การทดสอบแบบจำลองการประเมินการสัมผัสเพื่อการประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

นายศักดิชญ์ อนุโลมสมบัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวแพทยสาธารณสุข ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุข
คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VALIDATION OF EXPOSURE ASSESSMENT MODELS FOR RISK ASSESSMENT OF *SALMONELLA* IN CHICKEN PRODUCTS

Mr. Sakdid Anulomsombat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Veterinary Public Health

Faculty of Veterinary Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบแบบจำลองการประเมินการสัมผัสเพื่อการประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่
โดย	นายศักดิชญ์ อนุโลมสมบัติ
สาขาวิชา	สัตวแพทยสาธารณสุข
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ

คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. อรรณพ คุณาวงษ์กฤต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. อลงกร อมรศิลป์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร. รุ่งทิพย์ ชวนชื่น)

……กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์)

ศักดิชญ์ อนุโลมสมบัติ : การทดสอบแบบจำลองการประเมินการสัมผัสเพื่อการประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่. (VALIDATION OF EXPOSURE ASSESSMENT MODELS FOR RISK ASSESSMENT OF *SALMONELLA* IN CHICKEN PRODUCTS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.น.สพ.ดร. สุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ, 113 หน้า.

ศึกษาการทดสอบแบบจำลองการประเมินการสัมผัสเพื่อประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ โดยเก็บตัวอย่างจากฟาร์มไก่เนื้อ 6 ฟาร์ม (n = 531) และโรงเชือด 2 แห่ง (n = 300) เพื่อสำรวจความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยต่างๆ ด้วยวิธีการคาดประมาณ (most probable number) สร้างและทดสอบแบบจำลองโดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ เพื่อทำนายความเข้มข้นและความชุกในการประเมินการสัมผัส ข้อมูลความเข้มข้นถูกวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยแบบพหุ ส่วนข้อมูลความชุกถูกวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยโลจิสติค กำหนดปัจจัยเสี่ยงที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและที่ระดับโรงเชือด และประเมินความสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ในกรณีที่แย่ที่สุด ผลการศึกษาที่ระดับฟาร์มพบอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 769.17 MPN ต่อกรัม และความชุกซัลโมเนลลาเท่ากับร้อยละ 54 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุพบความเข้มข้นซัลโมเนลลาในกระดาษรองกล่องลูกไก่สามารถอธิบายความแปรปรวนความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจาระไก่ที่ 21-28 วัน ได้ร้อยละ 44.43 (P <0.05) ผลการทดสอบการทำนายของแบบจำลองเทียบกับค่าสังเกตให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α = 0.1) ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคพบตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกซัลโมเนลลาในอุจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน (α = 0.05) ผลการศึกษาที่ระดับโรงเชือดพบผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดมีความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลาเท่ากับ 4.72 MPN ต่อกรัม และความชุกเฉลี่ยซัลโมเนลลาเท่ากับร้อยละ 16.67 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุพบปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขนและแรงดันน้ำล้างซากนอกในสามารถอธิบายความแปรปรวนความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดได้ถึงร้อยละ 97.24 (P <0.05) ผลการทดสอบการทำนายของแบบจำลองเทียบกับค่าสังเกตให้ผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (α = 0.1) ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคพบตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด (α = 0.05) ผลการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูปที่ศึกษา พบว่าคนไทย 1 คนที่บริโภคเนื้อไก่ 40.42 กรัมต่อวันจะต้องบริโภคประมาณ 10^{27} ครั้ง จึงอาจเจ็บป่วยจากซัลโมเนลลาเฉลี่ยประมาณ 6 ครั้ง จัดเป็นความเสี่ยงที่ต่ำมาก สามารถยอมรับความเสี่ยงได้ตามมาตรฐานสากล

ภาควิชา สัตวแพทยสาธารณสุข ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา สัตวแพทยสาธารณสุข ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2551

4875567831 : MAJOR VETERINARY PUBLIC HEALTH
KEY WORD: QUANTITATIVE MICROBIAL RISK ASSESSMENT / *SALMONELLA* / EXPOSURE ASSESSMENT / MULTIPLE REGRESSION / LOGISTIC REGRESSION / CHICKEN MEAT

SAKDID ANULOMSOMBAT : VALIDATION OF EXPOSURE ASSESSMENT MODELS FOR RISK ASSESSMENT OF *SALMONELLA* IN CHICKEN PRODUCTS. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASST.PROF. SUPHACHAI NUANUALSUWAN, D.V.M., M.Sc., Ph.D., 113 pp.

This study was conducted to validate exposure assessment models for risk assessment of *Salmonella* in chicken products. Samples were collected from 6 broiler farms (n=531) and 2 slaughter houses (n=300). *Salmonella* were enumerated by most probable number method. The *Salmonella* concentration and prevalence models were developed by multiple and logistic regression analysis. The models were validated against data used in their development and tested for their accuracy. Risk factors were defined. A worst case scenario of microbial risk assessment of *Salmonella* in chicken products was calculated. Average concentration and prevalence of *Salmonella* in chicken feces were 796.17 MPN/g and 54% respectively. The *Salmonella* concentration in chicken feces was affected by *Salmonella* contaminated day old chicken which explained 44.43% of the original of variability (P <0.05). The accuracy result indicated that the developed model provided reliable prediction (α =0.1). Average concentration and prevalence of *Salmonella* in chicken meat were 4.72 MPN/g and 16.67% respectively. The *Salmonella* concentration in chicken meat was affected by amount of water at whole bird washing and water pressure at inside-outside washing process which explained 97.24% of the original variability (P <0.05). The accuracy result indicated that the developed model provided unreliable prediction (α=0.1). *Salmonella* prevalence in chicken feces and chicken meat was not affected by all independent factors (α=0.1). The interpretation of risk characterization was one person consumed the chicken products up to 10^{27} times on average of 40.42 g/day that person will be ill approximately 6 times. However, the risk level is considered as a very low risk so it can be negligible.

Department : Veterinary Public Health Student's signature:……
Field of study : Veterinary Public Health Principal advisor's signature:……...
Academic year: 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร. อลงกร อมรศิลป์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สพ.ญ. ดร. รุ่งทิพย์ ชวนชื่น และรองศาสตราจารย์ ดร. ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำในการทำการวิจัย ตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอบคุณนายสหัส รัตนะโสภณชัย ผู้บังคับบัญชาที่สนับสนุนในการศึกษาต่อเนื่องครั้งนี้ สพ.ญ. อรวรรณ ฟักขำ และทีมงานที่ให้คำปรึกษาด้านฟาร์มไก่เนื้อ นายปราชญา บุตตะโยธี และทีมงานที่ให้คำปรึกษาด้านโรงเชือด นายบุญมี กาญจโนภาศ และทีมงานที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำงานด้านแบคทีเรีย

ขอบคุณบริษัทเอกชน และฟาร์มไก่เนื้อที่ให้การสนับสนุนการเก็บตัวอย่าง และสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ และครอบครัว เพื่อนร่วมงาน รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุข และของคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลืองานด้านธุรการ และสนับสนุนในการศึกษาต่อเนื่องครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....8
ข้อมูลทั่วไปของซัลโมเนลลา.....8
ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการอยู่รอดของซัลโมเนลลา.....10
อุณหภูมิ.....10
ความเป็นกรดด่าง (pH).....11
ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (water activity, a_w).....11
แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของซัลโมเนลลา.....12
ความสามารถในการทำให้เกิดซัลโมเนลโลซิลในคน.....12
ความสามารถในการทำให้เกิดซัลโมเนลโลซิลในไก่.....16
มาตรการป้องกันการแพร่ระบาดของซัลโมเนลลาในฟาร์มไก่เนื้อ.....18
แหล่งปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ.....19
แหล่งปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด.....21
ความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่.....24
ความชุกซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์อาหาร.....27
การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณทางด้านจุลินทรีย์.....28
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์
ในการประเมินการสัมผัส.....30

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....33
ระยะที่ 1.....34
ระยะที่ 2.....46
ระยะที่ 3.....48
ระยะที่ 4 49
ระยะที่ 5.....50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....51
ผลการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ.....51
ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด.....54
ผลการวิเคราะห์ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ.....54
ผลการวิเคราะห์ที่ระดับโรงเชือด.....58
การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด.....68
ผลการวิเคราะห์ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ.....68
ผลการวิเคราะห์ที่ระดับโรงเชือด.....71
ผลการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงและการทดสอบแบบจำลองที่ระดับ
ฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด.....75
ผลการวิเคราะห์ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ.....75
ผลการวิเคราะห์ที่ระดับโรงเชือด.....77
ผลการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลา
ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่.....79
ขั้นตอนการประเมินการสัมผัส (exposure assessment).....83
การอธิบายอันตราย (hazard characterization).....83
การอธิบายความเสี่ยง (risk characterization).....84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....86
รายการอ้างอิง.....97
ภาคผนวก.....106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....113

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มของ *Salmonella enterica* ……...…9

ตารางที่ 2 ปริมาณเซลล์ที่ทำให้เกิดซัลโมเนลโลซิสในคน…….....14

ตารางที่ 3 แสดงสรุปผลการสอบสวนการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษจากซัลโมเนลลา ปี พ.ศ. 2548…….....28

ตารางที่ 4 ข้อมูลพื้นฐานฟาร์มไก่เนื้อ……..……35

ตารางที่ 5 ข้อมูลพื้นฐานโรงเชือด……...35

ตารางที่ 6 แผนการเก็บตัวอย่างฟาร์มไก่เนื้อ……...36

ตารางที่ 7 แผนการเก็บตัวอย่างโรงเชือด…….37

ตารางที่ 8 แผนการเก็บตัวอย่างฟาร์มที่เข้าเชือดในช่วงเวลาต่างๆ……...37

ตารางที่ 9 แสดงระดับปริมาณตัวอย่างใน serial ten-fold dilution……...43

ตารางที่ 10 แสดงระดับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวอย่าง……...46

ตารางที่ 11 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ……51

ตารางที่ 12 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด……..…52

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่า p-value ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม…....54

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่า p-value แสดงรายฟาร์ม……..…55

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุรายฟาร์ม……56

ตารางที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่า p-value ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยอาศัยข้อมูลรวม 2 โรงเชือด……58

ตารางที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่า p-value ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยอาศัยข้อมูลของโรงเชือด 1 ……60

ตารางที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่า p-value ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยอาศัยข้อมูลของโรงเชือด 2 ……61

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของ 2 โรงเชือด……..…….63

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุของโรงเชือด 1 ด้วยวิธี enter….……..…64

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุของโรงเชือด 1 ด้วยวิธี stepwise.……...…65

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุของโรงเชือด 2 ด้วยวิธี enter….……..……66

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุของโรงเชือด 2 ด้วยวิธี stepwise……..…...…67

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคฟาร์มไก่เนื้อในกลุ่มที่ 1 ด้วยวิธี enter……....68

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคฟาร์ม 3 ด้วยวิธี enter.……69

ตาราง หน้า

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคฟาร์ม 6 ด้วยวิธี enter…..……..……...70
ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค 2 โรงเชือด ด้วยวิธี enter…..……..…….71
ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคของ 2 โรงเชือดด้วยวิธี forward stepwise……..73
ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคโรงเชือด 1 ด้วยวิธี enter……..……..74
ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคโรงเชือด 2 ด้วยวิธี forward stepwise……75
ตารางที่ 31 ความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลา และค่าแปรปรวนที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อจากการเก็บ
ตัวอย่างและจากการคำนวณโดยสมการที่ 2……..76
ตารางที่ 32 ความเข้มข้นเฉลี่ย และค่าแปรปรวนที่ระดับโรงเชือดจากการเก็บตัวอย่างและจากการ
คำนวณโดยสมการที่ 5……..78
ตารางที่ 33 อุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นเกลือของเนื้อไก่ในขั้นตอนก่อนหน้า และระยะเวลา
ที่ระดับโรงงานแปรรูปในกรณีที่แย่ที่สุด…….…….....80
ตารางที่ 34 ค่า lag time ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับเวลาในแต่ละขั้นตอน……..81
ตารางที่ 35 แสดงค่าอัลฟ่า (α) และค่าเบต้า (β) ที่ใช้ในแบบจำลองเบต้าพัวซอง……....84

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1 แนวคิดของแบบจำลองความเสี่ยงกระบวนการ (process risk model) การผลิตเนื้อไก่ปรุงสุกครบวงจร.....29

รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงวิธีการดำเนินการวิจัยระยะที่ 1-4.....33

รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงวิธีการดำเนินการวิจัยระยะที่ 5.....34

รูปที่ 4 แสดงวิธีและเส้นทางการลากอุปกรณ์ drag swab บนพื้นผิวโรงเรือน.....38

รูปที่ 5 กราฟแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด.....53

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ของความต้องการขั้นพื้นฐานในการดำรงชีพของมนุษย์ เพราะในอาหารมีสารอาหารที่มีคุณค่าจำเป็นต้องการดำรงชีวิต การเจริญ การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อ นม ไข่ จัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ อย่างครบถ้วน แหล่งอาหารโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ราคาถูก และเป็นที่นิยมบริโภคของประชากรในประเทศไทยได้แก่ เนื้อไก่ เมื่อเปรียบเทียบการบริโภคเนื้อไก่กับเนื้อสัตว์ชนิดอื่น พบว่าปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี 2528 ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ เนื้อสุกร และเนื้อวัวอยู่ในระดับใกล้เคียงกันคือ 6-7 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ต่อมาในปี 2544 พบว่าปริมาณการบริโภคเนื้อไก่สูงถึง 14 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ในขณะที่ปริมาณการบริโภคเนื้อสุกรอยู่ที่ 7.6 กิโลกรัมต่อคนต่อปี คาดการณ์ว่าในปี 2550 ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 14.76 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (Costales, 2004)

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตเนื้อไก่เพื่อการส่งออกเป็นอันดับ 4 ของโลก รองจากประเทศสหรัฐอเมริกา บราซิล และสหภาพยุโรป (สำนักมาตรการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2549) ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเนื้อไก่เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าปศุสัตว์ชนิดอื่น เนื้อไก่เป็นสินค้าปศุสัตว์ที่มีมูลค่าการส่งออกมากที่สุด ในปี 2549 ประเทศไทยส่งออกเนื้อไก่รวมทั้งสิ้นคิดเป็นมูลค่า 29,438 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.6 เมื่อเทียบกับปี 2548 โดยเป็นการส่งออกในรูปของไก่แปรรูปร้อยละ 97.98 ของมูลค่าการส่งออกไก่ทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 2.02 เป็นการส่งออกไก่สดแช่แข็ง โดยส่งออกไปประเทศญี่ปุ่นร้อยละ 44.28 และสหภาพยุโรปร้อยละ 50 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก (วันวิสาข์ วงษ์โชติปิ่นทอง, 2550)

ปัจจุบันพบว่าระบบการผลิตเนื้อไก่ส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นระบบการผลิตที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีรูปแบบการดำเนินธุรกิจที่ซับซ้อนและเป็นการผลิตแบบครบวงจร ซึ่งหมายถึงมีการจัดการและควบคุมการผลิตตั้งแต่ฟาร์มไก่พ่อแม่พันธุ์ ฟาร์มไก่เนื้อ การขนส่ง โรง

เชือด โรงงานแปรรูป ตลอดจนการส่งออก และการขายภายในประเทศ องค์ประกอบของอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อประกอบด้วยผู้เลี้ยงไก่เนื้อเพื่อการค้าที่มีขนาด 500 ตัวขึ้นไปจำนวน 4,668 ฟาร์ม โรงงานชำแหละไก่จำนวน 2,702 โรงงาน แบ่งเป็นโรงงานชำแหละที่ได้มาตรฐานส่งออก จำนวน 25 โรงงาน และโรงงานแปรรูปที่ได้มาตรฐานส่งออกจำนวน 69 โรงงาน (สำนักมาตรการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2549) ผู้ผลิตรายใหญ่ส่วนใหญ่ได้นำระบบการจัดการที่เป็นสากลมาใช้ควบคุมการผลิตตลอดห่วงโซ่ เช่น ระบบการจัดการคุณภาพ และระบบการจัดการความปลอดภัยของอาหาร เช่น ระบบควบคุมความปลอดภัยทางชีวภาพ และระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Hazard Analysis Critical Control Points: HACCP) เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับในระดับสากลทั้งในแง่คุณภาพของสินค้าและความปลอดภัยต่อการบริโภคสูงสุด เป็นเรื่องที่ผู้บริโภคให้สนใจ และมีความสำคัญต่อการตัดสินเลือกซื้ออาหารมาบริโภค

ความปลอดภัยของอาหารเป็นเรื่องที่ทุกประเทศทั่วโลกให้ความสนใจ และกำลังเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกกำลังประสบร่วมกัน เพราะความเจ็บป่วยอันเกิดมาจากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนจะเป็นสาเหตุหลักของปัญหาสุขภาพของประชากรทั่วโลก (Kaferstein et al., 1997) โรคที่เกิดจากการกินอาหารเกิดมาจากการปนเปื้อนของแบคทีเรีย สารเคมีตกค้างในอาหาร รวมไปถึงอันตรายทางกายภาพอื่นๆ สำหรับประเทศที่พัฒนาและประเทศกำลังพัฒนา โรคที่เกิดจากการกินอาหารส่วนใหญ่ เกิดจากการปนเปื้อนของแบคทีเรีย เช่น ซัลโมเนลลา และ *Escherichia coli* ตัวอย่างเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกามีรายงานว่า คนที่ป่วยจากการกินอาหารปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคมีอยู่ประมาณ 6.5 ถึง 33 ล้านคน และเสียชีวิตประมาณ 9,000 คนในแต่ละปี ค่าใช้จ่ายในการรักษาโรคอยู่ระหว่าง 190 ถึง 320 พันล้านบาท การปนเปื้อนแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อวัวและเนื้อไก่เป็นสาเหตุหลักของโรคอาหารเป็นพิษ (Buzby and Roberts, 1996) โรคที่เกิดจากการกินอาหารไม่ได้มีผลกระทบโดยตรงกับสุขภาพเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจทั้งในระดับบุคคล และระดับประเทศด้วย ในปี 2549 สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย ได้รับรายงานผู้ป่วยโรคอาหารเป็นพิษจากเครือข่ายทั้งในและนอกกระทรวงสาธารณสุข รวมทั้งสิ้น 135,563 ราย คิดเป็นอัตราป่วยเท่ากับ 216.47 คนต่อประชากรแสนคน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วง 10 ปี ที่ผ่านมาพบอัตราป่วยเท่ากับ 168.46 คนต่อประชากรแสนคน นอกจากนี้ รายงานการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในปี 2549 พบผู้ป่วยจาก *Vibrio parahaemolyticus* 1,471 ราย จาก *Salmonell spp.* 302 ราย จาก *Clostridium botulinum* 148 ราย จาก *Staphylococcus* 76 ราย และไม่ได้ระบุชนิดของจุลินทรีย์ก่อโรคอีก 133,556 ราย (สำนักงานระบาดวิทยา, 2549) เป็นที่เชื่อกันว่าน้อยกว่าร้อยละ 5

ของความเจ็บป่วยที่เกิดจากอาหารเป็นพิษได้ถูกตรวจพบและถูกรายงาน ดังนั้น องค์การอนามัยโรคได้ประเมินว่า รายงานอุบัติการณ์ความเจ็บป่วยอันเกิดจากอาหารเป็นพิษอาจน้อยกว่าอุบัติการณ์จริงถึง 10 เท่า

เนื้อไก่จัดเป็นแหล่งปนเปื้อนที่สำคัญของซัลโมเนลลาซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหารที่สำคัญ (Bangtrakulnonth et al., 2004; Cox et al., 2005; Food Standards Australia New Zealand, 2005) จากการสำรวจเนื้อไก่สดในประเทศไทยพบว่ามีการปนเปื้อนซัลโมเนลลาอยู่ระหว่างร้อยละ 13.16 ถึง 26.70 (Ammavisit et al., 2006) เปรียบเทียบกับผลการสำรวจในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปพบการปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและในเนื้อไก่สดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 23.7 และ 18 ตามลำดับ (Reynolds, 2007) จากข้อมูลดังกล่าวคาดว่าเนื้อไก่ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการปรุงอาหารมีโอกาสปนเปื้อนซัลโมเนลลาอยู่ก่อนแล้ว อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผู้บริโภคจะไม่ได้บริโภคเนื้อไก่สดโดยตรง แต่จะบริโภคเนื้อไก่ที่ผ่านการปรุงสุกด้วยความร้อนไม่ว่าจะเป็นการปรุงสุกในครัวเรือน หรือปรุงสุกจากบริษัทผู้ผลิต เช่น ร้านอาหาร หรือโรงงานแปรรูปอาหาร ผู้บริโภคยังคงมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอาหารเป็นพิษจากการใช้เนื้อไก่ที่ปนเปื้อนซัลโมเนลลามาปรุงอาหารด้วยเช่นกัน เพราะจากข้อมูลของสำนักระบาดวิทยาปี 2548 มีรายงานการสอบสวนโรคอาหารเป็นพิษจากซัลโมเนลลา 6 รายงาน จำนวนผู้ป่วยทั้งหมดตลอดปี 2548 เท่ากับ 428 ราย ซึ่งการเกิดโรคอาหารเป็นพิษโดยส่วนใหญ่มาจากการใช้วัตถุดิบที่มีการปนเปื้อนมาประกอบอาหาร ไม่ว่าจะเป็นการนำวัตถุดิบมาประกอบเป็นอาหารขึ้นเองในครัวเรือน ซื้ออาหารมาจากตลาดหรือจากร้านขายอาหารสำเร็จรูป สรุปได้ว่าการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ และหากสามารถลดระดับการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ลงได้ร้อยละ 50 คาดว่าจะลดความเสี่ยงของความเจ็บป่วยต่อการบริโภค 1 ครั้งลงได้ถึงร้อยละ 50 (WHO and FAO, 2002)

ดังนั้นความต้องการในการลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ได้กลายมาเป็นเป้าหมายสำคัญร่วมกันทั้งภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการผลิตไก่ เป็นการจัดการร่วมกัน โดยหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องจะทำหน้าที่ในการกำหนดเป้าหมาย ระยะเวลา และแนวทางในการปฏิบัติงาน รวมไปถึงการออกกฎระเบียบต่างๆ ส่วนบริษัทผู้ผลิตตั้งแต่ฟาร์มเลี้ยงไก่ ธุรกิจผลิตอาหารสัตว์ โรงฟัก โรงเชือดและชำแหละ และโรงงานแปรรูป เป็นผู้พัฒนาและปรับปรุงระบบการจัดการเพื่อรับประกันความปลอดภัยของอาหาร และควบคุมการปนเปื้อนซัลโมเนลลาตลอดกระบวนการผลิตภายใต้การกำกับดูแลให้เป็นไปตามเป้าหมายที่หน่วยงานของรัฐกำหนดไว้ แต่ในปัจจุบันพบว่าปัญหาการปนเปื้อนซัลโมเนลลายังคงเป็นปัญหาหลักสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต

เนื้อไก่ในประเทศไทย เนื่องจากการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกๆ ขั้นตอนของกระบวนการผลิตตั้งแต่ระดับฟาร์มไก่ การขนส่ง การเชือดและชำแหละ การแปรรูป ไปจนถึงขั้นตอนสุดท้ายก่อนการบริโภค

มีการศึกษาและรายงานการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในไก่เนื้อ เนื้อไก่ และเนื้อไก่แปรรูปในประเทศไทย แต่รูปแบบการศึกษาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบการเฝ้าระวัง หรือเป็นการสำรวจความชุกซัลโมเนลลา การศึกษาส่วนใหญ่เป็นการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มในแต่ละกระบวนการผลิตในช่วงเวลาที่แตกต่างกันทำให้ข้อมูลขาดความต่อเนื่องไม่สามารถเชื่อมโยงหรือหาความสัมพันธ์ของข้อมูลตลอดกระบวนการผลิตได้ นอกจากนี้ไม่พบข้อมูลการศึกษาจากหน่วยงานของรัฐบาล หรือหน่วยงานของเอกชน ที่ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลาพร้อมๆ กันในปัจจัยต่างๆ เพื่อประเมินหาปัจจัยเสี่ยงต่อการปนเปื้อนซัลโมเนลลาตลอดทั้งกระบวนการผลิตตั้งแต่การผลิตระดับฟาร์ม โรงเชือด และโรงงานแปรรูป จนไปถึงครัวเรือน ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลการศึกษาหาปัจจัยเสี่ยงของต่างประเทศ แต่เนื่องจากลักษณะของการปนเปื้อนชนิด หรือสายพันธุ์ซัลโมเนลลา รวมไปถึงสภาพแวดล้อม และการจัดการการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ประเทศไทยขาดข้อมูลที่มีความจำเพาะต่อปัจจัยเสี่ยงดังกล่าว ทำให้การจัดการกับการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ อีกทั้งการขาดข้อมูลการประเมินความเสี่ยงซัลโมเนลลาจากการบริโภคเนื้อไก่ของคนไทยอาจทำให้การประเมินอุบัติการณ์ความเจ็บป่วยคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ดังนั้นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยต่างๆ ที่ระดับฟาร์มและระดับโรงเชือด เพื่อการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด เพื่อใช้ในการคำนวณการประเมินการสัมผัส วิเคราะห์หาปัจจัยเสี่ยง รวมไปถึงการประเมินความเสี่ยงซัลโมเนลลาจากการบริโภคเนื้อไก่ จึงมีความสำคัญ เพราะนอกจากจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของประเทศไทย หน่วยงานของรัฐสามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อการวางแผน การสื่อสารความเสี่ยง และการจัดการความเสี่ยงด้านสาธารณสุข ในขณะที่ผู้ผลิตสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เพื่อการจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตได้เพื่อการกำจัด หรือลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ลงได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยต่างๆ ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และระดับโรงเชือด
2. เพื่อสร้างและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด ในการคำนวณหาความเข้มข้น และความชุกเพื่อการประเมินการสัมผัส
3. กำหนดปัจจัยเสี่ยงที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด
4. ประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (descriptive study) มีวัตถุประสงค์เพื่อ สำรวจความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลา รวมไปถึงการสร้างและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และระดับโรงเชือด วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง และประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว การศึกษาในครั้งนี้จึงดำเนินการเป็น 5 ระยะคือ

1. เพาะแยกซัลโมเนลลาจากตัวอย่างต่างๆที่มาจากฟาร์มและโรงเชือดด้วยการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

2. วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุสำหรับข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

3. วิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคสำหรับข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

4. วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง และทำการทดสอบสมการถดถอยแบบพหุ และสมการถดถอยโลจิสติคที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

5. ประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. ขาดข้อมูลการวิจัยที่ศึกษาหาความเข้มข้นซัลโมเนลลาในปัจจัยต่างๆ เพื่อประเมินหาปัจจัยเสี่ยงต่อการปนเปื้อนซัลโมเนลลาตลอดทั้งกระบวนการผลิตตั้งแต่ระดับฟาร์ม ระดับโรงเชือดในประเทศไทย

2. ข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยที่ทำการศึกษาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และทุกขั้นตอนการผลิตที่โรงเชือดในประเทศไทย ข้อมูลที่ไม่เปิดเผยต่อสาธารณะ ทำให้ขาดข้อมูลเปรียบเทียบ

3. การตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นซัลโมเนลลาด้วยวิธี Most Probable Number (MPN) ยังไม่มีการกำหนดวิธีการตรวจเป็นมาตรฐานสากล รวมไปถึงวิธีการเก็บตัวอย่างบางตัวอย่างเช่น surface Swab ที่ระดับฟาร์ม และการเก็บตัวอย่างจากโรงเชือดเพื่อตรวจหาความเข้มข้นแบบ MPN ยังไม่มีการกำหนดวิธีการเก็บที่เป็นมาตรฐานสากล

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณทางด้านจุลินทรีย์ ซัลโมเนลลา การประเมินการสัมผัส สมการถดถอยแบบพหุ สมการถดถอยโลจิสติค ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. <u>ด้านองค์ความรู้ใหม่</u>

1.1 ทราบความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มและระดับโรงเชือดอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของประเทศไทย

1.2 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่ทำการศึกษา และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณการประเมินการสัมผัสโดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัยเสี่ยงต่างๆ เพื่อทำนายความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

1.3 ทราบความเสี่ยงของประชากรไทยจากการประเมินความเสี่ยงซัลโมเนลลาจากการบริโภคเนื้อไก่

2. <u>ด้านการนำไปใช้</u>

2.1 ข้อมูลปัจจัยเสี่ยงและข้อมูลการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นสำหรับหน่วยงานของรัฐ และเอกชนในการวางแผนการจัดการความเสี่ยงเพื่อลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาระบบการผลิตเนื้อไก่ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นซัลโมเนลลาทางห้องปฏิบัติการต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อมูลทั่วไปของซัลโมเนลลา

Salmonellae เป็นชื่อจีนัสแบคทีเรีย ซึ่งอยู่ในแฟมิลี *Enterobacteriaceae* การเรียกชื่อจีนัสซัลโมเนลลา เป็นการเรียกชื่อตามนายสัตวแพทย์ชาวอเมริกัน Daniel Elmer Salmon ซัลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่ง ขนาดประมาณ 0.7 – 1.5 ไมโครเมตร ยาว 2.0 – 5.0 ไมโครเมตร ติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เจริญได้ดีทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) ส่วนมากเคลื่อนที่โดยใช้แฟลคเจลลาที่มีอยู่โดยรอบ (peritrichous flagella) มีความสามารถในการสร้างโฮโดรเจนซัลไฟด์ ยกเว้นบางสายพันธุ์ไม่สามารถเคลื่อนที่และไม่สร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่น *Salmonella* Pullorum และ *Salmonella* Gallinarum

การจัดแบ่งและการเรียกชื่อซัลโมเนลลาในอดีตที่ผ่านมามักก่อให้เกิดความสับสน เนื่องจากมีการพัฒนาเทคโนโลยี และวิทยาการใหม่ๆ ในการตรวจวิเคราะห์ ทำให้มีการเสนอวิธีการจัดแบ่งใหม่ๆอยู่เสมอ เช่น การทดสอบคุณลักษณะของซัลโมเนลลาด้วยวิธีต่างๆ เช่น antibiograms, biotyping, phage typing, plasmid profile analysis, pulsed field gel electrophoresis (PFGE) หรือวิธี molecular epidemiological techniques เป็นต้น

เพื่อสร้างความเข้าใจให้ตรงกันในหมู่นักวิทยาศาสตร์ จึงได้มีการจัดแบ่งซัลโมเนลลาออกเป็น 2 species คือ *Salmonella bongori* และ *Salmonella enterica* ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 6 subspecies (Popoff et al., 1997) (ดังตารางที่ 1) และการเขียนชื่อทางวิทยาศาสตร์ของซัลโมเนลลาในปัจจุบันได้กำหนดวิธีการเขียนดังนี้ *Salmonella* [species] subsp. [*subspecies*] serovar [*serotype*] เช่น *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *enteritidis* แต่อย่างไรก็ตามนิยมเขียนชื่อให้สั้นลงดังนี้ *Salmonella* (*S.*) [serotype] เช่น *S.* Enteritidis การจำแนกซัลโมเนลลาออกเป็น serotypes ใช้หลักของ (Kauffmann, 1966) ซึ่งจำแนกตามชนิดของสายพันธุ์ (serovars) ที่ได้จากการทดสอบทางซีโรวิทยา (serology) คือ โอแอนติเจน หรือ โซมาติกแอนติเจน (O or Somatic antigen), เอชแอนติเจน หรือ แฟลกเจลลาแอนติเจน (H or Flagella antigen) และแอนติเจนที่เปลือกหุ้มเซลล์หรือแคปซูล (Vi หรือ Capsular antigen) ซึ่งมีอยู่ในซัลโมเนลลาบาง species เท่านั้น การตั้งชื่อ serotype

ในบางกรณีจะตั้งชื่อตามสถานที่ที่ถูกค้นพบเป็นครั้งแรก เช่น *S.* London, *S.* Miami, *S.* Richmond, *S.* Bangkok และ *S.* Rachaburi เป็นต้น (Edwards and Ewing, 1972)

ซัลโมเนลลามีมากมายหลายซีโรวาร์ จากข้อมูลล่าสุดถึงปี 2004 องค์การอนามัยโลกมีรายงานพบซัลโมเนลลามากถึง 2,501 ซีโรวาร์ และทุกซีโรวาร์สามารถก่อให้เกิดความเจ็บป่วยในคนได้

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มของ *Salmonella enterica*

กลุ่ม	Subspecies
กลุ่ม I	*Salmonella enterica* subspecies *enterica*
กลุ่ม II	*Salmonella enterica* subspecies *salamae*
กลุ่ม III a	*Salmonella enterica* subspecies *arizonae*
กลุ่ม III	*Salmonella enterica* subspecies *diarizonae*
กลุ่ม IV	*Salmonella enterica* subspecies *houtenae*
กลุ่ม VI	*Salmonella enterica* subspecies *indica*

นอกจากการจัดแบ่งโดยอาศัยลักษณะของซัลโมเนลลาแล้ว นักวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งประเภทซัลโมเนลลาตามการก่อโรคในคน และสัตว์ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ (Brownile, 1977)

Typhoidal *Salmonella* (TS) ประกอบด้วย *S.* Typhi และ *S.* Paratyphi ก่อให้เกิดโรคไข้รากสาดน้อย (Typhoid) และไข้รากสาดเทียม (Paratyphoid) ในคน อาการลักษณะที่สำคัญ คือไข้ เรื้อรัง เบื่ออาหาร และตับม้ามโต คนที่ติดเชื้ออาจจะมีเชื้อนี้อยู่ในทางเดินอาหารได้เป็นเวลานานหลายเดือนโดยไม่มีอาการแต่สามารถแพร่เชื้อได้ (Carrier) เชื้อกลุ่มนี้ก่อให้เกิดการติดเชื้อเฉพาะในคนเท่านั้น

Non-typhoidol *Salmonella* (NTS) ประกอบด้วยซัลโมเนลลาอื่นๆ นอกเหนือจากกลุ่มแรก เป็นสาเหตุสำคัญของโรคอุจจาระร่วงในคนและสัตว์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่ก่อการติดเชื้อและเป็นพาหะทั้งในคนและในสัตว์ เช่น *S.* Typhimurium, *S.* Pullorum, *S.* Gallinarum

การติดเชื้อในคนจะก่อให้เกิดความรุนแรง เช่น การติดเชื้อในกระแสเลือด เยื่อหุ้มสมองอักเสบในเด็กเล็ก และผู้ที่มีภูมิต้านทานต่ำ รวมทั้งผู้ที่เป็นโรคเอดส์ คนที่ติดต่อเชื้อนี้มักเป็นพาหะของเชื้อนี้อยู่เป็นเวลานาน

การติดเชื้อและการเป็นพาหะในสัตว์ เชื้อกลุ่มนี้ไม่ก่อโรคหรือเป็นพาหะในคน แต่จะมีผลกระทบในคนเมื่อมีการใช้ยาปฏิชีวนะรักษาการติดเชื้อในสัตว์ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาการติดเชื้อดื้อยาในคนด้วย

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการอยู่รอดของซัลโมเนลลา

ซัลโมเนลลาสามารถปรับตัวและเจริญได้ดีในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการเข้าใจปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญ และการอยู่รอดของซัลโมเนลลา ทำให้สามารถวางแผนการจัดการ และควบคุมซัลโมเนลลาตลอดทั้งกระบวนการผลิตไก่ โดยจัดสภาพแวดล้อมให้เกิดความไม่เหมาะสมต่อการเจริญ การอยู่รอด รวมไปถึงการทำลายซัลโมเนลลา ปัจจัยสำคัญๆเหล่านี้จะได้กล่าวแยกเป็นหัวข้อย่อยๆ ต่อไปดังนี้

2.1 <u>อุณหภูมิ</u>

ซัลโมเนลลาเจริญได้ที่อุณหภูมิ 5.5 – 45.0 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เจริญได้ดีที่สุดคือ 37 องศาเซลเซียส (Doyle and Mazzotta, 2000) ซึ่งเป็นอุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิร่างกายของคนหรือสัตว์ จึงจัดอยู่ในแบคทีเรียกลุ่มมีโซไฟล์ (mesophile) คือ สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 15.0 – 40.0 องศาเซลเซียส (Guthrie, 1991) อัตราการเจริญของซัลโมเนลลาจะลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่การเจริญจะถูกยับยั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียส มีรายงานว่า บางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส (D'Aoust, 1997) แต่โดยทั่วไปที่อุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการเจริญของซัลโมเนลลาได้ สำหรับอุณหภูมิสูงสุดที่เชื้อนี้เจริญได้คือ 49.5 องศาเซลเซียส (ICMSF, 1996) ซัลโมเนลลาสามารถเพิ่มจำนวนได้ในระยะเวลาสั้น (Short generation time) ทั้งในอาหารเลี้ยงเชื้อและระบบทางเดินอาหารในร่างกายคนหรือสัตว์ ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าหากมีซัลโมเนลลาปนเปื้อนในอาหาร เซลล์อาจเพิ่มจำนวนทวีคูณภายในเวลาเพียงหนึ่งชั่วโมง จำนวนซัลโมเนลลาที่เพิ่มขึ้นอาจเพียงพอที่จะก่อให้เกิดโรคได้ (Guthrie, 1991) ซัลโมเนลลาไม่ทนความร้อน และถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 – 20 นาที หรือที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540) *S.* Senftenberg ที่พบในไข่ไก่เป็นสายพันธุ์ที่ทนอุณหภูมิสูงได้ดีกว่าซัลโมเนลลาสาย

พันธุ์อื่น ๆ 10 – 20 เท่า สามารถทนความร้อนถึง 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง (Murphy and Berrang, 2002)

กระบวนการแปรรูปโดยแช่เย็นหรือใช้อุณหภูมิต่ำไม่สามารถทำลายซัลโมเนลลาได้ เพียงแต่ไปยับยั้งการเจริญของเซลล์เท่านั้น ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิสูงกว่า 44.0 – 47.0 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเจริญของซัลโมเนลลาบางสายพันธุ์ได้ ในภาวะของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งจุลินทรีย์ชนิดนี้ไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้ แต่พบว่าหากอุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นหรือนำอาหารแช่เยือกแข็งมาวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เซลล์สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการลวกอาหารก่อนการแช่เยือกแข็งจะเป็นการป้องกันซัลโมเนลลาได้ดีที่สุด (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540) USDA/FSIS (1998) แนะนำว่าเพื่อให้อาหารปลอดภัยจากซัลโมเนลลาควรใช้อุณหภูมิในการอุ่นอาหารมากกว่า 63 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาอาหารอุ่นร้อนอย่างต่อเนื่องมากกว่า 70 องศาเซลเซียส

2.2 <u>ความเป็นกรดด่าง (pH)</u>

ซัลโมเนลลาสามารถเจริญได้ในช่วงความเป็นกรดด่าง 4.0 – 9.0 ค่าความเป็นกรดด่างต่ำสุดที่ซัลโมเนลลาสายพันธุ์ที่ทนกรดมากที่สุดเจริญอยู่ได้อยู่ที่ความเป็นกรดด่าง 3.8 และทนความเป็นกรดด่างสูงสุดอยู่ที่ 9.5 ช่วงพีเอชที่ซัลโมเนลลาส่วนมากเจริญได้ดีอยู่ระหว่าง 7.0 – 7.5 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่จุลินทรีย์เจริญ และซีโรไทป์ของซัลโมเนลลาด้วย (Bell and Kyriakides, 2002)

2.3 <u>ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (water activity, a_w)</u>

ปริมาณน้ำอิสระในอาหารมีผลต่อการเจริญของซัลโมเนลลาเป็นอย่างยิ่ง อาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญควรมีค่า a_w ระหว่าง 0.945 – 0.999 (Guthrie, 1991) อาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.94 จะสามารถจำกัดการเจริญของซัลโมเนลลาได้ มีรายงานว่า อาหารที่มีค่า a_w ต่ำ เช่น พริกไทยดำ เนยถั่ว เจลาติน และช็อกโกแลต หากมีการปนเปื้อน เซลล์จะสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้นานหลายปี (D'Aoust, 1997)

3. แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของซัลโมเนลลา

ซัลโมเนลลาอาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลือดอุ่นทุกชนิด และสัตว์เลื้อยคลาน บางครั้งพบอยู่ในระบบทางเดินอาหารของแมลง และยังสามารถตรวจพบซัลโมเนลลาได้ตามร่างกายส่วนอื่นๆ ของสัตว์ เช่น ผิวหนังของสัตว์เลื้อยคลาน ขนไก่ หรือตามผิวหนังของสุกร (Jay, 1996; Zamri-Saad and Hair-Bejo, 2006) เนื่องจากสัตว์ปล่อยจุลินทรีย์ทางอุจจาระ และแพร่ผ่านแมลงและสัตว์อื่นๆ ทำให้การแพร่กระจายของซัลโมเนลลาขยายวงกว้างออกไป จึงสามารถพบซัลโมเนลลาได้ในน้ำ อาหารปรุงสุกที่มีแมลงวันตอม อาหารที่พบว่าเป็นพาหะของซัลโมเนลลาได้แก่ เนื้อสัตว์ดิบทุกชนิด ไส้กรอกชนิดแห้ง ไส้กรอกรมควัน ผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น แฮม เบคอน แหนม ไข่ และผลิตภัณฑ์จากไข่ อาหารทะเล และน้ำบริโภค (Guthrie, 1991; D'Aoust, 1997; Jay, 2000; Tran et al., 2004) ในทางระบาดวิทยาจำแนกแหล่งที่อยู่อาศัยของซัลโมเนลลาออกเป็น 3 แหล่ง (Jay, 1996) คือ

1.1 ซัลโมเนลลาที่อาศัยคนเป็นเจ้าบ้านและก่อโรคในคน ได้แก่ *S.* Typhi เป็น specie ที่มีอันตรายรุนแรงมากที่สุด ส่วน *S.* Paratyphi A และ C ซึ่งทำให้เกิดโรคไข้รากสาดน้อย อาการคล้ายไข้ไทฟอยด์ แต่มีความรุนแรงน้อยกว่า

2.2 ซัลโมเนลลาที่ปรับตัวตามเจ้าบ้าน ซัลโมเนลลาในกลุ่มนี้สามารถติดต่อจากสัตว์เข้ามาสู่คน โดยผ่านการบริโภคเนื้อสัตว์ที่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา ตัวอย่างเช่น *S.* Gallinarum, *S.* Dublin, *S.* Pulloum, *S.* Abortus-equi, *S.* Arbortus-ovis, *S.* Choleraesui, และ *S.* Enteritidis

3.3 ซัลโมเนลลาที่ไม่เลือกเจ้าบ้าน (host) สามารถอาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของคนหรือสัตว์ อาหาร น้ำ ดิน รวมถึงสิ่งแวดล้อม เป็นซัลโมเนลลาที่มีความสำคัญ การควบคุมด้วยการจัดการทางสุขาภิบาลอาหารที่ดีสามารถตัดวงจรการแพร่ระบาดของโรคได้

4. ความสามารถในการทำให้เกิดโรคซัลโมเนลโลซิลในคน

เมื่อคนรับประทานอาหารหรือน้ำที่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา อาจก่อให้เกิดโรคซัลโมเนลโลซิส (salmonellosis) ซัลโมเนลลาที่รอดชีวิตจากการย่อยของระบบทางเดินอาหาร และมีจำนวนเซลล์มากพอ สามารถก่อให้เกิดโรคโดยเริ่มจากการเข้าเกาะที่เนื้อเยื่อของระบบทางเดินอาหาร เพิ่มจำนวน หลังจากนั้นจะแทรกไปยังลำไส้เล็กตอนปลาย บางส่วนแทรกไปยังลำไส้ใหญ่ และทำให้เกิดการอักเสบขึ้น หลังจากผ่านผนังลำไส้เล็กเข้าสู่ระบบท่อน้ำเหลืองจะทำให้ต่อม

น้ำเหลืองขยายใหญ่ขึ้น และจะเข้าทำลายเม็ดเลือดขาว จากนั้นเมื่อผ่านเข้าสู่กระแสเลือดจะทำให้เกิดอาการโลหิตเป็นพิษ และทำให้อวัยวะภายในต่างๆ ติดเชื้อ สายพันธุ์ที่มีความสามารถในการบุกรุก (invasive strains) ได้แก่ *S.* Typhi (D'Aoust, 1997; Bauman, 2004)

การติดเชื้อโดยทั่วไปต้องการจำนวนเซลล์ประมาณ 10^6 - 10^8 cfu แต่จากหลักฐานทางระบาดวิทยา การติดเชื้ออาจเกิดจากเซลล์เพียงแค่ 2 - 3 เซลล์เท่านั้น (Robinson et al., 2000) (ตารางที่ 2) อาการของโรคจะรุนแรงขึ้นกับจำนวนซัลโมเนลลาที่ถูกบริโภค และขึ้นกับสภาวะของผู้บริโภคได้แก่ อายุ สุขภาพ (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540) เมื่อผู้บริโภครับประทานอาหารที่มีซัลโมเนลลาเข้าไปในปริมาณที่มากพอ จะเกิดอาการภายใน 6 - 36 ชั่วโมง (Hobbs and Gillbert, 1978) ส่วนใหญ่มักแสดงอาการภายใน 12 - 24 ชั่วโมง ระยะฟักตัวตั้งแต่ 3 วันถึง 3 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามการเกิดโรคซัลโมเนลโลซิส จะขึ้นอยู่กับภูมิคุ้มกันที่แตกต่างกันในแต่ละคน เพราะมีผลต่อการเพิ่มจำนวนภายในร่างกายเจ้าบ้าน เช่น ซัลโมเนลลาถูกทำลายได้น้อยในเด็กเล็ก ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีระบบภูมิต้านทานต่ำ ความรุนแรงของแต่ละสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดการติดเชื้อก็มีผลต่อการเกิดโรคได้เช่นเดียวกัน (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540) นอกจากนี้ส่วนประกอบของอาหารที่เป็นพาหะ และระยะการเพิ่มจำนวนของซัลโมเนลลามีผลต่อการมีชีวิตรอดอีกด้วย เช่น อาหารที่มีองค์ประกอบเป็นไขมันหรือโปรตีนสูงจะป้องกันเซลล์ซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในอาหารนั้นได้ เนื่องจากอาหารนั้นสามารถขัดขวางความเป็นกรดด่างภายในกระเพาะอาหารไม่ให้ทำลายเซลล์ นอกจากนี้ซัลโมเนลลาในระยะ active log phase หรือ stationary phase จะมีโอกาสรอดชีวิตในอาหารได้ดีกว่าระยะอื่นๆ เพราะในระยะนี้ซัลโมเนลลาสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถรอดชีวิตในระบบทางเดินอาหาร จนกระทั่งทำให้เกิดโรคได้ (Robinson et al., 2000)

ตารางที่ 2 ปริมาณเซลล์ที่ทำให้เกิดซัลโมเนลโลซิสในคน

ชนิดอาหาร	*Salmonella* serovar	ปริมาณเชื้อที่บริโภค (cfu ingested)
ช็อกโกแลต	Typhimurium	<10
เนยแข็งเชดด้า	Typhimurium	1-10
ไอศกรีม	Enteritidis	25-50
แฮมเบอร์เกอร์	Newport	10-100

ที่มา: ดัดแปลงจาก (Robinson et al., 2000)

ผู้ป่วยที่ได้รับซัลโมเนลลา สามารถจำแนกอาการของโรคได้ 3 แบบ ดังนี้

4.1 อาการโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ (gastroenteritis) โดยทั่วไปเกิดจากซัลโมเนลลาสายพันธุ์ที่ไม่เลือกเจ้าบ้าน โดยปกติเป็นสายพันธุ์ที่ไม่ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์ ได้แก่ *S.* Typhimurium และ *S.* Enteritidis เป็นต้น สามารถทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ระยะฟักตัวของโรคอยู่ระหว่าง 5 ชั่วโมง ถึง 5 วัน ปกติอาการของโรคมักเริ่มขึ้นประมาณ 12 - 36 ชั่วโมงหลังจากได้รับซัลโมเนลลา ในกรณีที่ได้รับซัลโมเนลลาเป็นจำนวนมาก อาการจะปรากฏขึ้นเร็วกว่าปกติ อาการของผู้ป่วยได้แก่ ท้องเดิน คลื่นไส้ ปวดท้อง ไข้สูงปานกลาง หนาวสั่น อาการท้องร่วง อาการของโรคจะรุนแรงต่างกันตามความบ่อยครั้งของการถ่ายอุจจาระ บางครั้งผู้ป่วยอาจจะอ่อนเพลีย อาเจียน เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ กระสับกระส่าย โดยทั่วไปอาการดังกล่าวจะปรากฏอยู่นาน 2 - 5 วัน ถ้านำสิ่งขับถ่ายของผู้ป่วยไปตรวจวิเคราะห์ในช่วงนี้มักจะพบซัลโมเนลลาเป็นจำนวนมาก เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนจะลดลง แต่ผู้ป่วยบางรายอาจขับถ่ายซัลโมเนลลาที่มิใช่ไทฟอยด์หลังจากนี้ไปแล้วอีก 3 เดือนแม้ว่าไม่ปรากฏอาการของโรค

4.2 อาการโรคไข้ไทฟอยด์ (enteric fever) อาการของโรครุนแรงมากกว่าโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ เกิดจาก *S.* Typhi, *S.* Paratyphi A, *S.* Paratyphi B (*S.* Schottmuelleri) และ *S.* Paratyphi C (*S.* Hirschfeldii) ระยะเวลาฟักตัวอยู่ระหว่าง 7 - 28 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของเชื้อที่ได้รับ ผู้ป่วยมีอาการไม่สบาย ปวดศีรษะ ไข้ขึ้นสูงมาก และอาการทรงอยู่หลายวัน นอกจากนั้นยังมีอาการปวดท้องและปวดเมื่อยตามร่างกาย อ่อนเพลีย อุจจาระมีลักษณะเหลว มีอาการคลื่นไส้อาเจียน ไอ มีเหงื่อออกตามตัว หนาวสั่น และเบื่ออาหาร มีจุดแดงตามตัว แผ่นหลังและหน้าอก หัวใจเต้นช้าและอ่อน ท้องบวมน้ำ ม้ามโต บางครั้งมีเลือดออกจากช่องท้องหรือจมูกด้วย บางรายอาการ

รุนแรงทำให้ผู้ป่วยอาจหมดความรู้สึก อาการทุเลาช้าประมาณ 1 - 8 สัปดาห์ และบางครั้งผู้ป่วยอาจเป็นพาหะของโรคไปอีกหลายเดือนหรืออาจถึงปี ในกรณีนี้มักพบซัลโมเนลลาในถุงน้ำดีด้วย

4.3 อาการโรคติดเชื้อในกระแสโลหิต (bacteremia / septicemia) เกิดจากติดซัลโมเนลลาเข้าสู่กระแสโลหิต ซัลโมเนลลาที่รอดชีวิตมาจากน้ำย่อยในกระเพาะอาหารที่มีจำนวนเซลล์มากพอที่จะก่อให้เกิดโรคนั้น อาจเข้าไปอยู่ในช่องว่าง (Lumen) ของลำไส้เล็กส่วนปลายและเพิ่มจำนวนขึ้น ผ่านผนังลำไส้เล็กเข้าสู่ระบบท่อน้ำเหลือง และทำลายเม็ดเลือดขาว จากนั้นจึงเข้าสู่กระแสโลหิตและทำให้เลือดเป็นพิษในที่สุด (Septicemia) (ICMSF, 1996) ผู้ป่วยอาจมีไข้สูง ปวดหลัง ปวดท้อง เจ็บหน้าอก หนาวสั่น เหงื่อออกตามลำตัว ไม่สบาย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด อาการที่เกิดขึ้นอาจเป็นแบบระยะสั้นหรือเป็นเรื้อรัง ซัลโมเนลลาที่เป็นสาเหตุได้แก่ สายพันธุ์อื่น ๆ รวมถึง *S.* Typhi, *S.* Choleraesuis และ *S.* Dublin การติดเชื้อในกระแสโลหิตทำให้ซัลโมเนลลามีโอกาสเข้าไปอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย

ปกติโรคซัลโมเนลโลซิส ถ้าไม่ได้รับการรักษาจะหายได้เองภายใน 4 - 7 วัน และบ่อยครั้งพบว่าไม่จำเป็นต้องรักษา มีผู้ป่วยจำนวนน้อยรายที่มีอาการสูญเสียน้ำอย่างรุนแรง หรือมีการติดเชื้อนอกระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับสารน้ำทดแทนผ่านทางเส้นเลือดและรักษาการติดเชื้อด้วยสารต้านจุลชีพ ได้แก่ ampicillin, gentamicin, trimethoprim/ sulfamethoxazole หรือ ciprofloxacin (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540) อย่างไรก็ตามปัจจุบันพบว่ามีซัลโมเนลลาบางซีโรวาร์ที่สามารถต้านทานสารต้านจุลชีพได้ สมมติฐานเกิดจากการใช้สารต้านจุลชีพผสมในอาหารสัตว์เพื่อเร่งการเจริญ (Wise, 2002) การรักษาแบบจำเพาะนั้นกระทำเมื่อตรวจพบซัลโมเนลลาชนิดที่เป็นสาเหตุ โดยใช้สารต้านจุลชีพในกรณีการติดเชื้อนอกระบบทางเดินอาหาร หรือการติดเชื้อในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง ได้แก่ เด็กอายุต่ำกว่า 1 ปี ผู้สูงอายุมากกว่า 65 ปี หรือผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ ได้แก่ ผู้ป่วยที่ได้รับยากดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ผู้ป่วยโรคเบาหวาน ผู้ป่วยโรคตับแข็ง การรักษายังคงใช้สารต้านจุลชีพ norfloxacin หรือ ceftriaxone หรือ ciprofloxacin ผู้ป่วยที่มีอาการท้องเสียสามารถหายเป็นปกติได้ แต่สามารถพบซัลโมเนลลาได้เป็นระยะเวลานานหลังจากไม่มีอาการท้องเสียแล้วหลายเดือน มีผู้ป่วยจำนวนไม่มากนักที่ติดซัลโมเนลลาแล้วมีอาการอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น เจ็บปวดตามข้อ ระคายเคืองตา และปวดกระเพาะปัสสาวะ อาการเหล่านี้เรียกว่า reiter's syndrome ผู้ป่วยที่มีอาการป่วยเรื้อรังเป็นเดือนหรือปีสามารถนำไปสู่อาการข้ออักเสบที่ยากต่อการรักษา เนื่องจากการใช้สารต้านจุลชีพรักษามักไม่ได้ผลในผู้ป่วยที่มีอาการข้ออักเสบ (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540)

5. ความสามารถในการทำให้เกิดซัลโมเนลโลซิสในไก่

จากการศึกษาฉีดซัลโมเนลลาในลูกไก่อายุ 1 วัน ซัลโมเนลลาจะกระจายอย่างรวดเร็วในไส้ติ่ง และกระเพาะพัก จากนั้นซัลโมเนลลาจะเข้าสู่อวัยวะอื่นๆ และทำให้เกิดวิการในอวัยวะนั้นๆ เช่น เยื่อหุ้มหัวใจอักเสบแบบมีไฟบริน (fibrinous pericarditis) เยื้อหุ้มตับอักเสบ (perihapatitis) ไส้ติ่งอักเสบ (serous typhlitis) สะดืออักเสบ (omphalitis) เยื่อหุ้มอวัยวะภายในอักเสบ (polyserositis) (Zamri-Saad and Saleha, 2006) ข้ออักเสบ (arthritis) และอาจพบอาการทางระบบประสาทได้ (Wray et al., 1996) ในช่วงที่ซัลโมเนลลาอาศัยอยู่ในลำไส้ ซัลโมเนลลาจะเข้าสู่เซลล์ลำไส้ผ่านทาง brush border และจะพบ heterophil เข้ามาจับกินในชั้น lamina propria ของลำไส้ มีปัจจัยต่างๆ มากมาย ที่มีผลต่อความรุนแรงของอาการ เช่น อายุและปริมาณเชื้อที่ได้รับ เส้นทางการได้รับเชื้อ (route of infection) สายพันธุ์ของซัลโมเนลลา และสายพันธุ์ของไก่ เป็นต้น

Poppe (2000) รายงานว่า ปริมาณ *S.* Typhimurium 10^2 เซลล์ ไม่สามารถก่อโรคในไก่อายุมากกว่า 4 สัปดาห์ ในขณะที่ปริมาณ *S.* Typhimurium 10^4 เซลล์ สามารถก่อโรคในไก่อายุ 8 สัปดาห์ได้ หากไก่ได้รับซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในอาหารหรือน้ำที่ระดับความเข้มข้น 10^6 เซลล์ สามารถทำให้ไก่ตายได้ถึงร้อยละ 34 - 61 และการได้รับซัลโมเนลลาโดยการหายใจหรือการฉีดเข้าตัวไก่ จะจำเพาะมากกว่าการได้รับซัลโมเนลลาโดยการกิน การติดต่อผ่านทางอากาศพบอัตราการตายร้อยละ 8 (Zamri-Saad and Hair-Bejo, 2006) และยังพบว่าไก่สายพันธุ์ light sussex และ white leghorn line W มีความทนโรคซัลโมเนลโลซิส ในขณะที่ไก่สายพันธุ์ white leghorn line C มีความทนต่อโรคน้อยที่สุด และยังมีการตรวจพบ *S.* Enteritidis ในขนไก่ร้อยละ 77 ของไก่ที่หายจากโรค และร้อยละ 33 จะกลับมาเป็นโรคซ้ำอีก ซัลโมเนลลาสามารถก่อโรคในไก่ได้ดังนี้

5.1 Salmonellosis เกิดจากการติดซัลโมเนลลาที่ไม่จำเพาะต่อไก่ อาการของโรคไม่แน่นอน มักพบในลูกไก่อายุน้อยกว่า 2 สัปดาห์ พบน้อยในอายุมากกว่า 4 สัปดาห์ขึ้นไป อัตราการป่วยและอัตราการตายแปรผันได้มาก แต่มักพบการตายน้อยกว่าร้อยละ 20 อาการไม่จำเพาะ พบว่ามีอาการซึม ไม่เคลื่อนไหวร่างกาย ปีกตก ขนหยอง หนังตาปิด พบอาการท้องเสียและอุจจาระเปื้อนบริเวณท้ายตัว (vent) มีการรายงานว่า พบอาการกระจกตาขุ่นด้วย ซัลโมเนลลาจะแบ่งเซลล์เพิ่มขึ้นในตับและม้าม ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการหลายระบบ (systemic sign) เป็นผลให้ตายจากการขาดอาหารและน้ำ

5.2 Pollorum disease เกิดจาก *S.* Pullorum พบในไก่อายุน้อยกว่า 3 สัปดาห์ ทำให้เกิดการตายของลูกไก่ที่ยังไม่ฟักจำนวนมาก หรือตายหลังจากฟักแล้วในระยะเวลาอันสั้น อาการที่พบหลากหลายและไม่จำเพาะ เช่น อาการซึม ไม่เคลื่อนไหวร่างกาย หายใจลำบาก ไม่กินอาหาร

อุจจาระขาวข้นและเปื้อนบริเวณท้ายตัว อัตราการตายไม่แน่นอน อาจสูงถึงร้อยละ 100 (Wray et al., 1996) พบการเสียหายจากการติดซัลโมเนลลาในกระแสเลือด ถึงร้อยละ 50 – 70 ในไก่พันธุ์จะพบอัตราการผสมติดและอัตราการฟักลดลง และซัลโมเนลลาสามารถซ่อนตัวอยู่ในรังไข่ได้ (Poppe, 2000) อาการที่พบในระยะกึ่งเฉียบพลัน คือ เจ็บขา อาจพบข้อขาบวมซึ่งเป็นผลให้การเจริญหยุดชะงัก ไก่อายุมากจะพบอาการซึม หงอนซีดและขนาดเล็กลง ปริมาณไข่ลดลง

5.3 Fowl thyphoid เกิดจาก *S.* Gallinarum พบการระบาดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากระยะฟักตัวสั้นเพียง 4 - 6 วัน อาการในช่วงแรกพบการตายเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะช่วงสองสัปดาห์แรกของการระบาด (Poppe, 2000) กินอาหารลดลง ปริมาณไข่ลดลง ซึม ขนหยอง หนังตาปิด หายใจเร็วแต่ลำบาก อุจจาระเป็นเมือกใสสีเหลือง หากไก่ไม่ตายภายใน 2 - 3 วันหลังแสดงอาการ จะเข้าสู่ระยะเรื้อรัง พบโลหิตจาง ทำให้หงอนและเหนี่ยงซีดและขนาดเล็กลง หากไม่ทำการรักษาอาจสูญเสียอย่างน้อยร้อยละ 50 (Wray et al., 1996) การระบาดของระยะกึ่งเฉียบพลัน จะมีอัตราการตายสูง ทำให้ไก่ตายขณะฟักหรือทำให้ไก่ฟักมีขนาดเล็ก อ่อนแรง ผอมแห้ง หรือตาย อาการในไก่อายุน้อยมักไม่จำเพาะ อ่อนแรง เคลื่อนไหวลำบาก กินอาหารลดลง อุจจาระเป็นครีมสีเหลืองและติดอยู่บริเวณท้ายลำตัว บางครั้งพบอาการหายใจลำบากด้วยการอ้าปากหายใจและหายใจเร็วขึ้น จากการผ่าซากพบ ตับเป็นสีเขียวแกมสีทองแดงและพบจุดเนื้อตาย (necrotic foci) สีขาวกระจายทั่ว ม้ามมีขนาดใหญ่พบ necrotic foci สีขาว หัวใจโตและพบจุดเนื้อตาย (necrotic foci) สีขาวที่อวัยวะทั้งสาม ผนังลำไส้มีเลือดคั่ง ภายในไส้ตรงพบอุจจาระเป็นน้ำสีเหลือง มีเลือดคั่งที่ปอดและไตอย่างรุนแรงรวมทั้งไตมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย (Poppe, 2000)

5.4 Arizonosis เกิดจากเชื้อ *S.* Arizona อาการเหมือนซัลโมเนลโลซิส แต่พบความผิดปกติของตาและอาการทางระบบประสาทได้มากกว่า เคลื่อนไหวลำบาก ซึมและพบอุจจาระเป็นครีมติดอยู่บริเวณท้ายลำตัว อาการทางระบบประสาทที่พบ เช่น ataxia สั่น อัมพาต คอเอียง และ ชักกระตุก พบการขุ่นของตา มักพบในลูกไก่อายุน้อยกว่าห้าสัปดาห์ อัตราการป่วยและอัตราการตายไม่แน่นอน อาจสูงถึงร้อยละ 90 ในไก่โตอาจไม่แสดงอาการ แต่จะเป็นพาหะได้ระยะเวลานาน (Wray et al., 1996)

การรักษาโรคในไก่ มีการใช้ยาปฏิชีวนะในการลดอัตราการป่วยและอัตราการตาย เช่น gentamicin ซึ่งเป็นยากลุ่ม aminoglycoside หรือใช้ enrofloxacin ซึ่งเป็นยากลุ่ม fluoroquinolone (Poppe, 2000) แต่ก็ไม่สามารถขจัดซัลโมเนลลาออกจากฝูงได้อย่างสมบูรณ์ (Wray et al., 1996) ไก่

ที่หายจากซัลโมเนลโลซิส สามารถเป็นพาหะในการแพร่เชื้อ และการใช้ยาปฏิชีวนะยังเหนี่ยวนำให้เกิดการดื้อยาของซัลโมเนลลาได้อีกด้วย (Bywater, 2004)

6. มาตรการป้องกันการแพร่ระบาดของซัลโมเนลลาในฟาร์มไก่เนื้อ

Wray et al. (1996) กล่าวว่าการป้องกันที่ได้ผลคือการนำลูกไก่มาเลี้ยงจากแหล่งที่ปลอดซัลโมเนลลา เพื่อเป็นการป้องกัน vertical transmission และการใช้การจัดการที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของซัลโมเนลลาจากโรงฟักตลอดจนถึงช่วงปลดไก่เพื่อชำแหละ การจัดการสุขศาสตร์ไข่ฟักที่ดี (hatching egg hygiene) การป้องกันการติดต่อของซัลโมเนลลาจากพ่อแม่พันธุ์สู่ลูกไก่โดยผ่านทางไข่ มีรายงานว่า โรงฟักไก่เป็นแหล่งสำคัญของการแพร่ของซัลโมเนลลา (Jones et al., 1991) มีการทดลองให้แม่ไก่กินไข่แดงที่มีแอนติบอดี้ต่อซัลโมเนลลา พบว่าสามารถลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในไข่ฟักได้ โดยแม่ไก่แต่ละตัวต้องติดซัลโมเนลลาไม่เกิน $2x10^8$ cfu (Gurtler et al., 2004) การฉีดวัคซีนในฟาร์มพ่อแม่พันธุ์ มีการใช้วัคซีนชนิดเชื้อเป็น (live หรือ attenuated vaccine) ของ *S.* Enteritidis, *S.* Gallinarum, *S.* Typhimurium และ *S.* Bacterin ในการลดการเพิ่มซัลโมเนลลาที่อวัยวะตับ ม้าม รังไข่ และ caeca ของไก่ เพื่อลดการแพร่กระจายของซัลโมเนลลามาทางอุจจาระและไข่ (Poppe, 2000)

การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อฟาร์มไก่เนื้ออย่างสมบูรณ์เป็นการป้องกันซัลโมเนลลาได้เป็นอย่างดี หลังจากที่มีการปลดไก่ออกจากเล้า ต้องทำการกำจัดของเสียต่างๆ ออก และทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรงเรือน อุปกรณ์ทุกอย่าง รวมไปถึงวัสดุรองพื้นที่นำเข้ามาใช้ใหม่ ปรับอาหารสัตว์และน้ำดื่มให้เป็นกรด และการควบคุมสุขอนามัยของฟาร์มอย่างเข้มงวด (Doyle and Erickson, 2006) เพื่อให้แน่ใจว่าฟาร์มปลอดจากซัลโมเนลลาก่อนที่จะนำลูกไก่เข้ามาเลี้ยง การใช้ competitive exclusion (CE) คือการใช้จุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ (normal flora) เพื่อป้องกันการติดซัลโมเนลลาในลูกไก่ พบว่าลูกไก่ที่ได้รับจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อยู่ในลำไส้จากไก่โตเต็มวัยด้วยวิธีการกินสามารถป้องกันการติดซัลโมเนลลาได้ภายใน 32 ชั่วโมงหลังจากกิน CE พบว่าการใช้ CE ร่วมกับการกินแลคโตส สามารถป้องกันการติดซัลโมเนลลาได้สูงกว่าการใช้ CE หรือ แลคโตส เพียงอย่างเดียว (Poppe, 2000) นอกจากนี้ฝูงไก่ที่ปลอดซัลโมเนลลา ให้จัดคิวเข้าเชือดก่อนฝูงไก่ที่ติดซัลโมเนลลา โดยทำการตรวจหาซัลโมเนลลาจากอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน ก่อนที่ไก่จะถูกส่งเข้าสู่โรงเชือด การจัดการทั้งหมดนี้จะมีผลลดความเสี่ยงการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในขั้นตอนการเชือดต่อไป

7. แหล่งปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ

มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาถึงระดับการปนเปื้อนที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อในหลายๆประเทศจากการสุ่มเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างเช่น ฟาร์มไก่เนื้อในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 12 (Zamri-Saad and Hair-Bejo, 2006) ในสเปนพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 2.9 โดยพบเป็น *S.* Enteritidis ทั้งหมด (Esteban et al., 2008) ในแคนาดาพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 50 ในไก่เนื้อ และร้อยละ 54 ในไก่งวง (Arsennault et al., 2007) ในสหรัฐอเมริกาพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 12.2 ในไก่เนื้อ (USDA-FSIS, 1998) เป็นต้น

ในขณะที่การศึกษาแหล่งการปนเปื้อนซัลโมเนลลาพบว่ามีหลายแหล่งที่มีโอกาสทำให้ไก่ในฟาร์มเกิดการติดซัลโมเนลลา ส่วนใหญ่แล้วซัลโมเนลลาจะมากับพาหะต่างๆกัน เช่น การติดซัลโมเนลลาผ่านทางอากาศพบได้แต่ไม่บ่อย (Wray et al., 1996; Doyle and Erickson, 2006) การปนเปื้อนมากับอาหาร การปนเปื้อนมากับลูกไก่วันแรก พบว่าเป็นแหล่งปนเปื้อนที่สำคัญในฟาร์ม (Bhatia and McNabb 1980; Bailey et al. 1994) การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในน้ำดื่ม ส่วนใหญ่แล้วเกิดจากการปนเปื้อนมาจากน้ำทิ้งในฟาร์ม (Jones et al., 1991) แต่การติดเชื้อจากการดื่มน้ำพบได้ไม่บ่อย การปนเปื้อนที่มาจากพนักงานที่ทำงานในฟาร์มส่วนใหญ่แล้วสามารถลดความเสี่ยงลงได้ถ้ามีการจัดการสุขอนามัยส่วนบุคคลที่ดี ร่วมกับการมีมาตรการความปลอดภัยทางชีวภาพ พบว่าคนสามารถเป็นพาหะของซัลโมเนลลาได้จากการตรวจพบซัลโมเนลลาได้จากลำไส้ของคน แต่ยังไม่มีรายงานชัดเจนว่าไก่ติดซัลโมเนลลาจากคนได้อย่างไร

การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในฟาร์มไก่เนื้อสามารถแบ่งออกได้เป็น การปนเปื้อนแบบ vertical transmission และการปนเปื้อนแบบ horizontal transmission มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยเสี่ยงต่อการติดซัลโมเนลลาที่ฟาร์มไก่เนื้อ เช่น Rose et al. (1991) ได้ศึกษาปัจจัยเสี่ยงการปนเปื้อนซัลโมเนลลา ชนิด *Salmonella enterica subsp. enterica* ในไก่เนื้อในประเทศฝรั่งเศส ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการทดถอยโลจิสติค พบว่ามี 4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของซัลโมเนลลาในไก่เนื้อ ได้แก่ การปนเปื้อนของซัลโมเนลลาในโรงเรือนเลี้ยงก่อนที่จะนำลูกไก่อายุ 1 วันเข้าเลี้ยง การปนเปื้อนของซัลโมเนลลาในลูกไก่อายุ 1 วัน ระยะห่างการจอดระหว่างรถขนส่งอาหารกับทางเข้าโรงเรือนเลี้ยงไก่ และลักษณะของอาหารลูกไก่อายุ 1 วัน จากการศึกษาพบว่าการใช้อาหารสัตว์ชนิดผง (ไม่ผ่านกระบวนการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน) ที่ใช้เลี้ยงลูกไก่อายุ 1 วันมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนซัลโมเนลลามากกว่าการใช้อาหารสัตว์ชนิดเม็ด (Chadfield et al., 2001)

Cardinale et al. (2004) ได้ศึกษาปัจจัยเสี่ยงการปนเปื้อนซัลโมเนลลาชนิด *Salmonella enterica subsp. enterica* ในไก่เนื้อ ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค พบว่า การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในฝูงไก่มีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในฝูงไก่ก่อนหน้า พบว่ามีอัตราเสี่ยง 6.82 เท่าเมื่อเทียบกับการไม่พบการปนเปื้อนในฝูงก่อนหน้า การเข้าออกฟาร์มจากคนภายนอกมีอัตราเสี่ยง 5.38 เท่าเมื่อเทียบกับการจำกัดคนเข้าออก การไม่คัดไก่ป่วยออกจากฝูงมีอัตราเสี่ยง 5.32 เท่าเมื่อเทียบกับการคัดไก่ป่วยออกจากฝูง การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในลูกไก่อายุ 1 วันจากโรงฟักมีอัตราเสี่ยง 3.73 เท่าเมื่อเทียบกับลูกไก่ที่ปลอดซัลโมเนลลา ในทางตรงกันข้ามการให้ยาปฏิชีวนะในลูกไก่อายุ 1 วันมีอัตราเสี่ยง 0.17 เท่าเมื่อเทียบกับไม่ให้ยา และการใช้สารเคมีทำความสะอาด (Detergent) ในขั้นตอนระหว่างการเตรียมโรงเรือนมีอัตราเสี่ยงเพียง 0.16 เท่าเมื่อเทียบกับไม่ใช้สารเคมีทำความสะอาด

Food Standards Australia New Zealand (2005) ได้สรุปปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในขั้นตอนการผลิตไก่เนื้อเป็นระดับต่ำ กลาง และสูง ปัจจัยเสี่ยงจากฟาร์มปู่ย่าพันธุ์ (vertical transmission) จัดเป็นปัจจัยเสี่ยงระดับต่ำ ปัจจัยเสี่ยงจากฟาร์มพ่อแม่พันธุ์ (vertical transmission) และปัจจัยเสี่ยงที่มาจากวัสดุรองพื้น (horizontal transmission) จัดเป็น ปัจจัยเสี่ยงระดับปานกลาง ในขณะที่ปัจจัยลูกไก่ DOC ติดซัลโมเนลลาจากโรงฟัก อาหารปนเปื้อนซัลโมเนลลา ซัลโมเนลลาหลงเหลือในสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงรุ่นก่อนหน้า และการควบคุมเส้นทางภายในฟาร์ม (traffic control) จัดเป็นปัจจัยเสี่ยงระดับสูง ปัจจัยเสี่ยงบางอย่างเช่นอาหารสัตว์พบว่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาอาจอยู่ในระดับต่ำกว่าที่จะสามารถตรวจพบได้ ทำให้รายงานผลตรวจไม่พบ แต่ความเข้มข้นระดับต่ำๆ สามารถทำให้ไก่เกิดการติดซัลโมเนลลาได้ นอกจากนี้การกระจายตัวของซัลโมเนลลาในอาหารไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างเพียงบางส่วนมักจะทำให้ตรวจไม่พบการปนเปื้อนซัลโมเนลลา

มีปัจจัยมากมายที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนข้ามจากซัลโมเนลลาในฟาร์ม เช่น การถ่ายทอดจากพ่อแม่พันธุ์ไปสู่ลูกหลาน เกิดการปนเปื้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการฟักไข่ ฟาร์มมีสุขอนามัยที่ไม่ดี มีสัตว์กัดแทะและแมลงในฟาร์ม การปนเปื้อนข้ามจากโรงเชือด หรือจากฝูงไก่ที่ติดซัลโมเนลลาไปยังซากไก่เป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญในขั้นตอนการผลิต การทำความสะอาดไก่ไม่ดีพอ และเกิดการปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่ม (Davies et al., 1997)

8. แหล่งปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด

มีรายงานอัตราการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อสัตว์ปีกอยู่ระหว่างร้อยละ 20 - 70 (Jay, 1996; Rusal et al., 1996) การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในไก่เนื้ออาจมาจากเศษดินหรือสิ่งสกปรกที่ติดมากับเท้าและขนไก่ Kotula and Davis (1999) รายงานว่าจุลินทรีย์หลายชนิดในไก่ที่นำโรคมาสู่มนุษย์ปนเปื้อนอยู่ตามขนและผิวหนังของไก่เนื้อที่เข้าสู่โรงเชือด รวมถึงการปนเปื้อนของเศษอาหารในลำไส้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาเข้าไปในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ น้ำ น้ำแข็ง อากาศ บุคลากร เครื่องมือ อุปกรณ์ ภาชนะบรรจุ นก หนู แมลง และสัตว์กัดแทะที่อาศัยอยู่ในโรงเชือดก็เป็นแหล่งของการปนเปื้อนได้ (Yupa, 1997) รวมไปถึงการขนส่งไก่ที่ถูกต้องจะสามารถลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของซัลโมเนลลาได้ การปนเปื้อนซัลโมเนลลาสามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละขั้นตอนการเชือด ดังนี้

8.1 การปนเปื้อนในขั้นตอนขนส่งไก่มีชีวิต การขนส่งไก่ไปยังโรงงานโดยใช้กรงรวม ทำให้ไก่เกิดความเครียดจากความแออัดและอากาศร้อนทำให้ไก่เกิดความเครียด Mullder (1996) รายงานว่า ไก่ที่มีความเครียดจากการขนส่ง จะมีภูมิต้านทานต่อซัลโมเนลลาลดลง เป็นผลทำให้ระยะฟักตัวของซัลโมเนลลาในระบบทางเดินอาหารของไก่ลดลง การขนส่งไก่มีชีวิตทำให้เกิดการปนเปื้อนข้ามจากกรงไก่ไปยังฝูงไก่ Bolder and Mullder (1983) รายงานว่า สามารถแยกซัลโมเนลลาหลายสายพันธุ์ได้จากกรงไก่มากกว่าสิ่งขับถ่ายจากลำไส้ส่วนปลายของไก่ ดังนั้นการทำความสะอาดกรงไก่ไม่ถูกวิธีทำให้เกิดการปนเปื้อนข้าม และอาจมีผลสืบเนื่องไปถึงผลิตภัณฑ์

8.2 ขั้นตอนลวกน้ำร้อนเพื่อเตรียมถอนขน คุณภาพของน้ำลวกก่อนการถอนขนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง นักวิจัยหลายคณะรายงานว่า จำนวนจุลินทรีย์ในน้ำลวกไก่มักไม่เกิน 5×10^4 cfu/ml (Wlaker and Ayres, 1956; Mullder and Veerkamp, 1974; Mead et al., 1999) และตรวจพบได้ใกล้เคียงกับจุลินทรีย์ที่พบบนผิวหนังไก่ ส่วนซัลโมเนลลามักจะไม่พบในตัวอย่างน้ำลวกไก่ (Surkiewicz et al., 1969) วิธีการลวกที่นิยมใช้มีอยู่ 2 วิธี คือ การฉีดพ่นด้วยน้ำร้อน และการจุ่มในน้ำร้อน ซึ่งวิธีการลวกทั้งสองวิธีนี้ไม่มีผลต่อจำนวนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ (Patrick et al., 1972

8.3 ขั้นตอนการถอนขน May (1961) รายงานว่า ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดค่อนข้างต่ำในไก่ที่ผ่านการถอนขนแล้ว แต่เมื่อไก่ผ่านกระบวนการผลิตในขั้นต่อๆไปกลับพบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการถอนขนทำให้มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนข้ามได้ โดย

การศึกษาของ Mullder et al. (1978) พบว่า การลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำสามารถส่งผลกระทบต่อการปนเปื้อนกลับมาอีกครั้งในระหว่างการถอนขนได้

8.4 ขั้นตอนการล้วงเครื่องในออก การปนเปื้อนระหว่างการลวก และการถอนขนเกิดขึ้นไม่มากนัก แต่เมื่อไก่ผ่านเข้าสู่กระบวนการล้วงเครื่องใน พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นจนถึงกระบวนการล้างครั้งสุดท้าย (May, 1961) สายพานลำเลียงและเครื่องมือที่สัมผัสกับซากไก่มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตลอดทั้งวัน และสามารถเกิดการปนเปื้อนข้ามได้มาก (Schuler and Badenhop, 1972) การล้างด้วยสารฆ่าจุลินทรีย์สามารถลดการปนเปื้อนจุลินทรีย์เหล่านี้ได้

8.5 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิ การลดอุณหภูมิเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาและป้องกันการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จุลินทรีย์ทั้งหมดในไก่ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิมีจำนวนลดลง แม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำแช่เย็นเพื่อลดอุณหภูมิตลอดทั้งวันจะมีจำนวนจุลินทรีย์สูงขึ้น แต่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบจากผิวหนังไก่ที่ผ่านการแช่น้ำเย็นลดลงประมาณร้อยละ 60 - 98 นอกจากนี้ยังพบว่า จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในหลอดลมของไก่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิก็มีจำนวนลดลงด้วย (สุมณฑา วัฒนสินธุ์ และคณะ, 2544) แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าไก่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีจำนวนจุลินทรีย์ลดลงไม่แตกต่างจากไก่ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ หรือการลดอุณหภูมิโดยการจุ่มไก่ในถังแช่แบบต่อเนื่อง อาจไม่ช่วยลดจำนวนซัลโมเนลลา แต่กลับมีผลทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดในซากไก่เพิ่มขึ้น (Surkiewicz et al., 1969)

8.6 ขั้นตอนการเลาะกระดูกและการตัดแต่ง การศึกษาของ Bell and Kyriakides (2002) พบว่า เนื้อไก่ที่ผ่านการเลาะกระดูกสามารถตรวจพบซัลโมเนลลา 6 ตัวอย่าง จาก 54 ตัวอย่าง คาดการณ์ว่าการเลาะกระดูกทำให้เกิดการปนเปื้อนข้ามได้ โดยเฉพาะจากเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเลาะกระดูก ตลอดจนภาชนะ และบุคลากรที่ปฏิบัติงาน

8.7 ขั้นตอนการบรรจุ เนื้อไก่ที่ผ่านการเลาะกระดูกและตัดแต่งแล้ว จะผ่านเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจัดเก็บ (storage) ต่อไป บรรจุภัณฑ์ไม่เพียงแต่ทำหน้าที่ป้องกันจุลินทรีย์เท่านั้นยังทำหน้าที่ทางการตลาดอีกด้วย Dawson (1987) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แช่เยือกแข็งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัยทำให้ผู้บริโภคมั่นใจในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ การใช้ถุงมือการล้างพื้นผิวที่ใช้สัมผัสกับไก่ด้วยสารทำความสะอาดสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่จะเกิดการปนเปื้อนข้ามในระหว่างการบรรจุได้

Vadhanasin et al. (2004) ได้ศึกษาการลดปริมาณซัลโมเนลลาในกระบวนการไก่แช่เยือกแข็งในประเทศไทย โดยมีจุดวิกฤตที่ต้องระวัง (Critical control points: CCPs) ในระหว่างกระบวนการเชือด 4 จุด คือ ขั้นตอนการล้าง (CCP_1), ขั้นตอนการลดอุณหภูมิ (CCP_2), ขั้นตอนการเอากระดูกออกและตัดแต่ง (CCP_3) และขั้นตอนการบรรจุ (CCP_4) ในการทดลองหาซัลโมเนลลาโดยใช้ enzyme-linked immunosorbent assay และแบคทีเรียที่แยกแยะนั้นทำการยืนยันผลโดยใช้วิธีทางชีวเคมี (biochemical) และทางซีรั่ม (serological) ผลการทดลองพบว่า ไก่แช่เยือกแข็งมีความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 24.6 ซึ่งมีทั้งหมด 12 serovars โดยสายพันธุ์ที่พบมากที่สุด คือ *S.* Albany พบร้อยละ 33 ส่วนที่จุด CCP_1 พบความชุกร้อยละ 20 และพบความชุกหลังจากจุด CCP_1, CCP_2, CCP_3 และ CCP_4 ร้อยละ 12.5, 22.7, 33.3 และ 23.3 ตามลำดับ ค่า critical limit นั้นกำหนดให้อยู่ที่ร้อยละ 20 ที่จุด CCP_2 เกิดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาเกินมาตรฐาน จึงทำการแก้ไขโดยใช้ hydrogen peroxide 30 มิลิกรัมต่อลิตร peracetic acid ร้อยละ 0.5 และ ozone 125 มิลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในการทดลองได้ใช้คลอรีนเป็นตัวควบคุม ผลการทดลองพบความชุกซัลโมเนลลาลดลงเหลือร้อยละ 16, 5 และ 15 หลังจากใช้ hydrogen peroxide, peracetic acid และ ozone ตามลำดับ ซึ่งการใช้สารฆ่าจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถลดค่า Critical limit ลงได้ต่ำกว่าร้อยละ 20 และในการทดลองพบว่า การใช้ peracetic acid ร้อยละ 0.5 ทำให้พบซัลโมเนลลาต่ำกว่าการใช้สารต้านจุลชีพชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

Rasschaert et al. (2008) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของซัลโมเนลลาที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ของไก่กับการปนเปื้อนของเนื้อไก่หลังจากที่ถูกเชือดจากโรงเชือด 6 แห่ง ผลการทดลองพบว่า ความชุกซัลโมเนลลาในไก่เนื้อที่ถูกฆ่าร้อยละ 13, ในซากไก่ร้อยละ 55, ในกระเพาะอาหารร้อยละ 69 แต่หลังจากการเชือด เนื้อไก่ทั้งหมดพบว่ามีการปนเปื้อนซัลโมเนลลาโดยซัลโมเนลลาที่อยู่ในฟาร์มนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับซัลโมเนลลาที่อยู่ในระหว่างการเชือดเสมอไป ซัลโมเนลลาที่อยู่ในฝูงไก่ที่ถูกเชือดไม่ได้เป็นเหตุให้เกิดการปนเปื้อนในเนื้อไก่เสมอไป แต่มีเพียงบางโอกาสเท่านั้นที่เกิดการปนเปื้อนของซัลโมเนลลาไปยังซากไก่ที่ไม่มีซัลโมเนลลาอยู่ ซึ่งแสดงให้ว่าเห็นว่ามีการปนเปื้อนข้ามจากเครื่องมือและอุปกรณ์ในระหว่างการเชือด หรือจากการขนส่งไปยังเนื้อสัตว์ แต่การปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่อยู่ในกระเพาะอาหารไปสู่ซากไก่นั้นมีความเป็นไปได้ต่ำมาก เนื่องจากโรงเชือดในกรณีที่มีการจัดการที่ดี และมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมจะป้องกันการปนเปื้อนซัลโมเนลลาไปยังเนื้อไก่ที่ไม่มีซัลโมเนลลา และ การปนเปื้อนซัลโมเนลลายังขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ของซัลโมเนลลา ในระหว่างการขนส่งอาจมีการเจริญของซัลโมเนลลามากขึ้น โดยซัลโมเนลลาอาจมีการปนเปื้อนที่บริเวณขนและผิวหนังมากกว่าในกระเพาะอาหาร

มีงานวิจัยหลายฉบับ แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ที่รอดชีวิตที่อยู่บนเครื่องมือที่ใช้เชือดไก่นั้น เป็นแหล่งที่สำคัญในการปนเปื้อนซัลโมเนลลาไปยังเนื้อไก่ (Corry et al., 2002; Olsen et al., 2003; Rasschaert et al., 2007) งานวิจัยของ Rasschaert et al. (2008) พบว่าสายพันธุ์ซัลโมเนลลาเดียวกันที่แยกได้ภายหลังจากการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อก่อนที่เริ่มกระบวนการผลิต และจากเนื้อไก่ที่เข้าไปในโรงฆ่าฝูงแรกในโรงเชือดไก่บางแห่ง ปนเปื้อนในเนื้อไก่ที่ไม่มีซัลโมเนลลาในกระเพาะอาหารและในระหว่างการฆ่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนไม่ได้จำกัดอยู่ในเฉพาะการฆ่าไก่ฝูงแรกเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการเชือดทุกชุดการผลิตในวันนั้น

Arsennault et al. (2007) ศึกษาการประเมินปัจจัยเสี่ยงของซัลโมเนลลาและ *Campylobacter spp*. ที่ปนเปื้อนในเนื้อไก่ โดยทำการสุ่มจากทั้งหมด 82 ตัวอย่าง ในโรงฆ่าสัตว์ 4 โรง ซึ่งอยู่ในมณฑลควิเบก ประเทศแคนาดา ระยะเวลา 10 เดือน การปนเปื้อนของซัลโมเนลลาได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำล้างเนื้อไก่ ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสี่ยงนั้นประเมินจากแบบสอบถาม อุตุนิยมวิทยา และการเพาะจากไส้ติ่ง (cecal cultures) ผลการทดลองพบความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ร้อยละ 21.2 ซึ่งการปนเปื้อนซัลโมเนลลาขึ้นอยู่กับ cecal cultures ปริมาณฝนที่ตกลงมาระหว่างการขนส่งไปยังโรงฆ่า อุณหภูมิระหว่างการขนส่งไปยังโรงเชือดมากว่าหรือเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส และระยะเวลารอเรือก่อนไปโรงเชือดมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ภาชนะในการขนส่งไก่นั้นก่อให้เกิดการปนเปื้อนของซัลโมเนลลาเนื่องจากซัลโมเนลลาที่ติดอยู่กับภาชนะ ถึงแม้ว่าจะมีการล้างแต่การที่ฝนตกลงมาและอากาศที่เย็นนั้นจะช่วยลดปริมาณการปนเปื้อนซัลโมเนลลาบนภาชนะบรรจุลงได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ซัลโมเนลลาเกิดการบาดเจ็บ (Chan et al., 2001) การปิดม่านที่ด้านข้างและด้านบนของรถขนส่งในระหว่างการขนส่งและที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะทำให้ไก่เกิดความเครียดน้อยลงและลดการขับถ่ายของเสียออกมา ซัลโมเนลลาที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ไก่ที่ถูกขังอยู่ในกรงเป็นเวลานานก่อนนำไปฆ่า จะทำให้เกิดการปนเปื้อนซัลโมเนลลามากขึ้นในเนื้อไก่

9. ความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่

Woo and Yong (2007) พบว่าความชุกซัลโมเนลลา, *Campylobacter jejuni* และ *L. monocytogenes* ในเนื้อไก่จากโรงฆ่าสัตว์ ร้อยละ 58.3, 37.4 และ 43.5 ตามลำดับ

Capita et al. (2003) ทำการศึกษาซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์ไก่ ชิ้นส่วนของไก่ (ปีก, ขา และเครื่องใน) และผลิตภัณฑ์จากไก่ (ไส้กรอกและแฮมเบอร์เกอร์) พบความชุกซัลโมเนลลาเฉลี่ยร้อยละ 49 โดยมากสุดในเนื้อไก่ที่มีหนัง ร้อยละ 55 และ พบต่ำสุดในแฮมเบอร์เกอร์ ร้อยละ 20 เนื้อไก่ที่ซื้อ

จากซุปเปอร์มาร์เก็ตมีความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 75 มากกว่าที่ซื้อจากร้านขายไก่โดยทั่วไปที่การปนเปื้อนอยู่ที่ร้อยละ 25 โดยพบ *S.* Enteritidis, *S.* Poona, *S.* Paratyphi B และ *S.* Worthington ร้อยละ 34.3, 11.4, 2.8 และ 1.4 ตามลำดับ

Mikolajczyk and Radkowski (2002) ได้ทำการสำรวจไก่ในระหว่างการฆ่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศโปแลนด์ ในปี 1999 ผลการทดลองพบว่า หลังจากทำให้สลบพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 6 หลังเอาเครื่องในออกพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 24 ก่อนแช่เย็นพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 52 และหลังแช่เย็นพบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 13 สามารถแยกซีโรไทป์จากไก่ได้ *S.* Enteritidis, *S.* Typhimurium, *S.* Saintpaul, *S* .Agona และ *S.* Infantis. ผลการทดลองพบว่า *S.* Enteritidis ปนเปื้อนมากในขั้นตอนการเชือดไก่ ส่วนไก่ในภาคตะวันออกของประเทศโปแลนด์ พบว่า *S.* Enteritidis ปนเปื้อนร้อยละ 64 และ *S.* Gallinarum ร้อยละ 18 (Wieliczko and Mazurkiewicz, 1999)

งานวิจัยของประเทศสหรัฐอเมริกา พบความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ระหว่างกระบวนการเชือด หรือจากตลาดที่ขายปลีกในสหรัฐอเมริกาอยู่ในช่วงร้อยละ 2-100 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 30 (Bryan and Doyle, 1995) ในปี 2001 Brashears et al. (2001) ได้รวบรวมข้อมูลในการดำเนินการจัดทำระบบ HACCP พบว่าสามารถลดความชุกซัลโมเนลลาในไก่ลงได้ร้อยละ 10

ประเทศไทยมีการตรวจพบซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์ไก่แช่เยือกแข็งเช่นเดียวกัน ในปี 2525 กองควบคุมโรคระบาด กรมปศุสัตว์ ทำการตรวจตัวอย่างเนื้อไก่แช่เย็นและเนื้อไก่แช่เยือกแข็ง พบความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 7.66 และ 5.50 ตามลำดับ และจากการสุ่มตัวอย่างไก่จากโรงเชือดไก่พบความชุกซัลโมเนลลาในไก่ร้อยละ 5.05 และในตัวอย่างไก่แช่เยือกแข็งได้ถึงร้อยละ 27.05 (เกรียงศักดิ์ แดงพรหม และ ศศิธร คณะรัตน์, 2530) ซีโรไทป์ที่พบมากได้แก่ *S.* Blockley, *S.* Paratyphi B และ *S.* Typhimurium (ศศิธร คณะรัตน์ และคณะ, 2534) ซัลโมเนลลาสามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ถึงแม้ว่าจะเก็บรักษาเนื้อไก่ไว้ในสภาพแช่เยือกแข็ง ดังนั้นการลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาจำเป็นต้องควบคุม และป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตเนื้อไก่ รวมทั้งดูแลสุขภาพและอนามัยของผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตด้วย

สุมาลี บุญมา และคณะ (2540) พบความชุกซัลโมเนลลาจากเนื้อไก่ร้อยละ 8 ลูกชิ้นไก่พบร้อยละ 9.38 ไส้กรอกไก่พบร้อยละ 7.02 และแหนมไก่พบร้อยละ 100 โดยซีโรวาร์ที่พบได้แก่ *S.* Heidelberg, *S.* Anatum, *S.* Rissen, *S.* Hardar, *S.* Panama และ *S.* Enteritidis

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2540) ทำการศึกษาตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อชนิดต่างๆ เช่น ลูกชิ้นไก่ และไส้กรอกไก่ เป็นต้น พบความชุกซัลโมเนลลา 40 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 19.70 และสามารถแยกซัลโมเนลลาได้ทั้งสิ้น 20 ซีโรวาร์ ในขณะที่ สุมาลี บุญมา และคณะ (2540) พบความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่จากตลาดสด และซุปเปอร์มาร์เก็ต ร้อยละ 72 ส่วนเนื้อไก่แช่เยือกแข็งจากโรงงานเพื่อการส่งออกพบร้อยละ 10 และซัลโมเนลลาที่แยกได้จากเนื้อไก่จากตลาดสดและซูเปอร์มาร์เก็ต มีความแตกต่างกันถึง 22 สายพันธุ์ ส่วนโรงงานผลิตมีสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน 6 สายพันธุ์ สายพันธุ์ที่สำคัญที่พบมากที่สุดคือ *S.* Enteritidis และที่พบรองลงไปได้แก่ *S.* Muenchen, *S.* Blockley, *S.* Montevideo, *S.* Anatum และ *S.* Hardar

สุมาลี บุญมา และคณะ (2541) พบความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่จากตลาดสดร้อยละ 28 และเนื้อไก่ส่งออกร้อยละ 6.6 โดยสายพันธุ์ที่พบมากที่สุด คือ *S.* Enteritidis สายพันธุ์อื่นๆ ที่พบรองลงมา คือ *S.* Typhimurium, *S.* Krefeld, *S.* Agona และ *S.* Anatum

Padungtod and Kaneene (2006) ศึกษาการแพร่ระบาดของซัลโมเนลลาในไก่ที่จังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน ในช่วงปี 2000-2003 โดยพบความชุกซัลโมเนลลาในฟาร์มไก่ โรงฆ่าสัตว์และเนื้อไก่ที่ตลาดร้อยละ 4 ร้อยละ 9 และร้อยละ 57 ตามลำดับ โดยพบสายพันธุ์ *S.* Weltevreden มากที่สุด

Vindigni et al. (2007) ได้ทำการสำรวจการปนเปื้อนของซัลโมเนลลา *Campylobacter spp*. *Arcobacter spp.* และ *Enterococcus spp.* ในเนื้อไก่ เนื้อวัว เนื้อหมู ซึ่งสุ่มมาจากตลาดสดและซุปเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพ 50 แห่ง ในเดือนพฤษภาคม ถึง สิงหาคม 2003 จากตัวอย่างทั้งหมด 200 ตัวอย่าง พบว่า มีตัวอย่างร้อยละ 88.5 มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา โดยซีโรไทป์ที่พบมากที่สุด คือ *S.* Anatum ตามด้วย *S.* Corvallis และ *S.* Derby ตามลำดับ

จากการสำรวจการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย สรุปได้ว่าการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ยังคงเป็นปัญหาที่หลายประเทศจำเป็นที่จะต้องหามาตรการการควบคุม และลดการปนเปื้อน เพื่อลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

10. ความชุกซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์อาหาร

ซัลโมเนลลาเกือบทุกสายพันธุ์เป็นสาเหตุของโรคทางเดินอาหารในมนุษย์ (Bell and Kyriakides, 2002) ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการระบาดของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิที่ไม่ดีพอ การให้ความร้อนที่ไม่เพียงพอ ใช้วัตถุดิบอาหารที่มีการปนเปื้อน และเกิดจากการปนเปื้อนข้าม เนื่องจากซัลโมเนลลาสามารถแพร่กระจายจากมูลสู่ทางปาก (fecal-oral route) หรือจากการรับประทานอาหาร ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ได้แก่ เนื้อ นม ไข่ จึงมีโอกาสปนเปื้อนได้สูง เนื่องจากสัตว์ปีกและไข่เป็นพาหะสำคัญของการเกิดโรคซัลโมเนลโลซิส

อรุณ บ่างตระกูลนนท์ และคณะ (2546) พบว่าซัลโมเนลลาเป็นสาเหตุของโรคอุจจาระร่วงในประเทศไทย และประเทศต่างๆ ทั่วโลก ก่อนการแข่งขันกีฬาเอเชี่ยนเกมส์ครั้งที่ 13 ช่วงระหว่างเดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2541 กองควบคุมโรค สำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร ดำเนินการเฝ้าระวังโรคอุจจาระร่วงอย่างแรง พบจุลินทรีย์ก่อโรคระบบทางเดินอาหาร ร้อยละ 10.4 โดยเชื้อที่พบสูงสุดคือ ซัลโมเนลลา ร้อยละ 89.9 รองลงมาได้แก่ *Vibrio paarphaemolyticus*, *Vibrio cholerae* non 01 และ non 0139 และ *Shigella* ร้อยละ 4.8, 4.3 และ 1.1 ตามลำดับ (นฤมล รัชตโกมุท, 2544)

สถาบันวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้สำรวจแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอุจจาระร่วงในอาหารพร้อมปรุง ได้แก่ ยำประเภทต่าง ๆ ผักสด แกงจืด แกงเผ็ด และอาหารทอด โดยเก็บตัวอย่างจากห้างสรรพสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและนนทบุรี พบความชุกซัลโมเนลลามากที่สุดถึงร้อยละ 57 (อรุณ บ่างตระกูลนนท์, 2540) นอกจากนี้ จากการสำรวจอาหารพร้อมปรุงที่มีจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าภายในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 173 ตัวอย่าง มีความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 57.8 อาหารปรุงสำเร็จที่มีการวางขายในโรงเรียนมีความชุกซัลโมเนลลาร้อยละ 4.0 อาหารที่วางจำหน่ายตามแผงลอยในตลาดร้อยละ 4.0 อาหารที่บริการบนเครื่องบินร้อยละ 0.8 อาหารที่บริโภคโดยไม่ผ่านการให้ความร้อนได้แก่ ปลาร้าพบร้อยละ 11.1 ส้มตำพบร้อยละ 10.0 ขนมและผักผลไม้พบร้อยละ 7.5 แซนวิชพบร้อยละ 5.8 อาหารแช่เย็น (cold plate) พบร้อยละ 4.0 และสลัดพบร้อยละ 1.2 (ลัดดา โภคาวัฒนา และ นฤมล รัชตโกมุท, 2543)

ปี พ.ศ. 2548 สำนักระบาดวิทยาได้รับรายงานการสอบสวนโรคอาหารเป็นพิษจากซัลโมเนลลา 6 รายงาน สรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงสรุปผลการสอบสวนการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษจากซัลโมเนลลา ปี พ.ศ. 2548

จังหวัด	วันที่	จำนวนผู้ป่วย (ราย)	อาหาร	กลุ่มซัลโมเนลลา
เลย	14-ม.ค.-48	128	ลาบเนื้อวัว	C
ร้อยเอ็ด	4-ก.พ.-48	33	ลาบเนื้อวัวดิบ	B
บุรีรัมย์	27-ก.พ.-48	8	ต้มไก่	D
น่าน	26-มี.ค.-48	32	ลาบกวางดิบ	C
นนทบุรี	9-มิ.ย.-48	58	ข้าวมันไก่	C
กรุงเทพ	29-มิ.ย.-48	169	ไข่ต้มในกระเพาะปลา	C

ที่มา: มยุรี เปาประดิษฐ์ และ สุวรรณา เทพสุนทร (2548)

11. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณทางด้านจุลินทรีย์

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณทางด้านจุลินทรีย์ (Quantitative Microbial Risk Assessment: QMRA) เป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายในการประเมินความเสี่ยงของจุลินทรีย์จากการบริโภคอาหาร (Lammerding and Paoli, 1997) ตามหลักการของคณะกรรมาธิการโคเด็กซ์ (The Codex Alilmentarius Commission: CAC) (1999) เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

11.1 การระบุอันตราย (hazard identification) คือ การศึกษาสิ่งบ่งชี้ต่ออันตรายที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร หลักฐานการก่อโรคในอาหารชนิดที่สนใจที่มีผลต่อความปลอดภัย และปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรค

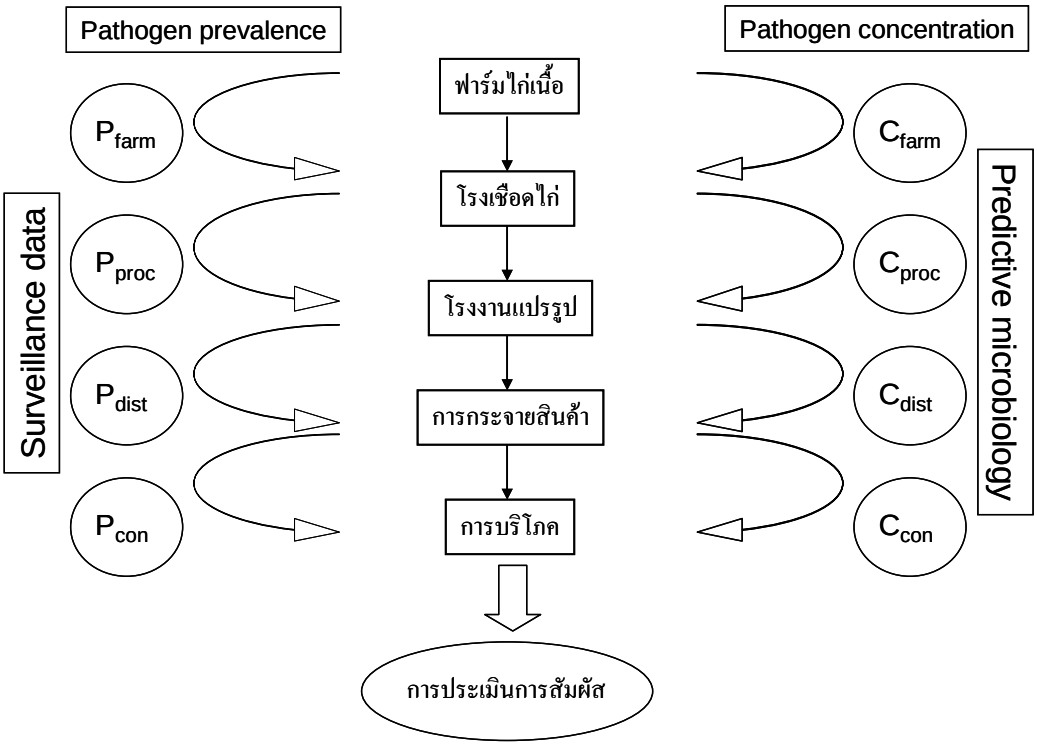
11.2 การอธิบายอันตราย (hazard characterization หรือ dose response assessment) คือ การประเมินความสัมพันธ์ของ 3 องค์ประกอบที่สำคัญคือ จุลินทรีย์ (microbiological factor) ร่างกาย (host) และอาหารที่มีจุลินทรีย์อยู่ (food matrix) ในรูปของการตอบสนองของร่างกายต่อปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคที่ร่างกายได้รับสัมผัส

11.3 การประเมินการสัมผัส (exposure assessment) คือ การประมาณโอกาสที่คนๆหนึ่ง หรือประชากรกลุ่มหนึ่งจะได้รับสัมผัสอันตรายจากจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ และโอกาสที่ จุลินทรีย์

เหล่านี้จะเข้าสู่ร่างกายจากการกินอาหาร โดยอาศัยข้อมูลด้านความชุก (prevalence) ความเข้มข้น (concentration) ของจุลินทรีย์ในอาหาร และข้อมูลปริมาณการบริโภคอาหาร การอธิบายการเปลี่ยนแปลงของระดับความชุกและความเข้มข้นตลอดทุกขั้นตอนการผลิตที่ต่อเนื่องกัน อาศัยหลักการที่ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการผลิตก่อนหน้า (output) จะกลายมาเป็นข้อมูลที่ถูกใส่เข้าไป (input) ในขั้นตอนต่อมา ซึ่งเรียกหลักการนี้ว่า แบบจำลองความเสี่ยงกระบวนการ Process Risk Model (PRM) (Cassin et al., 1998) จากหลักการนี้ จึงได้นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ในขั้นตอนการผลิตต่างๆ ที่มีการเชื่อมโยงต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ดังรายละเอียดในรูปที่ 1

11.4 การอธิบายความเสี่ยง (risk characterization) คือขั้นตอนสุดท้ายที่อธิบายความเสี่ยงโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการอธิบายอันตรายและการประเมินการสัมผัส โดยผลลัพธ์ที่ได้คือความเสี่ยงหรือโอกาสที่คนจะเกิดการเจ็บป่วยจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารที่บริโภคเข้าไป

รูปที่ 1 แนวคิดของแบบจำลองความเสี่ยงกระบวนการ (process risk model) การผลิตเนื้อไก่ปรุงสุกครบวงจร



12. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในการประเมินการสัมผัส

การประเมินการสัมผัสของจุลินทรีย์เป็นขั้นตอนที่ไม่คงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินการสัมผัสของอันตรายจากสารเคมี เนื่องจาก ปริมาณสารเคมีในแต่ละขั้นตอนในห่วงโซ่อาหารไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนได้เนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิต ในทางปฏิบัติการหาปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารที่บริโภคเข้าไปนั้นแทบจะทำไม่ได้เลย ดังนั้นจึงได้มีการสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตอาหาร

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีอยู่หลายชนิด การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการประเมินการสัมผัสจะขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลที่มีอยู่ และวัตถุประสงค์ในการใช้แบบจำลองนั้นๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการนำมาใช้ในการประเมินการสัมผัสหรือเพื่อการอธิบายการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ตลอดวงจรการผลิตเนื้อไก่ อาจแบ่งได้ 2 กลุ่มหลัก ตามลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ ดังนี้

12.1 แบบจำลองที่ใช้ multiple regression โดยหลักการของ multiple regression เป็นการอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สนใจหรือเรียกว่า ตัวแปรตาม (dependent variable) โดยอาศัยปัจจัยอื่นๆ ที่เป็นตัวกำหนด หรือเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (independent variable) รูปแบบทั่วไปของ Multiple Regression (Kleinbaum et al., 1987) คือ

$$Y_i = a + \sum_{j=1}^{k} b_j X_{ij} + e_i$$

โดยที่ Y_i คือ ค่าสังเกตของตัวแปรตาม

X_i คือ ค่าสังเกตของตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรทำนาย

a คือ ค่าคงที่ (constant) หรือ ค่าจุดตัดแกน Y ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ปรับความแตกต่างระหว่างมาตรการวัดตัวแปร X_i และ Y_i

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับการทำนาย Y_i จาก X_i ซึ่งเป็นค่าความชัน หรือค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงใน Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย

e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Error)

12.2 แบบจำลองที่ใช้เชิงทำนาย predictive microbiology หลักการของ predictive microbiology นำมาใช้เมื่อไม่สามารถวิเคราะห์ระดับของจุลินทรีย์ในอาหารได้โดยตรง แต่อาศัยข้อมูลที่สามารถบันทึกหรือวัดได้ ในกระบวนการผลิตเพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในอาหาร การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์มีอยู่ 2 ชนิดที่สำคัญ

12.2.1 แบบจำลองการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ แบบจำลองที่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติ คือ Gompertz model คิดค้นโดย Benjamin Gompertz (Van Gerwen and Zwieterin, 1998) โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\log(N_{out}) = \log(N_{in}) + C \exp[-\exp(-B(t-M)]$$

โดยที่ N_{in} คือ ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในกระบวนการ

N_{out} คือ ปริมาณจุลินทรีย์เมื่อจบกระบวนการ

C, B, t และ M เป็นพารามิเตอร์ความเข้มข้นของเซลล์สูงสุด, อัตราการเจริญสัมพัทธ์, ระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหาร และระยะเวลาที่เซลล์ใช้ในการเจริญเร็วที่สุด ตามลำดับ

12.2.2 แบบจำลองการทำลายจุลินทรีย์ แบบจำลองที่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติ คือ inactivation model ที่อาศัยความร้อนในการทำลายจุลินทรีย์ โดยประยุกต์จากปฏิกิริยาเคมีชนิดขั้นปฏิกิริยาที่ 1(first-order kinetics) (Xiong et al., 1999)

$$\log N_T = \log N_O - t/D_T$$

โดยที่ $\log N_T$ คือ เลขยกกำลังของจำนวนจุลินทรีย์ที่เวลา t

$\log N_O$ คือ เลขยกกำลังของจำนวนจุลินทรีย์ ณ จุดเริ่มต้น

t คือ เวลาในการให้ความร้อน (inactivation time)

D_T คือ เวลาที่ใช้ในการลดจำนวนเชื้อลงร้อยละ 90 ที่อุณหภูมิ T (decimal reduction time)

การประเมินการสัมผัสของจุลินทรีย์อาจมีความจำเป็นต้องใช้ Multiple regression และ predictive microbiology รวมกันเพื่อการอธิบายการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ตลอดวงจรการผลิตเนื้อไก่ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต และข้อมูลในแต่ละขั้นตอนการผลิต เนื่องจากข้อมูลบางอย่างมีจำกัดทำให้อาจส่งผลต่อคุณภาพและลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาใช้ ในกรณีที่ใช้ข้อมูลแบบค่าเดียว (deterministic) ผลที่ได้จากการประมาณความเสี่ยงก็จะได้เป็นค่าเดียว แต่เนื่องจากปัญหาของการได้มาซึ่งข้อมูลเป็นไปได้ลำบาก ดังนั้น จึงควรใช้ข้อมูลที่มีอยู่อย่างเต็มที่ โดยกำหนดค่าในรูปแบบช่วง (interval estimation) ในขณะเดียวกันก็มีโอกาสในการเกิดค่าต่างๆในช่วงนั้น เนื่องจากแต่ละค่าในช่วงมีโอกาสในการเกิดไม่เท่ากัน จึงเรียกว่า การแจกแจงความน่าจะเป็น (stochastic) ซึ่งการแจกแจงความน่าจะเป็นนี้สามารถใช้เป็นตัวแทนของตัวแปรได้ทุกตัว ในการประเมินความเสี่ยงควรใช้ข้อมูลแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นมากกว่า เนื่องจากธรรมชาติของความเสี่ยงคือความไม่แน่นอน การแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในการประเมินการสัมผัสที่สำคัญมี 2 อย่าง (WHO and FAO, 2002) คือ

- Poisson distribution สำหรับข้อมูลความเข้มข้น โดยข้อมูลดิบที่ต้องการ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น

- Beta distribution สำหรับข้อมูลความชุก โดยข้อมูลดิบที่ต้องการ คือ จำนวนตัวอย่างที่ตรวจ และจำนวนตัวอย่างที่ให้ผลบวกของซัลโมเนลลา

การวิเคราะห์ และคำนวณการแจกแจงความน่าจะเป็นมีความยุ่งยากมาก ดังนั้นการวิเคราะห์การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณที่มีความไม่แน่นอน จะอาศัยการวิเคราะห์แบบ Monte Carlo โดยมีหลักการคือ การสุ่มค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปรทุกตัวในแบบจำลอง ซึ่งการสุ่มค่าที่เป็นไปได้นี้จะขึ้นกับรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรนั้นๆ เมื่อสุ่มค่าที่ได้จากทุกตัวแปรแล้วนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณในแบบจำลองโดยการสุ่มค่าที่เป็นไปได้ 1 ครั้ง นำมาคำนวณก็จะได้ผลลัพธ์หนึ่งค่า และเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและผนวกความไม่แน่นอนเข้าไปด้วย ก็จะมีการสุ่มค่าที่เป็นไปได้ซ้ำๆ แล้วคำนวณผลลัพธ์ตามแบบจำลอง ทำให้ได้ผลลัพธ์ตามจำนวนครั้งที่สุ่ม ผลลัพธ์จำนวนมากที่ได้ก็จะนำมาสร้างเป็นรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นเช่นกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการเป็น 4 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 เพาะแยกซัลโมเนลลาจากตัวอย่างที่มาจากฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือดด้วยการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

ระยะที่ 2 วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุสำหรับข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

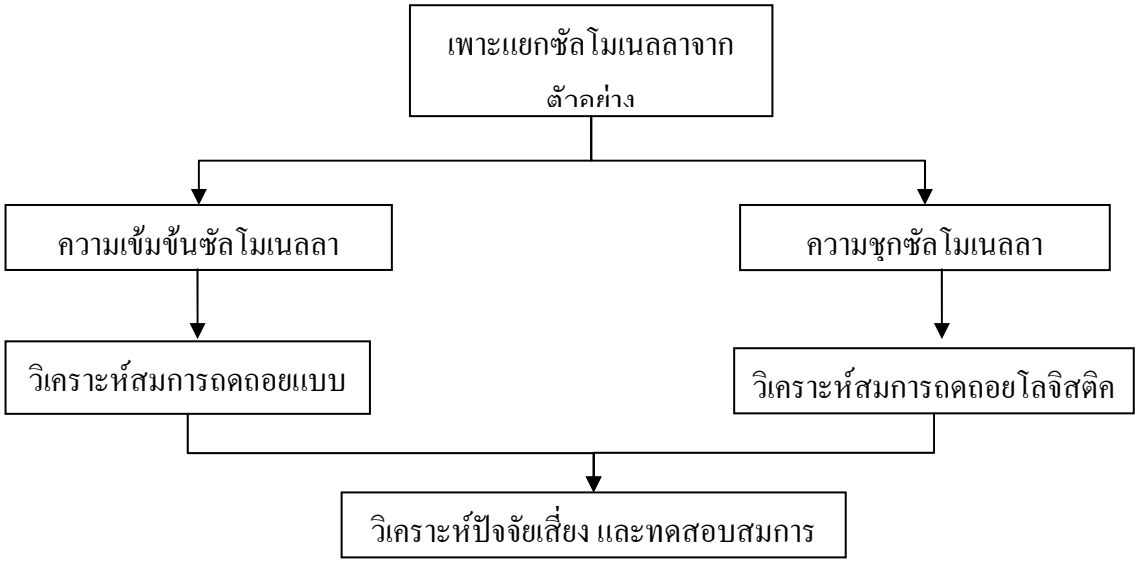
ระยะที่ 3 วิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคสำหรับข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

ระยะที่ 4 วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง และทำการทดสอบสมการถดถอยแบบพหุ และสมการถดถอยโลจิสติคที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและระดับโรงเชือด

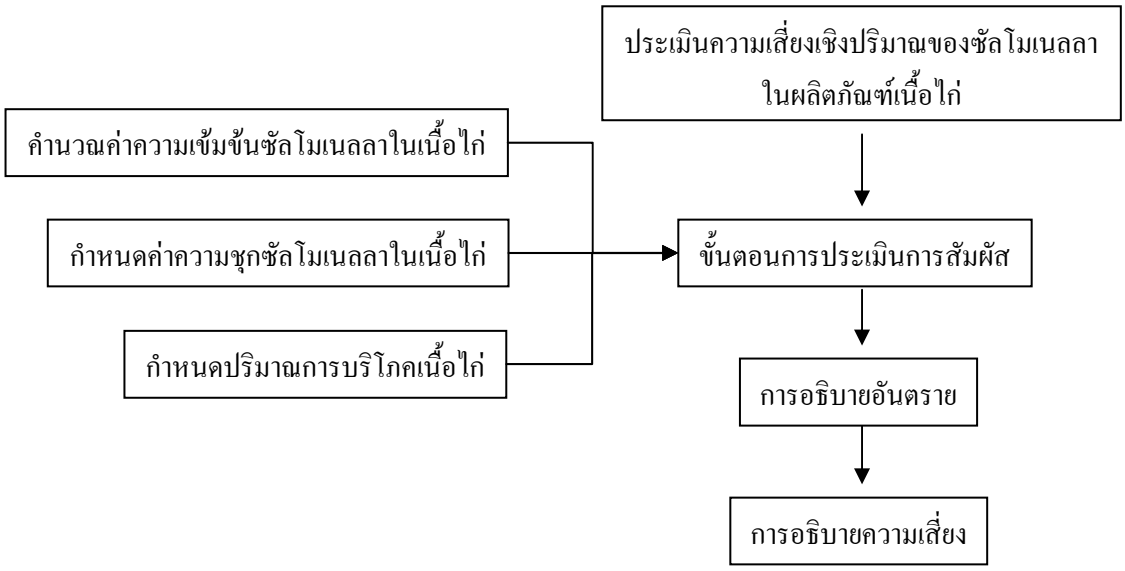
ระยะที่ 5 ประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

แผนภูมิวิธีการดำเนินการวิจัยระยะที่ 1-4 และระยะที่ 5 แสดงไว้ในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงวิธีการดำเนินการวิจัยระยะที่ 1-4



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงวิธีการดำเนินการวิจัยระยะที่ 5



ระยะที่ 1 เพาะแยกซัลโมเนลลาจากตัวอย่างที่มาจากฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือดด้วยการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ

1.1 การคัดเลือกตัวอย่างฟาร์มและโรงเชือดที่ใช้ศึกษา

ตัวแทนฟาร์มไก่เนื้อที่ทำการศึกษาจำนวน 6 ฟาร์ม ซึ่งอยู่ในจังหวัด สระบุรี ลพบุรี ชลบุรี ราชบุรี เพชรบุรี และกาญจนบุรี ทำการเก็บข้อมูลโดยวิธีสุ่ม 10 โรงเรือนต่อฟาร์ม ในกรณีที่ฟาร์มมีโรงเรือนตั้งแต่ หรือน้อยกว่า 10 โรงเรือน ให้ทำการเก็บข้อมูลทุกโรงเรือน โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2551 จนถึง มีนาคม พ.ศ. 2551 โดยทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ช่วงการเตรียมโรงเรือนจนถึงอายุไก่ที่ประมาณ 21-28 วัน ฟาร์มไก่เนื้อที่ทำการศึกษาทั้งหมดได้รับการรับรองฟาร์มมาตรฐานจากกรมปศุสัตว์โดยมีเกษตรกรเป็นเจ้าของฟาร์ม รายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มไก่เนื้อ

ฟาร์ม	จังหวัด	จำนวนโรงเรือน	กำลังการผลิต (ตัว) ต่อรุ่น
1	สระบุรี	16	175,200
2	ลพบุรี	11	220,000
3	ชลบุรี	12	161,100
4	ราชบุรี	10	300,000
5	เพชรบุรี	9	192,000
6	กาญจนบุรี	12	203,000

ตัวแทนโรงเชือดที่ทำการศึกษามีจำนวน 2 แห่ง ซึ่งแต่ละแห่งตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี และนครปฐม จำนวนเฉลี่ยไก่เนื้อที่เข้าเชือด 150,000 ตัวต่อวัน ทำการเก็บข้อมูลตลอดกระบวนการผลิต โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 จนถึง ธันวาคม พ.ศ. 2550 โรงเชือดที่ทำการศึกษาทั้งหมดเป็นโรงเชือดที่ได้มาตรฐานเพื่อการส่งออกจากกรมปศุสัตว์โดยมีบริษัทเอกชนเป็นเจ้าของ รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลพื้นฐานโรงเชือด

โรงเชือด	จังหวัด	จำนวนฟาร์มที่เข้าเชือด	กำลังการเชือด (ตัว) ต่อวัน
1	ลพบุรี	200	200,000
2	นครปฐม	80	100,000

สุ่มเก็บตัวอย่างจากฟาร์มที่เข้าเชือดทั้งหมด 5 ฟาร์ม แต่ละฟาร์ม ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในขั้นตอนการเชือดทั้งหมด 10 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนสุ่มเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ

1.2 การเก็บรวบรวมตัวอย่าง

กำหนดแผนการเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องที่ฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด รายละเอียดแสดงไว้ใน ตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 แผนการเก็บตัวอย่างจากฟาร์มไก่เนื้อ

ชนิดตัวอย่าง	จุดที่เก็บตัวอย่าง [a]	ช่วงเวลาเก็บ	ปริมาณเก็บต่อตัวอย่าง
พื้นโรงเรือน	พื้นโรงเรือน	เตรียมโรงเรือน	2 drag swabs
แกลบ	หลังการฆ่าเชื้อในโรงเรือน	เตรียมโรงเรือน	100 กรัม
น้ำไก่กิน	เก็บน้ำปลายท่อในโรงเรือน	เตรียมโรงเรือน	250 มิลลิลิตร
ถาดอาหารไก่เล็ก	หลังการฆ่าเชื้อในโรงเรือน	เตรียมโรงเรือน	2 drag swabs
กระดาษรองกล่องลูกไก่	บนรถส่งลูกไก่ก่อนลงลูกไก่	ลงลูกไก่	20 แผ่น
อาหารไก่เล็ก	อาหารใหม่จากถุง ณ จุดรับ	วันรับอาหาร	200 กรัม
อาหารไก่ระยะกลาง	อาหารใหม่จากถุง ณ จุดรับ	วันรับอาหาร	200 กรัม
อาหารไก่ระยะสุดท้าย	อาหารใหม่จากถุง ณ จุดรับ	วันรับอาหาร	200 กรัม
อุจจาระไก่อายุ 21-28 วัน	อุจจาระใหม่บนพื้นในโรงเรือน	อายุ 21-28 วัน	60 กอง

หมายเหตุ [a] เก็บ 1 ตัวอย่างต่อโรงเรือน จำนวนโรงเรือนที่เก็บตัวอย่างเท่ากับ 10 โรงเรือน

ตารางที่ 7 แผนการเก็บตัวอย่างจากโรงเชือด

ขั้นตอนที่เก็บตัวอย่าง[a]	ตัวอย่าง	ปริมาณที่เก็บต่อตัวอย่าง
ลานพักไก่	ขนไก่	50 กรัม
ก่อนลงบ่อลวก	ขนไก่	50 กรัม
หลังลงบ่อลวก	ขนไก่	50 กรัม
หลังถอนขน	น้ำล้างซากไก่ตัว	400 มิลลิลิตร
หลังล้างซาก	น้ำล้างซากไก่ตัว	400 มิลลิลิตร
หลังล้วงเครื่องใน	น้ำล้างซากไก่ตัว	400 มิลลิลิตร
หลังล้างซากนอก/ใน	น้ำล้างซากไก่ตัว	400 มิลลิลิตร
หลังการทำให้เย็น	น้ำล้างซากไก่ตัว	400 มิลลิลิตร
หลังการตัดแต่ง	เนื้อหน้าอก	1 ชิ้น
ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด	เนื้อหน้าอก	1 ชิ้น

หมายเหตุ [a] ในแต่ละขั้นตอนที่เก็บตัวอย่าง ให้สุ่มเก็บ 3 ซ้ำ

เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของข้อมูลที่ดี วางแผนการเก็บตังอย่างโดยแบ่งระยะเวลาการเก็บตัวอย่างจาก 5 ฟาร์มที่เข้าเชือดในเวลาที่แตกต่างกันดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แผนการเก็บตัวอย่างจากฟาร์มที่เข้าเชือดในช่วงเวลาต่าง ๆ

ฟาร์ม	ช่วงเวลาที่เข้าเชือด
1	เข้าเชือดคิวแรกของวัน
2	เข้าเชือดฟาร์มสุดท้ายของการทำงานกะที่ 1
3	เข้าเชือดฟาร์มแรกของการทำงานกะที่ 2
4	เข้าเชือดคิวสุดท้ายของวัน
5	เข้าเชือดระหว่างวัน

1.3 วิธีการเก็บตัวอย่างและส่งตัวอย่าง

ตัวอย่างที่เก็บจากฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือดมีหลายชนิด ดังนั้นวิธีการเก็บตัวอย่างจึงมีวิธีแตกต่างกันไปตามชนิดตัวอย่าง ก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้งผู้ที่ทำการเก็บตัวอย่างต้องล้างมือให้สะอาด และเช็ดฆ่าเชื้อมือด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง เช่น ช้อนตักตัวอย่าง และ กรรไกร เป็นต้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อนทุกครั้ง และการส่งตัวอย่าง ทำการบรรจุตัวอย่างลงในกล่องส่งตัวอย่างที่บรรจุน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะขนส่ง (ประมาณ 5 องศาเซลเซียส) ทำการส่งตัวอย่างภายในวันที่เก็บตัวอย่าง รายละเอียดการเก็บตัวอย่างตามชนิดของตัวอย่างดังนี้

1.3.1 <u>พื้นผิวพื้นโรงเรือน</u>

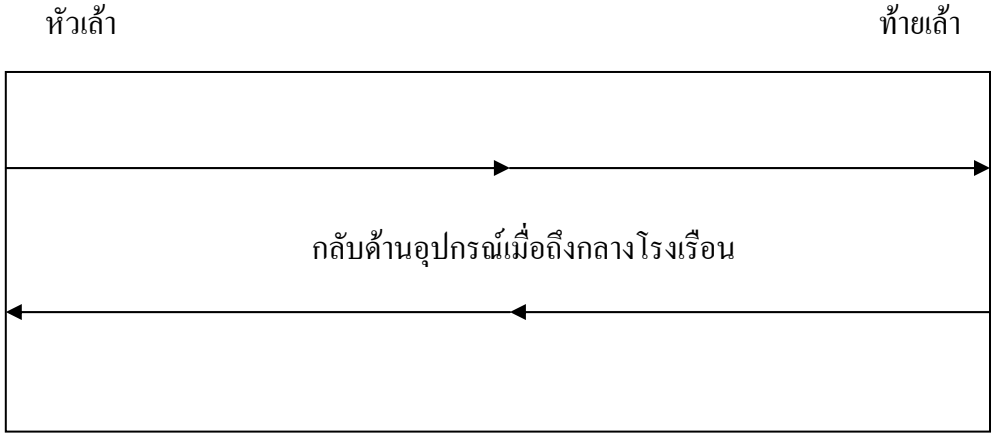
1.3.1.1 ตัดถุงที่บรรจุ drag swab ค่อยๆ ดึงเอาอุปกรณ์ออกมาวางอุปกรณ์ drag swab ลงบนพื้นโรงเรือน

1.3.1.2 ลากอุปกรณ์ช้าๆ ให้ผ่านพื้นผิวพื้นโรงเรือน โดยลากเป็นเส้นตรงตามยาวโรงเรือน เริ่มจากหัวโรงเรือนไปจนถึงกลางโรงเรือน จากนั้นให้กลับด้านของอุปกรณ์ ลากต่อไปจนถึงท้ายโรงเรือน

1.3.1.3 นำอุปกรณ์ drag swab แผ่นที่ 2 ทำแบบเดียวกันกับข้อ 1.3.1.2 โดยเริ่มจากท้ายโรงเรือน มาจบที่หัวโรงเรือน (รูปที่ 4)

1.3.1.4 ใส่ drag swab ที่ได้จากข้อ 1.3.1.2 และ 1.3.1.3 ลงในถุงเก็บตัวอย่าง นับเป็น 1 ตัวอย่าง พับปากถุง 2 ครั้ง และปิดด้วยเทปกาว

รูปที่ 4 แสดงวิธีและเส้นทางการลากอุปกรณ์ drag swab บนพื้นผิวโรงเรือน



ทำการคำนวณพื้นที่การเก็บตัวอย่าง โดยพื้นที่การเก็บตัวอย่างจะแตกต่างกันไปตามความยาวของโรงเรือน มีวิธีการคำนวณดังนี้ พื้นที่การเก็บตัวอย่าง (ตารางเมตร) = ความยาวโรงเรือน (เมตร) x ความกว้างแผ่น drag swab (เมตร) x 2

1.3.2 <u>พื้นผิวอุปกรณ์การให้อาหาร</u>

1.3.2.1 วางอุปกรณ์ drag swab ลงบนพื้นผิวของอุปกรณ์ให้อาหาร โดยให้ผิวหน้าของ drag swab สัมผัสกับพื้นผิวของอุปกรณ์ให้อาหาร ใช้ 1 หน้า drag swab ต่อ 1 อุปกรณ์ให้อาหาร กลับหน้าของ drag swab ทำแบบเดียวกันกับอุปกรณ์ให้อาหารอันที่ 2

1.3.2.2 นำ drag swab แผ่นที่ 2 ทำแบบเดียวกันกับข้อ 1.3.2.2 ทำการคำนวณพื้นที่การเก็บตัวอย่าง โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

พื้นที่การเก็บตัวอย่าง (ตารางเมตร) = ความกว้าง x ยาว แผ่น drag swab x 4

1.3.3.<u>อาหารสัตว์</u>

1.3.3.1 สุ่มเปิดถุงอาหารใหม่ และเก็บอาหารที่อยู่ในถุงจำนวน 200 – 300 กรัม ต่อ 1 ตัวอย่าง

1.3.3.2 ตักอาหารใส่ลงในถุงเก็บตัวอย่าง รัดปากถุงให้แน่น

1.3.4 <u>การเก็บตัวอย่างน้ำ</u>

1.3.4.1 เปิดระบายน้ำที่ค้างอยู่ในท่อของอุปกรณ์ให้น้ำไก่กินทิ้งอย่างน้อย 2 – 3 นาที ก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

1.3.4.2 รองน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่าง ปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยประมาณ

1.3.4.3 ปิดฝาขวดให้แน่น น้ำต้องไม่ซึมออกมานอกขวด และระวังมิให้มือไปสัมผัสถูกปากขวด

1.3.5 <u>กระดาษรองกล่องลูกไก่</u>

1.3.5.1 เก็บกระดาษรองกล่อง ½ แผ่นต่อกล่อง โดยสุ่มเก็บจาก 20 กล่อง แยกเก็บแต่ละโรงเรือน

1.3.5.2.นำกระดาษรองกล่องใส่ลงในถุงเก็บตัวอย่าง รัดปากถุงให้แน่น

1.3.6 วัสดุรองพื้น

1.3.6.1 ก่อนการเก็บตัวอย่าง ให้ล้างมือให้สะอาด และเช็ดฆ่าเชื้อด้วยสำลีแอลกอฮอล์

1.3.6.2 ตักตัวอย่างวัสดุรองพื้นจากหลายจุดในโรงเรือน เพื่อกระจายการเก็บตัวอย่างให้ทั่วทั้งโรงเรือน ใส่ลงในถุงเก็บตัวอย่าง ประมาณ 100 กรัม

1.3.6.3 รัดปากถุงให้แน่น เขียนรายละเอียดลงบนถุงเก็บตัวอย่าง เช่น วันที่เก็บตัวอย่าง ชื่อฟาร์ม ชื่อโรงเรือน

1.3.7 อุจจาระไก่

1.3.7.1 ก่อนการเก็บตัวอย่าง ให้ล้างมือให้สะอาดและเช็ดฆ่าเชื้อด้วยสำลีแอลกอฮอล์

1.3.7.2 ตักตัวอย่างอุจจาระไก่สดใหม่จากพื้นจำนวน 60 กอง รวมเป็น 1 ตัวอย่าง เก็บให้กระจายทั่วโรงเรือน นำตัวอย่างใส่ลงในถุงเก็บตัวอย่าง

1.3.7.3 รัดปากถุงให้แน่น เขียนรายละเอียดลงบนถุงเก็บตัวอย่าง เช่น วันที่เก็บตัวอย่าง ชื่อฟาร์ม ชื่อโรงเรือน

1.3.8 ขนไก่

1.3.8.1 สุ่มเลือกไก่ทีละ 1 ตัว ใช้กรรไกรตัดขนไก่จากบริเวณ ลำคอ ปีก อก และบริเวณต้นขา ให้ได้ตัวอย่างขนจำนวน 100 กรัมโดยประมาณ

1.3.8.2 ใส่ตัวอย่างขนลงในถุงเก็บตัวอย่าง รัดปากถุงให้แน่น

1.3.9 การเก็บตัวอย่างน้ำล้างซากไก่

1.3.9.1 เท Buffered Peptone Water (BPW) 400 มิลลิลิตร ลงในถุงเก็บตัวอย่าง

1.3.9.2 สุ่มเลือกซากไก่จำนวน 1 ตัว ใส่ลงในถุงเก็บตัวอย่าง เขย่าเพื่อให้ BPW ชะล้างให้ทั่วตัวไก่เป็นเวลานานอย่างน้อย 2 นาที

1.3.9.3 นำซากไก่ออกจากถุง จากนั้นรัดปากถุงให้แน่น

1.3.10 <u>การเก็บตัวอย่างชิ้นเนื้อไก่</u>

สุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อไก่ขนาดประมาณ 100-200 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติก รัดปากถุงให้แน่น

1.4 ตรวจวิเคราะห์ซัลโมเนลลาเชิงปริมาณด้วยวิธี Most Probable Number (MPN)

1.4.1 <u>การทำความสะอาดบริเวณพื้นที่ทำงานและกลุ่มควบคุม</u>

1.4.1.1 ทำความสะอาดพื้นที่ทำงานด้วยสารทำความสะอาด ก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง

1.4.1.2 พ่นแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 ให้ทั่วบริเวณพื้นที่ทำงาน และเช็ดออกด้วยกระดาษให้แห้ง ก่อนการปฏิบัติงาน

1.4.1.3 ทำตัวควบคุมบวก (positive control) โดยการนำซัลโมเนลลาใส่ลงในหลอดที่มีน้ำกลั่นปลอดเชื้อวิเคราะห์พร้อมกับตัวอย่างอื่นๆ

1.4.1.4 ทำตัวควบคุมลบ (negative control) โดยการนำน้ำกลั่นที่ปลอดซัลโมเนลลาวิเคราะห์พร้อมกับตัวอย่างอื่นๆ

1.4.2 <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

การเตรียมตัวอย่างจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างได้แก่ ตัวอย่างจากฟาร์มเลี้ยงไก่ เช่น วัสดุปูรอง อาหารสัตว์ น้ำไก่กิน อุจจาระไก่ การดาษรองกล่องลูกไก่ ตัวอย่างจากพื้นผิวโรงเรือน ตัวอย่างจากพื้นผิวอุปกรณ์ให้อาหาร และตัวอย่างจากโรงเชือด เช่น ขนไก่ น้ำล้างซากไก่ และ เนื้อไก่ เตรียมตัวอย่างทันทีที่ได้รับตัวอย่าง รายละเอียดการเตรียมตัวอย่างแต่ละประเภทมีดังนี้

1.4.2.1 ตัวอย่างวัสดุปูรอง อาหารสัตว์ อุจจาระไก่ การดาษรองกล่องลูกไก่ ขนไก่ และ เนื้อไก่ ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 25 กรัม ใส่ตัวอย่างในถุงพลาสติกขนาด 8 x 12 นิ้ว ที่มี BPW 1

ต่อ10 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 225 มิลลิลิตร แต่ถ้าตัวอย่างน้ำหนักไม่ถึง 25 กรัม ทำการชั่งตัวอย่างเป็นสัดส่วนกับ enrichment media

1.4.2.2 ตัวอย่างพื้นโรงเรือน (drag swab) จำนวน 2 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง ใส่ตัวอย่างในถุงพลาสติกขนาด 8 x 12 นิ้ว ที่มี BPW ในปริมาณ 2 เท่า ของพื้นที่พื้นโรงเรือน (ตารางเมตร) หรือเท่ากับ BPW 1 มิลลิลิตร ต่อพื้นที่พื้นโรงเรือน 0.5 ตารางเมตร ตัวอย่างพื้นผิวอุปกรณ์ให้อาหาร จำนวน 2 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง คิดเป็นพื้นผิวเท่ากับ 0.009 ตารางเมตร ใส่ตัวอย่างในถุงพลาสติกขนาด 8 x 12 นิ้ว ที่มี BPW จำนวน 100 มิลลิลิตร

1.4.2.3 ตัวอย่างน้ำไก่กิน ใส่ตัวอย่างลงในหลอดทดลองปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อหลอด ทั้งหมด 10 หลอด ที่มี BPW ในปริมาณ 10 มิลลิลิตร

1.4.2.4 ตัวอย่างน้ำล้างซากไก่ที่มีปริมาณ 400 มิลลิลิตร ตวงให้ได้ 25 มิลลิลิตร ใส่ลงใน BPW ปริมาณ 225 มิลลิลิตร

ตัวอย่างที่เตรียมได้จาก ข้อ 1.4.2.1 ถึง 1.4.2.5 จะต้องนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Seward Stomacher 400 นานอย่างน้อย 2 นาที

1.4.3 <u>ก่อนการกระตุ้นเพิ่ม (pre-enrichment)</u>

ในขั้นตอนก่อนการกระตุ้นเพิ่มจะต้องทำการเจือจางตัวอย่าง แบบ serial ten-fold dilution เพื่อให้เจือจางตัวอย่างให้อยู่ที่ 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3} ตามลำดับ (ตารางที่ 9) และในแต่ละ dilution จำนวนตัวอย่างต่อ dilution เท่ากับ 3 หลอด เป็นวิธีแบบ Three-tube series (United States Food and Drug Administration., 1998; Danyluk et al., 2007; Straver et al., 2007) วิธีการทำให้เจือจางมีรายละเอียดดังนี้

1.4.3.1 นำตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 1.4.2.2 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้ว ทำทั้งหมด 3 หลอด (dilution 10^{-1}) ซึ่งจะทำให้มีปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 0.1 กรัม หรือพื้นที่พื้นโรงเรือนเท่ากับ 0.5 ตารางเมตร หรือพื้นผิวอุปกรณ์ให้อาหารเท่ากับ 0.009 ตารางเมตร

1.4.3.2 ผสมตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.4.3.1 กับ BPW ในสัดส่วน 1:10 (ตัวอย่าง 1 ส่วนกับอาหารเลี้ยงเชื้อ 9 ส่วน) โดยนำ autopipette ดูดตัวอย่างจากข้อ 2 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วที่มี BPW ปริมาณ 9 มิลลิลิตร (dilution 10^{-2}) แบ่งส่วนผสมที่ได้ออกเป็น 3 หลอด หลอด

ละ 1 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำให้มีปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 0.01 กรัม หรือพื้นที่พื้นโรงเรือนเท่ากับ 0.05 ตารางเมตร หรือ พื้นผิวอุปกรณ์ให้อาหารเท่ากับ 0.0009 ตารางเมตร

1.4.3.3 ผสมตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.4.3.2 กับ BPW ในสัดส่วน 1:10 (ตัวอย่าง 1 ส่วนกับอาหารเลี้ยงเชื้อ 9 ส่วน) โดยนำ autopipette ดูดตัวอย่างจากข้อ 3.2 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วที่มี BPW ปริมาณ 9 มิลลิลิตร (dilution 10^{-3}) แบ่งส่วนผสมที่ได้ออกเป็น 3 หลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำมีปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 0.001 กรัม หรือพื้นที่พื้นโรงเรือนเท่ากับ 0.005 ตารางเมตร หรือ พื้นผิวอุปกรณ์ให้อาหารเท่ากับ 0.00009 ตารางเมตร

1.4.3.4 ผสมตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.4.2.1 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วทำทั้งหมด 3 หลอด (dilution 10^{-1}) ผสมตัวอย่างที่ได้จาก dilution 10^{-1} กับ BPW ในสัดส่วน 1:10 โดยนำ autopipette ดูดตัวอย่างปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วที่มี BPW ปริมาณ 9 มิลลิลิตร (dilution 10^{-2}) ผสมตัวอย่างที่ได้จาก dilution 10^{-2} เพื่อให้ได้ dilution 10^{-3} เฉพาะตัวอย่างอุจจาระไก่ให้ทำ dilution 10^{-4} เพิ่มเติมเนื่องจากความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระมีโอกาสพบสูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆซึ่งจะมีปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 0.0001 กรัม ใน dilution 10^{-4}

1.4.3.5 ตัวอย่างน้ำไก่กิน ให้ใช้ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.4.2.3 โดยไม่ต้องทำการเจือจาง เนื่องจากความเข้มข้นซัลโมเนลลาในน้ำมีโอกาสพบน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ

1.4.3.6 นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.4.3.1 ถึง 1.4.3.5 เข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18 - 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 9 แสดงระดับปริมาณตัวอย่างใน serial ten-fold dilution

ชนิดตัวอย่าง	หน่วย	Serial ten-fold dilution			
		10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4} [a]
ตัวอย่างน้ำหนัก 25 กรัม	กรัม	0.1	0.01	0.001	0.0001
ตัวอย่าง swab พื้นที่พื้นโรงเรือน	ตารางเมตร	0.5	0.05	0.005	
ตัวอย่าง swab พื้นที่อุปกรณ์ให้อาหาร	ตารางเมตร	0.009	0.0009	0.00009	

หมายเหตุ [a] ตัวอย่างอุจจาระไก่

1.4.4 <u>การกระตุ้นเพิ่มแบบเลือก (selective enrichment)</u>

1.4.4.1 ใช้ autopipette ดูด BPW ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร (จากข้อ 1.4.3) ใส่ในหลอดที่บรรจุ selective enrichment broth คือ Rappaport Vassiliadis broth (RV broth) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ในสัดส่วน 1:100 จำนวน 3 หลอด ทำซ้ำเช่นนี้ในตัวอย่างที่ dilution ที่ 10^{-2} และ 10^{-3} ตามลำดับ นำหลอดทดลองไปบ่มเพาะที่ อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 24 - 48 ชั่วโมง

1.4.4.2 บันทึกผลการเจริญของเชื้อในแต่ละ dilution ทั้ง 3 หลอด ได้ค่าเป็น MPN index เช่น ถ้า dilution ที่ 10^{-1} และ10^{-2} ไม่มีการเจริญ แต่ dilution ที่ 10^{-3} มีลักษณะขุ่นซึ่งบอกถึงการเจริญจำนวน 2 หลอด อ่านค่า MPN index ได้ 0-0-2 เป็นต้น อย่างไรก็ตามก่อนการนำค่า MPN index ไปเปิดตาราง MPN เพื่อหาความเข้มข้นซัลโมเนลลาต้องทำการยืนยันผลการเจริญในแต่ละหลอดเกิดจากซัลโมเนลลาโดยทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนการเลือกเชื้อที่จานเพาะ และการตรวจยืนยันทางชีวเคมี

1.4.5 <u>การเลือกเชื้อที่จานเพาะ (selective plating)</u>

1.4.5.1 ใช้เข็มเขี่ยเชื้อปลายห่วง (loop) ขนาด 100 ไมโครลิตร จุ่มใน RV broth มาปาด (streak) ลงบน Xylose Lysine Deoxycholate (XLD) plate และ Brilliant Green Agar (BGA) plate เพื่อให้ได้กลุ่มเชื้อเดี่ยว (single colony)

1.4.5.2 นำอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

1.4.5.3 ลักษณะ colony ของซัลโมเนลลา ที่เจริญบนอาหารเลี้ยง XLD plate มีสีชมพู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ซึ่งอาจมีหรือไม่มีสีดำบน colony บนพื้นอาหารเลี้ยงเชื้อสีชมพูถึงชมพูแดงในขณะที่ colony ของซัลโมเนลลา ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ BGA มีสีชมพูอมขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร บนพื้นอาหารเลี้ยงเชื้อสีชมพูจนถึงชมพูแดง

1.4.6 <u>การตรวจยืนยันทางชีวเคมี (biochemical confirmation)</u>

1.4.6.1 เลือก colony ที่สงสัยตามที่กล่าวมานำในข้อ 1.4.5.3 มาตรวจยืนยันด้วยวิธีชีวเคมี 2 วิธี คือ Triple Sugar Iron (TSI) และ Motile Indole Lysine (MIL) มีข้อระวัง คือ เขี่ยเชื้อจากบริเวณใจกลางและที่ผิวของกลุ่มเชื้อเดี่ยว เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารห้าม

การเจริญของเชื้อ (inhibitors) อยู่ ถ้าไม่ได้กลุ่มเชื้อเดี่ยวในจานเพาะ แนะนำให้เลือกจากกลุ่มเชื้อเดี่ยวที่สงสัยแล้ว ถ่ายลงใน enrichment medium ขั้นหนึ่งก่อนที่จะปาดลงบน selective medium อีกครั้ง หรือ อาจจะปาดซ้ำ (re-streak) ลงบน selective medium โดยตรงอีกครั้งก็ได้

1.4.6.2 ใช้เข็มเขี่ยเชื้อปลายแหลมแตะที่ colony และนำมาเขี่ย และแทงตรงลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSI agar และ MIL medium ตามลำดับนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

1.4.6.3 ผลบวกซัลโมเนลลาเมื่อหลอด TSI มีสีแดงที่ส่วนเอียง และสีเหลืองที่ส่วนก้นหลอด อาจมีหรือไม่มีสีดำที่ก้นหลอดเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

1.4.6.4 ผลบวกซัลโมเนลลาเมื่อหลอด MIL มีสีม่วง บางครั้งขุ่น ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนไหวของซัลโมเนลลา เมื่อเติม kovac’s reagent ลงไปในหลอด MIL 3 หยด จะเกิดเป็นวงแหวนหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ที่ชั้นบนสุดของหลอด MIL และมีสีเหลือง

1.4.6.5 การตัดสินทำโดยการอ่านผลควบคู่ไปทั้ง 2 หลอด ถ้าหลอดใดหลอดหนึ่งไม่เข้าเกณฑ์ลักษณะจะไม่ใช่ซัลโมเนลลา

ระยะที่ 2 วิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุสำหรับข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการทำนายความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด โดยอาศัยข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลา มีขั้นตอนดังนี้

2.1 กำหนดตัวแปรอิสระ (ปัจจัยเสี่ยง) และตัวแปรตามที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ มีตัวแปรอิสระเท่ากับ 8 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร และโรงเชือด มีตัวแปรอิสระ 22 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร (ภาคผนวก ก)

2.2 หาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม เพื่อทดสอบระดับความสัมพันธ์ คำนวณได้จากค่าสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระดับความสัมพันธ์ กำหนดโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าต่ำสุดเป็น -1 (เครื่องหมายลบ แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม) และมีค่าสูงสุดเป็น +1 (เครื่องหมายบวก แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน)

2.3 วิธีคัดเลือกตัวแปรอิสระใดๆ เพื่อวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างน้อย 0.34 ขึ้นไป ตัวแปรที่อยู่ในเกณฑ์นี้ จะถูกนำมาพิจารณาทุกตัว ส่วนตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่า 0.34 จะไม่ถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอยู่ในระดับต่ำ

ตารางที่ 10 แสดงระดับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวอย่าง

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
0	ไม่มีความสัมพันธ์
0.01 - 0.33	ต่ำ
0.34 - 0.67	ปานกลาง
0.68 – 1	สูง

ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริชัย กาญจนวาสี (2550)

รูปแบบสมการทั่วไปในการทำนายสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2548)

$$Y_i = a + \sum_{j=1}^{k} b_j X_{ij} + e_i$$

โดยที่ Y_i คือ ค่าสังเกตของตัวแปรตาม

X_i คือ ค่าสังเกตของตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรทำนาย

a คือ ค่าคงที่ (Constant) หรือ ค่าจุดตัดแกน Y ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ปรับความแตกต่างระหว่างมาตรการวัดตัวแปร X_i และ Y_i

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับการทำนาย Y_i จาก X_i ซึ่งเป็นค่าความชัน หรือค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงใน Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย

e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Error)

2.4 ใช้โปรแกรม MINITAB เพื่อวิเคราะห์ความถดถอย โดยเลือกคำสั่ง regression คัดเลือกตัวแปรอิสระในข้อ 2.3 ด้วยวิธี enter คือตัวแปรอิสระทุกตัวที่ผ่านเกณฑ์ข้อ 2.3 เข้าในสมการทำนาย และวิธี stepwise คือคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการทำนายทีละตัว ในขณะเดียวกันจะประเมินว่าตัวแปรอิสระที่ได้รับคัดเลือกเข้าไปก่อนว่าถ้าขจัดออก ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (coefficient of multiple determination, R^2) จะลดลงหรือไม่ จะยุติเมื่อไม่มีตัวแปรอิสระใหม่สามารถเข้าสู่สมการ และไม่มีตัวแปรอิสระใดถูกขจัดออก

2.5 ผลที่ได้จาการวิเคราะห์จะได้ค่า ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) ค่าสัมประสิทธิ์การทำนายที่ปรับแก้ (adjusted R^2) ผลทดสอบนัยสำคัญของ R^2 สมการทำนายตามโมเดล ค่าสัมประสิทธิ์ b และค่า β ของตัวแปรอิสระ และผลการทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์

ระยะที่ 3 วิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคสำหรับข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการทำนายความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด โดยอาศัยข้อมูลความชุกซัลโมเนลลา มีขั้นตอนดังนี้

กำหนดตัวแปรอิสระ (ปัจจัยเสี่ยง) และตัวแปรตามที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ มีตัวแปรอิสระเท่ากับ 8 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร และโรงเชือด มีตัวแปรอิสระ 9 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร (ภาคผนวก ข)

วิธีคัดเลือกตัวแปรอิสระใดๆ เพื่อวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ใช้โปรแกรม SPSS เพื่อพยากรณ์โอกาสที่เหตุการณ์จะเกิด โดยพิจารณาตัวแปรอิสระซึ่งคาดว่าจะเป็นตัวแปรหรือปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ โดยเลือกคำสั่ง regression ตามด้วยคำสั่ง binary logistic คัดเลือกตัวแปรอิสระในข้อ 3.1 ด้วยวิธี enter คือตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าในสมการทำนาย และวิธี forward stepwise: Wald คือ เริ่มต้นด้วยการมีเฉพาะค่าคงที่ (β_0) ในสมการ และคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการทำนายทีละตัว ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการทำให้ค่าพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ถูกต้องมากขึ้น จะยุติเมื่อไม่มีตัวแปรอิสระใหม่ที่ถูกเลือกเข้าสมการ ในแต่ละขั้นตอนจะมีการตรวจสอบตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการว่าสมควรที่จะถูกตัดออกจากสมการหรือไม่ สมการทำนายสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551)

$$\text{Logit (p)} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \ldots + b_k X_k$$

โดยที่ Logit (p) คือ ค่า log ของ Odd ratio

X_k คือ ค่าสังเกตของตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรทำนาย

b_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถอยโลจิสติคในฟังก์ชัน

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะได้

Model Chi-Square เป็นค่าที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของความเหมาะสมของรูปแบบความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรอิสระเทียบกับกรณีที่ไม่มีตัวแปรอิสระในสมการ ในกรณีที่ค่า p-value มีค่า

น้อยกว่า α (0.05) แสดงว่าโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว จะต้องทำการตรวจสอบต่อไปว่าตัวแปรใดบ้างที่มีผลต่อเหตุการณ์ที่สนใจศึกษา

ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยโลจิสติค (B) ค่าสถิติทดสอบ Wald และค่า p-value และค่า EXP (B) คือโอกาสที่เกิดเหตุการณ์เมื่อเทียบกับโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์เมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลงไป m หน่วย ของค่าคงที่ และตัวแปรอิสระทุกตัว

เลือกสมการทำนายถดถอยโลจิสติคที่ดีที่สุด โดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ Cox & Snell R^2 (R^2_{CS}) และค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ (goodness of fit test) ด้วยสถิติทดสอบไคกำลังสองความควรจะเป็น (likelihood ratio Chi-Sqaure)

ระยะที่ 4 วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงและทดสอบสมการถดถอยแบบพหุ และสมการโลจิสติคที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด

4.1 ผลการวิเคราะห์ในระยะที่ 2 และ 3 ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการถดถอยแบบพหุและสมการถดถอยโลจิสติคจะถูกกำหนดเป็นปัจจัยเสี่ยง ในกรณีตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการมีจำนวนมากกว่า 5 ตัวขึ้นไป ตัวแปรดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี sensitivity analysis โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป @Risk (Palisade corp.) ทำการวิเคราะห์แบบ Monte Carlo Simulation จำนวน 10,000 รอบ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรที่เป็นปัจจัยเสี่ยง หรือปัจจัยเสริม

4.2 ทดสอบสมการถดถอยแบบพหุและสมการโลจิสติคที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือดด้วยค่าสถิติ Z สำหรับจำนวนตัวอย่างที่มากกว่า 30 และ ค่าสถิติ t สำหรับจำนวนตัวอย่างเท่ากับหรือน้อยกว่า 30 ดังสมการ

$$Z = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{S^2_1/n_1 + S^2_2/n_2}}$$

และ

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

ระยะที่ 5 การประเมินความเสี่ยงประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

5.1 การอธิบายอันตราย (hazard characterization) โดยใช้ข้อมูลจากระบาดวิทยาอ้างอิงจากการรายงาน Risk assessments of *Salmonella* in eggs and broiler chicken โดย World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations ในปี 2002 ผลที่ได้คือ แบบจำลองความสัมพันธ์ของปริมาณซัลโมเนลลากับโอกาสการเจ็บป่วย (dose-response curve)

5.2 นำผลข้อมูลความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด มาใช้เพื่อประเมินหาความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ปรุงสุกก่อนการบริโภค โดยวิธีจุลชีวพยากรณ์จำนวนเชื้อ (predictive microbiology) โดยอาศัยข้อมูลเช่น ข้อมูลการขนส่ง อุณหภูมิในการขนส่ง อุณหภูมิในการปรุงสุก เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้คือ ความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่สุดท้ายก่อนการบริโภค

5.3 การประเมินการสัมผัส (exposure assessment) ได้มาจากข้อมูลในข้อ 5.2 และ ข้อมูลปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ของประชากรไทย เพื่อคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการสัมผัสจุลินทรีย์ก่อโรค (probability of exposure: P_E)

5.4 การอธิบายความเสี่ยง (Risk characterization) โดยการใช้ข้อมูลการอธิบายอันตราย (ข้อ 5.1) และการประเมินการสัมผัส (ข้อ 5.3) แบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายความเสี่ยง คือ

$$Risk = P_{ill} \times P_E$$

เมื่อ Risk คือ ความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดการเจ็บป่วยจากการสัมผัสกับซัลโมเนลลา

P_E คือ ความน่าจะเป็นในการสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้มาจากการคำนวณในข้อ 5.3

P_{ill} คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเจ็บป่วยจากปริมาณซัลโมเนลลาจากข้อ 5.1

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ เพื่อหาความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรต่างๆ ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อทั้ง 6 ฟาร์ม และโรงเชือด 2 แห่ง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 11 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ (n=59)

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (MPN ± SD)	ความชุก (ร้อยละ)
พื้นโรงเรือน (FLOOR)	7.47 ± 33.71[a]	17.00
กระดาษรองกล่องลูกไก่ (PAPER)	13.03 ± 67.11[b]	12.00
ถาดอาหาร (FEEDPAN)	56.32 ± 243.66[c]	7.00
แกลบ (LITTER)	0.51 ± 3.05[b]	5.00
น้ำไก่กิน (WATER)	0.39 ± 2.99[d]	2.00
อาหารไก่เล็ก (FEEDBG)	0.25 ± 1.95[b]	2.00
อาหารไก่ระยะกลาง (FEEDIM)	0.00[b]	0.00
อาหารไก่ระยะสุดท้าย (FEEDLT)	0.00[b]	0.00
อุจจาระไก่อายุ 21-28 วัน (FECES)	769.17 ± 1913.03[b]	54.00

หมายเหตุ [a] หน่วยเป็น MPN ต่อตารางเมตร

[b] หน่วยเป็น MPN ต่อกรัม

[c] หน่วยเป็น MPN ต่อ 0.09 ตารางเมตร

[d] หน่วยเป็น MPN ต่อ100 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 11 ตัวแปรความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลาสูงสุด 4 อันดับแรกได้แก่ FECES, FEEDPAN, PAPER และ FLOOR ตามลำดับ ในขณะที่ตัวแปรที่มีความชุกซัลโมเนลลาสูงสุด 4 อันดับแรกได้แก่ FECES, FLOOR, PAPER และ FEEDPAN ตามลำดับ ส่วนตัวแปรที่ตรวจไม่พบการปนเปื้อนซัลโมเนลลาได้แก่ FEEDIM และ FEEDLT

ตารางที่ 12 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด (n=30)

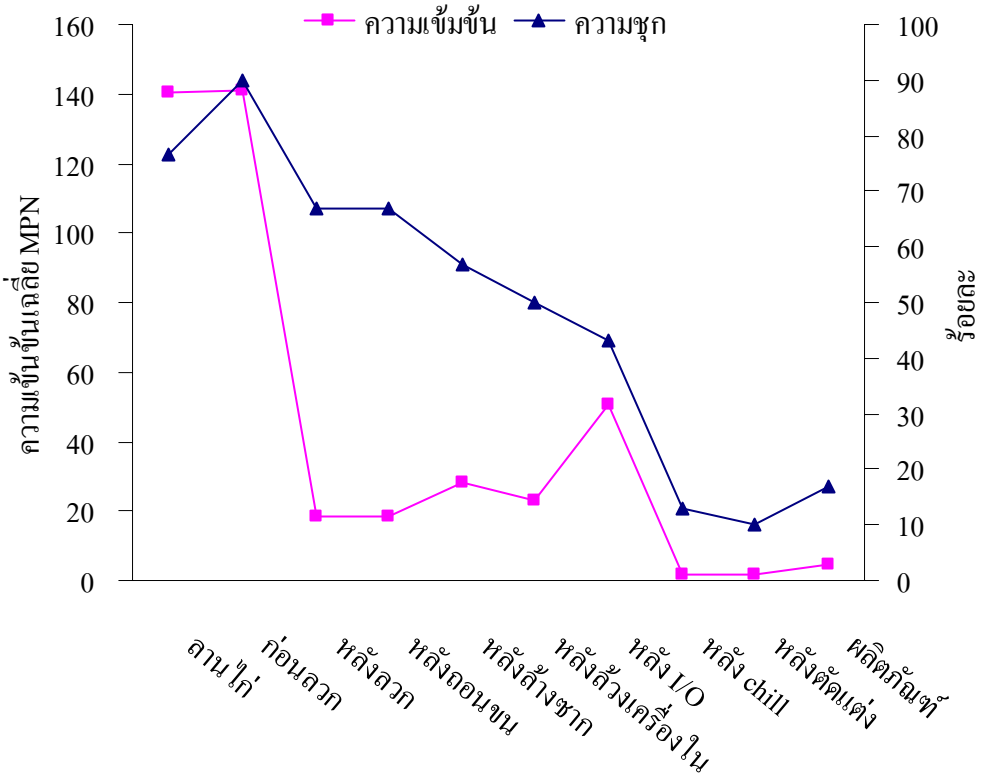
ตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (MPN ± SD)	ความชุก (ร้อยละ)
ลานพักไก่ (REST)	140.63 ± 331.35	76.70
ก่อนลงบ่อลวก (BSCALD)	141.01 ± 335.22	90.00
หลังลงบ่อลวก (ASCALD)	18.63 ± 31.34	66.70
หลังถอนขน (ADEF)	18.32 ± 52.70	66.70
หลังล้างซาก (AWASH)	27.97 ± 53.66	56.67
หลังล้วงเครื่องใน (AEVIS)	27.77 ± 50.00	50.00
หลังล้างซากนอก/ใน (AI/O)	50.54 ± 202.99	43.33
หลังการทำให้เย็น (ACHL)	1.88 ± 5.31	13.33
หลังการตัดแต่ง (ACUT)	1.62 ± 5.96	10.00
ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด (PRODUCT)	4.72 ± 17.35	16.67

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาของตัวแปรต่างๆในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลสูงสุดเท่ากับ 141.01 ในขนไก่ที่ขั้นตอนก่อนลงบ่อลวก แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการลวกเพื่อถอนขน ความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลากลับลดลงจาก 141.01 เหลือ 18.63 ในขนไก่ เมื่อซากไก่ผ่านขั้นตอนการล้างซาก การล้วงเครื่องใน และการล้างซากนอก/ใน กลับทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลาเฉลี่ย เพิ่มขึ้นเป็น 50.54 ในซากไก่ แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการทำซากให้เย็น พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลาลดลงเหลือ 1.88 ในซากไก่ แต่ในขณะที่ซากไก่ผ่านขั้นตอนการตัดแต่ง และขั้นตอนการจัดเก็บก่อนจำหน่าย พบความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลาเพิ่มขึ้นเป็น 4.72 ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด

ผลการวิเคราะห์ความชุกซัลโมเนลลาของตัวแปรต่างๆ ในแต่ละขั้นตอน พบว่า ความชุกซัลโมเนลลาสูงสุดร้อยละ 90 ในขนไก่ที่ขั้นตอนก่อนลงบ่อลวก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านไปในแต่ละขั้นตอนการผลิต ความชุกซัลโมเนลลาลดลงต่ำสุดเหลือร้อยละ 10 เมื่อผ่านขั้นตอนการตัดแต่ง แต่เมื่อผ่านการขั้นตอนการจัดเก็บก่อนจำหน่ายพบว่าความชุกซัลโมเนลลาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 16.67 ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด

สรุปความเข้มข้นซัลโมเนลลาเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการเชือดและตัดแต่ง พบว่าขั้นตอนการลวกและขั้นตอนการทำซากให้เย็น สามารถลดความเข้มข้นซัลโมเนลลาลงได้ ในขณะที่ขั้นตอนการพักไก่ก่อนเชือด ขั้นตอนการล้างซาก ขั้นตอนการล้วงเครื่องใน ขั้นตอนการล้างซากนอก/ใน ขั้นตอนการตัดแต่ง และขั้นตอนการจัดเก็บก่อนจำหน่าย เป็นขั้นตอนที่ทำให้ซัลโมเนลลาเพิ่มจำนวนได้ ส่วนความชุกซัลโมเนลลา พบขั้นตอนเกือบทุกขั้นตอนสามารถลดความชุกซัลโมเนลลาได้ ยกเว้นขั้นตอนการพักไก่ก่อนเชือด และขั้นตอนการจัดเก็บก่อนจำหน่าย เป็นขั้นตอนที่เพิ่มความชุกซัลโมเนลลาได้ (รูปที่ 5)

รูปที่ 5 กราฟแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยและความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด



4.2 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ

วิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาของตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม ในเชิงระดับความสัมพันธ์โดยคำนวณจากค่าสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ด้วยโปรแกรม MINITAB คำสั่ง Basic Statistic เลือก Correlation ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และ ค่า p-value ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

ตัวแปรอิสระ[a]	ตัวแปรตาม FECES	
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	p-value
FEEDPAN	0.10	0.47
FLOOR	-0.06	0.68
WATER	-0.05	0.69
LITTER	0.05	0.72
PAPER	-0.08	0.57
FEEDBG	-0.03	0.80

หมายเหตุ [a] ตัวแปร FEEDIM และ FEEDLT มีค่าเป็นศูนย์

ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือ ตัวแปร FEEDPAN และ LITTER ในขณะที่ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามคือ ตัวแปร FLOOR, WATER, PAPER และ FEEDBG เมื่อพิจารณาระดับความสัมพันธ์พบตัวแปร FEEDPAN, FLOOR, WATER, LITTER, PAPER และ FEEDBG ไม่มีระดับความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่มีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเพื่อนำมาวิเคราะห์ความถดถอย สรุปว่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาในตัวแปร FECES (ข้อมูลรวม 6 ฟาร์ม) ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นซัลโมเนลลาในตัวแปรอิสระทุกตัว

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวม 6 ฟาร์ม ไม่สามารถคัดเลือกตัวแปรอิสระใดๆ เพื่อสร้างแบบจำลองได้ จึงทำการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลแยกเป็นรายฟาร์ม และสามารถแยกข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาออกเป็นกลุ่มๆ ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง และตัวแปรตาม มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา ได้แก่ ฟาร์ม 1 ฟาร์ม 3 และ ฟาร์ม 6

กลุ่มที่ 2 ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา ในขณะที่ตัวแปรตามมีการปนเปื้อนซัลโมเนลลาได้แก่ ฟาร์ม 2 และ ฟาร์ม 4

กลุ่มที่ 3 ตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา ในขณะที่ตัวแปรตาม ไม่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลาได้แก่ ฟาร์ม 5

เนื่องจากข้อมูลการปนเปื้อนในเชิงความเข้มข้นซัลโมเนลลาของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ ในกลุ่มที่ 2 และตัวแปรตามทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ ในกลุ่มที่ 3 ดังนั้น จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้

ข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาของฟาร์มในกลุ่มที่ 1 ถูกนำมาวิเคราะห์แบบรายฟาร์มใหม่ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสสระกับตัวแปรตาม ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และ ค่า p-value แสดงรายฟาร์ม

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม FECES					
	ฟาร์ม 1		ฟาร์ม 3		ฟาร์ม 6	
	R	p-value	R	p-value	R	p-value
FEEDPAN	0.15	0.68	0.67	0.04	-0.17	0.65
FLOOR	0.50	0.14	-0.25	0.49	-0.12	0.75
LITTER	-	-	-	-	0.03	0.94
PAPER	-	-	0.67	0.04	-0.13	0.71
FEEDBG	-0.27	0.46	-	-	-	-

ผลการวิเคราะห์แบบรายฟาร์ม พบว่าฟาร์ม 3 มีตัวแปร FEEDPAN และตัวแปร PAPER ที่ถูกคัดเลือกเข้ามาวิเคราะห์ความถดถอย เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.67 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ฟาร์ม 1 มีเพียงตัวแปร FLOOR ที่ถูกคัดเลือกเข้ามาวิเคราะห์ความถดถอย เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.50 ถึงแม้ว่าจะมีค่า p-value มากกว่า 0.05 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์รวมฟาร์มในตารางที่ 20 ตัวแปร FLOOR จะมีค่า p-value ต่ำกว่า ส่วนฟาร์ม 6 ไม่มีตัวแปรอิสระใดผ่านเกณฑ์การคัดเลือก เนื่องตัวแปรอิสระมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่า 0.34

ดังนั้นฟาร์ม 1 คัดเลือกตัวแปร FLOOR และฟาร์ม 3 คัดเลือกตัวแปร FEEDPAN และ PAPER ทำการวิเคราะห์ความถดถอยรายฟาร์ม เนื่องจากฟาร์ม 3 มี 2 ตัวแปร การคัดเลือกตัวแปรจึงใช้วิธี stepwiseโดยโปรแกรม MINITAB ด้วยคำสั่ง REGRESSION ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุรายฟาร์ม

ฟาร์ม	ตัวแปร	B [a]	β [b]	t [c]	p-value	R^{2} [d]	R_a^{2} [e]	F [f]	p-value
1	FLOOR	1151	115	1.62	0.14	24.78	15.37	2.63	0.14
3	PAPER	521.8	1133	2.53	0.04	44.43	37.50	6.40	0.04

หมายเหตุ
[a] ค่าคงที่
[b] สัมประสิทธิ์ความถดถอย (regression coefficient)
[c] สถิติทดสอบ t
[d] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
[e] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (adjusted R^2)
[f] สถิติทดสอบ F

ผลจากการวิเคราะห์ฟาร์ม 1

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 15 ฟาร์ม 1 สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอย

FECES = 1151 + 115FLOOR.....…….. (1)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.78 และทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่า β ดังนี้

H_0: FECES และ FLOOR ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

H_A: FECES และ FLOOR มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

จากการวิเคราะห์ค่า t ที่ได้เท่ากับ 1.62 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.14 เทียบกับระดับนัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05 พบว่า p-value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_0 แสดงว่า FECES และ FLOOR ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ให้ผลสอดคล้องกับค่าสถิติ F และ ค่า p-value เท่ากับ 2.63 และ 0.143 ตามลำดับ พบว่า p-value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_0 เช่นเดียวกัน

สรุปฟาร์ม 1 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร FECES ได้ร้อยละ 24.78 คือ ตัวแปรอิสระ FLOOR แต่จากการทดสอบค่าสถิติ t และค่าสถิติ F ตัวแปร FLOOR ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปร FECES

ผลจากการวิเคราะห์ฟาร์ม 3

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 15 ฟาร์ม 3 สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอย

$$FECES = 521.8 + 1133PAPER \quad \text{.....} \quad (2)$$

ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้ามาในสมการคือตัวแปร PAPER ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 44.43 และทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่า β ดังนี้

H_0: FECES และ PAPER ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

H_A: FECES และ PAPER มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

จากการวิเคราะห์ค่า t ที่ได้เท่ากับ 2.53 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.04 เทียบกับระดับนัยสำคัญ α เท่า 0.05 พบว่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_A แสดงว่า FECES และ PAPER มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ให้ผลสอดคล้องกับค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 6.4 และ 0.035 ตามลำดับ พบว่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_A เช่นเดียวกัน

สรุปฟาร์ม 3 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร FECES ได้ร้อยละ 44.43 คือตัวแปรอิสระ PAPER การทดสอบค่าสถิติ t และค่าสถิติ F ตัวแปร PAPER มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปร FECES อย่างมีนัยสำคัญ

จากการวิเคราะห์ความถดถอยความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ มีฟาร์ม 3 เพียงฟาร์มเดียว ที่ความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน PAPER มีความสัมพันธ์เชิงเส้น กับความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน FECES ในขณะที่ฟาร์มอื่นๆ ความเข้มข้นซัลโมเนลลาในตัวแปรที่ศึกษาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น กับความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน FECES

ดังนั้นปัจจัยเสี่ยงที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อที่ได้จากการศึกษา ที่มีผลต่อความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน ได้แก่ ความเข้มข้นซัลโมเนลลาในกระดาษรองกล่องลูกไก่ (PAPER)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ที่ระดับโรงเชือด

วิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาของตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม ในเชิงระดับความสัมพันธ์โดยคำนวณจากค่าสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ด้วยโปรแกรม MINITAB คำสั่ง Basic Statistic เลือก Correlation โดยอาศัยข้อมูลรวม 2 โรงเชือด และ แบบแยกข้อมูล ของโรงเชือด 1 และโรงเชือด 2 ดังตารางที่ 16, 17 และ 18 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และ ค่า p-value ของตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม โดยอาศัยข้อมูลรวม 2 โรงเชือด

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม SALFIN	
	R	p-value
LINE	-0.42	0.02
TEMPSTO	-0.24	0.20
TEMPRO	-0.24	0.20
TIMECHL1	-0.20	0.28
TIMECHL2	-0.18	0.34
EVIS	-0.17	0.37
WI/O	-0.16	0.40

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม SALFIN	
	R	p-value
TEMPCHL1	-0.14	0.47
WFT	-0.06	0.80
TEMPCHL2	-0.05	0.34
SALBG	-0.04	0.81
PI/O	-0.04	0.83
WT2	0.10	0.61
TEMPCUT	0.11	0.56
RESTIME	0.12	0.54
PFT	0.13	0.49
TEMP	0.23	0.22
TIMECUT	0.24	0.20
ROOMT	0.24	0.19
AVGW	0.26	0.17
TEMPAF	0.27	0.16
WT1	0.29	0.12

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวม 2 โรงเชือด พบว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือ ตัวแปร WT2, TEMPCUT, RESTIME, PFT, TEMP, TIMECUT, ROOMT, AVGW, TEMPAF และ WT1 ในขณะที่ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามคือ ตัวแปร PI/O, SALBG, TEMPCHL2, WFT, TEMPCHL1, WI/O, EVIS, TIMECHL2, TIMECHL1, TEMPRO, TEMPSTO และ LINE

จากตารางที่ 16 พบว่า ตัวแปรอิสระ LINE และตัวแปรตาม มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.42 ดังนั้นตัวแปร LINE จึงถูกคัดเลือกเข้ามาวิเคราะห์ความถดถอย

ตารางที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และ ค่า p-value ของตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม โดยอาศัยข้อมูลของโรงเชือด 1

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม SALFIN	
	R	p-value
TEMPSTO	-0.44	0.10
TEMPCHL2	-0.30	0.27
AVGW	-0.28	0.32
TEMP	-0.24	0.38
TIMECHL1	-0.22	0.44
TIMECHL2	-0.22	0.44
RESTIME	-0.20	0.47
TEMPRO	-0.20	0.47
LINE	-0.20	0.48
WI/O	-0.16	0.58
TEMPCHL1	-0.11	0.69
EVIS	0.09	0.74
TIMECUT	0.12	0.66
WT2	0.21	0.45
WT1	0.24	0.39
TEMPCUT	0.30	0.29
TEMPAF	0.30	0.28
ROOMT	0.43	0.11
WFT	0.49	0.07
PFT	0.61	0.02
SALBG	0.67	0.01
PI/O	0.98	0.00

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงเชือด 1 พบว่า ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือ ตัวแปร EVIS, TIMECUT, WT2, WT1, TEMPCUT, TEMPAF, ROOMT, WFT, PFT, SALBG และ PI/O ในขณะที่ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามคือ ตัวแปร TEMPCHL1, WI/O, LINE, TEMPRO, RESTIME, TIMECHL2, TIMECHL1, TEMP, AVGW, TEMPCHL2 และ TEMPSTO

เมื่อพิจารณาระดับความสัมพันธ์ พบตัวแปร TEMPSTO, ROOMT, WFT, PFT, SALBG และ PI/O ซึ่งมีค่า p-value ประมาณ 0.10 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ - 0.44, 0.43, 0.49, 0.61, 0.67 และ 0.98 ตามลำดับ ดังนั้นตัวแปร TEMPSTO, ROOMT, WFT, PFT, SALBG และ PI/O จึงถูกคัดเลือกเข้ามาวิเคราะห์ความถดถอย

ตารางที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และ ค่า p-value ของตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม โดยอาศัยข้อมูลของโรงเชือด 2

ตัวแปรอิสระ[a]	ตัวแปรตาม SALFIN	
	R	p-value
LINE	-0.71	0.00
WFT	-0.17	0.54
SALBG	-0.12	0.68
TEMPCUT	-0.08	0.77
PI/O	-0.02	0.93
WT2	-0.02	0.93
RESTIME	0.05	0.86
TEMPAF	0.13	0.64
PFT	0.15	0.59
TEMPCHL1	0.21	0.45
EVIS	0.22	0.43
TEMP	0.24	0.38
TEMPCHL2	0.25	0.36

ตัวแปรอิสระ[a]	ตัวแปรตาม SALFIN	
	R	p-value
WT1	0.35	0.20
WI/O	0.49	0.06
AVGW	0.54	0.04

หมายเหตุ [a] ตัวแปร TIMECHL1, TIMECHL2, TIMECUT, ROOMT, TEMPSTO, TEMPRO มีค่าคงที่ ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงเชือด 2 พบว่า ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันคือ ตัวแปร RESTIME, TEMPAF, PFT, TEMPCHL1, EVIS, TEMP, TEMPCHL2, WT1, WI/O, และ AVGW ในขณะที่ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามคือ ตัวแปร WT2, PI/O, TEMPCUT, SALBG, WFT และ LINE

พิจารณาระดับความสัมพันธ์ พบตัวแปร LINE, WT1, WI/O และ AVGW ซึ่งมีค่า p-value ประมาณ 0.10 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.71, 0.35, 0.49 และ 0.54 ตามลำดับ ดังนั้น ตัวแปร LINE, WT1, WI/O และ AVGW จึงถูกคัดเลือกเข้ามาวิเคราะห์ความถดถอย

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยของตัวแปรที่ถูกคัดเลือกโดยอาศัยข้อมูลรวม 2 โรงเชือด และแบบแยกข้อมูลของโรงเชือด 1 และ 2

วิเคราะห์ความถดถอยข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาในตัวแปรที่ถูกคัดเลือกของทั้ง 2 โรงเชือด และแยกโรงเชือด 1 และ 2 ด้วยวิธี enter และ stepwise โดยโปรแกรม MINITAB ด้วยคำสั่ง REGRESSION ดังตารางที่ 19, 20, 21, 22 และ 23 ตามลำดับ

ผลจากการวิเคราะห์ 2โรงเชือด

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของ 2 โรงเชือด

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		t	p-value	$R^{2\,a}$	$R_a^{2\,b}$	F	p-value
N/A	B	217	2.49	0.02	17.60	14.60	5.96	0.02
LINE	β	-1.79	-2.44	0.02				

หมายเหตุ [a] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

[b] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (adjusted R^2)

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 19 ของ 2 โรงเชือด สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอย

SALFIN = 217 – 1.79LINE ………………………………………. (3)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 17.60 และทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่า β ดังนี้

H_0: SALFIN และ LINE ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

H_A: SALFIN และ LINE มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

วิเคราะห์ค่าสถิติทดสอบ t เท่ากับ -2.44 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.02 เทียบกับระดับนัยสำคัญ α เท่า 0.05 พบว่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_A แสดงว่า SALFIN และ LINE มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ให้ผลสอดคล้องกับค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 5.96 และ 0.02 ตามลำดับ พบว่า p-value มีค่าน้อยกว่า α เท่ากับ 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_A เช่นเดียวกัน

สรุปข้อมูลความเข้มข้นรวม 2 โรงเชือด ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 17.60 คือตัวแปรอิสระ LINE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลจากการวิเคราะห์โรงเชือด 1

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุของโรงเชือด 1 ด้วยวิธี enter

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		t	p-value	$R^{2\,a}$	$R_a^{2\,b}$	F	p-value
N/A	B	-15.59	-4.38	0.00	98.20	96.90	73.45	0.00
PI/O	β_1	3.25	11.72	0.00				
SALBG	β_2	-0.001	-1.52	0.17				
ROOMT	β_3	0.30	1.40	0.20				
WFT	β_4	-2.63	-0.91	0.39				
TEMPSTO	β_5	0.27	0.83	0.43				
PFT	β_6	0.16	0.15	0.88				

หมายเหตุ [a] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

[b] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (adjusted R^2)

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 20 ของโรงเชือด 1 สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอยแบบพหุ

$$\text{SALFIN} = -\,15.59 + 3.25\text{PI/O} - 0.001\text{SALBG} + 0.30\text{ROOMT} - 2.63\text{WFT}$$

$$+\,0.27\text{TEMPSTO} + 0.16\text{PFT} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (R_a^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 96.90 และทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่า β ดังนี้

$$H_0\text{: } \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$$

$$H_A\text{: } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 73.45 และ 0.00 ตามลำดับ พบว่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_1 สรุปว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ SALFIN คัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ SALFIN โดยดูจากค่าสถิติ t และ p-value ของค่าสัมประสิทธิ์

ความถดถอยของตัวแปรแต่ละตัว พบว่า ตัวแปร PI/O มีค่าสถิติ t และค่า p-value เท่ากับ 11.72 และ 0.00 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ มีค่าสถิติ t และค่า p-value มากกว่าค่า α เท่ากับ 0.05 ดังนั้นตัวแปร PI/O ได้ถูกคัดเลือกเพื่อมาวิเคราะห์ความถดถอย ได้สมการความถดถอยใหม่ดังนี้

SALFIN = - 11.50 + 2.91PI/O ….………………………………..… (5)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (R_a^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 96 และ ค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 336.07 และ 0.00 ตามลำดับ

สรุปข้อมูลความเข้มข้นของโรงเชือด 1 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุด้วยวิธี enter ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 96 คือตัวแปรอิสระ PI/O อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโรงเชือด 1 ด้วยวิธี Stepwise

ขั้น	ตัวแปร[a]	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		T	p-value	$R^{2\,b}$	$R_a^{2\,c}$	F	p-value
1	N/A	B	-11.50			5.7	96.28	336.1	0.00
	PI/O	β_1	2.91	18.33	0.00				
2	N/A	B	-9.44			3.4	97.24	211.3	0.00
	PI/O	β_1	3.12	17.88	0.00				
	WFT	β_2	-3.90	-2.04	0.06				

หมายเหตุ[a] ตัวแปรจะถูกนำเข้า และ ออกจากสมการเมื่อมีค่า α เท่ากับ 0.1

[b] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

[c] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (adjusted R^2)

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 21 ของโรงเชือด 1 ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการได้แก่ ตัวแปร PI/O และตัวแปร WFT สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอยแบบพหุ

SALFIN = -9.44 + 3.12PI/O -3.90WFT …..…………………..……… (5)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (R_a^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 97.24 และ ค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 211.25 และ 0.00 ตามลำดับ

สรุปข้อมูลความเข้มข้นของโรงเชือด 1 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุด้วยวิธี stepwise ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 97.24 คือตัวแปรอิสระ PI/O และ WFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบสมการที่ 4 และ 5 เพื่อคัดเลือกสมการที่ดีที่สุด พบว่าสมการที่ 5 เป็นสมการที่ดีที่สุด เพราะสามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 97.24 มากกว่าสมการที่ 4 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้เพียงร้อยละ 96

ผลจากการวิเคราะห์โรงเชือด 2

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุ โรงเชือด 2 ด้วยวิธี enter

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		t	p-value	$R^{2\,a}$	$R_a^{2\,b}$	F	p-value
ค่าคงที่	B	304.1	0.34	0.74	53.8	35.3	2.91	0.08
LINE	β_1	-4.02	-1.96	0.08				
AVGW	β_2	58.18	0.66	0.52				
WI/O	β_3	43.30	0.11	0.92				
WT1	β_4	-0.45	-0.06	0.95				

หมายเหตุ [a] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

[b] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (adjusted R^2)

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 22 ของโรงเชือด 2 สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอยแบบพหุ

$$SALFIN = 304.10 - 4.02LINE + 58.18AVGW + 43.30WI/O - 0.45WT1 \quad \text{.....} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (R_a^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.30 และทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่า β ดังนี้

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 2.91 และ 0.08 ตามลำดับ พบว่า p-value มีค่ามากกว่า α เท่ากับ 0.05 จึงยอมรับสมมุติฐาน H_0 สรุปว่าตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ SALFIN

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโรงเชือด 2 ด้วยวิธี stepwise

ขั้น	ตัวแปร[a]	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		T	p-value	$R^{2\,b}$	$R_a^{2\,c}$	F	p-value
1	ค่าคงที่	B	588	3.71	0.00	50.63	46.83	13.33	0.00
	LINE	β_1	-4.9	-3.65	0.00				

หมายเหตุ [a] ตัวแปรจะถูกนำเข้า และ ออกจากสมการเมื่อมีค่า α เท่ากับ 0.1

[b] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

[c] ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (adjusted R^2)[b]

ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 23 ของโรงเชือด 2 ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการได้แก่ ตัวแปร LINE สามารถนำเสนอเป็นสมการความถดถอย

$$\text{SALFIN} = 588 - 4.9\ \text{LINE} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (R_a^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 46.83 และ ค่าสถิติ F และค่า p-value เท่ากับ 13.33 และ 0.00 ตามลำดับสรุปข้อมูลความเข้มข้นของโรงเชือด 2 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยวิธี stepwise ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการได้แก่ ตัวแปรอิสระ LINE สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 46.83 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบสมการที่ 6 และ 7 เพื่อคัดเลือกสมการที่ดีที่สุด พบว่าสมการที่ 7 เป็นสมการที่ดีที่สุด เพราะสามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 46.83 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่สมการที่ 6 ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ SALFIN

4.3 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความชุกซัลโมเนลลา 6 ฟาร์ม สามารถแยกข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาออกเป็นกลุ่มๆ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ตัวแปรอิสระ อย่างน้อย 1 ตัวอย่าง และตัวแปรตาม มีความชุกซัลโมเนลลาเป็นบวก ได้แก่ ฟาร์ม 3 และ ฟาร์ม 6

กลุ่มที่ 2 ความชุกของซัลโมเนลลาของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ ได้แก่ ฟาร์ม 2 และ ฟาร์ม 4

กลุ่มที่ 3 ความชุกของซัลโมเนลลาของตัวแปรตาม คือ ร้อยละ 100 หรือ 0 ได้แก่ ฟาร์ม 1 และฟาร์ม 5

เนื่องจากข้อมูลความชุกของซัลโมเนลลาของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ ในกลุ่มที่ 2 และตัวแปรตามทุกตัวมีค่าร้อยละ 100 หรือ 0 ในกลุ่มที่ 3 ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาคำนวณความถดถอยโลจิสติคได้ ดังนั้นเฉพาะข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาของฟาร์มในกลุ่มที่ 1 เท่านั้นที่ถูกนำมาวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค ด้วยโปรแกรม SPSS เลือกคำสั่ง regression ตามด้วยคำสั่ง binary logistic คัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธี enter ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคฟาร์มไก่เนื้อในกลุ่มที่ 1 ด้วยวิธี enter

ตัวแปร[a]	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
N/A	B	0.96	0.20	0.66	2.61	3.45	0.49	0.16
FEEDPAN	β_1	0.57	0.11	0.74	1.76			
FLOOR	β_2	0.86	0.57	0.45	2.37			
LITTER	β_3	-0.65	0.17	0.68	0.53			
PAPER	β_4	-1.93	1.80	0.18	0.15			

หมายเหตุ [a] ตัวแปร WATER, FEEDBG, FEEDIM, FEEDLT มีค่าเป็นศูนย์

การทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ได้ค่า Model Chi-square และ p-value เท่ากับ 3.45 และ 0.49 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ α เท่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั้นคือโอกาสที่เกิดความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน ไม่ขึ้นกับตัวแปรที่ทำการศึกษา สอดคล้องกับค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของทุกตัวแปรมากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่า R^2_{CS} เท่ากับ 0.16 หมายถึงตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว สามารถอธิบายโอกาสที่เกิดความชุกในอุจจาระร้อยละ 16

สรุปได้ว่าความชุกซัลโมเนลลาในฟาร์มกลุ่มที่ 1 ของตัวแปร FEEDPAN, FLOOR, LITTER และ PAPER ไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกที่อุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคแยกรายฟาร์ม ดังตารางที่ 25 และ 26 ดังนี้

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคฟาร์มที่ 3 ด้วยวิธี enter

ตัวแปร[a]	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
N/A	b	20.51	0.00	1.00	-	2.23	0.33	0.20
FEEDPAN	β_1	-21.61	0.00	0.64	0.00			
FLOOR	β_2	0.69	0.22	1.00	2.00			
PAPER[b]	β_3	-	-	-	-			

หมายเหตุ [a] ตัวแปร WATER, LITTER, FEEDBG, FEEDIM, FEEDLT มีค่าเป็นศูนย์

[b] เนื่องจากตัวแปร PAPER และ FLOOR มีค่า design matrix เท่ากัน จึงเลือกตัวแปร FLOOR เข้ามาในสมการเพียงตัวเดียวเพื่อป้องกันการทำซ้ำ (redundancy)

การทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ได้ค่า Model Chi-square และ p-value เท่ากับ 2.23 และ 0.33 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ α เท่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั้นคือโอกาสที่เกิดความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน ไม่ขึ้นกับตัวแปรที่ทำการศึกษา สอดคล้องกับค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของตัวแปร FLOOR มากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่า R^2_{CS} เท่ากับ 0.2 หมายถึงตัวแปรอิสระ FLOOR ตัว สามารถอธิบายโอกาสที่เกิดความชุกในอุจจาระร้อยละ 20

สรุปว่าความชุกซัลโมเนลลาในฟาร์ม 3 ของตัวแปร FLOOR และ PAPER ไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกที่อุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคฟาร์มที่ 6 ด้วยวิธี enter

ตัวแปร[a]	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
N/A	b	0.24	0.01	0.93	1.27	1.30	0.90	0.12
FEEDPAN	β_1	1.18	0.40	0.53	3.25			
FLOOR	β_2	0.83	0.20	0.65	2.30			
LITTER	β_3	-0.69	0.16	0.69	0.50			
PAPER	β_4	-1.45	0.82	0.36	0.23			

หมายเหตุ [a] ตัวแปร WATER, FEEDBG, FEEDIM, FEEDLT มีค่าเป็นศูนย์

การทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ได้ค่า Model Chi-square และ p-value เท่ากับ 1.30 และ 0.90 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั้นคือโอกาสที่เกิดความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน ไม่ขึ้นกับตัวแปรที่ทำการศึกษา สอดคล้องกับค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของทุกตัวแปรมากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่า R^2_{CS} เท่ากับ 0.12 หมายถึงตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว สามารถอธิบายโอกาสที่เกิดความชุกในอุจจาระร้อยละ 12 สรุปได้ว่าความชุกซัลโมเนลลาของฟาร์ม 6 ในตัวแปร FEEDPAN, FLOOR, LITTER และ PAPER ไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกที่อุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อแบบรวมข้อมูลฟาร์ม ในกลุ่มที่ 1 และแบบแยกรายฟาร์ม สรุปว่าความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกที่อุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน

ผลการวิเคราะห์ที่ระดับโรงเชือด

การวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์แบบข้อมูลรวม 2 โรงเชือด และแบบแยกโรงเชือด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความชุกซัลโมเนลลา ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ดังตารางที่ 27, 28, 29 และ 30

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค 2 โรงเชือด ด้วยวิธี enter

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
N/A	b	55.28	0.00	1.00	0.00	19.99	0.02	0.48
REST	β_1	55.90	0.00	1.00	0.00			
BSCALD	β_2	22.89	0.00	1.00	0.50			
ASCALD	β_3	-0.69	0.00	1.00	0.00			

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
ADEF	β_4	-28.29	0.00	1.00	0.00			
AWASH	β_5	29.20	0.00	1.00	0.00			
AEVIS	β_6	83.61	0.00	1.00	0.00			
AI/O	β_7	-55.00	0.00	1.00	0.00			
ACHL	β_8	-24.62	0.00	1.00	0.00			
ACUT	β_9	-115.63	0.00	1.00	0.00			

การทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ได้ค่า Model Chi-square และ p-value เท่ากับ 19.99 และ 0.02 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับ H_A นั้นคือโอกาสที่เกิดความชุกซัลโมเนลลา ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว แต่ค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของทุกตัวแปร มีค่ามากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าตัวแปรทุกตัวไม่มีผลต่อตัวแปรตาม

ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคของ 2 โรงเชือด ด้วยวิธี forward stepwise

ขั้น	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
1	N/A	B	0.69	0.30	0.04	0.60	4.38	0.36	0.14
	ACUT	β_1	-2.77	4.10	0.57	2.00			
2	N/A	B	-28.14	0.00	1.00	0.00	12.98	0.00	0.35
	ACUT	β_1	-29.98	0.00	1.00	0.00			
	AVIS	β_2	56.91	0.00	1.00	0.00			
3	N/A	B	-31.20	0.00	1.00	0.00	7.93	0.00	0.23
	AEVIS	β_1	30.51	0.00	1.00	0.00			

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี forward stepwise ตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกเข้าสมการมีเพียง 2 ตัว จาก 9 ตัว คือ ACUT และ AEVIS ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการทั้ง 3 โดยพิจารณาจากการทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

พบว่าขั้นที่ 2 และ ขั้นที่ 3 มีค่า p-value น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับ H_A นั้นคือโอกาสที่เกิดความชุกซัลโมเนลลา ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว แต่ค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของทุกตัวแปร มีค่ามากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าตัวแปรทุกตัวไม่มีผลต่อตัวแปรตาม

สรุปว่าความชุกซัลโมเนลลา 2 โรงเชือด ของตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดจากการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคทั้ง 2 วิธี

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคโรงเชือด 1 ด้วยวิธี enter

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
N/A	b	-1.01	0.00	1.00	0.37	3.54	0.90	0.21
BSCALD	β_1	-0.90	0.00	1.00	0.40			
ASCALD	β_2	-19.90	0.00	1.00	0.00			
ADEF	β_3	-0.24	0.00	1.00	0.78			
AWASH	β_4	-19.01	0.00	1.00	0.00			
AEVIS	β_5	0.67	0.00	1.00	1.80			
AI/O	β_6	-19.25	0.00	1.00	0.00			
ACHL	β_7	0.19	0.00	1.00	1.20			
ACUT	β_8	-0.49	0.00	1.00	0.60			

หมายเหตุ [a] ตัวแปร REST มีค่าเป็น 1 (positive *Salmonella*) ทุกตัวอย่าง

การทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ได้ค่า Model Chi-square และ p-value เท่ากับ 3.54 และ 0.90 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ α เท่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั้นคือโอกาสที่เกิดความชุกซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา ค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของทุกตัวแปร มีค่ามากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าตัวแปรทุกตัวไม่มีผลต่อตัวแปรตาม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมด้วยวิธี forward stepwise ไม่มีการคัดเลือกตัวแปรอิสระใดๆ เข้าในสมการถดถอยโลจิสติค

สรุปว่าความชุกซัลโมเนลลาในโรงเชือด 1 ของตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคโรงเชือด 2 ด้วยวิธี forward stepwise

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ความถดถอย		Wald	p-value	Exp(B)	Model Chi-square	p-value	R^2_{CS}
ค่าคงที่	b	-21.20	0.00	0.99	0.00	9.75	0.00	0.47
AEVIS	β_1	21.89	0.00	0.99	0.00			

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี forward stepwise มีเพียงตัวแปร AEVIS ถูกเลือกเข้าสมการเพียง 1 ตัว จาก 9 ตัว การทดสอบสมมติฐาน Model Chi-square

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_A: \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่า} \neq 0$$

ได้ค่า Model Chi-square และ p-value เท่ากับ 9.75 และ 0.00 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α เท่า 0.05 จึงยอมรับ H_A ทดสอบค่าสถิติ Wald ที่มีค่า p-value ของตัวแปร พบว่ามีค่ามากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่า ตัวแปรอิสระ AEVIS ไม่มีผลต่อโอกาสเกิดความชุกซัลโมเนลลาที่ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด

จากการศึกษาข้อมูลความชุกซัลโมเนลลาด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค พบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวที่ทำการศึกษา ไม่มีผลต่อโอกาสเกิดความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรตาม ทั้งที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด

4.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง และการทดสอบแบบจำลองที่ฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ

ผลการศึกษาข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลา ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุวิเคราะห์ข้อมูลแบบรวมฟาร์ม พบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21 – 28 วัน แต่การวิเคราะห์ข้อมูลแบบแยกรายฟาร์ม พบว่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาในฟาร์ม 3 ของกระดาษรองกล่องลูกไก่ (PAPER) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21 – 28 วัน ดังสมการที่ 2

$$FECES = 521.8 + 1133\ PAPER \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

ทดสอบความถูกต้องการทำนายของสมการที่ 2 ด้วยการแทนค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลา PAPER ในสมการเพื่อทำนายความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน FECES หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยใน FECES ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างกับความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยใน FECES ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ 2 ว่าเท่ากันหรือไม่ รายละเอียดดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลา และค่าแปรปรวน ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ จากการเก็บตัวอย่าง และจากการคำนวณโดยสมการที่ 2

วิธีคำนวณ	ความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยMPN	จำนวนตัวอย่าง	ค่าแปรปรวน
การเก็บตัวอย่าง	769.17 (X_1)	59 (n_1)	3659689 (S^2_1)
สมการที่ 2	15281.53 (X_2)	59 (n_2)	5781725443 (S^2_2)

ตั้งสมมุติฐานเพื่อการทดสอบ

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_A: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

เนื่องจากไม่ทราบค่าความแปรปรวน σ^2_1 และ σ^2_2 จะประมาณ σ^2_1 ด้วย S^2_1 และประมาณ σ^2_2 ด้วย S^2_2 และขนาดตัวอย่าง n_1 และ n_2 มีค่ามากกว่า 30 จึงทดสอบด้วยค่าสถิติ Z กำหนดสถิติทดสอบ กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.10$ ซึ่งทำให้ $\alpha/2 = 0.05$

$$Z = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{S^2_1/n_1 + S^2_2/n_2}}$$

$$Z = \frac{769.17 - 15281.53}{\sqrt{3659689/59 + 5781725443/59}}$$

$$Z = -1.47$$

จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $|Z| > Z_{.05}$ (ค่า $Z_{.05}$ เท่ากับ 1.64) เนื่องจาก $1.47 < 1.64$ จึงยอมรับ H_0

สรุปว่า ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากสมการถดถอยที่ 2 มีค่าเท่ากับ ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ผลการศึกษาข้อมูลความชุกซัลโมเนลลา ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติควิเคราะห์ข้อมูลแบบรวมฟาร์ม และแบบแยกฟาร์ม (ในกลุ่มที่ 1) พบว่า ตัวแปรทุกตัวที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อโอกาสเกิดความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน

สรุปว่าปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน คือ ความเข้มข้นซัลโมเนลลาของกระดาษรองกล่องลูกไก่ ส่วนความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยที่ทำการศึกษา ไม่พบว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อโอกาสการเกิดความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน

4.4.2 ปัจจัยเสี่ยงที่ระดับโรงเชือด

ผลการศึกษาข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลา ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุวิเคราะห์ข้อมูลแบบรวมโรงเชือด และแยกโรงเชือด พบว่า

แบบรวมโรงเชือด ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 17.6 คือตัวแปรอิสระ LINE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โรงเชือด 1 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 97.24 คือตัวแปรอิสระ PI/O และ WFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โรงเชือด 2 ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร SALFIN ได้ร้อยละ 46.83 คือตัวแปรอิสระ LINE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอย ตัวแปรที่ดีที่สุดที่สามารถอธิบายความแปรปรวนความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ (SALFIN) คือ แรงดันน้ำขณะล้างซากนอก/ใน (PI/O) และปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงเชือด 1 เพราะสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ถึงร้อยละ 97.24 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อ 4.2.1.1 และ 4.2.1.3 ดังนั้นสมการที่ดีที่สุดคือ สมการที่ 5

SALFIN = -9.44 + 3.12 PI/O -3.9 WFT……..... (5)

ทดสอบความถูกต้องการทำนายสมการที่ 5 ด้วยการแทนค่าแรงดันน้ำขณะล้างซากนอก/ใน (PI/O) และ ปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT) ในสมการที่ 5 เพื่อทำนายความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน SALFIN หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยใน SALFIN ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างกับค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยใน SALFIN ที่ได้จากการคำนวณ ว่าเท่ากันหรือไม่ รายละเอียดดังตารางที่ 39

ตารางที่ 32 ความเข้มข้นเฉลี่ยซัลโมเนลลา และค่าแปรปรวน ที่ระดับโรงเชือดจากการเก็บตัวอย่าง และจากการคำนวณสมการที่ 5

วิธีคำนวณ	ความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยMPN	จำนวนตัวอย่าง	ค่าแปรปรวน
การเก็บตัวอย่าง	4.72 (X_1)	30 (n_1)	301.06 (S^2_1)
สมการที่ 5	-2.20 (X_2)	30 (n_2)	29.72 (S^2_2)

ตั้งสมมุติฐานเพื่อการทดสอบ

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_A: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

สมมุติค่าความแปรปรวน $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$ แต่ไม่ทราบค่า σ^2_1 และ σ^2_2 และขนาดตัวอย่าง n_1 และ n_2 มีค่าน้อยกว่า 30 จึงทดสอบด้วยค่าสถิติ t กำหนดสถิติทดสอบ กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.10$ ซึ่งทำให้ $\alpha/2 = 0.05$

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

$$t = \frac{4.72 - (-2.20)}{12.8\sqrt{1/30 + 1/30}}$$

$$t = 2.08$$

จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $|t| > t_{.95}$, df = 58 ($n_1 + n_2$ -2) (ค่า $t_{.95;\,58}$ เท่ากับ 1.64) เนื่องจาก 2.08 > 1.7 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากสมการถดถอย มีค่าไม่เท่ากับ ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ผลการศึกษาข้อมูลความชุกซัลโมเนลลา ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค วิเคราะห์ข้อมูลแบบรวมโรงเชือด และแบบแยกโรงเชือด พบว่าตัวแปรทุกตัวที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อโอกาสเกิดความชุกซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด

สรุปว่าปัจจัยเสริมที่มีผลต่อการลดความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ คือ การเพิ่มปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT) ในขณะที่ปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ คือการเพิ่มแรงดันน้ำขณะล้างซากนอก/ใน (PI/O) ส่วนความชุกซัลโมเนลลาในปัจจัยที่ทำการศึกษา ไม่พบว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อโอกาสการเกิดความชุกซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

4.5 ผลการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

กรณีศึกษาการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สำหรับงานวิจัยนี้ ขอบเขตของการศึกษาจะอยู่บนพื้นฐานของกรณีที่แย่ที่สุดในสินค้าไก่ปรุงสุกด้วยวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วมจากโรงงานแปรรูป 2 แห่งในประเทศไทย หมายถึง การแทนค่าต่างๆ ในตัวแปร ด้วยค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินความเสี่ยง ได้แก่ ความเข้มข้นของซัลโมเนลลา ความชุกของซัลโมเนลลา และปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ของคนไทย

ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ปรุงสุก คำนวณจากข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ของ 2 โรงเชือด โดยอาศัยแบบจำลอง growth model และ inactivation model เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้น เมื่อเนื้อไก่ผ่านขั้นตอนในระหว่างการขนส่งเนื้อไก่สดจากโรงเชือดไปยังโรงงานแปรรูป ระหว่างการจัดเก็บเนื้อไก่ในห้องเย็น และ ระหว่างการเตรียมเนื้อ เช่นการหมัก ขั้นตอนเหล่านี้จะทำให้ซัลโมเนลลามีโอกาสเจริญ เพิ่มจำนวน หรือความเข้มข้นในเนื้อไก่ได้ ในทางกลับกัน ขั้นตอนการทำให้สุกด้วยความร้อน เป็นขั้นตอนที่สามารถลดจำนวน หรือความเข้มข้นซัลโมเนลลาลงได้

การคำนวณการเจริญซัลโมเนลลาสำหรับงานวิจัยนี้ อ้างถึงแบบจำลองการเจริญ ในรายงานงานวิจัยของ Oscar (1999) ดังนี้

$$\text{Ln } \lambda = 5.9115 - 0.2013A - 0.2754\ B - 0.0013\ AB + 0.0333\ A^2 + .0033\ B^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (8)$$

โดยที่ λ หมายถึง lag time หน่วยเป็น ชั่วโมง

A หมายถึง ความเข้มข้นเกลือ NaCl ในขั้นตอนก่อนหน้า มีหน่วยเป็น g/dl

B หมายถึง incubation temperature

$$\text{Ln } \mu = -\ 6.2251 - 0.0114\ A + 0.3234\ B + 0.0020\ AB - 0.0085\ A^2 - 0.0045\ B^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (9)$$

โดยที่ μ หมายถึง specific growth rate หน่วยเป็น $\log_{10}$ cfu/hour

A หมายถึง ความเข้มข้นเกลือ NaCl ในขั้นตอนก่อนหน้า มีหน่วยเป็น g/dl

B หมายถึง incubation temperature

จากสมการ Ln λ และ Ln μ ตัวแปรที่ต้องทราบคือ อุณหภูมิ และ ค่าความเข้มข้นเกลือของเนื้อไก่ในขั้นตอนก่อนหน้า

ข้อมูลอุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นเกลือของเนื้อไก่ในขั้นตอนก่อนหน้า และระยะเวลา ในกรณีที่แย่ที่สุดของโรงงานแปรรูป ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 อุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นเกลือของเนื้อไก่ในขั้นตอนก่อนหน้า และระยะเวลา ที่ระดับโรงงานแปรรูปในกรณีที่แย่ที่สุด

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นเกลือในขั้นตอนก่อนหน้า (ร้อยละ g/dl)	เวลา (ชั่วโมง)
การขนส่งจากโรงเชือดไปโรงงานแปรรูป	7	1.50	0.50
การจัดเก็บที่โรงงานแปรรูป	4	1.50	48.00
การหมัก และการพักรอก่อนแปรรูป	7	1.50	48.00
การปรุงสุก	70	-	1.00

แทนค่าข้อมูลในแต่ละขั้นตอนเพื่อหาค่า lag time (λ) จากนั้นจึงเปรียบเทียบเวลาในแต่ละขั้นตอน กับค่า lag time ที่คำนวณได้ ถ้าเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอนน้อยกว่า หรือเท่ากับค่า lag

time แสดงว่าไม่มีการเจริญของซัลโมเนลลาในขั้นตอนดังกล่าว ในทางตรงกันข้าม ถ้าเวลาที่ใช้ในการผลิตมีค่ามากกว่า lag time จึงวิเคราะห์ค่า specific growth rate (μ) เพื่อคำนวณปริมาณซัลโมเนลลาที่เพิ่มขึ้น ตารางที่ 41 เปรียบเทียบค่า lag time ที่คำนวณได้กับเวลาในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 34 ค่า lag time ที่ได้จากการคำนวณ เปรียบเทียบกับเวลาในแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)	เวลาสูงสุด (ชั่วโมง)	ค่า lag time (λ) (ชั่วโมง)
การขนส่งจากโรงเชือดไปโรงงานแปรรูป	7	0.50	49.63
การจัดเก็บที่โรงงานแปรรูป	4	48.00	102.29
การหมัก และการพักรอก่อนแปรรูป	7	48.00	49.63

จากข้อมูลในตารางที่ 34 พบว่าเวลาสูงสุดเปรียบเทียบกับค่า lag time ที่คำนวณได้ พบว่ามีค่าน้อยกว่าในทุกขั้นตอน แสดงว่าไม่มีการเจริญของซัลโมเนลลาในเนื้อสดในขั้นตอนการขนส่ง ขั้นตอนการจัดเก็บที่โรงงานแปรรูป และขั้นตอนการหมัก ดังนั้นความเข้มข้นของซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ จะมีค่าคงที่จากโรงเชือด มาจนถึงขั้นตอนการหมัก และการพักรอก่อนการแปรรูป

จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจตัวอย่างเนื้อไก่ก่อนขนส่งไปยังโรงงานแปรรูป ตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุด มีค่าเท่ากับ 93 MPN ต่อ 25 กรัมเนื้อไก่ หรือเท่ากับ 3.72 MPN ต่อกรัมเนื้อไก่ จึงสามารถใช้แทนเป็นค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเริ่มต้นในขั้นตอนการทำให้สุกด้วยความร้อน

การคำนวณหาปริมาณซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ หลังผ่านขั้นตอนการทำให้สุกด้วยความร้อน สำหรับงานวิจัยนี้ อ้างถึง inactivation model (Xiong et al., 1999) และ แบบจำลองหาค่า D value ในรายงาน Risk assessments of *Salmonella* in eggs and broiler chickens (WHO and FAO, 2002) ดังนี้

$$\text{Log } N_t = \log N_O - t/D_T \quad \text{.....(10)}$$

โดยที่ $\text{Log } N_t$ คือ เลขยกกำลังของจำนวนจุลินทรีย์ที่เวลา t

$\log N_O$ คือ เลขยกกำลังของจำนวนจุลินทรีย์ ณ จุดเริ่มต้น

t คือ เวลาในการให้ความร้อน (inactivation time)

D_T คือ เวลาที่ใช้ในการลดจำนวนเชื้อลงร้อยละ 90 หรือ 1 log ที่อุณหภูมิ T (decimal reduction time)

และ

$$D_T = 10^{(-0.139\ T) + 8.585} \quad \text{..... (11)}$$

โดยที่ D_T คือ เวลาที่ใช้ในการทำให้จุลินทรีย์ลดลงร้อยละ 90 หน่วยเป็นนาที โดยใช้อุณหภูมิ T

T คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการปรุงสุก หน่วยเป็นองศาเซลเซียส

จากสมการ D ที่ 11 สามารถคำนวณหาค่า D_T ในกรณีที่แย่ที่สุดได้ด้วยการแทนค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้ในการปรุงสุกคือ 70 องศาเซลเซียส ค่า D ที่คำนวณได้เท่ากับ

$$D = 10^{(-0.139 \times 70) + 8.585}$$

$$D = 0.71 \text{ นาที}$$

แสดงว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลา 0.71 นาที เพื่อลดซัลโมเนลลาลงร้อยละ 90 หรือ 1 log นำค่า D เท่ากับ 0.71 นาที ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเริ่มต้นเท่ากับ 3.72 MPN ต่อกรัม และเวลาน้อยสุดที่ให้ความร้อนเท่ากับ 1 นาที (ตารางที่ 40) แทนค่าในสมการที่ 10 ดังนี้

$$\text{Log } N = \log 3.72 - (1/0.71)$$

$$\text{Log } N = -13.55$$

$$N = 2.79 \times 10^{-14}$$

สรุปค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ปรุงสุกมีค่าเท่ากับ 2.79×10^{-14} MPN ต่อกรัมเนื้อไก่

4.5.1 ขั้นตอนการประเมินการสัมผัส (exposure assessment)

การประเมินการสัมผัส ต้องอาศัยข้อมูลปริมาณซัลโมเนลลาที่คนไทยได้รับในการบริโภคเนื้อไก่ต่อวัน เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการสัมผัสกับซัลโมเนลลา หรือ probability of exposure (P_E) สมการคำนวณหาค่า P_E ดังนี้

$$P_E = P\,(1-e^{-MC}) \quad \text{..... (12)}$$

โดยที P_E คือ ค่าความน่าจะเป็นในการสัมผัสกับซัลโมเนลลา

C คือ ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลา หน่วยเป็น MPN ต่อกรัม เนื้อไก่

P คือ ค่าความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ ไม่มีหน่วย

M คือ ปริมาณบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุก มีหน่วยเป็น กรัม ต่อคน ต่อวัน

แทนค่าทั้งหมดในสมการ โดยค่า C เท่ากับ 2.79×10^{-14} ค่า P เท่ากับ 0.17 ประมาณค่าความชุกซัลโมเนลลาในโรงงานแปรรูปเท่ากับความชุกซัลโมเนลลาที่ระดับโรงเชือด และค่า M เท่ากับ 40.42 กรัมต่อคนต่อวัน อ้างอิงจาก (Costales, 2004)

$$P_E = 0.17\,(1-e^{-40.42 \times 2.79 \times 10\text{-}14})$$

$$P_E = 1.92 \times 10^{-13}$$

สรุปว่า ความน่าจะเป็นที่คนไทยจะได้รับซัลโมเนลลาจากการบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูปที่ 1 และ 2 เท่ากับ 1.92×10^{-13} โดยอนุมานว่าเนื้อไก่ที่ผ่านการปรุงสุกจากโรงงงานจะถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิททันทีภายหลังจากการผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (individually quick frozen) และจัดเก็บที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส จนถึงมือผู้บริโภค

4.5.2 การอธิบายอันตราย (hazard characterization)

เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยกับปริมาณซัลโมเนลลา มีสมการการคำนวณความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วย แบบจำลองเบต้าพัวซอง (Beta-Poisson model) (WHO and FAO, 2002) ดังนี้

$$P_{ill} = 1 - (1 + N/\beta)^{-\alpha} \quad \text{..... (13)}$$

โดยที่ N คือ ปริมาณซัลโมเนลลาที่ได้รับจากการบริโภค (dose)

α คือ ค่าอัลฟ่า

β คือ ค่าเบต้า

ตารางที่ 35 แสดงค่าอัลฟ่า (α) และ ค่าเบต้า (β) ที่ใช้ในแบบจำลองเบต้าพัวซอง

	Alpha (α)	Beta (β)
ค่าประมาณ	0.13	51.45
ขอบเขตความเชื่อมั่นล่าง	0.08	38.49
ขอบเขตความเชื่อมั่นบน	0.23	57.96

แหล่งที่มา (WHO and FAO, 2002)

แทนค่าลงในสมการความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยด้วยค่า N เท่ากับ 1.13×10^{-13} ค่าอัลฟ่าและ เบต้าเท่ากับ 0.13 และ 51.45 ตามลำดับ คำนวณหาค่า P_{ill}

$$P_{ill} = 1 - (1 + 1.13 \times 10^{-13}/51.45)^{-0.13}$$

$$P_{ill} = 2.91 \times 10^{-14}$$

สรุปว่า ความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยจากการได้รับสัมผัสซัลโมเนลลาจากการบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูป 2 แห่งของคนไทยต่อคนต่อวันเท่ากับ 2.91×10^{-14}

4.5.3 การอธิบายความเสี่ยง (risk characterization)

การอธิบายความเสี่ยงเป็นการบูรณาการเหตุการณ์ใน 2 ขั้นตอนคือ การประเมินการสัมผัสและการอธิบายอันตราย แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงคือ

$$Risk = P_E \times P_{ill} \quad \text{.....(14)}$$

แทนค่า P_E และ ค่า P_{ill} ในสมการได้ดังนี้

$$Risk = 1.92 \times 10^{-13} \times 2.91 \times 10^{-14}$$

$$Risk = 5.59 \times 10^{-27}$$

โดยอนุมานว่าเนื้อไก่ที่ผ่านการปรุงสุกจากโรงงงานทั้ง 2 แห่ง ถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิททันทีภายหลังจากการผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (individually quick frozen) และจัดเก็บที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส จนถึงมือผู้บริโภค อธิบายความเสี่ยงได้ว่า คนไทย 1 คน ถ้าบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูป 2 แห่ง ที่ปริมาณการบริโภคอยู่ที่ 40.42 กรัมต่อวัน จะต้องบริโภคประมาณ 10^{27} ครั้ง จึงมีโอกาสอาจเจ็บป่วยจากซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในเนื้อไก่ปรุงสุก โดยเฉลี่ยประมาณ 6 ครั้ง และการบริโภคในแต่ละครั้งถือว่าเป็นอิสระต่อกัน สรุปได้ว่าความเสี่ยงระดับ 10^{-27} ต่อวัน หรือประมาณ 10^{-23} ต่อปี เป็นระดับความเสี่ยงที่สามารถละเลยได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยประกอบด้วยผลการวิจัยที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ ที่ระดับโรงเชือด และผลจากการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ ผลการวิจัยที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือด ประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่

ส่วนที่ 1 ผลที่ได้จากการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ผลที่ได้คือ ความเข้มข้น และความชุกซัลโมเนลลา

ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ รวมไปถึงผลการทดสอบแบบจำลอง และปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อความเข้มข้นซัลโมเนลลาในตัวแปรตาม

ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค รวมไปถึงผลการทดสอบแบบจำลอง และปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรตาม

ผลการวิจัยที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ

ส่วนที่ 1

ค่าความเข้มข้นของซัลโมเนลลา และความชุกของซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21 – 28 วัน (FECES) ในฟาร์มไก่เนื้อทั้ง 6 ฟาร์มที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยเท่ากับ 769.17 MPN ต่อกรัม และมีความชุกซัลโมเนลลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 54

ตัวแปรอิสระ หรือปัจจัยเสี่ยง ที่มีความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรกได้แก่ FEEDPAN, PAPER และ FLOOR โดยมีค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาเฉลี่ยเท่ากับ 56.32 MPN ต่อ 0.09 ตารางเมตร 13.03 MPN ต่อกรัม และ 7.47 MPN ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ความชุกเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรกได้แก่ FLOOR, PAPER, FEEDPAN โดยมีค่าความชุกซัลโมเนลลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 17 ร้อยละ 12 และร้อยละ 7 ตามลำดับ

ส่วนที่ 2

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทุกตัว กับตัวแปรตาม (FECES) สำหรับข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลารวม 6 ฟาร์ม พบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ในทางตรงกันข้าม เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาแยกรายฟาร์ม พบเพียง 2 ฟาร์มที่ตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ได้แก่

- ฟาร์ม 1 มีตัวแปร FLOOR มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.498
- ฟาร์ม 3 มีตัวแปร FEEDPAN และ PAPER มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.667 และ 0.667 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุสำหรับข้อมูลฟาร์ม 1 และ ฟาร์ม 3 พบว่าสมการที่ 2 เป็นสมการถดถอยที่ดีที่สุด โดยมีตัวแปรอิสระ PAPER สามารถอธิบายความแปรปรวนตัวแปร FECES ได้ร้อยละ 44.43 และทดสอบค่าสถิติ t และค่าสถิติ F ตัวแปร PAPER มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปร FECES อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปัจจัย PAPER หรือความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่พบที่กระดาษรองกล่องลูกไก่ จัดเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ และเมื่อทดสอบแบบจำลองสมการที่ 2 ด้วยค่าสถิติ Z พบค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน FECES ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2 เปรียบเทียบกับ ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ได้จากการเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90

ส่วนที่ 3

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อแบบรวมข้อมูลฟาร์ม และแบบแยกรายฟาร์มในกลุ่มที่ 1 สรุปว่าความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกที่อุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยที่ระดับโรงเชือด

ส่วนที่ 1

ความเข้มข้นซัลโมเนลลาของขนไก่ที่จุดพักรอก่อนที่โรงเชือดเฉลี่ยเท่ากับ 140.63 MPN ต่อกรัม และมีความชุกซัลโมเนลลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 76.70 แต่เมื่อผ่านกระบวนการเชือดและการตัด

แต่ง พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย และความชุกเฉลี่ยซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด ลดลงเหลือเท่ากับ 4.72 MPN ต่อกรัม และร้อยละ 16.67 ตามลำดับ

ขั้นตอนการผลิตที่โรงเชือดที่พบความเข้มข้นซัลโมเนนลาเฉลี่ยสูงสุด 3 ขั้นตอนแรกคือ ขั้นตอนก่อนลงบ่อลวก ขั้นตอนที่ลานพักไก่ และขั้นตอนหลังล้างซากนอก-ใน โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นซัลโมเนลลาเท่ากับ 141.01 MPN ต่อกรัม 140.63 MPN ต่อกรัม และ 50.54 MPN ต่อซากไก่ตัว ในขณะที่ความชุกซัลโมเนลลาสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ขั้นตอนก่อนลงบ่อลวก ขั้นตอนที่ลานพักไก่ ส่วนขั้นตอนหลังลงบ่อลวกและหลังถอนขนมีค่าความชุกซัลโมเนลลาเท่ากัน โดยมีค่าความชุกซัลโมเนลลาเท่ากับ ร้อยละ 90 ร้อยละ 76.70 ร้อยละ 66.70 ตามลำดับ

ส่วนที่ 2

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทุกตัว กับตัวแปรตาม (SALFIN) สำหรับข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลารวม 2 โรงเชือด พบว่าตัวแปรอิสระ LINE มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.42 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลาแยกโรงเชือด ตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม ดังนี้

- โรงเชือด 1 มีตัวแปร TEMPSTO, ROOMT, WFT, PFT, SALBG และ PI/O มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ- 0.44, 0.43, 0.49, 0.61, 0.67 และ 0.98 ตามลำดับ

- โรงเชือด 2 มีตัวแปร LINE, WT1, WI/O และ AVGW มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.71, 0.35, 0.49 และ 0.54 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุสำหรับข้อมูลรวม 2 โรงเชือด และแบบแยกโรงเชือด พบว่าสมการที่ 5 เป็นสมการที่ดีที่สุด โดยมีตัวแปรอิสระแรงดันน้ำขณะล้างซากนอก/ใน (PI/O) และ ปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT) เป็นตัวแปรที่ดีที่สุดที่สามารถอธิบายความแปรปรวนความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ (SALFIN) ได้ถึงร้อยละ 97.24 และทดสอบค่าสถิติ t และค่าสถิติ F ของตัวแปร PI/O และ WFT มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ในทิศทางเดียวกัน และในทิศทางตรงข้ามกับตัวแปร SALFIN อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปัจจัยเสี่ยงต่อการเพิ่มความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด (SALFIN) คือ แรงดันน้ำขณะล้างซากนอกใน (PI/O) ในขณะที่

ปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT) เป็นปัจจัยเสริมลดความเข้มข้นซัลโมเนลลา และเมื่อทดสอบแบบจำลองสมการที่ 5 ด้วยค่าสถิติ t พบค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาใน SALFIN ที่คำนวณได้จากสมการที่ 5 เปรียบเทียบกับ ค่าความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90

ส่วนที่ 3

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ที่ระดับโรงเชือดแบบรวมข้อมูล 2 โรงเชือด และแบบแยกโรงเชือด สรุปว่าความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสเกิดความชุกในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลจากการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

ขอบเขตของการศึกษาจะอยู่บนพื้นฐานของกรณีที่แย่ที่สุดในสินค้าไก่ปรุงสุกด้วยวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วมจากโรงงานแปรรูป และอนุมานว่าเนื้อไก่ที่ผ่านการปรุงสุกจากโรงงงานจะถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิททันทีภายหลังจากการผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (individually quick frozen) และจัดเก็บที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส จนถึงมือผู้บริโภค

ขั้นตอนการประเมินการสัมผัส สรุปว่าปริมาณซัลโมเนลลาที่คนไทยได้รับจากการบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูป 2 แห่ง เท่ากับ 1.92×10^{-13} ขั้นตอนการอธิบายอันตราย สรุปว่าความน่าจะเป็นในการเจ็บป่วยจากการได้รับสัมผัสซัลโมเนลลาจากการบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูป 2 แห่งของคนไทยต่อคนต่อวันเท่ากับ 2.91×10^{-14} สรุปว่าในแต่ละวันที่คนไทยจำนวน 63 ล้านคนบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูป 2 แห่ง ที่ปริมาณการบริโภคอยู่ที่ 40.42 กรัมต่อวันวัน จะต้องบริโภคประมาณ 10^{27} ครั้ง จึงมีโอกาสอาจเจ็บป่วยจากซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในเนื้อไก่ปรุงสุก โดยเฉลี่ยประมาณ 6 ครั้ง และการบริโภคในแต่ละครั้งถือว่าเป็นอิสระต่อกัน สรุปได้ว่าความเสี่ยงระดับ 10^{-27} ต่อวัน หรือประมาณ 10^{-23} ต่อปี เป็นระดับความเสี่ยงที่สามารถละเลยได้

อภิปรายผลการวิจัย

ระดับฟาร์มไก่เนื้อ

ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา สามารถแบ่งตัวแปรออกเป็น 3 ลักษณะได้ดังนี้ ตัวแปรอิสระที่แสดงถึงการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในสิ่งแวดล้อมในระยะการเตรียมโรงเรือน ได้แก่ ตัวแปร FLOOR, FEEDPAN, WATER และ LITTER ในขณะที่ตัวแปร PAPER เป็นตัวแปรอิสระที่แสดงถึงการปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ระดับโรงฟัก หรือฟาร์มพ่อแม่พันธุ์ ส่วนตัวแปร FEEDBG, FEEDIM และ FEEDLT เป็นตัวแปรอิสระที่แสดงถึงการปนเปื้อนซัลโมเนลลาจากโรงงานอาหารสัตว์

ผลการวิจัยพบว่าตัวแปรอิสระ FEEDPAN, PAPER และ FLOOR มีค่าเฉลี่ยซัลโมเนลลาสูงสุด 3 อันดับแรก สามารถอธิบายได้ว่า การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในตัวแปร FFEDPAN และ FLOOR แสดงถึงวิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำลายซัลโมเนลลาที่หลงเหลืออยู่ได้ นอกจากนี้ลูกไก่อายุ 1 วัน พบว่ามีการปนเปื้อนซัลโมเนลลามาก่อนหน้าจากโรงฟัก แต่จากการวิเคราะห์ผลด้วยสมการถดถอยแบบพหุ พบว่าการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในลูกไก่อายุ 1 วัน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน (ข้อมูลฟาร์ม 3) แสดงว่าลูกไก่อายุ 1 วันที่ปนเปื้อนซัลโมเนลลามาจากโรงฟักเป็นแหล่งแพร่ซัลโมเนลลาที่สำคัญในฟาร์มไก่เนื้อที่ทำการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Jone et. al. (1991), Bailey et al. (1994) ที่รายงานว่า การปนเปื้อนซัลโมเนลลามากับลูกไก่วันแรก เป็นแหล่งการปนเปื้อนที่สำคัญในฟาร์มไก่เนื้อ

เพื่อพิจารณาข้อมูลรายฟาร์ม พบว่าฟาร์ม 2 และ ฟาร์ม 4 ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลา ในขณะที่อุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน ตรวจพบซัลโมเนลลา สันนิฐานได้ว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงอาจได้รับซัลโมเนลลาในช่วงระหว่างการเลี้ยง (horizontal transmission) จากปัจจัยเสี่ยงอื่นๆที่ไม่ได้นำมาศึกษาในการวิจัยนี้ เช่น ความเสี่ยงจากสัตว์พาหะ จากรายงานวิจัยของ Cardinale et al. (2004) นอกเหนือจากปัจจัยการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในลูกไก่อายุ 1วัน ยังพบว่าการเข้าออกจากคนภายนอก การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในฝูงก่อนหน้า และการไม่คัดไก่ป่วยออกจากฝูง เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการปนเปื้อนซัลโมเนลลาภายในฟาร์มได้เช่นกัน หรือ อาจเกิดจากความเข้มข้นซัลโมเนลลาในตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษามีการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในระดับต่ำกว่าที่จะสามารถตรวจพบได้ ทำให้รายงานผลตรวจไม่พบ แต่ซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในระดับต่ำๆ สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดซัลโมเนลลาในไก่เนื้อได้ในเวลาต่อมา

การเก็บตัวอย่าง อาจส่งผลให้ตรวจไม่พบซัลโมเนลลาในตัวอย่างได้ โดยเฉพาะตัวอย่างประเภท surface swab ในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ผิวสัมผัสของอุปกรณ์สัมผัสกับพื้นผิวที่ต้องการเก็บมากที่สุด การเก็บตัวอย่างจากพื้นโรงเรือน จะใช้วิธีการลากอุปกรณ์ให้ผ่านพื้นผิวพื้น ในกรณีที่ผู้เก็บตัวอย่างเดินด้วยความรวดเร็ว จะทำให้อุปกรณ์สัมผัสกับพื้นผิวน้อยลง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น การเก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลาเดียว (ม.ค. 51 – มี.ค. 51) ไม่ได้เก็บตัวอย่างกระจายทั้งปี ซึ่งฤดูกาลมีผลต่ออุบัติการณ์การพบซัลโมเนลลาในฟาร์มไก่เนื้อ (Payne et al., 2006) การจัดการฟาร์ม โครงสร้างของโรงเรือนที่แตกต่างกันในแต่ละฟาร์ม จะส่งผลให้มีสัดส่วนความเข้มข้นซัลโมเนลลา และความชุกซัลโมเนลลาแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างที่เก็บจากสิ่งแวดล้อมภายหลังจากการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เพราะฟาร์มที่มีการจัดการที่ไม่มีประสิทธิภาพ รวมไปถึงโครงสร้างโรงเรือนที่มีความแตกต่างกัน เช่น สภาพพื้นโรงเรือนคอนกรีตที่มีรอยแตกร้าว จะมีโอกาสพบการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในตัวอย่างได้มากกว่าฟาร์มที่มีระบบการล้างและการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพดีกว่า รวมไปถึงฟาร์มที่มีการซ่อมแซมปรับปรุงโรงเรือนให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่ตลอดเวลาจะทำให้การล้างและการทำความสะอาดมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถป้องกันการเข้าออกของสัตว์พาหะในโรงเรือนเลี้ยงไก่ได้

ในขณะที่งานวิจัยของ Chadfield et al. (2001) และ รายงานของ Food Standards Australia New Zealand (2005) รายงานว่า อาหารสัตว์เป็นปัจจัยเสี่ยงสูงที่สำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนภายในฟาร์ม แต่ผลการวิจัยพบว่า ตัวอย่างอาหารทั้ง 3 ระยะคือ อาหารไก่เล็ก อาหารไก่ระยะกลาง และอาหารไก่ระยะสุดท้าย ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น และโอกาสในการเกิดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอาหารสัตว์อาจอยู่ในระดับต่ำกว่าที่จะสามารถตรวจพบได้ นอกจากนี้การกระจายตัวของซัลโมเนลลาในอาหารไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างเพียงบางส่วนมักจะทำให้ตรวจไม่พบการปนเปื้อนซัลโมเนลลา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารไก่สำหรับโรงงานอาหารสัตว์ที่ผลิตอาหารให้กับฟาร์มที่ศึกษา วัตถุดิบที่ใช้ไม่มีส่วนประกอบของโปรตีนที่มาจากสัตว์ เช่นปลาป่น ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ นอกจากนี้โรงงานผลิตอาหารสัตว์ยังมีระบบการควบคุมคุณภาพเช่น HACCP ที่ดี ส่งผลให้ความเสี่ยงจากการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในขั้นตอนการผลิตลดลง

การศึกษาในครั้งนี้ ได้พยายามลดความคลาดเคลื่อนจากการเก็บตัวอย่างด้วยการจัดทำวิธีการเก็บตัวอย่างมาตรฐาน รวมไปถึงฟาร์มไก่เนื้อทั้ง 6 ฟาร์มได้รับการฝึกอบรม และได้รับคู่มือการจัดการฟาร์มและการเลี้ยงไก่เนื้อมาตรฐาน เพื่อลดความแตกต่างในขั้นตอนการปฏิบัติในแต่ละฟาร์ม

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ เพื่อทำนายความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน ได้ถูกพัฒนาภายใต้ปัจจัย หรือตัวแปรอิสระที่ได้ทำการศึกษาคือ พื้นโรงเรือน (FLOOR) ถาดอาหารไก่ (FEEDPAN) แกลบ (LITTER) กระดาษรองกล่องลูกไก่ (PAPER) น้ำ (WATER) อาหารไก่เล็ก (FEEDBG) อาหารระยะกลาง (FEEDIM) และ อาหารระยะสุดท้าย (FEEDLT) และถูกทดสอบ (validation) กับข้อมูลที่ใช้เพื่อการพัฒนาสมการ ถึงแม้ว่าสมการที่ได้ สามารถอธิบายความแปรปรวนได้เพียงร้อยละ 44.43 แต่ความสามารถในการทำนายเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการสังเกต ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 แต่เนื่องจากไม่พบว่ามีการศึกษาลักษณะเดียวกันในรายงานวิจัยอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการทำนายได้ นอกจากนี้อาจมีปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ที่ไม่ได้ถูกนำเข้ามาวิเคราะห์ที่ส่งผลให้สมการสามารถอธิบายความแปรปรวนได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นการศึกษาในปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ จึงมีความสำคัญที่จะทำให้ทราบถึงปัจจัยเสี่ยงทั้งหมด ส่งผลต่อการจัดการความเสี่ยง สามารถลดความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วันได้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคเพื่อทำนายความชุกซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่ 21-28 วัน พบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวไม่สามารถอธิบายโอกาสการความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรตามได้เนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลมีมาก ดังนั้นการเพิ่มจำนวนตัวอย่างเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลจะทำให้การวิเคราะห์มีความถูกต้อง และแม่นยำเพิ่มขึ้น

ระดับโรงเชือด

ขั้นตอนการผลิตที่โรงเชือดสามารถลดความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ลานพักไก่จาก 2.15 log เหลือ 0.67 log ที่ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด และความชุกซัลโมเนลลาที่ลานพักไก่จากร้อยละ 76.70 ลดลงเหลือร้อยละ 16.67 ที่ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด ขั้นตอนที่สามารถลดซัลโมเนลลาลงได้มากที่สุดได้แก่ ขั้นตอนการลวกเพื่อถอนขน และขั้นตอนการทำซากให้เย็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุมณฑา วัฒเนสินธุ์ (2544) แต่ในขณะที่ซากผ่านขั้นตอนการลวกเพื่อถอนขนไปแล้วในทุกขั้นตอนจนถึงขั้นตอนการทำซากให้เย็น และหลังขั้นตอนการทำซากให้เย็นจนถึงผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด พบว่าการปนเปื้อนซัลโมเนลลากลับมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ May (1961) ที่พบว่า

การปนเปื้อนซัลโมเนลลาเพิ่มมากขึ้นจากการปนเปื้อนข้าม การปนเปื้อนข้ามที่สำคัญเกิดจากการใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น มีด เขียง และมือ (Schuler and Badenhop, 1972; Carramina et al., 1997) ดังนั้น โรงเชือดจำเป็นที่จะต้องหามาตรการการจัดการกับปัจจัยเสี่ยง และปัจจัยเสริมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาและป้องกันการปนเปื้อนข้ามที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน

ผลการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พบว่าปัจจัยเสี่ยงต่อการเพิ่มความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด (SALFIN) คือ แรงดันน้ำขณะล้างซากนอกใน (PI/O) ในขณะที่ปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT) เป็นปัจจัยเสริมลดความเข้มข้นซัลโมเนลลา สำหรับโรงเชือด 2 แห่งที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดให้ขั้นตอนการล้างซากจะถูกกำหนดเป็นจุดวิกฤติที่ต้องควบคุม โดยควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ล้างซากต่อตัว และแรงดันน้ำต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ปริมาณน้ำล้างซากและแรงดันน้ำที่เหมาะสม จะช่วยลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาบนซากลงได้ (Corry et al., 2002) แต่จากการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง กลับพบว่าแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นซัลโมเนลลาเพิ่มขึ้นด้วย อาจเนื่องมาจากสภาพของหัวฉีดที่มีการอุดตัน ซึ่งอาจส่งผลให้แรงดันน้ำเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างลดลง ทำให้การล้างซากไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ดังนั้นการดูแลและรักษาอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานและการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้การลดโอกาสการปนเปื้อนข้ามในระหว่างขั้นตอนการผลิตโดยเพิ่มประสิทธิภาพการล้างและการทำความสะอาดอุปกรณ์ การลดปัญหาไส้แตกขณะล้วงไส้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นและความชุกซัลโมเนลลาในซากไก่ลงได้

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุเพื่อทำนายความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด ได้ถูกพัฒนาภายใต้ปัจจัย หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนการผลิต และถูกทดสอบ (validation) กับข้อมูลที่ใช้เพื่อการพัฒนาสมการ ถึงแม้ว่าสมการที่ได้สามารถอธิบายความแปรปรวนความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ (SALFIN) ได้ถึงร้อยละ 97.24 แต่ความสามารถในการทำนายเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการสังเกต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เนื่องจากไม่พบว่ามีการศึกษาลักษณะเดียวกันในรายงานวิจัยอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการทำนายได้

สรุปความเข้มข้นซัลโมเนลลาที่ได้จากการคำนวณที่ระดับโรงเชือดโดยใช้สมการถดถอยพหุได้จากการวิจัยนี้ อาจมีค่าที่ไม่ตรงกับค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเลือกปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ให้ครอบคลุมเพื่อวิเคราะห์หาสมการทำนายที่มีความแม่นยำมากขึ้น

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติคเพื่อทำนายความชุกซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ พบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวไม่สามารถอธิบายโอกาสการความชุกซัลโมเนลลาในตัวแปรตามได้ เนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลมีมาก ดังนั้นการเพิ่มจำนวนตัวอย่างเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลจะทำให้การวิเคราะห์มีความถูกต้อง และแม่นยำเพิ่มขึ้น

การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่

จากการศึกษาการประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ พบว่าความเสี่ยงของคนไทย 1 คน ถ้าบริโภคเนื้อไก่ปรุงสุกจากโรงงานแปรรูป 2 แห่ง ที่ปริมาณการบริโภคอยู่ที่ 40.42 กรัมต่อวัน จะต้องบริโภคประมาณ 10^{27} ครั้ง จึงมีโอกาสอาจเจ็บป่วยจากการบริโภคซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในเนื้อไก่ปรุงสุก โดยเฉลี่ยประมาณ 6 ครั้ง และการบริโภคในแต่ละครั้งถือว่าเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลของ World Health Organization (2001) รายงานว่าความเสี่ยงใดที่ระดับต่ำกว่า 10^{-6} จัดเป็นความเสี่ยงที่สามารถละเลยได้ ดังนั้นโอกาสจากการเจ็บป่วยจากการบริโภคซัลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในเนื้อไก่ปรุงสุกจัดเป็นความเสี่ยงที่ละเลยได้

การจัดการความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่สามารถละเลยได้มาจากการจัดการที่มีประสิทธิภาพของโรงเชือดและโรงงานแปรรูป เนื่องจากโรงเชือดมีกระบวนการลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในเนื้อไก่อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีระบบการจัดเก็บ การขนส่ง ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการเจริญของซัลโมเนลลาได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้โรงงานแปรรูปมีระบบการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการจัดเก็บที่มีความเหมาะสม ส่วนขั้นตอนการหมักและจัดเก็บก่อนการแปรรูป ถึงแม้ว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการจัดเก็บจะไม่ทำให้ซัลโมเนลลาเจริญได้ แต่ระยะเวลาในการจัดเก็บมีค่าใกล้เคียงกับค่า lag time ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นระยะเวลาในขั้นตอนดังกล่าวจัดเป็นจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม โดยกำหนดค่าวิกฤตที่ต้องควบคุมให้น้อยกว่าค่า lag time และมีการจดบันทึกติดตามเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนดังกล่าว ส่วนการปรุงสุกด้วยการให้ความร้อนจัดเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นเพียงขั้นตอนเดียวที่สามารถทำลายซัลโมเนลลาได้ ดังนั้นอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการปรุงสุกจัดเป็นจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมและมีการจดบันทึกทุกครั้ง ในกรณีที่สินค้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดโรงงานแปรรูปจำเป็นที่จะต้องมีมาตรการรองรับสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐาน และทำการสืบสวนหาสาเหตุของปัญหาต่อไป เพื่อปรับปรุงระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้จัดเป็นต้นแบบงานวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยเสี่ยง หรือตัวแปรอิสระที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ และโรงเชือด เพื่อสร้างสมการถดถอยสำหรับข้อมูลความเข้มข้นซัลโมเนลลา และสมการถดถอยโลจิสติคสำหรับข้อมูลความชุกในตัวแปรตามที่สนใจศึกษา เพื่อใช้สำหรับการประเมินการสัมผัสซัลโมเนลลา (Exposure assessment) รวมไปถึงการประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุก เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยเสี่ยง การประเมินการสัมผัส และการประเมินความเสี่ยงในสินค้าตัวอื่นๆ หรือจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

สมการถดถอยที่ดีที่สุดที่ระดับฟาร์มไก่เนื้อ แสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระมีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนในตัวแปรตามได้ แต่ในการวิจัยนี้อาจกำหนดจำนวนตัวแปรอิสระไม่ครอบคลุม ในขณะที่โรงเชือดสมการถดถอยที่ดีที่สุด ไม่สามารถทำนายความเข้มข้นซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นแนะนำให้มีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับตัวแปรอื่นๆ ที่อาจทำให้สมการการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้นในอนาคต รวมไปถึงการวางแผนการเก็บตัวอย่างที่ดี เพิ่มจำนวนตัวอย่างที่ศึกษาให้มากขึ้น และการเก็บตัวอย่างในแต่ละฤดูกาลจะช่วยลดความไม่แน่นอน และความแปรปรวนของข้อมูล ทำให้การศึกษามีความสมบูรณ์มากขึ้น

การควบคุมซัลโมเนลลาที่ระดับไก่เนื้อ ฟาร์มไก่เนื้อควรเลือกซื้อลูกไก่ที่ปลอดซัลโมเนลลา เพราะการนำลูกไก่ที่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลามาจากโรงฟักเข้ามาเลี้ยงในฟาร์ม เป็นการนำเอาโรคเข้าสู่ฟาร์ม และเกิดการแพร่ระบาดของโรค เนื่องจากลูกไก่อายุ 1 วัน ที่ปนเปื้อนซัลโมเนลลาเป็นปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นซัลโมเนลลาในอุจจาระไก่ที่อายุ 21-28 วัน ถ้าสามารถการควบคุมปัจจัยเสี่ยงได้ ก็จะช่วยลดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาลงได้ นอกจากนี้การปนเปื้อนซัลโมเนลลาในสภาพแวดล้อมของโรงเรือนก็มีความสำคัญเช่นกัน การปรับปรุงวิธี ขั้นตอน และการเลือกใช้สารเคมีเพื่อกำจัดซัลโมเนลลาในช่วงการเตรียมโรงเรือนให้หมดไป จะช่วยลดโอกาสที่ลูกไก่จะติดซัลโมเนลลาจากสิ่งแวดล้อมภายในโรงเรือนลงได้

การควบคุมซัลโมเนลลาที่โรงเชือด ลำดับการเข้าเชือดมีความสำคัญมากเพราะถ้าจัดคิวฟาร์มที่มีการปนเปื้อนซัลโมเนลลาเข้าเชือดก่อน จะทำให้เกิดการปนเปื้อนซัลโมเนลลาในระบบการผลิต จะมีโอกาสทำให้เกิดการปนเปื้อนข้ามในแต่ละขั้นตอนการผลิต อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต้องอยู่ในสภาพที่ดี ใช้งานได้ เช่นเครื่องทำความร้อนในขั้นตอนการลวกก่อนถอนขน หัวฉีดพ่นน้ำ เครื่องทำความเย็นที่ถัง chiller เพราะขั้นตอนเหล่านี้สามารถลดปริมาณซัลโมเนลลาในซากไก่ลงได้

ถึงแม้ว่าการประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุกในกรณีที่แย่ที่สุดซึ่งเป็นการศึกษาข้อมูลแบบค่าเดียว ผลที่ได้จากการประมาณความเสี่ยงก็จะได้เป็นค่าเดียว แต่เนื่องจากปัญหาของการได้มาซึ่งข้อมูลเป็นไปได้ลำบาก ดังนั้น จึงควรใช้ข้อมูลที่มีอยู่อย่างเต็มที่ โดยกำหนดค่าในรูปแบบช่วง ในขณะเดียวกันก็มีโอกาสในการเกิดค่าต่างๆในช่วงนั้น เนื่องจากแต่ละค่าในช่วงมีโอกาสในการเกิดไม่เท่ากัน จึงเรียกว่า การแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งการแจกแจงความน่าจะเป็นนี้สามารถใช้เป็นตัวแทนของตัวแปรได้ทุกตัว ในการประเมินความเสี่ยงควรใช้ข้อมูลแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นมากกว่าเนื่องจากธรรมชาติของความเสี่ยงคือความไม่แน่นอน

นอกจากนี้ควรมีศึกษาการประเมินความเสี่ยงเพิ่มเติมในกรณีที่ผู้บริโภคซื้อเนื้อไก่สดเพื่อการประกอบอาหารที่บ้าน เพราะขั้นตอนการขนส่ง การจัดเก็บและจำหน่ายที่ระดับตลาดสด ค้าปลีก การควบคุมอุณหภูมิ และเวลาในทุกๆ ขั้นตอนอาจส่งผลทำให้ซัลโมเนลลาเจริญและเพิ่มจำนวนจนส่งผลให้ความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในเนื้อไก่ปรุงสุกเพิ่มขึ้น การให้ความรู้และความเข้าใจในการจัดเก็บอาหาร และขั้นตอนและวิธีการทำอาหารให้สุกที่บ้านเป็นสิ่งจำเป็น ถือเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการ (risk management) และการสื่อสารความเสี่ยง (risk communication) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภค

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2540. รายงานประจำปี. นนทบุรี: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

เกรียงศักดิ์ แดงพรหม และ ศศิธร คณะรัตน์. 2530. การปนเปื้อนของเชื้อซัลโมเนลลาในโรงฆ่าไก่. ใน เรื่องย่อการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6, หน้า 70. กรุงเทพมหานคร: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ธรรมสาร จำกัด.

ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2548. การวิเคราะห์การถดถอย Regression analysis. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล รัชตโกมุท. 2544. ปัญหาการติดเชื้อซาลโมเนลลาในกรุงเทพมหานคร. รายงานการเฝ้าระวังโรคประจำเดือน. 3: 2-8

ลัดดา โภคาวัฒนา และ นฤมล รัชตโกมุท. 2543. Salmonellosis. รายงานการเฝ้าระวังโรคประจำเดือน. 9: 2-8

วันวิสาข์ วงษ์โชติปิ่นทอง. อุตสาหกรรมไก่เนื้อไทยระวังวัดนกกระทบส่งออก. หนังสือพิมพ์ข่าวสด (2550)

ศิริชัย กาญจนวาสี. 2550. การวิเคราะห์พหุระดับ Multiple-level analysis. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศศิธร คณะรัตน์, พิมลศรี หาญพัฒนพาณิชย์, แพรผกา ทองระอา และวิพิชญ์ ไชยศรีสงคราม. 2534. ซาลโมเนลลาซีโรไทป์ที่พบในไก่แช่เยือกแข็ง. ใน รายงานบทคัดย่อการประชุมวิชาการครั้งที่ 29 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 190. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานระบาดวิทยา. 2549. รายงานโรคที่ต้องเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา พ.ศ. 2549. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักมาตรการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป. 2549. สินค้าไก่เนื้อ. กรุงเทพฯ: กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์.

สุมณฑา วัฒนสินธุ์, อรุณ บ่างตระกูลนนท์ และ ธเนศ ชิดเครือ. 2544. การเฝ้าระวังจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม เพื่อลดเชื้อ *Salmonella* ในการผลิตไก่กระทงแช่แข็งเพื่อการส่งออก. ปทุมธานี: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสาตร์ศูนย์รังสิต.

สุมาลี บุญมา, ชุมพจน์ อมาตยกุล และ อรุณ บ่างตระกูลนนท์. 2540. การศึกษาสายพันธุ์ที่สำคัญของเชื้อซัลโมเนลลาจากเนื้อไก่ในประเทศไทย. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ 33: 75-78.

สุมาลี บุญมา, อรุณ บ่างตระกูลนนท์, ศรีรัตน์ พรเรืองวงศ์, นพรัตน์ หมานริม, Ken-ichi Kaneko และ Masuo Ogawa. 2541. การศึกษาเชื้อซัลโมเนลลาในเนื้อไก่จากประเทศไทยโดยเน้นสายพันธุ์ enteritidis ที่พบปะปนในเนื้อไก่จากตลาดสด. ใน รายงานการสัมมนาระดับชาติเพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา *Non – Typhoidal Salmonellosis* ในประเทศไทย ครั้งที่ 2, 24 – 25 ธันวาคม 2541. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรุณ บ่างตระกูลนนท์, แพรวผกา ทองระอาด และ มยุรา กุสุมส์. 2536. การปนเปื้อนของเชื้อซาลโมเนลลาในเนื้อไก่สดแช่แข็งเพื่อการส่งออก. วารสารอาหาร 24: 231-236.

อรุณ บ่างตระกูลนนท์. 2540. การตรวจหาเชื้อ *Salmonella* ในอาหารและผลิตภัณฑ์: ผลการสำรวจเชื้อ *Salmonella spp.* ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

อรุณ บ่างตระกูลนนท์. 2546. Genus *Salmonella*. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการการเฝ้าระวังเชื้อดื้อยาในปศุสัตว์. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Ammavisit, P., Sakpuaram, T., Kasamsuwan, S. and Sanjuankeit, A. 2006. The situtation of *Salmonella* infection in Poultry Industry Report. In Food Science Department Bangkok: Kasetsart university.

Arsennault, J., Letellier, A., Quessy, S., Normand, V. and Boulianne, M. 2007. Prevalence and risk factors for *Salmonella spp.* and *Campylobacter spp.* caecal colonization in broiler chicken and turkey flocks slaughtered in Quebec, Canada. Prevent. Vet. Med. 81: 250-264.

Bailey, J. S., Cox, N. A. and Berrang, M. E. 1994. Hatchery acquired *Salmonella* in broiler chicks. Poult. Sci. 73: 1153-1157

Bangtrakulnonth, A., Pornreongwong, S., Pulsrikarn, C., Sawanpanyalert, P., Hendriksen, R. S., Wong, D. M. and Aarestrup, F. M. 2004. Salmonella serovars from humans and other sources in Thailand, 1993-2002. Emerg. Infect. Dis. 10: 131-136.

Bauman, R. W. 2004. Microbiology. Pearson Benjamin Cummings. San Francisco: CA. Bell.

Bell, C. and Kyriakides, A. 2002. *Salmonella*: A Practical Approach to the Organism and Its Control in Foods. UK: Blackwell Science Ltd.

Bhatia, T. R. S. and Mcnabb, G. D. 1980. Dissemination of *Salmonella* in broiler chick operations. Avian Diseases 24: 616-624

Bolder, N. M. and R. W. A. W. Mullder. 1983. Faecal materials in transport crate as source of *Salmonella* contamination of broiler carcasses. In C. Lahellee, F. H. Ricard and P. Collin, (eds.), Proceeding of the 6th European symposium on quality of poultry meat, pp. 170-176. Ploufragan.

Brashears, M. M., Burson, D. E., Dormedy, E. S., Vavak, L., Mc Kee, S. R., Fluckey, W. and Sanchez, M. 2001. HACCP implementation and validation in small and very small meat and poultry processing plants in Nebraska. Dairy Food Environ. Sanit. 21: 20-28.

Bryan, F. L. and Doyle, M. P. 1995. Health risks and consequences of *Salmonella* and *Campylobacter jejuni* in raw poultry. J. of Food Prot. 58: 326-344.

Buzby, J. C. and Roberts, T. 1996. ERS updates U.S. foodborne disease costs for seven pathogens. FoodReview. Vol. September - December 1996, 20-25.

Bywater, R. J. 2004. Veterinary use of antimicrobials and emergence of resistance in zoonotic and sentinel bacteria in the EU. J. Vet. Med. B51: 361-363.

Capita, R., Lvarez-Astorga, M. A., Calleja, C. A., Moreno, B. and Fernandez, M. D. C. G. 2003. Occurence of salmonellae in retail chicken carcasses and their products in Spain. Int. J. Food Microbiol. 81.

Cardinale, E., Tall, F., Gueye, E. F., Ciss, M. and Salvat, G. 2004. Risk factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* infection in Senegalese broiler-chicken flocks. Prevent Vet. Med. 63: 151-161.

Carramina, J. J., Yanguda, J., Blanco, D., Rota, C., Agustin, A. I., Arino, A. and Herrera, A. 1997. *Salmonella* incidence and distribution of serotypes through out processing in a Spanish poultry slaughterhouse. J. Food Prot. 60: 1312-1317.

Cassin, M. H., Lammerding, A. M., Todd, E. C., Ross, W. and McColl, R. S. 1998. Quantitative risk assessment for *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef hamburgers. Int. J. Food Microbiol. 41: 21-44.

Chadfield, M., Skov, M., Christensen, J., Madsen, M. and Bisgaard, M. 2001. An epidemiological study of *Salmonella enterica* serovar 4, 12:b: in broiler chickens in Denmark. Vet. Microbiol. 82: 233-247.

Chan, K. F., Tran, H. L., Kanenaka and Kathariou, S. 2001. Survival of clinical and poultry derived isolates of *Campylobacter jejuni* at a low temperature (4'C). Appl. Environ. Microbiol. 67: 4186-4191.

Corry, J. E. L., Allen, V. M., Hudson, W. R., Breslin, M. F. and Davies, R. H. 2002. Sources of *Salmonella* on broiler carcasses during transportation and processing: Modes of contamination and methods of control. J. App. Microbiol. 92: 424-432.

Costales, A. 2004. A review of the Thailand poultry sector. Food and Agriculture Organization of the United Nations: 1-25.

Cox, N. A., Richardson, L. J., Bailey, J. S., Cosby, D. E. and Musgrove, M. T. 2005. Food safety control in the poultry industry. 1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing limited.

D'Aoust, J. Y. 1997. *Salmonella* species. In M. P. Doyle, L. R. Beuchat and T. J. Montville (eds.), Food Microbiology: Fundamental and Frontiers, pp. 129-158. Washington D. C.: ASM Press.

Danyluk, M. D., Jones, T. M., Abd, S. J., Schlitt-Dittrich, F., Jacobs, M. and Harris, L. J. 2007. Prevalence and amounts of *Salmonella* found on raw California almonds. J. Food Prot. 70: 820-827.

Davies, R. H., Nicholas, R. A. J., McLaren, I. M., Corkish, J. D., Lanning, D. G. and Wray, C. 1997. Bacteriological and serological investigation of persistent *Salmonella* Enteritidis infection in an integrated poultry organisation. Vet. Microbiol. 58: 277-293.

Dawson, L. E. 1987. Packaging of processed poultry. In F. E. Cunningham and N. A. Cox (eds.), The Microbiology of Poultry Meat products, pp. 223-233. New York: Academic Press Inc. 223-233.

Doyle, M. P. and Mazzotta, A. S. 2000. Review of studies on the thermal resistance of *Salmonella*. J. Food Prot. 63: 779-795.

Doyle, M. P. and Erickson, M. C. 2006. Reducing the carriage of foodborne pathogens in livestock and poultry. Poult. Sci. 85: 960-973.

Edwards and Ewing. 1972. Edwards and Ewing's identification of *Enterobacteriace*.5th ed. New York: Elsevier Science Publishing Co., Inc.

Esteban, J. I., Oporto, B., Aduriz, G., Juste, R. A. and Hurtado, A. 2008. A survey of foodborne pathogens in free range poultry farms. Int. J. Food Microbiol. 123: 177-182.

Food Standards Australia New Zealand. 2005. Scientific assessment of the public health and safety of poultry meat in Australia (attachment 3).

Gurtler, M., Methner, U., Kobilke, H. and Fehlhaber, K. 2004. Effect of orally administered egg yolk antitbodies on *Salmonella* Enteritidis contamination of hen's eggs. J. Vet. Med. B51: 129-134.

Guthrie, R. K. 1991. *Salmonella*. Florida: N. W. Boca Raton.

Hobbs, B. C. and Gillbert, R. J. 1978. Food Poisoning and Food Hygiene. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd.

ICMSF. 1996. *Salmonellae* in international commission on microbiological specification for foods. In Microorganism in Foods: Microbiological Specification of Food, pp. 217-264. London, UK: Chapman & Hall.

Jay, J. M. 1996. Modern Food Microbiology. 5th ed. Singapore: Chapman & Hall (International Thomson Publishing).

Jay, J. M. 2000. Modern food microbiology. 6th ed. Md. Aspen: Gaithersburg.

Jones, F. T., Axtell, R. C., Rives, D. V., Scheideler, S. E., Taver, F. R., Walker, R. L. and Wineland, M.J. 1991. A Survey of *Salmonella* contamination in modern broiler production. J. Food Prot. 54: 502-507.

Kaferstein, F. K., Motarjemi, Y. and Bettcher, D. W. 1997. Foodborne Disease Control: A transnational challenge. Emerg. Infect. Dis. 3: 503-510.

Kauffmann, F. 1966. Zur serologie der coli-gruppe. acta path. Microbiol. Scand. 21: 20-45

Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L. and Muller, K. E. 1987. Applied regression analysis and other multivarible methods. Belmont: Duxbery Press.

Kotula, K. L. and Davis, M. E. 1999. Broiler skin sampling for optimum recovery of *Salmonella species.* J. Food Prot. 62: 284-286.

Lammerding, A. M. and Paoli, G. M. 1997. Quantitative risk assessment: An emerging tool for emerging foodborne pathogens. Emerg. Infect. Dis. 3: 483-487.

May, K. N. 1961. Skin contamination of broiler during commercial evisceration. Poultry Sci. 40: 531-535.

Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McCaig, L. F., Bresee, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M. and Tauxe, R. V. 1999. Food-related illness and death in the United States. Emerg. Infect. Dis. 5: 607-625.

Mikolajczyk, A. and Radkowski, M. 2002. *Salmonella spp*. On chicken carcasses in processing plants in Poland. J. Food Prot. 65: 1475-1479.

Mullder, R. W. A. W. and Veerkamp, C. H. 1974. Improvements in poultry slaughterhouse hygiene as a result of cleaning before cooling. World Poultry Sci. J. 30: 49-51.

Mullder, R. W. A. W., Dooresteijn and Van der Brock, J. 1978. Cross contamination during the scalding and plucking of broiler. British Poultry Sci. 19: 61-63.

Mullder, R. W. A. W. 1996. Impact of transport on the incidence of human pathogens in poultry. World Poultry Sci. J. 12: 18-19.

Murphy, R. Y. and Berrang, M. E. 2002. Thermal lethality of *Salmonella* Senftenberg and *Listeria innocua* on fully cooked and vacuum packaged chicken breast strips during hot water pasterization. J. Food Prot. 65: 1561-1564.

Olsen, J. E., Brown, D. J., Madsen, M. and Bisgaard, M. 2003. Cross contamination with *Salmonella* on a broiler slaughterhouse line demonstrated by use of epidermiological markers. J. App. Microbiol. 94: 826-835.

Oscar, T. P. 1999. Response surface models for effects of temperature and previous growth sodium chloride on growth kinetics of Salmonella Typhumurium on cooked chicken breast. J. of Food Prot. 12: 1470-1474

Padungtod, P. and Kaneene, J. B. 2006. *Salmonella* in food animals and humans in Northern Thailand. Int. J. Food Microbiol. 108: 346-354.

Payne, J. B., Li, X., Santos, F. B. O., and Sheldon, B. W. 2006. Characterization of *Salmonella* from three commercial North Carolina broiler farms. Int. J. of Poultry Sci. 5: 1102-1109.

Popoff, M. Y., Le Minor, L. and WHO collaborating Centre for Reference and Research on Salmonella. 1997. Formules antigniques des serovars de Salmonella = Antigenic formulas of the Salmonella serovarsed. Paris, France: WHO Collaborating Centre for Reference and Research on Salmonella.

Poppe, C. 2000. *Salmonella* in Domestic Animals. London, UK: CABI Publishing Co. Ltd.

Rasschaert, G., Houf, K., and De Zutter, L. 2007. Impact of the slaughter line contamination on the presence of *Salmonella* on broiler carcasses. J. App. Microbiol. 103: 333-341.

Rasschaert, G., Hour, K., Godard, C., Wildemanuwe, C., Pastuszczak-Frak, M. and De Zutter, L. 2008. Contamination of carcasses with *Salmonella* during poultry slaughter. J. Food Prot. 71: 146-152.

Reynold, G. 2007 Salmonella infects one in four chickens for meat. European food safety authority.

Robinson, R. K., Balt, C. A. and Patel, P. D. 2000. Encyclopedia Food Microbiology. New York: Academic Press.

Rose, J. B., Haas, C. N. and Regli, S. 1991. Risk assessment and control of waterborne giardiasis. Am. J. Public. Health 81: 709-713.

Rusal, Khair, G. J., Radu, S., Cheah, C. T. and Yasin, R. H. 1996. Prevalence of *Salmonella* in broilers at retail outlets, processing plants and farms in Malaysia. Int. J. Food Microbiol. 33: 183-194.

Schuler, G. A. and Badenhop, A. F. 1972. Microbiology survey of equipment in selected poultry processing plants. Poult. Sci. 51: 830-835.

Straver, J. M., Janssen, A. F., Linnemann, A. R., van Boekel, M. A., Beumer, R. R. and Zwietering, M. H. 2007. Number of *Salmonella* on chicken breast filet at retail level and its implications for public health risk. J. Food Prot. 70: 2045-2055.

Surkiewicz, B. F., Johnston, R. W., Moran, A. B. and Krumm, G. W. 1969. A bacteriological survey of chicken eviscerating plants. Food Technol. 23: 1066-1068.

Tran, T. P., Ly, T. L. K., Nguyen, T. T., Akiba, M., Ogasawara, N., Shinoda, D., Okatani, A. T. and Hayashidani, H. 2004. Prevalence of *Salmonella spp*. in pigs, chickens and ducks in the Mekong Delta, Vietnam. J. Vet. Med. Sci. 66: 1011-1014.

United States Food and Drug Administration. 1998. Bacteriological analytical manual, 8th ed., In Foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins handbook. Gaithersburg, MD: AOAC International, 1 computer optical disc.

USDA-FSIS. 1998. *Salmonella* Enteritidis Risk Assessment shell eggs and egg products. United States Department of Agricuture. Food Safety and Inspection Services.

Vadhanasin, S., Bangtrakulnonth, A. and Chidkrau, T. 2004. Critical control points for monitoring *Salmonellae* reduction in Thai commercial frozen broiler processing. J. Food Prot. 67: 1480-1483.

Van Gerwen, S. J. and Zwieterin, M. H. 1998. Growth and inactivation models to be used in quantitative risk assessments. J. Food Prot. 61.

Vindigni, S. M., Srijan, A., Wongstitwilairoong, B., Marcus, R., Meek, J., Riley, P. L. and Mason, C. 2007. Prevalence of foodborne microorganisms in retail foods in Thailand. Foodborne Pathog. Dis. 4: 208-215.

WHO and FAO. 2002. Risk assessments of *Salmonella* in eggs and broiler chickensed. Geneva, Rome: World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. xxiv, 302.

Wieliczko, A. and Mazurkiewicz, M. 1999. The incidence of Salmonella infection in poultry in Lower Silesia between 1996-1998. Poult. Sci. 55: 445-450.

Wise, R. 2002. Antimicrobial resistance: Priorities for action. J. Antimicrob. Chemother. 49: 585-586.

Wlaker, W. H. and Ayres, J. C. 1956. Incidence and kinds of organisms associated with commercially dresses poultry. Appl. Microbiol. 4: 345-349.

Woo and Yong, K. 2007. Survey on the status of microbial contamination of chicken meats collected from poultry processing plants in nationwide. Korean J. Mircobiol. 43: 186-192.

World Health Organization. 2001. Water quality: guildelines, standards and health. London, UK: IWA Publishing.

Wray, C., Davies, R. H. and Corkish, J. D. 1996. Poultry Diseaseed. London, UK: W. B. Saunders Co. Ltd.

Xiong, R. C., Xie, G., Edmonson, A.E. and Sheard, M. A. 1999. A mathematical model for bacterial inactivation. Int. J. Food Microbiol. 46: 45-55.

Yupa, L. 1997. Application of Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) system for chicken processing: A case study: Hazard Analysis. AIT Thesis No. AE-97-15. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Zamri-Saad, M. and Hair-Bejo, M. 2006. Fowl typhoid. In M. Zamri-Saad (ed.), Diseases of Poultry in Southeast Asia, pp. 51-55. Selangor, Malaysia: Mailndo Printers Sdn. Bhd.

Zamri-Saad, M. and Saleha, A. A. 2006. Infection by *Salmonella* Enteritidis. In M. Zamri-Saad (ed.), Disease of Poultry in Southeast Asia, pp. 56-66. Selangor, Malaysia: Mailndo Printers Sdn. Bhd.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุ ระดับฟาร์มไก่เนื้อในเชิงความเข้มข้นซัลโมเนลลา

ตัวแปรทำนาย	ตัวแปรตาม
พื้นโรงเรือน (FLOOR)	อุจจาระไก่อายุ 21-28 วัน (FECES)
วัสดุรองพื้น (แกลบ) (LITTER)	
น้ำไก่กิน (WATER)	
ถาดอาหารไก่เล็ก (FEEDPAN)	
กระดาษรองกล่องลูกไก่ (PAPER)	
อาหารไก่เล็ก (FEEDBG)	
อาหารไก่ระยะกลาง (FEEDIM)	
อาหารไก่ระยะสุดท้าย (FEEDLT)	

2. ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุ ระดับโรงเชือดในเชิงความเข้มข้นซัลโมเนลลา

ตัวแปรทำนาย	ตัวแปรตาม
ความเข้มข้นซัลโมเนลลาเริ่มต้น (SALBG)	ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด (SALFIN)
ความเร็ว Line (LINE)	
น้ำหนักไก่เฉลี่ยต่อคันรถ (AVGW)	
ระยะเวลาในการพักรอ (RESTIME)	
อุณหภูมิน้ำในบ่อลวกที่ 1 (WT1)	
อุณหภูมิน้ำในบ่อลวกที่ 2 (WT2)	
ปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน (WFT)	
แรงดันน้ำขณะล้างซากหลังถอนขน (PFT)	

ตัวแปรทำนาย	ตัวแปรตาม
ไส้แตกขณะล้วง (EVIS)	
ปริมาณน้ำล้างซากนอก/ใน (WI/O)	
แรงดันน้ำขณะล้างซากนอก/ใน (PI/O)	
อุณหภูมิน้ำถัง Chiller 1 (TEMPCHL1)	
ระยะเวลาในถัง Chiller 1 (TIMECHL1)	
อุณหภูมิน้ำถัง Chiller 2 (TEMPCHL2)	
ระยะเวลาในถัง Chiller 2 (TIMECHL2)	
อุณหภูมิซากหลังออกจาก Chiller (TEMP)	
อุณหภูมิห้องขณะตัดแต่ง (ROOMTEMP)	
ระยะเวลาในการตัดแต่ง (TIMECUT)	
อุณหภูมิชิ้นเนื้อระหว่างตัดแต่ง (TEMPCUT)	
อุณหภูมิหลังตัดแต่ง (TEMPAF)	
อุณหภูมิในการจัดเก็บ (TEMPSTO)	
อุณหภูมิของสินค้า (TEMPRO)	

ภาคผนวก ข

3. แสดงตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ระดับฟาร์มในเชิงความชุกซัลโมเนลลา

ตัวแปรทำนาย	ตัวแปรตาม
พื้นโรงเรือน (FLOOR)	อุจจาระไก่อายุ 21-28 วัน (FECES)
วัสดุรองพื้น (แกลบ) (LITTER)	
น้ำไก่กิน (WATER)	
ถาดอาหารไก่เล็ก (FEEDPAN)	
กระดาษรองกล่องลูกไก่ (PAPER)	
อาหารไก่เล็ก (FEEDBG)	
อาหารไก่ระยะกลาง (FEEDIM)	
อาหารไก่ระยะสุดท้าย (FEEDLT)	

4. แสดงตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค ระดับโรงเชือดในเชิงความชุกซัลโมเนลลา

ตัวแปรทำนาย	ตัวแปรตาม
ลานพักไก่ (REST)	ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สด (PRODUCT)
ก่อนลงบ่อลวก (BSCALD)	
หลังลงบ่อลวก (ASCALD)	
หลังถอนขน (ADEF)	
หลังล้างซาก (AWASH)	
หลังล้วงเครื่องใน (AEVIS)	
หลังล้างซากนอก/ใน (AI/O)	
หลังการทำให้เย็น (ACHL)	
หลังการตัดแต่ง (ACUT)	

ภาคผนวก ค

5. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่ต้องบันทึกในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างที่ระดับโรงเชือด

ข้อมูล	หน่วย
ความเร็ว Line	จำนวนไก่ต่อนาที
น้ำหนักไก่เฉลี่ย	กิโลกรัม
ระยะเวลาในการพักรอ	นาที
อุณหภูมิน้ำในบ่อลวกที่ 1	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิน้ำในบ่อลวกที่ 2	องศาเซลเซียส
ปริมาณน้ำล้างซากหลังถอนขน	ลิตร
แรงดันน้ำขณะล้างซากหลังถอนขน	บาร์
ไส้แตกขณะล้วง	ร้อยละ
ปริมาณน้ำล้างซากนอก/ใน	ลิตร
แรงดันน้ำขณะล้างซากนอก/ใน	บาร์
อุณหภูมิน้ำถัง Chiller 1	องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในถัง Chiller 1	นาที
อุณหภูมิน้ำถัง Chiller 2	องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในถัง Chiller 2	นาที
อุณหภูมิซากหลังออกจาก Chiller	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิห้องขณะตัดแต่ง	องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในการตัดแต่ง	นาที
อุณหภูมิชิ้นเนื้อระหว่างตัดแต่ง	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหลังตัดแต่ง	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิในการจัดเก็บ	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของสินค้า	องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ง

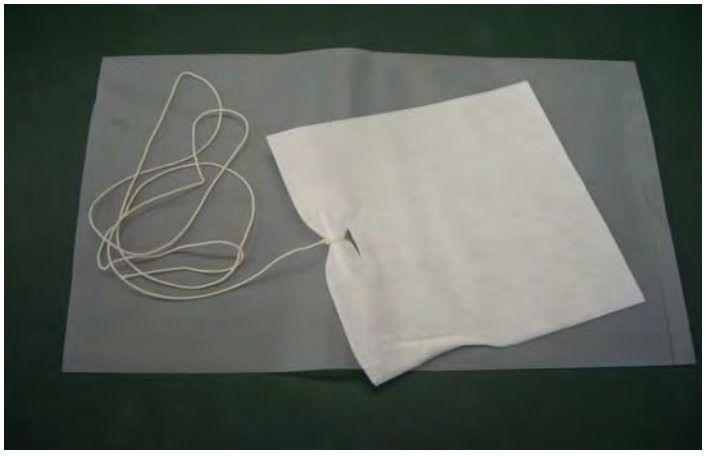
การเก็บตัวอย่างแบบ drag swab

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่าง drag swab เป็นการเก็บตัวอย่างบนพื้นผิว เช่น พื้นโรงเรือน พื้นผิวอุปกรณ์การให้อาหาร รายละเอียดอุปกรณ์ และวิธีการเตรียมอุปกรณ์ มีดังต่อไปนี้

<u>รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้</u>

1. อุปกรณ์ drag swab 2 แผ่น ต่อ 1 โรงเรือน
2. ถุงสำหรับเก็บตัวอย่าง 1 ถุง
3. กรรไกร 1 อัน
4. สำลี แอลกอฮอล์ 1 ชุด
5. ปากกาสำหรับเขียน 1 ด้าม

<u>อุปกรณ์ drag swab</u>



<u>การเตรียมอุปกรณ์</u>

1. เตรียมผ้า gauze ขนาด 20 ตารางเซนติเมตร
2. นำอุปกรณ์ใส่ในถุงพลาสติกที่ทนความร้อนและมีขนาดที่เหมาะสม
3. ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ลงไปในถุงที่มีอุปกรณ์จำนวน 20 มิลลิลิตร
4. พับปากถุงพลาสติก 2 ครั้ง และติดปากถุงด้วยเทปกาว
5. ทำการฆ่าเชื้อด้วยวิธี autoclave ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 20 นาที
6. ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปิดปากถุงให้สนิทด้วยความร้อน

การเก็บตัวอย่างอาหารไก่ กระดาษรองกล่องลูกไก่ วัสดุรองพื้น อุจจาระ ขนไก่ และชิ้นเนื้อไก่

<u>รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้</u>

1. ถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อสำหรับเก็บตัวอย่าง 1 ถุง
2. อุปกรณ์ตัก หรือกรรไกรที่สะอาด 1 อัน
3. ยางวงสำหรับรัดถุงพลาสติก 1 วง
4. สำลี แอลกอฮอล์ 1 ชุด
5. ปากกาสำหรับเขียน 1 ด้าม

การเก็บตัวอย่างน้ำไก่กิน

<u>รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้</u>

1. ขวดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อสำหรับเก็บตัวอย่าง 1 ขวด
2. สำลี แอลกอฮอล์ 1 ชุด
3. ปากกาสำหรับเขียน 1 ด้าม

การเก็บตัวอย่างน้ำล้างซากไก่

<u>รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้</u>

1. ถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อสำหรับเก็บตัวอย่าง 1 ถุง
2. Buffer Peptone Water 1 ต่อ10 ที่ระดับความเข้มข้น 10 % 400 มิลลิลิตร
3. ยางวงสำหรับรัดถุงพลาสติก 1 วง
4. สำลี แอลกอฮอล์ 1 ชุด
5. ปากกาสำหรับเขียน 1 ด้าม

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อวิเคราะห์หาซัลโมเนลลา</u>

1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลองขนาด 17 x 160 มิลลิลิตร
4. หลอดทดลองขนาด 13 x 100 มิลลิลิตร
5. จานเพาะเลี้ยงเชื้อขนาดมาตรฐาน
6. Buffer Peptone Water 10%
7. Rappaport and Vassiliadis (RV) broth
8. Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD)
9. Brilliant Green Agar (BGA)
10. Triple Sugar Iron (TSI)
11. Motile Indole Lysine (MIL)

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาซัลโมเนลลา</u>

1. ตู้บ่มเพาะเชื้อ
2. ถุงพลาสติกขนาด 8 x 12 นิ้ว
3. เครื่องผสม Seward Stomacher 400
4. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
5. ปิเปตอัตโนมัติ
6. เข็มเขี่ยเชื้อ (inoculating needle)
7. แท่งปลายห่วง (inoculating loop

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศักดิชญ์ อนุโลมสมบัติ เกิดเมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2513 สำเร็จการศึกษาสัตวแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2537 ปัจจุบันทำงานในธุรกิจอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับระบบการประกันคุณภาพ (quality assurance) และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวแพทยสาธารณสุข คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548