บทที่ 5

วิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ความเป็นพิษของคลอรีนต่อสัตว์น้ำ

จากการทดลองค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีน (LC_{50}) ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ตามตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า คลอรีนมีความเป็นพิษต่อกุ้งก้ามกรามมากที่สุด รองลงมา คือ ปลาตะเพียนขาว และสัตว์ทดลองที่มีความทนทานต่อพิษคลอรีนได้ดีที่สุด คือ ปลาดุกอุย (ภาพที่ 5.1) ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองของ ประมวล (2523) ที่ทดลองความเป็นพิษของคลอรีนต่อกุ้งก้ามกรามและปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Block) ในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราว ผลการทดลองปรากฏว่า ค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ของกุ้งก้ามกราม เท่ากับ 0.24, 0.23 และ 0.13 mg/L TRC ที่ระดับอุณหภูมิ 27, 32 และ 37°C ตามลำดับ และค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมงของปลากะพงขาวเท่ากับ 0.59, 0.50 และ 0.28 mg/L TRC ที่ระดับอุณหภูมิอุณหภูมิ 27, 32 และ 37°C ตามลำดับ ซึ่งกุ้งก้ามกรามมีความทนทานต่อพิษของคลอรีนได้น้อยกว่าปลากะพงขาวทุกระดับอุณหภูมิ ประมวล (2523) ตั้งข้อสันนิษฐานว่า อาจเนื่องมาจากความแตกต่างในเรื่องโครงสร้าง พฤติกรรมและสรีระของร่างกายระหว่างสัตว์ทดลอง กล่าวคือ ลักษณะการพัฒนาการในเรื่องโครงสร้างและสรีรวิทยาของปลากะพงขาวมีการพัฒนาไปได้มากกว่ากุ้งก้ามกราม ทำให้อวัยวะต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า จึงมีผลทำให้ปลากะพงขาวมีความสามารถในการทนทานอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น สามารถทนอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำได้ดีกว่ากุ้งก้ามกราม หรืออาจเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ผิวของเหงือกต่อน้ำหนักร่างกายของกุ้งก้ามกรามมีมากกว่าปลากะพงขาว เมื่อกุ้งก้ามกรามสัมผัสกับคลอรีน เหงือกจึงถูกทำลายได้รุนแรงกว่า (Cohen, 1977; Bass *et al.*, 1977) ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้ก็น่าจะเป็นจริงตามข้อสันนิษฐานของ ประมวล (2523) เพราะเมื่อพิจารณาดูสาย-วิวัฒนาการ (Phylogeny) แล้วจะเห็นว่า กุ้งก้ามกรามซึ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate) จะอยู่ในระดับต่ำกว่าปลาตะเพียนและปลาดุกอุยซึ่งเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลัง

(Vertebrate) การพัฒนาการ (Development) ของระบบหายใจของสัตว์ที่สูงกว่า ย่อมมีประสิทธิภาพสูงและมีความซับซ้อนมาก ที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ ความแตกต่างของเม็ดเลือดในกุ้งกับปลา ซึ่งกุ้งจะเป็นพวกเลือดสีน้ำเงิน (hemocyanin) ส่วนปลาเป็นพวกเลือดสีแดง (hemoglobin) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าในการรับและแลกเปลี่ยนออกซิเจน ซึ่งทำให้ปลามีความทนทานมากกว่ากุ้ง และเมื่อพิจารณาในแง่นี้แล้วจะพบว่า การที่ปลาดุกอุยมีความทนทานต่อพิษของคลอรีนมาก เพราะมีระบบหายใจที่ดีที่สุดในระหว่างสัตว์ทดลองทั้ง 3 ชนิด เพราะนอกจากจะหายใจด้วยเหงือกแล้วยังมีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ เรียกว่า Arborescent Organ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกิ่งไม้อยู่ในช่องโพรงกระโหลกเหนือช่องเหงือกทั้ง 2 ข้าง ทำให้ปลาดุกอุยทนต่อสภาพการขาดออกซิเจนในน้ำได้ดีที่สุด ดังนั้น ถึงแม้ว่าเนื้อเยื่อเหงือกจะถูกคลอรีนทำลาย ปลาดุกอุยจึงมีความทนทานต่อการขาดออกซิเจนได้นานกว่าปลาตะเพียนขาวและกุ้งก้ามกราม

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางชีววิทยาและชีวประวัติของสัตว์ทดลองทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่า กุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์ที่ชอบบริเวณน้ำสะอาด แม่น้ำใดมีปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะ (Pollution) จะไม่พบกุ้งก้ามกรามปรากฏอยู่เลยหรือมีก็น้อยมาก แม้ว่าในอดีตจะเคยมีกุ้งก้ามกรามชุกชุมก็ตาม เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา การที่กุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์น้ำที่ไว (Sensitive) ต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงนี้ จึงนิยมใช้เป็นดัชนี (Index) ชี้ถึงสภาวะของแหล่งน้ำว่าจะเกิดมลภาวะหรือไม่ ส่วนปลาตะเพียนขาวเป็นปลาที่อาศัยอยู่ได้ในแหล่งน้ำทั่วไป แต่ต้องเป็นแหล่งน้ำที่มีออกซิเจนในปริมาณสูง (พินิจ และไยธิน, 2527) สำหรับปลาดุกอุยเป็นปลาที่ทนต่อสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี เช่น ปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำมาก ซึ่งเมื่อดูในด้านนี้ด้วย ก็เป็นการสนับสนุนข้อสันนิษฐานของ ประมวล (2523)

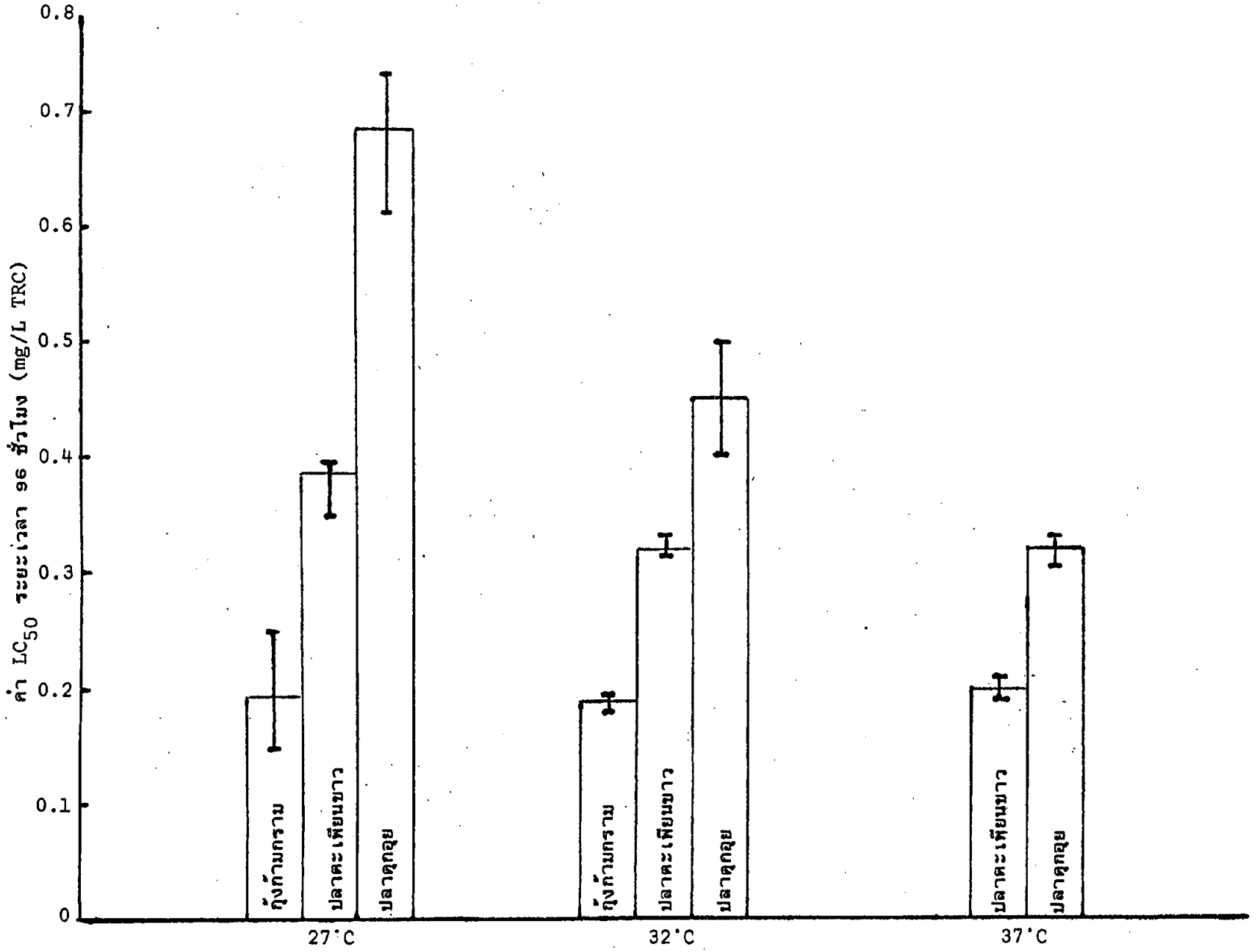
5.2 <u>ความเป็นพิษของคลอรีนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น</u> (Synergistic Effect)

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงว่า ความเป็นพิษของคลอรีนสูงมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง เช่น ที่ 5°C จุดอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำมีค่าประมาณ 12.8 ppm แต่ที่ 20°C จะเหลือเพียง 9.2 ppm และที่ 35°C จะเหลือ 7.1 ppm (เปี่ยมศักดิ์, 2525) แต่ในทางกลับกัน อุณหภูมิสูงขึ้นจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) ทำให้กิจกรรม (Activity) ของสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบความเป็นพิษของคลอรีนต่อสัตว์ทดลองทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกัน

สัตว์ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ค่า LC_{50} (mg/L TRC)			
		24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	96 ชั่วโมง
กุ้งก้ามกราม	27	0.32	0.28	0.23	0.19
ปลาตะเพียนขาว		0.41	0.41	0.37	0.37
ปลาดุกอุย		0.81	0.72	0.68	0.61
กุ้งก้ามกราม	32	0.30	0.21	0.19	0.18
ปลาตะเพียนขาว		0.38	0.37	0.36	0.34
ปลาดุกอุย		0.78	0.61	0.50	0.45
กุ้งก้ามกราม	37	0.24	0.19	-	-
ปลาตะเพียนขาว		0.26	0.24	0.22	0.20
ปลาดุกอุย		0.66	0.54	0.44	0.34

พอลมุกกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.1 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ระหว่างสัตว์ทดลองทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับอุณหภูมิ 27, 32 และ 37°C

ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนมากในการสันดาปสารอาหารให้เกิดพลังงานเพียงพอกับกิจกรรมของร่างกาย และเมื่อสัตว์น้ำโดนคลอรีนทำลายเหงือก ปริมาณออกซิเจนที่เข้าสู่ร่างกายจะลด จะทำให้สัตว์เกิดการขาดออกซิเจนรุนแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเป็นพิษของคลอรีนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อสัตว์น้ำได้สัมผัสกับน้ำที่อุณหภูมิสูง จะทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอลง มีความไวต่อการติดเชื้อและไวต่อสารพิษ (Hodson and Sprague, 1975) อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ระบบ Osmoregulation ทำงานผิดปกติ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการขนส่ง Na^+ ของกล้ามเนื้อเรียบ ลดลง ซึ่ง Na^+ เป็นส่วนประกอบสำคัญของการเกิด Action Potential จึงทำให้เกิดการขัดขวางการเกิด Action Potential และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นยังทำให้เซลล์ร่างกายเกิด denature และทำให้เอ็นไซม์ Chlinesterase ไม่ทำงาน ระบบประสาทส่วนกลางทำงานล้มเหลวและเกิดเลือดแข็งตัวตามเส้นเลือดฝอย และทำให้เซลล์เหงือกผิดปกติ เป็นผลให้ความสามารถในการรับออกซิเจนและส่งออกซิเจนไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายลดลง (Jacobs, 1981) การที่ร่างกายอ่อนแอลงเช่นนี้ก็สามารถเป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้สัตว์น้ำมีความไวต่อสารพิษ และทำให้ความเป็นพิษของคลอรีนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

5.3 ผลของ pH ต่อความเป็นพิษของคลอรีน

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตลอดการทดลองความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีนต่อสัตว์ทดลองทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ พบว่า มีเพียงค่า pH เท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัดเจน โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อปล่อยสารละลายคลอรีน (NaHClO) ลงในน้ำ ค่า pH จะสูงขึ้น

pH จะมีผลต่ออัตราส่วนระหว่าง HOCl กับ OCl^- Alabaster (1980) รายงานว่า ที่ pH 5.0 จะมีคลอรีนในรูป HOCl 100% ที่ pH 7.5 จะมีคลอรีนในรูป HOCl 50% และ OCl^- 50% ที่ pH 10 จะมีคลอรีนในรูป OCl^- 100% ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง HOCl:OCl^- จะมีผลต่อความเป็นพิษของคลอรีน เพราะ HOCl จะมีความเป็นพิษรุนแรงกว่า OCl ถ้า pH ต่ำจะมี HOCl มากกว่า OCl^- คลอรีนก็จะมีความเป็นพิษรุนแรงกว่าที่ pH สูง

ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก ๆ 24 ชั่วโมง พบว่า pH มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำ คาดว่าเนื่องมาจากการที่ใช้ NaHClO เป็นสารให้คลอรีนในน้ำ จึงทำให้ค่า pH สูงขึ้นมาเล็กน้อย

ในการทดลองความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีนต่อกุ้งก้ามกราม จะเห็นว่า ค่า pH ในการทดลองแต่ละระดับอุณหภูมิไม่เท่ากัน (ตารางที่ 5.3) ที่ระดับอุณหภูมิ 27°C ค่า pH จะอยู่ในช่วง 6.70 - 6.80 ที่ระดับอุณหภูมิ 32°C ค่า pH อยู่ในช่วง 7.25 - 7.30 และที่ระดับอุณหภูมิ 37°C มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.40 - 7.45 ค่า pH ที่แตกต่างกันนี้อาจจะมีผลให้ความเป็นพิษของคลอรีนต่อสัตว์น้ำแตกต่างกัน โดยเมื่อสังเกตค่า LC_{50}-96 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 27°C และ LC_{50}-72 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 32°C และ LC_{50}-48 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 37°C จะพบว่ามีค่าเท่ากัน คือ 0.19 mg/l TRC ทั้งที่อุณหภูมิต่างกันถึง 5°C สันนิษฐานว่า การทดลองที่ระดับอุณหภูมิ 27°C โดย pH อยู่ในช่วง 6.70 - 6.80 จะมีอัตราส่วน $HOCl:OCl^-$ ที่มี HOCl สูง จึงทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์ทดลองรุนแรงมากขึ้น

ในการทดลองกับปลาตะเพียนขาว ค่า pH ที่ระดับอุณหภูมิ 27°C อยู่ในช่วง 8.20 - 8.25 ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 32°C ค่า pH อยู่ในช่วง 6.90 - 7.10 และที่ระดับอุณหภูมิ 37°C ค่า pH อยู่ในช่วง 6.70 - 6.75 จะเห็นว่า ค่า pH มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ เมื่อพิจารณาดูค่า LC_{50}-96 ชั่วโมง พบว่า มีความแตกต่างกันมาก คือ LC_{50}-96 ชั่วโมง ที่ 27, 32 และ 37°C เท่ากับ 0.37, 0.34 และ 0.20 mg/L TRC ตามลำดับ จะเห็นว่าค่า LC_{50}-96 ชั่วโมง ที่ 27 และ 37°C มีความแตกต่างกันมากเช่นเดียวกับค่า pH สันนิษฐานว่า ที่ 37°C ค่า pH อยู่ในช่วง 6.90 - 6.75 ซึ่งจะมีอัตราส่วน HOCl สูงกว่า OCl^- มาก ความเป็นพิษก็จะรุนแรงมากกว่า จึงทำให้ค่า LC_{50}-96 ชั่วโมง ต่างกันมากด้วย

ส่วนการทดลองในปลาดุกอุย ค่า pH มีความใกล้เคียงกันทุกระดับอุณหภูมิ คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 27°C อยู่ในช่วง 8.20 - 8.25 ที่ระดับอุณหภูมิ 32°C อยู่ในช่วง 8.25 - 8.35 และระดับอุณหภูมิ 37°C อยู่ในช่วง 8.20 - 8.35 แต่ค่า LC_{50}-96 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันมากทุกระดับอุณหภูมิ คือ 0.67, 0.45 และ 0.34 ที่ระดับอุณหภูมิ 27, 32 และ 37°C ตามลำดับ สันนิษฐานว่า เนื่องจากค่า pH มีความใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้ค่า pH มีผลต่อความเป็นพิษของคลอรีนไม่แตกต่างกัน

แต่เนื่องจากข้อมูลที่เกี่ยวกับผลของ pH ต่อความเป็นพิษของคลอรีนยังมีน้อย จึงยังไม่อาจจะชี้ให้ชัดแจ้งลงไปว่า ในการทดลองครั้งนี้ pH มีผลต่อความเป็นพิษของคลอรีนมากน้อยเพียงใด จำเป็นต้องมีการศึกษาในเรื่องนี้อย่างละเอียดอีกครั้ง เพื่อให้ทราบข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับเรื่องนี้ในโอกาสต่อไป

5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองที่เคยมีผู้ศึกษาวิจัยไว้ในประเทศไทย

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีนต่อสัตว์น้ำในประเทศไทย ตามที่ได้รวบรวมเอกสารการวิจัยต่าง ๆ พบว่า มีเพียงรายเดียว คือ วิทยานิพนธ์ของ ประมวล โชคสือชัย (2523) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เรื่อง พิษเฉียบพลันของคลอรีนในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวต่อปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch) และกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* DE MAN) ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า LC_{50}-48 ชั่วโมงจากการทดลองในระบบน้ำไหลครั้งนี้ (ตารางที่ 5.1) กับการทดลองในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวของ ประมวล เฉพาะค่า LC_{50} ของกุ้งก้ามกราม ซึ่งเป็นสัตว์ทดลองชนิดเดียวกันในการทดลอง พบว่า ค่า LC_{50}-48 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 27°C จะต่ำกว่าการทดลองในระบบน้ำไหลครั้งนี้ (ตารางที่ 5.3)

ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 32°C ค่า LC_{50}-48 ชั่วโมง ของระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวสูงกว่าและที่ระดับอุณหภูมิ 37°C ค่า LC_{50}-48 ชั่วโมง ของระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวต่ำกว่าระบบน้ำไหลมาก

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองทั้ง 2 การทดลองจะเห็นว่าใกล้เคียงกันมาก แม้จะทดลองในระบบที่ต่างกัน คือ ประมวล (2523) ทดลองในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราว มีการถ่ายน้ำทุก ๆ 8 ชั่วโมง ส่วนการทดลองครั้งนี้ใช้ระบบน้ำไหล (flow through) ซึ่งทั้ง 2 ระบบนี้จะมีข้อแตกต่างกัน ทำให้ผลการทดลองไม่เท่ากันพอสรุปได้ดังนี้ คือ

1. ความแตกต่างของระบบจะทำให้เวลาการสัมผัสคลอรีนแตกต่างกัน ในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราว สัตว์ทดลองจะสัมผัสกับคลอรีนเข้มข้นสูงสุดในระยะแรกของการทดลอง และคลอรีนจะค่อยเจือจางลงจนครบ 8 ชั่วโมง ก็จะมีการเปลี่ยนน้ำใหม่ ซึ่งมีความเข้มข้นของคลอรีนสูงสุดอีกครั้ง ทำเช่นนี้ทุก ๆ 8 ชั่วโมง ซึ่งการเปลี่ยนจากน้ำเก่าไปยังน้ำใหม่มีความเข้มข้นของคลอรีนสูงกว่า อาจทำให้สัตว์ทดลอง shock เพราะปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมไม่ทัน มีผลให้สัตว์ทดลองอ่อนแอและตาย ซึ่งต่างกับระบบน้ำไหล โดยสัตว์ทดลองจะ

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองหาความเป็นพิษอย่าง เฉียบพลันของคลอรีนในระบบสัมผัส เป็นครั้งคราวต่อปลากะพงขาว และกุ้งก้ามกราม ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

สัตว์ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	LC_{50}-48 ชั่วโมง (mg/L TRC)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
กุ้งก้ามกราม	27	0.24	0.194 - 0.301
ปลากะพงขาว		0.59	0.520 - 0.660
กุ้งก้ามกราม	32	0.23	0.191 - 0.270
ปลากะพงขาว		0.50	0.410 - 0.220
กุ้งก้ามกราม	37	0.13	0.092 - 0.175
ปลากะพงขาว		0.28	0.261 - 0.295

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบความเป็นพิษของคลอรีนต่อกุ้งก้ามกราม จากการทดลองในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวของ ประมวล (2523) และการทดลองในระบบน้ำไหลครั้งนี้

อุณหภูมิ (°C)	ค่า LC_{50}-48 ชั่วโมง	
	ผลการทดลองในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราว	ผลการทดลองในระบบน้ำไหล
27	0.24	0.28
32	0.23	0.21
37	0.13	0.19

สัมผัสกับคลอรีนที่มีความเข้มข้นคงที่ตลอดเวลา ทำให้สัตว์ทดลองมีโอกาสปรับตัวได้ และจะตายต่อเมื่อร่างกายไม่สามารถทนต่อพิษของคลอรีนได้

2. อัตราการตายจะแตกต่างกัน ในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราว สัตว์ทดลองจะสัมผัสกับคลอรีนเข้มข้นที่ระยะแรกของการทดลอง ทำให้เกิดการตายของสัตว์ทดลองมากในระยะแรกของการเปลี่ยนน้ำ แต่ในช่วงหลังการทดลองก่อนการเปลี่ยนน้ำ จะมีอัตราการตายน้อยหรือไม่ตายเลย ซึ่งจะเป็นการตายที่เฉพาะช่วงเวลา แต่ในระบบน้ำไหลอัตราการตายตลอดการทดลองจะเป็นไปตามความทนทานต่อพิษคลอรีนของปลาแต่ละครั้ง ซึ่งจะมีการตายที่มีการกระจายดีกว่าระบบสัมผัสเป็นครั้งคราว .

นอกจากความแตกต่างในเรื่องระบบที่ใช้ในการทดลองแล้ว ความแตกต่างในเรื่องคุณภาพน้ำ ตลอดจนความทนทานต่อสารพิษของสัตว์ทดลองแต่ละตัว เนื่องจาก genetic variation ก็อาจจะมีผลให้ค่า LC_{50}-48 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน แตกต่างกันด้วย แต่อย่างไรก็ดี ผลการทดลองทั้ง 2 การทดลอง ก็มีความใกล้เคียงกันมากจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาค่าช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

5.5 ผลกระทบของคลอรีนและอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบร่วมของคลอรีนและอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนมากจะเกิดจากน้ำหล่อเย็น (Cooling water) ซึ่งจากการศึกษาผลกระทบของน้ำหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ จะพบว่า คลอรีนจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่าอุณหภูมิในการทำให้สิ่งมีชีวิตถึงแก่ความตาย และทำให้เกิดผลเสียต่อกิจกรรมทางด้านสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตด้วย (Hall *et al.*, 1982) และเมื่อพิจารณาทางด้านนิเวศนวิทยาแล้ว น้ำหล่อเย็นจะมีผลอย่างมากต่อ primary producer ของแหล่งน้ำ ซึ่งได้แก่ พวกสาหร่ายและ plankton ซึ่งพบว่าในบริเวณที่ปล่อยน้ำหล่อเย็นลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ plankton ลดจำนวนลง และบางชนิดก็สูญหายไปจากบริเวณนั้น (Erickson and Foulk, 1980) ซึ่งจะทำให้ระบบนิเวศน์เสียสมดุลย์ไป มีการเปลี่ยนแปลงในห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ทำให้เกิดระบบนิเวศน์ใหม่

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขึ้น มีผลต่อสัตว์ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เพราะไม่สามารถหาอาหารได้จึงจำเป็นต้องอพยพเพื่อไปหาแหล่งอาหารใหม่

ในประเทศไทยก็เคยพบปัญหาน้ำหล่อเย็นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำขนอม ซึ่งตั้งอยู่บนฝั่งซ้ายปากแม่น้ำขนอม ตำบลท้องเนียม จังหวัดนครศรีธรรมราช โรงไฟฟ้าขนอมมีกำลังการผลิต 75,000 กิโลวัตต์ ประมาณว่าโรงไฟฟ้าจะดูดน้ำจากปากแม่น้ำขนอมไปใช้ในการระบายความร้อนเต็มที่วันละ 244,800 ลูกบาศก์เมตร และปล่อยน้ำที่ใช้แล้วซึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดิม 6 - 11°C ทำให้น้ำทะเลตรงจุดปล่อยน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ 5 - 8°C (กองประมงทะเล, 2526) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นจะทำลายสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณทันที หรือหลบหนีไปจากบริเวณนั้น โดยปกติแล้วสิ่งมีชีวิตในเขตร้อนจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้น้อย เพราะน้ำในเขตร้อนมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อยมากในรอบปี คือ อยู่ในพิกัดประมาณ 25 - 33°C เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ถูกขีดอันตรายได้ จากสำรวจบริเวณที่ตั้งของโรงไฟฟ้า ปรากฏว่า ไม่พบสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่เคยอาศัยอยู่บริเวณนั้นโดยเฉพาะพวกเคย และเมื่อทำการทดลองหา Thermal tolerance ของสัตว์น้ำและแพลงค์ตอน (ตารางที่ 5.4) ก็พบว่า ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากน้ำหล่อเย็น พวกเคยและหอยบางชนิดไม่สามารถจะมีชีวิตอยู่ได้ และทำให้สัตว์น้ำหลายชนิดหลบหนีจากบริเวณนั้น

ความเป็นพิษของคลอรีนเป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศน์วิทยาทางน้ำ เพราะตัวอ่อน (Fry) และไข่ของสัตว์น้ำ มีความไวต่อความเป็นพิษของคลอรีน และยิ่งอุณหภูมิมากขึ้นยิ่งมีความไวต่อความเป็นพิษของคลอรีนเพิ่มขึ้น ไข่และตัวอ่อนเมื่อสัมผัสคลอรีนเพียงความเข้มข้นเล็กน้อยก็อาจถึงตายได้ หรือหากสามารถรอดชีวิตได้ก็จะเกิดความผิดปกติโดยทำให้สัตว์น้ำเหล่านี้อ่อนแอ ทำให้ถูกศัตรูของมันจับกินเป็นอาหารได้ง่าย หรือทำให้มีเพียงจำนวนน้อยที่จะสามารถเติบโตเป็นตัวโตเต็มวัยได้ ปริมาณประชากรจึงลดลงในที่สุด อีกทั้งสัตว์น้ำตัวโตเต็มวัยเหล่านี้อาจจะถูกคลอรีนและอุณหภูมิขัดขวางการขยายพันธุ์ทำให้ปริมาณประชากรยิ่งลดจำนวนลง จนอาจไม่มีเหลืออยู่เลยในบริเวณที่น้ำหล่อเย็นถูกปล่อยลงไป

ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิหลีกหนี (Avoidance Temperature, AT) อุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นต้น (Upper Incipient Lethal Temperature, UILT) และอุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นสูงสุด (Critical Thermal Maximum, CTM) ของสัตว์น้ำในอ่าวไทย

ชื่อสัตว์น้ำ	AT (°C)	UILT (°C)	CTM (°C)	ที่มา
ปลากระบอก *(Mugil dussumerii)*	34.0	36.0	38.8	เปี่ยมศักดิ์ (2525)
ปลาข้างลาย *(Therapon theraps)*	36.0	37.0	40.0	เปี่ยมศักดิ์ (2525)
ปลากะพงขาว *(Lates calcarifer)*	-	40.0	41.0	กองประมงทะเล (2526)
ปลากะพงแดง *(Lutianus mleabaricus)*	31.0	-	36.9	เปี่ยมศักดิ์ (2525)
ปลากะรัง *(Epinephelus tauvina)*	33.5	34.5	36.1	เปี่ยมศักดิ์ (2525)
ปลาสลิดทะเล *(Siganus oramin)*	32.5	-	35.4	เปี่ยมศักดิ์ (2525)
ปลาดุกทะเล *(Plotosus anguillaris)*	32.0	34.0	37.8	เปี่ยมศักดิ์ (2525)
หอยลาย *(Perna mussel)*	-	39.0	42.0	กองประมงทะเล (2526)

ตารางที่ 5.4 อุณหภูมิหลีกหนี (Avoidance Temperature, AT) อุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นต้น (Upper Incipient Lethal Temperature, UILT) และอุณหภูมิทำลายชีวิตขั้นสูงสุด (Critical Thermal Maximum, CTM) ของสัตว์น้ำในอ่าวไทย

ชื่อสัตว์น้ำ	AT (°C)	UILT (°C)	CTM (°C)	ที่มา
หอยแครง *(Arca granulosa)*	-	42.0	44.0	กองประมงทะเล (2526)
หอยแมลงภู่ *(Paphia undulata)*	-	37.0	42.0	กองประมงทะเล (2526)
Artemia	-	40.0	41.0	กองประมงทะเล (2526)
เคยใหญ่ (Acetes)	-	36.0	37.0	กองประมงทะเล (2526)
เคยตาดำ (Mesopodopsis)	-	34.0	37.0	กองประมงทะเล (2526)
Rotifer	-	43.0	45.0	กองประมงทะเล (2526)
Copepod (Cyclop)	-	44.0	46.0	กองประมงทะเล (2526)
(Harpacticoid)	-	39.0	41.0	กองประมงทะเล (2526)

คลอรีนยังเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดสารพิษตัวอื่นได้อีก เมื่อทำปฏิกริยากับสารอื่นในน้ำ (Chlorination product) เช่น ทำปฏิกริยากับแอมโมเนียได้พวกคลอรามีน ทำปฏิกริยากับฟีนอลได้พวกคลอโรฟีนอล หรือกับพวกไซยาเนต (CN^-) ก็จะได้พวกไซยาโนเจนคลอไรด์ (Cyanogen Chloride) ซึ่งสารพิษเหล่านี้สลายตัวได้ช้า และมักจะมีความเป็นพิษมากกว่าคลอรีน (ยกเว้นคลอรามีน) ซึ่งจะมีความเป็นพิษสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน (Hileman, 1982) นอกจากนี้ คลอรีนยังเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษสูง สามารถทำให้เกิดการผ่าเหล่า (Mutation) ได้ในปริมาณต่ำ ๆ นับว่าเป็นสารพิษที่มีอันตรายมาก ซึ่งควรจะมีการวิจัยที่จะนำสารเคมีตัวอื่นที่ปลอดภัยมากกว่ามาใช้แทนคลอรีน

คลอรีนมีผลต่อเอนไซม์ของเซลล์ที่มี Sulfahydryl (-SH) group ซึ่งจำเป็นต่อปฏิกริยาและกิจกรรมของเซลล์ต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะถูกออกซิไดส์เกือบจะทันทีโดยคลอรีน และการทำงานของเอ็นไซม์จะไม่สามารถกลับคืนสู่ปกติได้ เพราะความแข็งแรงของ Covalent bont ที่เกิดขึ้น ทำให้ปลาไม่สามารถมีสภาพกลับคืนสู่ปกติได้ ถึงแม้เมื่อเปลี่ยนน้ำที่สะอาด (Alabaster, 1982) การป้องกันมลภาวะที่เกิดจากคลอรีนและอุณหภูมิจากน้ำหล่อเย็นจึงมีความสำคัญมากกว่าการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพราะเมื่อเกิดปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีมูลค่ามหาศาล เช่น ความเสียหายเนื่องจากน้ำหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าขนอม ทั้งจากการที่ถูกดูดเข้าไปในระบบหล่อเย็น และการปล่อยน้ำหล่อเย็นลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งทำลายแพลงค์ตอนเฉลี่ยวันละ 66 กิโลกรัม ซึ่งประกอบด้วยลูกสัตว์น้ำที่สำคัญเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกปูได้ถูกทำลายไปปีละประมาณ 3,623.22 ล้านตัว ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 175.8 ล้านบาทต่อปี (กองประมงทะเล, 2526) นอกจากปริมาณการจับปูม้าในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช ในปี 2524 ลดลงจากเมื่อปี 2523 เป็นจำนวน 2,150 ตัน กุ้งลดลง 76 ตัน และพวกเคยลดลง 573 ตัน และจากการประเมินความเสียหายทางด้านการประมงเนื่องจากโรงไฟฟ้าบางปะกง ปรากฏว่า เฉลี่ยปีละประมาณ 518.8 ล้านบาท (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2526) ดังนั้น ในปัจจุบันจึงเน้นการป้องกันมลภาวะจากคลอรีนและอุณหภูมิ เช่น การสร้างระบบระบายความร้อนแบบปิด (close cycle) ซึ่งมีราคาแพงและยุ่งยาก แทนระบบเปิดหรือไหลผ่าน (Once-through system) และการกำหนดค่าปลอดภัยของคลอรีนในระดับต่ำ ซึ่งจะเป็นได้จากการที่ Sprague (1971) แนะนำให้ใช้ค่า Application Factor เท่ากับ 0.1 ไปคูณกับค่า LC_{50} ในเวลา 48 ชั่วโมง ของสัตว์ทดลองที่มีความไวมากที่สุด จาก

ผลการทดลองนี้คือกุ้งก้ามกราม ซึ่งจะได้ค่าปลอดภัยของคลอรีนที่อุณหภูมิ 27°C เท่ากับ 0.028 mg/L TRC ที่ 32°C เท่ากับ 0.021 mg/L TRC และที่ 37°C เท่ากับ 0.019 mg/L TRC ซึ่งนับว่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2513) ที่ยอมให้น้ำทิ้งจากโรงงานมีคลอรีนอิสระได้ไม่เกิน 1 mg/L TRC

5.6 การกำจัดคลอรีน (Dechlorination)

การกำจัดคลอรีนในปัจจุบันนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี คือ

1. การผ่านผงคาร์บอน
2. ใช้แสงอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ลดความเข้มข้นของคลอรีน
3. การใช้สารเคมีทำปฏิกริยากับคลอรีน
   ก. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
   ข. แอมโมเนีย (NH_3)
   ค. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)
   ง. ซัลเฟอร์ 4 ชนิด
      1) Sulfur dioxide (S_2O_2)
      2) Sodium bisulfite ($NaHSO_3$)
      3) Sodium sulfite (Na_2SO_3)
      4) Sodium metabisulfide ($Na_2S_2O_5$)

แต่ที่นิยมมากก็คือ การใช้โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เพราะมีความเป็นพิษน้อยมาก สะดวกในการใช้ โดยใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตต่อคลอรีนในอัตรา 6:1 - 2:1 โดยน้ำหนัก (Brooks and Seegert, 1978) ซึ่งโซเดียมไทโอซัลเฟตจะรีดิวส์ (reduce) คลอรีนให้เป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษ

$$2Na_2S_2O_3 + Cl_2 \longrightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaCl$$

นอกจากนี้ อีกวิธีที่นิยมกันมากคือ การใช้แสงอุลตราไวโอเล็ต (UV) ลดความเข้มข้นของคลอรีน เพราะเป็นวิธีที่อาศัยธรรมชาติ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย โดยแสงจะทำปฏิกริยากับคลอรีน ดังสมการ

$$HOCl \xrightarrow{UV} H^+ + Cl^- + \frac{1}{2} O_2$$

โดย Stober and Hodson (1974) รายงานว่า รังสีอุลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์จะสามารถลดความเข้มข้นของคลอรีน 1 ppm ให้เหลือเพียง 0.01 ppm ภายในเวลา 250 นาที

อย่างไรก็ตาม วิธีที่กล่าวมานี้ยังไม่มีวิธีใดที่มีความเหมาะสมที่สุด การใช้ผงคาร์บอนก็มีราคาแพง ประสิทธิภาพไม่ถึง 100% และต้องเปลี่ยนผงคาร์บอนบ่อย ๆ ทำให้ไม่สะดวกและสิ้นเปลืองในระบบน้ำหล่อเย็นที่มีขนาดใหญ่ การใช้แสง UV ก็ใช้พื้นที่และเวลานานเกินไป ส่วนการใช้สารเคมีก็ไม่สามารถจะกำจัด product ที่เป็นพิษของคลอรีนได้ เช่น H_2O_2 และ$Na_2S_2O_3$ ไม่ทำปฏิกริยากับคลอรามีน (Chloramine) ส่วนแอมโมเนียเมื่อทำปฏิกริยากับคลอรีนก็ให้คลอรามีนซึ่งเป็นสารที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต และการใช้ซัลเฟอร์ (Surfur) ก็จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น (H_2S) ในน้ำ ปัจจุบันจึงมีการศึกษาเพื่อหาวิธีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการกำจัดคลอรีน เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม เช่น การนำโอโซน (O_3) มาใช้แทนคลอรีน เพราะมีข้อดีที่จะไม่มีสารตกค้างหลงเหลือในน้ำ แต่วิธีนี้ก็ยังไม่เหมาะสม เพราะโอโซนมีราคาแพงและต้องใช้ร่วมกับสารเคมีตัวอื่น ซึ่งไม่สะดวกในการใช้