การออกแบบกระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้เงินลงทุนต่ำ
Design of Precast Concrete Production Requiring Low Investment

วชรภูมิ เบญจโอฬาร[1*] จิรเดช เศรษฐกัมพู[2] ชาญชัย วงศ์ษา[3] ธีทัต ดลวิชัย[4] และวรรณภา น่าบูรณะ[5]

[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา
[3] บริษัทชาญ-สุ คอนสตรัคชั่น จำกัด จ.นครราชสีมา
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา
[5] สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา
**Corresponding author; E-mail address: vacharapoom@sut.ac.th*

บทคัดย่อ

การผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete component) เป็นส่วนสำคัญของเทคโนโลยีการก่อสร้างแบบนอกสถานที่ (Off-site construction) กิจกรรมการก่อสร้างหลักถูกย้ายไปดำเนินการที่โรงงาน ที่สามารถจัดการกระบวนการผลิตและสภาพแวดล้อมให้เกิดประสิทธิภาพสูง ควบคุมคุณภาพงานได้ดีและสะดวกกว่า และใช้เครื่องจักรอัตโนมัติช่วยงานได้ จึงทำให้ต้นทุนและระยะเวลาของงานก่อสร้างลดลง และเพิ่มคุณภาพและความสม่ำเสมอของงาน ลดความอันตรายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของงานก่อสร้างได้ ข้อดีมากมายดังกล่าวทำให้เทคโนโลยีนี้กำลังกลายเป็นวิธีการก่อสร้างหลักของโลกในไม่ช้า อย่างไรก็ตาม การก่อตั้งโรงงานผลิตโดยเฉพาะแบบกึ่งอัตโนมัติต้องการเงินลงทุนสูงมากและพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ เป็นอุปสรรคสำคัญของผู้ประกอบการขนาดกลางและย่อม การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อออกแบบโรงงานผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติใหม่ที่ต้องการเงินลงทุนต่ำ เป็นการผสมผสานข้อดีของทั้งโรงงานแบบดั้งเดิมกับแบบสำเร็จรูปจากต่างประเทศ โดยการจัดวางตำแหน่งในสายการผลิต และการออกแบบเครื่องจักรสำหรับช่วยในกระบวนการผลิตสำคัญ ได้แก่ แบบหล่อคอนกรีต การเทคอนกรีต การขัดหน้าชิ้นงาน การถอดแบบ และการกองเก็บชิ้นงาน สุดท้ายเป็นการนำเสนอการประมาณเงินลงทุนสำหรับโรงงานผลิตใหม่นี้

คำสำคัญ: คอนกรีตหล่อสำเร็จ, การบริหารโรงงาน, การผลิตกึ่งอัตโนมัติ, กระบวนการผลิต

Abstract

The production of precast concrete components is an important part of off-site construction technology. Major construction activities are moved to the factory that can manage the production process and the environment for higher efficiency, and better and more convenient quality-control and can use automatic machines to help the work routines. As a result, the cost and duration of construction work is reduced, the quality and consistency of work is increased, and the danger and environmental impact of construction work are reduced. Such advantages make the technology soon become the world's main construction method. However, the establishment of a dedicated, semi-automated manufacturing plant requires very high investment and reliance on foreign technology. It is a major obstacle for small and medium-sized entrepreneurs. This research aims to design a new semi-automatic plant that requires low investment. It combines the advantages of both traditional factories and foreign prefabricated designs by positioning in the production line and machine design for assisting in important production processes such as concrete moulds, concrete pouring, surface trowelling, mould shuttering and stripping, and final product storage. Finally, an estimation of investment for this new manufacturing facility is presented.

Keywords: Precast concrete, factory management, semi-automation, production process

1. บทนำ

กลุ่มผู้รับเหมาก่อสร้างรายใหญ่มีความได้เปรียบด้านเงินลงทุนในการรับงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ของภาครัฐ และยังได้เปรียบจาก Economies of Scale ทำให้มีอำนาจต่อรองสูงกับผู้ประกอบการอื่น ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน ในขณะที่กลุ่มผู้รับเหมา SMEs ติดข้อจำกัดด้านเงินลงทุนทำให้ต้องรับงานภาครัฐในลักษณะของผู้รับเหมาช่วง (Sub-contractors) กลุ่มผู้ประกอบการรายใหญ่มีศักยภาพในการลงทุนพัฒนาหรือซื้อเทคโนโลยี เครื่องจักร และอุปกรณ์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานทั้งด้านเวลาและต้นทุน และเทคโนโลยีที่ช่วยลดการพึ่งพาแรงงาน เช่น Pre-fabrication รวมทั้งสามารถสร้างระบบการบริหารงานที่เป็นมืออาชีพ แต่กลุ่ม SMEs ส่วนใหญ่เป็นการบริหารงานแบบครอบครัว ไม่มีความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยตนเอง ทำให้ต้องพึ่งพาแรงงานสูง จึงเป็นฝ่ายที่ถูกผลักไปสู่ความเสี่ยงเพิ่มจากปัญหาที่เกี่ยวเนื่องจากแรงงาน ซึ่งผลจากการแพร่ระบาดของ COVID-19 ทำให้งานก่อสร้างขาดความต่อเนื่องทำให้หลายรายประสบปัญหาสภาพคล่องทางการเงินและขาดแคลนแรงงาน

กระบวนการก่อสร้างแบบดั้งเดิม (Traditional on-site construction) คือการจัดหาวัสดุก่อสร้างและนำมาประกอบติดตั้งด้วยแรงงานที่สถานที่ตั้งของสิ่งก่อสร้างนั้นเอง (On-site) เพื่อให้ได้คุณภาพ รูปร่างและขนาดตรงตามแบบก่อสร้างทุกประการ แต่กระบวนการก่อสร้างแบบ Off-site construction คือการก่อสร้างด้วยการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสิ่งก่อสร้างที่ถูกผลิตขึ้นแล้วที่โรงงาน (Prefabrication) นอกสถานที่ก่อสร้างนั้น ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างอีกแบบหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายทั่วไป [1] อาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องถูกวางแผนและออกแบบ ด้วยการแยกกระจายโครงสร้างอาคารออกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ คาน เสา ผนัง เป็นต้น ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกผลิตในโรงงานก่อนแล้วจึงถูกขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างเพื่อทำการประกอบติดตั้งให้ถูกตำแหน่งตามแบบก่อสร้าง ชิ้นส่วน

คอนกรีตสำเร็จรูปมักเป็นแบบมาตรฐานที่จะถูกผลิตออกมาซ้ำ ๆ กันด้วยสายการผลิตแบบงานโรงงาน (Manufacturing work) โดยการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้จะอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมคุณภาพงานได้ดีและสะดวกกว่า จึงทำให้เทคโนโลยี Off-site prefabrication มีข้อดีมากมายที่เหนือกว่าวิธีดั้งเดิม สามารถทั้งลดต้นทุนและระยะเวลาของงานก่อสร้าง และเพิ่มคุณภาพและความสม่ำเสมอของงาน ลดความอันตรายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของงานก่อสร้างได้ ทำให้เทคโนโลยีนี้ อาจจะกลายเป็นเทคโนโลยีหลักของอุตสาหกรรมก่อสร้างทั่วโลกในอนาคต จุดเด่นของเทคโนโลยี Off-site prefabrication จำแนกได้ดังนี้

1. ลดระยะเวลาการก่อสร้างในสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งอาจจะลดได้ถึง 25-60% เนื่องจากย้ายกิจกรรมการทำงานส่วนใหญ่ไปที่โรงงานผลิตชิ้นส่วน จึงเป็นการประหยัดแรงงาน และเพิ่มอัตราผลผลิตของการก่อสร้างที่สถานที่ก่อสร้าง ตัวอย่างที่เห็นชัดเจนคือโครงการก่อสร้างโรงพยาบาลที่เมืองหนันกง มณฑลเหอเป่ย์ สำหรับรองรับผู้ป่วยโควิด-19 อย่างเร่งด่วน

2. ลดอุปสรรคจากสภาพภูมิอากาศของสถานที่ทำงาน การผลิตชิ้นส่วนสิ่งก่อสร้างในโรงงาน สามารถควบคุมและจัดระเบียบสภาพแวดล้อมในการทำงานได้ดีกว่า ทำให้เพิ่มอัตราผลผลิตของแรงงาน ลดการสูญเสียวัสดุ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต่อชุมชนใกล้เคียง

3. ลดความสูญเสีย ด้วยความสามารถในการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของชิ้นงานได้สะดวกและใกล้ชิดกว่า ทำให้ได้คุณภาพงานที่ดีกว่าและลดการสูญเสียจากความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้

4. ลดงานสิ่งก่อสร้างชั่วคราว เช่น นั่งร้าน ค้ำยัน แบบหล่อคอนกรีต ทำให้ลดต้นทุนและลดความอันตรายในงานได้

5. ลดความอันตรายในงานก่อสร้างลง อุบัติเหตุในสถานที่ก่อสร้างที่มีสาเหตุจากความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยจะลดลงได้ ลักษณะการทำงานผลิตชิ้นส่วนจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการยศาสตร์ (Ergonomics) ลดการปีนป่ายขึ้นที่สูงหรือการทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสม

6. สามารถวางแผนการผลิตด้วยหลักการ mass production ซึ่งหากใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำoptimization แผนการผลิต และจัดการข้อมูลการผลิตด้านต่าง ๆ จึงช่วยลดต้นทุนการผลิตลงและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานขึ้นได้

จากประโยชน์ด้านต่าง ๆ ของเทคโนโลยีนี้ จึงควรสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านจากการก่อสร้างแบบดั้งเดิมไปสู่การก่อสร้างแบบนอกสถานที่ โดยเฉพาะกลุ่มผู้รับเหมา SMEs ที่มีสัดส่วนจำนวนมากที่สุดในธุรกิจก่อสร้าง และหนึ่งในจุดเริ่มต้นควรเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อย่างไรก็ตาม ความท้าทายในการนำเทคโนโลยี off-site prefabrication มาใช้กับกลุ่มผู้รับเหมา SMEs คือ เงินลงทุนสำหรับก่อสร้างโรงงานและจัดหาเครื่องจักรจะเป็นอุปสรรคสำคัญยิ่ง

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพ และต้องมีการลงทุนต่ำสอดคล้องกับศักยภาพของกลุ่มผู้รับเหมา SMEs และเพื่อให้เกิดการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย

2. การผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

2.1 เทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยคอนกรีตสำเร็จรูป

งานก่อสร้างเป็นกลุ่มธุรกิจที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดอันหนึ่งของงานอุตสาหกรรม โครงการก่อสร้างต้องประสบกับสภาวะต้นทุนเกินกว่าที่คาดการณ์และงานล่าช้ากว่าแผนอยู่เป็นประจำเสมอมา ในขณะที่ธุรกิจก่อสร้างกลับมีความต้องการเร่งรัดผลงานให้แล้วเสร็จรวดเร็วยิ่งขึ้น ราคาถูกลง คุณภาพผลงานดียิ่งขึ้น และความปลอดภัยในการทำงานเพิ่มมากขึ้น แต่ธุรกิจก่อสร้างกำลังเผชิญกับสภาวะขาดแคลนแรงงานฝีมืออย่างรุนแรงที่ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงงานสูงขึ้นและคุณภาพและประสิทธิภาพของผลงานที่ได้ลดลง [2]

เทคโนโลยีการก่อสร้างนอกสถานที่ก่อสร้าง (Offsite construction) เป็นนวัตกรรมการก่อสร้างที่มีศักยภาพสามารถตอบโจทย์กับสภาพปัญหาความกดดันสำคัญทุกด้านทั้งด้านต้นทุน เวลา คุณภาพ และความปลอดภัยได้พร้อมกัน จึงถูกจัดให้เป็นหนึ่งในห้านวัตกรรมที่มีศักยภาพในการพลิกโฉมอุตสาหกรรมก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการปรับใช้เทคโนโลยีนี้ในงานก่อสร้างของประเทศเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไปไม่รวดเร็วนัก ตามการปรับเปลี่ยนความเชื่อถือและการยอมรับของผู้บริโภค [3] รวมทั้งการขาดความรู้ความเข้าใจของผู้ประกอบการเองถึงจำนวนเงินลงทุนและผลตอบแทนที่คุ้มค่าในการปรับเปลี่ยนมาสู่เทคโนโลยีนี้ [4]

Razkenari และคณะ [3] ทำการวิเคราะห์ทัศนคติของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อ Offsite construction ด้วยวิธี SWOT ได้ผลดังนี้

- Strengths ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพด้านต้นทุนและเวลา สามารถประหยัดเวลาด้วยการผลิตชิ้นงานไปพร้อมกับการจัดเตรียมสถานที่ก่อสร้าง ลดต้นทุนค่าดำเนินการ ค่าวัสดุ และค่าแรงงาน ลดความไม่แน่นอนด้วยการพัฒนาแบบก่อสร้างที่สมบูรณ์และการวางแผนที่รอบคอบ การผลิตภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ ทำให้อัตราผลผลิตสูง มีความปลอดภัยมากกว่า สามารถติดตามและควบคุมผลงานได้สะดวกกว่า ลดปริมาณความสูญเสียลงการบูรณาการทีมงานโครงการ ด้วยการดึงฝ่ายต่าง ๆ ของทีมงานที่เป็นผู้รับผิดชอบแต่ละขั้นตอนของโครงการให้มาร่วมงานกันตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ

- Opportunities ได้แก่ สภาวะแรงงานฝีมือขาดแคลน ทำให้การก่อสร้างแบบ offsite ที่ใช้แรงงานน้อยกว่าได้เปรียบ มีศักยภาพทางการตลาด จากคุณภาพงานที่ดีกว่า และกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ราคาการก่อสร้างแบบ Offsite ต่ำกว่าแบบดั้งเดิม ความหนาแน่นของเมืองที่เป็นสถานที่ตั้งของสิ่งก่อสร้าง ทำให้ให้การก่อสร้างแบบ offsite ได้เปรียบกว่าด้วยการลดกิจกรรมที่สถานที่ก่อสร้างลง

- Weakness ได้แก่ แบบก่อสร้างที่จำกัดไม่หลากหลาย แต่เป็นแบบมาตรฐานซ้ำเดิม เนื่องจากข้อจำกัดขนาดของชิ้นส่วนและจุดต่อต่าง ๆ แบบก่อสร้างถูกกำหนดให้ตายตัวตั้งแต่แรกเพื่อการนำไปผลิตชิ้นส่วน ทำให้ปรับเปลี่ยนแบบก่อสร้างในภายหลังได้ยาก ผู้ประกอบการขาดความเชี่ยวชาญหรือเพิ่งเริ่มต้นใช้เทคโนโลยีนี้ ความซับซ้อนของโลจิสติกส์ต้องการแผนการขนส่ง การผลิต และการประกอบชิ้นส่วนที่สมบูรณ์ และต้องการเงินลงทุนเริ่มต้น เพื่อก่อตั้งและบำรุงรักษาโรงงานผลิตชิ้นส่วน

- Threats ได้แก่ ความต้องการสิ่งก่อสร้างของตลาดไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอตามวงจรขึ้นและลงของธุรกิจ ทำให้กำลังผลิตของโรงงานที่คงที่ได้รับผลกระทบ หลักเกณฑ์และกฎหมายที่เกี่ยวข้องมักถูกกำหนดขึ้นสำหรับงานก่อสร้างแบบดั้งเดิมที่สถานที่ก่อสร้าง ทัศนคติและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคสิ่งก่อสร้างมีความอนุรักษ์นิยมต่อวิธีการก่อสร้างและวัสดุของชิ้นงาน และงานก่อสร้างแบบ Offsite ยังมีส่วนแบ่งการตลาดน้อยกว่าแบบดั้งเดิม ทำให้ไม่ได้ประโยชน์จาก Economies of scale

Pan and Sidwell [4] ทำการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต้นทุนของวิธีการก่อสร้าง 4 วิธี ได้แก่ Offsite prefabrication (Precast concrete cross-wall panel, in-situ reinforced concrete frame, steel frame and timber frame สำหรับโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย (medium to high rise residential buildings) ได้ผลสรุปว่า วิธีการก่อสร้างแบบ Offsite มีต้นทุนต่ำกว่าแบบ In-situ RC frame และ Steel frame ถึง 11%-32% โดยมาจากต้นทุนของงาน Preliminary Superstructure และค่าดำเนินการ ต้นทุนการลงทุน

(Capital cost) ของวิธีก่อสร้างแบบ Offsite สามารถลดลงได้อย่างต่อเนื่องถึงประมาณ 25% จากการใช้ครั้งแรก ตรงข้ามกับวิธี RC frame และ Steel frame ที่ต้นทุนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังรายงานว่าต้นทุนยังสามารถลดลงได้อีกจากการพัฒนาระบบบริหารจัดการให้ดียิ่งขึ้น เมื่อใช้วิธีการก่อสร้างแบบ Offsite อย่างต่อเนื่อง

เมื่องานก่อสร้างถูกนำมาดำเนินการภายใต้การตั้งค่าแบบงานโรงงาน ทำให้ประสิทธิภาพของงานก่อสร้างเพิ่มขึ้นได้อย่างมาก Benjaoran และคณะ [5, 6] เสนอวิธีการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนสิ่งก่อสร้างด้วยการใช้ Artificial Intelligent และหลักการ Flowshop scheduling ในการ Optimization เพื่อให้เวลา Makespan ของการผลิตสั้นที่สุด และมีการใช้งานแบบหล่อ (Mold) คุ้มค่าที่สุด นอกจากนี้วัสดุก่อสร้างสำคัญที่ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน เช่น เหล็กเส้น ยังสามารถถูกวางแผนการตัดอย่างรอบคอบด้วยการ Optimization เพื่อให้เกิดเศษการตัดน้อยที่สุดได้ โดย Benjaoran และคณะ [7, 8] ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการสร้างแผนการตัดวัสดุก่อสร้างเชิงเส้นให้เกิดเศษน้อยที่สุด ด้วยแนวทางเหล่านี้จะช่วยให้กระบวนการผลิตชิ้นงานภายในโรงงานเกิดประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นได้

2.2 รูปแบบการจัดกระบวนการผลิต

ระบบการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดกลุ่มคนงานเป็นสองระบบคือ

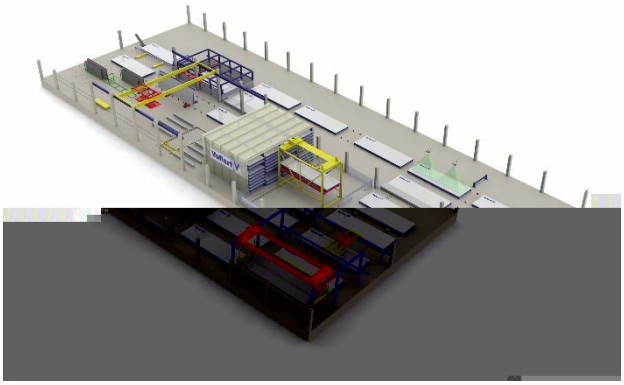
1. วิธีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (Specialized production method) ที่คนงานแต่ละกลุ่มจะทำงานเฉพาะขั้นตอนการผลิตหนึ่งขั้นตอน (หรือมากกว่า) ที่กลุ่มตนเองเชี่ยวชาญเท่านั้น และจะละจากชิ้นงานนี้เพื่อข้ามไปทำชิ้นงานถัดไปทันทีเมื่อทำเฉพาะขั้นตอนของตนเองเท่านั้นแล้วเสร็จ เพื่อส่งชิ้นงานนี้ให้กลุ่มคนงานที่เชี่ยวชาญงานในขั้นตอนถัดไปทำต่อไป เช่นนี้เรื่อยไปจนชิ้นงานดังกล่าวถูกดำเนินการครบทุกขั้นตอน ระบบการผลิตนี้คนงานมักจะดำเนินการประจำที่ (Working station) ของตนเอง ตัวชิ้นงานจึงมักจะต้องเลื่อนไปตามสายการผลิต ระบบนี้มีเป้าหมายเพื่อให้กลุ่มคนทำงานกับเนื้องานซ้ำ ๆ จนเป็นทักษะเฉพาะด้าน

2. วิธีความสามารถรอบด้าน (Comprehensive production method) ที่คนงานแต่ละกลุ่มจะทำงานกับชิ้นงานชิ้นหนึ่งตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนแล้วเสร็จ (หรือน้อยกว่า) คนงานจึงต้องมีความเชี่ยวชาญรอบด้านกับทุกขั้นตอนที่ต้องทำ และอาจแบ่งกลุ่มคนงานให้มีหลายกลุ่มเพื่อทำชิ้นงานหลายชิ้นพร้อม ๆ กัน วิธีนี้จะมีสายการผลิตที่สั้นกว่าหรือชิ้นงานอยู่กับที่ [9]

ระบบการผลิตทั้งสองนี้จะมีการจัดการแตกต่างกันในด้านการใช้พื้นที่ทำงาน การจัดสรรคนงาน และลำดับการทำงาน ทำให้มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามระบบการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปยังสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดแบบหล่อเป็นสองระบบ [10] คือ

1. วิธีแบบหล่ออยู่กับที่ (Stationary Pallet) เป็นการจัดวางตำแหน่งแบบหล่อชิ้นงานนิ่งอยู่กับที่ โดยพื้นแบบหล่อเป็นฐานหลักที่ถูกกำหนดค่าระดับให้สม่ำเสมอในแนวราบเพื่อให้ชิ้นงานที่จะผลิตมีพื้นผิวราบเรียบให้อยู่แนวระดับ วิธีนี้มักวางพื้นแบบหล่อ (เรียกว่าโต๊ะแบบ) ไปตามความยาวของพื้นที่ เพื่อให้ปั้นจั่นเหนือหัว (Gantry crane) เข้าถึงได้สะดวก และใช้แบบหล่อข้างมาประกอบให้เป็นรูปร่างชิ้นงานตามต้องการ วิธีการจัดแบบหล่อนี้สามารถใช้วิธีการผลิตแบบ Specialized production หรือ Comprehensive production ก็ได้ และนิยมใช้กันกับโรงงานแบบดั้งเดิมทั่วไปเนื่องจากใช้เงินลงทุนต่ำแต่ก็ต้องพึ่งพาแรงงานอยู่มาก

2. วิธีแบบหล่อหมุนเวียน (Pallet Circulation) เป็นการใช้แบบหล่อที่แยกอิสระเป็นแต่ละอัน (Pallet) เพื่อเคลื่อนแบบหล่อแต่ละอันที่มีชิ้นงานอยู่ด้วยหมุนเวียนไปตาม Working station ต่าง ๆ รอบโรงงาน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนกระทั่งแล้วเสร็จ และแบบหล่ออันนั้นจะเคลื่อนที่ครบรอบกลับมาที่ Working station แรกเพื่อเริ่มการทำงานรอบใหม่ โดยแบบหล่อจะเป็นโครงสร้างเฟรม (เหล็ก) ที่แข็งแรงต่อการเคลื่อนย้ายและแทบไม่โก่งตัวจากน้ำหนัก เพื่อให้สามารถใช้หล่อชิ้นงานให้ได้พื้นผิวราบเรียบให้อยู่แนวระดับ วิธีนี้มักวางเรียงแบบหล่อหลายอันต่อกันเป็นวงรอบ วิธีการจัดแบบหล่อนี้มักใช้วิธีการผลิตแบบ Specialized production เพื่อให้ Working station ต่าง ๆ และเครื่องจักรประจำแต่ละสถานีอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่น้อยที่สุด แต่ให้แบบหล่อและชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามสายพานการผลิตแทน ปัจจุบันเครื่องจักรที่ใช้ในวิธีแบบหล่อหมุนเวียนนี้ถูกออกแบบให้สามารถทำงานประสานกันเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติได้ และมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก เช่น Vollert.de [11] Weckenmann.com [12] เป็นต้น



รูปที่ 1 Semi-automated circulation system from Vollert.de [11]

2.3 กระบวนการผลิตชิ้นส่วน

การดำเนินการโดยทั่วไปของโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปประกอบด้วยกลุ่มงานหลักได้แก่ การวางแผนการผลิต การผลิตชิ้นส่วน การเก็บรักษาและการขนส่งชิ้นส่วน และงานการขาย ในการผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดของโครงการก่อสร้างหนึ่งอาจใช้ระยะเวลาหลายสัปดาห์หรือหลายเดือนขึ้นกับขนาดของโครงการและความยากง่ายของแบบก่อสร้าง อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานเหมือนกัน (Routines) 8 ขั้นตอน ดังนี้ [5, 6]

1. ทำความสะอาดแบบหล่อ (Cleaning) เพื่อกำจัดเศษคอนกรีตและวัสดุอื่นที่ติดค้างอยู่กับแบบจากการหล่อในครั้งก่อนออกให้หมด รวมทั้งการทาน้ำมันที่แบบหล่อ เพื่อพร้อมสำหรับใช้หล่อต่อไป
2. ประกอบแบบหล่อ (Shuttering) โดยนำแบบข้างประกอบยึดกันตามรูปร่างและขนาดของชิ้นงานที่กำลังจะผลิตและยึดกับฐานแบบหล่อที่เป็นพื้น
3. วางเหล็กเสริมและชิ้นส่วนฝังในเนื้อ (Placing) โดยนำตะแกรงเหล็กและเหล็กเสริมคอนกรีตต่าง ๆ วางลงในแบบหล่อตามแบบก่อสร้าง ที่ระยะและตำแหน่งของการเสริมเหล็ก รวมทั้งวางชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่จะฝังในเนื้อชิ้นงาน (Embedded parts) เช่น ท่อสายไฟ ท่อลอด เป็นต้นลงบนแบบหล่อให้ครบถ้วนตามแบบก่อสร้าง จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องของเหล็กและชิ้นส่วนฝังในทุกชิ้นให้ครบถ้วนและได้ระยะตามแบบก่อสร้างทุกประการ และแบบหล่อถูกประกอบยึดแน่นหนาแข็งแรงและไม่มีรอยรั่ว
4. เทคอนกรีต (Pouring) นำคอนกรีตสดเทลงในแบบหล่อให้เต็มตามแบบก่อสร้าง พร้อมทั้งการเขย่าหรือจี้คอนกรีตสดให้เนื้อแน่นเต็มทั่วทั้งแบบหล่อ

5. ขัดหน้าชิ้นงาน (Trowelling) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเบื้องต้นจะทำการขัดหน้าชิ้นงานให้เรียบมัน ตามระดับความเรียบที่ต้องการ
6. บ่มชิ้นงานคอนกรีต (Curing) ทิ้งชิ้นงานไว้เป็นระยะเวลาที่กำหนดเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวจนได้กำลังตามที่ต้องการ
7. ถอดแบบหล่อ (Stripping) แกะแบบหล่อข้างออกจากชิ้นงานที่แข็งตัวแล้วและยกออกไป ตรวจสอบความสมบูรณ์และขนาดของชิ้นงานอีกครั้ง หากพบความบกพร่องจึงทำการซ่อมแซมแก้ไข
8. เก็บรักษาชิ้นงาน (Storage) ยกชิ้นงานที่สมบูรณ์แล้วออกจากพื้นแบบหล่อ และย้ายไปเก็บรักษาไว้ในพื้นที่กองเก็บ เพื่อบ่มคอนกรีตต่อไปและรอการขนย้ายไปสถานที่ก่อสร้าง

ขั้นตอนทั้ง 8 นี้อาจจะถูกจัดเป็นแต่ละ Working station ที่ใช้คนงานแต่ละกลุ่มและมีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในแต่ละงาน

3. วิธีดำเนินการ

โครงการนี้เป็นความร่วมมือกันระหว่างบริษัทก่อสร้างและมหาวิทยาลัยเพื่อออกแบบโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปรูปแบบใหม่ที่สอดคล้องกับศักยภาพของบริษัทก่อสร้างขนาดกลาง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการหลักดังนี้

1. สำรวจและทบทวนวิธีการผลิตชิ้นงานที่โรงงานที่มีอยู่ เนื่องจากในปัจจุบันสามารถแบ่งระบบการผลิตออกเป็น 2 รูปแบบคือแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบดั้งเดิม คณะวิจัยจึงทำการสำรวจเพื่อทำความเข้าใจกับกระบวนการผลิตทั้ง 2 รูปแบบ พร้อมทั้งวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของแต่ละรูปแบบเพื่อนำไปสู่ความคิดสำหรับการออกแบบโรงงานระบบใหม่นี้

2. กำหนดตำแหน่งที่ตั้งและวางผังสถานที่โรงงาน การออกแบบจะให้กรณีศึกษาเพื่อเป็นตัวอย่างโจทย์ เนื่องจากโรงงานใหม่จะต้องถูกออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขของพื้นที่ตั้งจริง คณะวิจัยจึงเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานเป็นพื้นที่แห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา ซึ่งที่ตั้งนี้ก็เป็นสินทรัพย์ของบริษัทร่วมโครงการ

3. ออกแบบและประมาณราคางานก่อสร้างโรงงานผลิต โดยแบ่งงานออกเป็น 4 ด้านคือ การออกแบบโครงสร้างโรงงานทางวิศวกรรมโยธา การออกแบบเครื่องจักรทางวิศวกรรมเครื่องกล การออกแบบกระบวนการผลิตและการประมาณราคา ซึ่งจะมีผู้เชี่ยวชาญแต่ละด้านเป็นผู้รับผิดชอบ โดยงานทั้ง 4 ด้านจะต้องมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ โดยแบบก่อสร้างของโรงงานผลิตรูปแบบใหม่นี้จะเป็นผลลัพธ์สำคัญของโครงการวิจัยซึ่งจะต้องเหมาะสมกับกำลังการผลิตที่คาดหมาย มีการวางผังสถานที่อย่างรอบคอบเพื่อให้กระบวนการผลิตสะดวกราบรื่น และเกิดประสิทธิภาพสูง โดยแบบก่อสร้างโรงงานผลิตหล่อที่ดีจะทำให้เป็นการลงทุนที่คุ้มค่าสำหรับบริษัทก่อสร้างขนาดกลางและลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งใช้เวลาก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว

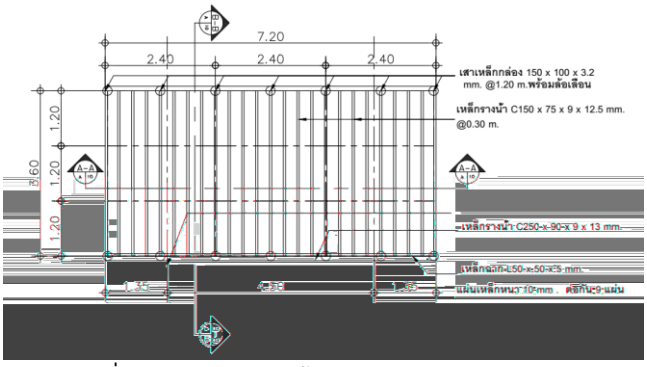
4. ผลลัพธ์

4.1 ผังบริเวณโรงงานผลิต

ที่ตั้งของโรงงานผลิตที่เป็นกรณีศึกษา คือที่ดินของบริษัทที่ร่วมโครงการที่ต้องการพัฒนาให้เป็นโรงงานผลิต ตั้งอยู่ที่อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา มีขนาด 3 ไร่ รูปร่างของที่ดินค่อนข้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เป็นแนวยาว ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้เป็นโรงงานผลิต และติดกับถนนเข้าออกที่ด้านสั้น ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ตั้งโรงงานนี้จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญเริ่มต้นในการออกแบบจัดวางตำแหน่งและจำนวนเครื่องจักรต่าง ๆ ภายในโรงงานผลิตนี้ รวมทั้งยังเป็นเงื่อนไขที่กำหนดกำลังผลิตของโรงงานนี้อีกด้วย ผลลัพธ์การออกแบบผังบริเวณเป็นดังนี้ แบ่งพื้นที่ตามความกว้างออกเป็น 5 แถบ เป็นแถบการหล่อ (Lane) 4 แถบและอีกแถบสำหรับเป็นถนนภายในและโรงประกอบ แบ่งพื้นที่ของแต่ละแถบออกเป็น 9 แถว (Row) สำหรับวางแบบหล่อ Pallet ตามรูปที่ 2

4.2 แบบหล่อแยกอิสระ (Pallet)

แบบหล่อแยกอิสระนี้เป็นอุปกรณ์สำคัญของการผลิต ซึ่งแตกต่างจากที่ใช้กันอยู่แพร่หลายในประเทศ ในโรงงานผลิตแบบดั้งเดิมนิยมสร้างพื้นแบบหล่อด้วยแผ่นเหล็กยกระดับขึ้นมาจากพื้นโรงงาน เรียกว่า โต๊ะแบบหล่อ โดยเป็นผืนแผ่นเหล็กต่อเนื่องกันเป็นแนวตามทางยาวไปตามพื้นที่ของโรงงานและติดตั้งอยู่กับที่ (Stationary mould) ทำให้สามารถใช้แบบหล่อข้างประกอบเป็นรูปร่างชิ้นงานได้ตามต้องการ แต่โรงงานใหม่นี้ถูกออกแบบให้ใช้ระบบการผลิตแบบหล่อหมุนเวียน (Pallet Circulation) โดยมีแบบก่อสร้าง Pallet ด้วยเหล็กรูปพรรณดังรูปที่ 3 ข้างล่างนี้

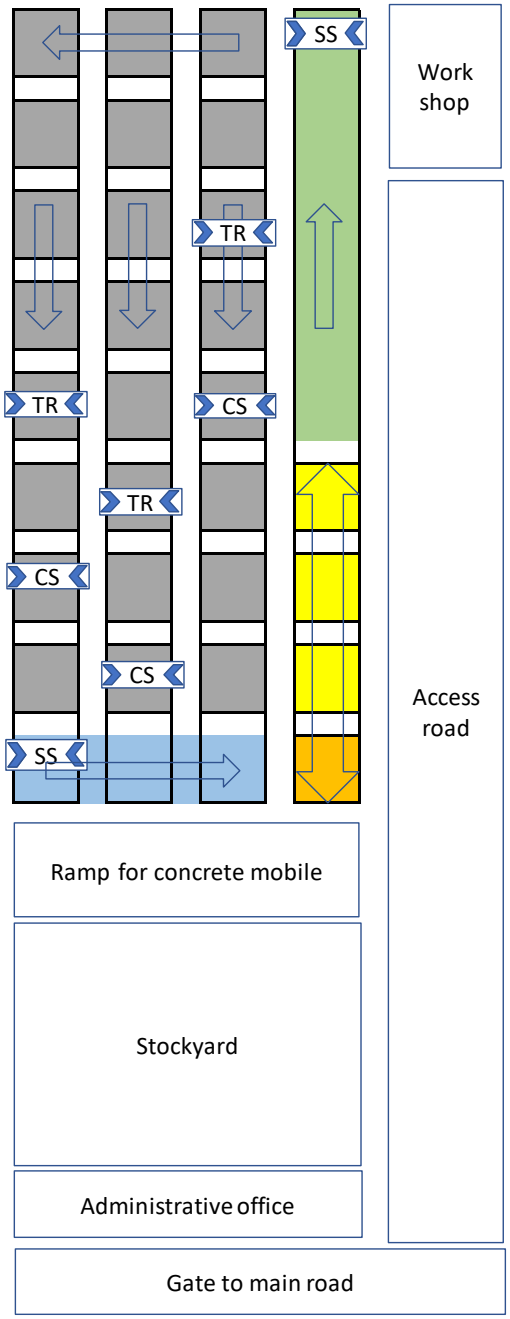


รูปที่ 3 ผลการออกแบบก่อสร้างแบบหล่อแยกอิสระ (Pallet)

4.3 เครื่องจักรสำคัญ

ผลการออกแบบระบบการผลิต Pallet Circulation ของโรงงานนี้ประกอบด้วยเครื่องจักรสำคัญต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่สนับสนุนงานกระบวนการผลิตตาม Working stations ต่าง ๆ ดังผังบริเวณโรงงานผลิตรูปที่ 2 มีรายละเอียดสังเขปดังต่อไปนี้

1. ปั้นจั่นเหนือหัว (Gantry Crane: GC) เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ใช้บริการทั่วทั้งพื้นที่หล่อ โดยคร่อมทั้ง 4 เลน และเคลื่อนที่ไปตามรางตามแนวยาวของพื้นที่หล่อ สำหรับการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งที่มีน้ำหนักมาก โดยเฉพาะกับการยกชิ้นส่วนออกจากแบบหล่อแล้วย้ายไปที่กองเก็บ



รูปที่ 2 ผลการออกแบบจัดผังบริเวณโรงงานผลิต

2. เครื่องเทคอนกรีต (Concrete Spreader: CS) เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบขึ้นใหม่ ประกอบขึ้นจากถังเทคอนกรีตและโครงสร้างเหล็กเคลื่อนที่ไปตามรางคร่อมแต่ละ Lane สำหรับการรับคอนกรีตสดนำไปเทลงแบบหล่อตาม Pallets ต่าง ๆ

3. เครื่องขัดหน้าคอนกรีต (Trowelling Machine: TR) เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบขึ้นใหม่ ประกอบขึ้นจากโครงสร้างเหล็กที่รองรับเครื่องขัดหน้าคอนกรีตทั่วไปและสามารถบังคับหัวขัดให้เคลื่อนที่ตามแนวนอนและตั้งได้อย่างแม่นยำ และปรับระดับในแนวดิ่งได้อย่างแม่นยำด้วยสำหรับผลิตชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน เคลื่อนที่ไปตามรางคร่อมแต่ละ Lane ใช้สำหรับการขัดหน้าชิ้นงานที่ Pallets ต่าง ๆ ให้เรียบมันตามที่กำหนด

4. มอเตอร์ขับและล้อเลื่อน (Drive Motors and Rollers: DMR) เป็นชุดกลไกสำหรับรับรองน้ำหนักของ Pallet พร้อมทั้งขับเคลื่อน Pallet ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของแต่ละ Lane 1 ถึง 3 ในทิศทางจาก Row 1 ไป 9 เพื่อให้เกิดการหมุนเวียน Pallet รอบพื้นที่หล่อ ส่วนเฉพาะ Lane 4 จะบังคับให้เคลื่อนที่ไปหรือกลับได้สองทิศทาง เพื่อส่ง Pallet ไปส่ง Working stations ที่กำหนดได้

5. เครื่องยกเลื่อนข้าง (Side Shifter: SS) เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบขึ้นใหม่ ประกอบจากโครงสร้างเหล็กที่ปรับระดับขึ้นลงในแนวดิ่งได้ เพื่อสำหรับรองรับและขนย้าย Pallet จาก Lane หนึ่งไปอีก Lane หนึ่ง มีการเคลื่อนที่ตัดผ่าน Lane ต่าง ๆ ในแนวขวางกับพื้นที่หล่อ เป็นเครื่องจักรที่ทำงานประสานกับ DMR เพื่อให้ Pallet สามารถเคลื่อนที่เป็นวงรอบได้สมบูรณ์

6. หอบ่มคอนกรีต (Curing Chamber: CC) เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบขึ้นใหม่ ประกอบจากโครงสร้างเหล็กที่มีความสูงและแข็งแรงเพื่อรองรับน้ำหนักของ Pallet จำนวนหลายอันที่วางเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ในแนวดิ่งรวม 6 ชั้น จากบนลงล่างตามลำดับ ด้วยการใช้แม่แรงไฮดรอลิกสำหรับการลำเลียงขึ้นลงในแนวดิ่ง เมื่อยกได้ตำแหน่งแล้วจึงใช้สลักยึด Pallets เข้ากับโครงสร้างของหอ โดย Pallet ที่มีชิ้นงานเหล่านี้จะถูกพักไว้ที่ CC นี้ข้ามคืนเพื่อบ่มคอนกรีตให้ได้กำลังตามต้องการ หลังจากนั้น Pallet จึงถูกลำเลียงออกจาก CC โดยไล่ลำดับจากล่างขึ้นข้างบน เพื่อนำชิ้นงานไปสู่ Working station ถัดไป ในโรงงานนี้จะมี CC อยู่ทั้งสิ้น 3 เครื่องเพื่อรองรับกับจำนวน Pallet ทั้งหมดที่มี

7. เครื่องเอียงแบบหล่อ (Tilting Machine: TL) เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบขึ้นใหม่ ประกอบจากโครงสร้างเหล็กและชุดกระบอกไฮดรอลิก 2 อันที่มีความแข็งแรงสูงสามารถรองรับน้ำหนักของ Pallet และชิ้นงาน 1 อัน และพลิกเอียงเป็นมุม 80 องศาได้อย่างมั่นคง โดยวางอยู่บนฐานรากที่มีเสาเข็ม การพลิกเอียง Pallet เป็นขั้นตอนที่ทำให้สามารถยกชิ้นงานออกจากแบบได้อย่างปลอดภัย ลดความเสียหายของชิ้นงานและสามารถย่นระยะเวลาการรอความแข็งแรงของคอนกรีตลงได้ เนื่องจากมุมเอียงจะช่วยลด Bending moment ที่จะเกิดกับชิ้นงานที่เพิ่งผลิตใหม่ลงได้มาก

8. ถนนภายใน (Access Road: AR) เป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับรองรับพาหนะที่ใช้ขนส่งอุปกรณ์และวัสดุภายในโรงงาน ได้แก่ รถ Trailer trucks รถขนส่งคอนกรีต รถกระบะ เป็นต้น ถูกจัดวางอยู่ด้านข้างของ Lane 4 ไปตามแนวยาวของพื้นที่หล่อ เพื่อให้เข้าถึงพื้นที่ทำงานได้ทั่วถึง

9. ลานกองเก็บ (Stockyard) เป็นพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับการกองเก็บชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว เพื่อเก็บรักษาและบ่มคอนกรีตต่อไป และรอการขนส่งไปที่สถานที่ก่อสร้างต่อไป Stockyard เป็นพื้นที่ที่เข้าถึงได้ด้วย GC และ AR

10. พื้นยก (Ramp: RP) สำหรับรถขนคอนกรีต เป็นโครงสร้างที่ทำด้วยโครงเหล็กและแผ่นพื้นคอนกรีตที่ถูกออกแบบขึ้นใหม่ สำหรับยกระดับรถขนคอนกรีตขึ้นไปส่งคอนกรีตสดลงสู่ CS เพื่อนำไปใช้ต่อไป

11. โรงประกอบ (Workshop) เป็นพื้นที่สำหรับงานเตรียมการต่าง ๆ เช่น การเตรียมเหล็กเสริมคอนกรีต และชิ้นส่วนฝังในเนื้อ รวมทั้งการจัดเก็บวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน โดยพื้นที่นี้จะต้องเข้าถึงด้วย AR และ GC

4.4 รอบการผลิต

การผลิตชิ้นส่วนที่โรงงานใหม่นี้ถูกวางแผนจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนทั้ง 8 ขั้นตอนในหัวข้อ 2.3 ที่ Working stations ต่าง ๆ ตามการจัดวางตำแหน่งผังโรงงานที่เป็นพื้นที่กรณีศึกษา ได้ผลลัพธ์เป็นรอบการผลิตประจำวันของโรงงานดังนี้ แถบการหล่อที่ 1 ถึง 3 จะซ้ำเหมือนกันสำหรับทวีคูณอัตราการผลิตเป็น 3 เท่า เริ่มต้นการผลิตที่แถวที่ 1 และเคลื่อนที่ตามลำดับไปสู่แถวสุดท้ายแถวที่ 9 ส่วนแถบที่ 4 จะใช้สำหรับเป็นพื้นที่ของเครื่องจักร TL และ CC และพื้นที่เหลือใช้สำหรับการลำเลียง Pallet เปล่า

วนกลับไปที่จุดเริ่มต้นของรอบการผลิต แผนการผลิตแสดงดังรูปที่ 4 กำหนดตำแหน่งแถบ (Lane) และแถว (Row) ของการทำงานแต่ละขั้นตอน รวมทั้งการจัดชุดคนงาน Specialized workers และเครื่องจักรสำหรับงานเหล่านั้น นอกจากนี้แผนงานยังกำหนดวงรอบการทำงานใน 1 วันแบ่งออกเป็น 8 ชั่วโมงทำงาน และนอกชั่วโมงทำงานอีกด้วย โดยภายใน 24 ชั่วโมงจะสามารถทำงานได้ครบ 1 รอบครอบคลุมครบทั้ง 8 ขั้นตอนการผลิต

รูปที่ 4 ผลการวางแผนรอบการผลิตประจำวัน

4.5 เงินลงทุนโดยประมาณ

หลังจากการออกแบบโรงงานผลิตใหม่นี้ จึงประมาณเงินลงทุนที่ต้องใช้สำหรับการก่อสร้างและจัดหาเครื่องจักรสำคัญต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นการประมาณราคาแบบคร่าว เพื่อกำหนดวงเงินงบประมาณสำหรับโครงการก่อตั้งโรงงานใหม่นี้ และใช้สำหรับประเมินความเป็นไปได้ของโครงการและการวางแผนธุรกิจต่อไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบก่อสร้างโรงงานผลิตนี้ใช้งบประมาณ 26 ล้านบาท เทียบกับการก่อสร้างโรงงานผลิตกึ่งอัตโนมัติด้วยการซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศจะต้องใช้เงินลงทุนมากกว่ามาก ถึงประมาณ 70 เท่า

5. บทสรุป

เทคโนโลยีการก่อสร้างนอกสถานที่จะเข้ามาแทนที่การก่อสร้างแบบดั้งเดิมภายในอนาคตอันใกล้ และจะเป็นการพลิกโฉมงานก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อให้บริษัทก่อสร้างขนาดกลางและย่อมสามารถมีส่วนร่วมกับการเปลี่ยนแปลงนี้ โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบใหม่ที่ใช้เงินลงทุนต่ำจึงถูกออกแบบและนำเสนอในบทความนี้

การออกแบบโรงงานผลิตจะต้องสอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ตั้ง โดยควรเป็นที่ดินที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวมากกว่าด้านกว้างมาก ๆ เพื่อให้จัดวางตำแหน่งการทำงานไปตามความยาวของสายการผลิต และเกิดประสิทธิภาพของการใช้เครื่องจักรสูง คุณลักษณะและจำนวนของเครื่องจักรสำคัญต่าง ๆ ต้องถูกออกแบบให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิต

[9] Han, C., Li, Q.N., Wang, X., Jiang, W.S. and Li, W. (2016) Research on rotation capacity of the new precast concrete assemble beam-column joints. *Steel and Composites Structures*, 22(3), pp. 613-625.

[10] India Precast. (2022). Accessed on March 20, 2022. indiaprecast.com

[11] Vollert Group. (2022). Accessed on March 20, 2022. vollert.de

[12] Weckenmann Anlagentechnik GmbH & Co. KG. (2022). Accessed on March 20, 2022. weckenmann.com