

การศึกษาหาวัตถุดิบพืชที่ใช้ในทางเกษตรกรรม
ในปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็ม

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุทธิพร วงศ์คำ

หอสมุดกลาง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ปริญญาดุษฎีบัณฑิต

11 มีนาคม 2519

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปัญหานี้อย่างถี่ถ้วนแล้ว เห็น
สมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตของ
มหาวิทยาลัยได้

..... 21/๗/๖๓ ประธาน

..... ศ.ดร. ธีระพร กรรมการ

ประกาศขอบคุณ

กราบขอบพระคุณ ดร. ประยูร กีมา หัวหน้ากองวิจัยวัดภูมิพิษ กรมวิชาการ
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ อาจารย์สมเกียรติ กรีทอง คณะวิทยาศาสตร์และ
คณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร คุณนวลศรี พยาพัชร
ดร. เทียนชัย ธงสีเชือกี้ และคุณบุญชู ทองศักดิ์

ขอขอบคุณ คุณสุนทร สุวรรณโณ คุณนารี แซ่ลี เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่
กองวิจัยวัดภูมิพิษที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุทธิพร วงศ์คำ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	
	คำนำ.....	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	4
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	4
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	4
	คำจำกัดความศัพท์เฉพาะ.....	5
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า.....	6
2	ทฤษฎี	
	โครมาโทกราฟี.....	10
	แก๊สโครมาโทกราฟี.....	11
3	เครื่องมือและวิธีดำเนินการ	
	เครื่องมือ.....	23
	วิธีดำเนินการ.....	34
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	
	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
	อภิปรายผล.....	52
5	บทย่อ สรุปและข้อเสนอแนะ.....	54

บรรณาธิการ

ภาคผนวก

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างจากตลาดพรานนก	42
2	แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างจากตลาด วงเวียนใหญ่	44
3	ตาราง 3 แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บ ตัวอย่างจากตลาดพระโขนง	45
4	แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่าง จากตลาดบางซื่อ	46
5	แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่าง จากตลาดสะพานใหม่	47
6	แสดงค่าเฉลี่ยของวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในปลา	48
7	แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชในปลา	50
8	แสดงปริมาณวัตถุดิบพืชที่มีมากที่สุดในตลาดแต่ละชนิด และปริมาณโดย เฉลี่ยในตลาดทุกชนิด	55
9	แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบพืชตกค้างในปลา ครั้งที่ 1	59
10	แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบพืชตกค้างในปลา ครั้งที่ 2	65
11	แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบพืชตกค้างในปลา ครั้งที่ 3	71
12	แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบพืชตกค้างในปลา ครั้งที่ 4	77

บัญชีภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการกระจายของ solute ในแต่ละ plate	13
2	แสดงรูปร่าง chromatogram	14
3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RFP กับ linear.....	17
	gas velocity และ factor A, B, C	17
4	แสดงการเกิด Eddy diffusion.....	18
5	แสดงผลของสารสองชนิดแยกออกจากกันและการหาค่า retention	
6	แสดง Gas chromatography.....	24
7	แสดง Gas chromatographic system.....	25
8	แสดงส่วนประกอบของดีเทคเตอร์แบบ flame photometric detector.....	28
9	แสดงส่วนประกอบของ electron capture detector.....	29
10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลในวงจรกับความ ถ่วงถักยระหว่างหัว	31
11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ติดกับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง	
12	แสดงผลของ standard และ sample.....	37
13	แสดง linear range.....	39
14	แสดง standard curve ของ p,p' DDT o,p DDT, endrin	55
15	แสดง standard curve ของ p,p' TDE heptachlor	57
16	แสดง standard curve ของ dieldrin endrin heptachlor epoxide, p,p' DDE.....	58

บทที่ 1

บทนำ

คำนำ

ในบรรดาประเทศเกษตรกรรมทั้งหลาย จะพบปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืช ซึ่งทำความเสียหายอย่างใหญ่หลวง โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย และแอฟริกา ได้รับความเสียหายจากศัตรูพืชถึงประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด (1)

ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้าหาสารเคมีเพื่อใช้ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชขึ้น วัตถุประสงค์ที่นิยมใช้ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้แก่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนหรือฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (2) วัตถุประสงค์เหล่านี้นอกจากจะใช้ในก้นเกษตรกรรมแล้วยังนำมาใช้ในด้านสาธารณสุข และรักษาเครื่องใช้ การอดทนป้องกันอาคารบ้านเรือนจากแมลงและสัตว์อื่น อย่างแพร่หลาย

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการกำจัดศัตรูพืชกันอย่างแพร่หลาย เพราะมีประสิทธิภาพสูงและให้ผลเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้มีพิษตกค้างได้นานและสลายตัวยาก (3)

จากรายงานของ Cieplinski พบว่าสารเคมีพวกคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนได้ถูกนำไปใช้ปราบศัตรูพืชมาตั้งแต่ ค.ศ. 1940 (4) ได้แก่ ดีดีที (DDT) คอมาจึงใช้ ดีลด์ริน (dieldrin) เอนดริน (endrin) แอลดริน (aldrin) เฮพทาคลอ (heptachlor) เมทอกซีคลอ (methoxychlor) ทอกซาฟีน (toxaphene) เป็นต้น

วัตถุประสงค์เหล่านี้ได้กระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยปะปนอยู่ในดิน บรรยากาศ พืชผัก ผลไม้ เมื่อฝนตกก็จะชะล้างวัตถุประสงค์เหล่านี้ไหลลงสู่แม่น้ำลำคลองหนองบึง ทะเล มหาสมุทร อันเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ อันเป็นอาหารสำคัญของมนุษย์ ทำให้ปลาและสัตว์น้ำตามแหล่งดังกล่าวมีสารเคมีที่มีพิษสะสมอยู่ ก่อให้เกิดอันตรายอย่างมากต่อมนุษย์และสัตว์ที่ใช้ปลาและสัตว์น้ำเหล่านี้เป็นอาหาร

ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยพิษตกค้างในปลากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากปลาเป็นอาหารโปรตีนราคาถูก มีปริมาณมาก และนิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายซึ่งผลการศึกษา พบว่ามีวัตถุพิษพวกคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ (5)

กองอาหารและยา (Food and Drug Administration, FDA) ของสหรัฐอเมริกา ได้ทำการตรวจวิเคราะห์อาหารที่คนอเมริกันอายุ 17-19 ปี ที่รับประทาน จากกลุ่มตัวอย่างประมาณ 30 เมือง พบว่าในอาหารเหล่านั้นมีสารเคมีพวก คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนเฉลี่ย 0.02 ppm หรือโดยเฉลี่ยแล้วคนอเมริกันจะรับสารเคมีประเภทนี้เข้าไปประมาณ 0.0005 มิลลิกรัม ต่อ น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่อ วัน ซึ่งก็ยังไม่ถึงขั้นที่เป็นอันตราย เพราะกองอาหารและยากำหนดขีดปลอดภัยไว้ 0.01 มิลลิกรัม ต่อ น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่อ วัน และพบว่าอาหารจำพวก ปลา หอย ไข่ และนม มีวัตถุพิษตกค้างอยู่มากที่สุด (6) จากการตรวจวิเคราะห์น้ำหนักคนพบว่ามี คีซีที ประมาณ 0.1-0.2 ppm ถ้าทารกใช้นมมารดาเป็นอาหาร ก็จะได้รับ คีซีที จากนมมารดาถึง 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถอน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งสูงกว่าขีดปลอดภัยถึงหนึ่งเท่าตัว

Holden ได้ศึกษาการสะสมวัตถุพิษในปลา (7) โดยทดลองเตรียมน้ำที่มีเอนกริน 0.015 ppb แล้วนำไปใช้เลี้ยงปลา จากการทดลองพบว่า ปลาสามารถสะสมเอนกรินได้เข้มข้นถึง 10,000 เท่าของวัตถุพิษที่มีอยู่ในน้ำที่มันอาศัยอยู่และเมื่อทดลองใช้ คีลกริน 0.0023 ppm เลี้ยงปลาเทราต์ พบว่าปลาเทราต์สามารถสะสมคีลกรินได้เข้มข้นถึง 3,300 เท่าของวัตถุพิษที่มีอยู่ในน้ำ และตายใน 2-3 สัปดาห์ต่อมา

จากงานวิจัยดังกล่าว จะเห็นได้ว่าปลาและสัตว์น้ำสามารถสะสมวัตถุพิษได้มากกว่าสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่เป็นหมื่นเท่า และเนื่องจากน้ำเป็นที่รวมของวัตถุพิษที่ถูกน้ำชะล้างลงมาจาก บรรยากาศ พื้นดิน อาคารบ้านเรือนและแหล่งเกษตรกรรม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอาหารที่ได้มาจากแหล่งน้ำนั้นมีโอกาสที่จะพบวัตถุพิษในระดับที่เป็นอันตรายได้มากที่สุด

ลักษณะอาการของผู้ที่ได้รับวัตถุพิษจากสารประกอบพวกคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนนั้น ส่วนใหญ่จะมีอาการคล้ายกับได้รับพิษจาก คีซีที โดยสารประกอบ

พวกนี้ จะมีผลต่อศูนย์รวมประสาทและสมอง ถ้าได้รับวัตถุมีพิษมาก ๆ จะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ บางรายมีอาการ อาเจียน ท้องเสีย และม่านตาขยายเป็นต้น (1) (2)

ได้มีการทดลองให้สัตว์บางชนิดกินวัตถุมีพิษเหล่านี้เข้าไป เช่น หนู พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ตับและไต ซึ่งเชื่อกันว่าอาจเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งในเม็กเลือกขาว และโรคโลหิตจางชนิดเอพลาสติก (2)

วัตถุมีพิษพวกคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน และสารที่เกิดจากการสลายตัวของวัตถุมีพิษพวกนี้เกือบทุกชนิด สามารถสะสมอยู่ในไขมันมนุษย์หรือสัตว์ได้ ถึงแม้ว่าจะได้รับเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็ตาม เมื่อวัตถุมีพิษนี้เข้าไปสะสมในไขมันแล้ว ความเป็นพิษของมันจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองให้สัตว์กินวัตถุมีพิษเข้าไป พบว่าปริมาณที่ทำให้สัตว์มีอาการถึงตายนั้น น้อยกว่าที่ตรวจพบในไขมันเสียอีก

มนุษย์และสัตว์สามารถขับถ่ายวัตถุมีพิษพวกคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนออกมาทางเหงื่อ ปัสสาวะ อุจจาระ และน้ำนม ดังนั้นถ้ามนุษย์หรือสัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีวัตถุมีพิษ ปริมาณของวัตถุมีพิษที่สะสมอยู่เดิมในร่างกายก็จะค่อย ๆ ลดลง

จะเห็นได้ว่าวัตถุมีพิษพวกคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน มีพิษร้ายแรง แม้ว่าจะมีปริมาณน้อยมากก็ตาม ทำให้การตรวจวิเคราะห์ต้องใช้เครื่องมือที่มีความไวสูง Lovelock และ Lipsky(8) พบว่าที่เทคนิคอร์แบบ เบต้าไอออนไนเซชัน (β -ionization) ที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำประมาณ 0-50 โวลต์ จะมีความไวต่อการประกอบพวกฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนมากกว่าสารอื่น เพราะสารชนิดนี้มีอิเล็กตรอนแอฟฟีนที่สูง มันจะจับกับอิเล็กตรอน ที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งไถ่น้อยลง ซึ่งเป็นสัคว้นกับปริมาณของวัตถุมีพิษที่เข้าสู่ที่เทคนิคอร์ ซึ่งมีชื่อเรียกที่เทคนิคอร์ชนิดนี้ว่า อิเล็กตรอน แคปเจอร์ (electron capture) หรืออิเล็กตรอนแอบซอร์บชัน ที่เทคนิคอร์ (electron absorption detector)

ดังนั้นในการวิเคราะห์หัตถภูมิพิษพวกฮาโลเจนไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณน้อย ๆ จึงนิยมใช้เทคนิคเทอร์โมอีเลคตรอนแคปเจอร์ ประกอบกับเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุที่มีพิษตกค้างชนิดต่าง ๆ ในปลาน้ำจืด 5 ชนิดและปลาน้ำเค็ม 3 ชนิดที่มีขายในเขตกรุงเทพ-ธนบุรี
2. เพื่อหาปริมาณวัตถุที่มีพิษที่ตรวจพบ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ผลของการวิเคราะห์จะทำให้ทราบว่า ปลาน้ำจืด และปลาน้ำเค็มที่เก็บมาวิเคราะห์หัตถภูมิพิษชนิดใดอยู่บ้าง และมีอยู่ในปริมาณเท่าไร
2. ผลของการวิเคราะห์จะเป็นแนวทางในการคัดกะเนแหล่งผลิตปลา ที่มีวัตถุพิษในปริมาณมากที่จะเป็นอันตราย ใ้ถูกต้อง เพื่อจะได้หาทางแก้ไขต่อไป
3. ผลของการค้นคว้าจะทำให้ทราบปัญหา และขอบเขตการวิเคราะห์วัตถุพิษในปลาน้ำจืดต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการตรวจวัตถุพิษตกค้างในปลาต่อไป

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. ในการค้นคว้าครั้งนี้จะวิเคราะห์หาวัตถุที่มีพิษที่ใช้ในการเกษตรและสาธารณสุข ประเภทคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน 9 ชนิด คือ แอลดริน (aldrin) เอนดริน (endrin) ดีแอลดริน (dieldrin) เฮปตาคลอ (heptachlor) เฮปตาคลออีพอกไซด์ (heptachlor epoxide) พารา-พารา ดีดีอี (p,p' DDE) พารา-พารา ดีดีที (p,p' DDT) ออโท-พารา ดีดีที (o,p DDT) พารา-พารา ทีดีอี (p,p' TDE) ทั้งคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์

2. ในการค้นคว้าจะเก็บตัวอย่างปลาน้ำจืด และปลาน้ำเค็มจากตลาด
ในเขตกรุงเทพ-ธนบุรี 5 ตลาด คือ

1. ตลาดวงเวียนใหญ่
2. ตลาดสะพานใหม่
3. ตลาดบางซื่อ
4. ตลาดพระโขนง
5. ตลาดพรานนก

3. ปลาที่เก็บมาวิเคราะห์นั้น จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ปลาน้ำจืด
เพียง 5 ชนิด คือ

- ปลาช่อน Ophicephalus striatus (Bloch)
ปลาคูก้าน Clarias batrochus (Linn.)
ปลาสร้อย Pangasius pangasius (Hamilton)
ปลาตะเพียน Puntius gonionotus (Bleeker)
ปลาหมอไทย Anabus testudineus (Bloch)

ปลาน้ำเค็ม 3 ชนิด คือ

- ปลาทูเคียว Psettodes erumoi (Bloch)
ปลาแกง Casio pinjalo (Day)
ปลาผีเสื้อ Caranx sp.

4. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บ 1 เดือนต่อครั้ง ระหว่าง
เดือนกันยายน-ธันวาคม 2518

คำจำกัดความและศัพท์เฉพาะ

1. วัตถุมีพิษ หมายถึง สารออกฤทธิ์หรือวัตถุที่มีสารออกฤทธิ์สมอยู่ด้วย
และหมายความรวมถึงวัตถุมีพิษธรรมดา และวัตถุมีพิษร้ายแรง (๖)
2. สารออกฤทธิ์ หมายถึง เคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติอันอาจทำ
ให้เกิดอันตรายแก่ บุคคล สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินอื่น (๖)

3. การสกัด หมายถึงกระบวนการแยกสารออกจากของผสมโดยอาศัยคุณสมบัติในการละลายในตัวทำละลายได้ไม่เท่ากัน เมื่อนำตัวทำละลายที่เหมาะสมมาเขย่ากับสารละลายเดิม สารก็จะแพร่เข้าไปในชั้นของตัวทำละลายที่เหมาะสม

4. Soxhlet extractor หมายถึงเครื่องมือสำหรับสกัดสารออกจากของผสมได้หลายครั้งและต่อเนื่องกันโดยอัตโนมัติ บางทีเรียกว่า continuous extraction

5. Flash evaporator หมายถึงเครื่องมือสำหรับทำให้สารเข้มข้นขึ้นโดยการทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไป โดยให้ความร้อน ลดความดันพร้อมๆ กัน หมายความว่า เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับสารละลายอยู่ตลอดเวลา

6. Chromatography หมายถึงกระบวนการแยกสารออกจากของผสมโดยอาศัยหลักการแพร่ของสารแต่ละชนิดในตัวทำละลายต่างกันไว้ไม่เท่ากันและสารแต่ละชนิดจะถูกดูดกลืนได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อให้สารผสมไหลผ่านตัวกลางที่เหมาะสม สารผสมจะไหลผ่านด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน ก็จะสามารถแยกสารออกจากกันได้

7. ppm (part per million) หมายถึงอัตราส่วนเปรียบเทียบปริมาณของธาตุหรือสารประกอบในสารตัวอย่างล้านส่วนโดยน้ำหนัก

8. ppb (part per billion) หมายถึงอัตราส่วนเปรียบเทียบปริมาณของธาตุหรือสารประกอบในสารตัวอย่างพันล้านส่วนโดยน้ำหนัก

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า

Hunt และ Keith (1964-1966) (10) ได้ทำการวิเคราะห์หาวัตถุดิบพืชตกค้างในนกและปลาในรัฐแคลิฟอร์เนีย พบว่าตัวอย่างที่เก็บมาเกือบทั้งหมดมีวัตถุดิบพืชตกค้างอยู่ได้แก่ ดีดีที ดีดีอี ดีดีอี ดีลคริน เอนลริน เฮพตาคลออีพ็อคไซค์ ทอคราฟีน เบนซีนเฮกซะคลอไรด์ และ คลอเคน พบว่าในไขมันของปลา ที่เก็บมาจาก 6 แหล่งนี้ มีปริมาณ ดีดีที อยู่ตั้งแต่ 2-124 ppm หรือประมาณ 46 ppm

ดีลกรีน ประมาณ 0.3 ppm และ เอนกรีน 0.1 ppm

Janbell (1965) (10) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุมีพิษจาก หอยซึ่งเก็บจากรัฐต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกา พบว่ามีปริมาณ ดีดีที และดีดีอี ตกค้าง อยู่ระหว่าง 0.008-0.9 ppm

Koeman และ Gendenen (1965) (11) ได้ทำการศึกษาไข่นอก 7 ชนิด ในประเทศออสเตรเลีย พบว่ามี ดีดีอี 0.6-12 ppm ดีลกรีน ถึงแต่ปริมาณ น้อย -0.02 ppm

Butcher (1965) (11) ได้ศึกษานกที่กินเชื้อสัตว์เป็นอาหาร นก ทะเวโนไอร์แลนด์ พบว่ามีวัตถุพิษคือ ดีลกรีน แอลกรีน ลินเคน ดีดีที ปะรอต ในไข่และในเนื้อเยื่อซึ่งพบในปริมาณน้อย

องค์การควบคุมการใช้วัตถุพิษแห่งชาติ (Environmental Protection Agency, EPA) ของสหรัฐอเมริกา (1967-1968) (11) ได้ทำการวิเคราะห์หาวัตถุพิษตกค้างในปลา 50 ตัวอย่าง จากแหล่งต่าง ๆ ในทะเล ฝั่ง Great Lakes และปลาจากแม่น้ำสำคัญอื่น ๆ โดยวิเคราะห์หาฆ่าแมลง ประเภท organochlorine 11 ชนิดพบว่า มี ดีดีที และดีดีอีที่ถูกเมตาโบไลซ์แล้ว 584 ส่วนใน 590 ส่วน ซึ่งมีประมาณ 45 ppm (mg/kg wet weight whole fish) ดีลกรีน 75% หรือ 2 ppm ส่วนฆ่าแมลงชนิดอื่นมีน้อย และพบว่าในบาง กลุ่มที่มีปริมาณฆ่าแมลงจำพวก ดีดีที สูง จะพบ ดีลกรีน เฮพทาคลอ เฮพทาคลอ อีพอกไซด์ และ คลอเดน อยู่ด้วย

องค์การประมงของสหรัฐอเมริกา (1968) (10) ได้วิเคราะห์หาฆ่าแมลงตามโครงการศึกษาพิษตกค้างของ organochlorine บริเวณปากแม่น้ำ กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาได้แก่หอยนางรม หอยแมลงภู่ และหอยชนิดอื่น ๆ พบว่า จาก กลุ่มตัวอย่างที่เก็บจากปากแม่น้ำมีปริมาณ ดีดีที ดีดีอี ดีดีอี ดีจกรีน เอนกรีน ประมาณ 10-3,600 ppb โดยคำนวณจากน้ำหนักหอยสด นอกจากนั้นยังได้พิจารณาบริเวณนอกฝั่งพบว่าระดับของ ดีดีที ดีดีอี ดีดีอี ในปูคิงส์เกรบ มีประมาณ 2,739 ppb และใน ไข่ปลาคิงแซมอน มี ดีดีที ดีดีอี ดีดีอี มีปริมาณ 668 ppb และยังได้วิเคราะห์ฆ่าแมลง ในไข่กุ้งขาว ปลาฟลาวนเคอร์ ปลาฮาไลบัท และปลาโซล พบว่าในไข่

ปลาช่อนที่มีระดับ คีอีพี พีอีซี ที่ต่ำ สูงสุดถึง 591 ppb

Porter, Yong และ Barx (1970) (12) ได้วิเคราะห์หาคลอรีนไฮโดรคาร์บอน จาก ปลา เนื้อ ไข่ โคโยไซ แกสลิควิดโครมาโตกราฟี ซึ่งเขาได้ใช้วิธีนี้กับโคโยไซ บีโทรเลียมอีเธอร์ เป็นตัวสกัด แล้วเอามาแยกด้วยตัวทำละลายในครัว ที่อุณหภูมิบีโทรเลียมอีเธอร์ แล้วใช้ 6% และ 15% ของไดเอทิลอีเธอร์ในบีโทรเลียมอีเธอร์เป็นตัวชะ จากการทดลองพบว่า recovery จากการใช้สารตัวอย่างที่มีระดับวัตถุมีพิษตกค้าง 0.1-0.2 ppm อยู่ในช่วงระหว่าง 90-102 %

Hesselbery, R.J (1972) (13) ได้ศึกษาหาปริมาณวัตถุมีพิษที่ตกค้างในปลา อาหารของปลา และโคลน โดยนำเอาสารตัวอย่างมาแยกด้วย anhydrous H_2SO_4 (และใช้ solid CO_2 ถ้าใช้ปลา) ผ่านสารตัวอย่างบนคอลัมน์ที่บรรจุด้วย anhydrous H_2SO_4 ล้างคอลัมน์ด้วยตัวทำละลาย 200 มิลลิกรัม โดยให้อัตราการไหลผ่านคอลัมน์อยู่ระหว่าง 3-6 มิลลิกรัม ก่อนที่ตัวทำละลายที่ไหลคือ ตัวทำละลายของเมทิลแอลกอฮอล์ 1% ในกรดแอสฟอริก ซึ่งจะละลายเอา คีอีพี คีอีอี เอ็นกรีน และเมทอกซีคลอไรด์ เอ็นอีเออร์ สำหรับฆ่า ชีมาซีน (simazine) และใช้ 10% ของอีเธอร์ในบีโทรเลียมอีเธอร์ชนิดเบา สำหรับฆ่า พาราไซออน จากการตรวจโดย gas liquid chromatography ซึ่ง pack column ด้วย 0.3% (W/W) C₁₈ ... turning GLC -110 glass beads ขนาด 80-100 mesh

Hart และ Zuercher (1973) (14) ได้ศึกษาวิธีแยกฆ่าแมลงที่ตกค้างในอาหารต่าง ๆ ได้แก่ เนยแข็ง โกโก้ ช็อกโกแลต และได้เสนอไว้ว่าสามารถใช้วิธีนี้ในการหาฆ่าแมลงในอาหารอื่น ๆ ได้ ซึ่งเขาได้ทำการทดลองโดยนำสารตัวอย่างมาผสมกับ sodium oxalate-acetic acid, buffer solution, methanol และบีโทรเลียมอีเธอร์ชนิดเบาไป centrifuge แยกชั้นของบีโทรเลียมชนิดเบาออก แล้วจึงแยกเอาฆ่าแมลงออกจากบีโทรเลียมอีเธอร์ โดย คอลัมน์โครมาโตกราฟี หาปริมาณฆ่าแมลง

ออกมาโดย gas liquid chromatography

สุณีย์ ครุฑนุช (1974) (3) ได้วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในปลาน้ำจืดในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟี ขบวนการสกัดทำโดยใช้ปีโตรเลียมอีเทอร์ สกัดใน soxhlet extractor เป็นเวลานานอย่างน้อย 4 ชั่วโมง นำไปลดปริมาตร และแยก คีดีที่ ด้วยอะซิโตนที่ร้อนในปีโตรเลียมอีเทอร์ แล้วใช้ 10% ของอีเทอร์ในปีโตรเลียมอีเทอร์ เป็นตัวชะล้าง คีดีที่

Veith, Nischl และ Rosenthal (1975) (15) ได้ศึกษาวิเคราะห์หัตถภูมิพิษที่ตกค้างในปลาซึ่งมีปริมาณน้อย ๆ โดยใช้ gas chromatographic/mass spectral analysis ซึ่งได้ทำการสกัดโดยสกัดก้างกับด้วย hexane-acetone (59+ 41) ใน soxhlet extractor แล้วนำมาแยกเอา lipid ด้วย micro cel-E แล้วจึงแยกเอาหัตถภูมิพิษจาก micro cel-E ด้วย gel-permeation chromatography ซึ่งเขาได้เสนอไว้ว่า โดยวิธีนี้จะทำให้สารตัวอย่างถูก contaminate น้อยที่สุด และสามารถวิเคราะห์ xenobiotics ที่มีความเข้มข้นน้อยถึง $\mu\text{g/g}$ ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$)

โครมาโตกราฟี (Chromatography)

โครมาโตกราฟี หมายถึง ขบวนการแยกสารออกจากสารผสม (16)

โดยอาศัยหลักการ partition ระหว่าง stationary phase และ moving phase วิธีการโครมาโตกราฟีแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น

1. Thin Layer Chromatography (TLC) โดยใช้ moving phase เป็นของเหลว และ stationary phase นิยมใช้เป็นของแข็งโดยทำเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ เคลือบบนแผ่นวัสดุผิวเรียบ เช่น กระดาษ หลาสดำ ซึ่งเรียกว่า supporter สารที่ต้องการจะแยกจะถูก moving phase พาเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ moving phase เคลื่อนที่ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างระยะทางที่สารเคลื่อนที่ไปกับระยะทางที่ moving phase เคลื่อนที่ในช่วงระยะเวลาที่เท่ากัน เรียกว่า ค่า R_f หรือ

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่ moving phase เคลื่อนที่}}$$

ซึ่งค่า R_f ของสารชนิดเดียวกันที่ใช้ moving phase และ stationary phase ชนิดเดียวกัน และที่อุณหภูมิเท่ากัน จะมีค่า R_f เท่ากันเสมอ และสารต่างชนิดกันค่า R_f ก็จะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของสารแต่ละชนิดที่สามารถละลายใน moving phase ได้ไม่เท่ากัน และถูกดูดซับบน stationary phase ได้ไม่เท่ากัน

ทิศทางการเคลื่อนที่ของ moving phase นั้นมี 3 ชนิด คือ (17)

ก. เคลื่อนที่ลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Descending chromatography) โดยปล่อยให้ moving phase เคลื่อนที่ผ่าน stationary phase ลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก

ข. เคลื่อนที่สวนทางกับแรงโน้มถ่วงของโลก (Ascending chromatography) โดยอาศัยหลักการแบบ capillary คือ moving phase

จะถูกซึมผ่าน stationary phase ขึ้นไปในด้านที่ตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก

ค. เคลื่อนที่ขนานกับผิวโลก (Horizontal หรือ Radial chromatography) โดยการเคลื่อนที่ของ moving phase อาศัยหลักการเดียวกับข้อ ข.

2. Gas Chromatography (GC) เป็นขบวนการโครมาโตกราฟีที่ใช้แก๊ส เป็น moving phase ส่วน stationary phase นั้นอาจจะใช้ของเหลว หรือของแข็งก็ได้ ในกรณีที่ใช้ของเหลว ก็ต้องมี inert solid เป็น supporter

Gas solid chromatography นั้นมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากเกิด tailing peak ควบคุมพื้นที่ผิวได้ยาก และแก๊สถูกของแข็งที่เป็น stationary phase ดูดซับได้ก็เกินไป

Gas liquid chromatography (GLC) จึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถใช้ในการวิเคราะห์และพิสูจน์สารได้อย่างกว้างขวาง (18)

ทฤษฎีของ Gas Chromatography

เนื่องจากความสามารถในการแยกสารออกจากสารผสม ซึ่งแสดงออกมาเป็น peak ของสารแต่ละชนิดใน gas chromatography นั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการคือ (19)

1. ประสิทธิภาพของคอลัมน์ (column efficiency) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบคอลัมน์ และ อุณหภูมิของคอลัมน์ขณะใช้งาน

2. ประสิทธิภาพของตัวชะ (solvent efficiency) ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดระหว่าง solute กับ solvent ความสามารถในการละลาย solute ของ solvent และ สัมประสิทธิ์ของการแยกส่วน (partition coefficient) เป็นต้น

1. ประสิทธิภาพของคอลัมน์ (Column efficiency)

ประสิทธิภาพของคอลัมน์นี้สามารถวัดจากจำนวน theoretical plate

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์นั้นจะต้องควบคุมตัวแปรอื่น ๆ เช่น solvent solute คุณสมบัติ อัตราการไหลของแก๊ส (gas flow rate) และปริมาณของสาร ตัวอย่าง

Plate Theory

แนวความคิดเรื่อง plate นี้ได้มาจากขบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งมี plate จำนวนมาก ในขบวนการวิเคราะห์สารโดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี ซึ่งอาศัยหลัก partition นั้น อำนวยในการแยกสารและรูปร่างของ chromatogram ก็ขึ้นอยู่กับจำนวน plate ในทานองเกี่ยวกับการกลั่น เพียงแต่ plate ใน chromatographic column นั้นมิได้มีรูปร่างจริง ๆ

ในการอธิบายการกระจายของ solute ใน plate ต่าง ๆ เมื่อปล่อยให้ carrier gas พา solute เคลื่อนที่ผ่าน column ซึ่งสมมุติว่าประกอบด้วย plate ต่าง ๆ 11 plate นั้น ให้แต่ละ plate มีปริมาตร V มิลลิลิตร ของ stationary phase (S) ต่อมาเมื่อ Mobile phase (M) ปริมาตร V มิลลิลิตร เคลื่อนที่ผ่านมาถึง plate ที่ 0 ($p=0$) สมมุติว่า partition coefficient (k) = 1 ดังนั้นเมื่อ $p=0$ จะมี solute ใน M และ S phase อย่างละ $\frac{1}{2}$ ต่อไปเมื่อ Mobile phase ที่มี solute $\frac{1}{2}$ เคลื่อนที่ไป $p=1$ solute จะถูก S phase ที่ plate 1 partition เหลือ $\frac{1}{4}$ ในขณะที่เดียวกันที่ $p=0$ S phase ก็จะต้อง partition solute ให้ M phase ที่เข้ามาใหม่ ดังนั้นจึงเหลือ solute $\frac{1}{4}$ รูปที่ 1 ก. ประกอบ รูปที่ 1 ข. แสดงการกระจายของ solute ถ้ามี 11 plate จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของ solute ผ่านคอลัมน์จะมีลักษณะเป็นโค้งปกติ ซึ่งปริมาณของ solute ในแต่ละ plate สามารถคำนวณได้จากสูตร

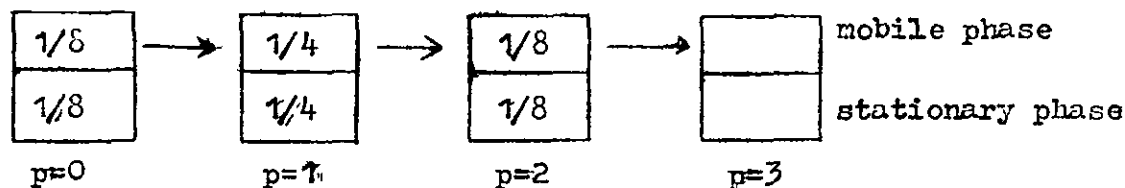


plate no.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% solute	0.1	1	4	12	21	25	21	12	4	1	0.1

(ข)

รูปที่ 1 แสดงการกระจายของ solute ในแต่ละ plate

$$\text{ปริมาณ solute ในแต่ละ plate} = \left[\frac{1}{(k+1)} + \frac{k}{(k+1)} \right]^p \dots (1)$$

เมื่อ k = partition coefficient

p = จำนวน plate (ในรูปที่ 1 ข $p = 11$)

ถ้า $p > 100$ peak ที่ได้จะยิ่งเป็นโค้งปกติมากขึ้น

ใน GLC นั้น ประสิทธิภาพของคอลัมน์ อาจะบอกในรูปของจำนวน theoretical plate (N) จากรูปที่ 2

ถ้า V_r = retention volume

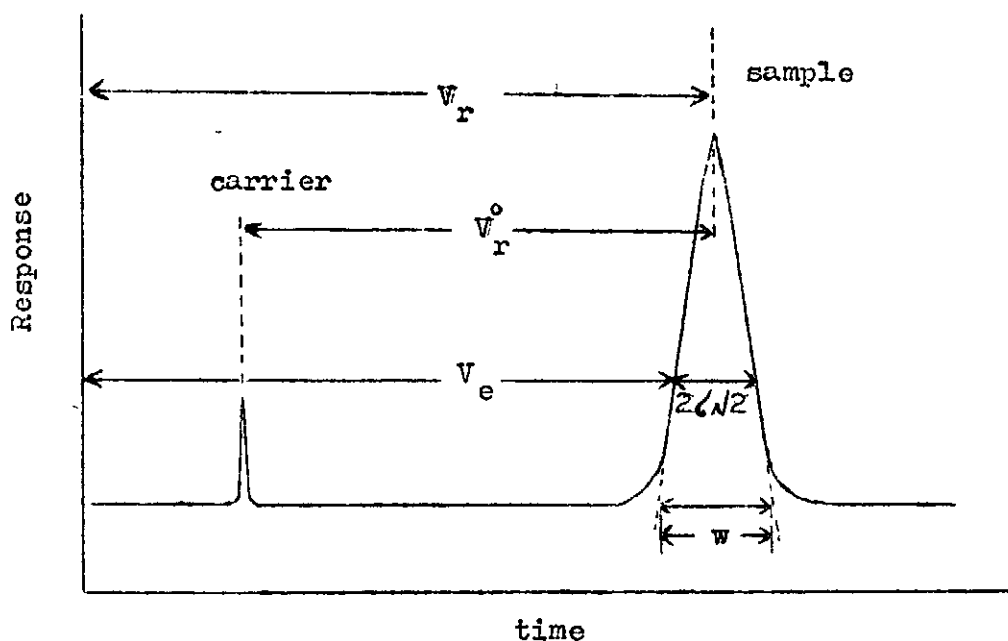
V_r^0 = corrected retention volume

V_d = dead volume ของ column

W = ความกว้างของ base line ของ peak (ส่วนที่อยู่ระหว่างจุดตัดของ base line กับ tangent ของ peak)

$$= 4 \sigma \quad (\text{เมื่อ } \sigma \text{ คำนวณเป็นเบี่ยงเบนมาตรฐาน}) \dots (2)$$

$$V_r = V_r^0 + V_e \dots (3)$$



รูปที่ 2 แสดงรูปร่าง chromatogram และการคำนวณ column efficiency

จากรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาการกระจายตามแบบ Poisson Distribution สามารถคำนวณหาจำนวนของเพลตที่ใช้ตามทฤษฎี (number of theoretical plate) ได้จาก

$$N = 2 V_e V_r / (V_r - V_e)^2 \dots \dots \dots (4)$$

เมื่อ N = number of theoretical plate

V_e = ปริมาตรจาก injection point ถึงความกว้างของ sample peak

$$2.612 \sigma$$

$$\text{แต่ } V_r - V_e = 2.612 \sigma$$

ดังนั้นสมการ (4) จะได้

$$N = V_e V_r / \sigma^2 \dots \dots \dots (5)$$

จากสมการ (2)

$$\sigma = \frac{w}{4}$$

$$\sigma = \frac{w^2}{16} \dots\dots\dots(6)$$

แทนค่า σ ในสมการ (5) ก็จะได้

$$N = 16 v_e v_r / w^2 \dots\dots\dots(7)$$

ถ้า peak แหลม (sharp)

$$v_r \approx v_e$$

ดังนั้น

$$N = 16 (v_r / w)^2 \dots\dots\dots(8)$$

จากสมการ (6) จะได้

$$N = 5.54 (v_r / w_h)^2$$

เมื่อ w_h ความกว้างที่ความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของ peak

ซึ่งค่า v_r / w_h นี้จะเป็นตัวชี้ความแหลมของ peak ซึ่ง Jones

และ Kieselbach (20) ให้สัญลักษณ์เป็น Q

$$\text{ดังนั้น } Q = v_r / w_h$$

แทนค่า Q ในสมการ (9) จะได้

$$N = 5.54 Q^2 \dots\dots\dots(10)$$

Rate Theory

ในขบวนการแยกสารโดยวิธี chromatography นั้น ต้องการ elution curve ที่แหลม (sharp) ไม่แบนหรือกว้าง (broaden) เพราะจะทำให้ peak ของแต่ละ component คบเกี่ยวกัน ทำให้แยกออกจากกันไม่ชัดเจน ค่าที่จะแสดงถึงความแหลมของ peak เมื่อเปรียบเทียบกับความกว้าง คือ ค่า HETP (The Height Equivalent of a Theoretical Plate) ถ้าค่า HETP น้อยแสดงว่าประสิทธิภาพของ column มีค่าสูง peak แหลม

$$HETP = L/N \dots\dots\dots(11)$$

เมื่อ L = ความยาวของ X

N = number of theoretical plate

ค่าความกว้างหรือความป้านของ peak จะเป็นตัวบ่งประสิทธิภาพของ column แต่ก็มีตัวแปรอื่นที่ทำให้ไม่เป็นไปตามทฤษฎี เช่น อุณหภูมิของ column ไม่คงที่ หรือค่า partition coefficient ไม่คงที่ จะมีผลทำให้ peak ป้านซึ่งสามารถแสดงได้โดยสมการ Van Deemter (21) และได้ปรับปรุงโดย Glueckauf (22)

องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ peak กว้างมี 3 ประการ คือ

1. Eddy diffusion หรือ Multiple path effect
2. Molecular diffusion
3. Resistance to mass transfer

จากสมการพื้นฐานสามารถ derive โดยมีความสัมพันธ์กับค่า HETP ได้ดังนี้

$$HETP = 2 \lambda dp + \frac{2 \gamma D_{gas}}{\mu} + \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{k'}{(1+k')^2} \cdot \frac{df^2}{D_{liq}} \dots\dots(11)$$

λ = ค่าคงที่ (packing irregularity constant)

γ = correction factor

dp = ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่ใช้เป็น supporter

D_{gas} = Diffusivity ของ solute ใน carrier gas

μ = ความเร็วเชิงเส้นของแก๊ส (linear gas velocity)

= ความยาวของ column (ซม.)

retention time ของ แก๊ส (วินาที)

k' = capacity factor

= $k (F_{liq} / F_{gas})$

k = partition (distribution) coefficient

F_{liq} = Fraction of cross section ซึ่งถูกแทนที่โดย liquid phase

F_{gas} = Fraction of cross section ซึ่งถูกแทนที่โดย gas phase

df = Effective thickness ของฟิล์มของเหลวที่เคลือบบน supporter

D_{liq} = Diffusivity ของ solute ใน liquid phase

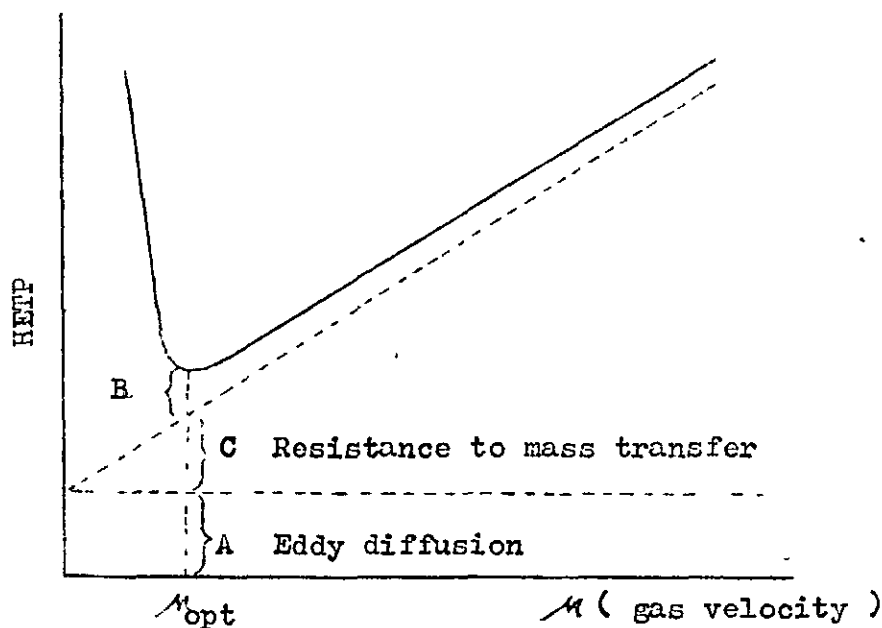
จากสมการ (11) term $2 \lambda dp$ = A (Eddy Diffusion)

$$\frac{2 \gamma^D_{gas}}{\mu} = B \text{ (Molecular Diffusion)}$$

$$\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{k'}{(1-k')^2} \cdot \frac{df^2}{D_{liq}} \cdot \mu = C \text{ (Resistance to mass transfer)}$$

แทนค่า A, B และ C factor ในสมการ (11) จะได้

$$HETP = A + B/\mu + C \cdot \mu \dots \dots \dots (12)$$

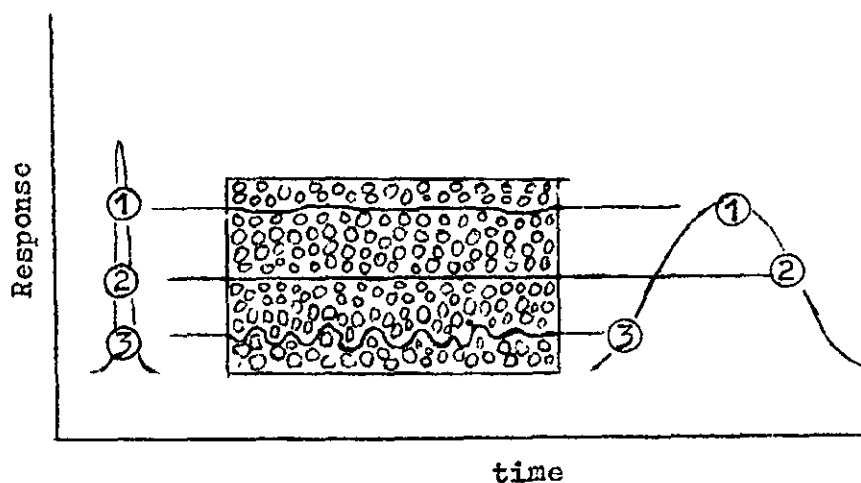


รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HETP กับ linear gas velocity และ

factor A, B และ C . คือ flow rate ที่เหมาะสมกับ carrier gas

Eddy Diffusion

Eddy Diffusion (A) จะสัมพันธ์กับการ pack column และขนาดของอนุภาคที่ใช้เป็น supporter ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่โมเลกุลของ carrier gas และ solute เคลื่อนที่ผ่าน stationary phase ไปตาม column นั้นจะมีทางไปได้หลายทาง และระยะของแต่ละทางก็มีความยาวไม่เท่ากัน (ดูรูปที่ 4) ซึ่งมีผลให้ peak กว้างหรือแคบ นอกจากนี้รูปร่างของอนุภาค และเส้นผ่าศูนย์กลางของ column ก็มีผลทำให้ค่า A เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ด้วย



รูปที่ 4 แสดงการเกิด Eddy Diffusion

การเพิ่ม column efficiency วิธีหนึ่งคือพยายามลด multiple path effect โดยการลดขนาดของอนุภาค และพยายามให้มีขนาดเดียวกัน มีรูปร่างกลม แต่ก็ไม่ได้จนเกินไปเพราะจะทำให้ความดันที่ผ่านปลายยาว column แตกต่างกันมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ column efficiency ลดอีกเหมือนกัน นอกจากนี้ขนาดของ column จะต้องมีส่วนผ่าศูนย์กลางพอเหมาะ และค่าคงที่ของ irregularity packing, λ จะต้องมิต่ำน้อย

Molecular Diffusion (B)

ความสามารถในการแพร่ของโมเลกุลนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ diffusivity ของ solute ใน carrier gas และจะมีความสัมพันธ์กับค่า HETP และ flow rate ของ carrier gas (23) จากองค์ประกอบเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า ชนิดของ carrier gas ความดัน flow rate และความหนืดของ carrier gas จะเป็นปัจจัยกับคุณภาพของ column

carrier gas ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือ ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ฮีเลียม อาร์กอน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นกัน carrier gas ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ๆ จะมีความสามารถในการแยกสารได้ดี แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับ detector ด้วย

ค่า Molecular diffusion นี้ถ้ามีมากก็จะทำให้ sensitivity ลดลง เพราะฉะนั้นวิธีการลดค่า B factor นั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มความเร็วเชิงเส้นของอัตราการไหลของ carrier gas (μ) และใช้ carrier gas ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ๆ

Resistance to mass transfer (C)

$$= \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{k'}{(1+k')^2} \cdot \frac{dP^2}{D_{liq}} \cdot \mu$$

ค่านี้เกี่ยวข้องกับปริมาณและความหนืดของ stationary phase บน solid support ถ้าค่า C factor มีมากจะทำให้ efficiency ของ column ลดลง

ดังนั้นถ้าจะทำให้ค่า C ลดลงแล้ว ของเหลวที่ใช้เป็น stationary phase จะต้องเคลือบให้บาง สม่ำเสมอ ความหนืดต้องมีค่าน้อย อัตราการไหลของ carrier gas ค่าพอสุมควรว และค่า distribution coefficient ก็ต้องมากพอ

2. Solvent Efficiency

ขบวนการวิเคราะห์แบบแก๊สโครมาโตกราฟีนี้ การเลือกใช้ solvent ที่เหมาะสมมีความจำเป็นอย่างยิ่ง หลักในการเลือก solvent ที่เหมาะสมดังนี้

ก. แรงดึงดูดและ partition coefficient

แรงดึงดูดที่เกี่ยวข้องในการแยกสารโดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีมีอยู่ 4 ชนิด คือ (24)

Keesom forces เป็นแรงดึงดูดระหว่างชั่วถาวรในโมเลกุลที่เป็น dipolar H - bond

Debye forces เป็นแรงดึงดูดระหว่างชั่วถาวรในโมเลกุล dipole 1 โมเลกุลกับโมเลกุลข้างเคียงที่ถูกเหนี่ยวนำ

Non-polar forces เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เป็น non-polar ด้วยกัน เป็นแรงที่อ่อนกว่า 2 แรงแรกที่กล่าวมา

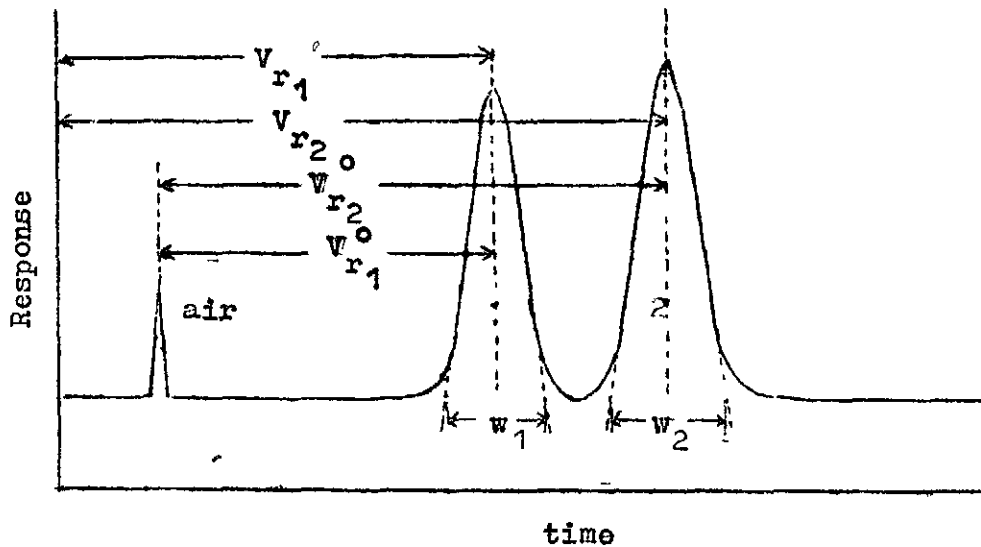
Specific interaction forces เป็นแรงที่เกิดขึ้นจาก chemical bond, complex formation ระหว่าง solute กับ solvent

แรงต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นตัวหาความสามารถในการละลาย ซึ่งเป็นผลให้การแยกสารโดยขบวนการโครมาโตกราฟีเกิดขึ้น สามารถอธิบายในรูปของ partition coefficient (k) โดยถ้าค่า k ยิ่งมาก จำนวน plate ก็ไม่จำเป็นต้องมีมาก column สั้น ๆ ก็สามารถแยกสารออกจากกันได้

ข. ประสิทธิภาพของ solvent และอุณหภูมิ

ประสิทธิภาพของ solvent (α) วัดได้จากอัตราส่วนของ corrected retention volume ของ component ทั้งสอง

$$\alpha = \frac{V_{r_1}^0}{V_{r_2}^0} = \frac{k_2}{k_1} \dots\dots\dots (13)$$



รูปที่ 5 แสดง peak ของสารสองชนิดแยกออกจากกันและการหาค่า Retention
สัมพันธ์

ทั้ง d และ k จะแปรผันไปตามอุณหภูมิ สำหรับค่า k นั้นถ้าอุณหภูมิ
เพิ่มค่า k จะลดลง ซึ่งหมายความว่า solute จะเข้าไปอยู่ในชั้นของแก๊สได้มากขึ้น
ดังนั้นระยะเวลาในการชะ (elution time) จะลดลง ซึ่งหมายความว่า
ความสามารถในการแยกสารก็จะลดลงด้วย ดังนั้นถ้าต้องการให้ peak แยกออก
จากกันมาก ๆ ก็จะต้องพยายามลดอุณหภูมิของ column ลงให้ต่ำที่สุด แต่ระยะ
เวลาในการวิเคราะห์จะนานขึ้น

ค. Resolution

การแยกสารออกจากกันอย่างแท้จริงของ peak นั้นวัดจากค่า
resolution (R) ซึ่งค่า R นี้ เป็นตัววัดทั้งประสิทธิภาพของ column และ
solvent ซึ่งนับทั้งความแคบของ peak และการแยก (separation)
จากรูปที่ 5

$$R = \frac{2d}{w_1 + w_2} \quad \text{หรือ} \quad = \frac{2(V_{r2} - V_{r1})}{w_1 + w_2} \quad \dots\dots\dots(14)$$

w_1, w_2 = ความกว้างของ base line

d = ระยะห่างของยอด peak

ถ้าค่า $R = 1$ แสดงว่า peak ทั้งสองแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ถึง 98%

$$R = 1.5 \text{ resolution} = 99.7\%$$

3. Number of Plates for Required Separation

จากสมการที่กล่าวข้างต้นสามารถคำนวณหาจำนวน plate หรือความยาวของ column ที่ต้องการได้จาก

$$N_{\text{reg}} = 16 R^2 \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right)^2 \left(\frac{k'_2 + 1}{k'_2} \right)^2 \dots \dots \dots (15)$$

k'_2 = capacity factor ของ peak ที่ 2

$$= V_{r_2}^0 / V_d$$

V_d = dead volume

R = Resolution ที่ต้องการ

α = ประสิทธิภาพของ solvent

N_{reg} = จำนวน plate ที่ต้องการ

จากสมการ (3)

$$N_{\text{orig}} = 16 (V_r / w)^2$$

เมื่อ N_{orig} = จำนวน plate เดิม

$$\text{แต่ } L_{\text{req}} = L_{\text{orig}} \times \frac{N_{\text{reg}}}{N_{\text{orig}}} \dots \dots \dots (16)$$

เมื่อ L_{req} = ความยาวของ column ที่ต้องการ

L_{orig} = ความยาวของ column เดิม

บทที่ 3

เครื่องมือที่ใช้ศึกษากันทั่ว

เครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้แก่เครื่อง Gas Chromatography ซึ่งผลิตโดย TRACOR Instrument Inc., Texas model 222 รูปที่ 6 ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 6 ระบบคือ

1. Carrier gas supply
2. Sample injector
3. Column
4. Detection system
5. Temperature control system
6. Recorder

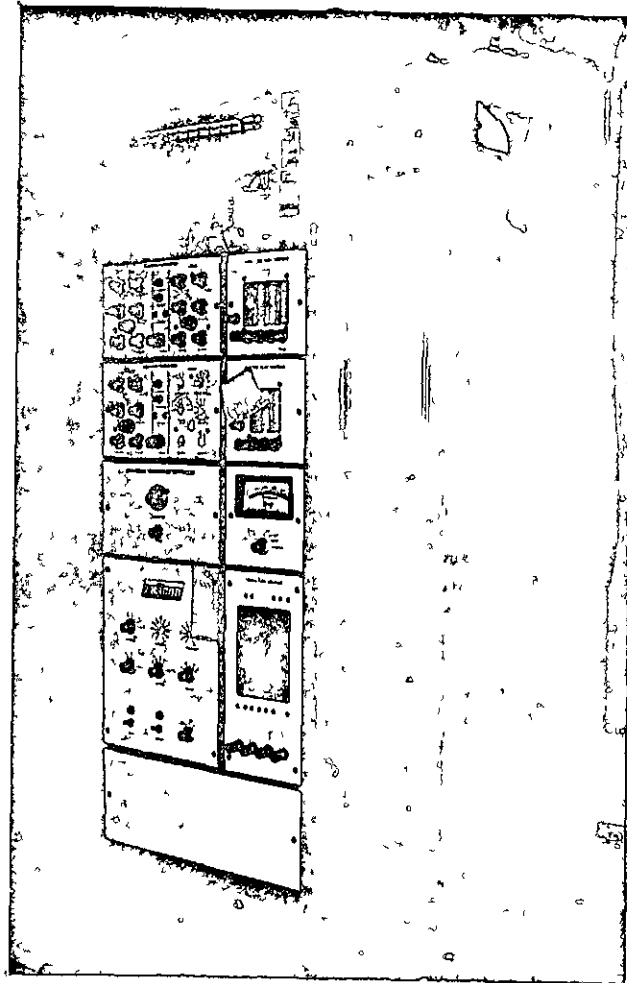
Carrier gas supply

เป็นหน่วยที่จ่าย carrier gas ให้กับระบบด้วยความดัน และอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

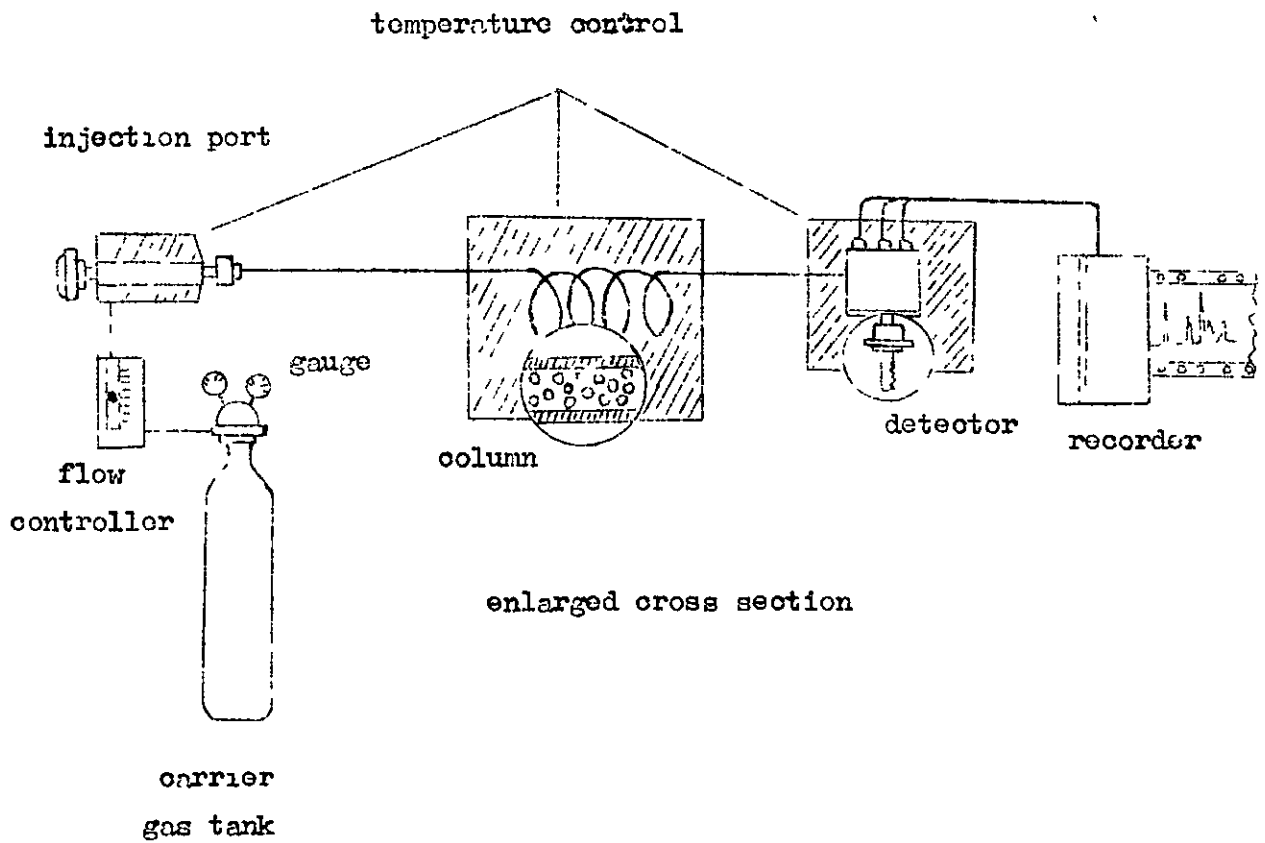
1. ถังเก็บแก๊สความดันสูง ซึ่งใช้เป็น carrier gas โดยใช้แก๊สไนโตรเจน
2. ลิ้น (Valve) เปิดปิด และปรับอัตราการไหลของ carrier gas ตามที่ต้องการ

3. ท่อปรับอุณหภูมิของ carrier gas มีลักษณะเป็นท่อโลหะขดเป็นทรงกระบอกใช้ต่อจากถังเก็บแก๊สออกมาเข้าคอลัมน์ เนื่องจากแก๊สที่อยู่ในถังมีความดันสูง เมื่อปล่อยออกจากถัง ความดันจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิลดลงมาก จึงให้ผ่านคอลัมน์เสียก่อน เพราะฉะนั้น เมื่อ carrier gas ไหลมาถึงคอลัมน์จะมีอุณหภูมิไม่ต่ำจนทำให้อุณหภูมิของคอลัมน์ลดลงมากนัก

4. Gas purifier ใช้จับสิ่งแปลกปลอม (impurity) ที่ปนอยู่ใน carrier gas โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ Electron capture detector แล้ว จะไวต่อไอน้ำมาก ดังนั้น carrier gas จะต้องแห้งสนิท



รูปที่ 6 แสดงภาพเครื่อง Gas Chromatography



รูปที่ 7 แสดง Gas Chromatographic System

5. Flow meter ใช้วัดอัตราการไหลของ carrier gas นิยมใช้แบบเป็นท่อ มีลูกลอย

6. Pressure gauge ใช้วัดความดันของ carrier gas ที่ออกจากถังแก๊ส

Sample Injector System

เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการนำสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ ดังได้กล่าวมาในตอนต้นแล้วว่า สารที่จะวิเคราะห์จะต้องอยู่ในรูปของไอ (gas) เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีส่วนควบคุมอุณหภูมิ ให้สูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่างเล็กน้อย แต่ไม่สูงจนเกินไป เพราะสารตัวอย่างอาจจะสลายตัวได้ก็ ปัจจุบันระบบควบคุมอุณหภูมินี้ สามารถจะ program ได้ เพื่อใช้วิเคราะห์ของผสมที่มีสารหลายชนิด และจุดเดือดต่างกันมาก ๆ เช่นน้ำมันปิโตรเลียม ถ้าไม่มีส่วน program อุณหภูมิ เช่นทั้งอุณหภูมิ 100°C ก็จะใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะแก๊สและน้ำมันที่มีจุดเดือดไม่เกิน 100°C เท่านั้น ส่วนสารพวก paraffin asphalt ก็วิเคราะห์ไม่ได้ เพราะยังไม่เป็นไอ

นอกจากนี้การฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์จะต้องทำอย่างรวดเร็ว มิฉะนั้นจะทำให้เกิดมีหาง (tailing peak) มีผลให้อ่านค่าจำแนกต่ำลง ดังนั้นจึงต้องมีไมโครไซริง (microsyringe) ที่สามารถจะวัดปริมาตรสารตัวอย่างตามที่ต้องการ แล้วฉีดเข้าไปในคอลัมน์ที่มีความดันสูงกว่าภายนอก เพื่อความรวดเร็วในการฉีดสาร นิยมใช้ยางซิลิโคนเป็นโคอะแฟรมติดอยู่กับไซริง โคอะแฟรมนี้จะกันมิให้สารตัวอย่างถูกดันออกมาภายนอกได้

Column

คอลัมน์ที่ใช้ใน Gas liquid chromatography มี 2 ชนิด คือ

1. ชนิด capillary column โดยอาจจะทำจากโลหะที่กันสนิม มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมาก ภายในมีของเหลวที่ใช้เป็น stationary phase เคลือบอยู่บาง ๆ มักจะมีขนาดยาว มีข้อดีคือค่าความดันที่ปลายคอลัมน์ไม่แตกต่างกันมากนัก ($P_1 / P \approx 1$)

2. ชนิด packed column อาจจะทำด้วยแก้วหรือโลหะก็ได้ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.25 นิ้ว ยาว 5-50 ฟุต ปิดตรง หรือขดเป็นคอล์ยก็ได้

ภายในบรรจุอนุภาคของ stationary phase หรือ solid support ซึ่งตามปกติแล้วควรมีขนาดระหว่าง 20-40 ไมครอน เป็นทรงกลม สม่ำเสมอ ที่นิยมใช้ได้แก่ colite, decalite และ chromosorb เป็นต้น

การเตรียมคอลัมน์นั้นสารที่ใช้เป็น supporter จะต้องร่อนด้วยตะแกรงให้มีขนาดตามต้องการ แล้วมาคลุกเคล้ากับ stationary phase ที่มีความเข้มข้นตามที่กำหนด เพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ แล้วปล่อยให้ solvent ระเหยออกไป จึงนำมา pack ในคอลัมน์

Detection System

เป็นส่วนที่ตรวจสอบสารที่ถูกแยกและผ่านคอลัมน์ออกว่ามีสารอะไร ปริมาณเท่าไร (qualitative and quantitative analysis) โดยปกติจะบอกปริมาณกระแสไฟฟ้า หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า ความไวของทีเคเตอร์ (Sensitivity) สามารถหาได้จาก

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta Q} \dots\dots\dots (17)$$

เมื่อ R = response ของทีเคเตอร์ (mV)

Q = ปริมาณหรือความเข้มข้นของสาร

จาก (17) จะได้

$$S = V_{exit} W \dots\dots\dots (18)$$

เมื่อ A = พื้นที่ใต้พีค (mV - min)

F_{exit} = Flow rate ที่ปลายคอลัมน์

W = น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (mg)

๑. ในการหาปริมาณของสารที่น้อยที่สุดที่ detector สามารถวัดได้นั้น จะต้องคำนึงถึง noise ด้วยจึงสมควร

$$Q_{min} = \frac{2R_n}{S}$$

เมื่อ R_n = response ต่อ noise ของ detector

Detector ที่ใช้ในแกสโครมาโทกราฟที่นั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. Non-Specific Detector เป็นคิเทคเตอร์ที่ response ต่อสารทุกชนิดที่ผ่านเข้าไปในคิเทคเตอร์ ข้อดีคือใช้ในการวิเคราะห์สารได้หลายชนิด แต่มีข้อเสียคืออาจจะมีสารบางอย่างที่รบกวนกันได้ จึงทำให้คิเทคเตอร์ชนิดนี้มีความไวลดลง

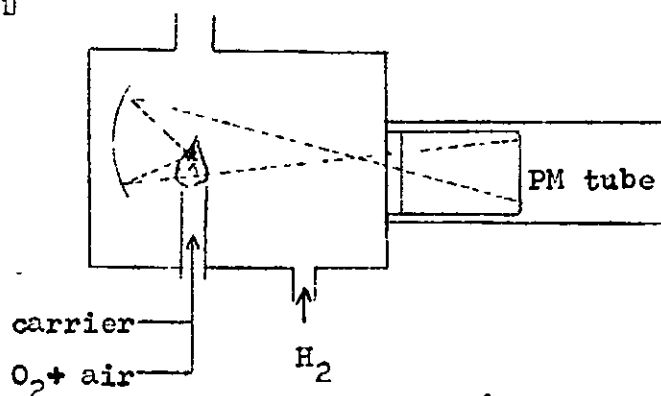
2. Specific Detector เป็นคิเทคเตอร์ที่ response สารบางชนิดหรือบางกลุ่มเท่านั้นซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งานของคิเทคเตอร์ แต่การรบกวนจากสารอื่นมีน้อย จึงมีความไวสูงกว่าแบบแรก

คิเทคเตอร์ทั้ง 2 ประเภทนี้มีหลายแบบมากมาย มีหลักการ และลักษณะการใช้งานแตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะคิเทคเตอร์ที่ใช้ประกอบการทดลองครั้งนี้เท่านั้น

1. Flame Photometric Detector (FPD)

เป็นคิเทคเตอร์ที่ response เฉพาะสารประกอบของ กำมะถัน หรือ ฟอสฟอรัสเท่านั้น มีความไวในการตรวจสอบสารประกอบพวก organo phosphorus ถึง 10^{-9} กรัม (26)

หลักการของคิเทคเตอร์แบบ FPD นี้ อาศัยการเปล่งแสงของสารตัวอย่าง เมื่อเอาสารตัวอย่างไปเผาในเปลวไฮโดรเจน ดูแผนผังในรูปที่ 8 ประกอบ

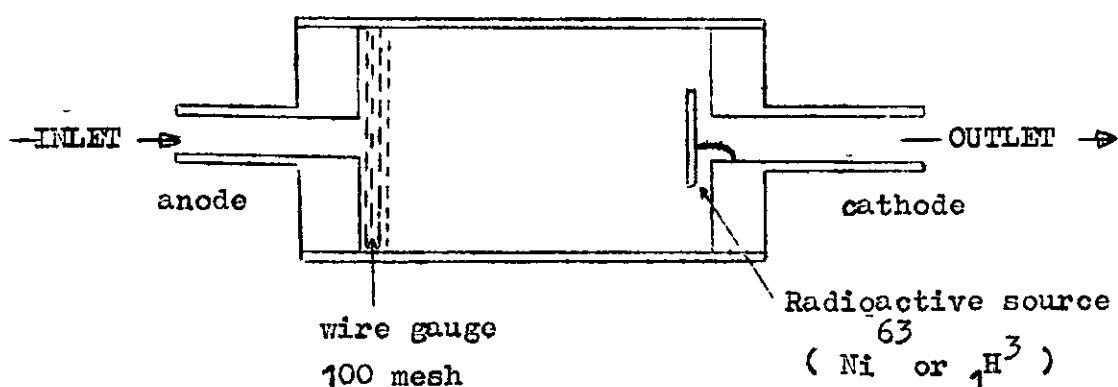


รูปที่ 8 แสดงส่วนประกอบของคิเทคเตอร์แบบ Flame Photometric Detector (27)

หลักการทํางาน เมื่อ carrier gas ซึ่งมีสารตัวอย่างปนอยู่ไหลออกมาจากคอลัมน์แล้ว จะผสมกับออกซิเจนและอากาศ แล้วไหลผ่านเข้าไปใน chamber ด้าน burner ซึ่งมีไฮโดรเจนอยู่เต็ม สารตัวอย่างจะถูกเผาและเปล่งแสงออกมา แสงจะกระทบกระจกโค้งซึ่งจะโฟกัสผ่านกระจกกรองแสงให้ไปตกบน photomultiplier tube ซึ่งแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้มากน้อยตามปริมาณความเข้มของแสง กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งไปขยาย และเข้าเครื่องบันทึกสัญญาณออกมาเป็นพีคอีกทีหนึ่ง กระจกกรองแสงจะเป็นตัวกรองแสงที่มีความยาวคลื่นอื่น ๆ ออกหมด เหลือเฉพาะแสงที่เปล่งออกมาจาก phosphorus ซึ่งมีความยาวคลื่น 526 m μ ใน phosphorus detector หรือที่ความยาวคลื่น 394 m μ ใน sulfur detector เท่านั้นที่ปล่อยให้ไปกระทบกับ photomultiplier tube

2. Electron Capture Detector (ECD)

เป็นเครื่องตรวจจับที่ไวต่อสารประกอบของฮาโลเจน ได้รับการปรับปรุงจนสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์วัตถุที่มีพิษตกค้างได้ดีโดย Lovelock (28)



รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบของ Electron Capture Detector (ECD)

หลักการทํางาน โดยเคลือบ radioaction source เช่น Tritium หรือ ^{63}Ni ไว้บนแผ่น Titanium ซึ่งยึดติดกับขั้วลบของไฟฟ้า ส่วนขั้ว

บวกนั้นจะมีตะแกรงลวดยึดติดเพื่อกระจายกระแสแกสที่ไหลเข้ามา ตะแกรงลวดนี้มีความถี่ประมาณ 100 mc/cm (29) (31)

โดยปกติ H^3 จะแผ่รังสีให้ slow beta อยู่ตลอดเวลา thermal electron ที่เกิดขึ้นนี้จะวิ่งไปยังขั้วบวกตลอดเวลา จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลระหว่างขั้วบวกและขั้วลบอย่างสม่ำเสมอ สมมุติว่าเป็น i_0 ต่อมาเมื่อมีสารตัวอย่างผ่านเข้ามา จะสวนทางกับกระแส thermal electron สารตัวอย่างที่มี electron affinity ที่แตกต่างกัน ก็จะจับกับ electron ดังสมการ



ทำให้ thermal electron ไหลมาถึงขั้วบวกน้อยลง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าในวงจรจึงลดลง สมมุติว่าเป็น i ปรากฏว่าปริมาณกระแสก่อนที่จะมีสารตัวอย่างผ่านเข้ามา (standing current) กับปริมาณกระแสเมื่อมีสารตัวอย่างผ่านเข้ามาในคีเทคเตอร์เป็นไปตามกฎของ Beer คือ

$$i = i_0 e^{-kxc} \dots\dots\dots (20)$$

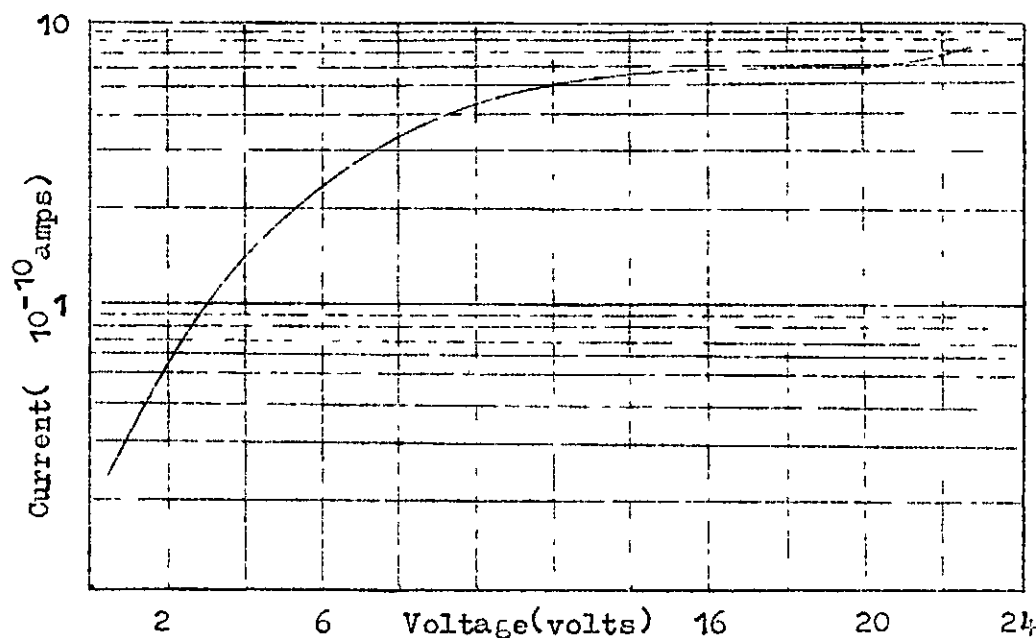
เมื่อ k = ค่าคงที่

x = geometric factor

c = ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

ในการใช้คีเทคเตอร์ชนิดนี้ จะต้องมีการปรับ voltage ระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบให้พอเหมาะเสียก่อน

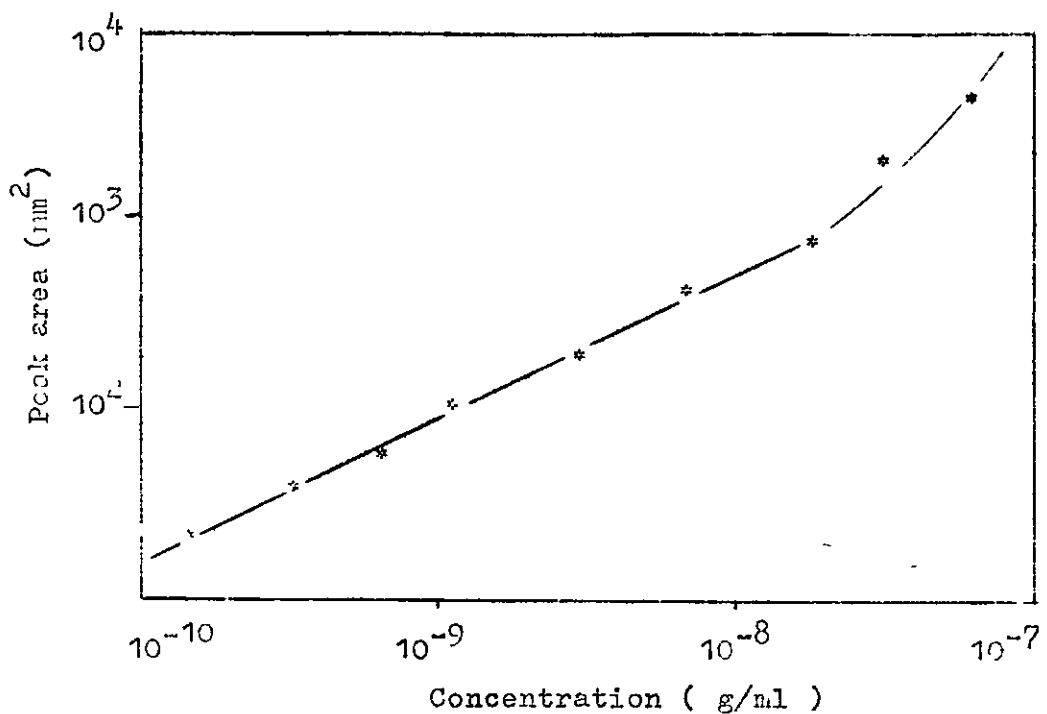
วิธีหา operating voltage ของคีเทคเตอร์นั้นโดยการให้ carrier gas ไหลผ่านคีเทคเตอร์อย่างสม่ำเสมอ แล้วค่อย ๆ เพิ่ม voltage ของคีเทคเตอร์ พร้อมทั้งบันทึกกระแสที่ไหลในวงจร แล้วเอามา plot บนกระดาษกราฟแบบ semi log ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลในวงจรกับความต่างศักย์ระหว่างขั้ว

เมื่อความต่างศักย์ระหว่างขั้วเพิ่ม กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก พอถึงจุดหนึ่งกระแสจะเริ่มคงที่ ไม่ว่าจะเพิ่มความต่างศักย์เท่าไรก็ตาม เรียกจุดนี้ว่า operating voltage ของดีเทคเตอร์ ในรูปที่ 10 คือ 12 โวลต์

ในทางปฏิบัตินั้นเห็นที่ผิด จากการ response ของดีเทคเตอร์จะแปรผันตรงตามความเข้มข้นของสารตัวอย่างในช่วงหนึ่งเท่านั้น ถ้าความเข้มข้นมากหรือน้อยกว่าในช่วงนี้ จะได้กราฟที่ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเบี่ยงเบนไปจาก Beer's Law ดังกราฟรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่พีค กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
 ที่เครื่องจะ response เป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นระหว่าง
 1×10^{-10} ถึง 9.8×10^{-8} g/ml เท่านั้น นอกนั้นจะเบี่ยงเบนไป

สำหรับอุณหภูมิของเครื่องนั้นจะต้องสัมพันธ์กับอุณหภูมิของคอลัมน์
 ถ้าใช้ Tritium เป็น radioactive source อุณหภูมิจะต้องไม่เกิน 200°C
 เพราะ Tritium จะเริ่มระเหยออกมาจาก Titanium ฉะนั้นในปัจจุบัน
 เครื่องแบบ FID จึงนิยมใช้ Ni^{63} เพราะทนความร้อนได้สูง (30)

Temperature Control System

ถ้าได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นแล้วว่าระบบที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิคือ
 sample injector, คอลัมน์ และระบบเครื่องตรวจจับ เพราะทั้ง 3 ระบบนี้
 ต้องการอุณหภูมิที่แน่นอนและสัมพันธ์กันดังกล่าวก่อนแล้วในแต่ละระบบ ดังแผนผังรูป
 ที่ 7 ปัจจุบัน ระบบควบคุมอุณหภูมินี้ได้รับการปรับปรุงให้สามารถปรับอุณหภูมิ
 ได้เองโดยอัตโนมัติ หรือระบบโปรแกรมอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาร
 ผสมที่มีจุดเดือดต่างกันมาก ๆ ผสมอยู่

Recorder

เป็นภาคที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากคิเทคเตอร์ออกมาเป็นกราฟ โดยที่มือสำหรับ plot graph เข้าไป หรืออาจจะแสดงรูปร่างของกราฟออกมาทางออสซิลโลสโคป หรืออาจจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขทางเครื่องพิมพ์อัตโนมัติ แล้วแต่ว่าจะติดตั้งอุปกรณ์ชนิดใดเข้าไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของหน่วยงานที่ใช้ บางแห่งอาจจะนำสัญญาณที่ออกจากคิเทคเตอร์ต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นปริมาณวิเคราะห์ และคุณภาพวิเคราะห์ ซึ่งสะดวกมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการ

การเก็บปลาทัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือปลา 8 ชนิด ปลาน้ำจืด 5 ชนิด คือ ปลาช่อน ปลาดุกค้ำน ปลาทอมไทย ปลาสวาย ปลาตะเพียน และปลาน้ำเค็ม 3 ชนิด คือ ปลาสิ่ญ ปลาดง ปลาทาเคียว

เนื่องจากเลือกใช้ตลาดใหญ่ที่รับปลาจากแหล่งต่าง ๆ กัน จำนวน 5 ตลาด ได้แก่ ตลาดพระโขนง ตลาดพรานนก ตลาดวงเวียนใหญ่ ตลาดบางซื่อ และตลาดสะพานใหม่ ซึ่งอยู่ในเขตต่าง ๆ กันและห่างไกลกัน จึงต้องใช้เวลาในการเก็บปลาทัวอย่าง 2 วันต่อครั้ง โดยเก็บตัวอย่างจากทุกตลาดเดือนละครั้ง ตั้งแต่เดือนกันยายน-ธันวาคม 2518

การเลือกซื้อปลาจากตลาดต่าง ๆ ในแต่ละครั้ง โดยซื้อปลาชนิดละประมาณครึ่งกิโลกรัมจากแม่ค้าหลาย ๆ เจ้าที่ขายปลาชนิดเดียวกันในตลาดนั้น

การเตรียมปลาทัวอย่าง

นำปลามาชอกเกล็ด ล้างให้สะอาด แล้วเอาเฉพาะส่วนที่รับประทานได้มารวบรวมกันให้ละเอียด นำมาซึ่งชนิดละ 20 กรัม เติม $\text{anh. Na}_2\text{SO}_4$ ลงไป 50 กรัม เพื่อถูกน้ำออกจากสารตัวอย่าง โดยนำมาบดคอกเกล็ดกันให้ทั่ว แล้วจึงนำมาม้วนบน การ extraction partition และ clean up

1. Extraction เป็นการสกัดเอาวัตถุที่มีพิษออกมา ซึ่งวัตถุพิษนี้อยู่ในไขมัน การสกัดทำโดย นำเนื้อปลาที่ผสมกับ $\text{anh. Na}_2\text{SO}_4$ แล้วนำมาสกัดใน soxhlet extractor โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ 250 มิลลิลิตร เป็นตัวสกัด เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการ continuous extraction แล้วจึงนำไปลดปริมาณ โดยใช้ flash evaporator ที่อุณหภูมิ 45°C ให้ปิโตรเลียมอีเธอร์ เหลือประมาณ 10 มล.

2. Partition เป็นการแยกเอาส่วนของวัตถุที่มีพิษออกจากส่วนอื่น โดยใช้ acetonitrile เป็นตัวแยก โดย เอาสารละลายที่เหลือ 10 μg . นั้นมาเข้ากับ

acetonitrile ที่อุณหภูมิห้องด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ ในกรวยแยกขนาด 125 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 1 นาที เขย่า 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้อซิโทไนทริลที่อุณหภูมิห้องด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ 30 มิลลิลิตร แล้วแยกเอาเฉพาะส่วนของอะซิโทไนทริล ซึ่งอยู่ชั้นล่าง มาใส่ในกรวยแยกขนาด 1 ลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร สารละลายที่อุณหภูมิห้อง เกือบแห้ง 40 มิลลิลิตรและปิโตรเลียมอีเธอร์ 100 มิลลิลิตร เขย่าตามแนวนอนเป็นเวลา 30-40 วินาที เพื่อจะแยกเอาส่วนของวัตถุที่มีพิษออกจากอะซิโทไนทริลให้มาอยู่ในชั้นของปิโตรเลียมอีเธอร์ แล้วรินชั้นของน้ำที่อยู่ข้างล่างใส่ในกรวยแยกขนาด 1 ลิตร อีกอันหนึ่ง แล้วเติมปิโตรเลียมอีเธอร์ลงไป 100 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่ารุนแรงเป็นเวลา 15 วินาที เพื่อให้วัตถุที่มีพิษที่อาจตกค้างในอะซิโทไนทริลออกมาให้หมด แล้วรินชั้นน้ำทิ้ง เอาชั้นของปิโตรเลียมอีเธอร์รวมกับในกรวยแยกแรก ล้างปิโตรเลียมอีเธอร์ด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร 2 ครั้ง นำมาผ่าน $\text{anh. Na}_2\text{SO}_4$ ล้างกรวยแยกด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ 3 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร นำไปลดปริมาตรด้วย flash evaporator ให้เหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร

3. Clean up เป็นการแยกเอาสารอื่น ๆ ที่จะรบกวนออกให้หมด โดยใช้คอลัมน์ที่บรรจุด้วย Florisil ซึ่งอบที่ 150°C นานเกิน 4 ชั่วโมง ยาว 4 นิ้ว และบรรจุ $\text{anh. Na}_2\text{SO}_4$ อีก 1 นิ้ว prewet ด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ก่อนแล้วจึงเทสารตัวอย่างแล้วใช้ 6% ของไดเอทิลอีเธอร์ในปิโตรเลียมอีเธอร์ 200 มิลลิลิตร เป็นตัวชะเอา aldrin lindane heptachlor heptachlor epoxide p,p' DDE p,p' DDT p,p' TDE o,p DDT ออกมา แล้วจึงใช้ 15% ของไดเอทิลอีเธอร์ในปิโตรเลียมอีเธอร์เป็นตัวชะเอา dieldrin และ endrin ออกมา ซึ่งอัตราการไหลของตัวชะนี้ให้ไหล 2-3 มิลลิลิตร ต่อวินาที นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรให้เกือบแห้งโดย flash evaporator ปริมาตรให้เป็น 5 มิลลิลิตร โดยใช้ hexane เป็น solvent แล้วฉีดเข้าเครื่อง GLC

การทำ recovery

ใช้ mixed standard ของวัตถุที่มีพิษทั้ง 9 ชนิด ที่แต่ละตัวมีความเข้มข้น 10 g/ml โดยใช้ hexane เป็น solvent

นำปลาที่จะทำ recovery ที่บดกับ $\text{anh. Na}_2\text{SO}_4$ มาเติม mixed standard ที่มีความเข้มข้น $10\mu\text{g/ml}$ จำนวน 1 ml แล้วจึงผ่านขั้นตอนการ extraction partition clean up

การทำ control

ทำโดยเตรียมปลา และให้ผ่านขั้นตอนการต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทำ recovery แต่ไม่เติม mixed standard เข้าไป

จากการสกัดวัดปริมาณพิษโดยวิธีนี้ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ recovery ดังนี้

heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	endrin	p,p' TDE	o,p' DDT	p,p' DDT
86 %	102 %	101 %	76 %	99 %	97 %	96 %	94 %	94 %

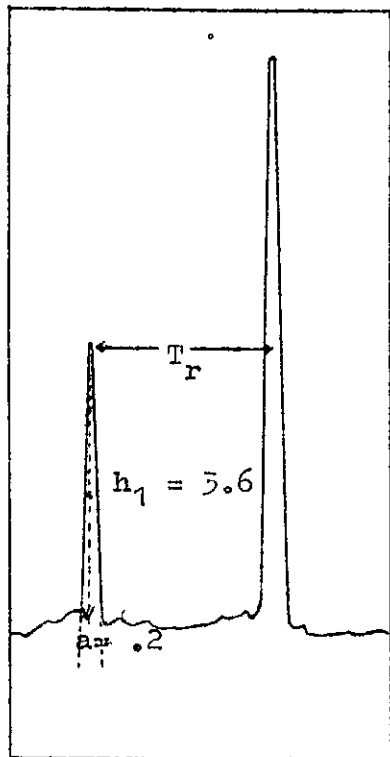
วิธีการคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณวัตถุพิษแต่ละชนิดโดยใช้การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้ peak ของสารตัวอย่างกับสาร standard ดังสูตร

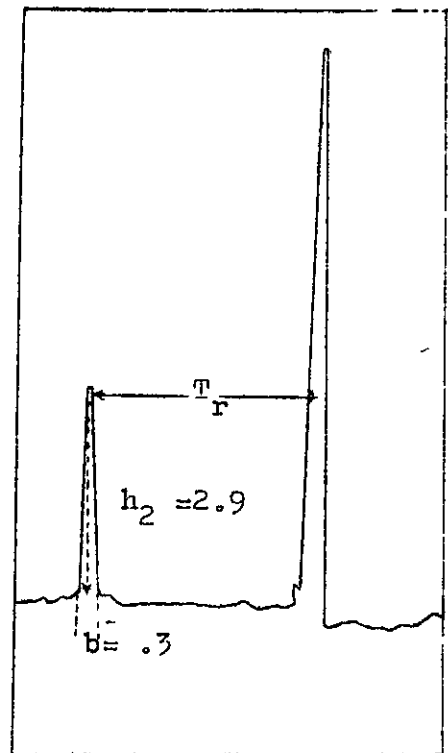
$$\frac{\text{ปริมาณของวัตถุพิษในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณของวัตถุพิษในสาร standard}} = \frac{\text{พื้นที่ใต้ peak ของสารตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ใต้ peak ของสาร standard}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในเครื่อง GLC ข้อมูลที่ได้ออกมาจะเป็น peak ดังภาพ



ก. พีคของ standard p,p' DDT
.06 ng/3 μ l



ข. พีคของ sample/3, μ l

รูปที่ ๑๒ แสดง peak ของ standard และ sample

เมื่อ T_r = retention time

h_1 = ความสูงของ standard, 3.6 ซม.

h_2 = ความสูงของ sample, 2.9 ซม.

a = ฐานของพีค standard, .2 ซม.

b = ฐานของพีค sample, .3 ซม.

เนื่องจากสารชนิดเดียวกัน ค่า retention time ย่อมเท่ากัน

$$\text{พื้นที่ของ standard} = \frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง}$$

$$= \frac{1}{2} \times h_1 \times a$$

$$= \frac{1}{2} \times 3.6 \times 2$$

$$= .36 \quad \text{cm}^2$$

$$\text{ดังนั้นพื้นที่ของ sample} = \frac{1}{2} \times h_2 \times b$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.9 \times .3$$

$$= .435 \quad \text{cm}^2$$

$$\text{พื้นที่ของ standard } .36 \text{ cm}^2 \text{ เป็นปริมาตรสาร} = .06 \text{ ng}$$

จากสูตร

ปริมาณ

$$= \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของ sample} \times \text{ความเข้มข้นของ}}{\text{พื้นที่ใต้พีคของ standard}}$$

$$= \frac{.435}{.36} \times .06 \quad \text{ng}/3 \mu\text{l}$$

แต่ sample ทั้งหมดมีปริมาตร 5 ml (5000 μl)

ดังนั้นปริมาณของวัตถุมีพิษใน

$$= \frac{.435 \times .06 \times 5000}{.36 \times 3 \times 1000} \times 10^{-9} \times 10^3 \quad \text{ng}$$

$$= .1208 \quad \mu\text{g}$$

ปลา 20 g. มีปริมาณสาร = .1208 μg

ปลา 1000 g. มีปริมาณสาร

$$= \frac{.1028 \times 1000}{20} \quad \mu\text{g}$$

$$= \frac{.1208 \times 1000}{20 \times 1000} \quad \text{mg}$$

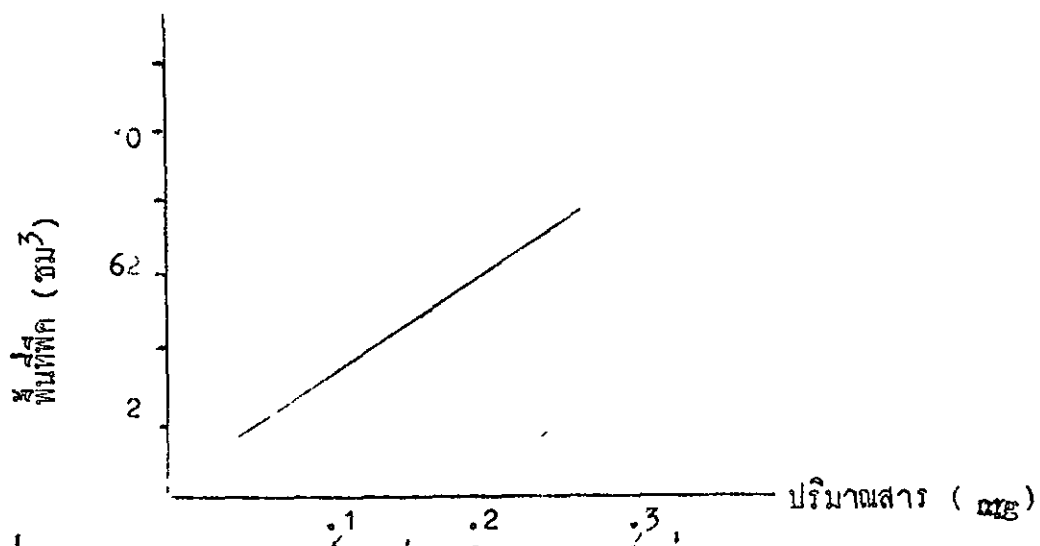
$$= .00604 \quad \text{ppm}$$

การทำ standard curve

เนื่องจากการวิเคราะห์โดย GLC นี้ ถ้าหากสารตัวอย่างมีปริมาณมากเกินไปหรือน้อยเกินไป ก็จะทำให้การวิเคราะห์วิธีนี้ ได้ผลไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงต้องหาช่วงของความเข้มข้นของสาร ที่เครื่องมือชนิดนั้น response ได้อย่างน่าเชื่อถือ

วิธีการทำ standard curve ของเครื่อง GLC ทำโดย ฉีดสาร standard ที่ทราบความเข้มข้น ซึ่งเครื่องมือก็จะแสดงข้อมูลในรูปของพีค แล้วคำนวณหาพื้นที่ใต้พีค เมื่อนี้คสาร standard ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน นำพื้นที่ใต้พีค และความเข้มข้นของสาร standard มา plot กราฟ ก็จะทราบช่วงที่เครื่องมือ response ได้ดี โดยอยู่ในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง เรียกช่วงนี้ว่า

Linear range



รูปที่ 13 แสดง Linear range

ถ้าความเข้มข้นมากกว่าหรือน้อยกว่าในช่วง Linear range ก็จะทำให้ได้ปริมาณที่คลาดเคลื่อนจากปริมาณที่แท้จริงไป

ดังนั้นในการฉีกสาร standard หรือ sample นั้น จึงต้องเลือกความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงของพื้นที่ได้ฟิค

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย (mean) โดยใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ = คือค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชที่พบในปลา

$\sum X$ = คือผลรวมของปริมาณวัตถุดิบพืชจำนวน N ตัวอย่าง

N = คือจำนวนตัวอย่างปลา

การหาค่าเฉลี่ยนี้ หาค่าเฉลี่ยของ

- 1.1 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง จากตลาดพรานนก
- 1.2 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง จากตลาดวงเวียนใหญ่
- 1.3 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง จากตลาดพระโขนง
- 1.4 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง จากตลาดบางซื่อ
- 1.5 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง จากตลาดสะพานใหม่
- 1.6 หาค่าเฉลี่ยของปริมาณวัตถุดิบพืชแต่ละชนิดในการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง จากทุกตลาด

ตาราง 1 แสดงปริมาณวัตถุที่มีพิษโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างจากตลาดพรานนก
ระหว่างเดือน กันยายน - ธันวาคม

ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	endrin	p,p' TDE	o,p' DDT	p,p' DDT
ปลาช่อน	tr	.0055	.0004	.0079	.0012	.0113	.0144	.tr	.0096
ปลาตะเพียน	.0042	.0072	.0019	.0225	.0199	.0055	.0078	tr	.0277
ปลาหมอไทย	.0027	.0012	.0003	.0087	.0003	.0047	.0039	tr	.0073
ปลาสร้อย	.0008	.0066	.0009	.0181	.0113	.0030	.0367	tr	.0212
ปลาทูคันทัน	tr	tr	.0013	.0298	.0082	.0045	.0500	.0052	.0143
ปลาคาเคียว	.0010	.0007		.0263	.0003	.0047	.0047	tr	.0089
ปลาแกง	.0038	.0010	.0002	.0021	.0009	.0129	.0033	tr	.0027
ปลาสิ่กุน	.0046	tr	tr	.0005	.0043	.tr	.0026	tr	.0056
$\bar{x}$	.0021	.0028	.0014	.0145	.0058	.0058	.0162	.0006	.0130
s	.0013	.0025	.0018	.0098	.0065	.0033	.0164	.0016	.0078

* * * aldrin = สารที่มีสารออกฤทธิ์คือ 1, 2, 3, 4, 10, 10 - hexachloro-1,4 ,
-4a,5,8,8a- hexahydro -1,4-endo -exo-5,8-dimethano
naphthalene ไม่น้อยกว่า 95 %

DDT = dichloro diphenyl trichloroethane

DDE = p,p' dichloro diphenyl ethylene

- dioldra = 1,2,3,4,10,10 - Hexachloro - exo - 6,7 - epoxy - 1,4,5,6,7,8,8a - octahydro - 1,4 - endo - exo - 5,3 - dimethanonaphthalene with not over 15% of related compounds
- endria = 1,2,3,4,10,10 - Hexachloro - 6,7 - epoxy - 1,4 - 4,5,6,7,8,8a - octahydro - 1,4 - endo, endo - 5,3 - dimethanonaphthalene with Hexachloroepoxyoctahydro - endo, endo - dimethanonaphthalene
- heptachlor = 1,4,5,6,7,8 - heptachloro - 2a,4,7,7a - tetrahydro-4,7 - methanonandane
- PDE = 2,2 - Di (p - chlorophenyl) - 1,1 dichloroethane
- heptachlor epoxide = 1,4,5,6,7,8,8a - heptachloro - 2,3 - epoxy - 2,3,3a,4,7,7a - hexahydro - 4,7 - methanonandane

ตาราง 2 แสดงปริมาณวัตถุที่มีพิษแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างจากตลาด
วงเวียนใหญ่ ระหว่างเดือน กันยายน - ธันวาคม

ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	endrin	p,p' TDE	o,p' DDT	p,p' DDT
ปลาช่อน	.0028	.0005	tr	.0047	.0072	.0050	.0128	-	.0107
ปลาคะเพียน	.0027	.0009	.0008	.0057	.0112	.0141	.0249	tr	.0148
ปลาหมอไทย	.0004	.0030	tr	.0036	.0022	.0040	.0175	tr	.0053
ปลาสวาย	.0086	.0067	.0025	.0158	.0141	.0099	.0504	tr	.0466
ปลาอุกค่าน	.0050	tr	tr	.0038	.0024	.0019	.0056	tr	.0060
ปลาตะเพียน	.0030	.0017	tr	.0022	.0017	.0079	.0111	.0008	.0103
ปลาแกง	.0023	.0045	-	.0011	tr	.0113	.0042	.0025	.0062
ปลาสีเงิน	.0114	.0044	tr	.0056	.0009	.0051	.0050	.0002	.0073
$\bar{x}$	.0045	.0027	.0004	.0053	.0050	.0074	.0164	.0004	.0134
s	.0038	.0021	.0007	.0043	.0045	.0043	.0143	.0007	.0128

ตาราง 3 แสดงปริมาณวัตถุมีพิษแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่าง
จากตลาดพระโขนง ระหว่างเดือน กันยายน - ธันวาคม

ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	endrin	p,p' DDD	o,p' DDT	p,p' DDT
ปลาช่อน	.0003	.0033	. tr	.0020	.0014	.0055	.0083	.0011	.0036
ปลาทะเพียน	.0099	.0009	.0107	.0082	.0004	.0098	.0281	tr	.0063
ปลาหมอไทย	.0038	.0027	.0006	.0091	.0069	.0103	.0397	. tr	.0324
ปลาสวาย	.0034	.0041	. tr	.0132	.0322	.0060	.0430	tr	.0114
ปลาทูก้าน	.0042	.0019	.0002	.0032	.0046	.0123	.0107	tr	.0073
ปลาทากีขาว	.0025	.0033	.0002	.0008	.0004	.0167	.0035	.0011	.0042
ปลาแดง	.0056	.0024	.0031	.0008	.0002	.0057	.0110	.0008	.0054
ปลาสิ่ญ	.0180	.0034	tr	.0013	.0030	.0008	.0124	.0008	.0072
$\bar{x}$	.0060	.0024	.0018	.0048	.0061	.0083	.0203	.0004	.0097
σ	.0051	.0008	.0032	.0043	.0099	.0045	.0146	.0003	.0088

ตาราง 4 แสดงปริมาณวัตถุมีพิษแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างจากตลาด
บางซื่อ ระหว่างเดือน กันยายน - ธันวาคม

ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	o,p' DDT
ปลาช่อน	.0046	.tr	.0033	.0063	.0015	.0046		.0066	-
ปลาทะเพียน	.0038	.0045	tr	.0052	.0140	.0598	.0252	tr	.0599
ปลาหมอไทย	.0040	.0010	tr	.0048	.0046	.0080	.0061	tr	.0066
ปลาสวาย	.0142	.0208	.0014	.0540	.0438	.0093	.1706	tr	.0555
ปลาอุก้าน	.0057	.0024	.0008	.0041	.0039	.0137	.0110	tr	.0104
ปลาคาเตียว	.0054	.0026	.0003	.0029	.0044	.0041	.0065	tr	.0089
ปลาแกง	.0067	.0054	.0003	.0015	.0016	.0146	.0044	.0007	.0073
ปลาสิ่กน	.0011	.0007	tr	.0017	.0008	.0016	.0034	.0010	.0067
x	.0056	.0047	.0008	.0101	.0093	.0145	.0283	.0010	.0194
๘	.0035	.0061	.0009	.0166	.0136	.0089	.0530	.0091	.0212

ตาราง 5 แสดงปริมาณวัตถุมีพิษแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างจาก
ตลาดสะพานใหม่ ระหว่างเดือน กันยายน - ธันวาคม

ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	α-chlorin	γ-DDT	p,p' TDE	o,p' DDT	p,p' DDT
ปลาช่อน	.0019	.0022	.0012	.0007	.0028	.0034	.0095	tr		.0083
ปลาตะเพียน	.0007	.0025	tr	.0043	.0056	.0052	.0085	.0010		.0089
ปลาหมอไทย	.0016	.0016	tr	.0036	.0047	.0047	.0171	.0007		.0090
ปลาสวาย	.0076	.0026	.0010	.0220	.0079	.0030	.0096	.0016		.0057
ปลาดุกบ้าน	.0102	.0083	tr	.0250	.0062	.0148	.0073	.0020		.0139
ปลาทาเคียว	.0075	.0024	tr	.0182	.0014	.0134	.0149	.0009		.0171
ปลาแดง	.0101	.0018	.0006	.0008	.0008	.0135	.0019	tr		.0030
ปลาสีเงิน	.0082	.0032	.0133	.0018	.0030	.0062	.0034	.0034		.0057
$\bar{x}$	.0059	.0030	.0020	.0095	.0040	.0080	.0030	.0012		.0091
s	.0036	.0020	.0040	.0096	.0023	.0046	.0041	.0008		.0043

ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยของวัตถุมีพิษแต่ละชนิดในปลา ระหว่างเดือน
กันยายน - ธันวาคม

ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin	endrin	p,p' TDE	o,p' DDT	p,p' DDT
ปลาช่อน	.0019	.0016	.0010	.0043	.0028	.0060	.0090	.0015	.0067
ปลาตะเพียน	.0043	.0032	.0027	.0092	.0102	.0090	.0189	.0002	.0237
ปลาหมอไทย	.0025	.0019	.0002	.0060	.0037	.0054	.0121	.0001	.0121
ปลาสวาย	.0069	.0076	.0012	.0246	.0219	.0062	.0633	.0003	.0281
ปลาอุกค้ำ	.0050	.0025	.0005	.0132	.0051	.0094	.0169	.0012	.0104
ปลาคาเคียว	.0039	.0021	.0001	.0100	.0016	.0094	.0081	.0006	.0063
ปลาแดง	.0057	.0030	.0008	.0013	.0032	.0116	.0050	.0008	.0065
ปลาสีเงิน	.0087	.0023	.0026	.0022	.0024	.0027	.0054	.0011	.0065
$\bar{x}$	.0048	.0030	.0041	.0088	.0061	.0075	.0137	.0007	.0125

สรุปผลการทดลอง

จากตาราง 1 - 5 พบว่าปลาแต่ละคลาที่ปริมาณวัตถุมีพิษแต่ละชนิดโดยเฉลี่ยดังนี้

ชนิดของวัตถุมีพิษ	คลา				
	พรวนบก	วงเวียนใหญ่	พระโขนง	บางซื่อ	สะพานใหม่
heptachlor	.0021	.0045	.0060	.0056	.0059
aldrin	.0028	.0027	.0024	.0047	.0030
heptachlor epoxide	.0041	.0004	.0018	.0008	.0020
p,p' DDT	.0145	.0035	.0048	.0101	.0095
dieldrin	.0058	.0050	.0061	.0093	.0040
endrin	.0058	.0074	.0083	.0145	.0081
p,p' TDE	.0162	.0164	.0203	.0283	.0090
o,p' DDT	.0006	.0004	.0004	.0010	.0012
p,p' DDT	.0130	.0134	.0097	.0194	.0091

ตาราง 7 แสดงปริมาณวัตถุมีพิษในปลาจากตลาดทั้ง 5 ตลาด

ชนิดของวัตถุ มีพิษ	ปริมาณเฉลี่ย		จากตลาด	ปลาที่มีปริมาณโดยเฉลี่ย	
		(ppm)		ชนิด	ปริมาณ (ppm)
heptachlor	มากที่สุด	.0060	พระโขนง	ปลาสิ่กุน	.0180
	น้อยสุด	.0021	พรานนก	ปลาช่อน, ปลาตุ๊กคาน	tr
aldrin	มากที่สุด	.0047	บางซื่อ	ปลาสรวย	.0208
	น้อยสุด	.0024	พระโขนง	ปลาตะเพียน	.0009
heptachlor epoxide	มากที่สุด	.0020	สะพานใหม่	ปลาสิ่กุน	.0133
	น้อยสุด	.0004	วงเวียนใหญ่	ปลาสิ่กุน, ปลาหมอไทย ปลาแกง, ปลาตาเดียว	tr
p,p' DDE	มากที่สุด	.0145	พรานนก	ปลาตุ๊กคาน	.0298
	น้อยสุด	.0048	พระโขนง	ปลาตาเดียว, ปลาแกง	.0008
dieldrin	มากที่สุด	.0033	บางซื่อ	ปลาสรวย	.0438
	น้อยสุด	.0040	สะพานใหม่	ปลาแกง	.0008
endrin	มากที่สุด	.0045	บางซื่อ	ปลาตะเพียน	.0598
	น้อยสุด	.0058	พรานนก	ปลาสิ่กุน	tr
p,p' TDE	มากที่สุด	.0283	บางซื่อ	ปลาสรวย	.1706
	น้อยสุด	.0090	สะพานใหม่	ปลาแกง	.0019
o,p' DDT	มากที่สุด	.0012	สะพานใหม่	ปลาสิ่กุน	.0034
				ปลาหมอไทย, ปลาตะเพียน	.
	น้อยสุด	.0004	พระโขนง	ตะเพียน ช่อน	tr
p,p' DDT			วงเวียนใหญ่	สรวย หมอไทย	
				ตุ๊กคาน สรวย	
	มากที่สุด	.0194	บางซื่อ	ปลาตะเพียน	.0599
	น้อยสุด	.0091	สะพานใหม่	ปลาแกง	.0030

จากการวาง 6 พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วปลาแต่ละชนิดจะมีวัฏภูมิพิษแต่ละชนิดที่มีค่าสูงสุด ดังนี้

ปลาช่อน	มีวัฏภูมิพิษชนิด	O,P DDT	มากที่สุด (.0015 ppm)
ปลาสวาย	มีวัฏภูมิพิษชนิด	aldrin	มากที่สุด (.0076 ppm)
ปลาสวาย	มีวัฏภูมิพิษชนิด	p,p' DDE	มากที่สุด (.0246 ppm)
ปลาสวาย	มีวัฏภูมิพิษชนิด	dieldrin	มากที่สุด (.0219 ppm)
ปลาสวาย	มีวัฏภูมิพิษชนิด	p,p' TDE	มากที่สุด (.0633 ppm)
ปลาสวาย	มีวัฏภูมิพิษชนิด	p,p' DDT	มากที่สุด (.0281 ppm)
ปลากะเพียน	มีวัฏภูมิพิษชนิด	heptachlor epoxide	มากที่สุด (.0027 ppm)
ปลาสิ่ญ	มีวัฏภูมิพิษชนิด	heptachlor	มากที่สุด (.0007 ppm)
ปลาทาเคียว	มีวัฏภูมิพิษชนิด	endrin	มากที่สุด (.0116 ppm)

การอภิปรายผล /

จากการหาค่าเฉลี่ยของวัตถุมีพิษแต่ละชนิดในปลาต่าง ๆ กันดังตารางแสดง ให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วปลาจากตลาดในกรุงเทพ ทั้ง 8 ชนิดที่ทำการวิเคราะห์จะเห็นว่า ปลาสวายมีปริมาณวัตถุมีพิษที่มีฤทธิ์ตกค้างนาน หลายชนิด คือ p,p' DDE (.0246 ppm) dieldrin (.0219 ppm), p,p' TDE (.0633 ppm), p,p' DDT (.0281 ppm) และมีปริมาณสูง น่าจะเป็นข้อที่พึงระมัดระวังในการรับประทานปลานชนิดนี้เข้าไป ทั้งนี้เนื่องจากว่า ปลาสวายเป็นปลาที่มีอายุมากกว่าปลาชนิดอื่น มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่วัตถุมีพิษจะเข้าไปสะสมในเนื้อปลามาก

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration, FDA) กำหนดขีดปลอดภัยของอาหารที่มีวัตถุมีพิษประเภทคลอริเนไธไฮโดรคาร์บอนให้ไม่เกิน .01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน จะเห็นได้ว่าปลาสวายมีปริมาณวัตถุมีพิษที่เกินขีดจำกัด

ส่วนในปลาช่อน ที่มีวัตถุมีพิษชนิด o,p DDT มากที่สุด (.0015 ppm) และปลาสิญ มีวัตถุมีพิษชนิด heptachlor สูงสุด (.0087 ppm)

ในปลาคาเคียว ที่มีวัตถุมีพิษชนิด endrin มากที่สุด (.0116 ppm) ซึ่งก็พบว่าเกินขีดปลอดภัยที่ FDA กำหนดให้

จะเห็นได้ว่าปลาสิญ และปลาคาเคียวซึ่งเป็นปลาน้ำเค็ม 2 ใน 3 ชนิด ที่สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์นั้น พบปริมาณวัตถุมีพิษ ชนิด heptachlor และ endrin สูงกว่าปลาน้ำจืดทุกชนิดที่วิเคราะห์ จะแสดงให้เห็นว่า แหล่งน้ำเปิด เช่นทะเล มหาสมุทร มีวัตถุมีพิษชนิดนี้ในปริมาณที่มากกว่าในแหล่งน้ำปิด เช่น แม่น้ำ ลำคลอง ซึ่งควรจะหาทางปรับปรุงแก้ไข เพื่อป้องกัน หรือลดปริมาณวัตถุมีพิษ ซึ่งนับวันจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

จากผลการทดลองหาวัตถุมีพิษของปลาแต่ละชนิดในตลาด จะพบว่าวัตถุมีพิษในปลานั้น น่าขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของปลา คือ น้ำ และพืชผักในน้ำ

ข้อผิดพลาดจากการทดลอง

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่ามี ปลาตัวอย่างที่วิเคราะห์ไม่ได้อยู่ 7% ทั้งนี้เนื่องจาก

1. สารตัวอย่างมีน้ำผสมอยู่ด้วย เนื่องจาก $\text{anh. Na}_2\text{SO}_4$ ที่เป็นตัวดูดน้ำออกจากสารตัวอย่าง ดูดน้ำออกไม่หมด ซึ่งน้ำจะมีผลต่อการวิเคราะห์โดยวิธี

Gas liquid chromatography มาก

2. การเปื้อน (contaminate) จากสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการแยกทั้งหมด ดังนั้นจึงควรใช้สารเคมีที่มั่นใจได้ว่าไม่มีสารอื่นมา contaminate

3. ความผิดพลาดเนื่องจากเตรียมสาร การสะกัด การใช้เครื่องมือ ซึ่งถือว่าเป็น personal error

บทที่ 5

บทย่อ สรุป และข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมาย

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของวัตถุมีพิษชนิดคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน 9 ชนิดคือ แอลกรีน เอธกรีน คีลกรีน เฮพตาคลอ เฮพตาคลออีพ็อกไซด์ พารา - พารา ดีดีอี พารา-พารา ดีดีที ออโท-พารา ดีดีที และ พารา-พารา ดีดีที ในปลาน้ำจืดและปลาน้ำเค็ม

กลุ่มตัวอย่าง

ใช้ปลาน้ำจืด 5 ชนิดคือ ปลาช่อน ปลาหมอไทย ปลาทะเพียน ปลาตุ๊กต่าน ปลาสวาย ปลาน้ำเค็ม 3 ชนิดคือ ปลาทาเคียว ปลาแดง ปลาสีğun

วิธีดำเนินการ

สกัดเอาวัตถุมีพิษออกจากปลาโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ แยกส่วนวัตถุมีพิษออกมาโดยอาซิโตไนตริล ใช้พลอริซิลกำจัดสิ่งสกปรกออกจากสารตัวอย่าง และใช้ 6 % และ 15 % ของไคเอทซิลอีเทอร์ในปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวชะเอาวัตถุมีพิษออกมา

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

เครื่อง Gas liquid chromatography แบบ Tracor 222 ของกองวิจัย วัตถุมีพิษ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้ค่าเฉลี่ย (mean) เพื่อเปรียบเทียบวัตถุมีพิษในปลาแต่ละตลาดและตลาดเดียวกัน และใช้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) เพื่อหาค่าความเบี่ยงเบนของวัตถุมีพิษ

ผลการทดลอง

พบว่าในปลา 8 ชนิด จาก 5 ตลาดในเขตกรุงเทพมหานคร มีปริมาณของวัตถุมีพิษ โดยเฉลี่ยดังนี้

ตาราง 8 แสดงปริมาณวัตถุมีพิษที่มีมากที่สุดในปลาแต่ละชนิด และปริมาณโดยเฉลี่ยในปลา, ...
ทุกชนิด

วัตถุมีพิษ	ปลาที่มีวัตถุมีพิษโดยเฉลี่ยมากที่สุด	ปริมาณวัตถุมีพิษโดยเฉลี่ยในปลาทุกชนิด (ppm)
heptachlor	ปลาสิ่กุน	.0048
aldrin	ปลาสรวย	.0030
hep.epoxide	ปลาตะเพียน	.0014
p,p' DDE	ปลาสรวย	.0088
dieldrin	ปลาสรวย	.0061
endrin	ปลาคาเคียว	.0075
p,p' TDE	ปลาสรวย	.0173
o,p DDT	ปลาช่อน	.0007
p,p' DDT	ปลาสรวย	.0125

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะได้ศึกษาวัตถุมีพิษที่สะสมในปลาในช่วงระยะเวลาต่อไป เพื่อจะได้ทราบถึงอัตราการเพิ่ม หรือลดของวัตถุมีพิษในปลา เกี่ยวข้องไปถึงการใช้วัตถุมีพิษในทางเกษตรกรรม จะได้หาทางป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการสะสมของวัตถุมีพิษในปลาชนิดต่างๆ
2. ในการศึกษาหาปริมาณวัตถุมีพิษในครั้งต่อไป ควรจะเก็บปลาค้างคาวอย่างที่ได้จากบริเวณที่ต้องการจะศึกษาจริงๆ เพื่อจะได้ศึกษาข้อมูลที่ต้องการ
3. ควรศึกษาวิเคราะห์หาวัตถุมีพิษ ในปลาน้ำเค็มที่มีขนาดใหญ่และมีอายุมาก เพื่อจะได้ทราบถึงปริมาณวัตถุมีพิษว่ามีเกินขีดปลอดภัยหรือไม่ และเพื่อเปรียบเทียบปริมาณวัตถุมีพิษในปลาน้ำจืด ที่มีขนาดและอายุใกล้เคียงกัน
4. ในการวิเคราะห์ครั้งนี้พบพิษของสารที่ไม่ทราบหลายพิษซึ่งเป็นพิษที่แยกอย่างชัดเจนและมีปริมาณมาก ซึ่งควรจะได้ตรวจสอบว่าเป็นสารใด มีพิษร้ายแรงหรือไม่

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

1. ประยูร กีมา วัตถุมีพิษที่ใช้ในการเกษตรและสาธารณสุข กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพมหานคร 2517 หน้า 1-2, 14
2. สมจิตต์ วิริยานนท์ อันตรายจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ โรงพยาบาลราชวิถี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 2516 หน้า 46-52
3. สุเมีย คฤหาณู "การหาปริมาณพิษตกค้างของ ~~DDT~~ ในปลาน้ำจืดในเขต กรุงเทพมหานคร" วิทยาศาสตร์การเกษตร สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร 2518, 56 หน้า
4. Mattick, L. R and Szymanski, H. A Lecture on Gas Chromatography , Plenum Press, New York, 1-13 pp, 1965
5. Holden, Alan V. "Mercury and Organochlorine Residue Analysis of Fish and Aquatic Mammals" Pesticide Science 4: 399-408 pp, 1973
6. Pryde, Lucy T. Environmental Chemistry An Introduction Cummings Publishing Company, California, 244 p, 1973
7. Holden, A.V "Organochlorine Insecticide Residue in Salmonid Fish" Journal of Applied Ecology, 45-53 pp, 1966
8. Lovelock, J. E and Lipsky, S.R Journal of American Chemistry Society 82 : 431 , 1960
9. "พระราชบัญญัติวัตถุมีพิษ พศ. 2510" ราชกิจจานุเบกษา 84(23) : 118 22 กุมภาพันธ์ 2510
10. Recorder Serveys "Occurence of Residues" Organochlorine Pesticide in the Environment, WashingD.C. 2-3 p.p . October 1969

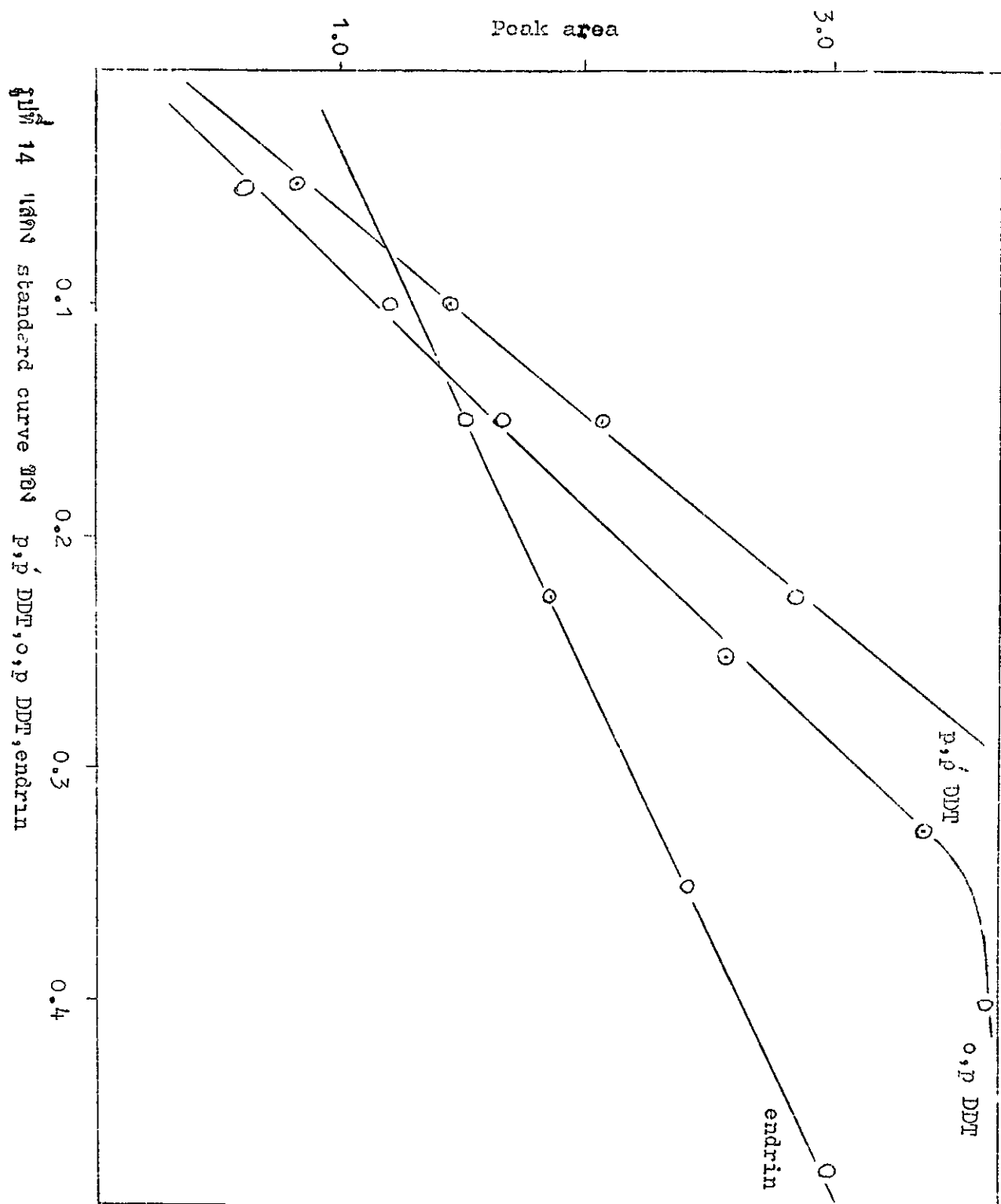
11. Henderson, Croswell ; Johnson, Wendell L. and Inglis, Anthony
"Organochlorine Insecticide Residues in Fish"
Pesticides Monitoring Journal 145-154 pp, 3(3)
December, 1969
12. Porter, Mildred L. ; Young, Susan J.V and Burke, Jerry A.
"A Method for the Analysis of Fish, Animal and
Poultry Tissue for Chlorinated Pesticide Residues"
J. AOAC 1300-1303 pp, 53(6) , 1970
13. Hesselberg, R.J and Johnson J.L "Column Extractions of
Pesticides from Fish, Fish Food and Mud" Bull.
Environ. Contam. Toxic. 115-120 pp, 7(2-3), 1972
14. Hadorn, H and Zuercher, K "Isolation of Extracts for the
Determination of Insecticide Residue in Various
Foodstuff' Analyt. Abstr. 4112, 25(6), 1973
15. Veith, Gilman D ; Kveht, Douglas and Rosenthal, Jeffy
"Preparative Method for Gas Chromatographic/Mass
Spectral Analysis of Trace Quantities of Pesticides
in Fish Tissue J. AOAC , 1-5 pp, 58(1) , 1975
16. Jeffery, P.G and Kipping, P.J. Gas Analysis by Gas
Chromatography, Pergamon Press, New York, 1972, p 3
17. Edwards, D.I Chromatography ; Principle and Techniques
J.W Assosmith Ltd , London , 1970, 11-16 pp
18. Skoog, Douglas A, and West, Donald M. Principle of
Instrumental Analysis, Holt, Rinechart and Winston,
Inc, New York , 1971, 640 p
19. Mc Nair, H.M and Bonelli , E.J Basic Gas Chromatography
Varian Aerograph, California, 1968, 21-36 pp
20. Jones, W.L and Kieselbach, R Analytical Chemistry 30:1590,
1958

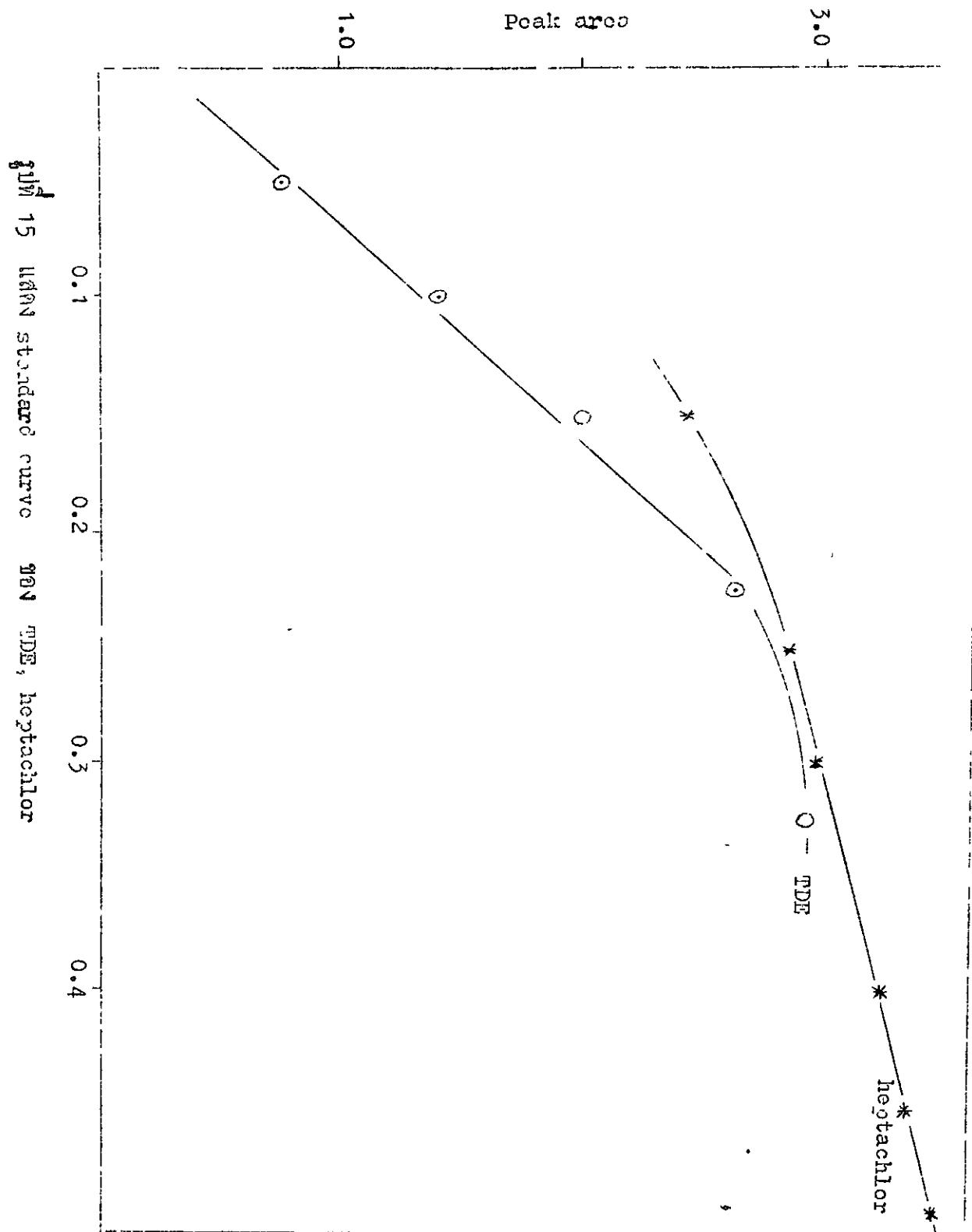
- A
21. Van Deemter, J.J; Zuiderweg, F.J. and Klinkenberg, A.
Chemical Engineering Science 5:271 , 1956
 22. Glueckauf, E. Ion Exchange and It's Applications Society
of Chemical Industry, London , 34 p, 1955
 23. Gudzinowicz, B.J. The Analysis of Pesticides, Herbicides
and Related Compounds Using the Electron Affinity
Detector Jarrell-Ash Co., Waltham, Mass ,27-35 p, 1965
 24. Kevlemans, A.I.M. Gas Chromatography Reinhold Public Co.,
New York 102-121 p , 1957
 25. Govw, T.H. Guide to Modern Methods of Instrumental Analysis
John Wiley & Son Inc., New York, 223-229 pp, 1972
 26. Walker, John Q and Others Chromatographic System Academic
Press, New York and London , 168-170 pp, 1972
 27. C. H Hartman, Analytical Chemistry 43, 52-53 pp, 1971
 28. Lovelock, J.E and Others Gas Chromatography Academic Press,
Inc., New York, 219-229 pp, 1962
 29. Hart, F. Leslie and Fisher, Harry Johnstone "Special
Instrumental Method" Modern Food Analysis USA,
463-464 pp , 1971
 30. Williams, I.H Journal of Association Official of Analytical
Chemists, 51:64 , 1964
 31. Zweig, Guhter and Sherma, J. Analytical Methods for
Pesticide and Plant Growth regulator Academic Press,
London, 71 - 73 p. ,1972

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

Standard curve ของวิตามินอี





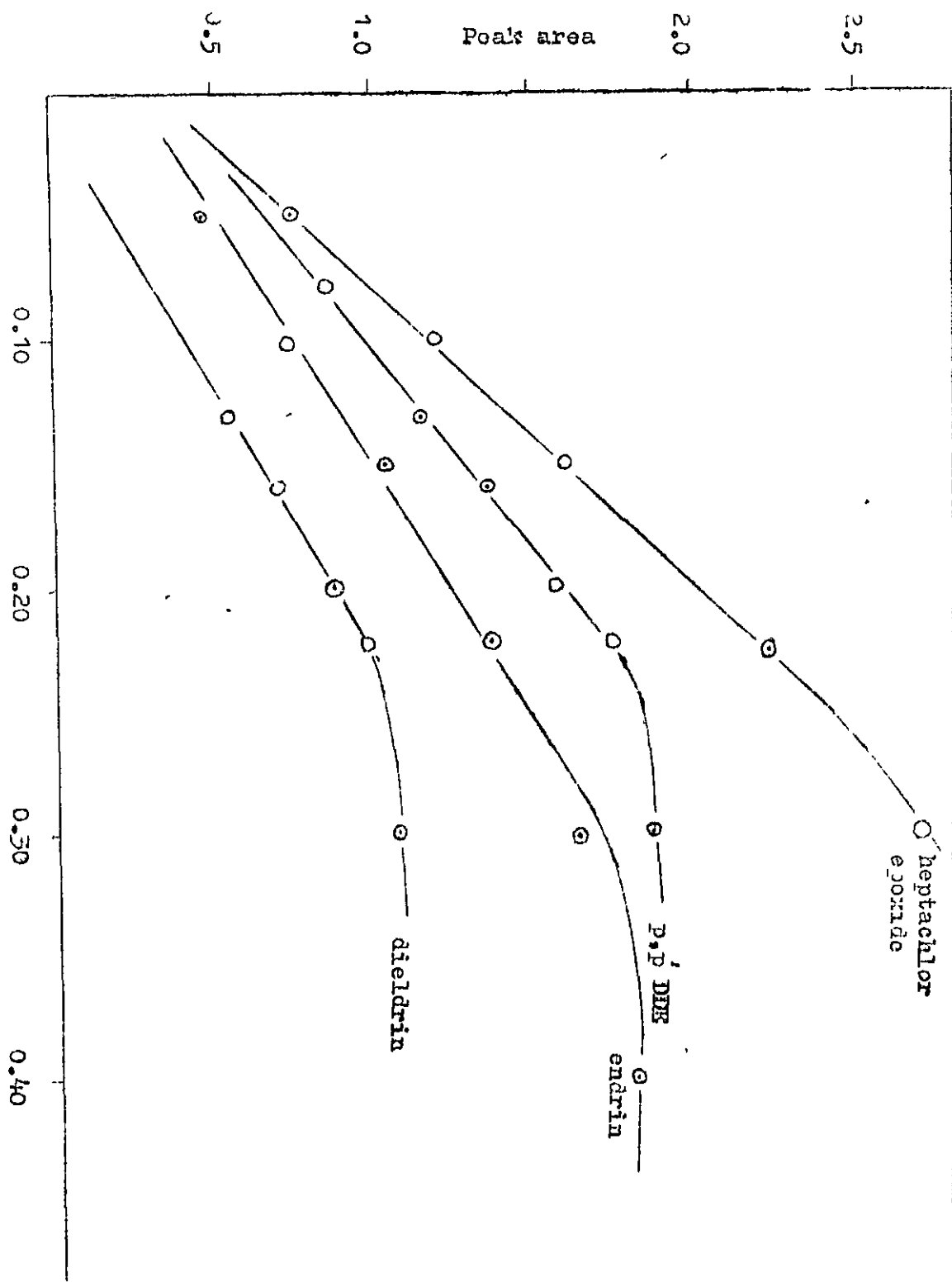


Fig. 15 Standard curve for dieldrin, endrin, heptachlor epoxide, p,p' DDE

ภาคผนวก ข
แสดงปริมาณวัตถุดิบที่ตกค้างในปลา

ตาราง ๑ แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุมีพิษตกค้างที่พบในปลา ครั้งที่ 1

เดือนกันยายน พ.ศ. 2518

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				
			heptachlor	dieldrin	heptachlor epoxide	DDE	dieldrin
1	พรานนก	ปลาช่อน	-	tr.	tr.	.0236	.0029
2		ปลาตะเพียน	.0014	tr.	-	.0100	-
3		ปลาหมอไทย	.0107	-	.0012	.0222	tr.
4		ปลาสวาย	-	tr.	tr.	.0280	tr.
5		ปลาดุกค้ำ	tr.	tr.	tr.	.1112	tr.
6		ปลาทาเคียว	tr.	.0021	tr.	.0758	-
7		ปลาแดง	.0077	.0009	tr.	.0047	tr.
8		ปลาสีเงิน	.0065	tr.	tr.	tr.	.0114
9	วงเวียนใหญ่	ปลาช่อน	.0066	.0014	-	.0124	.0144
10		ปลาตะเพียน	.0080	tr.	-	.0140	.0202
11		ปลาหมอไทย	tr.	tr.	tr.	tr.	.0088
12		ปลาสวาย	.0103	-	.0013	.0238	.0297
13		ปลาดุกค้ำ	.0057	tr.	-	.0053	.0070
14		ปลาทาเคียว	.0057	.0006	-	.0030	.0013
15		ปลาแดง	.0048	tr.	-	.0042	tr.
16		ปลาสีเงิน	.0258	.0029	-	.0098	tr.

tr = ปริมาณน้อยกว่า .0001 ppm

* = วิเคราะห์ไม่ได้

เบอร์	ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
1	.0081	.0245	tr	.0146	สุพรรณบุรี
2	.0023	tr	tr	.0056	นครสวรรค์
3	tr	.0078	tr	.0120	สมุทรปราการ
4	tr	.0002	tr	.0010	สะพานค้ำ กรุงเทพฯ
5	.0063	.0120	.0158	.0023	ปากน้ำ สมุทรปราการ
6	.0079	.0066	tr	.0167	มหาชัย สมุทรสาคร
7	.0370	-	tr	.0040	มหาชัย สมุทรสาคร
8	tr	.0032	tr	.0022	มหาชัย สมุทรสาคร
9	.0067	.0266	-	.0100	สะพานปลา
10	.0057	.0224	-	.0123	-
11	tr	.0076	tr	.0037	แม่น้ำแม่กลอง สมุทรสงคราม
12	.0045	.0160	-	.0158	-
13	.0014	.0074	tr	.0020	สะพานปลา
14	-	.0022	-	.0020	มหาชัย สมุทรสาคร
15	-	tr	.0099	.0019	มหาชัย สมุทรสาคร
16	.0058	tr	-	.0124	มหาชัย สมุทรสาคร

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	D,D' DDE	dieldrin
17	พระโขนง	ปลาช่อน	.0010	-	-	.0081	.0054
18		ปลาตะเพียน	.0103	tr.	.0266	-	-
19		ปลาหมอไทย	.0122	tr.	tr.	-	.0121
20		ปลาสวาย	.0133	-	-	-	.1040
21		ปลาอุกค่าน	.0167	.0054	tr.	-	.0037
22		ปลาทาเคียว	.0065	.0019	-	-	tr.
23		ปลาแกง	.0174	.0019	-	-	tr.
24		ปลาสิญ	.0701	.0095	tr.	tr.	.0032
25	บางซื่อ	ปลาช่อน	.0063	tr.	-	tr.	.0069
26		ปลาตะเพียน	.0129	tr.	tr.	tr.	.0116
27		ปลาหมอไทย	.0161	tr.	tr.	-	.0158
28		ปลาสวาย	.0303	.0026	.0051	-	.1103
29		ปลาอุกค่าน	.0134	.0043	.0031	-	.0076
30		ปลาทาเคียว	.0151	.0025	.0011	-	.0150
31		ปลาแกง	.0254	.0036	tr.	-	.0062
32		ปลาสิญ	tr.	-	-	-	tr.

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
17	.0206	-	tr	.0015	ลาดกระบัง กรุงเทพฯ
18	.0153	.0175	tr	.0058	ลาดกระบัง กรุงเทพฯ
19	.0261	tr	tr	.0080	ลาดกระบัง กรุงเทพฯ
20	.0027	.1157	tr	.0167	-
21	.0268	.0099	tr	.0073	สะพานปลา
22	.0465	-	-	.0042	มหาชัย สมุทรสาคร
23	.0044	.0366	-	.0052	ปากน้ำ สมุทรปราการ
24	-	.0410	-	.0011	ปากน้ำ สมุทรปราการ
25	tr	.0044	-	.0037	บางบัวทอง นนทบุรี
26	.0084	.0342	-	.0093	มีนบุรี
27	.0281	.0091	-	.0091	ปากน้ำ สมุทรปราการ
28	.0045	.0586	-	.0259	อยุธยา
29	.0319	.0098	tr	.0051	สุพรรณบุรี
30	tr	.0081	-	.0067	สะพานปลา
31	.0442	.0071	tr	.0062	สะพานปลา
32	tr	.0048	tr	.0053	สะพานปลา

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDT	dieldrin
33	สะพานใหม่	ปลาช่อน	-	.0014	tr.	-	.0082
34		ปลาตะเพียน	tr.	-	-	-	.0069
35		ปลาหมอไทย	tr.	-	tr.	-	.0151
36		ปลาสวาย	*	*	*	*	*
37		ปลาดุกบ้าน	.0053	.0010	tr.	-	.0101
38		ปลาคาเคียว	-	-	tr.	-	.0038
39		ปลาแดง	.0002	tr.	-	-	.0025
40		ปลาสีขุน	.0127	.0013	tr.	-	.0043

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	cadrin	p,p' TDE	o,p DDT	p,p' DDT	
33	tr	.0067	-	.0044	คลอง 10 ลำลูกกา ปทุมธานี
34	tr	.0060	-	.0039	คลองรังสิต ปทุมธานี
35	.0080	.0190	-	.0044	คลองรังสิต ปทุมธานี
36	*	*	*	*	คลองรังสิต ปทุมธานี
37	.0033	.0046	-	.0035	ลำลูกกา ปทุมธานี
38	-	tr	tr	.0022	มหาชัยสมุทรสาคร
39	tr	.0057	-	.0024	มหาชัยสมุทรสาคร
40	tr	.0016	tr	.0035	มหาชัยสมุทรสาคร

ตาราง 10 แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุมีพิษตกค้างที่พบในปลา ครั้งที่ 2
เดือนตุลาคม พ.ศ. 2518

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin
41	พานนก	ปลาช่อน	-	-	-	.0060	-
42		ปลาคะเพียน	-	-	-	.0020	.0148
43		ปลาหมอไทย	-	-	-	.0033	tr
44		ปลาสวาย	.0023	.0199	.0036	.0149	.0160
45		ปลาดุกค้ำ	-	-	-	.0036	.0019
46		ปลาคาเคียว	.0031	-	-	-	-
47		ปลาแดง	.0042	-	-	-	tr
48		ปลาสิ่ญ	.0073	tr	-	tr	tr
49	วงเวียนใหญ่	ปลาช่อน	.0017	-	-	.0018	.0071
50		ปลาคะเพียน	tr	tr	-	.0032	.0091
51		ปลาหมอไทย	.0017	tr	-	.0075	tr
52		ปลาสวาย	tr	.0021	tr	.0090	.0126
53		ปลาดุกค้ำ	.0092	-	tr	.0038	tr
54		ปลาคาเคียว	.0063	tr	-	-	tr
55		ปลาแดง	.0042	tr	-	-	-
56		ปลาสิ่ญ	.0169	.0020	-	tr	tr

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
41	-	.0058	-	.0031	คลองสุริยา มหาสารวัค
42	.0010	.0182	tr	.0142	สุพรรณบุรี
43	tr	.0124	tr	.0033	พระประแดง สมุทรปราการ
44	tr	.0825	-	.0544	นครชัยศรี นครปฐม
45	.0013	.0053	tr	.0065	-
46	tr	tr	tr	.0022	มหาชัย สมุทรสาคร
47	-	.0040	tr	.0037	มหาชัย สมุทรสาคร
48	-	-	-	.0070	มหาชัย สมุทรสาคร
49	tr	.0028	-	.0089	แมกลอง
50	.0115	.0086	tr	.0123	ราชบุรี
51	tr	.0246	tr	.0066	บางบ่อ สมุทรปราการ
52	tr	.0696	-	.0362	ราชบุรี
53	.0042	.0056	tr	.0069	บางบอน ชนนบุรี
54	-	.0257	tr	.0116	มหาชัย สมุทรสาคร
55	.0201	tr	tr	.0032	มหาชัย สมุทรสาคร
56	tr	.0125	tr	.0089	มหาชัย สมุทรสาคร

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	2,4' DDE	dieldrin
57	พระโขนง	ปลาช่อน	tr	-	-	-	tr
58		ปลาตะเพียน	.0086	-	-	.0130	tr
59		ปลาหมอไทย	.0029	-	-	.0032	tr
60		ปลาสวาย	.0004	-	tr	.0464	.0241
61		ปลาดุกบ้าน	tr	-	-	.0035	.0035
62		ปลาคาเคียว	.0034	-	-	-	-
63		ปลาแดง	.0049	tr	-	.0023	tr
64		ปลาสิ่ก	.0019	-	-	tr	-
65	บางซื่อ	ปลาช่อน	.0023	-	-	.0020	.0050
66		ปลาตะเพียน	.0025	-	-	.0036	.0119
67		ปลาหมอไทย	tr	.0022	tr	.0061	.0027
68		ปลาสวาย	.0264	.0289	-	.2040	.0371
69		ปลาดุกบ้าน	.0044	tr	-	.0068	.0025
70		ปลาคาเคียว	.0043	tr	-	tr	tr
71		ปลาแดง	.0003	-	-	.0016	tr
72		ปลาสิ่ก	.0044	tr	tr	tr	-

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
57	tr	.0220	tr	.0028	บางบ่อ สมุทรปราการ
58	.0035	.0341	tr	.0020	ปากน้ำ สมุทรปราการ
59	tr	.0030	tr	.0116	บางบ่อ สมุทรปราการ
60	.0025	.0704	-	.0071	บางบ่อ สมุทรปราการ
61	.0141	.0056	-	.0065	บางบ่อ สมุทรปราการ
62	-	.0011	tr	.0028	ปากน้ำ สมุทรปราการ
63	tr	.0027	tr	.0036	ระยอง
64	tr	tr	-	.0047	มหาชัย สมุทรสาคร
65	tr	.0029	-	.0036	สะพานปลา
66	.0065	.0159	tr	.0221	อูขุขยา
67	tr	.0106	tr	.0071	ปากน้ำ สมุทรปราการ
68	.0171	.0629	-	.0594	-
69	.0091	.0163	-	.0208	-
70	tr	.0317	-	.0346	สะพานปลา
71	tr	.0048	-	.0095	สะพานปลา
72	tr	.0021	tr	.0055	มหาชัย สมุทรสาคร

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	2,4' DDE	dieldrin
73	สะพานใหม่	ปลาช่อน	.0058	tr	.0018	.0003	.0002
74		ปลาตะเพียน	.0029	-	-	.0009	.0008
75		ปลาหมอไทย	.0065	-	-	.0025	.0012
76		ปลาสวาย	.0212	.0016	-	-	tr
77		ปลาทูก้าน	.0346	.0245	-	.0459	.0136
78		ปลาคาเคียว	.0103	.0030	tr	.0036	.0016
79		ปลาแกง	.0277	.0045	-	.0024	tr
80		ปลาสิ่กุน	.0175	.0031	-	.0015	.0013

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
73	.0045	.0167	-	.0125	ปทุมธานี
74	tr	.0013	-	.0069	ปทุมธานี
75	tr	.0266	-	.0125	ปทุมธานี
76	tr	tr	-	.0063	กรุงเทพฯ
77	.0443	.0065	-	.0243	ปทุมธานี
78	.0513	.0120	-	.0198	มหาชัย สมุทรสาคร
79	.0406	tr	tr	.0065	มหาชัย สมุทรสาคร
80	.0035	tr	-	.0075	มหาชัย สมุทรสาคร

ตาราง 11 แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุมีพิษตกค้างที่พบในปลา ครั้งที่ 3
เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2518

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	P, p DDE	dieldrin
81	พรานนก	ปลาช่อน	tr	.0180	.0017	.0020	.0020
82		ปลาตะเพียน	.0051	.0289	.0076	.0761	.0543
83		ปลาหมอไทย	tr	tr	tr	.0068	.0011
84		ปลาสวาย	-	-	-	.0110	.0171
85		ปลาอุกค้ำ	-	tr	.0039	.0043	.0226
86		ปลาคาเคียว	-	tr	-	.0032	.0009
87		ปลาแดง	-	-	.0006	.0020	tr
88		ปลาสิ่ก	tr	-	-	.0014	.0014
89	วงเวียนใหญ่	ปลาช่อน	-	-	tr	tr	tr
90		ปลาตะเพียน	-	.0027	.0024	tr	.0044
91		ปลาหมอไทย	-	-	-	tr	-
92		ปลาสวาย	.0154	.0180	.0062	.0146	tr
93		ปลาอุกค้ำ	tr	-	tr	.0024	.0003
94		ปลาคาเคียว	-	-	tr	.0021	.0019
95		ปลาแดง	tr	.0180	-	-	-
96		ปลาสิ่ก	tr	.0030	tr	.0124	.0037

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
81	.0264	.0227	-	.0178	-
82	.0111	.0016	-	.0640	นครชัยศรี นครปฐม
83	.0048	.0106	tr	.0096	ทุ่งคู
84	.0091	.0274	-	.0081	-
85	.0060	.1328	tr	.0341	-
86	.0063	.0076	tr	.0077	มหาชัย สมุทรสาคร
87	.0029	.0045	-	.0073	มหาชัย สมุทรสาคร
88	-	.0047	tr	.0075	มหาชัย สมุทรสาคร
89	.0085	.0090	-	.0131	บางบอน ธนบุรี
90	.0252	.0438	tr	.0198	บางซื่อ
91	.0045	.0195	tr	.0059	-
92	.0252	.0655	tr	.0877	-
93	tr	.0037	tr	.0063	ราชบุรี
94	.0252	.0136	tr	.0198	มหาชัย สมุทรสาคร
95	.0252	.0167	tr	.0198	มหาชัย สมุทรสาคร
96	tr	.0032	-	.0073	มหาชัย สมุทรสาคร

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin
97	พระโขนง	ปลาช่อน	-	.0015	tr	tr	tr
98		ปลาตะเพียน	.0109	.0026	.0054	.0116	.0015
99		ปลาหมอไทย	tr	.0020	.0022	.0300	.0156
100		ปลาสวาย	-	.0010	-	.0028	.0006
101		ปลาตุ๊กก้าน	-	.0019	-	.0066	.0060
102		ปลาทาเคียว	-	.0055	-	-	tr
103		ปลาแดง	tr	.0018	-	tr	tr
104		ปลาสิ่กุน	-	.0042	-	.0055	.0036
105	บางซื่อ	ปลาช่อน	-	.0043	-	.0070	tr
106		ปลาตะเพียน	tr	.0018	tr	.0074	-
107		ปลาหมอไทย	-	.0018	-	.0132	tr
108		ปลาสวาย	-	.0015	-	.0120	.0276
109		ปลาตุ๊กก้าน	-	.0031	-	.0096	.0056
110		ปลาทาเคียว	-	.0031	-	.0048	-
111		ปลาแดง	-	.0013	tr	.0043	tr
112		ปลาสิ่กุน	tr	.0013	tr	.0055	.0033

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
97	tr	.0032	-	.0049	ลาคกระบัง กรุงเทพฯ
98	.0106	.0328	tr	.0111	-
99	.0106	.1415	-	.1007	ลาคกระบัง กรุงเทพฯ
100	.0053	.0057	-	.0078	อยุธยา
101	.0042	.0069	tr	.0111	-
102	.0133	.0039	tr	.0058	ชลบุรี
103	.0017	.0018	tr	.0050	ปากน้ำ สมุทรปราการ
104	.0022	.0050	tr	.0136	มหาชัย สมุทรสาคร
105	.0035	.0048	-	.0124	ปากน้ำ
106	.0022	.0172	-	.0151	-
107	.0040	.0045	-	.0063	ปากน้ำ
108	.0035	.0133	tr	.0227	อยุธยา
109	.0043	.0143	-	.0101	ปากน้ำ
110	-	.0142	-	.0031	สะพานปลา
111	.0032	.0038	tr	.0054	สะพานปลา
112	tr	.0048	tr	.0083	สะพานปลา

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxido	p,p'DDE	dieldrin
113	สะพานใหม่	ปลาช่อน	tr	.0053	.0018	.0019	tr
114		ปลาตะเพียน	tr	.0089	-	.0118	.0117
115		ปลาหมอไทย	tr	.0062	tr	.0120	.0008
116		ปลาสวาย	.0016	.0062	.0030	.0660	.0224
117		ปลาดุกบ้าน	.0008	.0075	-	.0513	.0008
118		ปลาทากคิ้ว	tr	.0066	-	.0693	-
119		ปลาแดง	*	*	*	*	*
120		ปลาสีเงิน	.0015	.0066	tr	.0058	.0055

เบอร์	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				แหล่งที่มาของปลา
	o,p' DDT	o,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
113	.0053	.0052	tr	.0081	ปทุมธานี
114	.0088	.0160	tr	.0184	-
115	.0033	.0158	tr	.0097	ปากน้ำ สมุทรปราการ
116	.0039	.0217	-	.0170	ลาดปลาเค้า
117	.0038	.0109	.0079	.0210	สะพานปลา
118	.0021	.0096	.0034	.0231	ปากน้ำ สมุทรปราการ
119	*	*	*	*	ปากน้ำ สมุทรปราการ
120	.0062	.0121	tr	.0083	ปากน้ำ สมุทรปราการ

ตาราง 12 แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุมีพิษตกค้างที่พบในปลา ครั้งที่ 4
เดือนธันวาคม พ.ศ. 2518

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p DDE	dieldrin
121	พรานนก	ปลาช่อน	tr	.0041	tr	tr	tr
122		ปลาตะเพียน	-	tr	-	.0020	.0105
123		ปลาหมอไทย	tr	.0051	-	.0025	tr
124		ปลาสร้อย	*	*	*	*	*
125		ปลาทูก้าน	*	*	*	*	*
126		ปลาทูเคียว	*	*	*	*	*
127		ปลาแดง	.0033	.0031	-	.0015	.0034
128		ปลาสีเงิน	*	*	*	*	*
129	วงเวียนใหญ่	ปลาช่อน	*	*	*	*	*
130		ปลาตะเพียน	*	*	*	*	*
131		ปลาหมอไทย	tr	.0118	-	.0070	tr
132		ปลาสร้อย	*	*	*	*	*
133		ปลาทูก้าน	*	*	*	*	*
134		ปลาทูเคียว	tr	.0060	tr	.0037	.0035
135		ปลาแดง	tr	tr	-	-	-
136		ปลาสีเงิน	.0028	.0097	-	-	tr

ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)					
เบอร์	cadria	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	แหล่งที่มาของปลา
121	.0110	.0046	-	.0031	สุพรรณบุรี
122	.0077	.0114	-	.0074	นครชัยศรี
123	.0142	.0089	-	.0043	สุพรรณบุรี
124	*	*	*	*	แม่ในศรี
125	*	*	*	*	สุพรรณบุรี
126	*	*	*	*	มหาชัย สมุทรสาคร
127	.0117	.0040	-	.0237	มหาชัย สมุทรสาคร
128	*	*	*	*	มหาชัย สมุทรสาคร
129	*	*	*	*	บางบ่อ
130	*	*	*	*	ปทุมธานี
131	.0114	.0181	-	.0050	บางบ่อ
132	*	*	*	*	-
133	*	*	*	*	-
134	.0064	.0030	.0030	.0077	มหาชัย สมุทรสาคร
135	tr	tr	tr	tr	มหาชัย สมุทรสาคร
136	.0145	.0044	.0008	.0050	มหาชัย สมุทรสาคร

เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)				
			heptachlor	aldrin	hopachlor epoxiod	p,p DDE	dieldrin
137	พระโขนง	ปลาช่อน	tr	.0115	tr	tr	tr
138		ปลาตะเพียน	*	.	.	.	.
139		ปลาหมอไทย	tr	.0088	tr	.0030	tr
140		ปลาสวาย	tr	.0044	tr	.0035	-
141		ปลาทูก้าน	tr	tr	.0006	.0028	tr
142		ปลาทาเคียว	tr	.0057	.0009	.0030	.0117
143		ปลาแดง	tr	.0059	.0124	.0009	.0007
144		ปลาสีgun	tr	tr	-	-	-
145	บางซื่อ	ปลาช่อน	tr	.0021	tr	.0043	.0131
146		ปลาตะเพียน	tr	tr	tr	.0026	.0027
147		ปลาหมอไทย	-	-	-	-	tr
148		ปลาสวาย	tr	tr	.0024	-	tr
149		ปลาทูก้าน	tr	.0020	tr	-	-
150		ปลาทาเคียว	.0021	.0047	tr	-	tr
151		ปลาแดง	.0009	.0167	.0010	tr	tr
152		ปลาสีgun	tr	.0013	tr	.0014	-

ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)					แหล่งที่มาของปลา
เบอร์	endrin	p,p TDE	o,p DDT	p,p DDT	
137	.0013	.0078	.0042	.0052	บางพลี
138	*	*	*	*	หัวตะเข้ กรุงเทพฯ
139	.0044	.0144	tr	.0092	บางบ่อ สมุทรปราการ
140	.0133	.0051	-	.0139	มักกะสัน กรุงเทพฯ
141	.0042	.0204	tr	.0043	บางพลี
142	.0072	.0041	.0042	.0041	ปากน้ำ สมุทรปราการ
143	.0167	.0030	.0030	.0077	ปากน้ำ สมุทรปราการ
144	.0009	.0034	.0031	.0042	ปากน้ำ สมุทรปราการ
145	.0025	.0063	tr	.0068	อยุธยา
146	.0222	.0336	--	.0193	บางบัวทอง นนทบุรี
147	-	tr	tr	.0039	-
148	.0122	.5474	-	.1733	-
149	.0094	.0034	tr	.0036	อยุธยา
150	.0074	.0036	tr	.0050	สะพานปลา
151	.0111	.0017	.0028	.0082	สะพานปลา
152	.0063	.0065	.0040	.0083	สะพานปลา

ปริมาณวัตถุมีพิษ (ppm)							
เบอร์	ตลาด	ชนิดของปลา	heptachlor	aldrin	heptachlor epoxide	p,p' DDE	dieldrin
153	สะพานใหม่	ปลาช่อน	*	*	*	*	*
154		ปลาตะเพียน	tr	.0012	tr	.0046	-
155		ปลาหมอไทย	tr	tr	tr	-	.0016
156		ปลาสวาย	tr	tr	tr	-	.0012
157		ปลาดุกบ้าน	tr	tr	tr	.0026	-
158		ปลาทูเคียว	tr	tr	tr	tr	tr
159		ปลาแกง	.0024	.0008	.0008	-	-
160		ปลาสีgun	.0011	.0019	.0400	-	-

ปริมาณวัตถุพิษ (ppm)					แหล่งที่มาของปลา
เบอร์	endrin	p,p' DDE	o,p' DDT	p,p' DDT	
153	.	.	.	*	ประจันน้ำพระอินทร
154	.0118	.0107	.0040	.0101	หนองจอก
155	.0074	.0099	.0027	.0095	ปากน้ำ
156	.0051	.0072	.0048	.0039	-
157	.0076	.0071	-	.0067	ประจันน้ำพระอินทร
158	-	.0381	-	.0231	ปากน้ำ
159	tr	-	-	tr	ปากน้ำ
160	.0149	-	.0135	.0033	ปากน้ำ