

ลักษณะเฉพาะของโรงปฏิบัติการนำทางเอนกประสงค์
สำหรับกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ



นาย ไสว โลงนะศุภฤกษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN. 974-584-094-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17.244894

CHARACTERISTICS OF GENERAL PURPOSE PILOT LABORATORY
FOR BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES

Mr. Sawai Lojanasupareuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Biotechnology Programme

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN. 974-584-094-7



หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะเฉพาะของโรงปฏิบัติการนำทางเอนกประสงค์ สำหรับกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

โดย นายไสว โลจนะศุภฤกษ์

ภาควิชา หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากฤษ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์พิเศษ จอมจิน จันทรสกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสฬัส สุวรรณชิน)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

โลว์ โอลงนะคู่ภักดิ์ : ลักษณะเฉพาะของโรงปฏิบัติการทางเอนกประสงค์สำหรับกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (CHARACTERISTICS OF GENERAL PURPOSE PILOT LABORATORY FOR BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุรพงศ์ นวังคส์ตฤคำลัน, 340 หน้า. ISBN 974-584-094-7

ความมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ คือ เพื่อรวมหลักเกณฑ์และพัฒนาวิธีในการจัดสร้าง ลักษณะเฉพาะของโรงปฏิบัติการทางลักษณะ เอนกประสงค์สำหรับกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ สรุปได้ว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อโครงสร้างอาคารคือสภาพปราศจากเชื้อและการกักกันจุลชีพ วิธีการเบื้องต้น ประกอบด้วย การจำแนกและจัดกลุ่มหน้าที่ของพื้นที่การทำงาน กำหนดขึ้นความสะอาดแต่ละพื้นที่ จัดวางผังพื้นที่ตามระดับความสะอาด วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหน้าที่ระหว่างพื้นที่แต่ละพื้นที่ และสุดท้ายประกอบการจัดวางพื้นที่ให้บรรลุตามวัตถุประสงค์การใช้งาน มีพื้นที่สำคัญสามชนิดในโรงปฏิบัติการทางได้แก่ พื้นที่กระบวนการทั่วไปเป็นอาคารปิดความสูง 6 เมตร ตรงกลางเป็นห้องโถงเปิดโล่งตลอดความสูง อาคาร ขนาดพื้นที่ 12 ตร.ม. ต่อหน่วยปฏิบัติการ พื้นที่ปราศจากเชื้อ เป็นโมดูลห้องสะอาดความสูง 3 - 4 เมตร ระดับขึ้นความสะอาด 10,000 ขนาด พื้นที่ 30 ตร.ม. ต่อหน่วยปฏิบัติการ พื้นที่กักกันจุลชีพ เป็นโมดูลเช่นเดียวกับห้องสะอาดในพื้นที่ปราศจากเชื้อที่มีระบบความดันเป็นค่าลบ ประกอบด้วยอย่างน้อย 2 โมดูลติดต่อกัน มีกลไกป้องกันและฆ่าเชื้อวัสดุทั้งหมดที่ออกมาได้แก่ ชุดกรองอากาศและชุดเผาละออง ไอ ฆ่าเชื้อ และเตาอบฆ่าเชื้อ ลักษณะเฉพาะที่สำคัญทางอุปกรณ์ คือ การออกแบบทางลွှ่ยลักษณะ อุปกรณ์ที่เป็นแกนหลักได้แก่ ถังหมัก เป็นชุดของถังหมักมาตรฐานขนาด 1 - 10, 11 - 100 และ 1,000 ลิตร ถังผสม เครื่องฆ่าเชื้อแบบต่อเนื่อง เครื่องแยกแบบแรงเหวี่ยงศูนย์กลาง เครื่องแยกแบบเยื่อบาง และเครื่องบดย่อยสลายเซลล์ ขนาดความจุเทียบเท่าสูงสุดของแต่ละอุปกรณ์เท่ากับ 1 ลบ.ม. ต่อหนึ่งปฏิบัติการ สารอาหารปโคต่อ 1 ลบ.ม. สารอาหาร ใต้แก่ ระบบผลิตและแจกจ่ายน้ำบริสุทธิ์ขนาด 3.34 ลบ.ม. น้ำบริสุทธิ์สูงยิ่ง 2 ลบ.ม. ไอน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 135 °ซ. ความดัน 45 psig ขนาด 640 กก. ไอน้ำต่อชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าสำหรับกระบวนการ 27 กิโลวัตต์ อากาศสะอาดอัดขนาด 2 ลบ.ม.ต่อนาที

ภาควิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C226085 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: PILOT/LABORATORY/BIOTECHNOLOGICAL/PROCESSES

SAWAI LOJANASUPAREUK : CHARACTERISTICS OF GENERAL PURPOSE PILOT
LABORATORY FOR BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES. THESIS ADVISOR :

ASSO. PROF. SURAPONG NAVANKASATTUSAS, Ph.D. 340 PP.

ISBN 974-584-094-7

The purposes of this thesis are, to integrate guidelines and to develop method in establishing characteristics of a general purpose pilot laboratory for biotechnological processes. The conclusion is that the major factors influencing the building configuration are sterility and containment. The basic method consists of functional classification and grouping of working area, definition of the cleanliness in each area, area planning base on the level of cleanliness, analysis of the functional relationship between each area, and final arrangement of the area to suit operational needs. There are three main types of area in the pilot laboratory, namely, the general process area which is a closed building with 6 metre height and a full height open area in the middle with 12 sq.m. per unit operation, the sterile area which is a module of clean room class 10,000 with 3 - 4 metre height and area sizing of 30 sq.m. per unit operation, the containment area, similar to clean room module of sterile area with negative pressure system consisting of at least 2 conjugating modules with sterilization system for sterilizing all output, filter with incinerator for aerosol, kill tank and autoclave. The major characteristic of equipment is hygeinic design features. The basic equipments are, a set of standard fermenter sizing 1 - 10, 11 - 100 and 1,000 litre, mixing tanks, continuous sterilizers, centrifuges, membrane separation equipments, and homogenizers. Each equipment has maximal equivalent capacity of 1 cu.m. per operation. The utility per 1 cu.m. substrate are, production and distribution system of, purified water capacity 3.34 cu.m, ultra purified water capacity 2 cu.m., clean steam at temperature 135 °C pressure 45 psig capacity 640 kg. per hour, electrical power for processing 27 kw., clean compressed air capacity 2 cu.m. per minute.

ภาควิชา..... เทคโนโลยีทางชีวภาพ

สาขาวิชา..... เทคโนโลยีทางชีวภาพ

ปีการศึกษา..... 2536

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการวิจัยลักษณะเฉพาะของโรงปฏิบัติการนำทาง เอนกประสงค์สำหรับกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ยังไม่เคยมีผู้ใดทำการ วิจัยศึกษามาก่อน การวิจัยครั้งนี้จึงประสบปัญหาและอุปสรรคนานับประการ อย่าง ไรก็ตามงานวิจัยก็ได้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ ทั้งนี้ด้วยความช่วยเหลืออย่าง ดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้กำลังใจ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัย ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์พิเศษ จอมจิน จันทรสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสฬัส สุวรรณยืน ที่ได้กรุณา ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง

และขอขอบพระคุณอาจารย์ในหลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามมาได้หมด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ข
สารบัญรูป	ค
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.4 วิธีการและขั้นตอนการวิจัย	7
1.5 สมมุติฐานของการวิจัย	8
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	9
1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย	10
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2. กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ	12
2.1 นิยามและความหมายโดยทั่วไปของเทคโนโลยีชีวภาพ..	12
2.2 เทคโนโลยีกระบวนการทางชีวภาพ	13
2.3 เทคนิควิทยาการด้านวิศวกรรมกระบวนการทางชีวภาพ.	19
2.4 หน่วยปฏิบัติการ	21
2.5 อุปกรณ์ของหน่วยปฏิบัติการ	23
2.6 หน่วยปฏิบัติการในทางชีวภาพ	27
2.7 หน่วยควบคุมกระบวนการ	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8	ข้อพึงพิจารณาของกระบวนการทางชีวภาพ 34
2.9	รหัส มาตรฐาน กฎข้อบังคับและความปลอดภัย 38
2.10	รหัส มาตรฐาน กฎข้อบังคับและความปลอดภัยทาง เทคโนโลยีชีวภาพ 41
2.11	การบำบัดของเสีย 42
2.12	การสุขาภิบาลและการทำความสะอาดอุปกรณ์ 43
บทที่ 3.	ทฤษฎีและแนวคิดของโรงปฏิบัติการนำทาง 46
3.1	นิยามและความหมายของโรงปฏิบัติการนำทาง 46
3.2	โรงปฏิบัติการนำทางสำหรับกระบวนการทาง เทคโนโลยีชีวภาพ 48
บทที่ 4.	วิธีดำเนินการวิจัย 57
4.1	การศึกษานำ 57
4.2	การจัดทำหลักเกณฑ์ที่ดีในการจัดตั้ง โรงปฏิบัติการนำทาง. 57
4.3	กำหนดรูปแบบลักษณะเฉพาะของโรงปฏิบัติการนำทาง.. 57
4.4	การตรวจสอบรูปแบบของโรงปฏิบัติการนำทาง 58
4.5	สรุปรูปแบบที่แน่นอนของโรงปฏิบัติการนำทาง 60
4.6	สรุปผลการวิจัย อภิปรายและข้อเสนอแนะ 60
บทที่ 5.	การจำแนกระดับความปราศจากเชื้อและการกักกันจุลชีพ 61
5.1	การจำแนกระดับความปราศจากเชื้อ และการกักกันจุลชีพ 61
5.2	พื้นที่การทำงานตามระดับสภาพปราศจากเชื้อ 62
บทที่ 6.	หลักเกณฑ์ที่ดีในการจัดตั้งโรงปฏิบัติการนำทาง 66
6.1	หลักเกณฑ์ของพื้นที่ปฏิบัติงานสำหรับกระบวนการทั่วไป.. 67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2	หลักเกณฑ์พื้นที่ปฏิบัติงานสำหรับกระบวนการ ปราศจากเชื้อ 81
บทที่ 7.	กระบวนการที่ก่อให้เกิดอันตรายทางชีวภาพ 93
7.1	ห้องปฏิบัติการกักกันจุลชีพ 93
7.2	ระบบกักกันมูลฐานเบื้องต้น 99
7.3	ระบบกักกันเบื้องต้นเพิ่มเติม 106
7.4	ระบบกักกันอันดับสอง 107
7.5	ข้อกำหนดเบื้องต้นห้องปฏิบัติการนำทาง ระดับ BL-1-LS 109
7.6	ข้อกำหนดเบื้องต้นห้องปฏิบัติการนำทาง ระดับ BL-2-LS 109
7.7	ข้อกำหนดเบื้องต้นห้องปฏิบัติการนำทาง ระดับ BL-3-LS 111
บทที่ 8.	หลักเกณฑ์ที่ดีทางด้านเครื่องจักรอุปกรณ์ 116
8.1	ลักษณะความต้องการโดยทั่วไป 116
8.2	เกณฑ์ของสภาพปราศจากเชื้อ 121
บทที่ 9.	ลักษณะเฉพาะทางโครงสร้างอาคาร 124
9.1	ชนิดของอาคารสำหรับโรงปฏิบัติการนำทาง 124
9.2	ลักษณะเฉพาะของพื้นที่สำหรับกระบวนการ ทางชีวภาพทั่วไป..... 125
9.3	ลักษณะเฉพาะพื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อม 133
9.4	ลักษณะเฉพาะห้องปฏิบัติการนำทางสะอาด 139
9.5	ลักษณะเฉพาะห้องปฏิบัติการกักกันจุลชีพ 150
9.6	ห้องควบคุมสภาพแวดล้อม 158

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 10. ลักษณะเฉพาะทางด้านกระบวนการ	160
10.1 ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์	161
10.2 อุปกรณ์หลักที่จำเป็นของโรงปฏิบัติการนำทาง	162
บทที่ 11. รูปแบบเบื้องต้นของโรงปฏิบัติการนำทางเอนกประสงค์	167
11.1 ลักษณะของปฏิบัติการ	167
11.2 ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร	169
11.3 ชนิดของอาคาร	170
11.4 การจัดวางผังอาคาร	172
11.5 รายละเอียดพื้นที่สำคัญของโรงปฏิบัติการนำทาง ...	175
11.6 อุปกรณ์สำหรับโรงปฏิบัติการนำทาง	181
11.7 สาธารณูปโภค	183
บทที่ 12. การทดสอบรูปแบบของโรงปฏิบัติการนำทาง	185
12.1 การทดสอบประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ	186
12.2 การทดสอบกับโรงปฏิบัติการนำทางที่มีอยู่	186
บทที่ 13. สรุปผลการวิจัย อภิปรายและข้อเสนอแนะ	190
13.1 สรุปผลการวิจัย	190
13.2 อภิปรายและข้อเสนอแนะ	193
เอกสารอ้างอิง	196
ภาคผนวก ก. หลักเกณฑ์และมาตรฐานเบื้องต้นประกอบการวิจัย	201
ภาคผนวก ข. สาธารณูปโภคที่สำคัญของโรงปฏิบัติการนำทาง	202
1. ระบบน้ำใช้ในกระบวนการและน้ำใช้ทั่วไป	202
2. ใอน้ำสำหรับกระบวนการทางชีวภาพ	227
3. ระบบไฟฟ้า	231
4. ระบบบำบัดน้ำเสียและของเสียที่ปนเปื้อน	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
จุลชีพอันตราย	236
5. ระบบอากาศอัด	243
ภาคผนวก ค. การออกแบบทางสุขลักษณะของอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับ โรงปฏิบัติการนำทาง	246
1. ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์กระบวนการชีวภาพ	246
2. ระบบของถังและภาชนะบรรจุ	247
3. ถังในกระบวนการทางชีวภาพ	249
4. ระบบท่อในกระบวนการ	252
5. ป้อนสำหรับสารชีวภาพ	256
6. วาล์ว	264
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการคำนวณ	276
1. การประมาณค่าขนาดของการหมัก	276
2. การประเมินขนาดของระบบจ่ายไอน้ำ	282
3. การประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำ	288
4. การประเมินเครื่องอัดอากาศ	290
5. การประเมินความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้า	292
6. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์หน้าที่การทำงาน ของพื้นที่	294
ภาคผนวก จ. ข้อมูลแบบสอบถามและการสำรวจ	297
1. ข้อมูลจากแบบสอบถาม	297
2. ข้อมูลจากการสำรวจ	299
ภาคผนวก ฉ. แหล่งข้อมูลของแบบสอบถามและการสำรวจ	300
ภาคผนวก ช. แบบสอบถาม	301
ภาคผนวก ซ. แบบตรวจสอบโรงปฏิบัติการนำทางสำหรับกระบวนการ	

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ทางเทคโนโลยีชีวภาพ	310
ประวัติผู้เขียน	340

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. แสดงการจัดแบ่งชนิดและหน้าที่ของโรงงานนำทาง	4
2. แสดงหน่วยปฏิบัติการหลักในกระบวนการชีวภาพ	28
3. แสดงตัวแปรและหัวข้อสำหรับการวัดและควบคุม ในกระบวนการทางชีวภาพ	35
4. แสดงการเปรียบเทียบสาขารูปโมเดลระหว่าง โรงปฏิบัติการนำทางและห้องทดลองทั่วไป	50
5. เปรียบเทียบอันตรายระหว่างกระบวนการทางเทคโนโลยี ชีวภาพและกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมี	54
6. การจำแนกระดับสภาพปราศจากเชื้อและการกักกันจุลชีพ ..	63
7. มาตรฐานกำหนดห้องสะอาดทางชีวภาพ	83
8. ประเภทอุตสาหกรรมทางชีวภาพที่ต้องใช้ห้องสะอาด	84
9. แสดงการเปรียบเทียบระดับกักกันในแต่ละระดับ	98
10. แสดงขนาดช่องว่างระหว่างทางเดิน	136
11. วัสดุสำหรับสร้างผนังและเพดานห้องสะอาดทางชีวภาพ ..	141
12. วัสดุที่เหมาะสมในการทำพื้นห้องสะอาดทางชีวภาพ	142
13. ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบห้องสะอาด	148
14. ระดับชั้นคุณภาพตามมาตรฐานน้ำประเภทต่าง ๆ	204
15. ประเภทของน้ำใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ	206
16. แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้า ในการวิจัยในสาขาชีวภาพ	232
17. ข้อกำหนดจำเพาะสำหรับอุปกรณ์ ในการผลิตยาและสารชีวภาพ	233
18. แสดงตัวอย่างลักษณะน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา	238
19. แสดงความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากถังหมัก	278

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. แสดงลักษณะสหสาขาวิชาของเทคโนโลยีชีวภาพ	14
2. แสดงเทคโนโลยีที่ประกอบกันเข้าเป็นเทคโนโลยีชีวภาพ ทางอุตสาหกรรม	15
3. แสดงลำดับขั้นตอนของกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ..	17
4. แสดงขั้นตอนกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ	20
5. แสดงการควบคุมและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ในกระบวนการ	22
6. แสดงการกระทำของระบบกายภาพ-ชีวเคมี ที่เกิดภายในถังหมัก	25
7. แสดงรูปทรงพื้นฐานหลักของถังชีวปฏิกรณ์	26
8. แผนภูมิแสดงการแยกสารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ	31
9. แสดงแบบจำลองพลวัตของกระบวนการชีวเคมี สำหรับการควบคุมกระบวนการ	33
10. แสดงตัวแปรที่ตรวจวัดได้และตัวแปรที่ควบคุมแบบป้อนกลับ.	37
11. แสดงสิ่งที่เป็นตัวทำให้เกิดความสับสน และซับซ้อนทางชีวภาพ	87
12. แสดงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับห้องสะอาดทางชีวภาพ	88
13. แสดงส่วนประกอบของระบบกักกันทางกายภาพ	95
14. ระบบกักกันสำหรับสารชีวภาพที่อยู่นอกเซลล์	101
15. ระบบกักกันสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารที่อยู่นอกเซลล์	102
16. ตัวอย่างห้องปฏิบัติการพื้นฐานระดับ BL-1-LS	110
17. ตัวอย่างห้องปฏิบัติการระดับ BL-2-LS.....	112
18. ตัวอย่างห้องปฏิบัติการระดับ BL-3-LS.....	115

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 19. เกณฑ์สภาพปราศจากเชื้อ.....	123
20. ลักษณะโครงสร้างพื้นและผนังของโรงปฏิบัติการนำทาง สำหรับกระบวนการทางชีวภาพทั่วไป	130
21. แสดงส่วนต่าง ๆ ของพื้นที่และรูปแบบการวางผังโมดูล ...	135
22. แผนผังบริเวณพื้นที่สะอาดแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ ของบุคคล อุปกรณ์ วัสดุและสิ่งของผ่านพื้นที่บริเวณต่างๆ ..	144
23. ประเภทของห้องสะอาด	145
24. ส่วนประกอบของห้องสะอาด	146
25. ตัวอย่างการจัดวางผังของพื้นที่กักกันจุลชีพระดับ BL-3-LS.	152
26. ตัวอย่างการวางกำแพงปิดล้อมเครื่อง Centrifuge ในพื้นที่กักกันจุลชีพ	153
27. ตัวอย่างการวางกำแพงปิดล้อมถังหมักในพื้นที่กักกันจุลชีพ ..	154
28. ตัวอย่างการวางกำแพงปิดล้อมเครื่อง Filter press ในพื้นที่กักกันจุลชีพ	155
29. การผลิตและวิธีการเก็บน้ำบริสุทธิ์	208
30. การผลิตและเก็บน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์ ที่ใช้หมดในแต่ละวัน	210
31. การผลิตน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์ที่มีระบบ การไหลเวียนของน้ำ	211
32. ระบบแจกจ่ายน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์แบบถึงพัก	213
33. ระบบแจกจ่ายน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์ แบบไหลตลอด	214
34. ตัวอย่างภาชนะถึงเก็บน้ำบริสุทธิ์ที่สามารถฆ่าเชื้อ ด้วยไอน้ำได้.....	219

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 35. ระบบแจกจ่ายน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์ แบบอนุกรม	220
36. ระบบแจกจ่ายน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์ แบบขนาน	222
37. ระบบแจกจ่ายน้ำบริสุทธิ์สำหรับฉีดเข้าร่างกายมนุษย์ แบบผสม	223
38. แสดงขั้นตอนบำบัดน้ำเสีย	239
39. แสดงไดอะแกรมของระบบบำบัดของเสียที่เป็นอันตราย จากชีวภาพ	242
40. ชุดของระบบถังและท่อแสดงจุดสำคัญที่ต้องมีการออกแบบ ทางสุขลักษณะดี	248
41. แสดงจุดสำคัญของถังที่พิจารณาทางสุขลักษณะที่ดี	253
42. แสดงการออกแบบรูปทรงของถัง	254
43. แสดงลักษณะการออกแบบและวิธีการเชื่อมต่อท่อ	257
44. แสดงจุดสำคัญในการออกแบบบ่อบำบัดสำหรับสารชีวภาพ	265
45. แสดงวาล์วสำหรับกระบวนการทางชีวภาพ	271
46. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตรวม และจำนวนขั้นตอนในกระบวนการ	279
47. แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุอุปกรณ์ผ่านพื้นที่ การทำงานในเขตปราศจากเชื้อระดับต่าง ๆ	295
48. แสดงตัวอย่างการจัดวางรูปแบบหน่วยสนับสนุน และส่วนประกอบที่สำคัญของโรงปฏิบัติการนำทาง	296