



การจัดสรรน้ำชลประทานโดยวิธีเชิงพันธุกรรมด้วย ASP และ Javascript  
(พื้นที่ศึกษา พื้นที่ระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและ แม่น้ำท่าจีน)

GENETIC ALGORITHMS FOR WATER ALLOCATION USING ASP AND JAVASCRIPT:  
A CASE STUDY OF CHAO PHRAYA RIVER AND THA CHIN RIVER

สุรีย์รัตน์ ทองประภา<sup>1\*</sup>, กัมปนาท ภักติกุล<sup>2</sup>, วัชรระ เสือดี<sup>3</sup> และ วีรฉัตร ฉัตรปัญญาเจริญ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>2,4</sup>อาจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>3</sup>ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, สำนักวิจัยและพัฒนา, กรมชลประทาน

\*Corresponding author: sureerat.tho@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

จากการพัฒนาแบบจำลอง GAWA - 2019 ขึ้นมาใหม่โดยใช้โปรแกรม Java Script ร่วมกับ ASP พื้นที่ที่ศึกษาลุ่มน้ำเจ้าพระยาระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีนรวมทั้งหมด 131 nodes เส้นทางเดินของน้ำ 175 เส้นทาง จำนวนชุดทางเลือก 100 ชุด ค่า Probability of Crossover (Pc) เท่ากับ 0.080 ค่า Probability of Mutation (Pm) เท่ากับ 0.00787 โดยเลือกใช้ Modified Mutation มีค่า Number of Mutation per Chromosome เท่ากับ 0.015 และค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้สมดุลน้ำ R1, R2 และ R3 เท่ากับ 1, 1 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบทั้งหมด 692.600 m<sup>3</sup>/s และ ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบที่คำนวณด้วยโปรแกรม GAWA - 2019 เท่ากับ 692.591 m<sup>3</sup>/s ผลการวิเคราะห์สามารถแก้ปัญหาได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพื่อให้การใช้น้ำในระบบชลประทานเป็นไปอย่างเต็มประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์สูงสุด และช่วยในการจัดสรรน้ำให้เกิดความเท่าเทียมกัน

คำสำคัญ: การจัดสรรน้ำต้นทุน ณ เวลาจริง, วิธีเชิงพันธุกรรม

ABSTRACT

The new version of the GAWA - 2019 model using Java Script and ASP is developed. The study area located at the lower Chao Phraya Basin between the Chao Phraya River and Tha Chin River, with a total of 131 nodes in this system. The schematic diagram has been set up, including canal flows 175 reaches. The appropriate GAs parameters included as follows: the number of 100 alternative sets of Probability of Crossover (Pc) was 0.088, Probability of Mutation (Pm) was 0.00787, and the penalty factors of water balance R1, R2 and R3 were equal to 1, 1 and 4, respectively. All Supply = 692.600 m<sup>3</sup>/s and All Supply calculation by GAWA - 2019 = 692.591 m<sup>3</sup>/s. The result shows equitable manners of the systems answers the desired objectives allocation and

Sureerat Thongprapha<sup>1\*</sup>, Kampanad Bhaktikul<sup>2</sup>, Watchara Suiadee<sup>3</sup> and Werachat Chatpanyacharoen<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University

<sup>2,4</sup>Lecturer, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University

<sup>3</sup>Director of Information and Communication Technology Center Royal Irrigation Department

*provide opportunities to access water resources in all sectors appropriately. I could help optimize the water allocation in the irrigation system and reduce in equitable at real time conflicts.*

**KEYWORDS:** WATER ALLOCATION, GENETIC ALGORITHMS

## 1. บทนำ

แผนการปฏิรูปประเทศด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี 2561 เรื่องระบบบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กล่าวว่าทรัพยากรน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ อีกทั้งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ ต้นทุนทรัพยากรน้ำของประเทศไทยมาจากปริมาณฝนและแหล่งเก็บกักต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นในช่วงที่ผ่านมา ด้วยสถานการณ์ฝนในปัจจุบันประเทศไทยสามารถกักเก็บน้ำฝนในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ทั่วประเทศได้เพียงร้อยละ 5.6 ของปริมาณฝนที่ตกทั้งปี นโยบายการบริหารจัดการน้ำของประเทศ ให้น้ำหนักด้านการจัดหาน้ำต้นทุน มากกว่าการบริหารจัดการอุปสงค์น้ำ และยังขาดความเชื่อมโยงกับการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเหมาะสม ในช่วงปี พ.ศ. 2551 – 2558 มีผลให้การใช้น้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาช่วงฤดูแล้งสูงกว่าแผนจัดสรรน้ำมาโดยตลอด ส่งผลให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำ เกิดการแย่งชิงน้ำระหว่างภาคการเกษตรและภาคส่วนอื่น ๆ [1] กัมปนาท ภักดีกุล (2554) ทรัพยากรน้ำมีความแตกต่างจากทรัพยากรธรรมชาติอย่างอื่นเนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะและที่อยู่ได้ (dynamics) ไหลได้ ซึมได้ ระเหยได้ อยู่ในอากาศได้ บนผิวดินได้และใต้ดินได้ จึงเป็นทรัพยากรที่จัดการยากและครอบครองยากที่สุด เพราะน้ำเป็นทรัพยากรที่ทุกคนตลอดจนธรรมชาติต้องมีไว้ใช้ร่วมกัน

การพัฒนาหลักคิดเชิงรูปธรรมของการจัดสรรน้ำให้เท่าเทียมกัน ในเชิงปริมาณน้ำ [2] Levine (1982) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับธรรมชาตินี้ชี้วัดความเท่าเทียมกัน โดยเทียบสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ได้รับและปริมาณน้ำที่ต้องการของพื้นที่หนึ่งๆ (Relative Water Supply) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{Relative Water Supply} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ส่งให้จุดรับน้ำนั้น}}{\text{ปริมาณน้ำที่จุดรับน้ำนั้นต้องการ}} \quad (1)$$

[3] Wardlaw and Barnes (1999) ได้ทดสอบแบบจำลองโดยวิธี Quadratic programming ผลการทดสอบกับระบบพบว่า GA สามารถหาค่าที่ดีที่สุดและให้ความเท่าเทียมกันในการส่งน้ำ เพื่อให้จุดรับน้ำของโครงการแต่ละจุดได้รับน้ำในปริมาณที่ขาดแคลนเท่า ๆ กัน และ [4] Bhaktikul (2001) ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีนี้ในการบริหารการจัดสรรน้ำ ความเท่าเทียมของวิธีนี้เกิดจากสัดส่วนที่เสมอภาคกันในทุกจุดรับน้ำโดยเน้นไปที่ปริมาณน้ำที่จะได้รับเป็นหลักซึ่งข้อจำกัดคือการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของทุกหน่วยรับน้ำต้องพอดีกับความต้องการ

## 2. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms; GAs)

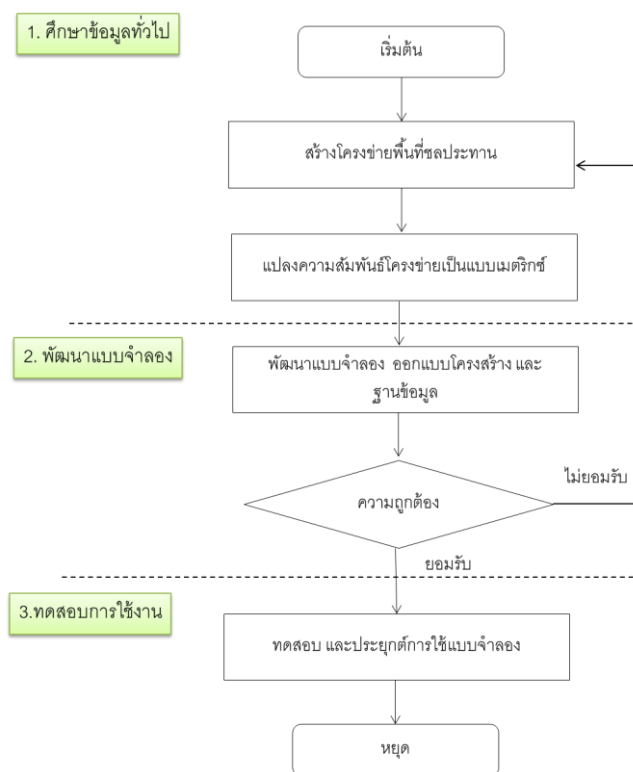
ทฤษฎีการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) ที่ว่าสิ่งมีชีวิตสามารถสืบทอดลักษณะพิเศษให้ลูกหลาน โดยลักษณะพิเศษจะแตกต่างกันออกไปจากเดิมเพื่อปรับให้เหมาะสมที่สุด (Fittest) เมื่อช่วงเวลาผ่านไปนานๆ เข้าการเปลี่ยนแปลงจะสะสมไปเรื่อยๆ และเกิดเป็น Species ใหม่ โดย Species ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมมากกว่าก็จะคงอยู่ และ Species ที่ด้อยกว่าก็จะหมดไป ซึ่ง GAs ถูกพัฒนาขึ้นโดยการจำลองแนวคิดการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมาใช้ในการคำนวณ โดยระบบคอมพิวเตอร์ เป็นการเลียนแบบวิวัฒนาการโดยใช้เทคนิคทางปัญญาระดับสูงอย่างหนึ่งที่ใช้ค้นหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Problem) ของฟังก์ชันใดๆ

ที่ต้องการ โดยมีจุดเด่นในด้านความทนทานต่อความผิดพลาดในการค้นหาคำตอบจากแหล่งข้อมูลที่มีความซับซ้อน และยากที่จะสร้างแบบจำลองด้วยสมการคณิตศาสตร์ โดย GAs ถูกพัฒนาขึ้นโดย [5-6] Holland (1975) และ Goldberg (1989) ในหนังสือชื่อ "Adaptation in Natural and Artificial Systems" หนังสือดังกล่าวได้ตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1975

สำหรับองค์ประกอบหลักๆ ของ Genetic Algorithm มีดังนี้ 1. Chromosome Encoding 2. Initial Population 3. Fitness Function 4. Genetic Operator (Selection, Crossover, Mutation) และ 5. Parameters

### 3. การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ในการจัดการทรัพยากรน้ำ

การทำวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้พัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดสรรน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำ การจัดสรรน้ำระหว่างแม่น้ำท่าจีนและแม่น้ำเจ้าพระยาในเขตพื้นที่ชลประทานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้น้ำในด้านต่างๆ การใช้รูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) มาประยุกต์โดยนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมาวิเคราะห์เพื่อวางแผนการจัดสรรน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำที่เหมาะสมอย่างเท่าเทียมกัน โดยสามารถแสดงขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง

[7] Wardlaw and Bhaktikul (2001) ได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วย GAs เพื่อให้ได้คำตอบสำหรับช่วงที่เกิดการขาดแคลนน้ำเพื่อให้สามารถใช้น้ำได้เท่าเทียมกันดังสมการที่ 2

$$\text{Minimize } (Z) = \sum_{i=0}^n \frac{(d_i - x_i)^2}{d_i} + R_1P_1 + R_2P_2 + R_3P_3 \quad (2)$$

- เมื่อ  $n$  = จำนวน node  
 $d_i$  = ความต้องการน้ำที่ node  $i$   
 $x_i$  = ปริมาณน้ำที่ส่งให้ node  $i$   
 $R_1, R_2, R_3$  = penalty factor (weighting factor) for each penalty function  
 $P_1, P_2, P_3$  = constrain function ณ node  $i$

ใน GAs จำเป็นต้องมีการปรับค่าความคลาดเคลื่อนให้มีค่าน้อยลงจนสามารถจำกัดข้อจำกัดต่างๆ ซึ่งมีฟังก์ชันที่นำมาใช้ในการปรับแก้ ดังแสดงในสมการที่ 3-5

1. ถ้า ค่าสัมบูรณ์ของน้ำในแต่ละจุด  $> 0.001$

$$P_1 = \sum_{i=1}^n \frac{|Q_{inf_i} + \sum_{j=1}^n Q_{ij} - x_i - Q_{snk_i}|}{Q_{inf_i} + \sum_{j=1}^r Q_{ij(in)}} \quad (3)$$

- เมื่อ  $Q_{inf_i}$  = external inflow to node  $i$   
 $Q_{ij(in)}$  = inflow(S) to node  $i$   
 $x_i$  = irrigation supply to scheme  $i$   
 $Q_{snk_i}$  = sink or drainage outflow term at node  $i$   
 $n$  = number of irrigation schemes  
 $r$  = number of reaches providing inflow to node  $i$

2. ถ้า  $Q_{ij} > q_{max_{ij}}$

$$P_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{(Q_{ij} - q_{max_{ij}})}{q_{max_{ij}}} \quad (4)$$

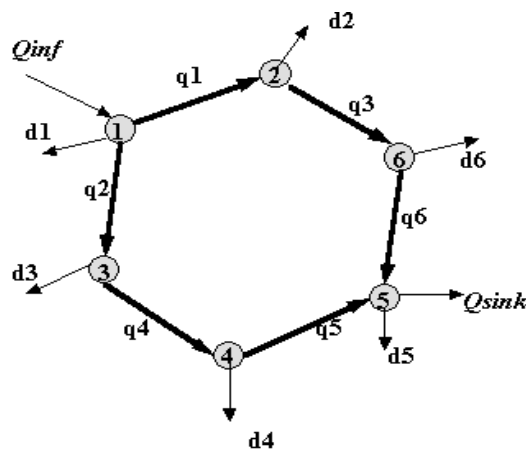
- เมื่อ  $Q_{ij}$  = flow to node  $j$  from node  $i$   
 $q_{max_{ij}}$  = maximum capacity of canal connecting nodes  $i$  and  $j$

3. ถ้า  $x_i > d_i$

$$P_3 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - d_i)}{d_i} \quad (5)$$

#### 4. การพัฒนาโปรแกรม GAWA

Wardlaw and Bhaktikul (2001) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ GAs กับการบริหารจัดการน้ำในระบบชลประทาน และได้พัฒนาแบบจำลอง GAWA – 2004 สำหรับการจัดสรรน้ำในกลุ่มน้ำให้กับกลุ่มผู้ใช้น้ำในด้านต่างๆ โดยใช้โปรแกรมภาษา C ในการเขียนแบบจำลองของระบบชลประทาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดการน้ำอย่างเท่าเทียมกันในช่วงวิกฤตปัญหาการขาดแคลนน้ำ (Water Allocation Problem With Equitable Manners) ในระบบส่งน้ำแบบเปิด (Open Channel) แบบส่งน้ำตลอดเวลา ที่เกาะบาห์ลี ประเทศอินโดนีเซีย ประกอบด้วยคลอง 69 สาย ประตูรับน้ำเข้า 10 ประตู และประตูระบายน้ำออก 13 ประตู เพื่อช่วยในการตัดสินใจจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการ ลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการจัดสรรน้ำที่มากเกินไปเกินความต้องการ และช่วยหาคำตอบการจัดสรรน้ำที่เท่าเทียมกันเป็นธรรมโดยทำการทดสอบแบบจำลองขนาดเล็กจำนวน 6 node ด้วยโปรแกรมภาษา C ก่อนจะพัฒนาเป็นระบบใหญ่ต่อไป แบบจำลองขนาดเล็กที่ทดสอบประกอบด้วยคลอง 6 สาย แต่ละสายมีชื่อดังนี้  $q_1$   $q_2$   $q_3$   $q_4$   $q_5$  และ  $q_6$  ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วย node เชื่อมต่อระหว่าง node ใด node หนึ่งกับ node อื่นๆ รวมทั้งหมด 6 nodes เริ่มตั้งแต่ node ที่ 1 ถึง node ที่ 6 มีน้ำไหลเข้าระบบ (Inflow) ใน node ที่ 1 จำนวน 1 จุด และมีน้ำไหลออกจากระบบ (Outflow) ใน node ที่ 5 จำนวน 1 จุด โดยมีการกำหนดทิศทางการไหลของน้ำเข้า - ออกในแต่ละ node โดยกำหนดให้การเชื่อมต่อระหว่าง node แทนด้วยตัวเลข 0, 1 และ -1 ซึ่งตัวเลข 0 หมายถึง ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่าง node, -1 หมายถึง น้ำมีทิศทางการไหลออกจาก node และ 1 หมายถึง น้ำมีทิศทางการไหลเข้า node และแต่ละ node มีความต้องการ 0, 4, 5, 5, 0 และ 3  $m^3/s$  ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 รายละเอียดของแบบจำลองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การจัดเตรียมข้อมูลโครงข่ายของกลุ่มน้ำ (2) วิธีการหาค่าตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) ที่ดีที่สุด โดยค่าตัวแปรตัดสินใจในการศึกษานี้ คือ ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้กับกลุ่มผู้ใช้น้ำต่างๆ (Water supply) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วยวิธีพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GAs) เพื่อให้ได้คำตอบที่เกิดการขาดแคลนน้ำอย่างเท่าเทียมกันในทุกๆ กลุ่มผู้ใช้น้ำ



รูปที่ 2 ระบบทดสอบขนาดเล็ก  
ที่มา: Bhaktikul (2001)

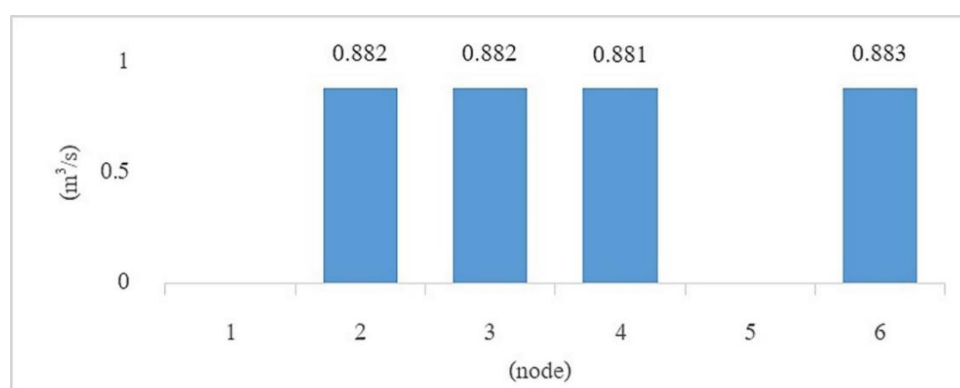
ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองขนาดเล็กจำนวน 6 nodes ของโปรแกรม GAWA – 2004 และ GAWA – 2019 ดังแสดงในตารางที่ 1, ผลการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ของโปรแกรม GAWA – 2004 และ GAWA – 2019 ดังแสดงในตารางที่ 2 และกราฟอัตราส่วน Demand / Supply แต่ละ node ของโปรแกรม GAWA-2019 ในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบโปรแกรม GAWA – 2004 และ GAWA – 2019

Representation Scheme	GAWA 2004	GAWA - 2019
Population Size	100	100
Number of Genes	6	6
R1	10	1
R2	1	2
R3	1	10
Probability of Crossover	0.950	0.950
Probability of Mutation	0.125	0.080
Best Fitness	0.254	0.223
Gen Best Fitness	900	600
Time (Sec)	6.80	5.57
Type of Selection	Tournament	Tournament
Type of Crossover	Uniform	Uniform
Type of Mutation	non-uniform	non-uniform

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ของโปรแกรม GAWA – 2004 และ GAWA – 2019

	GAWA 2004						GAWA 2019					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Ratio	0.000	0.881	0.880	0.886	0.000	0.880	0.000	0.882	0.882	0.881	0.000	0.883
Supply	0.000	3.525	4.402	4.432	0.000	2.640	0.000	3.529	4.412	4.410	0.000	2.648
Demand	0.000	4.000	5.000	5.000	0.000	3.000	0.000	4.000	5.000	5.000	0.000	3.000
Flow	6.450	9.285	2.640	4.545	0.000	0.000	6.412	8.645	2.948	4.418	0.000	0.000

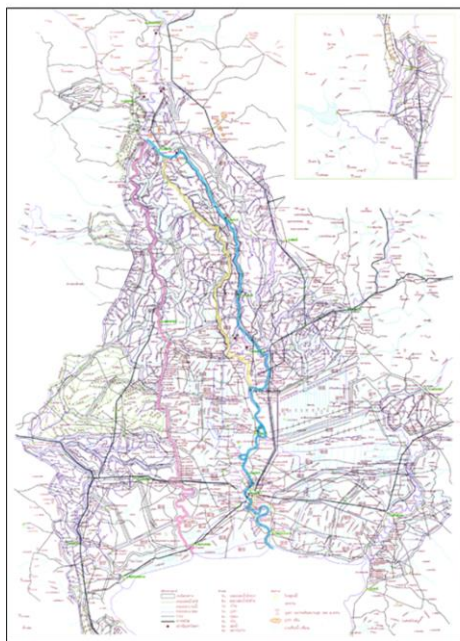


รูปที่ 3 อัตราส่วน Demand / Supply แต่ละ node ของโปรแกรม GAWA-2019

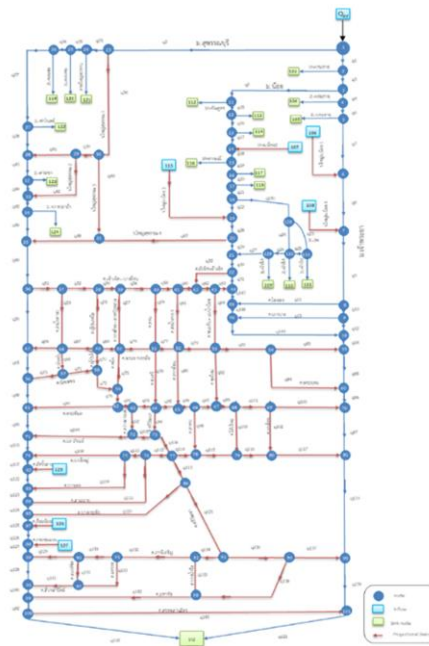
จากตารางที่ ตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 พบว่าโปรแกรม GAWA – 2019 ใช้รอบในการคำนวณ 600 รอบและใช้เวลาการคำนวณ 5.57 วินาที ซึ่งน้อยกว่าโปรแกรม GAWA – 2004 และเมื่อทำการเปรียบเทียบ Ratio พบว่าโปรแกรม GAWA – 2019 มี Ratio ระหว่าง 0.881 – 0.883 ซึ่งมีค่าการช่วงอัตราส่วนน้อยกว่าโปรแกรม GAWA – 2004 ที่มี Ratio ระหว่าง 0.880 – 0.886 หมายถึงโปรแกรม GAWA – 2019 สามารถส่งน้ำได้ใกล้เคียงความต้องการน้ำที่กำหนดมากกว่า โปรแกรม GAWA – 2004 ซึ่งจะทำให้สามารถกระจายน้ำให้พื้นที่ที่ต้องการน้ำได้รับในช่วงน้ำแล้งได้มากยิ่งขึ้น

### 5. การประยุกต์ใช้โปรแกรม GAWA – 2019 สำหรับพื้นที่ศึกษา

การนำโปรแกรม GAWA – 2019 มาประยุกต์ใช้กับระบบชลประทานพื้นที่ระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน ซึ่งเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมาก พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยแม่น้ำ ลำคลอง 70 สาย จุดเชื่อมต่อ (nodes) 131 จุด เส้นทางเดินของน้ำ 175 จุด จุดที่รับน้ำเข้าระบบ 8 จุด และจุดที่น้ำไหลออกจากระบบ 20 จุด โดยทำการแปลงภาพพื้นที่ศึกษา(แผนผังระบบลุ่มน้ำระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน) เป็นเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของโครงข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4 ที่มีการใช้น้ำในภาคส่วนต่างๆ เช่น ภาคอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การเกษตรกรรม และการอุปโภคบริโภค มีปัญหาการขาดแคลนนํ้าในภาวะขาดแคลนนํ้าว่าจะทำการส่งน้ำในคลองแต่ละสายด้วยอัตราไหลเท่าใด ซึ่งคลองแต่ละเส้นมีความจุต่างกัน เพื่อให้จุดรับน้ำของโครงการแต่ละจุดได้รับน้ำในปริมาณที่ขาดแคลนเท่า ๆ กัน โดย โปรแกรม GAWA – 2019 มีการคำนวณหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ที่เป็นการหาค่าต่ำสุด (minimization problem) ของผลต่างระหว่างความต้องการใช้น้ำ (demand) กับ ปริมาณน้ำที่จ่ายเข้าสู่ระบบ (supply)



ที่มา : กรมชลประทาน (2557)

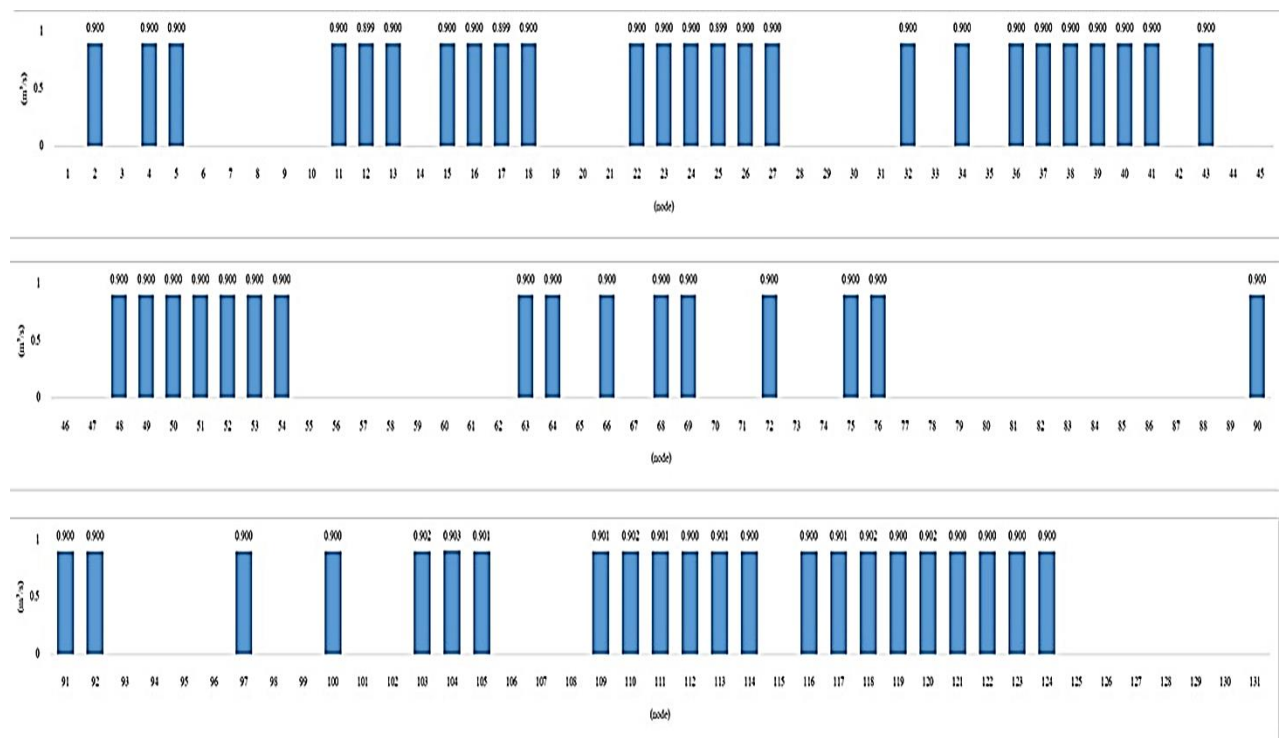


รูปที่ 4 พื้นที่ศึกษาและเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของโครงข่าย

ผลการรันโปรแกรม GAWA – 2019 ระบบน้ำในพื้นที่ศึกษาถูกนำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ความสัมพันธ์ของโครงข่าย จำนวนประชากรเริ่มต้น 100 ชุด ค่า Probability of Crossover (Pc) เท่ากับ 0.080 ค่า Probability of Mutation (Pm) เท่ากับ 0.00787 ค่า Modified mutation เท่ากับ 0.015 และค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้สมมูลน้ำ R1, R2 และ R3 เท่ากับ 1, 1 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบทั้งหมด = 692.600 m<sup>3</sup>/s และ ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบที่คำนวณด้วยโปรแกรม GAWA - 2019 = 692.591 m<sup>3</sup>/s ใช้เวลาในการคำนวณ 361 วินาที และเมื่อคำนวณปริมาณน้ำต้นทุนน้อยกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำ (Supply < Demand) แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำต่อความต้องการน้ำ ได้ดังตารางที่ 3 และกราฟอัตราส่วน Demand / Supply เมื่อมีปริมาณน้ำต้นทุน 90% ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 สัดส่วนปริมาณน้ำต่อความต้องการน้ำ โดยใช้แบบจำลอง GAWA – 2019

ปริมาณน้ำต้นทุน	Supply / Demand Ratio (Max)	Supply / Demand Ratio (Min)
50%	0.503	0.499
60%	0.602	0.600
70%	0.703	0.699
80%	0.803	0.799
90%	0.903	0.899



รูปที่ 5 อัตราส่วน Demand / Supply เมื่อมีปริมาณน้ำต้นทุน 90%



กรณีปริมาณน้ำต้นทุนมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำรวม (Supply < Demand) แบบจำลอง GAWA - 2019 สามารถช่วยวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ต้องการจัดส่งน้ำในแต่ละคลองได้ตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ และทุกๆ คลองจะได้รับการจัดสรรน้ำอย่างแสดงให้เห็นว่าสามารถจัดสรรน้ำได้จริงตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีการจัดสรรน้ำได้อย่างเป็นธรรมและเท่าเทียมกัน

## 6. อภิปรายผล

ผลการพัฒนาแบบจำลอง GAWA - 2019 ขึ้นมาใหม่โดยใช้โปรแกรม Java Script ร่วมกับ ASP สามารถใช้คำนวณการแก้ไขปัญหาการจัดสรรน้ำและการตัดสินใจในการส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพทั่วถึงและเป็นธรรม ทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในระบบ และยังสามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและ สอดคล้องกับข้อจำกัดที่มีอยู่ตามสภาพความเป็น ในระบบชลประทานที่มีความซับซ้อน ผลการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของค่าพารามิเตอร์ของ GAs แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการใช้แบบจำลอง GAs เพื่อการจัดสรรน้ำซึ่งทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ได้แก่ Probability of Crossover (Pc), Probability of Mutation (Pm), Modified mutation (Mu) และค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้สมมูลน้ำ (R1,R2,R3) ถ้าค่าพารามิเตอร์มีค่าสูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้คำตอบที่ได้ไม่เข้าสู่จุดออปติไมซ์ (optimization)

ในการนำแบบจำลอง GAWA - 2019 ไปประยุกต์ใช้งานในพื้นที่ของโครงการอื่นๆ จะต้องมีการศึกษาหาค่า Pc, Pm, Mu, R1,R2 และ R3 ที่เหมาะสมกับโครงการนั้นๆ ก่อนนำไปใช้งาน แลการประมวลผลของการส่งน้ำใกล้เคียงความต้องการน้ำที่กำหนดซึ่งจะทำการกระจายน้ำให้พื้นที่ที่ต้องการน้ำได้รับในช่วงน้ำแล้งได้มากยิ่งขึ้น

## 7. ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้โครงข่ายที่เหมาะสมที่สุดเพื่อช่วยคำนวณปริมาณน้ำในการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริงนั้น จะต้องมีการทบทวนและปรับค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองใหม่ทั้งก่อนและหลังทำการวิเคราะห์ โดยทำการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่เหมาะสม โดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การปรับแก้สมมูลน้ำ (penalty functions) (R1, R2, R3) เนื่องจากในแต่ละพื้นที่มีข้อมูลเฉพาะที่แตกต่างกัน

2. ควรมีการการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่

3. ควรพิจารณาวางแผนการจัดสรรน้ำแบบองค์รวม เนื่องจากกลุ่มน้ำเจ้าพระยามีระบบการบริหารจัดการน้ำที่มีความซับซ้อนและต่อเนื่องกัน โดยจะต้องพิจารณาปริมาณน้ำต้นทุนจาก แม่น้ำยม แม่น้ำน่าน แม่น้ำป่าสัก และความต้องการน้ำจากส่วนต่างๆ อาทิ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน การอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม และการผลิตคั้นน้ำเค็ม เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเป็นระบบแบบบูรณาการ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กัมปนาท ภักติกุล., “แนวทางการจัดสรรน้ำบนความเท่าเทียมกัน”, *การประชุมวิชาการ พระราชดำริ : แสงส่องสู่ทางออกจากวิกฤติน้ำท่วม.. 2* ธันวาคม 2554, โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์
- [2] Levine G. *Relative water supply: An explanatory variable for irrigation systems*. Technical Report No. 6; The Determinants of Irrigation Project Problems in Developing Countries. Ithaca, NY: Cornell University., 1982.
- [3] Wardlaw R.B. and Barnes J. Optimal allocation of irrigation water supplies in real time. *J. of Irr. and Drainage Eng.* 1999, 125(6): 345-354.

- [4] Bhaktikul K., *The development of a Genetic Algorithm for Real Time Water Allocation and Water Scheduling in Complex Irrigation Systems*. Ph.D. thesis School of Civil and Environmental Engineering, The University of Edinburgh., 2001.
- [5] Holland, J. H., *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U Michigan Press., 1975.
- [6] Goldberg, D.E., *Genetic algorithms in search optimization & machine learning*. Addison- Wesley, Reading. Mass. USA., 1989.
- [7] Wardlaw R.B. and Bhaktikul K., Application of a genetic algorithm for water allocation in an irrigation system. *Irrigation and Drainage*; 2001, 50, pp. 159–170.