

แผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับโลหะหนักในแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินในเขตขอนแก่น*

กษิรา สุตา¹⁾ และศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ²⁾

¹⁾ นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

²⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
Email : supsin@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับโลหะหนักในแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินในเขตเมืองขอนแก่น 4 แห่ง คือ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐาน และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน ได้ดำเนินการระหว่างเดือนกรกฎาคม 2549 ถึง เดือนธันวาคม 2549 โดยทำการเก็บตัวอย่าง 12 ครั้งต่อแหล่งเก็บตัวอย่าง และเลือกศึกษาพารามิเตอร์ 5 ตัว ได้แก่ โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb)

ผลการศึกษาพบว่า จำนวนครั้งของโลหะหนักที่ถูกตรวจพบมากที่สุด คือ Cd ซึ่งพบในบึงสีฐาน บึงแก่นนคร และบึงหนองโคตร ร้อยละ 100, 92 และ 92 ตามลำดับ แต่ในอ่างเก็บน้ำบ้านซำจานจะพบ Cu มากครั้งที่สุด คือร้อยละ 83 และตรวจพบ Cr น้อยครั้งที่สุดที่ร้อยละ 43 เมื่อพิจารณาโอกาสความเข้มข้นที่เกินค่ามาตรฐานพบว่า Cd มีโอกาสเกินค่ามาตรฐานอยู่ในระดับ 0.3542 หรือเทียบได้กับร้อยละ 35.42 โดยพบในบึงสีฐานและบึงแก่นนคร รองลงมาคือ Cr ที่บึงหนองโคตรในระดับ 0.0625 และ Pb ที่บึงสีฐานในระดับ 0.0208 โดยทุกค่าของ Cu และ Zn ที่ตรวจวัดพบไม่เกินมาตรฐานในทุกๆ แหล่งน้ำ เมื่อพิจารณาด้วยเกณฑ์ความเข้มข้นเฉลี่ยพบว่ามีเพียง Cd ตัวเดียวที่มีค่าเกินมาตรฐานโดยตรวจพบในบึงสีฐานและบึงหนองโคตร ส่วนการทดสอบด้วย ANOVA แบบ one-way analysis พบว่าแต่ละพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในทุกๆ แหล่งน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 การจัดทำแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยวิธีวิเคราะห์แบบ Multiple stations - Multiple variables ด้วยค่า Average confidence interval width 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ต้องมีการเก็บตัวอย่างน้ำในบึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐาน และอ่างเก็บน้ำซำจาน 32, 18, 33 และ 10 ครั้งต่อปี ตามลำดับ โดยเสียค่าใช้จ่ายต่อปี 223,364 บาท

คำสำคัญ : โลหะหนัก, การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ, วิธีหลายสถานีหลายตัวแปร

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2550 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2550

Water Quality Monitoring Plan for Heavy Metals in Reservoir of Khon Kaen Urban Area *

Kasira Suda¹⁾ and Suparerk Sinsupan²⁾

¹⁾ Graduate student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

²⁾ Assoc. Prof., Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

Email: supsin@kku.ac.th

ABSTRACT

Water quality monitoring for heavy metals in the impoundment reservoirs in Khon Kaen area was carried out in the 4 reservoirs, i.e., Nong Khot, Kaen Nakhon, Sithan and Ban Sum Jan, during July and December 2006. Twelve water samplings were investigated at each site by analysing 5 parameters – Chromium (Cr), Cadmium (Cd), Copper (Cu), Lead (Pb), and Zinc (Zn).

The results revealed that Cd was mostly detected in Sithan, Kaen Nakhon and Nong Khot reservoirs at 100%, 92% and 92% , respectively. The parameter mostly found in Ban Sum Jan was Cu at 83% but Cr was merely found at 43% Considering the probability of quality standard exceedance, it was found that the exceedance of Cd was 0.3542 or 35.42% in Sithan and Kaen Nakhon reservoirs followed by Cr in Nong Khot reservoirs at the level of 0.0625 and Pb in Sithan reservoirs at 0.0200. However, the nonexceedance of Cu and Zn were found in every reservoir. Base on the average concentration of each parameter, the quality standard exceedance of Cd was merely found in Sithan and Nong Khot reservoirs. An ANOVA testing with one-way analysis for each parameter resulted that no statistically different at the 0.05 level of significance.

Finally, the monitoring plan analyzed by Multiple stations-Multiple variables at the average confidence interval width of 0.01 mg/l concluded that water sampling frequency in Nong Khot, Kaen Nakhon, Sithan and Ban Sum Jan reservoirs were 32, 18, 33 and 10 samples/year, respectively. The annual estimate cost of the plan was estimated as 223,364 Bahts.

Keywords : Heavy Metals, Water Quality Monitoring, Multiple Stations-Multiple Variables method

* Original manuscript submitted: July 26, 2007 and Final manuscript received: September 3, 2007

บทนำ

แหล่งเก็บกักน้ำผิวดินในเขตเมืองขอนแก่นจำนวน 4 แห่ง อันได้แก่ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐาน และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน สภาพปัจจุบันแหล่งน้ำเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากน้ำเสียที่ระบายมาจากน้ำฝนและน้ำทิ้งชุมชนบริเวณข้างเคียงรวมทั้งกิจการอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่แทรกตัวอยู่ในละแวกใกล้เคียง นอกจากนี้บริเวณหลุมฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองขอนแก่น ซึ่งอยู่ห่างจากเขตเทศบาลไปทางทิศเหนือประมาณ 18 กิโลเมตร ยังเกิดปัญหาการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยซึ่งส่งผลกระทบต่อแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินข้างเคียงอันได้แก่ อ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน ก่อให้เกิดการสะสมสารก่อมลพิษในห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำเหล่านี้ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพและอันตรายต่อประชาชนที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ ทั้งการอุปโภคและบริโภคได้

รัชชชัย อุทธาทิพย์ และธนากร ประพุดิทธิธรรม (2548) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักโดยใช้แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี เป็นดัชนีตรวจวัดในแหล่งน้ำผิวดินประเภทเก็บกัก 7 แห่งในเขตเทศบาลนครขอนแก่น พบว่าตรวจพบโลหะหนักทุกชนิด โดยค่าเฉลี่ยในแต่ละสารโลหะหนักยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินที่มีใช้น้ำทะเล แต่มีแนวโน้มที่จะเกิดการปนเปื้อนเนื่องจากแหล่งน้ำนั้นส่วนใหญ่เป็นแหล่งรองรับน้ำฝนและบางแห่งมีชุมชนพักอาศัยค่อนข้างหนาแน่นอยู่ใกล้เคียง นอกจากนี้แหล่งน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้เคียงหลุมฝังกลบขยะของเมืองขอนแก่นได้ตรวจสอบคุณภาพน้ำแล้วพบว่าไนเตรตมี 1.5 กิโลเมตร มีการปนเปื้อนของ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในแหล่งน้ำเกินมาตรฐาน (สมหมาย ชยันตี, 2542)

ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงวางโครงการเพื่อศึกษาการปนเปื้อนสารโลหะหนักในแหล่งน้ำดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์เบื้องต้นคือรวบรวมเป็นฐานข้อมูลคุณภาพน้ำ และวัตถุประสงค์สำคัญคือนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ นำมาจัดทำเป็นแผนการติดตามตรวจสอบสารโลหะหนักในแหล่งน้ำเก็บกักผิวดินซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนในการจัดการคุณภาพน้ำต่อไป

วิธีการวิจัย

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำ

เลือกสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 4 แหล่ง คือ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐาน และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน โดยแต่ละแหล่งได้เก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเก็บ (grab sample) 2 ครั้ง ต่อเดือน ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและเพื่อการวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับจัดทำแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะใช้กรรมวิธีที่กำหนดใน Standard Methods (1998) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ตรวจวัด

พารามิเตอร์ที่เป็นสารโลหะหนักจำนวน 5 ตัว ได้แก่ โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb)

การวิเคราะห์เชิงสถิติ

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมาวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยอาศัยค่าเฉลี่ย (\bar{x}), ค่าต่ำสุด (Min), ค่าสูงสุด (Max), ค่าความแปรปรวน (σ^2), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D หรือ σ) เพื่อเป็นฐานในการคำนวณค่าความถี่ที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างต่อปี ตามกรรมวิธีและขั้นตอนของ (Sanders *et al.*, 1983)

การคำนวณหาความถี่ที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง

กรรมวิธีที่ใช้คำนวณหาความถี่ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยอาศัยหลักการทางสถิติจากข้อมูลการเก็บตัวอย่างน้ำมี 4 วิธี ได้แก่ Single station - Single variable, Single station - Multiple variables, Multiple stations - Single variable และ Multiple stations - Multiple variables สำหรับการเลือกวิธีจะขึ้นอยู่กับจำนวนสถานที่เก็บตัวอย่างและจำนวนพารามิเตอร์ที่ศึกษา โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกวิธีที่ (4) คือ Multiple station - Multiple variables ในการจัดทำแผนการติดตามตรวจสอบ แต่วิธีนี้อาศัยวิธีที่ (1) และวิธีที่ (3) เป็นฐานในการคำนวณ ซึ่งสามารถอธิบายโดยสังเขปได้ดังนี้

(1) Single station - Single variable

เป็นวิธีการออกแบบความถี่เก็บตัวอย่างสำหรับกรณีที่มีสถานีเก็บตัวอย่าง 1 แห่งและพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษามีเพียง 1 พารามิเตอร์ ซึ่งความถี่ที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าระดับความเชื่อมั่น (confidence level) ของข้อมูลที่กำหนดขึ้นตามความเหมาะสม โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าระดับความเชื่อมั่นที่ระดับ 95% สามารถคำนวณความถี่ในการเก็บตัวอย่างได้ดังสมการที่ 1

$$x = 2(1.96) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

เมื่อ	X	= Confidence interval width, mg/l
	σ	= ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)
	n	= ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง (จำนวนครั้ง/เวลา)

(2) Multiple stations - Single variable

วิธีนี้ใช้ออกแบบความถี่ในการเก็บตัวอย่างสำหรับกรณีที่มีสถานีเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 แห่งแต่พารามิเตอร์ที่สนใจศึกษามีเพียง 1 พารามิเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่คำนวณได้ในแต่ละสถานี มีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่า weighting factor ของค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้ โดยนำไปเทียบกับค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณความถี่ในการเก็บตัวอย่างโดยอาศัยชุดสมการที่ (2) และสมการที่ (3) ถึง (5) ดังแสดงในตารางที่ 1

$$n_i = w_i N \quad (2)$$

เมื่อ w_i = Weighting factor ของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำที่ i
 N = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด
 n_i = ความถี่ในการเก็บตัวอย่างของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำที่ i (จำนวนครั้ง/เวลา)

ฐานอิง	สมการจำเพาะ	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (mean, μ)	$w_i = \mu_i / \left(\sum_{i=1}^{N_s} \mu_i \right) \quad (3)$	μ_i = population mean σ_i^2 = ค่า variance ของพารามิเตอร์
ค่าความแปรปรวน (variance, σ^2)	$w_i = \sigma_i^2 / \left(\sum_{i=1}^{N_s} \sigma_i^2 \right) \quad (4)$	ของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำที่ i σ_i = ค่า S.D ของพารามิเตอร์ของ
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D, σ)	$w_i = \sigma_i / \left(\sum_{i=1}^{N_s} \sigma_i \right) \quad (5)$	สถานีเก็บตัวอย่างน้ำที่ i N_s = จำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บ

ตารางที่ 1 สูตรคำนวณหาค่า weighting factor

(3) Multiple stations - Multiple variables

วิธีนี้เป็นการคำนวณความถี่ในการเก็บตัวอย่างสำหรับกรณีที่มีสถานีเก็บตัวอย่างมีมากกว่า 1 แห่งและพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษามีมากกว่า 1 พารามิเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่คำนวณได้ของแต่ละสถานีจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval width) ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

1) เลือก Confidence interval width ที่ระดับ 95% เพื่อหาค่าความกว้างของค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย ของพารามิเตอร์แต่ละตัว (Cr, Cd, Cu, Zn, Pb) โดยใช้ค่า Degree of freedom (n-1) ที่ค่า $P = 0.475$

2) จากค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 นำไปคำนวณหาค่า n (จำนวนความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำในรอบปี) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยใช้สูตรในสมการที่ (1)

3) รวมค่า n ของแต่ละพารามิเตอร์ เพื่อให้ทราบจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมด (N) ที่ต้องเก็บในแต่ละแห่ง

4) นำไปสัมพันธ์กับวิธีคำนวณแบบ Multiple stations - Single variable โดยการคำนวณค่า Confidence interval ด้วยวิธี Weighting factor ที่อิงค่า Mean, Variance และ S.D จากสมการที่ (2) ถึง (5)

5) ค่า n_i ที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 นำไปเป็นฐานในการคำนวณค่าความถี่เฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างน้ำในรอบปีของพารามิเตอร์ทั้งหมด (5 ตัว) ณ แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละแห่งโดยวิธีคำนวณด้วยรูปแบบ Multiple stations - Multiple variables

- 6) คำนวณค่า Confidence interval width อีกครั้งโดยการสุ่มค่า n จาก 5 ถึง 60 ครั้ง/ปี ด้วยวิธี Weighting factor ที่อิงค่า S.D ของแต่ละพารามิเตอร์ในทุกๆ แหล่งเก็บตัวอย่างน้ำ
- 7) หาค่า Weight factor เฉลี่ยของทุกๆ พารามิเตอร์แล้วนำมาเฉลี่ยซ้ำเพื่อให้ได้ Weight factor เฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์อีกครั้ง
- 8) คำนวณหาค่า Weight average confidence interval width ที่ค่า n จาก 5 ถึง 60 ครั้ง/ปี ด้วยการเฉลี่ยค่าของทุกๆ พารามิเตอร์ในแต่ละแหล่งเก็บตัวอย่างน้ำ
- 9) นำค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 8 ไปเขียนกราฟระหว่างค่า n และค่า Weight average confidence interval width เพื่อจัดทำเป็นแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ศึกษา

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA)

มีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวิธี one-way analysis เพื่อศึกษาว่า ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์จากแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินทั้ง 4 แหล่ง มีความแตกต่างกันเชิงสถิติหรือไม่ อย่างไร ด้วย Statistic F test ที่ระดับความสำคัญ (Level of significance) 5% ในการคำนวณทำการหาค่า Test statistic, F ได้จากข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้วิเคราะห์และนำมาเปรียบเทียบกับค่า F critical ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยถ้าค่า F ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า F critical แสดงว่า ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F critical แสดงว่า ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ทำการประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ตามแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำที่จัดทำขึ้น โดยมีรายการที่ใช้ในการคิดประเมินค่าใช้จ่ายโดยอิงเกณฑ์การปฏิบัติการภาคสนามของศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังนี้

- ค่ายานพาหนะ	500	บาท/วัน
- ค่าเดินทาง	8	บาท/กิโลเมตร
- เบี้ยเลี้ยง	200	บาท/คน/วัน
- วิเคราะห์โลหะหนักในห้องปฏิบัติการ	400	บาท/ตัวอย่าง

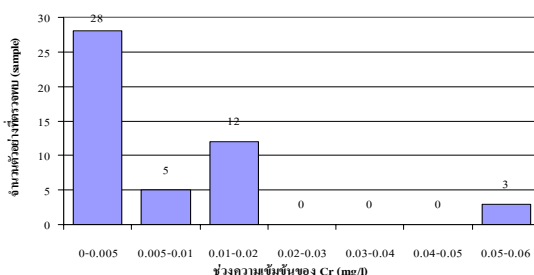
ผลการศึกษา

ความเข้มข้นโลหะหนักในภาพรวม

ผลการสำรวจคุณภาพน้ำภาคสนามจำนวน 12 ครั้งใน 4 แหล่งน้ำ ได้ข้อมูลรวมทั้งสิ้น 48 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถแยกวิเคราะห์เป็นรายพารามิเตอร์ได้ดังนี้

ความเข้มข้นของโครเมียม (Cr)

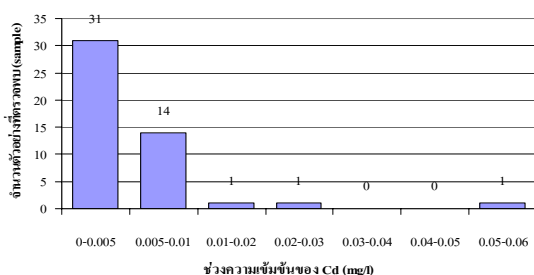
ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า ข้อมูลที่ตรวจพบมากที่สุดอยู่ในช่วง 0-0.005 mg/l ซึ่งพบทั้งหมด 28 ตัวอย่าง และมี 3 ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ 0.05 mg/l ค่าที่เกินมาตรฐานนี้เกิดขึ้นในบึงหนองโคตร โดยสามารถเทียบเป็นโอกาสของการเกิดค่าเกินมาตรฐานได้เท่ากับ 0.0625 หรือ 6.25%



รูปที่ 1 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ Cr ในแต่ละช่วงความเข้มข้น (mg/l)

ความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd)

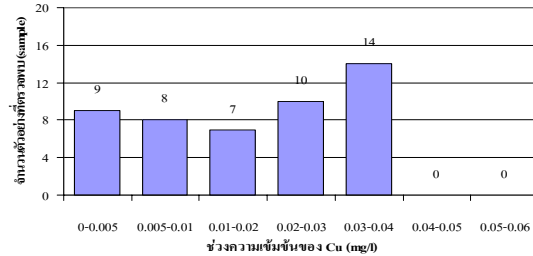
ช่วงข้อมูลที่ตรวจพบแคดเมียมมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2 อยู่ในช่วง 0-0.005 mg/l ซึ่งมีทั้งหมด 31 ตัวอย่าง และพบว่ามี 17 ตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.005 mg/l เทียบเป็นโอกาสของการเกิดค่าเกินมาตรฐานเท่ากับ 0.3542 หรือ 35.42% โดยตรวจพบใน บึงแก่นนครและบึงสีฐาน มากที่สุด รองลงมาคือ บึงหนองโคตร และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน ตรวจพบน้อยที่สุด



รูปที่ 2 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ Cd ในแต่ละช่วงความเข้มข้น (mg/l)

ความเข้มข้นของทองแดง (Cu)

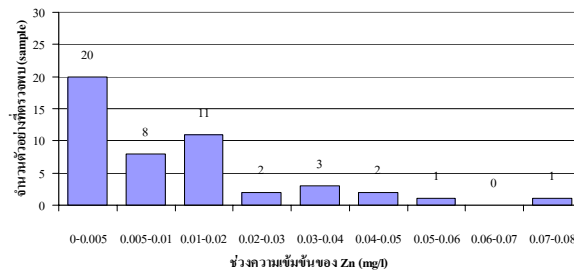
จากรูปที่ 3 พบว่า ช่วงข้อมูลของทองแดงที่ตรวจพบมากที่สุดอยู่ในช่วง 0.03-0.04 mg/l ซึ่งพบทั้งหมด 14 ตัวอย่าง แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.10 mg/l พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 3 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ Cu ในแต่ละช่วงความเข้มข้น (mg/l)

ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn)

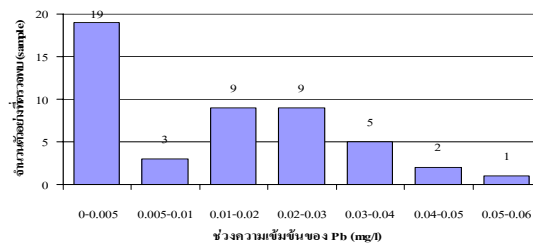
รูปที่ 4 แสดงช่วงข้อมูลที่ตรวจพบมากที่สุดของสังกะสีอยู่ในช่วง 0-0.005 mg/l ซึ่งมีทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ในจำนวนทั้งหมด 48 ตัวอย่าง โดยทุกค่าที่ตรวจพบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1.0 mg/l



รูปที่ 4 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ Zn ในแต่ละช่วงความเข้มข้น (mg/l)

ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb)

จากรูปที่ 5 พบว่าช่วงข้อมูลที่ตรวจพบมากที่สุดอยู่ในช่วง 0-0.005 mg/l ซึ่งมีทั้งหมด 19 ตัวอย่างซึ่งเทียบเป็นโอกาสของการเกิดค่าดังกล่าวได้เป็น 0.396 (39.6%) มีเพียง 1 ตัวอย่างที่มีค่าเกินมาตรฐาน ที่พบในบึงสีฐานและโอกาสเกิดค่าเกินมาตรฐานมีเพียง 0.0208



รูปที่ 5 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ Pb ในแต่ละช่วงความเข้มข้น (mg/l)

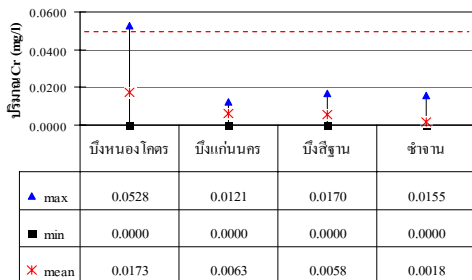
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

โครเมียม (Cr)

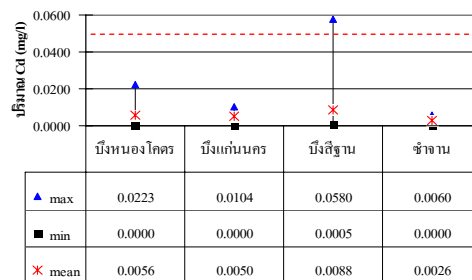
จากรูปที่ 6 พบว่า ค่าสูงสุดของปริมาณ Cr มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำผิวดินเพียง 1 ค่าที่บึงหนองโคตร คือ 0.0528 mg/l แต่ค่าเฉลี่ยในทุกแหล่งน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.05 mg/l โดยค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมียมของทั้ง 4 แห่ง คือ 0.0078 mg/l

แคดเมียม (Cd)

ค่าเฉลี่ยปริมาณแคดเมียมของทั้ง 4 แห่ง คือ 0.0056 mg/l โดยพบค่าสูงสุดในระดับ 0.0580 mg/l ในบึงสีฐาน จากรูปที่ 7 พบว่าค่าสูงสุดมีค่าสูงเกินมาตรฐานทั้ง 4 แห่ง และมี 2 แห่ง ที่มีค่าเฉลี่ยสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.005 mg/l คือ บึงหนองโคตรและบึงสีฐาน



รูปที่ 6 กราฟค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Cr



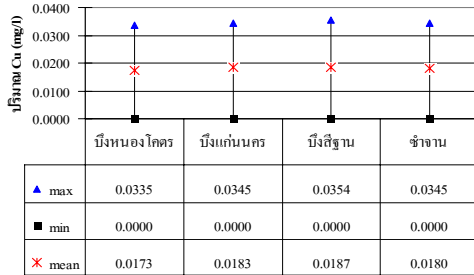
รูปที่ 7 กราฟค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Cd

ทองแดง (Cu)

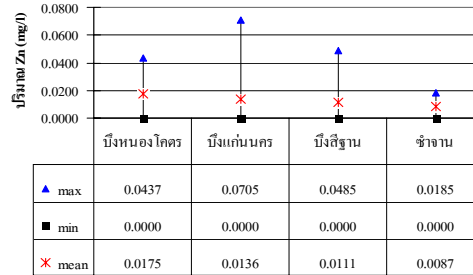
ค่าเฉลี่ยปริมาณทองแดงของทั้ง 4 แห่งคือ 0.0181 mg/l และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0354 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยพบว่าค่าสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันกับค่าเฉลี่ย แต่ค่าเฉลี่ยยังไม่เกินมาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.1 mg/l

สังกะสี (Zn)

ค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีของทั้ง 4 แห่ง คือ 0.0127 mg/l และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0705 mg/l จากรูปที่ 9 พบว่าค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ย มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1.0 mg/l



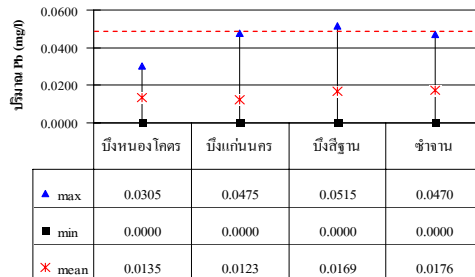
รูปที่ 8 กราฟค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Cu



รูปที่ 9 กราฟค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Zn

ตะกั่ว (Pb)

จากรูปที่ 10 พบว่าค่าสูงสุดมีค่าสูงเกินมาตรฐานเล็กน้อย คือ 0.0515 mg/l ในบึงสีฐาน แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยแล้วพบว่าทุกค่าเฉลี่ยใน 4 แหล่งน้ำ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.05 mg/l โดยค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วของทั้ง 4 แห่ง คือ 0.0151 mg/l

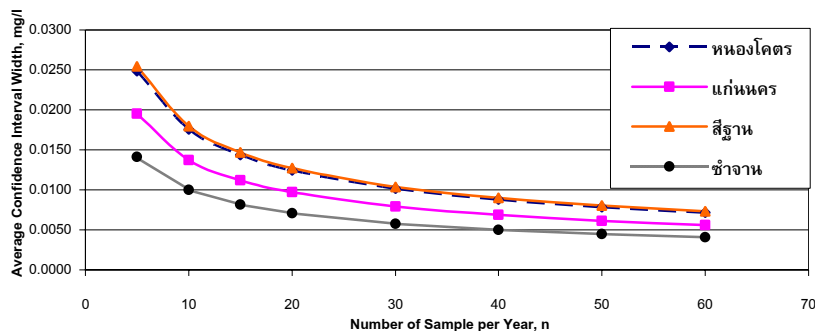


รูปที่ 10 กราฟค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Pb

แผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ

จากการวิเคราะห์เชิงสถิติในการจัดทำแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งเก็บกักน้ำที่เลือกศึกษา เพื่อหาความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำที่สอดคล้องกับความละเอียดของค่าพารามิเตอร์โดยวิธี Multiple Stations - Multiple Variables รวมทั้งวิเคราะห์ ANOVA ด้วยข้อมูลรวมทั้ง 4 แหล่งน้ำ ผลของการวิเคราะห์สรุปเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 11 โดยกราฟดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Average Confidence Interval Width (R_{AVG}) กับจำนวนตัวอย่างที่ต้องเก็บต่อปี ถ้ากำหนดค่า R_{AVG} คงที่ ณ ค่าใดค่าหนึ่ง จำนวนตัวอย่างที่ต้องเก็บต่อปีของแต่ละแห่งจะมีค่าแตกต่างกัน ในการตัดสินใจเลือกค่าดังกล่าว จะพิจารณาตามความเหมาะสมซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟ หากเลือก R_{AVG} ที่ระดับค่าน้อยๆ ย่อมแสดงถึงข้อมูลมีความเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยน้อย ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำมาก แต่ต้องมีการเก็บจำนวนตัวอย่างมากขึ้นซึ่งค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน ค่า R_{AVG} ที่สูงขึ้นจะแสดงถึงข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำต่ำกว่า ดังนั้นการเลือกค่า R_{AVG} เพื่อให้ได้ค่าความถี่ใน

การเก็บตัวอย่างจึงต้องอาศัยการตัดสินใจและปัจจัยอื่นๆประกอบกัน เช่น งบประมาณและกำลังคน เป็นต้น ซึ่งในกรณีนี้พบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 0.0100 mg/l จะสรุปได้ว่า ในบึงสีฐานจะต้องเก็บตัวอย่างต่อปีมากที่สุดคือ 33 ครั้งต่อปี รองลงมาคือ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน คือ 32, 18, และ 10 ครั้งต่อปี ตามลำดับ



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Confidence Interval Width (mg/l) กับจำนวนตัวอย่างที่ต้องเก็บต่อปี, n

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA โดยวิธี one-way analysis เพื่อศึกษาว่า ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินทั้ง 4 แห่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับ 0.05 หรือไม่ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า ข้อมูลของแต่ละโลหะหนักในแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้ว ไม่มีความแตกต่างกัน

วิจารณ์ผล

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำในแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินในบึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐาน และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน พบว่า

1. จากการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าความเข้มข้นทุกค่าของสารโลหะหนักเป็นเกณฑ์พิจารณา พบว่าโอกาสของ Cd จะมีค่าเกินมาตรฐาน (17 ตัวอย่าง) สูงถึง 0.3542หรือเทียบได้กับร้อยละ 35.42 โดยพบในบึงแก่นนครและบึงสีฐาน ส่วน Cr พบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน (3 ตัวอย่าง) เพียง 0.0625 (ร้อยละ 6.25) เท่านั้น โดยพบในบึงหนองโคตร และพบ Pb เกินมาตรฐาน (1 ตัวอย่าง) 0.020 (ร้อยละ 2.00) ในบึงสีฐาน แต่ Cu และ Zn ถึงแม้ว่าจะตรวจพบได้แต่ค่าที่ได้ไม่เกินมาตรฐานทั้ง 4 แห่ง แสดงให้เห็นว่าสารโลหะหนักที่ตรวจพบควรมีการเฝ้าระวัง Cd และ Cr มากกว่าสารตัวอื่นๆ

2. เมื่อพิจารณาโดยอาศัยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารโลหะหนักพบว่า มีเพียง Cd เพียงตัวเดียวที่ให้ค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยที่ตรวจพบอยู่ที่ระดับ 0.0056 mg/l และ 0.0088 mg/l ซึ่งเกิน 0.005 mg/l ที่เป็นค่ามาตรฐานโดยพบที่บึงสีฐานและบึงหนองโคตร ดังนั้น Cd จึงน่าจะเป็นโลหะหนักที่ควรเฝ้าระวังมากกว่าสารตัวอื่นๆ

3. จากการจัดทำแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับแหล่งเก็บกักน้ำผิวดิน พบว่าในการกำหนดระยะเวลาในแง่ความถี่ในการเก็บตัวอย่างต่อนั้น ขึ้นอยู่กับค่า Average Confidence Interval Width (R_{AVG}) ที่เลือกใช้ซึ่งต้องกำหนดให้เหมาะสม เนื่องจากที่ค่า R_{AVG} น้อยๆ ย่อมแสดงถึงค่าของข้อมูลที่ได้จะละเอียดและมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่า กล่าวคือมีความเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยน้อย ซึ่งจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์มากขึ้น จึงทำให้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วยเช่นกัน และในการจัดทำแผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ หากมีการกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่างต่อนี้เท่ากันทุกแหล่งน้ำ จะทำให้แต่ละแหล่งน้ำมีค่า R_{AVG} ที่แตกต่างกันออกไป

4. การคำนวณความถี่หรือจำนวนครั้งของการเก็บตัวอย่างน้ำ จะอาศัยสมมติฐานว่า ในช่วงการเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างทำการศึกษา โดยข้อมูลที่เก็บจำนวน 12 ครั้ง (6 เดือน) ให้ถือว่าเป็นข้อมูลที่เก็บในรอบ 1 ปี หรือหลายๆปีย้อนหลัง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลาศึกษา โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาจะอนุมานว่าเป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นทั้งปี กล่าวคือ ผลการวิเคราะห์ทั้ง 6 เดือน จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักกับการศึกษาตลอดปี (12 เดือน) ดังนั้นความถี่ที่คำนวณได้จะเป็นจำนวนครั้งในหนึ่งปี นอกจากนี้พบว่าแหล่งน้ำในแหล่งเก็บกักมีน้ำตลอดทั้งปี ไม่มีการไหลเข้าออกอย่างต่อเนื่องเหมือนแหล่งน้ำทั่วไป จึงสมมติให้มีคุณภาพน้ำใกล้เคียงกันทุกๆตำแหน่งและความลึกที่เก็บตัวอย่าง โดยในการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ครั้งต่อเดือน ได้ข้อมูลไม่ต่ำกว่า 10 ข้อมูล ซึ่งเป็นกิจกรรมภาคสนามและการวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการ ที่เหมาะสมกับเวลาและแรงงานที่ใช้ศึกษา

สรุปผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพน้ำและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติในการศึกษาปริมาณโลหะหนักในแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินในเขตเมืองขอนแก่นทั้ง 4 แห่ง ได้แก่ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐานและอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ Cr, Cd, Cu, Zn และ Pb โดยภาพรวมพบว่ามีปริมาณสารโลหะหนักเหล่านี้ค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำทั้ง 4 แห่งเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน พบว่ามี 2 แห่ง ที่มีค่าเฉลี่ย Cd สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคือ บึงหนองโคตร และบึงสีฐาน มีเพียง 2 แหล่งเท่านั้น คือ บึงแก่นนคร และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน ที่อาจนำไปใช้เป็นน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาได้ในกรณีที่ขาดแคลนแหล่งน้ำดิบที่ได้มาตรฐาน จากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA พบว่า โดยภาพรวมโลหะหนักแต่ละตัวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากการจัดทำแผนการเพื่อกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำที่เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของแหล่งน้ำแต่ละแห่งด้วยวิธี Multiple Stations - Multiple Variables พบว่า Average Confidence Interval Width (R_{AVG}) มีค่าแปรผกผันกับค่าความถี่ นั่นคือ ถ้ากำหนดค่า R_{AVG} น้อยๆ ความถี่ในการเก็บตัวอย่างจะมากขึ้น ซึ่งที่ช่วงค่า Average Confidence Interval Width (R_{AVG}) เท่ากัน พบว่า บึงสีฐาน เป็นแหล่งน้ำที่ต้องมีการเก็บตัวอย่างต่อปีมากที่สุด รองลงมาคือ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร และอ่างเก็บน้ำบ้านซำจาน ตามลำดับ และจากการกำหนด Average Confidence Interval Width (R_{AVG}) ที่ค่าต่างๆ จะสามารถกำหนดระยะเวลาในแง่ความถี่ในการเก็บตัวอย่างได้ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

R_{AVG} (mg/l)	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)					ค่าใช้จ่ายรวม/ปี (บาท)
	หนองโคตร	แก่นนคร	สีฐาน	ซำจาน	รวม	
0.0075	55	37	56	18	166	395,960
0.01	32	18	33	10	93	223,364
0.0125	20	12	22	8	62	149,016
0.015	14	9	14	4	41	97,920
0.0175	10	7	11	3	31	74,420

ตารางที่ 2 แผนการติดตามตรวจสอบคุณภาพแหล่งเก็บกักน้ำผิวดิน ณ บึงหนองโคตร บึงแก่นนคร บึงสีฐาน และอ่างเก็บน้ำซำจาน จังหวัดขอนแก่น

จากผลในตารางที่ 2 ถ้าตัดสินใจเลือก R_{AVG} ขนาด 0.01 mg/l จะพบว่าต้องมีค่าใช้จ่ายโดยอิงเกณฑ์ที่ตั้งไว้เท่ากับ 223,364 บาท/ปี ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า R_{AVG} ที่วิเคราะห์ได้เป็นตัวเลือก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจว่าจะใช้ข้อมูลที่ละเอียดระดับใด

เอกสารอ้างอิง

- รัชชัย อุทาพิพย์ และธนกร ประพฤทธิธรรม. 2548. “สารโลหะหนักในแหล่งเก็บกักน้ำผิวดินในเขตเทศบาลนครขอนแก่น.” รายงานโครงการของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมหมาย ขยันดี. 2542. “การปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยในน้ำใต้ดินจากสถานที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาลนครขอนแก่น.” วิทยานิพนธ์ปริญญา สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- APHA, AWWA, and WPCF. 1998. “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.” 19th Ed. American Public Health Association Inc. New York.
- Sanders et al. 1983. “Design of Networks for Monitoring Water Quality.” **Water resources publications.**