ยานยนต์สมัยใหม่

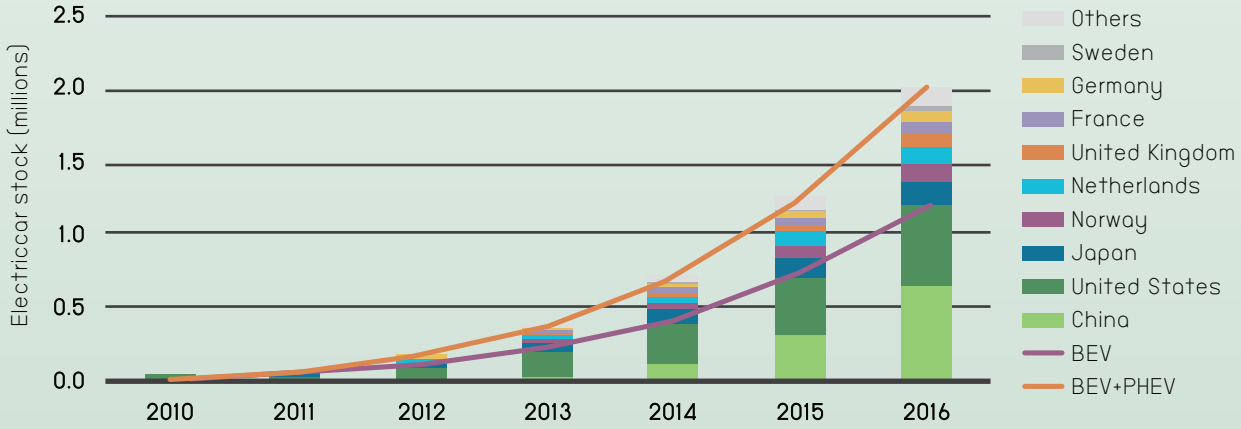
Next Generation Mobility

เทคโนโลยีมอเตอร์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ผศ.ดร. มงคล กงศ์หิรัญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จากรายงาน Global EV Outlook 2017 [1] พบว่าทิศทางของการใช้ ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric vehicle, EV) ทั่วโลก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในกลุ่มประเทศจีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในทวีปยุโรป เช่น นอร์เวย์ เยอรมัน เนเธอร์แลนด์ อังกฤษ ฝรั่งเศส เป็นต้น เมื่อนับจากอดีตจนถึงสิ้นปี ค.ศ.2016 ทั่วโลกมีจำนวนยอดขายยานยนต์ไฟฟ้าสะสมจำนวนมากกว่า 2 ล้านคัน



รูปที่ 1 จำนวนยอดขายยานยนต์ไฟฟ้าแยกตามประเทศตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2010- 2016 [1]

ถึงแม้ว่าปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้ายังคงมีข้อจำกัดด้านต่างๆ เช่น ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ที่สูง ระยะเวลาการอัดประจุแบตเตอรี่ที่นาน จำนวนสถานีอัดประจุที่ยังไม่แพร่หลาย และจำนวนศูนย์บริการที่น้อย เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาทางด้านเทคนิค ยานยนต์ไฟฟ้ามีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้แก่ [2]

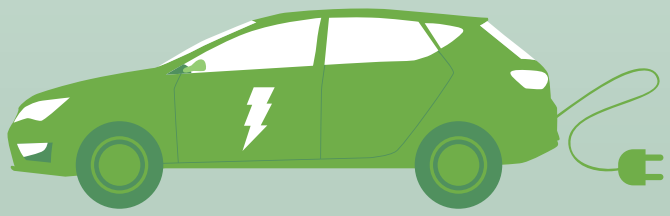
- Diversification of energy resources : ยานยนต์ไฟฟ้าใช้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถผลิตได้จากเชื้อเพลิงทางเลือกแหล่งอื่นๆ ได้ เช่น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ ชีวมวล ถ่านหิน นิวเคลียร์ และพลังงานหมุนเวียน (น้ำ ลม แสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ) เป็นต้น ทำให้ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแหล่งเชื้อเพลิงเพียงแหล่งใดแหล่งหนึ่งเท่านั้น

- Higher overall efficiency : ยานยนต์ไฟฟ้ารับพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานทางกลสำหรับระบบขับเคลื่อน ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า (มากกว่า 70%) ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งใช้พลังงานความร้อนเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานทางกล (ประมาณ 35%)

- Regenerative brake : ในขณะที่ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเบรกเพื่อชะลอความเร็ว พลังงานทางกลที่ลดลงนี้สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าคืนกลับและใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้อีก แทนที่จะเป็น Mechanical brake ที่ใช้หลักการของพลังงานจากแรงเสียดทานเพื่อห้ามล้อ

- Zero harmful emission : ยานยนต์ไฟฟ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อนจึงไม่มีการปลดปล่อยแก๊สมลพิษต่างๆ จากยานยนต์ไฟฟ้า

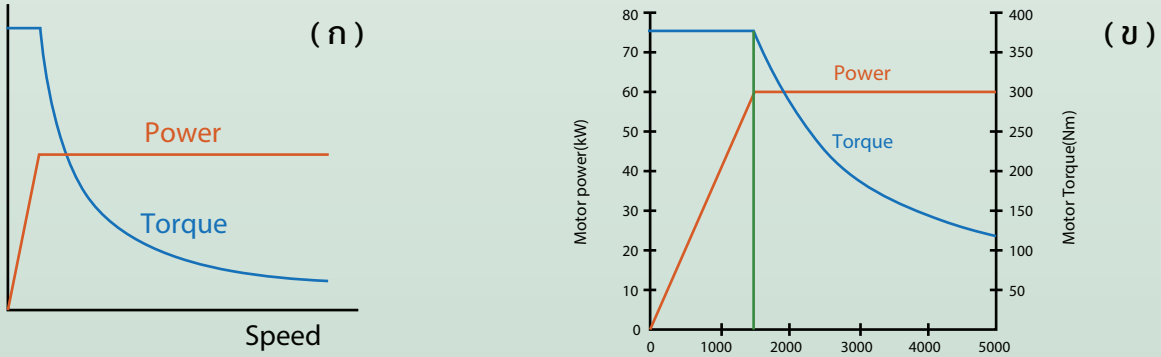
- Grid support : ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถจ่าย (Vehicle-to-Grid, V2G) เพื่อช่วยสนับสนุนโครงข่ายไฟฟ้าและระบบพลังงานที่มีประสิทธิภาพได้



ในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ประเภทต่างๆ จะสังเกตเห็นว่ามีการใช้โลหะหนักเป็นส่วนประกอบของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งโลหะหนักดังกล่าวบางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเมื่อสิ้นอายุการใช้งานของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า จะต้องมีกระบวนการในการจัดการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการหนึ่งที่หลายประเทศนำมาใช้เพื่อจัดการแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพจากการใช้งานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า คือการนำไปใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานสำหรับอาคาร (Second Use) เนื่องจากแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพยังคงมีความสามารถในการกักเก็บประจุไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 80 ทั้งนี้ เมื่อแบตเตอรี่ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานสำหรับอาคารเสื่อมสภาพ จะต้องได้รับการคัดแยกและกำจัดอย่างถูกต้อง เหมาะสมต่อไป เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลของวัตถุมีพิษต่อสิ่งแวดล้อม

- High efficiency : มีประสิทธิภาพสูงเพื่อให้ได้ระยะทางวิ่งไกลมากที่สุด
- High power density (W/m3) & specific power (W/kg) : มีน้ำหนักเบาและขนาดเล็ก
- Wide speed range : สามารถทำงานในย่านความเร็วที่กว้างเกินพิกัดความเร็วได้
- Good thermal capability : สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี
- Peak torque capability : สามารถให้แรงบิดสูงสุดเพื่อใช้ขับเคลื่อนเกินพิกัดกำลังได้ชั่วขณะ
- Fast dynamic response : สามารถตอบสนองพลวัติได้อย่างรวดเร็วทั้งในช่วงของการเร่งและเบรก
- Robust structure : มีโครงสร้างแข็งแรงรองรับกับยานยนต์ไฟฟ้าที่วิ่งบนพื้นผิวถนนที่ไม่เรียบ
- Low cost : มีราคาถูกเพื่อลดต้นทุน
- Low & easy maintenance : ซ่อมบำรุงต่ำและง่าย

นอกจากนี้มอเตอร์ลากจูงยังมีจุดเด่นในเรื่องของคุณลักษณะสมรรถนะที่ตรงกับคุณลักษณะสมรรถนะในทางอุดมคติของระบบขับเคลื่อนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2 [3] จากรูปนี้แกน X แสดงความเร็วซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ย่าน คือ (1) ย่านความเร็วต่ำกว่าพิกัด หรือ ย่านแรงบิดคงที่ (Constant torque region) จะถูกจำกัดไว้ไม่ให้เกินกว่าค่าที่จะทำให้เกิดการลื่นไถลของล้อ (Tire slip) และ (2) ย่านความเร็วเกินพิกัด หรือ ย่านกำลังคงที่ (Constant power region) เป็นย่านที่แรงบิดลดลงอย่างผกผันกับความเร็วที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงความเร็วสูงสุด (ประมาณ 3 เท่าของพิกัดความเร็ว)



รูปที่ 2 (ก) คุณลักษณะสมรรถนะในทางอุดมคติของระบบขับเคลื่อนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และ (ข) คุณลักษณะสมรรถนะของมอเตอร์ลากจูง [3]

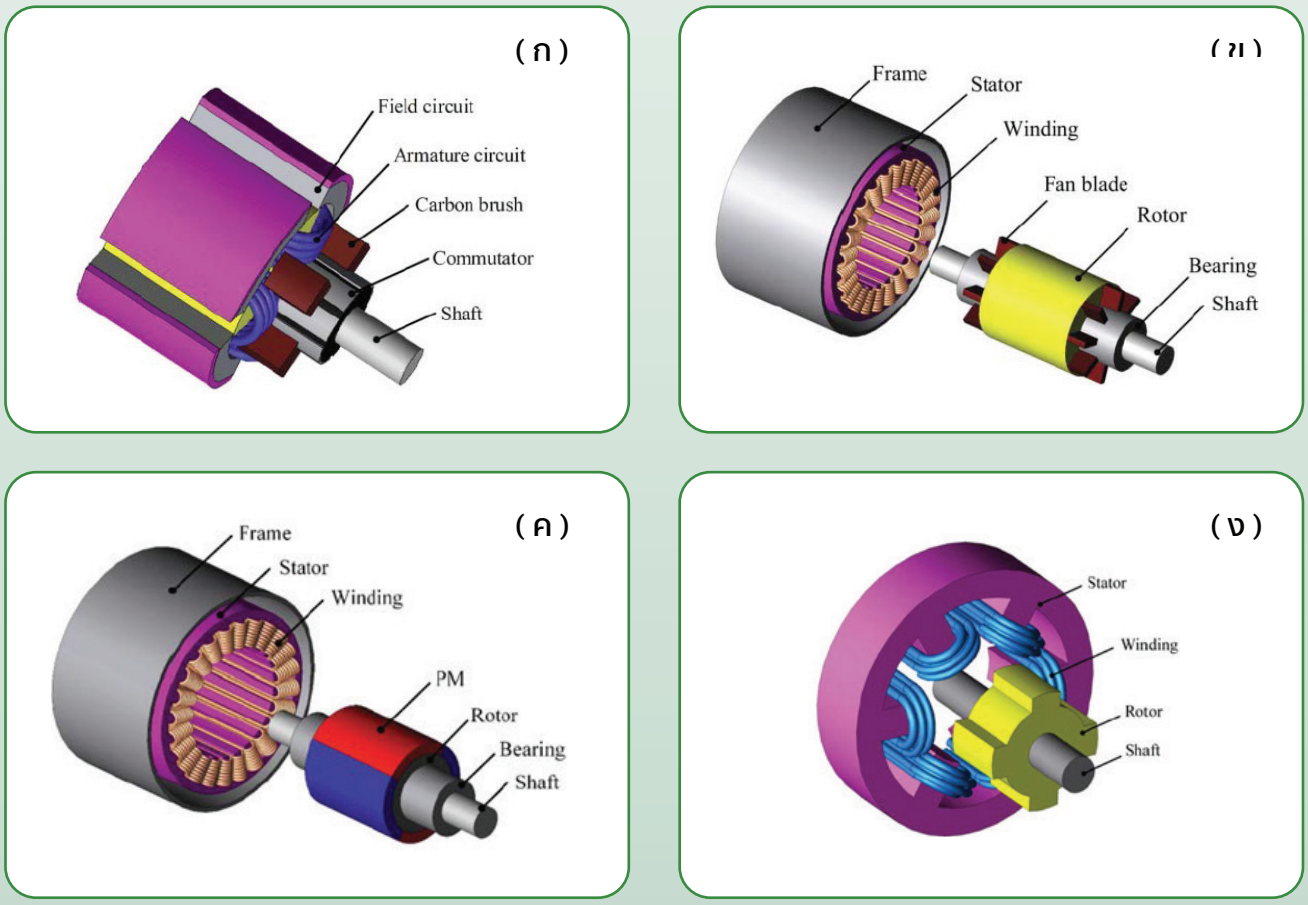
นับจากอดีต ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าได้นำมอเตอร์ลากจูงชนิดต่างๆ มาเป็นต้นกำลังระบบขับเคลื่อนโดยที่แต่ละชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน สามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1. DC motor ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3 (ก) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการพัฒนามานาน มีความเชื่อถือได้สูง มีราคาไม่แพง และมีวิธีการควบคุมความเร็วและแรงบิดที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ส่วนใหญ่มอเตอร์ชนิดนี้มักจะเป็นประเภท Series DC motor ที่มีคุณลักษณะสมรรถนะเหมาะกับการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก อย่างไรก็ตาม มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียหลัก ดังนี้ Power density ต่ำ ค่าซ่อมบำรุงที่แพงเนื่องจากโครงสร้างโรเตอร์ที่มีขดลวดต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และต้องเปลี่ยนแปรงถ่าน (Carbon brush) ทุกๆ ระยะเวลา 3,000 ชั่วโมงโดยประมาณ การเกิดประกายไฟที่แปรงถ่าน (Arc) และประสิทธิภาพต่ำกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ

2. Induction motor (IM) Induction motor (IM) ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3 (ข) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดหนึ่งที่นิยมมาใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากไม่ต้องใช้คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือน DC motor มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนแต่แข็งแรงทนทาน มีความเชื่อถือได้สูง ราคาไม่แพง ซ่อมบำรุงที่ต่ำและง่าย มีมาตรฐานสากลทั้ง NEMA และ IEC รองรับ ไม่ต้องใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet, PM) ส่วนใหญ่มอเตอร์ชนิดนี้มักจะเป็นประเภท Squirrel-cage อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดที่ใช้แม่เหล็กถาวร (ชนิดถัดไป) มอเตอร์ชนิดนี้จะมีวิธีการขับเคลื่อนที่ซับซ้อนกว่า ทั้ง Power density & Specific power ที่ต่ำกว่า มีประสิทธิภาพต่ำกว่า และมีสลิป (slip) ที่ขึ้นอยู่กับโหลด

3. Synchronous permanent magnet motor (SPM) ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3 (ค) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับอีกชนิดหนึ่งที่นิยมมาใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันเนื่องจากมีการใช้แม่เหล็กถาวรซึ่งอาจจะติดตั้งบนผิวโรเตอร์ (Surface mounted) หรือฝังภายในโรเตอร์ (Interior) จึงทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูง ตัวประกอบกำลังสูง (High power factor) มีทั้ง Power density & Specific power ที่สูง ไม่มีสลิป และมีความเฉื่อยโรเตอร์ (Rotor inertia) ที่ต่ำ ถ้าในกรณีที่ใช้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field winding) โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงผ่านแปรงถ่านและสลิปริง (Slip ring) ทดแทนการใช้แม่เหล็กถาวรที่โรแตอร์แล้ว จะเรียกว่า Synchronous brushed motor (SBM) ซึ่งมีความสามารถในการปรับค่าสนามแม่เหล็กได้ ส่วนข้อเสียของมอเตอร์ชนิดนี้ ได้แก่ ราคาสูง การเสื่อมสภาพแม่เหล็ก (Demagnetization) อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่สูงทางด้านขดลวดสเตเตอร์ (High armature reaction field) และอุณหภูมิที่สูงขณะทำงาน เป็นต้น

4. Reluctance motor (RM) หรือ Switched reluctance motor (SRM) ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3 (ง) เป็นมอเตอร์ที่มีขั้วยื่นทั้งฝั่งสเตเตอร์และโรเตอร์ (Doubly salient) มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น มีราคาถูก มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่แข็งแรงทนทาน มีประสิทธิภาพสูง มีวิธีการขับเคลื่อนที่ง่าย มีสมรรถนะไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิขณะทำงาน สามารถหมุนที่ความเร็วได้สูงมาก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียที่เกี่ยวกับเสียงรบกวนที่ดังขณะที่มอเตอร์หมุน มี Torque ripple ที่สูง และมีความไม่เป็นเชิงเส้นที่สูงอันเนื่องมาจากคุณลักษณะของ B-H curve ของแกนเหล็ก



รูปที่ 3 โครงสร้างของ (ก) DC motor (ข) Induction motor (IM)
(ค) Synchronous permanent magnet motor (SPM) และ (ง) Reluctance motor (RM) [2]

ในรูปที่ 4 แสดงข้อมูลของยานยนต์ไฟฟ้าในท้องตลาดที่เก็บสำรวจจากอดีตจนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 2012 พบว่า IM เป็นชนิดของมอเตอร์ลากจูงที่นิยมมากที่สุดในบรรดาผู้ผลิตยานยนต์ทั่วโลก ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าชนิด SPM ซึ่งมักจะนิยมในผู้ผลิตยานยนต์จากประเทศญี่ปุ่น เกาหลี อินเดีย และจีน ในขณะที่ DC motor ได้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งสุดท้ายในปี ค.ศ. 2007 นอกจากนี้พิกัดกำลังของมอเตอร์ลากจูงโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40-85 kW แต่ยานยนต์ไฟฟ้าบางรุ่นอาจจะมีพิกัดกำลังของมอเตอร์ลากจูงสูงมากถึง 220 kW ในอนาคต นอกเหนือจากการออกแบบพัฒนามอเตอร์ลากจูงเพียงลำพังอย่างเดียวแล้ว มอเตอร์ลากจูงยังมีทิศทางของการวิจัยพัฒนาโดยการเพิ่มเทคโนโลยีทางด้านอื่น อาทิเช่น Integrated drive, Fault tolerant, Magnetic gear, Thermal management, Self monitoring & communication เป็นต้น

Model	Battery type	Energy storage (kWh)	Nominal range (km)	Market release	Power (kW)	Motor type
Tesla Model S	Li	42	258	2012	215	IM
Tesla Model S	Li	65	370	2012	215	IM
Tesla Model S	Li	85	483	2012	215	IM
Lightning GT	Li	40	240	2012	150	PM
Hyundai BlueOn	Li	16,4	140	2012	61	PM
Honda Fit EV	Li		113	2012		IM
Toyota RAV4 EV	Li	30	160	2012		IM
Saab 9-3 ePower	Li	35,5	200	2011	135	
CODA Sedan	Li	34	193	2011	100	
Ford Focus Electric	Li	23	160	2011	100	IM
Skoda Octavia Green E Line	Li	26,5	140	2011	85	
Volvo C30 DRIVe Electric	Li	24	150	2011	82	
Renault Fluence Z.E.	Li	22	161	2011	70	SB
Renault ZOE	Li	22	160	2011	60	SB
Tata Indica Vista EV	Li	26,5	241	2011	55	PM
Ford Tourneo Connect EV	Li	21	160	2011	50	IM
Kangoo Express Z.E	Li	22	170	2011	44	SB
Fiat Doblò	Li	18	140	2011	43	IM
Peugeot iOn	Li	16	130	2011	35	PM
Renault Twizy	Li	7	100	2011	15	
REVA NXR	Pb	9,6	160	2011	13	IM
BYD F3M	Li	15	100	2010	125	PM
Nissan Leaf	Li	24	175	2010	80	PM
Ford Transit Connect EV	Li	28	129	2010	50	IM
Citroen C zero	Li	16	130	2010	49	PM
Gordon Murray T-27	Li	12	130	2010	25	
Wheego Whip LiFe	Li	30	161	2010	15	IM
Venturi Fétish	Li	54	340	2009	220	
Mini E	Li	35	195	2009	150	IM
BYD e6	Li	60	330	2009	115	PM
Mitsubishi i MiEV	Li	16	160	2009	47	PM
Subaru Stella EV	Li	9,2	80	2009	40	
Smart ED	Li	16,5	135	2009	30	PM
Citroën C1 ev'ie	Li	30	110	2009	30	IM
Zytel Gorila Electric	Pb	10,8	80	2009	17	
Micro-Vett Fiat Panda	Li	22	120	2009	15	IM
Micro-Vett Fiat 500	Li	22	130	2009	15	IM
Tazzari Zero	Li	19	140	2009	15	IM
Chana Benni	Pb	9	120	2009	10	
Tesla Roadster	Li	53	395	2008	215	IM
Th!nk City	Na	24	160	2008	34	IM
Th!nk City	Li	23	160	2008	34	IM
Lumeneo SMERA	Li	10	100	2008	30	PM
Stevens Zecar	Pb		80	2008	27	IM
REVAi	Pb	9,3	80	2008	13	IM
REVAi	Li	9,3	80	2008	13	IM
ZENN	Pb		64	2008		IM
AC Propulsion eBox	Li	35	250	2007	150	IM
ZAP! OBVIO! 828E	Li	39	386	2007	120	IM
Phoenix sut	Li	35	209	2007	100	
Phoenix sut	Li	70	403	2007	100	
Smart ED	Na	13,2	110	2007	30	PM
Kewet Buddy	Pb	8,4	40	2007	13	DC
The Kurrent	Pb		60	2007	4,1	
CityCar	Li	7	120	2007		
ZAP Xebra	Pb	7,2	40	2006	5	DC
NICE Mega City	Pb	6,5	81	2006	4	DC
Commuter Cars Tango	Pb	16	100	2005	43	DC
Cree SAM	Li	7	100	2001	11,6	PM
G-Wiz	Pb	9,3	77	2001	4,8	DC
Dynasty IT	Pb	5	48	2001		
General Motors EV1	NiMH	26,4	225	1999	102	IM
Ford Ranger EV	NiMH	26	132	1999	67	IM
Peugeot Partner	NiCd	16,2	96	1999	28	DC
Hypermini	Li	15	115	1999	24	PM
Myers Motors NmG	Pb	8,6	64	1999	20	DC
Peugeot 106	NiCd	12	150	1999	20	DC
GM S-10	NiMH	29	113	1998	85	IM
Ford Ranger EV	Pb	20,6	100	1998	67	IM
Toyota RAV4 EV	NiMH	26	165	1998	50	PM
Renault Express Electr	Pb	22	100	1998	19	
GEM Car	Pb		48	1998	9	DC
CityCom Mini-El	Pb	3,6	96	1998	9	PM
GM S-10	Pb	16,2	76	1997	85	IM
Nissan Altra	Li	32	190	1997	62	PM
Honda EV Plus	NiMH	26,2	240	1997	49	DC
General Motors EV1	Pb	18,7	160	1996	102	IM
Citroen Berlingo	NiCd	16	100	1995	28	DC
Citroen Saxo	NiMH	17	100	1995	20	DC
Subaru minivan 200	Pb	15,6	70	1995	14	DC
Solectria Sunrise	NiMH	26	321	1994	50	IM
Chrysler TEVan	NiMH	32,4	80	1993	27	DC
Chrysler TEVan	NiMH	36	97	1993	27	DC
Citroen AX	NiCd	12	100	1993	20	DC
VW Golf CityStromer	Pb	17,2	90	1993	17,5	PM
Ford Ecostar	Na	37	151	1992	56	IM
Bertone Blitz	Pb		130	1992	52	DC
VW Golf CityStromer	Pb	11,5	50	1989	18,5	PM
CityEl	Pb	11,5	90	1987	4	DC
CityEl	Pb	8,6	80	1987	2,5	DC
Oka NEV ZEV				1987		
Lucas Chloride	Pb	40	70	1977	40	DC
Citicar	Pb			1974	2,5	DC
Enfield 8000	Pb	8	145	1969	10	DC

รูปที่ 4 ข้อมูลของยานยนต์ไฟฟ้าในท้องตลาดจากอดีตจนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 2012 [4]

แหล่งข้อมูล :

[1] https://www.iea.org/publications/freepubli- cations/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf (สืบค้น เมื่อวันที่ 16 มิย 2561)

[2] K.T. Chau, Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Applications, IEEE Wiley, 2015.4

[3] M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle: Fun- damentals, Theory, and Design, CRC Press, 2010.

[4] J. de Santiago et. al., Electrical Motor Drive- lines in Commercial All-Electric Vehicles: A Review, IEEE Transactions on Vehicular Technology, February, 2012.