

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาผลของธาตุอาหารรองที่มีต่อกระบวนการไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดอินทรีย์ของเสียในรูปของแข็ง ซึ่งใช้มูลสุกรเป็นวัตถุดิบ ได้ทำการทดลองโดยใช้ระบบจำลองระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศที่มีการกวนแบบสมบูรณ์ในภาชนะถึงพลาสติกขนาดใช้งาน 2 ลิตร ทั้งหมด 9 ชุดการทดลอง ประกอบด้วยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองตามสูตรอาหารของ (Speece, 1996) ส่วนชุดการทดลองที่ 2-9 เพิ่มปริมาณธาตุอาหารรองแต่ละชนิดเป็น 10 เท่าตามลำดับ ได้แก่ เหล็ก ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) นิกเกิล ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) โคบอลต์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) โมลิบดีนัม ($\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ซีลีเนียม (Na_2SeO_3) ทังสเตน ($\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ทองแดง ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสังกะสี (ZnCl_2) ซึ่งงานวิจัยมีการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของวัตถุดิบและตะกอนจุลินทรีย์

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือมูลสุกร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท บีอินเตอร์เนชันแนล แอนด์เทคโนโลยี จำกัด โดยมูลสุกรที่ใช้เป็นมูลสุกรผสมระหว่างสุกรแม่พันธุ์และสุกรขุน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งเกาะกันเป็นก้อน เก็บตัวอย่างโดยไม่ผสมกับน้ำ ส่วนเชื้อจุลินทรีย์นำมาจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศจากบริษัท เสริมสุข จำกัด ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบและตะกอนจุลินทรีย์ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของมูลสุกรและตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์	
	มูลสุกร	ตะกอนจุลินทรีย์*
Moisture (%)	55.3	63
SS (mg/g มูลสุกรแห้ง)	400	200
VSS (mg/g มูลสุกรแห้ง)	300	80
Total COD (mg/g มูลสุกรแห้ง)	800	-
Soluble COD (mg/g มูลสุกรแห้ง)	100	-
TKN (mg/g มูลสุกรแห้ง)	40	-
TP (mg/g มูลสุกรแห้ง)	50	-

หมายเหตุ : * ค่า SS และ VSS ของตะกอนจุลินทรีย์มีหน่วยเป็น mg/g ตะกอนจุลินทรีย์เปียก

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่ามูลสุกรมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งอยู่มาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มูลสุกรถูกย่อยสลายได้ยากขึ้น อีกทั้งในส่วนของสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand ; TCOD) ก่อนข้างสูงแต่ซีโอดีละลาย (Soluble Chemical Oxygen Demand ; SCOD) นั้นเมื่อเทียบกับซีโอดีทั้งหมดพบว่ามีค่าน้อยมาก โดย TCOD มีค่า 800 มิลลิกรัมต่อกรัมมูลสุกร ค่า SCOD มีค่า 100 มิลลิกรัมต่อกรัมมูลสุกร ซึ่งถือได้ว่าเป็นสัดส่วนที่น้อย ($TCOD:SCOD = 8:1$) แต่มีของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS) ในปริมาณมากคือ 400 มิลลิกรัมต่อกรัมมูลสุกร ทั้งนี้ Sanchez และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียมูลสุกรที่เข้าสู่ระบบการบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งคุณลักษณะของมูลสุกรมีความแตกต่างกับมูลสุกรที่ใช้ในการวิจัยคือ มูลสุกรที่ใช้มีสัดส่วนของปริมาณซีโอดีทั้งหมดกับค่าซีโอดีละลายที่มากกว่า โดย TCOD มีค่า 1,274 mg/L ส่วน SCOD มีค่า 865 mg/L ($TOD:SCOD = 5:1$) และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่น้อยกว่า โดย TSS มีค่า 278 mg/L ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาของ Sanchez และคณะ (2005) พบว่าเมื่อภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate; OLR) เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการย่อยสลายสารของจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต การเพิ่มภาระสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยให้กับระบบทำให้จุลินทรีย์ต้องทำหน้าที่ย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่เนื่องจากของแข็งแขวนลอยย่อยสลายได้ยาก ทำให้มีการตกค้างในระบบจึงพบของแข็งแขวนลอยในน้ำออกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำเสียมูลสุกรที่เข้าสู่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
TCOD	mg/L	1,274	1.91
SCOD	mg/L	865	1.21
BOD	mg/L	779	1.40
TSS	mg/L	278	0.56
VSS	mg/L	184	0.39
N	mg/L	340	50
P	mg/L	670	110

ที่มา : คัดแปลงมาจาก Sanchez และคณะ (2005)

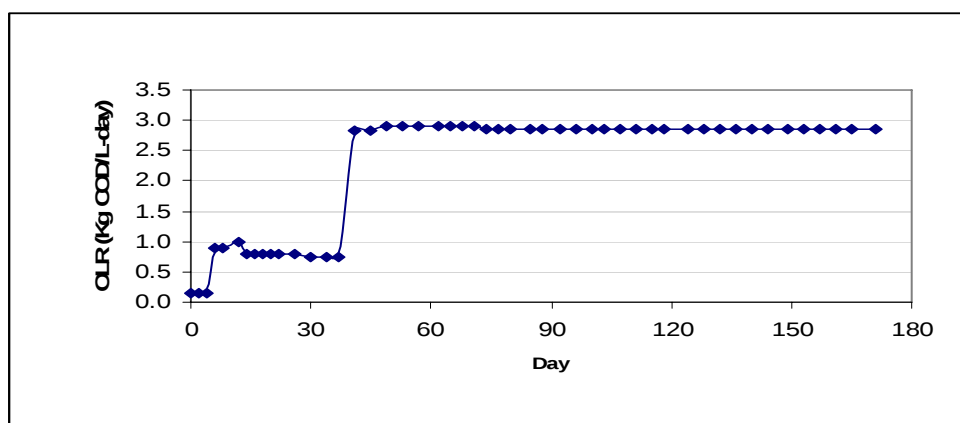
ดังนั้นมูลสุกรที่มีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งอยู่มากเป็นสาเหตุที่ทำให้มูลสุกรถูกย่อยสลายได้ยากขึ้นทำให้สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์พร้อมจะนำไปใช้ได้เพื่อเป็นอาหารและสร้างก๊าซชีวภาพต่อไปนั้นค่อนข้างน้อยและทำให้สารอินทรีย์ที่จะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นสารตั้งต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรจึงเป็น

สารอินทรีย์ที่ต้องมาจากกระบวนการย่อยสลายมูลสุกรเป็นสำคัญ ถ้าหากกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดี และเร็วก็จะส่งผลให้เกิดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีละลายมากขึ้น จุลินทรีย์ก็จะได้รับอาหารที่พร้อมจะนำไปสร้างกิจกรรมต่างๆ ต่อไปได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.2 ผลการย่อยสลายมูลสุกรในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์

ในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำเข้าสู่ระบบโดยการนำมูลสุกรมาละลายน้ำให้เป็นสารละลาย เนื่องจากมูลสุกรบางส่วนนั้นมีขนาดใหญ่และมีมวลเบาทำให้ลอยอยู่บนผิวน้ำทำให้ละลายน้ำได้น้อย ดังนั้นจึงทำการผสมน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกันและกรองด้วยผ้าขาวบาง 1 ชั้น นำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายที่มีค่าซีโอดีตามที่กำหนดป้อนเข้าสู่ระบบ อีกทั้งเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ตะกอนของมูลสุกรเกิดการสะสมบริเวณก้นถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจจะทำให้ปริมาตรใช้งานของถังปฏิกรณ์ลดลงและส่งผลให้แท่งแม่เหล็กที่ทำหน้าที่กวนผสมทำงานได้ยากขึ้น เนื่องจากมีตะกอนสะสมบริเวณก้นถังมากเกินไป

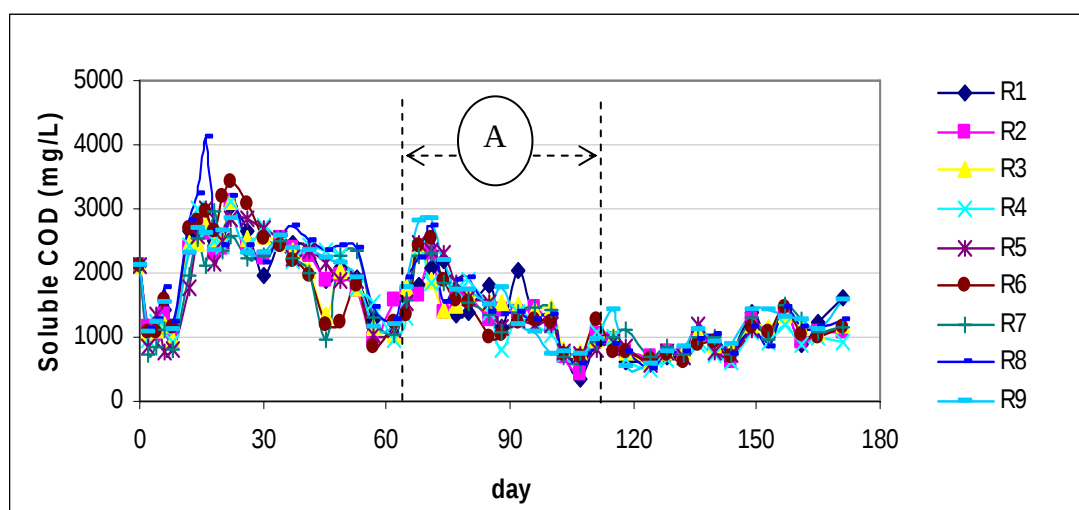
เมื่อเริ่มต้นระบบปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ที่เข้าระบบเริ่มต้นจาก 2,129 mg/L เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 10,000 mg/L และเพิ่มเป็น 38,000 mg/L ในสัปดาห์ที่ 5 และเป็นเช่นนี้ไปตลอดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 สาเหตุที่ค่อยๆ เพิ่มปริมาณ TCOD ขึ้นเรื่อยๆ นั้นเนื่องจากการต้องการให้จุลินทรีย์ทำความคุ้นเคยกับสารอินทรีย์อย่างช้าๆ โดยการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ดังกล่าวจะทำให้ระบบเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งวัดจากปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีละลาย (SCOD) ของน้ำตัวอย่างที่ออกจากถังปฏิกรณ์มีค่าเริ่มคงที่ และสาเหตุที่เลือกเพิ่ม TCOD สูงสุดเท่ากับ 38,000 mg/L เนื่องจาก SCOD ของน้ำตัวอย่างที่ออกจากทุกๆ ถังปฏิกรณ์ มีค่าที่ไม่สูงหรือต่ำมากเกินไป ทำให้แยกความแตกต่างของแต่ละถังปฏิกรณ์ได้ง่าย ในช่วงแรกจะทำการเติมธาตุอาหารหลักและรองของ Speece (1996) เหมือนกันทุกถังปฏิกรณ์เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึงเริ่มเปลี่ยนสูตรอาหารตามตารางที่ 3.4



ภาพที่ 4.1 ภาระสารอินทรีย์ที่เข้าระบบในรูปของซีโอดีทั้งหมด

4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีทั้งหมดและชีโอดีละลาย

จากผลการทดลองพบว่าช่วงแรกค่า SCOD ของตัวอย่างน้ำออกของทุกๆ ถึงปฏิกรณ์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TCOD ที่ให้กับระบบ จากนั้นอีกประมาณ 30 วันค่าเริ่มลดลงเรื่อยๆ แม้ว่าค่า TCOD ที่เข้าระบบจะเพิ่มขึ้นก็ตาม แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบเริ่มสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากขึ้นซึ่งอาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมและอาหารที่ได้รับบ้างแล้ว ในช่วง 120 วันแรกก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่นั้นค่า SCOD ยังไม่คงที่ แต่หลังจากนั้นค่า SCOD เริ่มคงที่มากขึ้น เป็นที่สังเกตได้ว่าไม่ว่าค่า SCOD จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็พบว่าทุกถึงปฏิกรณ์นั้นมีแนวโน้มของค่า SCOD ของน้ำออกจากระบบที่ใกล้เคียงกัน ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.2



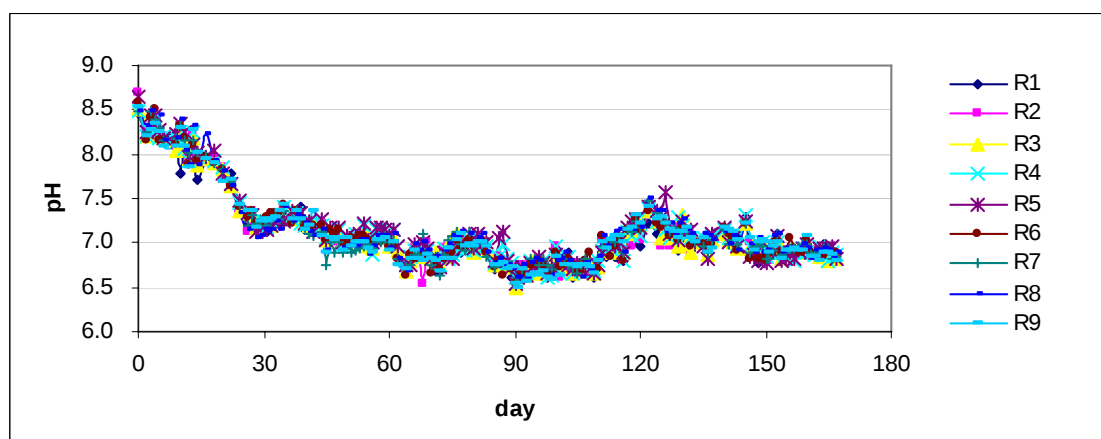
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของ SCOD ในระหว่างกระบวนการไฮโดรไลซิสมูลสุกร

ช่วงหนึ่งของการทดลองคือช่วงวันที่ 70 – 110 ดังแสดงในภาพที่ 4.2 โซน A ได้ทำการปิดระบบการกวนและตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเพื่อรอให้เกิดการตกตะกอนของจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ในระบบ ก่อนทำการดึงน้ำออกจากระบบเพื่อเป็นการทดสอบว่าการดึงน้ำออกโดยไม่ปิดระบบการกวนนั้นมีผลกระทบต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า SCOD มีแนวโน้มลดลงและมีค่าต่ำกว่าน้ำที่ออกจากระบบโดยไม่หยุดระบบการกวน หมายความว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อปิดระบบการกวนก่อนดึงน้ำออกทำให้จุลินทรีย์ในระบบหลุดออกมากับน้ำออกน้อยกว่าไม่ปิดระบบการกวน จึงส่งผลให้จุลินทรีย์ในระบบมีจำนวนมากกว่า จึงสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากขึ้นนั่นเอง โดยเกิดขึ้นในทุกๆ ถึงปฏิกรณ์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า SCOD ในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกันด้วย จึงสรุปได้ว่าการหยุดระบบการกวนก่อนการ

ดึงน้ำออกทำให้จุลินทรีย์ในระบบหลุดออกจากระบบน้อยลงแต่ก็ไม่ส่งผลให้แต่ละถังปฏิกรณ์นั้นมีปริมาณจุลินทรีย์แตกต่างกันมากนัก เพราะน้ำที่ออกจากระบบของทุกถังปฏิกรณ์ยังคงมีค่า SCOD ที่ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นจึงได้กลับมาทำการทดลองเหมือนเดิมอีกครั้ง ซึ่งก็พบว่าค่า SCOD ในน้ำออกยังคงมีค่าอยู่ในช่วง 1,000-1,500 mg/L ไปตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งในช่วงสุดท้ายของการทดลองค่า SCOD ของน้ำตัวอย่างที่ออกจากทุกๆ ถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกันมาก จากค่า SCOD ของน้ำออกที่มีค่าต่ำนี้แสดงให้เห็นว่าทุกระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้สูง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในช่วงสุดท้ายได้สูงสุดถึง 98% แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละระบบจะเหมือนกันด้วย ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ค่า SCOD นี้เพื่อแยกความแตกต่างของแต่ละถังปฏิกรณ์ได้ เพื่อประเมินว่าการที่ SCOD ในน้ำออกมีค่าต่ำเกิดจากระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี จึงต้องมีการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น หากพบว่าก๊าซมีเทนเกิดขึ้นแตกต่างกันก็แสดงว่า ระบบนั้นสามารถเกิดการย่อยสลายไปถึงขั้นสุดท้ายคือการสร้างก๊าซมีเทนที่แตกต่างกัน เพราะก๊าซมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการดังกล่าว

4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความเป็นด่างทั้งหมด

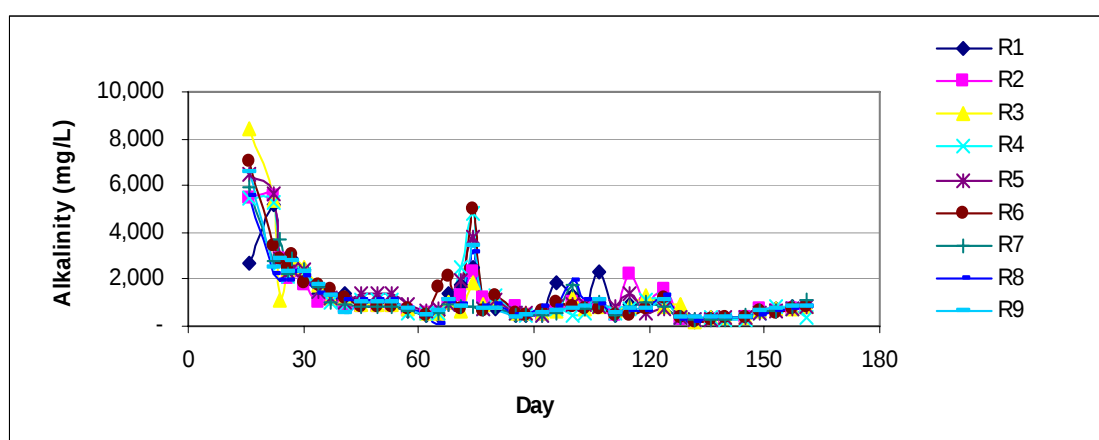
ค่า pH นั้นมีความสำคัญที่ต้องทำการตรวจติดตามตลอดการทดลอง เนื่องจากในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ทำหน้าที่ในกระบวนการหมัก และกลุ่มสร้างมีเทน โดยเฉพาะกลุ่มสร้างมีเทนที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH แคบๆ เท่านั้น ถ้าระบบมีการควบคุมไม่ดีหรือมีประสิทธิภาพในการรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างได้ไม่ดีแล้ว การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนก็จะถูกยับยั้งทำให้ระบบล้มเหลวได้



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในระหว่างกระบวนการไฮโดรไลซิสมูลสุกร

จากการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการทดลองนั้นค่า pH ของทุกถังปฏิกรณ์มีค่าสูงประมาณ 8.5 ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ทั้งนี้เนื่องจากการเริ่มต้นระบบมีการเติมสารเสริมความเป็นด่าง คือโซเดียมคาร์บอเนต (NaHCO_3) เพื่อรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมและป้องกันการลดลงอย่างรวดเร็วของ pH เมื่อเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสและสร้างกรดอินทรีย์ ซึ่งตลอดการทดลองเติมเพียงครั้งเดียวเท่านั้น จากการทดลองพบว่าในช่วงหนึ่งของการทดลองคือวันที่ 90 ถึง 110 จะเห็นว่าค่า pH มีแนวโน้มลดลงมากจนเข้าใกล้ 6.5 ซึ่งโดยทั่วไปถ้าค่า pH ลดลงถึงระดับนี้ก็จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของระบบให้ต่ำลงจนอาจถึงขั้นเกิดการล้มเหลวได้ แต่ต่อมาระบบก็สามารถรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างไม่ให้ลดลงอีกได้ ทำให้ค่า pH เริ่มสูงขึ้นและสามารถกลับเข้าสู่สภาวะปกติ หลังจากนั้นค่า pH ก็เริ่มคงที่โดยเฉลี่ยที่ 6.6-7.4 โดยทุกถังปฏิกรณ์ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ที่สภาวะคงตัวหลังเติมแร่ธาตุอาหารตามสูตรที่กำหนดพบว่าค่า pH ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดิม ทั้งนี้แนวโน้มของค่า pH นั้นสอดคล้องกับปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 ค่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

ส่วนค่าสภาพด่างทั้งหมด (Total alkalinity) นั้น เป็นข้อมูลที่บอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) เหลืออยู่เท่าใดในระบบไร้อากาศ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์มีค่าต่ำปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ pH ลดลงได้มากและเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ในทางตรงกันข้ามถ้าระบบมีสภาพด่างสูงพอระบบจะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ pH มากนัก ดังนั้นระดับสภาพด่างจึงเป็นอีกพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสมดุลของระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าตลอดการทดลองระดับสภาพด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 1,000 – 2,000 mg/L ในรูปคาร์บอเนต ดังแสดงในภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศนี้มีประสิทธิภาพการรักษาสภาพเป็นกลางได้ดี ทำให้ไม่ส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบ ทั้งนี้ pH ที่เหมาะสมสำหรับเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 6.6 - 7.8 (มันสิน, 2542) ส่วนค่าความเป็นด่างทั้งหมดที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1,000-5,000 mg/L ในรูปคาร์บอเนต (เกรียงศักดิ์, 2539)



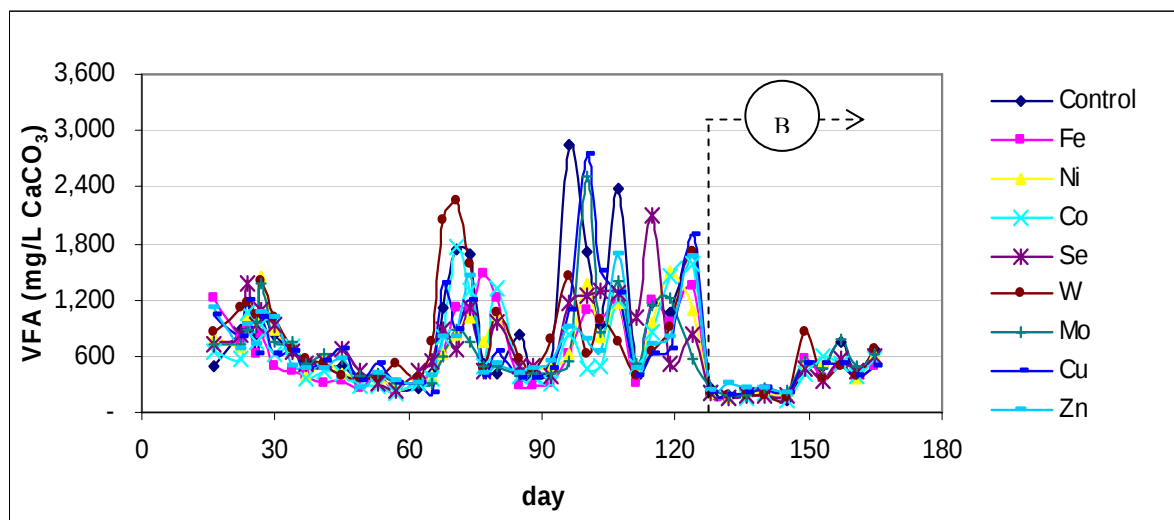
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่า Alkalinity ในระหว่างกระบวนการไฮโดรไลซิสมูลสุกร

4.5 การกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid ; VFA)

ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย อาจถือเป็นสัญญาณที่แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศทำงานได้ดี (มันสัน, 2542) ซึ่งโดยปกติจะมีความเข้มข้นประมาณ 200 – 400 mg/L อย่างไรก็ตามปริมาณของกรดไม่สำคัญเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรด ระบบอาจทำงานได้ดีแม้จะมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์สูงมากก็ตาม แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ก็เป็นสัญญาณให้เห็นถึงการเสียสมดุลที่เกิดขึ้น การเพิ่มอย่างรวดเร็วและทันที่ของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์แสดงว่า มีบางอย่างเกิดขึ้นทำให้เกิดการชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สร้างมีเทนหรือทำให้การเติบโตของจุลินทรีย์สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

จากการทดลอง VFA ที่เข้าสู่ทุกๆ ระบบ มีค่าประมาณ 725 mg/L COD ในช่วง 60 วันแรกค่า VFA ของน้ำที่ออกจากทุกๆ ถึงปฏิกรณ์มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับค่า SCOD จากนั้นค่าเริ่มมีความแปรปรวนมากขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเกิดจากความผิดพลาดของการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นั้นไม่ผ่านการกรองก่อนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไตเตรท แต่เมื่อพิจารณาช่วงสภาวะคงตัว (ตั้งแต่วันที่ 120 ของการทดลองเป็นต้นไป) และเริ่มเปลี่ยนสูตรอาหารได้ทำการปรับวิธีการวิเคราะห์มาเป็นทำการกรองน้ำตัวอย่างก่อนทำการไตเตรท ทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 4.5 โซน B ผลการทดลองพบว่าค่า VFA ของทุกถึงปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300-500 mg/L COD ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแร่ธาตุเสริมรองทุกชนิดที่เติมให้กับระบบนั้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนทำงานได้ดีขึ้น ในระบบจึงมีค่า VFA ลดลง

หนึ่งฤทัย (2546) รายงานว่าการเพิ่มธาตุอาหารรองสูตรดัดแปลงของ Speece (1996) คือการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารรองทุกชนิดได้แก่ $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ KI $(\text{NaPO}_3)_6$ $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ NH_4VO_3 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ZnCl_2 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ H_3BO_3 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ Na_2SeO_3 ให้มากขึ้นเป็น 10 เท่านี้ทำให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศของหมักไก่และไส้ไก่จากโรงงานชำแหละไก่มีการสะสมของของ VFA น้อยกว่าถึงปฏิกรณ์ที่เติมธาตุอาหารสูตรของ Speece (1996) โดยมีปริมาณ VFA เฉลี่ย 300 – 367 mg/L COD กับ 1,792 - 3,034 mg/L COD ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารรองที่เพิ่มลงไปมีผลทำให้การสร้างและการใช้ VFA เกิดขึ้นอย่างสมดุลกัน



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระหว่างกระบวนการไฮโดรไลซิสมูลสุกร

เนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายนี้เป็นตัวชี้เสถียรภาพของระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยปกติถ้าปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนจะสมดุลกับการสร้างกรดอินทรีย์ แต่ถ้าไม่สมดุลกันอาจเกิดภาวะการสร้างกรดอินทรีย์มากเกินไปทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ ส่งผลให้ค่า pH ของระบบต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบได้ Palmisano และ Barlaz (1971) รายงานว่าในสถานะที่ระบบรับภาระสารอินทรีย์สูง เมื่อความเข้มข้นของ VFA สูงเกินไปจะมีผลในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogens) โดยยับยั้งการกำจัดไฮโดรเจนและ VFA ที่ผลิตขึ้นได้ไม่ทันกับ VFA ที่จุลินทรีย์สร้างกรด (Acidogens) ผลิตออกมา ทำให้เกิดการสะสมทำให้ค่า pH ของระบบลดลง และยังส่งผลต่อเนื่องในการยับยั้งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) อีกด้วย นอกจากนี้ Banks และ Wang (1999) รายงานว่า การสะสมของ VFA ในระบบนั้นอาจจะส่งเสริมให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทของแข็งลดลง

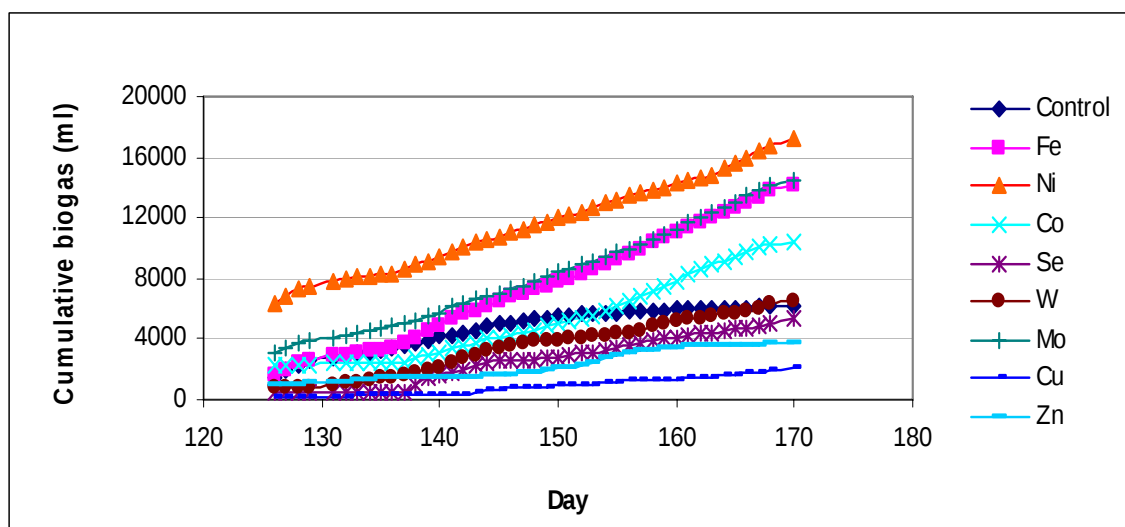
จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบของทุกถังปฏิกรณ์นั้นสามารถกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้ดี ทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และมีการสร้างและใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายอย่างสมดุลกัน นอกจากนี้เมื่อนำตัวอย่างน้ำออกจากระบบมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย พบว่า ไม่มีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายตัวใดเลย ซึ่งเป็นไปได้ว่าเนื่องจากในน้ำออกมีกรดอินทรีย์ในปริมาณน้อยมากเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas chromatography จึงไม่สามารถตรวจพบได้ แสดงว่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกนำไปใช้ได้เกือบทั้งหมด จึงทำให้ในน้ำออกของทุกถังปฏิกรณ์มีปริมาณน้อยมาก

4.6 การเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน

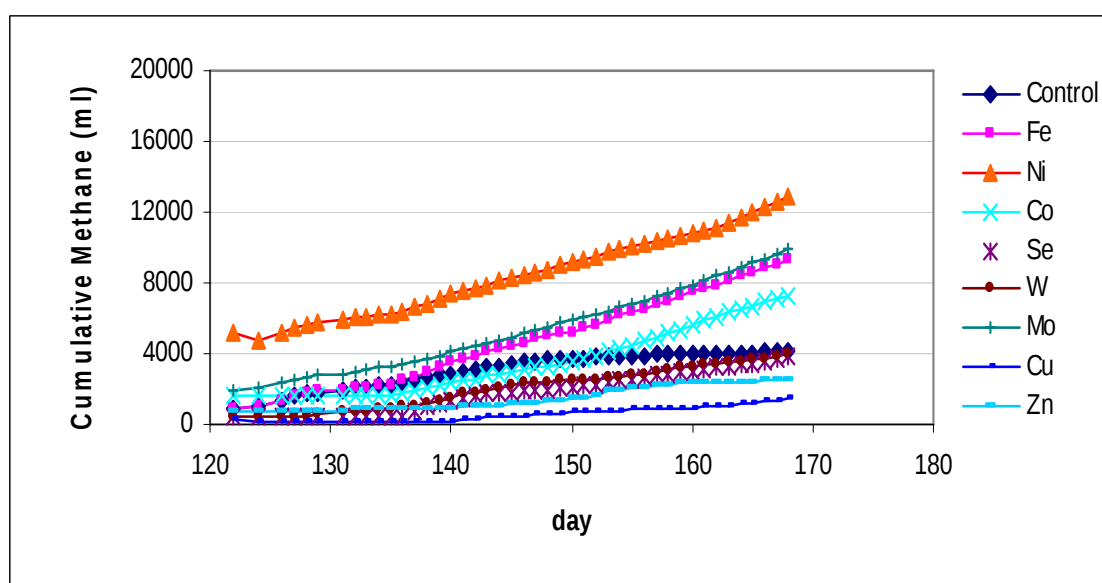
อัตราการสร้างมีเทนเป็นเครื่องวัดโดยตรงของ Metabolic activity ของจุลินทรีย์สร้างมีเทนและถือว่าเป็นเครื่องชี้วัดประสิทธิภาพของระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศที่มีความสำคัญมาก การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนมีความสำคัญกว่าปริมาณการผลิตมีเทน เพราะเป็นสัญญาณที่บอกว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นกับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ดังที่กล่าวข้างต้นแล้วว่าอัตราการสลายอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบนั้นมี TCOD เท่ากับ 38,000 mg/L แต่มี SCOD ที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณน้อยเพียงประมาณ 3,456 mg/L เท่านั้น เนื่องจากวัตถุดิบของแข็งเป็นส่วนประกอบมากจึงละลายน้ำได้น้อย ดังนั้นปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจึงเป็นตัวชี้วัดปริมาณของ SCOD ที่เพิ่มจากกระบวนการไฮโดรไลซิสเพราะก๊าซมีเทนเป็นผลสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ทั้งนี้ในช่วง 120 วันแรกของการทดลอง พบว่าทุกถังปฏิกรณ์มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยและไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจเนื่องมาจากในช่วงแรกนี้เชื้อจุลินทรีย์ในระบบยังไม่สามารถปรับตัวให้คุ้นเคยกับสารอินทรีย์ที่ให้กับระบบทำให้จุลินทรีย์ทำกิจกรรมต่างๆ ได้ไม่เต็มที่ส่งผลให้ปฏิกิริการย่อยสลายตลอดจนการสร้างก๊าซมีเทนเกิดได้ไม่ต่อเนื่องทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเกิดไม่ต่อเนื่องเช่นกัน อีกทั้งในช่วงแรกนั้นมีการเติมธาตุอาหารรองสูตรของ Speece (1996) เหมือนกันทั้งหมด ทำให้จุลินทรีย์ได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เท่ากันทำให้มีกิจกรรมต่างๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก และสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ไม่แตกต่างกันมาก

เมื่อพิจารณาที่สภาวะคงตัว เมื่อเติมธาตุอาหารรองที่แตกต่างกันให้กับแต่ละระบบพบว่าเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากธาตุอาหารรองที่เติมให้ระบบนั้นมีผลต่อการกระตุ้นให้จุลินทรีย์เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายและสร้างกรดอินทรีย์ระเหยตลอดจนจุลินทรีย์สร้างมีเทนได้แตกต่างกัน สุดท้ายจึงทำให้มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นแตกต่างกันไปด้วย โดยพบว่าถังปฏิกรณ์ที่เติมธาตุอาหารเหล็ก ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) นิกเกิล ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) โมลิบดีนัม ($\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และโคบอลต์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ที่เพิ่มปริมาณเป็น 10 เท่าของสูตร Speece (1996) มีก๊าซชีวภาพเกิดในปริมาณมากและเกิดอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนถังปฏิกรณ์ที่เติมแร่ธาตุซีลีเนียม (Na_2SeO_3) ทังสเตน ($\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ทองแดง ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสังกะสี (ZnCl_2) เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณที่ต่ำกว่าและเกิดไม่สม่ำเสมอ โดยแนวโน้มของก๊าซชีวภาพที่สะสมในช่วงสภาวะคงตัวจนสิ้นสุดการทดลองแสดงในภาพที่ 4.6 เมื่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์หาร้อยละของก๊าซมีเทนพบว่าในก๊าซชีวภาพนั้นมีก๊าซมีเทนอยู่โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60-70 ซึ่งแต่ละถังปฏิกรณ์ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4.7

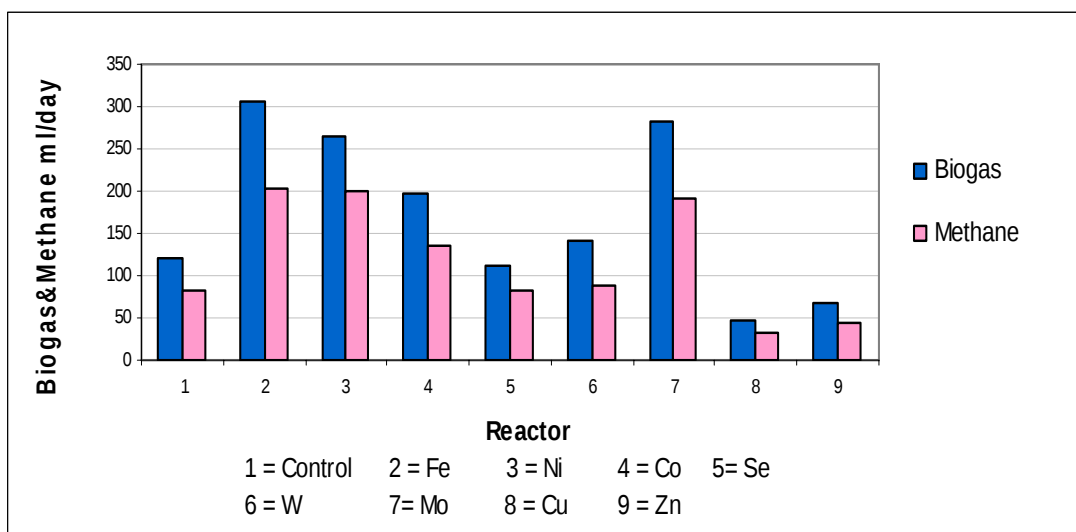


ภาพที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมระหว่างกระบวนการย่อยมูลสุกรที่สภาวะคงตัว



ภาพที่ 4.7 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมระหว่างกระบวนการย่อยมูลสุกรที่สภาวะคงตัว

โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละถังปฏิกรณ์ที่เติมธาตุอาหารเหล็ก ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) นิกเกิล ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) โมลิบดีนัม ($\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และโคบอลต์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ที่เพิ่มปริมาณเป็น 10 เท่าของสูตร Speece (1996) มีปริมาณเฉลี่ย 307 265 281 และ 196 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์ที่เติมธาตุซิลิเนียม (Na_2SeO_3) ทังสเตน ($\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ทองแดง ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสังกะสี (ZnCl_2) เกิดเฉลี่ยประมาณ 113 140 46 และ 67 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4.8 ทั้งนี้พบว่าการเติมธาตุทองแดง ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสังกะสี (ZnCl_2) นั้น มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม



ภาพที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะคงตัวจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าธาตุอาหารรองที่เติมให้กับระบบนั้นมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ทุกกลุ่มในระบบที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Methanogens) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของแร่ธาตุเสริมที่มีผลต่อระบบได้ 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่สามารถกระตุ้นการทำงานของ จุลินทรีย์ในระบบได้มากกว่าธาตุอาหารเสริมรองสูตรของ Speece (1996) ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหาร 4 ชนิดได้แก่ เหล็ก ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) นิกเกิล ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) โมลิบดีนัม ($\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และโคบอลต์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และกลุ่มที่ 2 คือธาตุอาหารที่สามารถกระตุ้นการทำงานของระบบได้น้อยประกอบด้วยธาตุ 4 ชนิด ได้แก่ ซีลีเนียม (Na_2SeO_3) ทังสเตน ($\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ทองแดง ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสังกะสี (ZnCl_2)

กลุ่มที่ 1 นั้นสามารถกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบได้ดี เมื่อพิจารณาธาตุอาหารแต่ละชนิดพบว่าธาตุเหล็กนั้นเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างหลักของเซลล์จุลินทรีย์มากกว่าธาตุชนิดอื่นๆ โดยมีงานวิจัยที่ผ่านมาที่ทำการศึกษาร่วมประกอบโลหะหนักต่างๆ ของสลัดจ์ (Sludge) ที่ย่อยสลายด้วยกระบวนการไร้อากาศ พบว่าธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดอย่างเด่นชัด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากข้อมูลดังกล่าวจึงยืนยันได้ว่าธาตุเหล็กที่เติมให้กับระบบนั้นถูกจุลินทรีย์ในระบบนำไปใช้เป็นอาหารและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต และ Lin และ Lay (2005) รายงานว่าธาตุเหล็กเป็นธาตุที่สำคัญในการส่งเสริมให้ประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 30% อัตราการผลิตไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 66% และกำลังการผลิตไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น 66% (Lin และ Lay, 2005)

นอกจากนี้ Whitman และคณะ (1982) รายงานว่าธาตุเหล็กมีความเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ทำให้เกิดเมตาบอลิซึมและเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนและซัลเฟต ดังนั้น

ธาตุเหล็กที่เติมให้กับระบบจึงมีผลในการส่งเสริมให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น (Whitman และคณะ, 1982)

Gavel และคณะ (1998) ศึกษาพบว่าธาตุникเกิดนั้นเป็นส่วนประกอบสำคัญของ Methyl Coenzyme M F_{420} และ F_{430} โดยโคเอนไซม์และอนุพันธ์ของโคเอนไซม์ชนิดนี้พบในเซลล์ของจุลินทรีย์สร้างมีเทนทุกเซลล์ ในระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1.2 มิลลิกรัมของโคเอนไซม์ต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่านิกเกิดเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ไฮโดรจิเนส (Hydrogenase) และ คาร์บอนมอนอกไซด์ดีไฮโดรจิเนส (CO dehydrogenase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน โดยทำหน้าที่ในขั้นตอนการสร้างก๊าซมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์รีดักชัน ซึ่งทำงานร่วมกับโคเอนไซม์อีก 3 ชนิดคือ เมทาโนฟูแรน เติตระไฮดรอกซีเมทาโนพเทอรีน และโคเอนไซม์ M (Gavel และคณะ, 1998 ; Leigh และคณะ, 1985)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแร่ธาตุของสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

แร่ธาตุ	ปริมาณเฉลี่ย (มก./กก.)
Arsenic	10
Cadmium	10
Chromium	500
Cobalt	30
Copper	800
Iron	17,000
Lead	500
Manganese	260
Molybdenum	4
Nickel	80
Selenium	5
Tin	14
Zinc	1,700

ที่มา : คัดแปลงจาก Whitman และคณะ (1982)

ในส่วนของโมลิบดีนัมและโคบอลต์มักอยู่ในรูปของส่วนประกอบของเอนไซม์เป็นสำคัญ เช่น โคบอลต์อยู่ในเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจงและโคเอนไซม์ต่างๆไป เช่น Carbon monoxide dehydrogenase จะใช้โคบอลต์ในกิจกรรมการสร้างอะซิเตท นอกจากนี้ Speece (1996) ศึกษาพบว่าโคบอลต์มีผลในการส่งเสริมการทำงานของเมทาโนเจนเกี่ยวกับการนำอะซิเตทไปใช้และยังมีส่วนในการสร้าง อะซิเตทของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างสารอะซิเตทด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้โคบอลต์ป้องกันการสร้าง อะซิเตทจากเมทาโนลได้อีกด้วย (Speece, 1996) ส่วนโมลิบดีนัมนั้นช่วยส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Acetoclastic methanogen และยับยั้งการผลิตซัลเฟตและเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่างๆไป เช่น Formate dehydrogenase (FDH^3) แต่โมลิบดีนัมอาจจะไปยับยั้ง Sulfate reducing bacteria ทำให้การเกิดซัลไฟด์เป็นไปได้ยาก (Ronard และคณะ, 1999 ; Percheron และคณะ, 1997)

Percheron และคณะ (1997) ศึกษาพบว่า การเติมแร่ธาตุหลัก นิกเกิลและโคบอลต์ให้กับระบบบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและการสร้างเม็ดตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบ รวมทั้งการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีได้มากกว่า 95% นอกจากนี้ยังพบว่าแร่ธาตุหลักและโคบอลต์ ยังช่วยส่งเสริมให้การกำจัดอะซิเตทของระบบบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำโมลาสส์ได้ดีและช่วยลดปริมาณซัลเฟตในระบบอีกด้วย มีงานวิจัยอีกมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเติมแร่ธาตุหลัก โคบอลต์และนิกเกิล ที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนในระบบบำบัดแบบเป็นกะและแบบต่อเนื่องของน้ำเสียประเภทต่างๆ พบว่าล้วนแต่ให้ผลด้านบวกทั้งสิ้น (Percheron และคณะ, 1997)

นอกจากนี้ Patidar และ Tare (2006) ได้ศึกษาพบว่าแร่ธาตุนิกเกิลและสังกะสี เมื่อใช้แร่ธาตุทั้งสองร่วมกันจะมีผลต่อจุลินทรีย์ในการลดปริมาณซัลไฟด์ได้น้อยกว่าการใช้แร่ธาตุนิกเกิลหรือสังกะสีเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้เกิดจากนิกเกิลมีผลต่อการนำแร่สังกะสีไปใช้ของจุลินทรีย์สร้างมีเทนกลุ่มลดปริมาณซัลเฟต (Sulfate reducing bacteria) นั้นเอง (Patidar และ Tare, 2006)

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยแร่ธาตุ ซิลิเนียม ทองแดงและสังกะสีนั้นพบว่าที่สภาวะคงตัว มีการผลิตก๊าซมีเทนในปริมาณเฉลี่ยต่ำกว่า 100 มิลลิลิตรต่อวัน ซึ่งน้อยกว่าปริมาณก๊าซมีเทนของชุดการทดลองควบคุม คือชุดทดลองที่เติมธาตุอาหารรองครบทุกชนิดในปริมาณที่เท่ากัน จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากเหตุผลต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ แร่ธาตุบางชนิดไม่มีผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตหรือการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่ง Kayhanian และคณะ (1995) ศึกษาพบว่า แม้แร่ธาตุทั้งสแตนจะเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ FDH^3 และช่วยในการเมทาบอลิซึม CO_2 และ H_2 ในลักษณะเดียวกับนิกเกิล และทองแดงเป็นส่วนประกอบของ Super dismutase (SODH) และ Hydrogenase แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงผลการเติม

ทั้งสแตอย่างแน่ชัดอย่างไรและพบว่าการเติมทองแดงไม่ทำให้เกิดผลใดๆอย่างมีนัยสำคัญ (Kayhanian และคณะ, 1995)

หรืออีกสาเหตุหนึ่งคือแร่ธาตุเหล่านี้จะมีเพียงพอแล้วในระบบ จึงทำให้แร่ธาตุที่เพิ่มให้กับระบบไม่ถูกนำไปใช้จึงไม่มีผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตหรือการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มใดในระบบได้ หรืออาจทำให้มีการสะสมของแร่ธาตุนั้นมากเกินไปจนทำให้เกิดสภาวะเป็นพิษเกิดขึ้นในระบบได้ โดยสารพิษที่มีในระบบไม่ได้หมายถึงสารอันตรายโดยตรงเท่านั้น สารบางตัวที่เป็นสารอาหารที่จำเป็นถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะกลายเป็นสารพิษได้ ซึ่งรวมถึงอามอนิเอียมและโลหะหนักต่างๆ หรือแร่ธาตุบางชนิดเมื่อรวมกันแล้วอาจมีผลต่อต้านกันมากกว่าส่งเสริม จึงทำให้ส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบดังกล่าว

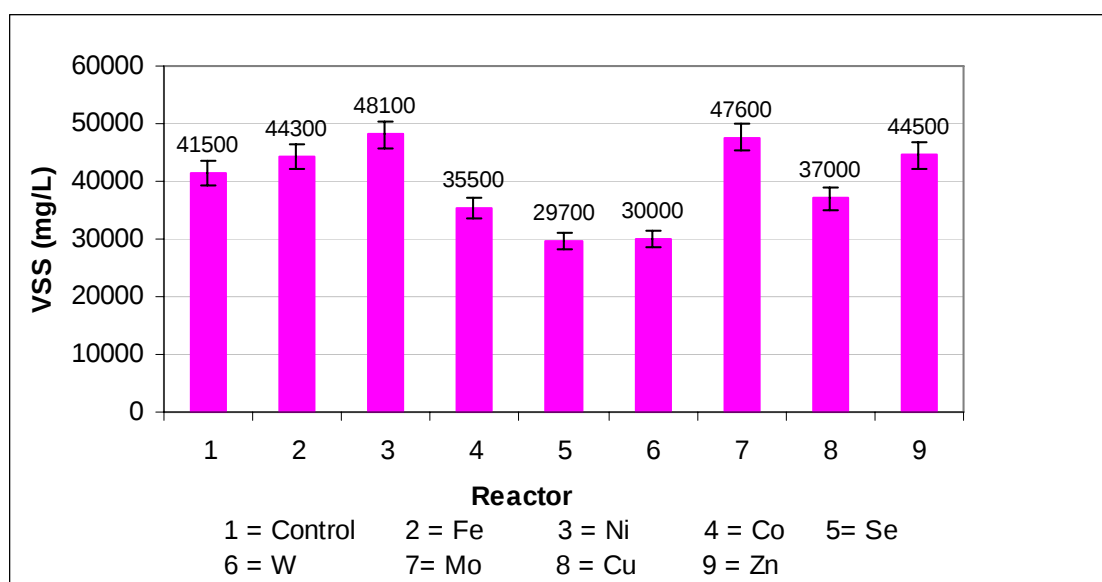
Karri และคณะ (2006) ศึกษาผลของทองแดง (Cu) ที่มีต่อปฏิกิริยาการใช้อะซิเตท (Acetoclastic) และการสร้างไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic) ของจุลินทรีย์สร้างมีเทนและตัวลดซัลเฟตของตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศ พบว่าคอปเปอร์ไอออน (Cu^{2+}) ที่ความเข้มข้น 200 mg/L สามารถยับยั้งการสร้างไฮโดรเจนได้ถึง 27% และการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนส่งผลให้ จุลินทรีย์สร้างมีเทนและปฏิกิริยากำจัดซัลเฟตลดลงอย่างรวดเร็ว โดยคอปเปอร์ไอออนความเข้มข้น 63.5 mg/L สามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งระดับของปฏิกิริยา Hydrogenotrophic Sulfate Reducing ลดลงมากกว่า 99% ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ดังนั้นปฏิกิริยากำจัดซัลเฟตของจุลินทรีย์สร้างมีเทนที่ทำหน้าที่กำจัดซัลเฟตจะสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนเริ่มต้นนั่นเอง

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าแร่ธาตุหลัก นิกเกิล โมลิบดีนัมและโคบอลต์ ช่วยส่งเสริมให้อัตราการไฮโดรไลซิสและการสร้างกรดอินทรีย์ในระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศของวัตถุดิบที่มีของแข็งเป็นส่วนประกอบมาก ทำให้ได้ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดขึ้นได้มาก ส่วนแร่ธาตุ ซิลิเนียม ทั้งสแต ทองแดงและสังกะสี ล้วนแต่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ไร้อากาศ แต่ทั้งสแตและทองแดงนั้นจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่ทราบผลที่ชัดเจนว่ามีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ไร้อากาศ (Kayhanian และคณะ, 1995)

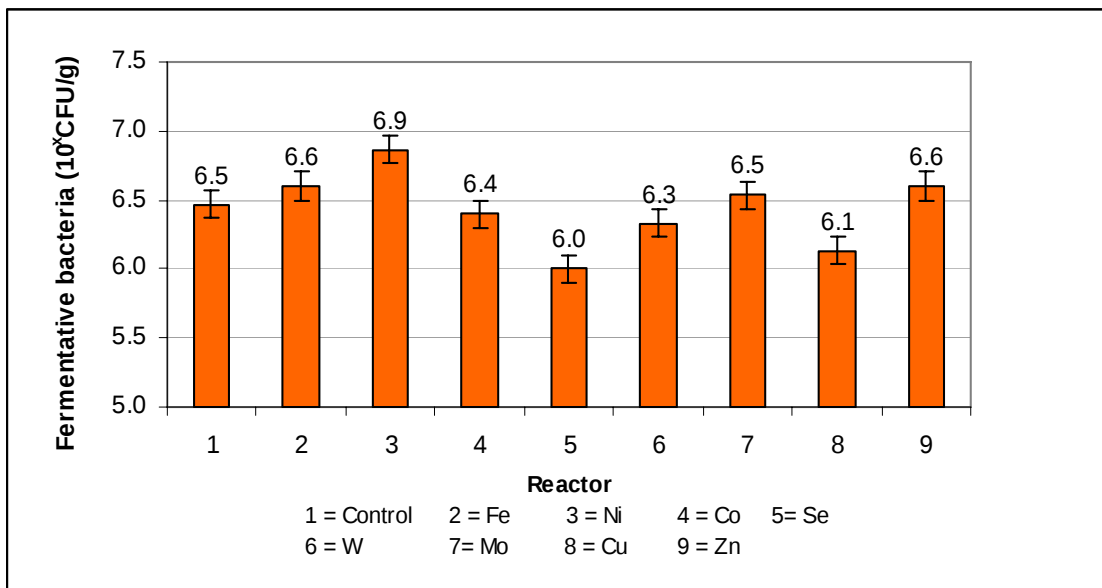
4.7 ปริมาณและคุณภาพของจุลินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์โดยวัดจากค่าของแ่งระเหยง่าย (VSS) และการนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) พบว่าทุกถังปฏิกรณ์นั้นมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และ 4.10 โดยถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณจุลินทรีย์ (Fermentative bacteria) เฉลี่ยสูงที่สุดคือถังปฏิกรณ์ที่ 3 ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 2 กับ 9 นั้นมีปริมาณเฉลี่ยของจุลินทรีย์เท่ากัน ทั้งนี้นอกจากการเจริญที่แตกต่างกันในแต่ละถังปฏิกรณ์แล้วนี้

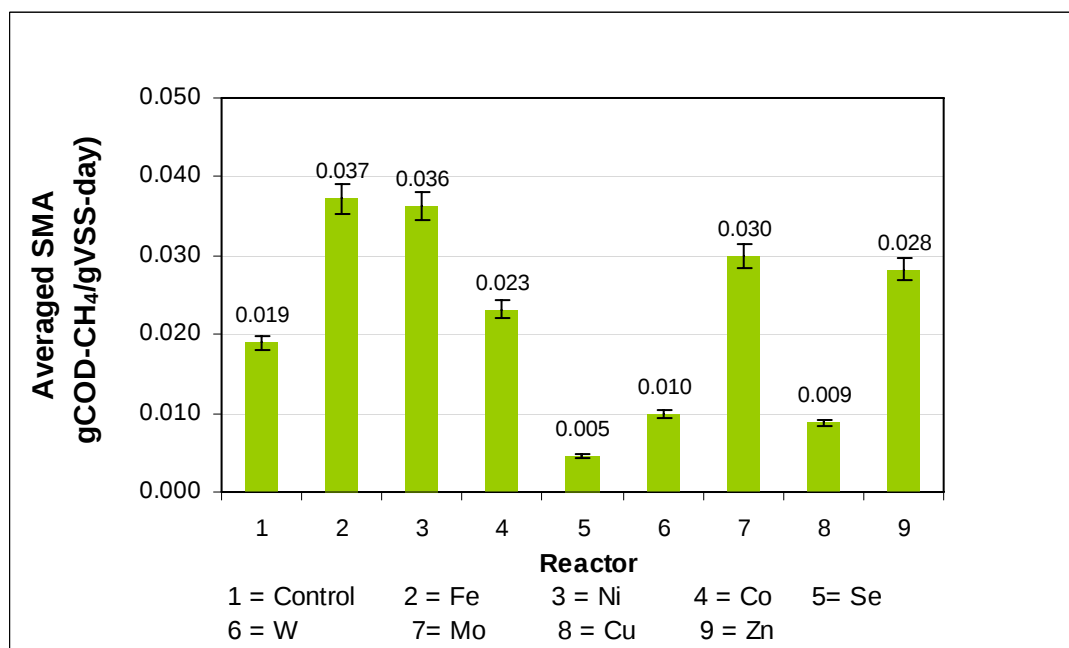
อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์มีการหลุดออกมาพร้อมกับน้ำที่ดึงออกจากระบบ เพราะไม่มีการหยุดระบบการกวนทำให้จุลินทรีย์หลุดออกมามากน้อยต่างกันบ้าง ในส่วนของคุณภาพจุลินทรีย์นั้นวัดโดยการคำนวณหาความสามารถจำเพาะของการสร้างมีเทนของแบคทีเรีย (Specific Methanogenic Activity; SMA) พบว่าจุลินทรีย์ของแต่ละถังปฏิกรณ์นั้นสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4.11 พบว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 3 7 และ 9 ซึ่งเติมแร่ธาตุแร่ธาตุหลัก นิกเกิล โมลิบดีนัมและสังกะสี ตามลำดับนั้นจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้ใกล้เคียงกัน ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 6 ซึ่งเติมแร่ธาตุ ซีลีเนียมนั้นจุลินทรีย์สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้น้อยที่สุด ประมาณ $0.0046 \text{ gCOD-CH}_4/\text{gVSS-day}$ แม้ว่าจะมีค่า VSS ใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์อื่นๆ ดังนั้นคุณภาพของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจึงเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบได้ โดยมีคุณภาพของจุลินทรีย์เป็นผลมาจากแร่ธาตุเสริมที่เติมให้ระบบนั่นเอง



ภาพที่ 4.9 ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VSS) ในถังปฏิกรณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะคงตัวจนถึงสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 4.10 ปริมาณ Fermentative bacteria ในทุกๆถังปฏิกรณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะคงตัวจนสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน (SMA) ของแต่ละถังปฏิกรณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะคงตัวจนสิ้นสุดการทดลอง