

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแม่พิมพ์หรือแบบหล่อ ความเที่ยงตรง การวัด เลขนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อน การวิเคราะห์เชิงสถิติ ระบบผนังคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC และ CLC ระบบผนังอิฐบล็อกประสาน รวมไปถึงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601-2556 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แม่พิมพ์หรือแบบหล่อ (Mold)

[1] ในการผลิตสินค้าหรือวัสดุที่ต้องการขนาด รูปร่าง คุณภาพและความเที่ยงตรง หัวใจของกระบวนการผลิตคือ เครื่องมือที่เรียกว่า แม่พิมพ์หรือแบบหล่อ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ต้องการผลิตเป็นสินค้า ซึ่งแม่พิมพ์อุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 แม่พิมพ์พลาสติก หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งการที่จะสร้างแม่พิมพ์ชนิดใดจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดพลาสติก และความสะดวกรวดเร็วในการผลิต เช่น เครื่องใช้ในครัวเรือน บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น เครื่องสำอาง ถังบรรจุไข่ ถ้วยไอศกรีม ถ้วยโยเกิร์ต เป็นต้น

ประเภทที่ 2 แม่พิมพ์โลหะ หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์โลหะ เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

ประเภทที่ 3 แม่พิมพ์แก้ว หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก้วซึ่งจะนำแก้วมาหลอมละลาย เมื่อแก้วถูกหลอมละลายแล้วจะนำไปผ่านเครื่องขึ้นรูปให้แก้วมีลักษณะเป็นท่อ (Parison) แล้วจึงนำเข้าสู่แม่พิมพ์เพื่อทำการเป่าให้ได้รูปทรงตามแบบ แล้วจึงปลดชิ้นงานออก แม่พิมพ์แก้วจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับแม่พิมพ์เป่าพลาสติกโดยทั่วไปแม่พิมพ์แก้วจะนำมาใช้ในการผลิตขวด แก้วน้ำ เป็นต้น

ประเภทที่ 4 แม่พิมพ์เซรามิกส์ หมายถึง เซรามิกส์เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ไม่ใช่โลหะ อาศัยการนำวัสดุที่แตกต่างกันมารวมเข้าด้วยกัน เช่น ดิน หิน แร่ ยิบซัม ซีเมนต์ เป็นต้น จากการประสานกันของวัสดุต่างๆ ทำให้เซรามิกส์มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น จุดหลอมเหลว การกัดกร่อน สภาวะเปราะต่อภาระทางกล เป็นต้น ด้วยเหตุที่เซรามิกส์มีโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้การ

ทำผลิตภัณฑ์จากเซรามิกส์มีอยู่หลายวิธี เช่น การอัดขึ้นรูปในสภาพอัดแห้ง การอัดขึ้นรูปในสภาพเปียก การอัดรีดขึ้นรูป การเผา และการเจียรไน

ประเภทที่ 5 แม่พิมพ์ยาง หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนที่เป็นยาง เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จะนำยางแท่งที่แข็งตัวมาผ่านความร้อนเพื่อให้ยางอยู่ในสภาพหลอมเหลวและจึงทำการฉีดหรืออัดยางที่อยู่ในสภาพหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์แล้วจะปล่อยให้ยางเย็นตัวเพื่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามแบบแม่พิมพ์

ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละประเภทที่กล่าวมานั้นจะมีรูปแบบและโครงสร้างของแม่พิมพ์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยถูกจัดแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

### 2.1.1 จัดแบ่งตามรูปแบบหรือลักษณะการทำงานของแม่พิมพ์ ได้แก่ [2]

1) แม่พิมพ์ตัดเฉือน (Shearing Die) หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการตัดแยกส่วนของแผ่นโลหะออกจากกัน แม่พิมพ์แบบตัดจะมีประสิทธิภาพในการตัดสูง เพราะมีเศษโลหะเกิดขึ้นเล็กน้อยหรือไม่มีเลยและจะตัดชิ้นงานได้ครั้งละสองแผ่น

2) แม่พิมพ์พับขึ้นรูป (Bending Die) หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับดัดหรือพับแผ่นโลหะ

3) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Die) หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นรูปถ้วย

4) แม่พิมพ์ขึ้นรูป (Forming Die) หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นโลหะจะเปลี่ยนรูปตามรูปร่างของพินซ์และคายที่ออกแบบไว้ แผ่นชิ้นงานเริ่มต้นมักจะต้องผ่านวิธีการปรับขนาดให้พอดี (Blank Development) ก่อน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์หลังจากการขึ้นรูปโดยที่ไม่ต้องดัดขอบอีก

5) แม่พิมพ์เฉพาะงานอื่นๆ (Miscellaneous Die) เช่น แม่พิมพ์ปั๊มลาย (Embossing Die) แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ (Coining Die) แม่พิมพ์สำหรับลบรอยเย็นหรือลบคม (Burnishing Die) แม่พิมพ์กดย้ำ (Restriking Die) แม่พิมพ์สำหรับปรับขนาด (Sizing Die) เป็นต้น

### 2.1.2 จัดแบ่งตามโครงสร้างของแม่พิมพ์ ได้แก่ [3]

1) แม่พิมพ์เดี่ยว (Single Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีหนึ่งสถานีการทำงาน และทำงานเพียงรูปแบบเดียว เช่น แม่พิมพ์ตัดเฉือน แม่พิมพ์เจาะรู แม่พิมพ์พับ เป็นต้น

2) แม่พิมพ์ผสม (Compound Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีหนึ่งสถานีการทำงาน แต่มีการทำงานสองรูปแบบขึ้นไป เช่น ดัดขอบและเจาะรู ดัดขอบและขึ้นรูป เป็นต้น

3) แม่พิมพ์แบบผสมแยกส่วน (Combination Die) หมายถึง แม่พิมพ์ที่มีรูปแบบที่ผิดปกติไปจากแม่พิมพ์แบบอื่น ๆ แม่พิมพ์แบบนี้สามารถใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างแตกต่าง

กันจำนวน 2 ชั้นได้ในเวลาเดียวกัน เช่น ตัดแผ่นชิ้นงานและดัดงอขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้แม่พิมพ์ชุดหนึ่งจะถูกทำเป็นสองสถานีงานหรือมากกว่า ซึ่งนี่ก็คือจุดเริ่มต้นของแม่พิมพ์หลายสถานีงาน (Multistation Die)

4) แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่าหนึ่งสถานี ชิ้นงานจะถูกป้อนผ่านครั้งละสถานีจนได้รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการ การป้อนชิ้นงานครั้งละสถานี จะทำโดยใช้ส่วนของแผ่นสตริปเอง (Strip) การตัดเฉือนเพื่อแยกชิ้นงานออกจากแผ่นสตริป จะทำในขั้นตอนสุดท้าย

5) แม่พิมพ์ส่งผ่าน (Transfer Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่าหนึ่งสถานี การทำงาน การตัดเฉือนส่วนของชิ้นงานออกจากแผ่นสตริป จะทำในสถานีแรก การส่งผ่านชิ้นงาน จะใช้กลไกภายนอกทำการเคลื่อนย้ายในขณะที่แม่พิมพ์เปิดแต่ละจังหวะ

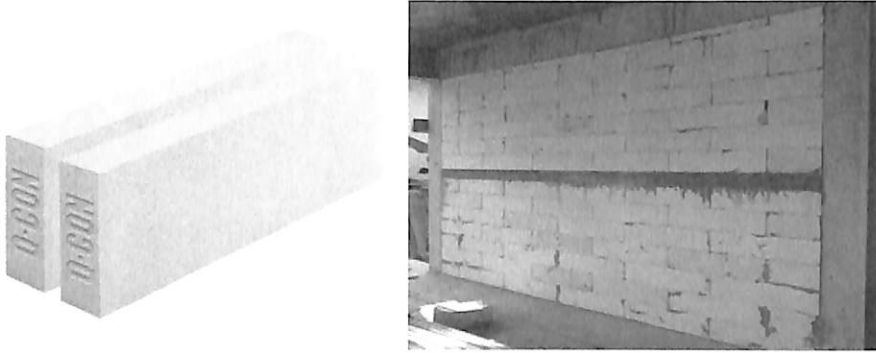
## 2.2 ระบบผนังคอนกรีตมวลเบา [4]

อิฐมวลเบา ถูกผลิตขึ้นจากวัตถุดิบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คุณภาพสูง ทรายบดละเอียด ปูนขาว ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม และน้ำสะอาด วัตถุดิบทั้งหมดจะถูกผสมเข้าด้วยกันอยู่ในรูปแบบของเหลว เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ มากมายกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตมวลเบา แต่ไม่เชื่อมต่อกัน (Unconnecting Voids) ฟองอากาศเหล่านี้ทำให้มีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีเยี่ยม หลังจากนั้นคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่将被ตัดแบ่งตามขนาดของบล็อกที่ต้องการ แล้วเก็บบ่มไว้ระยะเวลาหนึ่ง จึงนำเข้าอบด้วยไอน้ำที่มีอุณหภูมิ และแรงดันสูง (Autoclaved Method) เป็นเวลานาน บล็อกจึงเกิดเป็นผลึก Calcium silicate hydrate ที่มีความแข็งแรงสูง ซึ่งเป็นวัฏกรรมรูปแบบใหม่ ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงเนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากคอนกรีตชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไปแบ่งได้ตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 [5] อิฐมวลเบา ที่ใช้ระบบการผลิตผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงแบบ AAC เป็นระบบการผลิตโดยใช้การอบไอน้ำภายใต้แรงดัน ส่วนประกอบของคอนกรีตมวลเบาชนิดที่ใช้ระบบการผลิตแบบ AAC นี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เถ้าแกลบหรือทรายโพนโดยส่วนมากใช้วัสดุที่มีปริมาณซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงและผงอะลูมิเนียม การใช้งาน AAC เหมาะสมกับประเทศที่มีสภาพเหมาะสมกับประเทศเขตร้อนหรือร้อนจัดที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เนื่องจากการใช้งานจะต้องมีความหนาแน่นมากกว่าปกติ เช่น ผนังภายนอกหนา 40 ซม. ดังนั้น ด้วยความหนาแน่นขนาดนั้น จึงทำให้ความชื้นซึมเข้ามาได้น้อยมาก และอีกทั้งส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นฉนวนชั้นในของบ้านมากกว่าการใช้เป็นผนังภายนอกที่สัมผัสกับสภาพอากาศโดยตรง ดังภาพประกอบที่ 2.2

### อิฐมวลเบา ACC

- ขนาด / 1 ก้อน = 20x60x7 cm.
- จำนวนใช้งาน / 1 ตร.ม. = 8.33 ก้อน



ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงอิฐมวลเบาและผนังอิฐมวลเบาที่ใช้ระบบการผลิตผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

2.2.2 อิฐมวลเบาระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง แบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาตรฐาน โดยการนำดินเหนียวมาผสมกับวัสดุธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ แกลบ ถั่วบด ทราย ดินแดง ขี้เถ้า ขี้เถ้า ชานอ้อยหรือเม็ดโพธิ์ เป็นต้น นำมาเผาแล้วจะสลายตัวเกิดเป็นช่องว่างในเนื้ออิฐ

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี CLC ผสมผสานเพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อวัสดุและเมื่อทิ้งไว้จะทำให้แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์โดยจะมีคุณสมบัติเด่น น้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งาน ผลิตง่าย การลงทุนต่ำมีค่าการนำความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติในการป้องกันเสียง มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ สามารถป้องกันไฟได้กว่า 4 ชั่วโมง อัตราการไหลผ่านของอากาศร้อนต่ำ ดังภาพประกอบที่ 2.2

### อิฐมวลเบา CLC

- ขนาด / 1 ก้อน = 20x60x7 cm.
- จำนวนใช้งาน / 1 ตร.ม. = 8.33 ก้อน



ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงอิฐมวลเบาและผนังอิฐมวลเบา ระบบ ที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ ภายใต้อุณหภูมิสูง

2.2.3 [6] การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของคอนกรีตมวลเบาทั้ง 2 ระบบการเปรียบเทียบกัน โดยการใช้เป็นผนังบล็อกจะเห็นว่าคอนกรีตมวลเบา ระบบ CLC มีข้อดีมากกว่าระบบ AAC ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับว่าจะเน้นจุดแข็งในด้านใด แต่ถ้าหากมุ่งเน้นที่ความประหยัดในเรื่องต้นทุนและขั้นตอนการผลิตเป็นสำคัญ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตมวลเบา ระบบ CLC น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า ระบบ AAC เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและมีความแตกต่างกันดังนี้

- 1) เงินลงทุนเครื่องมือ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ประหยัดกว่าการลงทุนผลิต AAC มากเนื่องจากขบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก เครื่องมือ เครื่องจักรไม่ซับซ้อนวิธีการผลิตง่ายกว่า
- 2) ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ประหยัดกว่ามาก เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานสูง ในขบวนการอบผลิตภัณฑ์ด้วยไอน้ำแรงดันสูง (Autoclaved) เพื่อให้คอนกรีต แข็งตัว แต่ CLC ใช้วิธีให้คอนกรีตแข็งตัวตามธรรมชาติเอง อีกทั้งไม่ต้องใช้ผงอลูมิเนียมเป็นวัตถุเติม ในการผลิต ฯลฯ
- 3) การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานก่อสร้างประหยัดกว่า เนื่องจากสามารถก่อฉาบได้ โดยใช้ปูนก่อฉาบทั่วไป ไม่ต้องใช้ปูนฉาบชนิดพิเศษสำหรับ AAC เท่านั้น ซึ่งวัสดุก่อฉาบที่มีราคาแพงกว่าปูนก่อฉาบทั่วไป โครงอาคารใน CLC มีรูปแบบปิด ไม่ต่อเนื่อง ทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก
- 4) การเคลื่อนย้ายเครื่องมือ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา CLC สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานเทคอนกรีตมวลเบาลงแบบหล่อผนังในที่ (Cast in-site) ที่หน้าหน่วยงานก่อสร้างได้ ทำให้งานก่อสร้างผนังบ้านหรืออาคารทั้งหลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว วันเดียวสามารถเทหล่อผนังได้ทั้งชั้น วันละหลายๆ หลัง เป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนงานก่อสร้างผนัง โดยหลีกเลี่ยงงานก่ออิฐฉาบปูนซึ่งมักพบปัญหาเรื่องแรงงานและช่างฝีมือ

## 2.3 ระบบผนังบล็อกประสาน (Interlocking Block) [7]

บล็อกประสานคือ วัสดุที่รับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุเติมในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทรา



หรือวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป โดยบล็อกประสานแบ่งเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานเป็น 2 ประเภท คือ บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร (ขนาด  $12 \times 25 \times 10$  ซม.) และบล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ (ขนาด  $15 \times 30 \times 10$  ซม.)



ภาพประกอบที่ 2.3 แสดงอิฐบล็อกประสานและผนังอิฐบล็อกประสาน

## 2.4 ความเที่ยงตรงหรือความเชื่อมั่น (Validity) [8]

ความเที่ยงตรง (Validity) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความเชื่อมั่น (Reliability) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเครื่องมือที่ดี การที่เครื่องมือใดมีความเที่ยงมาก หมายความว่าเครื่องมือนั้นมีระดับความคงที่ในการวัดมาก ถ้านำเครื่องมือนั้นไปวัดซ้ำจะได้ค่าความแตกต่างของการวัดซ้ำน้อย แสดงว่าเครื่องมือที่มีความเที่ยงสูง วิธีตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงมีหลายวิธีดังนี้

2.4.1 ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity) เป็นการมองโดยส่วนรวมว่าเครื่องมือหรือแบบวัดนั้น ครอบคลุมเนื้อหาที่จะวัดได้ถูกต้องครบถ้วนหรือไม่ การตรวจสอบต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาของเครื่องมือ นั้น ๆ ในทางปฏิบัติต้องการผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ครั้งละ 3-5 ท่าน ภายหลังการตรวจสอบผู้สร้างเครื่องมือจะนำข้อแนะนำที่ได้รับมาแก้ไขปรับปรุงจนกว่าจะได้รับการยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญความเห็นพ้องต้องกันของผู้เชี่ยวชาญ แสดงถึงการมีความตรงตามเนื้อหาของเครื่องมือที่คิดเป็นร้อยละ 80

2.4.2 ความเที่ยงตรงตามเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion - Related Validity) เป็นการประเมินความตรงตามเกณฑ์ที่ได้มาตรฐานการตรวจสอบที่มุ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้างกับค่าที่วัดได้จากเกณฑ์ ความสำคัญอยู่ที่เกณฑ์ที่ผู้วิจัยเลือกว่าถูกต้องตามหลัก

ทฤษฎี ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปหรือไม่เกณฑ์ที่เลือกใช้มี 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ต้องการให้เครื่องมือวัดได้ตรงตามเกณฑ์ กล่าวคือ

- 1) ความเที่ยงตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) หมายถึง ลักษณะที่เครื่องมือวัดได้มีความตรงตามสภาพความเป็นจริงโดยทั่ว ๆ ไปในเวลานั้น
- 2) ความเที่ยงตรงตามทำนาย (Predictive Validity) หมายถึง ลักษณะที่เครื่องมือวัดได้มีความตรงตามความจริงที่จะเกิดขึ้นตามมาภายหลัง หรือในอนาคตซึ่งสามารถทำนายได้
- 3) ความเที่ยงตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity) เป็นการมองความเที่ยงตรงของเครื่องมือวิจัยในแง่ที่จะบอกว่าสิ่งที่ได้มาจากการวัดนั้นมีความตรงตามแนวคิดเชิงทฤษฎีอย่างไร ซึ่งเป็นการยากที่จะตรวจสอบเนื่องจากแนวคิดเชิงทฤษฎีนี้มักอยู่ในรูปนามธรรม ความตรงตามโครงสร้างมีความสำคัญในแง่ของการเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีและสิ่งที่วัด ได้จริงจากการปฏิบัติ เช่น ในเรื่องสติปัญญา ความถนัด ฯลฯ

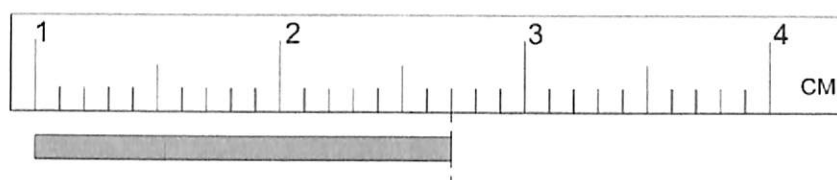
## 2.5 การวัด เลขนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อน และการวิเคราะห์เชิงสถิติ [9]

### 2.5.1 การวัด (Measurements)

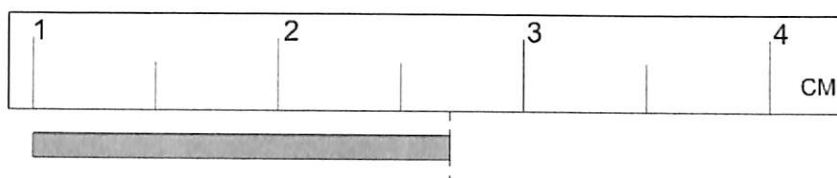
การทดลองทางฟิสิกส์ต้องวัดปริมาณต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อพิสูจน์หรือหาผลสรุป ดังนั้นหากผู้ทดลองวัดผิดพลาดจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำของ ผลการทดลองอย่างยิ่ง เนื่องจากปริมาณทางฟิสิกส์มีมากมาย ซึ่งแต่ละปริมาณจะใช้เครื่องมือวัดแตกต่างกันและมี วิธีใช้แตกต่างกัน ผู้ทดลองจึงต้องศึกษาชนิดและวิธีใช้เครื่องมือวัดแต่ละชนิดให้เข้าใจและใช้ให้ ถูกต้อง แต่เครื่องมือทุกชนิดจะมีหลักการวัดเหมือนกัน หลักการวัด มีดังนี้

- 1) พิจารณาว่าเครื่องมือวัดชนิดนั้น ใช้วัดปริมาณฟิสิกส์ปริมาณอะไร ใช้หน่วยอะไร มีค่า อุปสรรคหรือไม่ ถ้ามีค่าอุปสรรคคืออะไร
- 2) พิจารณาสเกลของเครื่องมือวัด (กรณีเป็นแบบต่อเนื่อง หรือ analog) จากนั้นคิดเชื่อมโยงสเกลกับปริมาณฟิสิกส์ของเครื่องมือชนิดนั้น
- 3) การอ่านสเกล ใช้หลักอ่านระยะตามสเกล โดยให้คาดคะเนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น
- 4) ควรระบุความคลาดเคลื่อนกำกับค่าที่วัดได้ โดยใช้ค่าความละเอียดของเครื่องมือที่น้อยสุดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน

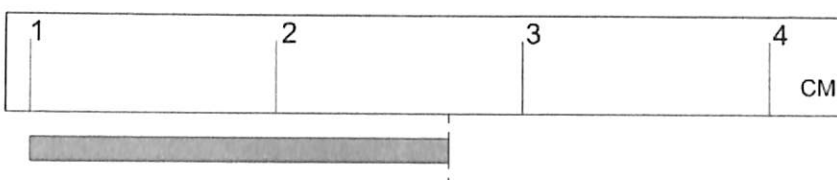
ตัวอย่างการอ่านสเกล



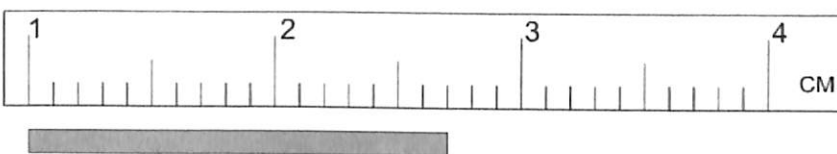
อ่านค่าได้  $2.70 \pm 0.01$  cm. หรือ 2.70 cm.



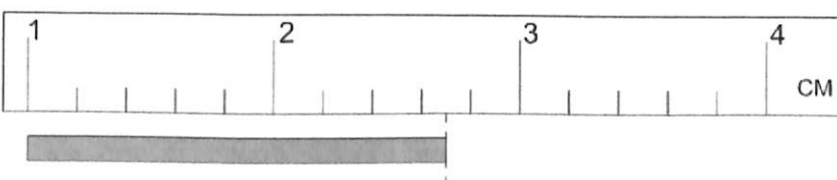
อ่านค่าได้  $2.7 \pm 0.01$  cm. หรือ 2.7 cm.



อ่านค่าได้  $2.7 \pm 0.01$  cm. หรือ 2.7 cm.



อ่านค่าได้  $2.75 \pm 0.01$  cm. หรือ 2.75 cm.



อ่านค่าได้  $2.7 \pm 0.01$  cm. หรือ 2.7 cm.

ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการอ่านสเกล

### 2.5.2 เลขนัยสำคัญ (Significant Figures)

เลขนัยสำคัญ หมายถึงเลขที่เชื่อถือได้ และสามารถสื่อความหมายที่บอกถึงความแม่นยำ และความคลาดเคลื่อนของจำนวนเลขดังกล่าว ตัวอย่างเลขนัยสำคัญ เช่น ตัวเลขที่วัดได้จากเครื่องมือวัด ตัวเลขที่ได้จากการคำนวณ หรือตัวเลขที่เป็นค่าคงที่ เมื่อเราพบเลขจำนวนใดจำนวนหนึ่ง เราต้องทราบว่าเลขตัวใดเป็นเลขนัยสำคัญ และตัวใดไม่ เป็น และจำนวนนั้นมีเลขนัยสำคัญ



ทั้งหมดที่ตัว ความเข้าใจในเรื่องเลขนัยสำคัญจึงจะเป็นอย่างยิ่งต่อ การคำนวณและทดลองทางฟิสิกส์ การพิจารณาเลขนัยสำคัญมีหลักดังนี้

- 1) ตัวเลขที่มีนัยสำคัญมากที่สุด คือตัวเลขซ้ายสุดของเลขจำนวนนั้น ที่ไม่ใช่ศูนย์
- 2) กรณีไม่มีจุดทศนิยมในเลขจำนวนนั้น ตัวเลขที่มีนัยสำคัญน้อยสุด ก็คือตัวเลขขวาสุดของ จำนวนนั้น ที่ไม่เป็นศูนย์
- 3) กรณีมีจุดทศนิยมในเลขจำนวนนั้น ตัวเลขที่มีนัยสำคัญน้อยสุด ก็คือตัวเลขขวาสุดของเลข จำนวนนั้น รวมถึงเลขศูนย์ที่มีด้วย
- 4) จำนวนหลักของเลขนัยสำคัญ ให้นำรวมจากเลขนัยสำคัญมากที่สุดถึงเลขนัยสำคัญน้อย ที่สุด

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการนับจำนวนเลขนัยสำคัญ และความคลาดเคลื่อน

ข้อมูล หรือ คำตอบ	จำนวนเลขนัยสำคัญ (ตัว)	ความคลาดเคลื่อน
5	1	0%
43	2	0%
5.0	2	10%
5.00	3	1%
25.00	4	1%
3.143	4	0.1%
3.1435	5	0.01%
3.14356	6	0.001%
430	3	0%
$4.30 \times 10^2$	3	1%
$4.30 \times 10^2$	2	10%

โดยหลักทั้ง 4 ข้อที่กล่าวมานั้น เลขจำนวนใด ๆ ก็ตาม นอกจากบอกปริมาณหรือขนาดแล้ว ยัง บอกถึงขนาดความไม่แน่นอนหรือความคลาดเคลื่อนไว้ด้วย กล่าวคือตัวเลขที่มีนัยสำคัญน้อยสุดตาม ข้อ 2 และ 3 จะเป็นตัวเลขที่มีความคลาดเคลื่อนรวมอยู่ด้วย นอกนั้นถือว่าเป็นตัวเลขที่มีความแน่นอนสูง

หลักในการคำนวณเลขนัยสำคัญ เมื่อนำปริมาณฟิสิกส์ (เลขจำนวนหนึ่ง) ที่ได้จากการวัด ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “เลขนัยสำคัญ” มาคำนวณ คำตอบที่ได้จะต้องอาศัยวิธีวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Errors analysis) แต่ มีวิธีการอีกวิธีหนึ่งคือการปัดเศษให้เหลือตัวเลขที่เป็นเลขนัยสำคัญที่มีความคลาดเคลื่อนสอดคล้องกับ ข้อมูลเดิม ซึ่งมีหลักดังนี้

- กรณีการบวกหรือลบ เมื่อบวกลบเสร็จแล้ว จะคงเหลือจำนวนเลขทศนิยมไว้ให้เท่ากับจำนวนเลขทศนิยมตัวน้อยที่สุด (ให้ดูทั้งหมดทุกตัว) ตัวอย่างเช่น

$$3.035 + 5.2 + 8.09 = 16.325 \text{ ควรตอบ } 16.3 \text{ (ตามจุดทศนิยมน้อยที่สุด)}$$

$$405 + 7.12 + 98.003 = 510.123 \text{ ควรตอบ } 510 \text{ (ตามจุดทศนิยมน้อยที่สุด)}$$

- กรณีคูณหรือหารกัน เมื่อคูณหารเสร็จแล้ว จะคงเหลือจำนวนเลขทศนิยมไว้ให้เท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญตัวน้อยที่สุด (ให้ดูทั้งหมดทุกตัว) ตัวอย่างเช่น

$$62.5 \times 0.073 = 4.562 \text{ ควรตอบ } 4.6 \text{ (ตอบตามเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด โดยดูทุกตัว)}$$

$$0.024 \div 0.006 = 4 \text{ ควรตอบ } 4 \text{ (ตอบตามเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด โดยดูทุกตัว)}$$

### 2.5.3 ความคลาดเคลื่อน (Errors)

การวัดทุกรูปแบบจะมีความคลาดเคลื่อนหรือความไม่แน่นอนเกิดขึ้นเสมอ การทดลองที่ได้ผล สมบูรณ์ต้องเริ่มด้วยการได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจากสาเหตุ ดังนี้

#### 1) ความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Personal Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความบกพร่องของผู้วัดหรือผู้ทดลอง ซึ่งสามารถลดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้ถ้าผู้ทดลองใช้ความระมัดระวังในการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือวัด พร้อมทั้ง ระมัดระวังหน่วยของปริมาณที่วัด นอกจากนั้นต้องบันทึกข้อมูลให้มีระเบียบแบบแผน มีรายละเอียดที่สามารถสื่อความหมายของข้อมูลดิบ จนสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หรือคำนวณหาคำตอบได้โดยไม่ผิดพลาด

#### 2) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนเกิดจากเครื่องมือที่ใช้ทดลอง สามารถลดให้น้อยลงได้โดยใช้เครื่องมือ ที่มีคุณภาพ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดขึ้นเสมอไม่ขึ้นกับผู้ทดลอง ผู้ทดลองจึงต้องเลือกอุปกรณ์ หรือเครื่องมือทดลองให้เหมาะสม โดยมีสิ่งควรคำนึงถึง ดังนี้

- ความแม่นยำ (Precision) หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเดิมเสมอ

- ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเท่ากับค่ามาตรฐานหรือใกล้เคียง กับค่ามาตรฐาน

- ความไว (Sensitivity) หมายถึงเครื่องมือที่สามารถวัดค่าได้ แม้ว่าสิ่งนั้นหรือปริมาณ ฟิสิกส์ปริมาณนั้นจะมีค่าน้อยมาก ๆ

#### 3) ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Errors)

เรียกอีกอย่างว่า ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนใน ลักษณะที่ข้อมูลหรือตัวเลขที่วัดได้ มีค่าต่าง ๆ กันกระจายออกไปจากค่าตัวเลขที่เป็นไปได้มากที่สุดค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวเลขนั้น ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่เราไม่สามารถกำหนดหรือคาดคะเนได้แม้จะพยายามและระมัดระวังอย่างดีที่สุดแล้วก็ตาม เช่น การอ่าน ข้อมูลตัวเลขจากเครื่องมือวัดที่ต้องอาศัยการประมาณค่าในหลักสุดท้ายของสเกลจะมีขนาดไม่เท่ากัน และมีการกระจายแบบสุ่ม (Random distribution) หมายความว่า แม้ว่าจะพยายามวัดหลายๆ ครั้ง จะพบว่าตัวเลขการวัดแต่ละครั้งจะไม่เท่ากัน แต่ตัวเลขที่วัดได้มีแนวโน้มจะเท่าหรือใกล้เคียงค่าๆหนึ่ง ซึ่งค่าๆนี้เราหาได้โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis) ยังมีความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นธรรมชาติของปรากฏการณ์นั้น ๆ ซึ่งมี สาเหตุจากสถานะของตัวแปรภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ หรือตัวแปรภายในที่ไม่สามารถ ควบคุมได้ ความคลาดเคลื่อนแบบนี้มีลักษณะสุ่มเหมือนการเคลื่อนที่แบบแบรก เช่น การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี อัตราการสลายตัวหรือปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาต่อหน่วยเวลาจะมีค่าไม่เท่ากัน แม้จะวัดในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันก็ตาม การหาค่าที่แท้จริงต้องวัดหลายๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยหรือใช้วิธีการ วิเคราะห์เชิงสถิติ ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จึงทำได้โดยการ ฝึกทักษะการวัด เรียนรู้การวัด การบันทึกข้อมูล การใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐาน มีการปรับแต่งสม่ำเสมอ และรู้จักจำกัดการวัดของ เครื่องมือแต่ละชิ้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ รวมไปถึงต้องวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ซึ่งตัวเลขที่วัดได้ควรจะมีการกระจายแบบสุ่มหรือมีแนวโน้มจะเท่า หรือใกล้เคียงกับค่าๆ หนึ่ง จากนั้นใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่า ๆ นี้ เพื่อใช้เป็นค่าสุดท้าย การ กระทำเช่นนี้เป็นการลดความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตินั่นเอง

#### 4) การถ่ายทอดความคลาดเคลื่อน (Propagation of Errors)

เมื่อจะคำนวณข้อมูลหรือตัวเลขหรือปริมาณฟิสิกส์ที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ด้วย จะใช้วิธีการ ทำนองเดียวกับการคำนวณเลขนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อนของคำตอบจะคำนวณได้จากหลักแคลคูลัสหลายตัวแปร ดังนี้

ถ้า ให้  $x \pm \delta_x$ ,  $y \pm \delta_y$  และ  $z \pm \delta_z$  เป็นปริมาณฟิสิกส์ที่ได้จากการทดลองและผ่านการ วิเคราะห์ทางสถิติแล้ว

ให้  $w(x,y,z)$  เป็นฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามสมการ

$$W(x, y, z) = f(x, y, z) \quad (1)$$

ให้  $\delta_w$  เป็นความคลาดเคลื่อนของ  $w(x, y, z)$  ซึ่งจะหาจากหลักแคลคูลัสหลายตัวแปรได้ ดังนี้

$$dw = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial z} dz \quad (2)$$

ผลการดิฟเฟอเรนเชียลสมการ นี้ สามารถประมาณค่าให้เป็นความคลาดเคลื่อนของ  $\delta w$  ได้ว่า

$$\delta w = \frac{\partial f}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \delta y + \frac{\partial f}{\partial z} \delta z \quad (3)$$

กรณีที่  $\delta x$ ,  $\delta y$  และ  $\delta z$  เป็นความคลาดเคลื่อนลักษณะสุ่ม โดยการใช้ทฤษฎีเชิงสถิติ ความคลาดเคลื่อนผลลัพธ์จะเท่ากับรากที่สองของผลบวกของกำลังสองของแต่ละเทอมของทางขวามือ ของสมการ ข้างบน นั่นคือ เท่ากับ

$$\delta w = (\delta w) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \delta z\right)^2} \quad (4)$$

อย่างไรก็ตาม ถ้า  $w(x, y, z) = ax + by + cz$  โดยที่  $a$ ,  $b$  และ  $c$  เป็นค่าคงที่บวกหรือลบ ก็ได้ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเป็น  $\partial x$ ,  $\partial y$  และ  $\partial z$  ตามลำดับ จะได้  $\frac{\partial w}{\partial x} = a$ ,  $\frac{\partial w}{\partial y} = b$  และ  $\frac{\partial w}{\partial z} = c$  เมื่อแทนค่าในสมการบนจะได้

$$\delta w = \sqrt{(a\delta x)^2 + (b\delta y)^2 + (c\delta z)^2} \quad (5)$$

และถ้า  $w(x, y, z) = kx^a y^b z^c$  โดยที่  $k$ ,  $a$ ,  $b$  และ  $c$  เป็นค่าคงที่บวกหรือลบก็ได้ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเป็น  $\partial x$ ,  $\partial y$  และ  $\partial z$  ตามลำดับ จะได้

$$\delta w = W \sqrt{\left(\frac{a\delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{b\delta y}{y}\right)^2 + \left(\frac{c\delta z}{z}\right)^2} \quad (6)$$

### 5) เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error)

ความถูกต้องและความเชื่อถือของการทดลองพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ต้องมีปริมาณที่เป็นจริงและถูกต้องไว้เปรียบเทียบกับ ถ้ากำหนดให้  $S$  เป็นค่าปริมาณฟิสิกส์มาตรฐาน และ  $E$  เป็นค่าปริมาณฟิสิกส์เดียวกับ  $S$  แต่ได้จากการทดลอง เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้ตามสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{|E-S|}{S} \times 100\% \quad (7)$$

แต่กรณีที่ไม่สามารถหาหรือกำหนดปริมาณมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ แต่มีผลการทดลอง 2 ชุดที่มีค่าแตกต่างกัน เราสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการทดลองทั้งสองชุด โดยใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองทั้งสองชุดเป็นปริมาณที่ใช้เปรียบเทียบกับ กล่าวคือ ถ้าให้  $E_1$  และ  $E_2$  เป็นผลการทดลอง 2 ชุด จะได้

$$\text{ค่าเฉลี่ยของปริมาณทั้งสองปริมาณ} \quad \bar{E} = \frac{1}{2} (E_1 + E_2) \quad (8)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E1-E2|}{\bar{E}} \times 100\% \quad (9)$$

$$\text{รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย} = \sqrt{\sum_{i=0}^n (Ei-Si)^2} \quad (10)$$

#### 2.5.4 การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical Analysis)

ในการทดลองวัดซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้ง ด้วยความระมัดระวัง และเครื่องมือทดลองสภาพสมบูรณ์ ข้อมูลที่วัดได้จะปราศจากความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคลและความคลาดเคลื่อนเชิงระบบเหลือเพียงความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติเท่านั้น และถ้าจำนวนครั้งการวัดมากพอ กราฟของชุดข้อมูลนั้นจะมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) โดยวิธีการเชิงสถิติ เราสามารถหาคำตอบที่เป็นตัวเลขดีที่สุดของชุดข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งกำหนดความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติของคำตอบได้ด้วย โดยตัวเลขแทนที่ดีที่สุดก็คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของชุดข้อมูลทั้งหมด ส่วนความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติก็คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) คำตอบที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลที่วัดได้เท่ากับ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ความคลาดเคลื่อน (ความเบี่ยงเบน มาตรฐาน) ซึ่งแต่ละค่าหาได้ ดังนี้

ถ้า N เป็นจำนวนครั้งของการวัด และ  $X_i$  คือข้อมูลที่ได้จากการวัดครั้งที่ i ค่าเฉลี่ย  $\bar{X}$  ของข้อมูลทั้งหมดหาได้ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (11)$$

ความคลาดเคลื่อนหรือความเบี่ยงเบนมาตรฐานมี 2 แบบ คือ

##### 1) ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Sample standard deviation ; SD)

เป็นปริมาณบอกความแม่นยำของการวัด ถ้า SD มีค่าน้อยแสดงว่า ข้อมูลที่วัดได้มีความแม่นยำสูง หรือข้อมูลที่วัดได้จำนวนมากมีค่าใกล้เคียงกับ  $\bar{X}$  ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างหาได้ดังนี้

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (12)$$

จากทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability Theory) กำหนดไว้ว่า 68.3% ของชุดข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดควรมีค่าในช่วง  $\bar{X} \pm SD$  ขณะเดียวกัน 95.54% ของชุดข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดควร

มีค่า ในช่วง  $\bar{X} \pm 2 SD$  และขณะเดียวกัน 99.73% ของข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดควรมีค่าในช่วง  $\bar{X} \pm 3 SD$  กราฟของชุดข้อมูลที่วัดได้นั้นจะมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่คำนวณได้ตามสมการ (10) และ (11) จะเป็นค่าตัวแทนที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลนั้น ดังนั้น ในการทดลองแต่ละครั้ง เราวัดซ้ำ N ครั้ง และชุดข้อมูลที่วัดได้มีการกระจายปกติ ค่าตัวเลขที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลนั้นหาได้ ดังนี้

$$\bar{X} \pm SD \quad (13)$$

## 2) ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard deviation of Mean ; SDm)

เป็นค่าที่ระบุความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ย หมายความว่า ถ้ามีการทดลองซ้ำจำนวน N ครั้ง เท่ากับจำนวน ครั้งที่เราวัดซ้ำ ค่าเฉลี่ยของแต่ละครั้งที่ทดลองซ้ำควรมีค่ากระจายแบบปกติ (ประมาณ 68.3% ของ ค่าเฉลี่ยจะมีค่าในช่วง  $\bar{X} \pm 2\sigma$  ขณะเดียวกัน 95.54% ของค่าเฉลี่ยควรมีค่าในช่วง  $\bar{X} \pm 2\sigma$  และ ขณะเดียวกัน 99.73% ของค่าเฉลี่ยควรมีค่าในช่วง  $\bar{X} \pm 3\sigma$  ตามลำดับ ) ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าเฉลี่ยหาได้ตามสมการข้างล่าง

$$SDm = \frac{SD}{\sqrt{N}} \quad (14)$$

ดังนั้น ถ้าเราทดลองซ้ำหลายครั้ง N ครั้ง โดยแต่ละครั้งมีการวัดซ้ำ N ครั้ง ค่าตัวเลขที่ดี ที่สุดของชุดข้อมูลและการทดลองทุกครั้ง จะเป็น

$$\bar{X} + SDm \quad (15)$$

จะเห็นว่า การหาค่าตัวเลขที่ดีที่สุดของชุดข้อมูล มีวิธีหาแตกต่างกัน ต้องระมัดระวังและ เลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวัดและการทดลองแต่ละครั้ง

## 2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.2601-2556 [10]

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศนี้จะกำหนดปริมาณการเติมฟองอากาศลงไปในคอนกรีตดังต่อไปนี้

2.6.1 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ยตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 ซึ่งแบ่งออกเป็น 8 ชนิด ดังตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2.2 คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรของ มอก.2601-2556

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย(kg/m <sup>3</sup> )
C6	501 ถึง 600
C7	601 ถึง 700
C8	701 ถึง 800
C9	801 ถึง 900
C10	901 ถึง 1,000
C12	1,001 ถึง 1,200
C14	1,201 ถึง 1,400
C16	1,401 ถึง 1,600

2.6.2 ขนาด และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ขนาดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยให้ความสูงคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±4 mm ความยาวคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±5 mm และความหนาคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±3 mm ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

ความสูง	ความยาว	ความหนา
200mm	300mm 400mm 500mm 600mm	ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำระบุไว้ที่ฉลาก

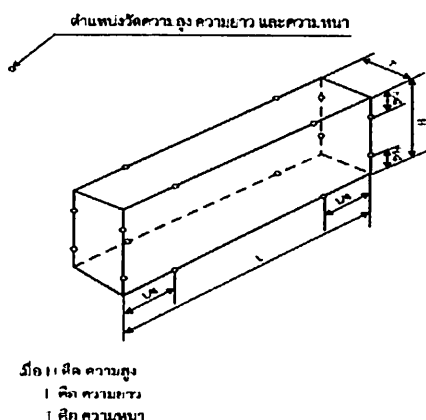
2.7 การทดสอบตาม มอก. 2601-2556

2.7.1 การวัดขนาด

- 1) เครื่องมือ
  - เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 mm.
  - เวอร์เนียที่วัดได้ถึง 200 mm.

## 2) วิธีทดสอบ

- ความกว้างและความยาวใช้เครื่องวัดที่วัดละเอียดได้ถึง 1 mm. วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง โดยวัดที่ตำแหน่งห่างขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้น ๆ ดังภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.5 แสดงตำแหน่งวัดความกว้าง ความยาว และความหนา

- ความหนาใช้เวอร์เนียวัดตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของตัวอย่าง เป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาวดังรูปที่ 2.6

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำทำนายคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตมวลเบา ชนิด CLC ความเสถียรเชิงมิติของคอนกรีตมวลเบา, คอนกรีตมวลเบาที่ความหนาแน่นสูงจะสามารถรับแรงได้ ผลของปริมาณโฟมต่อคุณสมบัติคอนกรีตมวลเบา

2.8.1 [11] นาย อานนท์ เมืองเขาว์ ศึกษาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า CLC (Cellular Light Weight Concrete) เป็นคอนกรีตแบบเติมฟองอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านความหนาแน่น การต้านทานแรงอัด และอัตราการดูดซึมน้ำ โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.(2601-2556) เพื่อพัฒนาบล็อกประสาน ระบบผนังอินเตอร์ล็อกกิ้ง โดยจะทำการศึกษาอัตราผลิตภาพในการก่อบล็อกและพัฒนาแบบหล่อบล็อกอินเตอร์ล็อกกิ้ง โดยจะคิดค้นส่วนผสม 7 อัตราส่วน เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมมาผลิต บล็อกอินเตอร์ล็อกกิ้ง และได้อัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาที่ C10 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.(2601-2556) มาผลิตบล็อกประสาน อินเตอร์ล็อกกิ้งที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:0.85:0.55:0.0025 ปูนซีเมนต์:ทรายละเอียด:น้ำ:น้ำยาโฟม

มีค่าความหนาแน่นแห้ง  $958 \text{ kg/m}^3$  ค่าต้านทานกำลังอัด  $26.27 \text{ ksc}$  อัตราการดูดซึมน้ำ  $21.55\%$  และเมื่อนำบดออกมาอ่อนนุ่ม ช่าง 1 คนสามารถบดได้ 20.65 ตารางเมตรต่อวัน

2.8.2 [12] นาย สุจิกร บุญเต็ม และ นาย เอกชัย แปลกหน้า ศึกษาการออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโพลาร์เพลตจากเหล็กกล้าไร้สนิม วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 หนา 0.5 มิลลิเมตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตแผ่นโพลาร์เพลตจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 จำนวน 30 ชิ้น และนำชิ้นงานมาวัดตรวจสอบ 4 จุด ต่อ 1 แผ่นแบบ 100% โดยไม่ให้ชิ้นงานเกิดรอยยับจากการปั๊มขึ้นรูป โดยทำการปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานทั้งหมด 30 ชิ้น จากนั้นทำการวัดและตรวจสอบขนาดของความกว้างของร่องขึ้นงาน ความลึกของร่องขึ้นงาน ความกว้างรวมของร่องขึ้นงาน ความยาวรวมของร่องขึ้นงาน โดยทำการวัดทั้ง 4 จุดๆ ละ 3 ตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้ ความกว้างของร่องขึ้นงาน ( $3 \pm 0.2$  มิลลิเมตร) ชิ้นงานทุกชิ้นอยู่ในพิสัยที่กำหนด ความลึกของร่องขึ้นงาน ( $1 \pm 0.2$  มิลลิเมตร) ชิ้นงานทุกชิ้นอยู่ในพิสัยที่กำหนด ความกว้างรวมของร่องขึ้นงาน ( $69 \pm 0.2$  มิลลิเมตร) ชิ้นงานทุกชิ้นอยู่ในพิสัยที่กำหนด และความยาวรวมของร่องขึ้นงาน ( $70 \pm 0.2$  มิลลิเมตร) ชิ้นงานทุกชิ้นอยู่ในพิสัยที่กำหนด สรุปผลการทดลองจากการวัดและตรวจสอบชิ้นงานทั้งหมด 30 ชิ้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถสรุปได้ว่า ผลการทดลองที่ออกมาอยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ ที่ระดับจากการวัดตรวจสอบแบบ 100%

2.8.3 [13] นาย ไพฑูรย์ ปะการะพัง ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคของดิน กรณีศึกษา กระบวนการผลิตอิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต โดยการนำเทคนิคดินมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สามารถทำการผลิตได้อย่างราบเรียบต่อเนื่อง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น จากกรณีศึกษากระบวนการผลิตอิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก พบว่า มีปัญหาในขั้นตอนการผลิตในส่วน ของ กระบวนการผลิตที่ไม่สามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีจุดที่เป็นคอขวดภายในกระบวนการผลิตในขั้นตอนของ การอัดขึ้นรูปและการขาดทักษะของพนักงาน ทำให้กระบวนการผลิตไม่มีความราบเรียบ และทำให้ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตจาก กระบวนการผลิตได้ ดังนั้น การค้นคว้าอิสระนี้จึงได้กำหนดให้มีการแสดงอัตราส่วนผสมที่ชัดเจนในขั้นตอนการผลิต ในส่วน ของการผสมวัตถุดิบขั้นตอนที่หนึ่ง โดยได้ทำการปรับเรียบกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคของดิน และทำการฝึกอบรมความรู้ในเรื่องของกระบวนการทำงานให้กับพนักงานอย่างสม่ำเสมอ เพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้ได้ตาม เทคนิคดิน ผลจากการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต พบว่า สามารถเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์จากการผลิต จาก 96.5 เป็น 99.49 เปอร์เซนต์โดยเพิ่มขึ้นจากเดิม 2.99 เปอร์เซนต์และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกได้เพิ่มขึ้นจากเดิม จาก 19,536 ชิ้น เป็น 22,885 ชิ้น เพิ่มขึ้น 3,349 คิดเป็น 17.14 เปอร์เซนต์

## 2.9 สรุปท้ายบท

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มีการกล่าวถึงแม่พิมพ์หรือแบบหล่อรูปแบบต่าง ๆ ความเที่ยงตรง การวัด เลขนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อน การวิเคราะห์เชิงสถิติ ระบบผนังคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC และ CLC และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601-2556 ซึ่งสามารถนำเอกสารและมาตรฐานไปใช้ในการออกแบบการทดลองในบทที่ 3 เพื่อหาค่าความเที่ยงตรงของแบบหล่อบล็อกประสาน CLC ให้ได้บล็อกที่มีคุณภาพผ่านการทดสอบตามมาตรฐานสากลต่อไป