

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 บันไดและทางลาด

บันได (staircases) หรือทางลาด (Ramp) ก็คือแผ่นพื้นนั่นเอง เพียงแต่มีความลาดเอียง หรือมีลูกขั้นเพิ่มเติมขึ้นมาเท่านั้น บันไดอาจมีลักษณะเป็นแผ่นพื้นทางเดียว พื้นสองทางหรือพื้น ยื่น ปกติจะคำนวณออกแบบบันไดให้เสริมเฉพาะเหล็กด้านทานแรงดึง (เป็น Single reinforcement) และให้คอนกรีตด้านทานแรงเฉือนเพียงอย่างเดียว (ไม่ใช้เหล็กเสริมด้านทานแรงเฉือน) เว้นแต่หากมีความจำเป็นอาจออกแบบบันไดให้เสริมทั้งเหล็กด้านทานแรงอัดและแรงดึง (เป็น Double reinforcement) ได้ ข้อยุ่งยากของการออกแบบบันได ได้แก่ การคาน้ำหนักคงที่ และการให้รายละเอียดเหล็กเสริม แม้บันไดส่วนใหญ่จะออกแบบเหมือนแผ่นพื้นทางเดียว แต่ในทางปฏิบัติมักไม่พบบันไดที่มีลักษณะเป็นแผ่นพื้นทางเดียวอิสระ ดังนั้นปลายบันไดที่ต่อเนื่อง กับแผ่นพื้น เหล็กเสริมด้านบนและด้านล่างของบันได ควรต้องต่อเนื่องกับเหล็กเสริมด้านบนและด้านล่างของแผ่นพื้นที่อยู่ต่อเนื่องกันหรือกลับกัน

2.2 ประเภทของบันได

ถ้าแบ่งประเภทของบันไดออกตามลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างบันได สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

บันไดที่เกิดเฉพาะโมเมนต์ดัด (bending moment) และแรงเฉือน (shear) เช่น

- บันไดแบบท้องเรียบหรือแบบพับผ้าที่วางพาดบนคานาชั้นล่างกับคานาชั้นบน
- บันไดแบบท้องเรียบหรือแบบพับผ้าที่มีคานารองรับด้านข้างทั้งสองข้างของชั้นบันได
- บันไดปลายยื่นที่ยึดติดกับคานาหรือผนังข้างเดียว รูปแบบอาจเป็นบันไดท้องเรียบหรือพับผ้า หรือเป็นชั้นบันไดลูกนอนเป็นตัวๆ

บันไดที่เกิดทั้งโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และแรงบิด (torsion) เช่น

- บันไดท้องเรียบที่ขานพับกลอยไม่มีคานารองรับ
- บันไดโค้งหรือบันไดเวียน

2.3 การคำนวณโครงสร้างบันไดที่วางพาดบนคานชั้นล่างกับคานชั้นบน

บันไดที่วางพาดบนคานชั้นล่างกับชั้นบนนี้ เป็นบันไดที่พบเห็นได้ทั่วไป ออกแบบและก่อสร้างได้ง่าย โดยทั่วไปจะเป็นบันไดแบบท้องเรียบ อาจจะพาดช่วงเดียวหรือพับกลับมาเป็นรูปตัว L หรือ รูปตัว U ถ้าเป็นบันไดแบบพับผ้า มักจะพบเห็นในอาคารสำนักงานหรืออาคารพิเศษที่ต้องการใช้ความสวยงามของบันไดด้วย แต่การก่อสร้างจะเสียเวลามากขึ้น และการตัดเหล็กก็ยุ่งยากมากขึ้น

หลักการคำนวณโครงสร้างเหมือนกับการออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว (one way slab) แต่ช่วงพาดของพื้นบันไดกับคานจะค่อนข้างยาวมากขึ้น โดยทั่วไปไม่ควรยาวมากกว่า 3.00 - 4.00 ม. ถ้าความยาวมากกว่านี้ ควรเสริมคานรองรับเพิ่มเติม

แสดงบันได ค.ส.ล. ชนิดต่างๆ แสดงวิธีคำนวณน้ำหนักคงที่ของบันไดท้องเรียบ และบันไดพับผ้า

ในบันไดท้องเรียบที่วางพาดตามยาว ระหว่างคานที่รองรับชั้นล่างและชั้นบน คำนวณออกแบบเหมือนคานเหล็กเสริมหลักซึ่งอยู่ด้านนอกใกล้ผิวจึงวางตามยาว ในขณะที่เหล็กเสริมอีกด้านหนึ่งเป็นเหล็กด้านการยึดหดเหมือนแผ่นพื้นทางเดียว น้ำหนักบนบันไดจะถ่ายลงคานที่รองรับทั้งสอง ซึ่งอยู่คนละระดับกัน ในสมัยก่อนมักเว้นช่องว่าง (Gap) ระหว่างด้านข้างของแผ่นพื้นบันไดกับกำแพงก่อหรือผนัง ค.ส.ล. ปัจจุบันไม่นิยมทำเช่นนั้นเพราะยุ่งยาก จึงยอมให้มีรอยแตกหรือเสริมเหล็กด้านการยึดหดให้เพียงพอ

บันไดพับผ้า มีลักษณะเป็นเหมือนแผ่นพื้นที่ถูกพับ (Folded) ไปมา และการจัดเรียงเหล็กเสริมชั้นข้างลำบาก เพราะต้องพับไปมาตามรูปร่างบันได แทนที่จะเป็นเส้นตรงๆ ดังเช่นบันไดท้องเรียบ จึงควรใช้เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มากนัก

บันไดที่มีคานขนานทั้งสองด้านตลอดความยาวมีลักษณะเป็นแผ่นพื้นทางเดียวล้วนๆ รองรับด้วยคานที่ขนานทั้ง 2 ด้าน น้ำหนักจากแผ่นพื้นบันไดจึงถ่ายลงคานขนานทั้งสองนี้ แผ่นพื้นอาจมีท้องเรียบ หรือพับไปมา ดังเช่นบันไดพับผ้า เหล็กเสริมหลักในบันไดประเภทนี้จะวางขวาง ในขณะที่เหล็กตามยาวเป็นเหล็กด้านการยึดหดแทน เหล็กเสริมบันไดชนิดนี้จึงกลับหรือสลับด้านกับในกรณีของบันไดท้องเรียบ หรือบันไดพับผ้าที่วางพาดตามยาว

ในบันไดชนิดยื่นทั้งชนิดท้องเรียบ หรือพับต่อเนื่อง และแบบแยกชั้นอิสระ เหล็กเสริมหลักจะอยู่ที่แผ่นบนคล้ายพื้นยื่น ในขณะที่เหล็กเสริมอีกด้านหนึ่งเป็นเหล็กเสริมด้านการยึดหด แต่ในบางกรณีสำหรับบันไดยื่นชนิดต่อเนื่องเหล็กดังกล่าวอาจเป็นส่วนหนึ่งของเหล็กเสริมสำหรับแรงเฉือนก็เป็นไปได้

บันไดที่ต้องวิเคราะห์และออกแบบอย่างละเอียด และยุ่งยากมากคือ บันไดชนิดขานพักลอย (Jack-Knife or Free-Standing or Dog-Leg staircase-รูปที่ 1.1 ณ) โดยเฉพาะบันไดประเภทนี้จะถ่ายโมเมนต์บิดลงคานที่รองรับ บันไดขานพักลอยอาจมีหลายลักษณะเช่น เป็นแผ่นพื้นขึ้นเดียวที่ค่อนข้างหนา (ขึ้นกับความยาวช่อง) วางพับเปลี่ยนทิศทางที่บริเวณขานพักแล้วพาดกับที่รองรับซึ่งอยู่ต่างระดับกัน

บางครั้งอาจใช้คานแม่บันไดเพียงตัวเดียว พับและพาดระหว่างชั้น แล้วออกแบบให้ลูกขึ้นเป็นพื้นยื่นออกจากคานแม่บันไดทั้ง 2 ด้าน หรือหากใช้คานแม่บันได 2 ตัวขนานกัน พื้นบันไดก็จะมีลักษณะเป็นพื้นทางเดียวสั้นที่ขนานด้วยคานทั้ง 2 ด้าน

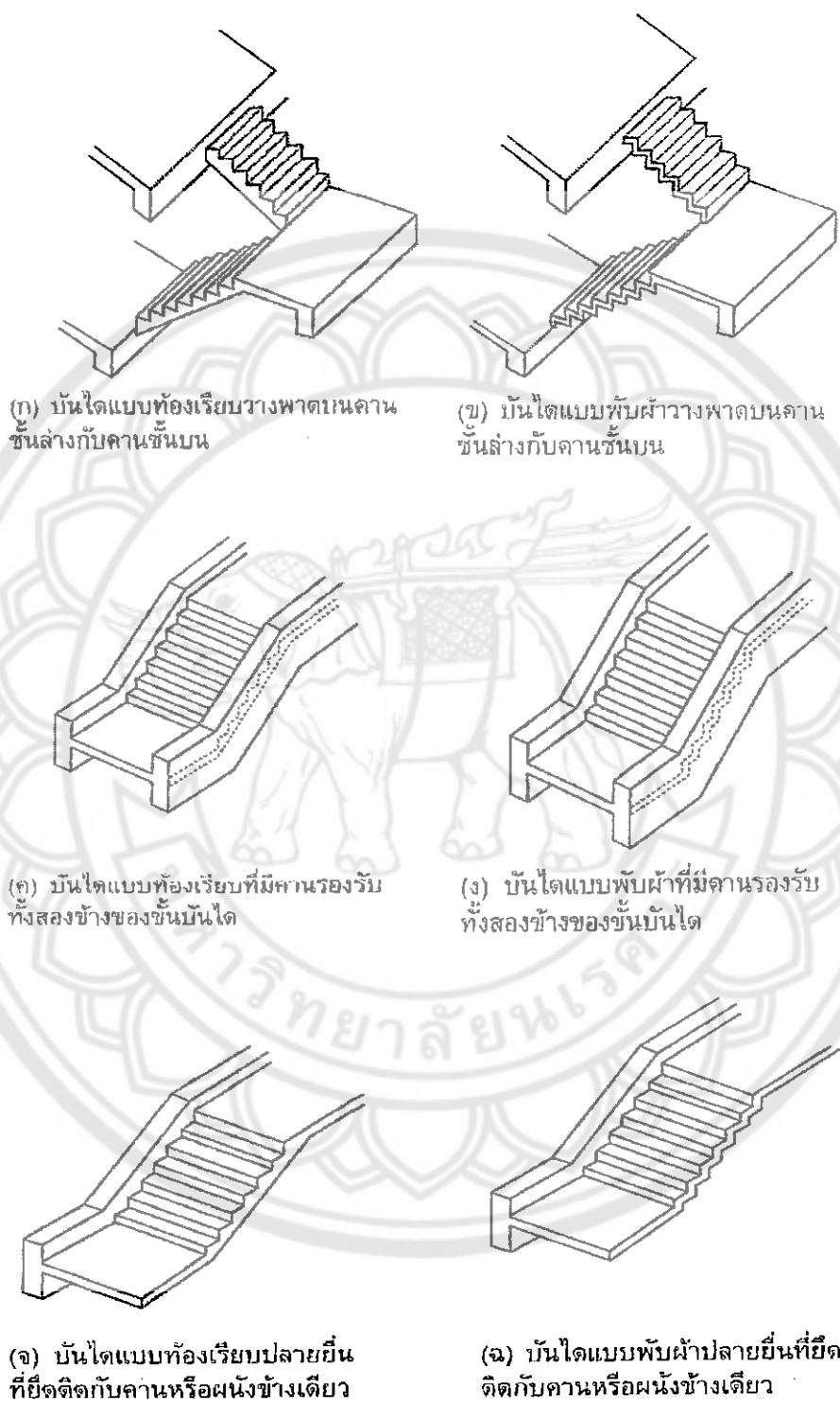
บันไดอีกชนิดหนึ่งคือ บันไดวนหรือบันไดเวียน อาจมีเพียงพื้นแผ่นหรือขึ้นเดียวที่ค่อนข้างหนา บิดตัวและวางทอดจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง แผ่นพื้นหรือตัวบันไดนี้อาจมีทั้งเรียบหรือพับไปมาคล้ายบันไดพับผ้า

บางครั้งก็ใช้คานแม่บันไดตัวเดียวบิดตัวและวางทอดแทน โดยออกแบบให้พื้นบันไดยื่นจากคานทั้ง 2 ด้าน คล้ายพื้นยื่น หรือมีคานแม่บันไดขนานแผ่นพื้นบันไดทั้งสองด้านบิดตัวและวางทอดระหว่างชั้น หรือระดับ กรณีเช่นนี้ จึงคำนวณออกแบบพื้นบันไดดังเสมือนเป็นแผ่นพื้นทางเดียว

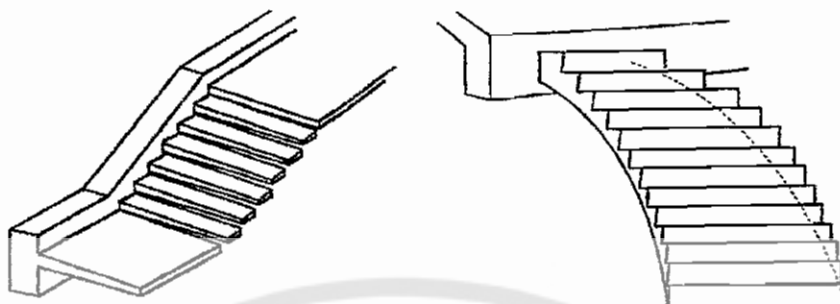
เนื่องจากชั้นบันไดจะเวียนหรือวนรอบแกนตั้งฉากกับแนวระนาบคล้ายขดลวด การวิเคราะห์ ออกแบบ และก่อสร้างจึงยุ่งยากขึ้น คานแม่บันไดที่รับบันไดชนิดพื้นยื่น บันไดวนหรือบันไดเวียน จะต้องออกแบบให้สามารถต้านการบิดที่เกิดขึ้นด้วย

ปกติทั่วไปบันไดมีลูกตั้งสูงระหว่าง 0.17 ถึง 0.18 เมตร หากน้อยหรือมากกว่านี้ จะก้าวเดินไม่สะดวกส่วนลูกนอนปกติจะกว้าง 0.25 เมตร เป็นอย่างน้อยเว้นแต่บันไดพิเศษ เช่น บันไดทางขึ้นอาคารอาจมีลูกนอนกว้างกว่านี้

ส่วนทางลาด (Ramp way) จะออกแบบเป็นแผ่นพื้นทางเดียวหรือสองทาง ขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นพื้นและสภาพที่รองรับ มักปรากฏว่าคานรับทางลาดส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นแผงกันหรือแผงกันตก (Barrier or parapet) ไปในตัว ดังนั้นระดับท้องพื้นทางลาดจึงอาจเสมอกับระดับท้องคาน การออกแบบยังคงเป็นปกติเช่นพื้นทั่วไป

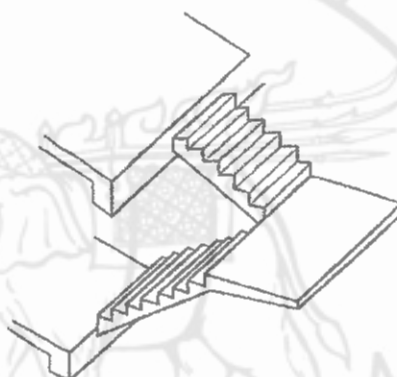


รูปที่ 1.1 บันได ค.ส.ล. ชนิดต่างๆ



(ข) บันไดแบบลูกนอนเป็นตัวยื่น
ที่ยึดติดกับคานหรือผนังข้างเดียว

(ค) บันไดโค้งหรือบันไดเวียน
แบบท่อนเรียบ



(ง) บันไดแบบท่อนเรียบขานพักลอย
ไม่มีคานรองรับ

รูปที่ 1.1 บันได ค.ส.ล. ชนิดต่างๆ (ต่อ)

2.4 ตัวอย่าง จงคำนวณออกแบบบันไดต้องเรียบและคานรับบันได หากความสูงระหว่างชั้นของอาคาร 3.50 เมตร บันไดมีลูกลื่นกว้าง 0.25 เมตร และชานพักอยู่ที่ระดับกึ่งกลางความสูงระหว่างชั้น

$$\text{กำหนดความหนา} = 0.12 \text{ เมตร}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกคงที่} = 460 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{น้ำหนักทั้งหมด} = 460 + 300 = 760 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{\max} = \frac{760 \times 2.25^2}{8}$$

$$= 481 \text{ kg-m}$$

$$V_{\max} = \frac{760 \times 2.25}{2}$$

$$= 855 \text{ kg}$$

$$d = 0.12 - 0.025 - \frac{0.009}{2}$$

$$= 0.0905 \text{ m}$$

$$M_r = 16.89 \times 1.00 \times 9.05^2$$

$$= 1383 > 481 \text{ kg-m} \quad \text{ใช้ได้}$$

$$V_c = 0.29 \times \sqrt{210} \times 100 \times 9.05$$

$$= 3803 > 855 \text{ kg} \quad \text{ใช้ได้}$$

$$A_s = \frac{481}{1200 \times 0.862 \times 0.0905}$$

$$= 5.14 \text{ cm}^2$$

$$u = \frac{1.165 \times \sqrt{210}}{0.9}$$

$$\leq 11 \quad (\text{ใช้ } 11 \text{ ksc})$$

$$\Sigma_0 = \frac{855}{11 \times 0.862 \times 9.05}$$

$$= 9.97 \text{ cm}$$

$$A_{s-\min} = 0.0025 \times 100 \times 12$$

$$= 3.00 \text{ cm}^2$$

(ใช้ RB 9 mm @ 0.125 m , $A_s = 5.12 \text{ cm}^2$, $\Sigma_0 = 22.62 \text{ cm}$)