203477 Pavement structure

ยานพาหนะและการจราจรที่ใช้พิจารณาในการออกแบบ

VEHICLE AND TRAFFIC CONSIDERATION

Weerakaset Suanpaga
(D.ENG-Candidate)

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering , Kasetsart University
Bangkok, Thailand

http://pirun.ku.ac.th/~fengwks/pavement

https://course.ku.ac.th/lms/files/resources_files/2093/2156/4vehicle_traffic.pdf

1

Outline

- การหาน้ำหนักสมมูลย์ล้อเดี่ยว (ESWL)
  - การหา ESWL ของทางลาดยางโดยวิธี Equal Stress
  - การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection
  - การหา ESWL ของทางลาดยางด้วยวิธีของ Corps of Engineers
  - การหา ESWL โดยวิธี Navy Method
  - การหา ESWL ของทางลาดยางโดยใช้ทฤษฎีระบบ 2 ชั้น
  - การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)
  - การหา ESWL ในทางคอนกรีต โดยวิธี (FAA)
- พื้นที่ผิวทางในสนามบิน

2

ข้อมูลที่จำเป็นและสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างถนนและทางในสนามบินเกี่ยวกับยานพาหนะและการจราจร

ก.ชนิดของยานพาหนะที่จะมาแล่น

ข.ปริมาณการจราจร

ค. ลักษณะการใช้งานของผิวทาง ลักษณะการรับน้ำหนัก และความเร็วของยานพาหนะจะต่างกันมาก

3

ข้อมูลที่จำเป็นและสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างถนนและทางในสนามบินเกี่ยวกับยานพาหนะและการจราจร

ยานพาหนะที่จะมาใช้ถนนและทางเมื่อเปิดการจราจรจะมีหลายขนาดและหลายแบบ ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งน้ำหนักบรรทุกและจำนวนเพลา ในการออกแบบจำเป็นที่จะต้องยึดมาตรฐานน้ำหนักของเพลาเป็นค่าใดค่าหนึ่งเพื่อใช้เปรียบเทียบ

- การออกแบบสนามบิน
  - เลือกพิจารณาเครื่องที่มีน้ำหนักสูงสุดเป็นตัวกำหนดให้ออกแบบความหนาของทาง
  - น้ำหนักสมมูลย์ล้อเดี่ยว Equivalent Single Wheel Load (ESWL)
- การออกแบบถนน
  - ใช้การกำหนดน้ำหนักเพลามาตรฐานและเปรียบเทียบน้ำหนักเพลาของยานพาหนะทุกคนที่ใช้ถนนกับค่าน้ำหนักเพลามาตรฐานเพื่อจะหาจำนวนครั้ง การบดทับในเทอมของเพลามาตรฐาน
  - ค่าแฟกเตอร์ที่คำนวณได้นี้เรียกว่า Equivalent Axle Loads Factor (EALF)

ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดน้ำหนักมาตรฐานของรถยนต์ (Standard Axle Load) เท่ากับ 18,000 ปอนด์ (เพลาเดี่ยว) และ 32,000 ปอนด์ (เพลาคู่)

4

การหาน้ำหนักสมมูลล้อเดี่ยว (ESWL)

Equivalent Single Wheel Load (ESWL) หมายถึง การที่หน่วยแรง ความเค้น การแอ่นตัวที่เกิดจากล้อเดี่ยวหนึ่งล้อที่จุดใดจุดหนึ่งมีค่าเท่ากับหน่วยแรง ความเค้น การแอ่นตัวที่เกิดจากกลุ่มล้อที่มีมากกว่า 1 ล้อ

- วิธีคำนวณหา ESWL โดยวิธีกำหนดให้
  - ค่าการแอ่นตัวเท่ากัน (Equal Deflection)
  - ค่าหน่วยแรงเท่ากัน (Equal Stress)

โดยใช้ทฤษฎีของบูซิเนค (One Layer) และทฤษฎีสองชั้น (Two Layer)

ตำแหน่งที่มีการแอ่นตัวสูงสุดภายใต้ล้อคู่จะเปลี่ยนแปลงตามความลึกที่บริเวณใกล้ผิวบนค่าแอ่นตัวสูงสุดจะเกิดใต้ล้อใดล้อหนึ่ง แล้วจะเคลื่อนเข้าหาจุดกึ่งกลางระหว่างล้อทั้งสองที่ความลึกมากระดับหนึ่ง

5

หน่วยงานที่ใช้วิธี ESWL ในการออกแบบสนามบิน

ตารางที่ 1 การหา ESWL ของหน่วยงานต่าง ๆ

ทางลาดยาง

ข้อกำหนด	หน่วยงาน	หมายเหตุ
Vertical subgrade Stress	Canadian (McLeod)	One-layer theory, equal A_c
	Federal Aviation Admin.	One-layer theory, equal A_c, based on typical gear spacings
	U.S. Navy	One-layer theory, equal A_c, ESWL calculated at h = 30 in. only
Interface	U.S. Corps Engineers	One-layer theory, equal A_c
Deflection	Asphalt Institute	Two-layer theory, equal p_o restricted to General Aviation Aircraft only (60^K or less)

6

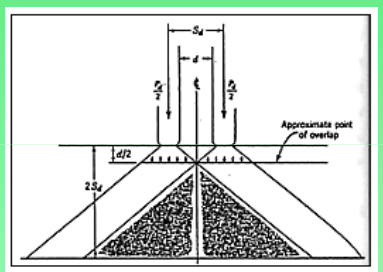
หน่วยงานที่ใช้วิธี ESWL ในการออกแบบสนามบิน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ทางคอนกรีต

ข้อกำหนด	หน่วยงาน	หมายเหตุ
Maximum tensile stress	U.S. Corps Engineers	Westergaard free edge stress, A_z = 267 in.^{2}
	LCN	Equal P_t
	Portland Cement Association	ESWL generally not calculated, stresses
	Federal Aviation Admin.	Computer directly by PCA computer
	U.S. Navy	Program, influence charts or assumption of typical gear spacings

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยวิธี Equal Stress



ภาพที่ 1 แรงที่เกิดในดินภายใต้ล้อคู่

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยวิธี Equal Stress

การคำนวณตามทฤษฎีสรุปได้ว่า

- ที่ความลึก 0-d/ 2 σ_z ที่เกิดในล้อคู่ ($2xP_d/2$) จะเท่ากับในล้อเดี่ยว $P_{d/2}$
- ที่ความลึก d/2-$2S_d$ หน่วยแรงที่เกิดจากล้อทั้งสองจะซ้อนทับกันได้ ค่า σ_z สูงกว่าหน่วยแรงที่เกิดจากล้อเดี่ยว
- ที่ความลึกกว่า $2S_d$ ลงไปแล้วผลของหน่วยแรงที่เกิดซ้อนทับกันมีน้อยมาก

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยวิธี Equal Stress

จากทฤษฎีของบูซิเนค ค่าหน่วยแรง (σ_z) ที่จุดใด ๆ ภายใต้น้ำหนักกระทำที่เป็นพื้นที่วงกลมขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ประการ คือ

- ความลึก (z)
- รัศมีของพื้นที่สัมผัส (a)
- แรงดันลมในล้อ (p)

ดังนั้นค่า p เท่ากันแต่น้ำหนักล้อต่างกัน ค่า σ_z ขึ้นอยู่กับ z/a เท่านั้น หรืออีกนัยหนึ่ง ถึงแม้น้ำหนักจะต่างกันแต่ถ้าน้ำหนักตรงผิวสัมผัสเท่ากัน ค่า σ_z จะเท่ากัน

$$\sigma_z = p\left(1 - \frac{1}{\left(1+(\frac{a}{z})^2\right)^{3/2}}\right)$$

σ_z= f(z/a)

ถ้าให้ stress เท่ากัน

z/a = K' = ค่าคงที่

z/ K' = a

$$= \sqrt{\frac{P}{p\pi}}$$

$$z = \frac{K'}{\sqrt{p\pi}}\sqrt{P}$$

$$z = K\sqrt{P}$$

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยวิธี Equal Stress

สรุป ความหนาของ Flexible Pavement =$K(P)^{1/2}$

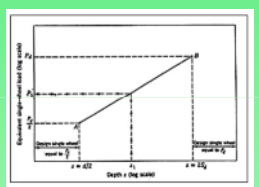
ค่า K ขึ้นอยู่กับคุณภาพของดินและความดันลมในล้อของยานพาหนะและจากสมการ ดังกล่าวสามารถหา ESWL ของน้ำหนักล้อคู่โดยวิธีกราฟ

$$z = K\sqrt{P}$$

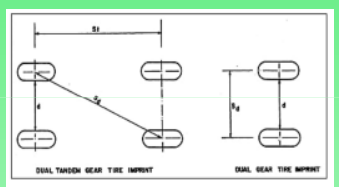
$$\log z = \frac{1}{2}\log P + \log K$$

สมมติให้น้ำหนักล้อของยานพาหนะที่บดทับทำให้เกิดแรงในดินช่วงระหว่างความลึก d/2 และ $2S_d$ เป็นเส้นตรง กำหนดจุด A และ B ลากเส้นตรงระหว่าง A และ B ค่า ESWL ที่ความลึก z ใด ๆ ก็สามารถกำหนดได้

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยวิธี Equal Stress



ภาพที่ 2 การหา ESWL โดยวิธีกราฟ



ภาพที่ 3 ระยะ d, S_4 และ S_5 ในกลุ่มล้อคู่และกลุ่มล้อแบบ 4 ล้อ

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

The Asphalt Institute กำหนดการวิเคราะห์ให้แรงดันลมในล้อเดี่ยวและล้อคู่เท่ากัน และค่าการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักของกลุ่มล้อมีค่าเท่ากับการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักของล้อเดี่ยวสมมูลย์ที่จุดเดียวกัน สมการของบูซิเนค

$$\Delta = \frac{pa.F}{E}$$

$$F = \frac{3}{2}\frac{1}{[1+(z/a)^2]^{1/2}}$$

การแอ่นตัวใต้ล้อเดี่ยว

$$\Delta_1 = \frac{pa_1}{E}F_1$$

การแอ่นตัวใต้ล้อคู่

$$\Delta_2 = \frac{pa_2}{E}(F_1' + F_2')$$

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

ถ้า $\Delta_1 = \Delta_2$

$$\frac{pa_1}{E}F_1 = \frac{pa_2}{E}(F_1' + F_2')$$

$$P = p\pi a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{p\pi}}$$

แทนค่า a_1, a_2

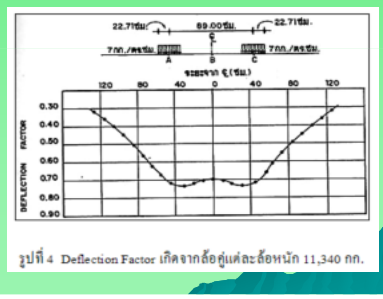
$$\frac{P}{E}\frac{1}{\sqrt{p\pi}}\sqrt{P_1 \cdot F_1} = \frac{P}{E}\frac{1}{\sqrt{p\pi}}\sqrt{p_2}(F_1' + F_2')$$

$$\sqrt{P_1 \cdot F_1} = \sqrt{p_2}(F_1' + F_2')$$

ค่าการทรุดตัว F1 มีค่าสูงสุดใต้ศูนย์กลางของล้อเดี่ยว และขึ้นอยู่กับอัตราส่วน z/a ค่า ก็ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วน z/a และ r/a

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

ตัวอย่างที่ 1 ต้องการหา ESWL ของล้อคู่ซึ่งมีศูนย์กลางล้อห่างกัน 89 ซม. น้ำหนักแต่ละล้อหนัก 11,340 กก. แรงดันลม ในล้อ 7 กก./ตร.ซม. บดทับบนทางลาดยางหนา 64 ซม. ตามภาพที่ 4



รูปที่ 4 Deflection Factor เกิดจากล้อคู่แต่ละล้อหนัก 11,340 กก.

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

วิธีทำ

$$a = \sqrt{\frac{11340}{7\pi}} = 22.71 \text{ ซม.}$$

ใต้จุด A แรงกระทำจากล้อ A

$$z/a = \frac{64}{22.71} = 2.82$$

$$r/a = \frac{0}{22.71} = 0$$

จากภาพที่ 11 $F_1' = 0.50$

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

ผลจากน้ำหนักล้อ C ใต้จุด A ทำให้เกิด Stress ที่จุด A

$$z/a = \frac{64}{22.71} = 2.82$$

$$r/a = \frac{89}{22.71} = 3.92$$

จากภาพที่ 11 $F_2' = 0.22$

$$F_1' + F_2' = 0.72$$

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

ได้จุด B Stress เนื่องจากล้อ A

$$z/a = \frac{64}{22.71} = 2.82$$

$$r/a = \frac{44.5}{22.71} = 1.96$$

$F_1' = 0.35$

ได้จุด B Stress เนื่องจากล้อ C

$F_2' = 0.35$

$F_1' + F_2' = 0.70$

เพราะว่า $\Delta = \frac{pa}{E}(F_1' + F_2')$

แต่ค่า p, a, E คงที่ $\therefore \Delta$ จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $F_1' + F_2'$ มีค่ามากที่สุด

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

การหาค่าสูงสุดของ $F_1' + F_2'$ ต้องพยายามลองเปลี่ยนระยะทางจากกึ่งกลางจุด A ไปจุด B ค่า $F_1' + F_2'$ แต่ละจุดพบว่าที่ $r = 10$ ซม. จากจุด A, $F_1' + F_2'$ มีค่ามากที่สุด Stress จากล้อ A

$$z/a = \frac{64}{22.71} = 2.82$$

$$r/a = \frac{79}{22.71} = 3.48$$

$F_1' = 0.50$ (10 ซม. จาก A)

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

ผลจากล้อ C

$$z/a = \frac{64}{22.71} = 2.82$$

$$r/a = \frac{79}{22.71} = 3.48$$

$F_2' = 0.24$ (79 ซม. จาก C)

$F_1' + F_2' = 0.74$

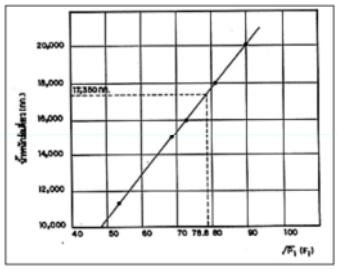
$\sqrt{P_1 F_1} = \sqrt{P_2}\ (F_1' + F_2')$

$= \sqrt{11340}\,(0.74)$

$\sqrt{P_1 F_1} = 78.8$

จากค่า $\sqrt{P_1 F_1} = 78.8$ พยายามเลือกหาค่าของน้ำหนักล้อเดี่ยวและคำนวณหา $\sqrt{P_1 F_1}$ จะได้ค่า ESWL เท่ากับ 17,350 กก. ดังภาพที่ 5

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection



ภาพที่ 5 การหา ESWL ของล้อคู่ 11340 กก. โดยวิธีกราฟ

การหา ESWL ของทางลาดยาง ด้วยวิธี Equal Deflection

น้ำหนักล้อเดี่ยว P_1 (กก.)	รัศมีสัมผัส (ซม.)	z/a	F_1	$\sqrt{P_1 (F_1)}$
10,000	21.32	3.00	0.48	48.00
11,340	22.71	2.82	0.50	53.24
15,000	26.12	2.45	0.56	68.59
16,000	26.97	2.37	0.58	73.36
18,000	28.61	2.24	0.61	81.84
20,000	30.16	2.12	0.64	90.50

ค่า $F_1' + F_2'$ จะมีค่าสูงสุดควงจุดที่ห่างจากล้อข้างใดข้างหนึ่งเพียงเล็กน้อย วิธีง่าย ๆ แต่ได้ผลใกล้เคียง คือหาค่า F ที่ได้ศูนย์กลางของล้อทั้งสองและเลือกใช้ค่ามาก จากตัวอย่างข้างบนค่า $F_1' + F_2'$ ได้ล้อ A เท่ากับ 0.72

$\therefore \sqrt{P_2}\ (F_1' + F_2') = \sqrt{11,340} \times 0.72$

จากภาพที่ 5 ESWL = 16,800 กก.

การหา ESWL ของทางลาดยางด้วยวิธีของ Corps of Engineers

กำหนดการวิเคราะห์ให้พื้นที่สัมผัสของล้อยางในแต่ละล้อเท่ากันทั้งในกลุ่มล้อและในล้อเดี่ยวสมมูลย์ที่จุดเดียวกันจากสมการของบูซิเนค

$$\Delta = \frac{pa}{E}.F$$

$$\Delta = \frac{P_n a}{E}.F_1$$

กลุ่มล้อที่มีจำนวนล้อ = n

$$\Delta_n = \frac{P_n a}{E}(F_1' + F_2' + \ldots F_n')$$

$\Delta_1 = \Delta_n$

$$\therefore \frac{P_1 a}{E}.F_1 = \frac{P_n a}{E}(F_1' + F_2' + \ldots F_n')$$

$P_1 F_1 = P_n(F_1' + F_2' + \ldots F_n')$

การหา ESWL ของทางลาดยางด้วยวิธีของ Corps of Engineers

จาก $p = \frac{P}{\pi a^2}$

แทนค่า p $\frac{P_1 F1}{\pi a^2} = \frac{P_n}{\pi a^2}(F_1' + F_2' + \ldots F_n')$

จะได้ $P_1 = \frac{Pn\,(F_1' + F_2' + \ldots F_n')}{F_1}$

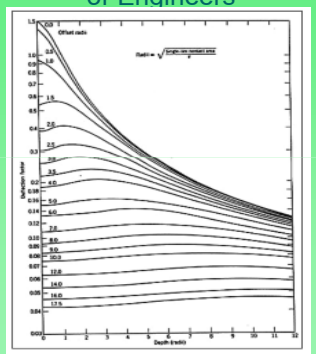
กำหนดให้ P_1 = น้ำหนักล้อเดี่ยวสมมูลย์

P_n = น้ำหนักแต่ละล้อของกลุ่มล้อ

F_1 = แฟกเตอร์การทรุดตัวของล้อเดี่ยว

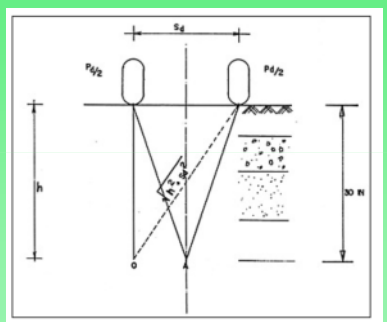
$F_1' + F_2' + \ldots F_n'$ = แฟกเตอร์การทรุดตัวของแต่ละล้อในกลุ่มล้อ (หาค่าได้จากภาพที่ 6)

การหา ESWL ของทางลาดยางด้วยวิธีของ Corps of Engineers



ภาพที่ 6 แสดงการใช้หาแฟกเตอร์การทรุดตัวที่เกิดในมวลชั้นเดียว

การหา ESWL โดยวิธี Navy Method



ภาพที่ 7 การหา ESWL โดยวิธี Navy Method

การหา ESWL โดยวิธี Navy Method

วิธีนี้ US. Department of the Navy ใช้วิธี Equal stress ออกแบบทางวิ่งลาดยางในสนามบินจากทฤษฎีของบูซิเนค $\sigma_z = f(P/Z^2)$

พิจารณาค่า Stress ที่จุด O และ A ที่เกิดจากน้ำหนักของล้อคู่ ที่จุด O

$$\sigma_o = f\left(\frac{\frac{P_d}{2}}{h_2} + \frac{\frac{P_d}{2}}{h_2 + S_d^2}\right) \quad (1)$$

การหา ESWL โดยวิธี Navy Method

$$\sigma_A = f\left(\frac{2\left(\frac{P_d}{2}\right)}{h_2 + \left(\frac{S_d}{2}\right)^2}\right) \quad (2)$$

Stress ที่เกิดจากล้อเดี่ยว

$$\sigma_s = f\left(\frac{P_2}{h_2}\right) \quad (3)$$

การหา ESWL โดยวิธี Navy Method

(3) = (1)

$$\left(\frac{P_2}{h_2}\right) = \frac{\frac{P_d}{2}}{h^2} + \frac{\frac{P_d}{2}}{h^2 + S_d^2}$$

$$P_s(0) = \frac{P_d}{2} + \frac{h^2 \cdot \frac{P_d}{2}}{h^2 + S_d^2} = \frac{P_d}{2} + \left(1 + \frac{h^2}{h^2 + S_d^2}\right)$$

$$= \frac{P_d}{2} + \left(\frac{2h^2 + S_d^2}{h^2 + S_d^2}\right)$$

$$= \left(\frac{P_d}{\frac{2h^2 + S_d^2 + S_d^2}{2h^2 + S_d^2}}\right) \quad (4)$$

การหา ESWL โดยวิธี Navy Method

ในทำนองเดียวกัน

(3) = (2)

$$P_{(A)} = \left(\frac{P_d}{1+\left(\frac{S_d^2}{2h^2+S_d^2}\right)} \right) \qquad (5)$$

วิธีการ Navy Method นี้ มักจะหา ESWL ที่ความลึก 30" ไม่ว่าเครื่องบินจะเป็นประเภทใดก็ตาม และโดยวิธีประมาณที่เหมาะสมกับสมการ (4) และ (5) จะได้สมการ ESWL ดังนี้

$$P_e = \frac{\frac{P_d}{2}}{1+\frac{S_d}{100}} \text{ ปอนด์} = \left(\frac{\frac{P_d}{2}}{1+\frac{S_d}{100}} \right) 0.4536 \text{ กก.}$$

31

การหา ESWL โดยวิธี Navy Method

ล้อเครื่องบินประเภท Dual – Tendem (S_d x S_t) จะต้องเปลี่ยนล้อคู่แต่ละคู่เป็นล้อเดี่ยวและต่อจากนั้นจึงเปลี่ยนล้อเดี่ยวที่ได้ในแต่ละเพลาให้เป็น ESWL ถ้าให้ P_e เป็นน้ำหนักทั้งหมดบน Dual – Tandem จะได้

$$P_e = \frac{P_{dt}}{(1+\frac{S_d}{100})(1+\frac{S_d}{100})} \text{ ปอนด์}$$

32

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยใช้ทฤษฎีระบบ 2 ชั้น

The Asphalt Institute ใช้ออกแบบ Runway รับเครื่องบินมีน้ำหนักไม่เกิน 27,000 กก. The Asphalt Institute ได้กำหนดแผนภูมิใช้หา ESWL สำหรับล้อคู่ โดยตั้งสมมติฐานว่า ค่าโมดูลัสของชั้นผิวทางกับพื้นทางลาดยางเท่ากับ 100,000 ปอนด์/ ตร.นิ้ว และค่าโมดูลัสของดินคันทางมีค่าเท่ากับ 1500 เท่า ของ CBR โดยค่า Load Factor L มีสมการ

$$L = \frac{P_d}{P_e}$$

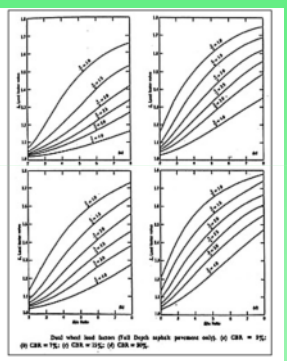
กำหนดให้ P_d = น้ำหนักล้อคู่สองล้อ

P_e = ESWL

ค่า L อ่านได้จากแผนภูมิ ดังภาพที่ 8 ตามค่า CBR ของดินคันทาง ระยะห่างของล้อต่อรัศมีของพื้นที่สัมผัส (S/a) และอัตราส่วนความหนาของผิวทางต่อรัศมีของพื้นที่สัมผัส (h/a)

33

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยใช้ทฤษฎีระบบ 2 ชั้น



ภาพที่ 8 แผนภูมิใช้หา Dual Wheel Load Factor

34

การหา ESWL ของทางลาดยางโดยใช้ทฤษฎีระบบ 2 ชั้น

ตัวอย่างที่ 2 จงหา ESWL ของล้อคู่ที่มีน้ำหนักรวมกัน 13,600 กก. S_d = 75 ซม.

A = 15 ซม.กระทำบนทางวิ่งหนา 50 ซม. ดินคันทางมี CBR = 7%

$$\frac{h}{a} = \frac{50}{15} = 3.33$$

$$\frac{S_d}{a} = \frac{75}{15} = 5.00$$

CBR = 7%

จากภาพที่ 8 (b)

Load Factor L = 1.16

$$P_e = \frac{P_d}{L} = \frac{13,600}{1.16} = 11,724 \text{ กก.}$$

35

การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)

วิธี LCN ใช้ในประเทศสหราชอาณาจักร เพื่อกำหนดน้ำหนักของเครื่องบิน (Single Wheel) ที่ทำให้เกิดหน่วยแรงในพื้นทางวิ่งเท่ากัน เช่น

น้ำหนัก ปอนด์	แรงดันลมในล้อ		LCN
	ปอนด์/ตร.นิ้ว	กก./ตร.ซม.	
100,000	120	8.44	100
90,000	115	8.08	90
80,000	110	7.73	80
70,000	105	7.38	70
60,000	100	7.03	60
50,000	95	6.68	50
40,000	90	6.33	40
30,000	85	5.98	30
20,000	80	5.62	20
10,000	75	5.27	10

36

การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)

นอกจากนี้ยังแบ่งกลุ่มของเครื่องออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 7 กลุ่ม คือ

Load Classification Group (LCG)	LCN
I	101-120
II	76 – 100
III	51 – 75
IV	31 – 50
V	16 – 30
VI	11 – 15
VII	10<

การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)

วิธี LCN ได้กำหนดแผนภูมิใช้หา ESWL จาก Dual Wheels และ Dual – Tandem – Wheels ตามภาพที่ 9 และ 10 ตามวิธีนี้ใช้ค่าพื้นที่สัมผัสรวมจากทุกล้อในกลุ่มล้อที่นำมาคิดและให้แรงดันลมยางเท่ากันทุกล้อ โดยให้

E ของคอนกรีต = 3.517×10^5 kg/cm^2

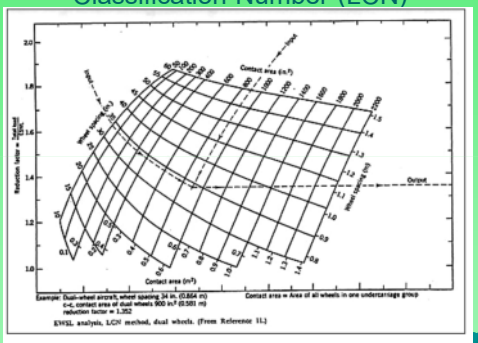
μ = 0.15

$l = \left(\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k} \right)^{1/4}$ = 1016 มม.

k = 11.08 kg/cm^3

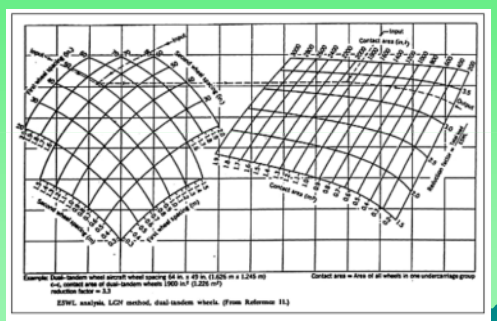
ESWL = $\frac{\text{Total Load}}{\text{Reduction Factor}}$

การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)



ภาพที่ 9 แผนภูมิใช้หา ESWL ในล้อคู่ตามวิธี ICN

การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)



ภาพที่ 10 แผนภูมิใช้หา ESWL สำหรับ Dual – Tandem Wheel ตามวิธี LCN

การหา ESWL ในทางคอนกรีตโดยวิธี Load Classification Number (LCN)

ตัวอย่างที่ 3 ล้อเครื่องบินลำหนึ่ง Dual Wheels มีระยะห่างของล้อ 34 นิ้ว (0.864 ม.) น้ำหนักแต่ละล้อ 15,900 กก. พื้นที่สัมผัสของล้อทั้งสองรวมกันได้ 900 ตารางนิ้ว (0.581 ตร.ม.) ตามภาพที่ 9 ได้ Reduction Factor = 1.352

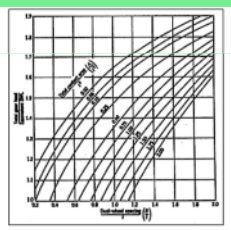
$$ESWL = \frac{Total\ Load}{Reduction\ Factor}$$

$$ESWL = \frac{31{,}800}{1.352}$$

=23,500 kg

การหา ESWL ในทางคอนกรีต โดยวิธี (FAA)

วิธีการหาพื้นที่สัมผัสของล้อทั้งหมด คำนวณค่า Radius of Relative Stiffness (l) จากความหนาของแผ่นคอนกรีต ค่า K และ μ และระยะห่างของล้อ (s) แล้วนำมาหาค่า ESWL



ภาพที่ 11 แผนภูมิใช้หา ESWL ในพื้นผิวทางคอนกรีตสำหรับ Dual-Wheel Gear ตามวิธี FAA

การหา ESWL ในทางคอนกรีต โดยวิธี (FAA)

ตัวอย่างที่ 4 จงหา ESWL ตามวิธีของ LCN เปรียบเทียบกับวิธีของ FAA สำหรับล้อชนิด Dual-Tandem Gear มีระยะล้อ 80x159 ซม. น้ำหนักของล้อทั้งกลุ่ม 63,500 กก. พื้นที่สัมผัสแต่ละล้อ 1,723 ตร.ซม. ผิวทางหนา 35 ซม. ดินคันทางมี k = 2.8 กก./ลบ.ซม. และค่า E ของคอนกรีต 2.8 x 105 กก./ตร.ซม.

วิธี **LCN**

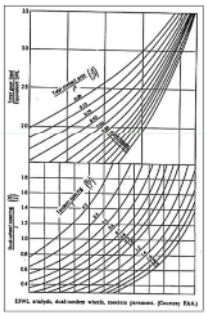
พื้นที่สัมผัส ทั้งหมด $= 4 \times 1{,}723 = 6{,}892\ cm^2$

จากภาพที่ 10 L=2.7

$$ESWL = \frac{63{,}500}{2.7}$$

ESWL=23,519 kg.

การหา ESWL ในทางคอนกรีต โดยวิธี (FAA)



ภาพที่ 12 แผนภูมิใช้หา ESWL ในพื้นผิวทางคอนกรีตสำหรับล้อประเภท Dual – Tandem Gear ตามวิธี FAA

การหา ESWL ในทางคอนกรีต โดยวิธี (FAA)

วิธี FAA

จาก h = 35 ซม., k = 2.8 กก./ลบ.ซม.

$\frac{l}{l} = \frac{138.27}{138.27}$

$\frac{S_d}{l} = \frac{80}{138.27} = 0.58$

$\frac{S_t}{l} = \frac{159}{138.27} = 1.15$

$\frac{A}{l^2} = \frac{6{,}892}{(138.27)^2} = 0.36$

จากภาพที่ 12

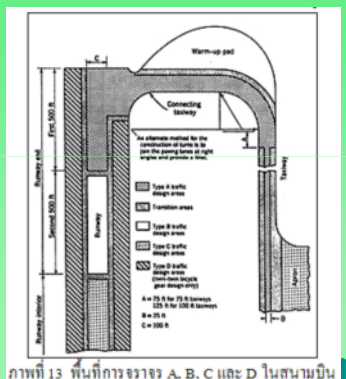
$\frac{\text{Total Gear Load}}{\text{ESWL}} = 2.25$

$\text{ESWL} = \frac{63{,}500}{2.25} = 28{,}222$ กก.

พื้นที่ผิวทางในสนามบิน

ในสนามบินขณะเมื่อเครื่องมีน้ำหนักบรรทุกเต็มที่เตรียมที่จะบินขึ้นโดยแล่นไปบนทางขับ (Taxiway) จากบริเวณลานจอด (Parking Apron) ไปยังปลายทางวิ่งน้ำหนักของเครื่องช่วงนี้จะมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างทางอย่างมาก หน่วยแรงที่เกิดบนผิวทางจะมีค่าสูงสุด เนื่องจากน้ำหนักของเครื่องทั้งหมดถ่ายลงล้อเต็มที่ ซึ่งต่างกับบริเวณช่วงกลางของทางวิ่งซึ่งเครื่องเริ่มจะยกตัวลอยขึ้น น้ำหนักทั้งหมดจะถูกอากาศช่วยพยุงไว้บางส่วน เพื่อเป็นการประหยัด การออกแบบความหนาของทางในสนามบินจึงเปลี่ยนไปตามลักษณะของการรับน้ำหนักได้กำหนดพื้นที่การจราจร (Traffic Area) ในสนามบินไว้ดังนี้

พื้นที่ผิวทางในสนามบิน



ภาพที่ 13 พื้นที่การจราจร A, B, C และ D ในสนามบิน

พื้นที่ผิวทางในสนามบิน

- พื้นที่ A รับน้ำหนักสูงสุด ลานจอดต้องออกแบบให้รับน้ำหนักของเครื่องขนาดหนักที่สุดที่จะมาใช้สนามบิน มีปริมาณการบดทับ 25,000 Coverages
- พื้นที่ B ช่วงถัดจากพื้นที่ A ปลายทางวิ่ง ออกแบบให้รับน้ำหนักเครื่องขนาดหนักที่สุดที่จะมาใช้สนามบินมีปริมาณการบดทับ 5,000 Coverages
- พื้นที่ C ถัดจากพื้นที่ B บริเวณที่เครื่องเริ่มจะยกลำตัวลอยขึ้นมีอากาศช่วยพยุงน้ำหนักไว้ด้วย ออกแบบให้รับน้ำหนัก 75% ของเครื่องขนาดหนักที่สุดที่จะมาใช้สนามบิน มีปริมาณการบดทับ 5,000 Coverages
- พื้นที่ D บริเวณขอบทางวิ่ง มีโอกาสรับน้ำหนักจากเครื่องบินขณะบินขึ้นน้อยมาก ออกแบบให้รับน้ำหนัก 75% ของเครื่องขนาดหนักที่สุดที่จะมาใช้สนามบิน มีปริมาณการบดทับ 200 Coverages

พื้นที่ผิวทางในสนามบิน

การออกแบบความหนาของผิวทางบริเวณต่าง ๆ ของสนามบิน ให้มีความหนาไม่เท่ากันนี้ USACE ได้กำหนดสูตรในการออกแบบทั้งทางลาดยางและทางคอนกรีต ดังนี้

$$t_d = K_1 \log C + K_2$$

กำหนดให้ t_d = เปอร์เซ็นต์ความหนาของทาง

C = Coverages

K_1 = 15.4 (ทางคอนกรีต)

K_1 = 23.1 (ทางลาดยาง)

K_2 = 23.7 (ทางคอนกรีต)

K_2 = 14.4 (ทางลาดยาง)

พื้นที่ผิวทางในสนามบิน

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความหนาของทางในสนามบินกับ Coverages

Coverages	เปอร์เซ็นต์ความหนาของทาง	
	ทางคอนกรีต	ทางลาดยาง
10	59	58
100	75	61
1,000	90	84
5,000	100	100
10,000	105	107
20,000	110	114
30,000	112	118

FAA ให้ค่าเฉลี่ยความหนาของทางในสนามบินตามบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งอาจจะแตกต่างจากวิธีของ USACE บ้างเล็กน้อย

THE END