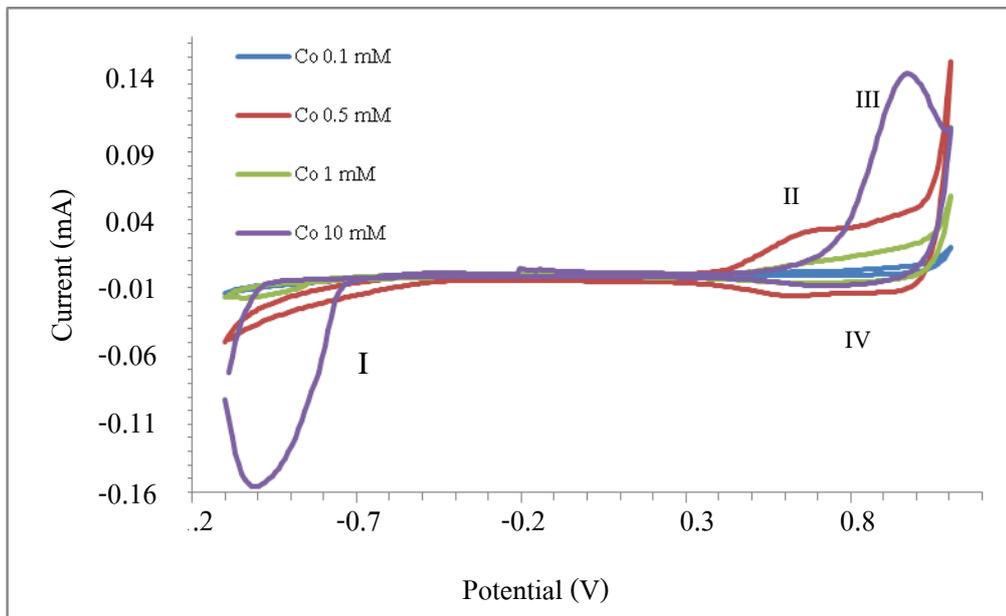


## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

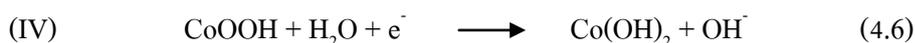
#### 4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการพอกพูนทางไฟฟ้าบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์โดยใช้เทคนิคการพอกพูนทางไฟฟ้าบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ได้ทำการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 0.10, 0.50, 1.00 และ 10.00 มิลลิโมลาร์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.1 ถึง +1.1 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1

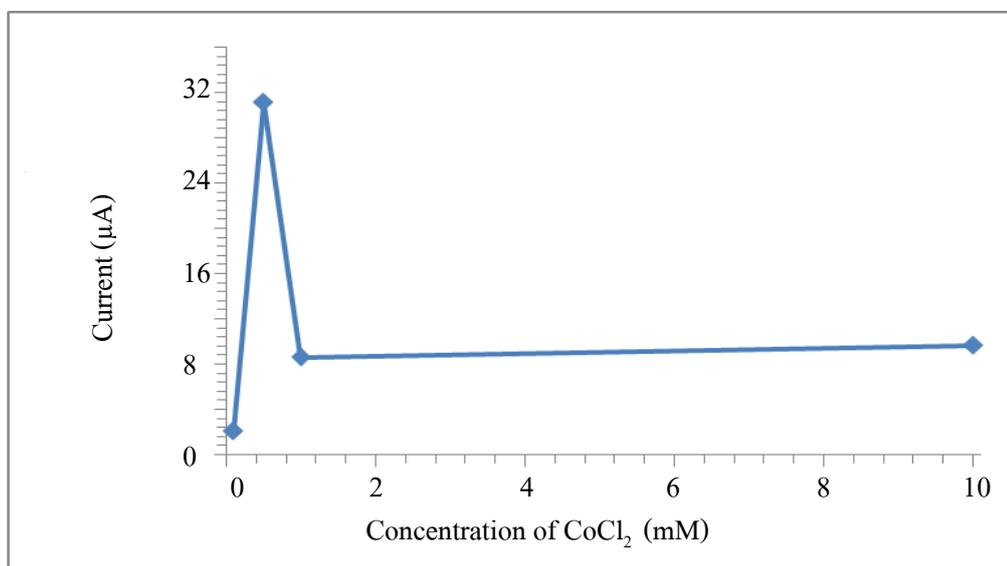


**รูปที่ 4.1** ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.10 ถึง 10.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.10 โมลาร์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.1 ถึง +1.1 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยความเข้มข้นโคบอลต์คลอไรด์ 0.1 มิลลิโมลาร์ (เส้นสีน้ำเงิน), 0.5 มิลลิโมลาร์ (เส้นสีแดง), 1 มิลลิโมลาร์ (เส้นสีเขียว) และ 10 มิลลิโมลาร์ (เส้นสีม่วง)

จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมรูปที่ 4.1 จะปรากฏพีค 4 พีคด้วยกัน โดยแต่ละพีคเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



โดยสามารถยืนยันปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ [ภาคผนวก ค.] จากปฏิกิริยาที่ 4.3 เป็นปฏิกิริยาการเกิดโคบอลต์ออกไซด์ ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) บนผิวหน้าขั้วจึงเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการพอกพูนทางไฟฟ้า จึงพลอตค่าปริมาณกระแสที่ตำแหน่งเกิดพีค 2 หรือที่ศักย์ไฟฟ้า 0.662 โวลต์ กับ ความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ที่ทำให้เกิดโคบอลต์ออกไซด์บนผิวหน้าขั้วมากที่สุด



**รูปที่ 4.2** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.662 โวลต์ ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

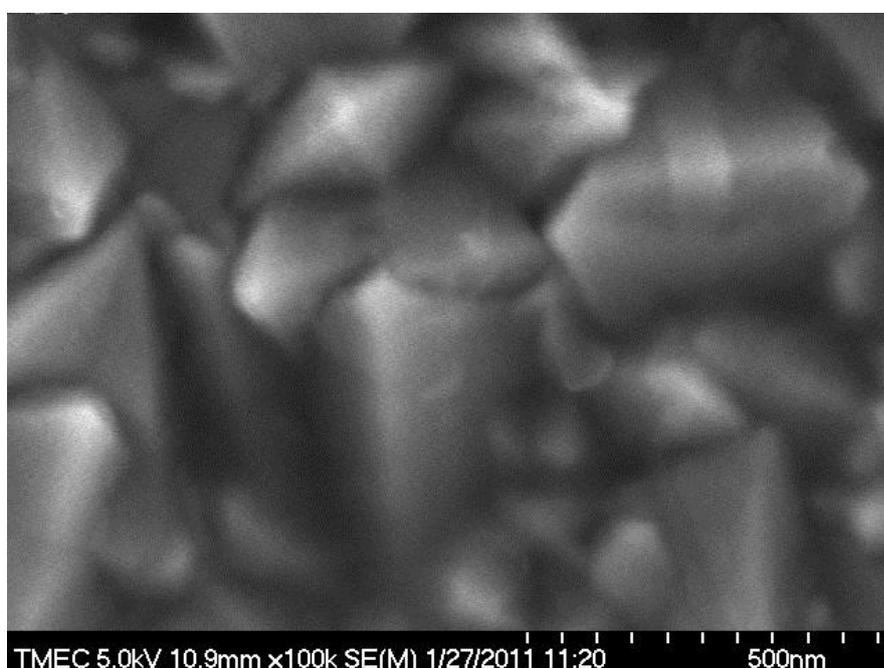
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ กับปริมาณกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 4.2 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ 0.50 มิลลิโมลาร์ จะเห็นพีคกระแสของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ศักย์ไฟฟ้า 0.662 โวลต์ ชัดเจนที่สุด

ในการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ในการพอกพูนทางไฟฟ้ากับขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน คือ 0.50 มิลลิโมลาร์ ไชคลิกโวลแทมโมแกรมในการพอกพูนทางไฟฟ้าแสดงใน [ภาคผนวก ง.]

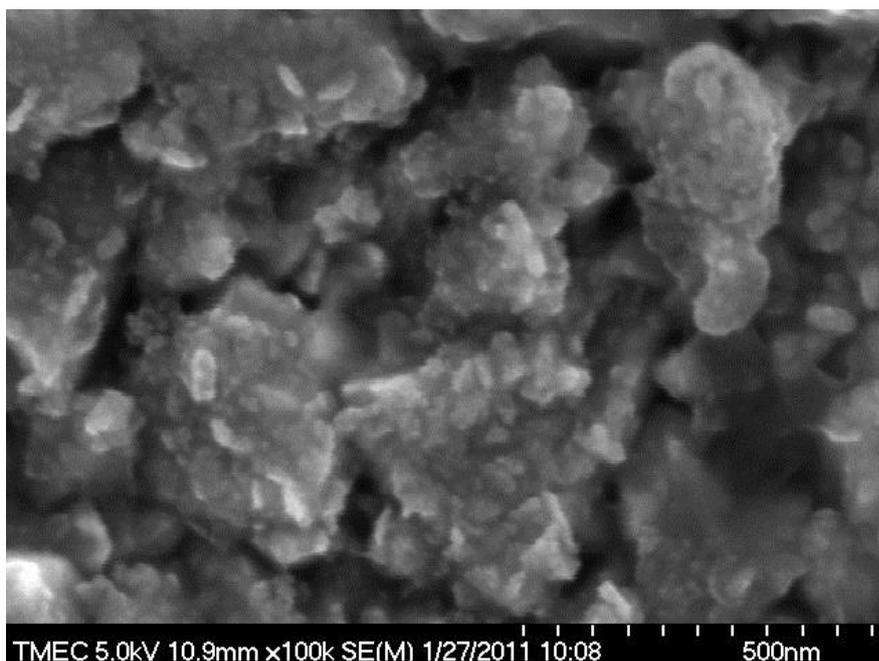
## 4.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ

### 4.2.1 ผลจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลจากศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์จากสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ในโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จะพบลักษณะทางกายภาพบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้า ดังรูป 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100,000 เท่าของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



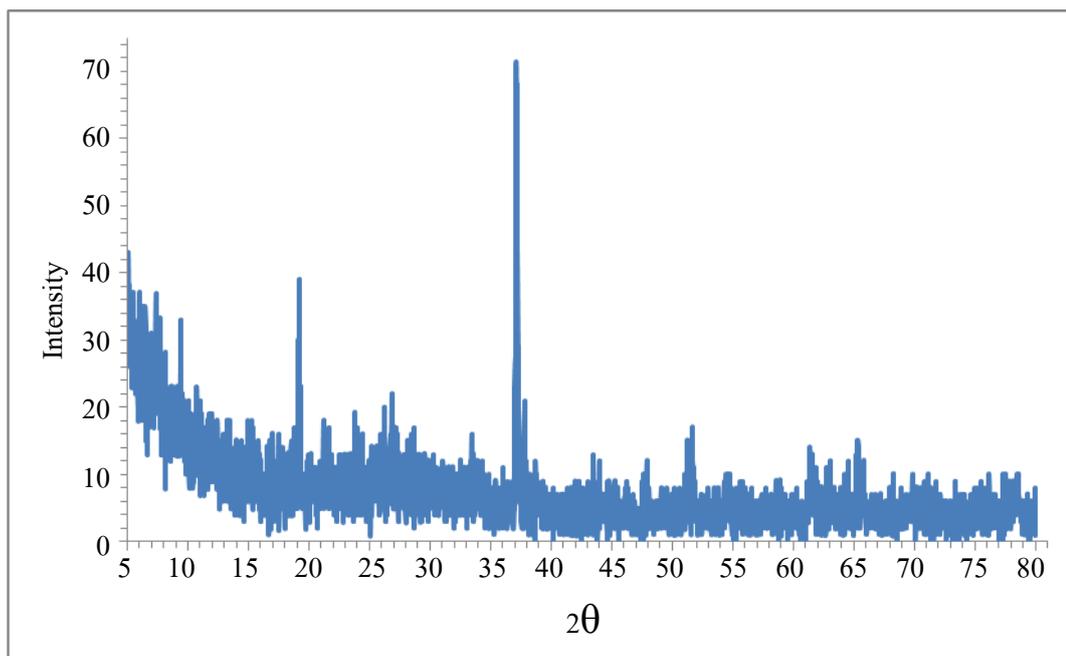
**รูปที่ 4.4** ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100,000 เท่า ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนออกไซด์

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนก่อนและหลังทำการปรับปรุงด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนออกไซด์ พบว่าก่อนทำการพอกพูนทางไฟฟ้าด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนออกไซด์ความเข้มข้น 0.50 มิลลิโมลาร์ จะปรากฏแต่ผลึกของทินออกไซด์เจือฟลูออรีน แต่หลังจากทำการพอกพูนทางไฟฟ้ากับสารละลายโพลีเอทิลีนออกไซด์ความเข้มข้น 0.50 มิลลิโมลาร์ จะมีอนุภาคมาเกาะอยู่บนพื้นผิวของผลึกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

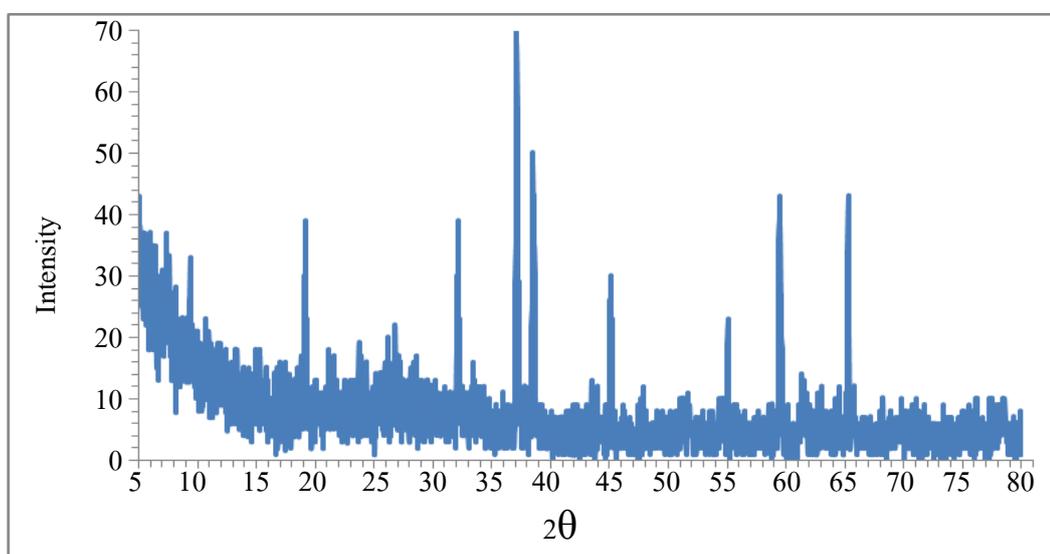
การทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การพอกพูนทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนออกไซด์ความเข้มข้น 0.05 มิลลิโมลาร์ สามารถทำการปรับปรุงได้จริง

#### 4.2.2 ผลจากการทดสอบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์

ผลจากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพจากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนออกไซด์จากสารละลายโพลีเอทิลีนออกไซด์ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จะพบลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้า ดังรูป 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กราฟจากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

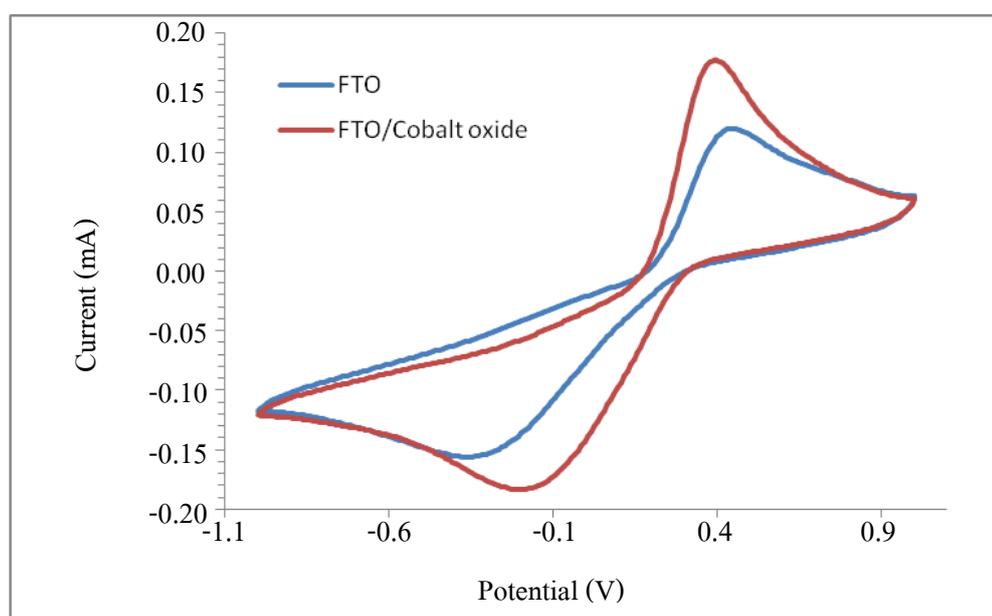


รูปที่ 4.6 กราฟจากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์

จากการพอกพูนทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนด้วยสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.50 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์จะปรากฏอนุภาคที่เกาะบนผลึกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จากรูปที่ 4.6 สามารถยืนยันจากกราฟได้ว่าอนุภาคที่มาเกาะบนผลึกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน คือโคบอลต์ออกไซด์ ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ )

#### 4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคโคบอลต์ออกไซด์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเทียบกับขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ โดยนำไปตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.00 โมลาร์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ไชคลิกโวลแทมโมแกรม ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเทียบ (เส้นสีน้ำเงิน) กับ ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับแต่งด้วยโคบอลต์ออกไซด์ (เส้นสีแดง) เมื่อทำการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ความเข้มข้น 10.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.00 โม

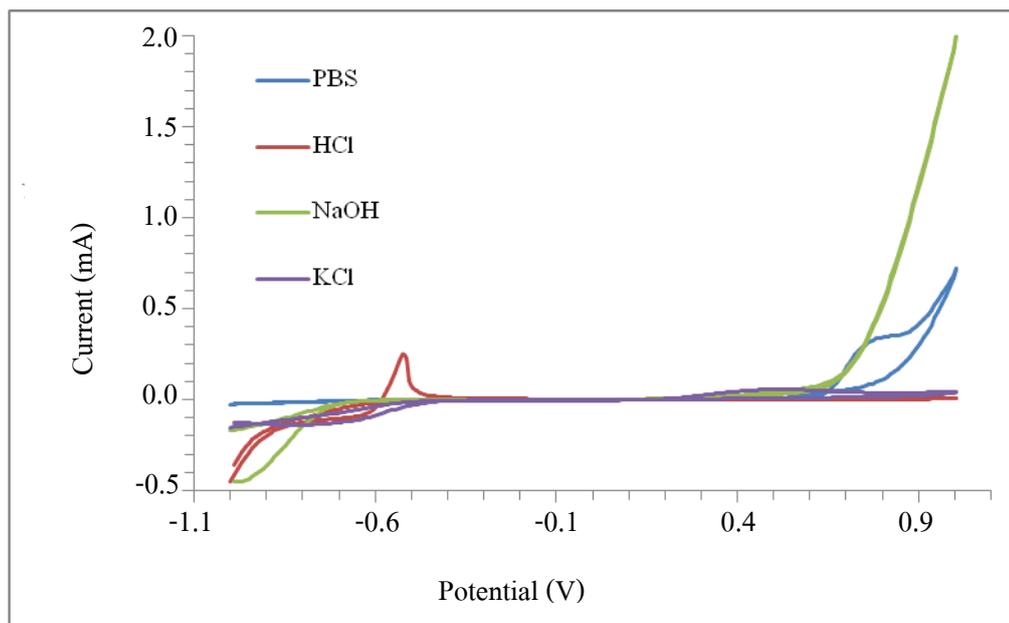
ลาร์ (เทียบกับข้าวอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

เมื่อพิจารณาถึงค่ากระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมจากรูป 4.7 พบว่าข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ให้กระแสที่สูงกว่าข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ในการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าโคบอลต์ออกไซด์สามารถช่วยปรับปรุงสภาพการนำกระแสของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้ ซึ่งเป็นผลมาจากโคบอลต์ออกไซด์มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี อีกทั้งยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสบริเวณหน้าข้าวไฟฟ้าจึงทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดได้ดีขึ้นและสามารถให้กระแสไฟฟ้าปริมาณค่าสูงขึ้น

#### 4.4 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

##### 4.4.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

ผลการศึกษาชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ด้วยข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ได้แก่ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์, สารละลายไฮโดรคลอริก 0.10 โมลาร์, สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.10 โมลาร์, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีสแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับข้าวอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที จะได้ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงดังรูป 4.8



รูปที่ 4.8 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ได้แก่

สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (เส้นสีฟ้า)

สารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ (เส้นสีแดง)

สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ (เส้นสีม่วง)

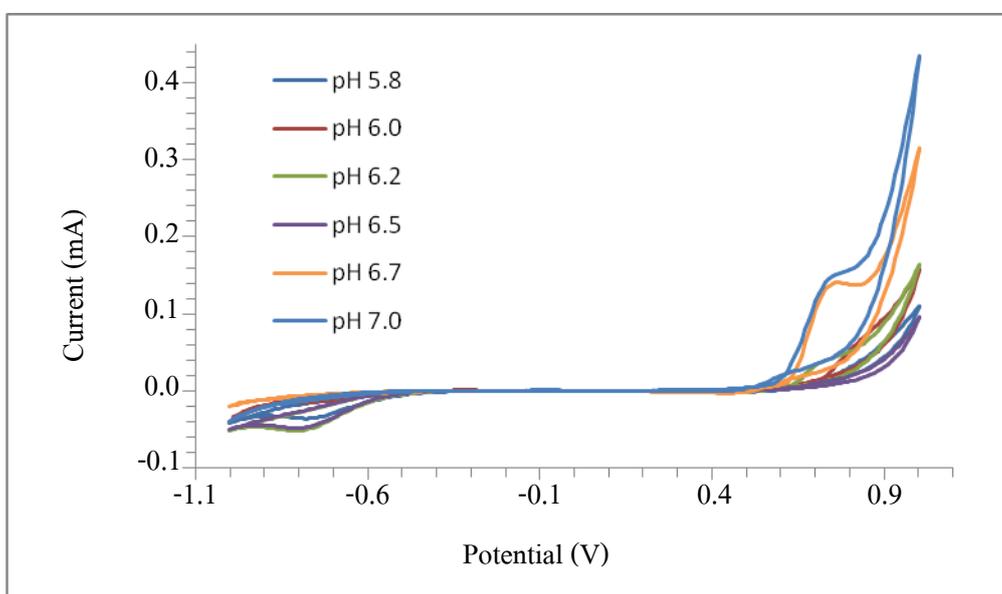
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ (เส้นสีเขียว)

ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโอบอลต์ออกไซด์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

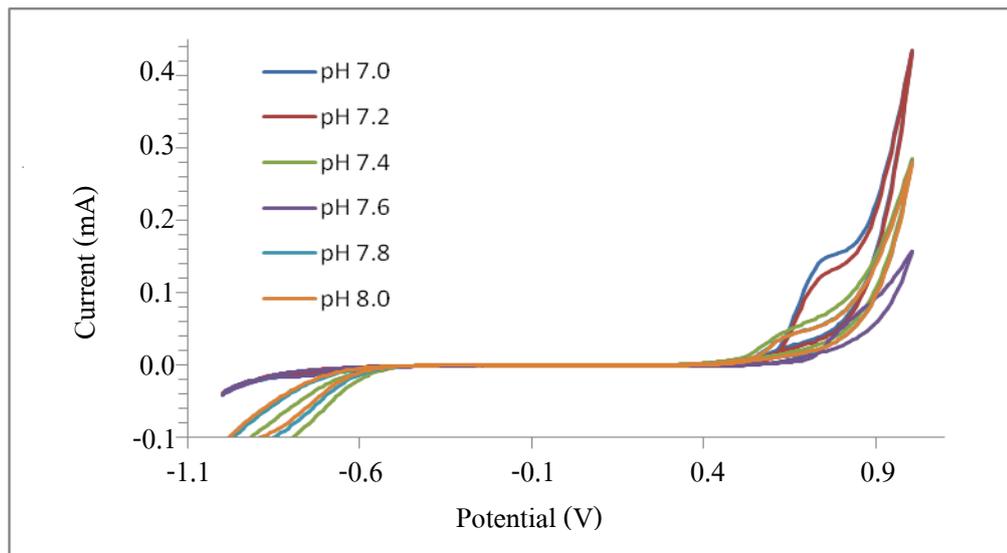
เมื่อพิจารณาจากรูป 4.8 พบว่าไชคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเห็นฟิสิกออกซิเดชันได้ชัดเจนที่สุด ในการทดลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

#### 4.4.2 พีเอชที่เหมาะสม

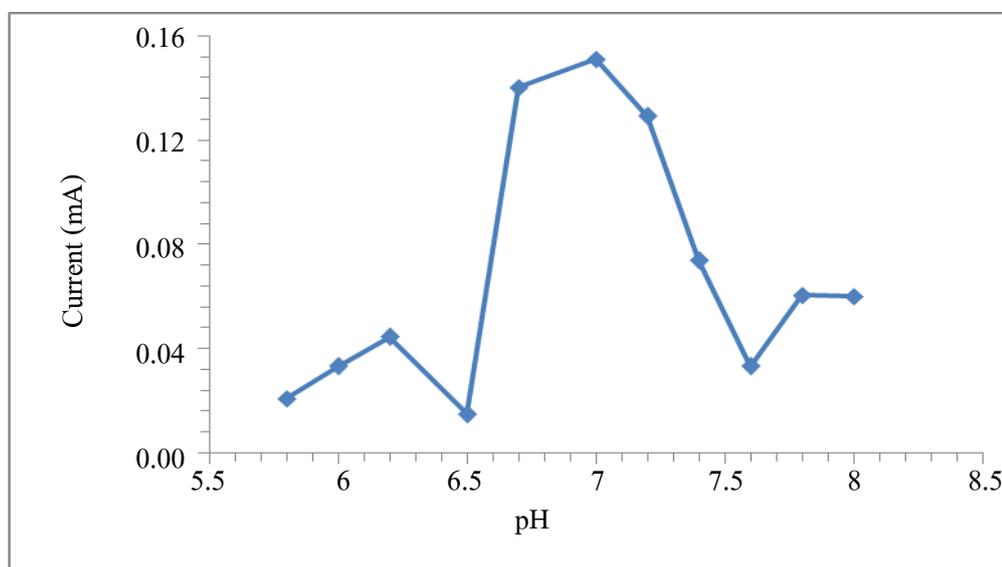
ผลการศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ พีเอช 5.8, 6.0, 6.2, 6.5, 6.7, 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8 และ 8.0 ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโอบอลต์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมดังรูป 4.9 และ รูป 4.10 เมื่อนำค่ากระแสมาพลอตกับค่าพีเอชจะได้ผลดังรูป 4.11



**รูปที่ 4.9** ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอช 5.8, 6.0, 6.2, 6.5, 6.7 และ 7.0 ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโอบอลต์ออกไซด์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



**รูปที่ 4.10** ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.00 มิลลิโมลลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8 และ 8.0 ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

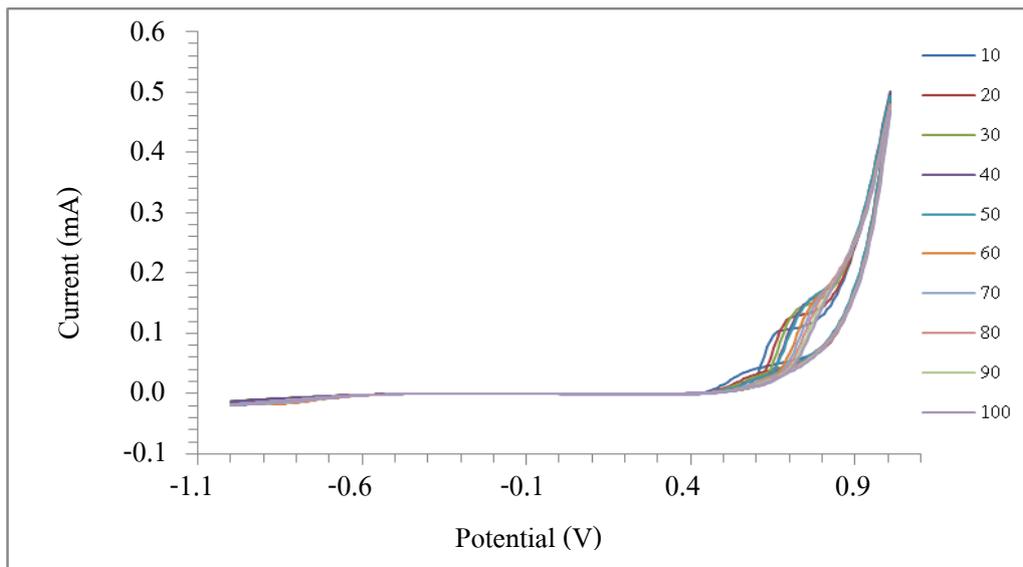


**รูปที่ 4.11** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าพีเอช 5.8, 6.0, 6.2, 6.5, 6.7, 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8 และ 8.0 ของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ซึ่งใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์

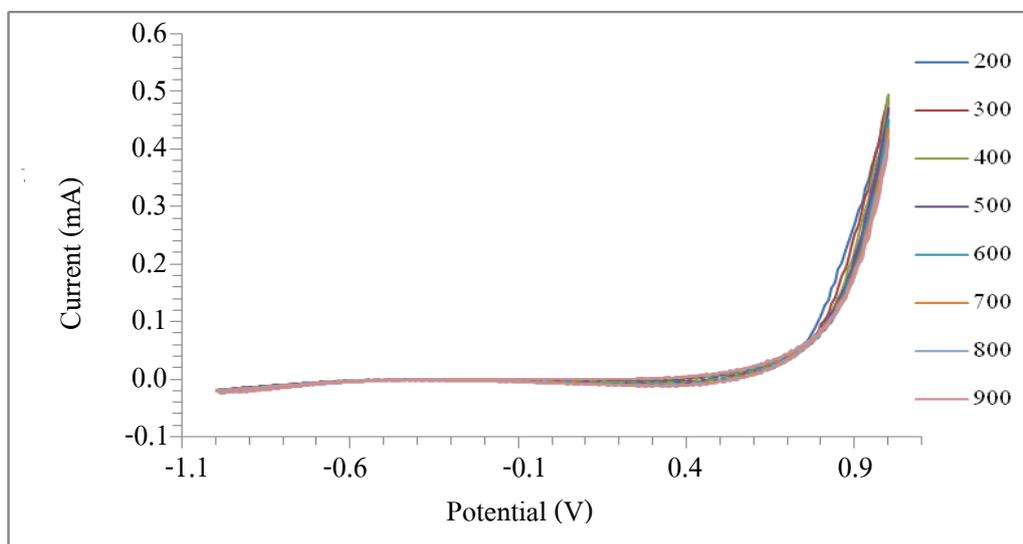
เมื่อพิจารณาจากรูป 4.11 เมื่อใช้พีเอชต่างๆค่ากระแสที่ได้ก็จะมีค่าแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ให้ค่ากระแสที่สูงที่สุด ในการทดลองจึงสรุปได้ว่าพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าเท่ากับ พีเอช 7

#### 4.4.3 อัตราการสแกนที่เหมาะสม

ผลการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิคไซคลิก โวลแทมเมทรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 และ 900 มิลลิโวลต์ต่อวินาที จากรูป 4.12 และ 4.13 จะพบว่าค่าพีคกระแสออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการสแกนเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราการสแกนเพิ่มขึ้นจนถึง 80 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีความชัดเจนของพีคกระแสออกซิเดชันก็จะลดลง จนกระทั่งอัตราการสแกนเพิ่มขึ้นจนถึง 200 มิลลิโวลต์ต่อวินาที จะไม่สามารถมองเห็นพีคกระแสออกซิเดชันได้



รูปที่ 4.12 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลลาร์ ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตพีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วย ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ สแกนศักย์ไฟฟ้า ในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

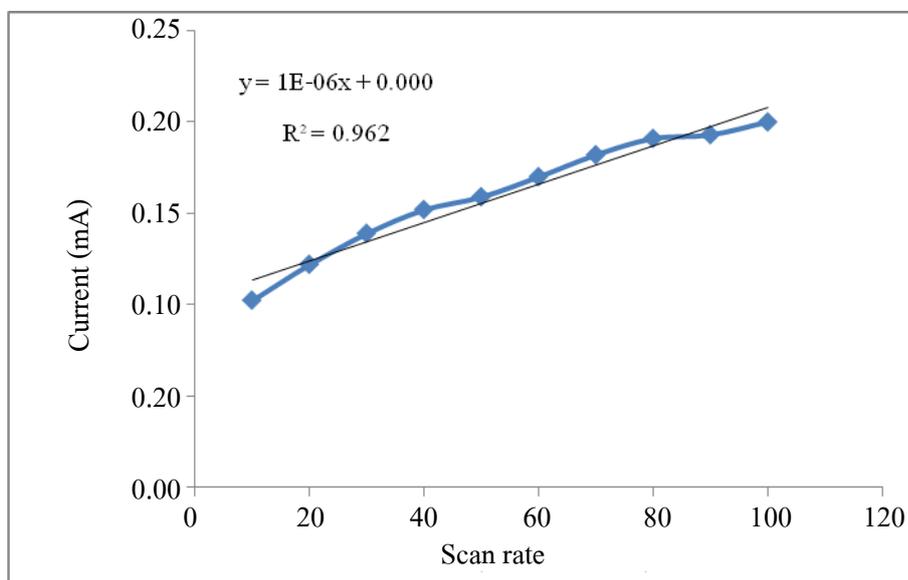


รูปที่ 4.13 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลลาร์ ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตพีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วย ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ สแกนศักย์ไฟฟ้า

ในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 และ 900 มิลลิโวลต์ต่อวินาที เมื่อนำค่าอัตราการสแกนที่ให้แกขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ มาพลอตกับค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมดังแสดงในรูป 4.14 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสแกนในลักษณะเป็นเส้นโค้งแสดง และเมื่อพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับค่ารากที่สองของอัตราการสแกนดังแสดงในรูป 4.15 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามค่าอัตราการสแกนในลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9950 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตรึงอยู่บนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กระแสที่เกิดจากกระบวนการ diffusion control โดยเห็นได้จากสมการ [45]

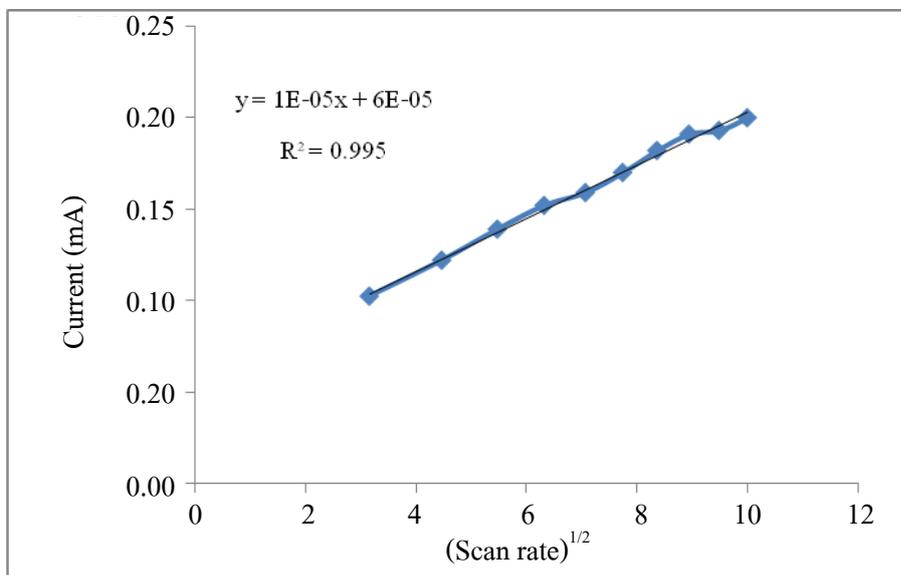
$$i_p = 2.99 \times 10^5 n(\alpha n_a)^{1/2} ACD^{1/2} V^{1/2} \quad (4.8)$$

ในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ สามารถใช้ค่าอัตราการสแกนในช่วง 10 ถึง 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที เพราะทำให้กระแสที่ชัดเจนในการวิเคราะห์



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์

ออกไซด์ ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

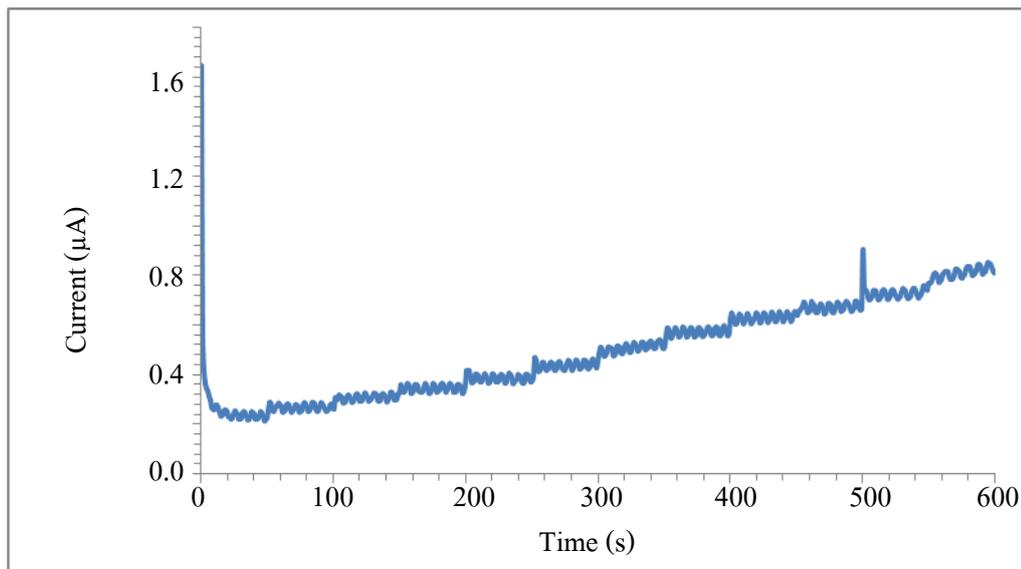


**รูปที่ 4.15** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.00 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

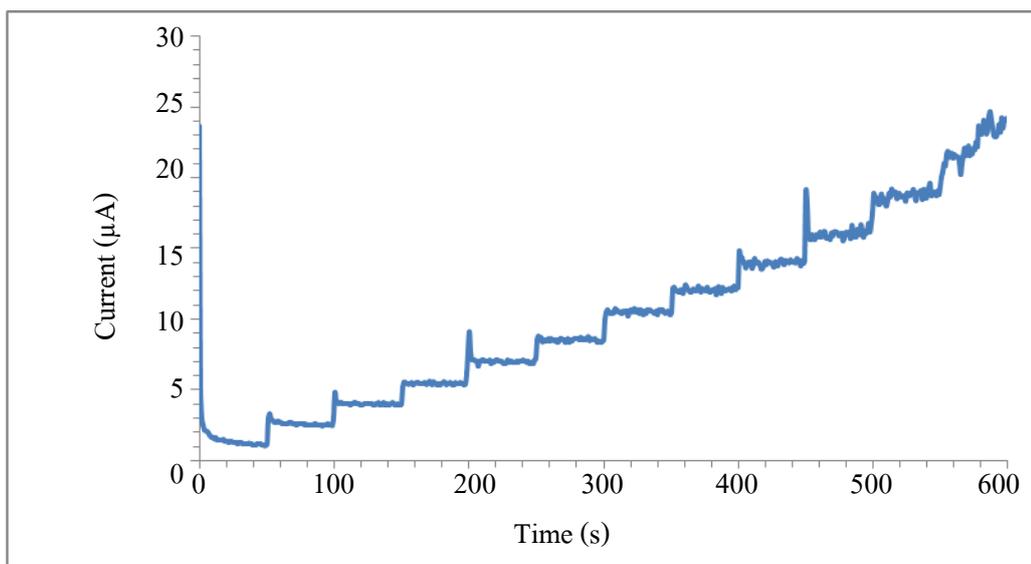
#### 4.5 ช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ผลการศึกษาการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยเทคนิคโครโนแอมเพอโรเมทรี เมื่อพิจารณาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 0.10 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ [ภาคผนวก จ.] สามารถกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่ให้ปริมาณกระแสสูงสุดที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.76 โวลต์

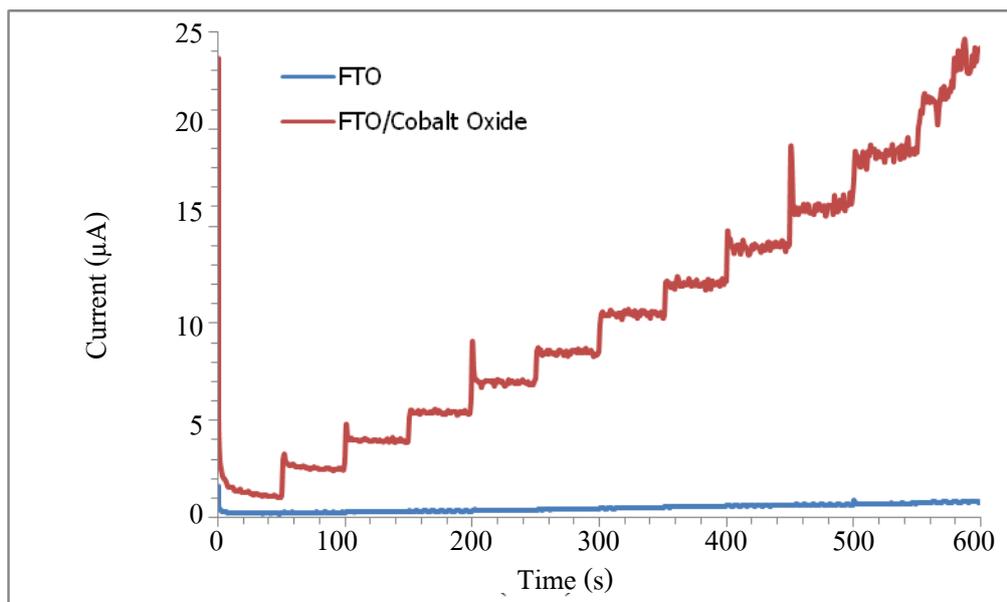
เมื่อคงที่ศักย์ไฟฟ้า 0.76 โวลต์ ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ โดยเทคนิคโครโนแอมเพอโรเมทรี ได้ผลแอมเพอโรแกรมดังแสดงในรูป 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 แอมเพอโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.76 โวลต์



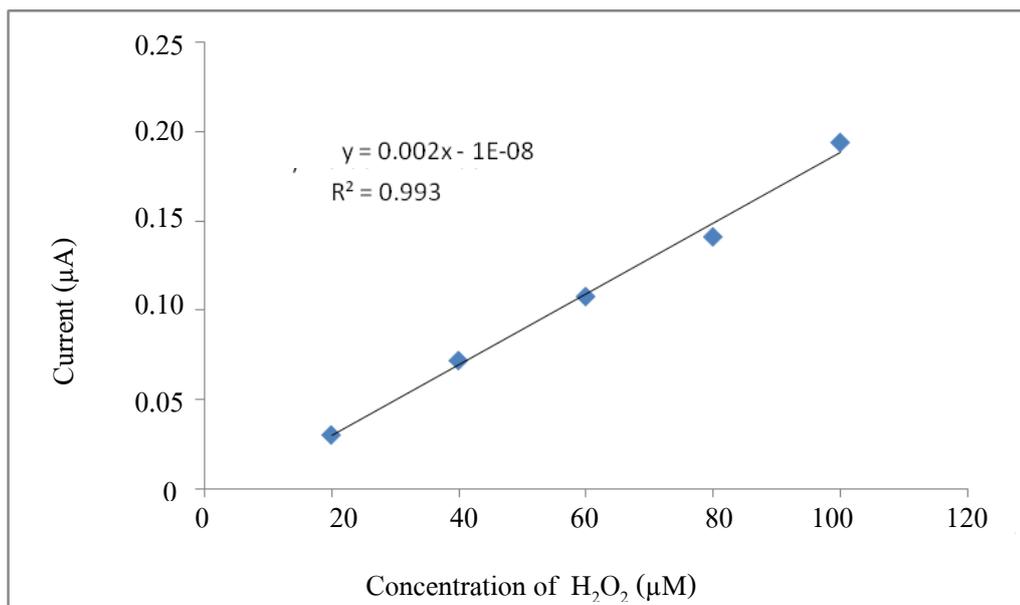
รูปที่ 4.17 แอมเพอโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ ในการตรวจวัด ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.76 โวลต์



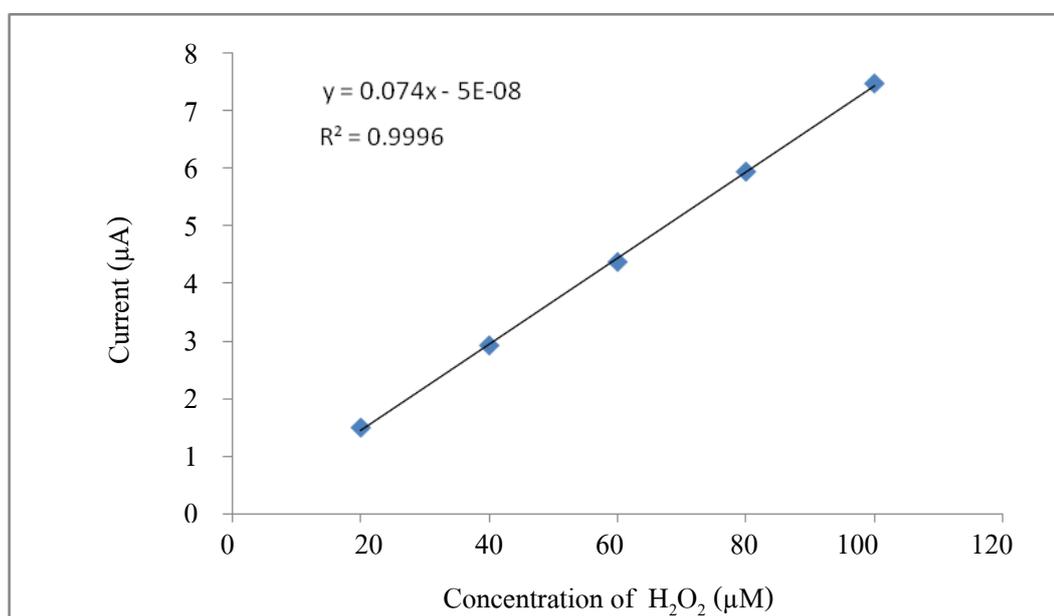
**รูปที่ 4.18** เปรียบเทียบแอมเพอโรแกรมระหว่างขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนกับ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.76 โวลต์

จากแอมเพอโรแกรมรูปที่ 4.16 และ 4.17 เมื่อนำมาพลอตค่าปริมาณกระแสกับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [ภาคผนวก ฉ.] และเลือกช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟ จะได้ช่วงความเป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์อยู่ในช่วงความเข้มข้น 20.00 ถึง 100.00 ไมโครโมลาร์ มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9930 และ 0.9996 ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ และจากแอมเพอโรแกรมรูปที่ 4.18 เมื่อนำค่ากระแสที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่าค่ากระแสที่ได้จากขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์มีค่าสูงกว่า

ในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการตรวจวัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์ให้ปริมาณกระแสและความเป็นเส้นตรงมากกว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและกระแส ที่อยู่ในช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและกระแส ที่อยู่ในช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโคบอลต์ออกไซด์

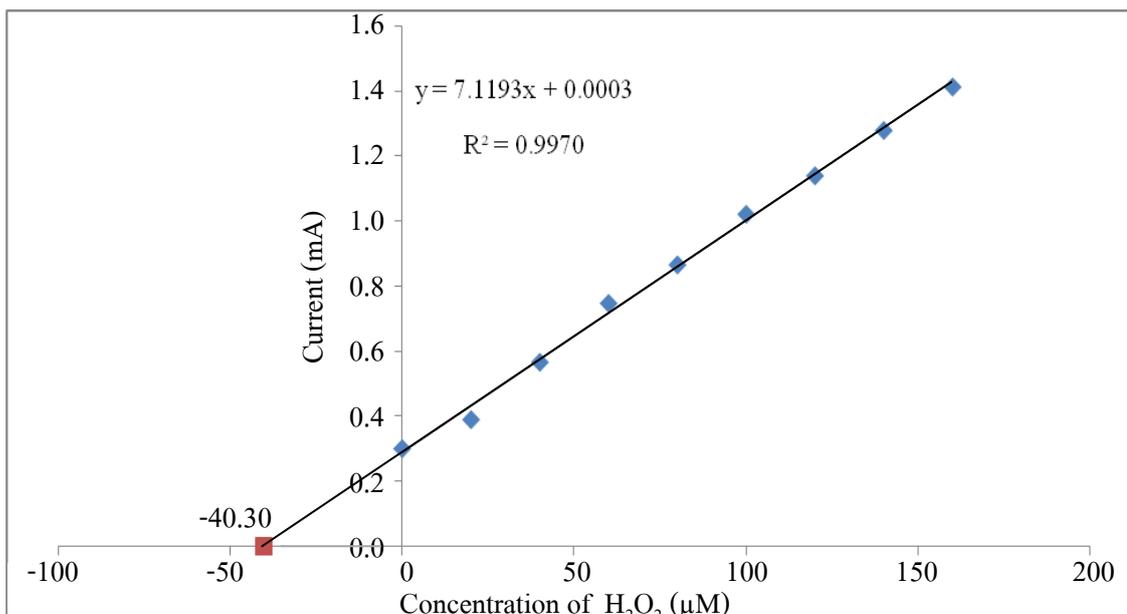
#### 4.6 ขีดจำกัดการตรวจวัด

ผลจากการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์คลอไรด์ จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 จะสามารถหาขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) ได้จากการคำนวณสมการเส้นตรงของกราฟ เมื่อเปรียบเทียบขีดจำกัดการตรวจวัดในการตรวจวัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ออกไซด์ จะพบว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 17.30 ไมโครโมลาร์ และขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ออกไซด์ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 2.85 ไมโครโมลาร์ [แสดงการคำนวณใน ภาคผนวก ช.]

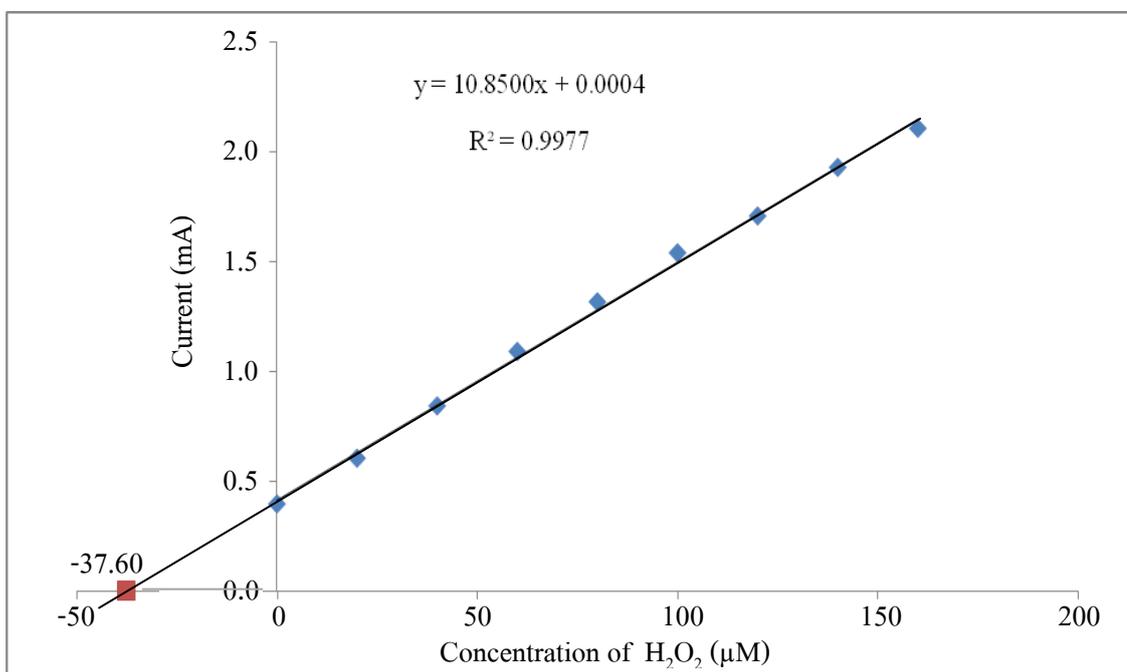
ในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ออกไซด์สามารถตรวจวัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในฟอสเฟตบัพเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ดังนั้นขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดสูงกว่า

#### 4.7 การประยุกต์ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

การตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารตัวอย่าง น้ำยาล้างแผลตามร่างกายตามกฎพยานาคู ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 % w/v และน้ำยาล้างแผลในช่องหู ช่องปากตราเสือดาว ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6 % w/v โดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี โดยการเติมสารละลายมาตรฐานลงในสารตัวอย่าง (standard addition method) ความเข้มข้น 20-160 ไมโครโมลาร์ ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 0.76 โวลต์ กราฟมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกระแสไฟฟ้าในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ของสารละลายตัวอย่างตัวอย่าง น้ำยาล้างแผลตามร่างกายตามกฎพยานาคู่



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกระแสไฟฟ้าในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ของสารละลายตัวอย่าง น้ำยาล้างแผลในช่องหู ช่องปากตราเสือดาว

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 เป็นรูปแสดงกราฟของวิธีการเติมสารมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอนของน้ำยาล้างแผลตามร่างกาย ตรา มงกุฎพญานาคคู่และน้ำยาล้างแผลในช่องหู ช่องปาก ตราเสือดาว โดยสามารถหาจุดตัดแกน x มีค่าเท่ากับ -40.30 และ -37.60 ไมโครโมลาร์ เมื่อคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าน้ำยาล้างแผลตามร่างกาย ตรามงกุฎพญานาคคู่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1.30 โมลาร์ และน้ำยาล้างแผลในช่องหู ช่องปาก ตราเสือดาวมีความเข้มข้นของไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์เท่ากับ 2.42 โมลาร์

#### 4.8 การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)

การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับจะพิจารณาจากช่วงการเติมสารละลายมาตรฐาน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 20 – 160 ไมโครโมลาร์ ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 0.76 โวลต์ การ คำนวณแสดงใน [ภาคผนวก ซ.]

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

น้ำยาล้างแผลตามร่างกาย ตรามงกุฎพญานาคคู่		น้ำยาล้างแผลในช่องหู ช่องปาก ตราเสือดาว	
ความเข้มข้นที่เติม (ไมโครโมลาร์)	ค่าร้อยละของการ คืนกลับ	ความเข้มข้นที่เติม (ไมโครโมลาร์)	ค่าร้อยละของการ คืนกลับ
20	62.62	20	96.14
40	93.32	40	103.03
60	104.62	60	106.83
80	99.29	80	106.24
100	101.29	100	105.61
120	98.27	120	100.92
140	98.23	140	101.09
160	97.70	160	98.72
เฉลี่ย	94.42	เฉลี่ย	102.31

จากตารางแสดงค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโอบอลต์ออกไซด์ พบว่าค่าร้อยละของการคืนกลับของการตรวจวัดน้ำยาล้างแผลตามร่างกาย ตราวมงกุฏพญานาคผู้มีค่าเท่ากับ 94.42 และน้ำยาล้างแผลในช่องหู ช่องปาก ตราเสือดาวมีค่าเท่ากับ 102.31 ซึ่งค่าร้อยละของการคืนกลับ ที่ยอมรับได้ของการวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 40 ไมโครโมลาร์ มีค่าเท่ากับ 80 – 110 เปอร์เซ็นต์ [ภาคผนวก ฉ.] แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์หาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมทรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยโอบอลต์ออกไซด์ มีความสามารถในการวิเคราะห์ที่ดีและมีความถูกต้องสูง