บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ครั้งนี้ ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ และการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทีเคเอ็น (total kjeldahl nitrogen : TKN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus : TP) ต่างกัน 3 ระดับ คือ ความเข้มข้นปกติ (normal wastewater : NW) ความเข้มข้น 5 เท่า (5 NW) และ 25 เท่าของความเข้มข้นปกติ (25 NW) โดยให้น้ำเสียดังกล่าวแก่ชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุม (control) ใช้น้ำจืด การทดลองมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน และปล่อยให้แห้ง 3 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง

ระยะที่ 2 ศึกษาผลของการชะระบบที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียในระยะที่ 1 แล้วด้วยน้ำจืดเปรียบเทียบกับน้ำทะเล โดยแบ่งชุดทดลองจากระยะที่ 1 เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ชะระบบด้วยน้ำจืด (freshwater : FW) และกลุ่มที่ 2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล (seawater : SW) แต่ละกลุ่มแบ่งเป็นชุดทดลองย่อย คือ กลุ่ม FW ประกอบด้วย ชุดทดลอง NW-FW, 5 NW-FW, 25 NW-FW และ control-FW ส่วนกลุ่ม SW ประกอบด้วย ชุดทดลอง NW-SW, 5 NW-SW, 25 NW-SW และ control-SW โดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 7 วัน และปล่อยให้แห้ง 3 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง

การทดลองทั้ง 2 ระยะ ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำ สมบัติของดิน การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของพืช โดยสรุปได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ

4.1.1 คุณภาพน้ำเสียสังเคราะห์ในระยะที่ 1

คุณภาพน้ำเสียสังเคราะห์ NW, 5 NW, 25 NW และน้ำจืด (control) ที่ให้แก่ชุดทดลอง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-1 คือ น้ำเสีย NW, 5 NW และ 25 NW มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 20.02, 94.67 และ 514.17 mg l^{-1} ตามลำดับ ทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 14.987, 69.756 และ 331.533 mg l^{-1} ตามลำดับ แอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.000, 0.735 และ 1.862 mg l^{-1} ตามลำดับ ไนเตรทเฉลี่ยเท่ากับ 0.172, 0.221 และ 0.296 mg l^{-1} ตามลำดับ ซึ่งพบว่าน้ำเสียมีค่าแอมโมเนียและไนเตรทต่ำ ขณะที่ทีเคเอ็นมีค่าสูง อาจเนื่องมาจากการเตรียมน้ำเสียใช้ยูเรีย (NH_2CONH_2) ซึ่งเป็นไนโตรเจนอินทรีย์ เป็นแหล่งไนโตรเจนในน้ำเสีย สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสีย NW, 5 NW และ 25 NW มีค่าเท่ากับ 4.271, 37.377 และ 128.959 mg l^{-1} ตามลำดับ และค่าออร์โธฟอสเฟต 3.865, 33.931 และ 117.178 mg l^{-1} ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (one-way analysis of variance : one-way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าบีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ให้แก่ชุดทดลองกับปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการสังเคราะห์ พบว่าน้ำเสียมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการสังเคราะห์ (ตารางที่ 4-1) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นกับน้ำเสียชุมชนทั่วไป พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์มีแอมโมเนียต่ำ ขณะที่น้ำเสียทั่วไปมีแอมโมเนียสูงถึงร้อยละ 60 ของไนโตรเจนทั้งหมด (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21662740

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียสังเคราะห์ 3 ระดับความเข้มข้น และน้ำจืด ในระยะที่ 1

พารามิเตอร์	NW	5 NW	25 NW	น้ำจืด (control)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	9.79 ± 0.15^{d}	9.17 ± 0.37^{c}	6.92 ± 0.22^{a}	7.14 ± 0.25^{b}
ความเค็ม (salinity) (psu)	0.20 ± 0.00^{b}	0.20 ± 0.00^{b}	0.38 ± 0.07^{c}	0.10 ± 0.00^{a}
การนำไฟฟ้า (conductivity) (mS cm^{-1})	0.37 ± 0.03^{b}	0.39 ± 0.03^{b}	0.69 ± 0.13^{c}	0.30 ± 0.02^{a}
ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) (mg l^{-1})	6.47 ± 0.40^{b}	5.79 ± 0.57^{a}	5.64 ± 0.52^{a}	6.45 ± 0.25^{b}
บีโอดี (BOD) (mg l^{-1})	20.02 ± 4.92^{b}	94.67 ± 10.05^{c}	514.17 ± 88.51^{d}	0.56 ± 0.40^{a}
ทีเคเอ็น (TKN) (mg l^{-1})	14.987 ± 1.447^{a}	69.756 ± 6.670^{b}	331.533 ± 77.154^{c}	0.622 ± 0.663^{a}
แอมโมเนีย (ammonia) (mg l^{-1})	0.000 ± 0.000	0.735 ± 1.077^{a}	1.862 ± 1.848^{b}	0.000 ± 0.000
ไนเตรท (nitrate) (mg l^{-1})	0.172 ± 0.142^{ab}	0.221 ± 0.201^{ab}	0.296 ± 0.383^{b}	0.005 ± 0.008^{a}
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg l^{-1})	4.271 ± 1.525^{b}	37.377 ± 11.947^{c}	128.959 ± 1.469^{d}	0.018 ± 0.023^{a}
ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) (mg l^{-1})	3.865 ± 1.367^{b}	33.931 ± 0.920^{c}	117.178 ± 0.610^{d}	0.017 ± 0.021^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 9 ซ้ำ

อักษรมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างระดับความเข้มข้น

NW = น้ำเสียความเข้มข้นปกติ (normal wastewater : NW, TKN = 15 mg l^{-1}, TP = 5 mg l^{-1})

5 NW = น้ำเสียความเข้มข้น 5 เท่าของความเข้มข้นปกติ (TKN = 75 mg l^{-1}, TP = 25 mg l^{-1})

25 NW = น้ำเสียความเข้มข้น 25 เท่าของความเข้มข้นปกติ (TKN = 375 mg l^{-1}, TP = 125 mg l^{-1})

4.1.2 คุณภาพน้ำจืดและน้ำทะเลที่ใช้ชะระบบ ในระยะที่ 2

คุณภาพน้ำจืด (FW) และน้ำทะเล (SW) ที่ใช้ชะระบบ (ตารางที่ 4-2) มีค่าเฉลี่ยความเค็มเท่ากับ 0.10 และ 15.00 psu ตามลำดับ บีโอดี 0.07 และ 0.12 mg l^{-1} ตามลำดับ ทีเคเอ็น 0.817 และ 1.112 mg l^{-1} ตามลำดับ และฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.019 และ 0.039 mg l^{-1} ตามลำดับ

คุณภาพของน้ำจืดและน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองทั้ง 9 ครั้ง มีคุณภาพใกล้เคียงกันทุกครั้ง ยกเว้นค่าทีเคเอ็นที่มีค่าค่อนข้างแปรผัน และเมื่อทดสอบสถิติเปรียบเทียบคุณภาพน้ำชะระบบทั้ง 2 ประเภท ด้วย one-way ANOVA พบว่าน้ำทะเลมีความเค็ม บีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าน้ำจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจืดและน้ำทะเลที่ใช้ชะระบบ ในระยะที่ 2

พารามิเตอร์	น้ำจืด (FW)	น้ำทะเล (SW)
ความเป็นกรด-ด่าง	7.34 ± 0.21	7.38 ± 0.15
ความเค็ม (psu)	0.10 ± 0.00^{a}	15.00 ± 0.00^{b}
การนำไฟฟ้า (ms cm^{-1})	0.27 ± 0.01^{a}	24.98 ± 0.46^{b}
ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg l^{-1})	6.56 ± 0.43	6.69 ± 0.34
บีโอดี (mg l^{-1})	0.07 ± 0.04^{a}	0.12 ± 0.04^{b}
ทีเคเอ็น (mg l^{-1})	0.817 ± 0.548^{a}	1.112 ± 0.795^{b}
แอมโมเนีย (mg l^{-1})	0.020 ± 0.070	0.000 ± 0.000
ไนเตรท (mg l^{-1})	0.393 ± 0.045^{a}	0.517 ± 0.060^{b}
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg l^{-1})	0.019 ± 0.013^{a}	0.039 ± 0.015^{b}
ออร์โธฟอสเฟต (mg l^{-1})	0.017 ± 0.011^{a}	0.036 ± 0.014^{b}

หมายเหตุ ค่าแฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 9 ซ้ำ
อักษรมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างน้ำจืด และน้ำทะเล

4.1.3 คุณภาพน้ำเข้า น้ำออก และเปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลอง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเข้า น้ำออก ของการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1 สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

1) ระยะที่ 1

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-3) มีค่าค่อนข้างแปรผันระหว่างความเข้มข้น เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมน้ำเสียต่างกัน โดยน้ำเสีย NW และ 5 NW มีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างสูง คือ 9.79 และ 9.17 ตามลำดับ เพราะการเตรียมน้ำเสียมีการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($CaOH_2$) ซึ่งสามารถละลายน้ำและแตกตัวให้อนุมูลอิสระของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทำให้น้ำเสียมีสภาพเป็นด่าง เมื่อทดลองให้น้ำเสียแก่ชุดทดลอง พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ออกจากชุดทดลองมีค่าต่ำลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย อาทิ การเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไอออนให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะมีไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา เมื่อ H^+ ละลายน้ำจะทำให้น้ำมีความเป็นกรด-ด่างต่ำลง (Tam and Wong, 1995; Mitsch and Gosselink, 2000)

สำหรับค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย 25 NW มีค่าค่อนข้างต่ำ (6.92) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เพื่อทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อสารดังกล่าวละลายน้ำ จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระของไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) (สมการที่ 4-1 ถึง 4-3) ทำให้น้ำเสียมีสภาพเป็นกรด-ด่างต่ำลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้าและน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	9.96	8.13 ± 0.28	7.52	7.92 ± 0.32^{ab}	7.52	7.79 ± 0.08^{b}
	5 NW	9.46	8.20 ± 0.12	7.52	7.67 ± 0.14^{abv}	7.52	7.25 ± 0.04^{an}
	25 NW	7.22	8.00 ± 0.08	7.52	7.58 ± 0.06^{bv}	7.52	7.27 ± 0.06^{an}
	control	7.67	8.13 ± 0.30	7.52	7.85 ± 0.42^{b}	7.52	7.65 ± 0.13^{b}
2	NW	9.93	7.96 ± 0.28	7.12	7.82 ± 0.11^{abn}	7.18	7.90 ± 0.10^{cv}
	5 NW	9.27	7.89 ± 0.07	7.12	7.61 ± 0.09^{ab}	7.18	7.64 ± 0.02^{b}
	25 NW	6.88	7.69 ± 0.15	7.12	7.43 ± 0.04^{a}	7.18	7.34 ± 0.04^{a}
	control	7.21	7.96 ± 0.20	7.12	8.11 ± 0.38^{b}	7.18	7.83 ± 0.19^{bc}
3	NW	9.77	7.88 ± 0.12	7.27	7.72 ± 0.12^{b}	7.24	7.71 ± 0.10^{b}
	5 NW	9.32	7.83 ± 0.05	7.27	7.58 ± 0.07^{ab}	7.24	7.56 ± 0.21^{ab}
	25 NW	6.92	7.79 ± 0.16	7.27	7.46 ± 0.05^{av}	7.24	7.37 ± 0.02^{an}
	control	7.02	7.94 ± 0.03	7.27	8.23 ± 0.20^{cv}	7.24	7.68 ± 0.14^{bn}
4	NW	9.68	7.92 ± 0.16^{b}	7.78	7.71 ± 0.26	7.46	7.59 ± 0.12^{b}
	5 NW	9.27	7.86 ± 0.04^{ab}	7.78	7.40 ± 0.13	7.46	7.43 ± 0.18^{ab}
	25 NW	7.16	7.74 ± 0.14^{b}	7.78	7.29 ± 0.16	7.46	7.28 ± 0.08^{a}
	control	7.01	7.95 ± 0.11^{b}	7.78	7.71 ± 0.30	7.46	7.57 ± 0.15^{b}
5	NW	9.56	8.00 ± 0.20	7.11	7.90 ± 0.27^{ab}	7.23	$7.85 \pm .0.25^{b}$
	5 NW	9.48	7.94 ± 0.05	7.11	7.72 ± 0.10^{av}	7.23	7.46 ± 0.18^{an}
	25 NW	7.05	7.82 ± 0.14	7.11	7.57 ± 0.02^{av}	7.23	7.37 ± 0.09^{an}
	control	6.97	8.01 ± 0.13	7.11	8.21 ± 0.28^{b}	7.23	7.96 ± 0.15^{b}
6	NW	9.93	8.13 ± 0.35	7.24	7.87 ± 0.20^{bc}	7.35	7.71 ± 0.33
	5 NW	9.34	8.05 ± 0.13	7.24	7.64 ± 0.11^{bv}	7.35	7.44 ± 0.07^{n}
	25 NW	7.02	7.86 ± 0.17	7.24	7.30 ± 0.15^{a}	7.35	7.44 ± 0.31
	control	7.30	8.07 ± 0.23	7.24	8.22 ± 0.26^{cv}	7.35	7.74 ± 0.07^{n}

ตารางที่ 4-3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้าและน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	9.82	8.15 ± 0.24^{b}	7.39	8.02 ± 0.25	7.43	7.79 ± 0.27
	5 NW	9.06	7.88 ± 0.11^{a}	7.39	7.93 ± 0.10^{y}	7.43	7.67 ± 0.06^{n}
	25 NW	6.72	7.64 ± 0.13^{a}	7.39	7.70 ± 0.04	7.43	7.55 ± 0.21
	control	7.21	7.89 ± 0.31^{a}	7.39	7.94 ± 0.21	7.43	7.91 ± 0.12
8	NW	9.57	7.86 ± 0.32	7.47	8.01 ± 0.32^{ab}	7.67	7.75 ± 0.25^{b}
	5 NW	8.21	7.72 ± 0.15	7.47	7.79 ± 0.09^{aby}	7.67	7.42 ± 0.08^{an}
	25 NW	6.46	7.75 ± 0.08	7.47	7.62 ± 0.05^{a}	7.67	7.50 ± 0.14^{ab}
	control	6.79	7.80 ± 0.22	7.47	8.15 ± 0.27^{b}	7.67	7.76 ± 0.15^{b}
9	NW	9.86	8.05 ± 0.23	7.19	7.95 ± 0.21^{ab}	7.44	7.82 ± 0.07^{b}
	5 NW	9.12	7.93 ± 0.08	7.19	7.88 ± 0.05^{aby}	7.44	7.44 ± 0.14^{an}
	25 NW	6.88	7.96 ± 0.04	7.19	7.63 ± 0.10^{a}	7.44	7.57 ± 0.25^{ab}
	control	7.08	8.01 ± 0.14	7.19	8.03 ± 0.23^{b}	7.44	7.85 ± 0.15^{b}
เฉลี่ย	NW	$^{**}9.79 \pm 0.15^{d}$	$^{*}8.01 \pm 0.26^{c}$	$^{*}7.34 \pm 0.21$	$^{**}7.88 \pm 0.23^{cy}$	$^{*}7.38 \pm 0.15$	$^{**}7.77 \pm 0.19^{bn}$
	5 NW	$^{**}9.17 \pm 0.37^{c}$	$^{*}7.92 \pm 0.16^{b}$	$^{*}7.34 \pm 0.21$	$^{**}7.76 \pm 0.18^{by}$	7.38 ± 0.15	7.48 ± 0.16^{an}
	25 NW	$^{*}6.92 \pm 0.22^{a}$	$^{**}7.80 \pm 0.16^{a}$	$^{*}7.34 \pm 0.21$	$^{**}7.53 \pm 0.15^{ay}$	7.38 ± 0.15	7.41 ± 0.17^{an}
	control	$^{*}7.14 \pm 0.25^{b}$	$^{**}7.97 \pm 0.21^{bc}$	$^{*}7.34 \pm 0.21$	$^{**}8.05 \pm 0.30^{dy}$	$^{*}7.38 \pm 0.15$	$^{**}7.77 \pm 0.17^{bn}$

หมายเหตุ NW, 5 NW, 25 NW และ control คือ ชุดทดลองที่ให้น้ำเสียความเข้มข้นปกติ (normal wastewater : NW), น้ำเสีย 5 NW, น้ำเสีย 25 NW และน้ำจืด ตามลำดับ

FW และ SW คือ กลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืด และน้ำทะเล ตามลำดับ

น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

$$KH_2PO_4 \longrightarrow K^+ + H_2PO_4^- \quad (4\text{-}1)$$

$$H_2PO_4^- + H_2O \longrightarrow HPO_4^{2-} + H_3O^+ \quad (4\text{-}2)$$

$$HPO_4^{2-} + H_2O \longrightarrow PO_4^{3-} + H_3O^+ \quad (4\text{-}3)$$

เมื่อให้น้ำเสียแก่ชุดทดลอง พบว่า น้ำที่ออกจากชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าน้ำเข้า เนื่องจากชุดทดลองได้รับน้ำเสียที่มียูเรียความเข้มข้นสูง เมื่อยูเรียเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะมี OH^- เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา ดังสมการที่ 4-4 และ 4-5 (Mitsch and Gosselink, 2000) เมื่อ OH^- ละลายน้ำจะทำให้น้ำมีความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น

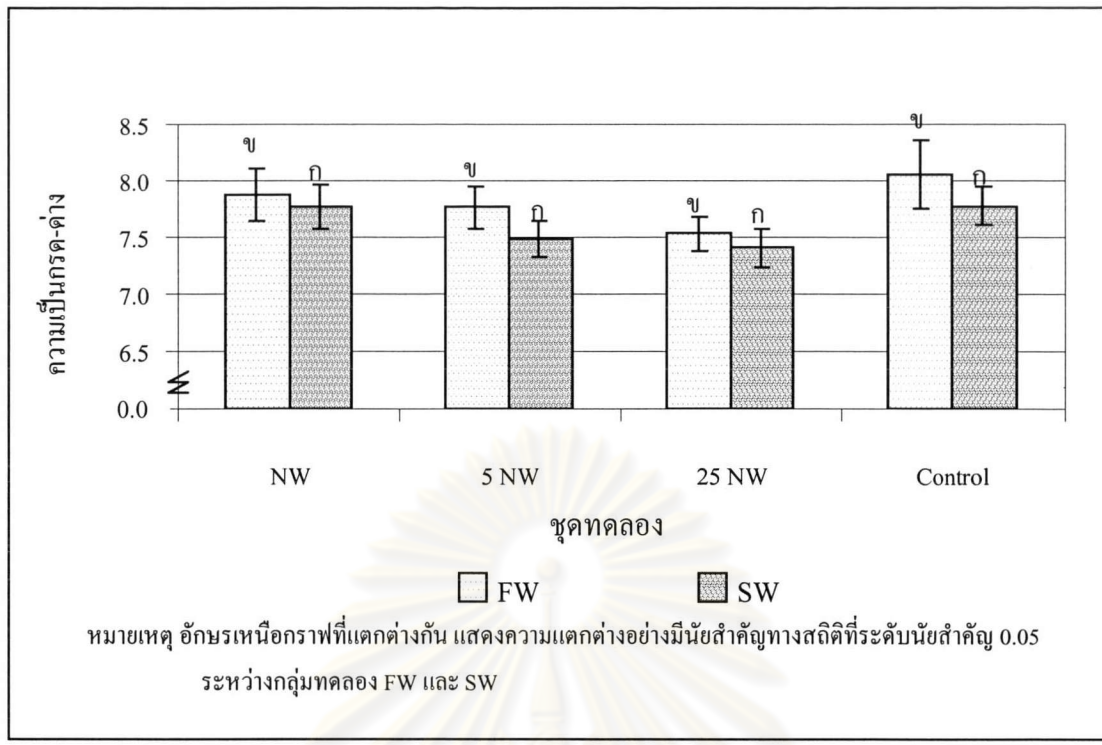
$$NH_2CONH_2 + H_2O \longrightarrow 2NH_3 + CO_2 \quad (4\text{-}4)$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ + OH^- \quad (4\text{-}5)$$

นอกจากนี้ การหายใจของจุลชีพและสาหร่ายในชุดทดลอง ยังมีส่วนทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นได้ด้วย เพราะการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ มีผลให้สมดุลคาร์บอเนตของน้ำเปลี่ยนไปและทำให้ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของชุดทดลอง control คือ เมื่อให้น้ำจืดแก่ชุดทดลอง พบว่า น้ำออกจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าน้ำเข้า

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.34 และ 7.38 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-3) ซึ่งเมื่อให้น้ำชะระบบแล้ว พบว่า ความเป็นกรด-ด่างในน้ำออกของทุกชุดทดลองมีค่าสูงกว่าน้ำเข้า และน้ำออกของชุดที่ชะด้วยน้ำจืดจะมีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าชุดที่ชะด้วยน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูปที่ 4-1) อาจเป็นเพราะจุลชีพในชุดทดลองที่ได้รับน้ำจืด สามารถเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนได้ดีกว่าในน้ำทะเล (Tam, 1998) จึงทำให้มีอัตราการหายใจ และปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า ซึ่งส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าสูงกว่าด้วย



รูปที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำออก ในระยะที่ 2

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับในระยะที่ 1 พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ออกจากชุดทดลองมีค่าแปรผกผันตามความเข้มข้น โดยน้ำออกของชุดทดลอง 25 NW มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด อาจเป็นผลจากชุดทดลองได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่สุดจึงทำให้มีไนโตรเจนสะสมในดินสูง เมื่อเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น H^+ จึงปลดปล่อยออกมามาก ความเป็นกรด-ด่างของน้ำจึงมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW และ 5 NW ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำออกของชุดทดลองต่าง ๆ จะพบว่าชุด control ที่ชะระบบด้วยน้ำจืด มีความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด (8.05) เนื่องจากในชุดทดลองมีสาหร่ายบริเวณผิวหน้าดินเป็นจำนวนมาก ทำให้มีอัตราสังเคราะห์แสง และอัตราการหายใจจึงสูง (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลของการสะสมมลสารจากระยะที่ 1 และการชะระบบด้วยน้ำต่างประเภทกันมีผลให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำออกมีค่าแตกต่างกัน

โดยสรุป ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำออกของชุดทดลองต่าง ๆ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ มีค่าเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งถ้านำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ความเป็นกรด-ด่างของน้ำไม่มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เพราะค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำซึ่งกรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ในช่วง 5-9 (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2530) แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าสูงกว่า 8 และมีธาตุอาหารปริมาณสูง อาจมีแนวโน้มทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งรองรับน้ำทิ้งได้ (Mitsch and Gosselink, 2000)

4.1.3.2 ความเค็ม (salinity)

1) ระยะที่ 1

ความเค็มของน้ำที่ให้แก่ชุดทดลองมีค่าต่ำ คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.38 psu (ตารางที่ 4-4) เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลองพบว่าน้ำออกของทุกชุดทดลองมีความเค็มสูงขึ้นเป็น 6.51-8.17 psu ทั้งนี้เพราะก่อนการทดลองใช้น้ำทะเลในการเลี้ยงกล้าไม้เป็นเวลา 5 เดือน ดินเลนจึงมีเกลือสะสมอยู่ และเมื่อได้รับน้ำซึ่งมีความเค็มต่ำจึงทำให้เกลือละลายออกมากับน้ำออก โดยพบว่าน้ำออกครั้งแรกมีค่าความเค็มสูงที่สุดในทุกชุดทดลอง มีค่าในช่วง 14.27-17.95 psu และความเค็มมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ มีค่าอยู่ในช่วง 3.20-4.40 psu ในการปล่อยน้ำออกครั้งสุดท้ายของการทดลอง

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเลที่ใช้ชะระบบ มีค่าเฉลี่ยความเค็มเท่ากับ 0.10 และ 15 psu ตามลำดับ (ตารางที่ 4-4) ซึ่งเมื่อทำการชะระบบแล้ว พบว่า น้ำออกของกลุ่มทดลองที่ชะด้วยน้ำจืดมีความเค็มสูงกว่าน้ำเข้า โดยที่ความเค็มของน้ำออกในการชะระบบครั้งแรกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.93-9.23 psu และเมื่อชะระบบต่อไป พบว่า ความเค็มมีแนวโน้มลดลงตามครั้งที่ทำการทดลอง โดยครั้งที่ 9 ความเค็มมีค่าอยู่ในช่วง 1.52-2.73 psu ทั้งนี้เพราะน้ำจืดละลายเกลือที่สะสมอยู่ออกไปด้วย ในทางตรงกันข้าม การชะด้วยน้ำทะเล ทำให้น้ำออกมีค่าความเค็มสูงกว่าน้ำเข้าซึ่งอาจเกิดจากการระเหยของน้ำ หรือการดูดดึงน้ำไปใช้ของกล้าไม้ทำให้ความเค็มของน้ำทะเลมีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่าเฉลี่ยความเค็มจะมีค่าใกล้เคียงกันในทุกครั้งของการทดลอง โดยมีค่าระหว่าง 19.50-28.27 psu จากผลการทดลองจะเห็นว่า การให้น้ำจืดและน้ำทะเลชะระบบมีผลให้น้ำออกจากชุดทดลองมีความเค็มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

โดยสรุป ความเค็มของน้ำที่ออกจากชุดทดลองในการทดลองระยะที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างกันหลายระดับ ถ้านำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมไปประยุกต์ใช้บริเวณชายฝั่งทะเลแล้ว ความเค็มที่แตกต่างกันไม่มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านลบต่อพืชและสัตว์ในระบบ รวมทั้งในระบบนิเวศใกล้เคียงด้วย ทั้งนี้เพราะทั้งพืชและสัตว์ในบริเวณดังกล่าวมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเค็มที่ผันแปรได้ (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยความเค็ม (psu) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	0.20	17.95 ± 1.08^{b}	0.10	6.73 ± 1.19^{bn}	15.00	$22.43 + 1.54^{bv}$
	5 NW	0.20	14.57 ± 0.97^{a}	0.10	9.23 ± 0.72^{cn}	15.00	28.27 ± 0.55^{cv}
	25 NW	0.20	15.00 ± 0.72^{a}	0.10	5.17 ± 0.76^{an}	15.00	19.50 ± 1.31^{av}
	control	0.10	14.27 ± 1.02^{a}	0.10	4.93 ± 0.12^{an}	15.00	19.57 ± 1.12^{av}
2	NW	0.20	11.62 ± 1.08^{c}	0.10	2.97 ± 1.00^{bn}	15.00	20.53 ± 0.40^{abv}
	5 NW	0.20	9.37 ± 0.83^{b}	0.10	3.23 ± 0.32^{bn}	15.00	21.37 ± 0.97^{bv}
	25 NW	0.40	10.44 ± 0.95^{bc}	0.10	2.47 ± 0.50^{abn}	15.00	19.40 ± 1.18^{av}
	control	0.10	7.72 ± 1.29^{a}	0.10	1.73 ± 0.35^{an}	15.00	19.77 ± 0.81^{abv}
3	NW	0.20	8.77 ± 0.83^{b}	0.10	2.30 ± 0.70^{bn}	15.00	21.40 ± 0.44
	5 NW	0.20	7.52 ± 1.10^{a}	0.10	2.40 ± 0.44^{bn}	15.00	22.20 ± 1.00^{cv}
	25 NW	0.40	8.17 ± 0.90^{ab}	0.10	2.33 ± 0.65^{bn}	15.00	19.53 ± 1.27^{av}
	control	0.10	7.12 ± 1.00^{a}	0.10	1.07 ± 0.15^{an}	15.00	20.20 ± 0.70^{abv}
4	NW	0.20	8.10 ± 0.69	0.10	2.30 ± 0.79^{n}	15.00	24.47 ± 0.31^{abv}
	5 NW	0.20	7.20 ± 1.08	0.10	3.00 ± 0.95^{n}	15.00	24.77 ± 1.46^{bv}
	25 NW	0.40	7.60 ± 0.89	0.10	2.47 ± 1.59^{n}	15.00	22.13 ± 1.97^{av}
	control	0.10	6.70 ± 0.99	0.10	1.80 ± 1.04^{n}	15.00	23.17 ± 0.23^{abv}
5	NW	0.20	6.75 ± 0.67	0.10	1.90 ± 0.72^{bn}	15.00	22.93 ± 0.15^{v}
	5 NW	0.20	6.58 ± 1.16	0.10	1.70 ± 0.52^{abn}	15.00	23.63 ± 1.58^{v}
	25 NW	0.40	6.47 ± 1.30	0.10	1.37 ± 0.23^{abn}	15.00	22.03 ± 1.65^{v}
	control	0.10	5.86 ± 1.00	0.10	0.87 ± 0.06^{an}	15.00	22.30 ± 0.26^{v}
6	NW	0.20	6.08 ± 0.80	0.10	1.55 ± 0.47^{abn}	15.00	23.73 ± 0.35^{v}
	5 NW	0.20	6.27 ± 1.24	0.10	1.63 ± 0.50^{abn}	15.00	24.63 ± 1.70^{v}
	25 NW	0.40	5.90 ± 1.62	0.10	3.37 ± 2.07^{bn}	15.00	23.17 ± 2.27^{v}
	control	0.10	5.43 ± 1.02	0.10	1.20 ± 0.15^{an}	15.00	22.83 ± 0.51^{v}

ตารางที่ 4-4 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยความเค็ม (psu) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
				FW		SW	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	0.20	5.48 ± 0.93	0.10	1.45 ± 0.62^{bn}	15.00	21.40 ± 0.70^{abv}
	5 NW	0.20	5.50 ± 1.25	0.10	1.15 ± 0.42^{abn}	15.00	23.63 ± 1.75^{bv}
	25 NW	0.40	5.06 ± 1.06	0.10	1.53 ± 0.31^{abn}	15.00	22.50 ± 2.27^{abv}
	control	0.10	4.57 ± 0.94	0.10	1.15 ± 0.12^{an}	15.00	20.43 ± 0.15^{av}
8	NW	0.20	4.88 ± 1.22	0.10	1.38 ± 0.56^{abn}	15.00	23.23 ± 0.91^{abv}
	5 NW	0.20	4.73 ± 1.59	0.10	1.20 ± 0.35^{abn}	15.00	24.80 ± 1.73^{bv}
	25 NW	0.40	4.22 ± 0.64	0.10	1.70 ± 0.44^{bn}	15.00	22.90 ± 1.32^{abv}
	control	0.10	3.70 ± 0.92	0.10	1.15 ± 0.15^{an}	15.00	22.13 ± 0.32^{av}
9	NW	0.20	3.88 ± 1.36	0.10	1.15 ± 0.32^{abn}	15.00	24.80 ± 0.40^{abv}
	5 NW	0.20	4.40 ± 0.53	0.10	1.00 ± 0.32^{an}	15.00	26.47 ± 2.24^{bv}
	25 NW	0.40	3.52 ± 0.53	0.10	1.57 ± 0.61^{bn}	15.00	24.60 ± 1.97^{abv}
	control	0.10	3.20 ± 0.66	0.10	0.98 ± 0.15^{an}	15.00	22.90 ± 0.6^{av}
เฉลี่ย	NW	*0.20 ± 0.00^{b}	**8.17 ± 4.23	*0.10 ± 0.00^{n}	**2.47 ± 1.74^{abn}	*15.00 ± 0.00^{v}	**22.77 ± 1.52^{bv}
	5 NW	*0.20 ± 0.00^{b}	**7.35 ± 3.13	*0.10 ± 0.00^{n}	**2.73 ± 2.51^{bn}	*15.00 ± 0.00^{v}	**24.42 ± 2.37^{cv}
	25 NW	*0.38 ± 0.07^{c}	**7.37 ± 3.51	*0.10 ± 0.00^{n}	**2.40 ± 1.42^{abn}	*15.00 ± 0.00^{v}	**21.75 ± 2.30^{abv}
	control	* 0.10 ± 0.00^{a}	**6.51 ± 3.26	*0.10 ± 0.00^{n}	**1.52 ± 1.33^{an}	*15.00 ± 0.00^{v}	**21.48 ± 1.49^{av}

หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

4.1.3.3 การนำไฟฟ้า (conductivity)

1) ระยะที่ 1

การนำไฟฟ้าของน้ำที่ให้แก่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-5) จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้น ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจะใช้สารเคมีในการเตรียมน้ำเสียปริมาณมาก ดังนั้นการแตกตัวเป็นประจุและสมบัติเป็นสื่อนำไฟฟ้าจึงสูงด้วย ซึ่งสารเคมีที่แตกตัวเป็นประจุ ได้แก่ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) เฟริคไตรคลอไรด์ ($FeCl_3$) และแคลเซียมไดไฮดรอกไซด์ ($CaOH_2$)

เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลอง พบว่า น้ำออกมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าน้ำเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการทดลองครั้งที่ 1 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำออกมีค่าสูงที่สุด (มีค่าอยู่ในช่วง 23.65-27.49 mS cm^{-1}) เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองครั้งอื่น ไมตรี ดวงสวัสดิ์ (2528) รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มของน้ำ เพราะน้ำที่มีความเค็มสูง เกลือจะแตกตัวให้ประจุจำนวนมาก เช่น เกลือ NaCl ทำให้การนำไฟฟ้ามีค่าสูง และเมื่อความเค็มของน้ำลดลงการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ คือ เมื่อความเค็มของน้ำลดลง การนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงด้วย

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.27 และ 24.98 mS cm^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-5) เมื่อให้น้ำชะระบบ พบว่าน้ำออกของทั้งกลุ่มทดลองที่ชะด้วยน้ำจืด และกลุ่มทดลองที่ชะด้วยน้ำทะเล มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าน้ำเข้า โดยที่การชะระบบครั้งแรกน้ำออกมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.87-15.93 และ 31.47-43.98 mS cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งเมื่อชะระบบต่อไป พบว่า น้ำออกของกลุ่มทดลองที่ชะด้วยน้ำจืดมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำลงตามลำดับ และในครั้งที่ 9 มีค่าอยู่ในช่วง 1.57-3.01 mS cm^{-1} ในขณะที่น้ำออกของกลุ่มทดลองที่ชะด้วยน้ำทะเล มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับการชะระบบครั้งแรก คือ มีค่าในช่วง 36.33-41.38 mS cm^{-1} ซึ่งแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าเป็นไปในทิศทางเดียวกับความเค็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า ($mS\ cm^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	0.38	27.49 ± 2.59^{b}	0.25	13.76 ± 5.06^{abn}	26.25	35.64 ± 2.25^{bv}
	5 NW	0.37	24.10 ± 1.40^{a}	0.25	15.93 ± 1.15^{bn}	26.25	43.98 ± 0.72^{cv}
	25 NW	0.34	24.21 ± 0.44^{a}	0.25	9.34 ± 1.29^{an}	26.25	31.47 ± 1.91^{av}
	control	0.29	23.65 ± 1.53^{a}	0.25	8.87 ± 0.21^{an}	26.25	31.57 ± 1.67^{av}
2	NW	0.37	19.52 ± 1.64^{c}	0.25	5.52 ± 1.74^{bn}	24.96	33.24 ± 0.28^{abv}
	5 NW	0.38	16.02 ± 1.28^{b}	0.25	6.00 ± 0.58^{bn}	24.96	34.14 ± 1.43^{abv}
	25 NW	0.73	17.76 ± 1.47^{bc}	0.25	4.61 ± 0.87^{abn}	24.96	31.29 ± 1.72^{bv}
	control	0.30	13.39 ± 2.01^{a}	0.25	3.30 ± 0.61^{an}	24.96	31.93 ± 1.06^{av}
3	NW	0.40	15.20 ± 1.28	0.27	4.32 ± 1.25^{n}	24.84	34.24 ± 0.65^{v}
	5 NW	0.36	13.14 ± 1.80	0.27	5.53 ± 1.57^{n}	24.84	35.39 ± 1.42^{v}
	25 NW	0.73	14.17 ± 1.47	0.27	4.43 ± 1.12^{n}	24.84	31.56 ± 1.89^{v}
	control	0.28	12.51 ± 2.01	0.27	2.19 ± 0.20^{n}	24.84	32.54 ± 1.04^{v}
4	NW	0.33	14.11 ± 1.06	0.27	4.30 ± 1.40^{bn}	24.88	38.57 ± 0.38^{v}
	5 NW	0.37	12.64 ± 1.79	0.27	5.54 ± 1.63^{abn}	24.88	38.88 ± 2.03^{v}
	25 NW	0.71	13.27 ± 1.41	0.27	4.60 ± 2.83^{abn}	24.88	35.50 ± 2.66^{v}
	control	0.30	11.82 ± 1.88	0.27	3.40 ± 1.95^{an}	24.88	36.69 ± 0.30^{v}
5	NW	0.39	11.93 ± 1.08	0.27	3.59 ± 1.27^{bn}	24.75	36.40 ± 0.25^{v}
	5 NW	0.42	11.65 ± 1.89	0.27	3.27 ± 0.95^{abn}	24.75	37.44 ± 2.23^{v}
	25 NW	0.75	11.45 ± 2.12	0.27	2.68 ± 0.41^{abn}	24.75	35.12 ± 2.33^{v}
	control	0.30	10.44 ± 1.70	0.27	1.73 ± 0.10^{an}	24.75	35.50 ± 0.38^{v}
6	NW	0.40	10.84 ± 1.31	0.29	3.16 ± 0.80^{abn}	24.84	37.63 ± 0.48^{v}
	5 NW	0.40	11.15 ± 2.00	0.29	3.18 ± 0.89^{abn}	24.84	38.61 ± 2.35^{v}
	25 NW	0.72	10.54 ± 2.68	0.29	6.11 ± 3.61^{bn}	24.84	36.76 ± 3.17^{v}
	control	0.27	9.75 ± 1.67	0.29	1.71 ± 0.21^{an}	24.84	36.27 ± 0.75^{v}

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า ($mS\ cm^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	0.30	9.84 ± 1.55	0.26	2.99 ± 1.13^{n}	24.72	34.20 ± 0.96^{abv}
	5 NW	0.35	9.85 ± 2.04	0.26	2.24 ± 0.77^{n}	24.72	37.35 ± 2.51^{bv}
	25 NW	0.70	9.13 ± 1.79	0.26	2.99 ± 0.52^{n}	24.72	35.79 ± 3.26^{abv}
	control	0.30	8.32 ± 1.60	0.26	1.56 ± 0.52^{n}	24.72	32.90 ± 0.37^{av}
8	NW	0.38	8.84 ± 2.08	0.27	2.88 ± 1.03^{abn}	24.78	36.83 ± 1.29^{abv}
	5 NW	0.44	8.56 ± 2.63	0.27	2.35 ± 0.64^{abn}	24.78	38.99 ± 2.52^{bv}
	25 NW	0.78	7.71 ± 1.14	0.27	3.21 ± 0.83^{bn}	24.78	36.33 ± 1.94^{abv}
	control	0.32	6.88 ± 1.63	0.27	1.63 ± 0.23^{an}	24.78	35.26 ± 0.49^{av}
9	NW	0.39	7.04 ± 2.29	0.26	2.39 ± 0.63^{abn}	24.80	39.01 ± 0.61^{abv}
	5 NW	0.39	7.95 ± 0.88	0.26	2.03 ± 0.57^{abn}	24.80	41.38 ± 3.06^{bv}
	25 NW	0.75	6.49 ± 0.92	0.26	3.01 ± 1.11^{bn}	24.80	38.86 ± 2.78^{abv}
	control	0.32	5.91 ± 1.14	0.26	1.57 ± 0.29^{an}	24.80	36.33 ± 0.91^{av}
เฉลี่ย	NW	$*0.37 \pm 0.03^{b}$	$**13.87 \pm 6.23$	$*0.27 \pm 0.01^{n}$	$**4.77 \pm 3.77^{bn}$	$*24.98 \pm 0.46^{v}$	$**36.20 \pm 2.12^{bv}$
	5 NW	$*0.39 \pm 0.03^{b}$	$**12.78 \pm 4.96$	$*0.27 \pm 0.01^{n}$	$**5.12 \pm 4.26^{bn}$	$*24.98 \pm 0.46^{v}$	$**38.46 \pm 3.35^{cv}$
	25 NW	$*0.69 \pm 0.13^{c}$	$**12.75 \pm 5.45$	$*0.27 \pm 0.01^{n}$	$**4.55 \pm 2.49^{abn}$	$*24.98 \pm 0.46^{v}$	$**34.74 \pm 3.31^{abv}$
	control	$*0.30 \pm 0.02^{a}$	$**11.41 \pm 5.22$	$*0.27 \pm 0.01^{n}$	$**2.88 \pm 2.34^{an}$	$*24.98 \pm 0.46^{v}$	$**34.33 \pm 2.12^{av}$

หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

4.1.3.4 ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen : DO)

1) ระยะที่ 1

น้ำเสียที่ให้แก่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-6) มีค่าออกซิเจนละลายค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำประปาที่ใช้เตรียมน้ำเสียมีออกซิเจนละลายค่อนข้างสูง ร่วมกับการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์มีการคนให้สารเคมีละลาย ซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย โดยที่ชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW มีค่าเฉลี่ย 6.47, 5.79 และ 5.64 mg l^{-1} ตามลำดับ ส่วนชุด control มีค่าเท่ากับ 6.45 mg l^{-1} เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลอง พบว่า ค่าออกซิเจนละลายของน้ำออกมีค่าต่ำกว่าน้ำเข้า ทั้งนี้เพราะจุลชีพนำออกซิเจนละลายไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน จึงทำให้ออกซิเจนละลายมีค่าลดลง โดยจะเห็นว่าน้ำออกของชุด 25 NW มีออกซิเจนละลายต่ำสุด ซึ่งแตกต่างจากชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากชุดทดลองได้รับน้ำเสียที่มีบีโอดีเฉลี่ยสูงที่สุด จุลชีพจึงต้องการใช้ออกซิเจนละลายปริมาณมากในการย่อยสลายสารอินทรีย์

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.56 และ 6.69 mg l^{-1} ตามลำดับ เมื่อให้น้ำชะระบบ พบว่า ออกซิเจนละลายในน้ำออกของทั้งสองกลุ่มทดลองมีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าเช่นเดียวกับในการทดลองระยะที่ 1 โดยชุดทดลอง 5 NW และ 25 NW มีค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะชุดทดลองดังกล่าวมีของเสียสะสมจากระยะที่ 1 สูง จุลชีพจึงต้องใช้ออกซิเจนละลายในการย่อยสลายมาก ออกซิเจนละลายของน้ำออกจึงมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชุด control และ NW

โดยสรุป เมื่อให้น้ำผ่านชุดทดลองทั้งในระยะที่ 1 และ 2 จะมีผลให้ออกซิเจนละลายมีค่าต่ำลง ซึ่งถ้านำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล ปริมาณออกซิเจนละลายที่มีค่าต่ำ อาจส่งผลกระทบทางด้านลบต่อพืชและสัตว์ในระบบ หรือในแหล่งรองรับน้ำทิ้งได้ แต่อย่างไรก็ตาม พืชและสัตว์ในป่าชายเลนสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนละลายต่ำได้ โดยรากพืชจะปรับตัวให้มีช่องอากาศ (lenticel) ขนาดใหญ่ ส่วนสัตว์จะปรับตัวให้เข้ากับสภาพน้ำที่มีออกซิเจนละลายต่ำได้ อาทิ หอยสองฝา และปูก้ามดาบ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้แม้ออกซิเจนละลายมีค่าเพียง 1-2 mg l^{-1} (สนิท อักษรแก้ว, 2542) แต่สำหรับสัตว์น้ำประเภทอื่นถ้าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 3 mg l^{-1} (ควบคุมมลพิษ, กรม,2530) อาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตได้ เช่น กุ้ง และปลา เป็นต้น

ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลาย (mg l^{-1}) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	5.89	3.10 ± 1.07^{ab}	7.00	6.10 ± 2.10	6.45	5.18 ± 2.01
	5 NW	6.10	2.23 ± 1.48^{a}	7.00	3.30 ± 0.30	6.45	3.73 ± 1.44
	25 NW	5.85	0.00 ± 0.00	7.00	5.83 ± 1.75	6.45	4.07 ± 0.81
	control	6.35	3.97 ± 0.98^{b}	7.00	7.50 ± 5.37	6.45	2.98 ± 0.68
2	NW	5.89	3.84 ± 0.86^{b}	6.23	3.80 ± 0.69^{abn}	6.60	5.98 ± 1.08^{b}
	5 NW	6.10	2.70 ± 0.57^{a}	6.23	3.27 ± 0.45^{an}	6.60	5.47 ± 1.01^{b}
	25 NW	5.85	0.00 ± 0.00	6.23	3.13 ± 1.19^{an}	6.60	5.47 ± 0.80^{b}
	control	6.35	5.17 ± 0.71^{c}	6.23	5.33 ± 0.96^{b}	6.60	5.17 ± 1.04
3	NW	6.00	3.92 ± 1.44^{b}	6.39	3.88 ± 0.65^{a}	7.25	5.43 ± 1.27
	5 NW	5.45	4.05 ± 1.41^{b}	6.39	3.03 ± 0.67^{a}	7.25	5.53 ± 0.06
	25 NW	5.10	1.83 ± 1.98^{a}	6.39	2.70 ± 1.01^{an}	7.25	5.53 ± 1.22^{b}
	control	6.30	5.60 ± 0.79^{b}	6.39	7.12 ± 1.14^{b}	7.25	5.27 ± 0.53
4	NW	6.60	3.44 ± 2.01^{bc}	5.75	5.33 ± 0.95^{b}	6.10	4.87 ± 0.31^{ab}
	5 NW	6.08	3.00 ± 0.36^{ab}	5.75	2.80 ± 0.66^{a}	6.10	4.03 ± 0.47^{ab}
	25 NW	5.90	1.58 ± 1.31^{a}	5.75	2.50 ± 0.66^{a}	6.10	3.73 ± 0.67^{a}
	control	6.50	4.84 ± 0.55^{c}	5.75	5.57 ± 0.87^{b}	6.10	5.10 ± 1.01^{b}
5	NW	6.30	3.68 ± 1.68^{b}	6.63	6.27 ± 1.12^{b}	6.60	7.27 ± 2.25^{b}
	5 NW	5.76	3.53 ± 0.59^{b}	6.63	4.13 ± 0.47^{bn}	6.60	5.28 ± 0.08^{abv}
	25 NW	5.50	1.71 ± 1.51^{a}	6.63	2.80 ± 0.87^{a}	6.60	4.25 ± 0.58^{a}
	control	6.40	5.22 ± 0.45^{c}	6.63	7.37 ± 0.99^{a}	6.60	6.17 ± 0.98^{ab}
6	NW	6.90	7.69 ± 3.64	6.44	4.52 ± 0.73^{a}	6.93	6.10 ± 1.84
	5 NW	4.95	7.82 ± 1.71	6.44	4.18 ± 0.18^{a}	6.93	4.87 ± 1.06
	25 NW	5.90	7.74 ± 2.73	6.44	4.40 ± 1.99^{a}	6.93	4.77 ± 0.40
	control	6.75	8.51 ± 1.80	6.44	7.23 ± 0.98^{bv}	6.93	4.58 ± 0.65^{n}

ตารางที่ 4-6 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลาย ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	6.47	4.42 ± 0.40^{a}	6.53	5.97 ± 1.15	6.75	5.42 ± 1.37
	5 NW	4.92	4.42 ± 0.65^{a}	6.53	4.67 ± 0.20	6.75	4.42 ± 1.15
	25 NW	4.85	4.07 ± 1.05^{a}	6.53	4.52 ± 1.07	6.75	5.10 ± 0.36
	control	6.10	5.51 ± 0.25^{b}	6.53	6.00 ± 0.72	6.75	5.00 ± 0.44
8	NW	6.30	4.93 ± 1.09	7.30	6.20 ± 1.61	7.05	7.00 ± 2.91
	5 NW	6.00	4.71 ± 0.96	7.30	5.58 ± 0.20	7.05	5.27 ± 0.62
	25 NW	5.45	4.33 ± 1.54	7.30	6.50 ± 1.58	7.05	6.17 ± 0.33
	control	6.15	5.37 ± 1.66	7.30	7.63 ± 1.28^{ข}	7.05	5.43 ± 0.35^{ก}
9	NW	6.60	4.47 ± 2.40	6.75	6.12 ± 1.12^{b}	6.53	6.34 ± 1.79
	5 NW	6.20	4.98 ± 1.33	6.75	4.40 ± 0.34^{b}	6.53	4.85 ± 0.55
	25 NW	5.50	4.65 ± 1.19	6.75	3.49 ± 0.68^{a}	6.53	4.68 ± 0.34
	control	6.80	6.08 ± 1.51	6.75	6.68 ± 0.84^{a}	6.53	5.58 ± 0.61
เฉลี่ย	NW	$^{**}6.47 \pm 0.40^{b}$	$^{*}4.39 \pm 2.15^{b}$	$^{**}6.56 \pm 0.43$	$^{*}5.35 \pm 1.41^{b}$	$^{**}6.69 \pm 0.34$	$^{*}5.95 \pm 1.67^{b}$
	5 NW	$^{**}5.79 \pm 0.57^{a}$	$^{*}4.16 \pm 1.88^{b}$	$^{**}6.56 \pm 0.43$	$^{*}3.93 \pm 0.94^{a}$	$^{**}6.69 \pm 0.34$	$^{*}4.83 \pm 0.94^{a}$
	25 NW	$^{**}5.64 \pm 0.52^{a}$	$^{*}2.88 \pm 2.77^{a}$	$^{**}6.56 \pm 0.43$	$^{*}3.99 \pm 1.74^{aก}$	$^{**}6.69 \pm 0.34$	$^{*}4.86 \pm 0.94^{aข}$
	control	$^{**}6.45 \pm 0.25^{b}$	$^{*}5.59 \pm 1.56^{c}$	6.56 ± 0.43	6.72 ± 1.88^{cข}	$^{**}6.69 \pm 0.34$	$^{*}5.03 \pm 1.05^{aก}$

หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

4.1.3.5 บีโอดี (biochemical oxygen demand : BOD)

1) ระยะที่ 1

น้ำเข้าของชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW มีบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 20.02, 94.67 และ 514.17 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-7) น้ำออกมีค่าเท่ากับ 2.57, 2.41 และ 20.19 mg l^{-1} ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่าเท่ากับ 86.83, 97.35 และ 96.28 ตามลำดับ (รูปที่ 4-2) ส่วนชุด control น้ำเข้าและน้ำออกมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 และ 1.95 mg l^{-1} ตามลำดับ ซึ่งน้ำออกมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าเป็นผลจากน้ำจืดที่ให้กับชุด control ชะละลายสารอินทรีย์จากเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ร่วงหล่นปะปนออกมาด้วย เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542) ที่รายงานว่าไม้สกุลโกงกางที่ปลูกในถังทดลอง สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีบีโอดี 456 mg l^{-1} ให้ลดลงเป็น 19.4 mg l^{-1} ได้ภายใน 2 สัปดาห์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การบำบัด 95.75

ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดีในน้ำเสียระดับความเข้มข้นต่างกันได้ แต่จะพบว่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกจากชุดทดลอง 25 NW ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าค่อนข้างสูง คือ 77.50 และ 33.90 mg l^{-1} ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด (อาคารประเภท ก) ที่กำหนดให้บีโอดีไม่เกิน 20 mg l^{-1} (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2537) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชุดทดลองไม่สามารถปรับตัวกับการได้รับน้ำเสียที่มีบีโอดีสูงได้ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ นอกจากนี้ ออกซิเจนละลายในชุดทดลองมีค่าเป็น 0 mg l^{-1} (ตารางที่ 4-6) ทำให้จุลชีพไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนได้ ขณะที่การทดลองครั้งที่ 3 ถึง 9 ชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดีให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดได้ ซึ่งการบำบัดบีโอดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกัน อาทิเช่น ชนิดและปริมาณของจุลชีพ ออกซิเจนละลาย ความเป็นกรด-ด่าง และธาตุอาหาร โดยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสามารถบำบัดบีโอดีได้โดยกระบวนการตกตะกอน และกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน การเปลี่ยนคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศในรูปของมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเก็บสะสมในมวลชีวภาพของพืช (ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543 อ้างตาม Campbell and Ogden, 1999)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยบีโอดี ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	FW		SW	
					น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	15.00	2.85 ± 3.61^{a}	81.00 ± 24.06^{a}	0.18	1.70 ± 1.00^{a}	0.23	2.05 ± 0.88^{a}
	5 NW	75.00	4.00 ± 7.27^{a}	94.67 ± 9.69^{b}	0.18	1.90 ± 0.46^{a}	0.23	1.75 ± 0.71^{a}
	25 NW	720.00	77.50 ± 45.00^{b}	89.24 ± 6.25^{b}	0.18	3.20 ± 1.60^{b}	0.23	4.10 ± 1.51^{b}
	control	0.05	2.65 ± 2.73^{a}	NC	0.18	1.70 ± 0.43^{a}	0.23	1.00 ± 0.20^{a}
2	NW	31.50	4.39 ± 1.83^{a}	86.05 ± 5.80^{a}	0.05	1.30 ± 0.61^{a}	0.10	0.93 ± 0.33
	5 NW	99.00	4.58 ± 0.61^{a}	95.38 ± 0.61^{b}	0.05	2.32 ± 0.28^{b}	0.10	1.67 ± 0.49
	25 NW	390.00	33.90 ± 8.74^{b}	91.31 ± 2.24^{b}	0.05	3.87 ± 0.31^{cv}	0.10	1.30 ± 0.36^{n}
	control	0.10	2.45 ± 0.94^{a}	NC	0.05	0.73 ± 0.42^{a}	0.10	1.23 ± 1.46
3	NW	19.20	2.25 ± 0.89^{a}	88.28 ± 4.64^{a}	0.05	1.35 ± 0.30^{ab}	0.15	0.87 ± 0.29
	5 NW	93.00	1.68 ± 0.96^{a}	98.20 ± 1.04^{b}	0.05	2.10 ± 0.20^{b}	0.15	1.13 ± 0.60
	25 NW	540.00	13.88 ± 8.25^{b}	97.43 ± 1.53^{b}	0.05	2.28 ± 0.93^{b}	0.15	0.75 ± 0.23
	control	0.60	1.83 ± 0.64^{a}	NC	0.05	0.65 ± 0.31^{a}	0.15	0.97 ± 0.69
4	NW	18.70	4.00 ± 3.49^{a}	78.61 ± 18.64^{a}	0.05	1.82 ± 0.84^{ab}	0.10	1.10 ± 0.46
	5 NW	88.00	2.45 ± 1.27^{a}	97.22 ± 1.45^{b}	0.05	2.17 ± 0.85^{b}	0.10	1.13 ± 0.40
	25 NW	520.00	9.88 ± 7.80^{b}	98.10 ± 1.50^{b}	0.05	2.23 ± 0.23^{bv}	0.10	1.03 ± 0.25^{n}
	control	0.40	2.74 ± 1.43^{a}	NC	0.05	0.72 ± 0.45^{a}	0.10	1.77 ± 1.45
5	NW	22.00	2.58 ± 1.56^{a}	88.25 ± 7.11^{a}	0.05	1.43 ± 0.73^{ab}	0.10	0.98 ± 0.40
	5 NW	98.00	1.76 ± 0.72^{a}	98.21 ± 0.73^{b}	0.05	1.72 ± 0.39^{b}	0.10	1.27 ± 0.56
	25 NW	485.00	8.48 ± 4.65^{b}	98.25 ± 0.96^{b}	0.05	1.97 ± 0.28^{bv}	0.10	0.88 ± 0.28^{n}
	control	0.35	3.19 ± 0.72^{a}	NC	0.05	0.80 ± 0.23^{a}	0.10	1.84 ± 1.41
6	NW	18.60	1.15 ± 0.93^{a}	93.82 ± 5.02^{a}	0.05	1.03 ± 0.76	0.10	0.87 ± 0.34
	5 NW	111.00	1.68 ± 1.02^{a}	98.49 ± 0.92^{b}	0.05	1.27 ± 0.19	0.10	1.40 ± 1.08
	25 NW	510.00	4.00 ± 2.58^{b}	99.22 ± 0.51^{b}	0.05	1.70 ± 0.46^{v}	0.10	0.73 ± 0.32^{n}
	control	0.65	1.50 ± 1.09^{a}	NC	0.05	0.88 ± 0.14	0.10	1.92 ± 1.43

ตารางที่ 4-7 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยบีโอดี ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	FW		SW	
					น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	21.00	0.58 ± 0.31^{a}	97.26 ± 1.46	0.05	0.80 ± 0.79	0.13	0.28 ± 0.24
	5 NW	105.00	0.93 ± 0.32^{a}	99.12 ± 0.31	0.05	0.58 ± 0.14	0.13	0.63 ± 0.38
	25 NW	540.00	12.88 ± 3.81^{b}	97.62 ± 0.71	0.05	0.83 ± 0.26	0.13	0.50 ± 0.10
	control	0.50	0.58 ± 0.55^{a}	NC	0.05	0.17 ± 0.21	0.13	0.43 ± 0.08
8	NW	13.50	2.38 ± 0.86^{a}	82.41 ± 6.38^{a}	0.05	0.90 ± 0.44^{a}	0.10	0.87 ± 0.38
	5 NW	94.50	1.83 ± 0.29^{a}	98.07 ± 0.31^{b}	0.05	0.62 ± 0.23^{a}	0.10	1.00 ± 0.28
	25 NW	427.50	10.38 ± 2.78^{b}	97.57 ± 0.65^{b}	0.05	2.15 ± 1.03^{b}	0.10	0.80 ± 0.15
	control	1.20	0.98 ± 0.35^{a}	NC	0.05	0.63 ± 0.10^{a}	0.10	1.17 ± 0.33
9	NW	20.70	2.95 ± 1.92^{a}	85.75 ± 9.27^{a}	0.05	1.15 ± 1.01	0.10	1.47 ± 0.76
	5 NW	88.50	2.85 ± 0.94^{a}	96.78 ± 1.07^{b}	0.05	1.13 ± 0.21	0.10	1.37 ± 0.90
	25 NW	495.00	10.85 ± 3.63^{b}	97.81 ± 0.73^{b}	0.05	0.90 ± 0.26	0.10	1.40 ± 0.79
	control	1.20	1.60 ± 0.83^{a}	NC	0.05	0.52 ± 0.13	0.10	1.20 ± 0.44
เฉลี่ย	NW	$**20.02 \pm 4.92^{a}$	$*2.57 \pm 2.20^{a}$	86.83 ± 12.00^{a}	$*0.07 \pm 0.04^{n}$	$**1.28 \pm 0.71^{b}$	$*0.12 \pm 0.04^{v}$	$**1.05 \pm 0.62^{a}$
	5 NW	$**94.67 \pm 10.05^{b}$	$*2.41 \pm 2.61^{a}$	97.35 ± 3.39^{b}	$*0.07 \pm 0.04^{n}$	$**1.53 \pm 0.71^{b}$	$*0.12 \pm 0.04^{v}$	$**1.26 \pm 0.63^{ab}$
	25 NW	$**514.17 \pm$	$*20.19 \pm 26.42^{b}$	96.28 ± 3.98^{b}	$*0.07 \pm 0.04^{n}$	$**2.13 \pm 1.13^{cv}$	$*0.12 \pm 0.04^{v}$	$**1.27 \pm 1.17^{abn}$
	control	$*0.56 \pm 0.40^{a}$	$**1.95 \pm 1.40^{a}$	NC	$*0.07 \pm 0.04^{n}$	$**0.76 \pm 0.47^{an}$	$*0.12 \pm 0.04^{v}$	$**1.65 \pm 1.38^{bv}$

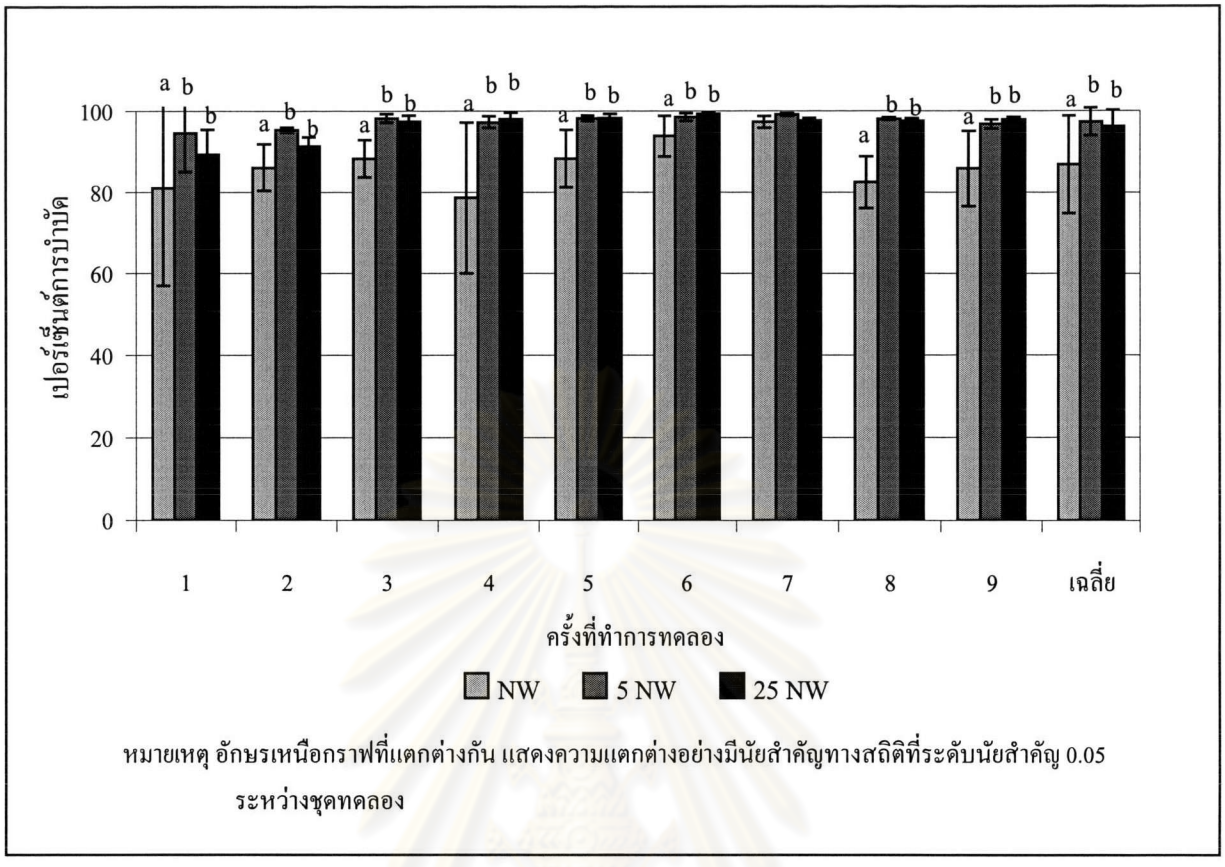
หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

NC = not calculated



รูปที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในการทดลองระยะที่ 1

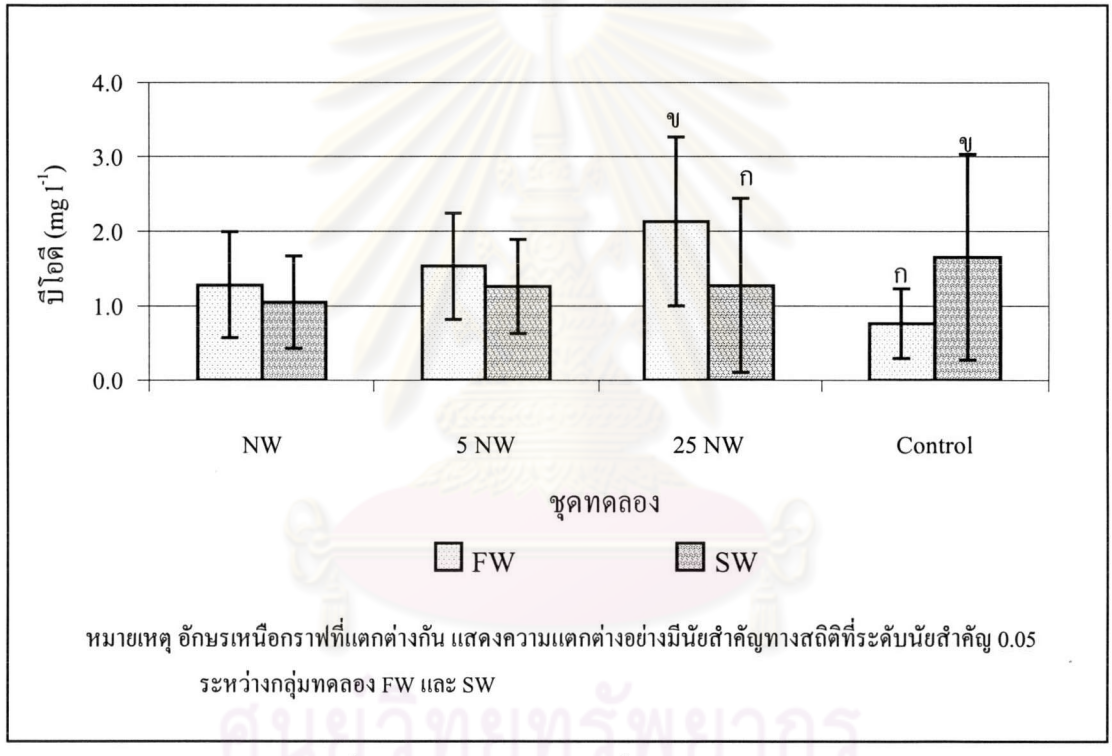
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุด 5 NW มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงที่สุด รองลงมาคือ 25 NW และ NW ตามลำดับ (97.35, 96.28 และ 86.83 % ตามลำดับ) เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย one-way ANOVA และ DMRT พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุด NW มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจาก ชุด 5 NW และ 25 NW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ระยะที่ 2

น้ำจืดที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง FW มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 mg l^{-1} (ตารางที่ 4-7) ส่วนน้ำทะเลที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง SW มีค่าเฉลี่ย 0.12 mg l^{-1} ซึ่งสูงกว่าน้ำจืดซึ่งเป็นน้ำประปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า บีโอดีในน้ำออกของทุกชุดทดลองมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีค่าลดลงตามครั้งที่ทำการทดลอง โดยการทดลองชะระบบครั้งแรก ชุดทดลอง 25 NW ที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเลมีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกสูงที่สุด และแตกต่างจากชุด NW และ 5 NW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะชุดทดลอง 25 NW ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจากระยะที่ 1 เมื่อให้น้ำชะระบบจึงทำให้สารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ถูกชะละลายออกมาปริมาณมากกว่าชุดทดลองอื่น

โดยการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเลครั้งที่ 1 ชุด 25 NW มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 และ 4.10 mg l^{-1} ตามลำดับ ส่วนการทดลองครั้งที่ 9 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 และ 1.40 mg l^{-1} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าบีโอดีเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 9 ครั้ง พบว่าน้ำออกของชุด 25 NW มีค่าบีโอดีเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือชุด 5 NW และ NW ตามลำดับ (รูปที่ 4-3) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างชุดทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่าชุดทดลองที่ชะด้วยน้ำจืดสามารถชะละลายสารอินทรีย์ในชุดทดลองได้ดี น้ำออกจากชุดทดลองที่ชะด้วยน้ำจืดจึงมีค่าบีโอดีสูงกว่าชุดทดลองที่ชะด้วยน้ำทะเล แต่เมื่อทดสอบด้วย one-way ANOVA พบว่า ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ยกเว้นชุดทดลอง 25 NW ที่ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



หมายเหตุ อักษรเหนือกราฟที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

รูปที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำออก ในระยะที่ 2

โดยสรุป ผลจากการสะสมสารอินทรีย์ที่ต่างกันจากการให้น้ำเสียในระยะที่ 1 ทำให้การปลดปล่อยสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีออกจากชุดทดลองในระยะที่ 2 แตกต่างกัน คือ ชุดทดลองที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย 25 NW มีค่าบีโอดีของน้ำออกสูงที่สุด ซึ่งน้ำออกของกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีค่าบีโอดีสูงกว่ากลุ่มที่ชะระบบด้วยน้ำทะเล แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำออกมีค่าค่อนข้างต่ำ ถ้าปล่อยน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงไม่มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดผลกระทบขึ้น

4.1.3.6 ทีเคเอ็น (total kjeldahl nitrogen : TKN)

1) ระยะที่ 1

ไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนทั่วไปส่วนใหญ่อยู่ในรูปไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนีย ซึ่งเรียกรวมว่า ทีเคเอ็น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ใช้ยูเรีย (NH_2CONH_2) ซึ่งเป็นไนโตรเจนอินทรีย์ เป็นแหล่งไนโตรเจนในน้ำเสีย ดังนั้นไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย และไนเตรทจึงมีค่าต่ำ

น้ำเข้าของชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW มีทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับ 14.987, 69.756 และ 331.533 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-8) น้ำออกมีค่าเท่ากับ 2.180, 7.608 และ 105.392 mg l^{-1} ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่าเท่ากับ 85.50, 88.97 และ 66.19 ตามลำดับ (รูปที่ 4-4) สำหรับชุด control พบว่าทีเคเอ็นของน้ำออก (1.221 mg l^{-1}) มีค่าสูงกว่าน้ำเข้า (0.622 mg l^{-1}) ทั้งนี้เพราะน้ำจืดที่ให้กับชุดทดลองชะละลายไนโตรเจนที่สะสมทั้งในดินและเศษใบไม้ที่ร่วงหล่นออกมา

การบำบัดไนโตรเจนในชุดทดลองเกิดขึ้นได้ทั้งในน้ำ และชั้นดิน โดยขั้นตอนแรกยูเรียในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ซึ่งแอมโมเนียมไอออนสามารถกำจัดออกจากน้ำเสียได้โดยการดูดดึง (uptake) โดยพืช การดูดซับโดยดิน (adsorption) แอสซิมิเลตชัน (assimilation)โดยจุลชีพ และการระเหยออกสู่บรรยากาศ (volatilization) นอกจากนี้ ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ จุลชีพพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) จะออกซิไดซ์แอมโมเนียมไอออนให้เป็นไนเตรทโดยกระบวนการไนติฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งไนเตรทที่เกิดขึ้น จะถูกกำจัดได้โดยการดูดดึงโดยพืช หรือถูกรีดิวซ์กลับไปเป็นแอมโมเนีย และก๊าซไนโตรเจน โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) จากนั้นจึงระเหยออกสู่บรรยากาศ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545; Mitsch and Gosselink, 2000)

เมื่อพิจารณาค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำออกจากชุดทดลอง NW และ 5 NW พบว่ามีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 35 mg l^{-1} (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2537) แต่สำหรับชุดทดลอง 25 NW มีค่าสูงกว่า (105.392 mg l^{-1}) มาตรฐานดังกล่าว อาจเป็นเพราะชุดทดลองมีข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ส่งผลให้การบำบัดทีเคเอ็นมีประสิทธิภาพต่ำลง อาทิ สารอินทรีย์ (กลูโคส) ความเข้มข้นสูงจะส่งเสริมกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Tam and Wong, 1995 อ้างตาม Yamaguchi et al., 1990 and Verhagen et al., 1992; Mitsch and Gosselink, 2000) เป็นผลให้น้ำเสียมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนสูง ทำให้การเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไอออนไปเป็นไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันต่ำลงด้วย สอดคล้องกับ กนกพร บุญส่ง และคณะ (2543) อ้างตาม Van Oostrom and Russell (1994) ที่กล่าวว่าดีกรีของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจะต่ำเมื่อน้ำมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูง อีกทั้งในชุดทดลองมีออกซิเจนละลายต่ำ (2.88 mg l^{-1}) เนื่องจากบีโอดีมีความเข้มข้นสูง (514.17 mg l^{-1}) ส่งผลให้ออกซิเจนละลายไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลชีพในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ร่วมกับกล้าไม้ในชุดทดลองมีความสามารถจำกัดในการดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ ซึ่งธาตุอาหารไนโตรเจนในชุดทดลองอาจมีความเข้มข้นสูงเกินกว่าความต้องการใช้ของ

กล้าไม้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ค่าทีเคเอ็นของน้ำออกจึงมีค่าสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งดังกล่าว

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดของแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุด 5 NW มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงที่สุด (88.97) รองลงมาคือ NW (85.50) และ 25 NW (66.19) ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย one-way ANOVA และ DMRT พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุด NW และ 5 NW มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าชุด 25 NW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ระยะที่ 2

น้ำจืดที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง FW มีทีเคเอ็นเฉลี่ย 0.817 mg l^{-1} (ตารางที่ 4-8) และน้ำทะเลที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง SW มีค่าเฉลี่ย 1.112 mg l^{-1} ซึ่งสูงกว่าน้ำจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อให้น้ำจืดและน้ำทะเลชะระบบ พบว่าชุดทดลองที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย NW, 5 NW และ 25 NW ในระยะที่ 1 มีค่าทีเคเอ็นของน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้าเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการให้น้ำเสียที่มีทีเคเอ็นเป็นองค์ประกอบมีผลให้ทีเคเอ็นสะสมอยู่ในชุดทดลอง และเมื่อทำการชะระบบ จึงพบว่าน้ำออกมีค่าทีเคเอ็นสูงกว่าน้ำเข้า โดยที่การทดลองครั้งที่ 1 จะพบทีเคเอ็นในน้ำออกสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามครั้งที่ชะระบบ ซึ่งเมื่อเฉลี่ยการทดลองทั้ง 9 ครั้ง พบว่าชุดทดลอง 25 NW ทั้งที่ชะด้วยน้ำจืด และน้ำทะเลมีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำออกสูงสุด คือ มีค่าเท่ากับ 4.739 และ 5.170 mg l^{-1} ตามลำดับ (รูปที่ 4-5)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า การปลดปล่อยทีเคเอ็นของชุด NW, 5 NW และ control ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่การชะชุดทดลอง 25 NW ด้วยน้ำทะเลสามารถปลดปล่อยทีเคเอ็นออกจากชุดทดลองได้มากกว่าการชะด้วยน้ำจืด (5.170 และ 4.739 mg l^{-1} ตามลำดับ) แต่เมื่อพิจารณาตามครั้งที่ทำการทดลองพบว่าน้ำออกของชุด 25 NW ที่ชะด้วยน้ำทะเล มีทีเคเอ็นสูงกว่าชุดที่ชะด้วยน้ำจืดในการทดลองครั้งแรกเท่านั้น ขณะที่การทดลองครั้งที่ 2 ถึง 9 น้ำออกจากชุดที่ชะด้วยน้ำจืดมีแนวโน้มสูงกว่า จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใช้น้ำทะเลชะระบบมีผลต่อการปลดปล่อยทีเคเอ็นในครั้งแรกของการทดลอง ขณะที่การใช้น้ำจืดชะระบบมีผลต่อการปลดปล่อยทีเคเอ็นในระยะยาว

โดยสรุป ในระยะที่ 1 ชุดทดลองสามารถบำบัดทีเคเอ็นได้ดีเมื่อได้รับน้ำเสีย NW และ 5 NW แต่สำหรับชุดที่ได้รับน้ำเสีย 25 NW บำบัดได้ไม่ดี ทำให้น้ำออกมีค่าทีเคเอ็นค่อนข้างสูง และเมื่อชะระบบในระยะที่ 2 พบว่า ชุดที่ผ่านการรองรับน้ำเสีย 25 NW ทั้งที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล มีทีเคเอ็นของน้ำออกค่อนข้างสูงในการทดลองช่วงแรก ซึ่งถ้าปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ ดังนั้นจึงควรหาวิธีแก้ไขเพื่อทำให้ทีเคเอ็นมีค่าลดลงก่อนการปล่อยน้ำทิ้งสู่ธรรมชาติ

ตารางที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
					FW		SW	
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	15.680	3.220 ± 1.500^{a}	79.47 ± 9.57^{c}	1.960	2.240 ± 0.000^{a}	3.080	2.520 ± 0.280^{a}
	5 NW	67.200	22.167 ± 7.216^{b}	67.02 ± 10.74^{b}	1.960	3.173 ± 0.162^{a}	3.080	3.267 ± 0.323^{a}
	25 NW	327.600	142.800 ± 11.612^{c}	56.41 ± 3.54^{a}	1.960	25.200 ± 1.120^{bn}	3.080	36.587 ± 3.122^{bv}
	control	0.140	0.793 ± 0.718^{a}	NC	1.960	2.053 ± 0.323^{a}	3.080	2.147 ± 0.808^{a}
2	NW	14.560	1.960 ± 1.252^{a}	86.54 ± 8.60^{b}	0.560	0.747 ± 0.323^{a}	0.700	1.027 ± 0.162
	5 NW	67.200	10.725 ± 3.802^{a}	84.04 ± 5.66^{b}	0.560	0.933 ± 0.162^{a}	0.700	0.933 ± 0.323
	25 NW	218.400	139.910 ± 22.073^{b}	35.94 ± 10.11^{a}	0.560	2.987 ± 0.705^{bv}	0.700	1.027 ± 0.705^{n}
	control	2.240	0.350 ± 0.246^{a}	NC	0.560	0.467 ± 0.162^{a}	0.700	0.467 ± 0.428
3	NW	17.920	2.427 ± 1.457^{a}	86.46 ± 8.13^{b}	0.560	0.840 ± 0.560^{a}	0.840	0.933 ± 0.162^{ab}
	5 NW	86.800	7.000 ± 3.429^{a}	91.94 ± 3.95^{b}	0.560	1.773 ± 0.162^{b}	0.840	2.333 ± 0.647^{c}
	25 NW	470.000	134.400 ± 17.464^{b}	71.41 ± 3.72^{a}	0.560	2.707 ± 0.162^{cv}	0.840	1.587 ± 0.162^{bcn}
	control	1.120	1.120 ± 0.469^{a}	NC	0.560	0.840 ± 0.000^{a}	0.840	0.747 ± 0.428^{a}
4	NW	15.320	1.937 ± 0.764^{a}	87.36 ± 4.99^{b}	0.560	0.933 ± 0.428^{ab}	0.560	0.933 ± 0.162
	5 NW	72.000	5.483 ± 2.481^{a}	92.39 ± 3.45^{b}	0.560	1.587 ± 0.428^{b}	0.560	0.933 ± 0.162
	25 NW	358.400	104.183 ± 13.627^{b}	70.93 ± 3.80^{a}	0.560	2.987 ± 0.323^{cv}	0.560	1.307 ± 0.323^{n}
	control	0.560	1.213 ± 0.592^{a}	NC	0.560	0.653 ± 0.428^{a}	0.560	0.840 ± 0.485
5	NW	15.680	2.380 ± 0.881^{a}	84.82 ± 5.62^{b}	0.560	1.027 ± 0.583^{a}	0.840	0.000 ± 0.000^{a}
	5 NW	68.600	3.967 ± 1.376^{a}	94.22 ± 2.01^{b}	0.560	1.307 ± 0.323^{a}	0.840	1.680 ± 0.485^{b}
	25 NW	375.200	90.300 ± 9.526^{b}	75.93 ± 2.54^{a}	0.560	3.173 ± 1.166^{bv}	0.840	1.960 ± 0.741^{bn}
	control	0.140	1.260 ± 0.950^{a}	NC	0.560	0.840 ± 0.000^{ab}	0.840	0.000 ± 0.000^{a}
6	NW	12.320	1.447 ± 0.275^{a}	88.26 ± 2.24^{b}	0.560	0.560 ± 0.280^{a}	0.560	1.493 ± 0.647^{ab}
	5 NW	70.000	3.967 ± 2.061^{a}	94.33 ± 2.94^{b}	0.560	0.840 ± 0.280^{a}	0.560	2.333 ± 0.705^{b}
	25 NW	355.000	73.967 ± 12.721^{b}	79.16 ± 3.59^{a}	0.560	1.773 ± 0.162^{bv}	0.560	1.027 ± 0.162^{an}
	control	0.140	1.307 ± 0.744^{a}	NC	0.560	0.467 ± 0.323^{a}	0.560	0.933 ± 0.323^{a}

ตารางที่ 4-8 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	FW		SW	
					น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	14.000	2.473 ± 0.543^{a}	82.33 ± 3.88^{b}	0.560	1.120 ± 0.741	0.560	1.120 ± 0.000
	5 NW	64.400	4.433 ± 2.243^{a}	93.12 ± 3.48^{c}	0.560	0.653 ± 0.162	0.560	1.307 ± 0.428
	25 NW	347.200	89.833 ± 22.616^{b}	74.13 ± 6.52^{a}	0.560	1.213 ± 0.162	0.560	1.493 ± 0.162
	control	0.140	2.193 ± 0.857^{a}	NC	0.560	0.653 ± 0.162	0.560	0.840 ± 0.741
8	NW	14.560	2.100 ± 0.425^{a}	85.58 ± 2.92^{b}	1.260	0.747 ± 0.428^{ab}	1.540	0.373 ± 0.352
	5 NW	68.600	5.833 ± 1.054^{a}	91.50 ± 1.54^{b}	1.260	0.933 ± 0.162^{abv}	1.540	0.607 ± 0.081^{n}
	25 NW	204.400	83.533 ± 12.852^{b}	59.13 ± 6.29^{a}	1.260	1.307 ± 0.162^{bv}	1.540	0.700 ± 0.140^{n}
	control	0.560	1.633 ± 0.372^{a}	NC	1.260	0.420 ± 0.370^{a}	1.540	0.840 ± 0.560
9	NW	14.840	1.680 ± 0.396^{a}	88.68 ± 2.67^{b}	0.770	0.373 ± 0.428^{a}	1.330	0.140 ± 0.140^{a}
	5 NW	63.000	4.900 ± 1.400^{a}	92.22 ± 2.22^{b}	0.770	0.187 ± 0.162^{a}	1.330	0.233 ± 0.214^{a}
	25 NW	327.600	89.600 ± 10.560^{b}	72.65 ± 3.22^{a}	0.770	1.307 ± 0.566^{b}	1.330	0.840 ± 0.242^{b}
	control	0.560	1.120 ± 0.307^{a}	NC	0.770	0.140 ± 0.242^{a}	1.330	0.093 ± 0.081^{a}
เฉลี่ย	NW	$**14.987 \pm 1.447^{a}$	$*2.180 \pm 1.001^{ab}$	85.50 ± 6.20^{b}	0.817 ± 0.548^{n}	0.954 ± 0.642^{a}	1.112 ± 0.795^{v}	0.949 ± 0.772^{a}
	5 NW	$**69.756 \pm 6.670^{b}$	$*7.608 \pm 6.347^{b}$	88.97 ± 9.45^{b}	$*0.817 \pm 0.548^{n}$	$**1.265 \pm 0.852^{a}$	1.112 ± 0.795^{v}	1.514 ± 1.002^{a}
	25 NW	$**331.533 \pm 77.15^{c}$	$*105.392 \pm 28.969^{c}$	66.19 ± 13.83^{a}	$*0.817 \pm 0.548^{n}$	$**4.739 \pm 7.431^{bn}$	1.112 ± 0.795^{v}	5.170 ± 11.363^{bv}
	control	$*0.622 \pm 0.663^{a}$	$**1.221 \pm 0.757^{a}$	NC	0.817 ± 0.548^{n}	0.726 ± 0.568^{a}	$**1.112 \pm 0.795^{v}$	$*0.767 \pm 0.726^{a}$

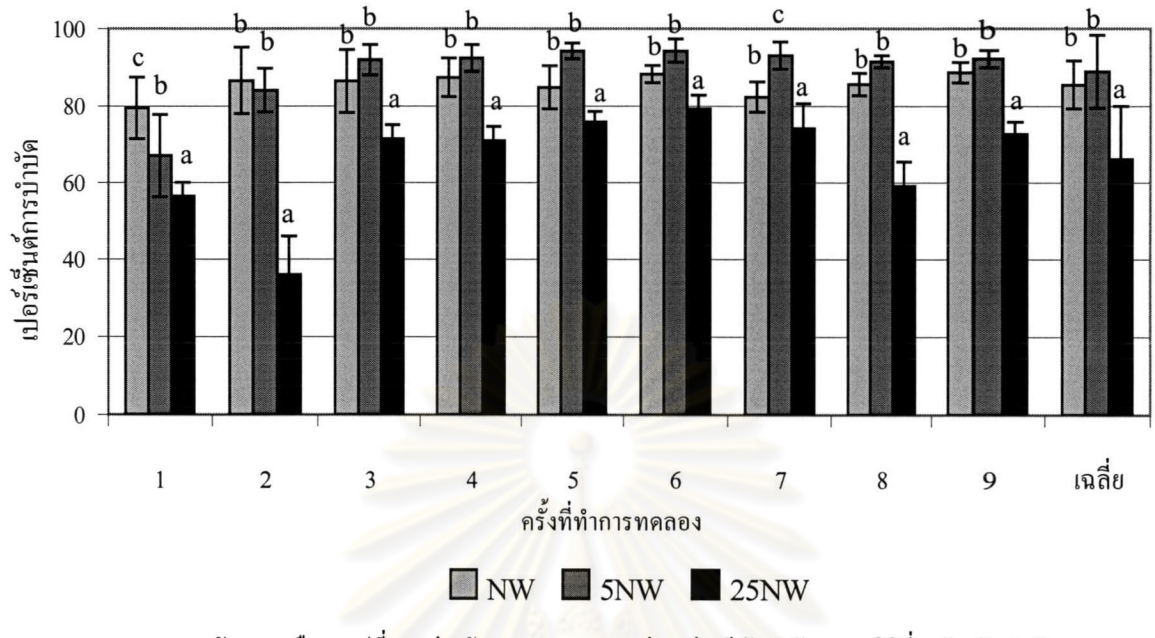
หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

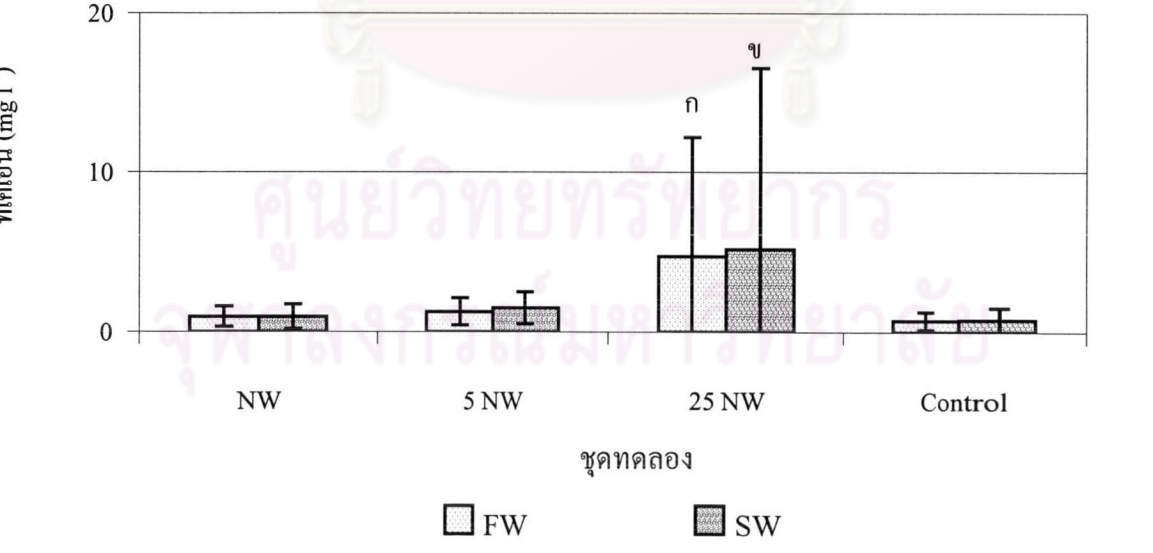
* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

NC = not calculated



หมายเหตุ อักษรเหนือกราฟที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

รูปที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การบำบัดทีเคเอ็น ในการทดลองระยะที่ 1



หมายเหตุ อักษรเหนือกราฟที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

รูปที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของน้ำออก ในระยะที่ 2

4.1.3.7 แอมโมเนีย (ammonia : NH_3)

1) ระยะที่ 1

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ให้แก่ชุดทดลองมีแอมโมเนียต่ำ คือ มีค่าเฉลี่ย 0.000-1.862 mg l^{-1} (ตารางที่ 4-9) ซึ่งแตกต่างจากน้ำเสียชุมชนทั่วไป ซึ่งมีแอมโมเนียเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 60 ของไนโตรเจนทั้งหมด (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) ทั้งนี้เพราะ การศึกษาครั้งนี้ใช้ยูเรียในการเตรียมน้ำเสีย ไนโตรเจนจึงอยู่ในรูปไนโตรเจนอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่

เมื่อทำการทดลองให้น้ำเสียแก่ชุดทดลอง พบว่าน้ำออกของทุกชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียสูงกว่าน้ำเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากยูเรียถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Brix, 1997; Mitsch and Gossellink, 2000) จึงทำให้แอมโมเนียมีค่าสูงขึ้น และค่าจะสูงขึ้นแปรผันตามความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับ คือ NW, 5 NW และ 25 NW ตามลำดับ

Chui et al. (1996) และ Mitsch and Gossellink (2000) กล่าวว่า พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสามารถบำบัดแอมโมเนียในน้ำเสียได้โดยอาศัยปัจจัยร่วมกันระหว่าง ดิน พืช และจุลชีพ ในการศึกษาครั้งนี้ ดินเลนจะดูดซับแอมโมเนียมไอออนจากน้ำเสียไว้โดยการแลกเปลี่ยนประจุ ส่วนกล้าไม้โกงกางใบใหญ่จะดูดดึงแอมโมเนียมไอออนทั้งที่ถูกดูดซับไว้ที่ผิวอนุภาคดิน และที่ละลายในน้ำไปใช้สร้างมวลชีวภาพได้ ซึ่ง Alongi et al. (2002) รายงานว่า ป่าโกงกางธรรมชาติสามารถนำไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไปใช้ได้ถึง 70-90 % ของแอมโมเนียทั้งหมด ในขณะเดียวกัน จุลชีพที่แขวนลอยในน้ำและเกาะอยู่ตามซับสเตรต จะช่วยลดแอมโมเนียโดยการแอสซิมิเลตไปใช้ในการเสริมสร้างเนื้อเยื่อ หรือช่วยในการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียให้เป็นไนเตรทซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ และหากชุดทดลองอยู่ในสภาวะไร้อากาศ จุลชีพจะรีดิวซ์ไนเตรทไปเป็นแอมโมเนีย และก๊าซไนโตรเจน ระเหยออกสู่บรรยากาศได้เมื่อความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 (ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543 อ้างตาม Boto, 1997)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	FW		SW	
				น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	0.000	1.773 ± 0.903^{a}	0.140	0.000	0.000	0.000
	5 NW	2.240	20.440 ± 3.827^{b}	0.140	0.000	0.000	0.000
	25 NW	5.040	137.147 ± 9.662^{c}	0.140	19.133 ± 3.308^{n}	0.000	34.813 ± 7.287^{y}
	control	0.000	0.187 ± 0.457^{a}	0.140	0.000	0.000	0.000
2	NW	0.000	0.280 ± 0.354^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	1.680	8.465 ± 3.903^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	3.920	134.150 ± 26.248^{b}	0.000	2.613 ± 1.864	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	0.000	6.360 ± 1.745^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	4.200	120.120 ± 12.954^{b}	0.000	0.680 ± 0.291	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	0.050	1.307 ± 0.810^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	0.750	94.733 ± 36.421^{b}	0.000	0.000	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	0.000	0.303 ± 0.472^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	0.700	81.947 ± 9.826^{b}	0.000	0.000	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	2.660	1.106 ± 0.582^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	0.840	71.673 ± 12.079^{b}	0.000	0.000	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4-9 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
				FW		SW	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	0.000	3.845 ± 2.363^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	0.560	85.958 ± 20.319^{b}	0.000	0.000	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	0.000	0.887 ± 0.449^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	0.420	81.525 ± 13.332^{b}	0.000	0.000	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	NW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5 NW	0.000	1.960 ± 0.970^{a}	0.000	0.000	0.000	0.000
	25 NW	0.560	82.040 ± 11.999^{b}	0.000	0.000	0.000	0.000
	control	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
เฉลี่ย	NW	$*0.000 \pm 0.000^{a}$	$**0.228 \pm 0.633^{a}$	0.020 ± 0.070	0.000	0.000	0.000
	5 NW	$*0.735 \pm 1.007^{b}$	$**4.964 \pm 6.425^{a}$	0.020 ± 0.070	0.000	0.000	0.000
	25 NW	$*1.862 \pm 1.848^{c}$	$**98.810 \pm 29.461^{b}$	0.020 ± 0.070	2.473 ± 6.150	0.000	3.868 ± 11.331
	control	$*0.000 \pm 0.000^{a}$	$**0.021 \pm 0.152^{a}$	0.020 ± 0.070	0.000	0.000	0.000

หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

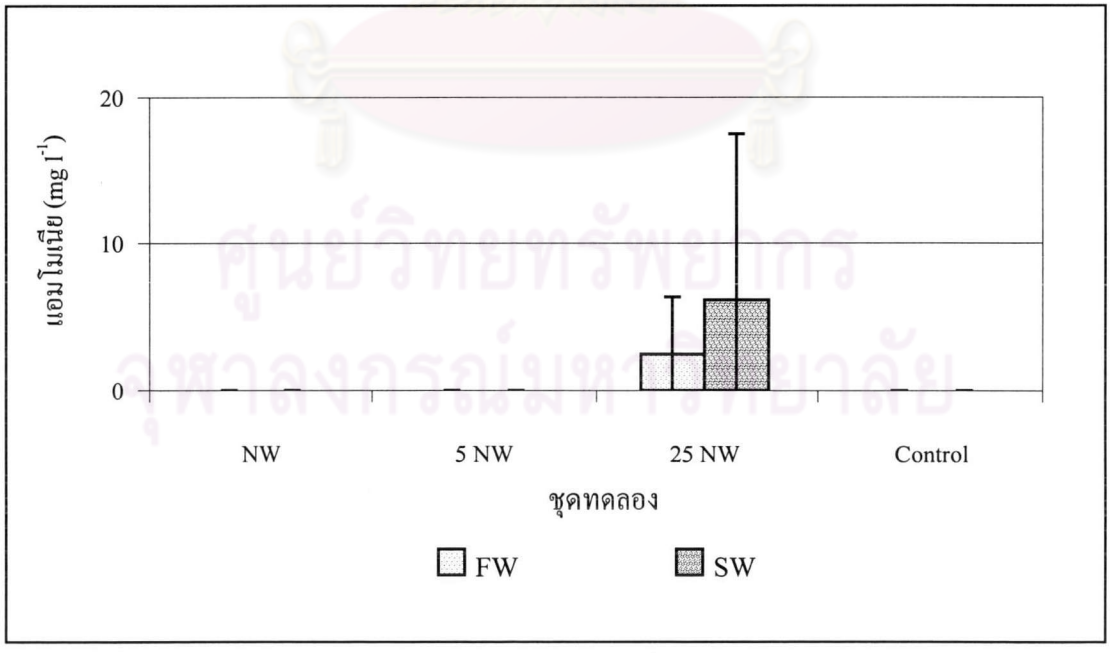
* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบ มีแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.020 และ 0.000 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-9) เมื่อทำการชะระบบ พบว่า น้ำจืดและน้ำทะเลจะมีผลต่อการชะแอมโมเนียในชุดทดลอง 25 NW เท่านั้น โดยน้ำจืดจะมีผลต่อการชะแอมโมเนียในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ขณะที่น้ำทะเลจะมีผลต่อการชะแอมโมเนียในการทดลองครั้งที่ 1 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะ Na^+ ในน้ำทะเลเข้าไปแทนที่ NH_4^+ ที่ดูดซับอยู่กับอนุภาคดิน (Chui et al., 1996) ทำให้ NH_4^+ ถูกปลดปล่อยจากดินจำนวนมาก และถูกชะออกมากับน้ำชะระบบภายในการทดลองครั้งที่ 1

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้น้ำจืดและน้ำทะเลชะระบบมีผลต่อการปลดปล่อยแอมโมเนียออกจากชุดทดลองในช่วงแรก โดยการชะระบบ 25 NW ด้วยน้ำทะเลมีผลทำให้แอมโมเนียปลดปล่อยออกมาปริมาณสูงกว่าการชะระบบน้ำจืด (รูปที่ 4-6) แต่อย่างไรก็ตามแอมโมเนียที่ปลดปล่อยออกมามีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยสรุป ผลของการให้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของทีเคเอ็นสูงถึง 25 NW ในระยะที่ 1 มีผลทำให้แอมโมเนียในน้ำออกมีค่าสูงมาก ซึ่งถ้าปล่อยน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำขึ้นได้ เพราะถ้าแหล่งน้ำมีแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียมไอออนสูง จะเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่าย และส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันขึ้นได้ อีกทั้งปริมาณแอมโมเนียที่สูงจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำด้วย (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 2528)



รูปที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียของน้ำออก ในระยะที่ 2

4.1.3.8 ไนเตรท (nitrate : NO_3^-)

1) ระยะที่ 1

ไนเตรทเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในน้ำและชั้นดินที่มีออกซิเจนเพียงพอ โดยขั้นตอนแรกจุลชีพพวก *Nitrosomonas* sp. จะเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไอออนเป็นไนไตรท์ จากนั้นจุลชีพพวก *Nitrobacter* sp. จะเปลี่ยนรูปไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทในขั้นตอนที่ 2 (Brix, 1997) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถบำบัดไนเตรทที่เกิดขึ้นได้ ด้วยการดูดดึงไนเตรทไปใช้โดยพืช หรือถ้าระบบอยู่ในสภาวะที่ขาดแคลนออกซิเจนจุลชีพพวก *Pseudomonas denitrificans* จะดึงออกซิเจนจากไนเตรทไปใช้ในการหายใจ ทำให้ไนเตรทถูกเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เป็นก๊าซไนโตรเจนระเหยสู่บรรยากาศ (Johnston, 1991)

น้ำเข้ามีไนเตรทเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.115-0.296 mg l^{-1} (ตารางที่ 4-10) ซึ่งเมื่อทำการให้น้ำเสียสังเคราะห์แก่ชุดทดลอง พบว่า ไนเตรทในน้ำออกมีค่าค่อนข้างแปรผันระหว่างชุดทดลอง คือ ชุด NW, 5 NW, 25 NW และ control มีไนเตรทเฉลี่ย 0.157, 0.648, 0.238 และ 0.053 mg l^{-1} ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าไนเตรทในน้ำออกของชุดทดลอง 5 NW มีค่าสูงกว่าน้ำเข้า ขณะที่ชุดทดลองอื่นมีค่าต่ำกว่า ซึ่งเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า น้ำออกของชุดทดลอง 5 NW ดังกล่าวมีไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองอื่น รวมทั้งชุดทดลอง 25 NW ซึ่งมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเป็นเพราะชุด 5 NW มีสภาวะเหมาะสมต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน คือ มีออกซิเจนละลายเพียงพอสำหรับกิจกรรมของจุลชีพในการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไอออนไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ ในขณะที่ชุด 25 NW มีออกซิเจนละลายต่ำกิจกรรมของจุลชีพดังกล่าวจึงเกิดขึ้นต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยไนเตรท ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
				FW		SW	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	NW	0.040	0.067 ± 0.037^{ab}	0.341	0.019 ± 0.021^{a}	0.442	0.011 ± 0.017^{a}
	5 NW	0.083	0.120 ± 0.037^{bc}	0.341	0.056 ± 0.033^{a}	0.442	0.062 ± 0.009^{a}
	25 NW	0.039	0.165 ± 0.066^{c}	0.341	3.643 ± 0.089^{b}	0.442	2.024 ± 1.406^{b}
	control	0.041	0.041 ± 0.038^{a}	0.341	0.029 ± 0.016^{a}	0.442	0.012 ± 0.021^{a}
2	NW	0.083	0.105 ± 0.127^{a}	0.333	0.006 ± 0.003^{a}	0.439	$0.006 \pm 0..002^{a}$
	5 NW	0.083	2.194 ± 1.128^{c}	0.333	0.014 ± 0.008^{a}	0.439	0.006 ± 0.002^{a}
	25 NW	0.126	0.924 ± 0.185^{b}	0.333	1.652 ± 0.967^{b}	0.439	0.736 ± 0.544^{b}
	control	0.083	0.066 ± 0.042^{a}	0.333	0.000 ± 0.001^{a}	0.439	0.001 ± 0.001^{a}
3	NW	0.040	0.123 ± 0.074	0.347	0.016 ± 0.003^{a}	0.457	0.011 ± 0.001^{a}
	5 NW	0.083	0.325 ± 0.432	0.347	0.036 ± 0.006^{bv}	0.457	0.011 ± 0.002^{an}
	25 NW	0.124	0.092 ± 0.192	0.347	0.106 ± 0.024^{cv}	0.457	0.042 ± 0.025^{bn}
	control	0.040	0.077 ± 0.032	0.347	0.010 ± 0.001^{a}	0.457	0.010 ± 0.002^{a}
4	NW	0.083	0.747 ± 0.710	0.414	0.020 ± 0.012^{a}	0.527	0.002 ± 0.001^{a}
	5 NW	0.083	0.395 ± 0.477	0.414	0.117 ± 0.013^{bv}	0.527	0.010 ± 0.007^{an}
	25 NW	1.322	0.116 ± 0.062	0.414	0.119 ± 0.013^{b}	0.527	0.056 ± 0.041^{b}
	control	0.083	0.085 ± 0.047	0.414	0.012 ± 0.007^{a}	0.527	0.006 ± 0.003^{a}
5	NW	0.254	0.302 ± 0.195^{a}	0.415	0.023 ± 0.016^{a}	0.584	0.005 ± 0.001^{a}
	5 NW	0.681	1.586 ± 1.063^{b}	0.415	0.071 ± 0.036^{bv}	0.584	0.010 ± 0.007^{an}
	25 NW	0.254	0.409 ± 0.301^{a}	0.415	0.135 ± 0.018^{cv}	0.584	0.055 ± 0.041^{bn}
	control	0.126	0.148 ± 0.052^{a}	0.415	0.004 ± 0.003^{a}	0.584	0.007 ± 0.003^{a}
6	NW	0.046	0.012 ± 0.007^{b}	0.412	0.008 ± 0.004^{a}	0.548	0.006 ± 0.005
	5 NW	0.049	0.000 ± 0.000^{a}	0.412	0.056 ± 0.026^{bc}	0.548	0.019 ± 0.016
	25 NW	0.017	$0.000 \pm 0.00\ 0^{a}$	0.412	0.084 ± 0.038^{c}	0.548	0.051 ± 0.057
	control	0.048	0.016 ± 0.009^{b}	0.412	0.017 ± 0.016^{a}	0.548	0.006 ± 0.002

ตารางที่ 4-10 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยไนเตรท ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1		ระยะที่ 2			
				FW		SW	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	0.270	0.012 ± 0.014^{b}	0.404	0.005 ± 0.001	0.527	0.003 ± 0.005
	5 NW	0.263	0.000 ± 0.000^{a}	0.404	0.066 ± 0.033	0.527	0.006 ± 0.002
	25 NW	0.220	0.000 ± 0.000^{a}	0.404	0.117 ± 0.030	0.527	0.034 ± 0.043
	control	0.248	0.018 ± 0.010^{b}	0.404	0.009 ± 0.010	0.527	0.000 ± 0.001
8	NW	0.283	0.014 ± 0.006^{a}	0.477	0.005 ± 0.002^{a}	0.584	0.006 ± 0.004
	5 NW	0.268	0.788 ± 0.595^{b}	0.477	0.034 ± 0.018^{ab}	0.584	0.005 ± 0.003
	25 NW	0.233	0.405 ± 0.181^{a}	0.477	0.054 ± 0.041^{b}	0.584	0.007 ± 0.002
	control	0.260	0.017 ± 0.013^{a}	0.477	0.000 ± 0.001^{a}	0.584	0.003 ± 0.001
9	NW	0.452	0.029 ± 0.033^{a}	0.394	0.001 ± 0.000	0.548	0.001 ± 0.000
	5 NW	0.394	0.427 ± 0.290^{b}	0.394	0.001 ± 0.001	0.548	0.001 ± 0.000
	25 NW	0.324	0.028 ± 0.026^{a}	0.394	0.001 ± 0.000	0.548	0.001 ± 0.000
	control	0.471	0.011 ± 0.003^{a}	0.394	0.000 ± 0.001	0.548	0.001 ± 0.000
เฉลี่ย	NW	0.172 ± 0.142^{ab}	0.157 ± 0.325^{a}	$**0.393 \pm 0.045^{n}$	$*0.012 \pm 0.011^{a\text{ข}}$	$**0.517 \pm 0.060^{\text{ข}}$	$*0.005 \pm 0.006^{an}$
	5 NW	$*0.221 \pm 0.201^{ab}$	$**0.648 \pm 0.911^{b}$	$**0.393 \pm 0.045^{n}$	$*0.050 \pm 0.038^{a\text{ข}}$	$**0.517 \pm 0.060^{\text{ข}}$	$*0.015 \pm 0.019^{an}$
	25 NW	0.296 ± 0.383^{b}	0.238 ± 0.319^{a}	0.393 ± 0.045^{n}	0.657 ± 1.216^{b}	$0.517 \pm 0.060^{\text{ข}}$	0.334 ± 0.772^{b}
	control	$*0.115 \pm 0.008^{a}$	$**0.053 \pm 0.053^{a}$	$**0.393 \pm 0.045^{n}$	$*0.009 \pm 0.012^{a}$	$**0.517 \pm 0.060^{\text{ข}}$	$*0.005 \pm 0.007^{a}$

หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

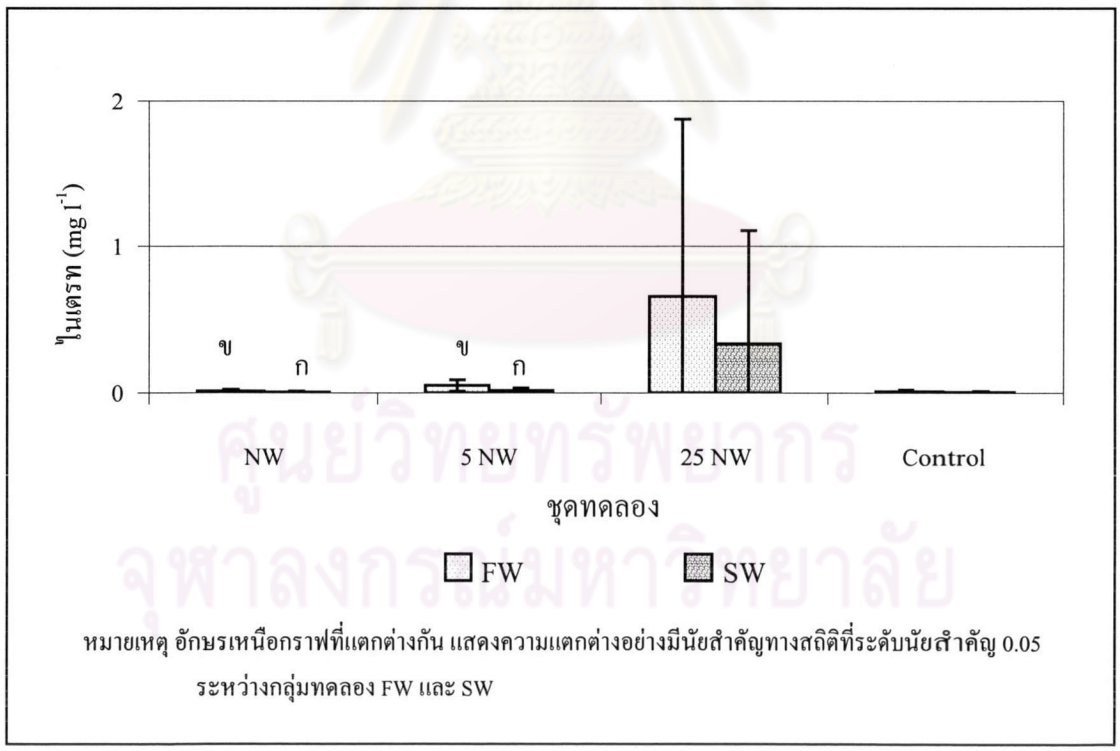
อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง FW และ SW มีไนเตรทเฉลี่ยเท่ากับ 0.393 และ 0.517 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-10) เมื่อให้น้ำชะระบบแก่กลุ่มทดลองทั้งสอง พบว่าไนเตรทในน้ำออกของชุดทดลองที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย NW, 5 NW และ 25 NW มีค่าต่ำกว่าน้ำเข้า ยกเว้นชุดทดลอง 25 NW ที่ชะด้วยน้ำจืด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.657 mg l^{-1} ทั้งนี้เนื่องจากชุด 25 NW มีการสะสมในโตรเจนจากการให้น้ำเสียในระยะที่ 1 สูง เมื่อนำมาชะระบบด้วยน้ำจืด จึงทำให้ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทได้สูง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนเตรทระหว่างกลุ่มที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล (รูปที่ 4-7) พบว่าน้ำจืดทำให้ไนเตรทปลดปล่อยออกจากชุดทดลองสูงกว่าน้ำทะเล ซึ่งอาจเป็นเพราะความเค็มของน้ำทะเลมีผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยจุลชีพ ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ Tam and Wong (1999) ที่รายงานว่าการให้น้ำเสียที่มีความเค็ม 15 psu แก่พื้นที่ชุ่มน้ำ จะพบไนเตรทเกิดขึ้นในปริมาณที่ต่ำกว่าการให้น้ำเสียปกติ (ความเค็ม 0 psu)
ทั้งนี้เพราะพื้นที่ชุ่มน้ำที่ได้รับน้ำทะเลจะมีจำนวนไนตริฟายอิงแบคทีเรียต่ำกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำที่ได้รับน้ำจืด (Tam, 1998)



หมายเหตุ อักษรเหนือกราฟที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

รูปที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยไนเตรทของน้ำออก ในระยะที่ 2

4.1.3.9 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus : TP)

1) ระยะที่ 1

ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ใช้ดินเลนซึ่งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อนุภาคดินเหนียว (clay) เท่ากับ 35.38 เป็นซับสเตรต (substate) ในการปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ซึ่งการบำบัดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เกิดขึ้นในดินหรือซับสเตรตมากที่สุด ดินเลนซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวสูงจะสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงกว่าดินประเภทอื่น (Gray, 2000 อ้างตาม Horan, 1990) นอกจากนี้กระบวนการตกตะกอน (sedimentation) และการก่อตะกอนผลึก (precipitation) ซึ่งเป็นการบำบัดฟอสฟอรัสที่สำคัญ เกิดขึ้นในดินเช่นเดียวกัน (Gray, 2000; Gray, 2000 อ้างตาม McEldowney, 1993) ปิยวรรณ สายมโนพันธ์ (2543) อ้างตาม Whigham et al. (1990) ว่าพืชมีส่วนช่วยในการบำบัดฟอสฟอรัส แต่การบำบัดโดยพืชจะมีเปอร์เซ็นต์ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดโดยดิน

น้ำเข้าของชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW มีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 4.271, 37.377 และ 128.959 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-11) น้ำออกมีค่าเท่ากับ 5.340, 42.860 และ 128.765 mg l^{-1} ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่าเท่ากับ -32.98, -6.80 และ 0.13 ตามลำดับ ส่วนน้ำเข้าและน้ำออกของชุด control มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.018 และ 0.019 mg l^{-1} ตามลำดับ

จากผลการทดลอง จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออกมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าจึงเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเป็นลบ แต่เมื่อพิจารณาตามครั้งที่ทำการทดลองพบว่าการทดลองครั้งที่ 1 ชุดทดลองสามารถบำบัดน้ำเสีย NW และ 5 NW ได้ดี ขณะที่การทดลองครั้งที่ 2 ถึง 9 ฟอสฟอรัสในน้ำออกส่วนใหญ่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ US. EPA (2000) ที่รายงานว่า พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมไม่สามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดจากน้ำเสียชุมชนได้ โดยน้ำออกจะมีค่าสูงฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าน้ำเข้า คือ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.68-3.60 และ 0.56-2.41 mg l^{-1} ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับที่ Greenway and Simson (1996) ได้รวบรวมผลการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลียไว้ว่า พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม Ingham wetland, Townsville wetland และ Blackall wetland ซึ่งปลูกพืชน้ำจืดมีความสามารถในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ไม่ดี เช่นเดียวกันแม้ได้รับน้ำเสียที่มีฟอฟอรัสทั้งหมดต่ำ (5-10 mg l^{-1}) โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8, 6 และ 3 % ตามลำดับ ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ ปิยวรรณ สายมโนพันธ์ (2543) ที่รายงานว่า พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้โกงกางใบใหญ่สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย 4.874 mg l^{-1} ได้ดี โดยที่มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 61.67 ซึ่งสูงกว่าการทดลองครั้งนี้มาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดเล็ก และมีดินเลนบรรจุอยู่น้อย จึงเป็นปัจจัยจำกัดในการบำบัดฟอสฟอรัส เมื่อให้น้ำเสียแก่ชุดทดลองซ้ำหลายครั้ง จึงทำให้ฟอสฟอรัสที่สะสมในดินชะละลายและปะปนออกมากับน้ำเสีย ทำให้น้ำออกมีฟอสฟอรัสสูงกว่าน้ำเข้า ซึ่ง

สอดคล้องกับ Kadlec (1995) ที่รายงานว่าดินจะดูดซับฟอสฟอรัสทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์สะสมไว้ แต่ถ้าถึงจุดอิ่มตัวดินจะไม่สามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้อีก และอาจถูกน้ำชะละลายออกมาได้อีกทั้ง Gray (2000) อ้างตาม McEldowney (1993) ได้กล่าวว่า ถ้าปริมาตรดินต่ำจะทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับและการก่อตะกอนผลึกต่ำด้วย

โดยสรุป การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโกงกางใบใหญ่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้น้ำที่ออกจากชุดทดลองมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูง ซึ่งถ้าปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียได้ ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสปริมาณสูงจะทำให้สาหร่ายเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันขึ้นได้ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบของกลุ่มทดลอง FW และ SW มีฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 0.019 mg l^{-1}และ 0.039 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-11) เมื่อให้น้ำชะระบบ พบว่าน้ำออกของทุกชุดทดลองมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าน้ำเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งแสดงว่าการชะระบบมีผลให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมอยู่ในชุดทดลองปลดปล่อยออกมา โดยที่การชะระบบครั้งที่ 1 ฟอสฟอรัสทั้งหมดจะถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณสูงที่สุด และมีค่าลดลงตามลำดับในการชะระบบในครั้งที่ 2 ถึง 9 และเมื่อเฉลี่ย 9 ครั้ง (รูปที่ 4-8) พบว่าชุดทดลอง 25 NW ปลดปล่อยฟอสฟอรัสทั้งหมดออกมาในปริมาณสูงที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากชุดทดลอง ที่ชะด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า น้ำจืดทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดปลดปล่อยออกมาสูงกว่าน้ำทะเล สรุปได้ว่าการชะระบบด้วยน้ำต่างประเภทกันมีผลให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมอยู่ในชุดทดลองปลดปล่อยออกมาต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-11 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg l^{-1}) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	FW		SW	
					น้ำเข้า	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำออก
1	NW	5.850	2.257 ± 1.146^{b}	61.42 ± 19.58^{c}	0.031	1.730 ± 0.151^{a}	0.029	1.937 ± 0.067^{b}
	5 NW	36.121	27.377 ± 1.138^{c}	24.21 ± 3.15^{b}	0.031	36.167 ± 1.969^{b}	0.029	39.682 ± 1.573^{c}
	25 NW	129.501	130.425 ± 2.105^{d}	-0.72 ± 1.62^{a}	0.031	128.262 ± 0.568^{c}	0.029	126.186 ± 0.643^{d}
	control	0.011	0.009 ± 0.012^{a}	NC	0.031	0.114 ± 0.084^{a}	0.029	0.017 ± 0.011^{a}
2	NW	4.192	3.784 ± 0.510^{b}	9.75 ± 12.16^{b}	0.039	1.692 ± 0.212^{b}	0.004	1.505 ± 0.046^{a}
	5 NW	44.622	46.960 ± 1.655^{c}	-5.24 ± 3.71^{a}	0.039	22.478 ± 0.269^{c}	0.004	22.237 ± 0.729^{b}
	25 NW	129.748	118.951 ± 3.149^{d}	8.32 ± 2.43^{b}	0.039	108.558 ± 0.504^{d}	0.004	104.262 ± 3.065^{c}
	control	0.013	0.000 ± 0.000^{a}	NC	0.039	0.035 ± 0.028^{a}	0.004	0.016 ± 0.008^{a}
3	NW	2.865	4.760 ± 1.393^{b}	-31.25 ± 28.45^{a}	0.004	$1.682 \pm 0.181^{a\nu}$	0.026	0.295 ± 0.042^{an}
	5 NW	36.957	46.914 ± 5.604^{c}	-26.94 ± 15.16^{a}	0.004	$15.795 \pm 0.598^{b\nu}$	0.026	7.187 ± 1.932^{bn}
	25 NW	129.278	130.164 ± 0.330^{d}	-0.68 ± 0.26^{b}	0.004	51.458 ± 14.965^{c}	0.026	33.527 ± 1.671^{c}
	control	0.000	0.009 ± 0.008^{a}	NC	0.004	0.029 ± 0.035^{a}	0.026	0.034 ± 0.028^{a}
4	NW	2.777	7.010 ± 1.316^{b}	-152.45 ± 47.39^{a}	0.012	1.034 ± 0.278^{a}	0.032	0.650 ± 0.201^{a}
	5 NW	32.848	49.667 ± 2.679^{c}	-51.20 ± 8.16^{b}	0.012	$15.203 \pm 0.483^{b\nu}$	0.032	10.941 ± 1.766^{bn}
	25 NW	129.465	130.603 ± 0.448^{d}	-0.88 ± 0.35^{c}	0.012	$36.475 \pm 2.576^{c\nu}$	0.032	28.900 ± 3.155^{cn}
	control	0.007	0.007 ± 0.011^{a}	NC	0.012	0.050 ± 0.021^{a}	0.032	0.035 ± 0.030^{a}
5	NW	4.208	5.459 ± 1.423^{b}	-29.12 ± 34.08^{a}	0.025	$1.022 \pm 0.283^{a\nu}$	0.056	0.431 ± 0.034^{an}
	5 NW	49.280	47.754 ± 1.853^{c}	3.10 ± 3.76^{b}	0.025	12.197 ± 2.197^{b}	0.056	7.046 ± 2.235^{b}
	25 NW	129.888	129.686 ± 0.418^{d}	0.16 ± 0.32^{b}	0.025	$33.649 \pm 2.328^{c\nu}$	0.056	21.836 ± 3.621^{cn}
	control	0.013	0.043 ± 0.024^{a}	NC	0.025	0.058 ± 0.053^{a}	0.056	0.036 ± 0.025^{a}
6	NW	5.669	7.286 ± 0.779^{b}	-30.75 ± 12.91^{a}	0.026	$0.871 \pm 0.236^{a\nu}$	0.026	0.286 ± 0.040^{an}
	5 NW	51.135	50.118 ± 1.304^{c}	1.99 ± 2.55^{b}	0.026	$10.784 \pm 1.433^{b\nu}$	0.026	6.536 ± 1.570^{bn}
	25 NW	124.999	129.792 ± 0.314^{d}	-3.83 ± 0.25^{b}	0.026	$29.625 \pm 1.642^{c\nu}$	0.026	22.935 ± 1.192^{cn}
	control	0.052	0.030 ± 0.017^{a}	NC	0.026	0.113 ± 0.049^{a}	0.026	0.045 ± 0.056^{a}

ตารางที่ 4-11 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg l^{-1}) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
					FW		SW	
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	7.061	7.703 ± 0.408^{b}	-9.09 ± 5.78^{b}	0.006	$0.718 \pm 0.158^{a\nu}$	0.037	$0.203 \pm 0.048^{a\eta}$
	5 NW	35.116	43.269 ± 3.716^{c}	-23.22 ± 10.58^{a}	0.006	8.547 ± 2.758^{b}	0.037	4.614 ± 1.497^{b}
	25 NW	128.724	128.355 ± 2.580^{d}	0.29 ± 2.01^{c}	0.006	$18.713 \pm 1.281^{c\nu}$	0.037	$14.447 \pm 0.555^{c\eta}$
	control	0.067	0.046 ± 0.031^{a}	NC	0.006	$0.150 \pm 0.065^{a\nu}$	0.037	$0.014 \pm 0.008^{a\eta}$
8	NW	2.896	4.899 ± 0.679^{b}	-69.17 ± 23.43^{a}	0.021	$0.565 \pm 0.100^{a\nu}$	0.068	$0.169 \pm 0.092^{a\eta}$
	5 NW	41.395	35.669 ± 2.759^{c}	13.83 ± 6.66^{b}	0.021	3.978 ± 0.553^{b}	0.068	3.707 ± 1.319^{b}
	25 NW	129.844	124.301 ± 7.966^{d}	4.27 ± 6.13^{b}	0.021	16.592 ± 1.733^{c}	0.068	15.165 ± 1.998^{c}
	control	0.000	0.015 ± 0.007^{a}	NC	0.021	0.085 ± 0.052^{a}	0.068	0.010 ± 0.003^{a}
9	NW	2.920	4.902 ± 1.458^{b}	-46.18 ± 40.02^{a}	0.004	$0.514 \pm 0.108^{a\nu}$	0.035	$0.143 \pm 0.121^{a\eta}$
	5 NW	38.915	38.011 ± 2.133^{c}	2.32 ± 5.48^{b}	0.004	3.401 ± 0.522^{b}	0.035	3.196 ± 1.216^{b}
	25 NW	129.188	136.606 ± 5.237^{d}	-5.74 ± 4.05^{b}	0.004	17.301 ± 1.349^{c}	0.035	14.566 ± 1.503^{c}
	control	0.002	0.008 ± 0.008^{a}	NC	0.004	0.078 ± 0.053^{a}	0.035	0.014 ± 0.008^{a}
เฉลี่ย	NW	4.271 ± 1.525^{b}	5.340 ± 1.953^{b}	-32.98 ± 61.12^{a}	$*0.019 \pm 0.013^{\eta}$	$**1.092 \pm 0.500^{a}$	$*0.039 \pm 0.015^{\nu}$	$**0.624 \pm 0.629^{a}$
	5 NW	37.377 ± 11.947^{c}	42.860 ± 7.766^{c}	-6.80 ± 23.15^{b}	$*0.019 \pm 0.013^{\eta}$	$**14.144 \pm 9.862^{b}$	$*0.039 \pm 0.015^{\nu}$	$**11.683 \pm 11.594^{a}$
	25 NW	128.959 ± 1.469^{d}	128.765 ± 5.646^{d}	0.13 ± 4.67^{b}	$*0.019 \pm 0.013^{\eta}$	$**48.959 \pm 39.817^{c}$	$*0.039 \pm 0.015^{\nu}$	$**42.425 \pm 40.530^{b}$
	control	0.018 ± 0.023^{a}	0.019 ± 0.022^{a}	NC	$*0.019 \pm 0.013^{\eta}$	$**0.079 \pm 0.058^{a\nu}$	$**0.039 \pm 0.015^{\nu}$	$*0.026 \pm 0.024^{a\eta}$

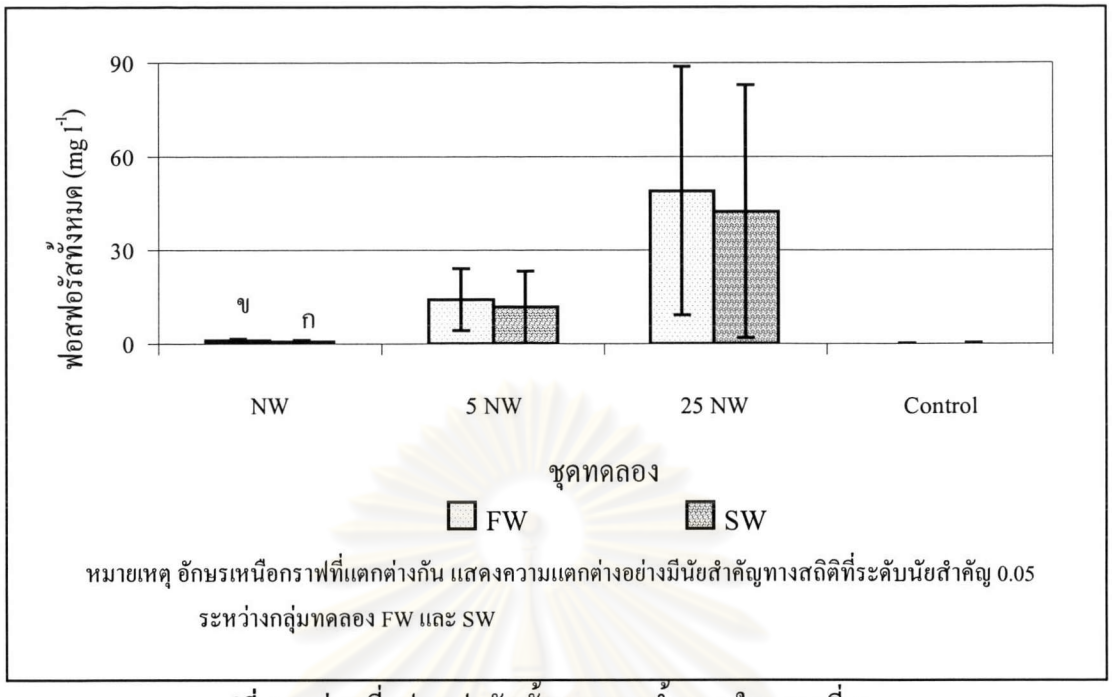
หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

NC = not calculated



หมายเหตุ อักษรเหนือกราฟที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

รูปที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำออก ในระยะที่ 2

4.1.3.10 ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate)

1) ระยะที่ 1

น้ำเข้าของชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW มีออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 3.865, 33.931 และ 117.178 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-12) น้ำออกมีค่าเท่ากับ 5.312, 39.316 และ 117.220 mg l^{-1} ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่าเท่ากับ -49.16, -26.38 และ -0.05 ตามลำดับ ส่วนน้ำเข้าและน้ำออกของชุด control มีค่าออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 0.017 และ 0.017 mg l^{-1} ตามลำดับ

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่าเป็นลบ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลองของฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งนี้เพราะน้ำในชุดทดลองมีสภาวะเป็นด่าง (ความเป็นกรด-ด่างมีค่าเฉลี่ยในช่วง 7.80-8.01) ออร์โธฟอสเฟตที่ดูดซับอยู่กับเหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียมในดิน จึงละลายออกมากับน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองได้ (Mitsch and Gosselink, 2000)

การบำบัดออร์โธฟอสเฟตออกจากน้ำเสียเกิดขึ้นในดินเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด แต่ออร์โธฟอสเฟตสามารถถูกพืชและสาหร่ายดูดดึงไปใช้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองครั้งนี้ พบว่า น้ำในทุกชุดทดลองมีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 ซึ่งเป็นสภาวะที่ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในรูปของ PO_4^{3-} ซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดดึงไปใช้ได้ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับรูป $H_2PO_4^-$ และ $H_2PO_4^{2-}$ ตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 และ ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) จึงทำให้การบำบัดออร์โธฟอสเฟตโดยพืชมีเปอร์เซ็นต์ต่ำด้วย

ตารางที่ 4-12 ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟต ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	FW		SW	
					น้ำเข้า	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำออก
1	NW	5.299	3.040 ± 2.382^{a}	42.63 ± 44.95^{c}	0.028	1.578 ± 0.128^{a}	0.026	1.765 ± 0.060^{b}
	5 NW	32.576	25.070 ± 0.998	23.04 ± 3.07^{b}	0.028	33.031 ± 1.781^{b}	0.026	36.356 ± 1.623^{c}
	25 NW	117.140	122.770 ± 7.055^{c}	-4.81 ± 6.02^{a}	0.028	116.517 ± 0.354^{c}	0.026	116.290 ± 0.613^{d}
	control	0.010	0.004 ± 0.003^{a}	NC	0.028	0.104 ± 0.077^{a}	0.026	0.015 ± 0.010^{a}
2	NW	3.806	3.408 ± 0.434^{b}	10.44 ± 11.41^{b}	0.035	1.554 ± 0.194^{b}	0.040	1.367 ± 0.041^{a}
	5 NW	40.600	42.600 ± 1.406^{c}	-4.93 ± 3.46^{a}	0.035	20.697 ± 0.239^{c}	0.040	20.255 ± 0.681^{b}
	25 NW	118.330	107.478 ± 2.792^{d}	9.17 ± 2.36^{b}	0.035	100.224 ± 0.552^{dv}	0.040	95.226 ± 2.864^{cn}
	control	0.012	0.000 ± 0.000^{a}	NC	0.035	0.032 ± 0.026^{a}	0.040	0.014 ± 0.007^{a}
3	NW	2.631	3.674 ± 1.144^{b}	-39.61 ± 43.45^{a}	0.004	1.524 ± 0.160^{av}	0.024	0.262 ± 0.037^{an}
	5 NW	33.460	43.251 ± 4.089^{c}	-29.26 ± 12.22^{a}	0.004	14.300 ± 0.477^{bv}	0.024	6.525 ± 1.755^{bn}
	25 NW	116.460	117.905 ± 0.093^{d}	-1.24 ± 0.08^{b}	0.004	46.500 ± 13.457^{c}	0.024	30.283 ± 1.512^{c}
	control	0.000	0.010 ± 0.009^{a}	NC	0.004	0.027 ± 0.032^{a}	0.024	0.031 ± 0.025^{a}
4	NW	2.506	6.285 ± 1.276^{b}	-150.81 ± 50.92^{a}	0.012	0.938 ± 0.255^{a}	0.029	0.588 ± 0.180^{a}
	5 NW	29.720	45.840 ± 1.157^{c}	-54.24 ± 3.89^{b}	0.012	13.767 ± 0.491^{bv}	0.029	9.933 ± 1.601^{bn}
	25 NW	117.480	118.245 ± 0.093^{d}	-0.65 ± 0.08^{c}	0.012	32.967 ± 2.277^{cv}	0.029	26.100 ± 2.799^{cn}
	control	0.006	0.007 ± 0.010^{a}	NC	0.012	0.125 ± 0.018^{a}	0.029	0.032 ± 0.027^{a}
5	NW	3.828	8.585 ± 8.110^{b}	-124.24 ± 211.84^{a}	0.023	0.925 ± 0.258^{av}	0.050	0.391 ± 0.031^{an}
	5 NW	44.884	43.161 ± 1.649^{c}	3.84 ± 3.67^{b}	0.023	9.933 ± 1.981^{b}	0.050	6.367 ± 2.034^{b}
	25 NW	116.970	117.423 ± 0.139^{d}	-0.39 ± 0.12^{b}	0.023	30.433 ± 2.183^{cv}	0.050	19.800 ± 3.339^{cn}
	control	0.012	0.034 ± 0.014^{a}	NC	0.023	0.053 ± 0.048^{a}	0.050	0.033 ± 0.022^{a}
6	NW	5.128	7.040 ± 0.177^{b}	-37.29 ± 3.46^{a}	0.023	0.790 ± 0.215^{av}	0.023	0.260 ± 0.036^{an}
	5 NW	46.720	45.383 ± 1.228^{c}	2.86 ± 2.63^{b}	0.023	9.733 ± 1.305^{bv}	0.023	5.917 ± 1.425^{bn}
	25 NW	117.820	117.678 ± 0.167^{d}	0.12 ± 0.14^{b}	0.023	26.867 ± 1.504^{cv}	0.023	20.717 ± 1.103^{cn}
	control	0.047	0.027 ± 0.016^{a}	NC	0.023	0.103 ± 0.044^{a}	0.023	0.041 ± 0.051^{a}

ตารางที่ 4-12 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟต ($mg\ l^{-1}$) ของน้ำเข้า และน้ำออก ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ และเปอร์เซ็นต์การบำบัดในระยะที่ 1

ครั้งที่	ชุดทดลอง	ระยะที่ 1			ระยะที่ 2			
		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด	FW		SW	
					น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
7	NW	6.336	7.043 ± 0.403^{b}	-11.16 ± 6.36^{b}	0.005	$0.649 \pm 0.143^{a\nu}$	0.037	0.184 ± 0.043^{an}
	5 NW	31.624	41.886 ± 2.366^{c}	-32.45 ± 7.48^{a}	0.005	$7.742 \pm 2.488^{b\nu}$	0.037	4.175 ± 1.353^{bn}
	25 NW	117.140	117.332 ± 2.086^{d}	-0.16 ± 1.78^{c}	0.005	17.000 ± 1.155^{c}	0.037	13.058 ± 0.539^{c}
	control	0.060	0.042 ± 0.028^{a}	NC	0.005	$0.136 \pm 0.058^{a\nu}$	0.037	0.013 ± 0.007^{an}
8	NW	2.609	3.855 ± 0.431^{b}	-47.76 ± 16.51^{a}	0.021	$0.517 \pm 0.094^{a\nu}$	0.063	0.154 ± 0.083^{an}
	5 NW	37.676	32.293 ± 2.472^{c}	14.29 ± 6.56^{b}	0.021	3.633 ± 0.508^{b}	0.063	3.400 ± 1.207^{b}
	25 NW	116.970	112.506 ± 7.337^{d}	3.82 ± 6.27^{b}	0.021	15.075 ± 1.606^{c}	0.063	13.950 ± 1.833^{c}
	control	0.000	0.024 ± 0.022^{a}	NC	0.021	0.078 ± 0.048^{a}	0.063	0.009 ± 0.003^{a}
9	NW	2.643	4.880 ± 0.896^{b}	-84.66 ± 33.90^{b}	0.004	$0.466 \pm 0.096^{a\nu}$	0.034	0.130 ± 0.109^{an}
	5 NW	8.118	34.355 ± 1.925^{c}	-160.57 ± 189.21^{a}	0.004	3.089 ± 0.471^{b}	0.034	2.883 ± 1.093^{b}
	25 NW	116.290	123.644 ± 4.960^{d}	-6.32 ± 4.27^{c}	0.004	15.692 ± 1.259^{c}	0.034	13.158 ± 1.373^{c}
	control	0.002	0.007 ± 0.009^{a}	NC	0.004	0.071 ± 0.048^{a}	0.034	0.013 ± 0.007^{a}
เฉลี่ย	NW	$*3.865 \pm 1.367^{b}$	$**5.312 \pm 3.272^{b}$	-49.16 ± 92.17^{a}	$*0.017 \pm 0.011^{n}$	$**0.994 \pm 0.457^{a}$	$*0.036 \pm 0.014^{\nu}$	$**0.567 \pm 0.572^{a}$
	5 NW	$*33.931 \pm 10.920^{c}$	$**39.316 \pm 7.040^{c}$	-26.38 ± 79.08^{b}	$*0.017 \pm 0.011^{n}$	$**12.881 \pm 9.032^{b}$	$*0.036 \pm 0.014^{\nu}$	$**10.646 \pm 10.629^{b}$
	25 NW	117.178 ± 0.610^{d}	117.220 ± 5.905^{d}	-0.05 ± 5.31^{c}	$*0.017 \pm 0.011^{n}$	$**44.586 \pm 36.462^{c}$	$*0.036 \pm 0.014^{\nu}$	$**38.731 \pm 37.323^{c}$
	control	0.017 ± 0.021^{a}	0.017 ± 0.020^{a}	NC	$*0.017 \pm 0.011^{n}$	$**0.072 \pm 0.053^{a\nu}$	$**0.036 \pm 0.014^{\nu}$	$*0.022 \pm 0.022^{an}$

หมายเหตุ น้ำเข้าในระยะที่ 1 และ 2 แสดงค่าของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 1 ซ้ำ; น้ำออกในระยะที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ ส่วนในระยะที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) ในระยะที่ 1 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

อักษรไทยมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่ม FW และ SW (น้ำเข้าเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และน้ำออกเปรียบเทียบกับน้ำออก)

* มุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก

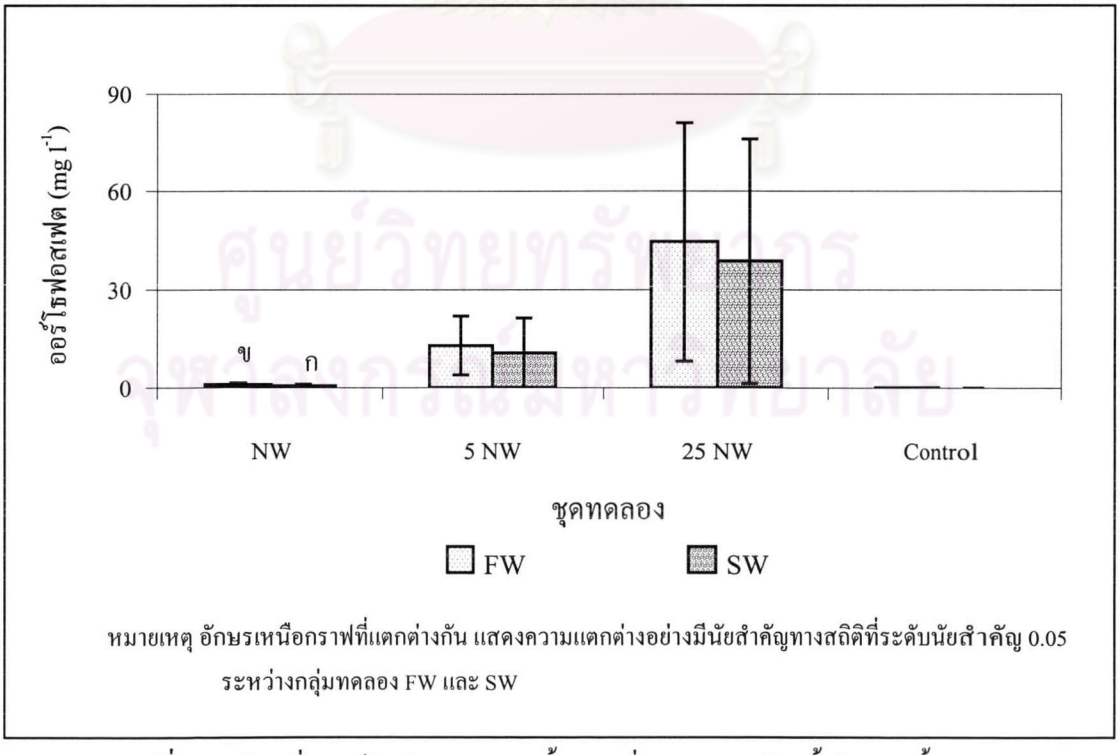
NC = not calculated

2) ระยะที่ 2

น้ำจืด และน้ำทะเล ที่ใช้ชะระบบมีออร์โธฟอสเฟตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.017 และ 0.036 mg l^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-12) เมื่อทำการทดลองชะระบบ พบว่า มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับฟอสฟอรัสทั้งหมด คือ น้ำออกจากทุกชุดทดลองมีออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าน้ำเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะออร์โธฟอสเฟตที่สะสมในชุดทดลองถูกปลดปล่อยออกมา โดยที่การชะระบบครั้งที่ 1 มีการปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตออกมาสูงที่สุด และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อชะระบบในครั้งที่ 2 ถึง 9 เมื่อเฉลี่ยการทดลอง 9 ครั้ง ชุดทดลอง NW, 5 NW, 25 NW และ control ที่ชะด้วยน้ำจืดมีออร์โธฟอสเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 0.994, 12.881, 44.586 และ 0.072 mg l^{-1} ตามลำดับ (รูปที่ 4-9) ส่วนชุดที่ชะด้วยน้ำทะเลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.567, 10.646, 38.731 และ 0.022 mg l^{-1} ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าชุดทดลอง 25 NW ของกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเลมีออร์โธฟอสเฟตของน้ำออกสูงที่สุด และแตกต่างจากชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากชุดทดลอง 25 NW ผ่านการรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุด จึงทำให้ออร์โธฟอสเฟตที่สะสมในชุดทดลองถูกชะละลายและปลดปล่อยออกมาปริมาณสูงที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบออร์โธฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมากับน้ำออกระหว่างกลุ่มทดลอง พบว่ากลุ่มทดลองซึ่งชะด้วยน้ำจืดปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตสูงกว่ากลุ่มทดลองซึ่งชะด้วยน้ำทะเล สรุปได้ว่าการชะระบบด้วยน้ำต่างประเภทกันมีผลให้ออร์โธฟอสเฟตที่สะสมอยู่ในชุดทดลองปลดปล่อยออกมาต่างกัน



หมายเหตุ อักษรเหนือกราฟที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

รูปที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตของน้ำออกเมื่อชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล

4.1.4 การคาดประมาณสัดส่วนการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด

ผลการศึกษาคุณภาพในการทดลองระยะที่ 1 (ตารางที่ 4-3 ถึง ตารางที่ 4-12) ซึ่งให้น้ำเสียแก่ชุดทดลองทั้งหมดปริมาตร 0.18 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำมาคาดประมาณสัดส่วนการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ต่อพื้นที่ป่าชายเลน 1 ไร่ ในระยะเวลา 1 ปี ได้ดังตารางที่ 4-13 ซึ่งสรุปได้ว่า ชุดทดลองสามารถบำบัดบีโอดี และทีเคเอ็นได้สูงขึ้น เมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงขึ้น โดยชุดทดลอง 25 NW สามารถบำบัดบีโอดี และทีเคเอ็นได้สูงที่สุด คือ 159.50 และ 73.126 กิโลกรัม ไร่$^{-1}$ ปี$^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ชุดทดลองสามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ไม่ดี โดยที่ชุดทดลอง 25 NW บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 0.063 กิโลกรัม ไร่$^{-1}$ ปี$^{-1}$ ส่วนชุด NW และ 5 NW บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่ได้ ทั้งยังปลดปล่อยฟอสฟอรัสทั้งหมดออกมาในปริมาณที่สูงขึ้นด้วย ซึ่ง กนกพร บุญส่ง และ อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ (2538) ศึกษาในทำนองเดียวกัน แต่เป็นการคาดประมาณปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พืชป่าชายเลนสามารถนำไปใช้ได้ พบว่า สังคมพืชป่าชายเลนทำให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงประมาณ 34.848 และ 4.650 กิโลกรัม ไร่$^{-1}$ ปี$^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาแตกต่างจากผลการทดลองในการศึกษาครั้งนี้ คือ ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้บำบัดไนโตรเจนได้สูงกว่า (ชุดทดลอง 25 NW) ขณะที่ฟอสฟอรัสทั้งหมดบบำบัดได้ต่ำกว่า (ชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW)

ตารางที่ 4-13 การคาดประมาณสัดส่วนการบำบัดบีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสทั้งหมด ต่อพื้นที่ 1 ไร่ ในระยะเวลา 1 ปี

พารามิเตอร์	น้ำเสียที่ชุดทดลองสามารถบำบัดได้ (กิโลกรัม ไร่$^{-1}$ ปี$^{-1}$)		
	NW	5 NW	25 NW
บีโอดี	5.74	29.83	159.50
ทีเคเอ็น	4.141	20.097	73.126
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.346*	1.773*	0.063

หมายเหตุ * มุมบนขวา แสดงถึง สัดส่วนที่ชุดทดลองปลดปล่อยมลสารออกมา

4.2 ผลการศึกษาสมบัติดิน

4.2.1 สมบัติดินก่อนการทดลอง

ดินเลนที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 4-14) มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 7.93-7.95 ความเค็ม 8.37-10.08 psu ทีเคเอ็น 1.519-1.599 mg g^{-1} แอมโมเนีย 0.018-0.019 mg g^{-1} ไนเตรท 0.018-0.019 mg g^{-1} ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.161-0.179 mg g^{-1} และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 0.157-0.169 mg g^{-1} มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) โดยเปอร์เซ็นต์ของอนุภาค ทราย (sand) : ทรายแป้ง (silt) : ดินเหนียว (clay) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.88 : 24.74 : 35.38

ตารางที่ 4-14 สมบัติดินก่อนการทดลองระยะที่ 1

พารามิเตอร์	ชุดทดลอง				เฉลี่ย
	NW	5 NW	25 NW	control	
ความเป็นกรด-ด่าง	7.95 ± 0.02	7.93 ± 0.02	7.94 ± 0.02	7.93 ± 0.04	7.94 ± 0.03
ความเค็ม (psu)	10.08 ± 1.85	8.67 ± 0.68	8.88 ± 1.08	8.37 ± 0.97	9.00 ± 1.32
การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})	17.19 ± 2.94	14.95 ± 1.11	15.27 ± 1.72	14.47 ± 1.56	15.47 ± 2.10
ทีเคเอ็น (mg g^{-1})	1.570 ± 0.078	1.573 ± 0.152	1.599 ± 0.113	1.519 ± 0.055	1.565 ± 0.103
แอมโมเนียมไอออน (mg g^{-1})	0.019 ± 0.000	0.019 ± 0.000	0.018 ± 0.000	0.019 ± 0.000	0.019 ± 0.000
ไนเตรท (mg g^{-1})	0.019 ± 0.000	0.019 ± 0.000	0.018 ± 0.000	0.019 ± 0.000	0.019 ± 0.000
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg g^{-1})	0.164 ± 0.008	0.166 ± 0.015	0.161 ± 0.011	0.179 ± 0.011	0.167 ± 0.130
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg g^{-1})	0.160 ± 0.008	0.158 ± 0.010	0.157 ± 0.008	0.169 ± 0.009	0.161 ± 0.010
% ทราย (sand)	-	-	-	-	39.88 ± 1.79
% ทรายแป้ง (silt)	-	-	-	-	24.74 ± 1.64
% ดินเหนียว (clay)	-	-	-	-	35.38 ± 0.54
ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)	-	-	-	-	ดินร่วนเหนียว (clay loam)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติดินก่อน และหลังการทดลอง

4.2.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีสภาพเป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) คือ มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 7.93-7.95 (ตารางที่ 4-15) ซึ่งแตกต่างจากดินในป่าชายเลนทั่วไปซึ่งมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากดินในป่าชายเลนมีการท่วมขังของน้ำอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนในดินต่ำ จุลชีพจึงย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จนกระทั่งซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ จึงทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด อีกทั้งการย่อยสลายเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ร่วงหล่นและสะสมอยู่จะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้นทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดด้วย ขณะที่การศึกษาครั้งนี้ภายหลังการกักเก็บน้ำ จะระบายน้ำออกและปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน ทำให้ดินมีการระบายอากาศดี ดังนั้นการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงมีออกซิเจนเพียงพอ และไม่เกิดซัลไฟด์ขึ้นในชุดทดลอง ดินในทุกชุดทดลองจึงไม่มีสภาพเป็นกรด

เมื่อให้น้ำเสียสังเคราะห์แก่ชุดทดลอง พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ภายหลังการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4-10, ก) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างชุดทดลองทั้ง 4 ชุด คือ NW, 5 NW, 25 NW และ control ด้วย one-way ANOVA พบว่า ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างกัน สรุปได้ว่า การให้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างกันแก่ชุดทดลอง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดิน

2) ระยะที่ 2

ก่อนการทดลองชะระบบ ความเป็นกรด-ด่างของดินในกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าอยู่ในช่วง 7.90-8.18 และ 7.88-8.04 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-15 และรูปที่ 4-10, ข) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 8.06-8.18 ในขณะที่กลุ่มที่ชะระบบด้วยน้ำทะเลมีค่าต่ำลง อยู่ในช่วง 7.69-7.80 ทั้งนี้เพราะการให้น้ำจืดแก่ชุดทดลองมีผลให้จุลชีพเพิ่มจำนวนได้มากกว่าการให้น้ำทะเล (Tam, 1998) อัตราการหายใจและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงสูงกว่า ทำให้สมดุลคาร์บอเนตในน้ำเปลี่ยนไป ความเป็นกรด-ด่างของน้ำจึงสูงขึ้น และทำให้ดินมีความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นด้วย (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535)

โดยสรุป การใช้น้ำจืดชะระบบทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินสูงกว่าการใช้น้ำทะเลชะระบบ

ตารางที่ 4-15 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	7.95 ± 0.02	8.07 ± 0.07
5 NW	7.93 ± 0.02	7.92 ± 0.05
25 NW	7.94 ± 0.02	8.03 ± 0.18
control	7.93 ± 0.04	8.05 ± 0.14

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

(ข) ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	8.10 ± 0.08^{b}	$8.14 \pm 0.12^{b**}$	$8.22 \pm 0.02^{b**}$	$8.18 \pm 0.09^{**}$
	5 NW	$^{a}7.90 \pm 0.02^{a}$	$^{b}8.12 \pm 0.08^{b**}$	$^{b}8.13 \pm 0.15^{b**}$	$^{b}8.18 \pm 0.06^{**}$
	25 NW	$^{c}8.18 \pm 0.03^{b**}$	$^{a}7.90 \pm 0.01^{a**}$	$^{a}7.89 \pm 0.04^{a**}$	$^{b}8.06 \pm 0.10^{**}$
	control	8.15 ± 0.13^{b}	$8.20 \pm 0.07^{b**}$	$8.22 \pm 0.07^{b**}$	$8.18 \pm 0.04^{**}$
SW	NW	8.04 ± 0.06^{b}	$7.78 \pm 0.07^{c*}$	$7.83 \pm 0.16^{*}$	$7.80 \pm 0.10^{*}$
	5 NW	$^{b}7.94 \pm 0.07^{ab}$	$^{a}7.67 \pm 0.04^{a*}$	$^{a}7.73 \pm 0.02^{*}$	$^{a}7.71 \pm 0.11^{*}$
	25 NW	$7.88 \pm 0.12^{a*}$	$7.68 \pm 0.03^{ab*}$	$7.81 \pm 0.24^{*}$	$7.69 \pm 0.04^{*}$
	control	$^{c}7.95 \pm 0.01^{ab}$	$^{a}7.75 \pm 0.01^{bc*}$	$^{b}7.88 \pm 0.03^{*}$	$^{a}7.75 \pm 0.03^{*}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

FW = กลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืด, SW = กลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเล

ครั้งที่ 1 = ค่าเฉลี่ยจากการแบ่งชุดทดลองจากระยะที่ 1 เป็น 2 กลุ่มทดลอง คือ FW และ SW

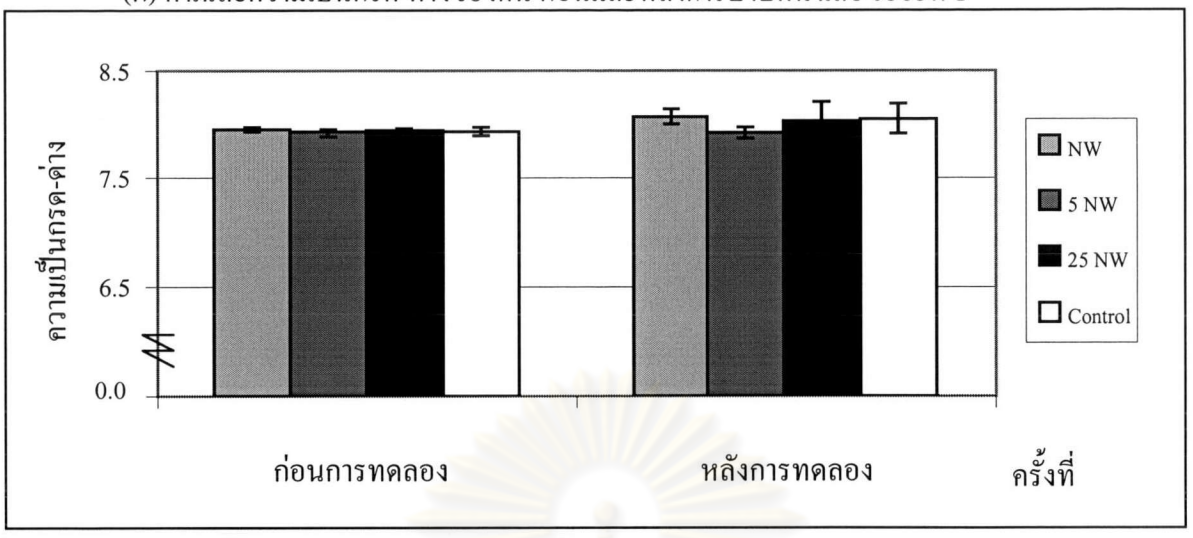
ครั้งที่ 2, 3 และ 4 = การเก็บตัวอย่างดินหลังจากการชะระบบครั้งที่ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

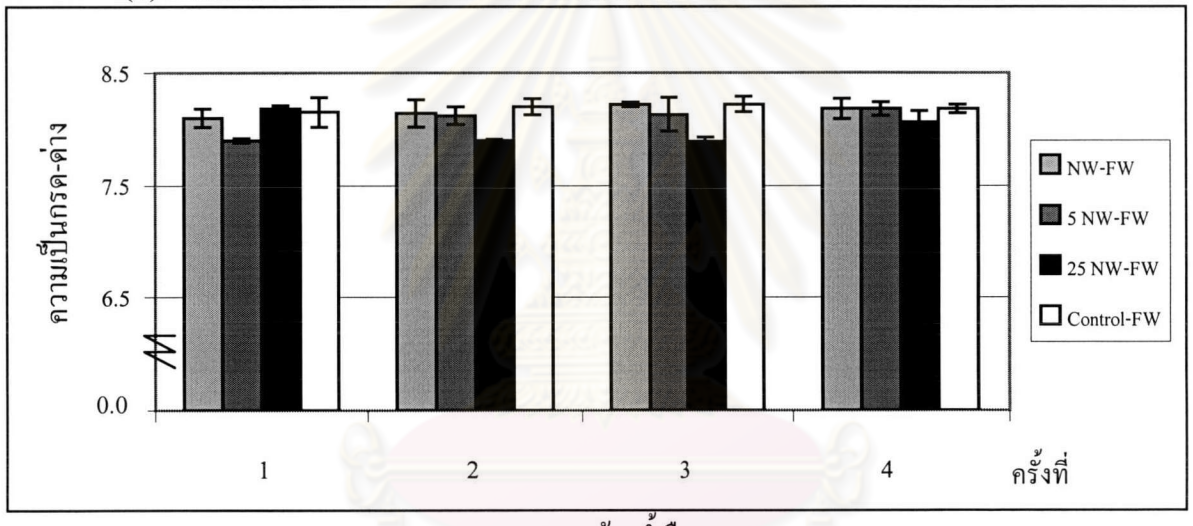
อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

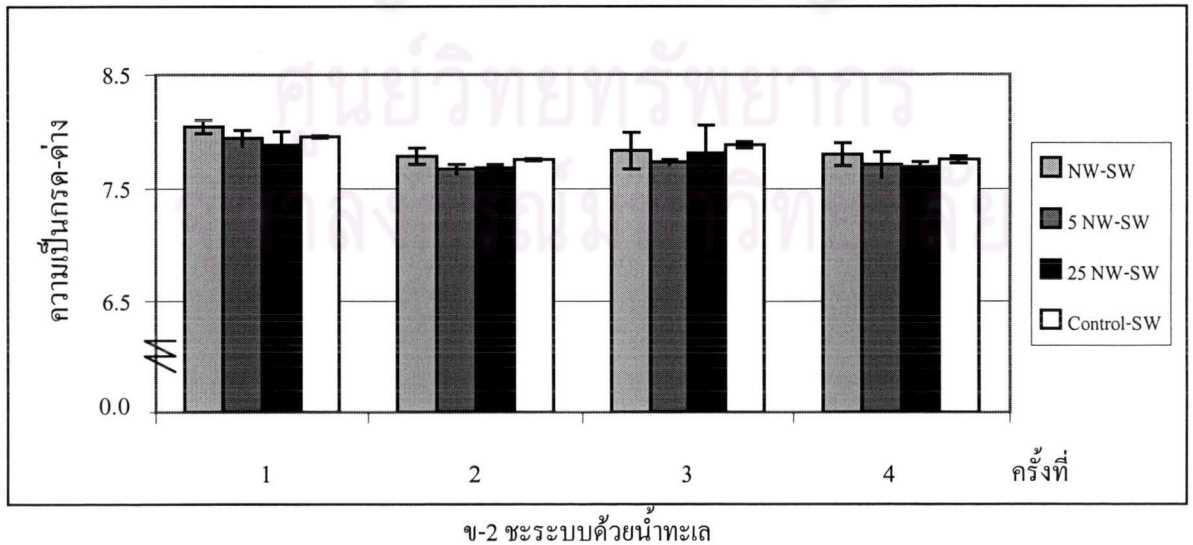
(ก) ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

4.2.2.2 ความเค็ม (salinity) ของดิน

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 8.37-10.08 psu (ตารางที่ 4-15) เมื่อให้น้ำเสียสังเคราะห์แก่ชุดทดลอง พบว่า ค่าความเค็มของดินมีแนวโน้มลดต่ำลงตามจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูปที่ 4-11, ก) ทั้งนี้เพราะการให้น้ำซึ่งมีความเค็มต่ำแก่ชุดทดลอง ทำให้เกลือที่สะสมอยู่ในดินชะละลายออกมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความเค็มของน้ำซึ่งพบว่าน้ำออกมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเป็นผลให้ความเค็มของดินมีค่าต่ำลง

2) ระยะที่ 2

ก่อนการทดลองชะระบบ ดินในกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าความเค็มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.97-1.90 และ 1.60-2.27 psu ตามลำดับ (ตารางที่ 4-16) เมื่อให้น้ำชะระบบแล้ว พบว่า ความเค็มของดินในชุดทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ (รูปที่ 4-11, ข) เนื่องจากเกลือที่สะสมในดินถูกชะละลายออกไป ความเค็มของดินภายหลังการทดลองจึงมีค่าต่ำลงเป็น 0.37-0.57 psu ขณะที่ค่าความเค็มของดินในชุดทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเลมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็น 4.40-5.03 psu ทั้งนี้เพราะ การชะระบบด้วยน้ำทะเลทำให้เกลือสะสมในชุดทดลองสูงขึ้น ทำให้ดินมีความเค็มสูงขึ้นด้วย

โดยสรุป การให้น้ำเสียในระยะที่ 1 และการให้น้ำชะระบบในระยะที่ 2 มีผลทำให้ความเค็มของดินมีแนวโน้มลดลงจากก่อนการทดลอง ซึ่งถ้าหากนำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล ความเค็มที่ลดลงอาจมีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่ต้องการความเค็มในการดำรงชีวิตได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบนิเวศป่าชายเลนโดยทั่วไปอยู่ในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืด และน้ำทะเลอยู่แล้ว พืชและสัตว์จึงมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเค็มที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-16 ค่าเฉลี่ยความเค็ม (psu) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยความเค็มของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{b}10.08 \pm 1.85$	$^{a}1.50 \pm 0.30$
5 NW	$^{b}8.67 \pm 0.68$	$^{a}2.08 \pm 0.53$
25 NW	$^{b}8.88 \pm 1.08$	$^{a}1.72 \pm 0.45$
control	$^{b}8.37 \pm 0.97$	$^{a}1.37 \pm 0.54$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยความเค็มของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

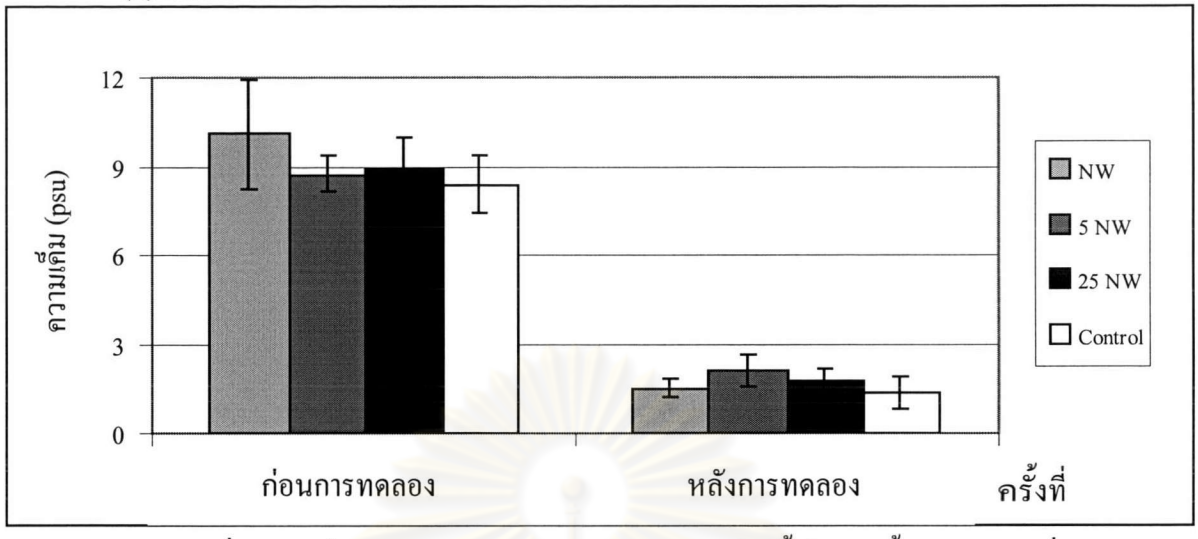
กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	$^{b}1.40 \pm 0.26$	$^{a}0.70 \pm 0.17^{*}$	$^{a}0.47 \pm 0.06^{*}$	$^{a}0.57 \pm 0.21^{*}$
	5 NW	$^{c}1.90 \pm 0.17$	$^{b}0.73 \pm 0.23^{*}$	$^{a}0.37 \pm 0.06^{*}$	$^{a}0.37 \pm 0.06^{*}$
	25 NW	$^{b}1.67 \pm 0.25$	$^{a}0.63 \pm 0.12^{*}$	$^{a}0.40 \pm 0.10^{*}$	$^{a}0.40 \pm 0.10^{*}$
	control	$^{b}0.97 \pm 0.46^{*}$	$^{ab}0.53 \pm 0.15^{*}$	$^{a}0.37 \pm 0.06^{*}$	$^{a}0.37 \pm 0.06^{*}$
SW	NW	$^{a}1.60 \pm 0.35$	$^{ab}3.67 \pm 0.12^{**}$	$^{ab}4.10 \pm 0.10^{**}$	$^{b}4.40 \pm 0.17^{**}$
	5 NW	$^{a}2.27 \pm 0.76$	$^{b}4.03 \pm 0.40^{**}$	$^{b}4.53 \pm 0.49^{**}$	$^{b}5.03 \pm 0.76^{**}$
	25 NW	$^{a}1.77 \pm 0.67$	$^{b}3.37 \pm 0.06^{**}$	$^{bc}3.97 \pm 0.21^{**}$	$^{c}4.57 \pm 0.59^{**}$
	control	$^{a}1.77 \pm 0.21^{**}$	$^{b}4.03 \pm 0.12^{**}$	$^{b}4.60 \pm 0.20^{**}$	$^{b}4.63 \pm 0.31^{**}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

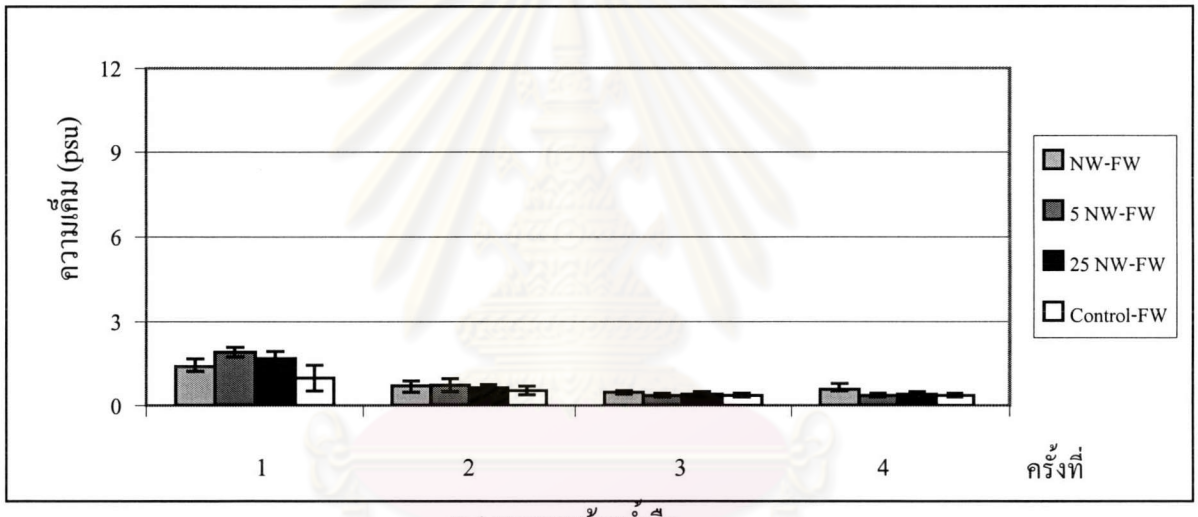
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

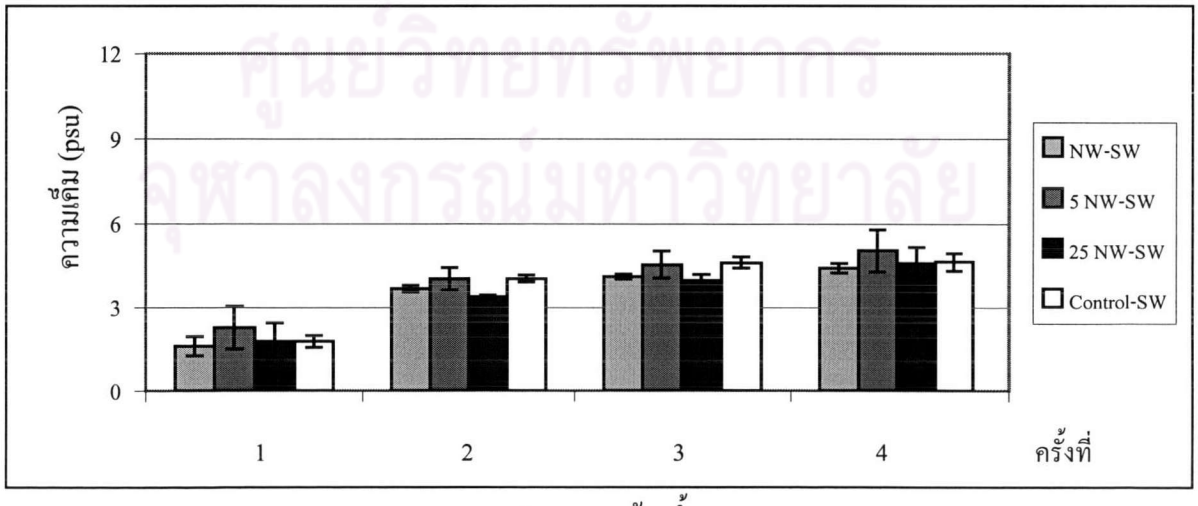
(ก) ค่าเฉลี่ยความเค็มของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยความเค็มของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-11 ค่าเฉลี่ยความเค็มของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

4.2.2.3 การนำไฟฟ้า (conductivity) ของดิน

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 14.47-17.19 mS cm^{-1} (ตารางที่ 4-17) เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลอง พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง และภายหลังการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 2.64-3.30 mS cm^{-1} ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความเค็มของดิน พบว่า การลดลงของค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการลดลงของความเค็มในดิน ทั้งนี้เพราะค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการแตกตัวเป็นประจุของเกลือที่ละลายได้ในดิน

2) ระยะที่ 2

ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินก่อนการทดลองของกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าอยู่ในช่วง 1.90-3.60 และ 3.08-4.30 mS cm^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-17) เมื่อให้น้ำจืดและน้ำทะเลชะระบบ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีแนวโน้มลดลง โดยหลังการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.75-0.91 mS cm^{-1} (รูปที่ 4-12, ข) ขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของดินในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเลมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 7.98-9.08 mS cm^{-1} จะเห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินสัมพันธ์กับความเค็มของดิน (ตารางที่ 4-16)

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังจากการชะระบบ พบว่า กลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเลมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสรุป การให้น้ำชะระบบต่างประเภทกันมีผลให้การนำไฟฟ้าของดินมีค่าแตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-17 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า ($mS\ cm^{-1}$) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{b}17.19 \pm 2.94$	$^{a}2.89 \pm 0.57$
5 NW	$^{b}14.95 \pm 1.11$	$^{a}3.95 \pm 0.97$
25 NW	$^{b}15.27 \pm 1.72$	$^{a}3.30 \pm 0.86$
control	$^{b}14.47 \pm 1.56$	$^{a}2.64 \pm 0.99$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	$^{b}2.70 \pm 0.55^{ab}$	$^{a}1.43 \pm 0.38^{*}$	$^{a}0.88 \pm 0.14^{*}$	$^{a}0.91 \pm 0.11^{*}$
	5 NW	$^{c}3.60 \pm 0.33^{b}$	$^{b}1.47 \pm 0.46^{*}$	$^{a}0.76 \pm 0.13^{*}$	$^{a}0.75 \pm 0.13^{*}$
	25 NW	$^{b}3.20 \pm 0.50^{b}$	$^{a}1.30 \pm 0.17^{*}$	$^{a}0.91 \pm 0.19^{*}$	$^{a}0.86 \pm 0.16^{*}$
	control	$^{b}1.90 \pm 0.81^{a*}$	$^{a}1.06 \pm 0.29^{*}$	$^{a}0.72 \pm 0.06^{*}$	$^{a}0.78 \pm 0.10^{*}$
SW	NW	$^{a}3.08 \pm 0.64$	$^{b}6.76 \pm 0.11^{ab**}$	$^{c}7.50 \pm 0.17^{**}$	$^{c}7.98 \pm 0.23^{**}$
	5 NW	$^{a}4.30 \pm 1.36$	$^{b}7.35 \pm 0.71^{b**}$	$^{b}8.23 \pm 0.88^{**}$	$^{b}9.08 \pm 1.25^{**}$
	25 NW	$^{a}3.40 \pm 1.26$	$^{b}6.22 \pm 0.05^{a**}$	$^{bc}7.25 \pm 0.39^{**}$	$^{c}8.26 \pm 0.98^{**}$
	control	$^{a}3.38 \pm 0.39^{**}$	$^{b}7.34 \pm 0.13^{b**}$	$^{c}8.32 \pm 0.32^{**}$	$^{c}8.42 \pm 0.46^{**}$

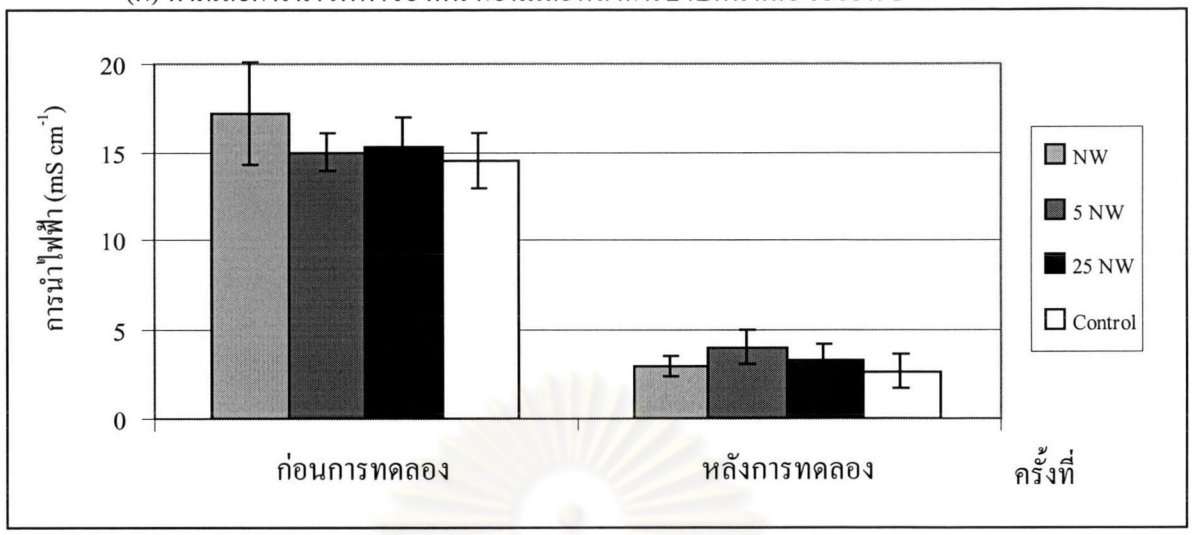
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

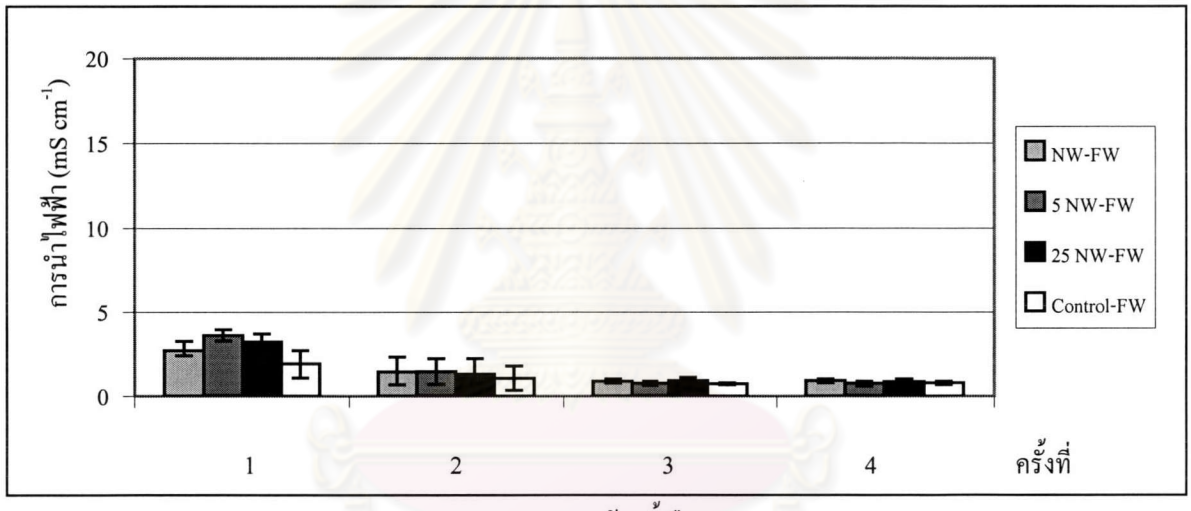
อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

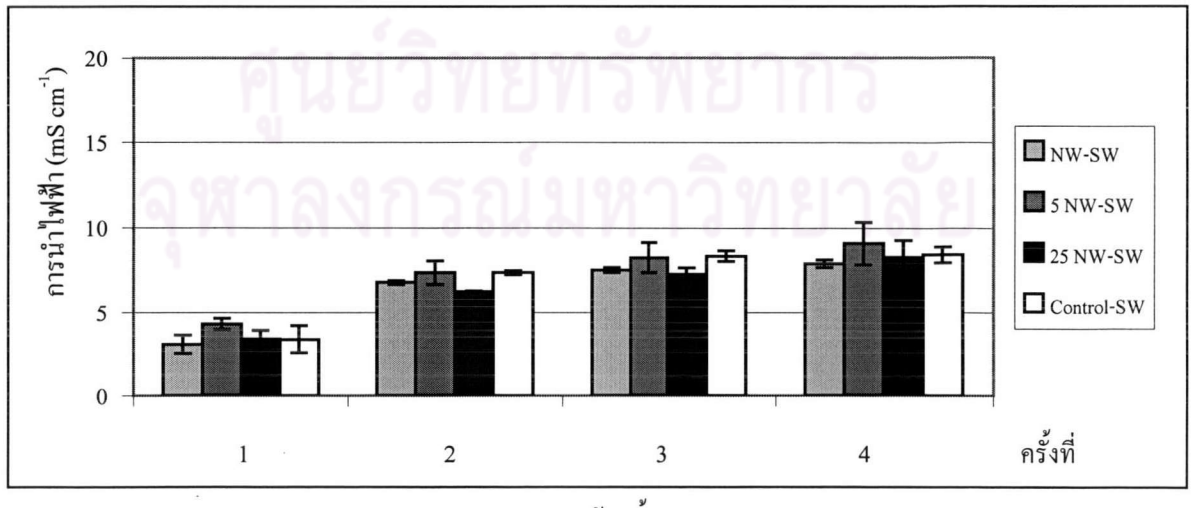
(ก) ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-12 ค่าการนำไฟฟ้าของดินเฉลี่ย ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.4 ทีเคเอ็น (TKN) ของดิน

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 1.519-1.599 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-18 และ รูปที่ 4-13, ก) เมื่อให้น้ำเสียแก่ชุดทดลอง พบว่า ทุกชุดทดลองมีทีเคเอ็นสะสมในดินสูงขึ้น และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการทดลองด้วย pair t-test พบว่า ดินในชุดทดลอง 5 NW และ 25 NW เท่านั้น ที่มีทีเคเอ็นสะสมในดินสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะได้รับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้ทีเคเอ็นบางส่วนถูกกักเก็บไว้ในดิน และปลดปล่อยออกไปกับน้ำที่ออกจากชุดทดลอง ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ Cooke et al. (1990) ที่รายงานว่า พื้นที่ชุ่มน้ำที่ได้รับน้ำเสียจะมีองค์ประกอบธาตุอาหารไนโตรเจนในดินสูงขึ้นกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับน้ำเสีย

สำหรับชุดทดลอง NW ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของดินภายหลังการบำบัดน้ำเสียมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะได้รับน้ำเสียที่มีทีเคเอ็นต่ำ จุลชีพและพืชจึงสามารถบำบัดทีเคเอ็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ไม่พบการสะสมของทีเคเอ็นในดิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wong et al. (1995) ที่รายงานว่า การให้น้ำเสียชุมชนที่มีทีเคเอ็นเฉลี่ยต่ำ (24.58 mg l^{-1}) ปริมาตร 2,600 ลูกบาศก์เมตร แก่พื้นที่ป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 1 ปี ไม่มีผลทำให้ทีเคเอ็นสะสมในดินสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะ ในน้ำเสียและในชั้นดินมีจุลชีพซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปทีเคเอ็นให้อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมไอออน และไนเตรท ซึ่งพืชสามารถบำบัดธาตุอาหารดังกล่าวโดยการดูดดึงไปใช้สร้างมวลชีวภาพได้

สำหรับผลการศึกษาของชุด control พบว่า ดินเลนภายหลังการทดลอง มีค่าทีเคเอ็นสูงขึ้น และแตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากในชุดทดลองมีสาหร่ายบริเวณผิวหน้าดินเป็นจำนวนมาก ทำให้พบว่าทีเคเอ็นของดินสูงขึ้น

โดยสรุป การให้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้การสะสมทีเคเอ็นในดินแตกต่างกันซึ่งแปรผันสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับ การที่ดินมีทีเคเอ็นสะสมในดินสูงขึ้น นอกจากจะไม่เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้แล้ว กล้าไม้ยังสามารถนำธาตุอาหารที่เปลี่ยนรูปจากทีเคเอ็นไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเจริญเติบโตได้ ซึ่งถ้านำพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล อาจทำให้พื้นที่ป่าชายเลนมีการขยายพื้นที่เพิ่มขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำเสียระยะยาว อาจมีแนวโน้มทำให้ทีเคเอ็นสะสมในดินสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ในระบบและบริเวณใกล้เคียงได้

ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น ($mg\ g^{-1}$) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	1.570 ± 0.078	1.688 ± 0.120^{a}
5 NW	$^{a}1.573 \pm 0.152$	$^{b}1.745 \pm 0.037^{a}$
25 NW	$^{a}1.599 \pm 0.113$	$^{b}2.204 \pm 0.184^{b}$
control	$^{a}1.519 \pm 0.055$	$^{b}1.692 \pm 0.088^{a}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

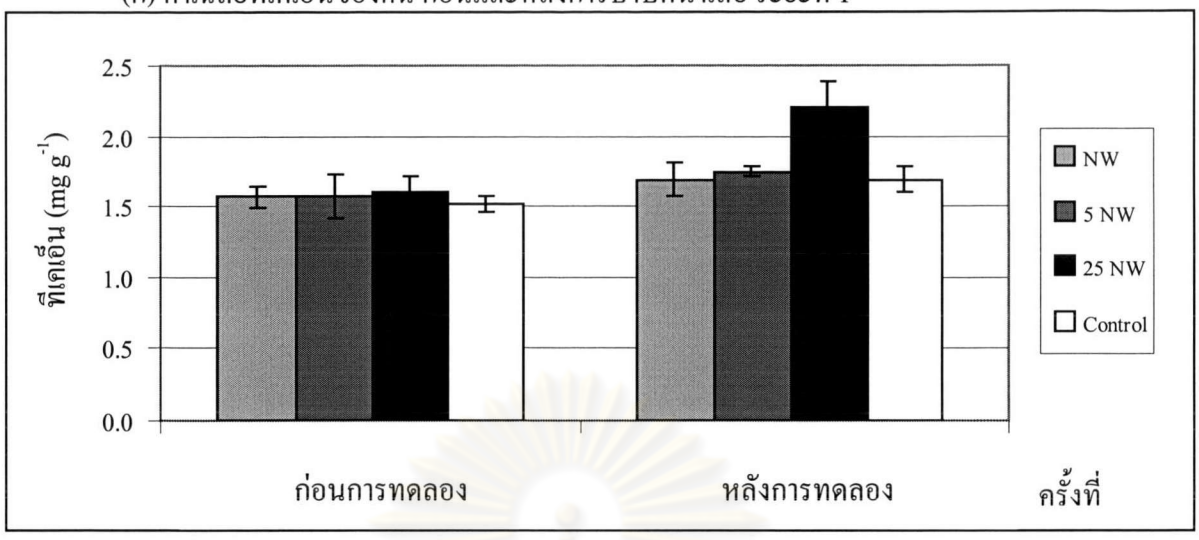
กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	1.655 ± 0.142^{a}	1.834 ± 0.334	1.667 ± 0.085^{ab}	1.636 ± 0.087
	5 NW	1.759 ± 0.053^{a}	1.693 ± 0.037	1.742 ± 0.074^{bc}	1.655 ± 0.064
	25 NW	$^{b}2.103 \pm 0.224^{b}$	$^{a}1.785 \pm 0.050$	$^{ab}1.845 \pm 0.072^{c}$	$^{a}1.689 \pm 0.139$
	control	1.695 ± 0.083^{a}	1.618 ± 0.004	1.589 ± 0.061^{a}	1.527 ± 0.084
SW	NW	1.720 ± 0.112^{a}	1.597 ± 0.139	1.660 ± 0.118	1.638 ± 0.088
	5 NW	1.730 ± 0.004^{a}	1.734 ± 0.026	1.857 ± 0.183	1.730 ± 0.056
	25 NW	$^{b}2.305 \pm 0.062^{b}$	$^{a}1.728 \pm 0.060$	$^{a}1.723 \pm 0.110$	$^{a}1.766 \pm 0.131$
	control	1.690 ± 0.111^{a}	1.631 ± 0.177	1.617 ± 0.111	1.578 ± 0.084

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

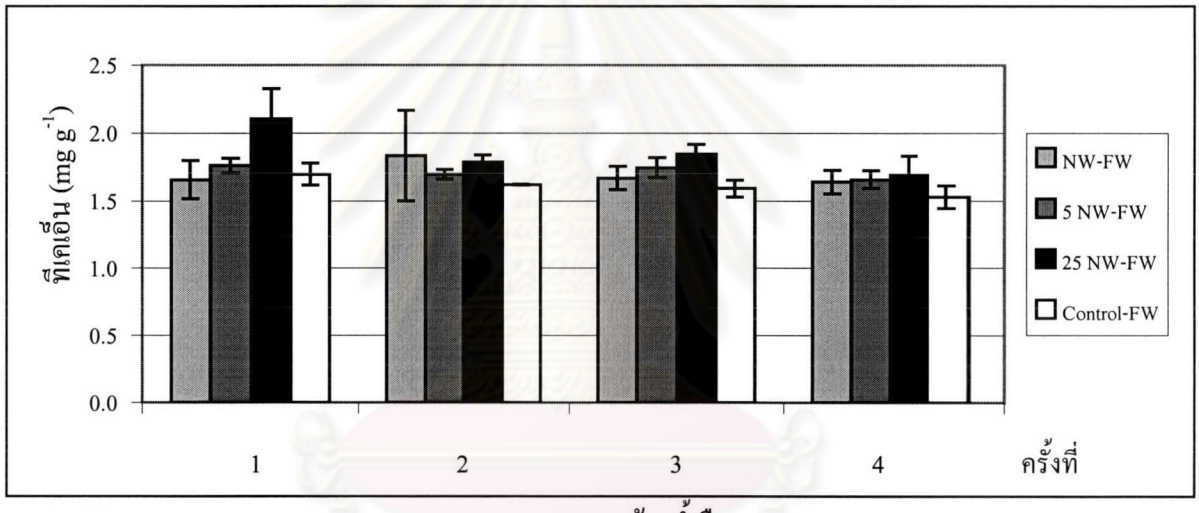
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

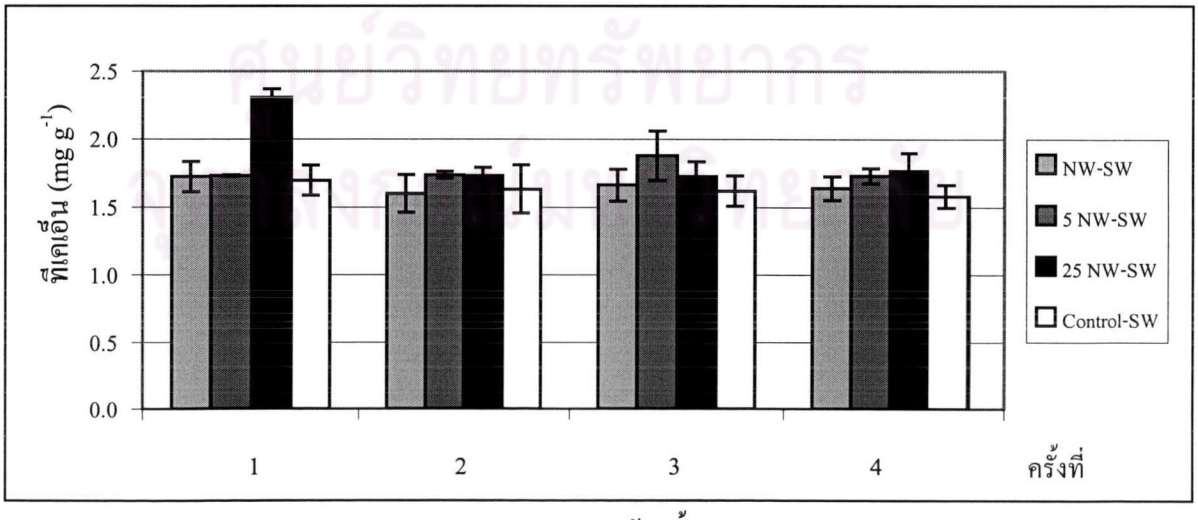
(ก) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-13 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

2) ระยะที่ 2

ก่อนการทดลองชะระบบ ดินของกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 1.655-2.103 และ 1.690-2.305 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-18 และ รูปที่ 4-13) ซึ่งจะเห็นว่า ค่าค่อนข้างแปรผันระหว่างชุดทดลอง โดยที่ชุด 25 NW ของทั้งสองกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจาก ชุดทดลอง 25 NW ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงจากระยะที่ 1 จึงมีการสะสมทีเคเอ็นในดินสูงที่สุด

เมื่อให้น้ำจืดและน้ำทะเลชะระบบ พบว่า ทีเคเอ็นของดินในชุดทดลอง 25 NW เท่านั้นที่มีค่าลดลง และแตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะการให้น้ำชะระบบมีผลทำให้ทีเคเอ็นที่สะสมในดินถูกชะออกมา ซึ่งจากการศึกษาคุณภาพน้ำ พบว่า น้ำที่ผ่านการชะระบบมีค่าทีเคเอ็นสูงขึ้น และหลังจากการทดลองพบว่าทีเคเอ็นของดินในชุด 25 NW มีค่าไม่แตกต่างจากชุด control และชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าทีเคเอ็นระหว่างกลุ่มทดลองภายหลังการชะระบบชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า ค่าทีเคเอ็นในดินของทุกชุดทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปได้ว่า ไม่พบความแตกต่างของการปลดปล่อยทีเคเอ็นจากดินเมื่อชะระบบด้วยน้ำต่างประเภทกัน

4.2.2.5 ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available nitrogen)

ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนและไนเตรท ซึ่งพืชจะดูดดึงไปใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

แอมโมเนียมไอออน (ammonium ion : NH_4^+)

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออนอยู่ในช่วง 0.018-0.019 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-19) เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลอง พบว่า ค่ามีแนวโน้มสูงขึ้น (รูปที่ 4-14, ก) และเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ดินของชุดทดลอง NW, 5 NW และ 25 NW มีแอมโมเนียมไอออนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะทีเคเอ็นในน้ำเสียถูกจุลชีพเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออน ตามลำดับ โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งแอมโมเนียมไอออน (ประจุบวก) สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับอนุภาคดินเหนียว (ประจุลบ) และถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคดินได้ จึงส่งผลให้แอมโมเนียมไอออนของดินหลังจากการทดลองมีค่าสูงขึ้น ซึ่งการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Chu et al. (1998) อ้างตาม Tam and Wong (1994) ที่กล่าวว่าดินตะกอนในป่าชายเลนมีอนุภาคดินเหนียวสูง ทำให้มีความสามารถใน

การแลกเปลี่ยนประจุสูง แอมโมเนียมไอออนซึ่งมีประจุบวกจึงสามารถดูดซับกับอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบได้

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลองภายหลังทดลอง พบว่าชุดทดลอง 25 NW มีแอมโมเนียมไอออนสะสมในดินสูงที่สุด และแตกต่างจากชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากน้ำเสียที่ให้แก่ชุดทดลอง 25 NW มีค่าทีเคเอ็นสูงที่สุด ทีเคเอ็นจึงถูกเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมไอออนสูงด้วย ส่งผลให้แอมโมเนียมไอออนสะสมในดินสูง

2) ระยะที่ 2

ก่อนการทดลองชะระบบ ดินในกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าแอมโมเนียมไอออนอยู่ในช่วง 0.027-0.170 mg g^{-1} และ 0.021-0.279 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-19) ซึ่งเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ชุดทดลองที่ผ่านการรองรับน้ำเสีย 25 NW จากระยะที่ 1 มีแอมโมเนียมไอออนสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูปที่ 4-14, ข) เช่นเดียวกับค่าทีเคเอ็น

เมื่อใช้น้ำจืดและน้ำทะเลชะระบบ พบว่า แอมโมเนียมไอออนของดินในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และภายหลังการทดลอง พบว่าแอมโมเนียมไอออนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง แสดงว่าการใช้น้ำชะระบบต่างประเภทกันทำให้แอมโมเนียมไอออนปลดปล่อยออกจากชุดทดลองไม่แตกต่างกัน ซึ่งนอกจากแอมโมเนียมไอออนจะถูกปลดปล่อยออกจากดินโดยน้ำชะระบบแล้ว อาจถูกพืชดูดดึงไปใช้เพื่อการเสริมสร้างมวลชีวภาพ หรือถูกเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน หรือดีไนตริฟิเคชันโดยจุลชีพได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออน (mg g^{-1}) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออนของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{a}0.019 \pm 0.000$	$^{b}0.034 \pm 0.005^{a}$
5 NW	$^{a}0.019 \pm 0.000$	$^{b}0.033 \pm 0.003^{a}$
25 NW	$^{a}0.018 \pm 0.000$	$^{b}0.225 \pm 0.125^{b}$
control	0.019 ± 0.000	0.024 ± 0.009^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออนของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	$^{c}0.032 \pm 0.004^{a}$	$^{b}0.016 \pm 0.004$	$^{a}0.009 \pm 0.002$	$^{a}0.008 \pm 0.002$
	5 NW	$^{c}0.032 \pm 0.004^{a}$	$^{b}0.018 \pm 0.005$	$^{a}0.008 \pm 0.002$	$^{a}0.010 \pm 0.003$
	25 NW	$^{b}0.170 \pm 0.035^{b}$	$^{a}0.021 \pm 0.007$	$^{a}0.007 \pm 0.000$	$^{a}0.012 \pm 0.004$
	control	$^{b}0.027 \pm 0.012^{a}$	$^{ab}0.016 \pm 0.004$	$^{a}0.007 \pm 0.000^{*}$	$^{a}0.007 \pm 0.000$
SW	NW	$^{b}0.036 \pm 0.004^{a}$	$^{a}0.014 \pm 0.000$	$^{a}0.014 \pm 0.007$	$^{a}0.008 \pm 0.002$
	5 NW	$^{d}0.034 \pm 0.001^{a}$	$^{c}0.014 \pm 0.000$	$^{b}0.010 \pm 0.003$	$^{a}0.007 \pm 0.000$
	25 NW	$^{b}0.279 \pm 0.169^{b}$	$^{a}0.016 \pm 0.004$	$^{a}0.009 \pm 0.002$	$^{a}0.010 \pm 0.003$
	control	0.021 ± 0.007^{a}	0.018 ± 0.008	$0.013 \pm 0.002^{**}$	0.007 ± 0.000

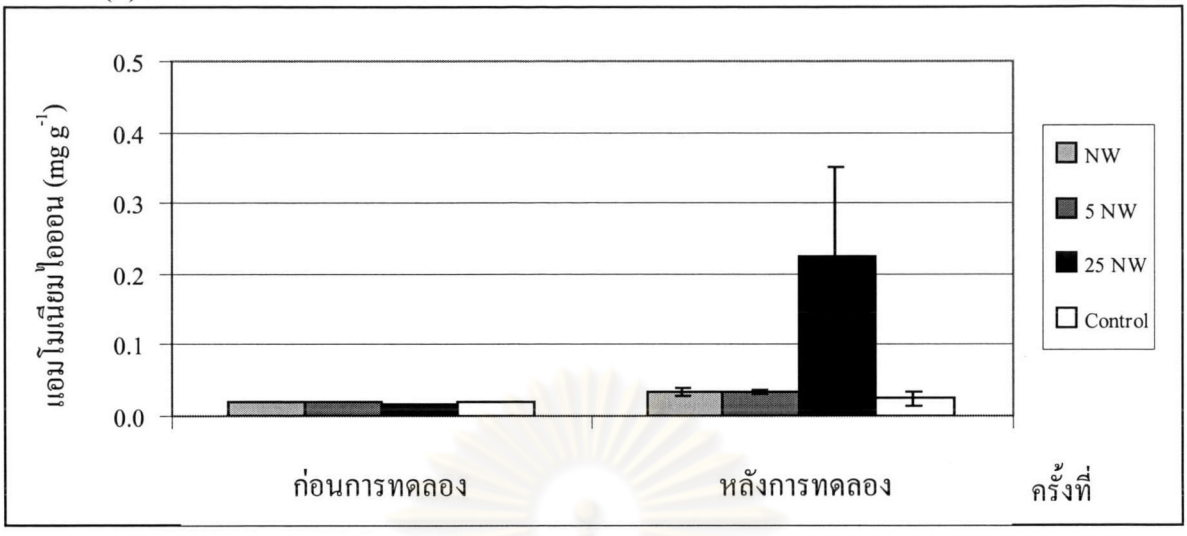
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

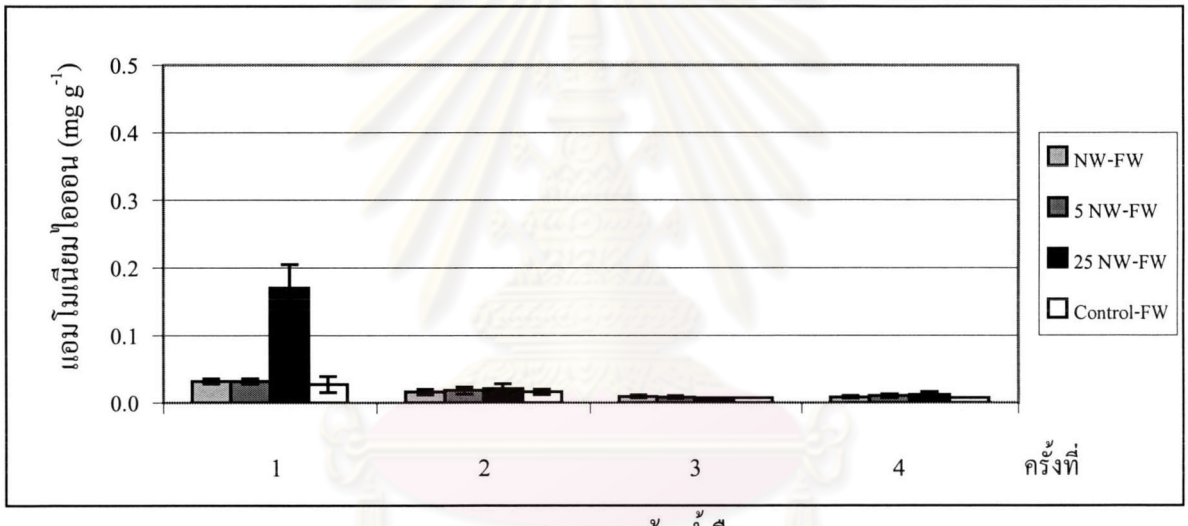
อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

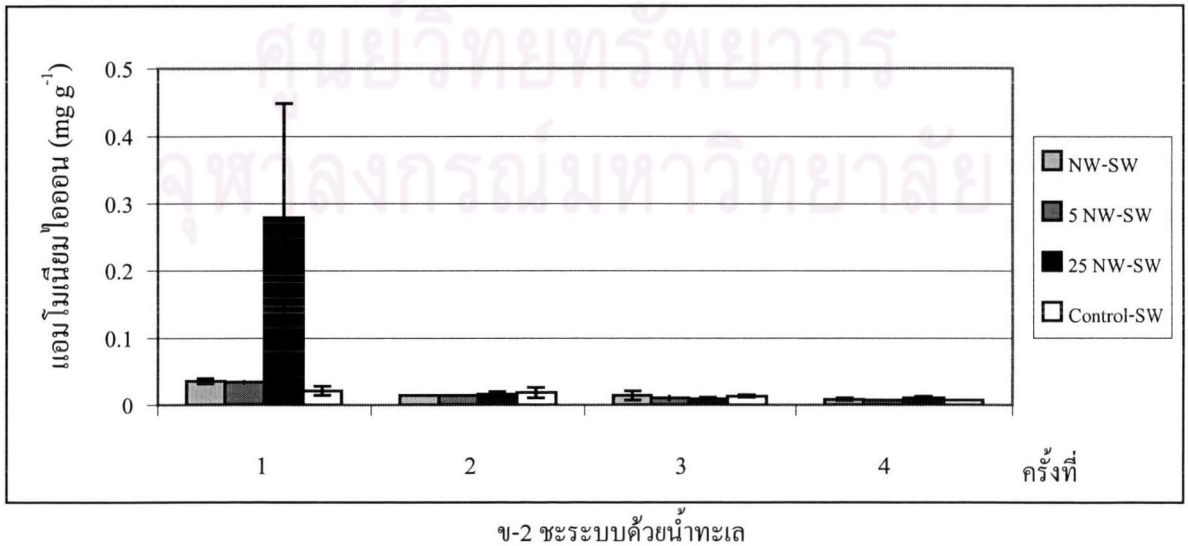
(ก) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออนของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออนของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-14 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมไอออนของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไนเตรท (nitrate : NO_3^-)

ไนเตรทเป็นธาตุอาหารพืชอีกรูปหนึ่ง ที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ทันที แต่ไนเตรทไม่สามารถสะสมในดินโดยการดูดซับได้เช่นเดียวกับแอมโมเนียมไอออน เพราะไนเตรทมีประจุเป็นลบจึงไม่สามารถยึดติดกับอนุภาคดินซึ่งมีประจุเป็นลบได้ อีกทั้งไนเตรทอาจถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย และเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน ซึ่งระเหยออกสู่บรรยากาศได้ (Mitsch and Gosselink, 2000)

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีค่าไนเตรทอยู่ในช่วง 0.018-0.019 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-20) เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลอง พบว่า ไนเตรทมีค่าสูงขึ้นในทุกชุดทดลอง (รูปที่ 4-15, ก) แต่เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ชุดทดลอง 25 NW มีไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาค่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียมไอออนของดิน สรุปได้ว่า การให้น้ำเสียความเข้มข้นสูงแก่ชุดทดลองมีผลต่อการสะสมไนเตรทในดินด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ไนเตรทที่สะสมในดินจะมีปริมาณต่ำกว่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียมไอออน ทั้งนี้เพราะไนเตรทไม่สามารถดูดซับในดินได้ อีกทั้งไนเตรทเป็นไนโตรเจนที่ไม่เสถียรจึงอาจถูกรีดิวซ์กลับไปเป็นแอมโมเนีย หรือถูกพืชดูดดึงไปใช้ได้

2) ระยะที่ 2

ก่อนการทดลองชะระบบ ไนเตรทของดินมีค่าค่อนข้างแปรผันระหว่างชุดทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.016-0.075 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-20 และ รูปที่ 4-15, ข) ซึ่งพบว่าชุดทดลอง 25 NW ของทั้งกลุ่มทดลอง FW และ SW มีไนเตรทในดินสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อทดลองให้น้ำชะระบบ พบว่า ไนเตรทที่สะสมในดินของทั้งสองกลุ่มทดลอง มีค่าต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยหลังจากการทดลองไนเตรทของดินในทุกชุดทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.005-0.009 mg g^{-1} ซึ่งมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง สรุปได้ว่า การให้น้ำชะระบบต่างประเภทกันไม่ทำให้ไนเตรทปลดปล่อยออกจากชุดทดลองต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-20 ค่าเฉลี่ยไนเตรท (mg g^{-1}) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยไนเตรทของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	0.019 ± 0.000	0.024 ± 0.010^{a}
5 NW	$^{a}0.019 \pm 0.000$	$^{b}0.026 \pm 0.007^{a}$
25 NW	$^{a}0.018 \pm 0.000$	$^{b}0.062 \pm 0.029^{b}$
control	$^{a}0.019 \pm 0.000$	$^{b}0.025 \pm 0.004^{a}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยไนเตรทของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	$^{c}0.032 \pm 0.004^{a**}$	$^{b}0.021 \pm 0.007^{b}$	$^{a}0.007 \pm 0.000$	$^{a}0.008 \pm 0.002$
	5 NW	$^{b}0.030 \pm 0.008^{a}$	$^{a}0.013 \pm 0.001^{ab}$	$^{a}0.014 \pm 0.007$	$^{a}0.008 \pm 0.004$
	25 NW	$^{b}0.075 \pm 0.035^{b}$	$^{a}0.012 \pm 0.004^{a}$	$^{a}0.011 \pm 0.004$	$^{a}0.009 \pm 0.002$
	control	$^{c}0.025 \pm 0.004^{a}$	$^{ab}0.009 \pm 0.004^{a}$	$^{b}0.014 \pm 0.000$	$^{a}0.005 \pm 0.002$
SW	NW	$^{b}0.016 \pm 0.004^{a*}$	$^{b}0.014 \pm 0.000$	$^{a}0.007 \pm 0.000^{a}$	$^{a}0.005 \pm 0.002$
	5 NW	$^{c}0.023 \pm 0.004^{a}$	$^{bc}0.016 \pm 0.004$	$^{ab}0.012 \pm 0.004^{ab}$	$^{a}0.006 \pm 0.004$
	25 NW	$^{b}0.050 \pm 0.019^{b}$	$^{a}0.014 \pm 0.000$	$^{a}0.016 \pm 0.004^{b}$	$^{a}0.008 \pm 0.002$
	control	$^{c}0.025 \pm 0.004^{a}$	$^{bc}0.018 \pm 0.004$	$^{b}0.014 \pm 0.007^{ab}$	$^{a}0.005 \pm 0.002$

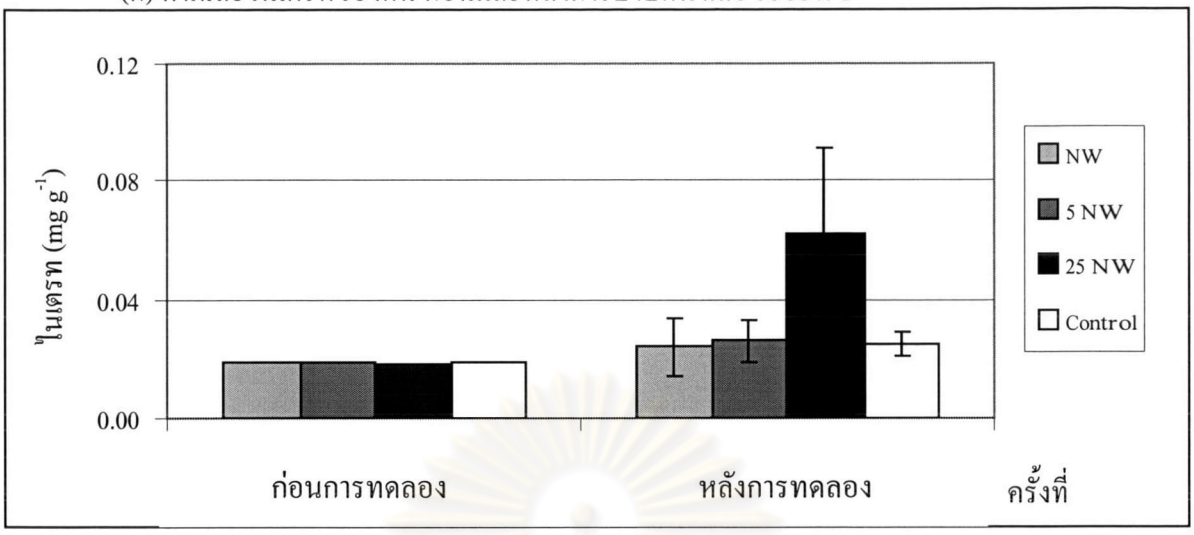
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

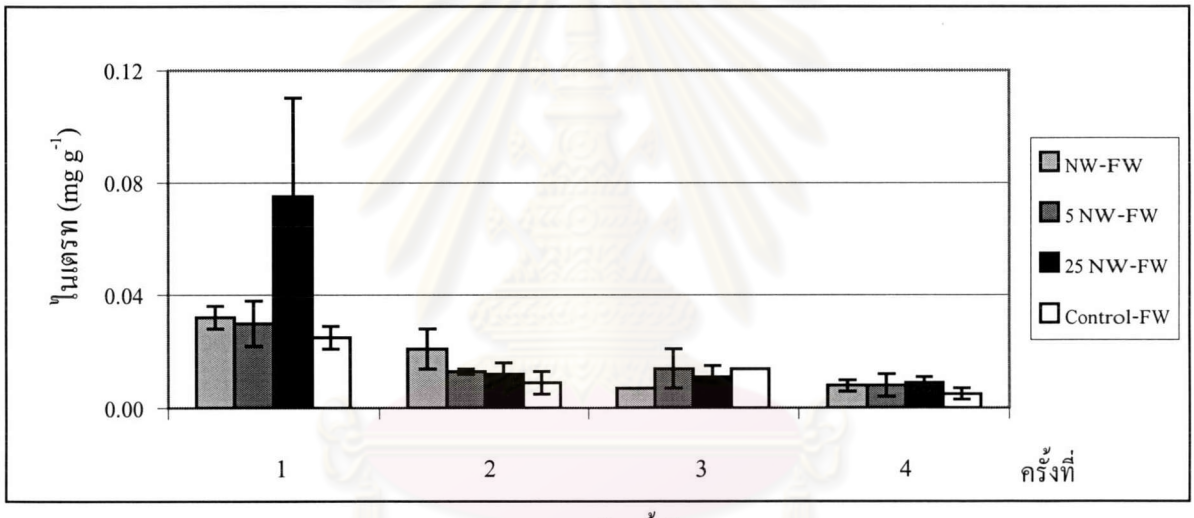
อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

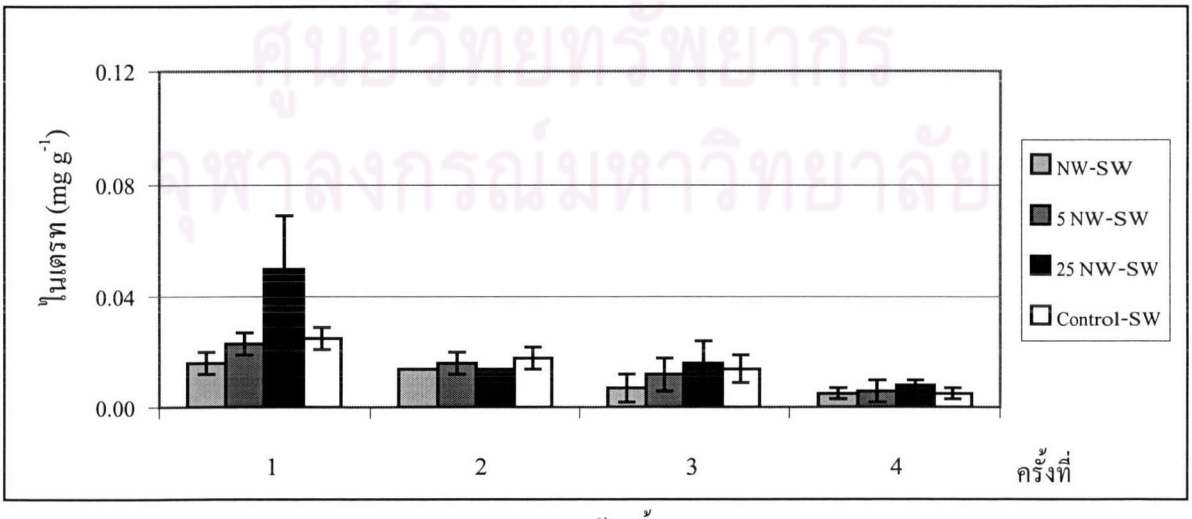
(ก) ค่าเฉลี่ยไนเตรทของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยไนเตรทของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-15 ค่าเฉลี่ยไนเตรทของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.6 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดทดลองมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.161-0.179 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-21 และ รูปที่ 4-16, ก) เมื่อให้น้ำเสียแก่ชุดทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินของทุกชุดทดลองมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะดินเลนสามารถดูดซับฟอสฟอรัสไว้ที่ผิวของอนุภาคได้ รวมทั้งฟอสฟอรัสสามารถก่อตะกอนผลึกร่วมกับเหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และอะลูมิเนียมในดินได้ (Gray, 2000; Tam and Wong, 1996) จึงทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Cooke et al. (1990) ที่รายงานว่า เมื่อให้น้ำเสียแก่พื้นที่ชุ่มน้ำ จะส่งผลให้ดินมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงขึ้นกว่าชุดควบคุมที่ไม่ให้น้ำเสีย นอกจากนี้ Tam and Wong (2001b) รายงานไว้ในทิศทางเดียวกันว่า การให้น้ำเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 57 mg l^{-1} แก่พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพังกาหัวสุมและรังกะแท้ จะทำให้ดินสะสมฟอสฟอรัสสูงขึ้นกว่า 2 เท่าของชุดควบคุมที่ไม่ให้น้ำเสีย (ชุดควบคุมมีฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินประมาณ 0.200 mg g^{-1}) สำหรับผลการศึกษาของชุด control พบว่า ฟอสฟอรัสทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลองภายหลังจากการให้น้ำเสีย พบว่า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยชุดทดลอง 25 NW มีฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมในดินสูงที่สุด รองลงมาคือ ชุด 5 NW, NW และ control ตามลำดับ โดยสรุป การให้น้ำเสียที่มีระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมในดินแตกต่างกันโดยจะแปรผันตามความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-21 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg g^{-1}) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{a}0.164 \pm 0.008$	$^{b}0.290 \pm 0.052^{b}$
5 NW	$^{a}0.166 \pm 0.015$	$^{b}0.346 \pm 0.044^{c}$
25 NW	$^{a}0.161 \pm 0.011$	$^{b}2.102 \pm 0.045^{d}$
control	0.179 ± 0.011	0.193 ± 0.021^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

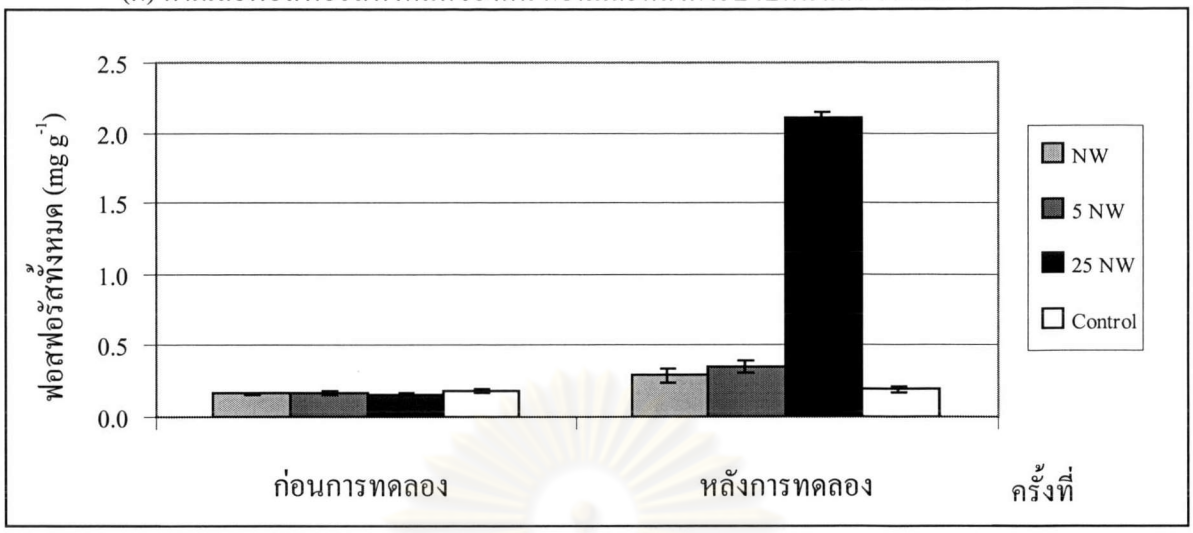
กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	0.261 ± 0.048^{b}	0.271 ± 0.014^{a}	0.273 ± 0.015^{a}	0.269 ± 0.013^{a}
	5 NW	$^{a}0.311 \pm 0.023^{b}$	$^{b}0.478 \pm 0.015^{a}$	$^{b}0.481 \pm 0.018^{a}$	$^{b}0.469 \pm 0.007^{a}$
	25 NW	2.076 ± 0.032^{c}	2.151 ± 0.262^{b}	2.179 ± 0.273^{b}	2.171 ± 0.263^{b}
	control	$^{a}0.181 \pm 0.008^{a}$	$^{b}0.289 \pm 0.020^{a}$	$^{b}0.288 \pm 0.016^{a}$	$^{b}0.284 \pm 0.022^{a}$
SW	NW	0.318 ± 0.063^{b}	0.269 ± 0.011^{a}	0.272 ± 0.013^{a}	0.268 ± 0.014^{a}
	5 NW	$^{a}0.380 \pm 0.027^{b}$	$^{b}0.497 \pm 0.012^{a}$	$^{b}0.488 \pm 0.017^{a}$	$^{b}0.492 \pm 0.019^{a}$
	25 NW	2.128 ± 0.044^{c}	2.103 ± 0.428^{b}	2.118 ± 0.403^{b}	2.152 ± 0.333^{b}
	control	$^{a}0.204 \pm 0.026^{a}$	$^{b}0.274 \pm 0.013^{a}$	$^{b}0.270 \pm 0.013^{a}$	$^{b}0.265 \pm 0.012^{a}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

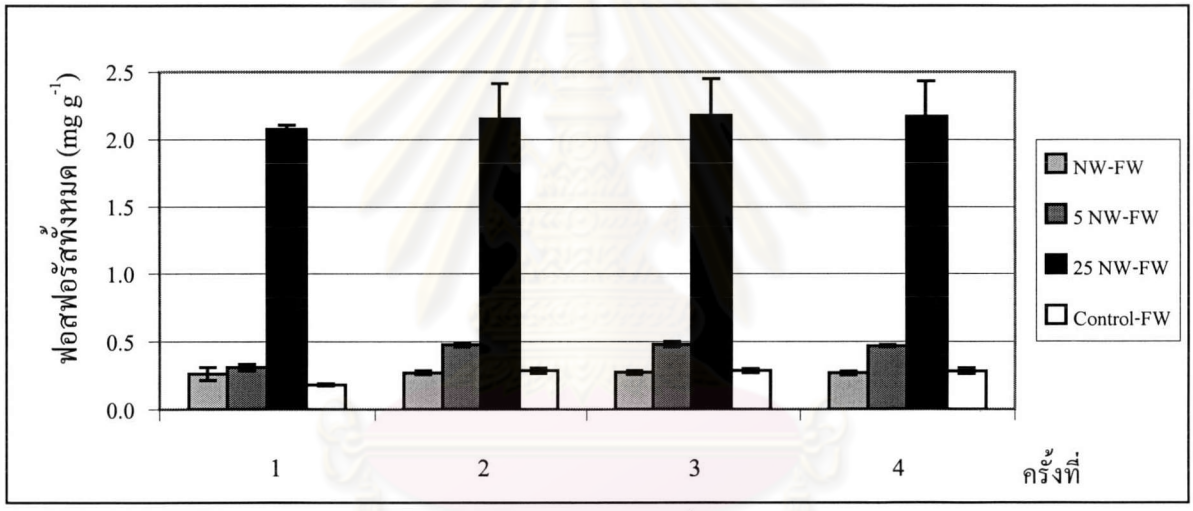
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

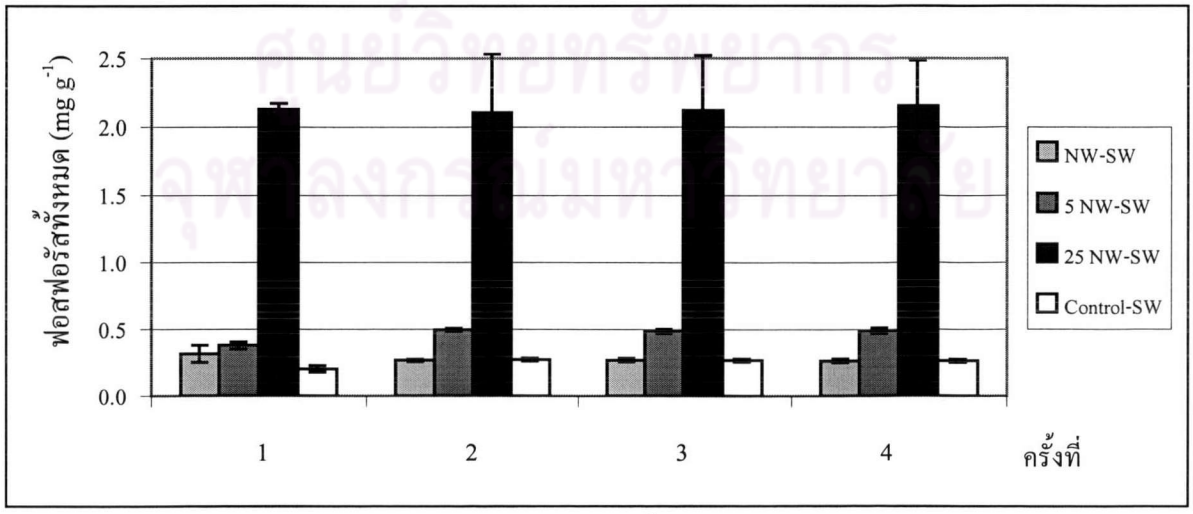
(ก) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-16 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

2) ระยะที่ 2

ฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินก่อนการชะระบบ (ตารางที่ 4-21 และ รูปที่ 4-16, ข) มีค่าแปรผันตามความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับในระยะที่ 1 โดยที่กลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.181-2.076 และ 0.204-2.128 mg g^{-1} ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า ฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย (0.269-2.171 และ 0.265-2.152 mg g^{-1} ตามลำดับ) ทั้งที่พบว่าน้ำชะระบบ สามารถชะฟอสฟอรัสทั้งหมดออกมาได้ (ดูรายละเอียดในตารางที่ 4-11 ระยะที่ 2) ทั้งนี้ Brady (1984) ได้ให้เหตุผลว่า อินทรียวัตถุที่สะสมในดิน เช่น เศษกิ่งไม้ ใบไม้ สามารถส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงขึ้นได้ เพราะเมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาสู่ดิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ ที่พบว่าในชุดทดลองมีเศษใบไม้สะสมอยู่มาก เมื่อสลายตัวจึงปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่สะสมไว้ออกมา โดย Cronk and Fennessy (2001) อ้างตาม Nichols (1993) รายงานว่า ซากพืชจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่สะสมไว้ออกมาประมาณ 35-75 % และทำให้ดินมีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงขึ้น

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ระหว่างระดับความเข้มข้น พบว่า ชุดทดลอง 25 NW ที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล มีฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะชุดทดลอง 25 NW ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่สุด ดินในชุดทดลองจึงมีการสะสมฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมในดินระหว่างกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า ชุดทดลองที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นเท่ากัน มีฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสรุป การใช้น้ำชะระบบต่างประเภทกัน ไม่มีผลทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินแตกต่างกัน

4.2.2.7 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ $H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^{2-}$, และ PO_4^{3-} ซึ่งออร์โธฟอสเฟตจะอยู่ในรูปใดขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 และ ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ธาตุอาหารฟอสเฟตมีบทบาทส่งเสริมการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน รวมทั้งส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปยังผล ทำให้ผลโตเร็ว และทำให้พืชแข็งแรง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ดินในชุดลองมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในช่วง 0.157-0.169 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-22 และ รูปที่ 4-17, ก) เมื่อให้น้ำแก่ชุดทดลอง พบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีการสะสมในดินสูงขึ้น และมีค่าอยู่ในช่วง 0.181-2.039 mg g^{-1} เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะ

ชุดทดลองได้รับน้ำเสียที่มีออร์โธฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ ดินเลนจึงดูดซับออร์โธฟอสเฟตจากน้ำเสียไว้ ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีค่าสูงขึ้นด้วย (Gray, 2000; Tam and Wong, 1996) Tam (1998) รายงานว่า ป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียที่มีออร์โธฟอสเฟต 40.00 mg l^{-1} เป็นองค์ประกอบจะมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสะสมในดินสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับน้ำเสีย คือ 58.00 และ 11.99 mg g^{-1} ตามลำดับ

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลองภายหลังการให้น้ำเสีย พบว่าค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชระหว่างชุดทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ชุด 25 NW มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ ชุด 5 NW ส่วนชุด NW และ control มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเห็นว่า ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

นอกจากการบำบัดโดยดินแล้ว พืชสามารถดูดดึงออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้อีกทางหนึ่ง แต่ปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้จะมีค่าต่ำ ทั้งนี้เพราะ ออร์โธฟอสเฟตที่สะสมโดยกระบวนการดูดซับและก่อตะกอนผลึกในดิน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Tam and Wong (1996) อ้างตาม Boto (1992) ที่รายงานว่า ฟอสฟอรัสส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงจะมีประมาณ 12 % ของฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งพืชจะสามารถดูดดึงไปใช้ได้สูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินด้วย กล่าวคือ ถ้าความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าต่ำกว่า 6.8 พืชสามารถนำออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6.8-7.2 แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 พืชจะสามารถดูดดึงออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 และยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ซึ่งการทดลองครั้งนี้ ความเป็นกรด-ด่างของดินในทุกชุดทดลองมีค่าสูงกว่า 7.2 การบำบัดด้วยการดูดดึงไปใช้โดยพืชจึงต่ำด้วย

2) ระยะที่ 2

ดินก่อนการชะระบบของกลุ่ม FW และ SW มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในช่วง 0.174-2.004 และ 0.189-2.074 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-22 และ รูปที่ 4-17, ข) เมื่อทดลองให้น้ำชะระบบ พบว่าค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินในทุกชุดทดลองมีค่าสูงขึ้นในช่วงแรก จากนั้นค่าจึงลดลงตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ค่ามีแนวโน้มแตกต่างจากค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งอาจเป็นเพราะออร์โธฟอสเฟตเป็นฟอสฟอรัสที่สามารถละลายน้ำได้ จึงถูกชะออกไปกับน้ำที่ใช้ชะระบบ อีกทั้งกล้าไม้สามารถดูดดึงไปใช้ได้บางส่วน ทำให้ออร์โธฟอสเฟตที่สะสมในดินมีค่าลดลง ในขณะที่ฟอสฟอรัสทั้งหมดอาจจะสะสมในดินในรูปของสารประกอบ เช่น เหล็กฟอสเฟต อลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ หรือเรียกว่าฟอสเฟตที่ถูกตรึง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดยังคงสะสมในดินปริมาณมากและถูกชะละลายออกไปน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับออร์โธฟอสเฟต

ตารางที่ 4-22 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg g^{-1}) ของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{a}0.160 \pm 0.008$	$^{b}0.220 \pm 0.051^{a}$
5 NW	$^{a}0.158 \pm 0.010$	$^{b}0.304 \pm 0.035^{b}$
25 NW	$^{a}0.157 \pm 0.008$	$^{b}2.039 \pm 0.090^{c}$
control	0.169 ± 0.009	0.181 ± 0.015^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

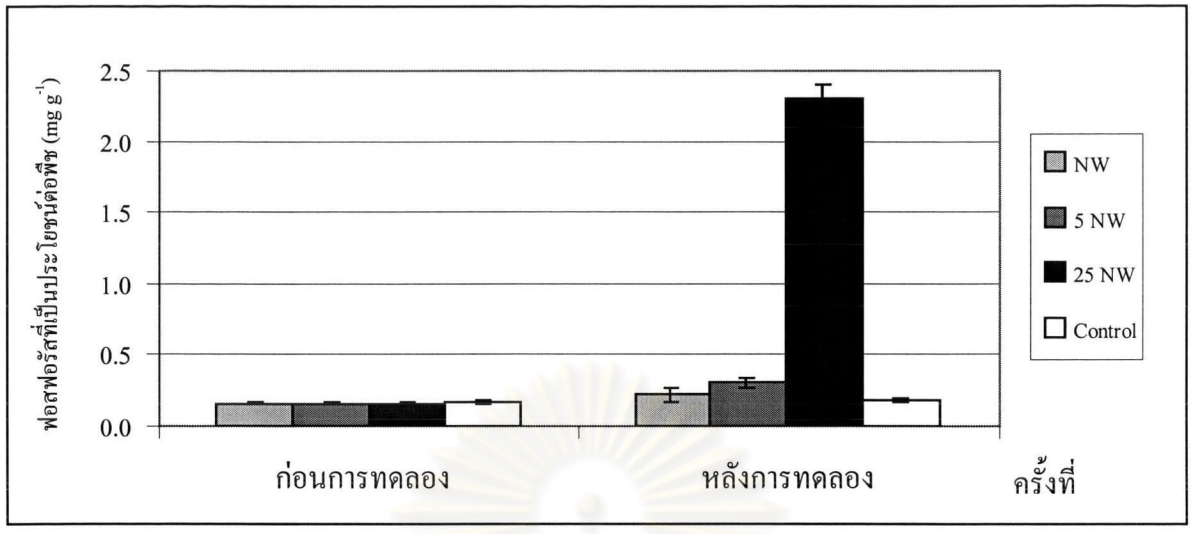
กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	0.242 ± 0.070^{a}	0.268 ± 0.015^{a}	0.247 ± 0.002^{a}	0.239 ± 0.010^{a}
	5 NW	$^{a}0.294 \pm 0.045^{a}$	$^{c}0.474 \pm 0.012^{a}$	$^{c}0.429 \pm 0.004^{a}$	$^{b}0.362 \pm 0.014^{a}$
	25 NW	2.004 ± 0.106^{b}	2.142 ± 0.260^{b}	1.838 ± 0.266^{b}	1.456 ± 0.474^{b}
	control	$^{a}0.174 \pm 0.013^{a}$	$^{b}0.282 \pm 0.022^{a}$	$^{b}0.268 \pm 0.009^{a}$	$^{b}0.250 \pm 0.018^{a}$
SW	NW	$^{a}0.198 \pm 0.009^{a}$	$^{b}0.271 \pm 0.013^{a}$	$^{b}0.270 \pm 0.010^{a}$	$^{b}0.252 \pm 0.009^{a}$
	5 NW	$^{a}0.313 \pm 0.029^{b}$	$^{c}0.487 \pm 0.024^{a}$	$^{b}0.408 \pm 0.034^{a}$	$^{ab}0.364 \pm 0.036^{a}$
	25 NW	2.074 ± 0.073^{c}	2.075 ± 0.427^{b}	1.957 ± 0.282^{b}	1.776 ± 0.319^{b}
	control	0.189 ± 0.015^{a}	0.270 ± 0.015^{a}	0.256 ± 0.009^{a}	0.249 ± 0.008^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

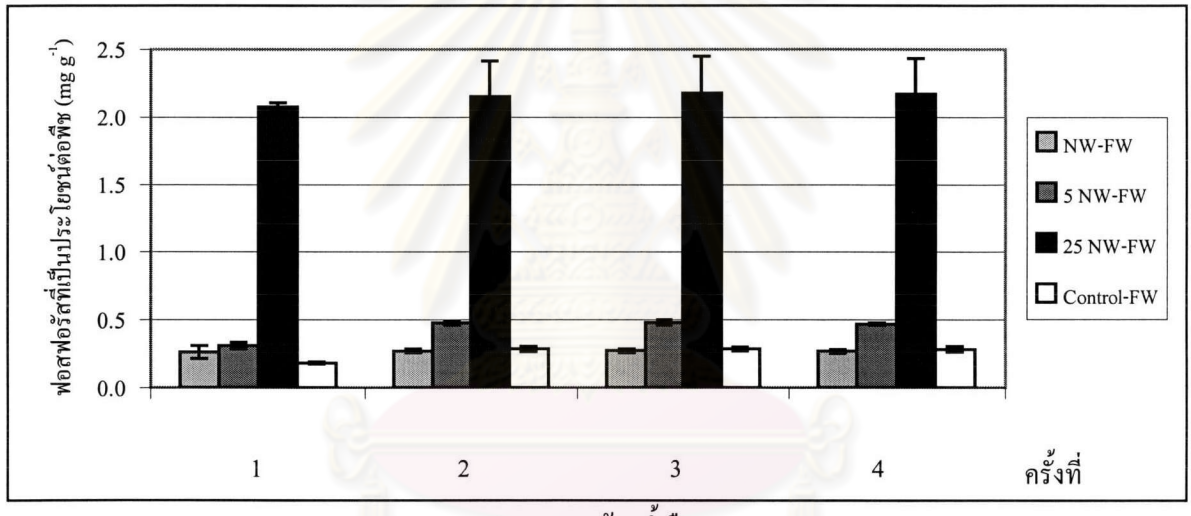
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

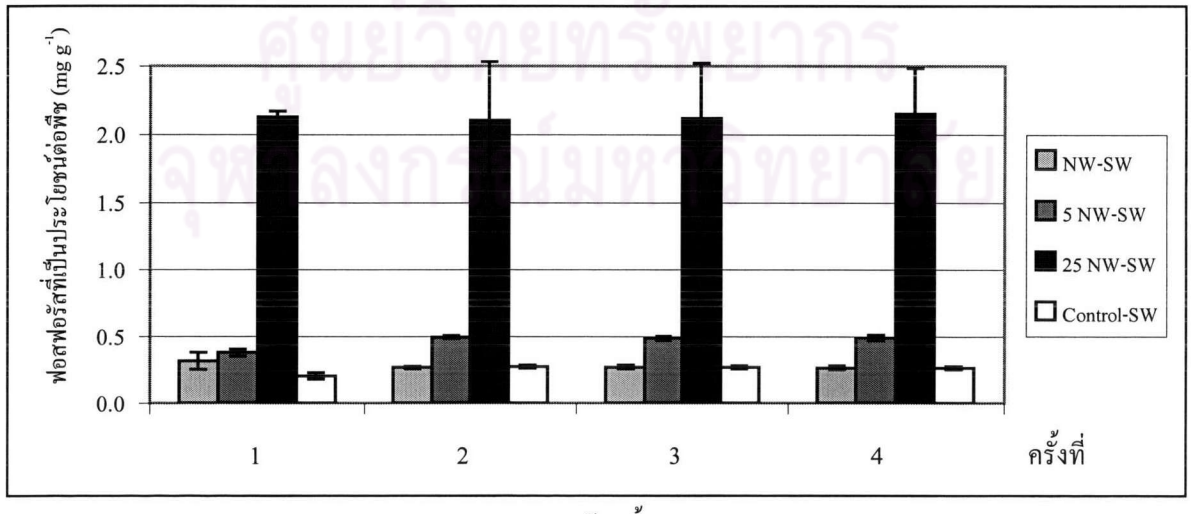
(ก) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-17 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

4.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของพืช

4.3.1 การเจริญเติบโตของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

4.3.1.1 การเจริญเติบโตทางด้านความสูง

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลองกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ที่ปลูกในชุดทดลองมีความสูงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80.10-85.17 เซนติเมตร (ตารางที่ 4-23 และ รูปที่ 4-18, ก) เมื่อให้น้ำเสียสังเคราะห์แก่ชุดทดลอง NW, 5 NW, 25 NW และให้น้ำจืดแก่ชุด control จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กล้าไม้มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงต่อระยะเวลา 1 เดือนเท่ากับ 4.00, 5.61, 4.49 และ 3.62 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-24) ซึ่งจะเห็นว่ากล้าไม้ในชุด control มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย เนื่องจากในน้ำเสียมีธาตุอาหารซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของกล้าไม้ โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในการศึกษาของ ปิยวรรณ สายมโนพันธ์ (2543) ซึ่งปลูกในถังทดลองที่วางในสภาพธรรมชาติ และในการศึกษาของ สนิท อักษรแก้ว (2547) ซึ่งปลูกบนพื้นที่หาดเลนงอกใหม่ พบว่า กล้าไม้ในพื้นที่ทั้งสองมีเปอร์เซนต์การเพิ่มพูนความสูงสูงกว่ากล้าไม้ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ซึ่งวางในเรือนต้นไม้ คือ มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงต่อเดือนเท่ากับ 8.83 และ 26.68 ตามลำดับ ซึ่งการที่เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงต่างกัน อาจเนื่องมาจากความตื้นลึกของดิน สภาพอากาศ และระดับน้ำที่ท่วมขังในพื้นที่ (สนิท อักษรแก้ว และ คณะ, 2547 อ้างตาม วสันต์ ศรีสวัสดิ์, 2531)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง เปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ระหว่างชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย พบว่า กล้าไม้ในชุดทดลอง 5 NW มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าชุดทดลอง 25 NW อาจเป็นเพราะน้ำเสีย 25 NW มีความเข้มข้นของบีโอดีสูง น้ำในชุดทดลองจึงมีสภาพเน่าเสีย ทำให้ออกซิเจนละลายบริเวณรากต่ำ และส่งผลกระทบต่อการหายใจ และการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ (สนิท อักษรแก้ว, 2542) ทำให้กล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตช้า นอกจากนี้ น้ำเสีย 5 NW อาจมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสม ขณะที่น้ำเสีย 25 NW มีความเข้มข้นที่สูงเกินความต้องการของกล้าไม้ ซึ่งอัตราการดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ไม่ได้แปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร แต่อัตราการดูดดึงธาตุอาหารจะสูงที่สุดที่ระดับความเข้มข้นหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเรียกว่าอัตราการดูดสูงสุด หรืออิ่มตัว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

โดยสรุป การให้น้ำเสีย NW, 5 NW และ 25 NW ไม่มีผลกระทบทางด้านลบต่อกล้าไม้ในชุดทดลอง เพราะกล้าไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าชุด control

ตารางที่ 4-23 ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (เซนติเมตร) ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง (เดือนที่ 3)
NW	80.10 ± 8.43^{a}	89.66 ± 9.87^{a}
5 NW	85.17 ± 8.62^{c}	99.31 ± 9.58^{c}
25 NW	83.83 ± 8.61^{bc}	95.04 ± 9.52^{b}
control	81.53 ± 8.31^{ab}	90.39 ± 9.96^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	เดือนที่			
		3	4	5	6
FW	NW	88.80 ± 9.91^{a}	93.30 ± 10.04^{a}	97.19 ± 10.91^{a}	100.93 ± 11.45^{a}
	5 NW	100.92 ± 9.21^{b}	106.21 ± 11.27^{c}	$109.66 \pm 12.47^{b**}$	$114.83 \pm 13.77^{b**}$
	25 NW	$92.53 \pm 8.81^{a*}$	98.99 ± 9.94^{b}	102.28 ± 10.58^{a}	109.45 ± 11.85^{b}
	control	92.22 ± 8.55^{a}	$97.31 \pm 8.87^{b**}$	$99.82 \pm 9.12^{a**}$	$103.00 \pm 9.87^{a**}$
SW	NW	90.51 ± 9.89^{a}	93.73 ± 10.17^{a}	95.81 ± 10.21^{a}	97.59 ± 11.06^{a}
	5 NW	97.71 ± 9.80^{b}	102.28 ± 11.23^{b}	$104.12 \pm 11.52^{b*}$	$107.62 \pm 12.16^{b*}$
	25 NW	$97.54 \pm 9.67^{b**}$	100.33 ± 9.97^{b}	102.22 ± 10.05^{b}	104.82 ± 11.28^{b}
	control	88.56 ± 11.01^{a}	$91.32 \pm 11.07^{a*}$	$92.78 \pm 11.43^{a*}$	$94.78 \pm 11.54^{a*}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

ตารางที่ 4-24 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง (เดือนที่ 3)	ค่าเฉลี่ยต่อเดือน
NW	-	12.00 ± 5.69^{a}	4.00 ± 1.90^{ab}
5 NW	-	16.82 ± 6.39^{c}	5.61 ± 2.13^{c}
25 NW	-	13.46 ± 4.26^{b}	4.49 ± 1.42^{b}
control	-	10.86 ± 4.63^{a}	3.62 ± 1.54^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	เดือนที่				ค่าเฉลี่ยต่อเดือน
		3	4	5	6	
FW	NW	-	$4.49 \pm 2.32^{a**}$	4.18 ± 2.38	$3.85 \pm 1.92^{ab**}$	4.38 ± 1.30^{a}
	5 NW	-	5.29 ± 3.66^{ab}	$3.19 \pm 2.81^{**}$	4.68 ± 2.79^{b}	$4.33 \pm 2.04^{a**}$
	25 NW	-	$6.46 \pm 2.67^{b**}$	$3.31 \pm 2.18^{**}$	$6.96 \pm 2.79^{c**}$	$5.75 \pm 1.39^{b**}$
	control	-	$5.10 \pm 2.10^{a**}$	2.61 ± 2.57	$3.16 \pm 1.54^{a**}$	$3.78 \pm 1.25^{a**}$
SW	NW	-	$3.21 \pm 2.43^{a*}$	2.40 ± 5.88	$1.80 \pm 1.60^{a*}$	2.60 ± 2.15^{ab}
	5 NW	-	4.58 ± 2.32^{b}	$1.80 \pm 1.95^{*}$	3.35 ± 2.40^{b}	$3.25 \pm 1.32^{b*}$
	25 NW	-	$2.79 \pm 2.64^{a*}$	$1.91 \pm 1.63^{*}$	$2.48 \pm 2.99^{ab*}$	$2.43 \pm 1.28^{a*}$
	control	-	$2.76 \pm 1.73^{a*}$	1.59 ± 1.69	$2.18 \pm 1.78^{a*}$	$2.32 \pm 0.85^{a*}$

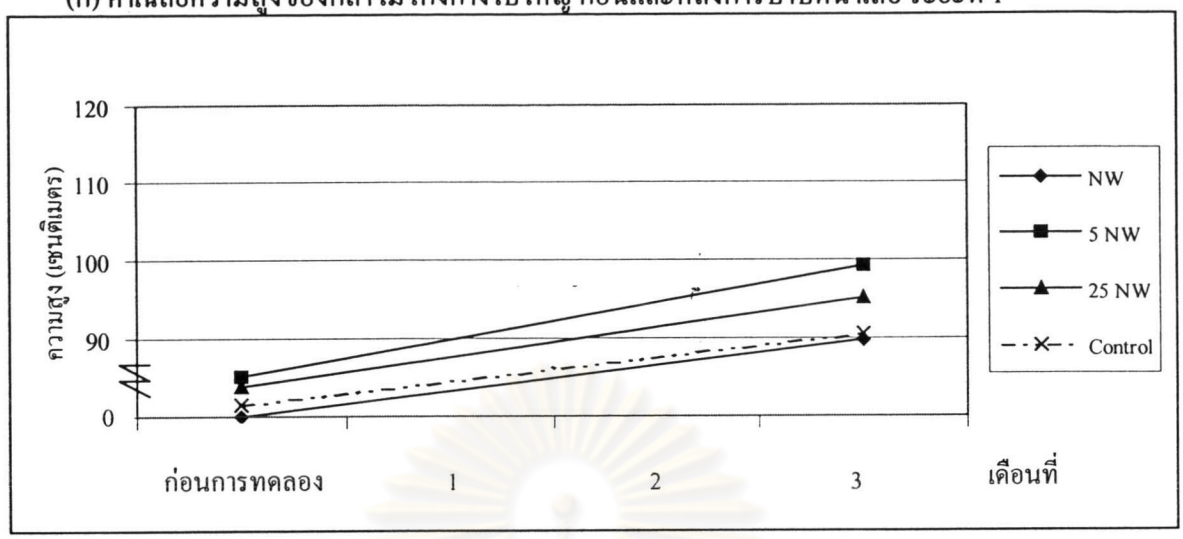
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

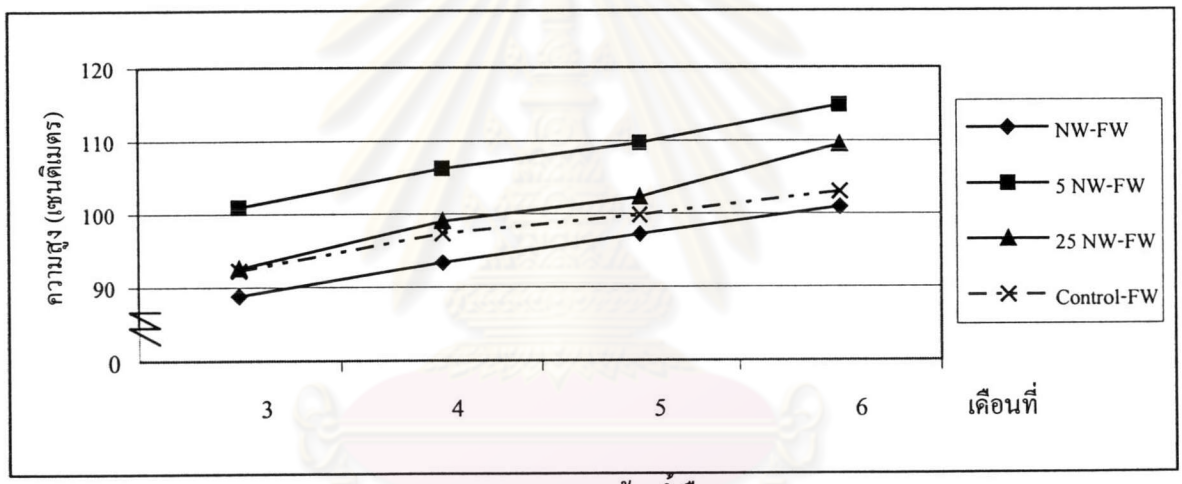
* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

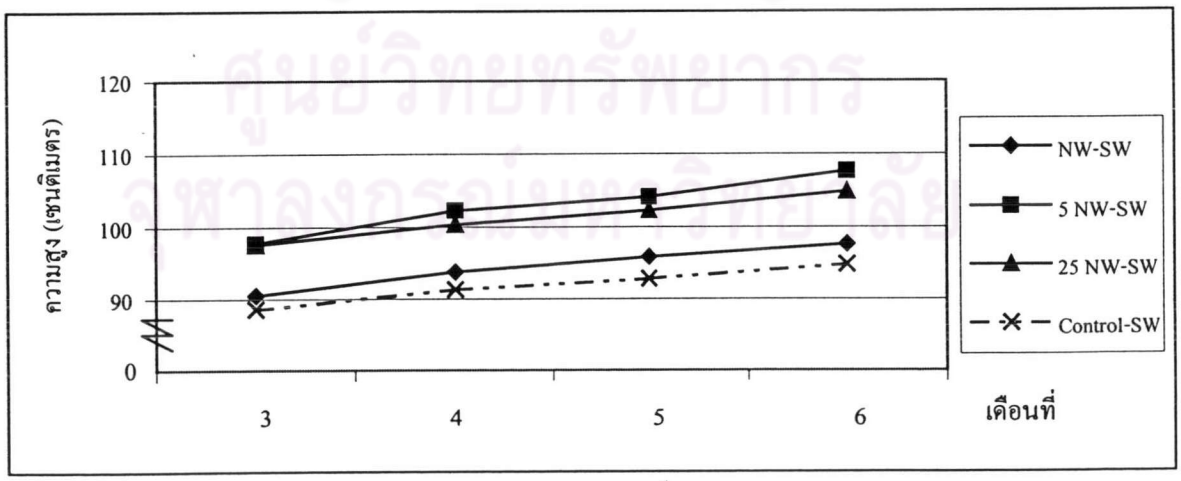
(ก) ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยความสูงของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

2) ระยะที่ 2

เมื่อแบ่งชุดทดลองจากระยะที่ 1 เป็น 2 กลุ่มทดลอง พบว่า ความสูงของกล้าไม้ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีระดับความเข้มข้นเท่ากันมีความสูงค่อนข้างแปรผัน (ตารางที่ 4-23 และรูปที่ 4-18, ข) โดยความสูงเฉลี่ยของกล้าไม้ในกลุ่ม FW และ SW มีค่าอยู่ในช่วง 88.80-100.92 และ 88.56-97.71 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อทำการทดลองชะระบบ พบว่า ความเค็มของน้ำ และความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในดินจากการทดลองระยะที่ 1 มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกล้าไม้ในระยะที่ 2 กล่าวคือ การชะด้วยน้ำจืดทำให้กล้าไม้ในชุด 25 NW มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงเฉลี่ยต่อระยะเวลา 1 เดือน สูงที่สุด คือ 5.75 (ตารางที่ 4-24) รองลงมา คือ ชุด 5 NW, NW และ control ตามลำดับ ในขณะที่การชะด้วยน้ำทะเลทำให้กล้าไม้ในชุด 5 NW มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด รองลงมา คือ 25 NW, NW และ control ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้น้ำชะระบบต่างประเภทกันสามารถชะละลายธาตุอาหารที่สะสมในดินออกมาได้ต่างกัน ส่งผลให้กล้าไม้ได้รับธาตุอาหารและมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความสูงของกล้าไม้ระหว่างกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล พบว่า กล้าไม้ในกลุ่มที่ชะระบบด้วยน้ำจืด มีค่าเฉลี่ยความสูงสูงกว่ากล้าไม้ในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเล และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงระหว่างกลุ่มทดลองทั้งสอง พบว่า กล้าไม้ในทุกชุดทดลองของกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มพูนความสูงสูงกว่ากลุ่มที่ชะระบบด้วยน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งผลการทดลองขัดแย้งกับสนิท อักษรแก้ว (2542) ที่รายงานว่าพืชในป่าชายเลนจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณน้ำกร่อยซึ่งมีความเค็มประมาณ 10-30 psu ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการทดลองระยะที่ 1 กล้าไม้ได้รับน้ำเสียซึ่งมีความเค็มต่ำ (0.10-0.38 psu) มาเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน เมื่อได้รับน้ำทะเลซึ่งมีความเค็ม 15 psu กล้าไม้จึงยังปรับตัวได้ไม่ดี การเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้จึงต่ำกว่าชุดที่ได้รับน้ำจืด

โดยสรุป อิทธิพลของการให้น้ำเสียความเข้มข้นต่างกันในระยะที่ 1 รวมทั้งการให้น้ำต่างประเภทกันในระยะที่ 2 มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกล้าไม้แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1.2 การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง

การทดลองทั้งระยะที่ 1 และ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ระดับ 0 และ 15 เซนติเมตรจากผิวดิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 4-25 ถึง 4-25 และรูปที่ 4-19) ทั้งนี้เพราะกล้าไม้มีความหนาแน่นต่อพื้นที่สูง คือ 12 ต้น ต่อ 0.528 ตารางเมตร (ประมาณ 47 ต้น ต่อ 1 ตารางเมตร) ทำให้กล้าไม้เร่งการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเพื่อแย่งรับแสงแดด อัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าต่ำ การเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้เฉลี่ยในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้งในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 แสดงว่าการให้น้ำเสียความเข้มข้นต่างกันในระยะที่ 1 และการให้น้ำชะระบบต่างประเภทกันในระยะที่ 2 ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

4.3.1.3 จำนวนใบ

การทดลองทั้งระยะที่ 1 และ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของกล้าไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดทดลอง (ตารางที่ 4-27) โดยก่อนการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 7.93-10.57 ใบ และหลังการทดลองมีค่า 18.00-22.53 ใบ ซึ่งจะเห็นว่า จำนวนใบของกล้าไม้ในแต่ละชุดทดลองมีค่าสูงขึ้นกว่า 2 เท่าจากก่อนการทดลอง ทั้งนี้เพราะโกงกางใบใหญ่ที่ใช้ในการทดลองยังอยู่ในระยะกล้าไม้ จึงมีการแตกยอดเพื่อเพิ่มจำนวนใบสูง อีกทั้งยังได้รับน้ำเสียซึ่งมีธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ จึงส่งเสริมให้กล้าไม้มีการแตกยอด และเพิ่มจำนวนใบสูงขึ้น

ในการทดลองระยะที่ 2 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของกล้าไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ซึ่งภายหลังการทดลอง พบว่า กล้าไม้ในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ชะด้วยน้ำทะเล คือ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.97-33.92 และ 18.64-27.92 ใบ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากกล้าไม้ได้รับน้ำเสียซึ่งมีความเค็มใกล้ศูนย์ (0.10-0.38 psu) มาตลอดระยะเวลา 3 เดือน (การทดลองระยะที่ 1) จึงทำให้กล้าไม้ปรับตัวกับสภาพน้ำซึ่งมีความเค็มเพิ่มขึ้น (15 psu) ไม่ได้ การแตกยอดของกล้าไม้จึงต่ำ ซึ่งจะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบของกล้าไม้ มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตทางด้านความสูง กล่าวคือ กล้าไม้ที่มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงสูง จะมีจำนวนใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงด้วย แสดงว่าการดูดดึงธาตุอาหารของกล้าไม้ มีผลต่อการเจริญเติบโตทั้งทางด้านความสูง และการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบ

ตารางที่ 4-25 ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) ของกล้าไม้ ที่ระดับ 0 เซนติเมตรจากผิวดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ระดับ 0 เซนติเมตรจากผิวดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง (เดือนที่ 3)
NW	1.99 ± 0.16	2.08 ± 0.17^{a}
5 NW	1.99 ± 0.17	2.04 ± 0.17^{a}
25 NW	1.91 ± 0.16	1.96 ± 0.16^{b}
control	2.01 ± 0.19	2.11 ± 0.22^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ระดับ 0 เซนติเมตรจากผิวดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	เดือนที่			
		3	4	5	6
FW	NW	2.05 ± 0.18^{bc}	2.13 ± 0.18^{bc}	2.16 ± 0.19^{ab}	2.20 ± 0.21
	5 NW	2.01 ± 0.16^{ab}	2.08 ± 0.17^{ab}	2.12 ± 0.21^{a}	2.17 ± 0.24
	25 NW	1.94 ± 0.17^{a}	2.02 ± 0.16^{a}	2.10 ± 0.18^{a}	2.17 ± 0.20
	control	2.12 ± 0.22^{c}	2.19 ± 0.23^{c}	2.23 ± 0.24^{b}	2.27 ± 0.26
SW	NW	2.11 ± 0.17^{b}	2.16 ± 0.18^{b}	2.18 ± 0.18^{b}	2.21 ± 0.19^{b}
	5 NW	2.07 ± 0.17^{b}	2.11 ± 0.17^{b}	2.13 ± 0.16^{ab}	2.15 ± 0.17^{ab}
	25 NW	1.99 ± 0.16^{a}	2.02 ± 0.17^{a}	2.05 ± 0.16^{a}	2.08 ± 0.16^{a}
	control	2.12 ± 0.21^{b}	2.17 ± 0.21^{b}	2.21 ± 0.21^{b}	2.24 ± 0.24^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

ตารางที่ 4-26 ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) ของกล้าไม้ ที่ระดับ 15 เซนติเมตรจากผิวดิน ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ระดับ 15 เซนติเมตรจากผิวดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง (เดือนที่ 3)
NW	1.50 ± 0.15	1.55 ± 0.16
5 NW	1.51 ± 0.15	1.56 ± 0.15
25 NW	1.48 ± 0.16	1.53 ± 0.16
control	1.52 ± 0.15	1.58 ± 0.16

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

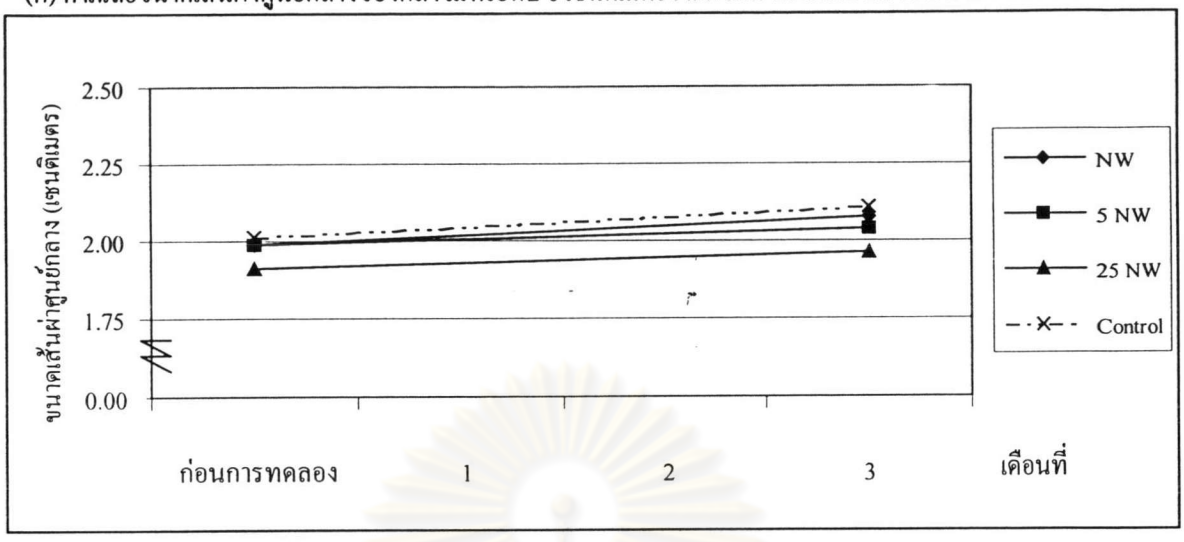
(ข) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ระดับ 15 เซนติเมตรจากผิวดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	เดือนที่			
		3	4	5	6
FW	NW	1.53 ± 0.16	1.58 ± 0.16	1.61 ± 0.16	1.64 ± 0.16
	5 NW	1.55 ± 0.15	1.58 ± 0.15	1.61 ± 0.17	1.64 ± 0.19
	25 NW	1.49 ± 0.13	1.54 ± 0.13	1.58 ± 0.13	1.63 ± 0.15
	control	1.56 ± 0.16	1.60 ± 0.17	1.63 ± 0.17	1.65 ± 0.16
SW	NW	1.57 ± 0.16	1.61 ± 0.17	1.62 ± 0.17	1.63 ± 0.18
	5 NW	1.56 ± 0.15	1.59 ± 0.15	1.62 ± 0.15	1.65 ± 0.16
	25 NW	1.58 ± 0.18	1.59 ± 0.17	1.61 ± 0.17	1.62 ± 0.17
	control	1.60 ± 0.15	1.61 ± 0.15	1.62 ± 0.15	1.64 ± 0.14

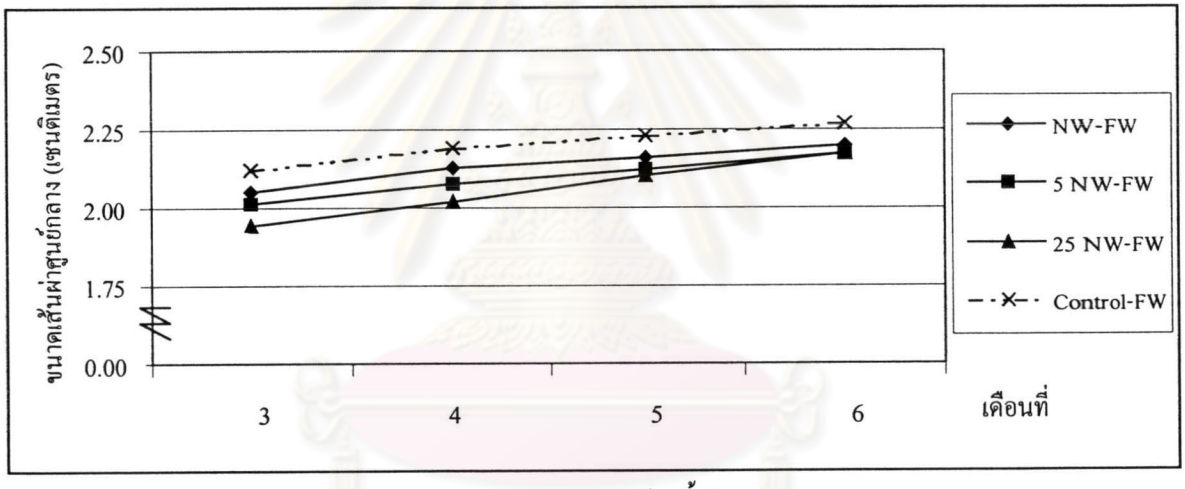
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

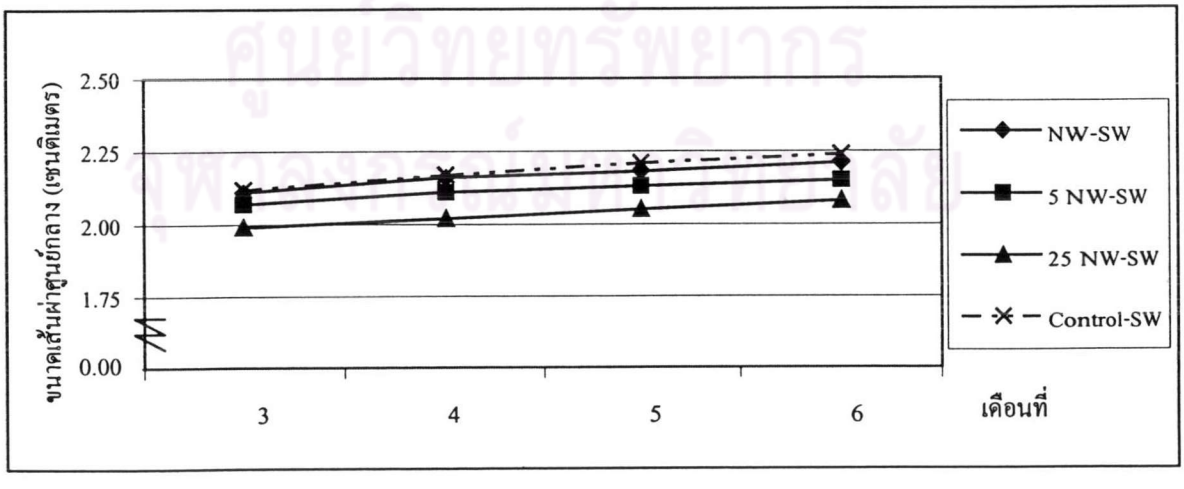
(ก) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ระดับ 0 เซนติเมตรจากผิวดิน ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับ 0 เซนติเมตรจากผิวดิน ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับ 0 เซนติเมตรจากผิวดิน ของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

ตารางที่ 4-27 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของกล้าไม้ (ใบ) ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของกล้าไม้ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง (เดือนที่ 3)
NW	7.9 ± 2.6^{a}	18.1 ± 6.0^{a}
5 NW	10.6 ± 2.8^{c}	22.5 ± 7.0^{c}
25 NW	9.5 ± 3.1^{b}	20.9 ± 7.5^{ab}
control	8.6 ± 2.7^{ab}	18.3 ± 6.6^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของกล้าไม้ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6
FW	NW	19.0 ± 6.4^{a}	21.1 ± 7.6^{a}	21.6 ± 9.4^{a}	25.0 ± 10.7^{a}
	5 NW	$20.9 \pm 6.5^{ab*}$	23.2 ± 7.2^{ab}	25.6 ± 9.0^{ab}	29.0 ± 10.0^{a}
	25 NW	$23.1 \pm 7.7^{b**}$	$26.3 \pm 8.1^{b**}$	$29.4 \pm 9.3^{b**}$	$33.9 \pm 10.8^{b**}$
	control	$20.5 \pm 6.4^{ab**}$	$21.9 \pm 7.0^{a**}$	$23.6 \pm 8.9^{a**}$	$26.5 \pm 9.6^{b**}$
SW	NW	17.2 ± 5.5^{a}	18.6 ± 5.5^{ab}	18.6 ± 5.7^{ab}	21.7 ± 6.5^{ab}
	5 NW	$24.2 \pm 7.2^{b**}$	24.3 ± 6.0^{ca}	25.6 ± 6.9^{c}	27.9 ± 7.8^{c}
	25 NW	$18.7 \pm 6.7^{a*}$	$20.2 \pm 6.9^{b*}$	$21.4 \pm 7.0^{b*}$	$24.6 \pm 8.3^{bc*}$
	control	$16.1 \pm 6.2^{a*}$	$16.0 \pm 7.1^{a*}$	$16.8 \pm 8.3^{a*}$	$18.6 \pm 9.0^{a*}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

4.3.2 องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

4.3.2.1 ทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

1) ระยะที่ 1

ก่อนการทดลอง ทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.043-10.668 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-28 และ รูปที่ 4-20, ก) เมื่อให้น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำจืดแก่ชุดทดลองพบว่า ทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้ในทุกชุดทดลองมีทีเคเอ็นสะสมสูงขึ้น คือ ชุด NW, 5 NW, 25 NW และ control มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.222, 18.562, 21.945 และ 10.852 mg g^{-1} ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ทุกชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียมีทีเคเอ็นสะสมในใบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนชุด control มีค่าไม่แตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Boto and Wellington (1983) ที่รายงานว่า หลังจากให้น้ำเสียแก่ป่าชายเลนเป็นเวลา 1 ปี จะพบว่า ใบของพืชสกุลโกงกางมีทีเคเอ็นสะสมสูงขึ้น โดยก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.00 mg g^{-1} และหลังการทดลองมีค่าเท่ากับ 14.30 mg g^{-1} นอกจากนี้ Clough et al. (1983) รายงานการศึกษาไว้ในทิศทางเดียวกันว่า พืชในป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียระยะยาวจะมีไนโตรเจนสะสมในใบสูงกว่าพืชในป่าชายเลนบริเวณใกล้เคียงที่ไม่ได้รับน้ำเสีย คือ มีไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 20.40 และ 11.50 mg g^{-1} ตามลำดับ นอกจากนี้ Wong et al. (1995) อ้างตาม Roger et al. (1991) กล่าวว่าพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมสามารถบำบัดไนโตรเจนจากน้ำเสียได้ถึง 85 % โดยการดูดดึงไปใช้สร้างมวลชีวภาพ

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณธาตุอาหารในใบของกล้าไม้ระหว่างชุดทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยชุด control มีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบต่ำที่สุด และมีค่าสูงขึ้นในชุด NW, 5 NW และ 25 NW ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการสะสมทีเคเอ็นในใบมีค่าแปรผันตามความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Cronk and Fennessy (2001) ที่กล่าวไว้ว่าพืชสามารถสะสมธาตุอาหารได้สูงกว่าระดับความต้องการที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงอาจพบว่า พืชมีการสะสมธาตุอาหารสูงกว่าระดับปกติได้

โดยสรุป กล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีส่วนช่วยในการบำบัดทีเคเอ็นจากน้ำเสียโดยการดูดดึงธาตุอาหารไปใช้และสะสมในมวลชีวภาพ ซึ่งปริมาณทีเคเอ็นที่สะสมจะมีค่าแปรผันตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ได้รับ

ตารางที่ 4-28 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น ($mg\ g^{-1}$) ในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{a}10.668 \pm 0.850$	$^{b}13.222 \pm 0.529^{b}$
5 NW	$^{a}10.238 \pm 0.640$	$^{b}18.562 \pm 0.839^{c}$
25 NW	$^{a}10.147 \pm 0.804$	$^{b}21.945 \pm 0.845^{d}$
control	10.043 ± 0.782	10.852 ± 0.416^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	$^{b}13.063 \pm 0.618^{b}$	$^{a}11.450 \pm 0.625^{b}$	$^{a}11.353 \pm 0.843^{ab}$	$^{a}10.420 \pm 0.236^{ab}$
	5 NW	$^{d}18.917 \pm 0.662^{c}$	$^{c}15.793 \pm 0.275^{c}$	$^{b}12.657 \pm 0.339^{b*}$	$^{a}10.350 \pm 0.678^{ab}$
	25 NW	$^{d}21.563 \pm 0.456^{d}$	$^{c}16.337 \pm 0.352^{b}$	$^{b}14.833 \pm 0.913^{c*}$	$^{a}10.493 \pm 0.261^{b*}$
	control	10.783 ± 0.624^{a}	9.713 ± 1.388^{a}	10.637 ± 0.652^{a}	9.423 ± 0.676^{a}
SW	NW	$^{b}13.380 \pm 0.493^{b}$	$^{a}10.647 \pm 1.106^{a}$	$^{a}11.690 \pm 0.404^{b}$	$^{a}10.870 \pm 0.641^{a}$
	5 NW	$^{d}18.207 \pm 0.970^{c}$	$^{c}16.457 \pm 0.627^{b}$	$^{b}14.097 \pm 0.369^{c**}$	$^{a}11.447 \pm 1.131^{a}$
	25 NW	$^{c}22.327 \pm 1.068^{d}$	$^{b}16.513 \pm 1.713^{b}$	$^{b}17.013 \pm 0.453^{d**}$	$^{a}13.010 \pm 0.785^{b**}$
	control	10.920 ± 0.171^{a}	10.177 ± 0.419^{a}	10.740 ± 0.277^{a}	10.163 ± 0.384^{a}

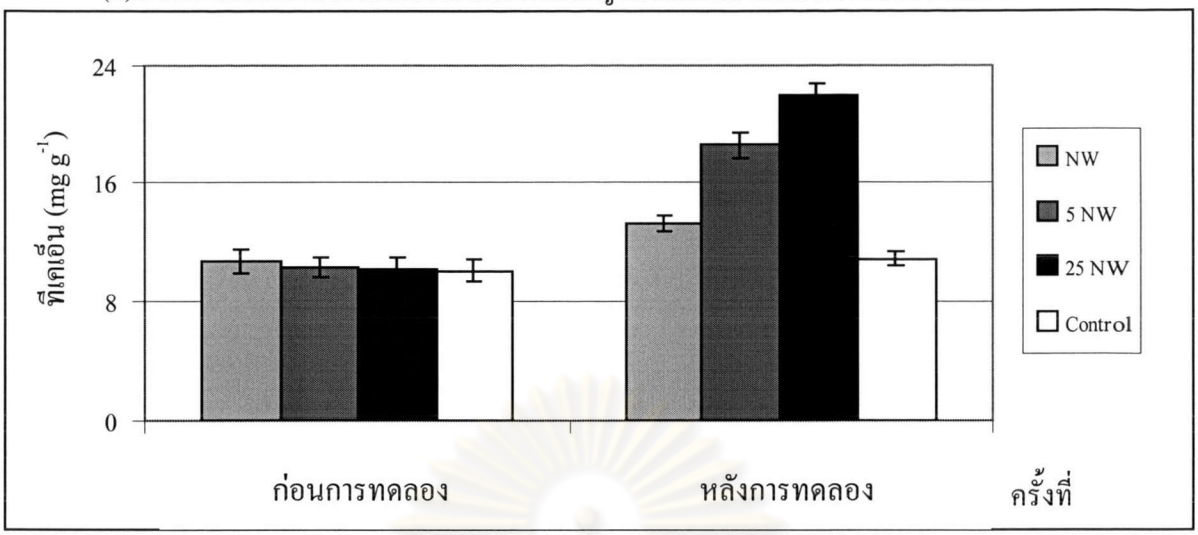
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

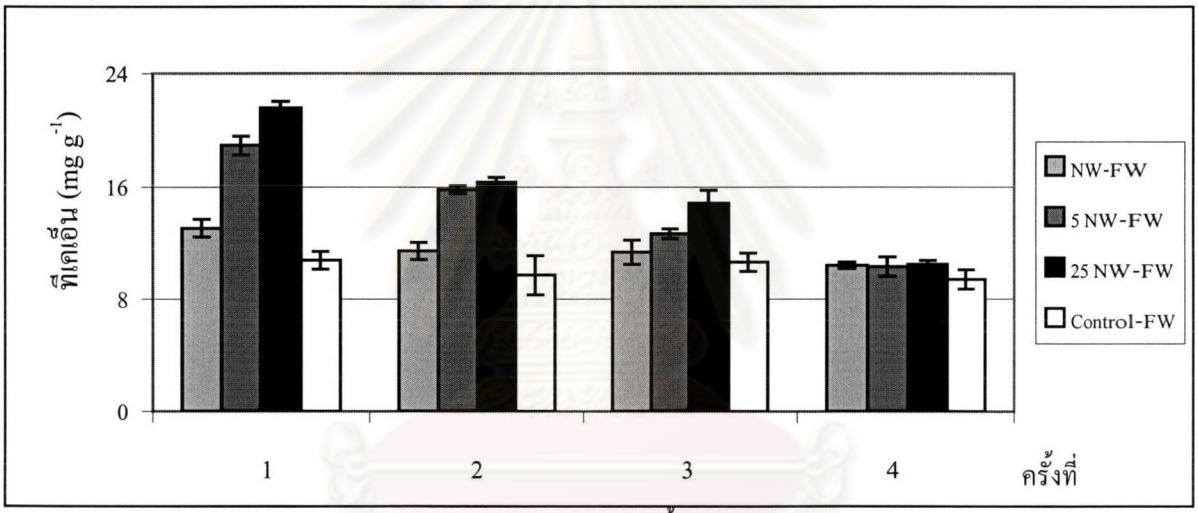
อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

* มุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างกลุ่มทดลอง FW และ SW

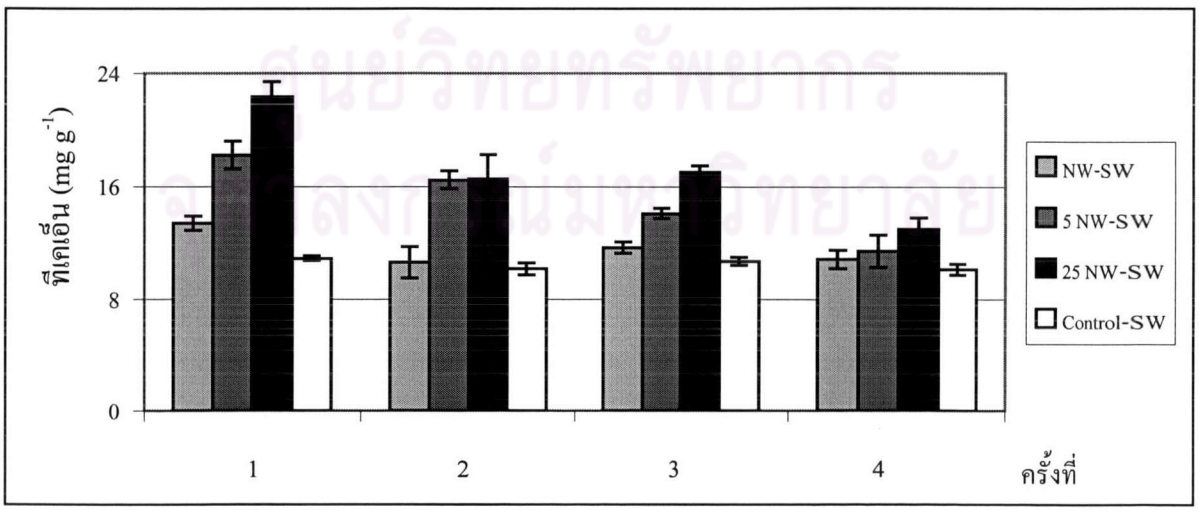
(ก) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-20 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

2) ระยะที่ 2

ก่อนการทดลองชะระบบ ทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้ในกลุ่มทดลอง FW และ SW มีค่าอยู่ในช่วง 10.783-21.563 และ 10.920-22.327 mg g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 4-28 และ รูปที่ 4-20, ข) ซึ่งเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างระดับความเข้มข้น พบว่า ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นในใบระหว่างชุดทดลอง NW, 5 NW, 25 NW และ control มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อทำการทดลองชะระบบ พบว่า ทีเคเอ็นที่สะสมในใบพืชมีแนวโน้มลดลงตามครั้งที่ทำการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยชุดที่ชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเลมีค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 9.423-10.493 และ 10.163-13.010 mg g^{-1} ตามลำดับ ซึ่งทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลอง พบว่า กล้าไม้ในชุดทดลอง 25 NW ทั้งที่ชะระบบด้วยน้ำจืด และน้ำทะเลมีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยสูงกว่าชุด control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเป็นเพราะกล้าไม้ในชุดทดลองทั้งสองผ่านการรองรับน้ำเสียที่มีทีเคเอ็นความเข้มข้นสูงจากระยะที่ 1 จึงมีทีเคเอ็นสะสมในดินปริมาณมาก ทำให้กล้าไม้ดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้พบว่าทีเคเอ็นในใบมีค่าสูง

เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นเท่ากันในระยะที่ 1 พบว่า ปริมาณทีเคเอ็นในใบของกล้าไม้ในทุกชุดที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีปริมาณทีเคเอ็นต่ำกว่าในชุดที่ชะระบบด้วยน้ำทะเล อาจเป็นเพราะกล้าไม้ที่ได้รับน้ำจืดมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและการเพิ่มจำนวนใบสูง ธาตุอาหารจึงเปลี่ยนไปเป็นมวลชีวภาพสูง ทำให้พบว่ามีองค์ประกอบทีเคเอ็นต่ำ

4.3.2.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่

1) ระยะที่ 1

ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.193-0.216 mg g^{-1} และสิ้นสุดการทดลองมีค่า 0.211-0.244 mg g^{-1} (ตารางที่ 4-29 และ รูปที่ 21, ก) ซึ่งพบว่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลองภายหลังการทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 5 NW และ 25 NW มีฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมในใบไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากชุด control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่า กล้าไม้มีส่วนช่วยในการบำบัดฟอสฟอรัสโดยการดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้ จึงเป็นผลให้กล้าไม้มีฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมในใบสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ Wong et al. (1995) อ้างตาม Boto and Wellington (1983) ที่กล่าวไว้ว่า การให้น้ำเสียแก่ป่าชายเลนเป็นระยะเวลา 1 ปี จะมีผลให้พืชสกุลโกงกางมีฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมในใบสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างกัน ไม่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบจะสูงขึ้นและแปรผันตามระดับความเข้มข้นเช่นเดียวกับค่าทีเคเอ็น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ การดูดดึงธาตุอาหารฟอสฟอรัสถูกจำกัดด้วย

สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำและดิน กล่าวคือในทุกชุดทดลองมีสภาพความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.2 ซึ่งเป็นสภาพที่ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในรูปของ PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2545) จึงเป็นผลให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หรืออีกนัยหนึ่งอาจเป็นเพราะ พืชต้องการธาตุอาหารฟอสฟอรัสสูงเฉพาะในช่วงเจริญพันธุ์ (reproductive phase) (Wong et al., 1995) จึงทำให้การสะสมธาตุอาหารฟอสฟอรัสในกล้าไม้ต่ำ

2) ระยะที่ 2

ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ในการทดลองระยะที่ 2 มีค่าค่อนข้างแปรผัน (ตารางที่ 4-29 และ รูปที่ 4-21, ข) กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นและลดลงของฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบระหว่างการทดลองมีค่าไม่แปรผันตามความเข้มข้น และมีแนวโน้มไม่แน่นอน แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ในกลุ่มทดลองที่ได้รับการชะระบบด้วยน้ำจืด มีฟอสฟอรัสทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเล คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.217-0.303 และ 0.178-0.291 mg g^{-1} ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ การชะระบบด้วยน้ำจืดมีผลให้ออร์โธฟอสเฟตที่สะสมในดินชะละลายออกมาได้สูงกว่า กล้าไม้จึงสามารถดูดดึงออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำมาใช้ได้สูงกว่า จึงเป็นผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ในกลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำจืดมีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ชะระบบด้วยน้ำทะเล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-29 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg g^{-1}) ในใบของกล้าไม้ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ

(ก) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1

ชุดทดลอง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
NW	$^{a}0.192 \pm 0.016$	$^{b}0.232 \pm 0.006^{b}$
5 NW	$^{a}0.195 \pm 0.014$	$^{b}0.244 \pm 0.014^{b}$
25 NW	0.216 ± 0.025	0.240 ± 0.024^{b}
control	$^{a}0.193 \pm 0.006$	$^{b}0.211 \pm 0.011^{a}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างก่อนและสิ้นสุดการทดลอง

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลอง

(ข) ค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2

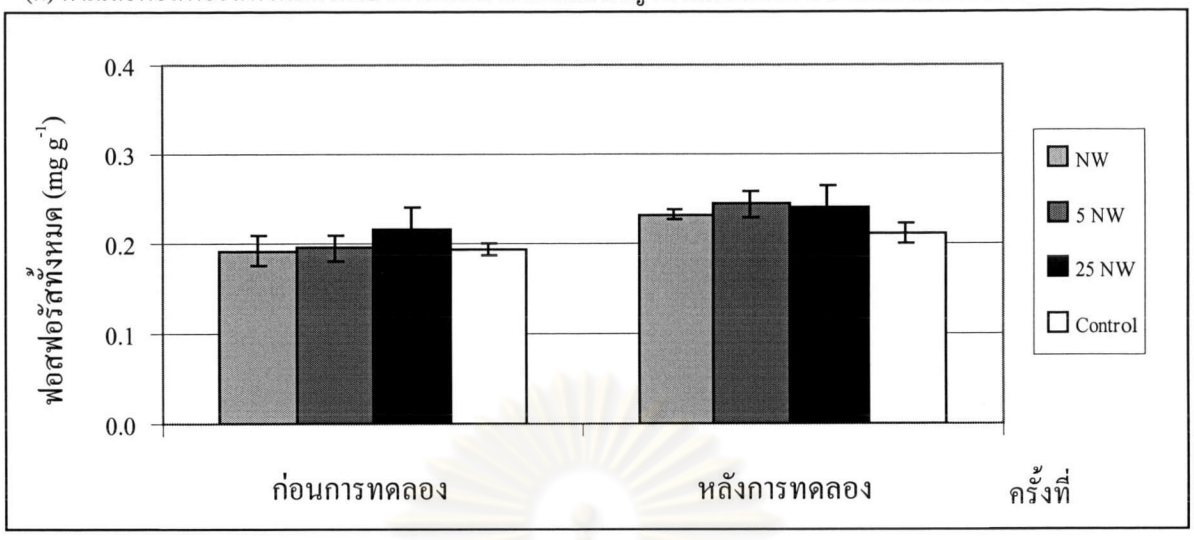
กลุ่มทดลอง	ชุดทดลอง	ครั้งที่			
		1	2	3	4
FW	NW	$^{ab}0.230 \pm 0.006^{b}$	$^{a}0.187 \pm 0.044$	$^{b}0.257 \pm 0.019^{**}$	$^{ab}0.217 \pm 0.006^{a}$
	5 NW	$^{a}0.237 \pm 0.017^{b}$	$^{a}0.226 \pm 0.005$	$^{b}0.275 \pm 0.012$	$^{b}0.290 \pm 0.010^{b**}$
	25 NW	$^{b}0.220 \pm 0.010^{ab*}$	$^{a}0.209 \pm 0.004$	$^{c}0.270 \pm 0.001$	$^{d}0.303 \pm 0.008^{b}$
	control	0.205 ± 0.012^{a}	0.165 ± 0.064	0.247 ± 0.045	$0.225 \pm 0.022^{a**}$
SW	NW	$^{b}0.233 \pm 0.006^{b}$	$^{a}0.140 \pm 0.026$	$^{b}0.221 \pm 0.009^{a*}$	$^{b}0.214 \pm 0.018^{a}$
	5 NW	$^{b}0.250 \pm 0.010^{c}$	$^{a}0.190 \pm 0.046$	$^{b}0.255 \pm 0.008^{b}$	$^{ab}0.232 \pm 0.031^{ab*}$
	25 NW	$0.260 \pm 0.010^{c**}$	0.200 ± 0.087	0.256 ± 0.012^{b}	0.291 ± 0.068^{b}
	control	$^{b}0.217 \pm 0.006^{a}$	$^{a}0.180 \pm 0.000$	$^{b}0.205 \pm 0.012^{a}$	$^{a}0.178 \pm 0.013^{a*}$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

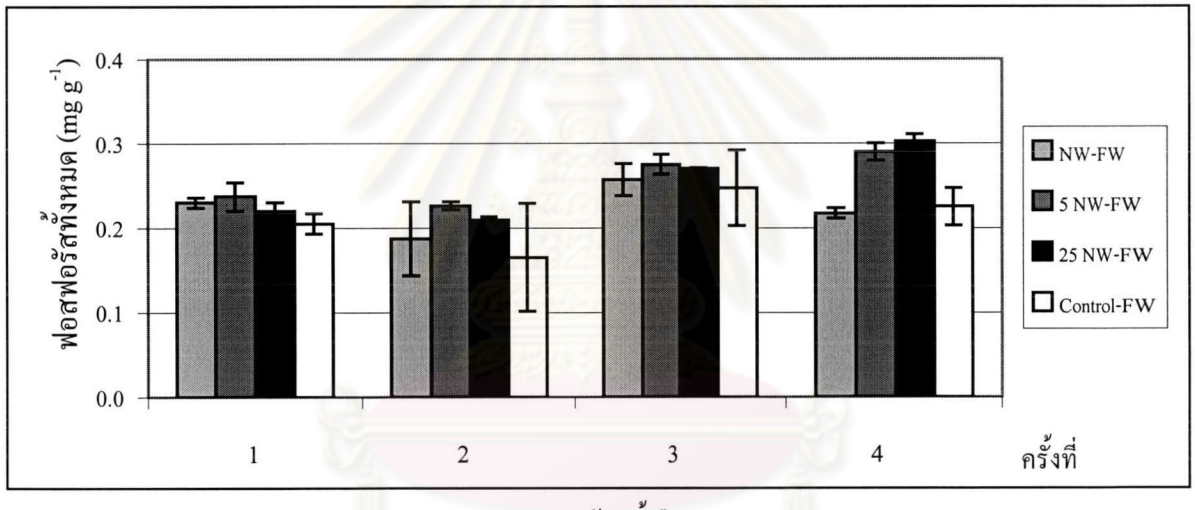
อักษรอังกฤษมุมบนซ้ายที่แตกต่างกัน (แนวนอน) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละระยะ

อักษรอังกฤษมุมบนขวาที่แตกต่างกัน (แนวตั้ง) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างชุดทดลองซึ่งแยกตามประเภทของน้ำชะระบบ

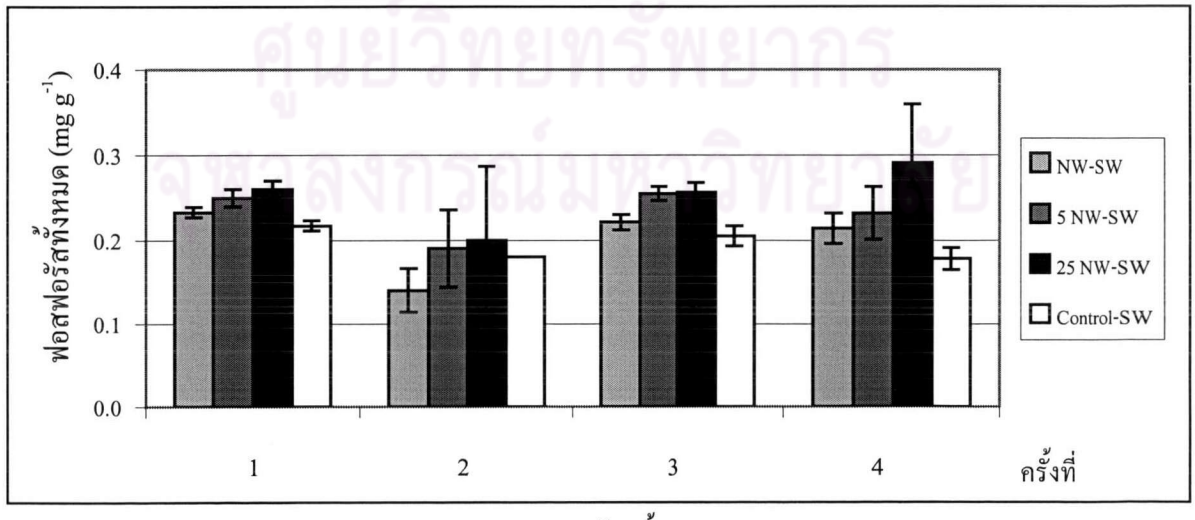
(ก) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสีย ระยะที่ 1



(ข) ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ก่อนและหลังการชะระบบด้วยน้ำจืดและน้ำทะเล ระยะที่ 2



ข-1 ชะระบบด้วยน้ำจืด



ข-2 ชะระบบด้วยน้ำทะเล

รูปที่ 4-21 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ ในการทดลองทั้ง 2 ระยะ