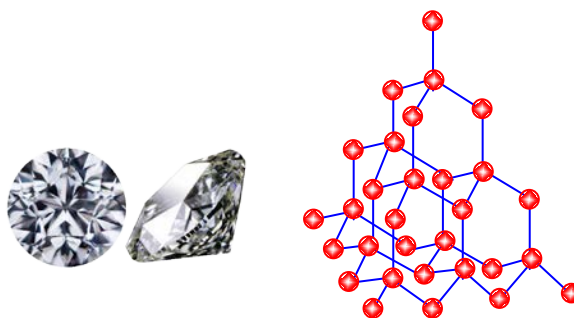


คาร์บอน

คาร์บอน (Carbon ; C) เป็นธาตุองค์ประกอบพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก ในธรรมชาติ โครงสร้างของคาร์บอนบริสุทธิ์ที่รู้จักกันดี คือ เพชร และแกรไฟต์

C	
เลขอะตอม	6
มวลอะตอม	12.0107
สถานะ (25 °C)	ของแข็ง
ความหนาแน่น	
(เพชร)	3.513 g/cm ³
(แกรไฟต์)	2.267 g/cm ³
รัศมีอะตอม	77 pm
จำนวนอะตอมเฉลี่ย	
ที่เรียงต่อกันใน 1 nm	6.5 อะตอม

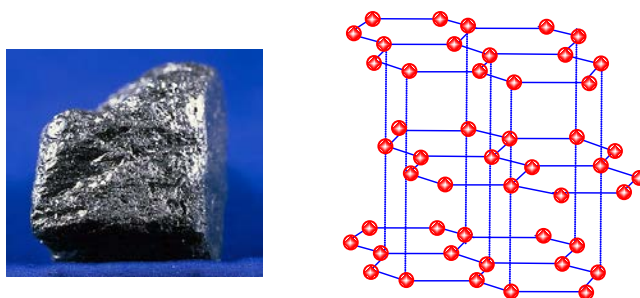
เพชรเป็นผลึกที่เกิดจากคาร์บอนแต่ละอะตอมใช้เวเลนซ์-อิเล็กตรอนทั้งหมดสร้างพันธะโคเวเลนต์กับคาร์บอนอีก 4 อะตอมที่อยู่ล้อมรอบ เพชรจึงไม่นำไฟฟ้า การจัดอะตอมในผลึกเพชรคล้ายตาข่ายโยงกันทั้ง 3 มิติ เป็นผลทำให้อะตอมของคาร์บอนยึดกันไว้นาน เพชรจึงมีความแข็งแรงมาก โดยมีความแข็งแรงอยู่ในระดับ 10 ของการจัดระดับความแข็งแรงของโมสต์*



รูปที่ 1 เพชรและโครงสร้างของเพชร

(ภาพจาก <http://www.diamondvues.com>)

แกรไฟต์เป็นผลึกโคเวเลนต์ที่เกิดจากคาร์บอนสร้างพันธะกับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงอีก 3 อะตอม ต่อกันเป็นวง วงละ 6 อะตอมต่อเนื่องกันและอยู่ภายในระนาบเดียวกัน อิเล็กตรอนอิสระที่เหลือจากการสร้างพันธะของคาร์บอนแต่ละอะตอมสามารถเคลื่อนที่ไปทั่วภายในชั้นจึงทำให้แกรไฟต์นำไฟฟ้าได้ดีตามแนวระนาบของชั้น นอกจากนี้แกรไฟต์ยังมีสมบัติในการหล่อลื่นที่ดี เนื่องจากระหว่างชั้นยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงอย่างอ่อนคือ แรงแวนเดอร์วาลส์ จึงทำให้เลื่อนไถลไปตามชั้นได้ง่าย

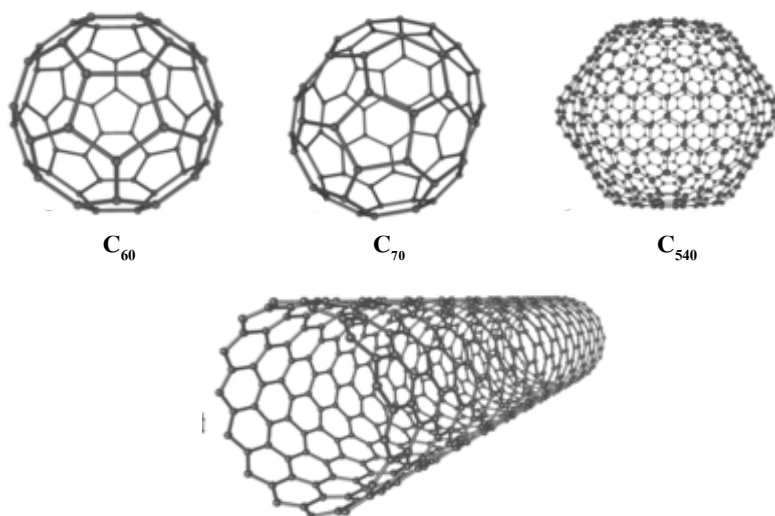


รูปที่ 2 แกรไฟต์และโครงสร้างของแกรไฟต์

(ภาพจาก <http://z.about.com>)

*ระดับความแข็งแรงของโมสต์ เป็นการจัดระดับความแข็งแรงของแร่ของนักธรณีวิทยาชื่อ เฟรดริก โมสต์ โดยจัดระดับความแข็งแรงของแร่ตั้งแต่อ่อนที่สุดจนถึงแข็งที่สุดไว้ 10 ระดับ

นอกจากเพชรและแกรไฟต์แล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังได้ค้นพบสารในกลุ่มฟูลเลอรีน (fullerene) ที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนที่เป็นจำนวนคู่ตั้งแต่ 20 อะตอมขึ้นไป จัดเรียงตัวกันเป็นผลึกทรงต่าง ๆ (รูปที่ 3)



ท่อนาโนคาร์บอน

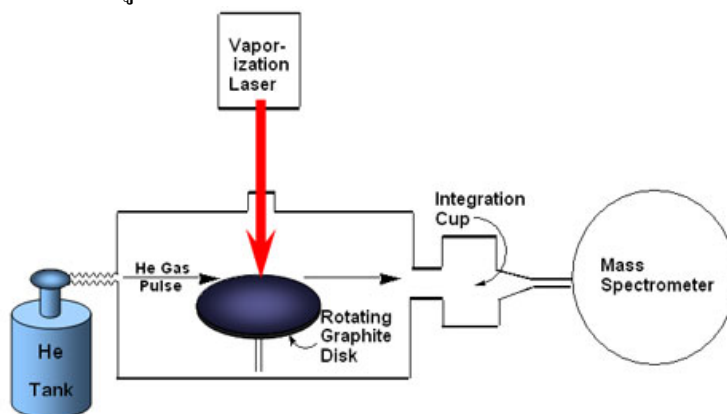
รูปที่ 3 ฟูลเลอรีนบางชนิด

(ภาพจาก <http://content.answers.com>)

ฟูลเลอรีนที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจคือ บัคมินสเตอร์ ฟูลเลอรีน (Buckminster Fullerene; C_{60}) และท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร และมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง

บัคมินสเตอร์ ฟูลเลอรีน (Buckminster Fullerene; C_{60})

บัคมินสเตอร์ ฟูลเลอรีน มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บัคกี้บอล (Bucky ball) ถูกค้นพบโดยบังเอิญ ในปี พ.ศ. 2528 โดย ฮาร์โรลด์ โครโต (Harold Kroto) ริชาร์ด สมอลลีย์ (Richard Smalley) และโรเบิร์ต เคิร์ล (Robert Curl) ซึ่งทำการศึกษาโครงสร้างของสารประกอบคาร์บอนที่อาจพบในบรรยากาศของดาวยักษ์แดง (red giant star) โดยการยิงแสงเลเซอร์ความร้อนสูงไปยังแกรไฟต์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สฮีเลียม เพื่อจำลองบรรยากาศของดาว (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การจำลองสภาพบรรยากาศของดาวยักษ์แดง

(ภาพจาก <http://www.vcharkarn.com>)

เมื่อได้รับความร้อนจากแสงเลเซอร์ แกรไฟต์จะระเหิดกลายเป็นไอของคาร์บอนอะตอมซึ่งจะรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบต่าง ๆ เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง โครงสร้างที่ตรวจพบได้มากที่สุดประกอบด้วยคาร์บอน 60 อะตอม ซึ่งภายหลังจากวิเคราะห์อย่างละเอียดจึงทราบว่าคาร์บอนทั้ง 60 อะตอมต่อกันเป็นทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอลประกอบไปด้วยวงหกเหลี่ยมจำนวน 20 วง และวงห้าเหลี่ยมจำนวน 12 วง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 nm ทั้งสามท่านจึงตั้งชื่อว่า บัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์ เพื่อเป็นเกียรติแก่ บัคมินสเตอร์ ฟูลเลอร์ (Buckminster Fuller) สถาปนิกผู้ออกแบบอาคารรูปโดมที่มีชื่อเสียงโดยมีลักษณะเป็นทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอลขนาดใหญ่ และการค้นพบครั้งนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั้งสามท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี ในปี 2539



รูปที่ 5 อาคารรูปโดมที่ออกแบบโดย บัคมินสเตอร์ ฟูลเลอร์

(ภาพจาก http://www.miqel.com/fuller_design_science/buckminster-fuller-dome-bio.html)

สมบัติและการใช้ประโยชน์ของบัคมินสเตอร์ ฟูลเลอร์

บัคก๊ีบอลลีมีสมบัติเชิงฟิสิกส์และเคมีที่ดีหลายประการ จึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ในการนำมาศึกษาวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เทคโนโลยีชีวภาพ

- สารต้านอนุมูลอิสระ

นักวิทยาศาสตร์ค้นพบว่า อนุพันธ์ของบัคก๊ีบอลลีบางชนิดสามารถใช้กำจัดอนุมูลอิสระ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) และคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (cumene hydroperoxide; $C_6H_5C(CH_3)_2OOH$) ซึ่งทำความเสียหายต่อเซลล์ปกติได้ โดยจากการทดสอบพบว่าสามารถต่อต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินอีซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปหลายร้อยเท่า

- สารต้านเชื้อไวรัส

จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์พบว่า อนุพันธ์ของบัคก๊ีบอลลีบางชนิดสามารถถ่ายเทพลังงานจากแสงให้กับโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิด ซิงเกิ้ลตออกซิเจน (singlet oxygen; 1O_2) ซึ่งเป็นโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นและสามารถทำลายเปลือกหุ้มของไวรัสได้

- สารต้านเชื้อแบคทีเรีย

จากการทดลองนักวิทยาศาสตร์พบว่า คาร์บอกซีฟูลเลอรีน (carboxy fullerene) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของบักกิบอลที่ละลายน้ำได้ดีสามารถใช้รักษาหนูทดลองที่ป่วยเป็นโรคเชื้อหุ้มสมองอักเสบจากการติดเชื้อ *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยยับยั้งการเพิ่มอัตราการซึมผ่านของสารต่าง ๆ ระหว่างกระแสเลือดและเซลล์สมองได้

อิเล็กทรอนิกส์

- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

บักกิบอลมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ แต่ถ้ามมีการเจือด้วยโลหะแอลคาไล เช่น โซเดียม โพแทสเซียม จะทำให้มีสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวดหรือเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่มีความต้านทานเลย ซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ นอกจากนี้ยังใช้บักกิบอลเป็นองค์ประกอบหลักในการพัฒนาเซลล์สุริยะแบบไดแอด (Dyads) ด้วย

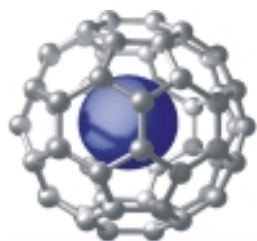
วัสดุ

- ตัวเร่งปฏิกิริยา

บักกิบอลใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนเอทิลเบนซีน (ethylbenzene; $C_6H_5CH_2CH_3$) ให้เป็นสไตรีน (styrene; $C_6H_5CH=CH_2$) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก พอลิสไตรีนและใช้ในการเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์เพชรจากแกรไฟต์ได้

- การกักเก็บสาร

บักกิบอลมีลักษณะภายในกลวงจึงมีการนำมาใช้ในการบรรจุอะตอมของโมเลกุลของแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไฮโดรเจน เป็นต้น สำหรับใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นแหล่งพลังงาน หรือโลหะบางชนิด เช่น ลิเทียม ซึ่งการบรรจุอะตอมหรือโมเลกุลนั้นต้องทำในขั้นตอนการสังเคราะห์บักกิบอลเลย เนื่องจากพันธะของบักกิบอลแข็งแรงมาก ไม่ยืดหยุ่นเพียงพอที่จะให้อะตอมหรือโมเลกุลแทรกผ่านเข้าไปภายในทรงกลมได้โดยไม่ทำให้โครงสร้างเสียหาย



รูปที่ 6 ภาพจำลองการกักเก็บอนุภาคสารของบักกิบอล

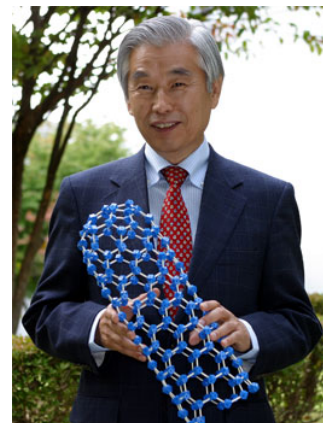
(ภาพจาก <http://www.hmi.de/bereiche>)

- สารหล่อลื่น

บักกิบอลมีสมบัติในการหล่อลื่นเนื่องจากมีรูปทรงเป็นทรงกลม มีความสมมาตรและยืดหยุ่นจึงมีการนำมาใช้เติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นได้

ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube)

ท่อนาโนคาร์บอนประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนต่อกันเป็นท่อกว้างและมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร ในแต่ละหน่วยย่อยของผนังท่อนาโนคาร์บอนประกอบด้วยวงแหวนรูปหกเหลี่ยมที่มีคาร์บอน 6 อะตอม จึงอาจเรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า โครงสร้างรังผึ้ง ประวัติการค้นพบท่อนาโนคาร์บอนมีหลักฐานเผยออกมาเป็นระยะๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495 ทั้งจากนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา แต่ขณะนั้นยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2534 นักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่นชื่อ ดร.ซูมิโอะ อิจิมา (Sumio Iijima) ได้เผยแพร่งานตีพิมพ์เกี่ยวกับการค้นพบท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น และต่อมาในปี พ.ศ. 2536 ดร.ซูมิโอะ ได้ค้นพบและศึกษาสมบัติของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียว ซึ่งพบว่ามีสมบัติที่ดีหลายประการและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกหันมาสนใจศึกษาประเภท การสังเคราะห์ สมบัติและการนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้ประโยชน์มากขึ้น



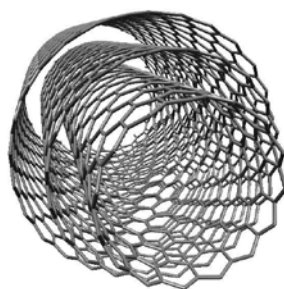
รูปที่ 7 ดร.ซูมิโอะ อิจิมา

(ภาพจาก <http://www.nec.co.jp/>)

ประเภทของท่อนาโนคาร์บอน

ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (multi-walled carbon nanotube หรือ MWCNT)

มีลักษณะเหมือนแผ่นแกรไฟต์ที่ม้วนเป็นท่อกว้างซ้อนกันตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ระยะห่างระหว่างแต่ละชั้นเท่ากับ 0.33-0.34 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับระยะห่างระหว่างชั้นของแกรไฟต์

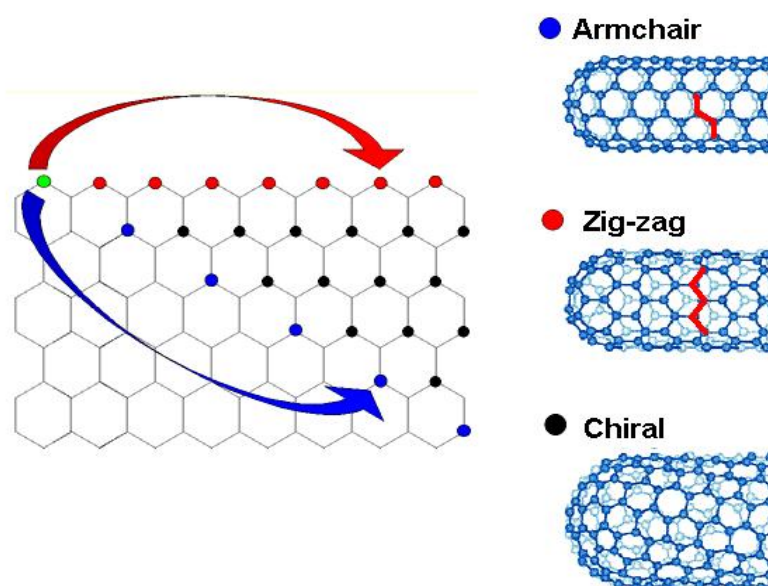


รูปที่ 8 ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

(ภาพจาก <http://www.ahwahneetech.com>)

ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียว (single-walled carbon nanotube หรือ SWCNT)

มีลักษณะเป็นแผ่นแกรไฟต์ชั้นเดียวหรือที่เรียกว่า แผ่นแกรฟีน (graphene sheet) ม้วนเป็นท่อกว้างที่ไม่มีตะเข็บหรือรอยต่อ การม้วนขึ้นมาเพื่อต่อกันเป็นท่อนาโนคาร์บอนมี 3 แบบด้วยกัน คือ Armchair Zig-zag และ Chiral

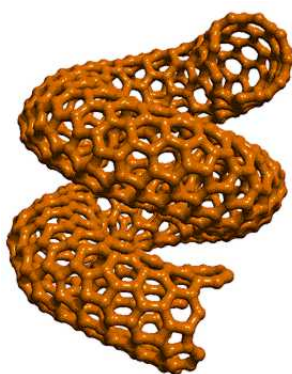


รูปที่ 9 การม้วนของแผ่นแกรฟีนเพื่อต่อกันเป็นท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวแบบต่างๆ

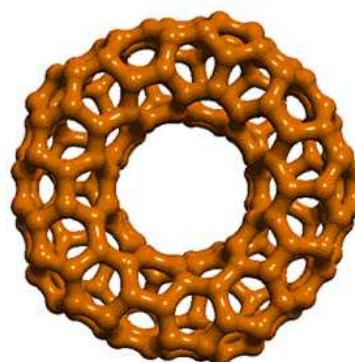
(ภาพจาก <http://nanopedia.case.edu>)

จากรูปที่ 9 เมื่อม้วนแผ่นแกรฟีนโดยให้คาร์บอนอะตอมที่อยู่ตรงตำแหน่งจุดสีเขียวไปเชื่อมต่อกับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ตรงตำแหน่งจุดสีน้ำเงินจุดใดก็ได้ จะทำให้ได้ท่อนาโนคาร์บอนแบบ Armchair แต่ถ้าม้วนไปเชื่อมต่อกับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ตรงตำแหน่งจุดสีแดง จะได้ท่อนาโนคาร์บอนแบบ Zig-zag ส่วนการม้วนไปเชื่อมต่อกับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ตรงตำแหน่งจุดสีดำจะได้ท่อนาโนคาร์บอนแบบ Chiral

การม้วนตัวเพื่อเกิดเป็นท่อกดง ในบางครั้งคาร์บอนอะตอมอาจจับกันเกิดเป็นรูปร่างแหวนห้าเหลี่ยมหรือเจ็ดเหลี่ยมได้ ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่มีตำหนิ (defects) และส่งผลให้รูปทรงของท่อบิดโค้งงอเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ (รูปที่ 10)



ก. ขดแบบลวดสปริง



ข. ขดแบบขนมโดนัท

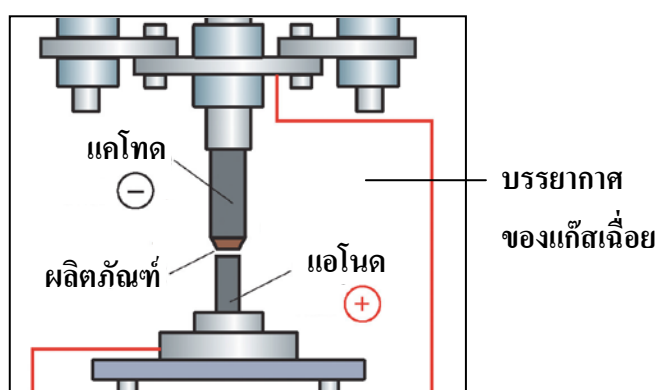
รูปที่ 10 รูปทรงของท่อนาโนคาร์บอนที่มีตำหนิ

(ภาพจาก <http://www.chemsoc.org>)

การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน

วิธีการสังเคราะห์มี 3 วิธีหลัก ดังนี้

1. **Arc discharge** เป็นวิธีการที่ทำได้ง่ายที่สุดในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน ทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงประมาณ 50 - 100 แอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ประมาณ 20 โวลต์ ทำให้เกิดประกายไฟหรือเกิดสถานะพลาสมาขึ้นระหว่างแท่งแกรไฟต์สองแท่งที่วางไว้ให้มีระยะห่างกันประมาณ 1 มิลลิเมตร ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม อาร์กอน เป็นต้น ที่ความดันต่ำ (0.05 – 0.69 atm) ความร้อนสูงที่เกิดขึ้นจะทำให้แกรไฟต์ที่ขั้วบวกระเหิดกลายเป็นไอ แล้วควบแน่นได้เป็นท่อนาโนคาร์บอนเกิดขึ้นอยู่บนแท่งแกรไฟต์ขั้วลบ การควบคุมขนาดและความยาวของท่อนาโนคาร์บอนทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิและความสม่ำเสมอของพลาสมา

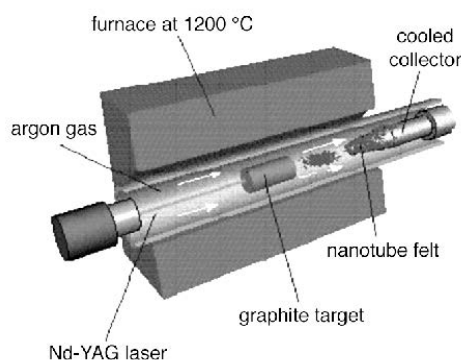


รูปที่ 11 การสังเคราะห์โดยวิธี arc discharge

(ภาพจาก <http://mrsec.wisc.edu>)

โดยปกติ ถ้าใช้ขั้วทั้งสองเป็นแกรไฟต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือ MWCNT แต่จะมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจำนวนมาก เช่น ฟูลเลอรีน คาร์บอนอสัณฐาน เป็นต้น และการแยก MWCNT ออกมานั้นทำได้ยาก แต่ถ้าทำ arc discharge ในไนโตรเจนเหลว จะได้ MWCNT สูงถึงร้อยละ 70 ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ถ้าต้องการสังเคราะห์ให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็น SWCNT อาจทำได้โดยผสมหรือเจือโลหะตัวเร่งที่ขั้วแอโนด เช่น Fe Co Ni Y และ Mo

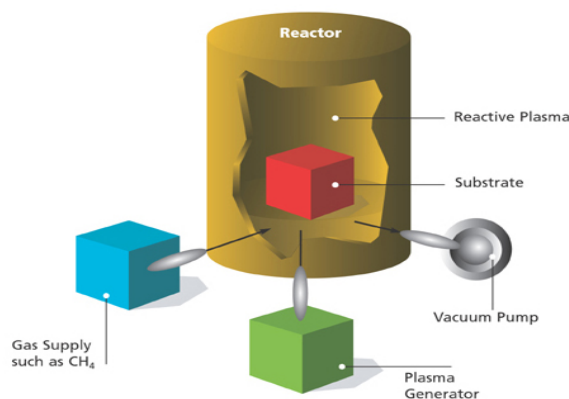
2. **Laser ablation** เป็นการใช้ลำแสงเลเซอร์ให้ความร้อนกับผิวแกรไฟต์ที่เดิมหรือเจือด้วยโลหะตัวเร่งเพื่อให้ระเหิดกลายเป็นไอ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำภายในเตาอบที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 1200 °C ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย ที่ความดันประมาณ 0.66 atm เมื่อทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว คาร์บอนอะตอมจะควบแน่นได้เป็นท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งร้อยละ 70 ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นท่อนาโนคาร์บอนแบบ SWCNT ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 nm และมีตำหนิเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือได้ว่ามีคุณภาพดี แต่ก็ยังเป็นวิธีที่ค่อนข้างช้าและมีราคาแพง



รูปที่ 12 การสังเคราะห์โดยวิธี Laser ablation

(ภาพจาก <http://ipn2.epfl.ch>)

3. Chemical Vapour Deposition (CVD) เป็นการบรรจุแก๊สที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น มีเทน (CH_4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอะเซทิลีน (C_2H_2) เข้าไปในเตาเผาที่ภายในมีแผ่นรองรับ (substrate) เช่น silicon wafer เคลือบด้วยโลหะตัวเร่ง เช่น Ni Fe Co เมื่อให้ความร้อนกับเตาเผาจนมีอุณหภูมิสูงถึง $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ โมเลกุลของแก๊สจะแตกตัวได้คาร์บอนอะตอมซึ่งจะแพร่กระจายไปเกาะที่แผ่นรองรับ แล้วรวมตัวกันได้เป็นท่อนาโนคาร์บอน



รูปที่ 13 การสังเคราะห์โดยวิธี Chemical Vapour Deposition

(ภาพจาก <http://www.bekaert.com>)

โดยทั่วไปท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีนี้มีความยาวประมาณเส้นละ $20\text{ }\mu\text{m}$ และโยงใยอย่างไม่เป็นระเบียบจึงได้มีการพัฒนาวิธีการเดิมโดยให้ความร้อนกับเตาเผาจนถึงอุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก่อนแล้วจึงใส่แผ่นรองรับที่เคลือบด้วยโลหะตัวเร่ง และแก๊สดังกล่าวลงไป ซึ่งจะทำให้โลหะตัวเร่งมีอุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายในเวลาไม่กี่วินาที จึงช่วยลดการจับตัวของโลหะตัวเร่งบนแผ่นรองรับ ทำให้ได้สายท่อนาโนคาร์บอนที่มีความยาวถึง $2 - 4\text{ mm}$ ขึ้นออกมาจากโลหะตัวเร่ง มองเห็นเป็นเส้น ๆ ขนานกันตามทิศทางการผ่านแก๊สเข้าไปในเตาเผา หลังจากปล่อยให้แผ่นรองรับและท่อนาโนคาร์บอนที่เกิดขึ้นเย็นตัวลง เมื่อหมุนแผ่นรองรับ 90 องศา แล้วนำกลับไปในเตาเผาใหม่อีกครั้งแล้วดำเนินการตามขั้นตอนการสังเคราะห์เหมือนเดิม ท่อนาโนคาร์บอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะตั้งฉากกับท่อนาโนคาร์บอนเดิม โดยวิธีการนี้ทำให้สามารถสร้างและกำหนดรูปร่างที่แบบของท่อนาโนคาร์บอน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางต่อไปได้

สมบัติและการใช้ประโยชน์ของท่อนาโนคาร์บอน

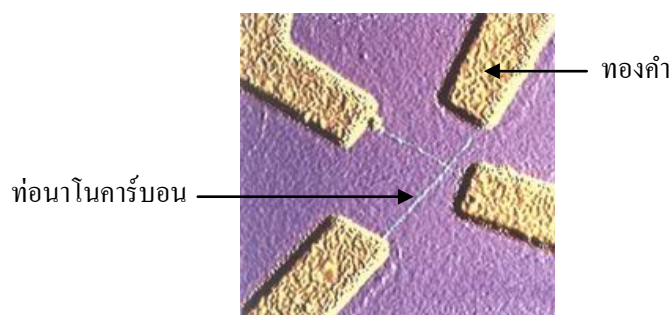
ปัจจุบันท่อนาโนคาร์บอนได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสมบัติที่ดีหลายประการจึงทำให้มีผู้ทำวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากมายทั้ง ๆ ที่เพิ่งค้นพบได้ไม่นาน ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ท่อนาโนคาร์บอนมีดังนี้

เทคโนโลยีชีวภาพ

นักวิทยาศาสตร์ได้วิจัยและทดลองใช้ท่อนาโนคาร์บอนติดกับโปรตีน เพื่อใช้ในการศึกษาระบบทางชีววิทยา เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนสามารถอยู่ติดกับโปรตีนได้นาน ให้ลำแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความยาวคลื่นเฉพาะและต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จึงตรวจพบได้ง่ายและไม่เป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต

อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะเหมือนแผ่นแกรไฟต์ที่ม้วนตัวจนเกิดเป็นท่อ จึงสามารถนำไฟฟ้าตามแนวท่อได้ดี และพบว่านำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง 1000 เท่า จึงนำไปประยุกต์ใช้ในการทำสายไฟระดับโมเลกุล ไดโอดเปล่งแสง และทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 14 ทรานซิสเตอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

(ภาพจาก <http://www.engineeringtoday.net>)

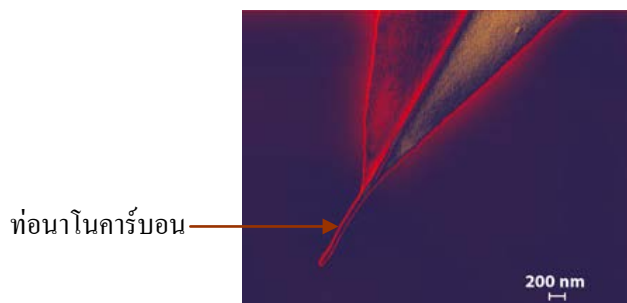
นอกจากนี้ยังสามารถปรับสภาพการนำไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนให้มีสมบัติเหมือนโลหะหรือสารกึ่งตัวนำก็ได้ โดยการปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและทิศทางการจัดตัวของวงแหวนหกเหลี่ยมที่ทำมุมเทียบกับแกนของท่อ หรือแม้กระทั่งสามารถปรับให้มีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ยาวดโดยการเติมหรือเจือสารบางชนิดเข้าไป นอกจากนี้มีความเป็นไปได้ที่จะใส่ไอออนของโลหะเช่น ลิเทียมไอออน เข้าไปอยู่ภายในท่อกลวงนี้ ซึ่งอาจนำมาพัฒนาทำเป็นแบตเตอรี่ความจุสูงที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ รวมถึงเป็นแหล่งพลังงานให้กับจากรกลนาโนที่มีขนาดเล็กได้

วัสดุ

ท่อนาโนคาร์บอนมีความยืดหยุ่นสูงและมีความแข็งแรงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน โดยมีความแข็งแรงมากกว่า 100 เท่า ในขณะที่เบากว่า 6 เท่า นอกจากนี้ยังทนความร้อนได้สูงกว่า 2800 °C และนำความร้อนได้ดีกว่าเพชร 2 เท่า มีความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดและเบสดีมาก จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุต่าง ๆ ได้เกือบทุกชนิด เช่น

ใช้เป็นวัสดุผสมกับพอลิเมอร์เพื่อนำมาทำเป็นกันชนหรือตัวถังรถยนต์ เครื่องบิน สิ่งปลูกสร้าง หรือแม้กระทั่งเสื้อเกราะกันกระสุน

ท่อนาโนคาร์บอนสามารถนำมาสร้างเป็นหัววัดสำหรับกล้อง AFM เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กมากและสามารถปรับขนาดได้ตามความต้องการทำให้ลดปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้



รูปที่ 15 หัววัดของกล้อง AFM ที่ทำจากท่อนาโนคาร์บอน

(ภาพจาก <http://www.rsc.org>)

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพันธุ์ สุกกา. “บั๊กกีบอล...ขามหัศจรรย์แห่งยุคนาโน,” [Online]. Available:

<http://www.vcharkarn.com/varticle/276> (Retrieved 19/4/2011)

ณัฐพันธุ์ สุกกา. (2549). “คาร์บอนกับนาโนเทคโนโลยี,” *Science in action*. 2 (3): 10 – 13.

พิศิษฐ์ สิงห์ใจ. “ท่อนาโนคาร์บอน เทคโนโลยีแห่งศตวรรษที่ 21,” [Online]. Available:

<http://physics.science.cmu.ac.th/staff/pisith/carbon1.html> (Retrieved 19/4/2011)

“Carbon,” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon> (Retrieved 19/4/2011)

“Carbon Nanotube,” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube

(Retrieved 20/4/2011)

“Carbon Nanotubes – History and Development of Carbon Nanotube (Buckytubes),” [Online].

Available: <http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=982> (Retrieved 19/4/2011)

“Carbon Nanotube Science and Technology,” [Online]. Available:

<http://www.personal.reading.ac.uk/~scscharip/tubes.htm>

“Wondrous World of Carbon Nanotubes ; a review on current carbon nanotube technologies,”

[Online]. Available: <http://students.chem.tue.nl/ifp03/> (Retrieved 19/4/2011)