

การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป: การทบทวน วรรณกรรมในประเทศไทย

Prefabricated construction: A literature review in Thailand

vikrom เหล่าวิสุทธิชัย^{1*} และ บัณฑิต จุลาสัย²

¹อาจารย์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

²ศาสตราจารย์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Vikrom Laovisutthichai^{1*} and Bundit Chulasai²

¹Lecturer, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University,
254, Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok 10330

²Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University,
254, Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok 10330

*Email: vikrom.l@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้รับความนิยมมากขึ้นในประเทศไทย จึงมีการวิจัยเรื่องนี้เพิ่มขึ้น และกระจายอยู่ในฐานข้อมูลต่าง ๆ โดยไม่มีการรวบรวม วิเคราะห์และเรียบเรียง เพื่อเป็นประโยชน์ทั้งด้านวิชาการ และวิชาชีพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์จัดทำฐานข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป และบ่งชี้ช่องว่างงานวิจัยในศาสตร์นี้ จากการสืบค้นฐานข้อมูลของ 8 สถาบันอุดมศึกษา พบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ ในช่วงปีพ.ศ. 2516-2560 รวม 140 รายการ หลังช่วงปี พ.ศ. 2541-2545 มีการศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณพบว่างานวิจัยครอบคลุมทุกขั้นตอนตลอดทั้งวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม แต่ยังมีจำนวนงานวิจัยอยู่น้อย ในขั้นการขนส่ง ขั้นหลังการก่อสร้าง และขั้นการปรับปรุงหรือรื้อถอนอาคาร เมื่อพิจารณาในรายละเอียด องค์ความรู้ที่ได้ มักอยู่ในรูปแบบ 1) ปัจจัย 2) วิธีการ 3) ประเภท 4) ประโยชน์ และ 5) ปัญหาของอาคารที่ก่อสร้างรูปแบบดังกล่าว ซึ่งยังขาดการศึกษาวิจัยแนวทางการแก้ไขปัญหา เช่น การเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานตลอดทั้งวงจร การตัดสินใจเลือกรูปแบบการก่อสร้างและการผลิตที่เหมาะสม การวางแผนจัดการชิ้นส่วน และการออกแบบคำนึงถึงการผลิต ขนส่ง ติดตั้ง และรื้อถอน เป็นต้น

คำสำคัญ: การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป, การก่อสร้างด้วยระบบโมดูลาร์, การออกแบบเพื่อการผลิตและประกอบ ติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป, ทบทวนวรรณกรรม, วงจรชีวิตสถาปัตยกรรม

Abstract

Due to the broad adoption of prefabrication in Thailand, numerous investigations have been conducted. However, they are hitherto in a piecemeal fashion without an integrated resource for future research and practice developments. This research, therefore, aims to establish the Thai prefabrication research database and identify knowledge gaps. By gathering prior studies from eight Thai universities' databases, 140 research papers and theses, conducted during 1973-2017, are found. Since 1998, the number of research has been increased gradually. Although there are investigations in every stage of the building lifecycle, the quantitative results indicate huge knowledge gaps in several parts, especially logistics, post-construction, and renovation and demolition stages. Considering the body of knowledge, most research contributions are mainly in the form of 1) factors, 2) methodologies, 3) typologies, 4) impacts, and 5) weaknesses of prefabrication. However, there is a scarcity of research on the solutions, such as a paradigm shift in professional practice, careful decision-making on typologies of component production and construction methods, prefabricated components' management, and design concerning manufacture, logistics, assembly, and demolition.

Keywords: Building lifecycle, Design for manufacture and assembly, Literature review, Modular integrated construction, Precast components, Prefabricated construction

Received: March 22, 2022; **Revised:** March 16, 2022; **Accepted:** April 22, 2022

1. บทนำ

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง ทั้งการศึกษาโครงการ ออกแบบ ก่อสร้าง เข้าใช้งาน ปรับปรุง และรื้อถอน ประสบปัญหาทั้งความล่าช้า มีค่าใช้จ่ายสูง ประสิทธิภาพไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ และขาดนวัตกรรมใหม่ (DEVB, 2018) การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Prefabrication) กลายเป็นความหวังใหม่ในอุตสาหกรรมนี้ โดยการปรับปรุง การก่อสร้างแบบดั้งเดิมให้เป็นระบบอุตสาหกรรม (Industrialization) ย้ายการก่อสร้างจากหน้างานบนพื้นที่ก่อสร้าง ไปยังโรงงานหรือพื้นที่ผลิตที่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมในการทำงานได้ รวมถึงกำหนดขั้นตอนและหน้าที่ให้เป็นระบบ (Tatum et al., 1987) ช่วยให้สามารถควบคุมคุณภาพได้ดีขึ้น (ชาคริต วิชาบุญศิริ, 2553) ระยะเวลาการก่อสร้าง รวดเร็วขึ้น (สุกฤต อนันตชัยยง, 2545) ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน (พิเชษฐ์ นະสูงเนิน, 2560) และลดปัญหาการจัดการ ของเสียในพื้นที่ก่อสร้าง (Lu et al., 2021) ส่งผลให้มีการศึกษาวิจัยการก่อสร้างในลักษณะดังกล่าวเพิ่มขึ้นทั่วโลก ทั้งประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนา (Li et al., 2014)

ผลการศึกษารวบรวมจำนวนมากนี้ยังถูกรวบรวม ทบทวน และวิเคราะห์อีกครั้ง เพื่อหาปัญหาสำคัญ แนวโน้ม พัฒนาการ หรือตอบคำถามการวิจัยที่กว้างขึ้นในหลากหลายบริบท เช่น ในประเทศจีน การทบทวนวรรณกรรมนำไปสู่ข้อค้นพบว่าการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปใช้งบลงทุนเริ่มต้นสูง จึงเหมาะกับตลาดขนาดใหญ่ที่มีความพร้อมแล้ว (Hong et al., 2018) ส่วนประเทศอังกฤษการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในยุคเริ่มแรกไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากปัญหาคุณภาพในการก่อสร้าง แต่การก่อสร้างนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นอีกครั้งจากความต้องการบ้านจัดสรรในศตวรรษที่ 21 (O'Neill et al., 2016) นอกจากนี้ยังมีการทบทวนวรรณกรรมในวารสารวิชาการชั้นนำทั่วโลกที่พบว่า องค์ความรู้ด้านนี้ ส่วนใหญ่มาจากประเทศที่พัฒนาแล้ว ในขณะที่ประเทศกำลังพัฒนาก็ให้ความสนใจการก่อสร้างรูปแบบนี้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยชิ้นนี้ยังชี้ให้เห็นสถานะ คำสำคัญ และแนวทางการพัฒนา เป็นพื้นฐานสำคัญให้แก่ผู้สนใจศึกษา และปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องต่อไป (Li et al., 2014)

ในบริบทของประเทศไทย มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น ประทีป อิทธิเมธินทร์ (2520) สํารวจการก่อสร้างระบบดังกล่าวสำหรับบ้านพักอาศัย เพื่อค้นหาปัญหาและสรุปเป็นแนวทางออกแบบด้วยระบบประสานพิกัด สุกฤต อนันตชัยยง (2545) พบว่า การนำแบบบ้านทั่วไปมาใช้ในการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะทำให้เกิดปัญหา และต้องการการศึกษาวิธีการออกแบบให้เหมาะสมต่อไป ต่อมามีการศึกษาเปรียบเทียบกับ การก่อสร้างแบบดั้งเดิมจำนวนมาก พบว่า การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปใช้ระยะเวลาสั้นกว่า ใช้แรงงานน้อยกว่า และประหยัดกว่า (อินทิรา บางภิกพ, 2551) อย่างไรก็ตามงานวิจัยและวิทยานิพนธ์เหล่านี้ได้รับการตีพิมพ์กระจายอยู่ในวารสารหรือฐานข้อมูลต่าง ๆ โดยที่ยังไม่มีการรวบรวมและวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังขาดการศึกษาภาพรวมของอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ตลอดทั้งวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนางานวิจัย และการนำไปปฏิบัติใช้ต่อไป

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและเรียบเรียงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทย รวมทั้งการชี้ช่องว่างองค์ความรู้ในปัจจุบัน เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการพัฒนางานวิจัย และการนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป บทความนี้แบ่งออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ บทนำ การกำหนดนิยามเพื่อความเข้าใจที่ตรงกันของผู้เขียนและผู้อ่าน วิธีวิจัย ผลการศึกษา การอภิปราย และการสรุปผลการศึกษา

2. นิยาม การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ที่ผ่านมามีการนิยามการก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปอย่างต่อเนื่อง และเป็นที่ยกเถียงกันในวงกว้าง (Lu et al., 2021) เช่น การย้ายขั้นตอนการก่อสร้างจากหน้างานไปยังพื้นที่ผลิตนอกพื้นที่ก่อสร้าง (Tatum, 1987) กระบวนการผลิตบนพื้นที่ซึ่งวัสดุจำนวนมากมาประกอบกันขึ้นเป็นชิ้นส่วน (Gibb & Isack, 2003) กระบวนการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างในโรงงาน และขนส่งชิ้นส่วนที่ยังไม่ได้ประกอบหรือประกอบเสร็จแล้วไปยังสถานที่ก่อสร้าง (Tam et al., 2007) และเทคนิคการก่อสร้างที่อาศัยการผลิตชิ้นส่วนอาคารนอกพื้นที่ก่อสร้างอาคาร โดยการผลิตอาจอยู่ในบริเวณโครงการหรือนอกโครงการก็ได้ (Faria, 2017)

ในการศึกษานี้ การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป หมายถึง กระบวนการก่อสร้างอาคาร โดยชิ้นส่วนอาคารบางส่วนหรือทั้งหมด ผลิตในระบบอุตสาหกรรม ก่อนการขนส่ง ไปติดตั้ง ณ สถานที่ก่อสร้าง นิยามนี้หมายรวมทั้งโครงสร้างคอนกรีตและเหล็ก โดยหากพิจารณาตามระดับของการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป 5 ระดับ (Gibb & Isack, 2003) ได้แก่ ระดับ 0 Cast-in-situ หมายถึง ไม่มีการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปในอาคาร งานทั้งหมดเกิดขึ้นจากการหล่อในที่หรือก่อสร้างหน้างาน ระดับ 1 Component manufacture and sub-assembly หมายถึง มีการผลิตและประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปในบางชิ้นส่วนอาคาร เช่น เสา คาน ฯลฯ ระดับ 2 Non-volumetric assembly หมายถึง มีการผลิตและประกอบติดตั้งชิ้นส่วนอาคาร 2 มิติขนาดใหญ่ เช่น ผนังอาคาร แต่ไม่มีการผลิตพื้นที่ใช้สอยปิดล้อม (Enclosed space) ระดับ 3 Volumetric assembly หมายถึง พื้นที่ใช้สอยปิดล้อมบางส่วนถูกผลิตจากโรงงานก่อนประกอบติดตั้งหน้างาน เช่น ห้องน้ำ ห้องครัว ฯลฯ และระดับ 4 Modular building หมายถึง พื้นที่ใช้สอยปิดล้อมถูกผลิตจากโรงงาน สามารถประกอบกันขึ้นเป็นอาคารได้ เพราะพื้นที่ใช้สอยปิดล้อมที่ผลิตดังกล่าวเป็นโครงสร้างของอาคารด้วย นิยามในการศึกษานี้หมายรวมถึงตั้งแต่ระดับที่ 1 ถึง 4

3. วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรม (Literature review) วิธีการดังกล่าวเป็นพื้นฐานสำคัญ โดยอาศัยการอ่านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจนสามารถสร้างหรือประกอบองค์ความรู้ (Body of knowledge) ขึ้นมาได้ โดยอาจเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยหรือเป็นส่วนหลักในการวิจัย (Wee and Banister, 2016) วิธีนี้จะช่วยให้ผู้วิจัยก้าวทันองค์ความรู้ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ช่วยค้นหาช่องว่างงานวิจัย รวมถึงสร้างพื้นฐานความเข้าใจที่แข็งแกร่งสู่การต่อยอดในอนาคต (Webster and Watson, 2002) ซึ่งตรงกับจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ โดยการทบทวนวรรณกรรมควรศึกษาข้อมูลงานวิจัยอย่างน้อย 30 ชิ้นขึ้นไป (Wee and Banister, 2016)

การศึกษาเริ่มต้นจากการสืบค้นฐานข้อมูลออนไลน์ของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย 8 แห่ง ที่พบว่ามีการเผยแพร่งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามรายละเอียดในตารางที่ 1 ทำการสืบค้นในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 โดยกำหนดคำสำคัญในการสืบค้น ได้แก่ การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป การก่อสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อาคารสำเร็จรูป บ้านสำเร็จรูป Prefabrication Prefabricated house Prefabricated building และ Precast concrete construction หลังจากนั้นจึงคัดกรองงานวิจัยที่สืบค้นได้ คัดเลือกเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทย พบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 140 รายการ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบตัวแปรการจำลองฟิล์มบาง

ลำดับ	ฐานข้อมูลที่สืบค้น	เว็บไซต์
1.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	http://cuir.car.chula.ac.th
2.	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	http://cmuir.cmu.ac.th
3.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	https://tdc.thailis.or.th/tdc/
4.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	https://tdc.thailis.or.th/tdc/
5.	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	https://library.tu.ac.th/
6.	มหาวิทยาลัยศิลปากร	http://www.thapra.lib.su.ac.th/thesis
7.	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	http://kb.psu.ac.th/psukb/
8.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	https://tdc.thailis.or.th/tdc/

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นมีความซับซ้อนและมีจำนวนมาก ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ตามวงจรชีวิตสถาปัตยกรรมที่มีอยู่ 7 ขั้นตอน (ไตรวัฒน์ วิริยะศิริ, 2562) ประกอบด้วย ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการก่อสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้าง ขั้นตอนหลังการก่อสร้าง ขั้นตอนการใช้งาน และขั้นปรับปรุงหรือรีโนเวท สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ ขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนขนส่ง และขั้นตอนการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Laovisutthichai et al., 2020) การวิเคราะห์ข้อมูลตามวงจรชีวิตสถาปัตยกรรมนี้จะช่วยให้เห็นภาพรวมองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากนั้นจึงอภิปรายและสรุปผลการศึกษา ซึ่งจะชี้ให้เห็นสถานะ และช่องว่างองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป

4. ผลการศึกษา

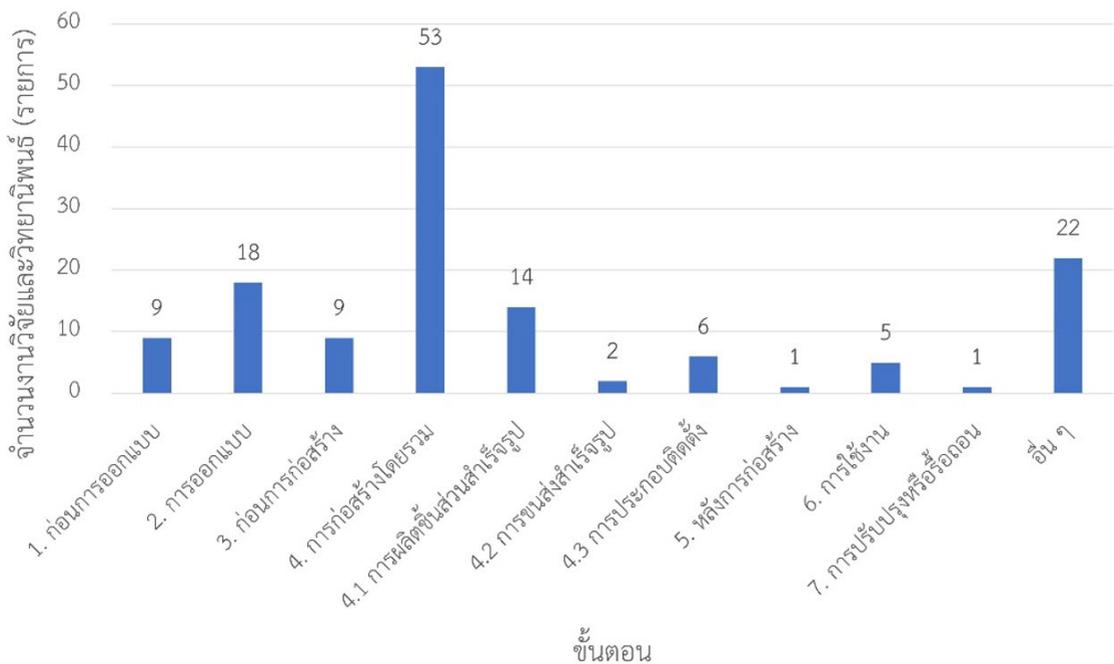
จากการสืบค้นฐานข้อมูล พบบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ทั้งสิ้น 140 รายการ เมื่อจำแนกตามช่วงปี พบบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องชิ้นแรกในช่วงปี พ.ศ. 2516-2520 (ประทีป อธิธิเมฆินทร์, 2520) หลังจากนั้นยังมีการศึกษาในด้านนี้ไม่มากนัก แต่หลังจากช่วงปีพ.ศ. 2541-2545 เป็นต้นมา มีงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวกับการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จำนวนงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง จำแนกตามช่วงปี

แม้ว่าจะพบบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องจำนวนมากถึง 140 รายการ แต่เมื่อนำมาจำแนกขั้นตอนตามวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2 พบว่า งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่ กระจุกตัวอยู่ขั้นตอนการก่อสร้างโดยรวม ซึ่งกล่าวถึงทั้งการผลิต ขนส่ง และประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปในงานวิจัยชิ้นเดียว เป็นจำนวนทั้งสิ้น 53 รายการ แต่การศึกษาในขั้นตอนอื่น ยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย เช่น ขั้นตอนการออกแบบ 9 รายการ ขั้นตอนการก่อสร้าง 9 รายการ ขั้นตอนการขนส่ง 2 รายการ ขั้นตอนการประกอบติดตั้ง 6 รายการ ขั้นตอนหลังการก่อสร้าง 1 รายการ ขั้นตอนใช้งาน 5 รายการ และขั้นตอนปรับปรุงหรือรื้อถอนที่มีเพียง 1 รายการ

จำนวนวิทยานิพนธ์แบ่งตามขั้นตอนการดำเนินการ



ภาพที่ 2 จำนวนงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง จำแนกตามวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม

สำหรับเนื้อหาสาระสำคัญของงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ ตาม 7 ขั้นตอนของวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม มีข้อค้นพบดังนี้

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ (Pre-Design)

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในขั้นตอนนี้ เกี่ยวข้องกับทัศนคติต่อการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป การยอมรับของผู้บริโภค ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อบ้าน และการตัดสินใจเลือกใช้วิธีการก่อสร้างของเจ้าของโครงการ พบว่า ในมุมมองของผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปมากที่สุด คือ ราคาจำหน่าย และปริมาณการผลิตชิ้นส่วน รองลงมา คือ ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และดอกเบี้ยเงินกู้ ตามลำดับ (อุดม หงส์ศิริฐ, 2543) ส่วนผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อบ้านที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป เนื่องจากงบประมาณ ความต้องการ และความสะดวกในการซื้อ ตามลำดับ (ณัฐชา มาตุภูมานนท์, 2558)

ทั้งผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ผู้บริโภค และผู้รับเหมาส่วนใหญ่ยอมรับในการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป (อนุชา เงินอยู่, 2554) โดยผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์มองว่าระบบการผลิตจำนวนมาก (Mass production) และการก่อสร้างด้วยระบบโรงงาน (Real estate manufacturing) ช่วยลดต้นทุน เพิ่มคุณภาพผลผลิต ร่นระยะเวลาก่อสร้าง ทำให้สามารถตั้งราคาขายได้เหมาะสมมากขึ้น เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้บริษัทมีกระแสเงินสดมากขึ้น และเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่สร้างความสำเร็จทางการเงินให้แก่บริษัท (วรพงศ์ งามสิริมงคลชัย, 2558)

ผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ผู้รับเหมาก่อสร้าง และผู้บริโภค ยังสะท้อนปัญหาของการก่อสร้างรูปแบบนี้ เช่น ความยากลำบากในการปรับปรุงและต่อเติมให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ความยากลำบากในการติดตั้งงานระบบไฟฟ้าและสุขาภิบาลเพิ่มเติม และปัญหาด้านคุณภาพผลงาน (ทิวา รักษ์อาชีพ, 2557) โดยมีข้อเสนอแนะให้พัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต และเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจ ให้แก่ผู้ออกแบบ (อนุชา เงินอยู่, 2554)

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ (Design)

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์มากกว่า 10 รายการ ค้นพบว่า การออกแบบช่วยลดปริมาณวัสดุ ลดค่าใช้จ่าย และลดระยะเวลาในการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้ (กวิศ ปานม่วง, 2551) โดยจะต้องเป็นการออกแบบที่คำนึงถึง ประเด็นปลีกย่อยจำนวนมากในขั้นการผลิต ขนส่ง ติดตั้ง และใช้งาน (ประทีป อิทธิเมฆินทร์, 2520) มีการประสานงาน กับวิศวกร ผู้รับเหมา และผู้ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ต้น (วิชัย โสขประสพโกคา, 2552) และประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบ เช่น ระบบประสานพิกัด หรือ การออกแบบชิ้นส่วนอาคารที่มีขนาดและระยะ สัมพันธ์ และประสานกัน โดยใช้หน่วยพิกัด มูลฐาน (Modular design) (อมร ปิยะวาจิ, 2555) การออกแบบโดยเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standardization design) และการสร้างความแตกต่างให้แก่อาคารโดยใช้วัสดุทางเลือกอื่นเข้ามาประกอบหน้างาน เพื่อมิให้กระทบกับการผลิตชิ้นส่วน ในระบบอุตสาหกรรม (ชนิกา รักษากุล, 2560) นอกจากนี้ในขั้นตอนนี้ยังสามารถใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ช่วยในการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้อีกด้วย (Computer Aided Design) (วิญญู ทัดธนานันต์, 2548)

ผลการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นความสำคัญของการออกแบบ ที่ส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังอาคารที่ก่อสร้างด้วย ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ตลอดทั้งวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม ทั้งการผลิต ขนส่ง ติดตั้ง ใช้งาน และปรับปรุงหรือรื้อถอนอาคาร ในอนาคต แนวทางการออกแบบดังกล่าวถือเป็นการวางแผนล่วงหน้าอย่างเป็นระบบ ป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นหน้างาน และทำให้การก่อสร้างคล่องตัวขึ้น จึงควรมีการศึกษาด้านการออกแบบเพื่อการผลิตและประกอบติดตั้ง (Design for Manufacture and Assembly : DfMA) รวมถึงการออกแบบที่คำนึงถึงตลอดทั้งวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม ในบริบทของ ประเทศไทยต่อไป (Laovisutthichai and Lu, 2021)

3.3 ขั้นตอนการก่อสร้าง (Pre-Construction)

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในขั้นตอนนี้ กล่าวถึงการวางแผนงานก่อสร้างโดยละเอียดก่อนการก่อสร้างจริง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากต่อความสำเร็จของโครงการ เนื่องจากการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีการกำหนดขั้นตอน และวิธีการทำงานอย่างชัดเจน การทำงานต่อเนื่องกันเป็นระบบ คล้ายการผลิตผลิตภัณฑ์ในสายการผลิต ความผิดพลาด จนทำให้ระบบการทำงานหยุดชะงักจะทำให้ล่าช้า อีกทั้งชิ้นส่วนอาคารมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ความผิดพลาดอาจ ทำให้เกิดความสูญเสียได้ (รวีพล วราวนิชกุล, 2548 ; วงศ์วิสุทธิ วิสุทธิเสรีวงศ์, 2558) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการจำลองสถานการณ์ การผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป เพื่อเก็บข้อมูล วิเคราะห์ พัฒนา และกำหนดเป็นแบบแผนในการทำงานก่อน การก่อสร้างจริง ช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้หน้างาน (รวีพล วราวนิชกุล, 2548) ปัจจุบันนี้การวางแผนงาน สามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้นโดยการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Model : BIM) เพราะเทคโนโลยี นี้ มีความสามารถในการจัดการข้อมูลอาคารที่มีจำนวนมากและซับซ้อน และนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างเป็นภาพสามมิติ โดยในขั้นตอนนี้ แบบจำลองสารสนเทศอาคารจะช่วยจำลองสถานการณ์จริง ใช้ในการวางแผนงาน เพิ่มความแม่นยำ ในการทำงานจริง และขจัดความซ้ำซ้อนในการทำงานหน้างานได้ (วงศ์วิสุทธิ วิสุทธิเสรีวงศ์, 2558)

3.4 ขั้นตอนการก่อสร้าง ทั้งการผลิต ขนส่ง และประกอบติดตั้ง (Construction : Manufacturing, Logistics, and Assembly)

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในขั้นการก่อสร้างโดยรวม ทั้งการผลิต ขนส่ง และประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป มีจำนวนมากที่สุดถึง 53 รายการ ในจำนวนนี้มีงานวิจัยถึง 21 รายการ ที่เปรียบเทียบระหว่างการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วน สำเร็จรูป และการก่อสร้างหน้างานแบบเดิม (Conventional cast in-situ construction) ทั้งการเปรียบเทียบการก่อสร้าง บ้านจัดสรรสูง 1-2 ชั้น การเปรียบเทียบการก่อสร้างทาว์นเฮ้าส์สูง 3 ชั้น รวมถึงการเปรียบเทียบบางองค์ประกอบอาคาร อย่าง เสา คาน หรือหลังคา การศึกษาส่วนใหญ่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันว่า การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปรวดเร็วกว่า ประหยัดกว่า และใช้แรงงานน้อยกว่า (สุชน รัตนูปกรณ์ 2557) แต่ยังมีบางโครงการที่ประสบปัญหาหาค่าก่อสร้างที่สูงกว่า

และคุณภาพผลผลิตไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง (ปรกรณ์ สุวรรณศิริพันธ์, 2553) ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น แรงงานขาดความรู้ความเข้าใจในระบบการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรม (ชนินทร์ วงศ์พานิชย์, 2558) การนำแบบสถาปัตยกรรมเดิมสำหรับการก่อสร้างแบบเดิม มาใช้ในการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยที่ไม่มีการปรับแก้ไขให้เหมาะสม (สุกฤต อนันตชัยยง, 2545) ผู้ออกแบบขาดความรู้และประสบการณ์ (ศุภสิทธิ์ พฤกษ์โชติ, 2547) และการขาดการเตรียมการก่อนการออกแบบและก่อสร้าง (ณัฐวุฒิ ถนอมพวงเสรี, 2549)

นอกจากนี้ งานวิจัยยังเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว นอกจากจะปรับปรุงและพัฒนาการผลิต ขนส่ง และประกอบติดตั้งให้มีความต่อเนื่องแล้ว ยังมีข้อเสนอแนะถึงขั้นก่อนการออกแบบ และขั้นการออกแบบ เช่น การออกแบบโดยใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standardization design) เพื่อลดจำนวนรูปแบบชิ้นส่วน เพราะชิ้นส่วนที่เหมือนกันช่วยให้ขั้นตอนในการทำงานก่อสร้างซ้ำกันและต่อเนื่องกัน ในขณะที่ ชิ้นส่วนที่แตกต่างกันหลาย ต้องใช้กระบวนการก่อสร้างที่แตกต่างกันออกไป เกิดความไม่ซ้ำ และไม่ต่อเนื่องในการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งจะส่งผลให้ใช้ระยะเวลามากขึ้น เสี่ยงต่อการผิดพลาด และค่าก่อสร้างสูงขึ้น (รณกร ชมธัญกาญจน์, 2555) การเลือกใช้วัสดุที่ผลิตมาสำเร็จรูป พร้อมประกอบติดตั้งในระบบแห้ง และมีน้ำหนักเบา (จุฑารัตน์ ประสานพิมพ์, 2557; ลักขณา เล็กแหลมหลัก, 2557) รวมถึงการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เข้ามาช่วยในการพัฒนาแบบ ประสานข้อมูล และกำหนดชิ้นส่วนมาตรฐาน (ฐาปนี เพชรคงทอง, 2557)

3.4.1 ชิ้นการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Manufacturing)

เนื่องจากการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีหลากหลายรูปแบบ งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในขั้นตอนนี้ส่วนมากจึงมุ่งเน้นให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วิธีการผลิตที่เหมาะสมตั้งแต่ต้น เพราะเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะส่งผลกระทบต่อความคุ้มค่า การกำหนดราคาขาย การออกแบบ และค่าใช้จ่ายบริษัททั้งในระยะเริ่มแรกและระยะยาว โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการตัดสินใจเลือกใช้คือ จำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการใช้ และความหลากหลายของแบบบ้าน โดยการศึกษาแบ่งรูปแบบการผลิตออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่

- 1) การจ้างผลิต เหมาะสำหรับบริษัทหรือโครงการขนาดเล็กที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปไม่มาก และความต้องการใช้ชิ้นส่วนไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากการตั้งสายการผลิตเองต้องใช้งบลงทุนเริ่มแรก (Initial investment cost) จำนวนมาก อีกทั้งยังมีค่าบำรุงรักษาในระยะยาว การตั้งสายการผลิตเพื่อการผลิตจำนวนน้อยจึงอาจไม่คุ้มค่า (นาวิน นาคะศิริ, 2542)
- 2) การตั้งโรงงานชั่วคราวในที่ตั้งโครงการ เหมาะสำหรับบริษัทหรือโครงการขนาดกลางที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำนวนมากขึ้น ความต้องการใช้ชิ้นส่วนไม่ต่อเนื่อง ต้องการความยืดหยุ่น และโครงการที่มีพื้นที่กว้างขวาง เนื่องจากสายการผลิตใช้งบลงทุนเริ่มแรกน้อยกว่าการตั้งโรงงานถาวร อีกทั้งยังลดความเสี่ยงจากการขนส่งบนท้องถนน และสามารถเคลื่อนย้ายสายการผลิตได้เมื่อสิ้นสุดโครงการ แต่สายการผลิตอาจรบกวนการขายหรือการอยู่อาศัยได้ (วิกรม เหล่าวิสุทธิชัย, 2559)
- 3) การตั้งโรงงานชั่วคราวนอกที่ตั้งโครงการ เหมาะสำหรับบริษัทหรือโครงการขนาดกลางที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำนวนมากขึ้น ความต้องการใช้ชิ้นส่วนไม่ต่อเนื่อง ต้องการความยืดหยุ่น แต่โครงการมีพื้นที่ไม่มากนัก และไม่ต้องทำให้สายการผลิตรบกวนการขายหรือการอยู่อาศัย (คเชนทร์ สุริยวงค์, 2550)
- 4) การตั้งโรงงานถาวร เหมาะสำหรับบริษัทหรือโครงการขนาดใหญ่หลายโครงการที่ใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง เพราะการตั้งโรงงานถาวรใช้งบลงทุนเริ่มแรกมาก อีกทั้งยังมีค่าบำรุงรักษาในระยะยาว แต่การผลิตรวดเร็วกว่า สามารถผลิตได้จำนวนมากกว่า ลดการพึ่งพาแรงงาน ผลผลิตมีคุณภาพสูง และสามารถใช้เทคโนโลยีการผลิตอัตโนมัติเข้ามาช่วยได้ (Automation technology) (วิกรม เหล่าวิสุทธิชัย, 2559)

ทั้งนี้ ผู้ประกอบการสามารถพัฒนาขั้นตอนการผลิต ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยการจัดการองค์ความรู้ และฐานข้อมูลนำมาปรับปรุงแผนงาน ช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิต (ชนิทร สรรพกิจบำรุง, 2551) การพัฒนาทักษะแรงงานให้เหมาะสมกับระบบอุตสาหกรรม (ศศิวิมล วิวิชานนท์, 2553) การบำรุงรักษาสายการผลิต และการวางแผนจัดการการผลิตโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพสูงสุด (ณัฐพล สุเรนทร์พิทักษ์, 2554) นอกจากนี้การศึกษาความต้องการของโครงการอย่างถี่ถ้วน เลือกใช้วิธีการผลิตที่เหมาะสม และออกแบบโดยคำนึงถึงขั้นการผลิต ยังมีผลอย่างมากต่อค่าใช้จ่าย ระยะเวลา คุณภาพผลผลิต และความพึงพอใจของลูกค้า (ศิวรักษ์ เขื่อนไย, 2556)

3.4.2 ขั้นการขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Logistics)

แม้ว่าการขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก จะเป็นเรื่องใหม่และสำคัญอย่างยิ่ง ในการก่อสร้าง ด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป แต่พบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์เพียง 2 รายการ (ชลิต อุดมพรวัฒนา, 2559; สิริชัย บัวมาก, 2558) ที่กล่าวถึง การวางแผนและบริหารจัดการชิ้นส่วนสำเร็จรูประหว่างสายการผลิต คลังสินค้า และพื้นที่ก่อสร้าง พบว่า ยังมีความต้องการชิ้นส่วนสำเร็จรูปมากขึ้น การวางแผนจัดการชิ้นส่วนและจัดเก็บยิ่งมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น การขาดการวางแผนจัดการชิ้นส่วน ความแออัดของพื้นที่จัดเก็บ เทคโนโลยีที่ไม่มีประสิทธิภาพ ไม่มีฐานข้อมูลประกอบการบริหารจัดการชิ้นส่วน ประกอบกับความผิดพลาดในการทำงาน จะทำให้เกิดปัญหาการขนส่งชิ้นส่วนที่ไม่จำเป็น และใช้เวลาในการขนส่งเพิ่มขึ้นถึง 674% ทางออกของปัญหาดังกล่าวคือ การวางแผนจัดการชิ้นส่วนเพื่อรองรับปริมาณความต้องการล่วงหน้า ทั้งการปรับพื้นที่จัดเก็บ ปรับปรุงลำดับการจัดเก็บชิ้นส่วน ใช้ชั้นวางชนิด A-Frame และการพัฒนาโปรแกรมบริหารจัดการคลังสินค้า ช่วยลดระยะเวลาในการจัดส่ง ป้องกันปัญหาหน้างาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ (ชลิต อุดมพรวัฒนา, 2559; สิริชัย บัวมาก, 2558)

3.4.3 ขั้นการประกอบติดตั้ง (Assembly)

การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปอาศัยประโยชน์จากระบบอุตสาหกรรม ช่วยลดการพึ่งพาแรงงานก่อสร้างได้ แต่งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในขั้นการประกอบติดตั้งยังคงสะท้อนปัญหาทักษะแรงงานก่อสร้าง เพราะการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปแตกต่างจากการก่อสร้างแบบเดิม แรงงานจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเพิ่มขึ้น เพื่อให้การประกอบติดตั้งปลอดภัยและได้มาตรฐาน โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อซึ่งบางครั้งกลายเป็นจุดอ่อนของการก่อสร้างรูปแบบนี้ ไม่ให้เกิดปัญหารั่วซึมหรือแตกร้าวในระยะยาว (ปิยะ โคนทัย, 2555) งานวิจัยที่ผ่านมายังเสนอวิธีการพัฒนาขั้นตอนนี้อย่างต่อเนื่อง เช่น การพัฒนากระบวนการติดตั้งให้เป็นระบบมากขึ้น ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติมากขึ้น และใช้ข้อมูลประกอบการจัดการหน้างาน (พัศพันธ์ ชาญสุนันท์, 2555) นอกจากนี้ การออกแบบยังช่วยให้งานประกอบติดตั้งดีขึ้นและลดปัญหาคุณภาพงานได้ เช่น การออกแบบคานคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อรองรับแผ่นผนัง แทนการติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไว้บนฐานตอม่อโดยตรง แม้จะเป็นการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนและขั้นตอนการทำงาน แต่วิธีนี้จะช่วยแก้ปัญหาแผ่นผนังแตกร้าวได้ (พิเชษฐ์ นະสูงเนิน, 2560) และการออกแบบรอยต่อชิ้นส่วนให้เป็นมาตรฐาน ใช้วัสดุอุดรอยต่อที่เหมาะสม ป้องกันการรั่วซึมในระยะยาว (เพ็ญพิชชา กฤตยากรนุพงศ์, 2558)

3.5 ขั้นหลังการก่อสร้าง (Post-Construction)

พบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งมอบอาคารหลังการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป เพียง 1 รายการ เท่านั้น (นงลักษณ์ ไกลเกลี้ยง, 2558) ซึ่งให้เห็นว่าการก่อสร้าง และส่งมอบงานมีความสำคัญมาก หากล่าช้าจะส่งผลกระทบต่อเนื้อเป็นลูกโซ่ ทำให้การตกแต่งภายในและเข้าอยู่อาศัยล่าช้าด้วย และยังมีช่องว่างองค์ความรู้ในขั้นตอนนี้ อีกมาก เช่น ความแตกต่างของการส่งมอบอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปกับอาคารที่ก่อสร้างแบบเดิม เป็นต้น

3.6 ชั้นการใช้งาน (Occupancy)

การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อเนื่องไปยังการใช้งานด้วย งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในขั้นตอนนี้ ส่วนมากศึกษาในการใช้งานและสะท้อนปัญหาจากผู้อยู่อาศัย ภัทราวลัย สอดส่อง (2556) พบว่า กว่าร้อยละ 80 ของผู้ซื้อบ้านจัดสรรมีการต่อเติมเพื่อตอบสนองความต้องการเฉพาะตัวของผู้อยู่อาศัย เช่น การรองรับจำนวนสมาชิกครอบครัวที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มพื้นที่ที่เหมาะสมกับคนชรา เป็นต้น แต่อาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีข้อจำกัดในการต่อเติม ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว เช่น การไม่สามารถกรีดผนังเจาะ ตัด หรือตัดแปลงรูปแบบได้มากนัก การหลุดตัวไม่เท่ากันของตัวอาคารหลักและส่วนต่อเติม และปัญหาการรั่วซึม และแตกร้าวยบริเวณรอยต่อ เป็นต้น (ศตวรรษ ดั่งแป้น, 2556) งานวิจัยในขั้นตอนนี้ยังเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยการออกแบบพื้นที่ภายในและโดยรอบให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และรองรับการเปลี่ยนแปลงและต่อเติมได้ในอนาคต

3.7 ชั้นการปรับปรุงหรือรื้อถอน (Renovation or Demolition)

การปรับปรุงและรื้อถอนอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป มีความซับซ้อนกว่าอาคารที่ก่อสร้างแบบเดิม เพราะชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก แต่จากการค้นหางานวิจัยและวิทยานิพนธ์ พบเพียง 1 รายการ เท่านั้น ที่แสดงให้เห็นปัญหาการต่อเติมและปรับเปลี่ยนที่ไม่เหมาะสม เป็นอันตรายต่อการใช้งานในระยะยาว ทั้งการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอาคาร และการตัดต่อประกอบอาคารที่ทำให้การรับแรงเปลี่ยนไป ส่งผลให้อาคารทรุด แตกร้าวจ้ำ และไม่ปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัย (บดินทร์ ตั้งศิลป์โอฬาร, 2545) งานวิจัยชิ้นนี้ยังแสดงให้เห็นว่า วิธีการต่อเติมและรื้อถอนอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปควรถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าตั้งแต่ขั้นการออกแบบ ให้เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างและบริบทเฉพาะของแต่ละโครงการ

เมื่อนำการจำแนกตามช่วงปีและวงจรชีวิตสถาปัตยกรรมมาวิเคราะห์ร่วมกัน (ตารางที่ 2) ทำให้เห็นแนวโน้มอีกว่า การศึกษาวิจัยในขั้นการออกแบบ ขั้นการก่อสร้าง และขั้นการใช้งาน ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การศึกษาวิจัยในบางขั้นตอน นอกจากจะมีจำนวนน้อยแล้ว ยังอยู่ในจุดเริ่มต้น เพราะเพิ่งเริ่มมีการศึกษา ในช่วงปีพ.ศ. 2556-2560 เช่น ขั้นการขนส่ง และขั้นหลังการก่อสร้าง ส่วนการศึกษาในขั้นการปรับปรุงหรือรื้อถอน พบเพียงการศึกษาเดียว และศึกษาตั้งแต่ช่วงปีพ.ศ. 2541-2545

ตารางที่ 2 จำนวนงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง จำแนกตามช่วงปีและวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม 7 ขั้นตอน

ขั้นตอน	ช่วงปี									รวม
	2516-2520	2521-2525	2526-2530	2531-2535	2536-2540	2541-2545	2546-2550	2551-2555	2556-2560	
1. ขั้นก่อนการออกแบบ (Pre-Design)		1				1		1	6	9
2. ขั้นการออกแบบ (Design)	1					2	3	6	6	18
3. ขั้นก่อนการก่อสร้าง (Pre-Construction)							1	5	3	9

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ขั้นตอน	ช่วงปี									รวม
	2516-2520	2521-2525	2526-2530	2531-2535	2536-2540	2541-2545	2546-2550	2551-2555	2556-2560	
4. ขั้นการก่อสร้างโดยรวม ทั้งการผลิต ขนส่ง และประกอบติดตั้ง (Construction: Manufacturing, Logistics, and Assembly)						5	11	17	20	53
4.1 ขั้นการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Manufacturing)						1	3	6	4	14
4.2 ขั้นการขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Logistics)									2	2
4.3 ขั้นการประกอบติดตั้ง (Assembly)							3	2	1	6
5. ขั้นหลังการก่อสร้าง (Post-Construction)									1	1
6. ขั้นการใช้งาน (Occupancy)							1	1	3	5
7. ขั้นการปรับปรุงหรือรื้อถอน (Renovation or Demolition)						1				1
8. อื่น ๆ (Others)			2	1	1	3	2	5	8	22
รวม	1	1	2	1	1	13	24	43	54	140

หมายเหตุ: อื่น ๆ หมายถึง งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่มีได้ระบุขั้นตอนอย่างชัดเจน หรือกล่าวถึงภาพรวมตลอดวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม
 ไม่สามารถจำแนกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้

5. อภิปรายผล

การศึกษานี้ค้นพบงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2516-2560 ทั้งสิ้น 140 รายการ ในช่วงแรก การวิจัย
 ด้านการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทย ยังไม่ได้ได้รับความนิยมมากนัก จนกระทั่งหลังช่วงปีพ.ศ. 2541-2545
 จึงมีการศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม
 แห่งชาติ และความต้องการการก่อสร้างในประเทศไทย (บุษรา โปวาทอง, 2562) ที่ระบุว่า หลังช่วงปีพ.ศ. 2541-2545
 เป็นช่วงฟื้นฟูเศรษฐกิจหลังจากวิกฤตการณ์การเงินในเอเชีย พ.ศ. 2540 (Basing and recovery) จึงมีความต้องการที่อยู่
 อาศัยเพิ่มขึ้น เห็นได้จากนโยบายการพัฒนาที่อยู่อาศัย การพัฒนาศักยภาพของชุมชน รวมถึงการกำหนดแนวทางการพัฒนา
 ที่อยู่อาศัยสำหรับหลากหลายบริบท

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาโดยละเอียด พบว่า องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในสาขานี้มีอยู่ใน 5 รูปแบบ ได้แก่ 1) ปัจจัย 2) วิธีการ 3) ประเภท 4) ประโยชน์ และ 5) ปัญหาของอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น ปัจจัยในการเลือกวิธีการก่อสร้าง ปัจจัยในการเลือกซื้อโครงการ วิธีการออกแบบเพื่อสนับสนุนการผลิต ขนส่ง และประกอบติดตั้ง ขั้นตอนก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ประเภทการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป วิธีการจัดการชิ้นส่วนสำเร็จรูป รอยต่อและวิธีการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูป ประโยชน์ของการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ปัญหาการจุกจิกชิ้นส่วนสำเร็จรูป ความท้าทายในการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ความยากลำบากในการปรับเปลี่ยนพื้นที่หรือต่อเติมเมื่อเข้าใช้งาน และปัญหาการรื้อถอนชิ้นส่วนอาคาร เป็นต้น

เมื่อวิเคราะห์เนื้อหาพร้อมกับการจำแนกตาม 7 ขั้นตอนของวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม พบว่า มีงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ครอบคลุมครอบคลุมทุกขั้นตอน แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดกลับพบว่า องค์ความรู้ในแต่ละขั้นตอนไม่เท่ากัน มีการศึกษาปัจจัย วิธีการ ประเภท ประโยชน์ และปัญหา ในขั้นการออกแบบ ขั้นการก่อสร้าง และขั้นการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำนวนมาก ในขณะที่ขั้นหลังการก่อสร้าง และขั้นการปรับปรุงหรือรื้อถอน พบเพียงการศึกษาวิธีการและปัญหาที่เกิดขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ แนวทางการพัฒนาและแก้ไขปัญหาส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการตรวจสอบและพัฒนาต่อ เช่น การวางแผนล่วงหน้าอย่างรัดกุมและเป็นระบบ การตัดสินใจเลือกวิธีการก่อสร้างและวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละโครงการ การออกแบบที่คำนึงถึงการผลิต ขนส่ง ประกอบติดตั้ง ปรับปรุง และรื้อถอน การออกแบบพื้นที่ให้มีความยืดหยุ่นและรองรับการต่อเติมในอนาคต การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเข้ามาช่วยวางแผนการก่อสร้าง และการวางแผนจัดการชิ้นส่วน เป็นต้น ช่องว่างองค์ความรู้เหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการศึกษาวิจัยในเชิงลึกต่อไป

ผลการศึกษาเชิงคุณภาพดังกล่าว ตรงกับจำนวนงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในภาพที่ 1-2 และตารางที่ 2 ซึ่งชี้ให้เห็นความต้องการการศึกษาวิจัยอีกจำนวนมากในทุกขั้นตอนตลอดทั้งวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นการขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งค้นพบเพียง 2 รายการ ขั้นการประกอบติดตั้งซึ่งค้นพบเพียง 6 รายการ ขั้นหลังการก่อสร้างอาคารซึ่งค้นพบเพียง 1 รายการ และการปรับปรุงหรือรื้อถอนซึ่งค้นพบเพียง 1 รายการ ตั้งแต่ช่วงปีพ.ศ. 2541-2545 ผลการศึกษายังสอดคล้องกับ Li et al. (2014) ที่พบว่า การก่อสร้างอาคารรูปแบบดังกล่าวกำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา

การศึกษานี้มีข้อจำกัดด้วยการอาศัยข้อมูลทุติยภูมิจากการทบทวนวรรณกรรมในประเทศไทยเป็นหลัก แม้ว่าวิธีวิจัยนี้จะสามารถตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ได้ ผลการศึกษาควรได้รับการยืนยันและเสริมด้วยวิธีวิจัยอื่นเพิ่มเติม เช่น การสัมภาษณ์และการใช้แบบสอบถาม นอกจากนี้ การศึกษาชิ้นนี้เกิดจากการสืบค้นในปี พ.ศ. 2562 ความเป็นไปได้ว่างานวิจัยและวิทยานิพนธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2562 ยังไม่ถูกบรรจุเข้าไปในฐานข้อมูลที่เลือกใช้ อีกทั้ง การศึกษาชิ้นนี้เกิดจากการสืบค้นในฐานข้อมูลออนไลน์ของมหาวิทยาลัย 8 แห่งเท่านั้น ยังมีงานวิจัยในหน่วยงานรัฐและเอกชนอีกจำนวนหนึ่งที่ไม่อยู่บนฐานข้อมูลเหล่านี้ จึงยังต้องการการสืบค้นจากฐานข้อมูลอื่นที่กว้างขึ้นเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการศึกษา

6. สรุปผลการศึกษา

ในประเทศไทย การก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะช่วยให้อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อันเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การศึกษานี้ส่งเสริมยุทธศาสตร์ดังกล่าว ด้วยการรวบรวมงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง 140 รายการ นำมาวิเคราะห์และเรียบเรียงอย่างเป็นระบบ เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนาต่อไป ผลการศึกษาทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณชี้ให้เห็นสถานะของการศึกษาวิจัยการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในประเทศไทย ซึ่งอยู่ในระหว่างการพัฒนาและมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งศึกษา 1) ปัจจัย 2) วิธีการ 3) ประเภท 4) ประโยชน์ และ 5) ปัญหาของอาคารที่ก่อสร้างอาคารด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในแต่ละขั้นตอนของวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม แต่ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มขึ้นในทุกขั้นตอน โดยเฉพาะในขั้นการขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูป ขั้นหลังการก่อสร้าง และขั้นการปรับปรุงหรือรื้อถอน อีกทั้ง ยังมีช่องว่างองค์

ความรู้ก็มากในการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหา เช่น การออกแบบเพื่อการผลิต และประกอบติดตั้ง การวางแผนจัดเก็บ และขนส่งชิ้นส่วน และการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเข้ามาช่วยวางแผนการก่อสร้าง เป็นต้น

ผลจากการศึกษานี้เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ผู้ประกอบการ ผู้ประกอบวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจ เพื่อทำความเข้าใจ สถานะการศึกษาวิจัยในศาสตร์นี้ ภาพกว้างของอาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปตลอดทั้งวงจรชีวิตสถาปัตยกรรม ปัญหา และแนวทางการแก้ไขในอนาคต เพื่อปิดช่องว่างองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และส่งเสริมความเข้าใจ ด้านการก่อสร้างรูปแบบนี้ตลอดทั้งวงจร ควบคู่กับการวิจัยและพัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหา ส่งเสริมการศึกษาในชั้น การขนส่งชิ้นส่วนสำเร็จรูป ชั้นหลังการก่อสร้าง และชั้นการปรับปรุงหรือรีออนเพิ่มเติม นอกจากนี้ ควรมีการรวบรวมการ ศึกษาวิจัยและทบทวนวรรณกรรมเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาศาสตร์นี้ต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- กวิศ ปานม่วง. (2551). การออกแบบปรับปรุงอาคารเรียนชั่วคราวกิ่งสำเร็จรูปชั้นเดียว โครงสร้างเหล็กเบารับน้ำหนัก โครงการโรงเรียน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ (SCG Southern School). ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คชนท์ สุริยวงศ์. (2550). ระบบการก่อสร้างที่อยู่อาศัยโดยชิ้นส่วนสำเร็จรูปแบบผนังรับน้ำหนัก โดยผู้ประกอบการธุรกิจ พัฒนาอสังหาริมทรัพย์ขนาดใหญ่. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จุฑารัตน์ ประสานพิมพ์. (2557). ชิ้นส่วนชุดช่องท่อสำเร็จรูปและวิธีการติดตั้งสำหรับอาคารชุดพักอาศัย. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนิกา รักษากุล. (2560). การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป: การออกแบบบ้านเดี่ยว. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนินทร์ วงศ์พานิชย์. (2558). การเปรียบเทียบข้อบกพร่องสำหรับการก่อสร้างบ้านเดี่ยวแบบสำเร็จรูปและแบบทั่วไป. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชนินทร สรรพกิจบำรุง. (2551). การจัดการความรู้ กรณีศึกษาผู้ผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชลิต อุดมพรวัฒนา. (2559). การออกแบบขั้นตอนการขนถ่ายสินค้าหลังขั้นตอนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วน คอนกรีตสำเร็จรูป. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชาคริต วิชชาบุญศิริ. (2553). การศึกษาเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างระหว่างโครงหลังคาสำเร็จรูปและโครงหลังคา เหล็กรูปพรรณสำหรับบ้านเดี่ยวขนาดกลาง. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ฐานิณี เพชรทอง. (2557). การศึกษาปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยด้วยระบบชิ้นส่วน สำเร็จรูปเต็มรูปแบบ. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐชา มาตุภูมานนท์. (2558). ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อบ้านสั่งสร้างเอสซีจี โฮม (SCG HEIM) ของผู้บริโภคใน เขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล. ปรินญามหาบัณฑิต คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ณัฐพล สุเรนทร์พิทักษ์. (2554). การเลือกสูตรและจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ณัฐวุฒิ ฌอนอมพวงเสรี. (2549). การวิเคราะห์กระบวนการจัดการชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับงานก่อสร้างที่อยู่อาศัยโดยใช้กรณีศึกษา. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไตรวัฒน์ วิวยศิริ. (2562). การจัดการสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทิวา รักอาชีพ. (2557). ทศนคติต่อการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปในตลาดบ้านพักอาศัยของผู้บริโภคในจังหวัดสมุทรสาคร. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นงลักษณ์ ไกลเกลี้ยง. (2558). การศึกษาปัญหาในขั้นตอนส่งมอบเพื่อเริ่มต้นงานตกแต่งภายในด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นาวิน นาคะศิริ. (2542). การศึกษาและเปรียบเทียบชิ้นส่วนสำเร็จรูปประเภทผนังรับน้ำหนัก กรณีศึกษา: ผู้ประกอบการซื้อสำเร็จจากโรงงานผลิต กับการผลิตในที่ก่อสร้าง. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บดินทร์ ตั้งศิลป์โอฬาร. (2545). แนวทางการปรับปรุง การตัดแปลง และต่อเติมตึกแถวระบบชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูป: กรณีศึกษายามสแควร์ กรุงเทพฯ. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุษรา โปหาทอง. (2562). ทศนคติแนวทางการพัฒนาที่อยู่อาศัยไทยในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พ.ศ. 2504-2564. *Academic Journal of Architecture*, 68, 133-150.
- ปกรณ สุวรรณศิริจันทร์. (2553). การเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านเดี่ยว 2 ชั้น ด้วยระบบโครงสร้าง เสา-คานเหล็กสำเร็จรูปกับระบบเดิม. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประทีป อิทธิเมฆินทร์. (2520). การศึกษาระบบก่อสร้างสำเร็จรูปสำหรับบ้านพักอาศัย. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยะ ดโนทัย. (2555). รอยต่อชิ้นส่วนก่อสร้างสำเร็จรูป กรณีศึกษา: บ้านพักอาศัย 4 โครงการ. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พัศพันธ์ ชาญวสุนันท์. (2555). การบริหารจัดการข้อมูลและสารสนเทศโดยกระบวนการอัตโนมัติเพื่อลดความต้องการความรู้และทักษะในงานก่อสร้าง. ปรินญาดุษฎีบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิเชษฐ์ นะสูงเนิน. (2560). การก่อสร้างบ้านด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป: การประกอบติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป บ้านเดี่ยว. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญพิชชา กฤตยากรนพวงศ์. (2558). การศึกษาการป้องกันการรั่วซึมน้ำที่รอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จด้วยยางบิวไทล์. วิทยานิพนธ์ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทราวีย์ สอดส่อง. (2556). พฤติกรรมการต่อเติมพื้นที่ใช้สอยบ้านเดี่ยวระดับราคา 5-8 ล้านบาท: กรณีศึกษา โครงการ ฮาปีเทีย ปัญญาอินทรา เฟส 2. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รณกร ชมธัญกาญจน์. (2555). กระบวนการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปของอาคารประเภทบ้านเดี่ยว กรณีศึกษา : บริษัท พกษา เรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน). ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รวีพล วราวนิชกุล. (2552). กรณีศึกษาการจำลองสถานการณ์ ระบบการทำงานการหล่อและติดตั้งผนังหล่อสำเร็จ. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ลักขณา เล็กแหลมหลัก. (2557). การออกแบบบ้านประหยัดพลังงานที่สร้างได้เร็วด้วยแรงคน. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วงศ์วิสุทธิ์ วิสุทธิ์เสริวงศ์. (2558). การประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับการจัดการห่วงโซ่อุปทานของคอนกรีตหล่อสำเร็จ: โครงการกรณีศึกษา. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรพงศ์ งามสิริมงคลชัย. (2558). รูปแบบธุรกิจการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์: กรณีศึกษา บริษัท แลนด์แอนด์เฮาส์ จำกัด (มหาชน) และ บริษัท พฤษาเรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน). ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิกรม เหล่าวิสุทธิชัย. (2559). การเปรียบเทียบการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในที่ตั้งโครงการและในโรงงาน. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชัย ญู สุขประสพโกคา. (2552). โอกาสในการนำระบบประสานทางพิกัดมาพัฒนาการออกแบบบ้านเดี่ยว 2 ชั้น ในการก่อสร้างแบบอุตสาหกรรม: กรณีศึกษาโครงการเพอร์เฟค พาร์ค จังหวัดนนทบุรี. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิญญู ทัดธนา นุรัตน์. (2548). การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยออกแบบระบบเสาและคานสำเร็จรูป สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศตวรรษ ด้วงแป้น. (2556). การศึกษาปัญหาการใช้งานของบ้านจัดสรรระบบผนังสำเร็จรูปปรับน้ำหนักบรรทุก. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศศิวิมล วิวิชานนท์. (2553). การลดข้อบกพร่องในการผลิตแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิวรักษ์ เชื้อโย. (2556). การใช้ QFD สำหรับหาปัจจัยในการปรับปรุงคุณภาพผนังคอนกรีตสำเร็จรูปจากกรณีศึกษา. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศุภสิทธิ์ พลกษโชติ. (2547). การนำวิธีก่อสร้างกึ่งสำเร็จรูปมาใช้กับโครงการบ้านเดี่ยวสำหรับผู้มีรายได้น้อย: กรณีศึกษาโครงการบ้านเอื้ออาทร รังสิตคลอง 3 จังหวัดปทุมธานี. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สิริชัย บัวมาก. (2558). การพัฒนาโปรแกรมบริหารคลังสินค้า สำหรับโรงงานชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป กรณีศึกษา บริษัท บี.เจ. พีริคาสท์ จำกัด. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุกฤต อนันตชัยยง. (2545). การศึกษาและเปรียบเทียบการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ระบบเสา-คาน กับการก่อสร้างแบบทั่วไป: กรณีศึกษา หมู่บ้านคุณาลัย บางขุนเทียน. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุชน รัตนูปกรณ์. (2557). การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารทาวนเฮ้าส์ด้วยระบบสำเร็จรูปและระบบ ก่อแบบหล่อในที่. ปรินญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อนุชา เงินอยู่. (2554). การยอมรับระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในงานสถาปัตยกรรม. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อมร ปิยะวาจี. (2555). การออกแบบอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อินทิรา บางภิกพ. (2551). การเปรียบเทียบอาคารชุด 8 ชั้นที่นำระบบผนังรับน้ำหนักเป็นผนังภายใน ร่วมกับ ระบบผนังก่ออิฐเป็นผนังภายนอก กับ ระบบผนังก่ออิฐเป็นผนังภายใน ร่วมกับ ระบบผนังค.ส.ล.สำเร็จรูป เป็นผนังภายนอก. ปรินญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดม หงส์หิรัญ. (2543). การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทนด้านการเงินของโครงการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป. ปรินญามหาบัณฑิต คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- Gibb, A., & Isack, F. (2003). Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers. *Building Research & Information*, 31(2), 146-160.
- Faria, J. M. A. (2017). Building facades prefabrication. The lesson of the burgo building. In *The Pre-Fabrication of Building Facades*. Springer, Cham, 21-23.
- Hong, J., Shen, G. Q., Li, Z., Zhang, B., & Zhang, W. (2018). Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, 649-660.
- Laovisutthichai, V., Lu, W., & Xue, F. (2020). *Modular construction: Design considerations and opportunities*. In *Proceedings of the 25th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate (CRIOCM2020)*. Springer, Cham.
- Laovisutthichai, V., & Lu, W. (2021). *Architectural design for manufacturing and assembly for sustainability*. In *Design and Technological Applications in Sustainable Architecture*. Springer, Cham, 219-233.
- Li, Z., Shen, G. Q., & Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction. *Habitat International*, 43, 240-249.
- Lu, W., Lee, W. M., Xue, F., & Xu, J. (2021). Revisiting the effects of prefabrication on construction waste minimization: A quantitative study using bigger data. *Resources, Conservation and Recycling*, 170.
- O'Neill, D., & Organ, S. (2016). A literature review of the evolution of British prefabricated low-rise housing. *Structural Survey*, 34 (2), 194-214.
- Tam, V. W., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42(10), 3642-3654.
- Tatum, C. B., Vanegas, J. A., & Williams, J. M. (1987). *Constructability improvement using prefabrication, preassembly, and modularization*. Austin, TX, USA: Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin.
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, 26(2), xiii-xxiii.
- Wee, B. V., & Banister, D. (2016). How to write a literature review paper?. *Transport Reviews*, 36(2), 278-288.

ออนไลน์

- Development Bureau of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region (DEVB). (2018). *Construction 2.0: Time to change*. [Online]. Retrieved from <https://www.psgo.gov.hk/assets/pdf/Construction-2-0-en.pdf> [accessed 1 December 2021].