

พิษเฉียบพลันของปรอท ตะกั่ว และสารผสมของโลหะทั้งสองชนิด ที่มีต่อปลากระพงขาว

อุทัยดี ชัยรัตน์¹ และ ปรีชา สัมฤทธิ์²

Abstract

The U.S. standard static bioassay was conducted to determine the toxicity of mercury, lead and their mixtures to Pla Ka-pong Khao, *Lates calcarifer* (Bloch). Test fish are 1.9-2.3 cm in average length and 0.089-0.165 g in average weight. The toxicities are measured in terms of LC_{50} by PROBIT method, threshold of toxicity (ILC_{50}) estimated from the toxicity curve and MATC predicted by the LFPI concept.

In an individual substance test, the 96-h LC_{50} and ILC_{50} , estimated from the toxicity curve, of mercury are 0.1128 and 0.1126 ppm respectively. And the 48-h LC_{50} of lead is 128.74 ppm. The estimates of MATC's of mercury and lead, without combined effects, should range from 0.0004 to 0.0015 ppm and from 1.42 to 3.48 ppm. respectively.

For the 1:2, 1:1 and 2:1 mixtures of mercury:lead, the 96-h LC_{50} 's are 1.0929, 1.1208 and 1.2033 tu respectively. The 96-h LC_{50} 's of 1:1 mixture is additive. On the other hand, the interactions of 1:2 and 2:1 mixtures are less-than-additive. Using the 1:1 mixture the standard, the relative potencies of 1:2 and 2:1 mixture are 1.0179 and 0.9319 respectively. The estimated MATC should range from 0.0002 to 0.0012 ppm for mercury and from 0.3691 to 2.7035 ppm in the case of lead.

¹ สถาบันประมงน้ำกร่อย จังหวัดฉะเชิงเทรา

² คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษาพิษเฉียบพลันของปรอท ตะกั่ว และสารละลายผลัสมะหว่างโลหะทั้งสองชนิด โดยวิธีการทดลองแบบน้ำนิ่ง ได้ทำการทดลองกับปลากระพงขาว *Lates calcarifer* (Bloch) ที่มีขนาดเฉลี่ย 1.9-2.3 เซนติเมตร, น้ำหนักเฉลี่ย 0.089-0.165 กรัม การจัดเตรียมและการคิดค่าความเข้มข้นของสารละลายผลัสมะ "หน่วยความเป็นพิษ" เป็นเกณฑ์การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้วิธี PROBIT แล้วประมาณระดับเริ่มเป็นพิษ (ILC_{50}) จากเส้นโค้งความเป็นพิษ และระดับปลอดภัย (MATC) ตามสมมติฐาน LFPI

ผลการทดลองพิษเฉียบพลันในรูปปริมาณของความเข้มข้นของปรอท มีค่า 96-hr LC_{50} เท่ากับ 0.1128 ppm. และของตะกั่ว มีค่า 48-hr LC_{50} เท่ากับ 128.74 ppm. ความเริ่มเป็นพิษของปรอทมียค่าเท่ากับ 0.1126 ppm. และระดับปลอดภัยที่ไม่คำนึงถึงอิทธิพลร่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 1.42 ถึง 3.48 ppm.

สารละลายผลัสมะ (ปรอท : ตะกั่ว) ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2, 1:1 และ 2:1 มีค่า 96-hr LC_{50} เท่ากับ 1.0929, 1.1208 และ 1.2033 ตามลำดับ ซึ่งค่า 1.0929 tu มีค่าไม่แตกต่างจาก 1 tu อย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลร่วมระหว่างปรอทกับตะกั่วเป็นแบบรบกวนอย่างผลบวก ส่วนสารละลายผลัสมะที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 และ 2:1 มีลักษณะความเป็นพิษรบกวนแบบต่ำกว่าผลบวก โดยค่า relative potency มีความรุนแรงของพิษเป็น 1.0179 และประมาณได้โดยคำนึงถึงอิทธิพลร่วม มีค่าตั้งแต่ 0.0002 ถึง 0.0012 ppm. และ 0.3691 ถึง 2.7035 ppm. ตามลำดับ

คำนำ

โลหะหนักเป็นสารพิษกลุ่มหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะขึ้นในสิ่งแวดล้อม ในบรรดาโลหะประเภทนี้ ปรอทและตะกั่วจัดอยู่ในพวกที่มีความเป็นพิษมากที่สุด การตรวจสอบปริมาณโลหะหนักที่แพร่กระจายในบริเวณอ่าวและแม่น้ำต่าง ๆ ของอ่าวไทยตอนบน โดย Polprasert et al. (1979) ในช่วงเดือนกันยายน 2521 ถึงพฤษภาคม 2523 พบว่า ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดที่มีปริมาณสูงที่สุดในทุกแหล่งที่ทำการสำรวจ นอกจากนั้นยังปรากฏว่า ที่บริเวณปากแม่น้ำมีปริมาณสูงกว่ส่วนที่อยู่ลึกเข้าไปยังต้นน้ำ และปริมาณที่ตรวจพบจากแม่น้ำเจ้าพระยาและภายในอ่าวมีปริมาณสูงกว่รายงานการสำรวจในปีก่อน ๆ อีกด้วย ส่วนปรอทนั้น ปริมาณที่พบจากตัวอย่างน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาก็มีปริมาณสูงที่ลุ่มที่บริเวณปากแม่น้ำ จากตัวอย่างดินตะกอนของแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำแม่กลองมีค่าสูงกว่ในปีก่อน ๆ ด้วยเช่นกัน การศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของโลหะทั้งสองชนิดนี้ต่อสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทยยังมีน้อยมาก เท่าที่ผ่านมา ได้แก่ การศึกษาพิษของปรอทที่มีต่อหอยเสียบ (*Donax faba*) ของปรีชา (2522) และพิษเฉียบพลันของปรอทต่อปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) ของ วิวัฒนา และอัสัญญา (2524) การศึกษาค้นคว้าวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบความเป็นพิษเฉียบพลันของปรอท, ตะกั่วและสารผลัสมะของโลหะทั้งสองชนิดที่มีต่อปลากระพงขาว

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ดังรายละเอียดที่อธิบายไว้โดย Sprague (1973) และ APHA et al. (1975) ซึ่งเป็นการทดลองแบบน้ำนิ่งที่ไม่มีการถ่ายเปลี่ยนสารละลาย (static bioassay) กระทำภายใต้อุณหภูมิห้อง และไม่มีการให้ออกอากาศแก่น้ำในโหลทดลอง

การดำเนินการกระทำที่สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จ.สงขลา โดยใช้ปลากระพงขาว ขนาดเฉลี่ย 19-2.3 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 0.089-0.165 กรัม

ภาชนะทดลองเป็นโหลแก้วใส รูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 นิ้ว สูง 14 นิ้ว สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ mercuric chloride ซึ่งมีปริมาณต่ำสุดของสารบริสุทธิ์เท่ากับ 99.5 เปอร์เซ็นต์ และ lead nitrate ซึ่งมีปริมาณสารบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์ ทำการเตรียมสารละลายเบื้องต้นเป็นเวลานานไม่เกิน 3 ชั่วโมง ก่อนการทดลอง ในการเตรียมสารผสม จะทำการใส่สารละลายเบื้องต้นของปรอทลงไปก่อนสารตะกั่ว โดยคำนวณปริมาณสารแต่ละชนิด สำหรับสารผสมแต่ละอัตราส่วนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวิธีของ Tsai and McKee (1980) ปริมาตรน้ำในโหลทดลองทุกโหลใช้น้ำ 6 ลิตร และใช้ปลาทดลอง 10 ตัวต่อโหลทดลอง การทดลองสารเดียวทำการทดลองพร้อมกันทั้งสารปรอทและตะกั่ว ส่วนการทดลองสารผสมของปรอทและตะกั่ว ใช้สัดส่วนความเข้มข้น 1:1, 2:1 และ 1:2 การตรวจสอบคุณสมบัติด้านเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำทำการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำในช่วงการรอดอาหารและช่วงการทดลอง เวลา 10 นาทีทุกวัน คุณสมบัติด้านอื่น ๆ ทำการตรวจสอบเฉพาะในวันที่จะใส่สารเคมีและวันสุดท้ายของการทดลอง

การวิเคราะห์พิษเฉียบพลันใช้วิธีวิเคราะห์แบบโปรบิท (Finney 1971) การประมาณระดับเริ่มเป็นพิษ (ILC_{50}) ใช้เส้นโค้งความเป็นพิษตามสมการของปรีชา (2525) และ ลักษณะความเป็นพิษของสารผสมพิจารณาตามวิธีการใน Sprague (1970) ประกอบกัน การประมาณระดับปลอดภัย (MATC) ใช้ปัจจัยปรับค่าของปรอทตาม McKim et al. (1976) และของตะกั่วตาม Holcombe et al. (1976) การคำนวณหาหน่วยความเป็นพิษ (tu) ของสารละลายผสมใช้สมการ

$$tu \text{ ของสารผสม} = tu \text{ ของปรอท} + tu \text{ ของตะกั่ว}$$

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของปรอท}}{\text{ระดับเริ่มเป็นพิษของปรอท}} + \frac{\text{ความเข้มข้นของตะกั่ว}}{\text{ระดับเริ่มเป็นพิษของตะกั่ว}}$$

ผลและวิจารณ์

น้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ความเค็ม 31-32 ส่วนในพัน ค่า pH เท่ากับ 8.3-8.6 และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส ตามสภาพโดยทั่วไปดังกล่าว

ปลาในกลุ่มเปรียบเทียบกับมีการตายเฉพาะในการทดลองเพื่อหาความเป็นพิษของสารผสมครั้งที่ 1 และการตายเกิดขึ้นเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงวันที่ 3-4 ของการทดลอง

1. การศึกษาพิษเฉียบพลันของปรอทและตะกั่วที่มีต่อปลากะพงขาว

การวิเคราะห์ผลแบบโปรบิท ได้ค่า LC_{50} ในแต่ละช่วงเวลาของการตรึงหลอด และค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 1

การเปรียบเทียบความเป็นพิษระหว่างปรอทกับตะกั่วที่มีต่อปลากะพงขาว พบว่า ปรอทมีความเป็นพิษมากกว่าตะกั่ว ซึ่งมีลักษณะคล้ายตามผลที่มีต่อสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ เช่น ปลาตะเพียนขาว (Messuwana 1980) ปลาดุกบ้าน (ประมาณ และ ประไพศิริ 2520) ปลาเทราต์ (McKim et al. 1976; Holcombe et al. 1976)

โดยเส้นโค้งความเป็นพิษพบว่า พิษเฉียบพลันของปรอทที่มีต่อปลากะพงขาวมีระดับเริ่มเป็นพิษและอัตราการเพิ่มความรุนแรงของพิษ (k) เท่ากับ 0.1126 และ -0.0829 ± 0.0003 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การประมาณระดับปลอดภัยของแต่ละสารในกรณีของปรอท บัณฑิตปรับค่าสำหรับ $96-h LC_{50}$ หรือ ILC_{50} มีค่าอยู่ในช่วง $0.004 - 0.013$ (McKim et al. 1976) สำหรับตะกั่ว Holcombe et al. (1976) ได้ประมาณค่าดังกล่าวไว้ในช่วง $0.012 - 0.029$ ซึ่งเมื่อคำนวณกลับเป็นบัณฑิตปรับค่าสำหรับ $48-h LC_{50}$ แล้ว ได้ในช่วง $0.011 - 0.027$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ ปรีชา (2522) ได้คำนวณไว้ จากบัณฑิตปรับค่าเหล่านี้ เมื่อนำมาประมาณค่าระดับปลอดภัยโดยไม่คำนึงถึงอิทธิพลร่วมอันใด จะได้ค่าเท่ากับ $0.0004 - 0.0015$ ppm. และ $1.42 - 3.48$ ppm. ตามลำดับ

การศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมของปรอทและตะกั่วที่มีต่อปลากะพงขาว

ในการผสมสารลงในโหลทดลองปรากฏว่า เมื่อใส่สารละลายเบื้องต้นของตะกั่วตามลงไปโหลทดลองที่มีสารละลายปรอทอยู่ก่อนแล้ว ได้สังเกตเห็นสีเทาเกิดขึ้นและแพร่กระจายออกจากบริเวณที่เริ่มมีการผสม โดยความเข้มข้นของสีจะมากขึ้นตามปริมาณสารปรอทที่เติมลงไป สารละลายผสมแต่ละอย่างมีระดับความเข้มข้นที่ทำให้ปลาตาย 50 เปอร์เซ็นต์ (LC_{50}) ในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 ผลการทดลองโดยวิธี chi-square พบว่า ข้อมูลทุกชุดมีความเหมาะสมกับเส้นตรงที่ใช้ในการประมาณค่าระดับความเป็นพิษนั้น ๆ

จากเส้นโค้งความเป็นพิษ ค่า $96-h LC_{50}$ และช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ของสารละลายผสมที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1, 1:2 และ 2:1 คือ 1.1208 ($0.9656 - 1.2424$) 1.0929 ($1.0114 - 1.1745$) และ 1.2033 ($1.0581 - 1.3512$) tu ตามลำดับ เมื่อนำค่าเหล่านี้มาพิจารณาถึงลักษณะความเป็นพิษของสารละลายผสม (อิทธิพลร่วมระหว่างสารพิษที่เป็นองค์ประกอบ) พบว่า สารผสมที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 เป็นชนิดเดียวที่มีค่า $96-h LC_{50}$ ไม่แตกต่างจาก 1 tu อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ในสารผสมที่มีอัตราส่วนดังกล่าว ปรอทและ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์พิษเฉียบพลันของปรอท, ตะกั่ว และสารละลายผสม ที่มีต่อ

ปลากระพงขาว

สารและเวลา (ชั่วโมง)	LC ₅₀ และช่วงแห่ง ความเชื่อมั่นที่ 95%	ฟังก์ชันความเอียง และช่วงแห่งความ เชื่อมั่นที่ 95%**	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน***	Chi- square	ขั้นแห่ง ความเป็น อิสระ
ปรอท (Hg ²⁺)					
24	0.1751*				-
48	0.1212 (0.1113-0.1299)	1.1320 (1.0639-1.2044)	0.0141	0.85	2
72	0.1138 (0.1047-0.1223)	1.1187 (1.0528-1.1888)	0.0141	0.02	2
96	0.1128 (0.1035-0.1211)	1.1151 (1.0498-1.1845)	0.0141	0.04	2
ตะกั่ว (Pb ²⁺)					
24	133.92 (125.17-141.95)	1.0895 (1.0387-1.1429)	0.0100	0.62	2
48	128.74 (119.26-137.75)	1.1268 (1.0639-1.1935)	0.0141	7.51	3
Hg ²⁺ :Pb ²⁺ =1:1					
24	1.5391 (1.3543-1.7415)	1.2336 (1.1090-1.3722)	0.0245	0.22	2
48	1.1855 (1.0132-1.3398)	1.2600 (1.1010-1.4419)	0.0245	0.53	2
72	1.1356 (0.9677-1.2681)	1.2251 (1.0816-1.3876)	0.0224	0.59	2
	1.1207 (0.9656-1.2422)	1.1993 (1.0712-1.3428)	0.0224	0.75	
Hg ²⁺ :Pb ²⁺ =1:2					
24	1.3394* (1.2409-1.6231)	1.1338 (1.0318-1.2459)	0.0173	0.14	1
48	1.1610 (1.0608-1.2689)	1.1577 (1.0701-1.2523)	0.0173	2.90	2
72	1.1084 (1.0204-1.1914)	1.1182 (1.0531-1.1874)	0.0141	7.80	
96	1.0929*	-			
Hg ²⁺ :Pb ²⁺ =2:1					
24	2.3129 (2.0705-2.5920)	1.2526 (1.1204-1.4004)	0.0224	1.04	
48	1.2634 (1.0948-1.4245)	1.2039 (1.0914-1.3279)	0.0245	0.03	2
72	1.2064 (1.0594-1.3553)	1.1624 (1.0680-1.2651)	0.0224	0.07	1
96	1.2033*	-	-	-	

* คำนวณจากเส้นโค้งความเป็นพิษ

** $S = \text{antilog}(1/b); f_s = \text{antilog}\{1.96 \cdot 1/b^2 \cdot V(b)^{1/2}\};$ $S_L = S/f_s; S_U = S \cdot f_s$ *** $S_D \cdot LC_{50} = \frac{S_U}{V(LC_{50})^{1/2}}$

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเป็นพิษของปรอท ตะกั่ว และสาร
ผสมระหว่างโลหะทั้งสี่ชนิด กับระยะเวลาในการสัมผัสสาร จากผลการตายของ
ปลากะพงขาว

สารละลาย	ระดับเริ่มเป็นพิษ [@]	ระยะตัดแกนนึ่ง \pm S.E.	ความเียง \pm S.E.	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	อันดับความ เป็นอิสระ
สารเดี่ยว					
ปรอท	0.1126	- 0.7839 \pm 0.0194	- 0.0829 \pm 0.0003	1.0000 ^{**}	1
สารผสม (อัตราส่วนโดยหน่วยความเป็นพิษของ ปรอท: ตะกั่ว)					
1:1	1.1175	0.6616 \pm 0.1768	- 0.0664 \pm 0.0027	- 0.9983 ^{**}	2
1:2	1.0864	- 0.1532 \pm 0.0021	- 0.0509 \pm 0.00004	1.0000 ^{**}	1
2:1	1.2031	3.0120 \pm 0.0107	- 0.1212 \pm 0.0002	1.0000 ^{**}	1

[@] สำหรับสารเดี่ยว ใช้หน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm.); สำหรับสารผสม หน่วยความเป็นพิษ (tu)

^{**} 0.01

ตะกั่วจึงแสดงความเป็นพิษร่วมกันแบบผลบวก แต่สำหรับผลที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 และ 2:1 มีค่า $96-h LC_{50}$ มากกว่าและต่างจาก 1 tu อย่างมีนัยสำคัญ โปรทและตะกั่วในสารละลายเหล่านี้จึงแสดงลักษณะความเป็นพิษร่วมกันแบบต่างว่าผลบวก

ผลการศึกษานี้มีลักษณะคล้ายตามรายงานของ Gray (1974) ซึ่งทำการศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ โปรท สังกะสี และตะกั่ว รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างโลหะเหล่านี้ โดยวิเคราะห์ผลจากอัตราการเจริญเติบโตของ ciliate protozoa พบว่า ทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างโลหะ 2 และ 3 ชนิด เป็นได้ทุกแบบ Moulder (1980) พบว่า *Gammarus duebeni* ที่เคยและไม่เคยผ่านการดำรงชีวิตในสารละลายทองแดงในระดับความเข้มข้นที่ไม่ทำให้เกิดการตาย ($1.8 \mu g/mL$) มาก่อน มีความทนทานต่อพิษของโปรทไม่แตกต่างกัน แต่ในลักษณะของสารละลายผสมที่มีทองแดงในระดับความเข้มข้นดังกล่าว ความทนทานต่อพิษโปรทจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 10 เท่า ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะของการต้านฤทธิ์กัน และในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างสังกะสีและทองแดง แววดา (2525) พบว่า ผลความเป็นพิษที่มีต่อปลาตะเพียนขาว ของสารละลายผสม (สังกะสี:ทองแดง) ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 เป็นแบบพิษร่วมกันเท่ากับผลบวก แต่ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 2:1 และ 1:2 เป็นแบบพิษร่วมกันมากกว่าผลบวก (เสริมพิษกัน) เป็นต้น

ส่วนปรากฏการณ์ในระหว่างการผลิตสารที่คาดว่าโปรทถูกดูดซับอยู่ที่ผิวตะกอนของตะกั่ว รวมทั้งมีส่วนให้ตะกั่วตกตะกอนได้มากขึ้น ทำให้มีข้อสังเกตว่าการต้านฤทธิ์กันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาภายนอกตัวสัตว์ทดลองนั้น เป็นผลการพิจารณาที่สอดคล้องกับกรณีของสารละลายผสมที่เทียบเคียงกันได้ คือ โปรทและทองแดง เพราะสารละลายทองแดงมีการตกตะกอนเนื่องจากความกระด้างของน้ำเช่นเดียวกับตะกั่ว (ประมาณ และ ประโกลิ 2520) Moulder (1980) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับปริมาณการสะสมสารโปรทจากสารละลายผสมในเนื้อเยื่อของ *Gammarus duebeni* พบว่ากลุ่มสัตว์ทดลองในสารละลายผสมมีปริมาณโปรทในเนื้อเยื่อน้อยกว่ากลุ่มสัตว์ทดลองจากสารละลายโปรท (กลุ่มเปรียบเทียบ) เป็นอย่างมาก และสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำทะเลไม่เป็นส่วนที่ทำให้ปริมาณความแตกต่างดังกล่าวผันแปรไป นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิดเห็นว่า การต้านพิษโปรทโดยทองแดงมิได้เกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อของสัตว์ทดลอง

โดยเส้นโค้งความเป็นพิษ สารละลายผสม (โปรท : ตะกั่ว) ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2, 1:1 และ 2:1 มีระดับเริ่มเป็นพิษเท่ากับ 1.0864 1.1175 และ 1.2031 และอัตราการเพิ่มความรุนแรงของพิษ (ค่าความเอียง) เท่ากับ 0.0509, 0.0664 และ 0.1212 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะความเป็นพิษของโลหะแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบซึ่งโปรทมีระดับเริ่มเป็นพิษและอัตราการเพิ่มความรุนแรงของพิษเท่ากับ 0.1126 ppm. และ 0.0829 (± 0.0003) ตามลำดับ ส่วนตะกั่วมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 100.0 ppm. และ 0.0463 (± 0.0004) ตามลำดับ จะเห็นว่าสารละลายผสมที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 มีอัตราการเพิ่มความรุนแรงของพิษใกล้เคียงกับของโปรทมากกว่าตะกั่ว โดยมีค่าเป็น 0.8 เท่าของโปรท และ

1:4 เท่าของตะกั่ว สำหรับสารละลายผลึกที่มีอัตราส่วนขององค์ประกอบไม่เท่ากัน ปรากฏว่า อัตราเพิ่มความร้อนของพีชจะมีค่าเบี่ยงเบนจากสารละลายผลึกที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 ไปทางด้านของโลหะที่มีปริมาณมากกว่าและมีค่าสูงกว่าของโลหะนั้น ๆ อีกด้วย และในระหว่างสารละลายผลึกด้วยกัน สารละลายผลึกที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 และ 2:1 มีอัตราการเพิ่มความร้อนของพีชเท่ากับ 0.8 และ 1.8 เท่าของสัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 ตามลำดับ โดยเหตุนี้ความเป็นพิษใน 24 ชั่วโมงแรกของสารละลายผลึกที่สัดส่วนความเป็นพิษ 2:1 จึงต่ำกว่าของสัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 เป็นอย่างมาก และของสัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 สูงกว่าของสัดส่วนความเป็นพิษ 1:1 ไม่มากนัก

การประมาณระดับปลอดภัยของสารละลายผลึกจากระดับเริ่มเป็นพิษของสารละลายผลึกแต่ละชนิดและปัจจัยปรับค่าของโลหะที่เป็นองค์ประกอบ ปรากฏว่า ระดับปลอดภัยของสารละลายผลึกที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2, 1:1 และ 2:1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.1143 - 0.0141, 0.0045 - 0.0145 และ 0.0048 - 0.0156 tu โดยปัจจัยปรับค่าของปรอท (McKim et al 1976) และ 0.0130 - 0.0315, 0.0134 - 0.0324 และ 0.0144 - 0.0349 tu โดยปัจจัยปรับค่าของตะกั่ว (Holcombe et al. 1976) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาาร่วมกัน ค่าดังกล่าวควรจะเป็น 0.0043 - 0.0315, 0.0045 - 0.0324 และ 0.0048 - 0.0349 tu จำแนกเป็นส่วนของปรอทและตะกั่ว ได้เท่ากับ 0.0002 - 0.0012 และ 0.3691 - 2.7035 ppm., 0.0003 - 0.0018 และ 0.2897 - 2.0856 ppm., 0.004 - 0.0026 และ 0.2060 - 1.4977 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณีนี้ค่านี้จึงอิทธิพลร่วมระหว่างโลหะทั้งสองนี้ ระดับปลอดภัยของปรอทและตะกั่วต่อผลผลิตของปลากระพงขาวจึงควรจะได้แก่ ระดับความเข้มข้นที่มีค่าไม่เกินช่วงที่ประมาณได้จากสารละลายผลึกที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 คือ 0.0002 - 0.0012 และ 0.3691 - 2.7035 ppm. ตามลำดับ ค่าที่ได้มีต่ำกว่าจากผลการทดลองสารเดี่ยวประมาณ 2 เท่าในกรณีของปรอท และ 3 เท่าในกรณีของตะกั่ว (โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าต่ำสุดของช่วงระดับปลอดภัยที่ประมาณได้) เมื่อนำระดับปลอดภัยต่าง ๆ ที่ประมาณได้ไปเปรียบเทียบกับผลการสำรวจโลหะหนักต่าง ๆ ของน้ำในอ่าวและแม่น้ำต่าง ๆ ของอ่าวไทยตอนบน จาก Polprasert et al. (1979) ปรากฏว่าปริมาณปรอทในแหล่งน้ำธรรมชาติดังกล่าวใกล้เคียงกับระดับที่จะไม่ปลอดภัยต่อการดำรงชีวิตและการแพร่พันธุ์ของปลากระพงขาว เพราะปรอทและตะกั่วสามารถเปลี่ยนแปลงความเป็นพิษร่วมกันได้ในแบบพิษร่วมกันเท่ากับผลบวก ดังรายงานการศึกษานี้ และอาจจะอิทธิพลร่วมในแบบเดียวกันนี้ หรือแบบเสริมฤทธิ์กับโลหะอื่น ๆ อีกด้วย

สรุปผล

การศึกษาพิษเฉียบพลันของปรอท ตะกั่ว และสารละลายผลึกของโลหะทั้งสองชนิดที่มีต่อปลากระพงขาว, *Lates calcarifer* (Bloch) ปลาที่ใช้มีขนาดเฉลี่ย 1.9-2.3 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.089-0.165 กรัม น้ำทะเลมีความเค็มในช่วง 31-32 ส่วนในพันส่วน pH เท่ากับ 8.3-8.6 และอุณหภูมิของน้ำผิวน้ำแปรตามสภาพอากาศในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส

ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยวิธี probit และใช้หน่วยความเป็นพิษ (toxic unit) สำหรับกำหนดสัดส่วนในการเตรียมสารละลายผสม การทดลองแต่ละครั้งใช้เวลา 4 วัน ผลการทดลองมีดังนี้

1. สารละลายของโลหะแต่ละชนิดทำให้มีการตายในเวลาแตกต่างกัน โดยในวันที่ 2 ปลาเริ่มมีการตายเนื่องจากพิษของปรอท แต่สิ้นสุดการตายโดยพิษของตะกั่ว
2. พิษของปรอทมีค่า 96-h LC_{50} และช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ เท่ากับ 0.1128 (0.1035 - 0.1211) ppm. ส่วนพิษของตะกั่วมีค่า 48-h LC_{50} และช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ เท่ากับ 128.74 (119.26 - 137.75) ppm.
3. เส้นโค้งความเป็นพิษแบบเอ็กโปเนนเชียลที่มีขีดจำกัดล่าง ทำให้ประมาณระดับเริ่มเป็นพิษ (ILC_{50}) ของปรอทได้เท่ากับ 0.1126 ppm.
4. ระดับปลอดภัย (MATC) ที่ไม่คำนึงถึงอิทธิพลร่วมอันใด ในกรณีของปรอทซึ่งประมาณจากระดับเริ่มเป็นพิษและปัจจัยปรับค่าในช่วง 0.004-0.013 มีค่าตั้งแต่ 0.004 ถึง 0.0015 ppm. สำหรับตะกั่ว ระดับปลอดภัยดังกล่าวประมาณจาก 48-h LC_{50} มีค่าตั้งแต่ 1.42 ถึง 3.48 ppm.
5. สารละลายผสม (ปรอท ตะกั่ว) ที่สัดส่วนความเป็นพิษ 1:2 1:1 และ 2:1 มีค่า 96-h LC_{50} และช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ เท่ากับ 1.0929 (1.0114 - 1.1745), 1.1208 (0.9656 - 1.2424) และ 1.2033 (1.0581 - 1.3512) ตามลำดับ ปรอทและตะกั่วในสารละลายผสมที่มีองค์ประกอบ 1:1 แสดงลักษณะความเป็นพิษร่วมกันแบบผลบวก ส่วนในสารละลายผสมที่มีองค์ประกอบ 1:2 และ 2:1 มีระดับเริ่มเป็นพิษเท่ากับ 1.0864, 1.1175 และ 1.2031 ซึ่งใช้ประมาณระดับปลอดภัยได้ในช่วงตั้งแต่ 0.0043 ถึง 0.0315 0.0045 ถึง 0.0324 และ 0.0048 ถึง 0.0349 ตามลำดับ
6. เมื่อคำนึงถึงอิทธิพลร่วมระหว่างปรอทและตะกั่ว ระดับปลอดภัยของปรอทและตะกั่วมีค่าตั้งแต่ 0.0002 ถึง 0.0012 และ 0.3691 ถึง 2.7035 ppm. ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- ประมาณ พรหมลู่ศิริรักษ์ และ ประไพศิริ สิริกาญจน. 2520. ผลของโลหะหนักที่มีต่อปลาน้ำจืดบางชนิด กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีชา สัมมณี. 2522. พิษของโลหะหนักที่มีต่อหอยเสียบ (*Donax faba Chemnitz*). วารสารการประมง. 32(4):391-399.
- _____. 2525. เส้นโค้งความเป็นพิษแบบเอ็กโปเนนเชียลที่มีขีดจำกัดล่าง. วารสารการประมง. 35(5):499-505.

- วัฒนา ไวยนิยา และ ชลัญญา ธารบุปผา. 2524. พิษของปรอทและทองแดงที่มีผลต่อปลา
กะพงขาว. รายงานวิชาการที่ สจ/24/14, กองประมงทะเล กรมประมง (โรเนียว)
- แหวดดา ทองระอา. 2525. พิษเฉียบพลันของสารละลายผสมของสังกะสีและทองแดงที่มีต่อปลา
ตะเพียนขาว, *Puntius gonionotus* Bleeker กรุงเทพฯ: วิทยาลัยพจนปกรณ์วิทยาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- APHA, AWWA, and WPCF. 1975. Standard methods for the examination of
water and waste water. 14th ed. American Public Health Association.
Washington, D.C. 1193 p.
- Finney, D.J. 1971. Probit analysis. 3rd ed. Cambridge University
Press, Cambridge.
- Gray, J.S. 1974. Synergistic effects of three heavy metals on growth
rates of marine ciliate protozoan. In Vernberg, F.J. and W.B.
Vernberg. Pollution and physiology of marine organism. Academic
Press, London.
- Holcombe, G.W., D.A. Benoit, E.N. Leonard, and J.M. McKim. 1976. Long-
term effects of lead exposure on three generations of brook
trout (*Salvelinus fontinalis*). J. Fish. Res. Board Can. 33:
1731-1741.
- McKim, J.M., G.F. Olsen, G.W. Holcombe, and E.P. Hunt. 1976. Long-
term effects of methylmercuric chloride on three generations of
brook trout (*Salvelinus fontinalis*): toxicity, accumulation,
distribution, and elimination. J. Fish. Res. Board Can. 33:2726-2739.
- Messuwana, P. 1980. Effects of lead on developmental stage of the
freshwater fish, *Puntius gonionotus* Bleeker. Bangkok : M.S.
Thesis, Mahidol University.
- Moulder, S.M. 1980. Combined effect of the chlorides of mercury and
copper in seawater on the euryhaline amphipod *Gammarus duebeni*.
Mar. Biol. 59:193-200.

- Polprasert, C., S. Vongvisessomjai, B.N. Lohani, S. Nuttamara, A. Arbhahirama, S. Traichiyaporn, P.A. Khan, and S. Wangsuphachart. 1979. Research report on heavy metals, DDT and PCBs in the upper gulf of Thailand. Bangkok ; Division of Environmental Engineering, ATT
- Sprague, J.B. 1970. II. Utilizing and applying bioassay results. Water Res. 4:3-32.
- _____. The ABC's of pollutant bioassay using fish. 1973. In Cairns, J. and K.L. Dickson. Biological methods for the assessment of water quality, ASTM STP 528. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Tsai, C., and J.A. McKee. 1980. Acute toxicity to goldfish of mixtures of chloramines, copper, and linear alkylate sulfonate, Trans. Am. Fish. Soc. 109:132-141.