บทที่ 10
วิเคราะห์ สรุปผลการออกแบบ การทดลองและข้อเสนอแนะ

10.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เนื่องจากการสร้างและพัฒนายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีส่วนของการทดลองหลายส่วนด้วยกัน ดังนั้นจึงขอกล่าวแยกการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. การทดลองการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน
2. การทดลองทางพลศาสตร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

10.1.1. การทดลองการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

การทดลองส่วนนี้ได้ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนให้มีความสมมูลกับยานพาหนะจริงต้นแบบ โดยทำการเลือก Ford Taurus - Driver + 3 Passengers + Rear Cargo เป็นยานพาหนะต้นแบบในการปรับค่ากลุ่มตัวแปรไรมิติตามพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 2 ล้อ โดยเริ่มจากการปรับจุดศูนย์ถ่วงยานพาหนะจะเห็นว่าถึงแม้จะทำการย้ายอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนค่าจุดศูนย์ถ่วงก็ไม่ได้เป็นไปตามยานพาหนะต้นแบบ ต้องอาศัยการเพิ่มมวลเข้ามา เช่นเดียวกับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนรอบแกน z ที่ตอนแรกมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด จึงต้องอาศัยหลักการเพิ่มมวลแบบสมมาตรในบริเวณใกล้จุดศูนย์ถ่วงของยานพาหนะเพื่อลดค่าโมเมนต์ความเฉื่อย สำหรับในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนนั้น ได้ทดลองล้อ 2 ชนิด และพื้นผิวถนน 6 แบบ โดยการทดลองล้อแต่ละครั้งจะทำการใส่ยางในและไม่ใส่ยางใน ทำการทดลองจนได้ชนิดล้อและชนิดผิวถนนที่มีความสมมูลกับกลุ่มตัวแปรไร้มิติของยานพาหนะจริง

ตาราง 10.1 ค่าข้อมูลจำเพาะระหว่างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและยานพาหนะจริง

Model	m (kg)	I_Z (kg.m2)	a (m)	b (m)	L (m)	C_{af} (N/rad)	C_{ar} (N/rad)	U (m/s)
Scaled*	5.04	0.0975	0.123	0.157	0.280	37.44	42.77	1
Full*	1857.90	3282.00	1.170	1.520	2.690	107462	132880	8.648

จากตารางที่ 10.1 เป็นค่าข้อมูลจำเพาะของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนหลังทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ โดยข้อมูลในส่วนนี้ถูกนำไปใช้ในการคำนวณตามแบบจำลองพลศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนต่อไป

ตารางที่ 10.2 ค่าข้อมูลกลุ่มตัวแปรไร้มิติระหว่างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนและยานพาหนะจริง

Model	$\Pi_1 = \frac{a}{L}$	$\Pi_2 = \frac{b}{L}$	$\Pi_3 = \frac{C_{af}L}{mU^2}$	$\Pi_4 = \frac{C_{ar}L}{mU^2}$	$\Pi_5 = \frac{I_z}{mL^2}$
Scaled*	0.4393	0.5607	2.0800	2.3761	0.2468
Full*	0.4349	0.5651	2.0804	2.5725	0.2441

จากตารางที่ 10.2 จะพบว่าเมื่อนำข้อมูลของของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนหลังทำการทดลองการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ แทนลงในกลุ่มตัวแปรไร้มิติจะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลของยานพาหนะจริงมาก

สำหรับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์กับแบบจำลองทางพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 4 ล้อนั้นไม่ได้ปรับตามค่ายานพาหนะต้นแบบเนื่องจากไม่มีข้อมูล แต่ได้แสดงวิธีการหาตัวแปรทั้งหมดที่เกี่ยวกับกลุ่มตัวแปรไร้มิติของแบบจำลอง 4 ล้อ และในส่วนของระบบรองรับได้ทำการปรับให้เป็นไปตามค่ายานพาหนะจริงทั่วไป จากบทที่ 8 จะเห็นว่าก่อนการปรับแต่งความถี่ของระบบช่วงล่างมีค่าประมาณ 12-18Hz แต่จากข้อมูลทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 2-3Hz ดังนั้นในการปรับลดค่าความถี่ของระบบช่วงล่างให้ลดลงได้เหลือเพียงประมาณ 4.7Hz เนื่องจากข้อจำกัดของโครงสร้างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

10.1.2. การทดลองทางพลศาสตร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

ในส่วนของการทดลองทางพลศาสตร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนได้ทำการทดสอบออกเป็น 3 การทดลอง คือการทดลองเคลื่อนที่แบบวงกลม แบบเปลี่ยนเลน และแบบซิกแซ็กภายใต้เงื่อนไขที่ความเร็วคงที่ เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างแบบจำลองพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 2 ล้อ กับข้อมูลที่เกิดขึ้นบนยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนขณะทำการทดสอบ โดยแต่ละการทดสอบจะใช้ความเร็ว 3 ระดับ คือ ความเร็วระดับต่ำ(V=08m/s) ระดับกลาง (V=1.35m/s) และระดับสูง(V=2.0m/s) จากการทดลองสรุปข้อมูลดังตารางที่ 10.3 จากตารางจะเห็นค่าความผิดพลาดข้อการเปรียบเทียบข้อมูลเป็นดังนี้ โดยที่การทดสอบแบบวงกลมค่าความเร่งเชิงมุมรอบแกน z มีค่าความผิดพลาดสูงสูดอยู่ที่ 26.2% และค่าความเร่งด้านข้างสูงสุดอยู่ที่ 57.3% การทดสอบแบบเปลี่ยนเลนส์ค่าความเร่งเชิงมุมรอบแกน z มีค่าความผิดพลาดสูงสูดอยู่ที่ 36.5% และค่าความเร่งด้านข้างสูงสุดอยู่ที่ 50% ในส่วนของการทดสอบแบบซิกแซ็กค่าความเร่งเชิงมุมรอบแกน z มีค่าความผิดพลาดสูงสูดอยู่ที่ 30% และค่าความเร่งด้านข้างสูงสุดอยู่ที่ 50% ผลจากการทดพบว่าตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดสูงเนื่องมาจาก ค่ามุมลื่นไถลที่ล้อหน้าขณะทำการหมุนมุมเลี้ยวที่ล้อ โดยค่ามุมลื่นไถลอยู่ในช่วง 6-10 องศา

ตารางที่ 10.3 สรุปข้อมูลจากการทดลองกรณีค่ามุมลื่นไถลไม่เกิน10องศา

การทดสอบ	ข้อมูล	ค่าความผิดพลาด	องศา
วงกลม	ความเร่งเชิงมุมรอบแกน Z	14-26.2%	
	ความเร่งด้านข้าง	14.8-57.3%	
มุมลื่นไถล			8-10^{o}
เปลี่ยนเลนส์	ความเร่งเชิงมุมรอบแกน Z	29-36.5%	
	ความเร่งด้านข้าง	10-50%	
มุมลื่นไถล			6-10^{o}
ซิกแซ็ก	ความเร่งเชิงมุมรอบแกน Z	17-30%	
	ความเร่งด้านข้าง	15-50%	
มุมลื่นไถล			7-10^{o}

เนื่องจากผลการทดลองที่ได้มีค่าความผิดพลาดสูงเกินไป จึงทำการทดลองอีกครั้งเพื่อควบคุมตัวแปรที่สำคัญ คือ การควบคุมค่ามุมลื่นไถลที่ล้อไม่ให้เกิน 5 องศา ผลข้อมูลที่ได้สรุปดังตารางที่ 10.4 จากการทดสอบในการควบคุมค่ามุมลื่นไถลไม่เกิน 5 องศา พบว่าการทดสอบการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะพบว่าค่าความผิดพลาดของข้อมูลความเร่งเชิงมุมรอบแกน z มีค่าลดลงจาก 26.2% เหลือ 5.9% และค่าความเร่งด้านข้างลดลงจาก 57.3% เหลือ 11.4% ในส่วนของการทดสอบการเคลื่อนที่แบบเปลี่ยนเลนส์จะพบว่าค่าความผิดพลาดของข้อมูลความเร่งเชิงมุมรอบแกน z มีค่าลดลงจาก 36.5 % เหลือ 20% และค่าความเร่งด้านข้างลดลงจาก 50% เหลือ 27%

ตารางที่ 10.4 สรุปข้อมูลจากการทดลองกรณีค่ามุมลื่นไถลไม่เกิน5องศา

การทดสอบ	ข้อมูล	ค่าความผิดพลาด	องศา
วงกลม	ความเร่งเชิงมุมรอบแกน Z	0.1-5.9%	
	ความเร่งด้านข้าง	4.3-11.4%	
มุมลื่นไถล			3-5^{o}
เปลี่ยนเลนส์	ความเร่งเชิงมุมรอบแกน Z	12-20%	
	ความเร่งด้านข้าง	14-27%	
มุมลื่นไถล			2.5-4.5^{o}

10.2 สรุปผลการออกแบบและการปรับแต่ง

ในการออกแบบในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบตัวยานพาหนะจริงแบบย่อและอุปกรณ์วัดข้อมูลของยานพาหนะ โดยในส่วนของการออกแบบตัวยานพาหนะในการติดตั้งอุปกรณ์วัดนั้น ออกแบบจากการวิเคราะห์โครงสร้างของยานพาหนะที่เลือกใช้ และใช้ลักษณะโครงสร้างของยานพาหนะเป็นตัวอ้างอิงในการหาอุปกรณ์ติดตั้ง ในส่วนของอุปกรณ์การวัดได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ดังนี้

1. เครื่องวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะ
2. เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงที่ยางล้อกระทำกับผิวถนน
3. เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งเกร็งและค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของยานพาหนะ

จากการสร้างเครื่องมือวัดขึ้นมาเองบางอุปกรณ์สามารถที่จะทดสอบความถูกต้องได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ อย่างเช่นเครื่องวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวยานพาหนะ จากการทดลองจะได้ว่ามีการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงจากการวัด และค่าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณทางสมการคณิตศาสตร์ ผลจากการปรับแต่งเครื่องมือให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้ ผลจากอุปกรณ์มีค่าความผิดพลาดประมาณ 9%

ส่วนของเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงที่ยางล้อกระทำกับผิวถนนนั้น ในการทดลองให้ข้อมูลได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีค่าความแม่นยำสูง ในการออกแบบต้องคำนึงถึงตัวอุปกรณ์วัดกับตำแหน่งล้อ เนื่องจากว่าถ้าออกแบบไม่ดีจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีค่าความผิดพลาด

เครื่องวัดค่าค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งเกร็งและค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของยานพาหนะได้ออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะการทดลอง อย่างเช่น การทดสอบช่วงล่างโดยกดแล้วปล่อย ดังนั้นอุปกรณ์วัดจะต้องไม่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ในแนวขึ้นลงของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ฉะนั้น อุปกรณ์วัดที่วัดระยะเคลื่อนที่นี้จึงได้ทำการปรับแต่ง เพื่อไม่ให้เกิดค่าแรงเสียดท้านของอุปกรณ์ในเวลาวัด ผลที่ได้ทำให้ข้อมูลมีค่าความแม่นยำ

10.3 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลจากการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. การทดลองในส่วนของการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน จากการทดลองในส่วนนี้ จะเห็นได้ว่าสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนได้ตามวิธีและขั้นตอนที่กำหนด เพื่อให้กลุ่มตัวแปรไร้มิติตามแบบจำลองทางพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 2 ล้อ มีความสมมูลกันระหว่างยานพาหนะจริงต้นแบบที่ได้เลือกไว้กับยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่ทำการปรับแต่ง และในส่วนของการปรับค่าพารามิเตอร์ของ

ยานพาหนะให้ระบบรองรับเป็นไปตามพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 4 ล้อ ได้ทำการปรับค่าความถี่จองระบบช่วงล่าง จากการลดค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งเกร็งให้มีค่าน้อยที่สุด โดยระบบทางด้านโครงสร้างยังสามารทำงานได้ แต่จากการทดลองไม่สามารถปรับให้ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีค่าความถี่ของระบบช่วงล่างตามยานพาหนะจริงได้อย่างถูกต้อง จากที่ต้องการประมาณ 2-3Hz แต่ทำได้ 4.7Hz สาเหตุมาจากข้อจำกัดทางโครงสร้างของตัวยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

2. การทดสอบทางพลศาสตร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าค่าข้อมูลที่ได้จากยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีความแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณจากแบบจำลองพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 2 ล้อ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ของล้อหน้าน้อยๆ เนื่องจากการทดลองแสดงให้เห็นถึงการทดลองที่ค่ามุมลื่นไถลไม่เกิน 10 องศาและการทดลองที่ค่ามุมลื่นไถลไม่เกิน 5 องศา พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยเมื่อทดสอบในกรณี 5 องศา จากข้อมูลยังพบว่าถึงแม้การทดสอบกรณีมุมลื่นไถลไม่เกิน 10 องศามีค่าความผิดพลาดค่อนข้างสูง แต่ทิศทางแนวโน้มของข้อมูลเป็นในลักษณะเดียวกัน

10.4 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง

จากการทดลองจะเห็นว่าในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองความสมมูลทางพลศาสตร์ยานพาหนะแบบ 2 ล้อ ซึ่งในกรณีค่ามุมลื่นไถลสูง พบว่ามีค่าความผิดพลาดมากเมื่อเทียบระหว่างแบบจำลอง 2 ล้อ และข้อมูลจากยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน ในทางตรงข้ามอาจสรุปได้ว่ายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนสามารถให้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากกว่าแบบจำลอง 2 ล้อ เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ได้ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดข้อมูลทางพลศาสตร์ยานพาหนะในระบบ 3 มิติแล้ว และการทดสอบกรณีมุมลื่นไถลสูงตัวยานพาหนะเองก็จะมีผลจากการโคลงตัวของตัวยานพาหนะ ซึ่งเมื่อเทียบกับแบบจำลอง 2 ล้อ แล้วพบว่าสมการไม่สามารถบ่งบอกพฤติกรรมของการหมุนของยานพาหนะรอบแกน x และการหมุนรอบแกน y ของตัวยานพาหนะได้ ดังนั้นเพื่อพิสูจน์ความสมมูลทางพลศาสตร์กับยานพาหนะจริงในทุกมิติของทางพลศาสตร์ งานวิจัยต่อไปควรทำการทดลองความสมมูลทางพลศาสตร์ของยานพาหนะเทียบกับแบบจำลอง 4 ล้อ และในส่วนของโครงสร้างยานพาหนะจะเห็นถึงข้อจำกัดทางโครงสร้างที่ไม่สามารถปรับระบบช่วงล่าง ให้มีค่าความถี่ของระบบช่วงล่างตามข้อมูลยานพาหนะจริง ดังนั้นยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่จะพัฒนาในงานวิจัยต่อไป ควรที่จะออกแบบในการปรับช่วงล่างของระบบรองรับก่อนเป็นอันดับแรก