บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการผลิตท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotubes) แบบดั้งเดิม ประกอบด้วยวิธี arc, chemical vapor deposition (CVD), laser ablation และ electric arc discharge ผ่าน พลังงานแสงอาทิตย์ และวิธี plasma torch (Paradise and Goswami, 2007, Popov, 2004) นอกจากนี้กระแสการวิจัยในประเทศญี่ปุ่นได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตนาโนคาร์บอนและการนำไปใช้ เช่นการผลิตโดยวิธี Template, วิธี Polymer blend ร่วมกับการปั่นเป็นเส้นใยและให้ความร้อนกับ Si substrate ภายใต้อุณหภูมิสูงในส่วนผสมของแอลกอฮอล์และการสลายของแผ่นผลึกเดี่ยวของ SiC นอกจากนี้ยังมีการเตรียม single-walled carbon nanohorns, cup-stacked-type nanofibers และ nano-structure carbon ซึ่งประกอบด้วย microporous carbon จากการสลายของ poly(tetrafluoroethylene) การคาร์บอไนซ์สาร organic aerogels และวิธี zeolite template รวมถึงการเตรียม nano-structures carbons ผ่านการควบคุมโครงสร้างของสารตั้งต้น การคาร์บอไนซ์สาร polyimides และ pitch ด้วยสารเชิงซ้อนไอโอดีน (Inagaki et al., 2004)

เนื่องสมบัติที่พิเศษของท่อนาโนคาร์บอนทางการนำไฟฟ้าและเชิงกล จึงมีความสนใจในการนำมาใช้ในการผลิตและสร้างอุปกรณ์ระดับนาโนทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น การใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า สร้างตัวเก็บประจุ ทรานซิสเตอร์ ไดโอด และนำมาใช้งานทางด้านเทคโนโลยีการเก็บข้อมูล หรือใช้ในระบบการส่งผ่านข้อมูล เช่น การสร้างหน่วยความจำและชิพสำหรับคอมพิวเตอร์ และการสังเคราะห์เส้นใยวัสดุผสมระดับนาโน เพื่อนำมาใช้เตรียมหน่วยโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการสร้างอุปกรณ์ และโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติพิเศษ ที่สามารถตอบสนองความต้องการในการใช้งานของมนุษย์ได้ เช่นการนำมาใช้งานทางด้านเทคโนโลยีทางด้านการแปลงรูปพลังงานและการกักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่หรือในเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) หรือใช้เป็นส่วนผสมในเชิงโครงสร้างสำหรับใช้งานในเทคโนโลยีการบินทั้งในอากาศและในอวกาศ หรือแม้กระทั่งประยุกต์ใช้สำหรับระบบการขนส่งยา และเกี่ยวกับประโยชน์ทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Paradise and Goswami, 2007; Popov, 2004)

Fujii และ Ichikawa (2006)ได้กล่าวว่าเทคโนโลยีในระดับนาโน เช่น thin-firm fabrications โดยเตรียมในวิธี sputtering หรือโดยการเกิดคอมโพสิทด้วยการบดด้วย ball mill มีการใช้อย่างมากสำหรับการกักเก็บไฮโดรเจนกับธาตุโลหะเบา โดยเฉพาะการผสมระหว่างสารเชิงซ้อนไฮไดรด์ และ/หรือโลหะไฮไดรด์ ด้วยการบดด้วยวิธี ball-milling ซึ่งการวิจัยต่อไปคงต้องศึกษาหาสารที่สามารถดูดซับและคายไฮโดรเจนได้มากกว่า 6% โดยมวล ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C

ในการใช้ประโยชน์วัสดุของคาร์บอนชนิดต่างๆ (เช่น ถ่านกัมมันต์ แกรไฟต์ แกร ฟีน ฟูลเลอรีน เส้นใยนาโนคาร์บอนและแกรไฟต์) ทางหนึ่งคือการกักเก็บไฮโดรเจนโดยผ่านกลไกทาง Physisorption, Chemisorption, Adsorption energy และ Electrochemical adsorption ซึ่งสารเหล่านี้มีอัตราการ charge และ discharge ของก๊าซไฮโดรเจนที่สูง ประสิทธิภาพและความเสถียรของ charge-discharge cycle ก็สูงด้วย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิและความดันไม่สูง และได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ (Strobel *et*

al., 2006; Yurum *et al.*, 2009) ซึ่งโดยปกติ NaH จะใช้อุณหภูมิในการสลายที่ประมาณ 47°C (Miyaoka *et al.*, 2006) และ MgH_2 สลายที่ 434 °C (Imamura *et al.*, 2002)

ในการใช้สารคาร์บอนสำหรับการกักเก็บไฮโดรเจนนั้น เกิดการดูดซับไฮโดรเจนบนพื้นผิวและสะสมระหว่างชั้นของคาร์บอน ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว โดยพื้นผิวที่สูงจะมีการสะสมไฮโดรเจนได้สูงกว่า (Lia *et al.*, 2006)

ได้มีการใช้ผงแกรไฟต์ที่บดด้วย ball mill เป็นเวลา 80 ชั่วโมง พบว่าสามารถดูดซับไฮโดรเจนได้ถึง 7.4 % โดยมวล และไฮโดรเจนจะคายออกมาได้ที่ใช้อุณหภูมิประมาณ 372-677 °C ส่วนการใช้ Mg สามารถดูดซับไฮโดรเจน ได้ ประมาณ 7.6% โดยมวล แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการสลาย ประมาณ 277°C แต่เมื่อทำเป็นแผ่นฟิล์ม สามารถดูดซับไฮโดรเจนได้ ประมาณ 5 % โดยมวล และใช้อุณหภูมิในการสลายที่ 87°C (Fujii and Orimo, 2003)

ในการผลิต carbon composite จากของผสมของ Mg กับ carbon black, graphite และ carbon nanotube ในปริมาณ 5 wt% พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการกักเก็บไฮโดรเจนได้ โดยเฉพาะ Mg-graphite composite มีประสิทธิภาพในการกักเก็บไฮโดรเจน 6.4 wt% และคายไฮโดรเจน 6.2 wt% ที่อุณหภูมิ 35°C (Huang *et al.*, 2007)

ส่วนผลของ carbon nanofibres และ multi-walled carbon nanotubes 5 wt% ทำให้ MgH_2 เกิดการสลายให้ไฮโดรเจนได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 322 และ 341°C ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ MgH_2 ปกติที่ต้องใช้อุณหภูมิถึง 360°C (Lillo-Rodenas *et al.*, 2008)

จากการศึกษาของ Miyaoka *et al.* (2006) เกี่ยวกับการสลายไฮโดรเจนจาก $C^{nano}H_x$ ผสม MH หรือ MH_2 (M=Li, Na, Mg, Ca) แล้วทำการบดด้วย ballmill พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายไฮโดรเจนต่ำกว่าสารเดิมทั้งสอง และการทดลองของ Imamura *et al.* (2002) โดยการบดของผสมระหว่างผงแมกนีเซียมและผงแกรไฟต์ ได้คอมโพสิท Mg/G ซึ่งสามารถดูดซับไฮโดรเจนได้สูงขึ้นและลดอุณหภูมิในการสลายลงเหลือ 395°C สำหรับคอมโพสิท Mg–23.5 wt%Ni + 2 wt% CNTs ที่เกิดจากการบด พบว่าสามารถดูดซับไฮโดรเจนได้ถึง 6.1 wt% (Schaller *et al.*, 2009) และพบว่าการผสมแมกนีเซียมกับถ่านบดทำให้การคายไฮโดรเจนออกมาเกิดที่อุณหภูมิลดลง (Narayanan and Lueking, 2007)

ในการศึกษาของ Ndungu et al. (2008) พบว่า ผสม carbon nanotubes (CNTs) ผสมกับอนุภาคนาโน Mg และ/หรือ Pd ทำให้ความสามารถในการดูดซับไฮโดรเจนมากกว่า 3.0 wt%. ส่วน Mg-5 wt.% MWNTs สามารถดูดซับไฮโดรเจนได้ถึง 5.34, 5.89 และ 6.08 wt.% ที่ 100, 200 และ 280°C ตามลำดับ (Chena et al., 2004) และในทำนองเดียวกัน คอมโพสิท MgH_2/5 wt.% SWNTs ที่บดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง สามารถดูดซับไฮโดรเจนได้ถึง 6.7 wt.% และคายออกมาได้ 6 wt.% ในเวลา 5 นาที ที่ 350°C (Wu *et al.*, 2006)

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลของสารอินทรีย์ต่างที่มีผลต่อการกักเก็บไฮโดรเจน เช่น คอมโพสิท แมกนีเซียม/แกร์ไฟต์ (Mg/C) ที่ได้จากการบดด้วย ball mill พร้อมกับการเติมสารอินทรีย์

(เช่น benzene, cyclohexene, cyclohexane และ tetrahydrofurane) สามารถกักเก็บไฮโดรเจนได้มากขึ้น (Reda, 2009)

ในการใช้โลหะอื่นๆ เช่น Zr-carbon black composite ในการกักเก็บไฮโดรเจนพบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าแกรไฟต์และ carbon black แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการคายไฮโดรเจนออกมา (Mulana, *et al.*, 2004) และในการใช้ Ag/carbon nanotube composite สำหรับการสะสมไฮโดรเจนได้ .086 wt% ที่ 25°C และ 23 atm (Rather *et al.*, 2009) รวมทั้งในการกักเก็บไฮโดรเจนของ Pd และ V - multi-walled carbon nanotubes composites ก็พบว่ามีประสิทธิภาพลดลงเหลือ 0.125 และ 0.1 wt% ที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ (Suttisawat *et al.*, 2009)