



บทที่ 4

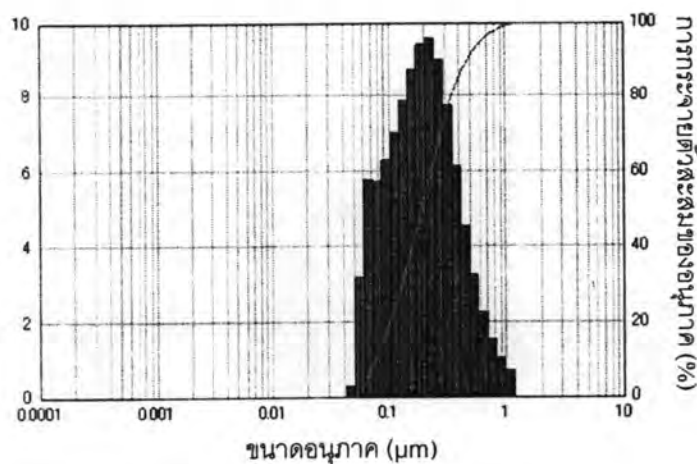
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด

จากการสังเคราะห์ตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก 4 ชนิด ได้แก่ อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่เคลือบผิวด้วยซิลิกา (SCP), อนุภาคที่มีการเคลือบผิวด้วยซิลิกาและทำการต่อติดด้วยหมู่อะมิโน (A-SCP), อนุภาคที่มีการเคลือบผิวด้วยซิลิกาและทำการต่อติดด้วยหมู่เมอร์แคปโต (M-SCP) และอนุภาคที่มีการเคลือบผิวด้วยซิลิกาและทำการต่อติดทั้งสองหมู่ฟังก์ชัน (AM-SCP) และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกลางแต่ละชนิด พบว่า

4.1.1 ขนาดอนุภาคของตัวกลางดูดซับ

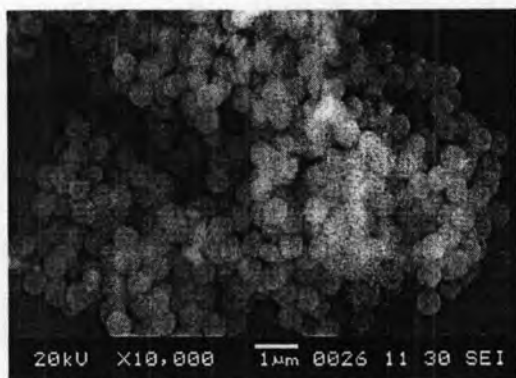
จากการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคนาโนชนิดแมกเนไทต์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่า อนุภาคนาโนชนิดแมกเนไทต์มีการกระจายตัวที่ดี โดยส่วนใหญ่ 90-95% อนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 400 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคนาโนชนิดแมกเนไทต์

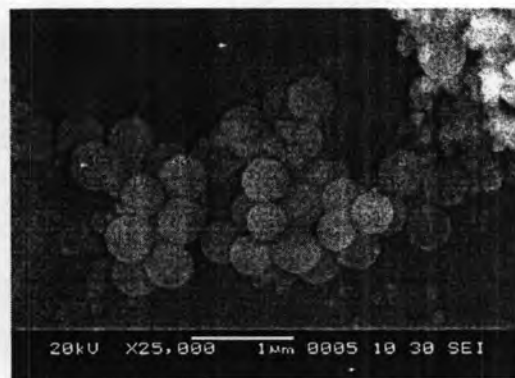
จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 และ 25,000 เท่า พบว่า ขนาดอนุภาคของ SCP, A-SCP, M-SCP และ AM-SCP มีค่าเท่ากับ 428, 437, 468 และ 525 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะกลม พื้นผิวเรียบและมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.2



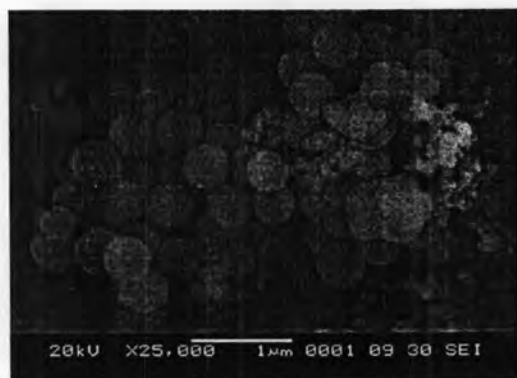
SCP

กำลังขยาย 10,000 เท่า



A-SCP

กำลังขยาย 25,000 เท่า



M-SCP

กำลังขยาย 25,000 เท่า



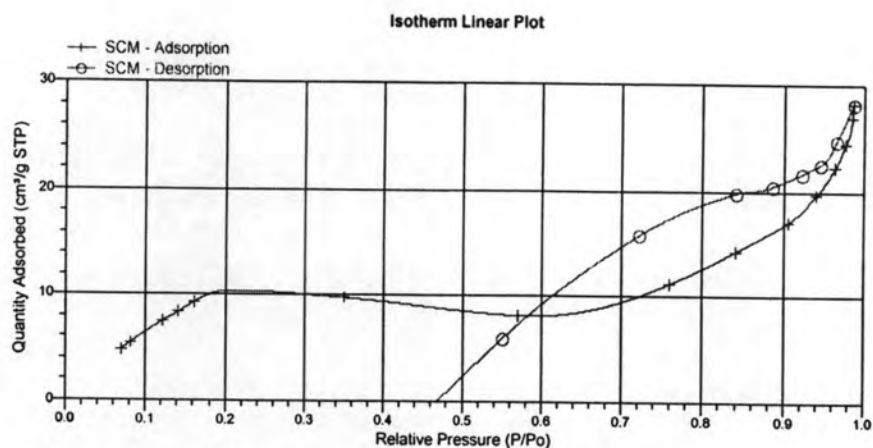
AM-SCP

กำลังขยาย 25,000 เท่า

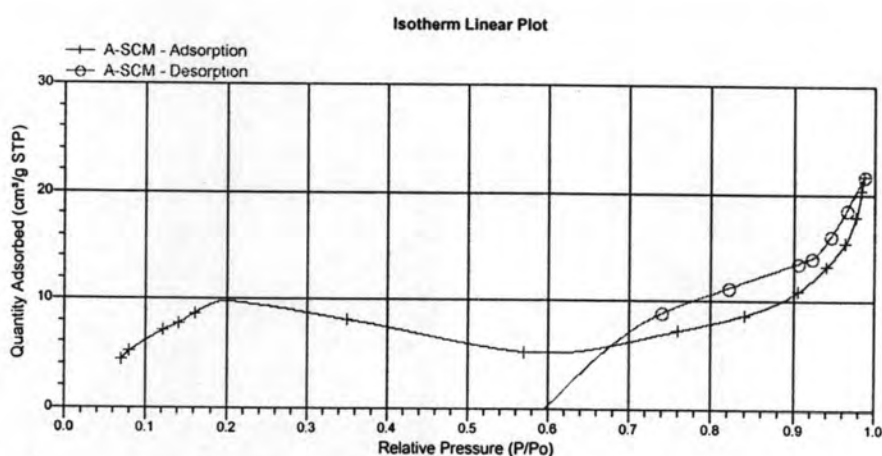
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด

4.1.2 พื้นที่ผิวของตัวกลางดูดซับ

จากการหาพื้นที่ผิวของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ไอโซเทอมของการดูดซับไนโตรเจนโดยหาพื้นที่ผิวจำเพาะจากสมการของ BET พบว่า พื้นที่ผิวของ SCP, A-SCP, M-SCP และ AM-SCP มีค่าเท่ากับ 58.01, 56.84, 67.13 และ 66.70 m^2/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การต่อติดหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวไม่ได้มีผลต่อพื้นที่ผิวของอนุภาคตัวกลางดูดซับ



ภาพที่ 4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับไนโตรเจนในสถานะแก๊สของตัวกลางดูดซับ SCP

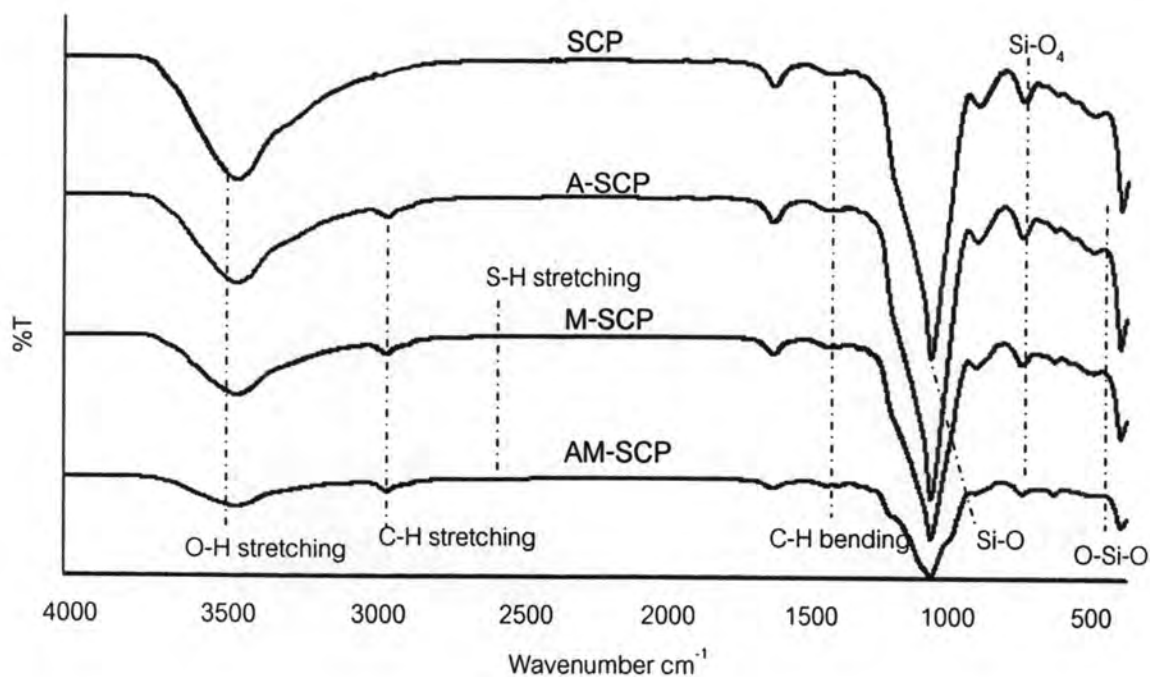


ภาพที่ 4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับไนโตรเจนในสถานะแก๊สของตัวกลางดูดซับ A-SCP

จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นถึงไอโซเทอร์มการดูดซับไนโตรเจนในสถานะแก๊สของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิด SCP และ A-SCP เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการดูดซับตาม IUPAC พบว่า เป็นไปตามรูปแบบที่ 4(5) ซึ่งยืนยันได้ถึงลักษณะการดูดซับของตัวกลางดูดซับที่ไม่มีรูพรุน

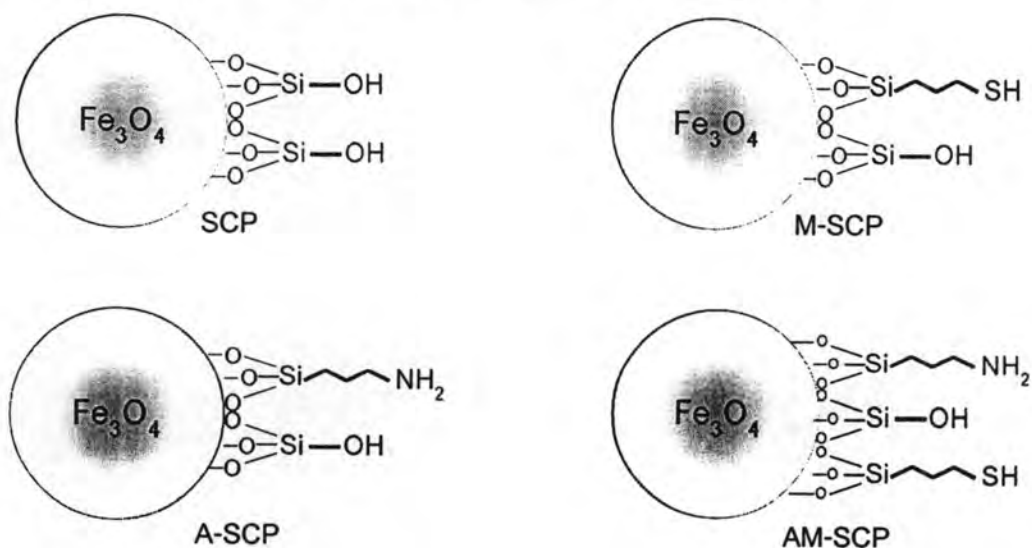
4.1.3 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวตัวกลางดูดซับ

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เพื่อยืนยันหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น และมีการปรับปรุงพื้นผิวโดยการต่อดินหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์ ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัม FT-IR ของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด

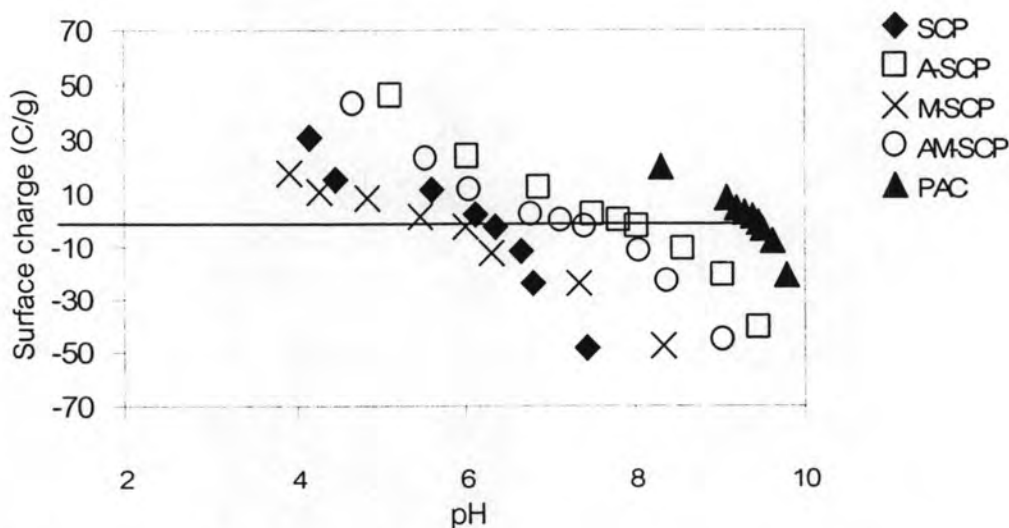
จากภาพที่ 4.5 พบว่า อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกทุกชนิดมีพีคที่เด่นชัดอยู่ในช่วง $3400-3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching สามารถบอกได้ว่า SCP ทุกชนิดที่สังเคราะห์ได้นั้นมีหมู่ซิลานอลอยู่บนพื้นผิว และเห็นได้ชัดว่า SCP จะมีพีคนี้เด่นชัดมากที่สุด บ่งชี้ได้ถึงการมีหมู่ซิลานอลอยู่บนพื้นผิวมากกว่าหมู่ฟังก์ชันอื่น ในส่วนของ SCP ที่มีการต่อติดหมู่ฟังก์ชัน จะมีพีคของ C-H stretching ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 3000 cm^{-1} และพีค C-H bending ของหมู่เมทิลีนในช่วง 1450 cm^{-1} ซึ่งพีคเหล่านี้จะไม่พบใน SCP



ภาพที่ 4.6 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด

4.1.4 ประจุบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับ

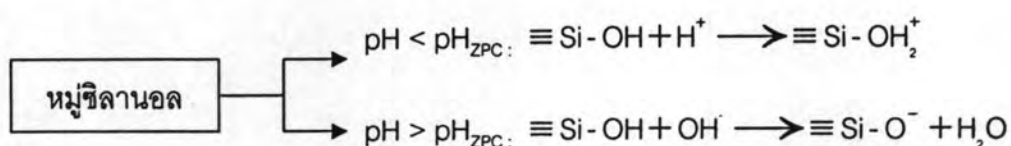
จากการวิเคราะห์หาประจุบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับชนิดต่าง ๆ นั้น ด้วยวิธีไทเทรตกรด-เบส โดยในการไทเทรตจะควบคุมให้ค่าความแรงของประจุ (Ionic Strength) เท่ากับ 0.01 โมลาร์ โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุลจะทำการวัดพีเอชของสารละลายและเขียนเป็นกราฟระหว่างค่าพีเอชและประจุบนพื้นผิวดังแสดงในภาพที่ 4.7

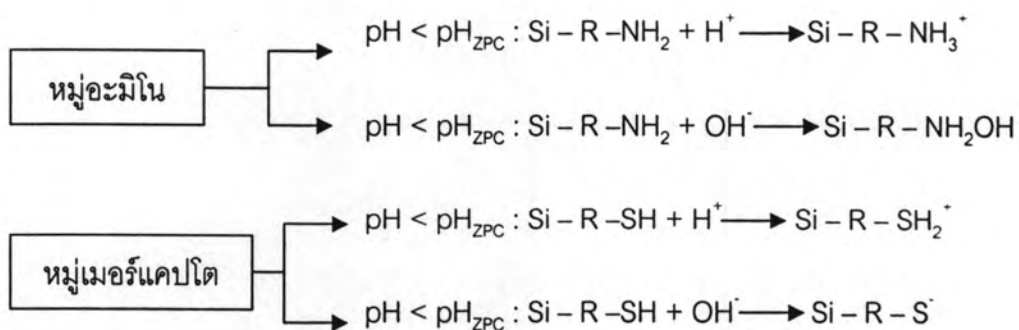


ภาพที่ 4.7 ประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดและถ่านกัมมันต์ชนิดผง

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.7 แสดงถึงประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด ได้แก่ SCP, A-SCP, M-SCP, AM-SCP และ PAC ซึ่งสามารถบอกถึงค่าพีเอชที่ทำให้ประจุบนพื้นผิวเป็นศูนย์ (pH zpc) เท่ากับ 6.2, 7.8, 5.6, 7.1 และ 9.5 ตามลำดับ

ในช่วงที่ค่าประจุบวกและประจุลบบนพื้นผิวของอนุภาคเท่ากันดังแสดงในภาพที่ 4.7 ความหนาแน่นของประจุจะลดลง เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจากช่วงกรดไปจนถึงในช่วง pH ที่เป็นเบส หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของอนุภาคชนิดต่างๆ จะมีการได้รับโปรตอนหรือสูญเสียโปรตอน ทำให้ประจุบนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปที่ค่าพีเอชต่างๆ สามารถแสดงได้ดังปฏิกิริยา





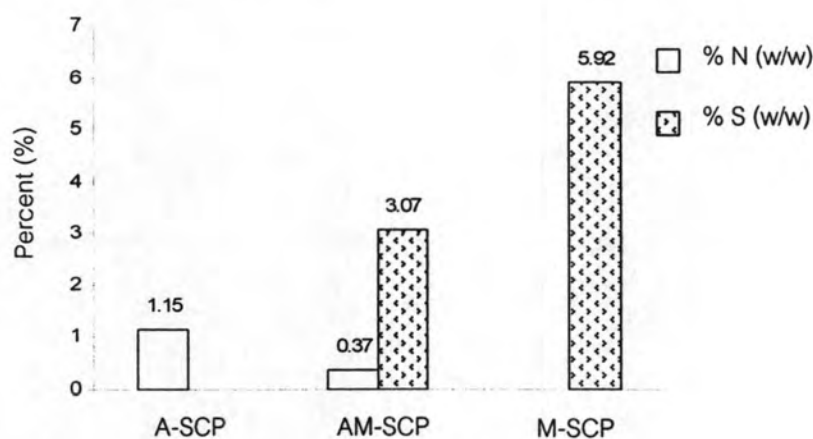
ที่ pH ต่ำกว่า p*H*_{ZPC} บริเวณพื้นผิวของอนุภาคจะได้รับโปรตอน และพื้นผิวนั้นจะมีสภาพประจุเป็นบวก ในขณะที่เมื่ออยู่ในช่วง pH สูงกว่า p*H*_{ZPC} พื้นผิวของอนุภาคจะสูญเสียโปรตอน ทำให้พื้นผิวมีสภาพประจุเป็นลบ ซึ่งในช่วง pH เป็นกลางพื้นผิวของอนุภาคก็จะมีลักษณะหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวที่แตกต่างกันไป สามารถสรุปได้ดังแสดงในภาพที่ 4.8

SCP	Si - OH ₂ ⁺	6.2	Si - O ⁻
A-SCP	Si - R - NH ₃ ⁺ , Si - OH ₂ ⁺		7.8 Si - R - NH ₂ OH, Si - O ⁻
M-SCP	Si - R - SH ₂ ⁺ , Si - O ⁻	5.6	Si - R - S ⁻ , Si - O ⁻
AM-SCP	Si - R - NH ₃ ⁺ , Si - R - SH ₂ ⁺ , Si - OH ₂ ⁺		7.1 Si - R - NH ₂ OH, Si - R - S ⁻ , Si - O ⁻
	pH	6	7

ภาพที่ 4.8 พื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปที่พีเอชต่าง ๆ ของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์-พาราแมกเนติกแต่ละชนิด

4.1.5 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Elemental analysis)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์บนพื้นผิวของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่ต่อติดด้วยหมู่เมอร์แคปโต (M-SCP) และ AM-SCP ด้วยวิธีการย่อยโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ในสภาวะที่เป็นเบส แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrometer และวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่ต่อติดด้วยหมู่อะมิโน (A-SCP) และ AM-SCP โดยใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) สามารถสรุปปริมาณทั้งคู่ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ซึ่งยืนยันได้ถึงการต่อติดหมู่อะมิโน และหมู่เมอร์แคปโตบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับ



ภาพที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ของ A-SCP, M-SCP และ AM-SCP

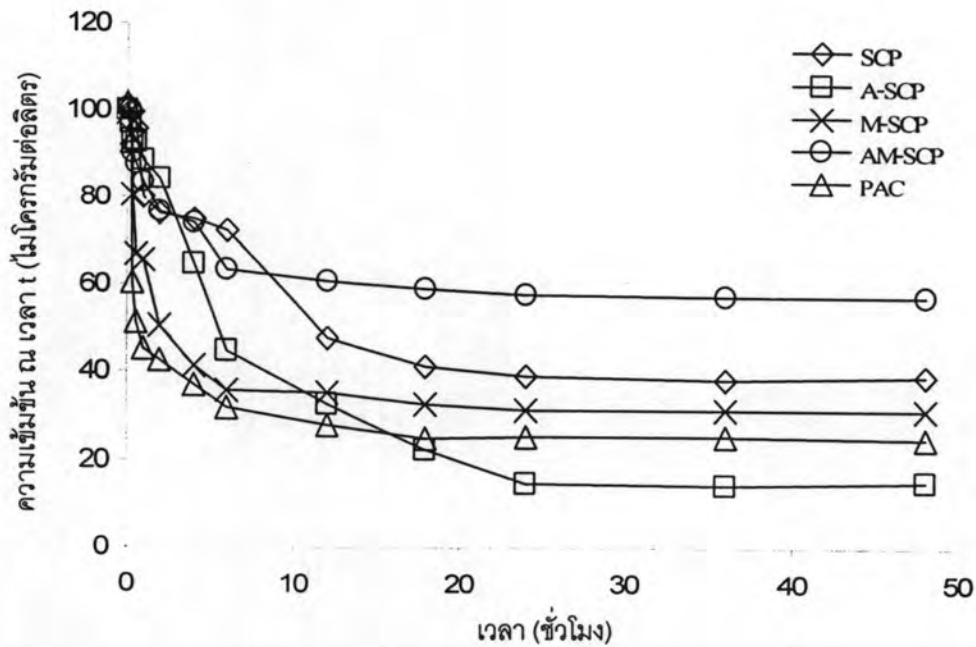
จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ได้ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมก-
เนติกแต่ละชนิด

ตัวกลางดูดซับ	ขนาด อนุภาค (nm)	พื้นที่ผิว (m ² /g)	pH zpc	หมู่ฟังก์ชันบน พื้นผิว	%S บน พื้นผิว	%N บน พื้นผิว	สมบัติพื้นผิว
Superparamagnetic Silica particle (SCP)	428	58	6.2	ซิลานอล	-	-	ชอบน้ำ
Superparamagnetic amino-silane Silica particle (A-SCP)	437	57	7.8	อะมิโนและ ซิลานอล	-	1.15	ชอบน้ำ
Superparamagnetic mercapto-silane Silica particle (M-SCP)	468	57.09	5.6	เมอร์แคปโต และซิลานอล	5.92	-	ไม่ชอบน้ำ
Bi-functional Superparamagnetic Silica particle (AM-SCP) (1:1 ratio)	525	56.70	7.1	อะมิโน, เมอร์แคปโต และซิลานอล	3.07	0.37	ชอบน้ำและ ไม่ชอบน้ำ
PAC	36.5 µm	980	9.5	คาร์บอนิล ฟีนอล และอื่นๆ	-	-	ไม่ชอบน้ำ

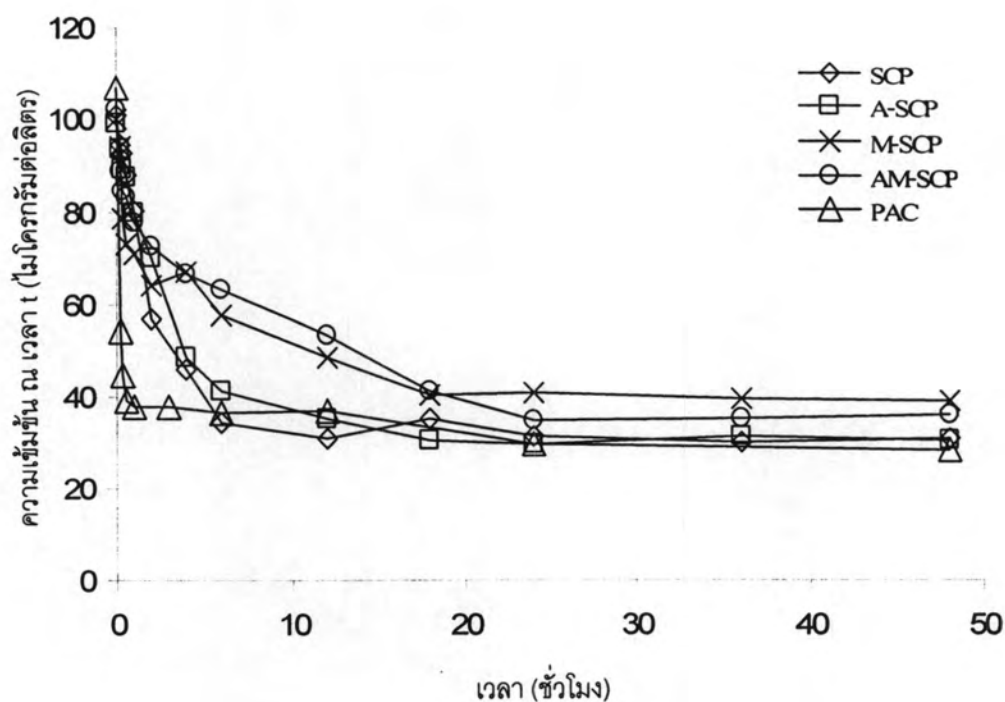
4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับกรดฮาโลอะซีติกของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ HAA5 แต่ละชนิด เพื่อหาเวลาที่ความเข้มข้นของสารเข้าสู่สมดุล โดยแปรค่าเวลาตั้งแต่ 0 - 48 ชั่วโมง จนกว่าจะเข้าสู่เวลาที่สมดุล จากการทดลองพบว่า เวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับ HAA5 แต่ละชนิดของตัวกลางทุกชนิดมีระยะเวลาใกล้เคียงกันคือ 24 ชั่วโมง โดยที่การดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 5 ชั่วโมงแรก และจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ชั่วโมงที่ 20

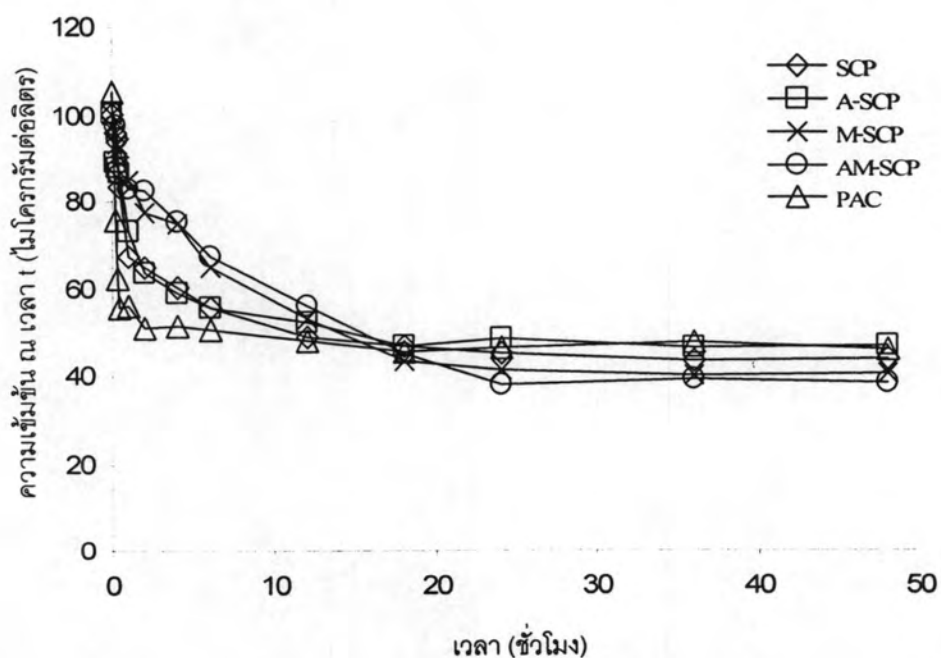


ภาพที่ 4.10 จลนพลศาสตร์การดูดซับ MCAA บนอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

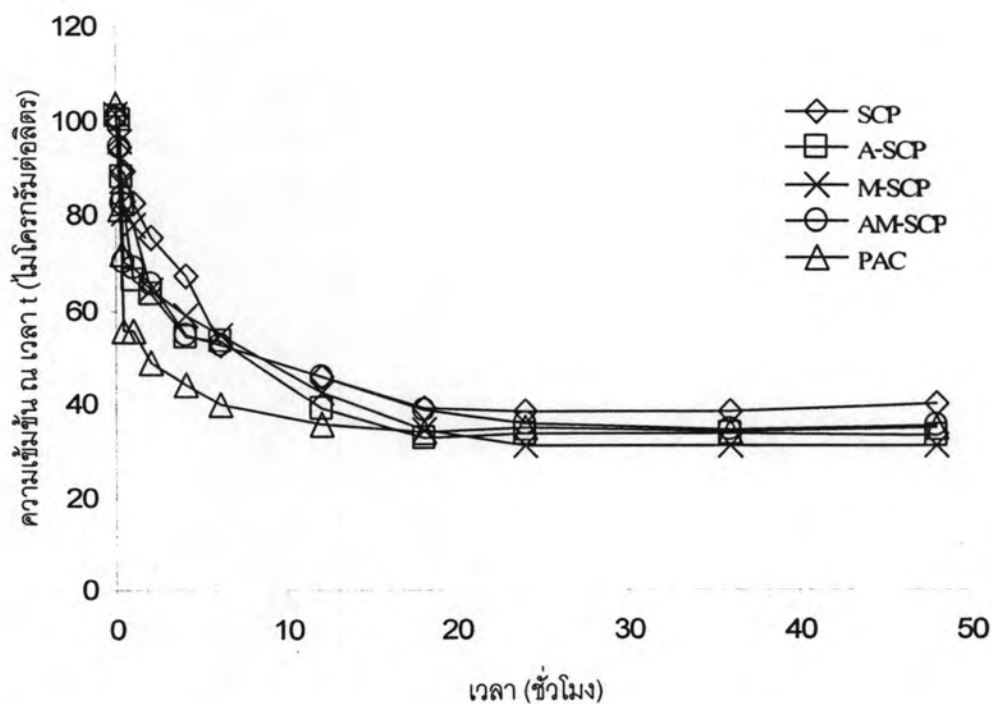
จากภาพที่ 4.10 แสดงถึงจลนพลศาสตร์การดูดซับ MCAA ด้วยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ พบว่า ในช่วงแรกอัตราเร็วในการดูดซับ MCAA ด้วยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน เมื่อเรียงลำดับตามความเข้มข้นที่เวลาเข้าสู่สมดุลจากมากไปน้อย คือ AM-SCP, SCP, M-SCP, PAC และ A-SCP ตามลำดับ โดยที่ PAC มีอัตราการดูดซับเร็วในช่วงแรก และมีความเข้มข้นที่เวลาเข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับ A-SCP และเมื่อเวลาผ่านชั่วโมงที่ 20 ความเข้มข้นของ MCAA จึงเริ่มคงที่และเข้าสู่เวลาที่สมดุลในชั่วโมงที่ 24



ภาพที่ 4.11 จลนพลศาสตร์การดูดซับ DCAA บนอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก ชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)



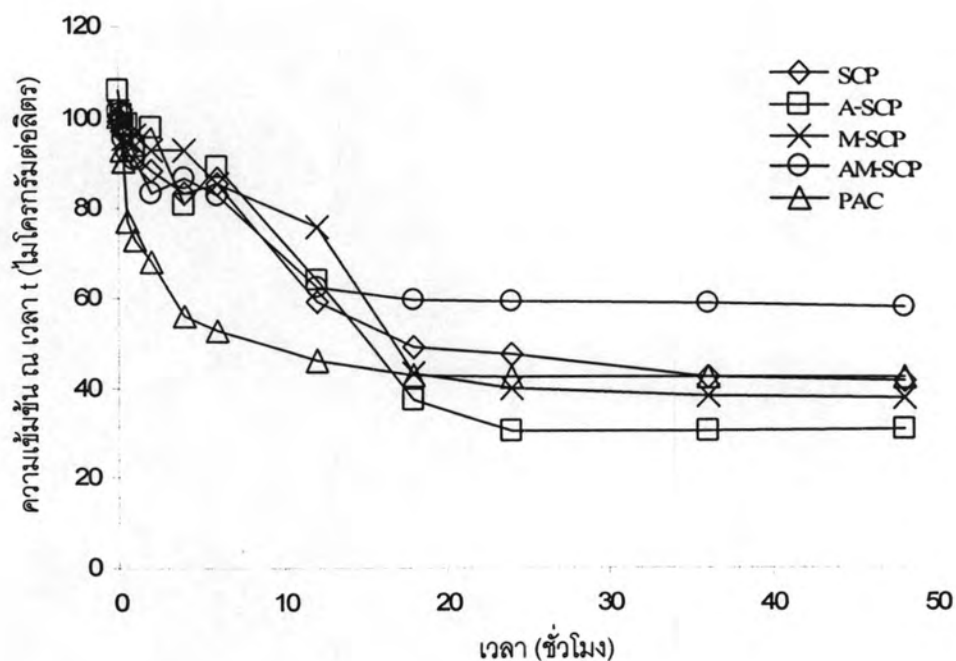
ภาพที่ 4.12 จลนพลศาสตร์การดูดซับ TCAA บนอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก ชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 4.13 จลนพลศาสตร์การดูดซับ MBAA บนอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก

ชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากภาพที่ 4.11 - 4.13 แสดงถึงจลนพลศาสตร์การดูดซับ DCAA, TCAA และ MBAA ด้วยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC พบว่า ในช่วงแรกอัตราเร็วในการดูดซับ DCAA, TCAA และ MBAA ด้วยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน และเริ่มเข้าสู่ความเข้มข้นที่เวลาสมดุลใกล้เคียงกันที่เวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.14 จลนพลศาสตร์การดูดซับ DBAA บนอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากภาพที่ 4.14 แสดงถึงจลนพลศาสตร์การดูดซับ DBAA ด้วยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC พบว่า ในช่วงแรกอัตราเร็วในการดูดซับ DBAA ด้วยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน แต่ PAC มีอัตราในการดูดซับในช่วงแรกสูงที่สุด และเริ่มเข้าสู่ความเข้มข้นที่เวลาสมดุลใกล้เคียงกันที่เวลา 20 ชั่วโมง โดยที่ AM-SCP มีความเข้มข้น DBAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุลสูงที่สุด รองลงมาคือ SCP, M-SCP และ PAC ที่มีความเข้มข้น DBAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุลใกล้เคียงกัน และ A-SCP มีความเข้มข้น DBAA ที่เหลือ ณ เวลาสมดุลน้อยที่สุด

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของกรดฮาโลอะซิติกด้วยตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิด โดยใช้แบบจำลอง Pseudo First Order ของ Lagergren และ Pseudo Second Order ซึ่งมีสมการการคำนวณดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad 4.1$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{2k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad 4.2$$

โดยที่ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกต่อน้ำหนักตัวกลางดูดซับที่สภาวะสมดุล ($\mu\text{g/g}$)

q_t คือ ความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกต่อน้ำหนักตัวกลางดูดซับที่เวลา t ($\mu\text{g/g}$)

k_1 คือ ค่าคงที่อัตราเร็ว Pseudo first order (h^{-1})

k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็ว Pseudo second order ($\text{g } \mu\text{g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่จลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-first order และ pseudo-second order

Adsorbate	Adsorbent	Pseudo First order		Pseudo second order			$q_{e,exp}$ ($\mu\text{g/g}$)	h ($\mu\text{g/g h}$)
		R^2	k_1 (h^{-1})	R^2	k_2 ($\text{g}/\mu\text{g h}$)	$q_{e,cal}$ ($\mu\text{g/g}$)		
MCAA	SCP	0.7892	0.0369	0.9466	0.0022	36.23	30.85	2.89
	A-SCP	0.9487	0.3632	0.9773	0.0019	48.54	42.59	4.48
	M-SCP	0.9653	0.5928	0.9988	0.0164	34.48	33.70	19.50
	AM-SCP	0.6055	0.0091	0.9882	0.0183	16.45	21.38	4.95
	PAC	0.9378	2.3709	0.9998	0.0319	38.46	37.95	47.19
DCAA	SCP	0.9787	0.4011	0.9973	0.0091	34.59	36.36	10.89
	A-SCP	0.9943	0.2992	0.9971	0.0076	34.44	35.84	9.01
	M-SCP	0.7932	0.0773	0.9960	0.0106	29.54	31.25	9.25
	AM-SCP	0.8384	0.1238	0.9900	0.0069	33.52	34.36	7.75
	PAC	0.7214	1.9966	0.9766	0.0272	38.60	24.33	40.54
TCAA	SCP	0.944	0.1816	0.9987	0.0128	29.07	27.56	10.82
	A-SCP	0.8752	0.2153	0.9991	0.0179	27.55	26.03	13.58
	M-SCP	0.9683	0.1668	0.9915	0.005	32.57	29.82	5.31
	AM-SCP	0.9783	0.1117	0.9849	0.004	33.67	31.33	4.53
	PAC	0.6654	0.2213	0.9997	0.0884	29.50	29.51	76.92
MBAA	SCP	0.8756	0.369	0.9954	0.0074	32.26	31.07	7.70
	A-SCP	0.9389	0.1953	0.9829	0.0576	16.89	33.69	16.44
	M-SCP	0.8059	0.3196	0.9967	0.0074	36.63	35.19	9.93
	AM-SCP	0.9425	0.1502	0.9976	0.0107	33.67	32.39	12.13
	PAC	0.926	0.3019	0.9998	0.0022	36.23	34.38	2.89
DBAA	SCP	0.871	0.1119	0.9635	0.0211	11.75	26.45	2.91
	A-SCP	0.7678	0.1326	0.9463	0.0167	14.45	37.67	3.49
	M-SCP	0.9126	0.1727	0.9389	0.0157	12.75	30.77	2.55
	AM-SCP	0.941	0.2432	0.9636	0.0087	17.39	21.29	2.63
	PAC	0.9748	0.262	0.999	0.0151	29.85	29.06	13.45

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าคงที่จลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-first order และ pseudo-second order ที่คำนวณจากสมการเส้นตรงของกราฟ ซึ่งพบว่าสมการการดูดซับของกรดฮาลอะซีติก 5 ชนิด เป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order แม้ว่าสำหรับบางกรณี ค่า R^2 สำหรับ pseudo-first order จะมีค่าสูง แต่เมื่อพิจารณาจากค่า q_e ที่คำนวณได้ ($q_{e,cal}$) จากสมการ pseudo-first order แล้วพบว่า ไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง ($q_{e,exp}$) ในขณะที่ค่า q_e ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ pseudo-second order มีค่าใกล้เคียงกับค่า q_e ทั้งหมดที่ได้จากการทดลองมาก จึงกล่าวได้ว่าแบบจำลองที่เหมาะสมคือ pseudo-second order

จากค่า k_2 ในตารางที่ 4.2 คือค่าคงที่ของ pseudo-second order ที่บอกถึงอัตราเร็วในการดูดซับ ถ้าค่า k_2 มาก แสดงว่า อัตราเร็วในการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเข้าสู่สมการการดูดซับได้เร็วกว่า k_2 ที่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งจากการทดลอง การดูดซับ MCAA, DCAA และ TCAA ของ PAC พบว่ามีค่า k_2 สูงกว่าตัวกลางดูดซับอนุภาคชนิดอื่น และเข้าสู่สมการเร็วกว่า ซึ่งตรงกับผลการทดลองที่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 - 4.14 นอกจากนี้ค่า k_2 ยังสามารถบอกถึงปริมาณตัวกลางดูดซับที่ต้องใช้ต่อปริมาณกรดฮาลอะซีติกที่ถูกดูดซับต่อเวลา ถ้าค่า k_2 มาก แสดงว่า การดูดซับด้วยตัวกลางดูดซับชนิดหนึ่ง ๆ เมื่อเวลาเข้าสู่สมการและมีปริมาณตัวถูกดูดซับเท่ากัน ตัวกลางดูดซับชนิดดังกล่าวต้องใช้ปริมาณมากกว่า ตัวกลางดูดซับที่มีค่า k_2 น้อย ซึ่งจากตารางที่ 4.2 พบว่า การดูดซับกรดฮาลอะซีติกทั้ง 5 ชนิดโดยใช้ออนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก มีค่า k_2 น้อยกว่า PAC นั่นคือ ที่ปริมาณกรดฮาลอะซีติกที่ถูกดูดซับที่เท่ากันจะใช้เวลาปริมาณตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่น้อยกว่า PAC

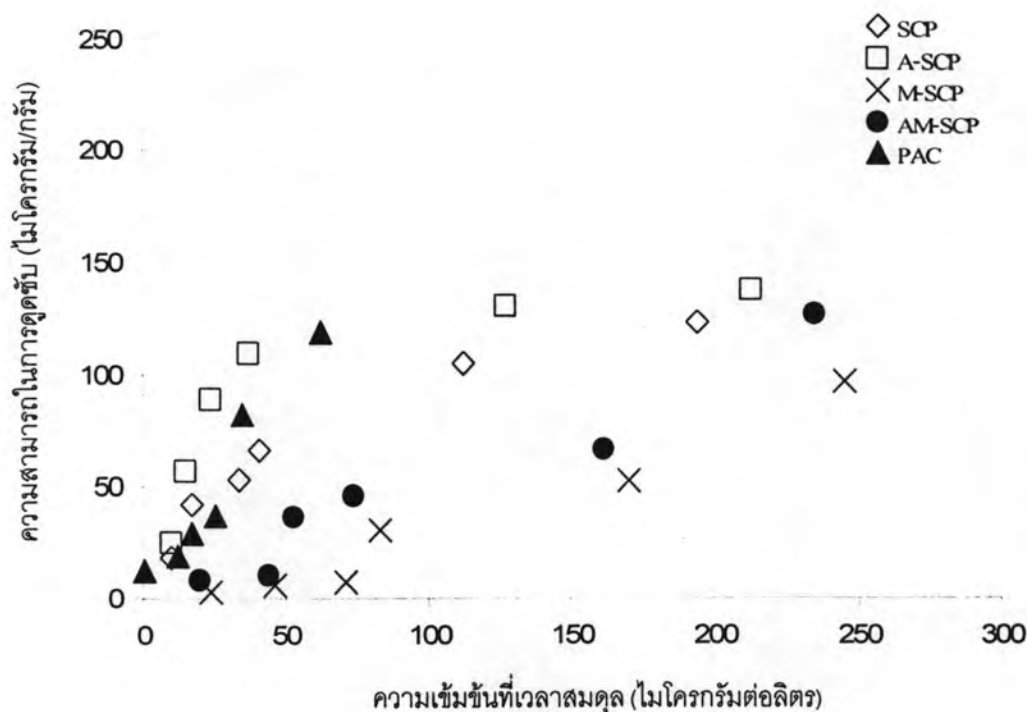
ค่าอัตราเร็วในการดูดซับเริ่มต้น หรือ ค่า h ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) จากการคำนวณ พบว่า PAC มีอัตราเร็วในการดูดซับเริ่มต้น MCAA, DCAA, TCAA และ DBAA สูงกว่าตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.9 - 4.14 ส่วนผลการคำนวณการดูดซับ MBAA นั้นพบว่า A-SCP มีอัตราเร็วในการดูดซับเริ่มต้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.13 พบว่า อัตราเร็วในการดูดซับเริ่มต้นของตัวกลางดูดซับแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน จึงไม่สามารถกล่าวได้ว่า อัตราการดูดซับ MBAA โดยใช้ A-SCP เป็นไปตามค่าจากการคำนวณ

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกของตัวกลางดูดซับแต่ละชนิด

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ พบว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับของกรดแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว ดังแสดงในภาพที่ 4.20 – 4.24 ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของธาตุฮาโลเจนมีองค์ประกอบของโมเลกุลที่แตกต่าง และปริมาณอะตอมคลอรีนและโบรมีนในโครงสร้างของ HAA5 รวมถึงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดก็ยังมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับอีกด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

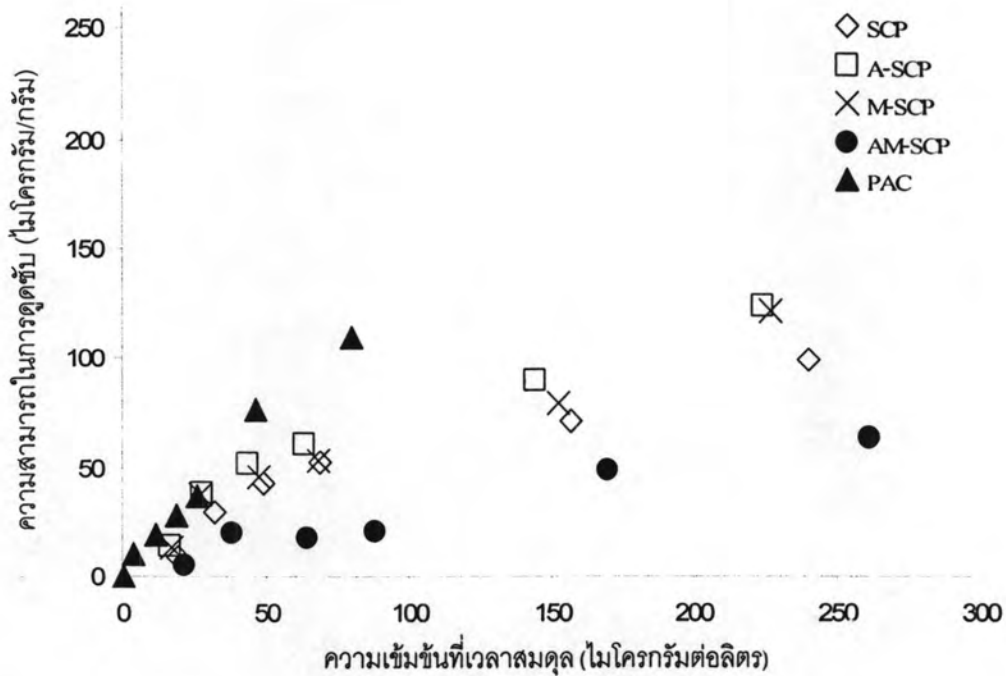
4.3.1 ผลของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติก

จากการทดลองการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกแต่ละชนิด โดยใช้ตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดที่ช่วง pH 6.5 - 7.5 จะมีประจุบนพื้นผิวแตกต่างกันดังที่กล่าวในผลการศึกษาประจุบนพื้นผิวของอนุภาคแต่ละชนิด จากการคำนวณค่า pHzpc ดังแสดงในภาพที่ 4.8 โดยที่ตัวกลางดูดซับ SCP ที่มีหมู่ซิลานอล (Si-OH) บนพื้นผิวและ M-SCP ที่มีหมู่เมอร์แคปโต (Si-R-SH) บนพื้นผิวนั้นมีประจุบนพื้นผิวเป็นลบ ส่วน A-SCP ที่มีหมู่อะมิโน (Si-R-NH₂) บนพื้นผิวและ PAC มีประจุบนพื้นผิวเป็นบวก และ AM-SCP ที่มีการต่อติดทั้งหมู่อะมิโนและเมอร์แคปโตมีประจุบนพื้นผิวใกล้เคียงกับความเป็นกลาง สำหรับกรดฮาโลอะซิติกซึ่งเป็นสารที่มีค่า pKa ต่ำ แสดงให้เห็นว่า มีความสามารถในการแตกตัวในน้ำได้ดี และเมื่อแตกตัวแล้วจะมีประจุเป็นลบ ซึ่งความแตกต่างของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับแต่ละชนิดก็ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกแต่ละชนิดต่างกัน



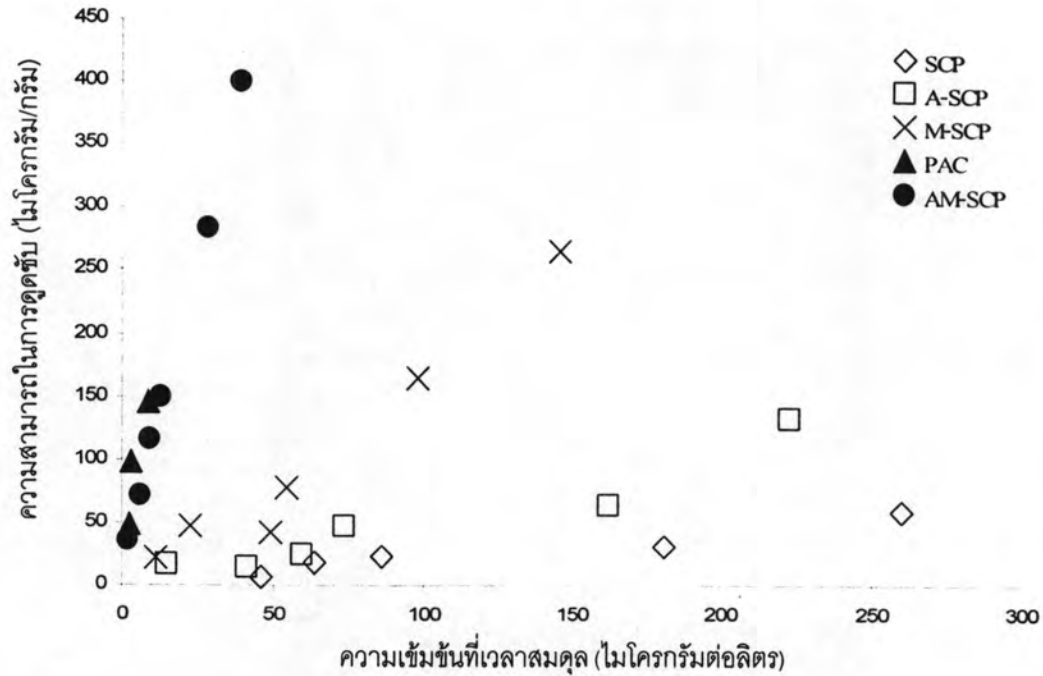
ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการดูดซับ MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก ชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.15 พบว่า อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่มีการติดหมู่อะมิโนที่พื้นผิว (A-SCP) มีแนวโน้มความสามารถในการดูดซับ MCAA มากที่สุดโดยที่ในช่วงพีเอชที่ทำการทดลองประจุบนพื้นผิว A-SCP มีประจุเป็นบวก และเมื่อ MCAA แยกตัวจะมีประจุเป็นลบ จึงเกิดการดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าที่จะดึงดูดระหว่างพื้นผิวที่มีประจุตรงกันข้ามกัน และที่พีเอชเป็นกลางหมู่อะมิโนบนพื้นผิวของ A-SCP จะได้รับโปรตอนทำให้มีไฮโดรเจนอะตอมที่พื้นผิวเพิ่มขึ้น จึงมีโอกาสดังกล่าวที่พื้นผิวจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ MCAA ได้อีกด้วย นอกจากนี้ อนุภาค SCP ก็สามารถดูดซับ MCAA ได้ดีเช่นกัน อาจเป็นเพราะหมู่ซิลานอล (Si-OH) ที่พื้นผิวทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของ MCAA และสำหรับ M-SCP ที่มีประจุบนพื้นผิวเป็นลบในช่วงพีเอชของการทดลองนั้น มีแนวโน้มความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากแรงของประจุที่เหมือนกันจะผลักกัน และพันธะไฮโดรเจนที่เกิดกับหมู่ไฮดรอกซิลของ SCP และ A-SCP มีความแข็งแรงมากกว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดกับหมู่เออร์แคปโต ซึ่งอาจกล่าวสรุปได้ว่า การดูดซับ MCAA โดยใช้อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก ชนิดต่าง ๆ นั้นมีแรงทางไฟฟ้าและพันธะไฮโดรเจนเป็นแรงหลักที่ใช้ในการดูดซับ



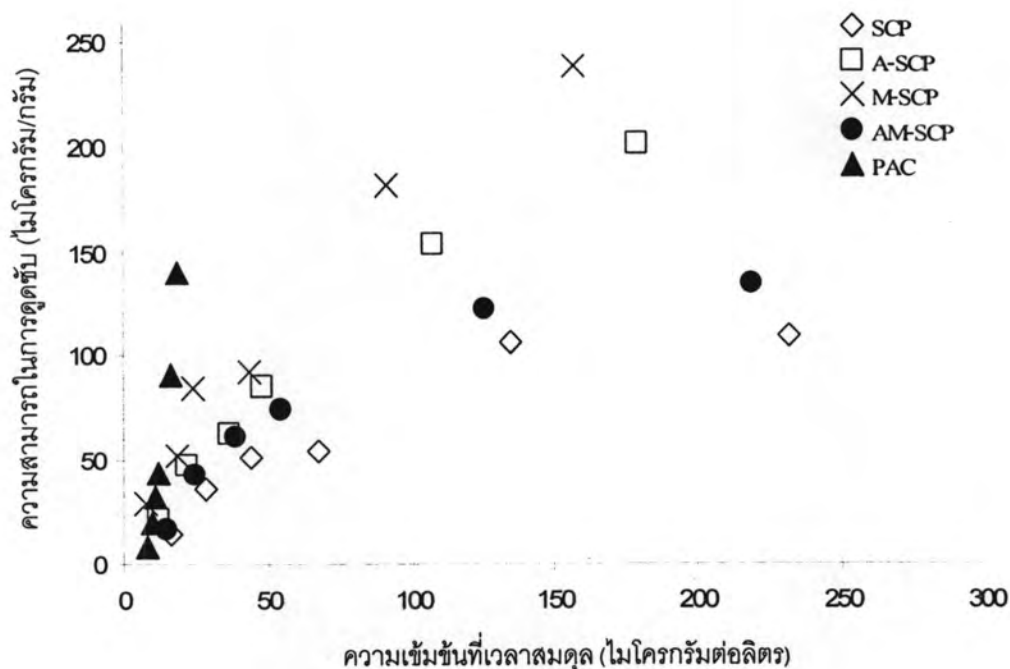
ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการดูดซับ DCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก ชนิดต่าง ๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.16 พบว่า ความสามารถในการดูดซับ DCAA โดยใช้ตัวกลางดูดซับ SCP, A-SCP, M-SCP และ PAC มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในการดูดซับ DCAA ที่ความเข้มข้นต่ำ (0-300 ไมโครกรัมต่อลิตร) นั้นแรงทางไฟฟ้าไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยที่ A-SCP และ SCP มีความสามารถในการดูดซับสูงเช่นกัน ซึ่งพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ซิลานอลและหมู่อะมิโนของ SCP และ A-SCP น่าจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับมากกว่า ถึงแม้ว่า M-SCP ซึ่งเป็นตัวกลางดูดซับที่ไม่ชอบน้ำแต่กลับมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกับ A-SCP และ SCP อาจจะเป็นผลมาจากหมู่ซิลานอลที่ยังคงมีอยู่ในโครงสร้างของตัวกลางดูดซับจึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของ M-SCP และสำหรับ AM-SCP มีความสามารถในการดูดซับ DCAA น้อยที่สุด



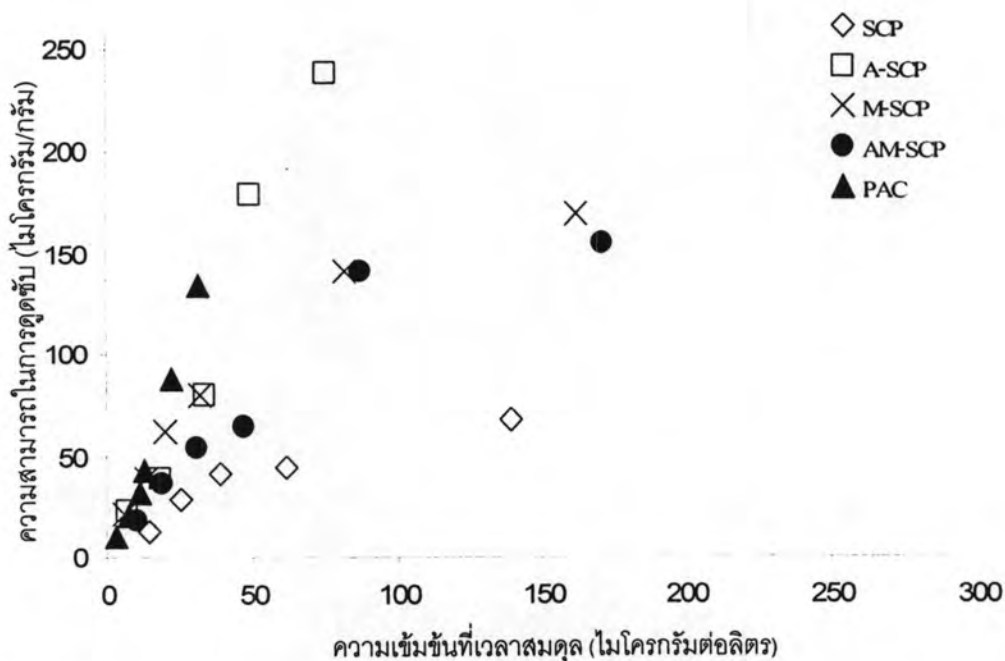
ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพการดูดซับ TCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก ชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.17 พบว่า อนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่มีการต่อติดทั้งหมู่อะมิโนและหมู่เมอร์แคปโต (AM-SCP) มีความสามารถในการดูดซับ TCAA ใกล้เคียงกับ PAC อาจจะเป็นเพราะเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับดีกว่าอนุภาคที่มีการต่อติดหมู่ฟังก์ชันเดียว ประกอบกับโครงสร้างโมเลกุลของ TCAA ที่มีอะตอมคลอรีนมากถึง 3 อะตอม ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดความเกาะทางโครงสร้าง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับ TCAA สูงขึ้นอย่างเด่นชัด และสำหรับตัวกลางดูดซับที่มีความชอบน้ำสูง (SCP และ A-SCP) กลับมีความสามารถในการดูดซับได้ไม่ดีเท่ากับตัวกลางดูดซับที่ไม่ชอบน้ำ (M-SCP) จึงอาจกล่าวได้ว่า ความชอบน้ำของตัวกลางดูดซับไม่ใช่แรงหลักในการดูดซับ TCAA โดยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก รวมถึงผลของแรงทางไฟฟ้าที่จะดึงดูดระหว่างประจุที่ตรงกันข้ามกันก็ไม่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ จึงอาจกล่าวได้ว่า แรงทางไฟฟ้าก็ไม่ได้เป็นแรงหลักในการดูดซับ TCAA เช่นกัน



ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการดูดซับ MBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.18 พบว่า M-SCP มีแนวโน้มความสามารถในการดูดซับ MBAA ได้ดี โดยที่ช่วงที่เอชของการทดลอง สภาพประจุบนพื้นผิวของ M-SCP เป็นลบ จึงอาจกล่าวได้ว่า แรงที่ใช้ในการดูดซับ MBAA ไม่ใช่แรงทางไฟฟ้าซึ่งจะดึงดูดกันระหว่างพื้นผิวที่มีประจุตรงกันข้ามกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากความไม่ชอบน้ำของ M-SCP ที่ทำให้มีความสามารถในการดูดซับ MBAA ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากกว่ากรดฮาโลอะซีติกตัวอื่น ๆ อีกทั้งลักษณะการดูดซับของ M-SCP สอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช ซึ่งเป็นการดูดซับแบบเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อน ๆ ของตัวถูกดูดซับ ทำให้ M-SCP มีความสามารถในการดูดซับ MBAA สูงกว่าอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดอื่น ๆ

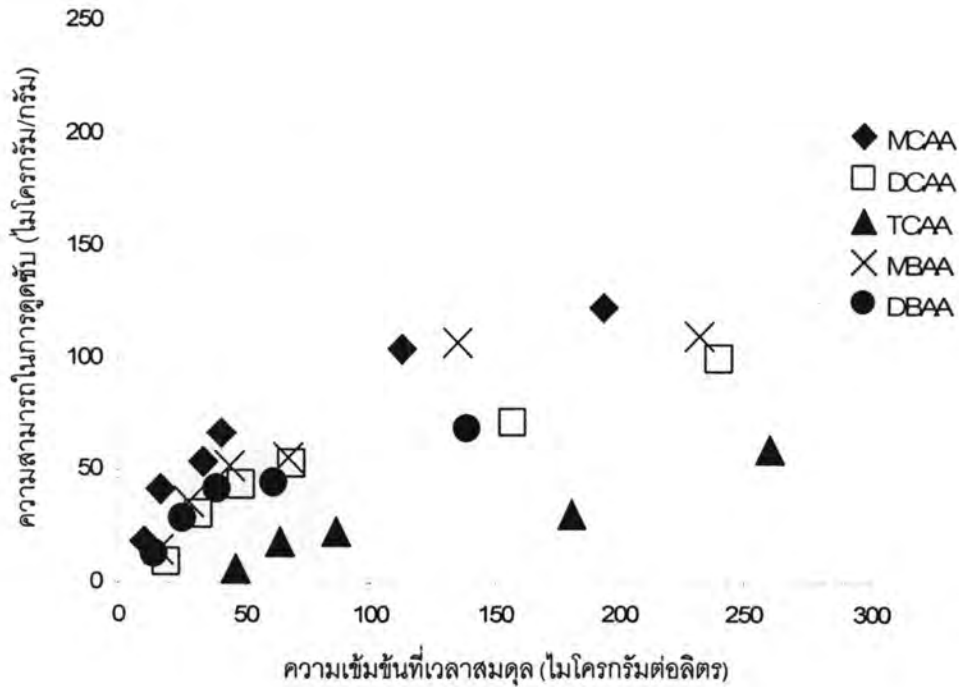


ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการดูดซับ DBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่างๆ (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.19 พบว่า PAC, A-SCP M-SCP และ AM-SCP มีความสามารถในการดูดซับ DBAA ได้ใกล้เคียงกัน และ SCP มีความสามารถในการดูดซับได้น้อยที่สุด ซึ่งการดูดซับ DBAA โดยใช้ A-SCP น่าจะเป็นแนวทางไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อการดูดซับ จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นการต่อติดหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวของตัวกลางดูดซับมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ DBAA

4.3.2 ผลของโครงสร้างของ HAA5 แต่ละชนิดต่อความสามารถในการดูดซับ

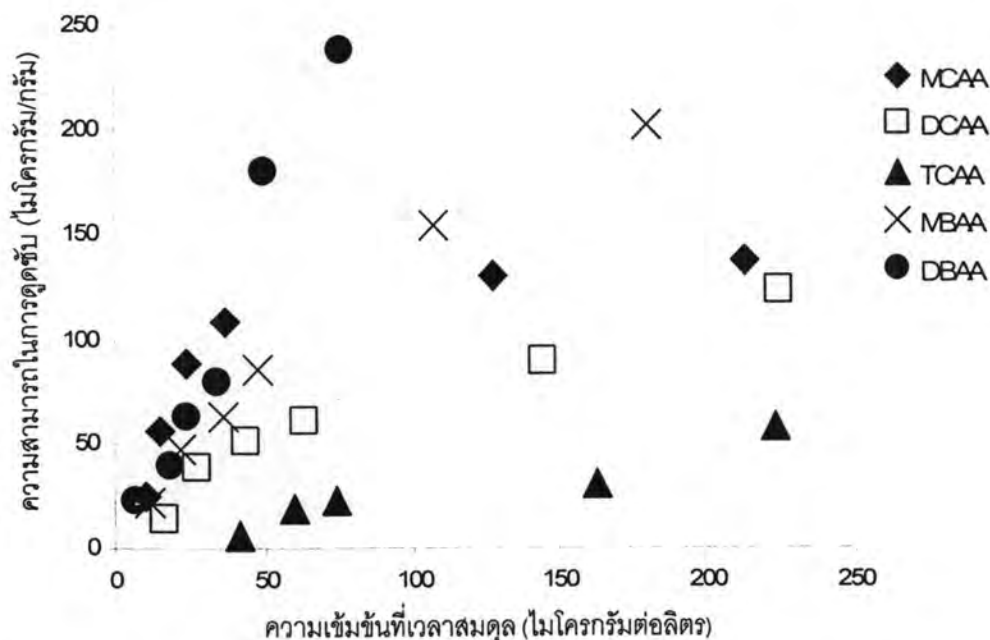
จากผลของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับกรดฮาลอะซีติกจากหัวข้อข้างต้น จะสังเกตเห็นว่า ความสามารถในการดูดซับกรดฮาลอะซีติกแต่ละชนิดด้วยตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วนหนึ่งเป็นเพราะลักษณะโครงสร้างที่ต่างกันของกรดฮาลอะซีติก ทั้งในด้านของชนิดของธาตุฮาโลเจนที่แตกต่างกัน ได้แก่ คลอรีน และโบรมีน และจำนวนอะตอมฮาโลเจนในโมเลกุล



ภาพที่ 4.20 ความสามารถในการดูดซับ HAA5 ด้วย SCP (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.20 พบว่า ตัวกลางดูดซับ SCP มีความสามารถในการดูดซับ MCAA สูงที่สุด รองลงมาคือ MBAA, DCAA, DBAA และน้อยที่สุดคือ TCAA ซึ่งอาจอธิบายได้ถึงลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยแปรผันตามจำนวนธาตุฮาโลเจนในโมเลกุลกรดฮาโลอะซิติก ซึ่งจำนวนอะตอมฮาโลเจนน้อยและมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจะถูกดูดซับได้ดีกว่ากรดฮาโลอะซิติกที่มีจำนวนอะตอมฮาโลเจนมากและมีมวลโมเลกุลสูง และโครงสร้างกรดฮาโลอะซิติกที่มีคลอรีนอะตอมเป็นองค์ประกอบมีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดที่มีโบรมีนอะตอม ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิกด้วย SCP อาจจะสามารถกล่าวได้ว่า ปัจจัยที่สำคัญลำดับแรกคือ จำนวนอะตอมฮาโลเจนในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮาโลอะซิติก จะสังเกตได้ว่า MCAA และ MBAA สามารถดูดซับได้ดีกว่า DCAA, DBAA และ TCAA ที่มีจำนวนอะตอมเพิ่มขึ้น โดยที่ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับจำนวนอะตอมฮาโลเจนในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮาโลอะซิติก จำนวนอะตอมฮาโลเจนน้อยจะมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่าจำนวนอะตอมฮาโลเจนมาก ปัจจัยต่อมาคือ ชนิดของฮาโลเจนองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮาโลอะซิติก โดยที่กรดฮาโลอะซิติกที่มีคลอรีนอะตอมเป็นองค์ประกอบมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่ากรดฮาโลอะซิติกที่มีโบรมีนอะตอมเป็นองค์ประกอบ และปัจจัยสุดท้ายคือ

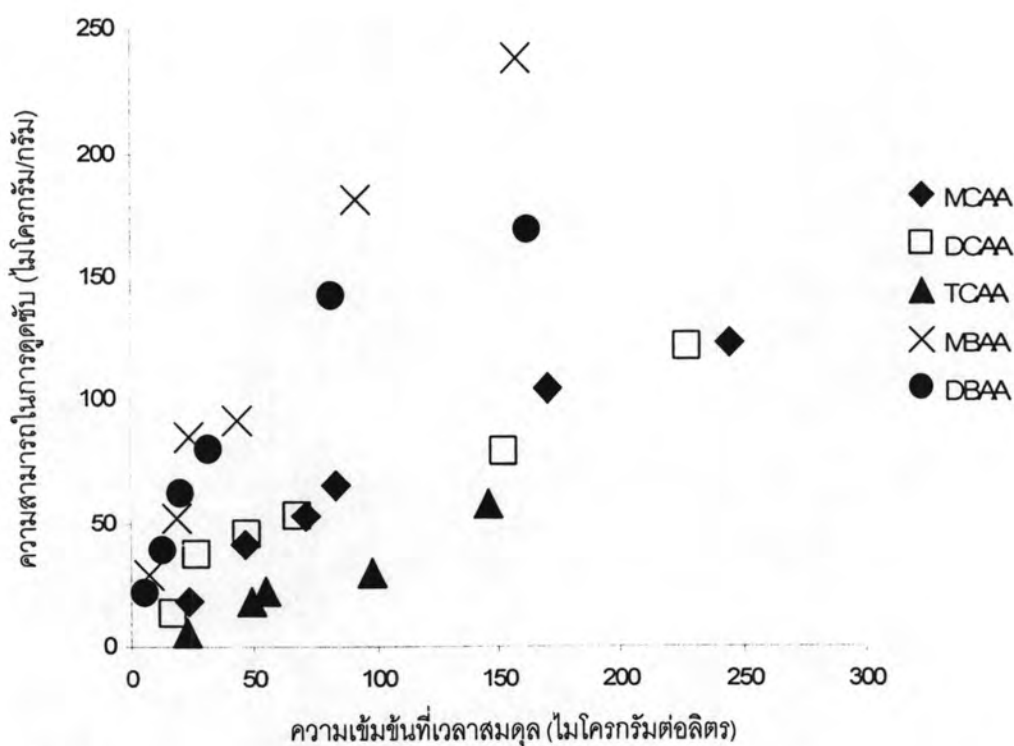
มวลโมเลกุลของกรดฮาโลอะซีติกแต่ละชนิดซึ่งพบว่า ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับมวลโมเลกุลของกรดฮาโลอะซีติก นั่นคือ มวลโมเลกุลน้อยจะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่ามวลโมเลกุลสูง



ภาพที่ 4.21 ความสามารถในการดูดซับ HAA5 ด้วย A-SCP (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

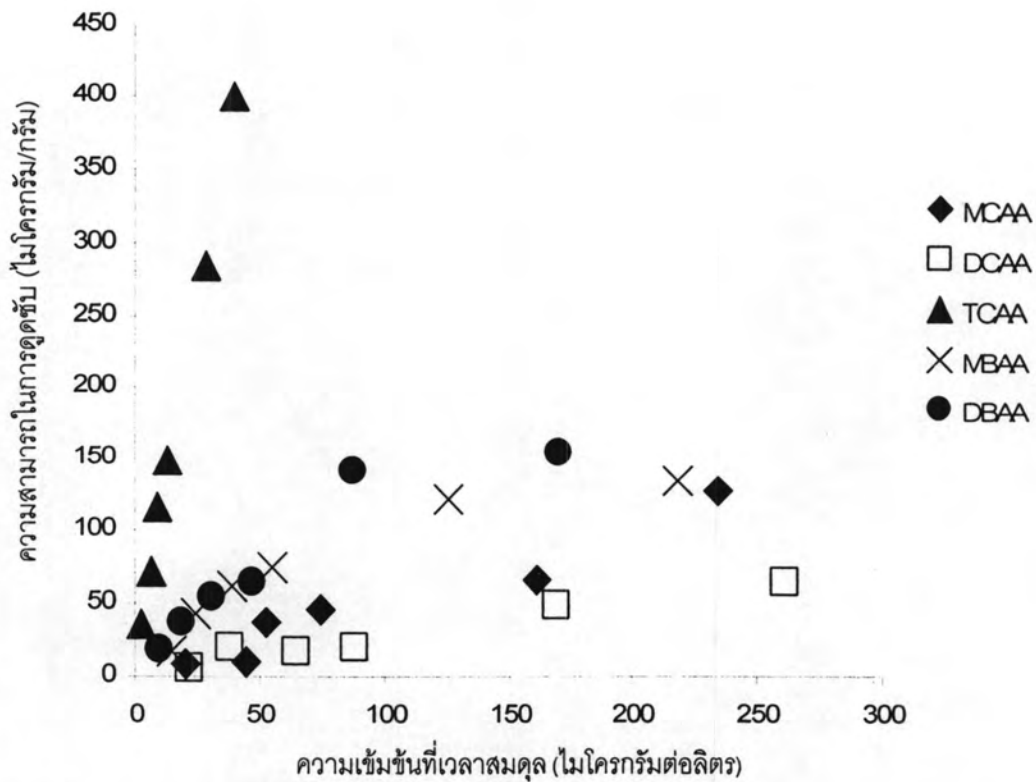
จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.21 พบว่า ความสามารถในการดูดซับของ A-SCP ในช่วงความเข้มข้นต่ำนั้น MCAA, MBAA และ DBAA มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อความเข้มข้นที่สูงขึ้น A-SCP จะมีความสามารถในการดูดซับ DBAA สูงที่สุด รองลงมาคือ MBAA, MCAA, DCAA และที่น้อยที่สุดคือ TCAA เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของกรดฮาโลอะซีติกแต่ละชนิดที่มีผลต่อการดูดซับของ A-SCP แล้ว พบว่า ปัจจัยสำคัญอันดับแรกคือ ชนิดของฮาโลเจนองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮาโลอะซีติก โดยที่กรดฮาโลอะซีติกที่มีโบรมีนอะตอมเป็นองค์ประกอบจะถูกดูดซับได้ดีกว่ากรดฮาโลอะซีติกที่มีคลอรีนอะตอมเป็นองค์ประกอบ และเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยเรื่องจำนวนอะตอมฮาโลเจนในโครงสร้างของกรดฮาโลอะซีติกแล้ว พบว่า ความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซีติกที่มีโบรมีนอะตอมเป็นองค์ประกอบจะแปรผันตามจำนวนอะตอมโบรมีน นั่นคือ จำนวนอะตอมโบรมีนสูงจะถูกดูดซับมากกว่าจำนวนอะตอมโบรมีนน้อย ส่วนความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซีติกที่มีคลอรีนอะตอมเป็นองค์ประกอบของ A-SCP นั้นจะแปรผกผันกับจำนวนอะตอมคลอรีน นั่นคือ จำนวนอะตอมคลอรีนสูงจะ

ถูกดูดซับน้อยกว่าจำนวนอะตอมคลอรีนมาก และนอกจากนี้ยังอาจกล่าวได้ว่า การเรียงลำดับความมากน้อยของมวลโมเลกุลของกรดฮาโลอะซิติกไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของ A-SCP



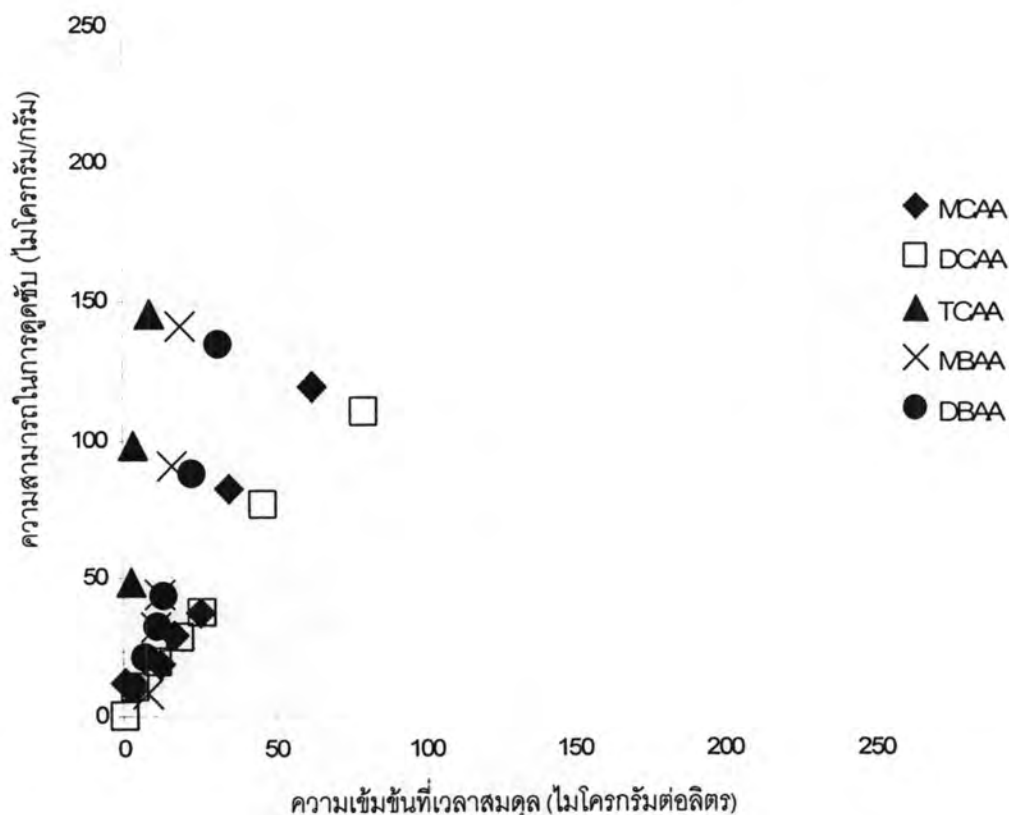
ภาพที่ 4.22 ความสามารถในการดูดซับ HAA5 ด้วย M-SCP (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.22 พบว่า ตัวกลางดูดซับ M-SCP มีความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกที่มีโบรมีนอะตอมเป็นองค์ประกอบ (MBAA และ DBAA) มากกว่ากรดฮาโลอะซิติกที่มีคลอรีนอะตอมเป็นองค์ประกอบ (MCAA, DCAA และ TCAA) ซึ่งชนิดของอะตอมฮาโลเจนในโครงสร้างของกรดฮาโลอะซิติกมีผลต่อการดูดซับ และเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับ MBAA และ DBAA พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับความสามารถในการดูดซับ MCAA, DCAA และ TCAA ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า จำนวนอะตอมของฮาโลเจนในโครงสร้างของกรดฮาโลอะซิติกไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของ M-SCP



ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการดูดซับ HAA5 ด้วย AM-SCP (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.23 พบว่า ตัวกลางดูดซับ AM-SCP มีความสามารถในการดูดซับ TCAA มากที่สุด โดยที่มีความสามารถในการดูดซับ DBAA, MBAA, MCAA และ DCAA ใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างของ TCAA ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากอันดับ 2 ในกลุ่มของกรดฮาลอะซิดิกและมีจำนวนอะตอมฮาโลเจนมากที่สุด คือ 3 อะตอม ทำให้เพิ่มความเกะกะของโครงสร้างโมเลกุลส่งผลทำให้การดูดซับบนพื้นผิวที่มีความหลากหลายของหมู่ฟังก์ชัน เช่น AM-SCP มีค่าสูงเช่นเดียวกับในกรณีของ PAC ดังแสดงในภาพที่ 4.24

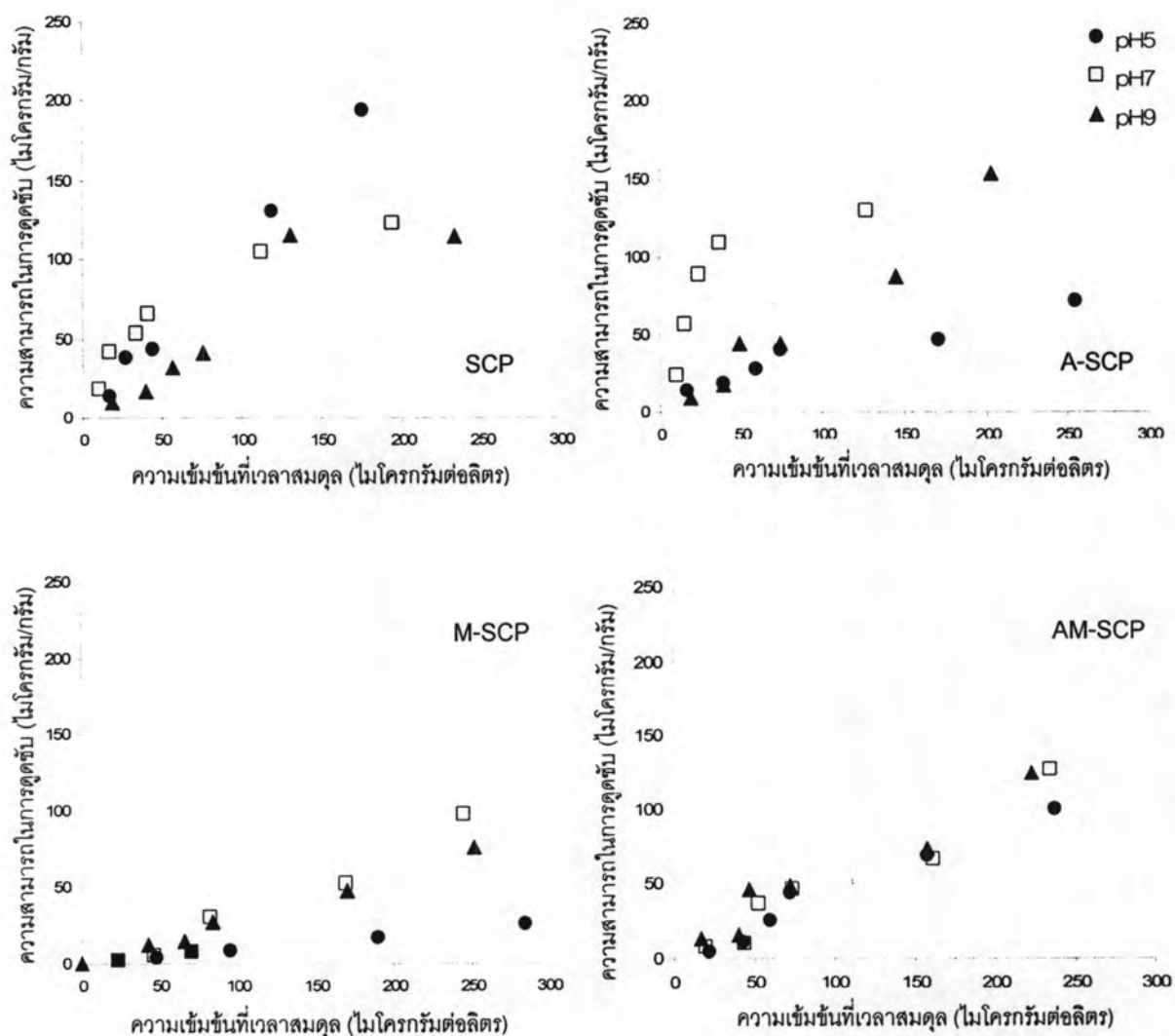


ภาพที่ 4.24 ความสามารถในการดูดซับ HAA5 ด้วย PAC (ที่ pH 7, ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

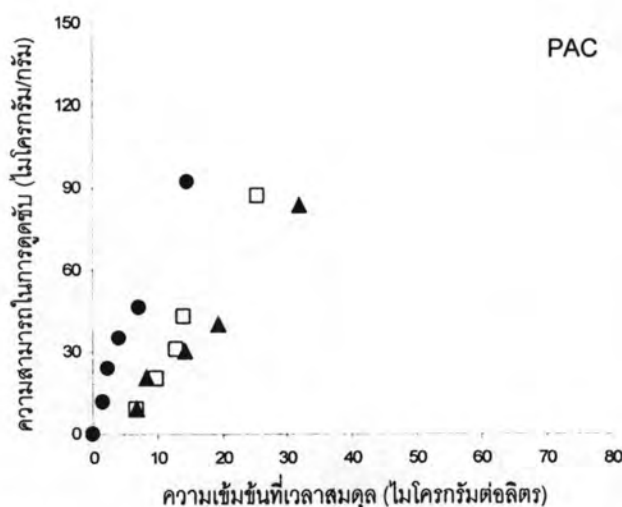
จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.24 พบว่า ตัวกลางดูดซับ PAC มีความสามารถในการดูดซับกรดฮาลอะซีติกแต่ละชนิดค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดย PAC สามารถดูดซับ TCAA ได้ดี ตามด้วย MBAA, DBAA, MCAA และ DCAA ตามลำดับ โดยที่กรดฮาลอะซีติกกลุ่มที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบมีความสามารถในการดูดซับมากกว่ากรดฮาลอะซีติกกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ และความสามารถในการดูดซับของกรดฮาลอะซีติกทั้งสองกลุ่มแปรผกผันกับจำนวนฮาโลเจนอะตอมในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮาลอะซีติก นั่นคือ จำนวนฮาโลเจนอะตอมสูงจะมีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าจำนวนฮาโลเจนอะตอมน้อย ยกเว้น TCAA ที่ไม่พบความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านลักษณะโครงสร้างโมเลกุล ไม่ว่าจะ เป็นปัจจัยของชนิดของฮาโลเจนองค์ประกอบในโครงสร้าง และปัจจัยของจำนวนอะตอมฮาโลเจน รวมถึงปัจจัยของมวลโมเลกุลของกรดฮาลอะซีติกแต่ละชนิด ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนอะตอมคลอรีน และความเกะกะของโครงสร้างโมเลกุลที่สอดคล้องกับความหลากหลายของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของ PAC

4.3.3 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ HAA5

จากการศึกษาการดูดซับกรดฮาลอะซีติกแต่ละชนิด โดยมีการแปรค่าพีเอชของสารละลายเป็น 5, 7 และ 9 ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.25 – 4.29 พบว่า ในบางกรณีพีเอชของสารละลายมีผลต่อการดูดซับกรดฮาลอะซีติก บนตัวกลางดูดซับแต่ละชนิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้พีเอชที่ลดลงจะทำให้ประจุบนพื้นผิวมีความเป็นบวกมากขึ้นก็ตาม และบางกรณีไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของพีเอชต่อการดูดซับกรดฮาลอะซีติกโดยใช้ตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก

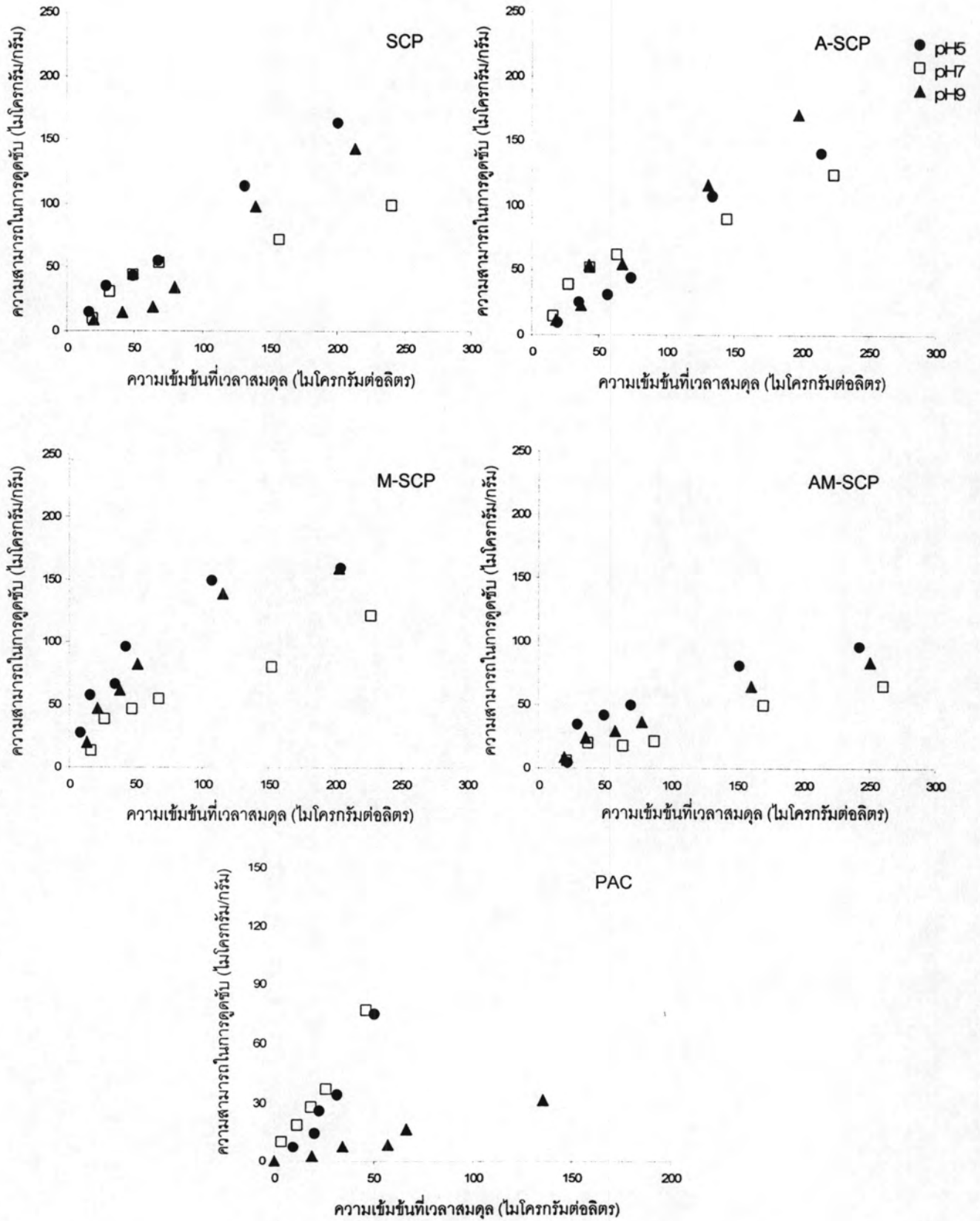


ภาพที่ 4.25 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ



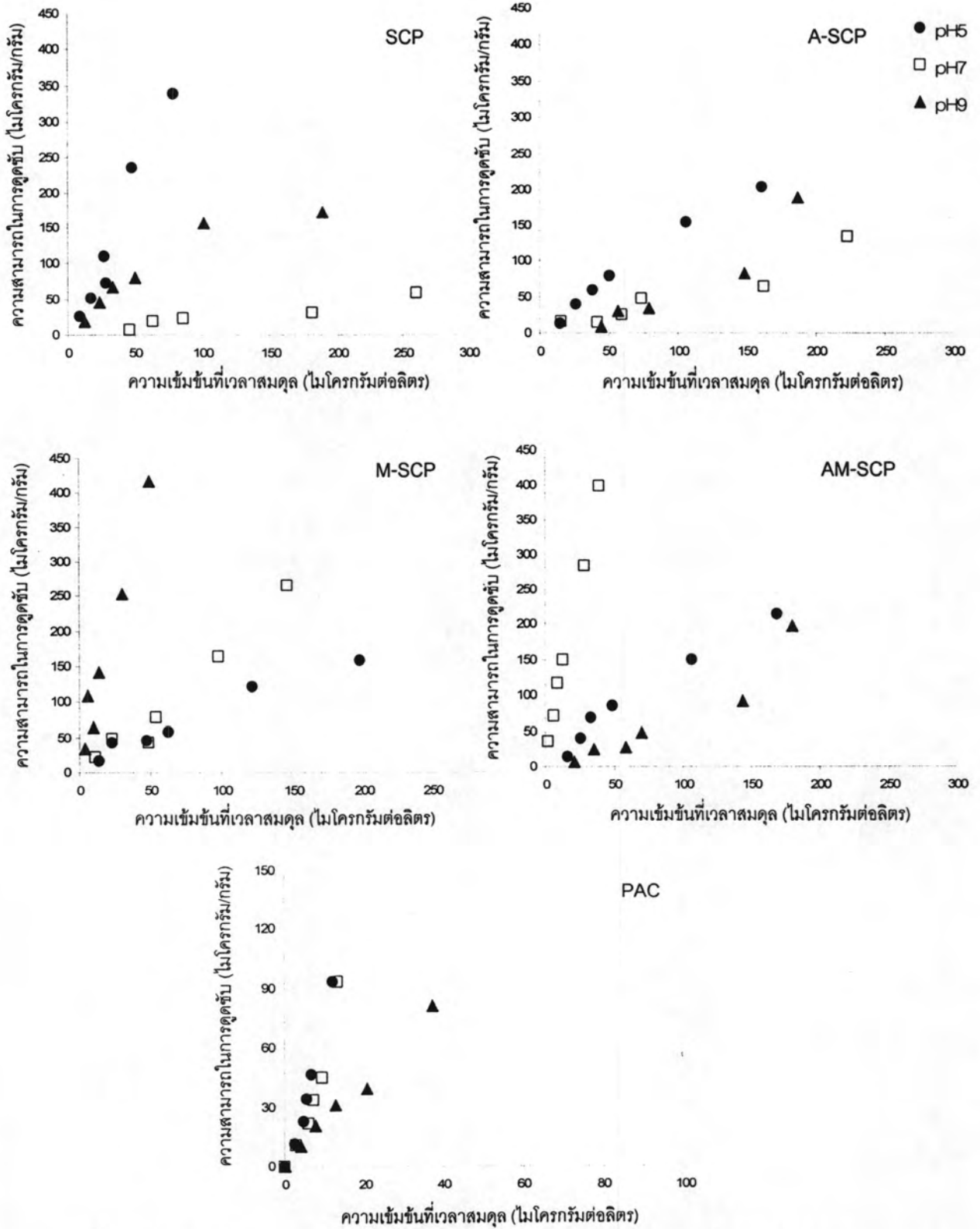
ภาพที่ 4.25 (ต่อ) ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC

จากภาพที่ 4.25 พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายแล้ว ความสามารถในการดูดซับ MCAA ของ SCP และ AM-SCP ไม่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งกล่าวได้ว่า ไม่มีความสัมพันธ์ของพีเอชของสารละลายกับความสามารถในการดูดซับ MCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกทุกชนิด แต่สำหรับกรณี PAC พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 5 ความสามารถในการดูดซับ MCAA มากกว่าที่พีเอชเท่ากับ 7 และ 9 เนื่องจากพีเอชที่ลดลงทำให้ประจุบนพื้นผิวของ PAC มีความหนาแน่นของประจุบวกมากขึ้นเป็นผลให้มีความสามารถในการดูดซับ MCAA ที่แตกตัวในสารละลายเป็นประจุลบได้มากขึ้น รวมถึงผลของพันธะไฮโดรเจนที่อาจจะเกิดจากโปรตอนที่ถูกหมู่ไฮดรอกซิลได้รับเมื่อพีเอชของสารละลายลดลง ในกรณี A-SCP และ M-SCP พบว่า ความสามารถในการดูดซับที่พีเอช 5 มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบของประจุบวกของไฮโดรเนียมไอออนในน้ำทำให้การดูดซับบนพื้นผิวดักกลางดูดซับลดลง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่าง MCAA กับหมู่ซิลานอลบนพื้นผิว SCP ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าหมู่อะมิโนและเมอร์แคปโตของ A-SCP และ M-SCP ตามลำดับ ทำให้ผลกระทบของพีเอชไม่เด่นชัด ส่วนกรณีของ AM-SCP พบว่า ความหลากหลายของหมู่ฟังก์ชัน อาจจะมีผลกระทบรุนแรงมากกว่าผลกระทบจากค่าพีเอช



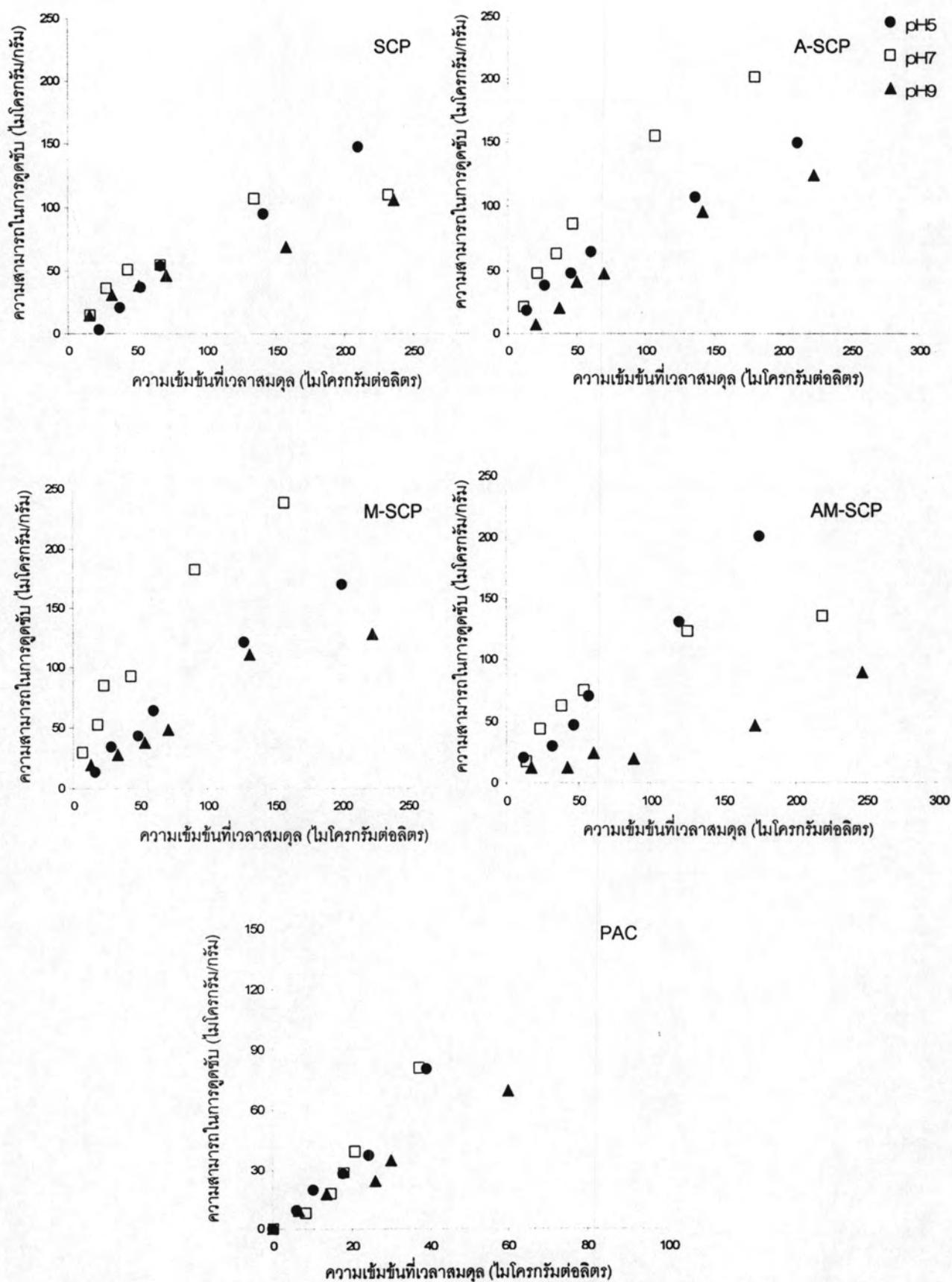
ภาพที่ 4.26 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ DCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์-พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC

จากภาพที่ 4.26 พบว่า การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ DCAA ของตัวกลางดูดซับ SCP และ A-SCP ส่วนกรณี AM-SCP และ M-SCP พบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 7 AM-SCP มีความสามารถในการดูดซับ DCAA ได้น้อยกว่าที่พีเอช 5 และ 9 เนื่องจากที่ช่วงพีเอชเป็นกลางสภาพประจุบนพื้นผิวของ AM-SCP และ M-SCP เป็นกลางซึ่งอาจทำให้มีความสามารถในการดูดซับ DCAA ที่มีประจุลบได้ต่ำ และเมื่อพีเอชลดลงเป็น 5 ประจุบนพื้นผิวของ AM-SCP และ M-SCP เป็นบวกจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อพีเอชของสารละลายลดลงหมู่อะมิโนและหมู่ซิลานอลบนพื้นผิวของ AM-SCP และ M-SCP จะได้รับโปรตอนทำให้อาจจะเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการดูดซับ DCAA ที่พีเอช 9 ของ AM-SCP และ M-SCP มีสูงซึ่งขัดแย้งกับแรงผลักระหว่างประจุและพันธะไฮโดรเจน ซึ่งสาเหตุในการดูดซับยังไม่เป็นที่แน่ชัด สำหรับ PAC ที่พีเอช 5 และ 7 มีความสามารถในการดูดซับ DCAA ใกล้เคียงกัน เป็นเพราะเมื่อพีเอชของสารละลายลดลงทำให้ความเป็นประจุบวกของพื้นผิวมีมากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ และที่พีเอช 9 มีความเป็นประจุบวกของพื้นผิวลดลงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้อยด้วย



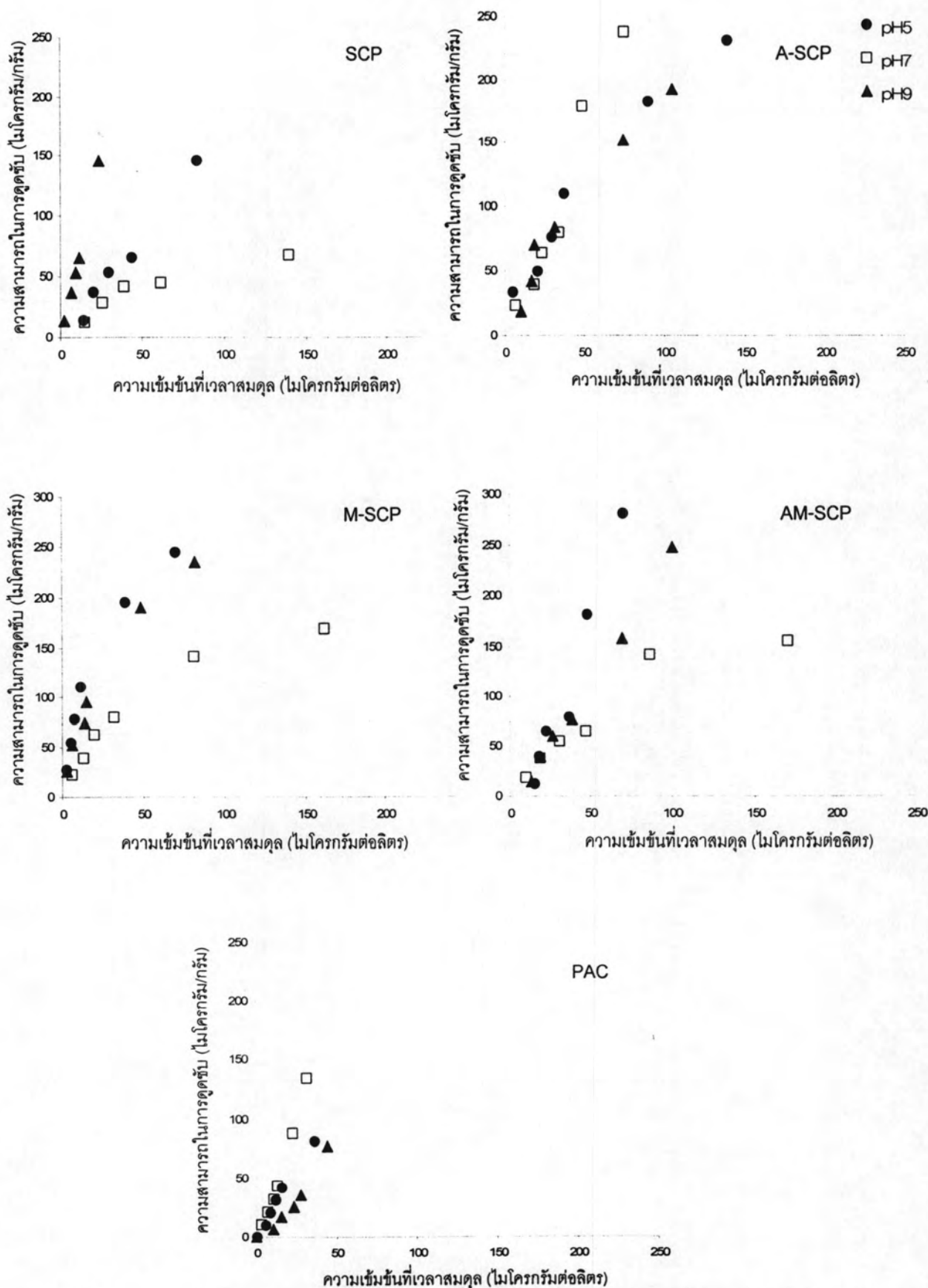
ภาพที่ 4.27 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ TCAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC

จากภาพที่ 4.27 พบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 5 ตัวกลางดูดซับ SCP และ A-SCP มีความสามารถในการดูดซับมากกว่าที่พีเอช 7 และ 9 ซึ่งเป็นผลจากประจุบนพื้นผิวและไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช 7 และ 9 กับความสามารถในการดูดซับ TCAA ส่วน M-SCP และ AM-SCP ไม่พบความสัมพันธ์ของความสามารถในการดูดซับกับพีเอชของสารละลาย โดยที่ M-SCP จะดูดซับได้ดีที่พีเอช 9 และดูดซับได้น้อยที่พีเอช 5 แต่ AM-SCP ดูดซับได้ดีที่พีเอช 7 และดูดซับได้น้อยที่พีเอช 9 จึงอาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับ TCAA ไม่ได้ขึ้นอยู่กับประจุบนพื้นผิวของตัวกลางดูดซับ AM-SCP และ M-SCP เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ความซับซ้อนของหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นของตัวกลางดูดซับ AM-SCP จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูง สำหรับ PAC นั้นพบว่า ที่พีเอช 5 และ 7 PAC มีความสามารถในการดูดซับ TCAA ใกล้เคียงกัน และที่พีเอช 9 มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อพีเอชของสารละลายลดลงทำให้ความเป็นประจุบวกของพื้นผิวมีมากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ และที่พีเอช 9 ความเป็นประจุบวกของพื้นผิวลดลงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้อยด้วย เช่นเดียวกัน DCAA



ภาพที่ 4.28 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ MBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC

จากภาพที่ 4.28 พบว่า การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ MBAA ของตัวกลางดูดซับ SCP และ PAC อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ A-SCP และ M-SCP มีความสามารถในการดูดซับ MBAA ได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 7 ส่วนที่พีเอช 5 และ 9 มีความสามารถในการดูดซับไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า A-SCP แรงทางไฟฟ้าไม่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ ส่วนความสามารถในการดูดซับ MBAA ของ M-SCP อาจกล่าวได้ว่าแรงทางไฟฟ้าไม่ใช่แรงหลักในการดูดซับ ซึ่งความไม่ชอบน้ำของ M-SCP น่าจะมีความสำคัญมากกว่าจึงทำให้ที่พีเอช 7 M-SCP ดูดซับได้มากกว่าแรงของประจุบนพื้นผิวที่พีเอช 5 และสำหรับตัวกลางดูดซับ AM-SCP นั้นพบว่า ที่พีเอช 5 และ 7 มีความสามารถในการดูดซับ MBAA ไม่แตกต่างกันซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ผลของแรงทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อพีเอช 5 มีความสำคัญใกล้เคียงกับการเกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ซิลานอลและอะมิโนในโครงสร้างของ AM-SCP ซึ่งเมื่อพีเอชของสารละลายเป็น 9 ประจุบนพื้นผิวของ AM-SCP มีความหนาแน่นของประจุลบมากขึ้นจึงมีแรงผลักระหว่างกันและทำให้มีความสามารถในการดูดซับ MBAA น้อยลง



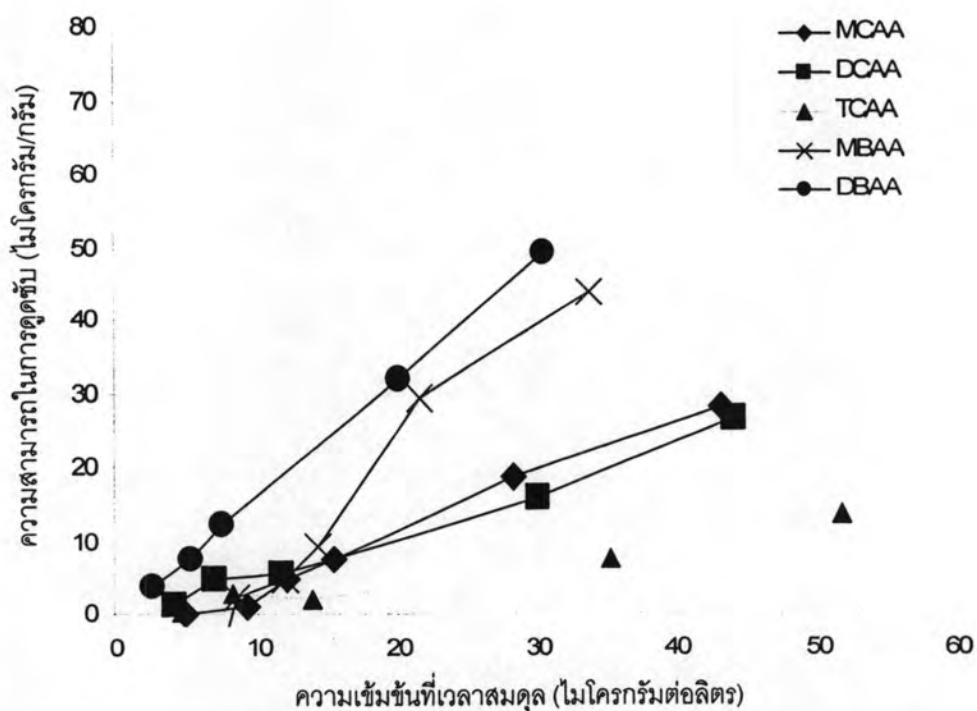
ภาพที่ 4.29 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับ DBAA ของอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดต่าง ๆ และ PAC

จากภาพที่ 4.29 พบว่า การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ DBAA ของ A-SCP ส่วนตัวกลางดูดซับ SCP ที่พีเอช 9 มีความสามารถในการดูดซับ DBAA ได้ดีทั้งที่ประจุบนพื้นผิวของ SCP เป็นลบซึ่งปัจจัยหลักในการดูดซับอาจมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ DBAA และรองลงมาคือปัจจัยจากประจุบนพื้นผิวซึ่งทำให้ที่พีเอช 5 และ SCP มีความสามารถในการดูดซับได้ดีเช่นกัน สำหรับ PAC พบว่า ที่พีเอช 5 และ 7 PAC มีความสามารถในการดูดซับ TCAA ใกล้เคียงกัน และที่พีเอช 9 มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อพีเอชของสารละลายลดลงทำให้ความเป็นประจุบวกของพื้นผิวมีมากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ และที่พีเอช 9 ความเป็นประจุบวกของพื้นผิวลดลงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้อยด้วย ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับกรดฮาโลอะซิติกทุกชนิด

4.4 คุณสมบัติในการคัดเลือก (Selectivity) HAA5 บนตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก

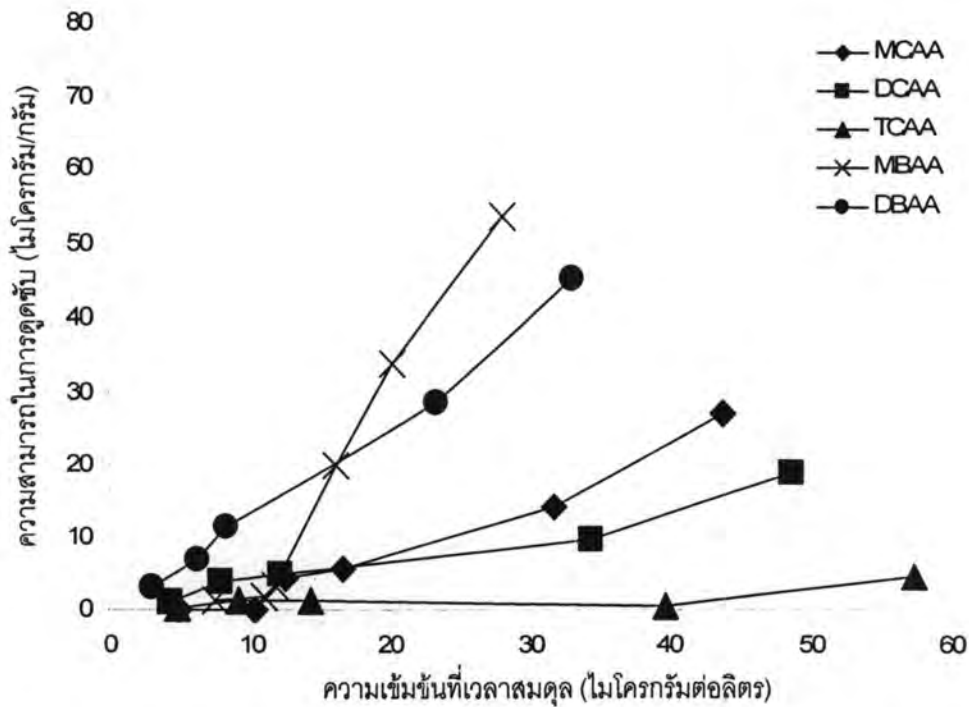
4.4.1 กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

จากการศึกษาคุณสมบัติในการคัดเลือก (Selectivity) กรดฮาโลอะซิติกบนตัวกลางดูดซับที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดและ PAC โดยการควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น ionic strength 0.01 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยศึกษาในสารละลายผสมกรดฮาโลอะซิติก พบว่า



ภาพที่ 4.30 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ SCP กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

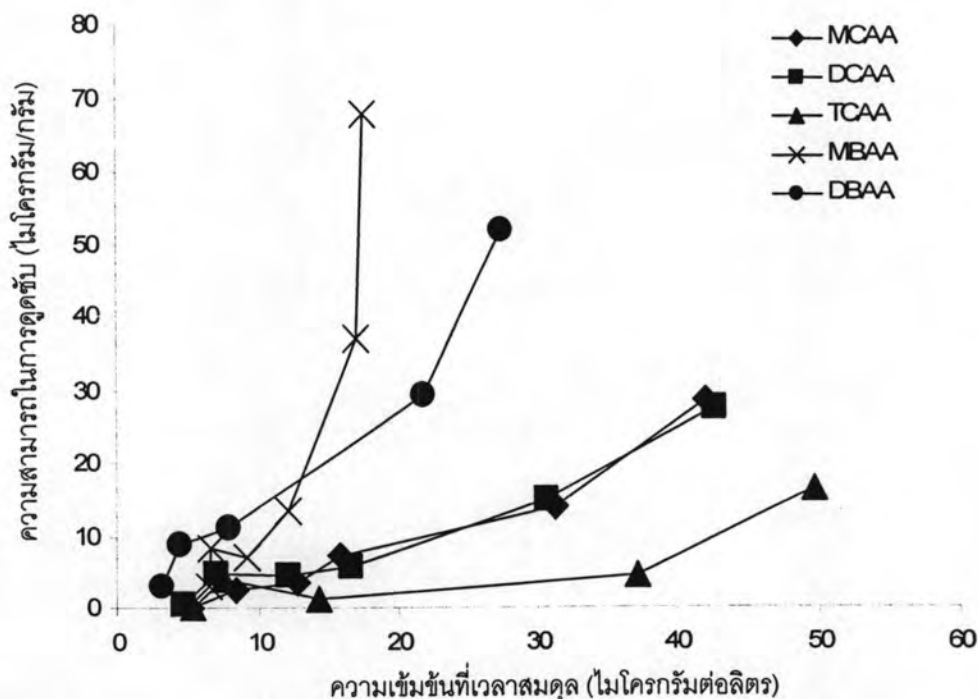
จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.30 ตัวกลางดูดซับ SCP มีความสามารถในการดูดซับ DBAA ได้ดี ตามด้วย MBAA, MCAA, DCAA และ TCAA ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับของกรดฮาลออะซิติกสารเดี่ยว ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.25 พบว่า เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของกรดฮาลออะซิติกที่เหลือ ณ เวลาสมดุลเท่ากัน ความสามารถในการถูกดูดซับของกรดฮาลออะซิติกสารเดี่ยวมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการถูกดูดซับของสารละลายผสมกรดฮาลออะซิติก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการใช้พื้นผิวสำหรับการดูดซับกรดฮาลออะซิติกของ SCP ไม่ได้มีการเข้าชิงพื้นที่กันเมื่อดูดซับในสารละลายผสม แต่เป็นการแบ่งพื้นที่ที่ใช้ในการดูดซับซึ่งกันและกันตัวกลางดูดซับ SCP มีความสามารถในการดูดซับกรดฮาลออะซิติกได้หลากหลายชนิด แต่จะสังเกตได้ว่าการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาลออะซิติกของ SCP นั้น กรดฮาลออะซิติกกลุ่มที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบมีความสามารถในการเข้าถึงพื้นผิวดูดซับได้ดีกว่ากรดฮาลออะซิติกกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 4.31 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ A-SCP กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

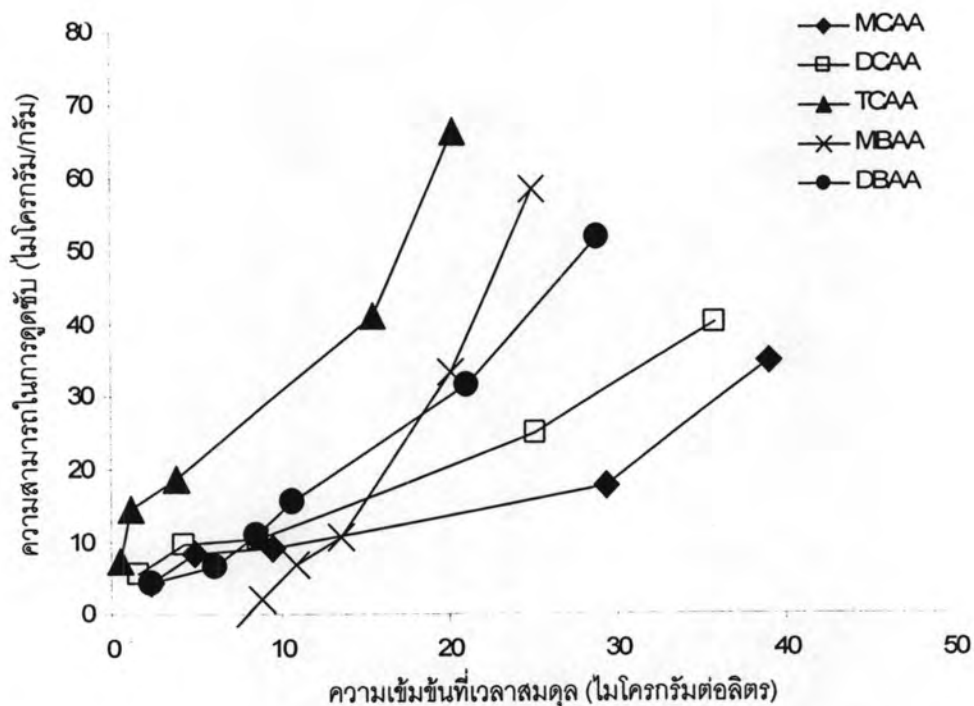
จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.31 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นต่ำ ตัวกลางดูดซับ A-SCP มีความสามารถในการดูดซับ DBAA ได้ดี รองลงคือ MBAA, MCAA, DCAA และ TCAA ตามลำดับ แต่เมื่อความเข้มข้นที่เหลือของกรดมากขึ้น A-SCP กลับมีความสามารถในการดูดซับ MBAA เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซีติกของ A-SCP เปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซีติกสารเดี่ยว พบว่า ความสามารถในการถูกดูดซับของกรดฮาโลอะซีติกสารเดี่ยวมีแนวโน้มใกล้เคียงกับความสามารถในการถูกดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซีติก ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซีติกของ SCP โดยที่ความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซีติกสารเดี่ยวกลุ่มที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบ (MBAA และ DBAA) มีแนวโน้มใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับในสารละลายผสมกรดฮาโลอะซีติก ส่วนความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซีติกสารเดี่ยวกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (MCAA, DCAA และ TCAA) พบว่า มีแนวโน้มสูงกว่าความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซีติก นั่นคือ อาจจะมีการแย่งพื้นที่ในการเข้าถึงพื้นผิวตัวกลางดูดซับของกรดฮาโลอะซีติกกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ จึงแสดงให้เห็นว่า A-SCP ค่อนข้างจะมีคุณสมบัติในการคัดเลือก (Selectivity) กรดฮาโลอะซีติกกลุ่มที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบได้ดีกว่ากลุ่มที่มีคลอรีนเป็น

องค์ประกอบ และถ้าเปรียบเทียบในกลุ่มคลอรีน ก็อาจจะกล่าวได้ว่า A-SCP มีสมบัติในการคัดเลือก MCAA



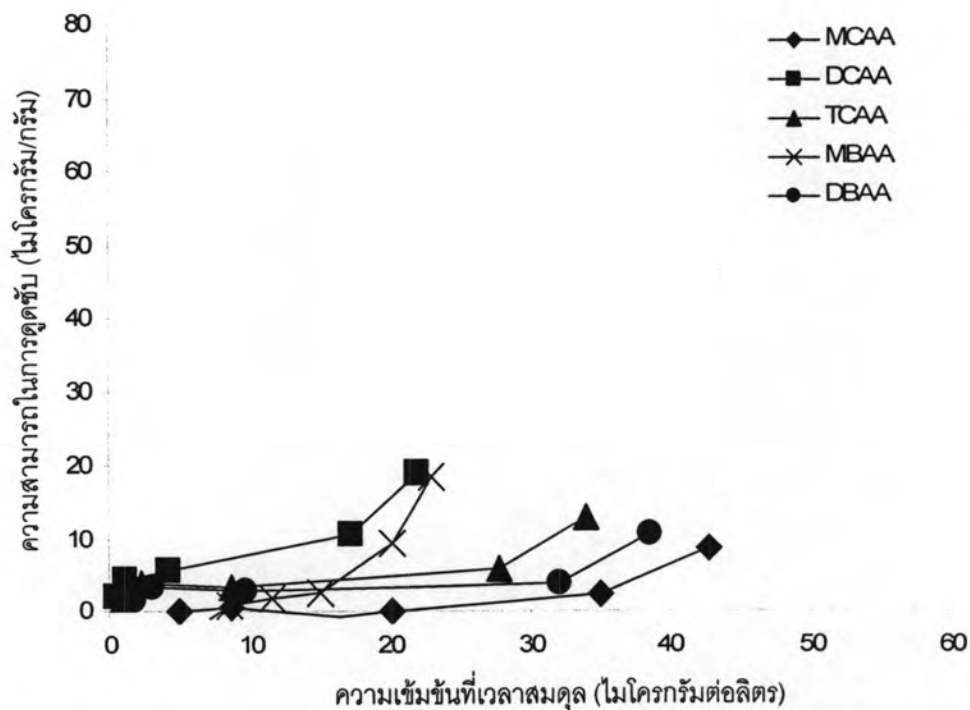
ภาพที่ 4.32 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ M-SCP กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.32 พบว่า ในช่วงความเข้มข้นต่ำ ตัวกลางดูดซับ M-SCP มีความสามารถในการดูดซับ DBAA ได้ดี รองลงคือ MBAA, MCAA, DCAA และ TCAA ตามลำดับ แต่เมื่อความเข้มข้นที่เหลือของกรดมากขึ้น M-SCP กลับมีความสามารถในการดูดซับ MBAA เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกับตัวกลางดูดซับ A-SCP ดังที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซิติกของ M-SCP เปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยว พบว่า ความสามารถในการดูดซับของกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยวมีแนวโน้มใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซิติก และกรดฮาโลอะซิติกกลุ่มที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบก็ยังคงถูกดูดซับได้ดีกว่ากลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับผลของการศึกษาการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยว จึงอาจกล่าวได้ว่า ตัวกลางดูดซับ M-SCP มีความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกได้หลากหลายชนิด และดูดซับกรดฮาโลอะซิติกทั้ง 5 ชนิดได้ดี แต่ยังมีคุณสมบัติในการคัดเลือก (Selectivity) กรดฮาโลอะซิติกกลุ่มที่มีโบรมีนได้ดีกว่ากลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 4.33 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ AM-SCP กรณีควบคุมพีเอช เท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.33 พบว่า ตัวกลางดูดซับ AM-SCP มีความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซิติก โดยเรียงลำดับแนวโน้มของความสามารถในการดูดซับจาก TCAA ซึ่งถูกดูดซับได้ดี รองลงมาคือ DBAA, MBAA, DCAA และ MCAA ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซิติกของ AM-SCP เปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยวพบว่า ความสามารถในการดูดซับของกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยวมีแนวโน้มใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซิติก และ TCAA ยังคงถูกดูดซับได้ดี เช่นเดียวกันผลของการดูดซับสารเดี่ยว ซึ่งสังเกตได้ว่า AM-SCP สามารถดูดซับ TCAA ได้สูงกว่าตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดอื่น ๆ และขณะเดียวกัน ตัวกลางดูดซับชนิดอื่น ๆ ก็สามารถดูดซับกรดฮาโลอะซิติกได้ค่อนข้างหลากหลาย และจะโดดเด่นที่กลุ่มที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบ แต่สำหรับ AM-SCP จึงอาจกล่าวได้ว่า ตัวกลางดูดซับ AM-SCP มีคุณสมบัติในการคัดเลือก (Selectivity) TCAA ได้ดีกว่าตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกชนิดอื่น ๆ

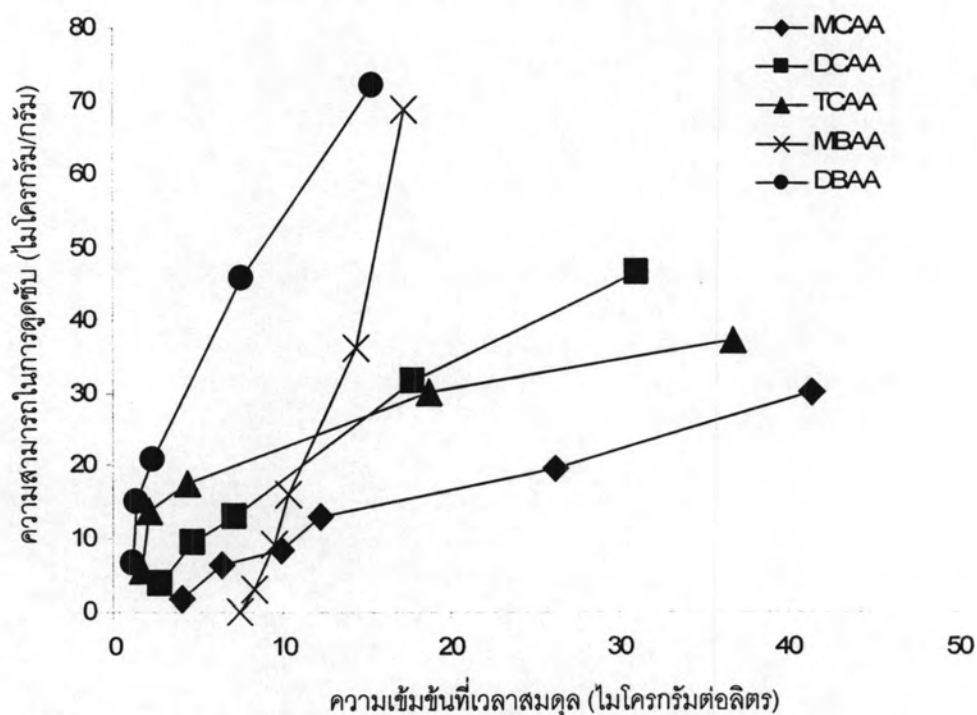


ภาพที่ 4.34 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ PAC กรณีควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น

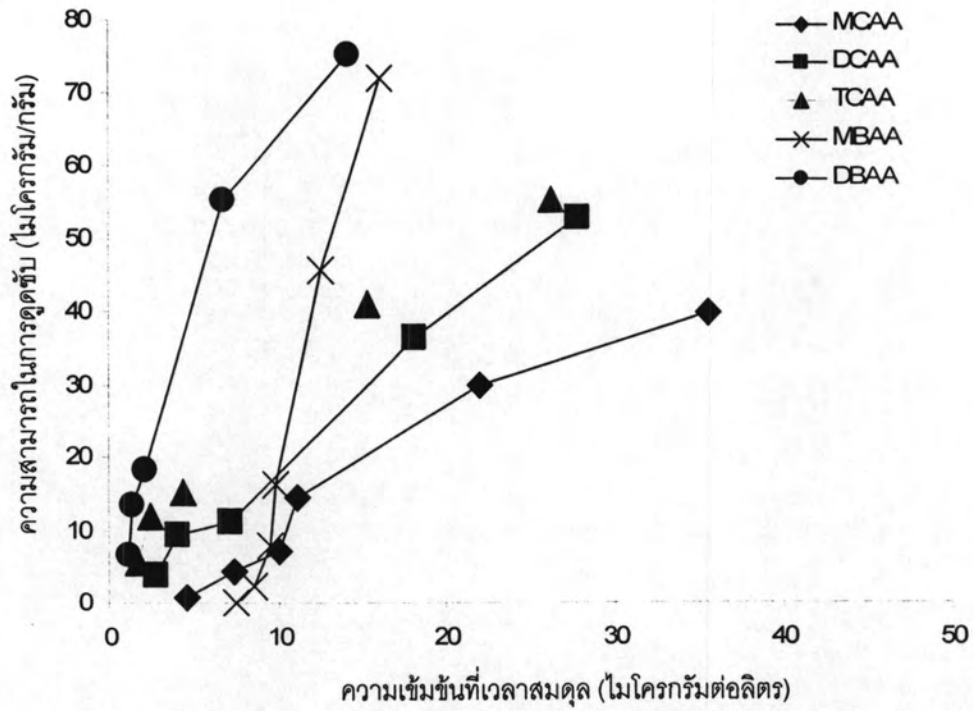
จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.34 พบว่า ตัวกลางดูดซับ PAC มีความสามารถในการดูดซับ DCAA มากที่สุด รองลงมาคือ MBAA, TCAA, DBAA และ MCAA ตามลำดับ แต่แนวโน้มของความสามารถในการดูดซับสารละลายผสมกรดฮาโลอะซีติกค่อนข้างต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับกรดฮาโลอะซีติกสารเดี่ยว อาจเนื่องจากการดูดซับในสารละลายผสม พื้นผิวของ PAC ต้องมีการใช้ในการดูดซับกรดทั้ง 5 ชนิดร่วมกันทำให้ปริมาณกรดฮาโลอะซีติกแต่ละชนิดที่ถูกดูดซับลดลงซึ่งต่างกับการดูดซับกรดฮาโลอะซีติกสารเดี่ยว และเมื่อพิจารณาถึงลำดับในการเข้าถึงพื้นผิว PAC ของกรดฮาโลอะซีติกจากการทดลองดูดซับในสารละลายผสมแล้ว ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะโครงสร้างของกรดฮาโลอะซีติกแต่ละชนิดกับความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซีติก

4.4.2 กรณีการดูดซับ HAA5 ในน้ำประปา

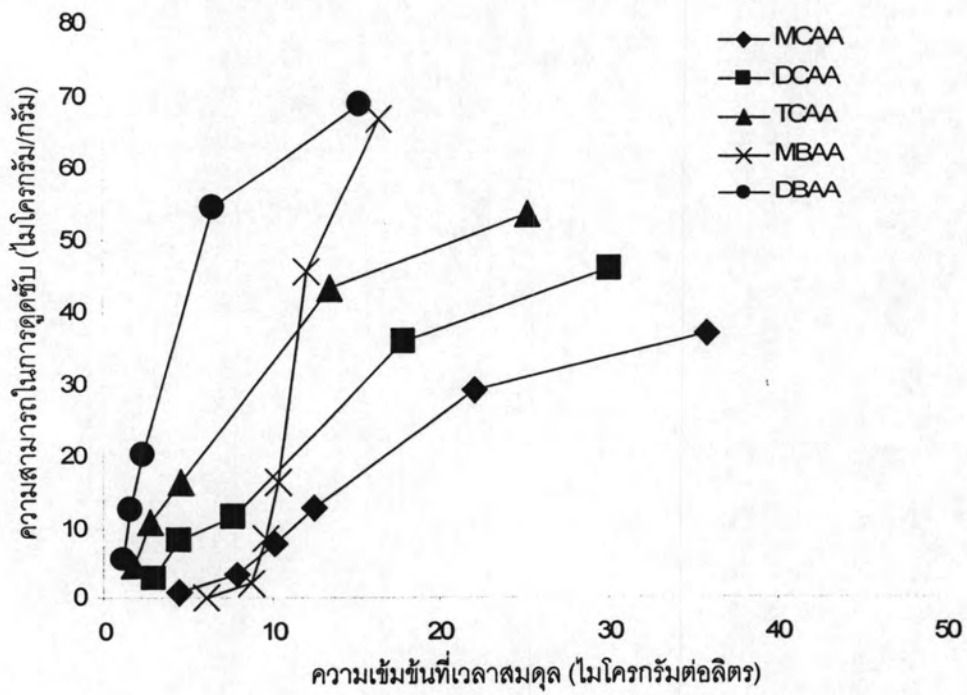
จากการศึกษาคุณสมบัติในการคัดเลือก (Selectivity) กรดฮาโลอะซิติก บนตัวกลางดูดซับที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดและ PAC โดยใช้สารละลายกรดฮาโลอะซิติกผสมในน้ำประปา ซึ่งพีเอชของน้ำประปาที่ให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.0 จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการดูดซับของ SCP, A-SCP, M-SCP ดังแสดงในภาพที่ 4.35 - 4.39



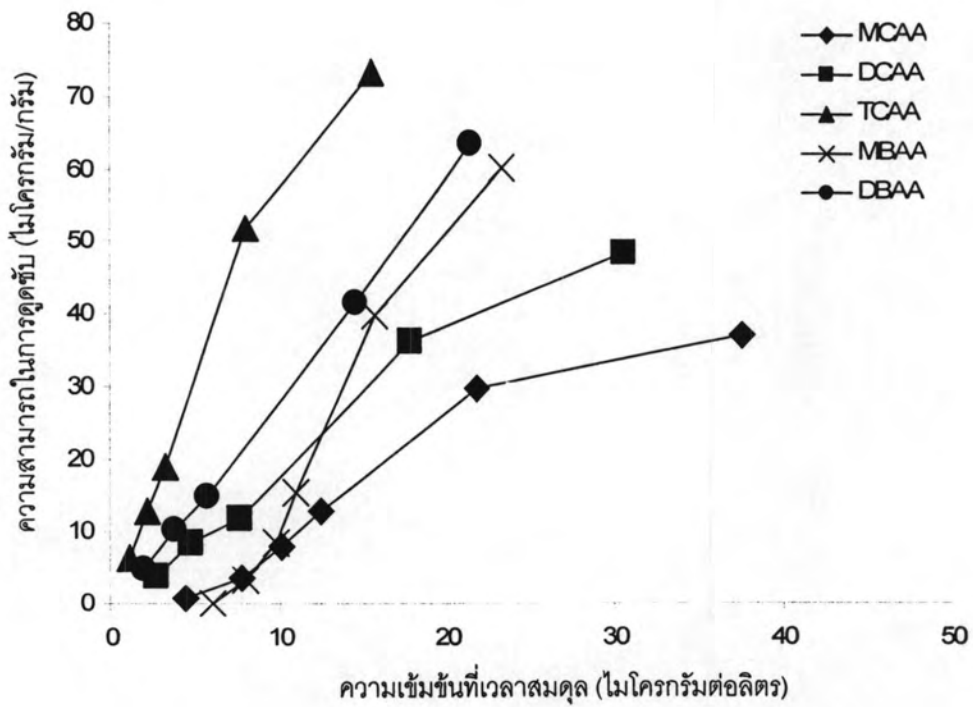
ภาพที่ 4.35 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ SCP กรณีการดูดซับในน้ำประปา



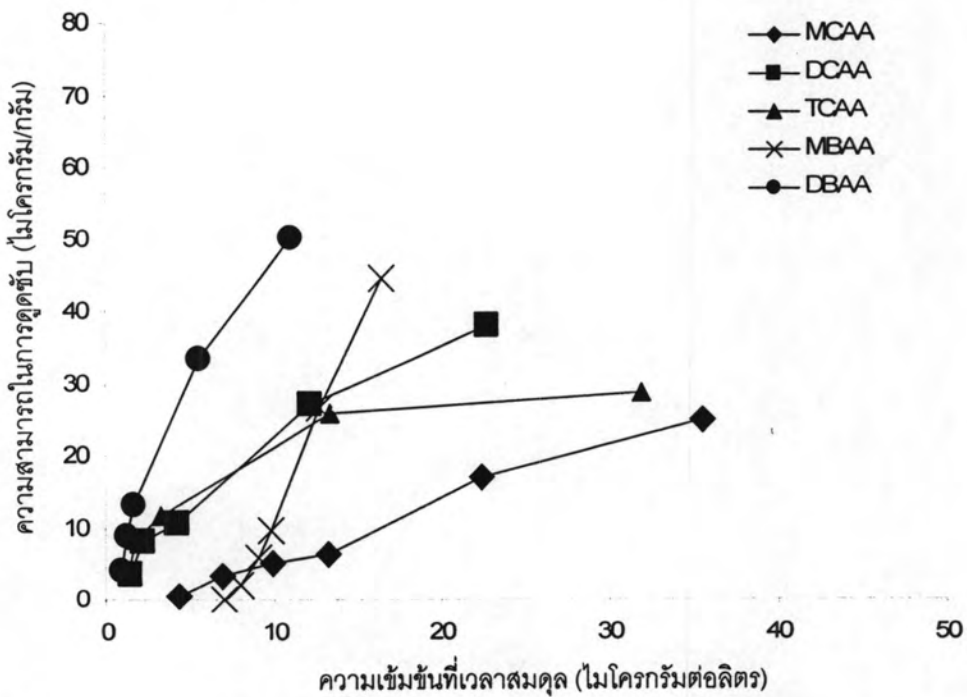
ภาพที่ 4.36 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ A-SCP กรณีการดูดซับในน้ำประปา



ภาพที่ 4.37 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ M-SCP กรณีการดูดซับในน้ำประปา



ภาพที่ 4.38 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ AM-SCP กรณีการดูดซับในน้ำประปา



ภาพที่ 4.39 คุณสมบัติในการคัดเลือก HAA5 บนตัวกลางดูดซับ PAC กรณีการดูดซับในน้ำประปา

จากผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.35 - 4.39 พบว่า การดูดซับสารละลายผลสมกรดฮาโลอะซิติกโดยใช้น้ำประปาเป็นน้ำตัวอย่าง ตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกทุกชนิด (SCP, A-SCP, M-SCP และ AM-SCP) มีลำดับความสามารถในการดูดซับกรดฮาโลอะซิติกผลสมทั้ง 5 ชนิดในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการดูดซับสารละลายผลสมกรดฮาโลอะซิติกกรณีที่ควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 ในน้ำกลั่น แต่กรณีการดูดซับในน้ำประปานั้น ความสามารถในการดูดซับของตัวกลางดูดซับทุกชนิดแนวโน้มสูงขึ้น นอกจากนี้ ที่ความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกที่เหลือ ณ เวลาสมดุล ที่เท่ากัน ความสามารถในการถูกดูดซับของกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยวมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการถูกดูดซับของสารละลายผลสมกรดฮาโลอะซิติก แต่เมื่อพิจารณาถึงผลรวมของกรดฮาโลอะซิติกที่ถูกดูดซับทั้งหมดบนตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกแต่ละชนิดแล้วในกรณีน้ำประปา พบว่า มีผลรวมที่มากกว่าปริมาณกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยวที่ถูกดูดซับบนตัวกลางดูดซับ ซึ่งอาจเป็นเพราะปัจจัยของค่าความแรงไอออนในน้ำประปา (ionic strength) ที่มีมากกว่าในน้ำกลั่น ซึ่งอาจเป็นผลให้ตัวกลางอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกมีความสามารถในการดูดซับสารละลายผลสมกรดฮาโลอะซิติกได้มากขึ้น

สำหรับกรณีของ PAC มีความสามารถในการดูดซับสารละลายผลสมกรดฮาโลอะซิติกสูงกว่าการดูดซับสารละลายผลสมกรดฮาโลอะซิติกในน้ำกลั่น ซึ่งอาจเป็นผลของค่าความแรงไอออนในน้ำประปาเช่นเดียวกับตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติกที่กล่าวไป แต่เมื่อเปรียบเทียบถึงผลรวมของกรดฮาโลอะซิติกที่ถูกดูดซับทั้งหมดบน PAC แล้วในกรณีใช้น้ำประปามีผลรวมที่น้อยกว่าปริมาณของกรดฮาโลอะซิติกสารเดี่ยวที่ถูกดูดซับทั้งหมดบน PAC ซึ่งต่างจากผลของตัวกลางดูดซับอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก อาจจะเป็นผลมาจากการเข้าใช้พื้นที่ในการถูกดูดซับของกรดฮาโลอะซิติกในสารละลายผลสมซึ่งเกิดการแย่งพื้นที่กันส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับของ PAC ลดลง และเมื่อเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับจากมากไปน้อยแล้ว พบว่า DBAA ถูกดูดซับได้มากที่สุด ซึ่งการที่ตัวถูกดูดซับที่มีมวลโมเลกุลใหญ่เข้าไปดูดซับบนพื้นผิวก่อนอาจทำให้กรดฮาโลอะซิติกตัวอื่นๆ จะถูกดูดซับได้น้อยลง