



## นาโนเทคโนโลยี

นาย ชัยโชค ช่องสิริโชค

รหัส 47430907

นางสาว ศรีสมบุญ ช่องสิริโชค

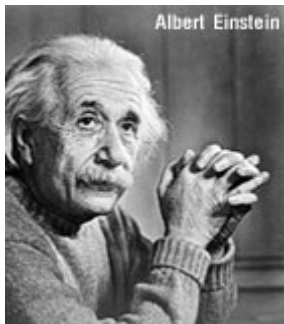
รหัส 47430912

### บทคัดย่อ

นาโนเทคโนโลยี เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังเป็นที่สนใจของหลาย ๆ ประเทศ เนื่องจากนาโนเทคโนโลยี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้าน อาหาร เสื้อผ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งการนำไปประยุกต์จะก่อให้เกิดผลดีต่างๆ เช่น ช่วยลดพลังงาน ช่วยลดของเสีย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเป็นต้น ดังนั้นในรายงานฉบับนี้จะเป็นการทำความเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคโนโลยีนาโนให้มากขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทำรายงานฉบับนี้ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการนำเอานาโนเทคโนโลยี เข้าไปประยุกต์ใช้กับศาสตร์ด้านอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น ด้านการแพทย์ ชีววิทยา คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

### ประวัติความเป็นมา

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ [1] เมื่อ 3,500 ล้านปีที่แล้ว :: สิ่งมีชีวิตเซลล์แรกได้ถือกำเนิดขึ้น



Albert Einstein

เซลล์ดังกล่าวถือได้ว่าเป็นจักรกลชีวภาพ (biomachines) ที่มีขนาดอยู่ในช่วงของนาโน โดยสามารถเพิ่มจำนวนตนเองและหาแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองได้

ค.ศ. 1905 :: อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ตีพิมพ์ผลงานวิจัยที่ค้นพบว่าโมเลกุลของน้ำตาลมีขนาดประมาณ 1 นาโนเมตร



Richard Feynman

ค.ศ. 1959 :: ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) ผู้เป็นบิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี ได้กล่าวถึงการศึกษาทางด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นครั้งแรกในการปราศรัยเรื่อง “ข้างล่างยังมีที่ว่างอีกเยอะ (There's Plenty of Room at the Bottom)” สุนทรพจน์ของฟายน์แมน ได้นำไปสู่การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการจัดการในระดับของอะตอมและโมเลกุลของสสารต่าง ๆ

ค.ศ. 1968 :: อัลเฟรด โช (Alfred Y. Cho) และ จอห์น อาร์เทอร์ (John Arthur) สามารถสร้างเครื่อง “Molecular-Beam Epitaxy” ที่สามารถปลูกชั้นเดี่ยวของอะตอมได้ที่ละชั้นลงบนผิวหน้าของวัสดุต่าง ๆ

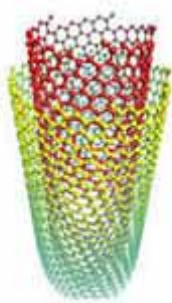
ค.ศ. 1981 :: เกร็ด บินนิง (Gred Binning) และ ไฮน์ริช โรห์เซอร์ (Heinrich Rohrer) ประสบความสำเร็จในการสร้างกล้อง Scanning tunneling microscope ที่สามารถมองเห็นการจัดเรียงตัวของอะตอมของสสารต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน

ค.ศ. 1985 :: โรเบิร์ต เคิร์ล (Robert F. Curl) ริชาร์ด สมอลลีย์ (Richard E. Smalley) และ ฮาร์โรลด์ โครโต (Harold W. Kroto) ค้นพบ โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอนแบบใหม่ นอกจากเพชรและถ่าน นั่นคือ ฟูลเลอรีน (Fullerene) หรือ บักกี้ บอลล์ (Bucky ball) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 60 อะตอม เชื่อมต่อกันเป็นรูปร่างคล้ายกับลูกฟุตบอลและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 1 นาโนเมตร

ค.ศ. 1986 :: หนังสือชื่อ “จักรกลแห่งการสร้างสรรค์ (Engines of Creation)” ซึ่งมีเนื้อหาทั้งหมดเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ที่แต่งโดย อีริก เดรกเลอร์ (Eric Drexler) ได้เริ่มวางจำหน่ายและได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

ค.ศ. 1989 :: โดนัลด์ ไอเกลอร์ (Donald M. Eigler) ใช้กล้องส่องอะตอมในการจัดวางอะตอมของธาตุซีนอนทีละอะตอมเป็นอักษร “IBM” เหตุการณ์นี้ได้แสดงให้เห็นว่ามนุษย์สามารถเข้าไปจัดการการเรียงตัวของอะตอมได้เป็นครั้งแรก

ค.ศ. 1991 :: ซุมิโอะ อิจิมา (Sumio Iijima) แห่งบริษัท NEC ประเทศญี่ปุ่น ได้ค้นพบท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) ที่มีคุณสมบัติอันน่ามหัศจรรย์หลายอย่าง เช่น แข็งกว่าเหล็กกล้า 6 เท่า แต่มีน้ำหนักเบาได้ถึง 100 เท่า สามารถเป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด (superconductor) หรือสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) เป็นต้น ดังนั้นท่อนาโนคาร์บอนจึงเป็นความหวังในการประดิษฐ์นวัตกรรมทางด้านนาโนเทคโนโลยีหลากหลายสาขา



ค.ศ. 1998 :: ซีส เดรกเลอร์ (Cees Dekker) ประสบความสำเร็จในการสร้างทรานซิสเตอร์ขนาดจิ๋วที่ทำจากท่อนาโนคาร์บอน

ค.ศ. 1999 :: เจมส์ ทัวร์ (James M. Tour) และ มาร์ค รีด (Mark A. Reed) สามารถประดิษฐ์สวิตช์ขนาดจิ๋วซึ่งเป็นโมเลกุลเดี่ยวของสารชนิดหนึ่ง



ค.ศ. 2000 :: รัฐบาลของประธานาธิบดี บิล คลินตัน ได้ผลักดันให้เกิดโครงการริเริ่มทางนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Nanotechnology Initiative) ของสหรัฐฯ ขึ้นมา ทำให้เกิดการสนับสนุนทุนวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีขึ้นมาเป็นประวัติการณ์ และทำให้ทั่วโลกเกิดความตื่นตัวเกี่ยวกับการพัฒนานาโนเทคโนโลยีขึ้นมาเป็นอย่างมาก

## นาโนเทคโนโลยีคืออะไร

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ [1] ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้ "นาโนเทคโนโลยี" หมายถึง เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ สร้าง การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมาก หรือการเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการ ได้อย่างแม่นยำ และถูกต้อง ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารมีคุณสมบัติพิเศษ ไม่ว่าจะทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ ส่งให้มีผลประโยชน์ต่อผู้ใช้สอย

ดร.อดิศร [2] ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้ นาโนเทคโนโลยีเหมือนจะเป็นของใหม่ แต่จริง ๆ แล้วจุดเริ่มต้นประวัติศาสตร์ของนาโนเทคโนโลยีได้เริ่มต้นมาเกือบ 50 ปีที่แล้ว โดย ศาสตราจารย์ ริชาร์ด ฟายน์แมน (ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 1965) เป็นผู้เปิดศักราชของนาโนเทคโนโลยีด้วยปาฐกถาเรื่อง There's plenty of room at the bottom ให้ความหวังว่าสักวันหนึ่งมนุษย์จะสามารถถัดเรียงอะตอมได้ ศาสตราจารย์ริชาร์ด กล่าวว่า "เท่าที่ข้าพเจ้ารู้ ไม่มีกฎทางฟิสิกส์ใด ๆ แม้แต่หลักของความไม่แน่นอน (Uncertainty principle) ที่จะมาขัดขวางความเป็นไปได้ในการจัดเรียงอะตอมทีละอะตอม" ทำให้เหล่านักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกกระตือรือร้นที่จะค้นคว้าวิจัยด้านนี้

นิยามที่แท้จริงของ นาโนเทคโนโลยี ยังเป็นที่ถกเถียงกันในหมู่นักวิทยาศาสตร์ แต่มีสิ่งหนึ่งที่ทำให้นาโนเทคโนโลยีเป็นศาสตร์ใหม่ขึ้นมาก็คือ ขนาดที่เล็กลงของมันทำให้มันมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากปกติ ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกส่วนใหญ่จึงยอมรับว่า นาโนเทคโนโลยี น่าจะหมายถึง เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง การสังเคราะห์วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร (หนึ่งในพันล้านของหน่วยเมตร) เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม อาจจะเป็นการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุหรือสารมีคุณสมบัติพิเศษและมีประโยชน์ไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ

นาย MIHAIL C. ROCO ผู้เชี่ยวชาญและหัวหน้าที่รับผิดชอบดูแลแผนด้านนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE) หรือ NNI

กำหนดนิยามอย่างสั้นๆ ว่า นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่จัดการกับวัสดุหรือวัตถุที่อย่างน้อยมีมิติใดๆ ที่มีขนาดตั้งแต่หนึ่งถึงร้อยนาโนเมตร โดยที่สิ่งนี้ต้องถูกออกแบบหรือตั้งใจและแสดงผลต่อฟิสิกส์ และเคมีของโครงสร้างระดับโมเลกุลของมัน

วิทยาเขตเทคนิคนครนายก [3] ได้ให้ความหมายไว้ว่า นาโนเทคโนโลยี คือ การนำเอาอะตอม (อะตอม คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของสสาร ซึ่งอะตอมเหล่านี้ คือสสารที่อยู่ในธรรมชาติสามารถหามาได้ง่าย) มาเรียงต่อกัน ซึ่งการเรียงกันของอะตอมนั้นจะสามารถประกอบกันขึ้นมาเป็นรูปเป็นร่างได้ตามที่ต้องการ เหมือนกับการนำความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ในรูปของ บิท(bit) มาประกอบกันเป็นข้อมูลด้านต่างๆ จนกลายเป็น รูปภาพ เสียงเพลง และภาพยนตร์ ซึ่งทำงานอยู่ภายในคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบันได้ แล้วอะไรจะเกิดขึ้น ถ้าการผสมผสานกันของเทคโนโลยีด้านต่างๆ ไม่ว่าจะทางด้านเคมีวิทยา และวิศวกรรมศาสตร์ จนทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงโลกในอนาคตเป็นอีกรูปแบบได้ ซึ่งถูกเรียกขานว่า "นาโนเทคโนโลยี" ซึ่งนาโนเทคโนโลยีนี้จะทำให้เกิดยุคที่เครื่องยนต์กลไก สามารถสร้างตัวเองขึ้นมาใหม่ได้ ทำให้ได้สินค้าอุปโภคบริโภคมีราคาถูกลง เพราะว่าสามารถสร้างสิ่งต่างๆ จากหน่วยของอะตอม นาโนเทคโนโลยีจึงเป็นอุตสาหกรรมระดับโมเลกุล (โมเลกุล คือการประกอบกันของอะตอม เพื่อทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่ง) หรือการสร้างสิ่งต่างๆจากอะตอม ในหน่วยวัดระดับนาโนเมตร หรือมีขนาดเพียง 1/1,000,000,000 เมตรเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้ และด้วยความสามารถในการจัดการในระดับที่เล็กนี้เอง ทำให้สามารถมองเห็นสิ่งต่างๆในระดับอะตอมได้ เป็นผลทำให้สามารถเข้าไปควบคุมจัดการ หรือสร้างสิ่งต่างๆที่น่าจะเป็นไปได้ให้เกิดขึ้นได้ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับโดยผู้เชี่ยวชาญทั่วโลกว่า ความสามารถในการสร้างหรือผลิตสสารที่มีขนาดในช่วง 0.1 นาโนเมตร ถึง 100 นาโนเมตรจัดว่าเป็นนาโนเทคโนโลยีเกือบทั้งสิ้น

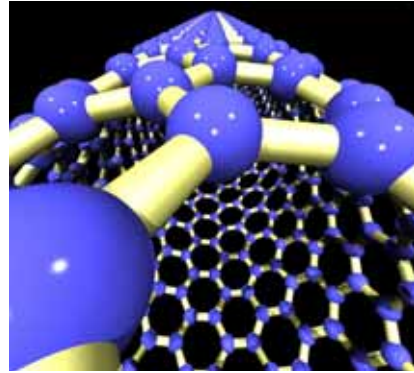
ดร. สิริพัฒน์ [4] ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้ คำนิยามอย่างคร่าว ๆ ของ นาโนศาสตร์ (Nanoscience) ก็คือการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของวัตถุที่มีขนาดในช่วงนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) ส่วนนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) ก็จะหมายถึงการสร้างและประยุกต์วัสดุนาโนนี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์

ดังนั้นหลังจากที่ได้ศึกษาถึงความหมายของนาโนเทคโนโลยีของแต่ละท่านแล้ว จึงสรุปได้ว่า นาโนเทคโนโลยีคือกระบวนการในการทำงานในระดับในช่วงระหว่าง 1 -100 นาโนเมตร ซึ่งการทำงานในระดับนี้ จะเป็นการนำเอาอะตอมที่เล็กระดับ 0.1 นาโน มาเรียงต่อกันเพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการ

## NANATUBE & BUCKYBALL ก้าวแรกของนาโน

ดร.อดิสร [2] ได้อธิบายไว้ดังนี้ ท่อคาร์บอนนาโนถูกค้นพบโดยบังเอิญ จากนักวิจัยของบริษัท NEC ชื่อ นายซุมิโอะ อิจิมะที่เมืองทสึคุบะ ประเทศญี่ปุ่น นายซุมิโอะเป็นนักวิจัยประจำ

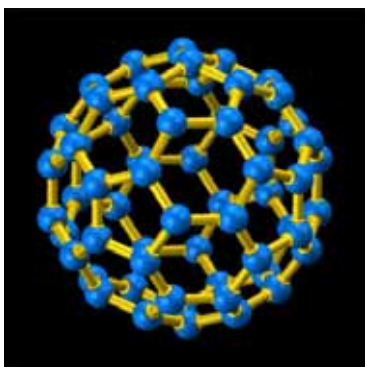
เครื่องมือชนิดหนึ่งซึ่งมีหน้าที่ส่องคุณภาพขยายกำลังสูงมาก ๆ วันหนึ่งผู้ช่วยของเขาได้นำผงเถ้าถ่านดำๆมาให้เขาส่องดู และเขาสังเกตเห็นอะไรคล้ายๆ กับรากไม้เป็นเส้นยาวๆ และมีขนาดบางมากเป็นขยุ่ยๆแต่ที่น่าสนใจคือมันมีลักษณะ โครงสร้างของอะตอมที่เป็นระเบียบและสมมาตร เขาจึงเป็นคนแรกที่ค้นพบท่อคาร์บอนขนาดนาโนโดยบังเอิญ



ท่อคาร์บอนนาโน คือ ท่อขนาดจิ๋วที่สร้างจากวัสดุ ที่เป็นธาตุพื้นฐานที่สุดของมนุษย์ได้แก่ คาร์บอนซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-50 นาโนเมตร และมีลักษณะเป็นท่อกว้างยาวจนถึง 10 ไมโครเมตร ทำให้ท่อคาร์บอนนาโนนี้มีอัตราความยาวต่อ เส้นผ่าศูนย์กลางถึงหลายพันเท่า และมีคุณสมบัติพิเศษในตัวคือมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมาก แม้กระทั่งถ้าเราเอาท่อนาโนมาห้อยรถยนต์ทั้งคันก็ไม่มีความเสียหาย

ลูกบอลคาร์บอนนาโน ถูกค้นพบโดย ศ.ดร. ฮาร์โรลด์ โครโต (HAROLD KROTO) นักฟิสิกส์แห่งมหาวิทยาลัยเซ็กซ์ (UNIVERSITY OF SUSSEX) ประเทศสหราชอาณาจักรร่วมกับ ศ.ดร. ริชาร์ด สมอลลีย์ (RICHARD SMALEY) และ ศ.ดร. โรเบิร์ต เคิร์ล (ROBERT CURL) แห่งมหาวิทยาลัยไรซ์ (RICE UNIVERSITY) มลรัฐเท็กซัส ได้วิจัยเกี่ยวกับการดูดกลืนคลื่นแสงของฝุ่น ระหว่างดาวเคราะห์ ซึ่งอยู่ใกล้กับดาวดวงหนึ่งซึ่งห่างจากโลกถึงหนึ่งพันล้านปีแสง เจ้าฝุ่นที่ว่านี้ น่าจะเป็นโมเลกุลของคาร์บอนแบบสายยาว ทั้งสามคนจึงทำการทดลองโดยจำลองสภาพบรรยากาศของดาวดวงนั้นโดยใช้แสงเลเซอร์กำลังสูงยิงไปยังแผ่นกราไฟต์ เพื่อให้เกิดความร้อนสูง และก่อให้เกิดสารประกอบคาร์บอนรูปแบบต่างๆ กลายเป็นไอระเหยในบรรยากาศที่เป็น ก๊าซฮีเลียม(HELIUM) หลังจากเย็นตัว ทั้งสามต่างประหลาดใจมากที่พบว่ามีโมเลกุลคาร์บอนที่มี โครงสร้างเป็นรูปทรงกลมเหมือนลูกฟุตบอล ผลจากการค้นพบครั้งนี้ทำให้ทั้งสามท่านได้รางวัล โนเบลสาขาเคมีในปี ค.ศ. 1996

ดร. ณัฐพันธุ์ [5] ได้อธิบายไว้ว่า บัคกี้บอล (Bucky ball) เป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วยคาร์บอน 60 อะตอม ( $C_{60}$ ) เชื่อมต่อกันเป็นรูปทรงกลมคล้ายกับลูกฟุตบอล จัดเป็นสารในกลุ่มฟูลเลอร์ีนส์ (fullerenes,  $C_n$ ) ซึ่งเป็นอัญรูป (allotrope) แบบที่สามของ คาร์บอนต่อจากเพชรและกราไฟต์ บัคกี้บอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลประมาณ 1 นาโนเมตร ประกอบด้วยวงหก เหลี่ยมของคาร์บอน (hexagons) จำนวน 20 วง และวงห้าเหลี่ยม (pentagons) จำนวน 12 วง โดยที่บัคกี้บอลถือว่าเป็นโมเลกุล สารอินทรีย์ที่มีรูปทรงสมมาตรที่สุดเท่าที่มนุษย์เคยค้นพบจนถึงปัจจุบัน



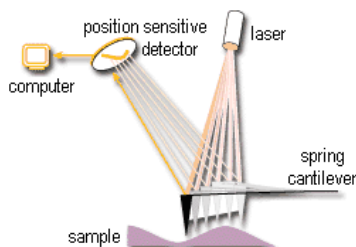
## NANAFABRICATION (การสร้างระดับนาโน)

วิธีการสร้างแบบเดิมที่ใช้สร้างอุปกรณ์ไมโครชิป ไม่เพียงพอที่จะสร้างโครงสร้างที่เล็กระดับนาโนได้ ดังนั้นการสร้างอุปกรณ์นาโน (NANO-DEVICE) จึงเป็นงานวิจัยที่ท้าทายและน่าสนใจทั่วโลก ปัจจุบันเทคนิคที่นิยมใช้ยังคงเป็นกระบวนการฉายแสง แต่แทนที่จะใช้แสง เราต้องใช้อิเล็กตรอนแทนที่เรียกว่า (ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY) ซึ่งสามารถสังเคราะห์โครงสร้างได้ในระดับที่เล็กกว่า 10 นาโนเมตร อีกวิธีหนึ่งที่นิยมคือการใช้เข็มนาโนมาจับอะตอมวางลงทีละตัวสร้างเป็นโครงสร้างที่ต้องการ อย่างที่เราสร้างตัวอักษรนาโนได้จนโด่งดังโดยนักวิทยาศาสตร์ที่สามารถทำการวิจัยเรียงอะตอมได้สำเร็จเป็นคนแรกของโลกปี ค.ศ. 1989 คือนาย Don Eigler ที่ทำงานอยู่ที่บริษัท ไอบีเอ็ม โดยเรียงอะตอมของธาตุซีนอน (XENON) ลงบนแผ่นนิกเกิลเป็นอักษรคำว่า IBM ทำให้เราเข้าสู่ยุคของนาโนเทคโนโลยีอย่างแท้จริงหลังจากนั้นมา

การจัดเรียงอะตอมนั้นเรามีวิธีการเคลื่อนย้ายอะตอมซึ่งนาย Binnig และนาย Tohrer 2 นักวิทยาศาสตร์ของบริษัท ไอบีเอ็ม ได้ประดิษฐ์คิดค้นเทคนิคใหม่ที่สามารถศึกษาถึงพื้นผิวของวัสดุในระดับอะตอมเรียกว่า Scanning Tunneling Microscopy (STM) ซึ่งต่อมาได้พัฒนาเป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาอะตอมของวัสดุในระดับนาโนเรียกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบเข็มกวาดและกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม Atomic Force Microscope (AFM) ใช้หลักการของเข็มปลายแหลมที่ทำด้วยโลหะที่เรียกว่า TIP เคลื่อนที่แบบกวาดซ้ายขวาบนพื้นที่ที่เราต้องการ โดยเข็มนี้จะลอยอยู่เหนือพื้นผิวของวัสดุในระดับนาโน ซึ่งปลายเข็มนี้ต้องมีลักษณะแหลมมากๆ ถ้าจะให้ดีต้องแหลมมากจนกระทั่งมีเพียงไม่กี่อะตอมของโลหะติดอยู่ที่ปลายเข็ม และเข็มนี้ต้องสามารถกวาดโดยใช้กลไกขนาดจิ๋วให้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความละเอียดมากถึงระดับอะตอมซึ่งเล็กกว่านาโนเมตรด้วยซ้ำ

Marilyn และ Bill [6] ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่า STM เป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม และในงานวิจัยและพัฒนาทั่วไป เพื่อให้ได้รูปของขนาดของอะตอม หรือผิวหน้าของเหล็ก ซึ่ง STM มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ 3 รูปแบบด้วยกันคือ วิเคราะห์ในด้านของคุณสมบัติของพื้นผิว ตรวจสอบจุดบกพร่องของพื้นผิว และดูขนาดและลักษณะของโมเลกุลบนพื้นผิวนั้น ๆ

Dr.Arun [7] ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่า การทำงานของเครื่อง AFM จะมีเข็มที่ปลายแขนกล



โดยปลายเข็มจะติดอยู่กับผิวของตัวทดลอง ในการอ่านค่า จะใช้แสงเลเซอร์ในยิงเข้าไปกระทบกับเข็มเพื่ออ่านค่าของการสะท้อนว่า พื้นผิวนั้น ๆ เป็นเนินหรือเป็นลึกลงไป โดยโหมดการทำงานของ AFM จะมีอยู่สองโหมดด้วยกันคือ การจับอะตอม (Contract Mode) และการกระโดดข้ามไปมาระหว่างพื้นผิวของตัวทดลอง (Tapping Mode)

## NANO VS Business

### Investment

ดร.อดิศร [2] ได้กล่าวถึงการลงทุนในนาโนเทคโนโลยีไว้ดังนี้ ถ้าคุณผลิตภัณฑ์นาโนที่มีการจัดอันดับโดยนิตสารฟอร์บสในปีที่แล้วจะเห็นได้ว่านาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันและอยู่ใกล้ตัวเรามากขึ้นเรื่อยๆ โดยธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีหรือเราเรียกว่า ธุรกิจ ได้มีการขยายตัวสูงมากตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา

มีรายงานประจำปีที่ชื่อว่า Nanotech Report จัดทำโดยบริษัท LUX Research ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำด้านการวิจัยตลาดด้านเทคโนโลยี ได้รายงานว่ามีบริษัทที่นำนาโนเทคโนโลยีมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ขายได้จริงๆ แล้วมากกว่า 70 บริษัททั่วโลก และในปี ค.ศ. 2003 มีการลงทุนไปแล้วมากกว่า 3 พันล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อทำวิจัยและพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการลงทุนทางวิทยาศาสตร์ที่ใหญ่ที่สุดเป็นอันดับสองรองจากโครงการอพอลโล ที่ส่งมนุษย์ ไปลงบนดวงจันทร์เป็นครั้งแรกของโลก และยิ่งใหญ่มากกว่าโครงการอวกาศห้วงพิภพของมนุษย์เสียอีก

จากการลงทุนด้านนาโนเทคโนโลยีทั่วโลกจะเห็นได้ว่านาโนเทคโนโลยีได้ส่งผลกระทบต่อโดยตรงและมีแนวโน้มจะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่จะวางตลาดในเร็วๆ นี้ในธุรกิจทั้ง 3 สาขาหลัก ได้แก่ สาขานาโนอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ อันจะทำให้คอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลงไปได้อีก สำหรับสาขานาโนไบโอเทคโนโลยีจะเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจโรคต่างๆ ระบบวิธีการนำส่งยาสมัยใหม่ และสาขานาโนวัสดุศาสตร์ ก็จะเป็นวัสดุสมัยใหม่ที่สามารถกำหนดได้ตามต้องการ มีน้ำหนักเบา แข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ

การเติบโตของการลงทุนด้านธุรกิจนาโนทั่วโลกเติบโตอย่างก้าวกระโดด จะเห็นได้จากในปี ค.ศ. 2003 มีการลงทุนเกือบ 3 พันล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2002 ที่มีการลงทุน 2 พันล้านเหรียญสหรัฐ การลงทุนด้านนาโนยังกระจุกตัวอยู่ในภาครัฐ เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีลงทุนในปี ค.ศ. 2003 เกือบ 800 ล้านดอลลาร์

M.C. Roco ได้นำเสนอไว้ว่าในปี 2006 คาดการณ์ไว้ว่าสหรัฐอเมริกาจะมีการลงทุนด้านนาโนเทคโนโลยีทั้งหมด 1,054 ล้านดอลลาร์ [8] โดยบริษัทที่ลงทุนด้านนาโนมากที่สุดคือ บริษัท ไอบีเอ็ม รองลงมาคือ บริษัทซัมซุง ซึ่งถือเป็นเรื่องที่น่ายินดีเพราะวันนี้เอเชียก็สามารถเทียบเคียงกับภูมิภาคอื่นๆ ในโลกได้ ข้อมูลล่าสุดยังระบุด้วยว่า 90% ของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำวิจัยเรื่องนาโนเทคโนโลยีจะเป็นเอเชียภายในปี 2010 โดยมีประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีการลงทุนสูงสุด รองลงมาคือ เกาหลีและไต้หวัน แค่ 3 ประเทศนี้ก็มีการลงทุนรวมถึง 1 แสนล้านบาทต่อปี โดยมีการวิจัยและพัฒนาสินค้านาโนโดยมุ่งพัฒนาสินค้าเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีชีวภาพราวๆ 19% รองลงมาเป็นวัสดุโครงสร้างนาโน 18% เครื่องกลจิ๋ว (MEMS) 14%

## NANO Patent

ธุรกิจเกี่ยวกับนาโนมีการคาดการณ์ว่าในประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีมูลค่าถึง 1 ล้านล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐฯ ในปี 2015 และแนวโน้มการเติบโตนี้ก็เป็นเช่นเดียวกันสำหรับสิทธิบัตรด้านนาโนในปัจจุบันที่มีมากกว่า 2,800 ฉบับที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีโดยตรง โดยมีบริษัทไอบีเอ็มเป็นบริษัทที่มีสิทธิบัตรนาโนมากที่สุดในโลก

จากการสำรวจพบว่าจำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีทั้งทางตรงและทางอ้อมได้เพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นเดียวกัน คือในปี ค.ศ. 1985 มีเพียง 250 ฉบับ แต่ในปี ค.ศ. 2003 ปีเดียวมีจำนวนมากถึง 5,500 ฉบับ ระหว่างปี ค.ศ. 1996 ถึง 2002 มีสิทธิบัตรเกือบ 3,000 ฉบับที่มีคำว่า “NANO” อยู่ในชื่อสิทธิบัตร

ในสถานการณ์แข่งขันที่รุนแรงเช่นนี้ จึงต้องอาศัยกลไกทางกฎหมายที่จะมาปกป้องความรู้ที่ได้สร้างมานั่นก็คือ การจดสิทธิบัตร ซึ่งการจดสิทธิบัตรนี้จะเป็นเครื่องมือในการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา (IP: Intellectual Property) ที่ได้ประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมา ปัจจุบันมีความพยายามในการจดสิทธิบัตรทางด้านนาโนเทคโนโลยี ทั้งในระดับต้นน้ำ (Upstream Inventions) ได้แก่ วัสดุเครื่องมือที่ใช้ และขั้นตอนการผลิต รวมทั้งวิธีการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และการจดสิทธิบัตรระดับปลายน้ำ (Downstream Inventions) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นาโนและการนำไปใช้ในด้านต่าง ๆ ปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นบริษัทก่อตั้งใหม่ขนาดเล็ก หรือบริษัทอุตสาหกรรมยักษ์ใหญ่ต่างก็แย่งกันปกป้องทรัพย์สินทางปัญญาของตนหรือซื้อสิทธิจากห้องแล็บในมหาวิทยาลัยชั้นนำต่าง ๆ อย่างคึกคัก โดยถือว่าในปัจจุบันความก้าวหน้าด้านนาโนยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นจึงต้องรีบจับจองความรู้ที่เป็นพื้นฐานและสามารถพัฒนาต่อยอดให้กว้างขวางขึ้นได้ในอนาคต เปรียบเสมือนจังหวะที่บริษัทเหล่านั้นจะเข้าสู่ธุรกิจยานยนต์หรือคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ยุคเริ่มต้น

แต่ในการจดสิทธิบัตร ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของผู้ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบสิทธิบัตร เพราะว่าเป็นเรื่องของนาโนเทคโนโลยี จำเป็นต้องอาศัยความรู้จากหลากหลายสาขา ทำให้อาจจะเกิดการออกสิทธิบัตรที่ครอบคลุมกว้างเกินไปมีผลทำให้เกิดการกีดกันทางการแข่งขันและจะทำให้บางอุตสาหกรรมล้มก็เป็นได้ บางครั้งการจดสิทธิบัตรอาจจะไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดที่จะคุ้มครองความรู้สำหรับนาโนเทคโนโลยี เพราะเมื่อทำการจดสิทธิบัตร ความรู้ดังกล่าวจะต้องถูกเปิดเผยสู่สาธารณะอย่างละเอียด ทำให้อาจจะถูกคู่แข่งลอกเลียนแบบหรือคัดแปลงไปและสิทธิบัตรก็มีอายุจำกัดไม่เกิน 20 ปีเท่านั้น การจดสิทธิบัตรจึงเหมาะกับการคุ้มครองสิ่งประดิษฐ์ที่ขาดต่อการแยกส่วนและทำวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) แต่ความรู้ด้านนาโนนั้นยากที่จะแยกส่วนและมีองค์ความรู้มากมายมารวมกัน ดังนั้น วิธีการคุ้มครองด้วยความลับทางการค้า (Trade Secret) อาจจะเหมาะสมกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องเปิดเผยรายละเอียดของการประดิษฐ์และไม่มีวันหมดอายุ แต่วิธีนี้ก็ต้องมั่นใจว่าภายในบริษัทมีการจัดการความรู้ที่ดี เก็บความลับได้ดี ไม่รั่วไหล

## NANO Product

ปัจจุบันสินค้านาโนมีมากมาย ไม่ว่าจะเป็นเสื้อผ้านาโน ครีมหน้าแต่งและครีมกันแดดนาโน อุปกรณ์กีฬา ฯลฯ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นที่คุ้นเคยกันมากขึ้น บางคนคนก็ใช้อยู่ทุกวัน ผลจากการสำรวจพบว่าผลิตภัณฑ์นาโนออกสู่ตลาดเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัวในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ดังนั้นนิตยสารฟอร์บส์ จึงมีการจัดอันดับผลิตภัณฑ์นาโนที่มีการออกจำหน่ายในปี ค.ศ.2003 10 อันดับผลิตภัณฑ์นาโนที่กล่าวถึงเรียงตามลำดับได้แก่

1. แผ่นรองในรองเท้าเพื่อเพิ่มความอบอุ่นสำหรับทหารและนักกีฬาสกี ชื่อว่า shock doctor และAerogel hotbed คือแผ่นรองที่ทำให้เท้าเย็นสบาย แผ่นรองดังกล่าวอาศัยเทคโนโลยีรูพรุนขนาดนาโนทำหน้าที่เป็นฉนวน จึงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุที่ใช้แบบเดิมถึง 20 เท่าตัว และบางเพียง 2.5 มิลลิเมตรเท่านั้น
2. ที่นอนซักได้ยี่ห้อ Healthsmart ที่แผ่นผ้าปูด้านบนมีชิป สามารถถอดออกมาทำความสะอาด และผ้านั้นผลิตจากเส้นใยที่มีรูกลวงขนาดนาโนสามารถขับไล่เหงื่อและความชื้นขณะที่เรานอนหลับ
3. ไม้กอล์ฟและลูกกอล์ฟนาโน โดยบริษัท Maruman ของญี่ปุ่น ได้ออกจำหน่ายหัวไม้ใครเวอร์ที่ผสมลูกบอลคาร์บอนนาโน ทำให้ก้านมีความสามารถในการต้านแรงได้ มากกว่าแบบไทเทเนียมถึง 12% และแข็งแรงกว่าประมาณ 3.6% และทำให้ดีไกลกว่าเดิม 15 หลา
4. ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว Bionova ที่ผลิตมาเฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละบุคคล ให้เหมาะกับอายุ เชื้อชาติ ชนิดของผิว ของแต่ละคน
5. ผ้าปิดแผลนาโนซิลเวอร์ยี่ห้อ Ecotru ที่สามารถฆ่าเชื้อโรคและกันกาติดเชื้ออย่างมีประสิทธิภาพ
6. เป็นน้ำยาทำความสะอาดนาโนที่ผลิตจากบริษัทเดียวกับข้อ 5 ที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด
7. สเปรย์กันน้ำนาโน มีการผสมอนุภาคนาโนพิเศษ สามารถใช้เคลือบพื้นผิวต่างๆ ช่วยทำให้น้ำไม่สามารถเกาะและง่ายในการทำทำความสะอาด
8. น้ำยาเคลือบกระจกรถยนต์ยี่ห้อ Clarity Defender ที่ช่วยป้องกันหิมะ น้ำฝนและแมลงให้เกาะติดกับกระจกช่วยเพิ่มวิสัยทัศน์ในการขับขี่ได้ถึง 34%
9. ครีมแก้ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ยี่ห้อ Flex-Power ที่ใช้ไลโปโซมขนาด 80 นาโนเมตร บรรจุตัวยาให้สามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังเร็วขึ้น
10. กาวติดฟัน ที่ผลิตโดยบริษัท 3M ที่มีส่วนผสมของอนุภาคซิลิกาขนาดนาโน ช่วยทำให้ติดได้แข็งแรงมากขึ้นและไม่เกาะตัวเป็นก้อนเวลาใช้งาน

ส่วนผลิตภัณฑ์นาโนที่มีจำหน่ายในประเทศไทย โดยอ้างอิงจาก ผู้จัดการออนไลน์ [9], [10] ซึ่งได้แก่

1. หินบำบัด หินที่ช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อย
2. ถุงมือตีกอล์ฟนาโน"ช่วยให้เกิดพลังทำให้ตีกอล์ฟได้ไกลขึ้น
3. ครีมกระชับทรงวงกบนานาโน
4. เสื้อกีฬา ยับยั้งเชื้อ กันน้ำ กันเปื้อน

นอกจากนี้ ยังมีการนำเอาวิธีการของนาโนเทคโนโลยีไปใช้ในการตัดต่อพันธุกรรม ซึ่งผู้จัดการออนไลน์ [11] ได้มีการนำเสนอไว้ดังนี้ นักวิทยาศาสตร์ชาวสิงคโปร์ได้ประสบความสำเร็จในการถ่ายยีนเรืองแสงลงไปปลาหมึก และทำให้ปลาหมึกเรืองแสงมีความสวยงาม

### **NANO VS Thailand**

ทุกวันนี้อุตสาหกรรมไทยต้องปรับตัวเพื่อรับมือกับการแข่งขันที่ดุเดือดจากจีน และต่างเกรงกลัวว่าจะถูกบดขยี้จากสินค้านำเข้าจากจีนที่ราคาถูกกว่ามาก ทำให้บรรดาผู้ประกอบการไทยไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ เสื้อผ้าสำเร็จรูปและสินค้าประเภทอื่นๆ ต่างต้องปรับตัวรับความท้าทายจากจีนด้วยการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของตนเองให้มีคุณภาพสูงขึ้น

ถ้าเราดูสถานการณ์ทั่วโลกแล้ว เมื่อพิจารณาตัวเลขการลงทุนใหม่ในขณะนี้ มีข้อมูลน่าสนใจว่า ตั้งแต่เกิดวิกฤตเศรษฐกิจในเอเชีย บริษัทกองทุนร่วมลงทุน ที่ชำนาญด้านการลงทุนในกิจการใหม่ๆ ที่มีความเสี่ยงสูงได้ลดการลงทุนในด้านเทคโนโลยีทั้งหมดลงแต่กลับไปเพิ่มขึ้น 200-300% ในสาขานาโนเทคโนโลยี โดยเฉพาะในด้านอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีชีวภาพ

สำหรับสถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทย ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน โดยจะขยับเข้าสู่การเป็นประเทศสมาชิกอันดับที่ 31 ในกลุ่มประเทศ OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development) แต่สำหรับอุตสาหกรรมในประเทศไทยแล้ว นาโนเทคโนโลยียังเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่มากและยังมีการนำมาใช้น้อยมาก โดยเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2005 ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ จัดประชุมสัมมนาแผนกลยุทธ์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ เพื่อระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทางด้านนาโนเทคโนโลยีในการปรับปรุงร่างแผนกลยุทธ์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (พ.ศ.2547-2556) ซึ่งแผนดังกล่าวมีระยะเวลาในการดำเนินการ 10 ปี โดยมุ่งเน้นพัฒนานาโนเทคโนโลยีใน 3 สาขา คือ นาโนวัสดุ เทคโนโลยีชีวภาพนาโน และ นาโนอิเล็กทรอนิกส์

ด้าน ดร.วิวัฒน์ ตัณะพานิชกุล ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติกล่าวว่า เป้าหมายหลักของแผนฯ คือประเทศไทยสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้นาโนเทคโนโลยีได้ 1% ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ซึ่งคิดเป็นเงินประมาณ 120,000 ล้านบาท แต่ให้ความคิดเห็นว่าร่างแผนฯ ที่

นำมาพิจารณาปรับรายละเอียดอาจจะเสนอของบประมาณน้อยไป โดยร่างแผนฯ เสนอขอใช้งบประมาณ 3,000 ล้านบาทในระยะเวลา 5 ปี หรือเพียงปีละ 600 ล้านบาท ซึ่งนายจาตุรนต์ ฉายแสง รองนายกรัฐมนตรีกล่าวว่า อาจจะทำให้พัฒนานาโนเทคโนโลยีได้ไม่เต็มศักยภาพ

กรอบพัฒนายกกลุ่มอุตสาหกรรมเป็นที่ 1 สำหรับกรอบกลยุทธ์ในการกำหนดแผนนาโนเทคโนโลยีมี 4 ระดับคือ

1. กำหนดคลัสเตอร์เป้าหมาย คือ อาหารและเกษตร ยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ สิ่งทอ และเคมี/ปิโตรเคมี สุขภาพและการแพทย์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม และสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์
2. กำหนดกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ไทยมีศักยภาพในการแข่งขัน คือกลุ่มเซ็นเซอร์ กลุ่มอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มผลิตภัณฑ์นำส่งยาและสารสกัดสมุนไพร กลุ่มวัสดุเคลือบนาโน กลุ่มวัสดุดูดซับ กรองและตัวเร่งปฏิกิริยา และกลุ่มวัสดุสารประกอบแต่ง
3. กำหนดพื้นฐานวิชาการ 3 สาขา คือ วัสดุนาโน นาโนอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีชีวภาพนาโน
4. กำหนดปัจจัยเกื้อหนุน 4 ด้านคือ กำลังคน การวิจัยและพัฒนา โครงสร้างพื้นฐาน เช่น ศูนย์เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ เป็นต้น และการสร้างความตระหนัก ความตื่นตัวและความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีแก่สาธารณชน ซึ่งจำเป็นต้องมีกลไกการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ

นอกจากกรอบพัฒนาทั้ง 4 แล้ว กลยุทธ์ที่ทางรัฐบาลจะนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้กับอุตสาหกรรมของไทย น่าจะเป็นการผลักดันนาโนเทคโนโลยีเข้าหุนการพัฒนาอุตสาหกรรมคลัสเตอร์ โดยต้องสามารถสร้างกลไกเชื่อมโยงอุตสาหกรรมต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ให้ครบทั้งห่วงโซ่มูลค่า (Value Chain) โดยมุ่งเน้นไปในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่เรากำลังรักษาความได้เปรียบในการแข่งขัน หรืออุตสาหกรรมที่ประเทศไทยกำลังจะเสียเปรียบด้านต้นทุนแรงงานและต้องการเทคโนโลยีใหม่มาช่วยชุบชีวิต ยืดอายุวงจรชีวิตของอุตสาหกรรมนั้นๆ

## Collaboration

ตามที่กระทรวงต่างประเทศได้จัดให้มีโครงการแสวงหาความร่วมมือกับต่างประเทศในด้านวิทยาศาสตร์แขนงใหม่ เพื่อพัฒนาความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ไทย นางสาวสุจิตรา หิรัญพุกษ์ เอกอัครราชทูตไทย ณ กรุงแคนเบอร์รา ประเทศออสเตรเลีย ได้เชิญ ศ.ดร.แมทเทียส ทรอ (Prof. Dr. Mattias Trau) ศ.ดร.เกาชิง หลู (Prof. Dr. Gaoqing Lu) 2 นักวิทยาศาสตร์จากมหาวิทยาลัยควีนส์แลนด์ (University of Queensland) มาเยือนหน่วยงานด้านวิทยาศาสตร์ของไทย



เมื่อวันที่ 2-4 สิงหาคม 2005 เพื่อทำข้อตกลงทางด้านความร่วมมือระหว่างศูนย์นาโนเทคโนโลยีของไทยและออสเตรเลีย

## NANO Market

ถ้าได้ศึกษาค้นลูกเก่าๆ เช่น ไอที จะสามารถเห็นได้ว่า ไอทีได้มีการเริ่มต้นก่อตั้งแต่เกือบ 60 กว่าปีที่แล้ว ตอนนั้นยังไม่มีใครคิดว่าเจ้าเครื่องคำนวณขนาดใหญ่มโหฬารเท่าที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ถอดรหัสลับทางทหารและเก็บบันทึกทะเบียนประชาชนจะสร้างตลาดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ในปัจจุบันได้ เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Note book เป็นต้น

นาโนเทคโนโลยีก็อาจจะเป็นเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เริ่มต้นจากการใช้นาโนเทคโนโลยีกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วในตลาด เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและทำเงินทำรายได้ก่อน หลังจากนั้นจึงขยายและสร้างตลาดผลิตภัณฑ์ใหม่จากนาโนเทคโนโลยีอย่างแท้จริง ซึ่งอาจจะเป็นการรักษาโรคแบบใหม่ เช่น หุ่นยนต์นาโน ยาอายุวัฒนะการสื่อสารและขนส่งแบบที่ไม่เคยมีมาก่อน เช่น การเคลื่อนย้ายมวลสารจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นจริงได้หรือไม่ ไม่มีใครรู้ และคงไม่่ง่ายในการที่จะสร้างให้ได้อย่างที่คิด

## บริษัทที่ประสบความสำเร็จ

ตัวอย่างบริษัทนาโนที่ประสบความสำเร็จในปัจจุบันที่สามารถสร้างความสมดุลระหว่างความเป็นจริงในปัจจุบันกับความเป็นไปได้ในอนาคต บริษัท ZETTACORE ซึ่งทำวิจัยและพัฒนาหน่วยความจำแบบโมเลกุล (Molecular Memory) ซึ่งเป็นความหวังที่จะปฏิวัติอุตสาหกรรมหน่วยความจำ และอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต บริษัทนี้ได้วิจัยค้นคว้าโมเลกุลพิเศษที่สามารถทำตัวเหมือนหนึ่งบิตของข้อมูลที่จะเป็น “0” หรือ “1” ได้และเก็บข้อมูลได้มหาศาล บริษัทได้ร่วมมือกับผู้ผลิตชิปหน่วยความจำที่ครองตลาดอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งใช้เทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ เพื่อจะนำโมเลกุลที่คิดค้นได้นี้ไปใช้ร่วมกับการผลิตแบบปัจจุบันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหน่วยความจำที่ผลิตได้

## สรุป

มีคำถามเกิดขึ้นมากมาย เช่น ผลิตภัณฑ์อะไรที่นำนาโนเทคโนโลยีมาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและสามารถสร้างตลาดใหม่อย่างแท้จริง และใครจะลงทุนทุ่มเงินลงไปในเรื่องเหล่านี้ที่ยังไม่มีอะไรที่แน่นอนในอนาคต ถึงเวลาแล้วหรือยังที่ผู้ประกอบการและนักการตลาดจะนำนาโนเทคโนโลยีในห้องแล็บมาสู่มือผู้บริโภคได้จริงเสียที หรือสร้างผลิตภัณฑ์ที่จะสามารถปฏิวัติตลาดที่มีอยู่ในปัจจุบัน เสื้อผ้ากันน้ำหรือครีมนาโนคงยังไม่ใช่ว่าสิ่งที่เราทุกคนคาดหวังจากนาโนเทคโนโลยี



เพียงเท่านั้นแน่นอน แต่เราต้องการบางสิ่งบางอย่างเพื่อการเริ่มต้น และเราต้องเปิดตาเราให้กว้าง มองไปในอนาคตเพื่อหาคาใหม่สำหรับนาโนอย่างแท้จริง

ผลกระทบของนาโนเทคโนโลยีต่อสังคมในแง่จริยธรรม สภาพแวดล้อม เศรษฐกิจความเป็นอยู่ กฎหมายและวิถีชีวิตยังเป็นช่องว่างรอคอยคำตอบ และความใฝ่ใจอย่างจริงจังจากผู้เกี่ยวข้องทุกคนทั้งนักวิทยาศาสตร์ผู้สร้างมันขึ้นมา NGO ผู้คัดค้านและทุกๆ คนผู้ที่ต้องอยู่กับมันและใช้ประโยชน์จากมัน ปัจจุบันก็เริ่มมีการพูดจาและถกเถียงถึงเรื่องนี้อยู่บ้างแต่ก็เป็นเรื่องที่ไกลตัว แต่ถ้าเรามองให้ดีให้ลึก สิ่งที่ต้องกังวลเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีในปัจจุบัน คำตอบอาจจะแบ่งเป็น 3 เรื่องหลักๆ ได้แก่ ความเหลื่อมล้ำทางเทคโนโลยี เหมือนกับที่เกิดขึ้นกับยุคเทคโนโลยีสารสนเทศที่เราเรียกว่า Digital Divide ความไม่เท่าเทียมกันในการเข้าถึงข้อมูลการคุ้มครองสิทธิในความรู้ด้วยกฎหมายสิทธิบัตร และก็มาถึงยุคเทคโนโลยีชีวภาพก็เกิด Genomic Divide ดังนั้นยุคนาโนเทคโนโลยีก็อาจจะเกิด NANO Divide ได้เช่นเดียวกัน ปัญหาเรื่องสิทธิส่วนบุคคลและความปลอดภัย มีความกังวลเกิดขึ้นมากมายเมื่อนาโนเทคโนโลยีสามารถสร้างสิ่งที่มีขนาดเล็ก และเล็กเกินกว่าเราจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น เซอร์จิฟที่สามารถแฝงตัวอยู่ในทุกที่ สิ่งเหล่านี้เป็นการละเมิดความเป็นส่วนตัวมากเกินไปหรือเปล่า

ปัจจุบันแม้จะมีการให้เงินวิจัยในแง่จริยธรรมเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีอย่างเช่นสหรัฐอเมริกาที่มีการให้ทุนวิจัยในเรื่องนี้ประมาณ 16-28 ล้านดอลลาร์ ในแผนนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติแต่ก็เทียบกันไม่ได้เลยกับงบวิจัยนาโนทั้งหมด เท่าที่ทราบยังไม่มีใครได้งบวิจัยในส่วนนี้ไปเลย แต่ที่แน่ๆ คือ ประเทศที่ร่ำรวยจะยิ่งร่ำรวยมากขึ้น ประเทศยากจนก็จะยิ่งจนลง ช่องว่างที่มีอยู่แล้วก็จะยิ่งถ่างให้ขยายกว้างมากขึ้นไปอีกอย่างแน่นอน และที่สำคัญที่สุดคือต้องให้เวลากับมันและทุกอย่างจะรู้เองเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งผลในแง่ดี และไม่ดี ตอนนี้อย่างไรก็ไม่มีใครสามารถตอบคำถามนี้ได้ อย่างชัดเจน

จะเห็นได้ว่าบริษัทนาโนที่ประสบความสำเร็จต้องสามารถหาช่องทางโอกาสที่จะนำนาโนเข้าสู่ตลาดผลิตภัณฑ์และสายการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบัน มุ่งหวังที่จะนำรายได้รวมทั้งเงินลงทุนเพื่อมุ่งสร้างสินค้านาโนที่ปฏิวัติอุตสาหกรรมอย่างแท้จริงและสร้างตลาดใหม่สำหรับสินค้าของตนต่อไป

## บรรณานุกรม

1. ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2004, ความหมายของนาโนเทคโนโลยี [online], Available: <http://www.nanotec.or.th/nanotec/index.php?leftmenu=nanotechnology&index=nanotechnology> [2006, February 28].
2. ดร.อดิสร เตื่อนตรานนท์, 2548, นาโนเทคโนโลยี, ครั้งที่ 1, บริษัทเนชั่นบุ๊คส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, บริษัทเนชั่น มัลติมีเดีย กรุ๊ป จำกัด (มหาชน)
3. วิทยาเขตเทคนิคนครนายก, 2005, นาโนเทคโนโลยี [online], Available: <http://nayoktech.ac.th/ebook/nanoTechnology.doc> [2006, February 27].
4. ดร. สิริพัฒน์ ประโทนเทพ, 2004, นาโนเทคโนโลยี ... คืออะไรกันแน่? [online], Available: <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=189&page=2> [2006, February 28].
5. ดร. ญัฐพันธุ์ ศุภกา, 2005, บั๊กก็บอลล... ยามห้ศจรรยัแห่งยุคนาโน [online], Available: <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=276> [2006, March 4]
6. Marilyn Jacox and Bill Gadzuk, 1997, SCANNING TUNNELING MICROSCOPE [online], Available: <http://physics.nist.gov/GenInt/STM/text.html> [2006, March 5].
7. [Dr. Arun Nadarajah](#), What is an Atomic Force Microscope? [online], Available: <http://www.che.utoledo.edu/nadarajah/webpages/whatsafm.html> [2006, March 5].
8. M.C. Roco, 2005, Chap. 24 - National Nanotechnology Investment in the FY 2006 Budget Request [online], Available: <http://www.aaas.org/spp/rd/06pch24.htm> [2006, March 4].
9. ผู้จัดการออนไลน์, 2546, Science - Manager Online [online], Available : <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9480000152406> [2006, February 28].
10. ผู้จัดการออนไลน์, 2546, Science - Manager Online [online], Available : <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9490000001171> [2006, February 28].
11. ผู้จัดการออนไลน์, 2546, Science - Manager Online [online], Available : <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=2000000031046> [2006, February 28].

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คดีปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1</b>  ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2</b>  ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป</b>  ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

