การออกแบบความหนาแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินเพื่อรับนน.บรรทุก forklift truck

ผศ. ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช
อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทนำ

อาคารประเภทโกดังเก็บสินค้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ระบบพื้นคอนกรีตวางบนดิน(slab on grade)เป็นส่วนโครงสร้างรับนน.บรรทุกส่วนใหญ่ภายในอาคาร ชั้นดินที่รองรับแผ่นพื้นไว้อย่างต่อเนื่องตลอดแผ่นทำให้เกิดค่าหน่วยแรงขึ้นน้อยขณะแผ่นพื้นรับนน.กด โครงสร้างจึงออกแบบได้อย่างประหยัดและรับนน.บรรทุกได้มาก ประเภทของนน.บรรทุกที่กระทำบนแผ่นพื้นภายในอาคารประกอบไปด้วย นน.กำแพงและPartitions นน.เสารับชั้นMezzanine นน.เครื่องจักรที่ติดตั้งบนพื้น นน.บรรทุกเนื่องจากการกองเก็บวัสดุ(Stationary live load) นน.ยานพาหนะที่ใช้ขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ในอาคาร ฯลฯ สำหรับงานออกแบบก่อสร้างพื้นชนิดดังกล่าว forklift truck เป็นนน.บรรทุกจรตัวสำคัญที่ใช้กำหนดความหนาแผ่นพื้นโดยเฉลี่ย เนื่องจากเป็นนน.กระทำแบบจุดซึ่งมีค่ามากและเคลื่อนที่ไปทั่วบริเวณพื้นที่อาคาร บทความนี้นำเสนอรายละเอียดวิธีออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินรับนน. forklift truck ที่มีนน.เพลาต่ำกว่า 5 กิโลปอนด์จนถึงค่านน.เพลา 120 กิโลปอนด์โดยวิธีของหน่วยทหารช่างสหรัฐอเมริกา(US Army Corp of Engineer) หรืออักษรย่อหน่วยงานว่า COE

สัณฐานของ forklift truck

forklift truck เป็นยานพาหนะสองเพลา มีทั้งชนิดล้อยางตันและล้อยางอัดแรงดันลม นน.เพลาสูงสุด (Max. axle load) ที่ใช้ออกแบบแผ่นพื้นเกิดขึ้นขณะรถยกสัมภาระ ข้อมูลค่านน.เพลาดังกล่าวระบุไว้ในCatalog ของรถแต่ละรุ่น ซึ่งโดยส่วนใหญ่ค่านน.เพลาสูงสุดมีค่าระหว่าง 87-94% ของผลรวมค่านน.รถกับค่านน.สัมภาระสูงสุดที่ยกได้ เปอร์เซ็นต์ที่สูงมากนี้เองทำให้ประมาณอย่างหยาบได้ว่านน.เพลาที่ใช้ออกแบบมีค่าเท่ากับนน.รวมของรถและสัมภาระ ในการออกแบบแผ่นพื้นขั้นเบื้องต้นที่ไม่ทราบรายละเอียดข้อมูลยานพาหนะที่นำมาใช้งาน ผู้ออกแบบอาจประเมินค่านน.เพลาอย่างง่ายจากข้อมูลการจำแนกกลุ่ม forklift truck ตามค่านน.เพลาสูงสุด ของ COE ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลนน.เพลาสูงสุดและค่านน.สัมภาระสูงสุดที่ forklift truck ยกได้ [5]

Forklift Trucks Category	Forklift Trucks Max. Axle Load, kips	Maximum Load Capacity, kips
I	5 to 10	2 to 4
II	10 to 15	4 to 6
III	15 to 25	6 to 10
IV	25 to 36	10 to 16
V	36 to 43	16 to 20
VI	43 to120	20 to 52

Corps of Engineer (COE) Method

แนวคิดหลักของวิธีออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินคือ การเลือกค่ากำลังของคอนกรีตและความหนาของแผ่นพื้นที่ให้ผลค่ากำลังดัดมากพอจะรองรับผลรวมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ เช่นนน.บรรทุกบนพื้นความล้า การยืดหดของเนื้อคอนกรีต แรงเสียดทานระหว่างแผ่นพื้นกับดินคันทาง ฯลฯ โดยไม่ให้แผ่นพื้นแตกร้าวขณะอยู่ในช่วงอายุการใช้งานที่ตั้งไว้ สำหรับการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินของ COE ใช้วิธีประเมินค่าหน่วยแรงในแผ่นพื้นจากนน.กดล้อรถโดยคำนวณมาจากสูตรของ Westergaard กรณีล้อรถบดทับที่ขอบแผ่น(edge stress)เป็นพื้นฐานในการออกแบบ ค่านน.ล้อที่กดลงบนแผ่นพื้นจะใช้ตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก(impact factor) ขึ้นอีกร้อยละ 25 รวมทั้งพิจารณาให้รอยต่อระหว่างแผ่นพื้นมีการถ่ายแรงเฉือนผ่านเหล็กเดือย(dowel bar) สู่แผ่นพื้นข้างเคียงทำให้หน่วยแรงดัดลดลงร้อยละ 25 สำหรับหน่วยแรงห่อตัวที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในแผ่นพื้น(temperature gradients) ผลของความล้าเนื่องจากจำนวนรอบการบดทับของล้อ และผลกระทบจากปัจจัยอื่น ได้ถูกชดเชยไว้แล้วโดยใช้ค่า safety factor ประมาณ 2 ในการออกแบบ ผลวิเคราะห์ที่ได้จะเป็นความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วน(plain concrete)

โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต(Modulus of Rupture)

ค่าโมดูลัสแตกร้าวเป็นค่ากำลังดัดของคอนกรีต(Flexural strength)ที่ใช้ออกแบบคำนวณความหนาแผ่นพื้น ค่าโมดูลัสแตกร้าวได้จากการทดสอบแรงดัดคานคอนกรีตล้วนแบบเธิร์ดพอยท์ตามมาตรฐาน ASTM C78 (Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-Point Loading) วิธีทดสอบโดยสังเขปมีขั้นตอนคือ นำตัวอย่างคานคอนกรีตล้วนอายุคอนกรีต 28 วัน ขนาดมาตราฐานหน้าตัด 6”x 6” ที่จัดเตรียมช่วงคานให้ยาวมากพอจะวางพาดบนระยะจุดรองรับทดสอบ 18” ใส่แรงกด 2 จุดบนคานทดสอบที่แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเท่าๆกัน ค่าโมดูลัสแตกร้าว วิเคราะห์ได้จากค่าหน่วยแรงดัดขณะคานแตกหัก ในทางปฏิบัติค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ใช้ออกแบบก่อสร้างแผ่นพื้นสามารถประเมินได้จากสมการความสัมพันธ์แบบเอมไพริเคิลกับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ $7.5\sqrt{f_c'}$ (ACI 318-05) โดย f_c' คือค่ากำลังอัดประลัย(หน่วย psi) ของแท่งตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาด ϕ 15ซม.$\times$30ซม. อายุคอนกรีต 28 วัน

ค่าดัชนีออกแบบ(Design Index)

COE กำหนดค่าดัชนีออกแบบ(Design Index) ที่มีค่าระหว่าง 1-10 ใช้เป็นพารามิเตอร์หนึ่งสำหรับออกแบบคำนวณความหนาแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดิน ค่า Design Index ดังกล่าวบ่งชี้ระดับภาระการรับนน.บรรทุกและความเสียหายของโครงสร้างของแผ่นพื้นที่เกิดจากนน.ล้อยานพาหนะต่างๆ ตลอดช่วงอายุการใช้งานประมาณ 20-25 ปี ตัวเลขดัชนีที่มีค่ามากจะแสดงระดับภาระที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ สำหรับถนนคอนกรีตทั่วไป COE แบ่งประเภทยานพาหนะล้อยางอัดแรงดันลม(pneumatic-tired vehicles) ที่ใช้บริการตามระดับค่านน.เพลา ออกเป็น 3 Group คือ

Group 1 รถยนต์ส่วนบุคคล รถตู้และรถกระบะขนของ(panel and pickup trucks)

Group 2 รถบรรทุก 2 เพลา (two-axle trucks)

Group 3 รถบรรทุก 3, 4 และ 5 เพลา (three-, four-, and five-axle trucks)

ค่า Design Index ประเมินจากความคับคั่งของการจราจร(traffic intensity)และสัดส่วนปริมาณจราจร(traffic compositions)ของรถแต่ละ Group โดยจำแนกย่อยออกเป็นClass และ Category ด้วยเกณฑ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

และ 3 ข้อมูลจราจรทั้งสองส่วนที่ระบุ Class และ Category ได้แล้วจะนำมาประเมินค่า Design Index โดยใช้เกณฑ์ในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 เกณฑ์จำแนกระดับ (Class) ความคับคั่งของการจราจร

Road Class		Number of Vehicles Per Days
A	…….	10,000
B	…….	8,400-10,000
C	…….	6,300-8,400
D	…….	2,100-6,300
E	…….	210-2,100
F	…….	70-210

ตารางที่ 3 เกณฑ์จำแนกสัดส่วนปริมาณจราจรของยานพาหนะออกเป็น Category

Traffic Category	Percentage of total traffic for vehicle groups		
	Group 1	Group 2	Group 3
Category I	≥ 99%	≤ 1%	
Category II	≥ 90%	≤ 10%	
Category III	≥ 84%	≤ 15%	≤ 1%
Category IV	≥ 65%	≤ 25%	≤ 10%
Category IVA	Any amount	> 25%	> 10%

ตารางที่ 4 เกณฑ์จำแนก ค่า Design Index ที่ใช้ออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินรับบนน.บรรทุกยานพาหนะ

Class	Category I	Category II	Category III	Category IV	Category IVA
A	2	3	4	5	6
B	2	2	4	5	6
C	2	2	4	5	6
D	1	2	3	4	5
E	1	2	3	4	5
F	1	1	2	3	4

สำหรับพื้นคอนกรีตวางบนดินที่รับนน.บรรทุก forklift truck มีรายละเอียดวิธีประเมินค่า Design Index ดังนี้

1) forklift truck ซึ่งมีนน.เพลาต่ำกว่า 5 กิโลปอนด์ และมีนน.บรรทุกเนื่องจากการกองเก็บวัสดุ (Stationary live load)บนพื้นน้อยกว่า 400 ปอนด์/ตารางฟุต ให้ forklift truck ค่านน.เพลาดังกล่าวเทียบเท่ากับยานพาหนะ Group 2 ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 แล้วเลือกค่า Design Index ตามวิธีเดียวกับการออกแบบถนนสำหรับสำหรับยานพาหนะล้อยางอัดแรงดันลม โดยเลือก Class และ Category ตามความคับคั่งและสัดส่วนปริมาณจราจรดังเกณฑ์ในตารางที่ 2 และ 3 ข้อมูลจราจรทั้งสองส่วนนำมาใช้ประเมินค่า Design Index โดยใช้เกณฑ์ในตารางที่ 4

2) forklift truck ซึ่งมีนน.เพลาระหว่าง 5-10 กิโลปอนด์ ให้ forklift truck ค่านน.เพลาดังกล่าวเทียบเท่ากับยานพาหนะ Group 3 ในสัดส่วน 1 ต่อ 1 แล้วเลือกค่า Design Index ตามวิธีเดียวกับการออกแบบถนนสำหรับสำหรับยานพาหนะล้อยางอัดแรงดันลม โดยเลือก Class และ Category ตามความคับคั่งและสัดส่วนปริมาณจราจรดังเกณฑ์ในตารางที่ 2 และ 3 ข้อมูลจราจรทั้งสองส่วนนำมาใช้ประเมินค่า Design Index โดยใช้เกณฑ์ในตารางที่ 4

3) forklift truck ซึ่งมีนน.เพลามากกว่า10 จนถึง 25 กิโลปอนด์ สามารถจำแนกออกเป็น Class V และ VI ตามช่วงค่านน. และเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณจราจรต่อวันหรือต่อสัปดาห์ของ forklift truck บนแผ่นพื้นจะได้ค่า Design Index ไว้ใช้ออกแบบดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์จำแนกค่า Design Index สำหรับ forklift truck ซึ่งมีนน.เพลาระหว่าง10 ถึง 25 กิโลปอนด์

Forklift Truck		Design Index							
Axle Load	Traffic	Number of Vehicles per Day (or Week as indicated)							
(Pounds)	Category	500	200	100	40	10	4	1	1 Per Week
10,001-15,000	V	6	6	6	6	5	5	5	--
15,001-25,000	VI	10	9	8	7	6	6	5	5
Over 25,000	……..……..Use Design Chart in figure 2 …….……..								
Note :If number any wheeled vehicles is between values, round up to the next higher number.									

กรณีต้องออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินรับนน.บรรทุกที่มี load combinations ของ forklift truck ที่ Traffic category ต่างกัน จะต้องให้ความสำคัญต่อนน.เพลาที่สูงกว่าเป็นอันดับแรกถึงแม้จะมีจำนวนรอบการบดทับของล้อน้อยเนื่องจากการทดลองFull-scale experiment ให้ผลสรุปว่าแรงกดของนน.เพลามีนัยสำคัญมากกว่าจำนวนครั้งของการบดทับ(load repetition) เมื่อค่านน.เพลาที่บดทับแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น 10% จะมีผลกระทบเทียบเท่ากับการเพิ่มจำนวน load repetition 3-4 เท่าของปริมาณการจราจรเดิม ส่วนระยะระหว่างเพลามักจะห่างกันจนถือได้ว่ามี

ผลกระทบเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยระหว่างกัน ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างการประเมินค่า Design Index ในการออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินรับนน.บรรทุก forklift truck ที่มี load combinations ต่างๆ

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการประเมินค่า Design Index จากข้อมูลการใช้งาน forklift truck [5]

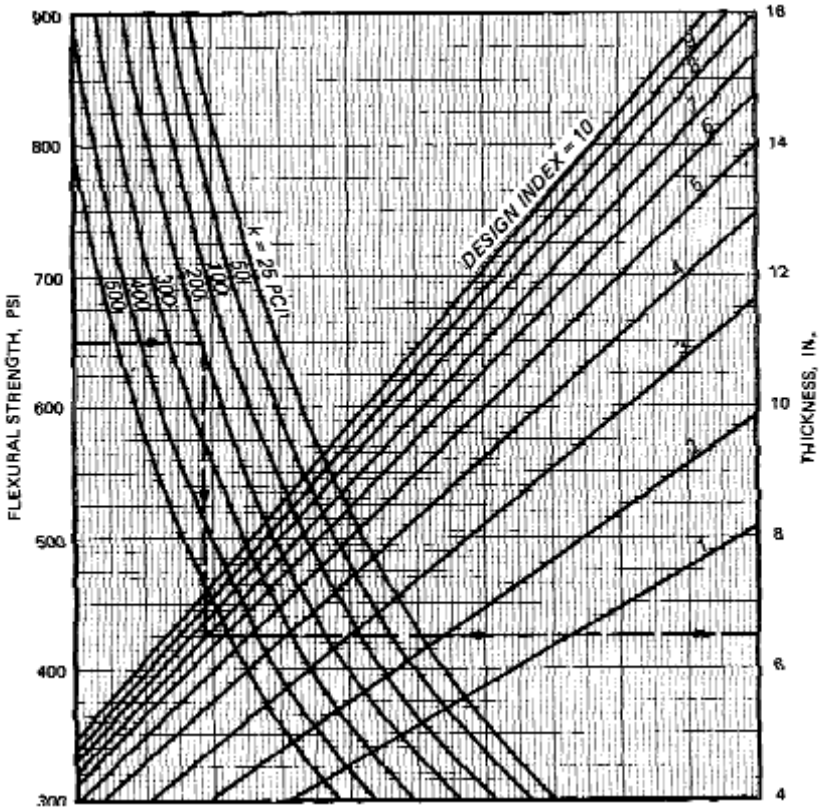
Maximum Operations Per Day Over 25 Years	Load	Design Index
50	10-kip axle-load forklift truck	4
250	10-kip axle-load forklift truck	5
10	15-kip axle-load forklift truck	
250	10-kip axle-load forklift truck	7
100	15-kip axle-load forklift truck	
250	15-kip axle-load forklift truck	8
5	25-kip axle-load forklift truck	

Design Charts และตัวอย่างการใช้งาน

กระบวนการออกแบบความหนาแผ่นพื้นมีหลายขั้นตอน สมการคำนวณยาวซับซ้อนและอาศัยค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบหลายตัว COE จึงจัดทำแผนภูมิ(Design Chart) เพื่ออำนวยความสะดวกในงานออกแบบ Design Chart กำหนดค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของวัสดุคอนกรีตบางตัวเป็นค่าคงที่ไว้ประกอบด้วย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ 4000 ksi ค่าอัตราส่วนพัวส์ซอง(Poisson's ratio) เท่ากับ 0.20 ส่วนตัวแปรที่ Design Chart ต้องการใช้เป็นค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นในการคำนวณประกอบด้วย ค่ากำลังดัดของคอนกรีต(Flexural strength)หรือโมดูลัสแตกร้าว(หน่วย psi) , ค่า Modulus of subgrade reaction ของดินคันทางที่รองใต้แผ่นพื้น(k, หน่วย pci) และ ค่าดัชนีออกแบบ (Design Index)ที่วิเคราะห์ได้ ส่วนค่าfactor of safety ที่ใช้ออกแบบได้พิจารณาไว้แล้วในการออกแบบ Design Chart

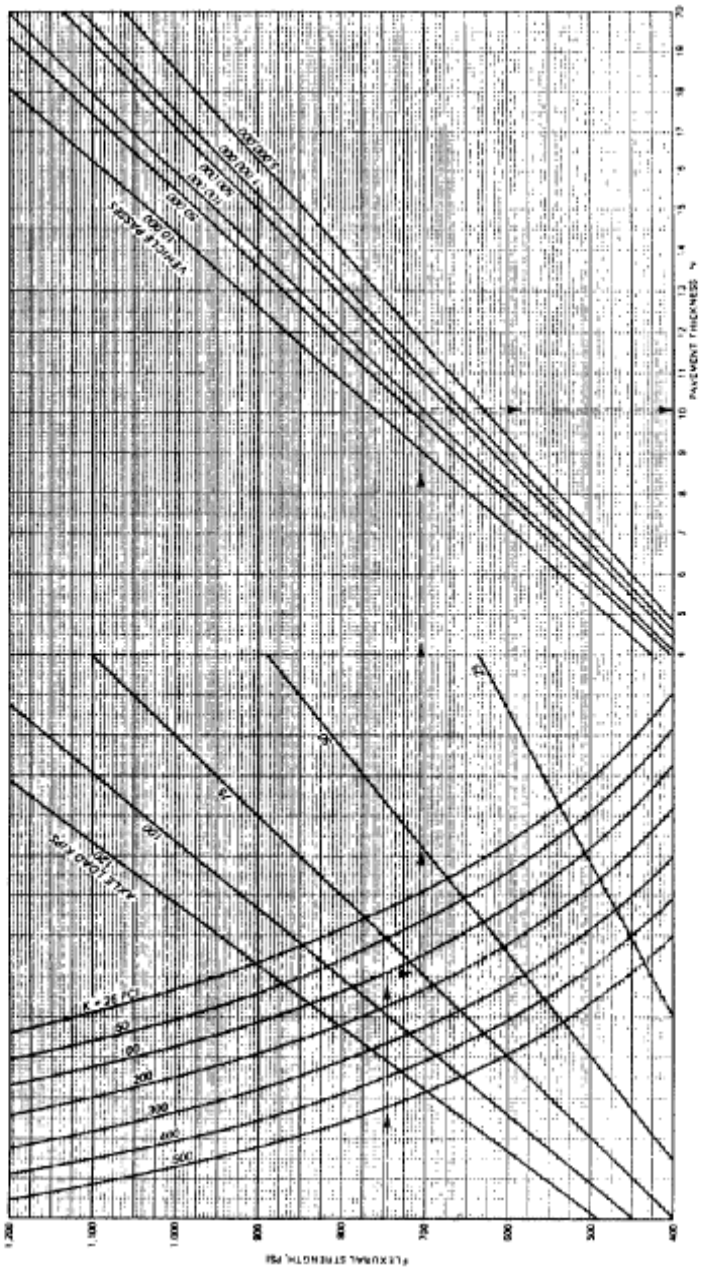
รูปที่ 1 แสดง Design Chart ใช้ออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินเพื่อรองรับภาระนน.บรรทุกการจราจรของ forklift truck ที่นน.เพลาไม่เกิน 25 กิโลปอนด์ที่อาจมี load combinations ของการใช้บริการร่วมกับยานพาหนะล้อยางอัดแรงดันลม Group 1, 2 และ 3 ก็ได้ ขั้นตอนการคำนวณเริ่มจากระบุค่ากำลังดัดของคอนกรีตในแกนตั้งด้านซ้ายของ Design Chart ลากเส้นในแนวนอนไปตัดเส้นกราฟที่ระบุค่า k ที่ใช้ออกแบบ จากจุดตัดลากเส้นลงในแนวตั้งไปจดเส้นโค้งที่ระบุค่า Design Index ขั้นตอนสุดท้ายลากเส้นแนวนอนไปตัดแกนตั้งด้านขวาซึ่งระบุผลคำนวณความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินที่ต้องการ ในรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณความหนา

ของแผ่นพื้นพื้นคอนกรีตวางบนดินที่รับภาระนน.บรรทุก Design Index = 7 โดยกำหนดค่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต = 650 psi และค่า k = 200 pci ได้ผลคำนวณความหนาแผ่นพื้น 6.5 นิ้ว



รูปที่ 1 Design Chart ใช้ออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินสำหรับ forklift truck นน.เพลาไม่เกิน 25 กิโลปอนด์ [5]

รูปที่ 2 แสดง Design Chart ใช้ออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินเพื่อรองรับภาระนน.บรรทุกการจราจรของ forklift truck ที่มีนน.เพลา 25-120 กิโลปอนด์ จะเห็นได้ว่าพื้นคอนกรีตที่รับนน.เพลาของ forklift truck สูงกว่า 25 กิโลปอนด์ ขึ้นไปจะไม่ใช้ Design Index ในการออกแบบ เนื่องจากหน่วยแรงและจำนวนครั้งของการบดทับของยานพาหนะที่มีนน.เพลาน้อยกว่า(trucks, cars, buses, and small forklifts)จะมีนัยสำคัญน้อยมาก ความหนาของแผ่นพื้นจะประเมินโดยใช้ตัวประกอบเป็นค่านน.เพลาและจำนวนครั้งของการบดทับพิจารณาโดยตรง ขั้นตอนการคำนวณเริ่มจากระบุค่ากำลังดัดของคอนกรีตในแกนตั้งด้านซ้ายของ Design Chart ลากเส้นในแนวนอนไปตัดเส้นกราฟที่ระบุค่า k ที่ใช้ออกแบบ จากจุดตัดลากเส้นลงในแนวตั้งไปจดเส้นโค้งที่ระบุค่านน.เพลา ลากเส้นแนวนอนไปยังจำนวนครั้งของการบดทับ ขั้นตอนสุดท้ายลากเส้นแนวตั้งไปยังแกนนอนด้านขวาซึ่งระบุผลคำนวณความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินที่ต้องการ ในรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินที่รับภาระ forklift truck นน.เพลาสูงสุด 75 กิโลปอนด์ที่มีจำนวนการบดทับ 100,000 ครั้งตลอดอายุการใช้งาน โดยกำหนดค่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต = 745 psi และค่า k = 100 pci ได้ผลคำนวณความหนาแผ่นพื้น 10.1 นิ้ว



รูปที่ 2 Design Chart ใช้ออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดินสำหรับ forklift truck นน.เพลา 25 – 120 กิโลปอนด์ [5]

<u>ข้อพิจารณาอื่นๆ</u>

1) การควบคุมรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นจากการหดหรือขยายตัวของแผ่นคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียน้ำในคอนกรีต(drying shrinkage) และจากแรงเสียดทานของดินคันทาง(subgrade drag) วิศวกรสามารถควบคุมไม่ให้เกิดรอยแตกเหล่านี้โดยเลือกใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำ (w/c ratio) ปริมาณเหมาะสมเพื่อลดการหดตัวร่วมกับการกำหนดระยะห่างรอยต่อระหว่างแผ่นให้สั้น

2) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตล้วน COE แนะนำให้กำหนดระยะห่างรอยต่อเพื่อการหดตัว(Tranverse contraction joint) ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 7 ในกรณีต้องการระยะห่างรอยต่อระหว่างแผ่นมากขึ้นเพื่อสะดวกต่อการก่อสร้างควรเลือกใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กกันร้าว(slab reinforced for shrinkage and temperature only)

โดยใช้วิธีกำหนดความหนาแผ่นพื้นเช่นเดียวกันแต่เพิ่มปริมาณเหล็กเสริมเพื่อควบคุมรอยแตกร้าว ซึ่งปริมาณเหล็กเสริมประเมินได้จาก subgrade drag equation

ตารางที่ 7 ระยะห่างรอยต่อเพื่อการหดตัว(Tranverse contraction joint)ของพื้นคอนกรีตเปล่าวางบนดิน

Slab Thickness	Joint Spacing
in.	ft.
4 - 6	Up to 12.5
6 - 9	12.5 – 15.0
9 - 12	15.0 - 20.0
>12	20.0 - 25.0

3) สำหรับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก COE กำหนดค่าสูงสุดของระยะระหว่างรอยต่อ contraction joint ทั้งด้านกว้างและยาว ไม่เกินค่าที่คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$L = \sqrt[3]{0.00047\, h_r \left(f_s S\right)^2} \leq 75\ ft.$$

L = ระยะระหว่างรอยต่อสูงสุด (ft.)

h = ความหนาแผ่นคอนกรีต (in.)

f_s = หน่วยแรงคราก ของเหล็กเสริม (psi)

S = ปริมาณเหล็กเสริม (%)

<u>ข้อสรุป</u>

กระบวนการออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินรับภาระนน.บรรทุก forklift truck โดยวิธีของ COE มีข้อดีคือขั้นตอนที่ปฏิบัติตามได้ง่าย ไม่ต้องใช้ข้อมูลออกแบบเริ่มต้นที่มีรายละเอียดมาก ต้องการเพียงค่าน้ำหนักเพลา ข้อมูลจราจรของยานพาหนะที่ใช้บริการ และค่ากำลังคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้าง ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบอื่นเช่น วิธีของ PCA[3] ที่จะต้องระบุรายละเอียดถึงค่าแรงดันลมในล้อ ระยะห่างระหว่างล้อ แต่วิธีของ COE ก็มีข้อจำกัดคือกระบวนการออกแบบไม่ยืดหยุ่นสำหรับยานพาหนะที่มีสัณฐานแตกต่างออกไปมากจากรูปแบบนน.เพลาที่ใช้สร้าง Design Chart และไม่สามารถเจาะจงค่า factor of safety อื่นเพื่อใช้ออกแบบ ซึ่งในกรณีดังกล่าวผู้เขียนขอแนะนำให้ใช้วิธีออกแบบของ PCA หรือวิธีอื่นๆที่สามารถรองรับข้อจำกัดดังกล่าว

<u>บรรณานุกรม</u>

1. จิรพัฒน์ โชติกไกร, การออกแบบทาง, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2546.
2. Ringo, B.C. and Anderson, R.B., *Designing Floor Slab on Grade*, The Aberdeen Group, 1992
3. ACI Committee360,*Design of Slab on Grade* (ACI 360R-92), American Concrete Institute, Detroit, Michigan,1997
4. American Society for Testing and Materials, *Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading* (ASTM C78-84), West Conchohocken, PA, 2000
5. Department of the Army and the Air Force,*Concrete Floor Slabs on Grade Subjected to Heavy Loads*, TM5-809-12/AFM88-3 Chap.15, Aug1987
6. Department of the Army and the Air Force, *General Provisions and Geometric Design for Roads, Streets, Walks, and Open Storage Areas*, TM5-822-2/AFM88-7 Chap.5, Jul 87
7. Department of the Army and the Air Force, *Pavement Design for Roads, Streets, Walks, and Open Storage Areas*, TM5-822-5/AFM88-7 Chap.1, Jun1992