เอกสารประกอบการสอน

วิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัสวิชา วธ ๓๓๔

นาวาอากาศตรี อริสมันต์ แสงธงทอง

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

๒๕๖๗

คำนำ

เอกสารประกอบการสอนฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสอนรายวิชา วธ ๓๓๔ การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑ (Reinforced Concrete Design - 1) ซึ่งเป็นวิชาเฉพาะด้าน กลุ่มวิชาบังคับทางวิศวกรรมของนักเรียนนายเรืออากาศ ชั้นปีที่ ๓ มีเนื้อหาครอบคลุมตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ (มคอ.๒) ของสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และมีเนื้อหาตามองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมโยธา ตามที่องค์กรวิชาชีพกำหนด (สภาวิศวกร) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาได้อีกด้วย

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารประกอบการสอนฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่ออาจารย์และผู้ที่สนใจในการพัฒนาขยายผลความรู้ต่อไป

นาวาอากาศตรี อริสมันต์ แสงธงทอง

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
รายละเอียดรายวิชา	ค
กำหนดการสอน	ฉ
แผนการสอนครั้งที่ ๑ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	๑
แผนการสอนครั้งที่ ๒ มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	๖
แผนการสอนครั้งที่ ๓ ประเภทและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	๒๑
แผนการสอนครั้งที่ ๔ การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว (single reinforcement)	๓๕
แผนการสอนครั้งที่ ๕ การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ (double reinforcement)	๕๑
แผนการสอนครั้งที่ ๖ การออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว	๗๓
แผนการสอนครั้งที่ ๗ การออกแบบแผ่นพื้นสองทาง	๗๙
แผนการสอนครั้งที่ ๘ สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗	๙๑
แผนการสอนครั้งที่ ๙ การออกแบบแผ่นพื้นบันได	๙๓
แผนการสอนครั้งที่ ๑๐ การออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน	๙๙
แผนการสอนครั้งที่ ๑๑ การออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์	๑๑๐
แผนการสอนครั้งที่ ๑๒ ฐานราก	๑๒๑
แผนการสอนครั้งที่ ๑๓ การออกแบบฐานรากแผ่	๑๒๙
แผนการสอนครั้งที่ ๑๔ การออกแบบฐานรากเสาเข็ม	๑๓๕
แผนการสอนครั้งที่ ๑๕ การออกแบบฐานรากรับโมเมนต์	๑๔๐
แผนการสอนครั้งที่ ๑๖ สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗	๑๔๗

รายละเอียดรายวิชา
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโยธา
ภาคการศึกษาที่ ๒ ปีการศึกษา ๒๕๖๗
นนอ.ชั้นปีที่ ๓ วิชาเฉพาะด้าน
กลุ่มวิชาบังคับทางวิศวกรรม
(หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.๒๕๖๓)

ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑ (Reinforced Concrete Design - 1)

รหัสวิชา วธ ๓๓๔

จำนวนหน่วยกิต ๓ (๒–๓–๐) (บรรยาย–ปฏิบัติ–ศึกษาด้วยตนเอง)

ประเภทรายวิชา : หมวดวิชาเฉพาะด้าน กลุ่มวิชาบังคับทางวิศวกรรม

วิชาพื้นฐานบังคับ วธ ๓๒๗ การวิเคราะห์โครงสร้าง - ๑

คำอธิบายรายวิชา

พฤติกรรมพื้นฐานของคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงตามแนวแกน แรงดัด แรงบิด แรงเฉือน แรงยึดเหนี่ยว และแรงกระทำร่วมในช่วงอีลาสติก ภายใต้การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน เกณฑ์กำหนดมาตรฐานของ ว.ส.ท. เกี่ยวกับรายละเอียดของการเสริมเหล็ก ระยะหุ้มของคอนกรีต รวมทั้งการจัดน้ำหนักบรรทุก หลักเกณฑ์และวิธีการออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้าง คาน พื้น บันได เสา และฐานราก การฝึกออกแบบและการให้รายละเอียด

อาจารย์ผู้สอน น.ต.อริสมันต์ แสงธงทอง

วิธีการศึกษา

สอนบรรยายพร้อมยกตัวอย่างการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน แล้วตรวจสอบรายการคำนวณด้วยโปรแกรมออกแบบทางวิศวกรรมโยธา และให้ นนอ. ดำเนินการโครงงานออกแบบบ้าน ๒ ชั้น เนื้อที่รวม ๑๕๐ ตารางเมตรขึ้นไป

วัน อังคาร **เวลา** ๐๘๒๐–๐๙๑๐

วัน พฤหัสบดี **เวลา** ๐๙๑๕-๑๒๐๐

ห้องเรียน ๓๒๗ ชั้น 3 อาคารเรียนรวม กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

จำนวนชั่วโมงต่อสัปดาห์ที่อาจารย์ให้คำปรึกษาแก่ นนอ. เป็นรายบุคคล

อาจารย์จัดเวลาให้คำปรึกษาเป็นรายบุคคล หรือ รายกลุ่มตามความต้องการ ๓ ชั่วโมงต่อสัปดาห์ (เฉพาะรายบุคคล หรือ รายกลุ่มที่ต้องการ) โดยการให้คำปรึกษาเพิ่มเติมและสอนเสริมในวันพฤหัสบดี เวลา ๑๓๐๐-๑๖๐๐ ณ ห้องพักอาจารย์ ชั้น ๒ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโยธา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช โดย นนอ.นัดหมายวันและเวลาล่วงหน้าในการขอรับคำปรึกษา ผ่านช่องทาง E-mail address: arissaman@rtaf.mi.th หรือ Line ID: baskonggo

ตำราและเอกสารหลัก

เอกสารประกอบการสอนและไฟล์ power point ประกอบการสอน

เอกสารและข้อมูลสำคัญ

๑. Nilson,A.H, Darwin,D. and Dolan,C.W. (2010). *Design of Concrete Structures* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

๒. วิวัฒน์ ธรรมาภรณ์พิลาศ. (2528). *คอนกรีตเสริมเหล็ก.* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

๓. Zaidee,S.R. and AbbAs,R.M. (2019). *Design of reinforced concrete structures*. Civil Engineering Department college of Engineering University of Baghdad.

๔. Wegian,F.M. (2002). *Concrete Structures Analysis and Design*. EmphAsizing American Concrete Institute (ACI 318-02) Inch-Pound and SI Units *(2nd ed.)*.

๕. The European Union Per Regulation. (2004). *Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings*. European Standard.

๖. ธนกาญจน์ สำเภาลอย. (). เอกสารประกอบการสอน วิชาออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. http://engfanatic.tumcivil.com/tumcivil_1/media/_Technic_CM/TANAKARN/RC_cmtc.pdf

๗. พงศ์นธี มณีกุล. (2559). *คู่มือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็มเลเซอร์พริ้นต์.

๘. สมศักดิ์ คำปลิว. (2556). *การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (WSD) โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). พิมพ์โดย นายอธิพัชร์ ศรเกตุ และ TumCivil.com Training Center.

๙. Mosley,W.H. and Bungey,J.H. (1990). *Reinforced Concrete Design* (4th ed.). Macmillan Education Ltd.

๑๐. Ghoniem,M.A. and El-Minilmy,M.T. (2008). *Design of Reinforced Concrete Structures* (2nd ed., Vol.1). Cairo University.

วิธีการวัดผล และประเมินผล

1. คะแนนเต็ม ๑๐๐ คะแนน
2. โครงงาน ๒๐ คะแนน (ไม่เกินร้อยละ ๒๐ ของคะแนนรวมทั้งภาคการศึกษา)
3. สอบระหว่างภาค ๔๐ คะแนน (ไม่เกินร้อยละ ๔๐ ของคะแนนรวมทั้งภาคการศึกษา)
4. สอบประจำภาค ๔๐ คะแนน (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๔๐ ของคะแนนรวมทั้งภาคการศึกษา)

เกณฑ์มาตรฐาน วธ ๓๓๔ การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑ (Reinforced Concrete Design - 1)

ระดับ A ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๘๐
ระดับ B+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๗๕
ระดับ B ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๗๐
ระดับ C+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๖๕
ระดับ C ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๖๐
ระดับ D+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๕๕
ระดับ D ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๕๐
ระดับ F ได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ ๔๙

วันที่จัดทำหรือปรับปรุงรายละเอียดของรายวิชาครั้งล่าสุด ๓๐ ธ.ค.๖๗

จุดมุ่งหมายของรายวิชา

เพื่อให้ นนอ.มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน สามารถหาปริมาณเหล็กเสริม และหน้าตัดที่เหมาะสมที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ โดยส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องออกแบบนั้น ได้แก่ คานคอนกรีตเสริมเหล็ก แผ่นพื้นทางเดียว แผ่นพื้นสองทางบันได เสารับน้ำหนักตามแนวแกน เสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์ ฐานรากแผ่ และฐานรากเสาเข็ม ซึ่งเมื่อผนวกเข้าด้วยกันแล้วจะกลายเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ๑ อาคาร

วัตถุประสงค์ในการพัฒนา/ปรับปรุงรายวิชา

เน้นการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ และเพื่อให้องค์ความรู้ในรายวิชาสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน

กำหนดการสอนวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑ (Reinforced Concrete Design - 1)

รหัสวิชา วธ ๓๓๔

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวน (ชม.)	เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนการสอนและสื่อที่ใช้	ผู้สอน	หมายเหตุ
๑	๖ ส.ค.๖๗ ๘ ส.ค.๖๗	๑ ๔	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	- แนะนำการเรียนรู้ - บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๒	๑๓ ส.ค.๖๗ ๑๕ ส.ค.๖๗	๑ ๔	มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๓	๒๐ ส.ค.๖๗ ๒๒ ส.ค.๖๗	๑ ๔	ประเภทและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๔	๒๗ ส.ค.๖๗ ๒๙ ส.ค.๖๗	๑ ๔	การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว (single reinforcement)	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๕	๓ ก.ย.๖๗ ๕ ก.ย.๖๗	๑ ๔	การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ (double reinforcement)	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวน (ชม.)	เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนการสอนและสื่อที่ใช้	ผู้สอน	หมายเหตุ
๖	๑๐ ก.ย.๖๗ ๑๒ ก.ย.๖๗	๑ ๔	การออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๗	๑๗ ก.ย.๖๗ ๑๙ ก.ย.๖๗	๑ ๔	การออกแบบแผ่นพื้นสองทาง	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๘	๒๓-๒๗ ก.ย.๖๗	๒	สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗	ทดสอบภาคทฤษฎีเนื้อหา	คณะกรรมการคุมสอบ	**๔๐ คะแนน**
๙	๑ ต.ค.๖๗ ๓ ต.ค.๖๗	๑ ๔	การออกแบบแผ่นพื้นบันได	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๑๐	๘ ต.ค.๖๗ ๑๐ ต.ค.๖๗	๑ ๔	การออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๑๑	๑๕ ต.ค.๖๗ ๑๗ ต.ค.๖๗	๑ ๔	การออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ	น.ต.อริสมันต์ฯ	-

ครั้งที่	วัน เดือน ปี	จำนวน (ชม.)	เนื้อหา	กิจกรรมการเรียนการสอนและสื่อที่ใช้	ผู้สอน	หมายเหตุ
				- สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด		
๑๒	๒๒ ต.ค.๖๗ ๒๔ ต.ค.๖๗	๑ ๔	ฐานราก	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๑๓	๒๙ ต.ค.๖๗ ๓๑ ต.ค.๖๗	๑ ๔	การออกแบบฐานรากแผ่	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๑๔	๕ พ.ย.๖๗ ๗ พ.ย.๖๗	๑ ๔	การออกแบบฐานรากเสาเข็ม	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	-
๑๕	๑๒ พ.ย.๖๗ ๑๔ พ.ย.๖๗	๑ ๔	การออกแบบฐานรากรับโมเมนต์	- บรรยายโดยใช้ Power point และเอกสารประกอบ - สรุปและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน - แบบฝึกหัด	น.ต.อริสมันต์ฯ	ส่งโครงงาน **๒๐ คะแนน**
๑๖	๑๘-๒๙ พ.ย.๖๗	๓	สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗	ทดสอบภาคทฤษฎี	คณะกรรมการคุมสอบ	**๔๐ คะแนน**
รวม		**๗๐ ชม.**			**๑๐๐ คะแนน**	

ตารางสอนเสริม

-

ตรวจถูกต้อง

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑ เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ บทนำ

๔.๒ วิธีของการออกแบบ

๔.๓ ส่วนปลอดภัย

๔.๔ น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ บทนำ

ปัจจุบันสิ่งก่อสร้างส่วนใหญ่ในประเทศไทย เป็น อาคารชนิดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวอย่างเช่น บ้านเดี่ยว ทาวน์เฮาส์ ไปจนกระทั่งอาคารขนาดใหญ่พิเศษ อาทิเช่น อาคารใบหยก ตึกช้าง อาคาร One Bangkok อาคาร G Tower เป็นต้น หรืออาคารที่ก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างไม้หรือเหล็ก ในส่วนประกอบอาคารบางส่วนยังคงต้องมีส่วนของโครงสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กอยู่เสมอ อย่างเช่น ส่วนที่เป็นฐานราก เสาตอม่อ และคานคอดิน เป็นต้น

เหตุผลที่ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่นิยม เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถทนไฟได้ดีกว่าโครงสร้างไม้และเหล็ก ไม่เป็นสนิม ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับโครงสร้างเหล็ก นอกจากนี้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กยังสามารถออกแบบให้มีรูปร่างได้ตามความต้องการ โดยไม่ถูกจำกัดจากขนาดหน้าตัดของวัสดุ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย อย่างไรก็ตามโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กยังมีข้อจำกัดด้านน้ำหนักของโครงสร้างที่มากกว่าโครงสร้างประเภทอื่น ๆ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ก่อสร้างในปัจจุบันแบ่งออกได้ป็น 2 แบบ ตามรูปแบบของการหล่อคอนกรีต โดยแบบที่ 1 เป็นแบบสำเร็จรูป (Pre - Cast Concrete) ซึ่งเป็นแบบที่มีการผลิตและหล่อชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มาจากโรงงาน ไม่ว่าจะเป็น พื้น ผนัง คาน เสา แล้วนำมาประกอบเข้าเป็นโครงสร้างในสถานที่ก่อสร้าง และแบบที่ 2 คือ แบบหล่อในที่ (Cast in place Concrete) ซึ่งเป็นแบบดั้งเดิมนิยมใช้กันมาก มีความคงทนถาวร ไม่รั่วซึม แต่ระยะเวลาการก่อสร้างช้ากว่าแบบที่ 1

ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้ปลอดภัย ในทุกสภาวะของการรับน้ำหนักที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้าง มีความจำเป็นต้องออกแบบตามข้อกำหนด หรือมาตรฐาน เกี่ยวกับความสามารถในการใช้งานและความปลอดภัย ซึ่งผู้ออกแบบต้องมีความเข้าใจในคุณสมบัติของวัสดุ ชนิด และขนาดของ

น้ำหนักบรรทุกที่มีผลต่อโครงสร้าง และออกแบบโดยยึดตามข้อบัญญัติเกี่ยวกับการก่อสร้าง อาทิเช่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครฯ มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มาตรฐาน ACI เป็นต้น

๕.๒ วิธีของการออกแบบ

การศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดขึ้นตั้งแต่ก่อนศตวรรษที่ 19 จนถึงปัจจุบัน วิธีการต่าง ๆ ในการออกแบบได้ถูกค้นคว้า วิจัย และพัฒนาให้เกิดความปลอดภัยและประหยัดสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 วิธี ดังนี้

๑. การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method) หรือ การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

เป็นการออกแบบโครงสร้างให้สามารถต้านทานโมเมนต์ดัด และแรงต่าง ๆ โดยที่คุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริม อาทิเช่น หน่วยการยืดหดตัว ความเครียด (Strain) หรือหน่วยแรงเค้น (Stress) อยู่ในช่วงอีลาสติก กล่าวคือ กราฟความสัมพันธ์ Stress and Strain Diagram อยู่ในรูปของเส้นตรง การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานนี้โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เรียกว่า Working load (น้ำหนักบรรทุกใช้งาน Working load คือ น้ำหนักบรรทุกที่ยังไม่ได้คูณด้วยแฟกเตอร์เพื่อเพิ่มความปลอดภัย ซึ่งเมื่อหลังจากที่คูณด้วยแฟกเตอร์ดังกล่าวแล้ว จะเรียกว่า Factors load) ได้ตามประเภทของอาคาร โดยมีหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ (allowable stresses) ซึ่งถูกกำหนดโดยข้อบัญญัติการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร หรือมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มาตรฐาน ACI

๒. การออกแบบโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method)

เป็นการออกแบบโครงสร้างให้สามารถรับหรือต้านทานโมเมนต์ดัด และแรงต่าง ๆ จากน้ำหนักบรรทุกที่เรียกว่า Factored load ได้ กล่าวคือ วิธีการออกแบบนี้มีการเพิ่มส่วนความปลอดภัยลงไปที่น้ำหนักบรรทุกโดยการคูณ แฟกเตอร์ความปลอดภัย (ตัวเลขที่มากกว่า 1 กับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working load) และนำมาคำนวณหาค่าขนาดหน้าตัดของโครงสร้างที่เหมาะสมโดยใช้หน่วยแรงของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่เกินกว่าช่วงพิกัดยืดหยุ่น แต่ไม่เกินแรงประลัยมาคำนวณ และจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้การออกแบบโดยวิธีกำลัง จะได้โครงสร้างที่ประหยัดและเล็กกว่าของการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๕.๓ ส่วนปลอดภัย (Safety Factor)

การออกแบบโครงสร้างอาคาร สิ่งสำคัญประการแรก และสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึง ก็คือ การวิบัติของโครงสร้าง (Failure of Structure) โดยผู้ออกแบบต้องออกแบบให้โครงสร้างสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยไม่เกิดความเสียหาย อันตราย และสิ่งที่เป็นตัวกำหนดถึงความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างว่ามีมาก น้อยเพียงใด นั่นคือ ค่าของส่วนปลอดภัย

ตามความหมายในทางทฤษฎีแล้ว ส่วนปลอดภัย หมายถึง อัตราส่วนหน่วยแรงประลัยของวัสดุ (Ultimate Strength) ต่อหน่วยแรงที่ใช้ในการออกแบบ หรือหน่วยแรงที่ยอมให้ในการใช้งาน (Allowable strength)

ถ้ากำหนดให้ N = ส่วนปลอดภัย

f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

f_c = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

fy = หน่วยแรงดึงที่จุดคลากของเหล็กเสริม (กก./ซม.^{2})

f_s = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม (กก./ซม.^{2})

ส่วนความปลอดภัยของคอนกรีต

$$N = \frac{f_c'}{f_c}$$

ส่วนความปลอดภัยของเหล็กเสริม

$$N = \frac{f_y}{f_s}$$

๕.๔ น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Loading)

น้ำหนักบรรทุกเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้าง เพราะมีผลกระทบต่อขนาด และความแข็งแรงของโครงสร้างโดยตรง เพราะฉะนั้นในการออกแบบโครงสร้างนั้น การวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกใช้งาน จึงจำเป็นต้องถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งน้ำหนักบรรทุกใช้งานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

๑. น้ำหนักบรรทุกตายตัวหรือน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

๒. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads)

๕.๔.๑ น้ำหนักบรรทุกตายตัวหรือน้ำหนักบรรทุกคงที่ หมายถึง น้ำหนักบรรทุกที่มีตำแหน่ง หรือจุดที่กระทำต่อโครงสร้างแน่นอน คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในเรื่องของขนาดและตำแหน่งของน้ำหนัก ได้แก่ น้ำหนักของตัวโครงสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กเอง อาทิเช่น น้ำหนักคาน น้ำหนักพื้น น้ำหนักเสา น้ำหนักผนังที่ทำมาจากอิฐมอญ หรือ คอนกรีตบล็อก น้ำหนักวัสดุมุงหลังคา เป็นต้น ทั้งนี้น้ำหนักบรรทุกสามารถแบ่งตามลักษณะของการกระทำได้ 2 ลักษณะ คือ

ก. น้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด (Point Loads หรือ Concentrated Loads) คือ น้ำหนักที่กระทำเป็นจุดแน่นอน มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ได้แก่ น้ำหนักของคานรองที่ถ่ายลงสู่คานหลัก หรือน้ำหนักจากเสาที่ถ่ายลงสู่โครงสร้างที่รองรับ เป็นต้น

ข. น้ำหนักบรรทุกที่กระทำแบบแผ่เฉลี่ย (Uniformed Loads หรือ Distributed Loads) คือ น้ำหนักที่กระทำแผ่เฉลี่ยตลอดความยาวของพื้นที่ส่วนของโครงสร้าง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อความยาว หรือกิโลกรัมต่อพื้นที่ แล้วแต่กรณี เช่น น้ำหนักของพื้น หรือกำแพงที่มีการถ่ายน้ำหนักลงสู่ตลอดความยาวคาน เป็นต้น

ค่าโดยประมาณของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ซึ่งใช้ในการออกแบบอาคารทั่ว ๆ ไป ได้แก่

คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	1600 - 2400	กก. ต่อ ลบ.ม.
เหล็ก	7850	กก. ต่อ ลบ.ม.
ไม้	480	กก. ต่อ ลบ.ม.
อิฐ	1900	กก. ต่อ ลบ.ม.
วัสดุมุงหลังคา		
- กระเบื้องลอนคู่	14	กก. ต่อ ลบ.ม.
- กระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก	12	กก. ต่อ ลบ.ม.
- กระเบื้องลูกฟูกลอนใหญ่	17	กก. ต่อ ลบ.ม.
- กระเบื้องซีแพคโมเนียพร้อมระแนง	55	กก. ต่อ ลบ.ม.
- สังกะสี	5	กก. ต่อ ลบ.ม.
แปไม้	5	กก. ต่อ ลบ.ม.
โครงหลังคาไม้	10 - 20	กก. ต่อ ลบ.ม.
ฝ้าเพดาน	14 - 26	กก. ต่อ ลบ.ม.
ฝาและผนัง		
- ฝาไม้รวมเคร่า	20	กก. ต่อ ลบ.ม.
- ฝากระเบื้องแผ่นเรียบด้านเดียวรวมเคร่า	20	กก. ต่อ ลบ.ม.
- กระจก	15	กก. ต่อ ลบ.ม.
- ผนังอิฐมอญหนา 10 ซม.	180	กก. ต่อ ลบ.ม.
- ผนังอิฐมอญหนา 15 ซม.	310	กก. ต่อ ลบ.ม.
- ผนังคอนกรีตบล็อก	100 - 240	กก. ต่อ ลบ.ม.
- พื้นไม้รวมตง	30	กก. ต่อ ลบ.ม.

๕.๔.๒ น้ำหนักบรรทุกจร หมายถึง น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างที่รองรับชั่วคราว อาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำหนักได้ แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

ก. น้ำหนักบรรทุกจรแบบไม่เคลื่อนที่ จัดเป็นน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่เฉลี่ย ได้แก่ เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ภายในอาคาร สินค้าต่าง ๆ ในโกดัง น้ำหนักของผู้อยู่อาศัย เป็นต้น

ข. น้ำหนักบรรทุกจรแบบเคลื่อนที่ เป็นน้ำหนักที่ทำให้เกิดแรงกระทำต่าง ๆ กับโครงสร้าง มีผลมากต่อการคำนวณออกแบบโครงสร้างมากกว่าน้ำหนักบรรทุกจรแบบไม่เคลื่อนที่ น้ำหนักบรรทุกแบบเคลื่อนที่ ได้แก่ น้ำหนักของยานพาหนะ น้ำหนักเนื่องจากแรงลม ซึ่งมักทำให้เกิดแรงกระแทก (Impact loads) เป็นต้น

การเลือกน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างนั้นจะต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของน้ำหนักดังกล่าว

ข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2522 ได้กำหนดค่าน้ำหนักจรสำหรับพื้นทั่วไปของอาคารไว้ ซึ่งถ้านำมาใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ต้องไม่น้อยกว่าอัตราต่อไปนี้

ที่พักอาศัย ห้องน้ำ ห้องส้วม	150	กก. ต่อ ตร.ม.
อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200	กก. ต่อ ตร.ม.
สำนักงาน ธนาคาร	250	กก. ต่อ ตร.ม.
อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงเรือน	300	กก. ต่อ ตร.ม.
ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร ที่จอดรถยนต์นั่ง	400	กก. ต่อ ตร.ม.
คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ อัฒจรรย์ โรงงานอุตสาหกรรม	500	กก. ต่อ ตร.ม.
แรงลมสำหรับส่วนของอาคาร		
- ที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50	กก. ต่อ ตร.ม.
- ที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80	กก. ต่อ ตร.ม.
- ที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120	กก. ต่อ ตร.ม.
- ที่สูงกว่า 40 เมตร	160	กก. ต่อ ตร.ม.

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอนเรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๗.๒ power point เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๒

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๒ เรื่อง มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงมาตรฐานการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ วัสดุก่อสร้าง

๔.๒ คอนกรีต

๔.๓ แบบหล่อคอนกรีต

๔.๔ คุณสมบัติและรายละเอียดของเหล็กเสริม

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ วัสดุก่อสร้าง

๕.๑.๑ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งมีลักษณะเป็นผงที่เกิดจากการเผาส่วนผสมออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิคอน อะลูมิเนียม และอื่น ๆ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างต้องมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.15) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุด เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและงานซัลเฟตได้ปานกลาง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว หรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราสามเพชร ตราพญานาคสีแดง ข้อควรระวังสำหรับปูนซีเมนต์ประเภทนี้ คือ ไม่ควรใช้งานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นสูงมากในช่วงต้น ซึ่งเป็นเหตุให้โครงสร้างเกิดการแตกร้าวได้

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้งานครั้งแรกในประเทศอเมริกา โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ : ความร้อน (Thermal

Cracking) ขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ซึ่งเป็นการลดปัญหาการแตกร้าว เนื่องจากถูกทดแทนโดยใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับ Pulverized Fuel Ash (PFA) และ Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS) ไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตได้สูง (Sulphate Resistance Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มี C1A ต่ำ เพื่อจะป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกมาทำลายเนื้อคอนกรีต เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟตสูง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังอัดช้า และให้ความร้อนต่ำกว่าปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราปลาฉลาม ตราช้างฟ้า

๕.๑.๒ มวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต

วัสดุผสมที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ได้แก่ หินย่อย กรวด ทราย มีสัดส่วน และขนาดคละตามอัตราส่วนที่กำหนด ซึ่งทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ โดยมาตรฐานสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดไว้ดังนี้

ก. ส่วนผสมของคอนกรีตต้องสะอาด แข็งแกร่ง และทนทาน ต้องไม่มีสารเคมีเจือปน ไม่มีคราบดินหรือฝุ่นละเอียดเกาะอยู่ ซึ่งเป็นเหตุให้ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์ กับน้ำ และการยึดเหนี่ยวของซีเมนต์เพสต์เสียไป

ข. มวลรวมที่ไม่ควรให้มีปนอยู่ ได้แก่ มวลรวมที่อ่อน ป่นง่าย เป็นชั้น ๆ หรือ พวกดินดานต่าง ๆ ซึ่งไม่ทนทานต่อดินฟ้าอากาศ มวลรวมที่พรุน หรือมวลรวมที่แยกได้

ค. มวลรวมต้องมีส่วนคละ ความทนทานต่อการสึกกร่อน ตลอดจนการหดและขยายตัวและปริมาณของสิ่งที่ไม่ต้องการ ตรงตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM

ง. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต้องไม่โตกว่า 1/5 ของด้านที่แคบที่สุดของแบบหล่อหรือต้องไม่โตกว่า 3/4 ของระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด

๕.๑.๓ น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาด ปราศจากสารเคมีเจือปน อาทิเช่น น้ำมัน กรด ด่าง อินทรีย์วัตถุหรือสารอื่นใดในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตถูกกำหนดเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางแสดง กำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	ค่ากำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดเมื่ออายุ 28 วัน
0.35	420
0.40	350
0.50	280
0.60	225
0.70	175
0.80	140

๕.๑.๔ เหล็กเสริมที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้องเป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ผลิตแบบรีดร้อน ซึ่งมีทั้งชนิดเป็นเหล็กเส้นผิวเรียบ และเหล็กเส้นผิวเป็นปล้องหรือครีบเกลียว ที่เรียกว่าเหล็กข้ออ้อย โดยที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มม.ถึง 36 มม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้กำหนดชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมที่ใช้ในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางแสดง คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาด มม.	ชั้นคุณภาพ	กำลังจุดคลาก กก./ซม.^{2}	กำลังดึงประลัย กก./ซม.^{2}
เหล็กเส้นกลม (RB)	6, 9, 12, 15, 19, 22, 25, 28, 34	SR 24	2,400	3,900
เหล็กข้ออ้อย (DB)	10, 12, 16, 20, 22, 25, 28, 32	SD 24	2,400	3,900
		SD 30	3,000	4,900
		SD 35	3,500	5,000
		SD 40	4,000	5,700
		SD 50	5,000	6,300

๕.๒ คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ มวลรวม (ทราย หิน กรวด) และน้ำผสมรวมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดการก่อตัวยึดเกาะมวลรวมเป็นก้อนแข็ง มีความสามารถในการเทได้ (Workability) มีความข้นเหลวพอที่จะเทลงไปในแบบหล่อรูปทรงต่าง ๆ ตามความต้องการได้และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะแข็งและทนทานคล้ายหินธรรมชาติ

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการ คือ เมื่อเป็นคอนกรีตสดจะต้องมีความข้นเหลวเพียงพอที่สามารถอัดแน่นในแบบหล่อคอนกรีต อีกทั้งส่วนผสมจะต้องมีการยึดเกาะกันอย่างดี และเมื่อคอนกรีตเกิดการแข็งตัวแล้วจะต้องมีความสามารถในการรับแรงอัดได้ตามข้อกำหนด นอกจากนี้ยังต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ความทนทาน (Durability) เป็นต้น

ปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของคอนกรีตดีนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

๑. การเลือกหาวัตถุดิบที่เหมาะสม

๒. การกำหนดอัตราส่วนผสม

๓. การชั่งและตวงวัตถุดิบ เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง

๔. การผสม

๕. การลำเลียงคอนกรีตสดไปเทลงแบบ

๖. การเท

๗. การทำให้คอนกรีตอัดแน่น

๘. การแต่งผิว

๙. การบ่ม

๑๐. การถอดแบบหล่อคอนกรีตตามระยะเวลาที่ถูกต้อง

๕.๒.๑ การผสมคอนกรีต (Mixing)

การผสมคอนกรีต คือการนำปูนซีเมนต์ ทราย หิน หรือกรวด และน้ำ มาผสมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอมีความข้นเหลวที่เหมาะสม โดยหลักสำคัญของการผลิต คือ ทรายและหินจะต้องกระจายอยู่ด้วยกันอย่างสม่ำเสมอในส่วนผสม โดยมีซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวของหินและทรายไว้ทั้งหมด การผสมคอนกรีตจะกระทำได้โดยการใช้มือหรือใช้เครื่องผสมก็ได้ นอกจากนี้แล้วยังมีการผสมคอนกรีตจากโรงผสมคอนกรีต (Concrete Batching Plant) ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ได้มาตรฐาน ตาม ASTM C94

๕.๒.๒ การขนส่งและการลำเลียงคอนกรีต (Transporting)

เมื่อผสมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อย จำเป็นที่จะต้องทำการขนส่งลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปยังบริเวณที่จะเท ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน อาทิเช่น โดยการใช้รถเข็น ใช้ปั้มหรือสายพาน เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีการนั้นมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันตามลักษณะของสภาวะงาน และปริมาณที่ต้องการใช้ อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรคำนึงถึงสำหรับการลำเลียงคอนกรีต คือ ต้องระมัดระวังไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวก่อนที่จะเทลงแบบ และป้องกันการสูญเสียน้ำในส่วนผสมซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตข้นจนไม่สามารถเทลงแบบได้

๕.๒.๓ การเทคอนกรีต (Placing)

การเทคอนกรีตจะต้องกระทำในช่วงเวลาที่คอนกรีตยังไม่เริ่มก่อตัวและสามารถไหลลงไปในช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมได้ ซึ่งคอนกรีตที่ผสมได้คุณภาพแล้วแต่เทผิดวิธีก็สามารถทำให้คอนกรีตนั้นมีกำลังต่ำลงได้ การเทคอนกรีตต้องป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวของส่วนผสมและไม่ให้แบบหล่อและเหล็กเสริมเคลื่อนที่ ทั้งนี้เพื่อให้การยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมได้ผลดี ลดการแตกร้าว

ข้อแนะนำในการเทคอนกรีต

๑. ก่อนเทคอนกรีตลงในแบบ ต้องตรวจไม้แบบ เหล็กเสริม และตำแหน่งของการวางเหล็กเสริมให้เรียบร้อย ทำความสะอาดไม้แบบโดยราดน้ำให้ชุ่ม กรณีที่พื้นรองรับเป็นดิน ควรมีการปรับดินให้ได้ระดับแล้วเทปูนทราย (Mortar) รองพื้นไว้หนาประมาณ 1 ซม.

๒. ขณะเทคอนกรีตต้องไม่เทเร็วจนเกินไปหรือช้าเกินไป เพราะถ้าเร็วเกินไป คอนกรีตจะไม่ยุบตัว หรือถ้าเทช้าเกินไปส่วนผสมก็จะแยกจากกัน

๓. ขณะเทคอนกรีตจะต้องมีเครื่องมือกระทุ้งคอนกรีต หรือใช้เครื่องสั่นคอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีตแน่น

๔. การเตรียมรอยต่อสำหรับโครงสร้าง ในกรณีที่ไม่สามารถเทคอนกรีตให้แล้วเสร็จในคราวเดียวกัน ให้ปฏิบัติดังนี้

- เสา ให้เทถึงระดับต่ำกว่าท้องคาน 3 ซม.

- คาน ให้เทถึงกลางคาน ในกรณีที่มีคานซอยตัดกับคานหลักบริเวณกึ่งกลางพอดีให้เลื่อนรอยต่อไปในคานหลักออกไปอีกเป็นระยะ 2 เท่าของความกว้างของคาน โดยใช้ไม้กั้นในแนวดิ่งตรงแนวต่อ

- พื้น ให้เทถึงกลางแผ่น

๕. วิธีเทคอนกรีตโครงสร้างต่าง ๆ ให้ปฏิบัติดังนี้

- การหล่อคานยาวให้เทจากเสาทั้งสองข้างไปบรรจบกันที่กึ่งกลางคาน

- การหล่อคานยื่นให้เทจากโคนคานไปหาปลายคาน

- การเทพื้นหรือกันสาดที่ติดกับคานต้องเทให้เสร็จในคราวเดียวกัน

๕.๒.๔ การทำให้คอนกรีตอัดตัวแน่น (Compaction)

เป็นการไล่อากาศ (Entrapped Air) ออกจากส่วนผสมคอนกรีตให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และบังคับให้ส่วนผสมต่าง ๆ เข้าใกล้กัน รวมทั้งคอนกรีตสามารถห่อหุ้มเหล็กเสริมและวัสดุอื่นที่ฝังอยู่ในคอนกรีตโดยตลอดอย่างดี เพื่อที่จะได้โครงสร้างที่มีเนื้อแน่น แข็งแรง ทนทาน ป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่คอนกรีต ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการกระทุ้งคอนกรีตด้วยมือหรือใช้ เครื่องสั่น หรือเครื่องจี้คอนกรีต (Vibrator)

๕.๒.๕ การบ่มคอนกรีต (Curing)

การบ่มคอนกรีต หมายถึง การบำรุงรักษาคอนกรีตให้มีคุณภาพที่ดี มีกำลัง และทนทาน ไม่เกิดการแตกร้าว โดยการป้องกันและควบคุมปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในคอนกรีต ไม่ให้ระเหยเร็วเกินไป และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เพื่อที่จะช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์และต่อเนื่อง

การบ่มคอนกรีตสามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างของคอนกรีต

๑. การขังน้ำหรือหล่อน้ำ เหมาะสำหรับงานพื้นราบ แผ่นพื้น พื้นถนน ทางเท้า ทำได้โดยการขังน้ำให้สูงเหนือโครงสร้างดังกล่าวประมาณ 2 ซม.

๒. การใช้วัสดุเปียกชื้น อาทิเช่น กระสอบป่านดำเนินการคลุมให้ทั่วผิวหน้าคอนกรีตแล้วราดน้ำ ให้ชุ่มตลอด เหมาะสำหรับงานในแนวดิ่งและแนวราบ

๓. การใช้ทราย ขี้เลื่อย ฟางข้าว ทับหน้าคอนกรีตให้ทั่ว แล้วราดน้ำให้ชุ่มตลอดเวลา วิธีนี้ได้ผลดี ราคาถูก แต่จะทำให้คอนกรีตสกปรก

๔. การใช้กระดาษที่กันน้ำซึมได้ ปิดคลุมผิวหน้าคอนกรีตไว้ วิธีนี้ป้องกันไม่ให้คอนกรีตไม่แห้งเร็วจนเกินไป วิธีนี้เหมาะสำหรับงานพื้นราบแต่มีราคาแพง

๕. การใช้แผ่นพลาสติกคลุม เช่นเดียวกับวิธีที่ 4 คือ ป้องกันการระเหยของน้ำในคอนกรีต ราคาไม่แพง ไม่ต้องคอยราดน้ำให้ชุ่ม แต่ต้องระวังการฉีกขาด และลมพัดปลิว

๖. การฉีดหรือพรมน้ำที่ผิวหน้าคอนกรีต ต้องระวังไม่ให้ผิวหน้าของคอนกรีตแห้งและเปียกสลับกัน เพราะจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับคอนกรีตผิวราบและเอียงแต่ไม่เหมาะสำหรับคอนกรีตแนวดิ่ง

๗. การใช้สารเคมีพ่นเคลือบผิวคอนกรีต วิธีนี้ได้ผลดีมาก แต่ราคาแพง

๘. การใช้ไอน้ำ เหมาะสำหรับงาน Pre-Cast Concrete หรือคอนกรีตสำเร็จ ซึ่งสามารถกระทำได้ในโรงงาน เป็นการพัฒนากำลังของคอนกรีตได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากวิธีการบ่มคอนกรีตแล้ว ยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตด้วย เพื่อทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นไปอย่างสมบูรณ์และต่อเนื่องตลอด ดังแสดงในตารางด้านล่าง ซึ่งเป็นการกำหนดระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตตามประเภทของงานและชนิดของปูนซีเมนต์ ตามปกติโดยทั่วไปแล้ว งานโครงสร้างทั่วไปจะกำหนดระยะเวลาในการบ่มตั้งแต่ 3 วัน จนถึง 2 สัปดาห์

ตาราง แสดงเวลาในการบ่มคอนกรีตตามประเภทของงานและชนิดของปูนซีเมนต์

ประเภทของงานคอนกรีต	เวลาในการบ่มคอนกรีต (วัน)		
	ปูนซีเมนต์ตรา เสือ งูเห่า นกอินทรี	ปูนซีเมนต์ ชนิดที่ 1	ปูนซีเมนต์ ชนิดที่ 3
เสา คาน กำแพง	7	7	4
พื้นบ้าน ถนนในบ้าน	8	8	4
ถนนชั้นหนึ่ง ทางวิ่งเครื่องบิน	-	14	7
เสาเข็ม	21	14	7
แผ่นพื้นบาง ๆ	14	14	7

๕.๒.๖ การแต่งผิวคอนกรีต (Finishing)

การแต่งผิวคอนกรีตเป็นการทำให้คอนกรีตมีผิวหน้าที่ทนทาน อย่างไรก็ตามการแต่งผิวคอนกรีตควรรอให้ช้าที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรบกวนขณะที่คอนกรีตกำลังอยู่ในระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ในบางกรณีที่ต้องการให้ คอนกรีตมีผิวสวย อาจใช้ปูนซีเมนต์ผสมทรายและน้ำเททับหน้า แล้วแต่งให้เรียบร้อย

๕.๒.๗ รอยต่อของคอนกรีต (Concrete Joints)

การเปลี่ยนแปลงความชื้นในตัวของคอนกรีตหรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือการได้รับน้ำหนัก เป็นผลให้คอนกรีตเกิดการเคลื่อนตัว ซึ่งถ้าคอนกรีตไม่สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นได้จากผลดังกล่าว จะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว โดยการป้องกันการแตกร้าวนี้ อาจทำได้ยาก หรือไม่เป็นการประหยัด จึงใช้วิธีที่กำหนดให้มีรอยต่อของคอนกรีตเกิดขึ้นเพื่อที่จะบังคับหรือควบคุมให้คอนกรีตแตกร้าวไปตามรอยดังกล่าว ซึ่งรอยต่อโดยทั่วไปมี 3 แบบ คือ

๑. รอยต่อเพื่อการหดตัวหรือเพื่อการควบคุม (Contraction or Control Joint) เป็นรอยต่อที่ควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical) คือ การที่คอนกรีตหดตัวหรือขยายตัวไปตามสภาพของอุณหภูมิและความชื้น สิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญก็คือ ปริมาณน้ำที่เป็นส่วนผสมในคอนกรีต กล่าวคือยิ่งมีน้ำมากเท่าใดคอนกรีตยิ่งแตกร้าวง่ายขึ้นเพราะคอนกรีตจะหดตัวสูงในขณะที่กำลังต่ำอย่างที่กล่าวมาแล้ว การป้องกันไม่ให้เกิดการแตกร้าวเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยาก เพราะฉะนั้นจึงใช้วิธีการ

กำหนดให้คอนกรีตแตกร้าวในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยการทำคอนกรีตให้มีรอยต่อเป็นร่องลึก ๆ เป็นระยะ ๆ รอยต่อนี้ เรียกว่า Contraction หรือ Control Joint โดยจะเป็นร่องลึกประมาณ 1/3 ถึง 1/4 ของขนาดความหนาของแผ่นคอนกรีต และไม่น้อยกว่าขนาดของหินที่ใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ขนาดความกว้างของรอยต่อ 3 - 6 มิลลิเมตร และใช้วัสดุยืดหยุ่น เช่น แอสฟัลท์ ในการอุดรอยต่อ

๒. รอยต่อเพื่อการขยายตัว หรือเพื่อแยกโครงสร้าง (Expansion or Isolated Joint) เป็นรอยต่อที่ป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก รอยต่อนี้จะต้องตัดขาดออกจากกันระหว่างแผ่นพื้นกับโครงสร้างอื่น แล้วใช้วัสดุยืดหยุ่นใส่ไว้ระหว่างรอยต่อตลอดความหนาของแผ่นนั้น รอยต่อนี้ไม่ควรบางกว่า 6 มิลลิเมตร

๓. รอยต่อเพื่อการก่อสร้าง (Construction Joint) เป็นรอยต่อที่ทำไว้ที่ผิวของคอนกรีตตามเทคนิคหรือกรรมวิธีของการก่อสร้างอาคาร

๕.๓ แบบหล่อคอนกรีต

แบบสำหรับหล่อคอนกรีต เรียกสั้น ๆ ว่า “แบบ” เป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของงานคอนกรีต เพราะจะทำให้คอนกรีตสวยงามได้แนวและระดับตามความต้องการ นอกจากนี้แล้วยังเป็นตัวแปรสำคัญในการที่จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างสูงหรือต่ำได้อีก

วัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อคอนกรีตในงานก่อสร้างทั่วไป นิยมใช้ไม้ เพราะเป็นวัสดุธรรมชาติ ที่หาง่าย มีน้ำหนักเบา แต่ในปัจจุบันนิยมใช้เหล็กเป็นแบบหล่อมากขึ้น เพราะไม้มีราคาสูงขึ้น อายุการใช้งานน้อย ส่วนเหล็กแม้จะมีราคาสูงแต่ใช้งานได้นานกว่า

ในการออกแบบ แบบหล่อคอนกรีตต้องพิจารณาหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

๑. อัตราการเท หรือวิธีการเทคอนกรีต

๒. น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด แรงทางข้าง แรงกระแทก

๓. การเลือกใช้วัสดุ

๔. ระยะโก่ง ระยะเยื้องศูนย์

๕. การค้ำยัน

๖. การต่อค้ำยัน

การถอดแบบหล่อคอนกรีต จะถอดได้ก็ต่อเมื่อโครงสร้างส่วนนั้นมีกำลังสูงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักตัวเองและน้ำหนักบรรทุกได้โดยปลอดภัย สำหรับแบบด้านข้างของแผ่นพื้น และแบบทางดิ่งทั่วไป อาจจะถอดได้หลังจากผ่าน 24 ชั่วโมงไปแล้ว ทั้งนี้จะต้องมีการคำนึงถึงค้ำยันโครงสร้างที่ดีพอ และคอนกรีตต้องมีกำลังเพียงพอที่จะไม่เกิดความเสียหายขณะถอดแบบ ทั้งนี้การถอดแบบเร็วเกินไปอาจทำให้เกิดอันตรายได้ โดยทั่วไปแล้วในกรณีที่ใช้ปูนปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 อาจถอดแบบได้ตามกำหนด ดังนี้

แบบกำแพง เสา ข้างคาน	เมื่อเทเสร็จครบ 1 วัน
แบบรองรับพื้น	เมื่อเทเสร็จครบ 7 วัน
แบบรองรับใต้คาน	เมื่อเทเสร็จครบ 14 วัน

สำหรับระยะเวลาในการถอดแบบหล่อคอนกรีตโครงสร้างประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ปูนปอร์ตแลนด์นอกเหนือจากชนิดที่ 1 แล้ว ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตาราง แสดงระยะเวลาในการถอดแบบหล่อคอนกรีต

ประเภทของงาน	เวลาในการถอดแบบ (วัน)		
	ปูนซีเมนต์ตราเสือ งูเห่า นกอินทรี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 3
โครงสร้างโค้งหรือพิเศษ	14	14	7
เสา คาน กำแพง	7	7	4
พื้น ถนนในบ้าน	8	8	4
ทางวิ่งสนามบิน	-	14	7
เสาเข็ม	21	14	7

๕.๔ คุณสมบัติและรายละเอียดของเหล็กเสริม

คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเสริมที่ควรทราบ เพื่อประโยชน์ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่

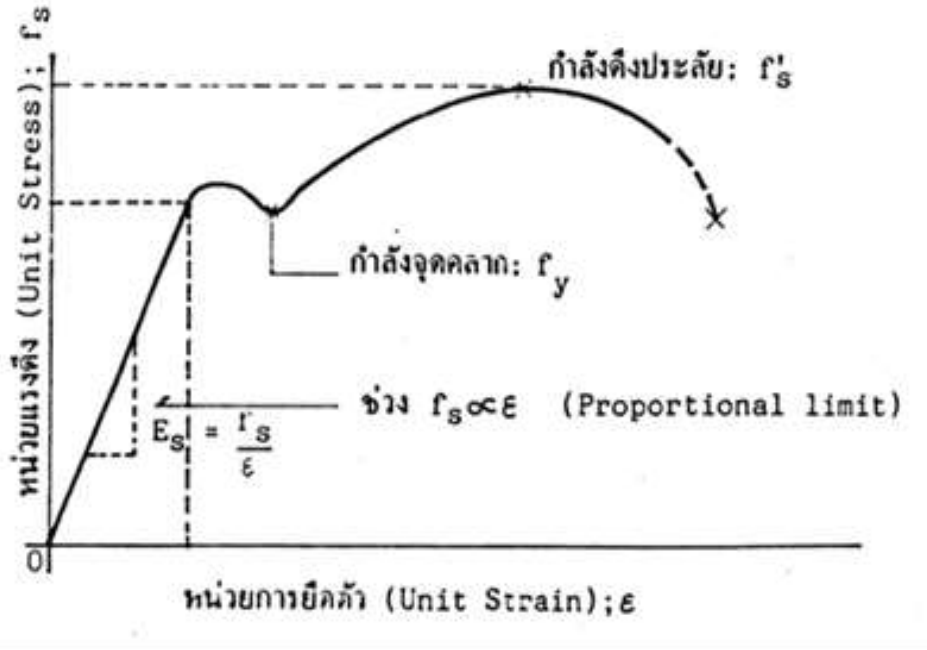
ก. โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : E) โดยปกติใช้ $E = 2.04 \times 10^6$ กก./ซม.

ข. กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength : f)

ค. กำลังจุดคลาก (Yield Strength : f.)

ง. ชนิดและขนาดของเหล็กเสริม

การทดสอบหาคุณสมบัติของเหล็กเสริมตามข้อ ก. ถึง ค. สามารถกระทำได้โดยการทดลองดึงเหล็กอย่างน้อยขนาดละ 3 ท่อน ยาวท่อนละ 90 เซนติเมตร โดยวิธีมาตรฐานแล้วนำค่าที่ได้ มาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็ก ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20 - 2515 และ มอก. 24 - 2516 ได้กำหนด คุณสมบัติทางกลเป็นกำลังจุดคลากและกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริมค่าต่ำสุด ตามชนิดขนาด และชั้นคุณภาพ



ภาพแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเส้น

๕.๔.๑ การดัดงอเหล็กเสริม ในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กที่ใช้เสริมคอนกรีตจะต้องถูกดัดงอให้มีลักษณะและรูปร่างต่าง ๆ กัน ตามจุดประสงค์ที่จะนำไปใช้ อาทิเช่น ทำเหล็กคอม้าในคาน ทำเหล็กลูกตั้งในคาน หรือทำเหล็กปลอกในเสา เป็นต้น เหล็กคอม้าในคานใช้เพื่อรับแรงเฉือนและแรงดึงทแยงที่เกิดขึ้นในคานและยังใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนตำแหน่งการต้านทานแรงของเหล็กเสริมได้อีกด้วย

เหล็กลูกตั้งในคานใช้เพื่อยึดเหล็กเสริมเอกให้ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการในแบบและยังใช้ช่วยรับแรงดึงทแยงและแรงเฉือนอีกด้วย ส่วนเหล็กปลอกบนเสา ซึ่งมีทั้งเหล็กปลอกเดี่ยวและเหล็กปลอกเกลียวใช้เพื่อยึดเหล็กเสริมเอกในเสาให้ยึดได้ในแนวตรงตามตำแหน่งที่ต้องการและช่วยต้านทานการขยายตัวทางด้านข้างของเสาเมื่อรับแรงอัด ทำให้สามารถต้านทานแรงอัดได้ดีขึ้น

โดยปกติที่ปลายของเหล็กเสริมจะถูกดัดงอเป็นรูปขอที่เรียกว่า “ของอ” ด้วยวิธีการดัดเย็น เพื่อให้การยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมดียิ่งขึ้น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอ (D) และส่วนที่ยืนถึงปลายขอ จะบอกเป็นจำนวนเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (d)

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดเกี่ยวกับ “ของอมาตรฐาน” ไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนี้

ก. ของอมาตรฐาน หมายถึง ข้อกำหนดข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

๑. ส่วนที่งอเป็นครึ่งวงกลม โดยมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น แต่ระยะที่ยื่นนี้ต้องไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร หรือ

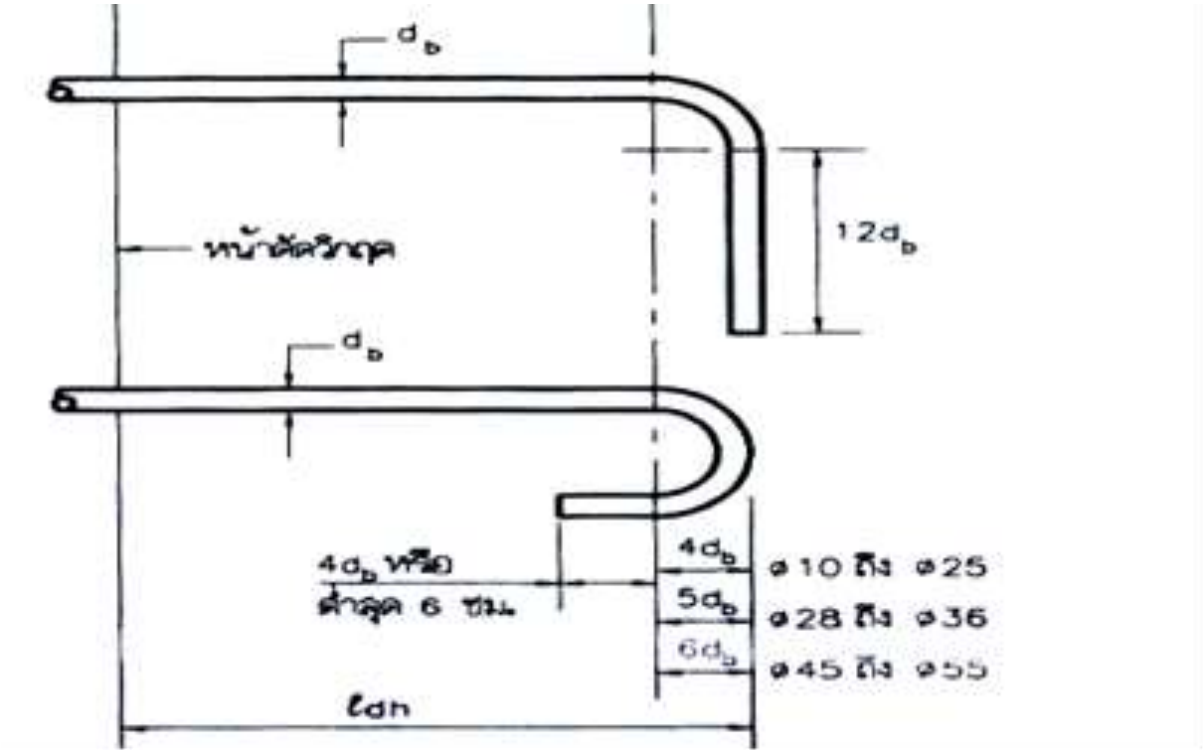
๒. ส่วนที่งอเป็นมุมฉากโดยมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น หรือ

๓. เฉพาะเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ให้งอ 90 องศา หรือ 135 องศา โดยมีส่วนที่ยื่นถึงปลายขออีกอย่างน้อย 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร

ข. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับการดัดหรืองอ เส้นผ่านศูนย์กลางของการงอเหล็กให้วัดด้านในของเหล็กที่งอ สำหรับของอมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ต้องไม่เล็กกว่าค่าที่ให้ไว้ใน ตารางที่แสดงด้านล่าง นอกจากเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) และเหล็กชนิดปานกลาง ขนาด 6 มิลลิเมตร ถึง 25 มิลลิเมตร เท่านั้น ที่ให้ใช้เท่ากับ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้นได้

ตาราง แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับงอเหล็กข้ออ้อย

ขนาดของเหล็ก (มม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุด (D)
9 - 15	5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น (5d)
19 - 25	6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น (6d)



ภาพแสดง ของอ

ค. ของอที่นอกเหนือจากของอมาตรฐาน

๑. การงอเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ต้องมีรัศมีวัดด้านในขอเหล็กไม่สั้นกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น

๒. การดัดงอเหล็กอื่น ๆ ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความโค้งเมื่อวัดด้านใน ไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่แสดงด้านบน ถ้าการดัดงอนั้นกระทำ ณ จุดที่เหล็กมีหน่วยแรงสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการงอจะต้องโตพอที่จะไม่ให้เกิดการอัดแตกของคอนกรีต

ง. การดัดงอ การงอเหล็กทุกเส้นจะต้องใช้วิธีการดัดงอเย็น นอกจากวิศวกรจะอนุญาตให้เป็นอย่างอื่นได้ สำหรับเหล็กซึ่งมีปลายข้างหนึ่งโผล่จากคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะดัดปลายข้างนั้นกับที่ไม่ได้ นอกจากจะแสดงไว้ในแบบ หรือวิศวกรอนุญาตเป็นกรณีพิเศษ

๕.๔.๒ การจัดวางเหล็กเสริม การจัดวางเหล็กเสริมจะต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้องและมีที่รองรับที่แข็งแรงพอ เพื่อให้คอนกรีตได้หุ้มเหล็กถูกต้องตามแบบ ซึ่งอาจจะเป็นแท่งคอนกรีต ขาตั้งโลหะ เหล็กปลอก หรือเหล็กยึดระยะเรียงก็ได้และยึดไว้อย่างแน่นหนาพอ โดยผูกยึดด้วยลวดผูกเหล็กเบอร์ 18 และจะต้องจัดวางเหล็กเสริมให้เที่ยงตรงตามตำแหน่งที่ระบุไว้ โดยจะยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกินระยะที่กำหนดดังต่อไปนี้

๑. เหล็กเสริมในโครงสร้างที่รับแรงดัดในผนังและในเสา สำหรับความลึกประสิทธิผล (Effective depth : d) ไม่เกิน 50 เซนติเมตร ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ $\pm$0.50 เซนติเมตร

๒. เหล็กเสริมในโครงสร้างที่รับแรงดัดในผนังและในเสา สำหรับความลึกประสิทธิผล (Effective depth : d) เกินกว่า 50 เซนติเมตร ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ $\pm$1.00 เซนติเมตร

๓. ตำแหน่งดัดเหล็กคอม้าและตำแหน่งปลายสุดของเหล็กเสริมวัดความยาวของโครงสร้างยอมให้คลาดเคลื่อนได้ $\pm$5.00 เซนติเมตร แต่ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มปลายเหล็กน้อยกว่าค่าที่กำหนด

๕.๔.๓ ระยะเรียงของเหล็กเสริม

๑. ระยะช่องว่างระหว่างผิวเหล็กที่วางขนานในชั้นเดียวกันของเหล็กเสริมในคาน จะต้องไม่แคบกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น ๆ หรือ $1\frac{1}{3}$ เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ หรือ 2.50 เซนติเมตร

๒. การเสริมเหล็กตามความยาวในคานที่มีมากกว่าหนึ่งชั้น ระยะช่องว่างของแต่ละชั้นต้องไม่แคบกว่า 2.50 เซนติเมตร และต้องเรียงเหล็กในแต่ละชั้นให้ตรงกันเพื่อเทคอนกรีตได้สะดวก

๓. ระยะเรียงของเหล็กเสริมเอกในผนังหรือในแผ่นพื้น ต้องไม่ห่างกว่า 3 เท่าของความหนาของผนังหรือแผ่นพื้นนั้น หรือไม่เกิน 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ไม่ใช้กับระบบแผ่นพื้นตงคอนกรีต

๔. ระยะช่องว่างระหว่างผิวเหล็กตั้งในเสาทุกชนิด (เสาปลอกเดี่ยวและเสาปลอกเกลียว) จะต้องไม่แคบกว่า 1½ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น หรือ 1½ เท่าของขนาดใหญ่ที่สุดของวัสดุผสมหยาบ หรือ 4 เซนติเมตร

๕. ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กต่อทาบกับเกลียวต่อทาบด้วยกัน หรือระหว่างเหล็กต่อทาบกับเหล็กเส้นอื่น ให้ใช้เช่นเดียวกันกับที่กำหนดไว้สำหรับระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเส้น

๖. เหล็กเสริมหลายเส้นที่ขนานกันและมัดรวมกันเป็นกำ เพื่อให้รับแรงเสมือนเป็นหน่วยเดียวกันนั้น จะต้องเป็นเหล็กข้ออ้อยทุกเส้น มีจำนวนไม่เกินกำละ 4 เส้น และมีเหล็กปลอกพันรอบเหล็กแต่ละ

กำนี้ เหล็กแต่ละเส้นในกำหนึ่ง ๆ จะต้องสิ้นสุดในตำแหน่งเยื้องกัน โดยมีระยะห่างกันอย่างน้อย 40 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก นอกเสียจากเมื่อสิ้นสุดปลาย ณ ที่รองรับ หากใช้วิธีกำหนดระยะเรียงโดยการถือเอาขนาดเหล็กเป็นหลัก ให้ถือว่าเห็นแต่ละกำเป็นเสมือนเหล็กเส้นเดียวที่มีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับเหล็กกำนั้น

๕.๔.๔ การยึดปลายเหล็กเสริมเอก (เหล็กเสริมตามยาว) จะต้องจัดให้ปลายทั้งสองข้างของเหล็กเสริมมีระยะฝังที่เพียงพอ หรือทำเป็นขอตามข้อกำหนดของ “ขอมาตรฐาน” เพื่อให้สามารถรับแรงดึง หรือแรงอัดที่เกิดขึ้นในหน้าตัดใด ๆ ของเหล็กเสริมนั้น สำหรับเหล็กเสริมรับแรงดึง อาจจะยึดโดยวิธีดัดเหล็กนั้นเป็นมุมไม่น้อยกว่า 15 องศา กันแนวยาวของเหล็กเส้นนั้น โดยผ่านตัวคานและทำให้ต่อเนื่องกับเหล็กเสริมในส่วนโครงสร้างถัดไป ระยะยึดปลายเหล็กเสริมให้ถือตามเกณฑ์ดังนี้

๑. เหล็กเสริมทุกเส้นจะต้องยื่นเลยจุดที่ไม่ต้องรับแรงไปอีกไม่น้อยกว่าความลึกของส่วนโครงสร้าง หรือไม่น้อยกว่า 12 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น โดยให้ระยะที่ยาวกว่าเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ ยกเว้นเหล็กเสริม ณ ที่รองรับ

๒. เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก จะต้องยื่นเลยเข้าไปในที่รองรับไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร เซนติเมตร เป็นจำนวนไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามสำหรับคานช่วงเดียวธรรมดา และไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่สำหรับคานต่อเนื่อง

๓. เหล็กเสริมโมเมนต์ลบ ณ ที่รองรับ ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสาม จะต้องยื่นเลยจุด ดัดกลับ (Inflection Point) รองโมเมนต์ไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 1/16 ของระยะช่วงว่างหรือความลึกของส่วนโครงสร้าง โดยถือระยะที่ยาวกว่าเป็นเกณฑ์

๕.๔.๕ การต่อเหล็กเสริม โดยปกติจะไม่ยอมให้มีการต่อเหล็กเสริม นอกจากจะมีแสดงไว้ในแบบหรือระบุไว้ในรายการหรือโดยคำสั่งของวิศวกร การต่อเหล็กเสริมนี้อาจต่อโดยวิธีทาบ วิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆ ก็ได้ ที่ทำให้มีการถ่ายแรงได้เต็มที่ โดยปกติถ้ามิได้กำหนดให้เป็นอย่างอื่น การต่อเหล็กเสริมโดยวิธีทาบต้องมีระยะเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 50 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเหล็กเส้นกลม (RB) และไม่น้อยกว่า 40 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับเหล็กข้ออ้อย (DB) ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กเสริม ณ จุดที่เกิดหน่วยแรงสูงสุดเท่าที่จะทำได้และไม่ควรใช้วิธีต่อทาบกับเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 25 เซนติเมตร

๑. การต่อเหล็กเสริมรับแรงดึง ความยาวของเหล็กข้ออ้อยที่นำมาต่อทาบกัน จะต้องไม่น้อยกว่า 24, 30 และ 36 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังจุดคลาก 2,800 3,500 และ 4,200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ หรือไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร แต่สำหรับเหล็กเสริมผิวเรียบ ระยะสั้นที่สุดที่ทาบกันต้องใช้เป็น 2 เท่าของเหล็กเสริมข้ออ้อย

ถ้าระยะช่องว่างทางด้านข้างของเหล็กที่ต่อกันแคบกว่า 12 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรืออยู่ห่างจากขอบนอกเป็นระยะไม่ถึง 15 เซนติเมตร หรือ 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง จะต้องเพิ่มระยะที่ต่อทาบกันอีกร้อยละ 20 หรือเพิ่มเหล็กลูกตั้ง หรือใช้เหล็กปลอกเกลียวตลอดความยาวของรอยต่อที่ทาบนั้น การต่อเหล็ก ณ จุดที่มีหน่วยแรงสูงสุดก็ดี หรือการต่อที่มีจำนวนเหล็กต่อเกินกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวน

ทั้งหมดภายในระยะห่างกัน 40 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก็ดี จะต้องมีมาตรการพิเศษกำหนดไว้ อาทิ เช่น ต้องเพิ่มระยะทาบและใช้เหล็กปลอกเกลียวระยะถี่ ๆ พันรอบตลอดความยาวของรอยต่อนั้น

๒. การต่อเหล็กเสริมรับแรงอัด สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด (f_c) ตั้งแต่ 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่น้อยกว่า 20, 24 และ 30 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังจุดคลากเท่ากับ 3,500 หรือน้อยกว่า และค่า 4,200 กับ 5,200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับและต้องไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะต้องเพิ่มระยะทาบอีก 1/3 ของค่าข้างต้นสำหรับเหล็กเสริมผิวเรียบ ระยะสั้นที่สุดที่ทาบกันต้องใช้เป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กเสริมข้ออ้อย

๕.๔.๖ เหล็กเสริมตามขวาง

๑. เสาปลอกเดี่ยว เหล็กยืนทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร พันโดยรอบโดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน หรือ 48 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก หรือด้านแคบที่สุดของเสานั้น ต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยืนตามมุมทุกมุมและเสริมอื่น ๆ สลับเส้นเว้นเส้น โดยมุมของเหล็กปลอกนั้นต้องไม่เกิน 135 องศา เหล็กเส้นที่เว้นต้องห่างจากเส้นที่ถูกยึดไว้ไม่เกิน 15 เซนติเมตร ถ้าเหล็กยืนเรียงกันเป็นวงกลม อาจใช้เหล็กปลอกพันให้ครบรอบวงนั้นก็ได้

๒. เสาปลอกเกลียว ต้องพันเหล็กปลอกต่อเนื่องกันเป็นเกลียว ให้มีระยะห่างสม่ำเสมอกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร และยึดให้อยู่ตามตำแหน่งอย่างมั่นคงด้วยเหล็กยึด จำนวนของเหล็กยึดจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาปลอกเกลียว โดยประกอบอย่างแน่นหนาพอที่จะไม่ทำให้ขาดและระยะคลาดเคลื่อนได้ ระยะเรียงศูนย์ถึงศูนย์ของเหล็กปลอกเกลียวจะต้องไม่เกิน 1/6 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกนคอนกรีต ระยะช่องว่างระหว่างเกลียวต้องไม่ห่างกว่า 7 เซนติเมตร หรือแคบกว่า 3 เซนติเมตร หรือ 1½ เท่าของขนาดใหญ่ที่สุดของวัสดุผสมหยาบที่ใช้ การใส่เหล็กปลอกเกลียวต้องพันตลอดตั้งแต่ระดับพื้นหรือจากส่วนบนสุดของฐานรากขึ้นไปถึงระดับเหล็กเสริมเส้นล่างสุดของชั้นเหนือกว่า เช่น ในแผ่นพื้น ในแป้นหัวเสา หรือในคาน สำหรับในเสาที่มีหัวเสาจะต้องพันเหล็กปลอกเกลียว ขึ้นไปจนถึงระดับที่หัวเสาขยายเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้าง ใหญ่เป็นสองเท่าของขนาดเสา

๓. คาน สำหรับเหล็กเสริมรับแรงอัดในคาน จะต้องมีเหล็กปลอกรัดเอาไว้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกจะต้องไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร และเรียงห่างกันไม่เกิน 16 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมหรือ 48 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก ที่แต่ละเปลาะต้องมีเหล็กปลอกอย่างน้อยหนึ่งเส้นที่พันเหล็กเสริมตามยาวทั้งหมดไว้โดยรอบและต้องใส่เหล็กปลอกดังกล่าว ตลอดระยะที่ต้องการเหล็กเสริมรับแรงอัด

๕.๔.๗ เหล็กเสริมต้านทานการยืดหดตัวของคอนกรีต ในแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ เป็นโครงสร้างหรือหลังคา ซึ่งเสริมเหล็กรับแรงทางเดียว (One - Way Slab) จะต้องเสริมเหล็กในแนวตั้งฉากกับเหล็กเสริมเอก เพื่อรับแรงเนื่องจากการยืดหดตัวของคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่ใช้ต้องไม่เล็ก

กว่า 6 มิลลิเมตร และเรียงเหล็กห่างกันไม่เกิน 3 เท่า ของความหนาของแผ่นพื้นหรือ 30 เซนติเมตร ปริมาณของเหล็กเสริมนี้ต้องมีอัตราส่วนเนื้อที่เหล็กต่อเนื้อที่ทั้งหมดของคอนกรีต ไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

แผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กเส้นผิวเรียบ	0.0025
แผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยซึ่งมีกำลังจุดคลากน้อยกว่า 4,200 กก./ซม.^{2}	0.0020
แผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยซึ่งมีกำลังจุดคลากเท่ากับ 4,200 กก./ซม.^{2} หรือลวดตะแกรงระยะเรียงในทิศที่รับแรงห่างกันไม่เกิน 30 ซม.	0.0018

๕.๔.๘ คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมวัดจากผิวเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ต่อไปนี้

ฐานรากและส่วนสำคัญของอาคารที่คอนกรีตกับดินโดยตรง	6 ซม.
ส่วนของอาคารเมื่อถอดแบบแล้วจะถูกแดดฝนหรือสัมผัสดิน	
ก. เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 15 มม. ขึ้นไป	4 ซม.
ข. เหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 15 มม. ลงมา	3 ซม.
ส่วนของอาคารที่ไม่ได้สัมผัสกับดินโดยตรงหรือถูกแดดฝน	
ก. คาน	3 ซม.
ข. แผ่นพื้น ผนัง และแผ่นพื้นแบบตงคอนกรีตซึ่งมีระยะช่องว่างระหว่างตงไม่เกิน 75 ซม.	2 ซม.
เสาต้องมีคอนกรีตหุ้มหล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกน	
1½ เท่าของขนาดวัสดุผสมหยาบที่ใหญ่ที่สุด	

๕.๔.๙ ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับส่วนของอาคารที่รับแรงดัด ส่วนของอาคารที่รับแรงดัด (นอกจากพื้นที่มีความหนาเท่ากันตลอด) ที่ต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงดึงจากการคำนวณ อัตราส่วน “ρ” จะต้องไม่น้อยกว่า $\frac{14}{f_y}$ นอกจากทุก ๆ หน้าตัดของส่วนของอาคารจะมีเหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์บวกหรือโมเมนต์ลบไม่น้อยกว่า 1.34 เท่าของที่คำนวณได้ สำหรับพื้นที่มีความหนาเท่ากันตลอด เหล็กเสริมในทิศทางเดียวกับช่วงด้านรับแรง จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ต้องการสำหรับการหดและขยายตัว

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๗.๒ power point เรื่อง มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๓

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๓ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๓ เรื่อง ประเภทและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ พื้นฐานการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

๔.๒ หน่วยแรงที่ยอมให้

๔.๓ ประเภทของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

๔.๔ การวิเคราะห์การถ่ายน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ

๔.๕ พฤติกรรมของคานเมื่อรับน้ำหนัก

๔.๖ ขนาดของคานและการจัดเหล็กเสริม

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ พื้นฐานการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress design Method) เป็นการออกแบบที่ได้เผื่อส่วนความปลอดภัยไว้ที่วัสดุ คอนกรีต และเหล็กเสริม โดยกำหนดให้กำลังวัสดุยังอยู่ในช่วงอิลาสติก คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรง และหน่วยการยืดหดตัวยังอยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง

ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นถูกกำหนดไม่ให้เกินกว่าค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ซึ่งกำหนดโดยพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร หรือ เทศบัญญัติ เทศบาลท้องถิ่นต่าง ๆ และต้องสอดคล้องกับมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

การออกแบบโครงสร้างโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานมีพื้นฐานการออกแบบตามสมมติฐานเบื้องต้น ดังนี้

๑. ระนาบรูปตัด ยังคงเป็นระนาบทั้งก่อนและหลังการรับแรงดัด

๒. วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎของฮุค (Hooke's Law)

๓. หน่วยการยืดหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน

๔. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต

๕. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์

๖. อัตราส่วนโมดูลัส (n) คือ อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม (E_s) กับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) ; $n = \frac{E_s}{E_c}$

E_s = 2.04×10^6 กก./ซม^2.

E_c = $15210\sqrt{f_c'}$ กก./ซม^2.

$$n = \frac{2.04 \times 10^6}{15210\sqrt{f_c'}}$$

$$= \frac{134}{\sqrt{f_c'}}$$

ค่า n เป็นเลขจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงที่สุดแต่ต้องไม่ต่ำกว่า 6

๕.๒ หน่วยแรงที่ยอมให้

หน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติก สำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริมในกรณีที่รับแรงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

๑. หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีต

<u>สำหรับแรงดัด</u>

หน่วยแรงดัดที่ผิว	f_c	=	0.45 f_c'	ksc
หน่วยแรงดึงที่ผิวในฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน	f_c	=	$0.42\sqrt{f_c'}$	ksc

<u>สำหรับแรงเฉือน</u>

คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	v_c	=	$0.29\sqrt{f_c'}$	ksc
ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	v_c	=	$0.32\sqrt{f_c'}$	ksc
คานที่เสริมเหล็กลูกตั้งหรือคอม้า หรือประกอบกันทั้ง 2 อย่าง				
(แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน)	v_c	=	$1.32\sqrt{f_c'}$	ksc
พื้นและฐานราก (ตามเส้นขอบ)	v_c	=	$0.53\sqrt{f_c'}$	ksc

<u>สำหรับแรงกด</u>

รับเต็มเนื้อที่	f_c	=	0.25 f_c'	ksc
รับไม่เกินหนึ่งในสามของเนื้อที่	f_c	=	0.37 f_c'	ksc

<u>สำหรับแรงยึดเหนี่ยว</u>

เหล็กบนรับแรงดึง = $1.145\frac{\sqrt{f_c'}}{D}$ < 11 ksc (เหล็กกลม)

เหล็กอื่นรับแรงดึง = $1.615\frac{\sqrt{f_c'}}{D}$ < 11 ksc (เหล็กกลม)

เมื่อต้องการทราบค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ก็แทนค่า f_c' ลงในสมการต่าง ๆ ข้างต้น

อนึ่งในกรณีที่ทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้แท่งลูกบาศก์ (15x15x15 cm) มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เทียบเป็นกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก f_c' = 0.855 (กำลังอัดประลัยของแท่งลูกบาศก์)

ในกรณีที่มีการควบคุมไม่เข้มงวด ให้ใช้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 5/6 ของ f_c' ในการคำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ต่าง ๆ

๒. หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

เหล็กเส้นที่ใช้เสริมคอนกรีตจะต้องมีหน่วยแรงที่ยอมให้ f_s ดังนี้

๒.๑ รับแรงดึง

- เหล็กเส้นชนิดเหล็กโครงสร้าง (เมื่อไม่มีผลการทดสอบ) ใช้ 1,200 ksc
- เหล็กเสริมเอกที่มีขนาด 9 มม. หรือเล็กกว่า ในพื้นเสริมเหล็กทางเดียวที่ช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. ให้ใช้ 0.50 เท่าของกำลังคลากต่ำสุดแต่ไม่เกิน 2,100 ksc
- เหล็กข้ออ้อยที่มี f_y สูงกว่า 3,400 ksc ให้ใช้ 0.50 เท่ากับกำลังคลากต่ำสุดแต่ไม่เกิน 1500 ksc
- เหล็กข้ออ้อยที่มี f_y สูงกว่า 4200 ksc ใช้ได้ไม่เกิน 1,700 ksc
- เหล็กขวั้นใช้ 0.50 เท่าของกำลังพิสูจน์แต่ไม่เกิน 2,400 ksc

๒.๒ รับแรงอัดในเสา

เสาเหล็กปลอกเกลียว

ให้ใช้ 0.40 เท่าของกำลังคลากต่ำสุด แต่ไม่เกิน 2100 ksc

เสาเหล็กปลอกเดี่ยว

ให้ใช้ 0.85 เท่าของค่าที่กำหนดในเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1750 ksc

เสาที่มีเหล็กยืนเป็นเหล็กรูปพรรณ ชนิด A36 (ASTM) ใช้ 1250 ksc และเหล็กรูปพรรณชนิด A7 (ASTM) ใช้ 1100 ksc

๒.๓ รับแรงอัดในโครงสร้างที่รับแรงดัด ใช้ได้ไม่เกินหน่วยแรงดึงที่ยอมให้

๒.๔ เหล็กปลอกเกลียว ใช้กำลังคลากได้ไม่เกิน 2,800 ksc

๓. หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงลมและแผ่นดินไหว

โครงสร้างที่ต้องออกแบบเพื่อต้านทานแรงลมและแผ่นดินไหวร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ ยอมให้เพิ่มค่าหน่วยแรงต่าง ๆ ขึ้นอีกร้อยละ 30 จากค่าของหน่วยแรงที่กล่าวมาแล้ว แต่จะต้องไม่ทำให้ขนาดของโครงสร้างเล็กลงไปกว่าที่จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรได้

หน่วยแรงที่ยอมให้ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

๑. หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีต

คอนกรีตล้วน $f_c = 0.33\, f_c' \leq 600$ ksc

คอนกรีตเสริมเหล็ก $f_c = 0.375\, f_c' \leq 65$ ksc

๒. หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมรับแรงดึง f_s = 1,200 ksc (เหล็กกลม)

$f_s = 0.5\ f_y \leq 1{,}500$ (เหล็กข้ออ้อยที่มี $f_y \leq 4{,}200$ ksc)

$f_s = 1{,}700$ ksc (เหล็กข้ออ้อยที่มี $f_y > 4{,}200$ ksc)

$f_s = 0.50$ เท่าของกำลังพิสูจน์แต่ไม่เกิน 2,400 ksc (เหล็กขวั้น)

เหล็กเสริมรับแรงอัดในเสา

เสาปลอกเกลียว : $f_s = 1{,}200$ ksc (เหล็กกลม)

$f_s = 0.4\ f_y \leq 2{,}100$ (เหล็กข้ออ้อย, เหล็กขวั้น)

เสาปลอกเดี่ยว : ใช้ 0.85 เท่าของค่าที่กำหนดของเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1,750 ksc

เสาเหล็กรูปพรรณ : $f_s = 1{,}250$ ksc

เหล็กหล่อ : $f_s = 700$ ksc

๕.๓ ประเภทของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

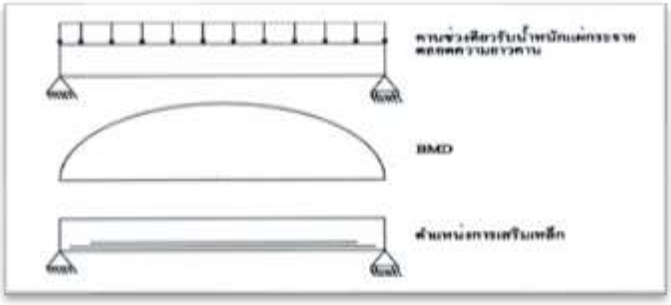
คาน คือ โครงสร้างอย่างหนึ่งของอาคารที่มีลักษณะอยู่ในแนวระดับ ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกซึ่งอาจมีลักษณะเป็นน้ำหนักแผ่กระจาย (Distributed Loads) กระทำในแนวดิ่ง ส่งถ่ายมาจากพื้น ผนัง หรือแม้กระทั่งน้ำหนักของตัวคานเอง หรืออาจจะรับน้ำหนักที่กระทำเป็นจุด (Point loads) กรณีที่มีคานซอย แล้วน้ำหนักจากคานซอยถูกถ่ายลงสู่คานหลัก แล้วคานหลักจึงทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักดังกล่าวลงสู่เสาอีกขั้นตอนหนึ่ง

น้ำหนักต่าง ๆ ดังกล่าว ที่มากระทำกับตัวคาน จะทำให้เกิด แรงดัด (Moment) แรงเฉือน (Shear) หรือแม้กระทั้งแรงบิด (Torsion) ในตัวคาน ขนาดของแรงชนิดต่าง ๆ จะถูกนำไปวิเคราะห์และออกแบบ หาขนาดหน้าตัดของคานและจำนวนปริมาณเหล็กเสริมหลัก และเหล็กปลอกที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการรับแรงเหล่านั้น

คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ คานช่วงเดียว คานต่อเนื่อง และคานยื่น คานทั้ง 3 ประเภทนี้ มีข้อแตกต่างที่ตำแหน่งและลักษณะของการเสริมเหล็ก

๕.๓.๑ คานช่วงเดียว (Simple Beam)

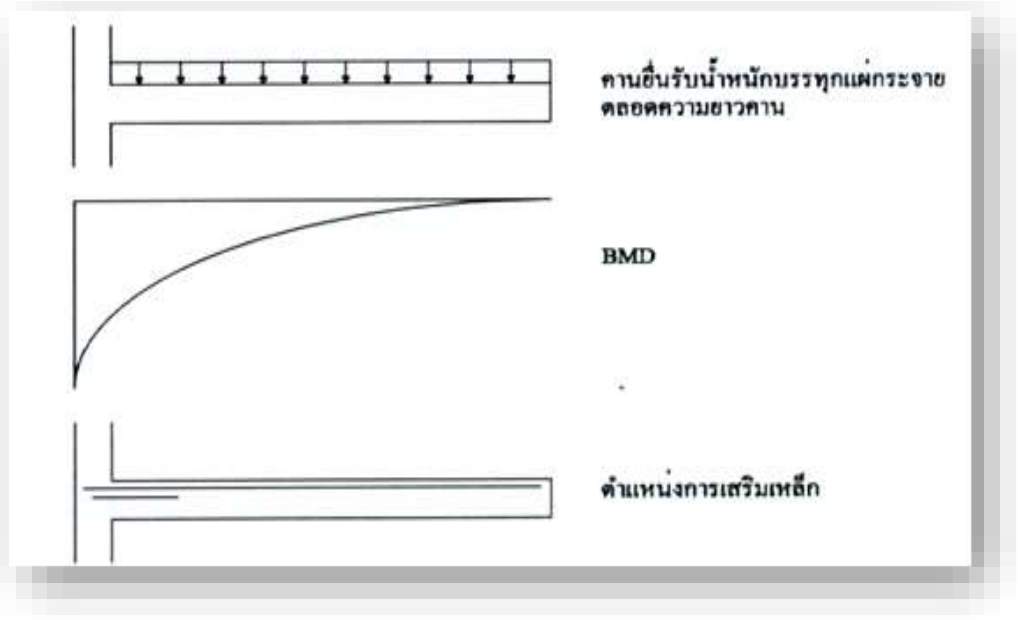
โมเมนต์หรือแรงดัดที่เกิดจากน้ำหนักที่มากระทำต่อคานในแนวดิ่ง จะเป็นโมเมนต์บวกประมาณกึ่งกลางของคาน ทำให้บริเวณผิวด้านล่างเกิดแรงดึง และโมเมนต์จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นศูนย์ที่ปลายคาน เพราะฉะนั้นการเสริมเหล็กเพื่อรับแรงดึงอันเนื่องมาจากโมเมนต์บวกทำให้ต้องเสริมเหล็กบริเวณด้านล่างตลอดความยาวของคาน



ภาพแสดง คานช่วงเดียว

๕.๓.๒ คานยื่น (Cantilever Beam)

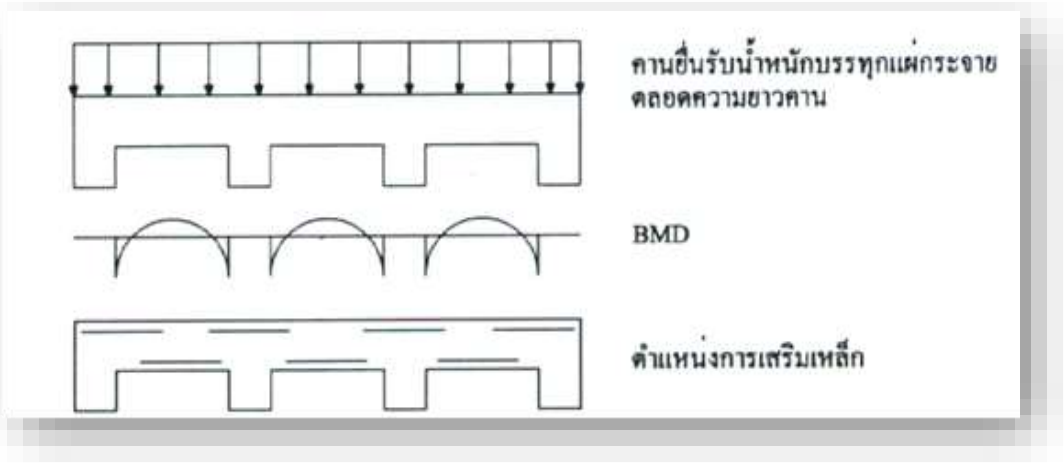
โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น จะเกิดมากที่สุดบริเวณช่วงในของคานที่ติดกับจุดรองรับผนังหรือเสา โดยโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเป็นโมเมนต์ลบทำให้ที่ผิวบนของคานจะเกิดแรงดึง ทำให้ค่าโมเมนต์ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นศูนย์ที่ปลายคานอิสระ การเสริมเหล็กเพื่อรับแรงดึง จึงต้องเสริมในตำแหน่งผิวบนตลอดความยาวคาน ส่วนความยาวของเหล็กเสริมที่ฝังเข้าไปในเสาหรือผนังต้องมีความยาวเพียงพอและมากกว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท.



ภาพแสดง คานยื่น

๕.๓.๓ คานต่อเนื่อง (Continuous Beam)

คานต่อเนื่อง เปรียบเสมือนกับมีคานช่วงเดียวหลาย ๆ คานต่อกันในตำแหน่งที่เป็นเสา แต่เนื่องจากเป็นคานต่อเนื่อง การเสริมเหล็กจึงมีการเสริมกันอย่างต่อเนื่องไม่หยุดที่บริเวณเสาเหมือนคานช่วงเดียว สำหรับลักษณะของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นนั้น บริเวณกลางคานจะเกิดโมเมนต์บวก คือ เกิดแรงดึงที่ผิวล่างของคาน ในขณะที่บริเวณหัวเสาจะเกิดโมเมนต์ลบ กล่าวคือ เกิดแรงดึงที่ผิวบนของคาน การเสริมเหล็กจึงมีการเสริมตามบริเวณที่เกิดแรงดึง โดยเสริมเหล็กบริเวณด้านล่างในตำแหน่งกึ่งกลางคาน และเสริมเหล็กบริเวณด้านบนในตำแหน่งหัวเสา



ภาพแสดง คานต่อเนื่อง

๕.๔ การวิเคราะห์การถ่ายน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ

ก่อนที่จะทำการออกแบบหาขนาดหน้าตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริม จะต้องทำการวิเคราะห์การถ่ายน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ให้ถูกต้องเสียก่อน เพราะน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ นี้เองเป็นตัวทำให้เกิดแรงดัด แรงเฉือน หรือแม้กระทั่งแรงบิดกับตัวคาน เพราะฉะนั้นขั้นตอนการวิเคราะห์ การถ่ายน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ จึงถือเป็นหัวใจสำคัญอันดับแรกสำหรับการออกแบบ โดยมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

๑. สมมติขนาดหน้าตัดของคานโดยประมาณ โดยทั่วไป ความลึกของคานประมาณ 1/10 ของช่วงความยาวคาน และสำหรับความกว้างต่อความลึกของคานจะอยู่ประมาณ 1/3 ถึง 2/3 ทั้งนี้เมื่อทราบขนาดหน้าตัดของคานแล้วจะหาน้ำหนักของตัวคาน น้ำหนักของตัวคานมีหน่วยเป็น กก./เมตร เท่ากับน้ำหนักคอนกรีต 2400 กก./ลบ.ม. x ความกว้างของคาน (เมตร) x ความลึกของคาน (เมตร)

๒. หาน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น และน้ำหนักบรรทุกจรของพื้น กระจายลงบนคานตามแต่ลักษณะประเภทของพื้น

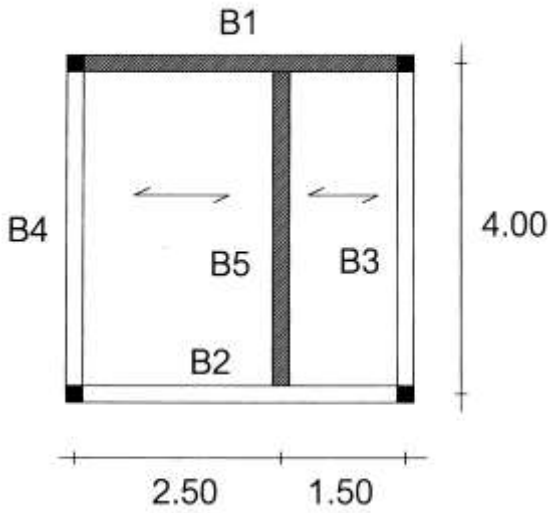
๓. หาน้ำหนักของผนังที่แผ่กระจายลงบนคาน โดยที่น้ำหนักของผนังที่แผ่กระจายลงบนคานเท่ากับน้ำหนักบรรทุกคงที่ของผนัง คูณด้วยความสูงของผนัง (เมตร)

๔. ถ้ามีคานซอยหรือคานฝาก แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ปลายของคานฝากจะกลายเป็นน้ำหนักกดเป็นจุด (Point Load) ลงบนคานหลักนั้น

๕. หลังจากได้น้ำหนักต่าง ๆ ที่กระทำต่อคานหลักแล้ว จึงทำการวิเคราะห์หาแรงดัด แรงเฉือนตามทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา

จากแปลนด้านล่าง จงวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาที่ปลายคาน B1 และโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น โดยกำหนดให้หน้าตัดคานมีขนาด 0.20 x 0.40 ม. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 ม. รับน้ำหนักบรรทุกจร 150 กก./ตร.ม. ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นสูง 2.80 ม. (บริเวณคานที่มีการแรเงา)



วิธีทำ

จากรูปแปลนที่กำหนดให้ B5 เป็นคานฝากมายัง B1 ฉะนั้นต้องเริ่มคำนวณหาแรงปฏิกิริยาของ B5 ที่กลายมาเป็นแรงกด คาน B1

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.10 ม.

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น = 2400 x ความหนา

= 2400 × 0.10 ม.

= 240 กก./ตร.ม.

พื้นรับน้ำหนักบรรทุกจร = 150 กก./ตร.ม.

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของพื้น = 240 + 150

= 390 กก./ตร.ม.

เนื่องจากพื้นมีลักษณะเป็นพื้นทางเดียว การถ่ายน้ำหนักของพื้นลงสู่คานจึงคูณด้วยครึ่งหนึ่งของความยาวพื้น

น้ำหนักของพื้นที่ถ่ายลงสู่คาน B5

= 390 x $\frac{2.50}{2}$ x (ด้านซ้ายของคาน B5)+ 390 x $\frac{1.50}{2}$ x (ด้านขวาของคาน B5)

น้ำหนักของพื้นบนคาน B5 = 390 x ($\frac{250}{2} + \frac{1.50}{2}$)

= 780 กก./ม.

น้ำหนักผนังบนคาน B5 = น้ำหนักบรรทุกคงที่ของผนัง x ความสูง

= 180x2.80

= 504 กก./ม.

น้ำหนักของคาน B5

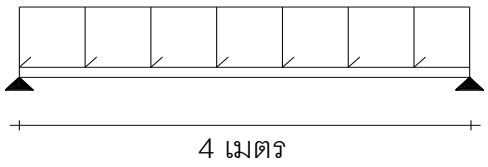
= น้ำหนักคอนกรีต x ความกว้างของคาน x ความลึกคาน

= 2400x0.20x0.40 = 192 กก./ม.

น้ำหนักรวมทั้งหมดบนคาน B5 = 780 + 504 + 192

= 1476 กก./ม.

780+504+192 = 1476 กก./ม



คำนวณหาแรงปฏิกิริยาของคาน B5 = $\frac{wl}{2}$

= $1476x\frac{4}{2}$

= 2952 กก.

แรงปฏิกิริยาของคาน B5 เท่ากับ 2952 กก. กดลงที่คาน B1

น้ำหนักคาน B1 = 2400 x 0.20 x 0.40

= 192 กก./ม.

น้ำหนักผนัง = 180 × 2.80

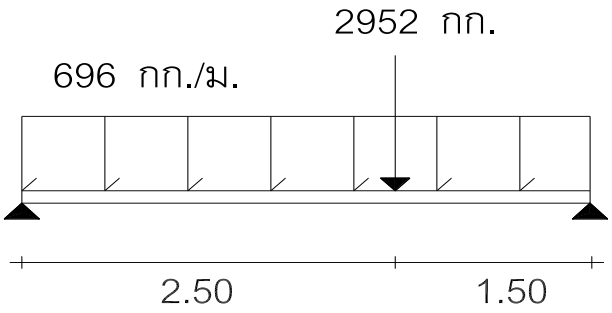
= 504 กก./ม.

น้ำหนักพื้นไม่มีเนื่องจากเป็นพื้นทางเดียว น้ำหนักของพื้นถูกถ่ายลงบนคาน B3, B4, B5 เท่านั้น

น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงบนคาน B1 = 192 + 504

= 696 กก./ม.

และมีน้ำหนักกดเท่ากับ 2952 กก. ที่ระยะ 2.50 ม. จากปลายคานด้านซ้าย



หาแรงปฏิกิริยา โดย TAKE MOMENT รอบจุด A

$R_B(4)$ = $2952 \times 2.50 + 696 \times 4 \times \frac{4}{2}$

R_B = 3237 กก.

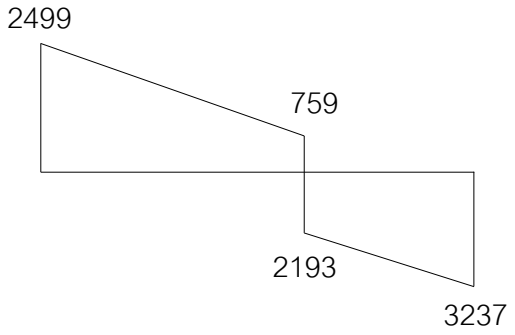
$\sum F_y$ = 0

R_A+R_B = 2952 + 696 x 4

= 2499 กก.

เขียน SFD

Maximum Moment เท่ากับ พื้นที่ใต้กราฟเฉือน



M_{max} = ½ x (2499+759) x 2.50

= 4072.5 กก.-ม.

สำหรับในกรณีที่ไม่ใช่คานช่วงเดียว Simple beam แต่เป็นคานต่อเนื่อง การคำนวณหาโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนมีวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดค่าโดยประมาณสำหรับค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่อง ความยาวของช่วงเกือบเท่ากันหรือเท่ากัน โดยความยาวของช่วงที่เคียงกันยาวกว่าช่วงสั้นไม่เกิน 1.2 เท่า และน้ำหนักบรรทุกแผ่เท่ากันเต็มช่วงบนขององค์อาคาร และน้ำหนักบรรทุกจรมากกว่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ไม่เกิน 3 เท่าตัวไว้ดังนี้

โมเมนต์บวก

คานช่วงนอก :

- ปลายไม่ยึดรั้งกับที่รองรับ = $\frac{1}{11}\,wL^2$
- ปลายหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ = $\frac{1}{14}\,wL^2$

คานช่วงใน : = $\frac{1}{16}\,wL^2$

โมเมนต์ลบ

- โมเมนต์ที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรก
  - เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกัน 2 ช่วง = $\frac{1}{9}wL^2$
  - เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกันมากกว่า 2 ช่วง = $\frac{1}{10}\,wL^2$
- โมเมนต์ที่ขอบของที่รองรับตัวในอื่น ๆ = $\frac{1}{11}\,wL^2$
- โมเมนต์ที่ขอบรองรับทุกแห่งสำหรับ

  ก. แผ่นพื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. และ

  ข. คานที่มีอัตราส่วนผลรวมของสติฟเนสของเสาต่อคานที่มาบรรจบกันมากกว่า 8

  = $\frac{1}{12}\,wL^2$

- โมเมนต์ที่ขอบในของที่รองรับตัวริมและองค์อาคารหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ

- เมื่อที่รองรับเป็นคานใหญ่ = $\frac{1}{24}\ wL^2$

- เมื่อที่รองรับเป็นเสา = $\frac{1}{16}\ wL^2$

แรงเฉือน

- แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก = $1.15\ \frac{wL}{2}$

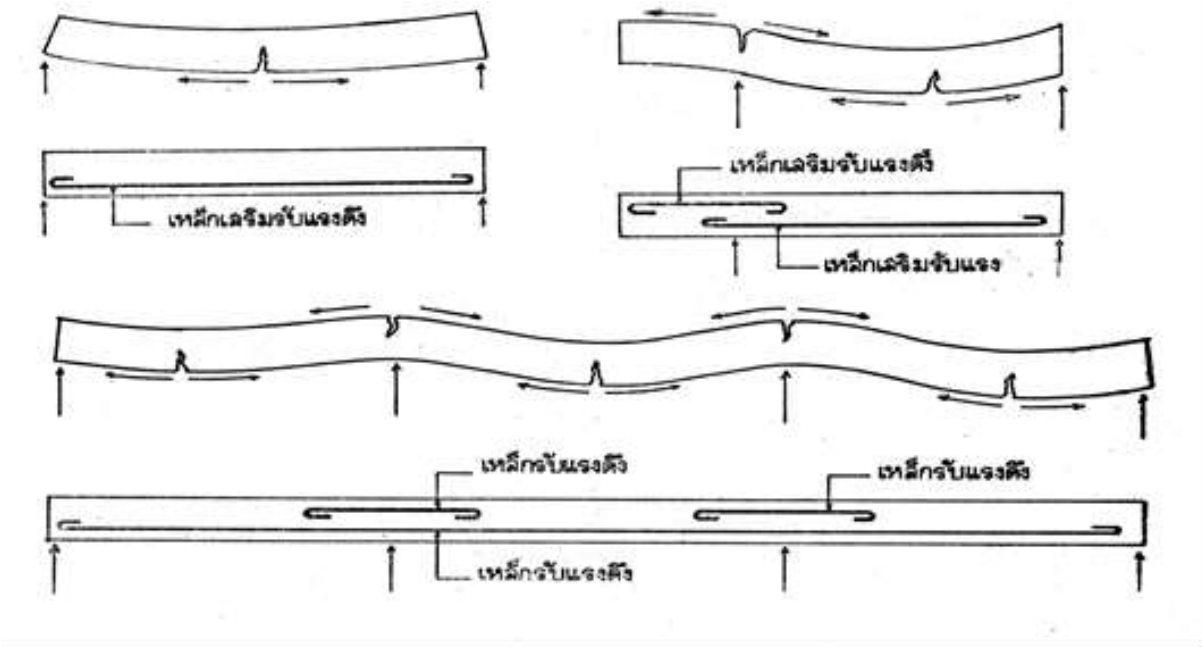
- แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่น ๆ = $\frac{wL}{2}$

๕.๕ พฤติกรรมของคานเมื่อรับน้ำหนัก

คอนกรีตมีคุณสมบัติที่สามารถรับแรงอัดได้ดี ในขณะที่เหล็กเสริมมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงได้ดี เพราะฉะนั้นเมื่อองค์อาคารรับน้ำหนักบรรทุกเกิดแรงขึ้นภายในองค์อาคารทั้งแรงดึงและแรงอัดในตำแหน่งและบริเวณต่าง ๆ เราจึงต้องมาพิจารณาการวางตำแหน่งของเหล็กเพื่อป้องกันความเสียหายของคานอันเนื่องมาจากแรงต่าง ๆ

พฤติกรรมของคานเมื่อรับน้ำหนักจะมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

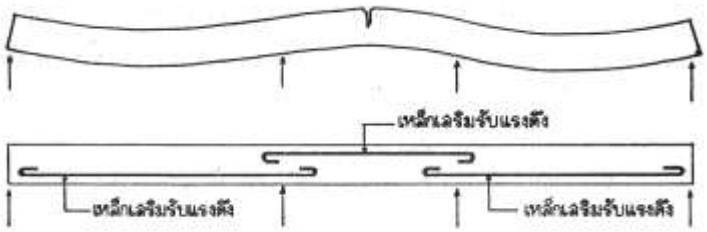
๑. คานที่เกิดแรงดัดภายในตัวคาน



ภาพแสดง คานที่เกิดแรงดัดภายในตัวคาน

หมายเหตุ

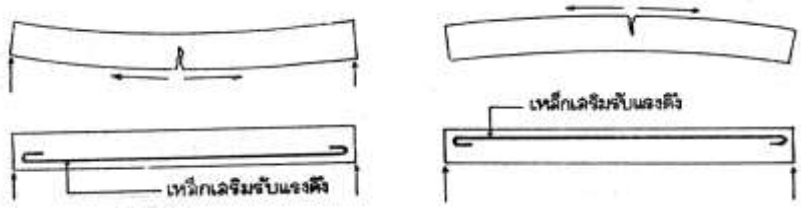
ถ้าคานต่อเนื่องที่มีช่วงกลางยาวน้อยมาก แต่คานข้างเคียงทั้งสองข้างมีความยาวมาก คานช่วงกลางจะเกิดแรงในลักษณะกลับกัน ดังนี้



ภาพแสดง คานต่อเนื่องที่มีช่วงกลางยาวน้อยมาก

หมายเหตุ

ในกรณีห้องใต้ดิน คานที่ถ่ายน้ำหนักจากพื้นห้องใต้ดิน ซึ่งพื้นจะต้องรับแรงดันของน้ำและรับน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงพื้น ถ้าน้ำหนักบรรทุกจากด้านบนมีมากกว่าก็จะเกิดแรงดึงที่กลางส่วนล่าง แต่ถ้าน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าแรงดันของน้ำ ก็จะเกิดแรงในลักษณะกลับกัน ดังนี้

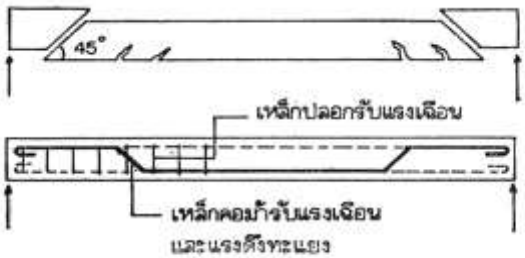


ก. เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าแรงดันของน้ำ ข. เมื่อแรงดันของน้ำมากกว่าน้ำหนักบรรทุก

ภาพแสดง ผลของแรงดันน้ำที่กระทำต่อคาน

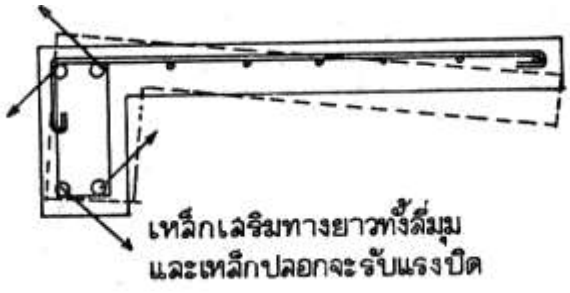
นอกจากการวางตำแหน่งของเหล็กเสริมแล้ว จำนวนของเหล็กเสริมหรือปริมาณของเหล็กเสริมยังมีผลต่อการชำรุดของคานอีก กล่าวคือ ในกรณีที่มีการเสริมปริมาณเหล็กเสริมในปริมาณที่พอเหมาะหรือต่ำกว่าสมดุล (Under reinforced) เหล็กเสริมในคานจะถูกดึงจนถึงจุดคลากก่อนคานจะโก่งตัวออกมากจนเห็นรอยร้าวซึ่งเป็นสัญญาณเตือนให้รู้ล่วงหน้า การชำรุดลักษณะนี้เรียกว่า การชำรุดแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure) แต่ในทางตรงข้ามถ้ามีการเสริมเหล็กมากเกินสมดุล (Over reinforced) คานจะชำรุดแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression Failure) โดยคอนกรีตถูกอัดจนถึงกำลังประลัยก่อนเหล็กเสริมจะเริ่มคลาก คานจะชำรุดทันทีไม่มีรอยร้าวแสดงให้เป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าก่อน

๕.๕.๑ แรงเฉือนและแรงดึงทะแยงที่เกิดในคาน



ภาพแสดง แรงเฉือนและแรงดึงทะแยงที่เกิดในคาน

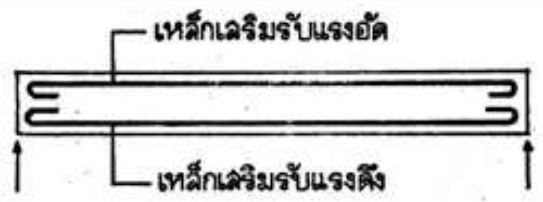
๔.๓.๓ แรงบิดที่เกิดในคาน



ภาพแสดง แรงบิดที่เกิดในคาน

๔.๓.๔ การใช้เหล็กเสริมรับแรงอัด

ในบางกรณี วิศวกรมีความจำเป็นต้องออกแบบให้คานมีขนาดความลึกที่น้อยมาก เนื่องจากรูปแบบทางสถาปัตยกรรมบังคับ ทำให้แรงอัดที่ส่วนบนของคานเหนือแนวแกนสะเทิน (Neutral axis) มากกว่าที่กำลังของคอนกรีตจะต้านทานไว้โดยปลอดภัย ในกรณีเช่นนี้จะต้องออกแบบให้เหล็กเสริมเข้าไปช่วยคอนกรีตรับแรงอัด



ภาพแสดง การใช้เหล็กเสริมรับแรงอัด

๕.๖ ขนาดของคานและการจัดเหล็กเสริม

๑. ขนาดของคาน

โดยทั่วไปการกำหนดความลึกของคาน ผู้ออกแบบจะกำหนดโดยถือมาตรฐานของ ว.ส.ท. หรือ ACI Code เป็นหลัก ดังนี้

๑. ความลึกประสิทธิผลของคาน (d) หมายถึง ระยะจากผิวนอกของคอนกรีตที่รับแรงอัดถึงจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง

๒. ขนาดรูปตัดของคาน จะต้องมีสัดส่วนความกว้างและความลึกมากพอที่จะต้านทานการโก่งของคานได้ โดยยอมให้ได้ไม่เกิน L/360 ความลึกของคานไม่ควรน้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

ก. สำหรับคานช่วงเดียว = $\frac{L}{20}$

ข. สำหรับคานสองช่วง = $\frac{L}{23}$

ค. สำหรับคานต่อเนื่องตั้งแต่สองช่วงขึ้นไป = $\frac{L}{26}$

ง. สำหรับคานยื่น = $\frac{L}{10}$

๓. การออกแบบขนาดความลึกของคาน จะต้องคำนึงถึงการโก่งทางด้านข้างด้วย ปริมาณเหล็กเสริมทางนอนต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 เท่าของหน้าตัด และปริมาณเหล็กเสริมทางตั้ง (เหล็กปลอก) ต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 เท่าของหน้าตัด

๔. เหล็กเสริมรับแรงดึง จะต้องมีปริมาณค่าของเปอร์เซนต์เหล็ก (ρ) ไม่น้อยกว่า $\frac{14}{fy}$

นอกจากกฎของ ว.ส.ท. หรือ A.C.I. Code แล้วต้องพิจารณาความลึกของคาน โดยถือกฎโดยทั่วไปของคานที่มีความยาวไม่มากนักและรับน้ำหนักโดยปกติ โดยคานมีความลึกประมาณ 1 ใน 10 ของช่วงความยาวคาน สำหรับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน โดยในทางปฏิบัติใช้กันอยู่ที่อัตราส่วน 1/3 ถึง 2/3 นอกจากนี้แล้วขนาดของคานจะต้องสัมพันธ์กับความลึกของคานหรือขนาดของเสาที่รองรับ โดยคานจะต้องไม่ลึกกว่าคานหลัก และความกว้างจะต้องไม่เกินขนาดของเสา

๒. การจัดเหล็กเสริม

การจัดเหล็กเสริมของคานเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ถ้าวางเหล็กผิดที่คานจะเกิดความเสียหายทันที นอกจากการวางเหล็กให้ถูกที่แล้วการจัดเหล็กเสริมให้ถูกต้องเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง มิฉะนั้นจะทำให้เกิดปัญหาในระหว่างการก่อสร้างได้ โดยบางครั้งหน้างานไม่สามารถวางเหล็กได้ตามที่วิศวกรกำหนดมา

ข้อควรคำนึงในการจัดเหล็กเสริมในคาน โดยทั่วไปมีดังนี้

๑. คานช่วงเดียวเหล็กเสริมหลักจะเป็นเหล็กล่างตลอดคาน ยกเว้นคานที่ใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดด้วยเหล็กเสริมจะมีทั้งเหล็กล่างและเหล็กบน

๒. คานต่อเนื่อง เหล็กเสริมหลักที่เป็นเหล็กล่างจะอยู่บริเวณกลางช่วงคาน ส่วนเหล็กเสริมหลักที่เป็นเหล็กบนจะอยู่บริเวณใกล้กับเสา

๓. คานยื่น เหล็กเสริมหลักจะเป็นเหล็กบนตลอดช่วงคาน และจะต้องฝังเข้าไปในคานช่วงในหรือในเสาให้มีความยาวเพียงพอที่จะไม่ทำให้หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้นจริงมากกว่าค่าที่ยอมให้ตามมาตรฐาน

๔. ระยะห่างของเหล็กเสริมวัดจากผิวเหล็กถึงผิวเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร

๕. ในกรณีเหล็กเสริมมากกว่า 1 ชั้น ระยะช่องว่างระหว่างผิวเหล็กแต่ละชั้นจะต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และต้องเรียงเหล็กแต่ละชั้นให้ตรงกัน

๖. ปลายของเหล็กเสริม จะต้องเสริมให้เลยตำแหน่งที่ไม่ได้รับแรง เป็นระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคาน หรือ 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม และจะต้องงอปลายเหล็กด้วย

๗. เหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์บวก จะต้องยื่นเข้าไปในที่รองรับ เป็นต้นว่า เสาหรือคานหลัก ไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร เป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 สำหรับคานช่วงเดียว และไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 สำหรับคานต่อเนื่อง

๘. เหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์ลบ ไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 จะต้องให้เลยจุดดัดกลับของโมเมนต์เป็นระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคาน

สำหรับความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก (Covering) นับจากผิวเหล็ก จะต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ต่อไปนี้

๑. หุ้มเหล็ก 2 เซนติเมตร และต้องไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมหลัก สำหรับคานภายในที่ไม่ได้สัมผัสกับอากาศภายนอกหรือผิวดิน

๒. หุ้มเหล็ก 3 เซนติเมตร ในกรณีที่คานต้องสัมผัสกับแดดหรือฝน หรือคานดินที่ใช้ไม้แบบท้องคานและเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 12 มิลลิเมตร ลงมา

๓. หุ้มเหล็ก 4 เซนติเมตร ในกรณีที่คานต้องสัมผัสกับแดดหรือฝน หรือคานดินที่ไม่มีไม้แบบท้องคานและเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 15 มิลลิเมตร ขึ้นไป

๔. ในกรณีที่คานมีเหล็กลูกตั้ง (เหล็กปลอก) เพื่อเสริมรับแรงเฉือน ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กจะต้องวัดจากผิวของเหล็กลูกตั้งถึงผิวคอนกรีต

๕. เนื้อคอนกรีตข้างคานหุ้มถึงผิวเหล็กปลอกหนา 2 เซนติเมตร หรือหนาเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมในกรณีที่เหล็กเสริมมีขนาดใหญ่กว่า 2 เซนติเมตร

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง ประเภทและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

๗.๒ power point เรื่อง ประเภทและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๔

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๔ เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว (single reinforcement)

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว (single reinforcement)

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง

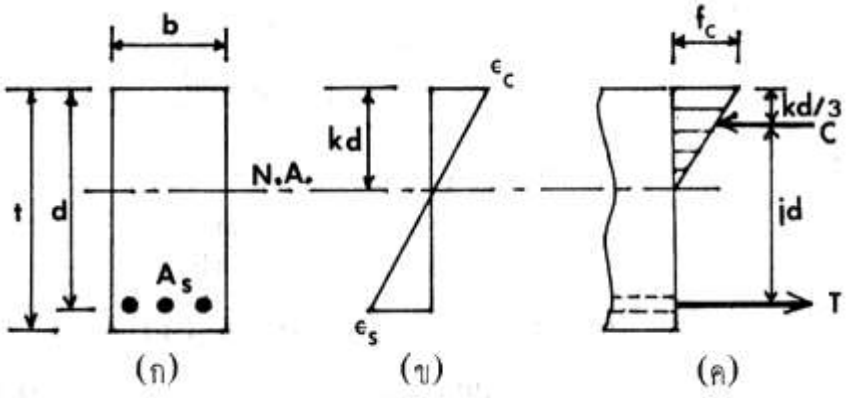
๔.๒ การใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน

๔.๓ แรงยึดเกาะและระยะฝังของเหล็ก

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง

เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุก จะเกิดการแอ่นตัวลง ซึ่งแสดงว่าบริเวณด้านล่างหรือใต้ท้องคานยืดออกอันเนื่องมาจากแรงดึง จึงจำเป็นต้องมีการวางเหล็กเสริมบริเวณด้านล่างของคาน เพื่อที่จะรับแรงดึงดังกล่าว ส่วนทางด้านบนของคานจะมีการหดตัวเข้า อันเนื่องมาจากแรงอัดคอนกรีตซึ่งมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดได้ดี จะทำหน้าที่รับแรงอัดที่เกิดขึ้นนั้น ทั้งนี้คอนกรีตต้องมีพื้นที่หน้าตัดเพียงพอสำหรับรับแรงอัดนั้น ๆ ไม่ต้องมีการเสริมเหล็กช่วยรับแรงอัดแต่อย่างใด จึงเรียกคานประเภทนี้ว่า คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง (Singly Reinforced Concrete Beam) จากสมมติฐานดังกล่าวสามารถคำนวณหาโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีตและเหล็กเสริม ดังนี้



ภาพแสดง คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง

สัญลักษณ์

b	=	ความกว้างของคานคอนกรีต	ซม.
d	=	ความลึกประสิทธิผล วัดจากผิวบนของคานมายังจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเหล็กเสริม	ซม.
D	=	ความลึกของคานวัดจากผิวบนถึงผิวล่าง	ซม.
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม	ซม.^{2}
C	=	แรงอัดทั้งหมดในคอนกรีต	กก.
T	=	แรงดึงทั้งหมดในเหล็กเสริม	กก.
kd	=	ระยะระหว่างผิวบนของคานถึงแนวแกนสะเทิน	ซม.
jd	=	ช่วงแขนของโมเมนต์ของแรงภายใน C กับ T	ซม.
ε_c	=	หน่วยการหดตัวของคอนกรีต	
ε_s	=	หน่วยการยืดตัวของเหล็ก	
E_c	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต	กก./ซม.^{2}
E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก	กก./ซม.^{2}
f_c	=	หน่วยแรงอัดที่ผิวบนของคาน	กก./ซม.^{2}
f_s	=	หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม	กก./ซม.^{2}
n	=	อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กกับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต = $\frac{E_s}{E_c}$	
ρ	=	เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม = $\frac{A_s}{bd}$	กก.-ม.
M	=	โมเมนต์จากแรงภายนอกที่กระทำต่อคาน	กก.-ม.
M_c	=	โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต	กก.-ม.
M_s	=	โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม	กก.-ม.
MR	=	โมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคาน	กก.-ม.

การหาตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน

$\varepsilon_c = \frac{f_c}{E_c}$ หน่วยการหดตัวของคอนกรีต

$\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s}$ หน่วยการยืดตัวของเสริมเหล็ก

ฉะนั้น $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} = \frac{\frac{f_c}{E_c}}{\frac{f_s}{E_s}}$

$= \frac{f_c}{f_s} \times \frac{E_s}{E_c}$

$$= \frac{f_c}{f_s} \text{ x n หรือ } n \cdot \frac{f_c}{f_s}$$

ฉะนั้น $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} = \frac{kd}{d-kd}$

$= \frac{k}{1-k}$ (ดึงตัวร่วม d ออก)

$\therefore \frac{k}{1-k} = \frac{n.f_c}{f_s}$

$k \cdot f_s = n \cdot f_c (1-k)$

$= n \cdot f_c - k \cdot n \cdot f_c$

$k \cdot n \cdot f_c + k \cdot f_s = n \cdot fc$

$k \cdot (n \cdot f_c + f_s) = n \cdot fc$

$k = \frac{n.f_c}{n.f_c+f_s}$

$\therefore k = \frac{1}{1+\frac{f_s}{n.f_c}}$

สำหรับในกรณีทราบขนาดรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริม (A_s) ก็สามารถหาค่า k ได้จากการสมดุลของแรงในแนวราบ

$T = C$

$\therefore \rho \cdot b \cdot d \cdot f_s = \frac{1}{2} f_c \cdot b \cdot k \cdot d$

$2(\rho)(f_s) = \frac{(f_c)(k)(b)(d)}{(b)(d)}$

$\frac{f_s}{f_c} = \frac{k}{2\rho}$

แต่ $n \cdot \frac{f_c}{f_s} = \frac{k}{1-k}$

$\frac{f_c}{f_s} = \frac{k}{n(1-k)}$

$\therefore \frac{f_s}{f_c} = \frac{n(1-k)}{k}$

ดังนั้น $\frac{k}{2\rho} = \frac{n(1-k)}{k}$

$k^2 = n(1-k)(2\rho)$

$= (n-nk)(2\rho)$

$= 2n\rho - 2n\rho k$

$k^2 + 2n\rho k = 2n\rho$

บวก $(n\rho)^2$ ทั้งสองข้างเพื่อแยกสมการ

$k^2+2n\rho k + (n\rho)^2 = 2n\rho + (n\rho)^2$

$(k+n\rho)(k+n\rho) = 2n\rho + (n\rho)^2$

$(k+n\rho)^2 = 2n\rho + (n\rho)^2$

$k+n\rho = \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2}$

$k = \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} - n\rho$

เมื่อ $d = jd + \frac{kd}{2}$

ฉะนั้น $j = 1 - \frac{k}{3}$

$M_c = Cjd$

$= \frac{1}{2} f_c\, kbd\, jd$

$= \frac{1}{2} f_c\, k\, j\, bd^2$

หรือ $M_c = R\, bd^2$

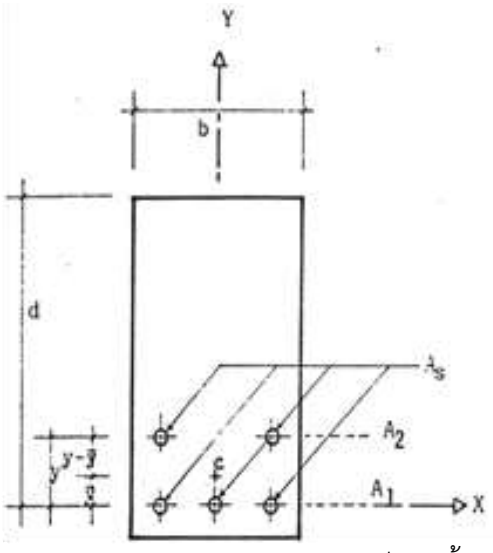
เมื่อ $R = \frac{1}{2} f_c\, k\, j$

$M_s = T\, j\, d$

$= A_s\, f_s\, jd$

๑. การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเหล็กเสริม

ในกรณีที่ปริมาณจำนวนเหล็กเสริมสำหรับรับแรงดึงมีมากเกินกว่าที่จะสามารถเรียงเป็นแถวเดียวได้ อันเนื่องมาจากถูกบังคับโดยข้อบังคับต่าง ๆ จึงต้องเรียงเกินกว่าหนึ่งแถวขึ้นไป การจัดวางเหล็กเสริมในกรณีที่เกิดขึ้นนี้ จำเป็นต้องหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ของกลุ่มเหล็กเสริม โดยอาศัยหลักการคำนวณหาจุด Centroid ดังรูป



ภาพแสดง คานคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น

A_1 = พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมแถวล่าง

A_2 = พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมแถวบน

A_s = $A_1 + A_2$

C = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางพื้นที่เหล็กเสริม

y = ระยะระหว่าง A_1 กับ A_2

$\bar{y}$ = ระยะระหว่าง A_1 กับจุด C

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน

อาศัยหลักของโมเมนต์ “ผลบวกของโมเมนต์พื้นที่ย่อยรอบแกนจะมีค่าเท่ากับโมเมนต์ของพื้นที่ทั้งหมดรอบแกน”

$(A_1 \times 0) + (A_2 \times y) = A_s \times \bar{y}$

$$\bar{y} = \frac{A_2 y}{A_s}$$

หรือ

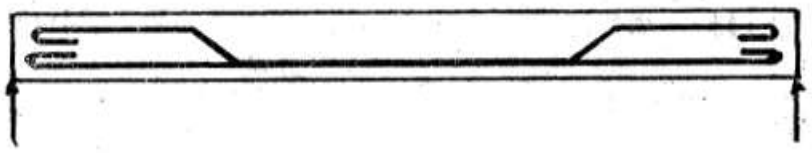
$$\bar{y} = \frac{\sum(Ay)}{\sum A} = \frac{A_1y_1 + A_2y_2 + \cdots}{A_1 + A_2 + \cdots}$$

๕.๒ การใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน

เมื่อคานมีน้ำหนักบรรทุกมากระทำ นอกจากคานจะเกิดโมเมนต์แล้วยังทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นอีกด้วย ทั้งในแนวตั้ง (Vertical) และ แนวนอน (Horizontal) ของคาน ผลลัพธ์ของแรงดังกล่าว เรียกว่า “แรงเฉือน” (Shear) หรือ Diagonal tension ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นสูงสุด ในบริเวณใกล้กับจุดที่รองรับคาน (Support) และมีผลทำให้เกิดรอยแตกร้าวขึ้นได้ในระนาบ (Plane) เป็นมุมประมาณ 45 องศา กับแกนนอนของคาน

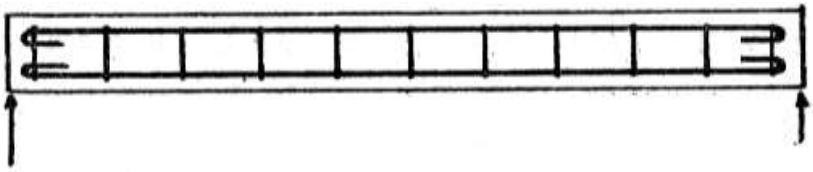
การป้องกันการแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือน สามารถป้องกันได้โดยการเสริมเหล็ก ซึ่งมีอยู่ 3 วิธี คือ

๑. ใช้เหล็กคอม้า (Bent up bar) โดยการใช้เหล็กล่างที่รับแรงดัดของคานดัดเป็นคอม้าขึ้นมา



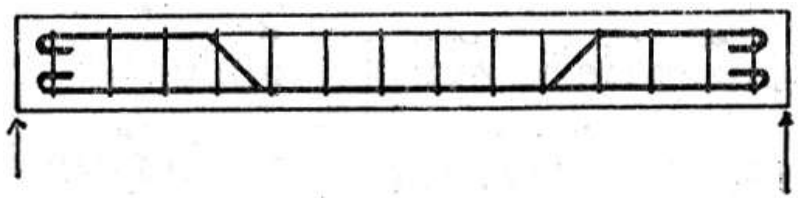
ภาพแสดง การเสริมเหล็กคอม้า

๒. ใช้เหล็กปลอก (Stirrups) เพื่อรับแรงเฉือนโดยตรง



ภาพแสดง การเสริมเหล็กปลอก

๓. ใช้ทั้งเหล็กคอม้าและเหล็กปลอกร่วมกัน

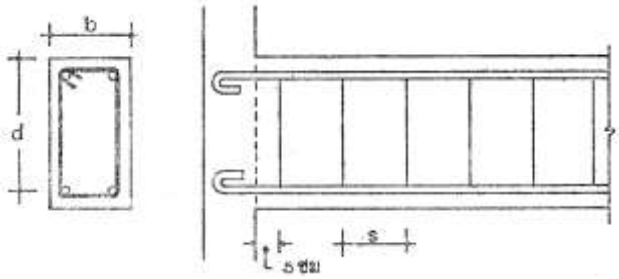


ภาพแสดง การเสริมเหล็กคอม้าและเหล็กปลอกร่วมกัน

๑. เกณฑ์บังคับสำหรับเหล็กเสริมรับแรงเฉือนตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

๑. ณ ที่ใดที่ต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะต้องจัดให้ระยะเรียงของเหล็กปลอกห่างไม่เกิน $\frac{d}{2}$ และหากว่าค่าหน่วยแรงเฉือนมีค่าเกินกว่า $0.795\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2} แล้ว ระยะเรียงจะต้องห่างไม่เกิน $\frac{d}{4}$

๒. ณ ที่ใดที่ต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน (เหล็กปลอก) เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปลอก ณ ที่ดังกล่าว จะต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่ bs ซึ่งหาได้จากผลคูณของความกว้างของตัวคานและระยะเรียงของเหล็กปลอกตามความยาวของคาน



ภาพแสดง การเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

๒. การออกแบบเหล็กปลอกเพื่อรับแรงเฉือน

ตามธรรมดาคานคอนกรีตที่มีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่อย่างพอเพียงจะสามารถต้านทานแรงเฉือนได้โดยที่ไม่ต้องใส่เหล็กปลอกเพื่อรับแรงเฉือน แต่ในกรณีที่คานคอนกรีตมีขนาดเล็กแต่รับน้ำหนักมาก คานคอนกรีตจะต้องต้านทานแรงเฉือนมากเกินกว่าที่คานคอนกรีตเองจะสามารถรับไว้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบเหล็กเสริมเพื่อรับแรงเฉือนส่วนที่เกิน โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

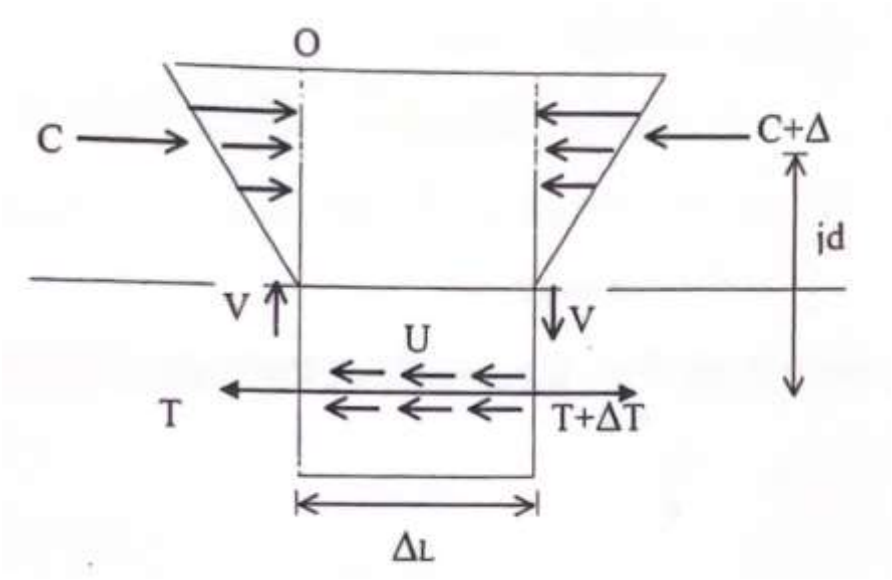
$$S = \frac{A_v \cdot f_v \cdot d}{V'}$$

เมื่อ	S	=	ระยะเรียงของเหล็กปลอก	ซม.
	Av	=	เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมหนึ่งปลอกคิดทั้งสองขา	ซม.^{2}
	fv	=	ความเค้นเฉือนโดยปลอดภัยของเหล็กปลอก	กก./ซม.^{2}
	d	=	ความลึกประสิทธิผลขอบคาน	ซม.
	V’	=	แรงเฉือนที่ใช้คำนวณหาเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	
		=	Vd – Vc	กก.

Vd	=	แรงเฉือนทั้งหมดในแนวดิ่ง	
	=	$V-(\frac{d \times w}{100})$	กก.
V	=	แรงเฉือนแนวดิ่งทั้งหมดที่ขอบเสา	กก.
d	=	$\sqrt{\frac{M\ (100)}{Rb}}$	ซม.
W	=	น้ำหนักแผ่	กก./ม.
M	=	โมเมนต์ดัด	กก.-ม.
R	=	½ f_c.k.j	กก./ซม.^{2}
b	=	ความกว้างของคาน	ซม.
Vc	=	แรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้	
	=	vc . b . d	กก.
vc	=	ความเค้นปลอดภัยของแรงเฉือนในคอนกรีต	
	=	$0.29\sqrt{f'_c}$	กก./ซม.
b	=	ความกว้างของคาน	ซม.
d	=	ความลึกประสิทธิผลของคาน	ซม.
v	=	ความเค้นของแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก	
	=	$\frac{Vd}{bd}$	กก./ซม.^{2}
a	=	ระยะที่จำเป็นต้องเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน	
L	=	ความยาวของคาน	ซม.
a	=	$\frac{L}{2} \times \frac{V'}{V}$	ซม.

๕.๓ แรงยึดเกาะและระยะฝังของเหล็ก

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นนอกจากจะพิจารณาเหล็กเสริมหลักเพื่อรับโมเมนต์ดัด หรือเหล็กปลอกเพื่อรับแรงเฉือนแล้ว ยังต้องพิจารณาแรงยึดเกาะและระยะฝังของเหล็กเสริมอีก อาทิเช่น ในกรณีของคานยื่น



ภาพแสดง หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

u	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม	กก.-ซม.^{2}
$\sum_0$	=	ผลรวมของเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมทั้งหมด	ซม.
U	=	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต	กก.
	=	$u \sum_0 \Delta L$	

สมดุลของแรงในแนวราบ

$$T + u \sum_0 \Delta L - (T + \Delta T) = 0$$

$$\Delta T = u \sum_0 \Delta L$$

$$\Delta T = \frac{V \Delta L}{jd} \qquad (\sum_{M0} = 0)$$

$$u \sum_0 \Delta L = \frac{V \Delta L}{jd}$$

$$u = \frac{V}{\sum_0 jd}$$

กำหนดให้ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม

ฉะนั้น พื้นที่หน้าตัดของเหล็ก $= \frac{\pi D^2}{4}$

กำหนดให้แรงดึงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ $= f_s$

ฉะนั้น จะได้แรงดึงของเหล็กเท่ากับพื้นที่หน้าตัดคูณด้วย f_s

$$= \frac{\pi D^2}{4} \cdot f_s$$

เส้นรอบรูปของเหล็ก $= \pi D$

ระยะของเหล็กที่ต้องฝังเข้าไปในคอนกรีต $= L$

ฉะนั้นจะได้พื้นที่ผิวโดยรอบ $= \pi D \cdot L$

กำหนดให้ u คือ แรงยึดเกาะต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ฉะนั้นแรงยึดเกาะของเหล็กทั้งหมด = πD . L . u

จากการสมดุล

แรงดึงของเหล็ก = แรงยึดเกาะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต

ฉะนั้น $\frac{\pi D^2}{4}$. f_s = πD . L . u

L = $\frac{\pi D^2}{4}$. f_s x $\frac{1}{\pi.d.u}$

ฉะนั้น ความยาวของเหล็กที่จะฝังในคอนกรีต L

= $\frac{Df_s}{4\,u}$

เมื่อ L = ความยาวของเหล็กที่ฝังในคอนกรีต ซม.

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก ซม.

f_s = แรงดึงของเหล็ก กก./ซม.^{2}

U = แรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ กก./ซม.^{2}

ขั้นตอนการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง

๑. หาค่า W		กก./ม.
๒. ถ้ามีคานฝากหาค่า P		กก.
๓. หาค่าโมเมนต์จากแรงภายนอกที่กระทำต่อคาน	(M)	กก.-ม.
๔. หาค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต	(M_c = Rbd^2)	กก.-ม.
๕. หาพื้นที่หน้าตัดของคานเหล็กเสริม	(A_s = $\frac{M(100)}{f_s.j.d}$)	ซม.^{2}
๖. เลือกขนาดและจำนวนเหล็กเสริมรับแรงดึง		ซม.^{2}
๗. หาค่าแรงเฉือนทางแนวดิ่งทั้งหมดที่ขอบเสา	(V)	กก.
๘. หาค่าความเค้นของแรงเฉือนซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุก	(v =$\frac{V}{bd}$)	กก./ซม.^{2}
๙. หาค่าความเค้นปลอดภัยของแรงเฉือนในคอนกรีต	(vc = 0.29$\sqrt{f_c'}$)	กก./ซม.^{2}
๑๐. หาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง	(u =$\frac{V}{\sum_o jd}$)	กก./ซม.^{2}
๑๑. หาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้		กก./ซม.^{2}

ตัวอย่างการคำนวณตำแหน่งแนวแกนสะเทิน หน่วยแรงอัดของคอนกรีต และหน่วยแรงดึงเหล็ก

คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 20 x 40 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงขนาด Ø 12 มม. 3 เส้น มีโมเมนต์กระทำต่อคาน 1,150 กก.-ม. กำหนดให้ค่า n = 10 จงคำนวณหาค่าตำแหน่งแนวแกนสะเทิน และหาค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตและหน่วยแรงดึงเหล็กซึ่งเกิดขึ้นจริง

วิธีทำ

ขนาดหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 20 x 40 ซม.

สมมติความลึกประสิทธิผล d = 35 ซม.

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม A_s = 3 x 1.13 = 3.39 ซม.^{2}

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{3.39}{20 \times 35} = 4.84 \times 10^{-3}$$

$$k = \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} - n\rho$$

$$= \sqrt{2x10x4.84x10^{-3} + (10x4.84x10^{-3})^2} - 10(8.48 \times 10^{-3})$$

$$= 0.267$$

∴ ระยะจากผิวบนคานกับแนวแกนสะเทิน (kd) = 0.267 x 35 = 9.33 ซม.

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.911$$

โมเมนต์ต้านทาน โดยคอนกรีต

$$M_C = \tfrac{1}{2} f_c\, bk\, jd^2$$

$$M_C = M$$

$$1150 \times 100 = \tfrac{1}{2}(f_c) \times 20 \times 0.267 \times 0.911 \times 35^2$$

$$f_c = 38.6 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม

$$M_s = A_s\, f_s\, jd$$

$$M_s = M$$

$$1150 \times 100 = 3.39 \times f_s \times 0.911 \times 35$$

$$f_s = 1063.93 \text{ กก./ซม.}^2$$

ตัวอย่างการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 20 x 40 ซม.เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15มม.จำนวน 2 เส้น กำหนดให้ค่า n = 10 หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s= 1,200 กก./ซม.^{2} จงหาค่าของ

ก. โมเมนต์ต้านทานของคานโดยปลอดภัย

ข. ถ้าสมมติว่าคานดังกล่าวเป็นคานช่วงเดียว (Simple beam) ยาว 3.50 ม. จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกแผ่ได้เท่าไร

วิธีทำ

สมมติ d = 35 ซม.

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{3.54}{20 \times 35} = 5.06 \times 10^{-3}$$

$np = 5.06 \times 10^{-2}$

$$k = \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} - n\rho = 0.272$$

$j = 0.91$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต $M_c = \frac{1}{2} f_c\, kj\, bd^2$

$$= \frac{1}{2}(65)(0.272)(0.91)(20)(35)^2 \times \frac{1}{100} = 1965.87 \text{ กก.-ม.}$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยเหล็กเสริม $M_s = A_s f_s jd$

$$= 3.54 \times 1200 \times 0.91 \times 35 \times \frac{1}{100} = 1352.98 \text{ กก.-ม.}$$

โมเมนต์ต้านทานของคานโดยปลอดภัยเท่ากับ 1,352.98 กก.-ม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคานตัวนี้มีการเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล (Under reinforced)

การหาน้ำหนักบรรทุกของคาน

กำหนดให้ W = น้ำหนักบรรทุกแผ่ที่คานสามารถรับได้ กก./ม.

น้ำหนักของคาน = 2400 × 0.20 x 0.40 = 192 กก./ม.

น้ำหนักรวม = W+192

โมเมนต์ต้านทานของคาน = 1352.98 กก.-ม.

$$M = \frac{1}{8} Wl^2$$

$$1352.98 = \frac{1}{8} (W+192)(3.5)^2$$

$$W = 691.58 \text{ กก./ม.}$$

นั่นคือ น้ำหนักบรรทุกแผ่ที่คานสามารถรับได้เท่ากับ 691.58 กก./ม.

ตัวอย่างการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียว (Simple beam) ยาว 3.50 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกแบบจุดที่กึ่งกลางคาน 550 กิโลกรัม และน้ำหนักบรรทุกแผ่เฉลี่ยตลอดความยาวคาน 850 กก./ม. กำหนดให้ใช้ f_c' = 173 กก./ซม.^{2} และใช้เหล็กคุณภาพ SR 24 ให้ออกแบบตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร

วิธีทำ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร $f_c = 0.375\ f'_c$

$= 0.375 \times 173$

$= 64.875$ กก./ซม.^{2}

เหล็กคุณภาพ SR 24 มี $f_y =$ 2400 กก./ซม.^{2}

$f_s = 0.5\ fy$

$= 1200$ กก./ซม.^{2}

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{2.04 \times 10^6}{15210\sqrt{fc'}}$$

$= 10.2$ ใช้ n=10

$$k = \frac{1}{1+\frac{f_s}{nfc}}$$

$$= \frac{1}{1+\frac{1200}{10 \times 64.875}}$$

$= 0.351$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$= 1 - \frac{0.351}{3}$$

$= 0.883$

สมมติเลือกใช้หน้าตัดคาน $= 0.20 \times 0.40$ ม.

น้ำหนักคาน $= 2400 \times 0.20 \times 0.40$

$= 192$ กก./ม.

น้ำหนักแผ่เฉลี่ยตลอดคาน (w)

= 850 + 192

= 1042 กก./ม.

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานสูงสุด

$$= \frac{1}{8} Wl^2 + \frac{PI}{4}$$

$$= \frac{1}{8} (1042)(3.5)^2 + \frac{550(3.5)}{4}$$

= 2076.8125 กก./ม.

สมมติให้ M = M_c เพื่อหาค่าความลึกประสิทธิผล d

M_c = ½ f_c bk jd^2

$$d = \sqrt{\frac{2M}{fc\ bk\ j}}$$

$$= \sqrt{\frac{2x2076.8125x100}{64.875x20x0.351x0.833}}$$

d = 32.14 ซม.

หน้าตัดคานที่เลือกใช้ 0.20 × 0.40 O.K.

กำหนดให้ใช้ความลึกประสิทธิผล d = 35 ซม.

ปริมาณเหล็กเสริม A_s

$$= \frac{M}{f_s.j.d}$$

$$= \frac{2076.8125\ x\ 100}{1200\ x\ 0.883\ x\ 35}$$

= 56 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กขนาด 12 มม. จำนวน 5 เส้น มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 5.65 ซม.^{2}

ตรวจสอบระยะหุ้มของคอนกรีตว่าเพียงพอหรือไม่

คำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มเหล็กเสริม

$$\bar{y} = \frac{A_2 y}{A_s}$$

Y = ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมวัดจากจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริม

= 2.5+0.6+0.6 = 3.7

$$\bar{y} = \frac{2.26x3.7}{5.65}$$

= 1.48

ระยะหุ้มของคอนกรีต = $5 - 1.48 - \frac{1.2}{2}$

= 2.92 ซม. มากกว่า 2 ซม.

ใช้ได้ในกรณีที่คานอยู่ในที่ร่มไม่ถูกดินน้ำโดยตรง

ตัวอย่างการคำนวณหาเหล็กปลอก

คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัด 25 x 50 ซม. เป็นคานช่วงเดียวยาว 6 เมตร รับน้ำหนักแผ่กระจาย 2,000 กก./ม. จงหาระยะและขนาดของเหล็กปลอก กำหนดให้ n = 11, f_c = 65 กก./ซม.^{2} fy = 2400 กก./ซม.^{2} fv = 1200 กก./ซม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท.

วิธีทำ

น้ำหนักคาน = 2400 × 0.25 × 0.50

= 300 กก./ซม.

น้ำหนักรวม = 2000+300

= 2300 กก./ซม.

โมเมนต์ M = $\frac{1}{8}$ Wl^2

= $\frac{1}{8}$ (2300)(6)^2

= 10,350 กก./ม.

แรงเฉือนสูงสุด Vmax เท่ากับแรงปฏิกิริยาที่ปลายคาน

= $\frac{\mathbf{WI}}{\mathbf{2}}$

= $\frac{\mathbf{2300\ x6}}{\mathbf{3}}$

= 6900 กก.

สมมติ d = 45 ซม.

แรงเฉือนที่ระยะ d จากบนเสา

V_d = V - W_d

= 6900 - 2300 (0.45)

= 5865 กก.

v = $\frac{\mathbf{Vd}}{\mathbf{bd}}$

= $\frac{\mathbf{5865}}{\mathbf{25x45}}$

= 5.21 กก./ซม.^{2}

f_c = 0.45 f'$_c$

f'$_c$ = $\frac{\mathbf{65}}{\mathbf{0.45}}$

= 145

vc = $0.29\sqrt{\mathbf{f'_c}}$

= $0.29\sqrt{145}$

= 3.49 กก./ซม.^{2} < 5.21 กก./ซม.^{2}

เนื่องจากค่า $v_c < v$ ฉะนั้นจึงต้องเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน

$$S = \frac{Av.fv.d}{V'}$$

Av = 0.566 ซม.^{2} (เหล็กปลอก (Ø 6 มม. สองขา)

fv = 1200 กก./ซม.^{2}

d = 45 ซม.

V' = $V_d - V_c$

V_d = 5865 กก.

V_c = $v_c bd$

= 3.49 × 25 × 45

= 3921 กก.

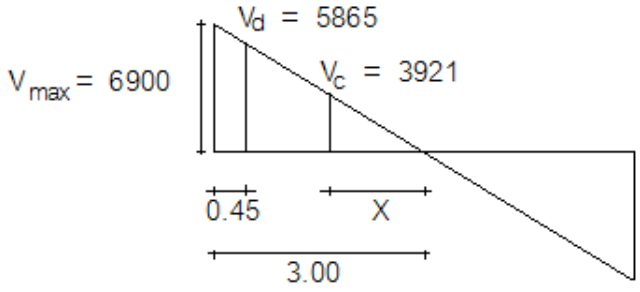
V' = 5865-3921

= 1944

ระยะเหล็กปลอก $S = \frac{0.566x1200x45}{1944}$

= 15.72 ซม. (ใช้ 15 ซม.)

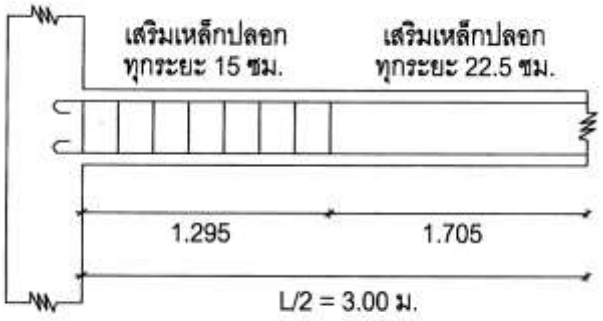
เพื่อความประหยัดในการเสริมเหล็กปลอกจะไม่ทำการเสริมเหล็กปลอกตลอดความยาวคาน จะทำการเสริมเฉพาะที่ระยะ $V_d > V_c$ เท่านั้น เพราะฉะนั้นต้องหาระยะ V_c ว่าอยู่ตำแหน่งใดของคาน



$$\frac{3}{6900} = \frac{x}{3921}$$

X = 1.705 จากกึ่งกลางคาน

เพราะฉะนั้นการเสริมเหล็กปลอกบริเวณนั้น เสริมเหล็กปลอกทุก ๆ ระยะ $\frac{d}{2}$ = 22.5 ซม.



แบบฝึกหัด

๑. คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าว “b” และมีความลึกประสิทธิผล “d” เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว ถ้าคอนกรีตมีกำลังอัด f_c'= 133 กก./ซม.^{2} และเหล็กเสริมมีกำลังจุดคราก fy= 2,400 กก./ซม.^{2} และให้โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตมีค่าเท่ากับโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม จงคำนวณหา

- ความลึกของแนวแกนสะเทิน
- โมเมนต์ต้านทานของคาน
- เปอร์เซนต์ของเหล็กเสริม (ρ)

๒. จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีช่วงยาว 4.00 ม.รับน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่จากพื้น 550 กก./ม. (ยังไม่รวมน้ำหนักของตัวคาน) กำหนดให้ใช้หน้าตัดคาน 0.25 x 0.40 ม. f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2} และออกแบบโดยยึดถือตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

๓. จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามข้อ 2 แต่ให้รับน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่ 2,500 กก./ม.

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว (single reinforcement)

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว (single reinforcement)

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๕

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๕ เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ (double reinforcement)

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ (double reinforcement)

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

๔.๒ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที

๔.๓ คานรับโมเมนต์บิด

๔.๔ คานแคบ

๔.๕ การออกแบบเหล็กเสริมแบบคานเหล็ก

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยปกติแล้วจะออกแบบให้เหล็กทำหน้าที่รับแรงดึงทั้งหมด ส่วนคอนกรีตทำหน้าที่เฉพาะรับแรงอัด แต่ในบางกรณีเรามีความจำเป็นต้องจำกัดขนาดหน้าตัดของคาน เพื่อผลทางด้านสถาปัตยกรรม อันเป็นผลให้ขนาดหน้าตัดของคานเล็กเกินไป ซึ่งทำให้โมเมนต์ต้านทานของคอนกรีตไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงอัดเพื่อต้านทานโมเมนต์ส่วนที่เกินจากโมเมนต์ต้านทานของคอนกรีต

สัญลักษณ์ในการคำนวณ

M	=	โมเมนต์ต้านทานทั้งหมดของคาน	กก.-ม.
M_C	=	โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต	กก.-ม.
M'	=	โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงอัด	กก.-ม.
A_{s1}	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง	ซม.^{2} (M_C)
A_{s2}	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง	ซม.^{2} (M')
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทั้งหมดสำหรับ M	ซม.^{2} (A_{s1+} A_{s2})
A_s'	=	พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด	ซม.^{2}
f_s	=	หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงอัด	กก./ซ.ม.^{2}
f_s'	=	หน่วยแรงในเหล็กรับแรงอัด	กก./ซ.ม.^{2}

เมื่อโมเมนต์ต้านทานทั้งหมดของคาน (M) มีค่ามากกว่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต (Mc) เนื่องมาจากขนาดของหน้าตัดคานเล็กเกินไป ดังนั้น โมเมนต์ส่วนที่เหลือ (M') จึงต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') ทำหน้าที่ต้านทานแรงอัดแทนคอนกรีตที่ขาดไป

การหาค่าแรงเสริมรับแรงอัด (As')

โมเมนต์ต้านทานทั้งหมดของคาน = M กก. - ม.

โมเมนต์ต้านทาน โดยคอนกรีต

$M_c = \frac{1}{2} f_c . k . j . bd^2$

หรือ $M_c = R\ b\ d^2$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับ Mc

$$A_{s1} = \frac{M_c}{f_s .j.d}$$ ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับ M

$$A_{s2} = \frac{M - M_c}{f_s .(d-d')}$$ ซม.^{2}

เหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$ ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด As'

$C_s = T_2$

$As' . f'_s = A_{s2} . f_s$

ในช่วงอีลาสติค หน่วยแรงในเหล็กเป็นปฏิภาคกับระยะจากแนวแกนสะเทิน

$$\frac{f_s}{f'_s} = \frac{d-kd}{kd-d'}$$

$$f'_s = fs \frac{kd-d'}{d-kd}$$

$$= fs \frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k}$$

จากข้อกำหนดที่ยอมให้ เหล็กรับแรงอัดมีหน่วยแรงเป็น 2 เท่าของหน่วยแรงที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติค แต่ไม่เกินหน่วยแรงดึง

$$\therefore \quad f_s' = 2f_s \frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k}$$

แทนค่า f_s' ในสมการ $A_s . f'_s = As_2 . f_s$

$$2A_s' . f_s \frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k} = As_2 . fs$$

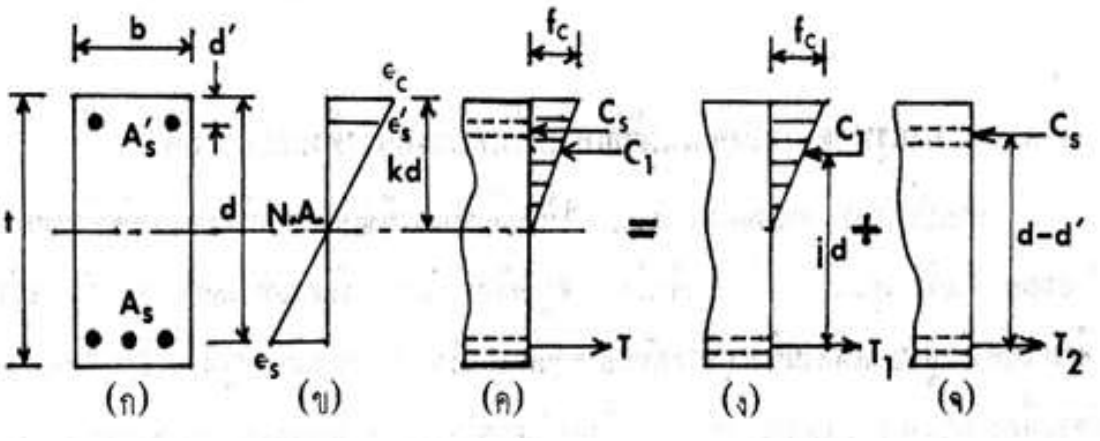
$$2A_s' = \frac{A_{s2}.f_s}{fs} \left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right]$$

$$\therefore \quad A_s' = \frac{1}{2} A_{s2} \left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right] \quad \text{ซม.}^2$$

หรือ $A_s' = K \cdot A_{s2}$ ซม.^{2}

เมื่อ $K = A_{s2} \left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right]$

อย่างไรก็ตามการการออกแบบคานดังกล่าวข้างต้น จะต้องทราบค่า k ก่อน ในกรณีที่ทราบค่า f_c และ f_s จะสามารถหาค่า k ได้จากสมการ $k = \frac{1}{1+\frac{f_s}{nf_c}}$ ซึ่งเหมือนกับการพิจารณาคานที่มีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง



ภาพแสดง การคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

ส่วนในกรณีที่ทราบขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมในคาน การหาค่า k กระทำได้ดังนี้

$$\varepsilon_c = \frac{f_c}{E_c},$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_s}{E_s},$$

$$\varepsilon'_s = \frac{f_s'}{E_s}$$

$$\therefore \quad \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_c}{d-kd} = \frac{\varepsilon'_s}{kd-d'}$$

$$\frac{f_c}{E_c kd} = \frac{f_s}{E_s (d-kd)} = \frac{f_s'}{E_s (kd-d')}$$

พิจารณา

$$\frac{f_c}{E_c kd} = \frac{f_s}{E_s (d-kd)}$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c \frac{(d-kd)}{kd} = nf_c \frac{(d-kd)}{kd} = nf_c \frac{(1-k)}{k}$$

และจากที่ทราบในเบื้องต้นว่า

$$f_s' = 2f_s\frac{k-\frac{d'}{d}}{1-k}$$

แทนค่า f_s $\therefore f_s' = \frac{2n\, f_c\,(kd-d')}{kd}$

จากหลักการสมดุลของแรง

$$C_c+C_s = T$$

$$\tfrac{1}{2} f_c\, bkd + A_s' f_s' = A_s f_s$$

$$\tfrac{1}{2} f_c\, bkd + \rho' bd\, 2n f_c \frac{(kd-d')}{kd} = \rho\, bd\, n f_c \frac{(d-kd)}{kd}$$

แก้สมการหาค่า k ได้เท่ากับ

$$k = \sqrt{n^2(\rho+2\rho')^2 + 2n(\rho+2\rho'\frac{d'}{d})} - n(\rho - 2\rho')$$

ขั้นตอนการออกแบบคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมทั้งเหล็กรับแรงดึง และเหล็กรับแรงอัด

๑. หาค่า w กก./ม.

๒. ถ้ามีคานฝากหาค่า P กก.

๓. หาค่าโมเมนต์จากแรงภายนอกที่กระทำต่อคาน (M) กก.-ม.

๔. หาค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต ($M_c = Rbd^2$) กก.-ม.

๕. หาค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงอัด ($M' = M - M_c$) กก.-ม.

๖. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับโมเมนต์ M_c

$$A_{s1} = \frac{Mc(100)}{f_s.j.d}$$ ซม.^{2}

๗. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับโมเมนต์ M’

$$A_{s2} = \frac{M\prime(100)}{f_s.j.d}$$ ซม.^{2}

๘. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมดสำหรับโมเมนต์ M

$$A_s = As_1 + As_2$$ ซม.^{2}

๙. เลือกขนาดและจำนวนเหล็กเสริมรับแรงดึง ซม.^{2}

๑๐. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด ($As = K\,.\,As_2$) ซม.^{2}

๑๑. เลือกขนาดและจำนวนเหล็กเสริมรับแรงอัด ซม.^{2}

๑๒. หาค่าแรงเฉือนทางแนวดิ่งทั้งหมดที่ของเสา (V) กก.

๑๓. หาค่าความเค้นของแรงเฉือนซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุก ($v = \frac{V}{b.d}$) กก./ซม.^{2}

๑๔. หาค่าความเค้นปลอดภัยของแรงเฉือนในคอนกรีต ($vc = 0.29\sqrt{f'_c}$) กก./ซม.^{2}

๑๕. หาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง ($u = \frac{V}{\sum_0 jd}$) กก./ซม.^{2}

๑๖. หาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ กก./ซม.^{2}

ตัวอย่างการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานคอนกรีตเสริมเหล็ก 0.20x0.40 ม. มีโมเมนต์กระทำต่อคานเท่ากับ 3,150 กก.ม. จงหาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม กำหนดให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1500 กก./ซม. n = 10

วิธีทำ

$k = \frac{1}{1+\frac{f_s}{nfc}}$

$= \frac{1}{1+\frac{1500}{10\ x\ 65}}$

$= 0.302$

$j = 1 - \frac{k}{3}$

$= 0.899$

สมมติ d = 0.35 ม. $d' = 0.05$ ม.

$M_c = ½\ f_c\ bk\ jd^2$

$= ½\ (65)\ (20)\ (0.302)\ (0.899)\ (35)^2 \times \frac{1}{100}$

$= 2161.8$ กก.-ม.

$M > M_c$ ต้องออกแบบเหล็กเสริมรับแรงอัด

$M' = M - M_c$

$= 3150 - 2161.8$

$= 988.197$ กก.-ม.

ตั้งตารอ พื้นที่หน้าตัดสำหรับเหล็กเสริมรับแรงดึง

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$

$A_{s1} = \frac{M_c}{f_s.j.d}$

$= \frac{2161.8\ x\ 100}{1500\ x\ 0.899\ x\ 35}$

$= 4.58$ ซม.^{2}

$A_{s2} = \frac{M'}{f_s\ (d-d')}$

$= \frac{988.197\ x\ 100}{1500\ (35-5)}$

$= 2.196$ ซม.^{2}

$As = As_1 + As_2$

= 4.58+2.196

= 6.78 ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด

A_s' = ½ A_{s_2} $\left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right]$

= ½ (2.196) $\left[\frac{1-0.302}{0.302-\frac{5}{35}}\right]$

= 4.82 ซม.^{2}

∴ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง = 6.78 ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด = 4.82 ซม.^{2}

ตัวอย่างการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.20 x 0.40 เสริมเหล็กรับแรงดึง 4-DB Ø 16 มม. และเหล็กรับแรงอัด 3-DB Ø 16 มม. รับน้ำหนักบรรทุกแผ่เฉลี่ย 1000 กก./ม. ตลอดความยาวคาน 4.5 เมตร ค่า n = 10 จงตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริม

วิธีทำ

น้ำหนักคาน = 2400 × 0.2 × 0.4

= 192 กก./ม.

น้ำหนักรวมทั้งหมด = 1000 + 192

= 1192 กก./ม.

โมเมนต์ที่เกิดขึ้น = $\frac{1}{8}$ Wl^2

= $\frac{1}{8}$ (1192)(4.5)^2

= 3017.55 กก./ม.

สมมติ d' = 5 ซม. d = 35 ซม.

ρ' = $\frac{A'_s}{b.d}$

= $\frac{6.03}{20 \times 35}$

= 8.614x10^{-3}

ρ = $\frac{A_s}{b.d}$

= $\frac{8.04}{20 \times 35}$

= 1.15×10^{-2}

k = $\sqrt{n^2(\rho + 2\rho')^2 + 2n(\rho + 2\rho'\frac{d'}{d})}$ - n(ρ +2 ρ')

= 0.314

j = $1 - \frac{k}{3}$

= $1 - \frac{0.314}{3}$

= 0.895

f_s' = $2n\, f_c\, \frac{(kd-d')}{kd}$

= $2 \times 10 \times f_c\, [\frac{0.314\,(35-5)}{0.314\,(35)}]$

= $10.91\, f_c$ กก./ซม.^{2}

M_c = ½ f_c kj bd^2

= ½ fc (20) (0.314) (0.85) $(35)^2 \times \frac{1}{100}$

= $34.46\, f_c$ กก.-ม.

M' = $A_s' f_s'$ (d+d')

= $6.03\, fs'(35-5) \times \frac{1}{100}$

= $1.809\, f_s'$ กก.-ม.

M = M_c+ M'

3017.25 = $34.46\, f_c + 1.809\, f_s'$

3017.25 = $34.46\, f_c + 1.809\,(10.91)\, f_c$

= $54.199\, f_c$

f_c = 55.67 กก./ซม.^{2}

f_s' = 10.91 × 55.67

= 607.36 กก./ซม.^{2}

f_s = $n\, f_c\, \frac{(1-k)}{k}$

= $10(55.67)\, \frac{(1-0.314)}{0.314}$

= 1216.22 กก./ซม.^{2}

ตัวอย่างการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่วงคอนกรีตต่อเนื่องกันสองช่วง โดยมีความยาวช่วงละ 4.00 เมตร ปลายยึดแน่นกับที่รองรับที่เป็นเสามีน้ำหนักบรรทุกแผ่ทั้งหมด 850 กก./ม. กำหนดให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} fy = 2400 กก./ซม.^{2} n = 10 ใช้ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

วิธีทำ สมมติหน้าตัดคาน = 0.15 x 0.40 ม.

น้ำหนักคาน = 2400 × 0.15 x 0.40

= 144 กก./ซม.

น้ำหนักบรรทุกรวม = 850+144

= 994 กก./ซม.

ค่า k = $\frac{1}{1+\frac{f_s}{nfc}}$

= $\frac{1}{1+\frac{1200}{10\ x\ 65}}$

= 0.351

j = $1-\frac{k}{3}$

= 0.883

โมเมนต์บวก

คานช่วงนอกหล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ M

= $\frac{1}{14}$ Wl^2

= $\frac{1}{14}$ (994) (4)^2

= 11.36 กก./ม.

โมเมนต์ลบ

- โมเมนต์ที่ขอบในของที่รองรับหล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับที่เป็นเสา

= $\frac{1}{16}$ Wl^2

= $\frac{1}{16}$ (994) (4)^2

= 994 กก./ม.

- โมเมนต์ที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรกเมื่อมีช่วงต่อเนื่อง 2 ช่วง

= $\frac{1}{9}$ Wl^2

= $\frac{1}{9}$ (994) (4)^2

= 1767.11 กก./ม.

สมมติ d = 34 ซม. d' = 5 ซม.

M_c = ½ f_c bk jd^2

= ½ (65) (15) (0.351) (0.883) $(34)^2$ x $\frac{1}{100}$

= 1746.63 กก./ม.

เหล็กเสริมล่างรับโมเมนต์บวกช่วงกลางคาน

$A_s = \frac{M}{f_s.j.d}$

$A_s = \frac{1136x100}{1200 \times 0.883 \times 34}$

= 3.15 ซม.^{2}

ใช้ 3 - Ø 12 มม. A_s = 3.39 ซม.^{2}

เหล็กเสริมบนรับโมเมนต์ลบที่ริมทั้ง 2 ด้าน

$A_s = \frac{M}{f_s.j.d}$

$A_s = \frac{994 \times 100}{1200 \times 0.883 \times 34}$

= 2.76 ซม.^{2}

ใช้ 2 - Ø 12 มม. +1-Ø 9 มม. A_s = 2.90 ซม.^{2}

เหล็กเสริมบนรับโมเมนต์ลบที่เสากลาง M > M_c

M' = M – M_c

= 1767.11 - 1746.63

= 20.48

$A_{s1} = \frac{M}{f_s.j.d}$

$= \frac{1746.63 \times 100}{1200 \times 0.883 \times 34}$

= 4.85 ซม.^{2}

$A_{s12} = \frac{M'}{f_s\,(d-d')}$

$= \frac{20.48 \times 100}{1200\,(34-5)}$

= 5.89 x 10^{-2} ซม.^{2}

A_s = A_{s1} + A_{s2}

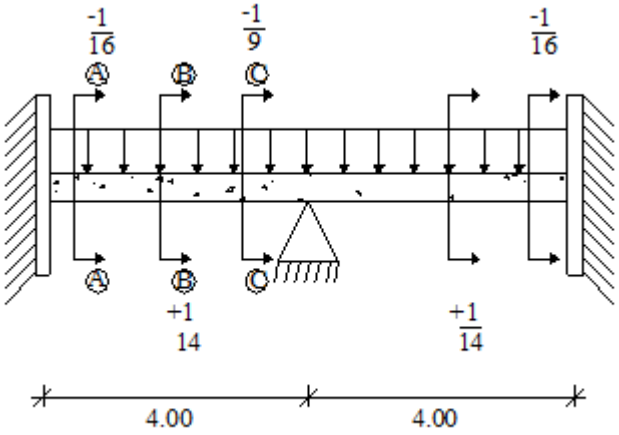
= 4.91 ซม.^{2}

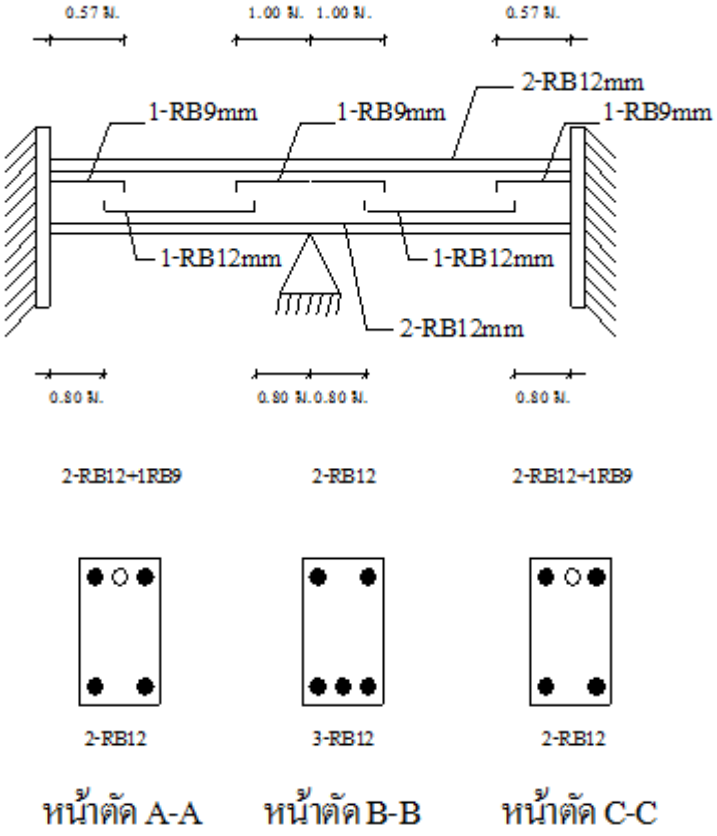
ใช้เหล็ก 2 - Ø 12 มม. +1-Ø 9 มม.

$As' = ½\ As_2\ [\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}]$

$$= \quad \tfrac{1}{2}\ (5.89\times10^{-2})\left[\frac{1-0.315}{0.315-\frac{5}{34}}\right]$$

$$= \quad 9.36 \times 10^{-2} \quad \text{ซม.}^2$$



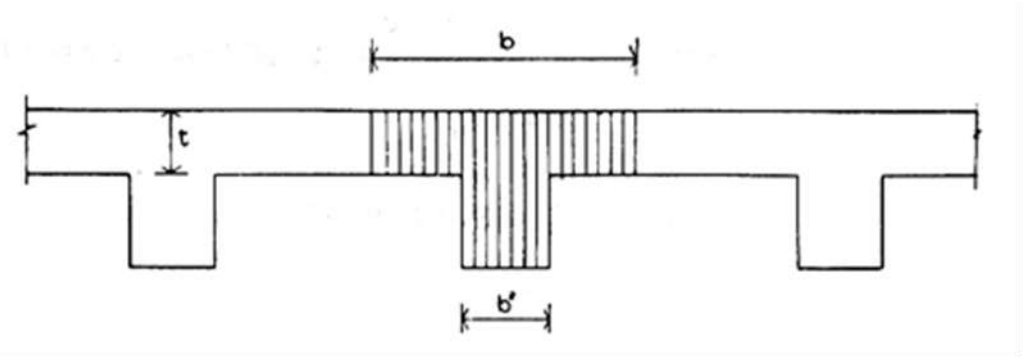


๕.๒ คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที (T-Beam)

การเพิ่มประสิทธิภาพของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีการต้านทานโมเมนต์ดัดนั้น สามารถทำได้โดยการออกแบบให้มีการเพิ่มความลึกประสิทธิผลของคานหรือในกรณีที่ถูกสถาปนิกจำกัดความลึกของคานเอาไว้ ก็สามารถทำได้โดยการออกแบบเหล็กเสริมรับแรงอัด นอกจากทั้ง 2 วิธีดังกล่าว

แล้วนั้น วิธีการที่จะทำให้คานคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดได้สูงขึ้นอีกวิธีหนึ่งนั้น ก็คือการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นรูปตัวที (T-Beam)

คานหน้าตัดรูปตัวทีนั้น จะมีพื้นที่ของคอนกรีตบริเวณปีกคานที่ทำหน้าที่รับแรงอัดมากกว่าคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำให้คานรูปตัวทีสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดได้สูงกว่าคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกรณีที่มีความลึกเท่า ๆ กัน ทางมาตรฐาน ว.ส.ท.ได้ให้ข้อกำหนดสำหรับคานรูปตัวที ดังนี้



ภาพแสดง คานรูปตัวที

๑. ความกว้างประสิทธิผลของปีกคาน b สำหรับคานที่มีปีกร่วมกับพื้นคอนกรีตต้องเป็นค่าน้อยที่สุดของค่าต่อไปนี้

ก. ½ ของช่วงคาน

ข. 16 t + b’

ค. ½ ของระยะช่องว่างระหว่างคานข้างเคียง 2 ข้าง + b’

๒. สำหรับคานที่มีปีกต่างหาก มิได้ร่วมกับพื้นคอนกรีต ต้องมี

ก. t > ½ b'

ข. b < 4b’

๓. สำหรับคานที่มีปีกข้างเดียว (L-beam) ปีกคานที่ยื่นต้องเป็นค่าน้อยที่สุดของ

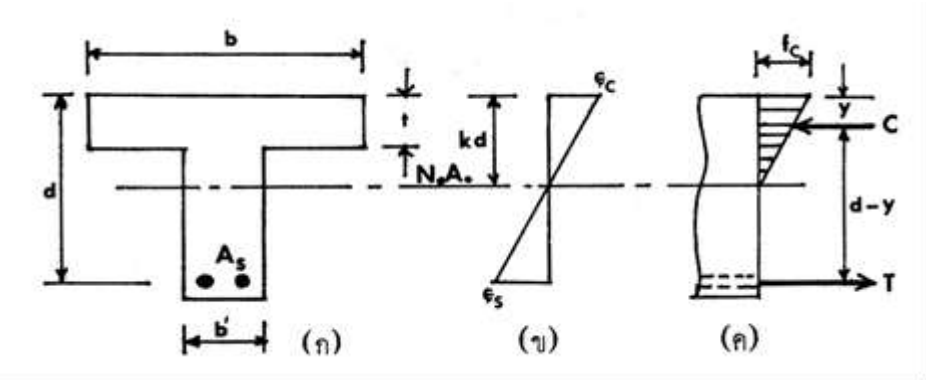
ก. $\frac{1}{12}$ ของช่วงคาน

ข. 6t

ค. ½ ของระยะช่องว่างระหว่างคานข้างเคียง + b’

๔. ถ้าพื้นคอนกรีตที่พิจารณาใช้เป็นปีกคาน มีเหล็กเสริมเอกขนานกับตัวคาน จะต้องเสริมเหล็กทางขวางที่ผิวบนของปีกคานให้รับน้ำหนักบรรทุกได้โดยคิดว่าเป็นพื้นยื่นมีระยะห่างของเหล็กเสริมน้อยกว่า 5t และไม่เกิน 45 ซม.

๕. ปีกคานและตัวคานจะต้องเทคอนกรีตให้ยึดติดเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพแสดง การวิเคราะห์คานรูปตัวที

พิจารณาคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัว T ซึ่งมีความกว้างประสิทธิผลของปีกคาน เป็น b ความกว้างของตัวคานเป็น b’ มีความลึกประสิทธิผลถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึง d ความหนาของปีกคานเท่ากับ t ให้เหล็กเสริมรับแรงดึงมีปริมาณเท่ากับ A_s หรือ ρ_{bd} (ในเมื่อ $\rho = A_s/bd$)

เมื่อแนวแกนสะเทินอยู่ในปีกคาน นั่นคือระยะ kd เท่ากับหรือน้อยกว่าความหนาของปีกคาน t คานแบบนี้จะทำหน้าที่เหมือนคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง b และความลึกประสิทธิผล d

สำหรับในกรณีที่แนวแกนสะเทินอยู่ใต้ปีกคาน (kd > t) การวิเคราะห์ในกรณีนี้สามารถคำนวณได้ ดังนี้

หน่วยแรงอัดที่ผิวบนของปีกคาน = f_c

หน่วยแรงอัดที่ผิวล่างของปีกคาน = $f_c \frac{(kd-t)}{kd}$ (สามเหลี่ยมคล้าย)

แรงอัดของคอนกรีตในปีกคาน C = $\frac{1}{2}(f_c + \frac{f_c(kd-t)}{kd})\,bt$ (สี่เหลี่ยมคางหมู)

$$\therefore \quad C = \left(\frac{f_c bt(2kd-t)}{2kd}\right)$$

แรงดึงในเหล็กเสริม

$$T = A_s f_s$$

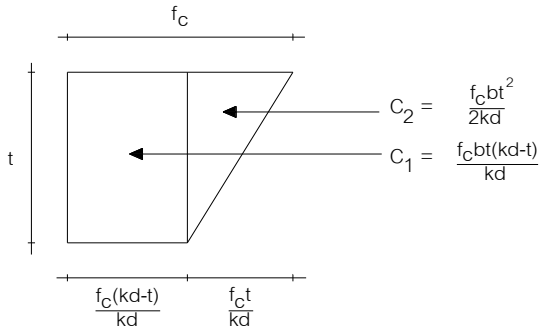
$$T = C$$

$$A_s f_s = \left(\frac{f_c bt(2kd-t)}{2kd}\right)$$

$$\rho bdf_s = \left(\frac{f_c bt(2kd-t)}{2kd}\right)$$

แก้สมการหาค่า

$$k = \frac{n\rho+\frac{1}{2}(\frac{t}{d})^2}{n\rho+(\frac{t}{d})}$$



ภาพแสดง ระยะ y เป็นระยะที่แรงอัด C กระทำห่างจากผิวบนของคาน

ผลรวมของโมเมนต์ของแรงอัดในคอนกรีตราบผิวบนของปีกคาน

$$C.y = C_1\frac{t}{2} + C_2\frac{t}{3}$$

$$\frac{f_c bt(2kd-t)}{2kd}\, y = \frac{f_c bt(kd-t)}{kd}\frac{t}{2} + \frac{f_c bt^2}{2kd}\frac{t}{3}$$

$$y = \frac{t}{3}\,\frac{3kd-2t}{2kd-t}$$

$$jd = d - y$$

$$M_c = \frac{(2kd-t)}{2kd} f_c\, bt\, jd$$

$$M_s = A_s f_s jd$$

การคำนวณโดยใช้ค่าประมาณ

จากไดอะแกรมของหน่วยแรงอัดที่ปีกคานเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งจุดกระทำของแรงอัด C จะอยู่เหนือเส้นกึ่งกลางของปีกคานเสมอ ฉะนั้น ถ้าใช้แขนของโมเมนต์เท่ากับ $(d-\frac{t}{2})$ จะปลอดภัยเสมอด้วย และค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงอัดที่ผิวบนและล่างของปีกคาน อาจพิจารณาค่าประมาณ ดังนี้

$$\frac{1}{2}(f_c + \frac{f_c}{kd}(kd-t)) = f_c\,(1 - \frac{t}{2kd})$$

$$= ½\, f_c \quad \text{เพราะค่า t เท่ากับค่า k d}$$

โมเมนต์ต้านทานของคอนกรีต $M_c = \frac{1}{2} f_c bt\,(d - \frac{t}{2})$

โมเมนต์ต้านทานของเหล็กเสริม $M_s = A_s f_s\,(d - \frac{t}{2})$

ตัวอย่างการคำนวณคานรูปตัวที

คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที มีปีกคานกว้าง 0.80 เมตร หนา 0.08 เมตร ตัวคานกว้าง 0.20 เมตร ลึก 0.45 เมตร เสริมเหล็ก 3 - Ø 25 มม. จงคำนวณหาโมเมนต์ต้านทานของคานนี้ กำหนดให้ f_c = 60 กก./ซม.^{2} f_s = 1,200 กก./ซม.^{2} ค่า n = 12

วิธีทำ

สมมติ d = 40 ซม.

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$= \frac{14.73}{80 \text{ x } 30}$$

$$= 0.0046$$

$$k = \frac{n\rho+\frac{1}{2}(\frac{t}{d})^2}{n\rho+(\frac{t}{d})}$$

$$= \frac{12 \text{ x } 0.0046 + \frac{1}{2}(\frac{8}{40})^2}{12 \text{ x } 0.0046 + (\frac{8}{40})}$$

$$= 0.295$$

kd = 0.295 × 40

= 11.80 > 8 ซม.

∴ แนวแกนสะเทินอยู่ใต้ปีกคาน

$$y = \frac{t}{3}\ \frac{kd-2t}{2kd-t}$$

$$= \frac{8}{3}\ \frac{(3)\ (11.801-2(8))}{2\ x\ (11.80-8)}$$

= 3.316 ซม.

jd = d – y

= 40-3.316

= 36.684 ซม.

$M_c = \frac{(2kd-t)}{2kd} f_c\ bt\ jd$

$= \frac{(2\ x\ (11.8-8)}{2\ x\ 11.80} (60 \times 80 \times 8)\ (36.684) \times \frac{1}{100}$

= 9311.51 กก.-ซม.

$M_s = A_s\ f_s\ jd$

$= 14.73 \times 1{,}200 \times 36.684 \times \frac{1}{100}$

= 6484.26 กก.-ซม.

โมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคานนี้เท่ากับ 6484.26 กก.-ม.

ตัวอย่างการออกแบบคานรูปตัวที

จงออกแบบคานรูปตัว T เพื่อต้านทานน้ำหนักบรรทุก 15,000 กก./ม. (รวมน้ำหนักตัวคานแล้ว) เมื่อช่วงคานยาว 5 เมตร ระยะห่างจากศูนย์กลางกับศูนย์กลางของคานข้างเคียง 4.00 เมตร ตัวคานกว้าง 25 ซม. ความหนาของพื้นข้างคาน 10 ซม. กำหนดให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1,200 กก./ซม.^{2} n = 10 ให้ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท.

วิธีทำ หาความกว้างประสิทธิผล ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท.

๑. $\frac{L}{4}$ = $\frac{L}{4}$ = 1.25 เมตร

๒. 16t + b' = 5 x 0.10 +0.25 = 1.85 เมตร

๓. ระยะห่างคานข้างเคียง 2 ข้าง + b' = 4.00 เมตร

$\therefore$ b = 1.25 เมตร

สมมติ d = 55 ซม.

หาค่า A_s จากสูตรโดยประมาณ

$M_s = A_s f_s (d - \frac{t}{2})$

15000 x 100 = A_s (1200) (55 - $\frac{10}{2}$)

A_s = 25 ซม.^{2}

$\rho = \frac{A_s}{bd}$

$= \frac{25}{125x55}$

$= 3.63 \times 10^{-3}$

$k = \frac{n\rho+\frac{1}{2}(\frac{t}{d})^2}{n\rho+(\frac{t}{d})}$

แทนค่า n = 10 ρ = 3.63x10^{-3} $\frac{t}{d} = \frac{10}{55}$

k = 0.2424

kd = 0.2424 x 55

= 13.33 > t

$y = \frac{t}{3}\frac{(3kd-2t)}{(2kd-t)}$

$= \frac{10}{3}\frac{(3\,(13.33)-2\,(10))}{(2\,(13.33)-10)}$

y = 4 ซม.

jd = d – y

= 55 - 4

= 51 ซม.

$M_c = \frac{(2kd-t)}{2kd} f_c\ bt\ jd$

$= \frac{(2(13.33)-10)}{2\ x\ 13.33} (65 \times 125 \times 10 \times 51) \times \frac{1}{100}$

M_c = 25898 กก.-ม. > 15000 กก.-ม.

$A_{s1} = \frac{M}{f_s.j.d}$

$= \frac{15000\ x\ 100}{1200\ x\ 51}$

= 24.51 ซม.^{2}

๕.๓ คานรับโมเมนต์บิด

ในบางโอกาสการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากจะต้องออกแบบเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดแล้วยังต้องออกแบบให้คานนั้นรับแรงบิด หรือโมเมนต์บิดอีก อาทิเช่น คานที่รับพื้นยื่นหรือกันสาดยื่น คานแม่บันไดที่มีขั้นบันไดยื่นออกจากตัวคาน การออกแบบประเภทนี้ ต้องคำนึงถึงหน้าตัดของคาน และปริมาณเหล็กเสริมหลักทั้ง 4 มุม ต้องเพียงพอที่จะต้านทานหน่วยแรงบิดและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น การออกแบบคานรับโมเมนต์บิดมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

ก. หน่วยแรงบิดสำหรับรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจตุรัสมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางของแต่ละด้านของรูปตัด ค่าของหน่วยแรงบิดของรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปตัด T และรูปตัด L หาค่า ได้จาก

$v_t = \frac{3.5M_t}{\sum x^2y}$

เมื่อ M_t = โมเมนต์บิด

v_t = หน่วยแรงบิด

x, y = ด้านสั้นและด้านยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ประกอบเป็นหน้าตัดนั้น

สำหรับคานรูปตัด T และ L ความกว้างของปีกคานที่นำมาใช้คำนวณผลรวมของเทอม $\sum x^2y$ จะต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของปีกคานและไม่เกิน $\frac{1}{12}$ ของช่วงคาน

ข. ค่าหน่วยแรงบิดอย่างเดียวต้องมีค่าไม่เกิน $1.32\sqrt{f'_c}$ กก.ซม.^{2}

ค. ค่าหน่วยแรงบิดและหน่วยแรงเฉือนจากโมเมนต์ดัดร่วมกันยอมให้ใช้ได้ไม่เกิน $1.65\sqrt{f'_c}$ กก.ซม.^{2}

ง. เมื่อค่าหน่วยแรงบิด จากข้อ ข. และ ค. เกินค่าหน่วยแรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีตจะต้องเสริมเหล็กต้านทานหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เกินนี้

จ. เหล็กเสริมชนิดเหล็กลูกตั้งที่พันครบรอบเพื่อต้านทานหน่วยแรงบิดอย่างเดียว พื้นที่หน้าตัดเพียงขาเดียวของแต่ละรอบที่พิจารณาให้ต้านทานหน่วยแรงบิด หาค่า ได้จาก

$A_v = \frac{M_t s}{2A_c f_v}$

ฉ. เหล็กเสริมชนิดปลอกเกลียวที่ต้านทานหน่วยแรงบิดอย่างเดียวให้หาเนื้อที่หน้าตัดปลอกเกลียวแต่ละรอบจาก

$$A_v = \frac{M_t s}{2\sqrt{2}A_c f_v}$$

ช. เหล็กเสริมตามยาวสำหรับต้านทานหน่วยแรงบิดอย่างเดียว ให้จัดไว้ตามมุมของหน้าตัดสี่เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 12 มม. เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามยาวแต่ละมุมหาได้จาก

$$A_s = \frac{M_t z}{2A_c f_s}$$

เมื่อ

A_v = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กลูกตั้งหรือปลอกเกลียว

As = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามยาว

A_c = เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตภายในวงเหล็กลูกตั้งหรือปลอกเกลียว

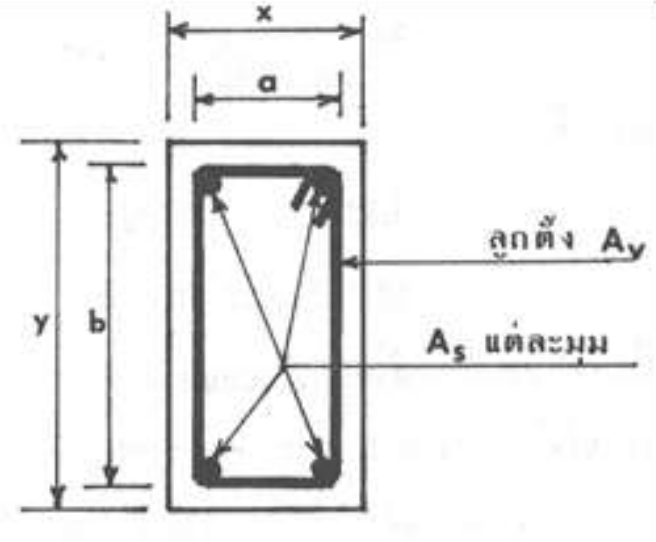
M_t = โมเมนต์บิด

s = ค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างเหล็กลูกตั้งหรือปลอกเกลียว

z = ค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างเหล็กเสริมตามยาว

f_v = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กลูกตั้งและปลอกเกลียว

f_s = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมตามยาว



ภาพแสดง เหล็กเสริมต้านแรงบิดในคาน

ตัวอย่างการออกแบบคานรับโมเมนต์บิด

จงออกแบบคานรับพื้นยื่นหนา 0.10 เมตร น้ำหนักจร 50 กก./ม.^{2} พื้นยื่นออกจากตัวคาน 1.20 เมตร คานรับพื้นยื่นยาว 4.00 เมตร

กำหนดให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1200 กก./ซม.^{2}

f_v = 1200 กก./ซม.^{2} n = 10

วิธีทำ สมมติหน้าตัดคาน 0.20 x 0.40 ม.

น้ำหนักคาน = 2400 × 0.20 x 0.40

= 192 กก./ม.

น้ำหนักพื้นยื่น = 2400 × 0.10

= 240 กก./ม.^{2}

น้ำหนักจร = 50 กก./ม.^{2}

น้ำหนักทั้งหมด = 240 + 50

= 290 กก./ม.^{2}

น้ำหนักพื้นยื่น = 290 x 1.2

= 348 กก./ม. (น้ำหนักกดลงบนคานรองรับ)

น้ำหนักทั้งหมดที่คานรับ = 192 + 348 + 540

= 540 กก./ม.

M_t = $\frac{1}{2}$ x 290 x12^2 x ($\frac{L}{2}$ – d)

= $\frac{1}{2}$ x 290 x12^2 x ($\frac{4}{2}$ – 0.35)

= 344.52 กก./ม.

V_t = $\frac{3.5\ M_t}{\sum x^2 y}$

= $\frac{3.5\ x\ 344.52\ x\ 100}{20^2\ x\ 40}$

= 7.54 กก./ซม.^{2}

V = $1.32\sqrt{f'_c}$

= $1.32\sqrt{173}$

= 17.36 > 7.54

แสดงว่า หน้าตัดคาน 0.20 x 0.40 สามารถรับโมเมนต์บิดได้

V_d = W ($\frac{L}{2}$ - d)

= 540 ($\frac{4}{2}$ - 0.35)

= 891 กก.

หน่วยแรงเฉือนจากโมเมนต์ดัด = $\frac{891}{20x35}$

= 1.27 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนรวม = 7.54 + 1.27

= 8.81 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนรวมที่ยอมให้ = $1.65\sqrt{173}$

= 21.702 กก./ซม.^{2} > 7.81

แสดงว่า หน้าตัดคาน 0.20 x 0.40 สามารถต้านทานหน่วยแรงเฉือนรวมได้

vc = $0.29\sqrt{173}$

= 3.81 < 8.81 กก./ซม.^{2}

ฉะนั้นต้องเสริมเหล็กลูกตั้งรับหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เกิน

เลือกใช้เหล็ก Ø 9 มม. เป็นเหล็กลูกตั้ง

$$S = \frac{2A_vA_cf_v}{M_t}$$

Ac = 15 x 34

$$S = \frac{2\ x\ 0.636\ x\ 15\ x\ 34\ x\ 1200}{414\ x\ 100}$$

= 18.8 ซม.

ใช้เหล็กลูกตั้ง Ø 9 มม. ทุก ๆ ระยะ 15 ซม.

$$As_t = \frac{M_tz}{2A_cf_s}$$

$$Z = \frac{15+34}{2}$$

= 24.5

$$As = \frac{344.52\ x\ 100\ x\ 24.5}{2\ x\ 15\ x\ 34\ x\ 1200}$$

= 0.69 ซม.^{2}

$$M = \frac{1}{8}\ Wl^2$$

$$= \frac{1}{8}\ (540)(4)^2$$

= 1080 กก.-ม.

$$M_c = \frac{1}{2}\ f_cbkjd^2$$

$$= \frac{1}{2}\ (65)\ (20)\ (0.351)\ (0.883)\ (35)^{\ 2}\ x\ \frac{1}{100}$$

= 2470 กก.-ม. > 1080

$$A_s = \frac{1080\ x\ 100}{1200\ x\ 0.883\ x\ 35}$$

= 2.912 ซม.^{2}

หน้าตัดเหล็กเสริมล่าง = 2.912+2 (0.69)

= 4.29 ซม.^{2}

หน้าตัดเหล็กเสริมบน = 2(0.69)

= 1.38 ซม.

๕.๔ คานแคบ

คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่วงยาวมากกว่า 30 เท่าของความกว้างให้ถือว่าเป็นคานแคบซึ่งต้องลดค่าหน่วยแรงดัดของคอนกรีตลง ความลึกที่ใช้คำนวณโมเมนต์ดัดต้องไม่เกิน 8 เท่า ของความกว้างคาน และต้องออกแบบให้เหล็กเสริมรับแรงเฉือนทั้งหมด

$$R_B = 1.75 - \frac{L}{40b}$$

เมื่อ R_B = ตัวคูณลดค่าหน่วยแรงดัด

L = ช่วงยาวของคาน

b = ความกว้างของคาน

L/b	30	35	40	45	50
R_B	1	0.87	0.75	0.63	0.50

ตัวอย่างการคำนวณคานแคบ

จงหาโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 20 x 40 ซม.ช่วงยาว 8.00 ม. หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1,200 กก./ซม.^{2} n = 10

วิธีทำ

ความลึกประสิทธิผล d = 35 ซม.

$$\frac{L}{b} = \frac{800}{20}$$

$$= 40 > 30$$

ฉะนั้น ต้องใช้ตัวคูณลดค่า

$$R_B = 1.75 - \frac{800}{40x20}$$

$$= 0.75$$

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต $M_c = \frac{1}{2} R_B f_c k j bd^2$

$$= \frac{1}{2} \times 0.75 \times 65 \times 0.351 \times 0.883 \times 0.20 (35)^2$$

$$= 1850.88 \text{ กก.-ซม.}$$

๕.๕ การออกแบบเหล็กเสริมแบบคานเหล็ก

ในบางโอกาสเมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กถูกจำกัดความลึกมาก ๆ ทำให้ต้องใช้ปริมาณ เหล็กเสริมรับแรงอัดมากเท่ากับหรือมากกว่าเหล็กเสริมรับแรงดึง ดังนั้นจำเป็นจะต้องออกแบบคานเป็นแบบคานเหล็กโดย

ให้เหล็กเสริมบนและล่างเท่ากัน และเหล็กลูกตั้งจะต้องห่างกันไม่เกิน 8 เท่าความกว้างคานเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวหาได้จาก $A_s = A_s' = \frac{M}{f_s(d-d')}$

เมื่อ A_s , A_s' = เนื้อที่หน้าตัดเหล็กสริมล่างและเหล็กเสริมบน

M = โมเมนต์ดัด

f_s = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมตามยาว

d = ความลึกประสิทธิผล

d' = ระยะหุ้มเหล็กบน

ตัวอย่างการออกแบบเหล็กเสริมแบบคานเหล็ก

ออกแบบเหล็กเสริมตามยาวสำหรับคานขนาด 25 x 40 ซม.เพื่อรับโมเมนต์ดัด 5,000 กก.-ม. หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1,200 กก./ซม.^{2} n = 10

วิธีทำ

สมมติความลึกประสิทธิผล d = 35 ซม.

$$k = \frac{1}{1+\frac{f_s}{nfc}} = \frac{1}{1+\frac{1200}{10\,x\,65}} = 0.351$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.883$$

$$R = \tfrac{1}{2} f_c \,.\, k \,.\, j = \tfrac{1}{2}(65)(0.351)(0.883) = 10.07$$

$$M_c = R\, b\, d^2 = 10.07 \times 0.25 \times (35)^2 = 308.4 < 5000 \text{ กก.-ม.}$$

หาเหล็กเสริมตามยาวโดยออกแบบเป็นแบบคานเหล็ก

$$A = A' = \frac{5000 \times 100}{1200\,(35-5)} = 13.9 \text{ ซม.}^2$$

ดังนั้น ใช้เหล็กเสริมบนและล่าง 3 Ø 25 มม.

แบบฝึกหัด

๑. คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.15 x 0.30 เมตร ช่วงคานยาว 3.70 เมตร เสริมเหล็กรับแรงดึงขนาด 3 - Ø 15 มม. และเสริมเหล็กรับแรงอัด 2 - Ø 9 มม.จะรับน้ำหนักบรรทุกแผ่เฉลี่ยตลอดคานได้เท่าไร กำหนดให้ fc' = 144 กก./ซม.^{2} fy = 2400 กก./ซม.^{2} ให้ออกแบบตามมาตรฐานของ ว.ส.ท.

๒. จงออกแบบคานรูปตัวที ที่มีปีกคานเป็นส่วนของพื้นหนา 0.10 เมตร มีช่วงคานยาว 4.00 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย 3,900 กก./ม. ระยะห่างของคานตัวถัดไป 3.00 เมตร ตัวคานกว้าง 0.20 เมตร กำหนดให้ fc = 55 กก./ซม.^{2} f_s = 1200 กก./ซม.^{2} n = 12

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ (double reinforcement)

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ (double reinforcement)

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๖

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๖ เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ พื้นวางบนดิน

๔.๒ การเกิดโมเมนต์ในแผ่นพื้น

๔.๓ แผ่นพื้นทางเดียว

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

พื้นเป็นโครงสร้างอันดับแรกในการทำหน้าที่รับน้ำหนักโดยตรงจากน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่คานที่รองรับ ดังนั้นการเลือกใช้แผ่นพื้นในอาคารหนึ่ง ๆ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึง ประโยชน์ใช้สอย ความสวยงาม ความประหยัด และวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม พื้นคอนกรีต เสริมเหล็กมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน อาจสามารถจำแนกได้ตามลักษณะการถ่ายเทของน้ำหนักซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นนั้น ซึ่งได้แก่แผ่นพื้นทางเดียว (One-way Slab) แผ่นพื้นสองทาง (Two-way Slab) หรือแผ่นพื้นไร้คาน (Flat slab) เป็นต้น

๕.๑ พื้นวางบนดิน (Slab on Ground)

พื้นชนิดนี้เป็นการออกแบบให้วางบนดินถมอัดแน่น หรือทรายชุ่มน้ำบดอัดแน่น จะไม่มีการออกแบบให้พื้นฝากบนคานที่รัดรอบบริเวณพื้น ทั้งนี้เพราะจุดประสงค์ของพื้นชนิดนี้ถูกออกแบบเพื่อความประหยัด มักจะเป็นพื้นที่มีบริเวณกว้าง อาทิเช่น พื้นโรงงานอุตสาหกรรม ในกรณีที่พื้นดินเกิดการทรุดตัวตามธรรมชาติ พื้นก็จะทรุดตัวลงตามไปด้วย ในการก่อสร้างจะต้องทำการตัดพื้นให้ขาดจากส่วนของโครงสร้างอื่น ๆ มิฉะนั้นส่วนที่ติดกับโครงสร้างจะเกิดการแตกร้าวได้

ในการเสริมเหล็กของพื้นวางบนดิน จุดประสงค์ไม่ใช่เสริมเหล็กเพื่อรับโมเมนต์ดัดของแผ่นพื้น แต่เป็นการเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นปริมาณของเหล็กเสริมจึงขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นพื้น และชนิดของเหล็ก เสริมว่าเป็นเหล็กชนิดผิวเรียบ หรือเหล็กข้ออ้อย

สำหรับปริมาณของเหล็กเสริมกันร้าว ต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

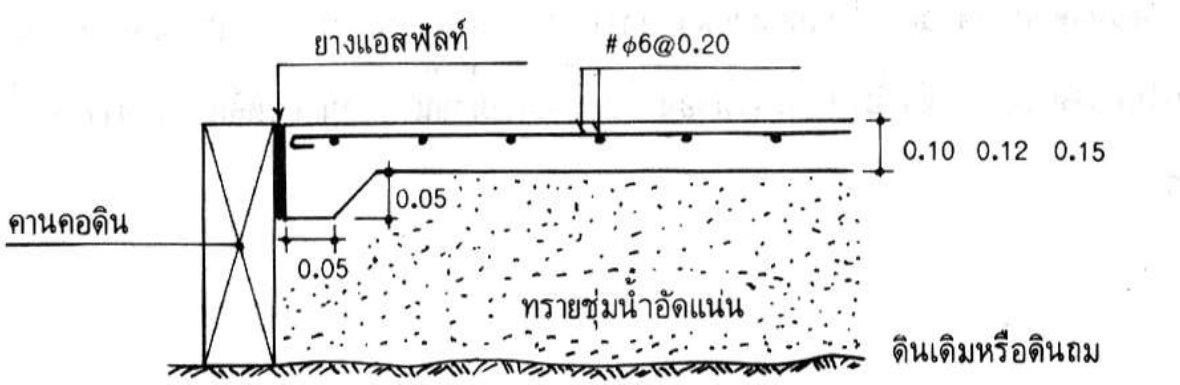
๑. เหล็กผิวเรียบ = 0.0025 X b X t

๒. เหล็กข้ออ้อย = 0.0020 X b Xt

เมื่อ b = ความกว้างของแผ่นพื้น ซม.

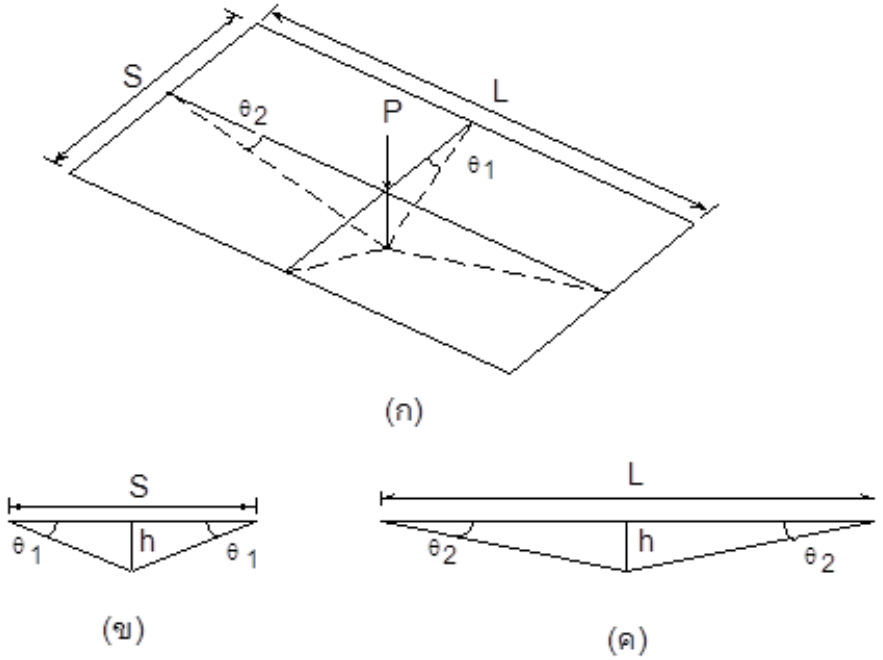
t = ความหนาของแผ่นพื้น ซม.

นอกจากปริมาณของเหล็กเสริมกันร้าวแล้ว ตำแหน่งการวางเหล็กก็มีความสำคัญโดยตำแหน่งของเหล็กเสริมกันร้าวนั้น จะแตกต่างจากตำแหน่งของเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัดของพื้นที่วางบนคาน ปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัดของแผ่นพื้นที่วางบนคานจะค่อนไปในตำแหน่งใต้แกนสะเทิน ตรงกันข้ามกับปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว ซึ่งจะค่อนไปทางเหนือแกนสะเทิน



ภาพแสดง แผ่นพื้นวางบนดิน

๕.๒ การเกิดโมเมนต์ในแผ่นพื้น



ภาพแสดง การเกิดโมเมนต์ดัดในพื้น

จากรูปถ้าคานรับแรง P ที่กึ่งกลาง สมมติคานยาว L และจุดกึ่งกลางเบนลงจากระดับเดิม Δ (มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ L มุมของการหมุนของคานคือ $\theta = \frac{2\Delta}{L}$) แสดงให้เห็นว่า โมเมนต์ M เนื่องจากแรง P แปรผันตามมุมของการหมุน θ นั้นคือ มุม θ มากขึ้น โมเมนต์ M ก็ยิ่งมาก

แผ่นพื้นกว้าง S ยาว L ให้แรง P กดลงกึ่งกลางแผ่นพื้นจนทรุดลงจากระดับเดิม Δ ด้านสั้นมีมุมหมุน $\theta_1 = \Delta/(S/2) = 2\Delta/S$ และด้านยาวมีมุมหมุน $\theta_2 = \Delta/(L/2) = 2\Delta/L$ เนื่องจาก S สั้นกว่า L ทำให้มุม θ_1 มากกว่า θ_2 นั้น แสดงให้เห็นว่า ด้านสั้นจะมีโมเมนต์ดัด M_S มากกกว่าด้านยาว M_L

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้เห็นว่า ทางด้านสั้นจะมีโมเมนต์เกิดขึ้นมากกว่าทางด้านยาว เพราะฉะนั้นในการเสริมเหล็ก เหล็กด้านสั้น (ขนานกับด้านสั้น) จึงเป็นเหล็กเสริมเอกด้วยเหตุนี้จึงต้องพยายามวางในลักษณะที่มีความลึกประสิทธิผลมากที่สุด เหล็กเสริมด้านยาวจึงค่อยทำการวางซ้อนถัดเข้ามา

๕.๓ แผ่นพื้นทางเดียว

ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. เกี่ยวกับการออกแบบแผ่นพื้นนั้น ค่าที่สำคัญอย่างยิ่ง คือ ค่าของอัตราส่วนของด้านยาวต่อด้านสั้นของแผ่นพื้น ทั้งนี้เนื่องจากค่านี้จะเป็นตัวแปรในการกำหนดว่า แผ่นพื้นนั้นต้องออกแบบเสริมเหล็กในลักษณะใด

แผ่นพื้นทางเดียว คือ แผ่นพื้นที่มีเหล็กเสริมเอก (Main Reinforcement or principal Steel) ทำหน้าที่ต้านทานโมเมนต์ดัดเพียงทิศทางเดียว ลักษณะของแผ่นพื้นทางเดียว ได้แก่

๑. แผ่นพื้นที่มีคานรองรับเพียง 2 ด้าน อยู่ตรงข้ามกัน

๒. แผ่นพื้นที่มีคานรองรับ 4 ด้าน โดยที่มีอัตราส่วนของด้านยาวต่อด้านสั้นมีค่าตั้งแต่ 2 ขึ้นไป $(\frac{L}{S} > 2)$

การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นทางเดียวเป็นการคำนวณเหมือนเช่นการออกแบบคานที่มีความกว้าง 1 เมตร และมีความลึกเท่ากับความหนาของแผ่นพื้น โดยที่เหล็กเสริมหลักหรือเหล็กเสริมเอกที่ทำการออกแบบเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดนั้นจะวางในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับคานที่รองรับแผ่นพื้นหรือวางขนานกับด้านสั้นของแผ่นพื้น นอกจากเหล็กเสริมหลักแล้ว ยังต้องมีเหล็กเสริมกันร้าว (Temperature Reinforcement) เพื่อต้านทานการยืดหดตัวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ในทิศทางที่ขนานกับคานรองรับ หรือตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลัก เหล็กเสริมที่ใช้ในแผ่นนั้นต้องมีขนาดไม่เล็ก กว่า 6 มม. และวางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าความหนาของแผ่นพื้นและไม่เกินกว่า 30 ซม. และเมื่อไม่คิดการโก่งของแผ่นพื้น แผ่นพื้นต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$\frac{L}{25}$ พื้นช่วงเดียวธรรมดา

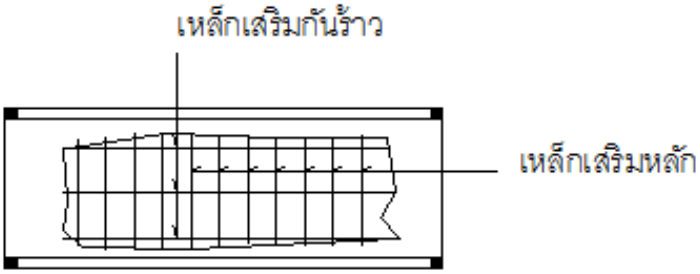
$\frac{L}{30}$ พื้นต่อเนื่องข้างเดียว

$\frac{L}{35}$ พื้นต่อเนื่องสองข้าง

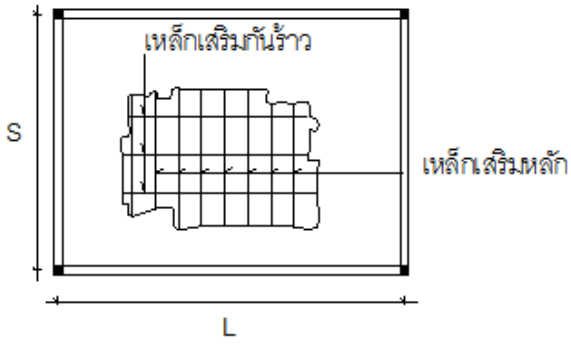
$\frac{L}{12}$ พื้นยื่น

หมายเหตุ L เท่ากับความยาวด้านที่ทำการเสริมเหล็กเสริมหลัก

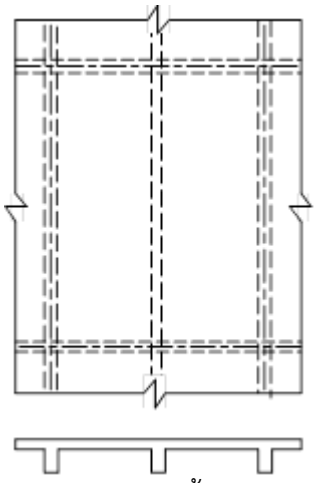
การกระจายน้ำหนักของแผ่นพื้นทางเดียวลงบนคาน ให้คิดครึ่งหนึ่งของความกว้างของแผ่นพื้นด้านแคบ



ภาพแสดง แผ่นพื้นที่มีคานรับ 2 ด้าน



ภาพแสดง แผ่นพื้นที่มีคานรับ 4 ด้าน แต่ L/S มากกว่า 2



ภาพแสดง แผ่นพื้นทางเดียว

ตัวอย่างการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีด้านสั้น 2.5 เมตร ด้านยาว 5.2 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกจร 250 กก./ตร.ม. กำหนดให้ fc = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1,200 กก./ซม.^{2} n = 10

วิธีทำ

$$\frac{L}{S} = 5.2$$

$$= 2.08 > 2$$

เพราะฉะนั้นออกแบบเป็นแผ่นพื้นทางเดียว

ความหนาของแผ่นพื้น พื้นช่วงเดียวธรรมดา

$$\frac{L}{25} = \frac{250}{25}$$

= 10 ซม.

(L คือ ความยาวด้านที่ทำการเสริมเหล็กเสริมหลัก)

ใช้ความหนาแผ่นพื้น = 10 ซม.

น้ำหนักของแผ่นพื้น = 2400 x 0.10

= 240 กก./ตร.ม.

น้ำหนักจร = 250 กก./ตร.ม.

น้ำหนักทั้งหมดของแผ่นพื้น = 240+250

= 490 กก./ตร.ม.

โมเมนต์ดัดช่วงเดียว M = $\frac{1}{8}$ Wl^2

= $\frac{1}{8}$ 490) $(2.50)^2$

= 382.8125 กก.-ม.

k = $\frac{1}{1+\frac{f_s}{nfc}}$

= $\frac{1}{1+\frac{1200}{10x65}}$

= 0.351

j = $1 - \frac{k}{3}$

= 0.883

ความลึกประสิทธิผลที่น้อยที่สุดที่ต้องการ

d = $\sqrt{\frac{M}{\frac{1}{2}f_c\ k\ j\ b}}$

= $\sqrt{\frac{382.8125\ x\ 100}{\frac{1}{2}\ x\ 65\ x0.351\ x\ 0.883\ x\ 100}}$

= 6.16 ซม.

ตามมาตรฐานความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมสำหรับแผ่นพื้นต้องไม่น้อยกว่า 2 ซม.

ฉะนั้นใช้ d = 7.5 ซม.

ความหนา = 10 ซม.

ปริมาณเหล็กเสริมหลัก A_s = $\frac{M}{f_s\ j\ d}$

= $\frac{382.8125\ x\ 100}{1200\ x\ 0.883\ x\ 75}$

= 4.817 ซม.^{2}/ม.

ใช้เหล็กเสริมหลัก ϕ 9 มม. @ 0.13 ม. A_s = 4.89 ซม.^{2}/ม.

ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว A_s = 0.0025 bt

= 0.0025 x 100 x 10

= 2.5 ซม.^{2}/ม.

ใช้เหล็กกันร้าว ϕ 9 มม. @ 0.24 ม. A_s = 2.65 ซม.^{2}/ม.

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๗

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๗ เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นสองทาง

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบแผ่นพื้นสองทาง

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ แผ่นพื้นสองทาง

๔.๒ แผ่นพื้นยื่น

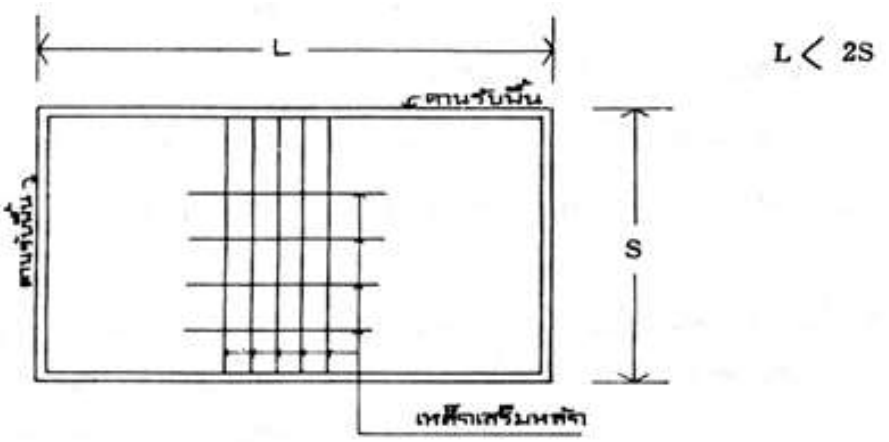
๔.๓ พื้นมีคานรองรับสามด้าน

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ แผ่นพื้นสองทาง

5.4 แผ่นพื้นสองทาง (Two - way Slab)

แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่จัดเป็นแผ่นพื้นสองทาง จะเป็นแผ่นพื้นที่มีคานมารองรับทั้งสี่ด้าน โดยที่มีอัตราส่วนด้านยาวของแผ่นพื้นต่อด้วยความยาวด้านสั้นของแผ่นพื้น ไม่มากกว่า 2 ($\frac{L}{S} < 2$) มีเหล็กเสริมทั้งสองทางเพื่อใช้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดลงสู่คานที่รองรับทั้งสี่ด้านโดยที่เหล็กเสริมหลักหรือเหล็กเสริมเอกจะขนานกับด้านสั้น ระยะห่างของเหล็กเสริมจะต้องวางห่างกันไม่เกิน 3 เท่า ความหนาของแผ่นพื้น และไม่เกินกว่า 30 ซม. สำหรับความหนาของแผ่นพื้นสองทางนั้นต้องหนาไม่น้อยกว่า 8 ซม. หรือ $\frac{1}{180}$ ของเส้นรอบรูปนั้น



ภาพแสดง แผ่นพื้น 2 ทาง

๑. การคำนวณออกแบบพื้นทั้งสองทางตามวิธีที่ 2 ของมาตรฐาน ว.ส.ท.

ในปัจจุบันมีวิธีการคำนวณออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ทั้งหมดด้วยกัน 3 วิธี แต่วิธีที่ 2 ซึ่งเป็นการออกแบบโดยใช้สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์เป็นวิธีที่สะดวกและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุด

การวิเคราะห์โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในแต่ละแผ่นพื้นสองทาง สามารถกำหนดหาค่าได้โดยการคูณน้ำหนักบรรทุกแผ่เฉลี่ยทั้งทางช่วงพื้นด้านสั้นหรือด้านยาว ด้วยค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ดัด (Coefficient of Moment ; C) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างช่วงสั้นต่อช่วงยาวของแผ่นพื้น (m = $\frac{S}{L}$) และลักษณะความต่อเนื่องของแผ่นพื้นโดยรอบทั้งสี่ด้าน

ตารางแสดง สัมประสิทธิ์โมเมนต์ดัด

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว สำหรับ ทุกค่า
	ค่าต่าง ๆ ของ m						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5 และ ต่ำกว่า	
กรณีที่ 1 ช่วงพื้นภายใน							
โมเมนต์ลบ ที่ด้านต่อเนื่อง	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
โมเมนต์บวก ที่กึ่งกลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
กรณีที่ 2 ไม่ต่อเนื่องกันด้านเดียว							
โมเมนต์ลบ ที่ด้านต่อเนื่อง	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
ที่ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวก ที่กึ่งกลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
กรณีที่ 3 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน							
โมเมนต์ลบ ที่ด้านต่อเนื่อง	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
ที่ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวก ที่กึ่งกลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
กรณีที่ 4 ไม่ต่อเนื่องจากสามด้าน							
โมเมนต์ลบ ที่ด้านต่อเนื่อง	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
ที่ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวก ที่กึ่งกลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
กรณีที่ 5 ไม่ต่อเนื่องกันทั้งสี่ด้าน	-	-	-	-	-	-	-
โมเมนต์ลบ ที่ด้านต่อเนื่อง	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
ที่ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050
โมเมนต์บวก ที่กึ่งกลางช่วง							

การคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดทั้งช่วงสั้นและช่วงยาวของแผ่นพื้นสองทาง

$$M = C\,W\,S^2$$

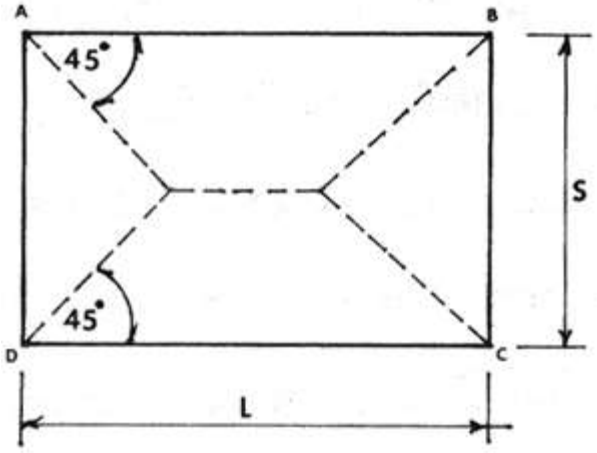
เมื่อ M = ค่าโมเมนต์ดัดของแผ่นพื้น

C = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์สำหรับแผ่นพื้นสองทาง

w = น้ำหนักแผ่กระจายทั้งหมดของแผ่นพื้นต่อตารางเมตร

S = ความยาวช่วงสั้นของแผ่นพื้น

การถ่ายน้ำหนักของแผ่นพื้นสองทางมายังคานที่รองรับ



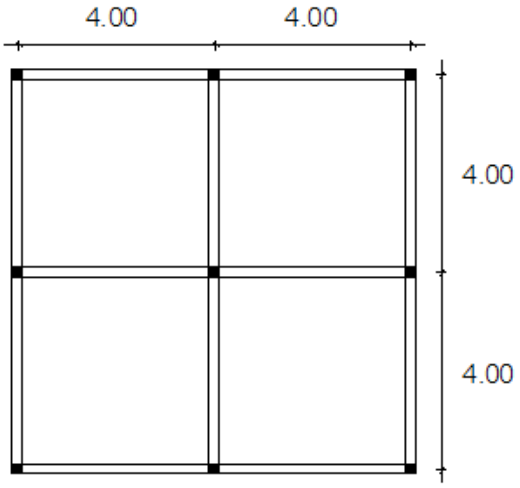
ภาพแสดง การแบ่งน้ำหนักแผ่ลงบนคานรับพื้น

คานด้านสั้น AD, BC รับน้ำหนักแผ่ = $\frac{WS}{3}$

คานด้านยาว AB, DC รับน้ำหนักแผ่ = $\frac{WS}{3}\left[\frac{3-m^2}{2}\right]$

ตัวอย่างการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 4.00 X 4.00 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ตร.ม. กำหนดให้ f_c = 65 กก./ตร.ซม. f_s = 1,200 กก./ตร.ซม. n = 10



วิธีทำ

$\frac{L}{S}$ = $\frac{4.00}{4.00}$

= 1 < 2 แสดงว่าเป็นแผ่นพื้นสองทาง

สมมติความหนาของแผ่นพื้น = $\frac{1}{180}$ x เส้นรอบรูป

= $\frac{1}{180}$ x 1600

= 8.8 ซม. ใช้ 10 ซม.

m = $\frac{S}{L}$

= $\frac{4.00}{4.00}$

= 1

DL = 2400 X 0.10

= 240 กก./ตร.ม.

LL = 300 กก./ตร.ม.

W = 240 + 300

= 540 กก./ตร.ม.

หาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ดัด พบว่า แผ่นพื้นเป็นกรณีที่ 3 คือ ไม่ต่อเนื่องกัน 2 ด้าน

หาค่าโมเมนต์ดัด

$- M_1 = 0.025\ (540)\ (4)^2$

$= 216$ กก.-ม.

$- M_2 = 0.049\ (540)\ (4)^2$

$= 423$ กก.-ม.

$+ M = 0.037\ (540)\ (4)^2$

$= 320$ กก.-ม.

จากพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม สมมติ d = 7.55 ซม.

$$-A_{s1} = \frac{M_1}{f_s\ j\ d}$$

$$= \frac{216 \times 100}{1200 \times 0.883 \times 7.55}$$

$= 2.7$ ซม.^{2}/ม.

ใช้เหล็กเสริม ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (As = 3.18 ซม.^{2}/ม.)

$$-A_{s2} = \frac{M_2}{f_s\ j\ d}$$

$$= \frac{423 \times 100}{1200 \times 0.883 \times 7.55}$$

$= 5.29$ ซม.^{2}/.-ม.

ใช้เหล็กเสริม ϕ 9 มม. @ 0.125 ม. (As = 5.73 ซม.^{2}/ม.)

$$+A_{s2} = \frac{M}{f_s\ j\ d}$$

$$= \frac{320 \times 100}{1200 \times 0.883 \times 7.55}$$

$= 4.0$ ซม.^{2}/.-ม.

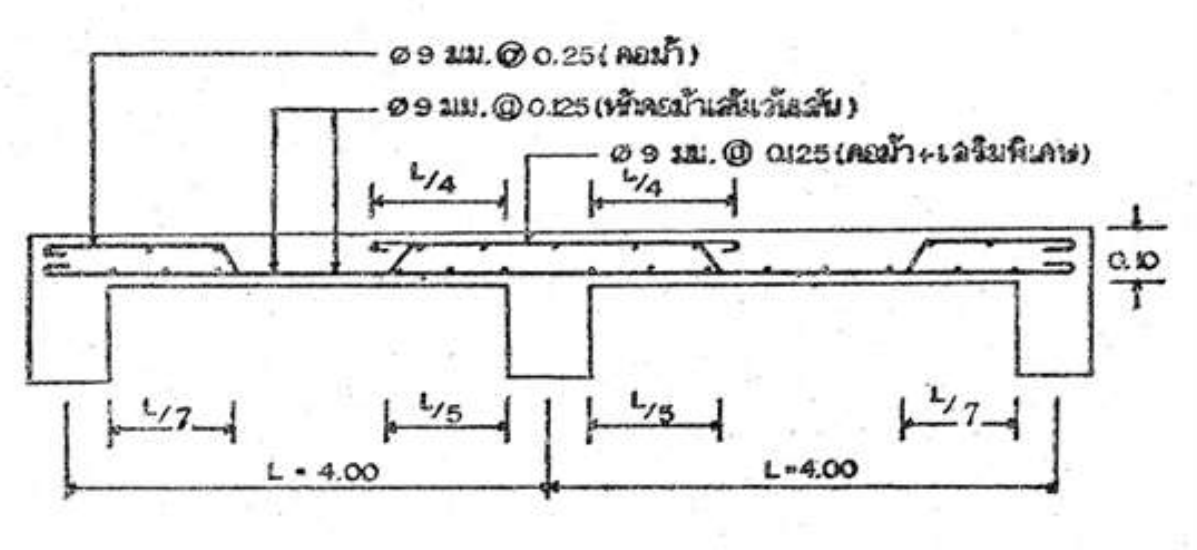
ใช้เหล็กเสริม ϕ 9 มม. @ 0.166 ม. (As = 4.45 ซม.^{2}/ม.)

จะเห็นได้ว่า ระยะเรียงของเหล็กเสริมบนจุดไม่สามารถจัดให้ลงตัวได้ ฉะนั้นจึงต้องจัดเหล็กเสริมใหม่

$-As_1 =$ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม.

$-As_2 =$ ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.

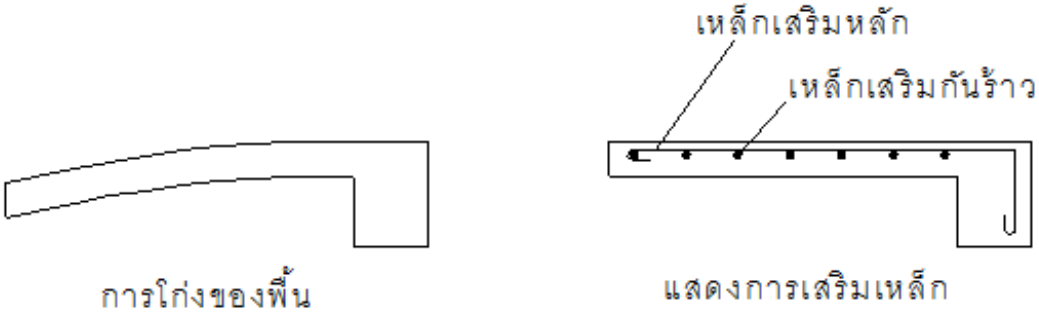
$+As =$ ϕ 9 มม. @ 0.125 ม. $<$ 0.166 ม.



ภาพแสดง การจัดเหล็กเสริม

๕.๒ แผ่นพื้นยื่น

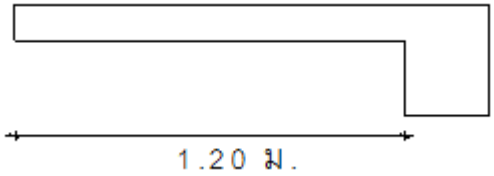
พื้นยื่นหรือ Cantilever Slab ส่วนใหญ่เป็นกันสาด ลักษณะการโก่งของพื้นชนิดนี้จะโก่งมากสุดที่ปลายของพื้น ฉะนั้นเหล็กเสริมหลักจะต้องอยู่บน และมีเหล็กเสริมกันร้าวขนานกับคานรับพื้น สำหรับความหนาของพื้นเพื่อไม่ให้มีการโก่งมากไม่ควรหนาน้อยกว่า $\frac{L}{12}$ โดย L คือส่วนยื่นของพื้น ข้อที่ควรคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่งก็คือเหล็กเสริมหลักควรใช้เหล็ก 9 มม.ขึ้นไป เพราะถ้าใช้เหล็กขนาดเล็กกว่านี้ ในขณะผูกเหล็กและเทคอนกรีต เหล็กอาจจะถูกเหยียบแอ่นลงข้างล่างได้



ภาพแสดง การโก่งของแผ่นพื้นยื่นและลักษณะการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างการออกแบบแผ่นพื้นยื่น

จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นกันสาดยื่นออกจากคานที่รองรับ 1.20 เมตร รับน้ำหนักจร 100 กก.ต่อ ม.^{2} โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 65 กก./ซม.^{2} f_s = 1200 กก./ซม.^{2} n = 10



วิธีทำ

พื้นยื่น 1.20 ม. กำหนดความหนา

$\frac{L}{12}$ = $\frac{120}{12}$

= 10 ซม.

DL = 0.1x1x1x2400

= 240 กก./ซม.^{2}

LL = 100 กก./ซม.^{2}

W = 340 กก./ม.

ค่าโมเมนต์สูงสุด

$-M = \frac{WL^2}{2}$

$= \frac{340\ (1.2)^2}{2}$

= 245 กก.- ซม.

$k = \frac{1}{1+\frac{f_s}{nf_c}}$

$= \frac{1}{1+\frac{1200}{10x65}}$

= 0.351

$j = 1-\frac{k}{3}$

$= 1-\frac{0.351}{3}$

= 0.883

R = ½ f_c k j

= ½ (65) (0.351) (0.883)

= 10.08

M = Rbd^2

ความลึกประสิทธิผลที่น้อยที่สุดที่ต้องการ

$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$

$$= \sqrt{\frac{245\ (100)}{10.00\ \text{x}\ 100}}$$

= 4.93 ซม.

ใช้ d = 7.55 ซม. ความหนาแผ่นพื้น = 10 ซม.

หาพื้นที่หน้าตัดเสริมหลัก

$$\text{-As} = \frac{-\text{M}}{\text{f}_\text{s}\ \text{jd}}$$

$$= \frac{245\ (100)}{1200\ \text{x}\ 0.883\ \text{x}\ 7.55}$$

= 3.06 ซม.^{2}

ใช้เหล็กเสริมขนาด ϕ 9 มม. ระยะ 0.25 (As = 3.18 ซม.^{2})

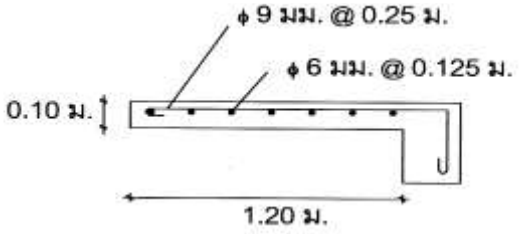
หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว

As_t = 0.0025 (b) (t)

= 0.0025 (100) (10)

= 2.5 ซม.^{2}

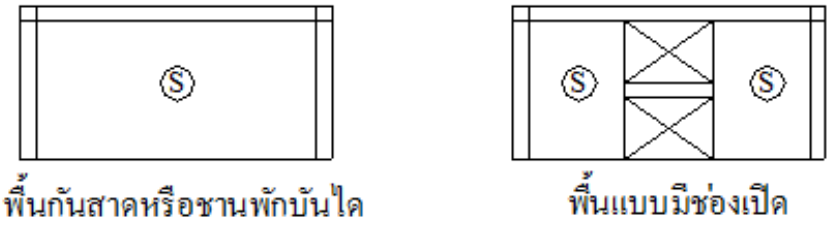
ใช้เหล็กเสริมกันร้าวขนาด ϕ 6 มม. ระยะ 0.125 (As = 2.55 ซม.^{2})



๕.๓ พื้นมีคานรองรับสามด้าน

พื้นในลักษณะนี้มักพบในแผ่นพื้นกันสาด ชานพักบันได หรือแผ่นพื้นที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ จุดประสงค์ในการออกแบบพื้นชนิดนี้เพื่อต้องการให้มีแผ่นพื้นที่บาง เนื่องจากมีคานสามด้านเป็นตัวเฉลี่ยการรองรับน้ำหนักของพื้น ถ้าไม่ออกแบบให้คานรองรับทั้งสามด้าน ก็จะต้องเลือกแบบใดแบบหนึ่งคือพื้นทางเดียวหรือพื้นยื่นซึ่งทั้งสองแบบนี้พื้นจะมีความหนามากกว่าพื้นที่มีคานรองรับทั้งสามด้าน

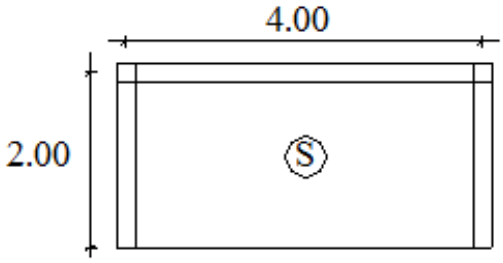
หลักการสำคัญของการออกแบบแผ่นพื้นประเภทนี้ ก็คือการให้ความสัมพันธ์ของการโก่ง เพราะว่าพื้นที่มีคานรองรับเพียงสามด้านนี้ ด้านหนึ่งจะเปรียบเสมือนแผ่นพื้นทางเดียว มีการโก่งเหมือนคานช่วงเดียว (Simple beam) แต่อีกด้านหนึ่งจะเป็นเหมือนแผ่นพื้นยื่น การโก่งก็จะเหมือนคานยื่น (Cantilever beam) ดังนั้นจึงนำเอาความสัมพันธ์ของการโก่งที่เป็นแบบคานช่วงเดียวและคานยื่นมาเท่ากัน



ภาพแสดง แผ่นพื้นที่มีคานรองรับทั้ง 3 ด้าน

ตัวอย่างการออกแบบพื้นมีคานรองรับสามด้าน

จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นกันสาด โดยมีคานรับพื้นสามทาง รับน้ำหนักจร 150 กก.ต่อ ม^2. โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 65 กก./ซม. f_s = 1200 กก./ซม^2. n = 10



วิธีทำ

สมมติพื้นหนา 0.10 ม.

DL = 0.10 X 1 X 1 X 2400

= 240 กก./ม^2

LL = 150 กก./ม^2

W = 390 กก./ม^2

สมการการโก่งของพื้น (ลักษณะการโก่งเหมือนคานยื่น)

Cantilever. $\Delta C_1 = \frac{1}{8}.\frac{Wl^4}{EI}$

$= \frac{1}{8} x\ 2^4 x \frac{w_1}{EI}$ .....(1)

สมการการโก่งของพื้น (ลักษณะการโก่งเหมือนคานช่วงเดียว)

Simple bean : $\Delta C_2 = \frac{5}{384}.\frac{W_2 l^4}{EI}$

$= \frac{5}{384} x\ 4^4 x \frac{w_2}{EI}$ .....(2)

กำหนดให้สมการการโก่งของพื้นเท่ากับ

$\Delta C_1 = \Delta C_2$

$\frac{1}{8} x\ 2^4 x \frac{w_1}{EI} = \frac{5}{384} x\ 4^4 x \frac{w_2}{EI}$

$\frac{1}{8} x\ 16 x \frac{w_1}{EI} = \frac{5}{384} x\ 256 x \frac{w_2}{EI}$

$$\frac{2w_1}{El} = \frac{10w_2}{3El}$$

$$w_1 = \frac{10w_2 \, x \, El}{2 \, x \, 3El}$$

$$= \frac{5w_2}{3}$$

$$w_1 = w_1 + w_2$$

$$= 390 \quad \text{กก./ม}^2$$

$$\therefore w_1 = \frac{5W}{8}$$

$$= \frac{5\,(390)}{8}$$

$$= 243.75 \quad \text{กก./ม}^2$$

$$\therefore w_2 = \frac{3W}{8}$$

$$= \frac{3\,(390)}{8}$$

$$= 146.25 \quad \text{กก./ม}^2$$

$$\therefore w_1 + w_2 = 243.75 + 146.25$$

$$= 390 \quad \text{กก./ม}^2$$

Cantilever Slab

$$-M_1 = \frac{w_1 l^2{}_1}{2}$$

$$= \frac{243.75\,(2)^2}{2}$$

$$= 487.5 \quad \text{กก.- ม.}$$

Simple bean Slab

$$+M_2 = \frac{w_2 l^2{}_2}{8}$$

$$= \frac{146.25\,(4)^2}{8}$$

$$= 292.5 \quad \text{กก.- ม.}$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{nf_c}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{1200}{10 \, x \, 65}}$$

$$= 0.351$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$= 1 - \frac{0.351}{3}$$

$$= 0.883$$

$$R = \frac{1}{2} f_c k j$$
$$= \frac{1}{2} (65) (0.351) (0.883)$$
$$= 10.08$$

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$$
$$= \sqrt{\frac{487.5\ (100)}{10.08\ x\ 100}}$$
$$= 6.95 < 7.55 \quad \text{ซม.}$$

$$-As_1 = \frac{-M_1}{f_s\ jd}$$
$$= \frac{487.5\ (100)}{1200\ x\ 0.883\ x\ 7.55}$$
$$= 6.09 \quad \text{ซม.}^2$$

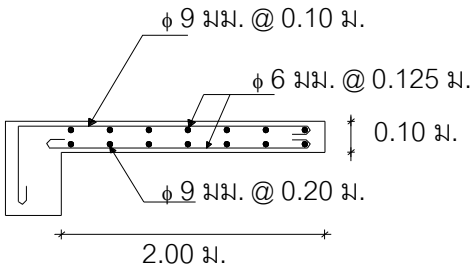
ใช้เหล็กเสริมขนาด ϕ 9 มม. ระยะ 0.10 ม. (As = 6.36 ซม.^{2})

$$+As_1 = \frac{+M_2}{f_s\ jd}$$
$$= \frac{292.5\ (100)}{1200\ x\ 0.883x\ 7.55}$$
$$= 3.66 \quad \text{ซม.}^2$$

ใช้เหล็กเสริมขนาด ϕ 9 มม. ระยะ 0.20 ม. (As = 3.82 ซม.^{2})

$$As_t = 0.0025\ (b)\ (t)$$
$$= 0.0025\ (100)\ (10)$$
$$= 2.5 \quad \text{ซม.}^2$$

ใช้เหล็กเสริมขนาด ϕ 6 มม. ระยะ 0.125 ม. (As = 2.55 ซม.^{2})



๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นสองทาง

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นสองทาง

๘. การประเมินผล

สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๘

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๘ เรื่อง สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗ **ใช้เวลา** ๒ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.มีความรู้ ความสามารถในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว คานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ แผ่นพื้นทางเดียว แผ่นพื้นสองทาง ได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานกำหนด มีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัย และประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว

๔.๒ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่

๔.๓ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว

๔.๔ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นสองทาง

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเดี่ยว

๕.๒ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่

๕.๓ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นทางเดียว

๕.๔ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นสองทาง

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

สอบภาคทฤษฎี

๗. สื่อการสอน

ข้อสอบอัตนัย

๘. การประเมินผล

๘.๑ สอบกลางภาคการศึกษา ๒/๖๗ คะแนนเต็ม ๔๐ คะแนนคิดเป็นร้อยละ ๔๐

๘.๒ เกณฑ์มาตรฐานวธ ๓๓๔ การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑ (Reinforced Concrete Design - 1)

ระดับ A ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๘๐

ระดับ B+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๗๕

ระดับ B ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๗๐

ระดับ C+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๖๕

ระดับ C ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๖๐

ระดับ D+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๕๕

ระดับ D ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๕๐

ระดับ F ได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ ๔๙

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๙

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๙ เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นบันได

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบแผ่นพื้นบันได

๔. ชื่อหัวเรื่อง

แผ่นพื้นบันได

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

บันได คือ องค์ประกอบอย่างหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายกับแผ่นพื้น แต่มีลักษณะที่แตกต่างกันตรงที่ บันไดจะมีความลาดเอียงซึ่งความลาดเอียงนี้จะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม ให้ใช้ประโยชน์ใช้สอยได้และมีความปลอดภัย เพราะฉะนั้นต้องมีข้อกำหนดและเกณฑ์มาตรฐานของการออกแบบบันได ที่จะต้องทราบและคำนึงถึงดังนี้

ก. บันไดสำหรับอาคารที่พักอาศัย จะต้องมีขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 90 ซม. ช่วงหนึ่งสูงไม่เกิน 3.00 เมตร ลูกตั้งสูงไม่เกิน 20 ซม. และลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 22 ซม.

ข. บันไดสำหรับอาคารสาธารณะ โรงงานอุตสาหกรรม และอาคารพาณิชย์ จะต้องมีขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ช่วงหนึ่งสูงไม่เกิน 4.00 เมตร ลูกตั้งสูงไม่เกิน 19 ซม. และลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 24 ซม.

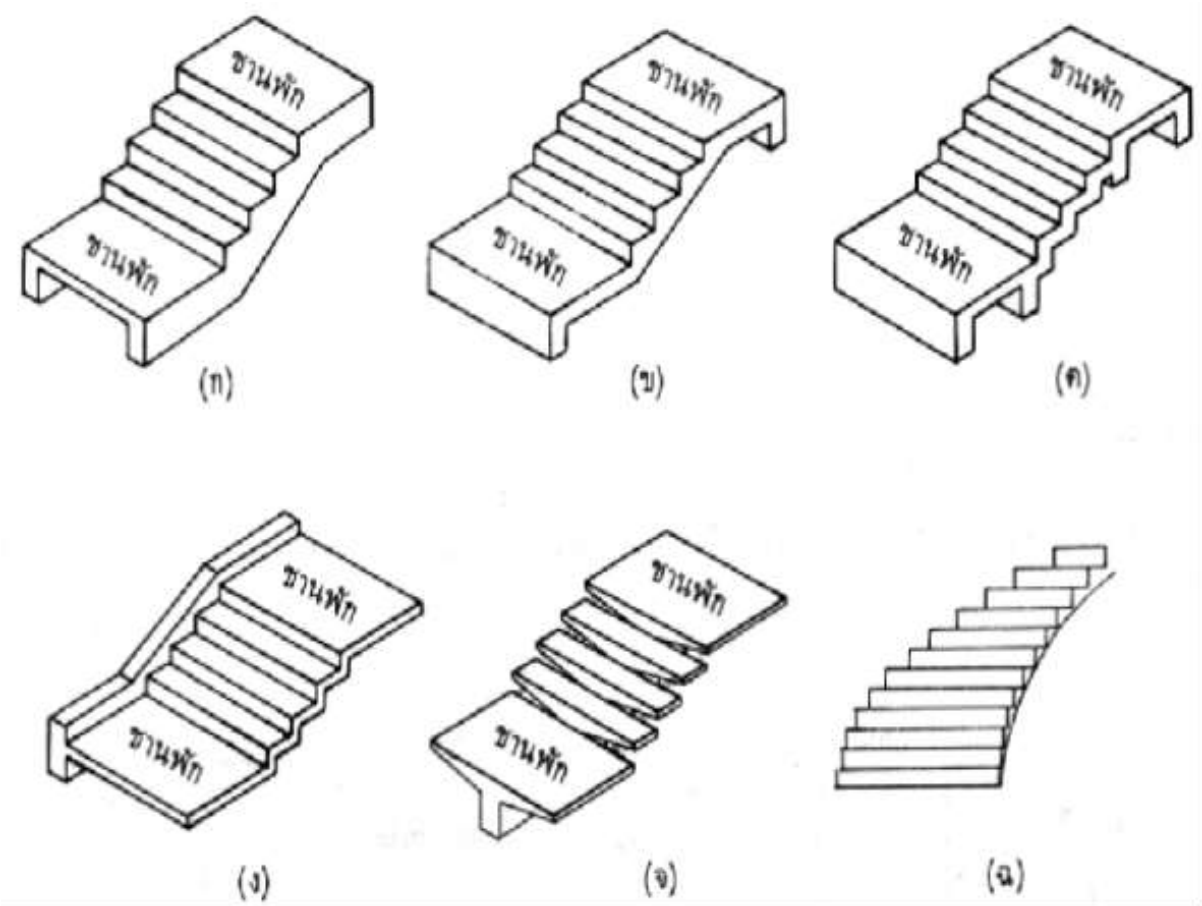
ค. บันไดที่มีช่วงระยะความสูงเกินกว่าที่กำหนดในข้อ ก. และ ข. จะต้องมีที่พักบันได ขนาดกว้างยาวไม่น้อยกว่าส่วนกว้างของบันไดนั้น ถ้าตอนใดต้องทำเลี้ยวมีบันไดเวียน ส่วนแคบที่สุดของลูกนอนต้องกว้างไม่น้อยกว่า 10 ซม.

๑. รูปแบบของบันได

ถ้าแบ่งตามลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของตัวบันได แบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

๑. บันไดที่เกิดเฉพาะโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ซึ่งได้แก่ บันไดที่มีคานรับที่ปลายช่วงของบันไดทั้งระดับต่ำและระดับสูง หรือบันไดที่มีลักษณะเหมือนคานยื่นออกจากคานที่ฝังในผนัง หรือคานที่อยู่แนวกลางของบันได

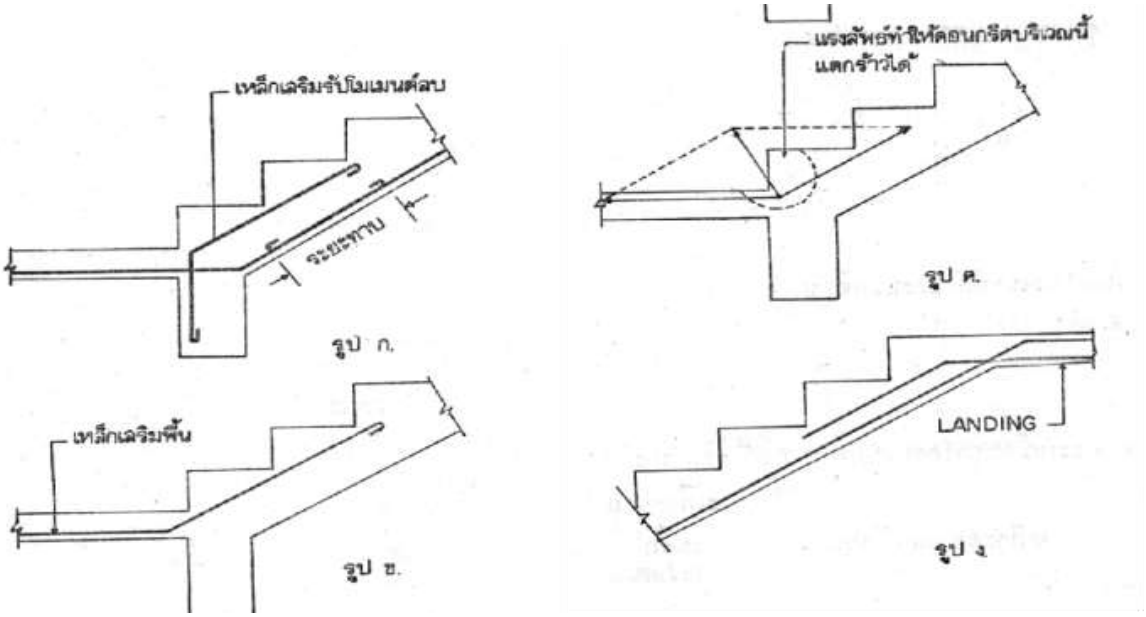
๒. บันไดที่มีแรงบิดเกิดขึ้นพร้อมกับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ได้แก่ บันไดแบบชานพักลอย (Jack Knife Stairs) บันไดโค้ง



ภาพแสดง บันไดแบบต่าง ๆ

๒. การเสริมเหล็กบันได

เนื่องจากการออกแบบบันได มีลักษณะเหมือนการออกแบบพื้น ดังนั้นวิธีการเสริมเหล็กที่เป็นเหล็กเสริมหลักก็อาศัยแนวทางเหมือนการเสริมเหล็กพื้น โดยจะพิจารณาจุดต่อของเหล็กเสริม รวมทั้งการดัดงอเหล็กเสริม ณ ตำแหน่งที่สำคัญเป็นหลัก



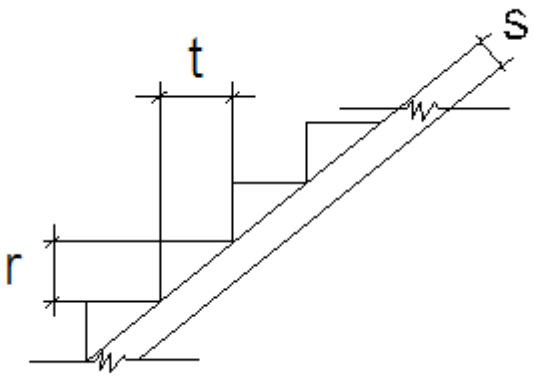
ภาพแสดง การเสริมเหล็กบันได

พิจารณาเหนือจุดรองรับระหว่างบันไดและพื้นซึ่งจะเกิดโมเมนต์ลบ นั่นแสดงว่า จะเกิดแรงดึงที่ผิวบน จึงต้องเสริมเหล็กรับแรงดึงตามรูป ก หรือ รูป ข ส่วนบริเวณรอยต่อ ระหว่างบันไดกับชานพักสามารถเกิดรอยแตกร้าวได้ง่ายเพราะฉะนั้นจึงต้องมีการเสริมเหล็กดังรูป ค และ รูป ง เพื่อป้องกันการแตกร้าว

๓. การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก มีหลักการเหมือนการออกแบบแผ่นพื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยการหาโมเมนต์ดัด แรงเฉือน โมเมนต์บิด (ถ้ามี) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการรองรับ แต่เนื่องจากบันไดมีลักษณะเป็นพื้นเอียง ความยาวของบันไดตามความจริงจะต้องวัดตามแนวเอียงแต่เพื่อความง่ายในการออกแบบ ความยาวที่ใช้ในการออกแบบจึงใช้ความยาวตามแนวราบจึงต้องกระจายลงเป็นแนวดิ่งตั้งฉากกับความยาวของตัวบันไดซึ่งอยู่ในแนวราบ หลังจากนั้นจึงทำการออกแบบคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสำหรับเหล็กเสริมหลักหรือเหล็กเสริมเอกจะวางอยู่ด้านล่างและยื่นเข้าไปในคานที่รองรับ โดยที่ต้องคำนึงถึงระยะล้วง ระยะฝังของเหล็กเสริมให้เพียงพอ นอกจากนี้เหล็กยึดขั้นบันไดทางยาวที่ดัดงอไปตามขั้นบันได และมีเหล็กเสริมที่แต่ละมุมที่คัดเพื่อป้องกันการแตกร้าว

ในการคิดน้ำหนักของตัวบันไดและลูกตั้งลูกนอนของบันได สามารถคำนวณหาจาก



S	คือ	ความหนาของแผ่นพื้นบันได	ม.
R	คือ	ความสูงของลูกตั้ง	ม.
t	คือ	ความกว้างของลูกนอน	ม.

น้ำหนักคงที่ของแผ่นพื้นบันได ต่อ ความกว้าง 1 ม.

- คิดตามแนวเอียง = 2400 x S กก./ม.^{2}

- กระจายน้ำหนักสู่แนวราบ = $2400 \times S \times \sqrt{\frac{r^2+t^2}{t}}$ กก./ม.^{2}

น้ำหนักคงที่ของลูกตั้งลูกนอน

= $(2400 \times \frac{1}{2} \times r \times t) \times \frac{1}{t}$ กก./ม.^{2}

= 1200 x r

ตัวอย่างการออกแบบบันได

จงออกแบบบันไดพื้นตันมีช่วงยาว 3 เมตร พาดระหว่าง คานพื้น และคานชานพักโดยรับน้ำหนักจร 250 กก./ม.^{2} กำหนดให้ชานพักกว้าง 1.00 เมตร ลูกนอนกว้าง 25 ซม. ลูกตั้งสูง 18 ซม. กำหนดให้ f = 65 กก./ม.^{2} f_s= 1200 กก./ม.^{2} n = 10

วิธีทำ

สมมติความหนาของแผ่นพื้นบันได = 0.12 ม.

น้ำหนักของขั้นบันได = 1200 x 0.18

= 216 กก./ม.^{2}

น้ำหนักของแผ่นพื้นบันได = $2400 \times 0.12 \times \sqrt{\frac{0.18^2+0.15^2}{0.25}}$

= 355 กก./ม.^{2}

น้ำหนักจร = 250 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวมทั้งหมด = 216 + 355 + 250

= 821 กก./ม.^{2}

โมเมนต์ดัด = $\frac{w(l)^2}{8}$

= $\frac{821\ (3)^2}{8}$

= 923.625 กก./ม.

k = $\frac{1}{1+\frac{f_s}{nf_c}}$

= $\frac{1}{1+\frac{1200}{10x65}}$

= 0.351

j = $1-\frac{k}{3}$

= $1-\frac{0.351}{3}$

= 0.883

ค่า d ประมาณ 12-2 = 10 ซม.

ความลึกประสิทธิผลที่น้อยที่สุดที่ต้องการ

d = $\sqrt{\frac{M}{\frac{1}{2}f_c\ kjb}}$

= $\sqrt{\frac{923.625\ x100}{\frac{1}{2}x\ 65\ x\ 0.351\ x\ 0.883\ x\ 100}}$

= 9.57 < 10 ซม. OK

ปริมาณเหล็กเสริมหลัก

$$As = \frac{M_1}{f_s jd}$$

$$= \frac{923.625 \times 100}{1200 \times 0.833 \times 10}$$

$$= 8.72 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

ใช้เหล็กเสริม ϕ 9 มม. ระยะ 0.07 ม. (As = 9.54 > 8.72 ซม.^{2})

เหล็กเสริมกันร้าว $As = 0.0025\ bt$

$$= 0.0025 \times 100 \times 12$$

$$= 3 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

ใช้เหล็กเสริม ϕ 9 มม. ระยะ 0.20 ม. (As = 3.82 > 3.00 ซม.^{2})

แรงเฉือน $V = \frac{1}{2} wl$

$$= \frac{1}{2} \times 821 \times 3$$

$$= 1231.5 \text{ กก.}$$

$V_d = V - wd$

$$= 1231.5 - (821 \times 0.1)$$

$$= 1149.4 \text{ กก.}$$

$$V = \frac{Vd}{bd}$$

$$= \frac{1149.4}{100\ x\ 90}$$

$$= 1149 \text{ กก./ม.}^2$$

$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}$

$$= 0.29\sqrt{173}$$

$$= 3.81 > 1.149 \quad \text{OK}$$

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นบันได

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบแผ่นพื้นบันได

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๐

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๐ เรื่อง การออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน

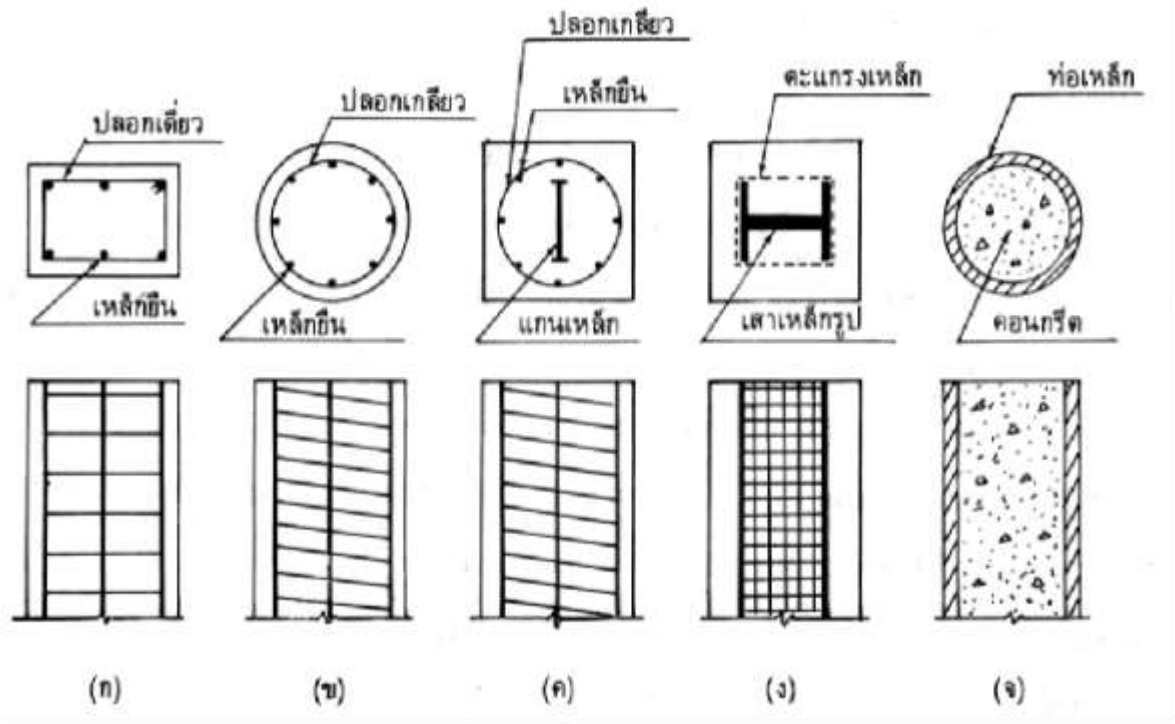
๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ ข้อกำหนดการออกแบบเสาตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

๔.๒ การออกแบบเสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

เสาเป็นองค์อาคารที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของอาคาร ที่ทำหน้าที่รับแรงอัดในแนวดิ่งหรือ แรงอัด ร่วมกับแรงดัด แล้วถ่ายน้ำหนักจากแรงดังกล่าวลงสู่โครงสร้างฐานรากต่อไป เสาคอนกรีตเสริมเหล็กอาจมีรูปร่างและลักษณะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเพื่อจะให้รับน้ำหนักมากหรือน้อย หรือ การกำหนดโดยสถาปนิกเพื่อความสวยงาม



ภาพแสดง เสาประเภทต่าง ๆ

ประเภทของเสาอาจจะแบ่งออกได้เป็นเสาสั้นและเสายาว เสาสั้น หมายถึงเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูด ไม่เกินพิกัดที่จะทำให้เสานั้นแตกร้าวโดยการโก่งเคาะ ส่วนเสายาว หมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดมาก (มากกว่า 60) ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักน้อยกว่าเสาสั้น

๕.๑ ข้อกำหนดการออกแบบเสาตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

๑. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน จะต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่เกิน 0.08 ของพื้นที่หน้าตัดเสา ขนาดของเหล็กยืนจะต้องไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร เสากลมจะต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 6 เส้น สำหรับเสาเหลี่ยมจะต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 4 เส้น

๒. ช่องว่างระหว่างเหล็กยืนของเสาต้องไม่น้อยกว่า 1 ½ เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก หรือ 1 ½ เท่า ของมวลหยาบใหญ่สุด แต่ไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร

๓. เสาปลอกเดี่ยว เหล็กยืนทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร พันโดยรอบ โดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า

- 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน
- 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- ด้านแคบของเสา

ทั้งนี้จะต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยืนตามมุมทุกมุม

๔. เหล็กปลอกเกลียว จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร พันต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอระยะเรียงศูนย์ถึงศูนย์ ของเหล็กปลอกเกลียวจะต้องไม่เกิน

- 1/6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนคอนกรีต
- ไม่ห่างเกิน 7 เซนติเมตร
- ไม่แคบกว่า 3 เซนติเมตร
- ไม่แคบกว่า 1 ½ เท่าของมวลหยาบใหญ่สุด

๕. เหล็กปลอกเกลียวหรือเสาปลอกเดี่ยว ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กจะต้องไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร หรือ 1 ½ เท่าของมวลหยาบใหญ่สุด

๖. การต่อเหล็กแต่ละชั้นโดยวิธีต่อทาบ ความยาวน้อยสุดที่ทาบของเหล็กข้ออ้อย จะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

๑. สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 ก.ก./ซ.ม.^{2} หรือสูงกว่านี้

ก.) ระยะทาบ 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังคลาก 3500 ก.ก./ซ.ม.^{2} (ลงไป)

ข.) ระยะทาบ 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังคลาก 4200 ก.ก./ซ.ม.^{2}

ค.) ระยะทาบ 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กที่มีกำลังคลาก 5200 ก.ก./ซ.ม.^{2}

ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 ก.ก./ซ.ม.^{2} จะต้องเพิ่มระยะทาบอีก 1 ใน 3 ของค่า ตามข้อ 1

๒. สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ ระยะทาบน้อยสุดจะต้องเป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้ ตามข้อ 1

๕.๒ การออกแบบเสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน

๑. เสาปลอกเดี่ยว

หมายถึง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กปลอกรัดรอบเหล็กยืนเป็นระยะ ๆ โดยสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน ดังนี้

$$P = 0.85\ Ag\ (0.25f_c' + \rho_g f_s)$$

๒. เสาปลอกเกลียว

หมายถึง เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีปลอกเกลียวพันถี่ ๆ รอบเหล็กยืนที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม ให้คำนวณกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน ดังนี้

$$P = Ag\ (0.25f_c' + \rho_g f_s)$$

การคำนวณปริมาณเหล็กปลอกเกลียวใช้สูตร

$$\rho_s = 0.45\ (\frac{A_g}{A_c} - 1)\ \frac{f_c'}{f_y}$$

เมื่อ P คือ น้ำหนักที่เสาสามารถรับได้โดยปลอดภัย (กก.)

Ag คือ พื้นที่หน้าตัดเสา (ตร.ซม.)

Ac คือ พื้นที่หน้าตัดแกนคอนกรีตภายในศูนย์กลางเหล็กปลอก (ตร.ซม.)

f_c' คือ หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)

ρ_g คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา

f_s คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม (กก./ตร.ซม.)

ρ_s คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวกับปริมาตรของแกนเสาวัดที่ขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

ตัวอย่างการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กกลม ชนิดปลอกเดี่ยวและปลอกเกลียว เพื่อรับน้ำหนักปลอดภัย 35,000 กิโลกรัม โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเท่ากับ 25 ซม. คอนกรีตหุ้มเหล็กยืนโดยรอบ 3 ซม. ขนาดของเหล็กปลอกใช้ 6 มม. กำหนดให้ f = 173 กก./ซม.^{2} f_s = 1500 กก./ซม.^{2}

วิธีทำ

๑. ออกแบบเสาปลอกเดี่ยว

$$Ag = (\frac{\pi D^2}{4})$$

$$= \frac{22}{7} \times \frac{25^2}{4}$$

$$= 491 \text{ ซม.}^2$$

$$P = 0.85\ Ag\ (0.25f_c' + \rho_g f_s)$$

$$35{,}000 = 0.85 \times 491\ (0.25 \times 173 + \rho_g \times 1\ 500)$$

$$\rho_g = 2.71 \times 10^{-2}$$

$$\rho_g = \frac{A_s}{A_g}$$

$A_s = \rho_g A_g$

$= 2.71 \times 10^{-2} \times 491$

$= 13.3$ ซม.^{2}

เพราะฉะนั้นใช้เหล็กยืน ขนาด ϕ 16 มม. 7 เส้น As = 14.07 ซม.

โดยที่ระยะเรียงของเหล็กปลอก (ใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม.)

๑. 16 x 1.6 = 25.6 ซม.

๒. 48 x 0.6 = 28.8 ซม.

๓. ด้านแคบของเสา = 25 ซม.

เพราะฉะนั้นใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม. ระยะเรียง 25 ซม.

๒. ออกแบบเสาปลอกเกลียว

$P = A_g (0.25f_c' + \rho_g f_s)$

$35{,}000 = 491 (0.25 \times 173 + \rho_g \times 1500)$

$\rho_g = 0.019$

$A_s = \rho_g A_g$

$= 0.019 \times 491$

$= 9.18$ ซม.^{2}

ใช้เหล็กยืน 9 เส้น ขนาด 12 มม. As = 10.17 ซม.^{2}

ใช้เหล็กปลอกเกลียวขนาด 6 มม.

$d = 25 - 3 - 3$

$= 19$ ซม.

$A_c = (\frac{\pi D^2}{4})$

$= \frac{22}{7} \times \frac{19^2}{4}$

$= 284$ ซม.^{2}

ปริมาตรของเสาสูง 1 ซม. (Ac') = 284 ซม.^{2}

$\rho_s = 0.45 (\frac{A_g}{A_c} - 1) \frac{f_c'}{f_y}$

$= 0.45 (\frac{491}{284} - 1) \frac{173}{1500}$

$= 3.79 \times 10^{-2}$

$\rho_s A_c' = 3.79 \times 10^{-2} \times 284 = 10.77$ ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกเกลียว ขนาด 6 มม. As = 0.283 ซม.^{2}

ความยาวเหล็กปลอกเกลียว πD = $\frac{22}{7}$ x 19

= 59.7 ซม.

ปริมาตรเหล็ก 1 รอบ = 59.7 x 0.283

= 16.9 ซม.^{3}

ระยะเรียงเหล็กปลอก = ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียวต่อรอบ/ปริมาตรแกนเสาต่อรอบ

= $\frac{16.9}{10.77}$

= 1.57 ซม.

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะเรียงเหล็กปลอกเกลียวน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ 3 - 7 ซม. เพราะฉะนั้นจึงต้องเลือกขนาดเหล็กปลอกเกลียวใหม่ ขนาด 9 มม.

Ac = $(\frac{\pi D^2}{4})$

= $\frac{22}{7}$ x $\frac{19^2}{4}$

= 284 ซม.^{2}

ปริมาตรของเสาสูง 1 ซม. (Ac') = 284 ซม.^{2}

ρ_s = 0.45 $(\frac{A_g}{A_c} - 1) \frac{f_c'}{f_y}$

= 0.45 $(\frac{491}{284} - 1) \frac{173}{1500}$

= 3.79 x 10^{-2}

ρ_sAc' = 3.79 x 10^{-2} x 284

= 10.77 ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกเกลียว ขนาด 9 มม. As = 0.64 ซม.^{2}

ความยาวเหล็กปลอกเกลียว πd = $\frac{22}{7}$ x 19

= 59.7 ซม.

ปริมาตรเหล็ก 1 รอบ = 59.7 x 0.64

= 38.21 ซม.^{3}

ระยะเรียงเหล็กปลอก = ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียวต่อรอบ/ปริมาตรแกนเสาต่อรอบ

= $\frac{38.21}{10.77}$

= 3.55 ซม.

ดังนั้น ใช้เหล็กปลอกเกลียวขนาด 9 มม. ระยะเรียง 3.55 ซม.

๓. ออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดเสริมเหล็กแกน

เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวยาวและมีเหล็กปลอกเกลียว มีแกนเป็นเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กหล่อ มีสูตรคำนวณในการรับน้ำหนักโดยปลอดภัย ดังนี้

$$P = 0.225Agf_c' + f_sAs_t + f_rA_r$$

เมื่อ

P	คือ	เนื้อที่หน้าตัดเสาส่วนที่เป็นคอนกรีต	(ตร.ซม.)
As_t	คือ	เนื้อที่หน้าตัดเหล็กยืน	(ตร.ซม.)
A_r	คือ	เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม	(ตร.ซม.)
f_r	คือ	หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมแกน	
		= 1,250 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็ก A36	(ASTM)
		= 1,100 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็ก A7	(ASTM)
		= 700 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็กหล่อ	

เนื้อที่หน้าตัดของแกนเหล็กจะต้องไม่เกิน ร้อยละ 20 ของเนื้อที่หน้าตัดของเสาถ้าใช้แกนเหล็กกลวงจะต้องเทคอนกรีตภายในให้เต็มและข้อกำหนดต่าง ๆ อาทิเช่น ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม รายละเอียดในการต่อเหล็ก ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มภายนอกของเหล็กปลอกเกลียวจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้สำหรับเสาเหล็กปลอกเกลียวและทุก ๆ จุดที่เป็นช่องว่างระหว่างเหล็กปลอกเกลียวกับแกนเหล็ก จะต้องห่างกันอย่างน้อย 7.5 ซม. แต่ถ้าเหล็กเสริมแกนเป็นรูป H ยอมให้ช่องว่างที่แคบสุด 5.0 ซม.

ตัวอย่างการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดเสริมเหล็กแกน

จงออกแบบเสาสี่เหลี่ยมจตุรัสคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมแกน WF 100x100 มม.ชนิด A36 (ASTM) เพื่อรับน้ำหนักปลอดภัย 75,000 กก. กำหนดขนาดเสา 0.30x0.30 ม. จงคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน และระยะเรียงของเหล็กปลอก

กำหนดให้ f_c'= 173 กก./ซม.^{2} f_s =b 1500 กก./ซม.^{2}

f_r = 1250 กก./ซม.^{2} Ar = 21.9 ซม.^{2}

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 4 ซม.

Ag = 30 x 30 – 21.9

= 878.1 ซม.^{2}

$P = 0.225Agf_c' + f_sAs_t + f_rA_r$

75,000 = 0.225 x 878.1 x 173 + 1500As + 1250 x 21.9

As = 8.76 ซม.^{2}

ใช้เหล็กยืน 8 DB 12 มม. As = 9.05 > 8.96 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กปลอกเกลียวขนาด 9 มม.

d = 30 – 4 – 4

= 22 ซม.

Ag = 30 x 30 – 21.9 - 9.05

= 869.05 ซม.^{2}

Ac = $(\frac{\pi D^2}{4})$

= $\frac{22}{7} \times \frac{22^2}{4}$

= 380.29 ซม.^{2}

ρ_s = $0.45 (\frac{A_g}{A_c} - 1) \frac{f_c'}{f_y}$

= $0.45 (\frac{869.05}{380.29} - 1) \frac{173}{1500}$

= 6.67×10^{-2}

$\rho_s A_c$ = $6.67 \times 10^{-2} \times 380.29$

= 25.37 ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกเกลียว ขนาด 9 มม. As = 0.64 ซม.^{2}

ความยาวเหล็กปลอกเกลียว πd = $\frac{22}{7} \times 22$

= 69.14 ซม.

ปริมาตรเหล็ก 1 รอบ = 69.14 x 0.64

= 44.25 ซม.^{2}

ระยะเรียงเหล็กปลอก = ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียวต่อรอบ/ปริมาตรแกนเสาต่อรอบ

= $\frac{44.25}{25.37}$

= 1.74 ซม.

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะเรียงเหล็กปลอกเกลียวน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ 3-7 ซม.

จึงต้องเลือกขนาดเหล็กปลอกเกลียวใหม่ ขนาด 12 มม. As = 1.13 ซม.^{2}

ปริมาตรเหล็กปลอกเกลียว = 69.14 x 1.13

= 78.128 ซม.^{2}

ระยะเรียงของเหล็กปลอกเกลียว = $\frac{78.128}{25.37}$

= 3.08 ซม.

เพราะฉะนั้นใช้ เหล็กปลอกเกลียวขนาด 12 มม. ระยะเรียง 3.08 ซม.

๔. ออกแบบเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต

เป็นเสาเหล็กรูปพรรณที่หุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่ต่ำกว่า 6 ซม. จากผิวเหล็ก (ยกเว้นหัวหมุดย้ำ) กำลังรับน้ำหนักปลอดภัย มีสูตรคำนวณดังนี้

$$P = A_r f_r'(1+\frac{A_g}{100Ar})$$

เมื่อ

Ar = พื้นที่หน้าตัดเหล็กรูปพรรณ (ซม.^{2})

f_r' = หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กรูปพรรณ

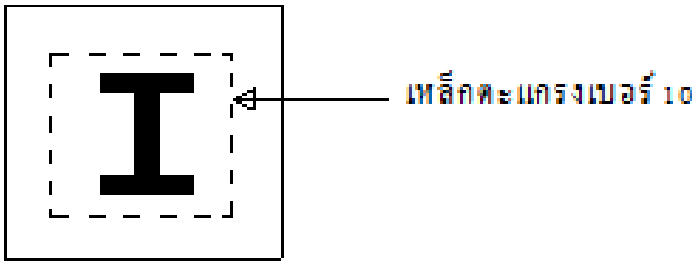
= $1195 - 0.0342 \frac{h^2}{r_y^2}$ เมื่อ $\frac{h}{r_y} < 120$

r_y = รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ (ซม.)

คอนกรีตที่ใช้ต้องมีกำลังอัด f_c' มากกว่า 200 กก./ซม.^{2} เมื่ออายุ 28 วัน และจะต้องเสริมเหล็กด้วยตาข่ายเบอร์ 10 As & W Gage หรือ อย่างอื่นที่เทียบเท่าพันรอบเสา เหล็กตาข่ายที่พันรอบเสาห่างจากผิวคอนกรีตเข้ามา 2.5 ซม.และพันรอบเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตาข่าย

ตัวอย่างการออกแบบเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต

เสาเหล็กรูปพรรณ WF 100x100 ชนิด A36 (ASTM) หุ้มด้วยคอนกรีตสูง 2.90 ม. หน้าตัดเสา 25 x 25 ซม. จงคำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยของเสานี้



วิธีทำ

Ar = 21.9 ซม.^{2}

r_x = 4.18

r_y = 2.47

Ag = 25x25

= 625 ซม.^{2}

$\frac{h}{r_y} = \frac{290}{2.47}$

= 117.41

f_r' = $1195 - 0.0342\ (117.41)^2$

= 723.56

$$P = A_r f_r'\left(1+\frac{A_g}{100Ar}\right)$$

$$= 21.9 \times 723.56 \left(1 + \frac{625}{100x21.9}\right)$$

$$= 20368.16 \text{ กก.}$$

$$= 20.37 \text{ ตัน}$$

๕. ออกแบบเสาคอนกรีตหุ้มด้วยท่อเหล็ก

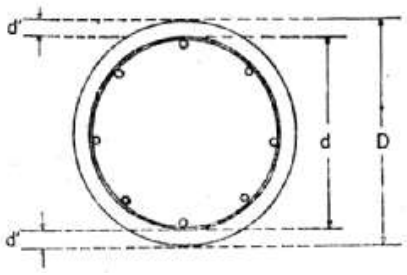
เสาซึ่งประกอบด้วยท่อเหล็กกรอกคอนกรีตเต็มภายในซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ไม่มากนัก สูตรคำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยดังนี้

$$P = 0.25 f_c' \left(1-0.000025 \frac{h^2}{kc^2}\right)Ac + f_r'Ar$$

เมื่อ

h	คือ	ความสูงของเสา	(ซม.)
Kc	คือ	รัศมีไจเรชั่นของเสาส่วนที่เป็นคอนกรีต	(ซม.)
Ac	คือ	เนื้อที่หน้าตัดเสาส่วนที่เป็นคอนกรีต	(ซม.^{2})
Ar	คือ	เนื้อที่หน้าตัดท่อเหล็ก	(ซม.^{2})
f_r'	=	$1195 - 0.0342 \frac{h^2}{kc^2}$	
ks	คือ	รัศมีไจเรชั่นของท่อเหล็ก	(ซม.)

ท่อเหล็กมีค่า f_y ไม่น้อยกว่า 23000 กก./ซม.^{2}



$d = D - 2t$ $\quad I = \frac{D^4-d^4}{20}$

$S = \frac{2I}{D}$ $\quad ks = \frac{1}{4}\sqrt{D^2 + d^2}$

ตัวอย่างที่ 6.4

เสาคอนกรีตหุ้มด้วยท่อเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9.5 ซม. เนื้อที่หน้าตัดท่อเหล็ก 12 ซม.^{2} ความสูงเสา 2.80 ม. Ks = 4 ซม. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ซม.

วิธีทำ

$$P = 0.25\, f_c' \left(1-0.000025 \frac{h^2}{kc^2}\right) Ac + f_r' Ar$$

$$Kc = \frac{1}{4}\sqrt{d^2}$$

$$= \frac{1}{4}\sqrt{9.5^2}$$

$$= 2.375$$

$$Ac = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) = \frac{22}{7} \times \frac{9.5^2}{4}$$

$$= 70.91$$

$$Ks = 4$$

$$f_r' = 1195 - 0.0342 \left(\frac{280^2}{4^2}\right)$$

$$P = 0.25 \times 173 \left(1 - 0.000025 \frac{280^2}{2.375^2}\right) \times 70.91 + 1027.42 \times 12$$

$$= 14330.25 \text{ กก.}$$

แบบฝึกหัด

๑. จงออกแบบเสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยวคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 3.00 ม. เพื่อรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน 27,000 กก. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_s = 2,400 กก./ตร.ซม.

๒. จงออกแบบเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต สูง 3.00 ม. เพื่อรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน 30,000 กก.

๓. จงออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแกนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เหล็กแกน WF 125x125x6.50 มม. เพื่อรับน้ำหนัก 80,000 กก. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_s = 2400 กก./ตร.ซม.

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๑

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๑ เรื่อง การออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

๔. ชื่อหัวเรื่อง

เสาสั้นรับน้ำหนักตามแกนและแรงดัดพร้อมกัน

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

ในกรณีที่เสาไม่ได้รับน้ำหนักตามแกนอย่างเดียว อันเนื่องมาจากน้ำหนักที่มากระทำเยื้องศูนย์จึงทำให้เสาต้องรับโมเมนต์ดัดร่วมด้วย เพราะฉะนั้นเมื่อเสารับน้ำหนักกระทำดังกล่าว จะเกิดหน่วยแรงทั้งจากแรง P และจากโมเมนต์ดัด M_x, M_y แต่เราจะรวมหน่วยแรงแบบพีชคณิตไม่ได้ต้องหาผลรวมของอัตราส่วนจากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ โดยมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

เมื่อ

f_a คือ หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริงในแนวแกน

$= \frac{P}{A_g} = \frac{P}{bt}$ กก./ตร.ซม.

f_{bx} คือ หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริงจาก M_x

$= \frac{M_x C_x}{I_x} = \frac{P_{ex} C_x}{I_x}$ กก./ตร.ซม.

f_{by} คือ หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นจริงจาก M_y

$= \frac{M_y C_y}{I_y} = \frac{P_{ey} C_y}{I_y}$ กก./ตร.ซม.

F_a คือ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต

$= 0.34+(1+ \rho_g m)\, f_c'$ กก./ตร.ซม.

$F_b = F_{bx} = F_{by}$ คือ หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

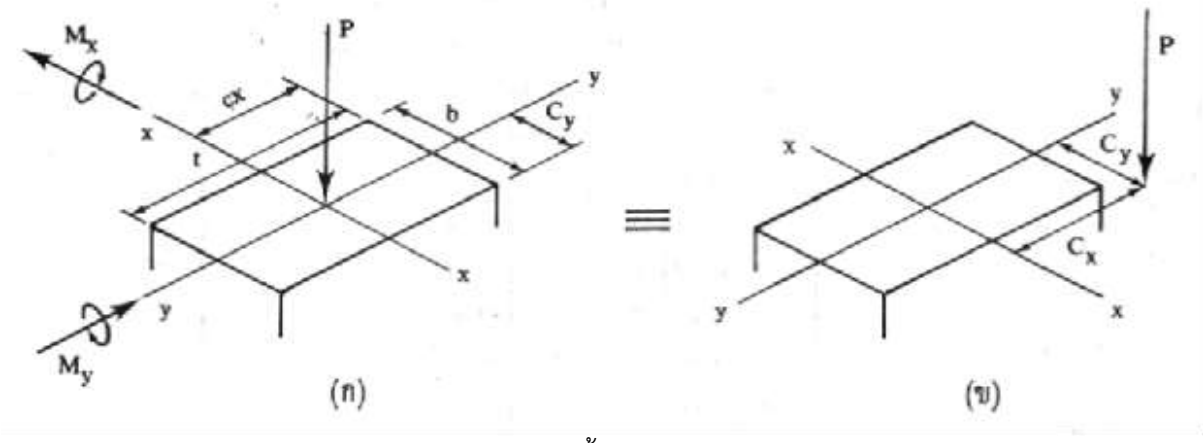
$= 0.45 f_c'$

$M = \frac{fy}{0.85 fc'}$

$\rho_g = \frac{Ast}{bd}$

$\rho = \frac{As}{bd}$

$$\rho' = \frac{As'}{bd}$$



ภาพแสดง ระยะเยื้องศูนย์สมดุลของเสา

๑. ระยะเยื้องศูนย์สมดุล

ในการคำนวณการรับน้ำหนักตามแกน และมีโมเมนต์ดัดกระทำของเสา จะทำให้เกิดหน่วยแรงเท่าหน่วยแรงที่ยอมให้ทั้งเหล็กและคอนกรีต เราเรียกสภาวะนี้ว่า สภาพสมดุลและระยะเยื้องศูนย์ของสภาวะนี้เรียกว่า ระยะเยื้องศูนย์สมดุล (e_b) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เสริมเหล็กสองด้านเหมือนกัน

เสาปลอกเกลียว $e_{bx} = e_{by} = 0.43\rho_g m D_s + 0.14t$

เสาปลอกเดี่ยว $e_{bx} = e_{by} = (0.67\rho_g m + 0.17)(t-d')$

หน้าตัดกลม

เสาปลอกเกลียว $e_{bx} = e_{by} = 0.43\rho_g m D_s + 0.14D$

หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เสริมเหล็กสองด้านเหมือนกัน

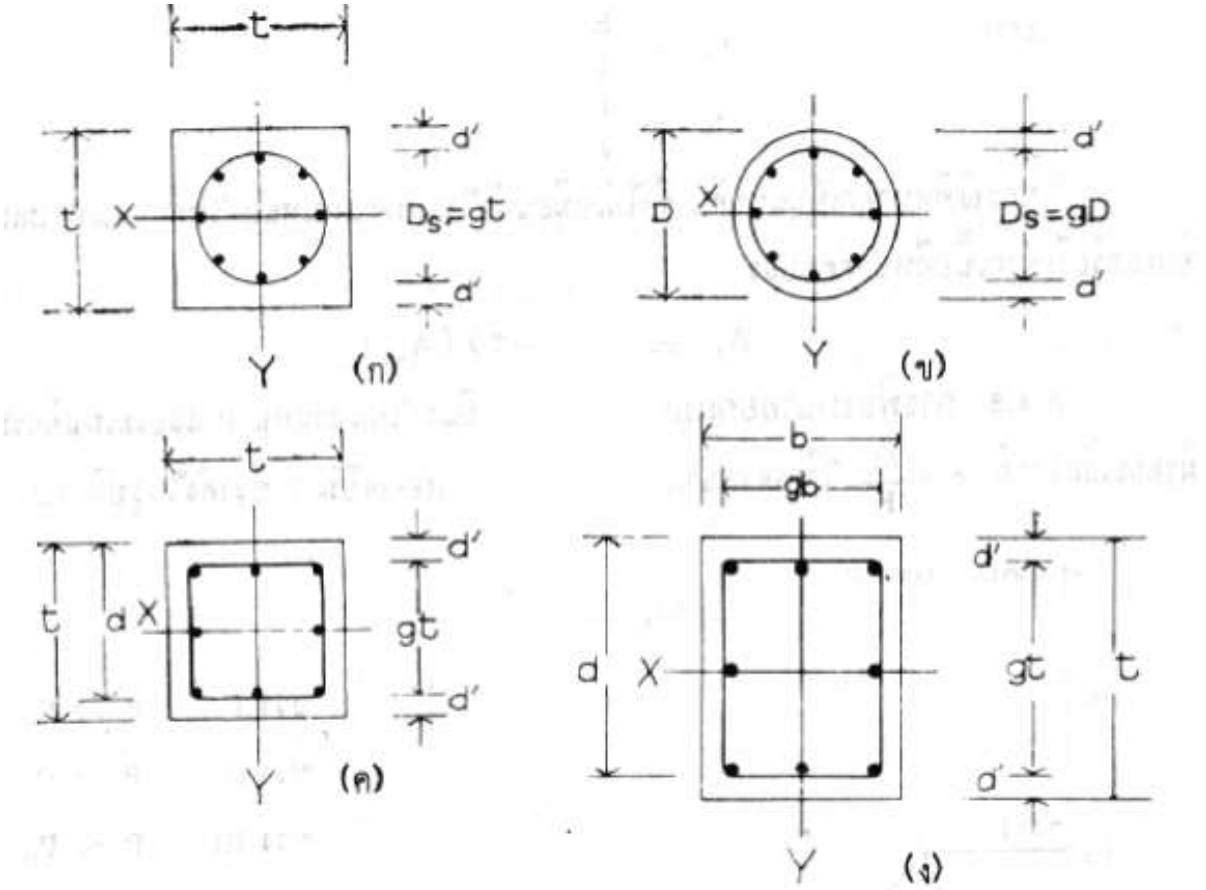
เสาปลอกเดี่ยว $e_{bx} = (0.67\rho_g m + 0.17)(t-d')$

$e_{by} = (0.67\rho_g m + 0.17)(b-d')$

หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เสริมเหล็กสองด้านไม่เหมือนกัน

เสาปลอกเดี่ยว $e_{bx} = \frac{\rho' m(t-2d)+0.1(t-d')}{(\rho'-\rho)m+0.6}$

$e_{by} = \frac{\rho' m(b-2d)+0.1(t-d')}{(\rho'-\rho)m+0.6}$



ภาพแสดง ระยะต่าง ๆ บนหน้าตัดเสา

๒. การหาค่าโมเมนต์อินเนอร์เชีย เนื้อที่หน้าตัดคอนกรีต และ ระยะหน้าตัดแบบต่าง ๆ

๑. หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เสริมเหล็กเหมือนกันทั้ง 4 ด้าน

1.1 โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$$I_x = \frac{1}{12} bt^3 + (2n-1)As_t \frac{(yt)^2}{6}$$

$$I_y = \frac{1}{12} bt^3 + (2n-1)As_t \frac{(yb)^2}{6}$$

1.2 เนื้อที่หน้าตัดคอนกรีต

$$Ag = bt$$

1.3 ระยะ

$$C_x = \frac{b}{2}$$

$$C_y = \frac{t}{2}$$

๒. หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า วางเหล็กด้านขนานเหมือนกันทั้ง 2 ด้าน

2.1 โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$$I_x = \frac{1}{12} bt^3 + (2n-1)As_t \frac{(yt)^2}{4}$$

$$I_y = \frac{1}{12} tb^3 + (2n-1)As_t \frac{(yb)^2}{4}$$

2.2 เนื้อที่หน้าตัดคอนกรีต

$$Ag = bt$$

2.3 ระยะ

$$C_x = \frac{b}{2}$$

$$C_y = \frac{t}{2}$$

๓. หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส วางเหล็กยืนเป็นวงกลม

3.1 โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$$I_x = I_y = \frac{t^4}{2} + As_t(2n-1) \frac{D_s^2}{8}$$

3.2 เนื้อที่หน้าตัดคอนกรีต

$$Ag = t^2$$

3.3 ระยะ

$$C_x = C_y = \frac{t}{2}$$

๔. หน้าตัดวงกลม วางเหล็กยืนเป็นวงกลม

4.1 โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$$I_x = I_y = \frac{\pi D^2}{64} + As_t(2n-1) \frac{D_s^2}{8}$$

4.2 เนื้อที่หน้าตัดคอนกรีต

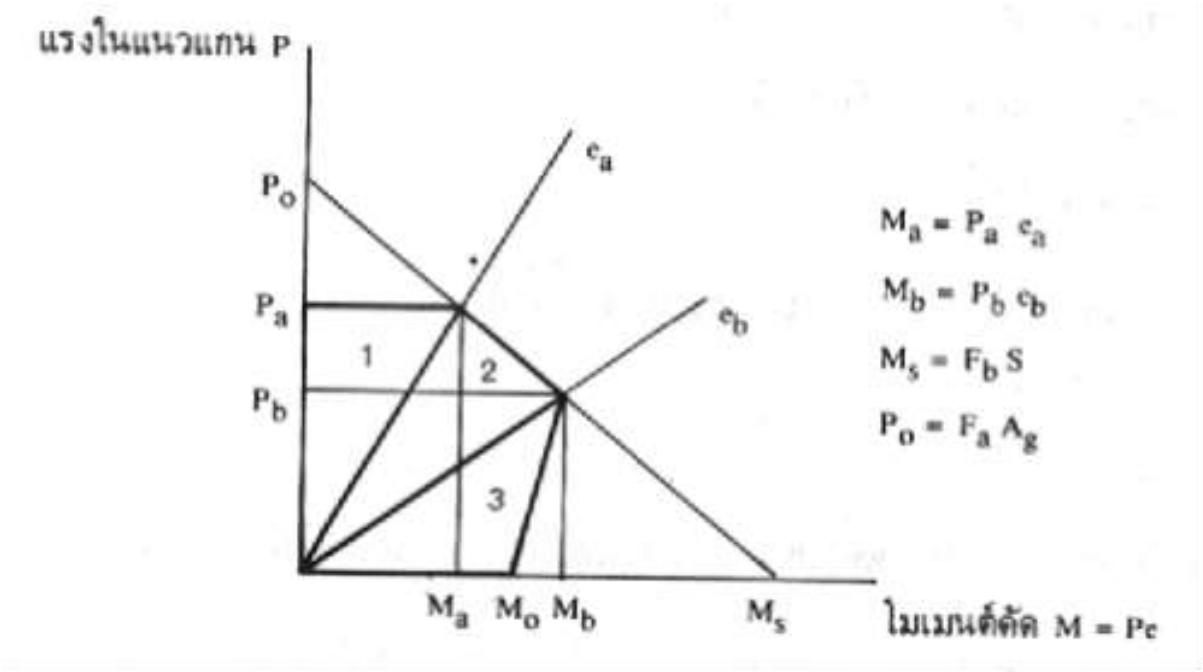
$$Ag = \frac{\pi D^2}{4}$$

4.3 ระยะ

$$C_x = C_y = \frac{b}{2}$$

๓. ขอบเขตในการออกแบบเสา

เมื่อเสามีแรง P และ โมเมนต์ M มากระทำระยะเยื้องศูนย์ e = $\frac{M}{P}$ ให้พิจารณาขอบเขตสมบัติเสาออกเป็น 3 ช่วง ดังรูป



ภาพแสดง แผนภูมิการออกแบบเสา

ช่วงที่ 1 $e < e_a$ ให้ออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว

เมื่อ $e_a = Ms(\frac{1}{P_a} - \frac{1}{P_o})$

P_a = P ตามสูตรกำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของเสาปลอกเดี่ยว, ปลอกเกลียว

$P_0 = F_a A_g$

$Ms = F_b S$

$S = \frac{I}{C}$

ช่วงที่ 2 $e_a < e < e_b$ ให้ออกแบบโดยใช้แรงอัดเป็นหลัก

ระยะเยื้องศูนย์ e_b สามารถหาได้จากสมการข้างต้นโดยขึ้นอยู่กับลักษณะหน้าตัดของเสา

ช่วงที่ 3 เมื่อ $e > e_b$ ให้ออกแบบโดยใช้แรงดึงเป็นหลัก

โดยให้ถือว่าโมเมนต์ดัดปลอดภัย M แปรผันเป็นเส้นตรงกับน้ำหนักตามแกน จาก M_0 ถึง M_b โดย M_0 เป็น กำลังต้านทานของแรงดัดเพียงอย่างเดียว และ M_b เป็นผลคูณของแรง P_b, กับระยะเยื้องศูนย์ e_b ส่วนค่า M_0 สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

เสาหน้าตัดกลมและสี่เหลี่ยมจัตุรัส เหล็กยืนเรียงเป็นวงกลม ปลอกเกลียว

$M_{ox} = M_{oy} = 0.12 As_t f_y D_s$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าปลอกเดี่ยว

$M_{ox} = 0.4 Asf_y (t-2d')$

$M_{oy} = 0.4 Asf_y (b-2d')$

เสาหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ปลอกเกลียว เรียงเหล็ก 2 ด้านเหมือนกัน

M_{ox} = $0.4\ Asf_y\ (jx)(t-d')$

M_{oy} = $0.4\ Asf_y\ (jx)(b-d')$

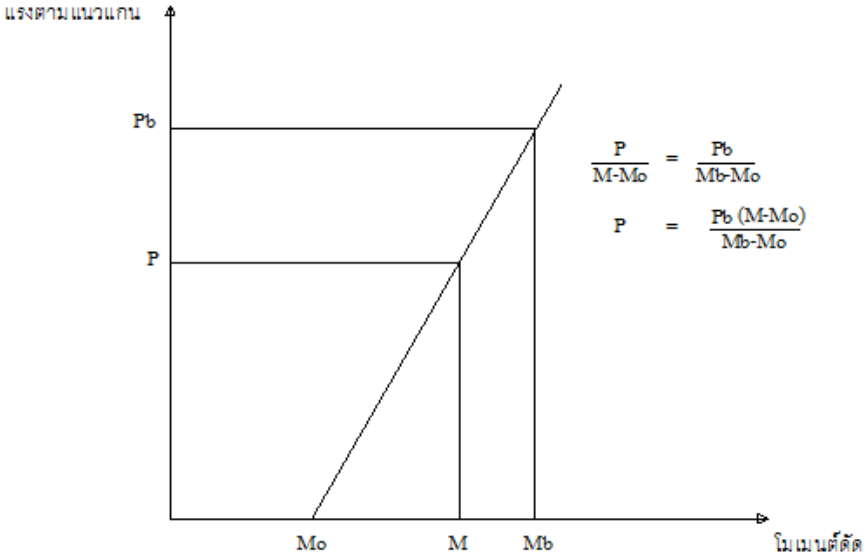
เมื่อ As_t คือ พื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็กเสริมยืนทั้งหมด

As คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง

(jx)(t-d') และ (jy)(b-d') คือ ช่วงแขนโมเมนต์

เมื่อมีโมเมนต์ทั้งแกน X และ Y

$$\frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_Y}{M_{oy}} \leq 1.0$$



ภาพแสดง กราฟการออกแบบเสาแบบรับแรงดึงเป็นหลัก

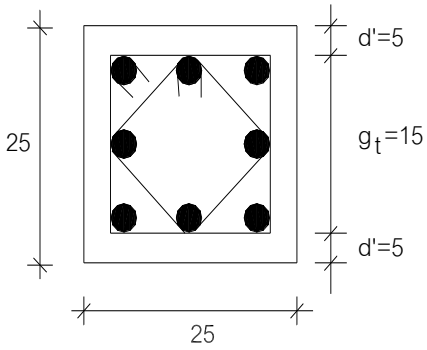
ค่าของ P ที่ได้จะต้องมีค่าไม่เกินค่าแรง P ที่กระทำต่อเสา ถ้าเกินจะต้องคำนวณใหม่ โดยการ เพิ่มขนาดหน้าตัดเสา และ/หรือ เพิ่มปริมาณเหล็กเสริมตามยาว Ast

ถ้า $M < M_0 < M_b$ เสาที่คำนวณได้จะปลอดภัยแต่ไม่ประหยัด

$M < M_0 < M_b$ เสาที่คำนวณได้จะประหยัดแต่จะปลอดภัยหรือไม่ขึ้นอยู่กับ ค่า M_0 จะต้องไม่น้อยเกินไปจนหาค่า P แล้วมีค่าสูงกว่า P จริงที่กระทำต่อเสา

ตัวอย่างการออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

จงออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อรับน้ำหนักตามแกน 250,000 กก. และโมเมนต์ 1,000 กก.-ม. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_y = 2,400 กก./ตร.ซม. n = 10.2



ขนาดเสา 25 x 25 ซม.
กำหนดเหล็กยืน 8 - ϕ 15 มม.
As = 14.14 ซม.^{2}

วิธีทำ

$$\rho_g = \frac{A_g}{bt} = \frac{14.14}{625} = 0.022$$

เสาปลอกเดี่ยว สี่เหลี่ยมจัตุรัส

e_b = [0.67 ρ_g m+0.17](t-d')

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{2400}{0.85 \text{ x } 173} = 16.32$$

t-d' = 25-5 = 20 ซม.

e_b = [0.67x0.022x16.32 +0.17] (20) = 8.21

$$e = \frac{M}{P} = \frac{1000x100}{25000} = 4 < 8.21$$

$e < e_b$ คำนวณแบบแรงอัดเป็นหลัก

$$I_x = \frac{1}{12} bt^3 + (2n-1) As_t \frac{(yt)^2}{6}$$

$$= \frac{1}{12} \times 25 \times 25^3 + (2x10.2 - 1)(14.14)\frac{15^2}{6}$$

$$= 42838.93 \text{ ซม.}^4$$

$$Fa = 0.34(1 + \rho_g m)f'_c$$

$$= 0.34(1 + 0.022 \times 16.32)(173)$$

$$= 79.94$$

$$F_b = 0.45 f'_c$$

$$= 77.85$$

$$f_a = \frac{P}{A_g}$$

$$= \frac{250000}{625}$$

$$= 40 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_b = \frac{M_x C_x}{I_x}$$

$$C_x = \frac{b}{2}$$

$$= 12.5$$

$$I_x = 42838.93$$

$$f_b = 900 \times 100x \frac{12.5}{42838.93}$$

$$= 26.26$$

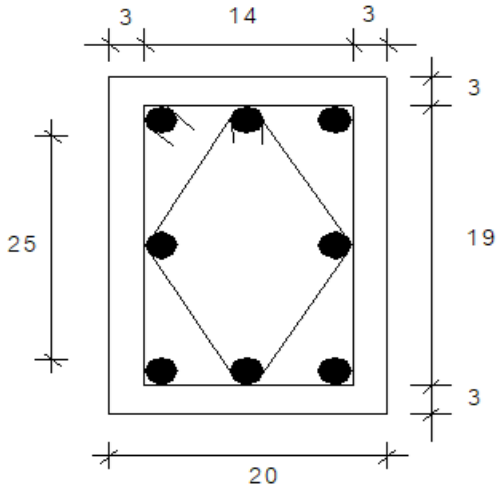
$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0$$

$$\frac{40}{79.94} + \frac{26.26}{77.85} = 0.838 < 1$$

เพราะฉะนั้น เสาขนาด 25 x 25 เสริมเหล็กยืน 8 - ϕ 15 มม. สามารถรับน้ำหนักและโมเมนต์ดังกล่าวได้โดยปลอดภัย

ตัวอย่างการออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

จงออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกน 1,600 กก. และโมเมนต์ 1,900 กก.-ม. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_y= 2400 กก./ตร.ซม. j = 0.883 n = 10



วิธีทำ

สมมติขนาดเสา 20 x 25 ซม.

ใช้เหล็กยืน 8 -ϕ 12 มม. As = 9.05 ซม.^{2}

$$\rho_g = \frac{A_g}{bt}$$

$$= \frac{9.05}{500}$$

$$= 0.0181$$

$$e_{bx} = [0.67\ \rho_g m + 0.17](t-d')$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$= \frac{2400}{0.85 \text{ x } 173}$$

$$= 16.32$$

$$d' = 3$$

$$t-d' = 25-3$$

$$= 22 \text{ ซม.}$$

$$e_{bx} = [0.67 \text{ x } 0.0181 \text{ x } 16.32 + 0.17] (22)$$

$$= 8.09$$

$$e_{by} = 6.26$$

$$e = \frac{M}{P}$$

$$= \frac{1900\ x\ 100}{16000}$$

= $11.875 > e_{bx}$, e_{by}

คำนวณแบบแรงดึงเป็นหลัก

$I_x = \frac{1}{12} bt^3 + (2n-1)As_t \frac{(yt)^2}{4}$

$= \frac{1}{12} \times 20 \times 25^3 + (2 \times 10 - 1)(9.05) \frac{16^2}{4}$

$= 41560.15$ ซม.^{4}

$Fa = 0.34 (1 + \rho_g m) f'_c$

$= 0.34 (1+0.018 \times 16.32)(173)$

$= 76.19$

$F_b = 0.45 f'_c$

$= 77.85$

$f_b = \frac{M_x C_x}{I_x}$

$= \frac{190000\ x\ 10}{41560.15}$

$= 45.72$

$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1.0$

$\frac{f_a}{76.19} + \frac{45.72}{77.85} = 1$

$f_a = 31.45$

$f_b = \frac{P_b}{20 \times 25}$

$= 31.45$

$P_b = 15725$ กก.

$M_b = P_b \frac{eb}{100}$

$= 15725 \times \frac{8.09}{100}$

$= 1272.15$

$M_0 = 0.4 As f_y (t-2d')$

$= 0.4 \times 4.52 \times 2400 (25 - 2 (3))$

$= 824.45$ กก.-ม.

$P = P_b \frac{(M-M_0)}{(M_b-M_o)}$

$= 15725 \times \frac{(1900 - 824)}{(1272.15 - 824)}$

$= 37777.48 > 160000$

แสดงว่า ขนาดเสาและการเสริมเหล็ก ยังไม่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักโดยปลอดภัย เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มขนาดเสา หรือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

แบบฝึกหัด

จงออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส สูง 3.50 ม. เพื่อรับน้ำหนักเยื้องศูนย์ 24,000 กก. ระยะเยื้องศูนย์ 4 ซม. บนแกน X กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_s = 2400 กก./ตร.ซม.และ n = 10

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๒

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๒ เรื่อง ฐานราก

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงหลักการออกแบบฐานราก

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ แบบของฐานราก

๔.๒ การกระจายน้ำหนัก

๔.๓ โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยว

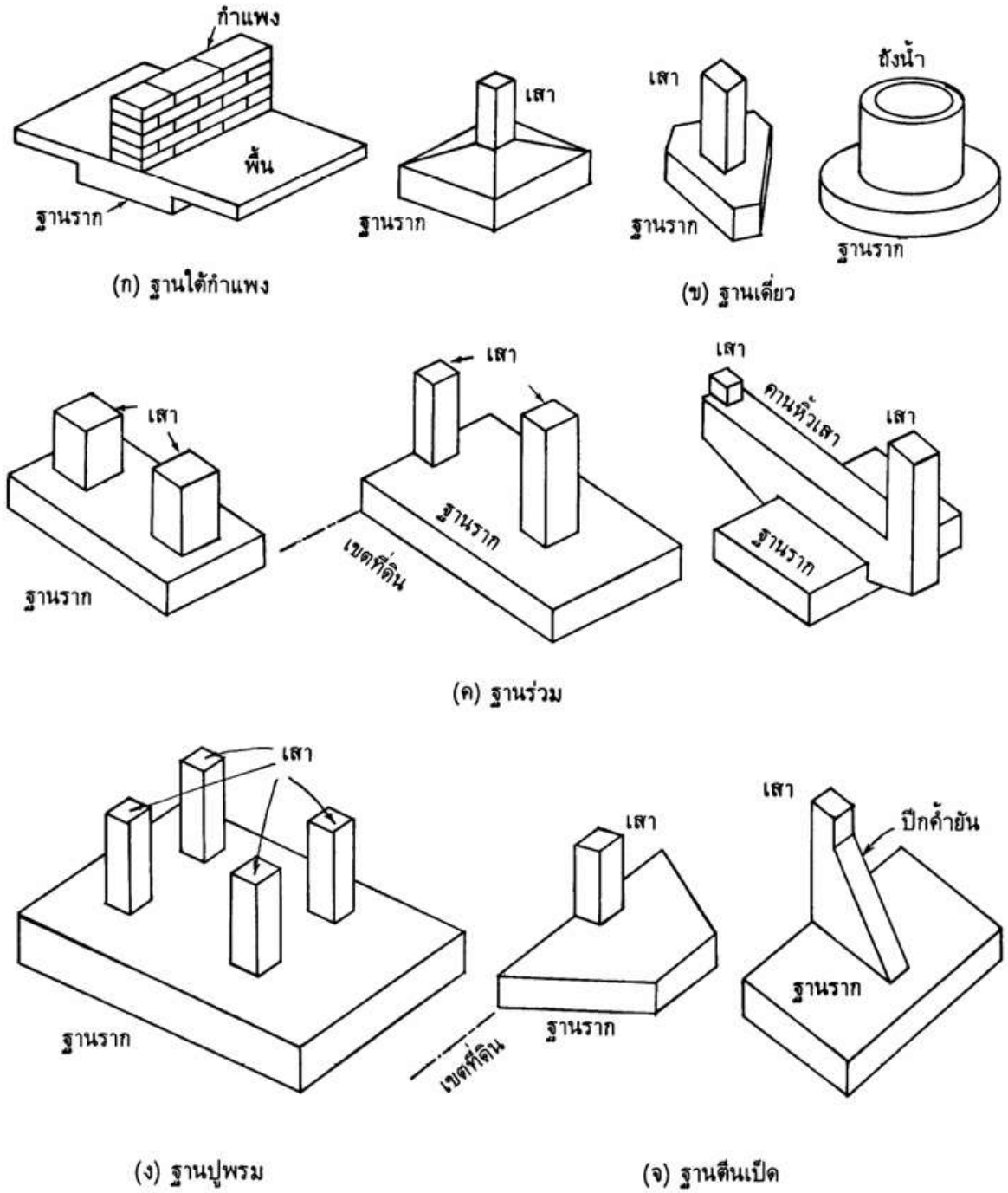
๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

ฐานรากเป็นส่วนขององค์อาคารที่รับน้ำหนักจากเสาแล้วถ่ายลงดินหรือเสาเข็มแล้วแต่กรณีดังนั้นฐานรากจึงนับว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดขององค์อาคาร เพราะถ้าฐานรากไม่มั่นคง หรือทรุด ส่วนอื่นของอาคารก็ไม่สามารถคงสภาพอยู่ได้แม้องค์อาคารเหล่านั้นจะแข็งแรงมากก็ตาม

ฐานรากสามารถแบ่งตามลักษณะของการถ่ายน้ำหนักให้กับสิ่งรองรับที่อยู่ใต้ฐานราก อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่รับน้ำหนักจากเสาแล้วถ่ายลงดินระดับตื้น ฐานรากประเภทนี้นอกจากมีหน้าที่ยึดเสาหรือตอม่อไม่ให้เคลื่อนที่แล้วหน้าที่สำคัญ คือ จะต้องกระจายหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในหน้าตัดเสาให้กระจายลงจนกว่าดินระดับตื้นที่อยู่ใต้ฐานรากสามารถรับได้โดยปลอดภัย นั้นก็คือฐานรากจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าหน้าตัดเสา จึงเรียกฐานรากประเภทนี้ว่า ฐานรากแผ่ อีกประเภทหนึ่งได้แก่ฐานรากที่รับน้ำหนักจากเสาหรือตอม่อแล้วถ่ายลงเสาเข็มซึ่งตอกไว้ก่อนแล้ว โดยให้ศูนย์กลางเสาเข็มหรือศูนย์กลางกลุ่มเสาเข็มตรงตามตำแหน่งศูนย์กลางเสาและมีจำนวนอย่างเพียงพอที่จะรับน้ำหนักจากฐานราก หน้าที่หลักของฐานรากประเภทนี้คือการยึดเสาหรือตอม่อให้ติดแน่นกับเสาเข็มโดยไม่มีการเคลื่อนที่ส่วนการกระจายน้ำหนักนั้นมีความจำเป็นน้อยลง ดังนั้นฐานรากประเภทนี้จึงมีขนาดเล็กกว่าฐานรากประเภทแรก คือ เพียงกระจายแรงกดที่รับจากเสา หรือตอม่อมาเฉลี่ยให้กับเสาเข็มเท่านั้น และเรียกฐานรากประเภทนี้ว่า ฐานรากเสาเข็ม

๕.๑ แบบของฐานราก

ฐานรากทั้งชนิดฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็มยังแบ่งตามรูปร่างและการใช้งานตามขอบเขตของที่ดิน ซึ่งมีรูปแบบต่าง ๆ ดังรูป



ภาพแสดง ฐานรากแบบต่าง ๆ

๑. แบบฐานรากใต้กำแพง เป็นฐานรากที่ต่อเนื่องใช้รับน้ำหนักกำแพงที่รับน้ำหนักบรรทุกมีความกว้างของฐานมากกว่าความกว้างของกำแพง

๒. แบบฐานรากเดี่ยว ใช้รับน้ำหนักบรรทุกจากเสาต้นเดียวที่มีระยะต่าง ๆ อาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือกลมก็ได้ อย่างเช่นฐานรากสำหรับถังน้ำ

๓. แบบฐานร่วม เป็นฐานรากที่ใช้รับน้ำหนักบรรทุกจากเสาสองต้นหรือมากกว่าใช้เมื่อเสาสองต้นใกล้กันมาก

๔. แบบฐานปูพรม เป็นฐานรากที่กระจายแผ่บนพื้นที่กว้างหรือเต็มทั้งอาคาร ใช้ในกรณีที่ฐานรากต้องรับน้ำหนักบรรทุกมาก ๆ

๕. แบบฐานรากตีนเป็ด เป็นฐานรากที่รับน้ำหนักบรรทุกจากเสาต้นเดียวที่อยู่ริมขอบฐานราก ทำให้เยื้องกับศูนย์ถ่วงของฐาน อาทิเช่น ฐานรากที่รับน้ำหนักกำแพงรั้วซึ่งชิดเขตที่ดิน เป็นต้น

๕.๒ การกระจายน้ำหนัก

แรงต้านของดินใต้ฐานรากแผ่ ไม่ว่าฐานรากจะมีรูปร่างอย่างไรก็ตามถือว่าสามารถต้านได้สม่ำเสมอเท่ากันตลอดพื้นที่ใต้ฐานรากนั้น แต่ถ้าต่างบริเวณกันหรือแม้แต่คนละฐานกัน แรงต้านหรือความสามารถในการรับแรงอัดของดินก็อาจแตกต่างกันได้ ดังนั้นการออกแบบฐานรากอาคารขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบหาแรงต้านของดินใต้พื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างอาคารนั้น อย่างทั่วถึง หากให้หน่วยแรงต้านของดินใต้ฐานรากแผ่ใด ๆ = q_s ตันต่อตารางเมตร และน้ำหนักที่กดลงบนฐานรากทั้งหมด = P ตัน พื้นที่ของฐานรากที่ต้องการ = A ตารางเมตร ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้ง 3 นี้ สามารถเขียนเป็นรูปของสมการได้ดังนี้

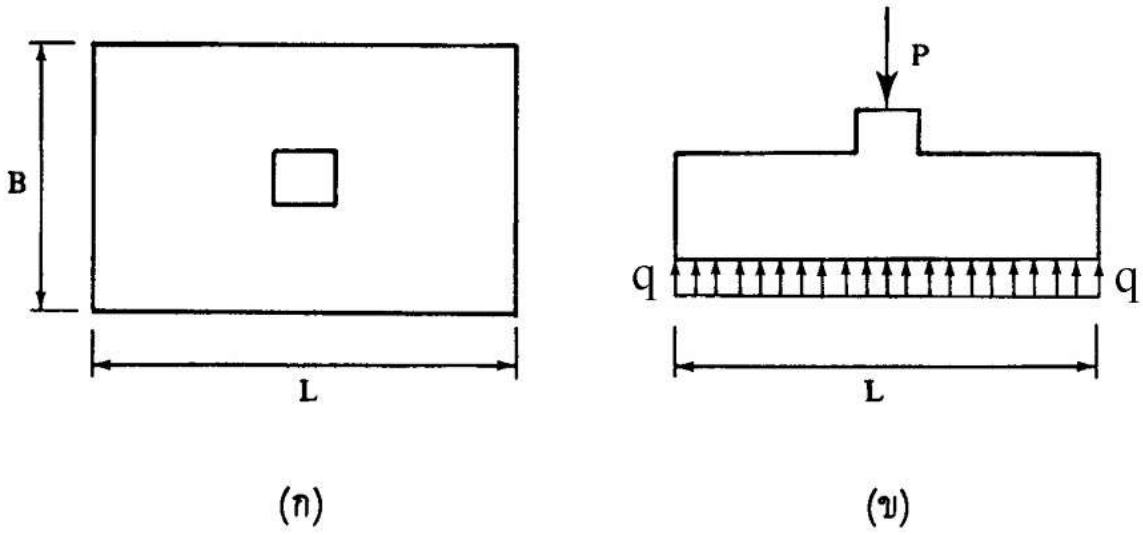
$$A = \frac{P}{q_s}$$

และในกรณีที่เสาต้องรับทั้งแรงอัด และแรงดัดพร้อมกันจะทำให้ฐานรากกดดินที่อยู่ใต้ฐานรากด้วยแรงที่ไม่สม่ำเสมอ คือ จะมากสุดที่ขอบหนึ่งของฐานและน้อยสุดที่อีกขอบหนึ่งซึ่งอยู่ตรงข้าม ถ้าให้แรงกดขอบที่มีค่าน้อยสุด = q_1 แรงกดและโมเมนต์ดัดจากเสา และแรงกดขอบที่มีค่ามากสุด = q_2 ตันต่อตารางเมตร และแรงกดและโมเมนต์ดัดจากเสา = P ตัน และ M ตัน-เมตร ตามลำดับ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

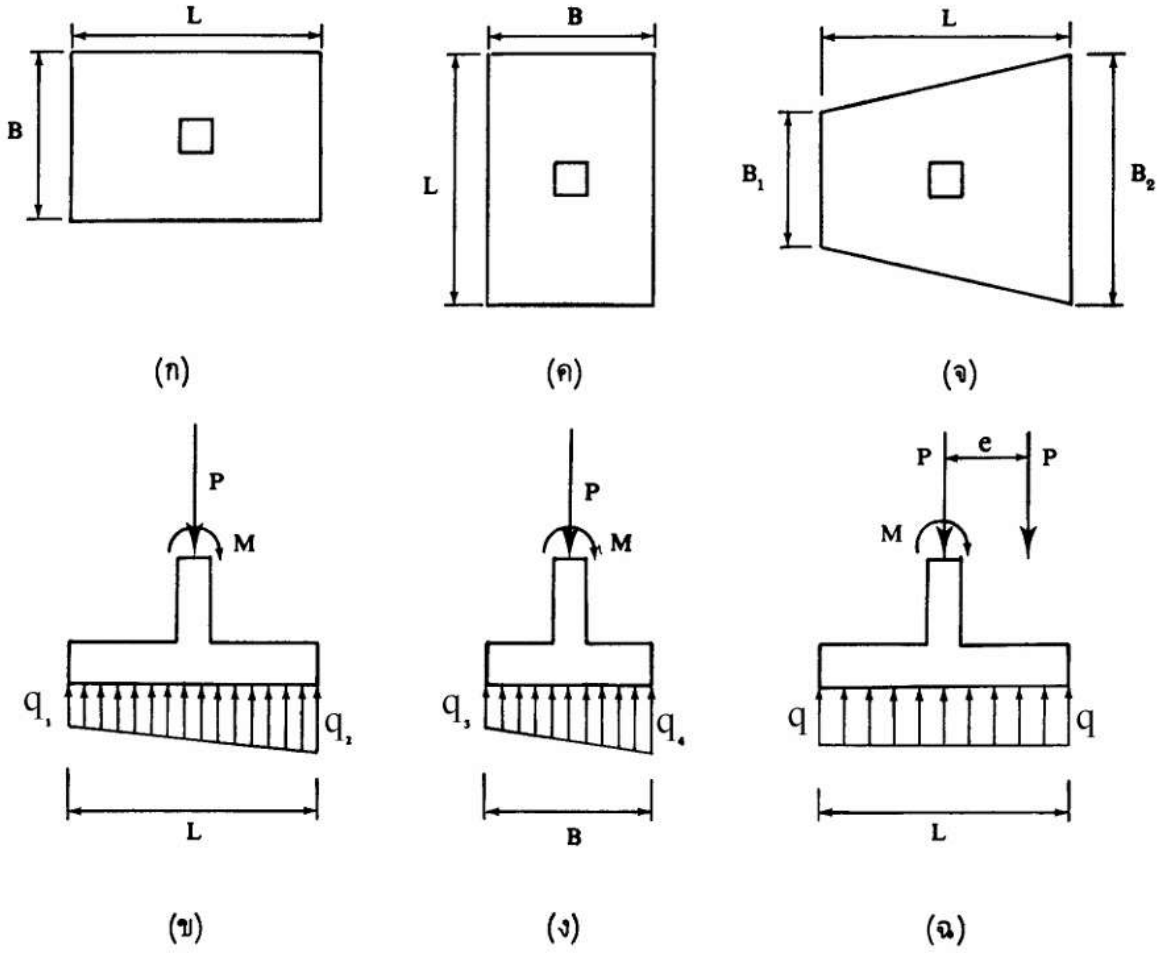
$$q_1 = \frac{P}{BL_s} - \frac{6M}{BL^2}$$

$$q_2 = \frac{P}{BL_s} + \frac{6M}{BL^2}$$

เมื่อ B และ L คือ ด้านกว้างและด้านยาวของฐานตามลำดับ



ภาพแสดง ฐานรากแผ่รับน้ำหนักตามแนวแกน



ภาพแสดง ฐานรากแผ่รับน้ำหนักเยื้องศูนย์

๕.๓ โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยว

๑. หน้าตัดวิกฤติ

ก) โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยวจากแรงภายนอกที่หน้าตัดใด ๆ ให้คำนวณจากแรงภายนอกที่กระทำข้างใดข้างหนึ่งของหน้าตัดวิกฤติ ซึ่งได้จากการผ่านระนาบดิ่งตลอดแนวฐานราก

ข) สำหรับฐานรากเดี่ยว โมเมนต์ดัดแและแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดคำนวณได้จาก วิธีในข้อ (ก) ที่ตำแหน่งหน้าตัดวิกฤติดังต่อไปนี้

- ที่ขอบเสา ตอม่อ หรือกำแพง สำหรับฐานรากที่รับเสาตอม่อ หรือ กำแพงคอนกรีต
- ที่กึ่งกลางระหว่างขอบและศูนย์กลางกำแพงสำหรับฐานรากรับกำแพงก่อ
- ที่กึ่งกลางระหว่างขอบเสาหรือตอม่อกับขอบแผ่นเหล็กรองใต้เสา สำหรับฐานรากที่ใช้แผ่นเหล็ก

ค) ความกว้างของฐานราก ซึ่งรับแรงอัดที่หน้าตัดใด ๆ คือ ความกว้างทั้งหมดที่ส่วนบนของฐานราก

๒. การเสริมเหล็ก

ก) ฐานรากที่เสริมเหล็กทางเดียว ต้องเสริมเหล็กให้มีปริมาณที่โมเมนต์และแรงยึดเหนี่ยวที่หน้าตัดวิกฤติอย่างเพียงพอ และต้องกระจายเหล็กให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของหน้าตัดนั้น ๆ

ข) ฐานรากที่เสริมเหล็กสองทาง ต้องเสริมเหล็กแต่ละทางให้ต้านทานโมเมนต์ และแรงยึดเหนี่ยวที่หน้าตัดวิกฤติอย่างเพียงพอ และต้องกระจายเหล็กเสริมให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างในแต่ละทางด้วย

ค) ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เสริมเหล็กสองทางต้องเสริมเหล็กแต่ละทางเท่ากันโดยอาศัยหลักเกณฑ์ในข้อ (ข)

ง) ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กสองทาง เหล็กเสริมทางด้านยาวต้องกระจายให้สม่ำเสมอเท่ากันตลอดความกว้างทางด้านสั้น และอยู่ด้านล่างใต้เหล็กเสริมทางด้านสั้น ส่วนเหล็กเสริมทางด้านสั้นให้กระจายสม่ำเสมอเป็นสองพวก คือ แถบกลางและแถบริม โดยมีปริมาณดังนี้

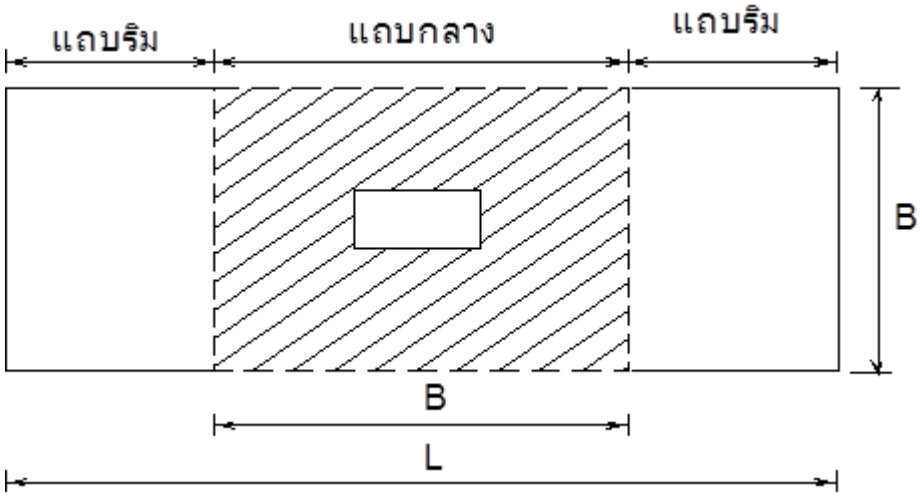
เหล็กเสริมในแถบกลางที่กว้าง B = $\frac{2}{\beta+1}$ AS_B

เมื่อ

AS_B คือ เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมทางด้านสั้นทั้งหมด

β คือ อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของฐานราก

ส่วนแถบริมให้กระจายเหล็กที่เหลือจากแถบกลางให้สม่ำเสมอทั้งสองข้างฐานราก



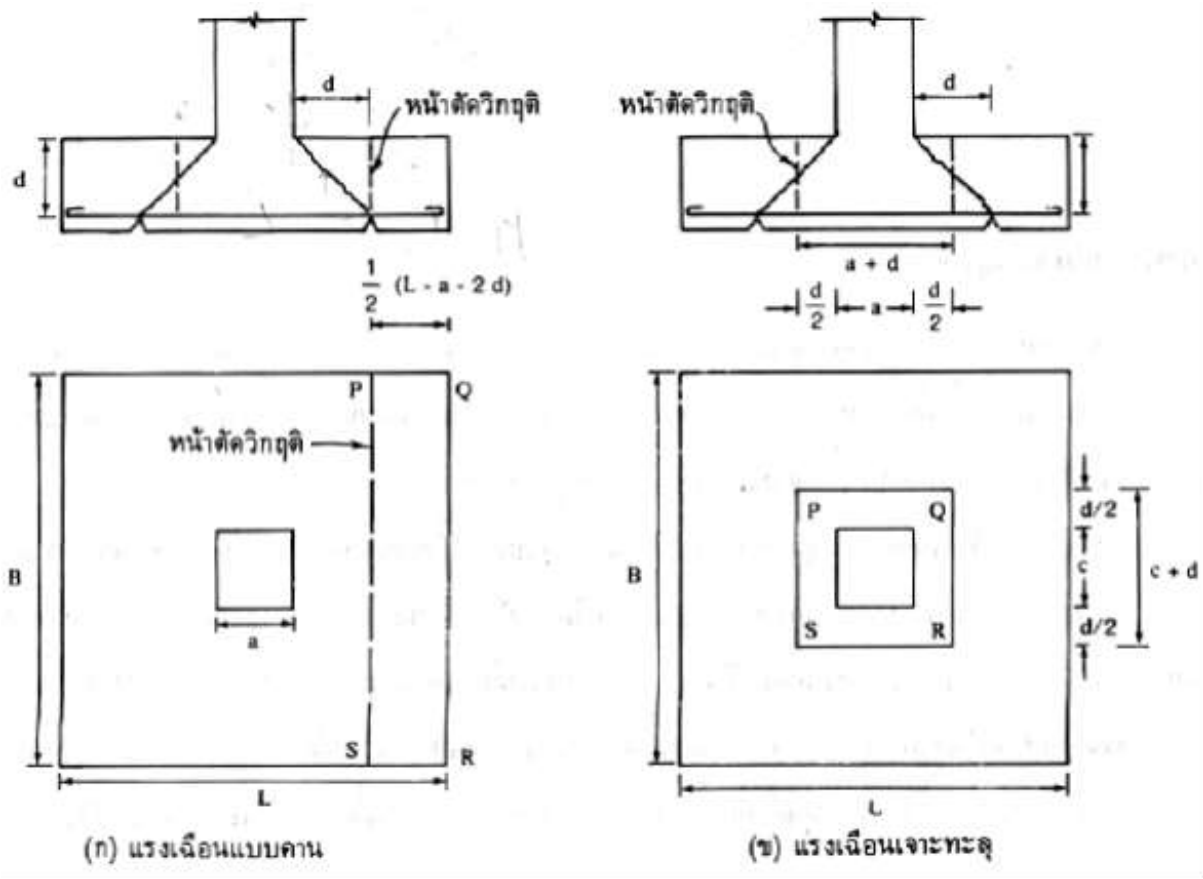
ภาพแสดง การกระจายเหล็กเสริม

๓. หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือน

ความต้านทานต่อแรงเฉือนของฐานรากที่รับน้ำหนักเป็นจุดเช่นจากเสาตอม่อ ต้องแยกพิจารณาออกเป็นสองกรณีและฐานรากจะต้องมีความหนาเพียงพอที่ต้านทานแรงเฉือนที่สูงกว่าจากกรณีใดก็ตาม

โดยพิจารณาว่าฐานรากเป็นคานกว้าง มีแนวร้าวเนื่องจากแรงดึงทแยงตามระนาบเฉียงตลอดความกว้างของฐานรากและห่างจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะ d แรงเฉือน V ที่ใช้คำนวณ คิดจากแรงดันขึ้นของดินที่อยู่ในพื้นที่ การคำนวณหน่วยแรงเฉือนใช้สูตร v = $\frac{V}{db}$ เมื่อ b = B

และพิจารณาว่าแนวร้าวที่ฐานรากเป็นแบบเฉือนทะลุตามเส้นขอบที่ฐานของกรวยกลมโดยรวมน้ำหนักกดจากเสาตอม่อและห่างจากเสาตอม่อเป็นระยะ $\frac{d}{2}$ การคำนวณหน่วยแรงเฉือน จะคิดแรงเฉือนจากแรงดันขึ้นของดินที่อยู่ภายนอกพื้นที่



ภาพแสดง หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือน

แรงเฉือนจากเสาเข็มที่อยู่ใกล้หน้าตัดวิกฤติทั้ง 2 กรณี สามารถลดค่าลงตามส่วน โดยใช้สมการ

$$P' = \frac{P}{30}(X + 15)$$

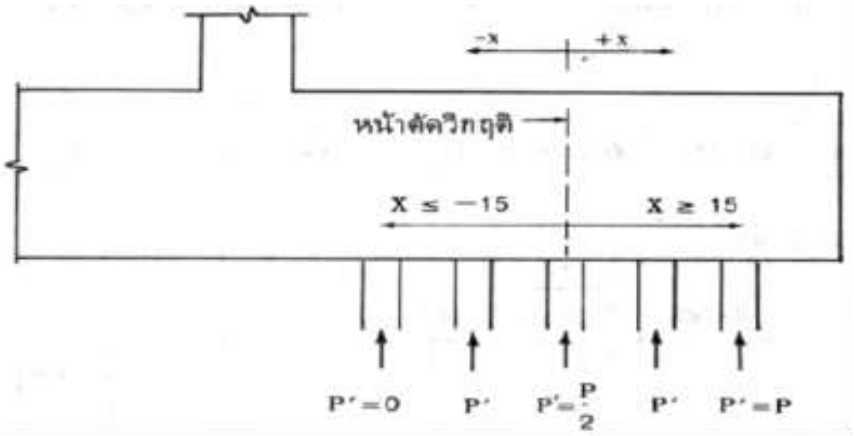
เมื่อ P คือ แรงดันเฉลี่ยของเสาเข็มแต่ละต้น

P’ คือ แรงดันของเสาเข็มที่ใช้คำนวณแรงเฉือน

X คือ ระยะที่ศูนย์กลางเสาห่างจากหน้าตัดวิกฤติ (ซม.)

เสาเข็มที่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไปทางขอบฐานราก ให้ใช้ X เป็น + ถ้า X=0, $P' = \frac{P}{2}$ และถ้า X > 15 ซม. P' = P

เสาเข็มที่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไปทางเสาตอม่อ ให้ใช้ X เป็น - ถ้า X=0, $P' = \frac{P}{2}$ และถ้า X > |-15| ซม. P' = 0



ภาพแสดง การลดค่าแรงเฉือนของเสาเข็มตามตำแหน่งต่าง ๆ

๔. ความหนาต่ำสุดของฐานราก

ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ความหนาของคอนกรีตเหนือเหล็กเสริมที่ขอบนอกของฐานรากต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม. และใต้เหล็กเสริม 5 ซม.

ฐานรากคอนกรีตล้วนที่วางบนดิน ความหนาที่ขอบนอกต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. และฐานรากที่วางบนเสาเข็มต้องมีความหนาที่ขอบนอกไม่น้อยกว่า 35 ซม.วัดจากหัวเข็ม

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง หลักการออกแบบฐานราก

๗.๒ power point เรื่อง หลักการออกแบบฐานราก

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๓

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๓ เรื่อง การออกแบบฐานรากแผ่

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบฐานรากแผ่

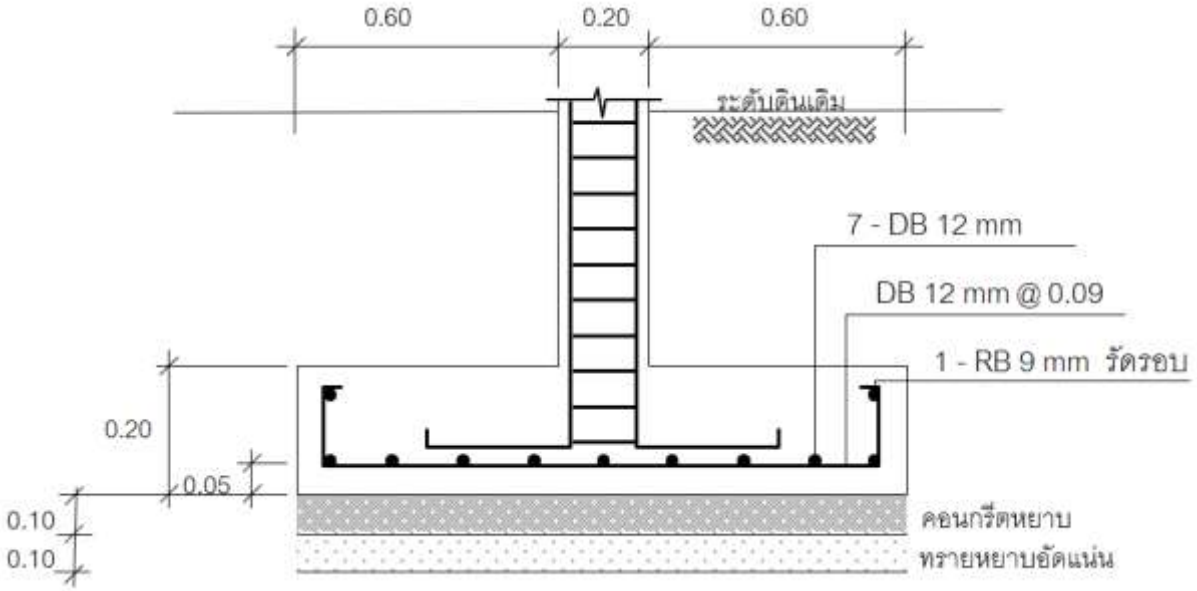
๔. ชื่อหัวเรื่อง

การออกแบบฐานรากแผ่

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

ตัวอย่างการออกแบบฐานรากแผ่

จงออกแบบฐานรากใต้กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความหนาของกำแพงคอนกรีตหนา 20 ซม. สูง 2 เมตร กำแพงรับน้ำหนักบรรทุก 12,000 กก./ม. พื้นที่รับแรงกดโดยปลอดภัย 10,000 กก./ตร.ม. ให้ f_c = 60 กก./ตร.ซม. f_s = 1200 กก./ตร.ซม. f_c' = 135 กก./ตร.ซม.



ภาพแสดง ฐานรากใต้กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

วิธีทำ

พิจารณากำแพงตามยาวทุก ๆ 1 เมตร

น้ำหนักกำแพง = 0.2 x 2 x 2400 = 960 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุก = 12000 กก./ม.

สมมติ น้ำหนักฐานราก = 1000 กก./ม.

น้ำหนักรวม = 13960 กก./ม.

ความกว้างของฐานราก = $\frac{13960}{10000}$ = 1.396 ม.

ใช้ความกว้างของฐานราก = 1.40 ม.

หน่วยแรงดันสุทธิของดิน = $\frac{13960}{1.4}$ = 9971.43 กก./ม.

โมเมนต์ที่ขอบกำแพง M = $\frac{1}{2}$ x 9971.43 x 0.60^2 = 1795 กก.-ม.

M = Rbd^2

d = $\sqrt{\frac{1795 \text{ x } 100}{9.84 \text{ x } 100}}$ = 13.51 ซม.

ใช้ความหนาขอบฐานราก 20 ซม. d = 15 ซม.

ออกแบบเหล็กเสริม

As = $\frac{M}{f_s jd}$

= $\frac{1795}{1200\ x\ 0.87\ x\ 0.15}$ = 11.40 ตร.ซม.

ใช้ ϕ 12 มม. @ 0.09 ม.

เหล็กกันร้าวทางยาว As = 0.0025 x 20 x140 = 7 ตร.ซม.

ใช้ 7 ϕ 12 มม.

แรงเฉือนแบบคานกว้าง

V = $\frac{V}{db}$

= $\frac{9971.43\ (0.60 - 0.15)\ x\ 1.00}{100\ x\ 15}$ = 2.99 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ v_c = 0.29 $\sqrt{f_c'}$

= 0.29 $\sqrt{135'}$ = 3.37 กก./ตร.ซม.

แรงยึดเหนี่ยว

u = $\frac{1}{2}$ x $\frac{3.23\sqrt{135}}{1.2}$ = 15.63 กก./ตร.ซม.

(ใช้ 11.0 กก./ตร.ซม.)

$\sum_0$ = $\frac{9971.43\ x\ 0.60}{11\ x\ 0.875\ x\ 15}$ = 41.44 ซม.

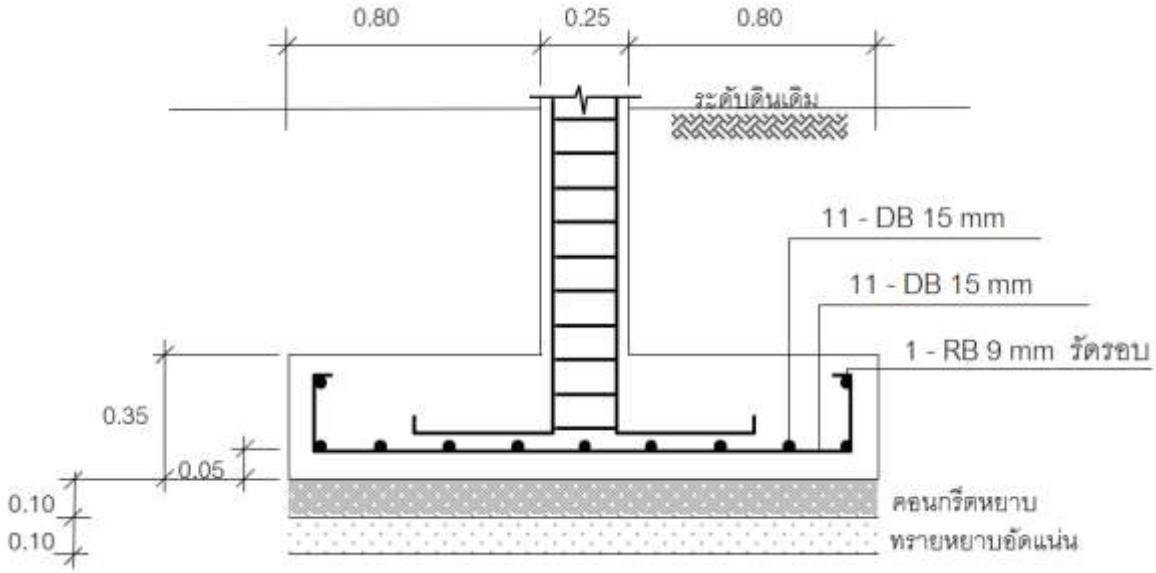
ต้องใช้ ϕ 12 มม. @ 0.09 ม. $\sum_0$ = 41.90 0.K.

น้ำหนักฐานราก = 0.2 x 1.4 x 1.0 x 2400

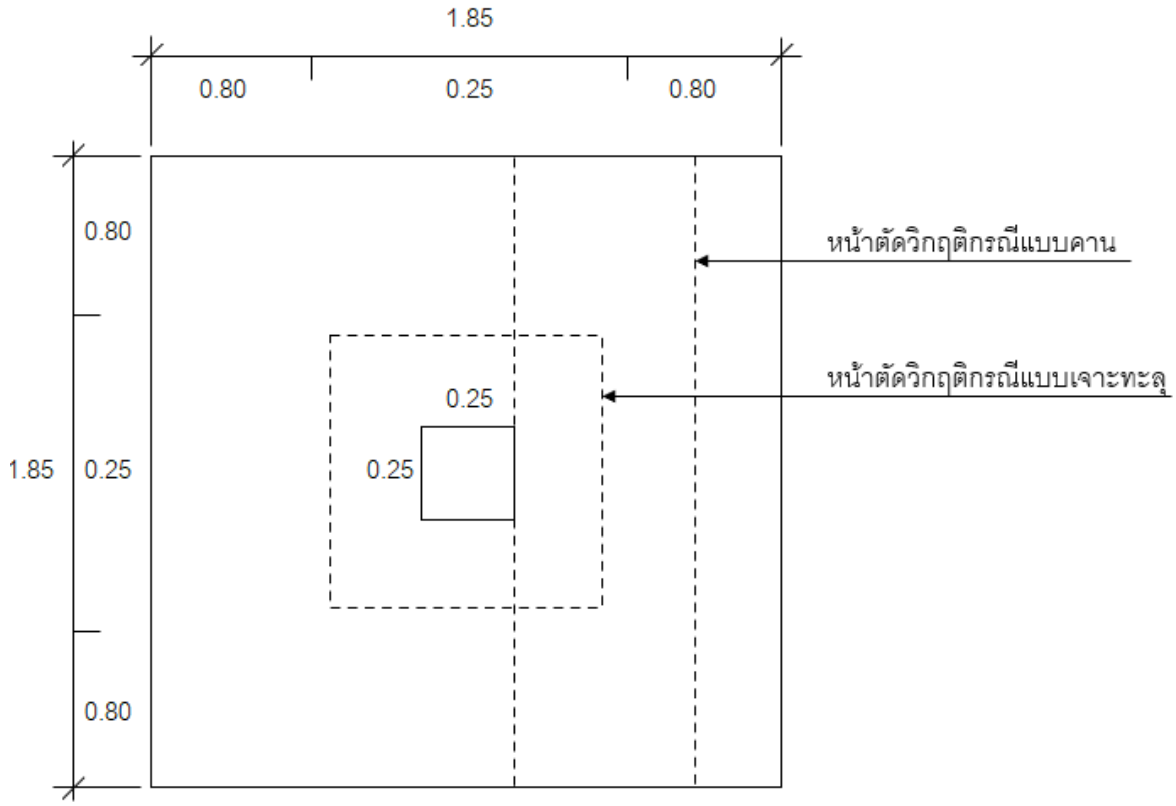
= 672 กก./ม. < 1000 กก./ม. 0.K.

ตัวอย่างการออกแบบฐานรากแผ่

จงออกแบบฐานรากแผ่เพื่อรับน้ำหนักจากเสา 30,000 กก.ขนาดเสา 25 x 25 ซม.หน่วยแรงดันขึ้นที่ปลอดภัยของดิน 10,000 กก./ตร.ม. หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 60 กก./ตร.ซม. f_s = 1500 กก./ตร.ซม. f_c'= 135 กก./ตร.ซม. R = 8.67 กก./ตร.ซม. j = 0.892 n = 12



ภาพแสดง ฐานรากแผ่



ภาพแสดง แนวหน้าตัดวิกฤติ

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสา = 30000 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 3000 กก.

น้ำหนักรวม = 33000 กก.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ = $\frac{33000}{10000}$ = 3.30 ตร.ม.

ดังนั้นใช้ฐานรากขนาด 1.85 x 1.85 ม.

เลือกความหนาของฐานรากโดยพิจารณาจากโมเมนต์ที่ขอบเสา

หน่วยแรงดันขึ้นสุทธิของดิน = $\frac{33000}{1.85 \text{ x } 1.85}$ = 9642 กก./ตร.ม.

M = $\frac{1}{2}$ x 9642 x 0.80^2

= 3085.42 กก.-ม.

$M = Rbd^2$

$d = \sqrt{\frac{3085.42}{8.67 \text{ x } 1.00}}$ = 18.87 ซม.

ใช้ฐานรากหนา 25 ซม. d = 0.20 ซม.

พิจารณาแรงเฉือนแบบทะลุ (Punching shear)

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'}$

$= 0.53 \sqrt{135}$ = 6.15 กก./ตร.ม.

เส้นรอบรูป

b = 4(25 + 20)

= 180 ซม.

V = $(1.85^2 - 0.45^2)$ x 9642

= 31047.24 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$V = \frac{V}{bd}$

$= \frac{31047.24}{180 \text{ x } 20}$

= 8.62 > 6.15 กก./ตร.ซม.

ดังนั้นต้องเพิ่มความหนาของฐานราก

$d = \frac{V}{v_c d}$

$= \frac{31047.24}{6.15 \, x \, 180}$ = 28.05 ซม.

ฉะนั้นใช้ฐานรากหนา 35 ซม.d = 30 ซม.

พิจารณาแรงเฉือนแบบคานกว้าง

แนวห่างจากขอบเสา d = 30 ซม.

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

v_c = $0.29\sqrt{f_c'}$

= $0.29\sqrt{135}$

= 3.37 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$V = \frac{V}{bd}$

$= \frac{9642 \times 0.54 \times 1.85}{185 \times 30}$

= 1.61 < 3.37 กก./ตร.ซม.

น้ำหนักฐานรากจริง = 0.35 x 1.85 x 1.85 x 2400

= 2875 กก < 3000 กก. O.K.

ออกแบบเหล็กเสริม

$A_s = \frac{M}{f_s jd}$

$= \frac{3085.42}{1200 \times 0.875 \times 0.30}$

= 9.53 ตร.ซม.

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในแต่ละด้าน = 1.85 x 9.53

= 17.63 ตร.ซม.

ใช้ 11 ϕ 15 มม. As = 19.47 ตร.ซม.

แรงยึดเหนี่ยว

$U = \frac{V}{\sum_0 jd}$

$= \frac{0.80 \times 1.85 \times 9642}{51.85 \times 0.892 \times 30}$

= 10.28 กก./ตร.ซม. < 11.0 กก./ตร.ซม. O.K.

หรือ

$\sum_0 = \frac{V}{ujd}$

$= \frac{0.80 \times 1.85 \times 9642}{11 \times 0.892 \times 30}$

= 48.48 ซม.

ใช้ 11 ϕ 15 มม. $\sum_0$ = 51.85 O.K.

แบบฝึกหัด

จงออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสา 20,000 กก.เสามีขนาด 0.20x0.20 ม.แรงต้านทานของดิน 10,000 กก./ตร.ม. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_s = 1500 กก./ตร.ซม. n = 10

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบฐานรากแผ่

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบฐานรากแผ่

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๔

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๔ เรื่อง การออกแบบฐานรากเสาเข็ม

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงการออกแบบฐานรากเสาเข็ม

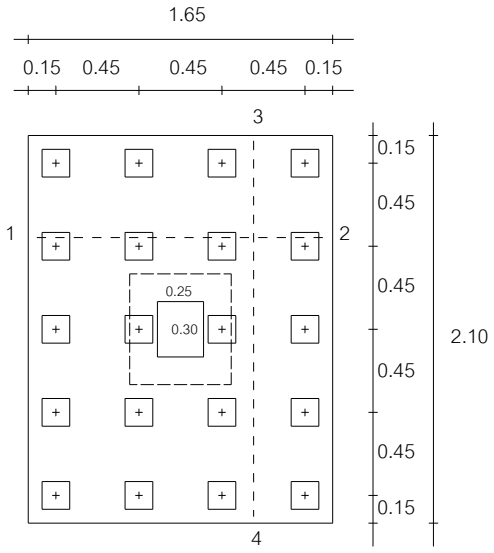
๔. ชื่อหัวเรื่อง

การออกแบบฐานรากเสาเข็ม

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

ตัวอย่างการออกแบบฐานรากเสาเข็ม

จงออกแบบฐานรากชนิดใช้เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 0.15 x 0.15 X 6.00 ม.รับน้ำหนักปลอดภัย 2,000 กก./ต้น เพื่อรับน้ำหนักจากเสา 35,000 กก.ขนาดเสา 25 x 30 ซม.หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c' = 60 กก./ตร.ซม. f_s = 1500 กก./ตร.ซม. f_c'= 135 กก./ตร.ซม. R = 8.67 กก./ตร.ซม. j = 0.892 n = 12



วิธีทำ

กำลังแบกทานของเสาเข็ม	=	2000	กก./ตัน
น้ำหนักจากเสา	=	35000	กก.
สมมติน้ำหนักจากฐานราก	=	3500	กก.
น้ำหนักรวม	=	38500	กก.
จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ	=	$\frac{38500}{2000}$	
	=	19.25	ใช้ 20 ต้น

เสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนัก = $\frac{38500}{20}$

= 1925 กก.

โมเมนต์ที่ขอบเสาด้านยาว

M = (4 x 1925 x 0.75)+(4 x 1925 x 0.30)

= 8085 กก.-ม.

d = $\sqrt{\frac{M}{Rb}}$

= $\sqrt{\frac{8085}{8.67 \text{ x } 1.65}}$

= 23.8 ซม.

โมเมนต์ที่ขอบเสาด้านสั้น

M = (5 x 1925 x 0.55)+(5 x 1925 x 0.10)

= 6256.25 กก.-ม.

ใช้ฐานรากหนา 35 ซม. d = 30 ซม.

พิจารณาแรงเฉือนทะลุ

v_c = 0.53 $\sqrt{135}$

= 6.15 กก./ตร.ซม.

P’ = $\frac{P}{30}$ (X + 15)

P’ = $\frac{1925}{30}$ (-5 + 15)

= 641.67 กก.

เส้นรอบรูป = 2x60 + 2x55

= 230 ซม.

V = (18 + 1925)+(2 x 641.67)

= 35933.34 กก.

V = $\frac{V}{bd}$

= $\frac{35933.34}{230 \, x \, 30}$

= 5.2 < 6.15 กก./ตร.ซม. OK

พิจารณาแรงเยือนแบบคามกว้าง

P’ = $\frac{P}{30}$ (X + 15)

P’ = $\frac{1925}{30}$ (0 + 15)

= 962.5 กก.

v_c = $0.29\sqrt{f_c'}$

= $0.29\sqrt{135}$

= 3.369 กก./ตร.ซม.

V = (4 x 1925)+(4 x 962.5)

= 11550 กก.

V = $\frac{11550}{165\ x\ 30}$

= 2.33 < 3.37 กก./ตร.ซม. OK

พิจารณาแรงเฉือนแบบคานกว้าง

V = 5 x 1925

= 9625 กก.

v = $\frac{9625}{210\ x\ 30}$

= 1.53 < 3.37 กก./ตร.ซม. OK

ฉะนั้น ใช้ฐานรากขนาด 1.65 x 2.10 x 0.35 และ d = 30 ซม.

น้ำหนักฐานราก = 2910.6 < 3500 กก. OK

น้ำหนักรวมจริง = 35000 + 2910.6

= 37910.6 กก. OK

เสาเข็มรับน้ำหนักต้นละ = 1895.53 กก.

ออกแบบเหล็กเสริม

พิจารณาทางยาว

M = (4 x 1895.53 x 0.75)+(4 x 1895.53 x 0.30)

= 7961.23 กก.- ม.

AS_L = $\frac{7961.53}{1500\ x\ 0.892\ x\ 0.30}$

= 19.83 ตร.ซม.

ใช้ DB Ø 16 มม.

u = $\frac{3.23\sqrt{135}}{1.6}$

= 23.45 กก./ตร.ซม.

$\sum_0$ = $\frac{V}{ujd}$

= $\frac{15964.24}{23.45\ x\ 0.892\ x\ 30}$

= 24.17 ซม.

ใช้ 10-DB Ø 16 มม. As = 20.10 ตร.ซม. $\sum_0$ = 50.29 O.K.

พิจารณาทางสั้น

M = (5 x 1895.53 x 0.10)+(5 x 1895.53 x 0.55)

= 6160.47 กก.- ม.

$AS_L = \dfrac{6160.47}{1500\ x\ 0.892\ x\ 0.30}$

= 15.35 ตร.ซม.

ใช้ DB Ø 16 มม.

$\sum_0 = \dfrac{V}{ujd}$

$= \dfrac{18955.3}{23.45\ x\ 0.892\ x\ 30}$

= 30.20 ซม.

ใช้ 8 -DB Ø 16 มม. As = 16.08 ตร.ซม. $\sum_0 =$ 40.23 O.K.

เหล็กเสริมทางสั้นในแถบกลาง

$B = \dfrac{2}{s+1} AS_B$

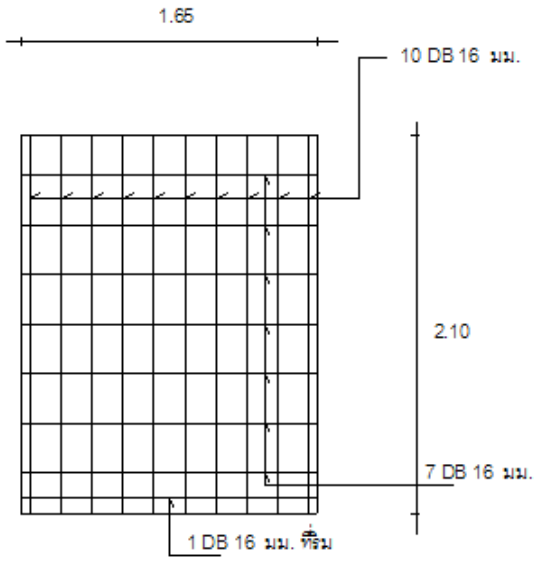
$= \dfrac{2}{\frac{2.1}{1.65}+1}$ (15.35)

= 13.51 ตร.ซ.ม. ใช้ 7- DB Ø 16 มม.

เหล็กเสริมทางสั้นในแถบริม

$As = \dfrac{15.35 - 13.51}{2}$

= 0.92 ตร.ซ.ม. ใช้ 1- DB Ø 16 มม.



แบบฝึกหัด

จงออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อรับน้ำหนักตามแกนจากเสา 32500 กก. ขนาดเสา 0.25x0.25 ม. ขนาดของเสาเข็ม 0.15x0.15 ม. รับน้ำหนักปลอดภัย 4000 กก./ต้น กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_s = 1200 กก./ตร.ซม. n = 11

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบฐานรากเสาเข็ม

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบฐานรากเสาเข็ม

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๕

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๕ เรื่อง การออกแบบฐานรากรับโมเมนต์

ใช้เวลา ๕ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.เข้าใจถึงความรู้ในการออกแบบฐานรากรับโมเมนต์

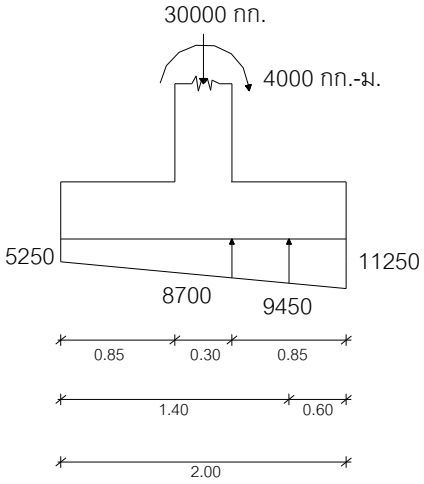
๔. ชื่อหัวเรื่อง

โมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยว

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

ตัวอย่างการออกแบบฐานรากรับโมเมนต์แบบฐานรากแผ่

จงออกแบบฐานรากแผ่เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกน 30,000 กก.จากเสาตอม่อขนาด 30x30 ซม.และโมเมนต์ 4,000 กก.-ม. ดินรับน้ำหนักปลอดภัยได้ 12,000 กก./ตร.ม.หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 60 กก./ตร.ซม. f_s = 1200 กก./ตร.ซม. f_c' = 135 กก./ตร.ซม. j = 0.885 k = 0.375 n = 12



วิธีทำ

น้ำหนักตามแนวแกน	=	30000	กก.
สมมติน้ำหนักจากฐานราก	=	3500	กก.
น้ำหนักรวม	=	33000	กก.
พื้นที่รับน้ำหนักตามแนวแกน	=	$\frac{33000}{12000}$	
	=	2.75	ตร.ม.

เลือกขนาดฐานราก 2 x 2 ม. เพื่อรับโมเมนต์

แรงดันขึ้นของดินข้างมาก P = $\frac{P}{BL_s} + \frac{6M}{BL^2}$

$= \frac{33000}{2\ x\ 2} + \frac{6x4000}{2\ x\ 2^2}$

= 11250 กก./ตร.ซม. <12000 กก./ตร.ซม O.K.

แรงดันขึ้นของดินข้างน้อย = 8250 - 3000

= 5250 กก./ตร.ซม.

แรงดันขึ้นของดินที่ขอบเสา = $5250 + \frac{1.15}{2.00}$ (11250-5250)

= 8700 กก./ตร.ซม.

โมเมนต์ที่ขอบเสา

M = 8700x0.85x2x $\frac{0.85}{2} + \frac{1}{2}$ (11250-8700)x0.85x2x0.57

= 7521.225 กก./ม.

ความลึกฐานราก d = $\sqrt{\frac{7521.23}{9.84\ x\ 2}}$

= 19.55 ซม.

เลือกความหนาฐานราก 30 ซม. d = 25 ซม.

พิจารณาแรงเฉือนแบบทะลุ

V = $(2.00^2 - 0.55^2) \times \frac{33000}{2^2}$

= 30504.38 กก.

V = $\frac{V}{bd}$

= $\frac{30504.38}{220\ x\ 25}$

= 5.5 กก./ตร.ซม.

v_c = $0.53\sqrt{f_c'}$

= $0.53\sqrt{135}$

= 6.15 > 5.55 กก./ตร.ซม. O.K.

พิจารณาแรงเฉือนแบบคานกว้าง

V = $\frac{1}{2}$ (11250 + 9450) x 0.6 x 2

= 12420 กก.

V = $\frac{V}{bd}$

= $\frac{12420}{200\ x\ 25}$

= 2.45 กก./ตร.ซม.

v_c = $0.29\sqrt{f_c'}$

= 0.29 $\sqrt{135}$

= 3.37 > 2.45 กก./ตร.ซม. O.K.

ใช้ฐานรากขนาด 2 x 2 x 0.30 ม. และ d = 25 ซม.

น้ำหนักฐานราก = 2 x 2 x 0.30 x 2400

= 2880 กก. < 3000 กก. O.K.

ออกแบบเหล็กเสริม

AS = $\frac{M}{f_s jd}$

= $\frac{7521.23}{1200\ x\ 0.875\ x\ 0.25}$

= 28.65 ตร.ซม.

ใช้ RB Ø 19 มม.

U = $\frac{3.23\sqrt{135}}{1.9}$

= 19.6 กก./ตร.ซม.

แรงเฉือนที่ขอบเสา V = $\frac{1}{2}$ (11250 + 8700) x 0.85 x 2

= 16957.5 กก.

$\sum_0$ = $\frac{V}{ujd}$

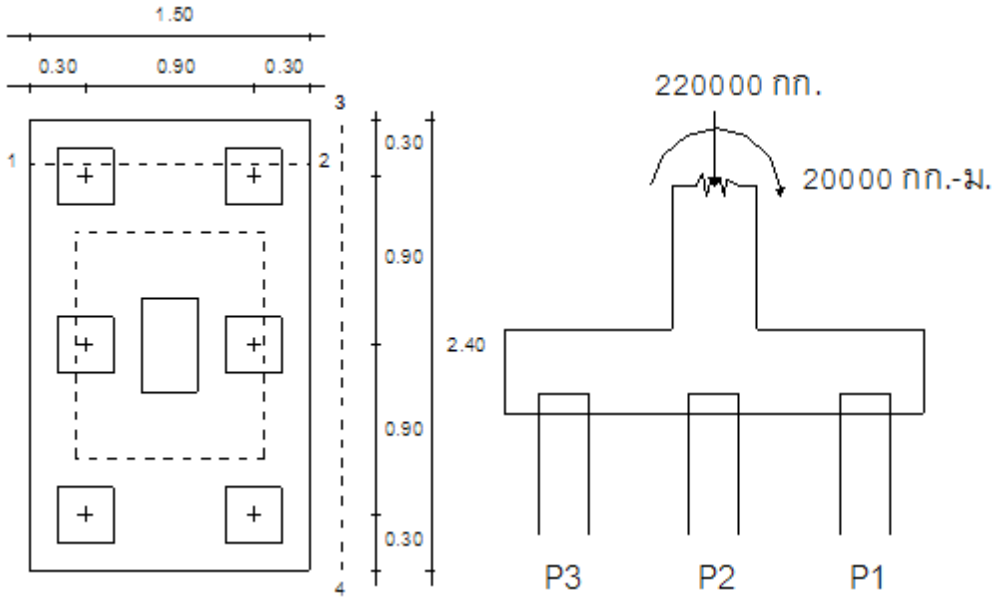
= $\frac{16957.5}{11\ x\ 0.875\ x\ 25}$

= 70.47 ซม.

ใช้ 12-RB Ø19 มม. As = 31.24 ตร.ซม. $\sum_0 =$ 71.64 ซม. O.K.

ตัวอย่างการออกแบบฐานรากรับโมเมนต์แบบฐานเสาเข็ม

จงออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกน 220,000 กก.จากเสาขนาด 30x50 ซม.และโมเมนต์ 20,000 กก.-ม.โดยใช้เข็มคอนกรีตขนาด 0.3x0.3x21.00 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 45,000 กก./ต้น หน่วยแรงที่ยอมให้ f_c = 60 กก./ตร.ซม. f_s= 1500 กก./ตร.ซม. f_c' = 135 กก./ตร.ซม. R = 8.67 กก./ตร.ซม. j = 0.892 n = 12



วิธีทำ

น้ำหนักจากเสา = 222000 กก.

สมมติน้ำหนักจากฐานราก = 7000 กก.

น้ำหนักรวม = 227000 กก.

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ = $\frac{227000}{45000}$

= 5.04 ใช้ 6 ต้น

น้ำหนักที่เสาเข็มต้องต้านทาน

P_1 = $\frac{P}{N} + \frac{Md_1}{(\sum d)^2}$

= $\frac{227000}{6} + \frac{20000 + 0.90}{4\ x\ 0.9^2}$

= 43388.89 กก.

P_2 = 37833.33 กก.

P_3 = $\frac{P}{N} - \frac{Md_1}{(\sum d)^2}$

= $\frac{227000}{6} - \frac{20000 + 0.90}{4\ x\ 0.9^2}$

= 32277.78 กก.

โมเมนต์มากที่สุดที่ขอบเสา

M = 2 x 43388.89 x (0.9 - 0.25)

= 56405.56 กก.-ม.

ความลึกของฐานราก

d = $\sqrt{\frac{M}{Rb}}$

$$= \sqrt{\frac{56405.56}{8.67 \text{ x } 1.50}}$$

= 65.86 ซม.

เลือกความหนาฐานราก 75 ซม. d = 70 ซม.

พิจารณาแรงเฉือนทะลุ

v_c = $0.53\sqrt{135}$

= 6.15 กก./ตร.ซม.

P_2' = $\frac{P_2}{30}$ (X+15)

P_2' = $\frac{37833.33}{30}$ (-5 + 15)

= 12611.11 กก.

เส้นรอบรูป b = 2 x 100 + 2 x 120

= 440 ซม.

V = (4 x 37833.33) + (2 x 12611.11)

= 176555.54 กก.

V = $\frac{V}{bd}$

= $\frac{176555.54}{440\ x\ 70}$

= 5.73 < 6.15 กก./ตร.ซม. O.K.

พิจารณาแรงเฉือนแบบคานกว้าง

P_1' = $\frac{P_1}{30}$ (X+15)

P_1' = $\frac{43388.89}{30}$ (-5 + 15)

= 14462.96 กก.

v_c = $0.29\sqrt{f_c'}$

= $0.29\sqrt{135}$

= 3.369 กก./ตร.ซม.

V = 2 x 14462.96

= 28925.92 กก.

V = $\frac{V}{bd}$

= $\frac{28925.92}{150\ x\ 70}$

= 2.75 < 3.37 กก./ตร.ซม. O.K.

น้ำหนักฐานรากจริง = 1.5 x 2.4 x 0.75 x 2400

= 6480 < 7000 กก. O.K.

ออกแบบเหล็กเสริม

เหล็กเสริมฐานรากทางยาว

$$As = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{56405.56}{1500\ x\ 0.892\ x\ 0.70}$$

= 60.22 ตร.ซม.

ใช้ DB 25 มม.

$$u = \frac{3.23\sqrt{f'_c}}{D}$$

$$= \frac{3.23\sqrt{135}}{2.5}$$

= 15.01 กก./ตร.ซม.

$$\sum_0 = \frac{V}{ujd}$$

$$= \frac{2\ x\ 43388.89}{15.01\ x\ 0.892\ x\ 70}$$

= 92.59 ซม.

ใช้ 13-DB Ø 25 มม. As = 63.83 ตร.ซม. $\sum_0$ = 102.18 O.K.

เหล็กเสริมฐานรากทางสั้น

$$As_s = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{3\ x\ 37833.33\ x\ (0.45 - 0.15)}{1500\ x\ 0.892\ x\ 0.70}$$

= 36.35 ตร.ซม.

ใช้ DB Ø16 มม.

$$u = \frac{3.23\sqrt{f'_c}}{D}$$

$$= \frac{3.23\sqrt{135}}{1.6}$$

= 23.45 กก./ตร.ซม.

$$\sum_0 = \frac{V}{ujd}$$

$$= \frac{3\ x\ 37833.33}{23.45\ x\ 0.892\ x\ 70}$$

= 77.52 ซม.

ใช้ 19-DB Ø 16 มม. As = 38.19 ตร.ซม. $\sum_0$ = 95.57 O.K.

แบบฝึกหัด

จงออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อรับน้ำหนักตามแกนจากเสา 15,000 กก. และ โมเมนต์ดัด 3,000 กก.-ม. เสามีขนาด 0.25x0.40 ม. แรงต้านทานของดิน 10000 กก./ตร.ม. กำหนดให้ f_c' = 173 กก./ตร.ซม. f_s = 1500 กก./ตร.ซม. n = 12

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

๖.๑ สอนโดยการบรรยาย อธิบายเนื้อหา พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

๖.๒ สรุปเนื้อหาโดยการระดมความคิดเชิงถามตอบกับ นนอ.และอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

๗. สื่อการสอน

๗.๑ เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การออกแบบฐานรากรับโมเมนต์

๗.๒ power point เรื่อง การออกแบบฐานรากรับโมเมนต์

๘. การประเมินผล

สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

แผนการสอนครั้งที่ ๑๖

๑. ชื่อวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑

รหัส วธ ๓๓๔ **ชั้นปีที่** ๓

ประจำภาคการศึกษาที่ ๒ **ปีการศึกษา** ๒๕๖๗

๒. ครั้งที่ ๑๖ สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗ **ใช้เวลา** ๓ ชั่วโมง

๓. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ นนอ.มีความรู้ ความสามารถในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นบันได เสารับน้ำหนักตามแนวแกน เสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์ ฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็ม ฐานรากรับโมเมนต์ ได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานกำหนด มีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัย และประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง

๔. ชื่อหัวเรื่อง

๔.๑ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นบันได

๔.๒ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน เสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

๔.๓ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็ม ฐานรากรับโมเมนต์

๕. เนื้อเรื่องโดยสรุป

๕.๑ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบแผ่นพื้นบันได

๕.๒ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบเสารับน้ำหนักตามแนวแกน เสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์

๕.๓ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และออกแบบฐานรากแผ่ ฐานรากเสาเข็ม ฐานรากรับโมเมนต์

๖. กิจกรรมและวิธีการสอน

สอบภาคทฤษฎี

๗. สื่อการสอน

ข้อสอบอัตนัย

๘. การประเมินผล

๘.๑ สอบปลายภาคการศึกษา ๒/๖๗ คะแนนเต็ม ๔๐ คะแนนคิดเป็นร้อยละ ๔๐

๘.๒ เกณฑ์มาตรฐาน วธ ๓๓๔ การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก - ๑ (Reinforced Concrete Design - 1)

ระดับ A ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๘๐

ระดับ B+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๗๕

ระดับ B ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๗๐

ระดับ C+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๖๕

ระดับ C ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๖๐

ระดับ D+ ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๕๕

ระดับ D ต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ ๕๐

ระดับ F ได้คะแนนต่ำกว่าร้อยละ ๔๙

น.ต.

(อริสมันต์ แสงธงทอง)

อาจารย์ผู้สอน

เอกสารอ้างอิง

๑. Nilson,A.H, Darwin,D. and Dolan,C.W. (2010). *Design of Concrete Structures* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

๒. วิวัฒน์ ธรรมาภรณ์พิลาศ. (2528). *คอนกรีตเสริมเหล็ก.* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

๓. Zaidee,S.R. and AbbAs,R.M. (2019). *Design of reinforced concrete structures*. Civil Engineering Department college of Engineering University of Baghdad.

๔. Wegian,F.M. (2002). *Concrete Structures Analysis and Design*. EmphAsizing American Concrete Institute (ACI 318-02) Inch-Pound and SI Units *(2nd ed.)*.

๕. The European Union Per Regulation. (2004). *Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings*. European Standard.

๖. ธนกาญจน์ สำเภาลอย. (). เอกสารประกอบการสอน วิชาออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. http://engfanatic.tumcivil.com/tumcivil_1/media/_Technic_CM/TANAKARN/RC_cmtc.pdf

๗. พงศ์นธี มณีกุล. (2559). *คู่มือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็มเลเซอร์พริ้นต์.

๘. สมศักดิ์ คำปลิว. (2556). *การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (WSD) โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). พิมพ์โดย นายอธิพัชร์ ศรเกตุ และ TumCivil.com Training Center.

๙. Mosley,W.H. and Bungey,J.H. (1990). *Reinforced Concrete Design* (4th ed.). Macmillan Education Ltd.

๑๐. Ghoniem,M.A. and El-Minilmy,M.T. (2008). *Design of Reinforced Concrete Structures* (2nd ed., Vol.1). Cairo University.