



แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หามูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร **PRODUCTION LOSS ANALYSIS MODEL USING OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS APPROACH**

รัฐพล วุฒิการณ์ และ ประเสริฐ อัครประถมพงค์

Ratapol Wudhikarn and Prasert Akkharaprathomphong

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ : 0-2218-6847, โทรสาร 0-2251-3969, Email : o_un277@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองใหม่เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดการทำงานของเครื่องจักร โดยมีจุดมุ่งหมายในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบในดัชนีค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร หรือค่า Overall Equipment Efficiency (OEE) ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในเรื่อง การกำหนดน้ำหนักหรือความสำคัญในแต่ละมุมมองของค่า OEE การเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรชนิดเดียวกันที่มีกำลังการผลิตแตกต่างกัน และการเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรต่างชนิดกัน จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมานี้ทำให้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่ได้จากค่าของตัวชี้วัดนี้คลาดเคลื่อนไป และส่งผลทำให้ลำดับการแก้ไขปัญหาเกิดความคลาดเคลื่อนไปด้วย ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองใหม่ขึ้น โดยทำการคำนวณมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร และจัดทำโปรแกรมขึ้นเพื่อใช้ในการบันทึกและประมวลผลข้อมูลตามแบบจำลองที่ออกแบบไว้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองใหม่นี้สามารถลำดับปัญหาของเครื่องจักรต่างๆได้โดยใช้มูลค่าความสูญเสียเป็นมูลค่าเงิน โดยสามารถแก้ไขปัญหาเดิมของค่า OEE ที่มีอยู่

ABSTRACT

This paper has an objective to create a new model for evaluating the performance and efficiency of machine. The intention of this paper is to improve the problems in overall equipment efficiency indicator. The problems of this KPI are a weight setting of each view in OEE, the comparison of OEE on the similar machine type and the comparison of OEE on different machine type. All problems can make a wrong priority of machine problem, so these machines can be wrongly improvement in priority. The researcher has created a new model to calculating the production loss in machines by using OEE approach and has made a program for recording and calculating OEE and production loss in machines. The result of this new calculating model has shown that the problems found on OEE indicator are eradicated. This model can arrange problem priority correctly by showing a production loss in monetary unit.

1. บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่รุนแรง ณ ปัจจุบัน ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต่างๆต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาสินค้าทางด้าน คุณภาพ ราคา และการส่งมอบ อีกทั้งปัจจุบัน เทคโนโลยีการผลิตได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการประดิษฐ์เครื่องจักรต่างๆเพื่อทดแทนการใช้แรงงานคนมากขึ้น ดังนั้นเครื่องจักรจึงเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้องค์กรสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ถ้าเครื่องจักรนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยปราศจากความสูญเสียต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ความสูญเสียจากการขัดข้องของเครื่องจักร (Breakdown Losses) ความสูญเสียจากการปรับตั้งปรับแต่งเครื่องจักร (Setup and Adjustment Losses) ความสูญเสียจากการหยุดเล็กน้อยและการเดินเครื่องตัวเปล่า (Minor Stoppage and Idling Losses) ความสูญเสียความเร็วของเครื่องจักร (Speed Losses) ความสูญเสียจากการผลิตของเสีย (Defect) และงานแก้ไข (Rework) และ ความสูญเสียช่วงเริ่มต้นการผลิต (Start up Losses) โดยความสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นเหล่านี้ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพ และประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้นตัวชี้วัดผลการทำงานของเครื่องจักรที่เหมาะสม ที่สามารถบ่งบอกได้ถึงขนาดความรุนแรงของปัญหา และลำดับความสำคัญของปัญหาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะทำให้องค์กรได้รับรู้ถึงสถานะปัจจุบัน และทำการกำหนดคนโยบายหรือแก้ไขปัญหามีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่องค์กรในลำดับต้นๆให้หมดไปหรือลดน้อยลง เพื่อที่องค์กรจะสามารถดำรงอยู่ได้อย่างมั่นคงถาวร และทำการแข่งขันกับคู่แข่งทางการค้าในระดับสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันตัวชี้วัดสถานะของเครื่องจักรที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในระดับสากล คือ ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร หรือ ค่า Overall Equipment Effectiveness (OEE) แต่จากการใช้งานจริงของผู้วิจัย และจากการศึกษางานวิจัยต่างๆทำให้พบข้อบกพร่องของตัวชี้วัดนี้ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในเรื่อง น้ำหนักความสำคัญในแต่ละมุมมองที่เป็นส่วนประกอบของ OEE การเปรียบเทียบ

ค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรชนิดเดียวกันแต่มีกำลังการผลิตแตกต่างกัน และการเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรต่างชนิดกัน จากปัญหาต่างๆที่กล่าวมานี้ทำให้การจัดลำดับความรุนแรงหรือความสำคัญของปัญหาที่ได้จากค่าของตัวชี้วัดนี้คลาดเคลื่อน และส่งผลให้ลำดับการแก้ไขปัญหาคคลเคลื่อนไปด้วย จากปัญหาที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงศึกษาหาแนวทางความเป็นไปได้ ขั้นตอน และวิธีการในการคำนวณความสูญเสียต่างๆตามแนวทางของ OEE โดยคำนวณเป็นมูลค่าเงินจากความสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อให้ความสูญเสียต่างๆที่พบ ถูกแสดงด้วยหน่วยวัดเดียวกัน และสามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างกันได้

งานวิจัยชิ้นนี้จึงเกี่ยวข้องกับการศึกษา และการจัดทำรูปแบบวิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียจากการทำงานของเครื่องจักร โดยใช้แนวทาง OEE เพื่อที่จะทำให้สามารถระบุได้ถึงลำดับความสำคัญในการแก้ไขปัญหของแต่ละเครื่องจักรได้อย่างเหมาะสมกว่าแนวคิดเดิม

2. โครงสร้างและวิธีการคำนวณ OEE

OEE เป็นค่าดัชนีที่ใช้ในการชี้วัด ซึ่งครอบคลุมถึงการวัดประสิทธิภาพ และประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักร โดยแบ่งการออกเป็น 3 มุมมองหลักๆ คือ อัตราการเดินเครื่อง (Availability Rate : A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency : P) และอัตราคุณภาพ (Quality Rate : Q)

อัตราการเดินเครื่อง (A) คือ ความพร้อมของเครื่องจักรในการทำงาน เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเวลาเดินเครื่อง (Operating Time) กับ เวลาเริ่มภาระงาน (Loading Time)

$$\text{อัตราการเดินเครื่อง} = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Loading Time}} \quad (1)$$

ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) คือ สมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเวลาเดินเครื่องสุทธิ (Net Operating Time) กับ เวลาเดินเครื่อง (Operating Time)

$$\text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง} = \frac{\text{Net Operating Time}}{\text{Operating Time}} \quad (2)$$

อัตราคุณภาพ (Q) คือ ความสามารถในการผลิตของดีให้ตรงตามข้อกำหนดของเครื่องจักรและตามข้อกำหนดของลูกค้าต่อจำนวนของที่ผลิตได้ทั้งหมด

$$\text{อัตราคุณภาพ} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานดี}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \quad (3)$$

ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร คือ ค่าที่ได้จากผลคูณระหว่างอัตราเดินเครื่องปกติ ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ ซึ่งแสดงถึงความพร้อมของเครื่องจักรในการใช้งานว่าเป็นอย่างไร การเดินเครื่องจักรเต็มความสามารถหรือไม่ มีการผลิตชิ้นงานเสียมากน้อยเท่าไร ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพโดยรวมจะเท่ากับ

$$\text{OEE} = \frac{\text{อัตราการเดินเครื่อง} \times \text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง} \times \text{อัตราคุณภาพ}}{\text{เดินเครื่อง} \times \text{อัตราคุณภาพ}} \quad (4)$$

3. สภาพปัญหาของ OEE

เนื่องด้วยบริษัทที่ทำการวิจัยนั้นมีปริมาณเครื่องจักรจำนวนมาก และเครื่องจักรแต่ละเครื่องนั้นก็จะมีประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรที่แตกต่างกันไป โดยประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรในปี 2550 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรในปี 2550 แยกแต่ละ โรงงาน

โรงงาน	เครื่อง	A	P	Q	OEE
S1	H1	89.0%	81.4%	98.0%	70.9%
	H2	91.2%	79.7%	98.1%	71.3%
	H3	90.3%	82.3%	97.9%	72.8%
	H4	84.7%	77.9%	96.4%	63.6%
	H5	89.1%	84.7%	98.8%	74.6%
	C1	96.3%	80.1%	99.1%	76.5%
	C2	96.0%	81.3%	99.3%	77.6%
	C3	97.1%	80.0%	99.3%	77.2%
	C4	96.9%	79.9%	99.2%	76.7%
	C5	95.3%	77.7%	98.9%	73.2%

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพโดยรวมเฉลี่ยของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรในปี 2550 แยกแต่ละ โรงงาน (ต่อ)

โรงงาน	เครื่อง	A	P	Q	OEE
S2	H1	90.0%	82.3%	99.1%	73.3%
	H2	91.3%	79.8%	98.2%	71.5%
	H3	90.3%	82.3%	97.9%	72.8%
	H4	89.6%	82.4%	95.5%	70.5%
	H5	90.4%	85.9%	96.9%	75.2%
	C1	97.4%	81.0%	98.2%	77.5%
	C2	96.1%	81.4%	99.0%	77.5%
	C3	97.1%	80.0%	99.3%	77.1%
	C4	97.0%	80.0%	99.3%	77.0%
	C5	96.7%	79.6%	99.8%	76.7%
S3	H1	90.4%	78.0%	98.9%	69.7%
	H2	90.1%	78.6%	98.0%	69.4%
	H3	93.2%	75.5%	97.7%	68.8%
	H4	89.2%	83.2%	98.8%	73.3%
	C1	94.6%	81.2%	98.9%	76.0%
	C2	94.7%	82.2%	99.4%	77.4%
	C3	96.4%	80.1%	99.4%	76.8%
	C4	96.1%	79.9%	99.1%	76.1%
S4	H1	91.7%	78.1%	98.4%	70.4%
	C1	92.0%	81.1%	98.1%	73.2%
	C2	93.3%	77.1%	99.1%	71.3%

ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการตัดสินใจเพื่อที่จะนำไปกำหนดเป็นนโยบายในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักรในปีถัดไป ซึ่งโดยปกติแล้วทางฝ่ายบริหารจะทำการกำหนดนโยบายในการปรับปรุงเครื่องจักร โดยเลือกเครื่องจักรที่มีค่า OEE ที่ต่ำที่สุดก่อน แต่จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ นั้นพบว่าค่า OEE ที่ต่ำที่สุดอาจจะไม่ได้หมายความว่าเครื่องจักรนั้นมีความสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรหรือโรงงานมากที่สุด หรือแม้แต่ว่า

Availability Rate, Performance Efficiency และ Quality Rate ที่เท่ากัน ก็ไม่ได้บ่งบอกว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นของแต่ละมุมมองนั้นจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น บางครั้งการให้ความสำคัญของแต่ละมุมมองอาจมีความแตกต่างกันไป โดยมีการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละมุมมอง (A. Raouf, 1994) ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่า OEE ของเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไป จากวิธีการคำนวณแบบเดิม (S. Nakajima) ที่มีการให้น้ำหนักความสำคัญเท่ากันหมดในทุกมุมมอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างวิธีคิดของ S. Nakajima และ A. Raouf

เครื่อง	A	P	Q	OEE (Nakajima)	OEE (Raouf)
S1 - H1	89.0%	81.4%	98.0%	71.0%	90.9%
S1 - H2	91.2%	79.7%	98.1%	71.3%	90.8%
Weight	0.20	0.30	0.50	-	-

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า วิธีการคิดค่า OEE ของ S. Nakajima ทำให้ค่า OEE ของเครื่อง Hatschek 1 มีค่าน้อยกว่าเครื่อง Hatschek 2 แต่วิธีคิดของ A. Raouf ทำให้ค่า OEE ของเครื่อง Hatschek 1 มีค่ามากกว่าเครื่อง Hatschek 2 จาก 2 วิธีคิดนี้ แสดงให้เห็นถึงการลำดับความสำคัญของปัญหาที่แตกต่างกัน วิธีคิดของ A. Raouf เป็นวิธีที่ค่อนข้างเหมาะสมเนื่องจากโดยปกติแล้วความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมมองของ OEE นั้นจะไม่เท่ากัน การให้ความสำคัญของแต่ละมุมมองจึงไม่ควรที่จะเท่ากันด้วย แต่งานวิจัยของ A. Raouf เองก็ยังไม่ได้มีการระบุวิธีการ กำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละมุมมองไว้

ในงานวิจัยอีกชิ้นหนึ่ง (Ohwoon Kwon & Hongchul Lee, 2004) ได้นำเสนอวิธีการคิดมูลค่าเงินที่จะเพิ่มกำไร และลดต้นทุน จากการเพิ่มขึ้นของ OEE 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีคิดเป็นมูลค่าเงินของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการแสดงให้เห็นถึงลำดับความสำคัญของเครื่องจักรที่ควรเข้าไปทำการปรับปรุงก่อน-หลัง ได้ด้วยมูลค่าของเงินที่จะได้จากการปรับเพิ่ม OEE ในแต่ละ 1 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละเครื่องจักร แต่จากวิธีคิดแบบนี้เองก็

ยังมีส่วนที่ไม่สามารถบ่งบอกการลดต้นทุน (หรือ มูลค่าของความสูญเสีย) ได้อย่างถูกต้อง อันเนื่องมาจากการคิดว่า OEE ที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์นั้นจะส่งผลทำให้ต้นทุนลดลงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แต่จริงๆแล้ว OEE ประกอบไปด้วย 3 มุมมองหลักๆ ดังนั้นเมื่อมุมมองใดมุมมองหนึ่งเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลทำให้ลดต้นทุนได้แตกต่างกัน ยกตัวอย่าง เช่น ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกัน

แบบที่	A	P	Q	OEE	ความสูญเสีย
1	75%	100%	100%	75%	ค่าเสียโอกาส
2	100%	100%	75%	75%	ค่าเสียโอกาส ค่าไฟฟ้า เชื้อเพลิง น้ำ ค่าวัสดุ ทางตรง

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่า OEE ที่เท่ากันนั้น อาจมีความแตกต่างของความสูญเสียที่เกิดขึ้นของแต่ละรูปแบบ ดังเช่นจากตารางที่ 3 ในกรณีที่ค่า OEE เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์นั้น การลดต้นทุนในรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 นั้นจะส่งผลที่แตกต่างกันไป โดยรูปแบบที่ 2 จะสามารถลดต้นทุนได้มากกว่า

นอกจากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยทั่วไปค่า OEE นั้นก็ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบข้ามประเภทเครื่องจักรได้อย่างเหมาะสม หรือแม้กระทั่งระหว่างเครื่องจักรชนิดเดียวกัน แต่มีกำลังการผลิตที่แตกต่างกันก็ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้อย่างเหมาะสมเช่นกัน โดยสาเหตุนั้นก็เนื่องมาจากหลายๆปัจจัยเช่น กำลังการผลิต ต้นทุนของวัตถุดิบ จำนวนพนักงานที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ฯลฯ ยกตัวอย่างเช่น Quality Rate เครื่อง C5 โรงงาน S1 นั้นมีค่าเท่ากับ 98.9% ซึ่งมีค่ามากกว่า

ของเครื่อง H5 โรงงาน S1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.8% แต่จริงๆ แล้วความสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก Quality Rate ของเครื่อง C5 จะมีมูลค่าความสูญเสียที่มากกว่าเครื่อง H5 ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบมูลค่าความสูญเสียจาก Quality Rate ระหว่างเครื่อง H5 และ C5 โรงงาน S1

เครื่องจักร	S1 – H5	S1 - C5
Quality Rate	98.8%	98.9%
มูลค่าความสูญเสีย (ล้านบาท)		
ค่าวัสดุทางตรง	3.9	4.67
ค่าใช้จ่ายในการผลิต	0.83	0.92
ค่าไฟฟ้า	0.23	0.37
ค่าเสียโอกาสในการขาย	1.25	1.49
รวมมูลค่าความสูญเสีย	6.23	7.45

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า Quality Rate ของเครื่อง C5 โรงงาน S1 ที่มีค่ามากกว่าเครื่อง H5 โรงงาน S1 นั้นจะมีมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นของเครื่อง C5 โรงงาน S1 มากกว่าเครื่อง H5 โรงงาน S1 ทั้งๆที่ Quality Rate ของเครื่อง C5 มีค่ามากกว่า 0.10% แต่กลับมีมูลค่าความสูญเสียสูงกว่าถึง 1.22 ล้านบาท

4. แบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

ค่า OEE เป็นตัวชี้วัดที่ทำการชี้วัดความสูญเสียในเครื่องจักรถึง 3 มุมมอง ซึ่งทำให้มองเห็นความสูญเสียของเครื่องจักรได้อย่างครอบคลุม แต่อย่างไรก็ดีค่า OEE ยังมีปัญหาในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ ความสำคัญของแต่ละมุมมองภายใน OEE ที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรต่างประเทศ และการเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรประเภทเดียวกันแต่กำลังการผลิตที่แตกต่างกันไป เพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆของ OEE งานวิจัยนี้

จึงนำเสนอแบบจำลองแบบใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาเดิมของค่า OEE โดยทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยแสดงมูลค่าความสูญเสียเป็นมูลค่าเงิน เพื่อกำจัดปัญหาในเรื่องความสำคัญของแต่ละมุมมองที่แตกต่างกัน หรือความแตกต่างระหว่างเครื่องจักร โดยสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

แบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต ยังคงแบ่งมุมมองความสูญเสียเป็น 3 มุมมองหลักเช่นเดียวกับ OEE โดยแบบจำลองที่นำเสนอจะทำการคำนวณความสูญเสียเป็นมูลค่าเงิน โดยคำนวณจากต้นทุนที่มีความเกี่ยวข้องในแต่ละมุมมอง โดยความสูญเสียของต้นทุนที่เกี่ยวข้องในแต่ละมุมมองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงต้นทุนที่มีความสัมพันธ์กับแต่ละมุมมองของค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

ประเภทต้นทุน		OEE			
		A	P	Q	
				Reject	Rework
ต้นทุนการผลิต	ต้นทุนเสียโอกาส	✓	✓	✓	✗
	ค่าวัสดุทางตรง	✗	✗	✓	✗
	ค่าแรงงานทางตรง	✓	✓	✓	✓
	ค่าวัสดุทางอ้อม	✓	✓	✓	✓
	ค่าแรงงานทางอ้อม	✓	✓	✓	✓
	ค่าสาธารณูปโภค	✗	✓	✓	✓
	ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	✓	✓	✓	✓
	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	✓	✓	✓	✓
	ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร	✓	✓	✓	✓
	ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์	✓	✓	✓	✓
	ค่าสวัสดิการ	✓	✓	✓	✓
	ค่าแก้ไขงาน (Rework)	✗	✗	✗	✓

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงความสูญเสียทางด้านต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมมอง โดยในมุมมอง Quality Rate จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ ของเสีย (Reject) และ งานแก้ไข (Rework) เนื่องจากแต่ละประเภทจะมีความสูญเสียที่แตกต่างกันไปโดยของเสีย

จะไม่มีต้นทุนในเรื่องค่าแก้ไขงาน ในทางตรงข้ามงานแก้ไข ก็จะไม่มีความสูญเสียโอกาส และค่าวัสดุทางตรง แต่จะมีความสูญเสียค่าแก้ไขงานแทน

เนื่องด้วยความสูญเสียของแต่ละมุมมองภายใน OEE มีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องรูปแบบความสูญเสีย เช่น เวลา อัตราการผลิต หรือ จำนวนของดี และเรื่องต้นทุนที่สูญเสียต่างกันไปในแต่ละมุมมอง จึงต้องทำการกำหนดวิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสีย ของแต่ละมุมมองดังนี้

4.1 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียในมุมมอง อัตราการเดินเครื่อง ความสูญเสียในมุมมองนี้ เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเราต้องการใช้เครื่องจักรแต่เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ (Machine Availability) ดังนั้นความสูญเสียหลักๆจะทำการคำนวณจากเวลาที่สูญเสียไปคูณด้วยค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปต่อหน่วยเวลา โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับมุมมองนี้ถูกแสดงดังตารางที่ 5 ช่อง A ซึ่งแต่ละรายการจะทำการคำนวณแตกต่างกันไปดังนี้

$$\text{ต้นทุนเสียโอกาส} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)} \times \text{กำไรต่อหน่วย (บาท/หน่วย)} \quad (5)$$

$$\text{ค่าแรงงานทางตรง} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าแรงทางตรง (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (6)$$

$$\text{ค่าวัสดุทางอ้อม} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าวัสดุทางอ้อม (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (7)$$

$$\text{ค่าแรงงานทางอ้อม} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าแรงทางอ้อม (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (8)$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (9)$$

$$\text{ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (10)$$

$$\text{ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (11)$$

$$\text{ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (12)$$

$$\text{ค่าสวัสดิการ} = \text{Loss Time (ชม.)} \times \text{ค่าสวัสดิการ (บาท/เดือน)} / \text{Loading Time (ชม./เดือน)} \quad (13)$$

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของอัตราการเดินเครื่องคำนวณจากผลรวมของสมการที่ (5) ถึงสมการที่ (13)

โดยที่

$$\text{Loss Time} = \text{Breakdown Time} + \text{Set up and Adjustment Time} \quad (14)$$

4.2 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียในมุมมอง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง ความสูญเสียในมุมมองนี้เป็นความสูญเสียอันเนื่องมาจากเครื่องจักรมีความผิดพลาดหรือบกพร่องทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามจำนวนที่กำหนดในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นความสูญเสียหลักๆจะทำการคำนวณจากชิ้นงานที่ไม่สามารถผลิตได้ตามกำลังการผลิตของเครื่องจักร หรือคำนวณจากเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่สูญเสียไป แล้วนำมาคูณด้วยค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปต่อหน่วยเวลา โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับมุมมองนี้ถูกแสดงดังตารางที่ 5 ช่อง P ซึ่งแต่ละรายการจะทำการคำนวณแตกต่างกันไปดังนี้

$$\text{ต้นทุนเสียโอกาส} = \text{Loss Unit (หน่วย)} \times \text{กำไรต่อหน่วย (บาท/หน่วย)} \quad (15)$$

$$\text{ค่าแรงงานทางตรง} = [\text{Loss Unit (หน่วย)} / \text{กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าแรงทางตรง (บาท/เดือน)} / \text{Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (16)$$

$$\text{ค่าวัสดุทางอ้อม} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าวัสดุทางอ้อม (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (17)$$

$$\text{ค่าแรงงานทางอ้อม} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าแรงทางอ้อม (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (18)$$

$$\text{ค่าสาธารณูปโภค} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าสาธารณูปโภค (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (19)$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (20)$$

$$\text{ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม.)} \quad (21)$$

$$\text{ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (22)$$

$$\text{ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (23)$$

$$\text{ค่าสวัสดิการ} = [\text{Loss Unit (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าสวัสดิการ (บาท/เดือน) / Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (24)$$

โดยที่

$$\text{Loss Unit} = \text{จำนวนหน่วยผลิตสูงสุด} - \text{จำนวนหน่วยที่ผลิตได้จริง} \quad (25)$$

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราการเดินทางเครื่องคำนวณจาก ผลรวมของสมการที่ (15) ถึงสมการที่ (24)

4.3 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียในมุมมองอัตราคุณภาพ ความสูญเสียในมุมมองนี้เป็นความสูญเสียที่ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีปัญหาด้านคุณภาพ ซึ่งสาเหตุมาจากเครื่องจักรมีความผิดพลาดหรือบกพร่องทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตรงตามข้อกำหนดของกระบวนการหรือของลูกค้า โดยความสูญเสียนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ของเสีย และ งานแก้ไข ซึ่งแต่ละประเภทจะมีความสูญเสียที่แตกต่างกันไปดังนี้

4.3.1 ของเสีย (Reject) เป็นความสูญเสียที่ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีปัญหาด้านคุณภาพ โดยไม่สามารถนำกลับมาแก้ไขเพื่อนำไปขายได้ ดังนั้นความสูญเสียหลักๆจะทำการคำนวณจากชิ้นงานที่สูญเสียไป หรือคำนวณจากเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่สูญเสียไป แล้วนำมาคูณด้วยค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปต่อหน่วยเวลา โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับมุมมองนี้ถูกแสดงดังตารางที่ 5 ช่อง Q และช่องย่อย Reject ซึ่งแต่ละรายการจะทำการคำนวณแตกต่างกันไปดังนี้

$$\text{ต้นทุนเสียโอกาส} = \text{จำนวนของเสีย (หน่วย)} \times \text{กำไรต่อหน่วย (บาท/หน่วย)} \quad (26)$$

$$\text{ค่าวัสดุทางตรง} = \text{จำนวนของเสีย (หน่วย)} \times \text{ค่าวัสดุทางตรง (บาท/หน่วย)} \quad (27)$$

$$\text{ค่าแรงงานทางตรง} = [\text{จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าแรงเฉลี่ย (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (28)$$

$$\text{ค่าวัสดุทางอ้อม} = [\text{จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)}] \times \text{ค่าวัสดุทางอ้อม (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน)} \quad (29)$$

ค่าแรงงานทางอ้อม = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าแรงทางอ้อม (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (30)

ค่าสาธารณูปโภค = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าสาธารณูปโภค (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (31)

ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (32)

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (33)

ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (34)

ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (35)

ค่าสวัสดิการ = [จำนวนของเสีย (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าสวัสดิการ (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (36)

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราคุณภาพประเภทของเสีย คำนวณจากผลรวมของสมการที่ (26) ถึงสมการที่ (36)

4.3.2 งานแก้ไข (Rework) เป็นความสูญเสียที่ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีปัญหาด้านคุณภาพ โดยสามารถนำกลับมาแก้ไขเพื่อนำไปขายได้ ดังนั้นความ

สูญเสียหลักๆจะทำการคำนวณจากชิ้นงานที่ด้อยแก้ไข หรือ คำนวณจากเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่ต้องแก้ไข แล้วนำมาคูณด้วยค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปต่อหน่วยเวลา โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับมุมมองนี้ถูกแสดงดังตารางที่ 5 ช่อง Q และช่องย่อย Rework ซึ่งแต่ละรายการจะทำการคำนวณแตกต่างกันไปดังนี้

ค่าแรงงานทางตรง = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าแรงงานทางตรง (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (37)

ค่าวัสดุทางอ้อม = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าวัสดุทางอ้อม (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (38)

ค่าแรงงานทางอ้อม = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าแรงงานทางอ้อม (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (39)

ค่าสาธารณูปโภค = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าสาธารณูปโภค (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (40)

ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (41)

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (42)

ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (43)

ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (44)

ค่าสวัสดิการ = [จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) / กำลังการผลิตสูงสุด (หน่วย/ชม.)] x ค่าสวัสดิการ (บาท/เดือน) / Net Operating Time (ชม./เดือน) (45)

ค่าแก๊สงาน = จำนวนของที่ต้องแก้ไข (หน่วย) x ค่าแก๊สงาน (บาท/หน่วย) (46)

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราคุณภาพประเภทงานแก้ไข คำนวณจากผลรวมของสมการที่ (38) ถึงสมการที่ (46) และมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของอัตราคุณภาพ คำนวณจากผลรวมของสมการที่ (26) ถึงสมการที่ (46)

แบบจำลองที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องจักรที่ทำการผลิตหลายผลิตภัณฑ์ โดยต้นทุนที่สามารถแยกได้อย่างชัดเจน เช่น ต้นทุนเสียโอกาส ต้นทุนวัตถุดิบ ค่าแก๊สงาน ฯลฯ สามารถคำนวณได้โดยปริมาณที่รับรู้ได้โดยตรง ส่วนต้นทุนที่มีการรับรู้โดยรวมก็สามารถแบ่งส่วนด้วย ชั่วโมงเครื่องจักร (Loading Time, Operating Time และ Net Operating Time) หรือ จำนวนหน่วยสินค้าที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่แสดงไปข้างต้น

5. กรณีศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

ตัวอย่างการใช้งานแบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ได้ถูกนำมาทดลองใช้งาน ณ บริษัทผู้ผลิตกระเบื้องมุงหลังคารายหนึ่ง

เครื่องจักรที่นำเสนอตัวอย่างวิธีการคำนวณแบบจำลอง คือ เครื่องจักร H4 โรงงาน S1 เดือน เมษายน ปี 2551 โดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับค่า OEE

- (a) ผลิตภัณฑ์ : กระเบื้องมุงหลังคาชนิด A
- (b) Availability Rate : 85.91%
- (c) Performance Efficiency : 77.78%
- (d) Quality Rate : 96.84%
- (e) OEE : 64.71%
- (f) กำลังการผลิตสูงสุด : 2,351 หน่วย/ชั่วโมง
- (g) Loading Time : 720 ชั่วโมง
- (h) Loss Time : 101.43 ชั่วโมง
- (i) Operating Time : 618.57 ชั่วโมง
- (j) Loss Unit : 323,174 หน่วย
- (k) Net Operating Time : 481.13 ชั่วโมง
- (l) ผลผลิตรวม : 1,131,331 หน่วย
- (m) จำนวนของเสีย : 22,051 หน่วย
- (n) ของที่ต้องแก้ไข : 13,680 หน่วย

2) ข้อมูลทางด้านต้นทุน

- (o) ค่าไรต่อหน่วย : 8 บาท/หน่วย
- (p) ค่าวัสดุทางตรง : 22.25 บาท/หน่วย
- (q) ค่าแรงทางตรง : 603,702 บาท
- (r) ค่าวัสดุทางอ้อม : 44,108 บาท
- (s) ค่าแรงงานทางอ้อม : 177,240 บาท
- (t) ค่าสาธารณูปโภค : 1,534,312 บาท
- (u) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร : 2,846,894 บาท
- (v) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา : 369,675 บาท
- (w) ค่าเช่าอุปกรณ์ และเครื่องจักร : 640,800 บาท
- (x) ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ : 711,724 บาท
- (y) ค่าสวัสดิการ : 89,544 บาท
- (z) ค่าแก๊สงาน : 3.21 บาท/หน่วย

ข้อมูลทางด้านต้นทุนที่แสดงเป็นข้อมูลผลรวม ซึ่งแต่ละรายการจะประกอบไปด้วยรายละเอียดย่อยๆตามการคำนวณบัญชีต้นทุนทั่วไป

ตัวอย่างวิธีการคำนวณแบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ถูกแสดงดังต่อไปนี้

มูลค่าความสูญเสียในมุมมองอัตราการเดินทางเครื่อง

- (5) ต้นทุนเสียโอกาส = $(h) \times (f) \times (o) = 101.43 \times 2,351 \times 8 = 1,906,946$ บาท
- (6) ค่าแรงงานทางตรง = $(h) \times (q) / (g) = 101.43 \times 603,702 / 720 = 85,047$ บาท
- (7) ค่าวัสดุทางอ้อม = $(h) \times (r) / (g) = 101.43 \times 44,108 / 720 = 6,214$ บาท
- (8) ค่าแรงงานทางอ้อม $(h) \times (s) / (g) = 101.43 \times 177,240 / 720 = 24,969$ บาท
- (9) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร = $(h) \times (u) / (g) = 101.43 \times 2,846,894 / 720 = 401,056$ บาท
- (10) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา = $(h) \times (v) / (g) = 101.43 \times 369,675 / 720 = 52,078$ บาท
- (11) ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร = $(h) \times (w) / (g) = 101.43 \times 640,800 / 720 = 90,273$ บาท
- (12) ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ = $(h) \times (x) / (g) = 101.43 \times 711,724 / 720 = 100,264$ บาท
- (13) ค่าสวัสดิการ = $(h) \times (y) / (g) = 101.43 \times 89,544 / 720 = 12,615$ บาท

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราการเดินทางเครื่อง เท่ากับ 2,679,462

มูลค่าความสูญเสียในมุมมองประสิทธิภาพการเดินทางเครื่อง

- (15) ต้นทุนเสียโอกาส = $(j) \times (o) = 323,174 \times 8 = 2,585,392$ บาท
- (16) ค่าแรงงานทางตรง = $[(j) / (f)] \times (q) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 603,702 / 618.57 = 134,158$ บาท

- (17) ค่าวัสดุทางอ้อม = $[(j) / (f)] \times (r) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 44,108 / 618.57 = 9,802$ บาท
- (18) ค่าแรงงานทางอ้อม = $[(j) / (f)] \times (s) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 177,240 / 618.57 = 39,387$ บาท
- (19) ค่าสาธารณูปโภค = $[(j) / (f)] \times (t) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 1,534,312 / 618.57 = 340,964$ บาท
- (20) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร = $[(j) / (f)] \times (u) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 2,846,894 / 618.57 = 632,654$ บาท
- (21) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา = $[(j) / (f)] \times (v) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 369,675 / 618.57 = 82,151$ บาท
- (22) ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร = $[(j) / (f)] \times (w) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 640,800 / 618.57 = 142,402$ บาท
- (23) ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ = $[(j) / (f)] \times (x) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 711,724 / 618.57 = 158,163$ บาท
- (24) ค่าสวัสดิการ = $[(j) / (f)] \times (y) / (i) = [323,174 / 2,351] \times 89,544 / 618.57 = 19,899$ บาท

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองประสิทธิภาพการเดินทางเครื่อง เท่ากับ 4,144,972 บาท

มูลค่าความสูญเสียในมุมมองอัตราคุณภาพ ประเภทของเสีย

- (26) ต้นทุนเสียโอกาส = $(m) \times (o) = 22,051 \times 8 = 176,408$ บาท
- (27) ค่าวัสดุทางตรง = $(m) \times (p) = 22,051 \times 22.25 = 490,635$ บาท
- (28) ค่าแรงงานทางตรง = $[(m) / (f)] \times (q) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 603,702 / 481.13 = 11,769$ บาท
- (29) ค่าวัสดุทางอ้อม = $[(m) / (f)] \times (r) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 44,108 / 481.13 = 860$ บาท

- (30) ค่าแรงงานทางอ้อม = $[(m) / (f)] \times (s) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 177,240 / 481.13 = 3,455$ บาท
- (31) ค่าสาธารณูปโภค = $[(m) / (f)] \times (t) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 1,534,312 / 481.13 = 29,911$ บาท
- (32) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร = $[(m) / (f)] \times (u) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 2,846,894 / 481.13 = 55,499$ บาท
- (33) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา = $[(m) / (f)] \times (v) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 369,675 / 481.13 = 7,207$ บาท
- (34) ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร = $[(m) / (f)] \times (w) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 640,800 / 481.13 = 12,492$ บาท
- (35) ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ = $[(m) / (f)] \times (x) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 711,724 / 481.13 = 13,875$ บาท
- (36) ค่าสวัสดิการ = $[(m) / (f)] \times (y) / (k) = [22,051 / 2,351] \times 89,544 / 481.13 = 1,746$ บาท

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราคุณภาพประเภทของเสีย เท่ากับ 803,857 บาท

มูลค่าความสูญเสียในมุมมองอัตราคุณภาพประเภทงานแก้ไข

- (37) ค่าแรงงานทางตรง = $[(n) / (f)] \times (q) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 603,702 / 481.13 = 7,301$ บาท
- (38) ค่าวัสดุทางอ้อม = $[(n) / (f)] \times (r) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 44,108 / 481.13 = 533$ บาท
- (39) ค่าแรงงานทางอ้อม = $[(n) / (f)] \times (s) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 177,240 / 481.13 = 2,144$ บาท
- (40) ค่าสาธารณูปโภค = $[(n) / (f)] \times (t) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 1,534,312 / 481.13 = 18,556$ บาท

- (41) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร = $[(n) / (f)] \times (u) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 2,846,894 / 481.13 = 34,430$ บาท
- (42) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา = $[(n) / (f)] \times (v) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 369,675 / 481.13 = 4,470$ บาท
- (43) ค่าเช่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักร = $[(n) / (f)] \times (w) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 640,800 / 481.13 = 7,750$ บาท
- (44) ค่าเบี้ยประกันภัยสินทรัพย์ = $[(n) / (f)] \times (x) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 711,724 / 481.13 = 8,607$ บาท
- (45) ค่าสวัสดิการ = $[(n) / (f)] \times (y) / (k) = [13,680 / 2,351] \times 89,544 / 481.13 = 1,083$ บาท
- (46) ค่าแก๊สงาน = $(n) \times (z) = 13,680 \times 3.21 = 43,913$ บาท

โดยมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราคุณภาพประเภทงานแก้ไข เท่ากับ 128,787 บาท ซึ่งเมื่อนำมารวมกับมูลค่าความสูญเสียของมุมมองอัตราคุณภาพประเภทของเสีย แล้วจะทำให้มูลค่าความสูญเสียโดยรวมของมุมมองอัตราคุณภาพเท่ากับ $803,857 + 128,787 = 932,644$ บาท และความสูญเสียโดยรวมของเครื่องจักร เท่ากับ $2,679,462 + 4,144,972 + 932,644 = 7,757,078$ บาท

จากตัวอย่างที่นำเสนอ แสดงให้เห็นถึงมูลค่าความสูญเสียของเครื่องจักรได้อย่างชัดเจนโดยแสดงความสูญเสียออกมาเป็นมูลค่าเงิน ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ว่า แต่ละมุมมองมีความสูญเสียอยู่เท่าใด อีกทั้งเมื่อนำมาคำนวณกับเครื่องจักรทุกๆ เครื่องจักรขององค์กรก็สามารถทราบถึงมูลค่าความสูญเสียของทุกๆ เครื่องจักรและความสูญเสียรวมของเครื่องจักรภายในองค์กร ซึ่งสามารถนำมาลำดับปัญหาได้อย่างถูกต้อง ทั้งในด้านการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องจักร และการเปรียบเทียบความสูญเสียตามมุมมองอัตราการผลิต ประสิทธิภาพการผลิต และอัตราคุณภาพ และอีกทั้งการคำนวณด้วยแบบจำลองนี้สามารถทำการคำนวณแยกรายละเอียดของ

ปัญหาได้ว่า Breakdown, Set up & Adjustment, ของเสีย และ งานแก้ไข แยกแต่ละอาการปัญหาว่าปัญหา หรืออาการใดที่มีมูลค่าความสูญเสียจำนวนมาก ทำให้สามารถรับทราบถึงความสูญเสียอย่างชัดเจนแยกราย ประเภทของอาการปัญหาได้ และสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรอย่างชัดเจน และรุนแรง

6. ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับแบบจำลองการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

เนื่องด้วยแบบจำลองของงานวิจัยนี้ ต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูล บันทึกข้อมูล และประมวลผลข้อมูลทั้งค่า OEE และมูลค่าความสูญเสีย ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการบันทึกข้อมูลและประมวลผล งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และประมวลผลขึ้น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access ร่วมกับโปรแกรม Visual Basic โดยโปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถเก็บข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับเครื่องจักร เพื่อนำมาคำนวณค่า OEE และมีส่วนที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนเพื่อนำมาคำนวณเป็นมูลค่าความสูญเสียตามแบบจำลองของงานวิจัย

โดยงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมมาทำการคำนวณค่า OEE และ มูลค่าความสูญเสียตามแนวทางของแบบจำลองของงานวิจัยนี้กับ เครื่องจักร 10 เครื่อง ช่วงระยะเวลาเดือน เมษายน ถึง มิถุนายน 2551 ของโรงงาน S1 โดยแบ่งเป็น เครื่องจักร ชนิด H จำนวน 5 เครื่อง และ เครื่องจักรชนิด C จำนวน 5 เครื่อง โดยแสดงผลลัพธ์ค่า OEE ดังตารางที่ 6 และมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 แสดงค่า OEE ของเครื่องจักร 10 เครื่องของโรงงาน S1 ในช่วงเวลาเดือน เมษายน ถึง มิถุนายน 2551

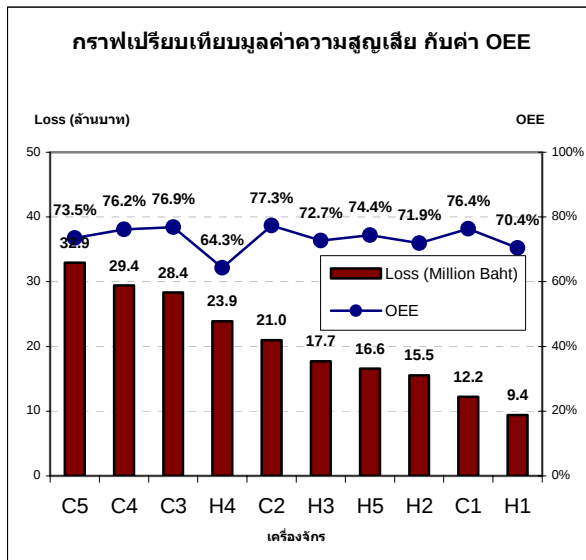
โรงงาน	เครื่อง	A	P	Q	OEE
S1	H1	87.9%	82.7%	96.7%	70.4%
	H2	90.9%	80.0%	98.9%	71.9%
	H3	90.9%	81.7%	97.9%	72.7%
	H4	85.3%	77.7%	97.0%	64.3%
	H5	89.6%	84.7%	98.0%	74.4%
	C1	96.2%	80.4%	98.8%	76.4%
	C2	95.8%	81.1%	99.5%	77.3%
	C3	97.0%	79.8%	99.3%	76.9%
	C4	96.6%	79.6%	99.2%	76.2%
	C5	95.4%	77.8%	99.0%	73.5%

ตารางที่ 7 แสดงค่ามูลค่าความสูญเสียของเครื่องจักร 10 เครื่องของโรงงาน S1 ในช่วงเวลาเดือน เมษายน ถึง มิถุนายน 2551

มูลค่าความสูญเสีย (ล้านบาท)					
เครื่อง	A	P	Q - Rej	Q - Rew	รวม
H1	3.21	4.65	1.32	0.22	9.41
H2	4.65	10.10	0.66	0.10	15.51
H3	5.23	10.55	1.61	0.33	17.72
H4	8.52	12.64	2.32	0.41	23.88
H5	5.95	8.79	1.52	0.30	16.56
C1	1.84	9.45	0.85	0.09	12.23
C2	3.76	16.42	0.75	0.06	20.98
C3	3.47	23.58	1.19	0.12	28.36
C4	4.01	23.80	1.46	0.15	29.41
C5	5.34	25.75	1.65	0.19	32.94

จากตารางที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าค่า OEE ที่แตกต่างกันจะมีมูลค่าความสูญเสียที่แตกต่างกันไปด้วย แต่เครื่องจักรที่มีมูลค่าความสูญเสียสูงที่สุดก็ไม่ได้แสดง

ว่ามีค่า OEE ที่ต่ำที่สุด การเปรียบเทียบมูลค่าความสูญเสีย กับค่า OEE ดังแสดงรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบมูลค่าความสูญเสีย กับค่า OEE

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าค่า OEE ที่สูงที่สุด คือ เครื่อง C2 มีค่า OEE เท่ากับ 77.3% นั่นกลับไม่ได้มีมูลค่าความสูญเสียที่ต่ำที่สุด โดยเครื่อง C2 มีความสูญเสียโดยรวมสูงถึง 21.0 ล้านบาท แต่เครื่องที่มีมูลค่าความสูญเสียที่ต่ำที่สุดคือ เครื่อง H1 มีความสูญเสียโดยรวมเท่ากับ 9.4 ล้านบาท แต่เครื่อง H1 เองกลับมีค่า OEE เพียงแค่ 70.4% ซึ่งต่ำกว่า ค่า OEE ของเครื่อง C3

จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าค่า OEE ไม่สามารถลำดับปัญหาได้อย่างถูกต้อง และเมื่อมาดูความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรจะพบว่า เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความแตกต่างกันในเรื่องกำลังการผลิต และผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต โดยแสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้จะส่งผลให้แต่ละเครื่องจักรมีมูลค่าความสูญเสียที่แตกต่างกันไป โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง หรือเครื่องจักรที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงก็มีโอกาสที่จะมีมูลค่าความสูญเสียที่สูงกว่าเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ หรือเครื่องจักรที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำ ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียของแต่ละเครื่องจักรเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจึงไม่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับค่า OEE

ตารางที่ 8 แสดงกำลังการผลิต และมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต แยกรายเครื่องจักร

เครื่อง	กำลังการผลิตสูงสุด (ตัน/ปี)	มูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เครื่องจักรผลิต
H1	54,520	ปานกลาง
H2	54,520	ปานกลาง
H3	125,650	ต่ำ
H4	125,650	ต่ำ
H5	125,650	ต่ำ
C1	72,825	สูงมาก
C2	72,825	สูงมาก
C3	145,650	สูง
C4	145,650	สูง
C5	145,650	สูง

7. สรุปผล

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยฉบับนี้ต้องการนำเสนอแบบจำลองการคำนวณมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้แนวทางค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เพื่อที่จะบ่งบอกลำดับปัญหาของเครื่องจักร โดยแสดงความสูญเสียออกมาเป็นมูลค่าเงิน เพื่อแก้ไขปัญหาเดิมที่ตัวชี้วัด OEE มีอยู่ คือ การกำหนดน้ำหนักหรือความสำคัญของแต่ละมุมมองภายใน OEE การเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรชนิดเดียวกันแต่กำลังการผลิตแตกต่างกัน และการเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรต่างชนิดกัน

แบบจำลองการคำนวณมูลค่าความสูญเสียของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 มุมมองตามแนวทางดัชนีชี้วัด OEE โดยแบ่งเป็นมูลค่าความสูญเสียของมุมมองอัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการผลิต และ อัตราคุณภาพ โดยความสูญเสียในมุมมองอัตราคุณภาพแบ่งย่อยออกเป็น 2 กรณี คือ ความสูญเสียกรณีการเกิดของเสีย และความสูญเสียในกรณีการเกิดชิ้นงานที่ต้องแก้ไข อันเนื่องมาจากแต่ละกรณีจะมีความสูญเสียที่แตกต่างกันไป

วิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียตามแบบจำลองนี้ใช้แนวทางของดัชนีชี้วัด OEE ดังนั้น ข้อมูลที่นำมาใช้ใน

การคำนวณจึงประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ข้อมูลที่นำมาคำนวณค่า OEE และ ข้อมูลทางด้านต้นทุน โดยมูลค่าความสูญเสียของแต่ละมุมมองจะมีต้นทุนความสูญเสียที่แตกต่างกันไป โดยรูปแบบต้นทุนที่สูญเสียของแต่ละมุมมองแสดงดังตารางที่ 5 และวิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียภายในมุมมองอัตราการเดินเครื่องแสดงดังสมการที่ (5) ถึง (13) วิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียภายในมุมมองประสิทธิภาพการเดินเครื่องแสดงดังสมการที่ (15) ถึง (24) วิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียภายในมุมมองอัตราคุณภาพกรณีของเสียแสดงดังสมการที่ (26) ถึง (36) และวิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียภายในมุมมองอัตราคุณภาพกรณีงานแก้ไข แสดงดังสมการที่ (38) ถึง (46)

มูลค่าความสูญเสียโดยรวมของอัตราการเดินเครื่องคือผลรวมสมการที่ (5) ถึง (13) มูลค่าความสูญเสียโดยรวมของประสิทธิภาพการเดินเครื่องคือผลรวมสมการที่ (15) ถึง (24) มูลค่าความสูญเสียโดยรวมของอัตราคุณภาพกรณีของเสียคือผลรวมสมการ (26) ถึง (36) มูลค่าความสูญเสียโดยรวมของอัตราคุณภาพกรณีงานแก้ไขคือผลรวมสมการ (38) ถึง (46) ซึ่งมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของอัตราคุณภาพก็คือผลรวมของสมการ (26) ถึง (46) และมูลค่าความสูญเสียโดยรวมของเครื่องจักร คือ ผลรวมของสมการที่ (5) ถึง (46)

งานวิจัยได้แสดงตัวอย่างวิธีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิตของเครื่องจักรผลิตกระเบื้องมุงหลังคาชนิดหนึ่ง ในช่วงเดือนเมษายน ปี 2551 ซึ่งจากการคำนวณแสดงให้เห็นถึง มูลค่าความสูญเสียของเครื่องจักรได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ว่า แต่ละมุมมองของเครื่องจักรมีความสูญเสียอยู่เท่าใด และแตกต่างกันเท่าใด โดยไม่ต้องทำการกำหนดน้ำหนักหรือความสำคัญของแต่ละมุมมองใน OEE ตามวิธีของ A. Raouf, 1994

ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับการใช้งานกับแบบจำลองของงานวิจัยนี้ได้ถูกจัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access ร่วมกับโปรแกรม Visual Basic เพื่อความสะดวกและความถูกต้องในการคำนวณค่า OEE

และมูลค่าความสูญเสียของเครื่องจักร โดยโปรแกรมที่ถูกจัดทำขึ้นได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง ของเครื่องจักรจำนวน 10 เครื่อง ณ โรงงานแห่งหนึ่งของบริษัทผู้ผลิตกระเบื้องมุงหลังคา ในช่วงระยะเวลาเดือนเมษายน ถึง มิถุนายน ปี 2551 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณแสดงให้เห็นถึงค่า OEE และมูลค่าความสูญเสียของแต่ละเครื่องจักร โดยจากผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นอีกว่าเครื่องจักรที่มีค่า OEE ที่สูงที่สุด กลับไม่ได้มีมูลค่าความสูญเสียที่ต่ำที่สุด หรือ เครื่องจักรที่มีค่า OEE ที่ต่ำที่สุด ก็ไม่ได้มีมูลค่าความสูญเสียที่สูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งสาเหตุที่มูลค่าความสูญเสียของแต่ละเครื่องจักรไม่ได้มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับค่า OEE โดยตรง ก็เนื่องมาจากกำลังการผลิตของเครื่องจักร มูลค่าของผลิตภัณฑ์แต่ละเครื่องจักรผลิต และต้นทุนการผลิตของแต่ละเครื่องจักร ถ้าเครื่องจักรใดมีค่า OEE ที่ต่ำ หรือมีค่า OEE ที่สูง แต่มีกำลังการผลิตที่สูงมาก หรือเครื่องจักรนั้นทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงมาก หรือต้นทุนในการผลิตของเครื่องจักรนั้นสูงมากก็มีโอกาสที่จะมีมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการผลิตที่มากกว่าเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตที่ต่ำ หรือเครื่องจักรนั้นทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีราคาต่ำ หรือเครื่องจักรที่มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ และ OEE ที่ต่ำ

จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หามูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้แนวทางค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรนั้นสามารถแก้ไขปัญหาค่า OEE ที่มีอยู่ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการกำหนดน้ำหนักหรือความสำคัญของแต่ละมุมมองภายใน OEE การเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรชนิดเดียวกันแต่กำลังการผลิตแตกต่างกัน และการเปรียบเทียบค่า OEE ระหว่างเครื่องจักรต่างชนิดกัน ซึ่งแนวคิดของแบบจำลองใหม่นี้จะสามารถทำให้บริษัทต่างๆ ที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตสามารถทำการลำดับปัญหาของเครื่องจักรที่มีอยู่ทั้งหมดได้อย่างถูกต้อง และทำการกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่มีผลกระทบต่อองค์กรต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาญชัย พรศิริรุ่ง. คู่มือปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร. กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2549.
- [2] Productivity Development Team. ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE for Operators : Overall Equipment Effectiveness). กรุงเทพฯ : อี.ไอ.สแควร์ สำนักพิมพ์, 2550.
- [3] วันชัย ริจิรวนิช และ สุทัศน์ รัตนเกื้อกั้วาน. การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรม และงบประมาณ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [4] สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์. การบัญชีต้นทุน. กรุงเทพฯ : ท็อป/แมคกรอ-ฮิล, 2549.
- [5] Nakajima S, Introduction to Total Productive Maintenance (TPM), Productivity Press, Cambridge. MA., 1988.
- [6] A. Raouf, “Improving Capital Productivity through Maintenance”, International Journal of Operations & Production Management, Vol.14 No.7, 1994.
- [7] Ohwoon Kwon and Hongchul Lee, “Calculation Methodology for Contributive Managerial Effect by OEE as a result of TPM Activities”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol.10, No.4, 2004.
- [8] Patrik Jonsson and Magnus Lesshammer, “Evaluation and Improvement of Manufacturing Performance Measurement Systems – The Role of OEE”, International Journal of Operations & Production Management, Vol.19 No.1, 1999.
- [9] Bulent Dal, Phil Tugwell and Richard Greatbanks, “Overall Equipment Effectiveness as a Measurement of Operational Improvement : A Practical Analysis”, International Journal of Operations & Production Management, Vol.20 No.12, 2000.