

# การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้นของโคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนชนิดใหม่

## Preliminary Study on Electrical Property of Novel Coordination Polybenzoxazines

### ชื่อนิสิตทำโครงการงาน

นายธีรยุทธ	รัตนภูมิภิญโญ	50054857
นายวรุณ	บุญรำลึกถนอม	50056068
นายสุรฤทธิ์	สมรรถไท	50056977
นางสาวณัฐวรรณ	ลีสุทธิพรชัย	50551092
นายธนภูมิ	ศรีธีราช	50551324
นางสาวภัทริน	เสรีจสวัสดิ์	50555204

### ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน

ผศ.ดร.อภิรัตน์ ไพศาลกิตติโชติ

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร 0-2549-3429, 0-25493420 โทรสาร 0-25493422 E-mail: fengntk@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอ การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนโลหะและเบนซอกซาซีน รวมทั้งพัฒนาสมบัติของ พอลิเบนซอกซาซีน เพื่อใช้เป็นวัสดุทางไฟฟ้า เบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ที่สังเคราะห์ได้สามารถนำไปใช้ในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์และไอออนโลหะชนิดต่างๆ นอกจากนี้สารประกอบเชิงซ้อนสามารถเตรียมเป็น โคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนโดยปฏิกิริยาการเปิดวงแหวน โครงสร้างทางเคมีของเบนซอกซาซีนสามารถวิเคราะห์ได้โดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR) แมสสเปกโตรสโคปี (MS) และ ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิทรี (DSC) สมบัติในการตอบสนองกับโลหะของเบนซอกซาซีนสามารถศึกษาด้วยได้ด้วยวิธีการหาอัตราส่วนโดยโมล วิธีจ็อบ และเทคนิคพีเคอร์เซน สภาวะในการโคออร์ดิเนชันเตรียมพอลิเบนซอกซาซีนโดยการเปิดวงแหวนจะกำหนดโดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR) และสมบัติทางไฟฟ้าของโคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนจะศึกษาด้วยการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ 1-1000 kHz

### Abstract

This research presents the preparation of metal – benzoxazine complexes including the improvement of benzoxazine property for using as conductive materials. The synthesized benzoxazine monomers can be used to prepare the complexes of benzoxazine monomer and various metal ions. Moreover, the metal – benzoxazine complexes can be used to prepare coordination polymer by ring opening reaction. The chemical structures of benzoxazine are characterized by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), Mass Spectrometer (MS) and Differential Scanning Calorimetry (DSC). The metal responsive properties of benzoxazines are studied by Molar ratio method, Job's method and Pedersen's technique. The condition of coordination polybenzoxazine preparation by ring opening polymerization was determined by Fourier Transform Infrared Spectrophotometry (FTIR) and the electrical properties of the coordination polybenzoxazine were studied by measuring the dielectric constant at 1 – 1000 kHz.

Keyword: Polybenzoxazine, Metal – Benzoxazine Complexes, Coordination polybenzoxazine and Metal ions extraction

## บทนำ

พอลิเบนซอกซาซีนเป็นพอลิเมอร์อินทรีย์ที่สังเคราะห์มาจากปฏิกิริยาแมนนิชของฟอร์มัลดีไฮด์ เอมีนปฐมภูมิ และ ฟีนอล และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง ในปัจจุบันได้มีการนำพอลิเบนซอกซาซีนไปใช้งานกันอย่างหลากหลาย เช่น เคลือบบนชิปในคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบของลำเครื่องบิน และใช้เป็นฟิล์มบางเคลือบเพื่อให้อายุการใช้งานและตัวทำละลายต่างๆ เนื่องจากพอลิเบนซอกซาซีนมีสมบัติคล้ายพอลิเมอร์อินทรีย์ทั่วไปคือ สมบัติเชิงกลดี ทนอุณหภูมิสูง ดูดซึมน้ำน้อย แต่มีข้อเด่นคือ สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติได้ตามต้องการ ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการเตรียม และไม่เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้

นอกจากนี้ยังพบว่าพอลิเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ได้แสดงสมบัติเช่นเดียวกับสารซูเปอร์โมเลกุลที่สามารถตอบสนองต่อไอออนของโลหะประเภทต่างๆ ได้ โดยความสามารถดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมระหว่างไอออนของโลหะและโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเบนซอกซาซีน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอถึงการเตรียมเบนซอกซาซีนชนิดใหม่ที่มีโครงสร้างเอื้อต่อการรองรับไอออนชนิดต่างๆเช่น โลหะทรานซิชัน และ โลหะหายาก เพื่อพัฒนาให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนพอลิเบนซอกซาซีนชนิดใหม่ที่มีสมบัติแม่เหล็กหรือทางไฟฟ้า ซึ่งจะเป็วัสดุที่สามารถประยุกต์ใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงต่อไปในอนาคต

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะการเตรียมพอลิเบนซอกซาซีนจากเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์โดยปฏิกิริยาแมนนิชและปฏิกิริยาเปิดวงแหวน รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุที่มีสมบัติทางไฟฟ้า

## สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

พาราฟอร์มัลดีไฮด์ (Paraformaldehyde, (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 30.03 ผลิตโดยบริษัทFluka  
2-เมทอกซีเอทิลเอมีน (2-Methoxy Ethylamine, C<sub>3</sub>H<sub>9</sub>NO) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 75.11 ผลิตโดยบริษัท Fluka

อะนิลีน (Aniline, C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>N) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 93.13 ผลิตโดยบริษัท Merck

เมทิลลามีน (Methylamine, CH<sub>5</sub>N) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 31.06 ผลิตโดยบริษัท Merck

เอทานอลเอมีน (Ethanol Amine, C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 61.08 ผลิตโดยบริษัท Fluka

3-อะมิโนโพรพานอล (3-Amino Propanol, C<sub>3</sub>H<sub>9</sub>NO) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 75.11 ผลิตโดยบริษัท Fluka

3-เมทอกซีโพรพิลเอมีน (3-Methoxy Propylamine, C<sub>4</sub>H<sub>11</sub>NO) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 89.14 กรัม ผลิตโดยบริษัท Fluka

บิส-ฟีนอล เอ (Bis-phenol A, C<sub>15</sub>H<sub>16</sub>O<sub>2</sub>) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 228.29 ผลิตโดยบริษัท Fluka

1,4-ไดออกเซน (1,4-Dioxane, (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 88.11 ผลิตโดยบริษัท LAB-SCAN

ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 84.93 ผลิตโดยบริษัท LAB-SCAN

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 40.0 ผลิตโดยบริษัท LAB-SCAN

โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรอส (Sodium Sulphate Anhydrous, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.anh) AR.grade น้ำหนักโมเลกุล 142.0 ผลิตโดยบริษัท Riedel-deHaen

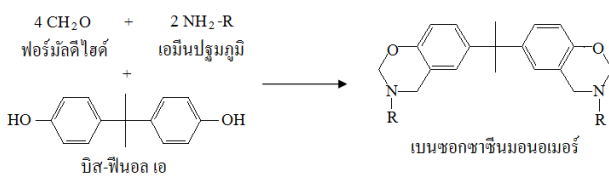
## วิธีการดำเนินโครงการงาน

### 1. การเตรียมเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์

เบนซอกซาซีนมอนอเมอร์สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาแมนนิชระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ เอมีน และ ฟีนอล ในอัตราส่วนโดยโมล 2:1:1 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บิส-ฟีนอลเอ เป็นฟีนอล และใช้หมู่เอมีนที่แตกต่างกัน 6 ชนิดได้แก่ เมทิลลามีน, อะนิลีน, 2-เมทอกซีเอทิลเอมีน, 3-เมทอกซีโพรพิลเอมีน, เอทานอลเอมีน และ 3-อะมิโนโพรพานอลเอมีน มีสมการดังตารางที่ 4.1 ดังนั้น ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ และหมู่เอมีน และ บิส-ฟีนอล เอ เป็น 4:2:1 โดยมีการใช้หมู่เอมีนต่างๆ ในตารางที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของเบนซอกซาซีนแต่ละชนิด ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของหมู่แทนที่

ชนิดของเอมีน	สูตรเคมี	อักษรย่อ
เมทิลลามีน	$\text{NH}_2\text{-CH}_3$	BA-Mt
อะนิลีน	$\text{NH}_2\text{-C}_6\text{H}_5$	BA-An
2-เมทอกซี เอทิลเอมีน	$\text{NH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_2\text{-OCH}_3$	BA-EtMeO
3-เมทอกซี โพรพิลเอมีน	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_3$	BA-PrMeO
เอทานอลเอมีน	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	BA-EtOH
3-อะมิโน โพรพานอลเอมีน	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	BA-PrOH



## 2. การวิเคราะห์คุณลักษณะเบนซอกซาซีนและการทดสอบสมบัติของพอลิเบนซอกซาซีน

2.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ และพอลิเบนซอกซาซีนด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จากบริษัท Bruker Optics รุ่น ALPHA Eco-ATR เพื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างอนุพันธ์ของเบนซอกซาซีน โดยมีวิธีการดังนี้ นำมอนอเมอร์เบนซอกซาซีนมอนอเมอร์มาป้ายบางๆบริเวณแท่นวางชิ้นงาน ใช้โปรแกรม Opus spectroscopy ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของชิ้นงาน จากนั้นนำสเปกตรัมที่ได้จากโปรแกรมมาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี finger print ของ IR สเปกตรัม โดยจะต้องปรากฏพีกของ C-N Stretching C-O-C Stretching Tri-substituted benzene ring (Oxazine ring) และ C-H Stretching หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์เรียบร้อยแล้วจึงนำไปพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยวางพอลิเบนซอกซาซีนบริเวณแท่นวางชิ้นงาน ใช้โปรแกรม Opus spectroscopy

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของชิ้นงาน จากนั้นนำสเปกตรัมที่ได้จากโปรแกรมมาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี finger print ของ IR สเปกตรัม โดยจะต้องปรากฏพีกของ OH group และ Tetra substituted benzene ring

2.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ด้วย MS

การวิเคราะห์ด้วย MS เป็นการวิเคราะห์ห่มวล โดยผลที่ได้จะเป็นกราฟที่มีแกนตั้งเป็นค่า relative intensity และแกนนอนเป็นค่ามวลต่อประจุ (m/z) เทคนิคนี้ใช้ในการหามวลโมเลกุล (molecular mass) และองค์ประกอบโครงสร้างของธาตุ

2.3 วิเคราะห์คุณลักษณะของเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ โลหะ และสารประกอบเชิงซ้อนของเบนซอกซาซีนและโลหะด้วย UV-Spectrophotometer

เตรียมสารละลายสารประกอบเชิงซ้อนของเบนซอกซาซีนและโลหะตามอัตราส่วนดังตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ โดยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากบริษัท SHIMADZU รุ่น UV-1700 เพื่อหาค่าการดูดกลืนของแสง แล้วจึงนำมาวาดกราฟ เพื่อหาค่าอัตราส่วนการสกัดจับของเบนซอกซาซีน

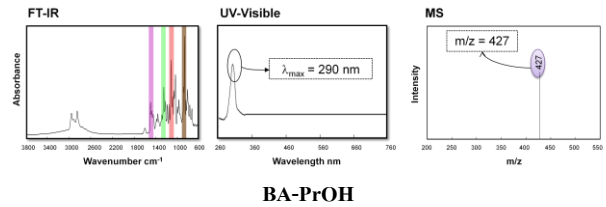
2.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ด้วย DSC

การวิเคราะห์ด้วย DSC เพื่อการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน โดยใช้เครื่อง เครื่องเพอเรนเซียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) ที่สภาวะ 1 บรรยากาศในโตรเจนและใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยผลที่ได้ จะเป็นกราฟที่มีแกนตั้งเป็นค่า Heat flow และแกนนอนเป็นค่าอุณหภูมิ เทคนิคนี้ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อหาอุณหภูมิพอลิเมอไรเซชันของเบนซอกซาซีน

2.5 การทดสอบการสกัดจับไอออนโลหะของเบนซอกซาซีน

ทดสอบการสกัดจับไอออนของโลหะชนิดต่างๆ ในหมู่ทรานซิชัน และแลนทาไนด์ ในเบื้องต้นได้ทดสอบว่า เบนซอกซาซีนมอนอเมอร์สามารถสกัดจับไอออนของโลหะชนิดใดได้บ้าง โดยละลายเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน จากนั้นเติมเกลือของโลหะที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ Nickel (II) nitrate, Cobalt (II)

chloride และ Cerium (III) nitrate จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเบนซอกซาซีน และไอออนของโลหะ โดยวัดค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่เปลี่ยนไปด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

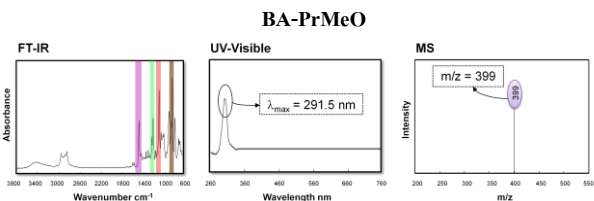
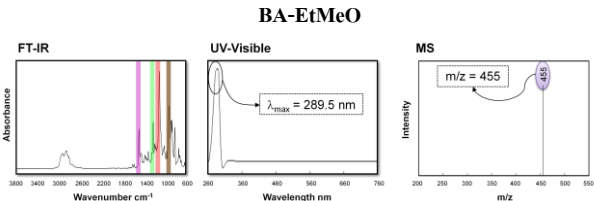
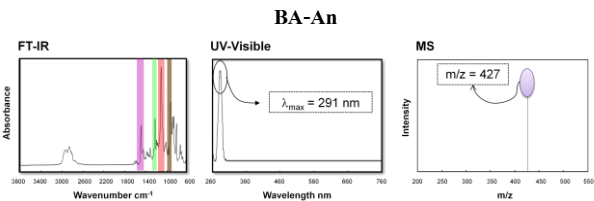
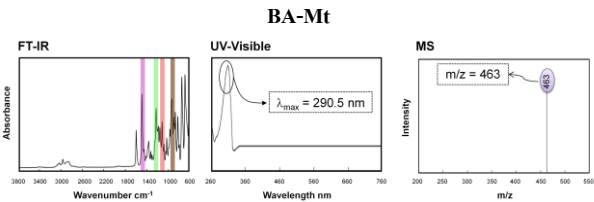
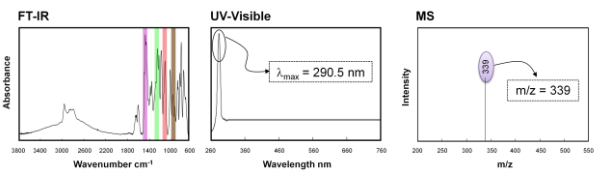


## 2.6 การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

พอลิเบนซอกซาซีนและโคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนที่ผ่านการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงมา จะถูกแกะออกจากแม่พิมพ์ที่เป็นอลูมิเนียมฟลอยด์ จากนั้นจัดให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร และความหนาต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเคลือบพื้นผิวหน้าของพอลิเบนซอกซาซีนและโคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนด้วย high purity silver paste ที่ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรด เพื่อที่จะนำไปวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกด้วยเครื่อง LCR ที่ความถี่ 1 – 1000 kHz

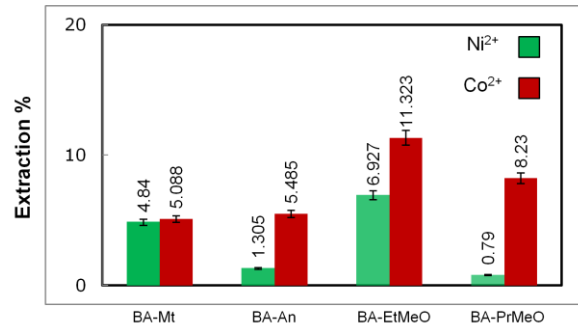
## ผลการทดลอง

### 1. ผลการวิเคราะห์ทาง spectroscopy



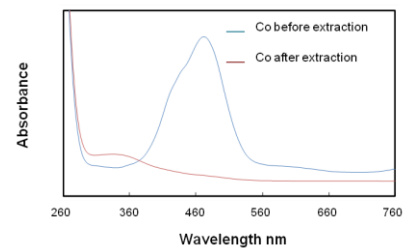
รูปที่ 2 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ทาง spectroscopy

### 2. ผลการสกัดจับไอออน



รูปที่ 3 รูปแผนภูมิแสดงความสามารถจับไอออน

BA-Mt BA-An BA-EtMeO และ BA-PrMeO สามารถสกัดจับไอออนได้ดังรูปที่ 3 BA-EtOH BA-PrOH ไม่สามารถสกัดจับไอออนได้แต่สามารถเป็นทำให้อิออนของโลหะเปลี่ยนเลขออกซิเดชันได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 รูปแผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

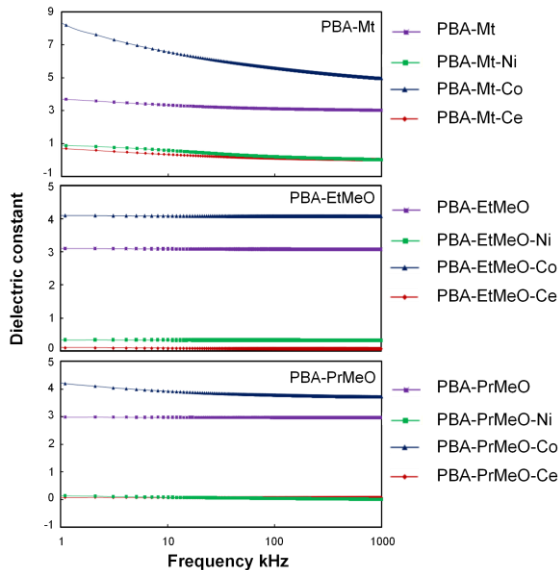
### 2.1 ผลการสกัดจับไอออนด้วยวิธีจ๊อบและโมล

ตารางที่ 2 ตารางผลการสกัดจับโดยจ๊อบและโมล

ลิแกนด์	ไอออน	อัตราส่วน ไอออน : ลิแกนด์
BA-Mt	Ce <sup>3+</sup>	1 : 4
BA-An	Ce <sup>3+</sup>	1 : 5
BA-EtMeO	Ce <sup>3+</sup>	1 : 3
BA-PrMeO	Ce <sup>3+</sup>	1 : 3

### 3. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าจะเป็นการวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

Sample	Dielectric constant			
	Pure	Ni	Co	Ce
PBA-Mt	3.06	0.93	5.20	0.06
PBA-EtMeO	2.96	0.01	3.72	0.06
PBA-PrMeO	3.08	0.33	4.08	0.05

### สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้พบว่าเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์สามารถสังเคราะห์ได้จาก พาราฟอร์มัลดีไฮด์ เอมีนปฐมภูมิ และ บิส-ฟีนอล เอ ซึ่งผู้วิจัยสามารถออกแบบโครงสร้างเบนซอกซาซีนได้ตามต้องการ โดยเปลี่ยนเอมีนปฐมภูมิที่ใช้คือ เมทิลลามีน อะนิลีน 2-เมทอกซี เอทิลเอมีน 3-เมทอกซี โพรพิลลามีน เอทานอลเอมีน และ 3-อะมิโน โพรพานอล ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือ BA-Mt, BA-An, BA-EtMeO, BA-PrMeO, BA-EtOH และ BA-PrOH ตามลำดับ

เมื่อศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเบนซอกซาซีนมอนอเมอร์กับโลหะพบว่า เบนซอกซาซีนมอนอ-เมอร์ชนิด BA-Mt, BA-An, BA-EtMeO และ BA-PrMeO สามารถสกัดจับไอออนของโลหะ Ni, Co และ Ce และ ไม่สามารถสกัดจับไอออนของโลหะ Gd และ Sm แต่เบนซอกซาซีนมอนอเมอร์ชนิด BA-EtOH และ BA-PrOH ไม่สามารถสกัดจับไอออนของโลหะ Ni, Co และ Ce เนื่องจากอนุพันธ์ของเบนซอกซาซีนชนิดดังกล่าวอาจสามารถดึงไอออนของโลหะได้

ผลการทดสอบเทคนิคพีเคอร์เซนพบว่า BA-Mt, BA-An, BA-EtMeO และ BA-PrMeO มีการสกัดจับไอออนของโลหะ Ni ได้ร้อยละ 4.840, 1.305, 6.927 และ 0.790 ตามลำดับ และสกัดจับไอออนของโลหะ Co ได้ร้อยละ 5.088, 5.485, 11.323 และ 8.230 ตามลำดับ และการหาอัตราส่วนระหว่างเบนซอกซาซีนและไอออนของโลหะโดยวิธีอัตราส่วนโดยโมล และ วิธีจ็อบ พบว่า BA-Mt, BA-An, BA-EtMeO และ BA-PrMeO จะสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ Ce ในอัตราส่วน 4 : 1, 5 : 1, 3 : 1 และ 3 : 1 ตามลำดับ

การเตรียมพอลิเบนซอกซาซีน และ โคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเปิดวงที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือ PBA-Mt, PBA-An, PBA-EtMeO, PBA-PrMeO, PBA-EtOH และ PBA-PrOH

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกพบว่า โคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนของ Co มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงกว่า เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ทั่วไป และ พอลิเบนซอกซาซีนที่ปราศจาก Co จึงคาดว่าโคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีนของ Co จะมีแนวโน้มสามารถนำไปใช้งานเป็นตัวเก็บประจุได้ เมื่อเทียบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโคออร์ดิเนชันพอลิเมอร์ของ Co ชนิดต่างๆ แล้ว พบว่า PBA-Mt-Co มีค่าไดอิเล็กตริกสูงที่สุดคือ ที่ 10, 100 และ 1000 kHz มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็น 6.56, 5.59 และ 4.95 ตามลำดับ และผลค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโคออร์ดิเนชันพอลิเมอร์ของ Ce และ Ni พบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จึงคาดว่าโคออร์ดิเนชันพอลิเมอร์ของ Ce และ Ni จะมีแนวโน้มที่จะมีสมบัตินำไฟฟ้า หรือ สมบัติแม่เหล็ก เมื่อเทียบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโคออร์ดิเนชันพอลิเมอร์ของ Ce และ Ni ชนิดต่างๆ แล้ว พบว่า PBA-Pr-Ni มีค่าไดอิเล็กตริกต่ำที่สุดคือ ที่ 10, 100 และ 1000 kHz มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็น 0.09, 0.04 และ 0.01 ตามลำดับ

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าเบนซอกซาซีน BA-Mt, BA-An, BA-EtMeO และ BA-PrMeO สามารถสกัดจับไอออนโลหะได้ และจากการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโคออร์ดิเนชันพอลิเบนซอกซาซีน พบว่าโคออร์ดิเนชันเบนซอกซาซีนมีแนวโน้มที่จะมีสมบัติทางไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น การเก็บประจุ การนำไฟฟ้า หรือ การเป็นแม่เหล็ก และ เบนซอกซาซีน BA-EtOH และ BA-PrOH ยังต้องมีการศึกษาต่อไป เนื่องจากมีปัญหาในกระบวนการขึ้นรูป จึงไม่สามารถนำไปวัดค่าไดอิเล็กตริกได้

## อ้างอิง

Suwabun Chirachanchai, Apirat Laobuthee, Suttinin Phongtamrug, Wanida Siripatanasarakit, Hatsuo Ishida (1999). "A Novel Ion Extraction Material Using Host-Guest Properties of Oligobenzoxazine Local Structure and Benzoxazine Monomer Molecular Assembly." *polymer Science* 77: 2561-52568.

Wang, Y. X. and H. Ishida (1999). "Cationic ring-opening polymerization of benzoxazines." *Polymer* 40(16): 4563-4570.

Takeichi, T., T. Kano, et al. (2005). "Synthesis and thermal cure of high molecular weight polybenzoxazine precursors and the properties of the thermosets." *Polymer* 46(26): 12172-12180.

Low, H. Y. and H. Ishida (2006). "Improved thermal stability of polybenzoxazines by transition metals." *Polymer Degradation and Stability* 91(4): 805-815.

Santhosh Kumar, K. S., C. P. Reghunadhan Nair, et al. (2007). "Bis allyl benzoxazine: Synthesis, polymerisation and polymer properties." *European Polymer Journal* 43(6): 2504-2514.

Garea, S.-A., H. Iovu, et al. (2007). "Thermal polymerization of benzoxazine monomers followed by GPC, FTIR and DETA." *Polymer Testing* 26(2): 162-171.

Liu, Y., Z. Yue, et al. "Synthesis, characterization, and thermally activated polymerization behavior of bisphenol-S/aniline based benzoxazine." *Polymer In Press, Corrected Proof*.

M. Sponto 'n, J. C. R., M. Galia `\*,V.Ca 'diz (2008). Studies on thermal and flame retardant behaviour of mixtures of bis(m-

aminophenyl)methylphosphine oxide based benzoxazine and glycidylether or benzoxazine of Bisphenol A.

Shahla Bagherifama, b., Tamer Uyarc,1, Hatsuo Ishida c, Jale Hacaloglu a,b,\* (2010). The use of pyrolysis mass spectrometry to investigate polymerization and degradation processes of methyl amine-based benzoxazine.

Attaphon Kaewvilai, T. R., Nattamon Koonsaeng, Suwabun Chirachanchai, Apirat Laobuthee (2010). "Branching Structures of Alkali Metal Ion Responsive Supramolecules Based on Symmetric Structure of N,N-Bis(5-alkyl-2-hydroxybenzyl)methylamine." *Asian Journal of Chemistry* 22: 7628-7640.

Chaisuwan, T., T. Komalwanich, et al. (2010). "Removal of heavy metals from model wastewater by using polybenzoxazine aerogel." *Desalination* 256(1-3): 108-114.

Yan Tang, Q. L. Z. , Ke Zeng, Pei Kai Miao Wang, "Synthesis of a benzoxazine monomer containing maleimide and allyloxy groups." *Chinese Chemical Letters* 18: 973-976.

Oligobenzoxazine Local Structure and Benzoxazine Monomer Molecular Assembly." *polymer Science* 77: 2561-52568.

Sheng FangLi . 13 October 2009. "Synthesis of benzoxazine – based phenolic resin Containing furan groups" School of Chemical and Material Engineering, Huangshi Institute of Technology , Huangshi435003 , China