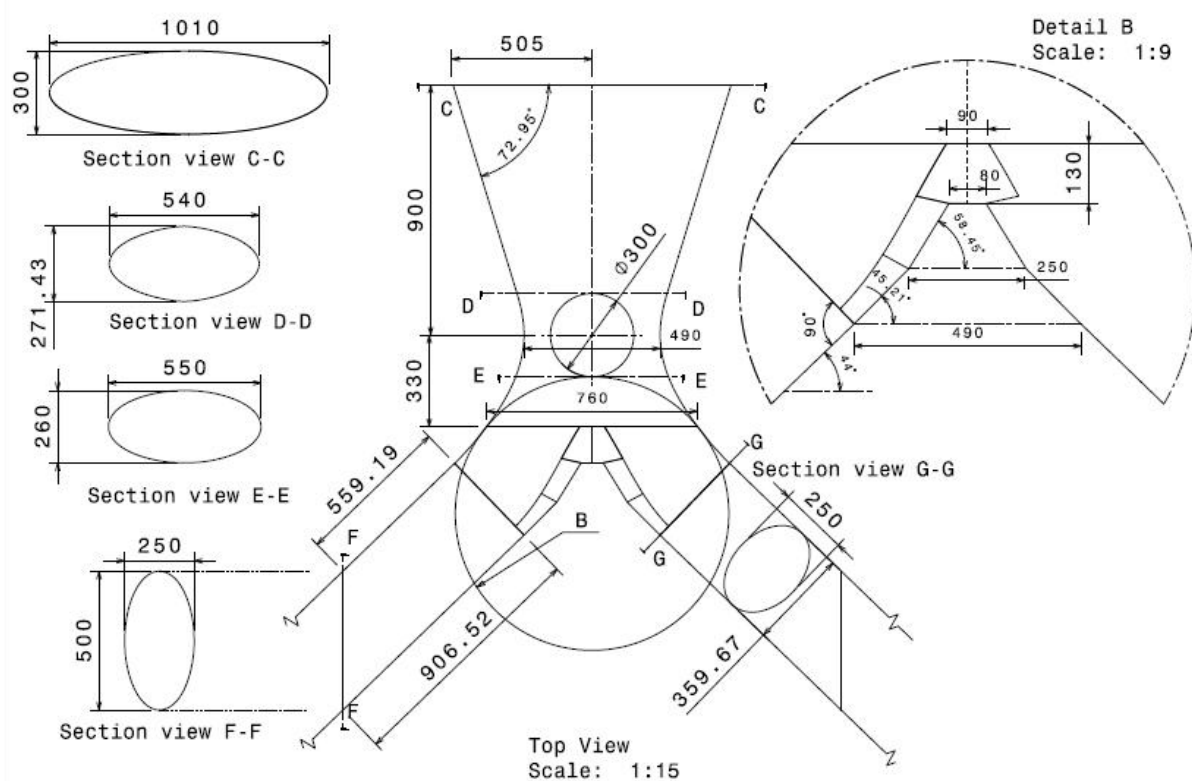
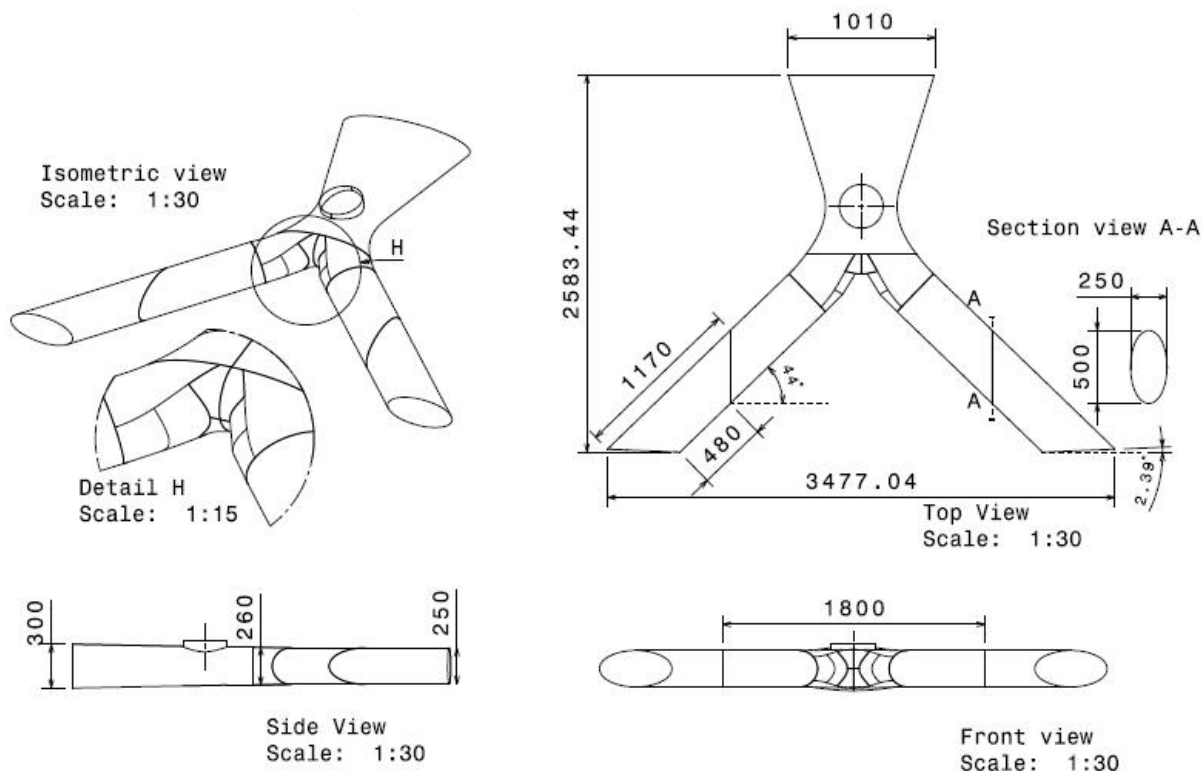
ข) ทดสอบแรงเฉือน

รูปที่ 3.5: การทดสอบชิ้นงานแผ่นแซนด์วิชสำหรับการรับแรงดัดและเฉือน

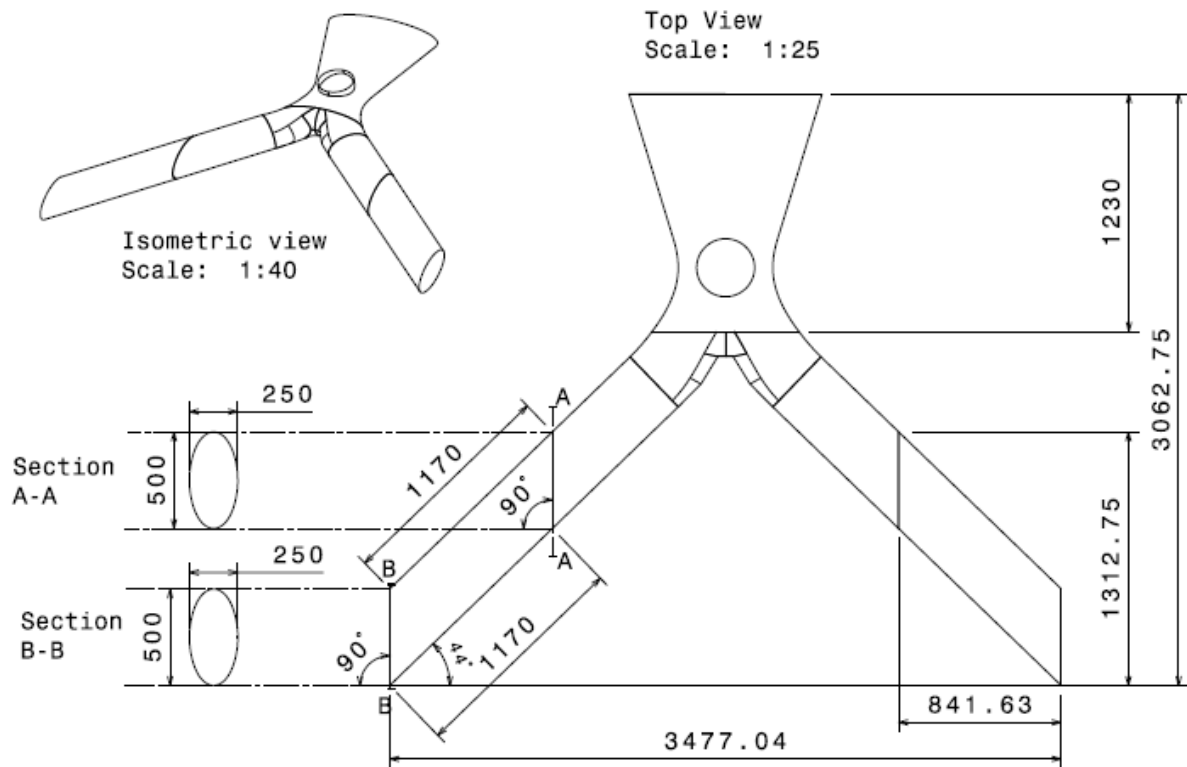
3.2 การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวง

เมื่อองค์ประกอบต่างๆ ของการสร้างท่อโปรยสารได้รับการคัดเลือกเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ ดำเนินการสร้างตามท่อโปรยสารต้นแบบตามรูปแบบเดิม และรูปแบบที่มีการปรับปรุงทั้ง 3 แบบดังที่นำเสนอในส่วนรายงานของบทที่ 2 แผนแบบของท่อต้นแบบทั้งสี่รูปแบบเป็นไปตามแสดงในรูปที่ 3.6 – 3.9 ในส่วนของท่อยาวหลักซึ่งถูกสร้างตามรูปแบบเดิมจะมีเพียงแค่ส่วนของจุดเริ่มต้นของทางแยกไหลที่ขยับห่างออกจากจุดที่นำสารฝนหลวงเข้าท่อโปรยมากขึ้นดังที่แสดงในแผนแบบ ทั้งนี้เพื่อลดความดันอัดตัวหลังจากปล่อยสารลงไป ส่วนปลายของท่อทั้งที่ต่างกันทำให้ความยาวของท่อโดยรวมแตกต่างกันตั้งแต่ 2.71 – 3.06 เมตร แต่ท่อยังมีความกว้างเท่าเดิมทุกแบบคือ 3.48 เมตร ความสูงของท่อมีค่าประมาณที่ตำแหน่งที่สูงที่สุดเท่าเดิมคือ 30 เซนติเมตร โดยรวมขนาดรวมไปถึงจุดติดตั้งของท่อโปรยสารแบบดัดแปลงไม่ต่างจากแบบดั้งเดิมมากนัก การจับยึดกับโครงสร้างจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องบินซีเอ็น 235 โดยรวม

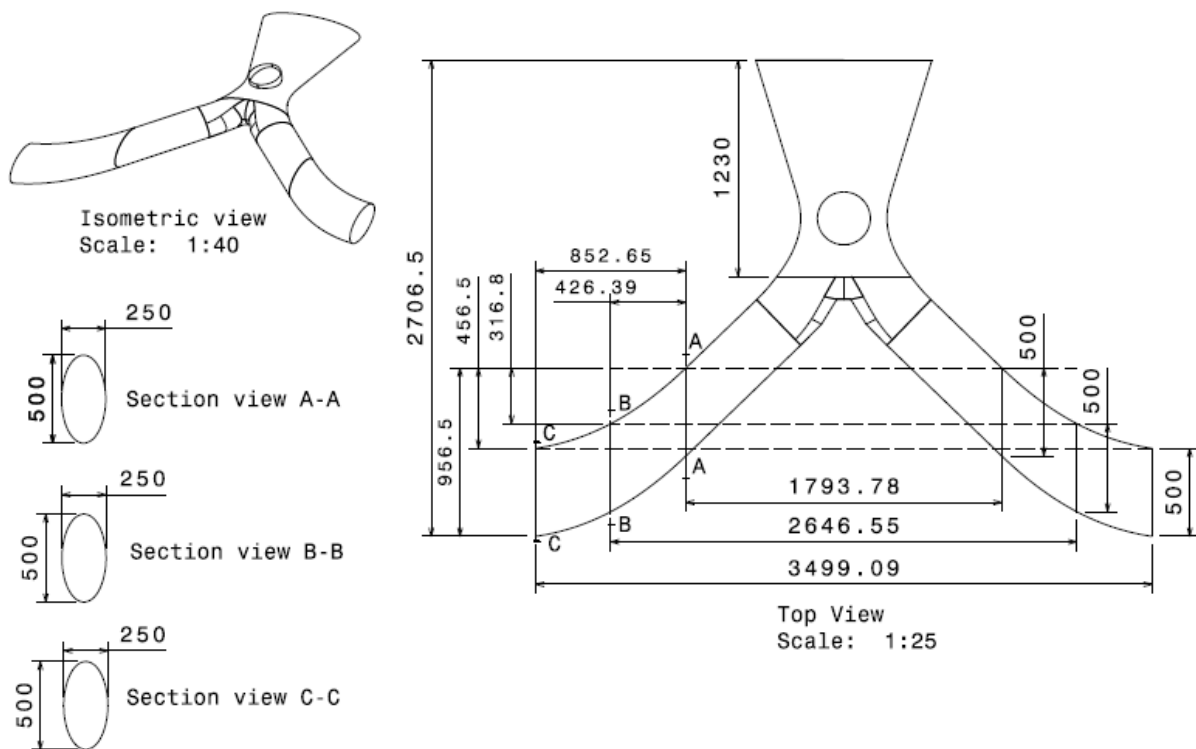
แผนแบบที่ได้รับถูกนำไปเป็นใช้ช่วยในการขึ้นรูปทำแม่พิมพ์สำหรับการสร้างท่อโปรยสารต้นแบบด้วยวัสดุประกอบ ในส่วนของท่อหลัก แม่พิมพ์ที่ใช้ในการสร้างก็คือท่อโปรยสารฝนหลวงที่ใช้ปฏิบัติภารกิจในปัจจุบัน ในขณะที่ส่วนปลายของท่อก็จะทำจากการอัดส่วนผสมของใยแก้วพร้อมก้อนหินส่วนโพนและตัดแต่งให้เป็นไปตามรูปทรงในแผนแบบ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.10 จากนั้นแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปสมบูรณ์แล้วจึงถูกนำไปใช้ในการวางเรียงตัวของวัสดุประกอบประเภทโครงสร้างแซนด์วิชต่อไป



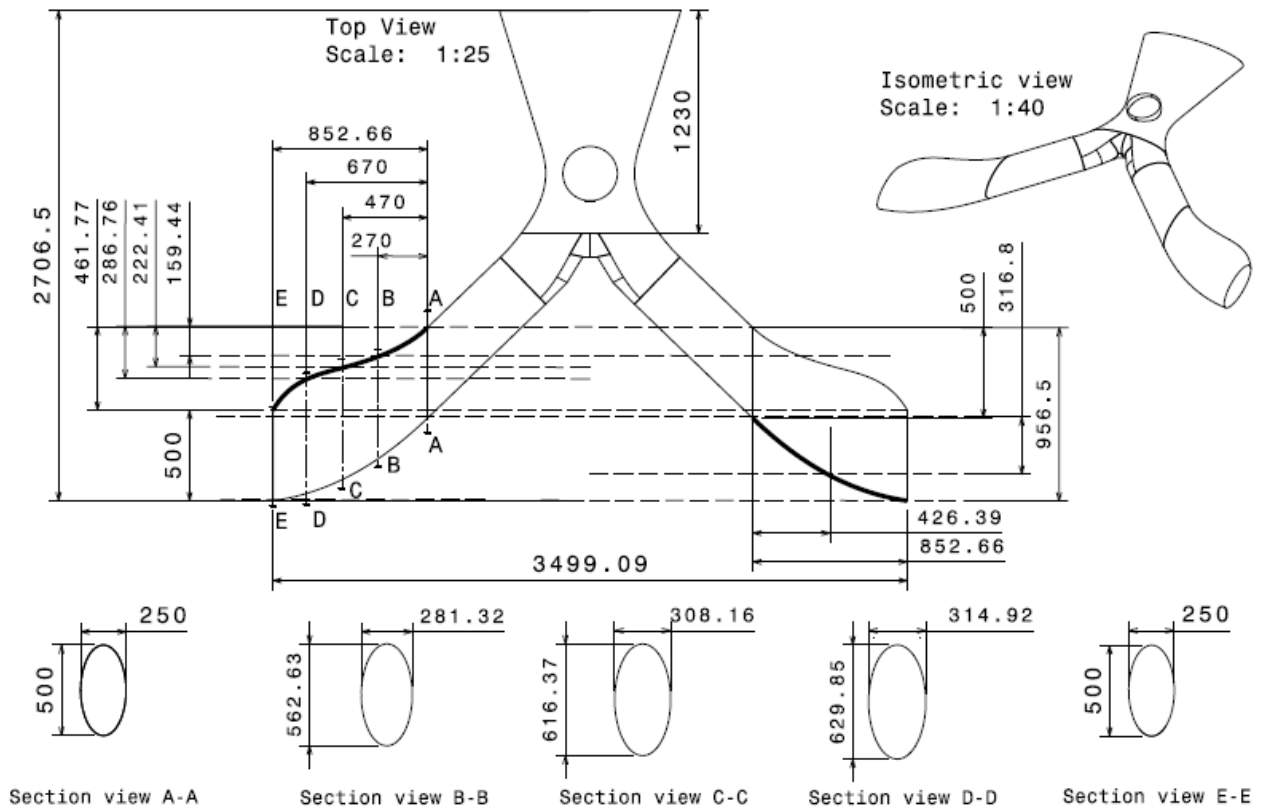
รูปที่ 3.6: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดั้งเดิมพร้อมรายละเอียด
ของส่วนแก้ไขตรงทางไหลแยก



รูปที่ 3.7: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดัดแปลงที่ 1 (ท่อตรง)



รูปที่ 3.8: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดัดแปลงที่ 2 (ท่อโค้ง)



รูปที่ 3.9: แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบรูปแบบดัดแปลงที่ 3 (ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม)



รูปที่ 3.10: การสร้างแม่พิมพ์ส่วนของปลายท่อรูปตัววาย (Y-tube) ตามแบบปรับปรุง
แบบที่ 2 (ท่อโค้ง) และ 3 (ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม)

การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงด้วยโครงสร้างแกนดิวซ์ได้ดำเนินการตามแบบที่กำหนดโดยเริ่มจากทากีฟ็อกซีแล้วเรียงเส้นใยคาร์บอนบนแม่พิมพ์ก่อนจะใช้โฟมพีวีซีความหนาประมาณหนึ่งเซนติเมตรประกบทับ (รูปที่ 3.11) ก่อนจะทับด้วยเส้นใยคาร์บอนตลอดทั้งชิ้นอีกครั้งหนึ่งดังแสดงให้เห็นเป็นชิ้นส่วนสำเร็จตามรูปที่ 3.12 อันเป็นส่วนท่อรูปร่างตัววาย (Y) ทั้งด้านนอกและด้านใน ซึ่งด้านในได้รับการปรับแต่งให้เรียบและมีรอยต่อให้น้อยที่สุดเพื่อให้การไหลผ่านของสารเคมีเป็นไปอย่างเรียบร้อย ซึ่งในส่วนนี้คาดว่าจะลดการสะสมของสารเคมีตามที่พบในท่อแบบเดิม และมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่มีส่วนต่อต่างๆ ให้เกิดเป็นจุดที่สามารถแยกขาดจากกันได้ ส่วนต่อของปลายท่อรูปร่างตัววาย (Y) แบบเดิมแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.13 และแบบดัดแปลงเป็นท่อโค้งได้รับการปรับแต่งตามแบบที่เสนอในส่วนของการศึกษาดูงานในบทที่ 2 ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.14

การดำเนินงานจัดสร้างเป็นไปอย่างราบรื่น มีเพียงแค่ต้องระวังความชื้นและฟองอากาศไม่ให้สะสมอยู่ตามรอยต่อเท่านั้น



รูปที่ 3.11 แสดงการเรียงโฟมพีวีซีทับบนเส้นใยคาร์บอนชั้นใน



รูปที่ 3.12: ส่วนหลักของท่อรูปตัววาย (Y-tube)



รูปที่ 3.13: ส่วนต่อของปลายท่อถึงแบบดั้งเดิม



รูปที่ 3.14 ส่วนต่อของปลายท่อถึงแบบดัดแปลงที่ 2 (ท่อโค้ง)

บทที่ 4

การทดสอบตัวต้นแบบของ ท่อโปรยสารฝนหลวงดัดแปลง

4.1 แผนการทดสอบต้นแบบท่อโปรยสารดัดแปลงในบรรยากาศ

เพื่อตรวจสอบผลของการทำงานของท่อโปรยสารฝนหลวงดัดแปลงโดยละเอียด และเปรียบเทียบผลกับการทำงานกับท่อโปรยสารดั้งเดิม คณะวิจัยฯ จึงได้วางแผนให้มีการทดสอบการทำงานของท่อในชั้นบรรยากาศขณะทำการบินที่สภาพปฏิบัติงานจริงขึ้น โดยวางขั้นตอนการทดสอบออกเป็นสองส่วนหลัก คือ 1) การทดสอบการไหลของอากาศในท่อโปรยสารในสภาวะที่ไร้อากาศฝนหลวง กับ 2) การทดสอบการไหลของอากาศพร้อมสารฝนหลวง

การทดสอบส่วนแรกคำนึงถึงคุณลักษณะการไหลของอากาศซึ่งจะมีความคล้ายคลึงกับการไหลที่จำลองในคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนของการออกแบบท่อโปรยสาร(บทที่ 2) ทำให้สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบรายละเอียดการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจริงกับการจำลองและตรวจสอบความแม่นยำของการจำลองได้ ในส่วนการทดสอบที่สองพร้อมสารฝนหลวง ผลที่ได้จะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการลดการฟุ้งกระจายของสารไปที่ส่วนหางในสภาวะอากาศที่ตรงกับการปฏิบัติงาน รายละเอียดของการทดสอบในแต่ละส่วนจะเป็นดังนี้

การทดสอบในสภาวะไร้อากาศฝนหลวง

เมื่อเป็นสภาวะการไหลของอากาศที่ไร้อากาศฝนหลวง หรืออากาศสะอาด การทดสอบในส่วนนี้จะมุ่งเน้นที่การสำรวจลักษณะการไหลของอากาศผ่านค่าความเร็วและความดันในจุดต่างๆ ของท่อโปรยสาร โดยกำหนดให้มีจุดวัดค่าตามตำแหน่งดังต่อไปนี้

- ใกล้ช่องปล่อยสารฝนหลวง
- ทางออกท่อกึ่งด้านซ้าย

โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าเชิงปริมาณของความดันอากาศที่ใช้เป็นตัวเทียบวัดกับค่าที่ได้จากการจำลองการไหลและแสดงแนวโน้มของอัตราการไหลที่เกิดขึ้นในท่อต้นแบบรูปทรงต่างๆ

การทดสอบพร้อมสารฝนหลวง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเร็วและความดันบางส่วนจะไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพเมื่อมีฝุ่นผงเช่นสารฝนหลวงปะปนอยู่ในกระแสการไหล การทดสอบท่อโปรยสารพร้อมสารฝนหลวงจึงวางแผนให้เป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ คือวิเคราะห์ผลจากภาพถ่ายและวิดีโอของการกระจายตัวของสารฝนหลวงในอากาศเมื่อปล่อยออกจากปลายท่อ รวมไปถึงภาพถ่ายการสะสมตัวของสารฝนหลวงบนส่วนลำตัวด้านล่างและส่วนหางของเครื่อง

ตามการออกแบบ ท่อโปรยสารต้นแบบที่จะนำมาทดสอบทั้งสองส่วนมีด้วยกันทั้งหมด 4 รูปแบบตามความแตกต่างที่อยู่ตรงส่วนปลายของท่อกิ่ง ประกอบไปด้วย

1. ท่อปล่อยสารแบบดั้งเดิม
2. ท่อปล่อยสารดัดแปลงแบบที่ 1: ท่อตรง
3. ท่อปล่อยสารดัดแปลงแบบที่ 2: ท่อโค้งไม่มีปลอก
4. ท่อปล่อยสารดัดแปลงแบบที่ 3: ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม

ทำให้สามารถกำหนดเป็นตารางแผนการทดสอบได้ตามตารางที่ 4.1

4.2 รูปแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในบรรยากาศ

การวัดความดันสถิตบนผนังท่อโปรยสาร

การวัดความดันอากาศที่กระทำกับพื้นผิวของท่อโปรยสารสามารถทำได้โดยการฝังท่อวัดความดันสถิต (Static tube) ที่ทำจากทองแดง ปลายท่อทองแดงด้านที่ใช้วัดจะฝังตั้งฉากกับผนังด้านในของท่อโปรยสารฝนหลวงและมีหน้าตัดเรียบเสมอไปกับพื้นผิวของผนัง ดังที่แสดงตัวอย่างการฝังท่อวัดไว้ในรูปที่ 4.1 ท่อทองแดงจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 2 มม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 1 มม. ทำให้สามารถวัดความดันสถิตที่ตำแหน่งฝังตัวได้อย่างเหมาะสม ส่วนปลายของทองแดงที่ทะลุออกมาที่ผนังท่อโปรยสารด้านนอกจะถูกต่อเข้ากับท่อพลาสติกอ่อนที่ติดตั้งرابไปกับผนังของท่อโปรยสารเพื่อนำส่วนปลายท่อกลับเข้าไปในห้องโดยสารของเครื่องบิน 235 ได้

ตำแหน่งที่ใช้วัดความดันสถิตซึ่งเป็นตำแหน่งติดตั้งท่อทองแดงจะมีอยู่ 2 จุดหลักคือ 1) ตำแหน่งคอคอดของท่อหลัก เยื้องไปทางด้านหลังท่อนำสารฝนหลวงที่อยู่ตรงข้ามด้านบน และ 2) ปลายทางออกของท่อกิ่ง ตามที่แสดงไว้ตำแหน่งไว้ในรูปที่ 4.2 โดยแต่ละตำแหน่งจะมีท่อวัดความดันอยู่ตำแหน่งละสองท่อเพื่อหาความดันโดยเฉลี่ยของบริเวณนั้น ทั้งสองท่อติดตั้งบนผนังด้านล่างของท่อโปรย เนื่องจากด้านบนของท่อโปรยอยู่ติดกับเครื่องบิน ความดันที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านท่ออ่อนที่ถูกวางขนานไปกับผนังด้านนอกของท่อโปรย ท่ออ่อนถูกยึดติดกับผนังโดยแผ่นใยคาร์บอนที่กันแรงลมได้เป็นอย่างดี ค่าเฉลี่ยของความดันจากแต่ละตำแหน่งจะถูกวัดผ่านเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศต่าง (Differential pressure manometer) ที่แปลงความดันอากาศเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าและคำนวณออกมาเป็นตัวเลขสำหรับการบันทึกผลในการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.1: ตัวอย่างพื้นผิวที่ถูกฝังด้วยท่อวัดความดันสถิตที่ทำจากท่อทองแดง



รูปที่ 4.2: แสดงตำแหน่งติดตั้งท่อวัดความดันสถิตที่ส่วนกลางท่อโปรยสารและปลายท่อโปรยสาร

ตารางที่ 4.1: แผนการทดสอบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบ

รูปแบบท่อ	อากาศไร้สารฝนหลวง				อากาศพร้อมสารฝนหลวง					
	ปล่อยปล่อยสาร		ทางออก		ขณะบินถ่ายจาก ด้านข้าง		ขณะบินถ่ายจาก ด้านล่าง		หลังบินถ่ายจาก ด้านหลัง	
	ความเร็ว	ความดัน	ความเร็ว	ความดัน	ภาพถ่าย	วิดีโอ	ภาพถ่าย	วิดีโอ	ภาพถ่าย	วิดีโอ
1. ท่อแบบดั้งเดิม	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
2. ท่อดัดแปลง:ท่อตรง	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
3. ท่อดัดแปลง: ท่อโค้ง	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
4. ท่อดัดแปลง: ท่อโค้งมี ปลอก	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-

4.3 ผลการทดสอบในบรรยากาศ

ผลการทดสอบที่ได้จากการเก็บข้อมูลทางอากาศพลศาสตร์เมื่อทำการบินทดสอบควรมีค่าที่สามารถใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองการไหลในตารางที่ 4.2 นี้ ค่าความดันและอัตราการไหลที่ได้จากการจำลองบอกว่าท่อตัดแปลงแบบที่ 3 มีอัตราการไหลที่ดี และให้ความเร็วในการไหลออกที่ดีเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.2: ค่าเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการจำลองการไหล

ตำแหน่งวัด	ท่อรูปร่างดั้งเดิม	ท่อตัดแปลงแบบที่ 1	ท่อตัดแปลงแบบที่ 3
อัตราการไหล (kg/s)	10.98	10.45	13.42
ความดันเกจที่ ทางเข้าท่อ (Pa)	2751.73	2748.07	2745.15
ความดันเกจที่ ปลายท่อ (Pa)	-903.60	-599.91	-1298.85

การทดสอบในสภาวะไร้สารปนหลว

ในการทดสอบจริงซึ่งเริ่มจากการทดสอบแบบไม่มีสารปนหลวเข้ามาเกี่ยวข้องในการไหล พบว่าความเร็วที่ใช้ในการทำการบินรวมไปถึงมุมปะทะไม่สามารถทำให้ได้ตรงกับการจำลองการไหลอย่างแน่นอน ผลของการทดสอบจริงในบรรยากาศจึงออกมาเป็นดังตารางที่ 4.3 นั่นคือท่อรูปร่างดั้งเดิมให้อัตราการไหลที่ดีที่สุด (โดยดูจากปริมาณความดันเกจที่ตำแหน่งกลางท่อ) เนื่องมาจากการที่ท่อตัดแปลงแบบท่อโค้งทั้งในแบบที่ 2 และ 3 มีการหักเลี้ยวที่ทำให้เกิดการแยกไหลภายในท่อมามากกว่าที่พบในการจำลองการไหล ทำให้ประสิทธิภาพของการไหลในท่อลดไปจากการคำนวณ ส่งผลให้อัตราการไหลลดลงกว่าที่คาดแต่กระนั้นยังมีอัตราการไหลที่ดีกว่าท่อตัดแปลงแบบที่ 1 การปรับจุดแยกไหลให้มีระยะห่างจากช่องนำสารด้านบนมากขึ้นอาจมีส่วนช่วยให้อัตราการไหลโดยรวมดีขึ้นในท่อที่คล้ายรูปร่างดั้งเดิมและท่อตัดแปลงแบบโค้ง

เนื่องจากการที่ท่อวัดความดันถูกวางไว้สองจุดต่อหนึ่งตำแหน่งวัด การเฉลี่ยค่าที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีการแยกไหลกับบริเวณที่ไม่สามารถส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในค่าที่วัดได้ในท่อตัดแปลงแบบที่เป็นท่อโค้งทั้งสองอันได้ แต่สิ่งหนึ่งที่สามารถสังเกตได้จากผลการวัดท่อโค้งทั้งสองคือการเพิ่มส่วนหุ้มด้านนอกอาจมีส่วนช่วยให้การแยกไหลของสารลดลง อันเห็นได้จากค่าความดันด้านหลังของท่อตัดแปลงแบบที่ 3 น้อยกว่าแบบที่ 2

การชี้วัดประสิทธิภาพการควบคุมการฟุ้งกระจายของสารปนหลวในบริเวณแพนหางจะกระทำในการทดสอบพร้อมสารปนหลว

ตารางที่ 4.3: ผลการวัดความดันในท่อโปรยสารต้นแบบทั้งสี่แบบเมื่อทำการทดสอบแบบไม่มีสารฝนหลวง

ตำแหน่งวัด	เงื่อนไขการบิน	ท่อรูปแบบดั้งเดิม	ท่อดัดแปลงแบบ 1	ท่อดัดแปลงแบบ 2	ท่อดัดแปลงแบบ 3
ความดันเกวกลางท่อ (Pa)	130 knots (ไม่มี flap)	-1650	-1050	-1300	-1250
	120 knots (เปิด flap)	-1300	-700	-780	-748
ความดันเกวปลายท่อ (Pa)	130 knots (ไม่มี flap)	-342	85	664	505
	120 knots (เปิด flap)	-297	-20	380	270

การทดสอบพร้อมสารฝนหลวง

ในการทดสอบพร้อมสารฝนหลวง การวัดค่าความดันในท่อไม่สามารถกระทำได้เพราะปริมาณสารฝนหลวงที่เข้าไปรบกวนและอุดตันท่อวัดความดัน การเปรียบเทียบจึงทำได้โดยการถ่ายภาพนิ่งและวีดีโอทั้งตอนทำการบิน และผลที่ปรากฏหลังการบินทดสอบ เนื่องจากเวลาที่จำกัด จึงทำการทดสอบเพียงสามรูปแบบคือรูปแบบดั้งเดิมและท่อดัดแปลงแบบที่ 1 และ 3 โดยเครื่องบิน ซีเอ็น 235 ได้ทำการบินโปรยสารฝนหลวงสูตร 1 (เกลือบั้ง) จำนวน 1 ตัน เจ้าหน้าที่โปรยสารถูกกำหนดให้ทำการโปรยสารให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้และทำการจับเวลาในการโปรยตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้น การบินแต่ละครั้งจะทำการบินทั้งในแบบที่เปิดและไม่เปิด flap ที่ความเร็วเช่นเดียวกับการทดสอบแบบไร้สาร ทุกครั้งหลังจากการบินในหนึ่งรูปแบบ หลังจากเก็บภาพถ่ายแล้ว ท้ายเครื่องบินจะถูกล้างด้วยน้ำสะอาดทุกครั้งเพื่อให้การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน

ผลการจับเวลาการปล่อยสาร 1 ตัน พบว่าการไหลของท่อแบบดั้งเดิมมีความสามารถโปรยสารออกได้ดีที่สุดดังจะเห็นได้จากการที่สามารถโปรยสารได้หมดในเวลาประมาณ 6 นาที ในขณะที่แบบดัดแปลงที่ 3 สามารถโปรยได้ในเวลาประมาณ 8 นาที ส่วนท่อดัดแปลงที่ 1 โปรยสารได้ไม่ดี ทำเวลาได้เกินกว่า 15 นาทีและมีการฟุ้งกระจายของสารภายในห้องโดยสาร จากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมการโปรยสาร พบว่าท่อโปรยสารต้นแบบที่เหมือนแบบดั้งเดิมและแบบดัดแปลงที่ 3 (ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม) สามารถโปรยสารได้ดีกว่าเวลาที่ทำได้ตามมาตรฐานการโปรยสารก่อน นอกจากทำเวลาได้ดีขึ้นแล้วสารฝนหลวงไม่ฟุ้งกระจายในห้องโดยสารเวลาเทลงไปพร้อมกันมาก ๆ



ก) ท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม



ข) ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 1



ค) ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 3

รูปที่ 4.3: ภาพถ่ายด้านข้างของท่อโปรยสารต้นแบบทั้งสามรูปแบบที่บินทดสอบพร้อมโปรยสารฝนหลวง

รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายในอากาศของท่อโปรยสารต้นแบบทั้งสามรูปแบบ เนื่องจากเวลาที่ทำการบินของแต่ละรูปแบบเป็นคนละช่วงเวลาของวันและไม่สามารถถ่ายภาพจากมุมที่ตรงกันทุกครั้ง ทำให้ภาพถ่ายในอากาศที่ได้ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างชัดเจน แต่จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายพร้อมกับวิดีโอและการจดบันทึกตอนทำการบินจริง พบว่าการกระจายตัวของสารฝนหลวงในท่อต้นแบบดัดแปลงที่ 3 (รูปที่ 4.3 ค) จะมีลักษณะที่เป็นยาวตรงไปทางด้านหลัง มีการยกตัวของลำอากาศที่ปนด้วยสารฝนหลวงเพียงเล็กน้อย จากระยะสังเกตเกือบจะไม่พบการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงสู่ส่วนหางของเครื่องบินซีเอ็น 235 เลย ปริมาณสารฝนหลวงที่ออกมาไม่เข้มข้นมาก

ในขณะที่เมื่อทำการทดสอบท่อต้นแบบดั้งเดิม (รูปที่ 4.3 ก) พบว่าปริมาณสารฝนหลวงที่ออกมาค่อนข้างจะเข้มข้นกว่าในแบบดัดแปลงที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามการทดสอบแบบไร้สารที่ท่อแบบดั้งเดิมช่วยให้อากาศไหลผ่านท่อในปริมาณที่มากที่สุด แต่เมื่อกระจายตัวออกทางปลายท่อแล้ว ความเข้มข้นของสารทำให้มีการกระจายตัวขึ้นไปหาส่วนหางในบางครั้ง โดยเฉพาะในตอนที่ทำการบินแบบเปิด flap ซึ่งการใช้ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 3 จะไม่พบปัญหานี้เมื่อเปิด flap ทิศทางของลำอากาศโดยรวมของท่อแบบดั้งเดิมจะมีทิศยกตัวเข้าหาส่วนหางบาง แต่การฟุ้งกระจายของสารมีลักษณะที่ไม่แน่นอนมากกว่าแบบดัดแปลงที่ 3

การทดสอบกับท่อต้นแบบดัดแปลงที่ 1 ใช้เวลาในการบินทดสอบนานกว่ารูปแบบอื่น เนื่องจากระยะเวลาในการโปรยสาร ลักษณะของสารฝนหลวงที่ออกมาทางปลายท่อมีความเบาบางของปริมาณสารมากจนเกือบจะไม่เห็นการฟุ้งกระจายของสารเลยเนื่องจากถูกกระแสอากาศรอบตัวพัดออกไปหมด แต่เมื่อศึกษาวิดีโอจะพบว่าสารฝนหลวงยังมีการฟุ้งกระจายอยู่ ทิศทางการไหลโดยรวมมีลักษณะใกล้เคียงกับแบบดัดแปลงที่ 3 คือมีการยกตัวของกระแสอากาศน้อยมาก การที่สารฝนหลวงถูกดูดออกมาจากท่อโปรยน้อยสอดคล้องกับความดันอากาศที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบแบบไร้สารฝนหลวง

เมื่อกลับจากการบินทดสอบในกรณีของท่อดัดแปลงแบบที่ 3 พบว่าส่วนหางของเครื่องบินแทบจะไม่มีสารฝนหลวงเกาะอยู่เลย ส่วนที่มีสารฝนหลวงสะสมตัวมากที่สุดคือส่วนด้านหลังของปลายท่อโค้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากกระแสแยกไหลหลังด้านหลังท่อเป็นบริเวณที่มีความดันต่ำ สารฝนหลวงบางส่วนจึงถูกถึงไว้ในบริเวณนี้ แต่ก็นั้นก็ไม่ได้กินวงกว้างหรือสะสมหนาจนเกินไป รูปที่ 4.4 แสดงด้านหลังของเครื่องบินซีเอ็น 235 หลังทำการทดสอบกับท่อดัดแปลงแบบที่ 3 และบริเวณปลายท่อโค้งที่กล่าวถึง

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ เมื่อทำการสังเกตส่วนหางของเครื่องบินซีเอ็น 235 ที่ทำการบินโปรยสารด้วยท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม จะพบว่าสารฝนหลวงบางส่วนมีการสะสมตัวที่บริเวณด้านหลังเครื่องเป็นคราบฝุ่นสีขาวบางๆ เมื่อใช้มือลูบก็จะเป็นรอยขีดออกอย่างเด่นชัด อีกส่วนที่มีสารฝนหลวงสะสมในปริมาณมากก็คือส่วนบานพับของประตูท้ายเครื่องดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ต่างจากในกรณีที่ใช้ท่อต้นแบบดัดแปลงแบบที่ 3 ซึ่งไม่สามารถสัมผัสหาสารฝนหลวงได้เลยในตำแหน่งเหล่านี้



รูปที่ 4.4: ภาพถ่ายเบื้องหลังเครื่องบินซีเอ็น 235 พร้อมท่อโปรยสารตัดแปลงแบบที่ 3 (บน) และภาพถ่าย
ปลายท่อเดียวกัน (ล่าง) แสดงให้เห็นสารฟนหลวงสีขาวที่สะสมบริเวณด้านหลังท่อ



รูปที่ 4.5: ภาพถ่ายเบื้องหลังเครื่องบินซีเอ็น 235 พร้อมท่อโปรยสารต้นแบบ (บน)
และภาพถ่ายขยายที่แสดงฝนสีขาวของสารฝนหลวงที่สะสมอยู่บนพื้นผิว (ล่าง)



รูปที่ 4.6: ภาพถ่ายเบื้องหลังเครื่องบินซีเอ็น 235 พร้อมท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 1 (บน)
ภาพขยายของสารฝนหลวงสะสมอยู่บนพื้นผิว (ล่างขวา) และภาพสารฝนหลวงที่สะสมบนตัวท่อ (ล่างซ้าย)

ในส่วนของการทำงานของท่อดัดแปลงแบบที่ 1 จากรูปที่ 4.6 จะพบว่ามีสามารถในการควบคุมสารฝนหลวงขึ้นสู่บริเวณหางของเครื่องบินได้น้อยกว่าแบบดัดแปลงที่ 3 คือยังมีสารฝนหลวงบางส่วนตกค้างอยู่ตามพื้นผิวของหางเครื่องบิน 235 แต่ปริมาณสะสมจะน้อยกว่าที่พบในท่อแบบดั้งเดิมเล็กน้อย แต่อาจจะเป็นเพราะใช้เวลานานกว่ามากในการปล่อยสารฝนหลวงออกมาในปริมาณที่เท่ากัน สารจึงกระจายตัวออกมาได้แตกต่างกัน สารฝนหลวงบางส่วนก็สะสมตัวอยู่บนด้านหลังของหางออกท่อโปรยสาร

การทดสอบท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบทั้งสามรูปแบบที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าท่อโปรยสารฝนหลวงดัดแปลงแบบที่ 3 มีแนวโน้มที่ช่วยในการควบคุมการกระจายตัวของสารฝนหลวงไม่ให้สะสมที่ส่วนหางของเครื่องบินมากเกินไป และมีความสามารถในการเพิ่มอัตราการโปรยสารฝนหลวงมากขึ้นกว่าเดิม ในขณะที่ท่อต้นแบบดั้งเดิมที่ถึงจะเพิ่มอัตราการโปรยแต่การกระจายตัวของสารไปยังส่วนหางยังมีมาก ส่วนท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 1 นั้นมีประสิทธิภาพไม่ดีทั้งในด้านของอัตราการโปรยสารและยังคงควบคุมการกระจายตัวของสารไม่ให้ไปสู่บริเวณหางได้ไม่ดี

สัมมนาโครงการปรับปรุง ท่อประปาประปาของของเครื่องบิ่นซีเอ็น 235

5.1 รายงานการสัมมนา

รายงานสรุปสัมมนา

“โครงการปรับปรุงท่อประปาประปาของของเครื่องบิ่นซีเอ็น 235”

ในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2553

เวลา 13.00 – 15.30 น.

ณ สหกรณ์นครสวรรค์ จ.นครสวรรค์

ผู้มาสัมมนา

1. อ.ดร.ณัฐพร	อินทราเทพ	ตำแหน่ง ประธานโครงการ
2. พล.อ.ต.ปรีชา	วรรณภูมิ	ตำแหน่ง ที่ปรึกษาโครงการ
3. ผศ.ดร.เวชพงศ์	ชุตินันท์	ตำแหน่ง นักวิจัย
4. อ.ดร.ชนินทร์	ตรงจิตภักดี	ตำแหน่ง นักวิจัย
5. อ.ดร.ไชยวัฒน์	กล้าพล	ตำแหน่ง นักวิจัย
6. อ.ดร.พัชรภรณ์	บุญยวานิชกุล	ตำแหน่ง นักวิจัย
7. นายเกียรติศักดิ์	ตั้งตรงสากล	ตำแหน่ง นักจัดการงานทั่วไป ชำนาญการพิเศษ
8. นายประเสริฐ	อังสุรัตน์	ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ ชำนาญการพิเศษ
9. นายศุภรัตน์	รัตนาคม	ตำแหน่ง นักจัดการงานทั่วไป ชำนาญการ
10. นายศุภชัย	สุขเขตร์	ตำแหน่ง นายช่างไฟฟ้า ชำนาญการ
11. พ.อ.อ.ธนภัทร์	ชัยวิริยะ	ตำแหน่ง ช่างเครื่องบิ่น
12. พ.ต.สมชัย	แจ้งสุวรรณ	ตำแหน่ง หัวหน้าหน่วยการบิ่น
13. ร.ท.ศุภกร	ว่องประสพสุข	ตำแหน่ง นักบิ่น
14. ร.อ.อดิศักดิ์	เผด็จपाल	ตำแหน่ง นักบิ่น
15. ร.ท.บัญญัติ	พาลี	ตำแหน่ง นักบิ่น
16. ร.อ.ธนาชัย	ยอดไกลศรี	ตำแหน่ง นักบิ่น
17. ร.อ.อภิวัฒน์	นาคคล้าย	ตำแหน่ง นักบิ่น
18. ร.อ.พัฒน์	โพธิ์ปฐมพร	ตำแหน่ง นักบิ่น
19. พ.อ.อ.สืบพงษ์	ปรีดีสนิท	ตำแหน่ง ช่างเครื่องบิ่น
20. พ.อ.อ.นิติ	คลังกุล	ตำแหน่ง ช่างเครื่องบิ่น
21. จ.ส.อ.ธงชัย	พุทธรกรณ์	ตำแหน่ง ช่างเครื่องบิ่น

22.	นายไพฑูรย์	สินไทย	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
23.	นายโชคชัย	ศิริจันทร์ทอง	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
24.	พ.อ.อ.จุลินทร์	เอี่ยมสะอาด	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
25.	นายสุเทพ	ประภารัตน์	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
26.	พ.อ.อ.ระวิน	แจ่มเจริญ	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
27.	ร.ต.ประศักดิ์	ควรรนิเฮียะ	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
28.	ร.ต.พรศักดิ์	พฤษณารุณ	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
29.	จ.ส.อ.สรรเพชญ์	พะทมโคตร	ตำแหน่ง	ช่างเครื่องบิน
30.	นายวีระยุทธ	ภูขาว	ตำแหน่ง	นักวิชาการ
31.	นายเสถียร	แสนสิงห์	ตำแหน่ง	นักวิชาการ
32.	นายกิตติ	รูปศรี	ตำแหน่ง	นักวิชาการ
33.	นางสาวเสาวนีย์	แก้วสุข	ตำแหน่ง	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ
34.	นางชุตินา	หงษ์ทอง	ตำแหน่ง	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ
35.	นางสาวพิมลพรรณ	เกษตรเวทิน	ตำแหน่ง	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ
36.	นางสาวสุตาพร	จันทร์หอม	ตำแหน่ง	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ
37.	นางสาวศิริมนัส	รูปเวทิน	ตำแหน่ง	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ
ผู้เข้าร่วมสัมมนา				
38.	นางสาวต้นสนีย์	อุ้นคณที	ตำแหน่ง	เลขานุการโครงการ

เปิดการสัมมนา เวลา 13.00 น.

ประเด็นที่ 1 สรุปผลการวิจัยในภาพรวมของโครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องซีเอ็น 235

อ.ดร.นัญพร อินทรเทพ และ อ.ดร. พัทธราภรณ์ บุญยวานิชกุล บรรยายสรุป ผลการวิจัยในภาพรวมของ โครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235 รายละเอียดตามเอกสารแนบในภาคผนวก ก.

ประเด็นที่ 2 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะในภาพรวมของผู้เข้าร่วมสัมมนาฯ

1. เสนอให้มีการทำท่อโมโนทูปจากครั้งแรก เพราะเป็นการลดเชื้อเพลิงได้ทั้งเครื่อง ต้องศึกษาในเรื่องการเร่งเครื่องของความเร็วทิศทางที่เกิดขึ้นที่ความเร็วของสารเคมีไม่สัมพันธ์กับอากาศภายนอก ถ้ามีวิธีการให้สารเคมีไหลด้วยความเร็วเท่ากับภายนอก และทิศทางเดียวกับภายนอก การฟุ้งกระจายจะลดลง
 - จากการที่ศึกษาตัวลักษณะของอากาศที่ไหลรอบเครื่อง ยิ่งเข้าใกล้ตรงกลางลำตัวมาก อากาศจะมีแนวโน้มของการพัดขึ้นมากขึ้นกว่าเดิม เราจึงต้องกลับมาทำในเรื่องท่อแยกเหมือนเดิม และส่วนที่อากาศมาถึงทางแยกแล้วเกิดแรงดันขึ้นนั้น ตรงนี้เราได้ทำการปรับแก้ไขดังที่แสดงผลไว้ อากาศส่วนใหญ่รอบลำตัวเครื่องพยายามจะดึงตัวเข้ามาเพื่อพวยพุ่งเครื่องตัวมันเองกระแสหลักมีแนวโน้มไปทางนั้น และเราไม่สามารถลด

การฟุ้งกระจายได้ 100% เพราะยากที่จะควบคุมปริมาณกระแสของอากาศที่ฉีดออกมา พร้อมสารฝนหลวง จึงเลือกวิธีที่จะเปลี่ยนทิศทางหลักให้มากขึ้น จึงออกมาเป็น ลักษณะแนวด้านข้างเช่นนี้

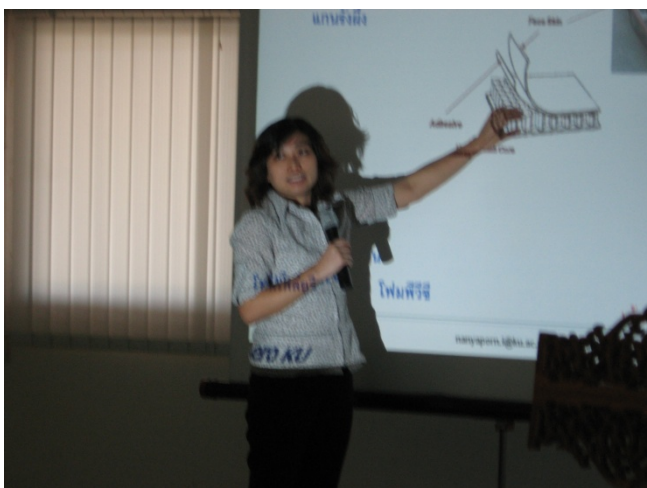
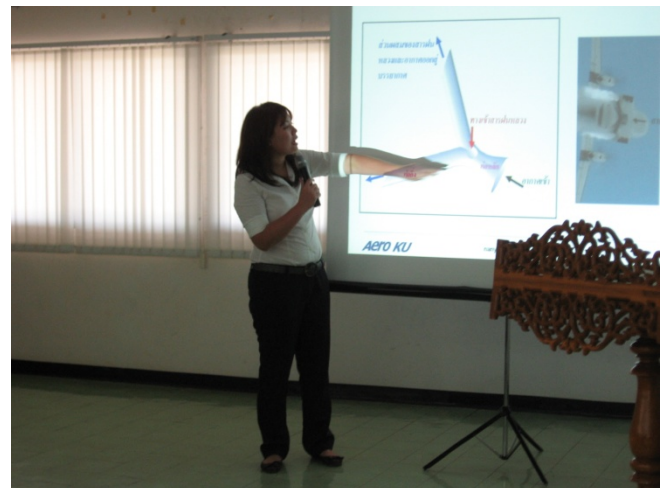
2. มีการสอบถามถึงการทำงานของท่อกรวยครอบแบบบายพาสว่าการทำงานเป็นอย่างไร
 - จะมีการรีดจากด้านนอกความเร็วของสถานะด้านนอก คือควบคุมการฟุ้งกระจายในส่วนหนึ่ง แต่ตัวมันเองจะทำให้เกิดชั้นความเร็วมากขึ้น และไปกวนให้เกิดการฟุ้งกระจายมากขึ้น ซึ่งมันไม่ได้ช่วยอะไรมาก จึงตัดตัวนั้นออกไป
3. มีการสอบถามถึงการทำงานใช้การกระจายตัวของอนุภาคน้ำแทนการฟุ้งกระจายของสารเคมีในการจำลองการไหลว่าเป็นมาอย่างไร
 - โดยหลักการการกระจายตัวของสารที่เป็นอนุภาคอยู่ในอากาศ จะมีแนวโน้มการกระจายตัวเช่นเดียวกับการกระจายตัวของพลังงานหรืออนุภาคน้ำ เนื่องจากเรามองว่าสารจะมีแนวโน้มไม่ทำปฏิกิริยากับอากาศโดยรอบ การใช้การจำลองด้วยอนุภาคน้ำช่วยให้ขั้นตอนการจำลองการไหลลดลง ช่วยเวลาในการคำนวณศึกษาเพื่อออกแบบ
4. มีการสอบถามถึงวิธีการออกแบบท่อโปรยสารของคณะวิจัยว่าคือ พยายามที่จะให้สารเคมีปล่อยออกจากระบบเพื่อที่จะไม่ให้เกิดการจับเกาะ และต้องการให้สารเคมีปล่อยออกจากท่อให้ฟุ้งกระจายน้อยที่สุดใช่หรือไม่
 - ใช่
5. มีการขอให้เพิ่มการศึกษาการจำลองในคอมพิวเตอร์ ให้ทำในเงื่อนไขความเร็วเดินทางที่ 120,130,140 พร้อมทาง Flap 10°
6. มีการเสนอให้คิดรูปแบบของกรวยแบบใหม่ขึ้นมาโดยมีเงื่อนไขว่าติดตั้งง่าย และปัญหาของการโปรยลดลง อย่างในบางเครื่องเป็นท่อกลมๆ ลงไปไม่ค่อยมีปัญหาเท่าไร อยากให้เอาคอนเซ็ปต์นี้มาดูว่าอันไหนดีที่สุด หรือว่าจะคิดอันใหม่ขึ้นมา รูปแบบจะเปลี่ยนไปหรือยังก็ได้ ขอฝากให้ลองหาวิธีแบบใหม่ๆ

ปิดการสัมมนา 15.30 น.

(ดร.ณัฐพร อินทรเทพ)
ผู้ตรวจรายงานการประชุม

(น.ส.ศันสนีย์ อุ่นคนที)
ผู้ตรวจรายงานการประชุม

รูปที่ 5.1: ภาพการประชุมสัมมนา









5.2 สรุปผลของการสัมมนา

การสัมมนาพร้อมเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องช่วยให้คณะวิจัยมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการโปรยสารฝนหลวงได้กว้างขึ้น ทั้งปัญหาของการโปรยสารในท้องที่มีการปรับความดันซึ่งไม่ได้มีการศึกษาไว้ในครั้งนี้ และปัญหาการโปรยสารด้วยท่อเดียว คณะวิจัยรับข้อเสนอแนะทั้งหมดมาพิจารณาเพื่อปรับรูปแบบใหม่ในการปล่อยสารฝนหลวงและการดำเนินงานปรับปรุงงานต่อไปในอนาคต

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงาน

และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวง

โครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235 เป็นความร่วมมือในการวิจัยระหว่างส่วนการบิน สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการสะสมของสารฝนหลวงบนโครงสร้างของเครื่องบินซีเอ็น 235 อันเนื่องมาจากการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงเมื่อออกจากท่อโปรยสู่บรรยากาศ การศึกษาในปัจจุบันได้ดำเนินการโดยใช้การจำลองพฤติกรรมทางอากาศพลศาสตร์และโครงสร้างบนคอมพิวเตอร์และห้องปฏิบัติการในบางส่วน เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบของท่อโปรยสารฝนหลวงที่จะช่วยลดการฟุ้งกระจายของสาร

จากการศึกษาผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ที่มีต่อรูปแบบของท่อโปรยสารฝนหลวงในเบื้องต้น คณะวิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของส่วนปลายท่อโปรยสารมีแนวโน้มที่จะทำให้การฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงมีปริมาณที่ลดลง และมีทิศทางที่หักเหออกจากลำตัวเครื่องบินซีเอ็น 235 มากขึ้น แผนแบบท่อโปรยสารฝนหลวงรูปแบบปรับปรุงทั้งสามรูปแบบถูกนำเสนอในบทที่ 3 และถูกสร้างเป็นท่อต้นแบบใช้ในการทดสอบจริงในบรรยากาศ โดยในส่วนของ การสร้างตัวท่อ ตัวใหม่จะใช้วัสดุประกอบที่มีโครงสร้างหลักเป็นโครงสร้างแซนด์วิชทำมาจากวัสดุที่เป็นใยคาร์บอนและโฟมพีวีซี โดยส่วนที่เป็นปลายท่อก็จะยังคงสามารถถอดประกอบได้เหมือนเดิม เปิดโอกาสให้ใช้ปลายท่อที่เปลี่ยนได้ทั้งสามชนิด คือ

- 1) ปลายท่อรูปแบบปรับปรุงแบบที่ 1 ซึ่งเป็นท่อตรงเปิดปากทางออกขนานกับกระแสอากาศอิสระ
- 2) ปลายท่อรูปแบบปรับปรุงแบบที่ 2 ที่ไม่มีปลอกหุ้ม ซึ่งตัวท่อตรงส่วนปลายโค้งออกเปิดปากทางออกขนานกับกระแสอากาศอิสระเช่นเดียวกัน
- 3) ปลายท่อรูปแบบปรับปรุงแบบที่ 2 ที่มีปลอกหุ้มเพื่อกันกระแสอากาศแยกไหล

รูปแบบของตัวจับยึดจะเป็นเช่นเดิมเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ต่อโครงสร้างของเครื่องบิน ในการบินทดสอบตัวท่อต้นแบบที่มีรูปแบบปรับปรุงแล้วนั้น คณะวิจัยฯ ทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในสองส่วนทดสอบหลักคือ

- การไหลของอากาศสะอาดแบบไร้สารปนหลวง
- การไหลของอากาศเมื่อมีสารปนหลวงผสมอยู่

จากการศึกษาพบว่าท่อโปรยสารแบบดัดแปลงที่ให้ผลในการทำงานควบคุมการสะสมตัวของสารปนหลวงบนเครื่องบินได้ดีนั้นคือท่อดัดแปลงแบบที่ 3 (ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม) เนื่องจากการไหลที่ผ่านท่อโค้งแบบนี้มีการไหลที่ผ่านออกในบริเวณที่มีความดันอากาศต่ำกว่าแบบอื่น ทำให้มีปริมาณการไหลในท่อที่สูงพอสมควร ไม่เกิดปัญหาในการโปรยสารที่มากในเวลาที่จำกัด ในขณะเดียวกันยังทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแสอากาศหลักที่ออกมาจากท่อได้ดี ช่วยลดการพัดพาสารปนหลวงเข้าสู่ลำตัวทางด้านท้ายเครื่อง

6.2 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงท่อโปรยสารปนหลวงในอนาคต

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ทั้งหมดและการสัมมนาพร้อมผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการปฏิบัติการที่ผ่านมาแล้วนั้น พบว่ายังมีปัจจัยหลายส่วนที่ไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากระยะเวลาในการวิจัยที่จำกัด ยกตัวอย่างเช่นอิทธิพลของสารปนหลวงที่ก่อให้เกิดแรงต้านอากาศเพิ่มขึ้นในท่อโปรยสาร หรืออิทธิพลของอากาศในห้องโดยสารที่มีผลต่อการดูดสารปนหลวงให้ไหลออกไปสู่บรรยากาศ รวมไปถึงรูปแบบความโค้งที่เหมาะสมกับการไหลในท่อของอากาศเมื่อมีสารปนหลวงประกอบเพื่อป้องกันการแยกไหลในท่อ การศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ในอนาคตต่อไปจะช่วยให้การปรับปรุงท่อโปรยสารเพื่อการควบคุมการฟุ้งกระจายมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้การออกแบบในครั้งนี้ยึดหลักการออกแบบที่ทำให้เกิดผลกระทบกับสมรรถนะและการทำงานของเครื่องบินซีเอ็น 235 ให้น้อยที่สุด จึงไม่ได้ทำการปรับเปลี่ยนทั้งทางอากาศพลศาสตร์และโครงสร้างกับตัวเครื่องบินเลย ในการศึกษาที่จะมีต่อไปในอนาคต วิธีการควบคุมสารปนหลวงโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงกระแสอากาศรอบลำตัวเครื่องบินสามารถช่วยให้การควบคุมการฟุ้งกระจายเป็นไปได้ดีขึ้น จะช่วยลดปริมาณการซ่อมบำรุงตัวโครงสร้างเครื่องบินซีเอ็น 235 เนื่องจากการสะสมตัวของสารปนหลวงได้

เอกสารอ้างอิง

ดนตรี วิชาดาพิสุทธิ์ และ พจน์นันท์ พิชัยจุมพล, การออกแบบและพัฒนาท่อโปรยสารเคมีสำหรับติดตั้งบนเครื่องบิน CASA CN 235 สำหรับภารกิจฝนหลวง, รายงานโครงการวิศวกรรมการบินและอวกาศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

สุรศักดิ์ บำรุงวงศ์ และคณะ, รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการศึกษาการจัดทำแผนแม่บทการใช้ การจัดหาและการบำรุงรักษาอากาศยานเพื่อการเกษตร, สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, สำนักปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 2543.

Beer, F.P., Johnston, E.R., DeWolf, J.T., Mechanics of Materials, 4th edition. McGraw-Hill, 2005

CN235 Maintenance Manual, Rainmaker System, October 29, 1998

Indonesian Aerospace, CN-235-220 Rain Making and Passenger, Technical Specification for Ministry of Agriculture and Cooperatives of Thailand, Bandung, Indonesia, 2006

กิตติกรรมประกาศ

โครงการปรับปรุงท่อโปรยสารฟนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235 นี้ ไม่อาจจะสำเร็จลงได้ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจากส่วนการบิน สำนักฟนหลวงและการบินเกษตร นอกจากนี้คณะวิจัยต้องขอขอบคุณครูประมุข จันสุริยวงศ์ สำหรับความช่วยเหลือทางด้านงานช่าง

ภาคผนวก ก.

เอกสารประกอบการสัมมนา
โครงการปรับปรุงท่อไปรษณีย์
ฝนหลวงของเครื่องบินซีเอ็น 235

วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2553

ณ สนามบินนครสวรรค์



Department
of
Aerospace Engineering

โครงการปรับปรุงท่อโปรยสาร ฝนหลวงของ เครื่องบินซีเอ็น 235

วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2553

นำเสนอโดย

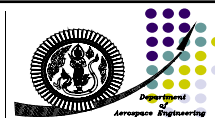
ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณ สนามบินนครสวรรค์



Department of Aerospace Engineering, Kasetsart University

หัวข้อการนำเสนอ



- ความสำคัญของปัญหา

- ขั้นตอนการออกแบบ

รูปทรงทางอากาศพลศาสตร์ของท่อโปรยสาร

ความแข็งแรงของตัวจับยึดท่อโปรยสาร

วัสดุประกอบและการจัดสร้าง

- การทดสอบตัวต้นแบบ

- สรุป

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

2

ความสำคัญของปัญหา



- พบปัญหาสารปนหลวลงสะสมกระจายตัวอยู่ตามท้ายเครื่อง CN-235 ที่ช่วยในการทำฝนหลวงในเมฆอุ่น
- สารปนหลวลงที่สะสมทำให้เกิดการกัดกร่อนในโครงสร้างรวดเร็วกว่าปกติ
- สารบางส่วนเข้าไปอยู่ในส่วนของระบบระบายอากาศ ส่งผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน
- วิธีการโปรยสารปนหลวลงในปัจจุบันโดยใช้ท่อโปรยสารรูปตัววายส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายข้างต้น
- ท่อโปรยสารรูปตัววายที่ทำจากวัสดุประกอบยังเกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวด้านในอย่างรวดเร็ว

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

3

CN 235

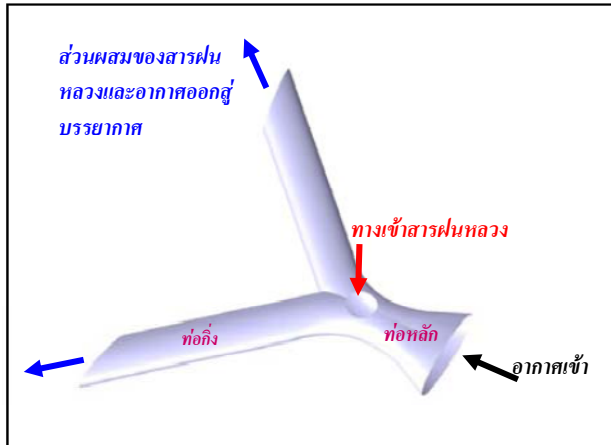
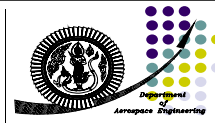


Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

4

ท่อโปรยสารรูปตัววาย

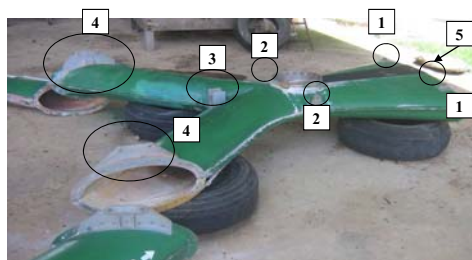


Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

5

คุณลักษณะโดยรวมของท่อ



- มีจุดจับยึดโดยรวม 10 จุด – 5 แบบ
- ทำจากวัสดุประกอบใยแก้วบุแผ่นอะลูมิเนียมไว้ภายในกันการสึกกร่อน
- น้ำหนักโดยรวมประมาณ 50 กิโลกรัม
- ตรงทางเข้าสารฝนหลวงมีแผ่นนำสารทำจากอะลูมิเนียม
- ส่วนปลายของท่อกิ่งความยาวประมาณ 117 cm ถอดออกจากส่วนหลักได้

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

6

การฟุ้งกระจายของสาร



• จากภาพถ่าย แนวการเคลื่อนตัวของสาร ฝนหลวงหลักจะอยู่ห่างจากตัวเครื่องบินพอสมควร

• มีสารฝนหลวงบางส่วนที่ถูกดูดขึ้นไปตามด้านล่างของส่วนหาง

• สารที่ฟุ้งออกมาจากสองท่อทั้งสองข้างจะเข้ารวมเป็นกลุ่มเดียวบริเวณแพนหางระดับ

• แนวโน้มทิศทางการเคลื่อนที่ของสารจะเป็นแสดงในลูกศร

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

7

การสะสมตัวของสาร



• สารฝนหลวงจะสะสมตัวบนเครื่องเป็นแนวตามเส้นทางเดียวกับการฟุ้งกระจาย

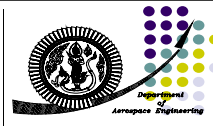
• สารจะสะสมกินพื้นที่กว้างในบริเวณใกล้กับแพนหางระดับ

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

8

ขั้นตอนการออกแบบ



แบ่งการศึกษาและออกแบบท่อโปรยสารออกเป็นสามส่วน

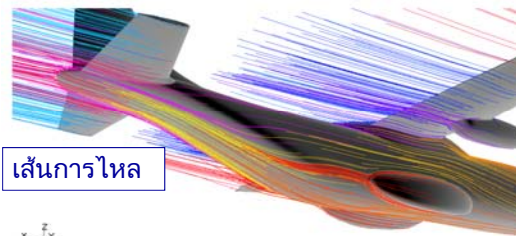
- รูปทรงทางอากาศพลศาสตร์ของท่อโปรยสาร
- ความแข็งแรงของตัวจับยึดท่อโปรยสาร
- วัสดุประกอบและการจัดสร้าง

การศึกษารูปทรงทางอากาศพลศาสตร์ของท่อโปรยสาร



- การออกแบบจะยึดรูปแบบเดิมให้มากที่สุดเพื่อการจับยึดที่เหมาะสมและไม่เกิดปัญหากับโครงสร้าง
- เริ่มจากศึกษาการเคลื่อนตัวและการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงในท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม
- ใช้การจำลองการไหลของอากาศในคอมพิวเตอร์เป็นหลัก (CFD)
- ตรวจสอบลักษณะการไหลของอากาศรอบตัวเครื่องและท่อโปรยสารให้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายในการปฏิบัติงานจริง
- ดำเนินการดัดแปลงท่อโปรยสารให้ควบคุมการฟุ้งกระจายของสารฝนหลวงได้ดีขึ้น

ลักษณะการไหลของอากาศรอบเครื่อง



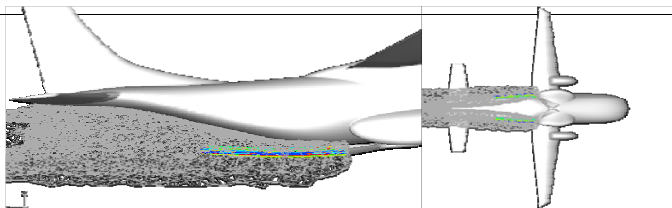
- เส้นการไหลแสดงทิศทางการไหลของอากาศรอบลำตัวเครื่องบิน
- อากาศส่วนใหญ่ไหลเรียบไปกับส่วนท้องและส่วนหางเครื่องบิน
- ความดันอากาศต่ำเป็นตัวดึงให้อากาศที่ไหลออกจากปลายท่อกิ่งไหลขึ้นด้านบน

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

11

ทิศทางการไหลของสารปนหลว



แสดงคอนทัวร์การฟุ้งและเส้นการไหลของสาร



ภาพจากการปฏิบัติภารกิจจริง

- การเปรียบเทียบใน CFD ใช้การกระจายตัวของอนุภาคเป็นตัวแทนของสารเคมี
- การกระจายของคอนทัวร์อนุภาคที่ได้ใกล้เคียงกับการกระจายตัวของสารในภาพถ่าย
- ผลสรุปที่ได้จาก CFD คือ ตำแหน่งปล่อยสารจากท่อส่งผลต่อทิศหลักของการเคลื่อนตัวของสาร

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

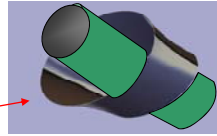
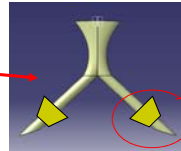
12

รูปแบบดัดแปลงที่ทำการศึกษา

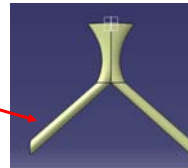


การดัดแปลงส่วนปลายของท่อกิ่งมี 4 รูปแบบ

- ท่อบายพาส



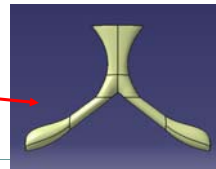
- ท่อตรงเปิดปลายออกข้าง



- ท่อโค้ง



- ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม



Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

13

เงื่อนไขการไหลในแบบจำลอง



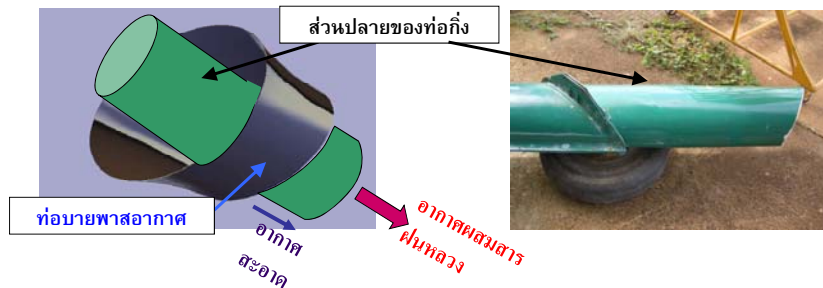
- เป็นการไหลที่ไม่มีสารปนหลวง (ใช้การกระจายตัวของอนุภาคเป็นตัวแทนเปรียบเทียบกับ การฟุ้งกระจายของสารแทน)
- Take-off weight = 14,761 kgs
- Flight altitude = 8,500 ft
- Indicated airspeed = 130 knots
- ไม่มีกาง flap

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

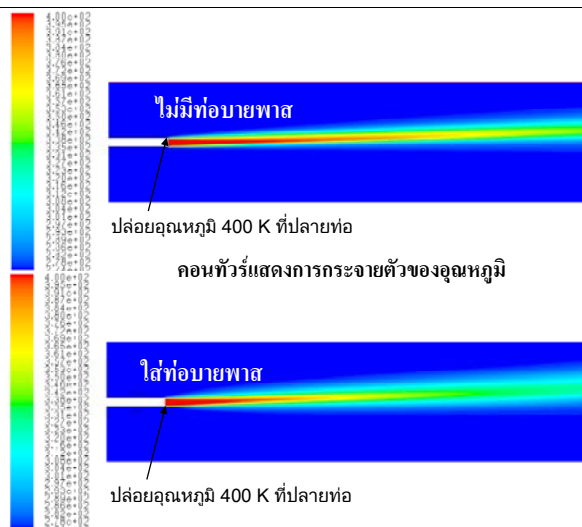
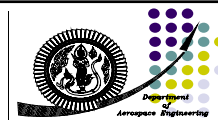
14

ท่อนบายพาส



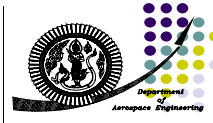
- การทำงานของท่อนบายพาสจะสร้างลำอากาศสะอาดที่หุ้มให้อากาศผสมสารปนหวนมีการฟุ้งกระจายลดลง
- อากาศสะอาดจะถูกเร่งความเร็วผ่านท่อที่มีหน้าตัดสู่เข้า

ปัญหาของท่อนบายพาส

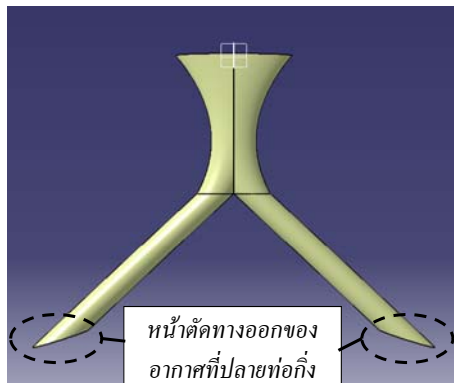


- การทดสอบผลของท่อนบายพาสแบบสองมิติแสดงให้เห็นความแตกต่างเพียงเล็กน้อย
- แนวโน้มการสะสมตัวของสารบริเวณส่วนปลายเครื่องบินจะน้อยลงแต่สารจะฟุ้งกระจายกินบริเวณโดยรวมมากขึ้น
- ทิศทางการไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงท่อกิ่งต่อการกระจายตัวของสารฝนหลวง



รูปแบบดั้งเดิม



- รูปแบบดั้งเดิมมีหน้าตัดทางออกสารที่หน้าเขากลางลำตัวเครื่อง
- ผลที่เกิดขึ้นคือสารมีแนวโน้มจะไหลเข้าใกล้ลำตัวเครื่องมากขึ้น
- รูปแบบใหม่ที่เสนอจึงเป็นการปรับทิศทางการไหลออกของสาร

ท่อตรงเปิดปลายออกข้าง

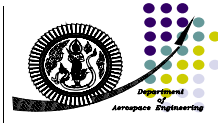


รูปแบบดัดแปลง 1

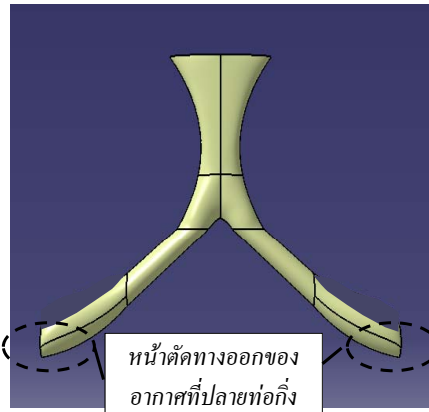


- ทิศทางการไหลออกจากท่อเปลี่ยนเป็นเปิดออกด้านข้าง
- อากาศผสมสารฝนหลวงจะถูกดูดออกไปไกลกว่าเดิม
- ลำอากาศจะใช้เวลาในการเลี้ยวกลับมาในกระแสน้ำไหลหลักทำให้ปริมาณสารที่ฟุ้งใกล้ลำตัวเครื่องน้อยลง
- ความยาวท่อจะยาวกว่าเดิม ~ 50 cm

ท่อโค้ง



รูปแบบดัดแปลง 2



- หลักการคล้ายกับท่อตรงที่เปิดปลายออก
- การโค้งท่อช่วยให้การฉีดอากาศออกเป็นลำไปทางด้านข้างมากขึ้นโดยจะออกไปในทิศทางตั้งฉากกับกระแสอากาศหลัก
- ปริมาณสารที่จะพุ่งใกล้กับลำตัวเครื่อง จึงมีแนวโน้มที่จะลดลง

ท่อโค้งมีปลอกหุ้ม



รูปแบบดัดแปลง 3



- ท่อทางออกเป็นแบบโค้งมีแนวโน้มที่จะด้านอากาศมาก
- การสร้างปลอกหุ้มจะช่วยลดการด้านอากาศของท่อ
- อากาศที่ไหลส่วนปลอกหุ้มของท่อจะช่วยให้การแยกไหลที่ปลายท่อลดลง

ผลการศึกษารูปแบบปลายท่อทิ้ง

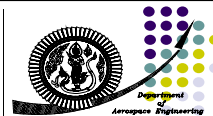


Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

21

ผลการศึกษารูปแบบปลายท่อทิ้ง (2)



Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

22

ผลการศึกษารูปแบบปลายทอiging (3)

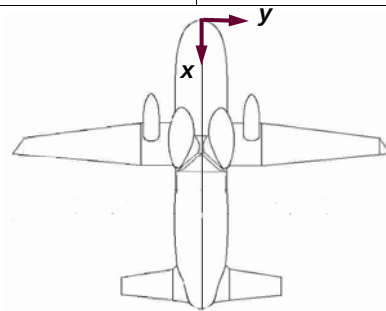
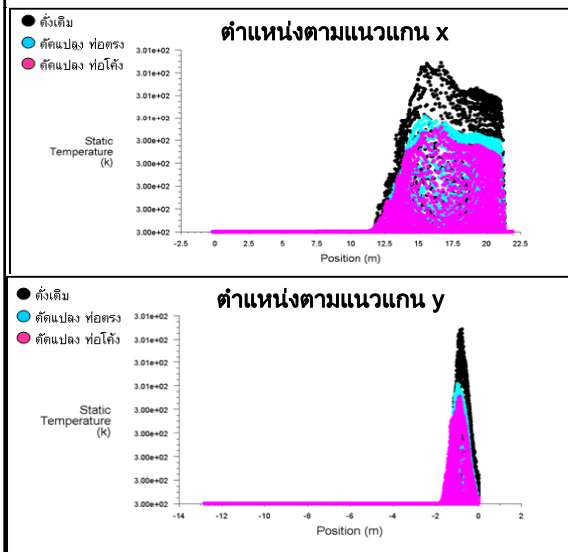


Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

23

ผลการศึกษารูปแบบปลายทอiging (4)



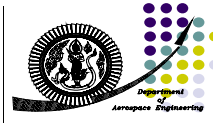
ทอตัดแปลงทั้งสองแบบจะให้ปริมาณสะสมตัวของสารฝนหลวงบนพื้นผิวของเครื่องบินลดลง และมีแนวการสะสมตัวเลื่อนห่างจากแกนกลางลำตัวเครื่องบินมากขึ้น

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

24

ผลการศึกษารูปแบบปลายท่อกิ่ง (5)



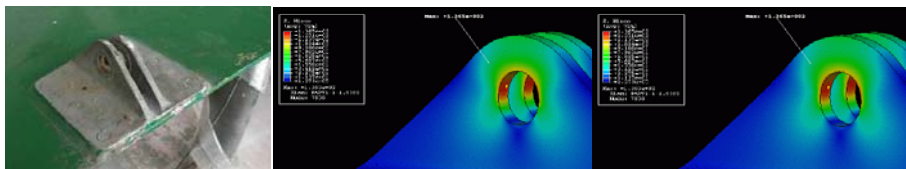
รูปแบบท่อ	C_L	C_D	อัตราการไหล (kg/s)
ท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม	1.258	0.340	3.208
ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 1 (ท่อตรง)	1.256	0.337	3.115
ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบที่ 2 (ท่อโค้ง)	1.261	0.340	3.725

- รูปแบบท่อโปรยสารที่เปลี่ยนไปไม่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องบินมากนัก
- อัตราการไหลในท่อโปรยสารแบบดัดแปลงมีค่าการไหลที่ดีขึ้น

การศึกษาโครงสร้างจุดจับยึด



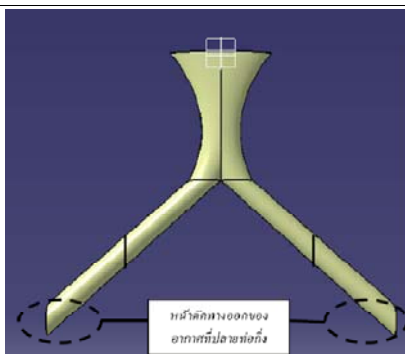
- วิเคราะห์โดยนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ทางชิ้นส่วนประกอบจำกัด โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- ทำการวิเคราะห์ 5 รูปแบบตัวจับยึด หาแรงสูงสุดที่แต่ละตัวจับจะรับได้
- ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงทั้งแบบที่ในกรณีที่มีการติดตั้งสมบูรณ์ (การกระจายแรงสม่ำเสมอ) และไม่สมบูรณ์
- ผลที่ได้คือจุดยึดด้านหน้าจะรับแรงน้อยที่สุด (~ 2144 กก.) ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก จึงไม่สร้างปัญหาต่อการจับยึดท่อโปรยสาร



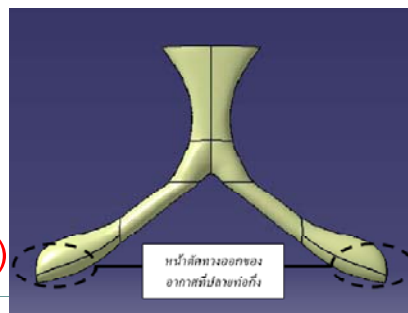
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ตัวจับยึดด้านช่องทางเข้าอากาศ

การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวงโดย ใช้วัสดุประกอบ

รูปแบบท่อโปรยสารฝนหลวง



ดัดแปลง 1 (ตรง)



ดัดแปลง 2 (โค้ง)

วัสดุประกอบ - โครงสร้างแซนด์วิช



Aero KU

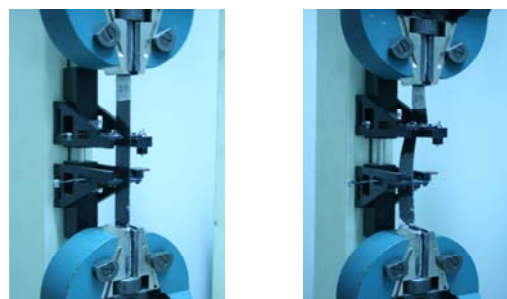
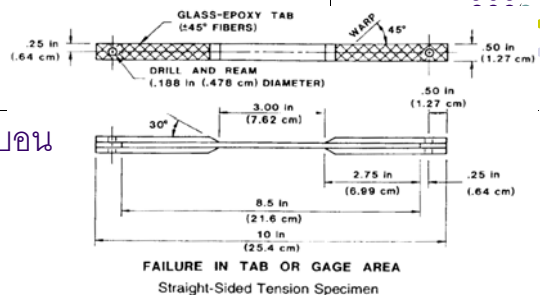
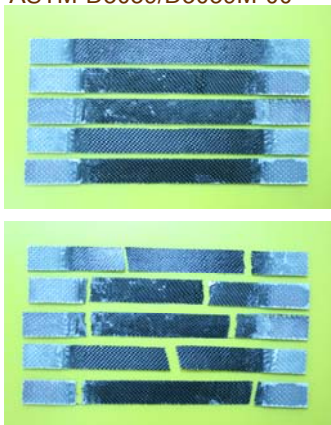
nanyaporn.i@ku.ac.th

29

ขั้นตอนทดสอบ

แผ่นประกอบ - เส้นใยคาร์บอน

ASTM D3039/D3039M-00



ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

30

ขั้นตอนทดสอบ



แผ่นแซนด์วิช



ทดสอบความต้านทานต่อแรงเฉือน



ทดสอบความต้านทานต่อแรงดัด

ผลการทดสอบ

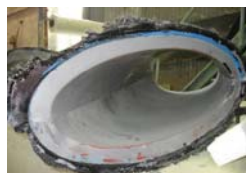
เส้นใยคาร์บอน + โฟมพีวีซี

Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

31

การสร้างท่อโปรยสารฝนหลวง – รูปแบบเดิม + โค้ง

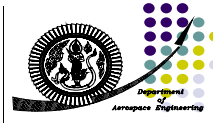


Aero KU

nanyaporn.i@ku.ac.th

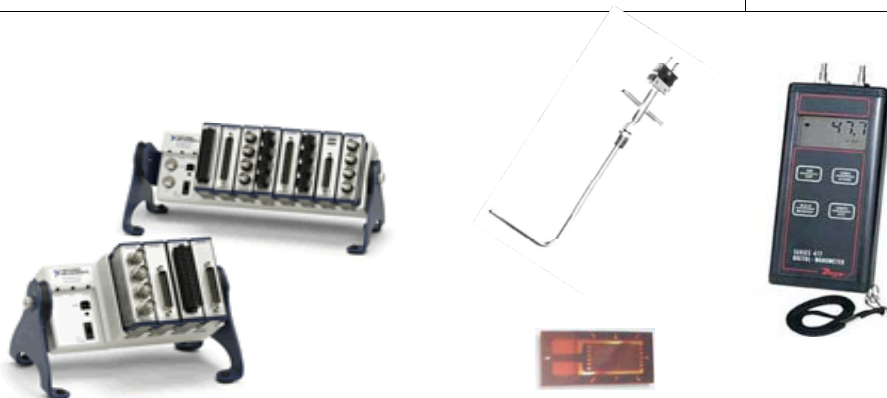
32

การทดสอบท่อโปรยสารต้นแบบ

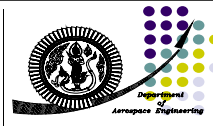


- การทดสอบท่อโปรยสารต้นแบบกับเครื่องซีเอ็น 235 จะมี 4 แบบทดสอบ
 - 1) ท่อโปรยสารแบบดั้งเดิม
 - 2) ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบตรง
 - 3) ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบโค้ง
 - 4) ท่อโปรยสารดัดแปลงแบบโค้งมีปลอกหุ้ม
- จะทดสอบทั้งแบบที่มีเป็นสภาวะอากาศสะอาด และอากาศพร้อมสารฝุ่นหลวง
- ข้อมูลการไหลของอากาศจะจัดเก็บด้วยวิธีการวัดความเร็วและความดัน
- ข้อมูลการฟุ้งกระจายจะจัดเก็บจากการถ่ายภาพและวิดีโอ
- ข้อมูลทางโครงสร้างจะจัดเก็บโดยใช้ตัววัดค่าความเครียด (strain gage) ที่ติดกับพื้นผิวท่อโปรยสาร

ตัวอย่างอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล



สรุป



- การโปรยสารฝนหลวงที่เกิดการฟุ้งกระจายก่อให้เกิดปัญหากับโครงสร้างของเครื่องบินซีเอ็น 235
- การออกแบบท่อโปรยสารฝนหลวงใหม่ยึดหลักของการออกแบบให้มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจับยึดให้น้อยที่สุด
- การออกแบบทางอากาศพลศาสตร์เพื่อควบคุมทิศทางการไหลหลักของสารฝนหลวงที่ออกจากท่อโปรยสารให้ออกห่างจากลำตัวเครื่อง ทำได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งทางออก
- จากการเปรียบเทียบรูปแบบส่วนปลายของท่อทั้ง 3 รูปแบบ ท่อโค้งแบบมีปลอกหุ้มให้ผลการควบคุมการไหลของสารฝนหลวงได้ดีที่สุด
- รูปแบบที่ทำการวิเคราะห์ถูกนำไปสร้างเป็นท่อโปรยสารฝนหลวงต้นแบบ

สรุป (2)



- วัสดุประกอบที่ใช้ทำท่อโปรยสารต้นแบบทำมาจากแผ่นแซนด์วิช โยคาร์บอน+ โฟมพีวีซี
- ตัวจับยึดและตำแหน่งเป็นตามแบบเดิม
- การทดสอบท่อโปรยสารต้นแบบกับเครื่องซีเอ็น 235 จะมีทั้งการทดสอบอากาศสะอาดและอากาศพร้อมสารฝนหลวง
- ทำการทดสอบทั้งเรื่องรูปแบบการไหล การฟุ้งกระจายของสารฝนหลวง และการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของท่อเมื่อปฏิบัติการกิจ