วารสาร
เทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด
JOURNAL OF MEDICAL TECHNOLOGY AND PHYSICAL THERAPY

การประยุกต์ใช้นาโนไบโอเทคโนโลยีในงานตรวจวิเคราะห์ทางชีวภาพ
Bioanalytical applications of nanobiotechnology

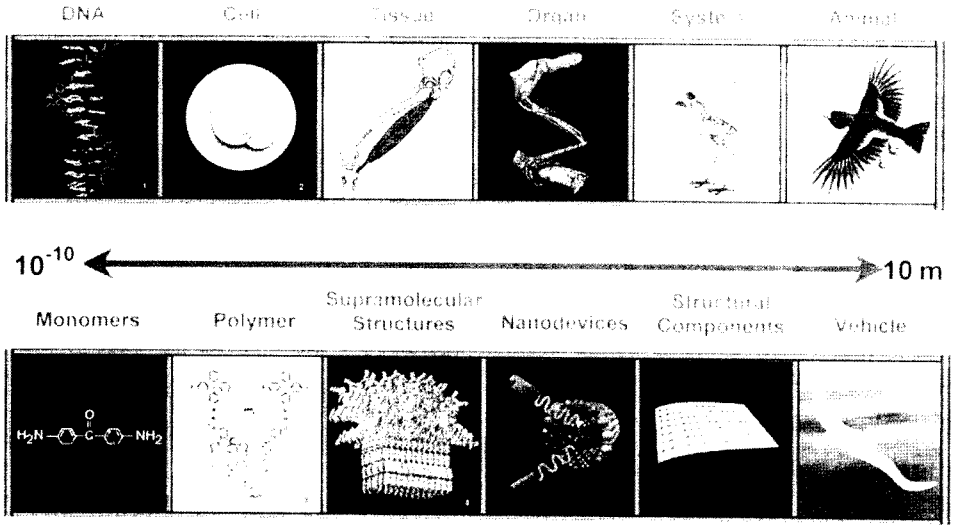
ดร.จำรัส พร้อมมาศ (Dr.Chamras Promptmas)[1]

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยพื้นฐานเกิดขึ้นจากอะตอม คุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์นั้นๆ หากเราสามารถจัดเรียงอะตอมของถ่านให้ถูกต้องผลิตภัณฑ์นั้นก็คือ เพชร หากเราจัดเรียงอะตอมที่มีอยู่ในทรายและเติมสารบางชนิดเข้าไปก็จะได้คอมพิวเตอร์ชิพ (coputer chips) หากเราสามารถจัดเรียงอะตอมที่มีอยู่ในดิน น้ำ และอากาศ ก็สามารถที่จะสร้างพืชพันธ์ต่างๆ ได้ สิ่งเหล่านี้เป็นความฝันของมนุษย์ ที่มีความเป็นไปได้ในอนาคตเมื่อมนุษย์เริ่มให้ความสนใจในกระบวนการผลิตในระดับโมเลกุล ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของนาโนเทคโนโลยี

จุดเริ่มสู่นาโนเทคโนโลยี

คำว่า "นาโนเทคโนโลยี" เป็นเทคโนโลยีสหวิทยาการที่ใช้องค์ความรู้ของศาสตร์หลายสาขาที่เกี่ยวข้องมาบูรณการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นเคมี ชีวเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วัสดุศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ที่นำมาวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถประยุกต์ควบคุมและจัดการในระดับอะตอม ให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลแบบใหม่ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม โดยหวังผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กมาก ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการผลิตในแบบที่ลอกแบบตัวเองได้ (self replication machinery) หรือผลิตภัณฑ์ที่ก่อตัวได้เอง (self assembling consumer goods) เทคโนโลยีนี้เริ่มเป็นที่สนใจและมีการนำมาใช้ค้นคว้าวิจัยในกิจการต่างๆ ที่มีมิติทางด้านขนาดน้อยกว่า 1000 นาโนเมตร



ขนาดวัตถุทางชีวภาพและวัสดุสังเคราะห์
ที่มา: E. J. Siochi, NASA Langley Research Center

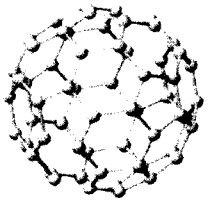
[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยาคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
โทรศัพท์ 02-4197168, 09-9276801 E-mail: mtcpm@mahidol.ac.th

มนุษย์เรารู้จักการใช้ศาสตร์ที่เป็นนาโนเทคโนโลยีมานานนับพันปีแล้ว เพียงแต่ในอดีตนั้นไม่มีการระบุเจาะจงคำว่า "นาโน" ไว้เท่านั้น ตัวอย่างเช่นในยุคสมัยที่อียิปต์มีความเจริญรุ่งเรืองนั้น คนในยุคนั้นรู้จักการใช้อ็อกไซด์ของเหล็กและทองแดงมาผสมกับซิลิกา และแคลเซี่ยม ทำให้ได้สารสีฟ้าที่สามารถนำไปใช้เป็นสีสำหรับภาพวาดได้ ในยุคของกรีกและโรมันรุ่งเรือง มีการใช้อนุภาคทองคำ (colloidal gold) ในการย้อมเครื่องแก้วให้มีสีแดงสด ซึ่งต่อมา ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) อธิบายการเกิดสีนี้ว่าเกิดจากการสะท้อนแสงของความยาวคลื่นแสงที่สัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคในระดับนาโน

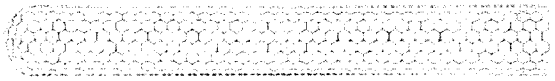
ในช่วงกลางของศตวรรษที่ 19 ก็มีการพัฒนางานด้านนาโนเทคโนโลยีเช่นกัน ตัวอย่างเช่นการค้นพบเทคนิคการบันทึกภาพของ จอห์น เฮอร์เซล (John Herschel) ที่ใช้แผ่นกระดาษเคลือบด้วยอนุภาคทองคำที่มีความหนาในระดับนาโนเมตร ผลการค้นพบนี้ทำให้เกิดการพัฒนาฟิล์มถ่ายรูปแบบต่างๆ ที่มีการงานอย่างแพร่หลายจวบจนถึงปัจจุบัน

ในปี ค.ศ. 1959 ศาสตร์จารย์ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) กล่าวปาฐกถาที่นำไปสู่การค้นหว้าในระดับอะตอมในเรื่อง "There's plenty of room at the bottom" โดยในตอนหนึ่งได้กล่าวว่า "หลักการทางฟิสิกส์ไม่ได้ค้านความเป็นไปได้ในการจัดการกับสิ่งของในระดับอะตอม จึงไม่ได้เป็นความพยายามที่จะฝืนกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ใดๆ แท้จริงแล้วการจัดการระดับอะตอมเป็นสิ่งหนึ่งที่ทำได้แต่ในทางปฏิบัติเหตุที่เรายังไม่ได้ทำ เป็นเพราะเราใหญ่เกินไป" ต่อมาเมื่อมีการสร้างเครื่องมือในการวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างในระดับนาโน ดังเช่นกล้องจุลทรรศน์ส่องกวาด (scanning tunneling microscope หรือ STM) ทำให้สามารถมองเห็นการเรียงตัวของอะตอมของสสารต่างๆ ทำให้การพัฒนางานด้านนาโนเทคโนโลยีรุดหน้าอย่างรวดเร็ว

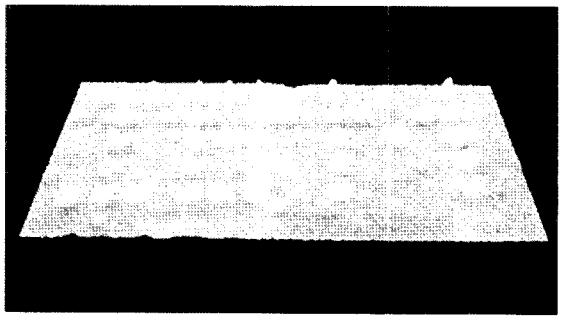
ก้าวกระโดดที่สำคัญอันหนึ่งเกิดขึ้นโดยที่ ฮาร์โรลด์ โครโต (Harold Kroto) ริชาร์ด สมอลลีย์ (Richard Smalley) และ โรเบิร์ต เคิร์ล (Robert Curl) ค้นพบโมเลกุลชนิดใหม่ ที่เกิดขึ้นจากคาร์บอน 60 อะตอม (C_{60}) ต่อเชื่อมกันมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปทรงกลมคล้ายลูกบอล ที่เรียกว่า "บัคมินสเตอร์ฟูลเลอรีน (buckminster fullerene)" หรือเรียกว่า "บัคกี้บอล (bucky ball)" ซึ่งเป็นจุดเริ่มสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนาท่อคาร์บอนนาโน (carbon nanotube) ในปี ค.ศ. 1991 โดย ซึมิโอะ อิจิมา (Sumio Iijima)



โครงสร้างของฟูลเลอรีน (Fullerene)
(ที่มา http://www.persona.rdg.ac.ku/~scsharip/tubes.htm)



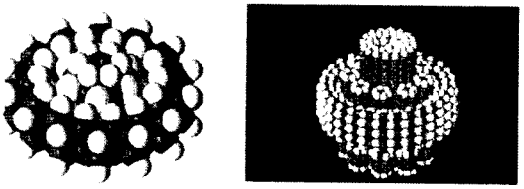
โครงสร้างของท่อคาร์บอนนาโน (carbon nanotube)
(ที่มา http://www.persona.rdg.ac.ku/~scsharip/tubes.htm)



การจัดเรียงตัวของอะตอมซีนอนบนพื้นผิวนิเกิล
ที่มา http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/atomo.html

ความก้าวหน้าที่สำคัญอีกเรื่องหนึ่งเกิดจากคณะนักวิทยาศาสตร์ของ บริษัท ไอบีเอ็ม ประสบผลสำเร็จในการจัดเรียงอะตอมซีนอน ให้เป็นตัวอักษา IBM บนพื้นผิวนิเกิล

เทคโนโลยีในระดับนาโนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องนี้จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาเครื่องจักรในระดับนาโน (nanomachines) ไม่ว่าจะเป็น nanogears, nonobearings, การพัฒนางาน lithography ให้ได้สายต่อเชื่อมวงจรมีความกว้างน้อยกว่า 1 ไมครอน การเกิด sub-micron lithography นี้มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อการพัฒนาคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบัน หากพัฒนาความรู้ด้านนาโนเทคโลโลยีอย่างต่อเนื่องจนเข้าสู่ระบบการผลิตที่มีขนาด และความแม่นยำในระดับโมเลกุลแล้ว คอมพิวเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกมาก อีกทั้งจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำมาก

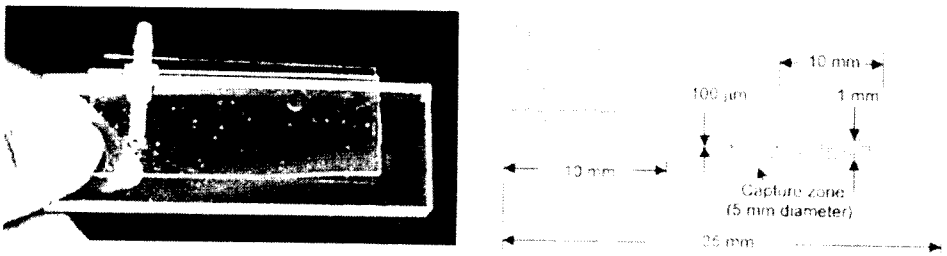


nonobearings และ nanogears
ที่มา http://www.kaist.ac.kr/~jkpark/

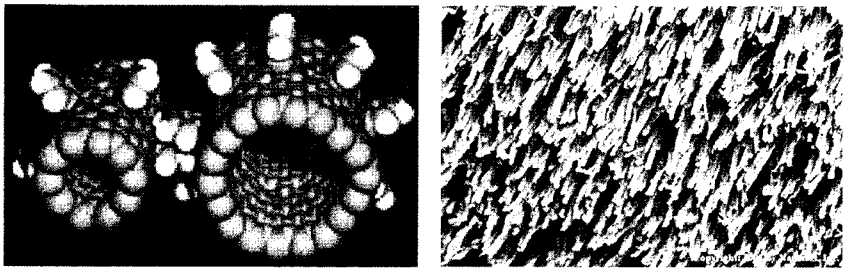
จากนาโนเทคโนโลยีสู่นาโนไบโอเทคโนโลยี

ในทางชีวภาพความรู้ที่เกิดขึ้นอย่างก้าวกระโดดไม่ว่าจะเป็นความรู้ทางด้าน genomics, proteomics และอื่นๆ ในอนาคต มีส่วนหนึ่งที่เกี่ยวกับทิศทางในการเพิ่มมูลค่า ดังเช่น ความรู้ด้าน genomics ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ DNA chip ความรู้ด้าน proteomics ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ protein chip ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าจะมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับเมื่อมีการพัฒนาความรู้ในการผลิตระดับโมเลกุลมากขึ้น เมื่อเทคโนโลยีเหล่านี้เข้าสู่มิติที่เป็นระดับโมเลกุลแล้วจะเริ่มมีการใช้ MEMS (micro electro mechanical systems) ในงานทางชีวภาพ มีการใช้ fluid delivery systems ในระดับไมโครลิตรหรือต่ำกว่า

การใช้นาโนไบโอเทคโนโลยีมีสาเหตุสำคัญมาจากธรรมชาติของเซลล์หรือเนื้อเยื่อของสัตว์และพืชมีการใช้กระบวนการทางนาโนเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลา โดยมีชีวโมเลกุลต่างๆ ทำงานในแบบอย่างเช่นเครื่องมือที่ใช้กันอยู่ ระบบทางชีวิภาพสามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของอีเล็กโทรนิกส์ วัสดุศาสตร์และกระบวนการผลิต ขอบเขตของการใช้งานนาโนไบโอเทคโนโลยีก็เป็นไปอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นทางชีววิทยา เภสัชวิทยา ดังเช่นการทำ gene sequencing การค้นคว้ายาชนิดใหม่ การใช้ high-throughput robotic screening เป็นต้น ในด้านอุตสาหกรรมอาหารและเกษตร ดังเช่น การทำ permeable coating การใช้ biodegradable nanocomposit films เป็นต้น สำหรับในด้านการแพทย์มีการศึกษาด้าน tissue regeneration, drug-targeting and delivery systems การพัฒนาทางด้าน biomolecular tools and molecular machines ตลอดจนเทคโนโลยี biosensors

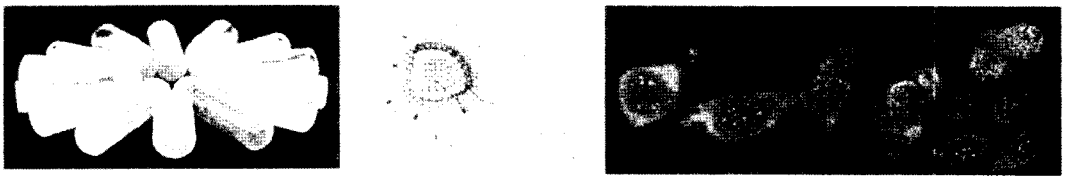


ระบบการไหลของเหลวในระดับปริมาตรไมโครลิตร (microfluidic system)
ที่มา: Dr. A. Baeumner, Department of Biological and Environmenatl Engineering, Carnell University



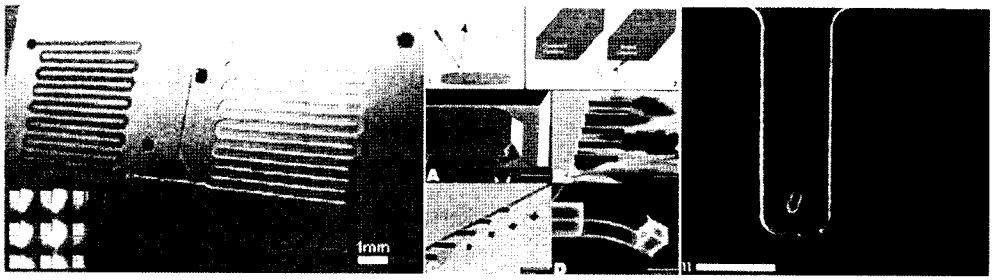
ท่อนาโน (nanotube) และเส้นใยนาโน (nanofibers)

ที่มา http://www.nano.com/an-pg-body.html



ควอนตัมดอท อุภาคนาโน สำหรับประยุกต์การตรวจวิเคราะห์

ที่มา http://www.evidenttech.com/



ฟิล์มบางนาโน (nanoscale thin films) และ microcantilever ในไบโอเซ็นเซอร์

ที่มา http://www.nbtc.cornell.edu

ในอนาคตอันใกล้จะมีการใช้อุปกรณ์สำหรับตรวจวิเคราะห์ที่เรียกว่า "นาโนไบโอเซ็นเซอร์ (nanobiosensor)" ที่มีส่วนที่เป็นโมเลกุลทางชีวิภาพ เช่น ดีเอ็นเอ เอนไซม์ แอนติบอดี เซลล์และชิ้นส่วนของเซลล์ เป็นต้น เชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์แปรสัญญาณ (transducer) ที่ใช้วัสดุนาโน (nanomaterial) ซึ่งอาศัยคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเฉพาะตัวที่มีความแตกต่างไปจากวัสดุ โดยทั่วไปอย่างสิ้นเชิง โดยอิทธิพลเชิงควอนตัม (quantum effect) อิทธิพลของผิวหน้า (surface effect) และอื่นๆ จะส่งผลให้อุปกรณ์แปรสัญญาณมีความไวสูงมาก วัสดุโครงสร้างระดับนาโนที่ได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์กับการตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ท่อนาโน (nanotube) เส้นใยนาโน (nanofibers) แท่งนาโน (nanorods) อนุภาคนาโน (nanoparticles) และฟิล์มบางนาโน (nanoscale thin films) เป็นต้น

การประยุกต์ใช้นาโนไบโอเทคโนโลยี

โรคและความเจ็บป่วยทั้งหลายมีต้นเหตุส่วนใหญ่มาจากการเสียหายในระดับของโมเลกุลและเซลล์ ดังนั้นเครื่องมือรักษาทางศัลยกรรมที่เล็กที่สุดก็ยังนับว่ามีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับระดับความเสียหายดังกล่าว การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในอนาคตจะมีส่วนช่วยในการสร้างเครื่องมือในระดับโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าเซลล์ของมนุษย์ โดยมีคอมพิวเตอร์ระดับโมเลกุลทำ

หน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องมือนี้ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ การเกิดขึ้นของเครื่องมือเหล่านี้จะนำไปสู่โฉมหน้าของการรักษาโรคในระดับเซลล์และโมเลกุล ในอนาคตจะสามารถกำจัดวัตถุที่กีดขวางในระบบไหลเวียนโลหิต ทำการฆ่าเซลล์มะเร็งได้อย่างแม่นยำ หรือสร้างส่วนที่ทำงานทดแทนส่วนที่ขาดหายไปในระดับเซลล์ จะเกิดเครื่องมือใหม่ตลอดจนระบบ sensor ที่มีขนาดเล็กกว่าเซลล์ที่ให้ข้อมูลภายในเซลล์และชี้ถึงการทำงานของเซลล์อย่างแม่นยำ

ด้วยหลักการของนาโนเทคโนโลยี สามารถประมาณได้ว่าคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วใช้ปริมาตรน้อยกว่า 0.001 ลูกบาศก์ไมครอน (ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเซลล์โดยทั่วไป) มีการทำงานด้วยความเร็วสูงแต่ใช้พลังงานน้อยกว่า 1 นาโนวัตต์ ขณะที่ร่างกายมนุษย์ใช้พลังงานรวมประมาณ 100 วัตต์ในขณะพัก (resting state) ในส่วนของ sensor ในระดับโมเลกุลก็สามารถบรรจุลงไปในปริมาตรดังกล่าวได้ สำหรับ robotic arm ในระดับโมเลกุลที่มีความยาวของแขนกลน้อยกว่า 100 นาโนเมตร ก็มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานเซลล์ได้ เมื่อเทียบกับขนาดของเม็ดเลือดแดงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ไมครอน นั่นคือในทางทฤษฎีเครื่องมือใดที่มีขนาดประมาณ 0.1 ไมครอน จะสามารถเข้าไปอยู่ในระบบไหลเวียนโลหิตได้ และยังสามารถเข้าไปสู่เซลล์แต่ละเซลล์ได้

การประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในหลายรูปแบบ เช่น ใช้เป็นเครื่องมือฆ่าเซลล์มะเร็ง โดยออกแบบเครื่องมือขนาดจิ๋วนี้ให้สามารถชี้เป้าและฆ่าเซลล์มะเร็ง ซึ่งประกอบขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋ว มีส่วนของ binding site ที่ใช้ในการตรวจจับเซลล์เป้าหมายและส่วนของการสร้างพิษที่เลือกปล่อยและกระทำอย่างจำเพาะต่อเซลล์มะเร็ง

การประยุกต์ใช้ที่มีความเป็นไปได้อีกรูปแบบหนึ่งคือการให้ metabolic support ในสถานการณ์ที่มีการไหลเวียนโลหิตไม่ปกติอันมีผลให้เนื้อเยื่อเสียหายจากการขาดออกซิเจน ซึ่งอาจแก้ปัญหาได้ด้วยการใช้เม็ดเลือดแดงเทียม (artificial red blood cell) โดยทรงกลมที่มีโครงสร้าง diamondoid เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 นาโนเมตร ความหนาผิวทรงกลมน้อยกว่า 1 นาโนเมตร สามารถจุออกซิเจนความดันสูงได้ประมาณ 1000 เท่าบรรยากาศ (ประมาณ 10^8 Pascals) ซึ่งจะปล่อยออกซิเจนออกมาในอัตราคงที่ จากการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์พบว่า ณ สภาวะของมนุษย์ใน 1 ชั่วโมงจะต้องการออกซิเจนประมาณ 250 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ดังนั้นออกซิเจนอัด 1 ลิตร ที่ 1000 เท่าบรรยากาศ พอเพียงต่อการทำงานของร่างกายตามปรกติได้ถึง 36 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วเลือดปรกติ 1 ลิตร มีออกซิเจนประมาณ 0.2 ลิตร ส่วนเม็ดเลือดแดงเทียมดังกล่าว 1 เลิตร จะมีออกซิเจนถึง 530 ลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า 2000 เท่าของเลือดเมื่อมีปริมาตรเท่ากัน จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ระบบชนิดนี้เพื่อแก้ไขปัญหาของการขาดออกซิเจนในอนาคต

ความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้นาโนโบโอเทคโนโลยีด้านการแพทย์ยังมีอีกมาก เช่น การทำ artificial mitochondria การใช้ autonomous molecular machine เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ความคาดหวังในการประยุกต์ใช้งานอย่างเป็นรูปธรรมยังคงต้องใช้เวลาในการพัฒนา โดยอาจคาดได้ว่าระบบ molecular manufacturing บางแบบจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2010-2020 หลังจากนั้นจึงจะเข้าสู่ยุคการพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ต่อไป

แนวโน้มของนาโนไบโอเทคโนโลยีในการวิเคราะห์

ในส่วนของงานวิเคราะห์ต่างๆ จะมีการนำนาโนไบโอเทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้นตามลำดับ ปัจจุบันมีการพัฒนาความรู้นี้เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น

- การพัฒนา biosensor ที่ใช้ lon-channel switch ตรึงบน artificial membranespanning lipids
- การพัฒนา gold clectrode ที่ใช้เป็น sensor สำหรับงาน DNA diagnostics ดังเช่นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อ

การค้าว่า eSensor™

- การพัฒนาวัสดุพื้นผิวที่เป็น silicon สำหรับการใช้งานวิเคราะห์โปรตีนและกรดนิวคลีนิก ที่มีชื่อว่า SILAS™ (silicon assay surface technology)
- การพัฒนา QdotTM ซึ่งเป็นนาโนคริสตัลที่ละลายน้ำและเรืองแสงได้ เพื่อใช้ในงานวิเคราะห์ต่างๆ
- การพัฒนาเทคโนโลยีการพิมพ์โมเลกุล (molecular imprinting technology) เพื่อสร้างโมเลกุลสังเคราะห์ที่จับอย่างจำเพาะกับโมเลกุลที่ต้องการศึกษา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำ chiral isolation การทำ substrate-selective separation การผลิตภัณฑ์เพื่อการวิเคราะห์และวินิจฉัย การใช้งานเพื่อพัฒนา biosensor ชนิดต่างๆ เป็นต้น
- การศึกษาและพัฒนา nanostructured surface สำหรับการทำ protein recognition
- การพัฒนา neuron chip โดยการใช้ NeuroMEMS (neuro micro electro mechanical systems)

การพัฒนางานวิเคราะห์ในอนาคตจะมีการใช้ความรู้ด้านนาโนไบโอเทคโนโลยีมากขึ้น ซึ่งการประยุกต์ใช้ในอนาคตจะมีเป้าหมายที่ การสร้างเครื่องมือที่มีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพสูงในการศึกษาวิจัยทางด้าน genomics, proteomics และการค้นกว้ายาชนิดใหม่ การย่อส่วนอุปกรณ์ (miniaturization) เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีศักยภาพด้านการตรวจคัดกรองตัวอย่างครั้งละมากๆ (high throughput screening) การตรวจวินิจฉัยที่ทางด้านพันธุศาสตร์และโปรตีนที่สามารถกระทำได้ ณ ตำแหน่งของผู้ป่วย (point-of-care diagnostic)

บทสรุป

นาโนเทคโนโลยีเป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีล่าสุดที่นำเอาศาสตร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาบูรณการเข้าด้วยกัน เพื่อหวังผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กมาก สามารถเข้ากระบวนการผลิตในแบบที่ลอกแบบตัวเองได้ (self replication machinery) หรือผลิตภัณฑ์ที่ก่อตัวได้เอง (self assembling consumer goods) การพัฒนานาโนเทคโนโลยีในปัจจุบันอยู่ในระดับที่สามารถสร้างโมเลกุลที่ทำงานได้เช่น nonogear, nanotube เป็นต้น การพัฒนาเหล่านี้เป็นจุดเริ่มสำคัญในการนำความรู้ทางชีวภาพต่างๆ มาประยุกต์และพัฒนาให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางชีววิทยา เภสัชวิทยา เกษตรอุตสาหกรรมและอาหาร และอื่นๆ ในด้านการแพทย์มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดนวัตกรรมทางการรักษาโรคที่อาศัยความรู้จากนาโนเทคโนโลยี ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือที่สามารถเลือกฆ่าเฉพาะเซลล์มะเร็ง (cancer killing device) เม็ดเลือดแดงเทียม (artificial red blood cell) เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้นาโนไบโอเทคโนโลยีในด้านงานวิเคราะห์ในปัจจุบันเกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง โดยจะมีการพัฒนานวัตกรรมของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีต้นทุนการผลิตต่ำขณะที่มีประสิทธิภาพในเชิงการวิเคราะห์สูง ซึ่งความรู้ด้านนาโนไบโอเทคโนโลยีจะเป็นปัจจัยสเริมที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนางานทางด้านนี้

บรรณานุกรม

1. Carbon nanotube science and technology. http://www.personal.rdg.ac.uk/~scsharip/tubes.htm (accessed January 2005).
2. Carbon nanotube. http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube (accessed January 2005).
3. Cornell BA, Braach-maksvytis VLS, King LG, Osman PDJ, Raguse B, Wieczorek L and Pace RJ. A biosensor that uses ion-channel switches. Nuture 1997; 387:580-3.
4. Drexler KE. Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation, Wiley & Sons, 1992.

5. Freitas Jr RA. Nanomedicine. http://www.foresight.org/Nanomedicine/NanoMedFAQ.html (accessed January, 2003).
6. Hart BR and Shea KJ. Synthetic peptide receptors, molecular imprinted polymers (MIP's) for the recognition of peptides using peptide-metal interaction. J Am Chem Soc 2001; 123: 2072-3.
7. Merkle RC. Nanotechnology. http://www.zyvex.com/nano (accessed January, 2003).
8. Merkle RC. A proof about molecular bearings. Nanotechnology. 1993; 4: 86-90.
9. Merkle RC. Nanotechnology and medicine. *In* Advances in anti-aging medicine, Vol.1 edited by Klatz RM. Liebert Press, 1996, 277-86.
10. Park JK. Bioanalytucal applications of nonobiotechnology. http://www.kaist.ac.kr/~jkpark/ (accessed January, 2003).
11. Quantum Dot Corporation. http://www.qdots.com/new/technology/overview.html (access February. 2003).
12. Quantum Dots / Semiconductor Nanocrystals. http://www.evidenttech.com/qdotdefinition/quantum-dot-about.php (accessed December 9, 2004).
13. Ramstrom O. Molecular imprinting technology: A way to make artificial locks for molecular keys. (accessed January, 2003).
14. Shi HQ, Tsai WB, Garrison MD, Ferrari S, Ratner BD. Template-imprinted nanostructured surfaces for protein recognition. Nature 1999; 398: 593-7.
15. Thermo Electron Corporation. SILAS: Protein and nucleic acid detection in a sensitive, rapid format. http://www.thermo.com/eThermo/CDA/BU_Home/BU_Homepage/0,1285,122,00.html (access February 2003).
16. The eSensor™ DNA System: Technology Overview. http://www.motorola.com/lifesciences/esensor/tech_overview.html (accessed February 2003).
17. Zymyz Inc. Technology. http://www.zyomyx.com/technology/technology.html (accessed Frebruary 2003).