

ดัชนีมลพิษของแม่น้ำ (RPI) การคำนวณและการนำมาใช้ในการทำแผนจัดการคุณภาพน้ำ

โดย ดร.ขวัญชัย ลิเผ่าพันธุ์

จากแนวความคิดในการพัฒนาประยุกต์ใช้ดัชนีมลพิษของแม่น้ำ (River Pollution Index, RPI) ของสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ เพื่อวางแผนจัดการคุณภาพน้ำและประเมินลำดับความสำคัญของแผนการจัดการคุณภาพของช่วงลำน้ำในลุ่มน้ำและระหว่างลุ่มน้ำนั้น อาจเป็นประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์หรือเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อให้ดัชนีมลพิษของแม่น้ำ (River Pollution Index, RPI) บรรลุวัตถุประสงค์ในการทำแผนจัดการคุณภาพน้ำ มีดังนี้

- 1.) ต้องมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องโดยตรงกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทย และการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำที่จำแนกไว้
- 2.) ต้องมีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนที่นำไปปฏิบัติได้โดยไม่อิงกับวิจารณ์ญาณส่วนตัว
- 3.) ต้องมีความถูกต้องสม่ำเสมอในตัวเอง นั่นคือ ควรจะให้คำตอบที่ชัดเจนเช่นเดียวกันทุกครั้งสำหรับทุกช่วงลำน้ำใดๆ
- 4.) สามารถให้น้ำหนักหรือเน้นสำหรับการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำอย่างใดอย่างหนึ่งมากกว่าอย่างอื่นในช่วงลำน้ำที่สนใจ เช่น ในช่วงลำน้ำที่มีการใช้ประโยชน์น้ำเพื่อบริโภคเป็นการใช้ประโยชน์หลัก ควรจะมีกลไกหรือวิธีการที่ทำให้ค่าดัชนี RPI สะท้อนให้เห็นความสำคัญนี้
- 5.) ควรให้ค่าที่เป็นตัวเลขที่ชัดเจนแน่นอนสำหรับแต่ละช่วงลำน้ำ ซึ่งจะทำได้สามารถจัดลำดับของช่วงลำน้ำในลุ่มน้ำหรือระหว่างลุ่มน้ำ ตามความรุนแรงและความสำคัญของปัญหาคุณภาพน้ำ
- 6.) ควรใช้การคาดการณ์ของแบบจำลองคุณภาพน้ำ MIKE 11 หรือข้อมูลคุณภาพน้ำของช่วงลำน้ำเพื่อคำนวณค่าที่เป็นตัวเลขของดัชนี RPI

➤ ดัชนีมลพิษของแม่น้ำสำหรับช่วงลำน้ำ (RPI_i)

มีองค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบ ดังนี้

- 1.) คะแนนช่วงชั้นของช่วงลำน้ำ (Reach Class Score : $C_{i,p}$) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระบบการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทย
- 2.) ค่าถ่วงน้ำหนักคุณค่าการใช้ประโยชน์ (Use – value Weighting Factor, $W_{i,p}$) กำหนดโดยผู้ใช้น้ำให้น้ำหนักกับคะแนนช่วงชั้นของการจำแนกใช้ประโยชน์แหล่งน้ำแต่ละประเภทที่กำหนดใน RPI_i

สำหรับดัชนีใน RPI_i ช่วงลำน้ำหรือ RPI สำหรับลุ่มแม่น้ำเป็นตัวแปรต่อเนื่องมีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ซึ่งสัมพันธ์กับการแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทยโดยตรง ดังนี้

ประเภทของแหล่งน้ำ	RPI _i หรือ RPI
1	1.0 – 1.49
2	1.5 – 2.49
3	2.5 – 3.49
4	3.5 – 4.49
5	4.5 – 5.0

ตารางที่ 1.1 ดัชนี RPI_i เป็นค่าที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงลำน้ำในลุ่มน้ำใดลุ่มน้ำหนึ่ง ส่วนค่าดัชนี RPI สำหรับลุ่มน้ำเป็นค่าเฉลี่ยของค่าดัชนี RPI_i ทั้งหมดของช่วงลำน้ำทุกช่วงในลุ่มน้ำนั้นๆ ซึ่งถ้าดัชนี RPI_i หรือ RPI ที่มีค่าสูงแสดงว่าคุณภาพน้ำโดยรวมต่ำลง

● **คะแนนช่วงชั้น (Class Score, C_{i,p})**

คะแนนช่วงชั้นของคุณภาพน้ำสำหรับช่วงลำน้ำแต่ละช่วง ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลคุณภาพน้ำปัจจุบันสำหรับช่วงลำน้ำนั้นๆ หรือผลจากการคาดการณ์แนวโน้มคุณภาพน้ำในอนาคตภายในช่วงลำน้ำนั้นๆ โดย MIKE 11 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทย องค์ประกอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในการคำนวณค่า C_{i,p} สำหรับช่วงลำน้ำที่ i และมลสาร หรือดัชนีคุณภาพน้ำใดๆ p โดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำปัจจุบัน (สำหรับสถานะเงื่อนไขขณะปัจจุบัน) หรือข้อมูลคาดการณ์คุณภาพน้ำโดย MIKE 11 (สำหรับสถานะเงื่อนไขในอนาคต) มีดังนี้

- ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)
- ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพใน 5 วัน (BOD₅)
- Fecal Coliform Bacteria
- ไนเตรท-ไนโตรเจน (NO₃-N)
- แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N)
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P)

ตารางที่ 1.2 แสดงคะแนนช่วงชั้นของคุณภาพน้ำ (Water Quality Class Score)

องค์ประกอบคุณภาพน้ำ	หน่วย	ฐานของค่ามาตรฐาน	คะแนนช่วงชั้นคุณภาพน้ำ (Class Score, C _{i,p})				
			1	2	3	4	5
DO	มก./ล.	P20	ธรรมชาติ	>6	>4	>2	≤2
BOD ₅	มก./ล.	P80	ธรรมชาติ	<1.5	<2	<4	≥4

องค์ประกอบ คุณภาพน้ำ	หน่วย	ฐานของ ค่า มาตรฐาน	คะแนนช่วงชั้นคุณภาพน้ำ (Class Score, $C_{i,p}$)				
			1	2	3	4	5
Fecal Coliform	MPN/100 ml.	P80	ธรรมชาติ	<1000	<4000	-	≥4000
ไนเตรท-ไนโตรเจน	มก./ล.	สูงสุด	ธรรมชาติ	<1.7	<2.5	<5	≥5
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	มก./ล.	สูงสุด	ธรรมชาติ	<0.17	<0.25	<0.5	≥0.5
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	P80	ธรรมชาติ	<0.2	<0.4	<0.8	≥0.8

ในแต่ละช่วงลำนํ้าในกลุ่มน้ำหนึ่งๆ จะมีคะแนนช่วงชั้นสำหรับสารแต่ละชนิด สำหรับแต่ละสภาพเงื่อนไขของคุณภาพน้ำที่จะทำการประเมิน เช่น สภาพปัจจุบัน สภาพในอนาคตที่คาดการณ์โดยปราศจากการบำบัด หรือสภาพในอนาคตที่คาดการณ์โดยมรทางเลือกในการบำบัด เป็นต้น โดยตัวอย่างของการให้คะแนนช่วงชั้น สำหรับช่วงลำนํ้าสมมติได้แสดงเอาไว้ในตาราง 1.3 ดังนี้

ตารางที่ 1.3 แสดงการกำหนดคะแนนช่วงชั้น (Class Score) สำหรับช่วงลำนํ้าสมมติ

องค์ประกอบ คุณภาพน้ำ	คุณภาพน้ำที่วัดได้ หรือ คาดการณ์	ฐานการให้คะแนนช่วง ชั้นคุณภาพน้ำ (จากตาราง 1.2)	ประเภทแหล่ง น้ำที่กำหนด ในมาตรฐาน	คะแนน ช่วงชั้น ($C_{i,p}$)
DO	P20 = 1.2 มก./ล.	P20 < 2.0 มก./ล.	5	5
BOD ₅	P80 = 4.2 มก./ล.	P80 > 4.0 มก./ล.	5	5
Fecal Coliform	P80 = 9000 MPN/100 ml.	P80 < 4000 MPN/100 ml.	4 หรือ 5	5
ไนเตรท-ไนโตรเจน	สูงสุด = 2 มก./ล.	สูงสุด < 2.5 มก./ล.	2, 3 หรือ 4	5
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	สูงสุด = 0.6 มก./ล.	สูงสุด < 0.5 มก./ล.	5	5
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	P80 = 0.7 มก./ล.	P80 < 0.8 มก./ล.	ไม่มี	5

หมายเหตุ: พิจารณาตามตาราง 1.2

● **ค่าถ่วงน้ำหนักคุณค่าการใช้ประโยชน์ (Use – value Weighting Factor, $W_{i,p}$)**

ในการหาค่าดัชนี RPI_i สำหรับช่วงลำนํ้าหนึ่ง และค่าถ่วงน้ำหนักคุณค่าการใช้ประโยชน์ $W_{i,p}$ การใช้ประโยชน์แหล่งน้ำจะถูกแบ่งออกได้ ดังนี้

- แหล่งน้ำเพื่อการบริโภค (Drinking Water Source)
- แหล่งน้ำเพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ (Aquatic Life Protection)

- การพักผ่อนหย่อนใจที่สัมผัสน้ำ กีฬาทางน้ำ และการเกษตรกรรม (Contact Recreation and Agriculture)
- การใช้ประโยชน์อย่างเอนกประสงค์ (Balanced Uses)

ตารางที่ 1.4 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักคุณค่าการใช้ประโยชน์ (Use – value Weighting Factor, $W_{i,p}$)

ประเภทการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำ	DO	BOD ₅	Fecal Coliform	NO ₃ -N	NH ₃ -N	P
แหล่งน้ำเพื่อการบริโภค	0	0.1	0.3	0.6	0	0
แหล่งน้ำเพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ	0.4	0	0	0	0.4	0.2
การพักผ่อนหย่อนใจ	0.1	0	0.8	0	0	0.1
การใช้ประโยชน์อย่างเอนกประสงค์	0.2	0.05	0.2	0.2	0.2	0.15

ที่มา: บริษัทที่ปรึกษาฯ, 2541

● **การคำนวณดัชนีมลพิษของแม่น้ำ (RPI_i)**

เนื่องจากค่าดัชนี RPI_i จะคำนวณออกมาสำหรับการใช้แหล่งน้ำ (Water Use) ถึง 4 ประเภท ดังนั้น จึงมีการกำหนดสัญลักษณ์ให้เป็น RPI_{i, UC} เมื่อ i เป็นหมายเลขช่วงลำน้ำในแม่น้ำ และ UC เป็นประเภทการใช้แหล่งน้ำสำหรับดัชนี RPI_i ค่าที่ให้กับ UC เป็นไปดังนี้

- UC – ALP สำหรับการอนุรักษ์สัตว์น้ำ
- UC – DWS สำหรับการใช้แหล่งน้ำเพื่อการบริโภค
- UC – RA สำหรับการพักผ่อนหย่อนใจ และการเกษตรกรรม
- UC – B สำหรับการใช้ประโยชน์อย่างเอนกประสงค์

การคำนวณดัชนี RPI_{i, UC} สำหรับช่วงลำน้ำหนึ่งๆ ทำได้ตามขั้นตอน ดังนี้

- 1.) ใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำสำหรับช่วงลำน้ำนั้น โดยอาจเป็นข้อมูลปัจจุบันหรือข้อมูลคาดการณ์ เพื่อเลือกคะแนนช่วงชั้น (Class Score) ของ RPI_{i, UC} สำหรับองค์ประกอบคุณภาพน้ำแต่ละชนิด
- 2.) กำหนดประเภทการใช้แหล่งน้ำที่จะคำนวณหาดัชนี RPI_{i, UC}
- 3.) คูณคะแนนช่วงชั้น RPI_{i, UC} สำหรับองค์ประกอบคุณภาพน้ำแต่ละชนิด โดยค่าถ่วงน้ำหนักคุณค่าการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมสำหรับองค์ประกอบนั้นๆ และสอดคล้องประเภทการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำ
- 4.) รวมผลคูณของค่าถ่วงน้ำหนัก และคะแนนช่วงชั้นแต่ละค่าเพื่อให้ได้ค่าดัชนี RPI_{i, UC} สำหรับการใช้น้ำประเภทที่กำหนด

ตารางที่ 1.5 แสดงตัวอย่าง $RPI_{i, ALP}$ สำหรับช่วงลำนํ้าสมมติใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์สัตว์นํ้า

องค์ประกอบ คุณภาพนํ้า	คุณภาพนํ้าที่วัดได้ หรือ คาดการณ์	ประเภท แหล่งนํ้า	ค่าถ่วงนํ้าหนักใน การอนุรักษ์สัตว์นํ้า	$C_{i,p} \times W_{i,p}$
DO	P20 = 1.2 มก./ล.	5	0.4	2.0
BOD ₅	P80 = 4.2 มก./ล.	5	0	0
Fecal Coliform	P80 = 9000 MPN/100 ml.	5	0	0
ไนเตรท-ไนโตรเจน	สูงสุด = 2 มก./ล.	3	0	0
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	สูงสุด = 0.6 มก./ล.	5	0.4	2.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	P80 = 0.7 มก./ล.	4	0.2	0.8
$RPI_{i, ALP}$				4.8

➤ ดัชนีมลพิษแม่นํ้าสำหรับลุ่มนํ้า

ดัชนี RPI สำหรับระบบของแม่นํ้า คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนี $RPI_{i, uc}$ สำหรับแต่ละช่วงลำนํ้าที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นแม่นํ้าสายหนึ่งและเป็นลุ่มนํ้า ดัชนี RPI ที่คำนวณได้สำหรับลุ่มนํ้ามี 2 ประเภท ดังนี้

- **ค่าดัชนี RPI ตามประเภทการใช้ประโยชน์แหล่งนํ้า**

เมื่อ n เป็นจำนวนทั้งหมด ของช่วงลำนํ้าในลุ่มนํ้าซึ่งใช้ในการคำนวณดัชนี RPI

1. แหล่งนํ้าบริโศค

$$RPI_{DWS} = \frac{\sum_{i=1}^n RPI_{i,DWS}}{n}$$

2. การอนุรักษ์สัตว์นํ้า

$$RPI_{ALP} = \frac{\sum_{i=1}^n RPI_{i,ALP}}{n}$$

3. การพักผ่อนหย่อนใจและเกษตรกรรม

$$RPI_{RA} = \frac{\sum_{i=1}^n RPI_{i,RA}}{n}$$

4. การใช้ประโยชน์อย่างเอนกประสงค์

$$RPI_B = \frac{\sum_{i=1}^n RPI_{i,B}}{n}$$

- **ดัชนี RPI รวม (ถ่วงน้ำหนัก) (Overall RPI)**

เมื่อ n เป็นจำนวนทั้งหมด ของช่วงลำน้ำในลุ่มน้ำซึ่งใช้ในการคำนวณดัชนี RPI

$$RPI_{overall} = \frac{\sum_{i=1}^n RPI_{i,UC}}{n}$$

เมื่อ i = หมายเลขของช่วงลำน้ำ
 UC = ประเภทการใช้น้ำที่สำคัญที่สุด สำหรับช่วงลำน้ำที่ i

➤ **ประมาณการผลประโยชน์จากแผนการจัดการคุณภาพน้ำโดยค่าดัชนี RPI**

ผลประโยชน์ที่ได้จากแผนการจัดการคุณภาพน้ำ (Action Plan Benefits ; B) สามารถคำนวณได้โดยตรงจากผลต่างระหว่างดัชนี RPI ก่อนที่มีการดำเนินการตามแผน $RPI_{(0)}$ และดัชนี RPI หลังจากที่มีการดำเนินการตามแผนปรับปรุงคุณภาพน้ำ $RPI_{(p)}$ สำหรับสมการที่ใช้คำนวณ คือ

$$B = RPI_{(0)} - RPI_{(p)}$$

และเพื่อที่จะเปรียบเทียบแผนการให้น้ำให้เห็นได้ชัดเจนมากขึ้น และให้มีการถ่วงน้ำหนักเพื่อการปรับปรุงน้ำที่มีคุณภาพต่ำมีความสำคัญมากกว่าการปรับปรุงน้ำที่มีคุณภาพดี แนวคิดในการวิเคราะห์จึงได้นำดัชนีประสิทธิภาพของแผน (Plan Efficiency Index, P.E.I) มาใช้ ซึ่งดัชนีประสิทธิภาพของแผน P.E.I สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$P.E.I = 10 \times B \left(1.5 + \left(\frac{RPI_{(0)}}{5} \right) \right)$$

ซึ่งตัวอย่างการคำนวณค่า P.E.I ได้แสดงเอาไว้ในตาราง 1.6

ตารางที่ 1.6 แสดงตัวอย่างดัชนีประสิทธิภาพของแผน (Plan Efficiency Indices, P.E.I.)

แม่น้ำ	RPI ₍₀₎	RPI _(p)	B	P.E.I
1	4.45	3	1.45	34.6
2	3.75	2.3	1.45	32.6
3	1.2	1	0.2	3.5
4	5	1	4	100
5	4.4	2.4	2	47.6
6	4.6	2.2	2.4	58.1

➤ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost/Benefit)

ในการใช้ค่าดัชนี P.E.I. เพื่อประเมินประสิทธิผลของการใช้จ่ายต้นทุนของแผนการจัดการหนึ่งๆ ขั้นแรกจะประมาณการใช้จ่ายประจำปีทั้งหมด (Total Annual Cost ; TAC) ของแผน ซึ่งค่าใช้จ่ายต่อปีทั้งหมด (TAC) เป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายลงทุน (ค่าเสื่อมราคาหรือ Amortized Capital Costs) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำตามแผน และค่าใช้จ่ายในการทำงานเดินระบบและบำรุงรักษาสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ค่า TAC ของแผนงานใดๆ สามารถคำนวณได้โดยการแปลงมูลค่าการลงทุนและค่าใช้จ่ายในปีต่างๆ ของแผนงานให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน (มูลค่าในปีที่ 0) แล้วกระจายต้นทุนดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยรายปีไปตลอดอายุโครงการ ดังนี้

- 1.) **เงินลงทุน** เช่น ค่าที่ดิน ค่าก่อสร้างระบบ ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการศึกษา ออกแบบรายละเอียด และควบคุมงานก่อสร้าง แปลงเป็นมูลค่าปัจจุบันโดย

$$PV = \frac{C}{(1+i)^n}$$

โดย PV คือ มูลค่าปัจจุบัน

C คือ การลงทุนในปีที่ n

i คือ อัตราดอกเบี้ย

- 2.) **ค่าใช้จ่ายประจำปี** ได้แก่ ค่าเดินระบบและค่าบำรุงรักษา คำนวณเป็นมูลค่าปัจจุบัน ณ ปีเริ่มต้น ที่มีค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual Expense Present Value : AEPV) โดย

$$AEPV = \frac{TAC \times (1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

n คือ อายุการใช้งานโครงการเป็นปี (ในที่นี้กำหนด n = 40)

3.) **ค่าเสื่อมราคาหรือ Amortized Capital Costs** นำมูลค่าปัจจุบันของการลงทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นคูณด้วย Capital recovery Factor (CF) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าเสื่อมราคาของการลงทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ

$$CF = \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

n คือ อายุการใช้งานของการลงทุน กำหนดไว้ 40 ปี ยกเว้นการลงทุนในที่ดิน ซึ่งมีอายุการใช้งานตลอดไป

ผลรวมของ Amortized Capital Costs ที่ได้จากการคำนวณแสดงให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายต้นทุนต่อปีทั้งหมด (TAC) ของแผนงานที่คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว จึงทำให้สามารถนำ TAC ของแต่ละแผนงานมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของต้นทุนได้ในระดับหนึ่ง

สุดท้าย อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายต้นทุน (B/C) จะหาได้จากผลหารของค่าดัชนี P.E.I กับค่าใช้จ่ายต้นทุนต่อปีต่อหัวประชากรของการดำเนินการตามแผนโดยค่าใช้จ่ายมีหน่วยเป็นพันบาท

$$B/C = \frac{P.E.I}{TAC/Capital}$$

อัตราส่วน (B/C) นี้ เป็นอัตราส่วนที่ใช้สำหรับจุดประสงค์ในการเปรียบเทียบความคุ้มค่าสำหรับแผนทางเลือกการจัดการต่างๆ เท่านั้น ถึงแม้ว่าค่าดัชนี P.E.I มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ แต่ไม่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงระหว่างผลประโยชน์ในรูปของจำนวนเงิน และค่าใช้จ่ายต้นทุนของแผนการจัดการ

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ, 2541, โครงการจัดหาข้อมูลพื้นฐานแหล่งกำเนิดมลพิษและจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำในบริเวณลุ่มน้ำภาคเหนือ (ตุลาคม 2539 - มีนาคม 2541).

15 มีนาคม 2561