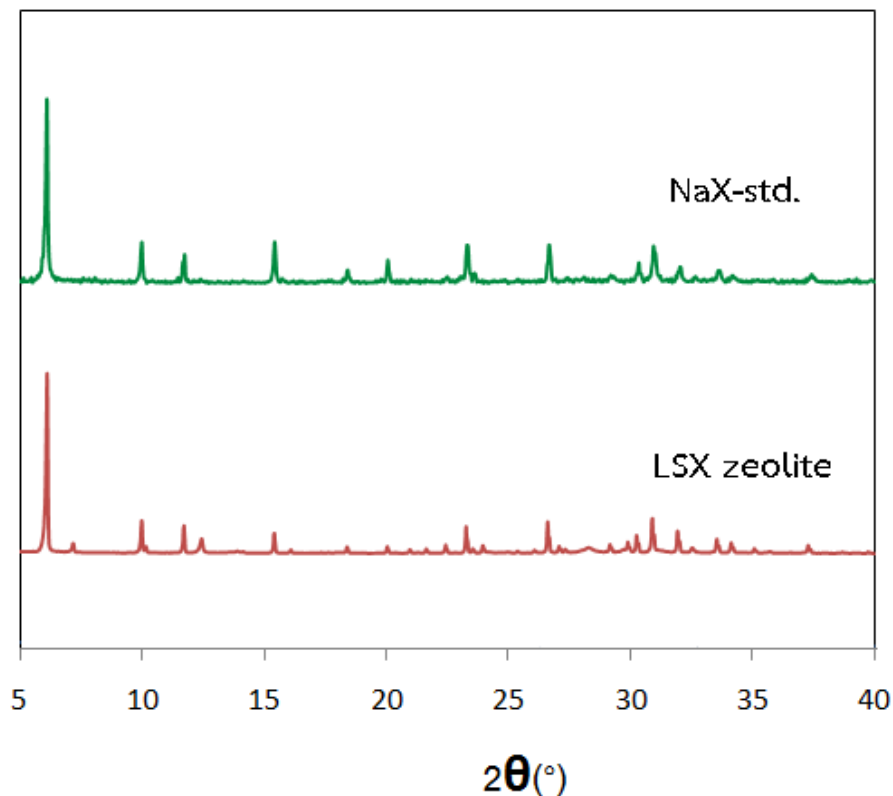


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณสมบัติและคุณสมบัติทั่วไปของ Zeolite LSX

ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ Cu^{2+} ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ใช้ Zeolite LSX เป็นซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบข้าว ทำการตกผลึกใน BOM จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิค XRD พบว่าให้ พีค XRD ตรงกับซีโอไลต์มาตรฐาน ดังรูป 4.1 แสดงให้เห็นซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้เป็นซีโอไลต์ LSX บริสุทธิ์ โดยมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้ คือ มีขนาดของผลึกเท่ากับ 102.88 nm มีพื้นที่ผิวประมาณ $300 \text{ m}^2/\text{g}$ และ องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในซีโอไลต์ ดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 XRD ของซีโอไลต์ LSX ที่สังเคราะห์จากแกลบข้าว

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ใน Zeolite LSX

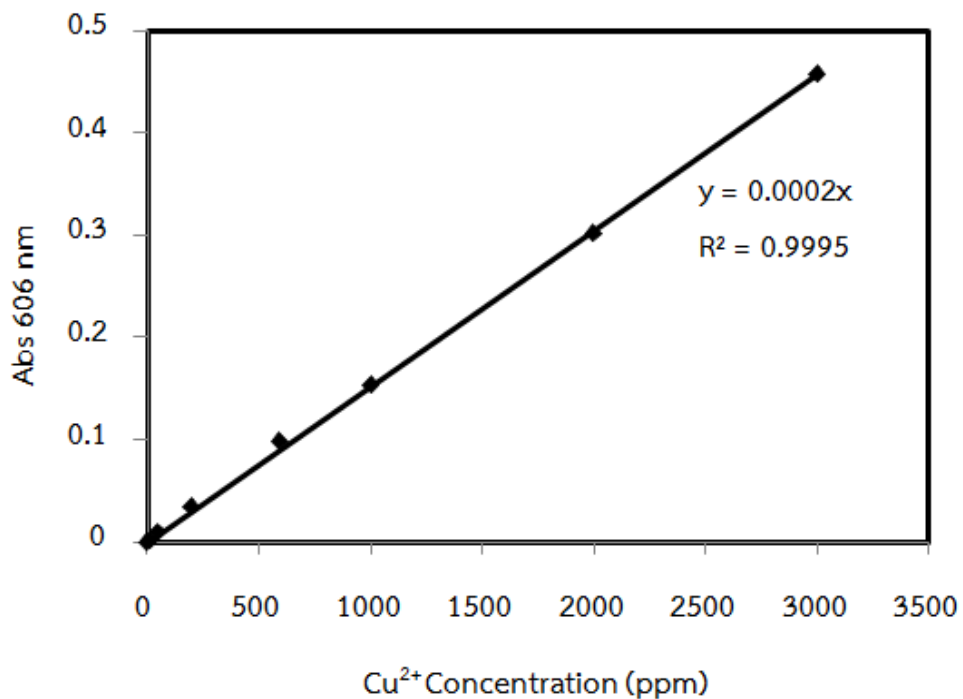
ธาตุ	LSX (%)
O	53.69
Na	7.29
Al	15.11
Si	21.76
K	2.15

4.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับ Zeolite LSX ที่ความเข้มข้นต่างๆ

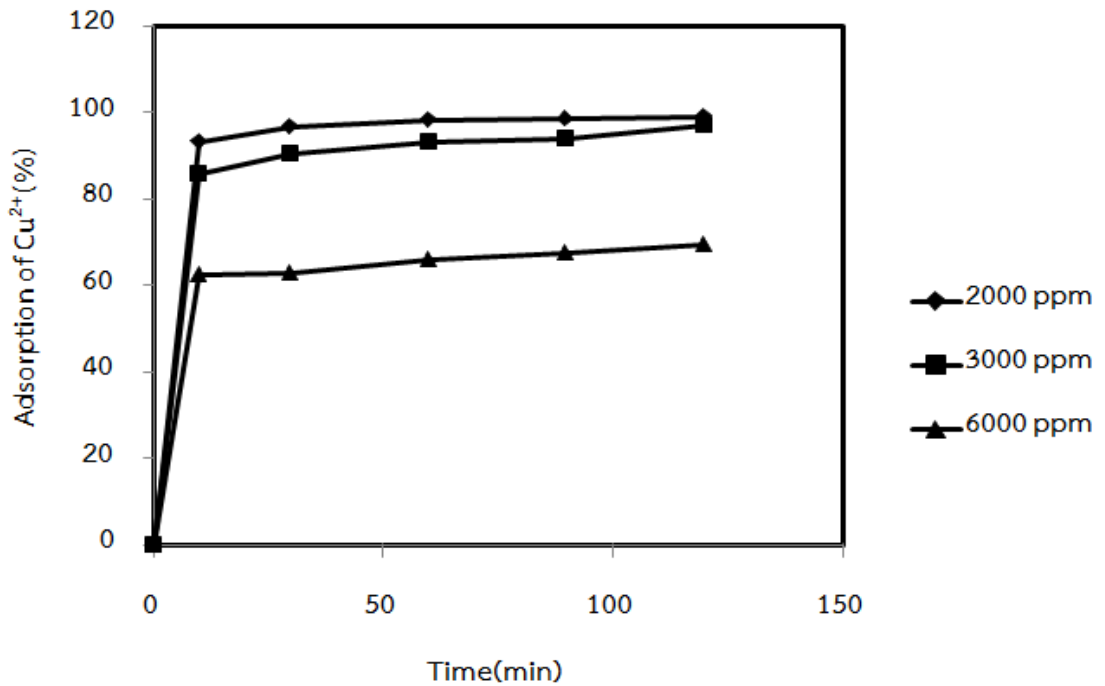
การทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm 3000 ppm และ 6000 ppm

กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

กราฟมาตรฐาน Calibration curve) ใช้สำหรับในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm 3000 ppm และ 6000 ppm



ภาพที่ 4.2 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 4.3 กราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆที่ดูดซับโดย Zeolite LSX

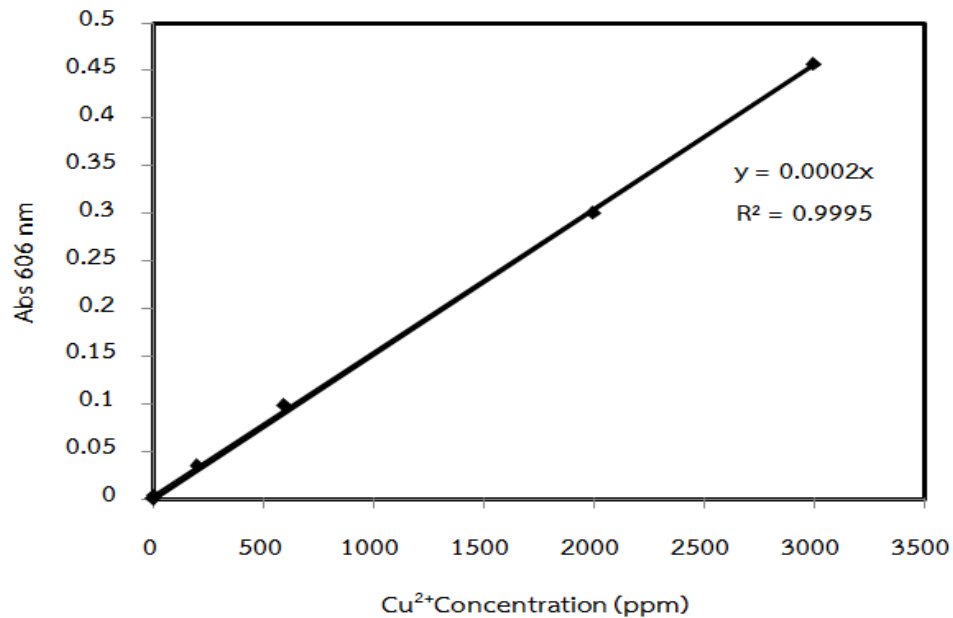
จากภาพที่ 4.3 แสดงกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาการดูดซับของสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm 3000 ppm และ 6000 ppm ด้วย Zeolite LSX พบว่าการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} เข้มข้นที่ความเข้มข้น 2000 ppm ให้ค่าการดูดซับสูงที่สุด คืออยู่ประมาณ 90% โดยค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่ภายใน 60 นาที นอกจากนี้ค่าการดูดซับมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย Cu^{2+} เพิ่มขึ้น อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการดูดซับของไอออนของ Cu^{2+} เป็นดูดซับทางเคมี ที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของซีโอไลต์ และอัตราส่วนระหว่าง Si และ Al เมื่อสารมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการแย่งตำแหน่งในการแลกเปลี่ยนไอออน และอาจมีการหลุดออกของ Cu^{2+} ที่เกาะบนพื้นผิวด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพ ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปศึกษาผลกระทบของ pH คือ ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ใช้เวลาในการดูดซับ 60 นาที

4.3 การทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm (3 ชั่วโมง)

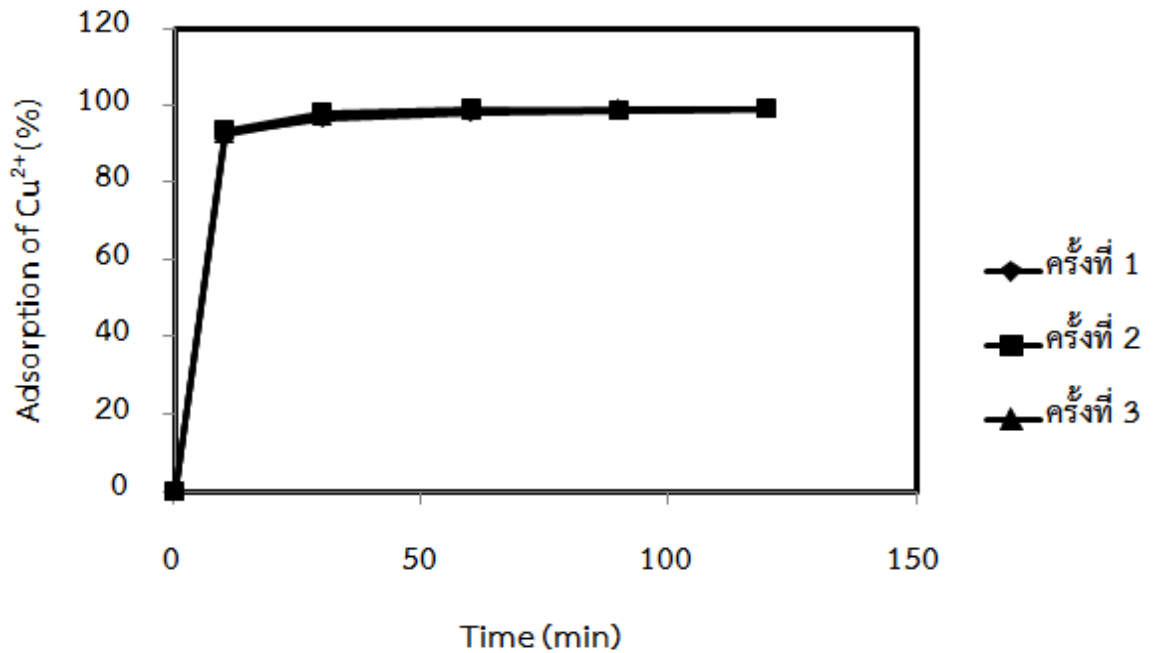
การทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LXS ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับ ซึ่งจะทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LXS ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm 3 ชั่วโมง

กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

กราฟมาตรฐาน Calibration curve) ใช้สำหรับการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm

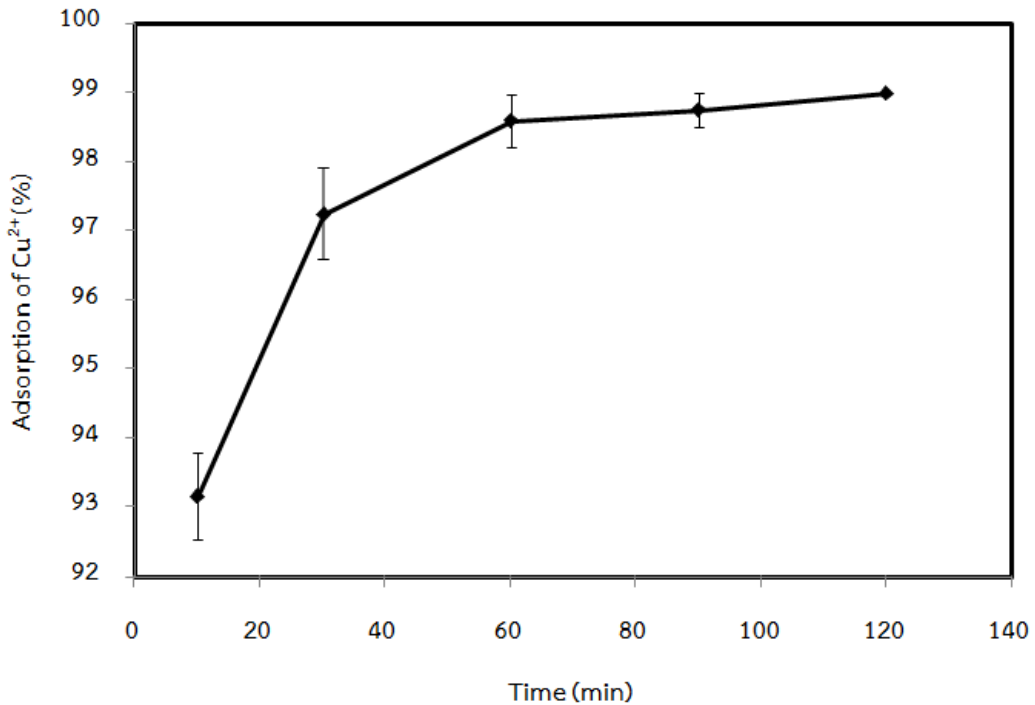


ภาพที่ 4.4 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm



ภาพที่ 4.5 กราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ดูดซับโดย Zeolite LXS (ซ้ำ 3 ครั้ง)

จากภาพที่ 4.5 แสดงกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ดูดซับโดย Zeolite LXS (ซ้ำ 3 ครั้ง) สังเกตได้ว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลาย Cu^{2+} มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงอยู่ประมาณ 90 % แสดงว่า Zeolite LXS สามารถดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ได้ดีที่ความเข้มข้น 2000 ppm หรือต่ำกว่า 2000 ppm ที่สังเกตเห็นได้ชัดคือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลา ทั้ง 3 ครั้งมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้เส้นของกราฟเกิดการซ้อนทับกันจึงทำให้ไม่เห็นเส้นกราฟบางเส้น



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงผลความเชื่อมั่นระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาของสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ดูดซับโดย Zeolite LXS ทั้ง 3 ครั้ง

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลความเชื่อมั่นระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาของสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ดูดซับโดย Zeolite LXS ทั้ง 3 ครั้งซึ่งการวิเคราะห์แต่ละครั้งค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะได้ค่าที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำกราฟช่วงความเชื่อมั่นออกมาซึ่งได้วิเคราะห์ในช่วงเวลาดังนี้ 10 นาที 30 นาที 60 นาที 90 นาทีและ 120 นาที ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละจุดมีค่าดังนี้ 0.63 0.66 0.38 0.25 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งจุดที่เชื่อมั่นได้ดีที่สุดจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยหรือมีความผิดพลาดน้อย ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ที่ 120 นาที มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถเชื่อมั่นได้ 100 %

4.4 การทดสอบความสามารถในการดูดซับของซีโอไลต์ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ pH ต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบ pH ของ สารละลาย 0.01 M $\text{Na}(\text{NO}_3)_2$ และ สารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm

สารที่ใช้วิเคราะห์	pH
0.01 M สารละลาย $\text{Na}(\text{NO}_3)_2$	5.824
สารละลาย Cu^{2+} 2000 ppm	5.122
สารละลาย Cu^{2+} 2000 ppm/ Zeolite	6.236

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบ pH ของ สารละลาย 0.01 M $\text{Na}(\text{NO}_3)_2$ และ สารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm สังเกตได้ว่าที่สารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่มี Zeolite LSX แห่อยู่จะมี pH ที่สูงกว่าสารละลาย Cu^{2+} 2000 ppm ที่ไม่มี Zeolite LXS แห่อยู่เป็นเพราะว่า Zeolite LSX มีการแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลาย Cu^{2+} จึงทำให้ H^+ มีจำนวนลดน้อยลงจึงทำให้สารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่มี Zeolite LSX แห่อยู่จะมี pH สูงขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ pH 3 ก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับของสารละลาย Cu^{2+}

หลอดที่	เวลา	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ
1	10	3.000	5.477
2	30	3.000	5.746
3	60	3.000	5.712
4	90	3.000	5.820
5	120	3.000	6.011

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบ pH 3 ก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} สังเกตได้ว่าสารละลาย Cu^{2+} ก่อนการดูดซับจะมี pH เท่ากับ 3 แต่เมื่อหลังการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} จะมี pH เพิ่มมากขึ้นเป็นเพราะว่าสารละลาย Cu^{2+} เข้าไปจับกับกับไอออนบวกของ Zeolite LSX จึงทำให้มี H^+ ลดน้อยลง และเมื่อเวลาผ่านไปสารละลาย Cu^{2+} ก็จะเข้าไปจับกับกับไอออนบวกเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ pH เพิ่มขึ้นตามลำดับ

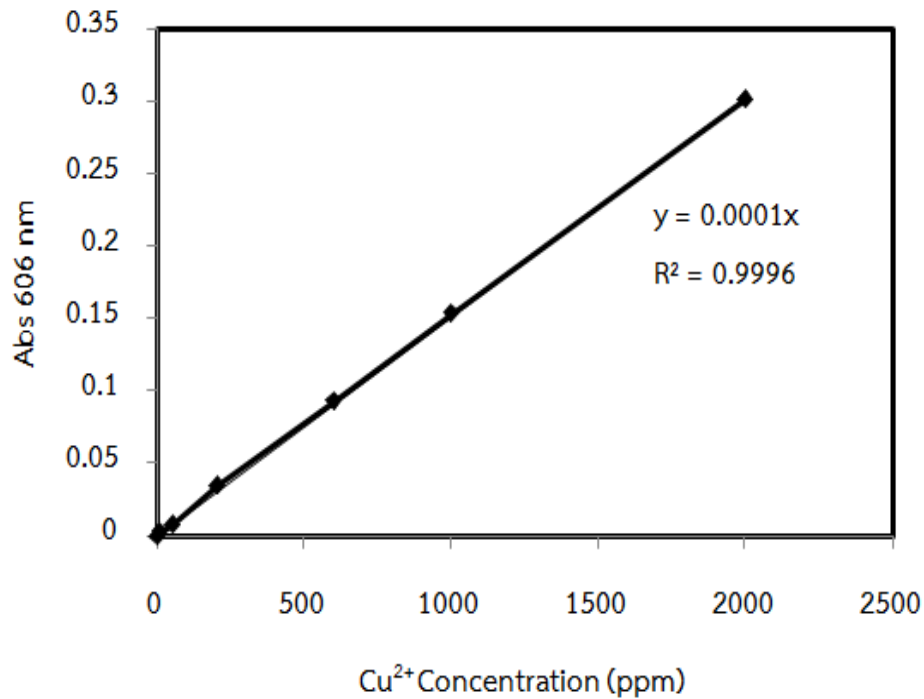
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ pH 5 ก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับของ สารละลาย Cu^{2+}

หลอดที่	เวลา	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ
1	10	5.012	5.765
2	30	5.012	5.732
3	60	5.012	5.866
4	90	5.012	6.013
5	120	5.012	6.156

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบ pH 5 ก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} สังเกตได้ว่าสารละลาย Cu^{2+} ก่อนการดูดซับจะมี pH เท่ากับ 5.012 แต่เมื่อหลังการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} จะมี pH เพิ่มมากขึ้นเป็นเพราะว่าสารละลาย Cu^{2+} เข้าไปจับกับกับไอออนบวกของ Zeolite LSX จึงทำให้มี H^+ ลดน้อยลง และเมื่อเวลาผ่านไปสารละลาย Cu^{2+} ก็จะเข้าไปจับกับกับไอออนบวกเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ pH เพิ่มขึ้นตามลำดับ

กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) pH 3

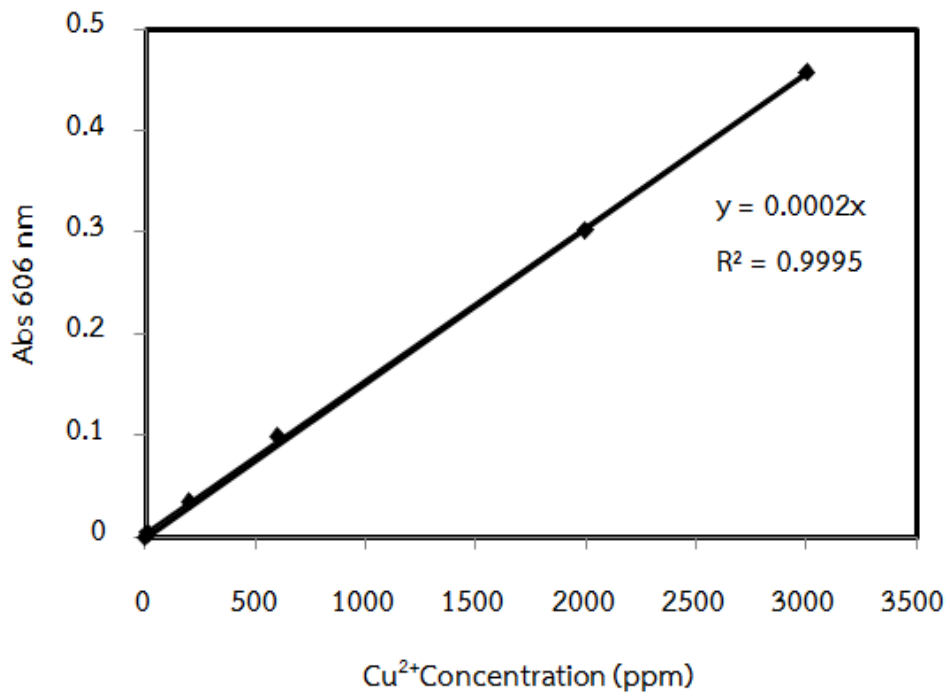
กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LXS ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ pH 3



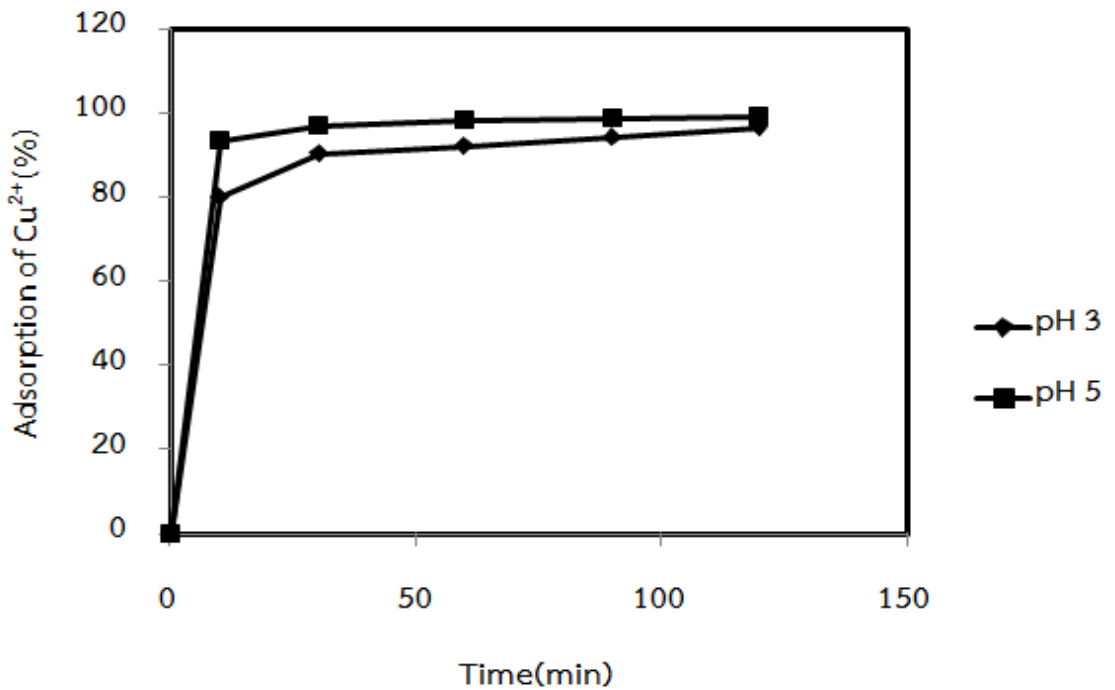
ภาพที่ 4.7 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LXS ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ pH 3

กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) pH 5

กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LXS ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ pH 5



ภาพที่ 4.8 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Zeolite LXS ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ pH 5

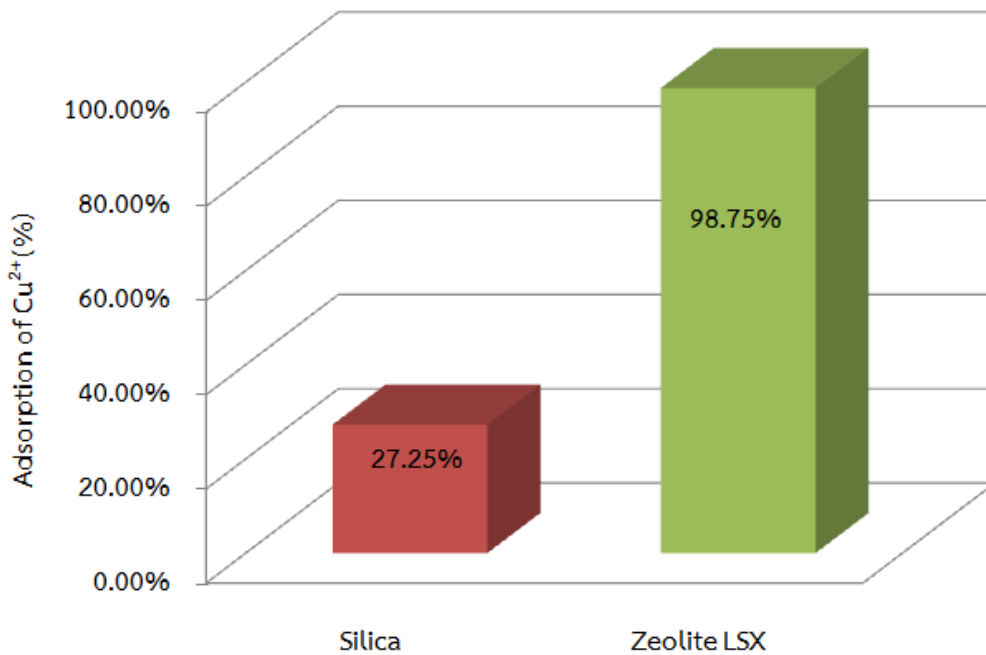


ภาพที่ 4.9 กราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ pH 5 และ pH 3 ที่ดูดซับโดย Zeolite LXS

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาของ pH 5 และ pH 3 สังเกตได้ว่าที่ pH 5 จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ดีกว่า pH 3 เป็นเพราะว่า pH 5 มี H^+ น้อยกว่า pH 3 เมื่อมีการแลกเปลี่ยนไอออนกันระหว่าง Zeolite LXS กับ สารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 5 สารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 5 จะมีการจับกับไอออนบวกของ Zeolite LXS กันพอดีจึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ดีกว่า pH 3 เพราะว่า pH 3 มีจำนวน H^+ เป็นจำนวนมากจึงทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนประจุกันได้หมด จึงทำให้มี เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้อยกว่า pH 5

4.5 การทดสอบความสามารถในการดูดซับระหว่างซิลิกา (Silica) และซีโอไลต์ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm

การทดสอบความสามารถในการดูดซับของ Silica และ Zeolite LSX ในสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm เพื่อต้องการเปรียบเทียบระหว่างการดูดซับของ Silica และ Zeolite LSX สารชนิดไหนดูดซับได้ดีกว่ากัน



ภาพที่ 4.10 รูปแผนภูมิแท่งแสดงผลของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ดูดซับโดย Silica และ Zeolite LSX

จากภาพที่ 4.10 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้น 2000 ppm ที่ดูดซับโดย Silica และ Zeolite LSX สังเกตได้ว่า ซิลิกาจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 27.25 % ซึ่งน้อยกว่าซีโอไลต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 98.75% เป็นเพราะว่า Zeolite LSX มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่า Silica จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลาย Cu^{2+} มีค่ามากกว่าประมาณ 3 เท่า