

การเตรียมนาโนคอมโพสิตของโซเดียมเบนโทไนท์เคลือบโพลิเมอร์ให้มีคุณสมบัติในการต้าน
เชื้อจุลินทรีย์

Preparation of polymeric Na-bentonite nanocomposite for Antimicrobial Resistance

รสรินทร์ เนื่องจางค์ (Rotsarin Nuangchamnonng)* ธีราวุธ พงศ์ประยูร (Thirawudh Pongprayoon)**

นันทยา ยานูเมศ (Nantaya Yanumet)***

บทคัดย่อ

การเตรียมนาโนคอมโพสิตของโซเดียมเบนโทไนท์ด้วยวิธีการแอตไมเซลล์าร์โพลิเมอร์เรชัน โดยการสร้างฟิล์มโพลิไดอัลไคไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Polydiallyldimethyl ammonium chloride : PDADMAC), โพลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethylmethacrylate : PMMA) และ โพลิไวนิลิดีนคลอไรด์ (Polyvinylidene chloride : PVDC) เคลือบบนพื้นผิวเพื่อให้มีคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ และทำการพิสูจน์เอกลักษณ์นาโนคอมโพสิตของโซเดียมเบนโทไนท์ด้วยเทคนิค FT-IR, XRD และ SEM ทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* TISTR 780 และ *Salmonella typhimurium* TISTR 292 โดยการวัดบริเวณยับยั้ง (inhibition zones) ผลการวิเคราะห์ FT-IR แสดงลักษณะสเปกตรัมของ PDADMAC, PMMA และ PVDC สำหรับการวิเคราะห์ XRD และ SEM แสดงระยะห่างของชั้น ซิลิเกตเมื่อมีการแทรกสอดของโพลิเมอร์และโซเดียมเบนโทไนท์ที่ปรับปรุงด้วยโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

ABSTRACT

Na-bentonite nanocomposites were synthesized by treating Na-bentonite with Poly (diallyldimethyl ammonium chloride) : PDADMAC, Poly (methylmethacrylate) : PMMA and Poly (vinylidene chloride) : PVDC using admicellar polymerization method for developing antimicrobial resistance on their surface. The characteristics of Na-bentonite nanocomposites were analyzed by FT-IR, XRD and SEM. The antimicrobial resistance was studied by measuring the diameter of inhibition zone of the growths of *Escherichia coli* TISTR 780 and *Salmonella typhimurium* TISTR 292. The results from the FT-IR spectrum showed the characteristic peak of PDADMAC, PMMA and PVDC. The XRD patterns and SEM images indicated the basal spacing of silicate layers intercalated of polymer, and the treated Na-bentonite showed the inhibition of growth of microbial.

คำสำคัญ : โพลิเมอร์/เคลย์นาโนคอมโพสิต แอตไมเซลล์าร์โพลิเมอร์เรชัน ต้านทานเชื้อจุลินทรีย์

Key Words : polymer/clay nanocomposites, admicellar polymerization, antimicrobial resistance

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

***รองศาสตราจารย์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ผลิตภัณฑ์จากโพลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในยุคปัจจุบันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นยังคงมีขีดจำกัดในการใช้งานอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากโพลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิต เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของโพลิเมอร์ (clay) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของโพลิเมอร์ในด้านต่างๆ เช่น ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร (Henriette, 2009) ได้มีการนำเคลย์มาใช้ในการลดอัตราการดูดซับก๊าซ (Pannirselvam, 2008) และการยืดอายุของฟิล์มพลาสติก (Patro, 2008)

โดยปกติแล้วเคลย์จะมีขนาดของอนุภาคใหญ่ในระดับไมโครเมตรและมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยประจุจำนวนมากจึงมีความเป็นขั้วสูง ดูดซึมน้ำได้ดี ความเข้ากันได้กับโพลิเมอร์ต่ำ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานจึงได้มีการเตรียมเคลย์ให้อยู่ในรูปของออร์กานอเคลย์ (organoclay) เพื่อให้เคลย์มีขนาดอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตรและสามารถผสมเข้ากันกับโพลิเมอร์ ชนิดอื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น (Paiva, 2008) จึงได้มีการนำออร์กานอเคลย์มาใช้สำหรับเตรียมเป็นโพลิเมอร์/เคลย์นาโนคอมโพสิต (polymer/clay nanocomposite: PNC) การเตรียมโพลิเมอร์/เคลย์นาโนคอมโพสิตสามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การโพลิเมอไรซ์ภายในชั้นเคลย์ (In-situ polymerization), การผสมในสถานะสารละลาย (solution blending) และการผสมในสถานะหลอม (melt mixing) (พงษ์ธร, 2552) สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้การโพลิเมอไรซ์ภายในชั้นเคลย์ด้วยปฏิกิริยาแอตไมเซลล์ลาร์โพลิเมอไรเซชัน (Senasuttipan, 2005) โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างฟิล์มโพลิเมอร์เคลือบผิวของเคลย์ให้มีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ นอกเหนือจากการต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจนในพลาสติกฟิล์มถนอมอาหาร

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์และสารเคมี

ดินโซเดียมเบนโทไนท์ (BTN) Mac-Gel (GRADE SAC) มีค่า CEC 50 meq/100 g ของเคลย์ จากบริษัทไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรมจำกัด ประเทศไทย, เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) จาก Fluka ประเทศเยอรมัน, ไดเอริลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (DADMAC) จาก Fluka ประเทศสหรัฐอเมริกา, เมทิลเมทาคริลเลท (MMA) จาก Merck ประเทศเยอรมัน, ไวนิลิลดีน คลอไรด์ (VDC) จาก Acros ประเทศสหรัฐอเมริกา, โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) จาก Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา, เอทานอล จาก Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา, เชื้อ *Escherichia coli* TISTR 780 และ *Salmonella typhimurium* TISTR 292 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว จาก Himedia ประเทศอินเดีย, อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง จาก Himedia ประเทศอินเดีย, เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) JEOL รุ่น JSM-5410LV จากบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น, เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) Rigaku รุ่น Miniflex ประเทศญี่ปุ่น, เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) รุ่น Spectrum one บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมนาโนคอมโพสิตเคลย์ด้วยกระบวนการแอตไมเซลล์ลาร์โพลิเมอไรเซชัน (Admicellar polymerization)

ชั่งโซเดียมเบนโทไนต์ 0.25 กรัม ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กวนละลายให้เข้ากันแล้วเติมสารละลาย CTAB (12500 $\mu\text{mol/l}$) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมโมโนเมอร์ DADMAC ปริมาตร 1.55 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม $K_2S_2O_8$ 0.169 กรัม

และ ethanol 0.8 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและกรอง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 °C (สำหรับ MMA และ VDC ทำตามในขั้นตอนข้างต้น โดยเติม MMA 0.66 มิลลิลิตร และ VDC 0.5 มิลลิลิตรแทน DADMAC)

2. การวิเคราะห์ลักษณะของหมู่ฟังก์ชันบนนาโนเคลย์ด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

นำนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการแอตโมสเฟียร์พอลิเมอไรเซชันมาทำการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ซึ่งใช้เทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างแบบ KBr-pellet โดยนำ KBr ที่เป็นของแข็งมาผสมกับนาโนเคลย์คให้เข้ากันในโกรงอะเกต แล้วนำไปอัดจะได้สารเป็นแผ่นใสสามารถนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏบนผิวนาโนเคลย์ เพื่อหาความแตกต่างระหว่างเคลย์ก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการแอตโมสเฟียร์พอลิเมอไรเซชัน

3. การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างผลึกของเคลย์ด้วยเทคนิค เอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์

นำนาโนเคลย์ก่อนและหลังได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการแอตโมสเฟียร์พอลิเมอไรเซชันมาวิเคราะห์ ด้วยวิธีเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตแกรม โดยการยิงรังสีเอ็กซ์ที่ความยาวคลื่น 1.54 อังสตรอมไปกระทบตัวอย่างทดสอบ ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆ โดยมีหัวใจเป็นตัวรับข้อมูล ous ในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเคลย์ด้วยวิธีสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี

นำนาโนเคลย์ก่อนและหลังปรับปรุงวางบนแผ่นทองเหลืองแล้วนำไปฉายทองแล้วนำไปเข้าเครื่อง โดยการวัดสัญญาณที่เกิดจากการชนของอิเล็กตรอนปฐมภูมิ

กระทบผิวตัวอย่างภายใต้สภาวะสุญญากาศ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเป็นภาพถ่ายขาวดำ

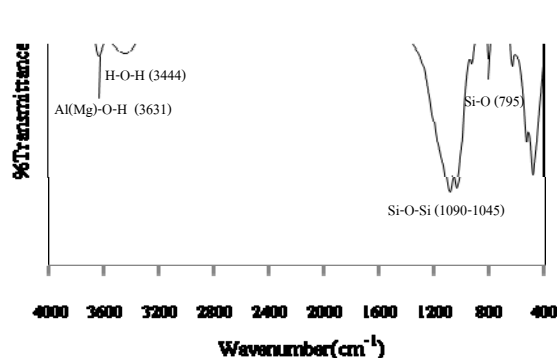
5. การทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยการวัดโซนไฮส (Inhibition zone)

การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *S.typhimurium* โดยการหาคูเชื้อจากอาหารเหลวที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นในระดับ 1×10^4 CFC/ml ปริมาณ 1 ml ลงในจานเพาะเชื้อ จากนั้นเทอาหาร nutrient agar เหลวอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสปริมาณ 40 ml ลงในจานเพาะเชื้อทำการผสมเชื้อให้กระจายทั่วอาหารเมื่ออาหารแข็งทำการเจาะ หลุมด้วยตัวเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm แล้วเติมเคลย์ก่อนและหลังปรับปรุง 0.05 กรัมลงในหลุม นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการวัดขนาดความกว้างของโซนไฮสซึ่งเป็นบริเวณที่มีการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

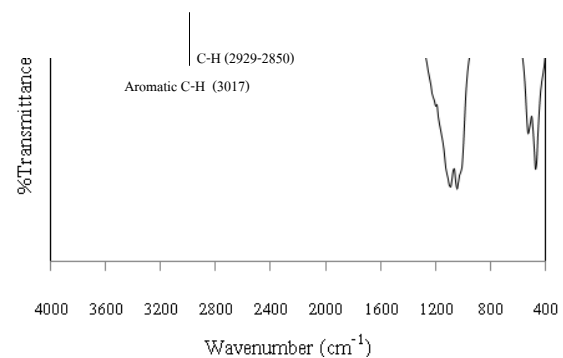
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์ลักษณะของหมู่ฟังก์ชันบนนาโนเคลย์ด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

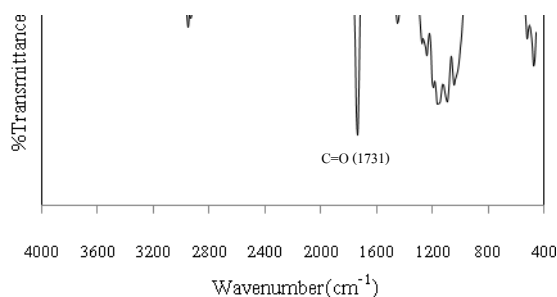
การวิเคราะห์ FT-IR เป็นการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในเชิงคุณภาพ เพื่อบ่งบอกลักษณะสเปกตรัมเฉพาะของโซเดียมเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและโซเดียมเบนโทไนท์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโมโนเมอร์ชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการยืนยันผลการเคลือบของฟิล์มโพลิเมอร์บนผิวของโซเดียมเบนโทไนท์ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) แสดงหมู่ฟังก์ชัน Al(Mg)-O-H stretching ที่ตำแหน่ง 3631 cm^{-1} , Si-O-Si stretching ที่ตำแหน่ง $1090-1045 \text{ cm}^{-1}$, Si-O stretching of silica and quartz ที่ตำแหน่ง 795 cm^{-1} และ



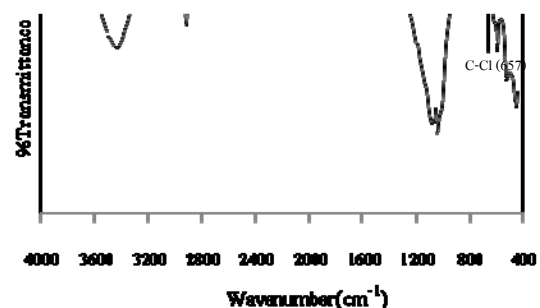
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 สเปกตรัมแสดงเอกลักษณ์ของ (ก) BTN (ข) BTN-Poly(DADMAC) (ค) BTN-Poly(MMA) และ (ง) BTN-Poly(VDC)

H-O-H stretching ที่ ตำแหน่ง 3444 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะของโซเดียมเบนโทไนท์ (Tabak, 2007) (ข) แสดงลักษณะของฟิล์ม Poly(DADMAC) ที่ตำแหน่ง 3017 cm^{-1} และ $2920-2850\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของ Aromatic C-H stretching และ C-H stretching (alkyl groups) ตามลำดับ(แผ่นและคณะ, 2552) (ค) แสดงหมู่ฟังก์ชัน C=O stretching ของ Poly(MMA) ที่ตำแหน่ง 1731 cm^{-1} (Ramesh, 2007) และ (ง) ฟิล์ม Poly(VDC) แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-Cl ที่ตำแหน่ง 657 cm^{-1} (Xiao, 2008)

2. การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างชั้นโครงสร้างผลึกของเคลือบด้วยเทคนิค เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์

ผลของการหาระยะห่างระหว่างชั้นแผ่นของเคลือบ (แกลเลอรี) โดยการหาค่า d-spacing จากตารางที่ 1 พบว่าโซเดียมเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมีค่า d-spacing เท่ากับ 1.24 nm สำหรับโซเดียมเบนโทไนท์ที่ปรับปรุงผิวด้วย (ข) Poly(DADMAC), (ค) Poly(MMA) และ (ง) Poly(VDC) ให้ค่า d-spacing 2.61 nm , 3.07 nm และ 2.81 nm ตาม ลำดับ โดยปกติโซเดียมเบนโทไนท์มีโครงสร้างเป็นแผ่นเรียงซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ การที่ค่า d-spacing มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าโพลิเมอร์ได้แทรกเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นแกลเลอรีและทำให้เกิดการขยายออกจากกันของชั้นแกลเลอรี เรียกการแทรก

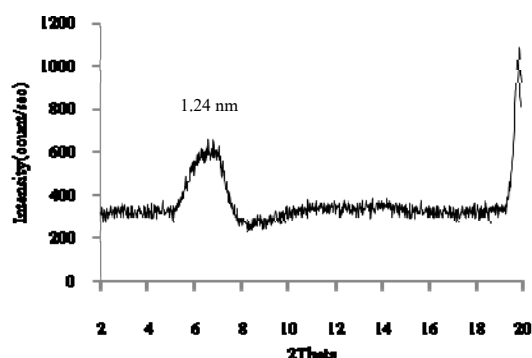
สอดคล้องกล่าวว่า การอินเทอร์คาเลชัน (Intercalation)
(Yeh, 2008)

ตารางที่ 1 ค่า d-spacing ของโซเดียมเบนโทไนต์และ
นาโนคอมโพสิตของโซเดียมเบนโทไนต์

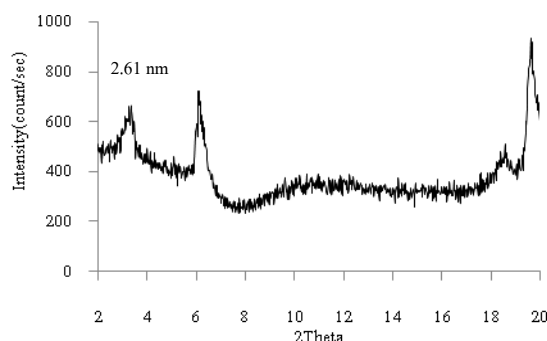
สารตัวอย่าง	ค่า d-spacing (nm)
BTN	1.24
BTN-Poly(DADMAC)	2.61
BTN-Poly(MMA)	3.07
BTN-Poly(VDC)	2.81

3. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเคลือบด้วยวิธีสแกน
นิงอิเล็กตรอนไมโครสโคปี

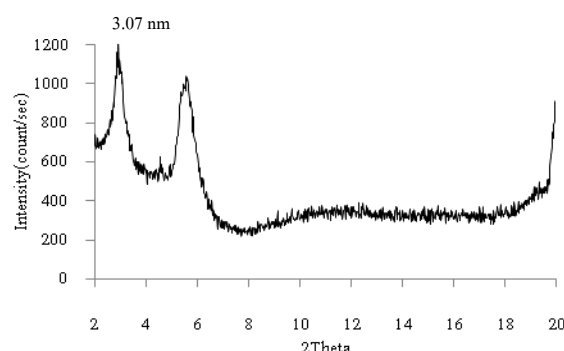
ภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM แสดง
ให้เห็นถึงการยึดขยายของระยะห่างระหว่างชั้นแกลเลอรี
และพื้นผิว โซเดียมเบนโทไนต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว
ชั้นแกลเลอรีจะเกาะกันเป็นกลุ่มแน่น พื้นผิวของชั้นแกล
เลอรีค่อนข้างเรียบดังภาพที่ 3 (ก) เมื่อเทียบกับที่
ปรับปรุงผิวด้วยโพลิเมอร์ชั้นของแกลเลอรีจะขยายออก
จากกันเผยให้เห็นชั้นของแต่ละแกลเลอรีชัดเจนขึ้น
พื้นผิวของชั้นแกลเลอรีจะขรุขระ ดังภาพที่ 3 (ข,ค และ
ง) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่า d-spacing



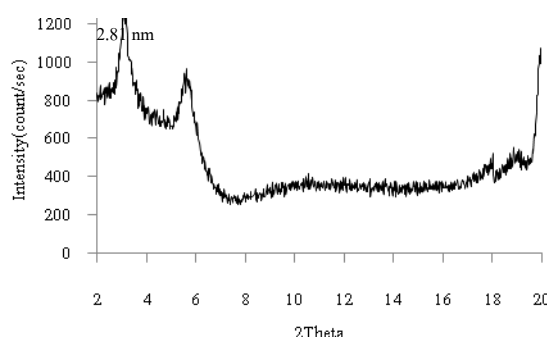
(ก)



(ข)

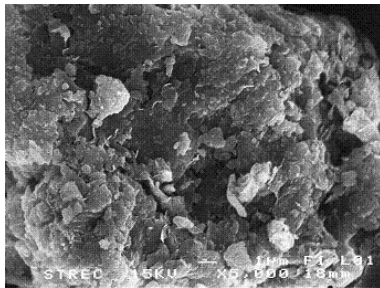


(ค)

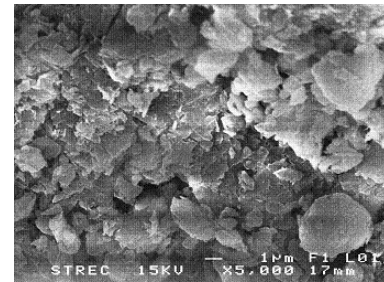


(ง)

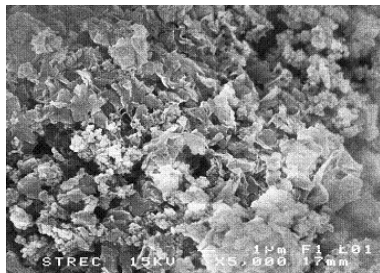
ภาพที่ 2 เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโตแกรมของ (ก) BTN (ข) BTN-Poly(DADMAC) (ค) BTN-Poly(MMA)
และ (ง) BTN-Poly(VDC)



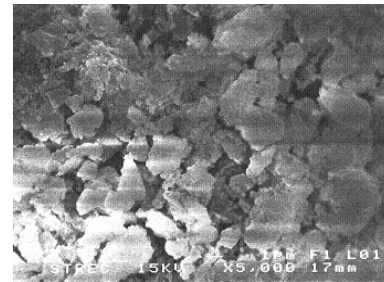
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 แสดงภาพ SEM micrographs ของ (ก) BTN (ข)BTN-Poly(DADMAC) (ค) BTN- Poly(MMA) และ(ง) BTN-Poly(VDC)

4. ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของ จุลินทรีย์โดยการวัดโซนใส (Inhibition zone)

ผลจากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า โซเดียมเบนโทไนด์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* และ *S.typhimurium* ในขณะที่โซเดียมเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีประสิทธิภาพในการต่อต้านการเจริญของเชื้อ *E.coli* และ *S.typhimurium* โดยพบว่าBTN-Poly(DADMAC) ปรากฏบริเวณยับยั้งขนาด 7 mm และ 9 mm สำหรับ BTN-Poly(MMA) บริเวณยับยั้งมีขนาด 8.25 mm และ 10.25 mm และ BTN-Poly(VDC) มีขนาด 6 mm และ 5 mm ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

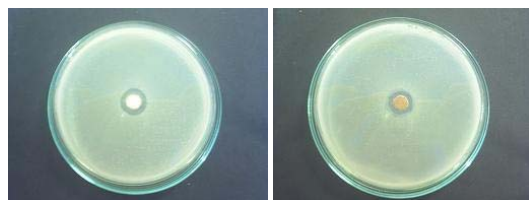
ตารางที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *S.typhimurium* ของโซเดียมเบนโทไนด์ และนาโนคอมโพสิตของโซเดียมเบนโทไนด์

สารตัวอย่าง	บริเวณยับยั้ง (mm)	
	<i>E.coli</i>	<i>S.typhimurium</i>
BTN	0	0
BTN-Poly(DADMAC)	7	9
BTN-Poly(MMA)	8.25	10.25
BTN-Poly(VDC)	6	5



(ก)

(ข)



(ค)

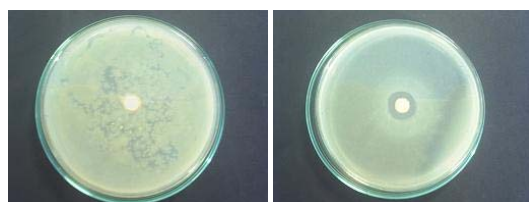
(ง)

ภาพที่ 4 บริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ของ

(ก) BTN (ข) BTN-Poly(DADMAC)

(ค) BTN-Poly(MMA) และ (ง) BTN-

Poly(VDC)



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

ภาพที่ 5 บริเวณยับยั้งการเจริญของ *S.typhimurium* ของ

(ก) BTN (ข) BTN-Poly(DADMAC)

(ค) BTN-Poly(MMA) และ (ง) BTN-

Poly(VDC)

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมนาโนคอมโพสิตของโซเดียมเบนโทไนท์ด้วยวิธีแอตโมสเฟียร์โพลิเมอร์ไรเซชันของ Poly (MMA) , Poly(VDC) และ Poly(DADMAC) เพื่อให้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* TISTR 780 และ *Salmonella typhimurium* TISTR 292 และ

พบว่าโซเดียมเบนโทไนท์ที่ปรับปรุงผิวด้วยโพลิเมอร์มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว) และได้รับความอนุเคราะห์โซเดียมเบนโทไนท์ Mac-Gel (GRADE SAC) จากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรมจำกัด ประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2552. นาโนเคลย์: สารตัวเติมทางเลือกใหม่. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 3(2): 18-29.
- แม่น อมรสิทธิ์และคณะ. 2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:ชวนพิมพ์ 50 จำกัด.
- Henriette, M.C., Azeredo. 2009. Nanocomposites for food packaging application. Food Research International.42(9): 1240-1253.
- Patro, T.U., Mhalgi, M.V., Khakhar, D.V., Misra, A. 2008. Studies on poly(vinylidene fluoride)-clay nanocomposite:Effect of different clay modifiers. Polymer. 49: 3486-3499.
- Pannirselam, M., Genovese, A., Jollands, M.C., Bhattachaeya, S.N., Shanks, R.A. 2008. Oxygen barrier property of polypropylene-polyether treated clay nanocomposite. eXERESS polymer Letters. 2: 429-439.
- Paiva, L.B., Morales, A.R., Valenzuela Díaz, F.R. 2008. Organoclay: Proparation and application. Applied Clay Science. 42: 8-24.

- Senasuttipan, S. 2005. Modification of clay surface for rubber nanocomposite using a continuous admicellar polymerization system. Master Degree of Science, The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University.
- Tabak, A., Afsin, B., Aygun, S.F., Koksai, E. 2007. Structural characteristics of organo-modified bentonites of different origin. Thermal Analysis and Calorimetry. 87: 375-381.
- Ramesh, S., Leen, K.H., Kumutha, K., Arof, A.K. 2007. FTIR studies of PVC/PMMA blend based polymer electrolytes. Spectrochimica Acta Part A.66: 1237-1242.
- Xiao, X., Zeng, Z., Xiao, S. 2008. Behavior and products of mechano-chemical dechlorination of polyvinyl chloride and poly(vinylidene chloride) .Hazardous Materials. 151:118-124.
- Yeh, J.M., Chang, K.C. 2008. Polymer/layered silicate nanocomposite anticorrosive coatings. Industrial and Engineering Chemistry. 14: 275-291.