บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ลักษณะการกำเนิดของหินเพอร์ไลต์

หินเพอร์ไลต์ที่ใช้เป็นมวลรวมผสมในงานวิจัยนี้ เป็นหินที่เกิดในยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) ถึงยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ที่การวางตัวตามแนวยาวจากทางทิศเหนือมาทางทิศใต้ ของคาบสมุทรแนวภูเขาไฟในแอฟริกาใต้ ญี่ปุ่น อเมริกา เม็กซิโก เป็นต้น ซึ่งจะมีเนื้อลักษณะเนื้อในช่วงแรก กระบวนการเกิดหลังขั้นต่อไปในช่วงหลังจาก หินแก้วเนื้อไรไอไลต์ (rhyolitic glass) เถ้าธุลีภูเขาไฟ (volcanicsosh) เปลี่ยนสภาพไปจากเดิม จากนั้นการเกิดไฮเดรต (hydrate) ในเนื้อหินลาวาดังกล่าวมีการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว เกิดขึ้นลักษณะเช่นเดียวกับ หินออบซิเดียน (obsidian) ซึ่งโดยลักษณะตำแหน่งทั่วไปของหินดังกล่าวจัดได้อยู่ในชั้นความลึกตั้งแต่ชั้นบนผิวดินจนถึงฝังจมลึกอยู่ใต้ดินกว่า 100 เมตรขึ้นไป ลักษณะของหินดังกล่าวเช่นเดียวกับหินเถ้าภูเข้าไฟ (tuffs) ซึ่งส่วนใหญ่จัดวางเรียงตัวของแนวหินเป็นพนัง (dykes) หรือเป็นพนังแทรกชั้น (sills) อยู่ในชั้นของหินประเภทเดียวกัน หรือหินประเภทอื่นที่มีการดันตัวแทรกเข้ามาภายหลังเป็นชั้น

สำหรับตัวอย่างในแอฟริกาใต้ หินที่มีการกำเนิดมาจาลาวาภูเขาไฟ (rhyolitic lavas) จัดอยู่ในกลุ่ม Lebombo Group (Karoo Supergroup) ใน Kwazulu-Natal ซึ่งหินจากภูเขาไฟใน Karoo Supergroup ดังกล่าวจะมีลาวาเนื้อบะซอลต์ (basaltic lavas) วางทับอยู่ด้านบน มีมุมเทประมาณ 10 องศา จากทิศเหนือไปแนวทิศใต้ ตัวอย่างหินเพอร์ไลต์ในพื้นที่การทำเหมือง Pratley Perlite Mining Co.Ltd ใน Nxwala Estate: ซึ่งมีการขุดเจาะในปี 1974 ซึ่งพบหินเพอร์ไลต์ตั้งแต่ในระยะที่ 12 ถึง 15 ม. ซึ่งความหนาของชั้นประมาณ 1 ถึง 5 เมตร ซึ่งหินเพอร์ไลต์ดังกล่าวพบว่ามีอยู่หลายสี เช่น สีเขียวโอลีวีน สีดำ น้ำตาลและเขียวซีดซึ่งแยกตัวสารประกอบในหินเพอร์ไลต์ นอกจากในแอฟริกาใต้แล้วยังมีการผลิตในแหล่งต่างๆ ของโลกอีก อาทิ ประเทศเม็กซิโก อาร์เจนตินา อิตาลี ฮังการี ญี่ปุ่น อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

2.2 ธรณีวิทยาแหล่งหินเพอร์ไลต์ในประเทศไทย

นิคม (2538) ได้กล่าวไว้ว่าในช่วงของยุคเทอร์เชียรีตอนปลาย (Late Tertiary) ถึงยุคควอเทอร์นารี ได้เกิดการระเบิดของภูเขาไฟลำนารายณ์อย่างรุนแรง ซึ่งในช่วงแรกของการประทุของภูเขาไฟจะเป็นพวกหินหนืดฤทธิ์ด่าง (basic magma) เกิดขึ้นก่อน ซึ่งจะเกิดหินบะซอลต์ และหินบะซอลติกแอนดีไซต์ หลังจากนั้นเกิดการประทุของภูเขาไฟอย่างรุนแรงอีกครั้ง ทำให้หินหนืดฤทธิ์

กรด (acid magma) ทำให้เกิดหินตะกอนภูเขาไฟ ซึ่งเป็นพวกเถ้าธุลีภูเขาไฟ (ash) หินเถ้าภูเขาไฟ (tuffs) และหินไรโอไลต์ปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ หินภูเขาไฟพวกนี้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดชั้นแก้วภูเขาไฟ (glassy beds) หรือ เพอร์ไลต์อยู่ทั่วไป ต่อมามีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก เกิดแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่แนวตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ ที่พาดผ่านตอนกลางของประเทศ ตั้งแต่จังหวัดตาก นครสวรรค์ ผ่านพื้นที่สำรวจและเป็นแนวออกไปทางตะวันออกของจังหวัดปราจีนบุรีเข้าไปในประเทศกัมพูชาทำให้เกิดภูเขาไฟที่ทำให้หินหนืดชนิดบะซอลต์ในพื้นที่สำรวจ นอกจากนั้นยังพบแทรกตามแนวตก เกิดแบบพนัง (dike) ซึ่งอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้พบเห็นอยู่ทั่วไปในพื้นที่ หินเพอร์ไลต์ลำนารายณ์ถูกแนวรอยเลื่อนกระทำ 3 แนว คือ

1) รอยเลื่อน แนวเหนือ – ใต้ (N – S faults)

2) รอยเลื่อน แนวตะวันออกเฉียงเหนือ – ตะวันตกเฉียงใต้ (NE – SW faults)

3) รอยเลื่อน แนวตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงเหนือ (NW – SE faults)

2.3 สมบัติจุลภาคและทางกายภาพของหินเพอร์ไลต์

ขั้นตอนการย่อยหรือการแปรสภาพหินเพอร์ไลต์เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ซึ่งหลังการผลิตจะมีขนาดของของเพอร์ไลต์เพื่อการเตรียมการไปใช้งานความหนาแน่น 0.032-0.32 กรัม/มิลลิเมตร ซึ่งมีความชื้นในหินและอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งได้มีการใช้ในช่วงอุณหภูมิ 750-1350^{0}ซ. ซึ่งทำให้หินเพอร์ไลต์มีการอ่อนตัว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงดังกล่าวในลักษณะของเหลวทำให้แยกสิ่งที่เจือปนออกจากหินได้ ทำให้ได้หินเพอร์ไลต์ที่ได้มีความบริสุทธิ์เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์

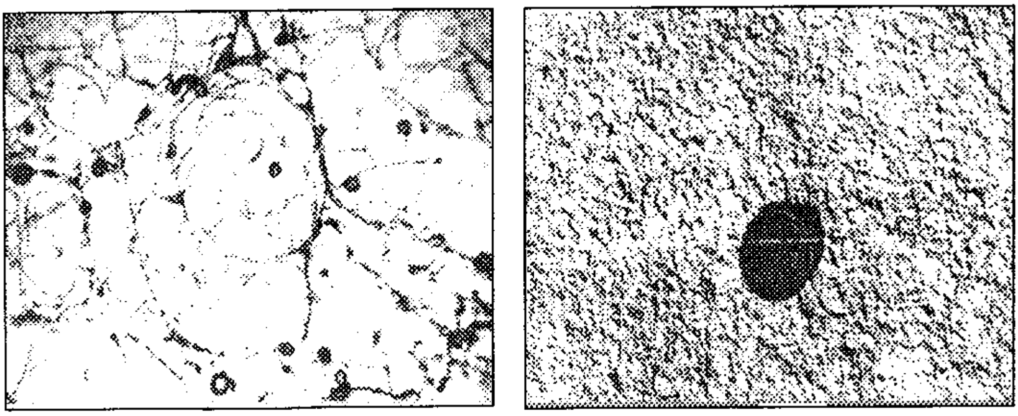
2.3.1 ลักษณะหินเพอร์ไลต์ทางศิลาวรรณนา

หินเพอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟเนื้อละเอียดหรือเนื้อแก้วมีสีเทาอ่อนถึงสีเขียวแกมเทา และมีลักษณะของเนื้อมีรอยแตกเป็นวงๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอม (peritic crack) อาจมองเห็นด้วยตาเปล่า หรือใช้แว่นขยายหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1 ซึ่งอาจมีแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไบโอไทต์ (biotite) ปนอยู่บ้างเล็กน้อย (ดนุพล 2546) แบ่งออกทางศิลาวรรณนาได้ 3 ชนิด คือ (ภักดิ์ 2543)

1) หินเพอร์ไลต์สีเขียวแถบแดง (banded perlite) เนื้อสีเขียวประสานอัดแน่นมีจุดประสีขาวคือเฟลด์สปาร์ เนื้อเดิมเป็นแก้วแล้วแปรสภาพเป็นแถบแดง

2) หินเพอร์ไลต์สีเขียว (classical perlite) เนื้ออัดแน่น มีผลึกสีเขียว พบรอยแตกร้าวเป็นแบบกลีบหัวหอม มีจุดประสีขาวของเฟลด์สปาร์ รวมอยู่ด้วย

3) หินเพอร์ไลต์สีขาว (pumicious perlite) ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว สีค่อนข้างขาว รูพรุนมาก มีเฟลด์สปาร์ปะปนเล็กน้อย



ก) ข)

ภาพประกอบ 2.1 ตัวอย่างหินเพอร์ไลต์จากลำนารายณ์ จังหวัดลพบุรี ก) ลักษณะรอยแตกเป็นกลีบหัวหอม ของเนื้อหินเพอร์ไลต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และ ข) ขนาดของเม็ดหินเพอร์ไลต์เมื่อผ่านการเผา (นิคม, 2538)

2.3.2 สมบัติทางกายภาพของหินเพอร์ไลต์

หินเพอร์ไลต์มีความโปร่งรูพรุนเป็นธรรมชาติ และเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นก็จะขยายตัว 5-20 เท่า โดยเริ่มมีน้ำหนักเบา สภาพรูพรุนเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 180° ซ. มีความหนาแน่นก้อน 1.06-1.25 ตัน/ลบ.ม. ความหนาแน่นการขยายตัวของก้อน 35-150 กรัม/ลบ.ม. กำลังอัด 8.6-19.4 กก./ตร.ซม. และแตกออกเป็นเศษชิ้นมีขนาด 1-2 มม. และ 0.3-1 มม. หากทำให้หินเพอร์ไลต์เผาสุกจะ ต้องใช้ความร้อนประมาณ 850-900° ซ. ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1) ซึ่งจะมีการขยายตัวทันที เปลี่ยนสภาพเป็นวัตถุที่มีน้ำหนักเบา มีความพรุนสูง และมีความหนาแน่นประมาณ 80-200 กก./ลบ.ม. โดยที่อุณหภูมิ 960° ซ. จะมีความหนาแน่นประมาณ 180-300 กก./ลบ.ม. (นิคม 2538)

2.3.3 สมบัติทางเคมีของหินเพอร์ไลต์

หินเพอร์ไลต์จะมีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกับหินไรโอไลต์ที่เกิดมาจากลาวาเดียวกัน จะแตกต่างกันที่ปริมาณน้ำในเนื้อหินเท่านั้น (ตารางที่ 2.1) กลุ่มหินเพอร์ไลต์จะมีส่วนประกอบเข้าใกล้หินอัคนีแอลคาไล (Na_2O+K_2O) มากกว่าหินไรโอไลต์ (rhyolite) แสดงถึงว่ากระบวนการเพิ่มน้ำในลาวามีผลต่อกระบวนการวิวัฒนาการของหินหนืด (magma) มาเป็นหินเพอร์ไลต์ จากการ

ศึกษาหินเพอร์ไลต์จากแหล่งต่างๆ ในจังหวัดลพบุรี พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับหินเพอร์ไลต์จาก Sardinian และอยู่ในค่าพิสัยของหินเพอร์ไลต์ทั่วโลก จึงถือว่าหินเพอร์ไลต์ในประเทศไทย อยู่ในระดับมาตรฐานที่ผลิตได้จากแหล่งต่างๆ ของโลก เช่นกัน และมีส่วนประกอบคล้ายกับหินไรโอไลต์

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลต์จากแหล่งต่างๆ และค่าพิสัยของหินเพอร์ไลต์ทั่วโลก (นิคม , 2538)

องค์ประกอบสารออกไซด์	หินไรโอไลต์	เขาฝาละมี	เขาถ้ำพระ	ห้วยวังหิน	ห้วยท่าช้าง	แหล่ง Sardinian	ค่าพิสัย
SiO_2	71.33	72.58	71.15	71.56	70.98	70.59	71.0-75.0
TiO_2	0.42	0.25	0.11	0.27	0.35	0.20	-
Al_2O_3	14.77	12.57	13.87	12.98	13.68	13.37	12.5-18.0
Fe_2O_3	1.82	0.83	0.65	1.33	1.36	1.73	0.5-1.5
FeO	0.40	0.44	0.55	-	-	-	0.0-0.1
MgO	0.24	0.42	0.28	0.21	0.18	0.32	0.1-0.5
MnO	0.10	0.04	0.02	0.04	0.03	0.05	-
CaO	0.80	0.88	0.45	0.55	0.70	1.04	0.5-2.0
Na_2O	3.58	1.49	0.75	2.93	2.65	3.10	2.9-4.0
K_2O	4.57	5.68	5.18	5.20	6.20	5.29	4.0-5.0
P_2O_5	0.07	0.05	0.05	0.02	0.05	0.57	-
H_2O	0.16	4.35	5.00	5.40	3.40	4.00	3.0-5.0
LOI	1.23	-	-	4.25	3.09	3.54	-

สำหรับการใช้เป็นวัสดุผสมในงานอุตสหกรรมก่อสร้างโดยทำการบดย่อยหินดังกล่าวให้มีขนาดเป็นมวลรวมละเอียด หรือมวลรวมหยาบตามแต่ในตัวแปรที่จะนำไปผสมหรือนำไปทดแทนตามข้อกำหนด และความละเอียดของงาน ขั้นตอนการแปรรูปหินเพอร์ไลต์ดูได้จากผังขั้นตอนการในแต่ละประเภทของอุตสหกรรม ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาถึงการนำหินเพอร์ไลต์มาใช้กันอย่างจริงจังดังเช่นต่างประเทศ ซึ่งอาจมีเหตุมาจากจำนวนปริมาณที่ค้นพบไม่มากนักและความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน แหล่งตัวอย่างที่มีการพบหินดังกล่าวในเมืองไทยปัจจุบันจะสังเกตว่าเป็นแนวภูเขาไฟเก่า อาทิ ในพื้นที่บางบริเวณของจังหวัดลำปาง ลพบุรี และจังหวัดบุรีรัมย์ การศึกษาสมบัติของเพอร์ไลต์ก่อนกระบวนการแปรสภาพเป็นหินที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งหินจะเป็นส่วนขององค์ประกอบอยู่ในกลุ่มของหินอัคนี การทดสอบสมบัติของหินเพอร์ไลต์นั้นมีความจำเป็นมากก่อนที่

จะดำเนินการทำเหมืองหินเพอร์ไลต์ ได้แก่ การทดสอบสมบัติการขยายตัวของหินเพอร์ไลต์ การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และการทดสอบสมบัติทางเคมี ซึ่งจากการทดสอบดังกล่าวสามารถแบ่งหินเพอร์ไลต์ออกตามอุณหภูมิที่ทำให้หินเพอร์ไลต์ขยายตัวได้เป็น 2 เกรด ประกอบด้วย เกรด 1 หินเพอร์ไลต์อุณหภูมิต่ำจะใช้ความร้อนประมาณ 760–1000 ^{0}ซ. และเกรด 2 หินเพอร์ไลต์อุณหภูมิสูงโดยใช้ความร้อนมากกว่า 1000^{0}ซ. ซึ่งหินเพอร์ไลต์ที่ขยายตัวมีสมบัติได้มาตราฐานในการนำไปใช้งานด้านต่างๆ ต้องเป็นพวกที่มีความหนาแน่นต่ำ มีค่าความหนาแน่น (bulk density) อยู่ระหว่าง 40-300 ก.ก./ ลบ.ม. ฉะนั้นหินเพอร์ไลต์ที่มีคุณภาพดีจะต้องไม่มีผลึกแร่และชิ้นเศษหินที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อหิน ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ขยายตัวมีปริมาตรมากกว่าร้อยละ 2 สมบัติของการขยายตัวของหินเพอร์ไลต์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่อยู่ในเนื้อแก้ว (combined water) เป็นส่วนสำคัญ จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วง จำเพาะดัชนีหักเหแสงและปริมาณน้ำในเนื้อแก้วของหินเพอร์ไลต์

2.4 สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุมวลรวม

สมบัติของวัสดุมวลรวมและวัสดุทำละลาย เพื่อทำให้ผลสมบัติที่จะทำให้เกิดสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย

2.4.1 สมบัติทางกายภาพและเชิงกลมวลรวม

มวลรวมที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุเฉื่อย (inert material) โดยแทรกตัวกับซีเมนต์เพสท์ ซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์กับน้ำผสมกัน โดยใช้มวลรวมที่ใช้ผสมมอร์ต้าร์ซีเมนต์ ซึ่งได้มีการเลือกใช้หินย่อย (crushed stone) ขี้เถ้า ตะกรันเตาเผาบดละเอียด (crushed furnace slag) ดินเผาสุก (burned clay) ตะกรันภูเขาไฟ (scoria) ซึ่งสมบัติมวลรวมโดยทั่วไปควรมีดังต่อไปนี้

- วัสดุมวลรวมจะต้องมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อแร่ในมวลรวมและซีเมนต์อย่างถาวร
- มวลรวมไม่ควรมีสิ่งเจือปน ซึ่งมีผลเสียหายต่อกำลัง (strength) และความอยู่ตัว (soundness) ของซีเมนต์เพสท์

2.4.2 ขนาดของมวลรวมที่มีผลต่อมอร์ต้าร์

การเลือกขนาดของมวลรวมที่โตสุดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับงานที่จะนำมวลดังกล่าวไปใช้ โดยคำนึงถึงส่วนของอาคารที่จะหล่อคอนกรีต ให้มีขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบไม่เกินตะแกรงขนาด 100-200 มม.

2.5 น้ำที่ใช้ผสม

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตก้อนตัวอย่าง รวมถึงส่วนที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดชั่นส่วผลต่อให้กำลังมอร์ต้าร์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ใช้บ่มหรือแช่ก้อนตัวอย่างเพื่อหาสมบัติที่เกี่ยวข้องด้านต่างๆ หรือใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก คุณภาพของน้ำที่ใช้เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำที่มีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์ได้กำหนดส่วนแปลกปลอมที่มีอยู่ในน้ำอันสำคัญ ได้แก่ ดินเลนมีปะปนได้ไม่ควรเกิน 2000 ppm. ซึ่งตรวจสอบด้วยวิธีวัดความขุ่น (turbidity test) (วินิต 2529) ปริมาณโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต ไม่เกิน 1000 -4000 ppm. ปริมาณ สารคลอไรด์ไม่เกิน 500 ppm. สารจำพวกน้ำตาล ไม่เกิน 500 ppm. และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ควรอยู่ในช่วง 6-8

2.6 สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture)

น้ำยาหรือสารเติมผสมเพิ่มในงานคอนกรีต ซึ่งจัดเป็นสารอื่นใดนอกเหนือจากมวลรวมผสมหลักอัน ได้แก่ น้ำ ทราย หินเพอร์ไลต์และปูนซีเมนต์ ซึ่งน้ำยาปรับคุณภาพมีจำพวกสารเพิ่มฟองอากาศ สารเร่งกำลังความความแข็งแรงแต่ละประเภทเลือกใช้ตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ซึ่งในปัจจุบันได้มีการผลิตสารดังกล่าวออกจำหน่ายและเป็นที่นิยมใช้เพื่อเพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์มีอยู่ 4 จำพวก (ชัชวาล, 2539) ด้วยกันดังต่อไปนี้

2.6.1 สารกักกระจายฟองอากาศ

สารกักกระจายฟองอากาศใช้เพื่อเพิ่มความทนทาน ของคอนกรีต เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีอากาศเย็น และยังเพิ่มสภาพความเหลวของคอนกรีตให้สูงขึ้นโดยไม่ต้องใช้น้ำเพิ่มซึ่งทำให้สะดวกต่อการเทลงในแบบหล่อ ซึ่งสารกักกระจายฟองอากาศเป็นสารอินทรีย์จะทำเกิดปฏิกิริยาบนผิว (organic surfactants) โดยทำให้เกิดฟองอากาศปริมาณที่สามารถควบคุมได้ โดยที่ฟองอากาศจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอโดยมีขนาดประมาณ 0.25-1.0 มม. ซึ่งจะมีความแตกต่างจากโพรงอากาศที่เกิดขึ้นเองอันเนื่องมาจากการเทและการเขย่าคอนกรีตไม่ดีพอ ซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าจะปรากฏอย่างไม่สม่ำเสมอในเนื้อมอร์ต้าร์หรือคอนกรีต

2.6.2 สารลดปริมาณน้ำ

สารเคมีผสมคอนกรีตเป็นสารละลายที่ใช้เติมลงไป เพื่อปรับปรุงสมบัติบางอย่างของคอนกรีตเช่น สารที่ใช้ลดปริมาณน้ำ สารที่ใช้ควบคุมการแข็งตัวหรือปรับปรุงคุณภาพการใช้งานของคอนกรีตสดด้านความข้นเหลว การใช้สารลดปริมาณน้ำนี้จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านต่างของคอนกรีตหรือก้อนตัวอย่าง เช่น ลดการเยิ้มของน้ำที่มีมากเกินไป ลดการแยกตัวของมวลรวมผสม

กำลังอัดลดลง การหดตัวสูงขึ้น และอาจทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น โดยทั่วไปอัตราส่วนการใช้น้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมประมาณ 0.28 เท่านั้นที่จะเสริมการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้อย่างสมบูรณ์และเป็นปริมาณที่เพียงพอ แต่ในการทำงานจริงแล้วเป็นถือเป็นปริมาณที่น้อยเกินไป ทำให้ปฏิบัติงานการหล่อหรือเทลงในแบบดำเนินการไปได้ยาก โดยปกติแล้วจะมีการใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เกินกว่า 0.35 ดังนั้นการใช้สารดังกล่าวจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

2.7 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และหลักการปฏิกริยาไฮเดรชัน

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (ASTM C-150) ในการทดสอบตัวอย่างนี้ได้เลือกปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตคอนกรีต เพื่อใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

2.7.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปัจจุบันแบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (ASTM C-150)

ก) ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตคอนกรีต เพื่อใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

ข) ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตคอนกรีต ที่ต้องการให้คอนกรีตเกิดความร้อนและทนต่อสารซัลเฟตปานกลาง

ค) ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำเหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา (Mass Concrete) เช่น การก่อสร้างเขื่อน เป็นต้น เนื่องจากปูนประเภทนี้จะทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตในขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ จึงช่วยลดปัญหาการแตกร้าว อันเนื่องมาจากความร้อน

ง) ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังสูงเร็ว (High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดา ส่งผลให้มีกำลังสูงในระยะแรก จึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น

จ) ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง (Sulphate Resistance Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ทนซัลเฟตได้สูง เหมาะกับงานคอนกรีตโครงสร้างที่มีการกระทำของสารซัลเฟต อย่างรุนแรง เช่น ในน้ำทะเล หรือน้ำใต้ดินที่มีซัลเฟตสูง

ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะประกอบด้วยสารประกอบประเภทออกไซด์ 2 กลุ่มคือ

- กลุ่มหลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) และเฟร์ริกออกไซด์ (ferric oxide) สารประกอบประเภทออกไซด์ในกลุ่มนี้มีปริมาณรวมกันประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

- กลุ่มรอง ได้แก่ ซัลเฟร์ไทรออกไซด์ (sulfertri oxide) แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) โซเดียมออกไซด์ (sodium oxide) ไทเทเนียมออกไซด์ (titanium oxide) และฟอสฟอรัสออกไซด์ (phosphorus oxide) สารประกอบประเภทออกไซด์ในกลุ่มนี้ มีปริมาณรวมกันประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สารประกอบประเภทออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ โดยน้ำหนักมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารประกอบประเภทออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาล 2540)

สารประกอบประเภทออกไซด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชื่อย่อ
แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide)	60.0-67.0	CaO
ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide)	17.0-25.0	SiO_2
อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide)	3.0-8.0	Al_2O_3
เฟอร์ริกออกไซด์ (ferric oxide)	0.5-6.0	Fe_2O_3
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (sulfer trioxide)	1.0-3.0	SO_3
แมกนีเซียมออกไซด์ (nagnesium oxide)	0.5-1.3	MgO
โซเดียมออกไซด์ (sodium oxide)	0.5-1.3	Na_2O
ไทเทเนียมออกไซด์ (titanium oxide)	0.1-0.4	TiO_2
ฟอสฟอรัสออกไซด์ (phosphorus oxide)	0.1-0.2	P_2O_5

การรวมตัวกันทางเคมีของสารประกอบประเภทออกไซด์ ในกลุ่มหลักทำให้เกิดสารประกอบที่สำคัญอยู่ 4 ชนิดคือ ไทรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate) เตตราแคลเซียมอะลูมิเนต (tetracalcium aluminate) และเตตราแคลเซียม อะลูมิโนเฟร์ไรต์ (tetracalcium aluminoferrite) โดยมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารประกอบทางเคมีในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Mindess and Young, 1981)

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3CaO.SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2CaO.SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อะลูมิโนเฟอร์ไรต์	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

การคำนวณหาปริมาณสารประกอบทั้ง 4 ชนิด ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถทำได้โดยการใช้สูตรการคำนวณของ Bogue โดยแบ่งได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : $Al_2O_3/Fe_2O_3 > 0.64$

$$C_3S = 4.07\ CaO - 7.6\ SiO_2 - 6.72\ Al_2O_3 - 1.43\ Fe_2O_3 - 2.85\ SO_3$$

$$C_2S = 2.86\ SiO_2 - 0.75\ C_3S$$

$$C_3A = 2.65\ Al_2O_3 - 1.69\ Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3.04\ Fe_2O_3$$

กรณีที่ 2 : $Al_2O_3/Fe_2O_3 \geq 0.64$

$$C_3S = 4.07\ CaO - 7.60\ SiO_2 - 4.48\ Al_2O_3 - 2.86\ Fe_2O_3 - 2.85\ SO_3$$

$$C_2S = 2.86\ SiO_2 - 0.75\ C_3S$$

$$C_3A = 0$$

$$C_4AF = 2.10\ Al_2O_3 - 70\ Fe_2O_3$$

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิดเมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อาจทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันออกไป จึงควรแยกศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของสารประกอบแต่ละชนิด โดยเฉพาะปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังนี้

- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)
- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)
- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A)

2.7.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

ไตรแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ดังสมการเคมีต่อไปนี้

$2(3CaO.SiO_2)+6H_2O \rightarrow 3CaO.SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2$

หรือหากใช้สัญลักษณ์ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในตารางที่ 2.2 จะลดรูปเป็น

$2(C_3S)+6H_2O \rightarrow C_3S_2H_3+ 3Ca(OH)_2$

2.7.3 ปฏิกิริยาไฮเดชั่นของไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

ไดแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำปฏิกิริยาช้ากว่าไตรแคลเซียมซิลิเกต แต่จะได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเหมือนกัน คือจะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการทางเคมีต่อไปนี้

$2(CaO.SiO_2)+4H_2O \rightarrow 3CaO.SiO_2.3H_2O+Ca(OH)_2$

หรือหากใช้สัญลักษณ์ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในตารางที่ 2.2 และสมการ 2.3 จะลดรูปเป็น

$2(C_2S)+4H_2O \rightarrow C_3S_2H_3+Ca(OH)_2$

2.7.4. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) กับน้ำจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด และทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการต่อไปนี้

$3CaO.Al_2O_3+6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$

หรือหากใช้สัญลักษณ์ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในตารางที่ 2.2 จะลดรูปดังนี้

$C_3A+6H_2O \rightarrow 3C_3AH_6$

ดังนั้นเพื่อเป็นการหน่วงให้ปฏิกิริยานี้เกิดช้าลงจึงใส่ยิปซั่มเข้าไประหว่างการบดเม็ดปูนซีเมนต์โดยที่ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) จะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3A) ก่อให้เกิดชั้นบาง ๆ ของผิวอีตตรินไจต์ (ettringite) บนผิวของอนุภาคไตรแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเขียนเป็นสมการทางเคมีได้ดังนี้

$C_3A+CaSO_4.2H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.3H_2O$ (ettringite)

จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบข้างต้น จะพบว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ก่อให้เกิดสารจำพวกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานมวลรวมในคอนกรีต และก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) สามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกลายเป็น แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาสมบัติของก้อนตัวอย่างในงานวิจัยนี้

2.8.วัสดุมวลรวมในงานคอนกรีตเบา

คอนกรีตเบานั้นเป็นคอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งานในแต่ละลักษณะงานไป ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของคอนกรีตเบาตามการใช้วัสดุผสม 3 ประเภทด้วยกัน (Neville, 1981) ดังต่อไปนี้

2.8.1 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light-weight aggregate concrete)

มวลรวมเบาที่ใช้เป็นวัสดุมวลรวมผสมจะมีน้ำหนักระหว่าง 60-1000 กก./ลบ.ม. ซึ่งจำแนกวัสดุที่นิยมใช้เป็นมวลรวมดังนี้

ก) วัสดุมวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ

ซึ่งเป็นหินมวลเบาประเภทต่างๆ อาทิ หินพัมมิซ ตะกรันภูเขาไฟหรือเวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และหินเพอร์ไลต์ ซึ่งหินดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นหินอยู่ในกลุ่มของตะกรันภูเขาไฟ หรือหินที่มีส่วนประกอบของไดอะทอไมต์ (diatomite) ซึ่งเป็นการแปรสภาพของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเลยุคเทอร์เชอร์รี ซึ่งเกิดการตกตะกอนทับถมกันด้วยองค์ประกอบของสารประกอบในส่วนประกอบของโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวมีสารซิลิกาสูง เมื่อระยะเวลาผ่านไปกว่าล้านปีจึงเกิดการแปรสภาพมาเป็นแร่ดังกล่าว มวลรวมประเภทนี้เมื่อนำไปผสมกับมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีน้ำหนักเบาไปด้วย แต่สมบัติด้านกำลังหรือด้านการดูดซึมน้ำจะแปรผันไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับความต้องการ โดยในงานวิเคราะห์วิจัยนี้ได้เลือกใช้หินเพอร์ไลต์มาวิจัยด้านสมบัติและผลกระทบต่อการนำไปใช้ในการพัฒนามอร์ต้าร์มวลเบา

ข) วัสดุมวลรวมที่ได้จากกระบวนการผลิต

มวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตเบากันมากในปัจจุบันซึ่งอาจเป็นเพราะสามรถควบคุณคุณภาพและปริมาณตามที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

1) มวลรวมที่ได้จากการแปรรูปดินเหนียว (expanded clay aggregate)

ซึ่งได้มาจากการนำเอาดินเหนี่ยวผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศแล้วนำไปเผาในเตาเผาหมุน (rotary killing) ที่อุณหภูมิกว่า 1200^0 ซ. ทำให้มวลดังกล่าวเกิดการขยายตัวเกิดฟองอากาศ ซึ่งจะกลายเป็นเนื้อหินที่มีความแกร่ง รูปร่างกลม แข็งผิวเรียบ และภายในจะเกิดโพรงอากาศทำให้เป็นหินที่มีน้ำหนักเบา

2) มวลรวมที่ได้จากหินดินดาน (expanded shale aggregate)

ใช้ผสมกับถ่านที่บดละเอียด แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิกว่า 1200^0 ซ. ทำให้วัสดุเกิดหลอมเหลวเข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำให้ฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหิน และจากกระบวนการดังกล่าวทำให้ได้หินที่มีความแกร่งมากและมีน้ำนักที่เบา เมื่อจะนำไปใช้งานก็จะมีการย่อยให้ได้ขนาด

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

คละให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ กรรมวิธีการผลิตมวลรวมคละผสมประเภทนี้จะได้วัสดุมวลเบาที่มีความแข็งแรงซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตเบา

3) มวลรวมที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินหรือเถ้าลอย (sintered fly ash)

มวลรวมประเภทนี้ได้จากการการนำเอาเถ้าลอยซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินอุณหภูมิสูงกว่า 1400^{o} ซ. ซึ่งในการเผาโดยใช้ระดับอุณหภูมิสูงดังกล่าวอนุภาคของเถ้าลอยจะเกาะจับตัวกันเป็นก้อนกลมซึ่งมีผิวค่อนข้างเรียบและมีน้ำหนักเบา ในปัจจุบันได้มีการทดลองนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายและได้พบจากการวิจัยการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมในคอนกรีต นอกจากจะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาลงแล้วยังช่วยเสริมปฏิกิริยาแห่งความแข็งแกร่งด้านไฮเดชั่นให้เกิดขึ้นกับคอนกรีตอย่างต่อเนื่องอีกด้วย อันอาจนำไปสู่การลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้ ซึ่งความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีส่วนผสมสารดังกล่าวประมาณ 1000-1200 กก./ลบ.ม.

4) มวลรวมที่ได้จากสารอินทรีย์ (organic material)

มวลรวมประเภทนี้ได้จากการใช้สารอินทรีย์อัน ได้แก่ เศษไม้ เยื่อไม้ พลาสติก เส้นใยธรรมชาติและสังเคราะห์ต่างๆ อาทิ ใยสับปะรด ฝักตบชวา ฟางข้าว ซังข้าวโพด เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยจากซากสิ่งมีชีวิตประเภทอื่นๆ ที่ได้นำมาทดลองวิเคราะห์วิจัยหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ที่จะส่งผลเชิงลบต่อสมบัติคอนกรีตน้อยที่สุดก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตเบาได้เช่นกัน ซึ่งงานวิเคราะห์วิจัยด้านคอนกรีตและวัสดุในปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมในการศึกษาวิเคราะห์วิจัยในด้านนี้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนิยมนำมาใช้คอนกรีตขึ้นรูปประเภทต่างๆ อาทิ ผนังคอนกรีตมวลเบา อิฐมวลเบา แต่มีสมบัติด้านการนำไปใช้งานเฉพาะด้านและอยู่ในวงจำกัดในแต่ละลักษณะของงานไป จะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 60- 350 กก./ลบ. ม.

5) มวลรวมที่ได้จากของเหลวของขบวนการผลิต

มวลรวมประเภทนี้ได้แก่ เถ้าหนักที่ได้จากโรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหรือได้จากการพ่นน้ำไปบนตะกรัน (slag) ที่หลอมเหลว ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อตะกรันที่แข็งตัว ซึ่งอาจจะมีก้อนขนาดใหญ่การนำไปใช้งานจึงควรต้องมีการย่อยก่อน โดยมีน้ำหนักประมาณ 100-250 กก./ลบ.ม.

2.8.2 คอนกรีตเบาที่ได้จากฟองอากาศ

การสร้างคอนกรีตเบาประเภทนี้ได้จากการผสมฟองอากาศ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1.0 มม. ลงไปในเนื้อคอนกรีต โดยมีการผสมดังนี้

- การผสมสารที่ทำให้เกิดฟองอากาศ ลงในส่วนผสม (foaming agent)
- การทำให้เกิดฟองอากาศก่อนแล้วจึงนำไปผสมให้เข้ากับมอร์ต้าร์

ซึ่งทั้ง 2 วิธีดังกล่าวจะต้องใช้สารเคมีช่วยในการทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นซึ่งเป็นคอนกรีตพรุน (aerated concrete) โดยสารที่นิยมใช้คือ ผงอะลูมิเนียม (aluminum powder) ในปริมาณ ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ซึ่งผงอะลูมิเนียมดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับ Co (OH_2) ก่อให้เกิดฟองอากาศของไฮโดรเจนขึ้นในเนื้อมอร์ต้าร์ การสร้างผลิตภัณฑ์คอนกรีตเบาดังกล่าวอาจไม่ต้องใช้ทรายเป็นส่วนผสมก็ได้ ซึ่งสามรถนำไปเป็นฉนวนกันความร้อนได้ โดยจะมีความหนาแน่นประมาณ 200-300 กก./ลบ.ม แต่ถ้ามีการผสมทรายลงไปจะมีความหนาแน่ประมาณ 500-1100 กก./ลบ.ม สมบัติของคอนกรีตโฟมที่เด่นชัดกว่าคอนกรีตทั่วไปคือ สมบัติเชิงกลด้านกำลังอัดและความสามรถด้านการนำความร้อนจะแปรผันโดยตรงต่อหน่วยน้ำหนัก หากมีการใช้การบ่มแบบไอน้ำที่มีความดันสูงจะทำให้ความแกร่งเพิ่มขึ้น ความความทนไฟสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปและยังแบ่งเป็นชิ้นงานขนาดต่างๆได้อย่างสะดวกกว่าคอนกรีตทั่วไป แต่ก็มีความด้อยด้านการดูดซึมน้ำที่สูงกว่า

2.9 คอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีมวลรวมละเอียดเป็นส่วนผสม

คอนกรีตประเภทนี้จะไม่มีรวมจำพวกทรายเป็นส่วนผสมมีเพียงหินเท่านั้นและเป็นหินขนาดเดียวโดยทั่วไปแล้วหินที่มีมีการคละขนาดจะเกิดโพรงช่องว่างขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลงกว่าร้อยละ 10 ของการใช้หินคละขนาดกัน ซึ่งคอนกรีตประเภทนี้จะมีความหนาแน่นประมาณ 1600-2000 กก/ลบ.ม. แต่ถ้าหากมีการใช้วัสดุมวลเบาเป็นส่วนผสมจะทำให้ความหนาแน่นลดน้อยลงเหลือประมาณ 640 กก./ลบ.ม. ซึ่งผลด้านกำลังอัดก็จะต่ำลงไปด้วย โดยส่วนใหญ่ไม่นิยมใช้กับคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ถ้ามีการใช้ต้องทาเคลือบน้ำปูนผิวนอกให้มีความหนาประมาณ 3 มม. เพื่อกันสนิมที่จะเกิดขึ้นกับเหล็ก การเสริมแรงเพื่อป้องกันการกัดกร่อนอาจมีการใช้มอร์ต้าร์พ่น (shotcrete) เคลือบเหล็กเสริมก่อนเทคอนกรีตประเภทนี้ลงไปในแบบหล่อ ซึ่งเหมาะกับงานฉนวนความร้อน ช่วยลดน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างอาคารลง

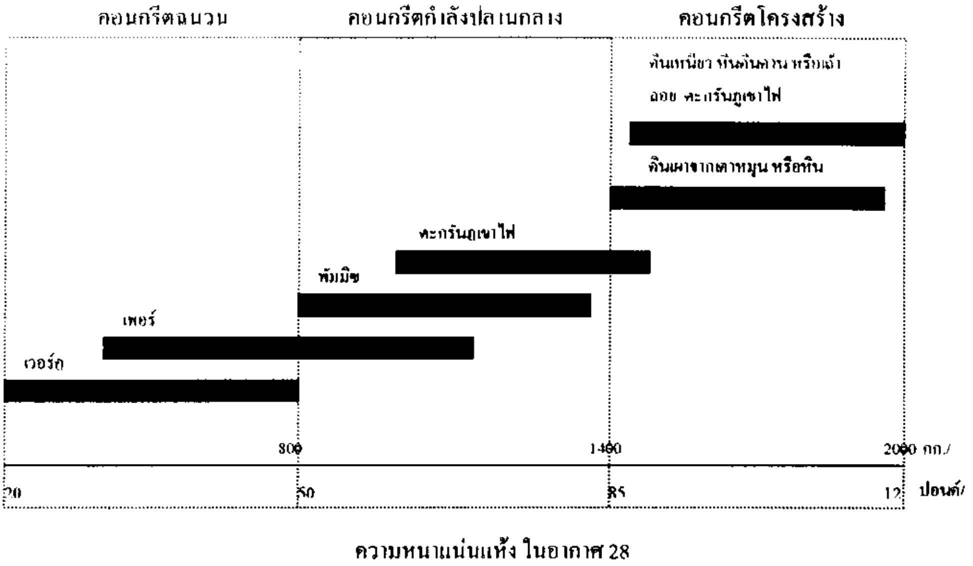
จากสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุที่ใช้นำมาเป็นมวลรวมผสมซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มการนำไปใช้งานโดยคำนึงถึงสมบัติเฉพาะดังกล่าวข้างต้นให้สอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้สามกลุ่มหลักต่อไปนี้

-กลุ่มแรก วัสดุมวลเบาที่เหมาะสำหรับงานคอนกรีต จะมีน้ำหนักเบาที่แต่ให้กำลังต่ำ และเป็นฉนวน (insulating concrete) ได้แก่ วัสดุเบาจำพวก หินเพอร์ไลต์หรือเวอร์มิคูไลต์

-กลุ่มสอง วัสดุมวลเบาที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตเบาทีให้ความแกร่งค่อนข้างสูง (moderate strength concrete) ได้แก่ วัสดุเบาจำพวกตะกรันภูเขาไฟ พัมมิซ หรือหินเพอร์ไลต์

-กลุ่มสาม วัสดุมวลเบาที่เหมาะสำหรับงานคอนกรีตเบาโครงสร้าง (structural concrete) ซึ่งเหมาะสำหรับงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปได้ ได้แก่วัสดุเบาจำพวก ดินเหนียว หินดินดาน หินชนวน ที่ผ่านกระบวนการเผาและใส่สารเพิ่มสมบัติ (rotary-kiln expanded) รวมไปถึงพวกเถ้าลอย (fuel ash) และกากการเผาเถ้าหนักพวกตะกรันพรุน (slag expanded)

จากผลสมบัติของสามกลุ่มวัสดุมวลเบาหลักดังกล่าวสามารถแสดงการเปรียบเทียบโดยภาพรวมทำให้ทราบถึงสมบัติของคอนกรีตที่ 28 วัน กับค่าของความหนาแน่นและความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานได้ในภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 ความหนาแน่นมวลรวมคละผสมสำหรับงานคอนกรีตมวลเบา (Neville, 1995)

2.10 สมบัติของคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไป

สมบัติโดยทั่วไปของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุมวลเบาเป็นมวลรวมโดยทั่วไป นั้นควรจะต้องให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตเบาที่ได้อยู่ระหว่าง 300-1850 กก./ลบ.ม. และมีผลกำลังอัดระหว่าง 0.3-40 MPa. ซึ่งบางครั้งก็ให้ผลกำลังอัดสูงกว่า 60 MPa. จากการพิจารณาค่าความหนาแน่นกับผลกำลังอัดโดยเฉลี่ยพบว่า การปรับเพิ่มปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ถือเป็นเด็นสำคัญที่จะส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว ทั้งนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ซีเมนต์และยังต้องขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะตัวของมวลรวมคละผสมดังกล่าวข้างต้นด้วยซึ่งค่าโมดูลัสของคอนกรีตเบาจะน้อยกว่าคอนกรีตที่มีทรายประมาณผสมร้อยละ 10-30 และมีค่าการหดตัว (shrinkage) ประมาณร้อยละ 15-35 เป็นผลจากการใช้อัตราส่วนการใช้น้ำร้อยละ 12-24 ความสามารถในการเทได้ (workability) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญด้วย ทั้งนี้จะขึ้นตรงกับปริมาณอัตราส่วนของใช้น้ำในส่วนผสมเป็นหลัก

ซึ่งสามารถหาได้โดยการทดสอบอัตราการไหล (flow ratio) หรือทดสอบความข้นเหลว (slump) ของคอนกรีตสดซึ่งควรมีค่าระหว่าง 50-75 มม. จะเป็นค่าที่มีความสามารถในการเทได้สูงทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้และขนาดคละผสม ซึ่งการใช้ปริมาณน้ำดังกล่าวจะส่งถึงผลสมบัติของตัวอย่างคอนกรีตโดยตรงดังแสดงผลสมบัติในตารางที่ 2.4

สำหรับขนาดคละของมวลรวมนั้นขนาดใหญ่สุดควรประมาณ 19 มม. คิดเป็นร้อยละ 4-8 โดยมีขนาดเล็ก 9.5 มม. ควรประมาณร้อยละ 5-9 ส่วนปริมาณโพรงอากาศ (air content) นั้นหากมีมากจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตด้อยลง สำหรับค่าการดูดความชื้นควรอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 5-40 ของมวลรวมแห้ง และกำลังของมวลรวมด้านความสึกหรอ (abrasion) ไม่เกินร้อยละ 25 โดยรายละเอียดทั้งหมดนั้นก็คือสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวมที่จะส่งผลเชิงบวกต่อสมบัติของมอร์ต้าร์และ คอนกรีตมวลเบาในด้านบวก ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดแต่ละประเภทได้ในตารางที่ 2.4 โดยได้สรุปเชิงเปรียบสมบัติสำคัญของมวลรวมในแต่ละประเภท ซึ่งจากค่าของผลที่ปรากฏดังกล่าวพบว่าคอนกรีตเบาที่มีส่วนผสมของหินเพอร์ไลต์ให้ค่าสภาวะการนำความร้อนต่ำกว่าการใช้มวลรวมประเภทอื่น แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้โดยตรงว่าจะมีสมบัติด้านอื่นที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานหรือไม่ เพราะผลของค่าความหนาแน่นและผลกำลังอัดไม่ได้แสดงให้ทราบ แต่ถ้าเปรียบเทียบการใช้อัตราส่วนผสมที่ใกล้เคียงหรือชุดเดียวกันคืออัตราส่วนผสม 1:6 ซึ่งมีการทดลองใช้กับวัสดุมวลรวมโดยส่วนใหญ่ จากผลดังกล่าวพบว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของหินพัมมิซปรากฏค่าความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตเบาประเภทอื่น แต่ให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าอัตราส่วนผสมผสมประเภทอื่นเช่นกัน

2.11 ประเภทของคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมดาทั่วไป เช่น กรวด หินโม่ ผสมคอนกรีตได้น้ำหนักประมาณ 2,450-2,750 กก./ลบ.ม. ส่วนมวลรวมจากตะกรันของเตาถลุง หินดินดานหรือดินเหนียวที่เผาหรือเถ้าลอย (fly ash) นำมาผสมคอนกรีตทำให้เกิดน้ำหนักประมาณ 300-1,000 กก./ลบ.ม. นอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุมวลรวมจากหินธรรมชาติเป็นส่วนผสมในคอนกรีต อาทิ หินพัมมิซ ตะกรันภูเขาไฟ เวอร์มิคิวไลต์ ไดอะทอไมต์ และหินเพอร์ไลต์ จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาลงมากโดยประมาณเท่ากับ 65-200 กก./ลบ.ม. (ชัชวาล, 2540) ซึ่งคอนกรีตน้ำหนักเบาได้จำแนกตามหน่วยน้ำหนักไว้ได้ดังนี้

1) คอนกรีตมวลเบาชนิดทำฉนวน (insulating lightweight concrete) มีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 315-1,100 กก./ลบ.ม. และค่ากำลังอัดเมื่ออายุบ่มครบ 28 วัน อยู่ระหว่าง 0.7-7 MPa (ASTM C 332)

ตารางที่ 2.4 สมบัติโดยทั่วไปของคอนกรีตเบาของมวลรวมแต่ละประเภท (Neville, 1995)

ประเภทคอนกรีต		ค่าความหนาแน่นมวลรวม Kg m^3	ความหนาแน่นคอนกรีต Kg m^3	กำลังอัด MPa	ค่าหดตัวแห้ง 10^{-6}	สภาพการนำความร้อน Jm/m^{2}s c
cellular	เถ้าลอย	950	750	3	700	0.19
	ทราย	1600	900	6		0.22
Foamed slag	ละเอียด	900	1700	7	400	0.45
ดินเหนียวขยายตัว	หยาบ	650	1850	21	500	0.69
			2100	41	600	0.76
ดินเหนียวจากเผาในเตาหมุน	ละเอียด	700	650-1000	3-4	-	0.17
ดินเหนียวขยายตัว	หยาบ	400	1100	14	550	0.31
			1200	17	600	0.38
			1300	19	700	0.40
ดินเหนียวจากเผาในเตาหมุน	หยาบ	400	1350-1500	17	0.57	0.57
ดินเหนียวขยายตัว ทราย	-	-	-	-	-	-
Rotary-kiln	ละเอียด	950	1700	28	400	0.61
expanded slate	หยาบ	700	1750	35	450	0.69
Sintered pulverized			1490	20	300	-
fuel ash	ละเอียด	1050	1500	25	300	-
	หยาบ	800	1540	30	350	-
			1570	40	400	-
Sintered pulverized fuel ash natural sand	หยาบ	800	1670	20	300	-
			1700	25	300	-
			1750	30	350	-
			1790	40	400	-
หินพัมมิซ	หยาบ	500-800	1200	14	1200	-
			1250	19	1000	0.14
			1450	29	-	-
เวอร์มิคูไลต์		65-130	300-500	2	3000	0.1
หินเพอร์ไลต์		95-130	-	-	2000	0.05

2) คอนกรีตมวลเบาชนิดทำเป็นโครงสร้าง (structural lightweight concrete) มีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1400-1800 กก./ลบ.ม. และมีกำลังอัดเมื่ออายุบ่ม 28 วัน มีค่าไม่ต่ำกว่า 17 MPa. (ASTM C 330)

3) คอนกรีตมวลเบาก่อฉาบปูน (masonry-lightweight concrete) มีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 1,800–2,050 กก./ลบ.ม. นำมาทำจำพวกคอนกรีตบล๊อก สำหรับกำแพงรั้ว และใช้เป็นวัสดุทนไฟ มีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 12 MPa (ASTM C 331)

2.12 เส้นโค้งความเค้นกับความเครียด

เส้นโค้งความเค้นกับความเครียดที่ได้จาผลการทดสอบตัวอย่างความแกร่งของหินพบว่ามีอยู่ 4 ประเภท ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 ประกอบด้วย

ก) ประเภทที่ 1 ตัวอย่างที่มีสภาวะยืดหยุ่นโดยจะมีเส้นโค้งของความเค้นกับความเครียดเป็นเส้นตรงก่อนที่ตัวอย่างจะวิบัติซึ่ง ได้แก่ หินบะซอลต์ หินควอตซ์ หินไดอะเบส หินโดโลไมต์ รวมไปถึงหินปูนที่มีเนื้อแน่น รวมไปถึงคอนคอนกำลังสูง

ข) ประเภทที่ 2 ตัวอย่างที่มีสภาวะยืดหยุ่น และพลาสติกเกิดขึ้นต่อเนื่องกันซึ่งจะเกิดขึ้นกับหินที่มีเนื้ออ่อนกว่าประเภทแรก ได้แก่ หินปูน หินเถ้าภูเขาไฟ

ค) ประเภทที่ 3 ตัวอย่างที่มีสภาวะพลาสติกก่อนแล้วเกิดสภาวะ ยืดหยุ่นต่อเนื่องไป ซึ่งจะพบได้ในหินทราย หินอ่อน หินไนส์ ซึ่งเส้นโค้งในตอนแรกจะเกิดความโค้งเว้า และก่อนที่ตัวอย่างจะวิบัติจะเกิดสภาพ ยืดหยุ่นในตอนท้ายก่อนตัวอย่างจะวิบัติ

ง) ประเภทที่ 4 ตัวอย่างจะเกิดสภาวะยืดหยุ่นแล้วจะเกิดสภาวะพลาสติก ซึ่งจะมีการคืบของตัวอย่างเกิดขึ้นด้วยซึ่งจะพบได้ในการทดสอบ หินเกลือ

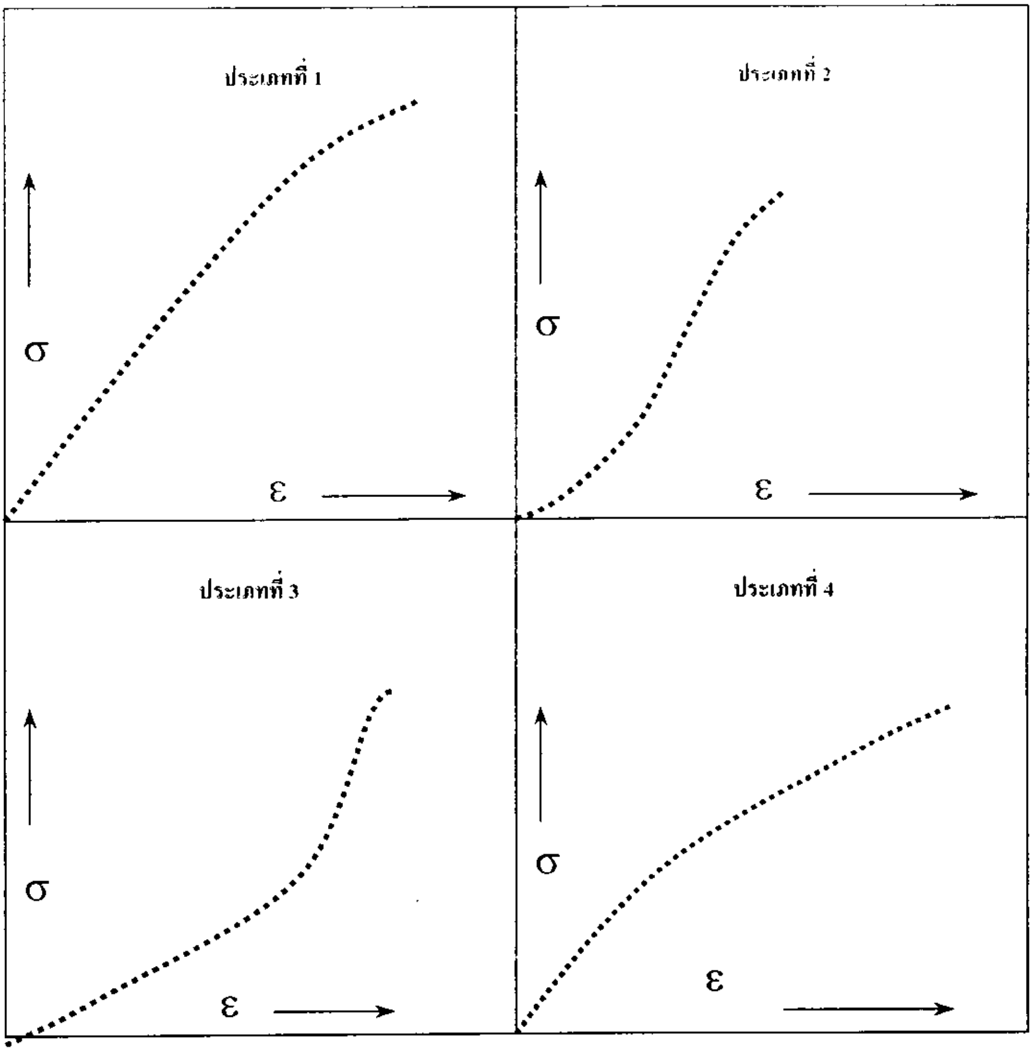
2.13 รูปแบบการวิบัติ

ลักษณะการวิบัติที่มักจะเกิดขึ้นในวัสดุเปราะ (brittle material) ซึ่งเป็นการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนและแรงดึงที่เกิดขึ้นโดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

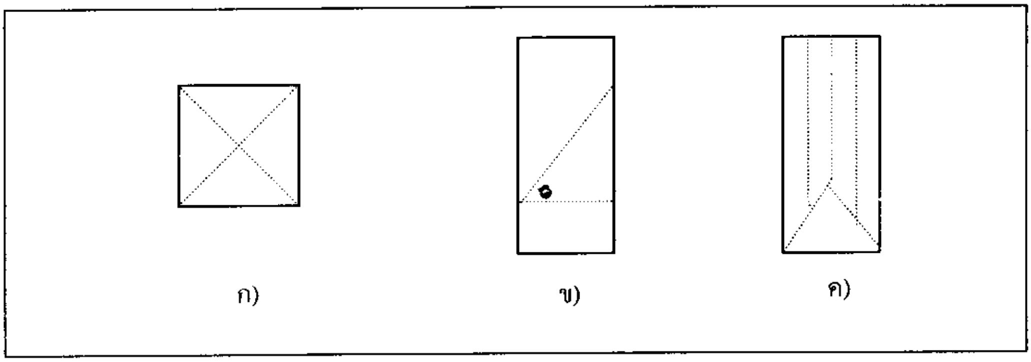
1) แบบเฉือนกรวย (shear cone) ซึ่งจะพบมากในการทดสอบกำลังอัดของปูนก่อ (mortar) รูปทรงสี่เหลี่ยมด้านเท่า ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 ก)

2) แบบเฉือนระนาบ (shear plane) จะเกิดขึ้นกับการทดสอบกำลังอัดเหล็กหล่อ และแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 ข)

3) แบบเฉือนกรวยและแตกร้าวด้านบน จะพบมากในการทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 ค)



ภาพประกอบ 2.3 ประเภทพฤติกรรมของเส้นความโค้งความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างหิน (Goodman, 1989)



ภาพประกอบ 2.4 ประเภทการวิบัติของวัสดุเปราะ ก) แบบเฉือนกรวย ข) แบบเฉือนระนาบ และ ค) แบบเฉือนกรวยและแตกร้าวด้านบน (Davis, 1982)

2.14 การควบคุมและการประเมินผลโดยใช้หลักสถิติเบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ของสมบัติตัวอย่างเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลก้อนตัวอย่างภายหลังการทดสอบ โดยใช้ความรู้พื้นฐานเชิงสถิติมาพิจารณาฟังชันต่างๆ ของผลการทดสอบ เช่น ค่าเฉลี่ยของชุดตัวอย่าง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของผลการทดสอบในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ตามข้อกำหนด ASTM E 105-58 หรือ E112-00 (1996) ดังแสดงในสมการ 2.1 และสมการ 2.2 เชิงสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots. x_n}{n} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

$$E_x = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \ldots(x_n - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

โดยที่ $X_1, X_2, X_3 \ldots. X_n$ = ค่าผลการทดสอบของแต่ละตัวอย่าง

n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

และ E_x = ค่าเบี่ยงเบนของชุดตัวอย่าง

ซึ่งกลุ่มหรือชุดตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์วิจัยในแต่ละค่าผลการทดสอบต้องมีจำนวนหรือปริมาณที่มากพอในการวิเคราะห์ผลตามหลักสถิติ โดยส่วนใหญ่จะมีการใช้ก้อนตัวอย่าง 3-5 ก้อนตัวอย่างต่อ 1 รายการทดสอบทั้งนี้และทั้งนั้นอาจมีจำนวนที่มากกว่าหรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือและค่าความแปรปรวนของผลการทดสอบเป็นหลัก