

การวางแผนตารางการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จโครงการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีฝูงหมาป่าสีเทา

Optimization of Scheduling and Dispatching Ready Mixed Concrete Truck for Construction Project Using Grey Wolf Optimization

จิตรา จันทะสาร^{1,*} อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ² ศราวุธ โพธิยา³ และ ศักดิ์ชัย ศรีจันทร์คำ⁴

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.ขอนแก่น

² แผนกไฟฟ้าและเครื่องมือวัด ปรอดักชั้น โซลูชันส์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.ระยอง

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น จ.ขอนแก่น

*Corresponding author; E-mail address: fang1471@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ เพื่อจัดสรรตารางจัดส่งรถคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete; RMC) ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง โดยคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการก่อสร้าง อาทิเช่น ขีดจำกัดการเดินทาง เวลาการเทคอนกรีต จำนวนรถ น้ำหนักการบรรทุก และ ระยะทางระหว่างโรงงานผลิตกับโครงการก่อสร้าง โดยใช้วิธี ฝูงหมาป่าสีเทา (Grey Wolf Optimization; GWO) กระบวนการเริ่มจากการจำลองการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ของโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ จากนั้นใช้วิธีฝูงหมาป่าสีเทา ค้นหาตารางการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีฝูงหมาป่าสีเทา ได้รับการพิสูจน์ผ่านการทดสอบใน 1 สถานการณ์ โดยผลลัพธ์ถูกเปรียบเทียบกับ วิธีพันธุกรรมยีน (Genetic Algorithm; GA) และ วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีฝูงหมาป่าสีเทา มีประสิทธิภาพเหนือกว่าในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการให้คำตอบที่มีคุณภาพสูงกว่า ความเร็วในการคำนวณที่มากขึ้น และการจัดตารางที่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โลจิสติกส์การก่อสร้าง, วิธีฝูงหมาป่าสีเทา, โครงการก่อสร้างขนาดใหญ่, คอนกรีตผสมเสร็จ, การจัดตารางรถบรรทุก

Abstract

This paper optimizes Ready Mixed Concrete (RMC) truck dispatch schedules in a large construction project to minimize transportation costs considering construction constraints. Constraints include limited travel, casting time, truck count, weight limits, and distances between RMC Batch plants and construction sites. Grey Wolf Optimization (GWO) is employed for optimization. The methodology involves developing a mathematical large construction project model for RMC truck scheduling. GWO then finds optimal schedules for RMC in a large construction project, addressing truck operations. GWO's effectiveness is demonstrated by testing on a scenario. Results are compared with those of the genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO). Experimental findings consistently showcase GWO's superiority - yielding higher quality solutions, faster computation, and efficient scheduling.

Keywords: Construction Logistic, Grey Wolf Optimization, Large Construction Project, Ready Mixed Concrete, Truck Scheduling

1. คำนำ

คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete; RMC) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยม และใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างสมัยใหม่ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ สะดวกรวดเร็วในการจัดดำเนินงาน ประหยัดแรงงาน มีประสิทธิภาพของคอนกรีตให้เลือกหลากหลายที่ทำงานประเภทต่างๆ และได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ แต่ก็มีข้อด้อย คือ ราคาสูงกว่าการผสมคอนกรีตเอง และไม่สามารถจัดเก็บได้เป็นเวลานานๆ หลังผ่านกระบวนการผลิต เพราะคอนกรีตผสมเสร็จจะแข็งตัวเร็วในเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง จึงเป็นข้อจำกัดในการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ จากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้างต่างๆ ดังนั้นปัญหาเรื่องการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ จึงเป็นปัญหาหลักของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยทั่วไปการวางแผนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จจะใช้พนักงาน ซึ่งจะรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า แล้วทำการจัดส่งเป็นรายกรณี แต่เมื่อคำสั่งซื้อหลายๆ อาจทำให้การจัดส่งไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ ถ้าช้า ทำให้เสียหายต่อโครงการได้ ดังนั้นปัญหาการวางแผนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ จึงเป็นปัญหาที่ท้าทาย และเป็นที่น่าสนใจของนักวิจัยทั้งใน และต่างประเทศ

เพื่อพัฒนา และแก้ปัญหาดังกล่าว ได้มีการคิดค้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการวางแผนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ในรูปแบบของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problem) และใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization techniques) มาใช้แก้ปัญหาเหล่านี้ ซึ่งในปัจจุบันนิยมนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมอย่างชาญฉลาด (Intelligent Optimization Algorithm) อย่างเช่น วิธีพันธุกรรมยีน (Genetic Algorithm; GA) วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization) และ วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm; BA) เป็นต้น

วิธีฝูงหมาป่าสีเทา (Grey Wolf Optimization; GWO) ก็เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอีกวิธีหนึ่ง ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่า สามารถนำมาแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ปัญหาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังไม่เคยมีการนำเสนอแก้ปัญหาการวางแผนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จมาก่อน

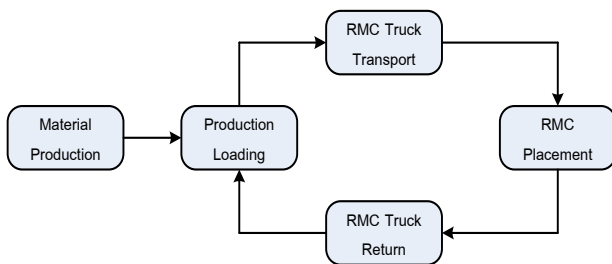
ในบทความนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การวางแผนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ จากหลายโรงงานผลิตไปยังโครงการ

ก่อสร้างขนาดใหญ่ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆ ในรูปแบบของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุด ในการแก้ปัญหาที่ พร้อมทั้งประเมินสมรรถนะการค้นหาค่า และ คุณภาพของคำตอบ

2. สมมุติฐานและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 ขบวนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ

ขบวนการในการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ แบ่งออกเป็น 5 ขบวนการย่อย ดังนี้ (1) การผลิตวัสดุ (Material production) เป็นการผสมปูนซีเมนต์ หิน ทหยา น้ำ และน้ำยา เข้าด้วยกันในถังผสม (2) การถ่ายเทวัสดุจากถังผสมไปยังรถบรรทุก (Production loading) (3) การเดินทางไปจัดส่งวัสดุโดยรถบรรทุก (Truck transport) (4) การถ่ายเทวัสดุจากรถบรรทุกไปยังหน้างาน (RMC placement) และ (5) การเดินทางกลับของรถบรรทุก (Truck return) ดังแสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1 ขบวนการในการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจัดสรรตารางการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ได้ถูกนำเสนอในงานวิจัย ของ ศักดิ์ชัย ศรีจันทร์ดำ และ ศราวุธ โพธิยา [1] สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ พารามิเตอร์อินพุต (Input parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) เงื่อนไขข้อบังคับ (constraints) และ เอาท์พุตของระบบ (System output)

พารามิเตอร์อินพุต ได้แก่ ปริมาณคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องจัดส่ง เวลาเดินทาง ช่วงเวลาการเท ช่วงเวลาการรอคอยการมาของรถบรรทุก

ตัวแปรตัดสินใจ ได้แก่ ลำดับการที่กำหนดให้รถบรรทุกแต่ละคันจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จจากโรงงานผลิตไปยังโครงการต่างๆ เรียกว่า ลำดับการจัดส่ง (Dispatching sequence)

เงื่อนไขข้อบังคับ ได้แก่ ความต่อเนื่องในการเทของโครงการนั้นๆ ถูกกำหนดด้วยเวลาการรอคอยการมาของรถบรรทุกที่ยอมรับได้ (Allowable buffer duration)

เอาท์พุตของระบบ คือ ลำดับการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จที่เหมาะสมที่สุด โดยมีต้นทุนการดำเนินงานน้อยที่สุด สอดคล้องตามเงื่อนไขข้อบังคับ ซึ่งลำดับการจัดส่งนี้ คือ การเรียงสับเปลี่ยน (Permutation) ของปริมาณเที่ยวคอนกรีตที่ต้องการจัดส่ง โรงงานผลิต และ โครงการก่อสร้าง

สำหรับการสร้างแบบจำลองของการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ สามารถแยกอธิบายเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างของคำตอบ และ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

i คือ ดัชนีของโรงงานผลิต

j คือ ดัชนีของโครงการก่อสร้าง

SCT_j คือ เวลาเริ่มทำงานของโครงการก่อสร้างที่ j

R_j คือ จำนวนคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการ (m^3)

PT_j คือ ประเภทของงานเทคอนกรีต เช่น พื้น ($4 \text{ min}/m^3$) คาน ($7 \text{ min}/m^3$) และ เสา ($9 \text{ min}/m^3$)

D_j คือ ระยะทางจากโรงงานผลิตถึงโครงการก่อสร้าง (km)

ABD_j คือ เวลาการรอคอยมากที่สุดที่โครงการที่ j ยอมรับได้ (min)

ABT_j คือ เวลาการรอคอยมากที่สุดที่รถบรรทุกยอมรับได้ (min)

k_j คือ จำนวนเที่ยวรถบรรทุกที่จัดส่งไปยังโครงการก่อสร้างที่ j . เมื่อ $k_j = R_j / T_{max}$

T_{max} คือ น้ำหนักสูงสุดของรถบรรทุก

CD_j คือ ระยะเวลาการเทคอนกรีตของโครงการที่ j (min) เมื่อ $CD_j = R_j \times PT_j$

SDT_i คือ เวลาออกเดินทางของรถบรรทุกเที่ยวที่ i

TAC_{ji} คือ เวลาที่รถบรรทุกจากโรงงานผลิตที่ i มาถึงโครงการก่อสร้างที่ j

PTF_{jt} คือ เวลาเริ่มเทคอนกรีตโครงการที่ j ในเที่ยวที่ t

$WC_{jt} > 0$ คือ เวลาที่รถบรรทุกเที่ยวที่ t รอคอยที่โครงการก่อสร้างที่ j

$WC_{jt} < 0$ คือ เวลาที่โครงการก่อสร้างที่ j รอคอยรถบรรทุกเที่ยวที่ t

LT_{jt} คือ เวลาที่รถบรรทุกเที่ยวที่ t ออกจากโครงการก่อสร้างที่ j

TBB_t คือ เวลาที่รถบรรทุกเที่ยวที่ t กลับมาถึงโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

โครงสร้างคำตอบ ประกอบไปด้วย Plant ID, Site ID และ Sequence จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ หาได้จากสมการ $2^N \times N!$ โดยรูปแบบของคำตอบ และการสุ่มสร้างคำตอบ แสดงในรูปที่ 2.

Site ID	1	1	2	2	2	3	3	3
Random values	0.17	0.26	0.50	0.03	0.44	0.58	0.11	0.39
Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8



Site ID	2	3	1	1	3	2	2	3
Random values	0.03	0.11	0.17	0.26	0.39	0.44	0.50	0.58
Sequence	4	7	1	2	8	5	3	6



Plant ID	2	2	1	1	1	1	1	2
Site ID	2	3	1	1	3	2	2	3
Random values	0.03	0.11	0.17	0.26	0.39	0.44	0.50	0.58
Sequence	4	7	1	2	8	5	3	6

รูปที่ 2 โครงสร้างของคำตอบ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หาค่าได้จากการแทนคำตอบในการจัดส่งลงในแบบจำลอง แล้วประมวลผลแบบจำลองนั้นเสร็จสิ้นขบวนการ จากนั้นนำค่าต่างๆ มาประเมินหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในบทความนี้กำหนดให้ ความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุกที่ใช้ในการเดินทางจากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้าง คือ 20 km/h และ เดินทางกลับจากโครงการก่อสร้างมายังโรงงานผลิต คือ 30 km/h ดังนั้น สามารถคำนวณเวลาในการเดินทางไปถึงโครงการก่อสร้างที่ j

$$TDG_j = D_j \times (60/20) = 3D_j \quad (1)$$

และ เวลาในการเดินทางกลับถึงโรงงานผลิต

$$TDB_j = D_j \times (60/30) = 2D_j \quad (2)$$

ขั้นตอนการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: หาเวลาออกเดินทางในอุดมคติของรถบรรทุกแต่ละคัน (Ideal departing time) หาได้จากสมการที่ (3) และ (4) ซึ่งจะใช้ได้จริงเท่ากับจำนวนรถบรรทุกทั้งหมดที่โรงงานนั้นมี ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4

$$FDT_i = \min_{j=1}^m [SCT_j - TDG_{ij}] \quad (3)$$

$$IDT_{ij(t)} = \begin{cases} FDT_i + MD_t & , i = 1 \\ IDT_{ij(t-1)} + MD_i & , i = 2 to N \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ $N = \sum_{j=1}^m k_j$

ขั้นตอนที่ 2: จัดลำดับการจัดส่งคอนกรีตจากโรงงานผลิต ไปยังโครงการก่อสร้าง และคำนวณค่าต่างๆ ของการจัดส่งคอนกรีต ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าต่างๆ โดยใช้สมการที่ (5) ถึง (10)

$$SDT_{it} = \begin{cases} DT_{it} \text{ if } t \leq c \\ SDT_{it(t-1)} + MD_t \text{ if } c < t \leq N \text{ and } TBB_{jt(t-1)} \leq STD_{it(t-1)} \\ TBB_{jt(t-1)} + MD_t \text{ if } c < t \leq N \text{ and } TBB_{jt(t-1)} > STD_{it(t-1)} \end{cases} \quad (5)$$

$$TAC_{jt} = SDT_j + TDG_{ij} \quad (6)$$

$$PTF_{jt} = SCT_{it} \text{ or } LT_{jt(t-1)} \quad (7)$$

$$WC_{jt} = PTF_{jt} - TAC_{jt} \quad (8)$$

$$LT_{jt} = \begin{cases} TAC_{jt} + WC_{jt} + CD_t \text{ if } WC_{jt} \geq 0 \\ TAC_{jt} + CD_t \text{ if } WC_{jt} \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$TBB_{it} = LT_{jt} - TDB_{jt} \quad (10)$$

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณค่าค่าใช้จ่ายในการขนส่งของรถบรรทุก (TC) โดยพิจารณาค่าเชื้อเพลิงของรถบรรทุกเท่านั้น คำนวณโดยใช้สมการที่ (11)

$$TC = 0.15 \times \sum_{i=1}^n TDG_{ij}^i + 0.17 \times \sum_{i=1}^n TDB_{ji}^i + 0.04 \times (\sum_{i=1}^n WC_{jt} + \sum_{i=1}^n MD_t + \sum_{i=1}^n CD_t) \quad (11)$$

ช่วงเวลาที่ยานรถบรรทุกเดินทางจากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้าง กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการใช้เชื้อเพลิง 3 กิโลเมตร/ลิตร ดังนั้น ค่าเดินทางคือ 0.1481 \$/min (ความเร็วเฉลี่ยของรถ 20 km/hr และ ราคาเชื้อเพลิง 1.33 \$/ลิตร) ช่วงเวลาที่ยานรถบรรทุกเดินทางกลับจากโครงการก่อสร้าง ไปยังโรงงานผลิต กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการใช้เชื้อเพลิง 4 กิโลเมตร/ลิตร ดังนั้น ค่าเดินทางคือ 0.17 \$/min (ความเร็วเฉลี่ยของรถ 30 km/hr และ ราคาเชื้อเพลิง 1.33 \$/ลิตร) ช่วงเวลาในการรอคอยของรถบรรทุก ขณะรอเทคอนกรีตและรอคิว กำหนดให้ ค่าใช้จ่าย เป็น 0.04 \$/min

3. วิธีฝูงหมาป่าสีเทา

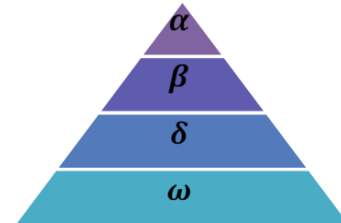
วิธีฝูงหมาป่าสีเทา เป็นขบวนการในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีกรใหม่ นำเสนอโดย Seyedali Mirjalili ในงานวิจัยเรื่อง "Grey Wolf Optimizer" เมื่อปี ค.ศ. 2014 โดยได้แรงบันดาลใจจากพฤติกรรมความร่วมมือ และแข่งขันของฝูงหมาป่าสีเทา

ในธรรมชาติ ฝูงหมาป่าสีเทา จะมี หัวหน้าฝูง (อัลฟา) รองหัวหน้า (เบต้า) และตำแหน่งรองลงมา (เดลต้า) ข้อได้เปรียบที่โดดเด่นของวิธีฝูงหมาป่าสีเทา อยู่ที่ความสามารถในการสร้างความสมดุลระหว่างการสำรวจและการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ค้นหา (Search Space) โดยการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของหมาป่าที่เคลื่อนไปตามหมาป่าผู้นำ พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างการค้นหาแบบกระจาย และการสำรวจพื้นที่ที่มีโอกาสได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีความสมดุลที่คงทน (Robustness)

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงแรงบันดาลใจ และนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีฝูงหมาป่าสีเทา

3.1 แรงบันดาลใจ

หมาป่า สุนัขป่า หรือ หมาป่าสีเทา (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Canis lupus*) เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นาน จัดอยู่ในวงศ์สุนัข (Canidae) โดยเป็นสมาชิกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์สุนัข มีสัตว์ร่วมตระกูลคือ หมาจิ้งจอก หมาใน ไคโยตี หมาบ้าน และ dingog หมาป่าสีเทามักอาศัยอยู่เป็นฝูง โดยขนาดฝูงเฉลี่ยอยู่ที่ 5-12 ตัว สิ่งที่น่าสนใจคือพวกมันมีลำดับชั้นทางสังคมที่เข้มงวดมาก ดังที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3: ลำดับชั้นของฝูงหมาป่าสีเทา

ผู้นำของฝูง คือหมาป่าตัวผู้และตัวเมียที่เรียกว่าอัลฟา (alpha) หมาป่าอัลฟาจะเป็นผู้ตัดสินใจเกี่ยวกับการล่า ที่พัก เวลาในการนอน ตื่น และอื่นๆ ระดับถัดมา คือเบต้า (beta) หมาป่าเบต้า เป็นหมาป่าที่อยู่ใต้บังคับบัญชา ช่วยเหลืออัลฟาในการตัดสินใจหรือกิจกรรมอื่นๆ ของฝูง

หมาป่าที่มีลำดับชั้นต่ำที่สุดในฝูง คือโอเมก้า (omega) โอเมก้าทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวรับบาป การมีหมาป่าโอเมก้าจึงช่วยรักษาโครงสร้างลำดับชั้นของฝูงให้มั่นคง ในบางกรณี หมาป่าโอเมก้ายังทำหน้าที่เป็นพี่เลี้ยงเด็กในฝูงด้วย

หมาป่าที่ไม่ได้เป็นทั้ง อัลฟา เบต้า หรือโอเมก้า จะถูกเรียกว่าเป็นหมาป่าระดับรอง (เดลต้า) หมาป่าเดลต้าต้องยอมจำนนต่ออัลฟาและเบต้า แต่จะมีอำนาจเหนือโอเมก้า หมาป่าที่อยู่ในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยหน่วยลาดตระเวน ผู้เฝ้ายาม หมาป่าสูงวัย นักล่า และผู้ดูแล

นอกจากลำดับชั้นทางสังคมของหมาป่าแล้ว การล่าเหยื่อเป็นอีกหนึ่งพฤติกรรมที่น่าสนใจของหมาป่าสีเทา มีขั้นตอนหลักของการล่า ดังนี้:

- การติดตาม การไล่ตาม และการเข้าใกล้เหยื่อ
- การไล่ล่า ล้อมเหยื่อ และก่อกวนจนเหยื่อหยุดเคลื่อนไหว
- การโจมตีเหยื่อ

เทคนิคการล่านี้ และลำดับชั้นทางสังคมของหมาป่าสีเทา ได้นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบวิธีหมาป่าสีเทา และนำไปใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และอัลกอริธึม

3.2.1 ลำดับชั้นทางสังคม

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลำดับชั้นทางสังคมของหมาป่าในการออกแบบวิธีหมาป่าสีเทา จะถือว่าคำตอบที่ดีที่สุดคือหมาป่าอัลฟา (α) ส่วนคำตอบที่ดีที่สุดในอันดับสอง และสามจะถูกเรียกว่าเบต้า (β) และเดลต้า (δ) ตามลำดับ ส่วนคำตอบที่เหลือจะถูกกำหนดให้เป็นโอเมก้า (ω) ในอัลกอริธึม GWO การล่า (การเพิ่มประสิทธิภาพ) จะถูกนำโดยหมาป่า α β และ δ ขณะที่หมาป่าโอเมก้า ω จะติดตามหมาป่าทั้งสามนี้

3.2.2 การล้อย่อย

ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ หมาป่าสีเทาจะล้อย่อยระหว่างการล่า เพื่อสร้างแบบจำลองพฤติกรรมการล้อย่อยทางคณิตศาสตร์ เราใช้สมการต่อไปนี้:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (12)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (13)$$

โดยที่ t หมายถึง รอบการทำซ้ำปัจจุบัน (Current Iteration) $\vec{A}$ และ $\vec{C}$ เป็นเวกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\vec{X}_p$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของเหยื่อ และ $\vec{X}$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของหมาป่า

เวกเตอร์ $\vec{A}$ และ $\vec{C}$ คำนวณได้จาก:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (14)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (15)$$

โดยที่องค์ประกอบของ $\vec{a}$ ลดลงจาก 2 เป็น 0 ตลอดกระบวนการ และ r_1, r_2 เป็นเวกเตอร์สุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง [0,1]

3.2.3 การล่าเหยื่อ

หมาป่าสีเทามีความสามารถในการจดจำตำแหน่งของเหยื่อ และล้อย่อยพวกมัน การล่ามักจะนำโดยตัวอัลฟา หมาป่าเบต้าและเดลต้าอาจมีส่วนร่วมในการล่าบางครั้ง อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่การค้นหาเชิงนามธรรม ไม่สามารถรู้เกี่ยวกับตำแหน่งของคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (เหยื่อ) เพื่อสร้างแบบจำลองการล่าหมาป่าทางคณิตศาสตร์ เราถือว่าหมาป่าอัลฟา (คำตอบที่ดีที่สุด), เบต้า, และเดลต้า มีความรู้เกี่ยวกับตำแหน่งของเหยื่อมากที่สุด ดังนั้น เราจะบันทึกคำตอบที่ดีที่สุดสามอันดับแรกที่ได้รับจนถึงปัจจุบัน และบังคับให้ตัวแทนการค้นหาอื่น ๆ (รวมถึงโอเมก้า) ปรับตำแหน่งตามตำแหน่งของตัวแทนการค้นหาที่ดีที่สุด

สมการต่อไปนี้ถูกนำเสนอในเรื่องนี้:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (16)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (17)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (18)$$

3.2.4 การโจมตีเหยื่อ

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น หมาป่าสีเทาจะสิ้นสุดการล่าโดยการโจมตีเหยื่อเมื่อเหยื่อหยุดเคลื่อนไหว เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเข้าใกล้เหยื่อ เราลดค่าของ $\vec{a}$ จะเห็นได้ว่าช่วงของการผ่นผวนของ $\vec{A}$ ก็ลดลงตามค่า $\vec{a}$ ด้วย กล่าวอีกนัยหนึ่ง $\vec{A}$ เป็นค่าสุ่มที่อยู่ในช่วง $[-a, a]$ ซึ่ง $\vec{a}$ จะลดลงจาก 2 เป็น 0 ตลอดกระบวนการทำซ้ำ เมื่อค่าของ $\vec{A}$ อยู่ในช่วง $[-1, 1]$ ตำแหน่งถัดไปของตัวแทนการค้นหาสามารถอยู่ในตำแหน่งใด ๆ ระหว่างตำแหน่งปัจจุบันและตำแหน่งของเหยื่อ

3.2.5 การค้นหาเหยื่อ

หมาป่าสีเทาส่วนใหญ่จะค้นหาเหยื่อตามตำแหน่งของอัลฟา เบต้า และเดลต้า พวกมันจะกระจายตัวออกจากกันเพื่อค้นหาเหยื่อและรวมตัวกันเพื่อโจมตีเหยื่อ เพื่อสร้างแบบจำลองการกระจายตัวทางคณิตศาสตร์ เราใช้ $\vec{A}$ ที่มีค่าสุ่มมากกว่า 1 หรือ น้อยกว่า -1 เพื่อบังคับให้ตัวแทนการค้นหากระจายตัวออกจากเหยื่อ ซึ่งเน้นการสำรวจและช่วยให้อัลกอริธึมวิธีหมาป่า

สีเทา ค้นหาในพื้นที่ทั้งหมดได้ดีขึ้น องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งของวิธีหมาป่าสีเทา ที่ช่วยในการสำรวจ คือเวกเตอร์ $\vec{C}$ ตามที่เห็นในสมการ (15) เวกเตอร์ $\vec{C}$ ประกอบด้วยค่าสุ่มในช่วง [0, 2]

3.2.6 รหัสเทียม (Pseudo-code) ของอัลกอริธึมวิธีหมาป่าสีเทา:

Initialize the grey wolf population $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$

Initialize α, A , and C

Calculate the fitness of each search agent

X_α = the best search agent

X_β = the second-best search agent

X_δ = the third-best search agent

while ($t < \text{Max number of iterations}$)

for each search agent

Update the position of the current search agent by equation (3.7)

end for

Update α, A , and C

Calculate the fitness of all search agents

Update X_α, X_β , and X_δ

$t=t+1$

end while

return X_α

4. การจำลองและการทดสอบ

ในบทความนี้ได้ทำการเขียนโปรแกรมจำลองหลักการทำงานของวิธีฝูงหมาป่าสีเทา ด้วยโปรแกรม MatLab® จากนั้นใช้โปรแกรมที่พัฒนานี้ ทำการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมของปัญหา การรันผลใช้คอมพิวเตอร์ CPU Intel Core i5-5200u, 2.20 GHz, Ram 8 GB, Windows 10 โดยแต่ละวิธีจะทำการทดสอบ 30 ครั้ง ด้วยการสุ่มค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงค่าค่าฟังก์ชันที่ดีที่สุด (Best cost) แย่ที่สุด (Worst cost) ค่าเฉลี่ย (Average cost) และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard variation) เวลาในการคำนวณ และเปอร์เซ็นต์การได้คำตอบ ดังแสดงในตารางที่ 7

ผลลัพธ์หลังจากการประมวลผลของโปรแกรม MatLab® วิเคราะห์หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของแผนลำดับการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จไปยังโครงการก่อสร้าง ได้ลำดับการจัดส่งที่เหมาะสมที่สุด คือ ผลการจัดตารางการจัดส่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกับตารางที่ 5 โดยที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับ 90.25 \$

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากบทความนี้ ได้นำเสนอแบบจำลองการวางแผนการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ในกรณีหลายโรงงานผลิตสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ในรูปปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และได้ทำการประยุกต์ใช้วิธีฝูงหมาป่าสีเทา ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพ เพื่อแก้ปัญหาที่ ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าสามารถจัดสรรตารางการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จของรถบรรทุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่น่าพอใจ ทั้งในด้านความเร็วในการค้นหาคำตอบ และความมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sakchai Srichandum and Saravuth Pothiya (2020). Multiple Plants Multiple Sites Ready Mixed Concrete Planning using Improved Ant Colony Optimization. **International Journal of GEOMATE**. 19(72), 88-95.
- [2] Cheng, T.M. and Feng, C.W. (2003). An effective simulation mechanism for construction operations **Automat. Construct.** 12, 227-244.
- [3] Cheng, T.M. and Wu, H. T. (2006). Integrating fmGA and CYCLONE to optimize the schedule of dispatching RMC trucks. **Automation in Construction** 15, 186– 199.
- [4] Feng, C.W. et al. (2004). Optimizing the schedule of dispatching RMC trucks through genetic algorithms **Automat. Cons.** 13, 327-340.
- [5] Lu, M. et al., (2003). HKCONSIM: A practical simulation solution to planning concrete plant operations in Hong Kong. **J. Construct. Eng. Manage.** 129, 547-554.
- [6] Naso, D. Et al., (2004). Genetic algorithms for supply chain scheduling of ready mixed concrete. **ERIM report series research in management**
- [7] Yan, S. and Lai,W. (2008) Chen, Production scheduling and truck dispatching of ready mixed concrete. **Transport Res. Part E: Logist. Transport.** 44, 164-179.
- [8] Yan, S. and Lai, W. (2007) An optimal scheduling model for ready mixed concrete supply with overtime considerations. **Automation in Construction.** 16, 734– 744.
- [9] Zayed, T.M. and Minkarah, (2004). Resource allocation for concrete batch plant operation: Case study. **J. Cons. Eng. Manage.** 130, 560-569.

ตารางที่ 1. ข้อมูลการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ

Site ID (j)	SCT _j	R _j (m ³)	PT _j	D1 _j (km)	D2 _j (km)	D3 _j (km)	ABD _j (min)	ABT _j (min)	CD _t (min/m ³)
1	8:00	60	Floor	7	8	15	45	8	2

Plant ID (i)	SCT _j	NT _i	MD _t (min/m ³)
1	7:00	5	2
2	7:00	4	2
3	7:00	3	2

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการคำนวณ

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
j	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sequen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R _j (m ³)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CD _t (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MD _t (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TDG _{1j}	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
TDG _{2j}	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
TDG _{3j}	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
TDB _{1j}	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
TDB _{2j}	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
TDB _{3j}	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ตารางที่ 3. ตัวอย่างผลการจัดสรรที่เป็นไปได้ ที่ได้จากการสุ่ม

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Plant ID	2	3	1	1	2	3	2	1	1	2	3	1
Site ID	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sequen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

ตารางที่ 4. เวลาเริ่มเทคอนกรีตของโครงการในอุดมคติ

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PTF	8:00	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:10	9:20	9:30	9:40	9:50
PTC	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:10	9:20	9:30	9:40	9:50	10:00
Plant ID	2	3	1	1	2	3	2	1	1	2	3	1
Site ID	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FDT	7:26	7:15	7:49	7:39	8:06	7:55	8:26	8:39	8:49	8:56	8:45	9:19
IDT	7:36	7:25	7:59	7:49	8:16	8:05	8:36	8:49	8:59	9:06	8:55	9:29

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ของการลำดับการจัดส่งคอนกรีต

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Plant ID	2	3	1	1	2	3	2	1	1	2	3	1
Site ID	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sequen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FDT	7:29	7:39	7:46	7:56	7:45	7:55	8:29	8:46	9:20	8:34	9:06	9:30
SDT	7:36	7:25	7:59	8:09	8:16	8:05	8:36	8:54	9:04	9:16	9:00	9:49
TAC	8:00	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:15	9:25	9:40	9:45	10:10
PTF	8:00	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:10	9:25	9:35	9:50	10:00
LT	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:10	9:25	9:35	9:50	10:00	10:20
TBB	8:26	8:50	8:44	8:54	9:06	9:30	9:26	9:39	9:49	10:06	10:30	10:34
WCjt	0	0	0	0	0	0	0	-5	0	-5	5	-10

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Methods	Max. Cost	Average Cost	Min. Cost	SD	Average CPU time (s)	% get optimum solution
GWO	94.62	91.47	90.25	1.10	3.41	100
PSO	98.58	94.22	90.25	4.22	5.21	85
GA	104.15	97.56	90.25	7.36	8.35	74