

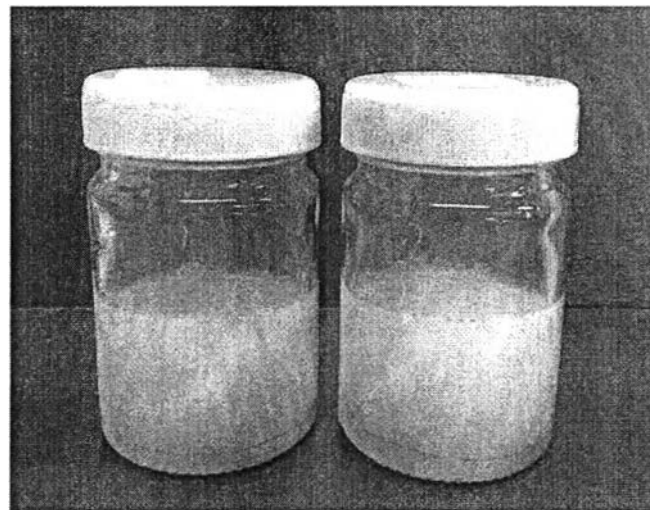


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 พอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์

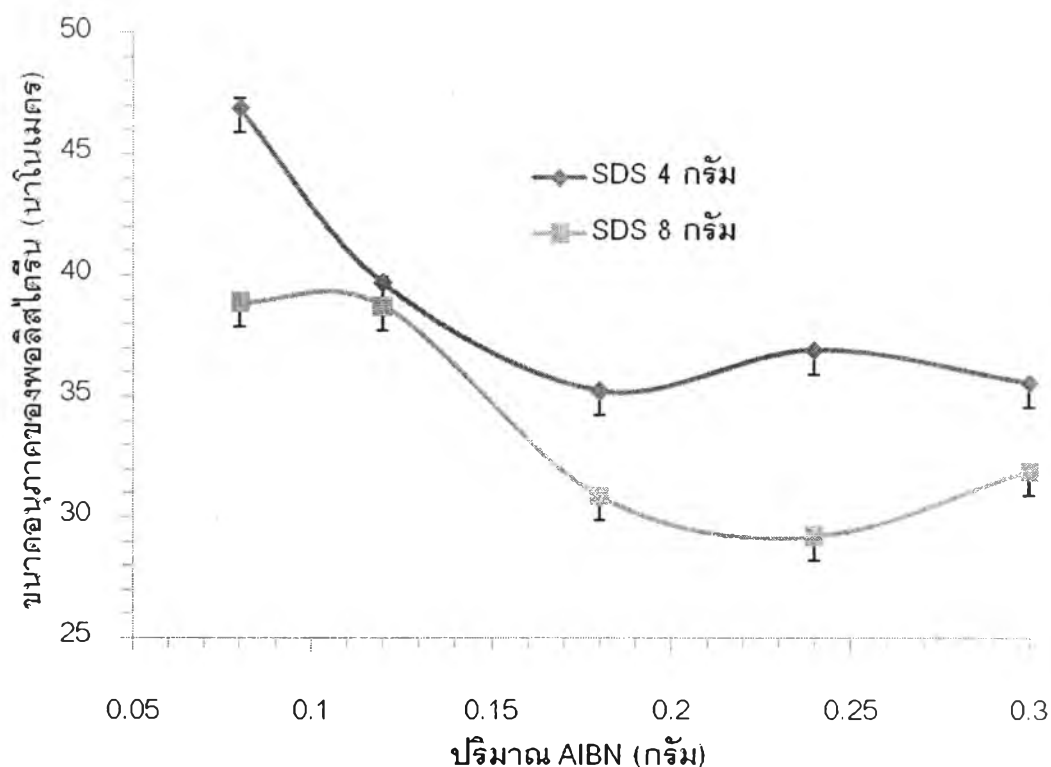
พอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียลไมโครอิมัลชันแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ตัวอย่างที่ได้อยู่ในรูปอิมัลชัน มีสีขาวขุ่น และโปร่งแสง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์

4.2 ขนาดอนุภาคของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์

ผลของขนาดอนุภาคพอลิสไตรีนเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ AIBN และ SDS แสดงไว้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลของขนาดอนุภาคพอลิสไตรีนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณ AIBN และ SDS

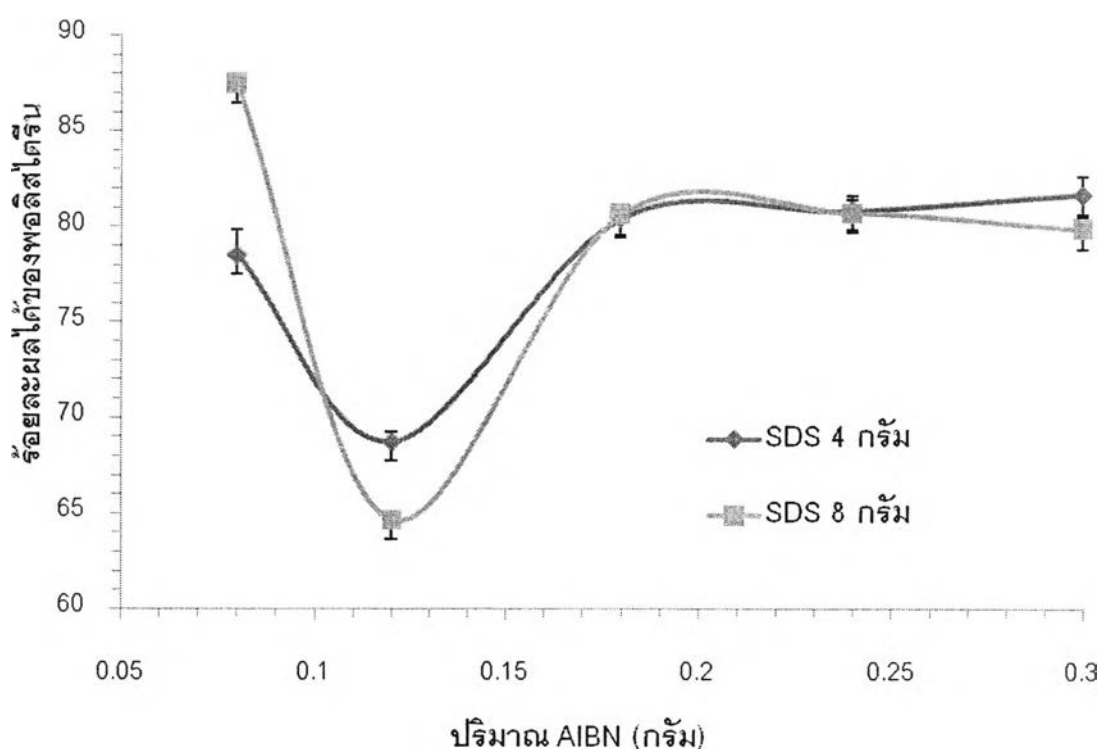
จากรูปที่ 4.2 เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว (SDS) ปริมาณต่ำ (4 กรัม) และใช้สารเริ่มปฏิกิริยา (AIBN) ปริมาณต่างๆ (0.08, 0.12, 0.18, 0.24 และ 0.3 กรัม) พบว่าขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของพอลิสไตรีนที่ใหญ่ที่สุด คือ 47 นาโนเมตร เมื่อใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาน้อยที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแต่ละไมเซลล์มีปริมาณฟรีเรดิคัลน้อย หากแต่มีสไตรีนมอนอเมอร์บรรจุอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น ขนาดอนุภาคของพอลิสไตรีนภายหลังสิ้นสุดปฏิกิริยาจึงมีขนาดใหญ่ และเมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN เป็น 0.12 กรัม ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยลดลงเหลือ 40 นาโนเมตร เนื่องจากปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณฟรีเรดิคัลในแต่ละไมเซลล์เพิ่มขึ้น และ สไตรีนมอนอเมอร์ได้เข้าร่วมตัวกับฟรีเรดิคัลเกิดเป็นพอลิเมอร์ การมีฟรีเรดิคัลจำนวนมากให้สไตรีนเข้าทำปฏิกิริยา ทำให้พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลง [3] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN เป็น 0.18, 0.24 และ 0.3 กรัม ตามลำดับ พบว่า อนุภาคมีขนาดเล็กลงที่ประมาณ 36 นาโนเมตร และอนุภาคมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนักถึงแม้ปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากอนุภาคพอลิเมอร์ฟรีเรดิคัลปฐมภูมิที่เกิดขึ้นจากการใส่สารเริ่มปฏิกิริยาจำนวนมากยังมีขนาดเล็กมากและเข้าร่วมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคทุติยภูมิ

ส่วนการใช้สารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเป็น 8 กรัม พบว่า พอลิस्टาไร์นที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคลดลง ทั้งนี้เพราะสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดไมเซลล์จำนวนมากซึ่งเป็น nucleation sites สำหรับการเกิดพอลิเมอร์ โดยสตาไร์นมอนอเมอร์กระจายตัวเข้าไปทำปฏิกิริยากับฟรีเรดิคัลของสารเริ่มปฏิกิริยาที่อยู่ในไมเซลล์เหล่านี้ จึงทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดเล็ก

4.3 ร้อยละผลได้ (%Yield) ของพอลิस्टาไร์นนาโนลาเท็กซ์

ผลของร้อยละผลได้ (%Yield) เมื่อปริมาณ AIBN และ SDS เปลี่ยนแปลงไป แสดงในรูปที่

4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ AIBN ต่อร้อยละผลได้ (%Yield) ของพอลิस्टาไร์น

เมื่อใช้ปริมาณ SDS เท่ากับ 4 และ 8 กรัม

จากรูปที่ 4.3 เมื่อใช้ SDS ปริมาณ 8 กรัม และ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม พบว่า ร้อยละผลได้มีค่าสูงถึง 87% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN เป็น 0.12 กรัม ทำให้ร้อยละผลได้ลดลงมาเหลือประมาณ 65% และเมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN ให้มากขึ้นไปอีกจนถึง 0.18 กรัม ร้อยละผลได้กลับเพิ่ม

สูงขึ้นอีกเป็น 81% ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN ต่อไปอีกที่ 0.24 กรัม และ 0.3 กรัม พบว่า ร้อยละผลได้มีค่าคงที่ประมาณ 80% ดังที่กล่าวได้ไปแล้วว่า ระบบการเกิดพอลิเมอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียล ไมโครอิมัลชันที่ใช้สารเริ่มปฏิกิริยาชนิดละลายในน้ำมันนั้น มีไมเซลล์เป็นปัจจัยสำคัญ [3] ในการทำให้สไตรีนมอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิสไตรีน ดังนั้น ที่ปริมาณ AIBN ต่างๆ พบว่า ร้อยละผลได้มีค่าสูงสุด เนื่องจากไมเซลล์ที่มีฟรีเรดิคัลของ AIBN บรรจุอยู่มีจำนวนน้อย (แต่มีไมเซลล์ว่างจำนวนมาก) ทำให้สไตรีนมอนอเมอร์จำนวนมากเข้าทำปฏิกิริยากับฟรีเรดิคัลในไมเซลล์ ดังนั้น พอลิสไตรีนที่ได้จึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN พบว่า ร้อยละผลได้มีค่าลดลง เนื่องจากแต่ละไมเซลล์มีฟรีเรดิคัลของ AIBN บรรจุอยู่มากขึ้น สไตรีนมอนอเมอร์จึงกระจายเข้าทำปฏิกิริยากับฟรีเรดิคัล ทำให้พอลิสไตรีนที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจนไม่สามารถตกตะกอนออกมาเป็นของแข็งได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาคแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1 นอกจากนี้ หากเพิ่มปริมาณ AIBN ให้มากขึ้นไปอีก กลับทำให้ร้อยละผลได้เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งจนมีค่าคงที่ เนื่องจากพอลิสไตรีนฟรีเรดิคัลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอาจเกิดปฏิกิริยาสิ้นสุดแบบรวมตัว (combination) แทนการเกิดปฏิกิริยาแบบส่งผ่านฟรีเรดิคัลไปสู่มอนอเมอร์ [31] ซึ่งผลดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1

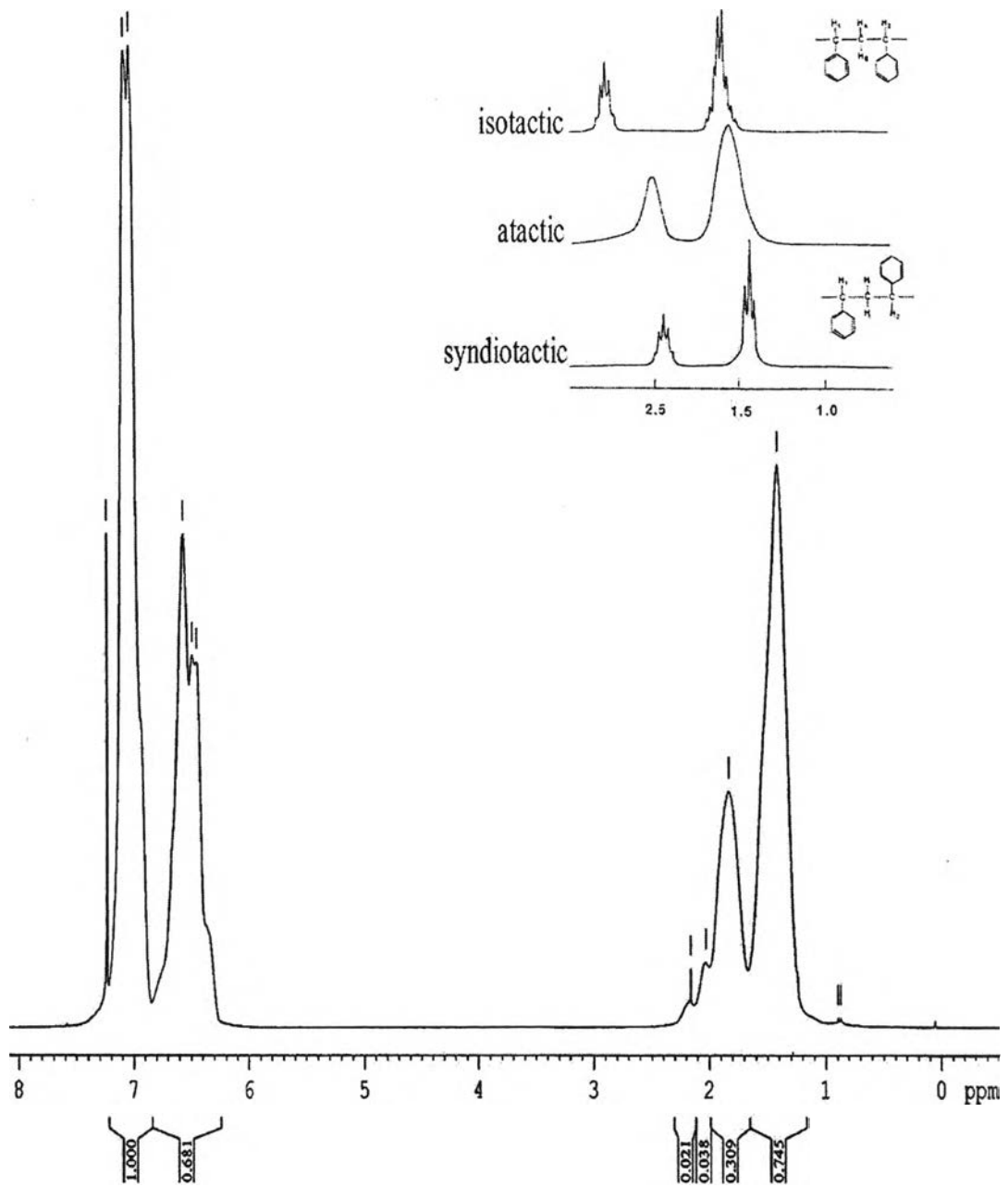
ส่วนการใช้สารลดแรงตึงผิว (SDS) ปริมาณ 4 กรัม ให้ร้อยละผลได้ไปในทำนองเดียวกับการใส่ SDS ปริมาณ 8 กรัม โดยในช่วงแรกที่ใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม ร้อยละผลได้มีค่าสูง แต่น้อยกว่าการใช้ SDS 8 กรัม เนื่องจากมีปริมาณไมเซลล์น้อยกว่านั่นเอง แต่เมื่อเพิ่ม AIBN เป็น 0.12 กรัม ร้อยละผลได้ลดต่ำลงเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุผลเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ SDS ปริมาณ 8 กรัม พบว่า ในช่วงนี้มีร้อยละผลได้สูงกว่า เพราะมีจำนวนไมเซลล์น้อยกว่า ดังนั้น แต่ละไมเซลล์จึงมีฟรีเรดิคัลอยู่มากกว่า ซึ่งการเกิดพอลิสไตรีนฟรีเรดิคัลจำนวนมากในไมเซลล์ อาจเกิดการรวมตัวของฟรีเรดิคัลเหล่านี้ จึงทำให้ร้อยละผลได้มีค่ามากกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณ AIBN เป็น 0.18, 0.24 และ 0.3 กรัม พบว่า ร้อยละผลได้มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนเข้าใกล้ค่าคงที่ ก็ด้วยเหตุผลเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.4 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิสไตรีน

ผลจากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและร้อยละผลได้ พบว่า การใช้สารลดแรงตึงผิว (SDS) ปริมาณ 4 กรัม และสารเริ่มปฏิกิริยา 0.08 กรัม ทำให้ได้ร้อยละผลได้มากที่สุด คือ 87% และอนุภาคมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 38 นาโนเมตร จึงได้นำพอลิสไตรีนที่เตรียมได้นี้ไปวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล พบว่า น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) มีค่าเท่ากับ 250,000 และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (M_w) มีค่าเท่ากับ 820,000 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียลไมโครอิมัลชันสามารถสังเคราะห์พอลิสไตรีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้

4.5 การจัดเรียงตัวของหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีน

การจัดเรียงตัวของหมู่ฟังก์ชัน (tacticity) ของพอลิสไตรีน แสดงเป็นสเปกตรัมของ $^1\text{H-NMR}$ แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และการจัดเรียงตัวของหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีนเมื่อใช้ปริมาณ AIBN และปริมาณ SDS ที่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของพอลิสไตรีน และภาพประกอบกราฟอ้างอิง [27] (มุขชวานน)

ตารางที่ 4.1 การจัดเรียงตัวของหมู่ฟังก์ชัน (tacticity) ของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์ในแต่ละสูตร

ปริมาณ AIBN (กรัม)	ปริมาณ SDS (กรัม)	การจัดเรียงตัวของหมู่ฟังก์ชัน (Tacticity)
0.08	4	atactic
0.12	4	atactic
0.18	4	atactic
0.24	4	atactic
0.3	4	atactic
0.08	8	atactic
0.12	8	atactic
0.18	8	atactic
0.24	8	atactic
0.3	8	atactic

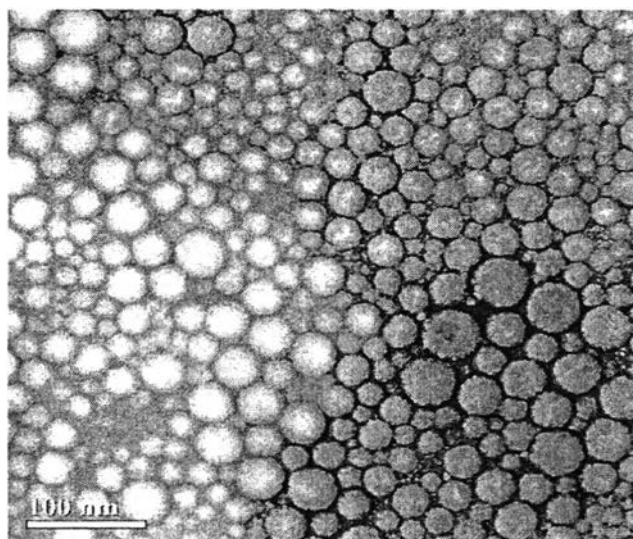
ผลการวิเคราะห์พบว่า พอลิสไตรีนมีการจัดเรียงตัวของหมู่ฟังก์ชันเป็นแบบอะแทกติก (atactic) ทุกสูตรการทดลอง กล่าวคือ สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของพอลิสไตรีน ปรากฏสัญญาณเมทิลีนโปรตอนของพอลิสไตรีนแบบอะแทกติก (atactic) ซึ่งมีลักษณะเป็นพีคกว้างที่ 1-2.5 ppm ดังรูปที่ 4.5 (ภาพประกอบการอ้างอิงมุมขวามือ) [27] แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีนจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

4.6 อุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (T_g)

จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของพอลิสไตรีนที่เตรียมได้จากการใช้สารลดแรงตึงผิว (SDS) ปริมาณ 4 กรัม และสารเริ่มปฏิกิริยา 0.08 กรัม พบว่า พอลิสไตรีนที่เตรียมได้มีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันเท่ากับ 113 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าพอลิสไตรีนเกรดทางการค้าที่มีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันประมาณ 100 องศาเซลเซียส [27] ทั้งนี้อาจเนื่องจากพอลิสไตรีนที่เตรียมได้จากเทคนิคแบบดิฟเฟอเรนเชียลไมโครอิมัลชันนี้มีน้ำหนักโมเลกุลที่ค่อนข้างสูง [28-30] ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.7 สัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์

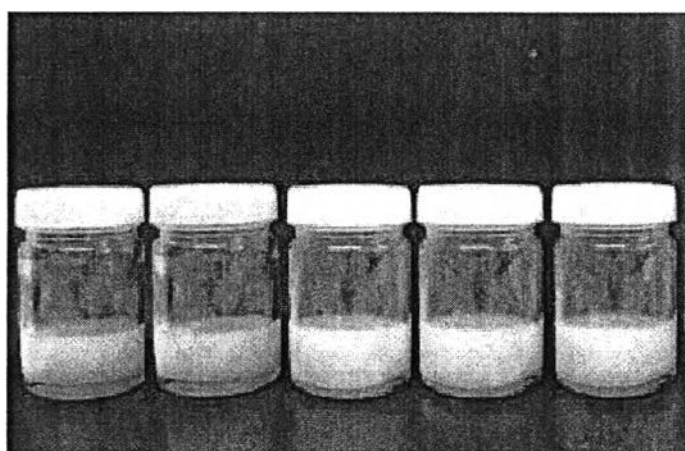
ภาพสัณฐานวิทยาของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์ที่เตรียมได้จากการใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม และ SDS ปริมาณ 8 กรัม ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค TEM แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 พบว่าอนุภาคของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์มีขนาดต่ำกว่า 50 นาโนเมตร และมีสัณฐานเป็นทรงกลม



รูปที่ 4.5 ภาพ TEM ของพอลิสไตรีนนาโนลาเท็กซ์

4.8 ซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิต

ซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิตที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ *in situ* differential microemulsion polymerization แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ตัวอย่างที่ได้อยู่ในรูปอิมัลชันและมีสีขาวขุ่น



รูปที่ 4.6 ซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิตลาเท็กซ์

4.9 ขนาดอนุภาคของซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิต

ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของนาโนซิลิกา และอนุภาคซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากการใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม และ SDS ปริมาณ 8 กรัม แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

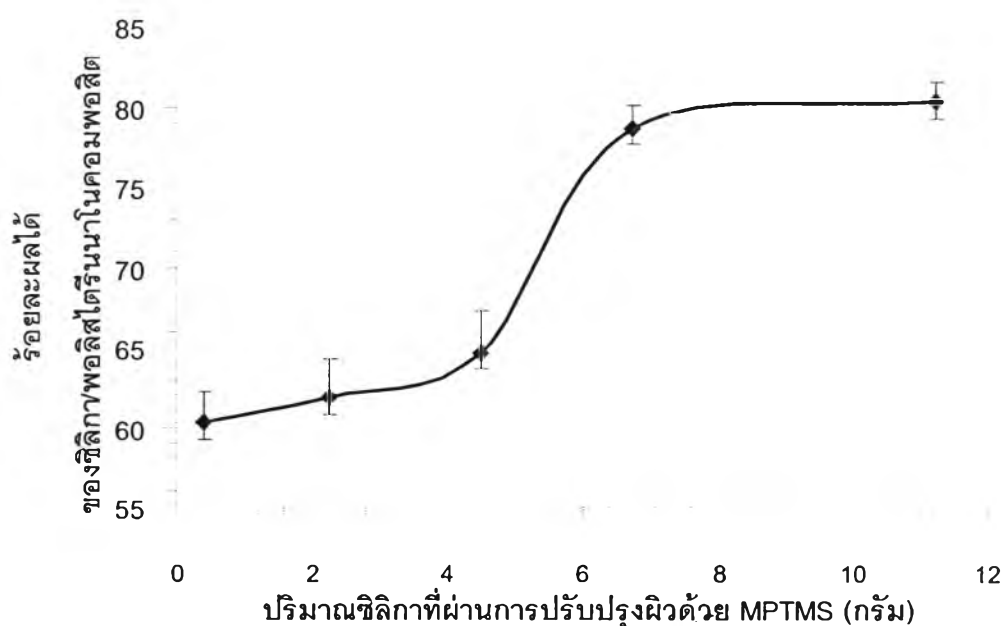
ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของนาโนซิลิกาและซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิต

สารตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค (nm)
ซิลิกา	15
ซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิต	43

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิลิกาซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 15 นาโนเมตร มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นประมาณ 43 นาโนเมตรนั้น เนื่องมาจากการถูกห่อหุ้มด้วยพอลิสไตรีนที่เตรียมได้จากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียลไมโครอิมัลชัน โดยใช้ MPTMS เป็นสารเชื่อมประสาน โดยสามารถเตรียมอนุภาคนาโนคอมพอสิตที่มีขนาดต่ำกว่า 50 นาโนเมตรได้

4.10 ร้อยละผลได้ (%Yield) ของซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิต

ร้อยละผลได้ (%Yield) ของซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากการใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม, SDS ปริมาณ 8 กรัม และนาโนซิลิกาที่ผ่านการเตรียมผิวด้วย MPTMS ปริมาณต่างๆ กัน แสดงไว้ในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของคลอรีน/พอลิเมอร์ในคอมพอสิตที่ใช้คลอรีนปริมาณต่างๆ กัน

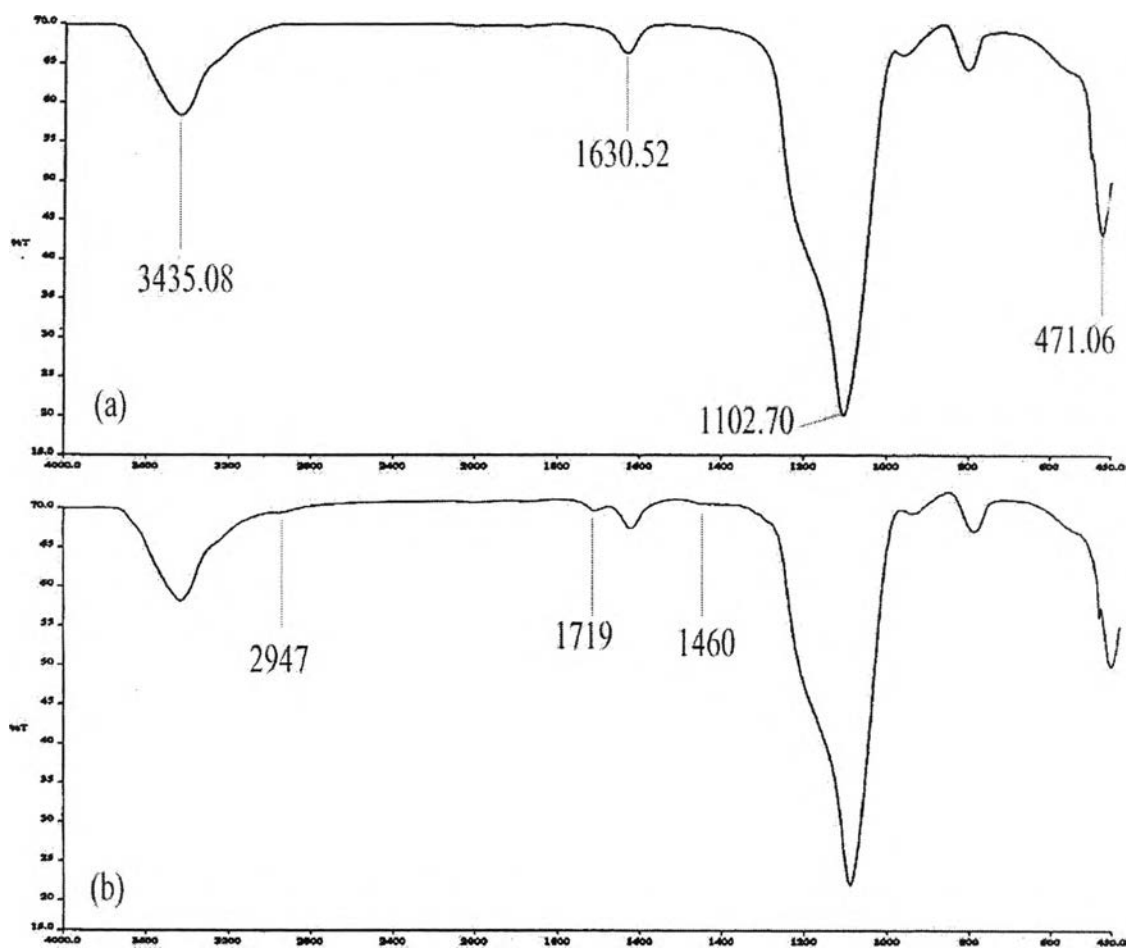
จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณคลอรีนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย MPTMS จาก 0.394, 2.25, 4.5, 6.75 และ 11.25 กรัม พบว่า ร้อยละผลได้มีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 60, 62, 65, 79 และ 80 ตามลำดับ เนื่องจากคลอรีนที่เติมเข้าสู่ระบบเปรียบเสมือนนิวเคลียส (nuclei) สำหรับสไตรีนมอนอเมอร์ในการพอลิเมอไรเซชันให้กลายเป็นพอลิเมอร์ [23] ดังนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณคลอรีนจึงทำให้จำนวนนิวเคลียสเพิ่มขึ้น สไตรีนมอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ได้มากขึ้น

4.11 คุณสมบัติการดูดซับของอนุภาคคลอรีน/พอลิเมอร์ในคอมพอสิต

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับของอนุภาคคลอรีน/พอลิเมอร์ในคอมพอสิตที่เตรียมจากการใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม และ SDS ปริมาณ 8 กรัม ผ่านกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียลไมโครอิมัลชัน พบว่า อนุภาคนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีคุณสมบัติการดูดซับประมาณ 113 มิลลิกรัม/กรัม เช่นเดียวกับพอลิเมอร์ในลาเท็กซ์ที่เตรียมได้ แสดงว่า อนุภาคนาโนคลอรีนได้ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

4.12 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

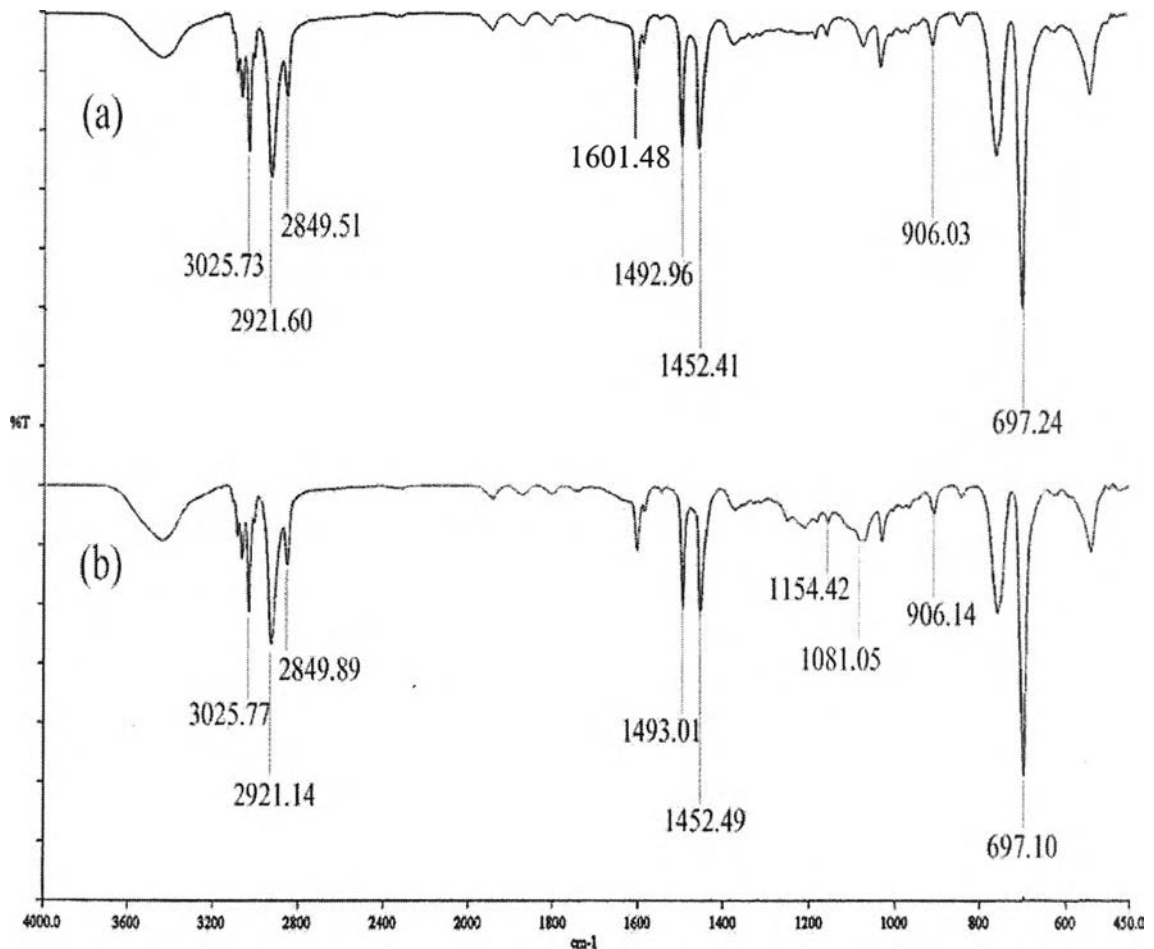
ผลการวิเคราะห์นาหุ่มฟังก์ชันของซิลิกา, ซิลิกาที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยสารคู่ควบ (MPTMS), พอลิस्टาไรรีน และซิลิกา/พอลิस्टาไรรีนนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค FT-IR แสดงไว้ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 โดยหุ่มฟังก์ชันที่เกิดขึ้นมีเลขคลื่นสอดคล้องกับค่าที่แสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัม ของ (a) ซิลิกา และ (b) ซิลิกาที่ผ่านการเตรียมผิวด้วย MPTMS

รูปที่ 4.8(a) แสดง FT-IR สเปกตรัมของซิลิกา ซึ่งปรากฏพีกของ Si-O-Si ที่เลขคลื่น 1102.7 และ 471.06 cm^{-1} ; พีกของความชื้นที่เลขคลื่น 1630.52 cm^{-1} [22] และพีกของ -OH group บนผิวซิลิกาที่เลขคลื่น 3435.08 cm^{-1}

รูปที่ 4.8(b) แสดง FT-IR สเปกตรัมของซิลิกาที่ผ่านการเตรียมผิวด้วย MPTMS ซึ่งปรากฏพีกของ C=C, C=O และ -CH₃ ขึ้นใหม่ที่เลขคลื่น 1460, 1719 และ 2947 cm⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งยืนยันการเกาะติดของ MPTMS บนผิวของอนุภาคนาโนซิลิกา



รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของ (a) พอลิสไตรีน และ (b) ซิลิกา/พอลิสไตรีนนาโนคอมพอสิต

รูปที่ 4.9(a) แสดง FT-IR สเปกตรัมของพอลิสไตรีน ซึ่งปรากฏพีกของ C-H arom ที่เลขคลื่น 3025.73 cm⁻¹; พีกของ -CH₂-CH₂ ที่เลขคลื่น 2921.60 และ 2849.51 cm⁻¹; พีกของ -C=C arom ที่เลขคลื่น 1601.48 cm⁻¹; พีกของ -C₆H₅ ที่เลขคลื่น 1492.96 และ 1452.41 cm⁻¹; พีกของ -CH=arom, in plane ที่เลขคลื่น 906.03 และ 697.24 cm⁻¹ ซึ่งพีกที่ปรากฏขึ้นทั้งหมดสามารถบ่งชี้ว่าสารตัวอย่าง คือ พอลิสไตรีน

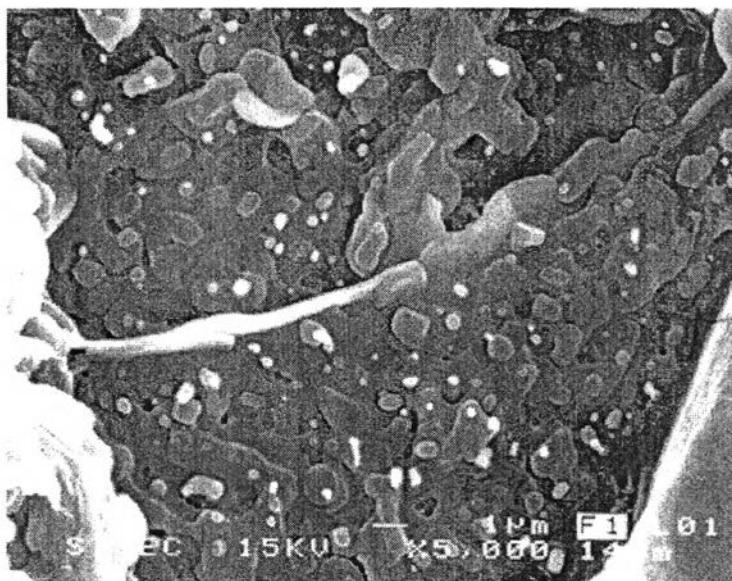
รูปที่ 4.9(b) แสดง FT-IR สเปกตรัมของซิลิกา/พอลิस्टาไร์เร็นนาโนคอมพอสิต ซึ่งปรากฏพีคของ Si-O-Si และ Si-O-C ที่เลขคลื่น 1154.42 และ 1081.05 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากหมู่ฟังก์ชันของสารคูกวบ (MPTMS) ทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของซิลิกา ซึ่งพันธะแบบไฮบริด (hybridization bonding) ดังกล่าวนี้ช่วยปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิस्टาไร์เร็นและอนุภาคซิลิกาได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.3 เลขคลื่นของหมู่ฟังก์ชันของพอลิस्टาไร์เร็น และ MPTMS [32]

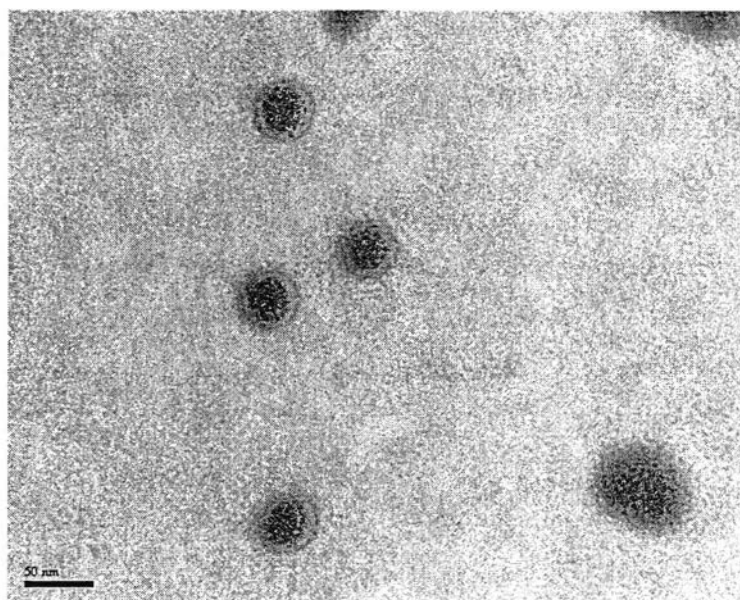
Wavenumbers (cm^{-1})	พอลิस्टาไร์เร็น	ซิลิกา	MPTMS
3024	C-H arom		
2921, 2847	-CH ₂ -CH ₂		
1601	-C=C arom		
1492, 1452	-C ₆ H ₅		
1200	-CH= arom, out of plane		
906, 697	-CH=arom, in plane		
3049		-OH	
1088, 467		Si-O-Si	
1724			ν (C=O)
1634			ν C=C
1111			ν Si-O-Si asym
1087			δ Si-O-C asym
821			δ Si-O-C sym

4.13 สันฐานวิทยาของซิลิกา/พอลิस्टาไร์เร็นนาโนคอมพอสิต

สันฐานของซิลิกา/พอลิस्टาไร์เร็นนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากการใช้ AIBN ปริมาณ 0.08 กรัม, SDS ปริมาณ 8 กรัม และซิลิกาปริมาณ 0.39 กรัม ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM และ TEM แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ภาพ SEM ของซิลิกา/พอลิซิลไตรีนนาโนคอมพอสิต (กำลังขยาย 5000 เท่า)



รูปที่ 4.11 ภาพ TEM ของอนุภาคซิลิกา/พอลิซิลไตรีนนาโนคอมพอสิต

จากรูปที่ 4.10 พบว่า อนุภาคซิลิกากระจายตัวอยู่ในพอลิซิลไตรีนเมทริกซ์อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการเตรียมผิวของอนุภาคซิลิกาด้วยสารคู่ควบ MPTMS ทำให้ผิวหน้าของอนุภาคซิลิกามีความเป็นขั้วลดลง ขณะที่พอลิซิลไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำ และไม่มีขั้ว ทำให้อนุภาคซิลิกาเข้ากันได้ดีกับพอลิซิลไตรีน

จากรูปที่ 4.11 พบว่า อนุภาคซิลิกา/พอลิไธรีนนาโนคอมพอสิตที่ได้มีโครงสร้างแบบ core-shell โดยแก่นกลางประกอบด้วยกลุ่มซิลิกาปฐมภูมิ (สีเข้ม) ล้อมรอบด้วยพอลิไธรีน (สีอ่อน) ขนาดอนุภาคของนาโนคอมพอสิตที่ได้ประมาณ 43 นาโนเมตร