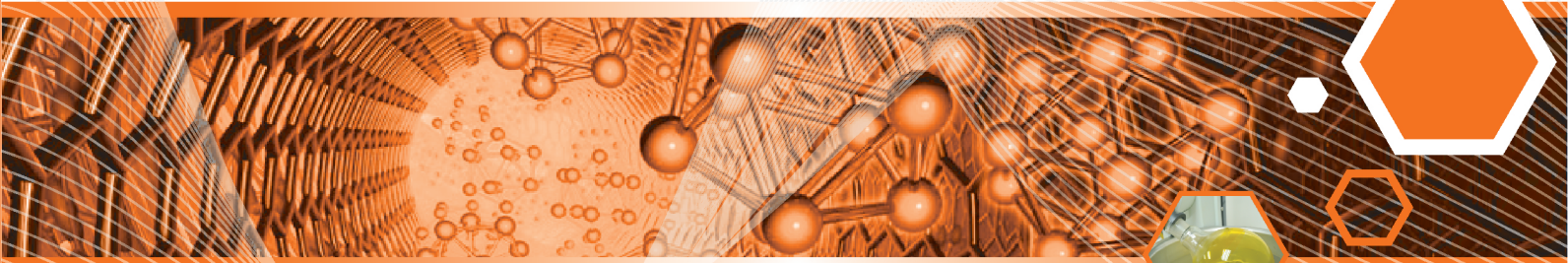


แผนที่นำทางการวิจัย และพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย



Nanotechnology roadmap : NanoTRM

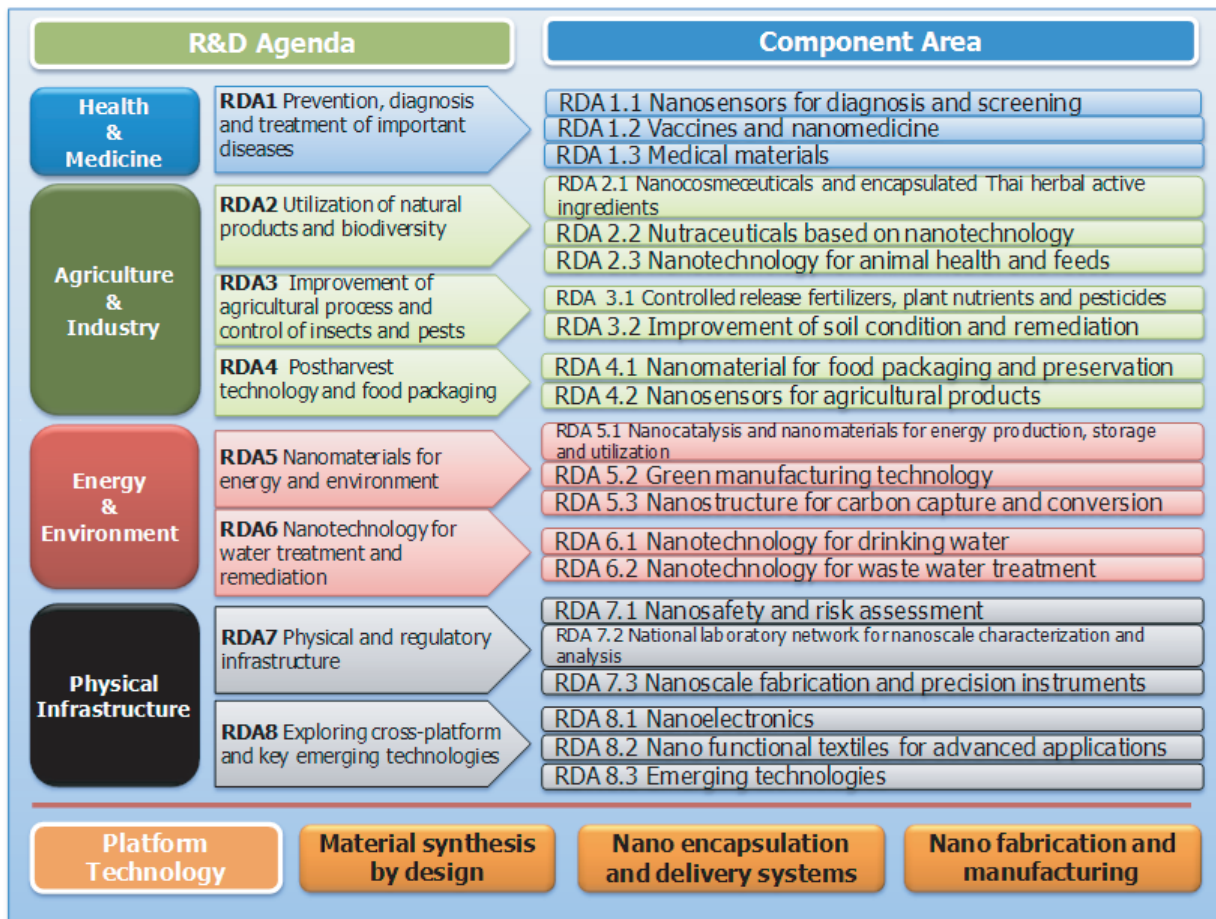
บทสรุปผู้บริหาร

การจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (Nanotechnology roadmap : NanoTRM) พ.ศ. 2556-2559 ได้ดำเนินการโดยคำนึงถึงความสอดคล้องกับนโยบายหลักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) นโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2555-2564) นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) กรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564) แผนแม่บทศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (พ.ศ. 2555-2559)

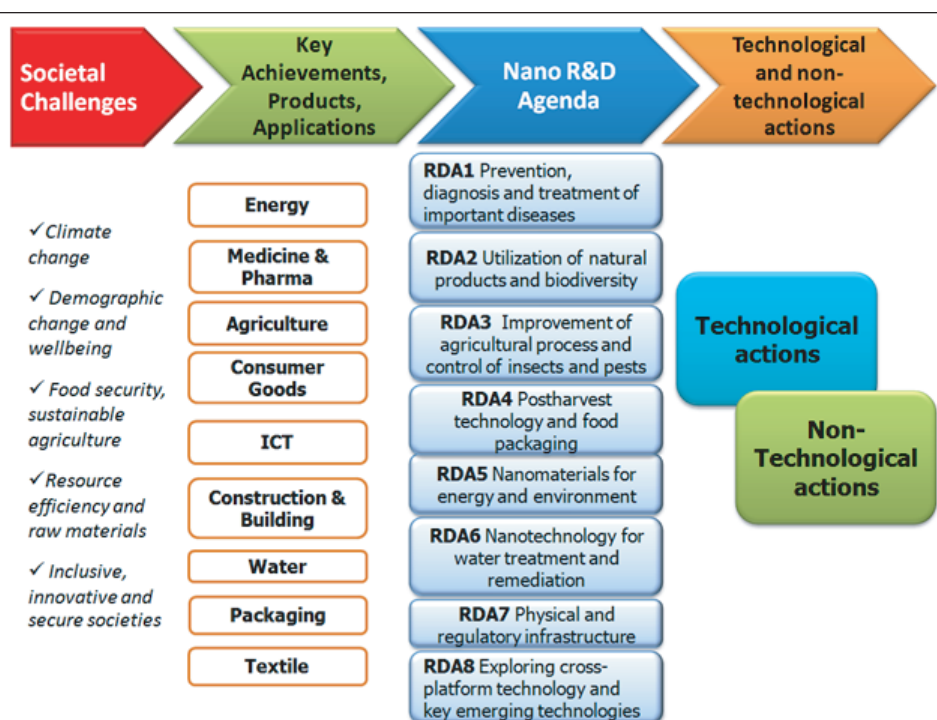
เนื่องจากแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี พ.ศ. 2553-2556 มีระยะเวลาสิ้นสุดลง ณ ปี พ.ศ. 2556 ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศน.) จึงได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี เพื่อศึกษาสถานภาพนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย และทิศทางการพัฒนาความก้าวหน้าด้านนาโนเทคโนโลยีของโลก เพื่อดำเนินกระบวนการในการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี พ.ศ. 2556-2559

กระบวนการจัดทำแผนที่นำทางเกิดจากการระดมความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งในภาครัฐ ภาคการศึกษา และภาคอุตสาหกรรม และการปรึกษาร่วมกับนักวิจัยของ ศน. เพื่อให้ได้ความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการกำหนดหัวข้องานวิจัยและพัฒนา (R&D Agenda) เทคโนโลยีฐาน (Platform technology) ตลอดจนทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินงานและศึกษาแนวโน้มนาโนเทคโนโลยีของโลก และความต้องการด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย

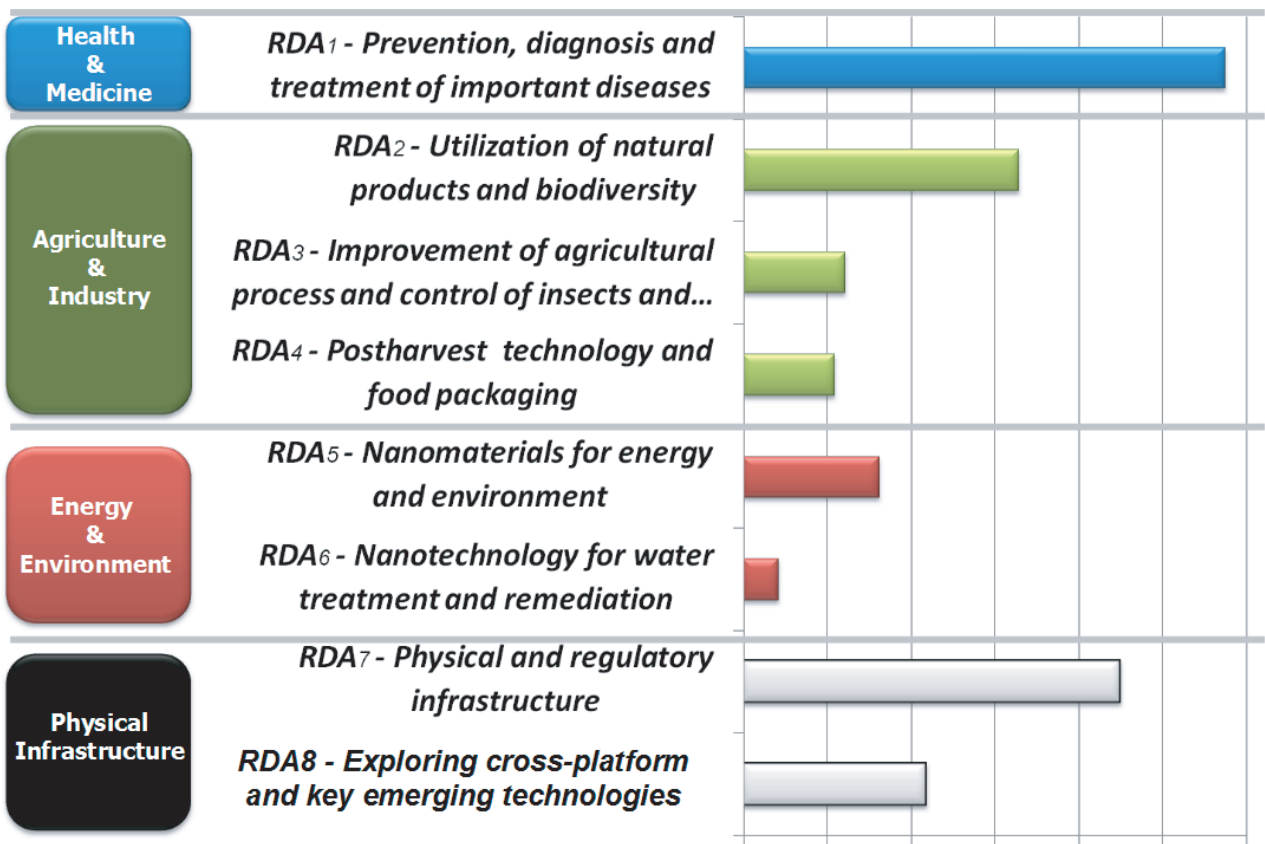
รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี พ.ศ. 2556-2559 ซึ่งประกอบด้วย วาระการวิจัยและพัฒนา 8 วาระ (R&D Agenda: RDA) ใน 4 กลุ่ม คือ สุขภาพและการแพทย์ เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม และโครงสร้างพื้นฐานเชิงกายภาพ โดยแต่ละ RDA ประกอบด้วย ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา (Component area) ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้แผนที่นำทางได้ระบุเทคโนโลยีหลักเพื่อการวิจัย และทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินการวิจัยไว้ด้วย



แผนที่นำทางได้จัดทำขึ้นโดยเริ่มต้นจากการพิจารณาประเด็นความท้าทายด้านสังคม แล้วนำไปสู่การพิจารณาผลิตภัณฑ์เป้าหมาย เพื่อใช้ในการกำหนดวาระการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี 8 วาระ และแนวทางในการปฏิบัติ ดังกล่าวในรูปแบบที่ 2



รูปที่ 2 : จากความท้าทายของสังคมชุมชนนำไปสู่ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย และวาระการวิจัยและพัฒนา



รูปที่ 3 : ประมาณการค่าใช้จ่ายด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี พิจารณาจากค่าใช้จ่ายทั้งหมด (100%) จำนวน 6,900 ล้านบาท

การดำเนินการตาม NanoTRM คาดว่าจะเกิดประโยชน์ต่อประเทศในหลายด้านได้แก่ สนับสนุนให้เกิดความเป็นเลิศด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศ ลดช่องว่างด้านความรู้ (knowledge gaps) ของประเทศที่ยังกระจุกกระจาย พัฒนาความสามารถในการแข่งขันและสร้างความเป็นผู้นำในอาเซียน เพิ่มการลงทุนร่วมกันระหว่าง ภาครัฐ มหาวิทยาลัยและบริษัทเอกชนด้านนาโนเทคโนโลยีรวมถึงกระตุ้นให้ภาคเอกชนลงทุนด้านนาโนเทคโนโลยีมากขึ้น การร่วมกันสร้างกำลังคนระหว่าง ภาครัฐ มหาวิทยาลัยและบริษัทเอกชน สร้างความสนใจให้กับเยาวชนต่ออาชีพนักวิทยาศาสตร์ (ด้านนาโนเทคโนโลยี) การพัฒนาในเชิงปริมาณและในเชิงคุณภาพด้านงานและอาชีพ กระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ที่จะนำผลลัพธ์การวิจัยไปสู่ผลิตภัณฑ์ พัฒนาการสร้างเครือข่าย การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในอาเซียน สร้างผลกระทบด้านสังคมและเศรษฐกิจด้านนาโนเทคโนโลยี และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้บริโภคและสังคมในวงกว้าง

การนำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีไปสู่การปฏิบัติจะผ่านกลไกการดำเนินงานของผู้รับผิดชอบในยุทธศาสตร์ต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ตามกรอบนโยบายการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทย ซึ่งดำเนินการตาม NanoTRM โดยสำนักงานเลขานุการร่วม (สวทช. และ ศน.) เพื่อผลักดันให้เกิดการขับเคลื่อนด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ศน. ในฐานะของผู้ดำเนินงานหลักด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีจะเป็นองค์กรนำเพื่อเสริมสร้างองค์ความรู้และพัฒนาเทคโนโลยีฐาน (Platform technology) และประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองความต้องการภาคอุตสาหกรรมของประเทศ การดำเนินงานภายใต้การดำเนินงานระดับหน่วยงานระดับฝ่ายหรือระดับงานผ่านทางห้องปฏิบัติการ 2 กลุ่ม คือ หน่วยวิจัยนาโนเทคโนโลยี และหน่วยพัฒนานาโนเทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วย 12 ห้องปฏิบัติการ และฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาโดยจะดำเนินการผ่าน 3 งาน คือ 1) งานสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการกลาง 2) งานสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฐาน และ 3) งานสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการเครือข่าย ซึ่ง ศน. ได้มีความร่วมมือกับสถาบันการศึกษา จัดตั้งเครือข่ายการดำเนินงาน ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยี (CoE) จำนวน 9 แห่ง

สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	1
1.2 กรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย	2
1.3 วิสัยทัศน์และเป้าหมาย	3
บทที่ 2 กระบวนการจัดทำแผนที่นำทาง	8
2.1 กระบวนการและขั้นตอนการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (Roadmapping Approach)	8
2.2 แผนที่นำทางเทคโนโลยี (Technology roadmap)	9
2.3 โครงสร้างต้นแบบ (Template)	10
บทที่ 3 แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	14
3.1 ภาพรวมของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	14
3.2 สรุปรายละเอียดของวาระการวิจัยและพัฒนา ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา และผลิตภัณฑ์เป้าหมาย	16
3.3 ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบอบองค์ประกอบสำคัญ	22
1. Prevention, diagnosis and treatment of important diseases	22
1.1 Nanosensors for diagnosis and screening	22
1.2 Vaccines and Nanomedicine	26
1.3 Medical materials	30
2. Utilization of natural products and biodiversity	32
2.1 Nanocosmeceuticals and encapsulated Thai herbal active ingredients	32
2.2 Nutraceuticals based on nanotechnology	34
2.3 Nanotechnology for animal health and feeds	36
3. Improvement of agricultural process and control of insects and pests	38
3.1 Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticides	38
3.2 Improvement of soil condition and remediation, especially smart soil	40
4. Postharvest technology and food packaging	42
4.1 Nanomaterials for food packaging and preservation (Smart packaging)	42
4.2 Nanosensors for agricultural products	44
5. Nanomaterials for energy and environment	47
5.1 Nanocatalysis and nanomaterials for energy production, storage and utilization	47
5.2 Green manufacturing technology	51
5.3 Nanostructure for carbon capture and conversion	53
6. Nanotechnology for water treatment and remediation	56
6.1 Nano filtration for drinking water	56
6.2 Nanoscale materials for waste water treatment	58
7. Physical and Regulatory Infrastructure	60
7.1 Nanosafety and risk assessment	60
7.2 National laboratory network for nanoscale characterization and analysis	63
7.3 Nanoscale fabrication and characterization facilities	66

8. Exploring cross-platform and key emerging technologies	69
8.1 Nanoelectronics	70
8.2 Nano functional textiles for advanced applications	77
8.3 Emerging technologies	79
บทที่ 4 ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับ	82
บทที่ 5 ขับเคลื่อนไปสู่การปฏิบัติ	88
5.1 หน่วยงานหลักและเครือข่ายการดำเนินงาน	88
5.1.1 หน่วยปฏิบัติการกลาง	89
5.1.2 ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา	90
5.2 การใช้แผนที่นำทางและการทบทวน	94
ภาคผนวก	
ภาคผนวก (ก) บทวิเคราะห์แนวโน้มของโลก	95
ภาคผนวก (ข) รายชื่อคณะทำงานจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	96
ภาคผนวก (ค) รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมระดมความเห็นต่อการกำหนด R&D Agenda	102
ภาคผนวก (ง) รายชื่อคณะอนุกรรมการเทคนิค ศน. ปี 2554-2556	104
	106

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-1 : รายละเอียด วาระการวิจัยและพัฒนา ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ และผลิตภัณฑ์เป้าหมาย	16
ตารางที่ 4-1 : ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในด้านประเด็นความต้องการหลักของสังคม/กลุ่มตลาด	83
ตารางที่ 4-2 : ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในด้านประเด็นแนวราบ (cross-cutting issues)	84
ตารางที่ 5-1 : กลุ่มผู้ดำเนินงานวิจัยหลัก (Key Nodes) ในแต่ละขอบเขตการวิจัย (Component Area)	90

สารบัญภาพ

รูปที่ 1-1 : ปฏิสัมพันธ์ของ NanoTRM กับนโยบายหลักที่เกี่ยวข้อง	1
รูปที่ 1-2 : องค์ประกอบของกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564)	2
รูปที่ 1-3 : ยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีตามกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564)	3
รูปที่ 1-4 : เป้าหมายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย ณ ปี พ.ศ. 2564	4
รูปที่ 2-1 : กระบวนการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	8
รูปที่ 2-2 : โครงสร้างต้นแบบของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	11
รูปที่ 3-1 : แผนภูมิโครงสร้างแสดงภาพรวมของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	15
รูปที่ 3-2 : R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases; R&D Area 1.1 - Nanosensors for diagnosis and screening	22
รูปที่ 3-3 : R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases; R&D Area 1.2 - Vaccines and nanomedicine	26
รูปที่ 3-4 : R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases; R&D Area 1.3 - Medical materials	30
รูปที่ 3-5 : R&D Agenda 2 - Utilization of natural products and biodiversity; R&D Area 2.1 - Nanocosmeceuticals and encapsulated Thai herbal active ingredients	32
รูปที่ 3-6 : R&D Agenda 2 - Utilization of natural products and biodiversity; R&D Area 2.2 - Nutraceuticals based on nanotechnology	34
รูปที่ 3-7 : R&D Agenda 2 - Utilization of natural products and biodiversity; R&D Area 2.3 - Nanotechnology for animal health and feeds	36
รูปที่ 3-8 : R&D Agenda 3 - Improvement of agricultural process and control of insects and pests; R&D Area 3.1 - Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticides	38
รูปที่ 3-9 : R&D Agenda 3 - Improvement of agricultural process and control of insects and pests; R&D Area 3.2 - Improvement of soil condition and remediation, especially smart soil	46

สารบัญภาพ

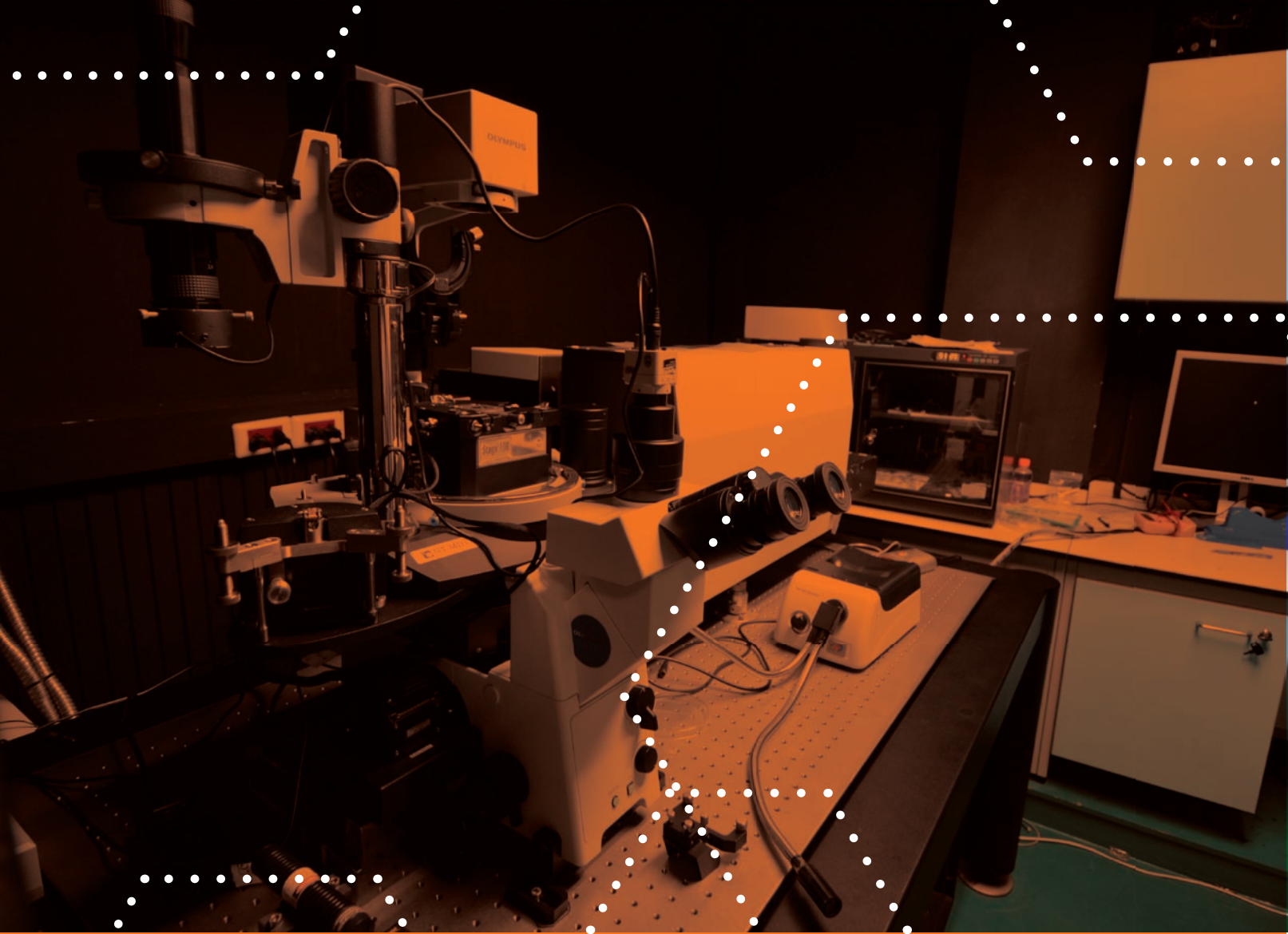
รูปที่ 3-10 :	R&D Agenda 4 - Postharvest technology and food packaging; R&D Area 4.1 - Nanomaterials for food packaging and preservation (Smart packaging)	42
รูปที่ 3-11 :	R&D Agenda 4 - Postharvest technology and food packaging; R&D Area 4.2 - Nanosensors for agricultural products	44
รูปที่ 3-12 :	R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment; R&D Area 5.1 - Nanocatalysis and nanomaterials for energy production, storage and utilization	47
รูปที่ 3-13 :	R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment; R&D Area 5.2 - Green manufacturing technology	51
รูปที่ 3-14 :	R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment; R&D Area 5.3 - Nanostructure for carbon capture and conversion	54
รูปที่ 3-15 :	R&D Agenda 6 - Nanotechnology for water treatment and remediation; R&D Area 6.1 - Nano filtration for drinking water	56
รูปที่ 3-16 :	R&D Agenda 6 - Nanotechnology for water treatment and remediation; R&D Area 6.2 - Nanoscale materials for waste water treatment	58
รูปที่ 3-17 :	R&D Agenda 7 - Physical and regulatory infrastructure; R&D Area 7.1 - Nanosafety and risk assessment	60
รูปที่ 3-18 :	R&D Agenda 7 - Physical and regulatory infrastructure; R&D Area 7.2 - National laboratory network for nanoscale characterization and analysis	63
รูปที่ 3-19 :	R&D Agenda 7 - Physical and regulatory infrastructure; R&D Area 7.3 - Nanoscale fabrication and characterization facilities	66
รูปที่ 3-20 :	R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies; R&D Area 8.1 - Nanoelectronics	70
รูปที่ 3-21 :	R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies; R&D Area 8.2 - Nano functional textiles for advanced applications	77
รูปที่ 3-22 :	R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies; R&D Area 8.3 - Emerging technologies	79
รูปที่ 4-1 :	จากความท้าทายของสังคมชุมชนนำไปสู่ผลิตภัณฑ์เป้าหมายนำไปสู่วาระการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีนำไปสู่ข้อเสนอเพื่อการดำเนินการ	82
รูปที่ 5-1 :	การขับเคลื่อนกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย ไปสู่การปฏิบัติโดยผ่าน NanoTRM	88
รูปที่ 5-2 :	การขับเคลื่อนแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี	89





“Plans are nothing;
planning is everything.”

Dwight D. Eisenhower
The thirty-fourth President of the USA.



1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

การจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทยเพื่อบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ต้องมีทิศทางและแนวทางการดำเนินงานที่สอดคล้องกับนโยบายหลักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ นโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมแห่งชาติ กรอบนโยบายการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทย แผนยุทธศาสตร์ด้านความปลอดภัย และจริยธรรมนาโนเทคโนโลยี แผนกลยุทธ์สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และแผนแม่บทศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี (พ.ศ. 2553-2556) มีระยะเวลาสิ้นสุดลง ณ ปี พ.ศ. 2556 ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี¹ เมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2555 เพื่อทำหน้าที่ศึกษาสถานภาพนาโนเทคโนโลยีของประเทศ และทิศทางการพัฒนาความก้าวหน้าด้านนาโนเทคโนโลยีของโลก² เพื่อดำเนินกระบวนการในการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี หรือ NanoTRM (พ.ศ. 2556-2559)



รูปที่ 1-1: ปฏิสัมพันธ์ของ NanoTRM กับนโยบายหลักที่เกี่ยวข้อง

1.1.1 นโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ

คณะรัฐมนตรี ได้ให้ความเห็นชอบต่อ นโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2555-2564) เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2555 ซึ่งให้ความสำคัญกับประเด็นหลักที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อ การพัฒนาประเทศในอีก 10 ปีข้างหน้า คือ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information Communication Technology: ICT) เทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnology) เทคโนโลยีวัสดุ (Materials Technology) และนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

¹ภาคผนวก (ข)

²ภาคผนวก (ก)

1.1.2 กรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทช.) ร่วมกับศูนย์ นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศน.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้จัดทำกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (พ.ศ. 2555-2564) เพื่อให้เป็นแนวทางให้กับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในการดำเนินงานไปในทิศทางเดียวกัน และสอดคล้องของการดำเนินงานกับแผนต่างๆ ได้แก่ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) นโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2555-2564) นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) แผนกลยุทธ์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ พ.ศ. 2550-2556 และแผนกลยุทธ์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (พ.ศ. 2547-2556)

องค์ประกอบของกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีฯ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ (รูปที่ 1-2)

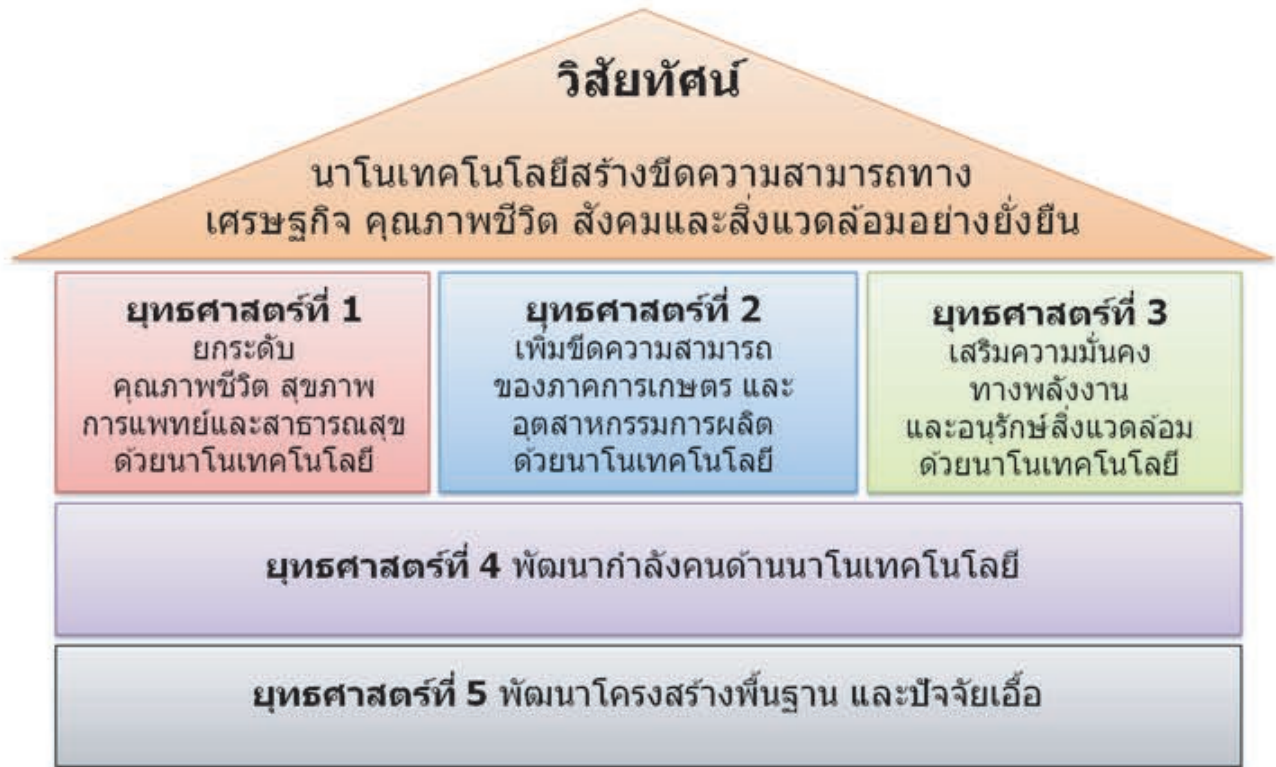
1. **คลัสเตอร์เป้าหมาย:** สุขภาพและการแพทย์ เกษตรและอาหาร อุตสาหกรรมการผลิต และพลังงานและสิ่งแวดล้อม
2. **ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย:** กลุ่มผลิตภัณฑ์ทางด้านเซนเซอร์ กลุ่มอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มผลิตภัณฑ์ในระบบส่งยาและสารสกัดสมุนไพร กลุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาและวัสดุดูดซับกรอง กลุ่มนาโนเวชสำอาง กลุ่มวัสดุเคลือบนาโน และกลุ่มวัสดุสารประกอบต่าง
3. **เทคโนโลยีหลัก (Core technology):** วัสดุนาโน นาโนอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีชีวภาพนาโน; เทคโนโลยีฐาน (Platform technology): เทคโนโลยีการเคลือบระดับนาโน เทคโนโลยีการห่อหุ้มระดับนาโน และเทคโนโลยีการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนเชิงฟังก์ชัน; องค์ความรู้หลัก คือ วิทยาศาสตร์พื้นฐาน และวิทยาศาสตร์ประยุกต์
4. **ปัจจัยเอื้อ:** กำลังคน การวิจัยและพัฒนา การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การบริหารจัดการ และการถ่ายทอดเทคโนโลยี



รูปที่ 1-2: องค์ประกอบของกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564)

องค์ประกอบเหล่านี้มีส่วนสำคัญในการกำหนดกรอบการพัฒนานาโนเทคโนโลยี ซึ่งถูกขับเคลื่อนผ่านทาง 5 ยุทธศาสตร์สำคัญ (รูปที่ 1-3)

- ยุทธศาสตร์ที่ 1 : ยกระดับคุณภาพชีวิต สุขภาพ การแพทย์และสาธารณสุขด้วยนาโนเทคโนโลยี
- ยุทธศาสตร์ที่ 2 : เพิ่มขีดความสามารถของภาคการเกษตร และอุตสาหกรรมการผลิตด้วยนาโนเทคโนโลยี
- ยุทธศาสตร์ที่ 3 : เสริมความมั่นคงทางพลังงาน และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยนาโนเทคโนโลยี
- ยุทธศาสตร์ที่ 4 : พัฒนากำลังคนด้านนาโนเทคโนโลยี
- ยุทธศาสตร์ที่ 5 : พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และปัจจัยเอื้อ



รูปที่ 1-3 : ยุทธศาสตร์การพัฒนานาโนเทคโนโลยีตามกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564)

1.3 วิสัยทัศน์และเป้าหมาย

แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2556-2559) มีวิสัยทัศน์และเป้าหมายสอดคล้องกับวิสัยทัศน์และเป้าหมายของกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564) ดังนี้

วิสัยทัศน์ (Vision) : นาโนเทคโนโลยีสร้างขีดความสามารถทางเศรษฐกิจ คุณภาพชีวิต สังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เป้าหมาย (Objectives) : การพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยมีเป้าหมายสูงสุดคือ เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ยกระดับคุณภาพชีวิตและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

1. ยกระดับคุณภาพชีวิต สุขภาพ การแพทย์และสาธารณสุข โดยการพัฒนาวัสดุ ผลิตภัณฑ์ และอุปกรณ์ด้วยนาโนเทคโนโลยี
2. เพิ่มขีดความสามารถของภาคการเกษตร และอุตสาหกรรมผลิตที่ตอบสนองตรงความต้องการของสังคมและตลาดมากขึ้นด้วยนาโนเทคโนโลยี
3. ประเทศไทยเป็นผู้นำด้านการศึกษา และการวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของภูมิภาคอาเซียน

โดยกำหนดเป้าหมายในการพัฒนาประเทศใน 5 ด้าน ได้แก่

- เป้าหมายทางสังคมและความตระหนัก
- เป้าทางเศรษฐกิจ
- เป้าทางสิ่งแวดล้อมและพลังงาน
- เป้าทางการพัฒนากำลังคนของประเทศ
- เป้าทางการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และปัจจัยเอื้อ

รายละเอียดของเป้าหมาย ณ ปี พ.ศ. 2564 ในการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย ใน 5 ด้าน (รูปที่ 1-4)



รูปที่ 1-4 : เป้าหมายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย ณ ปี พ.ศ. 2564







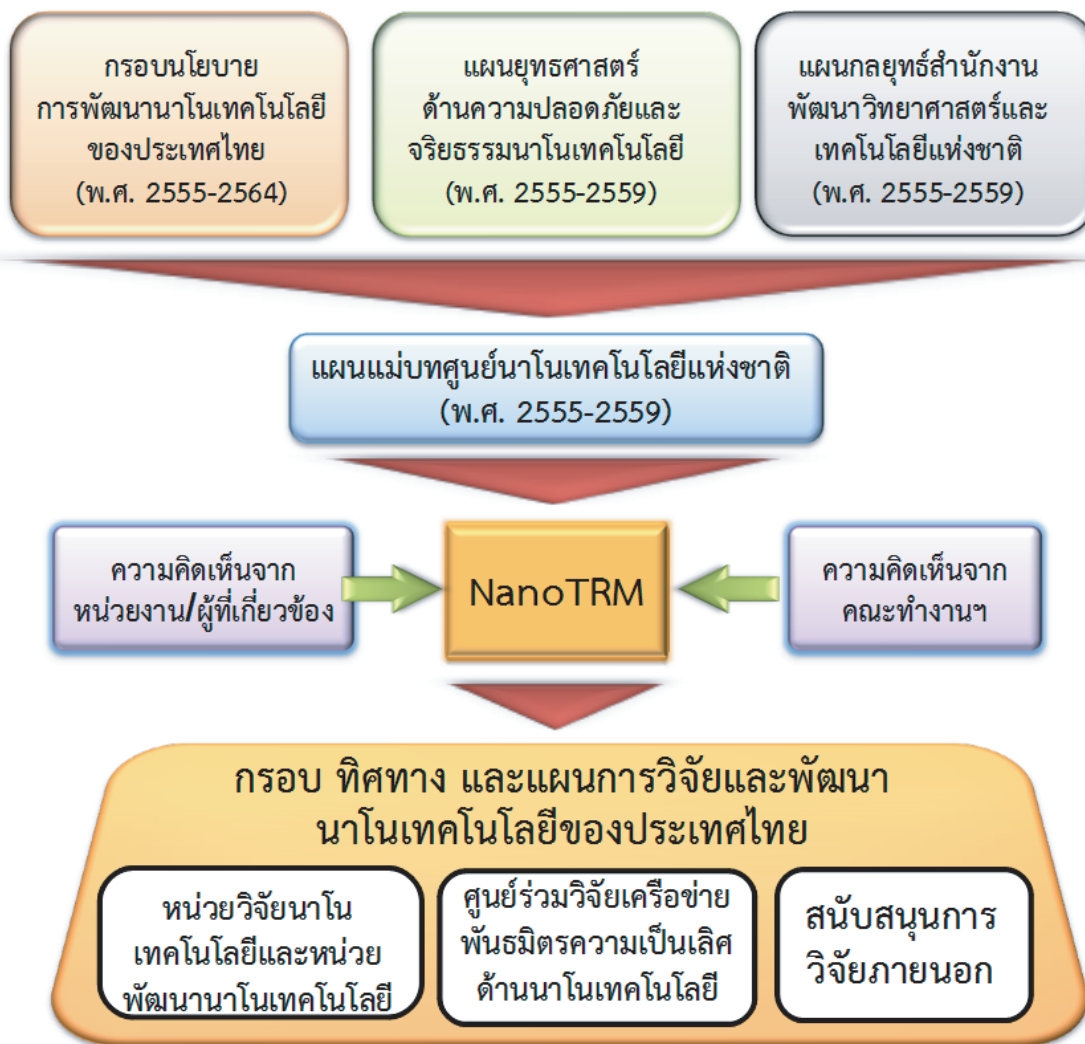
“Someone’s sitting in the shade
today because someone planted
a tree a long time ago.”

Warren Buffett

กระบวนการจัดทำแผนที่นำทาง

2.1 กระบวนการจัดทำแผนที่นำทาง (Roadmapping approach)

การจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี เป็นกระบวนการการมีส่วนร่วม (Participation) และการสร้างความเป็นเจ้าของ (Ownership) ด้วยการระดมความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิในภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ภาครัฐ ภาคการศึกษา และภาคอุตสาหกรรม (รูปที่ 2-1) เพื่อให้ข้อคิดเห็นกำหนดหัวข้องานวิจัยและพัฒนา (R&D Agenda) เทคโนโลยีพื้นฐาน (Platform technology) ตลอดจนทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินงาน และเสนอแนะแนวทางการดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรม



รูปที่ 2-1 : กระบวนการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

ขั้นตอนการจัดทำแผนที่นำทาง แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีที่ดี ควรมีเนื้อหาครอบคลุม และสามารถดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายได้จริง เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว การจัดทำแผนที่นำทางฯ ได้พิจารณา ส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ผ่านทางการระดมความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ประชุมระดมความคิดเห็นจากภาคอุตสาหกรรมและวิชาการเพื่อกำหนดวาระการวิจัยและพัฒนา (R&D Agenda) ของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี ที่ตอบสนองความต้องการภาคอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค)
2. ประชุมคณะอนุกรรมการเทคนิคของ ศน. จำนวน 2 ครั้ง เพื่อกำหนด R&D Agenda ที่เชื่อมโยงกับ คลัสเตอร์ เป้าหมายและความต้องการของสังคมและอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ง)
3. ประชุมกลุ่มนักวิจัยจาก 12 ห้องปฏิบัติการของ ศน. จำนวน 6 ครั้ง
4. ประชุมคณะทำงานจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี จำนวน 4 ครั้ง
5. ประชุมคณะทำงานย่อยจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี จำนวน 10 ครั้ง
6. นำเสนอ (ร่าง) แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2556-2559) ต่อที่ประชุมคณะกรรมการบริหาร ศน.

แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีเป็นแผนที่มีชีวิต (NanoTRM is alive) คือ สามารถพัฒนาและปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง ยืดหยุ่น คล่องตัว เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัด ตามความต้องการทางเศรษฐกิจและสังคมที่เร่งด่วน และผันแปรตามระยะเวลา เช่น สังคมผู้สูงอายุ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถของการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี และส่งผลกระทบต่อระดับมหภาค เพื่อการตอบสนองดังกล่าว ภาครัฐจะต้องกำหนดให้มีกระบวนการติดตามประเมินผลในภาพรวม ที่มีความรวดเร็วเพียงพอในการประเมินความเหมาะสมด้านการปรับปรุงแผนที่นำทางและแนวทางการดำเนินงานเป็นช่วงๆ ไป

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ ความสำเร็จ อุปสรรคและข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานตามแนวทางที่ระบุไว้ในแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2553-2556) ได้ถูกนำมาพิจารณาในการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2556-2559) ฉบับนี้ด้วย

2.2 แผนที่นำทางเทคโนโลยี (Technology roadmap)

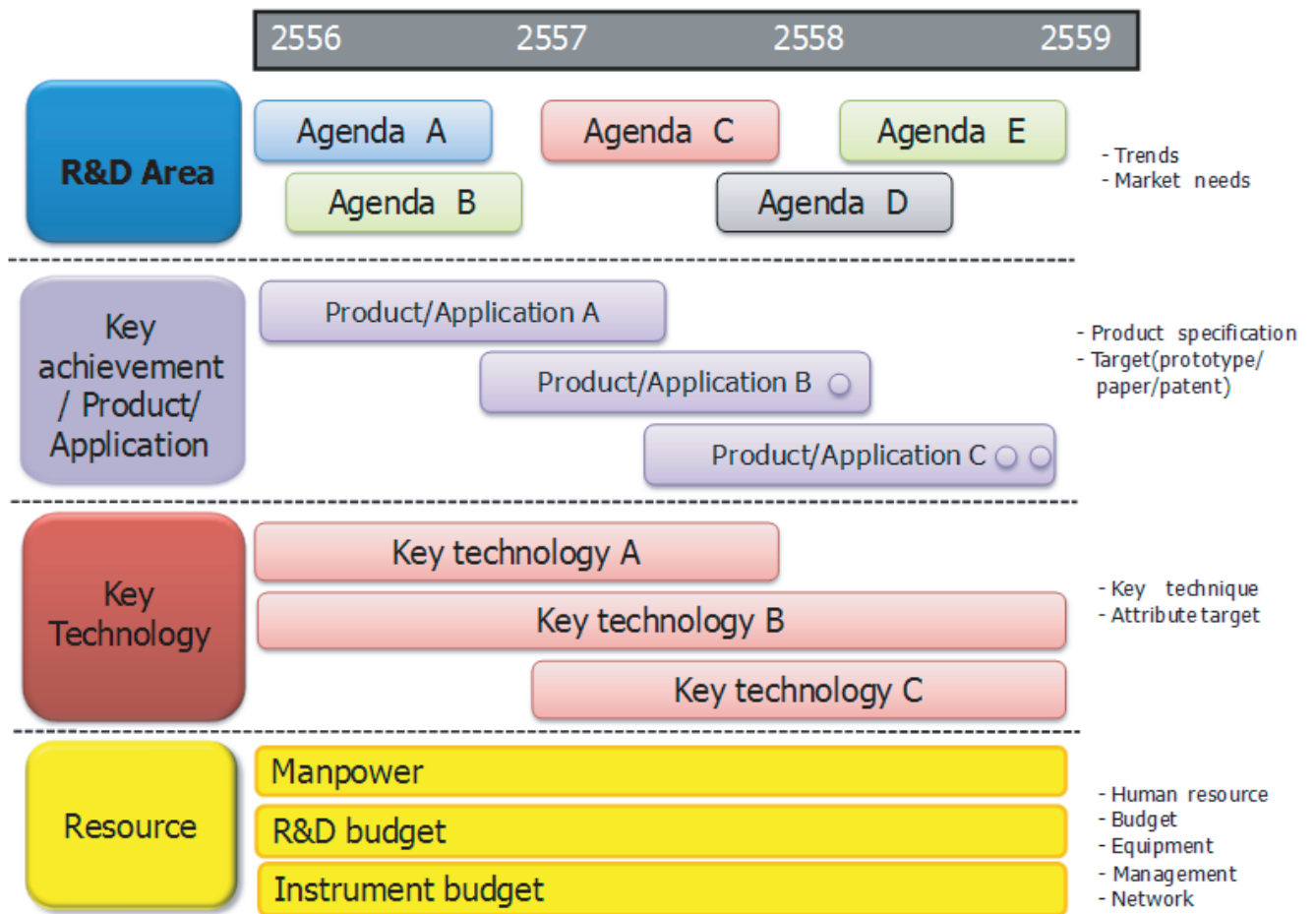
แผนที่นำทางเทคโนโลยี คือ เครื่องมือในการอธิบายกระบวนการพัฒนาเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของตลาด โดยเป็นการผนวกความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เข้ากับการวางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการดำเนินงานขององค์กร รวมทั้งเสนอแนวทางในการระบุ การประเมิน และการเลือกทางเลือกต่างๆ ที่เป็นไปได้ เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายตามที่ได้กำหนดไว้

แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี ได้ให้ความสำคัญต่อความสอดคล้องกับแผนต่างๆ ตามที่ได้ระบุไว้ในบทที่ 1 โดยผ่านกระบวนการหารือกับผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องทั้งในหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา ภาคอุตสาหกรรม และนักวิจัยของ ศน. โดยเน้นการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่าง ความต้องการของภาคอุตสาหกรรม แนวโน้มและความสามารถทางเทคโนโลยี องค์กรความรู้ในการวิจัยและพัฒนา โครงสร้างพื้นฐาน และทรัพยากรที่จำเป็น เข้าด้วยกันในช่วงลำดับเวลาต่างๆ และสรุปผลในรูปแบบของแผนภูมิโครงสร้าง เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสะดวกต่อการสื่อสารภายในและระหว่างองค์กร

2.3 โครงสร้างต้นแบบ (Template)

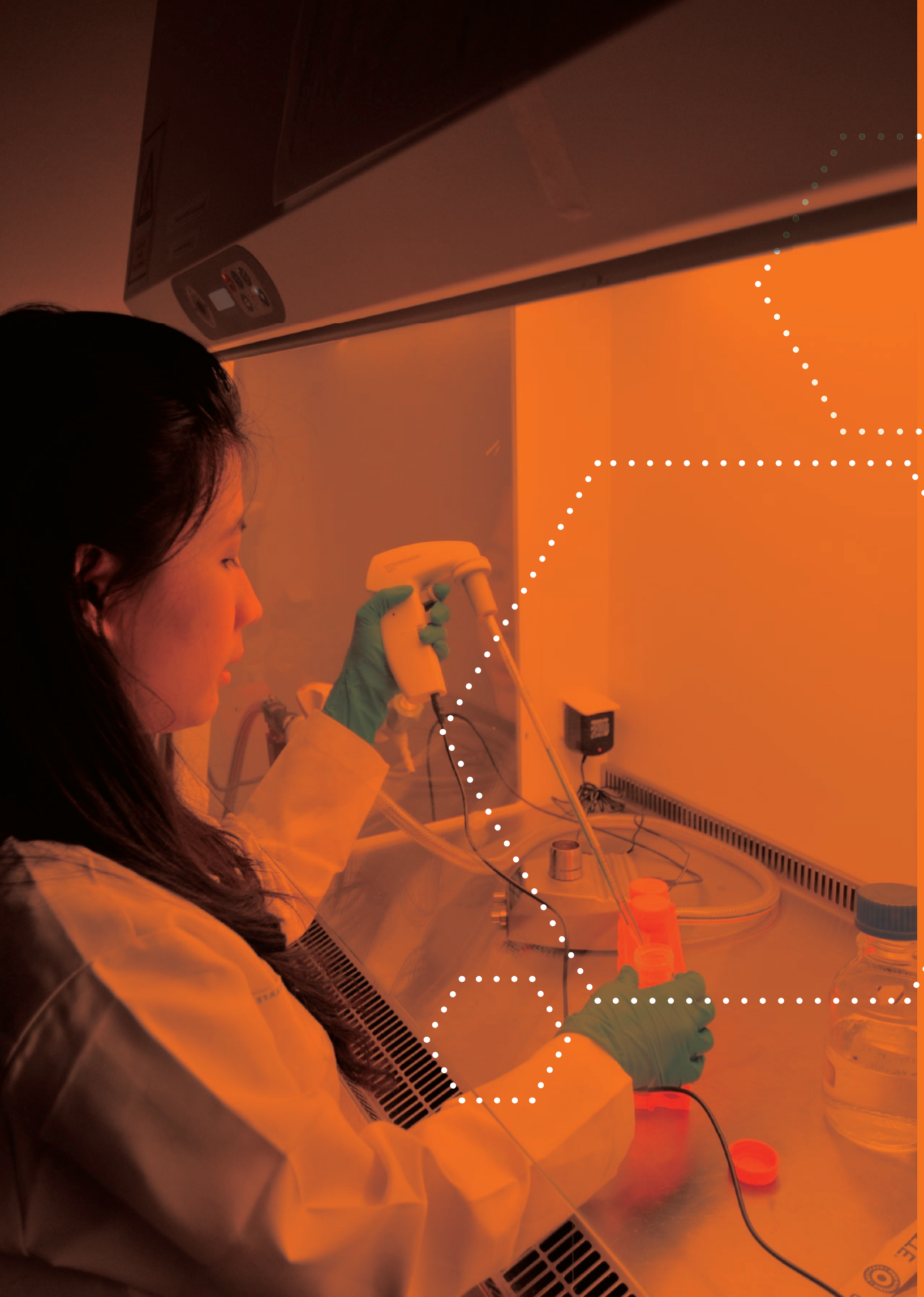
โครงสร้างต้นแบบของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี มีองค์ประกอบเป็นลำดับชั้นที่สำคัญจำนวน 4 ชั้น ซึ่งมีกรอบระยะเวลาแสดงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแต่ละองค์ประกอบ (รูปที่ 2.1)


1. วาระการวิจัยและพัฒนา (R&D Agenda) : แสดงประเด็นด้านการวิจัยและพัฒนาที่มุ่งเน้น เกิดขึ้นจากการพิจารณาความต้องการ และศักยภาพในการพัฒนาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศ
2. ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)
3. เทคโนโลยีหลัก (Key technology) : แสดงเทคโนโลยีที่จำเป็นเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุผลและตอบสนองต่อกลุ่มผลิตภัณฑ์เป้าหมายภายใต้วาระการวิจัยและพัฒนาที่มุ่งเน้น เช่น เทคโนโลยีฐาน (Platform technology) หรือเทคโนโลยีหลัก (Core technology) ที่มีความสำคัญที่ต้องได้รับการพัฒนาขึ้นใหม่ หรือได้รับการต่อยอดจากของเดิม
4. ทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินการ (Resource) : ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ เครื่องมือ งบประมาณ และกำลังคน (นักวิจัยและนักวิจัยผู้ช่วย) ที่ใช้ในการสนับสนุนการวิจัย



รูปที่ 2-2: โครงสร้างต้นแบบของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

Product/Application A	ดำเนินการโดย ศน.
Product/Application B ○	ดำเนินการโดยศูนย์ความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยี (CoE)
Product/Application C ○○	ดำเนินการโดย ศน. และศูนย์ความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยี (CoE)





“It is not the strongest of
the species that survives,
nor the most intelligent,
but the one most responsive
to change.”

Charles Darwin

แผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2556-2559) (NanoTRM)

3.1 ภาพรวมของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2556-2559)

การกำหนดวาระการวิจัยและพัฒนา ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ เริ่มต้นจากการทบทวนวรรณกรรม (Literature review) เช่น National Nanotechnology Initiative (NNI)³, NANOfutures environment⁴, ข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นจาก ISI web of knowledge และการพิจารณาความสัมพันธ์และความสอดคล้องกับเป้าหมายของแผนต่างๆ เช่น แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) นโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2555-2564) นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) กรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564) แผนแม่บทศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (พ.ศ. 2555-2559) เป็นต้น ขั้นตอนที่สำคัญได้แก่การพิจารณาหาความต้องการของตลาด จุดแข็ง จุดอ่อนโอกาสขีดความสามารถ แนวโน้มเทคโนโลยี รวมถึงทรัพยากรที่จำเป็นจะต้องใช้ผ่านการประชุมระดมความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิ และคณะอนุกรรมการเทคนิคของ ศน. (ภาคผนวก ง)

จากกระบวนการดำเนินงานข้างต้น ทำให้สามารถสรุปภาพรวมของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาสำหรับช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 (รูปที่ 3-1) ในรูปแบบแผนภูมิโครงสร้างได้ดังนี้

1. วาระการวิจัยและพัฒนา (R&D Agenda) : ประกอบด้วย 8 วาระ ได้แก่

- 1) การป้องกัน การตรวจวินิจฉัย และการรักษาโรคที่มีความสำคัญ (Prevention, diagnosis and treatment of important diseases)
- 2) การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพ (Utilization of natural products and biodiversity)
- 3) การพัฒนากระบวนการทางการเกษตร การควบคุมแมลงและศัตรูพืช (Improvement of agricultural process and control of insects and pests)
- 4) เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์อาหาร (Postharvest technology and food packaging)
- 5) วัสดุนาโนเพื่อพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Nanomaterials for energy and environment)
- 6) นาโนเทคโนโลยีสำหรับการผลิตน้ำเพื่อการบริโภคและการบำบัดน้ำ (Nanotechnology for water treatment and remediation)
- 7) โครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพและกฎระเบียบ (Physical and regulatory infrastructure)
- 8) เทคโนโลยีฐานและเทคโนโลยีอุบัติใหม่ (Exploring cross-platform and key emerging technologies)

ครอบคลุมคลัสเตอร์เป้าหมายหลัก 4 คลัสเตอร์ ซึ่งระบุไว้ในกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2564) อันประกอบด้วย สุขภาพและการแพทย์ เกษตรและอาหาร อุตสาหกรรมการผลิต พลังงาน และสิ่งแวดล้อม

³ The National Nanotechnology Initiative (NNI) is a multi-agency U.S. Government program that coordinates Federal efforts in nanotechnology
ข้อมูลจาก www.nano.gov

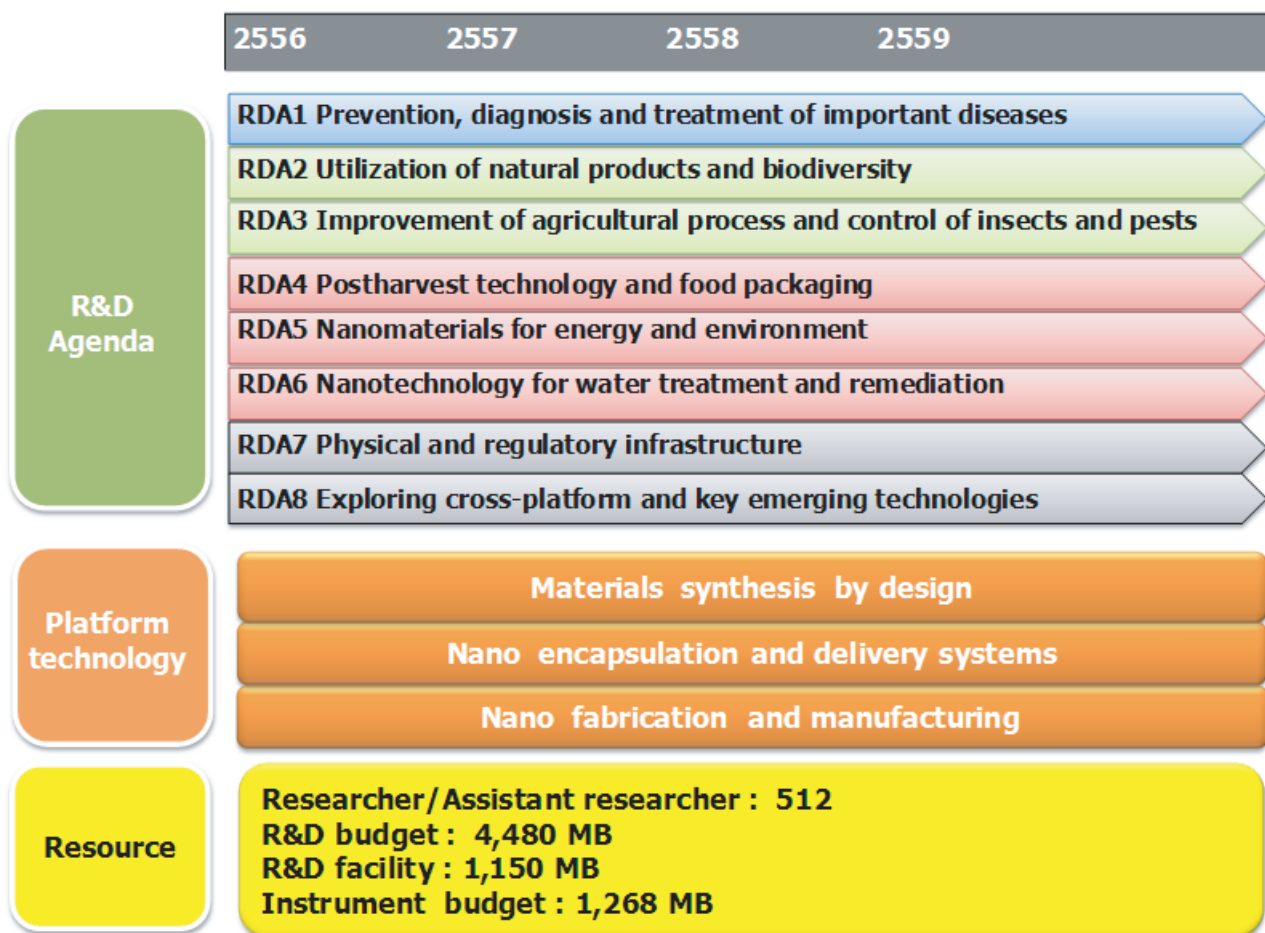
⁴ NANOfutures environment is an ETIP European Technology Integrating and Innovation Platform, multi-sectorial, cross-ETP, integrating platform with the objective of connecting and establishing cooperation and representation of Technology Platforms that require nanotechnologies in their industrial sector and products. <http://www.nanofutures.info/>

2. เทคโนโลยีฐาน (Platform technology) : ประกอบด้วย 3 เทคโนโลยี ได้แก่

- 1) การสังเคราะห์วัสดุผ่านการออกแบบ (Material synthesis by design)
- 2) การห่อหุ้มระดับนาโนและระบบการนำส่ง (Nano encapsulation and delivery systems)
- 3) การประดิษฐ์และการผลิตในระดับนาโน (Nano fabrication and manufacturing)

3. ทรัพยากรที่จำเป็น (Resource) : ประกอบด้วย 4 กลุ่ม คือ กำลังคน งบประมาณด้านการวิจัยและพัฒนา การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน และการลงทุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) กำลังคนด้านนักวิจัย (Researcher/ Assistant researcher) : 512 คน - ประกอบด้วยนักวิจัยภายใน ศน. และหน่วยงานภายนอกที่มีความร่วมมือทางด้านการทำวิจัย เช่น ศูนย์ร่วมวิจัยเครือข่ายพันธมิตรความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยี (CoE)
- 2) งบประมาณด้านการวิจัยและพัฒนา (R&D budget) : 4,480 ล้านบาท
- 3) การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน (R&D facility) : 1,150 ล้านบาท
- 4) การลงทุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ (Instrument budget) : 1,268 ล้านบาท



รูปที่ 3-1 : แผนภูมิโครงสร้างแสดงภาพรวมของแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี

3.2 รายละเอียด วาระการวิจัยและพัฒนา ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ และผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

ตารางที่ 3-1: รายละเอียด วาระการวิจัยและพัฒนา ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ และผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

วาระการวิจัยและพัฒนา (R&D Agenda)	ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ (Component Area)	ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)
1. การป้องกัน การตรวจวินิจฉัย และการรักษาโรคที่มีความสำคัญ Prevention, diagnosis and treatment of important diseases	1.1 นาโนเซนเซอร์สำหรับการวิเคราะห์และตรวจคัดกรอง Nanosensors for diagnosis and screening	การตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูก Cervical cancer screening
		จมูกอิเล็กทรอนิกส์ชีวภาพ Bioelectronic nose; Bio e-nose
		การตรวจมะเร็งแบบชี้เป้าด้วยแอนติบอดีโดยเทคนิคการถ่ายภาพระดับโมเลกุล Antibody targeted molecular imaging for cancer
		การตรวจกรดนิวคลีอิกด้วยเทคนิค LFA Nucleic acid detection by LFA
		การทดสอบไกลเคตอัลบูมิน Glycated albumin test
		ระบบตรวจหมู่โลหิตประสิทธิภาพสูง High-throughput blood group detection system
		ชุดตรวจโรคฉี่หนู Leptospirosis kit
		การตรวจโรคในสัตว์เศรษฐกิจ Economic animal diseases detection
		1.2 นาโนวัคซีนและยา Vaccines and nanomedicine
	วัคซีนไขหวัดใหญ่แบบให้ทางจมูก Nasal influenza vaccine	
	วัคซีนไรฝุ่น House dust mite vaccine	
	วัคซีนโรคฉี่หนู Leptospirosis vaccine	
	การบำบัดวัณโรคด้วยนาโนเทคโนโลยี Nano therapeutics for tuberculosis	
	ผลิตภัณฑ์สมานแผล Wound healing products	

วาระการวิจัย และพัฒนา (R&D Agenda)	ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา ซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ (Component Area)	ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)
	1.3 วัสดุทางการแพทย์ Medical materials	สิ่งทอที่เพิ่มสมบัติการป้องกันด้านชีวภาพ Multifunctional bio-protective textiles (anti-bacteria) สิ่งทอที่เพิ่มสมบัติการรับรู้ในแบบต่างๆ Multifunctional sensing e-textiles สิ่งทอที่เพิ่มสมบัติด้านการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและป้องกันแมลง Multifunctional bioactive and anti-pest textiles วัสดุนาโนคอมโพสิตสำหรับทันตกรรม Nano-composite materials for dental application
2. การใช้ประโยชน์จาก ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ และความหลากหลาย ทางชีวภาพ Utilization of natural products and biodiversity	2.1 นาโนเวชสำอางและ การห่อหุ้มสารสำคัญที่มาจากสมุนไพรไทย Nanocosmeceuticals and encapsulated Thai herbal active ingredients	ผลิตภัณฑ์เวชสำอางเพื่อลดริ้วรอย (เซรั่ม, ครีม) Anti-aging cosmetic products (Serum, Cream) ผลิตภัณฑ์ต่อต้านการเกิดเซลลูไลท์ Anti-cellulite products น้ำมันหอมระเหยระดับนาโน Nano aroma ผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม Hair care products
	2.2 นาโนเทคโนโลยีเพื่อ โภชนเภสัช Nutraceuticals based on nanotechnology	การเก็บกักเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์อาหาร Enzyme encapsulation of food products ตัวนำส่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพระดับนาโน Bio-compatible nanocarriers สารสกัดและเส้นใยสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อผลิตภัณฑ์ อาหารและเครื่องดื่ม Modified food and drink products from Thai herbal extract and fibers
	2.3 นาโนเทคโนโลยี เพื่อสุขภาพและอาหารสัตว์ Nanotechnology for animal health and feeds	ตัวนำส่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพระดับนาโน เพื่อการพัฒนาอาหารกุ้ง Bio-compatible nanocarriers for shrimp feed สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่ออาหารสัตว์ Bioactive compounds for animal feed फिल्मควบคุมการปลดปล่อยสำหรับอาหารสัตว์ Controlled release film for animal feed

วาระการวิจัย และพัฒนา (R&D Agenda)	ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา ซึ่งระบอบองค์ประกอบสำคัญ (Component Area)	ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)
3. การพัฒนา กระบวนการ ทางการเกษตร ควบคุมแมลง และศัตรูพืช Improvement of agricultural process and control of insects and pests	3.1 ปล่อยควบคุมการปลดปล่อย การเพิ่มสารอาหารให้พืช และยาปราบศัตรูพืช Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticides	ปล่อยควบคุมการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน สำหรับอ้อย Controlled N fertilizer for sugarcane
		ปล่อยควบคุมการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม Controlled NPK fertilizer
		ปล่อยผสมกับวัสดุปรับปรุงดิน Fertilizer with soil conditioning
		สารขับไล่แมลงแบบควบคุมการปลดปล่อย Controlled release pest repellent
	3.2 การพัฒนาคุณภาพของ ดินและบำรุงรักษาดิน Improvement of soil condition and remediation	วัสดุเพาะเมล็ด Seedling media (Peatmoss-like Soil)
		วัสดุเพาะกล้า Growing media (Peatmoss-like Soil)
		วัสดุปรับปรุงดิน Soil conditioner
		ระบบถังปฏิกรณ์เพื่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล คาร์บอนในเซชัน Hydrothermal carbonization production unit (8 Q/d)
4. เทคโนโลยีหลังการ เก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ อาหาร Postharvest technology and food packaging	4.1 วัสดุนาโนเพื่อบรรจุภัณฑ์ อาหารและการเก็บรักษา Nanomaterials for food packaging and preservation	การเคลือบผิววัสดุห่อและบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าเกษตร Functional coatings and packaging for agricultural products (Anti-bacteria and anti-fungal)
		แผ่นป้ายบอกอุณหภูมิและเวลา Time Temperature Indicator
	4.2 นาโนเซนเซอร์ เพื่อภาคการเกษตร Nanosensors for agricultural products	เซนเซอร์และระบบการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง Chemical toxic residue sensor and system eg. Antimicrobial substance
		เซนเซอร์และระบบการตรวจสอบโลหะหนัก Heavy metal ion sensor and system
		การตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ Microbial detection
		เซนเซอร์อะเรย์สำหรับการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ Sensor array for product-QC

วาระการวิจัย และพัฒนา (R&D Agenda)	ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา ซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ (Component Area)	ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)
5. วัสดุนาโนเพื่อพลังงาน และสิ่งแวดล้อม Nanomaterials for energy and environ- ment	5.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาและ วัสดุนาโนเพื่อการผลิต พลังงาน การกักเก็บพลังงาน และการใช้ประโยชน์ Nanocatalysis and nanomaterials for energy production, storage and utilization	ตัวเร่งปฏิกิริยาไบฟังก์ชันเพื่อการผลิตไบโอดีเซลที่ได้มาตรฐาน Bifunctional nanocatalyst for standard biodiesel production
		ตัวเร่งปฏิกิริยาระดับนาโนเพื่อผลิตดีเซลที่เป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อม Nanocatalyst for continuous production process of 2 nd generation green diesel
		ตัวเร่งปฏิกิริยาและเมมเบรนในอุตสาหกรรมพลังงานและ เคมีชีวภาพ Nanocatalyst and membrane for bio refinery towards energy industry
		ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโครงสร้างระดับนาโนสำหรับการผลิต และจัดเก็บพลังงานสะอาด Nanostructured catalysts for green energy production and storage
		เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทสีย้อมไวแสง/ยืดหยุ่น Dye-sensitized solar cell/Flexible solar cell
	5.2 เทคโนโลยีการผลิต ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม Green manufacturing technology	วัสดุนาโนสำหรับอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม Nano material for green building (Reduce energy consumption)
		เทคโนโลยีก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม Green technology for construction
		หน้าต่างอัจฉริยะ Intelligent window
		เครือข่ายเซนเซอร์เพื่อควบคุมมลพิษ Sensor array network for pollution control
		เครื่องแยกอนุภาคไมโครและนาโน Micro & nanoparticle classifier
5.3 โครงสร้างนาโนเพื่อดักจับ และแปรรูปคาร์บอนไดออกไซด์ Nanostructure for carbon capture and conversion	5.3 โครงสร้างนาโนเพื่อดักจับ และแปรรูปคาร์บอนไดออกไซด์ Nanostructure for carbon capture and conversion	ตัวเร่งปฏิกิริยาระดับนาโนเพื่อแปรรูปก๊าซเรือนกระจก ให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน Nanocatalyst for CO ₂ /CO/CH ₄ conversion to hydrocarbons and value-added chemicals
		โครงสร้างนาโนเพื่อดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ Nanostructure for CO ₂ capture

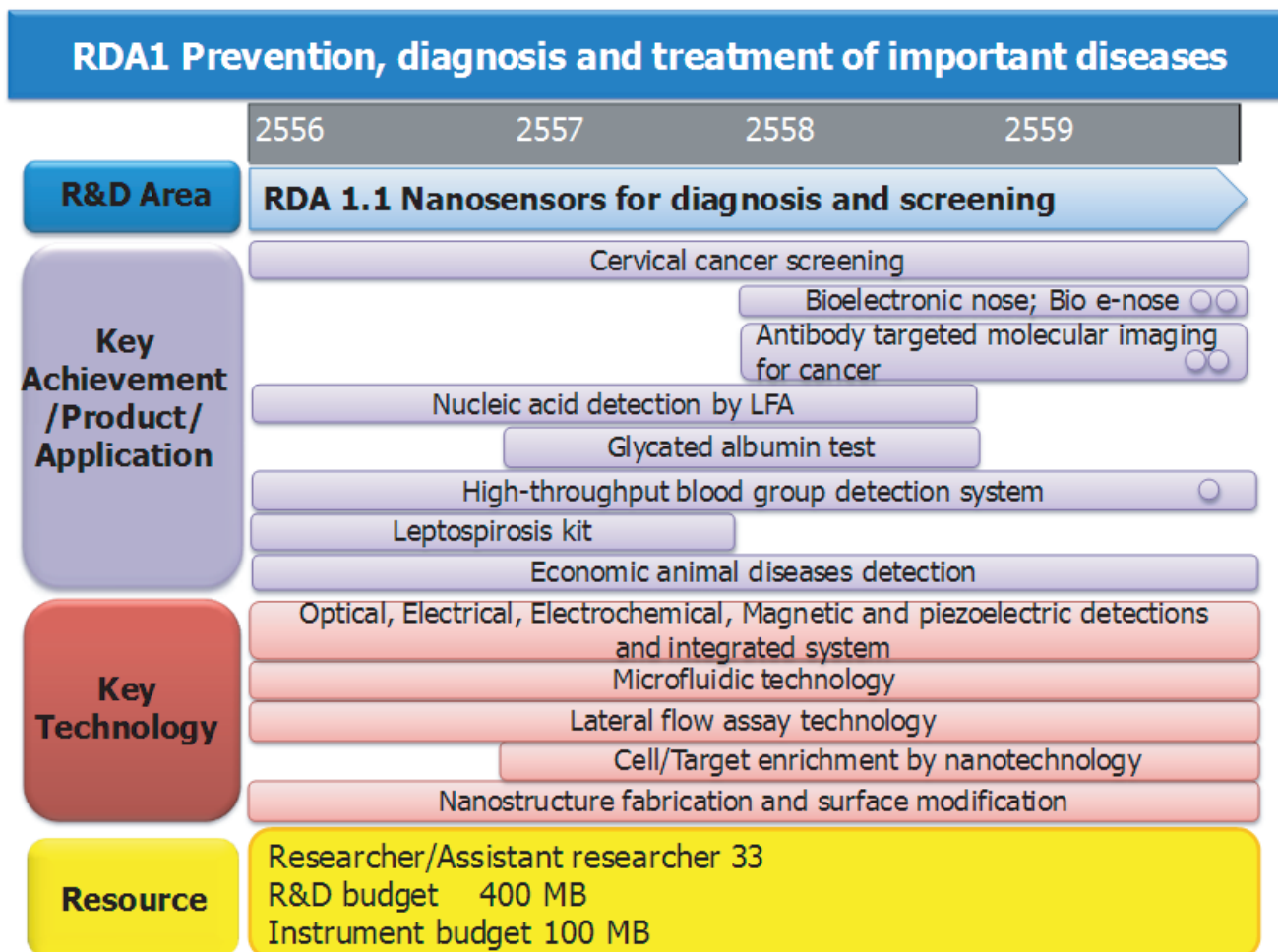
วาระการวิจัย และพัฒนา (R&D Agenda)	ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา ซึ่งระบอบองค์ประกอบสำคัญ (Component Area)	ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)	
6. นาโนเทคโนโลยี สำหรับการผลิตน้ำดื่ม และการบำบัดน้ำ Nanotechnology for water treatment and remediation	6.1 การผลิตน้ำดื่มด้วย นาโนเทคโนโลยี Nanotechnology for drinking water	ระบบกรองน้ำ Water purifying system ไส้กรองที่เพิ่มสมบัติพิเศษ Functional filter (Anti-bacteria, Other functions) ไส้กรองน้ำแบบพกพา Portable water filter	
	6.2 นาโนเทคโนโลยี เพื่อการบำบัดน้ำเสีย Nanotechnology for waste water treatment	วัสดุนาโนสำหรับกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อน Nanomaterials for organic remediation, i.e., Azo dye วัสดุนาโนสำหรับกำจัดโลหะหนักปนเปื้อน Nanomaterials for heavy metal removal i.e., As	
	7. โครงสร้างพื้นฐาน ทางกายภาพ และกฎระเบียบ Physical and regulatory infrastructure	7.1 ความปลอดภัยด้านนาโน เทคโนโลยีและการประเมิน ความเสี่ยง Nanosafety and risk assessment	การตรวจติดตามคุณลักษณะของวัสดุนาโนในผลิตภัณฑ์ Nano characterization for material tracking (Property, Sustain, Interaction, Release kinetics)
			วิธีการทดสอบและการสร้างแบบจำลองระบบทางเดิน อาหารเพื่อใช้ทดสอบความปลอดภัยของอาหาร สมุนไพร และอาหารเสริม Gut models and methods for food, herbal, nutraceutical safety
วิธีการทดสอบและการสร้างแบบจำลองผิวหนังเพื่อใช้ ทดสอบความปลอดภัยของสิ่งทอและเวชสำอาง Dermal models and methods for textile and cosmeceutical safety			
วิธีการทดสอบเพื่อประเมินการได้รับสัมผัสสละองลอย ในอากาศในที่ทำงาน Methods for aerosol exposure assessment in workplace			
7.2 เครือข่ายห้องปฏิบัติการ ระดับชาติด้านการตรวจวิเคราะห์ ระดับนาโน National laboratory		วิธีถ่ายภาพความละเอียดสูงที่พัฒนาขึ้นใหม่ Improved & new high resolution imaging method	
		วิธีมาตรฐานในการตรวจสอบสมบัติและหน้าที่ใหม่ของ ผลิตภัณฑ์นาโน Test standards for novel properties and functions of nano-enabled products	

วาระการวิจัย และพัฒนา (R&D Agenda)	ขอบเขตการวิจัยและพัฒนา ซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ (Component Area)	ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) ผลิตภัณฑ์ (Product) และการประยุกต์ใช้ (Application)
	network for nanoscale characterization and analysis	วิธีทางมาตรวิทยาสำหรับสอบกลับการวัดขนาดวัตถุนาโนที่มีความแม่นยำในระดับ 1 นาโนเมตร Traceable metrological methods for nano-objects on 1 nm accuracy level
	7.3 การประดิษฐ์ระดับนาโนและเครื่องมือที่มีความแม่นยำ Nanoscale fabrication and characterization facilities	การวิเคราะห์คุณสมบัติของโครงสร้างระดับนาโนและพื้นผิว Dynamic characterizations of nanostructure and surfaces การพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปโครงสร้างในระดับนาโนเมตรที่มีความละเอียดสูง High resolution fabrication technology for nanostructures การขึ้นรูปโครงสร้างสามมิติด้วยวิศวกรรมระดับนาโนที่มีความแม่นยำสูง High precise nanoengineered 3D structures
	8. เทคโนโลยีฐานและ เทคโนโลยีอุบัติใหม่ Exploring cross-platform and key emerging technologies	8.1 นาโนอิเล็กทรอนิกส์ Nanoelectronics
8.2 สิ่งทอนาโนสมบัติพิเศษ Nano functional textiles for advanced applications		เส้นใยที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น ความร้อน แสง หรือไฟฟ้า Thermally (or optically or electrically) active fibers เส้นใยที่มีความสามารถจดจำโครงสร้างลักษณะเดิมหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Shape-memory fibers เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง Multifunctional high strength fibers เส้นใยเพื่อสิ่งแวดล้อม Eco fibers
8.3 เทคโนโลยีอุบัติใหม่ Emerging technologies		เทคโนโลยีที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นในอนาคต Emerging technology

3.3 ขอบเขตการวิจัยและพัฒนาซึ่งระบุองค์ประกอบสำคัญ

R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases

R&D Area 1.1 - Nanosensors for diagnosis and screening



รูปที่ 3-2: R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases;
R&D Area 1.1 - Nanosensors for diagnosis and screening

ความต้องการของตลาด

นาโนเซนเซอร์สำหรับการวิเคราะห์และตรวจคัดกรอง เป็นนาโนเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์โมเลกุลของสารเคมีและสารชีวภาพ จึงสามารถแบ่งได้เป็นเซนเซอร์เคมีและเซนเซอร์ชีวภาพ การพัฒนานาโนเซนเซอร์ในทางการแพทย์และสาธารณสุขมีทั้งการพัฒนาเพื่อการตรวจสอบภายในร่างกาย(In vivo)และภายนอกร่างกาย(In vitro) เพื่อหาความผิดปกติ โดยตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ เช่น การผลิตสารเคมี การเปลี่ยนแปลงลำดับเบส การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ความเข้มข้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า แรงแม่เหล็ก ความดัน อุณหภูมิ เป็นต้น นอกจากนี้นาโนเซนเซอร์สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบนำส่งเพื่อระบุตำแหน่งในการนำส่งสารสำคัญ เช่น การปลดปล่อยตัวยาที่ตำแหน่งเซลล์มะเร็ง โดยการกระตุ้นของเซลล์มะเร็งที่มีความจำเพาะต่อระบบตรวจวัด เป็นต้น

ในปัจจุบันนาโนเซนเซอร์สำหรับการวิเคราะห์และตรวจสอบเบื้องต้นได้รับการความสนใจเป็นอย่างมาก โดยประเทศไทยมีศักยภาพในพัฒนานาโนเซนเซอร์เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในกลุ่มนี้ ทั้งนี้การพัฒนาความสามารถในวิจัยและพัฒนาเพื่อการออกแบบและผลิตนาโนเซนเซอร์ที่มีความเจาะจง มีประสิทธิภาพและสมบัติเฉพาะทางที่ต้องการ ร่วมกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและปัจจัยเอื้อที่เหมาะสม จะสามารถนำไปสู่การพัฒนาในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป นาโนเซนเซอร์จำนวนมากได้ถูกพัฒนาเพื่อการแพทย์และสาธารณสุข เนื่องจากมีความแม่นยำในการตรวจวิเคราะห์และตรวจจับสารในปริมาณน้อย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อการแพทย์ ได้แก่ กลูโคสเซนเซอร์สำหรับการติดตามและตรวจสอบระดับน้ำตาลกลูโคสสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งใช้หลักการของการตรวจวัดแบบชีวภาพด้วยเซนเซอร์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical biosensing technique) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีตลาดขนาดหลายพันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานด้านนาโนเซนเซอร์สำหรับการวิเคราะห์และตรวจคัดกรอง ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 8 กลุ่ม ประกอบด้วย

- การตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูก (Cervical cancer screening) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 โดยใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Biomarker) ซึ่งเป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีความสัมพันธ์กับรอยโรคมะเร็งในระยะเริ่มแรกในการดำเนินงานวิจัยจะเน้นวิธีในการวิเคราะห์และตรวจสอบให้เร็วขึ้นการเพิ่มความไวในการตรวจจับที่ดีขึ้น และลดการเกิดผลบวกปลอม (False positive) ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย 2 ชนิดได้แก่ Cervical cancer detector แบบ Immunochromatographic assay และ Portable cervical cancer detector
- จมูกอิเล็กทรอนิกส์ชีวภาพ (Bioelectronic nose; Bio e-nose) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2559 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ชีวภาพ สามารถประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์ เนื่องจากมีโรคหลายชนิดที่ทำให้ร่างกายคนไข้ที่เกิดโรคนั้นสร้างกลิ่นเฉพาะตัวขึ้นมา เช่น ผู้ป่วยที่เป็นโรคไตและผู้ป่วยที่เป็นโรคมะเร็งปอด เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์อาหารและสารพิษต่างๆ ได้อีกด้วย
- การตรวจมะเร็งแบบชี้เป้าด้วยแอนติบอดีโดยเทคนิคการถ่ายภาพระดับโมเลกุล ดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2559 สำหรับใช้ในงานสร้างภาพระดับโมเลกุลเพื่อการวินิจฉัย (Antibody targeted molecular imaging for cancer) เช่น ใช้เป็น MRI contrast agent
- การตรวจกรดนิวคลีอิกด้วยเทคนิค LFA (Nucleic acid detection by LFA) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558 สำหรับตรวจหาดีเอ็นเอแบบรวดเร็ว เพื่อใช้ในชุดตรวจพีซีอาร์สำหรับโรคต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ เชื้อวัณโรคดื้อยาเชื้อ Methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) เป็นต้น
- การทดสอบไกลเคตอัลบูมิน (Glycated albumin test) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2558 เพื่อการติดตามการดำเนินโรคเบาหวาน
- ระบบตรวจหมู่โลหิตประสิทธิภาพสูง (High-throughput blood group detection system) ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นระบบการตรวจเพื่อระบุหมู่เลือดของเซลล์เม็ดเลือด ด้วยวิศวกรรมพื้นผิวโดยตรง Functional molecules กับ Target molecules บนพื้นผิวอย่างจำเพาะเจาะจง
- ชุดตรวจโรคฉี่หนู (Leptospirosis kit) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2557 ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ชุดตรวจหาแอนติเจนของเชื้อโรคฉี่หนูแบบ Lateral flow และชุดตรวจหาดีเอ็นเอของเชื้อโรคฉี่หนูแบบ Nucleic acid lateral flow
- การตรวจโรคในสัตว์เศรษฐกิจ (Economic animal diseases detection) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ได้แก่ชุดตรวจเพื่อวินิจฉัยโรคในสุกร สัตว์ปีก สัตว์น้ำ

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 5 เทคโนโลยี คือ

- เทคโนโลยีการตรวจวัดด้วย แสง ไฟฟ้า ไฟฟ้าเคมี แม่เหล็ก การตรวจวัดด้านเพียโซอิเล็กทริกและ ระบบบูรณาการ (Optical, Electrical, Electrochemical, Magnetic and piezoelectric detections and integrated system) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 โดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษต่างๆ ทั้งคุณสมบัติพิเศษเชิงแสง ไฟฟ้า ไฟฟ้าเคมี สมบัติแม่เหล็ก สมบัติการเป็นเพียโซอิเล็กทริก รวมทั้งการบูรณาการคุณสมบัติพิเศษของวัสดุนาโนชนิดต่างๆ เพื่อพัฒนาวิธีการและเครื่องมือในการตรวจวัดและวิเคราะห์สารได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยพัฒนาเป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบและวิเคราะห์โมเลกุลทั้งสารเคมีและสารชีวภาพ เช่น เซนเซอร์แสง เซนเซอร์ไฟฟ้าเคมี เซนเซอร์แม่เหล็ก หรือเซนเซอร์ที่รวมสองคุณสมบัติในการตรวจวัด
- เทคโนโลยีไมโครฟลูอิดิก (Microfluidic technology) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีสำคัญสำหรับสร้าง Lab-on-a-chip สามารถทำการวิเคราะห์หรือสังเคราะห์สารได้รวดเร็วทั้งแบบปฏิกิริยาเดี่ยวและแบบขนาน (Array) โดยจัดทำเป็นอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับวัดปริมาณสารตกค้างหรือโมเลกุลเป้าหมายในตัวอย่างของเหลว ด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้าร่วมกับเทคนิคประมวลผลเซนเซอร์อะเรย์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวินิจฉัยทางการแพทย์ โดยอุปกรณ์ต้นแบบจะประกอบด้วยเทคโนโลยีของไหลจุลภาค ส่วนควบคุมการไหล ส่วนปรับสภาพตัวอย่าง ส่วนเพิ่มความเข้มข้น ส่วนตรวจวัดและประมวลผล พร้อมด้วยส่วนสมองกลอัตโนมัติ เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย มีประสิทธิภาพสูง และเคลื่อนย้ายสะดวก เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ ได้แก่ Microfluid flow design, Micro/nano fabrication และ Electrochemical processing and analysis
- เทคโนโลยีอิมมูโนโครมาโตกราฟี (Immuno chromatography technology) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างปฏิกิริยาการจับกันระหว่างแอนติบอดีและแอนติเจน และเทคโนโลยีการแยกสารโดยอาศัยหลักการละลายและการดูดซับที่ต่างกันของสารนาโนชนิดต่างๆ เช่น membrane เป็นต้น การไหลของสารเป็นได้ทั้งการไหลในแนวราบ (Lateral flow) และการไหลในแนวตั้ง (Vertical flow) โดยอาศัยเทคโนโลยีดังกล่าว ชุดตรวจต้นแบบชนิดต่างๆ จะถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบรูปแบบของชุดตรวจ การวิเคราะห์หาวัดยัติเกาะที่เหมาะสม การเลือกโมเลกุลเป้าหมาย การเลือกอนุภาคหรือวัสดุนาโนที่จะใช้เป็นตัวตรวจวัด ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนาโนชนิดนั้นๆ เพื่อป้องกันวิธีการตรวจวัด และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจหาของชุดตรวจ
- การเพิ่มความสามารถในการระบุเซลล์/เป้าหมายด้วยนาโนเทคโนโลยี (Cell/Target enrichment by nanotechnology) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยคุณสมบัติแม่เหล็กของอนุภาคนาโน และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจวัดของชุดตรวจหรือเซนเซอร์ประเภทต่างๆ ให้มีความไวและความแม่นยำสูงขึ้น โดยการตรึงโมเลกุลที่มีความจำเพาะกับโมเลกุลเป้าหมายที่สนใจเข้ากับอนุภาคแม่เหล็ก และใช้คุณสมบัติแม่เหล็กในการแยกเฉพาะส่วนโมเลกุลเป้าหมายที่สนใจที่อยู่ในตัวอย่างจริงเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป เป็นการทำให้ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มีความบริสุทธิ์มากขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างทางคลินิกเพื่อคัดเลือเฉพาะตัวอย่างเซลล์ที่สนใจ
- การผลิตโครงสร้างนาโนและการปรับแต่งสภาพพื้นผิว (Nanostructure fabrication and surface modification) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นการพัฒนารูปแบบในการสังเคราะห์อนุภาคหรือโครงสร้างนาโนชนิดต่างๆ ให้สมบัติเฉพาะ เช่น สมบัติเชิงแสง เชิงไฟฟ้า เป็นต้น หรือวิธีการพัฒนาวัสดุนาโนให้มีสมบัติเฉพาะดีขึ้น หรือมีสมบัติเฉพาะที่หลากหลายขึ้น รวมทั้งการปรับแต่งสภาพพื้นผิวของวัสดุนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น ให้มีความหลากหลาย ทั้งความหลากหลายเชิงเคมี และสมบัติทางกายภาพรวมทั้งให้มีความคงตัว เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีด้านอื่นๆ ต่อไป

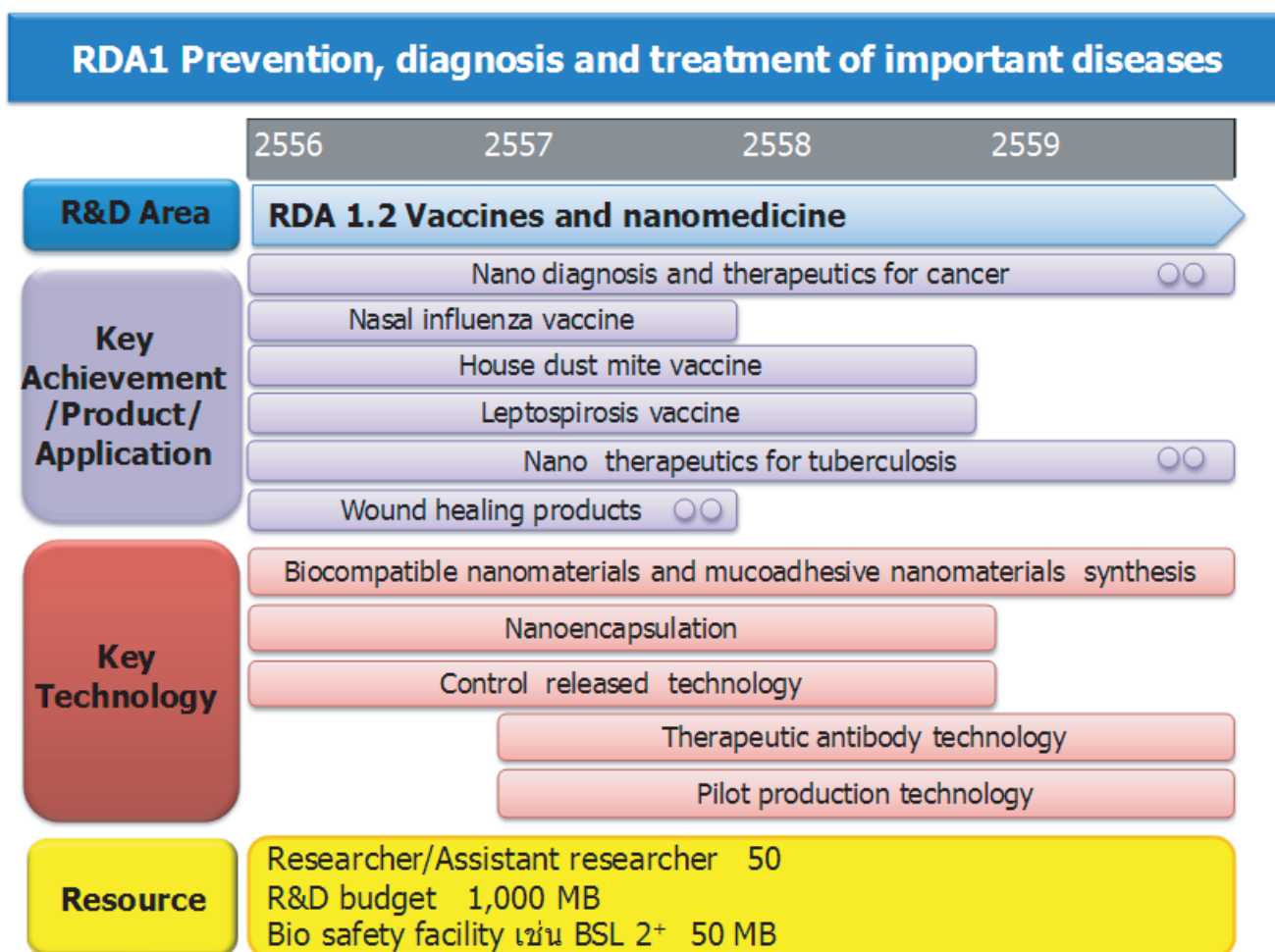
วิธีวิจัยสำหรับนาโนเซนเซอร์แต่ละชนิดดังนี้

- Cervical cancer screening ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือ 1) Cervical cancer detector แบบ Lateral flow assay ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยจะอาศัยแอนติบอดีจำเพาะต่อ Biomarker ที่ได้พัฒนาขึ้น ทำเป็น Lateral flow assay ใช้ตรวจตัวอย่างเซลล์จากผู้ป่วย ทราบผลภายใน 15 นาที โดยอาศัยเครื่องอ่าน (Strip reader) 2) ผลิตภัณฑ์ชนิด Portable cervical cancer detector ซึ่งอาศัยอนุภาคนาโนที่ติดฉลากด้วยแอนติบอดีต่อ Biomarker สามารถใช้ป้ายบนตำแหน่งที่สงสัยว่ามีรอยโรคในร่างกาย และตรวจดูได้โดยใช้เครื่องอ่านแบบพกพา อ่านสัญญาณที่เกิดจากสารเรืองแสงชนิดพิเศษที่อยู่ภายในอนุภาคนาโน ทำให้ทราบตำแหน่งและขอบเขตของรอยโรคทันที
- Bioelectronic nose (Bio e-nose) จมูกอิเล็กทรอนิกส์ชีวภาพ พัฒนาขึ้นเพื่อให้ความคล้ายคลึงกับสถานะในธรรมชาติของมนุษย์ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ระบบการตรวจวัดทางชีวภาพ (Biological recognition part) ที่อาศัยโปรตีนตรวจจับบนพื้นผิววิเคราะห์ และระบบส่งสัญญาณผ่านเซนเซอร์ (Non-biological sensor platform part) ที่อาศัยหลักการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Quartz Crystal Microbalance (QCM) หรือ Surface Plasmon Resonance (SPR) ในการส่งและแปลสัญญาณผ่านโปรแกรมและทำการประมวลผลที่ได้
- Antibody targeted molecular imaging for cancer ใช้ในงานสร้างภาพระดับโมเลกุลเพื่อการวินิจฉัยอาศัยอนุภาคนาโนชนิดพิเศษที่ให้สัญญาณวัดได้ด้วยเครื่องเอ็มอาร์ไอ ซึ่งอนุภาคนาโนชนิดพิเศษที่ออกแบบมาให้มีสมบัติพิเศษเฉพาะสามารถสร้างภาพระดับโมเลกุลได้ โดยการให้แสงฟลูออเรสเซนส์ หรือสร้างภาพภายใต้สนามแม่เหล็ก
- Nucleic acid detection by LFA เป็นชุดตรวจที่อาศัยหลักการ Lateral flow assay ประกอบด้วยแอนติบอดีต่อ Tag molecule อย่างน้อย 2 ชนิด ที่ติดฉลากที่ปลายของ PCR primer แต่ละข้าง เมื่อทำปฏิกิริยาพีซีอาร์เพื่อเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนเป้าหมายจะสามารถตรวจพบดีเอ็นเอได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 15 นาที โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือ และสามารถใช้กับระบบพีซีอาร์เพื่อตรวจหาดีเอ็นเอของยีนเป้าหมายได้หลายชนิด โดยเปลี่ยนชนิดของ Tag molecule ที่ปลายของ PCR primer
- Glycated albumin test ดำเนินการวิจัยโดยพัฒนาโมเลกุลชี้เป้าทั้งชนิดแอนติบอดีและแอปตาเมอร์ และนำมาใช้พัฒนาชุดตรวจที่อาศัยเทคโนโลยีเซนเซอร์แบบต่างๆ เพื่อให้สามารถวัดปริมาณ Glycated albumin ในเลือดได้
- High-throughput blood group detection system ระบบการตรวจวัดและจำแนกกลุ่มเลือดของเซลล์เม็ดเลือดแดง ใช้เทคนิค SPR ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เชิงแสงที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเห (Refractive index) หรือความหนาของชั้นฟิล์มที่บริเวณผิวหน้าของเซนเซอร์หรือพื้นผิววิเคราะห์ ด้วยหลักการนี้เองทำให้สามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดการเข้าจับกันของคู่สารที่มีความจำเพาะต่อกันได้ เช่น ปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Enzyme reaction) การจับกันของแอนติบอดีและแอนติเจน (Antibody-antigen binding) โดยข้อดีของเทคนิคนี้คือการตรวจวัดไม่ต้องใช้โมเลกุลติดฉลาก (Labeling reagent) และสามารถตรวจวัดแบบเรียลไทม์ได้ ซึ่งจะทำการพัฒนาเทคนิค SPR ผสมกับเทคนิค Microfluidic และเทคนิค Micro-printing เพื่อสร้างเป็นระบบตรวจสอบแบบอะเรย์ (Array) ที่สามารถตรวจวินิจฉัยสารได้หลายชนิดในปริมาณที่น้อย (Multi-probe) และจะประยุกต์ใช้เทคนิค SPR กับการตรวจวัดสารในทางการแพทย์ โดยอาศัยความจำเพาะของการเข้าจับของแอนติบอดีและแอนติเจนบนผิวเม็ดเลือดแบบจำเพาะซึ่งนำไปสู่การการตรวจวัดและจำแนกกลุ่มเลือดของเซลล์เม็ดเลือดแดง (ABO-blood type)
- Leptospirosis kit สำหรับชุดตรวจหาแอนติเจนของเชื้อโรคฉี่หนูแบบ Lateral flow อาศัยการพัฒนาแอนติบอดีจำเพาะชนิดต่างๆ และนำมาทำชุดตรวจแบบ Lateral flow ส่วนชุดตรวจหาดีเอ็นเอของเชื้อโรคฉี่หนู พัฒนาโดยอาศัยเทคโนโลยี Nucleic acid lateral flow
- Economic animal diseases detection ดำเนินการวิจัยโดยอาศัยเทคโนโลยีเซนเซอร์แบบต่างๆ

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวม ได้แก่ บุคลากรวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ชีวภาพ ชีวเคมี เคมี วัสดุศาสตร์ ฟิสิกส์ วิศวกรรม และแพทยศาสตร์ รวมทั้งสิ้น 33 คน (ประกอบด้วยนักวิจัย และนักวิจัยผู้ช่วย) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ จำนวน 400 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาอุปกรณ์ครุภัณฑ์ จำนวน 100 ล้านบาท เช่น Screen printing machine, Source measurement unit for I-V characterization, DC pulse generator for sputtering system

R&D Area 1.2 - Vaccines and nanomedicine



รูปที่ 3-3: R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases;
R&D Area 1.2 - Vaccines and nanomedicine

ความต้องการของตลาด

นาโนวัคซีนได้รับการพัฒนาจากแนวคิดที่ว่า ผลข้างเคียงจากยาหรือวัคซีนจะลดลงหากสารออกฤทธิ์นั้นๆ ถูกปล่อยไปยังเป้าหมายโดยตรง โดยนาโนวัคซีนสามารถให้แก่ผู้ป่วยได้หลายทาง เพื่อป้องกันโรคต่างๆ เช่น การให้วัคซีนทางจมูก โดยไม่ใช่เข็ม (Needle-free nasal immunization) โดยเป็น vaccine ซึ่งเตรียมจากอนุภาคนาโนของไลโปโซมหรือโคโตซาน วัคซีนชนิดนี้มีโอกาสในการพัฒนาเพื่อป้องกันโรคอื่นๆ เช่น ไข้หวัดใหญ่ แอนแทรกซ์ เอชอี 1 ฯลฯ รวมทั้งการเตรียมวัคซีนที่มีอนุภาคนาโนจากการเข้ากันได้ดีกับร่างกายและย่อยสลายได้ง่าย จาก Polylactide-co-glycolides (PLGA) ซึ่งทำหน้าที่ห่อหุ้ม (Encapsulate) แอนติเจนเพื่อปกป้องและปลดปล่อยแอนติเจนอย่างช้าๆ โดย อนุภาคนาโนมีขนาด 10-500 nm ตัวอย่างวัคซีนชนิดนี้ได้แก่ วัคซีนต่อเชื้อ Toxoplasma gondii ในแกะ และวัคซีนต่อเชื้อ Staphylococcus aureus ในวัว หรือการใช้ Nanobeads ที่มีแอนติเจนติดอยู่ที่ผิวด้วยพันธะโควาเลนต์ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันทั้ง 2 ระบบของร่างกาย (คือ Humoral และ Cell-mediated immunity) เนื่องจาก Nanobeads ที่มีขนาดประมาณ 40-50 nm

มีแนวโน้มที่จะจับและกระตุ้น Dendritic cell ใน Lymph node ซึ่งมีบทบาทในการกระตุ้น Cell-mediated immunity หรือการทำแผ่นแปะที่ผิวหนังเพื่อให้สารที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่า 500 Da ซึมผ่านผิวหนัง เป็นวิธีที่เจ็บปวดน้อยกว่าการใช้เข็ม โดยอาจต้องใช้เทคนิคอื่นๆ ช่วย เช่น Electroporation, การใช้แสงเลเซอร์หรือความร้อน, Ionophoresis เป็นต้น

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานด้านนาโนสำหรับวัคซีนและยาตามแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 6 กลุ่ม ประกอบด้วย

- การวินิจฉัยและบำบัดมะเร็งด้วยนาโนเทคโนโลยี (Nano diagnosis and therapeutics for cancer) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 พัฒนาและศึกษาอนุภาคนำส่งสำหรับใช้นำส่งสารสำคัญที่มีความจำเพาะกับเซลล์และเนื้อเยื่อมะเร็งมุ่งเน้นด้านการพัฒนาวัสดุนำส่งชนิดฟิล์มเส้นใยและอนุภาคแขวนลอยเพื่อควบคุมการปลดปล่อยยา โดยงานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันเป็นการพัฒนาและศึกษาอนุภาคนำส่งสำหรับใช้นำส่งสารสำคัญที่มีความจำเพาะกับเซลล์และเนื้อเยื่อมะเร็งปากมดลูกและการพัฒนาวัสดุนำส่งชนิดยัดเกาะเยื่อเมือก ช่วยเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสระหว่างเนื้อเยื่อเป้าหมายกับสารสำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านสารสำคัญเข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายเช่นการพัฒนาวัสดุนำส่งควบคุมการปลดปล่อยชนิดอนุภาคดัดแปลงโคโตซานเพื่อเพิ่มสมบัติยัดเกาะเยื่อเมือกสำหรับการนำส่งยาบรรเทาอาการอักเสบ
- วัคซีนไข้หวัดใหญ่แบบให้ทางจมูก (Nasal influenza vaccine) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2557 ทำการพัฒนากระบวนการปลดปล่อยแอนติเจนสำหรับกระตุ้นภูมิคุ้มกันควบคู่กับแอดจูแวนท์ผ่านระบบนำส่งชนิดไลโปโซมที่มีการดัดแปลงพื้นผิวให้มีความจำเพาะกับ Antigen Processing Cell (APC) มากขึ้น ซึ่งการดำเนินงานวิจัยในปัจจุบันสามารถผลิตโปรตีนและโปรตีนลูกผสมโดยใช้ Recombinant protein expression และสามารถขึ้นรูปวัสดุนำส่งนาโนชนิดต่างๆ ได้ในระดับห้องปฏิบัติการ รวมทั้งพัฒนาวัสดุนำส่งควบคุมการปลดปล่อยชนิดอนุภาคดัดแปลงโคโตซานเพื่อเพิ่มสมบัติยัดเกาะเยื่อเมือก
- วัคซีนไรฝุ่น (House dust mite vaccine) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558 เป็นการพัฒนาต่อจากโครงการวัคซีนไรฝุ่นเพื่อให้ได้วัคซีนแบบหยดใต้ลิ้น โดยทำการเก็บกักและนำส่งแอนติเจนในวัสดุนำส่งแบบไลโปโซมและอนุภาคโคโตซานเพื่อให้สามารถนำแอนติเจนเข้าสู่ระบบภูมิคุ้มกันได้ดียิ่งขึ้น ใช้ปริมาณแอนติเจนน้อยลงและมีความปลอดภัยสูงขึ้น โดยจะทำการเก็บกักแอนติเจนไรฝุ่นในอนุภาคนำส่งชนิดไลโปโซมและชนิด Chitosan และตรวจวิเคราะห์สมบัติการยัดเกาะเยื่อเมือกเพื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคที่บรรจุแอนติเจนไรฝุ่นสองสายพันธุ์ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ เพื่อพัฒนาเป็นวัคซีนไรฝุ่นต่อไป
- วัคซีนโรคฉี่หนู (Leptospirosis vaccine) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558 เป็นวัคซีนชนิด Recombinant protein ที่มีการนำส่งแอนติเจนในวัสดุนำส่งแบบไลโปโซม เพื่อให้สามารถนำแอนติเจนเข้าสู่ระบบภูมิคุ้มกันได้ดียิ่งขึ้น
- การบำบัดวัณโรคด้วยนาโนเทคโนโลยี (Nano therapeutics for tuberculosis) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ยาต้านวัณโรครูปแบบแอโรโซลซึ่งเตรียมด้วยกรรมวิธี Spray dry (Nano spray dried anti-TB dry powder inhaler) และพัฒนาระบบนำส่งยาโดยกักเก็บยาในอนุภาคนาโนซึ่งสามารถเพิ่มความคงตัวของยาเพิ่มการละลายและควบคุมการปลดปล่อยด้วยยาสำคัญ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาได้ โดยใช้สารที่มีสมบัติในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้สารที่สังเคราะห์ควรอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนเป็นของแข็งหรือเจลที่อุณหภูมิร่างกาย (Thermo-responsiveness) การบรรจุยาอนุภาคนาโนเข้าไปในระบบดังกล่าวจะช่วยทำให้ยาสามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์ได้มากขึ้น คาดว่าระบบนำส่งยานี้จะสามารถลดขนาดยา รวมถึงลดอาการข้างเคียงและอาการไม่พึงประสงค์จากยาได้

- ผลิตภัณฑ์สมานแผล (Wound healing products) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นวัสดุนำส่งชนิดของเหลวที่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเจลยึดเกาะเยื่อเมือกเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมุ่งเน้นการพัฒนาเพื่อนำส่งยาลดการอักเสบในระบบทางเดินอาหารส่วนต้นที่เกิดจากโรคกรดไหลย้อน และ/หรือ ยาลดการอักเสบจากโรคแผลในกระเพาะอาหาร โดยจะมีการพัฒนาวัสดุนำส่งชนิด Thermo responsive gel ที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อใช้พัฒนาเป็นวัสดุนำส่งยึดเกาะเยื่อเมือกให้บรรจวยาลดอาการอักเสบในระบบทางเดินอาหารภายในปี 2557

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 5 เทคโนโลยี คือ

- Biocompatible nanomaterials and mucoadhesive nanomaterials synthesis ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เทคโนโลยีการสังเคราะห์วัสดุชีวภาพ (Biocompatible nanomaterials) และวัสดุยึดเกาะเยื่อเมือก (Bioadhesive nanomaterials) เป็นการพัฒนาองค์ความรู้ในการออกแบบวัสดุที่มีความเป็นพิษต่ำ สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี และมีสมบัติตามที่ต้องการเช่นการยึดเกาะเยื่อเมือก โดยอาศัยองค์ความรู้ทางด้านเคมีและฟิสิกส์ ที่อาศัยสมบัติของโครงสร้างระดับนาโนของวัสดุ และทำการดัดแปลงทางเคมีเพื่อให้เกิดเป็นวัสดุชีวภาพชนิดใหม่ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ
- Nanoencapsulation ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558 เทคโนโลยีทางด้านการหุ้มห่อนาโนเป็นการพัฒนาเทคนิคหุ้มห่อสารออกฤทธิ์ (Bioactives) เพื่อยืดอายุหรือเพิ่มการกระจายตัว รวมทั้งการดัดแปลงพื้นผิวของวัสดุนำส่ง ทำให้สามารถนำสารออกฤทธิ์ไปยังเป้าหมายและปลดปล่อยสารสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- Control released technology ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558
- Therapeutic antibody technology ดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 เทคโนโลยีแอนติบอดีบำบัดเป็นการพัฒนากระบวนการคัดแยกแอนติบอดีที่สามารถจับกับเป้าหมายได้ตามที่ต้องการ และการดัดแปลงโครงสร้างแอนติบอดีเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการรักษา
- Pilot production technology ดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 เทคโนโลยีการผลิตเพื่ออุตสาหกรรมเป็นการพัฒนาเทคนิค กระบวนการและอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร ที่จำเป็นในการผลิตวัสดุและระบบนำส่งนาโนโดยมุ่งเน้นกระบวนการที่สามารถขยายปริมาณการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ง่าย รวมทั้งทำการทดสอบการหาค่า Parameters ในการผลิต เพื่อรองรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับภาคอุตสาหกรรมต่อไป

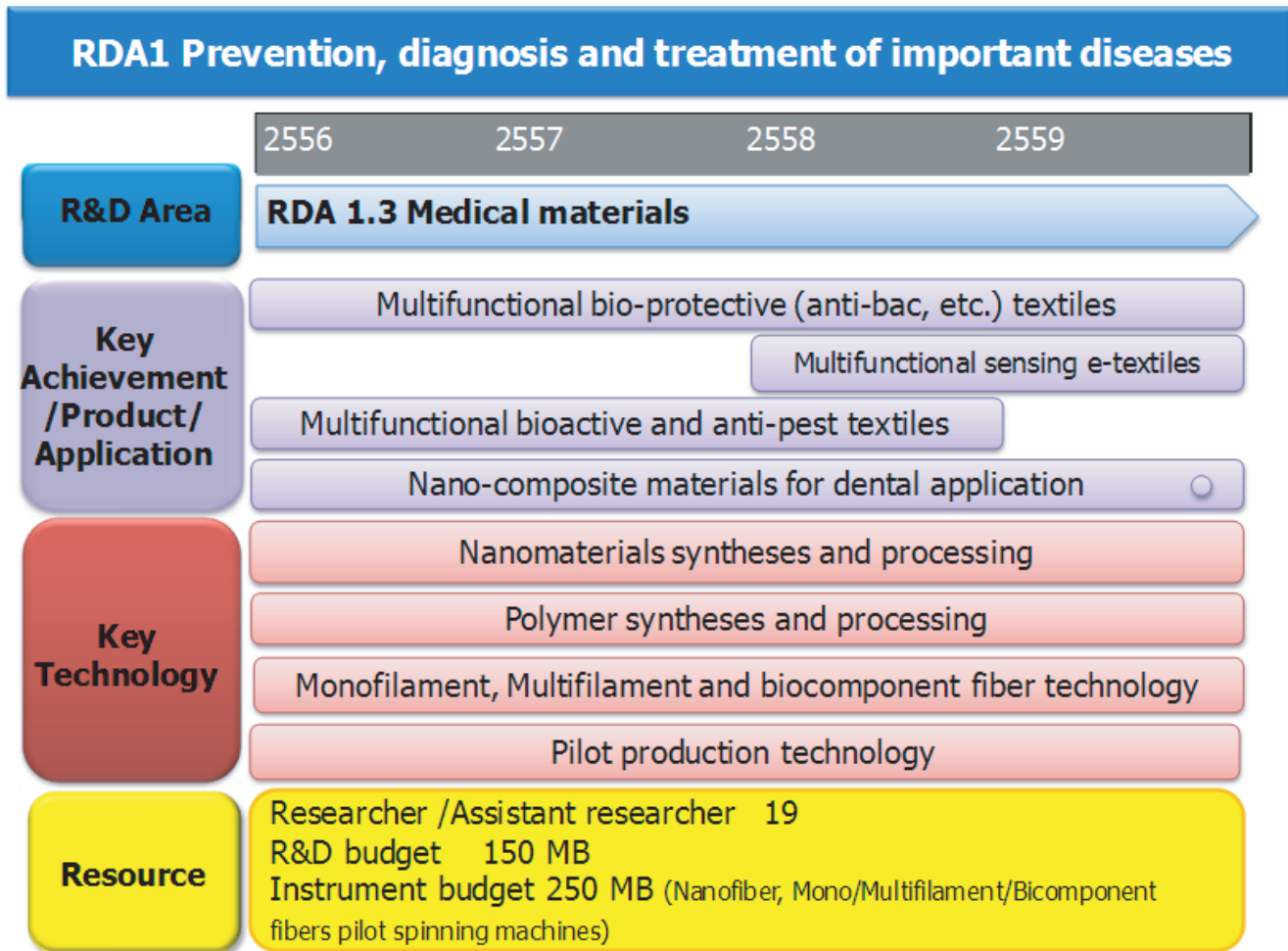
วิธีวิจัยสำหรับวัคซีนและการบำบัดโรคแต่ละชนิดดังนี้

- Nano diagnosis and therapeutics for cancer มุ่งเน้นด้านการพัฒนาวัสดุนำส่งชนิดฟิล์ม เส้นใย และอนุภาคแขวนลอยเพื่อควบคุมการปลดปล่อยยา โดยงานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันเป็นการพัฒนาและศึกษาอนุภาคนำส่งสำหรับใช้นำส่งสารสำคัญที่มีความจำเพาะกับเซลล์และเนื้อเยื่อมะเร็งปากมดลูก และการพัฒนาวัสดุนำส่งชนิดยึดเกาะเยื่อเมือก ช่วยเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสระหว่างเนื้อเยื่อเป้าหมายกับสารสำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านสารสำคัญเข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย เช่น การพัฒนาวัสดุนำส่งควบคุมการปลดปล่อยชนิดอนุภาคดัดแปลงโคโตซานเพื่อเพิ่มสมบัติยึดเกาะเยื่อเมือกสำหรับการนำส่งยาบรรเทาอาการอักเสบในหลอดอาหารช่วงปลายและกระเพาะอาหารช่วงต้น
- Nasal influenza vaccine ทำการพัฒนาระบบการปลดปล่อยแอนติเจนสำหรับกระตุ้นภูมิคุ้มกันควบคู่กับแอดจูแวนท์ผ่านระบบนำส่งชนิดไลโปโซมที่มีการดัดแปลงพื้นผิวให้มีความจำเพาะกับ Antigen Processing Cell (APC) มากขึ้น ซึ่งการดำเนินงานวิจัยในปัจจุบันสามารถผลิตโปรตีนและโปรตีนลูกผสมโดยใช้ Recombinant protein expression และสามารถขึ้นรูปวัสดุนำส่งนาโนชนิดต่างๆ ได้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยอยู่ในรูปแบบอนุภาคแขวนลอยขนาดต่างๆ เส้นใยและฟิล์มเป็นต้น

- House dust mite vaccine ทำการเก็บกักแอนติเจนไรฝุ่นในอนุภาคนำส่งชนิดไลโปโซมและชนิด Chitosan และตรวจวิเคราะห์สมบัติการยึดเกาะเยื่อเมือกเพื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคที่บรรจุแอนติเจนไรฝุ่นสองสายพันธุ์ ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ เพื่อพัฒนาเป็นวัคซีนไรฝุ่นต่อไป
- Leptospirosis vaccine ดำเนินการวิจัยโดยสร้าง Recombinant protein ด้วยวิธีทางพันธุวิศวกรรม เตรียมแอนติเจนโปรตีนบริสุทธิ์ นำส่งแอนติเจนในวัสดุนำส่งแบบไลโปโซมเพื่อให้สามารถนำแอนติเจนเข้าสู่ระบบภูมิคุ้มกันได้ดียิ่งขึ้น
- Nano therapeutics for tuberculosis การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการรักษาวัณโรค ด้วยการพัฒนาระบบนำส่งยาโดยกักเก็บยาในอนุภาคนาโนซึ่งสามารถเพิ่มความคงตัวของยา เพิ่มการละลาย และควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสสำคัญ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาได้ โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้สารที่สังเคราะห์ควรอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนเป็นของแข็งหรือเจลที่อุณหภูมิร่างกาย (Thermo-responsiveness) การบรรจุยาอนุภาคนาโนเข้าไปในระบบดังกล่าวจะช่วยทำให้ยาสามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์ได้มากขึ้น คาดว่าระบบนำส่งยานี้จะสามารถลดขนาดยา รวมถึงลดอาการข้างเคียงและอาการไม่พึงประสงค์จากยาได้ โดยระบบนำส่งจะใช้กับยาต้านวัณโรครูปแบบแอโรโซลซึ่งเตรียมด้วยกรรมวิธี Spray dry (Nano spray dried anti-TB dry powder inhaler)
- Wound healing products เป็นการพัฒนาวัสดุนำส่งชนิด Thermo responsive gel ที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อใช้พัฒนาเป็นวัสดุนำส่งยึดเกาะเยื่อเมือกให้บรรจยาลดอาการอักเสบในระบบทางเดินอาหาร

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

การพัฒนาวัคซีนและการบำบัดโรคระดับนาโนต้องการบุคลากรวิจัยรวมทั้งสิ้น 50 คน (ประกอบด้วยนักวิจัยและนักวิจัยผู้ช่วย) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการจำนวน 1,000 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นจำนวน 50 ล้านบาท ได้แก่ เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบการยึดเกาะเยื่อเมือกเพื่อศึกษาสมบัติการยึดเกาะของวัสดุ ควบคุมการปลดปล่อยชนิดต่างๆ ที่เตรียมขึ้น หน่วยวิเคราะห์ทดสอบในสัตว์ทดลองและการทดสอบระดับคลินิก เครื่องมือขึ้นรูปในระดับกึ่งอุตสาหกรรมเพื่อใช้สำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ รวมถึงการเตรียมพื้นที่สำหรับห้องปฏิบัติการที่มีมาตรฐานความปลอดภัยทางชีวภาพในระดับ 2+ (Biosafety level 2+) เพื่อรองรับการวิจัยและพัฒนาวัคซีนและการผลิตอนุภาคนำส่งที่มีองค์ประกอบของวัคซีนเชื้อที่มีชีวิต และมีความต้องการผู้ร่วมงานที่มีความชำนาญเฉพาะทางด้านวิศวกรรมเคมีที่สามารถให้คำปรึกษาด้านการออกแบบจัดสร้างเครื่องมือ เพื่อขยายปริมาณการผลิตในระดับกึ่งอุตสาหกรรมและระดับอุตสาหกรรม ซึ่งจะสนับสนุนให้โครงการที่ดำเนินจนถึงระดับต้นแบบภาคสนามสามารถดำเนินการต่อในระดับต้นแบบเชิงการค้าหรือสาธารณะประโยชน์ได้ และนอกจากนี้หน่วยปฏิบัติการยังมีความต้องการบุคลากรที่มีความชำนาญทางด้าน การออกแบบการทดลองพรีคลินิก (Pre-clinical test) ในสัตว์ทดลองและทำการในระดับคลินิก (Clinical test) เพื่อให้สามารถออกแบบการทดลองที่ตอบสนองและรองรับการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3-4: R&D Agenda 1 - Prevention, diagnosis and treatment of important diseases; R&D Area 1.3 - Medical materials

ความต้องการของตลาด

ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการวิจัยด้านวัสดุทางการแพทย์เป็นอย่างมากเนื่องจากวัสดุนาโนมีสมบัติพิเศษเมื่ออยู่ในระดับนาโน นาโนเทคโนโลยีสามารถใช้ได้กับวัสดุทางการแพทย์ทั้ง 4 ประเภทหลัก ได้แก่ โลหะทางการแพทย์ พอลิเมอร์ทางการแพทย์ เซรามิกทางการแพทย์ และคอมโพสิตทางการแพทย์

สิ่งทอทางเทคนิค (Technical textile) เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของสิ่งทอทั่วไป และยังมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะนอกจากสมบัติหลักแล้ว วัสดุที่ถูกขึ้นรูปเป็นสิ่งทอเทคนิคยังให้สมบัติอื่นๆ ที่เสริมประสิทธิภาพการใช้งานได้อีกด้วย เช่น ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความสามารถในการขึ้นรูปเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน และตรงตามความต้องการของตลาด นาโนเทคโนโลยีสามารถใช้ในการพัฒนาสมบัติพิเศษต่างๆ ให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอทางเทคนิค เช่น การเพิ่มวัสดุนาโนในเม็ดพลาสติกเพื่อขึ้นรูปเป็นเส้นใย การเคลือบเส้นใยหรือสิ่งทอในด้วยวัสดุนาโน เป็นต้น ในด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ มีการเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับสิ่งทอให้มีรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ความแข็งแรงแบบพิเศษ (High strength) ความสามารถในการตรวจวัด (Sensing activity) การเปลี่ยนแปลงทางแสงด้วยตัวกระตุ้น (Optically active) สิ่งเหล่านี้ช่วยขยายบทบาทและขอบเขตการใช้งานของสิ่งทอมากขึ้นเรื่อยๆ และเปิดตลาดใหม่และสร้างทางเลือกให้กับผู้บริโภคได้อย่างมากมาย

นอกจากนี้ ยังได้มีการวิจัยเตรียมวัสดุไฮบริดพลาสติกแบบใหม่ เพื่อใช้เป็นสารทดแทนในวัสดุอุดฟัน (Dental sealant) หรือวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทันตกรรม ซึ่งเป็นการรักษาทางทันตกรรมโดยใช้วัสดุพลาสติกไฮบริดที่คงทนและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยด้านสิ่งทอเทคนิคในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 ประกอบด้วย 4 เรื่องคือ

- สิ่งทอที่เพิ่มสมบัติการป้องกันด้านชีวภาพ (Multifunctional bio-protective (anti-bacteria, etc.) textiles) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เช่น การป้องกันแบคทีเรีย เชื้อรา เชื้อโรคต่างๆ เป็นสิ่งทอที่มีสมบัติหลากหลายในผลิตภัณฑ์เดียว
- สิ่งทอที่เพิ่มสมบัติการรับรู้ในแบบต่างๆ (Multifunctional sensing e-textiles) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2559 เช่น การรับรู้กลิ่น แสง การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ เป็นต้น โดยการรับรู้ต่างๆ ดังกล่าว จะเพิ่มศักยภาพทางด้านต่างๆ ในการป้องกันด้านชีวภาพ เป็นสิ่งทอที่มีสมบัติหลากหลายในผลิตภัณฑ์เดียว
- สิ่งทอที่เพิ่มสมบัติด้านการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและป้องกันแมลง (Multifunctional bioactive and antipest textiles) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558 มุ่งเน้นการขับไล่หรือป้องกัน เช่น เส้นใยไล่แมลง เส้นใยไล่ยุง เส้นใยฆ่ายุง เส้นใยป้องกันสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาจเป็นพาหะนำโรคต่างๆ โดยนอกจากสมบัติหลักเหล่านี้แล้วยังมีความประสงค์ที่จะเพิ่มเติมสมบัติรองอื่นๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน และอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
- วัสดุนาโนคอมโพสิตสำหรับทันตกรรม (Nano-composite materials for dental application) เป็นวัสดุไฮบริดพลาสติกแบบใหม่เพื่อใช้เป็นสารทดแทนในวัสดุอุดฟัน (Dental sealant) หรือวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทันตกรรม เพื่อป้องกันฟันผุ (Cavities)

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

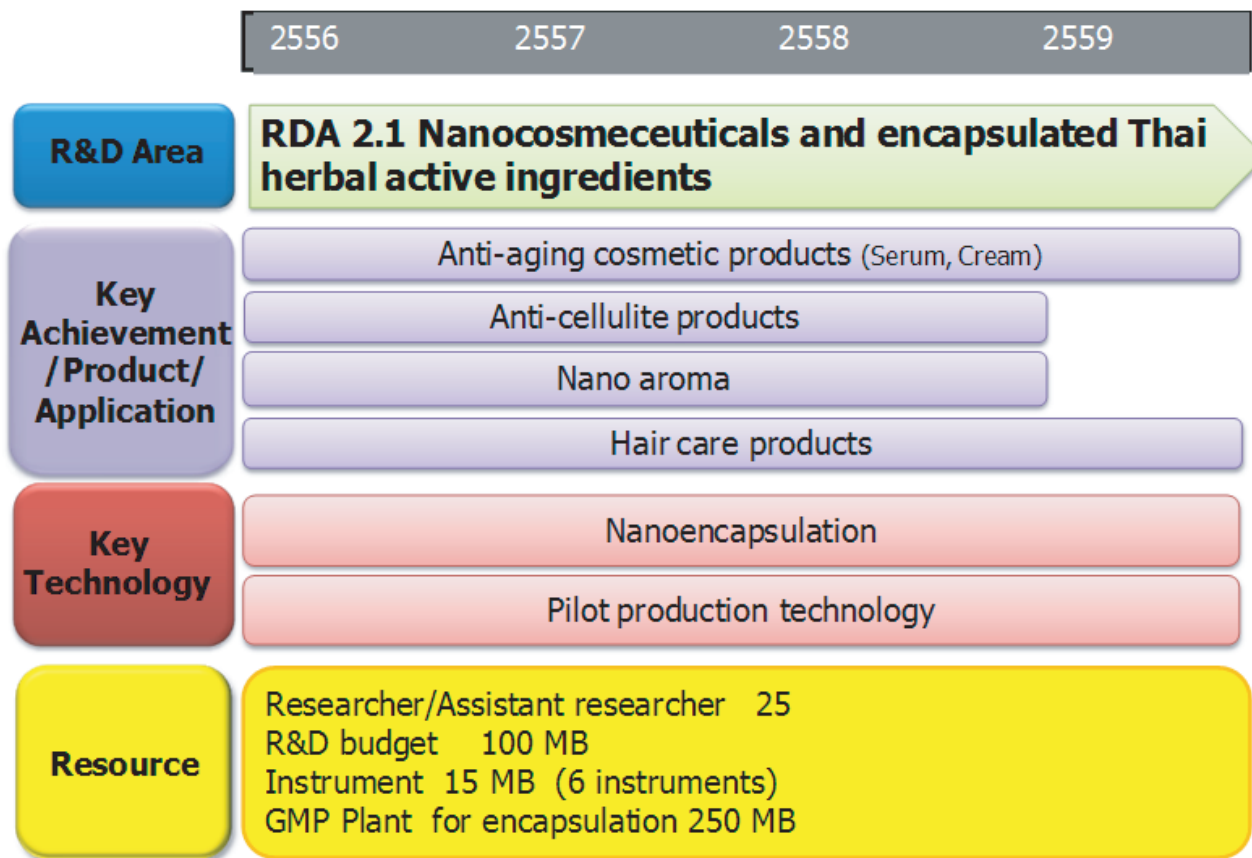
เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนา Medical materials สำหรับสิ่งทอทางการแพทย์และทันตกรรมในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 ประกอบด้วย 4 เทคโนโลยีคือ

- Nanomaterials syntheses and processing เป็นการสังเคราะห์วัสดุนาโนชนิดใหม่ รวมถึงการปรับปรุงวัสดุให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การบด การกระจายตัว
- Polymer syntheses and processing เป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ รวมถึงการสร้างพอลิเมอร์ให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การทำ Nanocomposites การกระจายตัวของวัสดุนาโนในพอลิเมอร์
- Monofilament, Multifilament and biocomponent fiber technology เป็นเทคโนโลยีการขึ้นรูปเส้นใย ตั้งแต่เส้นใยนาโนหรือ Nanofibers เส้นใย Monocomponent microfibers เส้นใย bicomponent ซึ่งมีสององค์ประกอบบนหน้าตัด
- Pilot production technology เพื่อขยายขนาดงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ไปสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรม (Mass production) ประกอบด้วยการวางแผนการผลิต การผลิต การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ จนได้คู่มือการผลิตพร้อมส่งมอบให้ลูกค้า

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 19 คน (ประกอบด้วยนักวิจัย และนักวิจัยผู้ช่วย) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 150 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาเครื่องมือ 250 ล้านบาท สำหรับเครื่องฉีดเส้นใยทั้งระดับห้องปฏิบัติการและระดับภาคสนาม โรงงานสำหรับต้นแบบภาคสนาม (Bicomponent fibers pilot spinning machines) รวมถึงเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบเส้นใย

RDA2 Utilization of natural products and biodiversity



รูปที่ 3-5: R&D Agenda 2 - Utilization of natural products and biodiversity;
R&D Area 2.1 - Nanocosmeceuticals and encapsulated Thai herbal active ingredients

ความต้องการของตลาด

การห่อหุ้มในระดับนาโน (Nanoencapsulation) เป็นนาโนเทคโนโลยีที่ใช้ผลิตอนุภาคที่มีขนาดระดับนาโนเมตร (Nanoparticles) ซึ่งภายในอนุภาคนาโนมีโมเลกุลของสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารสกัดสมุนไพรถูกห่อหุ้มอยู่ อนุภาคนาโนสามารถใช้เป็นระบบนำส่งสารสำคัญเข้าสู่เซลล์เป้าหมาย ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารสำคัญในรูปแบบที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ และเพิ่มความคงตัวทางเคมีและกายภาพของสารสำคัญ

ในปัจจุบันสมุนไพรไทยได้รับความสนใจและส่งเสริมให้ใช้ในสาธารณสุขเพื่อส่งเสริมสุขภาพและเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจ มีงานวิจัยเกี่ยวกับการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความเป็นพิษอย่างกว้างขวาง นอกจากฤทธิ์บำรุงรักษาสุขภาพหรือบำบัดรักษาโรคแล้ว สารสกัดสมุนไพรนิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางเพื่อต้องการฤทธิ์ชีวภาพทางเครื่องสำอาง เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เพื่อการปกป้องเซลล์ผิวจากอนุมูลอิสระที่ทำลายเซลล์หรือทำให้เซลล์เสื่อมสภาพนำมาซึ่งริ้วรอยเหี่ยวย่น ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อีลาสเตส (Elastase) เพื่อรักษาความยืดหยุ่นของเซลล์ผิวและชั้นของผิวหนัง ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase) เพื่อให้เซลล์ผิวกระจ่างใส ไม่หมองคล้ำ เป็นต้น การนำสารสกัดสมุนไพรที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต้องการมาเก็บกักไว้ในอนุภาคที่มีขนาดระดับนาโนเมตร โดยการห่อหุ้มด้วยสารไขมัน สารลดแรงตึงผิว และ/หรือพอลิเมอร์ และนำอนุภาคนาโนดังกล่าวไปผสมในตำรับของเครื่องสำอาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือเวชสำอาง

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนเวชสำอางและการห่อหุ้มสารสำคัญที่มาจากผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทย ตามแผนที่นำทางนาโนเทคโนโลยี มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- ผลิตภัณฑ์เวชสำอางเพื่อลดริ้วรอย (Anti-aging cosmeceutical products) ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 โดยเป็นงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดริ้วรอยและชะลอความแก่ของเซลล์ผิวที่มีส่วนผสมของอนุภาคนาโนสารสกัดสมุนไพร
- ผลิตภัณฑ์ต่อต้านการเกิดเซลลูไลท์ (Anti-cellulite products) ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 เป็นผลิตภัณฑ์เจลผสมอนุภาคนาโนสารสกัดสมุนไพรที่มีฤทธิ์ลดการเกิดเซลลูไลท์
- น้ำมันหอมระเหยระดับนาโน (Nano aroma) ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผสมอนุภาคนาโนสารหอมจากดอกไม้ไทย
- ผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม (Hair care products) ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับทำความสะอาดและบำรุงเส้นผม

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนเวชสำอางและการห่อหุ้มสารสำคัญที่มาจากผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทย ตาม NanoTRM จะใช้เทคโนโลยีหลัก 2 เทคโนโลยีคือ Nanoencapsulation และ Pilot production technology ซึ่งดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 โดยมีวิธีการวิจัยในแต่ละผลิตภัณฑ์คือ

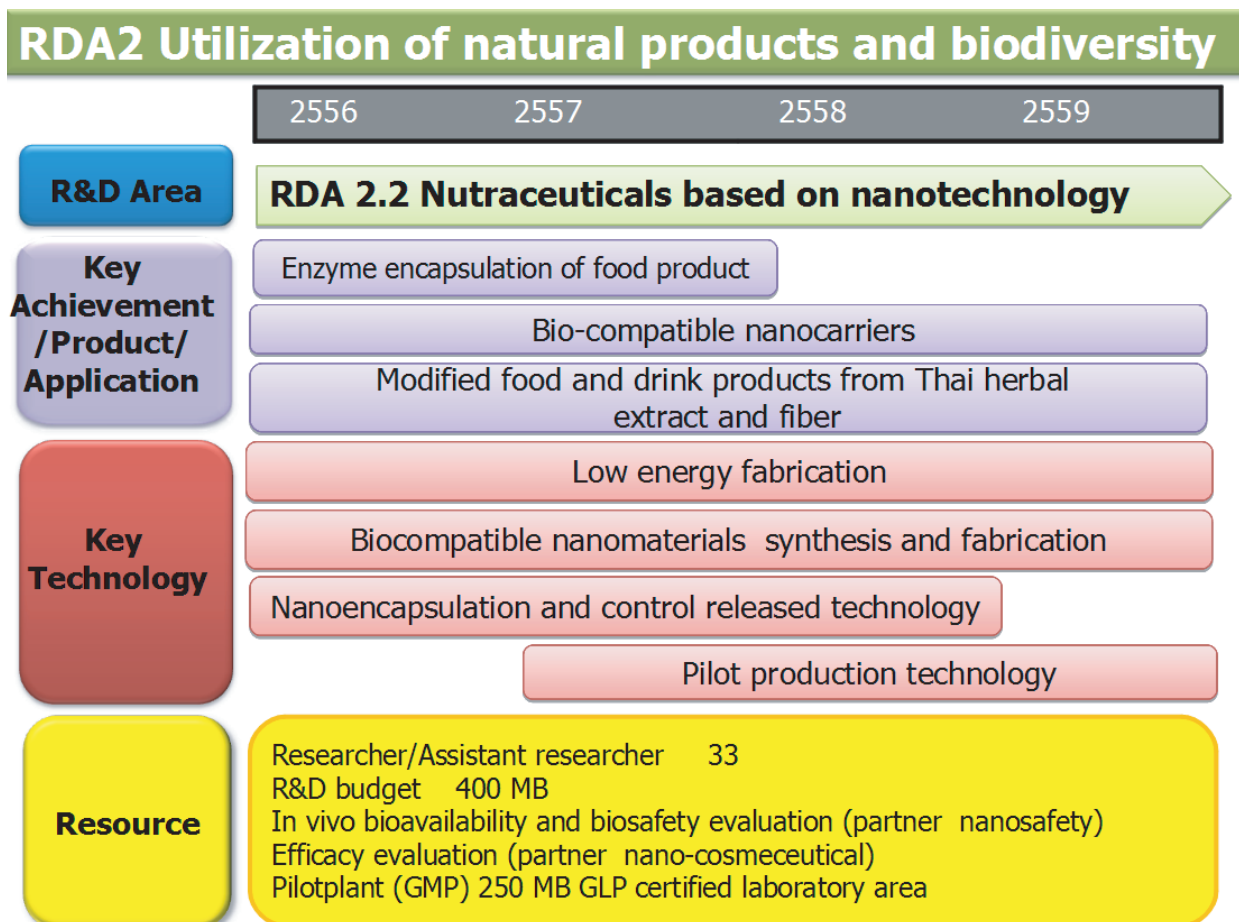
- Antiaging cosmeceutical products การวิจัยประกอบการสกัดสมุนไพร (Plant extraction) ซึ่งจะทำในช่วงปี พ.ศ. 2556-2557 เพื่อสกัดสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชสมุนไพร นำไปเก็บกักในรูปแบบอนุภาคนาโน โดยจะทำการวิเคราะห์สาระสำคัญที่มีในสารสกัดด้วยวิธีเคมีวิเคราะห์ (Analytical chemistry) ซึ่งจะทำในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารสำคัญที่ได้ด้วยเทคนิคทางโครมาโตกราฟี เช่น HPLC, GCMS, TLC densitometer หรือเทคนิค Capillary electrophoresis รวมทั้งนำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้เพื่อศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัด คัดกรองสารสกัดสมุนไพรโดยศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านเอนไซม์คอลลาจีเนส (Collagenase) ฤทธิ์ต้านเอนไซม์อีลาสเตส เมื่อได้สารสกัดที่มีฤทธิ์ดังกล่าวดีในห้องปฏิบัติการ (In vitro) และมีศักยภาพในการนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม จึงทดสอบฤทธิ์การสังเคราะห์คอลลาเจนทั้งหมด (Total collagen synthesis) และหาปริมาณการแสดงออกของเอนไซม์ Matrix metalloproteases ของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (Fibroblast cells) จากนั้นจึงนำสารสกัดที่ออกฤทธิ์ดีในเซลล์ไฟโบรบลาสต์มาเก็บกักในรูปแบบอนุภาคนาโนและพัฒนาสารสกัดให้มีความคงตัวโดยวิธี Nanoencapsulation ตั้งแต่กลางปี พ.ศ. 2556-2558 และพัฒนาครีมบำรุงผิวและเซรั่มผสมอนุภาคนาโนของสารสกัดสมุนไพร ศึกษาความคงตัวของอนุภาคนาโนสมุนไพรและผลิตภัณฑ์ โดยเทคโนโลยีการพัฒนาตำรับ (Formulation technology) ตั้งแต่กลางปี พ.ศ. 2556-2559 และใช้เทคโนโลยีด้านวิศวกรรมชีวภาพ (Bioengineering technology) เพื่อทดสอบความระคายเคืองและประสิทธิศักร (Efficacy) ในอาสาสมัคร (พ.ศ. 2559)
- Anti-cellulite products ใช้เทคโนโลยีการสกัดสมุนไพรคัดกรองสารสกัดสมุนไพรและเทคโนโลยีชีวภาพ โดยทดสอบฤทธิ์การสลายไขมันและฤทธิ์อื่นที่เกี่ยวข้องในเซลล์ไขมันในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 จากนั้นใช้นาโนเทคโนโลยีนำสารสกัดที่มีฤทธิ์ดีมาเก็บกักในรูปแบบอนุภาคนาโน เช่น นาโนไลโปโซม (Nanoliposomes) เพื่อนำส่งสารสกัดสมุนไพรเข้าสู่ผิวหนังและเซลล์เป้าหมาย คัดเลือกสูตรตำรับที่ให้ขนาดและการกระจายขนาดที่ตรงตามความต้องการ ซึ่งจะดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2557-2558 และพัฒนาเจลผสมอนุภาคนาโนสารสกัดสมุนไพรลดการเกิดเซลลูไลท์ ศึกษาความคงตัวของอนุภาคนาโนสมุนไพรและผลิตภัณฑ์ทดสอบความระคายเคือง และประสิทธิศักรในอาสาสมัครในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559
- Nano aroma ใช้เทคโนโลยีการสกัดสารหอมจากดอกไม้ไทยที่มีกลิ่นหอม เช่น ดอกกรรณิการ์ ด้วยวิธีการสกัดที่เหมาะสม ที่ให้คุณภาพของกลิ่นใกล้เคียงกับการดมดอกไม้ไทยสด ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารหอมจากดอกไม้ไทยในช่วงปี พ.ศ. 2556-2557 จากนั้นนำสารสกัดมาพัฒนาให้มีกลิ่นหอมจำเพาะในช่วงปี พ.ศ. 2557-2558 และใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการทดสอบฤทธิ์ที่มีผลต่อเซลล์เพาะเลี้ยงเซลล์ประสาทในการประเมินฤทธิ์ทางสุนทรียบำบัดในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559 คัดเลือกกลิ่นหอมที่มีฤทธิ์มาพัฒนาเก็บกักในรูปแบบอนุภาคนาโนโดยใช้นาโนเทคโนโลยี เช่น นาโนไลโปโซม นาโนไอโอโซม (Nanoniosomes) เพื่อควบคุมให้มีการปลดปล่อยกลิ่นหอมอย่างช้าๆ และคงอยู่นานขึ้น และประเมินผลของกลิ่นต่อความพึงพอใจของอาสาสมัคร ในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559

- Hair care products ใช้เทคโนโลยีการสกัดสารเพื่อคัดเลือกสมุนไพรและใช้เทคโนโลยีชีวภาพนำสารสำคัญมาทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพในช่วงปี พ.ศ. 2556-2557 จากนั้นใช้นาโนเทคโนโลยีนำสารสกัดที่มีฤทธิ์ดีมาเก็บกักในรูปแบบอนุภาคนาโนและพัฒนาสูตรตำรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและบำรุงเส้นผมในรูปแบบของแชมพูครีมหวดผมชนิดเข้มข้นแบบล้างออกด้วยน้ำ และโลชั่นบำรุงเส้นผม เพื่อใช้ในการดูแลและบำรุงรักษาผมให้มีสุขภาพดี โดยพัฒนาสูตรตำรับในช่วงปี พ.ศ. 2557-2558 ทดสอบความคงตัว ทดสอบการระคายเคือง และความพึงพอใจในอาสาสมัครในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 25 คน (ประกอบด้วยนักวิจัย และนักวิจัยผู้ช่วย) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 100 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาอุปกรณ์ครุภัณฑ์ 15 ล้านบาท ได้แก่ Sonicator probe, เครื่องวัด SPF, เครื่อง Tensile strength, เครื่อง Texture analysis, เครื่อง UHPLC/MS/MS, เครื่อง TLC densitometer, เครื่อง Capillary electrophoresis และงบประมาณสำหรับจัดหาโครงสร้างพื้นฐานในการจัดสร้างโรงงานผลิตอนุภาคนาโนกึ่งอุตสาหกรรม (GMP plant for encapsulation) จำนวน 250 ล้านบาท

R&D Area 2.2 - Nutraceuticals based on nanotechnology



รูปที่ 3-6: R&D Agenda 2 - Utilization of natural products and biodiversity;
R&D Area 2.2 - Nutraceuticals based on nanotechnology

ความต้องการของตลาด

ผู้บริโภคมีแนวโน้มให้ความสนใจดูแลสุขภาพมากขึ้น ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้รับความนิยม เนื่องจากผู้บริโภคเชื่อว่าสามารถช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของร่างกาย ช่วยป้องกันและรักษาโรคบางชนิด หรือช่วยให้ระบบต่างๆ ของร่างกายทำงานได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม สารออกฤทธิ์ในอาหารเสริมและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพต้องผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์และความปลอดภัยก่อนออกสู่ตลาด

ระบบนำส่งสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมของคนและสัตว์เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร ความคงตัว และความเข้ากันได้กับสูตรตำรับอาหารและกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่มีอยู่แล้ว ทำให้สามารถพัฒนาต่อเนื่องเป็นต้นแบบระดับอุตสาหกรรมหรือต้นแบบเชิงการค้าได้อย่างรวดเร็ว ช่วยเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบการเกษตรและผลิตภัณฑ์การเกษตร

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อโภชนเภสัชตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

- การเก็บกักเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Enzyme encapsulation of food product) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2557 เป็นการเก็บกักเอนไซม์ที่จำเป็นในระบบทางเดินอาหารเพื่อใช้เป็นวัตถุเสริมอาหาร (Food additive) ที่สามารถทนต่อความร้อนและเพิ่มความคงตัวของเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดเครื่องดื่มที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร
- ตัวนำส่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพระดับนาโน (Bio-compatible nanocarriers) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ซึ่งเป็นการดำเนินงานวิจัยการขึ้นรูปและทดสอบความคงตัว คุณสมบัติและประสิทธิภาพการนำส่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ใช้ในรูปอาหารเสริมและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว
- สารสกัดและเส้นใยสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม (Modified food and drink products from Thai herbal extract and fiber) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ตัวอย่างเช่นมะขามป้อม (Phyllanthus emblic) เป็นสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง เป็นส่วนประกอบของพิกัดตรีผลาในทางการแพทย์แผนไทย น้ำคั้นและเนื้อผลอุดมไปด้วยวิตามินและเส้นใย ปัจจุบันมีการนำมะขามป้อมมาสกัดเพื่อใช้ประโยชน์ทั้งทางยาและเครื่องสำอาง หลังจากการสกัดจะเหลือส่วนกากที่เป็นเส้นใยซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์พบว่ากากเส้นใยยังคงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และช่วยกระตุ้นการขับถ่าย ดังนั้นจึงต้องการนำกากเส้นใยที่เหลือทิ้งมาพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเครื่องดื่ม เพื่อเพิ่มเส้นใยอาหาร ลดปริมาณการรับประทานคาร์โบไฮเดรต และให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่เหมาะสม เช่น ขนมปัง คุกกี้และอื่นๆ

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 5 เทคโนโลยี คือ Low energy fabrication และ Biocompatible nanomaterials synthesis and fabrication ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559, Nano encapsulation control released technology ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558 และ Pilot production technology ดำเนินการในปีพ.ศ. 2557-2559 โดยมีวิธีวิจัยในแต่ละผลิตภัณฑ์คือ

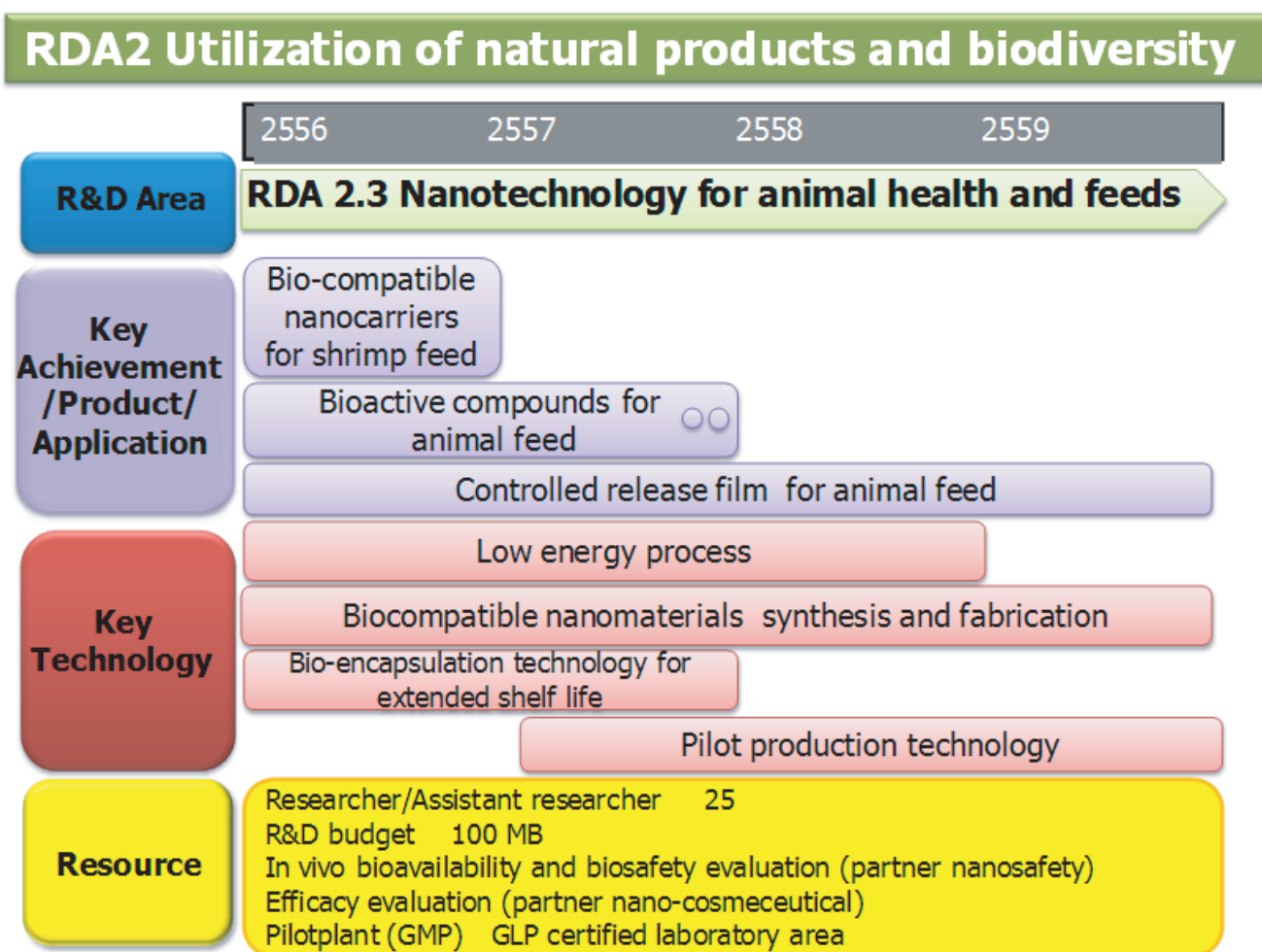
- Enzyme encapsulation of food product เป็นการพัฒนาเทคนิคและวัสดุห่อหุ้มเพื่อเพิ่มความคงตัวของเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการและวัสดุที่สามารถขยายกำลังการผลิตได้ง่าย และมีความปลอดภัยสูง ยอมรับให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้และสามารถดำเนินการผลิตได้ทันที

- Bio-compatible nanocarriers เป็นการพัฒนาระบบการผลิตที่เหมาะสมกับวัสดุนำส่งที่ยอมรับให้ใช้ได้ ในอาหาร เช่น การทำ Spray dry หรือการสังเคราะห์อนุภาคด้วยกระบวนการที่ใช้ Supercritical carbondioxide รวมทั้งการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่และทดสอบความปลอดภัยในการใช้เป็นวัตถุเสริมอาหาร เช่น ไคโตซานหรือแป้งดัดแปลง เป็นต้น
- Modified food and drink products from Thai herbal extract and fiber จะพัฒนาสูตรตำรับทดสอบ ความคงตัว และทดสอบความพึงพอใจรสชาติในอาสาสมัคร

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรได้แก่ บุคลากรวิจัยรวมทั้งสิ้น 33 คน (ประกอบด้วยนักวิจัย คนและนักวิจัยผู้ช่วย) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 400 ล้านบาท และโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ หน่วยวิเคราะห์ทดสอบในสัตว์ทดลอง และการทดสอบระดับคลินิก เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และมีความต้องการเครื่องมือขั้นสูงในระดับ กิ่งอุตสาหกรรมเพื่อใช้สำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ รวมทั้งพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบในระดับ กิ่งอุตสาหกรรม (GMP certified area) มูลค่า 250 ล้านบาท

R&D Area 2.3 - Nanotechnology for animal health and feeds



รูปที่ 3-7: R&D Agenda 2 - Utilization of natural products and biodiversity;
R&D Area 2.3 - Nanotechnology for animal health and feeds

ความต้องการของตลาด

การพัฒนาปศุสัตว์และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มีความต้องการเทคโนโลยีต่างๆ มาสนับสนุน เช่น การพัฒนาयरักษาโรคสัตว์และวัคซีนปศุสัตว์ ลดการใช้ยาปฏิชีวนะและการใช้สารเคมีที่เติมลงในอาหารสัตว์ การกักเก็บสารอาหารหรือควบคุมการปลดปล่อยสารอาหารสำหรับอาหารเสริมในสัตว์ บรรจุภัณฑ์ยืดอายุการเก็บอาหารสัตว์โดยสอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Good Recognize As Save : GRAS) เป็นต้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยและลดปัญหาการกีดกันทางการค้าจากการส่งออกเนื้อสัตว์

นาโนเทคโนโลยีที่สามารถสนับสนุนปศุสัตว์และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ได้แก่ ระบบนำส่งสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมของคนและสัตว์ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร ความคงตัว และความเข้ากันได้กับสูตรตำรับอาหารและกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่มีอยู่แล้วทำให้สามารถพัฒนาต่อเนื่องเป็นต้นแบบระดับอุตสาหกรรมหรือต้นแบบเชิงการค้าได้อย่างรวดเร็ว ช่วยเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบการเกษตรและผลิตภัณฑ์การเกษตร

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานทางด้านนาโนเพื่อสุขภาพและอาหารสัตว์ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

- ตัวนำส่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพระดับนาโนเพื่อการพัฒนาอาหารกุ้ง (Bio-compatible nanocarriers for shrimp feed) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556 เป็นการพัฒนำวัสดุนำส่งที่มีสมบัติการลอยตัวดีและย่อยง่ายสำหรับนำส่งอาหารและอาหารเสริมในการอนุบาลลูกกุ้งเพื่อใช้ทดแทนไรน้ำที่มีราคาสูง
- สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่ออาหารสัตว์ (Bioactive compounds for animal feed) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2557 เป็นการพัฒนำวัสดุนำส่งสำหรับใช้ในการผลิตวัตถุดิบเสริมอาหารสัตว์ (Feed additive) เพื่อใช้เติมในอาหารสัตว์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความคงตัวของวัตถุดิบเสริมอาหารที่สลายตัวง่าย เช่น วิตามินหรือเอนไซม์
- ฟิล์มควบคุมการปลดปล่อยสำหรับอาหารสัตว์ (Controlled release film for animal feed) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคนิคที่ใช้เพิ่มความคงตัวและควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญสำหรับใช้ในวัตถุดิบเสริมอาหารที่ต้องการให้มีการดูดซึมช้า เช่น วัคซีนหรือฮอร์โมน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซึมของสารสำคัญ

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 5 เทคโนโลยี คือ Low energy process ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2558, Biocompatible nanomaterials synthesis and fabrication ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559, Bio-encapsulation technology for extended shelf life ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2557 และ Pilot production technology ดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 โดยมีวิธีวิจัยในแต่ละผลิตภัณฑ์ดังนี้

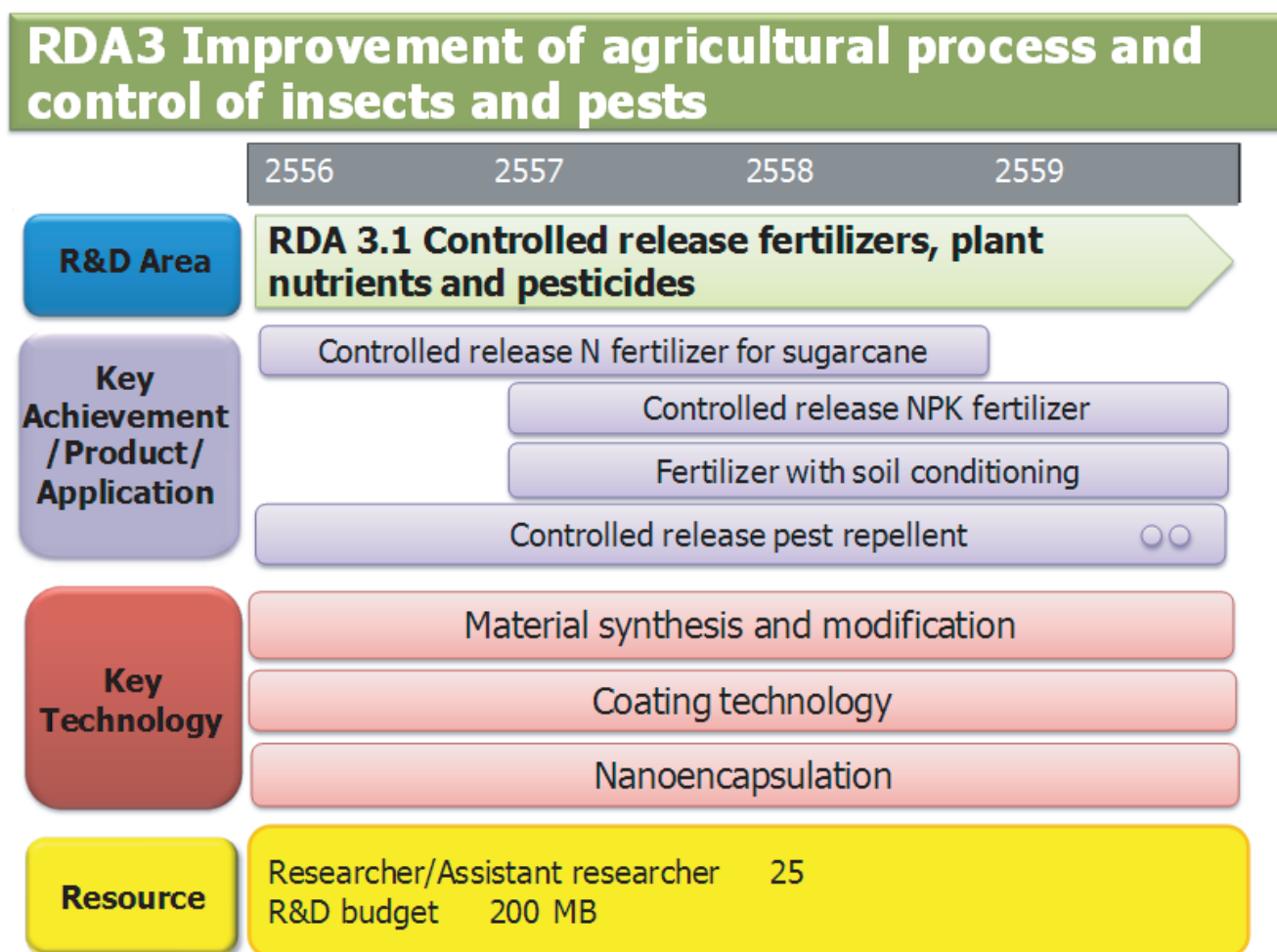
- Bio-compatible nanocarriers for shrimp feed เป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่มีความหนาแน่นและมีการสลายตัวใกล้เคียงกับไรน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง เพื่อนำส่งสารอาหารที่จำเป็นให้กับลูกกุ้ง
- Bioactive compounds for animal feed เป็นการพัฒนาระบบการเก็บกักสารสำคัญหรืออาหารเสริมที่สลายตัวง่ายให้อยู่ในรูปอนุภาคที่ช่วยเพิ่มความคงตัวและคุณค่าทางอาหาร เช่น การเตรียมสารอาหารในรูปไลโปโซมหรืออิมัลชัน
- Controlled release film for animal feed การพัฒนำวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสำหรับอาหารสัตว์ เป็นการพัฒนำวัสดุที่สลายตัวช้า เช่น ฟิล์มแป้งหรือโคไคซาน และการพัฒนาระบบการขึ้นรูปเพื่อใช้นำส่งวัตถุดิบเสริมอาหารสัตว์ที่ต้องการให้มีการดูดซึมช้า เช่น วัคซีนหรือฮอร์โมน

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากร ได้แก่บุคลากรวิจัยรวมทั้งสิ้น 25 คน (ประกอบด้วยนักวิจัย และนักวิจัยผู้ช่วย) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 100 ล้านบาท และโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ หน่วยวิเคราะห์ทดสอบในสัตว์ทดลอง และการทดสอบระดับคลินิก เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และมีความต้องการเครื่องมือขั้นสูงในระดับ กิ่งอุตสาหกรรมเพื่อใช้สำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ รวมทั้งพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ในระดับกิ่งอุตสาหกรรม (GMP certified area) มูลค่า 250 ล้านบาท (ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมได้)

R&D Agenda 3 - Improvement of agricultural process and control of insects and pests

R&D Area 3.1 - Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticides



รูปที่ 3-8: R&D Agenda 3 - Improvement of agricultural process and control of insects and pests;
R&D Area 3.1 - Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticides

ความต้องการของตลาด

การควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืชอย่างปลอดภัย การนำส่งสารกำจัดศัตรูพืชแบบมุ่งเป้าทำให้สามารถกำจัดวัชพืชโดยใช้ปริมาณสารเคมีลดลงมาก และสามารถบริหารจัดการความเสี่ยงและผลกระทบที่เกิดจากการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยี

เทคโนโลยีวัสดุ วัสดุคอมพอสิต รวมถึงเทคโนโลยีการเคลือบ และการห่อหุ้มเป็นเทคโนโลยีสำคัญสำหรับเตรียมปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย เพื่อควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชและเพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงธาตุอาหารรองอื่นๆ ที่จำเป็นกับพืชด้วย

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยทางด้านปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยการเพิ่มสารอาหารให้พืช และยาปราบศัตรูพืช (Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticide) ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน สำหรับปลูกอ้อย (Controlled N fertilizer for sugarcane) ซึ่งจะดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2556-2558
- ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Controlled NPK fertilizer) ซึ่งจะดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2557-2559
- ปุ๋ยผสมกับวัสดุปรับปรุงดิน (Fertilizer with soil conditioning) ซึ่งเมื่อนำปุ๋ยไปผสมกับวัสดุที่ทำให้ดินมีความพรุนทำให้ดูดซับน้ำได้ดีและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุมากขึ้นจึงเก็บกักปุ๋ยและธาตุอาหารในดินได้นานและปลดปล่อยสารอาหารเข้าไปในรากพืชอย่างช้าๆ ซึ่งจะดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2557-2559
- สารขับไล่แมลงแบบควบคุมการปลดปล่อย (Controlled release pest repellent) ซึ่งจะดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 3 เทคโนโลยีคือ

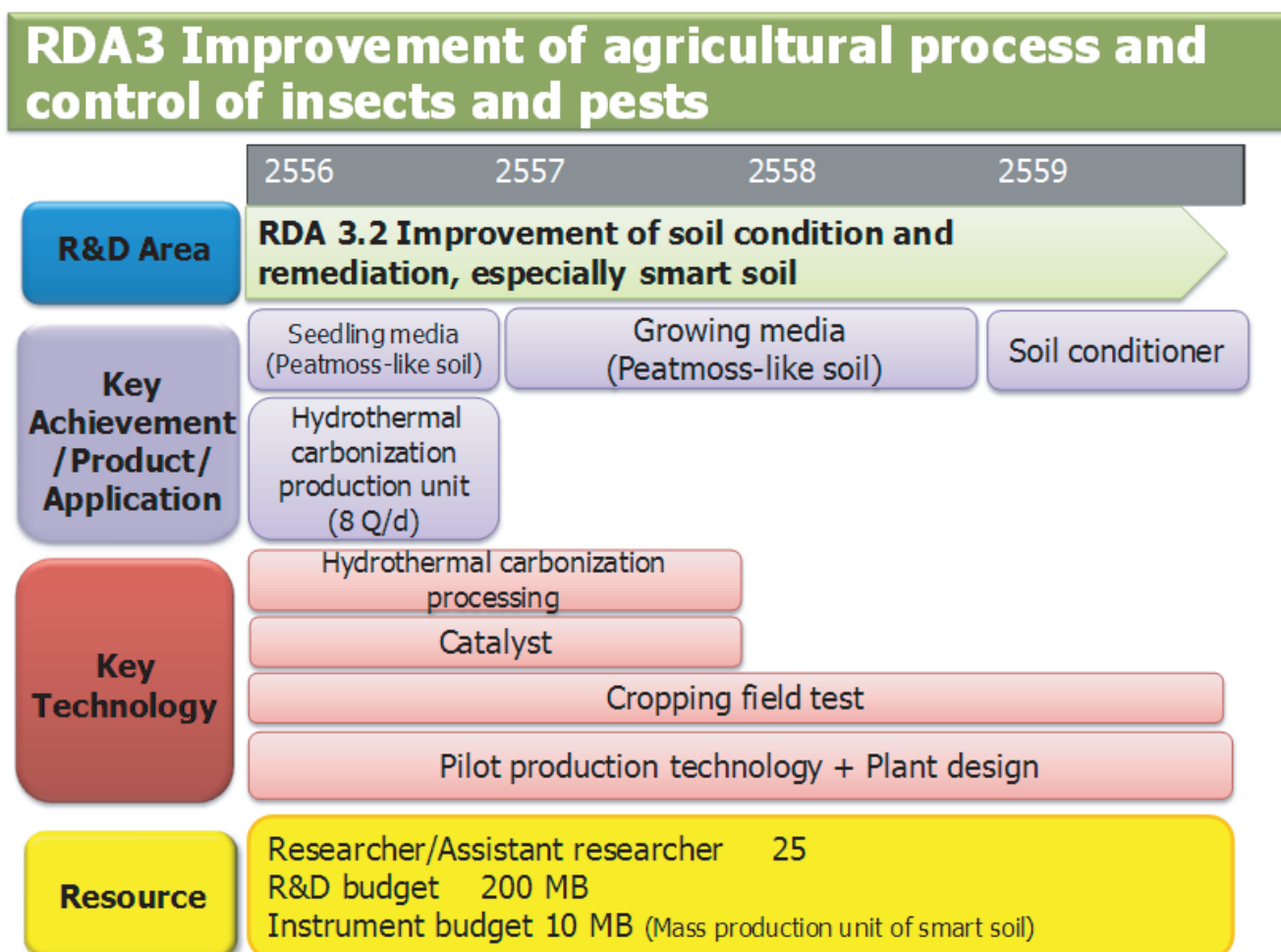
- Material synthesis and modification ประกอบด้วยกระบวนการย่อย 3 เรื่องคือ 1) Materials preparation เพื่อเตรียมสูตรสารเคลือบสำหรับเคลือบเม็ดปุ๋ยเพื่อให้มีสมบัติควบคุมการปลดปล่อยตามเวลาและภาวะที่ต้องการได้ รวมถึงการใช้วัสดุนาโนในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติที่ดีขึ้น หรือไม่สูญเสียได้โดยง่าย เช่น การใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นในระดับนาโนเมตร และการกักเก็บธาตุอาหารที่สำคัญในวัสดุนาโนรูปแบบต่างๆ เช่น อนุภาคแคปซูลนาโน (Nanocapsules) โพรงนาโน (Nanopores) เป็นต้น 2) Materials processing เพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมเม็ดปุ๋ยและสารเคลือบในรูปแบบต่างๆ รวมถึงปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการเตรียม เพื่อให้ได้เม็ดปุ๋ยที่มีสมบัติควบคุมการปลดปล่อยตามต้องการ 3) Releasing profiling ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมาจากเม็ดปุ๋ยทั้งในน้ำและดินในภาวะควบคุมและภาวะเร่ง รวมถึงการทดสอบกับพืชบางชนิดที่ตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยได้ในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งในการดำเนินการจะมีเครื่องมือในการผสมและขึ้นรูปเม็ดปุ๋ย เครื่องเคลือบเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโน (ประกอบด้วย Homogenizer, Ultrasonic probe, Funance) และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่เตรียมได้ (ด้วยวิธี BET, SEM, TEM, XRD) และเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน (Elemental analyzer)

- Coating technology กระบวนการเคลือบสารบนเมล็ดปุย โดยศึกษาวัสดุสารเคลือบประเภทพอลิเมอร์จากธรรมชาติ และพอลิเมอร์สังเคราะห์สำหรับเคลือบปุย เพื่อให้มีสมบัติควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ได้ตามที่พืชต้องการ
- Nanoencapsulation การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้เพื่อกักเก็บและควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารที่สำคัญในวัสดุที่มีโครงสร้างระดับนาโนเมตร ในรูปของ Nanoemulsion หรืออื่นๆ ตามความต้องการใช้สารอาหารของพืช หรือตามสภาพของพื้นที่ดินที่ทำการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิด

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวม ได้แก่ บุคลากรวิจัย 25 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 200 ล้านบาท ทั้งนี้ในการดำเนินงานวิจัยยังขาดปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุ (Atomic absorption: AA, Inductive Couple Plasma Mass Spectrometer: ICP/MS) และเครื่องขึ้นรูปและเคลือบเมล็ดระดับขยายส่วน

R&D Area 3.2 - Improvement of soil condition and remediation, especially smart soil



รูปที่ 3-9: R&D Agenda 3 - Improvement of agricultural process and control of insects and pests;
R&D Area 3.2 - Improvement of soil condition and remediation, especially smart soil

ความต้องการของตลาด

ดินเป็นปัจจัยหลักสำคัญเริ่มต้นของการเพาะปลูกและผลิตพืชอาหารและพืชพลังงาน การพัฒนาคุณภาพของดิน การบำบัดดินเสีย และการบำรุงรักษาดิน เช่น วัสดุที่ทำให้ดินมีความพรุนทำให้ดูดซับน้ำได้ดีและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไอออนมากขึ้น เพื่อเก็บกักปุ๋ยและธาตุอาหารในดินได้นานและปลดปล่อยสารอาหารเข้าไปในรากพืชอย่างช้าๆ เป็นต้น โดยเลือกใช้วัสดุชีวมวล

ผักตบชวาเป็นวัชพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และเป็นพืชที่มีหุ่นลอยจึงสามารถอยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วทั้งทางเมล็ดและการแตกหน่อ จึงทำให้มีการแพร่ระบาดอย่างรุนแรงก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำต่างๆ ทั่วประเทศและก่อผลเสียต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม การนำผักตบชวามาแปรรูปเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินและวัสดุเพาะกล้าที่มีมูลค่าสูง จึงเป็นการกำจัดผักตบชวาจำนวนมากในเวลาอันสั้น และได้วัสดุปรับปรุงดินที่สร้างประโยชน์ต่อภาคการเกษตร

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การใช้งานเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาคุณภาพของดินและบำรุงรักษาดินตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่ม คือ

- วัสดุเพาะเมล็ด (Seedling media (Peatmoss-like Soil) วัสดุเพาะและตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการ Hydrothermal carbonization ซึ่งจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556
- วัสดุเพาะกล้า (Growing media (Peatmoss-like Soil) วัสดุเพาะและตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการ Hydrothermal carbonization ซึ่งจะดำเนินในปี พ.ศ. 2557-2558
- วัสดุปรับปรุงดิน (Soil conditioner) โดยจะคิดค้นสูตรการปรับปรุงดินและตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการ Hydrothermal carbonization ซึ่งจะดำเนินในปี พ.ศ. 2558-2559
- ระบบถังปฏิกรณ์เพื่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน (Hydrothermal carbonization production unit (8 Q/day)) ซึ่งจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัยประกอบด้วย 4 เทคโนโลยีคือ Hydrothermal carbonization processing และ Catalyst ซึ่งจะเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2557 ส่วน Cropping field test และ Pilot production technology รวมถึง Plant design จะเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 โดยมีวิธีวิจัยในแต่ละผลิตภัณฑ์คือ

- วัสดุปรับปรุงดิน (Soil conditioner) และวัสดุเพาะ (Growing and seedling media (Peatmoss-like Soil)) โดยใช้เทคนิค Hydrothermal carbonization ใช้การออกแบบโดย Chemical engineering design and scale-Up เน้นระบบที่ทำงานที่อุณหภูมิ และความดันสูง ร่วมกับการสร้างระบบให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการทำงาน ทั้งระบบขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (Mobile) และขนาดใหญ่แบบโรงงาน (Stationary) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด และใช้เทคโนโลยี Drying process สำหรับการลดความชื้น/ปริมาณน้ำในวัสดุปรับปรุงดินที่เป็นผลิตภัณฑ์ และสารชีวมวลที่เป็นสารตั้งต้นเพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการ
- การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตวัสดุปรับปรุงดินและวัสดุเพาะ สามารถใช้เทคนิค Nanotemplating, Impregnation, Hydrothermal/Solvothermal, Precipitation, Sol-gel, Combustion, Sputtering, Electrospinning, เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี และ Self assembly อื่นๆ และใช้เทคโนโลยี Drying process สำหรับการลดความชื้น/ปริมาณน้ำในวัสดุปรับปรุงดินที่เป็นผลิตภัณฑ์และสารชีวมวลที่เป็นสารตั้งต้น เพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการ

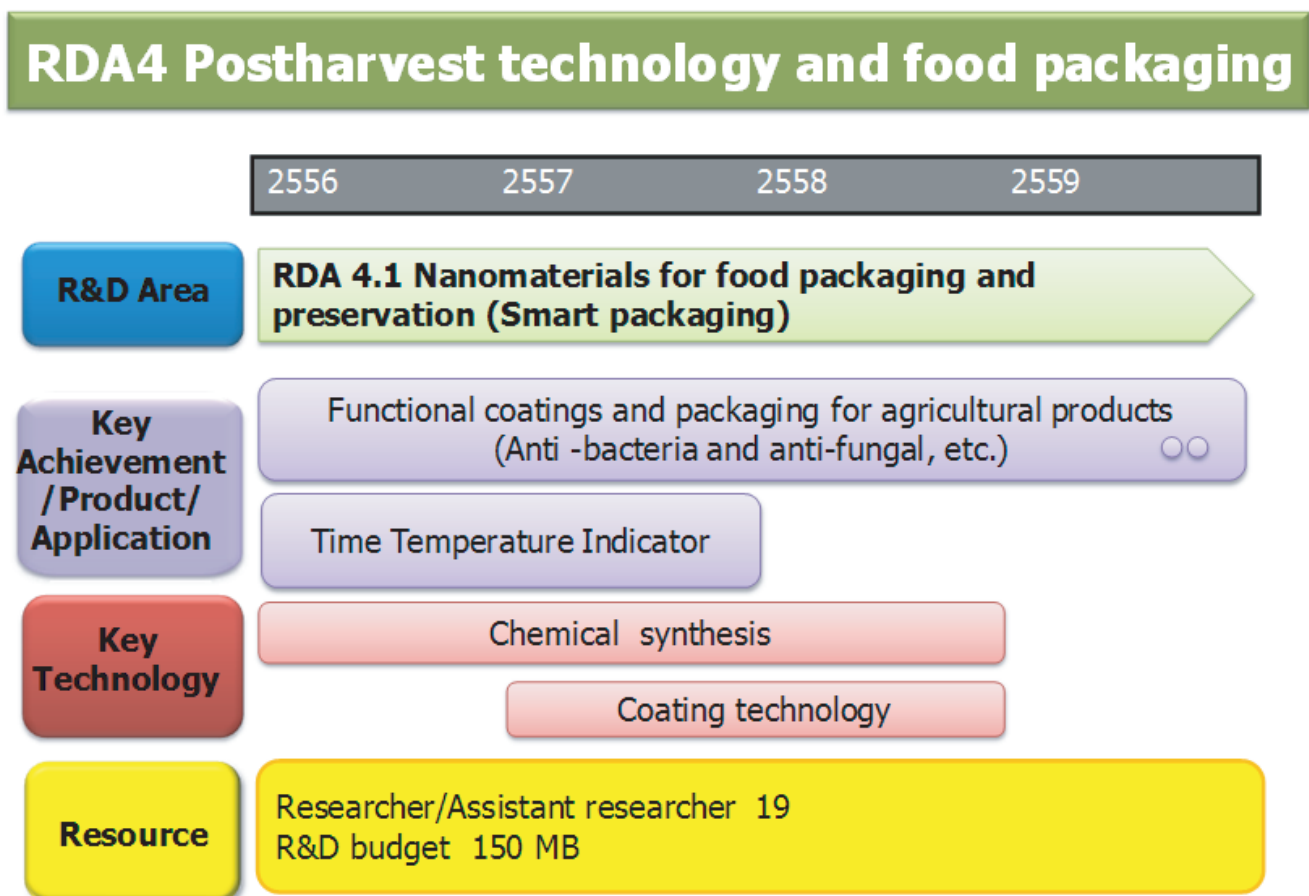
- หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมเบื้องต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ Membrane ที่อยู่ในกลุ่ม Oxide จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการ Calcination ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาเตาเผาที่สามารถทำการ Calcination ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณมากในระดับ Pilot ให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ และพัฒนาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับ Pilot หรือ Mass production ให้มีคุณภาพเทียบเท่าการสังเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ Chemical and mechanical engineering design ซึ่งโครงการจะพัฒนาระบบถังปฏิกรณ์และระบบที่เกี่ยวข้องในระดับ Pilot scale (8 Q/day full capacity)

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 25 คน (ประกอบด้วยพนักงานวิจัย และนักศึกษาทุน) งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 200 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาโครงสร้างพื้นฐานและเครื่องมือ 10 ล้านบาท

R&D Agenda 4 - Postharvest technology and food packaging

R&D Area 4.1 - Nanomaterials for food packaging and preservation (Smart packaging)



รูปที่ 3-10: R&D Agenda 4 - Postharvest technology and food packaging;
R&D Area 4.1 - Nanomaterials for food packaging and preservation (Smart packaging)

ความต้องการของตลาด

ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวคือ การเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียหรือเป็นสาเหตุของโรค ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ปัญหาดังกล่าวสามารถป้องกันได้ด้วยเทคโนโลยีการเคลือบด้วยฟิล์มบางบนผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ผัก ผลไม้ ดอกไม้ โดยฟิล์มบางนี้เตรียมจาก Biopolymer เช่น ไคโตซาน (Chitosan) หรืออัลจิเนต (Alginate) ที่มีสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยว ที่มีสมบัติต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ที่เรียกว่า Anti-microbial packaging

นอกจากนี้การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชนิดใหม่ที่สามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนได้ โดยพัฒนาวัสดุคอมโพสิตของ Electrospun fiber mats และ Carbon nanotube, Graphene หรือ Activated carbon ซึ่งมีสมบัติดูดซับก๊าซเอทิลีน หรือทำการเติมอนุภาคระดับนาโนของ Metal oxide เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือสังกะสีออกไซด์ ซึ่งมีสมบัติในการย่อยสลายก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ โดยการเกิดออกซิเดชันที่มีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

วิถีชีวิตที่เร่งรีบในปัจจุบันทำให้ความต้องการอาหารแช่แข็งเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจและสังคมเมือง ทั้งครัวเรือนและร้านอาหารหรือภัตตาคารขนาดใหญ่ก็นิยมใช้วัตถุดิบประเภทเนื้อสัตว์ อาหารทะเล ผัก เบเกอรี่ หรือขนมหวานสำเร็จรูปในลักษณะแช่แข็งมากขึ้น ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์แช่แข็งมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าในปัจจุบัน เป็นการนำแผ่นป้ายบอกอุณหภูมิและเวลา (Time Temperature Indicator: TTI) ที่สามารถบอกเวลารวมที่แผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงเกินอุณหภูมิที่กำหนด ในปัจจุบันแผ่น TTI ที่ผลิตจากต่างประเทศได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ภายในประเทศไทยเนื่องจากใช้งานได้ง่าย ติดตามผลของอุณหภูมิได้ทันทีโดยพิจารณาจากสีที่เปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่า ทำให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของสินค้าเบื้องต้นได้ แต่เนื่องจากแผ่นป้ายดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง ทำจากวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก จึงนำมาใช้กับสินค้าที่มีมูลค่าที่สูงเช่นวัคซีน เป็นส่วนใหญ่

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยเรื่องวัสดุนาโนสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารและการเก็บรักษาตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 2 กลุ่ม คือ

- ฟิล์มบางเคลือบผิวบนผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าเกษตร (Functional coatings and packaging for agricultural products (Anti-bacteria and anti-fungal, etc.)) เน้นการพัฒนาฟิล์มบางเคลือบผิวและบรรจุภัณฑ์สำหรับผลไม้ให้มีคุณสมบัติในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559
- แผ่นป้ายบอกอุณหภูมิและเวลา (Time Temperature Indicator) ซึ่งจะดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2556-2557 เพื่อใช้กับสินค้าทางอาหารและการเกษตร ด้วยต้นทุนที่ถูกลงและสามารถย่อยสลายได้เองหลังจากการใช้งาน เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำอุปกรณ์บ่งชี้อุณหภูมิและเวลาในปัจจุบันที่พัฒนาขึ้นจะประกอบไปด้วยการเปลี่ยนสี (Chromogenic) การห่อหุ้ม (Encapsulation) และการแพร่กระจาย (Diffusion)

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 2 เทคโนโลยีคือ Chemical Synthesis และ Coating technology

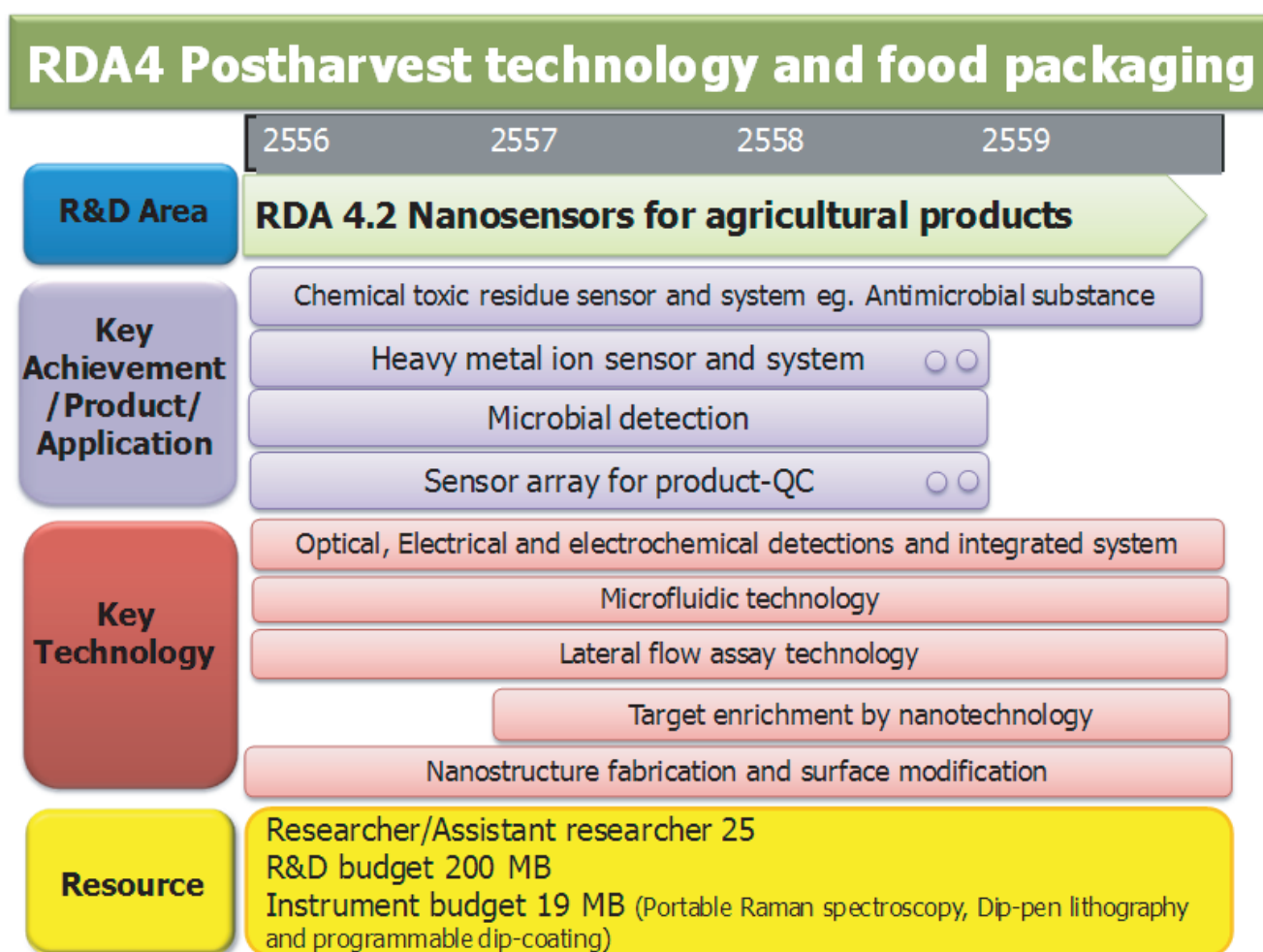
- Functional coatings and packaging for agricultural products (Anti-bacteria and anti-fungal, etc.) ใช้เทคโนโลยีการเคลือบผิววัสดุห่อหุ้มหรือบรรจุภัณฑ์ด้วยสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

- Time Temperature Indicator (TTI) เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำอุปกรณ์บ่งชี้อุณหภูมิและเวลาที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 1) เทคโนโลยีการเปลี่ยนสี (Chromogenic) ทำการออกแบบโครงสร้างและสังเคราะห์วัสดุอินทรีย์ชนิดใหม่ เช่น พอลิเมอร์หรือโมเลกุลขนาดเล็กที่มีสมบัติทางกายภาพและ Active groups ที่เปลี่ยนสีได้เมื่อถูกกระตุ้น 2) เทคโนโลยีการห่อหุ้ม (Encapsulation) โดยการเตรียมวัสดุ เช่น พอลิเมอร์ที่มีสมบัติและสัณฐาน (Morphology) ที่เหมาะสม ให้สามารถปลดปล่อยสารบ่งชี้ ณ อุณหภูมิที่ต้องการ 3) เทคโนโลยีการแพร่กระจาย (Diffusion) ทำการพัฒนาวัสดุโดยการปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพให้มีขนาดของรูพรุน (Porous) และการปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถควบคุมการแพร่กระจายที่อุณหภูมิต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ เช่น ไมโครชาแนล (Microchannel) 4) กระบวนการประกอบชิ้นงาน (Active layer) โดยใช้กระบวนการ Multi-layer fabrication 5) TTI ที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ (Degradable Time Temperature Indicator)

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัยรวม 19 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 150 ล้านบาท ทั้งนี้ ในการดำเนินงานวิจัยยังขาดปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องเคลือบผิวระดับอุตสาหกรรมหรือระดับต้นแบบห้องปฏิบัติการ (Pilot) และขาดห้องปฏิบัติการด้านเชื้อราใน ศน.

R&D Area 4.2 - Nanosensors for agricultural products



รูปที่ 3-11: R&D Agenda 4 - Postharvest technology and food packaging;
R&D Area 4.2 - Nanosensors for agricultural products

ความต้องการของตลาด

ในปัจจุบันการตรวจสอบผลิตผลการเกษตรเน้นการตรวจวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานในห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง และการควบคุมคุณภาพในการขนส่งและจัดเก็บ ในขณะที่ความต้องการของภาคการเกษตรต้องการชุดตรวจที่สะดวกต่อการใช้งาน สามารถอ่านผลได้ด้วยตาเปล่า โดยสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและการวิเคราะห์ผลในสถานที่จริง และมีต้นทุนต่ำ

การนำนาโนเทคโนโลยีมาพัฒนาชุดตรวจ เช่น การใช้นาโนเซนเซอร์มาใช้ในการวิเคราะห์โมเลกุลของสารเคมีและการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ สามารถแบ่งออกเป็น เซนเซอร์เคมี และเซนเซอร์ชีวภาพ โดยมุ่งเป้าเพื่อตรวจหาสารพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้อย่างแม่นยำ ถูกต้อง รวดเร็ว และการตรวจวัดวิเคราะห์สิ่งเจือปนอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานทางด้านนาโนเซนเซอร์ในภาคการเกษตรตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- เซนเซอร์และระบบการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง (Chemical toxic residue sensor and system eg. Antimicrobial substance) แนวทางการวิจัยจะเน้นการพัฒนา 2 เทคนิคคือ การตรวจคัดกรองจะใช้เทคนิคการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเรืองแสง ส่วนการตรวจยืนยันผลจะใช้เทคนิค Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS)
- เซนเซอร์และระบบการตรวจสอบโลหะหนัก (Heavy metal ion sensor and system) แนวทางการวิจัยจะเน้นการพัฒนา 2 เทคนิคคือ การตรวจคัดกรองจะใช้เทคนิคการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเรืองแสง ส่วนการตรวจยืนยันผลจะใช้เทคนิคไฟฟ้าเคมี
- การตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ (Microbial detection) โดยการประยุกต์ใช้นาโนอนุภาคหรือไมโครในการคัดกรองหรือแยกเซลล์หรือโมเลกุลที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากสารตัวอย่าง ก่อนเข้าสู่ระบบการตรวจวัดซึ่งถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโมเลกุลเป้าหมายในสารตัวอย่าง และช่วยลดหรือกำจัด Interferences อื่นๆ ในระบบ ส่งผลให้ข้อจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ลดลง เช่น การตรวจหาเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิค PCR-gel electrophoresis พบว่าการทำ Preconcentration ก่อนเข้าสู่ระบบการตรวจวิเคราะห์สามารถลดขีดจำกัดของเทคนิคได้ถึง 10⁴ เท่า เทคนิคนี้สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วและสามารถประยุกต์ใช้งานในภาคสนามได้
- เซนเซอร์อะเรย์สำหรับการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Sensor array for product-QC) การตรวจวิเคราะห์สิ่งเจือปนในอาหารในห้องปฏิบัติการใช้เทคนิคต่างๆ เช่น Gas Chromatography (GC), HPLC, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) และ Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) ซึ่งต้องนำตัวอย่างจากแหล่งผลิตไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย การพัฒนา Sensor ตรวจวัดสารประกอบที่สนใจเป็นทางเลือกในอนาคตสำหรับการทำงานนอกสถานที่ โดยประยุกต์ใช้ Sensor array และ Multivariate modeling เพื่อยืนยันถึง Validity ของเครื่องมือ การดำเนินงานวิจัยหัวข้อนี้เน้นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารเติมแต่งหรือสารปนเปื้อนในอาหารด้วยเซนเซอร์เชิงแสง (Optical sensor) ที่ใช้สารเรืองแสงเป็นตัวบ่งชี้

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 5 เทคโนโลยี คือ 1) การตรวจวัดด้วย แสง ไฟฟ้า ไฟฟ้าเคมี แม่เหล็ก การตรวจวัดด้านเพื่อโซลิตริกและระบบการบูรณาการ (Optical, Electrical and electrochemical detections and integrated system) 2) เทคโนโลยีไมโครฟลูอิดิก (Microfluidic technology) 3) เทคโนโลยีการไหลตามแนวราบ (Lateral flow assay technology) 4) นาโนเทคโนโลยีในการการระบุเป้าหมาย (Target enrichment by nanotechnology) 5) การผลิตโครงสร้างนาโนและการปรับแต่งสภาพพื้นผิว (Nanostructure fabrication and surface modification)

- เซนเซอร์และระบบการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง (Chemical toxic residue sensor and system) ประกอบด้วย 2 เทคนิคคือ
 - 1) เทคนิคการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเรืองแสงเป็นเทคนิคที่มีการใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการตรวจสอบสารเคมีและสารชีวโมเลกุลชนิดต่างๆ โดยเฉพาะการตรวจคัดกรอง เนื่องจากความไวในการตรวจวัดที่ไม่สูงมากนัก แต่มีความง่ายในการใช้งาน สะดวกในการวิเคราะห์ผล จึงสามารถนำไปใช้ในสถานที่จริงได้นอกจากนี้ ยังมีราคาต้นทุนที่ไม่สูง จึงไม่ต้องนำกลับมาใช้ใหม่ การตรวจวัดสารเคมีแบบเรืองแสงดังกล่าวมีทั้งแบบจำเพาะเจาะจงต่อชนิดของสารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ และการตรวจแบบครอบคลุมสารปนเปื้อนในกลุ่มนั้น ซึ่งมีขั้นตอนในการทำวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) การออกแบบและสังเคราะห์เพื่อให้สามารถแสดงค่าเป้าหมายได้ชัดเจน (2) การออกแบบ การสังเคราะห์และการกำหนดสมบัติทางโครงสร้างนาโนเพื่อให้สามารถตรวจจับสารปนเปื้อนในปริมาณต่ำ (3) การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์และวัสดุเกี่ยวกับแสง
 - 2) การตรวจยืนยันผลจะใช้เทคนิค Surface-enhanced Raman Scattering (SERS) ซึ่งใช้ในการศึกษาปฏิกิริยาเชิงไฟฟ้าเคมีของโมเลกุล การเร่งปฏิกิริยาเคมี การสังเคราะห์สาร และนำมาใช้ในทางชีวเคมี เป็นเทคนิคการใช้แสงในการตรวจวัดโมเลกุลที่มีความไวสูง โดยวัดแสงส่วนที่กระเจิงแบบเปลี่ยนแปลงพลังงาน (Inelastically หรือ Raman scattering) ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัวของโครงสร้างในระดับโมเลกุล เปรียบได้กับรอยนิ้วมือของสสารที่ประกอบเป็นวัสดุที่ทำกรตรวจวัด ขั้นตอนในการทำวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) ออกแบบและสังเคราะห์โครงสร้างทางนาโนที่มีสมบัติ High enhancement factor of Raman scattering signal (2) กำหนดคุณสมบัติทางนาโนโดยใช้ Raman active molecule และ specific target recognition site เพื่อใช้ในการตรวจสอบสารปนเปื้อนในอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูง (3) ออกแบบและพัฒนา SERS substrate ที่พร้อมใช้งาน
- เซนเซอร์และระบบการตรวจสอบโลหะหนัก (Heavy metal ion sensor and system) ประกอบด้วย 2 เทคนิค คือ
 - 1) การตรวจคัดกรองจะใช้เทคนิคการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเรืองแสง ซึ่งใช้สำหรับการตรวจสอบสารเคมีและสารชีวโมเลกุลชนิดต่างๆ ทั้งแบบจำเพาะเจาะจงต่อชนิดของสารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ และการตรวจแบบครอบคลุมสารปนเปื้อนในกลุ่มนั้น โดยเน้นด้านการตรวจคัดกรอง เนื่องจากความไวในการตรวจวัดที่ไม่สูงมากนัก แต่มีความง่ายในการใช้งาน สะดวกในการวิเคราะห์ผล จึงสามารถนำไปใช้ในสถานที่จริงได้นอกจากนี้ ยังมีราคาต้นทุนที่ไม่สูง จึงสามารถทิ้งภายหลังจากการใช้งานได้โดยไม่ต้องนำกลับมาใช้ใหม่ การตรวจวัดสารเคมีแบบสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเรืองแสงด้วยวัสดุนาโนมีความไวในการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมากกว่าการใช้วัสดุอื่น ซึ่งมีขั้นตอนในการทำวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) การออกแบบและสังเคราะห์เพื่อให้สามารถแสดงค่าเป้าหมายได้อย่างจำเพาะ (2) การออกแบบ การสังเคราะห์และการกำหนดคุณสมบัติทางโครงสร้างนาโนเพื่อให้สามารถตรวจวัดสารปนเปื้อนในปริมาณต่ำ (3) การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์และวัสดุเกี่ยวกับแสง
 - 2) การตรวจยืนยันผลจะใช้เทคนิคไฟฟ้าเคมี เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ด้านสิ่งแวดล้อมและการแพทย์ เนื่องจากมีการตรวจจับได้เร็วแม่นยำและหลากหลายการวิจัยที่ดำเนินการจะออกแบบและพัฒนาเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีเพื่อใช้ตรวจสอบโลหะหนักในภาคสนาม

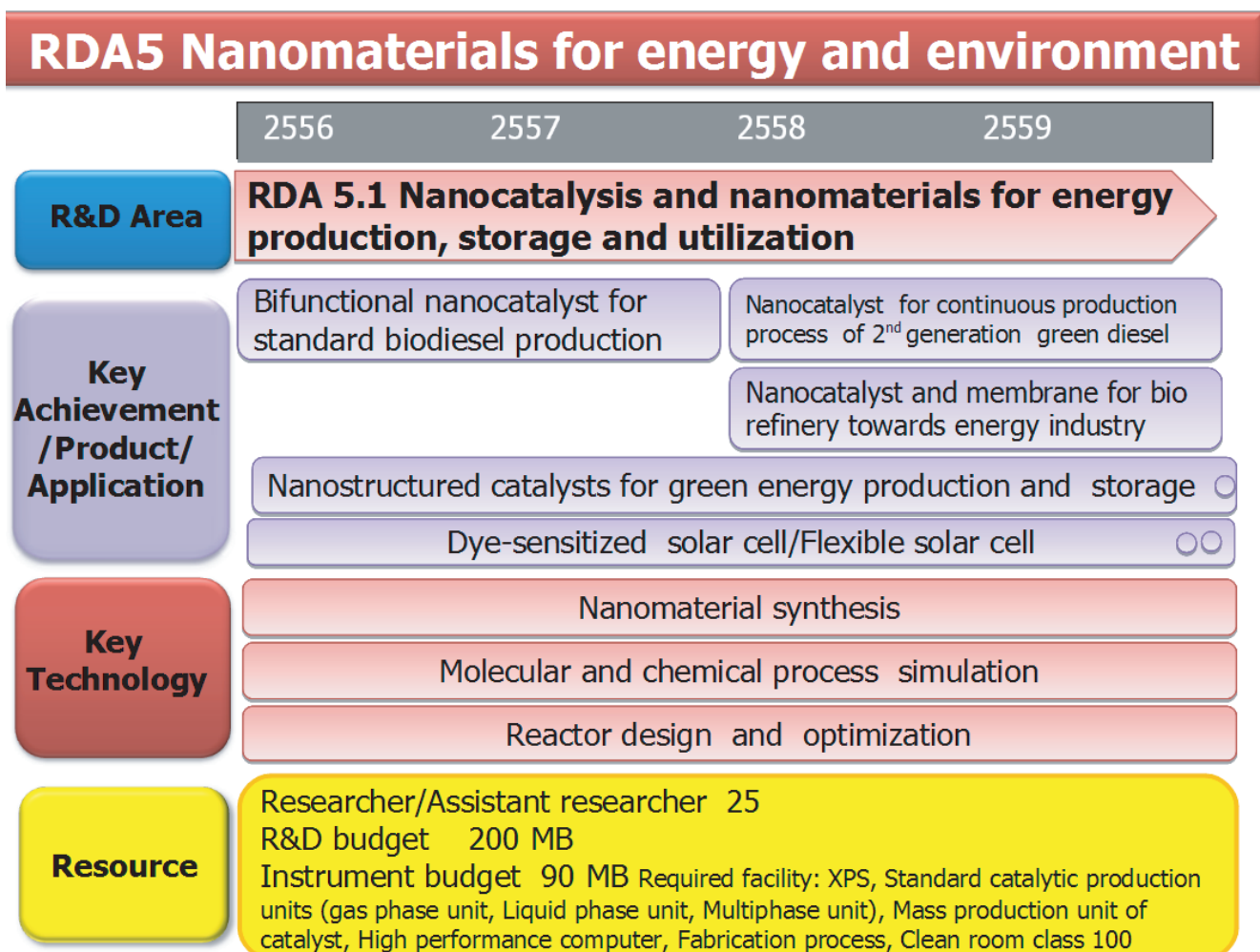
- การตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ (Microbial detection) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (1) การสังเคราะห์อนุภาคขนาดนาโนหรือไมโคร เช่น อนุภาคแม่เหล็กและตัดแปรรูปร่างของอนุภาคด้วย Probe (สารอินทรีย์หรือสารชีวโมเลกุลที่สามารถจับกับโมเลกุลหรือเซลล์เป้าหมายได้อย่างจำเพาะ) (2) การออกแบบ คัดเลือกหรือสังเคราะห์โมเลกุลของ Probe ที่มีความจำเพาะต่อโมเลกุลหรือเซลล์เป้าหมาย (3) การยึดติดโมเลกุลของ Probe บนพื้นผิวของอนุภาค โดยขั้นตอนและสารเคมีที่ใช้ต้องไม่ส่งผลต่อการทำงานของโมเลกุลของ Probe
- เซนเซอร์อะเรย์สำหรับการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Sensor array for product-QC) เน้นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารเติมแต่งหรือสารปนเปื้อนในอาหารด้วยเซนเซอร์เชิงแสง โดยใช้เทคนิค Multivariate statistical analysis ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น จุลชีววิทยา ชีวภาพ ชีวเคมี เคมี วัสดุศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิศวกรรม รวมทั้งสิ้น 25 คน (ประกอบด้วยนักวิจัย และนักวิจัยผู้ช่วย) งบวิจัยตลอดโครงการ 200 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาอุปกรณ์ครุภัณฑ์ เช่น Portable Raman spectroscopy และ Dip-pen lithography and programmable dip-coating จำนวน 19 ล้านบาท

R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment

R&D Area 5.1 - Nanocatalysis and nanomaterials for energy production, storage and utilization



รูปที่ 3-12: R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment;

R&D Area 5.1 - Nanocatalysis and nanomaterials for energy production, storage and utilization

ความต้องการของตลาด

การใช้วัสดุที่มีโครงสร้างขนาดนาโน เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่สามารถผลิตพลังงาน ตลอดจนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความสามารถในการเพิ่มการผลิตและการกักเก็บพลังงาน โดยจะผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน และสามารถรองรับสารตั้งต้นได้ทุกกลุ่ม รวมถึงการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งสามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้ใกล้เคียงกับน้ำมันจากฟอสซิล นอกจากนี้ยังผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับแปรรูปวักซ์พีซคือผักตบชวา เพื่อให้ได้สารทดแทน (Chemical substitute) ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เทคโนโลยีใหม่นี้จะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและภาคอุตสาหกรรมเพื่อลดของเสีย (Zero waste emission) สามารถลดต้นทุนการผลิตพลังงาน และยังสามารถคล้องกับทิศทางนโยบายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศ

สำหรับการใช้พลังงานทางเลือกแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น ประเทศไทยมีศักยภาพระดับดีมากในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน การวิจัยจะพัฒนาโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น หรือพัฒนาเทคโนโลยีทางเลือกใหม่ของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การผลิตเซลล์จากสารอินทรีย์ (Organic solar cells) ที่มีสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก และพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบ แม้การแปรพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าจะยังต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิคอน (ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 12-20 เปอร์เซ็นต์) แต่มีข้อได้เปรียบคือ กระบวนการผลิตไม่ก่อให้เกิดสารพิษกับสิ่งแวดล้อม ดังเช่นเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิคอน และมีราคาต่ำกว่ามาก อีกทั้งกระบวนการผลิตที่สามารถทำได้ง่าย เช่น การพิมพ์แบบอิงค์เจ็ท การปั่นเคลือบ มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่ใช้กระแสไฟฟ้าไม่สูงมาก กอปรกับมีน้ำหนักเบา ไม่มีข้อจำกัดเรื่องรูปร่าง และมีแนวโน้มที่จะเติมเต็มข้อด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิคอนได้

ปัจจุบันการวิจัยพัฒนาด้านพลังงานหันมาให้ความสนใจกับพลังงานสะอาด หรือการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การนำซีโอไลต์ที่มีลักษณะขนาดนาโนเมตรและเมโซพอร์ซิลิกา (Ordered mesoporous silica) มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทดแทนการใช้สารละลายกรดทั่วไปที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและสร้างของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก ดังนั้นการใช้ซีโอไลต์ทำให้กระบวนการผลิตเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถในการเลือกเกิดปฏิกิริยาเฉพาะตามขนาดของโมเลกุลยังช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการและลดการเกิด By product ที่ไม่ต้องการ

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานทางด้านวัสดุนาโนสำหรับพลังงานและสิ่งแวดล้อม ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 5 กลุ่ม คือ

- ตัวเร่งปฏิกิริยาไบฟังก์ชันเพื่อการผลิตไบโอดีเซลที่ได้มาตรฐาน (Bifunctional nanocatalyst for standard biodiesel production) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2557 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถรองรับสารตั้งต้นที่เป็นวัตถุดิบในประเทศที่เป็นน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง และความคงตัวสูง รวมถึงระบบถังปฏิกรณ์และระบบที่เกี่ยวข้องรองรับการทำงานของ Bifunctional Nanocatalyst
- ตัวเร่งปฏิกิริยาระดับนาโนเพื่อผลิตดีเซลที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Nanocatalyst for continuous production process of 2nd generation green diesel) โดยจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2559 เป็นการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแปรรูปสารตั้งต้นจากวัตถุดิบในประเทศที่เป็นน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงไปเป็นน้ำมัน ด้วยต้นทุนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำ ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงชีวภาพนี้ ทำให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องได้ จากเดิมที่ทำเป็นแบบ batch โดยน้ำมัน 2nd generation green diesel จะมีคุณภาพสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล สามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้ใกล้เคียงกับน้ำมันจากฟอสซิล รวมถึงระบบถังปฏิกรณ์ความดันสูงและระบบที่เกี่ยวข้องรองรับการทำงานของ Nanocatalyst ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง และระบบการผลิตไฮโดรเจนเพื่อป้อนสู่ระบบการทำน้ำมัน

- ตัวเร่งปฏิกิริยาและเมมเบรนในอุตสาหกรรมพลังงานและเคมีชีวภาพ (Nanocatalyst and membrane for biorefinery towards energy industry) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2558-2559 ซึ่งการวิจัยจะผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถรองรับสารตั้งต้นที่เป็นวัตถุดิบในประเทศที่เป็นชีวมวลและมีต้นทุนของตัวเร่งปฏิกิริยาค่า โดยนำผักตบชวามาแปรรูปให้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมถึงระบบถังปฏิกรณ์และระบบการคัดแยกผลิตภัณฑ์ด้วย Nanomembrane รองรับการทำงานของ Nanocatalyst และได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ และฟิวแรน
- ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโครงสร้างระดับนาโนสำหรับการผลิตและจัดเก็บพลังงานสะอาด (Nanostructured catalysts for green energy production and storage) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นการศึกษา วิจัย และพัฒนาการสังเคราะห์ การควบคุมขนาด รูปร่างหรือโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคโลหะที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะที่มีขนาดระดับนาโนเมตรที่มีสมบัติที่ดีในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและเคมีไฟฟ้า และทำการวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์วัสดุผสมของวัสดุโลหะนาโนกับวัสดุนาโนอื่นๆ เช่น ซีโอไลต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง ซิลิกาเมโซพอร์ วัสดุคาร์บอนนาโน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีออกจากระบบหลังจากใช้ในปฏิกิริยาเคมีเพื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนาโนกลับมาใช้ใหม่ได้โดยง่าย ศึกษาความเสถียรของวัสดุโลหะนาโนที่มีรูปร่างและขนาดที่จำเพาะและความเสถียรของวัสดุผสมที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่
- เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทสีย้อมไวแสง/ยืดหยุ่น (Dye-sensitized solar cell/Flexible solar cell) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) การพัฒนาสารเคลือบและวิธีการเคลือบผิวเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทวัสดุอินทรีย์ เช่น อะมอร์ฟัส-ซิลิคอน โดยใช้อนุภาคนาโนหรือไมโครเมตร และวัสดุพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพและการหักเหของแสงบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 2) พัฒนาชั้นเคลือบผิวจากระดับห้องปฏิบัติการสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม 3) การพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทอินทรีย์พอลิเมอร์ระดับภาคสนาม

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

โดยใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 3 เทคโนโลยีคือ Nanomaterial synthesis, Molecular and chemical process simulation และ Reactor design and optimization โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2559

- ตัวเร่งปฏิกิริยาไบฟังก์ชันเพื่อการผลิตไบโอดีเซลที่ได้มาตรฐาน (Bifunctional nanocatalyst for standard biodiesel production) ใช้เทคนิค Impregnation เทคนิค Hydrothermal/ Solvothermal เทคนิค Precipitation เทคนิค Sol-gel และเทคนิค Combustion ของตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป เพื่อให้สามารถเร่งปฏิกิริยาทั้งในสภาพกรดและเบสโดยสามารถเลือกสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงฟังก์ชันเดียวก่อนแล้วจึงเพิ่มฟังก์ชันในภายหลัง หรือสังเคราะห์ให้มีสองฟังก์ชันในขั้นตอนเดียวกันก็ได้ เทคนิคการสังเคราะห์นี้ยังประยุกต์ใช้สังเคราะห์ตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโครงสร้างนาโนได้อีกด้วย
- ตัวเร่งปฏิกิริยาระดับนาโนเพื่อผลิตดีเซลที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Nanocatalyst for continuous production process of 2nd generation green diesel) นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา กลุ่ม Metal sulfide ที่มีความสามารถในการดึงออกซิเจนออกจากน้ำมันเพื่อให้้ำมันมีคุณภาพสูงขึ้น โดยเทคนิคการสังเคราะห์จะต้องมีการใช้ Sulfiding agent ทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์ในระบบก๊าซ/ของเหลวแบบนิ่งหรือแบบไหล โดยใช้ Packed bed reactor หรือ Stirred tank reactor พร้อมระบบการกำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ของ Sulfiding agent ที่เหลือจากการสังเคราะห์ ซึ่งในการเตรียม Metal/Bimetal catalysts จะใช้เทคนิค Impregnation เทคนิค Hydrothermal/ Solvothermal เทคนิค Precipitation เทคนิค Sol-gel และเทคนิค Combustion ในการทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโลหะจะต้องพัฒนากระบวนการ Reduction ในบรรยากาศไฮโดรเจนทั้งในระบบก๊าซนิ่งและก๊าซไหล

- ตัวเร่งปฏิกิริยาและเมมเบรนในอุตสาหกรรมพลังงานและเคมีชีวภาพ (Nanocatalyst and membrane for biorefinery towards energy industry) ในการสังเคราะห์ Membrane สามารถใช้เทคนิค Sputtering เทคนิค Electrospinning เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี และเทคนิค Self assembly อื่นๆ เพื่อขึ้นรูปโครงสร้างนาโนเป็น Membrane ได้
- หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมเบื้องต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ Membrane ที่อยู่ในกลุ่ม Oxide จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการ Calcination ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาเตาเผาที่สามารถทำการ Calcination ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณมากในระดับต้นแบบให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอโดยการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อพัฒนาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับต้นแบบหรือระดับอุตสาหกรรม ให้มีคุณภาพเทียบเท่าการสังเคราะห์ระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้กระบวนการพัฒนาประกอบด้วยการใช้เทคโนโลยี X-ray analysis ขั้นสูง ได้แก่ X-ray absorption fine structure และ X-ray photoelectron spectroscopy ในการศึกษาโครงสร้างนาโนของตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้เทคโนโลยีแบบ In-situ Chemisorption/Physisorption เพื่อศึกษาปริมาณและคุณภาพของ Active site เช่น ขนาด ความเป็นกรด-เบส และความเป็นโลหะ เป็นต้น
- การใช้เทคนิคทางการคำนวณในการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยาและการศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยา การดูดซับ การถ่ายโอนมวลและพลังงานในระดับอะตอม ได้แก่ Density Functional Theory (DFT) เทคนิค Molecular dynamic simulation เทคนิค Ab initio calculation และเทคนิค Continuum approach
- Nanostructured catalysts for green energy production and storage ใช้นาโนเทคโนโลยีในกระบวนการที่สำคัญได้แก่ การสังเคราะห์แบบ Hydrothermal โดยใช้สารแม่แบบช่วยในการกำหนดขนาดรูพรุน และการเติมโลหะเพื่อเพิ่มหมู่ฟังก์ชันในการเร่งปฏิกิริยา
- Dye-sensitized solar cell/Flexible solar cell เป็นการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้เทคโนโลยีหลักในการวิจัยประกอบด้วย 1) การลดการสะท้อนกลับของแสง โดยการเลือกใช้วัสดุที่ลดช่องว่างของดัชนีหักเหแสงของอากาศและซิลิคอนที่เหมาะสม 2) การเพิ่มการกักเก็บแสงในผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้สมบัติผิวโค้งแบบไมโครเลนส์แบบกลุ่ม (Microlens array) ที่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับความยาวคลื่นแสง สามารถเพิ่มมุมตกกระทบของแสงบนพื้นผิวและกักเก็บแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 3) สังเคราะห์วัสดุอินทรีย์จำพวกพอลิเมอร์ และ/หรือ โมเลกุลขนาดเล็กชนิดใหม่ สำหรับใช้เป็นวัสดุดูดกลืนแสงอาทิตย์ สร้างคู่ประจุวกลบ และทำหน้าที่เป็นผู้ให้อิเล็กตรอน (Electron donor) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นผู้รับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ 4) พัฒนากระบวนการประกอบฟิล์มบางจากโมเลกุลสารอินทรีย์ให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ (Organic thin-film fabrication) 5) เตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีสมบัติโค้งงอได้ (Flexible solar cell)

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 25 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 200 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาโครงสร้างพื้นฐานและเครื่องมือ 90 ล้านบาท ได้แก่ XPS, Standard catalytic production units (Gas phase unit, Liquid phase unit, Multiphase unit), Mass production unit of catalyst, Materials Extruder, Materials Grinders, IR-MASS temperature programmed desorption, gas and liquid chromatography, Atomic absorption (AAS), High performance computer, Fabrication process และ Clean room class 100

RDA5 Nanomaterials for energy and environment

	2556	2557	2558	2559
R&D Area	RDA 5.2 Green manufacturing technology			
Key Achievement /Product/ Application	Nano material for green building (Reduce energy consumption)			
	Green technology for construction			
	Intelligent window <input type="radio"/>			
	Sensor array network for pollution control <input type="radio"/>			
	Micro & nanoparticle classifier			
Key Technology	Advanced hydrocyclone (Particle classifier)			
	Material development			
	Printing technology			
	Electronic controller			
	Particle technology			
	Pilot production technology			
Resource	Researcher/Assistant researcher 25 R&D budget 200 MB			

รูปที่ 3-13: R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment;
R&D Area 5.2 - Green manufacturing technology

ความต้องการของตลาด

การดำเนินธุรกิจในปัจจุบันที่มุ่งเน้นในเรื่อง Green manufacturing จะเป็นโอกาสสำคัญของการพัฒนาธุรกิจที่สามารถลดต้นทุน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สร้างคุณค่าและตลาดใหม่ให้แก่ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการได้ สินค้าซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดในปัจจุบันคืออาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green building) เพราะสามารถเสริมภาพลักษณ์ให้กับองค์กรหรือผู้ประกอบการที่สะท้อนให้เห็นถึงการใส่ใจในสังคมและสิ่งแวดล้อมในด้านการอนุรักษ์พลังงานและลดการทำลายสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างของเทคโนโลยีของอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้วัสดุก่อสร้างที่มีการใช้เทคโนโลยีเพื่อลดการใช้พลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Green technology for construction) การใช้หน้าต่างอัจฉริยะ (Intelligent window) โดยนำกระจกมาเคลือบด้วยวัสดุที่สามารถเปลี่ยนสีหรือความใสได้โดยการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าจากภายนอก เช่น กระแสไฟฟ้า แสงอาทิตย์และอุณหภูมิ ซึ่งปัจจุบันกระจกจำพวกนี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น กระจกอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กระจกฟิล์มกรองแสงในรถยนต์ โดยอาศัยหลักการการสะท้อนหรือดูดกลืนของแสง ทางอุตสาหกรรมได้มีการนำวัสดุที่สามารถเปลี่ยนความใสขุ่นหรือสีของกระจกโดยการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้ามาทดสอบเพื่อแทนที่กระจกกรองแสงที่ใช้ในปัจจุบัน คาดการณ์ว่าตลาดของกระจกอัจฉริยะ (Smart glass) จะมีการเติบโตในอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมยานยนต์

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่ม คือ

- วัสดุนาโนสำหรับอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Nano material for green building) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2559 ซึ่งประกอบด้วย 2 ผลิตภัณฑ์ย่อยคือ เทคโนโลยีก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green technology for construction) ที่จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 และหน้าต่างอัจฉริยะ (Intelligent window) ที่จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2558
- เทคโนโลยีก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green technology for construction) ประกอบด้วย งานวิจัยด้านวัสดุหรืออุปกรณ์ก่อสร้างเพื่อนวัตกรรมอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สีหรืออนุภาค ซึ่งมีคุณลักษณะพิเศษ
- หน้าต่างอัจฉริยะ (Intelligent window) โดยการสร้างต้นแบบกระจกอัจฉริยะที่ใช้วัสดุเคลือบที่สามารถเปลี่ยนสี ความใสและความขุ่นตามวัตถุประสงค์การใช้งาน การขึ้นรูปและการประกอบกระจกที่สามารถใช้งานในระดับภาคสนาม เพิ่มคุณสมบัติการใช้งานเพื่อให้ต้นแบบกระจกมีความสามารถเพิ่มขึ้น เช่น การใช้ระบบวัดความร้อน การใช้ระบบ Solar cells การทำเป็น Multi-colored เป็นต้น
- เครือข่ายเซนเซอร์เพื่อควบคุมมลพิษ (Sensor array network for pollution control) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2557 เป็นการพัฒนาเครื่องตรวจวัดฝ้าระวังสารระเหยและกลิ่น เช่น การตรวจคัดกรองด้วย วัดปริมาณ Total VOC (Volatile Organic Compounds) โดยการวางระบบเป็นแบบเครือข่ายที่สามารถบอกถึงปริมาณของกลิ่นเป็นระดับความแรง ทิศทางของกลิ่น แหล่งที่มาของกลิ่น
- เครื่องแยกอนุภาคไมโครและนาโน (Micro & nanoparticle classifier) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2557 เป็นการพัฒนาการคำนวณ ออกแบบ และจัดสร้างต้นแบบไฮโดรไซโคลนทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ ภาคสนาม และระดับอุตสาหกรรม ไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบใหม่นี้จะมีสมรรถนะสูง สามารถคัดแยกอนุภาคขนาดไมโครเมตรได้เป็นอย่างดี และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้สามารถคัดแยกอนุภาคขนาดนาโนเมตรในอนาคตด้วยความหลากหลายของการออกแบบทำให้สามารถประยุกต์ใช้ไฮโดรไซโคลนกับภาระงานหลายประเภท อาทิ คัดกรองอนุภาคในช่วงขนาดต่างๆ (Classification) คัดแยกโดยการทำให้อาหารปราศจากสิ่งเจือปน (Clarification) และคัดแยกโดยมุ่งเน้นเฉพาะส่วนข้น (Thickening)

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

โดยใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 6 เทคโนโลยีคือ Advanced hydrocyclone (Particle classifier), Material development, Printing technology, Electronic controller, Particle technology และ Pilot production technology ซึ่งจะเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559

- วัสดุนาโนสำหรับอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Nano material for green building) ประกอบด้วย 2 ผลิตภัณฑ์
- Green technology for construction การออกแบบและสังเคราะห์เม็ดสี รวมถึงการเคลือบผิวหรือการห่อหุ้ม (Encapsulation) เม็ดสี หรือวัสดุซึ่งสมบัติพิเศษ เพื่อการประยุกต์ใช้กับวัสดุก่อสร้างให้มีสมบัติอื่นๆ เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม เช่น ความสามารถในการเปลี่ยนสี การสะท้อนความร้อน หรือดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต
- หน้าต่างอัจฉริยะ (Intelligent window) ซึ่งดำเนินงานวิจัยใน 4 ขั้นตอนคือ
 - 1) การออกแบบและสังเคราะห์วัสดุ (Design and synthesis of materials) ซึ่งจะทำในช่วงปี พ.ศ. 2556-2557 การพัฒนาวัสดุที่ใช้เคลือบบนพื้นผิวโดยการออกแบบและสังเคราะห์ เพื่อให้เหมาะกับการขึ้นรูปฟิล์มบนกระจกจากพอลิเมอร์หรือสารที่มีโมเลกุลเล็ก โดยมีการทดสอบความเสถียรและจำนวนรอบใช้งาน

2) การเคลือบสารบนพื้นผิวของฐานรองรับ (Fabrication on substrate) ซึ่งจะทำได้ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2557 การพัฒนาวิธีการเคลือบสารที่ออกแบบและสังเคราะห์ขึ้น โดยการใช้เทคนิคต่างๆ ในการขึ้นรูปฟิล์ม เช่น Spin-coating, Inkjet printing และ Screen printing เพื่อพัฒนาการขึ้นรูปฟิล์มให้ได้ฟิล์มที่มีผิวเรียบ และสามารถขึ้นรูปบนฐานรองรับที่มีขนาดใหญ่ได้ และสามารถผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้ว ต้องได้รับการทดสอบความสม่ำเสมอของสีและพื้นผิวบนฐานรองรับ โดยการวิเคราะห์พื้นผิว เช่น กล้องจุลทรรศน์ แรงอะตอม เครื่องวัดสี

3) การทำขั้วไฟฟ้าโปร่งใส (Transparent electrode) ซึ่งจะทำได้ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 โดยทำฐานรองรับ Smart glass และ Smart window ที่มีขนาดใหญ่และสามารถให้แสงรอดผ่านโดยสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ จากวัสดุจำพวกโลหะที่มีโครงสร้างระดับนาโนเมตร เช่น โลหะเงิน โลหะทองแดง เป็นต้น แทนการใช้อินเดียมทินออกไซด์ (Indium tin oxide) ที่มีราคาสูง โดยมีการทดสอบความสามารถในการนำไฟฟ้าและการส่องผ่านของแสง

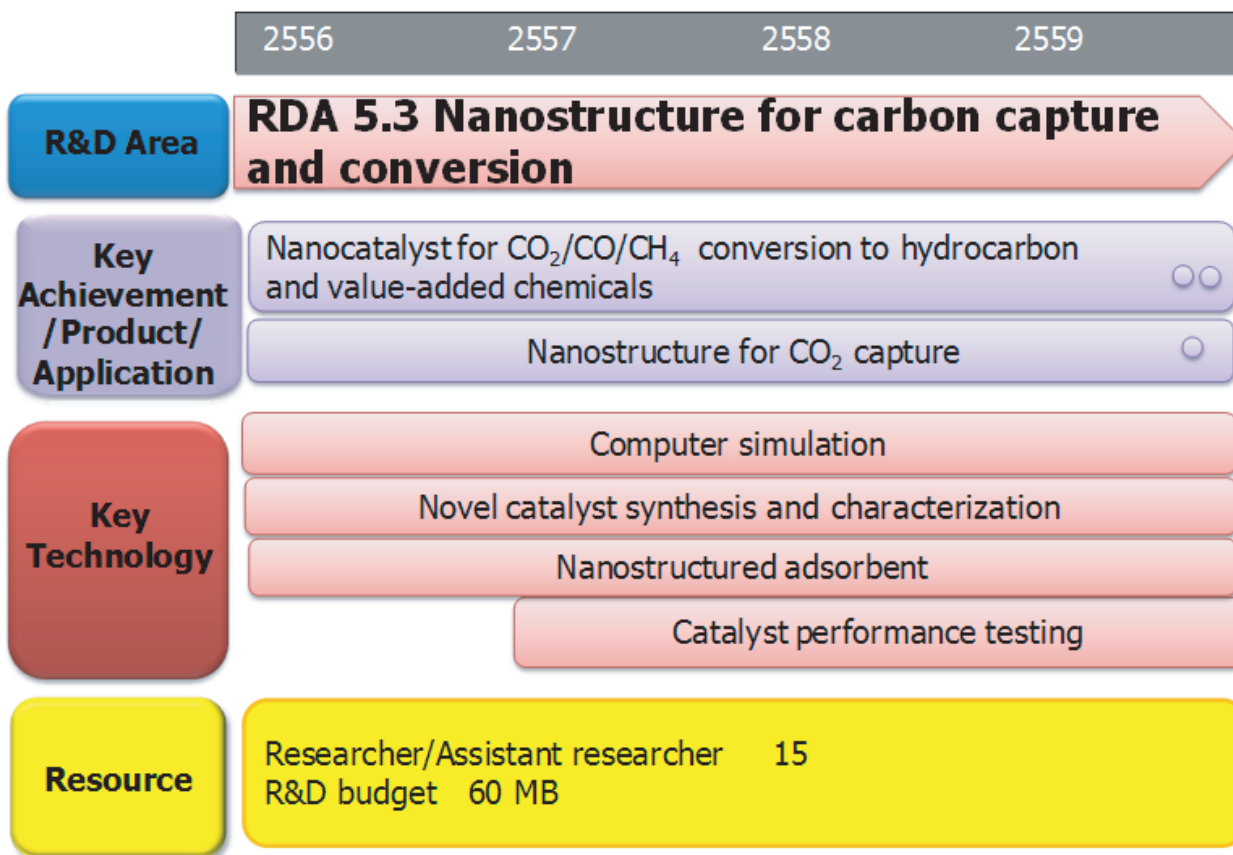
4) ชั้นไอออนนำไฟฟ้า (Ion conductor layer) ซึ่งจะทำได้ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 โดยพัฒนาชั้นไอออนนำไฟฟ้าจากสารจำพวกพอลิเมอร์ และมีการทดสอบเพื่อใช้เป็นชั้นนำประจุที่มีความเสถียรสูงมีจำนวนรอบการใช้งานสูงและมีความทนทานในสภาวะการใช้งานภาคสนามเพื่อนำไปพัฒนาใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

- Sensor array network for pollution control การพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณรวมของสารระเหย (Total Volatile Organic Compounds: Total VOC) แบบเบื้องต้นด้วยการใช้ก๊าซเซนเซอร์ชนิดโลหะออกไซด์ที่มีใช้กันแพร่หลาย และมีสมบัติแตกต่างกัน 2-3 ชนิด เครื่องตรวจวัดประเภทนี้เหมาะกับกลิ่นที่ไม่ซับซ้อน โดยอาจมีสารระเหยเพียงไม่กี่ชนิด เหมาะสำหรับการใช้งานในบริเวณที่มีกลิ่น เช่น โรงงานที่มีกลิ่นรบกวนจากแหล่งกำเนิด โดยสามารถนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ทำแผนที่กลิ่น ทิศทางลม ร่วมกับสภาพลักษณะของอาคารต่างๆ ในพื้นที่หรือโรงงานที่มีผลต่อการไหลของกระแสลมและกลิ่น ทำการประมวลผลเปรียบเทียบผลข้อมูลทางสถิติและแสดงผลเพื่อช่วยตรวจเฝ้าระวังสารระเหยที่ไปถึงแหล่งชุมชนได้
- เครื่องแยกอนุภาคไมโครและนาโน (Micro & nano particle classifier) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2557 พัฒนาการคำนวณให้สามารถออกแบบและจัดสร้างไฮโดรไซโคลอนเพื่อคัดแยกอนุภาคตามความต้องการและข้อจำกัดที่หลากหลายของภาคอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณและออกแบบใหม่ทุกครั้งเพื่อให้ได้ไฮโดรไซโคลอนที่เหมาะสมกับการใช้งานและมีประสิทธิภาพการแยกสูงสุด

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากร 25 คน งบวิจัยตลอดโครงการ 200 ล้านบาท

RDA5 Nanomaterials for energy and environment



รูปที่ 3-14: R&D Agenda 5 - Nanomaterials for energy and environment;
R&D Area 5.3 - Nanostructure for carbon capture and conversion

ความต้องการของตลาด

คาร์บอนไดออกไซด์ที่มนุษย์ปล่อยออกสู่บรรยากาศมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อผลิตพลังงานสนองตอบความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งเป็นหลัก คาร์บอนไดออกไซด์จะคงอยู่ในชั้นบรรยากาศเป็นเวลา 50-200 ปี และบางส่วนคงอยู่ตลอดไป การใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อผลิตวัสดุสำหรับดักจับและป้องกันการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ทำให้สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดียิ่งขึ้น เนื่องจากวัสดุที่มีโครงสร้างระดับนาโนจะมีพื้นผิวมากขึ้น รวมถึงมีการคิดค้นวัสดุใหม่ๆ เช่น เมมเบรนระดับนาโนที่สามารถคัดกรองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนดักจับเพื่อป้องกันการปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งปัจจุบันใช้การกรองที่มีราคาสูงและมีการใช้สารเคมีร่วมด้วย

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแปรรูปให้เป็นไฮโดรคาร์บอน (Nanostructure for carbon capture and conversion) ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 2 กลุ่ม คือ

- ตัวเร่งปฏิกิริยาระดับนาโนเพื่อแปรรูปก๊าซเรือนกระจกให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารที่มีมูลค่าเพิ่ม (Nanocatalyst for CO₂/CO/CH₄ conversion to hydrocarbon and value-added chemicals) ซึ่งจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นการกำจัดก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ เพื่อแปรรูปเป็นสารที่มีมูลค่าเพิ่มโดยเฉพาะสารไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ อัลเคนและแอลกอฮอล์ (เมทานอล/เอทานอล)

ซึ่งมีความต้องการใช้สูงในภาคธุรกิจพลังงานและปิโตรเคมีโดยจะผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถรองรับสารตั้งต้นที่เป็นก๊าซผสมจากแหล่งผลิตจริง รวมถึงระบบถังปฏิกรณ์และระบบการคัดแยกผลิตภัณฑ์แบบต่อเนื่อง

- โครงสร้างนาโนเพื่อดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ (Nanostructure for CO₂ capture) โดยจะดำเนินในปี พ.ศ. 2556-2559 ตัวดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประสิทธิภาพสูง ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์และปรับปรุงโครงสร้างของวัสดุนาโนชนิดต่างๆ ให้มีความสามารถสูงในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพื่อลดปริมาณการสะสมในสิ่งแวดล้อม

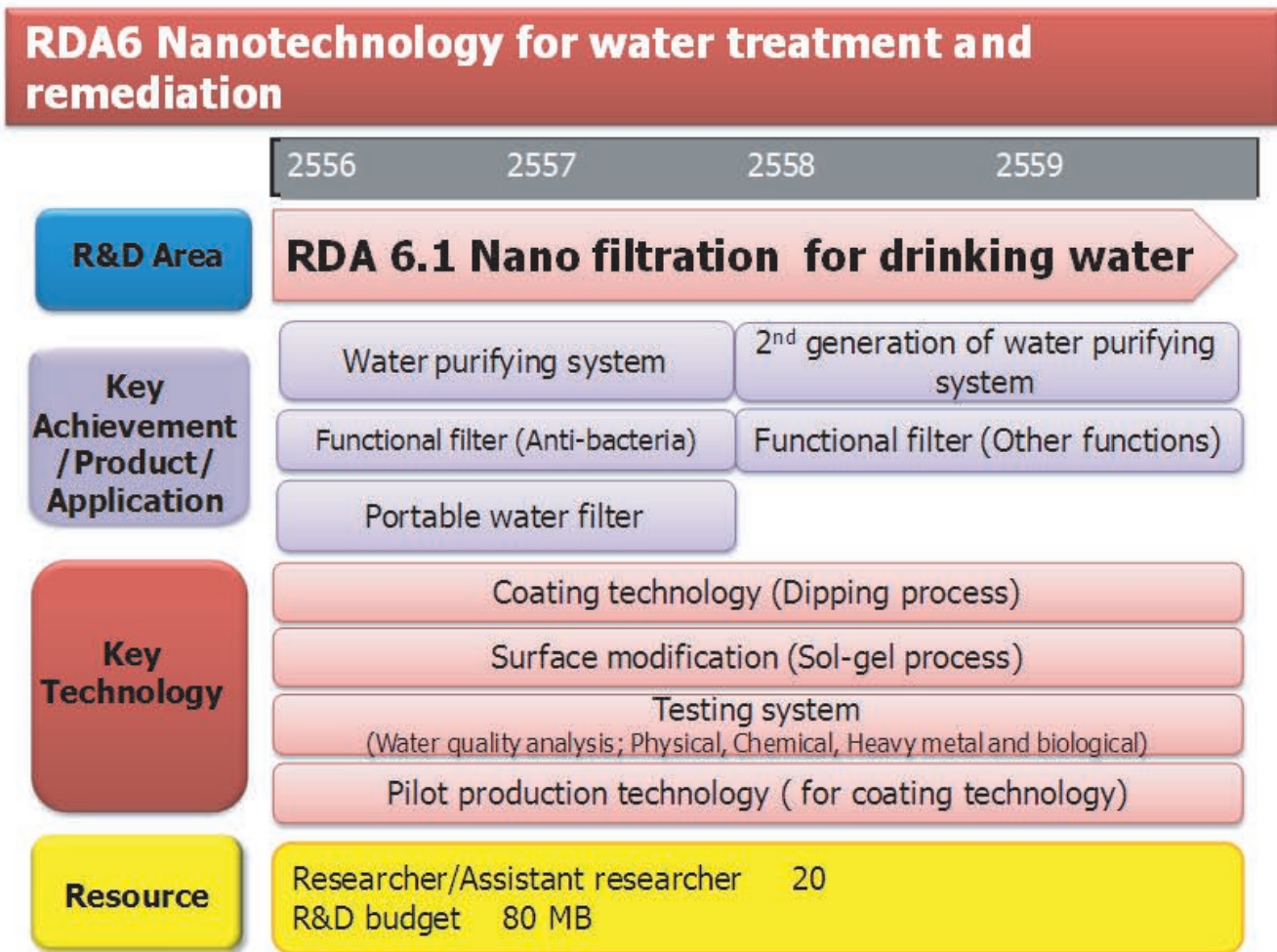
เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

โดยใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 4 เทคโนโลยีคือ Computer simulation, Novel catalyst synthesis and characterization, Nanostructured adsorbent ซึ่งจะเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 และ Catalyst performance testing ซึ่งจะเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2559

- ตัวเร่งปฏิกิริยาระดับนาโนเพื่อแปรรูปก๊าซเรือนกระจกให้เป็นไฮโดรคาร์บอน (Nanocatalyst for CO₂/CO/CH₄ conversion to hydrocarbon and value-added chemicals) มักจะอยู่ในรูปของ Metal/Bimetal catalysts กระจายตัวบนตัวรองรับที่มีโครงสร้างนาโน โดยการใช้เทคนิค Nanotemplating, Impregnation, Hydrothermal/Solvothermal, Precipitation, Sol-gel, Combustion, Sputtering, Electrospinning, Self assembly และเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี ด้วยการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะโดยกระบวนการ Reduction ในบรรยากาศไฮโดรเจนทั้งในระบบก๊าซนิ่งและก๊าซไหล ทั้งนี้หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมเบื้องต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเมมเบรนที่อยู่ในกลุ่ม Oxide จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการ Calcination ซึ่งจะต้องมีพัฒนาเตาเผาที่สามารถรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณมากในระดับ Pilot ให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ
- โครงสร้างนาโนเพื่อดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ (Nanostructure for CO₂ capture) มักเป็นสารกลุ่มที่มีรูพรุนสูงหรือสามารถจับตัวกับ CO₂ ได้ดี โดยการใช้เทคนิค Nanotemplating, Impregnation, Hydrothermal/Solvothermal, Precipitation, Sol-gel, เทคนิคทางไฟฟ้าเคมีและเทคนิค Self assembly อื่นๆ
- การพัฒนาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับ Pilot หรือ Mass production ให้มีคุณภาพเทียบเท่าการสังเคราะห์ระดับห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ Chemical and mechanical engineering design การใช้เทคโนโลยี X-ray analysis ขั้นสูง ได้แก่ X-ray absorption fine structure และ X-ray photoelectron spectroscopy ในการศึกษาโครงสร้างนาโนของตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้เทคโนโลยีแบบ In-situ chemisorption/ physisorption เพื่อศึกษาปริมาณและคุณภาพของ Active site เช่น ขนาด ความเป็นกรด-เบส และความเป็นโลหะ เป็นต้น
- การใช้เทคนิคการคำนวณในการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยา และการศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยา การดูดซับ การถ่ายโอนมวลและพลังงานในระดับอะตอม ได้แก่ Density Functional Theory (DFT) เทคนิค Molecular dynamic simulation เทคนิค ab initio calculation และ เทคนิค Continuum approach

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 15 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 60 ล้านบาท



รูปที่ 3-15: R&D Agenda 6 - Nanotechnology for water treatment and remediation;
R&D Area 6.1 - Nano filtration for drinking water

ความต้องการของตลาด

การกรองน้ำให้เป็นน้ำสะอาด ปลอดภัย เพื่อใช้อุปโภคและบริโภค ซึ่งสามารถคัดกรองสิ่งสกปรกที่เป็นทั้งของเหลว ก๊าซ อนุภาค หรือตัวถูกละลาย รวมทั้งเชื้อก่อโรคต่างๆ เทคโนโลยีที่สำคัญประกอบด้วย 2 เทคโนโลยี คือ 1) เทคโนโลยีเมมเบรน (Membrane technology) เป็นกระบวนการกรองสารโดยใช้แผ่นเมมเบรนในการแยกสารออกจากน้ำ สารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรนจะไม่สามารถผ่านออกไปได้ซึ่งการใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเพื่อบำบัดน้ำดื่มเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและมีประสิทธิภาพสูง แต่มีราคาแพงและต้องการการดูแลรักษา 2) เทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption technology) เป็นกระบวนการกรองสารโดยใช้ตัวดูดซับในการแยกสารออกจากน้ำ วิธีนี้ได้รับความนิยมเนื่องจากสะดวกในการใช้งานและมีประสิทธิภาพดี อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อจำกัดบางประการ คือ ตัวดูดซับไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ ต้องเปลี่ยนบ่อยๆ และตัวดูดซับบางชนิดไม่สามารถดูดซับสารที่ต้องการบางอย่างได้

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยการกรองน้ำดื่มด้วยนาโนเทคโนโลยี (Nano filtration for drinking water) ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่ม คือ

- ระบบกรองน้ำ (Water purifying system) การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเมมเบรน และเทคโนโลยีการดูดซับในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำและตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้ให้มากขึ้น ดำเนินการในระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกปี พ.ศ. 2556-2557 เป็นการทำงานร่วมกันของ ศน. และศูนย์แห่งชาติอื่นๆ และในช่วงที่ 2 เป็นการพัฒนาระบบที่ ศน. ดำเนินการเองอย่างต่อเนื่อง โดยขยายงานวิจัยจากช่วงแรก
- ใส์กรองที่เพิ่มสมบัติพิเศษ (Functional filter) พัฒนาแนวทางการบำบัดน้ำดื่มที่มีความปลอดภัยและต้นทุนต่ำ โดยใช้เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสง (Photocatalytic) ในการบำบัดการปนเปื้อนของสารเคมี สารอินทรีย์ และเชื้อก่อโรคในน้ำ ดำเนินการในระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกปี พ.ศ. 2556-2557 เป็นการพัฒนาวิธีการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย และช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นการพัฒนาแนวทางการบำบัดน้ำดื่มนอกเหนือจากกำจัดเชื้อแบคทีเรีย
- ใส์กรองน้ำแบบพกพา (Portable water filter) การพัฒนาการกรองน้ำที่สามารถพกพาได้ ดำเนินการในระหว่างปี พ.ศ. 2556-2557

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

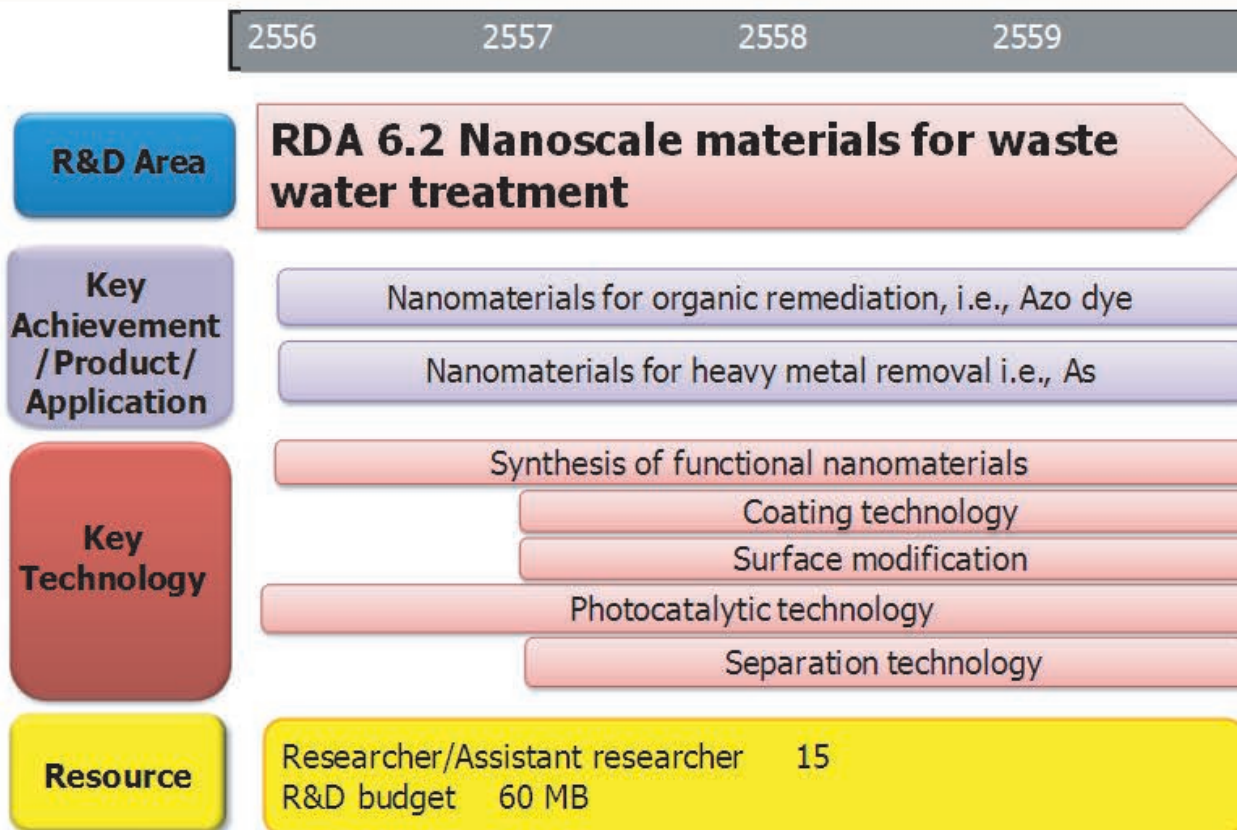
การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 4 เทคโนโลยี คือ

- Coating technology (Dipping process) เป็นกระบวนการเคลือบผิวและการวิเคราะห์สมบัติของผิวเคลือบของตัวกรองเซรามิกที่มีอนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งสามารถกำจัดเชื้อก่อโรค
- Surface modification (Sol-gel process) โดย Surface modification เป็นการตรวจสอบโดยวิธีการทางพื้นผิว ส่วน Sol-gel process เป็นกระบวนการสังเคราะห์โดยทำให้เกิดโครงตาข่ายของสารอนินทรีย์ เพื่อให้ได้สารที่มีความบริสุทธิ์และเป็นเนื้อเดียวกัน
- Testing system (Water quality analysis; Physical, Chemical, Heavy metal and biological) ระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำดื่มทั้งทางกายภาพและทางเคมี การตรวจสอบสารตกค้างที่เป็นโลหะหนักและสารตกค้างทางชีวภาพ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของหน่วยงานที่ให้การรับรอง
- Pilot production technology (for coating technology) เป็นการ scale up เทคโนโลยี โดยเฉพาะในส่วนของ Coating technology จาก Pilot scale ให้สามารถผลิตในระดับอุตสาหกรรม (Industrial scale)

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวม ได้แก่ บุคลากรวิจัย 20 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 80 ล้านบาท ทั้งนี้ในการดำเนินงานวิจัยยังขาดปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นได้แก่ 1) พื้นที่สำหรับสร้างต้นแบบภาคสนาม เช่น พื้นที่ในโรงงานต้นแบบ (Pilot-plant) 2) เครื่องมือที่จำเป็นและยังขาดแคลน เช่น ICP-MS & AA

RDA6 Nanotechnology for water treatment and remediation



รูปที่ 3-16: R&D Agenda 6 - Nanotechnology for water treatment and remediation;
R&D Area 6.2 - Nanoscale materials for waste water treatment

ความต้องการของตลาด

การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมมากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่าย เวลา รวมถึงแรงงานในกระบวนการบำบัด การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีใช้วัสดุที่มีอนุภาคโครงสร้างระดับนาโนเมตร (Nanomaterial) ในกระบวนการเปลี่ยนน้ำเสียให้เป็นน้ำสะอาด และใช้นาโนเซนเซอร์ (Nanosensor) สำหรับตรวจจับสารปนเปื้อน สิ่งสกปรกและเชื้อโรค และกำจัดสารปนเปื้อนและการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อม (Treatment and remediation) จัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการจัดการสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ทั้งนี้เพราะวัสดุนาโนสามารถเร่งปฏิกิริยาหรือกระตุ้นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced oxidation process) เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารปนเปื้อนมลพิษก่อนที่จะถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งสามารถดูดซับ (Adsorption) ตัวทำละลายหรือโลหะหนัก ซึ่งจะช่วยให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยเพื่อคิดค้นวัสดุนาโนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (Nanoscale materials for waste water treatment) ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 2 กลุ่ม คือ

- วัสดุนาโนสำหรับกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อน (Nanomaterials for organic remediation) ซึ่งจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559
- วัสดุนาโนสำหรับกำจัดโลหะหนักปนเปื้อน (Nanomaterials for heavy metal removal) ซึ่งจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559

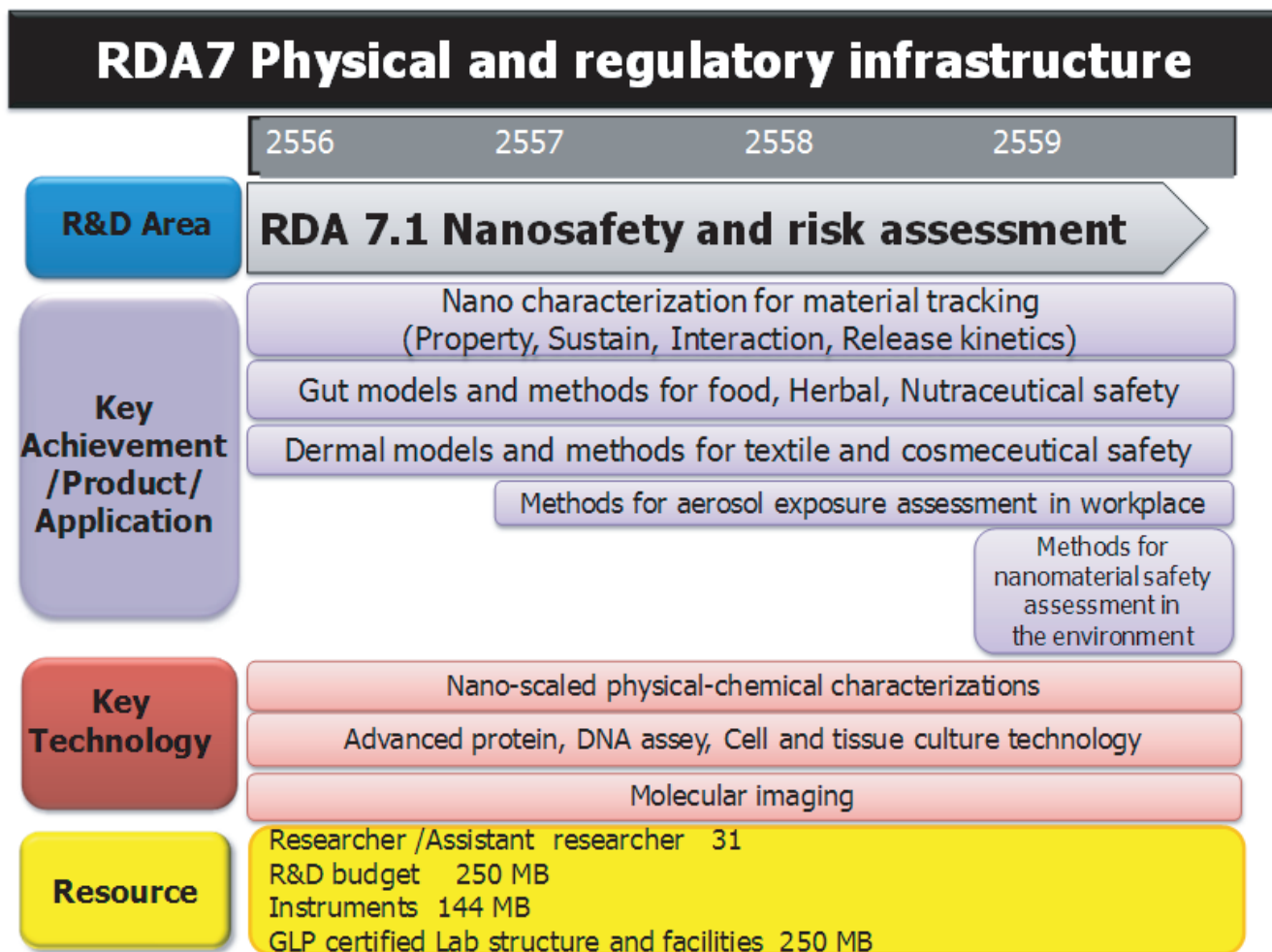
เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 5 เทคโนโลยี คือ

- Synthesis of functional nanomaterials เพื่อเตรียมวัสดุนาโนและ/หรือนาโนคอมพอสิตที่มีสมบัติต่างๆ เช่น มีรูปทรงสูง หรือมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์หรือรีดักชันได้รวดเร็ว หรือมีความเป็นแม่เหล็ก โดยจะต้องใช้เครื่องมือสำหรับเตรียมอนุภาคนาโน (Homogenizer, Ultrasonic probe, Funance) และเครื่องมือเพื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่เตรียมได้ (BET, SEM, TEM, XRD)
- Coating technology กระบวนการเคลือบผิวและการวิเคราะห์สมบัติของผิวเคลือบ Surface modification เพื่อเพิ่มความจำเพาะเจาะจงในการดูดซับ หรือย่อยสลาย หรือออกซิไดซ์-รีดิวซ์ สารปนเปื้อนมลพิษ
- Photocatalytic technology โดยการใช้แสงอาทิตย์ไปทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ก่อมลพิษ หรือโลหะหนัก บางชนิดให้มีขนาดที่เล็กลง และกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และผลิตภัณฑ์อินทรีย์อื่นๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารที่ทำให้เกิดสภาพไว (Sensitizer) ทางธรรมชาติชนิดต่างๆ
- Separation technology ประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับระบบการกรอง (Filtation system) เพื่อแยกสารปนเปื้อน

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 15 คน งบวิจัยตลอดโครงการ 60 ล้านบาท ทั้งนี้ในการดำเนินงานวิจัยยังขาดปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนมลพิษ เช่น ICP



รูปที่ 3-17: R&D Agenda 7 - Physical and regulatory infrastructure;
R&D Area 7.1 - Nanosafety and risk assessment

ความต้องการของตลาด

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการวิจัยและพัฒนาคุณภาพและเพิ่มมูลค่าในผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท ภายใต้ความตระหนักในการดูแลใส่ใจต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างเท่าทันสถานการณ์และมีความยั่งยืน ดังจะเห็นได้จากการมีแผนยุทธศาสตร์ด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2555-2559) ที่ครอบคลุมด้านการความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีในทุกด้าน ได้แก่ การสร้างการเรียนรู้ของสังคมให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ และความตระหนักด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์นาโน ตลอดจนเสริมสร้างศักยภาพและการมีส่วนร่วมของประชาชนในกระบวนการนโยบายสาธารณะ

การวิจัยและพัฒนาเป็นหนึ่งในกิจกรรมหลักที่จะสร้างและจัดการองค์ความรู้ด้านนาโนเทคโนโลยี ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยี (พ.ศ. 2555-2559) งานวิจัยและพัฒนาด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี จะมีการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลด้านความปลอดภัย ได้แก่ วัสดุนาโน ผลิตภัณฑ์นาโน รวมถึงความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเพื่อส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาวัสดุนาโนและผลิตภัณฑ์ที่เป็นฐานสำคัญของประเทศ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย เช่น สิ่งทอ อาหาร เครื่องสำอาง เป็นต้น อันจะส่งผลต่อการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของประเทศในประชาคมโลกและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยอาศัยกระบวนการออกแบบศึกษาวิจัยที่ใช้องค์ความรู้หลากหลายสาขา

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

โดยในระยะเวลา 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 จะแบ่งการศึกษาวิจัยครอบคลุมขอบเขตด้านความปลอดภัยต่อการได้รับสัมผัสกับวัสดุนาโน ได้แก่ ผิวหนัง ทางเดินอาหาร และระบบทางเดินหายใจ เป็นหลัก และในปี พ.ศ. 2559 จะเริ่มดำเนินการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังทำการศึกษาวิเคราะห์ด้านสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุนาโนในผลิตภัณฑ์ การปลดปล่อยและความคงทนอยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยผลงานวิจัยที่จะส่งมอบในระยะเวลา 4 ปี ประกอบด้วยขอบเขตงานวิจัยใน 5 กลุ่ม ได้แก่

- การตรวจติดตามคุณลักษณะของวัสดุนาโนในผลิตภัณฑ์ (Nanocharakterizations for material tracking) ซึ่งจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ขอบเขตของงานวิจัยนี้เพื่อรองรับอุตสาหกรรมทุกประเภทที่มีการใช้วัสดุนาโนในตัวกลางชนิดต่างๆ ทั้งในสถานะของเหลว ของกึ่งแข็ง ของแข็ง โดยสามารถวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี การคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ การปลดปล่อยออกจากผลิตภัณฑ์ในตัวกลางต่างๆ ในสภาวะการใช้งาน ซึ่งจะทำให้สามารถบ่งบอกประสิทธิภาพที่มาจากสมบัติของวัสดุนาโน ความคงทนต่อการใช้งาน รวมถึงความปลอดภัยเมื่อวัสดุนาโนถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการได้รับสัมผัสในมนุษย์
- วิธีการทดสอบและการสร้างแบบจำลองระบบทางเดินอาหาร เพื่อใช้ทดสอบความปลอดภัยของอาหาร สมุนไพร และอาหารเสริม (Gut models and methods for food, herbal, nutraceutical safety) ซึ่งงานวิจัยในขอบเขตนี้จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นการส่งเสริมอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และสมุนไพร ที่มีโอกาสได้รับสัมผัสโดยการรับประทาน โดยทำการวิจัยบนพื้นฐานทางเภสัชวิทยาและเภสัชจลนศาสตร์ ได้แก่ การปลดปล่อยสารสำคัญออกจากผลิตภัณฑ์ กระบวนการดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหาร การเปลี่ยนแปลงและการเกิดอันตรกิริยากับเอนไซม์ก่อนที่จะมีการขับออกจากร่างกาย เป็นต้น ดังนั้นการเกิดผลอันไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการดูดซึม การเกิดอันตรกิริยาโดยการยับยั้งหรือเหนี่ยวนำเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสารเคมี จะมีความสำคัญทางคลินิก และเป็นข้อมูลที่สำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าว นอกจากนี้จะมีการพัฒนาแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของระบบทางเดินอาหารควบคู่กันไปเพื่อใช้ในการทดสอบด้านความปลอดภัย
- วิธีการทดสอบและการสร้างแบบจำลองผิวหนังเพื่อใช้ทดสอบความปลอดภัยของสิ่งทอและเวชสำอาง (Dermal models and methods for textile and cosmeceutical safety) ซึ่งจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 ขอบเขตงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายนอกร่างกาย ได้แก่ เครื่องสำอาง และสิ่งทอ ที่มีการสัมผัสผ่านเนื้อเยื่อของผิวหนัง ซึ่งกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวมีศักยภาพที่จะผลิตเพื่อใช้ในประเทศ และเพื่อการส่งออก ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกลุ่มสหภาพยุโรป (European commission) โดยคณะกรรมการ Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS) ได้มีแนวทางกำกับดูแลด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางนาโน ที่จะเริ่มใช้ในปี พ.ศ. 2556 จึงจำเป็นที่ประเทศไทยต้องทำการศึกษาวิจัยเพื่อเตรียมความพร้อมรองรับอุตสาหกรรมดังกล่าว
- วิธีการทดสอบเพื่อประเมินการได้รับสัมผัสละอองลอยในอากาศในที่ทำงาน (Methods for aerosol exposure assessment in workplace) ซึ่งงานวิจัยในขอบเขตนี้จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 โดยมุ่งเน้นการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อได้รับสัมผัสกับอนุภาคนาโนเมตร ได้แก่ ผู้ทำงานในกระบวนการผลิตโรงงานอุตสาหกรรม และผู้ทำงานในกระบวนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุนาโน เพื่อนำไปสู่การป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาว และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกข้อกำหนดที่เหมาะสม โดยหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแล เพื่อให้เกิดความตระหนักในการใช้นาโนเทคโนโลยีอย่างปลอดภัย
- วิธีการประเมินความปลอดภัยของวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อม (Methods for nanomaterial safety assessment in the environment) เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของวัสดุนาโนเมื่อมีการปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสมบัติทางกายภาพและความเป็นพิษที่ส่งผลต่อระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิต รวมถึงการศึกษาวงจรชีวิตของวัสดุนาโน (Life cycle analysis) งานวิจัยในขอบเขตนี้จะเริ่มศึกษาจากสิ่งแวดล้อมในน้ำ ในปี พ.ศ. 2559 โดยร่วมมือกับหน่วยงานที่มีความเชี่ยวชาญหรือดำเนินการโดยศูนย์ความเป็นเลิศที่เกี่ยวข้อง

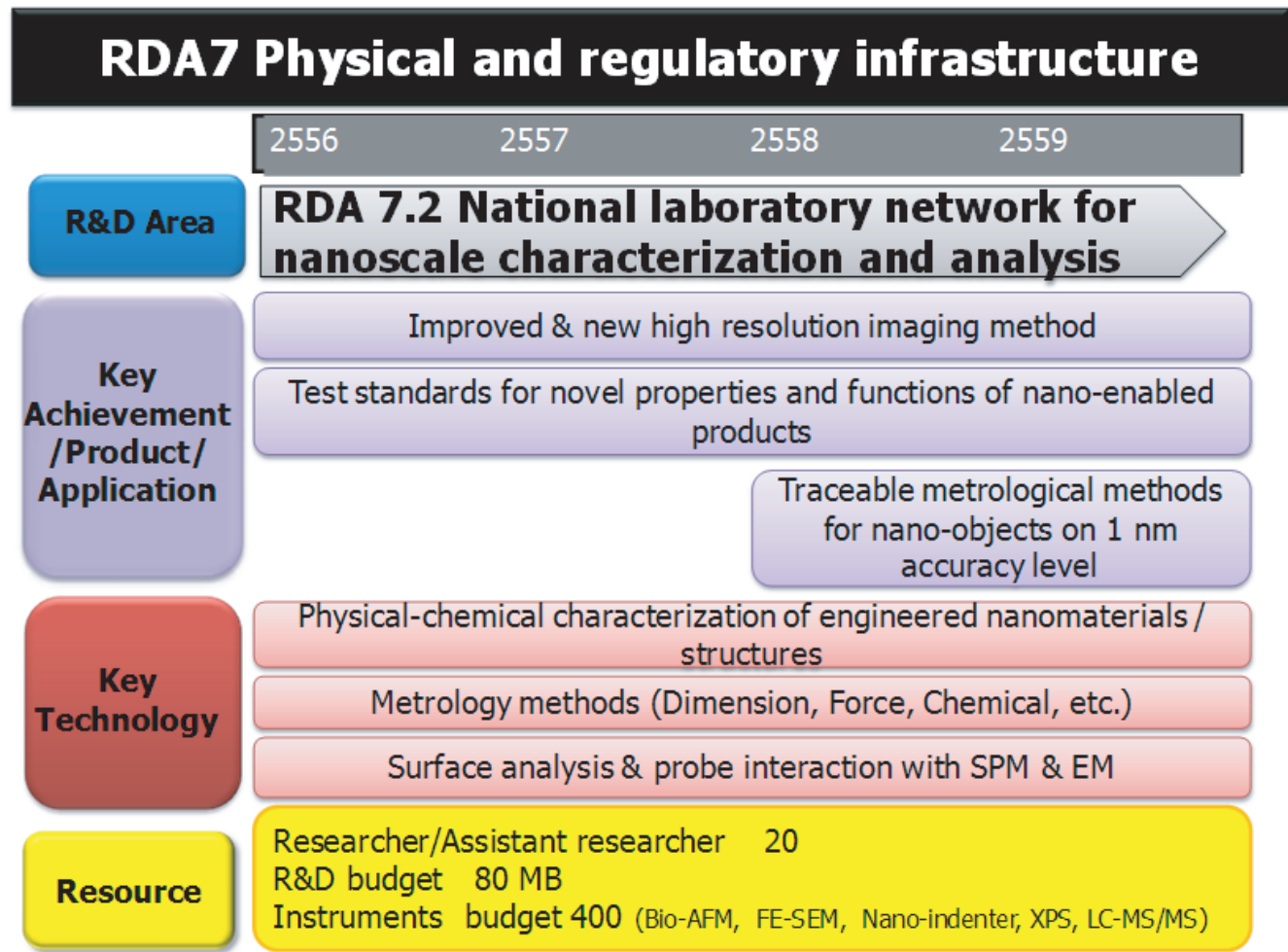
เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

โดยใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 3 เทคโนโลยีคือ 1) Nano-scaled physical-chemical characterizations 2) Advanced protein/DNA assay และ Cell and tissue culture technology 3) Molecular imaging ซึ่งจะดำเนินการตั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เพื่อพัฒนาวิธีทดสอบดังนี้

- การตรวจสอบสมบัติของวัสดุนาโนในผลิตภัณฑ์ (Nanocharacterizations for material tracking) ต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีที่สามารถวัดได้ในระดับนาโนเมตร
- วิธีการทดสอบและการสร้างแบบจำลองระบบทางเดินอาหารเพื่อใช้ทดสอบความปลอดภัยของอาหาร สมุนไพร และอาหารเสริม (Gut models and methods for food, herbal, nutraceutical safety) เป็นทำการวิจัยบนพื้นฐานทางเภสัชวิทยาและเภสัชจลนศาสตร์ เพื่อศึกษาถึงการเกิดผลอันไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการดูดซึม การเกิดอันตรกิริยาโดยการยับยั้งหรือเหนี่ยวนำเอนไซม์ ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสารเคมี จะมีความสำคัญทางคลินิก และเป็นข้อมูลที่สำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมถึงการสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของระบบทางเดินอาหารเพื่อใช้ในการทดสอบด้านความปลอดภัย
- วิธีการทดสอบและการสร้างแบบจำลองผิวหนังเพื่อใช้ทดสอบความปลอดภัยของสิ่งทอและเวชสำอาง (Dermal models and methods for textile and cosmeceutical safety) ใช้ระบบการศึกษาภายนอก (in vitro) ได้แก่ การใช้แบบจำลองระบบผิวหนังด้วยวิธี reconstructed human skin เพื่อตรวจสอบการระคายเคือง และการทำลายผิวหนัง (Skin irritation and corrosion) การศึกษาการซึมผ่านผิวหนัง (Dermal absorption) รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (Genotoxicity) ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ Single cell gel electrophoresis (Comet) assay, Micronucleus test และ Mammalian chromosomal aberration test เป็นต้น
- วิธีการทดสอบเพื่อประเมินการได้รับสัมผัสละอองลอยในอากาศในที่ทำงาน (Methods for aerosol exposure assessment in workplace) เป็นการศึกษาโอกาสการได้รับสัมผัสวัสดุนาโนที่ฟุ้งกระจายในอากาศ และศึกษาติดตามข้อมูลด้านสุขภาพของคนที่ได้รับสัมผัสวัสดุนาโนในระหว่างการทำงาน รวมถึงการศึกษาในแบบจำลองระบบทางเดินหายใจ
- วิธีการประเมินความปลอดภัยของวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อม (Methods for nanomaterial safety assessment in the environment) เป็นการศึกษาผลกระทบของนาโนเทคโนโลยีที่มีต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะเมื่อวัสดุนาโนถูกปลดปล่อยสู่แหล่งน้ำ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี และผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีหน่วยงานเฉพาะทางที่สามารถทำการวิจัยด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีดังกล่าว ขอบเขตงานวิจัยทั้งหมดนี้จะเป็นการทดสอบที่จำเพาะสำหรับความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยีที่จำเป็น เพื่อนำไปประกอบใช้เป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนและผลิตภัณฑ์นาโนของประเทศไทย ดังนั้นเพื่อให้เกิดการยอมรับเป็นมาตรฐานระดับสากลในด้านคุณภาพของผลการทดสอบ ห้องปฏิบัติการวิจัยควรผ่านการรับรองมาตรฐานที่ดีในการปฏิบัติงานวิจัย (Good Laboratory Practice, GLP) ตามแนวทางที่ระบุใน OECD Series of Principles on Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring โดยโครงสร้างพื้นฐานจะประกอบด้วยห้องปฏิบัติงานวิจัยแยกส่วนตามลักษณะของงาน ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนประมาณ 250 ล้านบาท และเครื่องมือหลักในการทำงานวิจัยรวมมูลค่า 144 ล้านบาท โดยมีวิจัยตลอดโครงการ 250 ล้านบาท ความต้องการบุคลากรวิจัย 31 คน



รูปที่ 3-18: R&D Agenda 7 - Physical and regulatory infrastructure;
R&D Area 7.2 - National laboratory network for nanoscale characterization and analysis

ความต้องการของตลาด

ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยมีมูลค่าทั่วโลกประมาณ 260 พันล้านเหรียญสหรัฐ สำหรับประเทศไทยได้มีการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย อันได้แก่ สิ่งทอ เครื่องสำอาง อาหาร สี เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี และผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีที่จำหน่ายในประเทศและส่งออกประมาณปีละ 50,000 ล้านบาทและมีมูลค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ บริษัทผู้ผลิต/ผู้แทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจำหน่ายหรือส่งออกผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีไปจำหน่าย ต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา จึงจำเป็นต้องมีการระบุข้อมูลสำคัญและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ให้ประเทศคู่ค้าทราบว่ามีวัสดุนาโนในผลิตภัณฑ์ หรือมีการใช้กระบวนการทางนาโนเทคโนโลยีในการผลิต โดยบริษัทต้องแสดงหลักฐานผลการตรวจสอบและข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนาด ชนิด ส่วนประกอบของวัสดุนาโนที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น

ทั้งนี้ ประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้เริ่มมีการกำหนดมาตรฐานสินค้าโดยมุ่งเน้นด้านนาโนเทคโนโลยี ซึ่งจะมีผลต่อการส่งออกของประเทศไทย และเป็นปัจจัยสำคัญในการกีดกันทางการค้า สำหรับประเทศไทย ปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีได้เริ่มดำเนินการผลักดันการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมและแนวทาง

ในการควบคุมผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย เช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) และสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค (สคบ.) อย่างไรก็ตาม การควบคุมผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยยังไม่สามารถดำเนินการได้ เพราะยังต้องการปัจจัยพื้นฐานเต็มรูปแบบ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการหรือศูนย์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถทำการวิเคราะห์ความเป็นนาโนเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีมาตรฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบผลิตภัณฑ์นาโนได้อย่างเฉพาะเจาะจง วิธีทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีและวัสดุนาโนที่มีประสิทธิภาพ ประกอบกับในขณะนี้ผู้บริโภคมีความตื่นตัวด้านมาตรฐานและความปลอดภัยของสินค้านาโน ดังนั้นจึงควรมีการเตรียมตัวโดยการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการหรือศูนย์วิเคราะห์ทดสอบที่มีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ทดสอบด้านนาโนเทคโนโลยีให้กับหน่วยงานภาครัฐและภาคอุตสาหกรรม เพื่อส่งเสริมการพัฒนาขีดความสามารถด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศ และลดการส่งชิ้นงานไปทดสอบในต่างประเทศ เป็นการยกระดับความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีให้กับผู้บริโภค ซึ่งจะเป็นการสร้างความเข้มแข็งให้ผู้ผลิต ผู้ค้า และผู้ให้บริการ

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยด้าน National laboratory network for nanoscale characterization and analysis ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 ประกอบด้วยขอบเขตงานวิจัย 3 กลุ่ม ได้แก่

- วิธีถ่ายภาพความละเอียดสูงที่พัฒนาขึ้นใหม่ (Improved & new high resolution imaging method) ซึ่งงานวิจัยในขอบเขตนี้จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 โดยมีผลลัพธ์เป็นเทคนิคมาตรฐานสำหรับการเตรียมตัวอย่างและวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์รูปร่างและโครงสร้างของตัวอย่างชีวภาพ วัสดุ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเล็กในระดับมิลลิเมตรจนถึงระดับอังสตรอม (0.1 นาโนเมตร) รวมทั้งการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของตัวอย่าง
- วิธีมาตรฐานในการตรวจสอบสมบัติและหน้าที่ใหม่ของผลิตภัณฑ์นาโน (Test standards for novel properties and functions of nano-enabled products) ซึ่งงานวิจัยในขอบเขตนี้จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 โดยมุ่งเน้นผลลัพธ์ที่เป็นวิธีมาตรฐานและเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทดสอบสมบัติพิเศษและสมรรถนะในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีการเพิ่มมูลค่าด้วยนาโนเทคโนโลยีที่มีความถูกต้องแม่นยำและสามารถนำไปสู่การกำหนดเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือมีผลบังคับใช้ทางกฎหมายได้
- วิธีทางมาตรวิทยาสำหรับสอบกลับการวัดขนาดวัตถุนาโนที่มีความแม่นยำในระดับ 1 นาโนเมตร (Traceable metrological methods for nano-objects on 1 nm accuracy level) ซึ่งงานวิจัยในขอบเขตนี้จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2559 โดยมุ่งเน้นผลสัมฤทธิ์เป็นการสร้างระบบมาตรวิทยาการวัดในระดับนาโนเมตรของประเทศไทยขึ้นมาอย่างเป็นรูปธรรม เช่น โครงสร้างพื้นฐานที่ใช้สำหรับสอบเทียบการวัดขนาดระดับนาโนในระดับชาติ ที่สามารถทำหน้าที่ในการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) และอุปกรณ์การวัดขนาด เช่น Transmission electron microscope (TEM), Atomic force microscope (AFM), Scanning electron microscope (SEM), Dynamic light scattering (DLS) กับมาตรฐานอ้างอิง และสามารถสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ไปยังมาตรฐานแห่งชาติและต่อเนื่องไปยังมาตรฐานระดับสากลได้ รวมทั้งการกำหนดค่าขนาดของวัสดุอ้างอิงมาตรฐาน (Standard reference material) เช่น Particle size standard หรือ Nano-scale pitch standard ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยที่มีความถูกต้องในระดับ 1 นาโนเมตรได้

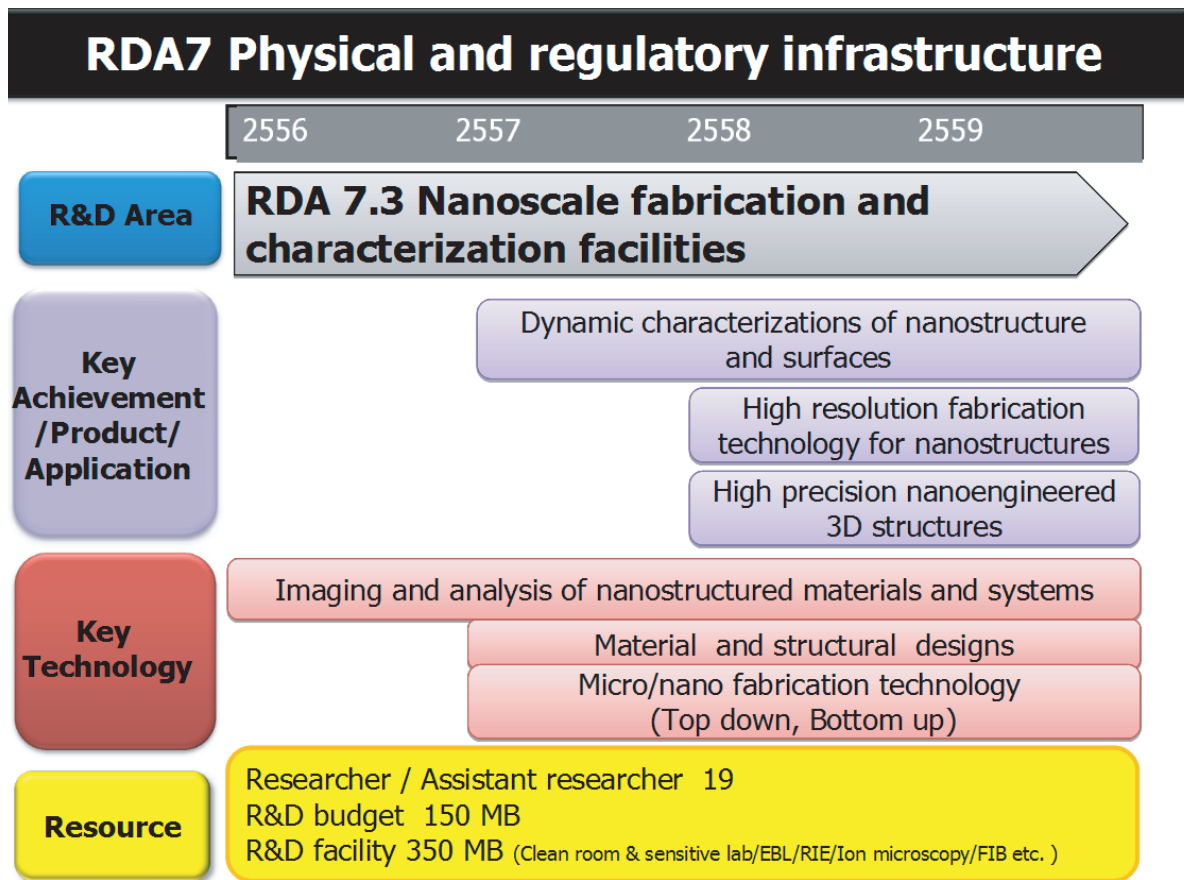
เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

การศึกษาและพัฒนาขอบเขตงานวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 จะมีการใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 3 เทคโนโลยี คือ

- Physical-chemical characterization of engineered nanomaterials/nanostructures ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาและดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุนาโนและโครงสร้างในระดับนาโนเมตรที่ถูกผลิตขึ้นโดยการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบหลายประเภท เช่น การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค DLS การวิเคราะห์รูปร่างทางกายภาพของวัสดุนาโนและการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของวัสดุนาโนโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องทะลุ (TEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิววัสดุนาโนและการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุนาโนด้วยเครื่องมือที่ใช้รังสีเอ็กซ์ (EDS, WDS, XRD, SAXS, XAS, XPS) การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างเชิงเคมีของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค Raman spectroscopy และ FT-IR spectroscopy การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนของวัสดุนาโน การวิเคราะห์ค่าศักย์ซีต้าของพื้นผิวอนุภาคนาโน การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารสำคัญด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี เป็นต้น
- Metrology methods (Dimension, Force, Chemical, etc.) ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีและวิธีการวัดค่าต่างๆ ที่ทำให้ผลการวัดสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาไปยังระบบหน่วยการวัดอ้างอิงสูงสุดคือ หน่วยวัดระหว่างประเทศ เอสไอ (SI units) และจะต้องให้ค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด (Measurement uncertainty) มีขนาดเล็กด้วย โดยอ้างอิงหลักการด้านคุณภาพการวัดอันได้แก่ ความถูกต้อง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) ความไว (Sensitivity) และพิสัย (Range) โดยมุ่งเน้นการวัดเชิงมาตรวิทยาสำหรับเครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดรูปร่างโครงสร้างผลึกพื้นผิว องค์ประกอบเคมี และสมบัติพิเศษของวัสดุนาโนและผลิตภัณฑ์นาโนที่ครบถ้วนตามความต้องการของภาครัฐและเอกชน สามารถสร้างวิธีมาตรฐานและเทคนิคการวิเคราะห์ระดับประเทศ และเปิดให้บริการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคมาตรฐานต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการนำเข้าส่งออกและการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์นาโนที่สำคัญของประเทศไทย
- Surface analysis & probe interaction with SPM & EM ซึ่งจะดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางสัณฐานวิทยา องค์ประกอบเชิงเคมี และสมบัติเชิงกลของพื้นผิวตัวอย่าง โดยการใช้เครื่องมือประเภทกล้องจุลทรรศน์แบบ Scanning probe microscopy (SPM) และการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เทคโนโลยีนี้สามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเรียบและความขรุขระในระดับนาโนเมตรของพื้นผิวของวัสดุประเภทเหล็ก อะลูมิเนียม การวิเคราะห์การกระจายตัวของสารเคลือบบนผิวฟิล์มบาง การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างด้านชีวภาพ เช่น ลักษณะเซลล์แบคทีเรีย การวิเคราะห์ความลึกของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และแผ่นฮาร์ดดิสก์ การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของสารหลายชนิดที่รวมตัวหรือกระจายตัวกันอยู่บนพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ฟิล์มพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยสารพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน เป็นต้น

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวม ได้แก่ บุคลากรวิจัย 20 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 80 ล้านบาท งบประมาณสำหรับจัดหาเครื่องมือ 400 ล้านบาท เช่น FE-SEM, AFM, FFF, SP-ICP-MS, Nano-indenter, XPS, LC-MS/MS เป็นต้น



รูปที่ 3-19: R&D Agenda 7 - Physical and regulatory infrastructure;
 R&D Area 7.3 - Nanoscale fabrication and characterization facilities

ความต้องการของตลาด

การศึกษาโครงสร้างระดับนาโนในปัจจุบัน เป็นการศึกษาผลกระทบหรือปรากฏการณ์ที่เกิดในระบบสถิตย์ (Static system) ซึ่งแม้จะพบสมบัติหรือปรากฏการณ์มากมายที่มีศักยภาพ แต่ความเข้าใจพลวัตและลำดับกลไกของกระบวนการการเกิดโครงสร้าง รวมถึงปฏิสัมพันธ์หรืออันตรกิริยาระหว่างโครงสร้างและพื้นผิว ยังจำกัดอยู่ในกรอบของการตั้งสมมติฐานและขาดหลักฐานโดยตรงที่จะสามารถชี้ชัดหรือติดตามสภาวะการเกิดโครงสร้างได้ นอกจากนี้ หากจะนำโครงสร้างระดับนาโนเมตรมาประยุกต์ใช้ การขึ้นรูปให้โครงสร้างสามารถทำหน้าที่ต่างๆ โดยมีขนาดเล็กลงจึงเป็นสิ่งท้าทายและเป็นปัญหาที่นักวิจัยทั่วโลกพยายามแก้ไขอยู่ เช่น การสร้างวงจรมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ ตามกฎของมัวร์นั้นถูกจำกัดด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปและขีดจำกัดของวัสดุซึ่งมีพฤติกรรมแตกต่างออกไปเมื่อมีขนาดเล็กลงไปถึงระดับนาโนเมตรนอกจากประเด็นด้านขนาดแล้ว ความเที่ยงตรงหรือความละเอียดในการผลิตที่จะต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะของโครงสร้างขณะใช้งาน โดยกระบวนการขึ้นรูปที่พัฒนาขึ้นมาจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง เพื่อเป็นการประเมินทั้งในระดับภาพรวมของระบบและในภาพย่อยที่ประกอบจากโครงสร้างหลายๆ ส่วน ดังนั้นเครื่องมือ เครื่องตรวจสอบอัตลักษณ์ หรือเครื่องวัดสมบัติจำเป็นจะต้องมีความไวสูงมาก เพื่อที่จะสามารถติดตามปรากฏการณ์ได้ โดยเฉพาะปรากฏการณ์ในระดับนาโนนั้น มักจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงานที่เป็นไปอย่างรวดเร็วและซับซ้อน

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานวิจัยด้าน Nanoscale fabrication and characterization facilities ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 ประกอบด้วยขอบเขตงานวิจัย 3 กลุ่ม ได้แก่

- การวิเคราะห์คุณลักษณะของโครงสร้างระดับนาโนและพื้นผิว (Dynamic characterizations of nanostructure and surfaces) ดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 โดยเน้นการศึกษาการเติบโตของอนุภาคนาโน ลวดนาโน และควอนตัมดอทของโลหะออกไซด์ เช่น ซิงค์ออกไซด์ ไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น ในสภาวะการปลูกผลึกแบบไอระเหยและสารละลาย การศึกษาการจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนบนพื้นผิวเปิดและไมโครชาแนล (Microchannel) ที่มีการปรับแต่งสภาวะทางไฟฟ้าและเคมี สำหรับอุปกรณ์ Opto-fluidic รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์กึ่งตัวนำในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ กระจกเปลี่ยนสี เทอร์โมอิเล็กทริก และวัสดุการตอบสนองทางไฟฟ้าต่อสิ่งกระตุ้นต่างๆ ทั้งทางฟิสิกส์และเคมี สำหรับอุปกรณ์จำพวกเซนเซอร์ที่มีโครงสร้างที่พัฒนาจากวัสดุนาโน โดยใช้ระบบการวัดที่มีการป้องกันหรือกรองสัญญาณรบกวนออกไป เพื่อให้ได้สัญญาณที่ชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น การวัดโดยต่อขั้วไฟฟ้าแบบ 2 points หรือ 4 points และทำการวัดด้วยระบบ Source measurement units หรือการใช้เทคนิค Lock-in amplifier ซึ่งสามารถจับสัญญาณที่ต้องการและแยกออกจากสัญญาณรบกวนได้ เทคนิคเหล่านี้จำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ Nanodevices จำพวก Low dimensional electronic devices ที่มีโครงสร้างแบบ Field Effect Transistor (FET) เช่น Single electron transistor หรือ Nanoscale transistor ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่เตรียมเชื่อมต่อกับโครงสร้างระดับนาโนหรือลวดนาโนของวัสดุหรือสารกึ่งตัวนำ โดยในบางโครงสร้างจำเป็นต้องศึกษาในอุณหภูมิต่ำและสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง ดังนั้นการวัดใน Cryogenic system ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในระดับ มิลลิเคลวิน พร้อมด้วย Superconducting magnet ที่ให้สนามแม่เหล็กที่มีค่าความเข้มสูง จึงมีความจำเป็นในการวัดชิ้นงานประเภท Nanoelectronics และยังมีการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าในวัสดุนาโน ซึ่งจะนำไปสู่วิศวกรรมด้านเทคโนโลยีโฟโตนิกส์และออปโตอิเล็กทรอนิกส์
- การพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปโครงสร้างระดับนาโนเมตรที่มีความละเอียดสูง (High resolution fabrication technology for nanostructures) จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2559 โดยจะเน้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างและออกแบบรูปแบบโครงสร้าง (Pattern) และฟิล์มบางจากพื้นผิวเปิด อันได้แก่ การสร้างรูปแบบโครงสร้างขั้วไฟฟ้า ระดับไมครอนและนาโนบนพื้นผิวกระจกหรือซิลิกอนสำหรับอุปกรณ์นาโนเซนเซอร์ การปลูกหรือเคลือบชั้นฟิล์มบางนาโนของวัสดุกึ่งตัวนำสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง และกระจกเปลี่ยนสี การขึ้นรูปแบบ Nanoimprinting สำหรับโครงสร้างนาโนแบบ Periodic structure นาโนเซนเซอร์ และพื้นผิวลดการสะท้อนแสง สำหรับการสร้างรูปแบบ (Patterning) ของชิ้นงาน Nanoelectronics devices ระดับไมครอนหรือนาโนเมตรนั้น สามารถสร้างได้โดยวิธีการ Lithography ซึ่งโครงสร้างระดับไมครอนจะใช้กระบวนการ Optical lithography ที่ใช้แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวถ่ายทอดรูปแบบแก่ชิ้นงานที่ให้ความละเอียดในระดับ 1-2 ไมครอนเมตร ส่วนโครงสร้างระดับนาโนเมตรใช้กระบวนการ Electron beam (E-beam) lithography โดยใช้ลำอิเล็กตรอนในการสร้างรูปแบบโดยตรงแก่ชิ้นงาน ซึ่งทำให้มีความละเอียดสูงในการสร้างโครงสร้างระดับนาโนเมตร รวมถึงการเตรียมโครงสร้างและรูปแบบของขั้วไฟฟ้างานวัสดุนาโน เช่น ลวดนาโนบนวัสดุรองรับ สามารถออกแบบได้ด้วยเทคนิค E-beam lithography ซึ่งติดตั้งควบคู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทำให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างระดับนาโนพร้อมกับการสร้างรูปแบบควบคู่กันไปได้ หรือการสร้างรูปแบบนาโนบนพื้นผิวด้วยเทคนิคอื่นๆ เช่น Direct write scanning probe lithography
- การขึ้นรูปโครงสร้างสามมิติด้วยวิศวกรรมระดับนาโนที่มีความแม่นยำสูง (High precise nanoengineered 3D structures) ซึ่งงานวิจัยในขอบเขตนี้จะดำเนินการในปี พ.ศ. 2559

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 3 เทคโนโลยีคือ

- Imaging and analysis of nanostructured materials and systems การวิเคราะห์และการถ่ายภาพโครงสร้างนาโนใช้เทคนิคการถ่ายภาพทางอิเล็กทรอนิกส์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสง เป็นต้น โดยใช้เครื่องมือ เช่น Field emission electron scanning microscope (FE-SEM), Transmission electron microscope (TEM), Atomic force microscope (AFM), Confocal microscope, X-ray ultra microscope, X-ray photon microscope, Tip enhanced raman spectroscopy และ Scanning near field optical microscope (SNOM) โดยจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2556-2559 เน้นการตรวจวัดแบบ In-situ measurement เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในช่วงเวลาต่างๆ ของกระบวนการทดลอง
- Material and structural designs ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2559 เพื่อการออกแบบโครงสร้างนาโนและการเลือกวัสดุที่สามารถตอบสนองต่อการกระตุ้น เช่น คลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในย่านพลังงานที่ต้องการศึกษา สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ประเภท Computer Aided Design (CAD) และเทคนิคการคำนวณเชิงตัวเลขอื่นๆ
- Micro/nano fabrication technology (Top down, Bottom up) ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2559 เป็นเทคโนโลยีการจัดเรียงอนุภาคนาโนแบบ Self-assembly ในรูปแบบสารละลายและสารคอลลอยด์ เพื่อสร้างโครงสร้างแบบ Periodic structure รวมถึงกระบวนการขึ้นรูปโครงสร้างระดับนาโนและไมครอน โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ พลาสมา อีออนพลังงานสูง รวมถึงกระบวนการกัดโดยใช้สารละลายกรดหรือเบส (Wet etching) และกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีอื่นๆ

วิธีวิจัยในแต่ละขอบเขตงานวิจัยคือ

- Dynamic characterizations of nanostructure and surfaces เป็นการพัฒนาเครื่องมือและเทคนิคการวัดคุณลักษณะของโครงสร้างระดับนาโนและพื้นผิว ทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมถึงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของชิ้นงานที่ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์และเคมี ในสภาวะแวดล้อมระหว่างการทดลอง โดยออกแบบการทดลองและสภาวะการปลูกผลึกของโลหะออกไซด์ การจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์กึ่งตัวนำบนพื้นผิวเปิดและ Micro channel ที่ปรับแต่งสภาวะทางไฟฟ้าและเคมี รวมถึงความสามารถในการนำไฟฟ้าของอุปกรณ์ Nanoelectronics ที่มีการตอบสนองต่อการควบคุม เช่น ชิ้นงานประเภท FETs โดยการนำไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าหลักสองขั้ว (Source และ Drain) เปลี่ยนแปลงไปเมื่อให้สัญญาณควบคุมที่แตกต่างกันแก่ขั้วไฟฟ้า (Gate) ของชิ้นงาน ซึ่งพัฒนาให้ตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงต่อสิ่งเร้าหรือสิ่งแวดล้อมภายนอกได้
- High resolution fabrication technology for nanostructures เป็นการพัฒนากการขึ้นรูปโครงสร้างระดับไมโครเมตรด้วยวิธี Optical lithography และระดับนาโนเมตรด้วยวิธี E-beam lithography เพื่อสร้างรูปแบบของส่วนประกอบและโครงสร้างของชิ้นงาน Nanodevices เช่น ขั้วไฟฟ้า Micro/nano channel เป็นต้น ซึ่งการขึ้นรูปหรือการปลูกชั้นของโลหะและสารกึ่งตัวนำในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรนั้น สามารถเตรียมได้โดยการระเหย (Evaporating) การเคลือบไฟฟ้า (Electroplating) การเคลือบแบบ Sputtering ควบคู่กับการออกแบบโครงสร้างด้วยเทคนิค Lithography รวมถึงการกัด (Etching) เพื่อให้เกิดรูปแบบที่ต้องการบนผิวหน้าของวัสดุรองรับ ในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรสามารถใช้เทคนิค Wet/Dry etching process ควบคู่กับ Optical หรือ E-beam lithography ส่วนในระดับนาโนเมตรยังสามารถใช้เทคนิคของ Focus Ion Beam (FIB) ซึ่งอาศัยลำของไอออนพลังงานสูงกัดหรือสร้างรูปแบบของโครงสร้างบนวัสดุรองรับโดยตรง ซึ่งให้ความละเอียดค่อนข้างสูงในการเตรียมชิ้นงานจำพวก Nanoelectronics devices

- High precision nanoengineered 3D structures การสร้างหรือขึ้นรูปโครงสร้างสามมิติในระดับนาโน เป็นสิ่งท้าทายอย่างยิ่งในปัจจุบัน เนื่องจากปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นมักจะเกิดในทุกมิติ ดังนั้นจึงเชื่อว่าความสามารถในการควบคุมโครงสร้างให้ได้ทั้งสามมิติจะสามารถควบคุมพฤติกรรมและคุณสมบัติในระดับนาโนได้ เช่น Photonics, Microfluidic, Flexible or multidimensional electronic, Optoelectronic, Micro electromechanical systems, Biomaterials และ Biomedical device ซึ่งจะดำเนินการในปี พ.ศ. 2557-2559 การขึ้นรูปด้วยการพิมพ์จัดเรียงวัสดุโดยตรง (Direct-write assembly) เป็นเทคนิคใหม่สำหรับการสร้างโครงสร้างสามมิติที่ซับซ้อนหรือลวดลายต่างๆ ได้ทันทีหลังจากการออกแบบ (Rapid prototype) โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือขึ้นรูปหรือหน้ากาก Lithography ที่มีราคาแพง เทคนิคนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากประหยัดและสามารถ “พิมพ์” ลงไปในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ การดำเนินการในเบื้องต้นเป็นการสร้างกระบวนการอัดหมึกพิมพ์ที่มีความเข้มข้นสูงผ่านหัวฉีด (Nozzle) ขนาดเล็ก หรืออาจจะใช้หมึกที่สามารถทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมกลายเป็นของแข็งได้ภายหลังโดยขนาดของหัวฉีดทั่วไปนั้นอยู่ระหว่าง 0.1 – 250 ไมครอน บนแกนกลที่เคลื่อนที่สามมิติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการสร้างเส้นจากการนำเอาจุดมาต่อเข้าด้วยกัน ด้วยการอัดรีด (Extrusion) เส้น Filament ออกมาจากหัวรีด โดย Ink filament ดังกล่าวจะจัดเรียงตัวสร้างเป็นพื้นผิวหรือรูปทรงตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ จึงสามารถพิมพ์โครงสร้างรูปทรง หรือลวดลายที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน นอกจากนี้ลวดลายเล็กๆ ที่สร้างขึ้นสามารถจะทำให้จัดเรียงตัวต่อกันไปเรื่อยๆ จนมีขนาดโดยรวมใหญ่โตในระดับมิลลิเมตรหรือเซนติเมตรได้ เทคนิคนี้มีความโดดเด่นในด้านความยืดหยุ่นต่อการใช้งานเพื่อขึ้นรูปจากวัสดุต่างๆ เช่น พอลิเมอร์ อนุภาคระดับนาโนคอลลอยด์ หมึกพิมพ์สารอินทรีย์ หรือแม้กระทั่ง Sol-gel จึงสามารถช่วยสร้าง Rapid prototype ในระดับไมครอนจากวัสดุต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้เองหรือตั้งจากห้องปฏิบัติการอื่น เช่น การพิมพ์ชีวไฟฟ้าจากอนุภาคเงินนาโนที่ใช้เชื่อมต่อวงจรขนาดเล็ก การสร้างตารางชีวไฟฟ้าโปร่งแสงจากอนุภาคทองแดงนาโน การพิมพ์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจาก Sol-gel การสร้าง Micropattern เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์การสร้างเซนเซอร์สามมิติ การสร้าง Microfluidic การพิมพ์โปรตีนและไขมันเพื่อสร้างเนื้อเยื่อเทียม การพิมพ์เส้นใยนาโนเป็นลวดลาย การพิมพ์บนพื้นผิวที่โค้งมนหรือขรุขระ เป็นต้น

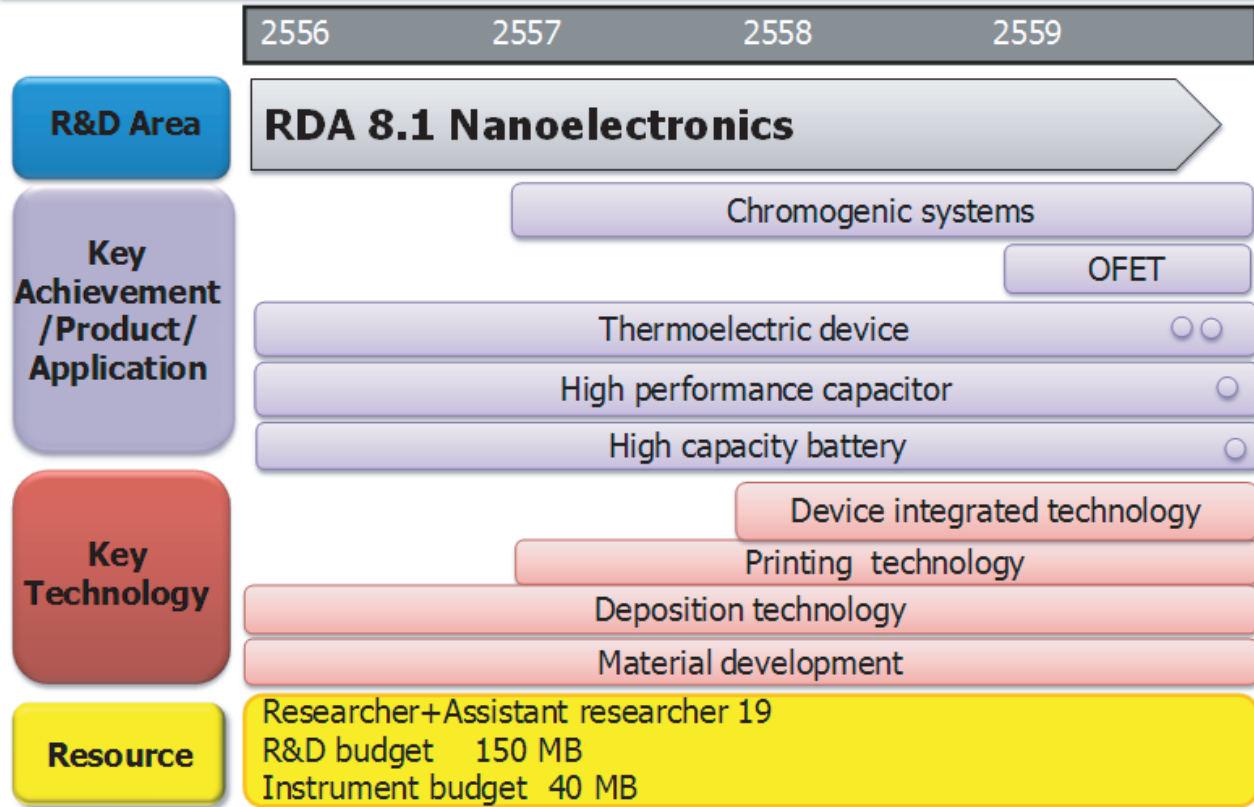
ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 19 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 150 ล้านบาท งบประมาณสำหรับจัดหาโครงสร้างพื้นฐานและเครื่องมือ 350 ล้านบาท ซึ่งรวมถึง Clean room class 10-100 และ sensitive laboratory area รวมถึงอุปกรณ์ครุภัณฑ์ได้แก่ E-beam Lithography, Ion microscopy, Focus ion beam

R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies

งานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีอุบัติใหม่ (Emerging technologies) และเทคโนโลยีฐานต่างๆ (Cross-platform technologies) เป็นงานวิจัยเพื่อสร้างเทคโนโลยีและบูรณาการองค์ความรู้ในสาขาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศ โดยคำนึงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของโลกและประเด็นปัญหาความต้องการของประเทศด้านสังคม เศรษฐกิจ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งหาวิธีการบริหารจัดการเทคโนโลยีดังกล่าวให้ตอบสนองต่อความต้องการและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างทัน่วงที่ ซึ่งถือเป็นความท้าทายต่อการเตรียมและจัดองค์กร รวมทั้งพัฒนาบุคลากรเพื่อรับมือกับผลกระทบที่กำลังจะเกิดขึ้น

RDA8 Exploring cross-platform and key emerging technologies



รูปที่ 3-20: R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies;
R&D Area 8.1 - Nanoelectronics

ความต้องการของตลาด

การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบ เช่น วัสดุฉลาดที่เปลี่ยนสีได้ (Chromogenic smart materials) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท Field Effect Transistor (FET) โดยใช้สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor) เป็นต้น

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวัสดุฉลาดที่เปลี่ยนสีได้ในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์นั้น ได้แก่ กระจกไร้แสงสะท้อนชั้นรูป และมูรูฟ ซึ่งมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับในเครื่องบินอากาศยาน ส่วนด้านสถาปัตยกรรมนำไปใช้เป็น Smart switchable windows ที่นำไปเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างอาคาร ส่วนตลาดจอแสดงผลมีการประยุกต์ใช้วัสดุฉลาดที่เปลี่ยนสีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจอแสดงผลกลุ่มพิเศษ เช่น การใช้ Electrophoretic ในหนังสือ/กระดาษอิเล็กทรอนิกส์หรือแผ่นป้ายแสดงผล โดยอาศัยสมบัติพิเศษของวัสดุที่เปลี่ยนสีได้ (Chromogenic materials) ที่สามารถแสดงข้อมูลหรือรูปภาพบนพื้นผิววัสดุโค้งงอได้

การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท Field Effect Transistor (FET) โดยใช้สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic semiconductor) เป็นส่วนประกอบสำคัญ ทำให้กระบวนการผลิตอุปกรณ์มีต้นทุนต่ำ ซึ่งนำมาเป็นส่วนหนึ่งของวงจรร่วมกับจอแสดงผลที่เป็น Organic Light Emitting Diode (OLED) ได้ รวมถึงมีการพัฒนาการเตรียม OFET บนวัสดุรองรับที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible substrate) เพื่อประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรรวมหน่วยความจำ (Memory device) จำพวก Radio Frequency Identification (RFID) สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น บัตรอัจฉริยะ (Smart card) ป้ายราคาสินค้า

(Price tags) ภายในอนาคตได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ในการทำไบโอเซนเซอร์ได้อีกด้วย ข้อดีของการเตรียมอุปกรณ์ที่สามารถใช้กระบวนการ Solution process ในบางขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิต ทำให้ต้นทุนการผลิตมีแนวโน้มที่ต่ำลงจากเดิมมาก OFET จึงถูกคาดหวังที่จะนำมาใช้แทน FET ที่เตรียมจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ในอนาคต

กระบวนการการแปลงผันความร้อนให้กลายเป็นไฟฟ้าโดยตรงนั้นต้องอาศัยวัสดุที่มีสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนประเภททางอ้อมอื่นๆ คือ เป็นกระบวนการที่ไม่มีชิ้นส่วนประกอบที่จำเป็นต้องเคลื่อนไหว ทำงานง่ายและเชื่อถือได้สูง จากข้อได้เปรียบดังกล่าว วัสดุนี้นี้จึงถูกเลือกใช้ในการกิจสำรวจอวกาศที่ต้องการอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าที่อายุยืนยาวถึง 20 ปี ตลาดในปัจจุบันเริ่มนำเอาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกผันไฟฟ้าจากความร้อนที่ได้จากไอเสียรถยนต์ซึ่งถือเป็นพลังงานเหลือทิ้งชนิดหนึ่งกลับเข้าสู่ระบบลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง หรือนำไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทางความร้อนต่างๆ ในอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งการใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในแง่พลังงานทดแทนจากความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงพฤติกรรมทั้ง Heater และ Cooler ได้เมื่อได้รับความความต่างศักย์ไฟฟ้า จากสมบัติดังกล่าวทำให้วัสดุประเภทนี้มีศักยภาพที่ครอบคลุมการใช้งานมากมาย

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานทางด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ (Nanoelectronics) ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 5 กลุ่ม คือ

- ระบบการเปลี่ยนสี (Chromogenic systems) สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2557-2559 โดยพัฒนาวัสดุซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน เช่น สารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปได้เมื่อป้อนความต่างศักย์ สารอิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้า โปร่งแสง ผลึกเหลว และอนุภาคนาโนเมตร โดยการพัฒนาวัสดุเหล่านี้จะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบ เนื่องจากหลักการทำงานเปลี่ยนสีของวัสดุแต่ละระบบนั้นแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนา ระบบ Electrochromic (EC) และ Polymer dispersed liquid crystal (PDLC) นั้นจำเป็นต้องใช้ขั้วไฟฟ้า โปร่งแสงในการทำงาน ซึ่งต่างจากการเปลี่ยนสีในกรณีของ Thermochromic (TC) หรือ Chemochromic ที่ไม่จำเป็นต้องมีขั้วไฟฟ้าใดๆ อย่างไรก็ตาม ขั้วไฟฟ้ากับ EC และ PDLC อาจแตกต่างกันในเชิงการออกแบบ โดยคำนึงถึงราคาและความคงทนของวัสดุ ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้ในการกำหนดลักษณะการนำไปใช้งานและผลิตภัณฑ์ ผลบรรลุที่คาดว่าจะสามารถส่งมอบได้จากการวิจัย มีดังนี้
 - 1) สามารถสังเคราะห์วัสดุผลึกที่เปลี่ยนสีได้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้การออกแบบโครงสร้างในระดับโมเลกุลหรือนาโน เพื่อให้สารที่มีสมบัติตามต้องการ เช่น มีโครงสร้างที่ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นที่ต้องการ มีการเปลี่ยนสีตามต้องการ มีความทนทานมากยิ่งขึ้น หรือมีลักษณะที่เอื้อต่อการใช้พลังงานต่ำลงในการเปลี่ยนสี
 - 2) สามารถสังเคราะห์วัสดุต้นน้ำในการทำขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงได้ และนำไปขึ้นรูปได้อย่างเหมาะสม
 - 3) สามารถวิเคราะห์โครงสร้างและความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนสีตลอดจนทดสอบสมรรถนะในการเปลี่ยนสี เช่น อายุการใช้งาน ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ ความเร็วในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ระดับของสิ่งเร้าที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนสี เป็นต้น
 - 4) สามารถสร้างต้นแบบอุปกรณ์ Chromogenic ระดับปฏิบัติการได้ เพื่อใช้เป็นหน่วยสำหรับการทดสอบสภาพใช้งานจริง
- อุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยสารอินทรีย์ (Organic field effect transistor : OFET) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรรีโอดินทรีย์ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงในการผลิต OFET คือสภาพการเคลื่อนที่ได้ของพาหะทางไฟฟ้า (Mobility) ในสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณกระแสที่ผ่านอุปกรณ์ ซึ่งค่า Mobility นี้ส่วนใหญ่ยังค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Inorganic semiconductor) ที่นิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน มีความจำเป็นในการพัฒนา Mobility

ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ หรือเป็นการพัฒนาช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า Source และ Drain ให้มีความกว้างที่น้อยมากในระดับนาโนเมตร เพื่อช่วยให้มีค่ากระแสระหว่างสถานะต่างๆ หรือ On-off ratio ที่ถูกควบคุมด้วยขั้วไฟฟ้า Gate มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นการดำเนินการวิจัยด้านนี้จึงมีขั้นตอนการพัฒนาเพื่อให้ได้อรรถรรู้และต้นแบบคือ

- 1) การพัฒนาสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ให้มีความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะทางไฟฟ้า (Mobility) สูงขึ้นเหมาะสำหรับใช้ในการเตรียม OFET
 - 2) การพัฒนารูปแบบ องค์ประกอบ ขั้วไฟฟ้า รวมถึงการสร้างอุปกรณ์ OFET ด้วยเทคนิคของ Solution process เช่น การปั่นเคลือบ (Spin coating) และเทคนิคการพิมพ์ เช่น Screen printing หรือ Inkjet printing
 - 3) การประยุกต์การใช้งาน OFET สำหรับเซนเซอร์ประเภท Bio/Chemical sensors ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของ Ion Sensitive Field Effect Transistor (ISFET) หรือ Thin-film transistor (TFT) รวมถึงการเตรียมอุปกรณ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมบนวัสดุรองรับยืดหยุ่นและโค้งงอได้ (Flexible substrate)
- วัสดุและอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric device) อุปสรรคสำคัญที่ทำให้ยังไม่มีมีการนำเอาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานในวงกว้างแบ่งออกสองประเด็นใหญ่ คือ ประสิทธิภาพในการแปลงผันความร้อนยังต่ำกว่าอุปกรณ์จักรกล และการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ยังทำให้วัสดุประเภทนี้ยังไม่คุ้มค่าแก่การนำมาใช้งาน ดังนั้น การดำเนินงานวิจัยสำหรับวัสดุแขนงนี้จึงจำเป็นต้องทำงานวิจัยพื้นฐาน ได้แก่ การใช้การคำนวณเชิงคณิตศาสตร์และการสร้างแบบจำลองในการออกแบบวัสดุและอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ควบคู่ไปกับการทดลองสังเคราะห์วัสดุชนิดใหม่ หรือดัดแปรโครงสร้างทั้งในระดับโมเลกุลและระดับนาโน โดยคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตวัสดุประเภทนี้เป็นจำนวนมาก ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะสามารถส่งมอบ ได้แก่
 - 1) แบบจำลองวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีวัสดุ องค์ประกอบ และโครงสร้างต่างๆ ทั้งเมื่อขึ้นรูปเป็นหน่วยย่อย (Element) และแผงรวม (Module) โดยแบบจำลองดังกล่าวจะมีศักยภาพเพียงพอในการทำนายสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ภายใต้ขอบเขตตัวแปรภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความแตกต่างของอุณหภูมิ
 - 2) วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารอินทรีย์ หรือมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหรือเป็น Template โดยมุ่งเป้าการพัฒนาสารอินทรีย์ และมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงผันพลังงานให้มากยิ่งขึ้นเนื่องจากการค้นพบว่าพื้นผิวสัมผัสระหว่างวัสดุขนาดนาโนเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลเป็นอย่างสูงต่อประสิทธิภาพที่ได้ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาจึงเป็นการเลือกพอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีสมบัติกึ่งตัวนำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก เพราะพอลิเมอร์นั้นง่ายต่อการผลิตขึ้นรูป สามารถผลิตได้โดยปราศจากการใช้ความร้อนสูง ผลิตได้ปริมาณมาก รวดเร็ว
 - 3) การขึ้นรูปวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการพิมพ์คล้ายๆ การผลิตสิ่งพิมพ์ ทำให้มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้งานจริงได้ เนื่องจากต้นทุนการผลิตลดลงเป็นอย่างมาก
 - 4) พัฒนารูปแบบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการประจุไฟฟ้าเข้าแหล่งกักเก็บได้ ทั้งนี้จะเป็นการพัฒนาส่วนประกอบเสริมควบคู่กับการพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาขั้วไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูก
 - ตัวเก็บประจุที่มีประสิทธิภาพสูง (High performance capacitor) การพัฒนาตัวเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถเก็บพลังงานสะอาดจากแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งทำให้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวดได้รับความสนใจและต้องการอย่างมาก เพราะมีคุณสมบัติโดดเด่นที่สามารถประจุและจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพสูง
 - การพัฒนาตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด (Supercapacitor) โดยมีตัวอย่างที่เกี่ยวข้องเช่นการผลิตสารคอมโพสิตแกรไฟีน-แมงกานีสออกไซด์ด้วยเทคนิคการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า เพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวด, ตัวเก็บประจุที่ทำจากวัสดุเชิงประกอบนาโนพอลิเมอร์, ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่พัฒนาและปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิต Polyvinylidene difluoride (PVDF) หรืออนุภาคนาโนโลหะ เป็นต้น

- แบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง (High capacity battery) การพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บกักพลังงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน และเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการพัฒนาการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกในยานพาหนะ เช่น รถยนต์ไฮบริด รถไฮบริดแบบปลั๊ก-อิน รถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น จึงถือได้ว่าการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดการพัฒนาด้านพลังงานของประเทศอย่างยั่งยืนได้ งานวิจัยที่ได้ดำเนินการ เช่น การพัฒนาวัสดุนาโนคอมโพสิตเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าและประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนประสิทธิภาพสูง

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

โดยใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 4 เทคโนโลยีคือ Device integrated technology จะดำเนินการปี พ.ศ. 2558-2559, Printing technology จะดำเนินการปี พ.ศ. 2557-2559, Deposition technology และ Material development จะดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 โดยมีวิธีวิจัยในแต่ละผลิตภัณฑ์ดังนี้

- Chromogenic systems เทคโนโลยีหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Chromogenic ได้แก่ Electrochromic (EC) กระตุ้นด้วยไฟฟ้า Thermochromic (TC) กระตุ้นด้วยอุณหภูมิ Photochromic กระตุ้นด้วยแสง Gasochromic ถูกกระตุ้นเมื่อสัมผัสกับก๊าซที่มีฤทธิ์ Reducing หรือ Oxidizing และ Chemochromic กระตุ้นด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมี ในทางปฏิบัติมีหลายเทคโนโลยีที่จะสามารถใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมความโปร่งแสง แต่กระนั้นอุปกรณ์ Electrochromic นับว่าเป็นที่นิยมมากที่สุดเมื่อต้องการปรับเปลี่ยนการรับแสงในพื้นที่กว้าง เนื่องจากใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ (เพียง 1-5 V) สามารถรับความเข้มของการกรองแสงได้ โดยทั่วไปอุปกรณ์ Electrochromic จะยอมให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้ประมาณ 50-70% และสามารถปรับเปลี่ยนค่าจนทำให้สามารถกรองแสงให้ต่ำจนเหลือเพียง 1% ได้

วัสดุ Thermochromic เปลี่ยนสีได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และสามารถนำไปใช้งานในรูปแบบแผ่นฟิล์มเดี่ยวต่างจากโครงสร้างแบบหลายชั้นของ Electrochromic อย่างไรก็ตาม วัสดุประเภทนี้กลับไม่เหมาะสมในการใช้งานเพื่อควบคุมปริมาณแสง เนื่องจากพบว่าวัสดุประเภทนี้ทึบแสงเมื่อมีความหนาเพียงพอ การใช้งานเน้นหนักในด้านการนำไปใช้เป็นสารสีเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้วัสดุประเภทผลึกเหลว (Liquid crystal) ซึ่งมีกลไก Optical switching โดยการเรียงตัวหรือบิดโมเลกุลผลึกเหลวที่กระจายอยู่ระหว่างขั้วนำไฟฟ้าสองขั้วเมื่ออยู่ใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำให้สมบัติการสะท้อนแสงโดยรวมของวัสดุประเภทนี้เปลี่ยนไป องค์ประกอบทั่วไปของวัสดุประเภทนี้มีหลายระบบ แต่ระบบที่ขายตามในตลาดอย่างแพร่หลายคือระบบ Polymer dispersed liquid crystal (PDLC) ซึ่งผลึกเหลวพอลิเมอร์จะถูกขึ้นรูปให้เป็น Emulsion ระหว่างขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสง โดยขณะไร้ความต่างศักย์ PDLC จะมีลักษณะสีขาวขุ่นเนื่องจากผลึกเหลวทำหน้าที่กระเจิงแสงออกไปทุกทิศทาง แต่เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าผลึกเหลวก็จะเกิดการบิดตัวและจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ PDLC โปร่งแสงได้ โดยปกติทั่วไปวัสดุประเภทนี้จะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าอย่างต่ำ 20 V และมีการใช้พลังงานน้อยกว่า 20 W/m² แต่ข้อเสียของ PDLC ที่สำคัญคือ อุปกรณ์ชนิดนี้ต้องอาศัยแรงดันไฟฟ้าต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อที่จะทำให้เกิดการโปร่งแสง การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสำหรับอุปกรณ์ประเภทนี้จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือตรวจสอบและวัดคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการกระตุ้นจากสิ่งเร้าประเภทต่างๆโดยในปัจจุบัน สน. ยังขาดเครื่องมือตรวจสอบการเปล่งแสง การดูดกลืนแสง และการสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ Chromogenic โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 700 นาโนเมตรขึ้นไป

ทั้งนี้อุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมนั้นจำกัดการใช้งานกับสารเคมีจำนวนน้อยและอยู่ในรูปสารละลายเท่านั้น การให้สิ่งเร้าในระหว่างการทดสอบอันตรกิริยาทางแสงก็ไม่สามารถทำได้อย่างครบถ้วน ทั้งนี้ลักษณะและรูปร่างของชิ้นงานมีผลในการเกิดกระบวนการเปลี่ยนสีด้วย การมีเครื่องมือทดสอบในช่วงคลื่นอินฟราเรดนั้นถือว่า

น่าสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นช่วงคลื่นที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน การวัดหรือแสดงลักษณะการแผ่กระจายของรังสีในลักษณะการถ่ายภาพการแผ่รังสีความร้อนเหมาะสมสำหรับการพัฒนาวัสดุกรองแสงจำพวกที่ต้องการตัดคลื่นย่านอินฟราเรดออกไป ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เพื่อระบุสมรรถนะในการใช้งานจริง นอกจากนี้ เพื่อให้การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมจริง ผลการทดสอบโดยการถ่ายภาพและการใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์และสามารถใช้นับสนุนลักษณะการดำเนินงานจริง และอาจรวมไปถึงการค้นพบวิธีการประยุกต์ใช้งานใหม่ๆ

- Organic Field Effect Transistor (OFET) ในการออกแบบและเตรียม OFET เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงนั้น การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนต้องมีความสามารถเคลื่อนที่ระหว่างขั้วไฟฟ้าระหว่าง Source และ Drain ได้ จากการควบคุมปริมาณและการเปิดปิดกระแสโดยผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้ว Gate อย่างไรก็ตาม สารกึ่งตัวนำอินทรีย์จำพวกพอลิเมอร์ส่วนมากมีค่า Mobility ที่ค่อนข้างต่ำ การที่จะทำให้พาหะไฟฟ้าเคลื่อนที่ข้ามช่องระหว่างขั้วไฟฟ้าได้นั้น มีแนวทางที่พัฒนาได้ 2 ทิศทาง คือ 1) การพัฒนาและปรับปรุงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ให้มีค่า Mobility ให้เพิ่มขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีและองค์ความรู้ในการสังเคราะห์และดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์กึ่งตัวนำทางไฟฟ้า 2) การพัฒนาการเตรียมช่องระหว่างขั้วไฟฟ้าให้มีความใกล้เคียงกันมากขึ้นในระดับนาโนเมตร โดยใช้เทคโนโลยีในการเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระดับไมโคร/นาโนเมตร เช่น Electron beam lithography หรือ Electroplating technique เป็นการเพิ่มความกว้างของตัวขั้วไฟฟ้า เพื่อเป็นการลดช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทางอ้อม จุดเด่นอีกประการหนึ่งในการเตรียมอุปกรณ์ที่มีพื้นฐานเป็นพอลิเมอร์ คือสามารถเตรียมชิ้นงานบนวัสดุรองรับที่ยืดหยุ่นและโค้งงอได้

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เทคโนโลยีในการสังเคราะห์และดัดแปลงสารกึ่งตัวนำอินทรีย์จำพวกพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มค่า Mobility ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในการเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวก OFET
- 2) เทคโนโลยีการสร้างลายวงจรของอุปกรณ์ (Lithography) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ทำให้เกิดลวดลายหรือรูปแบบตามที่ต้องการได้ เครื่องมือหลักที่ใช้คือ UV exposure system สำหรับกระบวนการ Photolithography อย่างไรก็ตาม สน. ยังขาดเครื่องมือที่จำเป็นได้แก่ Contact mask aligner เพื่อใช้ประกอบ UV exposure system สำหรับพิมพ์ลวดลายทับซ้อนบนวัสดุรองรับขึ้นเดียวกัน รวมถึงระบบ Direct write system ที่ไม่ต้องอาศัย Photomask เช่น Electron beam lithography ซึ่งต่อเชื่อมกับ Patter generator system ซึ่งสามารถใช้ในงานสร้างลวดลายและรูปแบบวงจรที่มีความละเอียดสูงระดับนาโนเมตร
- 3) กระบวนการเตรียมฟิล์มบาง ซึ่งแบ่งเทคนิคตามชั้นโครงสร้างของ OFET โดยสำหรับชั้น Active layer ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์หรือสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้น สามารถเตรียมด้วยเทคนิคการปั่นเคลือบ (Spin-coating technique) และเทคนิคการพิมพ์ (Printing technique) ส่วนฟิล์มบางที่เป็นขั้วไฟฟ้า สามารถเตรียมด้วยวิธีระเหยด้วยความร้อน (Thermal evaporation) หรือพลาสมา-สปัตเตอริง (Plasma sputtering) รวมถึงการปรับปรุงช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าด้วย Electroplating technique กระบวนการเตรียมฟิล์มบางนี้ยังรวมถึงเทคนิคในการเตรียมฟิล์มบางบนพื้นผิววัสดุรองรับที่ยืดหยุ่นและโค้งงอได้ ทั้งขั้วไฟฟ้าที่ใช้สามารถพัฒนาจากลวดโลหะนาโนได้ รวมถึงชั้น Active layer ในโครงสร้างของ OFET ที่เป็นพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเคลือบหรือพิมพ์บนวัสดุรองรับประเภทนี้ได้ดี โดยไม่มีการแตกหักหรือเสียหายเมื่อมีการโค้งงอ
- 4) กระบวนการวัดสัญญาณทางไฟฟ้าของอุปกรณ์โดยใช้เทคนิคการตัดหรือกรองสัญญาณรบกวน (Low-noise measurement) เช่น การวัดสัญญาณไฟฟ้าผ่านระบบของ Source-measurement units หรือเทคนิคการวัดโดยใช้ Lock-in amplifier ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า Lock-in technique ในบางกรณีที่วัดสัญญาณที่ได้ค่อนข้างต่ำจึงจำเป็นต้องใช้ Low-noise amplifier เพื่อขยายสัญญาณที่อ่านด้วยเช่นกัน

5) เทคโนโลยีในการประยุกต์ OFET ไปใช้เป็นเซนเซอร์ประเภท Bio/Chemical sensor ซึ่งต้องมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์และความเหมาะสมระหว่างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่ใช้เป็น Active layer ของเซนเซอร์กับสิ่งที่ต้องการตรวจวัด รวมถึงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าหรือค่ากระแสผ่านอุปกรณ์ OFET ที่ใช้เป็น ตัวเซนเซอร์ ณ ค่า Gate voltage ต่างๆ กับปริมาณของสิ่งที่ตรวจวัด ในส่วนของการประกอบระบบเข้าด้วยกัน (System integration) ในการพัฒนาส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ทำงานร่วมกับเซนเซอร์และหน่วยที่ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ รวมถึงระบบวิเคราะห์และปรับแก้สัญญาณด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์นั้น มีความต้องการนักวิจัยที่เชี่ยวชาญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Electronics and microcontroller design) อย่างไรก็ตาม ศน. ยังขาดเครื่องมือบางอย่างที่จำเป็นในงาน Workshop เช่น Micro-resolution Laser Cutter และ Wire bonding tool

- Thermoelectric device แนวทางดำเนินงานวิจัยหลักเป็นการเสนอแนวคิดการใช้สารอินทรีย์ผนวกกับการสังเคราะห์โครงสร้างในระดับนาโนเมตร เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสในการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากวัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับนี้จะมีสมบัติที่แตกต่างไปจากสมบัติเดิมขณะที่มีขนาดใหญ่ โดยปรากฏการณ์ต่างๆ หลายอย่างที่เกิดขึ้นในวัสดุนาโนก็เป็นประโยชน์แก่การแปรผันพลังงานหรือกักเก็บพลังงาน ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายโอนประจุและการจัดเรียงตัวในระดับโมเลกุลของสสาร การวิจัยและพัฒนาสมบัติของวัสดุในระดับนาโนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยนำเอาพอลิเมอร์สารอินทรีย์ซึ่งขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ราคาถูก มีความยืดหยุ่น มาพัฒนาเพื่อสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถใช้งานได้จริง เช่น อุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าที่มีน้ำหนักเบาเพื่อใช้ในยานพาหนะ หรือใช้เป็นเครื่องนึ่งนมที่สามารถกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในร่างกายมนุษย์ หรือแม้กระทั่งฝังเข้าไปในร่างกาย

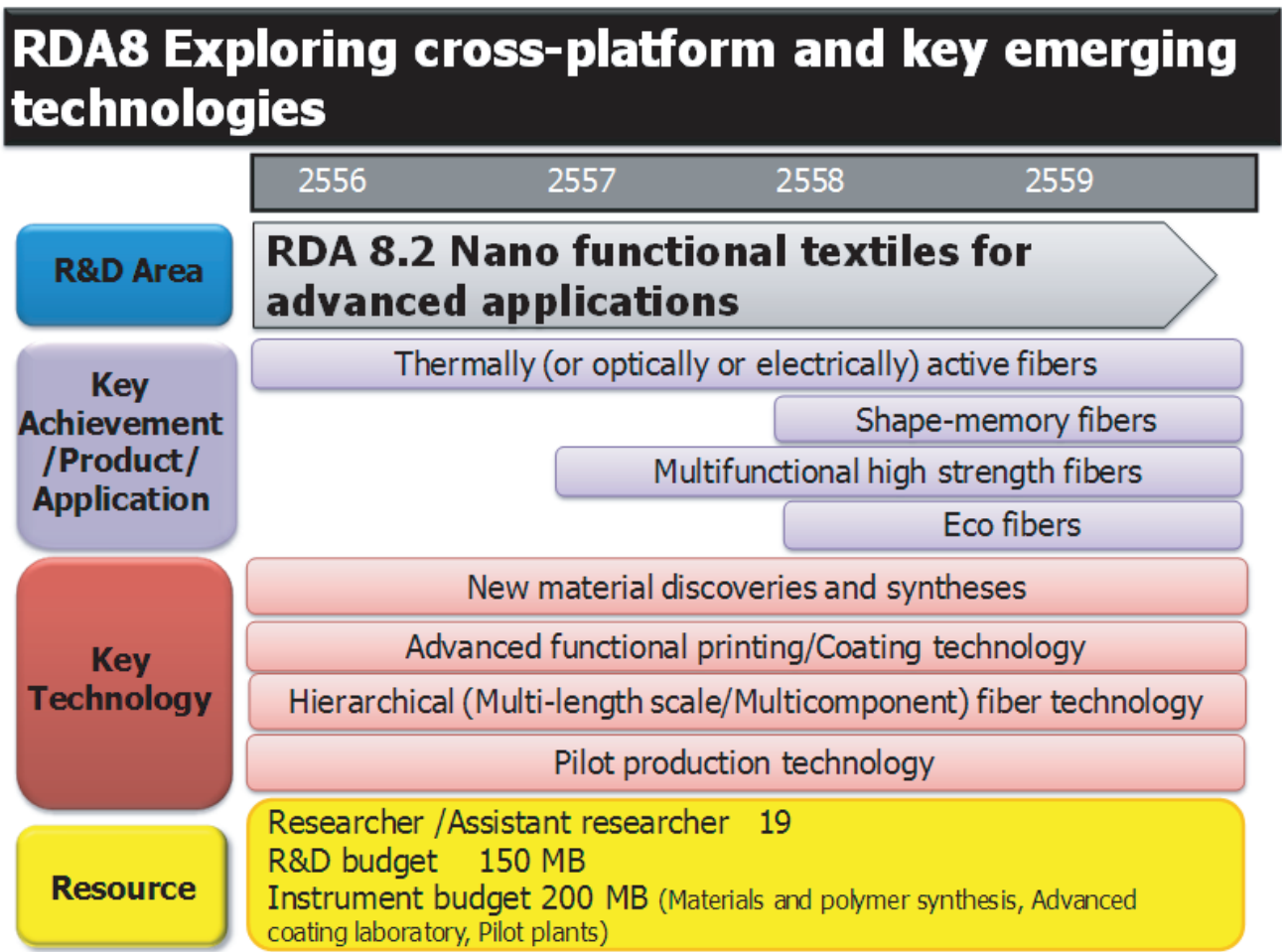
โดยทั่วไปพอลิเมอร์กึ่งนำตัวนำมีลักษณะพิเศษ คือ มีโครงสร้างคอนจูเกตที่สามารถปรับเปลี่ยนสภาพการนำไฟฟ้าได้โดยง่าย กรรมวิธีการขึ้นรูปวัสดุประเภทนี้ก็มีหลายวิธีด้วยกัน แต่ในการวิจัยนี้จะเน้นวิธีการใช้ตัวทำลายเป็นตัวกลาง ได้แก่ การ Drop cast, Spinning, Spraying, Printing, Electro spinning, Sol-gel หรือใช้วิธีการทำโฟมด้วยสารก่อฟอง จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรที่พัฒนามาจากกระบวนการผลิตพลาสติกและอุปกรณ์ขึ้นรูปวัสดุนาโน นอกจากนี้ การสร้างต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะการใช้งานจริง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือการขึ้นรูปอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โดยในปัจจุบันห้องปฏิบัติการของ ศน. ยังขาดเครื่องมือในกลุ่มนี้อยู่หลายชิ้นด้วยกัน เช่น เครื่องผสมพอลิเมอร์ เครื่องรีดฟิล์ม เครื่องเป่าฟิล์ม เครื่องฉีดโฟม เครื่องกลึง เครื่องพิมพ์วัสดุ (Material printer) เครื่องยัดฟิล์ม เครื่องตัดชิ้นงานเลเซอร์ (Laser cutter) เครื่องทำหน้ากาก ฯลฯ อนึ่ง การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในระดับนาโนนั้นค่อนข้างจะซับซ้อนและยังไม่มีมาตรการที่ชัดเจน

การวัด Thermal diffusivity ที่นับว่าเป็น state-of-the-art ในปัจจุบันได้แก่วิธี 3-omega หากวัสดุ มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง สามารถใช้วิธี Laser flash technique ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยเทคนิคข้างต้น ศน. ยังไม่มีไว้ในครอบครอง แม้จะเป็นที่ทราบกันดีว่าสมบัติทางความร้อนในระดับนาโนนั้นมีความ น่าสนใจเป็นพิเศษ ในขณะเดียวกัน สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุนาโนก็เป็นอีกประเด็นสำคัญที่จะต้องทำการ ศึกษา การวัดความนำไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ความถี่ และความต่างศักย์ เป็นเทคนิคพื้นฐานทั่วไป ที่จะใช้อธิบายการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นของพหุระต่างๆ ในวัสดุ รวมไปถึงการวัดความสามารถในการทน แรงดันไฟฟ้าของวัสดุ ซึ่งมีบทบาทอย่างสูงต่อการอธิบายโครงสร้างทางไฟฟ้าของวัสดุ ทั้งนี้ การวัดและทดสอบดังกล่าวควรจะทำควบคู่ไปกับการตรวจสอบอัตลักษณ์ที่แม่นยำเป็นพิเศษ เช่น การวัดความหนาที่ถูกต้อง ในระดับอังสตรอม การสามารถระบุการแผ่กระจายสสารในระบบสามมิติ หรือการสามารถระบุประเภท ชนิด และสมบัติของพื้นผิวสัมผัส (Interface) หรือ Interphase ที่สมเหตุสมผล จะส่งผลอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ ปรากฏการณ์และอันตรกิริยาระหว่างพาหะนำความร้อนและไฟฟ้า

- High performance capacitor เป็นการพัฒนาตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวด (Supercapacitor) ที่สามารถสร้างขึ้นจากหลายเทคนิคและมีส่วนประกอบที่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น พัฒนาการผลิตสารคอมโพสิตกราฟีน-แมงกานีสออกไซด์ด้วยเทคนิคการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ประยุกต์ใช้ในตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมียิ่งยวดการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิต PVDF หรืออนุภาคนาโนโลหะ เพื่อประยุกต์ใช้งานเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า การพัฒนาตัวเก็บประจุจากวัสดุเชิงประกอบนาโนพอลิเมอร์ เป็นต้น
- High capacity battery เป็นการพัฒนาแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง ได้แก่ การพัฒนาวัสดุนาโนคอมโพสิตเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าและประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนประสิทธิภาพสูง โดยมีวิธีดำเนินการวิจัย ด้วยการเตรียม LiMMnO_2 ซึ่งในที่นี้ M ที่นำมาใช้มีหลายตัวคือ Mg, Al, Ti, Cr, Zr, Nb โดยวิธี Coprecipitation และศึกษาด้วยเทคนิคต่างๆ พร้อมทั้งวัดสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของโครงสร้างนี้ เพื่อพัฒนาเป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนประสิทธิภาพสูง

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวมได้แก่ บุคลากรวิจัย 19 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 150 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาเครื่องมือ 40 ล้านบาท



รูปที่ 3-21: R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies;
R&D Area 8.2 - Nano functional textiles for advanced applications

ความต้องการของตลาด

มีการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาพัฒนาสมบัติพิเศษต่างๆ ที่หลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งรวมถึงสิ่งทอทางเทคนิค เช่น การเคลือบเส้นใยหรือสิ่งทอด้วยวัสดุนาโน การเพิ่มวัสดุนาโนในเม็ดพลาสติกเพื่อขึ้นรูปเป็นเส้นใยให้มีสมบัติสะท้อนน้ำ กันยูวี ฆ่าเชื้อโรค ฆ่าเชื้อรา แบคทีเรีย กำจัดก๊าซพิษในอากาศ (VOC) ดูดความร้อน คายความร้อน วัสดุที่ถูกขึ้นรูปเป็นสิ่งทอเทคนิคนอกจากจะให้สมบัติหลักแล้ว ยังเสริมประสิทธิภาพด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรง

ในด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ขั้นสูง มีการเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับสิ่งทอในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (Active fibers) ความสามารถในการจดจำโครงสร้างลักษณะดั้งเดิม (Shape memory fibers) ความแข็งแรง (High strength) หรือเส้นใยที่มาจากวัสดุที่แข็งแรงและสามารถย่อยสลายได้

ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement)

การดำเนินงานทางด้านสิ่งทอนาโนสมบัติพิเศษ (Nano functional textiles for advanced applications) ตาม NanoTRM ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ 4 กลุ่ม คือ

- เส้นใยที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น ความร้อน แสง หรือไฟฟ้า (Thermally (or optically or electrically) active fibers) ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเส้นใยที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ทำให้การใช้งานของสิ่งทอมีความหลากหลายมากขึ้น ในที่นี้อาจหมายถึงสิ่งทอที่สามารถเปลี่ยนแปลงสิ่งเร้าเป็นตัวแปรอื่นที่มีประโยชน์ เช่น การเปลี่ยนแสงแดดให้เป็นพลังงานไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน เป็นต้น
- เส้นใยที่มีความสามารถจดจำโครงสร้างลักษณะเดิมหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Shape-memory fibers) ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559 เป็นเส้นใยที่มีความสามารถในการจดจำโครงสร้างลักษณะดั้งเดิมหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เส้นใยดังกล่าวจะมีประโยชน์ต่อการออกแบบโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น
- เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง (Multifunctional high strength fibers) ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2557-2559 เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ และมีสมบัติเสริมต่างๆ ที่เอื้อต่อการใช้สอยและอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีประโยชน์สำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง และยังต้องการความยืดหยุ่น
- เส้นใยเพื่อสิ่งแวดล้อม (Eco fibers) ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559 เป็นเส้นใยที่ได้จากวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ เส้นใยจากเศษวัสดุที่เหลือจากผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว หรือกระดาษรีไซเคิลที่ผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อนำกลับมาเป็นเยื่อกระดาษอีกครั้ง รวมถึงเส้นใยที่ได้จากการย้อมหรือผสมด้วยสีจากธรรมชาติ เช่น ฮ่อม ครั่ง ขมิ้น เป็นต้น

เทคโนโลยีหลัก (Key technology)

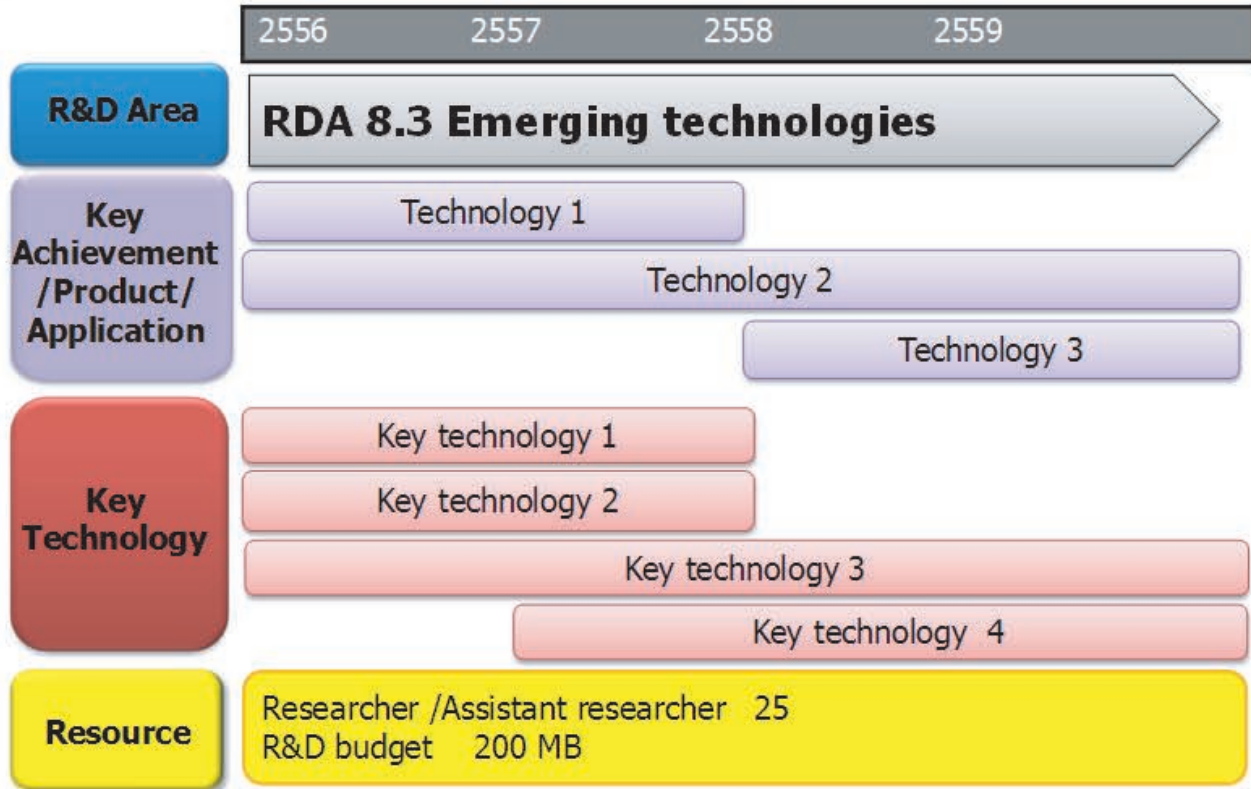
โดยใช้นาโนเทคโนโลยีหลักในการวิจัย 4 เทคโนโลยีคือ

- New material discoveries and syntheses ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นการค้นหาและสังเคราะห์สารหรือวัสดุนาโนชนิดใหม่ หรือการปรับปรุงวัสดุให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การบด การกระจายตัว และการเคลือบในระดับไมโครและนาโน
- Advanced functional printing/coating technology ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีการพิมพ์หรือการเคลือบชั้นสูง เช่น Ink jet printing หรือ High vacuum coating เพื่อการเคลือบสารลงบนผิวของสิ่งทอ สารดังกล่าวอาจประกอบด้วย สารจำพวกโลหะ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์
- Hierarchical (Multi-length scale/Multicomponent) fiber technology ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เป็นเทคโนโลยีการขึ้นรูปเส้นใยโดยมีองค์ประกอบทางกายภาพที่หลากหลายและซับซ้อน เช่น Nanofibers, Monocomponent microfibers, Bicomponent fibers (ซึ่งมีสององค์ประกอบบนหน้าตัด โครงสร้างที่ประกอบมาจากเส้นใยหลายระดับทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติที่ซับซ้อนมากขึ้น)
- Pilot production technology ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 เพื่อขยายขนาดงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ไปสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรม (Mass production) ตั้งแต่การวางแผนการผลิต การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ จนได้คู่มือการผลิตพร้อมส่งมอบให้ลูกค้า

ทรัพยากรที่ใช้ในการทำวิจัย

ความต้องการทรัพยากรในภาพรวม ได้แก่ บุคลากรวิจัย 19 คน งบประมาณวิจัยตลอดโครงการ 150 ล้านบาท และงบประมาณสำหรับจัดหาเครื่องมือ 200 ล้านบาท สำหรับการสังเคราะห์สารใหม่ เครื่องเคลือบแบบต่างๆ เครื่องพิมพ์เครื่องถัก ทอ ปักแบบที่สามารถเพิ่ม Function ให้กับผ้าได้ เครื่องมือขึ้นรูปเส้นใยทั้งระดับห้องปฏิบัติการและระดับภาคสนาม โรงงานสำหรับต้นแบบภาคสนาม รวมถึงเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบเส้นใยที่เกี่ยวข้อง

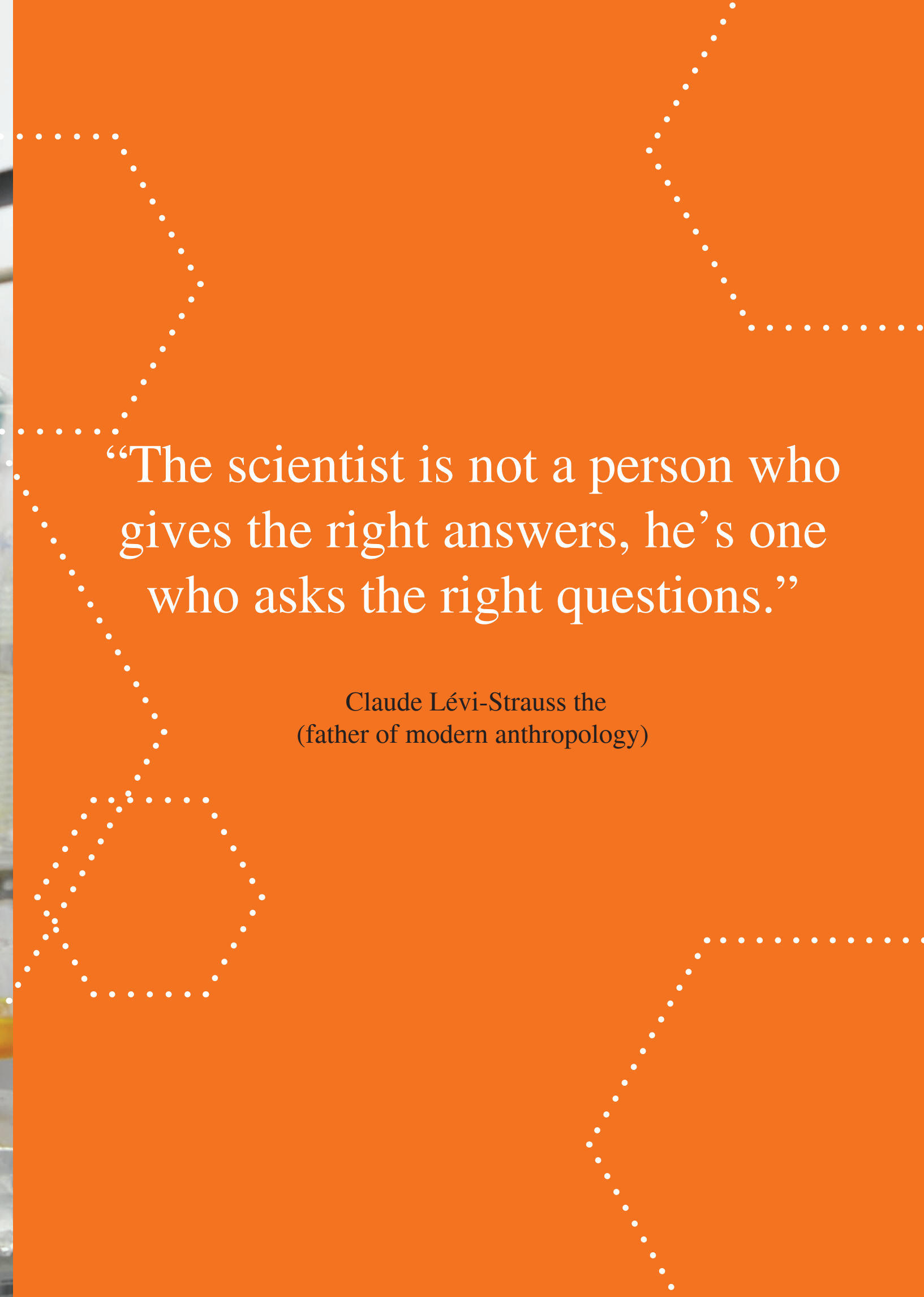
RDA8 Exploring cross-platform and key emerging technologies



รูปที่ 3-22: R&D Agenda 8 - Exploring cross-platform and key emerging technologies;
R&D Area 8.3 - Emerging technologies

เทคโนโลยีอุบัติใหม่ (Emerging technologies) เป็นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยที่สุด และจะมีผลกระทบต่อคนจำนวนมากในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสังคมและเศรษฐกิจ จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่เปิดกว้างสำหรับงานวิจัยและพัฒนาที่ไม่ตรงกับหัวข้อใน 20 component areas ข้างต้น





“The scientist is not a person who gives the right answers, he’s one who asks the right questions.”

Claude Lévi-Strauss the
(father of modern anthropology)

ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับ

ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในด้านความเป็นผู้นำในภาคอุตสาหกรรมของอาเซียน ตอบสนองความต้องการที่ท้าทายของสังคม และสนับสนุนส่งเสริมความเป็นเลิศด้านวิทยาศาสตร์ในอาเซียน

4.1 การส่งเสริมความเป็นผู้นำด้านอุตสาหกรรมของในอาเซียน

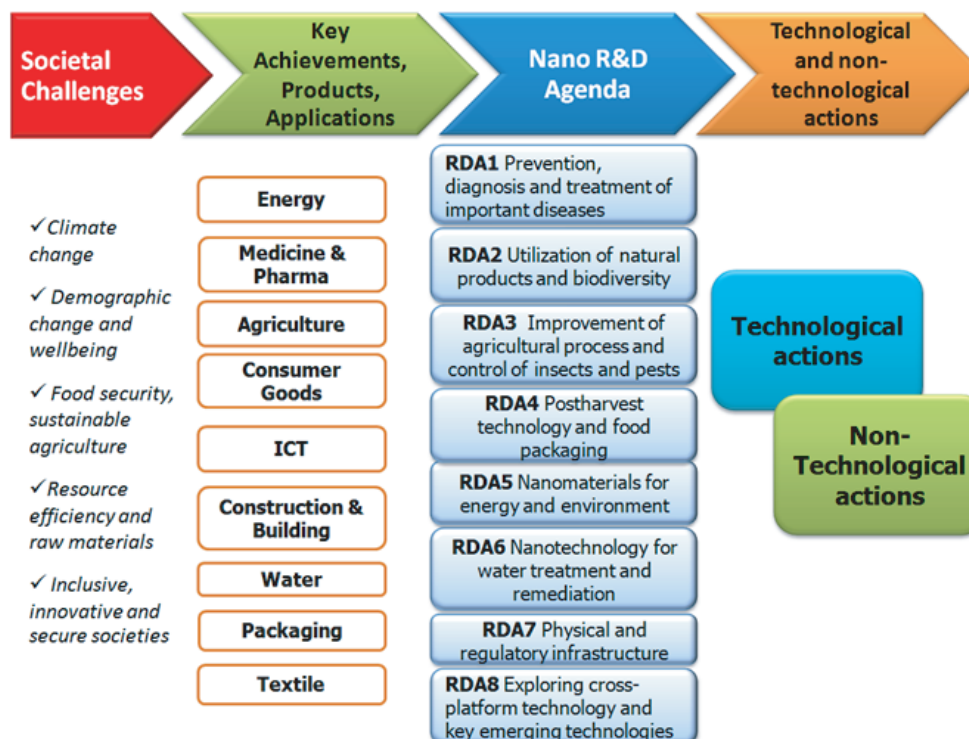
ตลาดด้านนาโนเทคโนโลยีมีขนาด 103 พันล้านยูโรในปี 2007 และเป็นที่ยกคาดการณ์ว่าจะโตขึ้นไปถึง 3 ล้านล้านดอลลาร์ในปี 2105 เมื่อพิจารณาทั้งห่วงโซ่มูลค่า และมีความต้องการผู้ประกอบการปฏิบัติงานด้านนาโนเทคโนโลยีถึง 2 ล้านคน

ในกรอบแผนที่นำทางนี้ การนำไปสู่การปฏิบัติของ NanoTRM นั้นคาดว่าจะได้รับ

- การพัฒนาความสามารถในการแข่งขันและความเป็นผู้นำในอาเซียน
- ส่งเสริมการลงทุนของภาคเอกชนด้านนาโนเทคโนโลยี
- สนับสนุนอาเซียนในการเสนอการร่วมลงทุนและการดำเนินการ
- เพื่อการพัฒนาในเชิงปริมาณและคุณภาพของงานและอาชีพ
- การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในอาเซียนในผลกระทบด้านสังคมและเศรษฐกิจของนาโนเทคโนโลยีและประโยชน์ที่ผู้บริโภคและสังคมจะได้รับในวงกว้าง

4.2 การระบุความต้องการที่ท้าทายของสังคม

NanoTRM นำไปสู่การระบุความต้องการที่ท้าทายของสังคม เส้นทางจากความท้าทายของสังคมไปสู่การพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยีตามความต้องการผลิตภัณฑ์ของตลาดโดยผ่านการดำเนินการที่เฉพาะดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1: จากความท้าทายของสังคมชุมชนนำไปสู่ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย
นำไปสู่การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนำไปสู่ข้อเสนอเพื่อการดำเนินการ

การดำเนินการที่แสดงในรูปข้างต้นเป็นการระบุในช่วงการดำเนินการระยะสั้นและกลาง (ถึง พ.ศ. 2559)

ตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นถึงความท้าทายทางด้านสังคมและเป้าหมายของแต่ละกลุ่มตลาด

ตารางที่ 4-1: ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในด้านประเด็นความต้องการหลักของสังคม/กลุ่มตลาด

หัวข้อ (Topics)	ผลกระทบของแผนที่นำทางนาโนเทคโนโลยี (NanoTRM Impact)
Energy	<ul style="list-style-type: none"> ปลอดภัย สะอาด และประสิทธิภาพด้านพลังงาน ฉลาด สีเขียว และการคมนาคมขนส่งที่เชื่อมโยง การดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและวัสดุ
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> ฉลาด สีเขียว และการคมนาคมขนส่งที่เชื่อมโยง การดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและวัสดุ
Construction & Building	<ul style="list-style-type: none"> ปลอดภัย สะอาด และประสิทธิภาพด้านพลังงาน การดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและวัสดุ
Medicine & Pharma	<ul style="list-style-type: none"> สุขภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านประชากร และชีวิตความเป็นอยู่
ICT	<ul style="list-style-type: none"> สุขภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านประชากร และชีวิตความเป็นอยู่ สำหรับทุกคน นวัตกรรมและความปลอดภัยของสังคม
Textile and Sport sectors	<ul style="list-style-type: none"> สุขภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านประชากร และชีวิตความเป็นอยู่ สำหรับทุกคน นวัตกรรมและความปลอดภัยของสังคม
Consumer goods	<ul style="list-style-type: none"> สุขภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านประชากร และชีวิตความเป็นอยู่
Packaging	<ul style="list-style-type: none"> สุขภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านประชากร และชีวิตความเป็นอยู่ ความปลอดภัยด้านอาหาร การดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและวัสดุ

4.3 การสนับสนุนความเป็นเลิศทางด้านวิทยาศาสตร์

แม้ว่าNanoTRMจะมีกิจกรรมที่เข้มแข็งด้านการขับเคลื่อนของภาคอุตสาหกรรมและการพัฒนาในเชิงแอปพลิเคชัน (Application-oriented approach) ซึ่งได้มีการดำเนินการหลายอย่างตามที่ได้ถูกเสนอไว้ในแผนที่นำทาง ซึ่งจะสนับสนุนการพัฒนาความสามารถ ความเป็นเลิศทางด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศไทย อนึ่ง เพื่อเติมเต็มความต้องการในระยะสั้นและระยะยาวให้ได้นั้น ต้องการความพยายามที่กว้างขึ้น ที่จะเข้าใจวัสดุนาโน และคุณสมบัติของนาโนเทคโนโลยี โดยผ่านทาง การสังเคราะห์ทางห้องแล็บและการผลิตออกมาจนสำเร็จโดยผ่านการทดสอบที่เข้มงวดและการทำแบบจำลอง

4.4 ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในด้านประเด็นแนวราบ (Cross-cutting issues)

หนึ่งในเสาหลักของ NanoTRM คือการเน้นด้านประเด็นแนวราบ (Cross-cutting issues) ที่ได้มีการพิจารณาจากการประชุมหารือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทำให้ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละประเด็นถูกนำมาสรุปอยู่ในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2: ผลกระทบที่คาดว่าจะได้รับในด้านประเด็นแนวราบ (Cross-cutting issues)

หัวข้อ (Topics)	ผลกระทบของแผนที่นำทางนาโนเทคโนโลยี (NanoTRM Impact)
การวิจัยด้านความปลอดภัยและยุทธศาสตร์ของภาคอุตสาหกรรม Safety research & Industrial strategy	NanoTRM จะช่วยลดช่องว่างด้านความรู้ (Knowledge gaps) ที่กระจุกกระจายเกี่ยวกับความระดับความเสี่ยง ความเป็นพิษ ความปลอดภัย และผลกระทบ (Risk exposure, Toxicology, Safety, Impact) โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) การวิจัยด้านความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยีและการประเมินความเสี่ยงมีส่วนสำคัญในการยกระดับการพัฒนาและการแสดงความรับผิดชอบของภาคอุตสาหกรรม ทำให้สามารถระบุถึงหัวข้อการวิจัยเกี่ยวกับความเสี่ยงตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม และทำให้สามารถทราบช่องว่างของความรู้ (Knowledge gaps) สำหรับการพัฒนาด้านการบริหารจัดการความปลอดภัยของภาคอุตสาหกรรมด้านนาโนเทคโนโลยีและวัสดุนาโน
มาตรฐาน Standardization	มาตรฐานมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสื่อสารทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านการค้า การที่จะสร้างองค์ความรู้จากการค้นพบได้นั้น นักวิจัยจำเป็นต้องมีการนำความรู้จากการค้นพบด้านวิทยาศาสตร์มาในหลายสาขามาประยุกต์ NanoTRM ได้รวมวิธีมาตรฐานและเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติพิเศษที่ต้องการ จากนักวิจัย ภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
การถ่ายทอดเทคโนโลยีและการสนับสนุนทางการเงินด้านนวัตกรรม Technology transfer & Innovation financing	ประเทศไทยจะไม่สามารถแข่งขันได้เว้นแต่จะสามารถคิดค้นและนวัตกรรม การผสมรวม (synergy) ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากหลายเซกเตอร์และพื้นที่ ในระดับชาติ ระดับอาเซียน และระดับนานาชาติ จะเกิดขึ้น NanoTRM ได้รวมการปฏิบัติที่กระตุ้นให้เกิดการสร้างสรรคที่จะนำผลลัพธ์และโครงการวิจัยที่จะนำไปสู่ผลิตภัณฑ์
ภาคอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตระดับนาโน Industrialization & Nano manufacturing	NanoTRM สนับสนุนในการสร้างอุตสาหกรรมใหม่ด้านการผลิตผลิตภัณฑ์บนพื้นฐานของไมโครและนาโนเทคโนโลยี ในการร่วมมือกันระหว่างกลุ่มสถาบันวิจัย บริษัทเอกชน องค์กรหลัก สถาบันการศึกษาชั้นนำ เพื่อพัฒนาองค์ประกอบนาโน (Nanoparticles) โครงสร้างระดับไมโครและนาโน และองค์ประกอบ (Micro-and nanostructures and components) ด้วยไมโครและนาโนภายใน (Micro/nano inside) การสร้างความสมบูรณ์ของห่วงโซ่มูลค่า (Value chain) นำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ทางด้านไมโครและนาโนของไทย (Thailand micro and nanoproducts) โดยการใช้ฟาซิลิตี้ใช้เครื่องมือและระบบสากลเพื่อที่จะก้าวข้ามสถานภาพปัจจุบันที่มีเพียงแค่การทำวิจัยและพัฒนา (R&D) การทำวิจัยในขนาดทดลอง (Pilot cases) เพื่อไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิต (Production lines)
ความเชี่ยวชาญและการศึกษา Skills and Education	ความสามารถทางการแข่งขันของอุตสาหกรรมด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ องค์ประกอบหลักของความสำเร็จคือการทำงานที่มีกำลังคนที่มีความเชี่ยวชาญและมีความพร้อม เรื่องการศึกษาและการเทรนนิ่งนั้นจึงมีความสำคัญยิ่งยวด และการสร้างแม่เหล็กให้วัยรุ่นหันมาสนใจอาชีพนักวิทยาศาสตร์ (ด้านนาโนเทคโนโลยี) มีความจำเป็นที่จะต้องยกระดับโดยการพัฒนาภาพลักษณ์ของนาโนเทคโนโลยี NanoTRM จะช่วยในการสนับสนุนส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงทางด้านวัฒนธรรมที่รวมไปถึงการแบ่งปันข้อมูลระหว่าง ภาครัฐ มหาวิทยาลัย และบริษัทเอกชน ที่จะช่วยสังคมสร้างความเข้าใจพื้นฐานด้านนาโนเทคโนโลยี และเน้นที่การพัฒนาและการนำไปสู่เชิงพาณิชย์ด้านนาโนเทคโนโลยีที่มากขึ้นในอนาคตอันใกล้

หัวข้อ (Topics)	ผลกระทบของแผนที่นำทางนาโนเทคโนโลยี (NanoTRM Impact)
การวิจัยและเทคโนโลยี Research and Technology	<p>แม้ว่าประเทศไทยมีการลงทุนด้านนาโนเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่กลับมีการจัดสิทธิบัตรด้านนาโนเทคโนโลยีด้านการพัฒนาและการนำไปสู่เชิงพาณิชย์ด้วยผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีเพิ่มขึ้นไม่มากหากเทียบกับต่างชาติ เช่น USA, Japan, EU สาเหตุหนึ่งคือการทำวิจัยที่กระจัดกระจายและขาดตัวเชื่อม (Missing link) ระหว่างความสนใจทางด้านการศึกษาและความต้องการของภาคอุตสาหกรรม</p> <p>NanoTRM จะช่วยให้เกิดการร่วมมือการพัฒนาให้เป็นไปในแนวเดียวกันด้านการวิจัยของไทยเพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ทำให้มั่นใจได้ว่าการวิจัยและพัฒนา (R&D) ได้ถูกแปลความหมายไปสู่ความพยายามเพื่อการสร้างรายได้ มีความปลอดภัยไปสู่กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์</p>
ระเบียบ ข้อบังคับ Regulation	<p>NanoTRM การลงมือปฏิบัติตามจะทำให้เห็นช่องว่าง (Gaps) ของระเบียบข้อบังคับและการควบคุมด้านนาโนเทคโนโลยี</p>
เครือข่ายและ กลุ่มการสื่อสาร Networking and Communication	<p>การสร้างเครือข่ายและการสื่อสารสามารถนำไปใช้ในการทำงานประจำวันถ้าการพัฒนาในภาพรวมของนาโนเทคโนโลยีทำสำเร็จ</p> <p>NanoTRM ช่วยทำให้แน่ใจในประสิทธิภาพของเครือข่ายท่ามกลางผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่แตกต่างที่อยู่ในห่วงโซ่มูลค่าที่ช่วยทำให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ตลาด การดำเนินงานตามแผนที่นำทางจะช่วยให้เกิดความร่วมมือของเซกเตอร์ที่หลากหลาย (Tran-sectorial) และความร่วมมือของบริษัทข้ามชาติ (Trans-national cooperation) ภายในหรือนอกอาเซียน ในการจัดตั้งคอนโซลเทียมการวิจัยและพัฒนา (R&D consortiums) หรือความร่วมมือกันโดยตรงของธุรกิจต่อธุรกิจ (Business to business, B2B) และจะก่อให้เกิดความร่วมมือกันของหน่วยงานให้ทุน (Funding agencies) ในระดับ ภูมิภาค ประเทศ และอาเซียน เพื่อหลีกเลี่ยงความพยายามที่กระจัดกระจายตัว</p> <p>การนำนาโนเทคโนโลยีไปใช้ได้อย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับความพร้อมของภาคประชาชน อนึ่ง การดำเนินการด้านการสื่อสารจะเน้นไปสู่การเข้าถึงสังคมเพื่อที่จะส่งผ่านผลกระทบทางสังคมและเศรษฐกิจของการพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยี ความพยายามพิเศษจะใช้ในยุทธศาสตร์ด้านการสื่อสารด้านความปลอดภัยและการประเมินด้านความเสี่ยงเพื่อที่จะทำให้มั่นใจได้ในความปลอดภัยและความยั่งยืนของกระบวนการผลิตและการนำไปสู่เชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์ด้านนาโนเทคโนโลยี ยิ่งไปกว่านั้นเครือข่ายและกลุ่มการสื่อสารนั้นช่วยสนับสนุนด้านความหลากหลายของเครื่องมือและเพิ่มช่องทางและการสนับสนุนการไหลของการสื่อสารของไทยและอาเซียน</p>





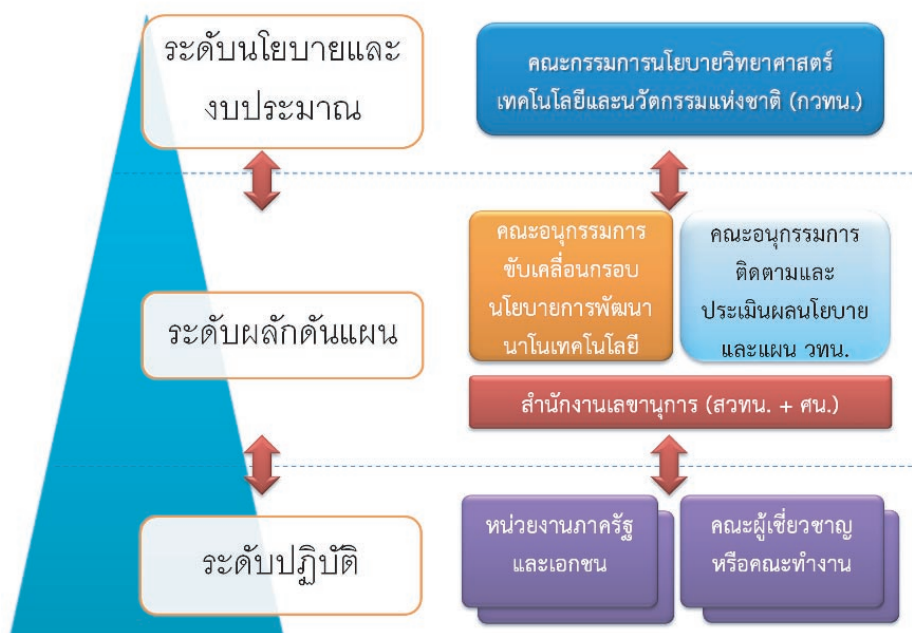
“Innovation distinguishes between a leader and a follower.”

Steve Jobs

การขับเคลื่อนไปสู่การปฏิบัติ

NanoTRM จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดกรอบ ทิศทางการวิจัยและพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยี ภายใต้วาระการวิจัยและพัฒนาใน 8 หัวข้อ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกันในทิศทางและช่วงระยะเวลา ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในกระบวนการบริหารจัดการและการจัดสรรทรัพยากร ภายในระยะเวลา 4 ปี (พ.ศ. 2556-2559) การนำ NanoTRM ไปสู่การปฏิบัติ ผ่านกลไกการดำเนินงานของผู้รับผิดชอบในยุทธศาสตร์ต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งขับเคลื่อนตามกรอบ นโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย โดยสำนักงานเลขานุการร่วม (สวทช. และ ศน.) ดังแสดงในรูปที่ 5-1

กลไกการบริหารตามกรอบนโยบายฯ จากนโยบายไปสู่การปฏิบัติ



รูปที่ 5-1: การขับเคลื่อนกรอบนโยบายการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย ไปสู่การปฏิบัติโดยผ่าน NanoTRM

5.1 หน่วยงานหลักและเครือข่ายการดำเนินงาน

ศน. ในฐานะผู้ดำเนินงานหลักด้านการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย มีภารกิจในการดำเนินงาน สนับสนุนเสริมสร้างขีดความสามารถด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย โดยกำหนดแนวทาง มาตรการ และแผนการ ดำเนินการด้านนาโนเทคโนโลยี เสริมสร้างองค์ความรู้และพัฒนาเทคโนโลยีฐาน (Platform technology) ซึ่งมีการดำเนินงาน ในระดับหน่วยงาน ดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2: การขับเคลื่อนแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี

5.1.1 ห้องปฏิบัติการวิจัยของ ศน.

การดำเนินงานของห้องปฏิบัติการเฉพาะทางหรือดำเนินการร่วมกันหลายห้องปฏิบัติการ โดยดำเนินงานภายใต้ 8 วาระการวิจัยและพัฒนา ซึ่งประกอบด้วยขอบเขตการวิจัย (Component area) ภายใต้แต่ละหัวข้อหลัก ที่แสดงให้เห็นถึงความชัดเจนและจำเพาะเจาะจง เพื่อให้ทราบถึงเทคโนโลยีที่ใช้สนับสนุนเฉพาะในแต่ละขอบเขตนั้นๆ ซึ่งการดำเนินงานผ่านทางห้องปฏิบัติการ 2 กลุ่ม คือ หน่วยวิจัยนาโนเทคโนโลยี และหน่วยพัฒนานาโนเทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วย 12 ห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1. ห้องปฏิบัติการโครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมโพสิต (Hybrid Nanostructure and Nanocomposite: HNN)
2. ห้องปฏิบัติการวัสดุนาโนเพื่อพลังงานและการเร่งปฏิกิริยา (Nanomaterials for Energy and Catalysis laboratory: NEC)
3. ห้องปฏิบัติการระบบนำส่ง (Nano Delivery System: NDS)
4. ห้องปฏิบัติการวัสดุนาโนเฉพาะทางและโครงสร้างพื้นผิว (Functional Nanomaterials and Interfaces: FNI)
5. ห้องปฏิบัติการสิ่งทอนาโน (Nano Functional Textile: NFT)
6. ห้องปฏิบัติการนาโนโมเลกุลเป้าหมาย (Nanomolecular Target Discovery: TDI)
7. ห้องปฏิบัติการระบบอุปกรณ์นาโน (Integrated Nanosystem: INS)
8. ห้องปฏิบัติการคำนวณระดับนาโน (Nanoscale Simulation: SIM)
9. ห้องปฏิบัติการความปลอดภัยทางนาโนเทคโนโลยี (Nano Safety and Risk Assessment : SRA)
10. ห้องปฏิบัติการนาโนเวชสำอาง (Nano-Cosmeceuticals: NCM)
11. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ระดับนาโน (Nano Characterization Laboratory: NCL)
12. ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมและการผลิต (Engineering and Manufacturing: ENM)

5.1.2 ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา

ดำเนินการในส่วนของการสนับสนุน ผลักดัน จัดสรรงบประมาณ ติดตามผลการดำเนินงานและขับเคลื่อนให้ดำเนินการไปในทิศทางและขอบเขตการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตาม 8 วาระการวิจัยและพัฒนา ผ่าน 5 กลไก ซึ่งประกอบด้วย 1) กลุ่มเทคโนโลยีฐาน (Platform technology) ด้านนาโนเทคโนโลยี 2) กลุ่มโปรแกรมวิจัยภายใต้ คลัสเตอร์วิจัยมุ่งเป้า สวทช.⁵ และกลุ่มโปรแกรม Cross-cutting technology สวทช.⁶ 3) การสนับสนุนทุนวิจัยแก่นักวิจัยภายนอก ศน. 4) ศูนย์ร่วมวิจัยเครือข่ายพันธมิตรความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยี ระหว่าง ศน. และมหาวิทยาลัย (CoE)⁷ 5) การขอสนับสนุนทุนวิจัยจากแหล่งทุนวิจัยภายนอก สวทช. โดยมีหน่วยงานที่รับผิดชอบดำเนินการ 3 หน่วยงาน คือ

1. งานสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการกลาง (Central Laboratory Support Section : CLS)
2. งานสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฐาน (Extramural R&D Support Section : ERD)
3. งานสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการเครือข่าย (Collaborative Research Section : COR)

ทั้งนี้กลุ่มผู้ดำเนินการวิจัยหลัก (Key Nodes) ในแต่ละขอบเขตการวิจัย (Component Area) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1: กลุ่มผู้ดำเนินงานวิจัยหลัก (Key Nodes) ในแต่ละขอบเขตการวิจัย (Component Area)

R&D Agenda	Component Area	Key achievement, Products, Applications	Key Nodes
1. Prevention, diagnosis and treatment of important diseases	1.1 Nanosensors for diagnosis and screening	Cervical cancer screening	TDI+FNI
		Bioelectronic nose; Bio e-nose	INS+CoE
		Antibody targeted molecular imaging for cancer	TDI+CoE
		Nucleic acid detection by LFA	TDI
		Glycated albumin test	TDI
		High- throughput blood group detection system	CoE
		Leptospirosis kit	TDI+NDS
Economic animal diseases detection	TDI		

⁵ ตามแผนกลยุทธ์ สวทช. ปีงบประมาณ 2555- 2559 คลัสเตอร์มุ่งเป้าของ สวทช. ประกอบด้วย 5 คลัสเตอร์ คือ 1. คลัสเตอร์เกษตรและอาหาร 2. คลัสเตอร์พลังงานและสิ่งแวดล้อม 3. คลัสเตอร์สุขภาพและการแพทย์ 4. คลัสเตอร์ทรัพยากร ชุมชนชนบทและผู้ด้อยโอกาส 5. คลัสเตอร์อุตสาหกรรมการผลิตและบริการ

⁶ ตามแผนกลยุทธ์ สวทช. ปีงบประมาณ 2555- 2559 กลุ่มโปรแกรม Cross-cutting ประกอบด้วย 4 โปรแกรมวิจัย คือ 1. โปรแกรมวัสดุเฉพาะทาง (Functional materials) 2. โปรแกรมวิศวกรรมดิจิทัล (Digital engineering) 3. โปรแกรมเทคโนโลยีเซ็นเซอร์และระบบสมองกลอัจฉริยะ (Sensor and intelligent system) 4. โปรแกรมวิจัยนวัตกรรมบริการ (Service research & innovation)

⁷ งานสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการเครือข่าย ศน. มีการทำความร่วมมือกับมหาวิทยาลัย และดำเนินการจัดตั้งศูนย์ความเป็นเลิศ (CoE) 9 แห่ง เพื่อดำเนินงานระหว่างปี พ.ศ. 2555-2560 ได้แก่ 1. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้านวัสดุนาโนไฮบริดสำหรับพลังงานทางเลือก 2. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ด้านอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ 4. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีสุรนารี ด้านวัสดุนาโนเพื่อสมบัติเฉพาะทางขั้นสูง 5. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีมหิดลด้านวัสดุและระบบอัจฉริยะ 6. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีสงขลานครินทร์ ด้านระบบนำส่งยา 7. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้านนาโนเทคโนโลยีสำหรับอาหารและการเกษตร 8. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีมหิดล ด้านเทคโนโลยีนาโนในการวินิจฉัยและรักษาโรค 9. ศูนย์ความเป็นเลิศนาโนเทคโนโลยีขอนแก่น ด้านวัสดุนาโนขั้นสูงสำหรับการผลิตและกักเก็บพลังงาน

R&D Agenda	Component Area	Key achievement, Products, Applications	Key Nodes	
	1.2 Vaccines and nanomedicine	Nano diagnosis and therapeutics for cancer	TDI+CoE	
		Nasal influenza vaccine	TDI+NDS	
		House dust mite vaccine	NDS	
		Leptospirosis vaccine	TDI+NDS	
		Nano therapeutics for tuberculosis	TDI+CoE	
		Wound healing products	NDS+HNN+CoE	
	1.3 Medical materials	Multifunctional bio-protective textiles (anti-bacteria)	NFT	
		Multifunctional sensing e-textiles	NFT	
		Multifunctional bioactive and anti-pest textiles	NFT	
2. Utilization of natural products and biodiversity	2.1 Nanocosmeceuticals and encapsulated Thai herbal active ingredients	Nano-composite materials for dental application	CoE	
		Anti-aging cosmetic products (Serum, Cream)	NCM	
		Anti-cellulite product	NCM	
		Nano aroma	NCM	
		Hair care product	NCM	
	2.2 Nutraceuticals based on nanotechnology	Enzyme encapsulation of food product	NDS	
		Bio-compatible nanocarriers	NDS	
		Modified food and drink products from Thai herbal extract and fiber Bio-compatible nanocarriers for	NCM	
	2.3 Nanotechnology for animal health and feeds	shrimp feed	NDS	
		Bioactive compounds for animal feed	NDS	
		Controlled release film for animal feed Controlled N fertilizer for sugarcane	NDS+CoE NDS	
	3. Improvement of agricultural process and control of insects and pests	3.1 Controlled release fertilizers, plant nutrients and pesticides	Controlled NPK fertilizer	HNN+NDS
			Fertilizer with soil conditioning	HNN+NDS
Controlled release pest repellent			HNN+NDS	
Seed media /			HNN+CoE	
3.2 Improvement of soil condition and remediation, especially smart soil		Peatmoss-like soil)	NEC	
		Growing media /	NEC	
		Peatmoss-like soil)	NEC	
		Soil conditioner	NEC	
		Hydrothermal carbonization production unit (8 Q/d) Functional coatings and packaging for	NEC NEC NEC	

R&D Agenda	Component Area	Key achievement, Products, Applications	Key Nodes
4. Postharvest Technology and Food packaging	4.1 Nanomaterials for food packaging and preservation (smart packaging)	agricultural products (Anti- bacteria and anti-fungal)	HNN+CoE
		Time Temperature Indicator	
	4.2 Nanosensors for agricultural products	Chemical toxic residue sensor and	FNI+INS
		system eg. Antimicrobial substance	FNI
		Heavy metal ion sensor and system	
		Microbial detection	FNI+CoE
	Sensor array for product-QC	FNI	
	Bifunctional nanocatalyst for standard	FNI+CoE	
5.Nanomaterials for energy and environment	5.1 Nanocatalysis and nanomaterials for energy production, storage and utilization	biodiesel production	NEC
		Nanocatalyst for continuous production	
		process of 2 nd generation green diesel	NEC
		Nanocatalyst and membrane for	
		bio refinery toward energy industry	NEC
		Nanostructured catalysts for green	
	5.2 Green manufacturing technology	energy production and storage	CoE
		Dye-sensitized solar cell/Flexible	
		solar cell	INS+CoE
	5.3 Nanostructure for carbon capture and conversion	Nano material for green building	
		(Reduce energy consumption)	FNI
		Green technology for construction	
		Intelligent window	FNI
		Sensor array network for pollution	FNI + CoE
	6. Nanotechnology for water treatment and remediation	6.1 Nano filtration for drinking water	control
Micro & nanoparticle classifier			
Nanocatalyst for CO ₂ /CO/CH ₄			NEC
conversion to hydrocarbon and value-added chemicals			NEC+SIM+CoE
	Nanostructure for CO ₂ capture		
	Water purifying system	CoE	
	2 nd generation of water purifying system	HNN	
	Functional filter (Antibacteria, Other	HNN	
	function)	HNN	
	Portable water filter		
	Nanomaterials for organic remedia-	HNN	

R&D Agenda	Component Area	Key achievement, Products, Applications	Key Nodes	
	6.2 Nanoscale materials for waste water treatment	tion, i.e., Azo dye Nanomaterials for heavy metal re-	HNN	
		moval i.e., As Nano characterization for material tracking	HNN	
7. Physical and regulatory infrastructure	7.1 Nanosafety and risk assessment	(Property, Sustain, Interaction, Release kinetics) Gut models and methods for food,	SRA	
		herbal, nutraceutical safety Dermal models and methods for	SRA	
		textile and cosmeceutical safety Methods for aerosol exposure	SRA	
		assessment in workplace Methods for nanomaterial safety	SRA	
		assessment in the environment Improved & new high resolution	SRA	
	7.2 National laboratory network for nanoscale characterization and analysis	imaging method Test standards for novel properties	NCL	
		and functions of nano-enabled products Traceable metrological methods for	NCL	
		nano-objects on 1 nm accuracy level Dynamic characterizations of	NCL	
	7.3 Nanoscale fabrication and characterization facilities	nanostructure and surfaces High resolution fabrication	INS	
		technology for nanostructures High precision nanoengineered 3D	INS	
		structures Chromogenic systems	INS	
	8. Exploring cross-platform and key emerging technologies	8.1 Nanoelectronics	OFET	FNI
			Thermoelectric device	INS
High performance capacitor			INS + CoE	
High capacity battery			CoE	
Thermally (or optically or electrically)			CoE	
8.2 Nano functional textiles for advanced applications		active fibers Shape-memory fibers	NFT	
		Multifunctional high strength fibers	NFT	
		Eco fibers	NFT	
		Emerging technology	NFT	
8.3 Emerging technologies				

5.2 การใช้แผนที่นำทางและการทบทวน

แนวโน้มการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของโลก มีการแข่งขัน การประดิษฐ์ คิดค้นสิ่งใหม่ๆ อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ที่ดีกว่าและทำให้เทคโนโลยีเก่าล้าสมัยลงอย่างรวดเร็ว ภาคการวิจัย ภาคการศึกษา ภาคอุตสาหกรรม และประชาชน จึงต้องมีการปรับตัวและพัฒนาตัวเองขึ้น เพื่อให้ก้าวทันต่อองค์ความรู้ที่ยกระดับการพัฒนาในด้านต่างๆ ความต้องการเหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดยุทธศาสตร์ในการพัฒนาประเทศ ด้วยเหตุนี้ NanoTRM จึงควรได้รับการทบทวนเพื่อปรับปรุงให้มีความสอดคล้องและมีความเหมาะสม กับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า NanoTRM ฉบับนี้ จะถูกนำไปใช้เป็นกรอบแนวทางการดำเนินงานด้านการวิจัยและพัฒนาของหน่วยงานหรือองค์กรด้านการพัฒนานาโนเทคโนโลยีที่สำคัญของประเทศ ซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนานาโนเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและสอดคล้องกับทิศทางที่กำหนด รวมถึงตอบสนองความต้องการของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง

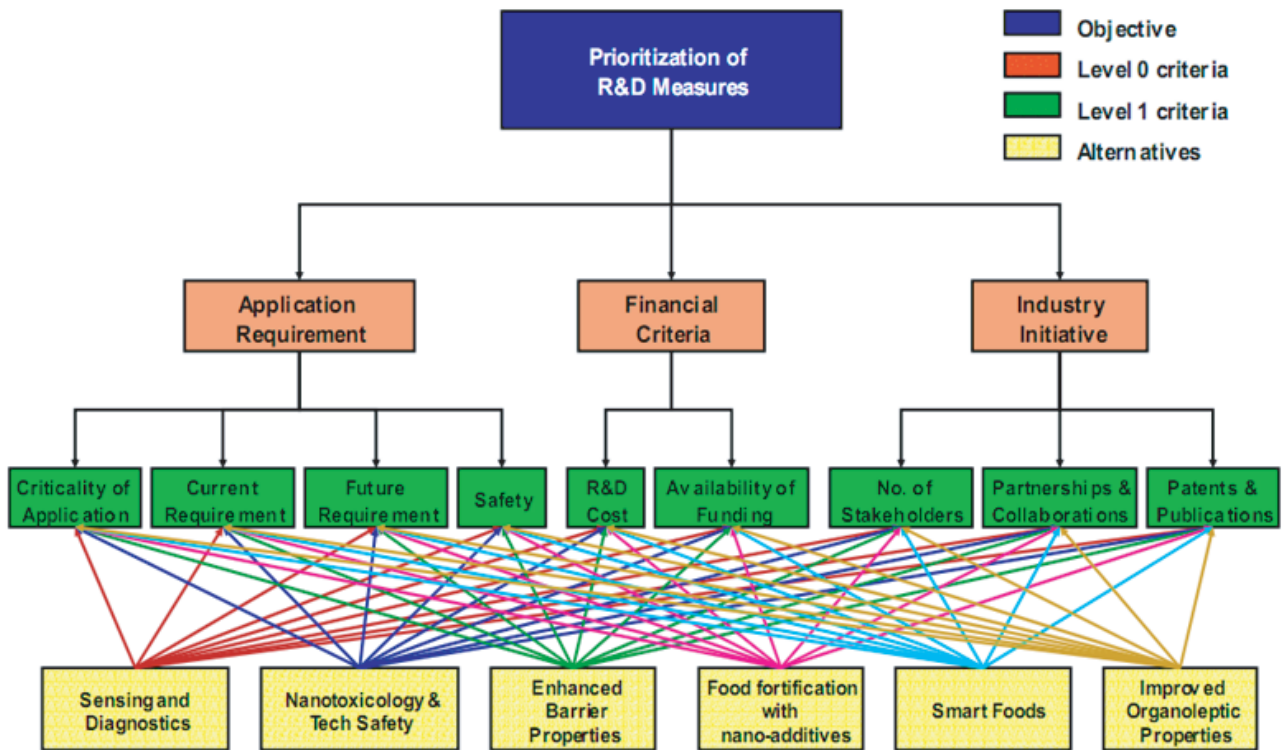
การติดตามประเมินผลและการปรับปรุง NanoTRM เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่การดำเนินงานด้านการวิจัยและพัฒนาของ ศน. อันจะส่งผลกระทบต่อความก้าวหน้าของประเทศทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม จึงควรมีการติดตามประเมินผลการดำเนินงานตามแผนที่นำทางอย่างจริงจังและต่อเนื่องโดยวัดผลการประเมินจากจำนวนโครงการวิจัยและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key achievement) รวมถึงผลลัพธ์จากงานวิจัยที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานภายใต้โครงการวิจัยที่สอดคล้องกับเป้าหมายและตรงตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ใน NanoTRM งบประมาณที่ใช้ และจำนวนบุคลากร

ข้อมูลที่ได้จากการติดตามประเมินผลจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นร่วมกับการศึกษาแนวโน้มสถานการณ์ด้านนาโนเทคโนโลยีและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อปรับปรุง NanoTRM ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง อันจะทำให้การดำเนินงาน มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศ โดยกำหนดให้มีการติดตามประเมินผลและปรับปรุง NanoTRM ปีละ 1 ครั้ง อนึ่ง จะมีการประเมินผลครั้งสุดท้ายก่อนครบกำหนดสิ้นสุดการใช้ NanoTRM เป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดทำแผนที่นำทางฉบับต่อไป

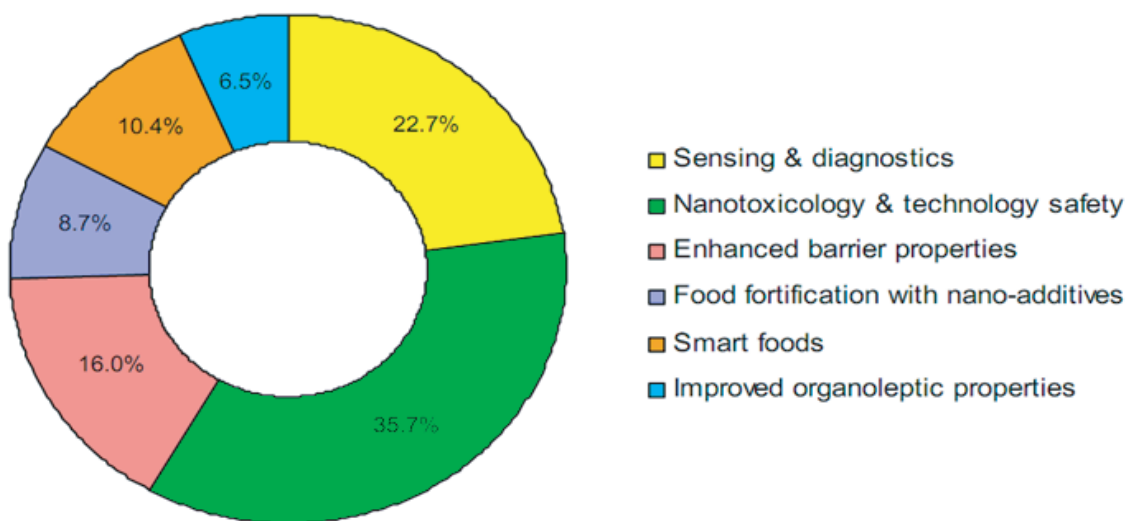
ภาคผนวก

ภาคผนวก (ก)

บทวิเคราะห์แนวโน้มของโลก

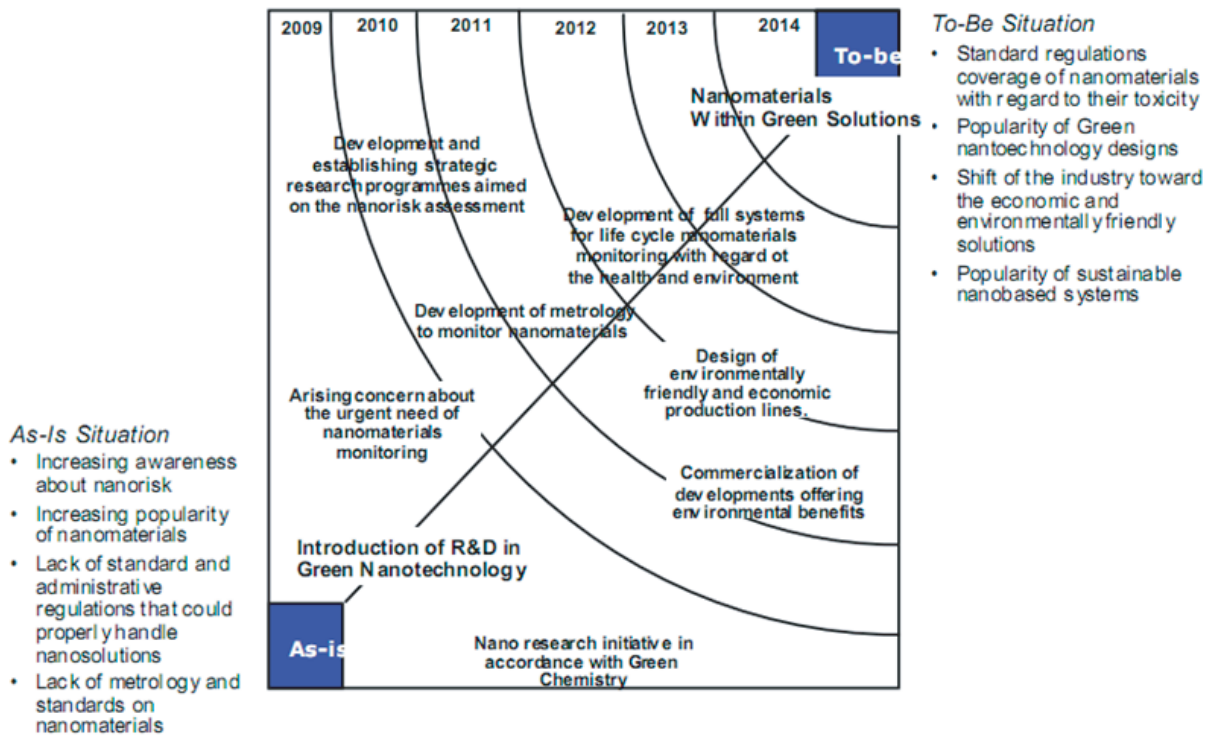


รูปที่ ก-1: The AHP tree used to obtain a prioritized ranking of R&D focus areas for nanotechnology in F&B applications
 Source: Frost & Sullivan, Nanotechnology for Food and Beverage Applications (Technical Insights), Published: 30 Sep 2009



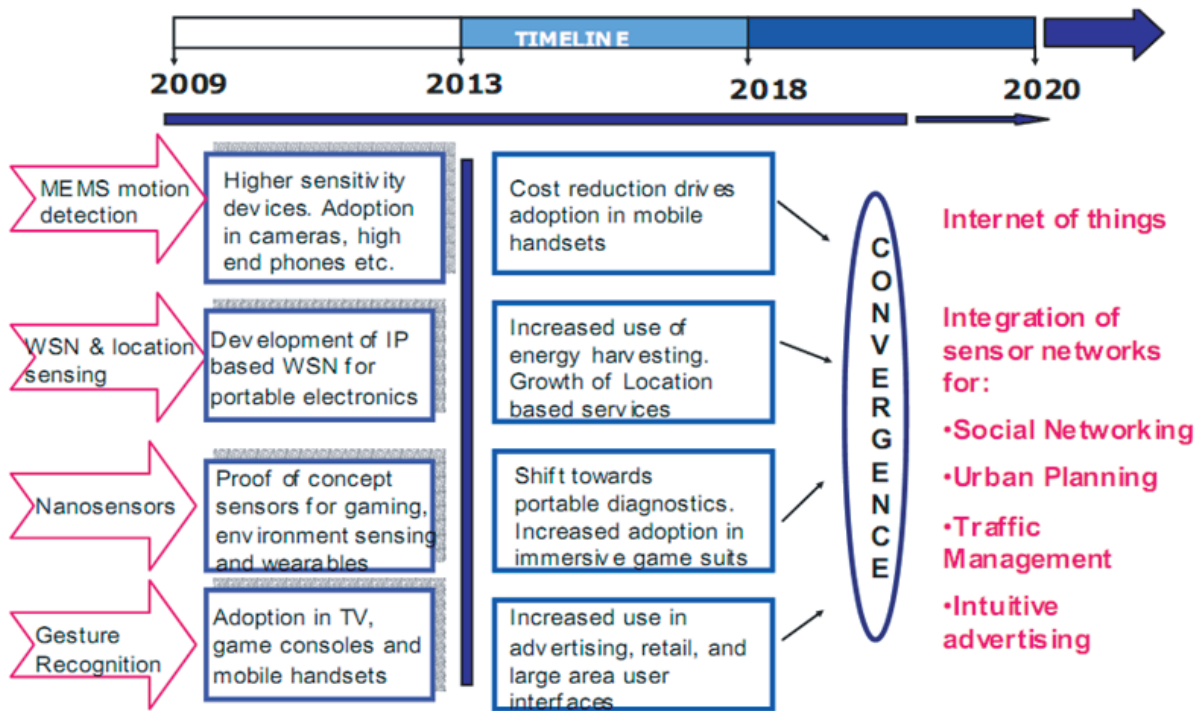
รูปที่ ก-2: The final priorities for the R&D prioritization.

Source: Frost & Sullivan, Nanotechnology for Food and Beverage Applications (Technical Insights), Published: 30 Sep 2009



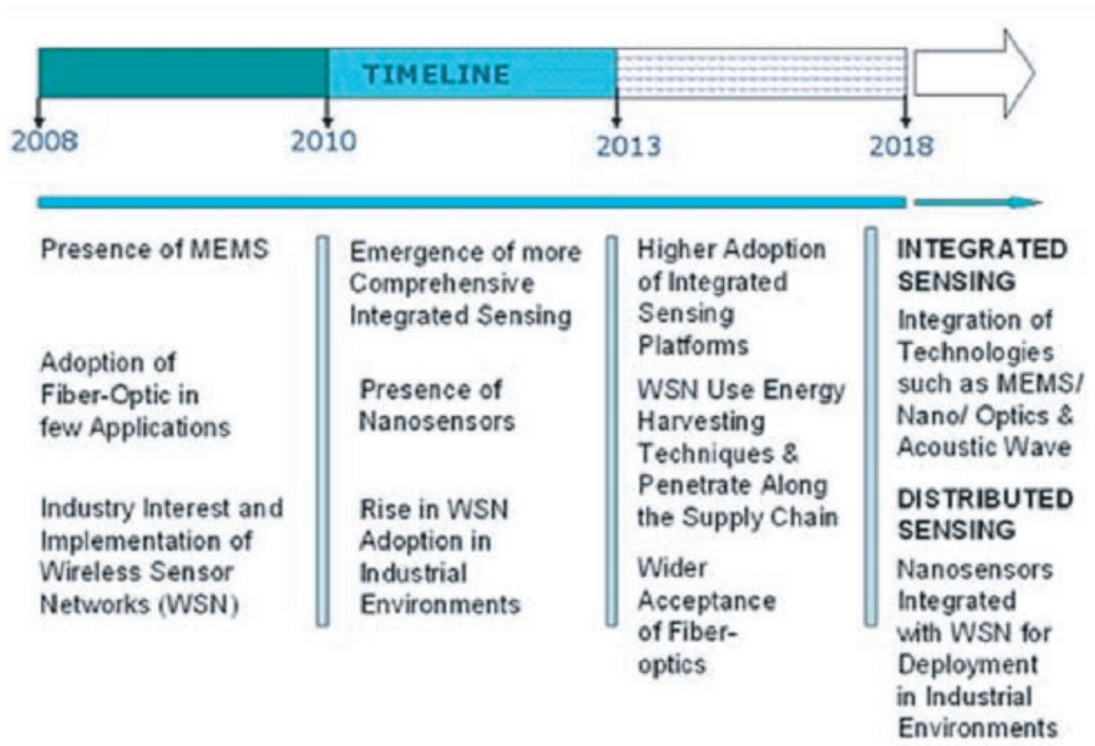
รูปที่ ๓-3: The roadmap for green nanotechnology

Source: 2009 Frost & Sullivan, GREEN NANOTECHNOLOGY--THE TREND OF THE FUTURE



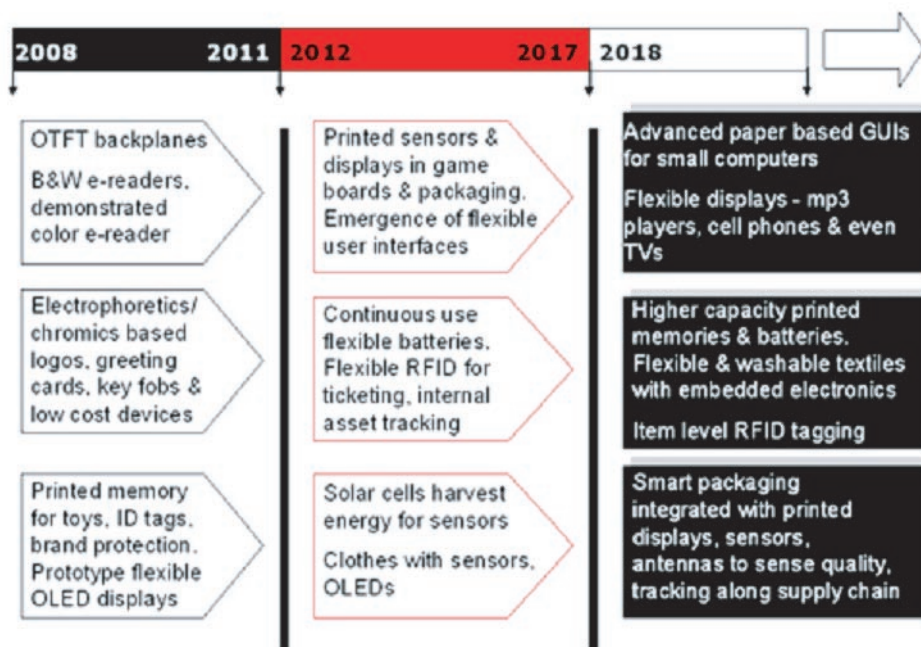
รูปที่ ๓-4: Roadmap of technologies and applications

Source: Frost & Sullivan 2009, OPPORTUNITIES FOR SENSORS IN CONSUMER ELECTRONICS



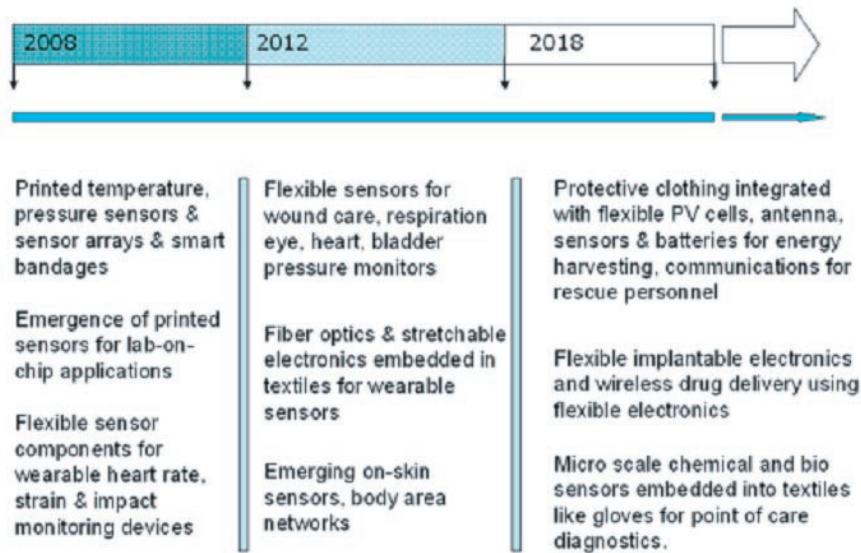
รูปที่ ๓-5: The Technology roadmap in sensor for industrial applications

Source: Frost & Sullivan 2008, INNOVATIONS IN SENSORS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS



รูปที่ ๓-6: A consumer electronics roadmap

Source: Frost & Sullivan 2008, EMERGING TRENDS IN FLEXIBLE ELECTRONICS






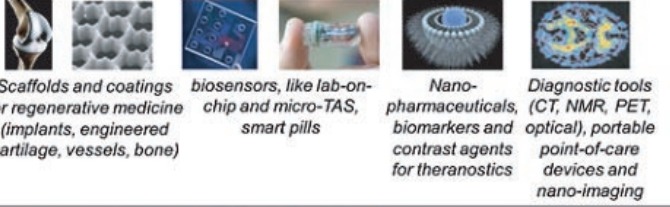

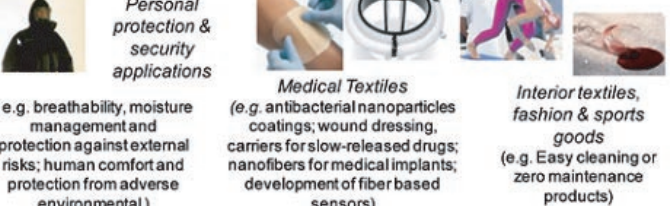


รูปที่ ๓-7: A healthcare roadmap

Source: Frost & Sullivan 2008, EMERGING TRENDS IN FLEXIBLE ELECTRONICS

Technology Area	Lightweight Structure	Damage Tolerant	Coatings	Adhesives	Thermal	Sensors, Actuators	Electronics	Instrumentation	Nanopropellants	Propulsion Components	In-Space
Launch Prop.	X	X		X	X	X			X	X	
In-space	X	X		X	X	X			X		X
Power					X		X				
Robotics	X	X	X		X	X	X	X			
Comm/Nav					X		X				
Human Health		X			X	X	X	X			
Surface Systems	X	X	X		X	X	X	X			
Instruments						X	X	X			
E,D,L	X	X			X						
Nano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Modeling	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Materials	X	X	X	X	X					X	
Ground & Launch			X			X	X			X	
Thermal			X	X	X						

รูปที่ ๓-8: A matrix indicating the interdependencies of different grouped nanotechnologies is given below, with Xs indicating a potential interdependency

Source: Michael A. Meador et al, 2010. National Aeronautics and Space Administration, DRAFT NanoTechnology roadmap Technology Area 10

Examples of final nano-enabled products	
ENERGY	 <p>Advanced Solar cells (Including organic & hybrid PV)</p> <p>solid state lighting (LED, OLED, PLED)</p> <p>Efficient catalysis & carbon capture and storage -CCS (pollution control in fuels, in geothermal etc.)</p> <p>Storage technologies (hybrid batteries, gas, hydrogen). Power electronics for industrial applications and engine management)</p>
TRANSPORTATION	 <p>Long time, low cost fuel cell membranes and batteries; Low friction engines & lubricants; Smart glass surfaces; Lightweight metal or plastic sheet for chassis; efficient tires, wiper blades, seals; sustainable lightings and heating systems; smart sensors and radar systems</p>
CONSTRUCTION & BUILDINGS	 <p>Self-cleaning/Anti-microbial/solar reflective paints for building envelopes or indoor environment (e.g. HVAC)</p> <p>High durability & high productivity infrastructure</p> <p>Advanced insulating systems for new and existing building envelopes</p> <p>Smart integration of technologies (incl. Sensors) at building level</p> <p>Green high performance concrete (CO2 trapping) & recycled building composites</p>
MEDICINE & PHARMA	 <p>Scaffolds and coatings for regenerative medicine (implants, engineered cartilage, vessels, bone)</p> <p>biosensors, like lab-on-chip and micro-TAS, smart pills</p> <p>Nano-pharmaceuticals, biomarkers and contrast agents for theranostics</p> <p>Diagnostic tools (CT, NMR, PET, optical), portable point-of-care devices and nano-imaging</p>
ICT	 <p>Lasers (optical communications, medical diagnostics and treatments, manufacturing tools, printers)</p> <p>ink-jet printers</p> <p>LCD-, silicon-, LED- and OLED-based Displays and Photovoltaics</p> <p>Consumer Electronics (smart phones, TV set, digital cameras etc.)</p>
TEXTILE AND SPORT SECTORS	 <p>Personal protection & security applications</p> <p>(e.g. breathability, moisture management and protection against external risks; human comfort and protection from adverse environmental)</p> <p>Medical Textiles (e.g. antibacterial nanoparticles coatings; wound dressing, carriers for slow-released drugs; nanofibers for medical implants; development of fiber based sensors)</p> <p>Interior textiles, fashion & sports goods (e.g. Easy cleaning or zero maintenance products)</p>
CONSUMER GOODS	 <p>COSMETICS Moisturisers, hair care products, make up and sunscreen</p> <p>HOUSEHOLD CLEANING Smart washing machines, cleansing films, self-cleaning fabrics, nanoparticle soaps</p>
PACKAGING	 <p>Food & Beverage Packaging</p> <p>Pharma & Medical Packaging</p> <p>Shoe & Clothing Packaging</p> <p>ICT Packaging</p>

รูปที่ ๓-9: Examples of final nano-enabled products

Source: Integrated Research and Industrial Roadmap for Europe Nanotechnology; *NANO futures*, European Technology Integrating and Innovation Platform on Nanotechnology

Field	Current Technologies	Future Technologies
Life Sciences	Helical CT Technology (Application to Early Diagnosis of The Lung Cancer)	Technologies for Utilizing Cultured Tissues from Stem Cells as Material for Artificial Organs or Tissues
	High Throughput Detection of Single Nucleotide Polymorphisms and its Application for Diagnosis and Personalized Medication	Creation Technology of Cold-Resistance, Drought-Resistant, and Salt-Tolerant Crops by Gene Manipulation
ICT	Parallel Supercomputer with High Processing Speed	Perpendicular Magnetic Recording Technology (for Hard Disk Drive)
	ITS (Car Navigation, VICS, ETC, and Traffic Management, etc.)	Ubiquitous Network
Environment	Alternative Materials of Fluorocarbons and Halons, that do not damage the Ozone Layer and cause Global Warming Problem	Gasification Melting Furnace and Ash Melting Furnace Technologies
	Elucidation Technologies of Human and Wildlife Health Effects of Endocrine Disrupters	Separation, Collection, and Isolation Techniques of Carbon Dioxide
Nanotechnology and materials	High Density and Long Lived Lithium Battery Technologies	Carbon Nanotube Devices
	Photocatalytic Materials	High Temperature Superconducting Materials
Energy	Photovoltaic System for Houses	Hydrogen Storing Alloy
	Liquid Fuel Production from Natural Gas and other Gas Sources, and its application (GTL, DME)	Fuel Cell Vehicle
Manufacturing Technology	Recycling Technologies of End-of-Life Vehicles and Electronic Waste	Microreactors for Chemical Synthesis
	Laser Processing Technology	Rehabilitation Robot
Social infrastructure	Technology for Regional Weather Forecasting	Disaster Prevention System Based on a Nationwide Network for Detecting Earthquake
	Simulation Technology on Earthquake Motion	High-Efficiency Processes for Treating Refractories and Hazardous Materials
Frontiers	Remote-Sensing Technology (Analysis and Application of Remote-Sensing Data)	Offshore Oil Rig Technology
	Synchrotron Radiation Technology	Quasi-Zenith Satellite

รูปที่ ๓-10: Case study target technologies

Source: NISTEP REPORT No.99, Comprehensive Analysis of Science and Technology Benchmarking and Foresight, May 2005. National Institute of Science and Technology Policy: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan

ภาคผนวก (ข)

รายชื่อคณะกรรมการจัดทำแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี⁸

1. นายมนตรี จุฬาวัดมนทล	ที่ปรึกษา
2. นายสาธิต ชาญเชาว์กุล	ที่ปรึกษา
3. นายชาติ ศรีไพพรรณ	ที่ปรึกษา
4. ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ	ที่ปรึกษา
5. นายศรัศักดิ์ เทพาคำ	ที่ปรึกษา
6. นายนเรศ ดำรงชัย	ที่ปรึกษา
7. นายเปรมวิทย์ จรีเวฬุโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
8. นายกฤษณ์ธวัช นพนาศิพงษ์	ผู้ทำงาน
9. นายถิรพัฒน์ วิลัยทอง	ผู้ทำงาน
10. นายจำรัส ลิ้มตระกูล	ผู้ทำงาน
11. นายนิวัฒน์ มนต์วีรสวัฒน์	ผู้ทำงาน
12. นายกฤษณะ สาคริก	ผู้ทำงาน
13. นายอภิวัฒน์ มุทิตางกูร	ผู้ทำงาน
14. นายรัชชัย ต้นทุลานี	ผู้ทำงาน
15. นายกิตติศักดิ์ ลิขิตวิทยาวุฒิ	ผู้ทำงาน
16. นายสุชาติ อุดมโสภกิจ	ผู้ทำงาน
17. นายอังคาร วงษ์ดีไทย	ผู้ทำงาน
18. นายพิชญ์ ศุภผล	ผู้ทำงาน
19. นายรัชชัย ชรินพาณิชกุล	ผู้ทำงาน
20. นายมงคล สุขวัฒนาสินธุ์	ผู้ทำงาน
21. นายนวดล เหล่าศิริพจน์	ผู้ทำงาน
22. นางเมตตา เจริญพานิช	ผู้ทำงาน
23. นายธนากร โอสถจันทร์	ผู้ทำงาน
24. นายเต็มศักดิ์ ศรีศิริรินทร์	ผู้ทำงาน
25. นายสันติ แม้นศิริ	ผู้ทำงาน
26. นายกฤษฏา สุชีวะ	ผู้ทำงาน
27. นางสาวอัศนีย์ ก่อตระกูล	ผู้ทำงาน
28. นางสาววิราภรณ์ มงคลไชยสิทธิ์	ผู้ทำงาน
29. นางฉลอง เลาจรรย์กุล	ผู้ทำงาน
30. นายสาธิต พุทธิพิพัฒน์ขจร	ผู้ทำงาน
31. นายประเสริฐ ภาวสันต์	ผู้ทำงาน
32. นางสาวธารารัชต์ ธารากุล	ผู้ทำงาน

⁸ ตามคำสั่งแต่งตั้งที่ 016/2555 ลงวันที่ 1 มิถุนายน 2555 โดยยกเลิกคำสั่งที่ 007/2555 ลงวันที่ 5 เมษายน 2555 และคำสั่งที่ 010/2555 ลงวันที่ 24 เมษายน 2555

33. นายอดิสร เตื่อนตรานนท์	ผู้ทำงาน
34. นางพัชรี กุลปวีณ	ผู้ทำงาน
35. นายพงศ์สิทธิ์ รัตนกรวิทย์	ผู้ทำงาน
36. นายวรัญญา เตชปุญญง	ผู้ทำงาน
37. นายธนากร เจริญรัตน์	ผู้ทำงาน
38. นายอุดม อัครวาทิรมย์	ผู้ทำงาน
39. นายขจรศักดิ์ เฟื่องนวกิจ	ผู้ทำงาน
40. นายวิยงค์ กังวานศุภมงคล	ผู้ทำงาน
41. นางสาวอุบลทิพย์ นิมมานนิตย์	ผู้ทำงาน
42. นางสาวกมลวรรณ ธรรมเจริญ	ผู้ทำงาน
43. นางอรุชา รักษาานนท์ชัย	ผู้ทำงาน
44. นางสาววีรภัฏญา มณีประกรณ์	ผู้ทำงาน
45. นายวรล อินทะสันตา	ผู้ทำงาน
46. นางสาวสุภาวดี นาเมืองรักษ์	ผู้ทำงาน
47. นางสาวรวิวรรณ มณีรัตนโชติ	ผู้ทำงาน
48. นายณัฐพันธุ์ ศุภกา	ผู้ทำงาน
49. นายสมศักดิ์ สุริยะกุล	ผู้ทำงาน
50. นางกัญญา สิทธิสงวน	ผู้ทำงานและเลขานุการ
51. นางสาวสุพินยา อุปกะลิน	ผู้ทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

ภาคผนวก (ค)

รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมระดมความเห็นต่อการกำหนด R&D Agenda⁹

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. ศ.นพ.สิริฤกษ์ ทรงศิวิไล | ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศน.) |
| 2. ดร.ศิริศักดิ์ เทพาคำ | รองผู้อำนวยการ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศน.) |
| 3. ดร.นิลสุวรรณ ลีลารัศมี | บริษัทถ้วยทองโอสถ จำกัด |
| 4. นพ.ศุภมิตร ชุณหะวัณ | สำนักโรคติดต่ออุบัติใหม่ |
| 5. นายทัพพ ปิงเจริญกุล | สมาคมไทยอุตสาหกรรมผลิตยาแผนปัจจุบัน |
| 6. นายฐิติ ตัณฑสุทธี | สมาคมผู้ผลิตเครื่องสำอางไทย |
| 7. นายมีงมิตร ส่งไพศาล | บริษัทเภสัชกรรมศรีประสิทธิ์ จำกัด |
| 8. ดร.ศุภกิจ เมฆธน | บริษัทแอฟฟลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด |
| 9. นายจิรพิพัฒน์ (แทน ดร.มงคล) | ศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด |
| 10. นายสมชาติ ชินธรรมมิตร | อุตสาหกรรมแปงไทย จำกัด |
| 11. น.ส.สุปราณี ตั้งธนกิจ | Friesland Campina (Thailand) |
| 12. นายวัชรระ บุญธีรวัธ | SMEs Development and Consultant Co., Ltd. |
| 13. นายปรมินทร์ โกมารภักกุล | หอการค้าไทย-ไนจีเรีย |
| 14. นายวัลลภ ลีวิวัฒนาพรชัย | ที่ปรึกษากรมส่งเสริมอุตสาหกรรม |
| 15. น.อ. ปิยะ ภูษาแก้ว | ฝ่ายนโยบายและยุทธศาสตร์ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ |
| 16. ดร.อรธิตา แซ่ไคว้ | The Siam Cement PLC |
| 17. ดร.เมธา รัตตานุสรณ์ | SRI (SCG) |
| 18. ดร.พิเชฐ ไรจนพิทยากร | SCG Chemical |
| 19. ดร.พิพัฒน์ วีระถาวร | บริษัท พีทีที โกลบอล เคมีคอล |
| 20. ศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 21. รศ.ดร.กัมปนาท ภักดีกุล | คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 22. นางสาวศิริรักษ์ ไสงาม | คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 23. รศ.ดร.สันติ แม่นศิริ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 24. ดร.นเรศ ดำรงชัย | สวทช. |
| 25. น.ส.ณิศา จันทระประทีน | สวทช. |
| 26. ดร.สุชาติ อุดมโสภกิจ | สวทช. |
| 27. ดร.อังคาร วงษ์ดีไทย | สวทช. |
| 28. นายทินกร หาญชนะ | อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย |
| 29. น.ส.ชมพูนุท สายพิน | อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย |
| 30. ดร.อดิสร เตือนตรานนท์ | หน่วยวิจัยอุปกรณ์และระบบอัจฉริยะ ศอ. |
| 31. ภญ.ดร.นางฉลอง เลาจรรย์กุล | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทค ศน. |
| 32. ศ.ดร.ธารารัชต์ ธารากุล | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทค ศน. |

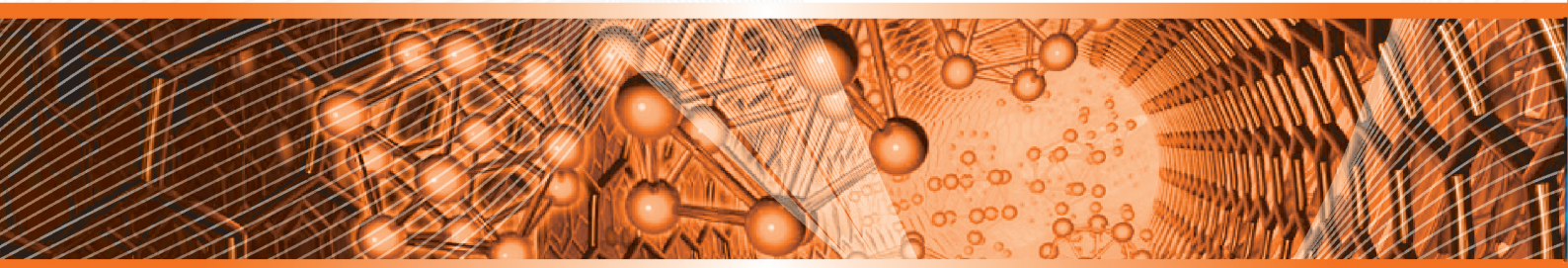
⁹ จัดประชุมเมื่อวันที่ 26 เมษายน 2555

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 33. รศ.ดร.อุบลทิพย์ นิมมานนิตย์ | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 34. ดร.อุรษา รักษาตานนท์ชัย | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 35. ดร.วิยงค์ กังวานศุภมมงคล | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 36. ดร.กมลวรรณ ธรรมเจริญ | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 37. ดร.อุดม อัครวาทิรมย์ | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 38. ดร.ณัฐพันธ์ ศุภกา | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 39. ดร.ขจรศักดิ์ เฟื่องนวกิจ | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 40. ดร.สุภาวดี นาเมืองรักษ์ | หน่วยวิจัยกลางนาโนเทคโนโลยี ศน. |
| 41. นางพัชรี กุลปวีณ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 42. น.ส.ปวีณา รัตนมาศ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 43. น.ส.จரியามาส อมรประไพพิศ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 44. นายพงศ์สิทธิ์ รัตนกรวิทย์ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 45. นายธนากร เจริญรัตน์ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 46. นางนิลกุล มงคลเมฆ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 47. น.ส.รัตนา วิเชียรรักษ์ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 48. นายวรัญญา เตชปุญญ | ฝ่ายสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ศน. |
| 49. ดร.ปิยะวรรณ เพชรภา | ฝ่ายถ่ายทอดและพัฒนาธุรกิจ ศน. |
| 50. น.ส.ศุภวรรณ เลิศกาญจนวัฒน์ | ฝ่ายถ่ายทอดและพัฒนาธุรกิจ ศน. |
| 51. นายเปรมวิทย์ จรีเวฬุโรจน์ | ฝ่ายแผน กลยุทธ์และประเมินองค์กร ศน. |
| 52. นางกัญญา สิทธิ์สงวน | ฝ่ายแผน กลยุทธ์และประเมินองค์กร ศน. |
| 53. น.ส.สุพินยา อุดลกะลิน | ฝ่ายแผน กลยุทธ์และประเมินองค์กร ศน. |

ภาคผนวก (ง)

รายชื่อคณะกรรมการเทคนิค สน. ปี 2554-2556

1. ศ.ดร.จำรัส ลิ้มตระกูล
2. ศ.ดร.ถิรพัฒน์ วิลัยทอง
3. นพ.นิวัฒน์ มนต์วีสุวัฒน์
4. ศ.ดร.กฤษณะ สาคริก
5. ศ.พญ.ธารารัชต์ ธารากุล
6. ศ.นพ.อภิวัฒน์ มุทิรางกูร
7. ศ.ดร.ธวัชชัย ต้นทุลานี
8. ศ. ดร.กิตติศักดิ์ ลิขิตวิทย์วูฒิ
9. ดร.ศิริศักดิ์ เทพาคำ



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
เลขที่ 130 อาคารศูนย์ประชุมอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
ถนนพหลโยธิน ตำบล คลองหนึ่ง อำเภอ คลองหลวง
จังหวัด ปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 0 2564 7100
โทรสาร 0 2564 6985
www.nanotec.or.th



สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ
319 อาคารจัตุรัสจามจุรี ชั้น 14
ถนนพญาไท แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน
กรุงเทพมหานคร 10330
โทรศัพท์: 0 2160 5432-39
โทรสาร: 0 2160 5438
www.sti.or.th