

# สารบัญ

	หน้า
อธิบายรหัสหนังสือ	I
สารจากนายก	II
คำนำ	III
คณะกรรมการอำนวยการ	IV
คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา	V
คณะกรรมการจัดทำคู่มือการก่อสร้างอาคารด้วยผนังระบบเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ชนิดไม่รับน้ำหนัก	VI
ที่มา	1
ขอบข่ายและนิยาม	2
มาตรฐานอ้างอิง	3
<b>บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยการพิมพ์ 3 มิติ</b>	<b>5</b>
1.1. ประโยชน์ของ 3DCP ในงานก่อสร้าง	6
1.2. กระบวนการ 3DCP ที่ใช้ในงานก่อสร้าง	6
1.3. ลักษณะของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	8
1.4. ขั้นตอนการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	9
1.5. ระบบเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติชนิด Extrusion	10
1.5.1. การเตรียมข้อมูลผ่าน software สำหรับการพิมพ์ด้วยระบบ Extrusion	10
1.5.2. การเตรียมวัสดุพิมพ์ และการผสม	11
1.5.3. ขั้นตอนการพิมพ์	11
1.6. วัสดุสำหรับการก่อสร้างด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติชนิด Extrusion	12
1.6.1. ความสามารถในการทำงานได้	12
1.6.2. สมบัติทางกลของวัสดุ	14
1.7. สมบัติของผนังที่ก่อสร้างด้วยระบบเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ	16
1.7.1. สมบัติด้านการกันความร้อน	16
1.7.2. สมบัติด้านการกันเสียง	17
1.7.3. สมบัติด้านการทนไฟ	19
1.8. ข้อกำหนดที่แนะนำในการเลือกวัสดุสำหรับการพิมพ์ 3 มิติชนิด Extrusion	20
<b>บทที่ 2 ข้อเสนอแนะในการก่อสร้างอาคารด้วยผนังไม่รับน้ำหนักที่ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ระบบ Extrusion</b>	<b>21</b>
2.1. ข้อพิจารณาสำหรับการออกแบบรูปทรง ลักษณะ และการแบ่งสัดส่วนผนัง 3DCP	21
2.1.1. ความปลอดภัยในการใช้งานของโครงสร้าง	21
2.1.2. ความสามารถในการพิมพ์เอียงของวัสดุ	22
2.1.3. ความสามารถในการพิมพ์ได้ของเครื่องพิมพ์ที่นำมาใช้	23
2.2. วิธีการก่อสร้าง	23

2.2.1	การวางแบบผนังสำหรับการพิมพ์และวิธีการเสริมความแข็งแรงสำหรับผนังไม่รับน้ำหนัก	24
2.2.2	การพิมพ์และการบ่มผนัง	27
2.2.3	การใช้งานผนัง 3DCP ร่วมกับเสาโครงสร้าง และเสาเอ็น	27
2.2.4	ข้อกำหนดในการประกอบผนัง 3DCP ร่วมกับเสาหล่อในที่	29
2.2.5	ข้อแนะนำในการประกอบผนัง 3DCP ร่วมกับคานหล่อในที่	30
2.2.6	ขั้นตอนการเทคอนกรีต และปูนเกรทท์สำหรับเสา-คานหล่อในที่	31
2.2.7	ข้อกำหนดในการประกอบผนัง 3DCP ร่วมกับเสา-คานสำเร็จรูป	31
2.2.8	การทำช่องเปิดของผนัง 3DCP	33
2.2.9	งานระบบในอาคาร	35
2.2.10	หลังคาและกันซึม	35
2.2.11	งานเก็บผนังและวัสดุปิดผิว	36
	<b>เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม</b>	<b>37</b>

## สารบัญญรูป

	หน้า
<b>บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยการพิมพ์ 3 มิติ</b>	<b>5</b>
รูปที่ 1.1 กระบวนการ Additive Manufacturing ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง	5
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างกระบวนการขึ้นรูป 3DCP ในงานก่อสร้าง	7
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างชุดคำสั่ง G-Code สำหรับกำหนดการทำงานของเครื่องพิมพ์	10
รูปที่ 1.4 ตัวอย่างเครื่องปั๊มมอร์ตาร์/คอนกรีต สำหรับผสมและลำเลียงวัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ	11
รูปที่ 1.5 ตัวอย่างเส้นพิมพ์มอร์ตาร์/คอนกรีตจากเครื่อง Extrusion printing	12
รูปที่ 1.6 ตัวอย่างเนื้อมอร์ตาร์ที่มีความสามารถในการปั๊ม (pumpability) ที่ดี	13
รูปที่ 1.7 ตัวอย่างเนื้อมอร์ตาร์ที่มีความสามารถในการพิมพ์ (printability) ที่ดี	13
รูปที่ 1.8 ความสามารถในการก่อเป็นชั้นและคงตัว	14
รูปที่ 1.9 อาคารที่ก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่าง อุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร	16
รูปที่ 1.10 อุณหภูมิพื้นผิวของผนัง 3DCP ภายนอกและภายในอาคารพิมพ์สามมิติที่ทดสอบ ระหว่างวัน	17
รูปที่ 1.11 ภาพตัดของผนังอาคารที่ใช้ติดตามอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (แสดงให้เห็นช่องว่างภายในของผนังพิมพ์ 3 มิติ)	17
รูปที่ 1.12 แสดงภาพตัดขวางของห้องที่ใช้ในการทดสอบสมบัติด้านการกันเสียง	18
รูปที่ 1.13 ผลการทดสอบค่าความเป็นฉนวน และความต้านทานการทะลุผ่านของเปลวไฟ	19
<b>บทที่ 2 ข้อเสนอแนะในการก่อสร้างอาคารด้วยผนังไม่รับน้ำหนักที่ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ</b>	<b>21</b>
<b>ระบบ Extrusion</b>	
รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการพิมพ์ของวัสดุที่มีและไม่มีองค์ประกอบของความเอียงจากแนวตั้งที่ สามารถพิมพ์ได้	22
รูปที่ 2.2 การพิมพ์ชิ้นงานที่มีเสถียรภาพจะต้องมีรูปทรงที่จุดศูนย์กลางอยู่ภายในฐานของชิ้นงาน	22
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการก่อสร้าง 3DCP แบบในที่ (On-site 3DCP) และแบบนอกสถานที่ (Off-site 3DCP)	23
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการก่อสร้างผนัง 3DCP ร่วมกับระบบหล่อในที่ และระบบสำเร็จรูป	24
รูปที่ 2.5 โครงยึดภายใน (Internal wall truss)	25
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างเหล็กยึด	26
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเหล็กยึดรูปตัว U สำหรับการเสริมความแข็งแรงที่ปลายผนัง	26
รูปที่ 2.8 การออกแบบผนังโดยให้มีแนวการพิมพ์มอร์ตาร์เพื่อซ่อนเสาไว้ภายใน หรือให้มีแนวการพิมพ์มอร์ตาร์เพื่อหลบเสา (เสาโปน)	28
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างความหนาแน่นของผนังเมื่อก่อสร้างด้วยเสาหลบและเสาโปน	28

รูปที่ 2.10	ตัวอย่างการต่อเหล็กในแนวตั้งด้วยข้อต่อเชิงกล (Coupler joint)	29
รูปที่ 2.11	ตัวอย่างการ drop เส้น Truss และวางตะแกรงสำหรับเทคานคอนกรีตและการวางเหล็กสำหรับเทคานคอนกรีต	30
รูปที่ 2.12	ตัวอย่างการเว้นระยะ clearance สำหรับการติดตั้งเสาสำเร็จรูป และตัวอย่างการวาง blocking ที่ฐานเสาสำหรับงานติดตั้ง	32
รูปที่ 2.13	การวางค้ำยันสำหรับทำช่องเปิดสำหรับผนัง 3DP	34
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างการเชื่อมต่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปเข้ากับโครงสร้างผ่านผนัง 3DP	34

## สารบัญตาราง

		หน้า
<b>บทที่ 1</b>	<b>ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยการพิมพ์ 3 มิติ</b>	<b>5</b>
ตารางที่ 1.1	ระบบควบคุมตำแหน่งของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	8
ตารางที่ 1.2	ตัวอย่างสมบัติของมอร์ตาร์สำเร็จรูปสำหรับงานพิมพ์ 3 มิติชนิด Extrusion	15
ตารางที่ 1.3	ค่าระดับเสียงของห้องรับเสียงที่ลดลงเมื่อใช้ผนังที่ได้จากการพิมพ์ 3 มิติ เป็นผนังกันเปรียบเทียบกับผนังอื่นๆ ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองห้องทดสอบเสียงตามรูปที่ 1.12	18
ตารางที่ 1.4	ตัวแปร นิยาม และวิธีการวัดค่าตาม มยผ 8201-52	19
ตารางที่ 1.5	สมบัติของผนังที่ก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ เปรียบเทียบกับระบบผนังอื่นๆ ในปัจจุบัน	20
<b>บทที่ 2</b>	<b>ข้อแนะนำในการก่อสร้างอาคารด้วยผนังไม่รับน้ำหนักที่ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ระบบ Extrusion</b>	<b>21</b>
ตารางที่ 2.1	ตัวอย่างผลของการเพิ่มหน้าตัดประสิทธิภาพต่อรูปแบบของโครงยึดภายใน	25