หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบโครงสร้างเพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างอาคารเชิงราบ

การลดต้นทุนในการก่อสร้างอาคารเชิงราบซึ่งรวมถึงเรือนแถวพักอาศัยนั้นมีหลายวิธี สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะแสดงถึงการลดต้นทุนโดยการออกแบบโครงสร้างอย่างง่าย ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างความรู้ความเข้าใจให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบงานก่อสร้างทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ควบคุมงานที่ไม่ใช่วิศวกร โดยการฝึกอบรมหลักการและทฤษฎีของการออกแบบโครงสร้างก่อนที่จะลงมือปฏิบัติงาน และควรจะมีการแบ่งออกตามความเหมาะสมของการรับรู้ในแต่ละระดับ ทั้งนี้เพื่อที่จะช่วยให้บุคคลที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างสามารถตัดสินใจในระหว่างการปฏิบัติงานได้ในระดับหนึ่ง ทำให้งานก่อสร้างสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างต่อเนื่องไม่หยุดชะงัก

ในการออกแบบโครงสร้างเพื่อลดต้นทุนโครงการก่อสร้างอาคารเรือนแถวพักอาศัยโครงการพระรามเก้าวิลล์นี้ ได้นำเอาวิธีการต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างความสำนึกทางวิศวกรรมโครงสร้างสำหรับผู้ที่มิใช่วิศวกรโครงสร้าง (STRUCTURAL ENGINEERING CONCEPT FOR NON-STRUCTURAL ENGINEERS) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างอาคารเชิงราบส่วนใหญ่ เจ้าของโครงการ ผู้ควบคุมงาน หรือหัวหน้าคนงานมักจะใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม จึงเป็นไปโดยการอาศัยประสบการณ์ การเรียนรู้จากผู้ร่วมงานเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในบางครั้งถึงกับไม่สามารถอ่านแบบแปลนได้ ซึ่งทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ เช่นการผูกเหล็กสลับกันโดยเอาเหล็กที่ควรอยู่ด้านบนกลับไปผูกเอาไว้ข้างล่าง เหล็กที่อยู่ข้างล่างเอาไว้ข้างบน หรือในบางครั้งคานสองช่วงทำให้เหลือช่วงเดียวโดยการเอาเสากลางออก เป็นต้น หากเป็นกรณีที่กระทำโดยพลการหรือไม่ได้มีการหารือวิศวกร ก็อาจทำให้อาคารนั้นขาดความแข็งแรงทั้ง ๆ ที่ได้มีการเพิ่มวัสดุรับกำลังมากมายแต่เป็นการกระทำ ที่ผิดวิธี ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารอย่างยิ่ง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้รวบรวมถึงหลักการออกแบบโครงสร้างเพื่อช่วยลดต้นทุนสำหรับการก่อสร้างอาคารเชิงราบโดยทั่วไป ซึ่งกล่าวได้เป็นลำดับ ดังนี้ :-

3.1 การออกแบบเหล็กเสริมให้ตรงส่วนที่รับกำลัง

3.1.1 การใส่เหล็กในแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล.)

ในความเข้าใจทั่วไป มักจะเข้าใจว่าเหล็กที่วางทางยาวจะต้องใช้มากกว่าทางสั้น ทั้งนี้เนื่องจากคำนึงว่าคานช่วงยาวกว่าจะต้องใส่เหล็กมากกว่า แต่แท้ที่จริงแล้วการใส่เหล็กในแผ่นพื้น ค.ส.ล. นั้น เหล็กทางสั้นจะเป็นเหล็กที่รับกำลังหลัก และเหล็กทางยาวเป็นเหล็กที่รับกำลังรอง และถ้าสังเกตการวางไม้บนคานตามรูปที่ 3.1 (A) และ (B)ซึ่งมีวิธีการวางไม้ได้ 2 วิธี คือวางตามสั้นและวางตามยาว จะเห็นได้ว่าถ้าวางตามสั้นนั้นจะใช้ไม้ได้บางกว่าและประหยัดกว่าไม้ที่ใช้เป็น L1xL2xT1 แต่ถ้าวางตามยาวจะเปลืองไม้มากกว่าไม้ที่จะใช้เป็น L1xL2xT2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบสัดส่วนของโมเมนต์ดัด

จากสูตรการคิดโมเมนต์ดัด $M = C.W.L^2$

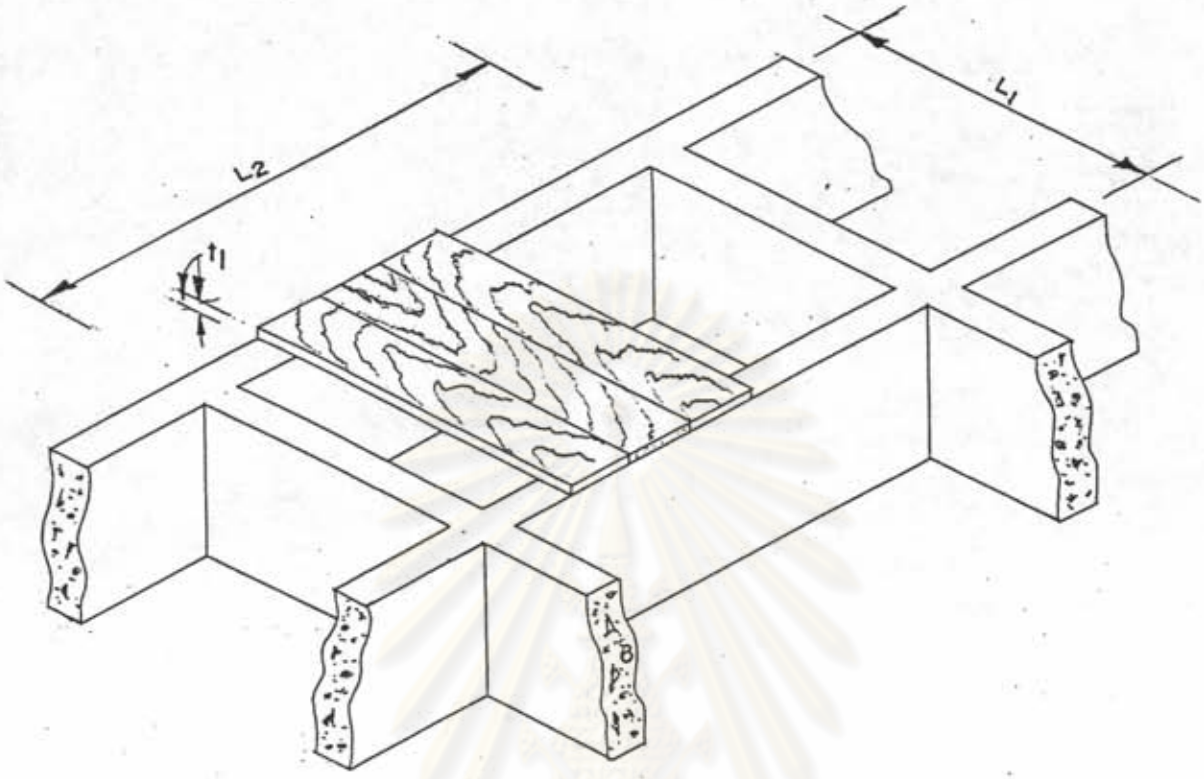
โมเมนต์ดัดตามสั้น $= C.W.L_1^2$: โมเมนต์ดัดตามยาว $= C.W.L_2^2$

สัดส่วนของโมเมนต์ดัดทั้งสองเป็น $L_1^2 : L_2^2$

จากการเปรียบเทียบข้างต้นจะเห็นได้ว่า สัดส่วนของโมเมนต์ดัดเป็นยกกำลังสอง ทำให้ช่วงห่างของฐานรองรับ (L) มีความหมายมาก เช่น ช่วงห่างของฐานรองรับที่ห่างกัน 4 และ 8 เมตร โมเมนต์ดัดจะเห็นสัดส่วนเท่า $4^2 : 8^2$ เท่ากับ 16 :64 หรือเท่ากับ 1 : 4

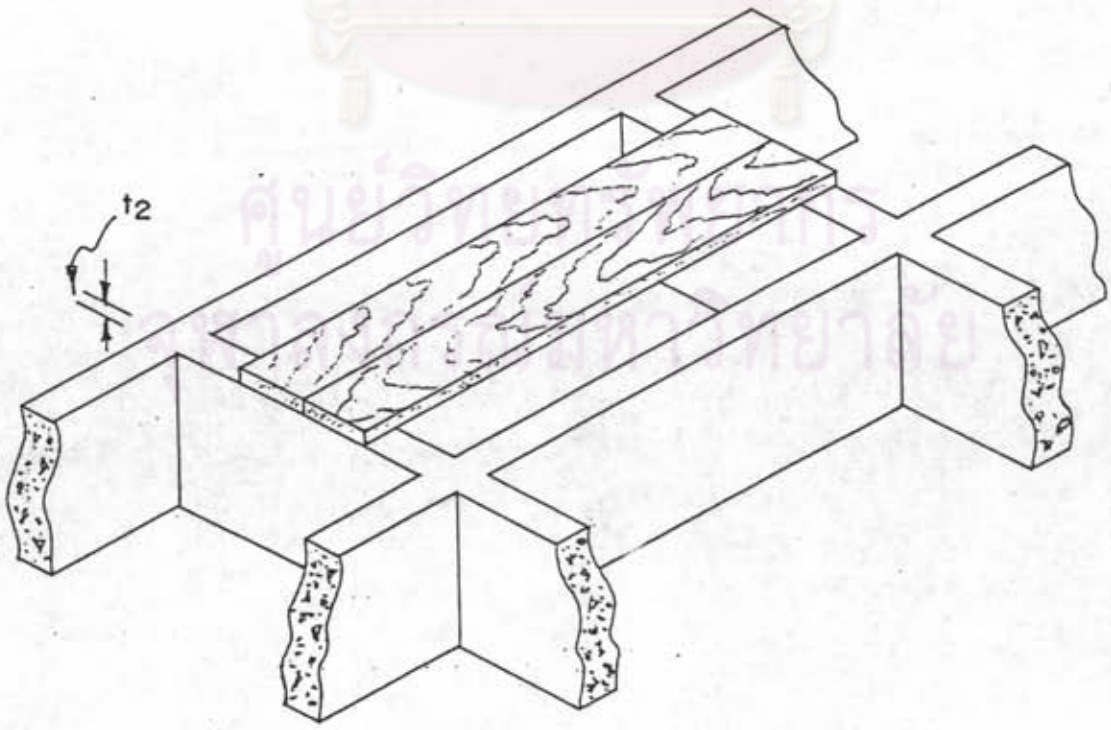
ดังนั้นในการออกแบบพื้น ค.ส.ล. ทางเดียว จึงพยายามหลีกเลี่ยงการออกแบบเหล็กเสริมหลักตามยาวโดยพยายามออกแบบเหล็กเสริมทางสั้น เพราะฉะนั้นการเสริมเหล็กของพื้นสองทางก็ทำนองเดียวกัน เหล็กเสริมหลักจะอยู่ทางสั้น และเหล็กเสริมรองจะอยู่ทางยาว นั่นคือเหล็กทางสั้นจะมากกว่าเหล็กทางยาวเสมอไป

รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบการวางไม้ทางสั้นกับทางยาว



(A) วางทางสั้นกว่าใช้แผ่นไม้บางกว่า

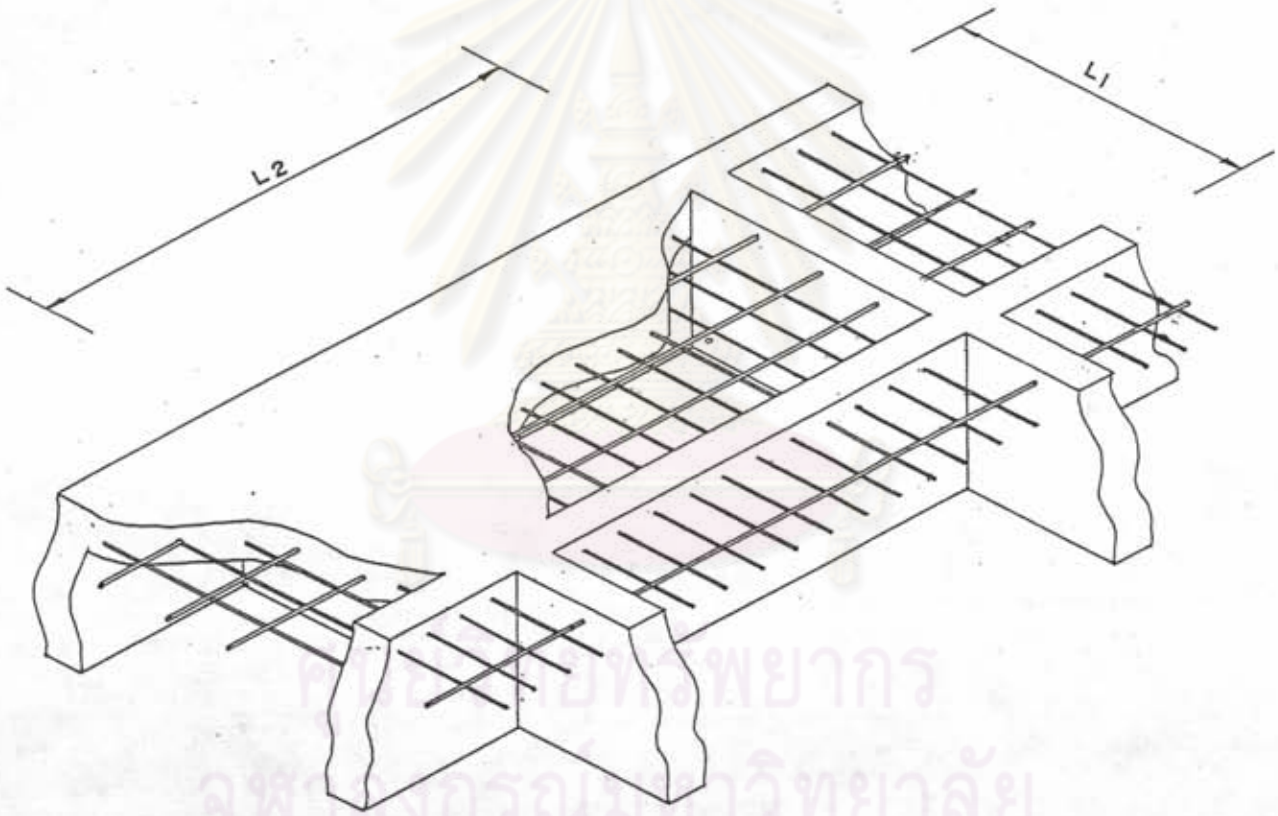
$L_1 < L_2 \rightarrow T_1 < T_2$



(B) วางทางยาวกว่าต้องใช้แผ่นไม้หนาขึ้น

<u>รูปที่ 3.2</u> แสดงการผูกเหล็กสองทาง

หน้าตัดเหล็กทางสั้นมากกว่าหน้าตัดเหล็กทางยาว

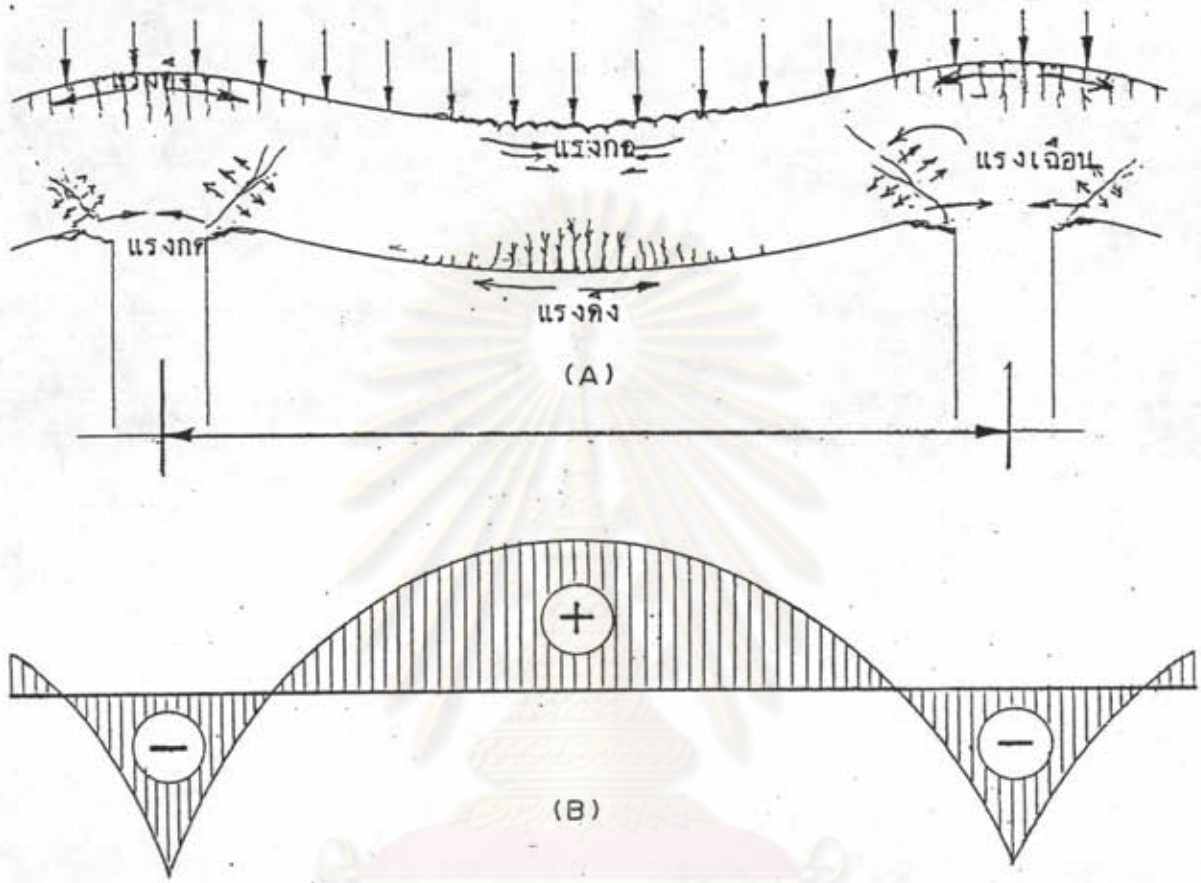


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

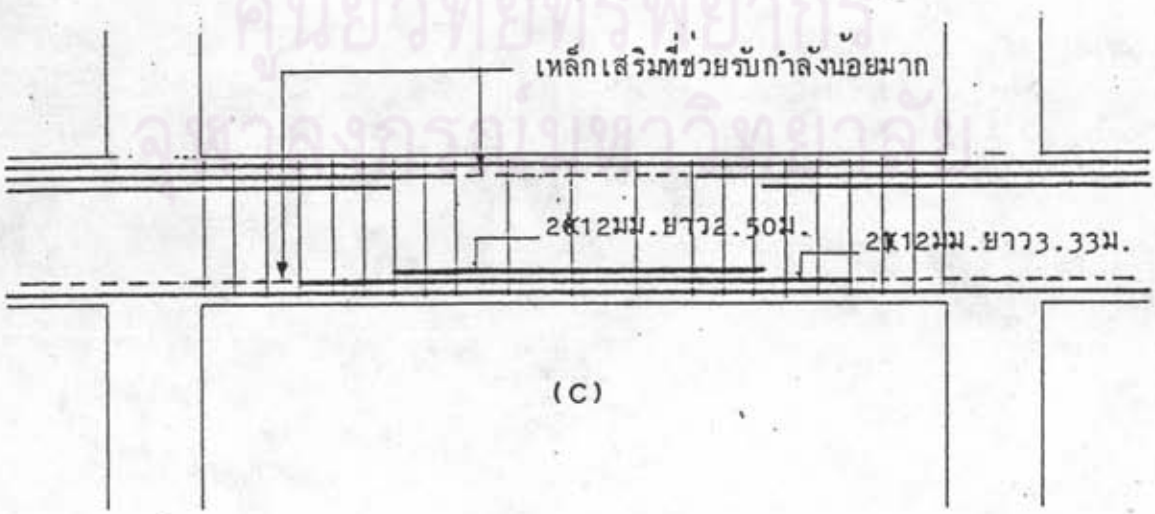
3.1.2 การเสริมเหล็กในคาน

โดยหลักการแล้วการออกแบบโครงสร้างของพื้น ค.ส.ล. เหล็กเสริมทางเดียวกันกับคานก็มักกรรมวิธีเดียวกัน คือ พื้นเสริมเหล็กทางเดียวก็เหมือนคานแบน ๆ แต่คานส่วนใหญ่จะมีความกว้างของคานน้อยกว่าความลึก หลักการเสริมเหล็กในคานนั้น ถ้าจะให้ดีควรเสริมให้ตามกำลังที่รับในโมเมนต์ไดอแกรม (MOMENT DIAGRAM) จะทำให้ประหยัดและมีความมั่นคงแข็งแรง และเมื่อพิจารณาจากประสบการณ์แล้วเห็นว่า การเสริมเหล็กตลอดทำให้เกิดความสิ้นเปลือง ซึ่งอาจยกตัวอย่างได้ ตามรูปที่ 3.3 สมมติคานเป็นแท่งยื่งผึ้งหรือดินน้ำมัน จะสังเกตุได้ว่า ที่กลางคานส่วนบน อนูของโมเลกุลจะถูกกดให้ยู่เข้าหากัน ในขณะเดียวกันที่ส่วนล่างของคาน อนูของโมเลกุลจะแยกออกจากกัน ทำให้เกิดแรงดึง โดยแรงทั้งสองจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่กึ่งกลางหรือประมาณกึ่งกลาง (ทั้งนี้ไม่นับกรณีที่มีน้ำหนักที่เป็นจุดมากๆ ค่อนไปอยู่เสาใดเสาหนึ่ง) แล้วจึงค่อยกระจายน้อยลง โดยพิจารณาจากโมเมนต์บวกตามรูปที่ 3.3 (B) ประกอบ แรงกดแรงดึงทั้งสองชนิดจะค่อย ๆ น้อยลงจนถึงใกล้ศูนย์จุดระยะ L/5 จากเสาแล้วแรงทั้งสองชนิดจะเปลี่ยนทิศทางและค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นไปจนมากสุดที่หน้าเสา สังเกตุจากรูป 3.3(A)และ 3.3(B) ส่วนบนจะเกิดแรงดึง ส่วนล่างจะเกิดแรงกด ซึ่งจะกลับกันกับที่กลางคาน พึงสังเกตุจุดที่กลับทิศทางของแรงทั้งสอง (โมเมนต์เป็นศูนย์) นั้นอยู่ที่ L/5 จากเสา นั่นคือ จุดที่ใช้เป็นที่หักคอม้าของเหล็กในคาน และเมื่อพิจารณาการเสริมเหล็กในรูป 3.3 (C) จากรูป 3.3 ส่วนที่รับแรงกดนั้นเป็นหน้าที่ของคอนกรีต ส่วนที่รับแรงดึงจึงเป็นหน้าที่ของเหล็ก (ทำหน้าที่เหมือนด้ายที่เย็บไม่ให้แผลแยกออกจากกัน) คอนกรีตรับแรงดึงได้น้อยมาก และโดยความเป็นจริงแล้วเหล็กสามารถรับได้ดีทั้งแรงดึงและแรงกด แต่เมื่อเปรียบเทียบราคาเหล็กกับคอนกรีตที่มารับแรงกดด้วยกันแล้ว คอนกรีตมีราคาถูกกว่ามาก และเมื่อพิจารณาจาก MOMENT DIAGRAM ในรูป 3.3 (B)จะเห็นว่าเหล็กรับแรงดึงที่กลางคานข้างล่างจะมากตรงกลางแล้วค่อย ๆ น้อยลง และจะค่อยมากขึ้นที่หัวเสาแต่กลับขึ้นไปอยู่ข้างบนเพราะฉะนั้นในการ

<u>รูปที่ 3.3</u> แสดงการจัดเหล็กให้เป็นไปตามโมเมนต์ไดอะแกรม

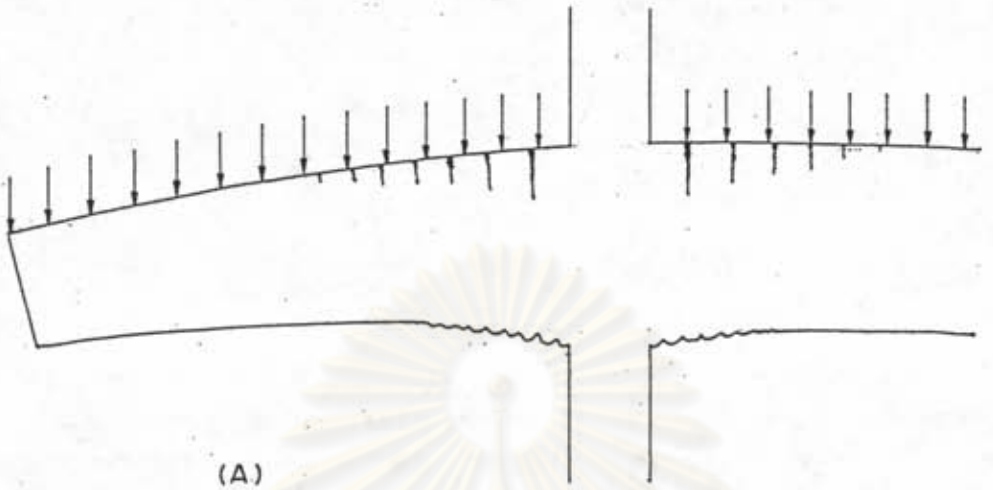


MOMENT DIAGRAM

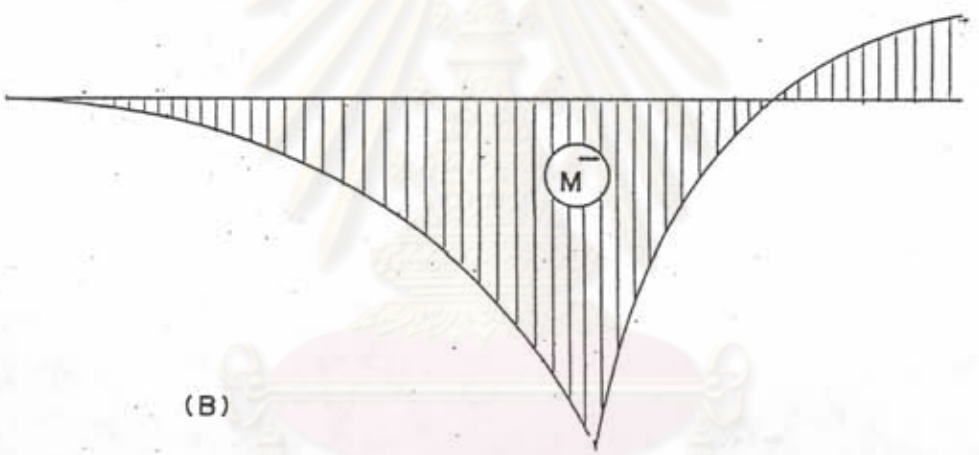


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>รูปที่ 3.4</u> แสดงการจัดเหล็กให้เป็นไปตามโมเมนต์ไดอะแกรมของคานยื่น

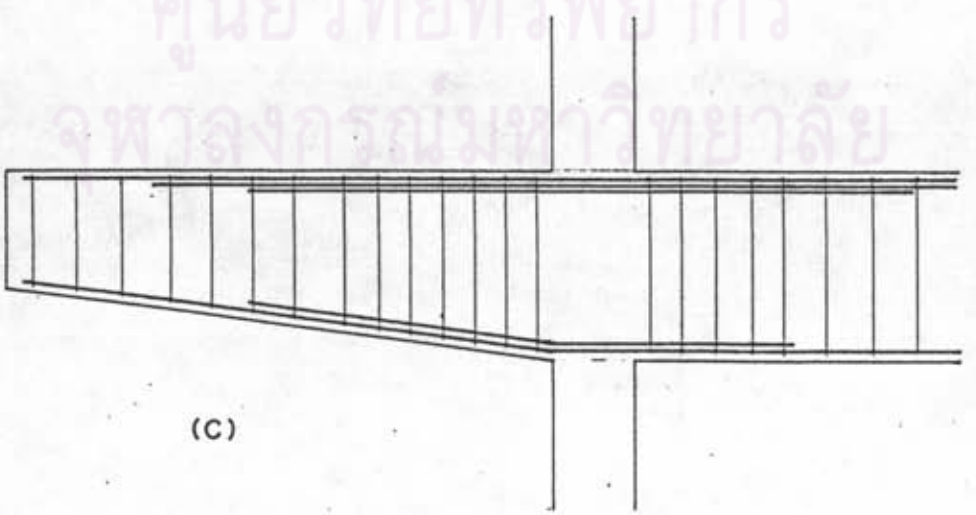


(A)



(B)

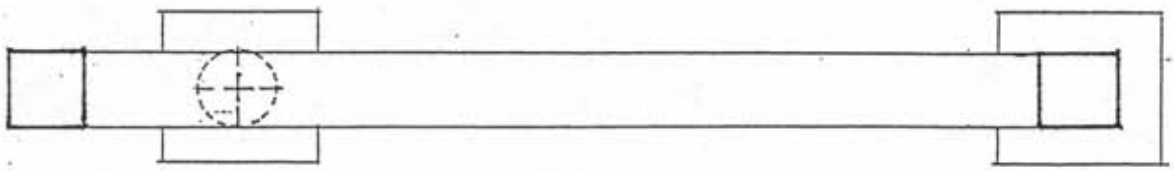
MOMENT DIAGRAM



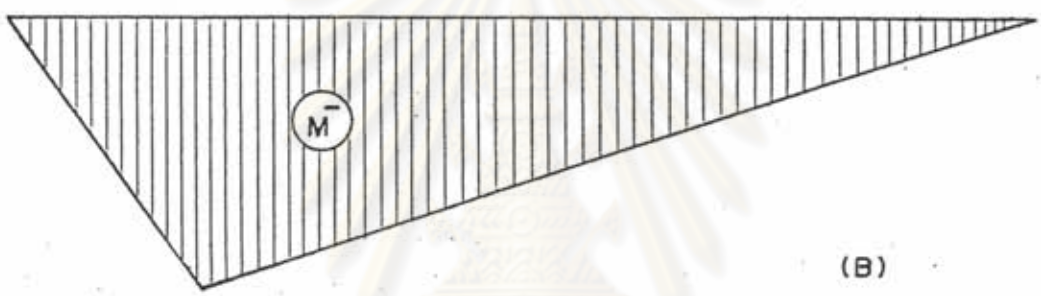
(C)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 แสดงการผูกเหล็กใน STRAP BEAM

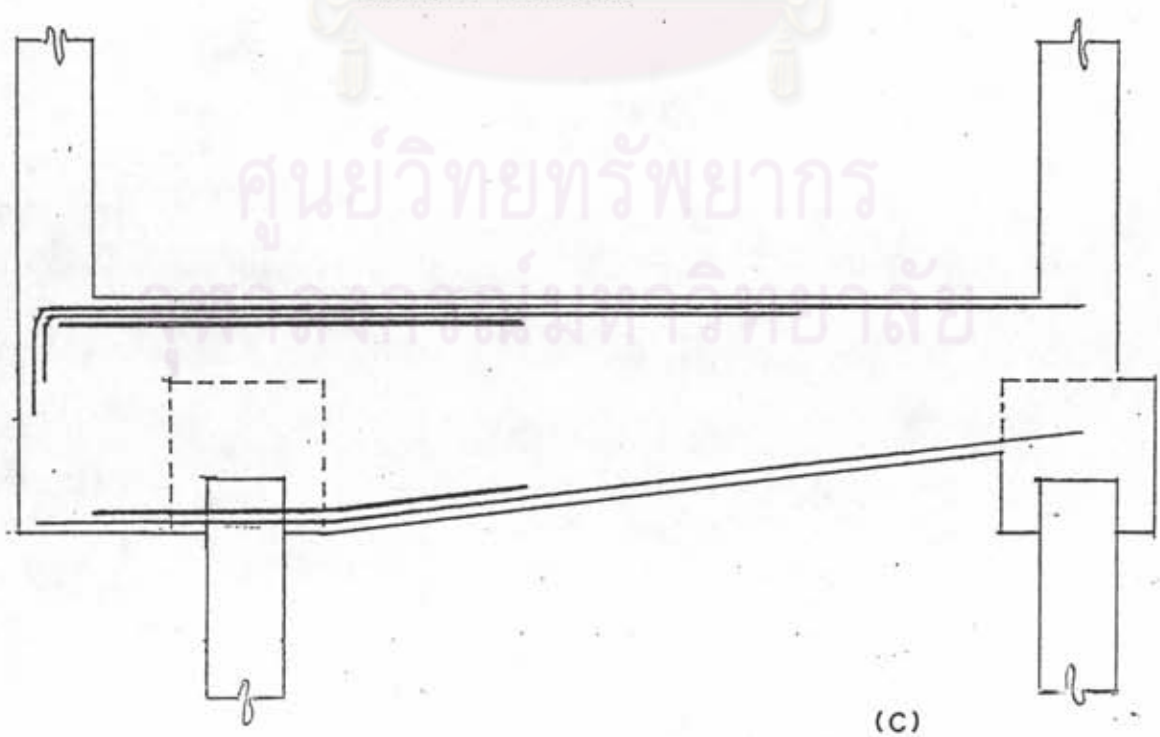


(A)



(B)

MOMENT DIAGRAM



(C)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใส่เหล็กจึงควรเน้นในส่วนที่ต้องการรับแรงมาก แล้วค่อย ๆ ลดลงในส่วนที่รับแรงน้อย คล้ายกับรูปแหนบรถยนต์ตามรูป 3.3 (C) ซึ่งจะเป็นการ PUT THE RIGHT MATERIAL TO THE RIGHT POSITION

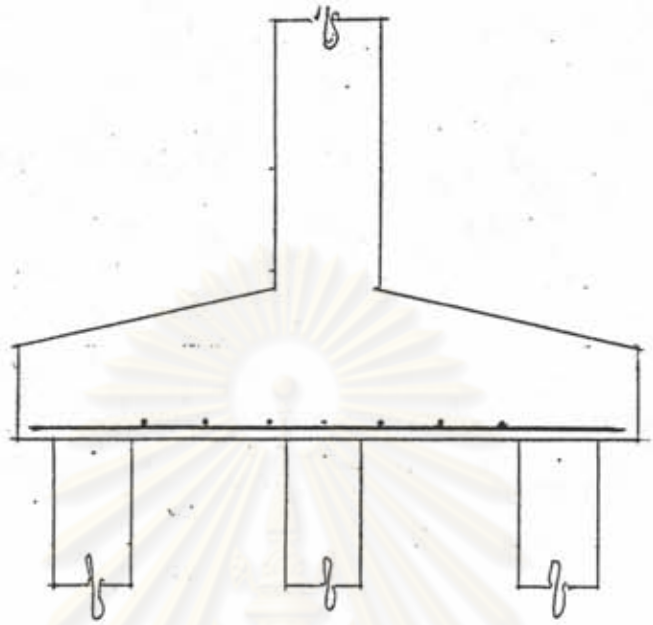
สำหรับหน้าตัดของคาน (ส่วนที่เป็นคอนกรีต) นั้น คงจะไม่มีการลดขนาดให้ใหญ่หรือเล็กตามกำลังรับ แต่อาจมีในบางกรณีที่องค์ประกอบของอาคารสามารถลดปริมาณคอนกรีตได้มาก ๆ หรือลดความลึกของคานเพื่อที่จะทำให้งานระบบ (ท่อประปา ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ ฯลฯ) สามารถลดลงได้ หรือ เพื่อความสวยงาม เป็นต้น การผูกเหล็กในคานยื่น (CANTILEVER BEAM) ก็คล้ายคลึงกัน ในกรณีของคานยื่นนั้นอาจมีการลดปลายคานให้เล็กลงได้ เพราะรับกำลังน้อยตามรูปที่ 3.4 ส่วนที่อยู่ใกล้เสา (ส่วนโคน) จะต้องใหญ่ขึ้นเพราะรับกำลังมาก

คานยื่นอีกอย่างหนึ่งที่ใช้รับเสาหรือบางทีตอกเสาเข็มแล้วหนีศูนย์ก็มีลักษณะคล้ายคานยื่น ซึ่งเรียกว่าคานยึด (STRAP BEAM) โดยน้ำหนักที่ลงเสาทั้งหมดทำหน้าที่เป็นน้ำหนักจุด (POINT LOAD) ลงที่ปลายคานยึด (หรือคานยื่นรับเสาที่อยู่ใต้ดิน) การรับกำลังส่วนใหญ่จึงอยู่ที่ตรงฐานแล้วค่อย ๆ น้อยลงจนถึงเสาตัวที่ใช้รั้งจะรับกำลังน้อยมากตามรูปที่ 3.5 จำนวนเหล็กและขนาดของคานจึงควรลดลงตามส่วนที่ต้องรับกำลังโดยแท้จริง

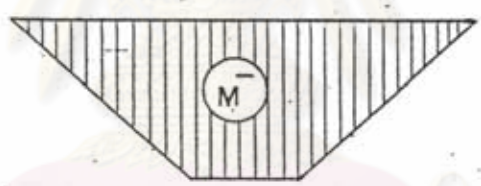
3.1.3 <u>การใส่เหล็กในฐานราก</u>

การใส่เหล็กในฐานรากคล้ายกับแผ่นพื้นยื่นสองทาง (TWOWAY CANTILEVER SLAB) แต่กลับเสารองรับขึ้น หลักการออกแบบก็แบ่งออกเป็นแกนวิกฤต (CRITICAL LINE) 2 แกนตั้งฉากกัน บางรายก็หักเอาส่วนรับกำลังที่เหลื่อมล้ำออกไป บางรายก็ไม่หักถือเป็นการเพิ่มความปลอดภัย ตามรูปที่ 3.6การใส่เหล็กในฐานรากนั้นก็คล้ายแผ่นพื้นยื่น และที่สำคัญคืออย่านำไปปนกับแผ่นพื้นเหล็กสองทาง กล่าวคือในแผ่นพื้นเหล็กสองทางนั้นเหล็กเสริมหลักจะอยู่ทางสั้น และใช้เหล็กมากกว่าแต่ในฐานรากทางสั้นยื่นน้อยก็รับกำลังน้อย เพราะฉะนั้นเหล็กทางยาวจะมากกว่าเหล็กทางสั้น และเหล็กที่อยู่ใกล้เสาควรจะมีมากกว่าดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสดงการใส่เหล็กในฐานราก

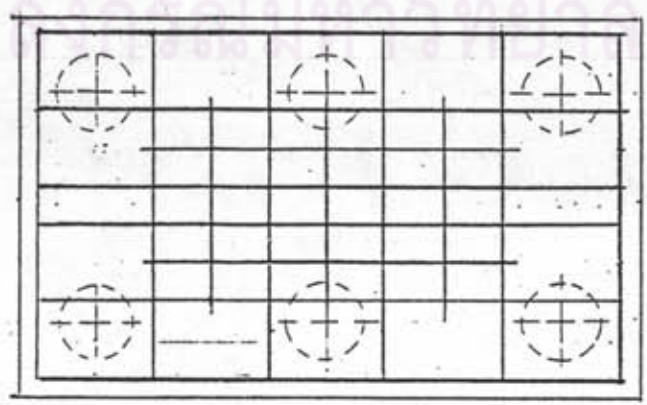


(A)



(B)

MOMENT DIAGRAM



(C)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนั้นยังมีโครงสร้างบางอย่างที่มักไม่ค่อยมีในอาคารเชิงราบได้แก่พื้นไร้คาน (FLAT SLAB) ฐานรากต่อเนื่องหรือฐานรากแพ (MATCHED FOOTING) หากมีการใส่เหล็กมากน้อยตามกำลังรับจะทำให้ประหยัดได้มากและบางบางครั้งทำให้ทำงานได้ง่าย เพราะเหล็กที่ใช้ในฐานรากแพนั้นมีมาก เพราะต้องรับน้ำหนักมาก ช่องไฟของเหล็กจึงถี่และมีหลายชั้น การเหลื่อมกันของตะแกรงเหล็กแต่ละชั้นทำให้ช่องไฟของตะแกรงลดลงจนคอนกรีตไม่สามารถเทหรือลุได้ ในบางครั้งเครื่องจี้จนเสีย ถ้าจี้มากไปก็ทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำ (BREEDING)

การจัดเหล็กให้เป็นไปตามการรับกำลังข้างต้น ตามหลัก PUT THE RIGHT MATERIAL TO THE RIGHT PLACE นี้ ถ้าสามารถเขียนรายละเอียดของโครงสร้างอย่างจริง ๆ จัง ๆ แล้ว จะสามารถลดการใช้เหล็กได้มากกว่าร้อยละยี่สิบอย่างแน่นอน กับทั้งยังเป็นการเพิ่มความมั่นคงแข็งแรงให้อาคารเพิ่มขึ้นอีกด้วย

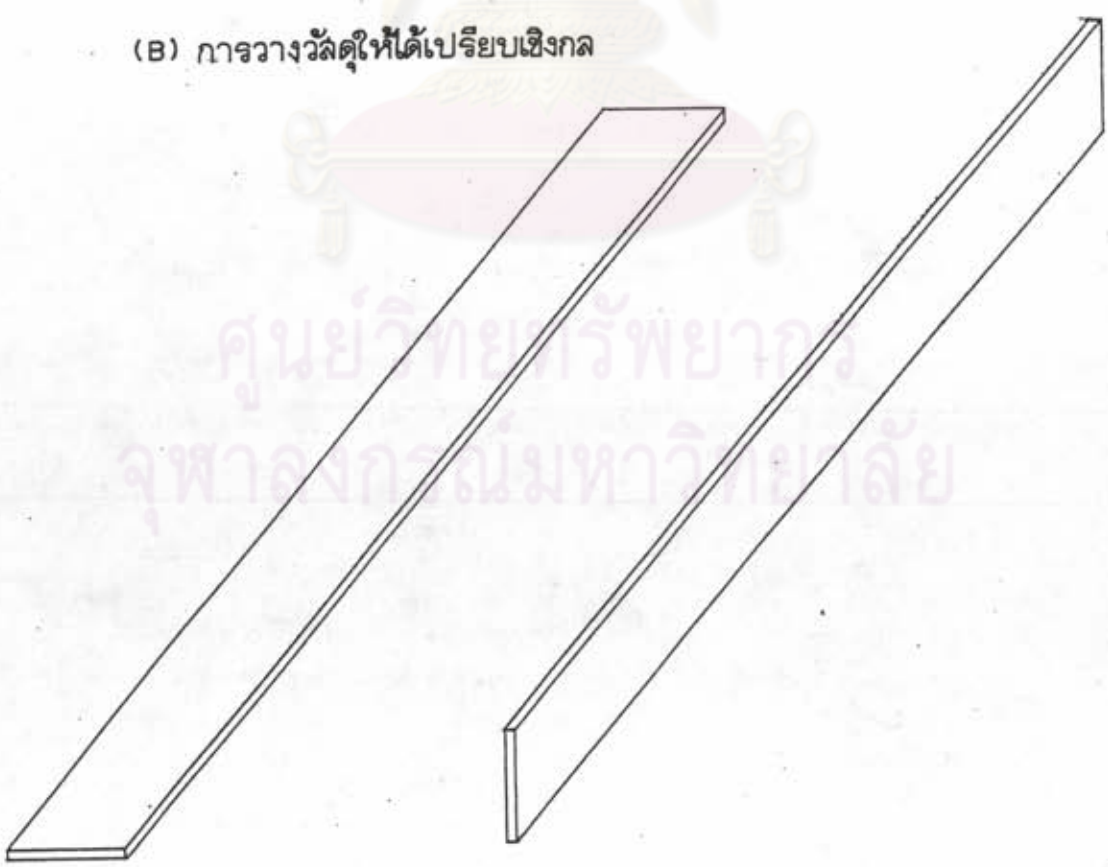
3.2 <u>การออกแบบโครงสร้างให้ได้เปรียบเชิงกล</u>

การออกแบบโครงสร้างให้ได้เปรียบเชิงกลมิเพียงแต่ก่อให้เกิดการประหยัดเท่านั้น แต่ยังสามารถแก้ปัญหาโครงสร้าง เนื่องจากความมั่นคงแข็งแรง ด้านสถาปัตยกรรม งานระบบ (ประปา ไฟฟ้า โทรศัพท์และสุขาภิบาล ฯลฯ) ทำให้เกิดความสะดวก ดังเช่น ในการออกแบบโครงสร้างของโรงแรมแห่งหนึ่งในเขตฝั่งธนบุรี บริเวณถนนปิ่นเกล้า - นครไชยศรี มีปัญหาว่าห้องจัดเลี้ยงขนาด 18.00 เมตร x 24.00 เมตร จะต้องไม่มีเสามากีดขวางและที่สำคัญคือเหนือห้องจัดเลี้ยง (หลังคาห้องจัดเลี้ยง) เป็นสระว่ายน้ำและเป็นอาคารห้องพักอีก 20 ชั้น ตามรูปที่ 3.9 - 3.16 น้ำหนักของสระว่ายน้ำและอาคาร 20 ชั้นมีจำนวนมหาศาล ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องใช้คานถี่พอสมควร ความลึกของห้องคานช่วงคานยาว 18.00 เมตร นั้น ประมาณ 2-3 เมตร ทำให้หน้าตาและรูปทรงเสียไป เพราะอาคารจะต้องยกขึ้นไปตามความสูง และการที่จะไปใช้สระว่ายน้ำก็ต้องผ่านห้องพักทำให้เสียบรรยากาศ ทางแก้คือ ตัวอาคารห้องพักจะสิ้นสุดที่แนว 3 ตามรูปที่ 8 และออกแบบผนังอาคารให้เป็นคานถ่ายน้ำหนัก (TRANSFER BEAM) ลักษณะคานกลับขึ้นข้างบน แต่ทั้งนี้ยังไม่ได้ใช้ความได้เปรียบเชิงกลให้เต็มที่ จึงออกแบบคานเป็นรูปแบบรังผึ้ง (TRUSS) อาศัยความได้เปรียบเชิงกลทำให้คานมีความลึก (มีแขนของโมเมนต์มาก ๆ) เหล็กที่ใช้จึงน้อยมาก และสามารถรับน้ำหนักได้อย่างมากมายจนสามารถให้เสา CW ตามรูปที่ 3.10 และ 3.14 เป็นเสารับแรงดึง (TENSILE COLUMN) มาถึงโครงสร้างของสระว่ายน้ำ ในขณะเดียวกันให้เสาดังกล่าวตรงกับผนังสระว่ายน้ำ และใช้ผนังนี้

รูปที่ 3.7 แสดงการทำและการวางวัสดุให้ได้เปรียบเชิงกล

(A) การทำวัสดุให้ได้เปรียบเชิงกล

(B) การวางวัสดุให้ได้เปรียบเชิงกล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.8 แสดงการการเปรียบเทียบการใช้วัสดุที่ทำให้ได้เปรียบเชิงกลโดยมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน แต่ความคงทนในการรับน้ำหนักจะแตกต่างกันมากตามรูปทรงและลักษณะการวางวัสดุ

ดึง (TENSILE COLUMN) มาถึงโครงสร้างของสระว่ายน้ำ ในขณะเดียวกันให้เสาดังกล่าวตรงกับผนังสระว่ายน้ำ และใช้ผนังนี้ทำหน้าที่คานไปในตัว โดยพยายามใช้ผนังสระว่ายน้ำเป็นคานหลักในการรับน้ำหนักตามเส้นทึบสีดำตามรูปที่ 3.10 การแก้ไขตามที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถประหยัดโครงสร้างถึง 3 เท่าตัวในเฉพาะอาคารส่วนนี้ กับทั้งยังอำนวยประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ความสะดวกสบาย ความสวยงามและความมั่นคงแข็งแรง เป็นต้น เพราะจะเป็นสิ่งที่กำหนดระดับ (GRADE) ของโรงโรงแรมอีกด้วย นอกจากนี้ในอาคารของโรงแรมนี้ยังมีการใช้ผนังอาคารของห้องพักชั้น 4 (เป็นชั้นล่างสุดของอาคารที่เป็นห้องพัก) และชั้น 5 ทำหน้าที่เป็นคานกระจายกำลัง (TRANSER BEAM) ทำให้ไม่ต้องมีคานกระจายใต้ชั้น 4 ซึ่งจะต้องใช้ถึงสามเมตรขึ้นไปทำให้เสียความสูงไปหนึ่งชั้น กับทั้งยังขวางทางเดินของท่อต่าง ๆ ของงานระบบอีกด้วย

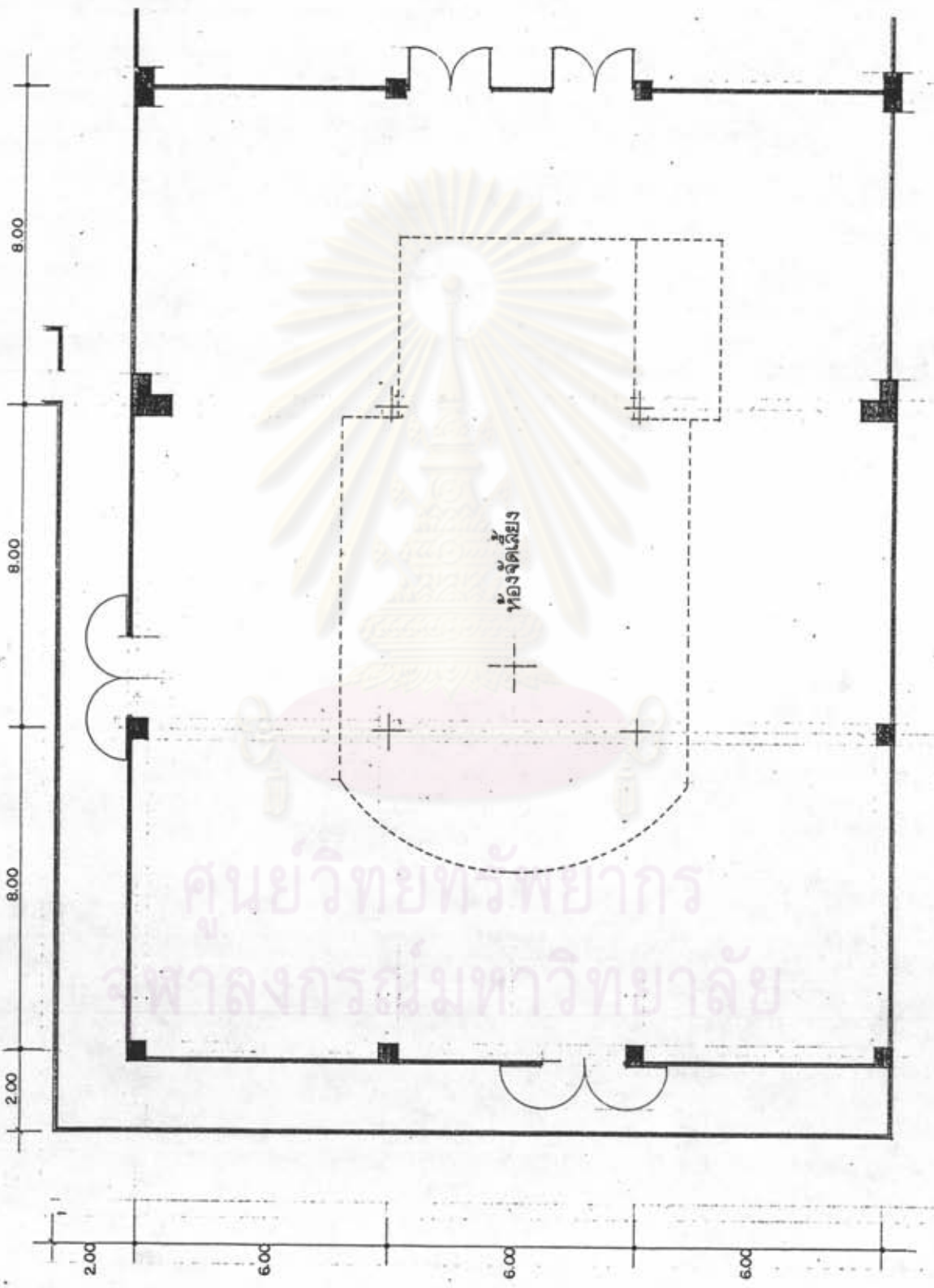
การออกแบบโดยอาศัยความได้เปรียบเชิงกลในการกระจายกำลังมาช่วยในการออกแบบโครงสร้างนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นอาคารสูง เนื่องจากชั้นล่างของอาคารมักนิยมให้มีเสาน้อยๆ ส่วนชั้นบนๆ หากทิ้งช่วงเสามากเกินไปก็จะเปลือง และไม่เกิดประโยชน์เพราะอย่างไรเสียก็ต้องกั้นห้องไปและในส่วนของอาคารเชิงราบนั้นก็มีบ้าง เช่น คานที่ยื่นออกไปมาก ๆ ห้องแถวที่มีสองห้องแล้วตัดเสากลางออกไป ห้องโถงที่ต้องการเสาน้อย ๆ เป็นต้น การวางแนวทางในการออกแบบโครงสร้างที่ดีจากผู้มีประสบการณ์แล้ว จะทำให้เกิดการประหยัดได้มาก และจะช่วยแก้ปัญหาได้หลาย ๆ อย่าง ซึ่งแม้แต่เครื่องคอมพิวเตอร์ก็ไม่สามารถช่วยทำอะไรได้มากในเรื่องของการวางแผนการออกแบบ

3.3 วิธีคำนวณโครงสร้างโดยสังเขป

การเรียนรู้วิธีคำนวนโครงสร้างโดยสังเขปจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่มีพื้นความรู้ทางด้านช่าง เป็นการเพิ่มศักยภาพในการประกอบวิชาชีพของตนเองดังเช่น นักออกแบบผู้มีชื่อเสียงโด่งดัง เช่น เสียงโอนาโด ดาวินชี และนอร์แมนฟอสตอร์ นั้น ถือได้ว่าเป็นผู้ที่มีความรู้ทั้งทางด้านสถาปัตยกรรมและโครงสร้างเป็นอย่างดี และยังพบว่ายังมีสถาปนิกอีกหลายท่านที่ยังมีความรู้ทั้งเรื่องโครงสร้างและวิศวกรรมระบบอีกด้วย

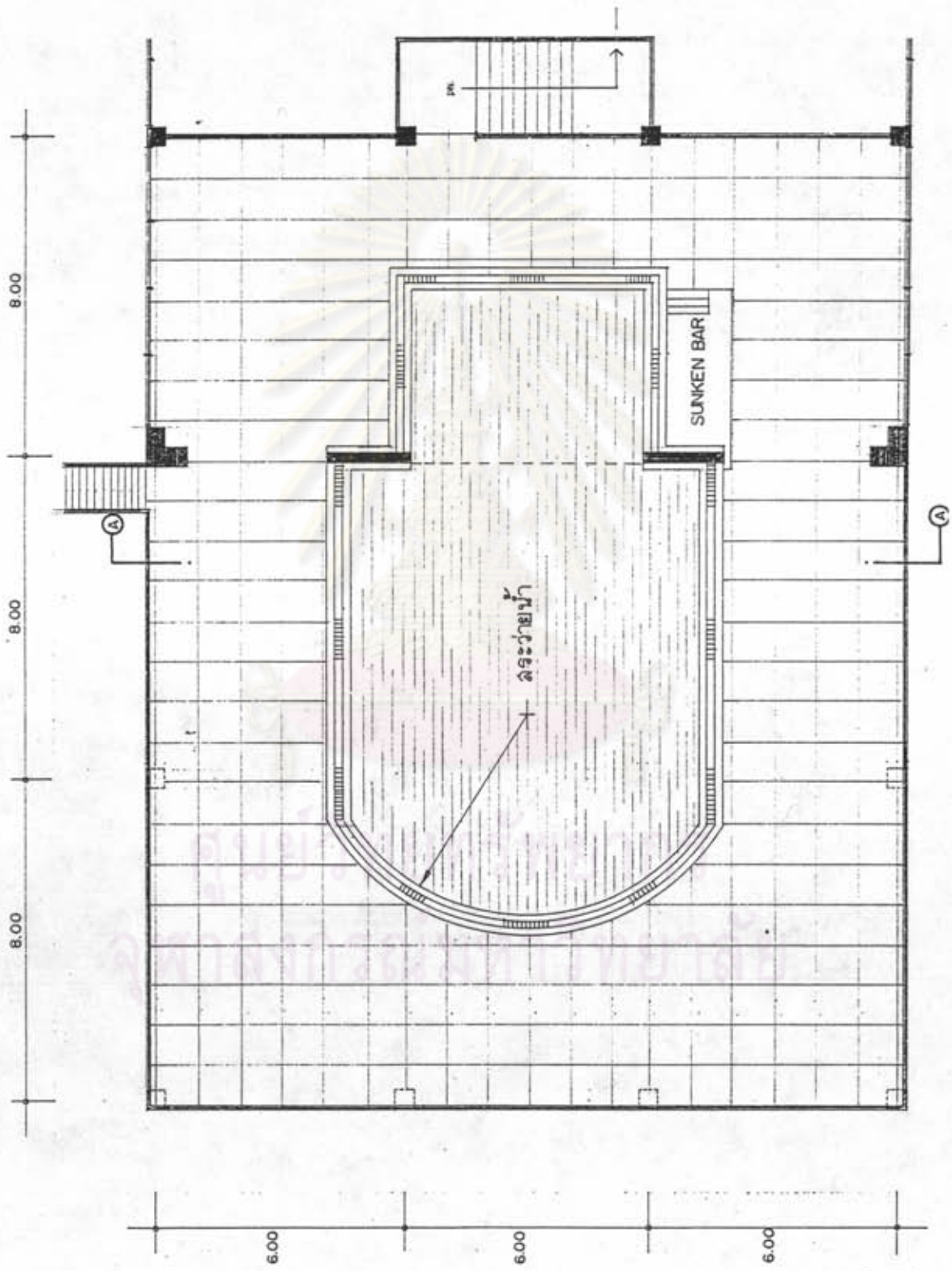
ดังนั้นการที่สถาปนิกหรือช่างโยธาหรือผู้มีพื้นความรู้ทางด้านโครงสร้าง ควรเรียนรู้วิธีการคำนวณโครงสร้างโดยสังเขปหรือคำนวณได้อย่างเคร่า ๆการออกแบบด้านสถาปัตยกรรม

รูปที่ 3.9 แสดงแปลนพื้นชั้น 2 (ห้องจัดเลี้ยง)

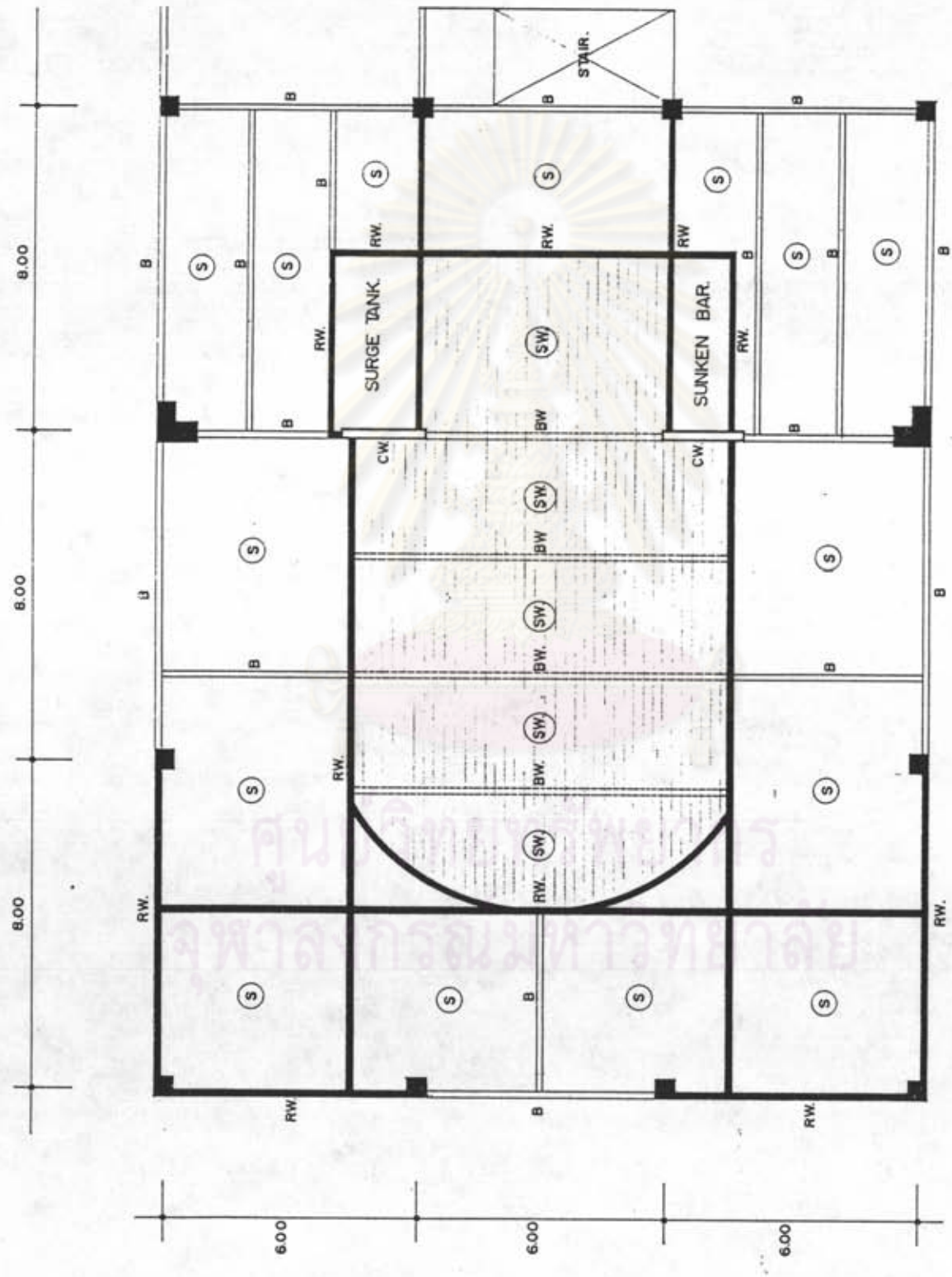


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

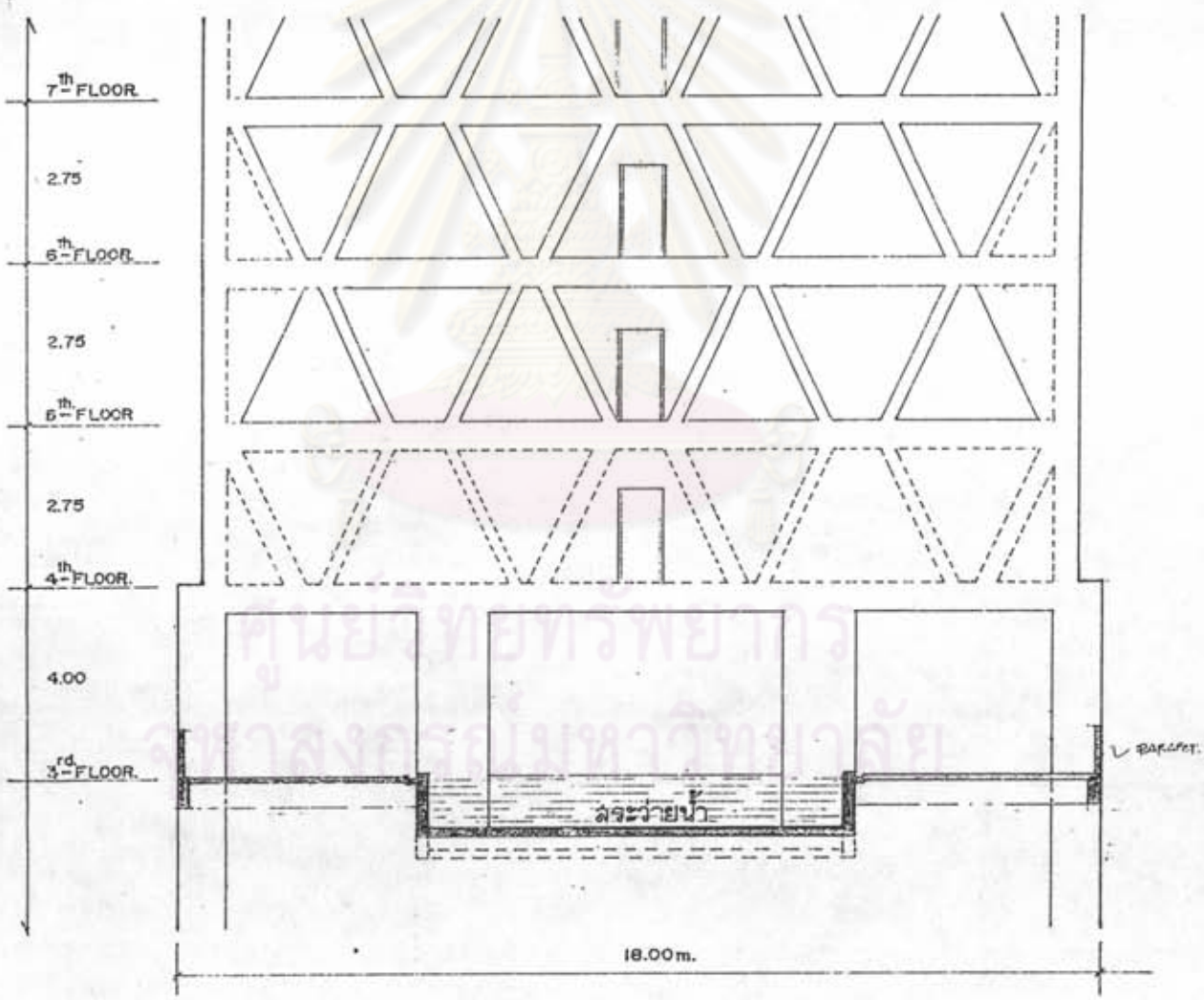
รูปที่ 3.10 แสดงแปลนพื้นชั้น 3 (ส่วนสระว่ายน้ำ)



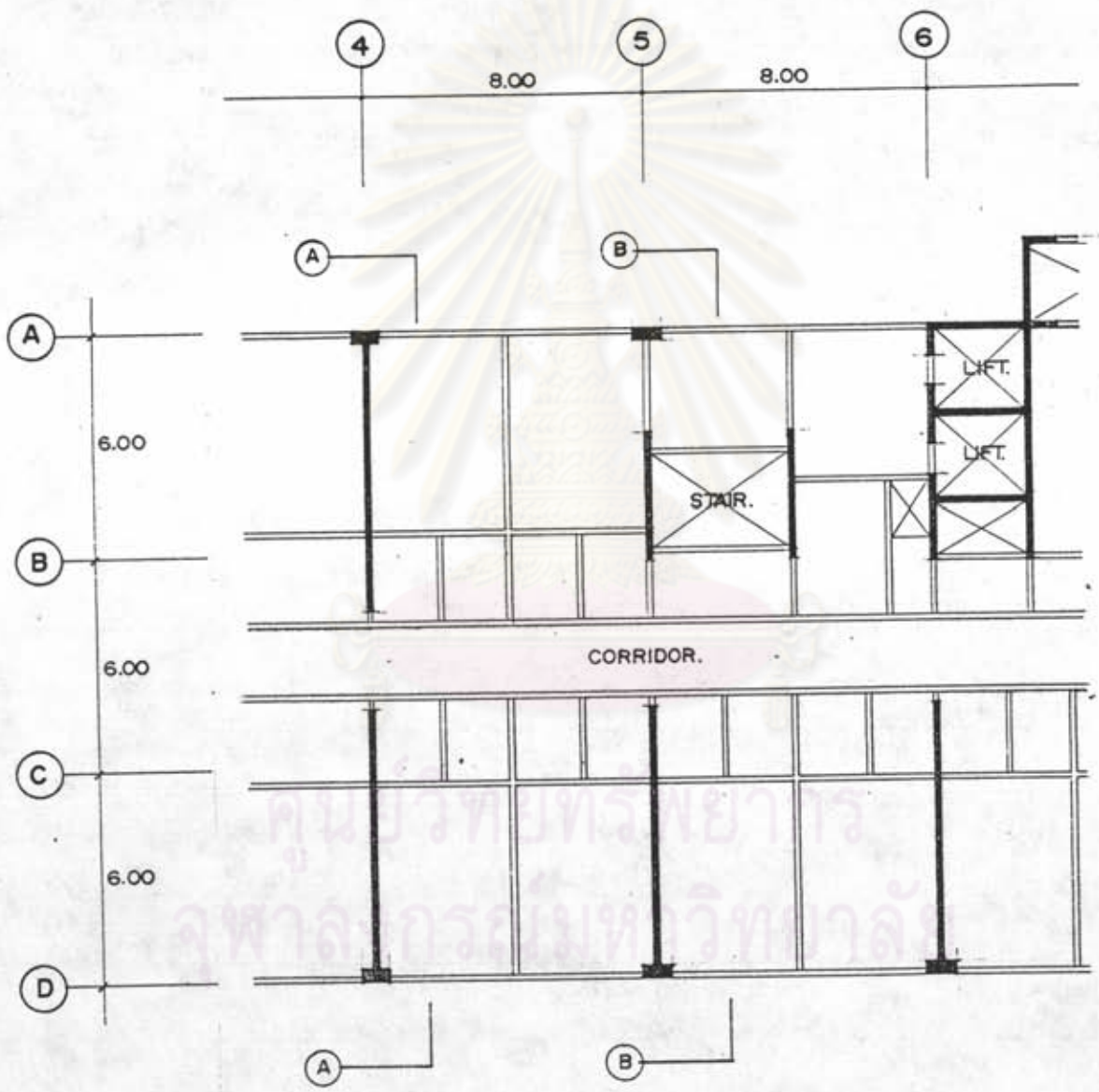
รูปที่ 3.11 แสดงผังคานชั้น 3 (รับสระว่ายน้ำ)



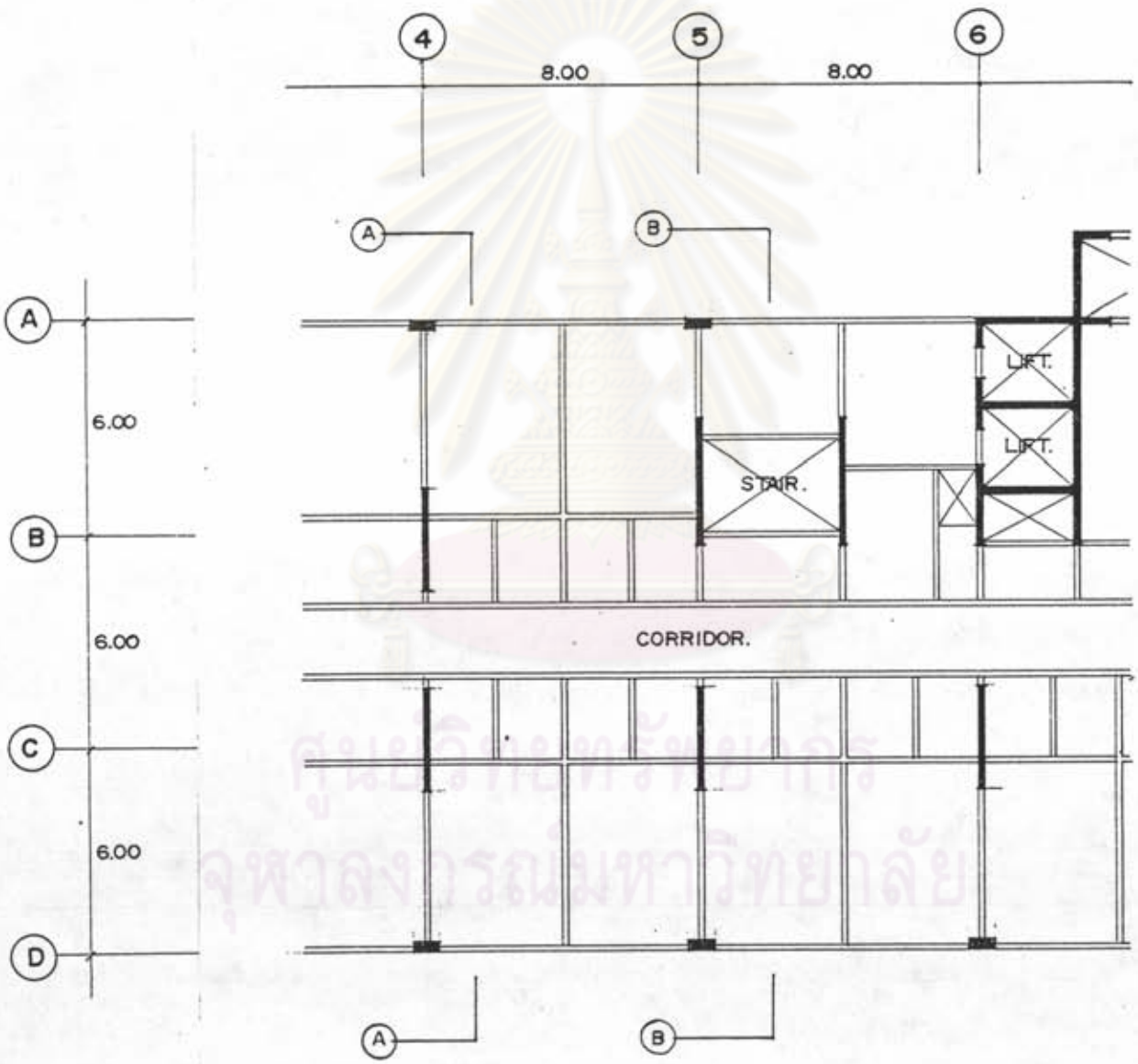
รูปที่ 3.12 แสดงรูปตัด A - A (รับสระว่ายน้ำ)



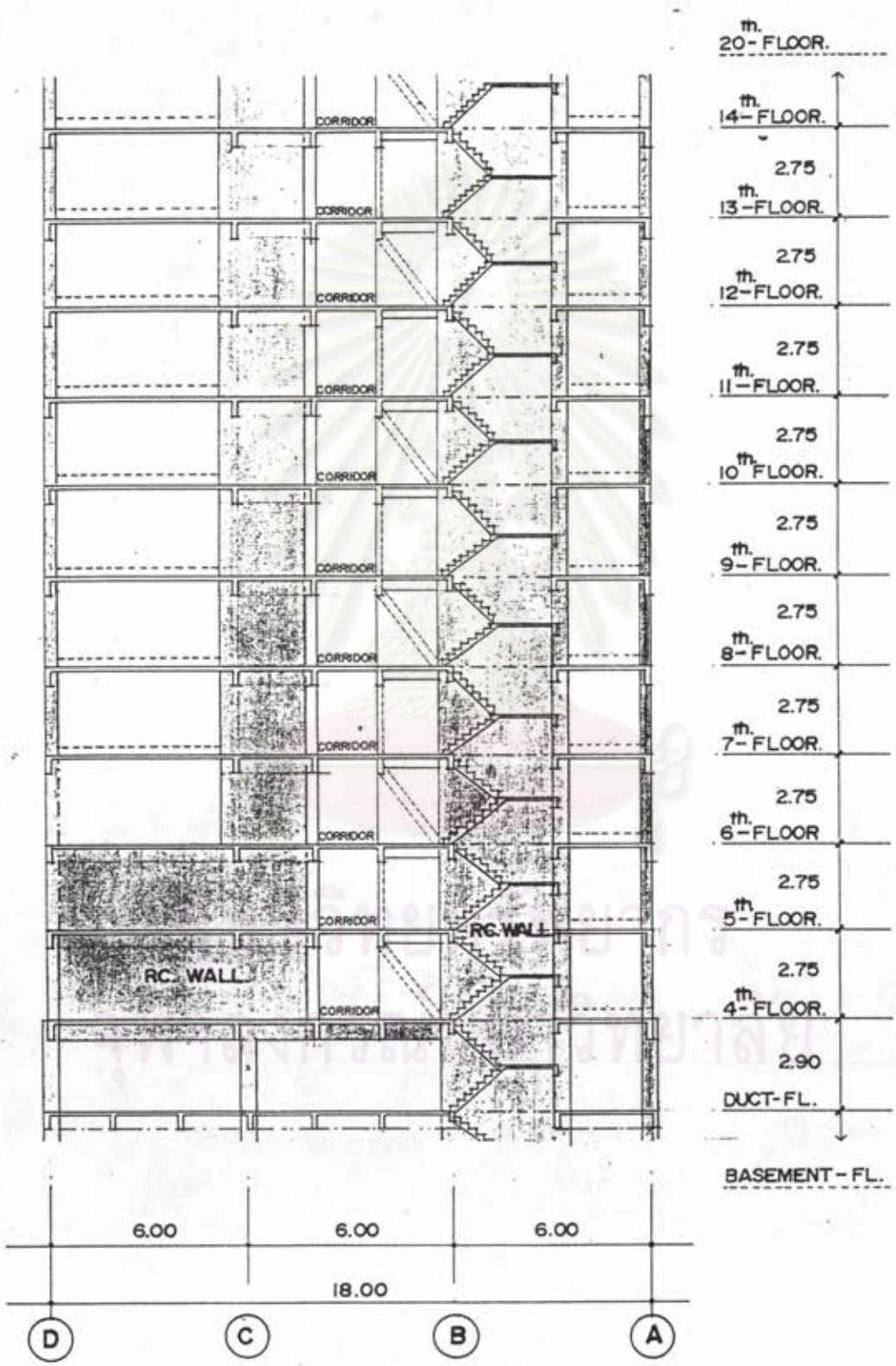
รูปที่ 3.13 แสดงแปลนพื้นชั้น 4 - 5 (ส่วนห้องพัก)



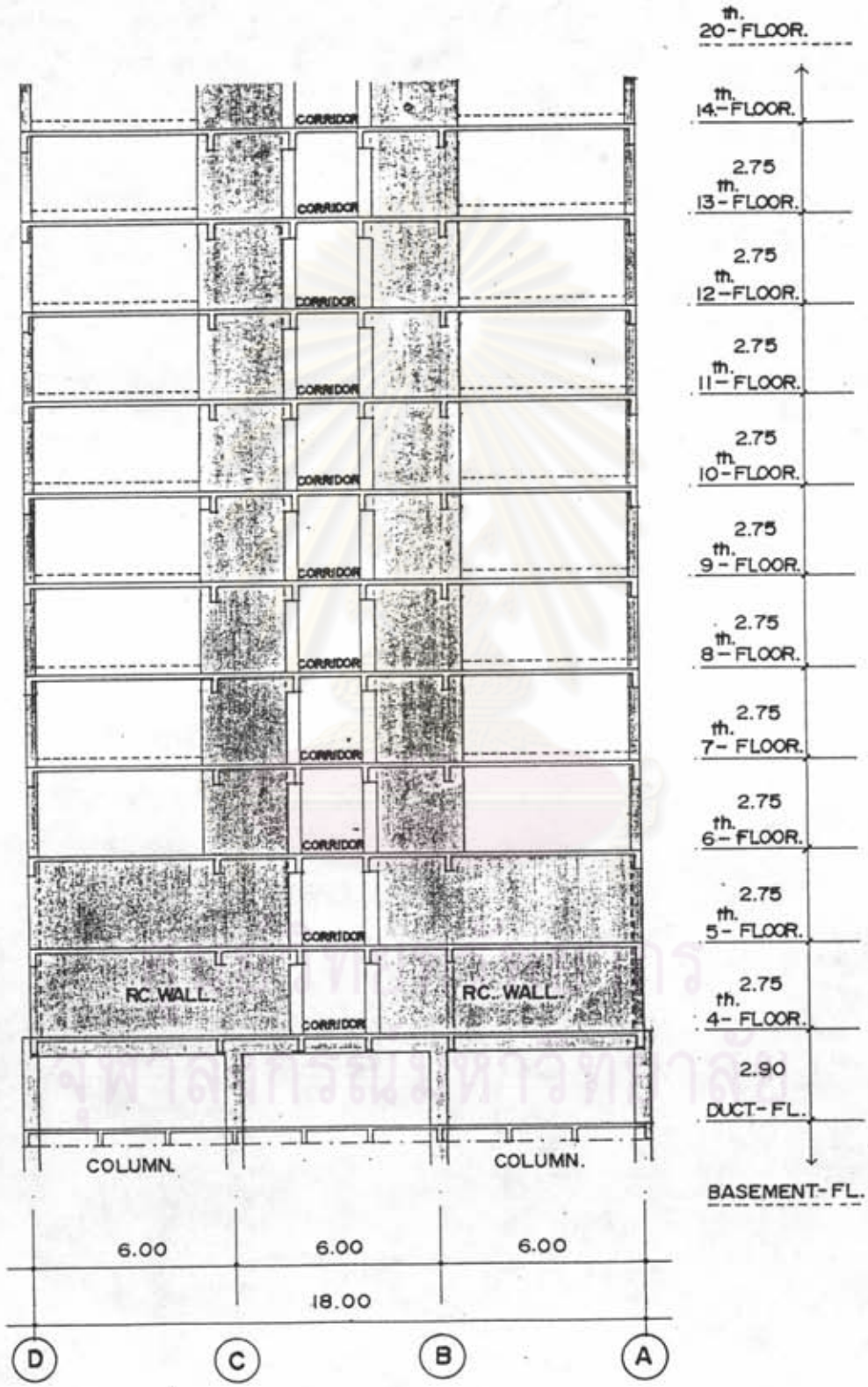
รูปที่ 3.14 แสดงแปลนพื้นชั้น 6 - 20 (ส่วนห้องพัก)



รูปที่ 3.15 แสดงรูปตัด B - B (ส่วนห้องพักและบันได)



รูปที่ 3.16 แสดงรูปตัด C -C (ส่วนห้องพัก)



ก็จะเต็มไปด้วยเหตุและผลมากยิ่งขึ้นสำหรับช่างโยธานั้นจะเป็นประโยชน์สำหรับการตัดสินใจในสนาม หรือหากมีการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ น้อย ๆ ซึ่งเกิดขึ้นเสมอในระหว่างการก่อสร้าง ก็มีวิธีการคำนวณโครงสร้างแบบง่าย และใช้ตารางคำนวณสำเร็จรูปโดยใช้การรับกำลังด้านทางของวัสดุตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร และตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.)เป็นบรรทัดฐานและที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเรื่องของหลักการที่ง่ายและมีความสำคัญเท่านั้น ซึ่งถ้าหากต้องการทราบถึงรายละเอียดก็จะต้องศึกษาจากตำราทางการแบบออกแบบโครงสร้างโดยเฉพาะ

3.3.1 <u>การคำนวณพื้นสองทาง</u> (ค.ส.ล.)

การคำนวณพื้นสองทางตามแบบมาตรฐานของวิศวกรรมสถานหรือตาม ACI นั้นมี 3 แบบ แต่แบบที่ง่ายและปลอดภัยที่สุดได้แก่แบบที่ 3 กรณีที่ 1 ทั้งสี่ด้านไม่มีพื้นต่อเนื่องเปรียบเสมือนออกแบบแผ่นพื้นสำเร็จ ฉะนั้นจึงมีแต่โมเมนต์บวกอย่างเดียว แต่จริง ๆ แล้วอาจต่อเนื่องก็ได้ โดยการเสริมเหล็กที่มีโมเมนต์ลบให้เท่ากับโมเมนต์บวก และหากพิจารณาว่าในขณะที่แผ่นพื้นที่ไม่ได้ต่อเนื่องกับพื้นที่อื่น ๆ ทุกด้าน โดยสามารถอยู่ได้ด้วยตัวมันเอง หากมีแผ่นพื้นด้านใดด้านหนึ่ง หรือหลายด้านมาหล่อติดกันยิ่งทำให้เกิดความมั่นคงแข็งแรงยิ่งขึ้น การคำนวณโมเมนต์ในแผ่นพื้นตามแบบที่ 3 กรณี 1 นั้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ เนื่องจากน้ำหนักจรและน้ำหนักคงที่เท่ากัน จึงสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.1 โดยสามารถคำนวณโมเมนต์ได้จาก

$$MA = CA.W.A^2$$

$$MB = CA.W.B^2$$

เมื่อ MA = โมเมนต์ในแผ่นพื้นทางสั้น

MB = โมเมนต์ในแผ่นพื้นทางยาว

W = น้ำหนักแผ่กระจายบนแผ่นพื้น

CA = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ทางสั้น

CB = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ทางยาว

A = ระยะของแผ่นพื้นทางสั้น

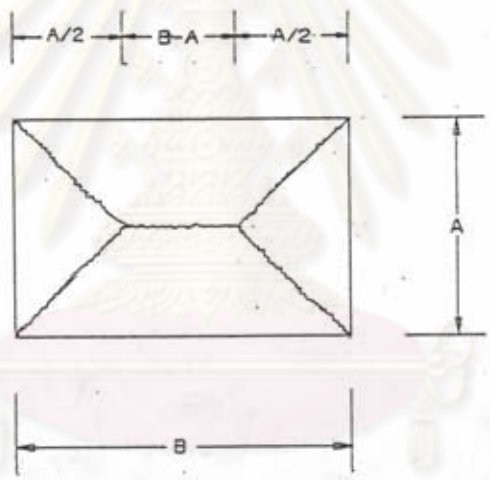
B = ระยะของแผ่นพื้นทางยาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงการหาค่า CA และ CB

m=A/B	1.00	0.95	0.90	0.85	0.70	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
CA	0.036	0.040	0.045	0.050	0.056	0.061	0.068	0.074	0.081	0.088	0.095
CB	0.036	0.033	0.029	0.026	0.023	0.019	0.016	0.013	0.010	0.008	0.006

รูปที่ 3.17 แสดงขนาดแผ่นพื้นสองทาง



เมื่อหาค่าสัดส่วน A/B ได้แล้วก็สามารถหาค่าของ CA และ CB ตามตารางที่ 3.2 แล้วไปแทนค่าหา MA และMB จากสูตร หลังจากนั้นไปหาค่าเหล็กตามสูตร

As = M/fs.j.d.

As = พื้นที่หน้าตัดเหล็กหน่วยเป็น ตร.ซม.

M = ค่าโมเมนต์หน่วยเป็น กก.- ซม.

fs = กำลังต้านทานในเหล็กหน่วยเป็น กก./ตร.ซม.

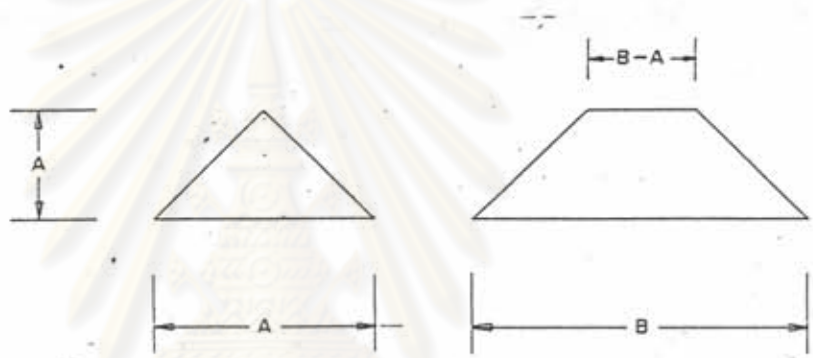
j = ค่าคงที่ ที่วิเคราะห์จากการหากำลังต้านทานของเหล็กและคอนกรีต

d = ระยะของผิวบนของแผ่นพื้นจนถึงศูนย์กลางเหล็ก

การหาน้ำหนักถ่ายลงคาน เนื่องจากน้ำหนักลงคานเป็นไปตามรูปที่ 3.16 เป็นการกระจายน้ำหนักไม่สม่ำเสมอ น้ำหนักลงคานเพื่อคำนวณหาโมเมนต์ดัดในคาน จึงแตกต่างจากน้ำหนักลงคานเพื่อถ่ายลงเสา (ต่อหน่วย)

ตารางที่ 3.2 แสดงการคิดน้ำหนักถ่ายลงคาน

ถ่ายลงคาน	ทางสั้น	ทางสั้น
เพื่อหาโมเมนต์	WA = W.A/3	WB = W.A/3 (1-m/2)
เพื่อลงสู่ฐานรองรับ	VA = W.A/4	VB = W.A/4 (2-m)



3.3.2 <u>การคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก</u> (ค.ส.ล.) การคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดอย่างง่ายในคานหรือแผ่นพื้นทางเดียว โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (MOMENT COEFEICIENT) จาก ACI - 318 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, COMITTEE 318) หัวข้อ 904 ซึ่งเป็นการหาค่าโมเมนต์ที่สะดวกโดยใช้เครื่องมือในการคำนวณแบบง่าย ๆ เช่น เครื่องคิดเลขฉบับกระเป๋า เหมาะสำหรับการคำนวณจำนวกคอมพิวเตอร์ หรือต้องการแก้ไขงานในสนามเล็ก ๆ น้อย ๆ และเป็นค่าโมเมนต์ที่ใกล้เคียงกับการคำนวณตามทฤษฎี ซึ่งเป็นที่ยอมรับของวิศวกรโครงสร้างโดยทั่วไป

สูตรในการคำนวณ $M = C.W.l'^2$

M = MOMENT

W = UNIT WEIGHT

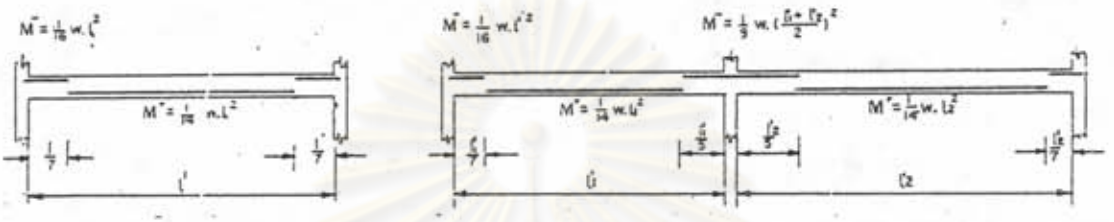
l' = CLEAR SPAN FOR +M OR TWO AVERAGE CLEAR ADJACENT SPAN

<u>รูปที่ 3.18</u> แสดงการหาค่าโมเมนต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์

$$M^{+} = c\,w\,l^{2} \quad , \quad M^{-} = c \cdot w \cdot (l_1 + l_2)^{2}$$

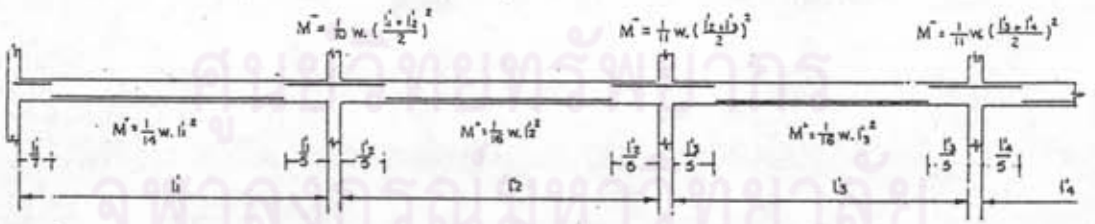
One Span

Two Spans



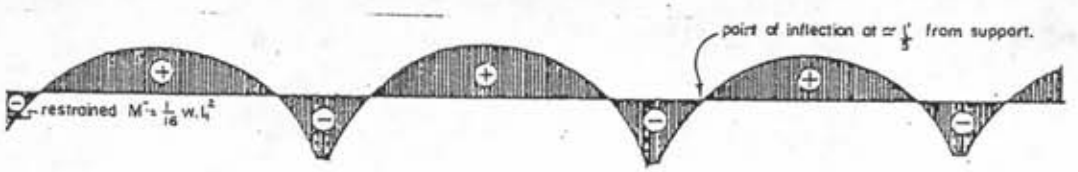
(A) Moment diagram (B)

More than two Spans

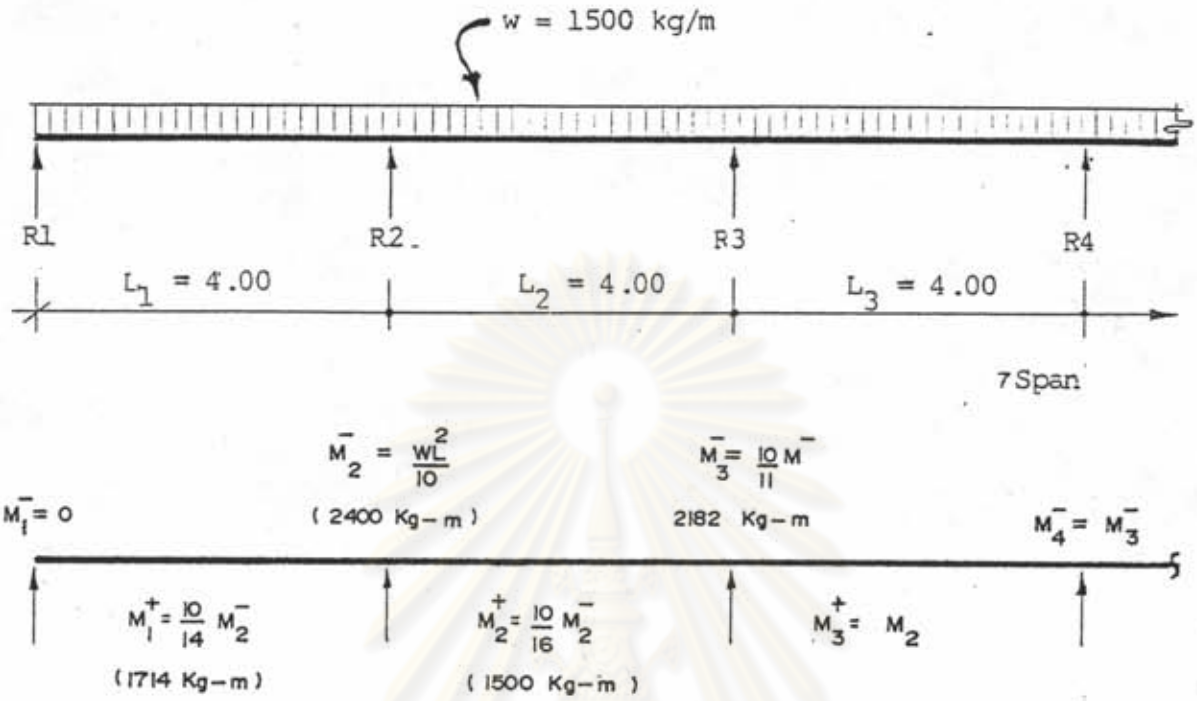


(C)

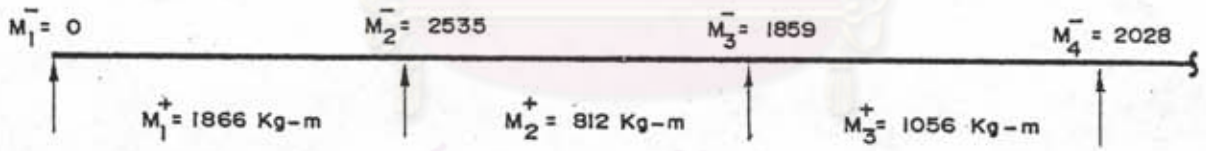
Moment diagram.



ตัวอย่างที่ 1.



ค่าของโมเมนต์ที่ได้จากคำนวณตาม A C I Coefficient



ค่าของโมเมนต์ที่คำนวณตามทฤษฎีโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าโมเมนต์ต่าง ๆ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ตาม ACI code เมื่อเทียบกับค่าโมเมนต์ที่หาได้จากทฤษฎี เช่น Three moment , Moment Distribution

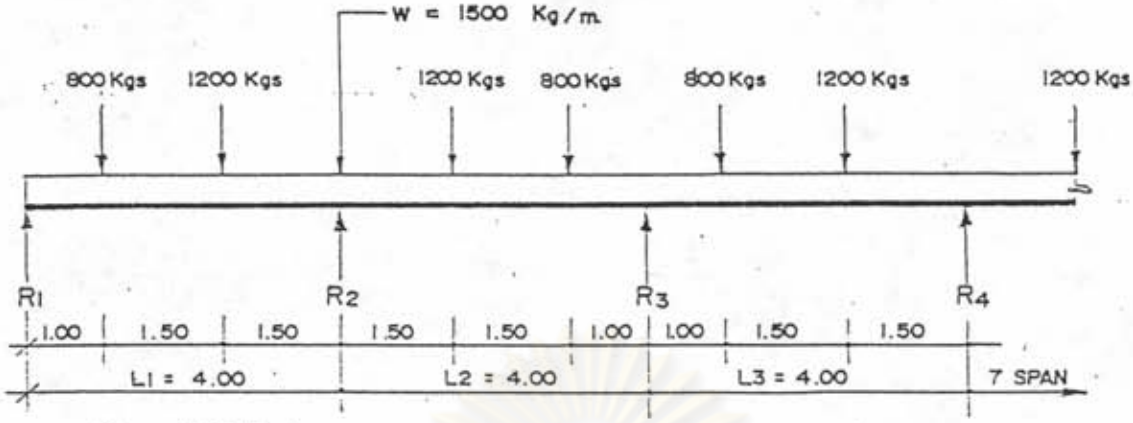
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

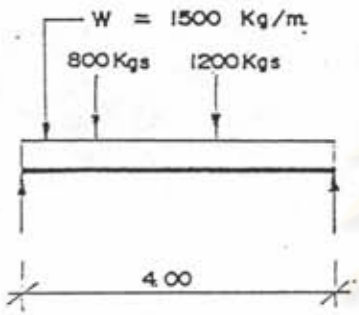
สูตรการคำนวณโมเมนต์ดังกล่าวเป็นการคำนวณเฉพาะน้ำหนักกระจายแบบสม่ำเสมอ (UNIFORM LOAD) ในขณะที่น้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ (UNUNIFORM LOAD) และน้ำหนักที่ลงเป็นจุด (POINT LOAD) เราก็พอจะเอาสัดส่วนของสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (FRACTIONS OF MOMENT COEFFICIENT) มาเทียบกับสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกของคานช่วงเดียว (SIMPLY SUPPORT POSITIVE MOMENT COEFFICIENT) คือ 1/8 หรือเมื่อเทียบค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ของเสารองรับต้นที่สอง (SECOND SUPPORT) ซึ่งเท่ากับ 1/10 สัดส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองดังกล่าว จึงเป็น 1/10 หาร 1/8 = 8/10 หรือ 0.8 หรือแล้วแต่จะหาค่าไหนมาเทียบกันค่าสัดส่วนสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ของคานต่อเนื่องเมื่อเทียบกับโมเมนต์บวกของคานช่วงเดียว (POSITIVE MOMENT FOR SIMPLY SUPPORT = M SIMP)

SECOND SUPPORT	M	=	8/10 . M SIMP
INTERIOR SUPPORT	M	=	8/11 . M SIMP
FIRST SPAN	M	=	8/14 . M SIMP
INTERIOR SPAN	M	=	8/14 . M SIMP

เมื่อทราบค่าโมเมนต์บวกของ SIMPLY SUPPORT ก็อาศัยสัดส่วนดังกล่าวคูณก็จะได้โมเมนต์ตามจุดต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าเผื่อเป็นน้ำหนักที่ลงไม่สม่ำเสมอก็อาจอาศัยวิธีนี้มาคำนวณได้โดยประมาณหรือใช้เป็นแนวทาง (GUIDE LINE) วิธีการนี้จะนำมาใช้สำหรับการคำนวณที่เป็นจุด น้ำหนักเป็นรูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปทรงเรขาคณิตอื่น ๆ ก็ได้ ตามตัวอย่างที่ 3.1 และ 3.2 สมัยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ยังไม่แพร่หลาย การคำนวณด้วยวิธีนี้สามารถลดระยะเวลาที่ใช้คำนวณตามทฤษฎีถึงห้าเท่าหรือสิบเท่า และเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ทั้ง 2 วิธีนี้แล้วจะเห็นได้ว่า แตกต่างกันไม่มากนัก วิธีการคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์เหมาะสำหรับใช้ในงานสนามหรือในที่ ๆ ขาดเครื่องไม้เครื่องมือ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ และต้องการคำตอบในการตัดสินใจทันที ในกรณีที่มีปริมาณงานมาก ๆ นั้นมักจะคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ในสำนักงานก็จะเร็วกว่ามาก ซึ่งทั้งสองวิธีสามารถทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ทั้งนั้น

ตัวอย่างที่ 2.



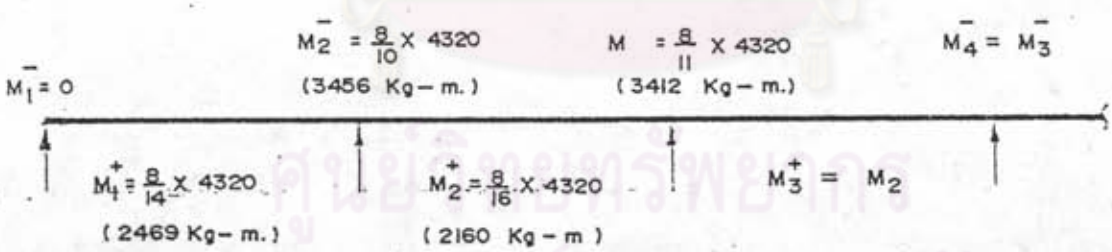


เนื่องจากคานมีน้ำหนักที่ลงคล้ายกัน วิธีการที่จะหาโมเมนต์ให้ใกล้เคียงและง่ายก็โดยการตัดออกมาให้เหลือเป็นหนึ่งช่วงคาน และคำนวนโดยวิธี SIMPLY SUPPORT

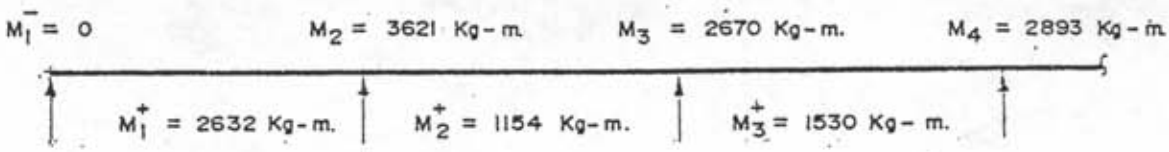
$$R_1 = \frac{1500 \times \overset{2}{4}/2 + 800 \times 3 + 1200 \times 1.5}{4.00} = 4050 \text{ Kgs.}$$

$X = 2.167$ m. FROM R_1 (Shear = 0 Max. M^+)

$$\text{Suply } M^+ = 4050 \times 2.167 - \frac{1500 \times \overset{2}{2.167}}{2} - 800 \times 1.167 = 4320 \text{ Kg} - \text{m.}$$



ภาคำนวนหาโมเมนต์โดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์ ของ ACI .



การหาค่าโมเมนต์ตามทฤษฎี

3.3.3 <u>การวิเคราะห์เหล็กเสริมในคอนกรีต</u> เนื่องจากโมเมนต์ (FLEXURAL REINFORCEMENT ANALYSIS IN CONCRETE) จากที่กล่าวมาในตอนต้น ๆ เป็นโมเมนต์ที่กระทำจากภายนอก ส่วนที่รับกำลังต่าง ๆ จริง ๆ นั้น จะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล.) หรือจะเรียกว่า เป็นกำลังภายใน ค.ส.ล. ก็ว่าได้ ตามหลักของกลศาสตร์แล้ว วัตถุจะสมดุลย์หรืออยู่กับที่ได้ ก็ต่อเมื่อแรงกริยาหรือแรงกระทำ (ACTION) เท่ากับแรงปฏิกริยา (REACTION) ฉันใดก็ฉันนั้น น้ำหนักที่กระทำกับพื้นหรือคานในรูปของโมเมนต์ ก็ย่อมจะต้องมีคมเมนต์ปฏิกริยาใน ค.ส.ล. มาต้าน เมื่อได้โมเมนต์จากการกระทำภายนอกแล้ว จึงต้องหาโมเมนต์จาก ค.ส.ล. มารับไว้ จึงสมควรนำเอาการวิเคราะห์กำลังใน ค.ส.ล. มากล่าวในที่นี้ไว้บ้างเล็กน้อย ถึงแม้จะค่อนข้างเจาะลึกลงไปทางด้านทฤษฎีบ้าง แต่สำหรับผู้ที่เรียนมาทางด้านสถาปัตย์และนายช่างเทคนิคก็พอทำความเข้าใจได้ โดยจะพยายามแยกแยะให้เกิดภาพพจน์ที่ง่ายขึ้น

การคำนวณเสริมเหล็กใน ค.ส.ล. พอจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

- เสริมเหล็กเฉพาะรับแรงดึง โดยที่คอนกรีตเป็นส่วนรับแรงกด และคอนกรีตยังสามารถรับแรงกดเพิ่มขึ้นอีก
- เสริมเหล็กรับแรงดึงในขณะที่คอนกรีตรับแรงกดได้พอดี
- เสริมเหล็กรับทั้งแรงดึงแรงกด เนื่องจากขนาดของ ค.ส.ล.ถูกจำกัด คอนกรีตส่วนที่รับแรงกดจึงถูกจำกัดไปด้วย ทำให้ต้องเพิ่มเหล็กเสริมรับแรงกดส่วนที่เหลือจากคอนกรีตรับได้

การออกแบบองค์อาคารรับโมเมนต์ดัดนั้น โดยหลักการ คือ นำเอาวัสดุทั้งคอนกรีตกับเหล็กมาผสมผสานหล่อเข้าเป็นองค์อาคารเดียวกัน โดยเน้นจุดเด่นของความสามารถในการรับแรงต้านทานของวัสดุทั้งสองชนิดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่คอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถรับแรงกดได้ดี ถึงแม้จะสู้เหล็กไม่ได้แต่มีข้อได้เปรียบคือ ราคาถูกกว่าทำหน้าที่เป็นรูปทรงและห่อหุ้มเหล็กเหมือนกาวคอยยึดเหล็กให้ทำหน้าที่รับกำลังต่อเนื่องกัน เป็นตัวประคับประคองมิให้เหล็กโก่งงอ (BUCKLE) ก่อนที่จะรับกำลังได้เต็มที่และยังทำให้เกิดความได้เปรียบเชิงกล ฯลฯ แต่คอนกรีตรับแรงดึงได้ไม่ดี ในทางวิเคราะห์จึงตัดแรงดึงของคอนกรีตออกไป ดังนั้นหน้าที่รับแรงดึงจึงตกอยู่กับเหล็ก ส่วนเหล็กนั้นไม่เพียงแต่สามารถรับแรงดึงได้ดีเท่านั้น ยังสามารถรับแรงกดในกรณีที่ขนาดขององค์อาคารถูกจำกัดขนาด ส่วนของคอนกรีตที่รับ

เหล็กเสริมเข้าไปรับแรงกดส่วนที่เหลือแทน แนวทางในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- การเสริมเหล็กตามทฤษฎีอีลาสติค (ELASTIC) หรือ WORKING STRESS DESIGN (W.S.D.) เป็นการวิเคราะห์เมื่อองค์อาคารยังไม่ถึงจุดคลาก (YIELD) และการเผื่อค่าของความปลอดภัย (SAFETY FACTOR) นั้นไปเผื่อที่กำลังวัสดุ โดยใช้ประมาณครึ่งหนึ่งของกำลังคลากสำหรับ ACI แต่ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครจะกำหนดการรับกำลังของคอนกรีตต่ำลงมาหน่อย ดังนี้ .-

fc (กำลังกดในคอนกรีตที่ใช้วิเคราะห์) = 0.375 fc (กำลังคลากในคอนกรีต)

fs (กำลังในเหล็กที่ใช้วิเคราะห์) = 0.5 fy (กำลังคลากในเหล็ก)

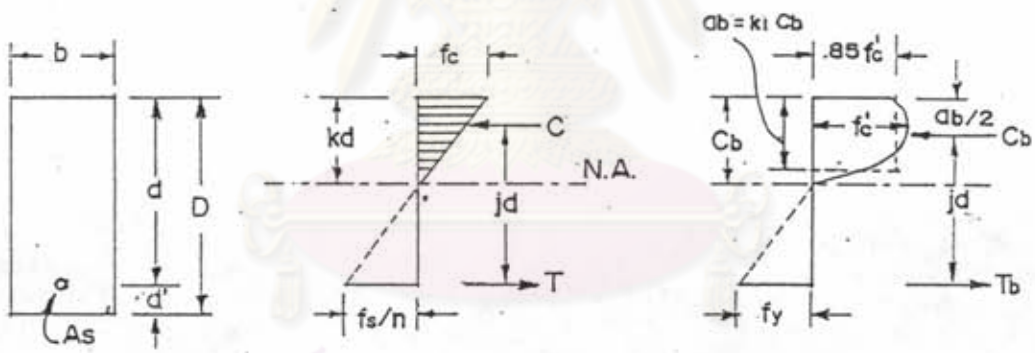
- การเสริมเหล็กตามทฤษฎี ULTIMATE SRENGTH DESIGN (U.S.D.)เป็นการวิเคราะห์เมื่อองค์การอาคารถึงจุดวิกฤต (ก่อนจะถึงจุดประลัยเล็กน้อย) และการเผื่อค่าของความปลอดภัยไว้ที่ น้ำหนักบรรทุก ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร กำหนดไว้ดังนี้ .-

น้ำหนักบรรทุกประลัย = 1.77 x น้ำหนักคงที่ + 2 x น้ำหนักจร

ทั้งสองวิธีต่างก็ใช้แพร่หลายทั้งคู่ โดยเฉพาะในประเทศไทย แต่การวิเคราะห์โดย U.S.D. น่าจะเป็นเหตุเป็นผลกว่า เนื่องจากวิเคราะห์กำลังต้านทานของวัสดุในช่วงวิกฤตหรือจุดประลัย ส่วน W.S.D. นั้นเป็นการวิเคราะห์ที่จุดก่อนประลัยมิหนำซ้ำยังไปเผื่อค่าความปลอดภัยไว้ที่การรับกำลังต้านทานของวัสดุอีกด้วย เมื่อองค์อาคารถึงจุดวิกฤตหรือตอนที่ใกล้จะพังทลายแล้ว การรับกำลังต้านทานของคอนกรีตและเหล็กน่าจะไม่เป็นไปตามนั้น คือ สัดส่วนการรับกำลังต้านทานน่าจะผิดไป เมื่อพิจารณาจากเหตุผลดังกล่าว วิธีการวิเคราะห์แบบ U.S.D. นั้น ถ้าตัดค่าความปลอดภัยและตัวลดค่า (REDUCTION FACTOR) ออก ก็จะเป็นจุดที่องค์อาคารสามารถรับน้ำหนักได้จริง ๆ (ตามทฤษฎี) ทำให้สามารถทราบถึงขีดความสามารถที่องค์อาคารสามารถรับได้จริง ๆ ในสหรัฐจึงนิยมใช้วิธีนี้ แต่ในกรณีอาคารเชิงราบนั้นการออกแบบโดยวิธี W.S.D. ยังนิยมใช้อยู่ เนื่องจากการผสมปูนที่ขาดการควบคุมที่ดี เหล็กที่ใช้อาจยังไม่ได้มาตรฐานจึงนิยมไปเผื่อที่กำลังต้านทานของวัสดุ ในที่นี้จึงจะขอกล่าวแต่เพียงทฤษฎีของ W.S.D. ไว้ก่อน

ตารางที่ 3.3 ส่วนที่แตกต่างกันเด่นชัดของ W.S.D. และ U.S.D.

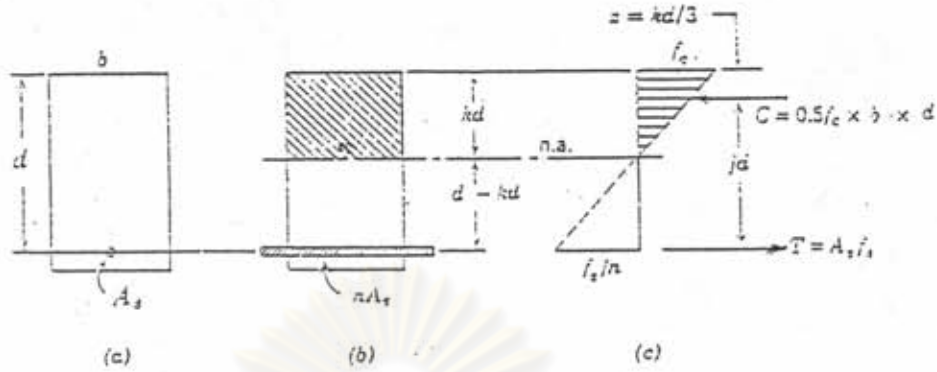
ลักษณะ/ชนิด	W.S.D.	U.S.D.
การวิเคราะห์การเผื่อค่าของความปลอดภัยขนาดขององค์อาคาร	องค์อาคารไม่ถึงจุดคลากเผื่อไว้ที่องค์อาคารที่ต้านทานใหญ่กว่า เนื่องจากคอนกรีตรับแรงกดน้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่รับแรงกด (COMPRESSIVE AREA)	องค์อาคารเมื่อถึงจุดคลากเผื่อไว้ที่น้ำหนักที่กระทำต่อองค์อาคารเล็กกว่า เพราะคอนกรีตรับแรงกดมากขึ้นประมาณ 85 % ของพื้นที่รับแรงกด



การวิเคราะห์การเสริมเหล็กรับโมเมนต์ดัดในคอนกรีต (FLEXURAL REINFORCEMENT IN CONCRETE) โดยวิธี W.S.D.

- การวิเคราะห์โดยวิธีสมดุลย์ (BALANCE REINFORCEMENT) หลักการ คือ ให้ส่วนที่รับแรงกด (CONPRESSIVE FORCE) เป็นหน้าที่ของคอนกรีตรับหมดพอดีซึ่งคอนกรีตสามารถรับได้ดีในกรณีนี้ ในขณะเดียวกัน ส่วนที่รับแรงดึง (TENSILE FORCE) เป็นหน้าที่ของเหล็กอย่างเดียว

<u>รูปที่ 3.19</u> แสดงการวิเคราะห์การเสริมเหล็กแบบสมดุลย์



$$n = 2{,}040{,}000/15{,}210\sqrt{f'_c}$$

จากรูปที่ 3.19 หาค่า kd ได้จากรูปสามเหลี่ยมคล้ายคลึง

kd/d = fc / (fs/n) + f ===> kd = fc/[(fs/n)+fc]xd

Mr = โมเมนต์ดัดที่จุดสมดุลย์ = C . j . d (jd = d - kd/3)

= 1/2.b.k.d.fc.j.d = (1/2.k.j.fc).b.d

= R.b.d (R = 1/2.k.j.fc)

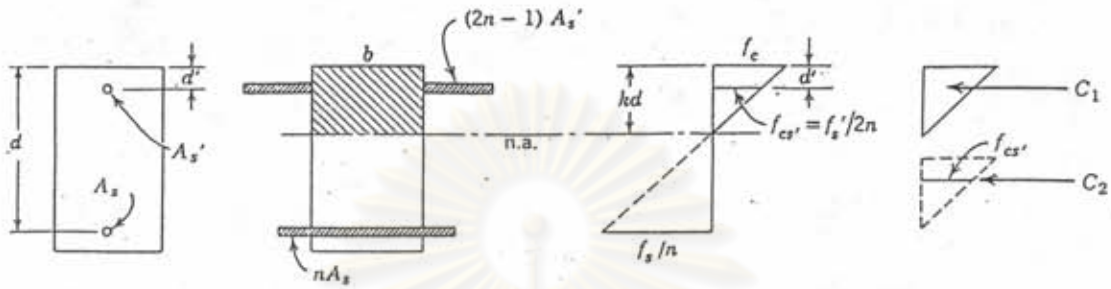
= T.j.d = As.fc j.fc

Asr = หน้าตัดเหล็ก = MR/fs.j.d

- ในกรณีที่หน้าตัดขององค์อาคารรับโมเมนต์ดัดยังรับแรงกดไม่เต็มที่ (UNDER REINFORCEMENT) คือ สามารถเพิ่มเหล็กเสริมรับแรงดึงได้อีก แต่ต้องการให้รับโมเมนต์เพียงเท่านั้น การวิเคราะห์อนุโลมาใช้ตามวิธีสมดุลย์ ค่า j ที่ได้จากการวิเคราะห์ในกรณีนี้จะมากกว่าค่า j ที่ได้จากวิธีสมดุลย์เล็กน้อย แทบจะไม่มีผลและเป็นการเพิ่มความปลอดภัยมากขึ้น

- การวิเคราะห์โดยวิธีเกินดุล (OVER REINFORCEMENT) เนื่องจากขนาดองค์อาคารถูกจำกัด แรงกดที่ให้คอนกรีตรับไม่พอ ส่วนที่เหลือจึงต้องเสริมเหล็กเข้าไปช่วยรับแรงกดด้วย หรือเป็นการเสริมรับแรงคู่ (DOUBLE REINFORCE MENT) ให้เหล็กรับทั้งแรงดึงและแรงกด จากรูป 3.20

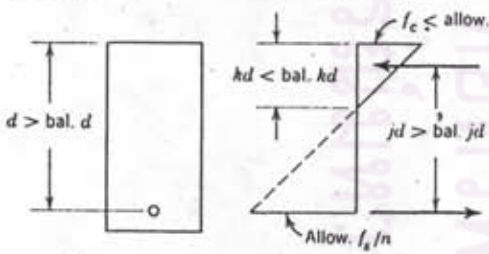
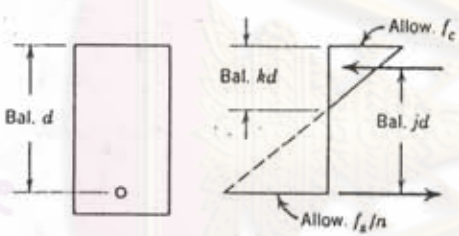
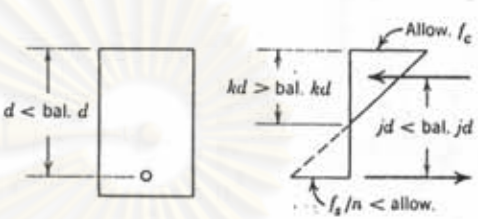
รูปที่ 3.20 แสดงการวิเคราะห์การเสริมเหล็กเกินดุลย์



จากข้างต้น M1 หรือ Mr เป็นโมเมนต์ที่ขนาดขององค์อาคารรับได้สมดุลย์ดมเมนต์ส่วนที่เหลือ คือ M2 หรือ M-Mr จึงเป็นดมเมนต์ส่วนที่เกินดุลย์ จะต้องคำนวณเหล็กเสริม ดังนี้ : -

	C2	=	A's.(2n-1)f'cs = (M-Mr)/(d-d')
เหล็กเสริมแรงกด	As'	=	(M-Mr)/(d-d').(2n-1).f'cs
	T	=	T1+T2
	T1	=	As1.fs = M/j.d
	As1	=	Mr/fs.j.d
	T2	=	As2.fs = (M-Mr)/(d-d')
	As2	=	(M-Mr)/fs.(d-d')
แรงรับแรงดึง	As	=	As1+As2 = [Mr/fs.j.d.]+[(M-Mr)/fs.(d-d')]

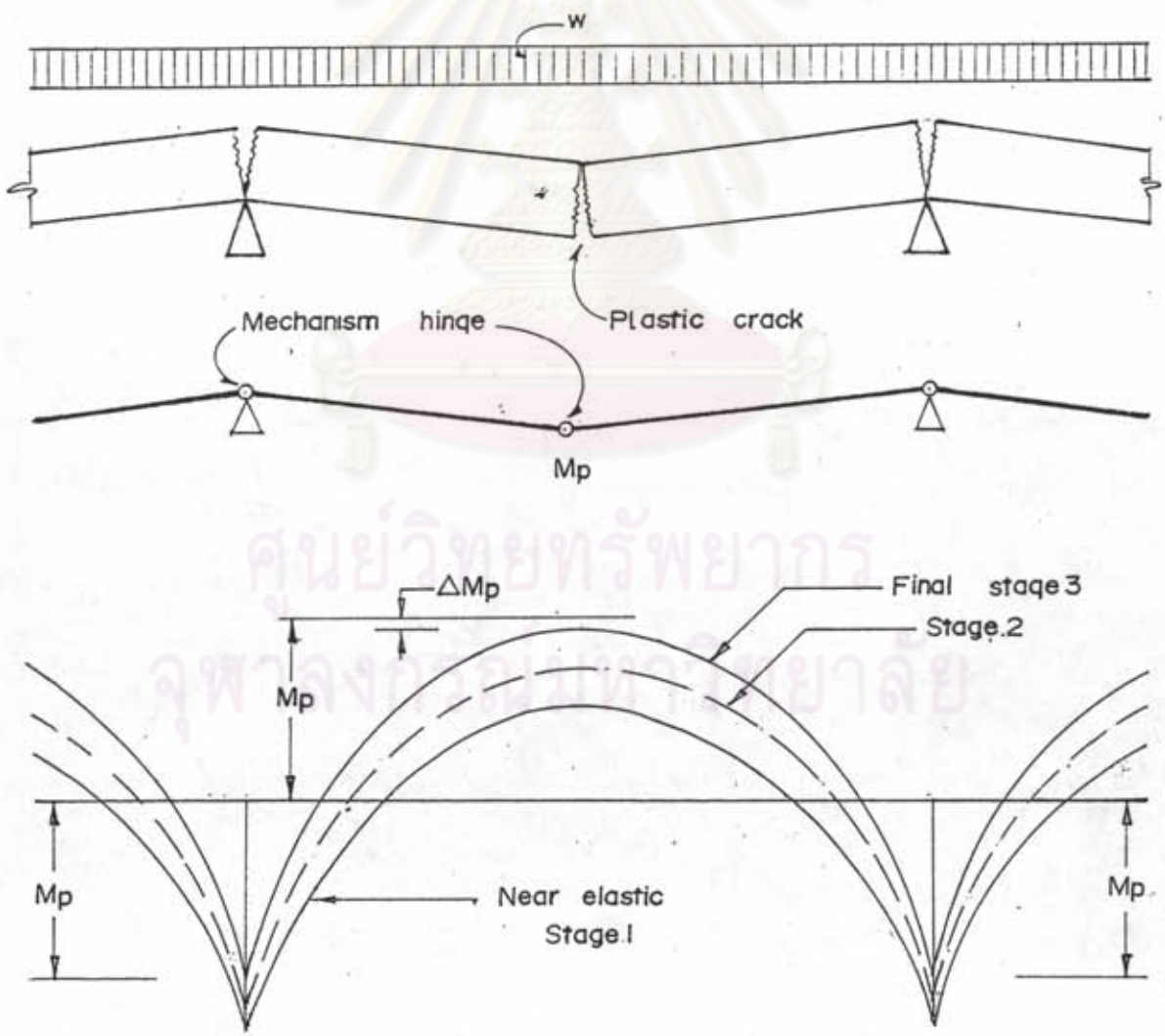
การคำนวณองค์อาคารดัดให้เหล็กรับแรงเสริมคู่ (DOUBLE REINFORCE) ดูไปแล้วน่าจะยุ่งยาก แต่ถ้าได้ค่า fc และ fs ที่แน่นอนแล้วจะสามารถทำเป็นตารางสำเร็จของตัวคงที่ต่าง ๆ หรือป้อนตัวคงที่เข้าในคอมพิวเตอร์ เมื่อป้อนชนิดของน้ำหนักลงตามตำแหน่งต่าง ๆ ของคาน ระยะของคาน จำนวนช่วง และชนิดของคาน คอมพิวเตอร์ก็สามารถคำนวณออกมาทันที

Identification:		
Actual $M <$ (bal. R)bd^2	Actual $M =$ (bal. R)$bd^2 =$ bal. M	Actual $M >$ (bal. R)bd^2
Actual $R = M/bd^2 <$ bal. R	Actual $R = M/bd^2 =$ bal. R	Actual $R = M/bd^2 >$ bal. R
Actual $d < \sqrt{M/(\text{bal. } R)b}$	$d = \sqrt{M/(\text{bal. } R)b} =$ bal. d	Actual $d < \sqrt{M/(\text{bal. } R)b}$
Designation:		
Underreinforced	Balanced	Overreinforced
		(If $d \ll$ bal. d, use A_s' with balanced stresses.)
Design:		
		
$f_c = \frac{f_s}{n}\frac{kd}{d-kd}$	kd from similar triangles	kd from $M = Cjd$ (quadratic eq. in kd)
kd from $M = Cjd$ (cubic eq. in kd)	$M = Rbd^2$	Reduced $f_s = nf_c\frac{d-kd}{kd} \ll$ allow. f_s
$A_s = \frac{M}{(\text{allow.})f_s \times j(\text{from above}) \times d}$	$A_s = \frac{M}{f_s jd}$	$A_s = \frac{M}{(\text{reduced})f_s \times jd(\text{requires exact } j \text{ or } jd)}$
Approx. $A_s = \frac{M}{(\text{allow.})f_s \times (\text{bal.})j \times d(\text{deeper than bal. } d)}$		

Alternate for any of the three types:
Find A_s by area moments about n.a. after kd is established: $nA_s(d-kd) = b(kd)^2/2$

การออกแบบตามวิธี W.S.D. และ U.S.D. นั้น บางครั้งยังไม่ใช่วิเคราะห์จากจุดที่องค์อาคารจะพังทลาย เพียงแต่แบบ U.S.D. นั้นใกล้จุดที่องค์อาคารพังทลาย วิธีการออกแบบที่องค์อาคารอยู่ขั้นวิกฤตจริง ๆ นั้น เป็นวิธีพลาสติกหรือลิมิท (PLASTIC OR LIMIT DESIGN) เพราะเมื่อกำลังถึงจุดวิกฤต (YIELD POINT) ตามการออกแบบ แบบ U.S.D. แล้ว แต่ละส่วนขององค์อาคารจะถึงจุดวิกฤตที่ไม่เท่ากัน เมื่อองค์อาคารถึงจุดพังทลายแล้วจะทำให้จุดวิกฤตนั้นหมุนได้ (PLASTIC HINGE) เหมือนกระดูกหัก จึงมีการถ่ายเทการรับกำลังอีกในขั้นตอนสุดท้ายนี้ เพื่อให้องค์อาคารพังทลายจริง ๆ จะเห็นว่าไม่ว่าจะเป็น W.S.D. หรือ U.S.D. นั้น เมื่อถึงจุดวิกฤตแล้วยังมีกำลังต้านทานส่วนที่เหลือรองรับอยู่

<u>รูปที่ 3.22</u> แสดงการพังทลายแบบพลาสติก



3.3.4 <u>การคำนวณการรับน้ำหนักของเสา</u> การรับน้ำหนักของเสาแบ่งง่าย ๆ ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่คอนกรีตรับและส่วนที่เหล็กรับ โดยคอนกรีตจะเพิ่มส่วนปลอดภัยโดยคูณด้วยค่า 0.25x0.85 (0.2125) ส่วนเหล็กจะคูณด้วยค่า 0.25 หรือประมาณ 1/4 เท่าของกำลังวัสดุที่รับได้จริง

$$P = 0.25\ (.85Acfc + Asfs)$$

$$P = 0.2125\ Acfc + 0.25\ Asfs$$

3.3.5 <u>การคำนวณฐานราก</u> ฐานรากนั้นเป็นการรับน้ำหนักที่ลงมาจากเสาสู่ฐานจากฐานลงไปยังเสาเข็ม จากเสาเข็มจึงลงสู่ดิน การใช้เสาเข็มในอาคารเชิงราบนั้นส่วนใหญ่เป็นประเภทรับแรงฝืด (FRICTION PILE) มีชนิดตั้งแต่เข็มไม้จนถึงเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงที่นิยมใช้กันและสามารถรับน้ำหนักปลอดภัย สำหรับดินในกรุงเทพมหานครโดยประมาณดังนี้ :-

สำหรับเสาเข็มที่ใช้ในอาคารเชิงราบ (น้ำหนักไม่มากนัก) ขอแนะนำให้ใช้เสาเข็มไม่เกินขนาด .35 x 21.00 ม. หากรับน้ำหนักมากให้ใช้ 2 ต้น หรือ 3 ต้น ฯลฯ เพราะเสาแต่ละต้นมีน้ำหนักมากน้อยไม่เท่ากัน เสาที่รับน้อยก็ใช้เสาเข็มน้อยต้น เสาที่รับมากก็ใช้เสาเข็มมากต้นหน่อย ตามสัดส่วนของน้ำหนักที่ต้องรับทำให้ประหยัด และสะดวกในการขนส่ง หรือในบางกรณีหากมีปริมาณมาก ๆ อาจใช้เสาเข็มต่างขนาดก็ได้ แต่ข้อพึงจดจำ คือ ห้ามใช้เสาเข็มที่มีความยาวต่างกันอย่างเด็ดขาด เพราะการทรุดตัวจะไม่เท่ากัน และทำให้องค์อาคารฉีก และถึงขั้นพังทลายได้

การออกแบบฐานรองรับเสา ฐานรองรับเสานั้น นอกจากรองรับเสาแล้วก็ยังเป็นตัวกลางถ่ายน้ำหนักของเสาลงสู่ฐานราก การออกแบบก็คล้ายคลึงกับ การออกแบบแผ่นพื้นยื่นออกสองทางตามรูป 3.7 ส่วนที่น่าคำนึงถึงอีกก็คือ การแรงเฉือนทิ่มทะลุ (PUNCHING SHEAR) ของเสาลงไปในแผ่นฐานรองความหนาของแผ่นฐานรองรับจึงถูกควบคุมโดยแรงเฉือนดังกล่าว ความหนาของแผ่นฐานจะถูกกำหนดโดยตัวใดตัวหนึ่งที่มากกว่า ดังนี้ :-

ตารางที่ 3.4 การรับน้ำหนักของเสาเข็ม

ชนิดเสาเข็ม	ขนาด หน้าตัด x ความยาว	รับน้ำหนักปลอดภัย (ตัน)
ไม้	4" x 4.00	0.8
ไม้	5" x 5.00	1.2
ไม้	6" x 6.00	1.7
คอนกรีต	6" x 5.00	1.5
คอนกรีต	6" x 6.00	2.0
คอนกรีตอัดแรง	18 x 7.00	5.0
คอนกรีตอัดแรง	18 x14.00	12.0
คอนกรีตอัดแรง	22 x14.00	16.0
คอนกรีตอัดแรง	26 x21.00	35.0
คอนกรีตอัดแรง	30 x21.00	45.0
คอนกรีตอัดแรง	35 x21.00	55.0

หมายเหตุ การรับน้ำหนักของเสาเข็มตามตารางที่ 3.5 นั้นเป็นเพียงค่าประมาณเคร่า ๆ สำหรับดินในกรุงเทพมหานคร หากต้องการค่าที่แน่นอนขึ้นจะต้องตรวจสอบจำนวนครั้งที่ตอก (BLOW COUNT) ขณะตอกน้ำหนักของลูกตุ้ม และระยะลูกตุ้มที่ทิ้งลงบนหัวเข็มมาพิจารณาด้วย ที่แน่นอนกว่านี้ก็จะทำการทดสอบการรับน้ำหนัก (LOAD TEST) แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างแพง

---

(1) อาจเป็นรูปหกเหลี่ยมหรือแปดเหลี่ยมก็ได้

(2) รูปร่างของคอกนรีตอัดแรงอนุโลมให้เป็นสี่เหลี่ยม ตัว I หรือ DOUBLE HALFMOON ยกเว้นวงกลมให้คิดค่าความปลอดภัยลดลง 5% จากตารางข้างต้น

จากโมเมนต์ดัด M = R.b.d ---> d = M/R.b

จากแรงเฉือนทะลุ d = น้ำหนักเสาลงฐาน/Vc . (A+d) . (B+d) . 2

Vc = หน่วยรับแรงเฉือน. 53 fc

A = ความกว้างของเสา

B = ความยาวของเสา

d = ความลึกของฐานลบด้วยความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก

หาหน้าตัดของเหล็ก As = M/fs.j.d และ

ตรวจสอบการครูด μ = Σo.j.d (Σo =เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม)

ตามที่กล่าวไว้แล้วการออกแบบข้างต้นเป็นเพียงการออกแบบโดยสังเขปหากเข้าใจหรือสนใจแล้วสามารถศึกษาได้จากตำราการออกแบบโครงสร้างทั่วไปเพิ่มเติม

ข้อพึงสังเกตุ ในการออกแบบและการก่อสร้างอาคาร ในส่วนประกอบของอาคารนั้นค่าของความปลอดภัยที่ใช้ไม่เท่ากัน เช่น การเผื่อค่าปลอดภัยในพื้น และ คานประมาณ 2 เท่า เสา 4 เท่า และเสาเข็ม 2.5 เท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญในแต่ละส่วนของโครงสร้าง โดยมีหลักการวินิจฉัยเคร่า ๆ ดังนี้ เมื่ออาคารส่วนที่เป็นพื้นพังทลายลง ผลกระทบต่อส่วนอื่นของอาคารส่วนอื่น เช่น คาน เสา ฐาน ฯลฯ จะยังไม่กระทบกระเทือน แต่ถ้าอาคารส่วนเป็นคานเกิดพังทลายลงจะกระทบถึงพื้นในส่วนที่คานดังกล่าวรองรับอยู่ ก็จะพังทลายลงพร้อมกัน เช่นเดียวกันอาคารส่วนที่เป็นเสาพังทลายลงไปจะมีผลกระทบถึงคานที่มาฝากกับเสาและต่อเนื่องถึงพื้นที่คานดังกล่าวรองรับ และบางครั้งอาคารส่วนที่เป็นเสาอาจต้องรับน้ำหนักกระแทกด้านข้าง โดยไม่ได้คาดคิด เช่น รถชนอะไรทำนองนั้น ฉะนั้นอาคารในส่วนที่เป็นเสาตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. และ ACI จึงกำหนดค่าของความปลอดภัยไว้สูงถึง 4 เท่าขึ้นไป สำหรับเสาเข็มนั้น ความจริงมีความสำคัญพอ ๆ กับเสา แต่เนื่องจากเสาเข็มฝังอยู่ในดิน มีดินอัดแน่นโดยรอบคอยประคับประคองอยู่ การเผื่อค่าความปลอดภัยจึงน้อยกว่าเสา เหลือเพียง 2 - 2.5 เท่า บ่อยครั้งที่ผู้รับเหมาจะพยายามลดวัสดุรับแรงต้านทาน โดยเฉพาะเหล็กซึ่งถูกคอนกรีตห่อหุ้มไปจะตรวจสอบยาก ซึ่งบางทีไปลดส่วนสำคัญของอาคาร โดยที่อาคารยังไม่ถึงกับพังทลายลงมาก็ตาม แต่เป็นการไม่ถูกหลักและมีผลเสียอย่างยิ่ง เพราะเป็นการไปลดค่าของความปลอดภัยที่ได้มีการวิเคราะห์มาอย่างดีแล้ว หากวัสดุส่วนที่ลดเป็นเสา เมื่อเกิดมีการผิดพลาดและพังทลายลงมานั้น จะมีผลถึงคานและพื้นที่รองรับพังทลายตามไปด้วย และอาจจะดึง

ดึงเอาส่วนประกอบของอาคารต่อเนื่องเชจนพังทลายตามไปอีก ทั้ง ๆ ที่คานและพื้นส่วนนั้นหรืออาคารส่วนอื่น ๆ มีการก่อสร้างอย่างมั่นคงแข็งแรงอย่างดีที่สุดแล้วก็ตาม ก็หามีประโยชน์แต่อย่างใดไม่.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย