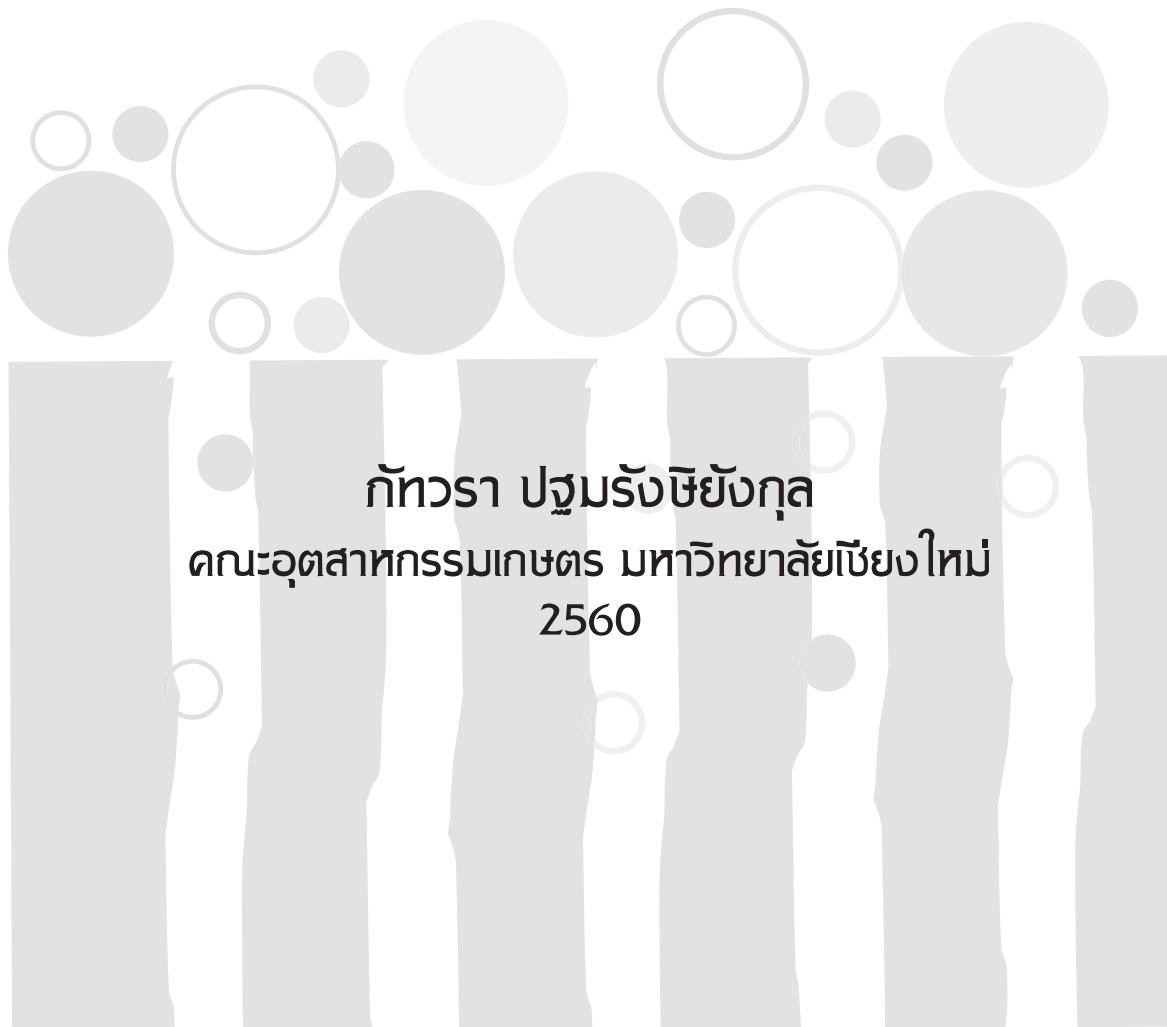




# การกรอง

## ในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร

### Filtration in Food Process Engineering



กัทวรา ปฐมรังษิยังกุล  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
2560



# การกรองในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร

บรรณาธิการ: สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา  
ISBN: 978-616-398-159-2  
ผู้แต่ง: ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล  
เจ้าของและผู้จัดพิมพ์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
โทรศัพท์: 0 5394 3603-4  
โทรสาร: 0 5394 3600  
<http://cmupress.cmu.ac.th>, E-mail: [cmupress.th@gmail.com](mailto:cmupress.th@gmail.com)  
พิมพ์ครั้งแรก: เมษายน 2560  
ราคา: 320 บาท

## ข้อมูลทางบรรณานุกรม:

ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล

การกรองในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร.-- พิมพ์ครั้งที่ 1.-- เชียงใหม่  
: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์บริหารงานวิจัย  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560.

100 หน้า

1. อาหาร--การแปรรูป. I. ชื่อเรื่อง

664.024

ISBN 978-616-398-159-2

ออกแบบและพิมพ์: บริษัท โลกสีขาว (ประเทศไทย) จำกัด

© สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามลอกเลียนแบบ ทำซ้ำ ดัดแปลง ส่วนหนึ่งส่วนใดของตำราเล่มนี้ รวมทั้งการจัดเก็บ  
ถ่ายทอดไม่ว่ารูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ การถ่ายภาพ การบันทึกหรือวิธีการอื่นใด  
โดยไม่ได้รับอนุญาต

กรณีต้องการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก กรุณาติดต่อ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์: 0 5394 3605 โทรสาร: 0 5394 3600

<http://cmupress.cmu.ac.th>, E-mail: [cmupress.th@gmail.com](mailto:cmupress.th@gmail.com)



# คำนิยม

กระผมได้มีโอกาสอ่านต้นฉบับของหนังสือ เรื่องการกรองในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร ซึ่งเป็นหนังสือที่ให้รายละเอียดสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกรองไว้อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นบทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการกรอง รายละเอียดของเครื่องกรองชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนรายละเอียดวิธีการคำนวณเพื่อให้ได้ผล ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบ และการใช้งานเครื่องกรองชนิดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยเหตุนี้กระผมจึงรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้ทราบว่าสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้จัดการพิมพ์หนังสือเล่มนี้ออกมาเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านในวงกว้าง หนังสือเล่มนี้นับเป็นหนังสือเล่มแรกๆ ที่รวบรวมข้อมูลที่สำคัญในแง่มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกรองไว้เป็นภาษาไทย ซึ่งจะช่วยให้ผู้อ่านจับประเด็นต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วว่าการอ่านหนังสือภาษาต่างประเทศเป็นอย่างมาก

กระผมจึงมั่นใจว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านที่กำลังศึกษาหรือปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการกรอง ตลอดจนผู้ที่มีความสนใจในกระบวนการที่สำคัญยิ่งนี้โดยทั่วไป และหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะ เป็นบันไดขั้นแรกในการประยุกต์ใช้และพัฒนาระบบการกรองให้ดียิ่งๆ ขึ้นไปในอุตสาหกรรมอาหาร (และอุตสาหกรรมอื่นๆ) ของประเทศ

ศ.ดร.สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา





# คำนำ

ในกระบวนการผลิตอาหารประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ ไวน์ เบียร์ และน้ำเต้าหู้ ตลอดจนอาหารแข็งบางชนิด เช่น ช็อกโกแลต และน้ำตาลทราย ต้องมีการกรองเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิต การกรองจึงนับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ และเป็นหัวข้อหลักหัวข้อหนึ่งในการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมกระบวนการอาหาร และวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ด้วยเหตุดังกล่าวผู้เขียนจึงได้เรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ขึ้นเพื่อให้นักศึกษาในสองสาขาวิชานี้ได้ใช้ประกอบการศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการกรอง โดยเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับกระบวนการกรองเพื่อแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว ชนิดของเครื่องกรอง สมการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกรองประเภทต่างๆ การคำนวณสมมูลมวลในการกรอง รวมทั้งยกตัวอย่างการคำนวณด้านวิศวกรรมกระบวนการอาหารที่เกี่ยวข้องกับการกรอง เช่น การคำนวณเวลาในการกรอง ความดันลดในเครื่องกรอง และพื้นที่ของเครื่องกรองที่ต้องใช้ในการกรอง เป็นต้น ทั้งนี้ในส่วนของ การคำนวณ นักศึกษาควรมีพื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ของไหลและกฎการอนุรักษ์มวลมาก่อน

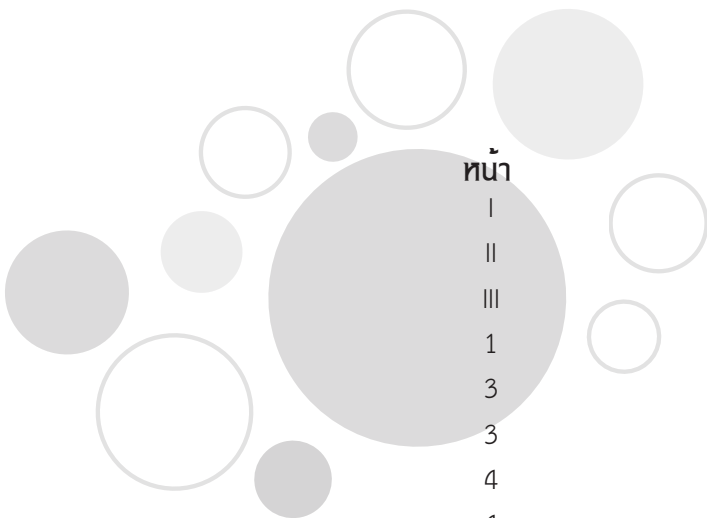
ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าความรู้ในหนังสือเล่มนี้จะเป็นพื้นฐานให้นักศึกษาสามารถเลือกใช้เครื่องกรองและกำหนดสภาวะการทำงานของกระบวนการกรองในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างถูกต้องต่อไป

ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล  
เมษายน พ.ศ. 2560



# สารบัญ

คำนิยาม	หน้า
คำนำ	I
สารบัญ	II
บทนำ	III
1. การกรอง	1
1.1 กลไกการกรอง	3
1.2 ตัวกลางกรอง	3
1.3 สารช่วยกรอง	4
1.4 ตัวอย่างการใช้เครื่องกรองในอุตสาหกรรมอาหาร	4
2. เครื่องกรอง	6
2.1 เครื่องกรองด้วยความดันแบบกะ	7
2.1.1 เครื่องกรองแบบกด	7
2.1.2 เครื่องกรองแบบเปลือกและใบ	11
2.2 เครื่องกรองแบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง	13
2.2.1 เครื่องกรองแบบสุญญากาศแบบหมุน	13
2.2.2 เครื่องกรองแบบสายพานแนวนอน	14
2.3 เครื่องกรองแบบสุญญากาศแบบกะ	15
3. การคำนวณเกี่ยวกับการกรอง	17
3.1 ความดันลดทั้งหมดคร่อมเครื่องกรอง	17
3.2 สมการของ Kozeny-Carman	19
3.3 ความดันลดคร่อมก้อนของแข็ง	23
3.4 ความดันลดคร่อมตัวกลางกรอง	27
3.5 สมการพื้นฐานในการคำนวณเรื่องการกรอง	28
3.6 สมการของการกรองที่ความดันคงที่	29
3.6.1 สมการความต้านทานของก้อนของแข็งที่ได้จากการทดลอง	30
3.6.2 สมการของการกรองแบบต่อเนื่อง	51
3.7 สมการของการกรองที่อัตราการกรองคงที่	58
4. สมดุลมวลในการกรอง	67
4.1 สมการสมดุลมวล	67
4.2 วิธีการทำสมดุลมวลในการกรอง	70
5. แบบฝึกหัด	83
บรรณานุกรม	87
ดัชนี	89
สัญลักษณ์	91
ค่าคงที่การเปลี่ยนหน่วย	93







**การกรอง (Filtration)** คือ การแยกอนุภาคของแข็งที่ผสมหรือปนอยู่ในของไหลให้ออกจากของไหลด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางกล โดยนำส่วนผสมมากรองผ่าน**ตัวกลางกรอง (Filtering medium)** ที่มีรูพรุน ตัวกลางกรองจะกักอนุภาคไว้ ส่วนของไหลจะไหลผ่านตัวกลางกรองออกไปได้ ทั้งนี้ของไหลอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สก็ได้ สำหรับในกระบวนการผลิตอาหารจะทำการกรองเพื่อแยกของเหลวกับอนุภาคของแข็งออกจากกัน โดยเป็นวิธีการแยกด้วยวิธีทางกลซึ่งใช้พลังงานน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีการแยกที่ใช้ความร้อนหรืออุณหภูมิสูง เช่น การระเหย และการทำแห้ง

ในอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องกรองกันอย่างแพร่หลายเพื่อแยกอนุภาคที่ผสมหรือปนอยู่ในของไหล ทั้งในกลุ่มที่มีขนาดเล็กมาก (ในช่วงไมโครเมตร) และขนาดใหญ่ ของแข็งบางชนิดมีความแข็งมาก ในขณะที่บางชนิดอาจมีลักษณะนิ่ม นอกจากนั้นยังมีความหลากหลายในแง่ของรูปร่าง โดยอาจมีทั้งอนุภาคทรงกลม หรือทรงเหลี่ยมอื่น ๆ หรืออาจมีรูปร่างไม่แน่นอน ของแข็งบางชนิดอยู่เป็นอิสระไม่ติดกัน แต่บางชนิดก็อยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน

ในกรณีของอุตสาหกรรมอาหาร มีการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองในหลากหลายกิจกรรม เช่น การกรองน้ำผลไม้ให้ใส การกรองน้ำตาล การกรองไวน์ และการกรองน้ำเต้าหู้ ทั้งนี้อาจมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกอนุภาคของแข็งหรือของเหลวไปใช้ประโยชน์หรือนำไปเพิ่มมูลค่าต่อไป หรืออาจเป็นการกรองเพื่อประโยชน์ในแง่ของการกำจัดของเสียหรือรักษาภาวะแวดล้อมของกระบวนการ เช่น การกรองเพื่อแยกของเสียที่เป็นของแข็งและของเหลวจากน้ำเสียก่อนนำไปบำบัด ในการกรองบางครั้งอาจต้องการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวอย่างสมบูรณ์ แต่ในบางครั้งอาจต้องการแยกอนุภาคของแข็งออกเพียงบางส่วนก็ได้

ส่วนผสมที่นำมากรองอาจมีปริมาณของแข็งผสมอยู่น้อยมากหรือสูงมากก็ได้ หากส่วนผสมที่นำมากรองมีความเข้มข้นต่ำอาจต้องนำส่วนผสมที่ต้องการกรองไปผ่านกระบวนการบางอย่างก่อนเพื่อให้การกรองเกิดขึ้นได้เร็วมากยิ่งขึ้น เช่น นำไปผ่านการให้ความร้อน นำไปตกผลึก หรือเติมสารช่วยกรอง เช่น เซลลูโลส (Cellulose) หรือไดอะโตมาเซียสเอิร์ท (Diatomaceous earth) เป็นต้น

ในตอนท้ายของการกรองแยกของแข็งกับของเหลว ช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคในของแข็งที่กรองได้อาจมีสารละลายของตัวถูกละลายอยู่ หากต้องการกำจัดตัวถูกละลายออกมาทำได้โดยการปล่อยน้ำสะอาดหรือสารละลายที่เหมาะสมเข้าไปล้างตัวถูกละลายออกมา



ผลต่างของความดันทำให้ของเหลวสามารถไหลไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งและผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองจนไหลออกไปจากเครื่องกรองได้ ของแข็งและตัวกลางกรองจะต้านทานการไหลสามารถหาความต้านทานของของแข็งและตัวกลางกรองได้จากหลักการคำนวณทางวิศวกรรมกระบวนการอาหาร สมการของการกรองแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือสมการของการกรองเมื่อผลต่างของความดันในการกรองคงที่ และสมการของการกรองที่อัตราการใช้ของเหลวคงที่ โดยสมการจะอยู่ในรูปของตัวแปรที่วัดได้ หากทราบสมการของการกรองในเครื่องกรองขนาดเล็กหรือการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์แก่การทำนายสมรรถนะของเครื่องกรองขนาดใหญ่บนพื้นฐานของข้อมูลจากการทดลองในระดับปฏิบัติการได้

การกรองมีมวลสารเข้าและออกจากเครื่องกรอง การทำสมดุลมวลของการกรองทำให้ทราบมวลของสารที่เข้าและออกจากเครื่องกรองได้ทุกตัว และยังใช้หาความเข้มข้นของสารได้ สมดุลมวลเป็นพื้นฐานที่ต้องใช้ในการควบคุมกระบวนการแปรรูปอาหาร การควบคุมร้อยละผลผลิต และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในกระบวนการกรองควรมีการทำสมดุลมวลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของมวลสารที่เข้าและออกจากเครื่องกรองเสมอ





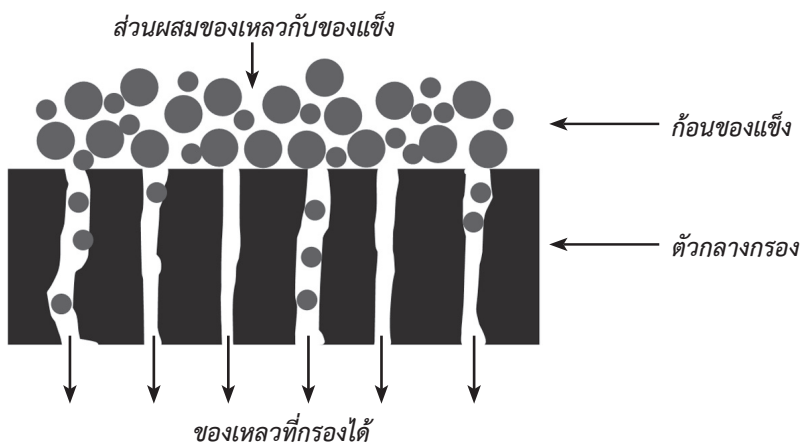


# การกรอง

## 1.1 กลไกการกรอง

กลไกการกรองอาจแสดงได้ดังรูปที่ 1 ส่วนผสมที่นำมากรองเรียกว่า **ส่วนผสมของเหลวกับของแข็ง (Slurry)** เมื่อนำมากรองผ่านตัวกลางกรอง ในตอนเริ่มต้นของการกรองของเหลวจะไหลผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองไปได้ และอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวกลางกรองจะสามารถผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวกลางกรอง และอาจติดอยู่ในตัวกลางกรองได้ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของตัวกลางกรองจะเริ่มก่อตัวที่ผิวของตัวกลางกรองเป็นชั้นหนาขึ้นเรื่อยๆ เรียกว่าเป็น **ก้อนของแข็ง (Cake)** ดังนั้นตัวกลางกรองจะทำหน้าที่กรองเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการกรองเท่านั้น เพราะหลังจากผ่านจุดเริ่มต้นของการกรองไปแล้วก้อนของแข็งที่ก่อตัวนี้จะทำหน้าที่กรองแทนตัวกลางกรอง ส่วนของเหลวจะไหลไปตามช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคของแข็งจนไปที่ตัวกลางกรอง และไหลผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองออกไป ได้เป็น **ของเหลวที่กรองได้ (Filtrate)** เมื่อก้อนของแข็งที่ผิวของตัวกลางกรองมีความหนาตามที่ต้องการก็จะถูกกำจัดออกไปจากตัวกลางกรอง

การกรองต้องการแรงขับเคลื่อนสูงเพื่อให้ของเหลวไหลผ่านตัวกลางกรองได้ ดังนั้นจึงต้องมีความแตกต่างของความดันระหว่างสองด้านของตัวกลางกรอง ความแตกต่างของความดันอาจเกิดจาก ความดันของด้านที่จะเข้าตัวกลางกรองมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศส่วนด้านที่ออกจากเครื่องกรองเป็นความดันบรรยากาศปกติ หรือความดันของด้านที่จะเข้าตัวกลางกรองเท่ากับความดันบรรยากาศในขณะที่ความดันของด้านที่ออกจากตัวกลางกรองเป็นสุญญากาศ



รูปที่ 1 กลไกการกรอง



## 1.2 ตัวกลางกรอง

ตัวกลางกรอง คือ วัสดุที่มีรูพรุนซึ่งทำหน้าที่กักอนุภาคของแข็งในขณะที่ปล่อยให้ของเหลวไหลผ่านไป ตัวกลางกรองที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าใบ ผ้าลินิน ผ้าลินินผสมฝ้าย ผ้าป่านผสมฝ้าย ผ้ากระสอบบอกระเจา ผ้าดิบ การทอผ้าเหล่านี้มีรูปแบบการทออยู่หลายแบบ และเนื้อผ้าก็มีน้ำหนักแตกต่างกัน สำหรับการกรองของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อนควรใช้ตัวกลางกรองที่ทนทาน การกักกร่อน เช่น ตัวกลางกรองที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ผ้าแก้ว หรือกระดาด นอกจากนี้ยังอาจใช้ตัวกลางกรองที่ทำด้วยเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน พอลิโพรไพลีน และพอลิเอสเตอร์ ซึ่งทนต่อสารเคมีได้ดีมาก และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน (Hugot, 1972 และ McCabe et al., 2005)

การกรองแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันให้ได้ดีตามที่ต้องการ จำเป็นต้องเลือกใช้ตัวกลางกรองที่เหมาะสม ทั้งนี้ลักษณะที่ดีของตัวกลางกรองสำหรับเครื่องกรองทุกชนิดต้องเป็นดังนี้

1. มีสภาพดี ไม่อุดตัน ไม่หดตัว
2. สามารถทำการกรองให้ได้อนุภาคของแข็งและของเหลวใสมตามที่ต้องการ
3. ทนทานต่อสารเคมี เช่น กรดหรือด่างที่อาจมีอยู่ในส่วนผสมของเหลวกับของแข็งที่นำมากรอง เช่น ในโรงงานผลิตน้ำตาลจะทำการกรองน้ำอ้อยที่ถูกปรับให้มีพีเอชในช่วง 8 – 8.5 เพราะช่วยให้ทำการกรองง่ายขึ้น (Hugot, 1972)
4. มีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทานต่อสภาวะการกรองต่างๆ ได้ เช่น การกรองที่ความดันสูง การกรองที่อุณหภูมิสูง ตัวอย่างเช่น ในโรงงานผลิตน้ำตาล ส่วนผสมที่นำมากรองมีอุณหภูมิสูงถึง 80 – 85°C (Hugot, 1972)
5. มีส่วนช่วยให้ได้ของแข็งที่สะอาดและการกรองเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
6. ราคาไม่ควรแพงจนเกินไป

## 1.3 สารช่วยกรอง

ในการกรองอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก นิ่ม หรือเป็นเมือก การกรองอาจจะไม่มีประสิทธิภาพ เพราะอนุภาคของแข็งอาจโดนแรงดันจนสามารถผ่านตัวกลางกรองออกไปพร้อมกับของเหลวจึงทำให้ของเหลวที่กรองได้ไม่ใส (รูปที่ 2 (ก)) หรืออนุภาคของแข็งอาจก่อดูดตันตัวกลางกรองได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ของเหลวไหลได้ช้ามาก จึงมีการคิดค้นเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพของการกรองโดยใช้สารช่วยกรอง ได้แก่ ดินเบาหรือไดอะโตมาเซียสเอิร์ท และเพอร์ไลท์ (Perlite) สารช่วยกรองที่ดีต้องไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนผสมที่นำมากรอง เป็นของแข็งขนาดเล็กที่มีความแข็งแรงทนต่อแรงดันสูงได้ มีรูพรุน และไม่เกาะติดกัน การผสมสารช่วยกรองลงในส่วนผสมของเหลวกับของแข็งในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วนำส่วนผสมนี้มากรองของแข็งที่กรองได้จะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งมากขึ้นหรือเรียกว่ามีรูพรุนในก้อนของแข็งที่กรองได้มากขึ้น (รูปที่ 2 (ข)) เพราะอนุภาคของสารช่วยกรองซึ่งแข็งแรงทนต่อแรงดันได้กระจายอยู่ระหว่างอนุภาคของแข็ง จึงทำให้ก้อนของแข็งที่กรองได้ไม่ยุบตัวมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรองที่ไม่ใช้สารช่วยกรองของเหลวจึงไหลผ่านระหว่างอนุภาคของแข็งได้ง่ายขึ้น และลดโอกาสที่อนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะถูกดันผ่านตัวกลางกรองออกไปทำให้กรองได้ของเหลวที่ใส โดยทั่วไปนิยมเติมสารช่วยกรองในกรณีที่ไม่ต้องการของแข็งแต่ต้องการกรองให้ได้ของเหลวที่ใส น้ำหนักปกติของสารช่วยกรองที่จะผสมในส่วนผสมของเหลวกับของแข็งจะเท่ากับน้ำหนักของของแข็งที่มีในส่วนผสมของเหลวกับของแข็ง หลังจากทำการกรองเสร็จสิ้นแล้วถ้าไม่ต้องการอนุภาคของแข็งที่ผสมกับสารช่วยกรองก็ทิ้งของแข็งที่กรองได้นั้นไปเลย แต่หากต้องการแยกสารช่วยกรองออกจากของแข็ง อาจเติมตัวทำละลายในก้อนของแข็งเพื่อละลายของแข็งออก