บทที่ 4
ผลการศึกษา

สำหรับบทนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลในด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรม คุณสมบัติพื้นฐานของสารเคมี ภาพถ่ายขยายขนาดของเม็ดดิน ผลการทดสอบแบบก ผลการทดสอบต่อเนื่อง อัตราการไหล และ ผลการดูดซับสารเคมี ของดินตัวอย่าง

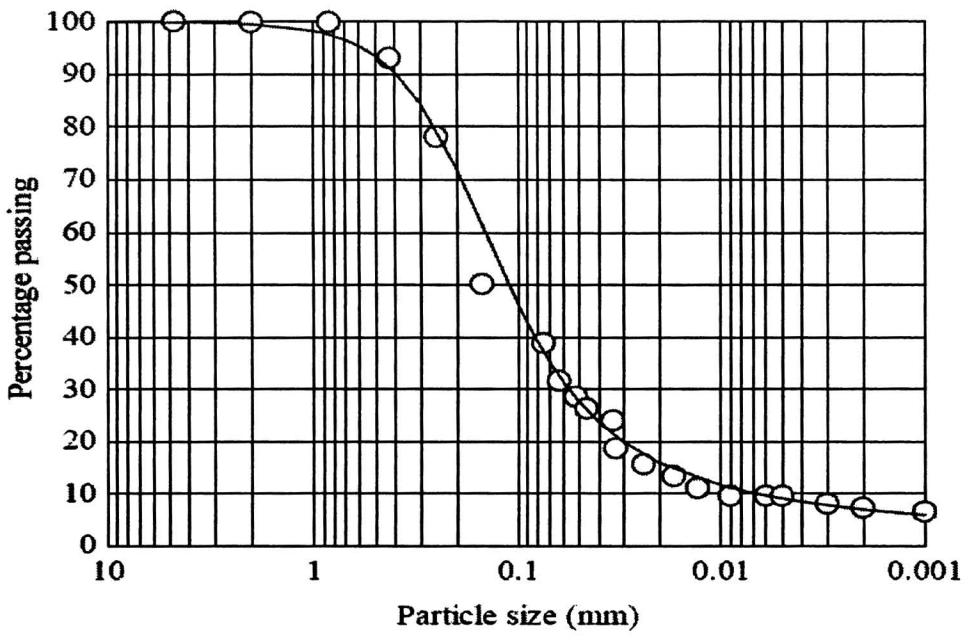
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม

ดินลมหอบที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มาจากการเก็บตัวอย่างบริเวณค่ายสีหราชเดโชชัย ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ความลึกประมาณ 2.5 เมตร จากระดับผิวดิน จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า ดินเป็นสีส้มแดง ค่อนข้างชื้นแต่ไม่ถึงขนาดเปียก ร่วนซุย มีเศษไม้เล็กน้อย นำดินลมหอบไปแช่น้ำไว้ในภาชนะที่มีการไหลเวียนของน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่เกาะติดอยู่บริเวณผิวของเม็ดดิน นำไปทดสอบในห้องปฏิบัติ ผลการทดสอบสามารถสรุปคุณสมบัติต่าง ๆของดินลมหอบไว้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยที่ดินลมหอบสีแดงนี้จะประกอบไปด้วยดินทรายประมาณ 65%, ดินตะกอน 30% และดินเหนียว 5% ภาพที่ 4.1 แสดงขนาดและปริมาณการ กระจายตัวของเม็ดดินจากการทดสอบด้วยตะแกรงและไฮโดรมิเตอร์

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินหอบ

Properties	Red Loess
Soil classification (USCS)	SM
Specific gravity	2.6
Unit Weight, (kN/m^3)	15.3
Natural Water Content (%)	5 -12
Liquid limit (%)	16
Plastic limit (%)	13
Plasticity Index (%)	3
Optimum moisture content (%)	10

(พงศกร และคณะ, 2545)



ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของเม็ดดินลมหอบ (พงศกร และคณะ, 2545)

ดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มาจากการเก็บตัวอย่างที่ บ้านโกทา ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ความลึกประมาณ 2 เมตร จากระดับผิวดิน จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า ดินเป็นสีน้ำตาลอ่อน ความชื้นสูง มีเศษไม้และใบหญ้าปะปนพอสมควร จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปคุณสมบัติต่าง ๆของดินเหนียวได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากนั้นนำดินเหนียวไปแช่น้ำไว้ในภาชนะที่มีการไหลเวียนของน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่เกาะติดอยู่บริเวณผิวของเม็ดดินเช่นเดียวกันกับดินลมหอบ

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียว

Properties	Clay
Soil classification (USCS)	CL
Specific gravity	2.7
Unit Weight, (kN/m^3)	16.3
Natural Water Content (%)	76.3
Liquid Limit (%)	55.2
Plastic Limit (%)	27.4
Plasticity Index (%)	27.8

4.2 คุณสมบัติพื้นฐานของสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ คือ สารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสี (ภาพที่ 4.2) เนื่องมาจากสารละลายทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถพบได้ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและบ่อกักเก็บขยะทั่วไป โดยที่สารละลายทั้ง 3 ชนิดนี้ ถูกจัดอยู่ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2539 (ตารางที่ 4.3) และปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อตัวผู้ทดสอบเอง ซึ่งสามารถเตรียมสารละลายได้จากสารละลายตั้งต้นที่มีความเข้มข้นมาตรฐาน 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณสมบัติของสารเคมีทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถดูได้จากตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ภาพที่ 4.2 สารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิล และสารละลายสังกะสี

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำเสียตามกฎหมายกำหนด

สารละลาย	ค่ามาตรฐาน
ทองแดง	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2539)

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติพื้นฐานของทองแดง

คุณสมบัติ	สารละลายทองแดง
สูตรทางเคมี	$Cu(NO_3)_2$
มวลโมเลกุล (ก./โมล)	295.65
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	2.07
ความสามารถในการละลาย (ก./100 มล.)	137.8

(Merck KGaA, 2009)

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติพื้นฐานของนิกเกิล

คุณสมบัติ	สารละลายนิกเกิล
สูตรทางเคมี	$Ni(NO_3)_2$
มวลโมเลกุล (ก./โมล)	290.79
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	2.05
ความสามารถในการละลาย (ก./100 มล.)	158

(Merck KGaA, 2009)

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติพื้นฐานของสังกะสี

คุณสมบัติ	สารละลายสังกะสี
สูตรทางเคมี	$Zn(NO_3)_2$
มวลโมเลกุล (ก./โมล)	297.49
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	2.065
ความสามารถในการละลาย (ก./100 มล.)	184.3

(Merck KGaA, 2009)

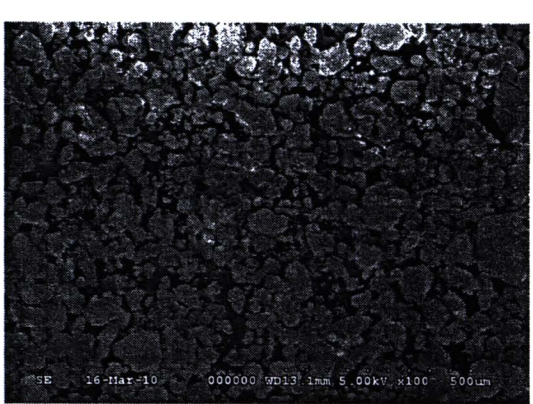
สารละลายโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีค่าความเข้มข้นมาตรฐาน 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 5 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.7 สาเหตุที่ต้องเจือจางความเข้มข้นของสารละลายเนื่องมาจาก ความสามารถในการวัดความเข้มข้นของเครื่องมือทดสอบไม่สามารถวัดสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมากได้ และจำเป็นต้องมีค่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อใช้ในการหาค่าสมการไอโซเทอม

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ใช้ทดสอบ

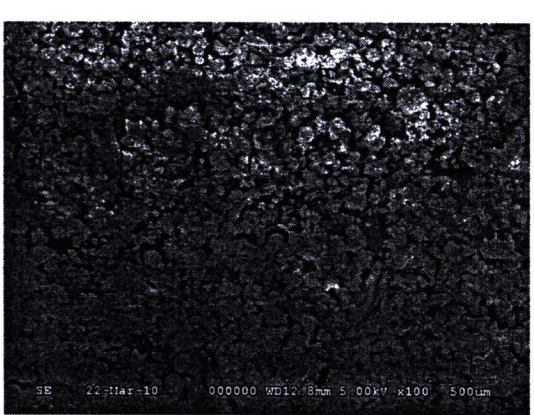
สารละลาย	มิลลิกรัม/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร
ทองแดง	5	25	50	100	200
นิกเกิล	5	25	50	100	200
สังกะสี	5	25	50	100	200

4.3 ภาพขยายขนาดเม็ดดินจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM)

นำตัวอย่างดินลมหอบและดินเหนียวซึ่งอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไปเคลือบทองเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้า จากนั้นจึงนำไปถ่ายภาพขยายขนาดของเม็ดดินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เพื่อดูสภาพพื้นผิวของเม็ดดิน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.3 จากภาพถ่ายขยายขนาดของเม็ดดิน ภาพโครงสร้างที่เห็นจะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ สามารถบอกได้ว่า เม็ดดินลมหอบมีขนาดใหญ่กว่าและเรียบกว่าเม็ดดินเหนียว พื้นที่การทำปฏิกิริยาของเม็ดดินเหนียวจึงมีมากกว่าเม็ดดินลมหอบ อีกทั้งลักษณะเม็ดดินเหนียวพื้นผิวมีลักษณะเป็นแง่งขรุขระ มีรูพรุนสูง จึงทำให้สารเคมีสามารถเกาะติดบริเวณผิวนอกได้ดี

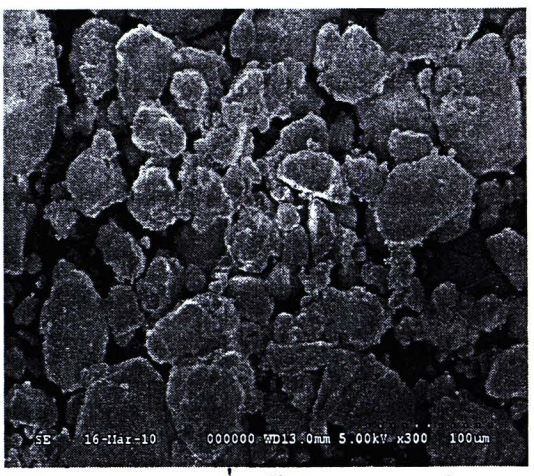


ดินลมหอบที่กำลังขยาย 100 เท่า

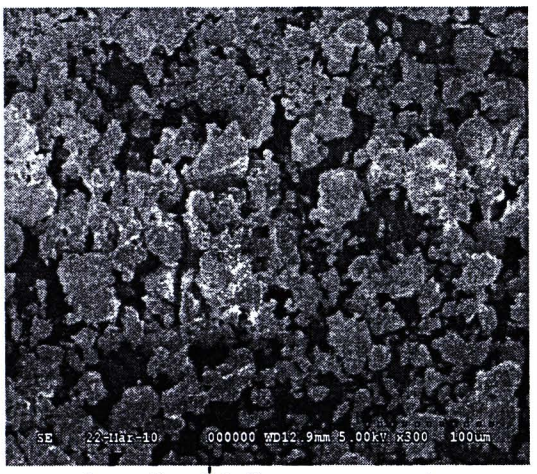


ดินเหนียวที่กำลังขยาย 100 เท่า

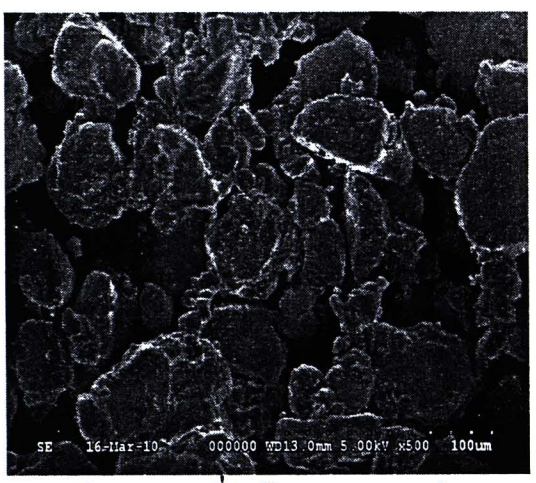
ภาพที่ 4.3 ภาพขยายขนาดของเม็ดดินลมหอบและดินเหนียว



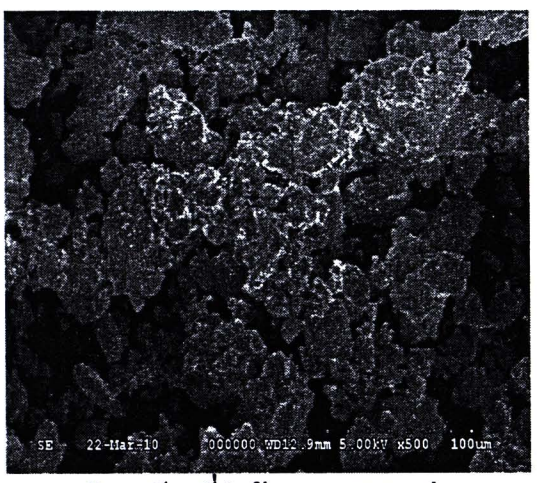
ดินลมหอบที่กำลังขยาย 300 เท่า



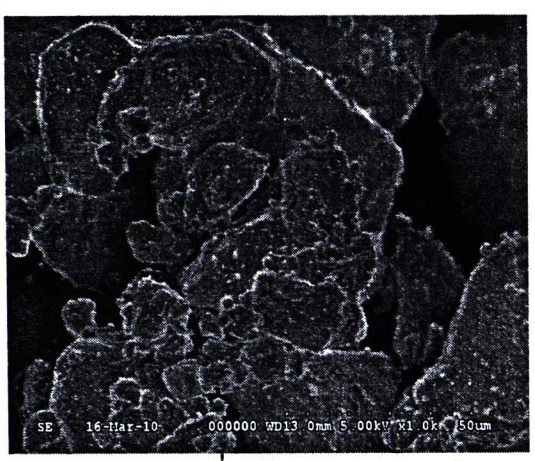
ดินเหนียวที่กำลังขยาย 300 เท่า



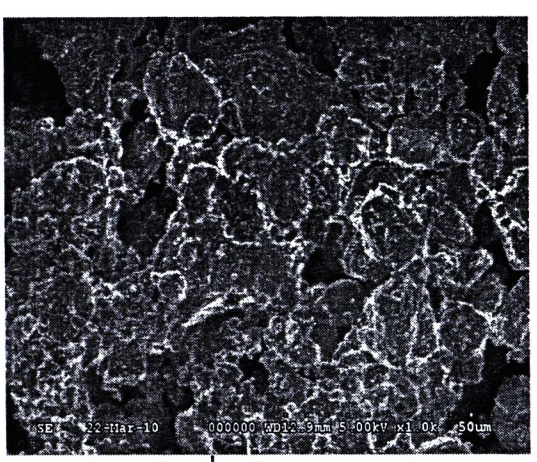
ดินลมหอบที่กำลังขยาย 500 เท่า



ดินเหนียวที่กำลังขยาย 500 เท่า

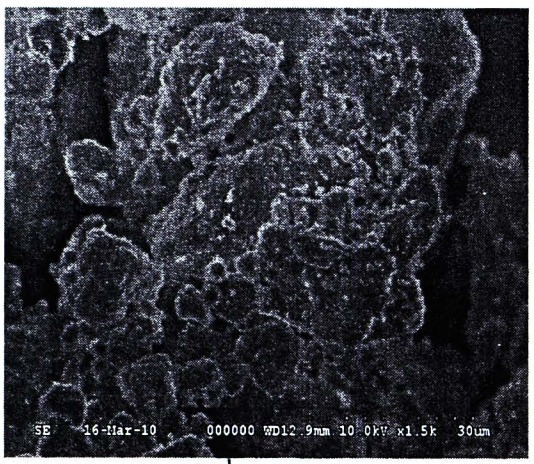


ดินลมหอบที่กำลังขยาย 1000 เท่า

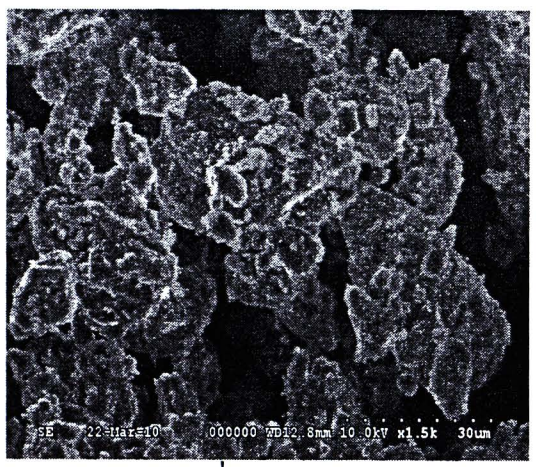


ดินเหนียวที่กำลังขยาย 1000 เท่า

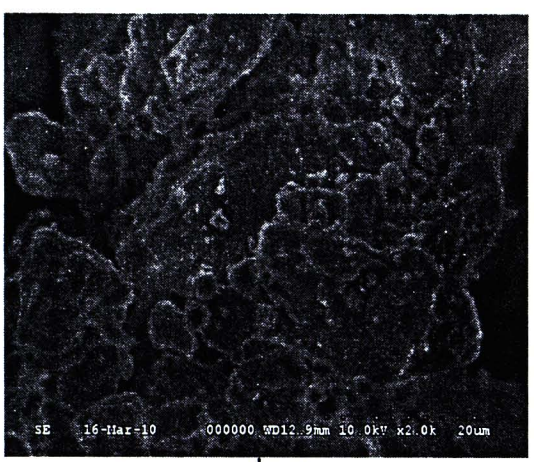
ภาพที่ 4.3 ภาพขยายขนาดของเม็ดดินลมหอบและดินเหนียว (ต่อ)



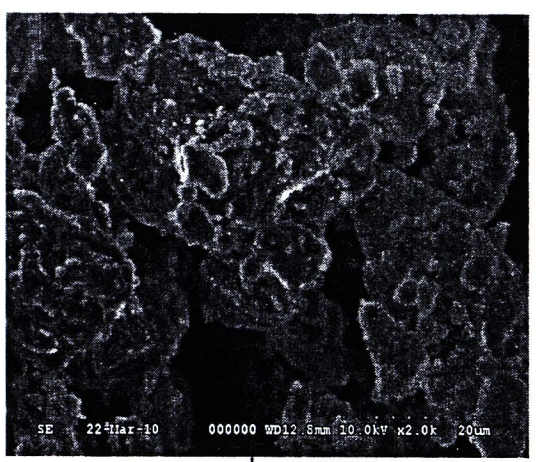
ดินลมหอบที่กำลังขยาย 1500 เท่า



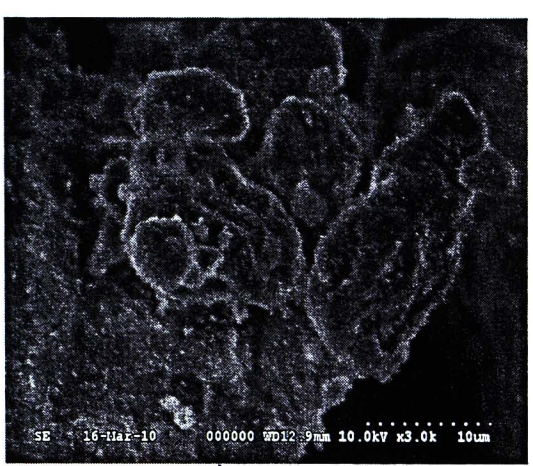
ดินเหนียวที่กำลังขยาย 1500 เท่า



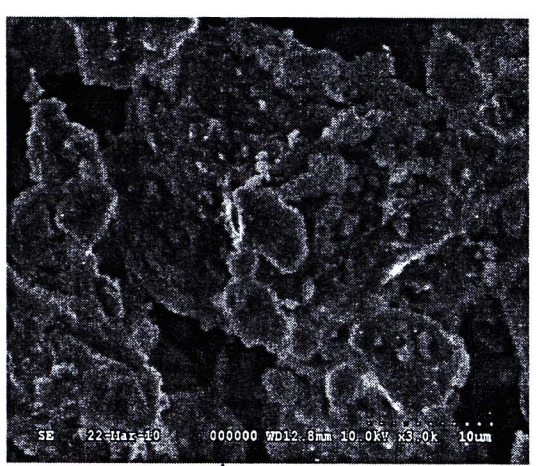
ดินลมหอบที่กำลังขยาย 2000 เท่า



ดินเหนียวที่กำลังขยาย 2000 เท่า

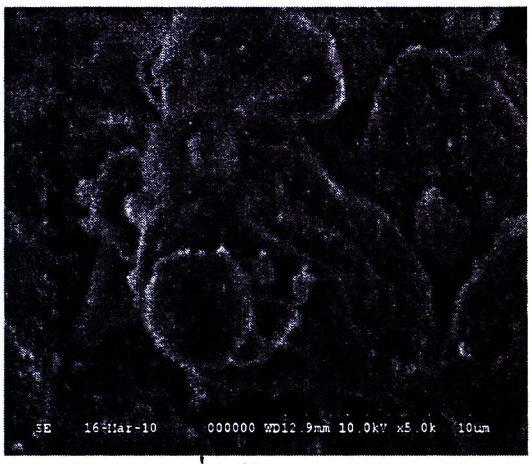


ดินลมหอบที่กำลังขยาย 3000 เท่า

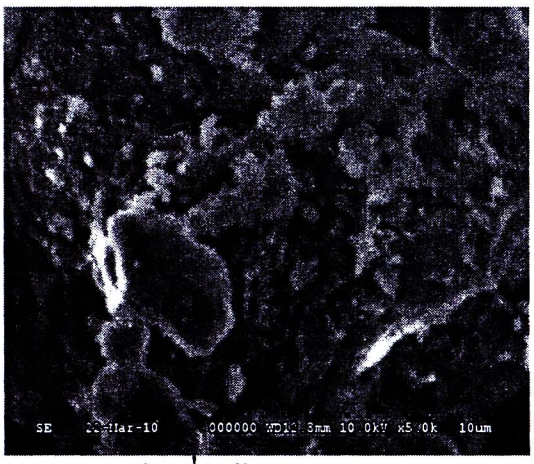


ดินเหนียวที่กำลังขยาย 3000 เท่า

ภาพที่ 4.3 ภาพขยายขนาดของเม็ดดินลมหอบและดินเหนียว (ต่อ)



ดินลมหอบที่กำลังขยาย 5000 เท่า



ดินเหนียวที่กำลังขยาย 5000 เท่า

ภาพที่ 4.3 ภาพขยายขนาดของเม็ดดินลมหอบและดินเหนียว (ต่อ)

4.4 ผลการทดสอบแบบกะ (Batch Test)

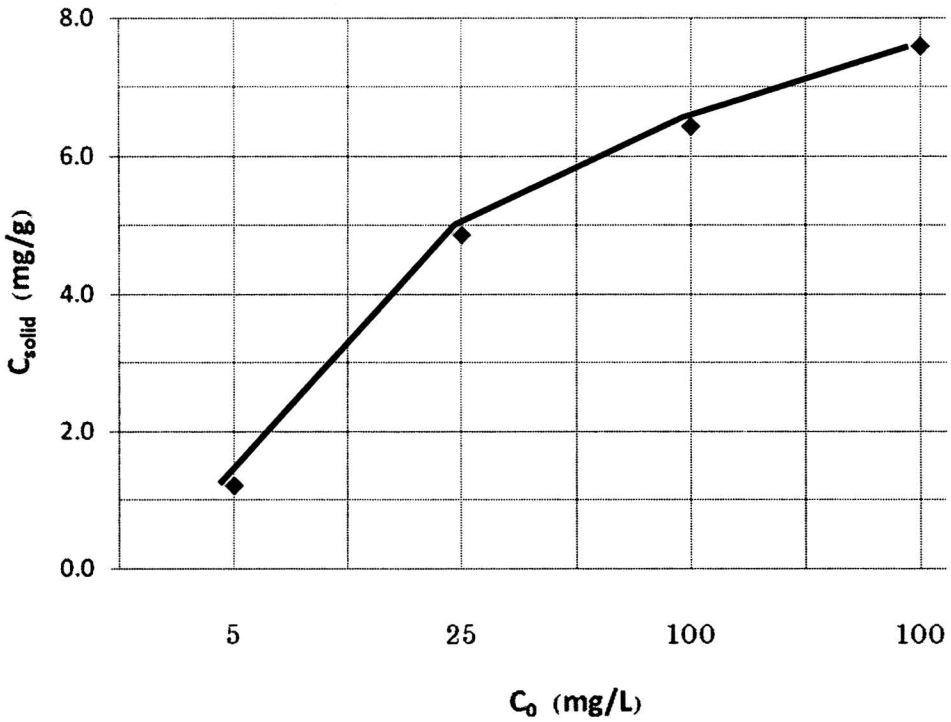
การทดลองเริ่มต้นจากนำดินตัวอย่างร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งดินลมตัวอย่างออกมาตัวอย่างละ 2.5 กรัม ใส่ไว้ในขวดทดลองขนาด 120 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ ปริมาตร 50 มิลลิลิตรผสมแล้วนำไปเขย่าทันที ด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้โลหะหนักถูกดูดติดที่ผิวดิน ทำการเก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองจากนั้นเจือจางความเข้มข้นด้วยกรดไนตริก แล้ววิเคราะห์หาความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองแบบเดิมซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้น เริ่มต้นของสารละลายโดยความเข้มข้นที่ใช้คือ 5, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.4.1 ผลการทดสอบแบบกะของดินลมหอบ

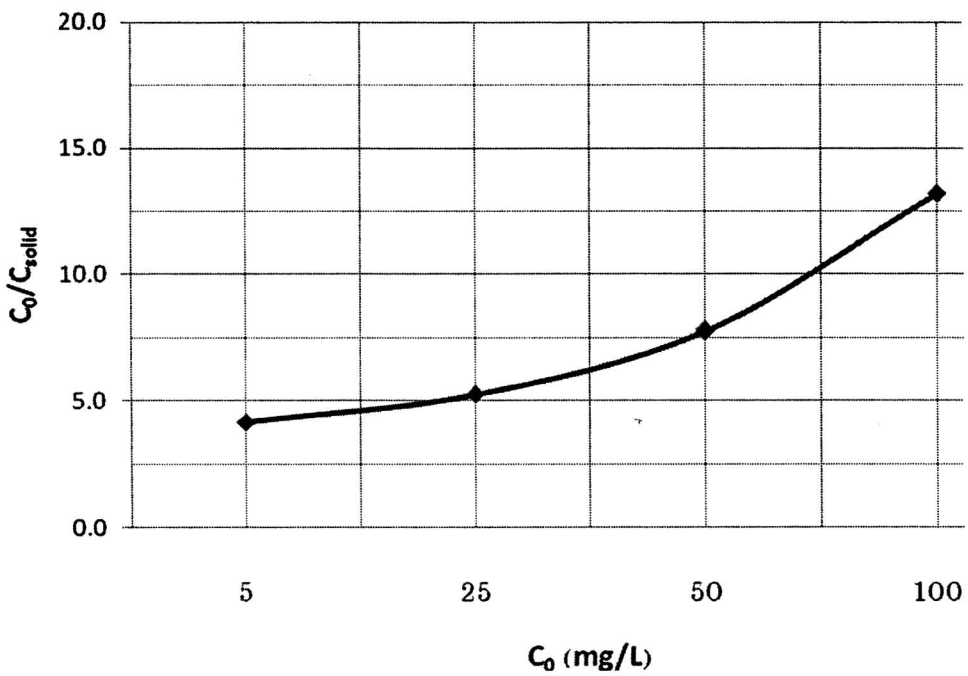
ผลการทดสอบแบบกะ พบว่าเมื่อผสมดินลมหอบกับสารละลายทองแดง เม็ดดินลมหอบจะสามารถดูดซับสารละลายทองแดงได้แปรผันตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทองแดง และจุดสมดุลที่เม็ดดินลมหอบจะอิ่มตัวไม่ดูดซับสารละลายทองแดงเข้าไปอีกคือเวลา 48 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ ผลการทดสอบสามารถดูได้จากตารางที่ 4.8 จากนั้นนำค่าที่ได้จากตาราง ที่เวลา 48 ชั่วโมงไปเขียนกราฟได้ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง

ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง (มก./ล.)	เวลาในการทดสอบ (ชม.)	ความเข้มข้นที่จาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น/ความเข้มข้นของเม็ดดิน
5	0	0.525	1.128	4.434
	12	0.133	1.217	4.110
	24	0.107	1.238	4.039
	48	0.175	1.206	4.145
25	0	13.317	2.933	8.525
	12	9.417	3.910	6.394
	24	9.133	3.983	6.277
	48	5.542	4.865	5.253
50	0	38.550	2.874	17.398
	12	33.150	4.229	11.822
	24	26.950	5.786	8.642
	48	24.367	6.434	7.771
100	0	75.400	6.170	16.208
	12	74.500	6.390	15.650
	24	72.500	6.903	14.490
	48	69.667	7.595	13.166

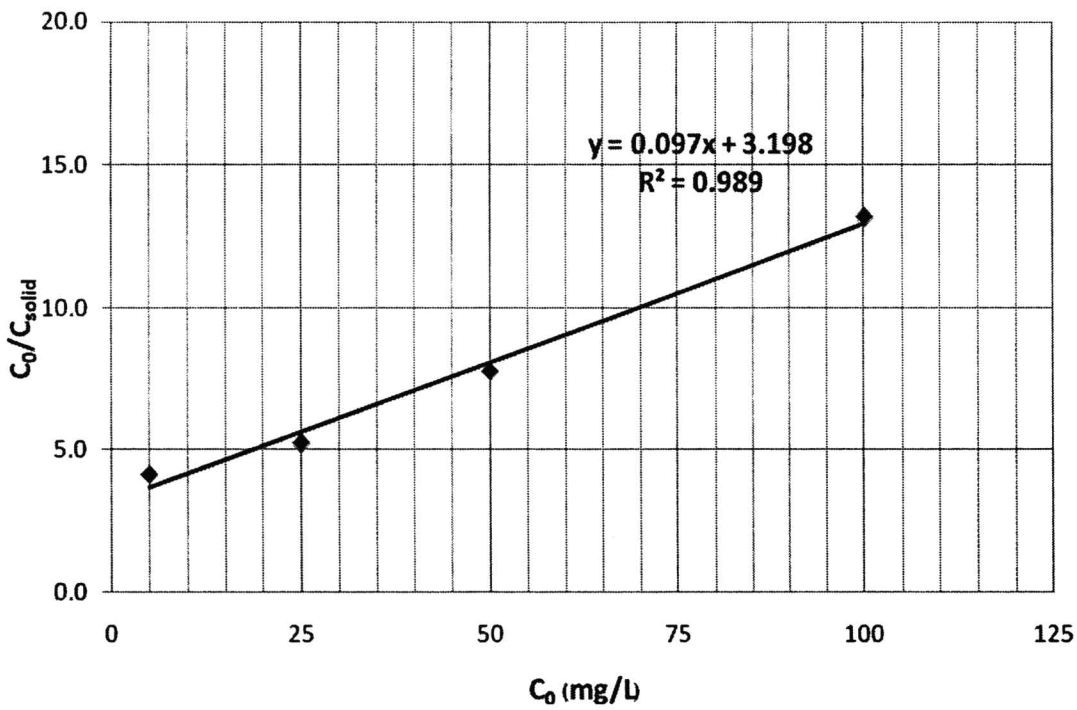


ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_0/C_{solid}) (ภาพที่ 4.6) ค่าไอโซเทอมสามารถหาได้จากสมการเส้นตรง (y = XA + C) โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (X) คือค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) และ ค่าอัตราการดูดซับ (α) สามารถหาได้จากสมการ $\alpha = 1/(\beta*C)$ ดังแสดงในตารางที่ 4.9



ภาพที่ 4.6 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายทองแดง

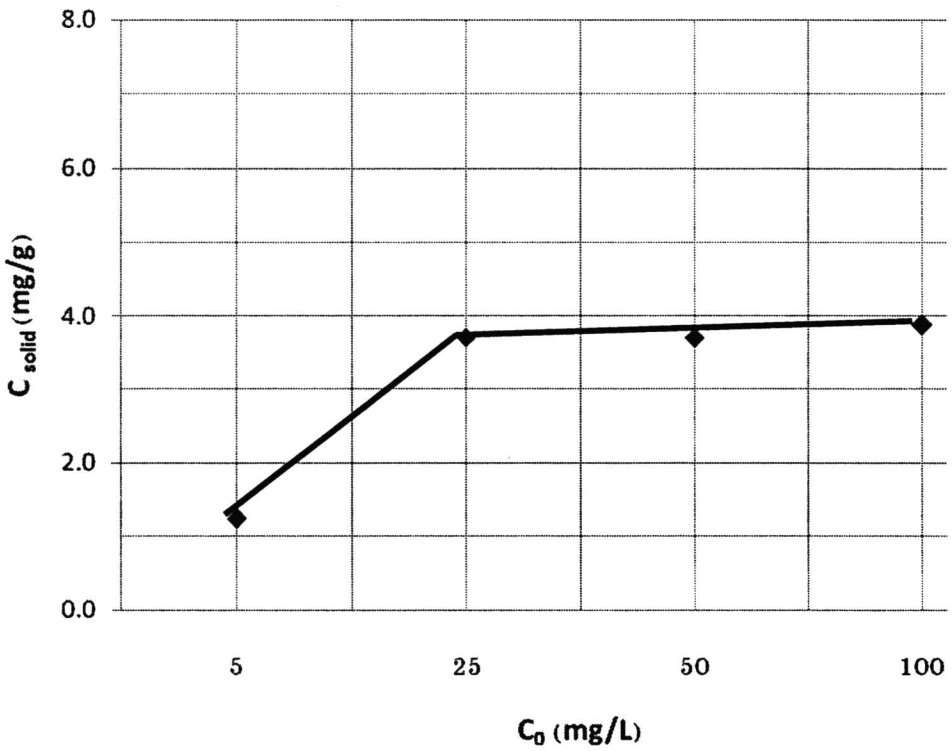
ตารางที่ 4.9 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
ทองแดง	3.2	0.097	0.989

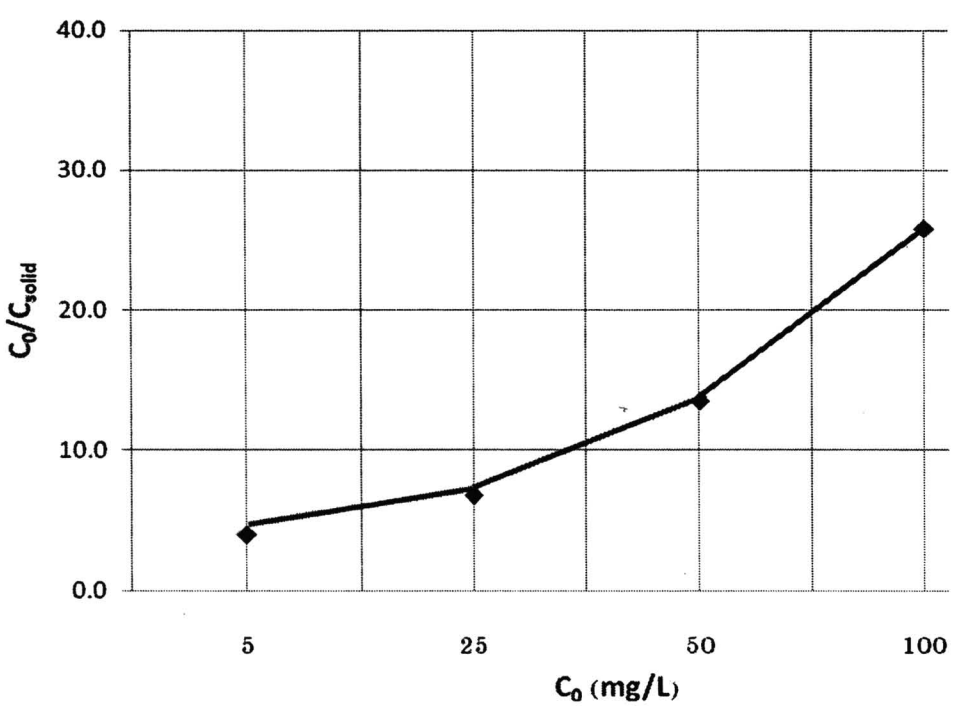
ผลการทดสอบแบบกะ พบว่าเมื่อผสมดินลมหอบกับสารละลายนิกเกิล เม็ดดินลมหอบจะสามารถดูดซับสารละลายนิกเกิลได้แปรผันตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิล และจุดสมดุลที่เม็ดดินลมหอบจะอิ่มตัวไม่ดูดซับสารละลายนิกเกิลเข้าไปอีกคือเวลา 48 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ ผลการทดสอบสามารถดูได้จากตารางที่ 4.10 จากนั้นนำค่าที่ได้ในตารางที่เวลา 48 ชั่วโมง ไปเขียนกราฟได้ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล

ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล (มก./ล.)	เวลาในการทดสอบ (ชม.)	ความเข้มข้นที่จาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น/ความเข้มข้นของเม็ดดิน
5	0	1.540	0.865	5.780
	12	0.282	1.180	4.239
	24	0.085	1.229	4.069
	48	0.038	1.245	4.015
25	0	15.375	2.410	10.373
	12	9.408	3.901	6.409
	24	10.333	3.671	6.810
	48	10.208	3.713	6.734
50	0	36.000	3.514	14.229
	12	35.283	3.679	13.590
	24	34.900	3.775	13.245
	48	35.200	3.700	13.514
100	0	85.700	3.575	27.976
	12	86.600	3.363	29.829
	24	86.400	3.414	29.296
	48	84.567	3.877	25.796

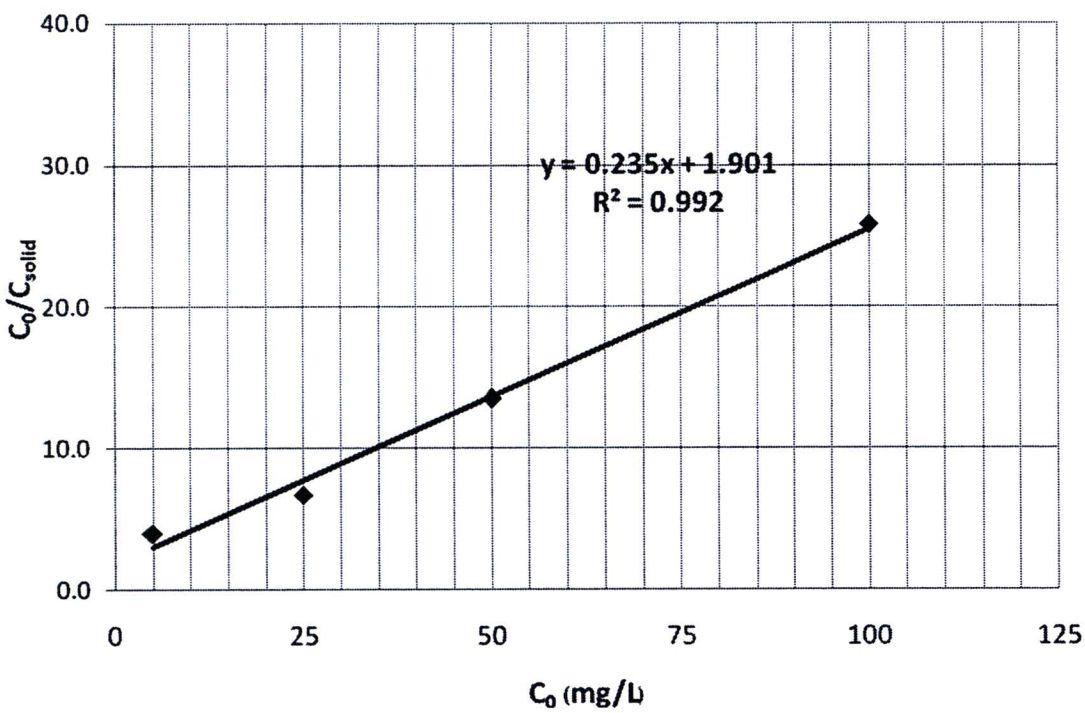


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_0/C_{solid}) (ภาพที่ 4.9) ค่าไอโซเทอมสามารถหาได้จากสมการเส้นตรง (y = XA + C) โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (X) คือค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) และ ค่าอัตราการดูดซับ (α) สามารถหาได้จากสมการ $\alpha = 1/(\beta*C)$ ดังแสดงในตารางที่ 4.11



ภาพที่ 4.9 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายนิกเกิล

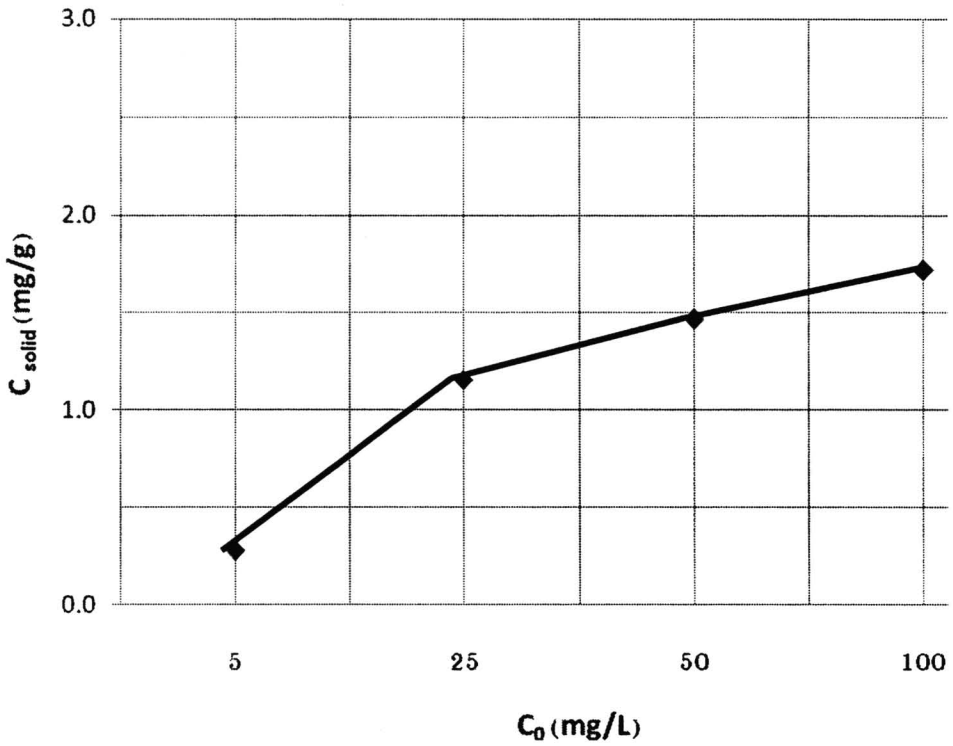
ตารางที่ 4.11 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
นิกเกิล	2.24	0.0235	0.992

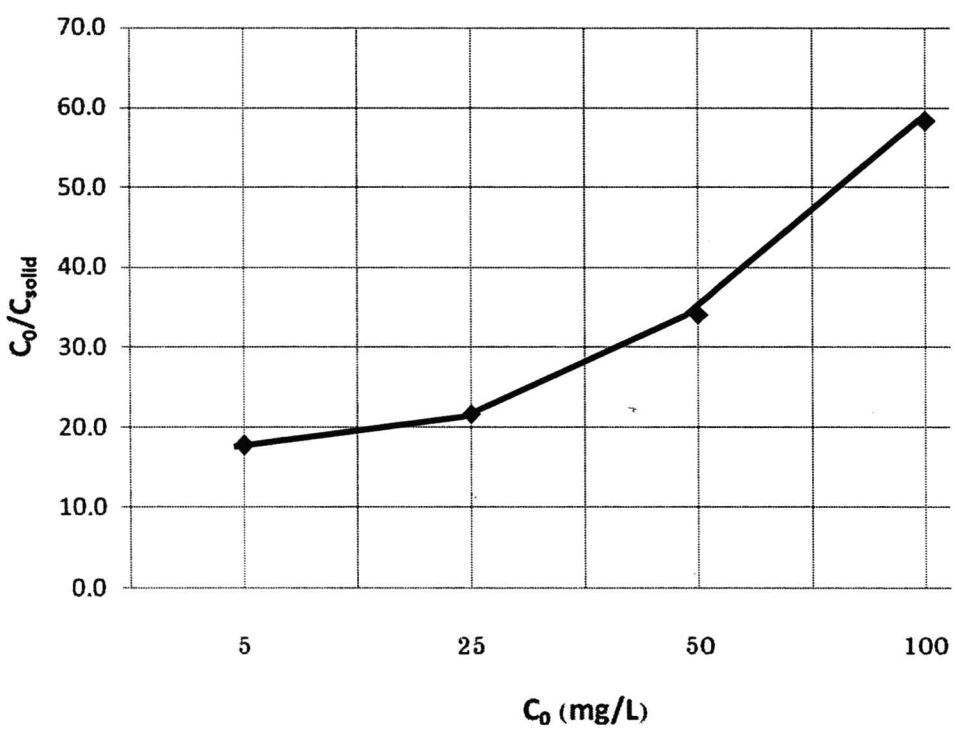
ผลการทดสอบแบบกะ พบว่าเมื่อผสมดินลมหอบกับสารละลายสังกะสี เม็ดดินลมหอบจะสามารถดูดซับสารละลายสังกะสีได้แปรผันตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสังกะสี และจุดสมดุลที่เม็ดดินลมหอบจะอิ่มตัวไม่ดูดซับสารละลายสังกะสีเข้าไปอีกคือเวลา 48 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ ผลการทดสอบสามารถดูได้จากตารางที่ 4.12 จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่เวลา 48 ชั่วโมงไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี

ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (มก./ล.)	เวลาในการทดสอบ (ชม.)	ความเข้มข้นที่จาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น/ความเข้มข้นของเม็ดดิน
5	0	3.267	0.434	11.511
	12	4.650	0.088	56.946
	24	4.223	0.194	25.737
	48	3.877	0.282	17.735
25	0	45.233	-5.058	-4.942
	12	26.067	-0.267	-93.915
	24	22.867	0.533	46.881
	48	20.383	1.157	21.601
50	0	100.433	-12.639	-3.956
	12	52.767	-0.693	-72.166
	24	43.500	1.632	30.661
	48	44.133	1.468	34.066
100	0	205.800	-26.513	-3.772
	12	115.333	-3.841	-26.042
	24	105.000	-1.253	-79.926
	48	93.133	1.717	58.305

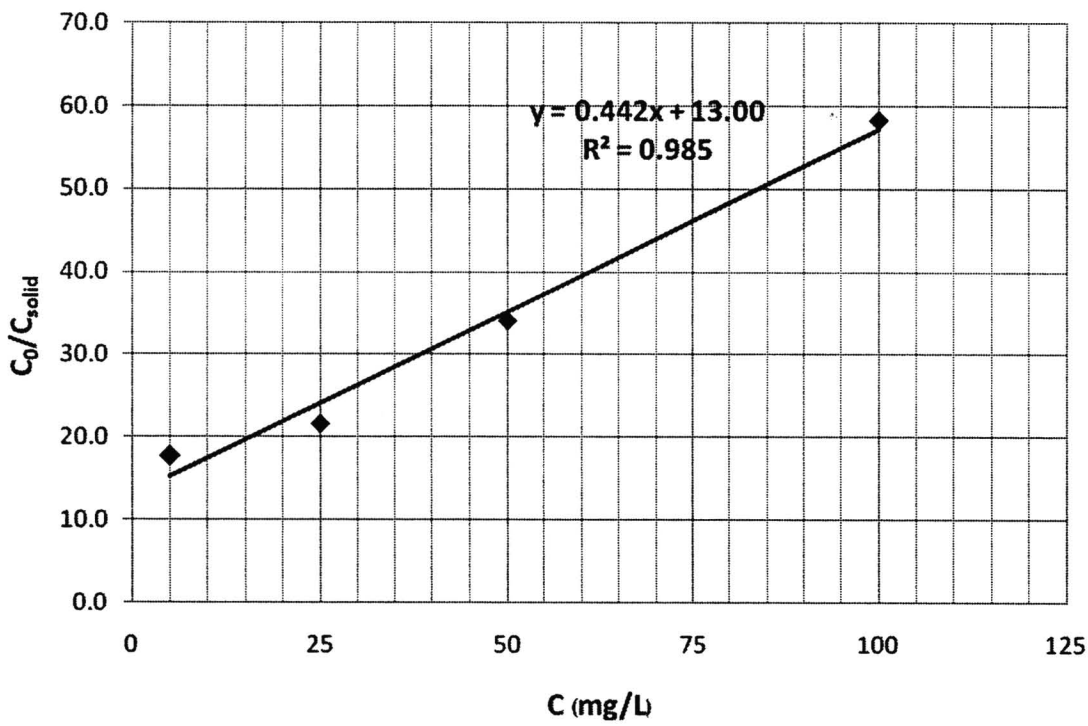


ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_0/C_{solid}) (ภาพที่ 4.12) ค่าไอโซเทอมสามารถหาได้จากสมการเส้นตรง (y = XA + C) โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (X) คือค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) และ ค่าอัตราการดูดซับ (α) สามารถหาได้จากสมการ $\alpha = 1/(\beta*C)$ ดังแสดงในตารางที่ 4.13

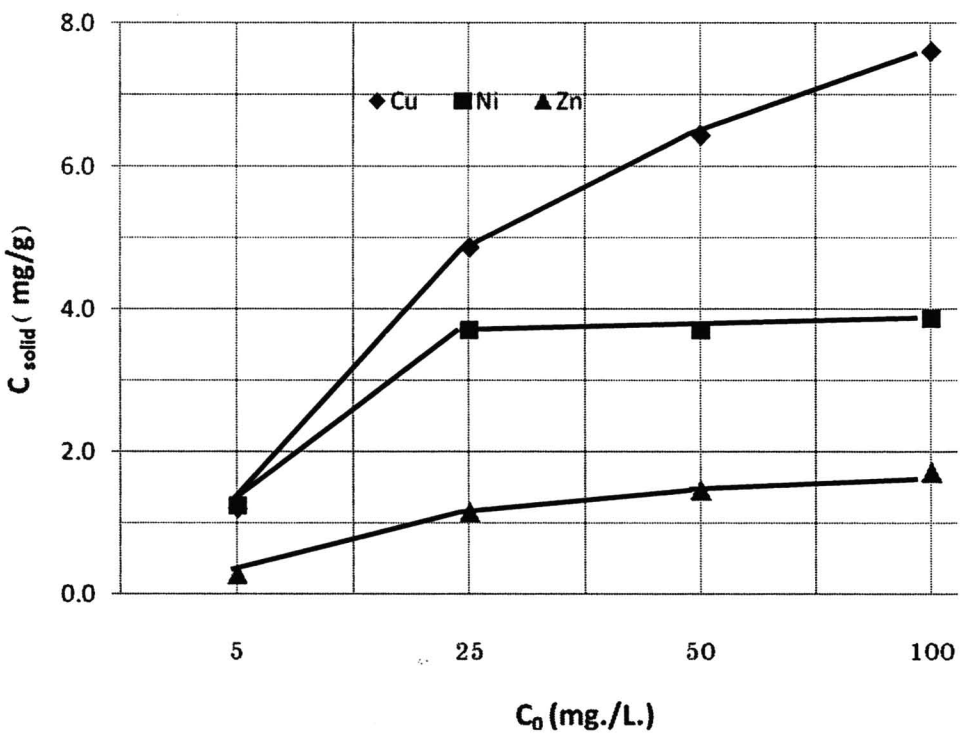


ภาพที่ 4.12 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายสังกะสี

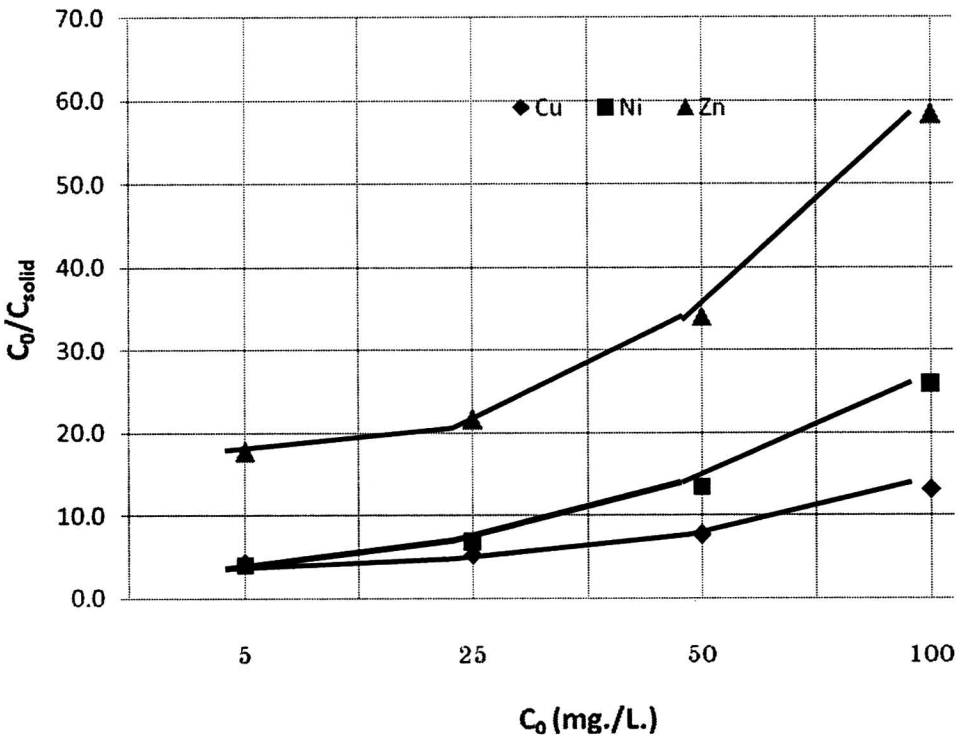
ตารางที่ 4.13 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
สังกะสี	0.174	0.44	0.985

เมื่อนำผลการทดสอบของทั้ง 3 สารละลายมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.13 และ 4.14) พบว่า ค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_{solid}) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) โดยที่ ดินลมหอบสามารถดูดซับสารละลายทองแดงได้มากกว่าสารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสีที่ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นเท่ากัน อีกทั้งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นขึ้นไป ดินลมหอบก็ยังสามารถดูดซับสารละลายทองแดงเข้าไปได้อีก แต่สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสีจะหยุดดูดซับเข้าไป ที่ความเข้มข้นตั้งต้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

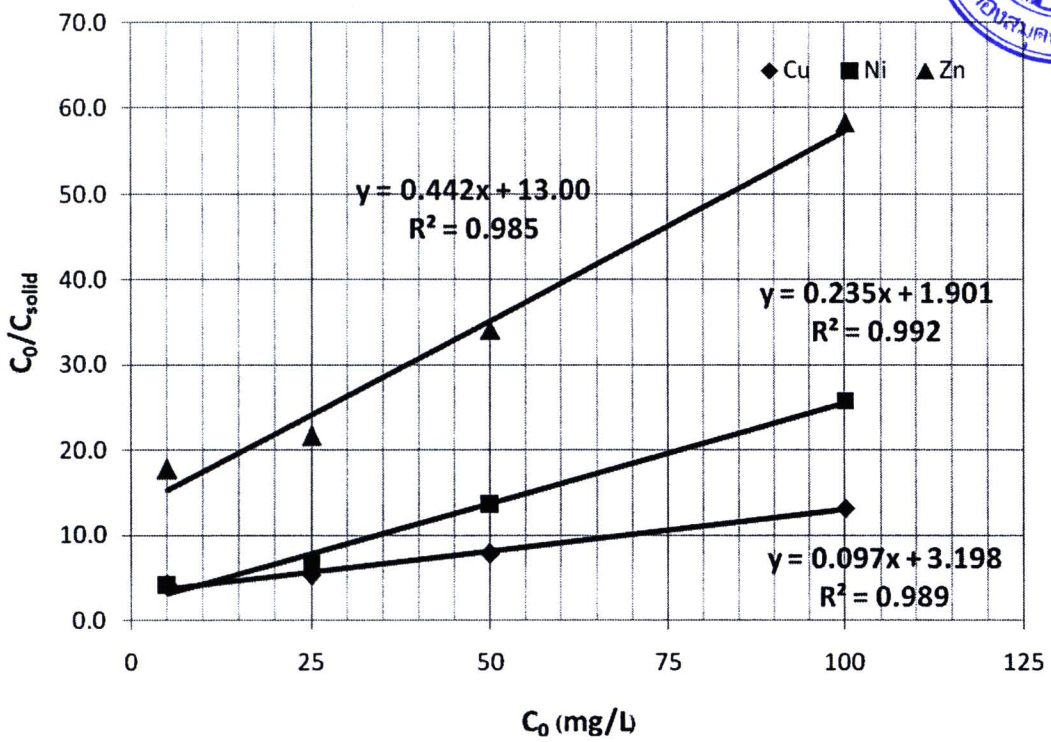


ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินลมหอบผสมกับสารละลายชนิดต่างๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลาย (C_0) กับ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C/C_{solid}) ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.15) พบว่า ค่าอัตราการดูดซับ (α) ของสารละลายทั้ง 3 ชนิดโดยดินลมหอบ เรียงจากมากไปหาน้อยได้แก่ สารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิล และสารละลายสังกะสี ส่วนค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) ของสารละลายทั้ง 3 ชนิดโดยดินลมหอบ เรียงจากมากไปหาน้อยได้แก่ สารละลายสังกะสี, สารละลายทองแดงและสารละลายนิกเกิล (ตารางที่ 4.14)



ภาพที่ 4.15 ค่าไอโซเทอมของดินลมหอบผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.14 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	**α (L/mg)**	**β (mg/g)**	**R^2**
ทองแดง	3.2	0.097	0.989
นิกเกิล	2.24	0.0235	0.992
สังกะสี	0.174	0.44	0.985

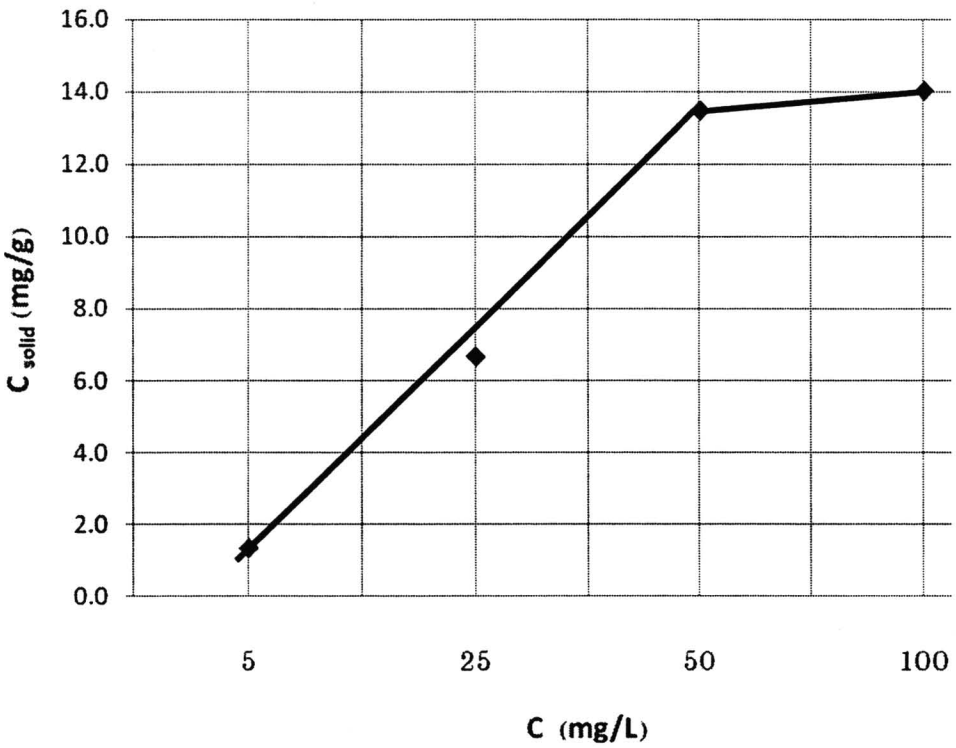
4.4.2 ผลการทดสอบแบบกะของดินเหนียว

ผลการทดสอบแบบกะ พบว่าเมื่อผสมดินเหนียวกับสารละลายทองแดง เม็ดดินเหนียวจะสามารถดูดซับสารละลายทองแดงได้แปรผันตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทองแดงแต่จะเริ่มไม่ดูดซับเข้าไปอีกเมื่อ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทอดงแดงเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดสมดุลที่เม็ดดินเหนียวจะอิ่มตัวไม่ดูดซับสารละลายทองแดงเข้าไปอีกคือเวลา 48 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ ผลการทดสอบสามารถดูได้จากตาราง

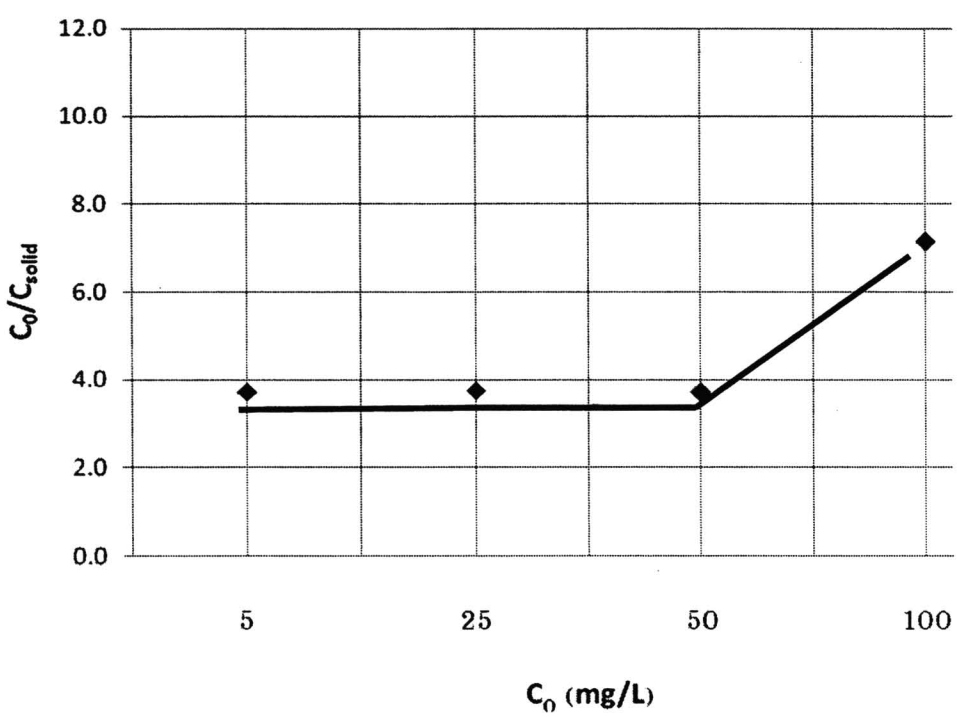
ที่ 4.15 จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่เวลา 48 ชั่วโมงไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบดินเหนียวผสมกับสารละลายทองแดง

ความเข้มข้นของสารละลายมองแดง (มก./ล.)	เวลาในการทดสอบ (ชม.)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น/ความเข้มข้นของเม็ดดิน
5	0	-0.175	1.294	3.865
	12	-0.275	1.329	3.761
	24	-0.322	1.330	3.758
	48	-0.315	1.345	3.718
25	0	-1.550	6.661	3.753
	12	-1.475	6.645	3.762
	24	-1.583	6.646	3.762
	48	-1.583	6.672	3.747
50	0	-2.450	13.165	3.798
	12	-3.600	13.454	3.716
	24	-2.917	13.282	3.764
	48	-3.733	13.487	3.707
100	0	-6.633	26.722	3.742
	12	16.300	20.992	4.764
	24	45.300	13.697	7.301
	48	44.133	14.023	7.131

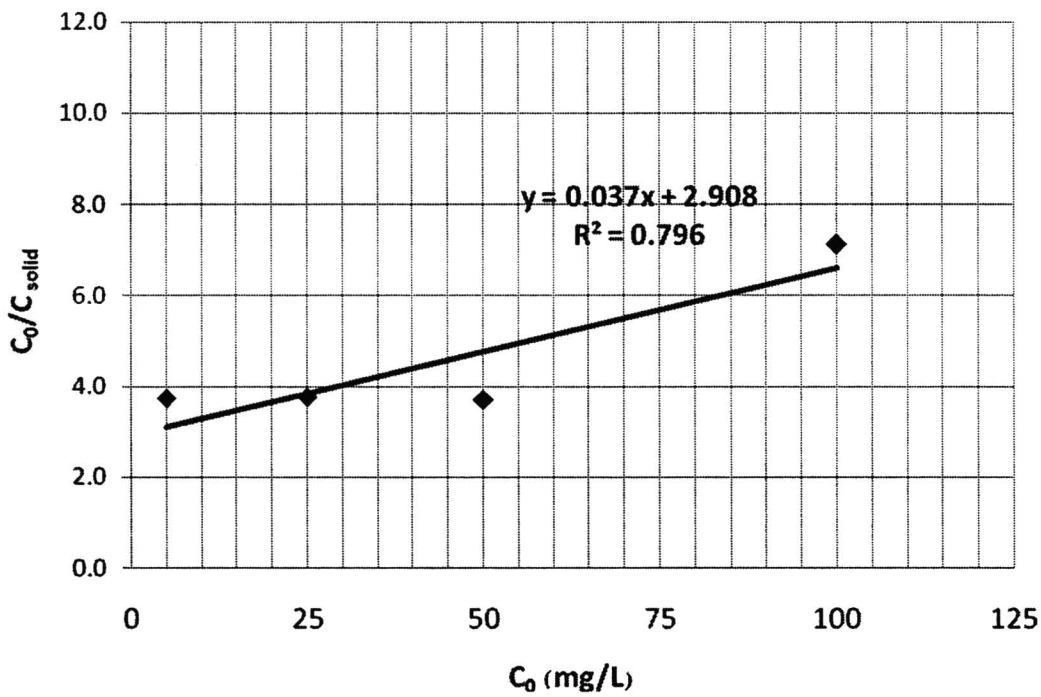


ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายทองแดง



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายทองแดง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) กับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดินจะได้ค่าไอโซเทอมของเม็ดดิน (C_0/C_{solid}) (ตารางที่ 4.16) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการเส้นตรง (y = XA + C) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (X) คือค่า ปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซึมได้โดยของแข็ง (β) และค่าอัตราการดูดซึม (α) สามารถหาได้จากสมการ $\alpha = 1/(\beta*C)$ ดังแสดงในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมสารละลายทองแดง

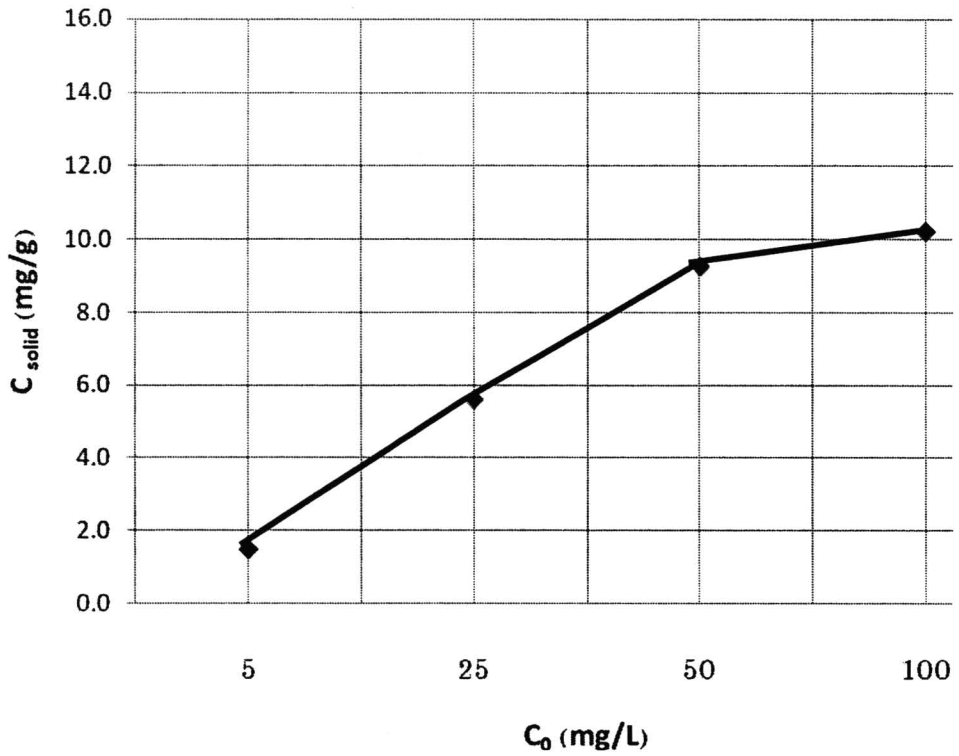
ตารางที่ 4.16 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
สังกะสี	9.29	0.37	0.796

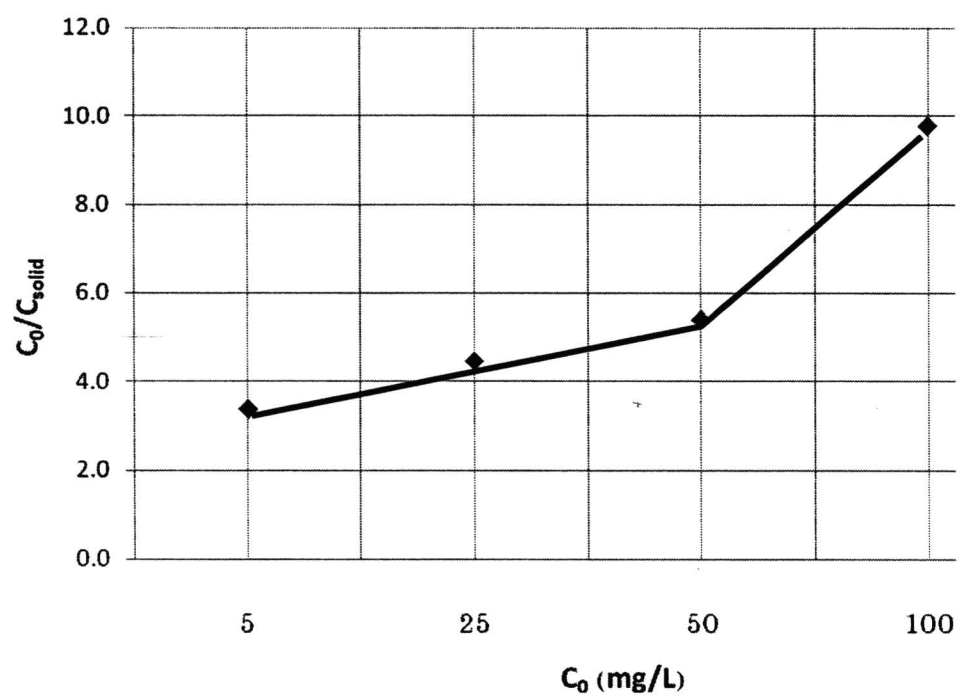
ผลการทดสอบแบบกะ พบว่าเมื่อผสมดินเหนียวกับสารละลายนิกเกิล เม็ดดินเหนียวจะสามารถดูดซับสารละลายนิกเกิลได้ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลเกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเหนียวจะไม่สามารถดูดซับสารละลายนิกเกิลเข้าไปได้อีกและจุดสมดุลที่เม็ดดินเหนียวจะอิ่มตัวไม่ดูดซับสารละลายนิกเกิลเข้าไปอีกคือเวลา 48 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ ผลการทดสอบสามารถดูได้จากตารางที่ 4.17 จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่เวลา 48 ชั่วโมงเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล

ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล (มก./ล.)	เวลาในการทดสอบ (ชม.)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น/ความเข้มข้นของเม็ดดิน
5	0	-1.290	1.573	3.322
	12	-1.863	1.723	3.117
	24	-0.583	1.401	3.568
	48	-0.952	1.488	3.360
25	0	-2.208	6.808	3.672
	12	-3.442	7.122	3.510
	24	1.167	5.982	4.179
	48	2.567	5.615	4.452
50	0	15.083	8.729	5.728
	12	11.433	9.680	5.165
	24	9.483	10.129	4.936
	48	12.917	9.271	5.393
100	0	41.233	14.750	6.779
	12	49.867	12.533	7.979
	24	58.700	10.375	9.639
	48	59.233	10.232	9.773

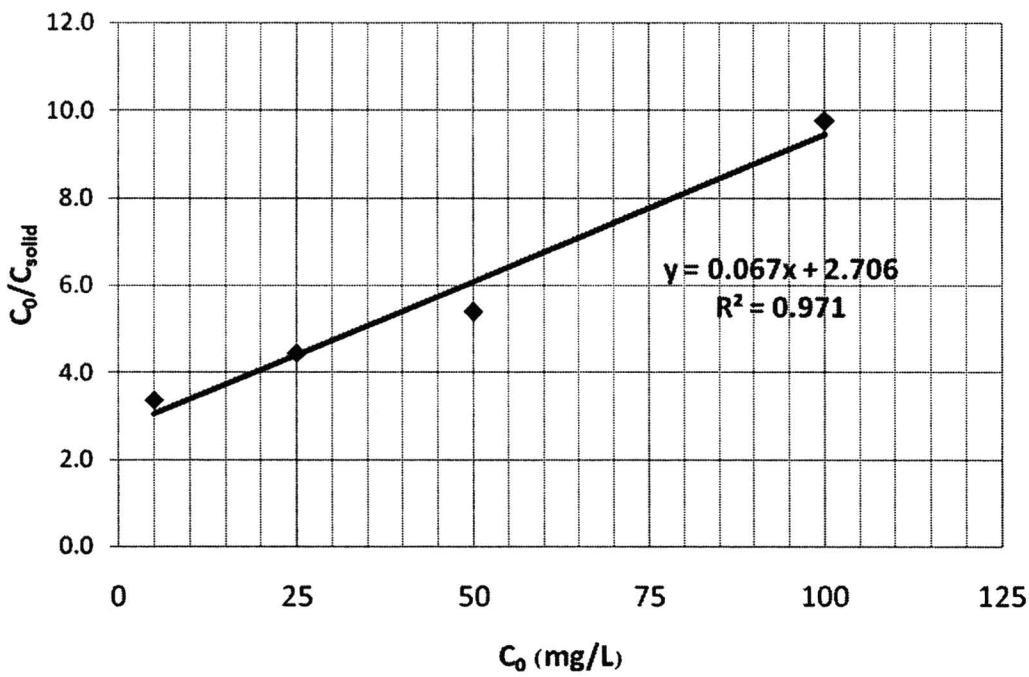


ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_0/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_0/C_{solid}) (ภาพที่ 4.21) ค่าไอโซเทอมสามารถหาได้จากสมการเส้นตรง (y = XA + C) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (X) คือค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) และค่าอัตราการดูดซับ (α) สามารถหาได้จากสมการ $\alpha = 1/(\beta*C)$ ดังแสดงในตารางที่ 4.18



ภาพที่ 4.21 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมกับสารละลายนิกเกิล

ตารางที่ 4.18 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

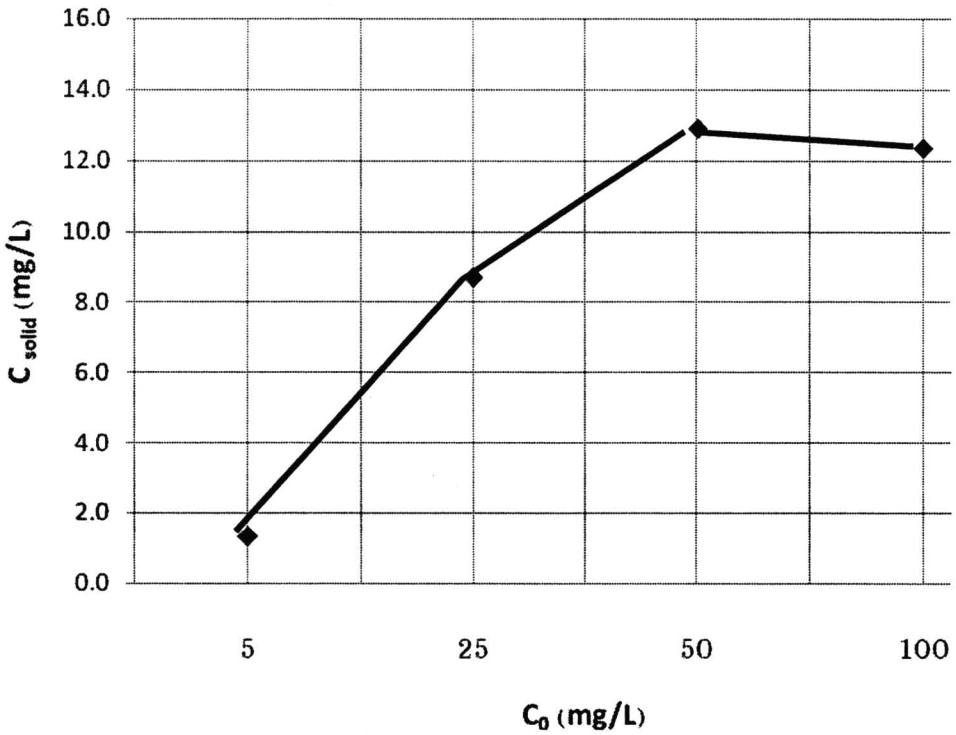
ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
สังกะสี	5.52	0.067	0.971

ผลการทดสอบแบบกะ พบว่าเมื่อผสมดินเหนียวกับสารละลายสังกะสี เม็ดดินเหนียวจะสามารถดูดซับสารละลายสังกะสีได้ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีเกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเหนียวจะไม่สามารถดูดซับสารละลายสังกะสีเข้าไปได้อีกและจุดสมดุลที่เม็ดดินเหนียวจะอิ่มตัวไม่ดูดซับสารละลายสังกะสีเข้าไปอีกคือเวลา 48 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ ผลการ

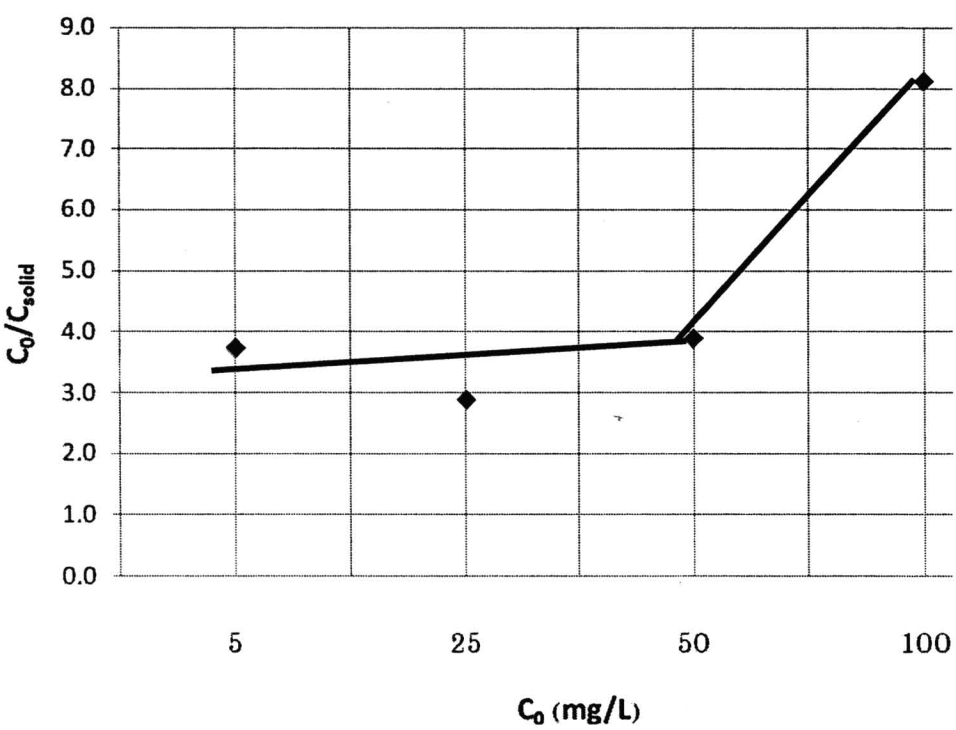
ทดสอบสามารถดูได้จากตารางที่ 4.19 จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่เวลา 48 ชั่วโมง ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบดินเหนียวผสมกับสารละลายสังกะสี

ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (มก./ล.)	เวลาในการทดสอบ (ชม.)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น/ความเข้มข้นของเม็ดดิน
5	0	0.020	1.250	4.000
	12	-0.320	1.333	3.750
	24	-0.460	1.370	3.648
	48	-0.360	1.341	3.728
25	0	-6.400	7.863	3.180
	12	-6.400	7.850	3.185
	24	-4.650	7.433	3.363
	48	-9.800	8.700	2.874
50	0	5.200	11.222	4.455
	12	-18.300	17.116	2.921
	24	-19.700	17.439	2.867
	48	-1.300	12.876	3.883
100	0	-3.800	26.002	3.846
	12	11.400	22.203	4.504
	24	21.600	19.608	5.100
	48	50.800	12.325	8.114

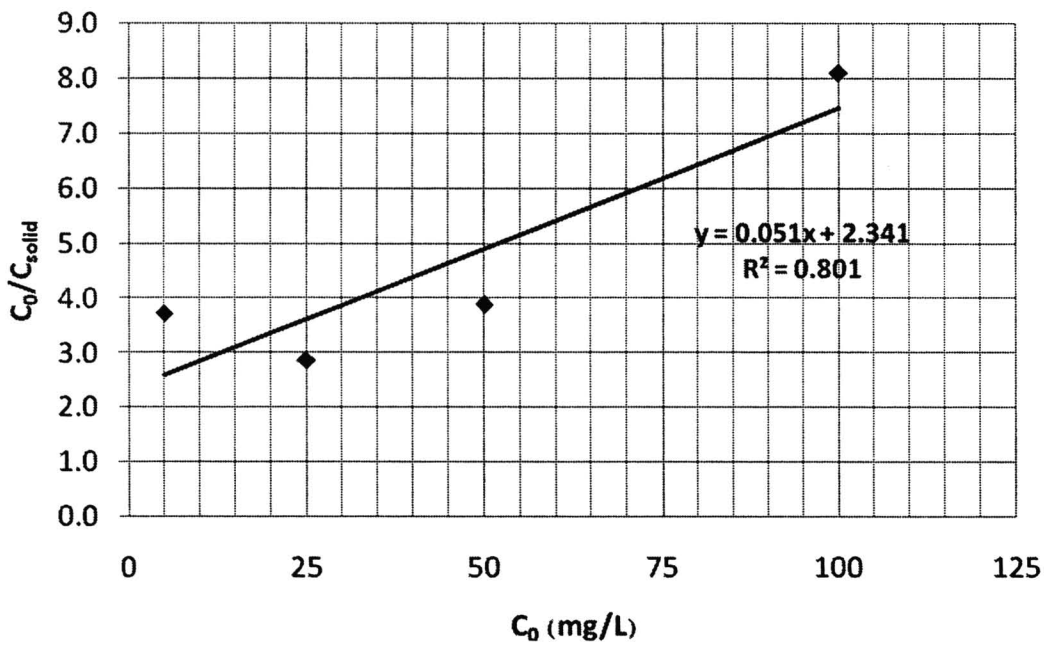


ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายสังกะสี



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายสังกะสี

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_0/C_{solid}) (ภาพที่ 4.21) ค่าไอโซเทอมสามารถหาได้จากสมการเส้นตรง (y = XA + C) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (X) คือค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) และค่าอัตราการดูดซับ (α) สามารถหาได้จากสมการ $\alpha = 1/(\beta*C)$ ดังแสดงในตารางที่ 4.20

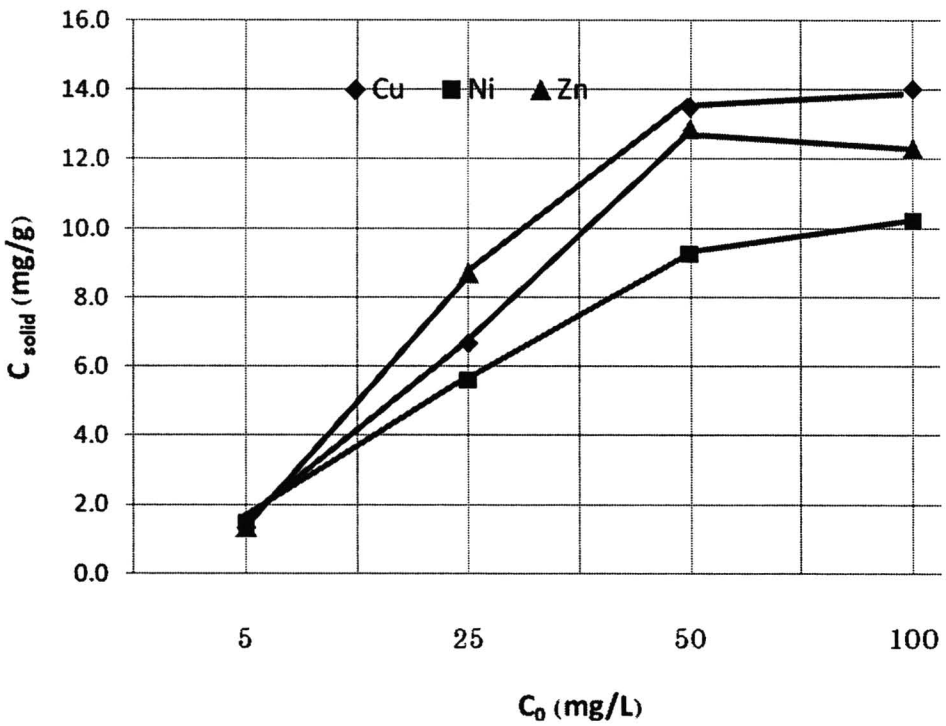


ภาพที่ 4.24 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมกับสารละลายสังกะสี

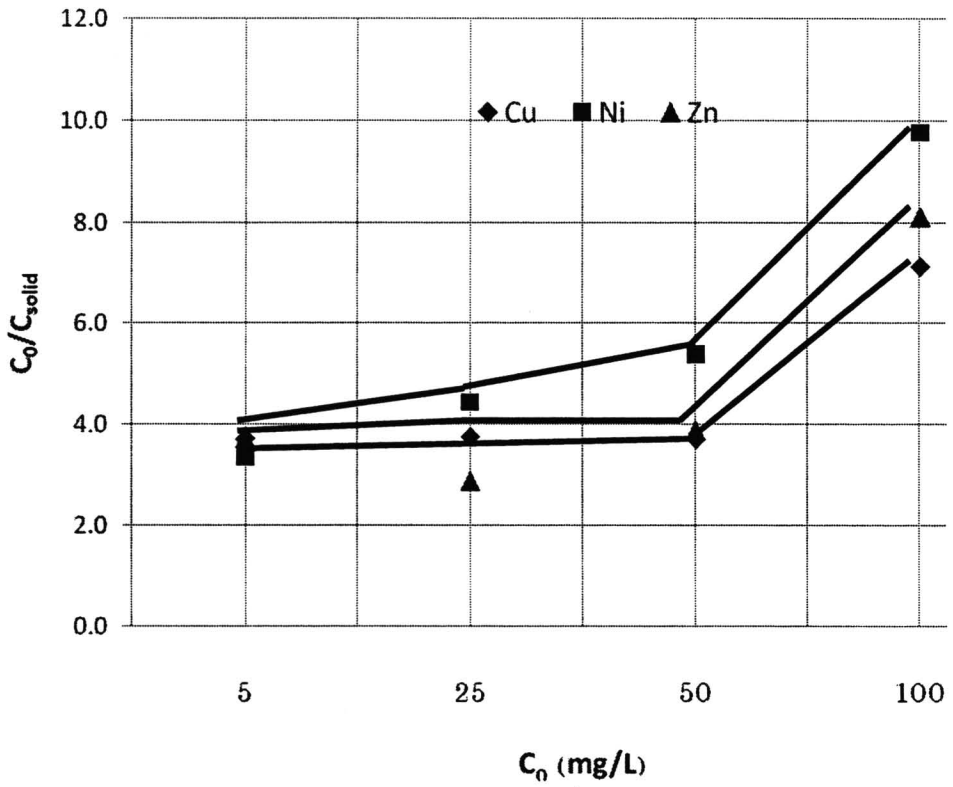
ตารางที่ 4.20 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
สังกะสี	8.38	0.051	0.801

เมื่อนำผลการทดสอบของทั้ง 3 สารละลายมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.25และ4.26) พบว่า ค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน (C_{solid}) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (C_0) โดยที่ ดินเหนียวสามารถดูดซับสารละลายทองแดงได้ดีกว่าสารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสี ที่ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นเท่ากัน อีกทั้งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นขึ้นไป ดินเหนียวก็ยังสามารถดูดซับสารละทั้ง 3 ชนิดเข้าไปได้อีก แต่ที่ความเข้มข้นตั้งต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเหนียวจะเกิดการดูดซับสารละลายทั้ง 3 ชนิด ที่น้อยมากจนถึงขั้นไม่เปลี่ยนแปลง

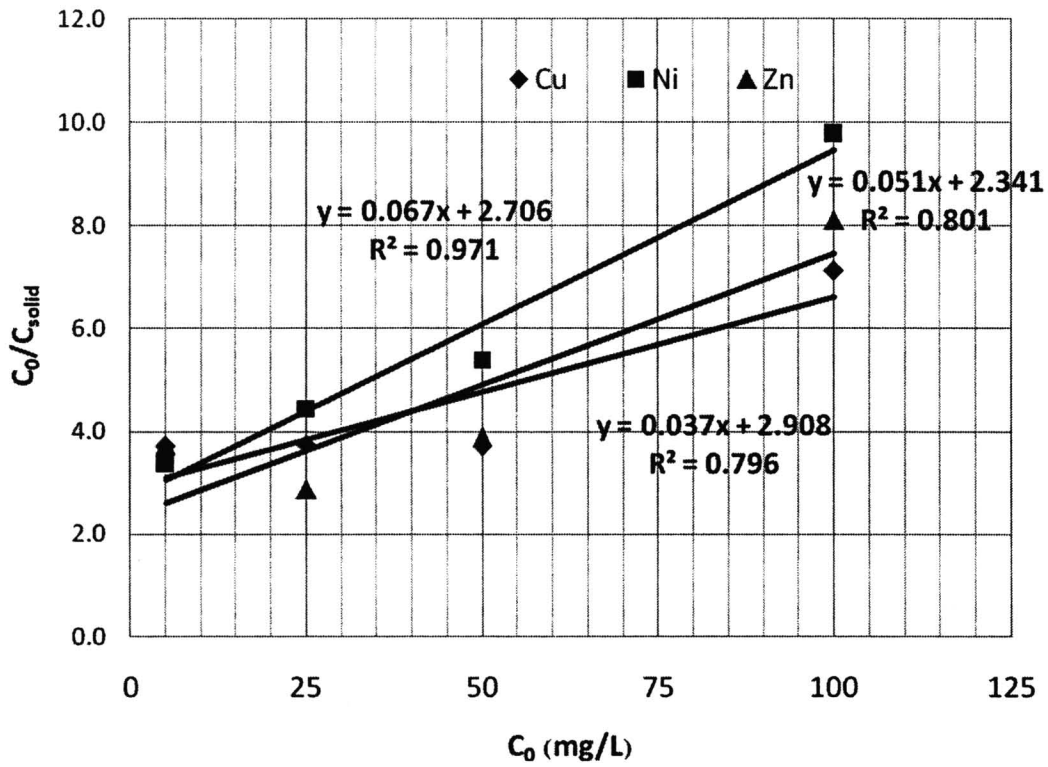


ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_0 กับ C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C กับ C/C_{solid} ของดินเหนียวผสมกับสารละลายชนิดต่างๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลาย (C_0) กับ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายหารด้วยความเข้มข้นของเม็ดดิน (C/C_{solid}) ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.27) พบว่า ค่าอัตราการดูดซับ (α) ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด โดยดินเหนียว เรียงจากมากไปหาน้อยได้แก่ สารละลายทองแดง, สารละลายสังกะสีและสารละลายนิกเกิล ส่วนค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง (β) ของสารละลายทั้ง 3 ชนิดโดยดินลมหอบ เรียงจากมากไปหาน้อยได้แก่ สารละลายทองแดง, สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสี (ตารางที่ 4.21)



ภาพที่ 4.27 ค่าไอโซเทอมของดินเหนียวผสมกับสารละลายชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.21 ค่าอัตราการดูดซับและค่าปริมาณสูงสุดของสิ่งเจือปนที่สามารถดูดซับได้โดยของแข็ง

ค่าไอโซเทอมที่ได้จากกราฟ			
สารเคมี	α (L/mg)	β (mg/g)	R^2
ทองแดง	9.29	0.370	0.796
นิกเกิล	5.52	0.067	0.971
สังกะสี	8.38	0.051	0.801

4.4.3 ผลการทดสอบค่าการดูดซับของดินลมหอบเมื่อผสมดินเหนียว

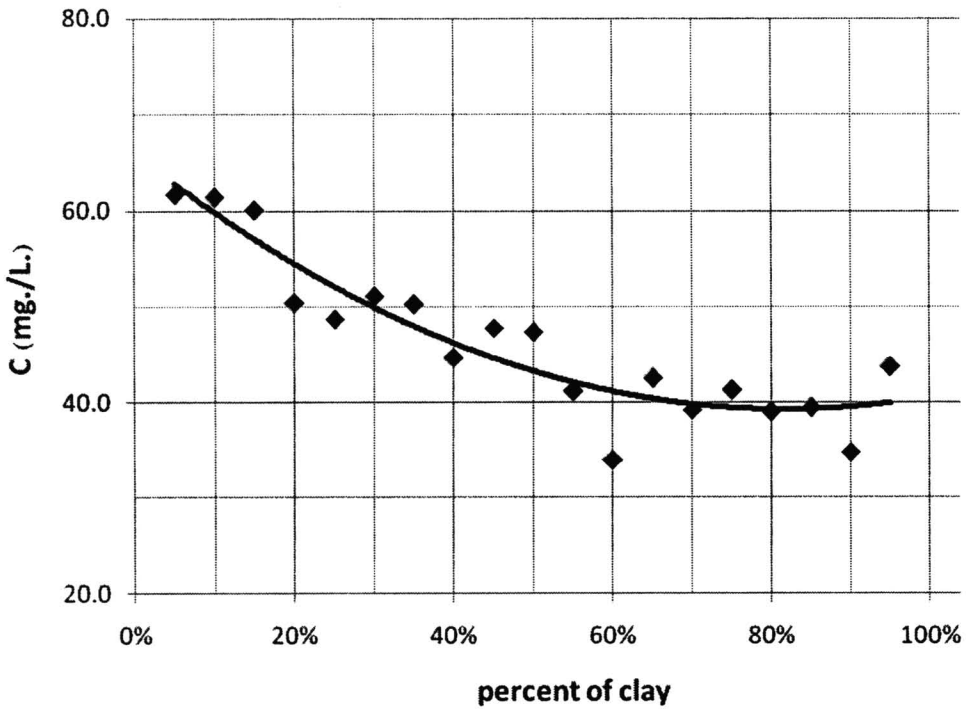
การทดสอบแบบกะในดินลมหอบและในดินเหนียวทำให้ทราบว่า ค่าอัตราการดูดซับสารละลายทองแดงและปริมาณสูงสุดของสารละลายทองแดงที่สามารถดูดซับได้โดยดินลมหอบน้อยกว่าในดินเหนียวมาก ดังนั้นการผสมดินเหนียวเข้าไปในชั้นดินลมหอบจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายทองแดงให้กับชั้นดินลมหอบได้ ในการทดสอบครั้งนี้ ทำการ

ผสมดินลมหอบกับดินเหนียวเข้าด้วยกัน ด้วยสัดส่วนดินเหนียวเริ่มต้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักดินทั้งหมด จากนั้นเพิ่มขึ้นที่ละ 5 เปอร์เซ็นต์ นำไปผสมกับสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างที่เวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าความเข้มข้นไปวัดด้วยเครื่อง AAS ทดสอบเช่นเดิมแต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทองแดงเป็น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

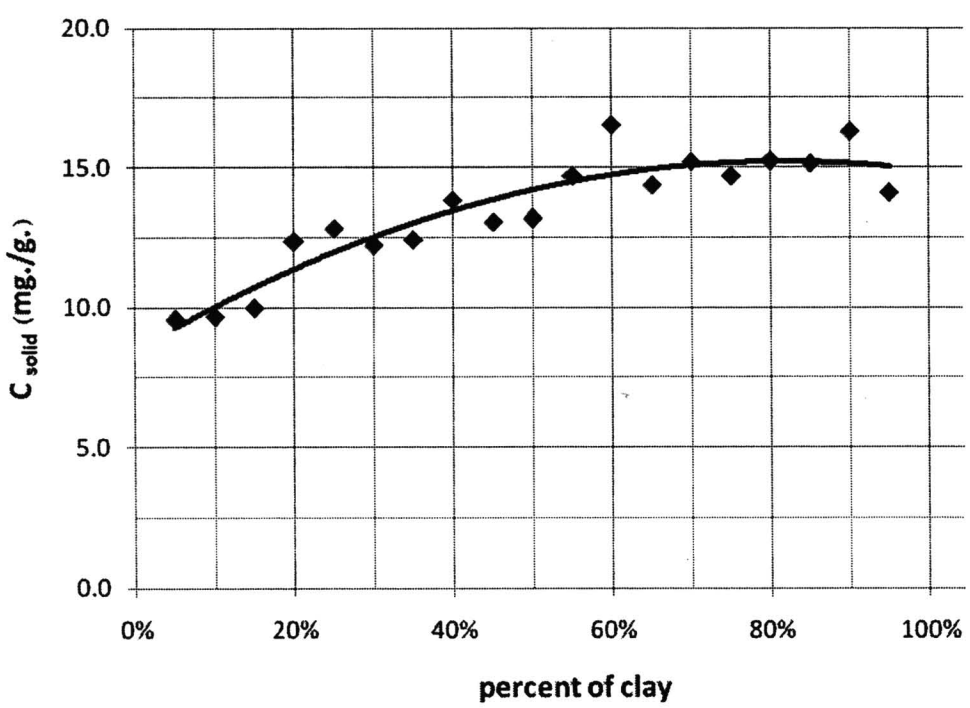
นำค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว, ค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้และค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวเข้าไปค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้จะมีค่าลดลง ส่วนค่าความเข้มข้นของเม็ดดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.28, 4.29, 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายทองแดงความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง (มก./ล.)	ปริมาณดินเหนียว โดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)
100	5	61.70	9.58
	10	61.40	9.65
	15	60.10	9.98
	20	50.50	12.38
	25	48.70	12.83
	30	51.10	12.23
	35	50.30	12.43
	40	44.70	13.83
	45	47.80	13.05
	50	47.30	13.18
	55	41.20	14.70
	60	34.00	16.50
	65	42.50	14.38
	70	39.20	15.20
	75	41.30	14.68
	80	39.00	15.25
	85	39.40	15.15
	90	34.80	16.30
	95	43.70	14.08



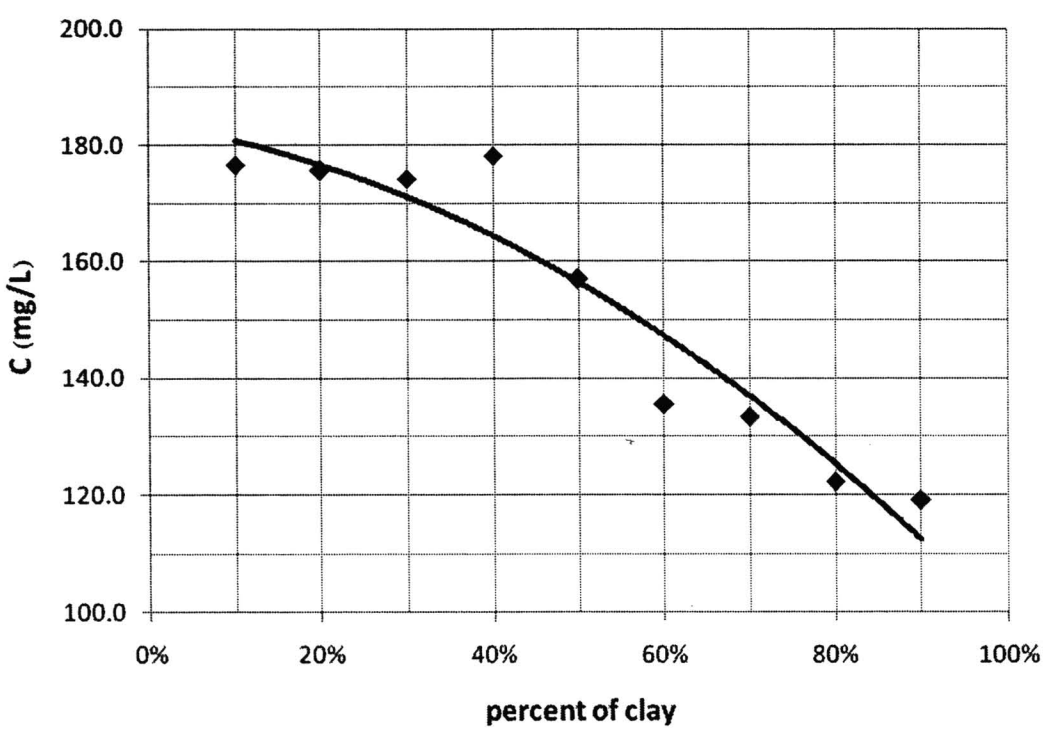
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้จากเครื่อง AAS



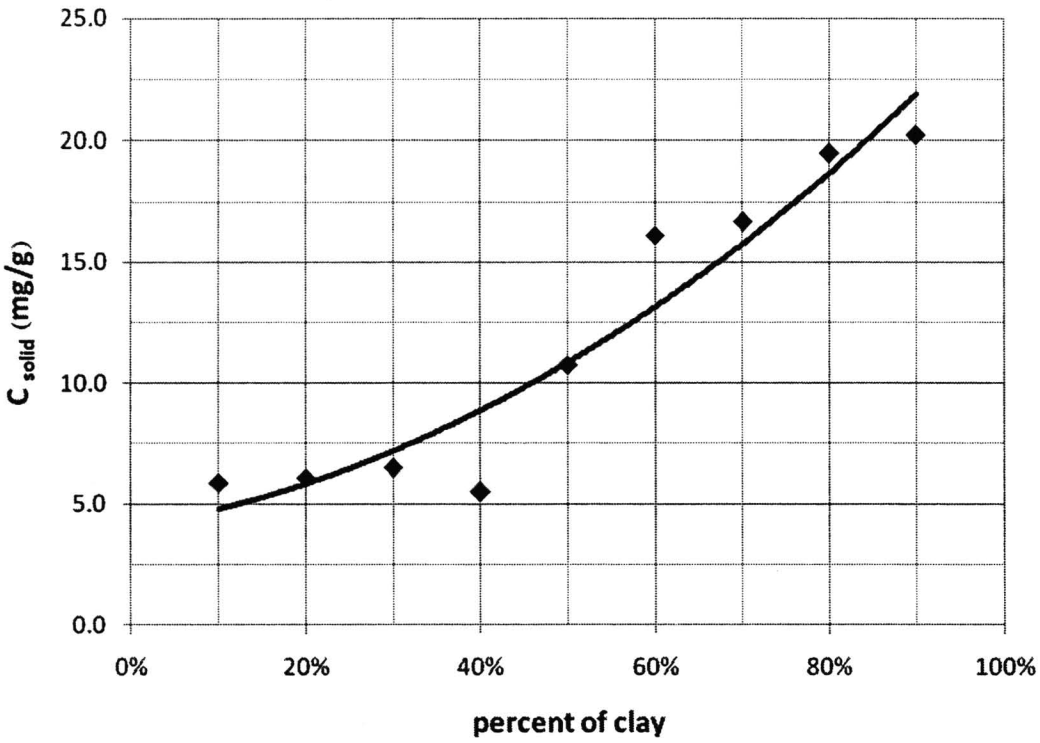
ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายทองแดงความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง (มก./ล.)	ปริมาณดินเหนียว โดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)
200	10	176.4	5.90
	20	175.6	6.10
	30	174.0	6.50
	40	178.0	5.50
	50	157.0	10.75
	60	135.6	16.10
	70	133.4	16.65
	80	122.2	19.45
	90	119.2	20.20



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้จากเครื่อง AAS



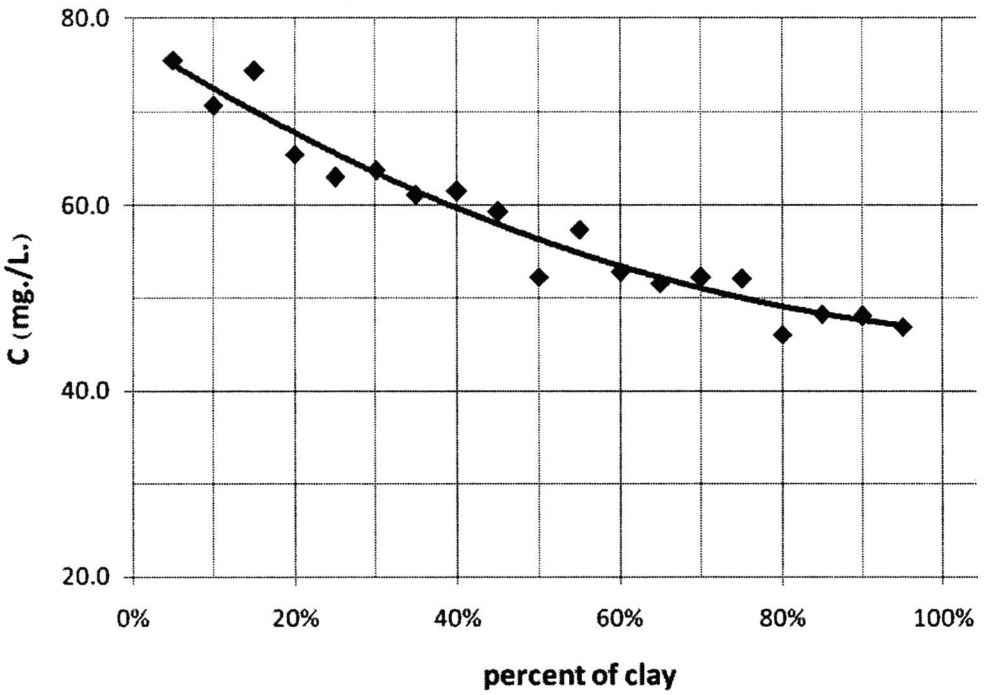
ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

การทดสอบแบบกะในดินลมหอบและในดินเหนียวทำให้ทราบว่า ค่าอัตราการดูดซับสารละลายนิกเกิลและปริมาณสูงสุดของสารละลายนิกเกิลที่สามารถดูดซับได้โดยดินลมหอบน้อยกว่าในดินเหนียวมาก ดังนั้นการผสมดินเหนียวเข้าไปในชั้นดินลมหอบจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายนิกเกิลให้กับชั้นดินลมหอบได้ ในการทดสอบครั้งนี้ทำการผสมดินลมหอบกับดินเหนียวเข้าด้วยกัน ด้วยสัดส่วนดินเหนียวเริ่มต้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักดินทั้งหมด จากนั้นเพิ่มขึ้นที่ละ 5 เปอร์เซ็นต์ นำไปผสมกับสารละลายนิกเกิลที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างที่เวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าความเข้มข้นไปวัดด้วยเครื่อง AAS ทดสอบเช่นเดิมแต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนิกเกิลเป็น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.24และ4.25 ตามลำดับ

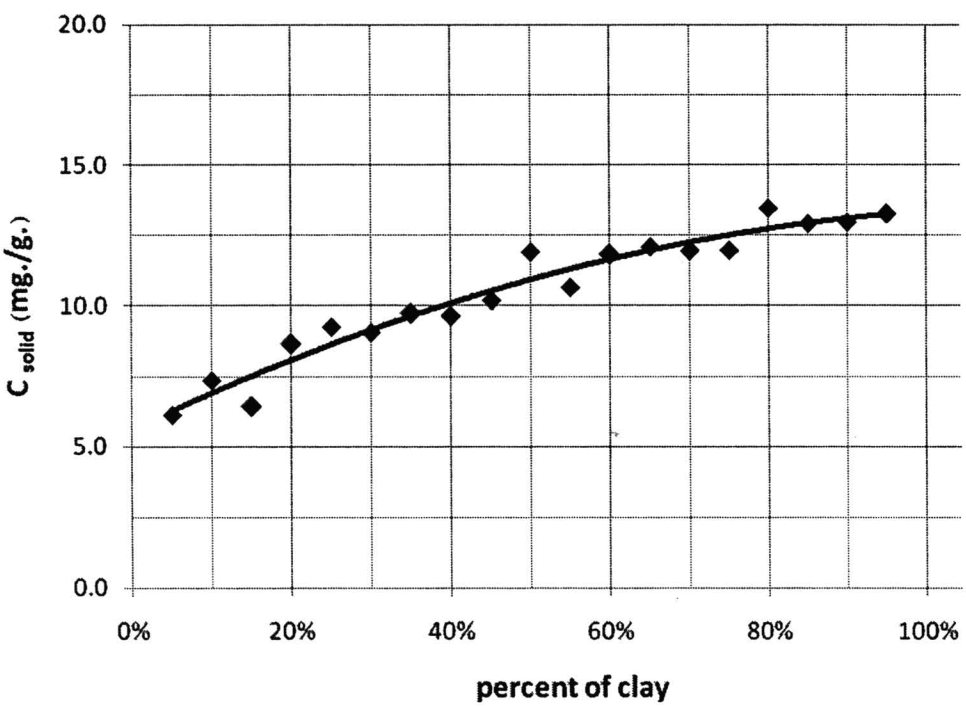
นำค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว, ค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้และค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวเข้าไป ค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้จะมีค่าลดลง ส่วนค่าความเข้มข้นของเม็ดดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.32, 4.33, 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล (มก./ล.)	ปริมาณดินเหนียว โดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)
100	5	75.5	6.13
	10	70.6	7.35
	15	74.3	6.43
	20	65.4	8.65
	25	63.0	9.25
	30	63.7	9.08
	35	61.1	9.73
	40	61.5	9.63
	45	59.3	10.18
	50	52.3	11.93
	55	57.4	10.65
	60	52.8	11.80
	65	51.6	12.10
	70	52.2	11.95
	75	52.1	11.98
	80	46.1	13.48
	85	48.3	12.93
	90	48.1	12.98
	95	46.9	13.28



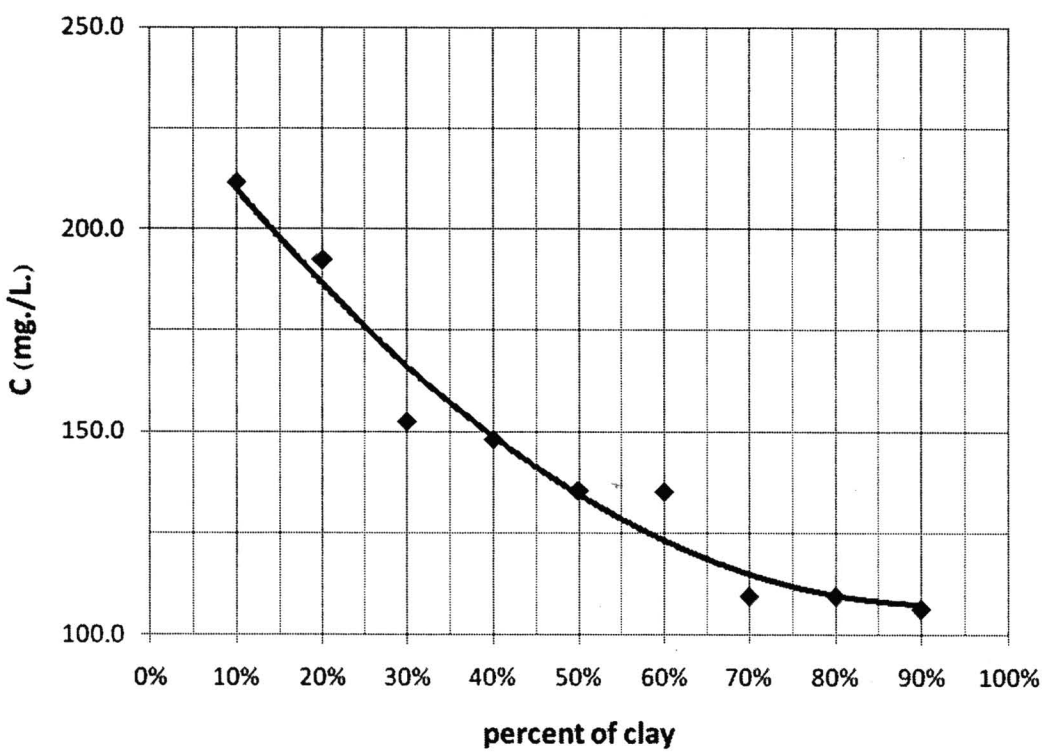
ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้จากเครื่อง AAS



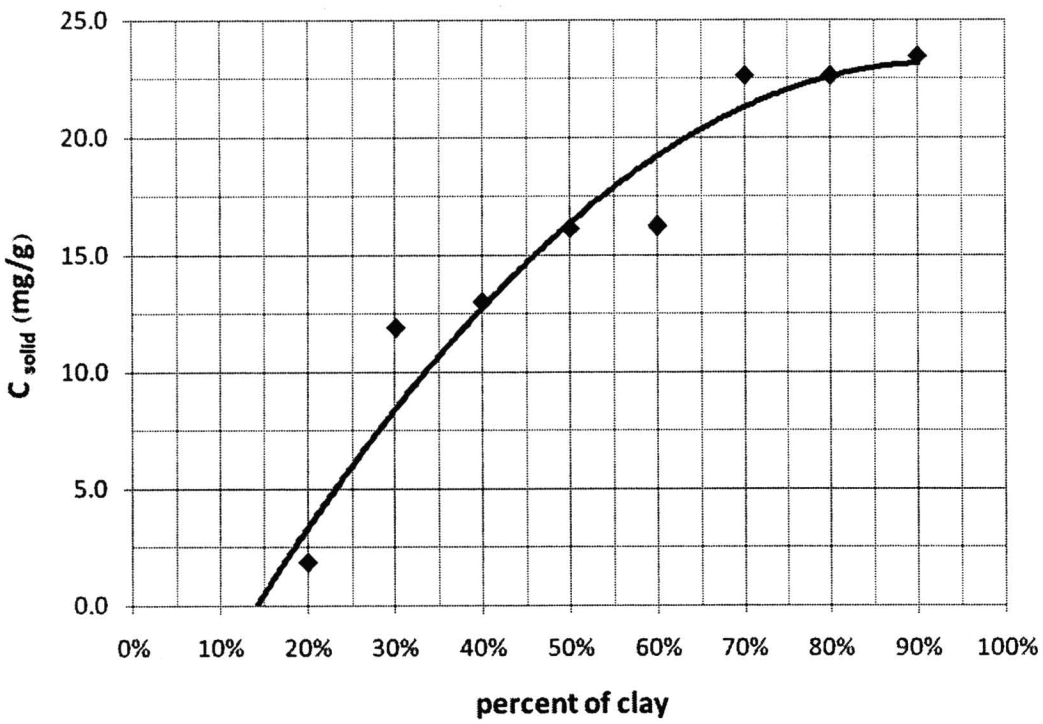
ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล (มก./ล.)	ปริมาณดินเหนียว โดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)
200	10	211.8	-2.95
	20	192.6	1.85
	30	152.4	11.90
	40	148.0	13.00
	50	135.4	16.15
	60	135.0	16.25
	70	109.6	22.60
	80	109.6	22.60
	90	106.2	23.45



ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้จาก AAS



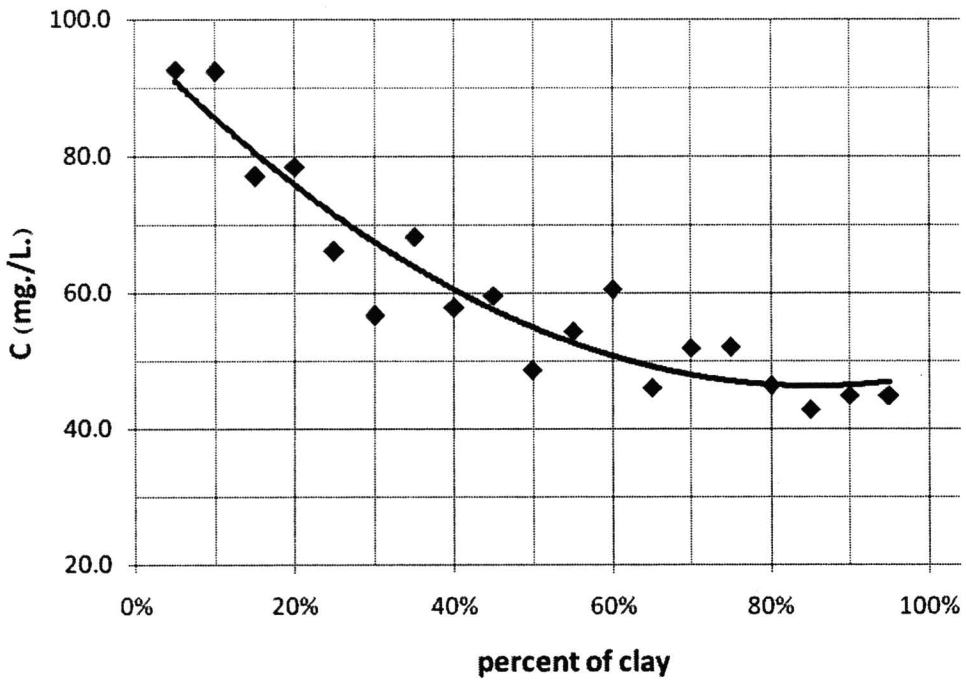
ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

การทดสอบแบบกะในดินลมหอบและในดินเหนียวทำให้ทราบว่า ค่าอัตราการดูดซับสารละลายสังกะสีและปริมาณสูงสุดของสารละลายสังกะสีที่สามารถดูดซับได้โดยดินลมหอบน้อยกว่าในดินเหนียวมาก ดังนั้น การผสมดินเหนียวเข้าไปในชั้นดินลมหอบจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสังกะสีให้กับชั้นดินลมหอบได้ ในการทดสอบครั้งนี้ ทำการผสมดินลมหอบกับดินเหนียวเข้าด้วยกัน ด้วยสัดส่วนดินเหนียวเริ่มต้นจาก 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักดินทั้งหมด จากนั้นเพิ่มขึ้นที่ละ 5 เปอร์เซ็นต์ นำไปผสมกับสารละลายสังกะสีที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างที่เวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าความเข้มข้นไปวัดด้วยเครื่อง AAS ทดสอบเช่นเดิมแต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสังกะสีเป็น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

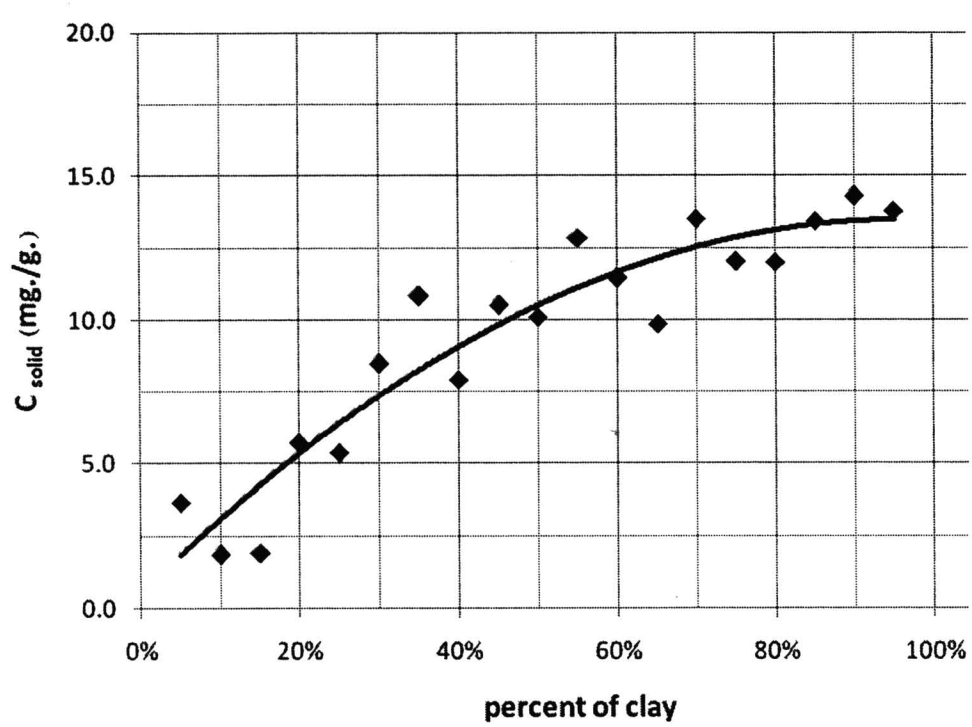
นำค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว, ค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้และค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวเข้าไป ค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้จะมีค่าลดลง ส่วนค่าความเข้มข้นของเม็ดดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.36, 4.37, 4.38 และ 4.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (มก./ล.)	ปริมาณดินเหนียวโดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)
100	5	92.6	3.65
	10	92.3	1.85
	15	77.1	1.93
	20	78.5	5.73
	25	66.1	5.38
	30	56.7	8.48
	35	68.3	10.83
	40	57.9	7.93
	45	59.6	10.53
	50	48.6	10.10
	55	54.2	12.85
	60	60.5	11.45
	65	46.0	9.88
	70	51.9	13.50
	75	52.0	12.03
	80	46.3	12.00
	85	42.8	13.43
	90	44.9	14.30
	95	44.9	13.78



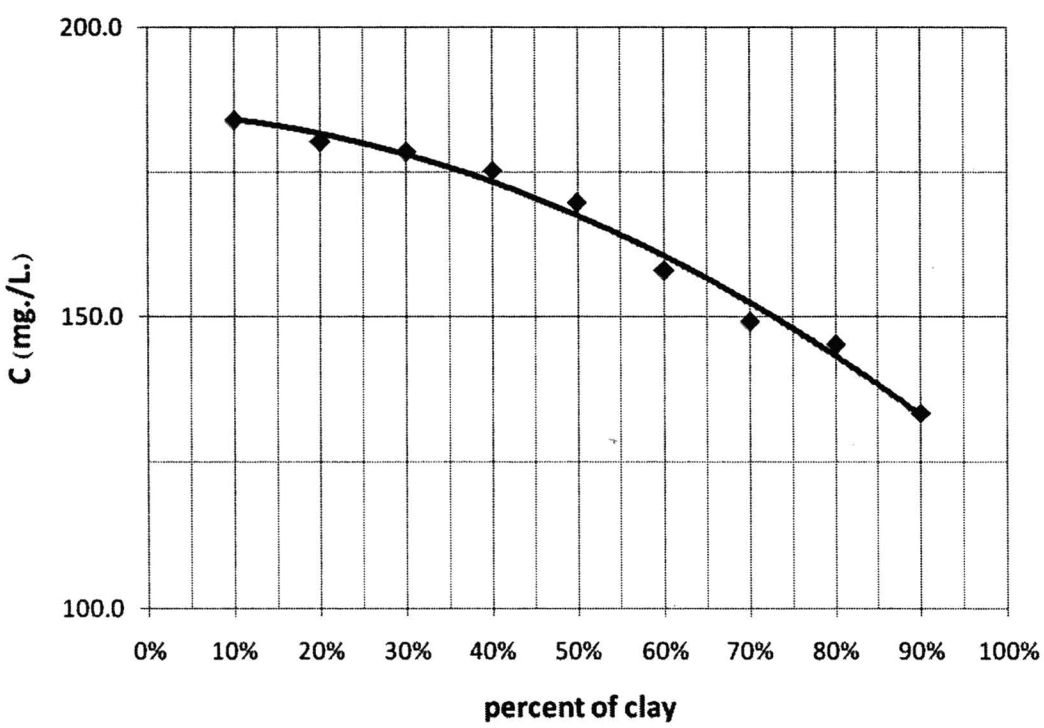
ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้จากเครื่อง AAS



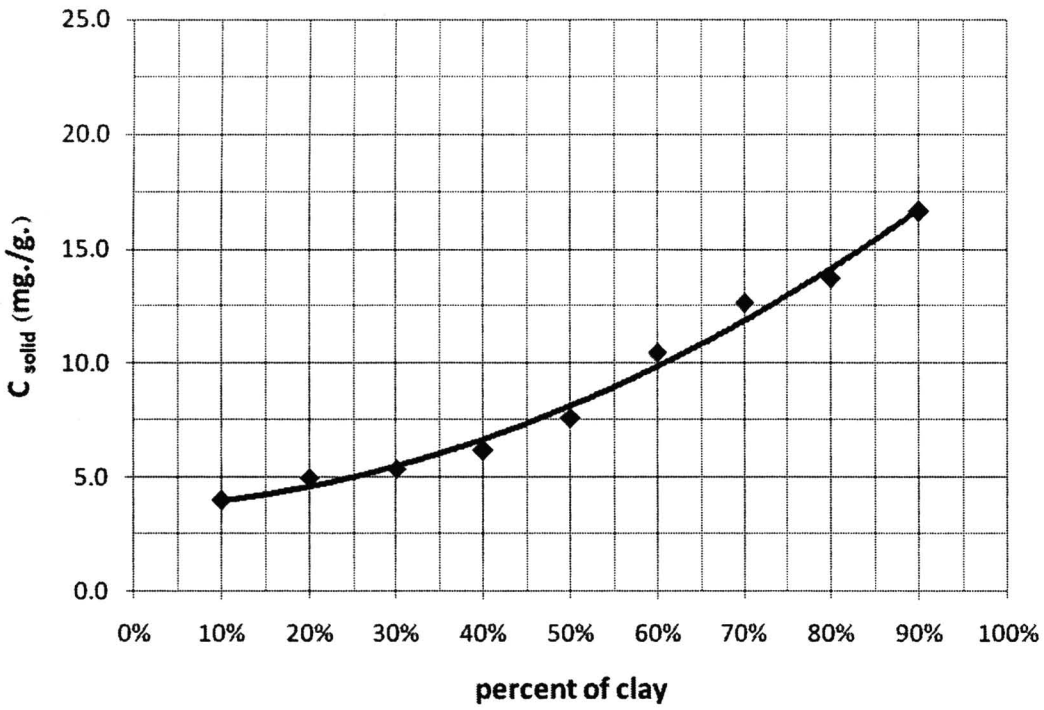
ภาพที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบผสมดินตัวอย่างกับสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (มก./ล.)	ปริมาณดินเหนียวโดยน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)	ความเข้นของเม็ดดิน (มก./ก.)
200	10	184.1	3.98
	20	180.2	4.95
	30	178.6	5.35
	40	175.3	6.18
	50	169.6	7.60
	60	158.1	10.48
	70	149.3	12.68
	80	145.2	13.70
	90	133.5	16.63

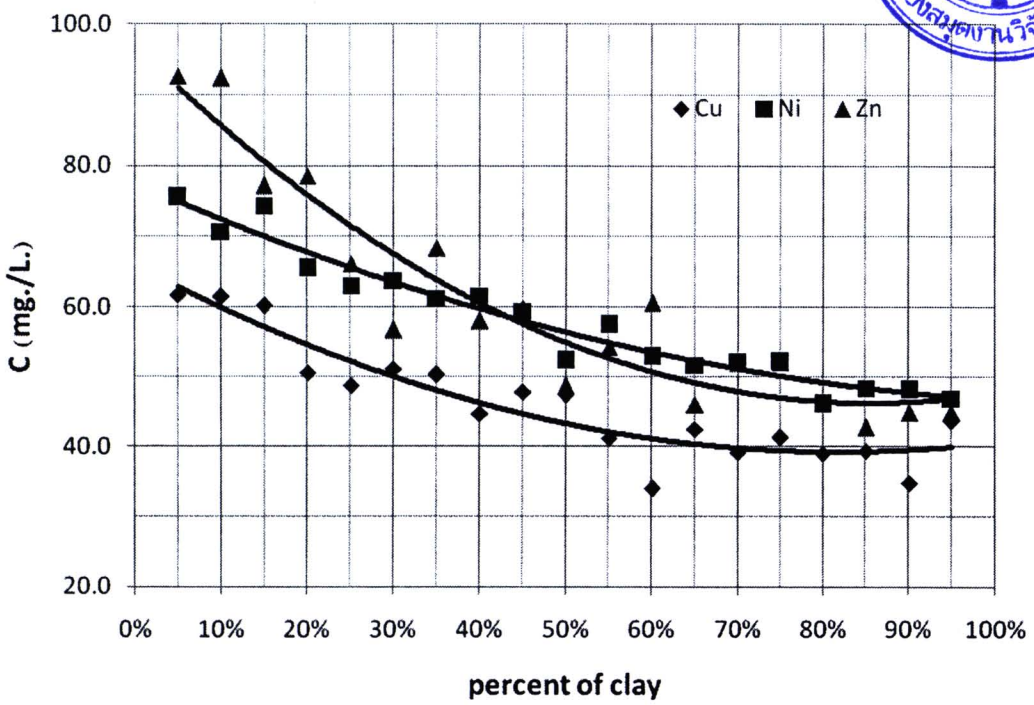


ภาพที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้จากเครื่อง AAS

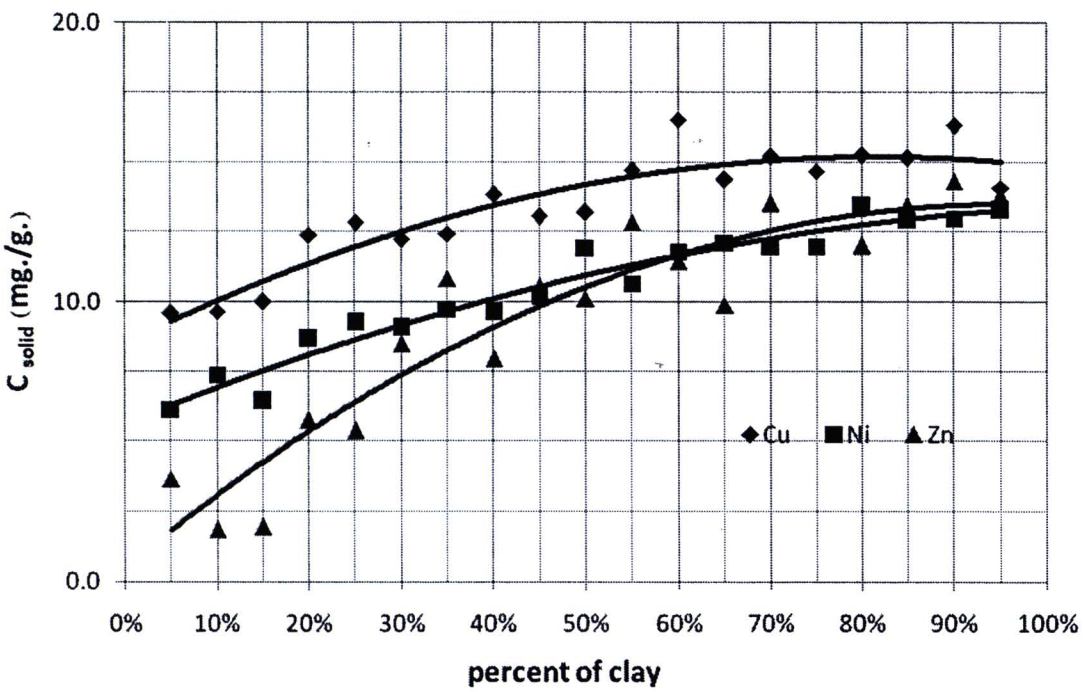


ภาพที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน เมื่อผสมสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

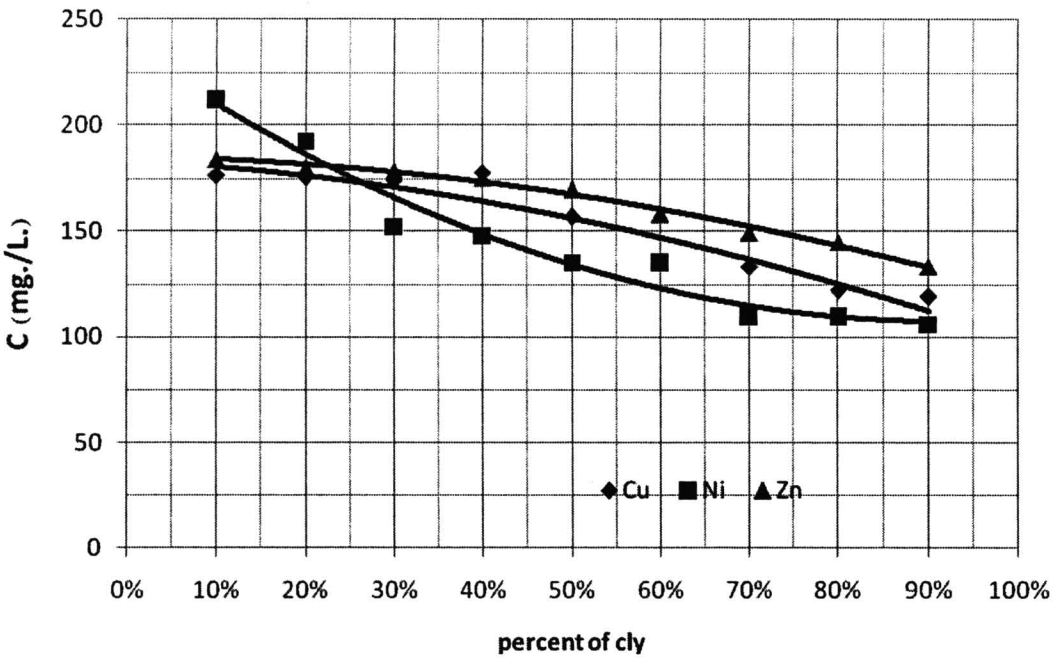
เมื่อนำค่าปริมาณดินเหนียว, ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS และค่าความเข้มข้นของเม็ดดิน ของสารละลายทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.40, 4.41, 4.42 และ 4.43) พบว่า ปริมาณของดินเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS และค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเปลี่ยนแปลง โดย เมื่อมีค่าปริมาณของดินเหนียวสูง ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จาก AAS จะมีค่าต่ำ ส่วนค่าความเข้มข้นของเม็ดดินจะมีค่าสูง ในขณะที่ ค่าปริมาณของดินเหนียวต่ำ ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS จะมีค่าสูง ส่วนค่าความเข้มข้นของเม็ดดินจะมีค่าต่ำ ในการทดสอบทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย จาก 100 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลที่ได้ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน



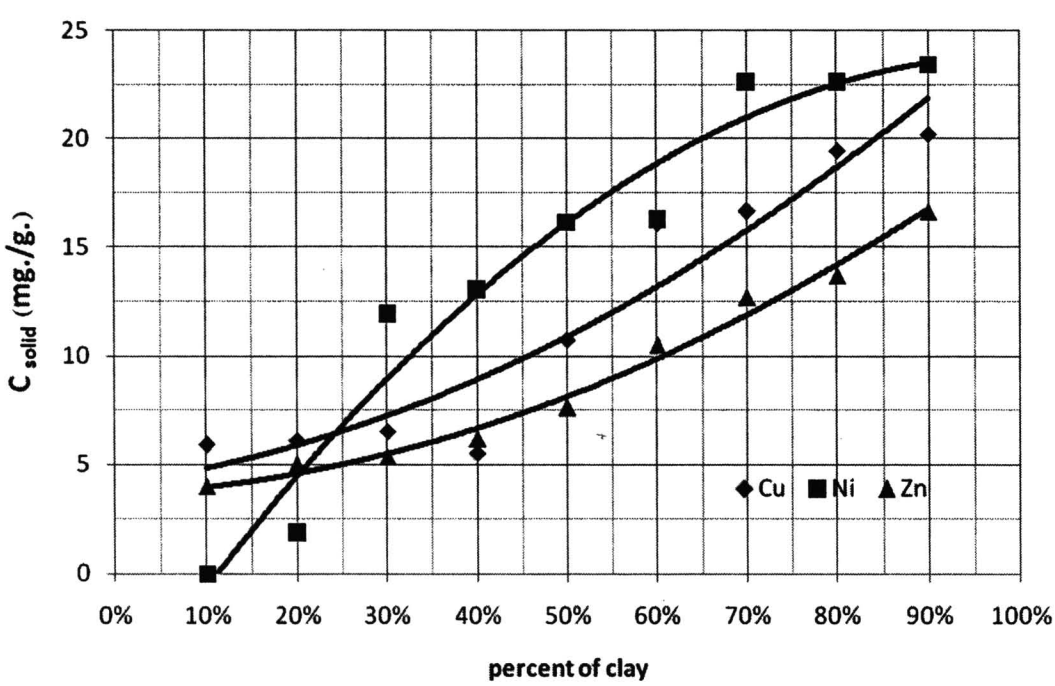
ภาพที่ 4.40 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 4.41 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 4.42 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้จากเครื่อง AAS ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด

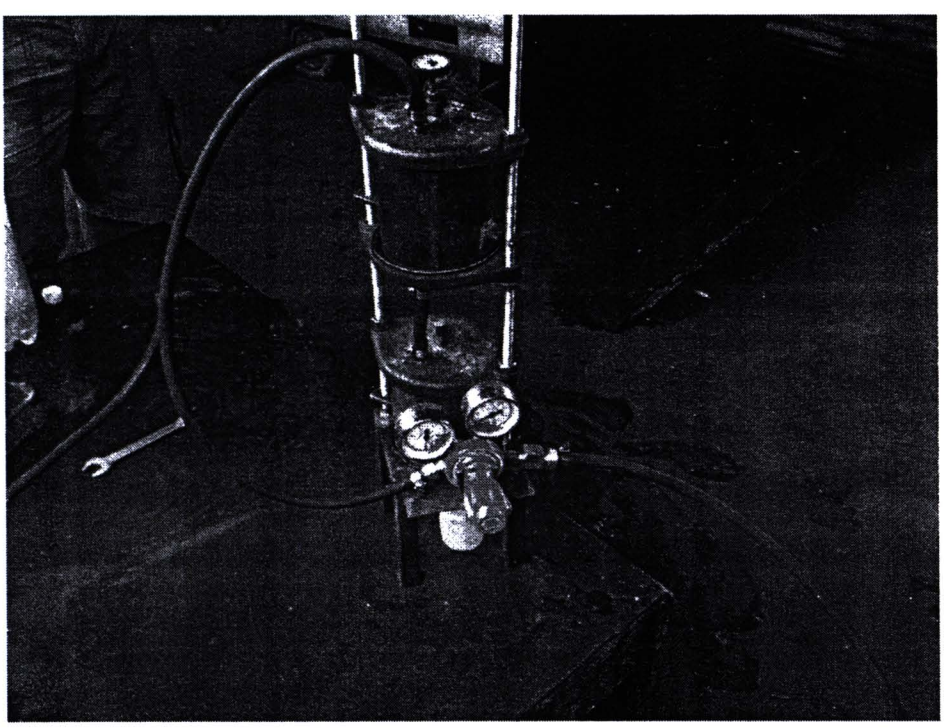


ภาพที่ 4.43 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณดินเหนียวกับค่าความเข้มข้นของเม็ดดินเมื่อผสมสารละลายความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 3 ชนิด

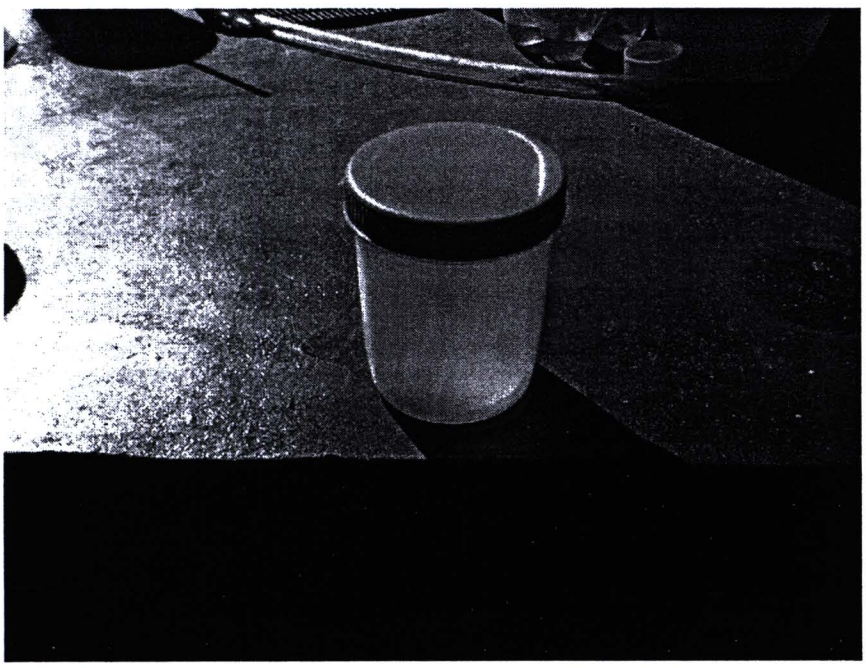
4.5 การทดสอบแบบสดมภ์ (Column Test)

นำดินลมหอบไปบดอัดตามมาตรฐาน Standard Proctor Compaction (ASTM D 698) ใน Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.584 นิ้ว ด้วยความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่า OMC จากนั้นนำดินลมหอบที่บดอัดแล้วพร้อม Mold ไปปิดด้วยแผ่นเหล็กที่มีวาล์วให้น้ำเข้าออกทั้งด้านบนและด้านล่างแล้ว จากนั้นประกอบเข้ากับเครื่องมือทดสอบ (ภาพที่ 4.44) แบ่งชุดการทดสอบเป็นสามสภาวะ จำลองตามสภาพที่มีการปล่อยสารละลายลงสู่ดิน จากนั้นจึงจำลองสภาพการชะล้างโดยน้ำฝน สุดท้ายมีการปล่อยสารละลายลงสู่ดินอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ความดันคงที่ 10 kg/cm^2 ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 6 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.45) โดยเริ่มต้นที่ สารละลายทองแดง เมื่อครบ 48 ชั่วโมงแล้ว เปลี่ยนจากสารละลายทองแดงเป็นน้ำกลั่น จนครบ 48 ชั่วโมง สุดท้ายกลับมาใส่ สารละลายทองแดงอีกครั้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง รวมเป็นเวลา 144 ชั่วโมง ต่อหนึ่งชุดทดสอบ แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นเจือจางความเข้มข้นด้วยกรดไนตริก แล้ววิเคราะห์หาความเข้มข้นสุดท้ายของโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทดสอบเช่นเดิมแต่เปลี่ยนแปลงสารละลายเป็นสารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสีตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายที่ใช้มีค่าเท่ากันคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดสอบแบบสดมภ์นี้ จะทำการเก็บข้อมูล 2 ส่วนคือ ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลาย กับ ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดด้วยเครื่อง AAS



ภาพที่ 4.44 อุปกรณ์การทดสอบแบบแท่ง (Column Test)



ภาพที่ 4.45 ตัวอย่างสารละลายที่ไหลออกมา

4.5.1 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายที่วัดได้

ความเร็วของน้ำที่สามารถซึมลงไปในดินต่อหน่วยเวลาดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกันย่อมมีอัตราการไหลซึมของสารละลายในดินต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น บริเวณที่มีดินทราย ดินเหนียว หรือดินร่วน อัตราการไหลซึมของสารละลายในดินทั้งสามบริเวณนี้ย่อมแตกต่างกัน กล่าวคือดินเนื้อหยาบจะมีอัตราการไหลซึมของสารละลายเร็วกว่าในดินเนื้อละเอียด คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งจากการพัฒนาของดินโดยธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของสัตว์และมนุษย์ที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งอาจจะทำให้การแทรกซึมน้ำของดินช้าลงหรือเร็วมากขึ้น และอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อการดูดซับสารละลายของดิน การทดสอบครั้งนี้จะทำการวัดปริมาตรสารละลายที่ไหลซึมลงมาจากแท่งดินตัวอย่าง ภายใต้ความดัน และวัดอัตราการไหลซึมของสารละลาย

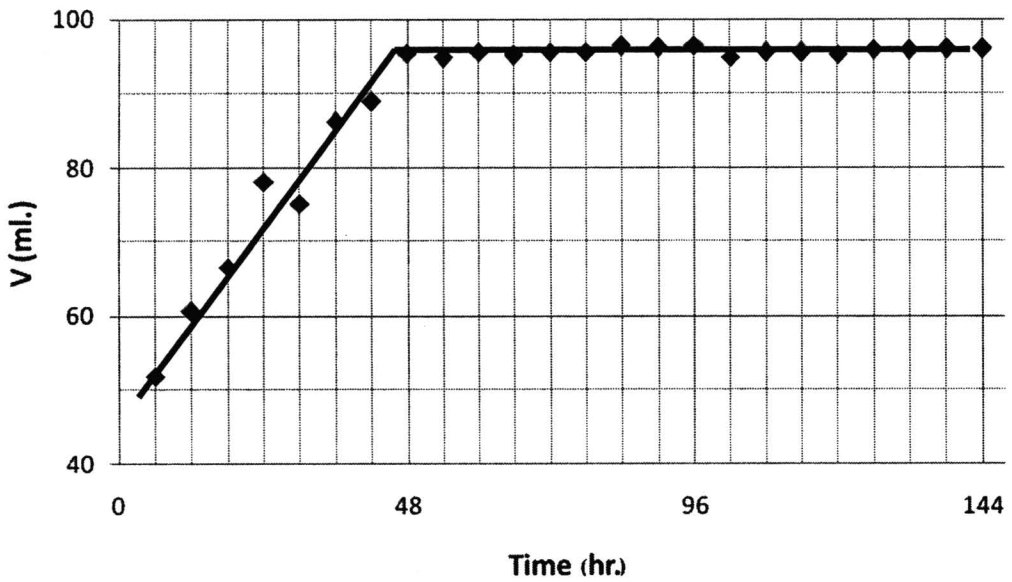
การทดสอบหาค่าปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายทองแดงในดินลมหอบ เริ่มต้นจากดินลมหอบจะถูกบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 ด้วยค่าความชื้น OMC เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปล่อยสารละลายทองแดงความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ไหลซึมลงสู่แท่งดินตัวอย่างด้วยความดัน 10 kg/cm^2 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปลี่ยนจากสารละลายทองแดงเป็นน้ำกลั่น ทดสอบเช่นเดิม อีกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สุดท้ายเปลี่ยนกลับมาใช้สารละลายทองแดงความเข้มข้นเท่าเดิมอีกรอบ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง รวมระยะเวลาทั้งหมด 144 ชั่วโมงต่อหนึ่งชุดทดสอบ เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายทองแดงผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

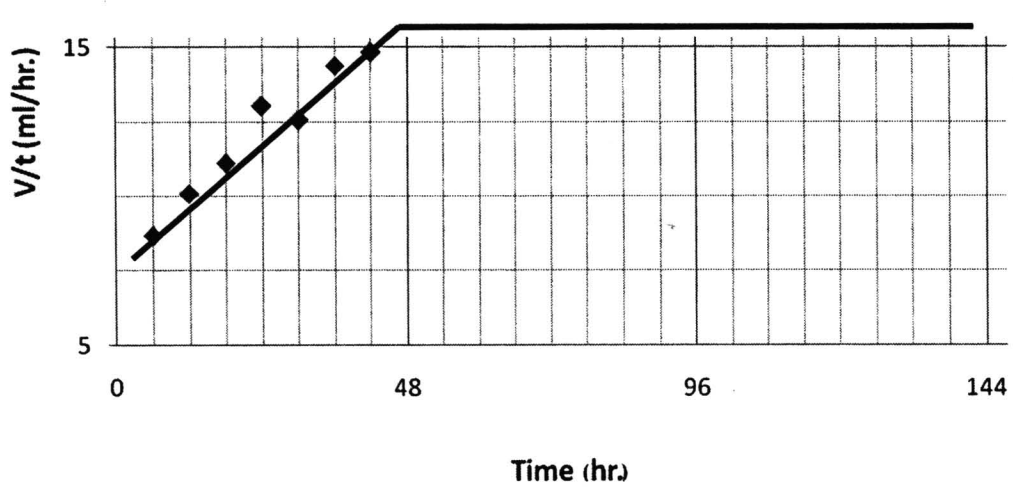
สารละลาย	เวลา (ชม.)	ปริมาตร (มล.)	ปริมาตรสะสม (มล.)	อัตราการไหล (มล./ชม.)
Cu (ช่วงแรก)	6	51.880	51.880	8.647
	12	60.570	112.450	10.095
	18	66.540	178.990	11.090
	24	78.150	257.140	13.025
	30	75.250	332.390	12.542
	36	86.240	418.630	14.373
	42	88.950	507.580	14.825
	48	95.510	603.090	15.918
น้ำกลั่น (ช่วงที่สอง)	54	94.890	91.250	15.815
	60	95.650	186.900	15.942
	66	95.260	282.160	15.877
	72	95.630	377.790	15.938
	78	95.650	473.440	15.942
	84	96.410	569.850	16.068
	90	96.250	666.100	16.042
	96	96.540	762.640	16.090
Cu (ช่วงสุดท้าย)	102	95.000	97.540	15.833
	108	95.620	193.160	15.937
	114	95.540	288.700	15.923
	120	95.320	384.020	15.887
	126	96.020	480.040	16.003
	132	95.870	575.910	15.978
	138	96.100	672.010	16.017
	144	96.120	768.130	16.020

นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดินตัวอย่างกับเวลาภายใต้ความดัน (ภาพที่ 4.46) และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดินตัวอย่างกับเวลาภายใต้ความดัน

(ภาพที่ 4.47) พบว่าปริมาตรและอัตราการไหลของสารละลายทองแดงผ่านจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงนับจากเริ่มต้นการทดสอบ



ภาพที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



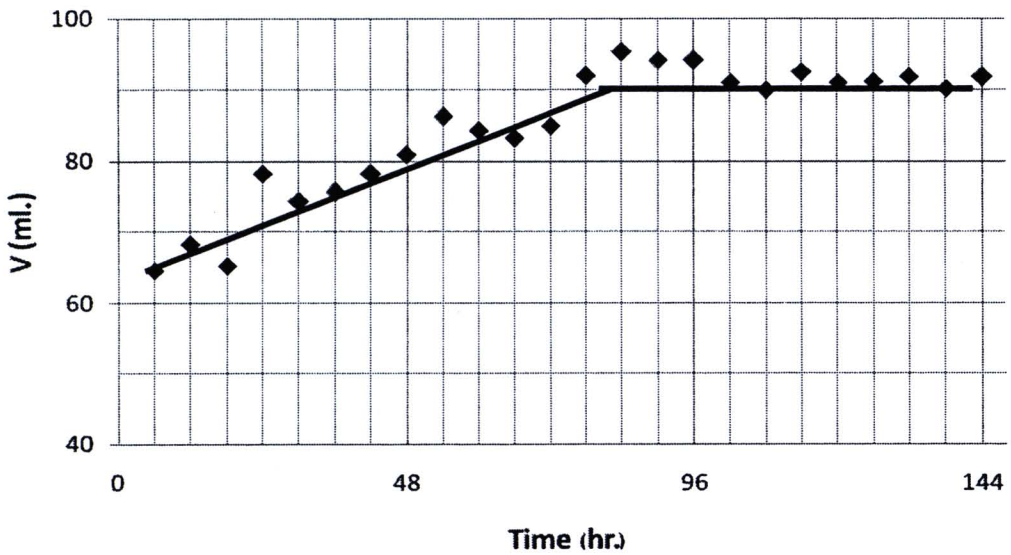
ภาพที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายทองแดงที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

การทดสอบหาค่าปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายนิกเกิลในดิน บดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 ความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบเช่นเดียวกันกับการทดสอบด้วยสารละลายทองแดง แต่เปลี่ยนจากสารละลายทองแดงเป็นสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงตารางที่ 4.29

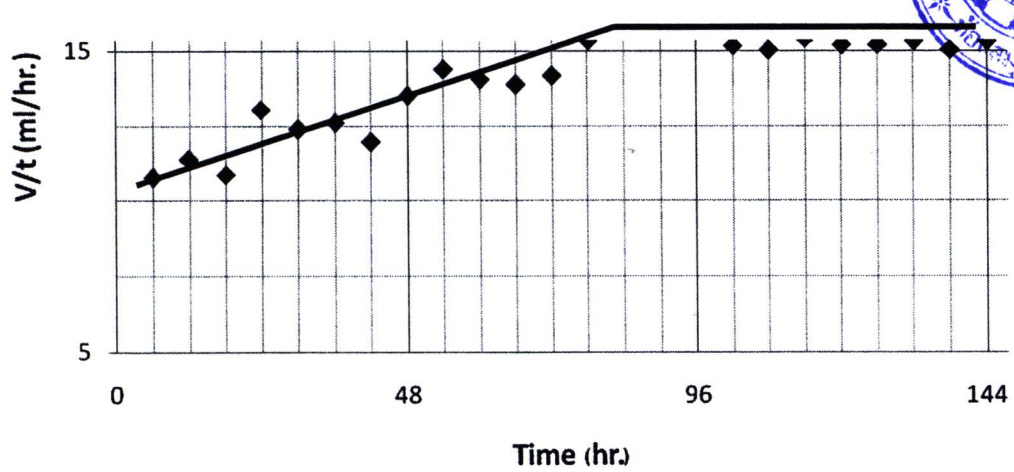
ตารางที่ 4.29 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

สารละลาย	เวลา (ชม.)	ปริมาตร (มล.)	ปริมาตรสะสม (มล.)	อัตราการไหล (มล./ชม.)
Ni (ช่วงแรก)	6	64.550	64.550	10.758
	12	68.210	132.760	11.368
	18	65.240	198.000	10.873
	24	78.250	276.250	13.042
	30	74.260	350.510	12.377
	36	75.620	426.130	12.603
	42	78.120	497.820	11.948
	48	80.870	578.690	13.478
น้ำกลั่น (ช่วงที่สอง)	54	86.250	86.250	14.375
	60	84.260	170.510	14.043
	66	83.220	253.730	13.870
	72	84.960	338.690	14.160
	78	92.010	430.700	15.335
	84	95.360	526.060	15.893
	90	94.250	620.310	15.708
	96	94.210	714.520	15.702
Ni (ช่วงสุดท้าย)	102	91.020	91.020	15.170
	108	90.030	181.050	15.005
	114	92.540	273.590	15.423
	120	91.050	364.640	15.175
	126	91.230	455.870	15.205
	132	91.890	547.760	15.315
	138	90.220	637.980	15.037
	144	91.850	729.830	15.308

นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินตัวอย่างกับเวลา ภายใต้ความดัน (ภาพที่ 4.48) และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินตัวอย่างกับเวลา ภายใต้ความดัน (ภาพที่ 4.49) พบว่าปริมาตรและอัตราการไหลของสารละลายนิกเกิลผ่านจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 84 ชั่วโมงนับจากเริ่มต้นการทดสอบ



ภาพที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลา ภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



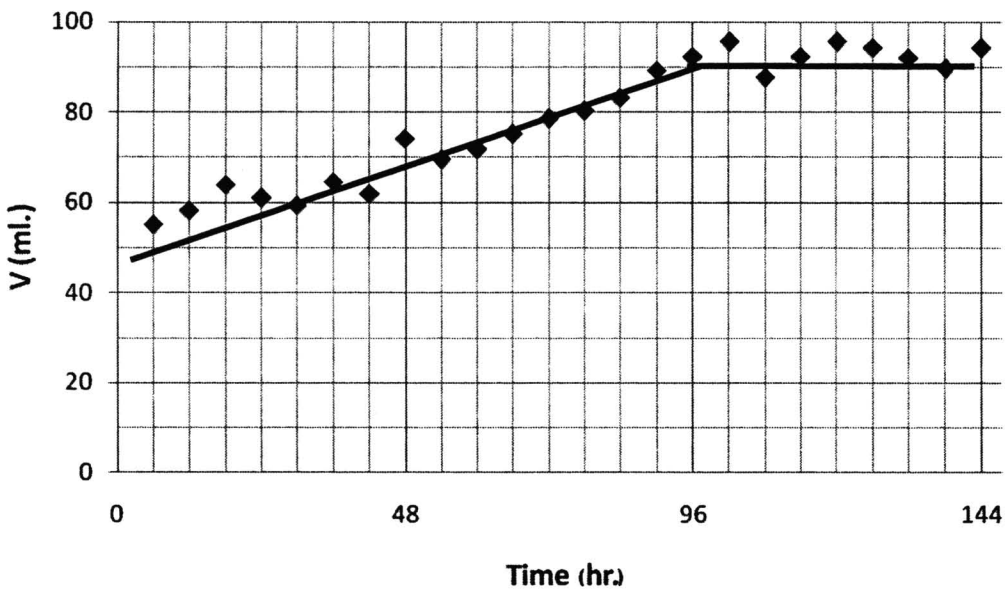
ภาพที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายนิกเกิลที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

การทดสอบหาค่าปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายสังกะสีในดินบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 ความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบเช่นเดียวกันกับการทดสอบด้วยสารละลายทองแดงและนิกเกิล แต่เปลี่ยนสารละลายเป็นสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.30

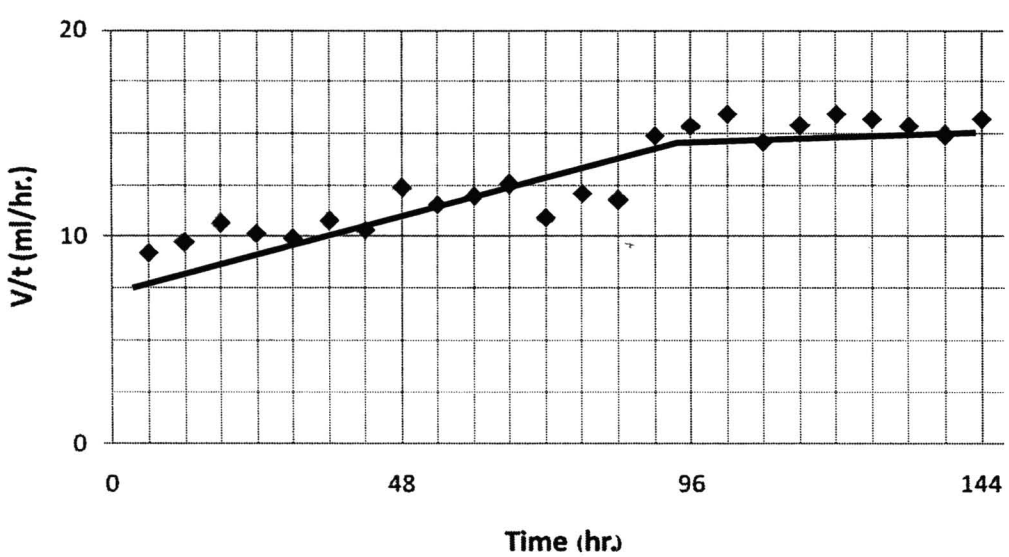
ตารางที่ 4.30 ปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

สารละลาย	เวลา (ชม.)	ปริมาตร (มล.)	ปริมาตรสะสม (มล.)	อัตราการไหล (มล./ชม.)
Zn (ช่วงแรก)	6	55.240	55.240	9.207
	12	58.260	113.500	9.710
	18	63.950	177.450	10.658
	24	61.020	238.470	10.170
	30	59.410	297.880	9.902
	36	64.580	362.460	10.763
	42	62.030	424.490	10.338
	48	74.210	498.700	12.368
น้ำกลั่น (ช่วงที่สอง)	54	69.460	69.460	11.577
	60	71.690	141.150	11.948
	66	75.210	216.360	12.535
	72	78.610	281.720	10.893
	78	80.330	354.330	12.102
	84	83.210	424.980	11.775
	90	89.210	514.190	14.868
	96	92.310	606.500	15.385
Zn (ช่วงสุดท้าย)	102	95.640	95.640	15.940
	108	87.620	183.260	14.603
	114	92.360	275.620	15.393
	120	95.540	371.160	15.923
	126	94.330	465.490	15.722
	132	92.050	557.540	15.342
	138	89.610	647.150	14.935
	144	94.190	741.340	15.698

นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินตัวอย่างกับเวลาภายใต้ความดัน (ภาพที่ 4.50) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินตัวอย่างกับเวลาภายใต้ความดัน (ภาพที่ 4.51) พบว่าปริมาตรและอัตราการไหลของสารละลายสังกะสีผ่านจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 96 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ



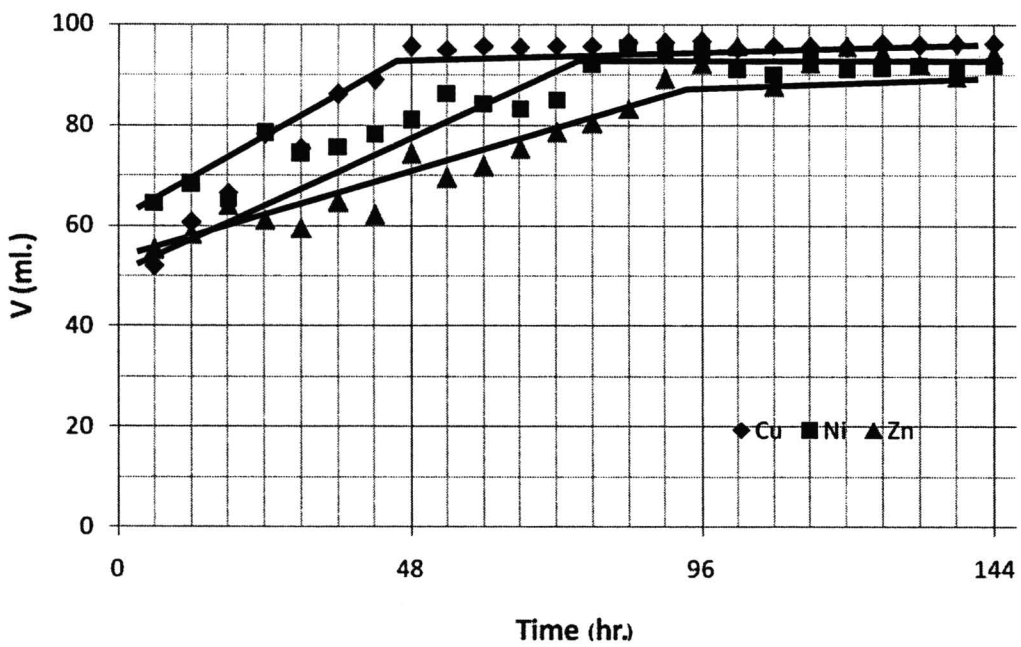
ภาพที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



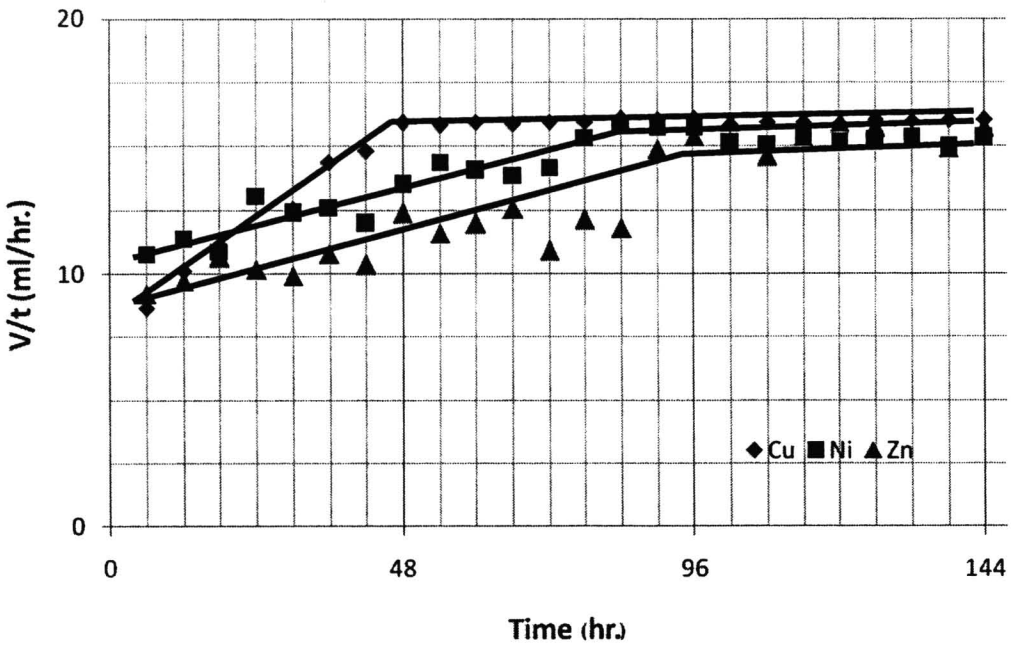
ภาพที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายสังกะสีที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

เมื่อนำผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดันและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาภายใต้ความดันมาเปรียบเทียบกัน พบว่า สารละลายทั้งสามชนิดใช้เวลาในการไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบไม่เท่ากัน แต่มีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆหนึ่งแล้วปริมาตรและอัตราการไหลซึมจะเริ่มคงที่

ผลจากการทดสอบพบว่าปริมาตรและอัตราการไหลซึมของสารละลายทองแดงผ่านแท่งดินลมหอบ ใช้เวลา 48 ชั่วโมง, สารละลายนิกเกิลใช้เวลา 84 ชั่วโมงและสารละลายสังกะสีใช้เวลา 96 ชั่วโมง จึงจะคงที่ (ภาพที่ 4.52 และ 4.53)



ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาตรสารละลายที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาของสารละลายทั้ง 3 ชนิดภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านแท่งดินลมหอบกับเวลาของสารละลายทั้ง 3 ชนิดภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

4.5.2 ความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้

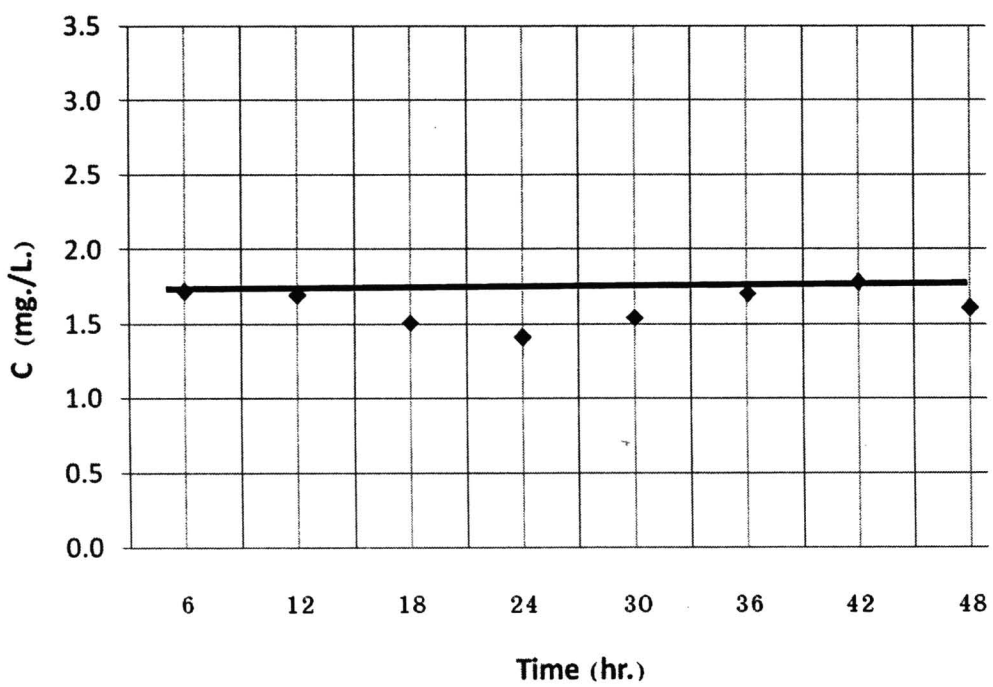
เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซับและการคายสารละลายที่ไหลซึมผ่านดินลมหอบ โดยจำลองสภาวะที่มีการปล่อยน้ำเสียออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือบ่อกักเก็บขยะ แล้วสารละลายไหลซึมลงสู่ดินจากนั้นเกิดการชะล้างโดยน้ำฝนเกิดการคายสารละลายขึ้น สุดท้ายมีการเพิ่มน้ำเสียเข้าไปอีกดินลมหอบนี้จึงทำหน้าที่เสมือนเป็นฟองน้ำกักเก็บสารละลายได้เพียงชั่วคราว

การทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบ เริ่มต้นจากดินลมหอบจะถูกบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 ด้วยค่าความชื้น OMC เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปล่อยสารละลายทองแดงความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ไหลซึมลงสู่แท่งดินตัวอย่างด้วยความดัน 10 kg/cm^2 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปลี่ยนจากสารละลายทองแดงเป็นน้ำกลั่น ทดสอบเช่นเดิม อีกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สุดท้ายเปลี่ยนกลับมาใช้สารละลายทองแดงความเข้มข้นเท่าเดิมอีกรอบ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง รวมระยะเวลาทั้งหมด 144 ชั่วโมงต่อหนึ่งชุดทดสอบ เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.31

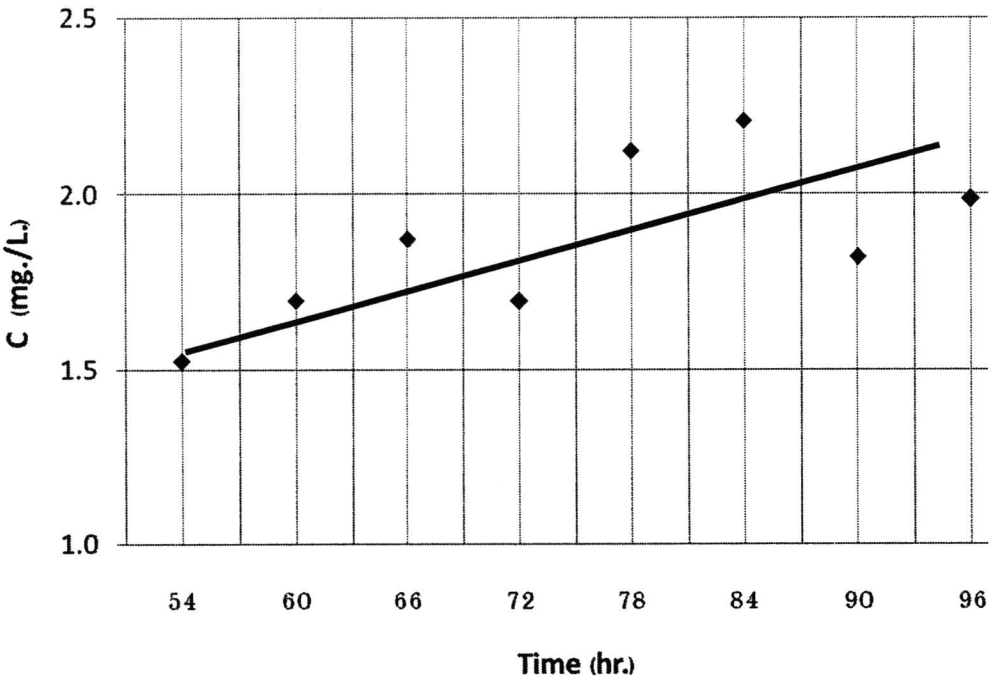
ตารางที่ 4.31 ความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

สารละลาย	เวลา (ชม.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)
Cu (ช่วงแรก)	6	100	1.717
	12	100	1.690
	18	100	1.507
	24	100	1.410
	30	100	1.543
	36	100	1.700
	42	100	1.777
	48	100	1.607
น้ำกลั่น (ช่วงที่สอง)	54	0	1.523
	60	0	1.697
	66	0	1.874
	72	0	1.697
	78	0	2.123
	84	0	2.207
	90	0	1.820
	96	0	1.985
Cu (ช่วงสุดท้าย)	102	100	2.523
	108	100	2.313
	114	100	2.317
	120	100	2.597
	126	100	3.017
	132	100	2.813
	138	100	2.703
	144	100	3.020

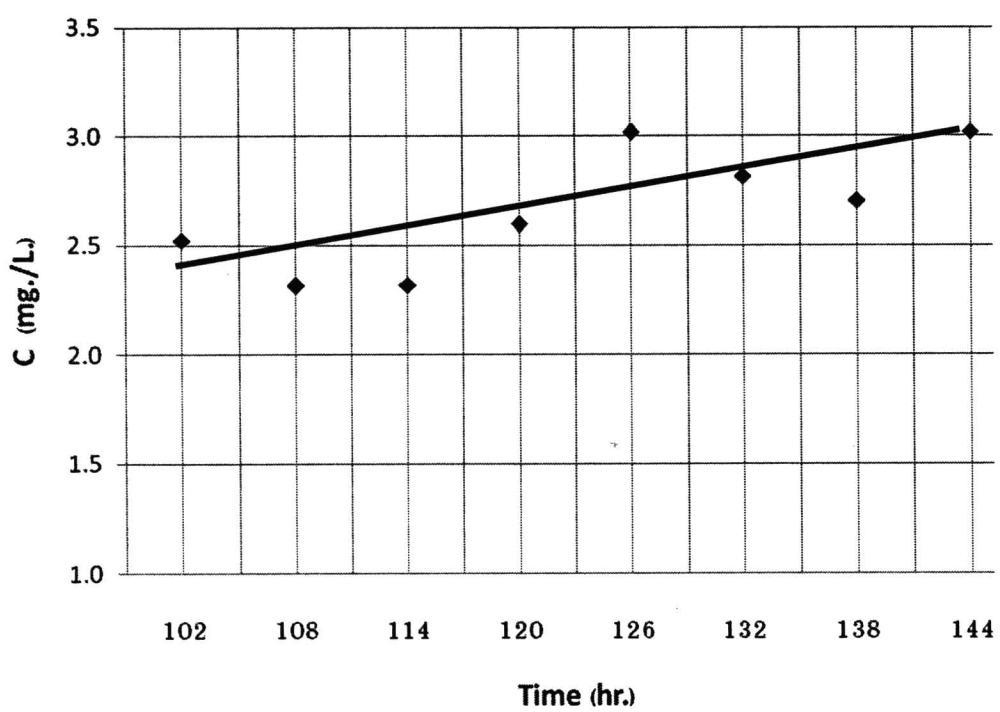
นำสารละลายทองแดงที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบ ตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบจนถึงเวลา 48 ชั่วโมง (ช่วงแรก) ไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.54) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่าง มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่าคงที่ ตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบจนถึงชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 96 เปลี่ยนจากสารละลายทองแดงเป็นน้ำกลั่น นำสารละลายทองแดงที่ไหลซึมออกมาไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.55) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่างออกมามีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สุดท้ายเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายทองแดงอีกรอบ ทดสอบเช่นเดิมเก็บตัวอย่างตั้งแต่ชั่วโมงที่ 96 ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 144 นำสารละลายทองแดงที่ไหลซึมออกมาไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.56) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่างออกมามีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และเมื่อนำผลการทดสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงทั้ง 3 สภาวะ ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.57) พบว่าสารละลายทองแดงเมื่อไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบแล้วในช่วง 48 ชั่วโมงแรก ค่าความเข้มข้นจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่หลังจากชั่วโมงที่ 48 ไปแล้วนั้นค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ



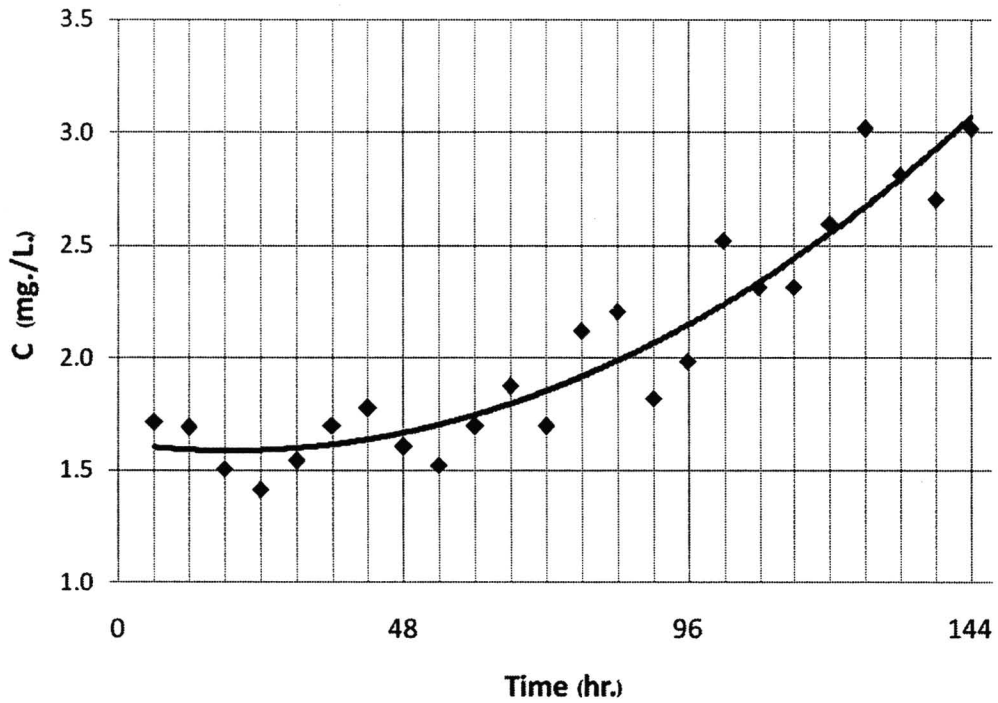
ภาพที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้กับเวลา 0-48 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้กับเวลา 48-96 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่วัดได้กับเวลา 96-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



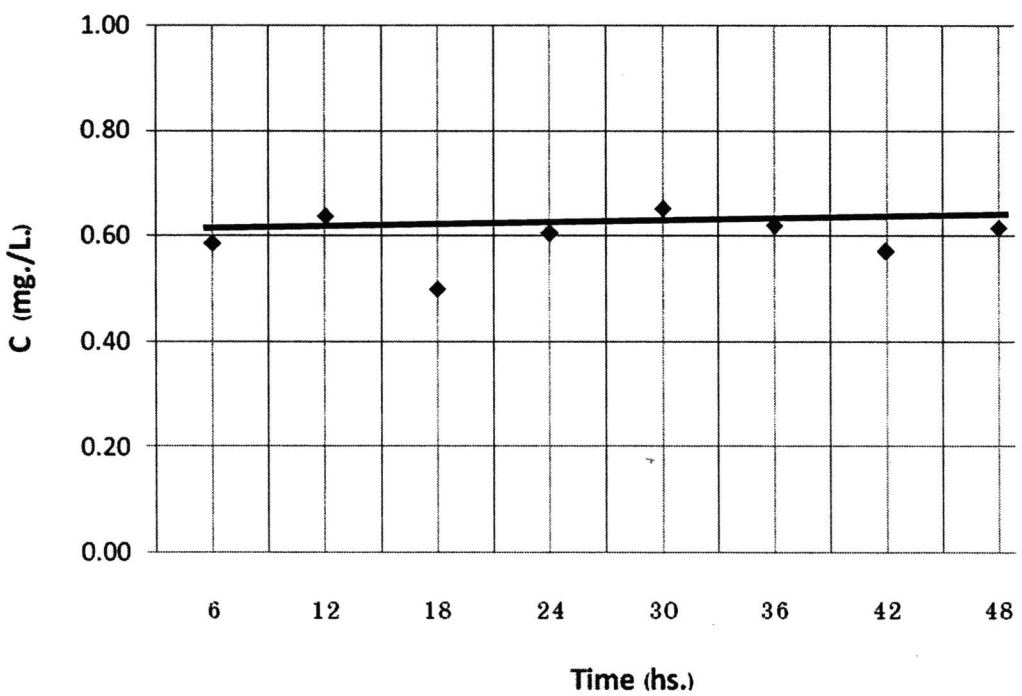
ภาพที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงกับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

การทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบ เริ่มต้นจากดินลมหอบจะถูกบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 ด้วยค่าความชื้น OMC เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปล่อยสารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ไหลซึมลงสู่แท่งดินตัวอย่างด้วยความดัน 10 kg/cm^2 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปลี่ยนจากสารละลายนิกเกิลเป็นน้ำกลั่น ทดสอบเช่นเดิม อีกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สุดท้ายเปลี่ยนกลับมาใช้สารละลายนิกเกิลความเข้มข้นเท่าเดิมอีกรอบ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง รวมระยะเวลาทั้งหมด 144 ชั่วโมงต่อหนึ่งชุดทดสอบ เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.32

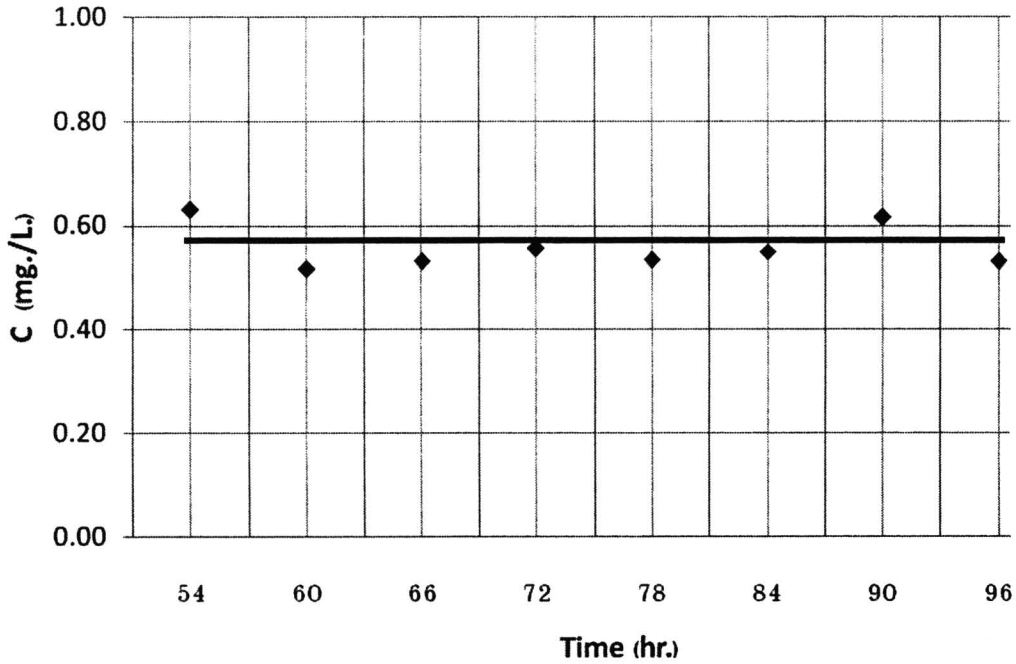
ตารางที่ 4.32 ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

สารละลาย	เวลา (ชม.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นจาก AAS (มล./ล.)
Ni (ช่วงแรก)	6	100	0.587
	12	100	0.636
	18	100	0.500
	24	100	0.604
	30	100	0.650
	36	100	0.619
	42	100	0.571
	48	100	0.616
น้ำกลั่น (ช่วงที่สอง)	54	0	0.630
	60	0	0.516
	66	0	0.530
	72	0	0.556
	78	0	0.533
	84	0	0.549
	90	0	0.614
	96	0	0.531
Ni (ช่วงสุดท้าย)	102	100	0.540
	108	100	0.510
	114	100	0.490
	120	100	0.480
	126	100	0.520
	132	100	0.451
	138	100	0.395
	144	100	0.387

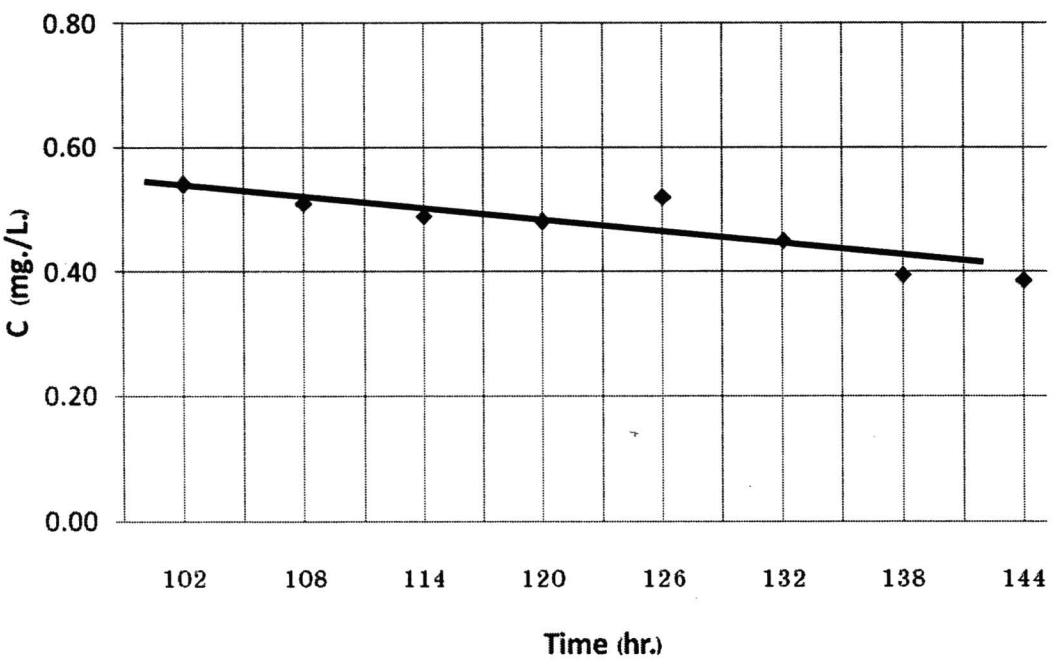
นำสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบ ตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบจนถึงเวลา 48 ชั่วโมง (ช่วงแรก) ไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.54) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่าง มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จนถือได้ว่าคงที่ ตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบจนถึงชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 96 เปลี่ยนจากสารละลายนิกเกิลเป็นน้ำกลั่น นำสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมออกมาไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.55) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่างออกมามีค่าความเข้มข้นลดลง สุดท้ายเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายนิกเกิลอีกรอบ ทดสอบเช่นเดิมเก็บตัวอย่างตั้งแต่ชั่วโมงที่ 96 ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 144 นำสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมออกมาไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.56) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่างออกมามีค่าความเข้มข้นลดลง และเมื่อนำผลการทดสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงทั้ง 3 สภาวะ ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.57) พบว่าสารละลายนิกเกิลเมื่อไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบแล้ว ในช่วง 48 ชั่วโมงแรก ค่าความเข้มข้นจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่หลังจากชั่วโมงที่ 48 ไปแล้วนั้น ค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ



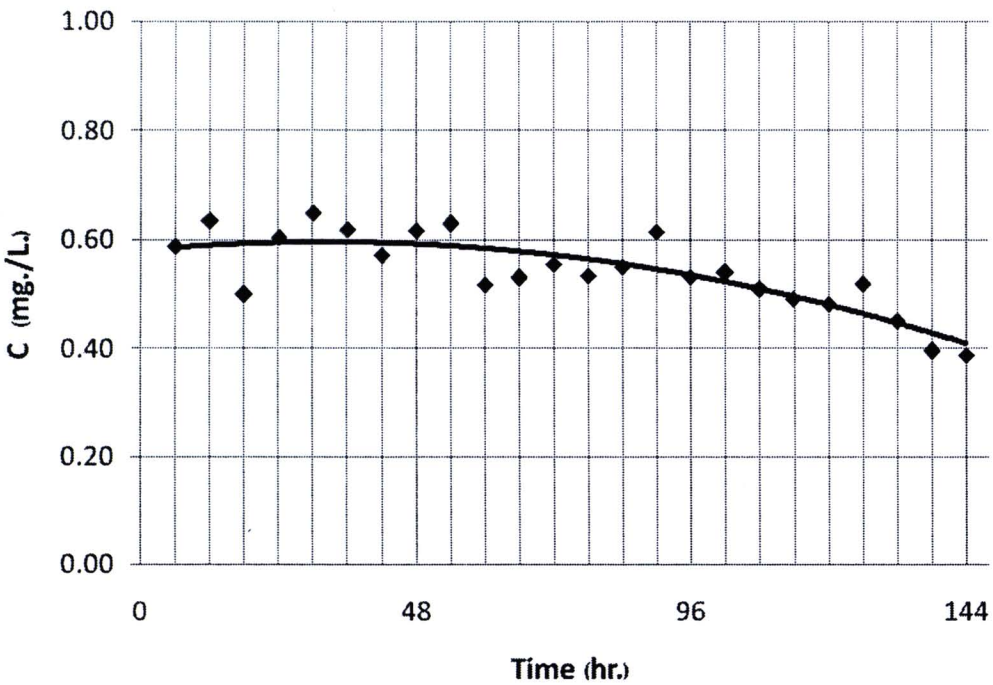
ภาพที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 0-48 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 48-96 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 96-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



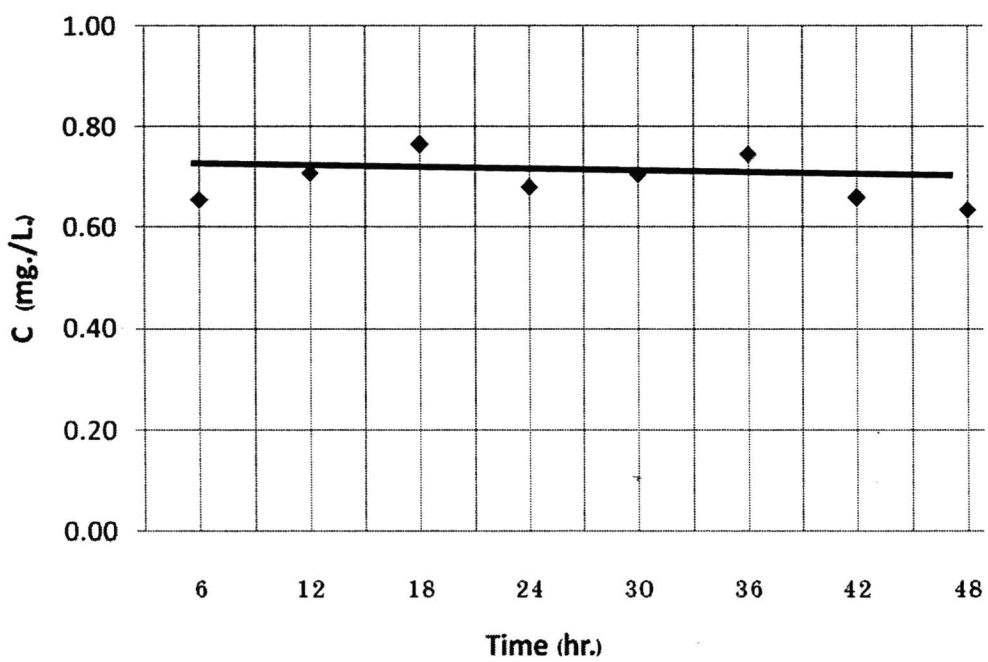
ภาพที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

การทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบ เริ่มต้นจากดินลมหอบจะถูกบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 698 ด้วยค่าความชื้น OMC เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปล่อยสารละลายสังกะสีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ไหลซึมลงสู่แท่งดินตัวอย่างด้วยความดัน 10 kg/cm^2 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปลี่ยนจากสารละลายสังกะสีเป็นน้ำกลั่น ทดสอบเช่นเดิม อีกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สุดท้ายเปลี่ยนกลับมาใช้สารละลายสังกะสีความเข้มข้นเท่าเดิมอีกรอบ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง รวมระยะเวลาทั้งหมด 144 ชั่วโมงต่อหนึ่งชุดทดสอบ เก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.33

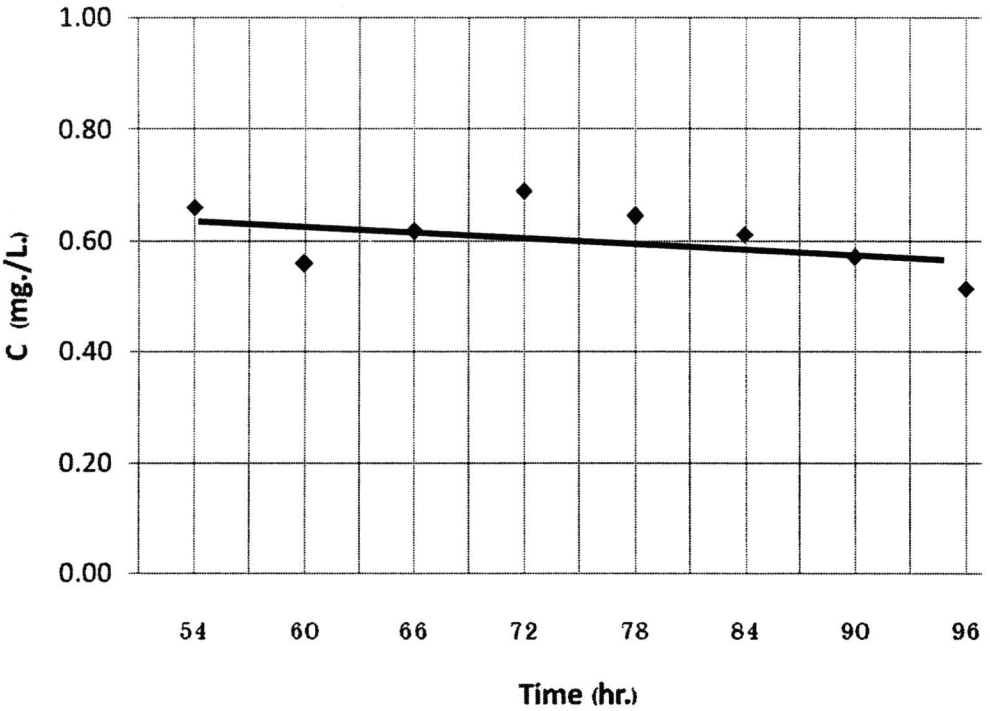
ตารางที่ 4.33 ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

สารละลาย	เวลา (ชม.)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นจาก AAS (มก./ล.)
Zn (ช่วงแรก)	6	100	0.656
	12	100	0.709
	18	100	0.766
	24	100	0.680
	30	100	0.706
	36	100	0.747
	42	100	0.660
	48	100	0.636
น้ำกลั่น (ช่วงที่สอง)	54	0	0.660
	60	0	0.560
	66	0	0.619
	72	0	0.690
	78	0	0.646
	84	0	0.612
	90	0	0.571
	96	0	0.514
Zn (ช่วงสุดท้าย)	102	100	0.619
	108	100	0.581
	114	100	0.454
	120	100	0.410
	126	100	0.351
	132	100	0.319
	138	100	0.309
	144	100	0.250

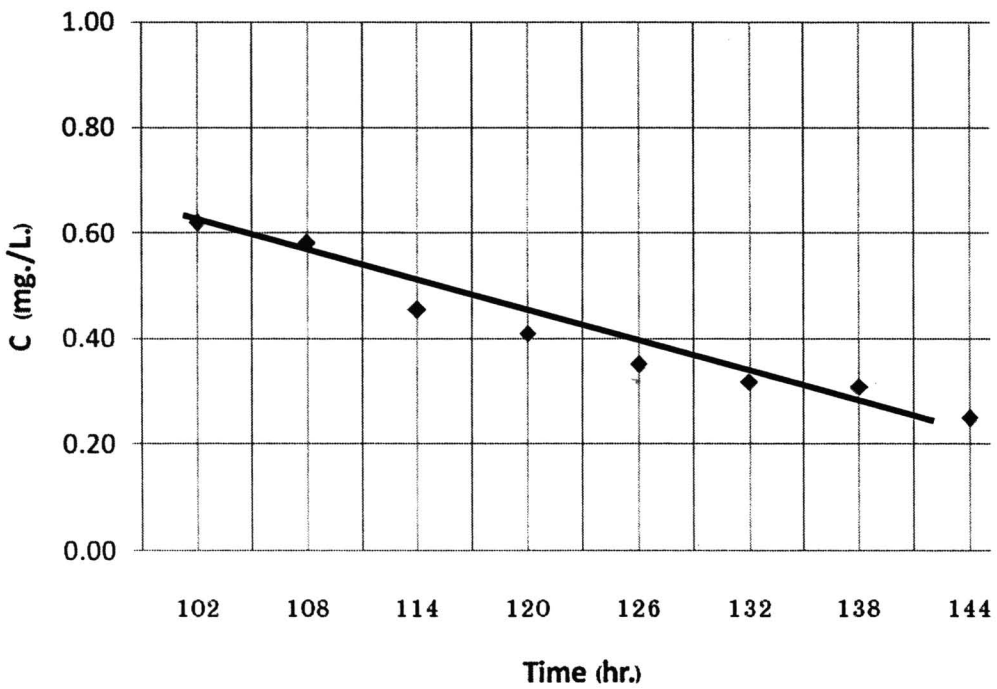
นำสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบ ตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบจนถึงเวลา 48 ชั่วโมง (ช่วงแรก) ไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.62) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่าง มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จนถือได้ว่าคงที่ ตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบจนถึงชั่วโมงที่ 48 หลังจากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 48 ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 96 เปลี่ยนจากสารละลายสังกะสีเป็นน้ำกลั่น นำสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมออกมาไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.63) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่างออกมามีค่าความเข้มข้นลดลง สุดท้ายเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายสังกะสีอีกรอบทดสอบเช่นเดิมเก็บตัวอย่างตั้งแต่ชั่วโมงที่ 96 ไปจนกระทั่งชั่วโมงที่ 144 นำสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมออกมาไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.64) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่ไหลซึมผ่านแท่งดินตัวอย่างออกมามีค่าความเข้มข้นลดลง และเมื่อนำผลการทดสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีทั้ง 3 สภาวะไปเขียนกราฟ (ภาพที่ 4.65) พบว่า สารละลายสังกะสีเมื่อไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบแล้วในช่วง 48 ชั่วโมงแรก ค่าความเข้มข้นจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่หลังจากชั่วโมงที่ 48 ไปแล้วนั้นค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ



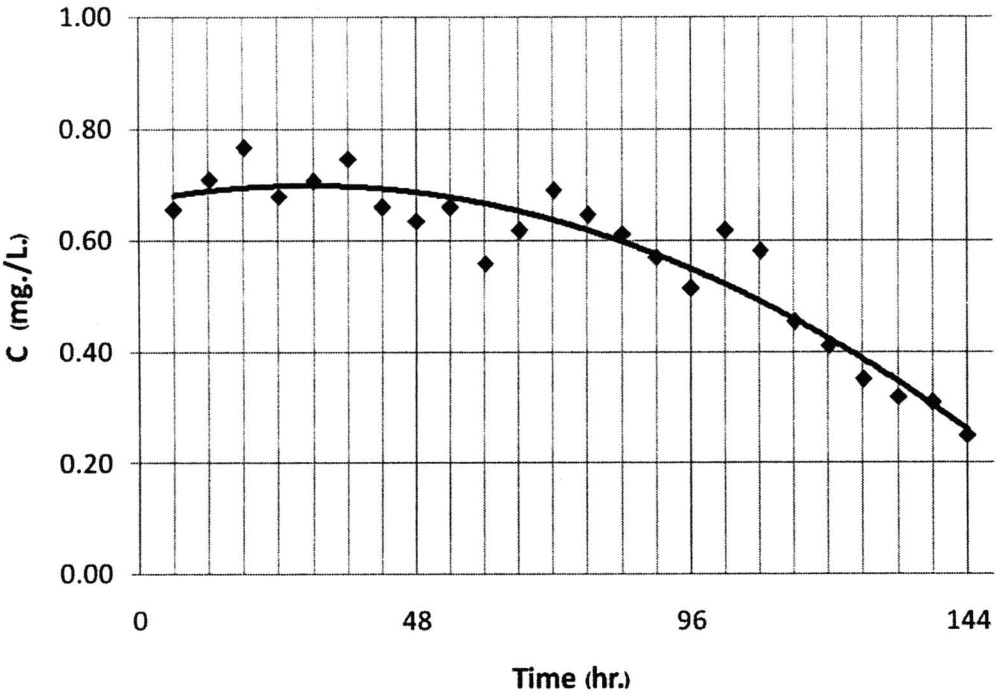
ภาพที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 0-48 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 48-96 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

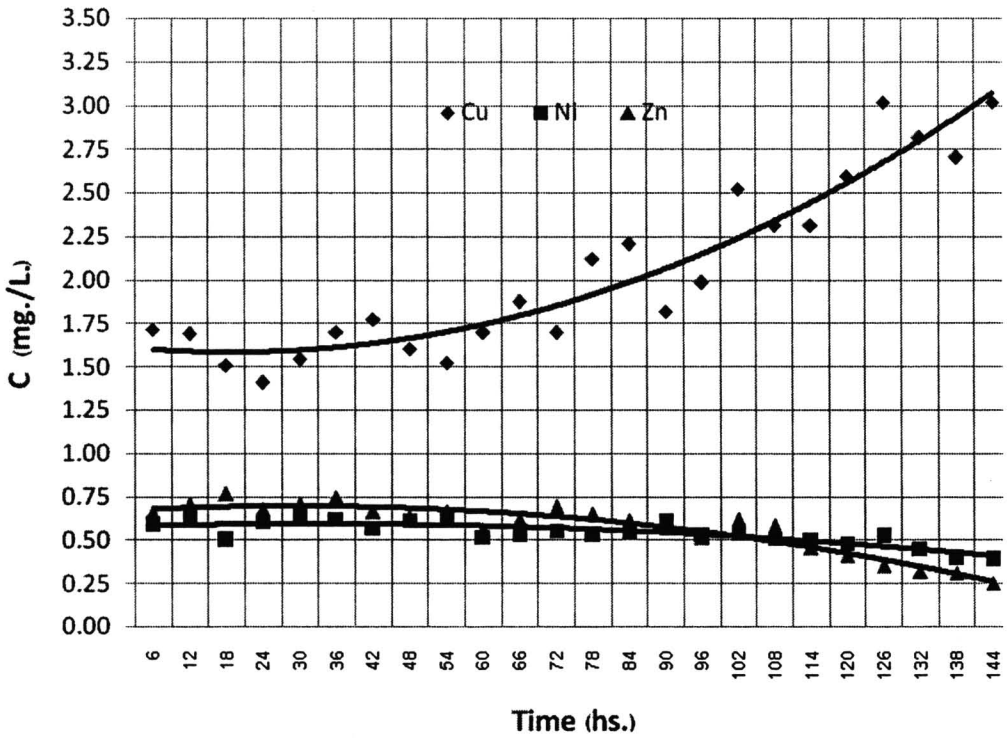


ภาพที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 96-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2



ภาพที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมง ของสารละลายทั้ง 3 ชนิด มาเปรียบเทียบกัน (ภาพที่ 4.66) พบว่า ในช่วงตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบ จนถึงเวลาที่ 48 ชั่วโมง สารละลายทั้ง 3 ชนิด ที่ไหลซึมผ่านแท่งดินลมหอบจะมีค่าความเข้มข้นของสารละลาย เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือมีค่าคงที่ โดยที่สารละลายทองแดงจะมีค่าความเข้มข้นของสารละลาย มากกว่า สารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสี ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเข้มข้นของสารละลายจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่สารละลายทองแดงจะมีค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างเห็นได้ชัด ส่วนสารละลายนิกเกิลและสารละลายสังกะสี จะมีค่าความเข้มข้นของสารละลายที่น้อยลง



ภาพที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่วัดได้กับเวลา 0-144 ชั่วโมงภายใต้ความดัน 10 kg/cm^2