รายงานวิชาการ
ฉบับที่ สอพ. 16/2547

# การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา

ดวงกมล สุริยฉัตร
ภาสันต์ วิชิตอมรพันธ์
วรรธนะ เรืองสำเร็จ

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

**อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่**
นายอนุสรณ์ เนื่องผลมาก

**ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน**
นายมณฑป วัลยะเพ็ชร์

**หัวหน้ากลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา**
นายปราโมทย์ ภูพานทอง

**จัดพิมพ์โดย** สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ. 10400
โทรศัพท์ (662) 202-3672-3 โทรสาร (662) 202-3606

**พิมพ์ครั้งที่ 1** พ.ศ. 2547
จำนวน 20 เล่ม

**ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม**

ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสันต์ วิชิตอมรพันธ์, วรรธนะ เรืองสำเร็จ
การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา / โดย ดวงกมล สุริยฉัตร,
ภาสันต์ วิชิตอมรพันธ์, วรรธนะ เรืองสำเร็จ กรุงเทพ ฯ :
กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2547.
จำนวน 43 หน้า
รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ.16/2547
ISBN 974-7782-29-4

# คำนำ

กระทรวงอุตสาหกรรมมีนโยบายที่จะนำของเหลือทิ้งที่เกิดจากขบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมของภาครัฐและเอกชนที่ถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม มาทำให้เกิดการหมุนเวียนและนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและต่อเนื่อง รวมทั้งพัฒนาเป็นวัตถุดิบสำรอง สำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไปในอนาคต

ด้วยความร่วมมือทางวิชาการระหว่างการประปานครหลวงกับกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ที่จะนำวัตถุเหลือทิ้งประเภทกากตะกอนดินที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาพัฒนาคุณภาพให้สามารถใช้ประโยชน์ต่อไปได้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง รวมทั้งการพัฒนาทางด้านการเพิ่มมูลค่า และความสามารถในด้านนวัตกรรม ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้เกิดขึ้น ตามแนวยุทธศาสตร์ของกระทรวงอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2548 ในการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ภายในประเทศให้เกิดมูลค่าเพิ่มเชิงการผลิต

ดังนั้นในรายงานฉบับนี้จะเป็นการศึกษา และรวบรวมภาพรวมของการผลิตน้ำประปาและการประยุกต์ใช้ตะกอนดินที่เป็นผลพลอยได้ที่จะสามารถนำมาปรับใช้ในแง่การเป็นวัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะด้านแร่และโลหะ รวมทั้งแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมเฉพาะด้านที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้สำหรับตะกอนดินทิ้งเหล่านี้

คณะผู้จัดทำ
กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา
สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

# คำขอบคุณ

ทางคณะผู้จัดทำรายงานขอขอบคุณ นายมณฑป วัลยะเพ็ชร์ ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน นายชาญ จรรยาวณิชย์ ด้วยความเคารพอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ นายไชยา เจริญวงศ์ หัวหน้ากลุ่มแต่งแร่และใช้ประโยชน์แร่ นายปราโมทย์ ภูพานทอง หัวหน้ากลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา กองควบคุมระบบกำจัดตะกอน การประปานครหลวง(บางเขน) ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ กลุ่มวิเคราะห์ทรัพยากรแร่และหิน กรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และคณะโครงการการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนดินทิ้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ในการศึกษาจัดทำจนบรรลุผลสำเร็จด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารเผยแพร่ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจได้เป็นอย่างดี

# สารบัญ

คำนำ ..... III
สารบัญ ..... IV
สารบัญรูป ..... V
สารบัญตาราง ..... VI
คำขอบคุณ ..... VII
**บทนำ** ..... 1
**บทที่ 1 ภาพรวมของการผลิตน้ำประปา** ..... 3
1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไป ..... 3
1.2 กำลังการผลิตน้ำประปา ..... 4
1.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขน ..... 6
1.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน ..... 11
**บทที่ 2 ผลการวิจัยเบื้องต้น** ..... 14
2.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ ..... 14
2.2 ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ..... 24
2.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี ..... 30
**บทที่ 3 แนวทางการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก** ..... 32
3.1 ภาพรวมอุตสาหกรรมเซรามิก ..... 32
3.2 ดินในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ..... 34
3.3 กรณีศึกษาการดูงานอุตสาหกรรมเซรามิกในเขตภาคเหนือ ..... 36
3.4 การทดลองนำตะกอนดินไปใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา ณ.โรงงานศิลาดล จำกัด ..... 38
3.5 การทดลองนำตะกอนดินไปใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา ณ.เกาะเกร็ด จ.นนทบุรี ..... 39
**บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ** ..... 41
**เอกสารอ้างอิง** ..... 43

# สารบัญรูป


| | | |
|---|---|---|
| 1.1 | แสดงแผนผังของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน | 5 |
| 1.2 | แผนผังการผลิตน้ำประปา | 8 |
| 1.3 | แสดงปริมาณตะกอนที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนระหว่างปี 2542-2545 | 10 |
| 1.4 | ขั้นตอนการกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน | 13 |
| 2.1 | Constant Head Permeameter | 19 |
| 2.2 | Falling Head Permeameter | 20 |
| 2.3 | Charts for Use in AASHTO Soil Classification System | 22 |
| 2.4 | Charts for Use in Unified Soil Classification System | 23 |
| 2.5 | แสดงตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ | 25 |
| 2.6 | แสดงชุดตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ | 26 |
| 2.7 | แสดงอุปกรณ์ทดสอบความเหนียวของดิน | 26 |
| 2.8 | แสดงอุปกรณ์ทดสอบไฮโดรมิเตอร์ | 27 |
| 2.9 | แสดงอุปกรณ์ทดสอบความถ่วงจำเพาะ | 27 |
| 2.10 | แสดงอุปกรณ์บดอัดดิน | 28 |
| 2.11 | กราฟแสดง Compaction Curve | 28 |
| 2.12 | กราฟแสดงความสามารถในการซึมผ่านกับปริมาณความชื้น | 29 |

# สารบัญตาราง


1.1 กำลังการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง..... 4
1.2 ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปของอะตอมที่ผสมอยู่ในตะกอนเหลว..... 9
1.3 แสดงปริมาณการผลิตตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนระหว่างปี 2542-2546. ..... 10
2.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคของตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำบางเขน..... 14
2.2 ค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 17
2.3 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดิน..... 18
2.4 AASHTO Soil Classification System..... 22
2.5 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนดิน..... 24
2.6 ค่าความสามารถซึมผ่าน ( k ) ได้เมื่อปรับแก้..... 30
2.7 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดิน..... 30
3.1 ปริมาณการใช้วัตถุดิบในเนื้อผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ..... 34
3.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดินจากผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผา..... 37
3.3 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน..... 38

# บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำประปาจะใช้น้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งมีการผลิตในวันหนึ่ง ๆหลายร้อยลิตร ในกระบวนการผลิตจะมีกรรมวิธีในการที่จะให้ตะกอนจับตัวกันตกลงสู่ก้นบ่อ แล้วจึงทำการสูบออกนำมาตากให้แห้งในลานกว้าง ๆ เพื่อขนย้ายนำไปกำจัดต่อไป โดยพบว่าปริมาณตะกอนในเดือน ๆ หนึ่งจะมีจำนวนมากซึ่งยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร

ดังนั้นสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ได้ตระหนักที่จะพัฒนาวัตถุเหลือทิ้งจากกากตะกอนเหล่านี้เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนในด้านต่าง ๆ โดยรายงานได้ศึกษาผลการวิจัยเบื้องต้นทางกายภาพ วิศวกรรม และทางเคมี เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆต่อไป

จิตรกร วงศ์เชาวลิต (วิทยานิพนธ์เรื่องคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2543) ได้ศึกษาการนำตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนและโรงงานผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ มาใช้เป็นวัสดุปอซโซแลนในงานด้านคอนกรีตโดยทำการเผาตะกอนสลัดจ์ที่อุณหภูมิ 500 ,700 และ900 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 15,30 และ60 นาที แล้วทำการทดสอบหาค่าดัชนี การรับกำลังอัด จากผลการวิจัยพบว่าค่าดัชนีกำลังแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมตะกอนสลัดจ์ จากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ผ่านตามมาตรฐาน ASTM C618 ส่วนค่าดัชนีการรับกำลังของมอร์ต้าผสมเถ้าตะกอนสลัดจ์จากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการเผาที่ 500 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเผา 15 นาที โดยมีค่าดัชนีการรับกำลังร้อยละ 74

กฤษดา นุ่มนวล (ปริญญานิพนธ์เรื่องการใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ ภาควิชาวิศกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2540) ได้ศึกษาการนำตะกอนที่ได้จากระบบการผลิตน้ำประปามาใช้แทนดินเหนียว โดยการผลิตอิฐมอญได้แบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 6 สูตร มีอัตราส่วนผสมของดินเหนียว : ตะกอน : ขี้เถ้าแกลบ : น้ำ โดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1 10:0:3:1 สูตรที่ 2 8:2:3:1 สูตรที่ 3 6:4:3:1 สูตรที่ 4 4:6:3:1 สูตรที่ 5 2:8:3:1 สูตรที 6 0:10:3:1 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของตะกอนในสูตรที่ 1ถึง 6 นั้น มีการเพิ่มปริมาณตะกอนตามลำดับดังนี้ คือ ร้อยละ 0, 20, 40, 80 และ100 ของน้ำหนักดิน จากการศึกษาคุณสมบัติของอิฐ ในแต่ละสูตร โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 77-2531 ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบดังนี้คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และความคลาดเคลื่อนตามยาว กว้าง และหนา พบว่าอิฐที่มีการผสมตะกอนไม่เกินร้อยละ 40 คือสูตรที่ 1-3 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทุกการทดสอบ แต่ในสูตรที่มีปริมาณตะกอนมากกว่าร้อยละ 40 สูตรที่ 4-6 นั้นไม่ผ่านเกณฑ์ทีกำหนด เนื่องจากผลการทดสอบ การดูดซึมน้ำ การรับกำลังแรงอัด และ

ความคลาดเคลื่อนตามความยาว กว้าง และหนา ไม่ผ่านค่ามาตรฐานตามที มอก.77-2531 กำหนด และเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐจากดินเหนียว จะมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 33 ของน้ำหนัก

สมเกียรติ รอดตียิ่ง (ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2541 ) ได้ศึกษาพบว่าการเพิ่มคุณภาพของอิฐมอญ ที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปาโดยใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ได้แก่ เถ้าลอย หินภูเขาไฟเนื้อแก้ว และปูนขาว จากการทดลองพบว่า เถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มที่สามารถทำให้ลูกดินสามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุด จึงพิจารณานำเถ้าลอยมาเป็นสารผสมเพิ่มในการผลิตอิฐมอญ โดยแบ่งอัตรส่วนผสมออกเป็น 2 สูตร ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบเป็นดินเหนียว ตะกอน เถ้าลอย ใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่1 (27.5:70:10) ผสมขี้เถ้าแกลบร้อยละ 10 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2531 ได้ผลดังนี้ปริมาณเถ้าลอยที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ10 ทำให้อิฐสามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงกว่าที่ มอก.77-2531 กำหนดไว้ โดยอิฐที่ผลิตได้จากการผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 10 มีน้ำหนักเบากว่าอิฐที่ผลิตได้ทั่วไปร้อยละ 16-20 และสามารถใช้ปริมาณตะกอนน้ำประปาได้สูงถึงร้อยละ 70 ทำให้อิฐสามารถผ่าน มอก.77-2531 ซึ่งสามารถทำให้ปริมาณตะกอนที่มีอยู่มากให้มีปริมาณลดน้อยลงได้

# บทที่ 1
# ภาพรวมของการผลิตน้ำประปา

## 1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไป

### - การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

โดยขณะที่น้ำดิบจะสัมผัสกับอากาศ และแสงแดด แล้วจะก่อให้เกิดการตกตะกอนตามธรรมชาติ และมีการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำเช่น เศษสวะ เศษไม้ สาหร่ายหรือพืชน้ำ ถุงพลาสติก ด้วยตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด

### - การเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมี

โดยจะเพิ่มออกซิเจนและการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่เหมาะสมลงไปในท่อลำเลียงน้ำดิบ โดยอัตราส่วนการเติมสารเคมีจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล

### - การตกตะกอน

การตกตะกอน เมื่อน้ำดิบไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัส และทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำ แล้วจับเป็นก้อนเล็กๆ และค่อยๆมีขนาดโตขึ้น ตะกอนหนักจะตกลงสู่พื้นล่างของถังเหลือแต่น้ำใสไปยังบ่อกรองน้ำ

### - การกรอง

น้ำดิบที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะไหลไปยังบ่อกรองน้ำซึ่งประกอบด้วย ผงถ่านแอนทราไซต์ และทรายละเอียด ซึ่งเป็นสารกรองและมีหัวกรองเพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นน้ำจะถูกกรองอีกครั้งโดยหินหยาบ

- **การฆ่าเชื้อโรค**

โดยการเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด และจะทำลายสารอินทรีย์ กลิ่น สี และสารประกอบพวกเหล็กได้

- **การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา**

หลังจากฆ่าเชื้อโรคแล้วจะมีการเติมปูนขาวลงไปอีกในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำให้มีฤทธิ์เป็นกลางเล็กน้อย

- **การสูบจ่ายน้ำประปา**

น้ำประปาที่ผลิตได้มาตรฐานแล้วจะถูกสูบจ่ายเข้าเส้นท่อประธานและเส้นท่อจ่ายน้ำเพื่อทำการจ่ายน้ำให้ประชาชนซึ่งอยู่ตามชุมชนต่าง ๆ ต่อไป

## 1.2 กำลังการผลิตน้ำประปา

ในปัจจุบันการประปานครหลวงมีโรงงานผลิตน้ำประปาที่อยู่ในความรับผิดชอบอยู่ 4 แห่งคือ โรงงานผลิตน้ำประปาสามเสน โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน โรงงานผลิตน้ำประปาธนบุรี และโรงงานผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ โดยในปัจจุบันการประปานครหลวงมีกำลังการผลิตน้ำประปาดังแสดงในตารางที่ 1.1 และแผนผังของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนแสดงในรูปที่ 1.1

**ตารางที่ 1.1 กำลังการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง**

| แหล่งผลิต | ปริมาณการผลิต(ลบ.ม/วัน) |
|---|---|
| โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน | 2,850,000 |
| โรงงานผลิตน้ำประปาสามเสน | 455,000 |
| โรงงานผลิตน้ำประปาธนบุรี | 140,000 |
| โรงงานผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ | 450,000 |

ในการทำน้ำดิบให้กลายเป็นน้ำใสต้องมีการเติมสารที่ทำให้เกิดการตกตะกอน โดยสารที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือสารส้มเนื่องจากมีประจุบวกมาก และมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่นโดยอาจใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)แทนสารส้มหรือเฟอร์ริคซัลเฟต($Fe_2(SO_4)_3$) แทนสารส้มได้

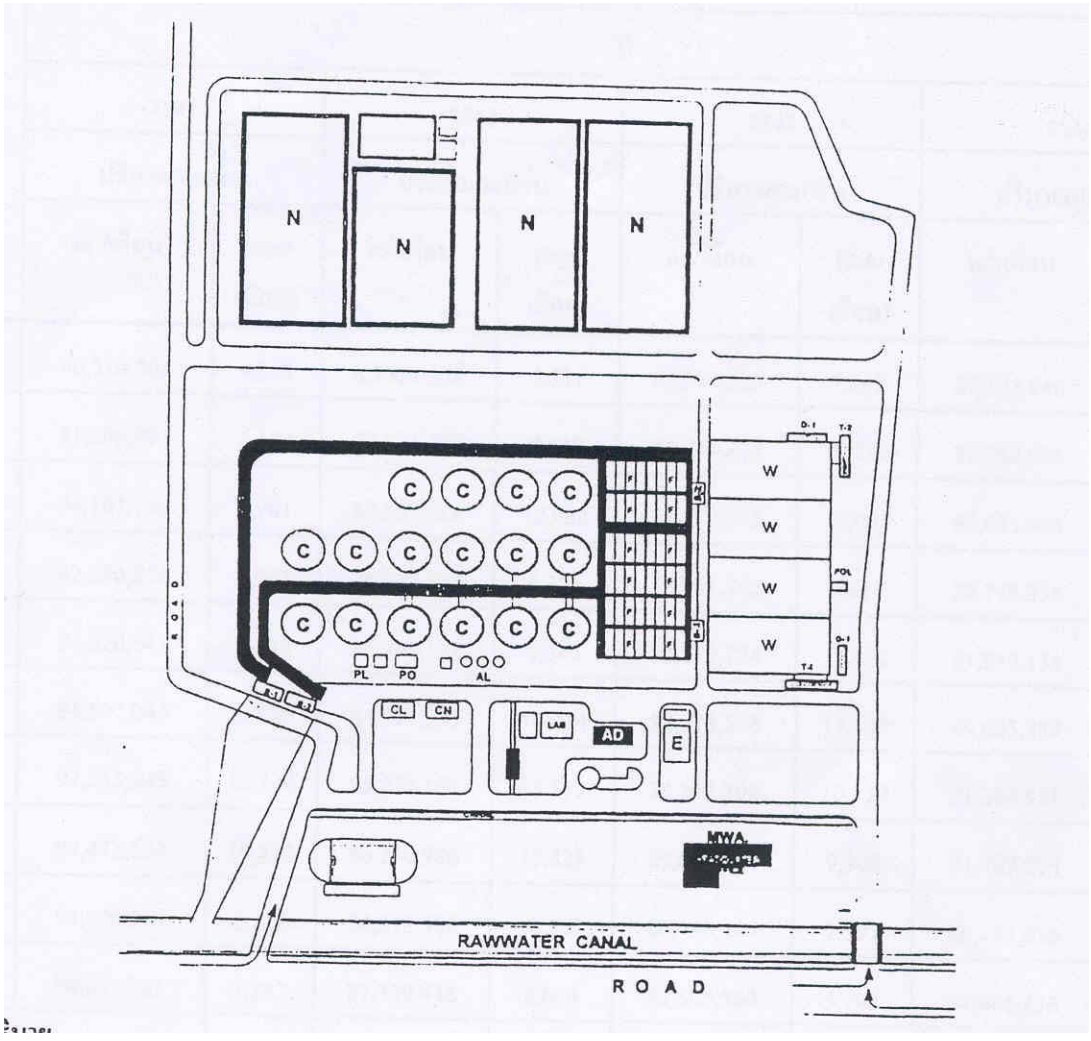
เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำดิบ สารส้มจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ(Hydrolysis) โดยมีปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้

$$Al^{3+} + H_2O \longrightarrow Al(OH)^{2+} + H^+$$

$$Al^{3+} + 2H_2O \longrightarrow Al(OH)_2^{+} + 2H^+$$

$$7Al^{3+} + 17H_2O \longrightarrow Al(OH)_{17}^{4+} + 17H^+$$

$$Al^{3+} + 3H_2O \longrightarrow Al(OH)_{3(5)} + 3H^+$$




รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน
คำอธิบาย

AD Administration Building
AL Alum Building
B-1,B-2 Wash Water Pump Station
C Clarifier
CL Chlorine Building
CN Chlorine Neutralization
D-1 Distribution Pump Station
E Electrical substation
F Filters
LAB Laboratory
N Sludge Lagoons
PL Pre-Lime Building
PO Polyectrolyte Building
POL Post-Lime Building
R-1, R-2 RawWaterPumpStation
T-1, T-2 TransmissionPumpStation
W Filtered Water Reservior

## 1.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

### 1.3.1 Raw Material

น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำของการประปานครหลวงมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีปั๊มน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ห่างจากโรงผลิตน้ำบางเขนประมาณ 18 กิโลเมตร ไปทางทิศเหนือประกอบด้วยอาคารปั๊ม 3 หลัง ในแต่ละหลังใช้พื้นที่ 22x16 ตารางเมตร สูง 19 เมตร กำลังสูบสูงสุด 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันสู่คลองประปา น้ำดิบที่สูบจากคลองประปาจะถูกปั๊มโดยสถานีสูบน้ำบางเขนเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน ซึ่งใช้ปั๊มสูบแบบแนวตั้งกำลังสูบ 348 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที 6 เครื่อง และปั๊มสูบแบบแนวตั้ง กำลังสูบ 174 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที อีก 3 เครื่อง

### 1.3.2 Clarification

ขณะที่น้ำดิบถูกส่งผ่านคลองส่ง สู่ส่วน Clarification จะมีการใส่ปูนขาวปริมาณระหว่าง 5-15 ppm. เพื่อช่วยในการตกตะกอน จากนั้นน้ำจะถูกปล่อยสู่ถังรูปกรวยแบบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง 58 เมตร จำนวน 16 ถัง ซึ่งออกแบบมาเพื่อการตกตะกอนในอัตรา 70 มิลลิเมตรต่อนาที และ 200,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถังเหล่านี้จะแบ่งเป็น 2 เขต คือ เขตถังทำปฏิกิริยา กับถังตกตะกอน เขตถังทำปฏิกิริยาจะอยู่ตรงกลาง มีการเติมสารโพลีอิเลคโตรไลท์ (Polyelectrolyte) และสารส้ม เขตที่เหลือเป็นถังตะกอน

### 1.3.3 Filtration

น้ำที่ได้จากกระบวนการ Clarification จะถูกนำมาผ่านเครื่องกรองแบบ Rapid Sand Anthracite จำนวน 44 บ่อ แต่ในทางปฏิบัติจริงใช้เพียง 30-32 บ่อเท่านั้น ในแต่ละบ่อกรองมีขนาด 9.4 x 27.4 ตารางเมตร ซึ่งออกแบบสำหรับกรองน้ำเริ่มต้น 75,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันอย่างไรก็ตามสามารถที่จะกรองได้สูงสุดถึง 120,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผ่านชั้นถ่าน Anthracite หนา 80 เซนติเมตร และชั้นทรายคัดขนาด 40 เซนติเมตร

### 1.3.4 Water Storage

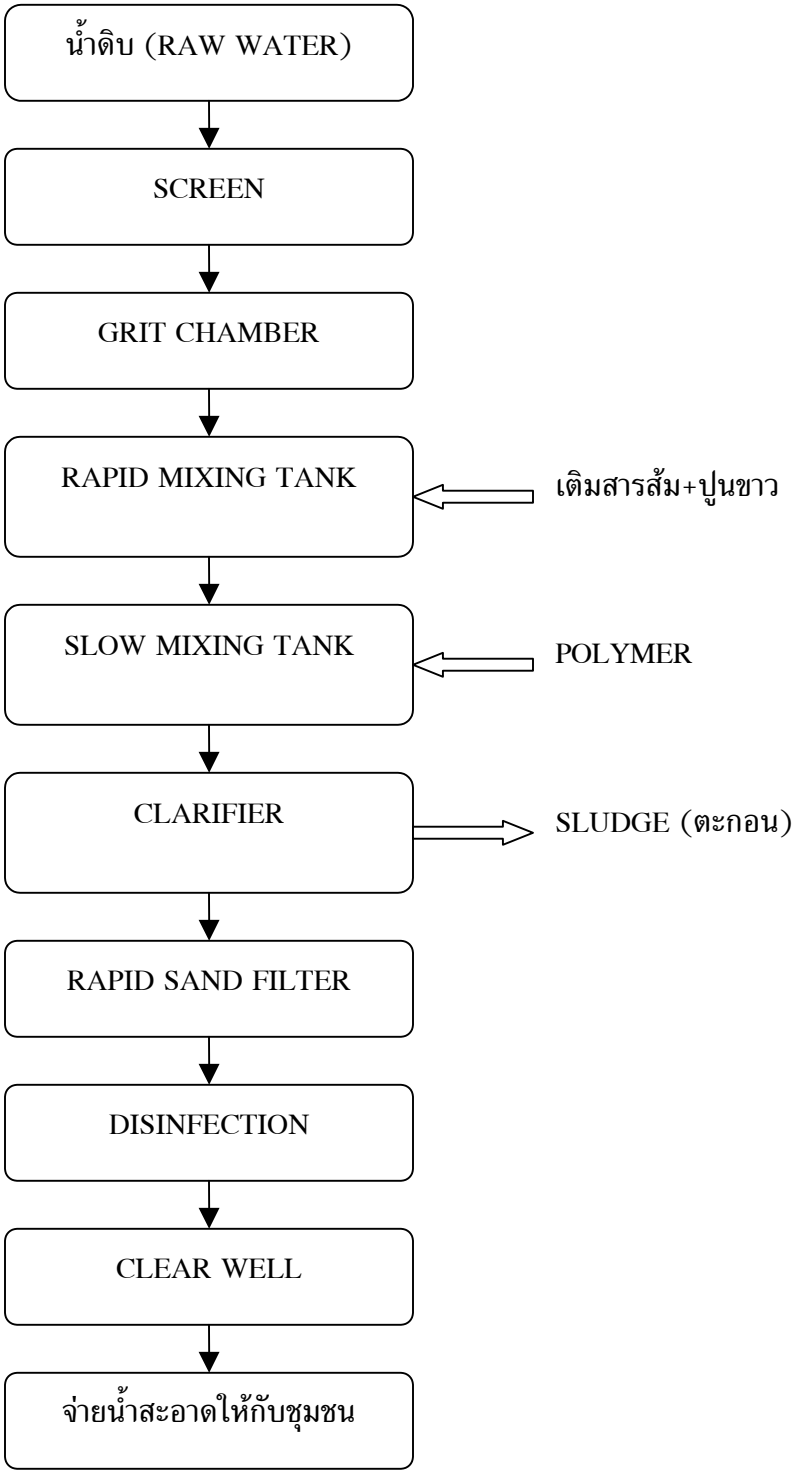
น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำที่เรียกว่า Reservoir ปูนขาว และคลอรีนที่เหลืออยู่จะถูกควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง

### 1.3.5 Transmission and Distribution

โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนเป็นโรงผลิตน้ำ และจ่ายน้ำหลักของการประปานครหลวงโดยการจ่ายน้ำ และกระจายไปตามสถานีปั๊มน้ำต่างๆ ผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 – 3.4 เมตร แต่ละสถานีจะมีอาคารปั๊มน้ำขนาด 13 x 69 ตารางเมตร สูง 12 เมตร ซึ่งเชื่อมต่อกับ Reservoir พื้นที่การใช้งานจะแบ่งเป็น 2 ระดับคือ ชั้น Basement และชั้น Overground ชั้น Basement อยู่ลึกลงไปในใต้ดิน 3 เมตร ประกอบด้วยปั๊ม 5 ตัว ปั๊ม 1 ตัวมีอัตราการส่งน้ำ 153 ลูกบาศก์เมตร/นาที อีก 4 ตัว มีอัตราการส่งน้ำ 300 ลูกบาศก์เมตร/นาที ส่วนชั้น Overground อยู่สูงจากขึ้นไป 9 เมตร มีการติดตั้งส่วนควบคุมปั๊ม อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องมือปั๊ม

### 1.3.6 Sludge Lagoon

Sludge เป็นส่วนของน้ำตะกอนดินที่ตกตะกอนจากกระบวนการ Clarification และน้ำที่ใช้ล้าง Filter ซึ่งจะถูกปั๊มสู่ Sludge Lagoon จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตากตะกอน เพื่อให้ตะกอนแห้งพอที่จะขนย้ายต่อไป โดยน้ำมีปริมาณประมาณ 30,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน จะถูกนำไป Recycle




**รูปที่1.2 แผนผังการผลิตน้ำประปา**

**ตารางที่ 1.2 ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในรูปของอะตอม ที่ผสมอยู่ในตะกอนเหลว (คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)**

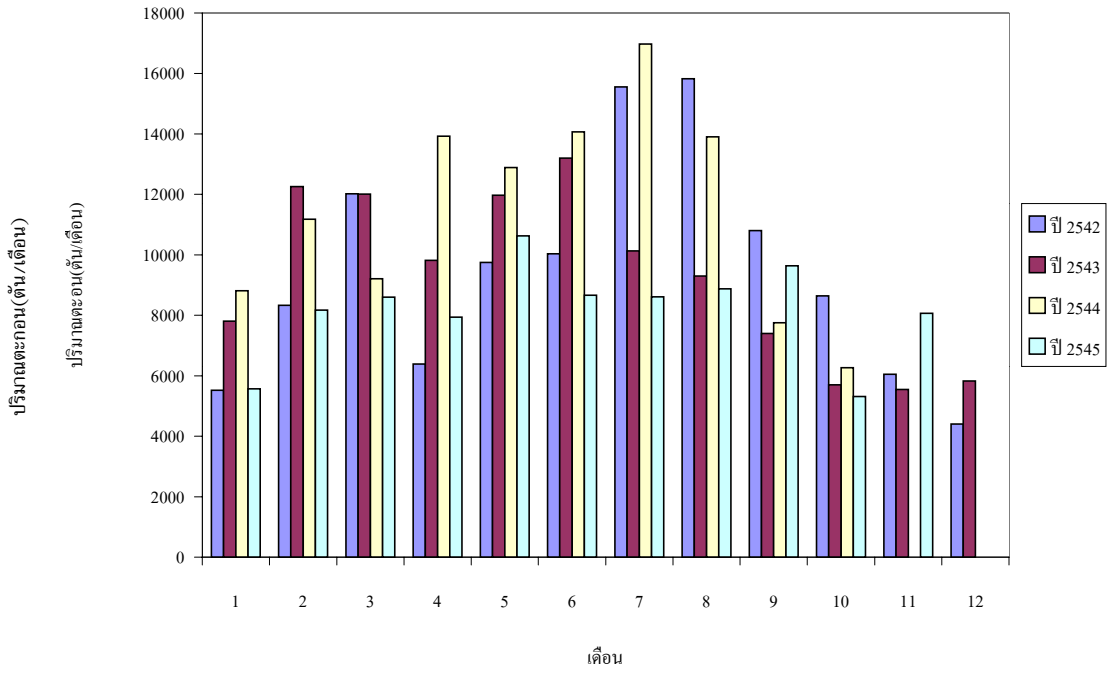
| ธาตุองค์ประกอบ | องค์ประกอบร้อยละ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ตัวอย่างที่ 4 | ตัวอย่างที่ 5 | ค่าเฉลี่ย |
| Si | 25.10 | 26.41 | 25.71 | 26.13 | 26.50 | 25.97 |
| Al | 15.30 | 14.55 | 14.82 | 14.92 | 15.03 | 14.92 |
| Fe | 5.67 | 5.67 | 5.6 | 5.68 | 5.53 | 5.63 |
| K | 2.57 | 1.58 | 1.99 | 1.66 | 1.58 | 1.88 |
| Na | 1.41 | 1.34 | 1.34 | 1.30 | 0.74 | 1.23 |
| Mg | 0.96 | 1.03 | 1.03 | 1.00 | 1.06 | 1.02 |
| Ca | 0.64 | 0.79 | 0.71 | 0.68 | 0.71 | 0.71 |
| Ti | 0.72 | 0.49 | 0.59 | 0.60 | 0.60 | 0.59 |
| Zn | 0.52 | 0.03 | 0.44 | 0.04 | 0.03 | 0.21 |
| Mn | 0.14 | 0.08 | 0.11 | 0.13 | 0.12 | 0.12 |
| Cu | 0.10 | 0.11 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 |
| S | - | 0.08 | 0.08 | - | 0.06 | 0.07 |

(แหล่งข้อมูล : โรงผลิตน้ำประปาบางเขน ฝ่ายกำจัดตะกอน : 2540)

**ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณการผลิตตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนระหว่างปี 2542-2546**

| ปี พ.ศ. | ปริมาณน้ำประปา (ลบ.ม.) | ปริมาณตะกอนดิน (ตัน) | เฉลีย/วัน |
|---|---|---|---|
| 2546 (ม.ค.-ต.ค.) | 908,692,127 | 82,004 | 273 |
| 2545 | 1,088,751,325 | 95,824 | 263 |
| 2544 | 1,070,075,066 | 118,892 | 325 |
| 2543 | 1,055,192,193 | 110,968 | 304 |
| 2542 | 1,018,955,612 | 113,324 | 310 |

(แหล่งข้อมูล: โรงผลิตน้ำประปาบางเขน ฝ่ายกำจัดตะกอน : 2546)




**รูปที่ 1.3 แสดงปริมาณตะกอนที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนระหว่างปี 2542-2545**

จะเห็นได้ว่าโรงงานผลิตน้ำประปาที่บางเขนซึ่งใช้พื้นที่ในการกำจัดตะกอนถึง 300 ไร่ จะมีตะกอนมากขึ้นทุกวัน โรงงานที่บางเขนสามารถผลิตน้ำได้เต็มที่ 3,200,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน เฉลี่ยแล้วทุก ๆ

1 แสน ลูกบาศก์เมตรจะมีตะกอนเท่ากับรถบรรทุกสิบล้อ 1 คัน หรือ 13 ตัน ปัจจุบันตะกอนส่วนใหญ่นำไปใช้ถมที่ และมีแนวโน้มที่จะผลิตน้ำประปามากขึ้น การใช้ Lagoon เพื่อตกตะกอนน้ำประปาในระบบการผลิตปัจจุบันเสียเวลาและพื้นที่เป็นข้อจำกัดในการผลิต เฉพาะโรงงานผลิตน้ำประปาธนบุรี มีเครื่องผลิตน้ำ Filter Press แถวเดียว ที่เก็บตะกอนออกจากน้ำประปา ส่วนโรงงานอื่น ๆ ใช้ระบบตกตะกอนด้วย Lagoon ทั้งหมด

## 1.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน

1.4.1 รับน้ำตะกอน ความเข้มข้นประมาณ 3-10% น้ำหนัก/น้ำหนัก (W/W) จากถังตกตะกอนหมายเลข 1-16 เข้าสู่ท่อระบายตะกอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มิลลิเมตร

1.4.2 น้ำตะกอนความเข้มข้นประมาณ 3-10% (W/W) ส่งผ่านท่อระบายตะกอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร เข้าสู่บ่อกักตะกอนหมายเลข 1-4 ทาง Inlet Valve

1.4.3 น้ำตะกอนในบ่อกักตะกอนเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ น้ำใสความขุ่นไม่เกิน 50 NTU. จะลอยตัวอยู่ชั้นบนไหลออกทาง Outlet Value ลงคลองระบายน้ำวนกลับ (Recycle) ส่วนตะกอนเหลวความเข้มข้นประมาณ 10-15% (W/W) จะตกลงสู่ชั้นล่าง สะสมจนถึงระดับเต็มบ่อความลึกประมาณ 3.5 เมตร ก็จะปิดบ่อเปลี่ยนไปใช้บ่ออื่น (บ่อเต็มใช้เวลาประมาณ 1-2 เดือน)

1.4.4 ใช้เรือสูบตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้นประมาณ 10-15% (W/W) ออกจากบ่อกักตะกอน 1-4 ไปยังบ่อตากตะกอน (Polder) A หรือ B โดยผ่านทางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร

1.4.5 รวบรวมตะกอนเหลวจากบ่อกักตะกอน 1-4 มารวมกันในบ่อตากตะกอน A หรือ B

1.4.6 แยกน้ำออกจากตะกอนเหลวในบ่อตากตะกอน A หรือ B โดยระบายน้ำใสความขุ่นไม่เกิน 50 NTU ออกจากบ่อตากตะกอนและปล่อยให้ตะกอนตกโดยธรรมชาติหรือใช้เครื่องจักรกลช่วยให้ตกตะกอนใช้เวลาประมาณ 1 ปี จะได้ตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้นประมาณ 25-40 (W/W)

1.4.7 ขนย้ายดินตะกอนเหลวความเข้มข้น 25-40% (W/W) จากบ่อตกตะกอน A หรือ B ไปยังลานตกตะกอน D หรือ E โดยใช้รถ Back Hoe ตักใส่รถบรรทุกหรือใช้สกรูปั๊มสูบผ่านท่อ

1.4.8 ตากและพลิกกลับตะกอนเหลวในลานตกตะกอน D หรือ E จนได้ความเข้มข้นตะกอนตั้งแต่ 45%(W/W) ขึ้นไปโดยใช้ระยะเวลาในการตกประมาณ 1.5-2 เดือน (ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ)

1.4.9 ใช้รถ Back Hoe ตักดินตะกอนความเข้มข้นตั้งแต่ 45% (W/W) ขึ้นไปใส่รถบรรทุกขนย้ายออกจากโรงงานผลิตน้ำบางเขนต่อไป

1.4.10 รับน้ำตะกอนล้างบ่อกรองจากบ่อกรองน้ำ (filter) 1-44 ซึ่งมีความเข้มข้น 0.1%(W/W) เข้าสู่ท่อระบายน้ำล้างบ่อกรอง (Filter Drain) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,500 เมตร

1.4.11 ส่งน้ำตะกอนล้างบ่อกรอง ซึ่งมีความเข้มข้น 0.1% (W/W) ทางท่อระบายน้ำล้างบ่อกรอ (Filter Drain) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,500 มิลลิเมตร เข้าสู่บ่อกักตะกอน 1-4 ทาง Inlet Valve

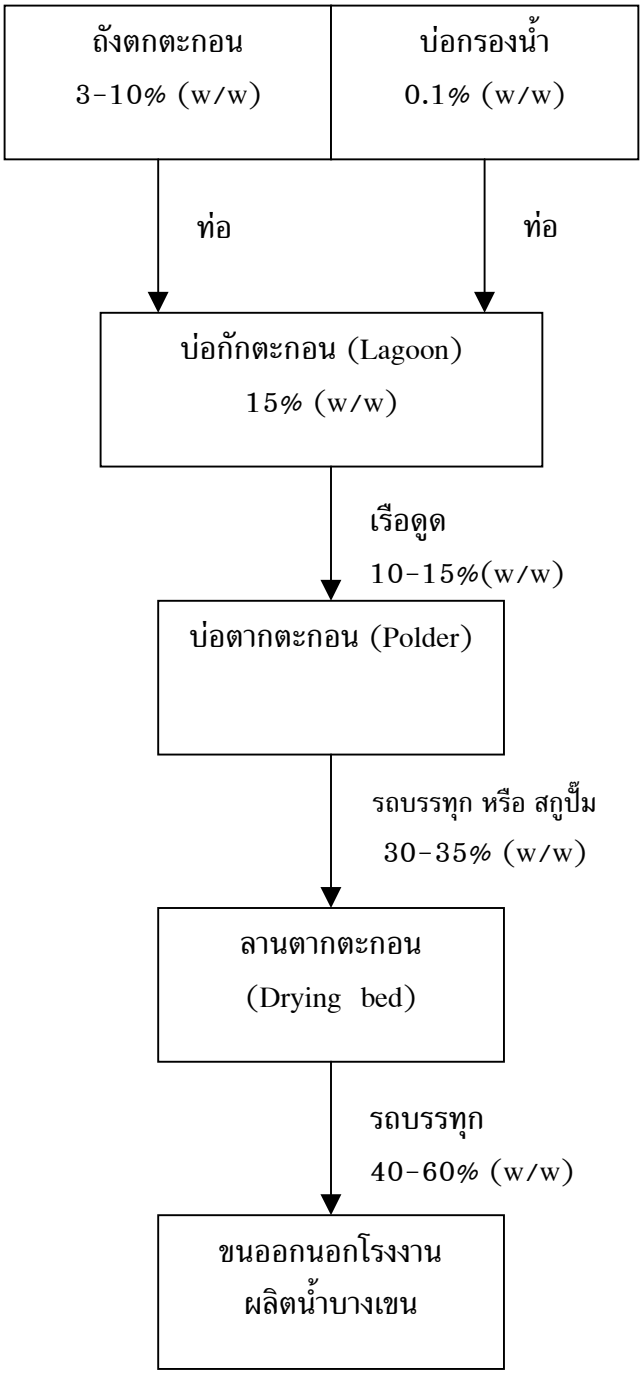
1.4.12 น้ำตะกอนในบ่อกักตะกอนเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ น้ำใสความขุ่นไม่เกิน 50NTU. จะลอยตัวอยู่ชั้นบนไหลออกทาง Outlet Valve ลงคลองระบายน้ำนำกลับ (Recycle) ส่วนตะกอนเหลวความ

เข้มข้นประมาณ 10-15% (W/W) จะตกลงสู่ชั้นล่างสะสมจนถึงระดับเต็มบ่อความลึกประมาณ 3.5 เมตร ก็จะปิดบ่อเปลี่ยนไปใช้บ่ออื่น (บ่อเต็มใช้เวลาประมาณ 6-8 เดือน)

1.4.13 ใช้เรือสูบตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้นประมาณ 10-15% (W/W) ออกจากบ่อกักตะกอนไปยังบ่อตากตะกอน (Polder) A หรือ B โดยผ่านทางท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร

1.4.14 น้ำใสที่ไหลออกจาก Outlet Valve ของบ่อกักตะกอน 1-4 ควบคุมความขุ่นไม่เกิน 50 NTU จะไหลมารวมกันที่คลองระบายน้ำนำกลับ (Recycle)

1.4.15 น้ำใสจากคลองระบายน้ำนำกลับ (Recycle) จะไหลโดย Gravity Flow เข้าสู่คลองน้ำดิบเพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำประปาต่อไป ในช่วงนี้ก่อนที่จะเข้าสู่คลองน้ำดิบจะมีตรวจวัดความขุ่นของน้ำโดยมีการกำหนดไว้ว่าจะต้องมีความขุ่นไม่เกิน 50 NTU




**รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำบางเขน**

# บทที่ 2
# ผลการวิจัยเบื้องต้น

## 2.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

### 2.1.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาค(Particle size distribution)

เป็นการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อตรวจสอบลักษณะของเนื้อตะกอนดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคของตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำบางเขน**

| ตัวอย่างตะกอน | การกระจายอนุภาค(ก./กก.) | | | การกระจายอนุภาค(ร้อยละ) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ทราย | ทรายแป้ง | ดินเหนียว | ทราย | ทรายแป้ง | ดินเหนียว |
| บ่อตาก A | 31 | 620 | 349 | 3.1 | 62.0 | 34.9 |
| บ่อตาก B | 9 | 663 | 328 | 0.9 | 66.3 | 32.8 |
| บ่อตาก C | 8 | 681 | 311 | 0.8 | 68.1 | 31.1 |
| บ่อตาก E | 40 | 572 | 388 | 4.0 | 57.2 | 38.8 |
| ลานตาก D | 55 | 587 | 358 | 5.5 | 58.7 | 35.8 |
| ลานตาก D | 31 | 487 | 482 | 3.1 | 48.7 | 48.2 |
| ลานตาก E | 21 | 582 | 397 | 2.1 | 58.2 | 39.7 |
| ลานตาก E | 24 | 508 | 468 | 2.4 | 50.8 | 46.8 |
| ตะกอนเหลว | 34 | 745 | 221 | 3.4 | 74.5 | 22.1 |
| รวม | 28.1 | 605.0 | 366.9 | 2.8 | 60.5 | 36.7 |

### 2.1.2 ผลการวิเคราะห์แร่ส่วนประกอบ

แร่ที่มีองค์ประกอบหลักในตะกอนดินได้แก่

- Quartz
- Feldspar : Microcline
- Mica : Muscovite
- Clay : Kaolinite,Montmorillonite

- อื่น ๆ : $CaCO_3$ , $2FeO$ , $2SiO_2.2H_2O$

### 2.1.3 ความสามารถซึมผ่านของน้ำในดิน

#### ก. ความสามารถซึมผ่านน้ำของดิน (Permeability Test)

ช่องว่างในมวลดินไม่ใช่เป็นโพรงแยกอยู่โดด ๆไว้เก็บกักน้ำเหมือนในอ่างเก็บน้ำ แต่เป็นช่องเล็ก ๆ คดเคี้ยวไปมาและต่อเนื่องถึงกันระหว่างเม็ดดินซึ่งน้ำจะไหลผ่านได้ ดังนั้นเมื่อน้ำมีความดันหรือระดับต่างกันระหว่าง 2 จุดในดิน ก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านั้นความสามารถที่น้ำสามารถซึมผ่านดินได้นี้ เรียกว่า ความซึมได้ของน้ำในดิน (k) การที่น้ำจะไหลซึมผ่านไปได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

การไหลซึมของน้ำผ่านดินจะเป็นแบบการไหลช้า ๆ ผ่านไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ในขณะเดียวกันแรงดันหรือระดับของน้ำก็จะสูญเสียไปเพราะแรงเสียดทานของผิวเม็ดดินความเร็วของการไหลของน้ำในดิน สามารถเขียนเป็นสูตรตามกฎของดาร์ซี่ (Darcy) ได้ดังนี้

$$V = ki$$

**เมื่อ** $V$ = ความเร็วของการไหลซึม ,m / s

$k$ = สัมประสิทธ์ความซึมได้ (Coefficent Permeability), cm / s

$i$ = ความชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) = $\frac{\Delta h}{\Delta L}$

$\Delta h$ = ความแตกต่างของระดับน้ำในช่วงความยาวของการไหลซึม $\Delta L$

$\Delta L$ = ช่วงความยาวของการไหลซึม (ที่ความต่างของระดับน้ำ $\Delta h$)

ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดิน สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\mathbf{q = Av}$$

$$Q / t = Aki$$

$$\mathbf{Q = Akit}$$

ในเมื่อ $q$ = ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดินในช่วงเวลา t

$Q$ = ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดิน

$T$ = ช่วงเวลา (ที่ปริมาณน้ำ Q ไหลซึมผ่าน)

$A$ = พื้นที่หน้าตัดซึ่งน้ำไหลซึมผ่าน

**ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (k) จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งต่อไปนี้**

- **ขนาดของเม็ดดิน**

ค่าความซึมได้ของน้ำในดินจะเป็นปฏิภาคกับกำลังสองของขนาดประสิทธิผลของเม็ดดิน $(D_{10})^2$ ในกรณีที่เป็นกรวดหรือทราย สามารถใช้สมการของฮาเซ่น (Hazen) หาความสัมพันธ์ของความซึมได้ของน้ำในดินกับขนาดเม็ดดิน ได้ดังนี้

$$k = 10\,(D_{10})^2 \text{ มม./วินาที}$$

ในเมื่อ $D_{10}$ = ขนาดเม็ดดิน (มม.) ที่มีส่วนที่เล็กกว่าขนาดนี้เป็นจำนวน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

= ขนาดประสิทธิผล

- **คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง**

ของเหลวในช่องว่างที่เกี่ยวข้องในงานทางวิศวกรรมโยธาก็คือว่า คุณสมบัติของน้ำที่สำคัญที่จะเปลี่ยนแปลงก็คือความหนืด (Viscosity) ความหนืดของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดจะลดลง ทำให้น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย อุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้บอกค่าความซึมได้ของน้ำในดินคือที่ $20^0$ เซลเซียส ค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆจะแสดงในตาราง 3.2

ค่าความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ กับที่ $20^0$เซลเซียส หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$k_{20^\circ C} = \frac{k_T * \mu_T}{\mu_{20^\circ C}}$$

ในเมื่อ $k_{20^\circ C}$ = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ $20^0$ เซลเซียส

$k_T$ = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ $T^0$ เซลเซียส

$\mu_T$ = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ $T^0$ เซลเซียส

$\mu_{20^\circ C}$ = ความหนืดของอุณหภูมิต่าง ๆ

**ตารางที่ 2.2 ค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (หน่วยเป็น Millipoises)**

| อุณหภูมิ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 17.94 | 17.32 | 16.74 | 16.19 | 15.68 | 15.19 | 14.73 | 14.29 | 13.87 | 13.48 |
| 10 | 13.10 | 12.74 | 12.39 | 12.06 | 11.75 | 11.45 | 11.16 | 10.88 | 10.60 | 10.34 |
| 20 | 10.09 | 9.84 | 9.61 | 9.38 | 9.16 | 8.95 | 8.75 | 8.55 | 8.36 | 8.18 |
| 30 | 8.00 | 7.83 | 7.67 | 7.51 | 7.36 | 7.31 | 7.06 | 6.92 | 6.79 | 6.66 |
| 40 | 6.54 | 6.42 | 6.30 | 6.18 | 6.08 | 5.97 | 5.87 | 5.77 | 5.68 | 5.58 |
| 50 | 5.29 | 5.40 | 5.32 | 5.24 | 5.15 | 5.07 | 4.99 | 4.92 | 4.84 | 4.77 |
| 60 | 4.70 | 4.63 | 4.56 | 4.50 | 4.43 | 4.37 | 4.31 | 4.24 | 4.19 | 4.13 |
| 70 | 4.07 | 4.02 | 396 | 3.91 | 3.86 | 3.81 | 3.76 | 3.71 | 3.66 | 3.62 |
| 80 | 3.57 | 3.53 | 3.48 | 3.44 | 3.40 | 3.36 | 3.32 | 3.28 | 3.24 | 3.20 |
| 90 | 3.17 | 3.13 | 3.10 | 3.06 | 3.03 | 2.99 | 2.96 | 2.93 | 2.90 | 2.87 |
| 100 | 2.84 | 2.82 | 2.79 | 2.76 | 2.73 | 2.70 | 2.67 | 2.64 | 2.62 | 2.59 |

1 dyne sec / $cm^2$ = 1 poise

1 gram sec / $cm^2$ = 980.7 poises

1 poise = 1,000 millipoises

ตัวอย่าง :

$\mu_{12^\circ ซ.}$ = 12.39 millipoises

$\mu_{45^\circ ซ.}$ = 5.97 millipoises

- **อัตราส่วนช่องว่างของดิน**

ดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างมาก น้ำย่อมไหลสะดวกกว่าดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างน้อยเช่น ทรายหลวม น้ำย่อมไหลได้ดี

- **ระดับความอิ่มตัว**

ในดินที่ไม่อิ่มตัว ช่องว่างจะมีฟองอากาศอยู่ด้วย ซึ่งจะคอยกั้นการไหลของน้ำทำให้น้ำไหลซึมผ่านไม่สะดวก ดังนั้นถ้าระดับความอิ่มตัวของดินเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าความซึมได้ของน้ำในดินเพิ่มขึ้นด้วย

**ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดิน**

| ชนิดของดิน | ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (มม. /วินาที) | คุณสมบัติการระบายน้ำ |
|---|---|---|
| กรวด | มากกว่า 10 | ดี |
| ทราย | $10 - 10^{-2}$ | ดี |
| ทรายละเอียด ตะกอนทรายหยาบ | $10^{-2} - 10^{-4}$ | ปานกลาง |
| ตะกอนทราย | $10^{-4} - 10^{-6}$ | เลว |
| ดินเหนียว | น้อยกว่า $10^{-6}$ | น้ำซึมผ่านได้ยาก |

**ข. การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดิน**

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดินในห้องปฏิบัติการ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. แบบความดันน้ำคงที่ (Constant Head) วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างทรายที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงและตัวอย่างดินเหนียวที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำมาก ๆ จะทดสอบด้วยวิธีอัดความดันคงที่ (Pressurized Constant Head) สามารถสรุปวิธีทดสอบได้ดังนี้

ก. วิธีระดับน้ำคงที่ (Constant Head) แบบไม่อัดความดัน

ข. วิธีอัดความดันคงที่ (Pressurised Constant Head) ตัวอย่างดินบดอัด

ค. วิธีอัดความดันคงที่ (Pressurized Constant Head) ตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ

2. แบบความดันน้ำแปรเปลี่ยน(Variable Head หรือ Falling Head)วิธีนี้ สำหรับดินที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านปานกลาง เช่น ทรายละเอียด (Fine Sand) ตะกอนดิน (Silt) บางชนิด ความเหมาะสมของเครื่องมือทดสอบ สำหรับสำหรับทรายปานกลางถึงหยาบ (Medium to Coarse Sand) สามารถจะทดสอบด้วยวิธีระดับน้ำคงที่ (Constant Head) ได้ แต่ในทางปฏิบัติทรายชนิดนี้มักจะไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบการซึมผ่าน เนื่องจากพอจะประมาณค่าได้ และมีค่าสูง การทดสอบที่ปฏิบัติมักจะเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อสาธิตการปฏิบัติการในห้องทดลองมากกว่าการนำไปใช้จริง ส่วนตัวอย่างดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านปานกลาง เช่นทรายละเอียดและดินตะกอน สามารถทดสอบด้วยวิธีระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head) ได้

แต่ถ้าดินนั้นอัดแน่น (Dense) ถ้าทำการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน(Falling Head) ระดับน้ำจะลดต่ำลงช้ามากจะทำการทดสอบลำบาก เพราะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะระเหยระหว่างการ

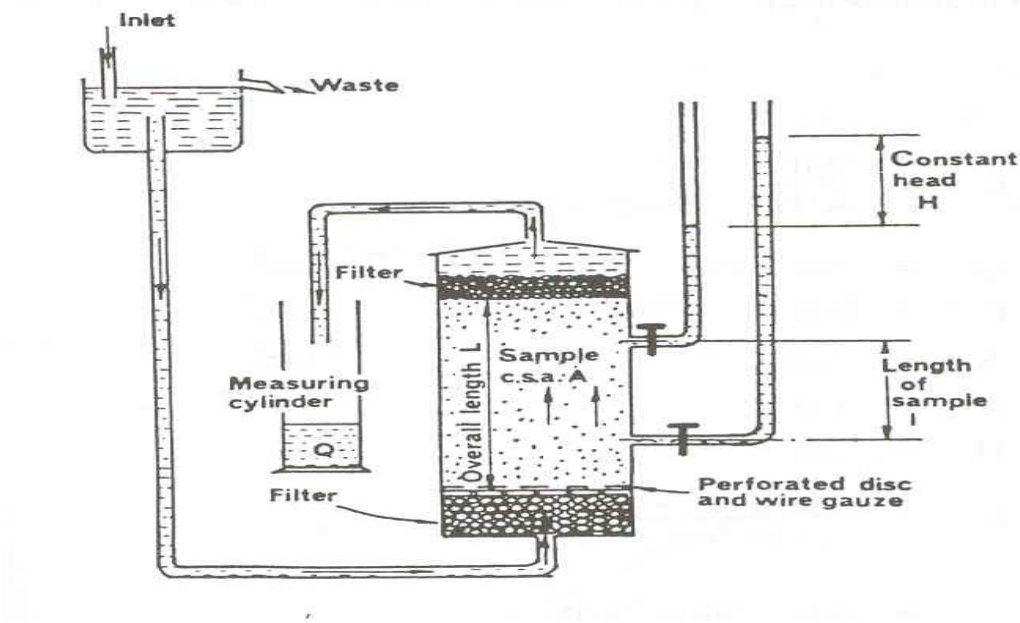
ทดลอง จึงควรทำการทดสอบวิธีระดับน้ำคงที่แบบอัดความดัน (Pressurized Constant Head) เพราะวิธีนี้สามารถเพิ่มความดันได้สูงตามต้องการทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างมีปริมาณมากพอที่จะวัดได้สะดวก

- **แบบความดันน้ำคงที่**

ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Constant Head Permeameter ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ทำได้โดยการปล่อยน้ำที่มีความดันที่ให้ไหลผ่านตัวอย่างดินที่อยู่ในหลอดใส่ตัวอย่างพื้นที่หน้าตัด A ตลอดเวลา แล้ววัดปริมาณน้ำ Q ที่ไหลผ่านตัวอย่างดินในช่วงเวลา t ซึ่งรองรับไว้ในถ้วยตวง อ่านค่าการสูญเสียความดันหรือระดับน้ำ H ในช่วงความยาวของการไหลซึม l จาก Manometer ที่ติดอยู่ด้านข้างของหลอดใส่ตัวอย่าง สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินได้จากสูตร

$$Q = Akit$$

$$k = \frac{Q}{Ai\,t} = \frac{Ql}{At\,H}$$

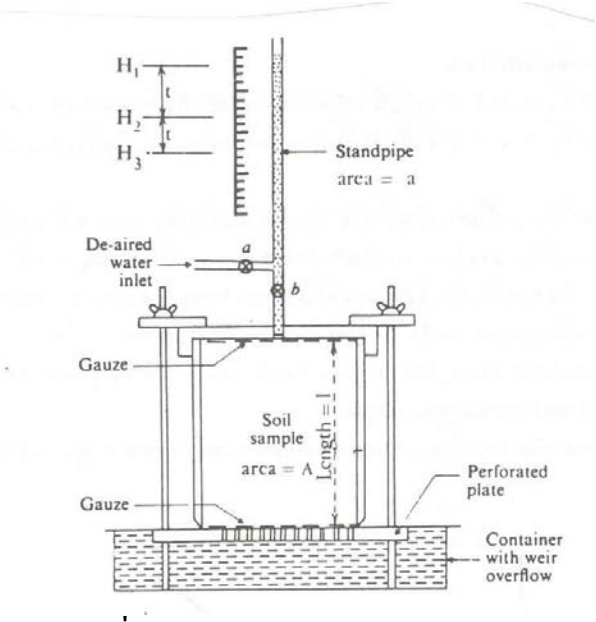



**รูปที่ 2.1 Constant Head Permeameter**

ตามรูปที่ 2.1 น้ำจะไหลจากด้านล่างของตัวอย่างขึ้นไปด้านบน เครื่องมือบางอย่างอาจจะให้น้ำไหลจากด้านบนของตัวอย่างลงมาด้านล่างก็ได้ แต่หลักการอื่นเหมือนกันหมด ทรายจะถูกใส่ไว้ทั้งด้านบน และด้านล่างของตัวอย่างเพื่อเป็นตัวกรอง (Filter) ช่วยป้องกันตัวอย่างดินไม่ให้ถูกชะล้างไหลออกไป

- **แบบความดันน้ำเปลี่ยน**

ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Variable Head หรือ Falling Head Permeameter ดังแสดงในรูป 2.2 วิธีนี้เหมาะสำหรับดินเม็ดละเอียด เนื่องจากดินเม็ดละเอียดยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้ยากและช้ากว่าดินเม็ดมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถวัดปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกมาได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม อย่างเช่น วิธีแรก




**รูปที่ 2.2 Falling Head Permeameter**

เมื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านดินตัวอย่าง ระดับน้ำในหลอดแก้ว (Stand pipe) จะลดลง โดยการอ่านระดับน้ำ $H_1$ และ $H_2$ ในช่วงเวลา t ก็จะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินได้ดังนี้

จากกฎของดาร์ซี่ $\quad Q = Aki$

$$-adH = \frac{Ak}{1} H\, dt$$

$$dt = -\frac{a1}{Ak} \cdot \frac{dH}{H}$$

อินทิเกรตจาก 0 ถึง t และจาก $H_1$ ถึง $H_2$ จะได้

$$-t = -\frac{al}{At} \log_e \frac{H_1}{H_2}$$

$$K = \frac{al}{At} \ln \frac{H_1}{H_2}$$

ควรจะอ่านค่าระดับน้ำ H 3 ค่า คือ $H_1$ , $H_2$ และ $H_3$ โดยช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดลงจาก $H_1$ มา $H_2$ เท่ากันกับช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดลงจาก $H_2$ มา $H_3$ จากสมการ ค่า k , a, A และ I คงที่ และ t ก็ถูกทำให้คงที่ด้วย ดังนั้น

$$\ln \frac{H_1}{H_2} = \ln \frac{H_2}{H_3}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{H_2}{H_3}$$

$$\therefore \quad H_2 = \sqrt{H_1 H_3}$$

ในการทำการทดสอบควรจะตรวจสอบสมการด้วย ทั้งนี้เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าสภาพการซึมผ่านของน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ บางครั้งค่าความซึมได้ของน้ำในดินเหนียวไม่อาจสามารถหาได้โดยตรงจากการทดสอบดังกล่าวแต่สามารถหาได้โดยทางอ้อมโดยการคำนวณจากผลการทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (Consolidation)

### ค. การทดสอบ Grain Size Analysis

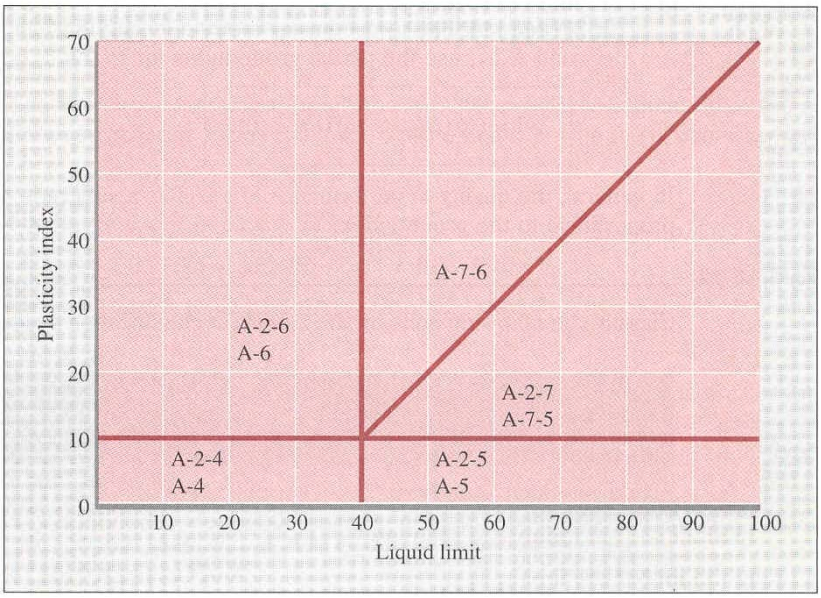
เพื่อการจำแนกประเภทของตะกอนดินจากกระบวนผลิตน้ำประปาที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ตามระเบียบวิธีของ AASHTO ( ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และในรูปที่ 2.3 ) และวิธีการจำแนกประเภทของดินโดย Unified Soil Classification (USC) ( ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ) แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

- การทดสอบ Sieve Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D422-63
- การทดสอบ Hydrometer Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D422-63

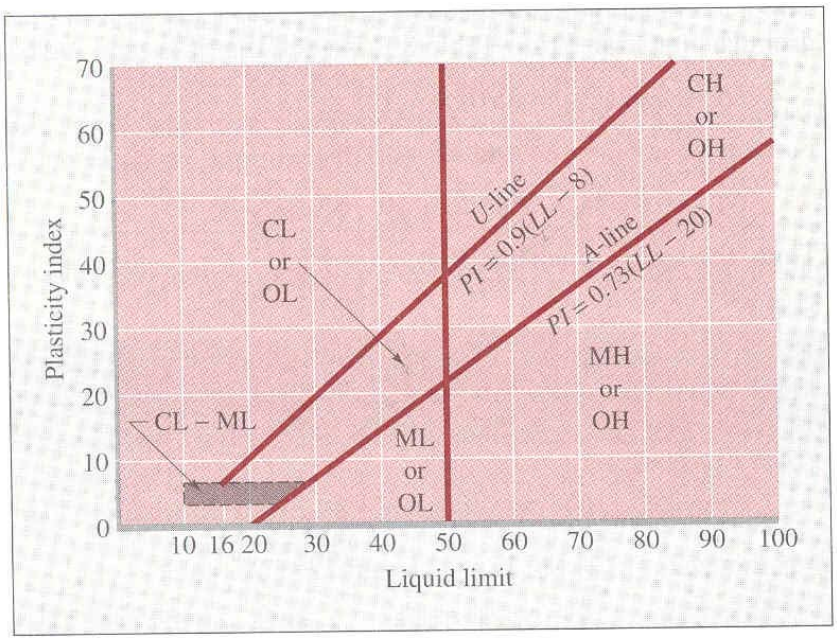
**ตารางที่ 2.4 AASHTO Soil Classification System**

| General classification | Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200) | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Group classification* | *A-4* | *A-5* | *A-6* | *A-7*<br>*A-7-5*[a]<br>*A-7-6*[b] |
| Sieve analysis (percentage passing)<br>No. 10<br>No. 40<br>No. 200 | 36 min. | 36 min. | 36 min. | 36 min. |
| Characteristics of fraction passing No. 40<br>Liquid limit<br>Plasticity index | 40 max.<br>10 max. | 41 min.<br>10 max. | 40 max.<br>11 min. | 41 min.<br>11 min. |
| Usual types of significant constituent materials | Silty soils | | Clayey soils | |
| General subgrade rating | Fair to poor | | | |

[a] For A-7-5, $PI \leq LL - 30$
[b] For A-7-6, $PI > LL - 30$




**รูปที่ 2.3 Charts for Use in AASHTO Soil Classification System**




**รูปที่ 2.4 Charts for Use in Unified Soil Classification System**

**ง. การทดสอบ Atterberg Limits** เพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนดิน และใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกประเภทของตะกอนดิน โดยมีการทดสอบ 3 ส่วนคือ

- การทดสอบหาขีดจำกัดความเหลว (Liquid Limit) ตามมาตรฐาน ASTM D4318-95
- การทดสอบหาขีดจำกัดความเหนียว (Plastic Limit) ตามมาตรฐาน ASTM D4318-95
- การทดสอบหาขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit) ตามมาตรฐาน ASTM D427-95

จ. **การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity)**ของดินตามมาตรฐาน ASTM D854-00

**ตารางที่ 2.5 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนดิน**

| **รายการผลการทดสอบ** | **ผลการทดสอบ** |
|---|---|
| 1. ความถ่วงจำเพาะ ( Specific Gravity , Gs ) | 2.65 |
| 2. ค่าขีดจำกัดความข้นเหลว ( Liquid Limit , LL ) | 77.96% |
| 3. ค่าขีดจำกัดพลาสติก ( Plastic Limit , PL ) | 50.76% |
| 4. ค่าขีดจำกัดการหดตัวของดิน ( Shrinkage Limit , SL ) | 11.15% |
| 5. ค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index , PI ) | 27.20% |
| 6. ประเภทของดินตะกอนตามวิธีของ AASHTO | A-7-5 ( 20 ) |
| 7. ประเภทของดินตะกอนตามวิธีของ USC | MH |
| 8. การกระจายตัวของเม็ดดิน | |
| - ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 | 100 |
| - ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 | 99.06 |
| - ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 | 97.08 |
| - ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 | 92.13 |
| - ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 | 88.26 |

## 2.2 ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

### - วัตถุดิบในการทดลอง

ตัวอย่างตะกอนดินจากระบบการประปาบางเขน ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม 2546 และน้ำสะอาดหรือน้ำประปาในการผสมตัวอย่าง



**รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ**

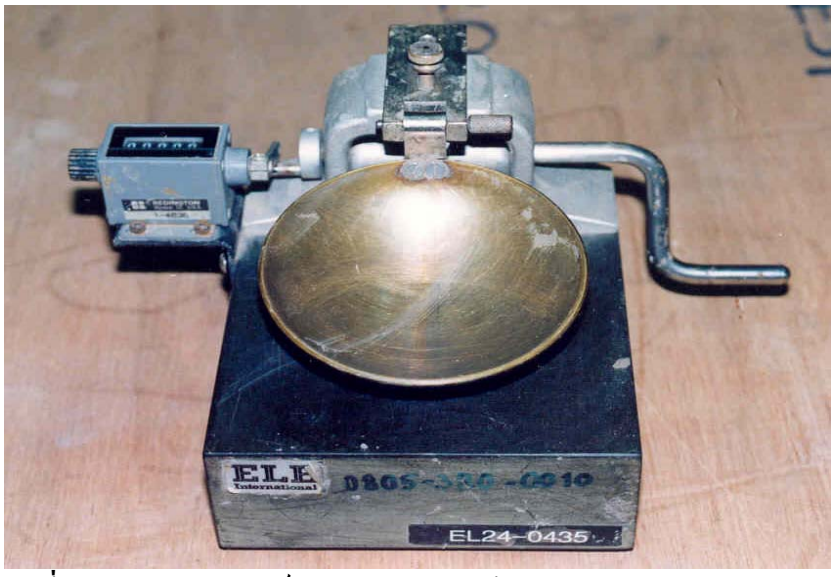
- **อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

1. ชุดตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 3/4 , 3/8, 4, 10, 16, 40, 100, 200




**รูปที่ 2.6 แสดงชุดตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ**

2. อุปกรณ์ทดสอบความเหนียวของดิน




**รูปที่ 2.7 แสดงอุปกรณ์ทดสอบความเหนียวของดิน**

3. อุปกรณ์ทดสอบไฮโดรมิเตอร์



**รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์ทดสอบไฮโดรมิเตอร์**

4. อุปกรณ์ทดสอบความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity)



**รูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์ทดสอบความถ่วงจำเพาะ**

5. อุปกรณ์บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction)

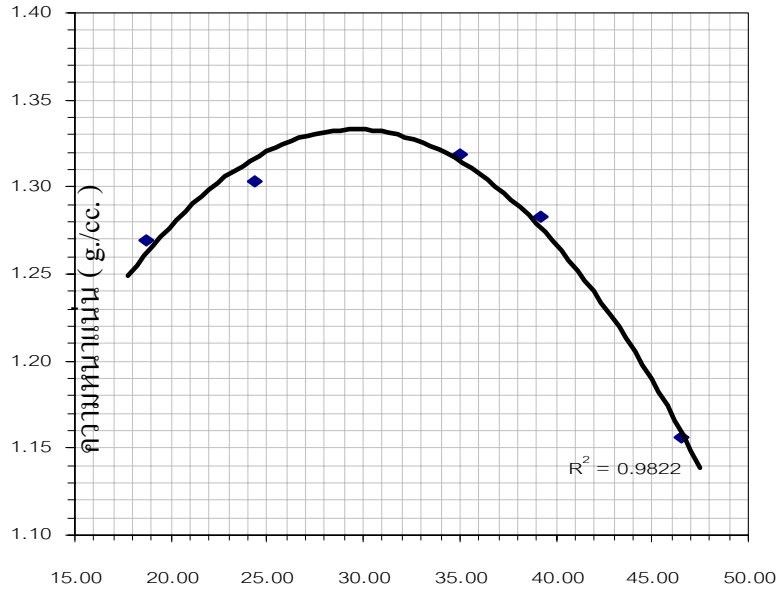


**รูปที่ 2.10 แสดงอุปกรณ์บดอัดดิน**

## ผลการทดลอง

### 2.2.1 ผลการทดสอบการบดอัด

จากการทดสอบการบดอัดตะกอนดินพบว่าปริมาณความชื้นจะมีผลต่อความหนาแน่นของตะกอนดิน โดยมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดอยู่ประมาณ 1.33 g/cc. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.11



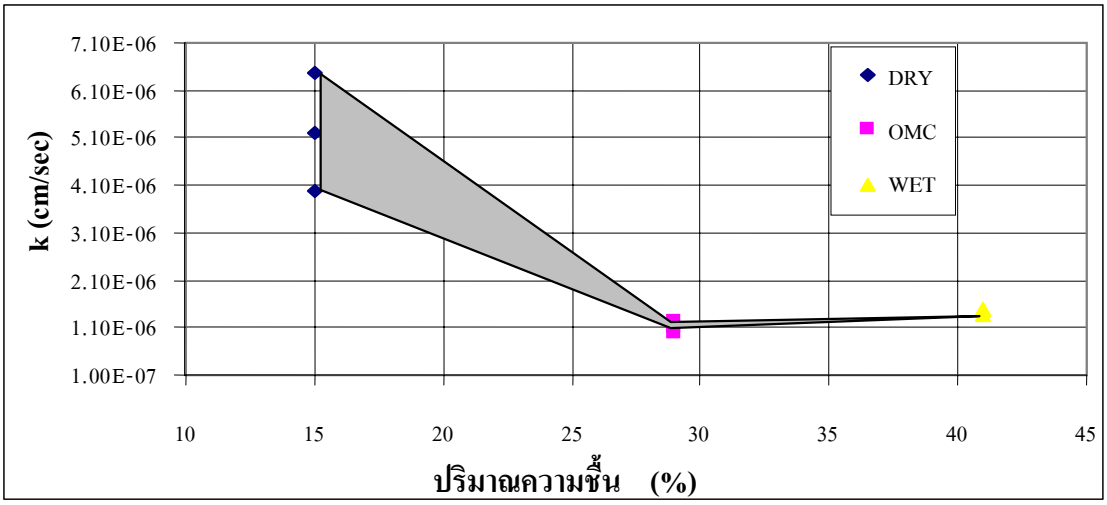

**รูปที่ 2.11 กราฟแสดง Compaction Curve**

ปริมาณความชื้น ( % )

จากรูปที่ 2.11 พบว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของตะกอนดิน(Optimum Moisture Content) มีค่าประมาณ 28.5% โดยค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 15% และปริมาณความชื้นสูงสุดอยู่ทีประมาณ 40%

### 2.2.2 ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่าน

ผลการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำ ผ่านตะกอนดินที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปา จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.12




**รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสามารถในการซึมผ่านกับปริมาณความชื้น**

จากรูปที่ 2.12 เราจะพบว่าที่ปริมาณความชื้น 15%, 29%, 41% จะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้เท่ากับ 5.21E-06 cm/sec , 1.11E-06 cm/sec และ 1.44E-06 cm/sec ตามลำดับจะสรุปได้ว่า เมื่อปริมาณความชื้นต่ำจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้มีค่าสูงและควบคุมได้ยาก แต่เมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้มีค่าน้อยลงซึ่งจะสังเกตได้จากแนวโน้มจากเส้นกราฟ ทั้งนี้จะเนื่องมาจากขนาดของเม็ดดิน รูปร่างและการจัดเรียงตัวของเม็ดดินที่จะมีผลทำให้มีค่าอัตราส่วนของช่องว่างในมวลดินเปลี่ยนแปลง รวมทั้งคุณสมบัติของขอเหลวในช่องว่าง และระดับความอิ่มตัวของดิน ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

จากค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่มีผลต่อการไหลของน้ำ ทำให้มีค่าแตกต่างกันสามารถปรับแก้ค่า k ที่ได้จากการทดลอง ควรเปรียบเทียบเป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส โดยค่าปรับแก้ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.811 ซึ่งจะนำไปคูณปรับแก้กับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.6

**ตารางที่ 2.6 ค่าความสามารถซึมผ่าน (k) ได้เมื่อปรับแก้**

| ปริมาณความชื้น | Dry Density | k , cm/sec | |
|---|---|---|---|
| % | g/cm3 | การทดสอบ | ปรับแก้ |
| 15.18 | 1.25 | 5.21E-06 | 4.23E-06 |
| 29.15 | 1.34 | 1.11E-06 | 9.04E-07 |
| 41.21 | 1.23 | 1.44E-06 | 1.17E-06 |

จากตารางที่ 2.6 ที่แสดงค่าปรับแก้ของค่าความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อปรับแก้แล้วจะได้ค่าความซึมน้ำที่ลดลง ใกล้เคียงกับค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดินเหนียวคือ 10E-07 cm/sec สังเกตจากค่าปรับแก้ของตะกอนดินที่มีปริมาณความชื้นที่ 29% มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ 9.04E-07 cm/sec ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 10E-07 cm/sec มากที่สุด หากว่ามีการผสมวัสดุที่ช่วยลดการซึมผ่านของน้ำอื่น ๆ อาจจะทำให้ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของน้ำต่ำลงกว่านี้

## 2.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

**ตารางที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดิน**

| ต.ย. | ผลการทดสอบคิดเป็นร้อยละ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | MnO |
| A1 | 47.77 | 0.74 | 28.94 | 6.11 | 0.52 | 1.23 | 0.19 | 0.14 | 0.12 | 0.06 |
| A2 | 41.78 | 0.76 | 37.45 | 7.38 | 1.16 | 4.06 | 0.14 | 1.34 | - | - |
| A3 | 52.62 | 0.81 | 24.40 | 5.90 | 0.79 | 0.44 | 0.24 | 1.61 | - | 0.10 |

หมายเหตุ A1 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปาธนบุรี (2/3/2545)
A2 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ (14/11/2544)
A3 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปาบางเขน (4/11/2546)

จากตาราง 2.7 พบว่าตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาในแต่ละแหล่งผลิตจะมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันเล็กน้อยตามกระบวนการผลิตที่ต่างกัน โดยพบว่า $SiO_2$ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 40-50 , $Fe_2O_3$ ร้อยละ 5-7 เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินเหนียวที่สามารถนำมาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ และจากการศึกษาคุณสมบัติในด้านอื่น ๆเช่น ค่าดัชนีพลาสติก ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าขีดจำกัดการหดตัวของดิน เป็นต้น จะสามารถนำไปใช้กับงานทางด้านอุตสาหกรรมพื้นฐานต่อเนื่องต่อไปได้ ซึ่งทางคณะจัดทำรายงานจะศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

# บทที่ 3
# การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

## 3.1 ภาพรวมอุตสาหกรรมเซรามิก

อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมที่นำวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนเปลือกโลกมาผ่านกระบวนการปั้นขึ้นรูป และผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิก

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีผลิตภัณฑ์มากมายหลายชนิด เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานของอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาห-กรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมซีเมนต์ ตลอดจนอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์เซรามิกได้แก่

- ผลิตภัณฑ์หม้อดินหุงต้มและหม้อใส่น้ำไม่เคลือบ
- กระถางปลูกต้นไม้และกล้วยไม้
- อิฐก่อสร้าง
- กระเบื้องปูพื้น
- โอ่งดินไม่เคลือบ
- โอ่งและไหไม่เคลือบ
- ท่อดินเผาเคลือบและไม่เคลือบ
- เครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบไฟต่ำ
- กระเบื้องเคลือบห้องน้ำ
- กระเบื้องโมเสกเคลือบและไม่เคลือบ
- เครื่องสุขภัณฑ์
- เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องประดับ
- วัตถุทนไฟ

อุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศเกือบทั้งหมดเป็น Traditional Ceramics ดังนั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกในภาพรวมที่จะนำเสนอต่อจากนี้จะมีอยู่ 5 ประเภทด้วยกัน คือ

1. เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เป็นอุตสาหกรรมที่เน้นแรงงาน และความสามารถในการออกแบบครองตลาดทั้งในและต่างประเทศ ทำรายได้สูงสุดจากการส่งออก
2. ของประดับและของชำร่วย เป็นผลิตภัณฑ์ที่เน้นการออกแบบเป็นสำคัญ ใช้แรงงานมาก
3. สุขภัณฑ์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สินค้าทุน และเทคโนโลยีการผลิตสูง โรงงานส่วนใหญ่ได้มาตรฐาน

4. กระเบื้องปูพื้น บุผนัง และโมเสค เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สินค้าทุนและเทคโนโลยีการผลิตสูง ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดใหญ่ ขยายกำลังการผลิตได้ตลอดเวลา

5. ลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตสูง

## วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่สำคัญในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้งานได้ ดังนี้

1. วัตถุดิบสำหรับเนื้อผลิตภัณฑ์ ได้แก่

1.1 ดินขาว

1.2 ดินดำ

1.3 ดินเหนียว

2. วัตถุดิบกลุ่มตัวหลอมในเนื้อดิน

2.1 เฟลด์สปาร์

2.2 หินปูน

2.3 โดโลไมต์

2.4 ทัลค์

3. ตัวทนไฟในเนื้อดิน

3.1 ซิลิกา

3.2 อะลูมินา

3.3 ไพโรฟิลไลต์

วัตถุดิบหลักภายในประเทศที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่

1. ดินขาว ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดิน และน้ำยาเคลือบ

2. ดินดำ ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดิน เพื่อเพิ่มความเหนียวของผลิตภัณฑ์

3. เฟลด์สปาร์ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาเคลือบช่วยลดอุณหภูมิการสุกตัวของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความมันวาว

4. ควอตซ์/ทรายแก้ว ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและน้ำยาเคลือบ

**ตารางที่ 3.1 ปริมาณการใช้วัตถุดิบในเนื้อผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ**

| เนื้อผลิตภัณฑ์ | ปริมาณการใช้วัตถุดิบ (ร้อยละ) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ดินดำ | ดินขาว | เฟลด์สปาร์ | ควอตซ์/ซิลิกา |
| เนื้อดินเอิร์ทแวร์ | 20 | 25 | 15 | 35 |
| เนื้อดินสโตนแวร์ | 10-40 | 30-60 | 5-18 | 5-15 |
| เนื้อดินปอร์ซเลน | 5 | 40-60 | 16-27 | 19-34 |

## 3.2 ดินในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

ดินโดยทั่วไปจะหมายถึงวัตถุที่มีลักษณะเนื้อละเอียด มีขนาดเล็กกว่า 0.002มิลลิเมตร (2 ไมครอน) ประกอบด้วย แร่และอินทรีย์สาร หลายชนิด เช่น แร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ แคลไซต์ โดโลไมต์ ซีโอไลต์ เป็นต้น

ดินที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา (Ceramic) จำแนกตามลักษณะของดินที่นำมาใช้ประโยชน์ เช่น ดินขาว บอลเคลย์ ดินทนไฟ และดินเหนียว โดยนำดินเหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาชนิดต่าง ๆ

แร่ดิน (Clay minerals) เป็นกลุ่มแร่ที่มีองค์ประกอบของอนุมูล ไฮดรัส อะลูมินัมซิลิเกต โดยอนุมูลของแมกนีเซียม หรือเหล็กแทนที่อนุมูลของอะลูมิเนียมได้ มีอนุมูลของ Ca ,K ,Na และตัวอื่นปะปนอยู่ด้วย องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเนื่องจากโครงสร้างสามารถถูกแทนที่ด้วยอนุมูลของธาตุอื่นหรือองค์ประกอบของน้ำ แร่ดินมีโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดจากการรวมตัวกับของโครงสร้างอะตอม 2 รูปแบบ คือ อะลูมินา-แมกมีเซีย ออกตะฮีดรอน และซิลิกา เทตราอีตรอน โดยอะตอมของอนุมูลนี้ จะจับตัวเป็นโครงสร้างแบบแผ่น (Sheet structure) ในกลุ่มฟิลโลซิลิเกต หรือจับตัวกันแบบลูกโซ่ ในแร่แอตตาปุลไกด์ก็ได้

### การจำแนกดินในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

**1. ดินขาว** โดยทั่วไปจะเข้าใจว่าเป็นดิน Kaolin แต่ในที่นี้รวมถึงดินที่มีสีขาว เช่นดินขาวเคโอลีน ดินขาวอิลไลต์ และรวมถึงดินขาวที่ได้จากแร่ชนิดอื่น ๆ โดยดินขาวเหล่านี้จะต่างกันตรงส่วนประกอบของโครงสร้างของผลึกแร่ ลักษณะทางกายภาพของแร่ ดินขาวจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของเนื้อดินปั้น ว่ามีคุณภาพอย่างไร ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญคือ

- ขนาด (Particle size) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากอันหนึ่ง เพราะว่ามันเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Plasticity) ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Dry strength) ความสามารถแลกเปลี่ยนอนุมูลและการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) กล่าวโดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียว และการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

- รูปร่าง (Particle shape) แร่ kaolinite อนุภาคมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยมมีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.05 ไมครอน

- คุณสมบัติเมื่อแห้ง (Drying properties) การหดตัวเมื่อแห้งของแร่ดินล้วน ๆจะไม่สำคัญ เพราะว่าเนื้อดินปั้นมักประกอบด้วยแร่หลายอย่าง แต่อาจกล่าวได้กว้างๆ ว่าดินที่ละเอียดกว่ามีการหดตัวมากกว่าดินหยาบเมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

- ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Green strength) คุณสมบัตินี้สำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อนำแร่ดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นซึ่งไม่มีดินเหนียวผสมอยู่เลย เพราะว่าดินขาวเท่านั้นที่จะเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรงมากน้อยเพียงไร ดินละเอียดหรือดินที่มีมอนต์มอริลโลไนต์จะให้ความแข็งแรงมากที่สุด

- คุณสมบัติหลังจากเผา (firing properties) แร่ดินขาวมีการหดตัวมากหลังการเผา ไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวมีการหดตัวมากหลังการเผา ไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวเมื่อเผาแล้วจะหดตัวประมาณ ร้อยละ 20 เกรดในทางการค้าของดินขาวที่บริสุทธ์ที่สุดมีส่วนประกอบเกือบใกล้เคียงกัน

**2. ดินบอสเคลย์ Ball clay หรือ Plastic Clay** เป็นดินละเอียดสีดำอาจให้คำจำกัดความว่าหมายถึง ดินที่มีสีขาว ขาวคล้ำจนถึงตำสนิทที่มีเม็ดละเอียด มีอินทรีย์สารเจือปน ความเหนียวดี ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์ก่อนเผาดีกว่าดินขาว มีช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสภาพของเนื้อดินไปเป็นเนื้อแก้วค่อนข้างกว้าง หลังเผาจะมีสีขาวหรือสีจาง และมีความหดตัวสูง ประโยชน์ของในการปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากการเผาแล้วให้ดีขึ้น ดินบอลเคลย์แตกต่างจากดินขาวเคโอลีน ที่ลักษณะสี แหล่งสะสมตัว การเกิดสะสมตัวโดยการตกตะกอนในสภาวะทีมีอินทรีย์สารอยู่มาก มักสะสมตัวในที่ลุ่มชื้น และบางครั้งพบชั้นถ่านหินร่วม สมบัติทางกายภาพของดินบอลเคลย์ประกอบด้วย

- ความเหนียวมีมากกว่าดินขาว เมื่อผสมไปในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปดีขึ้น

- การหดตัวเมื่อแห้ง มีการหดตัวมากน้อยแตกต่างไปตามชนิดของดินบอลเคลย์ เช่น ดินบอลเคลย์ ทีมี $SiO_2$ สูงแทบไม่มีการหดตัวเลย มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณร้อยละ 15

- ความแข็งแรงก่อนเผา ดินบอลเคลย์ที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

- คุณสมบัติหลังเผา สมบัติหลังเผาดินบอลเคลย์ล้วนๆ คุณสมบัติการเผาไม่ค่อยสำคัญนัก แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมีผลกระทบกระเทือนเมื่อผสมดินบอลเคลย์ไปในเนื้อดินปั้น เมื่อมี Mica ผสมจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่น และเนียนมากขึ้น

**3. ดินเหนียว** ดินเหนียวเป็นดินธรรมชาติที่สะสมตัวตามที่ราบลุ่มแม่น้ำทั่วไป เป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา อิฐ โอ่ง ไห ของไทยมาแต่โบราณ ดินเหนียวประกอบด้วย แร่ quartz ,kaolinite , illite , montmorillonite , calcito , mica , เหล็ก และอินทรีย์สารเป็นจำนวนมาก โดยแหล่งดินเหนียวที่ใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา จะมีองค์ประกอบของดินผสมในอัตราส่วนที่พอเหมาะ สามารถนำไปทำการขึ้นรูปเป็นภาชนะต่าง ๆได้ดี เมื่อเผาจะได้ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาสีแดง (Terra cotta) แหล่งดินเหนียวจะพบทั่วไปทุกภาคที่สำคัญมี แหล่งดินราชบุรี อ่างทอง อยุธยา ปากเกร็ด สามโคก ปทุมธานี นครปฐม ด่านเกวียน นครราชสีมา บ้านเชียง นครศรีธรรมราช ฯลฯ ผลจากการตรวจวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบของดินเหนียวมี $SiO_2$ ประมาณร้อยละ 60, $Al_2O_3$ประมาณร้อยละ 16-20 ที่เหลือเป็นแร่อื่น ๆ โดยทั่วไปคุณสมบัติของดินเหนียวแต่ละแหล่งจะแตกต่างกันไป ดินเหนียวชนิดดีเมื่อเผาแล้วจะมีความพรุนตัวน้อย ความแข็งแรงของของผลิตภัณฑ์หลังเผาดี การหดตัว ขยายตัว และการแตกร้าวหลังการเผาต่ำ อย่างไรก็ตามในแหล่งดินบางแหล่งที่ผลิตภัณฑ์หลังเผามีรูพรุนมาก จะเป็นประโยชน์ในการทำกระถางปลูกต้นไม้ได้ดี

## 3.3 กรณีศึกษาการดูงานอุตสาหกรรมเซรามิกในเขตภาคเหนือ

จากการสำรวจและดูงานกลุ่มอุตสาหกรรมเซรามิกเครื่องปั้นดินเผาในภาคเหนือ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตส่วนใหญ่ประกอบด้วย แจกัน คนโทน้ำ หม้อดิน รูปปั้น อ่างบัว กระถางต้นไม้ เป็นต้น สำหรับวัตถุดิบได้นำมาจากแหล่งที่ทำการผลิตของผู้ประกอบการ และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่นำมาใช้ประโยชน์ เช่น ดินท้องนา และทรายแม่น้ำ มาใช้ในงานทางด้านเซรามิกพื้นบ้าน ส่วนใหญ่จะจัดตั้งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา มีสมาชิกประมาณ 10-20 คน ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะรวมทุนกันจัดตั้งเป็นกองทุนของกลุ่มสมาชิก เครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตขึ้นมานี้ได้รับการถ่ายทอดสืบต่อกันมา และได้รับการพัฒนาจากหน่วยงานราชการต่าง ๆ เช่น กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีรูปร่างที่สมมาตรมากขึ้น มีความสวยงาม และสามารถนำไปใช้ได้หลายแนวทาง เช่น ของประดับตกแต่ง เครื่องใช้ทั่วไป เป็นต้น การผลิตเครื่องปั้นดินเผานอกจากจะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบในท้องถิ่นได้มากแล้วยังสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชน และพัฒนาเป็นแหล่งจำหน่ายผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพื้นบ้านสำหรับท้องถิ่นนั้น ๆได้ โดยมีขั้นตอนในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาดังนี้

- นำดินจากแหล่งวัตถุดิบมาหมักผสมกับน้ำทิ้งไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 1 วัน
- นำมาผสมกับทราย หรือวัตถุดิบส่วนผสมอื่นประมาณร้อยละ 5-10
- นำมานวดผสมด้วยเครื่องนวดผสมดินเพื่อให้ดินเข้ากันได้ดี
- นำมาขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน และใช้ไม้ทุบ ตกแต่งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- ทิ้งไว้ให้แห้งหรือจะนำมาตากแดดเพื่อให้แห้งเร็วขึ้น
- นำมาเผาในเตาโดยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง
- ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิในเตาเย็นแล้วนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตา ตกแต่งเพื่อรอจำหน่ายต่อไป

**ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดินจากผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผา**

| ต.ย. | ผลการทดสอบคิดเป็นร้อยละ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | MnO |
| A1 | 57.93 | 0.68 | 17.69 | 12.51 | 0.22 | 0.37 | <0.10 | 1.30 | 0.20 |
| A2 | 68.17 | 0.65 | 17.34 | 4.35 | <0.10 | 0.42 | 0.20 | 1.07 | <0.05 |
| A3 | 60.35 | 0.58 | 21.73 | 4.50 | 0.31 | 0.45 | <0.10 | 2.22 | 0.06 |
| A4 | 66.13 | 0.57 | 16.95 | 3.95 | <0.10 | 1.84 | <0.10 | 1.44 | <0.05 |
| A5 | 48.43 | 0.68 | 20.74 | 4.45 | 0.43 | 0.54 | <0.10 | 2.03 | 0.10 |
| A6 | 55.65 | 0.85 | 23.75 | 5.80 | 0.59 | 0.47 | <0.10 | 2.43 | 0.13 |
| A7 | 55.53 | 0.77 | 24.44 | 5.30 | 0.42 | 0.37 | <0.10 | 2.26 | 0.09 |
| A8 | 58.86 | 0.45 | 25.80 | 1.09 | <0.10 | 0.12 | <0.10 | 1.84 | <0.05 |
| A9 | 56.12 | 0.97 | 23.92 | 4.39 | 0.51 | 0.26 | <0.10 | 3.35 | 0.09 |

หมายเหตุ :
- A1–A4 เป็นดินจาก คลองสระบัว จ.อยุธยา
- A5–A6 เป็นดินจาก อ.สารภี จ.เชียงใหม่
- A7 เป็นดินจาก แหล่งบ้านสร้าง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่
- A8 เป็นดินจาก หนองป่าสร้าง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่
- A9 เป็นดินจาก บ้านสันทราย อ.ไชยปราการ จ.เชียงใหม่

**ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน**

| ต.ย. | ผลการทดสอบคิดเป็นร้อยละ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | MnO |
| B1 | 52.62 | 0.81 | 24.40 | 5.90 | 0.79 | 0.44 | 0.24 | 1.61 | 0.10 |
| B2 | 61.56 | 0.94 | 20.25 | 4.73 | 0.83 | 0.50 | 0.33 | 1.63 | 0.05 |
| B3 | 58.49 | 0.94 | 21.28 | 5.82 | 0.82 | 0.51 | 0.29 | 1.67 | 0.05 |

หมายเหตุ : วิเคราะห์โดย กองวิเคราะห์ และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี
วันที่ 4 พฤศจิกายน 2546 จำนวน 3 ตัวอย่าง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 สามารถนำมาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี พบว่า ตะกอนดินน้ำประปามีปริมาณ $SiO_2$ ร้อยละ 50-60, $Al_2O_3$ ร้อยละ 20-25 $Fe_2O_3$ ร้อยละ 4-5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดินจากผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาต่างๆ โดยเฉพาะดินจาก อ.แม่ริม และอ.ไชยปราการ จ.เชียงใหม่ ซึ่งดินแหล่งนั้นมีคุณสมบัติการขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียว มีปริมาณเหล็กออกไซด์น้อย จึงไม่แตกง่าย ดังนั้นในเบื้องต้นจึงสามารถนำตะกอนดินจากน้ำประปาไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้

## 3.4 การทดลองนำตะกอนดินไปใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา ณ.โรงงานศิลาดลจำกัด จ.กาญจนบุรี

โรงงานศิลาดล จำกัด มีการทำเครื่องปั้นดินเผาและเครื่องเคลือบซึ่งใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น กระเบื้องเคลือบ ถ้วย ชาม โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้

1. ทำ Mold ต้นแบบตามลูกค้าสั่งและหล่อแบบที่ต้องการด้วยปูนปลาสเตอร์
2. นำวัตถุดิบ(ดิน)ทำความสะอ่าด นำไปโม่หรือบดให้เล็กลงจนละเอียด แล้วนำดินผสมกับน้ำแล้วปั่นให้เข้ากันเรียกว่าน้ำดิน มีลักษณะเป็นโคลน(Mixing)ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 ชั่วโมง
3. นำไปขึ้นรูปด้วยการหล่อ(Casting), งานปั๊มขึ้นรูป(Jiggering) และการขึ้นรูปด้วยมือ
4. นำไปผึ่งลมให้แห้ง 1 วัน เก็บรอยตะเข็บให้สวยงาม และขัดด้วยกระดาษทรายให้เรียบ
5. นำเข้าเตาเผาดิบ ซึ่งมีจำนวน 4 เตา โดยใช้อุณหภูมิ 750 เซลเซียส
6. นำไปชุบเคลือบ ให้ขึ้นเงา (Coating)

7. นำไปเข้าเตาเผาครั้งที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิ 1,200 เซลเซียส ขึ้นไป
8. จะได้ชิ้นงานสำเร็จรูป นำมาตรวจสอบคุณภาพ และเตรียมส่งขายต่อไป

**หมายเหตุ :** ในกระบวนการขึ้นรูปจะมีการผสมน้ำยาช่วยในงานหล่อ (น้ำยาโซเดียม) เพื่อทำให้น้ำดินไหลเร็ว และไม่ให้เกิดการตกตะกอน (อัตราส่วนน้ำดิน 100 ลิตร/2-3 หยด) สำหรับดินจะนำมาปั้นแล้วทิ้งไว้ 1 คืน ซึ่งถ้าหมักไว้จะทำให้เหนียวและขึ้นรูปดี

**การทดลอง :** ทางบริษัทได้นำดินซึ่งซื้อมาจากบริษัท คอมพาวเคลย์ ตันละ 5,000 บาท ซึ่งมี 2 ชนิด คือ PBA ดูดอากาศ และ PBA แผ่น ผสมเข้ากับตะกอนดินจากประปา ซึ่งได้ผสมตามสูตรต่าง ๆ พบว่าสามารถขึ้นรูปเซรามิกได้ในระดับหนึ่งแต่ยังไม่สมบูรณ์มากนัก

## 3.5 การทดลองนำตะกอนดินไปใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา ณ.เกาะเกร็ด จ.นนทบุรี

ปัจจุบันชุมชนเกาะเกร็ดมีแหล่งการทำผลิตภัณฑ์เซรามิกเครื่องปั้นดินเผาและเครื่องเคลือบซึ่งสามารถทำรายได้ให้กับชุมชนได้เป็นอย่างดี โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้

1. นำดิน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นดินจากสามโคก จ.ปทุมธานีมาย่อยให้ละเอียดลงและหมักดินเพื่อให้ดินเหนียวขึ้น สามารถปั้นได้ง่าย โดยหมักประมาณสองอาทิตย์เพื่อให้สารต่าง ๆ เช่น รากหญ้าสลายตัวในดินด้วย
2. นำดินที่ได้ไปผ่านเครื่องนวดดินเพื่ออัดดิน โดยถ้าเป็นงานละเอียดจะผ่านเครื่องถึงสามครั้ง
3. นำดินมาพอเหมาะผสมน้ำ ให้ได้ตามสัดส่วนตามต้องการ แล้วนำไปผ่านเครื่องปั่นตีดินให้ละเอียด ให้ดินมีความเหนียวสามารถนำไปใช้ได้
4. นำดินไปเทใส่แบบแล้วลองทดสอบลงแบบตามแต่ละรูปทรง ความหนากำหนดได้ตามความต้องการ ใช้ความชำนาญในการกดดินจะยุบลงในแบบ แม่พิมพ์จะดูดความชื้นจากดิน และติดกับแม่พิมพ์ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีสำหรับชิ้นเล็ก และ 1.30 ชั่วโมง สำหรับชิ้นใหญ่ ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นถอดออกจากแบบได้ จากนั้นนำไปตกแต่งและเช็ดให้แห้ง
5. นำไปเข้าเตาเผา ประมาณ 12-13 ชั่วโมง อุณหภูมิเตาเผา 900 เซลเซียส

สำหรับดินที่จะนำมาทำเครื่องปั้นดินเผานั้นจะขึ้นอยู่กับสี และความหดตัวของดิน สำหรับสีนั้นจะขึ้นอยู่กับฟืนที่ใช้ด้วย โดยพบว่าที่นี้ใช้ฟืนเป็นทางมะพร้าวทำให้สีของผลิตภัณฑ์จะเป็นสีแดงส้ม ซึ่งจะเข้มชัดกว่าการอบในเตาไฟฟ้า

สำหรับดินที่นำมาเป็นวัตถุดิบนั้นพบว่าดิน 3 ตัน ราคาประมาณ 9,000 บาท และค่าใช้-จ่ายในการทำเครื่องปั้นดินเผานี้จะเสียค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เป็นค่าวัตถุดิบ คือ ดิน และฟืน

**จากการทดลองนำตะกอนดินจากการประปามาขึ้นรูปพบว่า** ทางผู้ประกอบการได้นำดินผสมกับทรายซึ่งแบ่งเป็น 2 สูตร คือ

1. ใช้ทรายร้อยละ 20 พบว่าการปั้นขึ้นรูปจะมีการหดตัวสูง แตกง่าย ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยว ไม่เป็นรูปทรง

2. ใช้ทรายร้อยละ 30 พบว่า สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี เป็นรูปทรงที่สวยงาม ไม่แตกง่าย แต่จะต้องหมักดินให้นาน ๆประมาณ 2 วัน ซึ่งจะทำให้ดินมีความเหนียวขึ้น สามารถนำไปปั้นขึ้นรูปได้ง่าย

สรุปผลจากการทดลองพบว่า ตะกอนดินจากน้ำประปาสามารถปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก และขนาดกลาง โดยจะต้องมีการนำดินมากำจัดรากไม้ และล้างให้สะอาดก่อน จากนั้นจะต้องหมักใช้เวลาที่เหมาะสม แล้วนำมาผสมกับทรายตามเปอร์เซ็นต์ที่พอเหมาะ สำหรับในการเผาจะใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง อุณหภูมิประมาณ 800- 950 เซลเซียส ซึ่งจะสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ดีในระดับหนึ่ง

# บทที่ 4
# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาพบว่า จะมีค่าขีดจำกัดความข้นเหลว (Liquid Limit) ร้อยละ 77.96 , ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) ร้อยละ 50.76 , ค่าขีดจำกัดการหดตัวของดิน (Shrinkage Limit) ร้อยละ 11.15 , ค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ร้อยละ 27.20 และค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.33 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2. จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและความชื้น พบว่า เมื่อปริมาณความชื้นต่ำจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าสูง และถ้าปริมาณความชื้นสูงขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลง เนื่องจากน้ำช่วยให้เม็ดดินยึดเหนี่ยวกันได้แน่นขึ้น จะทำให้ช่องว่างในมวลดินน้อยเป็นผลให้การซึมผ่านของน้ำทำได้ไม่ดีนัก และพบว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 29 ซึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับดินเหนียวที่สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมเซรามิก เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง ได้ดี เพราะน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้มาก ส่วนภาชนะบางอย่าง เช่น บรรจุภัณฑ์ถนอมอาหาร (ภาชนะเซรามิกแข่เย็น) อาจจะต้องใช้ตะกอนดินที่มีปริมาณความชื้นต่ำเพื่อให้การซึมผ่านของน้ำมากขึ้นทำให้ภาชนะสามารถมีการถ่ายเทความร้อน เพิ่มความเย็นจนสามารถกักเก็บความเย็นได้

3. จากการศึกษาผลการทดลองเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี ระหว่างตะกอนดินจากน้ำประปากับดินจากผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาในเขตภาคกลาง/ภาคเหนือ พบว่าตะกอนดินจากน้ำประปามีคุณสมบัติทั่วไปใกล้เคียงกับดินจากผู้ประกอบการดังกล่าว โดยจากการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณ $Fe_2O_3$ อยู่ในช่วงร้อยละ 4-5 รวมทั้งมีปริมาณ $SiO_2$ และ $Al_2O_3$ ที่เหมาะสม จึงทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินเหนียวสีแดง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมเซรามิก

4. จากการทดลองนำตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกต่างๆ เช่น ถ้วย ชาม เครื่องประดับ จะต้องมีการผสมกับทรายตามสัดส่วนที่พอเหมาะ โดยถ้าใช้ทรายในปริมาณร้อยละ 30 สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี เป็นรูปทรงที่สวยงาม ไม่แตกง่าย แต่จะต้องใช้ระยะเวลาในการหมักดินให้นานขึ้น จึงจะสามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย

5. จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิกได้ รวมทั้งเป็นการลดของเสียทั้งจากภาคอุตสาหกรรมที่ถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนและนำกลับมาใช้ต่อในภาคอุตสาหกรรมจากวัตถุดิบธรรมชาติอย่างครบวงจร และอย่างยั่งยืน

6. จากการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนที่ต่างกัน ก็จะทำให้องค์ประกอบของตะกอนดินมีความแปรเปลี่ยน ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น หากในอนาคตมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนดินทิ้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมพื้นฐาน ควรมีการเลือกเก็บตัวอย่างตะกอนดินในช่วงระยะเวลาเดียวกัน โดยอาจจัดแบ่งช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างตามฤดูกาล เพื่อสามารถนำผลการทดลองมาศึกษาให้ได้ละเอียดยิ่งขึ้น

7. สำหรับการนำไปใช้ในทางเซรามิกนั้น ในเบื้องต้นสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบได้ในระดับหนึ่ง โดยทางคณะผู้ศึกษาโครงการ “การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนดินทิ้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมพื้นฐาน” จะทำการศึกษาเพิ่มเติมที่จะนำผลการศึกษาดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆต่อไป เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง (เช่น อิฐ ปูนซีเมนต์) อุตสาหกรรมทางการเกษตร (เช่น ปุ๋ย โดโลไมต์) เป็นต้น รวมทั้งจะพัฒนาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าและนวัตกรรมต่อไปในอนาคต

# เอกสารอ้างอิง


กฤษดา นุ่มนวล, 2540, การใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

เกษม เพชรเกตุ, 2522, การทดลองกลศาสตร์ของดิน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จิตรกร วงศ์กรชวลิต, 2544, คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการผลิตน้ำประปาและการนำไปใช้งานเป็นวัสดุปอซโซแลนในงานวัสดุคอนกรีต, วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรม-ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ชาญ จรรยาวนิชย์, 2543, วัตถุดิบเซรามิกสำหรับรัฐวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, เอกสารประกอบประชุมสัมมนา “เซรามิกและเถ้าของไทย วัตถุดิบและแนวทางการพัฒนา” หอประชุมกรมทรัพยากรธรณี.

มงคล อินทปัญญ์, 2544, ความสามารถในการซึมผ่านของดินลูกรังผสมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ในห้องปฏิบัติการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด และคณะ, สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545, ร่างแผนแม่บทอุตสาหกรรมเซรามิก เสนอ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน, 2543, เอกสารเรื่องการกำจัดตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนในปัจจุบัน, โรงผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวง.

สมเกียรติ รอดดียิ่ง, การพัฒนาคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปา, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

อภิรัฐ ธีรภาพวิเศษพงษ์ และชาญ จรรยาวนิชย์, 2545, การใช้ waste เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิก, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรุงเทพฯ.

Metropolitan Waterworks Authority, “Bangkhen Water Treatment Plant”, 400 Prachachuen, Laksi, Bangkok 10210.

ASTM D422-63.,1997, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soil, Volume 04.08.

ASTM D427-95.,1997, Test Method for Shrinkage Factor of Soil by the Mercury Method, Volume 04.08.

ASTM D4318-95.,1997, Standard Test Method for Liquid Limit , Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, Volume 04.08.

ASTM D854-00.,1998, Test Method Specifie Gravity of Soils, Volume 04.08.