การกรอง

ในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร

Filtration in Food Process Engineering

024
1ก
0

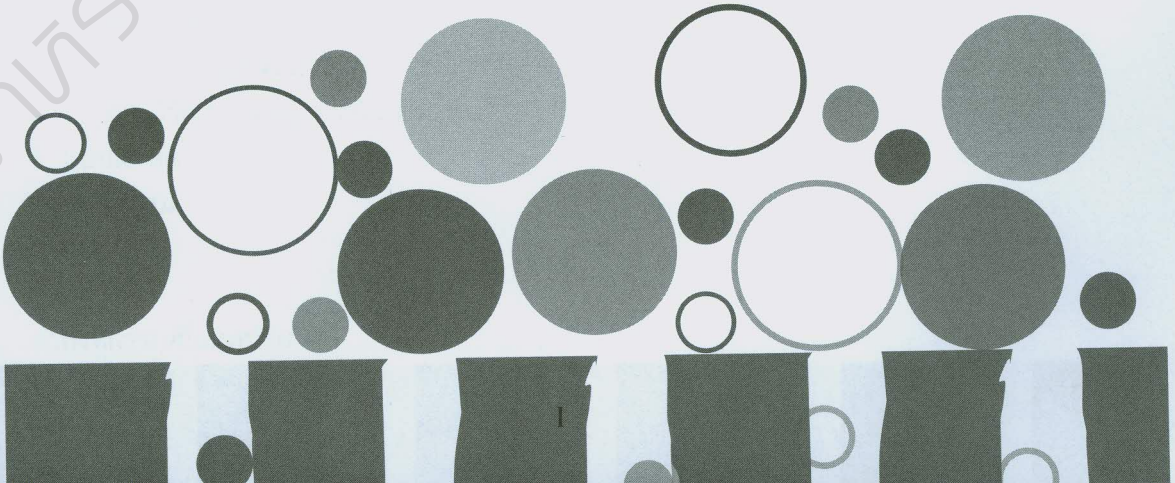
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนค
ห้องสมุดสาขาโชติเวช
201020917

คำนิยม

กระผมได้มีโอกาสอ่านต้นฉบับของหนังสือ เรื่องการกรองในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร ซึ่งเป็นหนังสือที่ให้รายละเอียดสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกรองไว้อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการกรอง รายละเอียดของเครื่องกรองชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนรายละเอียดวิธีการคำนวณเพื่อให้ได้ผล ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบ และการใช้งานเครื่องกรองชนิดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยเหตุนี้กระผมจึงรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้ทราบว่าสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้จัดการพิมพ์หนังสือเล่มนี้ออกมาเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านในวงกว้าง หนังสือเล่มนี้นับเป็นหนังสือเล่มแรกๆ ที่รวบรวมข้อมูลที่สำคัญในแง่มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกรองไว้เป็นภาษาไทย ซึ่งจะช่วยให้ผู้อ่านจับประเด็นต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วกว่าการอ่านหนังสือภาษาต่างประเทศเป็นอย่างมาก

กระผมจึงมั่นใจว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านที่กำลังศึกษาหรือปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการกรอง ตลอดจนผู้ที่มีความสนใจในกระบวนการที่สำคัญยิ่งนี้โดยทั่วไป และหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นบันไดขั้นแรกในการประยุกต์ใช้และพัฒนากระบวนการกรองให้ดียิ่งๆ ขึ้นไปในอุตสาหกรรมอาหาร (และอุตสาหกรรมอื่นๆ) ของประเทศ

ศ.ดร.สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา



สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

คำนำ

ในกระบวนการผลิตอาหารประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ ไวน์ เบียร์ และน้ำเต้าหู้ ตลอดจนอาหารแข็งบางชนิด เช่น ช็อกโกแลต และน้ำตาลทราย ต้องมีการกรองเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิต การกรองจึงนับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ และเป็นหัวข้อหลักหัวข้อหนึ่งในการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมกระบวนการอาหาร และวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ด้วยเหตุดังกล่าวผู้เขียนจึงได้เรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ขึ้นเพื่อให้นักศึกษาในสองสาขาวิชานี้ได้ใช้ประกอบการศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการกรอง โดยเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับกระบวนการกรองเพื่อแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว ชนิดของเครื่องกรอง สมการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกรองประเภทต่างๆ การคำนวณสมดุลมวลในการกรอง รวมทั้งยกตัวอย่างการคำนวณด้านวิศวกรรมกระบวนการอาหารที่เกี่ยวกับการกรอง เช่น การคำนวณเวลาในการกรอง ความดันลดในเครื่องกรอง และพื้นที่ของเครื่องกรองที่ต้องใช้ในการกรอง เป็นต้น ทั้งนี้ในส่วนของการคำนวณ นักศึกษาควรต้องมีพื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ของไหลและกฎการอนุรักษ์มวลมาก่อน

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าความรู้ในหนังสือเล่มนี้จะเป็นพื้นฐานให้แก่นักศึกษาสามารถเลือกใช้เครื่องกรองและกำหนดสภาวะการทำงานของกระบวนการกรองในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างถูกต้องต่อไป

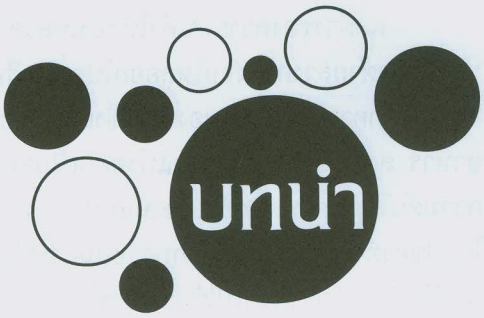
ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล
เมษายน พ.ศ. 2560

ตำราสำหรับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามจำหน่าย

สารบัญ

	หน้า
คำนิยม	I
คำนำ	II
สารบัญ	III
บทนำ	1
1. การกรอง	3
1.1 กลไกการกรอง	3
1.2 ตัวกลางกรอง	4
1.3 สารช่วยกรอง	4
1.4 ตัวอย่างการใช้เครื่องกรองในอุตสาหกรรมอาหาร	6
2. เครื่องกรอง	7
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

สำหรับการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น



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

ในอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องกรองกันอย่างแพร่หลายเพื่อแยกอนุภาคที่ผสมหรือปนอยู่ในของไหลทั้งในกลุ่มที่มีขนาดเล็กมาก (ในช่วงไมโครเมตร) และขนาดใหญ่ ของแข็งบางชนิดมีความแข็งมาก ในขณะที่บางชนิดอาจมีลักษณะนิ่ม นอกจากนั้นยังมีความหลากหลายในแง่ของรูปร่าง โดยอาจมีทั้งอนุภาคทรงกลม หรือทรงเลขาคณิตอื่นๆ หรืออาจมีรูปร่างไม่แน่นอน ของแข็งบางชนิดอยู่เป็นอิสระไม่ติดกัน แต่บางชนิดก็อยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน

ในกรณีของอุตสาหกรรมอาหาร มีการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองในหลากหลายกิจกรรม เช่น การกรองน้ำผลไม้ให้ใส การกรองน้ำดื่ม การกรองไวน์ และการกรองน้ำเต้าหู้ ทั้งนี้อาจมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกอนุภาคของแข็งหรือของเหลวไปใช้ประโยชน์หรือนำไปเพิ่มมูลค่าต่อไป หรืออาจเป็นการกรองเพื่อประโยชน์ในแง่ของการกำจัดของเสียหรือรักษาสภาวะแวดล้อมของกระบวนการ เช่น การกรองเพื่อแยกของเสียที่เป็นของแข็งและของเหลวจากน้ำเสียก่อนนำไปบำบัด ในการกรองบางครั้งอาจต้องการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวอย่างสมบูรณ์ แต่ในบางครั้งอาจต้องการแยกอนุภาคของแข็งออกเพียงบางส่วนก็ได้

ส่วนผสมที่นำมากรองอาจมีปริมาณของแข็งผสมอยู่น้อยมากหรือสูงมากก็ได้ หากส่วนผสมที่นำมากรองมีความเข้มข้นต่ำอาจต้องนำส่วนผสมที่ต้องการกรองไปผ่านกระบวนการบางอย่างก่อนเพื่อทำให้การกรองเกิดขึ้นได้เร็วมากยิ่งขึ้น เช่น นำไปผ่านการให้ความร้อน นำไปตกผลึก หรือเติมสารช่วยกรอง เช่น **เซลลูโลส (Cellulose)** หรือ**ไดอะโตมาเชียสเอิร์ท (Diatomaceous earth)** เป็นต้น

ในตอนท้ายของการกรองแยกของแข็งกับของเหลว ช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคในของแข็งที่กรองได้อาจมีสารละลายของตัวถูกละลายอยู่ หากต้องการกำจัดตัวถูกละลายออกมาทำได้โดยการปล่อยน้ำสะอาดหรือสารละลายที่เหมาะสมเข้าไปล้างตัวถูกละลายออกมา

ผลต่างของความดันทำให้ของเหลวสามารถไหลไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งและผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองจนไหลออกไปจากเครื่องกรองได้ ของแข็งและตัวกลางกรองจะต้านทานการไหล สามารถหาความต้านทานของของแข็งและตัวกลางกรองได้จากหลักการคำนวณทางวิศวกรรมกระบวนการอาหาร สมการของการกรองแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือสมการของการกรองเมื่อผลต่างของความดันในการกรองคงที่ และสมการของการกรองที่อัตราการไหลของของเหลวคงที่ โดยสมการจะอยู่ในรูปของตัวแปรที่วัดได้ หากทราบสมการของการกรองในเครื่องกรองขนาดเล็กหรือการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์แก่การทำนายสมรรถนะของเครื่องกรองขนาดใหญ่บนพื้นฐานของข้อมูลจากการทดลองในระดับปฏิบัติการได้

การกรองมีมวลสารเข้าและออกจากเครื่องกรอง การทำสมดุลมวลของการกรองทำให้ทราบมวลของสารที่เข้าและออกจากเครื่องกรองได้ทุกตัว และยังใช้หาความเข้มข้นของสารได้ สมดุลมวลเป็นพื้นฐานที่ต้องใช้ในการควบคุมกระบวนการแปรรูปอาหาร การควบคุมร้อยละผลผลิต และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในกระบวนการกรองควรมีการทำสมดุลมวลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของมวลสารที่เข้าและออกจากเครื่องกรองเสมอ

สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

ดัชนี

ก

กลไกการกรอง 3
ก้อนของแข็ง 3-4, 17-18, 23-30, 35, 41-43, 48-53, 55, 58-59, 62, 65, 68, 70-79, 82-84
การกรองคือ 37, 55, 57
การกรองที่ความดันคงที่ 17, 27-30, 37-38, 42, 44, 47-48, 53, 56, 74-75, 83
การกรองที่อัตราการกรองคงที่ 17, 27, 57-58, 61-62,
การเคลือบผิวก่อน 5

ข

ของแข็งที่อัดได้ 26, 29
ของแข็งที่อัดไม่ได้ 24-25, 29
ของเหลวที่กรองได้ 3-6, 8-13, 15, 17-18, 23, 28, 30, 33, 38, 43-45, 48-53, 55-58, 61, 65, 68, 70-73, 77, 82-84

ค

ความดันลดคร่อมก้อนของแข็ง 18, 23
ความดันลดคร่อมตัวกลางกรอง 18, 26
ความดันลดทั้งหมด 18, 49
ความต้านทานของตัวกลางกรอง 17, 26, 30, 48, 55, 83
ความต้านทานจำเพาะของก้อนของแข็ง 25, 55, 75,83
ความเป็นทรงกลม 19-20, 23
ความเป็นรูพรุน 20, 25-26, 48
เครื่องกรองแบบกด 7, 9, 11
เครื่องกรองแบบช่อง 6-8
เครื่องกรองแบบเปลือกและใบ 6-7, 11-12, 61, 66
เครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบ 6, 8-10, 47, 81, 83
เครื่องกรองแบบสายพานแนวนอน 14-15
เครื่องกรองแบบสุญญากาศแบบหมุน 6, 13-14, 50, 52-53, 55-56, 65-66, 83
เครื่องกรองแบบสุญญากาศแบบกะ 15, 48

ต

ตัวกลางกรอง 1, 3-5, 7-8, 10-11, 13-15, 17, 26-27, 48, 50, 52, 55, 65, 83
ตัวอย่างการใช้เครื่องกรอง 6

ท

ทิศทางการไหล 8, 10, 18

บ

เบด 19-23, 26

ป

ปริมาตรของของเหลว 19, 28, 30, 53
ปริมาตรของอนุภาค 19-21

พ

พื้นที่ทั้งหมดของเครื่องกรอง 51, 53, 55, 57
พื้นที่ในการกรอง 17, 24, 30, 48, 55, 57
พื้นที่ผิวของอนุภาค 19, 21

ล

ล้างของแข็ง 9, 13, 15, 17

ว
เวลาในการกรอง 17-18, 23, 25-26, 30, 38, 46-48, 50, 55, 74, 82

ส
สมการความต้านทานของก้อนของแข็ง 29-30, 38, 41-43
สมดุลมวล 65, 67, 69, 71, 73-74,
ส่วนผสมของเหลวกับของแข็ง 3-5, 8-9, 11-15, 18, 24, 26, 30, 50-51, 53, 55, 65, 74, 76-77, 82-84
สัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง 29, 35, 82
สารช่วยกรอง 1, 4-5, 11, 68-74
สุญญากาศ 6, 12-15, 37, 48, 50, 52-53, 55-56, 65-66, 68, 83

สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

สัญลักษณ์

A	*พื้นที่ในการกรองที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล*
A_T	พื้นที่ทั้งหมดของเครื่องกรอง
c	มวลของอนุภาคทั้งหมดในก้อนของแข็งต่อปริมาตรของของเหลวที่กรองได้
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ
D_{eq}	เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของช่องทางการไหลในเบด
D_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับอนุภาค
dL	ความหนาของชั้นบางๆ ของก้อนของแข็ง
dm	มวลของของแข็งที่อยู่ในก้อนของแข็งความหนา dL
f	สัดส่วนของพื้นที่ผิวทรงกระบอกที่จุ่มอยู่ในส่วนผสมของเหลวกับของแข็ง
g_c	ค่าคงที่การเปลี่ยนหน่วย
K_c	ค่าคงที่ของการกรองที่ความดันคงที่ กำหนดความหมายไว้ในสมการ (46)
K_r	ค่าคงที่ของการกรองที่อัตราการกรองคงที่ กำหนดความหมายไว้ในสมการ (72)
k_1	ค่าคงที่ในสมการ (29)
k_2	ค่าคงที่ในสมการ (35)
L	ความยาวของช่องทางการไหลในเบด
L_c	ความหนาของก้อนของแข็งจากตัวกลางกรองที่เวลา t
L_M	ระยะระหว่างตัวกลางกรองกับชั้นบางๆ ของก้อนของแข็งที่มีความหนา dL
l	ความยาวของท่อตรง
m_c	มวลของอนุภาคของแข็งทั้งหมดในก้อนของแข็งที่เวลาในการกรอง t
m_m	มวลของตัวกลางกรอง
m_1	มวลที่เข้าสู่ระบบ
m_2	มวลที่ออกจากระบบ
$\dot{m}_c$	อัตราการเกิดมวลของแข็งในก้อนของแข็ง
N	ความเร็วในการหมุนของเครื่องกรอง
n	จำนวนช่องทางการไหลที่ขนานกันในเบด
P	ความดันของของไหลที่จุด dL
P_a	ความดันก่อนเข้าเครื่องกรอง

สำหรับเผยแพร่การศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

P_b ความดันขาออกจากเครื่องกรอง

P' ความดันที่ขอบเขตระหว่างก้อนของแข็งและตัวกลางกรอง

q_0 อัตราการไหลโดยปริมาตรที่ตอนเริ่มต้นการกรอง

R_m ความต้านทานของตัวกลางกรอง

S_0 พื้นที่หน้าตัดของเบด

s สัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง

s_p พื้นที่ผิวของอนุภาค

t เวลาในการกรอง

t_c เวลาที่เครื่องกรองหมุน 1 รอบ

u ความเร็วเชิงเส้นของของเหลวที่กรองได้ มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่การกรอง

V ปริมาตรสะสมของของเหลวที่กรองได้ที่เวลา t

$\overline{V}$ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในช่องทางการไหล

$\overline{V}_0$ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลที่ไหลในเบดเมื่อไม่มีอนุภาคในเบดเลย

v_p ปริมาตรของอนุภาค

α ความต้านทานจำเพาะของก้อนของแข็ง

α_0 ค่าคงที่ในสมการ (50)

ΔP ความดันลดทั้งหมดคร่อมเครื่องกรอง

ΔP_c ความดันลดคร่อมก้อนของแข็ง

ΔP_m ความดันลดคร่อมตัวกลางกรอง

Δp ความดันลดคร่อมท่อตรง

ε สัดส่วนโดยปริมาตรของช่องทางการไหลในเบด

λ ค่าคงที่ในสมการ (21) และ (22)

μ ความหนืดของของไหล

ρ ความหนาแน่นของของไหล

ρ_p ความหนาแน่นของของแข็ง

Φ_s ความเป็นทรงกลมของอนุภาค

สำหรับใช้เพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

ค่าคงที่การเปลี่ยนหน่วย

Area

1 ft^2 = 0.0929 m^2

1 in^2 = 6.4516×10^{-4} m^2

Density

1 g/cm^3 = 62.43 lb/ft^3 = 1,000 kg/m^3

Gravitational conversion factor

= 32.174 $lb.ft/lb_f.s^2$

= 1 $kg.m/N.s^2$

= 1 $g.cm/dyne.s^2$

Length

1 ft = 0.3048 m

1 in = 2.54×10^{-2} m

Mass

1 lb = 0.45359 kg = 453.59 g

Pressure

1 psia = 1 lb_f/in^2 = 6.895 kPa

1 bar = 105 Pa

1 Pa = 1 N/m^2

1 lb_f/ft^2 = 47.88 N/m^2

1 mmHg at 0 °C = 1.333224×10^2 N/m^2

Viscosity

1 cP = 10^{-2} g/cm.s = 6.7197×10^{-4} lb/ft.s

1 cP = 10^{-3} Pa.s = 10^{-3} kg/m.s = 10^{-3} $N.s/m^2$

Volume

1 ft^3 = 0.02832 m^3

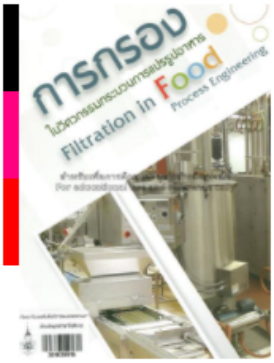
1 L = 1,000 cm^3

1 m^3 = 1,000 L

เอกสารสำหรับการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น

สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

http://lib.rmutp.ac.th/catalog/BibItem.aspx?BibID=b00105456



การกรองในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร = Filtration if food process engineering / ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล.

Author	ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล
Published	เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560
Edition	พิมพ์ครั้งที่ 1
Detail	91หน้า : ภาพประกอบ ; 25 ซม
Subject	อุตสาหกรรมอาหาร(+) เครื่องกรองและการกรอง(+)
ISBN	9786163981592
ประเภทแหล่งที่มา	Book

"สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น"