บทที่ ๔

การตีความ และ สรุปผล

๔.๑ การทดสอบแบบจำลอง (Model testing)

การศึกษาปัญหาความหนาแน่นของอากาศยาน ณ ท่าอากาศยานกรุงเทพ ฯ สิ่งสำคัญคือ ต้องการทราบ P_0 ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นที่ไม่มีเครื่องบินเข้ามารอรับการบริการเลย นั่นคือ สถานีบริการว่าง (idle time)และถ้าหากมีเครื่องเข้ามาจะได้รับการบริการทันทีตามข้อมูลที่เก็บรวมรวมไว้ได้ในแต่ละวัน จากวันจันทร์ถึงวันจันทร์ ตามตารางที่ ๒ จะแสดงให้เห็นว่ามีช่วงที่มี บ.มาคับคั่ง (busy period) และช่วงตอนดึกที่ว่าง(idle time) ถ้านำค่าจากตารางที่รวบรวมได้มาทดสอบกับแบบจำลองของ P_n ของระบบการเข้าแถวคอย ๑ สถานีบริการ(1 run way)โดยวิธี Chi-square คือการเปรียบเทียบข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในแต่ละช่วงเวลา (๑ นาที) กับค่าที่หามาได้ตามทฤษฎีในระดับความเชื่อมั่น ๐.๐๕ และถ้าหากผลการทดสอบใช้ได้ กับ ๑ สถานีบริการ ก็สามารถประยุกต์ใช้กับหลาย ๆ สถานีบริการได้ การทดสอบจะแสดงไว้ตามตารางที่ ๑๐

๔.๒ การพิจารณาและวิเคราะห์จำนวนสถานีบริการ ที่ท่าอากาศยานเพื่อ

ให้สมดุลย์กับค่าใช้จ่าย เพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดควรจะเพิ่มทางวิ่ง(run way) ก็ทางการพิจารณาจึงต้องพิจารณาทั้งเวลาที่สถานีบริการว่างมาก(idle period) กับเวลาที่คับคั่ง (busy period) Hillier[๑] ได้ให้สมมุติฐานทั่ว ๆ ไป ว่าค่าเฉลี่ยของหน่วยที่เข้ามากับค่าเฉลี่ยของการบริการมีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับภาวะของคิว

---

๑ Frederick S. Hillier and Gerald J. Lieberman, Introduction to operations Research, (San Francisco : Holden - Day Inc.1967) p.322

ตารางที่ ๑๐

แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเครื่องบินที่รวบรวมได้ (observed)
กับจำนวนเครื่องบินที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (model)

จำนวน n	จำนวนช่วง ๑ นาที ที่มี n (O_i)	ค่าความน่าจะเป็น (P_n) จากmodel $\lambda=4.7$ $\mu=\frac{60}{4.4}$	จำนวนช่วง ๑ นาที ที่มี n จากทฤษฎี (x_i)	$\frac{(O_i-x_i)^2}{x_i}$
๐	๖๘	๐.๖๕๕๔	๖๓	๐.๓๔๗
๑	๑๔	๐.๒๒๕๘	๒๑.๔	๐.๓๘๔
๒	๕	๐.๐๗๗๘	๗.๕	๐.๘๓๓
๓	๓	๐.๐๒๒๘	๒.๒	๐.๐๖๑
๔	๑	๐.๐๐๔๒	๐.๔	๐.๐๑๑
๕	๑	๐.๐๐๓๑	๐.๓	๑.๒๓๓
รวม	๔๗	๑.๐๐๐๐	๔๖.๒	๓.๓๑๔

$$\chi^2_{test} = 3.319$$

$$\chi^2_{(0.05)} = 9.480$$

ผลของการทดสอบกับแบบจำลอง (model) จะสนับสนุนค่าตัวเลขในช่วงแรก และช่วงที่ ๒ ของตารางนี้ เป็นค่าตัวเลขชุดใหม่ที่ได้จากการ observed ในเวลา ๑๐๐๐ - ๑๑๐๐ ใน รอบ ๗ วัน ซึ่งในช่วงเวลานี้จะมีปริมาณของเครื่องบินเข้ามามากที่สุดในแต่ละวัน

๔.๒.๑ ค่าใช้จ่ายของหอบังคับการบินจะขึ้นอยู่กับเงินเดือนของเจ้าหน้าที่ ซึ่งปกติแล้วมี ชุดละ ๖ คน ในรอบ ๒๔ ช.ม. ใช้ ๓ ชุด (อัตราเงินเดือนจ่าอากาศ) คิดเป็นเงินเดือน

ของเจ้าหน้าที่หอประมาณเดือนละ ๑๘,๐๐๐ บาท หรือประมาณ ๒๕ บาท ต่อ ช.ม. ค่าใช้จ่ายอีกส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับเครื่องช่วยในการเดินอากาศ(navigation aid) เช่น วิทยุติดต่อต่าง ๆ, เรดาร์, ไฟส่องสนามบิน ซึ่งจะสิ้นค่าใช้จ่ายประมาณเดือนละ ๖๐๐,๐๐๐ บาท หรือประมาณ ช.ม.ละ ๘๓๓ บาท เมื่อคิดค่าใช้จ่ายของสถานีบริการทั้งหมดจะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ ช.ม.ละ ๘๕๘ บาท

๔.๒.๒ ค่าใช้จ่ายของการรอคอยของเครื่องบินพาณิชย์ ขณะที่บินเพื่อจะลงสนาม ค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับเครื่องบินแต่ละแบบ แต่ส่วนใหญ่สายการบินมักจะใช้ บ.แบบโบอิ้ง ๗๐๗ ซึ่งจะเสียค่าน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ ช.ม.ละ ๑๓,๕๐๐ บาท/เครื่อง

๔.๒.๓ การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของ บ.ที่คอยกับค่าใช้จ่ายของสถานีบริการ เมื่อ λ มีค่ามากขึ้น

ให้ C_w = ค่าใช้จ่ายของ ๑ หน่วยที่คอย

C_s = ค่าใช้จ่ายของ ๑ สถานีบริการ

W_q = เวลาเฉลี่ยที่ หน่วยคอยในระบบ

$$= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$$

$$T\ I\ C = W_q * C_w$$

$$T\ E\ C =$$ ยอดรวมของค่าใช้จ่ายของ บ. ที่คอยการเปรียบจะแสดงไว้ตามตารางที่ ๑๑

ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของ บ.กับสถานีบริการ เมื่อ λ มีค่าเพิ่มขึ้น การบริการ (μ) มีค่าคงที่

จากตารางที่ ๑๑ จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายของ บ.ที่ต้องคอย จะเริ่มมีค่ามากกว่าการตั้งสถานีบริการใหม่ เมื่อ λ = ๗.๐ แต่ในปัจจุบันค่าของ λ ที่คำนวณได้มีค่า λ =๔.๗ แสดงว่าค่าใช้จ่ายของ บ.ที่ต้องคอยยังมีค่าต่ำอยู่ และไม่คุ้มที่จะเปิดสถานีบริการเพิ่มขึ้นอีก (การลงทุนสร้างทางวิ่งจะใช้เงินจำนวนมาก) แต่ถ้า มีค่ามากขึ้น เป็น ๘, ๙, ๑๐ คือหมายความว่ามี บ.มาขอใช้บริการมากขึ้น ค่าใช้จ่ายของ บ.ที่ต้องคอยจะสูงขึ้นเป็น

ตารางที่ ๑๑ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของ บ.ที่คอย กับสถานีบริการ

λ = เครื่อง/ช.ม. (μ = 13.6)	$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$	ค่าใช้จ่ายที่ บ.ต้องการ $W_q * C_w$		ค่าใช้จ่ายของสถานีบริการ ๑ ช.ม. (C_s)	
๒.๕	๐.๐๑	๑๓๕.๐๐	<	๘๕๘	
๓.๕	๐.๐๒	๒๗๐.๐๐	<	๘๕๘	
๔.๕	๐.๐๓	๔๐๕.๐๐	<	๘๕๘	
๕.๐	๐.๐๔	๕๔๐.๐๐	<	๘๕๘	
๖.๐	๐.๐๕	๖๗๕.๐๐	<	๘๕๘	
๗.๐	๐.๐๗	๙๔๕.๐๐	>	๘๕๘	**
๘.๐	๐.๑๐	๑๓๕๐.๐๐	>	๘๕๘	
๙.๐	๐.๑๔	๑๘๙๐.๐๐	>	๘๕๘	
๑๐.๐	๐.๒๐	๒๗๐๐.๐๐	>	๘๕๘	

๓ เท่าของสถานีบริการ (λ =๑๐) ต่อ ช.ม. เมื่อถึงระยะนี้ก็ควรจะเปิดสถานีบริการเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าในระยะ ๑๐ ปีข้างหน้า λ จะมีค่าเพิ่มขึ้นถึง ๑๐ เพราะในปัจจุบันเที่ยวบินของแต่ละสายการบินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกที และเมื่อถึงเวลานั้นการจราจรทางอากาศอาจหนาแน่นเช่นเดียวกับท่าอากาศยานสากลใหญ่ ๆ ของโลก

๔.๓ <u>เหตุผลที่สนับสนุนว่าในปัจจุบันท่าอากาศยานกรุงเทพ ฯ ยังพอที่จะให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ</u>

๔.๓.๑ ความน่าจะเป็นของช่วงที่ว่างมีค่าสูง คือ ความน่าจะเป็นที่ไม่มีเครื่องเข้ามาเข้าแถวคอย (P_o) คำนวณได้จากแบบจำลอง (model)

$$P_o = 1 - M = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

$$= 1 - \frac{4.7}{13.6}$$

$$= 0.65$$

๔.๓.๒ จำนวนเฉลี่ยของเครื่องบินในแถวคอยมีค่าต่ำ จากสมการ (2.8.1)

$$E(n) = L$$

= จำนวนเฉลี่ยในแถวคอย

$$= \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$= \frac{4.7}{13.6-4.7} \simeq 0.52$$

๔.๔ <u>การพิจารณาติดตั้งระบบเครื่องช่วยในการลงสนาม</u>โดยอัตโนมัติ (Automatic landing System) กับทางวิ่งสายเดียว (1 run way) เพื่อให้อัตราบริการเร็วขึ้นเป็น ๒ เท่า หรือควรจะสร้างทางวิ่ง(run way) ๒ ทางขนานกัน ถ้านโยบายคือ

๔.๔.๑ ลดจำนวน บ.คอย หอน่าลงน้อยที่สุด (average queue length = L_q)

๔.๔.๒ ลดจำนวน บ.คอยบนอากาศในเขตควบคุม (average number of units in system = L) ตามข้อเสนอ 1) ใช้ ๒ สนาม

$\therefore$ K = 2 แต่ละสนามนำ บ.ลงได้ อัตรา μ เครื่อง/ช.ม. จากสมการ(2.8.5)

$$\frac{d}{dt} P_o = \mu P_1 - \lambda P_o$$

$$\frac{d}{dt} P_1 = 2\mu P_2 + \lambda P_o - (\mu + \lambda) P_1$$

$$\frac{d}{dt}P_2 = 2\mu P_3 + \lambda P_1 - (2\mu+\lambda)P_2$$

$$M = \frac{\lambda}{2\mu}$$

ถ้าระบบเสถียรภาพ คือ $\frac{d}{dt}P_o = 0, \frac{d}{dt}P_1 = 0, \frac{d}{dt}P_2 = 0, \ldots$

จะได้ $P_1 = 2MP_o$

$P_2 = 2M^2P_o$

$P_3 = 2M^3P_o$

$\therefore P_n = 2M^nP_o$

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = \sum_{n=0}^{\infty} 2M^nP_o = 1$$

$$= \left[1 + 2M + 2\sum_{n=2}^{\infty} M^n\right]P_o = 1$$

$\because P_o(0) \longrightarrow 1$ คือ ความน่าจะเป็นที่ไม่มีเครื่อง บ.เข้ามาในช่วงเวลา 0

$$\therefore (1 + 2M + 2\sum_{n=2}^{\infty} M^n)P_o = 1$$

แต่ $$2\sum_{n=2}^{\infty} M^n = 2\left[\sum_{n=0}^{\infty} M^n - \sum_{n=0}^{1} M^n\right]$$

$$= 2\left[(1 + M + M^2 + \ldots.) - (1 + M)\right]$$

$$= 2\left[\frac{1}{1-M} - (1 + M)\right]$$

$$= \frac{2M^2}{1-M}$$

$$\therefore (1 + 2M + 2\sum_{n=2}^{\infty} M^n)P_o = (1 + 2M + \frac{2M^2}{1-M})P_o$$

$$= 1$$

$$\therefore \quad P_o = \frac{1}{1 + 2M + \frac{2M^2}{1-M}}$$

$$= \frac{1-M}{1+M}$$

แต่ $$P_n = 2\,M^n\,P_o$$

$$= 2\,M^n\,\frac{(1-M)}{1+M}$$

$$\because \quad L_1 = E\,(n)$$

= จำนวน ย. ในอากาศ ตามข้อเสนอ ๑

(average number of units in system)

$$= \sum_{n=0}^{\infty} n\,P_n$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot 2\,M^n\,P_o$$

$$= 0 + 2\,M\,P_o + \sum_{n=2}^{\infty} n\,2\,M^n\,P_o$$

$$= 2\,P_o\,(M + \sum_{n=2}^{\infty} n\,M^n)$$

$$= 2\,P_o\,(\sum_{n=0}^{\infty} n\,M^n)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} n\,M^n = M \sum_{n=0}^{\infty} \frac{d}{dM}\,(M^n)$$

$$= M\,\frac{d}{dM} \sum_{n=0}^{\infty} M^n$$

$$= M\,\frac{d}{dM}\,(\frac{1}{1-M})$$

$$= \frac{M}{(1-M)^2}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\therefore \quad L_1 = 2P_o \cdot \frac{M}{(1-M)^2}$$

$$= 2\frac{(1-M)}{(1+M)} \cdot \frac{M}{(1-M)^2}$$

$$= \frac{2M}{1-M^2}$$

ให้ L_{q_1} = จำนวน บ.คอยก่อน นำลง (average quoue length)

$\therefore$ จำนวน บ.ในอากาศตามข้อเสนอที่ ๑ รวมทั้งที่กำลังนำลงนสนามด้วย

$$= L_{q_1} + K\,M$$

$$L_1 = L_{q_1} + 2\,M$$

$$L_{q_1} = L_1 - 2\,M$$

$$= \frac{2M}{1-M^2} - 2\,M$$

$$= \frac{2M^2}{1-M^2}$$

ตามข้อเสนอที่ ๒ เพิ่มอัตรานำ บ.ลง ๒ เท่า นั่นคือ

$$\mu \longrightarrow 2\mu \quad (\because \; M = \frac{\lambda}{2\mu})$$

จากสมการในเรื่อง ๑ สถานีบริการ (๒.๔.๑,๒.๔.๒)

ให้ L_2 = จำนวน บ. ในอากาศตามข้อเสนอที่ ๒

$$= \frac{M}{1-M}$$

และ L_{q_2} = จำนวน บ.คอยก่อน นำลง (averagth queue length) ตามข้อเสนอที่ ๒

$$L_{q_2} = \frac{M^2}{1-M}$$

โดยการเปรียบเทียบ

๔.๔.๑.๑ จำนวน บ.ที่คอยให้หอนำลง (average queue length)

$$L_{q_2} - L_{q_1} = \frac{M^2}{1-M} - \frac{2M^3}{1-M^2}$$

$$= \frac{M^2 - M^3}{1-M^2} = \frac{M^2(1-M)}{(1-M)(1+M)}$$

$$= \frac{M^2}{1+M} > 0$$

$\therefore L_{q_2} > L_{q_1}$ นั่นคือ เครื่องบินที่คอยให้หอนำลง ตามข้อเสนอ ๒ มากกว่าข้อเสนอที่ ๑

๔.๔.๑.๒ จำนวน บ.ในอากาศรอบ ๆ หอบังคับการบิน คือ จำนวน บ.ทั้งหมดในระบบ (average number of units in system)

$$L_2 - L_1 = \frac{M}{1-M} - \frac{2M}{1-M^2}$$

$$= \frac{M+M^2-2M}{(1-M)(1+M)} = \frac{-M(1-M)}{(1-M)(1+M)}$$

$$= -\frac{M}{1+M} < 0$$

$\therefore L_2 < L_1$ นั่นคือ จำนวน บ.ในอากาศรอบ ๆ หอบังคับการบินในข้อเสนอที่ ๒ น้อยกว่าข้อเสนอที่ ๑

ถ้านโยบาย คือ

ลดจำนวน บ.คอยให้หอนำลงน้อยที่สุด ใช้ข้อเสนอที่ ๑

ลดจำนวน บ.คอยบนอากาศในเขตควบคุม ใช้ข้อเสนอที่ ๒

๔.๕ สรุปผล และข้อเสนอแนะเพื่อการค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติม

จากการศึกษาความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศ ณ ท่าอากาศยานกรุงเทพ ฯ สรุปได้

๑. จำนวนเครื่องบินที่มาขอใช้บริการของท่าอากาศยาน มีดิสทริบิวชั่น(distribution) เป็น ปัวซองโปรเสส(Poisson process) มีอัตราเฉลี่ยเข้ามาประมาณ ๔.๗ เครื่อง/ช.ม.

๒. การบริการของหอบังคับการบินในการนำเครื่องบินลงสนาม(service time) ใช้เวลาประมาณ ๔.๔ นาที/เครื่อง และมีดิสทริบิวชั่นเป็น เอ็กโพเนียนเชี่ยล(exponential)

๓. การทดสอบกับแบบจำลอง (model) ทั้งสองด้านใช้ได้กับทางทฤษฎี

๔. ปัจจุบันท่าอากาศยานกรุงเทพยังพอให้บริการแก่สายการบินต่าง ๆ เพียงพอ แต่ในอีก ๕ – ๑๐ ปีข้างหน้าจำเป็นต้องเพิ่มทางวิ่ง (run way) ขนานขึ้นอีก อย่างน้อย ๑ ทาง

๕. การพิจารณาติดตั้งเครื่องช่วยในการลงสนาม(Automatic landing system) เพื่อเพิ่มอัตราบริการให้เร็วขึ้น หรือจะสร้างทางวิ่งเพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับนโยบายว่าต้องการจะลดแถวคอยของ บ. หรือจำนวน บ.ในอากาศรอบ ๆ หอ

๖. ท่าอากาศยานกรุงเทพฯ ขณะนี้มีรูปร่างดับแคบไม่เหมาะแก่การขยาย การบริการเพื่ออำนวยความสะดวก (facility) แก่ผู้โดยสาร และสายการบินในด้านอื่น ๆ ยังไม่ดีพอ เช่น เวลาที่ใช้ตรวจกระเป๋าผู้โดยสาร ใช้เวลามากเกินไป ลานจอดของเครื่องบินขนาดใหญ่มีไม่พอ ทำให้สายการบินเปลี่ยนเที่ยวบิน และเส้นทางบินไปบ้าง ยิ่งกว่านั้นยังเป็นสนามบินที่ใช้ร่วมกับกิจการทหาร ทางทหารก็คือความสำคัญของการขึ้น–ลงของ บ.ทหาร มีความสำคัญเป็นอันดับแรก บางครั้งเครื่องบินของสายการบินอื่น ๆ ต้องรอทำให้สายการบินไม่ได้รับความสะดวกเท่าที่ควร จึงเป็นเหตุการหนึ่งที่ทำให้ปริมาณความหนาแน่นของเครื่องบินไม่สูงนัก ถ้าหากรัฐได้ปรับปรุงในด้านความสะดวกดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น คาดว่าปริมาณความหนาแน่นของ บ. จะคับคั่งเพิ่มขึ้น จนสภาพปัจจุบันของท่าอากาศยานกรุงเทพ ฯ ไม่สามารถจะบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อความเหมาะสมในการวางแผนขยายงานสนามบินในอนาคต ผู้ที่จะศึกษาค้นคว้าต่อในเรื่องนี้จึงควรเก็บข้อมูลเพื่อจำลองผล (simulation) โดยใช้เครื่องคำนวณ (Computer) ช่วยพยากรณ์เหตุการณ์ข้างหน้าด้วย.

๗. เนื่องจากการเก็บข้อมูลของ บ. กระทำตั้งแต่ปี ๒๕๑๔ และการเก็บข้อมูลคิดเป็นแต่ละช่วง ๆ ละ ๑ ช.ม. ในรอบ ๑ วัน จึงไม่ทราบดิสทริบิวชั่นของเครื่องบินที่คอย ผู้ที่ประสงค์จะศึกษาเรื่องนี้ให้กว้างออกไป จึงควรเก็บข้อมูลใหม่เพื่อศึกษาลักษณะของดิสทริบิวชั่นของเครื่องบินที่คอย ว่าจะมีลักษณะเป็นแบบใด.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย