ดร.สุทัศน์ ยกส้าน
ราชบัณฑิต สำนักวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ และดาราศาสตร์

Andrey Geim

กับ การพบกราฟีน (graphene)

ในปี ค.ศ.1996 Richard Smalley

คือผู้พิชิตรางวัลโนเบลสาขาเคมีร่วมกับ Harry Kroto และ Robert Curl ด้วยผลงานการพบ fullerene ซึ่งประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 60 อะตอมจับเรียงกันเป็นทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอล นับเป็นการจัดเรียงอะตอมคาร์บอนรูปแบบที่สาม นอกเหนือจากการจัดเรียงทรง tetrahedron ของเพชร กับการจัดเรียงเป็นระนาบซ้อนกันหลายชั้นของ แกรไฟต์ ในงานเลี้ยงฉลองการรับรางวัล Smalley กล่าวว่า “นักวัสดุศาสตร์ทั่วโลกกำลังค้นหาการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนในรูปแบบอื่น ๆ อย่างไม่ลดละ คำพยากรณ์ของ Smalley ได้กลายเป็นความจริงในปี ค.ศ. 2010 เมื่อสถาบัน Royal Swedish Academy of Sciences แห่งสวีเดนประกาศมอบรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์แก่ Andrey Geim และ Konstantin Novoselov แห่งมหาวิทยาลัย Manchester ในอังกฤษ จากผลงานการพบกราฟีน ซึ่งประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนที่จัดเรียงเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าเป็นอะตอมระนาบเดียว มันจึงเป็นวัสดุที่บางที่สุดในโลก แม้จะมีความหนาที่น้อยนิด แต่กราฟีนก็กำลังทำให้นักวิทยาศาสตร์ตื่นเต้น และนักเทคโนโลยีมีความคาดหวังมาก

ด้านนักฟิสิกส์ทฤษฎีพบว่า สมบัติของแกรไฟต์ขึ้นกับธรรมชาติของพันธะ covalent ระหว่าง valence electron ทั้ง 4 ของอะตอมคาร์บอน และในเพชรโอกาสการพบอิเล็กตรอนจะมีค่ามากที่สุดในบริเวณระหว่างอะตอมคาร์บอน แต่กราฟีนซึ่งมี valence electron เพียง 3 อิเล็กตรอนในพันธะ covalent กับอะตอมคาร์บอน 3 อะตอมที่อยู่ใกล้เคียง สถานะของอิเล็กตรอนในระนาบหกเหลี่ยมจึงเป็นแบบ σ-orbital และที่ตั้งฉากกับระนาบเป็นแบบ $\prod$-orbital สมบัติทางกายภาพของกราฟีน จึงขึ้นกับอิเล็กตรอน $\prod$-orbital ในบริเวณใกล้พลังงานเฟอร์มิ (Fermi energy)

http://www.metallirari.com/prima-dellimmaginabile-il-grafene-arrivera-nelle-nostre-case/

มนุษย์ รู้จักแกรไฟต์มานานหลายพันปีแล้ว จากการใช้แกรไฟต์ทำไส้ดินสอ เพราะแกรไฟต์ประกอบด้วยระนาบของอะตอมคาร์บอนที่เรียงกันหลายระนาบ โดยระนาบเหล่านี้มีแรงยึดเหนี่ยวที่ไม่มาก ดังนั้น แกรไฟต์จึงใช้ทำไส้ดินสอสำหรับเขียนหนังสือ เพราะเวลาลากดินสอไปบนกระดาษ อะตอมของคาร์บอนจะหลุดออกจากไส้ดินสอไปติดบนกระดาษเป็นเส้นดินสอ ซึ่งถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูที่เส้น เราก็จะเห็นอะตอมคาร์บอนเรียงซ้อนกันหลายชั้น แต่ในสมัยนั้นไม่มีใครสามารถแยกชั้นอะตอมของคาร์บอนออกมาเป็นชั้นเดียวได้ หลายคนจึงมีความเห็นว่า การแยกชั้นอะตอมของสสารออกมาเหลือเพียงชั้นเดียวเป็นเรื่องที่ทำไม่ได้ ดังนั้นเมื่อ Geim และ Novoselov ประกาศการพบกราฟีน ซึ่งประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนเพียงชั้นเดียว โดยการนำเทปใสทาบบนเส้นดินสอ แล้วลอกเทปออก เขาได้อัญรูปอีกหนึ่งแบบของคาร์บอนที่แม้แต่เด็กอนุบาลก็สามารถ “สร้าง” กราฟีนได้ เนื่องจากวิธีการง่ายมาก วัสดุรูปแบบใหม่ใน 2 มิตินี้มีแต่ความกว้างกับความยาวเท่านั้น สมบัตินี้ทำให้อิเล็กตรอนในกราฟีน มีสมบัติที่แตกต่างจากอิเล็กตรอนในวัสดุอื่น ๆ ทำให้นำไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมความร้อน ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

แม้กราฟีนจะเป็นวัสดุที่บางที่สุดแต่ก็มีความแข็งแรงที่สุด เพราะได้มีการพบว่า ถ้านำกราฟีนพื้นที่หนึ่งตารางเมตรมาทำเปลญวณ แม้น้ำหนักของเปลจะเบากว่าน้ำหนักของหนวดแมว แต่เปลก็สามารถรับน้ำหนักของแมวทั้งตัวได้โดยไม่ขาด

สำหรับสมบัติการนำไฟฟ้าของกราฟีนนั้นก็ดีกว่าทองแดง และนำความร้อนก็ได้ดีกว่าเงินกับทองแดง ในด้านแสง แม้กราฟีนจะโปร่งใสถึงระดับ 97% แต่มันก็ไม่ยอมให้อะตอมของแก๊สหรือของเหลวทะลุผ่านได้

แม้อิเล็กตรอนในกราฟีนจะเคลื่อนที่ในระนาบได้ดี แต่กราฟีนก็ไม่ได้เป็นวัสดุ 2 มิติ 100% เพราะในระบบ 2 มิติพลังงานของอิเล็กตรอนจะเป็นปฏิภาคตรงกับโมเมนตัมยกกำลังสอง ดังนั้นความสัมพันธ์การกระจาย (dispersion relation) ของกราฟีนจึงเป็นเชิงเส้น และสมการที่ใช้บรรยายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในกราฟีนคือสมการ Dirac (มิใช่สมการ Schroedinger) ที่ใช้อธิบายฟิสิกส์ของอนุภาคที่มี spin1/2 ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นอีกว่า มวลยังผล (effevtive mass) ของอิเล็กตรอนที่พลังงานเฟอร์มิในกราฟีนมีค่าเป็นศูนย์ และอิเล็กตรอนมีความเร็วประมาณ 10^6 เมตร/วินาที ซึ่งคิดเป็น 1/300 ของความเร็วแสงในสุญญากาศ การมีความเร็วสูงเช่นนี้ ทำให้นักฟิสิกส์สามารถใช้กราฟีนทดสอบทฤษฎี quantum electrodynamics ได้ในห้องทดลองขนาดเล็ก โดยไม่ต้องใช้เครื่องเร่งอนุภาคพลังงานสูงทดสอบ

Andrey Konstantin Geim เกิดเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม ค.ศ. 1958 ที่เมือง Sochi ในรัสเซีย (ปัจจุบันถือสัญชาติอังกฤษ-เนเธอร์แลนด์) บิดาเป็นวิศวกรเชื้อชาติเยอรมัน ส่วนยายเป็นคนยิว ด้วยเหตุที่สกุลระบุชัดว่ามีเชื้อชาติยิว ดังนั้น Geim จึงถูกสังคมรัสเซียต่อต้านตั้งแต่ยังเป็นเด็ก Geim มีน้องชายคนหนึ่ง เมื่ออายุ 7 ขวบ ครอบครัวได้อพยพไปที่เมือง Nalchik เพื่อให้ Geim ได้เรียนในโรงเรียนที่มีการสอนเป็นภาษาอังกฤษ เมื่อเรียนจบ Geim คิดจะไปศึกษาต่อที่สถาบัน Moscow Engineering Physics แต่สอบเข้าไม่ได้ถึง 2 ครั้ง จึงไปเรียนต่อที่ Moscow Institute of Physics and Technology แทน ในปี ค.ศ. 1982 Geim วัย 24 ปี เรียนจบปริญญาโท อีก 5 ปีต่อมาเรียนจบปริญญาเอกสาขาฟิสิกส์ของโลหะจาก Institute of Solid State Physics แห่ง Russian Academy of Sciences ที่ Chernogolovka Geim เล่าว่า ในช่วงที่จะทำวิทยานิพนธ์

เขาไม่เคยคิดจะเป็นนักฟิสิกส์ด้านฟิสิกส์ของแข็งเลย แต่ชอบฟิสิกส์อนุภาคมูลฐาน และฟิสิกส์ดาราศาสตร์มากกว่า แต่เมื่อถึงวันนี้เขาตระหนักว่า เขาตัดสินใจถูกแล้ว

หลังจากที่สำเร็จการศึกษา Geim ได้ไปทำงานวิจัยที่ Institute for Microelectronics Technology และพบว่างานวิจัยที่นั่นล้วนมีเป้าหมายเพื่อการทหาร ดังนั้นเมื่อสหภาพโซเวียตล่มสลาย และสถานการณ์การเมืองทวีความเลวร้าย Geim จึงอพยพไปทำงานเป็นนักวิจัยหลังปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัย Nottingham และมหาวิทยาลัย Bath ในอังกฤษ และได้ไปทำงานในช่วงสั้นที่มหาวิทยาลัย Copenhagen ในเดนมาร์กด้วย Geim ชอบบรรยากาศการทำงานที่ Nottingham มาก เพราะไม่ถูกบังคับให้สนใจการเมือง จึงสามารถทำงานวิจัยในเวลา 6 เดือนได้มากเท่างานที่จะต้องทำในรัสเซียถึง 20-30 ปี Geim จึงตัดสินใจไม่กลับรัสเซียอีกเลย

เมื่ออายุ 36 ปี Geim ได้รับแต่งตั้งให้เป็นรองศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัย Radboud ที่เมือง Nijmegen ในเนเธอร์แลนด์ และทำวิจัยด้านการทดลองเรื่อง ตัวนำยวดยิ่ง จากนั้นได้เปลี่ยนสัญชาติเป็นชาวเนเธอร์แลนด์ ที่นั่น Geim ได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของนิสิตปริญญาเอกชื่อ Konstantin Novoselov ทั้งสองทำงานวิจัยร่วมกันได้ดีมาก

ในเวลาต่อมา Geim เริ่มมีปัญหาในการทำงาน เพราะรู้สึกว่าชีวิตทำงานกำลังถูกการเมืองแทรกแซงมากเกินไป และระบบทำงานมีขั้นตอนหยุมหยิมจนทำให้รู้สึกรำคาญ ครั้นเมื่อได้เห็นระบบในมหาวิทยาลัยอังกฤษที่อาจารย์ทุกคนมีความเท่าเทียมกัน Geim จึงย้ายไปดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัย Manchester ในอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ. 2001 และได้รับตำแหน่งผู้อำนวยการของ Manchester Centre for Mesoscience and Nanotechnology ในอีกหนึ่งปีต่อมา จนถึงปี ค.ศ. 2007 Geim ก็ได้รับแต่งตั้งเป็นศาสตราจารย์ Langworthy ของมหาวิทยาลัย

ความสำเร็จของ Geim กับ Novoselov ในการประดิษฐ์กราฟีน ซึ่งลงพิมพ์ในวารสาร Science ฉบับเดือนตุลาคมปี ค.ศ. 2004 ทำให้คนทั้งสองได้รับรางวัลและเกียรติยศมากมาย เช่นได้รับเลือกเป็นสมาชิกของ Royal Society ในปี ค.ศ. 2007 (F.R.S.) รับรางวัล Euro Physics ประจำปี ค.ศ.2008 และรางวัล Körfer European Science Award ในปี ค.ศ. 2009 รางวัลศาสตราจารย์วิจัยของ Royal Society ประจำปี ค.ศ. 2010 และได้รับเหรียญ Hughes ของ Royal Society ประจำปี ค.ศ. 2010 ด้วย เมื่อถึงวันที่ 5 ตุลาคม ค.ศ. 2010 Geim กับ Novoselov ก็ได้รับการประกาศให้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์

สำหรับ Konstantin Novoselov เกิดเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม ค.ศ.1974 ที่เมือง Nizhny Tagil ในรัสเซีย ได้รับการศึกษาระดับมหาวิทยาลัยที่ Moscow Institute of Physics and Technology และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัย Nijmegen ในเนเธอร์แลนด์โดยมี Andrey Geim เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา จากนั้นได้ย้ายมาทำงานเป็นอาจารย์ที่มหาวิทยาลัย Manchester ในอังกฤษในปี ค.ศ.2001 ปัจจุบันถือสัญชาติรัสเซียและอังกฤษ

ผลงานการพบกราฟีนของ Geim กับ Novoselov ทำให้ Novoselov ได้รับรางวัลมากมาย นอกเหนือจากรางวัลโนเบลที่ได้รับร่วมกับ Geim ในปี ค.ศ. 2010 แล้ว เกียรติยศนี้ทำให้ Novoselov เป็นผู้พิชิตรางวัลโนเบลที่มีอายุน้อยเป็นอันดับสอง (36 ปี) รองจาก B.D. Josephson (33 ปี) Novoselov ได้รับเลือกเป็น F.R.S. ในปี ค.ศ. 2011 และได้รับแต่งตั้งเป็น Sir Konstantin Novoselov ในปี ค.ศ. 2012 พร้อมอาจารย์ที่ปรึกษา คือ Sir Andrey Geim

ในการให้สัมภาษณ์หนังสือพิมพ์หลังทราบข่าวว่าคนทั้งสองได้พิชิตรางวัลโนเบล Geim และ Novoselov กล่าวว่าไม่เคยนึกว่าจะได้รางวัล และที่ทำไปนั้นก็เพื่อความสนุก แต่เมื่อทำได้สำเร็จก็รู้สึกว่าอาจจะได้รับรางวัล เพราะตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 เป็นต้นมา ผลงานของทั้งสองมีนักวิจัยอื่นอ้างถึงบ่อยมาก และเพื่อน ๆ ก็ได้เย้าว่า “คงจะได้รางวัลโนเบลแน่นอน เพียงแค่ขอมีชีวิตอยู่ให้ถึงวันนั้น” ครั้นเมื่อได้รับรางวัลจริง ๆ Geim ก็บอกว่าตั้งแต่นี้คงไม่มีใครให้รางวัลอะไรอีกแล้ว

สำหรับความก้าวหน้าเกี่ยวกับการวิจัยกราฟีนในปัจจุบัน แม้กราฟีนจะให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านไปได้อย่างรวดเร็ว แต่การเคลื่อนที่นั้นก็ไม่ทำให้กราฟีนร้อน กระนั้น กราฟีนก็มีข้อเสียคือไม่สามารถทำให้อิเล็กตรอนหยุดเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นมันจึงเป็นตัวนำ ไม่ใช่สารกึ่งตัวนำที่มีประโยชน์มากในการทำทรานซิสเตอร์

ด้วยเหตุนี้ David Tomanek แห่งมหาวิทยาลัย Michigan State จึงได้พยายามค้นหาวัสดุใหม่ที่สามารถปล่อยอิเล็กตรอนให้ผ่านอย่างง่าย แม้จะได้ไม่ดีเท่ากราฟีน แต่ก็ดีกว่าซิลิกอน และ Tomanek ก็ได้พบว่า เขาสามารถนำฟอสฟอรัสดำมาลอกออกเป็นแผ่นได้เหมือน กราฟีน จึงได้แถลงการค้นพบนี้เมื่อวันที่ 7 มีนาคม ค.ศ.2014 ว่า phosphorene คือญาติของ graphene ที่อาจมีศักยภาพสูงในโลกเทคโนโลยีอนาคต

บรรณานุกรม

Geim, Andrey K. and Macdonald, Alla N. Graphene: Carbon Flatland. *Physics Today,* August, 2007.