

ยานพาหนะไฟฟ้าต้นแบบ ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่สูง Development of Flexible Electric Vehicle (Flex EV) Prototype

วิษณุ จูฑารีย์¹, ฐานันดร ทองสว่างแจ้¹, ศิวัช วรรณแหวก¹
และ ดร.ถวิดา มณีวรรณ^{2,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประจักษ์ตึก แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

² สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประจักษ์ตึก แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ผู้ติดต่อ : E-mail : praew@fibbo.kmutt.ac.th

เบอร์โทรศัพท์ : +66 (0) 2-470-9698

เบอร์โทรสาร : +66 (0) 2-470-9703

บทคัดย่อ

โครงการยานพาหนะไฟฟ้าต้นแบบ ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่สูง มีวัตถุประสงค์หลักในการจัดทำขึ้น เพื่อสร้างยานพาหนะไฟฟ้าที่มี 3 ล้อ และสามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบการเคลื่อนที่ Ackerman, Double Ackerman, Omni-directional และ Zero Radius Turning

ตัวยานพาหนะได้ถูกออกแบบโครงสร้างให้สามารถติดตั้งระบบรองรับน้ำหนัก รวมถึงระบบบังคับเลี้ยว และเลือกใช้ Brushless DC Motor ซึ่งมีลักษณะเป็น Hub Motor ที่ใช้เป็นส่วนขับเคลื่อนโดยตรงทั้ง 3 ล้อ และใช้ DC Motor ในระบบบังคับเลี้ยวทั้ง 3 ล้อเพื่อแยกการทำงานให้เป็นอิสระออกจากกัน โดยใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานและติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้

ผลสัมฤทธิ์ของโครงการแสดงให้เห็นถึงยานพาหนะไฟฟ้า 3 ล้อ ซึ่งสามารถรับน้ำหนักของผู้ขับขี่ได้ 1 คน และสามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบการเคลื่อนที่ Ackerman, Double Ackerman, Omni-directional และ Zero Radius Turning ได้ โดยผู้ขับขี่สามารถเลือกรูปแบบการทำงาน รวมถึงเรื่องของการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่และการบังคับเลี้ยวโดยผ่านชุดควบคุม

คำหลัก: ยานพาหนะขับเคลื่อน 3 ล้ออิสระ / Ackerman / Double Ackerman / Omni-directional / Zero Radius Turning

Abstract

The main objective of this project is to design and build a prototype electric vehicle with three wheels that can move in different modes including Ackerman, Double Ackerman, Omni-directional and Zero-radius-turning.

The vehicle is designed with the suspension and the steering mechanisms for all three wheels. The brushless DC motors is directly installed at the wheel's hub. DC motor was used in the steering system which can be controlled independently for each wheel from a microcontroller.

The prototype vehicle in this project can carry load of one person and move in all modes suggested above. The driver can select the motion mode, steer and adjust speed of the vehicle via a control panel.

Keywords: Three wheels independent steering / Ackerman / Double Ackerman / Omni-directional / Zero Radius Turning

1. บทนำ

ในปัจจุบัน บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำของโลกหลายค่าย ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนายานพาหนะต้นแบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ด้วยข้อดีในเรื่องของพลังงานที่สะอาด และในเรื่องของการที่ระบบไฟฟ้านั้น สามารถทำการประยุกต์และสร้างระบบการทำงานได้หลากหลาย เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

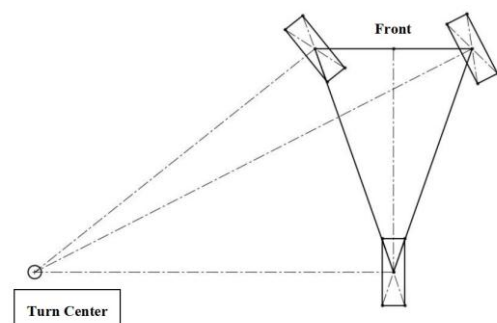
ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยในลักษณะนี้จากหลายหน่วยงาน ตั้งแต่ที่เป็นระดับหุ่นยนต์ขนาดเล็กของทาง He Xu และคณะ[1] ที่ได้ทำการออกแบบหุ่นยนต์ที่ใช้ 4 ล้อในการเคลื่อนที่ และระบบบังคับเลี้ยวของทั้ง 4 ล้อเป็นอิสระจากกัน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบการเคลื่อนที่ตามข้างต้นได้ ในระดับถัดมาเป็นของทาง Huihuan และคณะ[2] ที่ได้สร้างตัวยานพาหนะ 4 ล้อ ระบบบังคับเลี้ยวเป็นอิสระจากกันที่คนสามารถเข้าไปขับชี้ได้ จนถึงในระดับอุตสาหกรรม Nissan Pivo2[3] ซึ่งเป็นยานพาหนะไฟฟ้าต้นแบบที่มีระบบบังคับเลี้ยวอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ทั้ง 4 รูปแบบได้อย่างสมบูรณ์ และยังได้เพิ่มอุปกรณ์อำนวยความสะดวกมากมายเข้าไปในตัวยานพาหนะอีกด้วย

โครงการนี้ จึงได้ทำการศึกษาและสร้างต้นแบบยานพาหนะไฟฟ้า ที่นำมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในระบบบังคับเลี้ยวและระบบขับเคลื่อน เพื่อให้ตัวยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ใน 4 รูปแบบการเคลื่อนที่คือ Ackerman, Double Ackerman, Omni-directional และ Zero radius turning โดยได้

กำหนดให้ตัวยานพาหนะมีขนาดไม่เกิน 150x170x150 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) และสามารถรับน้ำหนักของผู้โดยสารได้ 1 คน หรือประมาณ 80 กิโลกรัม

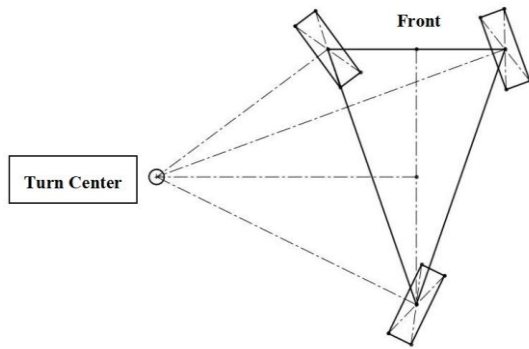
2. รูปแบบการเคลื่อนที่

รูปแบบ Ackerman คือการเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบการเลี้ยวในลักษณะเดียวกับรถยนต์ทั่วไป คือ มีเพียงสองล้อหน้าที่มีการปรับเปลี่ยนมุม ทำให้เส้นตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของทั้งสามล้อไปตัดกันที่แนวเส้นตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของล้อหลัง ทำให้จุดศูนย์กลางการเลี้ยว (Turn center) ไปอยู่ทางด้านหลังของตัวยานพาหนะ



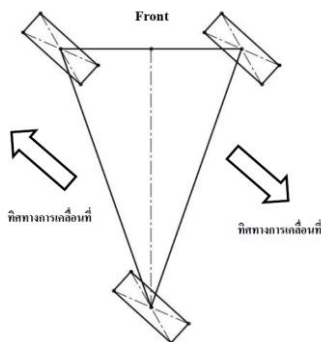
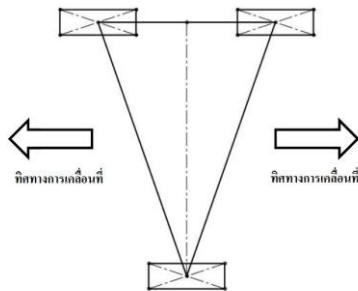
รูปที่ 1 แสดงรูปแบบ Ackerman

รูปแบบ Double Ackerman คือการเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบการเลี้ยวคล้ายกับแบบ Ackerman ต่างกันที่ในรูปแบบนี้ล้อหลังมีการปรับมุมของล้อด้วย โดยในที่นี้คณะผู้จัดทำจะทำการกำหนดให้ทั้งสามล้อปรับมุมเข้าหากันแล้วเกิดจุดศูนย์กลางการเลี้ยว (Turn center) ในแนวเส้นกลางตัวยานพาหนะ



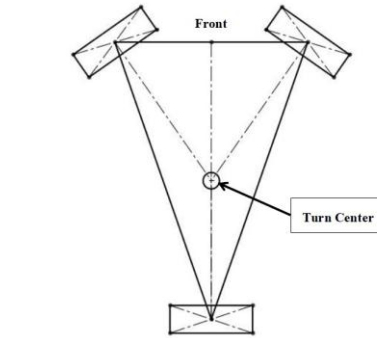
รูปที่ 2 แสดงรูปแบบ Double Ackerman

รูปแบบ Omni directional คือการเคลื่อนที่ไปยังทิศทางใดทิศทางหนึ่งโดยที่ทิศทางของตัวยานพาหนะไม่จำเป็นต้องหันไปทางทิศทางนั้นด้วย ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างหรือแนวทแยงมุม



รูปที่ 3 แสดงรูปแบบ Ackerman

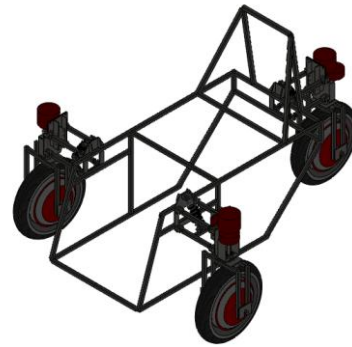
รูปแบบ Zero radius turning (ZRT) คือรูปแบบการเลี้ยวที่มีรัศมีการเลี้ยวเป็นศูนย์ หรือกล่าวอีกในลักษณะคือการที่ยานพาหนะหมุนรอบจุดศูนย์กลางของตัวเอง



รูปที่ 4 แสดงรูปแบบ Zero radius turning

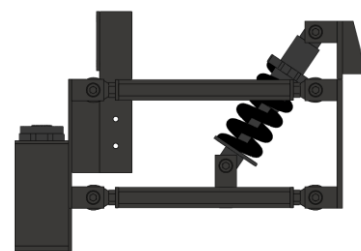
3. การออกแบบยานพาหนะ Flex EV

โครงสร้างหลักใช้เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส เชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน โดยออกแบบให้มีขนาดพอดีกับตัวคนสามารถเข้าไปนั่งได้สบาย



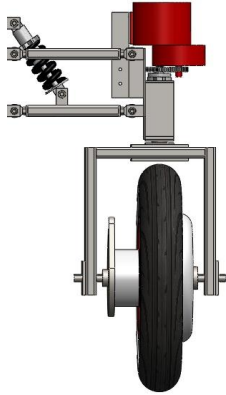
รูปที่ 5 แสดงรูปร่างโดยรวมของยานพาหนะ

สำหรับระบบรองรับน้ำหนักนั้น นอกจากจะเป็นระบบกันกระแทกแล้ว ยังเป็นส่วนที่ต้องรักษาแนวการวางตัวของชุดยัดล้อ และเราต้องการให้ชุดยัดล้อมีแนวการวางตัวขนานกับโครงสร้างหลักตลอดเวลา จึงได้ทำการดัดแปลงระบบรองรับน้ำหนักจากแบบปีกนกคู่ ให้ปีกนกลางกับปีกนอกบนมีความยาวเท่ากัน ซึ่งจะออกมาในลักษณะของสี่เหลี่ยมด้านขนาน ที่จะทำให้ชุดยัดล้อขนานไปกับโครงหลักตลอดเวลาแม้ว่าระบบรองรับน้ำหนักจะเกิดการยุบตัวหรือไม่ก็ตาม



รูปที่ 6 แสดงรูปแบบระบบรองรับน้ำหนัก

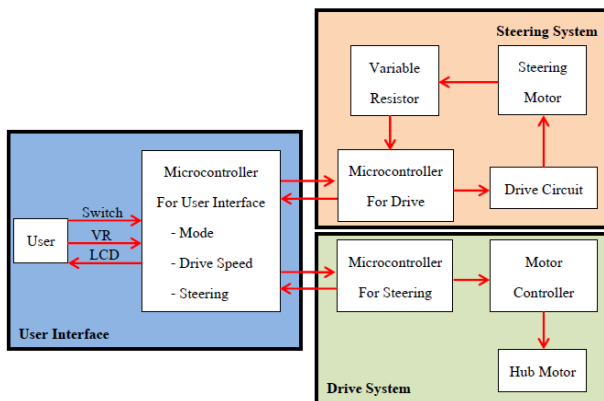
ระบบบังคับเลี้ยวในแต่ละล้อนั้น จะถูกแยกเป็นอิสระจากกันทั้ง 3 ล้อ โดยใช้ DC Motor ในการปรับทิศทางการหมุนของระบบบังคับเลี้ยว



รูปที่ 7 แสดงรูปแบบระบบบังคับเลี้ยว

4. System Diagram

ระบบการทำงานถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วน User Interface, ส่วน Drive System และส่วน Steering System



รูปที่ 8 แสดง System Diagram

ส่วน User Interface ผู้ใช้จะทำการติดต่อกับตัวยานพาหนะ โดยผ่านชุด Control Panel ซึ่งภายในประกอบด้วยปุ่มกด สำหรับการเลือกปรับเปลี่ยนโหมดการเคลื่อนที่ และปุ่มสำหรับการกลับทิศทางการเคลื่อนที่รวมถึงปุ่มสำหรับการเริ่มต้นทำงานระบบใหม่ โดยผู้ใช้สามารถรับรู้ถึงสภาวะการทำงานของระบบว่าตอนนี้อยู่ในโหมดการทำงานไหนได้ผ่านทางจอแสดงผล (LCD) นอกจากนี้บนชุด Control Panel ยังมี Variable Resistor (VR) อีก 2 ตัวซึ่งตัวหนึ่งใช้

ในการควบคุมทิศทางการบังคับเลี้ยวหรือทิศทางการเคลื่อนที่ในบางโหมดการทำงาน ส่วนอีกตัวหนึ่งสำหรับควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่

ส่วน Drive System จะมี Microcontroller คอยควบคุมการจ่ายสัญญาณไปที่ตัว Motor Controller ของตัว Hub Motor ทั้ง 3 ตัว เพื่อควบคุมความเร็ว โดยจะได้รับสัญญาณมาจาก Microcontroller ที่อยู่บนส่วน User Interface

ส่วน Steering System มี Microcontroller คอยรับคำสั่งจากส่วน User Interface และทำการควบคุมมุมการบังคับเลี้ยวของชุดล้อทั้ง 3 ชุดให้อยู่ในตำแหน่งการทำงานโดยได้รับสัญญาณที่แสดงตำแหน่งของมุมล้อมาจาก Variable Resistor ที่ได้ติดตั้งไว้บน Steering Motor แต่ละชุด

5. การทดลอง

ในการทดสอบได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบหลักคือ การทดสอบความแม่นยำของระบบบังคับเลี้ยวทั้ง 3 ล้อ และการทดสอบการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ โดยได้ใช้พาหนะจริงที่ได้สร้างขึ้นมาทำการทดสอบ



รูปที่ 9 แสดงตัวยานพาหนะที่สร้างขึ้น

5.1 การทดสอบความแม่นยำของระบบบังคับเลี้ยว (ในขณะหยุดนิ่ง)

ได้ทดสอบการเข้าตำแหน่งมุมการบังคับเลี้ยวทั้ง 3 ล้อ ในมุมที่แตกต่างกัน 3 มุมคือ ที่ 0°, +30° และ -30° และจดบันทึกผลเป็นค่าความแตกต่าง ระหว่างมุมที่

ต้องการเข้าตำแหน่งกับมุมที่ระบบบังคับเลี้ยวสามารถเข้าตำแหน่งได้จริง นำมาหาค่าเฉลี่ย โดยได้กำหนดให้ล้อหลัง ล้อหน้าซ้าย ล้อหน้าขวา คือล้อที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งผลเป็นดังนี้

มุมที่ทดสอบ	ค่าความแตกต่างของมุม(°)		
	ล้อ 1	ล้อ 2	ล้อ 3
0°	5.5	7.5	7.4
+30°	5.4	7.5	7.5
-30°	5.7	7.7	7.7

5.2 การทดสอบการเคลื่อนที่

ได้ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะทั้ง 4 รูปแบบการเคลื่อนที่ คือ รูปแบบ Ackerman, Double Ackerman, Omni Directional, และ Zero Radius Turning ว่าสามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบเหล่านี้ได้หรือไม่ ซึ่งผลเป็นดังนี้

โหมดการเคลื่อนที่	ทิศทาง	ผลทดสอบ
Ackerman (Front)	ขวา	ได้
Ackerman (Front)	ซ้าย	ได้
Ackerman (Rear)	ขวา	ได้
Ackerman (Rear)	ซ้าย	ได้
Double Ackerman	ขวา	ได้
Double Ackerman	ซ้าย	ได้
Omni Directional	หน้า	ได้
Omni Directional	หลัง	ได้
Omni Directional	ขวา	ได้
Omni Directional	ซ้าย	ได้
Zero Radius Turning	ขวา	ได้
Zero Radius Turning	ซ้าย	ได้

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบหาความแม่นยำของระบบบังคับเลี้ยว ได้ใช้ค่า Gain ของ PD Control คือ $K_p = 3$, $K_D = 0.5$ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งเป็นค่าที่

ทำให้ชุดระบบบังคับเลี้ยวทั้ง 3 ชุด ลู่เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการมากที่สุดและไม่เกิดการสั่นของระบบ จากผลการทดลองที่ 3 มุมการทดสอบ (0°, +30°, -30°) พบว่าที่ระบบบังคับเลี้ยวแต่ละชุดไม่ว่าจะทำการหมุนเข้ามุมการทดสอบใดระบบบังคับเลี้ยวชุดนั้นจะให้ค่าความแตกต่างที่ใกล้เคียงกัน เช่น ระบบบังคับเลี้ยวชุดหลังให้ค่าความแตกต่างในแต่ละมุมการทดสอบคือ (5.5°, 5.4°, 5.7°) ซึ่งเห็นได้ว่าใกล้เคียงกันมาก และเป็นเช่นกันในชุดล้อซ้าย (7.5°, 7.5°, 7.7°) และชุดล้อขวา (7.4°, 7.5°, 7.7°) นอกจากนี้เมื่อทำการเทียบค่าความแตกต่างกันในแต่ละระบบบังคับเลี้ยวพบว่าที่ชุดล้อหลังให้ค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุด และชุดล้อซ้ายและชุดล้อขวาซึ่งเป็นคู่ล้อหน้าให้ผลความแตกต่างที่มากกว่าล้อหลัง แต่มีความใกล้เคียงกันระหว่างคู่ล้อหน้า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกระจายของน้ำหนักที่ไปตกในคู่ล้อหน้ามากกว่า ซึ่งสังเกตได้จากชุด Shock Absorber ของระบบรองรับน้ำหนักด้านหน้ามีการยุบตัวมากกว่าด้านหลัง ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่คู่ล้อหน้ามากกว่าจึงมีผลให้การลู่เข้าสู่ตำแหน่งมีค่าความแตกต่างมากกว่าชุดล้อหลัง ทั้งนี้ทั้งนั้นการลู่เข้าสู่ตำแหน่งของทั้ง 3 ชุดบังคับเลี้ยวอาจเกิดผลมาจากอิทธิพลของแบตเตอรี่ซึ่งทั้ง 3 ชุดได้ใช้แบตเตอรี่แยกจากกันก็เป็นได้ เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่มาจากแบตเตอรี่จะมีผลโดยตรงต่อแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ และในการทดสอบเราไม่สามารถควบคุมระดับแรงดันของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชุดให้เท่ากันได้

7. สรุป

จากการทดสอบการเคลื่อนที่ในทั้ง 4 รูปแบบตามที่กล่าวมาในข้างต้น พบว่ายานพาหนะต้นแบบที่ได้ทำการสร้างมานี้สามารถเคลื่อนที่ได้ในทุกรูปแบบตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ แต่ก็ยังไม่ถึงกับสมบูรณ์แบบยังมีบางครั้งที่ การคุมระบบบังคับเลี้ยว ซึ่งในที่นี้ได้ใช้ PD Control เข้ามาในการควบคุม ไม่สามารถคุมตำแหน่งมุมของระบบบังคับเลี้ยวไว้ได้ในบางจังหวะที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ แต่ก็ยังสามารถควบคุมกลับมา

ตำแหน่งมุมที่ต้องการได้ในเวลาที่รวดเร็ว ซึ่งทำให้ตัวยานพาหนะเกิดกระตุกในขณะวิ่ง ซึ่งจากการสันนิษฐานเบื้องต้น อาจเกิดจากชุดเฟืองส่งถ่ายกำลังที่อยู่ในระบบบังคับเลี้ยว ที่มีระยะคลอนค่อนข้างสูง จึงทำให้ในบางจังหวะที่มีการปรับเปลี่ยนมุมขนาดเล็ก ระบบบังคับเลี้ยว จะไม่ตอบสนองต่อการควบคุม ทำให้เกิดการหลุดออกจากตำแหน่งในบางครั้ง

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

[1] He Xu, Dawei Tan and Zhenyu Zhang, “**An Innovative Reconfigurable Mobile Robot with Multi-Maneuver Modes**”, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Bangkok, Thailand, Feb. 21-26, 2009.

[2] Huihuan QIAN, Tin Lun LAM, Weimin LI, Chenggang XIA, and Yangsheng XU, “**System and design of an omni-directional vehicle**”, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Bangkok, Thailand, Feb. 21-26, 2009.

7.2 เว็บไซต์

[3] Nissan “**ConceptCarPIVO2**” <http://www.nissanglobal.com/EN/PIVO2/> หาข้อมูล ณ 30 เมษายน พ.ศ.2553.

[4] Aptera “A Day in the Drives Seat of an Aptera” <http://www.aptera.com/live.php> หาข้อมูล ณ 30 เมษายน พ.ศ.2553.

[5] MyersMotors “Doesn’t Use Oil” <http://www.myersmotors.com/index.html> หาข้อมูล ณ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2553.

[6] Howstuffworks “How Three - wheel Cars Work” <http://auto.howstuffworks.com/threewheel-car.htm> หาข้อมูล ณ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2553.