

Buckminsterfullerene อีญรูปใหม่ของคาร์บอน

นฤมล เครือองอาจนฤกุล



กล่าวนำ

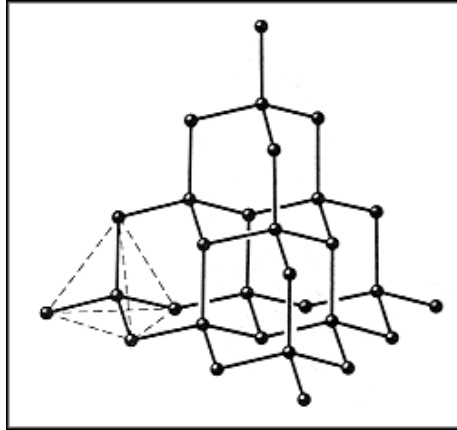
เมื่อกล่าวถึงคาร์บอน ทุกคนคงจะรู้จักคาร์บอนในอีญรูปของเพชรและกราไฟต์ ที่ใช้สอนนักศึกษามาเป็นเวลายาวนาน แต่ขณะนี้มีการค้นพบอีญรูปใหม่ซึ่งเป็นอีญรูปที่ 3 ของคาร์บอน ในบทความนี้จะกล่าวแนะนำการสังเคราะห์และประโยชน์ของอีญรูปใหม่นี้ เพื่อรายงานความก้าวหน้าเพื่อรองรับการขยายตัวต่อภาคอุตสาหกรรมที่จะมาถึงในอนาคตอันใกล้

จากความเพียรพยายามมากกว่า 10 ปี ของ Richard E. Smalley ได้ร่วมค้นคว้าและวิจัยกับ Robert F. Curl ซึ่งเป็นศาสตราจารย์สาขาเคมี แห่งมหาวิทยาลัยไรซ์ สหรัฐอเมริกา เริ่มตั้งแต่ปี 1985 ทั้งสองได้พยายามหาวิธีสังเคราะห์ ศึกษาโครงสร้าง และคุณสมบัติต่างๆ ของอีญรูปใหม่ของคาร์บอน มาตลอด จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1996 นี้ ทั้ง Richard E. Smalley และ Robert F. Curl ได้รับเกียรติอันสูงสุด จากผลงานการวิจัย คือรางวัลโนเบลในสาขาเคมี ซึ่งผู้เขียนได้ติดตามผลงานของท่านทั้งสองจากบทความในวารสารต่างๆ มีความรู้สึกยินดีที่จะได้แนะนำอีญรูปใหม่นี้แก่ท่านผู้สนใจ

คาร์บอน เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ IVA และมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^2$ จะเห็นว่าคาร์บอนสามารถจัดตัวของอะตอมหรือโมเลกุล เพื่อให้มีอิเล็กตรอนครบตามกฎออกเตต ทำให้เกิดเป็นอีญรูปของธาตุคาร์บอนได้ 2 อีญรูป คือ เพชร และกราไฟต์

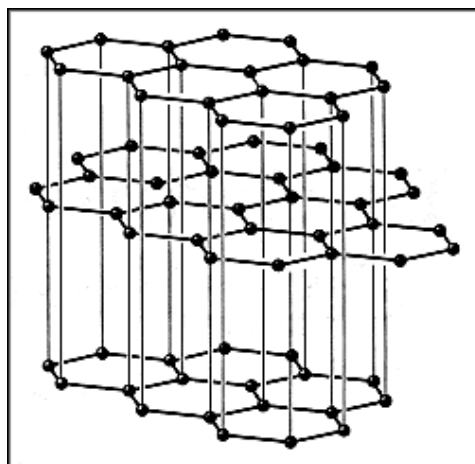
อีญรูปของเพชร ดังรูปที่ 1 คาร์บอนแต่ละอะตอมจะสร้างพันธะโคเวเลนต์กับคาร์บอนอะตอมอื่นๆ อีก 4 อะตอม ในลักษณะของทรงเหลี่ยมสี่หน้า โดยมีอะตอมของคาร์บอนอยู่ที่มุมทั้ง 4 และแต่ละอะตอมที่มุมทั้ง 4 นั้น จะสามารถสร้างพันธะกับคาร์บอนอื่นอีก 3 อะตอมต่อไป ทำให้โครงสร้างของเพชรมีลักษณะเป็นโครงตาข่ายในสามมิติที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจำนวนมากมาต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่แข็งแรง การทำลายผลึกของเพชรก็คือ การทำลายพันธะโคเวเลนต์เหล่านั้นนั่นเอง

ซึ่งทำได้ยาก ดังนั้นเราจึงพบว่าเพชรมีความแข็งแรงมาก มีจุดเดือดถึง 4827 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 3550 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 โครงสร้างของเพชร

ส่วนอัญรูปของกราไฟต์ ดังรูปที่ 2 อะตอมของคาร์บอนจัดตัวเป็นวงรูปหกเหลี่ยมเรียงต่อกันไปในระนาบเดียวกันโดยคาร์บอนแต่ละอะตอมจะล้อมรอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน อะตอมของคาร์บอนในระนาบเดียวกันนี้จะยึดกันด้วยพันธะซิกมาและแต่ละอะตอมของคาร์บอนยังมีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ ทำให้กราไฟต์สามารถนำไฟฟ้าได้ และถ้าพิจารณาโครงสร้างทั้งหมดของกราไฟต์จะพบว่า ระนาบของคาร์บอนนี้จะอยู่ซ้อนกันเป็นชั้นๆ ในแต่ละชั้นอะตอมของคาร์บอนจะอยู่ใกล้กันมากกว่าระยะห่างระหว่างแต่ละระนาบ เนื่องจากในแต่ละชั้นจะยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งมีความแข็งแรงน้อย ดังนั้นแต่ละชั้นจึงหลุดออกจากกันได้ง่าย จึงใช้กราไฟต์ทำเป็นสารหล่อลื่นหรือใช้ทำไส้ดินสอ เมื่อนำไปขีดเขียนแต่ละชั้นของกราไฟต์จะเลื่อนหลุดออกจากกันได้



รูปที่ 2 โครงสร้างของกราไฟต์

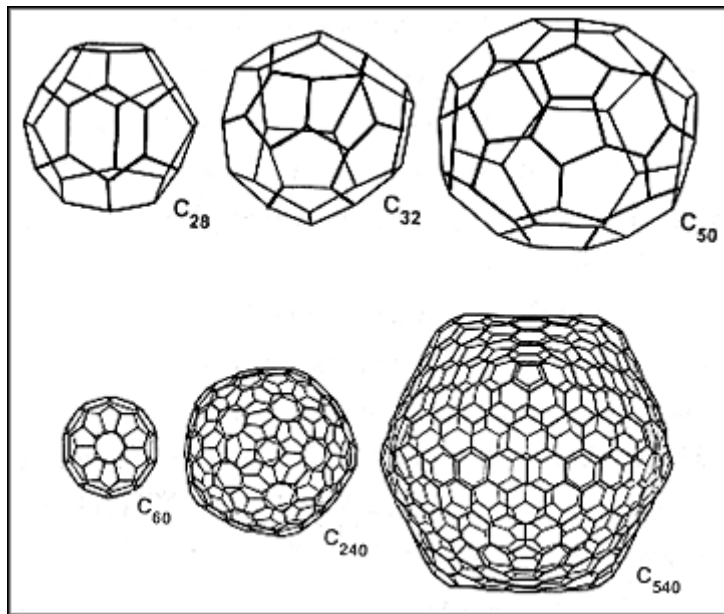
อีกรูปใหม่ของคาร์บอนคืออะไร

วิธีการสังเคราะห์อีกรูปใหม่ของคาร์บอนก็คือ นำแท่งกราไฟต์หรือแท่งคาร์บอนไประเหิดให้กลายเป็นไอโดยใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าหรือพลังงานจากแสงเลเซอร์ และใช้ supersonic nozzle เพื่อทำให้เกิด cluster ขนาดเล็กๆ ของคาร์บอนขึ้นมาจากไอคาร์บอนร้อนนั้น เมื่อไอรวมตัวกันจะกลับเป็นของแข็งอีกครั้ง พบว่าจะเป็นของแข็งที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ รวมเรียกว่า ฟูลเลอร์รีน (fullerene) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่ มีอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 32 อะตอมขึ้นไป โครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างรูปร่างแหวนห้าเหลี่ยม 12 วง และโครงสร้างรูปร่างแหวนหกเหลี่ยมจำนวนหนึ่ง จากการทดสอบ cluster ที่เกิดขึ้นโดยใช้ mass spectrometer พบว่า การกระจายตัวของ cluster อยู่ในช่วง 40-300 อะตอม เป็นที่น่าสังเกตว่าเฉพาะ cluster ที่มีจำนวนอะตอมเป็นเลขคู่เท่านั้นที่จะแสดงผลออกมาให้เห็นจาก mass spectrum ฟูลเลอร์รีนที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการและเป็นตัวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่นักวิทยาศาสตร์ตรวจสอบได้ก็คือ C_{540} ส่วนฟูลเลอร์รีนที่มีชื่อเสียงและเป็นที่น่าสนใจศึกษากันมากที่สุด ก็คือ C_{60} Richard E. Smalley พยายามทำนายโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ของ cluster ในที่สุดก็มีความเห็นว่าคาร์บอนทั้ง 60 อะตอมน่าจะอยู่ร่วมกันในสภาพที่เป็นโมเลกุล จึงพยายามสร้างแบบจำลองที่น่าจะเป็นไปได้ของโมเลกุลด้วยวิธีต่างๆ ในที่สุดได้แนวความคิดมาจากการสร้างโดมครึ่งทรงกลม (Geodesic dome) ของ Buckminster fuller นักวิศวกรชาวอเมริกัน ซึ่งมีลักษณะเป็นโดมครึ่งวงกลมที่ประกอบด้วยรูปหกเหลี่ยมหลายรูปมาเรียงต่อเข้าด้วยกัน โดยมีรูปห้าเหลี่ยมเป็นตัวช่วยให้รูปหกเหลี่ยมที่มาต่อกันสามารถโค้งเข้ามาบรรจบเป็นครึ่งทรงกลมได้ Richard E. Smalley จึงลองตัดกระดาษเป็นรูปห้าเหลี่ยม 12 รูป และรูปหกเหลี่ยม 20 รูป นำมาประกอบกันเป็นรูปทรงกลมได้ โดยทรงกลมนี้อาจมีลักษณะเป็นเหมือนลูกฟุตบอล เมื่อนับมุมของรูปทรงที่เกิดขึ้น จะได้ 60 มุมพอดี Richard E. Smalley จึงได้ตั้งชื่ออีกรูปใหม่ของคาร์บอนนี้ว่า Buckminster fullerene หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Buckyball ซึ่งตั้งชื่อตาม Buckminster fuller ผู้ออกแบบโดมครึ่งทรงกลม ส่วนการสังเคราะห์ C_{60} ทำได้โดยให้ไอของคาร์บอนเกิดการควบแน่นในบรรยากาศของแก๊สฮีเลียมซึ่งทำได้ 2 แบบ คือ ใช้เครื่อง Laser-supersonic cluster beam หรือใช้ Carbon arc ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

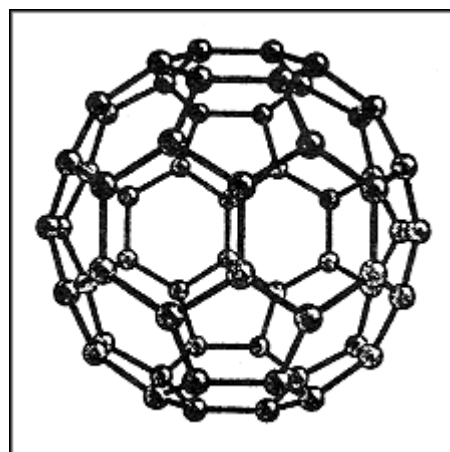
นักวิทยาศาสตร์พบว่า buckyball มีคุณสมบัติซึ่งแตกต่างไปจากเพชร และกราไฟต์หลายประการ และเป็นหนึ่งในตระกูลของฟูลเลอร์รีน ซึ่งอาจจัดได้ว่าเป็นอีกรูปหนึ่งของ pure carbon โดยคาร์บอนทั้ง 60 อะตอมนี้จะประกอบด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยม 12 วง และวงแหวนหกเหลี่ยม 20 วง ภายในกลวงคล้ายลูกฟุตบอล ซึ่งโครงสร้างในลักษณะนี้จะเรียกว่า ทรงเหลี่ยมยี่สิบหน้ามุมตัด (truncated icosahedron) โดยนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจ C_{60} มากกว่าฟูลเลอร์รีนตัวอื่นๆ เนื่องจากรูปร่างและคุณสมบัติต่างๆ ได้มีการค้นคว้าเพื่อหาแนวทางที่จะนำ C_{60} ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น

ผลิตสารตัวนำยิ่งยวด สารหล่อลื่น ยารักษาโรค เป็นต้น ซึ่งเป็นที่คาดหวังกันว่า จะสามารถนำเอา buckyball นี้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายต่อไปในอนาคต

ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างฟูลเลอร์ีนกับเพชรและกราไฟต์ ก็คือ ทั้งเพชรและกราไฟต์ จะจัดตัวอยู่ในลักษณะที่เป็นโครงผลึกกว้างตาข่ายขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถขยายออกไปได้โดยไม่มีที่สิ้นสุด ส่วนฟูลเลอร์ีนจะอยู่ในลักษณะที่เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งมีลักษณะที่เรียกว่า cagelike molecules ดังรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างของฟูลเลอร์ีนที่ค้นพบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างของ ฟูลเลอร์ีนที่ค้นพบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4 แบบจำลองโครงสร้างของ Buckminsterfullerene : C₆₀

การสังเคราะห์อัลลัญรูปใหม่ของคาร์บอน

ในปี ค.ศ.1990 ได้ค้นพบวิธีการสังเคราะห์อัลลัญรูปใหม่ของคาร์บอน : Buckminsterfullerene (C_{60}) ซึ่งสังเคราะห์ได้จากการควบแน่นของไอคาร์บอนโดยมีเทคนิคคือต้องให้อิออนของคาร์บอนเกิดการควบแน่นในบรรยากาศของแก๊สฮีเลียมอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิสูง เครื่องมือที่ใช้มี 2 แบบ ได้แก่

1. Laser-supersonic cluster beam เป็นเครื่องมือที่ Ricard E.Smalley ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิด cluster กับส่วนที่เป็นตัวตรวจสอบ

กระบวนการทำงานของเครื่องมือนี้ก็คือ แสงเลเซอร์จะถูกโฟกัสลงมายังแผ่นกราฟไฟต์ซึ่งวางอยู่บนแท่นที่หมุนได้และวางอยู่ใน channel แสงเลเซอร์จะทำให้เกิดความร้อนสูงจนกระทั่งกราฟไฟต์ระเหิดเป็นไอร้อน ในขณะที่เดียวกันก็จะปล่อยแก๊สฮีเลียมเข้ามาใน channel ด้วยความเร็วสูง ทำให้ไอเย็นตัวลงและควบแน่น เกิดเป็น cluster ขนาดต่างๆ กัน และแก๊สฮีเลียมนี้จะเป็นตัวพาให้ cluster ที่เกิดขึ้นผ่านรูทางออกไปที่ chamber ซึ่งเป็นสุญญากาศและมีความดันต่ำ ทำให้ cluster พ่นผ่านรูออกมาเป็น spray ที่มีความเร็วสูง cluster จะเกิดการขยายตัวและเย็นลงจนมีอุณหภูมิลดลงถึงศูนย์องศาสัมบูรณ์ (absolute zero) และจะทำการตรวจสอบด้วย mass spectrometer

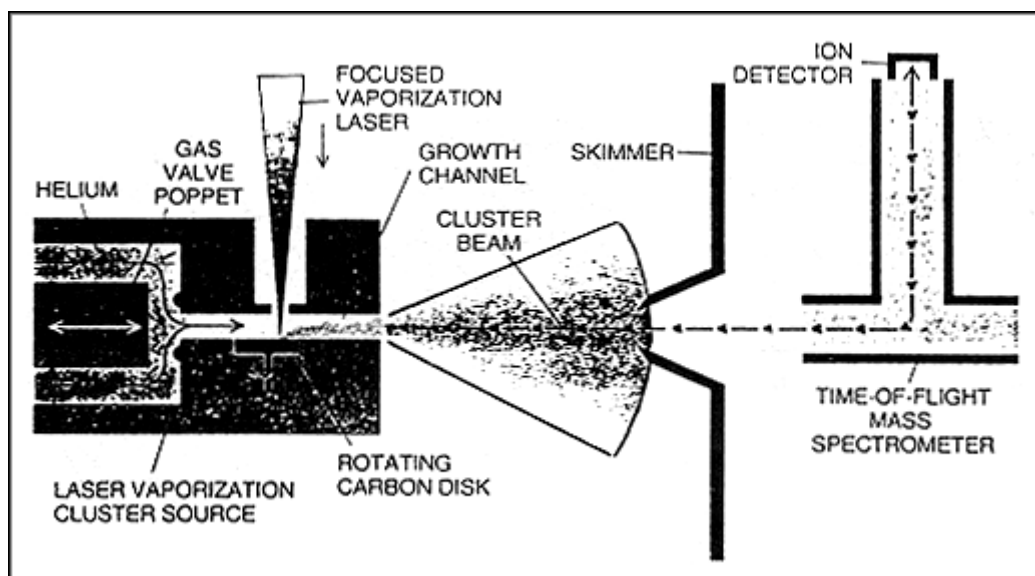
การสังเคราะห์ C_{60} ด้วยวิธีนี้พบว่า จะได้ C_{60} ในปริมาณที่ต่ำ ภายหลังจึงมีการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์ขึ้นโดยทำให้แผ่นกราฟไฟต์มีอุณหภูมิต่ำถึง 1200 องศาเซลเซียส และให้แก๊สฮีเลียมผ่านอย่างช้าๆ จะพบว่าเกิดฟิล์มสีเหลืองของ C_{60} ปรากฏให้เห็นในทันทีที่บริเวณผิวในของอุปกรณ์

2. การสังเคราะห์โดยใช้ carbon arc เป็นวิธีการที่ Huffman และ Kratschmer ใช้ทดลองสังเคราะห์ C_{60} โดยใช้เครื่องมือนี้ซึ่งประกอบด้วยแท่งกราฟไฟต์หรือแท่งคาร์บอน 2 แท่ง ทำเป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งวางอยู่ใน chamber ที่มีแก๊สฮีเลียม เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงเข้าไป พร้อมกับทำให้แท่งกราฟไฟต์ทั้ง 2 เข้ามาชนกัน จะทำให้เกิดการสปาร์คอย่างรุนแรง จนทำให้แท่งกราฟไฟต์หรือแท่งคาร์บอนเกิดการระเหิดกลายเป็นไอ และเมื่อปล่อยให้ไอเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จะเกิดการควบแน่นในบรรยากาศของแก๊สฮีเลียม จากนั้นนำเขมาที่เกิดขึ้นใน chamber ไปทดสอบด้วย mass spectrometer ต่อไป

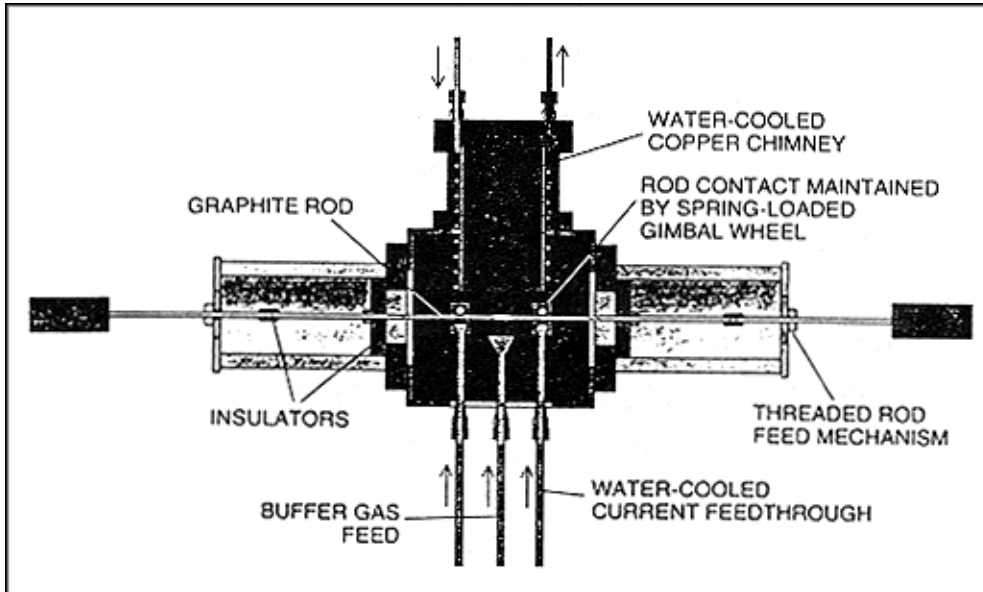
การสังเคราะห์ C_{60} โดยใช้วิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่ได้ผลผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้ยังทำได้ง่าย อุปกรณ์ที่มีราคาถูกกว่าวิธีที่ใช้แสงเลเซอร์ ภายหลังได้มีนักวิจัยกลุ่มอื่นทดลองใช้ benzene-oxygen flame แทนแท่งกราฟไฟต์ จึงไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง พบว่า สามารถสังเคราะห์ C_{60} ได้ในปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธี carbon arc นี้ แต่อย่างไรก็ตามในการสังเคราะห์ C_{60} นี้ จะต้องใช้ต้นทุนสูงซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์ของไทยยังไม่กล้าลงทุนที่จะสังเคราะห์อัลลัญรูปใหม่ของคาร์บอนนี้

กลไกการเกิดฉัณรูปใหม่ของคาร์บอน

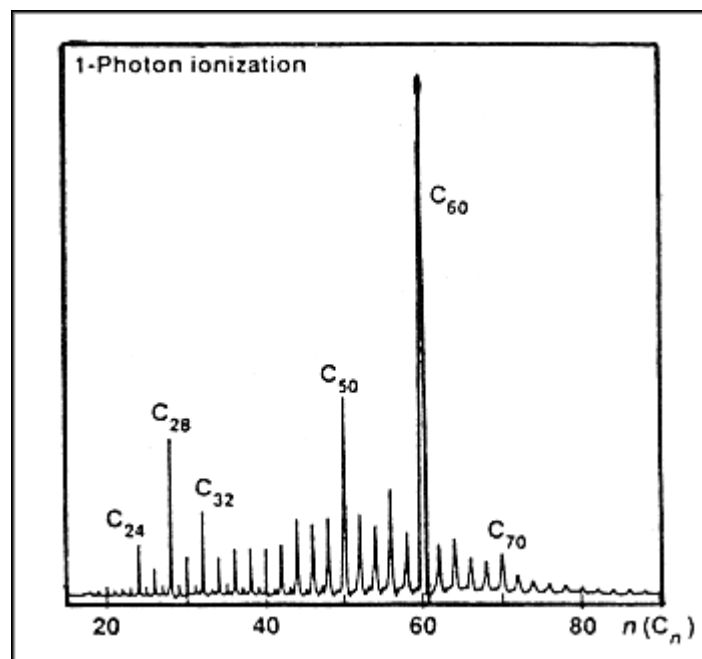
สาเหตุที่ฉัณรูปใหม่ของคาร์บอน : C_{60} และฟูลเลอร์ีนตัวอื่นๆ มีลักษณะที่เป็นโมเลกุลรูปทรงกลมกลวงเช่นนี้อธิบายได้จากแนวคิดที่ว่า cluster ของคาร์บอนมีการเจริญและโค้งตัวเพื่อเป็นการกำจัด 'dangling bonds' ให้เหลือน้อยที่สุด ขั้นตอนการเกิด C_{60} สามารถอธิบายอย่างง่าย ๆ ได้ดังนี้ คือ เมื่อทำให้คาร์บอนระเหิดในช่วงแรก อะตอมของคาร์บอนส่วนใหญ่จะมีการรวมตัวกันเป็น cluster ขนาดเล็กในช่วง 2 ถึง 25 อะตอม ซึ่ง cluster ขนาดเล็กเหล่านี้มักจะชอบอยู่ในรูปที่เป็นสายโซ่สั้นๆ เมื่อไอของคาร์บอนเกิดการควบแน่น สายโซ่ของคาร์บอนจะมีการเจริญเติบโตเป็นสายยาวจนกระทั่งเกิดการม้วนตัวเข้ามาบรรจบกันเกิดเป็น monocyclic ที่มีลักษณะเหมือน Hula-Hoop และเมื่อกระบวนการยังคงดำเนินต่อไป cyclic เหล่านี้จะเริ่มมีการทับและเกิดเป็น polycyclic network structure ซึ่งน่าจะมีลักษณะเป็นโครงตาข่ายหกเหลี่ยมเหมือนกับระนาบของกราฟาไฟต์ (ลักษณะเหมือนกับตาข่ายกรงไก่ : chicken wire) อะตอมของคาร์บอนที่อยู่บริเวณขอบของตาข่ายจะมีอิเล็กตรอนเหลือพร้อมที่จะสร้างพันธะกับคาร์บอนอะตอมอื่นๆ ต่อไป ลักษณะที่พร้อมจะสร้างพันธะนี้เรียกว่ามี 'dangling bonds' ที่ขอบของโครงร่างตาข่าย เมื่อ dangling bond เป็นตัวทำให้โครงตาข่ายนี้มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา จึงทำให้ cluster ต้องพยายามที่จะกำจัด dangling bond ออกไปเพื่อให้ตัวมันมีความเสถียรมากขึ้น



รูปที่ 5 เครื่องมือที่ใช้สังเคราะห์ C_{60} โดยใช้ Laser-Supersonic cluster beam

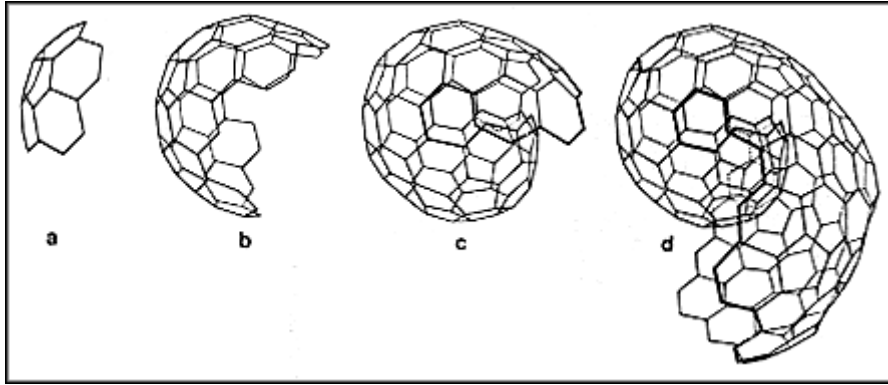


รูปที่ 6 เครื่องมือที่ใช้สังเคราะห์ C_{60} โดยใช้ Carbon arc



รูปที่ 7 mass spectrum ของ carbon cluster

โดยทั่วไปแล้ว ในสภาวะปกติ อนุภาคของกราฟไฟต์จะมีลักษณะเป็นแผ่นแบนหรือในกรณีของพวก polycyclic aromatic hydrocarbon ที่เสถียร เช่น naphthalene และ anthracene จะมีลักษณะแบนเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีของโครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในสภาพที่ลอยตัวอย่างอิสระในแก๊สฮีเลียม ซึ่งจะไม่มียึดของธาตุอื่นเช่น H_2 ที่จะมาต่อกับ dangling bonds ได้ ดังนั้นโครงร่างตาข่ายจึงต้องพยายามกำจัด dangling bonds โดยการม้วนตัวให้ขอบเข้ามาบรรจบกันเพื่อให้ dangling bonds เกิดพันธะกันเอง ซึ่งการเกิดหนึ่งพันธะจะสามารถกำจัดได้สอง dangling bonds



รูปที่ 8 การม้วนตัวในโครงสร้าง C_{60}

การม้วนตัวของแผ่นโครงตาข่ายนี้ จะดำเนินไปได้ใน 2 กรณีคือ ในกรณีแรก ถ้าแผ่นโครงตาข่ายสามารถจัดรูปแบบการเกิดพันธะจนเกิดวงแหวนรูปห้าเหลี่ยม 2 รูป ในตำแหน่งที่วงแหวนรูปห้าเหลี่ยมทั้ง 2 นั้น ใช้ด้านใดด้านหนึ่งอย่างน้อย 1 ด้านร่วมกัน ถ้ากระบวนการจัดตัวในลักษณะนี้ดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ โครงร่างตาข่ายจะมีการม้วนตัวจนกระทั่งด้านตรงข้ามมาบรรจบกันได้พอดี เกิดเป็นรูปลูกบอลลของ C_{60} ที่สมบูรณ์

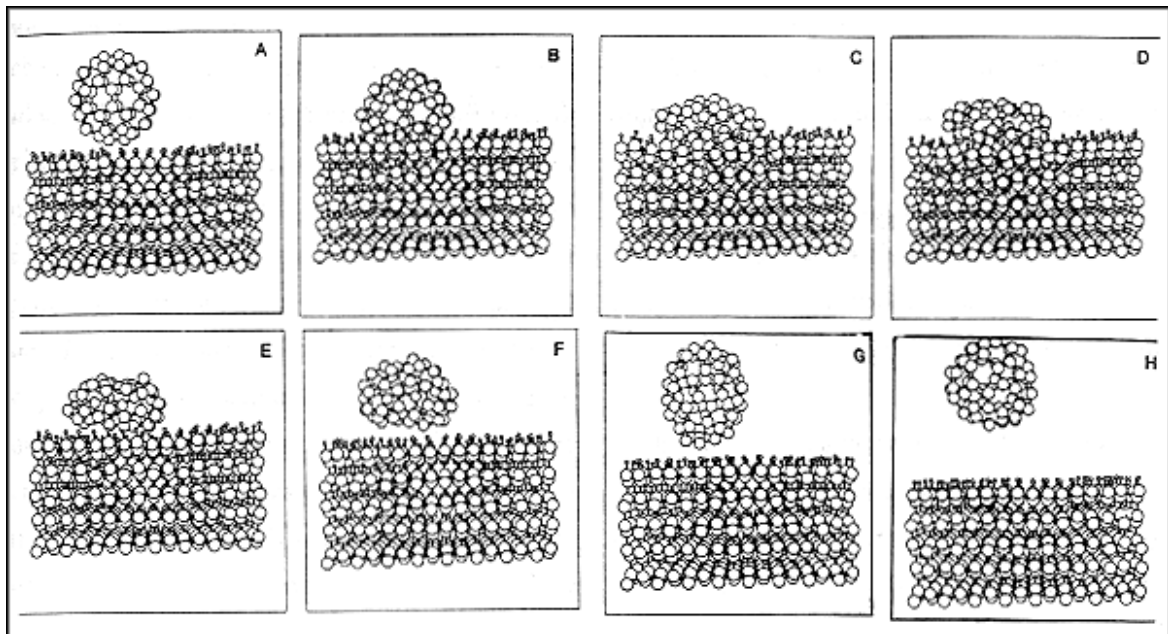
ในอีกกรณีหนึ่ง ถ้าโครงร่างตาข่ายไม่สามารถจัดพันธะให้เกิดเป็นรูปวงแหวนห้าเหลี่ยมได้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการที่กระบวนการของ cluster เกิดเป็นโครงตาข่ายเร็วเกินไป อาจทำให้ขอบด้านที่อยู่ตรงข้ามกันของโครงตาข่ายไม่สามารถเข้ามาชนกันได้พอดี แต่จะมีการเจริญเติบโตขยายขนาดต่อไปจนขอบด้านหนึ่งข้ามผ่านขอบอีกด้านหนึ่งไป และเกิดต่อไปได้เรื่อยๆ จนมีลักษณะเป็นเกลียว (spiral) ที่ขยายขนาดต่อไปเรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด สำหรับในกรณีนี้สิ่งที่ได้มากคือเขม่า (soot) สีดำที่เราเห็นเมื่อเผาคาร์บอนนั่นเอง

ลักษณะเฉพาะตัว

ในการศึกษาสมบัติ Buckminsterfullerene C_{60} อย่างละเอียดของนักวิทยาศาสตร์ พบว่าอะตอมของคาร์บอนทั้ง 60 อะตอมจะมีการสร้างพันธะด้วย sp^2 -Hybridization รวม 90 พันธะ และเกิดโครงสร้างเรโซแนนซ์ได้ถึง 12,500 โครงสร้าง ควรมีสมบัติเป็นอะโรมาติกและน่าจะมีความเสถียรสูงแต่เนื่องจากภายในโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยมจึงมีความเครียดสูง โครงสร้างที่เสถียรที่สุดจึงพบเฉพาะในโครงสร้างวงแหวนหกเหลี่ยม เมื่อตกผลึกที่อุณหภูมิห้องจะเป็นของแข็งที่มีรูปผลึก มีการจัดเรียงอนุภาคชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ (cubic closed-packed, ccp) มีช่องว่างเตตระฮีดรอล และช่องว่างออกตะฮีดรอลอยู่ในโครงผลึก แต่ถ้าทำการตกผลึกในเบนซีนหรือโทลูอีน อาจทำให้ตัวทำละลายแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านั้นได้ แต่ก็ไม่มีผลต่อโครงสร้างของผลึก

C_{60} ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป โดยเฉพาะสารที่เป็น aromatic hydrocarbons เช่น benzene แต่จะละลายอย่างช้าๆ สารละลายที่ได้จะเป็นสีม่วง (magenta) แต่ถ้ามี C_{70} ปนจะได้สารละลายสีแดง

ในปี คศ.1991 R.D.Beck และผู้ร่วมงาน จากภาควิชาเคมีและชีวเคมี มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ได้ทดลองความแข็งแรงและความทนทานของไอออน C_{60} โดยจำลองจากคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงการชนกันระหว่างไอออน C_{60} กับพื้นผิวของผลึกเพชร โดยใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ 200 eV จากภาพจำลองแสดงการชนกันนี้ ดังรูปที่ 8 จะเห็นว่า เมื่อไอออน C_{60} ได้รับพลังงาน 200 eV และวิ่งเข้าชนพื้นผิวของผลึกเพชร พบว่า โมเลกุลของไอออนจะเกิดการยุบตัวลง จากนั้นจะเกิดการบิดโครงสร้างของเพชรในบริเวณที่ชนกัน และเมื่อไอออน C_{60} กระเด็นออกไปแล้วจะค่อยๆ จัดโครงสร้างของไอออนอย่างเดิมไม่ทำให้โครงสร้างเสียหายทั้งนี้ เป็นผลจากการที่โมเลกุลของ C_{60} ในโครงสร้าง ผลึกหมุนตลอดเวลาด้วยความเร็ว 10^{10} รอบต่อวินาที และจากที่กล่าวมานี้ นับได้ว่าโมเลกุล C_{60} จัดเป็นโมเลกุลที่มีความแข็งแรงและมีความทนทานมาก



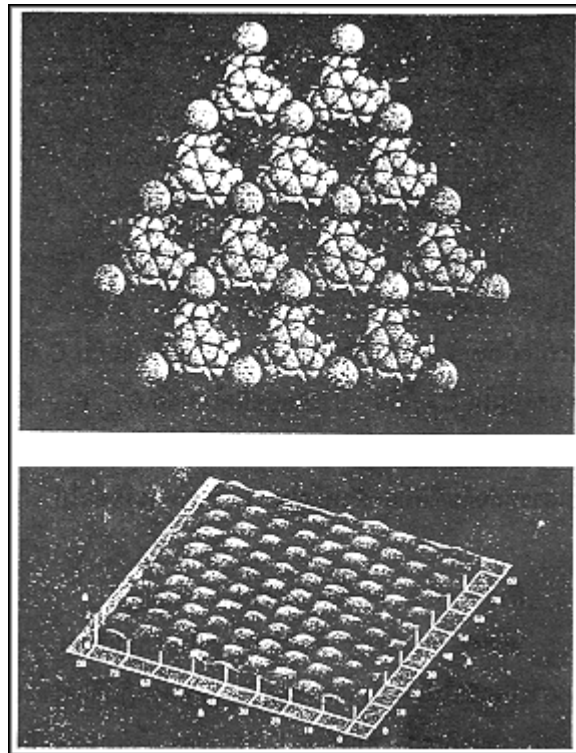
รูปที่ 9 การชนกันระหว่างไอออน C_{60} กับพื้นผิวของผลึกเพชร

ประโยชน์จากอัญรูปใหม่ของคาร์บอน

ได้มีการศึกษาเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะนำ C_{60} ไปใช้ประโยชน์ซึ่งจากการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและโดยใช้คอมพิวเตอร์จำลองการทดลอง พบว่า C_{60} สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในวงการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เช่นทางด้านอุตสาหกรรม ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งในที่นี่จะยกตัวอย่างเพียงบางส่วนเท่านั้น เช่น

ตัวอย่างที่ 1 ทำเป็นสารตัวนำยิ่งยวด : มักใช้ในรูปของสารประกอบ K_3C_{60}

การนำไฟฟ้ายิ่งยวด (superconductivity) คือปรากฏการณ์ การลดลงของความต้านทานจนถึงศูนย์โอห์ม ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อทำให้สารมีอุณหภูมิลดลงมากๆ จนถึงอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature, T_c) ที่อุณหภูมินี้ สารจะมีการเปลี่ยนสภาพการนำไฟฟ้าจากสภาพปกติ เป็นสภาพการนำไฟฟ้ายิ่งยวด ค่า T_c เป็นลักษณะเฉพาะตัวของสาร ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_c นี้สารจะกลายเป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด (superconductor) คือจะไม่มีมีความต้านทานไฟฟ้าเหลืออยู่เลย



รูปที่ 10 สารตัวนำยิ่งยวด : K_3C_{60}

สำหรับ T_c ของ K_3C_{60} สามารถแสดงสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวดได้ เมื่ออุณหภูมิวิกฤตอยู่ที่ 45 องศาเคลวินที่ความดันปกติ โดยมีโมเลกุลของ K_3C_{60} จัดเรียงตัวแบบ face center cubic : fcc60 และมีอะตอมของ K แทรกอยู่ในช่องว่าง

ข้อได้เปรียบของ K_3C_{60} เมื่อนำไปผลิตเป็นสารตัวนำยิ่งยวดก็คือโครงสร้างผลึกของมันจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดีทุกทิศทางและสามารถขึ้นรูปหรือดึงเป็นเส้นได้ง่ายกว่าตัวนำยิ่งยวดที่ทำจากเซรามิกส์ซึ่งเปราะและแตกง่าย

ตัวอย่างที่ 2 ทำเป็นสารหล่อลื่น 'teflon ball'

จากการทดลองโดยใช้ computer simulation พบว่า C_{60} สามารถทนต่อแรงดันและแรงกระแทกได้ดี โดยพบว่าถ้าทำการบีบอัดโมเลกุลของ C_{60} จะมีปริมาตรลดลงกว่า 70% ของปริมาตรเดิม เมื่อปล่อยแรงอัด C_{60} จะสามารถคืนตัวกลับให้มีปริมาตรเท่าเดิมได้โดยไม่แตกสลาย เมื่อทดลองให้ C_{60} พุ่งชนวัสดุแข็งด้วยความเร็วสูง เช่น พุ่งชนผิวเหล็กกล้า หรือพุ่งชนผิวของเพชร ด้วยความเร็ว 8.2 km/s พบว่า C_{60} จะสะท้อนกลับและคลายตัวให้อยู่ในสภาพเดิมได้โดยไม่ติดผิววัสดุหรือทะลุผ่านเข้าไป และนอกจากนี้โมเลกุลของ C_{60} ยังมีลักษณะกลมจึงสามารถกิ้งได้รอบทิศทาง จากคุณสมบัติเหล่านี้ นักวิจัยจึงคาดว่า น่าจะนำ C_{60} ไปทำเป็นสารหล่อลื่นได้ดีกว่าสารหล่อลื่นอื่นๆ ที่เคยใช้มา

แต่เนื่องจาก C_{60} มีลักษณะที่เกาะกันเอง ทำให้มีความหนืดและไหลได้ยาก จึงมีผู้เสนอแนวความคิดที่จะใช้อะตอมของ F แทรกเข้าไปในระหว่างโมเลกุลของ C_{60} เพื่อให้มีคุณสมบัติคล้ายกับ teflon โดยกลุ่มนักวิจัยจาก University of Leicester, Southampton และ Sussex ในประเทศอังกฤษ ได้ทดลองเพิ่มอะตอม F เข้าไปจับกับ C ทั้ง 60 อะตอมใน C_{60} ได้สารประกอบชนิดใหม่คือ $C_{60}F_{60}$ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า 'teflon ball' นี้จะเป็นสารหล่อลื่นที่ดีที่สุดตัวหนึ่งในทางอุตสาหกรรมต่อไป

ตัวอย่างที่ 3 เทคนิค 'shrink wrapping'

'shrink wrapping' คือการกักเอาโมเลกุลหรืออะตอมของสารอื่นเข้าไปไว้ในโมเลกุลของ C_{60} ที่ห้องปฏิบัติการของ naval research ของ R.E.Smalley ได้ทดลองยิงอะตอมของซีเลียมให้เข้าไปอยู่ในโมเลกุลของ C_{60} โดยวิธีการเร่งอะตอมของซีเลียมเข้าไปในสารตัวอย่าง แล้วตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย mass spectrometer เพื่อตรวจสอบว่ามีมวลเพื่อขึ้นหรือไม่ เพราะถ้าอะตอมของซีเลียมเข้าไปอยู่ในโมเลกุลของ C_{60} จริง มวลของ C_{60} ควรจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามข้อสงสัยก็ยังมีอยู่ว่า การยิงอะตอมของซีเลียมด้วยความเร็วสูงน่าจะทำให้อะตอมของซีเลียมทะลุผ่านโมเลกุลของ C_{60} หรือไม่ก็สะท้อนกลับ แต่จากผลการตรวจสอบพบว่ามวลของ C_{60} เพิ่มขึ้นจริง ถ้าตัดข้อสงสัยและสรุปว่า ซีเลียมติดอยู่กับโมเลกุลของ C_{60} แน่แน่นอนแล้ว ก็ยังคงมีปัญหาอยู่ว่าอะตอมของซีเลียมแทรกเข้าไปอยู่ในโมเลกุลหรือติดอยู่ที่ภายนอก ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทดลองยิงอะตอมของซีเลียมเข้าไปในสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยมีแนวคิดที่ว่า ถ้าอะตอมของซีเลียมเกาะติดอยู่ภายนอกของโมเลกุล ก็จะถูกอะตอมของซีเลียมพุ่งชนออกมา จากการทดลองพบว่าเมื่ออะตอมของซีเลียมพุ่งชนเข้าไปแล้ว พบว่ามวลของสารตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าจะสรุปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้แล้ว ก็น่าจะแสดงให้เห็นว่า อะตอมของซีเลียมถูกกักไว้ในโมเลกุลของ C_{60} จริง ขณะนี้นักวิทยาศาสตร์กำลังทำการทดลองเพื่อหาวิธีที่จะเจาะพันธะคาร์บอนของ C_{60} เข้าไปเพื่อจะกักเอาสารต่างๆ ที่ต้องการเข้าไปไว้ในโมเลกุลของ C_{60} ซึ่งสารดังกล่าวอาจเป็นพวกยารักษาโรคมะเร็ง เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวยากทำลายก่อนที่จะไปถึงอวัยวะเป้าหมายที่ต้องการ อุปมาเหมือนการทำยาบรรจุในแคปซูลนั่นเอง

นอกจากนี้แล้วยังมีแนวทางอื่นๆ ที่จะใช้ประโยชน์จากเทคนิค shrink wrapping เช่น การผลิตสารกึ่งตัวนำโดยการโดป (doping) ด้วยวิธีการใส่อะตอมของสารโดป (dopant) เข้าไปในโมเลกุลของ C_{60} เพื่อผลิตสารกึ่งตัวนำชนิด p-type และ n-type หรือการกักเอาอะตอมของธาตุในรูปของ single atom ไว้เพื่อการใช้งาน เนื่องจากการกักเก็บอะตอมของธาตุไว้ในโมเลกุลของ C_{60} จะสามารถเก็บเอาอะตอมของธาตุไว้ได้โดยไม่ต้องทำให้เป็นไอออน ซึ่งต่างจากการกักอะตอมด้วย ion trap ที่ต้องทำให้อะตอมกลายเป็นไอออนเสียก่อน

อย่างไรก็ตาม เทคนิค shrink wrapping นี้ยังคงอยู่ในขั้นการทดลองเท่านั้น แต่ยังคงมีการค้นคว้ากันต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งคาดว่าอีกไม่นานนักวิทยาศาสตร์คงจะค้นพบวิธีที่ดี ที่สามารถใช้ประโยชน์จากเทคนิค shrink wrapping นี้ได้

สรุป

จากที่กล่าวมาทั้งหมด นับได้ว่าเป็นความสามารถและความเพียรพยายามของนักเคมีอย่าง Richard E. Smalley และ Robert F. Curl รวมทั้งนักวิทยาศาสตร์อื่นๆ อีกหลายคน ที่ได้ทำการค้นคว้าและวิจัยในเรื่องอัญรูปใหม่ของคาร์บอน ซึ่งใช้เวลานานกว่า 10 ปี นับตั้งแต่ปีค.ศ. 1985 ถึง 1996 จนกระทั่งปัจจุบันทำให้ทราบว่า คาร์บอนไม่ใช่มีเพียงแค่อัญรูปของเพชรและกราไฟต์เท่านั้น แต่ยังมีอัญรูปใหม่ที่มีประโยชน์และมีคุณค่าต่อวงการอุตสาหกรรมและวงการแพทย์อีกมากมาย ผู้เขียนหวังว่าเหล่านักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยในประเทศไทยทุกท่านน่าจะติดตามการค้นคว้าประโยชน์จากอัญรูปใหม่ของคาร์บอนนี้ต่อไป ซึ่งคาดว่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาล

เอกสารอ้างอิง

- H. Kroto .Space, Stars, C_{60} , and Soot, J.of Science 242, p.1139-1145; November 25(1988)
- R.F.Curl and R.E.Smalley. Probing C_{60} , J.of Science 242, p.1017-1022; November 18(1988)
- D.Michael.A. and R.Dennis H., Microcluster, J.of Sci.Am. 261(12) 60-63,(1989)
- H.Kroto ,Giant Fullerenes, J.of Chemistry in Britain. 26(1) 40-42(1990)
- R.F.Curl and R.E.Smalley. Fullerenes, J.of Sci.Am. 265(4), p. 54-63; October (1991)
- R.E.Smalley. Great ball of carbon : The story of Buckminsterfullerene, J.of Science 31(2), p.22-28; March/April (1991)
- R.D.Beck, et al, Resilience of all carbon molecules C_{60} , C_{70} , & C_{84} : A surface-Scattering J.of Phys. Chem. 95(21), p.8402-8409(1991)

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์นฤมล เครือทองอาจนกุล
การศึกษา : วทม.(เคมีอินทรีย์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
การทำงาน : อาจารย์ประจำภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สจพ.