หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การศึกษาอายุและการเจริญเติบโตของปลาหูแขก

การศึกษาอายุของปลา

นักมีนวิทยาชาวสวีเดน ชื่อ Hen Hederstrom (1959) นับเป็นคนแรกที่ทำการศึกษาถึงอายุของปลา โดยนับจำนวนวงปีกระดูกสันหลังของปลา Pike (Esox lucius) และปลาชนิดอื่น ๆ ด้วย ต่อมา (C.G.J.Peterson (1892) เป็นคนแรกที่ใช้ข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ของความยาวปลามาทำการวิเคราะห์ศึกษา อายุ ต่อมา Hoffbauer (1898) เป็นคนแรกที่ทำการศึกษาอายุของปลาจากเกล็ดปลา

การศึกษาอายุและการเจริญเติบโตของปลาหูแขกจากเกล็ด

จากการวิจัยวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ได้ทดลองศึกษาจากเกล็ดปลาด้วย โดยได้ทำการเก็บ เกล็ด จำนวน 5 - 10 เกล็ด จากตรงกลางของลำตัวบริเวณใต้ครีบหู ของปลาหูแขกที่มีขนาดความยาวลำตัวประมาณ 10, 15, 20 ซม ตามลำดับ พร้อมกับบันทึกวันที่เก็บแหล่งทำการประมง ท่าเทียบเรือ และเครื่องมือประมง แล้วรีบนำเกล็ดที่เก็บมาหยดด้วยสารละลาย KOH 90 เปอร์เซนต์ จำนวน 1 - 2 หยด แล้วรีบล้างเมือกและเนื้อเยื่อออกจากเกล็ดด้วยน้ำ เพราะเมือกและเนื้อเยื่อจะไปทำให้ร่องของวงปีตื้นเขินและมองไม่ชัด

ผิวของเกล็ดจะประกอบด้วยร่องขนานเป็นวง ๆ วงรอบเหล่านี้แสดงถึงอายุของปลา ระยะจากจุดศูนย์กลาง (Focus) จนถึงวงรอบปีหนึ่ง (Annulus) เรียกว่าความยาวรอบหนึ่งปี (Annulus length) Kondo (1974) ได้อธิบายไว้ว่า แต่ละระยะวงปีหนึ่งถูกสร้างขึ้นในฤดูหนาว ซึ่งบางครั้งเรียกว่าวงฤดูหนาว (Winter ring) และยังมีชวงระยะพัก (Resting Zone) ระหว่างวงปีมีลักษณะเป็นวงซ้อนกันซึ่งขึ้นอยู่กับสรีระวิทยาของร่างกาย ซึ่งบางครั้งปรากฏขึ้นในช่วงวางไข่ จึงเรียกว่ารอยวางไข่ (Spawning mark) แต่วงฤดูหนาวเป็นวงปีที่แท้จริงซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม อันเป็นผลให้สภาพในการหาอาหารในฤดูหนาวไม่อุดมสมบูรณ์ ทำให้การเจริญเติบโตของอวัยวะและส่วนของร่างกายทุกส่วนเกิดชะงักไปในช่วงนี้

แต่จากการศึกษาจากการทดลองดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า ปลาทูแขกในอ่าวไทยไม่มีวงปีให้เห็นชัด เพียงแต่เห็นรอยของวงหลายวงลำดับกันไป ซึ่งคิดว่าเป็นรอยเกิดจากการวางไข่ (Spawning mark)ในแต่ละช่วงของฤดูวางไข่ ซึ่งไม่สามารถที่จะทำการศึกษาอายุและการเจริญเติบโตของปลาทูแขกจากเกล็ดได้แน่ชัด เพราะไม่สามารถตัดสินได้ว่า เส้นวงปีเป็นเส้นไหนมีระยะเท่าไร รวมทั้งผลของการศึกษาจากกระดูกหูก็ไม่สามารถเห็นรอยของวงปีชัดพอที่จะแบ่งรอยของวงปีให้เห็นชัดได้เช่นกัน ดังนั้นการศึกษาอายุและการเจริญเติบโตของปลาทูแขกของการทดลองวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ไม่สามารถศึกษาจากส่วนของโครงแข็งของตัวปลา เช่น เกล็ด กระดูกหู ได้

<u>การศึกษาอายุและการเจริญเติบโตปลาทูแขกจากข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ความยาวของตัวปลา</u>

มีนักชีววิทยาประมงหลายท่าน ที่ได้ทำการศึกษาอายุและการเจริญเติบโตของปลาโดยวิธีหาการเคลื่อนที่ของจุดฐานนิยมของความยาวปลาแต่ละเดือนติดต่อกัน (Modals Progression Method) ซึ่ง Howard และ Landa (1958) ได้อ้างว่า Peterson ได้คิดค้นวิธีนี้เป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1892 และยังกล่าวต่อไปว่าการศึกษาวิธีนี้ของ Peterson ยังมีปัญหาและอุปสรรคต่อการศึกษาในปลาที่วางไข่หลายครั้งในหนึ่งปี ทำให้ความยาวของปลาแต่ละรุ่นเกิดสับสนกันได้ง่าย ในกรณีที่ปลารุ่นที่สองเจริญเติบโตเร็วมากจนมีขนาดเดียวกับกลุ่มของปลาที่เจริญช้าในรุ่นแรก ต่อมาในปี 1954 Cassie ได้คิดวิธีจัดแยกฐานนิยมที่เกิดจากปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยใช้วิธีใช้กระดาษความน่าจะเป็น (Probability Paper Method)ทำการหาจุดวกกลับ (Inflection point) ของแนวเส้นสะสมของความถี่ของความยาวในรูปร้อยละ (Percent Cumulative of frequencies of fish length)ซึ่งเขาสามารถแยกส่วนของกลุ่มความยาวปลาออกจากกันได้

Bhattacharya (1967) ได้คิดวิธีหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ของความยาวปลาโดยจัดรูปของลอกการิธึม และได้กล่าวสรุปวิธีหาค่าเฉลี่ยของคนอื่น ๆ คือ Buchanan-Wollaston และ Hodgeson (1929), Pearson (1894, 1915) Pearson and Lee (1908-09) Rao (1948),

Gottschalk (1948) ว่าในการหาค่าเฉลี่ยจะหาไม่ได้เมื่อค่าเฉลี่ยมากกว่าหนึ่งค่าที่อยู่ใกล้กันมากจนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ และ Bhattacharya ยังได้จัดแยกวิธีของ Harding(1949) และวิธีของ Cassie (1954) เป็นวิธีอยู่ในแนวเดียวกันคือวิธีการใช้กระดาษความน่าจะเป็น (Probability paper method) ซึ่งเขียนกราฟความถี่สะสมในรูปร้อยละบนกระดาษดังกล่าวแล้วหาจุดวกกลับ (Inflection point) และสามารถแยกค่าเฉลี่ยที่สับสนกันออกมาได้ Bhattacharya รายงานเพิ่มเติมว่ายังมีวิธีอื่น ๆ อีกคือ วิธีของ Buchanan-Wollaston and Hodgeson (1929), Oka (1954) และ Tanaka (1962) เป็นวิธีใช้กราฟรูปพาราโบลา (Parabola) ประเมินข้อมูลการแพร่กระจายความถี่เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) Bhattacharya กล่าวในตอนสรุปว่าวิธีของเขามีข้อดีอยู่หลายประการ ซึ่งมีวิธีปฏิบัติในการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลการแพร่กระจายความถี่สะดวกที่สุดและง่ายที่สุด เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยเขาให้ข้อสังเกตว่าวิธีการของเขาข้อสำคัญอยู่ที่ว่าการจัดอันตรภาคชั้นของข้อมูลให้เหมาะสมและข้อมูลที่จะใช้โดยวิธีของเขายิ่งมีจำนวนมากความถูกต้องยิ่งมีมากขึ้น

Tiews และคณะ (1970) ได้วิเคราะห์อายุของปลาทูแขกชนิด D. macrosoma โดยใช้ข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ความยาวเหยียดหางของปลาได้ Parameters ต่าง ๆ คือ L_∞ = 24.4 ซม และ K = 0.949 ต่อปี และปลาทูแขกชนิด D. russelli มีค่า L_∞ = 23.3 ซม และค่า K = 1.132 ต่อปี Rafail (1972a) ศึกษาในปลาทูแขก ชนิด D. punctatus ได้ค่า L_∞ = 32.3 ซม, K =0.318 ต่อปี และ t_o = - 0.56 เดือน

การวิจัยวิทยานิพนธ์ เรื่องนี้เป็นการศึกษาอายุและการเจริญเติบโตของปลาทูแขกโดยใช้ข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ของความยาวลำตัวปลา โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นตัวแทนของปลาแต่ละรุ่นในแต่ละเดือน แล้วนำผลไปหาแนวการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ยต่าง ๆ มาหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (K) และค่าความยาวสูงสุด (L_∞) จากนั้นใช้สมการของ Von Bertalanffy Growth Function(VBGF) เพื่อหาความยาวลำตัวปลาที่มีอายุต่างกันไปตามช่วงเวลาที่ต้องการได้

000909

<u>การแบ่งเขตแหล่งประมงอวนล้อมซั้งที่ทำการจับปลาทูแขก</u>

การประมงอวนล้อมซั้งได้ทำการทั่วอ่าวไทย ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งทำการประมงได้ทำการสอบถามอย่างละเอียด ในรูปของจำนวนชั่วโมงที่เรือวิ่งออกจากท่าถึงแหล่งประมงและจำนวนองศาของเข็มทิศที่เรือวิ่งออกไป พร้อมกับทำการเก็บข้อมูลความยาวลำตัวของปลาทูแขกตลอดจนปริมาณการจับและองค์ประกอบชนิดของสัตว์น้ำด้วย

เนื่องด้วยงานสอบสวนปลาผิวน้ำขนาดเล็ก งานปลาผิวน้ำ กองประมงทะเล ได้จัดแบ่งเขตการประมงในอ่าวไทยเป็น 6 เขต และได้ทำเครื่องหมายแสดงบริเวณแหล่งทำการประมงจากการสอบถามชาวประมงอวนล้อมซั้งดังกล่าว จะเห็นได้ว่าแหล่งทำการประมงกระจายไปทั่วบริเวณอ่าวไทย ตามรูปที่ 3 ดังนั้น ข้อมูลความยาวปลาทูแขกที่จะนำมาศึกษาอายุ และการเจริญเติบโตของปลาทูแขก จึงถูกแบ่งออกเป็น 6 เขต เช่นกัน

<u>การทดสอบข้อมูลความยาวปลาทูแขกจากแหล่งประมงที่แบ่งเขตไว้</u>

จากการแบ่งเขตแหล่งประมงอวนล้อมซั้งเป็น 6 เขตนั้น ข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ความยาวลำตัวของปลาทูแขกจึงถูกแบ่งออกเป็น 6 เขตการประมง ก่อนทำการศึกษาอายุ และการเจริญเติบโตของปลาทูแขกจากข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ความยาวลำตัวปลาจำเป็นต้องทดสอบว่าข้อมูลจากเขตการประมงทั้ง 6 เป็นข้อมูลจากประชากรปลาเดียวกันหรือไม่ ดังนั้น จึงนำข้อมูลความยาวของปลาทูแขกทั้ง 6 เขต ในปี พ.ศ. 2518-2520 มาทดสอบโดยวิธีทางสถิติ คือ Analysis of variance ดังผลตามตารางที่ 4, 5 และ 6

จากการพิสูจน์ความปรวนแปรของความยาวเฉลี่ยของปลาทูแขก จากเขตการประมงทั้ง 6 เขตในปี 2518-2520 โดยวิธี Analysis of variance นั้น ไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ treatment นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของทุก ๆ treament อยู่ในประชากรที่มีค่าเฉลี่ยร่วมกัน ผลสรุปจึงกล่าวได้ว่าข้อมูลความยาวลำตัวของปลาทูแขกจาก 6 เขตการประมงอนุมานได้ว่าเป็นข้อมูลที่มาจากประชากรเดียวกัน ดังนั้น จึงนำข้อมูลความยาวทั้ง 6 เขต ที่แบ่งไว้ตอนแรกมาประมวลรวมกันเป็นข้อมูลชุดเดียว ของแต่ละปี แล้วนำมาเขียนกราฟรูป Histogram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของจำนวนปลาทูแขกที่ทำการสุ่มตัวอย่างกับความยาวลำตัว (ดังรูปที่ 4, 5 และ 6)

การหาค่าเฉลี่ยของโค้งความถี่จากข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ความยาวของปลาทูแขก

ข้อมูลความถี่ความยาวของปลาทูแขกได้ถูกแบ่งช่วงอันตรภาคชั้นเท่ากับ 0.5 ซม ตามกระดาษปรู๊ฟความยาวลำตัวปลาตั้งแต่ตอนแรก และรวมความถี่ของแต่ละอันตรภาคชั้นของขนาดความยาวลำตัวปลาจากการสุ่มตัวอย่างทั้ง 6 เซต เข้าด้วยกันเป็นรายเดือน แล้วหาค่าเฉลี่ยของโค้งความถี่จากข้อมูลการแพร่กระจายความถี่ความยาวลำตัวปลาของปลาทูแขก ตามวิธีการของ Bhattacharya อันมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปลี่ยนค่าความถี่ของแต่ละอันตรภาคชั้นเป็นค่า log ฐาน 10

2. นำค่า log ฐาน 10 ของค่าความถี่ในอันตรภาคแรก และในทำนองเดียวกันนำค่า log ฐาน 10 ของค่าความถี่ในอันตรภาคชั้นที่ 3 ไปลบออกจากค่า log ฐาน 10 ของค่าความถี่ในอันตรภาคชั้นที่ 3 ไปลบออกจากค่า log ฐาน 10 ของค่าความถี่ในอันตรภาคชั้นที่ 2 เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป จนถึงอันตรภาคชั้นสุดท้าย (ดังตารางที่ 7)

3. นำค่าผลต่างที่ได้ไป plot กับจุดกลาง (mid point)ของทุกอันตรภาคชั้น บนกระดาษกราฟธรรมดา

4. แล้วหาจุด plot อย่างน้อย 3 จุด ที่มีแนวโน้มที่จะสามารถขีดเส้นตรงลากผ่านได้ โดยให้เส้นตรงนั้นมีค่า slope เป็นลบ (ดังรูปที่ 7)

5. จุดที่เส้นตรงลากผ่านจุด 3 จุดตัดแกน x เป็นจุดที่จะนำไปหาค่าเฉลี่ยของแต่ละโค้งความถี่ย่อยโดยมีวิธีหาตามสมการดังต่อไปนี้

$$u_i = \lambda_i + h/2 \qquad \text{.....} 1$$

โดยที่ u_i = ค่าเฉลี่ยของโค้งความถี่ย่อย

λ_i = จุดที่เส้นตรงลากต่อจุดสามจุดตัดแกน

h = ช่วงความยาวของอันตรภาคชั้น

การหาค่า Parameters ต่าง ๆ

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของโค้งความถี่ย่อยของแต่ละเดือนต่อ ๆ กัน แล้วนำค่าเฉลี่ยของเดือนต่าง ๆ ของปลาแต่ละรุ่นมาคำนวณหาค่า Parameters โดยสมการ Regression analysis และวิธีของ Ford (1933) และ Walford (1946)

โดยที่ $K = - \ln b$ 2

$L_\infty = \frac{a}{1 - b}$ 3

โดย K = ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต

L_∞ = ความยาวสูงสุด

a = ค่า Y - intercept

b = ค่า slope

แล้วนำค่า K และ L_∞ ของทั้ง 3 ปีมาหาค่า $\bar{K}$ และ $\bar{L}_\infty$ ดังผลตามตารางที่ 8

การหาค่า t_o

การศึกษาความยาวลำตัวปลาในช่วงอายุต่าง ๆ ของปลาทูแขก ใช้สมการการเจริญเติบโตของ Bertalanffy ดังสมการข้างล่างนี้

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_o)}) \quad \text{..... 4}$$

โดยที่ L_t = ความยาวลำตัวปลา

L_∞ = ความยาวสูงสุดของปลา

t = อายุของปลา

t_o = ค่าสมมุติของอายุของปลาที่มีความยาวเท่ากับศูนย์

ดูตามสมการการเจริญเติบโตของ Bertalanffy นั้น ค่า Parameter ที่ยังขาดอยู่คือ ค่า t_o การหาค่า t_o นี้พอที่จะหาได้จากการเปลี่ยนสมการ 4 ดังนี้

จากสมการ 4, $L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_o)})$

ดังนั้น $L_t = L_\infty - L_\infty \cdot e^{-k(t-t_o)}$

$$e^{-k(t-t_o)} = \frac{L_\infty - l_t}{L_\infty}$$

$$-k(t-t_o) = \ln \frac{(L_\infty - L_t)}{(L_\infty)}$$

$$t - t_o = -\frac{1}{k} \ln \frac{(L_\infty - L_t)}{(L_\infty)}$$

$$\therefore \text{จะได้ } t_o = t + \frac{1}{k} \ln \frac{(L_\infty - L_t)}{(L_\infty)} \quad \ldots\ldots\ldots 5$$

จากรายงานของ Dhebtaranon (1972) ได้ทำการผสมเทียมปลาทูแขก Decapterus maruadsi ที่พบอยู่ในอ่าวไทยเป็นผลสำเร็จและได้ทำการวัดขนาดความยาวปลาทูแขกหลังจากฟักออกจากไข่ใหม่เป็นจำนวนประมาณ 32 ตัว ซึ่งความยาวปลาทูแขกหลังจากฟักออกเป็นใหม่ ๆ ค่าเท่ากับ L_o ซึ่งค่า L_o นี้มีจำนวนทั้งหมด 22 ค่า โดยมีความยาวตั้งแต่ 1.232 ถึง 1.390 มม นำค่า L_o เหล่านี้มาคำนวณหาค่า t_o ได้ในสมการที่ 5 โดยที่ L_t ที่ t= 0 เท่า L_o นั่นเอง ดังนั้นสมการที่ 5 ถูกเปลี่ยนเป็นดังนี้

$$t_o = 0 + \frac{1}{k} \ln \frac{(L_\infty - L_o)}{(L_\infty)} \quad \ldots\ldots\ldots 6$$

แล้วนำค่า L_o ทุกค่า, $\bar{L}_\infty$ และค่า $\bar{K}$ มาแทนค่าในสมการที่ 6 ก็จะได้ค่า t_o ออกมาทั้งหมด 22 ค่าเช่นกัน แล้วนำค่า t_o ทั้งหมดมาหาค่า t_o เฉลี่ยซึ่งปรากฏผลว่า t_o มีค่าเท่ากับ - 0.08 เดือนหรือเท่ากับ - 2.4 วัน

<u>ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวลำตัวกับอายุของปลาทูแขก</u>

ในการศึกษาหาอายุของปลาทูแขกโดยใช้วิธีการของ Bertalanffy ตามสมการที่ 4 ดังกล่าวแล้ว คือ

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_o)})$$

จากค่า Parameters ที่ได้จากการคำนวณตามตารางที่ 8 นำไปแทนค่าในสมการที่ 6 โดยเปลี่ยนค่า t (เดือน) เริ่มตั้งแต่ 1 เดือน เป็นต้นไป จนได้ค่า L_t มีค่าเกือบเท่ากับ L_∞ ก็จะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับความยาวลำตัวของปลาทูแขก (Age-Length Key) ดังตารางที่ 9

<u>ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอายุของปลาทูแขก</u>

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวลำตัวกับน้ำหนักตัวของปลาทูแขกได้ทำการสุ่มวัดขนาดความยาวลำตัวและชั่งน้ำหนักตัวของปลาทูแขกในอ่าวไทย เป็นจำนวน 200 ตัว แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวลำตัวและน้ำหนักตัวดังนี้

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนัก คือ

สมการ $W = c\ L^{n}$ 7

โดยที่ W = น้ำหนัก, L = ความยาว และ c,n เป็นตัวคงที่และอาจเปลี่ยนสมการที่ 7 อยู่ในรูปของลอกการิธึม ดังนี้คือ

$$\log W = \log c + n \log L \quad \text{..... 8}$$

จากสมการที่ 8 ค่าของตัวคงที่ c และ n โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square method)

โดยที่ $\log W = \bar{Y}$

$\log L = \bar{x}$

$\log c = \hat{a}$

และ $n = \hat{b}$

เมื่อแทนค่าดังกล่าวในสมการที่ 8 จะได้สมการเส้นตรง ดังนี้คือ

$$\bar{Y} = \hat{a} + \hat{b}\bar{x} \quad \text{..... 9}$$

โดยที่ $\hat{b} = \dfrac{\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y/N}{\Sigma x^2 - (\Sigma x^2)/N}$

และ $\hat{a} = \bar{Y} - \hat{b}\bar{x}$

ค่าของ $\hat{a},\hat{b}$ ที่หาได้นั้น นำมาแทนค่าหา log c และ n แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ 8 ดังกล่าว

จากผลการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

$$\log W = 0.00005 + \log L^{2.811} \quad \text{..... 10}$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) = 0.9558

และ W เป็นน้ำหนักตัวมีหน่วยเป็นกรัม

L เป็นความยาวลำตัวมีหน่วยเป็น ซม

ทำการคำนวณหา W_∞ จากการแทนค่า L_∞ ในสมการที่ 10 นี้ ซึ่งได้ค่า W_∞ = 235.96 กรัม

ดังนั้นจากสมการการเจริญเติบโตของ Bertalanffy คือ

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_o)}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 11$$

จากสมการที่ 11 นี้ สามารถเปลี่ยนไปทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอายุได้ ดังนี้คือ

$$W_t = W_\infty(1 - e^{-k(t-t_o)^n}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 12$$

จากการวิเคราะห์ผลได้จากสมการที่ 10 ดังนั้นในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอายุสามารถทำการศึกษาได้จากการเปลี่ยนสมการที่ 11 เป็นสมการที่ 12 โดยที่ค่ากำลัง n ของ L = 2.811 ดังกล่าว ดังนั้นสมการที่จะนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก กับอายุ คือ

$$W_t = 235.96(1 - e^{-0.0714\,(t-(-.08))^{2.811}}) \quad \ldots\ldots\ldots 13$$

จากสมการข้างบนสามารถนำไปคำนวณหาความสัมพันธ์น้ำหนักกับอายุ (Age-Weight Key) ได้ผลดังตารางที่ 8