ประสิทธิภาพของสารละลายอิเล็กโตรไลท์ในการควบคุมปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* บนพื้นผิวสัมผัสอาหารในโรงงานแปรรูปอาหารประเภทสัตว์ปีก

EFFICACY OF ELECTROLYZED WATER ON CONTROLLING *Escherichia coli* ON FOOD CONTACT SURFACES IN POULTRY PROCESSING PLANT

นภวรรส จันทร์จำนงค์
NAPAWAN JANJUMNEAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาคุณภาพอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555
KMITL-2012-AI-M-054-150

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประสิทธิภาพของสารละลายอิเล็คโตรไลท์ในการควบคุมปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* บนพื้นผิวสัมผัสอาหารในโรงงานแปรรูปอาหารประเภทสัตว์ปีก

EFFICACY OF ELECTROLYZED WATER ON CONTROLLING *Escherichia coli* ON FOOD CONTACT SURFACES IN POULTRY PROCESSING PLANT

T123747

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....123747
วัน, เดือน, ปี.....28 ม.ค. 2555

b.....
i.....

นภวรรณ จันทร์จำเนียร

NAPAWAN JANJUMNEAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL-2012-AI-M-054-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFICACY OF ELECTROLYZED WATER ON CONTROLLING *Escherichia coli* ON FOOD CONTACT SURFACES IN POULTRY PROCESSING PLANT

NAPAWAN JANJUMNEAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012

KMITL-2012-AI-M-054-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2012

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพของสารละลายอิเล็คโตรไลท์ในการควบคุมปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* บนพื้นผิวสัมผัสอาหารในโรงงานแปรรูปอาหารประเภทสัตว์ปีก

Efficacy of Electrolyzed Water on Controlling *Escherichia coli* on Food Contact Surfaces in Poultry Processing Plant

ชื่อนักศึกษา นางสาวนภวรรณ จันทร์จำเนียร

รหัสประจำตัว 50068755

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วราวุฒิ ครูส่ง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วราวุฒิ ครูส่ง	
รศ.ดร.อดิศร โสวัตวิวัฒน์	
ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
รศ.ดร.สุเมธ ตันตระเธียร	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 19 กันยายน 2555 เวลา 14.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ดร. วรรณี ตั้งเจริญชัย)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๑๒ เดือน ๑๐ พ.ศ. ๕๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของสารละลายอิเล็คโตรไลท์ในการควบคุมปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* บนพื้นผิวสัมผัสอาหารในโรงงานแปรรูปอาหารประเภทสัตว์ปีก
นักศึกษา	นางสาวนภวรรณ จันทร์จำเนียร
รหัสประจำตัว	50068755
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วราวุฒิ ครูส่ง

บทคัดย่อ

วิธีการล้างทำความสะอาดโดยใช้น้ำอิเล็คโตรไลท์ ที่ผลิตจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าในสารละลาย NaCl เพื่อให้สารละลายมีค่าความเป็นกรดและด่าง ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ความรุนแรงของน้ำอิเล็คโตรไลท์ขึ้นกับค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งประกอบด้วยค่า Oxidation reduction potential (ORP) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และ ค่าคลอรีนอิสระ (Free residual chlorine) โดยใช้การยับยั้งเชื้อ *Escherichai coli* เป็นดัชนีในการวัดประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ น้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ค่าคลอรีนอิสระ (Free residual chlorine) 60 ค่า ORP 1180 mV. และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 20 10 และ 5 นาที สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ที่ยึดเกาะในลักษณะของฟิล์มชีวภาพบนพื้นผิวสเตนเลสชนิด 304 No. 2B ที่มีขนาด 2x5 เซนติเมตร ลงได้ดี โดยสามารถลดปริมาณเชื้อตั้งต้น 10^3 log CFU/ml ทั้งหมดได้ในเวลา 20 นาที แต่ไม่สามารถทำลายเชื้อเมื่อปริมาณเริ่มต้น 10^7 log CFU/ml ได้ทั้งหมด นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็คโตรไลท์สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ที่เกาะติดบนพื้นผิวสเตนเลสที่สะอาดได้ดีกว่าและใช้เวลาในการยับยั้งน้อยกว่าพื้นผิวสเตนเลสที่บนพื้นผิวที่มีคราบสกปรกเกาะติด น้ำอิเล็คโตรไลท์ยังสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) บนพื้นผิวสายพาน TPU (Thermoplastic Polyurethane) ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตอาหารหลังจากการผลิตโดยไม่ผ่านการล้างทำความสะอาด พบว่าน้ำอิเล็คโตรไลท์สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลงได้มากกว่า 2.15 log CFU/cm^2 และเมื่อผ่านการล้างทำความสะอาดในแต่ละขั้นตอน จะทำให้น้ำอิเล็คโตรไลท์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดได้สูงขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดหลงเหลืออยู่บนพื้นผิวสายพานอีกเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Efficacy of electrolyzed water on controlling *Escherichia coli* on food contact surfaces in poultry processing plant.
Student	Ms. Napawan Janjumnean
Student ID.	50068755
Degree	Master of Science
Program	Food Sanitation
Year	2012
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Warawut Krusong

ABSTRACT

The cleaning method which used electrolyzed oxidizing water (EOW) generated by electrical current through NaCl solution on bio-film of *Escherichai coli* on surface of stainless steel 304 No.2B sized 2x5 cm^2 used in poultry processing plant was focused. The appropriate of EOW intensity including of the values of free residual chlorine and oxidation-reduction potential (ORP) was investigated for inhibition of *E. coli* bio-film prior fixed on surface of stainless steel 304 No.2B for 30, 20, 10 and 5 min. Results showed that the free residual chlorine of 60 and ORP of 1200 mV completely inhibited the *E. coli* bio-film at the initial low population at 10^3 log CFU/ml fixed for 5 to 20 min, but not appropriate in inhibition of high population at 10^7 log CFU/ml. Additionally, the results exposed that EOW was able to reduce *E. coli* bio-film on cleaned surface of stainless steel better than that on soil surface in a shorter pre-treatment period. EOW was able to inhibit TPC (Total plate count) on TPU (Thermoplatic polyurethane) in food processing after produced. Result showed that EOW inhibited more than 2.15 log CFU / cm^2. When, the cleaned surface was prepared in each the step, high efficiency of EOW on inhibition microbial inhibited was increased until there was no TPC on surface of TPU belt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร.วราวุฒิ ครูส่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ในการแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ตรวจทานแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณ ไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุเมธ ตันตระเธียร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ดร. อพัชชา จินดาประเสริฐ และ รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน และเพื่อนๆ ในสาขาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาการใช้เครื่องมือ และวิธีการวิเคราะห์ต่างๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา บริษัท ซีพีเอฟผลิตภัณฑ์อาหารจำกัด ทุกท่าน ที่คอยให้การช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมี รวมถึงสถานที่ในการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณทุนคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่กรุณาให้ทุนในการนำเสนอผลงาน ณ. เมืองโกตาดินาบาลู รัฐซาบาห์ ประเทศมาเลเซีย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นภวรรณ จันทร์จำเนียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ
ภาษาไทย.....I
บทคัดย่อ
ภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญภาพ.....VII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....4
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6
2.1 ฟิล์มชีวภาพ.....6
2.2 *Escherichia coli* 9
2.3 น้ำอิเล็คโตรไลต์ (Electrolyzed water)… 11
2.4 พื้นผิวสเตนเลส.....13
2.5 การประยุกต์ใช้สารละลายอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์.....18

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน.....21
3.1 เชื้อจุลินทรีย์.....21
3.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ.....21
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....21
3.4 วิธีการทดลอง.....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....32

4.1 กระบวนการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรดและการปรับ
ค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรด –ด่าง (pH),
ORP (Oxidation reduction potential) และค่าคลอรีนอิสระ
(Residual chlorine) ที่เกิดขึ้น.....32

4.2 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์
ในการเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด.....34

4.3 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อ
E. coli บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ.....37

4.4 ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ใน
การทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด.....41

4.5 ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์นากรทำลายเชื้อ
E. coli บนพื้นผิวสเตรเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ.....41

4.6 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด
บนพื้นผิวสายพาน TPU หลังการใช้งานและการทำความสะอาด 3 ขั้นตอน.....42

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....45

5.1 สรุปผลการทดลอง.....45

5.2 ข้อเสนอแนะ.....46

บรรณานุกรม.....47

ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ.....51

ภาคผนวก ข สารละลายที่ใช้ในการทดลอง.....54

ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติหาความแตกต่างของปัจจัย
ที่มีผลต่อปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ลดลงโดยใช้โปรแกรม
Minitab Version 14.....57

ประวัติผู้เขียน.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของสเตนเลสแต่ละประเภท	13
4.1	ปริมาณค่าความเป็นกรด –ด่าง (pH) , ORP (Oxidation reduction potential) และค่าคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ นาน 10 นาที เข้าไปในสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 1%	32
4.2	ปริมาณเชื้อตั้งต้นทั้ง 3 ระดับและปริมาณการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด	34
4.3	ปริมาณการลดลงของเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นทั้ง 3 ระดับบนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด ที่มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ต่างกัน	36
4.4	ปริมาณเชื้อตั้งต้นทั้ง 3 ระดับและปริมาณการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ	38
4.5	ปริมาณการลดลงของเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นทั้ง 3 ระดับบนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ ที่มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ต่างกัน	40
4.6	ปริมาณการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เริ่มต้นหลังจากขั้นตอนการทำความสะอาดทั้ง 3 ขั้นตอนและปริมาณเชื้อที่หลงเหลืออยู่หลังการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์	43
4.7	ค่าเวลาเหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์และเวลาการทำลายเชื้อ *E. coli* และเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	การ Pre-enrichment ลงใน TSB 10 มิลลิลิตรที่เวลา 24 ชั่วโมง	23
3.2	แผ่นสเตนเลส ขนาด 2x5 เซนติเมตร ชนิด 304 No. 2B : (ก) แผ่นสเตนเลสแบบสะอาด; (ข) แผ่นสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ	24
3.3	การจุ่มแผ่นสเตนเลสที่มีเชื้อ *E. coli* ในสารละลาย TSB ที่อุณหภูมิห้อง (32 ± 1 องศาเซลเซียส) ณ. เวลา 0 ชั่วโมง	25
3.4	การสร้างฟิล์มชีวภาพของเชื้อ E. coli ในบีกเกอร์โดยบ่มที่อุณหภูมิห้อง (32 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง: ก) แผ่นสเตนเลสที่ไม่เกาะติดเชื้อ *E. coli*; ข) แผ่นสเตนเลสที่เกาะติดเชื้อ *E. coli* ที่ระดับสูง	25
3.5	การล้างเชื้อ *E. coli* ส่วนเกินที่ไม่เกาะติดบนพื้นผิวสเตนเลสด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอรเป็นเวลา 5 นาที	26
3.6	การผ่านกระแสไฟฟ้าในสารละลาย NaCl เพื่อผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์: (ก) การแยกตัวของสารละลายเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า; (ข) การปรับเครื่อง Generator ขนาด 3-6 Ampere ให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์; (ค) การผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย NaCl อย่าง ต่อเนื่องเป็นเวลา 35 นาที	27
3.7	ขดลวดขนาดพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร	28
3.8	ขั้นตอน Swab เชื้อบนสายพาน TPU : (ก) ฆ่าเชื้อขดลวดด้วยการล้างแอลกอฮอล์ 95% เวลา 10 วินาทีและเผาด้วยเปลวไฟ 5 วินาที; (ข) การ Swab สายพาน TPU หลังการผลิตโดยไม่ผ่านการล้างทำความสะอาด	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.9 การล้างทำความสะอาดสายพานทั้ง 3 ขั้นตอนก่อนสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ : (ก) การล้างสายพานด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 10 วินาที; (ข) การล้างทำความสะอาดสายพานด้วยน้ำสบู่; (ค) การฆ่าเชื้อสายพานด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อชนิด Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% เป็นเวลา 5 นาที.....29

4.1 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด 37

4.2 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ.....41

4.3 ประสิทธิภาพการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด หลังการล้างทำความสะอาดในแต่ละขั้นตอนและหลังจากสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ระยะเวลา 5 นาที.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

อุตสาหกรรมการผลิตอาหารแปรรูปแช่แข็งในปัจจุบันมีอัตราการขยายตัวสูงมาก เนื่องจากมีความต้องการของตลาดที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานของ Be Media Focus (Thailand) CO.,Ltd (2552) ได้กล่าวไว้ว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2540-2552 ได้เกิดภาวะเศรษฐกิจชลอตัว แต่ยังปรากฏว่าธุรกิจอาหารแช่แข็งยังคงได้รับความตอบรับจากผู้บริโภคสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์แช่แข็งนั้นง่ายต่อการบริโภค สะดวกสบายต่อการนำไปปรุงอาหาร โดยมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เนื่องจากขั้นตอนการผลิตอาหารแปรรูปแช่แข็งนั้น มีกระบวนการหลักในการถนอมอาหารคือ การทำให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์กลายเป็นผลึกน้ำแข็งที่ละเอียด ซึ่งทำให้แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ และช่วยชลอให้ปฏิกิริยาทางเคมีภายในผลิตภัณฑ์ช้าลง ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเกือบทุกชนิดของอาหาร สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (2553) กล่าวไว้ว่าแม้ว่ากระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง จะได้เริ่มเข้ามาในประเทศไทยช้ามาก เมื่อเทียบกับประเทศที่มีการพัฒนาแล้ว เช่น อเมริกา ญี่ปุ่น หรือกลุ่มสหภาพยุโรป ซึ่งคุ้นเคยกับอาหารแช่แข็งมาก่อนหน้ามนั้นมากกว่า 50 ปี แต่ประเทศไทย กลับเป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งไปจำหน่ายทั่วโลกเป็นลำดับต้น ๆ โดยเฉพาะอาหารทะเลแช่แข็งซึ่งเป็นจุดแข็งของไทยที่สามารถส่งจำหน่ายได้มากในหลายประเทศ เช่น อเมริกา และในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป เป็นต้น อาหารแช่แข็งพร้อมรับประทาน ที่เน้นการส่งออกเป็นสำคัญและในปัจจุบันได้สามารถขยายตลาดภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น แต่ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของอาหารแช่แข็ง นั่นคือการปนเปื้อนของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในผลิตภัณฑ์ และสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียไม่สามารถบริโภคได้ ในหลายครั้งที่ผู้ประกอบการไทยต้องได้รับความเสียหายจากการตรวจพบเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารที่ด่านกักกันของประเทศผู้นำเข้า ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ เพื่อทำลายหรือเรียกกลับคืนของสินค้า และยังส่งผลกระทบถึงชื่อเสียงของประเทศและโอกาสในการจำหน่ายสินค้าอีกด้วย

ในอดีตที่ผ่านมา ได้มีรายงานข่าวจากทั่วโลกถึงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จนอาจถึงขั้นเสียชีวิตจากการบริโภคอาหารที่มีเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปในปริมาณที่เพียงพอจะส่งผลต่อร่างกาย โดยโรคทางเดินอาหารที่พบได้บ่อยคือ โรคอหิวาตกโรค ที่เกิดจากเชื้อ *Vibrio cholerae*, โรคไทฟอยด์ เกิดจาก *Salmonella* Typhosa โรคอุจจาระร่วงที่เกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อ *Escherichia coli* เป็นต้น เหตุการณ์ร้ายแรงที่ผ่านมาในอดีตที่สร้างความเสียหายเป็นอย่างมาก ดังเช่น สถานการณ์ในประเทศฝรั่งเศส เมื่อปี พ.ศ. 2548 ที่ผ่านมา สถาบันเฝ้าระวังสุขภาพแห่งชาติของฝรั่งเศส (Nation Institute for Health Surveillance : InVS) ระบุว่า กลุ่มผู้บริโภคชาวฝรั่งเศสทางตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบด้วยเด็กจำนวน 24 คน และผู้ใหญ่จำนวน 2 คนได้ล้มป่วยลงเนื่องจากการบริโภคเนื้อวัวบดที่มีการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* โดยผู้บริโภคในจำนวนนี้ 21 ราย มีอาการทรุดหนักจำต้องเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลทันที จากการสอบสวนปัญหาที่เกิดขึ้นโดยกระทรวงเกษตรฝรั่งเศส พบว่า เนื้อวัวที่มีการปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* นั้น อยู่ในลักษณะเนื้อวัวบดแช่แข็งในรูปของสเต็กรอปรุงสุกเพื่อรับประทาน วางจำหน่ายในร้านซูเปอร์มาร์เก็ต Leclerc ซึ่งมีหลายสาขาทั่วฝรั่งเศส โดยสินค้าดังกล่าวได้ถูกวางจำหน่ายในระหว่างช่วงปลายเดือนกันยายน–กลางเดือนตุลาคม 2548 มีปริมาณรวมทั้งสิ้น 25 ตัน โดยบริษัทผู้ผลิต Soviba ได้พยายามแก้ข้อกล่าวหาว่า เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ณ โรงฆ่า มิใช่จากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งตั้งแต่วันที่ 30 ตุลาคม 2548 เป็นต้นมา บริษัท Soviba ได้พยายามเรียกคืนสินค้าออกจากชั้นวางจำหน่ายของซูเปอร์มาร์เก็ต Leclerc แล้ว อย่างไรก็ดีสินค้าปริมาณมากได้ถูกจำหน่ายไปแล้วจนเกือบหมดสิ้น สร้างความหวั่นเกรงให้แก่ทางการฝรั่งเศสเนื่องจากสินค้าดังกล่าวมีกำหนดวันหมดอายุในเดือนกรกฎาคม 2549 ดังนั้นคาดว่าอาจจะมีผู้บริโภคบางรายที่มิได้ติดตามฟังข่าวสารการปนเปื้อนที่เกิดขึ้น และอาจบริโภคสินค้าที่ตนซื้อเก็บไว้และล้มป่วยลงได้ในเวลาต่อมา ทางการฝรั่งเศสได้ทำการแจ้งต่อประเทศสมาชิกสหภาพยุโรป ถึงการปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* ในสินค้าเนื้อวัวครั้งนี้แล้ว เนื่องจากมีสินค้าบางส่วนที่ถูกส่งออกไปจำหน่ายยังภายนอกประเทศฝรั่งเศส ซึ่งในชั้นต้นนี้ทางการฝรั่งเศสยังคงไม่ได้ระบุชื่อประเทศปลายทางที่ชัดเจน แต่คาดว่าเป็นหนึ่งในกลุ่มประเทศสมาชิกสหภาพยุโรป จากการตรวจพบเชื้อ *E. coli* ในสินค้าเนื้อวัวบดแช่แข็งรอปรุงสุกเพื่อรับประทานของฝรั่งเศสในครั้งนี้ ได้สร้างความตื่นตระหนกให้แก่ทางการฝรั่งเศสและกลุ่มผู้บริโภคเป็นจำนวนมาก เนื่องจากส่งผลให้ผู้บริโภคกลุ่มที่มีภูมิต้านทานน้อยต้องล้มป่วยและเข้ารักษาตัวที่โรงพยาบาลอย่างกระทันหัน จากรายงานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเชื้อ *E. coli* สามารถปนเปื้อนผ่านผลิตภัณฑ์ไปยังผู้บริโภคได้ โดยอาจเกิดขึ้นได้จากกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานตั้งแต่ต้นน้ำไปจนถึงปลายน้ำ ซึ่งอาจเกิดการปนเปื้อนในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง และไม่สามารถที่จะทำลายให้หมดลงหรือลดน้อยลงไปได้ แต่สำหรับในประเทศไทยยังไม่เคยพบรายงานความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากเชื้อ *E. coli* จากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ แต่เคยตรวจพบเชื้อ *E. coli* ในผักสดที่ส่งออกไปยังประเทศจีน ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้ว่าเชื้อ *E. coli* อาจปนเปื้อนมาจากปุ๋ยหรือน้ำที่ใช้ในการลดแปลงผักของเกษตรกร และเนื่องจากผักสดเป็นสินค้าที่สามารถบริโภคได้ทันที โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำ ซึ่งมีโอกาสและความเสี่ยงสูง ที่ผู้บริโภคจะได้รับอันตรายจากเชื้อได้โดยตรง ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ก็ยังคงมีรายงานความสูญเสีย จากเชื้อ *E. coli* ไว้เช่นกัน ดังเช่น ในปี พ.ศ. 2552 สำนักงานที่ปรึกษาทางการเกษตรต่างประเทศประจำสหภาพยุโรปได้รายงานไว้ว่า บริษัท ODWALLA , INC ซึ่งผลิตน้ำผลไม้คั้นสดเพื่อจำหน่ายภายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหรัฐอเมริกา โดยขณะที่บริษัทกำลังเจริญเติบโตก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว แต่ธุรกิจต้องหยุดชะงักด้วยเหตุผลที่ว่า น้ำผลไม้พบเชื้อ *E. coli* ในปีคริสตศักราช 1992 จนเป็นเหตุให้มีผู้ล้มป่วยจากการได้รับเชื้อสูงถึง 157 รายเพียงเพราะรับประทานน้ำแอปเปิ้ลไปเพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ส่งผลให้บริษัทต้องเรียกคืนสินค้าในตลาดทั้งหมดกลับคืนอย่างรวดเร็วคิดเป็นมูลค่าความเสียหายมากกว่า 9 ล้านเหรียญสหรัฐ และส่งผลกระทบต่อชื่อเสียงของบริษัทเป็นอย่างมาก

ในขั้นตอนกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสามารถส่งมอบให้กับลูกค้าได้นั้นมีหลายขั้นตอนที่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนข้ามจากเชื้อมาสู่ยังผลิตภัณฑ์โดยในขั้นตอนถัดไปนั้น ไม่สามารถที่จะขจัดหรือลดปริมาณเชื้อลงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้และไม่เกิดอันตรายกับผู้บริโภค ยกตัวอย่างขั้นตอนในกระบวนการผลิตเช่น การใช้อุปกรณ์ในการผลิตที่สามารถใช้ร่วมกันได้ เช่น การใช้เขียง ตระกร้า หรือมีดเล่มเดียวกัน จากขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนการทำสุกไปจนถึงการนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์การบรรจุสินค้าหรือการนำไปใช้กับสินค้าที่ผ่านการปรุงสุกแล้ว เป็นต้น หรือสภาวะแวดล้อมบริเวณสายการผลิต อาจมีการไหลถ่ายเทของอากาศจากฝั่งพื้นที่การเตรียมสินค้าก่อนการทำสุกมายังพื้นที่ปฏิบัติงานที่มีสินค้าผ่านการทำสุกแล้ว ซึ่งอาจพัดพานำเชื้อโรคต่าง ๆ มากับอากาศและปนเปื้อนยังผลิตภัณฑ์ได้ หรืออีกหนึ่งปัจจัยสำคัญคือ พนักงานผู้ปฏิบัติงานอาจมีการเดินไปมาระหว่างพื้นที่และเป็นพาหะที่ทำให้เกิดการในเปื้อนข้ามได้

ในทุก ๆ โรงงานอุตสหกรรมอาหารต้องมีขั้นตอนกระบวนการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องจักร รวมไปถึงสภาพแวดล้อมที่ต้องได้มาตรฐานและสามารถทวนสอบได้ว่าในทุกขั้นตอนของการทำความสะอาดสามารถมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อและลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดอันตรายในอาหารลงได้เกือบ 100% สารเคมีเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการทำความสะอาด โดยอุตสาหกรรมการผลิตอาหารส่วนใหญ่มักนิยมใช้คลอรีนซึ่งเป็นสารทำความสะอาดที่สามารถทำลายเชื้อโรคได้มากกว่า 99% (กระทรวงมหาดไทย, 2552) รวมไปถึง *E. coli* โดยขั้นตอนในการเตรียมคลอรีนนั้น จะเติมลงในน้ำสะอาดและคลอรีนจะแตกตัวในรูปของคลอรีนอิสระ (Residual Chlorine) ซึ่งทำหน้าที่ฆ่าเชื้อที่อาจปนเปื้อนมาในอุปกรณ์ภาชนะหรือเครื่องจักร อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันว่าการเตรียมผสมคลอรีนเพื่อใช้งานนั้น ยังมีความยุ่งยากขณะเตรียมอยู่บ้าง และพนักงานผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับอันตรายขณะทำการเจือจาง (Dilute) ได้ การพัฒนาสารทำความสะอาดในรูปแบบใหม่ซึ่งมีวิธีในการเตรียมก่อนนำมาใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก จะเป็นการช่วยลดอันตรายจากขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานได้ และยังจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนในระหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันสารละลายอิเล็คโตรไลต์ ได้เข้ามามีบทบาทในการใช้เป็นสารทำความสะอาดและได้รับการยอมรับในวงการอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยบ้างแล้ว เพื่อเป็นแนวทางเลือกหนึ่งนอกจากการใช้ คลอรีน เพื่อลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่อุปกรณ์เครื่องจักร รวมถึงพื้นสายการผลิต ที่อาจส่งผลให้สินค้าที่ผลิตมีการติดเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้

ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารละลายอิเล็คโตรไลต์ในการลดปริมาณ *E. coli* เมื่อเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพบนพื้นผิวสเตนเลสโดยศึกษาภายใต้ปัจจัยการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารต่อไป

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

การตรวจติดตามการรอดชีวิตของเชื้อ *E. coli* ที่บริเวณหน้าผิวสัมผัสของวัสดุสเตนเลส (Stainless steel) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับที่ใช้กับอุปกรณ์ในสายการผลิต จากการนำไปจุ่มลงในสารละลายอิเล็คโตรไลต์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ละลายในน้ำในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม) โดยที่สารละลายอิเล็คโตรไลต์ที่นำมาใช้ทดสอบมีค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) คลอรีนอิสระ (Residual chlorine) และค่า Oxidation-reduction potential (ORP) ที่ระดับเดียวกัน และนำไปหาปริมาณเชื้อที่เหลือรอดโดยวิธี Pour plate

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเตรียมสารละลายอิเล็คโตรไลต์

1.3.2 ผลการทำลาย *E. coli* ด้วยสารละลายอิเล็คโตรไลต์บนพื้นผิวสเตนเลสชนิด 304 No. 2B ที่ใช้ในโรงงานแปรรูปอาหารประเภทสัตว์ปีก

1.3.3 ผลการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นผิวสายพาน Thermoplastic Polyurethane (TPU) หลังการผลิตสินค้าและหลังการล้างในแต่ละขั้นตอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงค่า pH/ORP และปริมาณคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ที่เหมาะสมในน้ำอิเล็คโตรไลต์ที่สามารถทำลายเชื้อ *E. coli* ที่ปนเปื้อนบนพื้นผิวอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตได้

1.4.2 ทราบถึงค่า pH/ORP และปริมาณคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ที่เหมาะสมในน้ำอิเล็คโตรไลต์ที่สามารถทำลายเชื้อ TPC ที่ปนเปื้อนบนพื้นผิวสายพาน TPU ในกระบวนการผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 สามารถนำวิธีการทำเครื่องมือการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลต์ อย่างง่ายถ่ายทอดสู่อุตสาหกรรมการผลิตอาหารที่มีความสนใจ และมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ *E. coli* ระหว่างกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟิล์มชีวภาพ

ฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) คือสภาพความสกปรกบนพื้นผิวที่มีกลุ่มของจุลินทรีย์ต่าง ๆ มารวมกัน โดยอยู่อาศัยกันแบบพึ่งพาและจุลินทรีย์บางชนิดอาจทำให้เกิดโรคอันตรายได้ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารทั่วไปนั้น สามารถพบได้บ่อยตามอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร ที่ผ่านขั้นตอนวิธีการล้างที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งสามารถพบได้บนพื้นผิวเกือบทุกชนิด เช่น สเตนเลส พลาสติกหรือ Superlene เป็นต้น แผ่นฟิล์มชีวภาพมีสมบัติในการปกป้องเชื้อจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันภายใน จากการล้างทำความสะอาด การขัดถูที่มีแรงกระทำที่ไม่เพียงพอหรือการใช้สารเคมีและความร้อนที่ไม่เหมาะสม ไม่สามารถกำจัดฟิล์มชีวภาพให้หมดไปได้ และจุลินทรีย์ที่หลงเหลือสามารถที่จะปนเปื้อนข้ามมาสู่ผลิตภัณฑ์ได้

ณฐนนท์ ตราชู (2547) ได้กล่าวไว้ว่าการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้สารปฏิชีวนะ สารฆ่าเชื้อทำความสะอาดชนิดต่าง ๆ สามารถลดการเกิดฟิล์มชีวภาพได้ การศึกษาการเกาะติดของฟิล์มชีวภาพ การป้องกันการเกิดและการทำลาย จึงมีความจำเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะในแต่ละขั้นตอนของสายการผลิต

2.1.1 ขั้นตอนการเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพนั้น มีขั้นตอนและกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องอาศัยระยะเวลาหนึ่ง ดังบทความของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2552) ได้อธิบายถึงขั้นตอนการก่อตัวของฟิล์มชีวภาพไว้ดังนี้

2.1.1.1 การเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของสารอินทรีย์จากสารละลายไปสู่พื้นผิวหน้าโลหะ ซึ่งจะมีบางส่วนถูกดูดกลืนเข้าไปและสร้างเป็นแผ่นฟิล์มบางคลุมผิวอยู่เรียกว่า “Conditioning film”

2.1.1.2 เซลล์จำนวนหนึ่งที่กระจายอยู่ในสารละลาย จะเคลื่อนที่เข้าไปเกาะติดอยู่กับ Conditioning film บนผิวของโลหะนั้น เซลล์จำนวนหนึ่งที่เกาะติดอยู่บนผิวโลหะได้ชั่วขณะหนึ่งเรียกว่าการเกาะติดแบบย้อนกลับ (Reversible adhesion) เซลล์แบคทีเรียจะเกิดพันธะอย่างอ่อนกับพื้นผิว พันธะที่เกิดขึ้นได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic forces) และ Hydrophobic interaction ในระยะนี้เซลล์แบคทีเรียยังคงมีการเคลื่อนที่ได้โดยเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian movement) ซึ่งมีผลทำให้สามารถถูกกำจัดได้ง่ายโดยการชะล้างด้วยน้ำหรือสารฆ่าเชื้อมีผลให้มีเซลล์บางส่วนที่หลุดออกมาจากผิวของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้ เรียกว่า "Reversible absorption" การหลุดของเซลล์อาจเกิดจากแรงดัน (Shear force) ของของไหล แต่ปัจจัยอื่น ๆ ทางกายภาพเคมีและชีวภาพอาจมีส่วนในกระบวนการนี้ได้เช่นกัน

2.1.1.3 เซลล์จำนวนหนึ่งที่ถูกดูดซับไว้ที่ Conditioning Film อาจจะหลุดออกมาได้ แต่จะไม่เคลื่อนที่จนกระทั่งถึงเวลาหนึ่งที่นานพอสมควร จึงกลายเป็นการดูดซับแบบถาวรต่อไป เรียกว่า การเกาะติดแบบไม่ย้อนกลับ (Irreversible adhesion) เซลล์แบคทีเรียจะมีการสร้างพันธะที่แข็งแรง ได้แก่ Dipole-dipole interaction พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) พันธะโควาเลนต์ (Covalent bonding) และ Hydrophobic interaction กับพื้นผิวโดยอาศัยโครงสร้างของเซลล์ เช่น แฟลกเจลลา (Flagella) ฟิมเบรีย (Fimbriae) พิไล (Pili) เป็นต้น นอกจากนี้เซลล์จะมีการสร้างไฟบริล (Fibril) เพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเซลล์แบคทีเรียกับพื้นผิวอีกด้วยทำให้มีการยึดเกาะที่เหนียวแน่นกว่าในระยะแรก ซึ่งการกำจัดเซลล์แบคทีเรียในระยะนี้ออกไปทำได้ยากขึ้น ต้องใช้แรง เช่น การขัดถู (Scrubbing) หรือการขัดลอก (Scraping) เข้าช่วยเพื่อให้เซลล์หลุดออกไป หรือการประยุกต์ใช้เอนไซม์ สารทำความสะอาด (Detergent) สารฆ่าเชื้อและ/หรือความร้อนเพื่อช่วยทำลายแรงที่ใช้ในการเกาะติดของเซลล์กับพื้นผิว (Chmielewski and Frank, 2003) การเกาะติดของจุลินทรีย์เกิดขึ้นในเวลาไม่นานเพียง 5 ถึง 30 วินาทีเท่านั้น โดยเซลล์จะมีการเกาะติดแบบระยะที่ 1 ก่อนแล้วตามด้วยระยะที่ 2 (Mittelman, 1998)

2.1.1.4 เซลล์ที่ถูกดูดซับแบบถาวรนี้ จะเจริญบนผิวของโลหะนั้น และใช้สารอาหารจากน้ำที่อยู่โดยรอบ มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ในฟิล์มชีวภาพ เซลล์เหล่านี้จะผลิตสารจากกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยใช้พลังงานจากสารอาหารในน้ำและสารบางอย่างจะถูกกำจัดออกมาจากเซลล์ ผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งคือสาร โพลีเมอร์ที่มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Extracellular polymer substance (EPS) ซึ่งจะเป็นสารที่จับฟิล์มชีวภาพเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ EPS ประกอบไปด้วยสารชีวะโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เซลล์สร้างขึ้นแล้วขับออกมาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง โพลีเมอร์ของน้ำตาลต่าง ๆ ส่วนประกอบของเซลล์เอง สารที่เกิดจากการย่อยสลายรอบนอกเซลล์ (Extracellular hydrolytic activity) และสารจากภายนอกเซลล์ที่ EPS จะสามารถดูดซับเอาไว้ได้ เซลล์ในฟิล์มชีวภาพจะสร้าง EPS ขึ้นมาเพื่อป้องกันตัวจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมที่เกิดจากความเป็นกรด-ด่าง ความแห้ง ความเค็ม สารฆ่าเชื้อ ความร้อนหรือความเย็น เป็นต้น ซึ่งสภาวะแวดล้อมเหล่านี้สามารถกระตุ้นให้เชื้อบางชนิดสามารถสร้าง EPS ออกมาได้มากหรือน้อยต่างกัน

ฟิล์มชีวภาพเป็นชุมชนของจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก จุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพสามารถสร้าง EPS ปริมาณมาก คุณสมบัติทางเคมี - กายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของ EPS จึงส่งผลต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพได้เป็นอย่างมาก สมมติฐานเกี่ยวกับพันธะทางเคมีที่เกาะเกี่ยวโมเลกุลของ EPS จนรวมกันเป็นร่างแหคล้ายเจล (gel matrix) กล่าวว่า EPS อาจเชื่อมต่อกันอย่างหลวมด้วยพันธะวานเดอร์วาลว์ แรงไฟฟ้าสถิต และพันธะไฮโดรเจน หรืออาจจะเกิดจากอิทธิพลของแคตไอออนประจุ +2 (divalent cations) อย่างแคลเซี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแมกนีเซี่ยม ซึ่งสามารถสร้างพันธะระหว่างสายโพลีเมอร์ของน้ำตาลใน EPS ได้ EPS ประกอบด้วยโปรตีนและไขมัน ซึ่งมีทั้งสารที่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic) สารเหล่านี้อาจทำให้เกิดการดึงดูดของสารต่าง ๆ ที่มีความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในบริเวณรอบ ๆ ได้จึงเป็นการเสริมการเกาะเกี่ยวกันของสารต่าง ๆ ใน EPS ได้อีกทางหนึ่ง (ณฐนนท์ ตราชู, 2547)

2.1.1.5 การสะสมของฟิล์มชีวภาพจะเพิ่มขึ้นจากการที่ทั้งเซลล์และสารตกตะกอนอื่นๆ เข้ามาเกาะติดที่ฟิล์มชีวภาพเป็นการเพิ่มปริมาณการสะสมของฟิล์มชีวภาพ การเกาะติดนี้ (Attachment) คือการที่เซลล์และสารตกตะกอนอื่น ๆ เกาะติดและไม่มีการเคลื่อนที่ในฟิล์มชีวภาพ ส่วนการดูดซับ (Absorption) นั้นจะหมายถึงกระบวนการแบบเดียวกัน แต่จะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของโลหะเท่านั้น

2.1.1.6 ฟิล์มชีวภาพบางส่วนจะหลุดออกจากผิวหน้าของโลหะและกลับเข้าไปในน้ำ การหลุดออกไป (Detachment) หมายถึง การสูญเสียที่เกิดขึ้นในฟิล์มชีวภาพ ส่วนการ Desorption จะหมายถึง การสูญเสียของเซลล์จากผิวหน้าของโลหะ การหลุดไปนี้อาจจะหมายถึงการกร่อน (Erosion) หรือการหลุดลอก (Sloughing) และจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการสูญเสียของฟิล์มชีวภาพ การเพิ่มจำนวนของเซลล์ก็จะมีการปล่อยให้เซลล์ใหม่ไปสู่น้ำได้

การกำจัดฟิล์มชีวภาพเป็นสิ่งที่ยุ่งยากและกระทำได้ยาก ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดในกระบวนการล้างทำความสะอาดคือการควบคุมไม่ให้เกิดการก่อตัวของฟิล์มชีวภาพเกิดขึ้นบนพื้นผิวภาชนะอุปกรณ์ เครื่องจักรต่าง ๆ ซึ่งหัวหน้างานควรชี้แจงและปลูกฝังการทำงานให้กับพนักงานได้เข้าใจถึงความสำคัญในเรื่องดังกล่าว ดังที่ณฐนนท์ ตราชู (2547) ได้แสดงความเห็นว่า การรักษาความสะอาดและความแห้งของพื้นผิวเป็นเรื่องจำเป็นในการป้องกัน และลดการเกิดฟิล์มชีวภาพ จุดสำคัญของการกำจัดฟิล์มชีวภาพ คือ การทำลายการเกาะติดกันของเซลล์ที่อยู่ในฟิล์มชีวภาพต้องอาศัยวิธีการจัดการหลายอย่าง ทั้งวิธีการทางกายภาพและสารเคมี (ใช้สารหลายชนิด) ซึ่งการใช้วิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงวิธีเดียวอาจไม่สามารถทำความสะอาดคราบสกปรกได้ เช่น การใช้ความร้อนในการทำความสะอาดคราบสกปรก อาจจะทำให้โปรตีนจากเศษอาหารที่ค้างอยู่ในระบบเกิดการเสียสภาพและจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้การกำจัดออกทำได้ยากขึ้น โปรตีนเหล่านี้จะกลายเป็น Conditioning film และส่งเสริมให้เกิดฟิล์มชีวภาพได้ในเวลาต่อมาการใช้สารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีน เพียงอย่างเดียวก็อาจไม่ได้ผลแต่อาจกลับกลายเป็นการกระตุ้นการเจริญหรือแพร่ขยายตัวออกไปอีก เนื่องจากกว่าคลอรีนไปทำลายฟิล์มชีวภาพส่วนนอกซึ่งเป็นเซลล์ที่ยังเจริญไม่เต็มที่ออก เมื่อมีการล้างเอาคลอรีนออกในขั้นตอนการทำความสะอาดแล้ว จะทำให้ฟิล์มชีวภาพที่เหลือซึ่งเกาะติดอย่างแน่นในชั้นล่าง ๆ ใกล้กับพื้นผิวและที่ทนต่อสารฆ่าเชื้อนั้นสามารถได้รับทั้งน้ำ และอาหารได้ดีขึ้นและเริ่มแบ่งตัวอีกครั้ง นอกจากนี้การใช้สารฆ่าเชื้อและไม่ได้กำจัดฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพออกไปให้หมดแบบนี้จะกระตุ้นให้เชื้อสร้าง EPS ออกมามากกว่าเดิมในเวลาต่อมา ดังนั้น การกำจัดฟิล์มชีวภาพจึงต้องอาศัยการขัดถูเอาฟิล์มชีวภาพชั้นบนออก

2.2 *Escherichia coli*

โดยทั่วไปรู้จักกันในชื่อของ *E. coli* ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอันตรายร้ายแรงกับมนุษย์ แต่โดยปกติอาจมีคนไม่ทราบว่า *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่พบได้เป็นปกติในลำไส้ของมนุษย์เราและสัตว์มีกระดูกสันหลัง ในขณะที่อยู่ในร่างกายมนุษย์นั้นจะมีประโยชน์กับมนุษย์หรือสัตว์ในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะการเปลี่ยนกากอาหารที่ไม่ต้องการมาเป็นวิตามินหลายชนิด และยังช่วยขัดขวางการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้อีกด้วย

สมบัติเฉพาะของ *E. coli* คือเป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่ง (Gram negative rod) ขนาด 1-2 ไมโครเมตร จัดอยู่ในพวกเจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobe) มีการเคลื่อนที่โดยใช้โดย Peritrichous flagella และยังพบโครงสร้างใช้ยึดเกาะเรียกว่า Frimbriae แต่เจริญได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน (aerobe) สามารถใช้น้ำตาลกลูโคส และให้กรดแล้วยังสามารถใช้น้ำตาลตัวอื่น ๆ ที่ 35 องศาเซลเซียส (จันทร์จิรา วิริยา, 2551) และสามารถหมักผลิตภัณฑ์ให้เกิดเป็นก๊าซได้ภายใน 48 ชั่วโมง หากพบเชื้อ *E. coli* ในผลิตภัณฑ์นั่นแสดงให้เห็นว่าอาหารที่ผลิตออกมานั้นมีสุขาภิบาลที่ไม่ดีพอ เป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform) ซึ่งเชื้อในกลุ่มนี้ถ้ามีการตรวจพบจะชี้บ่งได้ว่าอาหารมีการปนเปื้อนของอุจจาระซึ่งพาหะที่สำคัญที่สุดคือ พนักงานที่ปฏิบัติงานสัมผัสกับอาหารและอุปกรณ์เครื่องจักร เช่นไม่ทำความสะอาดมือ แขนให้สะอาดตามขั้นตอนหลังจากการเข้าห้องน้ำ เมื่อสัมผัสอาหารก็อาจทำให้เชื้อที่ติดมากระจายลงสู่อาหารได้ เมื่อผู้บริโภคได้รับประทานอาหารที่มีเชื้อ *E. coli* เข้าไปก็จะได้รับอันตรายเช่น เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง ในบางรายอาจพบเลือดออกและปวดเกร็งในช่องท้อง บางครั้งอาจมีอาการไข้ร่วมด้วยหรือไม่ก็ได้ มักพบอาการหลังได้รับอาหารที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อดังกล่าวประมาณ 2-3 วัน แต่อาจแสดงอาการหลังจากได้รับเชื้อตั้งแต่ 1 วัน ถึง 1 สัปดาห์ ซึ่งในผู้ใหญ่ที่สุขภาพดีโดยปกติจะสามารถฟื้นตัวได้ภายใน 1 สัปดาห์ แต่ในบางกลุ่มโดยเฉพาะเด็กเล็กและผู้สูงอายุอาการของโรคอาจรุนแรงมากขึ้นจนพัฒนาไปสู่โรค Haemolytic syndrome (HUS) ซึ่งทำให้เกิดไตวายและเสียชีวิตได้ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2550)

หลังการระบาดของเชื้อ *E. coli* ในปี ค.ศ. 1982 ได้มีการจำแนกกลุ่มออกตามความรุนแรงของการเกิดโรค ลักษณะการเจริญและลักษณะทางพันธุกรรม ทั้งนี้ สุมณฑา วัฒนสินธิ์ (2545) ได้สรุปแบ่ง *E. coli* ไว้ 5 กลุ่มดังนี้

2.2.1 กลุ่มที่ทำให้เกิดโรคในทางเดินอาหาร (Enteropathogenic *E. coli*; EPEC)

EPEC: *E. coli* สายพันธุ์นี้แม้ว่าจะทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้น แต่มิใช่เป็นผลมาจากเอนเทอโรทอกซิน จากการศึกษาพบว่าแบคทีเรียทำให้เกิดโรคโดยกลไกการเกาะติดเฉพาะที่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ของเนื้อเยื่อ เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกับเยื่อเมือกในลำไส้โดยอัตโนมัติ จากนั้นแบคทีเรียจะเจริญและเพิ่มจำนวนขึ้นในเยื่อเมือกของลำไส้ แล้วขับโปรตีนออกมายับยั้งการทำงานของเม็ดเลือดขาว โดยทั่วไป EPEC ทำให้ทารกที่มีอายุต่ำกว่าหนึ่งขวบท้องร่วง

2.2.2 กลุ่มที่ทำลายเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร (Enteroinvasive *E. coli*; EIEC)

EIEC: *E. coli* สายพันธุ์นี้ไม่สร้างเอนเทอโรทอกซินเช่นกัน แต่ทำลายเซลล์ของโฮสต์ (host) โดยแบคทีเรียเจาะเข้าไปทางเซลล์ชั้นนอก (epithelial cells) ของโฮสต์ก่อนแล้วกระจายไปยังเซลล์ใกล้เคียงคล้ายกับพฤติกรรมของเชื้อบิด แบคทีเรียในกลุ่มนี้ชอบอยู่ในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดโรคท้องร่วงทั้งแบบที่ถ่ายมีเลือดปนและไม่มีเลือดปน เกิดกับเด็กอ่อนและคนชรา แบคทีเรียใช้ระยะเวลาฟักตัวนาน 2-48 ชั่วโมง (เฉลี่ย 18 ชั่วโมง) EIEC เป็น *E. coli* สายพันธุ์ แรกที่พบว่า ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ โดยเกิดระบาดขึ้นในประเทศอังกฤษในปี ค.ศ. 1947 การระบาดเกิดขึ้นกับนักเรียนในโรงเรียนแห่งหนึ่งที่บริโภคปลาแซลลมอน แม้ว่าจะพิสูจน์ได้ว่าการระบาดครั้งนี้มาจากอาหารก็ทราบกันว่า EIEC สามารถแพร่จากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งได้ สายพันธุ์นี้เคยแยกได้จากอุจจาระของผู้เดินทางที่เป็นโรคท้องร่วง และตามปกติมักพบในอุจจาระเด็ก

2.2.3 กลุ่มที่สร้างสารพิษขึ้นในทางเดินอาหาร (Enterotoxigenic *E. coli*; ETEC)

ETEC: *E. coli* สายพันธุ์นี้สร้างเอนเทอโรทอกซิน 2 แบบ คือ แบบที่ทนความร้อน (heat – stable toxin –ST) จำแนกออกเป็น 2 ชนิด เรียกย่อว่า STA หรือ ST-I และ STA หรือ ST-II มีสมบัติคล้ายสารพิษของเชื้อ *Shigella spp.* และแบบที่ไม่ทนความร้อน (heat-labile toxins – LT) จำแนกออกเป็น 2 ชนิดเช่นกัน คือ LTA และ LTB มีสมบัติคล้ายสารพิษของเชื้ออหิวาต์ โรคอาหารเป็นพิษจาก ETEC เริ่มจากบริโภคอาหารที่มีแบคทีเรียมีชีวิตประมาณ 10^6-10^{10} CFU/g เข้าไป แบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนในลำไส้เล็ก พร้อมกับขับสารพิษออกมา ทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการท้องร่วง ถ่ายอุจจาระเหลวเป็นน้ำคล้ายกับได้รับเชื้ออหิวาต์ แต่อาการรุนแรงน้อยกว่า อุจจาระมันไม่มีเลือดปน อาการท้องร่วงเป็นผลมาจากสารพิษชนิดที่ไวต่อความร้อนกระตุ้นให้ขับสาร adenylate cyclase จากผนังลำไส้ ซึ่งจะเป็นผลให้มีสาร cyclic 3' , 5' -adenosine monophosphate (cAMP) เพิ่มขึ้น ทำให้มีของเหลวหลั่งออกมามากในทางเดินอาหาร ส่วนสารพิษที่ทนความร้อนกระตุ้นให้มีการหลั่ง cyclic guanosine monophosphate (cGMP)เพิ่มขึ้นในเยื่อเมือก ทำให้เกิดการสูญเสียของเหลวและอิเล็กโตรไลท์ของร่างกาย

ETEC ได้ชื่อว่าเป็นโรคท้องร่วงของนักเดินทาง โดยเฉพาะนักเดินทางจากประเทศที่พัฒนาแล้วที่เพิ่งกลับจากประเทศกำลังพัฒนา เช่น นักเดินทางกลุ่มอาสาสมัครพิชคอร์ (Peace Corps volunteers) ที่เดินทางไปในชนบทในประเทศไทย ร้อยละ 57 จาก 35 คน มีอาการท้องร่วงในช่วง 5 สัปดาห์แรก และร้อยละ 50 พบ ETEC

2.2.4 กลุ่มที่ทำให้เกิดเลือดออกในทางเดินอาหาร (Enterohemorrhagic *E. coli*; EHEC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EHEC: *E. coli* สายพันธุ์นี้สร้างสารพิษที่มีสมบัติคล้ายกับสารพิษของ *Shigella* spp. (Shiga-like toxins) และเป็นสารพิษประเภทเวอโรทอกซินหรือเวอโรไซโตทอกซิน (verotoxin, verocytotoxin) คือ สารพิษที่สามารถฆ่าเซลล์เวอโร (vero cells) ในห้องทดลองได้ เซลล์เวอโรได้จากไตของลิงเขียวแอฟริกันชนิดหนึ่ง จากการศึกษาสารพิษของ EHEC มี 2 แบบ คือแบบ SLT-I (หรือ VT-I) และ SLT-II (หรือ VT-II) ในปัจจุบันใช้ศัพท์ใหม่ว่า Stx1 และ Stx2 ตามลำดับ (Calderwood and Butterton, 1996) สารพิษทั้งสองชนิดนี้ต่างกันที่องค์ประกอบทางเคมี ทำให้ปฏิกิริยาตอบสนองต่อลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ตัวอย่างของ *E. coli* ในกลุ่มนี้ ได้แก่ *E. coli* O157:H7

2.2.5 กลุ่มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของเซลล์บุผนังลำไส้ (Enteroaggregative *E. coli*; EAggEC)

สำหรับ EAggEC เป็นสายพันธุ์ที่เพิ่งค้นพบใหม่ ยังไม่ปรากฏความรุนแรง ซึ่งจะต้องติดตามกันต่อไป

อย่างไรก็ตามในประเทศไทยการขยายตัวของธุรกิจอาหารแปรรูปสัตว์ปีกแช่แข็งกำลังเป็นที่จับตามอง และทางกลุ่มสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกาหรือแม้แต่ญี่ปุ่น ซึ่งเป็นผู้นำเข้าสินค้าอาหารแปรรูปสัตว์ปีกแช่แข็งรายใหญ่ของไทย ได้ให้ความสำคัญต่อการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* ซึ่งมีโอกาสในการปนเปื้อนอย่างมาก ในกระบวนการผลิต ทั้งก่อนและหลังการทำสุก และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคอย่างรุนแรง อาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ ซึ่งจะเป็นปัญหาใหญ่ต่อการขยายตัวของธุรกิจประเภทนี้ต่อไปในอนาคต จึงมีการศึกษาวิจัยนี้เกิดขึ้น

2.3 น้ำอิเล็คโตรไลท์ (Electrolyzed water)

เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยจากสาเหตุของอาหารไม่ปลอดภัยภายในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่สาเหตุหนึ่งของการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารคือ การล้างอาหารไม่สะอาด การใช้มือหยิบจับอาหาร ภาชนะ เป็นต้น

โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้คลอรีนเป็นสารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ คลอรีนที่เติมลงไปจะละลายอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในน้ำหรือบนพื้นผิวอุปกรณ์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการฆ่าเชื้อสามารถวัดปริมาณคลอรีนอิสระที่หลงเหลือและสามารถชี้บ่งได้ว่าเชื้อโรคถูกทำลายลงทั้งหมดหรือไม่ อย่างไรก็ตามคลอรีนที่ถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยังคงพบข้อเสีย กล่าวคือต้องมีขั้นตอนในการเตรียมให้เป็นสารละลายที่เจือจางก่อนถูกนำมาใช้งาน โดยพนักงานผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับอันตรายขณะทำการเจือจาง (Dilute) ได้ การพัฒนาสารทำความสะอาดในรูปแบบสารละลายอิเล็คโตรไลท์ซึ่งมีวิธีในการเตรียมก่อนนำมาใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก จะเป็นการช่วยลดอันตรายจากขั้นตอนการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพนักงานได้และยังจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนในระหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิต (กรมอนามัย, 2553)

ในปัจจุบันได้มีผู้ศึกษาถึงเรื่องการนำน้ำอิเล็คโตรไลท์ซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อที่สามารถนำมาทดแทนคลอรีนได้อย่างสมบูรณ์ สมบัติของน้ำอิเล็คโตรไลท์คือ เป็นสารละลายที่มีประจุไฟฟ้าสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ การผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์มีขั้นตอนคือ นำน้ำประปาหรือน้ำกลั่นผสมเกลือให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการจับตัวของสารที่ขั้วแอโนด (Anode) กลายเป็นน้ำอิเล็คโตรไลท์กรด (Electrolyzed acidic water) และการจับตัวที่ขั้วแคโทด (Cathod) กลายเป็นน้ำอิเล็คโตรไลท์ด่าง (Electrolyzed alkaline water) โดยน้ำอิเล็คโตรไลท์ทั้งชนิดกรดและด่างสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการล้างทำความสะอาดทำลายเชื้อโรคและแบคทีเรียได้โดยน้ำอิเล็คโตรไลท์ด่างจะมีหน้าที่หลัก คือ ขจัดไขมันและโปรตีนที่ติดอยู่บนพื้นผิวส่วนน้ำอิเล็คโตรไลท์กรดนั้น จะทำหน้าที่ในการกำจัดแบคทีเรียและเชื้อโรคต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำความสะอาดแบบเดิมๆ แล้วจะพบว่า น้ำอิเล็คโตรไลท์สามารถกำจัดเชื้อได้เร็วกว่า (เร็วกว่า 80 เท่าเมื่อเทียบกับโซเดียมไฮโปครอไรท์) และประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายกว่ารวมถึงช่วยลดต้นทุนในธุรกิจ (Cost reduction) นอกจากนี้น้ำ อิเล็คโตรไลท์ ยังปลอดภัยต่อผู้ใช้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และมีหลายบริษัทได้ผลิตเครื่องผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์เพื่อจำหน่าย แต่มีข้อจำกัดคือมีราคาแพงและสามารถผลิตได้ปริมาณน้อย

การจำแนกสารละลายอิเล็คโตรไลท์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ อิเล็คโตรไลท์แก่และอิเล็คโตรไลท์อ่อน โดยจุฬาลักษณ์ วงค์ขัดนนท์ และคณะ (2552) ได้อธิบายถึงตัวอย่างไว้ดังนี้

2.3.1 อิเล็คโตรไลท์แก่ และ อิเล็คโตรไลท์ อ่อน

อิเล็คโตรไลท์แก่หรือ Strong electrolyte หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นประจุได้มาก อาจแตกตัวได้ 100% และนำไฟฟ้าได้ดีมาก เช่นกรดแก่ และด่างแก่ และเกลือ ส่วนใหญ่จะแตกตัวได้ 100% ตัวอย่างของ Strong electrolyte ได้แก่ เกลือที่ละลายน้ำทั้งหมด กรดแก่ทั้งหมด ด่างแก่ทั้งหมด เช่น NaCl , KNO_3 , H_2SO_4 , HCl , HClO , NH_4OH และ HF

อิเล็คโตรไลท์อ่อนหรือ Weak electrolyte หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวได้บางส่วนนำไฟฟ้าได้น้อยตัวอย่าง ของ Weak electrolyte ได้แก่ กรดอ่อนทั้งหมดและด่างอ่อนทั้งหมด เช่น CH_3COOH , H_2CO_3 , HNO_2 , H_2SO_3 , H_2S , $H_2C_2O_4$ และ H_3BO_3

การที่สารละลายอิเล็คโตรไลท์นำไฟฟ้าได้ เพราะในสารละลายมีประจุซึ่งมีประจุไฟฟ้าเรียกว่าประจุบวกและประจุลบ

น้ำอิเล็คโตรไลท์ คือ สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีประจุซึ่งอาจจะเป็นประจุบวกหรือประจุลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ น้ำอิเล็คโตรไลท์เกิดขึ้นจากการผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงไปในน้ำเกลือเจือจางความเข้มข้นประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-2% ทำให้เกิดสารละลายที่มีประจุบวก (Anolyte) และประจุลบ (Catholyte) แล้วแยกสารละลายทั้งสองออกจากกันด้วยขั้วบวกและขั้วลบของกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างของน้ำอิเล็คโตรไลท์ คือ

$$NaCl\ (\text{salt}) + H_2O\ (\text{Water}) + \text{Electricity} = NaOH + HClO$$

2.4 พื้นผิวสเตนเลส (Pantown, 2552)

เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สเตนเลส (Stainless steel) ในทางโลหกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็กที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% หรือมากกว่า ทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide film; CrO_2 หรือเรียกว่า Passive film) ที่มองไม่เห็นเกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้า ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการกัดกร่อน ฟิลม์ปกป้องนี้จะมีความบางเทียบเท่ากับวางกระดาษ 1 แผ่นบนตึกสูง 20 ชั้น ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้นถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล สารเคมี หรือออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ จะทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทนขึ้นใหม่

สเตนเลสสามารถปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติอื่นๆที่ ต้องการให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่มส่วนผสมของโครเมียมและเพิ่มธาตุอื่น ๆ เช่น โมลิบดิบนัม นิกเกิลและไนโตรเจนเข้าไปสเตนเลส มีอยู่มากกว่า 60 ชนิด

คุณสมบัติที่ทำให้สเตนเลสได้รับความนิยม เนื่องจากการขึ้นสนิมได้ยากเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่น ๆ ค่าบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูป ระยะเวลาการใช้งานคุ้มค่ากับ ราคา และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ทั้งหมด

2.4.1 ประเภทของสเตนเลส

โดยทั่วไปสเตนเลสแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ตามโครงสร้างคือ ออสเทนนิติค (Austenitic) เฟอร์ริติค (Ferritic) มาร์เทนซิติค (Martensitic) และเหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก ทั้งนี้สมบัติของสเตนเลสแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของสเตนเลสแต่ละประเภท

ประเภทของสเตนเลส	สมบัติ	ประโยชน์และการใช้งาน
ออสเทนนิติค (Austenitic)	รู้จักกันในนาม "ซีรี่ส์ 300" ซึ่งประมาณได้ว่าร้อยละ 70 ของการผลิตสเตนเลสในโลกนี้เป็นสเตนเลสกลุ่มออสเทนนิติค ประกอบด้วยคาร์บอนอย่างน้อย 0.15 เปอร์เซนต์	เป็นสเตนเลสตระกูลที่นำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า งานตกแต่งอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเภทของสเตนเลส	สมบัติ	ประโยชน์และการใช้งาน
ออสเทนนิติค (Austenitic)	มีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อยร้อยละ16 และนิกเกิลช่วยปรับปรุงสมบัติในการขึ้นรูป ประกอบและเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน บางเกรดจะมีแมงกานีสผสมอยู่ด้วย โดยทั่วไปจะมีโครเมียมร้อยละ 18 นิกเกิลร้อยละ 10 และมักเรียกกันว่า 18/10 ซึ่งคล้ายกับ 18/0 และ 18/8	งานสถาปัตยกรรม อุปกรณ์ในการผลิตเบียร์ หรือการผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มและอาหารที่มีสมบัติต้านทานที่เกี่ยวข้องกับความสะอาดและสุขศาสตร์อนามัย เช่น เครื่องมือในโรงพยาบาล เวชภัณฑ์ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำติดลบ สำหรับถังเก็บก๊าซเหลว และสามารถใช้งานที่ อุณหภูมิสูง เช่น ท่อแลกเปลี่ยนอุปกรณ์ความร้อน อุปกรณ์ควบคุมหรือกำจัดมลภาวะ และควันพิษ งานท่อ ถังเก็บ ภาชนะที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมและภาชนะความดันที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเหมืองแร่ การผลิตเนื้อเยื่อกระดาษและกระดาษ อุปกรณ์ในตู้โดยสารรถไฟ รถเข็นอาหาร
เฟอร์ริติค (Ferritic)	มีสมบัติดูดแม่เหล็ก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักระหว่างร้อยละ 10.5-27 บางเกรดผสมนิกเกิลลงไปเล็กน้อย บางเกรดผสมโมลิบดินัมหรืออลูมิเนียมไททาเนียมมีคุณสมบัติดูดแม่เหล็ก	เป็นตระกูลที่นิยมใช้มากที่สุดในงานอุปกรณ์ตกแต่งในอาคาร เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ช้อนส้อม มีด และเครื่องใช้ในครัว อ่างล้าง อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน งานสถาปัตยกรรม เครื่องถ่ายความร้อนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเภทของสเตนเลส	สมบัติ	ประโยชน์และการใช้งาน
เฟอร์ริติค (Ferritic)	โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของโครเมียมร้อยละ 12 -14 โมลิบดินัมร้อยละ 0.2-1 มีนิกเกิลร้อยละ 0-2 และมีคาร์บอนผสม อยู่ประมาณร้อยละ 0.1-1 เป็นตระกูลที่มีความต้านทานการกัดกร่อนน้อยกว่ากลุ่มออสเทนนิติคและกลุ่มเฟอร์ริติคแต่มีความทนทานและแข็งแรงมากกว่า สามารถชุบแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็น	กระบวนการผลิตและอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตอาหารนม แกนและถังปั่นในเครื่องซักผ้าและเครื่องล้างจาน นอกจากนี้สามารถนำไปใช้ในงานเรือเดินสมุทร ทำแผ่นดาดฟ้าเรือ ฝายน้ำล้น โซ่ในงานขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ ดูดฝุ่นและควัน เป็นต้นสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความทนทานและมีความแข็ง เช่น ทำใบมีด เครื่องมือผ่าตัด ตัวยึด กระสวย หรือแกนเพลา หัวฉีด เพลาและสปริง โดยทั่วไปผลิตออกมาในรูปเป็นท่อนแบน แผ่น และงานหล่อตัวอย่าง
มาร์เทนซิติค (Martensitic)	มีสมบัติดูดแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของโครเมียมร้อยละ 12 -14 โมลิบดินัมร้อยละ 0.2-1 มีนิกเกิ้ลร้อยละ 0-2 และมีคาร์บอนผสม อยู่ประมาณร้อยละ 0.1-1 เป็นตระกูลที่มีความต้านทานการกัดกร่อน น้อยกว่ากลุ่มออสเทนนิติคและกลุ่มเฟอร์ริติค แต่มีความทนทานและแข็งแรงมากกว่า สามารถชุบแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็น	สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความทนทานและมีความแข็ง เช่น ทำใบมีด เครื่องมือผ่าตัด ตัวยึด กระสวย หรือแกนเพลา หัวฉีด เพลาและสปริง โดยทั่วไปผลิตออกมาในรูปเป็นท่อนแบน แผ่น และงานหล่อตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเภทของสเตนเลส	สมบัติ	ประโยชน์และการใช้งาน
กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex group)	มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างกลุ่มเฟอร์ริติกและกลุ่มออสเทนนิติค มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19 ถึง ร้อยละ 28 โมลิบดินัมสูงกว่าร้อยละ 5 และมีนิกเกิลน้อยกว่ากลุ่มออสเทนนิติค เนื่องจากมีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างกลุ่มเฟอร์ริติกและกลุ่มออสเทนนิติค จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าออสเทนนิติคและมีความทนทานต่อการกัดกร่อนใช้งานมากในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์สูง	นำไปใช้ในการทำแผงและท่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ ถังเก็บและถังความดันในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นสูง ตัวอย่างงานได้แก่ อุปกรณ์ หล่อเย็นด้วยน้ำทะเล การกลั่นน้ำทะเลให้บริโภคได้ อุตสาหกรรม หมักดอง เหมืองฉีดน้ำ อุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ
เหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก	มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มมาร์เทนซิติคเกรด 17-4H ที่รู้จักกันทั่วไป เพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก มีโครเมียมผสมอยู่ร้อยละ 17 และมีนิกเกิลร้อยละ 4 ทองแดงและไนโอเบียม ผสมอยู่ด้วย มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนเทียบเคียงกับกลุ่ม ออสเทนนิติค มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มมาร์เทนซิติคเกรด 17-4H ที่รู้จักกันทั่วไป	เนื่องจากสเตนเลสชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสำหรับทำแกนปั๊มหัววาล์วและส่วนประกอบของอากาศยาน

ที่มา : ดัดแปลงจาก http://www.pantown.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.2 ประโยชน์ของสเตนเลส

การเลือกใช้วัสดุในการประกอบชิ้นงานสำหรับผู้ประกอบการ ผู้ออกแบบ หรือ Product Design หรือการนำวัสดุมาใช้ในบ้าน ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ทุกคนจะพิจารณาทั้งข้อดีและข้อเสียของวัสดุนั้นๆพิจารณาคุณสมบัติของสเตนเลส

ทนทานต่อการกัดกร่อน

สเตนเลสทุกกลุ่มทนทานต่อการกัดกร่อน แต่จะแตกต่างกันไปตามส่วนผสมของโลหะ เช่น เกรดที่มีโลหะผสมไม่สูง สามารถต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศทั่วไป ในขณะที่เกรดที่มีโลหะผสมสูงสามารถต้านทานการกัดกร่อน ในกรด ด่าง สารละลาย บรรยากาศคลอไรด์ ได้เกือบทั้งหมด

ความต้านทานต่ออุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

สเตนเลสบางเกรดสามารถทนความร้อนหรือ/และความเย็น รวมถึงการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดีและมีสมบัติพิเศษในการทนไฟทำให้มีการนำสเตนเลสไปใช้ในอุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมปิโตรเคมีอย่างแพร่หลาย

ง่ายต่องานประกอบหรือแปรรูป

สเตนเลสส่วนใหญ่สามารถตัด เชื่อม ขึ้นรูป ตบแต่งทางกล ลากขึ้นรูป ขึ้นรูปนูนต่ำได้ง่าย ด้วยรูปร่าง สมบัติและลักษณะต่างๆของสเตนเลสช่วยให้ผู้ผลิตสามารถนำสเตนเลสไปประกอบกับวัสดุอื่นๆได้ง่าย

ความทนทาน

สมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของสเตนเลสคือความแข็งแกร่งทนทาน สเตนเลสสามารถเพิ่มความแข็งได้ด้วยการขึ้นรูปเย็น ซึ่งใช้เพื่อออกแบบงาน โดยลดความหนา น้ำหนักและราคา สเตน เลสบางเกรดอาจใช้ในงานที่ทนความร้อนและยังคงความทนทานสูง

ความสวยงาม

ด้วยรูปทรงและพื้นผิวที่หลากหลายรูปแบบที่สวยงาม ทำความสะอาดได้ง่าย ปัจจุบันสเตนเลสมีสีให้เลือกมากมายด้วยกรรมวิธีชุบเคลือบผิวด้วยเคมีไฟฟ้าสามารถทำให้สเตนเลสมีผิวสีทอง บรอนซ์ เขียว เงิน และสีดำ ทำให้สามารถเลือ ประยุกต์ใช้สเตนเลสได้อย่างมากมาย นอกจากนี้ ความเงางามของสเตนเลสในอ่างล้างจาน อุปกรณ์ประกอบอาหาร หรือ เฟอร์นิเจอร์ทำให้บ้านดูสะอาดและน่าอยู่อีกด้วย

ความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ

การทำความสะอาด การดูแลรักษาสเตนเลส และมีความเป็นกลางสูงจึงไม่ดูดซึมรสใดๆ เป็นเหตุผลสำคัญที่สเตนเลสถูกนำมาใช้งานในงานโรง พยาบาล เครื่องครัว ด้านโภชนาการและด้านเภสัชกรรม เนื่องจากความทนทาน ต้องการการดูแลรักษาน้อย และค่าใช่จ่ายต่ำเมื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
123747

กับระยะเวลาการใช้ งาน การใช้อุปกรณ์เครื่องครัวสเตนเลสใน บ้านเรือนให้ความรู้สึกถึงความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ (Pantown, 2552)

2.5 การประยุกต์ใช้สารละลายอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์

ในโรงงานแปรรูปอาหาร วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในบริเวณสายการผลิต (ทั้งที่สัมผัสกับอาหารโดยตรงและที่ไม่สัมผัสกับอาหาร) ต้องสะอาดมีผิวเรียบ ไม่มีรอยแตก ทำด้วยวัสดุที่สามารถทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ดูดซับน้ำ ไม่เป็นสนิม และไม่ควรมีรอยต่อมาก ในกรณีที่มีรอยต่อส่วนนั้นต้องเรียบและเชื่อมต่อกันสนิท สามารถทำความสะอาดง่าย โดยทั่วไปนิยมใช้พื้นผิวสเตนเลสในการทำอุปกรณ์ในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเหมาะสมตามที่ได้กล่าวไว้

สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรรวมถึงสภาพแวดล้อมในสายการผลิต ต้องเป็นสารเคมีที่ได้รับการรับรองให้ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้

จากการศึกษาของ Liu and Cheng (2005) ได้ศึกษาเรื่องประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อ *Listeria monocytogenes* บริเวณพื้นผิวสเตนเลส เซรามิก และพื้นผิวกระเบื้อง ซึ่งเป็นวัสดุพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง โดยนำน้ำอิเล็คโตรไลท์มาทดสอบกับพื้นผิวดังกล่าว พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อ *L. monocytogenes* ได้ในพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด โดยพื้นผิวสเตนเลสสามารถลดปริมาณเชื้อได้มากที่สุดคือ 3.66 log CFU / chip พื้นผิวเซรามิกและพื้นผิวกระเบื้องสามารถลดปริมาณเชื้อลงได้ 2.44 และ 1.77 log10 CFU / chip ตามลำดับขนาดพื้นผิวสเตนเลส กระเบื้องและเซรามิก มีขนาดเท่ากับ 2x5 เซนติเมตร

นอกจากนี้ Liu *et al.* (2006) ยังได้มีการศึกษาถึงเรื่องประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการยับยั้งเชื้อ *L. monocytogenes* บนพื้นผิวถุงมือ โดยนำน้ำอิเล็คโตรไลท์ในมาทดสอบกับถุงมือทั้ง 3 ชนิดคือ ไนไตรท์ (Nitrite), Natural latex และ Natural rubber latex ที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง พบว่า พื้นผิวถุงมือชนิดไนไตรท์ซึ่งมีผิวที่ขรุขระกว่าชนิดอื่น มีปริมาณเชื้อลดลงน้อยกว่าถุงมือชนิด Natural latex และ Natural rubber latex ตามลำดับ

Park *et al.* (2001) ได้ศึกษาถึงเรื่องประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อ *Campylobacter jejuni* บริเวณผิวหนังไก่สดในระหว่างการล้างทำความสะอาดไก่สดก่อนการชำแหละของโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แห่งหนึ่ง โดยน้ำผิวหนังไก่สดมาผ่านการล้างน้ำอิเล็คโตรไลท์ พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อบริเวณผิวหนังไก่สดได้ถึง 3.77 $\log_{10}$ CFU / gram

Park *et al.* (2004) ยังได้ศึกษาถึงเรื่องประสิทธิภาพความเข้มข้นของค่า Chlorine และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ละลายละลายอยู่ในน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157:H7 และเชื้อ *L. monocytogenes* พบว่า ความเข้มข้นของค่าคลอรีนและค่า pH มีผลต่อปริมาณเชื้อที่ลดลงทั้ง 2 ชนิด โดยความเข้มข้นของค่าคลอรีนที่ละลายอยู่ในน้ำอิเล็คโตรไลท์มากและค่า pH ที่มีค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกรดมากจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157:H7 และเชื้อ *L. monocytogenes* ได้มากขึ้นตามไปด้วย

กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล (2551) พบว่า การใช้คลอรีนไดออกไซด์ (5 ppm) และน้ำอิเล็คโตไลต์ชนิดกรด (ปริมาณคลอรีนที่ใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด 30 ppm) สามารถทำลายเซลล์ของ *Bacillus cereus, Staphylococcus aureus* , และสปอร์ของ *B. cereus* ได้ดี เมื่อเซลล์หรือสปอร์แขวนลอยอยู่ในสารละลายเปปโตนซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์น้อย แต่เมื่อเซลล์หรือสปอร์เหล่านี้อยู่ในอาหารที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากขึ้น เช่น อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และ Chicken broth ประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อจะลดลง โดยที่ความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อเท่าเทียมกัน สปอร์จะถูกทำลายได้น้อยกว่าเซลล์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการสัมผัสสารและปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัสสารฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นและปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นอยู่ในระดับต่ำ จะส่งผลให้ สารฆ่าเชื้อมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ดียิ่งขึ้น

Phuvasate and Su (2009) ศึกษาถึงเรื่องประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ และน้ำอิเล็ค-โตรไลท์ในสภาวะน้ำแข็ง ซึ่งสามารถลดปริมาณ Histamine ที่แบคทีเรียสามารถสร้างขึ้น โดยแบคทีเรียที่นำมาทดสอบคือ *Enterobacter aerogenes, En. cloacae, Klebsiella pneumonia Morganella morganii* และ *Proteus hauseri* บนพื้นผิวที่สัมผัสอาหาร ในที่นี้ใช้พื้นผิวเซรามิกสเตนเลส และผิวหนังของปลา Atlantic salmon และ Yellow fin tuna โดยการล้างพื้นผิวต่าง ๆ ด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ (50 ppm chlorine) เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดปริมาณแบคทีเรียลงได้มากกว่า 0.92 ถึง 5.4 $\log_{10}$CFU /cm^2 และยังสามารถลดปริมาณ *En. cloacae, K. pneumoniae* และ *P. hauseri En. aerogenes* และ *M. morganii* ไม่เหลือรอดอยู่บนผิวหนังของปลา และเมื่อล้างด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ (100 ppm chlorine) เป็นเวลา 120 นาที จะสามารถลดปริมาณ *En. aerogenes* และ *M. morganii* ลงได้มากกว่า 1.3 และ 2.2 log CFU /cm^2 ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ น้ำอิเล็คโตรไลท์ในสภาวะน้ำแข็งในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบนพื้นผิวต่าง ๆ สามารถฆ่าเชื้อ *En. aerogenes* และ *M. morganii* บนผิวของ Yellow fin tuna ลงได้มากกว่า 2.4 และ 3.5 $\log_{10}$CFU /cm^2 ตามลำดับ เมื่อแช่ใน น้ำอิเล็คโตรไลท์ในสภาวะน้ำแข็ง ความเข้มข้น 100 ppm chlorine เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยสรุปว่า น้ำอิเล็คโตรไลท์ และ น้ำอิเล็คโตรไลท์ในสภาวะน้ำแข็ง นำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องของเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำหรับการลดสาร Histamine ที่ผลิตออกมาจากแบคทีเรียบนพื้นผิวอุปกรณ์ที่สำผัสอาหารและผิวหนังของปลา

Vandekinderen *et al.* (2009) ศึกษาถึงเรื่องคลอรีนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารทำความสะอาดประเภทออกซิไดซ์แบบรุนแรง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งแบบสถานะที่เป็นสารละลายและแบบสถานะก๊าซได้ สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และมีความสามารถในการทำลายเชื้อไวรัส ทดสอบการฆ่าเชื้อ สปอร์ของยีสต์และรา สปอร์ของ *B. cereus* ด้วยก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.08 mg/l เป็นเวลา 1 นาที ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% โดยเชื้อแต่ละชนิดมีความต้านทานต่อก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ได้แตกต่างกัน โดยสามารถลดปริมาณเชื้อลงได้มากกว่า 0.1-3.5 log $_{10}$CFU/cm^2 เป็นที่น่าสังเกตุว่าองค์ประกอบในอาหาร เช่น แป้ง(Starch) ไขมัน โปรตีน และโซเดียมคลอไรด์ มีผลต่อความสามารถก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ โดยอาหารที่มีส่วนประกอบของสารละลายแป้งและโซเดียมคลอไรด์ สามารถทำลายเชื้อต่างๆ ได้ดี การทดลองยังพบอีกว่าก๊าซคลอรีนไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนประเภทคาร์โบไฮเดรต และจะมีประสิทธิภาพน้อยลงในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนประเภทโปรตีน และไขมัน

Lindsey *et al.* (2009) ศึกษาถึงเรื่องการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพของ คลอรีนที่ 20-200 ppm น้ำอิเล็คโตรไลท์ประเภทกรด ที่คลอรีน 50 ppm ค่า pH 2.6 สารละลาย Acidified sodium chlorite ที่มีไอออนของ Acidified sodium chlorite เข้มข้น 20-200 ppm และคลอรีนไดออกไซด์ในสถานะของเหลวที่มีไอออนของ Acidified sodium chlorite เข้มข้น 20-200 ppm โดยทั้งหมดถูกนำมาทดสอบด้วยการล้างเพื่อลดปริมาณ *E. coli* O157:H7 ที่ถูกเพิ่มเข้าไปในผักกาดหอมหั่นใบ โดยผักกาดหอมจะถูกนำไปจุ่มลงในสารละลายที่มีเชื้อ *E. coli* O157:H7 ปริมาณ 8 log CFU/ml เป็นเวลา 5 นาทีและทำให้แห้งและนำใบปริมาณ 25 กรัมมาทดสอบด้วยการจุ่มสารละลายที่ต้องการทดสอบเป็นเวลา 2 นาที และเก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส การทดสอบด้วยการล้างด้วยสารละลายที่มีไอออนของ chlorite ที่ 100 และ 200 ppm มีประสิทธิภาพดีสุดที่จะลดปริมาณ *E. coli* O157:H7 ในผักกาดหอมพันธุ์ไอซ์เบิร์ค ได้ถึง 1.25 และ 1.05 log CFU/g ในแต่ละตัวอย่าง ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าในทุก ๆ การทดลองนั้นสามารถให้ผลการลดเชื้อ *E. coli* O157:H7 ลงไปได้มากกว่า 1 log CFU/ml เป็นอย่างน้อยที่ระดับคลอรีน 200 ppm และที่สารละลายอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรดให้ผลในการฆ่าเชื้อ *E. coli* O157:H7 มีประสิทธิภาพทั้งยี่ห้อ Sanova และ TriNova การส่องตรวจดูพื้นผิวใบผักกาดหอมด้วยกล้องอิเล็คตรอนเพื่อหาเชื้อ *E. coli* O157:H7 พบว่าได้เกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ บริเวณใบผักกาดหอมที่เสียสภาพ ขณะที่เซลล์ของเชื้อ *E. coli* O157:H7 แต่ละเซลล์ที่อยู่บนพื้นผิวที่ไม่เสียสภาพของใบนั้นจะถูกทำลายได้ดีกว่า

สาวิตรี วทัญญูไพศาล (2546) ได้ศึกษาว่าการเกาะติดของเชื้อ *Staph. aureus* จำนวน 4 สายพันธุ์ สามารถเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพได้บนพื้นผิวสเตนเลสในสภาวะที่ไม่มีธาตุอาหารและสภาวะที่มีหางนมผสมอยู่ โดยเตรียมเซลล์ปริมาณเริ่มต้นที่ 10^8 log CFU/ml พบว่าเชื้อทั้งสี่สายพันธุ์สามารถเกาะติดบนแผ่นสแตนเลสได้ที่เวลาเพียง 30 นาทีหลังแช่แผ่นสแตนเลส และในสภาวะที่เชื้ออยู่ในสารละลายน้ำเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) เชื้อทุกสายพันธุ์เกาะติดได้สูงสุดที่เวลา 90 นาที หลังจากนั้นปริมาณการเกาะติดของเชื้อคงที่แม้จะแช่นานขึ้นเป็น 120 และ 150 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1 เชื้อจุลินทรีย์

- *Escherichia coli* บริสุทธิ์จาก Stock culture ของห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา บริษัท ซีพีเอฟผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด Lot : 100715

3.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

	บริษัท	ประเทศ
3.2.1 Trypticase Soy Broth	Merck	Germany
3.2.2 Peptone	Merck	Germany
3.2.3 Phosphate Buffer	Merck	Germany
3.2.4 เกลือแกงบริสุทธิ์ (NaCl)	ปรุงทิพย์	Thailand
3.2.5 น้ำดีไอออไนซ์ (Deionized water)		
3.2.6 Petrifilm ™ AC	3M	Thailand
3.2.7 Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20%	ECOLAB	Thailand
3.2.8 Butterfiled's Phosphate Buffer Diluent (BPB)	Merck	Germany
3.2.9 กรดฟอสฟอริก	Carlo erba	Italy

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

	รุ่น	บริษัท	ประเทศ
3.3.1 เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Generator)	Dagatron 7203	Electronics Part Supply CO.LTD	Switzerland
3.3.2 เครื่องบ่มเชื้อ (Incubator)	IF 30	Memmert	Germany
3.3.3 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	Level 1 P-82362	InoLab	Germany
3.3.4 เครื่องชั่งอิเลคทรอนิค	Navigator™	Ohaus Coorperation	Switzerland
3.3.5 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ	Tomy ss-245	Tomy Seiko	Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ (ต่อ)

	รุ่น	บริษัท	ประเทศ
3.3.6 ตู้เขี่ยเชื้อ (Laminar flow cabinet)	Mark II	Dwyer	U.S.A.
3.3.7 เครื่องวัดค่า Oxidation-reduction potential (ORP)	RM-30P	TOA DKK	Japan
3.3.8 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	Orion 3STAR	Thermo Fisher Scientific Inc.	U.S.A.
3.3.9 เครื่องผสมสารละลาย	Genie 1	11716,Bohemia	U.S.A.
3.3.10 บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร (Beaker 2 litre)		Pyrex	Germany
3.3.11 หลอดแก้วฝาเกลียว (Screw-cap tubes)		Pyrex	Germany
3.3.12 เพลท (Sterilized plate)		Pyrex	Germany
3.3.13 ปิเปต (Pipete)		HBG	Germany
3.3.14 Cylender 1000 มิลลิลิตร		VitLab	Germany
3.3.15 Cylender 500 มิลลิลิตร		VitLab	Germany
3.3.16 Cylender 100 มิลลิลิตร		VitLab	Germany
3.3.17 สายพาน Thermoplastic Polyurethane	F 61	BKK Belts	Thailand
3.3.18 ตะเกียงแอลกอฮอล์			
3.3.19 แผ่นไททาเนียม			
3.3.20 แผ่นอลูมิเนียม			

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 วิธีการเตรียม *E. coli* ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

นำเชื้อ 1 ลูป ถ่ายลงในสารอาหารเลี้ยงเชื้อ Typticase soy broth (TSB) 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูดเชื้อจากหลอด TSB 10 มิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตรใส่ลงใน Eppendorf tube ที่มี 30% Glycerol ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ (-)20 องศาเซลเซียส ดูดเชื้อ *E. coli* จาก Eppendorf tube แช่แข็งที่ (-)20 องศาเซลเซียส ที่เตรียมไว้มาทำการ Pre-enrichment ลงใน TSB 10 มิลลิลิตรดังแสดงในภาพที่ 3.1 (ก) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 (ข) ทำการบ่มเชื้ออีกครั้งโดยดูดเชื้อจาก TSB 10 มิลลิลิตร ลงใน TSB 100 มิลลิลิตร และบ่มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นดูดเชื้อ *E. coli* จาก TSB 100 มิลลิลิตร เจือจางใน 0.1% Sterile peptone water โดยเจือจางเซลล์ให้มีความเข้มข้นประมาณ 7 log CFU/ml 5 log CFU/ml และ 3 log CFU/ml สำหรับการทดสอบปริมาณตั้งต้นระดับสูง ระดับกลางและระดับต่ำตามลำดับ จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเซลล์ *E. coli* เริ่มต้นต่อไป

(ก) (ข)

ภาพที่ 3.1 การ Pre-enrichment เชื้อ *E. coli* ลงใน TSB 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส: (ก) ก่อนบ่มเชื้อ; (ข) หลังบ่มเชื้อที่เวลา 24 ชั่วโมง

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณเซลล์ *E. coli* เริ่มต้น (ดัดแปลงจาก กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล, 2550)

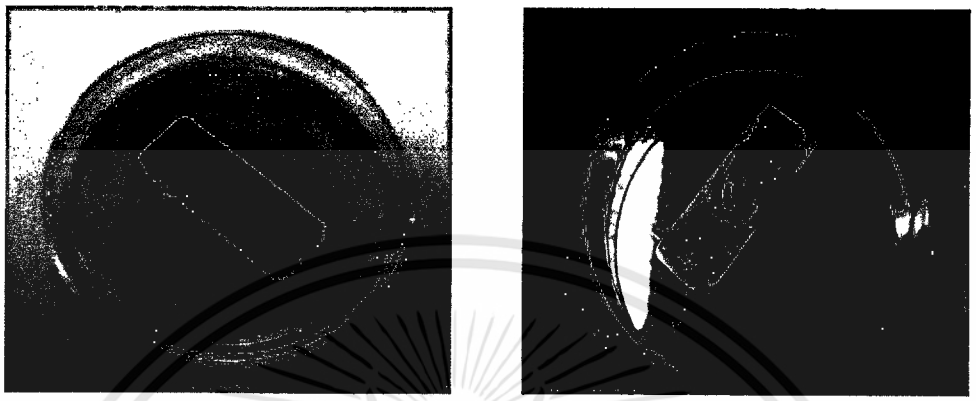
ทำการตรวจนับปริมาณเซลล์เริ่มต้นของเชื้อ *E. coli* ด้วยวิธี Pour plate โดยปิเปตเชื้อ *E. coli* เริ่มต้น 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองซึ่งมี 0.1% Sterile peptone water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ จากนั้นปิเปตสารละลายเชื้อเจือจางปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB วน Plate ให้เชื้อกระจายทั่วผิวหน้าอาหาร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนี คำนวณหาปริมาณเชื้อทั้งหมดในสารละลาย 1 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อหนึ่งความเข้มข้น

3.4.3 การเตรียมพื้นผิวสเตนเลส (Stainless steel)

ตัดแผ่นสเตนเลส ขนาด 2x5 เซนติเมตร ชนิด 304 No. 2B (ความหนาโดยประมาณ 1 มิลลิเมตร) ดังภาพที่ 3.2 นำมาทำความสะอาดให้ปลอดเชื้อตามวิธีของ Frank *et al.* (2003) โดยการแช่แผ่นสเตนเลสในน้ำสบู่ที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์ (Deionized water) และแช่ลงในกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์อีกครั้ง จากนั้นนำเข้าฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ก่อนใช้ฆ่าเชื้อด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณเชื้อภายหลังทำความสะอาดด้วยวิธี Pour plate เพื่อเป็นตัวแทนพื้นผิววัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต



(ก) (ข)

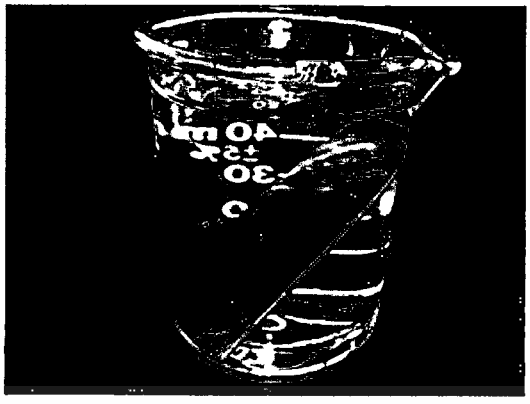
ภาพที่ 3.2 แผ่นสเตนเลส ขนาด 2x5 เซนติเมตร ชนิด 304 No. 2B : (ก) แผ่นสเตนเลสแบบสะอาด; (ข) แผ่นสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ

3.4.4 การเตรียมฟิล์มชีวภาพ

3.4.4.1 การเตรียมฟิล์มชีวภาพ (ดัดแปลงจาก Ryu and Beuchat, 2005 อ้างโดย กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล, 2550)

นำสารละลายของเซลล์เชื้อ *E. coli* ที่เตรียมขึ้นตามวิธีข้อ 3.4.1 มาหมุนเหวี่ยงเซลล์ที่ความเร็วรอบ 2,300 × g เป็นเวลา 10 นาที ละลายตะกอนเซลล์ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเป็นกรด-ด่าง 7.4 ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเซลล์ 7 5 และ 3 log CFU/ml ตามลำดับ ปิเปตสารละลายที่เตรียมขึ้นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่นพื้นผิวทดสอบแต่ละแผ่นที่เตรียมขึ้นตามวิธีในข้อ 3.4.3 ใส่ลงในบีกเกอร์ดังภาพที่ 3.3 ที่มีสารละลายเซลล์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เกาะติดบนพื้นผิว บ่มที่อุณหภูมิช่วง 32±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการเกาะติดของ *E. coli* ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 การจุ่มแผ่นสเตนเลสที่มีเชื้อ *E. coli* ในสารละลาย TSB ที่อุณหภูมิห้อง (32 ± 1 องศาเซลเซียส) ณ เวลา 0 ชั่วโมง

เมื่อครบเวลาจึงนำแผ่นพื้นผิวทดสอบแกว่งในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเป็นกรด-ด่าง 7.4 ปลอดเชื้อปริมาตร 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อทำการล้างเซลล์ *E. coli* ที่ไม่ได้เกาะติดบนแผ่นพื้นผิวทดสอบออกก่อน จากนั้นทำการสร้างฟิล์มชีวภาพต่อไปโดยนำไปแช่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB เพื่อให้เซลล์ *E. coli* เจริญดังภาพที่ 3.4 (ก) จนเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ ณ เวลา 48 ชั่วโมงดังภาพที่ 3.4 (ข)

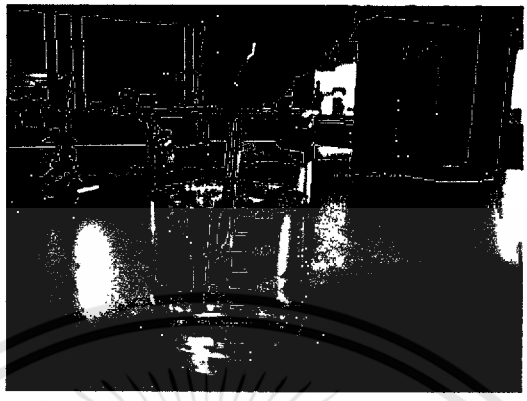
(ก) (ข)

ภาพที่ 3.4 การสร้างฟิล์มชีวภาพของเชื้อ *E. coli* ในบีกเกอร์โดยบ่มที่อุณหภูมิห้อง (32 ± 1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง: (ก) แผ่นสเตนเลสที่ไม่เกาะติดเชื้อ *E. coli*; (ข) แผ่นสเตนเลสที่เกาะติดเชื้อ *E. coli* ที่ระดับสูง

จากนั้นจึงนำแผ่นพื้นผิวทดสอบที่สร้างฟิล์มชีวภาพแกว่งในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้ออีกครั้งดังภาพที่ 3.5 เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อล้างเซลล์เชื้อ *E. coli* ส่วนเกิน แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปผึ่งให้แห้งในตู้เขี่ยเชื้อ (Laminate flow cabinet) (ความเร็วอากาศไหลผ่าน 220 ปาสคาล) เป็นเวลา 30 นาที ทำการตรวจนับปริมาณของฟิล์มชีวภาพตามวิธีการข้อ 3.4.4.3



ภาพที่ 3.5 การล้างเชื้อ *E. coli* ส่วนเกินที่ไม่เกาะติดบนพื้นผิวสเตนเลสด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เป็นเวลา 5 วินาที

3.4.4.2 การสร้างการปนเปื้อนสารอินทรีย์บนพื้นผิวสเตนเลส (ดัดแปลงจาก กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล, 2550)

ในการทดลองนี้ใช้น้ำล้างอุปกรณ์ภาชนะในกระบวนการผลิตที่มีคราบไขมันปนเปื้อนที่ผ่าน การต้มเพื่อฆ่าเชื้อแล้ว ทั้งนี้เพื่อสร้างการปนเปื้อนสารอินทรีย์บนพื้นผิววัสดุที่มีการเกาะติดของฟิล์มชีวภาพ โดยนำแผ่นพื้นผิววัสดุที่เตรียมได้ตามข้อ 3.4.3 มาแช่ในน้ำล้างอุปกรณ์ภาชนะที่เตรียมได้เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปผึ่งแห้งในตู้เขี่ยเชื้อ (Larminar flow cabinet) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาเกาะติดเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวต่อไป

3.4.4.3 การตรวจนับปริมาณฟิล์มชีวภาพ (ทำการทดลองตามวิธีการของ กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล, 2550)

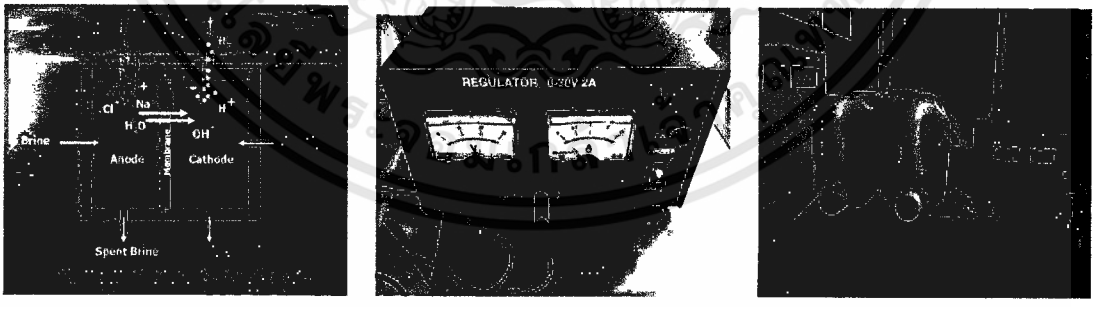
ทำการตรวจนับปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่เกาะติดบนพื้นผิวทดสอบ โดยนำแผ่นพื้นผิวทดสอบที่สร้างฟิล์มชีวภาพตามข้อ 3.4.4.2 ใส่ลงในหลอดเครื่องหมุนเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเป็นกรด-ด่าง 7.4 ปลอดเชื้อปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเม็ดแก้วปลอดเชื้อ (Sterile glass beads) ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 425-600 ไมโครเมตร จำนวน 3 กรัม นำไปปั่นด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 1 นาที นำสารละลายจากหลอดดังกล่าว 1 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วย 0.1% Sterile peptone water ให้ได้ระดับเจือจางที่ต้องการ และปิเปตสารละลายเจือจางปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่อุณหภูมิเหมาะสม (37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนี และคำนวณหาปริมาณเชื้อทั้งหมดต่อพื้นที่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิว 1 ตารางเซนติเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อหนึ่งความเข้มข้น วิธีการนี้เป็นการนับเชื้อใน 0.1% Sterile peptone water 30 มิลลิลิตร (ไม่ได้นับปริมาณเชื้อบนพื้นผิวได้โดยตรง) ในกรณีที่ตรวจไม่พบเชื้อในสารละลาย (0.00 log CFU/ml) สามารถคำนวณค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (ค่า detection limit) บนพื้นผิวเท่ากับ 1.48 log CFU/coupon หรือ 0.18 log CFU/ cm^2 (จากพื้นผิวขนาด 2×5 cm^2 × 2 ด้าน) ให้รายงานว่าน้อยกว่า 0.18 log CFU/cm^2 (Ryu and Beuchat, 2005; Kreske *et al.*, 2006)

3.4.5 การเตรียมน้ำอิเล็คโตรไลท์

นำเกลือแกงบริสุทธิ์ (NaCl) ละลายในน้ำดีไอออไนซ์ (Deionized water) เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 1% จากนั้นนำเครื่อง Generator (Electronics Part Supply CO.LTD.) ขนาด 3-6 Ampere ผ่านกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ดังภาพที่ 3.6 (ก) นาน 10 20 25 30 และ 35 นาที ตามลำดับ (Cao *et al.*, 2009) ไปที่สารละลาย NaCl โดยทำการแยกสารละลายที่มีประจุบวกและลบออกจากกัน ดังภาพที่ 3.6 (ข) โดยใช้ขั้วบวกติดกับแผ่นอลูมิเนียมและขั้วลบติดกับแผ่นไททาเนียม และนำจุ่มลงในสารละลาย วัดปริมาณความเป็นกรด-ด่างและค่า Oxidation-reduction potential (ORP) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างและเครื่องวัดค่า ORP เก็บตัวอย่างน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 1 ลิตร เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งฟิล์มชีวภาพของเชื้อ *E. coli* บนแผ่นสเตนเลสทั้งแบบที่พบคราบฟิล์มชีวภาพและไม่พบคราบฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้น



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.6 การผ่านกระแสไฟฟ้าในสารละลาย NaCl เพื่อผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์ : (ก) การแยกตัวของสารละลายเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า; (ข) การปรับเครื่อง Generator ขนาด 3-6 Ampere ให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์; (ค) การผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย NaCl อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 35 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 ประสิทธิภาพการลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่เจริญบนผิวของสเตนเลสแบบไม่พบคราบฟิล์มชีวภาพด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ (กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล, 2550)

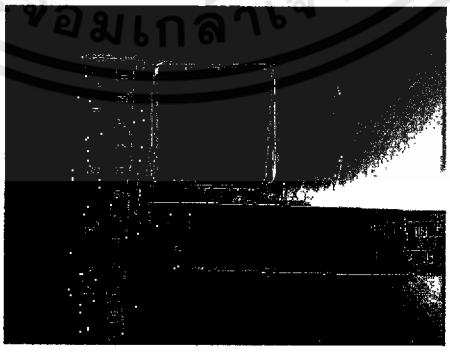
นำพื้นผิวสเตนเลสที่สร้างฟิล์มชีวภาพตามข้อ 3.4.4.1 โดยเชื้อ *E. coli* ที่มีปริมาณ ตั้งต้น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (3 log CFU/ml) ระดับปานกลาง (5 log CFU/ml) และระดับสูง (7 log CFU/ml) ในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ โดยนำน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ระดับค่า ORP ที่ต้องการทดสอบ 30 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ปลอดเชื้อขนาด 50 มิลลิลิตร ใช้ปากคีบปลอดเชื้อคีบแผ่นพื้นผิวทดสอบที่สร้างฟิล์มชีวภาพที่ระดับต่างๆ แช่ในสารฆ่าเชื้อดังกล่าว ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (32 $\pm$1 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 5 10 20 และ 30 นาที ในแต่ละตัวอย่างทำอย่างละ 3 ซ้ำ

3.4.7 ประสิทธิภาพการลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่เจริญบนผิวของสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ (กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล, 2550)

นำพื้นผิวสเตนเลสที่สร้างฟิล์มชีวภาพตามข้อ 3.4.4.1 และ 3.4.4.2 โดยเชื้อ *E. coli* ที่มีปริมาณตั้งต้น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (3 log CFU/ml) ระดับปานกลาง (5 log CFU/ml) และระดับสูง (7 log CFU/ml) ในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ ซึ่งหลักการทดสอบการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวเช่นเดียวกับข้อ 3.4.7 โดยในแต่ละตัวอย่างทำอย่างละ 3 ซ้ำเช่นเดียวกัน

3.4.8 การวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) เริ่มต้นบนพื้นผิวสายพาน TPU (Thermoplastic Polyurethane) หลังการใช้งานและการทำความสะอาดทั้ง 3 ขั้นตอน (ล้างน้ำสะอาด ล้างน้ำสบู่และฆ่าเชื้อด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ)

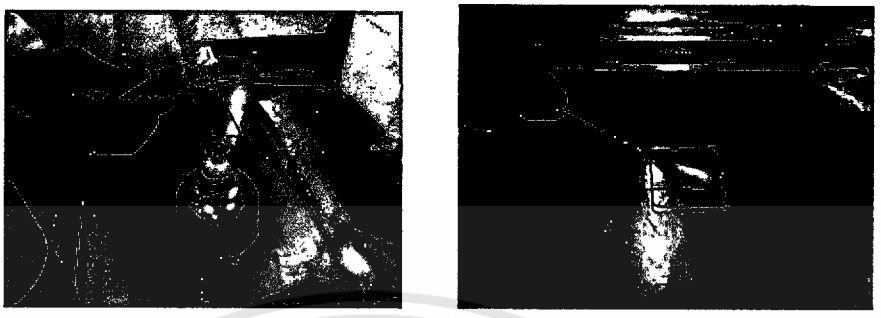
นำขดลวดสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 3.7 ฆ่าเชื้อด้วยการล้างด้วยแอลกอฮอล์ 95% 10 วินาทีและเผาด้วยเปลวไฟระยะเวลา 5 วินาที



ภาพที่ 3.7 ขดลวดขนาดพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

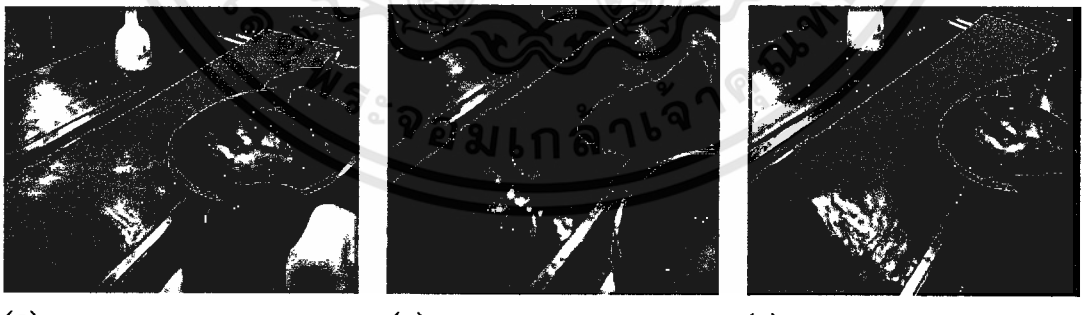
ทำการ Swab สายพาน TPU (Thermoplastic Polyurethane) หลังการตัดแต่งเนื้อโดยไม่ผ่านการล้างบริเวณพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร ในบริเวณพื้นที่ขดลวด ดังภาพที่ 3.8



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.8 ขั้นตอน Swab เชื้อบนสายพาน TPU : (ก) ฆ่าเชื้อขดลวดด้วยการล้างแอลกอฮอล์ 95% เวลา 10 วินาทีและเผาด้วยเปลวไฟ 5 วินาที; (ข) การ Swab สายพาน TPU หลังการผลิตโดยไม่ผ่านการล้างทำความสะอาด

จากนั้นล้างสายพานด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 10 วินาที Swab พื้นผิวสายพานด้วยพื้นที่เท่ากัน ล้างสายพานด้วยน้ำสบู่เพื่อขจัดคราบไขมันและโปรตีน จากนั้นล้างคราบน้ำสบู่ด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งดังภาพที่ 3.9 Swab พื้นผิวสายพานด้วยพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร และขั้นตอนสุดท้ายของการทำความสะอาด คือ การฆ่าเชื้อสายพานด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อชนิด Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น Swab พื้นผิวสายพาน 5x5 ตารางเซนติเมตร โดยการ Swab แต่ละขั้นตอนต้องเปลี่ยนขดลวดใหม่ทุกครั้ง และนำไปทดสอบหาปริมาณเชื้อด้วยวิธี Pour plate



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.9 การล้างทำความสะอาดสายพานทั้ง 3 ขั้นตอนก่อนสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ : (ก) การล้างสายพานด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 10 วินาที; (ข) การล้างทำความสะอาดสายพานด้วยน้ำสบู่; (ค) การฆ่าเชื้อสายพานด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อชนิด Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% เป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 ประสิทธิภาพการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เกาะติดบนพื้นผิวสายพาน TPU หลังการทำความสะอาดทั้ง 3 ขั้นตอนด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์

ฆ่าเชื้อบนสายพาน TPU หลังการตัดแต่งเนื้อโดยไม่ผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ปริมาณ 1 ลิตร จากนั้น Swab พื้นผิวสายพานพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร ล้างสายพานด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 10 วินาทีและฆ่าเชื้อพื้นผิวสายพานอีกครั้งด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ปริมาณ 1 ลิตร Swab พื้นผิวสายพานพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร ล้างสายพานด้วยน้ำสบู่เป็นเวลา 10 วินาที และล้างคราบน้ำสบู่ด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง ฆ่าเชื้อด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ Swab พื้นผิวสายพานพื้นที่ 5x5 ตารางเซนติเมตร ขั้นตอนสุดท้ายฆ่าเชื้อบนพื้นผิวสายพานด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อชนิด Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% จากนั้นฆ่าเชื้อด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์เป็นเวลา 5 นาทีเช่นกัน ทั้งนี้การ Swab แต่ละขั้นตอนต้องเปลี่ยนขดลวดใหม่ทุกครั้ง และนำไปทดสอบหาปริมาณเชื้อด้วยวิธี Pour plate

3.4.10 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นผิวสายพาน TPU

เทตัวอย่าง Swabs ลงในขวดบรรจุ BPB หรือ Sterlie plastic bags (ปริมาตรของ BPB ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ที่ทำการ Swabs โดยในการทดลองใช้ BPB 5 ml:5 cm^2) จากนั้นทำการเขย่าให้ตัวอย่างผสมเข้ากันดีประมาณ 30 วินาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น undiluted ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างลงตามลำดับ 10 เท่า โดยใช้อัตราส่วน 1:9 ml จากนั้นนำ Petrifilm ™ AC ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 ° C ออกมาวางไว้อุณหภูมิห้อง เพื่อปรับสภาวะก่อนนำไปใช้ทดสอบ วาง Petrifilm ™ AC ที่ต้องการทดสอบลงบนโต๊ะปฏิบัติการ โดยให้แผ่นฟิล์มด้านใสอยู่ด้านบน ใช้ Sterile pipette ดูดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ของแต่ละ dilution เช่น 10^{-1} , 10^{-2} (จำนวน dilition ขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง) ถ้าตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์สูงให้ทำ Dilition สูงขึ้น หรือถ้ามีการปนเปื้อนของเชื้อต่ำ ให้ทำ dilution จำนวนน้อยลง) เปิดแผ่นฟิล์มด้านบนขึ้นอย่างระมัดระวัง จากนั้นปล่อยสารละลายตัวอย่างอย่างระมัดระวังลงบนแผ่น Petrifilm ™ AC จากนั้นปิดแผ่นฟิล์มลงช้า ๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ วาง Spreader ด้านมีร่องวงกลมคว่ำลงบน Petrifilm ™ AC ใช้นิ้วมือกดตรงกลางของ Spreader เบา ๆ จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างกระจายเต็มพื้นที่ของ Spreader (ข้อควรระวัง ห้ามบิดหรือเลื่อน Spreader ไปมา) วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 นาที เพื่อรอให้ Gel แข็งตัวก่อนทำการเคลื่อนย้าย นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35±1 ° C เป็นเวลา 48±3 ชั่วโมง โดยให้แผ่นฟิล์มด้านใสอยู่ข้างบน ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญบน Petrifilm ™ AC มีลักษณะเป็นจุดโคโลนีสีแดง เลือกเพลทที่ต้องการนับจำนวนเชื้อจาก dilution ที่มีจำนวน 30-300 โคโลนี หรือถ้าไม่มีเพลทที่นับได้ถึง 30 โคโลนีให้ทำการเลือกนับจากเพลทใน dilution เริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยต้องนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี F-test ในเบื้องต้น จากนั้นนำผลที่ได้เข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab version 14 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ด้วยวิธี ANOVAR (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 กระบวนการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรด และการปรับค่ากระแสไฟฟ้า

สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 1% ผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลาย เพื่อผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์อย่างง่ายสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารขนาดเล็กและกลางได้ จากการทดสอบได้มีการทดลองใช้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่โดยทดสอบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เพื่อให้ได้ปริมาณค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) , ORP (Oxidation reduction potential) และค่าคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ตามที่ต้องการและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ โดยผลการทดลองที่ได้แสดงตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) , ORP (Oxidation reduction potential) และค่าคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เข้าไปในสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 1 %

Solution	ระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้า (นาที)	ORP (mV)	Residual Cl (mg/L)	pH
Deionized water	10	453	0	5.6
Electrolyzed water	20	893	41	3.5
(NaCl)	25	1000	47	3
	30	1160	50	2.8
	35	1180	60	2.5

จากการทดลองผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์อย่างง่าย โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นที่ 7.2 ลดลงเหลือ 5.6 ค่า ORP 453 mV เมื่อทดสอบค่าคลอรีนที่เกิดขึ้นด้วยกระดาษวัดค่าคลอรีนปรากฏว่ายังไม่พบว่ามีคลอรีนเกิดขึ้นในสารละลาย แต่เมื่อให้กระแสไฟฟ้าต่อไปที่ระยะเวลา 20 นาทีพบว่าค่ากรด-ด่าง ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือเพียง 3.5 ค่า ORP เพิ่มขึ้นเกือบ 1 เท่าตัวอยู่ที่ระดับ 893 mV และพบคลอรีนเกิดขึ้นในสารละลายที่ปริมาณ 40 mg/l และเมื่อทดสอบที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 25 นาทีพบค่ากรด-ด่างลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ค่า ORP และค่าคลอรีนเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยเช่นกัน จากนั้นค่าต่าง ๆ เริ่มคงที่ที่ระยะเวลา 35 นาที โดยพบว่าค่ากรด-ด่างลดลงเหลือ 2.5 ค่า ORP และค่าคลอรีนเพิ่มขึ้นที่ระดับ 1180 mV และ 60 mg/l ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้มีค่าที่สอดคล้องกับงานของ Park *et al.* (2001) ซึ่งมีการทดสอบการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์เพื่อใช้ในการทำลายเชื้อ *Campylobacter jejuni* โดยมีค่ากรด-ด่างที่ 2.57 ค่า ORP 1082 mV และค่า Residual chlorine 51.6 mg/l โดยสามารถลดปริมาณเชื้อบริเวณผิวหนังไก่สดได้ถึง 3.77 log10 CFU / gram จากผลการทดลองที่กล่าวมานั้นสามารถอธิบายได้ว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับสารละลายส่งผลให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งไอออนในสารละลายจะกลายเป็นคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) และมีความเข้มข้นของอิเล็คตรอนในน้ำเปลี่ยนไปคือ ค่า ORP (Oxidation reduction potential) เพิ่มขึ้น และค่ากรด-ด่าง ที่ลดลง โดยจากการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า ค่า ORP และค่าคลอรีนอิสระ ที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปกระตุ้นทำให้การแตกตัวของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เกิดเป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไอออน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเรียกว่าไอออนบวก (+) และ ไอออนลบ (-) โดยการแตกตัวถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าอย่างเดียวไม่มีภาวะสมดุล (จุฬาลักษณ์ วงค์ขัดนนท์ และคณะ, 2552) ตามหลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในภาวะถูกกระตุ้น (Concept of Electrochemical Activation (ECA)) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการแตกตัวของน้ำและเกลือที่ขั้วไฟฟ้าอาโนด (Anode) ในที่นี้คือ อลูมิเนียม และคาโทด (Cathode) ในที่นี้คือ ไททาเนียม ทำให้ได้สารละลายที่ประกอบด้วยไอออนที่มีค่าศักย์ไฟฟ้า (Electrical potential) แตกต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของน้ำจะทำให้ได้ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไฮโดรเจน แต่ถ้าใช้สารตั้งต้นเป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จะทำให้ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นสารละลายไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มคลอรีนที่มีฤทธิ์ฆ่าจุลินทรีย์ได้ (Envirolyte-thailand, 2551) โดยสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าอาโนด (Anode) คือ Free radical และไอออนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจำนวนมาก ได้แก่ ไฮโปคลอไรต์ (HClO) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน (O_3) คลอรีน (Cl_2) และ $HClO_3$ ซึ่งในธรรมชาติ สารดังกล่าวมีสภาพเป็นกรด (ค่าพีเอช 2.4 -4) และเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง ในขณะที่ที่ขั้วแคโทด (Cathode) จะได้สารรีดิวซ์ ที่มีสภาพเป็นด่างนั่นคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารละลายที่ขั้วแอโนด (Anolyte Solution) มีฤทธิ์ในการกำจัดสารจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับสุขอนามัยในน้ำ ได้แก่ *E. coli, V. Cholera* ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้นำสารละลายที่ได้จากขั้วแอโนด (น้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรด) แยกออกมาเพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ในขณะเดียวกันก็สามารถใช้บำบัดสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของพวกสี และแป้งได้ ในขณะที่สารละลายที่ขั้วแคโทด (Catholyte Solution) ที่ประกอบด้วยไฮดรอกไซด์ไอออน (OH) ไม่สามารถใช้ฆ่าเชื้อได้ แต่สามารถใช้จับไอออนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะหนักให้ตกตะกอนลงมาได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการลดความกระด้างในน้ำโดยทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก

4.2 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด

ในการทดลองศึกษาถึงความสามารถของน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรด ในการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสทั้งแบบชนิดที่สะอาดและชนิดที่เกิดฟิล์มชีวภาพ ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณเชื้อที่ระดับสูง (7 log CFU/ml) ระดับกลาง (5 log CFU/ml) และระดับต่ำ (3 log CFU/ml) โดยน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรดมีส่วนประกอบสำคัญที่มีผลลบต่อเชื้อ *E. coli* คือ กรดไฮโปรคลอรัส (HOCL) โดยการเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ พบว่ามีการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด ตามตารางที่ 4.2 ซึ่งการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* นั้นมีโอกาสที่จะกลับมาเกาะติดบนพื้นผิวสเตนเลสได้อีกครั้งหลังจากที่มีการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องจักร เรียบร้อยแล้วทั้งนี้อาจเนื่องจาก การปนเปื้อนข้าม (Cross contamination) หรือการทำความสะอาดที่ไม่เพียงพอหรือไม่ได้ผ่านการใช้สารฆ่าเชื้อ ผลการทดลองนั้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu *et al.* (2005) ซึ่งได้ศึกษาการทำลายเชื้อ *L. monocytogenes* บริเวณพื้นผิวสเตนเลสในโรงงานอาหารทะเลแปรรูปแช่แข็ง พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อ *L. monocytogenes* บนพื้นผิวสเตนเลสโดยสามารถลดปริมาณเชื้อได้มากที่สุดคือ 3.66 log CFU / chip

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นทั้ง 3 ระดับและปริมาณการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด

ระดับปริมาณเชื้อตั้งต้น	ปริมาณเชื้อที่เกาะติดบนแผ่นสเตนเลสแบบสะอาด (log CFU/cm ^{2})
สูง	7.74±0.24
ปานกลาง	5.86±0.21
ต่ำ	3.77±0.16

จากการทดสอบการทำลายเชื้อ *E. coli* ที่ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับสูง กลาง และต่ำ ด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่มีปริมาณความเข้มข้นของค่าคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ที่ 60 ppm ค่า ORP (Oxidation reduction potential) 1180 mV และ ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ 2.5 เมื่อเปรียบเทียบการทำลายเซลล์ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสเมื่อมีปริมาณของเชื้อเริ่มต้นที่เกาะติดบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวที่ระดับสูง กลางและต่ำ พบว่า ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ระดับสูง 7.74 log CFU/cm ^{2} ถูกทำลายลงเหลือ 2.93 log CFU/cm ^{2} ซึ่งสามารถลดปริมาณเชื้อลงไปได้มากกว่า 4.81 log CFU/cm ^{2} โดยมีระยะเวลาที่น้ำอิเล็คโตรไลท์สัมผัสกับพื้นผิวสเตนเลสเป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่ระยะเวลาในการทำลายปริมาณเชื้อ *E. coli* ลดลงเหลือ 5 นาที พบว่าปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ระดับปริมาณตั้งต้นเท่ากัน ลดลงเหลือ 7.58 log CFU/cm ^{2} ซึ่งลดลงเพียง 0.16 log CFU/cm ^{2} เท่านั้น โดยแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสัมผัสกับเชื้อมีผลต่อปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ลดลงเป็นอย่างมาก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ต่างกันพบว่าการปริมาณเชื้อ *E. coli* ลดลงแตกต่างกัน โดยพบว่าปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับสูง 7.74 log CFU/cm ^{2} จะลดลงเพียง 4.81 log CFU/cm ^{2} ที่ระยะเวลาการทำลายเชื้อที่ 30 นาที ในขณะที่ระยะเวลาเดียวกันปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับปานกลาง 5.86 log CFU/cm ^{2} สามารถลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ลงได้ จนกระทั่งไม่พบเซลล์ที่สามารถนับปริมาณได้

จากผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Liu et al.(2005) โดยเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวสเตนเลส เซรามิก และกระเบื้องที่ผ่านการทำความสะอาดฆ่าเชื้อและพบคราบเนื้อปู โดยพื้นผิวที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถลดปริมาณเชื้อ *L. monocytogenes* ลงไปได้มากกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่พบคราบเนื้อปู แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการล้างทำความสะอาดในสายการผลิต หากไม่มีการจัดการในขั้นตอนการทำความสะอาดที่ดีพอ โดยยังพบเชื้อ *E. coli* ที่อาจปนเปื้อนข้ามมาจากพนักงานที่ทำหน้าที่ล้างทำความสะอาด หรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่ปฏิบัติหน้าที่อยู่บริเวณที่มีการล้างทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งมีโอกาสเป็นพาหะในการนำเชื้อ *E. coli* มาสัมผัสกับเครื่องจักรและอุปกรณ์อีกครั้งหลังทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ *E. coli* ลดลง โดยปริมาณเชื้อที่ลดลงแสดงให้เห็นได้ตามตามตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

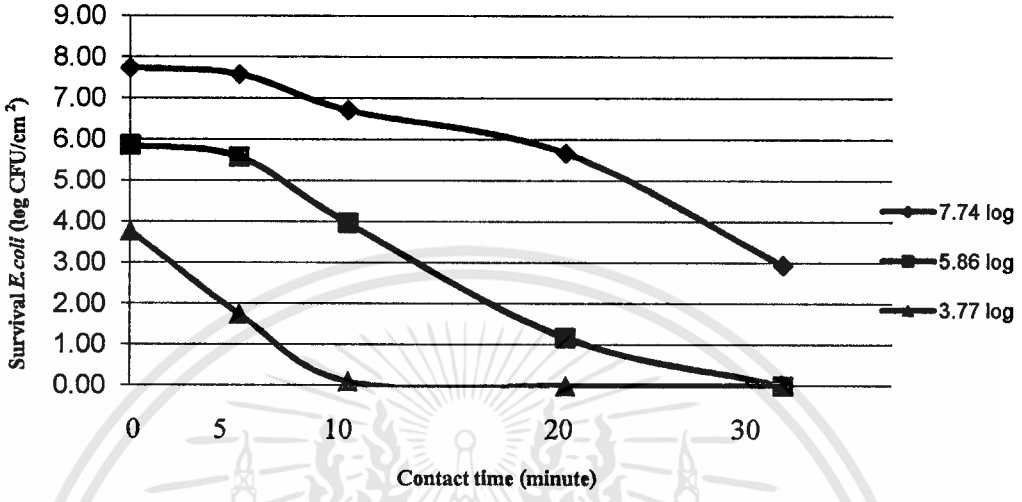
ตารางที่ 4.3 ปริมาณการลดลงของเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นทั้ง 3 ระดับ บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาดที่มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ต่างกัน

เวลาในการสัมผัส(นาที)	เชื้อเริ่มต้น (log CFU/cm ^{2})	ปริมาณเชื้อภายหลังการสัมผัส (log CFU/cm ^{2})	จำนวนที่ลดลง (log CFU/cm ^{2})	การรอดชีวิต (%)
30	7.74±0.24	2.93±0.31 ^{b}	4.81	37.85
20		5.67±0.34 ^{a}	2.07	73.25
10		6.71±0.39 ^{a}	1.03	86.69
5		7.58±0.61 ^{a}	0.16	97.93
30	5.86±0.21	ND ^{b}	5.17	0
20		1.17±0.21 ^{b}	4.16	19.96
10		3.96±0.15 ^{a}	1.9	67.57
5		5.58±0.15 ^{a}	0.28	95.22
30	3.77±0.16	ND ^{b}	3.08	0
20		ND ^{b}	3.08	0
10		ND ^{b}	3.08	0
5		1.75±0.17 ^{a}	2.02	46.41

* ตัวอักษร ^{a,b,c,d} ที่เหมือนกันตามแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถเปรียบเทียบให้เห็นแนวโน้มของปริมาณเชื้อที่ลดลงตามภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด

4.3 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ

จากการศึกษาในครั้งนี้รวมถึงการจำลองสถานการณ์ถึงกระบวนการล้างทำความสะอาดที่ไม่มีประสิทธิภาพโดยยังพบคราบฟิล์มชีวภาพเกาะติดอยู่บนพื้นผิวสเตนเลส จากการศึกษาของสาวิตรี วทัญญูไพศาล (2546) ได้ศึกษาว่าการเกาะติดของเชื้อ *Staph. aureus* จำนวน 4 สายพันธุ์ สามารถเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพได้บนพื้นผิวสเตนเลสในสภาวะที่ไม่มีธาตุอาหารและสภาวะที่มีหางนมผสมอยู่โดยเตรียมเซลล์ปริมาณเริ่มต้นที่ 10^8 log CFU/cm ^{2} พบว่าเชื้อทั้งสี่สายพันธุ์สามารถเกาะติดบนแผ่นสแตนเลสได้ที่เวลา 30 นาทีหลังแช่แผ่นสแตนเลส ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองการเกาะติดฟิล์มชีวภาพในครั้งนี้ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณเชื้อ *E. coli* สามารถเกาะติดได้ดียิ่งกว่าพื้นผิวสเตนเลสที่ไม่พบฟิล์มชีวภาพ แสดงปริมาณการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสที่พบคราบฟิล์มชีวภาพตามตารางที่ 4.4 โดยทั่วไปขั้นตอนในการล้างทำความสะอาดคราบสิ่งสกปรกออกจากอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรนั้น จำเป็นต้องมีขั้นตอนที่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และคราบสารอาหารต่าง ๆ ที่เกาะติดบนพื้นผิว เช่น โปรตีน ไขมัน ฯลฯ ซึ่งสารอาหารต่างๆ เหล่านี้ถ้าไม่ได้รับการกำจัด จะส่งผลให้เกิดเป็นคราบฟิล์มชีวภาพ ซึ่งเกิดการสะสมบนพื้นผิวอุปกรณ์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้สเตนเลส โดยพื้นฐานการทำความสะอาดทั่วไปคือการล้างคราบสกปรกที่เกาะติดบนพื้นผิวและ การขจัดฟิล์มชีวภาพ ซึ่งวิธีในการการขจัดฟิล์มชีวภาพ ที่ดีที่สุด คือ การป้องกันไม่ให้ฟิล์มชีวภาพเกิดขึ้น โดยเฉพาะที่ก่อตัวหนาและอายุมาก ๆ เพราะการขจัดฟิล์มชีวภาพออกเป็นเรื่องยากมาก เป็นสิ่งจำเป็นที่หัวหน้าแผนกจะต้องชี้แจงให้พนักงานที่ทำความสะอาดระบบท่อและพื้นผิวความเข้าใจถึงเรื่องของฟิล์มชีวภาพ การรักษาความสะอาดและความแห้งของพื้นผิวเป็นเรื่องจำเป็นในการป้องกัน และลดการเกิดฟิล์มชีวภาพ จุดสำคัญของการขจัดฟิล์มชีวภาพ คือ การทำลายการเกาะติดกันของเซลล์ที่อยู่ในฟิล์มชีวภาพ ซึ่งต้องใช้ทั้งวิธีการทางกายภาพและสารเคมี (ใช้สารหลายชนิด) การใช้ความร้อนอาจจะทำให้โปรตีนจากเศษอาหารที่ค้างอยู่ในระบบเกิดการเสียสภาพและจับตัวกันเป็นก้อน (Be Media Focus (Thailand) CO., Ltd, 2552) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ตัวอย่างแผ่นสเตนเลสที่ใช้ในการทดลองที่มีขนาด กว้างxยาว เท่ากัน แตกต่างกันคือ พบคราบฟิล์มชีวภาพกับไม่พบ ได้ข้อสรุปว่า แผ่นสเตนเลสที่มีคราบฟิล์มชีวภาพเกาะติดอยู่นั้นเมื่อนำไปแช่ใน TSB ที่มีปริมาณเชื้อ *E. coli* ในปริมาณที่เท่ากัน จะมีปริมาณ *E. coli* ที่เกาะติดบนพื้นผิวได้มากกว่าแผ่นสเตนเลสที่ไม่พบคราบฟิล์มชีวภาพ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าแผ่นสเตนเลสที่พบคราบฟิล์มชีวภาพนั้น ช่วยส่งเสริมทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้สารอาหารที่หลงเหลืออยู่ และสามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ภายในระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะสร้างสารที่ชื่อ Extracellular Polymer Substance (EPS) ซึ่งจะเป็นสารที่จับฟิล์มชีวภาพเข้าด้วยกันซึ่งสาร EPS นั้นจะช่วยปกป้องจุลินทรีย์จากสภาวะที่ไม่เหมาะสมเช่น ความร้อน สารฆ่าเชื้อต่างๆ ได้ดี

ตารางที่ 4.4 ปริมาณเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นระดับสูง ปานกลางและต่ำ และปริมาณการเกาะติดของเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ

ระดับปริมาณเชื้อตั้งต้น	ปริมาณเชื้อที่เกาะติดบนแผ่นสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ (log CFU/cm ^{2})
สูง	7.86±0.43
กลาง	6.27±0.33
ต่ำ	4.28±0.33

ในทิศทางตรงกันข้ามกับการทดลองแผ่นสเตนเลสแบบสะอาด ผู้ทดสอบได้นำแผ่นสเตนเลสมาสร้างสภาวะฟิล์มชีวภาพ เพื่อให้ผิวหน้าสเตนเลสเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตและเกาะติดของเชื้อ *E. coli* (ดัดแปลงจาก Ryu and Beuchat, 2005 อ้างโดยกนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2550) หลังจากนั้นได้สร้างการเกาะติดเชื้อ *E. coli* ลงบนพื้นผิวสเตนเลสอีกครั้ง เพื่อนำมาทดสอบการทำลายเชื้อ *E. coli* ด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ได้เตรียมไว้สำหรับทดสอบพบว่าในกรณีปริมาณการเกาะติดเชื้อที่ระดับสูง 7.86 log CFU/cm ^{2} พบว่าผลการทำลายเชื้อ *E. coli* ด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์ ที่ระยะเวลา 30 นาทีนั้น สามารถลดปริมาณเชื้อลงได้ 3.17 log CFU/cm ^{2} และเมื่อเวลาในการทำลายเชื้อลดลง ปริมาณเชื้อที่ถูกทำลายก็มีปริมาณลดลงด้วยเช่นกันคือ ที่เวลาการสัมผัสเชื้อ 20 10 และ 5 นาทีสามารถลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ลงได้เพียง 1.87 0.65 และ 0.57 log CFU/cm ^{2} ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาที่เชื้อสัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์นานขึ้น ยิ่งทำให้ความต้านทานต่อสารฆ่าเชื้อของเชื้อ *E. coli* ยิ่งลดลงเรื่อยๆ สำหรับในกรณีที่ได้ลดปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เกาะที่พื้นผิวสเตนเลสแบบมีคราบฟิล์มชีวภาพ ลงที่ระดับกลาง 6.27 log CFU/cm ^{2} พบว่าที่ระยะเวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณเชื้อลงได้จนกระทั่งไม่พบปริมาณเชื้อหลงเหลือ กล่าวคือสามารถลดปริมาณเชื้อลงได้ 5.58 log CFU/cm ^{2} ในขณะที่ระยะเวลาสัมผัสเชื้อลดลงทำให้ปริมาณเชื้อที่ถูกทำลายปริมาณลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองกับปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับสูงด้วยเช่นกัน ขณะที่ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่เกาะบนพื้นผิวสเตนเลสแบบมีคราบฟิล์มชีวภาพถูกลดลงเหลือในระดับต่ำ 4.28 log CFU/cm ^{2} พบว่าประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ *E. coli* ของน้ำอิเล็คโตรไลท์มีเพิ่มมากขึ้นกว่าปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ 2 ระดับข้างต้น ที่เวลาในการสัมผัสเชื้อ 30 นาที และ 20 นาที สามารถลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ลงได้ จนไม่สามารถนำจำนวนโคโลนีมาคำนวนหาปริมาณเชื้อที่ลดลงได้ จึงรายงานเป็นไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* จากการทดสอบดังกล่าว แต่เมื่อลดเวลาในการสัมผัสเชื้อลงเหลือ 10 นาที และ 5 นาทีนั้น ปริมาณเชื้อ *E. coli* ถูกทำลายลง 2.02 และ 1.50 log CFU/cm ^{2}ซึ่งสังเกตุได้ว่าพบปริมาณเชื้อหลงเหลือเมื่อระยะเวลาในการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ลดลง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เวลาที่เชื้อ *E. coli* สัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์ ไม่มากพอที่จะทำลายเชื้อลงทั้งหมดได้ แต่ยังพบว่าผลของประสิทธิภาพน้ำอิเล็คโตรไลท์ยังสามารถทำลายปริมาณเชื้อ *E. coli* ได้บางส่วน โดยปริมาณเชื้อที่ลดลงแสดงให้เห็นได้ตามตามตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

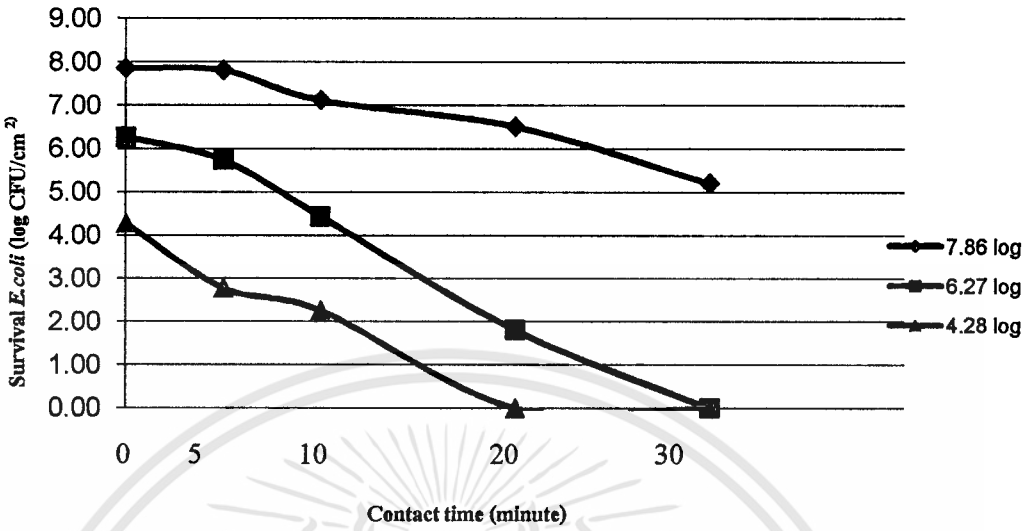
ตารางที่ 4.5 ปริมาณการลดลงของเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นที่ระดับสูง ปานกลางและต่ำบนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ ที่มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ต่างกัน

เวลาในการสัมผัส(นาที)	เชื้อเริ่มต้น(log CFU/cm ^{2})	ปริมาณเชื้อภายหลังการสัมผัส (log CFU/cm ^{2})	จำนวนที่ลดลง (log CFU/cm^2)	การรอดชีวิต (%)
30	7.86±0.43	5.21±0.28 ^{b}	2.65	66.28
20		6.51±0.36 ^{a}	1.35	82.82
10		7.12±0.44 ^{a}	0.74	90.58
5		7.81±0.42 ^{a}	0.05	99.36
30	6.27±0.33	ND ^{c}	5.58	0
20		1.81±0.28 ^{b}	4.46	28.86
10		4.44±0.28 ^{a}	1.83	70.81
5		5.74±0.28 ^{a}	0.53	91.54
30	4.28±0.33	ND ^{b}	3.59	0
20		ND ^{b}	3.59	0
10		2.26±0.31 ^{a}	2.02	52.80
5		2.78±0.30 ^{a}	1.5	64.95

* ตัวอักษร ^{a,b,c,d} ที่เหมือนกันตามแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถเปรียบเทียบให้เห็นแนวโน้มของปริมาณเชื้อที่ลดลงตามภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ

4.4 ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด

จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวหน้าสเตนเลสซึ่งผู้ทดลองได้ให้เป็นตัวแทนของผิวหน้าวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปสัตว์ปีก ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการทำลายเชื้อและปริมาณเชื้อตั้งต้น โดยเปรียบเทียบผลของการทำลายเชื้อบนผิวหน้าสเตนเลสที่สะอาด ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับต่ำ ระยะเวลาในการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ ที่เวลา 30 นาทีนั้น สามารถทำลายเชื้อ *E. coli* ลงได้เกือบสมบูรณ์ ซึ่งจากการตรวจนับปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดนั้นไม่สามารถนับปริมาณได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA และผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ชัดว่าเมื่อลดเวลาในการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ ลงเหลือ 5 นาทีนั้นไม่สามารถทำลายเชื้อที่ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับต่ำลงทั้งหมดได้ โดยสามารถนับปริมาณเชื้อที่เหลือรอดได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ซึ่งสามารถลดปริมาณเชื้อลงไปได้ 2.02 log CFU/cm ^{2} และยังคงพบปริมาณเชื้อที่หลงเหลือบางส่วน

4.5 ผลของเวลาต่อประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ

จากตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่าผลการทำลายเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพที่ระยะเวลาต่างกันพบว่า ที่ระยะเวลาการทำลายเชื้อที่ 30 นาที ที่ปริมาณเชื้อตั้งต้นระดับต่ำสามารถทำลายเชื้อลงได้เกือบสมบูรณ์เช่นเดียวกับผลของการทำลายเชื้อบนพื้นผิวสเตนเลสแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะอาด ซึ่งจากการตรวจนับปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดนั้นไม่สามารถนับปริมาณได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ได้เช่นกัน เมื่อลดเวลาในการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ลงเหลือที่เวลา 10 และ 5 นาที พบว่า ปริมาณเชื้อที่เหลือรอดบนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพนั้น มีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อที่เหลือรอดบนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาดที่ระยะเวลาเดียวกัน โดยปริมาณเชื้อที่ลดลงบนแผ่นสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพนั้นสามารถลดลงไปได้ 2.02 log CFU/cm ^{2}และ 1.50 log CFU/cm ^{2} ตามลำดับ

4.6 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดบนพื้นผิวสายพาน TPU หลังการใช้งานและการทำความสะอาด 3 ขั้นตอน

จากการทดสอบการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดพื้นผิวสายพาน TPU ที่ปริมาณเชื้อตั้งต้น 4 ระดับคือ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นบนพื้นผิวสายพานหลังการใช้งาน หลังล้างด้วยน้ำสะอาด หลังล้างด้วยน้ำสบู่เพื่อขจัดคราบโปรตีนและไขมันที่หลงเหลือ และขั้นตอนสุดท้ายฆ่าเชื้อด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ โดยน้ำอิเล็คโตรไลท์สัมผัสพื้นผิวสายพานหลังจากทำความสะอาดทุกขั้นตอนพบว่า ปริมาณเชื้อเริ่มต้นบนพื้นผิวสายพานหลังการผลิต 4.42 log CFU/cm^2 ทดสอบด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์สามารถลดปริมาณเชื้อเหลือเพียง 2.28 log CFU/cm^2 ซึ่งลดปริมาณเชื้อลงไปได้มากกว่า 2.14 log CFU/cm^2 แต่ยังคงพบเชื้อหลงเหลืออยู่บนสายพานการผลิต ซึ่งอาจเกิดจากคราบฟิล์มชีวภาพที่ปกป้องเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อทดสอบโดยการล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้งเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นฆ่าเชื้อด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์บริเวณเดียวกันอีกครั้ง พบว่าปริมาณเชื้อตั้งต้นหลังจากล้างด้วยน้ำสะอาดเหลือเพียง 3.99 log CFU/cm^2 ซึ่งมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลงจากการทดสอบหลังการผลิตเพียงเล็กน้อย เมื่อทดสอบฆ่าเชื้อด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์หลังการล้างน้ำสะอาด พบว่าปริมาณเชื้อลดลงได้มากกว่า 2.53 log CFU/cm^2 คงเหลือเพียง 1.46 log CFU/cm^2 สามารถลดปริมาณเชื้อลงได้มากกว่า 1 เท่า จากนั้นทดสอบด้วยการล้างน้ำสบู่เพื่อขจัดคราบไขมันและโปรตีนที่หลงเหลือ ล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งพบปริมาณเชื้อจำนวน 2.72 log CFU/cm^2 จึงทดสอบด้วยการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อลงเหลือเพียง 0.67 log CFU/cm^2 และขั้นตอนสุดท้ายคือการฆ่าเชื้อบนพื้นผิวสายพานด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือชนิด Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที ล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งพบปริมาณเชื้อเหลือรอดเพียง 1.17 log CFU/cm^2 จึงสัมผัสด้วยน้ำอิเล็คโตรไลท์อีกครั้งเป็นเวลา 5 นาทีเช่นกัน ผลการทดสอบไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดหลงเหลือบนพื้นผิวสายพานเลย ตามตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

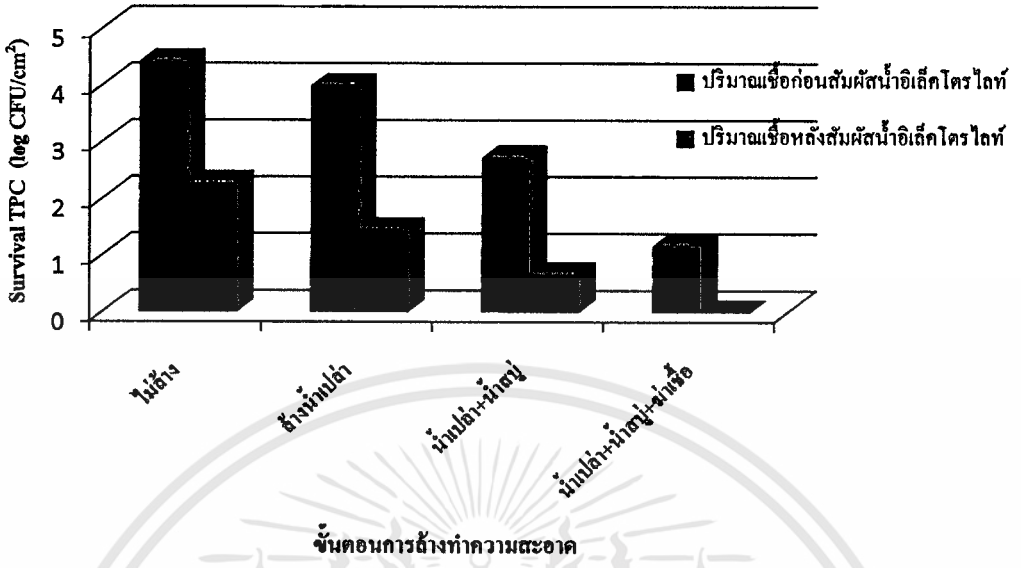
ตารางที่ 4.6 ปริมาณการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นหลังจากขั้นตอนการทำความสะอาดทั้ง 3 ขั้นตอนและปริมาณเชื้อที่หลงเหลืออยู่หลังการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์

ขั้นตอนการล้าง	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น(log CFU/cm ^{2})	ปริมาณเชื้อหลังการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ (log CFU/cm ^{2})	จำนวนที่ลดลง(log CFU/cm ^{2})	%การรอดชีวิต
หลังการผลิต	4.42±0.08	2.28±0.90 ^{a}	2.14	51.58
ล้างน้ำสะอาด	3.99±0.82	1.46±1.89 ^{b}	2.53	36.59
ล้างน้ำสะอาด+น้ำสบู่	2.72±1.26	0.67±0.78 ^{c}	2.05	24.63
ล้างน้ำสะอาด+น้ำสบู่+น้ำยาฆ่าเชื้อ	1.17±0.19	0 ^{c}	1.17	0

* ตัวอักษร ^{a,b,c,d} ที่เหมือนกันตามแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT

แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังภาพที่ 4.3 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าน้ำอิเล็คโตรไลท์มีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อลงได้ โดยสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Liu *et al.* (2006) และ Park *et al.* (2001) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการทดสอบการทำลายเชื้อ *L. monocytogenes* บนถุงมือชนิดต่าง ๆ และการทำลายเชื้อ *Campylobacter jejuni* บนผิวหนังของไก่สดในระหว่างการล้างทำความสะอาดไก่สดก่อนการชำแหละ ตามลำดับ โดยสามารถลดปริมาณเชื้อลงไปได้มากกกว่า 3 log CFU/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด หลังการล้างทำความสะอาดในแต่ละขั้นตอนและหลังจากสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ระยะเวลา 5 นาที

จากผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้โดยค่าที่ดีที่สุดในการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าเวลาเหมาะสมในการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์และเวลาการทำลายเชื้อ *E. coli* และเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

เวลาในการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์ (นาที)	สมบัติ		การทำลายเชื้อ (%)	
			E. coli เวลาสัมผัส 30 นาที	จุลินทรีย์ทั้งหมด เวลาสัมผัส 5 นาที
35	pH	2.5	62.15	75.36
	ORP (mV)	1180		
	Residual chlorine (mg/L)	60		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ เครื่องมือหรือเครื่องจักร ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารถือเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง ดังจะเห็นได้จากการจำลองสถานการณ์ของพื้นผิวสเตนเลสที่เป็นตัวแทนของอุปกรณ์ เครื่องมือหรือเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งปรากฏพบคราบฟิล์มชีวภาพกับไม่พบ ผลคือประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ *E. coli* ของน้ำอิเล็คโตรไลท์ สามารถทำลายเชื้อบนพื้นผิวที่ไม่พบคราบฟิล์มชีวภาพได้ดีกว่าบนพื้นผิวที่พบคราบฟิล์มชีวภาพ ซึ่งในกระบวนการทำงานจริง อาจพบคราบฟิล์มชีวภาพบนพื้นผิวอุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่อขั้นตอนการล้างและทำความสะอาดไม่มีประสิทธิภาพในการขจัดคราบฟิล์มชีวภาพ หรือพนักงานที่รับผิดชอบในกระบวนการล้างทำความสะอาด ไม่มีความรู้ ทักษะหรือจิตสำนึกในการปฏิบัติงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบสุขอนามัยของผู้บริโภคและอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผลิตภัณฑ์อาหารได้

5.1.2 ปริมาณเชื้อ *E. coli* ตั้งต้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอิเล็คโตรไลท์เป็นอย่างมาก กล่าวคือ ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับสูง (7.05-7.69 log CFU/cm ^{2}) ปริมาณเซลล์ของจุลินทรีย์บนพื้นผิวมีหนาแน่น อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้สารฆ่าเชื้อในน้ำอิเล็คโตรไลท์ ไม่สามารถเข้าทำลายถึงเซลล์ของ *E. coli* ได้อย่างทั่วถึง ปริมาณเซลล์จำนวนมากได้มีการปกป้องเซลล์ที่อยู่ติดกัน จึงทำให้มีปริมาณเชื้อ *E. coli* หลงเหลืออยู่มาก และในอนาคตอาจมีการปรับสภาพของเซลล์ *E. coli* เพื่อให้สามารถต้านทานสารฆ่าเชื้อในน้ำอิเล็คโตรไลท์ได้

5.1.3 สายพาน TPU หลังจากใช้ในกระบวนการผลิตโดยไม่ผ่านการล้างทำความสะอาด ปรากฏว่าพบคราบเศษสินค้าไขมันและโปรตีนจำนวนมาก ซึ่งมีสภาพเหมาะสมต่อการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนมากับวัตถุดิบเนื้อไก่ที่นำเข้ามาตัดแต่งบนสายพาน มีผลทำให้น้ำอิเล็คโตรไลท์ไม่สามารถเข้าทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด เนื่องจากจุลินทรีย์ได้รับการปกป้องจากคราบสกปรกต่างๆ ที่บริเวณทดสอบ เมื่อทดสอบโดยการล้างสิ่งสกปรกต่างๆ ด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง พบว่าไขมันและโปรตีนได้ถูกชะล้างออกบางส่วน ทำให้เซลล์จุลินทรีย์ได้รับการปกป้องน้อยลง เมื่อล้างสายพานด้วยน้ำสบู่ประกอบกับแรงขัดถู ส่งผลให้คราบโปรตีนและไขมันถูกชำระล้างออกได้มากขึ้นทำให้เหลือคราบสกปรกเพียงเล็กน้อย เซลล์จุลินทรีย์จึงไม่ได้รับการปกป้องจากฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพ เมื่อทดสอบด้วยการสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ จึงทำให้เซลล์จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์โดยตรงทำให้เซลล์เสียสภาพจึงถูกทำลายลงได้เกือบทั้งหมด ยังพบว่าหลังจากฆ่าเชื้อด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อประเภท Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% บนพื้นผิวสายพานในขั้นตอนสุดท้าย ปรากฏว่ายังพบเซลล์จุลินทรีย์บางส่วนที่รอดชีวิต แต่เมื่อสัมผัสกับน้ำอิเล็คโตรไลท์เป็นขั้นตอนสุดท้ายระยะเวลา 5 นาที พบว่า ไม่พบเซลล์จุลินทรีย์เหลือรอดอยู่บนพื้นผิวสายพานอีกเลย

5.1.4 หลักการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์อย่างง่ายเพื่อใช้ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ มีหลักการที่ง่ายและมีการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อนและยุ่งยาก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ นั่นคือ เกลือแกงและน้ำกลั่นเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นยังมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภค

5.2 ข้อเสนอแนะ

น้ำอิเล็คโตรไลท์เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน แต่จากผลการวิจัยของนักวิจัยหลายท่าน แสดงให้เห็นว่า น้ำอิเล็คโตรไลท์มีความเหมาะสมในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคลงได้ แต่ปัจจัยที่สำคัญคือปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นควรมีระดับที่ต่ำ ซึ่งการล้างทำความสะอาดในเบื้องต้นจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งก่อนที่จะนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาผ่านการฆ่าเชื้อด้วยสารฆ่าเชื้อในน้ำอิเล็คโตรไลท์ทุกครั้ง

ในทางอุตสาหกรรมสามารถนำเครื่องผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์อย่างง่ายมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อขั้นตอนสุดท้ายโดยสามารถทดแทนสารฆ่าเชื้อประเภท Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride 20% โดยในปัจจุบันสามารถมีผลประหยัดมากถึง 3,500,000 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล. 2550. ประสิทธิภาพของคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำอิเล็กโตรไลท์ชนิดกรดในการทำลายฟิล์มชีวภาพของบาซิลลัส ซีเรียส สแตฟฟีโลคอกคัส ออเรียส และสปอร์เกาะติดของบาซิลลัส ซีเรียสบนพื้นผิวสัมผัสอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2552. *Escherichia coli* สายพันธุ์ O157:H7 - Card. [Online]. Available : http:// www.elib. fda.moph.go.th/.../opacexe.exe. (Accessed date on August 18, 2009).

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2552. อโรคยา. [Online]. Available : http:// www.dmsc. moph.go.th/webroot/Samutsongkhram /journal49/journal49-3for%20web/arokaya.htm. (Accessed date on August 18, 2009).

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2552. อี.โคไลน์ กับการเกิดโรค. [Online]. Available : http://www.elib-online.com. (Accessed date on August 18, 2009).

กระทรวงมหาดไทย. 2552. คลอรีน. [Online]. Available : http://www.mwa.co.th/download /etc01/ chlorine. pdf. (Accessed date on February 11, 2010).

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2552. การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า. [Online]. Available : http://www2.egat.co.th/dsm/ index.php?option...id. (Accessed date on February 11, 2010).

กรมอนามัย. 2553. วิธีการเตรียมคลอรีน. [Online]. Available : http:// www. foodsan.anamai. moph.go.th /download/cl-water.doc. (Accessed date on February 20, 2011).

จุฬาลักษณ์ วงค์ขัดนนท์ ฉัตราภรณ์ ปัจจักร ชนากานต์ หย่งกิจ พลอยไพลิน ไชยทนุและเพียงตะวัน ปินตา. 2552. Acid – base. [Online]. Available : http://www.lks.ac.th. (Accessed date on November 29, 2011).

จันทร์จิรา วิริยา. 2551. *Escherichia coli*. [Online]. Available : http://www.info@technoinhome.com. (Accessed date on July 11, 2009).

ณฐนนท์ ตราชู. 2547. Biofilms. Food Safety. วารสารจาร์พา. 53-55.

ดอเล๊าะ ดาลี. 2552. USDA 'Declares War' on E. [Online]. Available : http://www.yalor.yru.ac.th (Accessed date on July 11, 2009).

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2542. อี.โคไล กับการเกิดอุจจาระร่วง. นิตยสารใกล้หมอ. 27-30.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุมณฑา วัฒนสินธ์. 2545. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในอาหาร. จุลชีววิทยาทางอาหาร (Food Microbiology). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ศูนย์หนังสือ. 173-178.

สาวิตรี วทัญญูไพศาล. 2546. การเกิดฟิล์มชีวภาพของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนเหล็กกล้าสเตนเลส. นวัตกรรมการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตรครั้งที่ 5, ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค, กรุงเทพมหานคร, 30-31 พฤษภาคม 2546. 384-387.

สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553. บทวิเคราะห์อุตสาหกรรม, สสว. 2/2553.

สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป. 2552. กรองยุโรปเพื่อไทย. [Online]. Available : http://www.tistr foodprocess.net/ Newsletter.../ newsletter2_th.htm. (Accessed date on October 09, 2011).

อิทธิพัฒน์ ทามณีวัน ปุณจารีย์ วิริโกศล ศศิภา ปรางค์สุวรรณ และภัสสร โพธิ์สา. 2552. สารพิษจากแบคทีเรีย. [Online]. Available : http://www.human.cmu.ac.th. (Accessed date on July 11, 2009).

A.O.A.C., 2011. Official methods of analysis, 990.12th Edition., Association of official analytical chemists. Washington D.C.

Be Media Focus (Thailand) CO., Ltd. 2552. Food Focus Thailand. [Online]. Available : http://www.tistr-foodprocess.net / Newsletter.../ newsletter2_th.htm. (Accessed date on March 06, 2011).

Biosafer. CO., Ltd. 2553. เครื่องผลิตน้ำอิเล็กโตรไลท์. [Online]. Available : http://www.biosafer.com/ index.php?page=13. (Accessed date on October 09, 2011).

Cao, W., Z.W. Zhu, Z.X. Shi, C.Y. Wang, and M.L. Li. 2009. Efficiency of slightly acidic electrolyzed water for inactivation of *Salmonella enteritidis* and its contaminated shell eggs. International Journal of Food Microbiology. 130. 88-93.

Calderwood, S.B., and J.R. Butterton. 1996. Attenuated *Vibrio cholera* as live vectors for expression of foreign antigen. America Society for Microbiology. 379-385.

Chmielewski, R.A.N ., and J.F. Frank. 2003. Biofilm formation and control in food processing facilities. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2. 22-32.

Envirolyte-thailand. 2551. หลักการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในภาวะถูกกระตุ้น. [Online]. Available : http://www.envirolyte-thailand.com/concept.htm. (Accessed date on July 11, 2009).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frank, J.F., J. Ehlers, and L. Wicker. 2003. Removal of *Listeria monocytogenes* and poultry soil-containing biofilms using chemical cleaning and sanitizing agents under static condition. Food Protection Trends. 23 (8): 654-663.

Food Sanitation Consultant Service, Inc. 2552. การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน. [Online]. Available : http://www.foodsan.anamai. moph.go.th/download/cl-water.doc. (Accessed date on October 09, 2011).

Hightech .CO.,Ltd . 2551. น้ำอิเล็คโตรไลท์. [Online]. Available : http://www.ktt-hightech.com/Zim_Thai. htm. (Accessed date on October 09, 2011).

Kreske, A.C., J.H. Ryu, C.A. Pettigrew, and L.R. Beuchat. 2006. Lethality of chlorine , chlorine dioxide, and a commercial producer sanitizer to *Bacillus cereus* and *Pseudomonas* in a liquid detergent, on stainless steel, and in biofilm. Journal Food Protection. 9 (11). 2621-2634.

Keskinen, L.A., B. Angela, and A. Bassam. 2009. Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminate *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. International Journal of Food Microbiology. 132. 134-140.

Kinzi (Thailand) CO., Ltd. 2552. ความรู้เกี่ยวกับสเตนเลส. [Online]. Available : http://www.kinzi.co.th. (Accessed date on March 06, 2011).

Lindsey, A., B. Angela, and A. Bassam. 2009. Efficacy of chlorine acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solution to decontaminated *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. International Journal of Food Microbiological. 132: 134-140.

Liu, C., and S. Yi-Cheng. 2005. Efficiency of electrolyzed oxidizing water on reducing *Listeria monocytogenes* contamination on seafood processing gloves. International Journal of Food Microbiology. 110: 149-154.

Liu, C., Y.C. Su, and J. Duan. 2006. Effect of electrolyzed oxidizing water on reducing *Listeria monocytogenes* contamination on seafood processing surfaces. International Journal of Food Microbiology. 106: 248-253.

Mittelman, M.W. 1998. Structure and functional characteristics of bacterial biofilms in fluid processing operations. Journal Dairy Science. 81: 2760-2764.

Pantown. 2552. สเตนเลสคืออะไร. [Online]. Available : http://www.pantown.com. (Accessed date on March 06, 2011).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Park, H., Y.C. Hung and D. Chung. 2004. Effect of chlorine and pH on efficacy of electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. International Journal of Food Microbiology. 91: 13-18.

Park, H., Y.C. Hung, and R.E. Brackett. 2001. Antimicrobial effect of electrolyzed water for inactivating *Campylobacter jejuni* during poultry washing. International Journal of Food Microbiology. 72: 77-83.

Ryu , J.H., and L.R. Beuchat. 2005. Biofilm formation and sporulation by *Bacillus cereus* on a stainless steel surface and subsequent resistance of vegetative cells and spores to chlorine, chlorine dioxide, and a peroxyacetic acid-based sanitizer. Journal Food Protection. 68(12): 2614-2622.

Phuvasate, S., and Y.C. Su. 2009. Effect of electrolyzed oxidizing water and ice treatments on reducing histamine-producing bacteria on fish skin and contact surface. Food control. 21: 286-291.

Vandekinderen, I., F Devlieghere, J. Van Camp, B. Kerkaert, T Cucu, P. Ragaert, J. De Bruyne, and B. De Mevlenaer. 2009. Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide. International Journal of Food Microbiology. 131: 138-144.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สูตรและวิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Trypticase Soy Agar (TSA, Meark Laboratories, Darmstat, Germany)

Casein peptone	1.50	กรัม
Soymeal peptone	5.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อผง 40 กรัม ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น 1 ลิตร โดยการต้มให้เดือดระหว่างการต้มควรมีการคนอย่างเสมอ เพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดละลายเข้ากันและป้องกันไม่ให้ส่วนที่อยู่ก้นภาชนะไหม้ ตรวจสอบให้ส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งใส่ขวด และนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

2. Tryptcase Soy Broth (TSB, Meack Laboratories, Darmstat, Germany)

Tryticase peptone	15.0	กรัม
Phytone peptone	5.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อผง 30 กรัม ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น 1 ลิตร หลังจากส่วนผสมทั้งหมดละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งใส่หลอดทดลองและขวดตามปริมาตรที่ต้องการ เช่น 10 และ 100 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

3. Phosphate Buffer Saline (PBS, pH 7.4)

Sodium chloride	8.0	กรัม
Di-sodium hydrogen phosphate	1.44	กรัม
Potassium chloride	0.2	กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potassium di- hydrogen phosphate	0.4	กรัม

ชั่งส่วนผสมทั้งหมดละลายในน้ำกลั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน และปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น แบ่งใส่ขวดตามปริมาตร ต้องการปิดฝาแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

4. สารละลายเปปโตนร้อยละ 0.1 (Meack Laboratories, Darmstat, Germany)

Meat-peptone	1.0	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร

ละลายสารในน้ำกลั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งใส่หลอดทดลองและขวดตามปริมาตรที่ต้องการ เช่น 9 และ 90 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สารละลายที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สารละลายที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรด

1.1 การเตรียมน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรด

น้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรดเตรียมได้จากการชั่งเกลือ 30 กรัมต่อน้ำกลั่น 3 ลิตร ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน ได้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 เติมสารละลายลงในเครื่องผลิตน้ำอิเล็คโตรไลท์อย่างง่ายที่มีขั้วไฟฟ้าบวกและลบ คนละด้านแยกจากกันด้วยเยื่อเลือกผ่าน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขั้วทั้ง 2 ชนิด จะเกิดปฏิกิริยาอิเล็คโตรไลซีส (Electrolysis) ของสารละลายเกลือเกิดขึ้น เกิดเป็นน้ำอิเล็คโตรไลท์ทั้ง 2 ชนิด คือน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่มีค่าเป็นกรด และน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่มีค่าเป็นด่าง กำหนดความเข้มข้นของคลอรีนตามที่ต้องการโดยการเพิ่มเวลาในการให้กระแสไฟฟ้ากับสารละลาย

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระ (Residual chlorine) ที่เกิดขึ้นในน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรด

1.2.1 การเตรียมสารเคมี

1.2.1.2 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มเดือด แล้วทำให้ปริมาตรของสารละลายเป็น 250 มิลลิลิตร เก็บไว้ 2 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตและเก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์มลงไป 2-3 มิลลิลิตร

1.2.1.3 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยโปแตสเซียมไดโครเมตแอนไฮดรัส 0.1904 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

1.2.1.4 น้ำแป้งสุก ชั่งแป้งมัน 2 กรัมละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ต้มจนละลาย แล้วเติมฟอร์มาลิน 2 – 3 หยด เพื่อรักษาคุณภาพของสารละลาย

1.2.1.5 การไตเตรทเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มัลโดยการเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิต ลงในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในไอโอดีนฟลาสค์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร เติมลงไป แล้วเติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 กรัม ปิดจุกเขย่าแล้วเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที จึงนำมาไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มัลโดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มัล)

$$= \frac{10 \times \text{นอร์มัลของสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต}}{\text{มิลลิลิตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท}}$$

1.2.2 สามารถตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรดได้ด้วยการไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยการนำตัวอย่างน้ำอิเล็คโตรไลท์ชนิดกรดอย่างน้อย 150 มิลลิลิตร ลงในฟาส์กขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดแกลเชียลแอซีติก 5 มิลลิลิตร เพื่อให้น้ำอิเล็คโตรไลท์มีค่าความเป็นกรดเบสอยู่ระหว่าง 3-4 แล้วเติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ประมาณ 1 กรัม เขย่า และเติมน้ำแป้งลงไป 1 มิลลิลิตร น้ำอิเล็คโตรไลท์จะมีสีน้ำเงิน นำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต จนสีน้ำเงินจางหายไป จดปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรท (V_1) ส่วนการหา blank ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำอิเล็คโตรไลท์แล้วทำเช่นเดียวกัน จดปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ใน blank (V_2)

$$\text{ความเข้มข้น total avairable chlorine (ppm)} = \frac{(V1-V2) \times N \times 3540}{\text{ปริมาตรตัวอย่างสารละลาย}}$$

V1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มล.)

V2 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท blank (มล.)

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติหาความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเชื้อ *E. coli* ที่ลดลงโดยใช้โปรแกรม Minitab Version 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

1. ผลการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab Version 14

1.1 จากผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี F-Test เพื่อหาค่าการแจกแจงของข้อมูลปริมาณการลดลงของเชื้อ *E. coli* ว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ (Normal Distribution) และมีค่าความแปรปรวน (Variance, σ^2) แตกต่างกันหรือไม่ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดสอบค่าการแจกแจงของข้อมูล (Normal Distribution) ของปริมาณเชื้อที่ลดลงเมื่อเชื้อ *E. coli* บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาดและพื้นผิวแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ เมื่อสัมผัสน้ำอิเล็คโตรไลท์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ผลปรากฏว่าข้อมูลเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

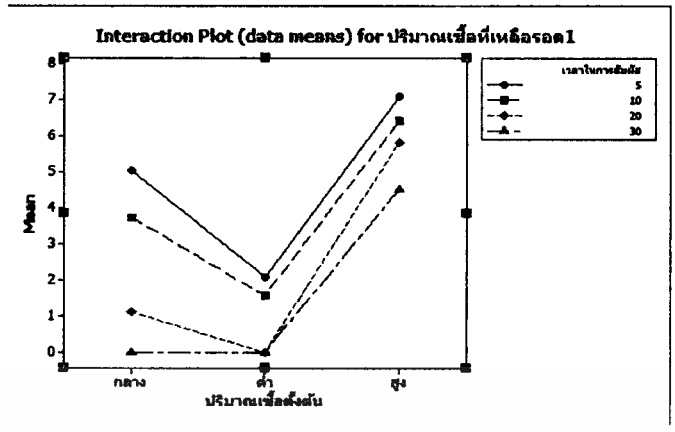
1.2 ทำการทดสอบแต่ละชุดของข้อมูลการลดลงของปริมาณเชื้อ *E. coli* ว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละชุดข้อมูลหรือไม่ด้วยวิธี TWO WAY ANOVAR มี 2 ปัจจัยและ 2 ระดับขึ้นไปที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ได้ผลการทดสอบดังนี้

1.2.1 พื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาดปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับความเข้มข้นสูง กลาง และต่ำ พบว่าได้ค่า P-value ที่ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณเชื้อลดลงแตกต่างกันด้วย

1.2.2 พื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาดที่เวลาในการสัมผัสเชื้อที่แตกต่างกัน พบว่าได้ค่า P-value ที่ 0.034 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าเวลาในการสัมผัสเชื้อที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณเชื้อลดลงแตกต่างกันด้วย

1.2.3 ทดสอบความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัยว่าส่งผลต่อกันหรือไม่ พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน แสดงได้ดังภาพที่ ค 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

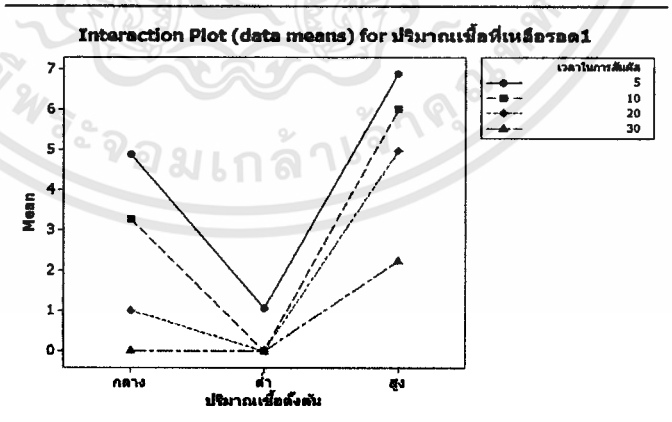


ภาพที่ ค 1 ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์บนพื้นผิวสเตนเลสแบบสะอาด

1.2.4 พื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ระดับความเข้มข้นสูง กลางและต่ำ พบว่าได้ค่า P-value ที่ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ต่างกันส่งผลอย่างมากต่อปริมาณเชื้อลดลงที่แตกต่างกัน

1.2.5 พื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพที่เวลาในการสัมผัสเชื้อที่แตกต่างกัน พบว่าได้ค่า P-value ที่ 0.008 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าเวลาในการสัมผัสเชื้อที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณเชื้อลดลงแตกต่างกันด้วย

1.2.6 ทดสอบความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัยว่าส่งผลต่อกันหรือไม่ พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน แสดงได้ดังภาพที่ ค 2



ภาพที่ ค 2 ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำอิเล็คโตรไลท์บนพื้นผิวสเตนเลสแบบพบคราบฟิล์มชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว นภวรรณ จันทร์จำเนียร
วัน เดือน ปีเกิด	18 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่พิษณุโลก
ที่อยู่	59/74 ม. เพ็ญศิริ ถนนสุวินทวงศ์ แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิชาการ	Janjumnean, N. and W. Krusong. 2012. Efficacy of electrolyzed oxidizing water on reducing *Escherichia coli* contaminated on surface of stainless steel use in poultry processing plant. Proceedings on International Conference on Food Science and Nutrition 2012, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, 2-4 April 2012, pp. 811.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้