



การจัดผังสถานที่ก่อสร้างสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวในระบบพิกัดฉาก

Construction Site Layout for Temporary Facilities Using Grid System

วชรภูมิ เบญจโอฬาร* กองพล ชุนเกาะ

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Vacharapoom Benjaoran* Kongphon Chunko

School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

* Corresponding author.

111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

E-mail: vacharapoom@sut.ac.th; Telephone: 08 9628 6220

บทคัดย่อ

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างเป็นการวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในระหว่างการก่อสร้าง ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในการทำงาน อย่างไรก็ตามการพิจารณาหาตำแหน่งที่เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อจำกัดที่มีเป็นปัญหาที่ยากยิ่งเนื่องจากมีรูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้จำนวนมาก แม้จะอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรก็อาจพิจารณาได้ไม่ครอบคลุม การวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองของปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างขึ้น โดยใช้ระบบพิกัดฉากในการแบ่งพื้นที่เพื่อให้มีความละเอียดสมจริง และยังได้พัฒนาวิธีการหาคำตอบด้วย Particle Swarm Optimization ผลทดสอบสรุปว่าโปรแกรมต้นแบบสามารถให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าวิธีแบบเดิมที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ

คำสำคัญ

การจัดผังสถานที่ก่อสร้าง สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว การบริหารสถานที่ก่อสร้าง การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

Abstract

Construction site layout is a managerial task to determine all locations of temporary facilities on site. The layout plan has a significant impact on the efficiency and safety of the construction operations. However, this task is very difficult because there are enormous feasible locations and combinations which may have been fit to some conditions and constraints. The optimal layout cannot be found easily even by experienced engineers. This research aims to develop the construction site layout problem (CSLP) model which uses the grid system to realistically simulate the site area and also develop the solving method based on the Particle Swarm Optimization. The test results show that the prototype program can layout the site correctly and effectively. The program can result optimal and better layout plans.

Keywords

construction site layout; temporary facility; site management; particle swarm optimization

1. บทนำ

ในการดำเนินโครงการก่อสร้างจำเป็นต้องใช้สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (temporary facilities: TFs) ประเภทต่าง ๆ เพื่อช่วยเหลือและสนับสนุนกิจกรรมการก่อสร้างหลัก

ต่าง ๆ ตัวอย่าง TFs ได้แก่ สำนักงานสนาม โกดังเก็บวัสดุ พื้นที่กองเก็บวัสดุ โรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร โรงผลิตชิ้นส่วน โรงผสมคอนกรีต โรงจ่อรถ ถนนชั่วคราว ห้องน้ำ โรงอาหาร ที่พักคนงาน เป็นต้น การจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (construction site

layout) เป็นภารกิจของการวางแผนที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยต้องจัดวางตำแหน่งของ TFs ต่าง ๆ ลงบนพื้นที่ว่างของสถานที่ก่อสร้าง ที่ไม่ใช่พื้นที่สำหรับตัวสิ่งก่อสร้างเอง (สิ่งก่อสร้างมักมีการกำหนดตำแหน่งที่แน่ชัดไว้ก่อนแล้ว) ผลลัพธ์ที่ได้คือแบบแปลนพื้นที่โครงการที่แสดงรายละเอียดของตำแหน่ง (locations) และขนาดและรูปร่างของพื้นที่ที่สงวนไว้สำหรับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในโครงการ ซึ่งการจัดวางตำแหน่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการเดินทางไปมาระหว่างปฏิบัติงาน การจราจรในสถานที่ก่อสร้าง การใช้งานวัสดุและเครื่องจักร รวมทั้งการขยายพื้นที่หรือการย้ายตำแหน่งในระหว่างดำเนินโครงการหลักโดยทั่วไปในการกำหนดตำแหน่ง TFs คือควรจัดวางไว้ใกล้กับกิจกรรมก่อสร้างที่ต้องการใช้งานเพื่อลดระยะการเดินทาง [1]

พื้นที่ของสถานที่ก่อสร้างเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งของโครงการก่อสร้างที่มีอยู่จำกัดและต้องใช้งานร่วมกันหลายฝ่าย ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อขัดแย้งและกีดขวางกันเองได้ หรือเสี่ยงต่อความปลอดภัย ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างจะทวีความสำคัญเมื่อพื้นที่คับแคบมาก เช่น โครงการก่อสร้างในเมืองใหญ่ กรุงเทพฯ ที่สถานที่ก่อสร้างมีราคาที่ดินสูง สิ่งก่อสร้างมักครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดโดยเหลือพื้นที่ว่างสำหรับ TFs ในการก่อสร้างเพียงเล็กน้อย [2-4] อีกทั้งสถานที่ก่อสร้างมักอยู่ท่ามกลางชุมชนที่มีผู้คนและสิ่งปลูกสร้างข้างเคียงอื่น ๆ อยู่จำนวนมากและได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการวางแผนจัดผังสถานที่ก่อสร้างมักถูกละเลยและไม่ได้ถูกให้ความสำคัญอย่างจริงจัง การจัดผังสถานที่ก่อสร้างมักทำขึ้นตามประสบการณ์ของวิศวกรโครงการและทีมงานของฝ่ายบริษัทก่อสร้าง ซึ่งอาจไม่ได้พิจารณาอย่างรอบคอบและครอบคลุม แต่ทำการจัดวางตำแหน่ง TF นั้น ๆ เป็นครั้งคราวไปเมื่อจำเป็นต้องจัดสร้าง

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่ดีจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับกิจกรรมก่อสร้างต่าง ๆ ตลอดการดำเนินโครงการ ลดการกีดขวาง เพิ่มความปลอดภัย ลดเวลาและจำนวนครั้งการขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ เพิ่มอัตราผลผลิต และลดต้นทุนได้ [5,6]

ปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (construction site layout problem: CSLP) เกี่ยวข้องกับการกำหนดประเภทจำนวน ขนาด และตำแหน่งของ TFs ต่าง ๆ ที่ต้องมีอยู่ในสถานที่ทำงานก่อสร้าง โดยจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไข

ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มีอยู่ ความยากของปัญหานี้คือจำนวนทางเลือกในการจัดวางตำแหน่งที่เป็นไปได้มักมีอยู่เป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีประสิทธิภาพสูง วิธีการคำตอบของปัญหา CSLP โดยใช้ Metaheuristic algorithms สำหรับ ค้นหาคำตอบในกระบวนการ optimization ของงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ annealed neural network, genetic algorithms, ant colony algorithm และ particle swarm optimization เป็นต้น

การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะพัฒนาแบบจำลองของ CSLP และมีข้อจำกัดที่ใกล้เคียงกับแนวการปฏิบัติงานจริงที่สุดโดยใช้ระบบฟัซซี่มาก รวมทั้งจะพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหานี้ด้วย particle swarm optimization (PSO)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัย CSLP จำนวนมาก ซึ่งมุ่งความสนใจที่ประเด็นต่าง ๆ กัน ได้แก่ ลักษณะขนาดและรูปร่างของ TFs ความเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้งาน TFs การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา และความสามารถของ Optimization algorithms ในการค้นหาคำตอบ สรุปได้ดังนี้

2.1 ลักษณะของพื้นที่โครงการและสิ่งอำนวยความสะดวก

พื้นที่ของโครงการก่อสร้างนั้นจะต้องใช้สำหรับวางสิ่งต่าง ๆ แบ่งเป็นสาม กลุ่มหลักคือ กลุ่มสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (construction structures) กลุ่มสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวระหว่างก่อสร้าง (temporary facilities: TFs) ที่มีหลากหลายประเภท แต่ละโครงการอาจต้องการจำนวนและขนาดแตกต่างกันไป ทั้งนี้เพื่อใช้สนับสนุนกิจกรรมการก่อสร้างหลักต่าง ๆ และกลุ่มสิ่งกีดขวางที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์และเคลื่อนย้ายไม่ได้ (obstacles) ได้แก่ ต้นไม้ใหญ่ บ่อน้ำ ลำน้ำ กองหิน เป็นต้น

โดยทั่วไป แบบจำลอง CSLP สามารถแบ่งตามลักษณะการจำลองปัญหาได้สองประเภท คือ discrete และ continual layout problems [7] โดยที่ discrete layout problem มีการกำหนดแบ่งพื้นที่ของโครงการเป็นบล็อก ต่าง ๆ (discrete locations) ไว้ก่อน จำนวน n แห่ง โดยไม่ซ้อนทับกันเพื่อพิจารณา TFs ต่าง ๆ จำนวน $\leq n$ อย่างลงตาม

ตำแหน่งเหล่านี้ ด้วยเงื่อนไขที่ว่าตำแหน่งพื้นที่ว่างใด ๆ ต้องมีขนาดใหญ่พอสำหรับรองรับ TF ใด ๆ ก็ได้ เรียกว่า equal-area facility layout problem ดังนั้นการจัดวางจึงเป็นลักษณะการพิจารณาจับคู่กันระหว่าง facilities และ locations ที่เหมาะสม [2,6,8]

ส่วน continual layout problem พิจารณาพื้นที่โครงการเป็นเนื้อเดียวที่ต่อเนื่องกัน TFs ต่าง ๆ อาจนำมาจัดวางได้ที่ตำแหน่ง coordinate (X, Y) ใด ๆ ในระบบพิกัดฉากสองมิติ (two-dimensional grid system) ภายในขอบเขตพื้นที่ที่กำหนด [3,5,9]

นอกจากนี้รูปร่างของ TFs ในแบบจำลองเริ่มต้นก่อนหน้านี้อย่างถูกกำหนดให้เป็นเพียงรูปทรงสี่เหลี่ยมที่เรียบง่ายเท่านั้น แต่พัฒนาการมาเป็นการกำหนดพื้นที่ของโครงการด้วยระบบพิกัดฉากหรือกริด ยังช่วยให้สามารถพิจารณา TFs เป็นรูปร่างใด ๆ ประกอบขึ้นด้วยกริด รวมทั้งสามารถกำหนดทิศทางการจัดวาง (orientation) ได้ [3,5,10] ทั้งสองแนวคือ แนวนอน (horizontal) หรือ 0 องศา กับแนวตั้ง (vertical) 90 องศา ซึ่งทำให้พิจารณาปัญหาได้ละเอียดสมเหตุผลมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการแสดงแทนพื้นที่ด้วยระบบพิกัดฉากหรือกริดจะทำให้ปัญหาซับซ้อนขึ้นมาก เนื่องจากเกิดตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการจัดวาง TFs เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ การเพิ่มขึ้นของคำตอบที่เป็นไปได้ยังเกิดจากการกำหนดทางเลือกของทิศทางการจัดวางด้วย

2.2 การประเมินผังสถานที่ก่อสร้าง

การประเมินผังสถานที่ก่อสร้างของแบบจำลอง CSLP ส่วนใหญ่อยู่ในพจน์ของระยะทางรวมในการเดินทางระหว่าง TFs โดยเป็นผลรวมของผลคูณระหว่างระยะทางระหว่าง TFs และความถี่ของการเดินทาง (จำนวนเที่ยว) [8] ซึ่งระยะทางรวมนี้เป็นตัวแปรที่สัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งจัดวาง TFs ต่างๆ

พจน์ที่กล่าวข้างต้นเป็นค่าพื้นฐานที่แบบจำลอง CSLP จะใช้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยได้พัฒนาการประเมินให้อยู่ในพจน์ของต้นทุนด้วย ซึ่งค่าระยะทางรวมก็เป็นค่าตัวแปรที่สะท้อนถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้องได้ [2,11] บางงานวิจัยสร้างฟังก์ชันเชิงของระยะทางโดยอ้อม เนื่องจากความถี่ของการเดินทางอาจเป็นข้อมูลที่ประมาณการณได้ยาก ดังนั้นจึงใช้การถ่วงน้ำหนัก

(proximity weight) จากความใกล้ชิดที่ต้องการหรือ facilities closeness relationships [3,12,13] ซึ่งเป็นค่าตัวเลขโดยรวมและโดยเฉลี่ยที่แสดงระดับความปรารถนาให้ TF หนึ่งอยู่ใกล้หรืออยู่ห่างจากอีก TF หนึ่ง ซึ่งอาจใช้การพิจารณาแบบจับคู่ (pair-wise assessment) คราวละหนึ่งคู่ TFs โดยประมาณตัวเลขเชิงคุณภาพ [3]

อย่างไรก็ตาม การคำนวณระยะทางยังมีความแตกต่างกัน โดยที่งานวิจัยที่ผ่านมาเกือบทั้งหมดกำหนดให้ใช้จุด centroid ของรูปทรง TFs ทั้งสองแห่งเป็นจุดเริ่มต้นออกเดินทางและจุดถึงที่หมายในการคำนวณระยะทาง ส่วนระยะทางระหว่างจุดสองจุดแบ่งเป็นสองประเภท [9,13] ดังนี้

Manhattan หรือ Rectilinear distance คือระยะทางระหว่างสองจุด (X_1, Y_1) และ (X_2, Y_2) ใด ๆ ที่วัดตามแนวแกนฉาก ได้แก่ แนวนอน และแนวตั้ง โดย $d_{rect} = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2|$

Euclidian distance คือระยะทางระหว่างสองจุด (X_1, Y_1) และ (X_2, Y_2) ใด ๆ ที่วัดตามแนวเส้นตรงที่ลากผ่านจุดทั้งสอง โดย $d_{eucl} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$

นอกจากนี้ [6,8] ยังมีวิธีการคำนวณระยะทางแบบ Sum of segmental distances ระหว่างสอง TFs ที่ไม่ได้อยู่ติดกัน โดยระยะทางระหว่าง TFs i และ k เป็นผลรวมของระยะทาง Euclidian distances ระหว่าง TFs i กับ j และ j กับ k (มี TFs j อยู่ระหว่าง i กับ k) หรือหากผลรวมมากกว่าหนึ่งเส้นทาง จะเลือกใช้ผลรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุด $d_{ik} = d_{ij} + d_{jk}$

วิธีการคำนวณระยะทางที่น่าสนใจอีกวิธีคือ actual route distance [14,15] โดยระยะทาง Euclidian distance นั้นเป็นเพียงการประมาณไม่ใช่ระยะทางจริงที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินทาง แต่ระยะทางที่ใช้เดินทางจริงควรมีจุดเริ่มต้นจากทางออกของ TF หนึ่ง จากนั้นเดินทางมุ่งสู่ถนนภายในโครงการ (access road) แล้วจึงเดินทางไปตามถนนภายในนี้จนกระทั่งออกนอกถนนเมื่อใกล้ถึงที่หมายและไปสิ้นสุดที่ทางเข้าของอีก TF ซึ่งถนนชั่วคราวควรถูกกำหนดขึ้นใช้ภายในโครงการเพื่อการเข้าถึง TFs ต่าง ๆ รวมทั้งการกำหนดจุดแทนประตูทางเข้าออก (entrance) ของ TFs ต่างๆ ที่จะใช้เป็นจุดอ้างอิงการคำนวณระยะทางแทนการใช้จุด centroids

2.3 วิธีหาคำตอบ

Optimization algorithms สำหรับค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเป็นประเด็นสำคัญที่ถูกพิจารณาในงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีลักษณะเป็น combinatorial optimization การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองอาจไม่สามารถทำได้เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ แนวทางการหาคำตอบที่ปรากฏใช้อยู่ในงานวิจัยที่ผ่านมาแบ่งได้สามแนวทางคือแบบ mathematical optimization ได้แก่ การใช้ linear programming [12], integer programming ด้วยการใช้ LINGO software [13] แบบที่สองคือแบบ exhaustive search [16] และแบบที่สามคือแบบ stochastic searching algorithms ที่ใช้การ Optimization ด้วย Algorithms ที่มีประสิทธิภาพค้นหาคำตอบ เช่น genetic algorithms (GAs) [3,6,8,9], annealed neural network (ANN) [2], ant colony algorithms (ACO) [4]

หนึ่งในกลุ่มวิธีแบบที่สามที่มีประสิทธิภาพสูงคือ particle swarm optimization (PSO) ที่ได้แรงบันดาลใจจากพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์รวมฝูง เช่น ฝูงนก หรือฝูงปลา [17] ซึ่งมีหลักการที่ใช้หน่วยประชากรของฝูงช่วยกันค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดไปบนพื้นที่ของคำตอบ โดยที่ทุกตัวในฝูงไม่มีตัวใดรู้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้กลยุทธ์เคลื่อนที่ตามตัวที่พบคำตอบที่ดีที่สุดไป PSO มีส่วนที่คล้ายกับ algorithms ที่ใช้หลักการวิวัฒนาการ เช่น GAs และ ACO ซึ่งเริ่มต้นขั้นตอนด้วยการสร้างประชากรคำตอบรุ่นแรกขึ้นแบบสุ่ม จากนั้นจึงพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้นตามลำดับแบบวนรอบ อย่างไรก็ตามข้อดีของ PSO เมื่อเปรียบเทียบกับ GAs หรือ ACO คือ ตัว algorithm มีความเรียบง่าย และใช้จำนวนพารามิเตอร์น้อยกว่า รวมทั้ง PSO ไม่ได้ใช้ genetic operators เช่น crossover และ mutation แต่ใช้การปรับปรุงตำแหน่งของตัวเองด้วยความเร็ว เมื่อเทียบกับ GAs จะเห็นว่า mechanism ของการส่งต่อข้อมูลจากรุ่นสู่รุ่น (รอบต่อรอบ) ต่างจากของ PSO ซึ่ง GAs จะใช้ chromosomes พ่อแม่สองตัวแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน แต่ PSO จะใช้ค่าข้อมูลที่ดีที่สุดที่พบปัจจุบันเป็นตัวส่งต่อข้อมูลไปสู่อันดับถัดไป การพัฒนาจึงมีทิศทางไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดโดยตรงพร้อมทั้งยังมีการช่วยกันหาคำตอบแบบรวมฝูง จึงทำให้มีการ convergence ไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว

Algorithm ของ PSO [18] ใช้กลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนหนึ่งเสมือนเป็นประชากรของฝูง คำตอบแต่ละตัวจะทำหน้าที่เหมือน Particle หนึ่งตัวที่มีค่าตำแหน่งปัจจุบัน โดยเมื่อเริ่มต้น กลุ่มคำตอบเหล่านี้จะถูกสุ่มสร้างขึ้นก่อนตามจำนวนที่กำหนด ซึ่งอาจทำให้ได้ค่าจุดตำแหน่ง (position) ของคำตอบที่เป็นไปได้กระจายอยู่บนพื้นที่คำตอบ (search space) จากนั้นในแต่ละรอบ iteration คำตอบเหล่านี้จะถูกนำไปประเมินค่า fitness ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา จากนั้น algorithm จะปล่อยให้ particle เหล่านี้ “บิน” หรือเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งอื่นที่ดีกว่าต่อไป ทั้งนี้แต่ละ Particle จะมีค่าตำแหน่งปัจจุบัน (position) และค่าความเร็วปัจจุบัน (velocity) ของตัวเอง และยังจดจำตำแหน่งที่ให้ค่า fitness ที่ดีที่สุดของมันไว้ด้วย เรียกว่า Individual best position นอกจากนี้ algorithm ยังมีการจดจำตำแหน่งที่ให้ค่า fitness ที่ดีที่สุดของฝูง particles ทั้งหมดอีกด้วย เรียกว่า global best position ซึ่งทั้งฝูงจะพยายามรักษาทิศทางและความเร็วของทั้งตัวเองและของฝูงไว้

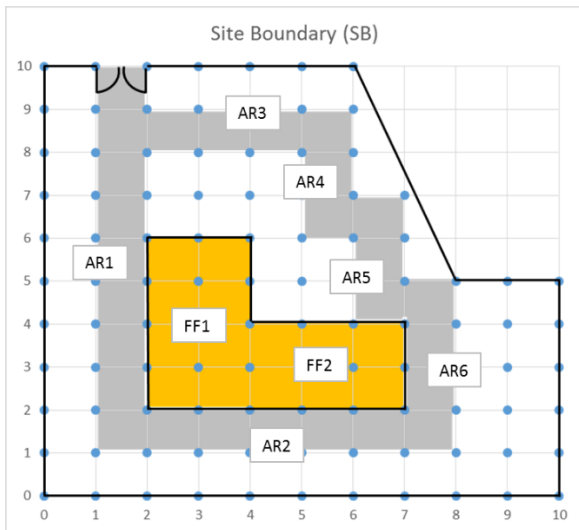
3. แบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างและการหาคำตอบด้วยวิธี Particle Swarm Optimization

การวิจัยนี้ได้รับแรงบันดาลใจจากแบบจำลองปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้าง (CSLP) ขึ้นจากองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ของสถานที่ก่อสร้างด้วยตัวแปรทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ รวมทั้งสร้างสมการคำนวณระยะเดินทางจริง (actual path) ระหว่าง Facilities ต่าง ๆ พร้อมกับส่วนประกอบหลักของแบบจำลองปัญหา CSLP คือ ตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) เงื่อนไขข้อจำกัด (constraints)

3.1 องค์ประกอบของสถานที่ก่อสร้าง

องค์ประกอบภายในสถานที่ก่อสร้างที่ปรากฏในแบบจำลอง ได้แก่ ขอบเขตโครงการ และสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหลายซึ่งแบ่งออกเป็นสี่ประเภท

ขอบเขตโครงการ (site boundary: SB) เป็นเส้นกำหนดขนาดความกว้างและยาว และรูปร่างของพื้นที่ทั้งหมดของโครงการก่อสร้างที่พิจารณา ซึ่งอาจเป็นรูปร่างใด ๆ (irregular



รูปที่ 1 องค์ประกอบของสถานที่ก่อสร้างด้วยการใช้ระบบพิกัดฉาก

shape) ตามสภาพของสถานที่ก่อสร้างจริง จำลองโดยใช้ระบบพิกัดฉาก (grid system) ในการอ้างอิงตำแหน่ง โดยพื้นที่ทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ ในหน่วยย่อยที่สุดของการบอกค่าระยะ ซึ่งต้องประมาณพื้นที่บริเวณขอบเขตของโครงการที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทั้งนี้การกำหนดขอบเขตโครงการรวมประตูทางเข้าออกของโครงการด้วย

ตัวอย่างของขอบเขตโครงการก่อสร้างด้วยการใช้ระบบพิกัดฉากในการอ้างอิงแสดงในรูปที่ 1 กำหนดให้พื้นที่ SB โครงการเป็นรูปร่างใด ๆ ตามขอบเขตที่กำหนดด้วยเส้นทึบ มีขอบเขตสูงสุด ได้แก่ $SBX_{min}=0$ $SBY_{min}=0$ $SBX_{max}=10$ และ $SBY_{max}=10$ หน่วย และมีจุดพิกัดที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตโครงการ (SB's non-available coordinates: SBNACs) จำนวน 18 จุดตามตารางที่ 1

ส่วนจุดพิกัดที่อยู่ในพื้นที่โครงการ (SB's available coordinates) แสดงแทนด้วยวงกลมจุด รวมตำแหน่งประตูทางเข้าออกโครงการกำหนดไว้ที่ด้านบนของพื้นที่ จุดที่ (1,10) และ (2,10)

สิ่งอำนวยความสะดวก (facilities) ของโครงการ เป็นคำที่มีความหมายครอบคลุมสิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ภายในขอบเขตโครงการแบ่งเป็นสี่ประเภท ดังนี้

1. สิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (fixed facilities: FF) หมายถึง ตัวสิ่งก่อสร้างซึ่งกำหนดจำนวน ขนาด รูปร่างและ

ตารางที่ 1 จุดพิกัด SBNACs ของโจทย์ปัญหา

SB's non-available coordinates (SBNACs)																		
X	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	
Y	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10

ตารางที่ 2 ข้อมูลของสิ่งอำนวยความสะดวกของโจทย์ปัญหา

Facility I.D.	Name	Type	Default entrance position	Boundary coordinates with orientations											
				0°	90°	180°	270°	LL	UR	LL	UR	LL	UR	LL	UR
			X0 Y0	X1 Y1	X2 Y2	X3 Y3	X4 Y4	X5 Y5	X6 Y6	X7 Y7	X8 Y8	X9 Y9	X10 Y10	X11 Y11	X12 Y12
1	FF1	Fixed Facility	5	-3	-1										
2	FF2	Fixed Facility	5	-1	2										
3	AR1	Access Road	0	1	2										
4	AR2	Access Road	0	2	8										
5	AR3	Access Road	0	2	6										
6	AR4	Access Road	0	5	6										
7	AR5	Access Road	0	6	7										
8	AR6	Access Road	0	7	8										
9	TF1	Temporary Facility	0	-1	1	-2	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	1
10	TF2	Temporary Facility	0	-2	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
11	TF3	Temporary Facility	0	-1	0	-1	3	0	1	-3	1	0	-1	3	1
12	TF4	Temporary Facility	0	-4	0	-1	0	0	4	0	1	0	-4	0	1
13	TF5	Temporary Facility	0	-2	2	-1	0	-2	2	0	-1	0	-2	2	0

ตำแหน่งที่แน่นอนก่อนแล้ว ตำแหน่งจึงคงที่ไม่เคลื่อนย้าย FFs จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานก่อสร้าง แต่มีอยู่แล้วภายในขอบเขตของพื้นที่โครงการและไม่สามารถนำออกไปหรือเคลื่อนย้ายได้ หรืออาจต้องการเก็บรักษาไว้สำหรับประกอบกับสิ่งก่อสร้างเมื่อตอนแล้วเสร็จ มีตำแหน่งกำหนดแน่ชัดคงที่คล้ายกับสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) กำหนดให้ไม่มี obstacles (OB) ในโจทย์

2. สิ่งกีดขวาง (obstacles: OB) หมายถึง สิ่งที่ยึดสภาพไม่มีส่วนช่วยอำนวยความสะดวกหรือเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานก่อสร้าง แต่มีอยู่แล้วภายในขอบเขตของพื้นที่โครงการและไม่สามารถนำออกไปหรือเคลื่อนย้ายได้ หรืออาจต้องการเก็บรักษาไว้สำหรับประกอบกับสิ่งก่อสร้างเมื่อตอนแล้วเสร็จ มีตำแหน่งกำหนดแน่ชัดคงที่คล้ายกับสิ่งที่ต้องการก่อสร้าง (FF) กำหนดให้ไม่มี obstacles (OB) ในโจทย์
3. ถนนภายใน (access roads: AR) หมายถึง ถนนชั่วคราวภายในโครงการที่เชื่อมระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เพื่อปฏิบัติงานก่อสร้าง โดยถนนภายในนี้ต้องถูกกำหนดเส้นทางไว้ก่อนแล้ว และใช้อ้างอิงในการคำนวณหาระยะเดินทางจริง (actual path)

ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทำให้การกำหนดตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกจะสัมพันธ์กับการกำหนดเส้นทางของถนนภายในนี้ด้วย ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 กำหนดให้ AR เริ่มตั้งแต่ประตูของโครงการและยาวรอบล้อม FF จนบรรจบกันและกลับออกไปที่ประตู ที่เป็นรูปประกอบของสี่เหลี่ยมจำนวนหกรายการ (facility I.D. 3 ถึง 8)

4. สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราว (temporary facilities: TF) หมายถึง สิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ ที่ใช้ระหว่างการก่อสร้างที่ต้องการการกำหนดตำแหน่งที่เป็นประเด็นของปัญหา CSLP ซึ่งรูปร่างของ TF จะต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปประกอบของสี่เหลี่ยมเท่านั้น และมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ที่ต้องปฏิบัติงานร่วมกัน กำหนดให้มี TFs เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมที่มีจุดทางเข้าออกต่าง ๆ กันจำนวนห้ารายการ (facility I.D. 9 ถึง 13) โดยที่ให้จุดทางเข้าออก (entrance position) เริ่มต้นอยู่ที่จุดพิกัด (0, 0) และมี orientation ต่าง ๆ ทั้งสี่แนวตั้งฉาก (orthogonal angles) ประกอบด้วย 0° 90° 180° และ 270° ด้วยค่าพิกัด $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_8, Y_8)$ ตามลำดับ ข้อมูลต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2

3.2 ตัวแปรคำตอบ

ตัวแปรคำตอบ คือตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ของแบบจำลองของ CSLP นี้ ซึ่งแสดงการจัดวาง TFs ต่าง ๆ ทั้งหมดในโจทย์ ประกอบด้วย จุดพิกัด (coordinates) ที่บอกตำแหน่งการจัดวาง และการวางตัว (orientations) ทั้งนี้จะใช้จุดทางเข้าออกของ TFs อ้างอิงในการวางตำแหน่งและหมุนตามแนววางตัว ค่าของตัวแปรคำตอบเหล่านี้จะหาได้จากการแก้ปัญหา และทำให้ได้แผนการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ตามวัตถุประสงค์

ตัวแปรตัดสินใจ : (X_i, Y_i, Z_i) ; for $i = 1, \dots, n$

โดยที่ X_i = ค่าพิกัดแนวนอน Y_i = ค่าพิกัดแนวตั้ง และ Z_i = ค่ามุมของแนวการวางตัวของ TF ตัวที่ i, n = จำนวน TF ทั้งหมดที่ต้องการจัดตำแหน่ง

		Relationships for Proximity Weight between a pair of facilities												
I.D.:	I.D.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1													
	2									4	3	2	1	0
	3													
	4													
	5													
	6													
	7													
	8													
	9										1	2	3	4
	10											1	2	3
	11												1	2
	12													1
	13													

รูปที่ 2 ค่า Relationships สำหรับกำหนดค่า Proximity weights

3.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั่วไปของแบบจำลอง CSLP กำหนดให้อยู่ในรูปค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันต้นทุน (cost function) ของการเดินทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวก (minimize the total inter-facilities transportation cost) ซึ่งจากสมการหาระยะเดินทางจริง (actual Path) และค่าน้ำหนักใกล้เคียง (proximity weights) ทำให้ได้ค่าผลรวมของต้นทุนการเดินทางระหว่างคู่ของสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด ดังสมการที่ (1)

$$\text{Minimize} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (AP_{ij} R_{ij}) \quad (1)$$

โดยที่ AP_{ij} = ระยะเดินทางจริง (actual Path) และ R_{ij} = ค่าน้ำหนักใกล้เคียง (proximity weight) ระหว่าง facility ตัวที่ i และ j

แผนการจัดผังสถานที่ก่อสร้างที่ดีจะมีลักษณะที่สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีค่าน้ำหนักใกล้เคียงกันมากวางอยู่ในระยะใกล้กันที่สุด ซึ่งจะทำให้ฟังก์ชันต้นทุนที่กำหนดมีค่าต่ำที่สุด

3.4 ค่าน้ำหนักใกล้เคียงของความสัมพันธ์

ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ถูกแสดงเป็นค่าน้ำหนักใกล้เคียง (proximity weights) สำหรับแต่ละคู่ของสิ่งอำนวยความสะดวก โดยที่หากสิ่งอำนวยความสะดวกคู่ใดมีความเกี่ยวข้องต่อเนื่องในการปฏิบัติงาน จึงเหมาะสมที่

ต้องอยู่ใกล้กันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน จะมีค่าน้ำหนักมาก หรือในทางกลับกันควรจัดวางให้ไกลกันจะมีค่าน้ำหนักน้อย การกำหนดค่าน้ำหนักใกล้จัดทำโดยผู้วางแผน หรือจากการสำรวจข้อมูลจริงในโครงการ แบ่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างคู่สิ่งอำนวยความสะดวกเป็นหกระดับ (0 ถึง 5) งานวิจัยที่ผ่านมาหลายชิ้นมักแปลงความสัมพันธ์นี้เป็นค่าน้ำหนักใกล้จัดด้วยทฤษฎี Fuzzy set [15] ในลักษณะแบบ exponential number กำหนดให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง facilities มีค่าดังรูปที่ 2

3.5 เงื่อนไขข้อจำกัด

เงื่อนไขข้อจำกัด เป็นกลุ่มฟังก์ชันที่กำหนดลักษณะของผังการจัดสถานที่ที่เป็นไปได้ (feasible layouts) ผังสถานที่ที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดข้อใดข้อหนึ่งหรือทั้งหมดจะเป็นแผนผังที่ใช้ไม่ได้และไม่นำมาพิจารณาต่อ ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีเงื่อนไขข้อจำกัดแบ่งเป็นด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ขอบเขตโครงการ (site boundary) เป็นเงื่อนไขเบื้องต้นที่ต้องมีใน CSLP โดยพื้นที่โครงการต้องถูกกำหนดไว้อย่างชัดเจน โดยพิจารณาจุดพิกัดที่เป็นขอบเขตของสิ่งอำนวยความสะดวกใด ๆ จะต้องไม่อยู่นอกขอบเขตโครงการ (SB's non-available coordinates: SBNACs)
2. ด้านการซ้อนทับ (overlap conditions) เป็นเงื่อนไขทั่วไปที่จำเป็น โดยกำหนดให้แต่ละพื้นที่รองรับสิ่งอำนวยความสะดวกได้เพียงสิ่งเดียวเท่านั้น ดังนั้นสิ่งอำนวยความสะดวก (กำหนดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม) สองอัน i และ j ใด ๆ มีพิกัดตำแหน่งมุมด้านล่างซ้ายและมุมด้านบนขวาเป็น (x_{1i}, y_{1i}) , (x_{2i}, y_{2i}) , (x_{1j}, y_{1j}) , และ (x_{2j}, y_{2j}) ตามลำดับ จะต้องมีความเป็นจริงตามสมการ (2)

$$\max\{[x_{1i} - x_{2j}][x_{2i} - x_{1j}], [y_{1i} - y_{2j}][y_{2i} - y_{1j}]\} \geq 0 \quad (2)$$

สิ่งอำนวยความสะดวกที่พิจารณาในเงื่อนไขข้อจำกัดนี้ จะต้องเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกทุกประเภท

3.6 วิธีหาคำตอบด้วย PSO

การแก้ปัญหา CSLP นี้ใช้วิธี particle swarm optimization (PSO) หาคำตอบที่เป็นค่าพิกัดของจุดตำแหน่ง

facility k		1	2	3	4	5
P1	x	4	6	2	0	7
	y	8	7	8	2	2
	z	1	2	0	2	1

รูปที่ 3 การเข้ารหัสคำตอบของ Particle P1

จัดวางและมุมการวางตัวของ TFs ทั้งหมด PSO algorithm มีสี่ขั้นตอน คือ การเข้ารหัสคำตอบและสร้างประชากรของฝูง การประเมินค่า fitness ของ particles การปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ particles และการวนรอบซ้ำจนสิ้นสุด

การเข้ารหัสคำตอบและสร้างประชากรของฝูง คือการกำหนดจำนวนประชากร particles ในฝูง (swarm size) ในกรณีนี้จะกำหนดให้ swarm size = 30 ตัว ซึ่งประชากร particle แต่ละตัวก็คือหน่วยย่อยของการค้นหาคำตอบ หากกำหนดให้มีจำนวน particle ในฝูงมากจะทำให้การค้นหาคำตอบเกิดขึ้นอย่างกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่ของคำตอบทั้งหมดได้ เป็นการเพิ่มโอกาสการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด แต่ต้องแลกด้วยเวลาที่ใช้ดำเนินการ algorithm มากขึ้น โดย particle แต่ละตัวจะมีค่าตำแหน่งของ TFs ทุกอันที่ต้องการจัดวาง ซึ่งค่าตำแหน่งประกอบด้วยค่า coordinate (x, y) และค่า orientation (z) ตัวอย่างเช่น ถ้ามี TFs ทั้งหมดห้ารายการ particle P1 จะมีการเข้ารหัสดังตัวอย่างในรูปที่ 3

ค่า coordinate นี้เป็นค่าพิกัดในระบบที่กำหนดขอบเขตพื้นที่ของโครงการ ส่วนค่า orientation กำหนดให้ $0 = 0^\circ$, $1 = 90^\circ$, $2 = 180^\circ$, และ $3 = 270^\circ$ orientation โดยในการสร้างประชากร particles รุ่นแรก (รอบแรก) ตอนเริ่มต้นจะใช้การสุ่มค่า coordinates และ orientations ของ TFs ต่าง ๆ

ขั้นตอนต่อมาคือ การประเมินค่า Fitness ของ Particles ทุกตัวของฝูง นำข้อมูลค่าตำแหน่งการจัดวาง TFs ของแต่ละ particle ไปคำนวณหาค่าผลรวมค่าระยะเดินทางจริงที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ซึ่งจะใช้เป็นค่า fitness ของ particle ตัวนั้น สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของผังการจัดวางแผนนี้ โดยค่า fitness นี้ก็คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา minimization ค่า fitness ของ particles ทุกตัวที่คำนวณได้แล้ว จะถูกเปรียบเทียบสองลักษณะ เพื่อบันทึกค่าที่ดีที่สุดสองค่า คือ

1. Individual best values (*pbest*) คือ ค่าตำแหน่งของแต่ละ Particle ที่มีค่า Fitness ที่ดีที่สุดเท่าที่ Particle ตัวนั้นเคยมีมา เมื่อเปรียบเทียบกับรอบ ก่อน ๆ (รุ่นก่อน ๆ) หากค่าตำแหน่งของ Particle ตัวนั้น ในรอบปัจจุบันทำให้ได้ค่า Fitness ที่ดีขึ้นกว่า *pbest* ที่เคยบันทึกไว้ก็จะเปลี่ยนไปใช้ค่า *pbest* ที่ดีกว่าที่เพิ่งพบนี้

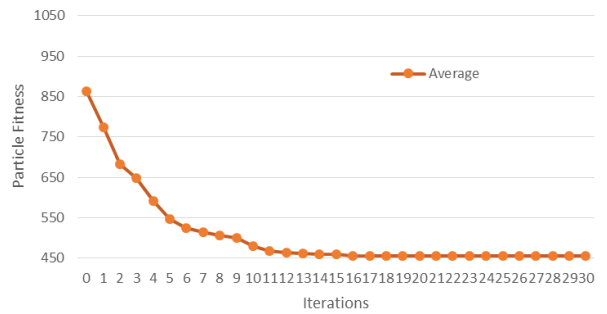
2. Global best values (*gbest*) คือ ค่าตำแหน่งที่ให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดที่เปรียบเทียบกับค่า Fitness ของ Particles ทุกตัวในฝูงในทุกรอบที่ผ่านมา

ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงค่าความเร็ว (velocity) และตำแหน่ง (position) ของ Particles ทุกตัวของฝูง โดยค่าความเร็วของ particle ในรอบปัจจุบันหรือ iteration $t+1$ ได้จากผลรวมของการคำนวณพจน์สามพจน์ดังสมการข้างล่างนี้

$$v_{xi}(t+1) = wv_{xi}(t) + c_1r_1[pbest_{xi}(t) - x_i(t)] + c_2r_2[gbest_x(t) - x_i(t)] \quad (3)$$

โดยที่ $v_{xi}(t)$ = ความเร็วของ particle ตัวที่ i ที่รอบ iteration ที่ t $x_i(t)$ = ค่าตำแหน่งของ Particle ตัวที่ i ที่ iteration t $pbest_{xi}(t)$ = ค่าตำแหน่ง *pbest* ของ particle i ที่ t $gbest_x(t)$ = ค่าตำแหน่ง *gbest* ที่ t w, c_1 และ c_2 = ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมสัดส่วนของค่าของแต่ละพจน์ (กำหนดให้ w, c_1 และ $c_2 = 3$) r_1 และ r_2 = เป็นตัวเลขสุ่มที่สร้างใหม่ทุกครั้ง กำหนดให้ r_1 และ r_2 มีค่าในช่วง = $[0,1]$

พจน์ที่ 1 inertia component คือค่าความเฉื่อยของการเคลื่อนที่ได้จากค่าความเร็วในรอบ iteration t ก่อนหน้า ค่าของพจน์นี้จะทำให้ตำแหน่งของ particle i เคลื่อนไปในทิศทางเดียวกับรอบก่อนหน้า พจน์ที่ 2 cognitive component คือการเรียนรู้ของปัจเจก particle พยายามเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ตนเองได้ค้นพบมาจากรอบก่อน ๆ จนถึงรอบที่ t หรือ *pbest* i ส่วนพจน์ที่ 3 social component คืออิทธิพลของฝูงที่ทำให้ปัจเจก particle พยายามเคลื่อนที่ไปที่บริเวณตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ทั้งฝูงได้ค้นพบมาจากรอบก่อน ๆ จนถึงรอบที่ t หรือ *gbest*



รูปที่ 4 พัฒนาการของค่า Fitness เฉลี่ยของ Particles ทั้งหมด

นอกจากนี้ในพจน์ที่ 2 และ 3 ยังมีตัวเลขสุ่ม r_1 และ r_2 ที่ใช้เป็นสัมประสิทธิ์ของพจน์ทั้งสองตามลำดับ เพื่อให้การเคลื่อนที่ของแต่ละ particle เกิดความไม่แน่นอนและไม่มีแบบแผนในลักษณะแบบสุ่ม หรือ stochastic influence

เมื่อคำนวณได้ค่าความเร็วแล้วจึงนำมาปรับปรุงค่าตำแหน่งของ particle i ด้วยสมการข้างล่างนี้

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_{xi}(t+1) \quad (4)$$

อย่างไรก็ตามค่าตำแหน่งของ particle ใด ๆ ในแบบจำลองปัญหานี้ประกอบด้วยสามค่า คือ ค่า Coordinate (x, y) และค่า orientation (z) ดังนั้นการปรับปรุงค่าความเร็วและตำแหน่งของ Particles จะต้องทำทั้งค่า x, y และ z โดยใช้สมการคำนวณในลักษณะเดียวกัน อีกประเด็นคือการกำหนดค่าตำแหน่งของ Particles อยู่ในระบบพิกัดฉากที่มีหน่วยย่อยที่สุดเป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นค่าความเร็วที่คำนวณได้จะถูกปัดเป็นเลขจำนวนเต็มก่อนแล้วจึงนำไปปรับปรุงค่าตำแหน่งต่อไป

การพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้นจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป โดยผ่านการปรับปรุงตามขั้นตอนดังกล่าวแบบวนรอบซ้ำ จำนวนรอบของการวนรอบซ้ำ (iteration) จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ หากกำหนดให้ maximum iteration (จำนวนวนรอบทั้งหมด) มีค่ามากจะเป็นการเพิ่มโอกาสการพัฒนาคำตอบให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้น แต่ก็ต้องแลกด้วยเวลาของการดำเนินการของ algorithm ที่มากขึ้นด้วย ในกรณีนี้กำหนดให้ใช้ maximum iteration = 30 รอบ

3.7 การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ (prototype) ของแบบจำลอง CSLP นี้ทำด้วยโปรแกรมกระดานคำนวณ

ตารางที่ 3 ชุดทดสอบสำหรับการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทาง

Test set	PSO's parameters					Distance	Repeating
	Swarm Size	Max. Iteration	w	c ₁	c ₂	Method	runs
14	80	30	3	3	3	Actual Path	20
16	80	30	3	3	3	Euclidean	20

ตารางที่ 4 ผลทดสอบสำหรับการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทาง

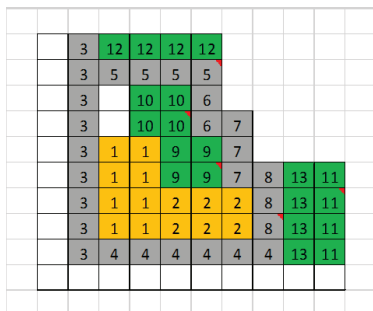
Test set	PSO's Results					
	Best solution			Average solution		
	Fitness	Particle i	Iteration j	Fitness	Iteration j	Runtime (mins)
14	389.17	8	24	427.79	15	115
16	234.41	51	9	246.86	12	83

(spreadsheet) Microsoft Excel™ 2013 เนื่องจากเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้งานแพร่หลายและมีเครื่องมือช่วยสนับสนุนต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับใช้สร้างแบบจำลอง ได้แก่ การป้อนและบันทึกข้อมูลนำเข้า (input) ต่าง ๆ การคำนวณค่าตามสมการของแบบจำลอง การแสดงข้อมูลผลลัพธ์ (output) ทั้งเชิงตัวเลขในตารางและรูปภาพฟิค และการเขียนโปรแกรมชุดคำสั่งการทำงานโดยอัตโนมัติ (macros) เพิ่มด้วย VBA

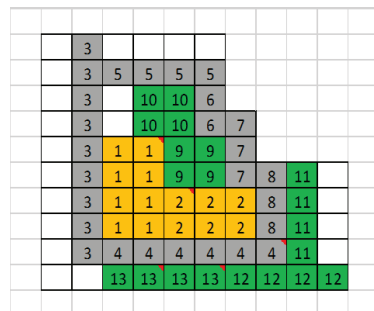
4. การทดสอบ

โปรแกรมต้นแบบสำหรับแบบจำลองและวิธีการหาคำตอบของ CSLP ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ ถูกทดสอบประสิทธิภาพโดยประเด็นของการทดสอบคือ การเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง Actual Path และ Euclidean และการเปรียบเทียบวิธีหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA โจทย์ปัญหาสำหรับการทดสอบนี้มีความหลากหลายเฉพาะในส่วนที่ต้องการตรวจสอบแต่ก็จำกัดให้มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป

ผลทดสอบแสดงว่า PSO สามารถพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในแต่ละรอบ โดยพิจารณาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่า fitness ของ Particles ทั้งหมด (swarm size = 80 ตัว) ของทุกรอบ (maximum iteration = 30 รอบ)



(a)



(b)

รูปที่ 5 ผังสถานที่ของคำตอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบวิธีคำนวณระยะทาง (a) Actual Path และ (b) Euclidean

ที่โปรแกรมบันทึกไว้ โดยค่า fitness ตอนเริ่มต้นที่แย่ที่สุดมีค่า = 1,031.64 และค่า fitness ที่ดีที่สุดเป็นของ particle ตัวที่ 8 ในรอบ iteration ที่ 9 มีค่า = 456.32 ซึ่งหลังจากนั้น particles ทั้งหลายก็มีทิศทางพัฒนาการไปในทางที่เข้าใกล้กันมากยิ่งขึ้น หรือเกิดการ convergence จนเท่ากันเท่ากับค่า fitness ที่ดีที่สุดนั่นเอง กราฟพัฒนาการของค่า fitness เฉลี่ยของ particles นำมาแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4

ประเด็นการเปรียบเทียบวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง actual path และ Euclidean เพื่อหาข้อสรุปว่าวิธีคำนวณระยะทางระหว่าง actual path ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้และ Euclidean ที่มักใช้กันในการวิจัยที่ผ่านมา จะส่งผลการเปลี่ยนแปลงของคำตอบที่ได้และมีความแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งหากพิจารณาในเชิงหลักการแล้ว วิธีการคำนวณระยะทาง actual path ควรมีความใกล้เคียงสอดคล้องกับระยะการเดินทางจริงของผู้ปฏิบัติงานมากกว่าวิธีการคำนวณระยะทาง Euclidean ซึ่งต้องแลกมาด้วยการคำนวณและการโปรแกรมที่ซับซ้อนกว่ามาก รวมถึงใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าด้วย

โดยแบ่งชุดทดสอบเป็น 2 ชุดคำนวณระยะทางด้วยวิธีต่างกันคือ actual path และ Euclidean และทำการทดสอบแต่ละชุดนี้ซ้ำเป็นจำนวน 20 ครั้ง ผลทดสอบแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ค่า fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดและค่าเฉลี่ยที่ได้จากชุดทดสอบทั้งสองแตกต่างกัน แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากเป็นค่า fitness ที่ได้มาจากค่าระยะทางที่คำนวณด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจะประเมินโดยพิจารณาแผนการจัดผังของคำตอบที่ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5 (a) และ (b) จะเห็นว่าผังสถานที่ที่ก่อสร้างที่ได้จากวิธี actual path จะมีลักษณะหัน

ด้านทางเข้าออกของสิ่งอำนวยความสะดวกไปสู่ถนนภายใน และยึดโยงกับถนนภายในเพื่อไปสู่สิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นรูปแบบการจัดตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าระยะทาง actual path โดยรวมสั้น ขณะที่ฝั่งสถานที่ก่อสร้างที่ได้จากวิธี Euclidean จะไม่ยึดโยงกับถนนภายใน ซึ่งทำให้การปฏิบัติงานจริงต้องเดินทางด้วยระยะทางระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกมากกว่าที่คำนวณได้

นอกจากนี้ค่า fitness ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 14 เท่ากับ 389.17 ซึ่งหากนำค่าฟังก์ชันของคำตอบนี้ไปคำนวณใหม่ด้วยวิธีคำนวณระยะทางแบบ Euclidean จะได้ค่า fitness เท่ากับ 273.21 ในขณะที่ค่า fitness ที่ดีที่สุดของชุดทดสอบที่ 16 เท่ากับ 234.41 ซึ่งหากนำค่าฟังก์ชันของคำตอบนี้ไปคำนวณใหม่ด้วยวิธีคำนวณระยะทางแบบ actual path จะได้ค่า fitness เท่ากับ 619.29 จากการพิจารณาเปรียบเทียบการคำนวณสลับวิธีนี้จะเห็นว่า คำตอบที่ได้จากวิธี actual path ยังคงให้ระยะทางรวม Euclidean ที่ค่อนข้างดี ขณะที่ คำตอบที่ได้จากวิธี Euclidean จะให้ระยะทางรวม actual path ไม่ดีนัก

ประเด็นการเปรียบเทียบวิธีหาคำตอบระหว่าง particle swarm optimization (PSO) และ genetic algorithm (GA) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของการหาคำตอบด้วยวิธี PSO ซึ่งถูกเลือกใช้ในการวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบกับวิธี GA ที่แพร่หลายกว่าและมีโปรแกรมสำเร็จรูปแบบ add in ที่ใช้กับโปรแกรม Excel ชื่อ Evolver™ ของบริษัท Palisade corporation ด้วย จึงใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบได้อย่างสะดวก

ผลทดสอบแสดงว่า การหาคำตอบด้วยวิธี GA จำเป็นต้องกำหนดคำตอบเริ่มต้น (initial solution) เพื่อให้ algorithm สร้างคำตอบที่เป็นไปได้อื่น ๆ ขึ้นมาเป็นประชากรและพัฒนาคำตอบเหล่านี้ในรุ่นต่อ ๆ ไป คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก GA จะขึ้นกับคำตอบเริ่มต้นนี้โดยตรง ในการทดสอบได้กำหนดใช้คำตอบเริ่มต้นจำนวน 10 คำตอบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นคำตอบที่ได้จากวิธี PSO ในรอบการคำนวณที่ 0 (หรือรอบเริ่มต้น) ซึ่งเป็นคำตอบที่ได้จากการสุ่มสร้าง

พบว่าวิธี GA ให้คำตอบที่ดีขึ้นจากคำตอบเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย การจากทดสอบนี้ค่า fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดจาก GA ที่อัตราส่วนโดยเฉลี่ย 0.77 เมื่อเทียบกับค่า fitness

ตารางที่ 5 ตัวอย่างผลการทดสอบและค่าเฉลี่ยการเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบระหว่าง PSO และ GA

Test number	1	2	3	4	5	Average
Initial fitness	876	970	855	910	865	926
PSO result fitness	428	428	428	428	428	428
PSO result/Initial fitness	0.49	0.44	0.50	0.47	0.49	0.46
The pbest iteration	25	23	27	18	29	23
Total iteration	30	30	30	30	30	30
GA result fitness	700	743	721	660	716	713
GA result/Initial fitness	0.80	0.77	0.84	0.73	0.83	0.77
Valid trials	14988	21983	17621	17932	17186	18932
Total trials	23806	33659	26442	25567	25966	28166
Valid/Total trials	0.63	0.65	0.67	0.70	0.66	0.67
Best trial number	2461	10935	23359	22799	2604	15412

ของคำตอบเริ่มต้น นอกจากนี้หากใช้คำตอบเริ่มต้นที่มีค่า fitness ที่ไม่ดีก็จะทำให้ได้คำตอบจาก GA ที่ไม่ดีด้วยคือดีขึ้นจากเริ่มต้นอีกเพียงเล็กน้อย แต่หากใช้คำตอบเริ่มต้นที่ดีอยู่แล้วจะทำให้ได้คำตอบจาก GA ที่ดีขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยหรือไม่พบคำตอบที่ดีกว่า ทำให้ GA เป็นวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ขณะที่วิธี PSO สามารถให้ค่า fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดที่อัตราส่วนโดยเฉลี่ยถึง 0.46 เมื่อเทียบกับค่า fitness ของคำตอบเริ่มต้น

กระบวนการพัฒนาคำตอบของ GA ทำให้สร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (infeasible solutions or invalid trials) ขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 10 ครั้งนี้คือ 9,200 คำตอบ จากคำตอบทั้งหมดโดยเฉลี่ย 28,200 คำตอบ (total trials) หรือคิดเป็นสัดส่วนโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 และมีคำตอบที่เป็นไปได้ (feasible solution or valid trials) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 19,000 คิดเป็นร้อยละ 67 เนื่องจากกระบวนการถ่ายทอดพันธุกรรมหรือ crossover operation ของ GA เป็นการสลับตำแหน่งของยีนพ่อแม่แบบสุ่ม ซึ่งทำให้ตำแหน่งการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกที่เกิดขึ้นใหม่เป็นไปไม่ได้ คืออาจเกินขอบเขตโครงการ หรือซ้อนทับกันเอง ซึ่งทำให้การพัฒนาคำตอบไร้ทิศทางแบบสุ่มและไม่มีประสิทธิภาพ หรือต้องใช้เวลาในการหาคำตอบมากเพราะเสียเวลาสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ รวมทั้งอาจไม่พบคำตอบที่ดีได้เลย

การทดสอบซ้ำเดิมทั้ง 10 ครั้งได้คำตอบที่ดีที่สุดจากวิธี GA ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้ ซึ่งสามารถสรุปเปรียบเทียบกับ PSO ได้ว่า วิธี PSO สามารถใช้หาคำตอบได้ดีกว่า GA ซึ่งทำให้ได้ค่า fitness ของคำตอบที่ดีที่สุดต่ำกว่า และยังได้คำตอบที่ดีที่สุดอันเดิมเท่ากันทุกครั้ง ทำให้วิธี PSO เป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพดีและยังให้คำตอบที่น่าเชื่อถืออีกด้วย อย่างไรก็ตาม

ตามข้อจำกัดในการเปรียบเทียบนี้ก็คือ การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาคำตอบด้วยวิธี GA ซึ่งอาจไม่ได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับปัญหาการจัดผังสถานที่ก่อสร้างนี้

5. สรุป

การจัดผังสถานที่ก่อสร้างเป็นภารกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของการบริหารโครงการ เนื่องจากผังสถานที่ก่อสร้างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการดำเนินงานอย่างกว้างขวางและต่อชุมชนโดยรอบ อย่างไรก็ตามการจัดวางตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวต่าง ๆ เป็นปัญหาที่หาคำตอบยาก การวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองของปัญหานี้ให้สมจริงยิ่งขึ้น ได้แก่ การจำลองพื้นที่โครงการด้วยระบบพิกัดฉาก รูปร่างพื้นที่โครงการและสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นรูปร่างใด ๆ และสามารถมีการวางตัวที่เป็นไปได้สี่แนวตั้งฉาก การคำนวณระยะเดินทางแบบอ้างอิงกับเส้นทางถนนภายในหรือ actual path รวมทั้งการพัฒนา particle swarm optimization ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบด้วย Microsoft Excel ผลทดสอบบ่งชี้ว่าการประเมินผังสถานที่ด้วยวิธีคำนวณระยะทางแบบ actual path ให้ผลที่ดีกว่าแบบ Euclidean และการหาคำตอบด้วยวิธี PSO ให้ผลที่ดีกว่าวิธี GA โปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาในการวิจัยนี้จึงสามารถใช้จัดวางผังสถานที่ก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพและทดแทนการพึ่งพาประสบการณ์ของวิศวกรเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามแบบจำลองก็ยังมีข้อจำกัดและใช้ได้ภายในกรอบตามสมมติฐานที่กำหนด

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2558-2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cheng M, O'Connor J. ArcSite: Enhanced GIS for Construction Site Layout. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1996; 122(4): 329–336.
- [2] Yeh I.C. Construction-Site Layout Using Annealed Neural Network. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 1995; 9(3): 201–208.
- [3] Hegazy T, Elbeltagi E. EvoSite: Evolution-Based Model for Site Layout Planning. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 1999; 13(3): 198–206.
- [4] Ning X, Lam K.C., Lam M.C.K. Dynamic Construction Site Layout Planning Using Max-Min Ant System. *Automation in Construction*. 2010; 19(1): 55–65.
- [5] Zouein P.P., Tommelein I.D. Dynamic Layout Planning Using a Hybrid Incremental Solution Method. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1999; 125(6): 400–408.
- [6] Li H, Love P.E.D. Genetic Search for Solving Construction Site-Level Unequal-Area Facility Layout Problems. *Automation in Construction*. 2000; 9(2): 217–226.
- [7] Liggett R.S. Automated Facilities Layout: Past, Present and Future. *Automation in Construction*. 2000; 9(2): 197–215.
- [8] Li H, Love P.E.D. Site-Level Facilities Layout Using Genetic Algorithms. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 1998; 12(4): 227–231.
- [9] Mawdesley M, Al-jibouri S, Yang H. Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2002; 128(5): 418–426.
- [10] El Rayes K. Dynamic Site Layout Planning Using Approximate Dynamic Programming. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2009; 23(2): 119–127.
- [11] Zhang H, Wang J.Y. Particle Swarm Optimization for Construction Site Unequal-Area Layout. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2008; 134(9): 739–748.
- [12] Zouein P.P., Harmanani H, Hajar A. Genetic Algorithm for Solving Site Layout Problem with Unequal-Size and Constrained Facilities. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2002; 16(2): 143–151.

- [13] Easa S, Hossain K. New Mathematical Optimization Model for Construction Site Layout. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2008; 134(8): 653–662.
- [14] Park M, Yang Y, Lee S.H., Han S, Ji S. Floor-Level Construction Material Layout Planning Model Considering Actual Travel Path. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012; 138(7): 905–915.
- [15] Sanad H, Ammar M, Ibrahim M. Optimal Construction Site Layout Considering Safety and Environmental Aspects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2008; 134 (7): 536–544.
- [16] Sadeghpour F, Moselhi O, Alkass S. A CAD-Based Model for Site Planning. *Automation in Construction*. 2004; 13(6): 701–715.
- [17] Eberhart R.C., Kennedy J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. In: *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, New York, NY*; 1995: 1. p. 39–43.
- [18] Yan X, Zhang C, Luo W, Li W, Chen W, Liu H. Solve Traveling Salesman Problem Using Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Journal of Computer Science*. 2012; 9: 264–271.