

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับปัญหาการหาขนาดท่อที่เหมาะสมในระบบการจ่ายน้ำด้วยวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบหลายวัตถุประสงค์ซึ่งเอกสารและงานวิจัยที่นำมาใช้อ้างอิงเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัยแบ่งเป็นเรื่องหลักๆ ได้แก่ ปัญหาที่มีลักษณะแบบโครงข่ายการออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบวัตถุประสงค์เดียว และการออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบหลายวัตถุประสงค์ รวมถึงเทคนิค วิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการหาขนาดท่อที่เหมาะสมในระบบการจ่ายน้ำและงานวิจัย อื่นๆ ที่ประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการผลต่างในการแก้ปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ปัญหาที่มีลักษณะแบบโครงข่าย (Capacitated flow network)

Capacitated flow network เป็นปัญหาที่มีลักษณะแบบโครงข่าย (Network models) ที่พบเจอในชีวิตประจำวัน มากเช่น Computer network, Power transmission network, Transportation network หรือแม้กระทั่ง Supply chain network ล้วนแล้วแต่เป็นปัญหา Capacitated flow network ทั้งสิ้น ซึ่งในทางปฏิบัติ network บางส่วนอาจล้มเหลวหรืออาจต้องการบำรุงรักษา ดังนั้นแต่ละ arc ของ Network จึงต้องสร้างให้มี Capacity ที่เพียงพอเพื่อจะทำให้ Network สามารถทำงานได้อย่างปกติ Chen(2010) จึงเสนออัลกอริทึมแบบแมนตรงชื่อว่า The robust design problem (RDP) in a capacitated flow network (CFNRDP) เพื่อหาคำหนด Capacity ที่น้อยที่สุดให้แต่ละ arc ที่จะทำให้ Network ทำงานได้แม้อยู่ภายใต้สถานการณ์ที่ Arc บางArc เกิดภาวะล้มเหลว ซึ่งผลของการใช้อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพได้โดยการปรับใช้กับกรณีตัวอย่าง นอกจากนี้หลักการ Formulation แบบ Capacitated flow network ที่มี Flow จากกลุ่มต้นทางไปยังกลุ่มปลายทางโดยมีการใช้ capacity ของ arcs ร่วมกันกับ paths อื่นและ centroid ถูกใช้แบบ multiple paths ได้นำไปใช้ในการสร้าง model เพื่อการแจ้งแผนอพยพกรณีมีภัยพิบัติเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ Lima et al. (2012) ได้ทำการพัฒนาอัล

กอรที่มที่เป็นเครื่งมือที่ใ้ใช้ในการตัดสิใจเส้ันทางและก้าหนดการอพยพในพื้นทื่อพพที่ต่างกัันจากข้อมูลของจ้านวนผู้อพยพในแต่ละพื้นที่ ความจุ (Capacity) และลักษณะของเส้ันทางการขนส่ง (Topology of transportation networks) และเส้ันทางที่พยากรณ์ว่าพายูเฮอริเคนจะพ้ดผ่าน การศึกษาใ้ประสพความสำเร็จโดยสามารถลดเวลาในการอพยพลงได้จากการได้มาซึ่งก้าหนดการ (Schedules) และเส้ันทางยานยนต์ในการอพยพ (Routes to evacuation vehicles)

ปัญหาในระบบการกระจายน้ำ (Water distribution system, WDS) มีลักษณะแบบโครงข่าย เป็นหนึ่งในปัญหาแบบ Capacitated flow network ซึ่งเป็นที่นิยมในการศึกษาเพื่อพัฒนาในด้านต่างๆ เนื่องจากระบบการกระจายน้ำเป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต การก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานของระบบการจ่ายน้ำที่กระจายจากแหล่งน้ำสู่ชุมชนต้องการการลงทุนที่สูงมาก ดังนั้นแผนผังการแก้้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากปัญหาประดิษฐ์เพื่อการหาค่าที่เหมาสมจึงถูกนำมาประยุกต์ใ้ใช้ในการแก้้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกัับระบบการจัดการทรัพยากรน้ำจึงเป็นการศึกษาวิจัยที่ได้รับความนิยมมากว่า 20 ปีแล้ว (Maier et al., 2014)

2.1.2 การออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบวัตถุประสงค์เดียว

การศึกษาปัญหาการหาค่าที่เหมาสมในการออกแบบระบบการจ่ายน้ำสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบ ได้แก่ แบบแรกเป็นการกำหนดวัตถุประสงค์เดียว คือการหาต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize cost) เพียงอย่างเดียวซึ่งการศึกษาประเภทนี้จะมุ่งเน้นพัฒนาแผนผังการแก้้ปัญหา แล้วทดสอบกัับเครือข่ายมาตรฐาน จาก Simulator (EPANET) และ แบบที่สอง เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์แบบหลายวัตถุประสงค์ การศึกษาประเภทนี้จะมุ่งเน้นที่จะใ้ แผนผังการแก้้ปัญหา ที่มีอยู่เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ แผนผังการแก้้ปัญหา กัับกรณีศึกษาแบบต่างๆ หรือ ใ้ แผนผังการแก้้ปัญหา ที่มีอยู่เพื่อแก้้ปัญหากัับกรณีตัวอย่างที่มีอยู่ในโลกของความเป็นจริง ได้แก่ แบบที่มีวัตถุประสงค์แรกเป็นการหาต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize cost) วัตถุประสงค์ที่สองเป็นการหาความดันที่สูญเสียจากการไหลต่ำที่สุด (Minimum head loss) , แบบที่มีวัตถุประสงค์แรกเป็นการหาต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize cost) วัตถุประสงค์ที่สองเป็นการหาความยืดหยุ่นของเครือข่ายสูงที่สุด (Maximize resilience) และแบบที่มีวัตถุประสงค์แรกเป็นการหาต้นทุนการก่อสร้างระบบต่ำที่สุด (Minimize cost) วัตถุประสงค์ที่สองเป็นการหาต้นทุนการรั่วไหลต่ำที่สุด (Minimum leakage cost)

การออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบวัตถุประสงค์เดียวในการหาต้นทุนต่ำที่สุดนั้น Vasan&Simonovic (2010) ได้ทำการศึกษาการออกแบบเครือข่ายการกระจายน้ำอย่างเหมาะสมด้วย Differential Evolution (DE) โดยทำการพัฒนา DENET computer model ซึ่งเป็นการประยุกต์เอาเทคนิคในการหาค่าที่เหมาะสมร่วมกับ Hydraulic simulation solver ที่ชื่อ EPANET โดย model สร้างมาจากวัตถุประสงค์เดียวคือใช้ค่าลงทุนในการก่อสร้างเครือข่ายต่ำที่สุด ซึ่งจากผลการทดสอบกับกรณีศึกษา 2 แบบมาตรฐาน คือ New York supply system และ Hanoi network พบว่า DENET สามารถนำมาใช้หาคำตอบได้ดีเทียบได้กับการศึกษาที่เคยมีมาก่อนหน้า ดังนั้น DENET จึงสามารถนำมาพิจารณาเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่สามารถเลือกนำไปใช้ในการวางแผนและจัดการสำหรับการออกแบบเครือข่ายการกระจายน้ำทั้งในทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนและเสถียรภาพของระบบ. นอกจากนี้ Cisty (2010) ได้พัฒนา แผนผังการแก้ปัญหา โดยการนำสอง แผนผังการแก้ปัญหา มาผสมกัน เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา เช่น การรวม Genetic Algorithm (GA) และ Linear Programming (LP) แล้ว ได้ Hybrid Genetic Algorithm and Linear Programming Method (GALP) เพื่อใช้ในการหาต้นทุนต่ำที่สุดในการออกแบบระบบการจ่ายน้ำ โดยการหาขนาดท่อ และความยาว ที่เหมาะสม ในแต่ละ Looped network ซึ่งการประเมิน GALP จากเครือข่ายมาตรฐาน 3 แบบ คือ Hanoi, DoubleHanoi, Triple Hanoi เทียบกับแผนผังการแก้ปัญหาอื่น คือ GA, OptiDesigner และ Harmony search พบว่า GALP ให้วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดได้ค่าใกล้เคียง Global minimum ที่สุด. Sedki & Ouazar (2012) ได้พัฒนาแผนผังการแก้ปัญหาลูกผสมชื่อว่า Hybrid particle swarm optimization and differential evolution (PSODE) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหารออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบวัตถุประสงค์เดียว คือหาต้นทุนต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไข 4 เงื่อนไข คือ Mass conservation, Energy conservation, Minimum pressure, Pipe size availability โดยการหาขนาดท่อที่เหมาะสม แล้วประเมินแผนผังการแก้ปัญหา จาก Hydraulic simulator EPANET 2.0 จากเครือข่ายมาตรฐาน 3 แบบ คือ Two-loop network, New York Tunnels network, Hanoi network เทียบกับแผนผังการแก้ปัญหา อื่น คือ GA, ACO และ PSO พบว่า PSODE มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสูงกว่า PSO มาตรฐาน. จากนั้นจึงได้มีการพัฒนา Genetic Algorithm (GA) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา เช่น Mora-Melia et al. (2013) ได้นำ Pseudo-Genetic Algorithm (PGA) มาใช้ในการหาขนาดท่อที่เหมาะสมของแต่ละ node ในเครือข่าย ภายใต้เงื่อนไขความดันที่กำหนดเพื่อให้ได้ต้นทุนในการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด แล้วทำการประเมิน โดยเทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation) จากเครือข่ายมาตรฐาน ซึ่งเป็น model ใน EPANET เช่น Hanoi network

หรือ New York tunnel network พบว่า PGA สามารถปรับปรุง bias ซึ่งเป็นจุดอ่อนของ GA ได้. Bi et al. (2015) ได้ใช้ Prescreened Heuristic Sampling Method (PHSM) ซึ่งเป็น GA ที่ปรับปรุงเพื่อให้หาค่าตอบได้ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมได้มากขึ้นภายใต้เวลาการคำนวณที่สมควร แล้วทดสอบด้วยการใช้แผนผังการแก้ปัญหา แก้ปัญหาในการออกแบบระบบการกระจายน้ำด้วยการหาขนาดท่อที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขความดันที่กำหนดเพื่อให้ได้ต้นทุนในการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด เช่นเดียวกับ PGA แล้วทดสอบด้วยเครือข่ายมาตรฐานซึ่งเป็น Model ใน EPANET ทั้งหมด 7 กรณีเพื่อเปรียบเทียบกับ Heuristic sampling และ Non-heuristic sampling แบบอื่น ซึ่งผลปรากฏว่า PHSM ทำงานได้ดีกว่าทั้งในด้านประสิทธิภาพการคำนวณและความสามารถในการหา Near-optimal solutions.

2.1.3 การออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบหลายวัตถุประสงค์

จากการศึกษาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำแบบวัตถุประสงค์เดียวในการหาต้นทุนต่ำที่สุดนั้น ได้ทำการแก้ปัญหาโดยการกำหนดขนาดท่อเพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยมี Nodal Head เป็นเงื่อนไขที่กำหนดเพื่อให้มั่นใจว่าเครือข่ายสามารถมี reliable ที่เพียงพอ ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการทำต้นทุนเครือข่ายให้ต่ำที่สุด จะทำให้ reliability ของเครือข่ายลดลงด้วย หรือเกิดการ Trade off ขึ้น นั่นหมายความว่ายังมีวัตถุประสงค์อื่นที่จะต้องแก้ปัญหามาเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมอีก ดังนั้นจึงมีการศึกษาการแก้ปัญหาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ขึ้นมา. Li et al. (2012) มีการใช้แผนผังการแก้ปัญหา Non-dominated Sorting Genetic Algorithms-II (NSGA-II) มาใช้ในการหาขนาดท่อเพื่อให้ได้ต้นทุนการก่อสร้างต่ำที่สุดและประเมินเรื่องความดันที่เหลือเมื่อน้ำไหลในท่อ (Head surplus) ซึ่งเป็นปัญหาการกระจายน้ำแบบหลายวัตถุประสงค์ ทำให้ได้ set ของคำตอบระหว่างต้นทุนการก่อสร้างและ Node surplus head จากการประยุกต์ใช้กับเครือข่ายตัวอย่างที่มี 36 nodes และท่อ 40 เส้น. นอกจากนี้ Bureerat & Sriworamas (2013) ได้ทำการศึกษาการออกแบบเครือข่ายการกระจายที่เหมาะสม โดยมีการออกแบบเครือข่าย 12 แบบ แล้วใช้ Evolutionary Algorithm เช่น Real code Population-Base Incremental Learning (RPBIL) หรือ ลูกผสมระหว่าง RPBIL และ DE (RPBIL-DE) มาใช้ในการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์แรกเป็นการหาต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize Cost) วัตถุประสงค์ที่สองเป็นการหาความดันที่สูญเสียจากการไหลต่ำที่สุด (Minimum Head Loss) แล้วได้คำตอบของแต่ละเครือข่ายที่ออกแบบบน Pareto front ที่ดีที่สุด ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการใช้แผนผังการ

แก้ปัญหาแบบไหนก็จะได้คำตอบแบบเดิม โดยแผนผังการแก้ปัญหาที่ใช้หาคำตอบได้ดีที่สุดคือ RPBIL-DE.

การแก้ปัญหาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ ยังสามารถตั้งวัตถุประสงค์เกี่ยวกับค่าความยืดหยุ่นของเครือข่าย (Network resilience) ซึ่งเป็นความสามารถในการให้บริการและการรักษาระดับที่ยอมรับได้ของการให้บริการเมื่อเกิดความผิดพลาดและเป็นความท้าทายต่อการดำเนินงาน Creaco & Franchini(2014) ได้นำ LLHA จาก NSGA-II ร่วมกับ LP มาศึกษาเพิ่มเติมบนกรณีศึกษาการแก้ปัญหาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์แบบ Minimize cost และ Maximize network resilience ซึ่งแสดงให้เห็นว่า LLHA มีประสิทธิภาพการคำนวณที่ดีกว่าแผนผังการแก้ปัญหาแบบดั้งเดิม NSGA-II ในส่วน GA แบบหลายวัตถุประสงค์. Alvisi & Franchini(2015) ได้ทำการเปรียบเทียบ Simulator ระหว่าง Hydraulic และ Linearized simulator ในการจำลองผลจากการหาค่าที่เหมาะสมของจำนวนท่อ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละท่อในการสร้างเครือข่ายการกระจายน้ำแบบหลายวัตถุประสงค์คือ Minimize cost และ Maximize reliability โดยใช้แผนผังการแก้ปัญหา NSGA-II พบว่า Linearized simulator สามารถให้ผลได้เหมือนกับ Hydraulic simulator แต่ใช้เวลาดำเนินการที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ. Wang et al. (2015) ทำการศึกษา แผนผังการแก้ปัญหา แบบต่างๆแล้วนำมาเปรียบเทียบกันในการแก้ปัญหาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ ได้แสดงถึงความแตกต่างระหว่างแผนผังการแก้ปัญหาลูกผสมระดับต่ำ (Low level hybrid Algorithm : LLHA) และระดับสูง (Low level hybrid Algorithm : HLHA) ที่มีความต่างกันทั้งด้าน จำนวนตัวแปรตัดสินใจ, แบบจำลอง Hydraulic, ความยืดหยุ่น, ขอบเขตการคำนวณ, ความเข้มแข็งในการสุ่มเมล็ดพันธุ์ (Robustness to random seed) แล้วนำ LLHA จาก NSGA-II ร่วมกับ Linear programming , HLHA จาก การใช้แผนผังการแก้ปัญหา ร่วมกันระหว่าง NSGA-II, AMS, PSO, DE และ แผนผังการแก้ปัญหาดั้งเดิม NSGA-II มาใช้แก้ปัญหากับกรณีศึกษา 4 แบบที่มีความซับซ้อนในระดับที่แตกต่างกัน พบว่า ใน Net work ที่มีความซับซ้อนระดับต่ำ-ปานกลาง แผนผังการแก้ปัญหาลูกผสมสามารถจับ Pareto front ที่มีความหลากหลาย (Diversity) ได้ดี ขณะที่ NSGA-II มีการมาบรรจบกัน (Convergence) ดีที่สุด และเมื่อ Net work มีความซับซ้อนมากขึ้น แผนผังการแก้ปัญหาลูกผสม โดยเฉพาะ LLHA กลับขึ้นมาเป็นผู้นำทั้งทางด้าน Diversity และ Convergence.

นอกเหนือไปจากการสร้างเครือข่ายการกระจายน้ำแล้วการซ่อมแซมเครือข่ายน้ำที่มีการวางท่อไว้อยู่แล้วยังได้รับการศึกษาโดย Rahman & Behzadian (2014) ซึ่งได้ทำการใช้แผนผังการแก้ปัญหา NSGA-II แบบหลายวัตถุประสงค์คือการหาต้นทุนในการซ่อมแซมต่ำที่สุด และวัตถุประสงค์ในการหาการรั่วไหลต่ำสุดในเทอมของต้นทุนพลังงานที่สูญเสีย ซึ่งจากการศึกษาทำให้ได้เซตของคำตอบในภาพที่ของ Pareto optimal front เพื่อนำมาเสนอเป็นทางเลือกในการซ่อมแซมเครือข่ายน้ำเดิมได้

ในกรณีที่แหล่งน้ำมีหลายแหล่งและโครงสร้างของเครือข่ายการกระจายน้ำมีความซับซ้อนมาก วิธีการแบ่งเครือข่าย (Network) ออกเป็นเครือข่ายย่อย (Sub-network) แล้วหาค่าที่เหมาะสมของขนาดท่อที่ทำให้ได้ต้นทุนในการสร้างต่ำที่สุดเครือข่ายย่อยก่อนแล้วค่อยนำมารวมกันแล้วหาค่าที่เหมาะสมของทั้งเครือข่ายทั้งหมดอีกครั้งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผนผังการแก้ปัญหา ที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมได้ Zhenget al. (2013) ได้ทำการศึกษาการหาแบ่งเครือข่ายการกระจายน้ำด้วยวิธี Slop-base (Graph-base) เพื่อออกแบบระบบการจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วยวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบวัตถุประสงค์เดียว โดยแบ่งจำนวน Sub-network เป็นจำนวน K เท่ากับจำนวนของแหล่งน้ำในเครือข่ายดั้งเดิม แล้วใช้ DE ในการหาค่าขนาดของท่อที่เหมาะสมในแต่ละ Sub-network เพื่อกำหนดขนาดท่อเล็กที่สุดที่เป็นไปได้เพื่อเป็น Initial seeding แล้วจึงใช้ DE หา Optimal solution ของเครือข่ายรวมทั้งหมดที่เป็นแบบเดิมก่อนถูกแยกเป็น Sub-network ซึ่งผลการศึกษานี้พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบดั้งเดิมทั้งในด้านประสิทธิภาพการคำนวณและคุณภาพของคำตอบ ต่อมาวิธีการแยกเครือข่ายออกเป็น Sub-network ด้วยวิธี Slop-base นี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วยแบบวัตถุประสงค์ Zheng&Zecchin (2014) ได้ทำการศึกษาการแบ่งเครือข่ายการกระจายน้ำด้วยวิธี Slop-base แล้วใช้ NSGA-II หาค่าขนาดท่อที่เหมาะสมเพื่อสองวัตถุประสงค์คือให้ใช้ค่าลงทุนการก่อสร้างเครือข่ายการกระจายน้ำต่ำที่สุดและให้ Head loss ระหว่าง Node ต้นทางและ Node ปลายทางที่เชื่อมต่อมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจากผลการทดสอบกับกรณีศึกษา 4 แบบคือ แบบที่มีแหล่งน้ำ 1,2,3,4 แหล่ง พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการหา Optimal fronts ดีกว่าแบบดั้งเดิม. อย่างไรก็ตามเมื่อเครือข่ายการกระจายน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีการแยกเครือข่ายออกเป็น Sub-network ด้วยวิธี Slop-base จะไม่มีประสิทธิภาพด้านเวลาจากการที่ต้องใส่ค่าที่จำเป็นในการคำนวณ Slopes อีกทั้งวิธีการนี้อาจไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ข้อมูลของปัจจัยในการไหลของน้ำในขั้นตอนการแยกเครือข่ายออกเป็น Sub-

network (Decomposition) ดังนั้น ต่อมาจึงมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงขั้นตอน Decomposition นี้ Lee et al. (2016) ได้ทำการศึกษาการหาแบ่งเครือข่ายการกระจายน้ำ ด้วยวิธี Source tracing คือแบ่ง Sub-network ตามอัตราการรับน้ำของแต่ละ Node จากแต่ละแหล่งน้ำ เพื่อออกแบบระบบการจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วย Harmony Search Algorithm แบบวัตถุประสงค์เดียวคือใช้ต้นทุนต่ำที่สุดในการสร้างเครือข่ายการกระจายน้ำ ซึ่งจากผลการทดสอบกับกรณีศึกษา 2 แบบคือ แบบที่มีแหล่งน้ำ 3 (Pescara network) และ 4 (Balerma network) แหล่ง พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่าการลงทุนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการแก้ปัญหาด้วยแผนผังการแก้ปัญหาแบบอื่นๆที่เคยมีการศึกษาก่อนหน้า ได้แก่ GA, Simulate annealing, Mix simulate annealing and tabu search HAS, PSHSA, Mine blast Algorithm

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบระบบการจ่ายน้ำ ทั้งวัตถุประสงค์เดียวและหลายวัตถุประสงค์ ส่วนมากใช้การแก้ปัญหาด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก เนื่องจากปัญหาที่เกี่ยวกับการออกแบบที่เหมาะสมในระบบนี้มีขนาดใหญ่ซึ่งจัดอยู่ในหมวดของ NP-hard problems (Cisty, 2010) ซึ่งมีความยากและซับซ้อน จึงไม่สามารถหาคำตอบที่แท้จริงเต็มจำนวนได้จากแผนผังการแก้ปัญหาแบบแน่นอนตรงได้

2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

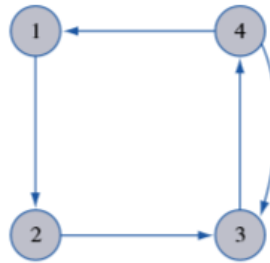
2.2.1 Network Models

ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization problems) ที่สำคัญหลายปัญหาสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการแสดงเป็นแผนภาพโครงข่าย (Winston, 2004)

1) นิยามพื้นฐาน (Basic Definitions)

แผนภาพ หรือโครงข่าย สามารถระบุได้ด้วยสัญลักษณ์สองอย่าง คือ จุด เรียกว่า Nodes และ เส้นที่เชื่อมระหว่าง Node เรียกว่า Arc ดังนั้น Arc จะประกอบด้วยคู่ของจุดที่มีการลำดับไว้ และแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ระหว่างจุด เช่น กรณีที่โครงข่ายมี Arc (i, j) แสดงว่ามีการที่ที่เป็นไปได้จาก Node i ถึง Node j นั่นคือ Node i เป็นจุดเริ่มต้น (Initial node) และ Node j เป็นจุดสิ้นสุด (Terminal node) และในกลุ่มของ Arc มีนิยามของกลุ่ม สองแบบ คือ แบบแรกเป็นแบบ Arc ที่มีการต่อเนื่องกัน โดยทุก Arc มี Node หนึ่ง Node ที่เหมือนกันกับ Arc ก่อนหน้าที่ Arc นั้นต่ออยู่ เรียกว่า Chain และแบบที่สองเป็น Chain ที่มีจุดสิ้นสุด

(Terminal node) ของแต่ละ Arc เป็นจุดเริ่มต้น (Initial node) ของ Arc ที่อยู่ถัดไป จากตัวอย่างในภาพที่ 2.1 (1, 2)–(2, 3)–(4, 3) คือ Chain ไม่ใช่ Path และ (1, 2)–(2, 3)–(3, 4) เป็นได้ทั้ง Chain และ Path. ซึ่ง path (1, 2)–(2, 3)–(3, 4) แสดงถึง เส้นทางที่เดินทางจาก node 1 ถึง node 4.



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่าง โครงข่าย (network)

- 2) ปัญหาในการต้นทุนน้อยที่สุดในปัญหาการไหลในโครงข่าย (Minimum-cost network flow problems)

ปัญหาประเภทการขนส่ง (Transportation), การกำหนดงาน (Assignment), การถ่ายเท (Transshipment), เส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest-path), อัตราการไหลมากที่สุด (Maximum flow) และปัญหาเส้นทางวิกฤติ (Critical path problems) ล้วนแล้วแต่เป็นปัญหาพิเศษของปัญหาในการต้นทุนน้อยที่สุดในปัญหาการไหลในโครงข่าย (Minimum-cost network flow problems : MCNFP)

x_{ij} = จำนวนหน่วยของการไหลที่ส่งออกจาก Node i ไป Node j ผ่าน arc (i, j)

b_i = ปริมาณจำหน่ายสุทธิ (การไหลออก - การไหลเข้า) ที่ Node i

c_{ij} = ต้นทุนของการขนส่ง 1 หน่วยที่ไหลจาก Node i ไป Node j ผ่าน Arc (i, j)

L_{ij} = ขอบเขตล่างของการไหลผ่าน Arc (i, j) (ถ้าไม่มี ให้กำหนด $L_{ij} = 0$)

U_{ij} = ขอบเขตบนของการไหลผ่าน Arc (i, j) (ถ้าไม่มี ให้กำหนด $U_{ij} = \infty$)

ดังนั้น MCNFP อาจเขียนได้ดังนี้

$$\min \sum_{\text{all arcs}} c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

$$s.t. \sum_j x_{ij} - \sum_k x_{ik} = b_i \quad (\text{สำหรับแต่ละ Node } i \text{ ในโครงข่าย})$$

$$(2.2) L_{ij} \leq x_{ij} \leq U_{ij}$$

$$(\text{สำหรับแต่ละ Arc ในโครงข่าย}) \quad (2.3)$$

สมการข้อจำกัด สมการที่ 2.2 เป็นสมการสมดุลการไหล และ สมการที่ 2.3 แสดงถึงขีดจำกัดของความจุของ Arc (Limitations on arc capacities) ดังนั้น MCNFP ใดๆ อาจหาคำตอบได้โดยการเขียน Computer code ด้วยการใช้ Network simplex เพียงแค่ใส่ Nodes และ Arcs ในโครงข่าย, ต้นทุน และความจุ ของแต่ละ arc , และปริมาณจำหน่ายสุทธิ ของแต่ละ node

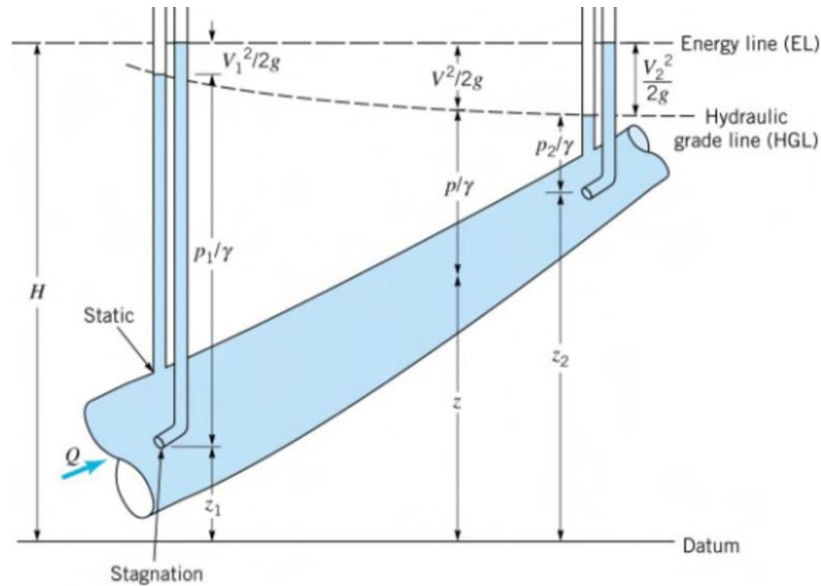
2.2.2 กลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanics)

กลศาสตร์ของไหล มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวัน รวมถึงในทางอุตสาหกรรมด้วย เครื่อง อำนวยความสะดวก เครื่องจักรต่างๆ และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม นั้น ก็จะประกอบไปด้วยของไหล แทบทั้งสิ้น ดังนั้นพื้นฐานความรู้ในวิชานี้จึงมีความจำเป็นสำหรับการ คำนวณการออกแบบ ระบบเพื่อให้มีการนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยเฉพาะใน ภาคอุตสาหกรรม (Ministry of Energy, 2016)

- 1) หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล
 ของไหล (Fluid) คือของเหลว และก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลว นั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูงมาก จึงพิจารณาว่า ของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ และมีสมบัติดังต่อไปนี้
 ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ มวล (m) ของสารนั้นหารด้วยปริมาตร (V) ปริมาตรเฉพาะ (Specific volume, v) คือ ปริมาตรของสารนั้นหารด้วยมวลซึ่งจะมีค่าเป็นส่วนกลับของ ความหนาแน่น
 ความหนืด (Viscosity, μ) คือ คุณสมบัติการต้านการเคลื่อนที่ของของไหล

- 2) สมการพื้นฐานของการไหล
 ในภาพที่ 2.2 แสดงการไหลของของไหล เมื่อกำหนดพื้นที่ตัดขวาง (Cross section area) ให้เป็น A [m²] ความเร็วเฉลี่ยในการไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางเป็น V

[m/s] และคิดให้เป็นการไหลแบบคงตัว (Steady flow) ตัวเลข 1 และ 2 ที่เป็นตัวห้อยจะหมายถึงพื้นที่ตัดขวางที่ตำแหน่งที่ 1 และ ตำแหน่งที่ 2



ภาพที่ 2.2 การไหลในสภาวะปกติ

- 3) สมการของการอนุรักษ์มวล
มวลสารที่เกิดการไหลในระบบหนึ่งจะเท่ากันตลอดทุกๆ หน้าตัด เมื่อให้ปริมาณการไหลของมวลสาร เป็น \dot{M} [kg/s] จะเขียนสมการได้ว่า

$$\dot{M} = \rho VA = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \text{ค่าคงที่}$$

$$= \rho Q = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \text{ค่าคงที่} \quad (2.4)$$

ในสมการนี้ค่า ρ คือค่าความหนาแน่นของของไหล [kg/m³], Q เป็นอัตราการไหลของปริมาตร (Volume flow rate) หรือเรียกสั้นๆ ว่าอัตราการไหล (Flow rate) ของของไหล [m³/s], ถ้าให้ค่า Q เท่ากับ \dot{M}/ρ แล้ว และ ρ เป็นค่าคงที่ (เป็นของเหลวที่อัดตัวไม่ได้) ในกรณีนี้จะทำให้ Q ก็เป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน

4) สมการของการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลต่อหน่วยมวลคือ ค่าเอนทัลปีจำเพาะ h [J/kg] พลังงานจลน์ $V^2/2$ [J/kg] และพลังงานศักย์ gz [J/kg] ในระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ 1 และ 2 เมื่อมีพลังงานจากภายนอกเข้ามาโดย จะให้พลังงานนี้เป็น E_{in} [J/kg] (ยกตัวอย่างเช่นพลังงานจากปั๊ม, Blower, หรือการเพิ่มความร้อน) และถ้าให้ พลังงานจากของไหลที่ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมเป็น E_{out} (เช่นงานจากกังหัน, การทำความเย็น) จากกฎของการ อนุรักษ์พลังงานกรณีการไหลคงตัวจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$(h_1 + V_1^2/2 + gz_1) + (E_{in} - E_{out}) = (h_2 + V_2^2/2 + gz_2) \quad (2.5)$$

โดยค่า g เป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก $g_n = 9.80665$ [m/s²]

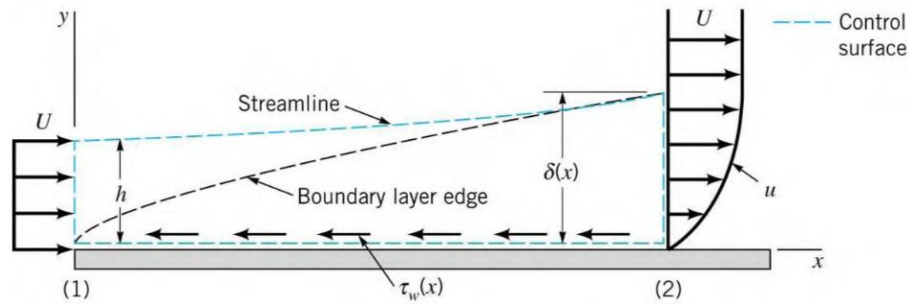
ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี Δh กับการเปลี่ยนแปลงความดัน Δp สามารถเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$\Delta h = \Delta q + v\Delta p = \Delta q + \Delta p/\rho \quad (2.6)$$

2.2.3 การไหลของของไหลที่คิดความหนืด

- 1) การไหลแบบราบเรียบ หรือการไหลเป็นชั้นๆ (Laminar flow) กับ การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

เมื่อของไหลซึ่งมีความหนืดไหลไปตามผิวของวัตถุ ความหนืดของของไหลจะทำให้อนุภาคเล็กๆ ของของไหลยึดติดอยู่กับผิวของวัตถุ โดยมีความเร็ว $U=0$ ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 2.3 เป็นเหตุให้ของไหลเมื่อยิ่งเข้าใกล้ผิววัตถุมากยิ่งขึ้นจะทำให้เกิดชั้นบางๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลมากยิ่งขึ้น ในชั้นนี้เรียกว่า “ชั้นขอบเขตของความเร็ว (Velocity boundary)” ส่วนการไหลที่อยู่นอกขอบเขตนี้ไปเรียกว่า “เส้นการไหลหลัก (Mainstream)” ซึ่งสามารถจะตัดทิ้งผลกระทบจากความหนืดได้



ภาพที่ 2.3 ชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลที่ผิวของวัตถุ

ชั้นขอบเขตของการไหลนี้จะแบ่งออกเป็นชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบ (ไหลเป็นชั้น) (Laminar flow) กับ ชั้นขอบเขตของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) การไหลภายในชั้นขอบเขตการไหลเป็นชั้น นั้น จะมีเส้นของการไหลอย่างเป็นระเบียบเกิดขึ้น ในการแยกการไหลว่าจะเป็นการไหลแบบเป็นชั้น (ไหลแบบราบเรียบ) หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สามารถแยกได้ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ที่ไม่มีมิติที่เรียกว่า จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) เป็นตัวกำหนดในการแยกการไหลโดย

$$Re = \rho V D / \mu \quad (2.7)$$

เมื่อ

Re = จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number)

V = ความเร็วการไหล

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

ρ = ความหนาแน่นของของไหล

μ = ความหนืดของของไหล

จำนวนเลขเรย์โนลด์ไม่มีหน่วย และมีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือจำนวนเลขนี้ใช้เป็นตัวกำหนดภาพที่แบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด เช่น

Re อยู่ในช่วง 0 - 2000 สภาพการไหลเป็นแบบราบเรียบ(Laminar Flow)

Re อยู่ในช่วง 2001 - 4000 สภาพการไหลเป็นแบบ Transition Zone คือ มีการไหล 2 แบบ คือ แบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน

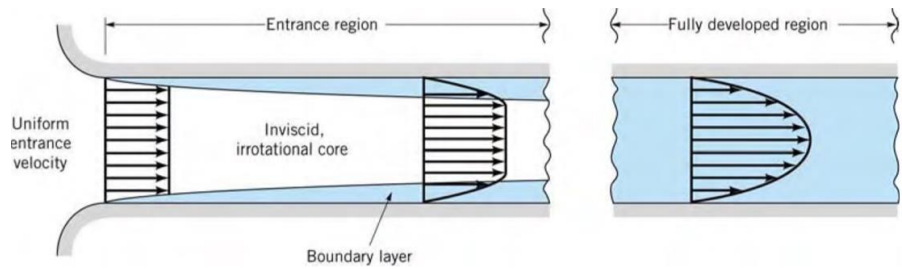
Re มากกว่า 4000 สภาพการไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

2) การไหลในท่อกลม

การไหลในท่อกลมที่บริเวณทางเข้าท่อที่แสดงในภาพที่ 2.4 นั้นจะเห็นว่าตั้งแต่ที่บริเวณทางเข้า ชั้นขอบเขตของความเร็วจะค่อยๆพัฒนาเพิ่มขึ้นที่ละเล็กที่ละน้อยจนถึงระยะทางค่าหนึ่ง (Le) ชั้นของความเร็วจะซ้อนกันทั้งบน และล่าง หลังจากนั้นการกระจายความเร็วจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เรียกว่าการไหลได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ (Fully Developed) ค่าเรย์โน Re สำหรับการไหลภายในท่อนั้นถ้าให้ D เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย V เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของพื้นที่ตัดขวางท่อแล้วจะได้

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{[M/(\frac{\pi D^2}{4})]D}{\mu} \quad (2.8)$$

ค่าเรย์โนวิกฤติของการไหลภายในท่อที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์แล้ว คือค่าเรย์โน ที่การไหล เปลี่ยนจากการไหลราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะมีค่า $Re = 2300$ หรืออยู่ในช่วงระหว่าง 2000 – 4000 โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนในการไหล ความขรุขระภายในท่อที่ไหล หรือภาพที่ทรง และ สภาพของทางเข้า ส่วนค่าเรย์โนที่ต่ำกว่า 2000 ไม่ว่าท่อจะมีความยาวมากเพียงใด การไหลก็จะไม่เปลี่ยนแปลง ไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน จะยังคงรักษาสภาพการไหลแบบเป็นชั้น หรือราบเรียบต่อไป



ภาพที่ 2.4 การไหลภายในท่อกลม

- 3) ความดันที่สูญเสียไปในท่อตรง
 การไหลในท่อตรงนั้น การสูญเสียทั้งหมดจะเกิดขึ้นมาจากแรงเสียดทานระหว่างชั้นของของไหลที่อยู่ติดกับผนังของท่อหรือความหนืด โดยความดันที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน ΔP สามารถเขียนเป็น สมการ ได้ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} \quad (2.9)$$

โดยในที่นี้ค่า f จะเรียกว่า “ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (Friction factor)” และค่า L เป็นค่าความยาว, ค่า D เป็นค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, ส่วนค่า V เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของการไหล จากความสัมพันธ์ของ ค่า V และ Q ในสมการที่ 2.1 ซึ่ง $V = Q/(\pi D^2/4)$ เมื่อแทนค่านี้ลงไป ในสมการที่ 2.9 จะสมการที่ 2.10

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 8fL \cdot \frac{Q^2}{\pi^2 D^5} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.10 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าความดันที่สูญเสียไป ΔP ของท่อที่ยาว L และมีอัตราการไหล Q จะเป็นปฏิภาคที่ผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ยกกำลัง 5

ทั้งนี้สมการข้างต้นใช้งานยาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ แรงเสียดทาน f เป็นเรื่องยากที่จะคำนวณให้ถูกต้อง ดังนั้นในปี 1906 Hazen and Williams ได้กำหนดสูตรเชิงประจักษ์ (empirical formula) ที่ใช้งานง่าย ภาพที่แบบทั่วไปของสมการเกี่ยวข้องกับความเร็วเฉลี่ยของน้ำ (ของไหลอื่นๆ ใช้ไม่ได้) ที่ไหลในท่อที่มีคุณสมบัติทางเรขาคณิตของและความลาดชันของพลังงาน โดยต่อมาได้มีการปรับปรุงสูตรของ Hazen-Williams ให้สามารถหาค่าของการสูญเสียหัวความดัน, h_f ได้โดยตรง และสามารถแทนค่าของหน่วยนับต่างๆ ในสมการเชิงประจักษ์ (Williams & Hazen, 1920) ตามสมการข้างล่าง

$$h_f = 10.458 \times \frac{LQ^{1.852}}{CW^{1.852} D^{4.871}} \quad (2.13)$$

โดยที่

h_f คือ การสูญเสียหัวความดันเนื่องจากแรงเสียดทาน (ft)

L คือ ความยาวเทียบเท่าของท่อ (ft)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (gpm)

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลม (in)

CW คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อของ Hazen & Williams

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

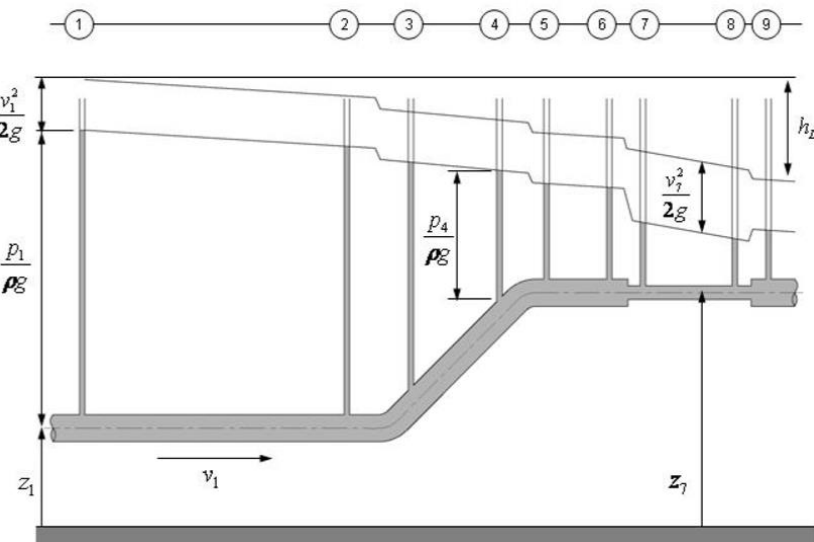
4) องค์ประกอบของการสูญเสียความดันในการไหลภายในท่อ

การสูญเสียความดันสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

- 4.1) Major losses (h_f) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อจากการที่ของไหลผ่านท่อตรง
- 4.2) Minor Losses (h_m) เกิดจากการที่ของไหลไหลผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ ตัวอย่างเช่น Gate valve, Elbow ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่และทางแยกต่างๆ

4.3) เส้นระดับพลังงาน

เส้นระดับพลังงาน (Energy grade line) คือเส้นกราฟแสดง เสดของพลังงานรวม ตามเส้นทางของการไหลในท่อ (มักใช้เส้นทางตามแนวราบ) ภาพที่ 2.5 แสดงเส้นระดับ พลังงานรวมที่ค่อยๆลดลงตามเส้นทางการไหล เนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ การเปลี่ยนขนาดท่อ และ การโค้งงอของท่อ ความดันที่จุดที่ 1 ที่สูงกว่าบรรยากาศจะทำให้ระดับน้ำในท่อวัดความดันสูงขึ้น ซึ่งความสูงนี้คือเสดของความดันเกจที่จุดที่ 1 (h_1) เส้นกราฟที่อยู่ต่ำลงมาคือเส้นระดับความดันไฮดรอลิก (Hydraulic grade line) ซึ่งเป็นกราฟของผลรวมของเสดจากความดันสถิต และเสด จากความสูง โดยไม่รวมเสดเนื่องจากความเร็ว (Chonsuk, D., 2013)



ภาพที่ 2.5 เส้นระดับพลังงานและเส้นระดับความดันไฮดรอลิก
ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
All rights reserved

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความดันในภาพที่ 2.5 อธิบายได้ดังนี้

จุดที่ 1 – 2 ความสูญเสียหลักทำให้ระดับพลังงานรวมลดลงอย่างสม่ำเสมอตามระยะทาง

จุดที่ 2 – 3 ความสูญเสียรองที่ข้องอทำให้ระดับพลังงานรวมลดลงอย่างฉับพลัน

จุดที่ 3 – 4 ความสูญเสียหลักระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันสถิตในของไหลลดลง

จุดที่ 4 – 5 ความสูญเสียรองที่ข้องทำให้ระดับพลังงานรวมลดลงอย่าง
ฉับพลัน

จุดที่ 5 – 6 ความสูญเสียหลักทำให้ระดับพลังงานรวมลดลงอย่างสม่ำเสมอ
ตามระยะทาง

จุดที่ 6 – 7 ความสูญเสียรองจากการลดขนาดท่ออย่างฉับพลันประกอบกับ
ความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันสถิตลดลงอย่างมาก เส้นระดับพลังงาน
จะแตกต่างจากเส้นระดับความดัน ไฮดรอลิกมากขึ้น เนื่องจากเสดของ
ความเร็วมีค่าสูงขึ้น

จุดที่ 7 – 8 ความสูญเสียหลักทำให้ระดับพลังงานรวมลดลงอย่างสม่ำเสมอ
ตามระยะทาง ด้วยอัตราที่มากกว่าช่วงอื่นเพราะความเร็วในการไหลมีมาก
ขึ้น

จุดที่ 8 – 9 ความสูญเสียรองจากการเพิ่มขนาดท่ออย่างฉับพลันทำให้ระดับ
พลังงานรวมลดลง แต่ความเร็วที่ลดลงมีผลลัพธ์ให้ความดันสถิตเพิ่มขึ้น
เล็กน้อย เส้นระดับพลังงานจะแตกต่างจากเส้นระดับความดัน ไฮดรอลิ
กน้อยลง เนื่องจากเสดของความเร็วมีค่าต่ำลง

2.2.3 วิธีวิวัฒนาการผลต่าง (Differential Evolution Algorithm: DE)

ในศาสตร์ของปัญญาประดิษฐ์นั้น ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) เป็นหนึ่งในเรื่องของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary computation) ที่ใช้ฐานประชากรโดยทั่วไปของขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮีริสติกที่เหมาะสมที่สุด (Meta-heuristic optimization algorithm) โดยขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการนั้น ใช้กระบวนการที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากการวิวัฒนาการทางชีววิทยา อันได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การกลายพันธุ์ (Mutation) การแลกเปลี่ยนยีน (Recombination) และการคัดเลือก (Selection) โดยจะมีผลเฉลยที่สามารถเลือกได้ (Candidate solution) แทนประชากร และฟังก์ชันคุณภาพ (Quality function) ในการคัดเลือกประชากรที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมที่กำหนดไว้ กระบวนการในการออกแบบนั้นได้แนวคิดมาจากการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ กลุ่มของประชากรที่เป็นอิสระจากกันผ่านสภาพแวดล้อมที่มีสภาพกดดันจนทำให้เกิดการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural selection) แล้วเกิดการคัดเลือกประชากรที่เหมาะสม เช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ เราจะสุ่มผลเฉลยที่สามารถเลือกได้

(Candidate solution) เช่น สมาชิกของโดเมนในฟังก์ชัน ขึ้นมา แล้วใช้ฟังก์ชันคุณภาพ (Quality function) เป็นตัวคัดเลือกคำตอบที่เหมาะสม ยิ่งฟังก์ชันมีมาตรฐานสูงยิ่งดี โดยเทียบจากมาตรฐานนี้ บางส่วนของผลเฉลยที่ดีกว่าจะถูกเลือกไปเป็นเมล็ดพันธุ์สำหรับรุ่นถัดไป โดยประยุกต์ภาพที่แบบของการสืบพันธุ์ การกลายพันธุ์ให้กับมัน โดยการสืบพันธุ์นั้น ผลเฉลยที่ถูกเลือกสองตัวหรือมากกว่า (หรือเรียกได้ว่าเป็นบรรพบุรุษ) จะถูกนำมาดำเนินการ และให้ผลออกมาเป็นผลเฉลยรุ่นใหม่ (หรือเรียกได้ว่าเป็นลูก) ส่วนการกลายพันธุ์นั้น จะถูกใช้กับผลเฉลยเพียงหนึ่งตัว และผลที่ได้คือผลเฉลยรุ่นใหม่ การสืบพันธุ์และกลายพันธุ์นี้จะนำไปสู่เชื้อตของผลเฉลยรุ่นใหม่ ที่มีมาตรฐานใหม่ที่ดีกว่ารุ่นเก่า กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการไปจนกว่าจะพบผลเฉลยที่ดีที่สุด หรือที่ถูกต้อง หรือจนกว่าการคำนวณจะถึงขอบเขตสิ้นสุด

วิธีวิวัฒนาการผลต่างเป็นอีกเทคนิคหนึ่งในตระกูล Evolutionary algorithm (Storn & Price, 1997) ซึ่ง DE เป็น Parallel direct search method ที่ใช้ D-dimensional parameter vector จำนวน NP ตัวเป็นประชากรของรุ่น G โดย Vector ชุดแรกสามารถสร้างได้โดยการสุ่มให้ครอบคลุมทั้ง Parameter space หรือถ้าเป็นกรณีที่มี Preliminary solution อยู่แล้ว ก็อาจจะใช้คำตอบดังกล่าวเป็นตัวตั้งต้น แล้วสร้างรุ่นแรกจากการเพิ่มสมาชิกที่ค่าเบี่ยงเบนจากคำตอบนั้นกระจายแบบปกติเข้าไปให้ได้ NP ตัว จากนั้น DE จะสร้าง Parameter vector ชุดใหม่ เรียกว่า Trial vector จากขั้นตอน Mutation กับ Crossover แล้วเปรียบเทียบ Trial vector กับ Target vector (ซึ่งเป็นประชากรรุ่น G) หาก Trial vector มี Cost function ต่ำกว่า Target vector ต่อไป Trial vector จะไปอยู่ในรุ่น G+1 ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า Selection แล้วทำซ้ำ Mutation, Crossover, Selection ไปจนถึงจำนวนรุ่นที่กำหนด แล้วเอาประชากรตัวที่ดีที่สุดจากรุ่นสุดท้ายเป็นคำตอบ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1) Initialization

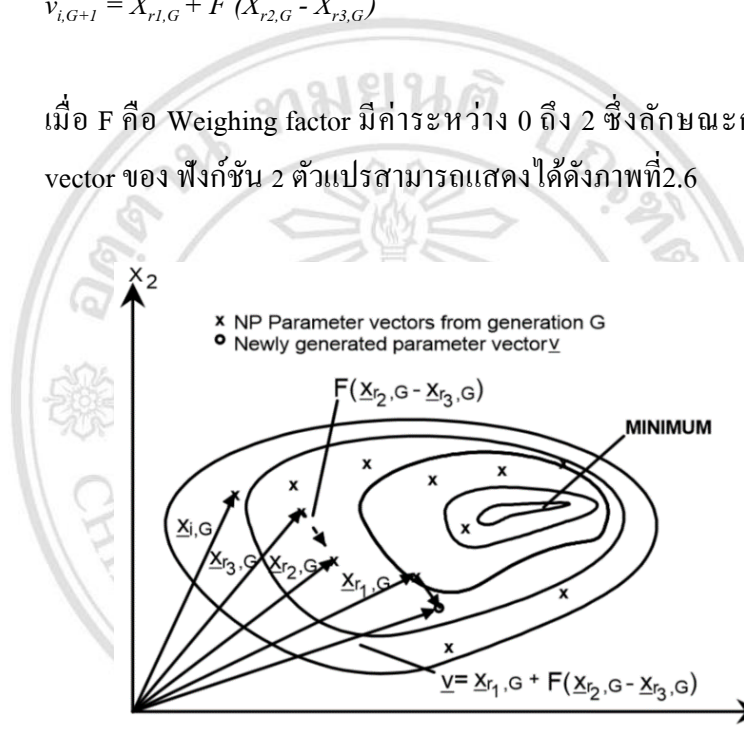
กำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่าง ของตัวแปรการตัดสินใจแต่ละตัว โดยต้องแน่ใจว่าขอบเขตนี้จะครอบคลุมจุดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นให้สุ่มหาคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้น (Initial population) โดยกำหนดให้ออกาสที่จะถูกเลือกของคำตอบมีค่าสม่ำเสมอ (Uniform probability distribution) โดยแต่ละคำตอบซึ่งเรียกว่า Decision vector มีมิติเท่ากับ D และจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้นเท่ากับ NP จากนั้นคำนวณหา Function value ของแต่ละคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้

2) Mutation

กำหนด Target vector (X_i, G) โดย $i = 1, 2, 3, \dots, NP$ จากนั้นสุ่มเลือก 3 Vector ($X_{r_1, G}, X_{r_2, G}, X_{r_3, G}$) จากคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้น (Initial population) โดยต้องไม่ซ้ำกับ Target vector แล้วคำนวณหา Mutant vector ($v_{i, G+1}$) จากความสัมพันธ์

$$v_{i, G+1} = X_{r_1, G} + F (X_{r_2, G} - X_{r_3, G}) \quad (2.15)$$

เมื่อ F คือ Weighing factor มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2 ซึ่งลักษณะการค้นหา Mutant vector ของ ฟังก์ชัน 2 ตัวแปรสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงการค้นหา Mutant vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3) Crossover

เป็นกระบวนการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบ ผลลัพธ์จะได้ Trial vector ($u_{i, G+1}$) ซึ่งเกิดจาก Non-uniform crossover ของ Target vector กับ Mutant vector โดย

$$u_{i, G+1} = (u_{1i, G+1}, u_{2i, G+1}, \dots, u_{Di, G+1}) \quad (2.16)$$

และสมการ (2.17) แสดงกระบวนการ Crossover

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} v_{j,i,G+1} & \text{if } (\text{randb}(j) \leq CR) \text{ or } j = \text{rnbr}(i) \\ X_{j,i,G} & \text{if } (\text{randb}(j) > CR) \text{ and } j \neq \text{rnbr}(i) \end{cases} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$u_{j,i,G+1}$ = Trial vector

$v_{j,i,G+1}$ = Mutant vector

$X_{j,i,G}$ = Target vector

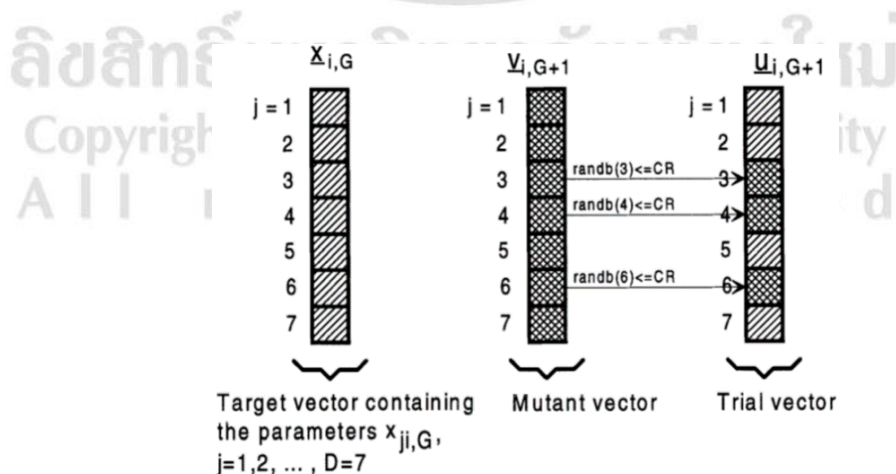
$\text{randb}(j)$ = การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover constant มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง 1

$\text{rnbr}(i)$ = ค่า Index จากการสุ่มเลือก มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มระหว่าง $0, 1, \dots, D-1$

$j = 0, 1, \dots, D-1$

ภาพที่ 2.7 แสดงกระบวนการ Crossover ระหว่าง Target vector กับ Mutant vector ที่มีตัวแปรการตัดสินใจ (D) เท่ากับ 7



ภาพที่ 2.7 การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector

4) Selection

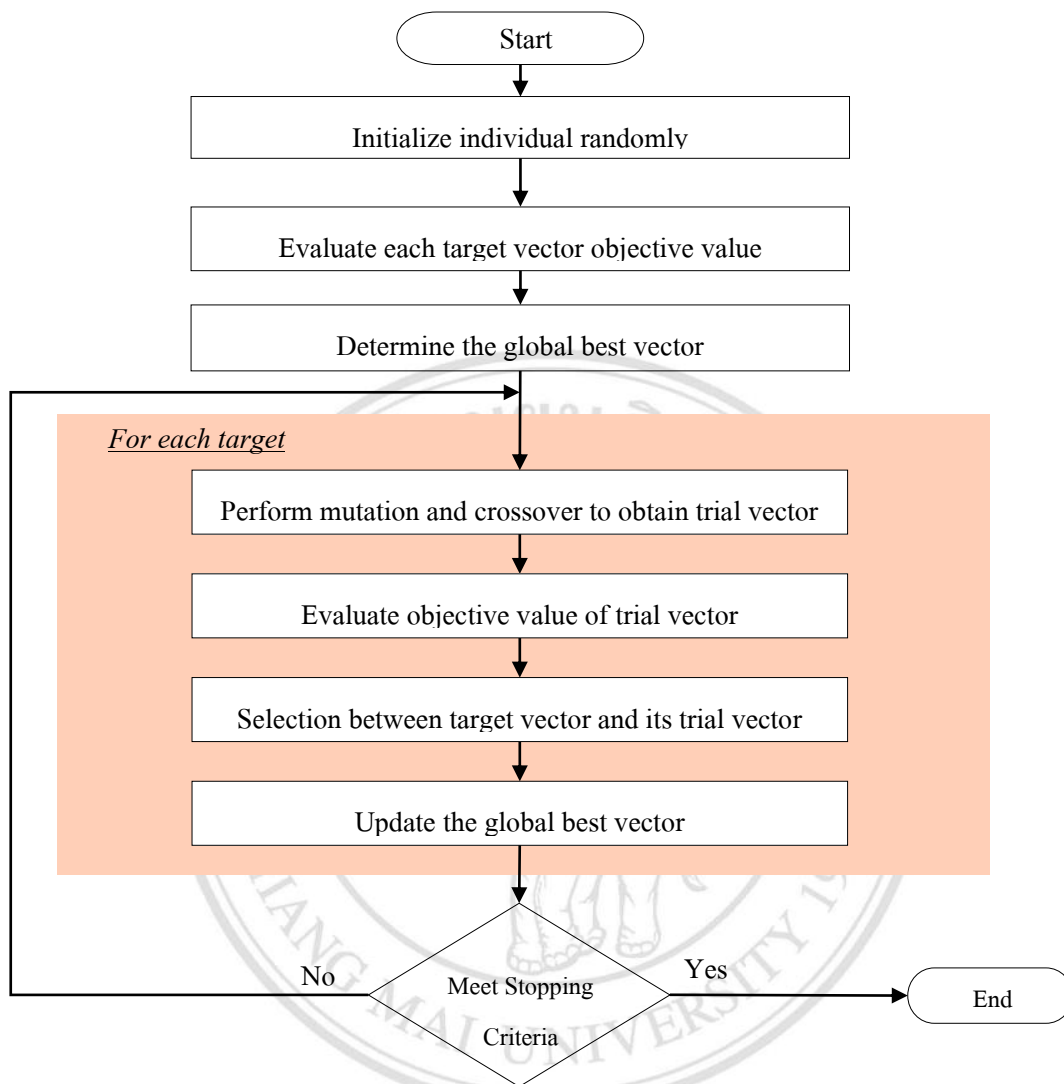
เป็นขั้นตอนการคัดเลือกประชากร ในรุ่นต่อไป ($G+1$) โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบ Cost function value ของ Trial vector $U_{i,G+1}$ กับ Target vector $x_{i,G}$ ถ้า Vector $U_{i,G+1}$ มีค่า Cost function ดีกว่า $x_{i,G}$ จะทำให้ $x_{i,G+1}$ ถูกแทนที่ด้วย $U_{i,G+1}$ หรือถ้าไม่ดีกว่า ค่าเดิมคือ $x_{i,G}$ จะยังคงอยู่ต่อไป

5) Evaluation & Re-generation

การดำเนินการ จากข้อ 2) ถึง 4) โดยเปลี่ยน Target vector จนถึง $i = NP$

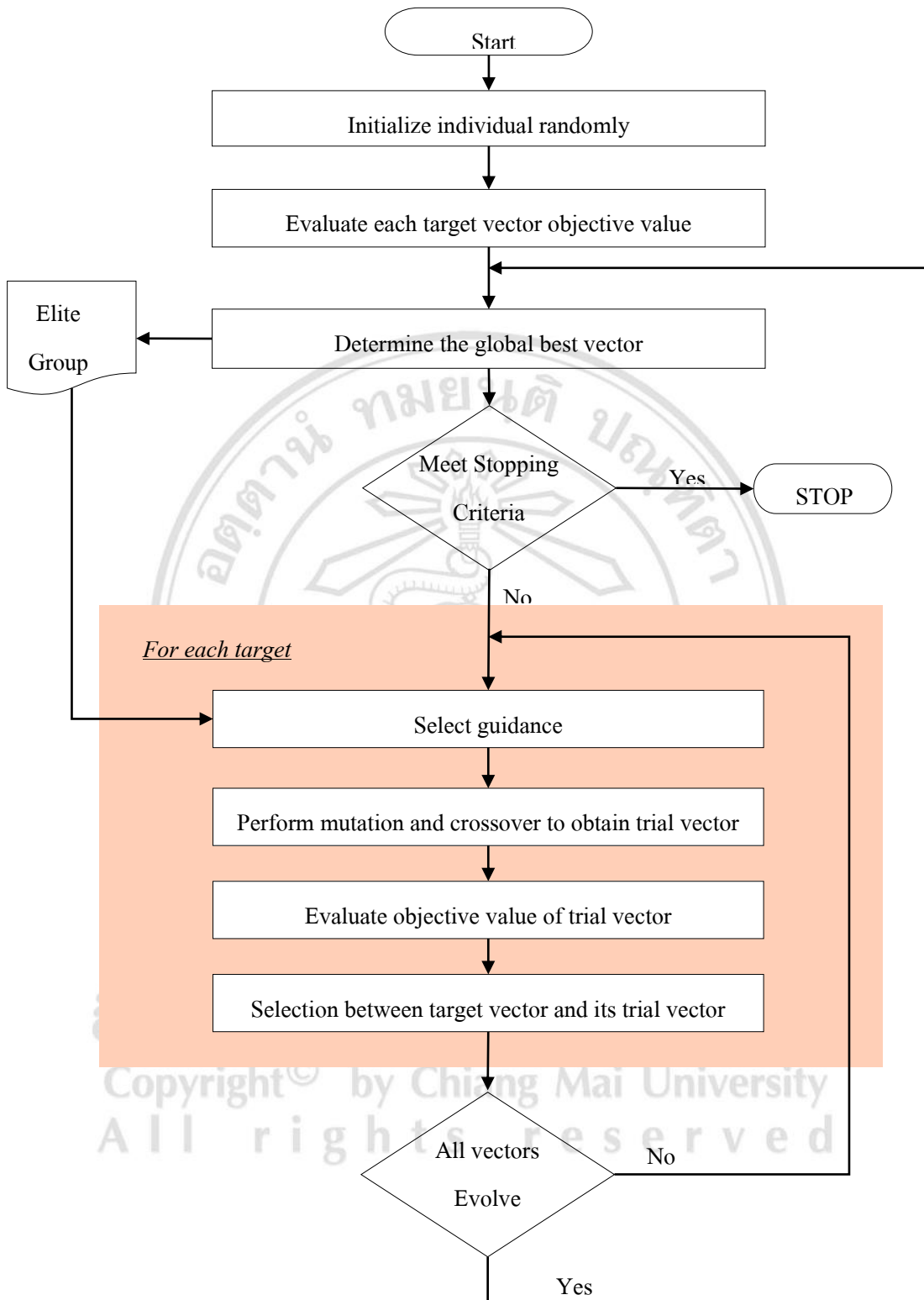
6) Reach convergence tolerance

การนำ Target vector ที่ได้จากข้อ 4) มาทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดจนครบ ตามความต้องการ โดยภาพที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมที่มีวัตถุประสงค์เดียว ด้วย DE แบบทั่วไป



ภาพที่ 2.8 แผนผังขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วย DE แบบวัตถุประสงค์เดียว
(ที่มา: Nguyen et al., 2013)

ในกรณีการแก้ปัญหาการค่าที่เหมาะสมด้วย DE แบบหลายวัตถุประสงค์ จะมีขั้นตอนเพิ่มจากการหาค่าตอบแบบวัตถุประสงค์เดียว (Nguyen et al., 2013) โดยเพิ่มการเก็บกลุ่มที่ดีที่สุด (Elite group) จาก non-dominate solution ไว้เป็นตัวนำทางในการเคลื่อนที่ (movement guidance) ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แผนผังขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วย DE แบบหลายวัตถุประสงค์
(ที่มา: Nguyen et al., 2013)