บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำ โดยการประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการผลต่าง(DE) ในการหาขนาดของท่อที่เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุดและการสูญเสียแรงดันจากการสูญสียหลักต่ำที่สุด ซึ่งมีผลการวิจัย ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษารูปแบบปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และมีการรวบรวมข้อมูลไว้ในบทที่ 2 โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1) หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล
2) สมการพื้นฐานของการไหล และความดันที่สูญเสียไปในท่อตรง
3) การเขียนโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาค่าที่ดีที่สุด (โปรแกรม LINGO)
4) การแก้ปัญหาตามโปรแกรมตามแผนผังการแก้ปัญหาของวิธีวิวัฒนาการผลต่าง(DE)
5) โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (โปรแกรม EPANET)

ผู้วิจัยได้นำการศึกษาและรวบรวมขอ้มูลในหัวข้อดังกล่าวไปเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบระบบการจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมของงานวิจัยในขั้นตอนถัดไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2ผลการศึกษาการสร้างโครงข่ายท่อประปาของหมู่บ้าน

ผู้วิจัยทำการสำรวจพื้นที่และสามารถแสดงผลการสำรวจพื้นที่ สามารถรวบรวมข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลของจุดร่วมและท่อของระบบการกระจายน้ำของหมู่ 13 บ้านหนองบัวพัฒนา ในเทศบาลตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีราษฎรจำนวน 301 คน 110 ครัวเรือน และมีแหล่งน้ำ

ธรรมชาติในเขตพื้นที่หมู่ 13 อันได้แก่หนองน้ำแดง โดยขอบเขตพื้นชุมชนหมู่ 13 แสดงได้ตามภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 แผนที่หมู่ 13 บ้านหนองบัวพัฒนาและแหล่งหนองน้ำในหมู่บ้าน

4.2.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบการกระจายน้ำของหมู่บ้าน

ในการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำประปานั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐาน ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรึกษากับผู้ใหญ่บ้านและสมาชิกสภาเทศบาลประจำหมู่ที่ 13 สามารถแสดงข้อมูลพื้นฐานของระบบการกระจายน้ำของหมู่13 ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ได้ ดังตารางที่ 4.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพื้นฐานการสร้างระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย

หัวข้อ		ข้อมูล
แหล่งน้ำ	จำนวน	1 จุด
จุดใช้น้ำ	จำนวน	101 จุด
ท่อประปา	จำนวน	109 เส้น
	ชนิด	Polyvinyl chloride, PVC
	Hazen-Williams Coefficient	150
หอถังสูง	ความสูงจากพื้นดิน	15 เมตร (49.21 ฟุต)

4.2.2 ข้อมูลของจุดร่วมและท่อของระบบการกระจายน้ำของหมู่บ้าน

นอกจากข้อมูลพื้นฐานแล้วต้องใช้ข้อมูลตำแหน่งของจุดใช้งานในพื้นที่อีก โดยจากพิกัดดาวเทียมของครัวเรือนที่แสดงความจำนงค์ติดตั้งมิเตอร์ประปา และข้อมูลอัตราการใช้น้ำจากสัมภาษณ์ประชาชนในชุมชนถึงจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในแต่ละครัวเรือนแล้ว ผู้วิจัยได้คำนวณหาความต้องการน้ำจากค่ามาตราฐานตามคู่มือการปฏิบัติงานของโครงการชลประทาน/โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ที่ประเมิณอัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคของประชากรทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในเขตเทศบาลตำบลได้ 120 ลิตร/คน/วัน และความต้องการน้ำสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง/วัน) โดยหน่วยของความต้องการน้ำเป็น แกลลอน/นาที (Gallon per minute : GPM) เพื่อใช้คำนวณความดันที่สูญเสียของท่อตามสูตรเชิงประจักษ์ของ Hazen-Williams โดยความต้องการน้ำของจุดใช้น้ำแต่ละจุดสามารถ คำนวณจากสมการที่ 4.1 และผลการสำรวจแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

$$\text{Gallon per minute (GPM)} = \frac{\text{Population (person)} * 120 \text{ lites/person/day}}{12\text{hours/day}*60 \text{ minutes/hour}*0.2642\text{lites/gallon}} \quad (4.1)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจุดร่วม และท่อของระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย

Pipe ID	ความยาว (ฟุต)	จุดเริ่มต้น Node no.	จุดสิ้นสุด Destination				
			Node no.	พิกัดเส้นแวง X-Coordinate	พิกัดเส้นรุ้งY-Coordinate	จำนวนประชากร (คน)	ความต้องการน้ำ(GPM)
1	(Pump)	RES	Tank	99.158652	18.874727	-	-
2	42.67	1	2	99.156884	18.873769	2	0.59
3	137.90	2	3	99.158162	18.873251	2	0.59
4	10.93	3	4	99.158254	18.87331	2	0.59
5	10.25	4	5	99.158326	18.873383	3	0.89
6	24.72	5	6	99.158478	18.873578	4	1.18
7	58.29	6	7	99.158682	18.874124	5	1.48
8	27.80	7	8	99.158706	18.874401	3	0.89
9	33.04	8	Tank	99.158652	18.874727	-	-
10	12.59	Tank	9	99.158584	18.874833	1	0.30
11	14.14	9	10	99.158526	18.874962	3	0.89
12	17.03	10	11	99.158484	18.875127	4	1.18
13	34.91	11	12	99.158225	18.875361	4	1.18
14	9.39	12	13	99.158166	18.875434	4	1.18
15	11.71	13	14	99.158066	18.875495	2	0.59
16	76.51	14	15	99.158346	18.876207	3	0.89
17	34.90	15	16	99.158695	18.876203	2	0.59
18	18.85	16	17	99.158875	18.876147	6	1.77
19	33.23	17	18	99.159007	18.876452	4	1.18
20	212.08	17	41	99.160966	18.875793	4	1.18
21	44.77	21	41	99.160966	18.875793	4	1.18
22	31.98	37	36	99.161158	18.876536	3	0.89
23	49.14	36	35	99.161649	18.876555	4	1.18
24	47.30	35	38	99.161543	18.876094	3	0.89

© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจุดร่วม และท่อของระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย(ต่อ)

Pipe ID	ความยาว (ฟุต)	จุดเริ่มต้น Node no.	จุดสิ้นสุด Destination				
			Node no.	พิกัดเส้นแวง X-Coordinate	พิกัดเส้นรุ้งY-Coordinate	จำนวนประชากร (คน)	ความต้องการน้ำ(GPM)
25	14.71	38	40	99.161537	18.875947	4	1.18
26	17.23	38	39	99.161713	18.876066	5	1.48
27	33.76	40	42	99.161466	18.875617	3	0.89
28	53.01	41	42	99.161466	18.875617	3	0.89
29	63.81	19	20	99.162143	18.877213	3	0.89
30	43.29	20	26	99.162517	18.876995	7	2.07
31	22.73	26	21	99.162686	18.877147	3	0.89
32	31.07	21	22	99.16297	18.877273	4	1.18
33	76.74	22	23	99.163654	18.876925	3	0.89
34	25.41	23	24	99.163565	18.876687	2	0.59
35	25.93	24	25	99.163626	18.876435	2	0.59
38	30.40	28	30	99.162684	18.87644	2	0.59
39	17.98	30	32	99.162635	18.876267	3	0.89
40	17.36	32	34	99.162563	18.876109	1	0.30
41	49.07	26	29	99.162558	18.876506	3	0.89
42	18.65	29	31	99.162513	18.876325	2	0.59
43	11.52	31	33	99.162482	18.876214	1	0.30
44	61.05	33	43	99.162205	18.87567	4	1.18
45	74.09	43	42	99.161466	18.875617	3	0.89
46	90.01	35	33	99.162482	18.876214	1	0.30
47	88.93	34	44	99.162333	18.87525	2	0.59
48	31.94	44	45	99.162095	18.875037	3	0.89
49	69.96	43	46	99.161934	18.875025	4	1.18
50	50.65	46	48	99.161432	18.874958	3	0.89

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจุดร่วม และท่อของระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย(ต่อ)

Pipe ID	ความยาว (ฟุต)	จุดเริ่มต้น Node	จุดสิ้นสุด Destination				
			Node	พิกัดเส้นแวง X-Coordinate	พิกัดเส้นรุ้งY-Coordinate	จำนวนประชากร (คน)	ความต้องการน้ำ(GPM)
50	50.65	46	48	99.161432	18.874958	3	0.89
51	32.55	48	49	99.161126	18.875069	3	0.89
52	18.61	49	50	99.160954	18.87514	3	0.89
53	23.95	48	47	99.161473	18.874722	3	0.89
54	81.84	45	53	99.161835	18.874261	4	1.18
55	46.97	53	54	99.161694	18.873813	2	0.59
56	72.75	46	52	99.161555	18.874404	4	1.18
57	8.65	52	51	99.161475	18.874437	4	1.18
58	31.44	52	53	99.161835	18.874261	4	1.18
59	267.19	54	55	99.15984	18.871889	2	0.59
60	135.48	55	65	99.158881	18.870932	4	1.18
61	46.19	65	56	99.15927	18.870683	5	1.48
62	59.72	56	57	99.159781	18.870374	3	0.89
63	111.67	57	58	99.160651	18.869674	4	1.18
64	21.18	65	66	99.158863	18.870721	3	0.89
65	50.29	66	67	99.158679	18.870253	3	0.89
87	40.87	60	59	99.159053	18.871553	3	0.89
88	22.30	86	87	99.157823	18.871842	3	0.89
89	22.84	87	88	99.15766	18.872002	5	1.48
90	28.19	88	89	99.15745	18.87219	2	0.59
78	21.32	82	83	99.158154	18.871237	5	1.48
79	48.48	66	81	99.158487	18.871027	2	0.59
91	49.52	89	90	99.157217	18.871753	3	0.89

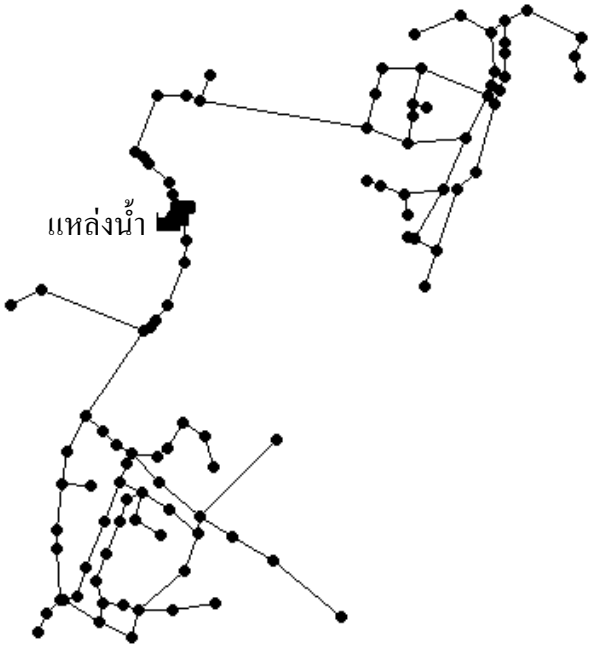
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2ข้อมูลจุดร่วม และท่อของระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย(ต่อ)

Pipe ID	ความยาว (ฟุต)	จุดเริ่มต้น Node	จุดสิ้นสุด Destination				
			Node	พิกัดเส้นแวง X-Coordinate	พิกัดเส้นรุ้งY-Coordinate	จำนวนประชากร (คน)	ความต้องการน้ำ(GPM)
92	41.17	90	91	99.157143	18.871348	3	0.89
93	14.51	86	85	99.157959	18.871599	4	1.18
94	25.05	85	84	99.157867	18.871366	6	1.77
95	31.47	84	83	99.158154	18.871237	5	1.48
96	52.21	84	93	99.157684	18.87877	5	1.48
99	63.30	93	95	99.157447	18.87029	4	1.18
100	23.00	94	96	99.157072	18.870534	3	0.89
101	36.53	95	97	99.157336	18.869942	4	1.18
102	64.05	96	99	99.157128	18.869896	4	1.18
103	17.09	97	98	99.157176	18.869882	5	1.48
104	5.00	98	99	99.157128	18.869896	4	1.18
105	24.91	99	100	99.156959	18.869713	3	0.89
106	26.12	100	101	99.156839	18.869481	4	1.18
107	35.19	83	79	99.158067	18.870896	3	0.89
108	37.93	79	80	99.158388	18.870694	3	0.89
109	51.83	74	98	99.157176	18.869882	5	1.48

จากข้อมูลพื้นฐานและ ข้อมูลจุดร่วมและท่อของระบบการกระจายน้ำในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ผู้วิจัยได้สร้าง network diagramเพื่อแสดงโครงข่ายการกระจายน้ำในหมู่ 13 ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้โปรแกรม EPANET ได้ตามภาพที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.2 Network diagram ของพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย ที่ทำการศึกษาระบบการกระจายน้ำ

4.3การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหรับปัญหาการหาขนาดท่อที่เหมาะสมในระบบกระจายน้ำ

4.3.1 สมมุติฐานสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาการกระจายน้ำครั้งนี้ มีการตั้งข้อสมมุติฐานเพื่อวิเคราะห์อัตราการไหลของระบบ ดังนี้

1) ในระบบมีการสูญเสียความดันจากการสูญเสียความดันรอง (h_m) น้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียความดันหลัก (hf) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ความดันที่สูญเสียหมายถึง การสูญเสียความดันหลัก (hf) เท่านั้น
2) ความดันจากแหล่งจ่ายน้ำมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 15 เมตร (49.21 ฟุต)
3) ต้นทุนรวมในงานวิจัยนี้หมายถึงต้นทุนจากใช้ท่อในระบบกระจายน้ำเท่านั้น

4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการออกแบบระบบการกระจายน้ำ

การ Formulate ปัญหาของการศึกษานี้คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Bureerat&Sriworamas (2013), Pierro et al. (2009) และ Sedki&Ouazar (2012) คือทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การหาขนาดท่อที่เหมาะสมเพื่อทำให้ระบบการกระจายน้ำมีต้นทุนและแรงดันที่สูญเสียน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขของกฎการอนุรักษ์มวลและกฎการอนุรักษ์พลังงาน

1) สมการเป้าหมาย คือ การหาขนาดของท่อที่เหมาะสม โดยใช้ค่าลงทุนต่ำที่สุดและมีการสูญเสียแรงดันน้อยที่สุด

2) สมการข้อจำกัดประกอบไปด้วย

2.1) กฎการอนุรักษ์มวล โดยที่อัตราการไหลเข้าและออกจากจุดร่วมเท่ากับความต้องการน้ำ

2.2) อัตราการไหลผ่านท่อเส้นใดๆ ได้โดยเท่ากับความต้องการน้ำที่จุดรับน้ำบวกกับผลรวมของอัตราการไหลผ่านท่อเส้นต่างๆหลังจุดรับน้ำ

2.3) ความดันที่ต่ำที่สุดของแต่ละจุดร่วมต้องมากกว่าค่าที่กำหนด

2.4) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (Discrete size) ต้องอยู่ในเซ็ทของขนาดทางการค้าที่สามารถจัดหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป

จากรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของกรณีปัญหาการออกแบบระบบการกระจายน้ำที่เหมาะสม จึงสามารถกำหนดสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

Indices

i,j,k	Node *(i,j,k*= 1,2,…,*N)*
a_{ij}	Pipe (a_{ij} = 1,2,…,*npipe*)

Parameters

$L_{a_{ij}}$	คือ ความยาวของท่อที่เชื่อมต่อระว่างStart node *i*ถึง Destination node *j*
$c\left(D_{a_{ij}}\right)$	คือ ราคาต่อหน่วยความยาวของท่อขนาด$D_{a_{ij}}$
npipe	คือ จำนวนของท่อใน Network
N	คือ จำนวนของจุดใช้น้ำใน Network
$hl_{a_{ij}}$	คือ ค่าความดันที่สูญเสียของท่อ a_{ij}
H_i	คือ ความดัน (pressure head) ที่ Start node *i*
H_j	คือ ความดัน (pressure head) ที่ Destination node *j*
CW	คือ Hazen-Williams loss coefficient = 150 (Pipe made from PVC)
$FLOW_{a_{ij}}$	คือ อัตราการไหลผ่านท่อ a_{ij}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$DEMAND_j$ คือ ปริมาณความต้องการน้ำที่ destination node j

$DEMAND_{jk}$ คือ ปริมาณความต้องการน้ำที่ node kที่เชื่อต่อกับ node j

H_j^{min} คือ ความดันต่ำที่สุดที่ต้องการที่จุดร่วมNode j

$\{D\}$ คือ เซ็ทของขนาดของท่อทางการค้า

Decision variable

D Pipe diameter$Da_{ij} \in \{D\}$

สมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัด สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

1) สมการเป้าหมาย

1.2) ค่าลงทุนต่ำที่สุด

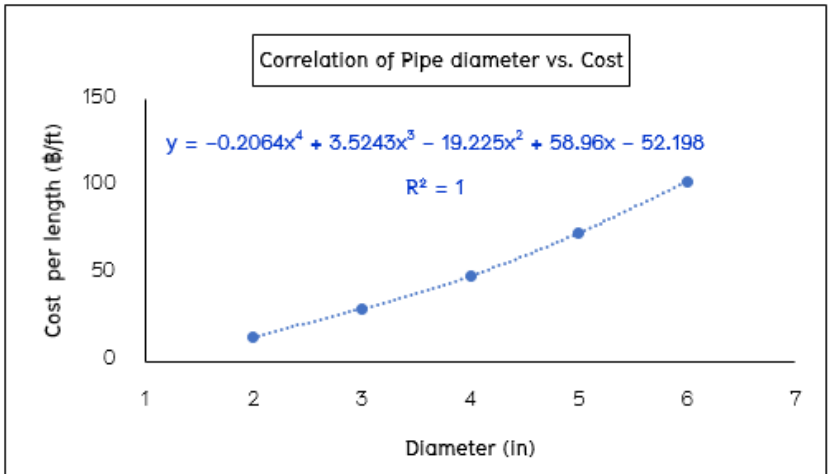
การหาค่าลงทุนต่ำที่สุดแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

$$Minimize\ C\ = \sum_{a_{ij}=1}^{npipe} c\left(D_{a_{ij}}\right) \times L_{a_{ij}} \quad (4.2)$$

เนื่องจากแก้ปัญหาโดยวิธี exact method โดยใช้โปรแกรม LINGO ต้องใช้สมการทางคณิตศาตร์ในการหาคำตอบ ดังนั้นจึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและมูลค่าต่อหน่วยความยาวของท่อแต่ละขนาด ซึ่งพบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและมูลค่าของท่อมีความสัมพันธ์กันแบบสมการที่ 4.3ซึ่งสมการโพลิโนเมียลลำดับที่ 4 ให้ค่า $R^2 = 1$ ดังภาพที่ 4.3

$$c\left(D_{a_{ij}}\right) = -0.2064D_{a_{ij}}^4 + 3.5243D_{a_{ij}}^3 - 19.225D_{a_{ij}}^2 + 58.96D_{a_{ij}} - 52.198 \quad (4.3)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



Diameter (in)	2	3	4	5	6
Cost (฿/ft)	14	30	49	74	103

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและมูลค่าของท่อแต่ละขนาด

1.2) แรงดันสูญเสียจากการสูญเสียความดันหลักต่ำที่สุด

การหาแรงดันสูญเสียจากการสูญเสียความดันหลักต่ำที่สุดแสดงได้ดังสมการที่ 4.4

$$Minimize\ HL = \sum_{a_{ij}=1}^{npipe} hl_{a_{ij}}\left(D_{a_{ij}}\right) \times L_{a_{ij}} \tag{4.4}$$

โดยที่ $hl_{a_{ij}}$ ที่เป็นค่าความดันที่สูญเสียในท่อ a_{ij} ซึ่งความดันที่สูญเสียนี้เป็นค่าความดันที่แตกต่างกันระหว่าง Node ที่เชื่อมต่อกันซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรเชิงประจักษ์ (Empirical formula) ของ Hazen-Williams (Hazen & Williams, 1906) ที่ใช้กับของไหลที่เป็นน้ำเท่านั้น (ของไหลอื่นๆใช้ไม่ได้) ดังสมการที่ 4.5

$$H_i - H_j = hl_{a_{ij}} = 10.458 \times \frac{L_{a_{ij}} \times FLOW_{a_{ij}}^{1.852}}{C_{a_{ij}}^{1.852} \times D_{a_{ij}}^{4.871}}, \forall j \tag{4.5}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) สมการข้อจำกัด

2.1) กฎการอนุรักษ์มวล

จากกฎการอนุรักษ์มวล สามารถกำหนดอัตราการไหลผ่านท่อเส้นใดๆ ได้โดยเท่ากับความต้องการน้ำที่จุดรับน้ำบวกกับผลรวมของอัตราการไหลผ่านท่อเส้นต่างๆหลังจุดรับน้ำ ดังสมการที่ 4.6

$$FLOW_{a_{ij}} = DEMAND_j + \sum DEMAND_{jk}\,, \forall j \qquad (4.6)$$

2.2) ความดันที่ต่ำที่สุด

สมการที่ 4.7เป็นสมการข้อจำกัดที่เป็นความดันที่ต่ำที่สุดของแต่ละจุดร่วมต้องมากกว่าค่าที่กำหนด

$$H_j \geq H_j^{min}\,,\ j = 1, \ldots, N, \forall j \qquad (4.7)$$

สมการที่ 4.8 เป็นค่าความดันที่จุดร่วมใดๆ ซึ่งเท่ากับความดันที่จุดร่วมก่อนหน้าลบด้วยความดันที่สูญเสียในจากการไหลในท่อ ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$H_j = H_i - hl_{ij}, \forall j \qquad (4.8)$$

สมการที่ 4.9เป็นสมการข้อจำกัดที่เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (Discrete size) ต้องอยู่ในเซ็ทของขนาดทางการค้าที่สามารถจัดหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป

$$D_{ij} \in \{D\} \qquad ,\forall ij \in npipe \qquad (4.9)$$

โดยการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ขนาดท่อประปาตั้งแต่ 2 นิ้วขึ้นไปให้เพียงพอต่ออัตราความต้องการน้ำ แต่ไม่เกิน 6 นิ้วเพื่อควบคุมต้นทุนให้อยู่ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 ผลการแก้ปัญหาด้วยวิธี Exact Method

4.4.1 การจำลองปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหาขนาดเล็กถูกจำลองขึ้นเพื่อใช้ในการเขียนและทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม LINGO โดยใช้การสร้างข้อมูลระบบการกระจายน้ำ กรณีศึกษาจำนวนจุดร่วม 4 จุด และท่อ 4 เส้น ซึ่งข้อมูลพื้นฐานของระบบ สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลพื้นฐานของระบบการกระจายน้ำ กรณีศึกษาจำนวนท่อ 4 เส้น

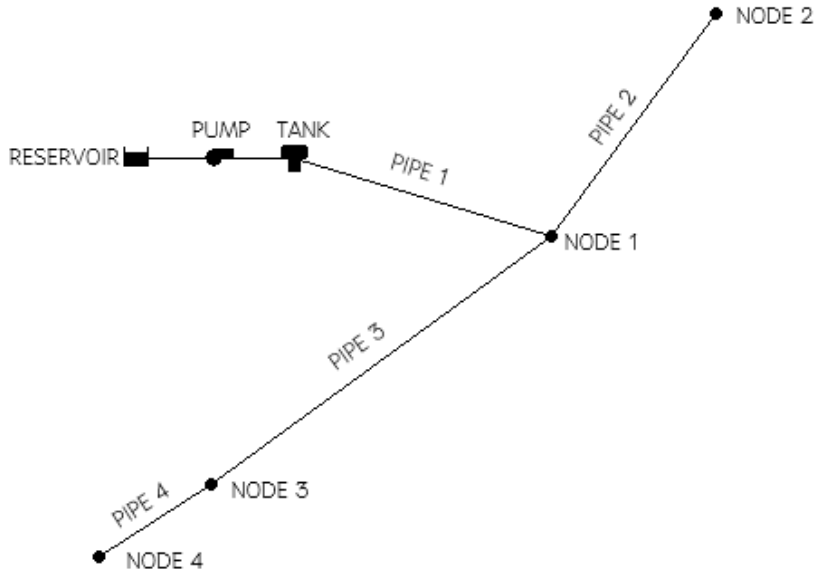
หัวข้อ		ข้อมูล
แหล่งน้ำ	จำนวน	1 จุด
จุดใช้น้ำ	จำนวน	4จุด
ท่อประปา	จำนวน	4เส้น
	ชนิด	Polyvinyl chloride, PVC
	Hazen-Williams Coefficient	150
หอถังสูง	ความสูงจากพื้นดิน	15 เมตร(49.21 ฟุต)

และข้อมูลของจุดร่วมและท่อของระบบกรณีศึกษาจำนวนจุดร่วม 4 จุด และท่อ 4 เส้น สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจุดร่วม และท่อของระบบการกระจายน้ำ กรณีศึกษาจำนวนท่อ 4 เส้น

Pipe ID	ความยาว (ฟุต)	จุดเริ่มต้น Node	จุดสิ้นสุด Destination				
			Node	พิกัดเส้นแวง X-Coordinate	พิกัดเส้นรุ้ง Y-Coordinate	จำนวนประชากร (คน)	ความต้องการน้ำ (GPM)
1	1042.08	Tank	1	99.161964	18.873813	190	119.87
2	1069.41	1	2	99.163626	18.876435	120	75.71
3	1630.52	1	3	99.157684	18.870877	110	69.40
4	516.59	3	4	99.156356	18.870029	130	82.02

จากข้อมูลพื้นฐานและ ข้อมูลจุดร่วมและท่อของระบบการกระจายน้ำ กรณีศึกษาจำนวนจุดร่วม 4 จุด และท่อ 4 เส้น นำมาสร้าง network diagram ในโปรแกรม EPANET ได้ตามภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 Network diagram ของกรณีศึกษาจำนวนท่อ 4 เส้น

4.4.2 การแก้ปัญหาโดยใช้ Lingo

การแก้ปัญหาชุดตัวอย่างขนาดเล็ก กรณีศึกษาจำนวนจุดร่วม 4 จุด และท่อ 4 เส้นทำได้โดยใช้ โปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาค่าที่ดีที่สุด (Lingo) แบบวิธี Sequential Muti-Criteria ซึ่งแนวความคิดหลักของวิธีนี้คือใช้การเลือกแบบอนุกรม (The serial multi-criteria feature selection) คือเกณฑ์การตัดสินใจหนึ่งจะถูกใช้เป็นแนวทางในการเลือกให้กับเกณฑ์การตัดสินใจถัดไป โดย Li, Y. & Zeng, X. (2010)พบว่าคุณภาพของคำตอบที่มาจากวิธีนี้ค่อนข้างดีกว่าการเลือกแบบสุ่ม (Random) และโดยธรรมชาติเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบนั้นย่อมลดลงด้วย นอกจากนี้วิธี Sequential Muti-Criteria ยังใช้เวลาน้อยกว่าแบบ Parallel multi-criteria อีกด้วย ซึ่งในการศึกษานี้จะให้ความสำคัญกับมูลค่าการลงทุนก่อนความดันที่สูญเสียของระบบโดยรูปแบบของแก้ปัญหาตามสมการทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่กรณีสมการเป้าหมายที่เป็นการหาค่าลงทุนต่ำที่สุด สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

```
MODEL:
sets:
NODE/1..5/:H;
ARC(NODE,NODE)/5,1 1,2 1,3 3,4/:L,D,HL,FLOW,COST;
SRC(NODE)/5/:HFIXED;
DEST(NODE)|#NOT#@IN(SRC,&1):DEMAND;
endsets
data:
HFIXED=49.21;
L=1042.08 1069.41 1630.52 516.59;
DEMAND=119.87 75.71 69.40 82.02;
KHW=10.458;
AHW=1.857;
BHW=4.871;
CHW=10772.02;
enddata
@FOR(SRC(I):H(I)=HFIXED(I));
@FOR(DEST(J):@SUM(ARC(I,J):FLOW(I,J))=DEMAND(J)+@SUM(ARC(J,K):FLOW(J,K)));
@FOR(ARC(I,J):HL(I,J)=(KHW*L(I,J)*(FLOW(I,J)^AHW))/(CHW*(D(I,J)^BHW)));
@FOR(ARC(I,J):H(J)=H(I)-HL(I,J));
@FOR(ARC(I,J):H(J)>=32.81;);
@FOR(ARC(I,J):@GIN(D(I,J)));
@FOR(ARC(I,J):@BND(2,D,6));
@FOR(ARC(I,J):COST=(((-0.2064*D(I,J)^4+3.5243*D(I,J)^3-19.225*D(I,J)^2
                    +58.96*D(I,J)-52.189))*L(I,J)));
Min=@sum(ARC:COST);
END
```

ภาพที่ 4.5 โปรแกรม LINGO กรณีเป้าหมายเป็นการหาค่าลงทุนต่ำที่สุด

คำตอบจากผลที่ได้จากโปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่สุดกรณีสมการเป้าหมายเป็นการหามูลค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดคือ

1) มูลค่าการลงทุนรวมของระบบการกระจายน้ำ มีค่าเท่ากับ 317584.9 บาท
2) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ARC(5,1) ,ARC(1,2), ARC(1,3), ARC(3,4) มีค่าเท่ากับ 6,4,5,5 นิ้ว ตามลำดับ
3) เวลาในการแก้ปัญหาของโปรแกรมเท่ากับ 1 วินาที

จากนั้นสร้างรูปแบบของแก้ปัญหาตามสมการทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่สุดในกรณีสมการเป้าหมายเป็นการหาความดันที่สูญเสียน้อยที่สุด โดยเพิ่มเงื่อนไขของต้นทุนรวมมากที่สุดจากผลที่ได้จากโปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่สุดกรณีสมการเป้าหมายเป็นการหามูลค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 317584.9 บาท ดังภาพที่ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

```
MODEL:
sets:
NODE/1..5/:H;
ARC(NODE,NODE)/5,1 1,2 1,3 3,4/:L,D,HL,FLOW,COST;
SRC(NODE)/5/:HFIXED;
DEST(NODE)|#NOT#@IN(SRC,&1):DEMAND;
endsets
data:
HFIXED=49.21;
L=1042.08 1069.41 1630.52 516.59;
DEMAND=119.87 75.71 69.40 82.02;
KHW=10.458;
AHW=1.857;
BHW=4.871;
CHW=10772.02;
MAXCOST=317584.9;
enddata
@FOR(SRC(I):H(I)=HFIXED(I));
@FOR(DEST(J):@SUM(ARC(I,J):FLOW(I,J))=DEMAND(J)+@SUM(ARC(J,K):FLOW(J,K)));
@FOR(ARC(I,J):HL(I,J)=(KHW*L(I,J)*(FLOW(I,J)^AHW))/(CHW*(D(I,J)^BHW)););
@FOR(ARC(I,J):H(J)=H(I)-HL(I,J));
@FOR(ARC(I,J):H(J)>=32.81;);
@FOR(ARC(I,J):@GIN(D(I,J)));
@FOR(ARC(I,J):@BND(2,D,6));
@FOR(ARC(I,J):COST=(((-0.2064*D(I,J)^4+3.5243*D(I,J)^3-19.225*D(I,J)^2
                    +58.96*D(I,J)-52.189))*L(I,J)));
(@SUM(ARC(I,J):COST(I,J)))<=MAXCOST;
Min=@sum(ARC:HL);
END
```

ภาพที่ 4.6 โปรแกรม LINGO กรณีเป้าหมายเป็นการหาความดันที่สูญเสียรวมที่ต่ำที่สุด

คำตอบจากผลที่ได้จากโปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่สุดกรณีสมการเป้าหมายเป็นการหาความดันที่สูญเสียรวมที่ต่ำที่สุดคือ

1) ความดันที่สูญเสียรวมของระบบการกระจายน้ำ มีค่าเท่ากับ 19.97546 ฟุต
2) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ARC(5,1) ,ARC(1,2), ARC(1,3), ARC(3,4) มีค่าเท่ากับ 6,4,5,5นิ้ว ตามลำดับ
3) เวลาในการแก้ปัญหาของโปรแกรมเท่ากับ <1 วินาที

ซึ่งสามารถสรุปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละท่อ มูลค่าการลงทุนและความดันที่สูญเสียของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ผลที่ได้จากโปรแกรม LINGO

Pipe ID	ARC	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	มูลค่าการลงทุน (บาท)	ความดันที่สูญเสีย (ฟุต)
1	NODE 5-1	6	107,569	8.55
2	NODE 1-2	4	52,153	3.74
3	NODE 1-3	5	119,881	6.97
4	NODE 3-4	5	37,981	0.71
		รวม	**317,585**	**19.97**

4.4.3 ตรวจสอบความถูกต้องของการแก้ปัญหา

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการแก้ปัญหาของโปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่สุด จากกรณีศึกษาจำนวน 4 จุดร่วม (Nodes) และท่อ 4 เส้น (Arcs) โดยใช้ข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลจุดร่วมและท่อของระบบการกระจายน้ำตามตารางที่ 4.3 และ 4.4 โดยทำการตรวจสอบทุกเซ็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแต่ละเส้นที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยมีต้นทุนรวมน้อยที่สุด ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการข้อจำกัด ตามขั้นตอนการคำนวณเซ็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแต่ละเส้นที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา สามารถคำนวณได้ตามการที่ 4.1 – 4.8 ในกรณีศึกษาจำนวน 4 จุดร่วม (Nodes) และท่อ 4 เส้น (Arcs) ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนรวมต่ำที่สุดจะมีจำนวนเซ็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทั้งหมด 15 เซ็ต และ มีเซ็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแต่ละเส้นที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาที่มีวัตถุประสงค์ในการหาความดันที่สูญเสียรวมต่ำที่สุด 1 เซ็ต ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งคำตอบในกรณีที่วัตถุประสงค์มีที่มีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้เซ็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อสำหรับ ARC1,ARC2,ARC3,ARC4เท่ากับ 6,4,5,5 นิ้ว ตามลำดับ มีต้นทุนรวมคือ 317,585 บาท และในลำดับต่อไป หาคำตอบของกรณีที่วัตถุประสงค์หาความดันลดรวมต่ำที่สุด โดยกำหนดต้นทุนสูงสุดจากที่หาคำตอบได้ก่อนหน้าเป็นสมการเงื่อนไขใหม่เพิ่มเข้ามา พบว่ายังคงได้คำตอบเดิม คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อสำหรับ ARC1,ARC2,ARC3,ARC4เท่ากับ 6,4,5,5 นิ้ว ตามลำดับ มีความดันลดรวมทั้งระบบ คือ 19.46 ฟุต ซึ่งตรงกับคำตอบที่หาโดยใช้โปรแกรมแก้ปัญหาที่ดีที่สุดทั้ง 2 กรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 การตรวจสอบเช็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแต่ละเส้นที่เป็นไปได้

Case	Head Destination node (ft)				Head Loss (ft)				Total
no#	NODE1	NODE2	NODE3	NODE4	ARC1	ARC2	ARC3	ARC4	Head Loss
1	40.90	37.24	34.10	33.41	8.31	3.66	6.80	0.69	19.46
2	40.90	37.24	34.10	33.82	8.31	3.66	6.80	0.28	19.05
3	40.90	37.24	38.11	36.05	8.31	3.66	2.80	2.05	16.82
4	40.90	37.24	38.11	37.41	8.31	3.66	2.80	0.69	15.46
5	40.90	37.24	38.11	37.82	8.31	3.66	2.80	0.28	15.05
6	40.90	39.67	34.10	33.41	8.31	1.24	6.80	0.69	17.03
7	40.90	39.67	34.10	33.82	8.31	1.24	6.80	0.28	16.63
8	40.90	39.67	38.11	36.05	8.31	1.24	2.80	2.05	14.39
9	40.90	39.67	38.11	37.41	8.31	1.24	2.80	0.69	13.03
10	40.90	39.67	38.11	37.82	8.31	1.24	2.80	0.28	12.60
11	40.90	40.40	34.10	33.41	8.31	0.51	6.80	0.69	16.30
12	40.90	40.40	34.10	33.82	8.31	0.51	6.80	0.28	15.90
13	40.90	40.40	38.11	36.05	8.31	0.51	2.80	2.05	13.70
14	40.90	40.40	38.11	37.41	8.31	0.51	2.80	0.69	12.30
15	40.90	40.40	38.11	37.82	8.31	0.51	2.80	0.28	11.90

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 การตรวจสอบเช็ตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแต่ละเส้นที่เป็นไปได้ (ต่อ)

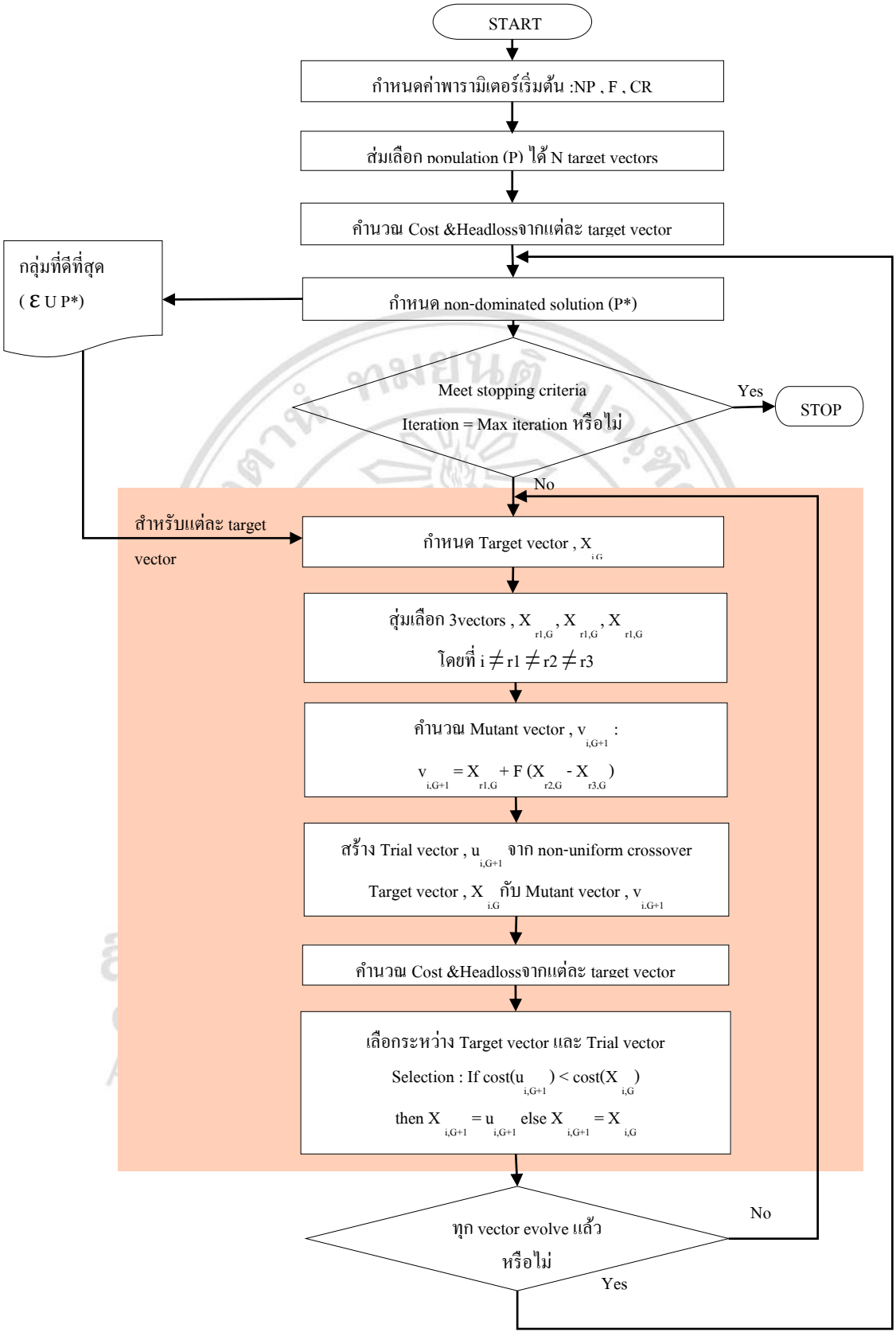
Case	Diameter (in)				Cost (Baht)				Total
no#	ARC1	ARC2	ARC3	ARC4	ARC1	ARC2	ARC3	ARC4	Cost
1	6	4	5	5	107,569	52,153	119,882	37,982	317,585
2	6	4	5	6	107,569	52,153	119,882	53,325	332,929
3	6	4	6	4	107,569	52,153	168,311	25,193	353,226
4	6	4	6	5	107,569	52,153	168,311	37,982	366,014
5	6	4	6	6	107,569	52,153	168,311	53,325	381,358
6	6	5	5	5	107,569	78,627	119,882	37,982	344,059
7	6	5	5	6	107,569	78,627	119,882	53,325	359,403
8	6	5	6	4	107,569	78,627	168,311	25,193	379,700
9	6	5	6	5	107,569	78,627	168,311	37,982	392,488
10	6	5	6	6	107,569	78,627	168,311	53,325	407,832
11	6	6	5	5	107,569	110,390	119,882	37,982	375,822
12	6	6	5	6	107,569	110,390	119,882	53,325	391,166
13	6	6	6	4	107,569	110,390	168,311	25,193	411,463
14	6	6	6	5	107,569	110,390	168,311	37,982	424,252
15	6	6	6	6	107,569	110,390	168,311	53,325	439,596

4.5 การแก้ปัญหาการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Differential Evolution for Optimal Design of Pipe Diameter in Water Distribution Systems)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.1 การประยุกต์ใช้แนวคิด (framework) ของ MODE

การประยุกต์ใช้แนวคิด (framework) ของ MODE สำหรับการแก้ปัญหาการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำ มีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 4.7



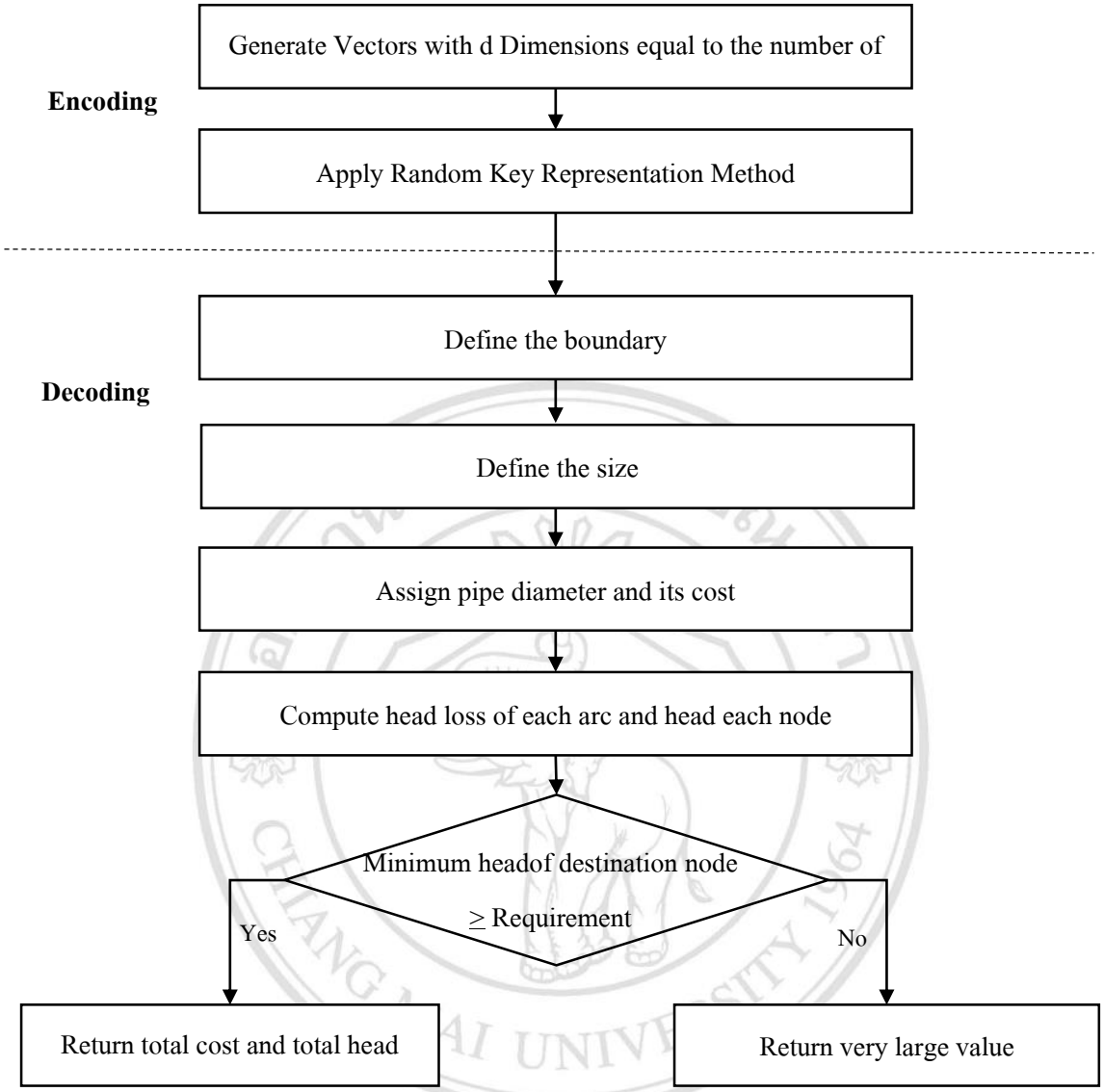
ภาพที่ 4.7 แผนผังลักษณะของโปรแกรมตามแผนผังการแก้ปัญหาของวิธีวิวัฒนาการผลต่าง

4.5.2 การพัฒนาขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการแปลงคำตอบ (Encoding/ Decoding)

ในกระบวนการแก้ไขปัญหาของวิธีวิวิฒนาการผลต่าง (DE) จะเริ่มต้นจาก กระบวนการสร้างประชากรเริ่มต้นจำนวน N เวคเตอร์ ในแต่ละเวคเตอร์ประกอบด้วย จำนวนไดเมนชัน d ซึ่งจำนวนไดเมนชันขึ้นอยู่กับจำนวนของท่อในระบบ จากนั้นจึงทำการสุ่ม ค่าตัวเลขภายในช่วง [0,1] ให้แต่ละไดเมนชัน ซึ่งค่าสุ่มในแต่ละไดเมนชันนี้จะนำไปใช้ ในกระบวนการกลายพันธุ์และการแลกเปลี่ยนค่า เพื่อทำการคัดเลือกประชากรในรุ่น ต่อไป

ดังนั้นการประยุต์ใช้วิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Differential Evolution :MODE)สำหรับแก้ปัญหาการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการแปลงคำตอบจากค่าสุ่มใน แต่ละไดเมนชันให้อยู่ในรูปแบบของขนาดท่อ ขั้นตอนวิธีการแปลงคำตอบในวิธี MODEสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.8ขั้นตอนวิธีการแปลงคำตอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 4.8 ขั้นตอนวิธีการแปลงคำตอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นตอนการเข้ารหัส (Encoding) และ ขั้นตอนการถอดรหัส (Decoding) โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นตอนการเข้ารหัส (Endcoding)

คำตอบของปัญหาสามารถแสดงอยู่ในรูปแบบของเวคเตอร์ที่มี จำนวนไดเมนชันเท่ากับจำนวนของท่อทั้งหมดที่มีในระบบ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างปัญหาที่มี

จำนวนท่อในระบบกระจายน้ำเท่ากับ 10 ท่อ ได้ดังภาพที่ 4.9ดังนั้นในขั้นตอนการเข้ารหัส เวคเตอร์ที่ถูกสร้างจะมีจำนวนไดเมชันเท่ากับ 10 ซึ่งเท่ากับจำนวนของท่อทั้งหมดที่มีในระบบแล้วประยุกต์ใช้วิธีการสุ่มค่าหรือ Random key representation (Norman &Bean, 1995) โดยทำการสุ่มค่าในช่วง [0,1] ให้แต่ละไดเมนชันเพื่อ เป็นตัวแทนของคำตอบจากรูปแบบของการเข้ารหัส

Dimension	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Dimension Value	**0.23**	**0.34**	**0.19**	**0.71**	**0.58**	**0.46**	**0.29**	**0.81**	**0.65**	**0.38**

ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างปัญหาที่มีจำนวนท่อในระบบกระจายน้ำเท่ากับ 10 ท่อ

2) ขั้นตอนการถอดรหัส (Decoding)

หลังจากการสุ่มค่าให้เวคเตอร์ในแต่ละไดเมนชันแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ ขั้นตอนการ ถอดรหัสคำตอบซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

2.1) การระบุขอบเขต (Define the boundary)

จำนวนของขอบเขตนั้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนของขนาดท่อที่ใช้ในโครงข่ายการกระจายน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.10

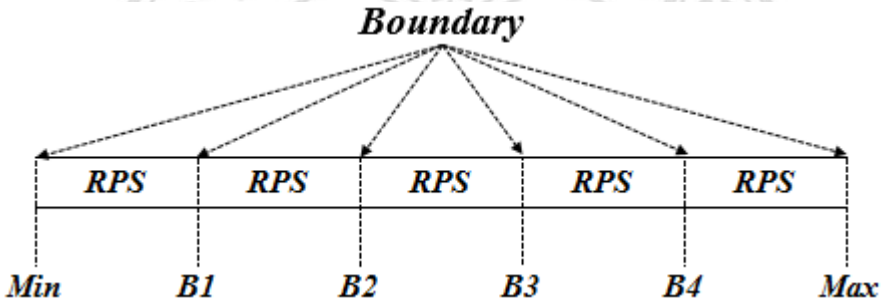
$$Number\ of\ boundary = Number\ of\ available\ pipe\ size + 1 \tag{4.10}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากได้ระบุจำนวนขอบเขตแล้ว จากนั้นสามารถคำนวณช่วงของท่อแต่ละขนาด (Range of each pipe size : RPS) ได้จากค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดของค่าไดเมนชัน และจำนวนขนาดของท่อที่จัดหามาใช้ได้ในระบบกระจายน้ำ โดยค่า RPS สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.11

$$RPS = \frac{Maximum\text{-}Minimun\ dimension\ value}{Number\ of\ pipe\ size} \tag{4.11}$$

ในการศึกษาครั้งนี้ท่อที่ใช้ในระบบมีจำนวน 5 ขนาด ได้แก่ 2, 3, 4, 5 และ 6 นิ้ว ดังนั้นจึงระบุขอบเขต ได้ทั้งหมด 6 ขอบเขต ได้แก่ Min, B1, B2, B3, B4 และ Max โดยที่ขอบเขตแรกจะมีค่าเท่ากับไดเมนชันที่มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นขอบเขตถัดไปจะสามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าของขอบเขตก่อนหน้าบวกกับค่า RPS และขอบเขตสุดท้ายจะมีค่าเท่ากับค่าเวคเตอร์ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างปัญหาที่มี6 ขอบเขตในระบบกระจายน้ำที่ใช้ท่อจำนวน 5 ขนาดได้ดังภาพที่4.10



Dimension	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimension Value	0.23	0.34	0.19	0.71	0.58	0.46	0.29	0.81	0.65	0.38

***Max* = 0.81 , *Min* = 0.19**
RPS* = (*Max* - *Min*)/ *No. Pipe size
= (0.81- 0.19)/5 = 0.12

Sequence of Boundary	*The first boundary*	*B1*	*B2*	*B3*	*B4*	*The last boundary*
Boundary Computation	*Min*	*B1 = Min+RPS*	*B2 = B1+RPS*	*B3 = B2+RPS*	*B4 = B3+RPS*	*Max*
Boundary Vulue	0.19	0.19+0.12 = 0.31	0.31+0.12 = 0.43	0.43+0.12 = 0.55	0.55+0.12 = 0.67	0.81

ภาพที่ 4.10ตัวอย่างการระบุขอบเขตค่าไดเมนชัน

2.2) การกำหนดเกณฑ์ของขนาดท่อ

ค่าขอบเขตจะถูกนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์ของขนาดท่อดังภาพที่ 4.11 ซึ่งแสดงขนาด 5 ขนาด ได้แก่ Size1, Size2, Size3, Size4 และ Size5 ที่อยู่ระหว่างแต่ละขอบเขตที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 2.1 จากนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจะถูกกำหนดขึ้น

Size Computation	*Min < Size1 < B1*	*B1 < Size2 < B2*	*B2 < Size3 < B3*	*B3 < Size4 < B4*	*B4 < Size5 < Max*
Size Vulue	0.19 $\leq$ *Size1* < 0.31	0.31 $\leq$ *Size2* < 0.43	0.43 $\leq$ *Size3* <0.56	0.56 $\leq$ *Size4* < 0.68	0.68 $\leq$ *Size5* $\leq$ 0.81
Pipe Diameter	2	3	4	5	6

ภาพที่ 4.11 ตัวอย่างการกำหนดเกณฑ์ของขนาดท่อจากค่าขอบเขต

2.3) การกำหนดขนาดและราคาของท่อที่ใช้ในระบบ

เมื่อได้ทำการกำหนดเกณฑ์ในการหาขนาดของท่อถูกกำหนดขึ้นแล้วตามหัวข้อที่ 2.2 จากนั้นทำการระบุขนาดและราคาของท่อสำหรับท่อแต่ละเส้นในเครือข่ายกระจายน้ำจะถูกกำหนดขึ้นตามขนาดของท่อแต่ละเส้น ดังแสดงในภาพที่4.12

Dimension	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimension Value	0.23	0.34	0.19	0.71	0.58	0.46	0.29	0.81	0.65	0.38
Pipe Diameter	2	3	2	6	5	4	2	6	5	3
Cost	14	30	14	103	57	49	14	103	57	30

ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างการกำหนดขนาดและราคาของท่อให้แก่ท่อแต่ละเส้นในเครือข่าย

2.4) การคำนวณแรงดันสูญเสียและแรงดันของจุดใช้น้ำ

แรงดันสูญเสียของท่อแต่ละเส้นและแรงดันของจุดใช้น้ำแต่ละจุดในโครงข่ายกระจายน้ำสามารถคำนวนได้หลังจากที่กำหนดขนาดและราคา

ของท่อสำหรับท่อแต่ละเส้นโดยใช้สมการที่ 4.4 และ 4.8 ตามลำดับ

2.5) การคำนวณแรงดันสูญเสียรวมและต้นทุนรวม

แรงดันสูญเสียรวมและต้นทุนรวมของระบบกระจายน้ำทั้งโครงข่ายสามารถคำนวนได้โดยใช้สมการที่ 4.1 และ 4.3 ตามลำดับ ในขั้นตอนนี้ ข้อจำกัดความดันที่ต่ำที่สุดของแต่ละจุดร่วมถูกนำมาใช้ด้วยแนวคิดการใช้ค่าปรับ (a penalty approach) ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนของวิธีการใช้ค่าปรับนี้สามารถแสดงในรูปแบบของรหัสเทียมได้ดัง แผนผังการแก้ปัญหาที่ 4.1 โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการคำนวณต้นทุนรวม ในกรณีที่ความดันของจุดใช้น้ำ ที่มีค่าน้อยที่สุดในระบบ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความดันน้อยที่สุดที่กำหนดต้นทุนที่เกิดจากการคำนวณจะถูกส่งไปเป็นคำตอบ แต่ถ้าความดันของจุดใช้น้ำ ที่มีค่าน้อยที่สุดในระบบ มีค่าน้อยกว่าความดันน้อยที่สุดที่กำหนด ต้นทุนที่มีค่าสูงมากจะถูกส่งไปเป็นคำตอบ จากนั้นขั้นตอนที่สองจะเป็นการคำนวณความดันที่สูญเสียรวม ในกรณีที่ความดันของจุดใช้น้ำ ที่มีค่าน้อยที่สุดในระบบ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความดันน้อยที่สุดที่กำหนด ความดันที่สูญเสียที่เกิดจากการคำนวณจะถูกส่งไปเป็นคำตอบ แต่ถ้าความดันของจุดใช้น้ำ ที่มีค่าน้อยที่สุดในระบบ มีค่าน้อยกว่าความดันน้อยที่สุดที่กำหนด ความดันที่สูญเสียที่มีค่าสูงมากจะถูกส่งไปเป็นคำตอบ

Algorithm 4.1: A penalty approach for total cost and total head loss calculation

Step1)FOR Total cost computation

IF the minimum pressure head of destination node $\geq H^{min}$ then return total cost

IF ELSE the minimum pressure head of destination node $< H^{min}$ then return very large value

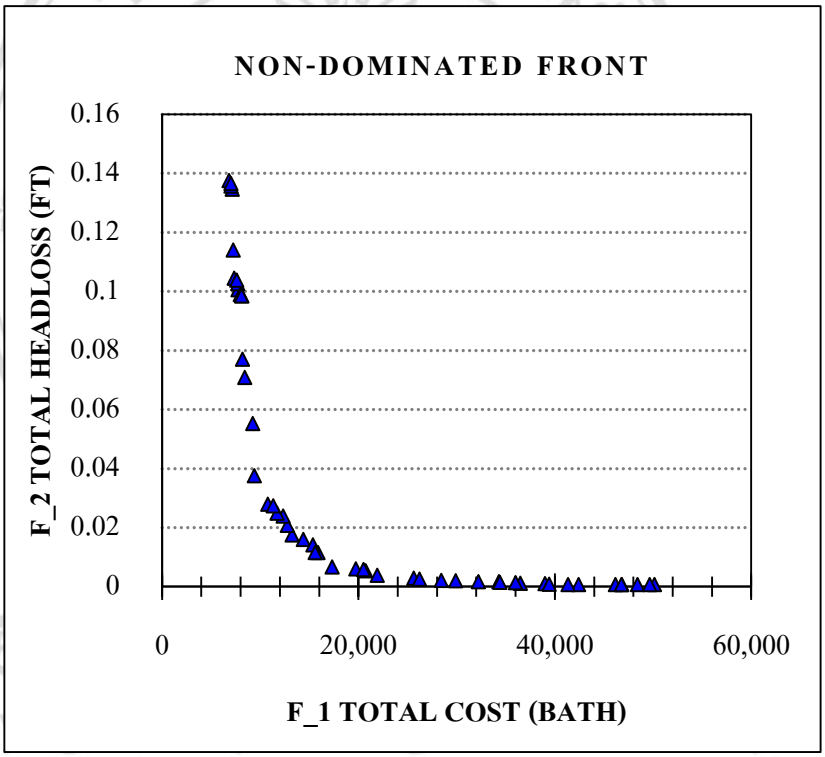
Step2) FOR Total head loss computation

IF the minimum pressure head of destination node $\geq H^{min}$ then return total head loss

IF ELSE the minimum pressure head of destination node $< H^{min}$ then return very large value

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการแปลงคำตอบซึ่งประกอบด้วย การระบุขอบเขต การกำหนดขนาด การกำหนดขนาดท่อและราคาท่อ การคำนวณแรงดันสูญเสียและแรงดันของจุดใช้น้ำ และ การคำนวณแรงดันสูญเสียรวมและต้นทุนรวมแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ แต่ละเส้นในระบบกระจายน้ำทั้งโครงข่าย ซึ่งประกอบด้วยค่าวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ ที่จะนำไปใช้เพื่อ เปรียบเทียบหาคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 ทั้งนี้ในการแก้ปัญหาการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมในลำดับต่อไป



ภาพที่ 4.13 พาเรโตฟร้อนของปัญหาตัวอย่าง 10 Arcs

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.3 การวัดประสิทธิภาพ (Performance measurement)

ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธี MODE ได้ทำการเปรียบเทียบค่า $\tilde{C}$Metric ของคำตอบที่ได้จากที่ได้จากการกำหนด Function Evaluation, Scale Factor และ Crossover Rate ที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงใช้ MODE ที่ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาจำลองตั้งแต่ปัญหาขนาดเล็กจำนวน 3 arcs แล้วค่อยๆขยายขนาด

ของปัญหาให้ใหญ่ขึ้นด้วยการเพิ่มจำนวน Arc ขึ้นทีละน้อย จนถึงขนาดของปัญหาจริง จำนวน 109 arcs แล้วนำคำตอบที่ได้จาก MODE ที่เป็นชุดของคำตอบที่มีค่าต้นทุนต่ำที่สุด และ LINGO ที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการแบบแม่นตรงแบบวัตถุประสงค์เดียว ได้แก่ การหาต้นทุนต่ำที่สุด มาเปรียบเทียบกันจากการแก้ปัญหาแต่ละขนาดเพื่อดูคำตอบที่ได้และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบในแต่ละกรณี

1) การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ในการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ MODE จะพิจารณาจากความสามารถในการหาคำตอบที่ดี ที่สุด เนื่องจากพารามิเตอร์แต่ละตัวส่งผลถึงความสามารถในการหาคำตอบหรือการลู่เข้าหาคำตอบที่ ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดของวิธีMODEด้วย ดังนั้นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธี MODE และ ปัญหาชนิดนั้นๆ จึงมีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาอย่างยิ่งการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธี MODE แบ่งออกเป็น3 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1) Function evaluation เป็นการกำหนดจำนวนครั้งที่ใช้ในการประเมินค่าวัตถุประสงค์เป้าหมาย โดย Function evaluation ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ จำนวนรอบ (Iteration) และ จำนวน เวคเตอร์ (Population size) ซึ่งค่า Function evaluation ในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่จำนวนสูงสุดคือ 2,000 รอบซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นคู่จำนวน 3 คู่ดังนี้

a) จำนวนรอบ = 100 Iteration และจำนวนเวคเตอร์ = 20 Vector

b) จำนวนรอบ = 50 Iteration และจำนวนเวคเตอร์ = 40 Vector

c) จำนวนรอบ = 200 Iteration และจำนวนเวคเตอร์ = 10 Vector

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2) Scale factor (F) ที่นิยมใช้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยใช้ค่า Factor scale แบบสุ่ม เพื่อให้เกิดความหลากหลายของประชากรในกระบวนการค้นหา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการ ทดสอบค่า F ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ

a) F มีค่าแบบสุ่มระหว่าง 0.0-0.5

b) F มีค่าแบบสุ่มระหว่าง 0.5-1.0

c) F มีค่าแบบสุ่มระหว่าง 1.0-1.5

d) F มีค่าแบบสุ่มระหว่าง 1.5-2.0

1.3) Crossover rate (Cr) ในส่วนของ Crossover rate มีการใช้ค่าชนิดเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (Linearly increase) เพื่อเป็นการรักษาลักษณะของการสร้าง Trial vector ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการค้นหา ซึ่งค่า Cr ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดความหลากหลายในกระบวนการสร้าง Trial vector อีกด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบค่า Cr ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้คือ

a) Cr มีค่าระหว่าง 0.1-0.2

b) Cr มีค่าระหว่าง 0.6-1.0

c) Cr มีค่าระหว่าง 0.1-1.0

2) ผลการทดสอบพารามิเตอร์

2.1) ผลการทดสอบพารามิเตอร์ในส่วนของ Function evaluation

Function evaluation ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ จำนวนรอบ (Iteration) และ จำนวนเวคเตอร์ (Population size) ซึ่งค่า Function evaluation ในงานวิจัยนี้ได้ทำการ กำหนดไว้ที่จำนวนสูงสุดคือ 2,000 รอบ และทำการแบ่งออกเป็นคู่จำนวน 3 คู่ ดังนี้

a) 100 Iteration x 20 Vector

b) 50 Iteration x 40 Vector

c) 200 Iteration x 10 Vector

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบจะใช้ปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 7 ปัญหา โดยจำลองปัญหาจากระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงประกอบด้วยขนาดของปัญหา 3 กลุ่มคือ 1) กลุ่มปัญหาขนาดเล็กจำนวน 2 ปัญหา กลุ่มปัญหาขนาดกลางจำนวน 3 ปัญหาและ กลุ่มปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 2 ปัญหา เพื่อใช้ในการ ทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งค่า $\bar{C}$Metric ในส่วนของ Function evaluation แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7ผลการเปรียบเทียบค่า$\tilde{C}$Metric ของ Function evaluation

NUMBER OF ARC	C(a,b)	C(b,a)	C(a,c)	C(c,a)	C(b,c)	C(c,b)
3	0.250	0.556	0.405	0.444	0.571	0.333
8	0.407	0.446	0.270	0.246	0.286	0.288
14	0.424	0.354	0.556	0.215	0.270	0.424
20	0.676	0.308	0.681	0.378	0.617	0.405
31	0.438	0.459	0.412	0.656	0.471	0.594
58	0.581	0.500	0.556	0.512	0.400	0.581
109	0.250	0.556	0.405	0.444	0.571	0.333
AVERAGE	0.432	0.454	0.469	0.414	0.455	0.423

โดยที่ a คือ 100 Iteration x 20 Vector, b คือ 50 Iteration x 40 Vector และ c คือ 200 Iteration x 10 Vector

ผลการทดสอบการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Function evaluation ที่เหมาะสมสำหรับในงานวิจัยนี้คือ 50 Iteration x 40 Vector เนื่องจากเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า$\tilde{C}$ Metric แล้วพบว่าค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$ (2,1) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$ (1,2) และค่าเฉลี่ย ของ$\tilde{C}$ (2,3) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$ (3,2) ซึ่งแสดงถึงค่าจากการตั้งค่าที่ 100 Iteration x 20 Vector และ 200 Iteration x 10 Vector มีประสิทธิภาพด้อยกว่าการตั้ง ค่าที่ 50 Iteration x 40 Vector ดังนั้น จำนวนรอบการค้นหา 50 Iteration และ จำนวน 40 Vector จึงมีความเหมาะสมสำหรับการตั้งค่ามากกว่าค่าอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หมายเหตุ : การกำหนดจำนวนรอบสูงสุดเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดการค้นหาคำตอบ เป็นวิธีที่ไม่สามารถรับประกันได้ว่า คำตอบที่ได้รับที่จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้ จะ เป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้คำตอบที่ดีที่สุด หรือเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด อาจอยู่ในจุดที่มีจำนวนรอบต่ำกว่าหรือสูงกว่าจำนวนรอบ สูงสุดที่กำหนดก็เป็นได้

2.2) ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Scale factor (F)

ค่า Scale factor ที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้เป็นค่าแบบสุ่ม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ ทำการแบ่งค่า Scale factor ออกเป็น 4 ช่วง คือ

a) F = 0.0-0.5

b) F = 0.5-1.0

c) F = 1.0-1.5

d) F = 1.5-2.0

การทดสอบจะใช้ปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 3 ปัญหา โดยจำลองปัญหาจากระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงประกอบด้วยขนาดของปัญหา 3 กลุ่มคือ 1) กลุ่มปัญหาขนาดเล็กจำนวน 1 ปัญหา และ กลุ่มปัญหาขนาดกลางจำนวน 2 ปัญหาเพื่อใช้ในการทดสอบหาในส่วนของ Scale factor โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Function evaluation เป็น50 Iteration x 40 Vector ซึ่งผลการเปรียบเทียบสามารถแสดง ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8ผลการเปรียบเทียบค่า*C*Metric ของ Scale factor

NUMBER OF ARC	C(a,b)	C(b,a)	C(a,c)	C(c,a)	C(a,d)	C(d,a)
8 ARCS	0.300	0.364	0.459	0.318	0.361	0.364
20 ARCS	0.257	0.478	0.167	0.696	0.235	0.391
30 ARCS	0.276	0.438	0.300	0.563	0.361	0.500
AVERAGE	0.278	0.426	0.309	0.525	0.319	0.418
NUMBER OF ARC	**C(b,c)**	**C(c,b)**	**C(b,d)**	**C(d,b)**	**C(c,d)**	**C(d,c)**
8 ARCS	0.514	0.100	0.389	0.233	0.333	0.216
20 ARCS	0.400	0.229	0.412	0.400	0.471	0.267
30 ARCS	0.433	0.552	0.417	0.517	0.444	0.400
AVERAGE	0.449	0.293	0.406	0.384	0.416	0.294

โดยที่ a คือช่วง 0.0-0.5, b คือช่วง 0.5-1.0, c คือช่วง 1.0-1.5 และ d คือช่วง 1.5-2.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดสอบพารามิเตอร์ในส่วนของ Scale factor พบว่า ค่าสุ่มในช่วง F2 คือ 0.5-1.0 มีความเหมาะสมในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเมื่อท าการเปรียบเทียบค่า $\tilde{C}$Metric แล้วพบว่า ค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$(2,1) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$(1,2) ค่าเฉลี่ยของ $\tilde{C}$(2,3) มีค่ามากกว่า ค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$(3,2) และค่าเฉลี่ยของ $\tilde{C}$(2,4) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของ$\tilde{C}$(4,2)ซึ่งแสดงถึง ค่า Scale Factor แบบสุ่มในช่วง 0.0-0.5, 1.0-1.5 และ 1.5-2.0 มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบด้อยกว่าค่าในช่วง 0.5-1.0 ดังนั้นค่า Scale factor แบบสุ่มในช่วง 0.5-1.0 มีความ เหมาะสมมากกว่าค่าอื่น

2.3) ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Crossover rate (C_r)

ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองใช้ค่า Crossover rate เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถแบ่ง ออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

a) C_r = 0.1-0.2

b) C_r = 0.6-1.0

c) C_r = 0.1-1.0

การทดสอบจะใช้ปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 3 ปัญหา โดยจำลองปัญหาจากระบบการกระจายน้ำในพื้นที่หมู่ 13 ตำบลเชิงประกอบด้วยขนาดของปัญหา 3 กลุ่มคือ 1) กลุ่มปัญหาขนาดเล็กจำนวน 1 ปัญหา และ กลุ่มปัญหาขนาดกลางจำนวน 2 ปัญหาเพื่อใช้ในการทดสอบหาในส่วนของ Crossover rate โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Function evaluation และ Scale factor เป็น50 Iteration x 40 Vector และ 0.5-1.0 ตามลำดับ ซึ่งผลการเปรียบเทียบสามารถแสดง ดังตารางที่ 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบค่า$\tilde{C}$Metric ของ Crossover rate

NUMBER OF ARC	C(a,b)	C(b,a)	C(a,c)	C(c,a)	C(b,c)	C(c,b)
8 ARCS	0.220	0.511	0.406	0.511	0.313	0.366
20 ARCS	0.289	0.545	0.278	0.545	0.333	0.474
30 ARCS	0.231	0.421	0.000	0.000	0.308	0.538
AVERAGE	0.247	0.492	0.228	0.352	0.318	0.459

โดยที่ a คือ C_r= 0.1-0.5, b คือ C_r= 0.6-1.0 และ c คือ C_r=0.1-1.0

ผลการทดสอบพารามิเตอร์ในส่วนของ Crossover rate พบว่า ค่า C_r = 0.1-1.0 มีความ เหมาะสมในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า $\tilde{C}$Metric แล้วพบว่าค่าเฉลี่ย ของ $\tilde{C}$(3,1) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของ $\tilde{C}$(1,3) ค่าเฉลี่ยของ $\tilde{C}$(3,2) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ของ $\tilde{C}$(2,3) ซึ่งแสดงถึงค่า Crossover rate ในช่วง 0.1-0.5 และ 0.6-1.0 มีประสิทธิภาพ ในการหาคำตอบด้อยกว่าค่าในช่วง 0.1-1.0 ดังนั้นค่า Crossover rate ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.1-1.0 จึงมีความเหมาะสมในการหาตั้งค่ามากกว่าค่าอื่น

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดสอบข้างต้น ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ 3 ส่วน เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม าหรับงานวิจัยนี้ โดยใช้ค่า $\tilde{C}$ Metric ในการทดสอบประสิทธิภาพของการตั้งค่าพารามิเตอร์แต่ละแบบ สรุปได้ดังนี้

ส่วนที่ 1) Function evaluation มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ 50 Iteration x 40 Vector

ส่วนที่ 2) Scale factor ใช้ลักษณะการสุ่มโดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0

ส่วนที่ 3) Crossover rate ใช้ลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ เริ่มต้นจาก 0.1 ถึง 1.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธี MODE

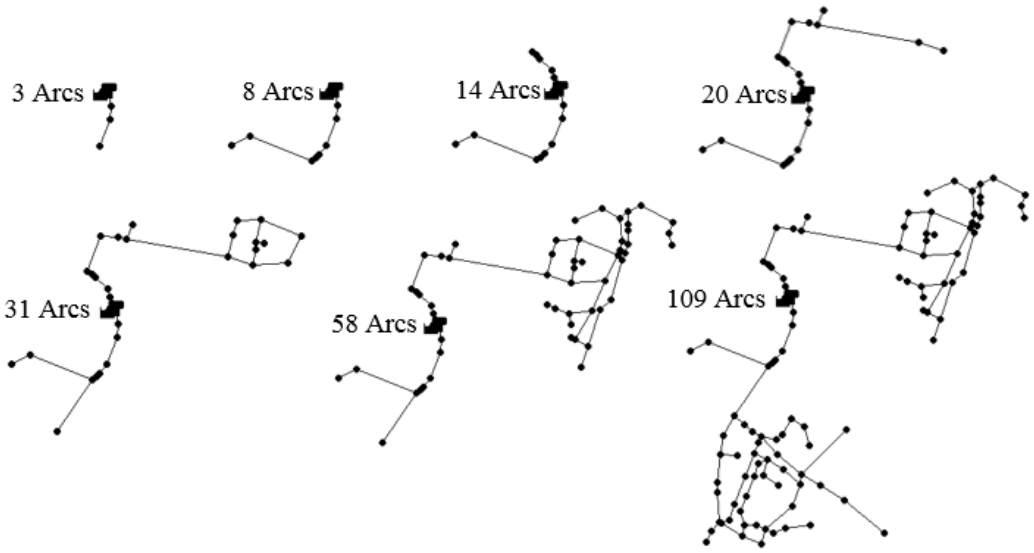
Number of iteration	50
Number of vector	40
Scale factor	Randomly between 0.5-1.0
Crossover rate	Linearly increase from 0.1-1.0

ค่าพารามิเตอร์เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ช่วยให้การแก้ปัญหาด้วยวิธี MODE เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จึงต้องทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับปัญหานั้นๆ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจาก การทดลองในขั้นต้นแล้ว จะนำค่าพารามิเตอร์นี้ไปใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสม ในขั้นตอนต่อไป

3) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพMODE กับ LINGO

MODE ที่เขียนด้วยภาษา C# จาก Microsoft visual studio solution version 2013 จะนำมาใช้หาคำตอบ ซึ่งจะทำการทดลองจากคอมพิวเตอร์ที่มี platform of Intel® Pentium ® CPU NS3540 @2.16GHz with 4 GB RAMผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี MODEที่มีการตั้งค่าจำนวนรอบ (Iteration)50 รอบ, จำนวนเวคเตอร์ (Population size) เท่ากับ 40, Scale factor (F) มีค่าแบบสุ่มระหว่าง 0.5 - 1.0 และ Crossover rate เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นมีค่าระหว่าง 0.1 – 1.0 ในการแก้ปัญหากลุ่มปัญหาตัวอย่างโดยจำลองปัญหาตั้งแต่ปัญหาขนาดเล็กจำนวน 3 Arcs แล้วค่อยๆขยายขนาดของปัญหาให้ใหญ่ขึ้นด้วยการเพิ่มจำนวน Arc ขึ้นทีละน้อย จนถึงขนาดของปัญหาจริงจำนวน 109 Arcs ดังแสดงในภาพที่ 4.14จะนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LINGO optimization solver version 10 ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.14ปัญหาตัวอย่างขนาด 3-109 Arcs

ในการทดสอบว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำจากวิธี MODEนั้นสามารถหาคำตอบที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้ใกล้เคียงกับคำตอบจากโปรแกรม LINGO ได้หรือไม่นั้น จะพิจารณาจากคำตอบว่ามีค่าใกล้เคียงหรือตรงกับคำตอบจากโปรแกรม LINGOหรือไม่ หากมีค่าใกล้เคียงหรือตรงกันจะสามารถอนุมานได้ว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำจากวิธี MODEเป็นคำตอบที่เหมาะสมและมีคุณภาพเช่นกัน สามารถแสดงผลลัพธ์จากการ แก้ปัญหาดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบจาก LINGO และ MODE

Number of Arc	LINGO			DE		
	Total cost (Bath)	Total head loss (ft)	Computational time (hh:mm:ss)	Total cost (Bath)	Total head loss (ft)	Computational time (hh:mm:ss)
3	2,628	0.01	0:00:00	2,681	0.01	00:00:13
8	4,743	0.13	0:00:00	4,838	0.13	00:02:00
14	6,683	0.16	0:00:00	6,818	0.14	00:05:39
20	11,993	0.48	0:00:00	12,235	0.46	00:17:09
31	N/A	N/A	-	24,162	1.44	00:44:45
58	N/A	N/A	-	36,927	5.95	03:09:32
109	N/A	N/A	-	123,425	8.36	13:40:49

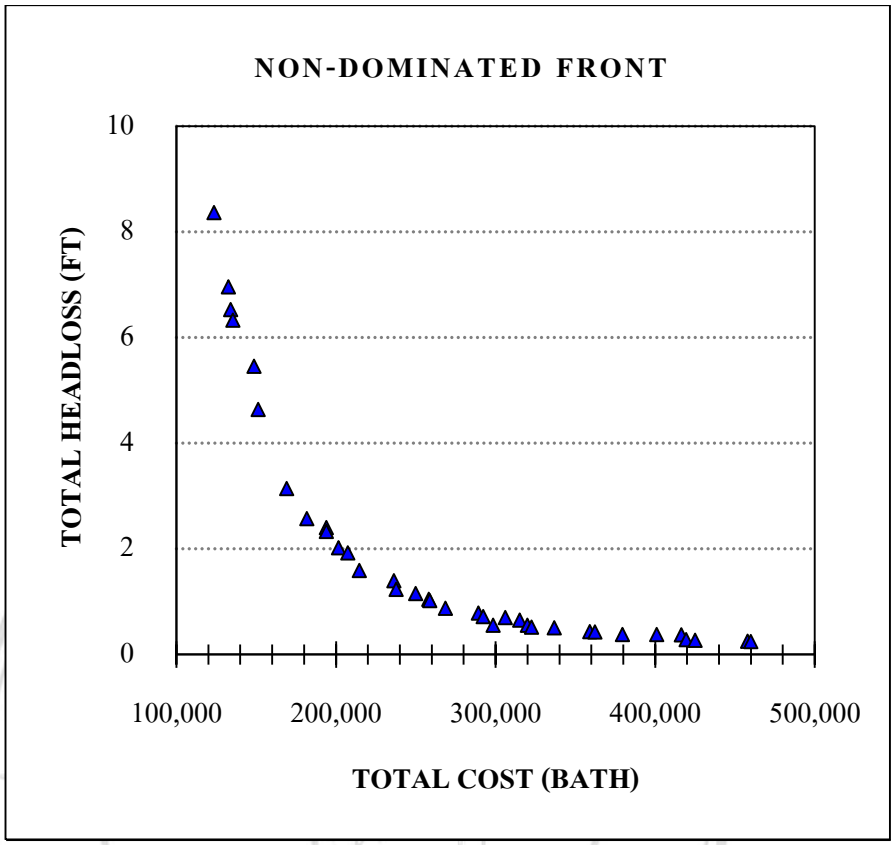
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาในกลุ่มปัญหาปัญหาตัวอย่างในภาพที่ 4.9 พบว่า วิธีการหาคำตอบแบบแม่นตรงจากโปรแกรม LINGO สามารถหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดเล็กถึงกลางเท่านั้นเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นจนมีจำนวนมากกว่า 30arcs ตัวแปรของแบบจำลองจะมีมากกว่าความสามารถของ LINGO version 10 ในขณะที่วิธี MODE สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพตั้งแต่ปัญหาขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถหาคำตอบที่มีค่าใกล้เคียง กับค่าที่ดีที่สุดจากโปรแกรม LINGO

4) ผลหาขนาดท่อที่เหมาะสมในกรณีศึกษาจริงด้วยวิธีMODE

จากการแก้ปัญหาการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมกับปัญหาจริงในระบบประปาของพื้นที่ หมู่ 13 ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยโปรแกรมตามแผนผังการแก้ปัญหา MODE ที่ตั้งค่าจำนวนรอบ (Iteration)50 รอบ, จำนวนประชากร (Population size) เท่ากับ 40, Scale factor (F) มีค่าแบบสุ่มระหว่าง 0.5 - 1.0, Crossover rate เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นมีค่าระหว่าง 0.1 – 1.0 และทำการหาคำตอบซ้ำกันเป็นจำนวน 5 ครั้ง แล้วเลือกชุดคำตอบที่ไม่มีการครอบงำจากผลของการหาคำตอบทั้ง 5 ครั้ง ทำให้ได้ชุดของคำตอบให้แก่ผู้ตัดสินใจได้ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการออกแบบระบบการกระจายน้ำของชุมชน โดยที่ลักษณะของคำตอบจะเป็นชุดของคำตอบที่ไม่มีการครอบงำ (Non-dominated solution)จำนวน 36ชุดคำตอบซึ่งอยู่ในรูปของพาเรโตฟร้อน(Pareto front) ดังแสดงในภาพที่ 4.15

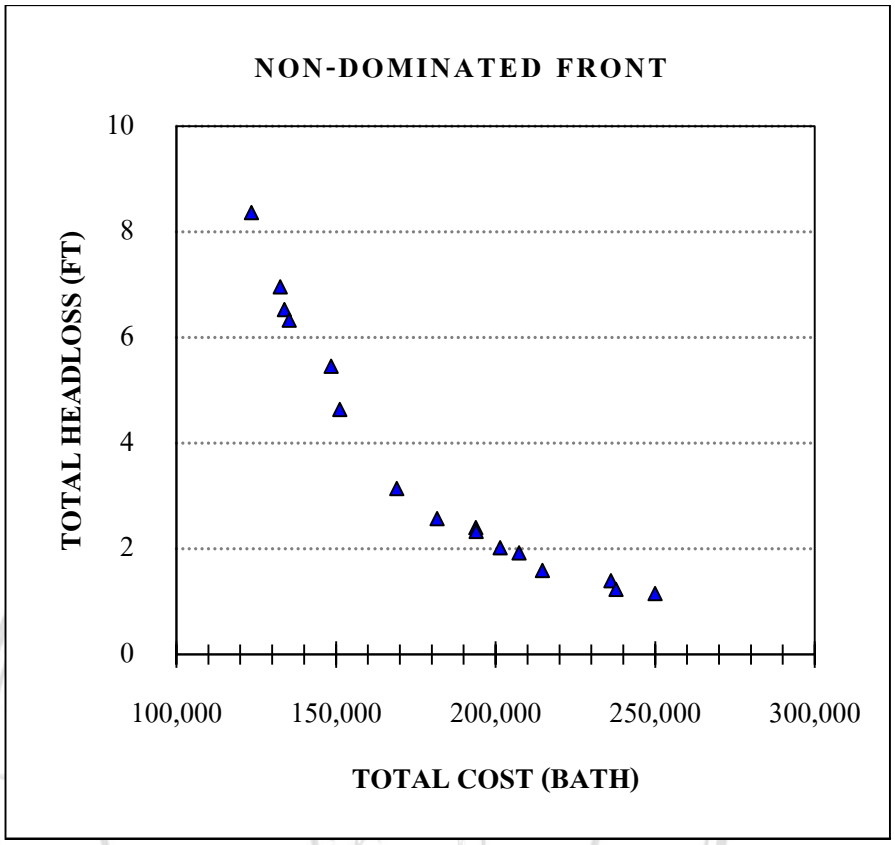
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.15 พาเรโตฟร้อนของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำที่สุดและสูญเสียแรงดันน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตามในโลกของความเป็นจริงการตัดสินใจในการเลือกชุดของคำตอบนั้นอยู่ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยในปัญหาที่ทำการศึกษานี้ ต้นทุนค่าวัสดุท่อน้ำในระบบถูกจัดสรรไว้เป็นจำนวน 250,000 บาท ดังนั้นชุดของคำตอบที่ไม่มีการครอบงำและอยู่ภายใต้เงื่อนไขของงบประมาณที่ได้รับการจัดสรรจึงเหลือให้พิจารณาอยู่เป็นจำนวน 16ชุดคำตอบดังแสดงในภาพที่ 4.16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.16 พาเรโตฟร้อนของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ต้นทุนต่ำที่สุดและสูญเสียแรงดันน้อยที่สุดกรณีมีงบประมาณค่าวัสดุท่อจำกัดที่ 250,000 บาท

ทั้งนี้การจะเลือกชุดของคำตอบใดเพื่อนำไปสร้างระบบกระจายน้ำนั้นขึ้นอยู่กับการประเมิณของผู้ตัดสินใจ กรณีไม่มีการเพิ่มขึ้นของจุดใช้น้ำในระบบ ผู้ตัดสินใจสามารถเลือกชุดของคำตอบที่ให้ค่าต้นทุนต่ำกว่างบประมาณที่จัดสรรมาในส่วนของค่าวัสดุท่อน้ำได้ กรณีในอนาคตมีการเพิ่มขึ้นของจุดใช้น้ำในระบบ ผู้ตัดสินใจควรเลือกชุดของคำตอบที่ทำให้ระบบสูญเสียแรงดันน้อย

ตารางที่ 4.12แสดงชุดของคำตอบที่ไม่มีการครอบงำ ที่มีแรงดันสูญสียรวมน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขงบประมาณที่จำกัด 250,000 บาท เป็นกรณีที่ผู้ตัดสินใจคาดการณ์ว่าจะมีจุดใช้งานเพิ่มขึ้นในอนาคต ได้ชุดของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อในระบบกระจายน้ำทั้งเครือข่ายได้แก่ ท่อเส้นที่ 1 ถึงท่อเส้นที่ 109 โดยต้นทุนรวมเท่ากับ 249,892 บาทและแรงดันสูญสียรวม1.15 ฟุต สำหรับชุดของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คำตอบที่ไม่มีการครอบงำ ทั้งหมดที่ได้จากการแก้ปัญหาได้แสดงไว้ในภาคผนวก
ง

ตารางที่ 4.12ชุดคำตอบที่1 ต้นทุนรวม249892บาท และ แรงดันสูญเสียรวม1.15 ฟุต

Pipe line #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Pipe diameter	*4*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*	*6*	*5*	*6*	*4*	*5*	*4*
Pipe line #	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Pipe diameter	*5*	*6*	*5*	*5*	*5*	*6*	*5*	*5*	*4*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*
Pipe line #	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Pipe diameter	*6*	*5*	*6*	*5*	*6*	*5*	*5*	*5*	*4*	*6*	*6*	*5*	*5*	*5*
Pipe line #	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
Pipe diameter	*6*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*	*2*	*6*	*5*	*6*	*6*	*6*	*5*	*6*
Pipe line #	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Pipe diameter	*5*	*5*	*6*	*5*	*6*	*5*	*5*	*6*	*4*	*6*	*5*	*5*	*6*	*2*
Pipe line #	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Pipe diameter	*5*	*5*	*6*	*5*	*5*	*6*	*5*	*6*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*	*5*
Pipe line #	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Pipe diameter	*5*	*6*	*5*	*6*	*5*	*2*	*5*	*5*	*6*	*5*	*5*	*4*	*5*	*5*
Pipe line #	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	-	-	-
Pipe diameter	*5*	*5*	*5*	*6*	*6*	*5*	*5*	*5*	*5*	*6*	*2*	-	-	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลจากการแก้ปัญหาการการหาขนาดท่อในระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมด้วยวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบหลายวัตถุประสงค์ช่วยให้สามารถวางแผนการลงทุนได้ โดยคำตอบที่ได้นั้นแสดงอยู่ในรูปแบบของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ซึ่งช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถการออกแบบขนาดท่อในเครือข่ายการกระจายนำได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสภาพสังคม เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่ได้มีน้ำอุปโภคอย่างพอเพียงภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังสามารถตอบสนองต่อความต้องการประชากรในชุมชนอีกด้วย