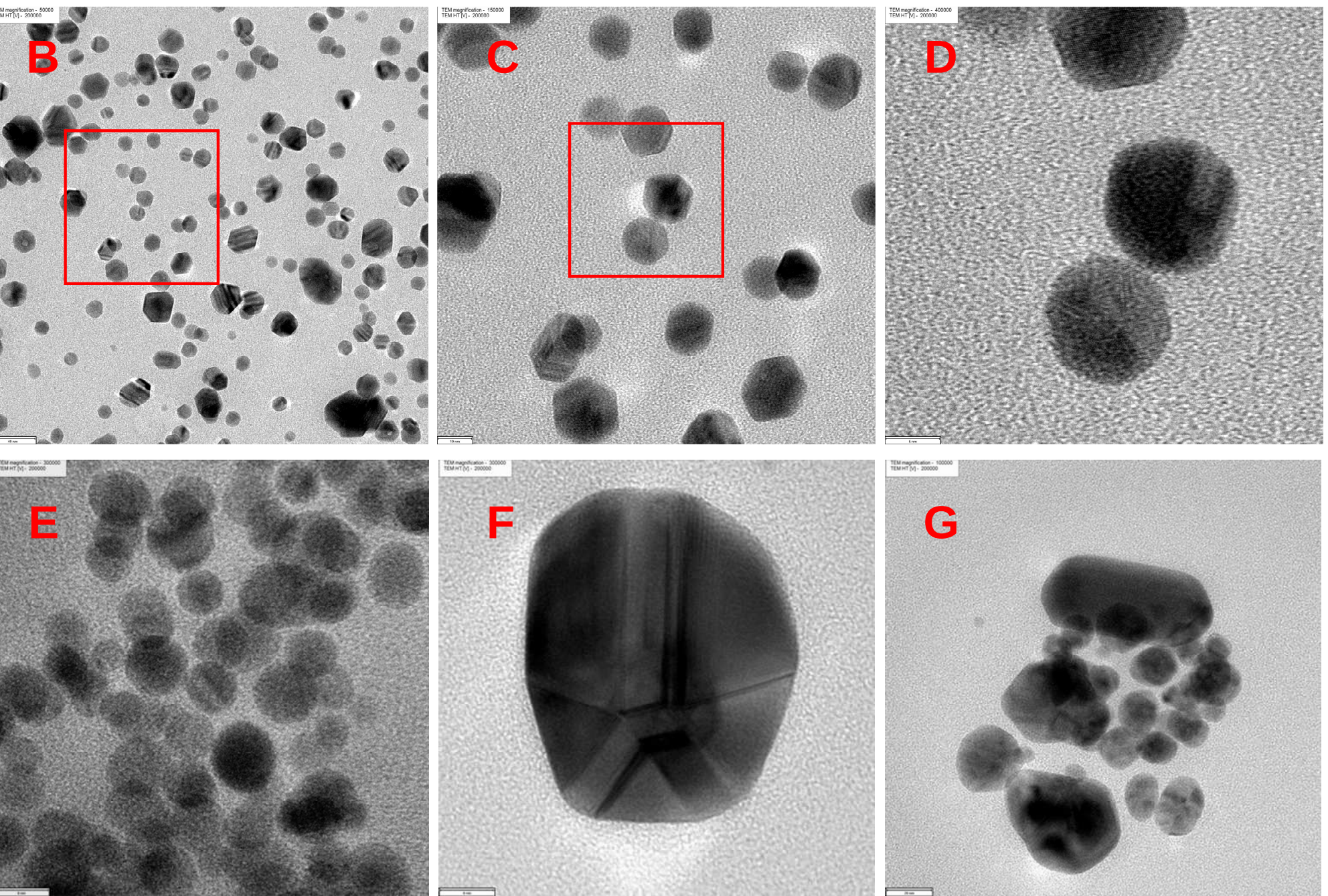
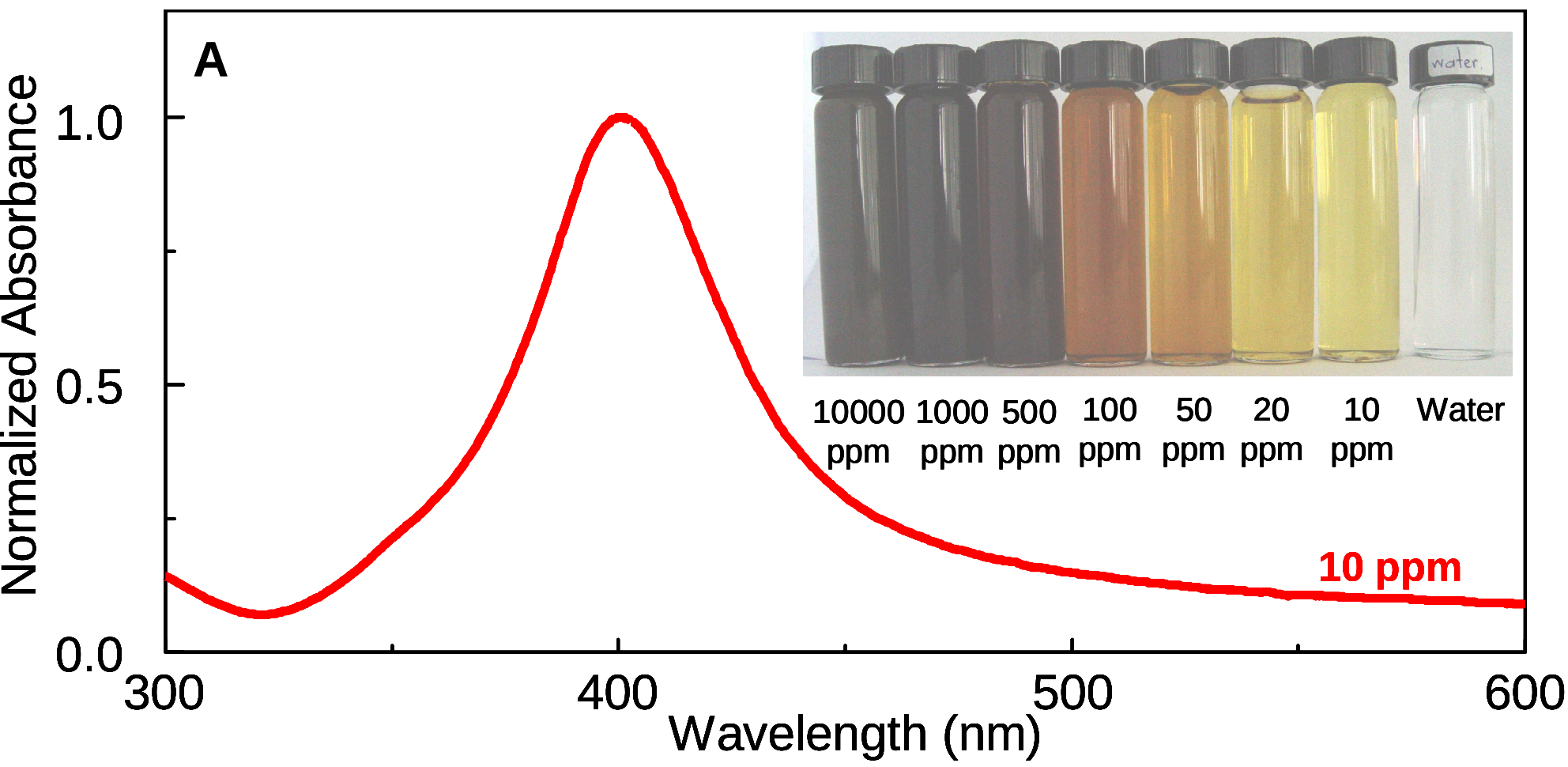


ในช่วงที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง อนุภาคนาโนของเงินเป็นหนึ่งในความสนใจและได้มีการศึกษาในแง่มุมที่หลากหลาย เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นของอนุภาคนาโนของเงิน เช่น สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแสง การนำความร้อน และการต้านเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดโดยไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ นอกจากนี้อนุภาคนาโนของเงินยังสามารถนำไปใช้ทำ Sensor เพื่อการวินิจฉัยทางการแพทย์และการตรวจสอบทางเคมีที่หลากหลายอีกด้วย

อนุภาคนาโนของเงิน (Silver Nanoparticle) ที่ใช้ในการผลิตสินค้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยขณะนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ของไทยไม่สามารถแข่งขันด้านราคากับสินค้าจากต่างประเทศได้ ดังนั้น อนุภาคนาโนของเงินที่นำเข้าอาจไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานจริงของอุตสาหกรรมในประเทศไทย หากต้องมีการเพิ่มสมบัติพิเศษใดๆ จะทำได้ยาก และเสียเวลานานมาก หากต้องนำเข้าอนุภาคนาโนของเงิน เพื่อผลิตเป็นสินค้าแล้ว ศักยภาพในการแข่งขันของผลิตภัณฑ์จากประเทศไทยจะลดลง หน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบสำหรับการผลิตอนุภาคนาโนของเงินปริมาณมาก มีความเข้มข้นสูง และมีความเสถียรสูง และสามารถปรับเปลี่ยนสมบัติต่างๆ ได้ (Custom-Made หรือ Tailor-Made) ตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมของไทย โดยอนุภาคนาโนของเงินที่เตรียมได้จะอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่มีน้ำตัวกลาง ปัจจุบันมีบริษัทเอกชนของไทยสนใจนำไปพัฒนาต่อยอด คณะนักวิจัยก็จะถ่ายทอดเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นให้แก่ภาคเอกชน เพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ตารางที่ 1 ระบบการผลิตอนุภาคนาโนของเงินที่พัฒนาขึ้นโดยหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

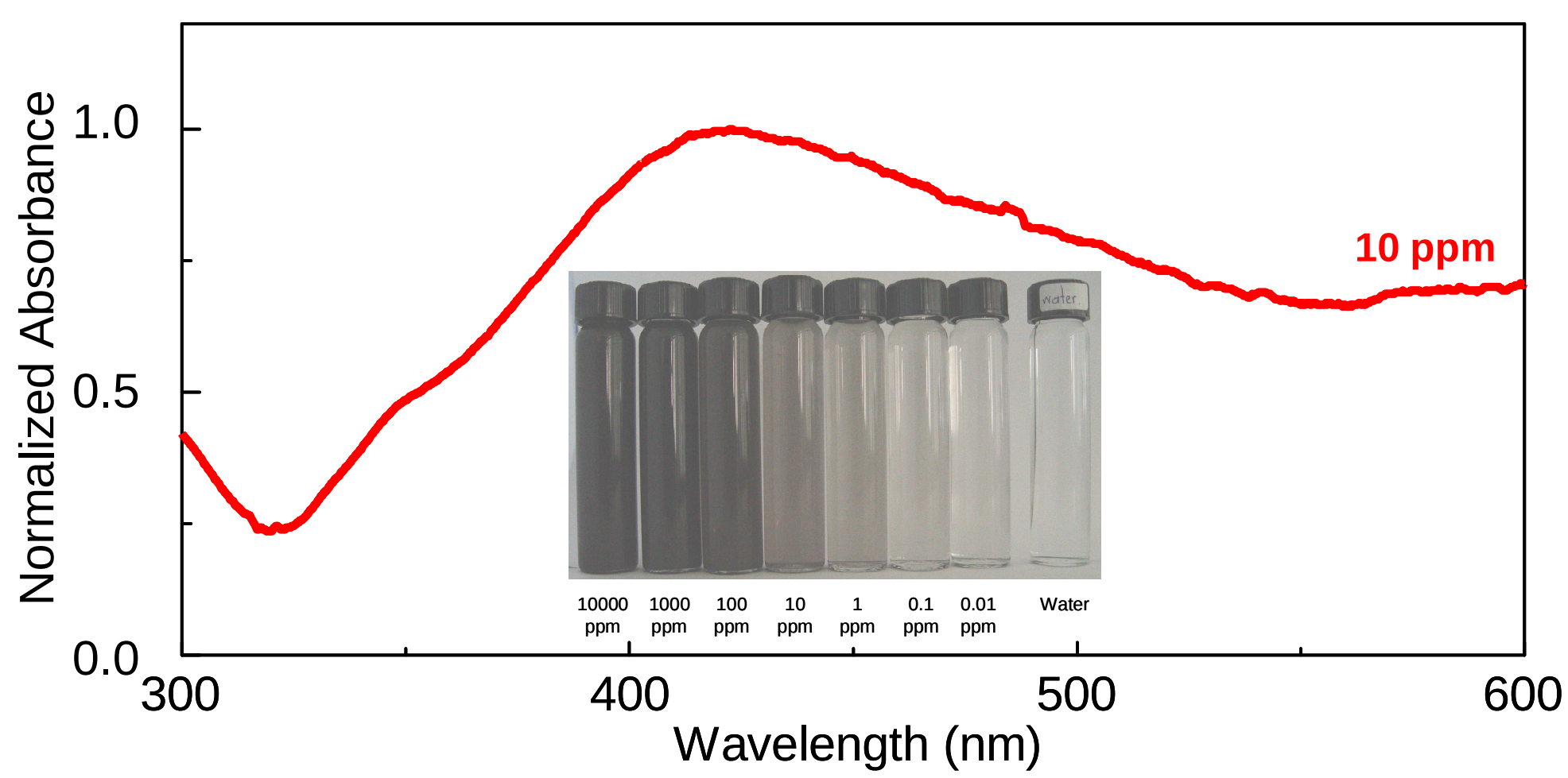
5 - 20 nm AgNPs (Ag ⁰) สีเหลือง: สำหรับการให้ทั่วไป	Ultrafine AgNPs (Ag ⁰) ไม่มีสี: สำหรับสิ่งทอ	Cluster of Silver Ion (Ag ⁺) ไม่มีสี: สำหรับสิ่งทอ
กระบวนการ Chemical Reduction ที่ใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำ	กระบวนการ Chemical Reduction ที่ใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำ	ระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย
สารตั้งต้น: เกลือของไอออนเงิน / ตัวรีดิวซ์	สารตั้งต้น: เกลือของไอออนเงิน / ตัวรีดิวซ์	สารตั้งต้น: เกลือของไอออนเงิน / ตัวรีดิวซ์อย่างอ่อน
ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง	ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง	Reduction of Ag ⁺ to Ag ⁰ Occurs at High Temperature (120 - 150 °C)
ไม่มี Chemical Waste	ไม่มี Chemical Waste	ไม่มี Chemical Waste
สามารถผลิต Un-Protected AgNPs Colloid	สามารถผลิต Un-Protected AgNPs Colloid	สามารถผลิต Un-Protected AgNPs (มีขนาดอนุภาคในระดับ sub-nanometers) บนผิวของของแข็งเมื่อให้ความร้อน
AgNP Colloid มีความเข้มข้นตั้งแต่ 10-100,000 ppm	AgNP Colloid มีความเข้มข้นตั้งแต่ 10-100,000 ppm	Cluster ของ Silver Ion (Ag ⁺) ที่มีความเข้มข้นถึง 10,000 ppm
AgNPs เป็นทรงกลม (5 - 20 nm)	AgNPs เป็นทรงกลม (< 1 nm)	
AgNPs Colloid มีความเสถียรสูงมาก (มากกว่า 6 เดือน)	สามารถขยายกระบวนการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก	สามารถขยายกระบวนการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก
สามารถขยายกระบวนการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก	สามารถใช้โลหะเงินที่ทำเป็นเครื่องประดับเป็นวัตถุดิบได้	สามารถใช้โลหะเงินที่ทำเป็นเครื่องประดับเป็นวัตถุดิบได้



รูปที่ 1 คอลลอยด์น้ำของอนุภาคนาโนของเงินที่มีความเข้มข้นและความเสถียรสูงที่สังเคราะห์โดยระบบที่พัฒนาขึ้นโดยหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ฯ สำหรับการประยุกต์ใช้ทั่วไป

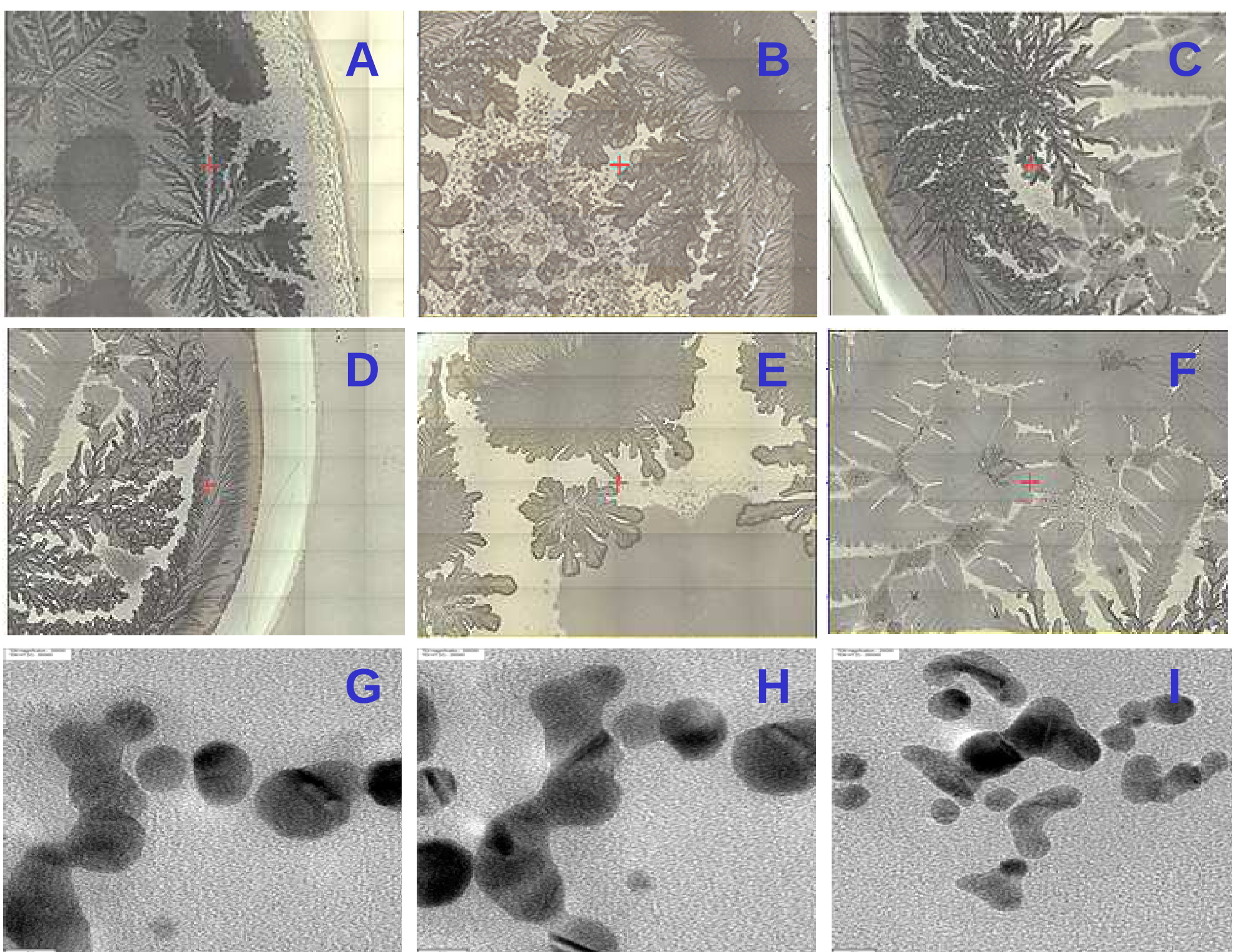
อนุภาคนาโนของเงินความเข้มข้นและความเสถียรสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ

หน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ฯ ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 nm เพื่อประยุกต์ใช้กับการเคลือบบนสิ่งทอ โดยไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีดั้งเดิมของสิ่งทอนั้น เพื่อยังคงรักษาความสวยงามไว้และเพิ่มสมบัติในการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นั้น

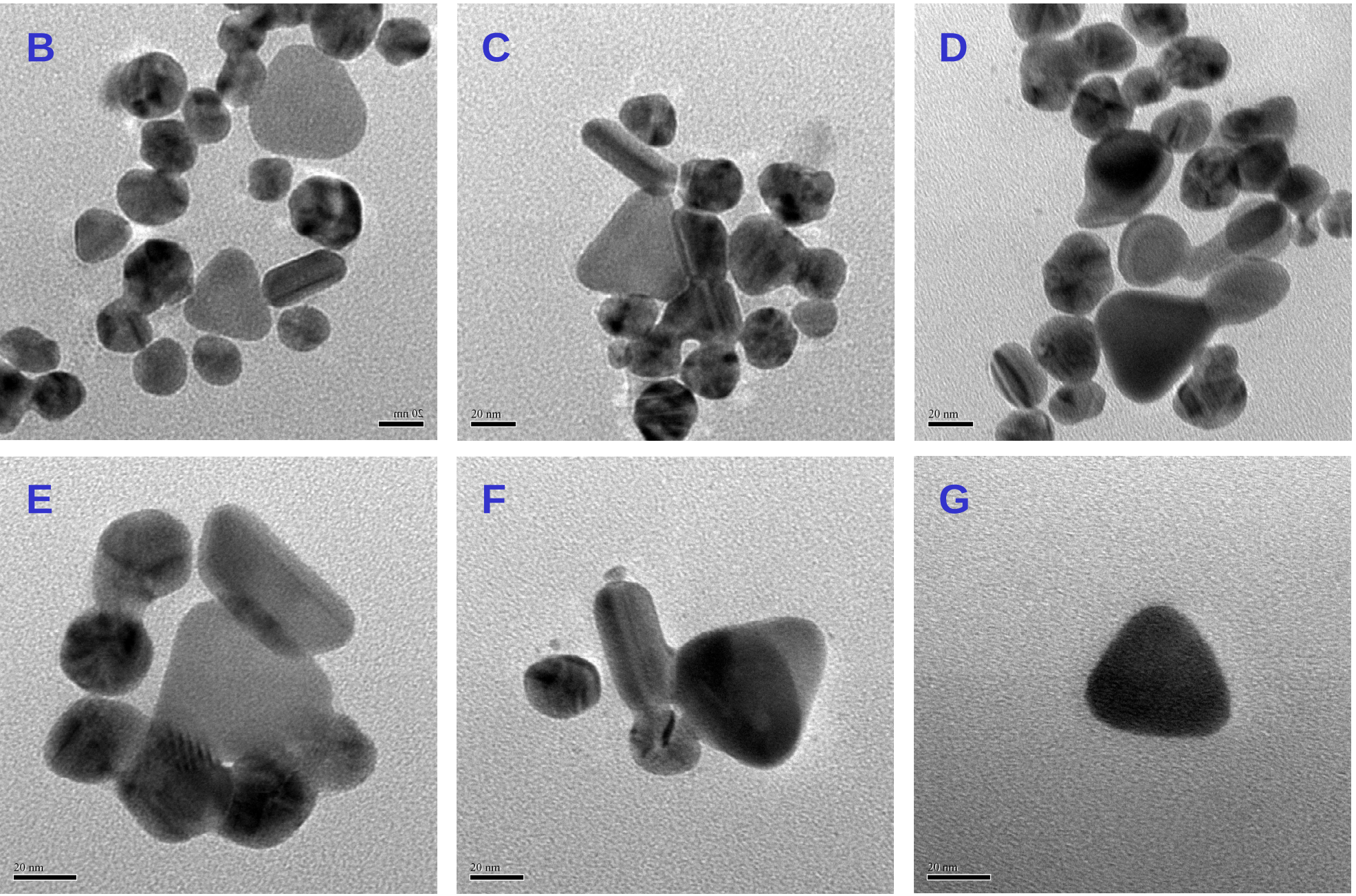
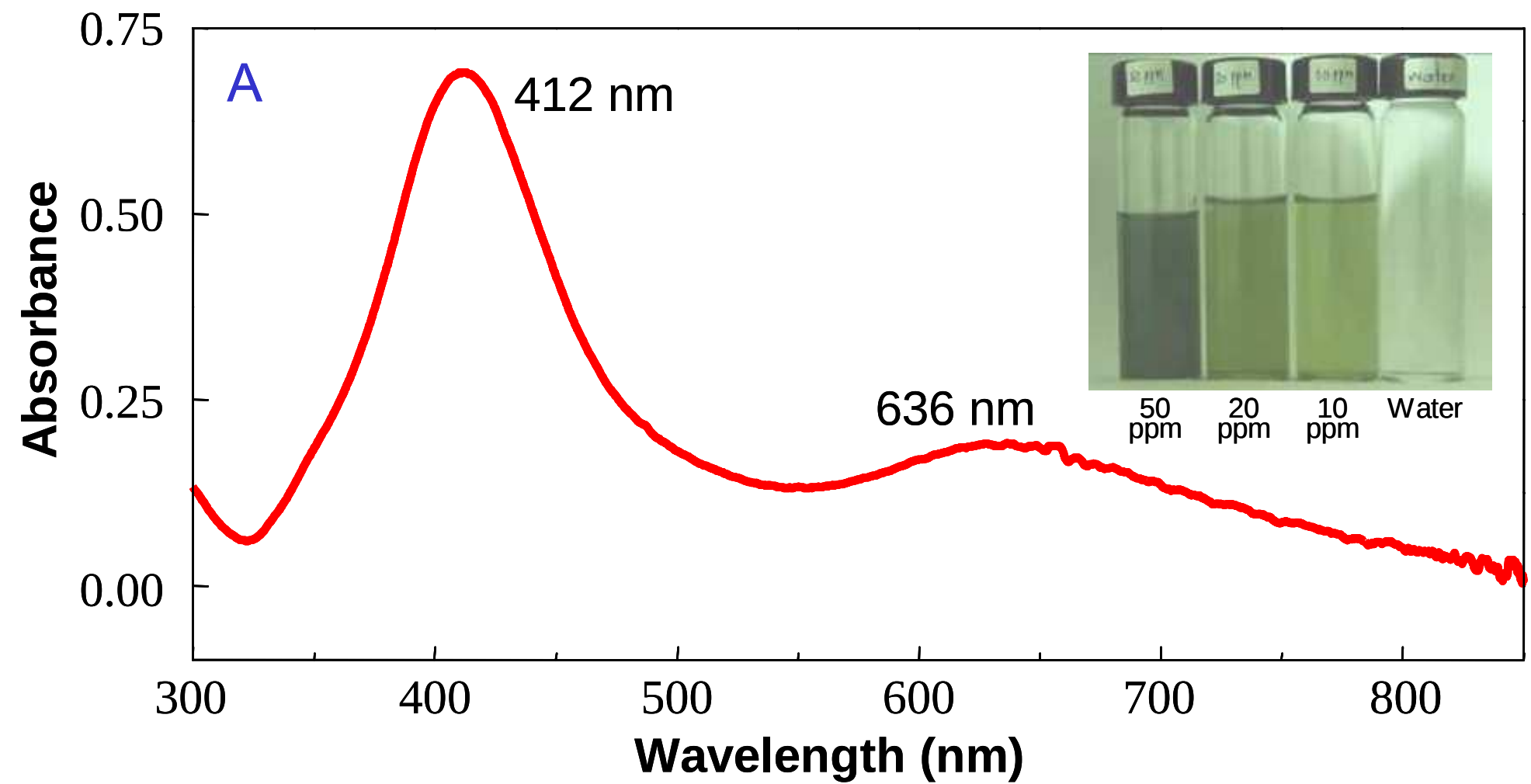


รูปที่ 2 คอลลอยด์น้ำของอนุภาคนาโนของเงินที่มีความเข้มข้นสูงสำหรับการประยุกต์ใช้กับสิ่งทอสังเคราะห์โดยหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ฯ

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินเพื่อการพัฒนาเป็น Sensor



รูปที่ 3 Growth และ Aggregation ของอนุภาคนาโนของเงินเป็น Dendrimer



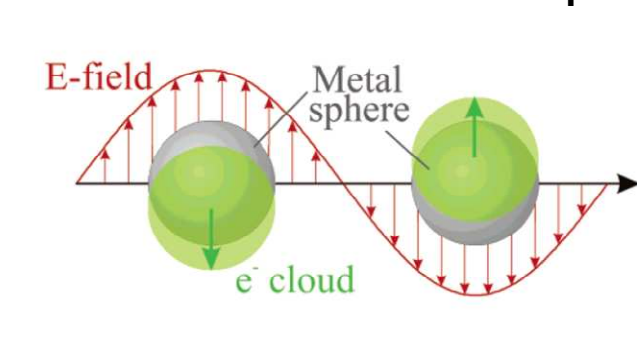
รูปที่ 4 อนุภาคนาโนของเงินรูป Triangular Prism ที่กำลังพัฒนาขึ้นภายในหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ฯ เพื่อการพัฒนาต่อเนื่องเป็น Sensor

คำนวณทางทฤษฎีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์การดูดกลืนแสงพลาสมอนของอนุภาคนาโนของเงินที่พบในการทดลอง

Maxwell equations in matter

$$\nabla \cdot (\epsilon \mathbf{E}) = 0$$
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$
$$\nabla \times \mathbf{H} = -i\omega \epsilon \mathbf{E}$$
$$\nabla \times \mathbf{E} = i\omega \mu \mathbf{H}$$

Plasmon oscillation for a sphere



Photonic - Plasmonic Coupling

Absorption

Scattering

Extinction = Absorption + Scattering

Cross Sections

$$C_{Ext} = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}(a_n + b_n)$$
$$C_{Sca} = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (|a_n|^2 + |b_n|^2)$$
$$C_{Abs} = C_{Ext} - C_{Sca}$$

Efficiencies

$$Q_{Ext} = \frac{C_{Ext}}{\pi R^2}$$
$$Q_{Sca} = \frac{C_{Sca}}{\pi R^2}$$
$$Q_{Abs} = \frac{C_{Abs}}{\pi R^2}$$

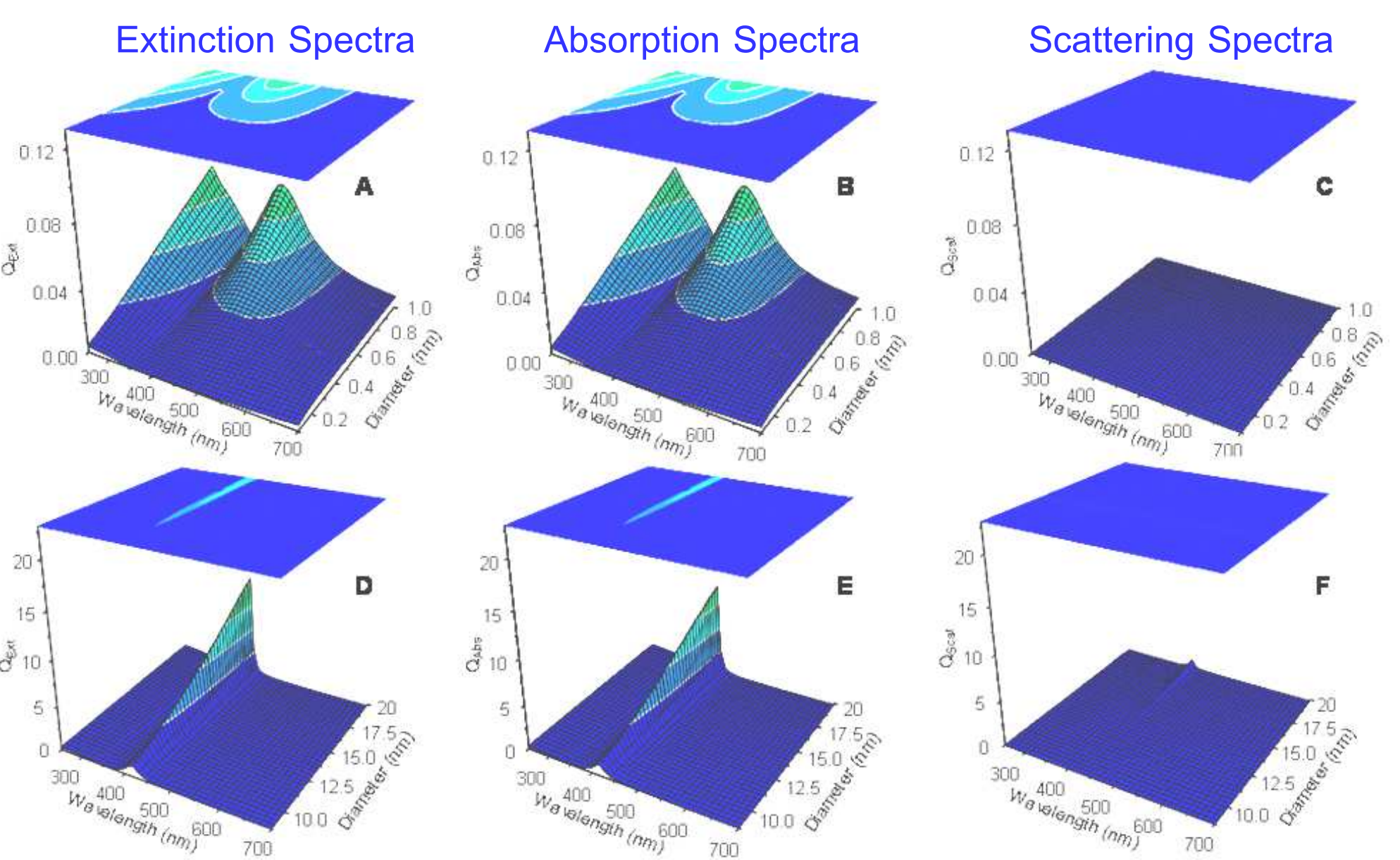
Mie Theory

$$a_n = \frac{m \psi_n(mx) \psi_n'(x) - \psi_n(x) \psi_n'(mx)}{m \psi_n(mx) \zeta_n'(x) - \zeta_n(x) \psi_n'(mx)}$$
$$b_n = \frac{\psi_n(mx) \psi_n'(x) - m \psi_n(x) \psi_n'(mx)}{\psi_n(mx) \zeta_n'(x) - m \zeta_n(x) \psi_n'(mx)}$$

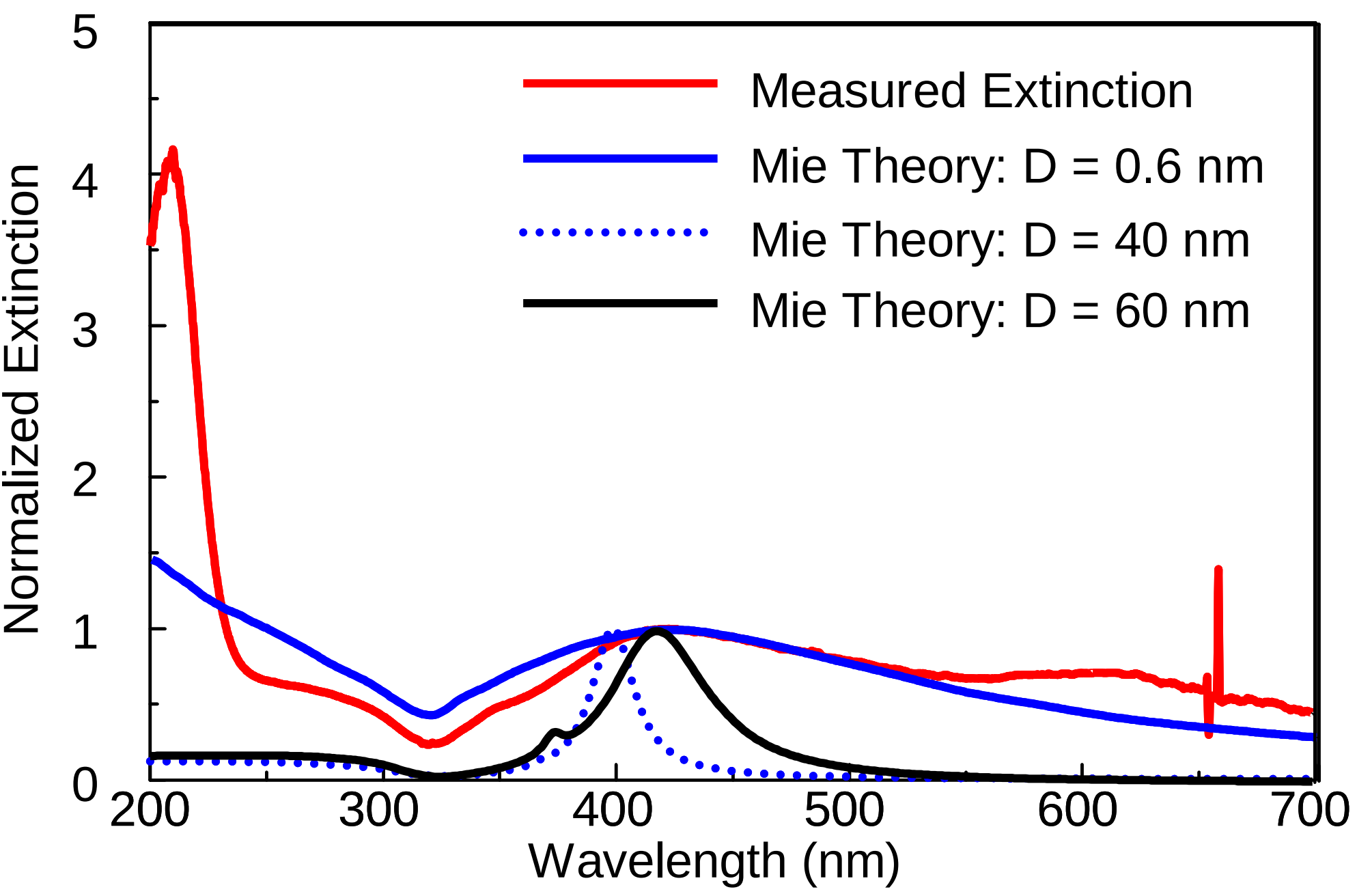
Input Parameters

$$m = n_1 / n$$
$$k = 2\pi n / \lambda$$
$$x = kR = 2\pi nR / \lambda$$

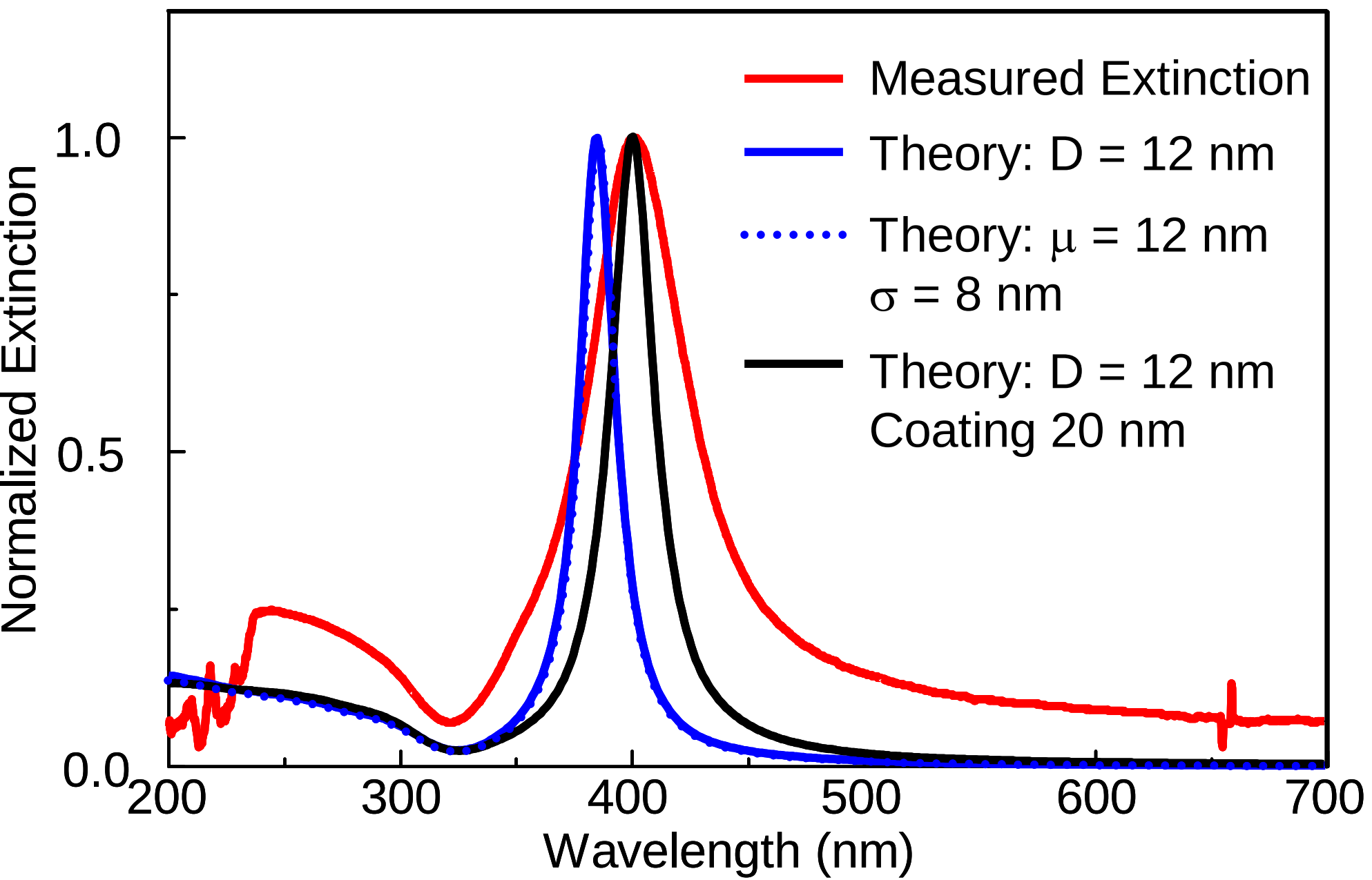
รูปที่ 5 ทฤษฎีพื้นฐานของ Localized Surface Plasmon Resonance Spectroscopy สำหรับระบบอนุภาคทรงกลมแขวนลอยอยู่ใน Homogeneous Medium



รูปที่ 6 ผลการคำนวณทางทฤษฎีของ Extinction Spectra, Absorption Spectra และ Scattering Spectra ของอนุภาคนาโนของเงินรูปทรงกลมที่แขวนลอยอยู่ในน้ำสำหรับอนุภาคนาโนของเงินขนาดน้อยกว่า 1 nm (A, B, และ C) และ 5 - 20 nm (D, E, และ F)

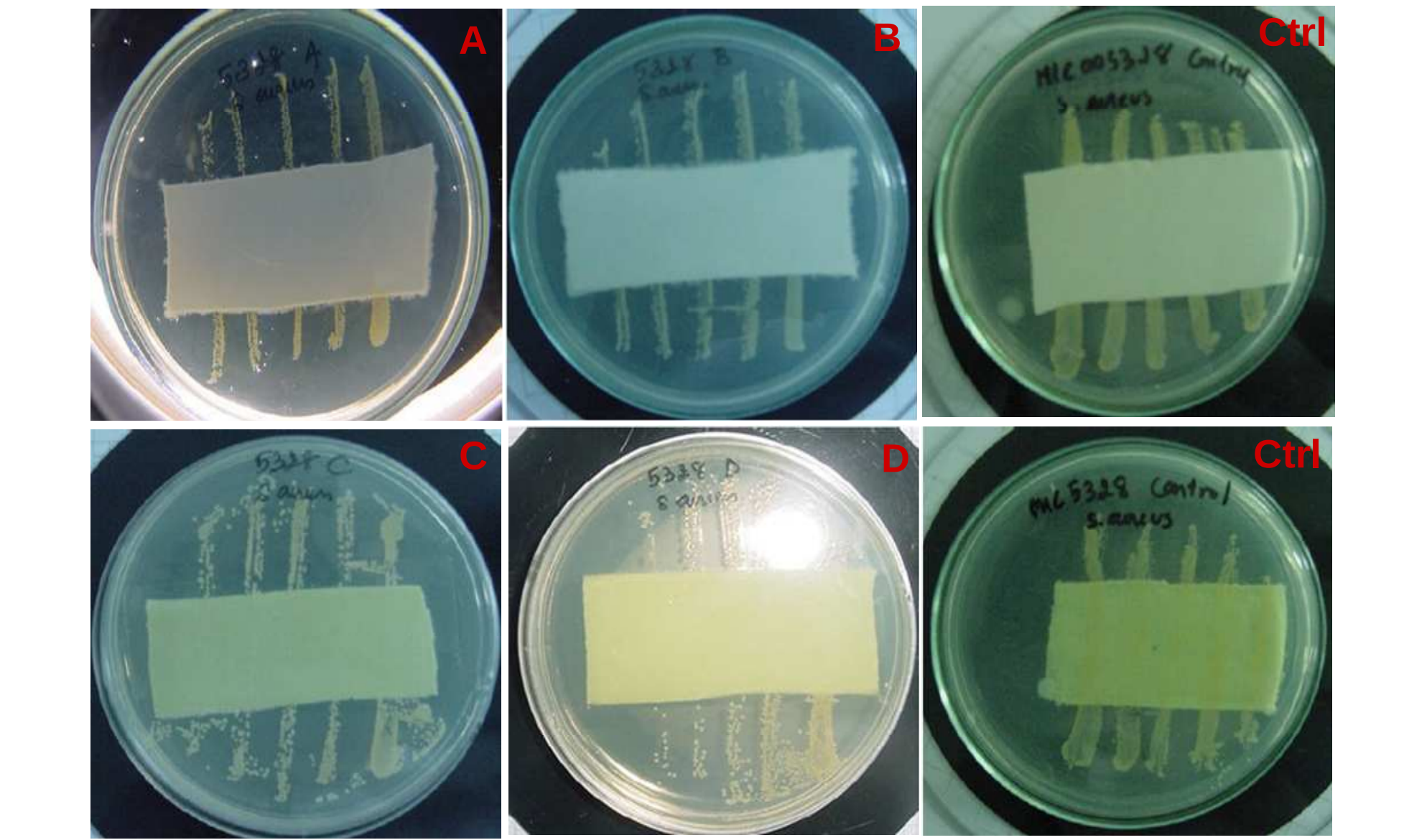


รูปที่ 7 ผลการคำนวณทางทฤษฎีเทียบกับผลที่วัดได้จากการทดลองของ Extinction Spectra สำหรับระบบอนุภาคนาโนของเงินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 nm จากทฤษฎีพบว่าขนาดอนุภาคที่สังเคราะห์ได้โดยเฉลี่ยคือ 0.6 nm



รูปที่ 8 ผลการคำนวณทางทฤษฎีเทียบกับผลที่วัดได้จากการทดลองของ Extinction Spectra สำหรับระบบอนุภาคนาโนของเงินที่มีขนาด 5 - 20 nm

ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนของเงิน



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหลังจากการซัก 20 ครั้งของผ้า Polyester และ Cotton ที่มีอนุภาคนาโนของเงิน ผลการทดสอบพบว่าไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้น