



APPENDICES

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



APPENDIX A

A Questionnaire from the Finalized SHEN Model

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



แบบสอบถามโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง
การศึกษาเครื่องมือเพื่อปรับปรุงสมรรถนะสำหรับอุตสาหกรรมสินค้าตามสั่ง
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในงานวิจัยเรื่อง
ระบบการผลิตแบบลีนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมสินค้าตามสั่ง

รายละเอียดของแบบสัมภาษณ์ :

แบบสัมภาษณ์นี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ให้สัมภาษณ์

ส่วนที่ 2 รายละเอียดของหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของอุตสาหกรรมสินค้าตามสั่ง

ส่วนที่ 3 ประเมินสมรรถนะด้านต่างๆของบริษัท

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ให้สัมภาษณ์

ชื่อ:

สกุล:

อายุ :ปี

เพศ ชาย

หญิง

ตำแหน่ง:.....

เบอร์ติดต่อ:.....

E-mail :

ส่วนที่ 2 รายละเอียดของหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของอุตสาหกรรมสินค้าตามสั่ง

คำชี้แจง: โปรดพิจารณาข้อความต่อไปนี้เพื่อแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับหลักการ, วิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของอุตสาหกรรมสินค้าตามสั่ง แล้วให้คะแนนระดับความสำคัญที่ท่านคิดว่าเหมาะสม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ต้องการ โดยเกณฑ์การให้ระดับความสำคัญเป็นดังนี้

5 = ส่งผลมากที่สุด 4 = ส่งผลมาก 3 = ส่งผลปานกลาง 2 = ส่งผลน้อย 1 = ส่งผลน้อยมาก

หลักการ	วิธีการ	ระดับความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
1. บูรณาการหน้าที่ของฝ่ายการผลิตกับฝ่ายการตลาดเข้าด้วยกัน	1.1 ทำความเข้าใจขั้นต้นถึงความเกี่ยวข้องระหว่างฝ่ายการผลิตกับฝ่ายการตลาด					
	1.2 ฝ่ายการผลิตกับฝ่ายการตลาดทำงานร่วมกันเพื่อรับทราบความต้องการของลูกค้า					
	1.3 การใช้โปรแกรมระบบฐานข้อมูลเพื่อให้อุตสาหกรรมสินค้าตามสั่งตอบสนองความต้องการของลูกค้า					
	1.4 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดเวลาในการตอบสนองลูกค้าลง 50 %					
	1.5 รู้จักคู่แข่งและมีวิธีการอย่างมีระบบสำหรับการคำนวณราคาและเวลาในการส่งมอบเพื่อให้สามารถแข่งขันได้					
2. ออกแบบสินค้า, กระบวนการและป รั บ ป รุ ง ความ สัม พันธ์ กับซัพพลายเออร์	2.1 อบรมพนักงานให้เข้าใจรายละเอียดของสินค้า, วิธีการแก้ไขสินค้าที่มีความบกพร่อง รวมทั้งฝ่ายผลิตและ/หรือฝ่ายจัดซื้อ รู้จักสินค้าของซัพพลายเออร์					
	2.2 สินค้าควรมีจำนวนส่วนประกอบให้น้อยขึ้นและมีซัพพลายเออร์ให้น้อยที่สุด					
	2.3 การใช้โปรแกรมระบบฐานข้อมูลในการออกแบบและการออกแบบนั้นปรับเปลี่ยนสำหรับสินค้าใหม่ รวมทั้งมีการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างลูกค้าและฝ่ายการผลิต					
	2.4 ตั้งเป้าหมายให้ได้รับ “งานเดิมซ้ำ” 50 % เพื่อให้เกิดความเป็นไปได้ในการให้ซัพพลายเออร์บางเจ้าเป็นหุ้นส่วนในการผลิต					
	2.5 ตั้งเป้าหมายให้ได้รับ “งานเดิมซ้ำ” 80 %					

หลักการ	วิธีการ	ระดับความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
3. การร่วมมือกับลูกค้า	3.1 ช่วยลูกค้านิยามความต้องการในรูปแบบของรายละเอียดสินค้าและการออกแบบ					
	3.2 พัฒนาความสัมพันธ์ส่วนบุคคลระหว่างพนักงานกับลูกค้า					
	3.3 การสื่อสารที่ดีระหว่างพนักงาน, เข้าใจถึงวัตถุประสงค์ขององค์กรและความต้องการของลูกค้า					
	3.4 ให้ลูกค้ามีส่วนร่วมในการทำงาน					
	3.5 ช่วยลูกค้าให้ประสบความสำเร็จถึงเป้าหมาย และตอบสนองให้สูงกว่าที่ลูกค้าต้องการ					
4. การจัดพื้นที่การทำงานให้มีระเบียบ	4.1 ปรับปรุงการมองเห็น, ใช้ระบบคลังสินค้าที่ง่ายเพื่อลดเวลาการค้นหา					
	4.2 ปรับเปลี่ยนที่ตั้งของวัตถุดิบ, WIP, ฯลฯ เพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายทั้งวัตถุดิบและเครื่องมือ					
	4.3 อบรมพนักงานเกี่ยวกับความสำคัญของการใช้ระบบคลังสินค้าและรู้จักความรับผิดชอบความสะอาดในพื้นที่ของตน					
	4.4 ทดลองให้พนักงานรักษาความสะอาดในพื้นที่รับผิดชอบของตนเองเช่นเดียวกับการใช้ระบบคลังสินค้าอย่างมีระบบ					
	4.5 พนักงานรักษาความสะอาดในพื้นที่รับผิดชอบอย่างสม่ำเสมอ					
5. ปรับปรุงการจัดตารางการผลิตและควบคุมภาระงาน (workload) เพื่อลดเวลาในการผลิต	5.1 มีระบบการจัดตารางการผลิต (แบบ manual) ที่ใช้งานง่ายเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ของบริษัท					
	5.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดตารางการผลิตที่ใช้งานง่าย					
	5.3 กระบวนการควบคุมภาระงานที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดเวลาในการผลิต					
	5.4 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดเวลาในผลิตลง 30 %					
	5.5 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดเวลาในผลิตลง 50 %					

หลักการ	วิธีการ	ระดับความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
6. ลดเวลาติดตั้ง (Setup time) หรือเวลาในการปรับเปลี่ยนและปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้ดีขึ้น	6.1 การอบรมแนวทางการลดเวลาติดตั้ง / เวลาในการปรับเปลี่ยนและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเบื้องต้น					
	6.2 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดเวลาติดตั้ง / เวลาในการปรับเปลี่ยนลง 10 %					
	6.3 พนักงานสามารถปฏิบัติการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วยตนเอง					
	6.4 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดเวลาติดตั้ง / เวลาในการปรับเปลี่ยนลง 30 %					
	6.5 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดเวลาติดตั้ง / เวลาในการปรับเปลี่ยนลง 50 % ในทุกกระบวนการผลิต					
7. ปรับปรุงการไหลของสารสนเทศ	7.1 พนักงานเข้าใจถึงลำดับความสำคัญของงานต่างๆและทำงานภายใต้แผนเดียวกัน					
	7.2 กระบวนการที่จะสื่อสารถึงแผนการทำงาน ทั้งจากระบบ manual					
	7.3 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดธุรกรรมลง 25%					
	7.4 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดธุรกรรมภายในบริษัทลง 50% และใช้แฟกซ์/อินเทอร์เน็ต/ การแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ 80% ในการทำธุรกรรมภายนอกบริษัท					
	7.5 ตั้งเป้าหมายเพื่อลดธุรกรรมภายในบริษัทลง 80% และใช้แฟกซ์/อินเทอร์เน็ต/ การแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ 99% ในการทำธุรกรรมภายนอกบริษัท					
8. ทุกคนมีส่วนร่วมในกับปรับเปลี่ยนลวดลายแผนกลยุทธ์เพื่อให้มีวัตถุประสงค์ร่วมกันเป็นหนึ่งเดียว	8.1 กระตุ้นพนักงานให้คำแนะนำการปรับปรุงกระบวนการผลิต					
	8.2 สร้างแผนกลยุทธ์ในการทำงาน					
	8.3 แบ่งปันสารสนเทศและบันทึกข้อมูล					
	8.4 สำนึกการทำงานส่วนรวม/ การฉลองความสำเร็จ					
	8.5 ให้รางวัลทั้งในรูปแบบทีมหรือส่วนตัว ด้านการลดต้นทุน					

หลักการ	วิธีการ	ระดับความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
9. การส่งเสริมทักษะและความยืดหยุ่นในการทำงานที่จำเป็น	9.1 ทดสอบโปรแกรมฝึกอบรมเพื่อเพิ่มทักษะการทำงานที่เกี่ยวข้อง					
	9.2 80% ของโปรแกรมการอบรมที่เกี่ยวข้องมีความยืดหยุ่นสามารถให้พนักงานทำงานกับเครื่องจักรต่างๆเมื่อเกิดกรณีจำเป็น					
	9.3 99% ของโปรแกรมฯ					
	9.4 ผู้เชี่ยวชาญสอนพนักงานใหม่ให้ซ่อมเครื่องจักรได้; ลด Downtime ลง 50%					
	9.5 พนักงานใหม่กลายเป็นช่างเทคนิค (Technician) ; ลด Downtime ลง 80%					
10. ปรับปรุงงานด้านคุณภาพและการวัดสมรรถนะด้านต่างๆอย่างเหมาะสม	10.1 เรียนรู้หลักการของคุณภาพ					
	10.2 เข้าใจความต้องการของลูกค้าทั้งในด้านความเร็วในการส่งมอบ, ความยืดหยุ่น, คุณภาพและคุณค่า					
	10.3 การวัดสมรรถนะทั้ง 4 ด้าน					
	10.4 ยกเลิกการวัดสมรรถนะที่ไม่จำเป็นเช่นผลผลิตภาพของพนักงาน, ความแปรปรวน					
	10.5 ดำรงวัฒนธรรมที่สนับสนุนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในทุกกระบวนการผลิต					
11. รวบรวมผลตอบรับจากลูกค้ารวมทั้งมีการวัดและเปรียบเทียบ	11.1 รวบรวมข้อมูลด้านความพึงพอใจของลูกค้า, ทบทวนข้อร้องเรียน, และพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในแง่ของสินค้าและบริการ					
	11.2 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของลูกค้าในอนาคต					
	11.3 รวบรวมตัวอย่างของคู่แข่งและวิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศ (Best practice)					
	11.4 สร้างความร่วมมือกับลูกค้า/คู่แข่งชั้นที่เป็นเลิศในอุตสาหกรรม					
	11.5 การวัดและเปรียบเทียบที่เป็นเลิศในทุกๆด้านของบริษัท					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....



APPENDIX B

Results Data of the Questionnaire

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table B-1 Results from seven respondents for principle 1

Principle 1	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Initial understanding between production and marketing	3	4	3	4	5	3	2
2. Production and marketing functions work together in responding to customer enquiries	5	3	5	5	5	4	3
3. Having a systematic database system to enable MTO companies to respond to customer enquiries	5	5	4	4	3	3	2
4. Achieve 50 per cent reduction in time to respond to customer enquiries	4	3	4	3	4	3	3
5. Understanding its competitors and having a systematic method for calculating price and delivery lead-time	5	4	5	4	5	3	3

Table B-2 Results from seven respondents for principle 2

Principle 2	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Train employees in understanding all the product specifications, product design rework and purchasing process/knowing their suppliers	3	5	4	3	5	3	3
2. Having a minimum number of parts, forgings or suppliers for each product	3	5	2	4	3	3	3
3. Having a computerized design database with designs that can be altered for new orders and a direct computer link with the customer and the shop floor	4	3	4	4	4	2	3
4. Achieve 50 per cent "repeat business" which makes it possible to establish partnerships with some of the suppliers	3	3	3	4	5	3	3
5. Achieve 80 per cent "repeat business"	3	3	3	5	4	3	3

Table B-3 Results from seven respondents for principle 3

Principle 3	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Company helping the customers define their current needs in the form of product specifications and design	4	5	5	3	5	4	5
2. Establish a personal relationship between employees and customers	3	4	2	4	5	4	4
3. Having good communication among employees, a common understanding of organisational objectives and customers' current needs	3	5	4	4	5	4	5
4. Getting customer representatives on the project	2	5	3	3	4	3	2
5. Helping the customers meet their goals, rather than providing customers' wants	5	5	4	5	5	3	3

Table B-4 Results from seven respondents for principle 4

Principle 4	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Improve visibility, use simple storage systems to reduce search times	4	4	4	5	5	3	5
2. Improve locations of raw materials, WIP, etc., to cut distances for movement of materials and tools	4	5	3	4	3	2	5
3. Train shop floor employees on the importance of using the storage systems and of taking responsibility for their own housekeeping	4	3	4	4	5	3	4
4. Implement housekeeping so that work areas are clean as well as ensuring that the storage systems are properly used	4	3	4	3	5	4	5
5. The operator takes over his own housekeeping	3	4	3	3	5	4	5

Table B-5 Results from seven respondents for principle 5

Principle 5	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Having a practical, simple manual scheduling system that meets company objectives	3	3	4	4	5	4	4
2. Having a simple computerized and easily implemented scheduling system	4	3	3	4	4	4	5
3. Having an effective method of workload control to aid the company to reduce flow times	4	4	4	5	5	3	5
4. Achieving average reduction of flow time by 30 per cent	4	3	3	5	5	3	4
5. Achieving average reduction of flow time by 50 per cent	4	3	3	5	4	3	5

Table B-6 Results from seven respondents for principle 6

Principle 6	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Train associates in set-up/ changeover reduction and basic preventive maintenance	3	5	4	4	5	4	4
2. Achieving 10 per cent average reduction in set-up/ changeover time	4	5	4	3	5	4	4
3. Operators can take over their own preventive maintenance	4	5	4	4	5	4	5
4. Achieving 30 per cent average reduction in set-up/ changeover time	3	4	3	4	5	4	4
5. Employees achieve 50 per cent reductions in set-up/ changeover times across all processes	3	3	3	3	4	5	4

Table B-7 Results from seven respondents for principle 7

Principle 7	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Job priorities are clearly understood by all and everyone is working to the same plan	5	3	4	4	5	3	4
2. Having a systematic method to communicate the plan including manual systems such as a planning board or “work to lists” produced by an appropriate software package	4	4	3	3	5	3	5
3. Office transactions, labor transactions cut by 25 per cent	3	3	3	3	5	3	5
4. Internal transactions cut by 50 per cent and 80 per cent of external transactions are done by fax/Internet/EDI	3	5	4	4	5	3	5
5. Internal transactions cut by 80 per cent and 99 per cent of external transactions are done by fax/Internet/ED	4	5	3	4	4	3	5

Table B-8 Results from seven respondents for principle 8

Principle 8	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Implement a training programme for all associates to increase relevant skills	4	4	3	4	5	3	5
2. 80 per cent of associates are flexible in appropriate skills and able to work on other machines when needed	5	5	4	5	5	3	4
3. 99 per cent of associates are flexible in appropriate skills and able to work on other machines when needed	4	5	3	4	4	3	4
4. Experts teach operators to do repairs; downtime cut by 50 per cent	4	3	3	3	4	2	4
5. Operators become technicians; downtime cut by 80 per cent	4	5	3	4	3	3	5

Table B-9 Results from seven respondents for principle 9

Principle 9	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Encourage employees to make suggestions to improve the process	3	4	3	4	3	2	4
2. Having strategic planning	4	4	3	4	3	3	4
3. Sharing information and records with shop floor employees	5	4	3	4	3	3	5
4. Systematic public recognition/ celebration of achievement	4	5	4	3	5	3	4
5. Variety of low-cost awards to both teams and individuals	4	5	3	3	5	3	5

Table B-10 Results from seven respondents for principle 10

Principle 10	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Practice the principles of quality	3	4	5	5	5	3	4
2. Understanding (through training if necessary) in universal customer wants: speed, flexibility, quality or value (QSFV)	5	4	5	4	5	4	3
3. QSFV are dominant performance measures	5	4	4	4	5	3	3
4. Second order performance measures (e.g. labor productivity, variance) no longer managed	4	5	3	4	5	4	4
5. Maintain a culture that supports continuous improvement in all processes	4	5	3	5	5	4	3

Table B-11 Results from seven respondents for principle 11

Principle 11	Respondent						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Gathering customer-satisfaction data, review complaints and make continuous improvement on products and services	4	3	4	3	5	4	3
2. Gathering data on future customer needs	4	4	4	2	5	4	3
3. Gathering competitive samples and best practice data	5	3	5	3	5	4	4
4. All associates involved in customer/competitive best practice	4	5	5	4	5	4	3
5. The company implement full-scale benchmarking for its processes	4	4	5	4	5	4	4



APPENDIX C

Linguistic Evaluation Data

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table C Linguistic evaluation data related to eight suppliers

Criteria	TTC	PST	PMT	A&F	FPV	FBP	FOD	OTD	TAS	C&C
Company A	F	G	G	G	G	G	VG	F	G	G
Company B	G	G	F	VG	G	F	G	G	G	G
Company C	F	F	G	G	G	G	F	VG	F	VG
Company D	VG	G	P	F	F	VP	G	G	F	F
Company E	F	F	F	G	G	F	G	P	G	F
Company F	F	G	P	F	G	F	G	P	F	G
Company G	G	G	VG	F	G	G	F	P	G	F
Company H	F	F	G	P	P	G	F	G	P	F



APPENDIX D

The Average Fuzzy Evaluation Matrix of Each Sub-criteria Group

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table D-1 The average fuzzy evaluation matrix for price's sub-criteria

	Total Cost	Price Stability	Payment Term
Total Cost	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Price Stability	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/3, 2/5, 1/2)
Payment Term	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)	(1, 1, 1)

Table D-2 The average fuzzy evaluation matrix for quality's sub-criteria

	Appearance and Functions	Failure Prevention
Appearance and Functions	(1, 1, 1)	(2, 5/2, 3)
Failure Prevention	(1/3, 2/5, 1/2)	(1, 1, 1)

Table D-3 The average fuzzy evaluation matrix for compatibility's sub-criteria

	Flexibility in Billing and Payment	Flexibility in Operation and Delivery
Flexibility in Billing and Payment	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)
Flexibility in Operation and Delivery	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)

Table D-4 The average fuzzy evaluation matrix for service's sub-criteria

	On Time Delivery	Technical Assistance and Support	Cooperation and Communication
On Time Delivery	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Technical Assistance and Support	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Cooperation and Communication	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)



APPENDIX E

Important Weight Calculation for the Sub-criteria

by using the classical method

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table E-1 Transforming results from Table D-1

Sub-criteria	Total Cost			Price Stability			Payment Term		
Total Cost	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	2.000	0.400	0.500	0.667
Price Stability	0.500	0.667	1.000	1.000	1.000	1.000	0.333	0.400	0.500
Payment Term	1.500	2.000	2.500	2.000	2.500	3.000	1.000	1.000	1.000
Summation	3.000	3.667	4.500	4.000	5.000	6.000	1.733	1.900	2.167

An important weight calculation was applied by Formula 3.8. Next, each calculated weight had to translate into normalized form by using Equation 3.9 as shown in Table E-2.

Table E-2 Normalization weight for sub-criteria of Price

Price	Relative weights	Local weights	Normalized local weights
Total Cost	(0.191, 0.279, 0.406)	0.292	0.280
Price Stability	(0.144, 0.197, 0.291)	0.211	0.202
Payment Term	(0.376, 0.524, 0.720)	0.540	0.518
Total		1.043	1.00

$$T = [0.280] \begin{bmatrix} 1.000, 1.000, 1.000 \\ 0.500, 0.667, 1.000 \\ 1.500, 2.000, 2.500 \end{bmatrix} + [0.202] \begin{bmatrix} 1.000, 1.500, 2.000 \\ 1.000, 1.000, 1.000 \\ 2.000, 2.500, 3.000 \end{bmatrix}$$

$$+ [0.518] \begin{bmatrix} 0.400, 0.500, 0.667 \\ 0.333, 0.400, 0.500 \\ 1.000, 1.000, 1.000 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (0.689, 0.842, 1.029) \\ (0.515, 0.596, 0.741) \\ (1.342, 1.583, 1.842) \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} \frac{0.689}{0.280} + \frac{0.515}{0.202} + \frac{1.342}{0.518} \\ \frac{0.842}{0.280} + \frac{0.596}{0.202} + \frac{1.583}{0.518} \\ \frac{1.029}{0.280} + \frac{0.741}{0.202} + \frac{1.824}{0.518} \end{bmatrix} / 3$$

$$\lambda_{max} = (2.533, 3.004, 3.622) \approx 3.053$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{(3.053 - 3)}{(3 - 1)} = 0.027$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.027}{0.58} = 0.046, (RI = 0.58 \text{ from Table 3.6})$$

Table E-3 Transforming results from Table D-2

Sub-criteria	Appearance and Functions			Failure Prevention		
Appearance and Functions	1.000	1.000	1.000	2.000	2.500	3.000
Failure Prevention	0.333	0.400	0.500	1.000	1.000	1.000
Summation	1.333	1.400	1.500	3.000	3.500	4.000

The important weight calculation was applied by Formula 3.8. Next, each calculated weight had to translate into normalized form by using Equation 3.9 as shown in Table E-4.

Table E-4 Normalization weight for sub-criteria of Quality

Quality	Relative weights	Local weights	Normalized local weights
Appearance and Functions	(0.583, 0.714, 0.875)	0.724	0.713
Failure Prevention	(0.236, 0.286, 0.354)	0.292	0.287
Total		1.016	1.00

Table E-5 Transforming results from Table D-3

Sub-criteria	Flexibility in Billing and Payment			Flexibility in Operation and Delivery		
Flexibility in Billing and Payment	1.000	1.000	1.000	0.400	0.500	0.667
Flexibility in Operation and Delivery	1.500	2.000	2.500	1.000	1.000	1.000
Summation	2.500	3.000	3.500	1.400	1.500	1.667

The important weight calculation was applied by Formula 3.8. Next, each calculated weight had to translate into normalized form by using Equation 3.9 as shown in Table E-6.

Table E-6 Normalization weight for sub-criteria of Compatibility

Compatibility	Relative weights	Local weights	Normalized local weights
Flexibility in Billing and Payment	(0.263, 0.333, 0.438)	0.345	0.337
Flexibility in Operation and Delivery	(0.514, 0.667, 0.857)	0.679	0.663
Total		1.024	1.00

Quality and Compatibility had solely two sub-criteria, thus they could not be calculated CR (*RI* equals 0).

Table E-7 Transforming results from Table D-4

Sub-criteria	On Time Delivery			Technical Assistance and Support			Cooperation and Communication		
On Time Delivery	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Technical Assistance and Support	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Cooperation and Communication	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Summation	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

The important weight calculation was applied by Formula 3.8. Next, each calculated weight had to translate into normalized form by using Equation 3.9 as shown in Table E-8.

Table E-8 Normalization weight for sub-criteria of Service

Service	Relative weights	Local weights	Normalized local weights
On Time Delivery	(0.333, 0.333, 0.333)	0.333	0.333
Technical Assistance and Support	(0.333, 0.333, 0.333)	0.333	0.333
Cooperation and Communication	(0.333, 0.333, 0.333)	0.333	0.333
Total		1.000	1.00

$$T = [0.3330] \begin{bmatrix} 0.333, 0.333, 0.333 \\ 0.333, 0.333, 0.333 \\ 0.333, 0.333, 0.333 \end{bmatrix} + [0.333] \begin{bmatrix} 0.333, 0.333, 0.333 \\ 0.333, 0.333, 0.333 \\ 0.333, 0.333, 0.333 \end{bmatrix}$$

$$+ [0.333] \begin{bmatrix} 0.333, 0.333, 0.333 \\ 0.333, 0.333, 0.333 \\ 0.333, 0.333, 0.333 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (1.000, 1.000, 1.000) \\ (1.000, 1.000, 1.000) \\ (1.000, 1.000, 1.000) \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} \frac{1.000}{0.333} + \frac{1.000}{0.333} + \frac{1.000}{0.333} \\ \frac{1.000}{0.333} + \frac{1.000}{0.333} + \frac{1.000}{0.333} \\ \frac{1.000}{0.333} + \frac{1.000}{0.333} + \frac{1.000}{0.333} \end{bmatrix} / 3$$

$$\lambda_{max} = (3.000, 3.000, 3.000) \approx 3.000$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{(3.000 - 3)}{(3 - 1)} = 0.000$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.000}{0.58} = 0.000, (RI = 0.58 \text{ from Table 3.6})$$



APPENDIX F

Important Weight Calculation for the Sub-criteria

by using the extent analysis method

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Via pairwise comparison of sub-criteria in Table E-1, E-3, E-5 and E-7, the extent analysis method on fuzzy AHP was adopted to calculate the weight vector for sub-criteria by applying Equation 3.16. These results were shown in Table F-1, F-2, F-3 and F-4, respectively. However, in Table F-1, F-2 and F-3, they had one element such that $l_1 - u_2 > 0$, the elements of the matrix might be taken normalized.

Table F-1 Preparation data for sub-criteria of Price

Equation	l_{ij}	m_{ij}	u_{ij}
$\sum_{j=1}^3 M_{TTC}^j$	0.80	0.98	1.22
$\sum_{j=1}^3 M_{PST}^j$	0.83	0.97	1.20
$\sum_{j=1}^3 M_{PMT}^j$	0.85	0.99	1.16
$[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 M_i^j]$	2.48	2.94	3.58

$$S_{TTC} = (0.80, 0.98, 1.22) \otimes \left(\frac{1}{3.58}, \frac{1}{2.94}, \frac{1}{2.48} \right) = (0.22, 0.33, 0.49),$$

$$S_{PST} = (0.83, 0.97, 1.20) \otimes \left(\frac{1}{3.58}, \frac{1}{2.94}, \frac{1}{2.48} \right) = (0.23, 0.33, 0.48),$$

$$S_{PMT} = (0.85, 0.99, 1.16) \otimes \left(\frac{1}{3.58}, \frac{1}{2.94}, \frac{1}{2.48} \right) = (0.24, 0.34, 0.47)$$

Next, equations 3.20 and 3.21 were used to obtain the degree of possibility of $M_1 \geq M_2$, then

$$V(S_{TTC} \geq S_{PST}) = \frac{0.23 - 0.49}{(0.33 - 0.49) - (0.33 - 0.23)} = 1.01,$$

$$V(S_{TTC} \geq S_{PMT}) = \frac{0.24 - 0.49}{(0.33 - 0.49) - (0.34 - 0.24)} = 0.99,$$

$$V(S_{PST} \geq S_{TTC}) = \frac{0.22 - 0.48}{(0.33 - 0.48) - (0.33 - 0.22)} = 0.99,$$

$$V(S_{PST} \geq S_{PMT}) = \frac{0.24 - 0.48}{(0.33 - 0.48) - (0.34 - 0.24)} = 0.97,$$

$$V(S_{PMT} \geq S_{TTC}) = \frac{0.22 - 0.47}{(0.34 - 0.47) - (0.33 - 0.22)} = 1.01,$$

$$V(S_{PMT} \geq S_{PST}) = \frac{0.23 - 0.47}{(0.34 - 0.47) - (0.33 - 0.23)} = 1.03,$$

The weight vector was given by adopting Equations 3.23 and 3.24, respectively

$$W' = (\min(1.01, 0.99), \min(0.99, 0.97), \min(1.01, 1.03,))^T$$

$$W' = (0.99, 0.97, 1.01)^T$$

The normalized weight vectors with respect to sub-criteria were

$$W = (0.33, 0.33, 0.34)^T$$

Table F-2 Preparation data for sub-criteria of Quality

Equation	l_{ij}	m_{ij}	u_{ij}
$\sum_{j=1}^2 M_{A\&F}^j$	0.60	0.66	0.74
$\sum_{j=1}^2 M_{FPV}^j$	0.60	0.66	0.74
$[\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 M_i^j]$	1.20	1.32	1.48

$$S_{A\&F} = (0.60, 0.66, 0.74) \otimes \left(\frac{1}{1.48}, \frac{1}{1.32}, \frac{1}{1.20} \right) = (0.41, 0.50, 0.62),$$

$$S_{FPV} = (0.60, 0.66, 0.74) \otimes \left(\frac{1}{1.48}, \frac{1}{1.32}, \frac{1}{1.20} \right) = (0.41, 0.50, 0.62)$$

Next, equations 3.20 and 3.21 were used to obtain the degree of possibility

of $M_1 \geq M_2$, then

$$V(S_{A\&F} \geq S_{FPV}) = 1.00,$$

$$V(S_{FPV} \geq S_{A\&F}) = 1.00$$

The weight vector was given by adopting Equations 3.23 and 3.24, respectively

$$W' = (\min(1.00), \min(1.00))^T$$

$$W' = (1.00, 1.00)^T$$

The normalized weight vectors with respect to sub-criteria were

$$W = (0.50, 0.50)^T$$

Table F-3 Preparation data for sub-criteria of Compatibility

Equation	l_{ij}	m_{ij}	u_{ij}
$\sum_{j=1}^2 M_{FBP}^j$	0.58	0.65	0.77
$\sum_{j=1}^2 M_{FOD}^j$	0.58	0.66	0.76
$[\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 M_i^j]$	1.16	1.31	1.53

$$S_{FBP} = (0.58, 0.65, 0.77) \otimes \left(\frac{1}{1.53}, \frac{1}{1.31}, \frac{1}{1.16} \right) = (0.38, 0.50, 0.62),$$

$$S_{FOD} = (0.58, 0.66, 0.76) \otimes \left(\frac{1}{1.53}, \frac{1}{1.31}, \frac{1}{1.16} \right) = (0.38, 0.50, 0.62)$$

Next, Equations 3.20 and 3.21 were used to obtain the degree of possibility of $M_1 \geq M_2$, then

$$V(S_{FBP} \geq S_{FOD}) = 1.00,$$

$$V(S_{FOD} \geq S_{FBP}) = 1.00$$

The weight vector was given by adopting Equations 3.23 and 3.24, respectively

$$W' = (\min(1.00), \min(1.00))^T$$

$$W' = (1.00, 1.00)^T$$

The normalized weight vectors with respect to sub-criteria were

$$W = (0.50, 0.50)^T$$

Table F-4 Preparation data for sub-criteria of Service

Equation	l_{ij}	m_{ij}	u_{ij}
$\sum_{j=1}^3 M_{OTD}^j$	3.00	3.00	3.00
$\sum_{j=1}^3 M_{TAS}^j$	3.00	3.00	3.00
$\sum_{j=1}^3 M_{C\&C}^j$	3.00	3.00	3.00
$[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 M_i^j]$	9.00	9.00	9.00

$$S_{OTD} = (3.00, 3.00, 3.00) \otimes \left(\frac{1}{9.00}, \frac{1}{9.00}, \frac{1}{9.00} \right) = (0.33, 0.33, 0.33),$$

$$S_{TAS} = (3.00, 3.00, 3.00) \otimes \left(\frac{1}{9.00}, \frac{1}{9.00}, \frac{1}{9.00} \right) = (0.33, 0.33, 0.33),$$

$$S_{C\&C} = (3.00, 3.00, 3.00) \otimes \left(\frac{1}{9.00}, \frac{1}{9.00}, \frac{1}{9.00} \right) = (0.33, 0.33, 0.33)$$

Next, equations 3.20 and 3.21 were used to obtain the degree of possibility of $M_1 \geq M_2$, then

$$V(S_{OTD} \geq S_{TAS}) = 1.00,$$

$$V(S_{OTD} \geq S_{C\&C}) = 1.00,$$

$$V(S_{TAS} \geq S_{OTD}) = 1.00,$$

$$V(S_{TAS} \geq S_{C\&C}) = 1.00,$$

$$V(S_{C\&C} \geq S_{OTD}) = 1.00,$$

$$V(S_{C\&C} \geq S_{TAS}) = 1.00$$

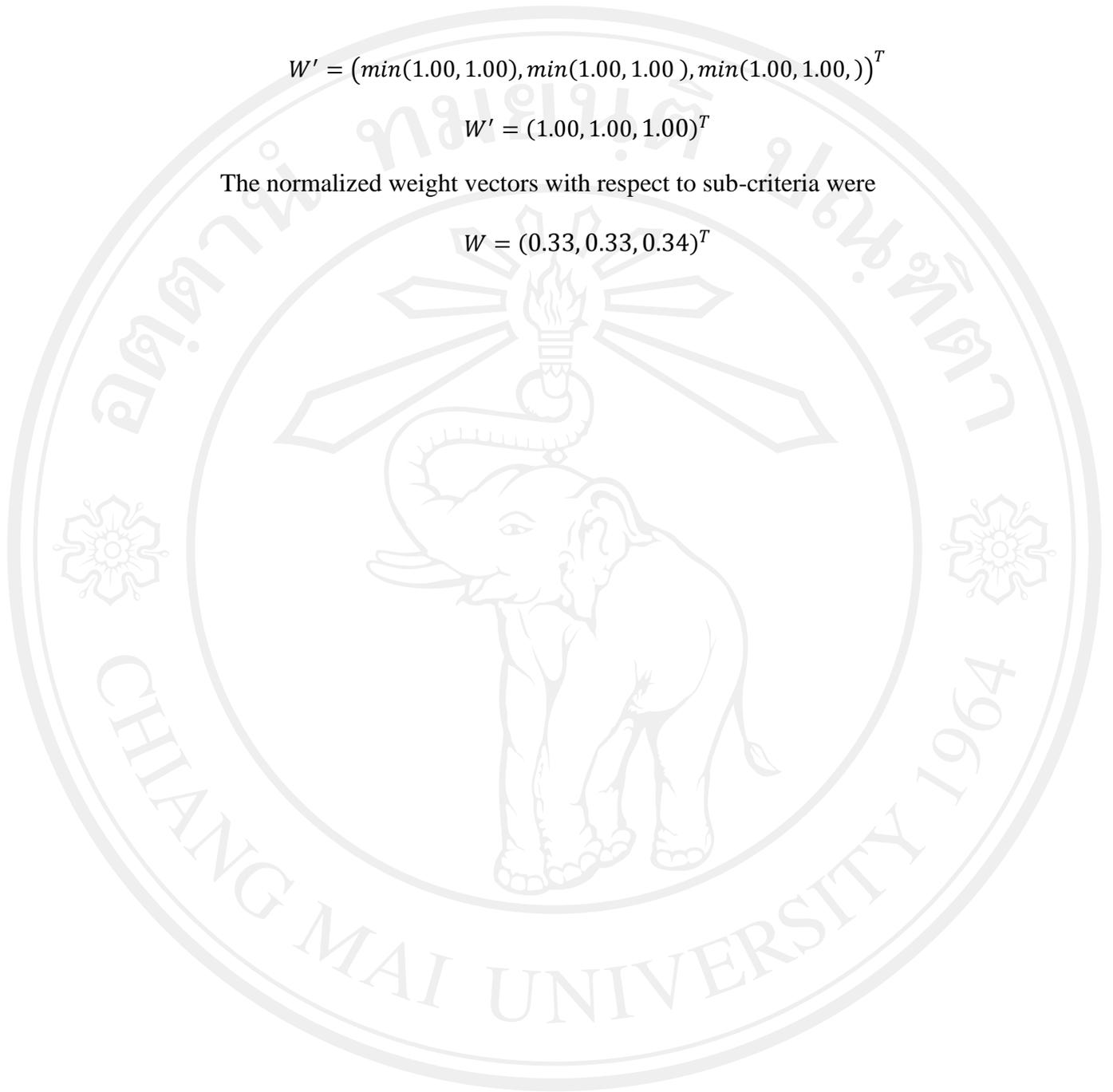
The weight vector was given by adopting Equations 3.23 and 3.24, respectively

$$W' = (\min(1.00, 1.00), \min(1.00, 1.00), \min(1.00, 1.00))^T$$

$$W' = (1.00, 1.00, 1.00)^T$$

The normalized weight vectors with respect to sub-criteria were

$$W = (0.33, 0.33, 0.34)^T$$



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved



APPENDIX G

Ranking data generation from Monte Carlo simulation

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table G-1 Ranking data by using the classical method

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	3	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	2	1	3
1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	2	3	1	2	1	3
1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	2	3	1	2	3	1	1	3	2	1	3	2
1	2	3	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	2	3	1	3	2
1	2	3	1	3	2	3	2	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2
1	3	2	2	3	1	3	1	2	1	3	2	1	2	3	2	3	1
1	2	3	2	1	3	3	2	1	2	1	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	2	3	1
2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	3	2
1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3
1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3	2	1	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	3	2
3	1	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3
2	3	1	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	2	3	1	1	2	3
1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	3	1	2	3	1	2
1	3	2	1	2	3	1	2	3	3	1	2	1	2	3	3	1	2
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3
3	1	2	3	2	1	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3
1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	2	1	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2	3	1	2
1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2
2	1	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	2	3	3	1	2
3	1	2	2	1	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	3	2
1	3	2	1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
3	1	2	2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	3	1	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	3	1	1	2	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3
2	3	1	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3	2	1	3

Table G-1 Ranking data by using the classical method (continue)

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	
2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	3	1	2
1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	1
3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3
1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
2	3	1	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2
1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3
1	2	3	2	1	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2
1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
2	1	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	3	1	2
1	3	2	2	1	3	1	2	3	3	2	1	2	1	3	2	3	1
1	2	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2	1	3	2
1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3
2	3	1	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2
1	2	3	3	2	1	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	2	3
2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	2	1	3
2	3	1	1	3	2	2	1	3	3	1	2	2	1	3	2	3	1
1	3	2	3	1	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2
3	1	2	1	3	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3
1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	2	1	3
1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2	2	3	1
1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	3	1	1	2	3	2	1	3
1	2	3	1	3	2	2	3	1	1	3	2	1	2	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1
2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	3	1
3	1	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
1	3	2	1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	3	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	3	2	1
1	2	3	2	3	1	2	1	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3
1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	3	2	3	1	2
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1
2	1	3	1	3	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	2	3	1
2	3	1	1	3	2	1	2	3	2	3	1	3	1	2	1	2	3
2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	2	1	3	2	3	1

Table G-1 Ranking data by using the classical method (continue)

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2	3	1	1	3	2	3	1	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3	2	1	3
1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3
1	3	2	3	1	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	2	3	2	3	1	2	1	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3
2	1	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3	3	1	2
1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3
1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2
1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2
1	2	3	3	2	1	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
3	1	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3
2	3	1	1	2	3	2	3	1	1	3	2	1	2	3	1	3	2
2	3	1	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3
2	3	1	1	3	2	1	3	2	2	3	1	2	3	1	1	3	2
2	1	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	3	2	1	1	2	3
1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2
2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3
1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	3	1	1	2	3	1	2	3
1	2	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	2	3	1
1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	3	1	3	2	1	2	3	3	1	2	2	1	3	2	1	3
1	2	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	3	1	1	3	2
1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
1	3	2	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	2	1	1	2	3	1	2	3
1	3	2	2	3	1	2	3	1	1	3	2	1	3	2	2	1	3
1	3	2	2	3	1	2	3	1	1	3	2	1	3	2	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	3	1	2

Table G-1 Ranking data by using the classical method (continue)

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	3	1
2	1	3	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	3	2	3	2	1
2	1	3	2	1	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2
3	1	2	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3
1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3	2	1	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3
1	3	2	2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1
1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	3	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	2	1	3	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2	3	1
2	1	3	1	2	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	2	3	1	3	2
2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	1	2	3	3	1	2	1	3	2	1	2	3
1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	3	2	1
3	1	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3	1	3	2
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	3	2	1	1	2	3
1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3
1	2	3	2	3	1	2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2	3	2	1
1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	3	2	1
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2
1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	3	2
1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	3	1	2	2	1	3	1	3	2	2	3	1
2	1	3	1	2	3	2	1	3	2	1	3	3	1	2			
1	2	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2			
1	3	2	2	3	1	1	2	3	1	3	2	3	1	2			
1	2	3	1	2	3	3	2	1	1	2	3	1	2	3			
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	2	3	1	3	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3			
1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	2	1	3			
2	1	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3			

Table G-2 Ranking data by using the extent analysis method

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2	3	1	2	3	1	2
1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	3	1	3	2	1
2	3	1	1	3	2	3	1	2	2	1	3	2	3	1	3	1	2
2	1	3	2	1	3	2	3	1	2	1	3	1	3	2	2	1	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	1	3	1	2	3
3	1	2	2	1	3	3	2	1	1	2	3	2	1	3	2	1	3
3	1	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	1	2	3	3	1	2
1	3	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	2	3	1
2	3	1	3	2	1	2	1	3	2	3	1	1	2	3	3	1	2
1	3	2	3	1	2	1	3	2	2	1	3	3	2	1	1	3	2
1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2	2	3	1	3	2	1
3	1	2	3	1	2	3	2	1	2	1	3	3	1	2	1	2	3
2	1	3	2	1	3	2	3	1	1	3	2	2	1	3	3	2	1
1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3	2	3	1
2	3	1	3	2	1	2	3	1	1	2	3	2	1	3	3	1	2
2	3	1	3	1	2	3	2	1	1	2	3	3	1	2	1	2	3
1	2	3	2	3	1	2	1	3	2	1	3	2	3	1	1	2	3
1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2	2	3	1	1	2	3
2	3	1	1	2	3	2	1	3	3	2	1	2	1	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	3	2	1	1	3	2	2	3	1	1	2	3
2	1	3	3	1	2	2	1	3	2	3	1	1	3	2	1	3	2
1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	3	1	2	1	3	2
3	2	1	2	1	3	3	2	1	2	3	1	1	3	2	2	3	1
3	1	2	2	1	3	2	1	3	3	1	2	1	2	3	2	3	1
3	2	1	3	1	2	1	3	2	2	3	1	2	1	3	3	1	2
2	1	3	3	2	1	3	1	2	2	3	1	1	3	2	3	2	1
2	1	3	1	2	3	3	1	2	1	2	3	3	2	1	2	3	1
1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1
3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2
3	2	1	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3	2	1	1	2	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
3	1	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	3	1	1	3	2
2	3	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1	3	2	3	2	1
1	3	2	1	3	2	2	3	1	2	1	3	3	2	1	3	1	2
2	3	1	1	3	2	3	2	1	1	3	2	3	2	1	1	2	3
1	3	2	2	1	3	1	2	3	2	3	1	1	2	3	3	1	2
2	1	3	3	1	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	1	3	2
2	3	1	2	1	3	1	2	3	3	2	1	1	2	3	2	1	3
1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3
2	1	3	1	2	3	2	3	1	3	1	2	3	2	1	1	2	3
1	2	3	1	2	3	2	1	3	3	1	2	3	1	2	2	1	3

Table G-2 Ranking data by using the extent analysis method (continue)

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
3	1	2	3	1	2	1	3	2	2	3	1	3	2	1	3	2	1
3	2	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	1	3	2	2	3	1
1	2	3	1	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	3	2
2	1	3	1	2	3	3	2	1	2	1	3	3	1	2	2	1	3
2	1	3	3	1	2	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	3	2
1	3	2	3	2	1	2	1	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3
2	3	1	3	2	1	2	3	1	1	3	2	3	1	2	2	1	3
1	2	3	3	2	1	2	3	1	1	2	3	3	2	1	3	1	2
3	1	2	2	3	1	3	2	1	2	1	3	1	2	3	2	1	3
1	2	3	3	2	1	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	3	2	1	2	3	1
1	3	2	1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3	3	2	1
2	3	1	1	2	3	1	2	3	2	1	3	2	3	1	2	1	3
2	3	1	2	1	3	2	3	1	1	2	3	1	3	2	1	3	2
2	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	3	1	2
1	3	2	1	2	3	1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3
1	3	2	3	2	1	1	3	2	2	3	1	1	3	2	1	3	2
1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	3	1	2
1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	3	2	3	1	2
1	3	2	1	2	3	2	1	3	2	3	1	2	3	1	1	3	2
1	2	3	3	1	2	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	2	3
3	2	1	3	1	2	2	1	3	3	2	1	3	2	1	2	3	1
1	2	3	2	1	3	3	1	2	3	1	2	2	3	1	2	3	1
3	2	1	3	1	2	2	3	1	1	3	2	2	3	1	2	3	1
2	1	3	3	2	1	1	2	3	1	2	3	1	3	2	3	2	1
3	2	1	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
1	3	2	3	2	1	1	2	3	2	3	1	2	3	1	1	2	3
1	3	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	2	1	3	1	2	3
3	1	2	2	3	1	3	1	2	3	2	1	2	1	3	3	2	1
2	1	3	1	3	2	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1	3	2
1	3	2	1	2	3	1	3	2	3	2	1	1	2	3	2	3	1
3	2	1	3	1	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	2	1	3
3	1	2	1	3	2	3	1	2	2	1	3	2	3	1	1	2	3
3	1	2	2	3	1	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
1	2	3	2	3	1	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	3	1
2	1	3	2	1	3	1	2	3	3	1	2	3	1	2	1	2	3
2	1	3	2	1	3	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1
1	3	2	1	3	2	3	2	1	1	3	2	3	1	2	2	1	3
2	3	1	1	3	2	1	2	3	1	3	2	2	3	1	1	3	2
2	1	3	3	1	2	3	2	1	3	1	2	1	3	2	3	1	2
3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	2	3	2	3	1	3	2	1

Table G-2 Ranking data by using the extent analysis method (continue)

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2	3	2	3	1	3	2	1	1	2	3	2	3	1	1	3	2
3	1	2	2	1	3	3	2	1	3	1	2	3	2	1	2	1	3
2	3	1	3	2	1	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	2	3
2	3	1	2	1	3	3	1	2	3	2	1	1	2	3	3	2	1
1	3	2	3	1	2	3	1	2	1	3	2	3	1	2	1	3	2
2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	2	3	1	2	1	3
3	1	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	1	3	2
2	3	1	2	1	3	3	1	2	2	1	3	2	3	1	2	1	3
1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3	2	1	3	2	3	1
2	3	1	3	1	2	3	1	2	1	3	2	3	1	2	3	2	1
2	1	3	2	1	3	2	3	1	2	1	3	2	1	3	2	3	1
3	1	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	1	3	1	2	3
2	3	1	1	2	3	3	1	2	3	1	2	1	3	2	2	3	1
2	3	1	1	3	2	1	2	3	3	2	1	2	3	1	1	2	3
3	1	2	3	2	1	2	1	3	3	2	1	1	3	2	1	3	2
1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	3	1	2	3	1
3	2	1	1	3	2	2	3	1	3	1	2	2	3	1	3	2	1
1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	3	1	1	3	2	1	2	3
3	2	1	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2
2	1	3	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	1	3	3	1	2
1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1	1	3	2	3	1	2
1	3	2	1	3	2	2	3	1	1	3	2	2	3	1	3	1	2
1	2	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	3	1	3	2	1
1	2	3	3	1	2	1	2	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1
1	3	2	1	3	2	2	3	1	2	3	1	1	2	3	1	2	3
1	2	3	1	3	2	3	2	1	2	1	3	3	1	2	3	2	1
1	2	3	3	1	2	2	1	3	1	2	3	3	1	2	1	2	3
2	1	3	1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	1	3	3	1	2
1	2	3	2	1	3	2	1	3	2	3	1	1	3	2	3	2	1
1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3	2	3	1	3	2	1
3	1	2	2	1	3	2	3	1	3	2	1	3	2	1	1	3	2
1	2	3	1	3	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
3	1	2	1	2	3	1	2	3	2	1	3	2	3	1	3	1	2
1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3
2	3	1	1	3	2	1	2	3	1	3	2	2	3	1	1	2	3
2	3	1	2	3	1	1	2	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3
3	2	1	3	2	1	1	3	2	2	1	3	1	3	2	1	2	3
1	3	2	3	1	2	1	3	2	2	1	3	3	2	1	1	3	2

Table G-2 Ranking data by using the extent analysis method (continue)

Rank																	
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2	1	3	3	1	2	3	1	2	3	2	1	2	1	3	3	2	1
1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	2	3	3	2	1	3	2	1
3	2	1	3	2	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	2	1	3
2	3	1	1	3	2	3	1	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
1	3	2	3	1	2	1	2	3	3	2	1	2	1	3	2	1	3
2	1	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	1	3	1	2	3
1	2	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	3	1	2	1	2	3
1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	2	1	3	2	1	2	3	1
1	2	3	1	3	2	1	3	2	2	3	1	3	2	1	1	3	2
3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	2	1	3	2	1	1	2	3
3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	1	3
2	3	1	1	2	3	2	1	3	2	3	1	1	3	2	2	3	1
2	3	1	2	1	3	1	2	3	1	3	2	2	3	1	1	3	2
1	2	3	1	3	2	2	1	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
3	1	2	1	3	2	1	2	3	3	2	1	2	1	3	2	3	1
2	3	1	3	2	1	3	2	1	1	3	2	3	1	2	1	2	3
1	2	3	1	2	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	1	3	2
1	2	3	2	3	1	3	2	1	1	3	2	1	2	3	3	2	1
1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	1	3	1	3	2
2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	1	3	1	2	3	2	3	1
1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	3	1	1	2	3	1	3	2
2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	1	2	1	2	3	3	1	2
2	1	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	1	3
3	2	1	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	2	1	3
3	1	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3
1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	1	2	1	2	3	3	1	2
3	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1
2	3	1	1	2	3	1	3	2	2	1	3	1	2	3	2	3	1
1	2	3	1	3	2	3	1	2	1	3	2	2	1	3	1	2	3
3	2	1	3	2	1	3	1	2	1	3	2	3	1	2	1	2	3
1	3	2	2	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2
1	2	3	3	2	1	2	3	1	1	2	3	1	3	2	3	1	2
2	3	1	1	2	3	3	2	1	1	3	2	1	3	2	1	2	3
1	3	2	2	1	3	2	3	1	2	3	1	3	2	1			
3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	3	2	2	3	1			
1	2	3	2	3	1	1	2	3	2	1	3	1	2	3			
2	3	1	1	2	3	3	1	2	3	1	2	1	3	2			
2	3	1	1	3	2	3	2	1	2	3	1	2	1	3			
2	3	1	1	2	3	1	3	2	3	2	1	3	1	2			
3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	1	3	2			
3	1	2	1	2	3	3	2	1	1	3	2	2	3	1			

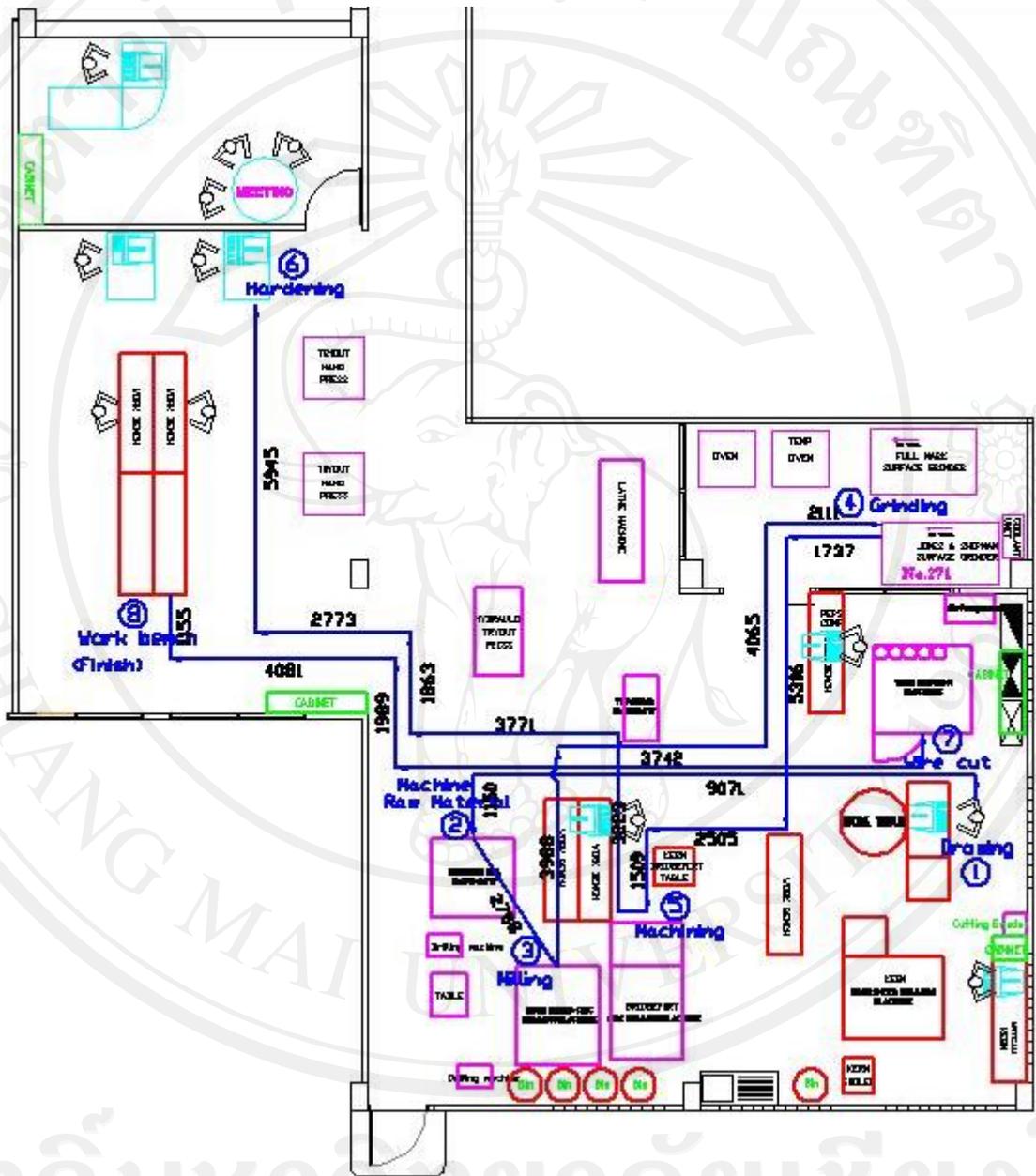


APPENDIX H

A case study's facility layout

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved





APPENDIX I

Antcoba coding by MATLAB®

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

main.m

```

[iter,m,lt,n,e,alpha,beta,h,ds,t] = ants_information; %prepare information
for i=1:iter
    [app]=ants_primaryplacing(m,n); %place ant in random position
    [at]=ants_cycle(app,m,n,h,t,alpha,beta);
    [cost,c]=ants_cost(m,n,lt,at);
    [t]=ants_traceupdating(m,n,t,at,c,e); % evaporation & deposit
    costoa(i)=mean(cost); %information from each iteration of ants_cost
    [mincost(i),number]=min(cost);
    besttour(i,:)=at(number,:);
    iteration(i)=i;
end

subplot(2,1,1);plot(iteration,costoa);
title('average of objective value versus number of cycles');
xlabel('iteration');
ylabel('days');

subplot(2,1,2);plot(iteration,mincost);
xlabel('iteration');
ylabel('days');
[z,w]=min(mincost); % z =value of mincost, w = position of the mincost value
title(['optimum objective value is ',num2str(z)]); %convert value k to string

parameter = besttour(w,:);
transform = parameter/2

xlswrite('Antcoba.xlsx', transform, 'Parameter', 'C5');

```

ants_information.m

```

function [iter,m,lt,n,e,alpha,beta,h,ds,t]=ants_information;
iter=1000;%number of cycles.
m=200;%number of ants.
lt = xlsread('Antcoba.xlsx', 'Graph', 'C3:L12'); % lead time from Arena output.
n = length(lt);
e=0.1;%evaporation coefficient.
alpha=1;%order of effect of ants' sight.
beta=1.5;%order of trace's effect.
y = xlsread('Antcoba.xlsx', 'Graph', 'C17:L26'); %delivery reliability from Arena
output.
h = y * 0.1;
ds = 0.06757; %delivery reliability standard.

for i=1:n
    for j=1:n
        if h(i,j)<=ds;
            h(i,j)=0.00001;
        end
    end
end

s=0.0001*ones(n);%primary tracing.
pp = xlsread('Antcoba.xlsx', 'Graph', 'C30:L39'); % prepared path from Arena output.
t = s + pp;

for i=1:n
    for j=1:n
        if h(i,j) <= 0.00001;
            t(i,j)=0.00001;
        end
    end
end
end

```

ants_primaryplacing.m

```

function [app]=ants_primaryplacing(m,n);
rng('shuffle'); %Resets it to a different state each time.
for i=1:m % units of ant
    app(i,1)=fix(1+rand*(n));%ants primary placing. want to make matrix "i x 1" with
interger from command "fix" round down
end

```

ants_cycle.m

```

function [at]=ants_cycle(app,m,n,h,t,alpha,beta);
for i=1:m
    mh=h;
    for j=1
        c=app(i,j);
        temp=(t(c,:).^alpha).*(mh(c,:).^beta);
        s=sum(temp);
        p=(1/s).*temp; %the probability with which ant k, from i to choose j
        s=0;
        [value,pos]=max(p);
        % g = 0
        % g = max(p) %find maximum value of p
        % pos = find(p>=g)
        app(i,j+1)= pos;
    end
end
at=app;% generation of ants tour matrix during a cycle.

```

ants_cost.m

```

function [cost,c]=ants_cost(m,n,lt,at);
for i=1:m
    s=0;
    for j=1
        s=s+lt(at(i,j),at(i,j+1));
    end
    c(i)=s;
end
cost=c;

```

ants_traceupdating.m

```

function [t]=ants_traceupdating(m,n,t,at,c,e);
for i=1:m
    for j=1
        dt=1/c(i); %Ck the amount of pheromone ant k deposits on the arcs it has visited
        t(at(i,j),at(i,j+1))=(1-e)*t(at(i,j),at(i,j+1))+dt;%updating traces.[Pheromone
        evaporation & Pheromone deposit]
    end
end

```

CURRICULUM VITAE

Name Mr. Jirapat Wanitwattanakosol

Date of birth June 10, 1979

Education B.Eng (Industrial Engineering), Chiang Mai University, 2002

M.Eng (Industrial Engineering), Chulalongkorn University, 2007

Scholarship Muroan IT Short-term Student Exchange Promotion

The Royal Golden Jubilee Ph.D Program (Grant No. PHD/0117/2552)

Award The Royal Golden Jubilee Ph.D Program Outstanding Research Awards

2013, The Thailand Research Fund

Papers in International Journal

- Wanitwattanakosol, J., Sopadang, A., and Shi, J. An enhanced lean tool performance for make-to-order industry by using hybrid optimal algorithm. *International Journal of Logistics Economics and Globalisation*, 5(1), 30-42, 2013.
- Sopadang, A., Wanitwattanakosol, J., Sukcharoen, K., and Tiwong, S. An application of value network mapping in workload control concept. *Memoirs of Muroan IT*, 62, 21-26, 2012.
- Wanitwattanakosol, J., and Sopadang, A. Lean manufacturing systems in small and medium enterprises: A framework for lean tools integration. *International Journal of Mechanic Systems Engineering*, 2(2), 7-11, 2012.
- Wanitwattanakosol, J., Wichaisri, S., and Sopadang, A., A performance improvement tool for Thai MTO manufacturing. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34(1), 93-102, 2012.
- Wanitwattanakosol, J., and Sopadang, A. A framework for implementing lean manufacturing system in small and medium enterprises. *Applied Mechanics and Materials*, 110-116, 3997-4003, 2012.