บทที่ 2

น้ำหนักบรรทุก (Loads)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารนั้นอาจแยกประเภทได้หลายประเภท ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักบรรทุกอันสืบเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกซึ่งกระทำในแนวโน้มถ่วงของโลก ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกของวัตถุ น้ำหนักบรรทุกจากการใช้สอยและสิ่งของต่างๆ น้ำหนักบรรทุกจากหิมะ น้ำหนักบรรทุกจากฝน ซึ่งน้ำหนักบรรทุกประเภทนี้จะมีทั้งที่อยู่กับที่ซึ่งเรียกว่า น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งเรียกว่า น้ำหนักบรรทุกจร อีกประเภทหนึ่งเป็นน้ำหนักที่มิได้กระทำในแนวโน้มถ่วงของโลก อาจจะอยู่ในแนวที่ขนานกับผิวโลก เช่น แรงอันเกิดจากแผ่นดินไหว หรือแรงที่เกิดในแนวตั้งฉากกับผิวที่กระทำ เช่น แรงดันน้ำ หรือแรงลม เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกพื้นฐานที่จะพิจารณาเพื่อการออกแบบอาคารในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารประเภทคอนกรีตเสริมเหล็กเท่านั้น

2.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่

น้ำหนักบรรทุกคงที่ เป็นน้ำหนักบรรทุกจากส่วนประกอบของอาคาร เช่น คาน เสา พื้น กำแพง บันได ฯลฯ รวมไปถึงน้ำหนักของเครื่องมือเครื่องใช้ที่ถูกติดตั้งไว้อย่างถาวร น้ำหนักบรรทุกประเภทนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการใช้งาน หรือ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างแต่ก็น้อยมากในช่วงอายุการใช้งานของอาคาร ซึ่งอาจถือได้ว่า น้ำหนักบรรทุกคงที่ประเภทนี้ไม่ขึ้นกับเวลาเลย แต่น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริงๆ ในอาคารนั้น อาจแตกต่างไปจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ใช้คำนวณออกแบบไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่คงที่ของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง เช่น ความหนาแน่นของคอนกรีต หรือ ความหนาแน่นของเหล็กเสริมที่ไม่เท่ากัน หรืออาจเนื่องจากฝีมือการก่อสร้างที่ทำให้ขนาดเปลี่ยนแปลงไปก็มีส่วนทำให้เกิดความแตกต่างของน้ำหนักบรรทุกคงที่ได้ เช่น พื้นคอนกรีตที่หนาไม่เท่ากัน หรือคานที่มีขนาดกว้างและลึกไม่ตรงตามแบบ เป็นต้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 น้ำหนักบรรทุกจร

น้ำหนักบรรทุกจร เป็นน้ำหนักบรรทุกจากวัตถุสิ่งของต่างๆที่นอกเหนือไปจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ รวมไปจนถึงน้ำหนักของผู้คนที่ปฏิบัติงานและสัญจรไปมาในพื้นที่ใช้สอยเหล่านั้น น้ำหนักบรรทุกประเภทนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้ จึงเป็นผลทำให้น้ำหนักที่กระทำต่อพื้นที่หนึ่งๆ เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาและตามลักษณะของการใช้งานของอาคาร น้ำหนักบรรทุกจรนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.2.1 น้ำหนักบรรทุกจรถาวร (Sustained live load) คือ น้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ โต๊ะ เก้าอี้ ตู้เซฟ และเครื่องใช้ไม้สอยต่างๆ รวมไปถึงน้ำหนักของผู้คนที่ปฏิบัติงานในสภาวะปกติ หรือตามสภาวะการใช้งานของอาคารนั้นๆ น้ำหนักบรรทุกประเภทนี้จะกระทำต่ออาคารอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา และมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ การเปลี่ยนแปลงอันเป็นผลทำให้น้ำหนักบรรทุกประเภทนี้มีค่าเปลี่ยนไปอย่างมากจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการจัดห้องมีการเคลื่อนย้ายเฟอร์นิเจอร์และเครื่องใช้ใหม่ หรือเมื่อเปลี่ยนผู้ครอบครองใหม่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุกประเภทนี้กับเวลา แสดงในรูปที่ 2.1 ก จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยมาก

2.2.2 น้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะ (Transient or extraordinary live load) คือ น้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นในสภาวะผิดปกติ เช่น การรวมกันของกลุ่มคนจำนวนมากๆ หรือเมื่อมีการกองเฟอร์นิเจอร์และเครื่องมือเครื่องใช้รวมกันในที่เดียวชั่วขณะ น้ำหนักบรรทุกประเภทนี้จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ไม่ต่อเนื่อง แต่จะก่อให้เกิดน้ำหนักบรรทุกที่มีค่าค่อนข้างสูงกว่าสภาวะปกติมาก ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทกประเภทนี้กับเวลาจะเป็นดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2.1 ข แกนตั้งแสดงลักษณะของแรงเป็นขีดเพราะช่วงเวลาที่เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปลี่ยนเป็นระยะเวลาตามแกนนอน

ในการศึกษาเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำต่ออาคารจึงจำเป็นต้องทราบถึงน้ำหนักบรรทุกจรทั้ง 2 ส่วน โดยศึกษาจากข้อมูลจำนวนมากและต้องการช่วงเวลาในการศึกษาเป็นเวลายาวนานมาก จึงมีผู้พยายามที่จะสร้างแบบจำลองเพื่อใช้แทนน้ำหนักบรรทุกจรแต่ละส่วนขึ้นมา โดยอาศัยทฤษฎีของความน่าจะเป็นและกรรมวิธีเฟ้นสุ่ม (Stochastic process) เพื่อพยากรณ์รูปแบบปรากฏการณ์ตามตัวแปรต่างๆ ทางสถิติ โดยเลียนแบบพฤติกรรมการเกิดเหตุการณ์ที่ใกล้เคียง

สภาพจริงมากที่สุด

2.3 แบบจำลองน้ำหนักบรรทุกจรถาวร

แบบจำลองความน่าจะเป็นไปได้เชิงเส้นของน้ำหนักบรรทุก[3] ที่ใช้แทนความหนาแน่นของน้ำหนักบรรทุก(Load intensity) ที่จุดหนึ่งในอาคาร ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง คือ

$$w_{ij}(x,y) = m + \gamma_{ij} + \epsilon_{ij}(x,y) \qquad (2.1)$$

$w_{ij}(x,y)$ = ความหนาแน่นของน้ำหนักบรรทุกบนพื้นที่เล็กๆ ΔA ณ ตำแหน่ง xy ในแนวระนาบของอาคารที่ i ชั้นที่ j

m = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจรทั้งหมดของกรณีที่พิจารณาขึ้นกับประเภทของอาคาร เช่น พิจารณาอาคารสำนักงาน

$\gamma_{ij} = \gamma_{bld(i)} + \gamma_{flr(j)}$ = ค่าเบี่ยงเบนเนื่องจากอาคารที่ต่างกันรวมกับค่าเบี่ยงเบนเนื่องจากอาคารเดียวกันแต่ต่างชั้น และเป็นตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ย = 0

$\epsilon_{ij}(x,y)$ = ค่าเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งคนละตำแหน่งบนชั้นเดียวกัน และเป็นตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ย = 0

จากสมการ (2.1) ละ i,j ออกได้ความหนาแน่นของน้ำหนักบรรทุกเขียนใหม่ได้เป็น

$$w(x,y) = m + \gamma_{bld} + \gamma_{flr} + \epsilon(x,y) \qquad (2.2)$$

ค่าความหนาแน่นของน้ำหนักบรรทุกนี้จะขึ้นอยู่กับ ค่าเฉลี่ย m และค่าเบี่ยงเบนของอาคาร γ_{bld} และค่าเบี่ยงเบนในแต่ละชั้น γ_{flr} ดังนั้นค่าความแปรปรวนรวมคือ

$$\sigma_t^2 = \sigma_{bld}^2 + \sigma_{flr}^2 + \sigma_{sp}^2 \qquad (2.3)$$

โดยที่ σ_t^2 = ค่าความแปรปรวนรวม

σ_{bld}^2 = ค่าความแปรปรวนของ γ_{bld}

σ_{flr}^2 = ค่าความแปรปรวนของ γ_{flr}

σ^2_{sp} = ค่าความแปรปรวนของ $\epsilon(x,y)$

ถ้าให้ L(A) เป็นน้ำหนักบรรทุกจรทั้งหมดบนพื้นที่สี่เหลี่ยม A ขนาด axb จะได้

$$L(A) = \int_0^a \int_0^b w(x,y)\, dxdy \qquad (2.4)$$

ค่าเฉลี่ยจะคำนวณได้จาก

$$E[L(A)] = \int_0^a \int_0^b m\, dxdy = mA \qquad (2.5)$$

และค่าความแปรปรวนจะหาได้คือ

$$Var[L(A)] = \int_0^a \int_0^a \int_0^b \int_0^b Cov\,[\, w(x_0,y_0), w(x_1,y_1)]\, dx_0 dx_1 dy_0 dy_1 \qquad (2.6)$$

หรือ

$$Var[L(A)] = (\sigma^2_{bld} + \sigma^2_{flr})A^2 + \sigma^2_{sp}\pi Ad \left[\text{erf}\left(\sqrt{A/d}\right) - \sqrt{d/(A\pi)}\left(1 - e^{-A/d}\right)\right]^2 \qquad (2.7)$$

โดยที่ A = พื้นที่ที่พิจารณา

d = ค่าคงที่ที่ต้องหาจากข้อมูล

erf(x) = ฟังก์ชันของความผิดพลาด(Error function)

$$= 1/(2\pi) \int_0^x e^{-y^2/2}\, dy$$

ดังนั้นถ้ากำหนดให้ น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่

$$U(A) = L(A)/A$$

จะหาค่าเฉลี่ยได้คือ

$$E[U(A)] = m \qquad (2.8a)$$

และค่าความแปรปรวนจะคำนวณได้จาก

$$\mathrm{Var}[U(A)] = \sigma^2_{bld} + \sigma^2_{flr} + \sigma^2_u K(A)/A \quad (2.8b)$$

โดยที่

$$\sigma^2_u = \pi d \sigma^2_{ap}$$

และ

$$K(A) = \left[\mathrm{erf}\left(\sqrt{A/d}\right) - \sqrt{d/(A\pi)}\left(1 - e^{-A/d}\right)\right]^2$$

อย่างไรก็ดีสมการที่ (2.8) ค่อนข้างเข้าใจได้ยาก จึงมีผู้พยายามทำแบบจำลองที่ง่ายขึ้น [4] ทั้งนี้ก็เพื่อจะได้ใช้เป็นพื้นฐานในการเข้าใจถึงน้ำหนักบรรทุกจร และเพื่อความสะดวกในการศึกษาต่อในอนาคต แบบจำลองใหม่จะมีความหนาแน่นของน้ำหนักบรรทุกจรคือ

$$w(x,y) = Y + \epsilon(x,y) \quad (2.9)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรสุ่มแทนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกต่อพื้นที่

$\epsilon(x,y)$ = ความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

น้ำหนักบรรทุกรวมที่กระทำบนพื้นที่ A คือ การอินทิเกรต w บนพื้นที่ A และจะได้ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของน้ำหนักบรรทุกจรต่อพื้นที่ A คือ

$$E[U] = m \quad (2.10a)$$

และ

$$\mathrm{Var}[U] = \sigma^2 + 1/A \int\int_A \int\int \mathrm{Cov}\,[\epsilon(x,y), \epsilon(u,v)]\, dxdydudv \quad (2.10b)$$

ค่า m σ^2 และ $\mathrm{Cov}[\epsilon(x,y), \epsilon(u,v)]$ ต้องหาเพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูล และถ้าจะพิจารณาว่าความหนาแน่นของน้ำหนักบรรทุกจรนั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน (Statistically uncorrelated) จะได้

$$\mathrm{Var}[U] = \sigma^2 + \sigma^2_\epsilon/A \quad (2.10c)$$

โดยที่ ค่าของ σ_{ε}^2 คือค่าคงที่จากการทดลอง

พิจารณาเป็นน้ำหนักสมมูลย์แบบแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ (Equivalent uniformly distributed load,L) ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอและให้ผลของน้ำหนักบรรทุกที่เหมือนกับผลที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจริง จะได้

$$L = \frac{\int\int_A w(x,y)\, I(x,y)\, dxdy}{\int\int_A I(x,y)\, dxdy} \qquad (2.11)$$

ซึ่งมีค่าเฉลี่ย

$$E[L] = m \qquad (2.12a)$$

และค่าความแปรปรวน

$$Var[L] = \sigma^2 + \sigma_{\varepsilon}^2 K/A \qquad (2.12b)$$

โดยที่

$$K = \frac{\int\int_A I^2(x,y)\, dxdy}{\left[\int\int_A I(x,y)\, dxdy\right]^2}$$

$I(x,y)$ = ฟังก์ชันประสิทธิผล

ค่าของ K จะมีค่าแตกต่างกันไปตามผลของน้ำหนักบรรทุก คือ

K = 2.04 สำหรับโมเมนต์ที่ปลาย (End moments)

K = 2.20 สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสา (Column loads)

K = 2.76 สำหรับโมเมนต์กลางช่วง (Midspan moments)

แต่ Mcguire & Cornell [4] ได้ศึกษาและพบว่า การใช้ K = 2.20 จะเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากผลของน้ำหนักบรรทุกหลายๆ แบบ

ค่า L จากสมการที่(2.11) จะแทนน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่ช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ส่วนรูปแบบการกระจายของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มีค่ามากที่สุด (Maximum sustained load,L_s) ในช่วงอายุการใช้งานของอาคารสามารถหาได้โดยมีสมมติฐานว่า "การเปลี่ยนแปลงอย่างมากของน้ำหนักบรรทุกจรประเภทนี้ (Occupancy change) จะมีลักษณะการกระจายแบบปัวซอง"

และมีอัตราการเปลี่ยนแปลง, υ_L, ก็จะได้รูปแบบการกระจายสะสมของ L_e คือ

$$F_{L_e}(x) = \exp \{ -\upsilon_L T [1 - F_L(x)]\} \qquad (2.13)$$

โดยที่ T = อายุการใช้งานของอาคาร

υ_L = อัตราการเปลี่ยนแปลงของการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก

$F_L(x)$ = การกระจายสะสมของ L ซึ่งมีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนดังสมการที่ (2.12)

2.4 แบบจำลองน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะ

แบบจำลองสำหรับน้ำหนักบรรทุกจรประเภทนี้ได้ถูกเสนอโดย MacGuire & Cornell [5] ซึ่งจะมีพื้นฐานอยู่ที่การสมมติกลุ่มคนขึ้นในหน่วยย่อย (Unit cells) โดยที่จำนวนหน่วยย่อยจะขึ้นอยู่กับการใช้สอยของพื้นที่ จากนั้นก็จะหาน้ำหนักสมมูลย์แบบแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ที่ให้ผลของน้ำหนักบรรทุกเช่นเดียวกับน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน คือ

$$m_e = \lambda m_W m_R / A \qquad (2.14a)$$

$$\sigma_e^2 = \lambda K (m_R \sigma_W^2 + m_W^2 \sigma_R^2 + m_W^2 m_R^2) / A^2 \qquad (2.14b)$$

โดยที่ λ = ค่าเฉลี่ยของจำนวนหน่วยย่อยในพื้นที่(A, ตารางฟุต) $= \sqrt{(A - 155)/6.3}$

W = น้ำหนักของคน 1 คน โดยมี m, σ^2 เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน

R = จำนวนคนใน 1 หน่วยย่อย โดยมี m, σ^2 เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน

ส่วนรูปแบบการกระจายของน้ำหนักบรรทุกเพิ่มชั่วขณะที่มีค่ามากที่สุดในช่วงระยะเวลาการใช้งานของอาคาร ก็หาได้เช่นเดียวกับสมการที่(2.13) โดยมีสมมติฐานว่า "การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะมีลักษณะเป็นการกระจายแบบปัวซอง" และมีอัตราการเปลี่ยนแปลง, υ_e, จะได้

$$F_{L_e}(x) = \exp \{ -\upsilon_e T [1 - F_e(x)]\} \qquad (2.15)$$

โดยที่ T = อายุการใช้งานของอาคาร

$\upsilon_{\bullet}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของการน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะ

$F_{\bullet}(x)$ = การกระจายสะสมของน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะซึ่งมีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนดังสมการที่ (2.14)

2.5 ผลรวมมากสุดของน้ำหนักบรรทุกจร

ในการออกแบบนั้น ค่าเฉลี่ยของผลรวมที่มากที่สุดของน้ำหนักบรรทุกจรทั้งสองตลอดอายุการใช้งาน(Mean lifetime maximum total load,L_t) เป็นสิ่งสำคัญที่ควรจะต้องทราบ ค่าเฉลี่ยตัวนี้จะเหมือนกับค่าของน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบ ได้มีผู้ทำการทดลองและพบว่า ที่เปอร์เซนต์สูงๆ ของฟังก์ชันการกระจายสะสมของ L_t อาจจะประมาณได้จากผลรวมของเปอร์เซนต์สูงๆ ของฟังก์ชันการกระจายสะสมของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มีค่ามากที่สุด กับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่เกิดในช่วงของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มีค่ามากที่สุด

ต่อมาภายหลังได้มีผู้ศึกษา[6]ค่าของผลรวมน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มขึ้น โดยคำนึงถึงความน่าจะเป็นของการเกิดขึ้นของผลรวมน้ำหนักบรรทุกจรแต่ละกรณี ซึ่งมีทั้งหมด 3 กรณี คือ

1. เกิดจากผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน กับน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่มากที่สุดที่เกิดในช่วงระยะเวลาที่น้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มากที่สุดกระทำ

2. เกิดจากผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่มากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน กับน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่เกิดอยู่ในช่วงระยะเวลาที่น้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่มากที่สุดกระทำอยู่

3. เกิดจากผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน กับน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่มากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน

และได้สร้างแบบจำลองผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรทางทฤษฎีขึ้น เป็นแบบจำลองที่เข้าใจง่ายและให้ผลที่ค่อนข้างดี ดังนี้คือ

ถ้ากำหนดให้

L = น้ำหนักบรรทุกจรถาวร

L_s = น้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน

$L_{\bullet}$ = น้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่มากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน

$L_{\bullet t}$ = น้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะที่มากที่สุดในช่วงระยะเวลาที่น้ำหนักบรรทุกจรถาวรที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งานกระทำอยู่

L_t = น้ำหนักบรรทุกจรรวมที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน

$E(\tau)$ = ระยะเวลาเฉลี่ยของการเกิดน้ำหนักบรรทุกจรถาวร

T = อายุการใช้งานของอาคาร

P_0 = ความน่าจะเป็นที่เกิดผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรในกรณีที่ 1 หรือ 2

$$P_0 = (T - E(\tau))/T \qquad (2.16)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรในกรณีที่ 3 คือ

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรในกรณีที่ 1 และ 2 ที่น้อยกว่า 1 คือ

$$P[L_t<1|\theta] = P\{[(L_s + L_{0t})<1] \cap [(L_0 + L)<1]\} \qquad (2.17)$$

ถ้าสมมติให้การเกิดผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เป็นอิสระแก่กัน ซึ่งจะให้ผลที่ค่อนข้างสูงกว่าความเป็นจริง(Conservative)

$$P[L_t<1|\theta] = P[(L_s + L_{0t})<1]\cdot P[(L_0 + L)<1] \qquad (2.18)$$

จะได้ฟังก์ชันความถี่สะสมของน้ำหนักบรรทุกจรรวมที่มีค่ามากที่สุด คือ

$$P[L_t<1] = P[(L_s + L_{0t})<1]\cdot P[(L_0 + L)<1]\cdot[(T - E(\tau))/T] + P[(L_s + L_0)<1]\cdot E(\tau)/T \qquad (2.19)$$

จากสมการที่(2.19) ได้มีผู้ทำให้ง่ายขึ้น [6] ด้วยสมมติฐาน 2 ข้อ คือ

1. น้ำหนักบรรทุกจรถาวรให้มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรเอง ($L = m_L$)
2. ให้ผลรวมของน้ำหนักบรรทุกจรแต่ละกรณีสามารถแทนได้ด้วย การกระจายแบบสุดขีด ประเภทที่หนึ่ง (Extreme type 1)

จะได้

$$F_{L_t}(l) = \exp\left[-\exp(-\omega_1)\right]\cdot \exp\left[-\exp(-\omega_2)\right]\cdot\left[(T - E(\tau))/T\right] + \exp\left[-\exp(-\omega_3)\right] E(\tau)/T \qquad (2.20)$$

โดยที่ $\omega_1 = \alpha_1(1 - \beta_1)$

α_1, β_1 คือ พารามิเตอร์ของการกระจายแบบสุดขีดประเภทที่หนึ่ง (Extreme type 1) ของผลรวมน้ำหนักบรรทุกจรในแต่ละกรณี

และ $\alpha_1 = \pi/(\sqrt{6}\sigma)$

$\beta_1 = m_1 - 0.577215/\alpha_1$

m_1, σ_1 คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมน้ำหนักบรรทุกจรในแต่ละกรณี

ในการที่จะหาค่าเฉลี่ยของผลรวมน้ำหนักบรรทุกจรจากสมการที่ (2.20) ได้นั้น เราต้องทราบค่าพารามิเตอร์จากทุก ๆ กรณีของผลรวมน้ำหนักบรรทุกจรก่อน ซึ่งก็มีหลายวิธี และได้พบว่าวิธีของ Wen [6] เป็นวิธีที่ค่อนข้างสะดวกและง่ายต่อการคำนวณ แต่วิธีของ Wen นั้นจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรและน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะอยู่ในรูปแบบของการกระจายแบบแกมม่า ซึ่งจะได้เป็นสูตรดังนี้

$$E[L_{max}] \simeq m + c_3\sigma \qquad (2.21)$$

$$\sigma_{L_{max}} \simeq m\delta\pi c_2/\sqrt{6} \qquad (2.22)$$

โดยที่

$c_1 = (\sqrt{6}\ln N)/\pi$

$c_2 = (1 + c_1\delta)/(2\delta + c_1)$

$c_3 = (c_1 + 0.5772c_2)$

m = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกจรที่พิจารณา

δ = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน(Coefficient of variation) ของน้ำหนักบรรทุกจรที่พิจารณา

N = ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่เกิดน้ำหนักบรรทุกจรที่พิจารณา

014370