

เทคนิคการก่อสร้างอาคารสูงพิเศษ

Engineering Techniques for Skyscrapers



ดร.ปิยวัชร ชัยเสรี

อุปนายกสมาคมอาคารชุดไทย
ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บจก.อรุณ ชัยเสรี คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง



ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา มีการสร้างอาคารสูงพิเศษเป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลหลักก็จะเป็นไปเพื่อการแข่งขัน แสดงความเป็นหนึ่ง เพราะผู้ที่สร้างได้จะต้องมีทั้งเงินทุนและเทคโนโลยีอย่างสูง เราจะเห็นว่าเมื่อกว่าหนึ่งร้อยปีก่อน ฝรั่งเศสก็ได้ลงทุนสร้างหอไอเฟล ซึ่งเป็นอาคารที่สูงที่สุดในโลกในยุคนั้นเพื่อแสดงศักยภาพทางด้านเทคโนโลยี ของตนในงานแสดงสินค้าโลก (World Fair) แต่หลังจากสงครามโลกครั้งที่สอง ศูนย์กลางของความเจริญทั้งทางเทคโนโลยี และการเงินของโลกก็ย้ายไปอยู่ที่สหรัฐอเมริกา อาคารเอ็มไพร์สเตท (Empire State Building) ก็ได้ถูกสร้างขึ้น โดยเป็นอาคารโครงสร้างเหล็กที่มีความสูงรวมถึงยอดเสาทั้งสิ้น 381 เมตร และครองแชมป์ตึกที่สูงที่สุดในโลกมานานกว่า 40 ปี จนกระทั่งอาคารแฝดเวิลด์เทรด เซ็นเตอร์ แข่งขันมาได้ ซึ่งในอีกไม่กี่เดือนถัดมาอาคาร Sears ที่นครชิคาโกก็ขึ้นมาเป็นทีหนึ่ง ด้วยความสูง 442 เมตร เป็นเวลานานกว่า 25 ปี

เมื่อเศรษฐกิจในเอเชียดีขึ้น ชาติต่างๆ ก็พยายามที่จะสร้างอาคารที่สูงที่สุด เพื่อแสดงความเพียบพร้อมทางด้านเทคโนโลยี และความแข็งแกร่งทางการเงิน โดยเริ่มจากอาคาร Petronas ของมาเลเซีย และตามมาด้วย Taipei 101 และ Burj Kalifa ที่ดูไบ นอกจากนี้ยังมีอาคารสูงพิเศษอีกมากมายในเมืองต่างๆ ทั่วเอเชีย

เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารสูงพิเศษ

การที่ใครผู้ใดผู้หนึ่งจะสร้างอาคารสูงพิเศษนั้นจะต้องมีเทคโนโลยีในการก่อสร้างที่สูงเพราะอุปกรณ์และเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้จะไม่เหมือนกับการก่อสร้างทั่วไปนัก รวมถึงลักษณะของโครงสร้าง และงานระบบต่างๆ ภายในอาคารด้วย

ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง สิ่งที่มีผลกระทบต่อลักษณะอาคารก็คือ น้ำหนักขององค์อาคาร และแรงดันข้างที่กระทำต่ออาคาร

น้ำหนักของอาคารเป็นตัวที่จะกำหนดว่า อาคารนั้นจะสามารถสร้างได้บนพื้นดินตำแหน่งนั้นๆ หรือไม่ ทั้งนี้เพราะฐานรากอาคารย่อมต้องวางอยู่บนพื้นดิน ถ้าชั้นดิน

นั้นๆ รับน้ำหนักของอาคารทั้งหมดไม่ได้ อาคารก็ย่อมจะสร้างไม่ได้ นี่คือน้ำหนักของอาคารสูงพิเศษส่วนมากในโลก มักจะสร้างด้วยโครงเหล็ก ซึ่งมีมวลน้อยกว่าอาคารคอนกรีต

โครงสร้างรับแรงด้านข้าง

อาคารสูงพิเศษจะต้องออกแบบให้รับแรงด้านข้างได้อย่างดี ซึ่งแรงด้านข้างที่กระทำต่ออาคารก็คือ แรงลมและแรงแผ่นดินไหว สำหรับหอไอเฟล ซึ่งเคยเป็นโครงสร้างที่สูงที่สุดในโลกเมื่อราว 170 ปีที่แล้วนั้น วิศวกรได้ออกแบบโครงสร้างไปตามแนวโมเมนต์ (Moment Diagram) ทำให้ได้โครงสร้างที่เบาและประหยัดที่สุด ซึ่งรูปร่างนี้ก็เป็นรูปร่างเดียวกันกับพระปรางค์ วัดอรุณราชวราราม ซึ่งเคยเป็นโครงสร้างที่สูงที่สุดในประเทศไทยเมื่อราว 170 ปี ก่อนเช่นกัน

ข้อจำกัดของโครงสร้างประเภทนี้ คือจะต้องมีฐานที่กว้างใหญ่ ซึ่งจะกินพื้นที่ที่ดินมาก ดังนั้นในยุคต่อมาเมื่อมีการสร้างอาคารสูงพิเศษในเขตเมือง ที่มีพื้นที่ก่อสร้างจำกัด โครงสร้างลักษณะอื่นจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อให้ได้โครงสร้างที่สูงชะลูดในพื้นที่ที่จำกัด

ระบบโครงข้อแข็ง (Framed Structure)

เมื่อเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมพัฒนาขึ้นจนสามารถก่อสร้างโครงข้อแข็ง (Framed Structure) ได้ อาคารต่างๆ ที่มีความสูงมากขึ้นก็ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยเหตุที่โครงข้อแข็งสามารถกระจายแรงในรูปแบบต่างๆ ได้ทั่วทั้งโครงอาคาร ทำให้ทุกองค์อาคารช่วยกันรับแรงที่มาจากด้านข้างเหล่านั้นไปได้

โครงสร้างระบบโครงข้อแข็งสามารถเป็นได้ทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กหรือโครงสร้างเหล็ก ซึ่งทำให้สามารถสร้างอาคารได้ถึงประมาณ 50 เมตร เราสามารถพบเห็นโครงข้อแข็งได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างนั้นประกอบด้วย เสาและคานที่มีขนาดตัดเทียมกันโดยที่เสาและคานหลักจะยึดกันอย่างแข็งแรง



ระบบผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall)

สำหรับอาคารที่มีความสูงมากขึ้น แรงต้านข้างที่กระทำก็ย่อมมีมากขึ้นด้วย โครงสร้างระบบโครงข้อแข็งไม่สามารถรับแรงต้านข้างได้เพียงพอ เราจึงจำเป็นต้องมีระบบโครงสร้างที่มีค่า Moment of Inertia มากกว่าเสาปกติทั่วไป ถ้าพูดง่ายๆ ก็คือ เป็นโครงสร้างที่มีความลึกลงต่อเนื่องมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปก็คือ ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กต่างๆ เช่น ผนังลิฟต์ หรือผนังบันไดหนีไฟ เป็นต้น สิ่งสำคัญก็คือ ผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall) เหล่านี้จะต้องถูกยึดโยงกับองค์อาคารโดยรอบของอาคารนั้นๆ เพื่อเป็นการถ่ายแรงเข้ามา ถ้าผนังรับแรงเฉือนถูกยึดโยงด้วยเสาและคานที่เป็นโครงข้อแข็ง ทั้งผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งก็จะช่วยกันรับแรงต้านข้าง แต่ถ้าเป็นโครงสร้างแบบพื้นไร้คาน โครงสร้างหลักที่รับแรงต้านข้างก็คือ ผนังรับแรงเฉือน โดยแผ่นพื้นที่ยึดกับผนังจะรับแรงนั้น จะเป็นเพียงตัวถ่ายแรงต้านข้างจากภายนอกเข้ามาสู่ผนังรับแรงเฉือน

ขอให้ทำความเข้าใจให้ดีกว่า ไม่ใช่ว่าผนังคอนกรีตหรือผนังลิฟต์ทุกผนังเป็นผนังรับแรงเฉือนหรือถ้าผนังเหล่านั้นไม่ได้ถูกออกแบบให้รับแรงต้านข้าง เช่น ผนังลิฟต์ที่ประกอบด้วยเสา-คาน และผนังก่ออิฐก็ไม่ใช่ผนังรับแรงเฉือน เป็นต้น

ระบบโครงทึบ (Truss) หรือโครงยึดทะแยง (Diagonal Bracing)

โครงทึบ หรือโครงยึดทะแยง เป็นโครงสร้างที่เสริมเข้ามาเพื่อรับแรงต้านข้างโดยเฉพาะ ซึ่งเหมาะสำหรับอาคารที่มีขนาด เสา-คาน (โครงข้อแข็ง) และผนังลิฟต์-บันได (ผนังรับแรงเฉือน) ไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเพิ่มโครงสร้างทึบหรือโครงยึดทะแยง โดยต้องยึดให้ถึงฐานรากหรือโครงสร้างอาคารในส่วนที่มั่นคงเพียงพอ

อาคารใบหยก 2 และอาคารชาเตอร์สแควร์ ถนนสาทรเหนือ เป็นอาคารที่ใช้ระบบโครงยึดทะแยงเพื่อรับแรงต้านข้าง

แต่เราจะมองจากภายนอกไม่เห็น เพราะโครงเหล่านี้นั้นถูกปิดโดยผนังภายนอกแต่สำหรับอาคารที่มีการนำโครงยึดทะแยงนี้มาอยู่ภายนอกให้เห็นอย่างสวยงาม เช่น อาคาร John Hancock ที่ชิคาโก หรือ อาคาร Sumitomo ที่ชินจูกุ โตเกียว ส่วนอาคารที่โดดเด่น ที่นำโครงทึบมาเป็นโครงสร้างรับแรงต้านข้าง และรับน้ำหนักด้วยเห็นจะได้แก่อาคาร Bank of China ที่ฮ่องกง ที่ออกแบบโดยสถาปนิก I.M. Pei



ระบบโครงท่อข้อแข็ง (Tubed Frame)

เช่นเดียวกับสิ่งต่างๆ ในธรรมชาติเมื่อมีความสูงมากขึ้นก็มักจะต้านทานแรงลมไม่ไหว ในที่สุดก็จะหักโค่นหรือพังทลายลงมา แต่มีสิ่งที่สูงชะลูดและคงทนต่อแรงลมต้านข้างนั่นก็คือ ต้นไม้ วิศวกรได้นำแนวคิดจากต้นไม้มาใช้กับอาคารสูงพิเศษ โดยทำเป็นระบบโครงท่อข้อแข็ง ซึ่งประกอบด้วยเสา เรียงเป็นแถวรอบนอกของอาคารและเชื่อมโยงกันด้วยคานขนาดใหญ่เหมือนกับต้นไม้ ซึ่งมีท่อน้ำเลี้ยงเล็กๆ อยู่โดยรอบ และมีข้อปล้องรัดอยู่เป็นระยะๆ และโครงสร้างนี้จะมี ความคงทนต่อแรงต้านข้าง และมีความอ่อนตัวสามารถโยกเอนได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง

อาคารสูงพิเศษที่ใช้ระบบโครงท่อข้อแข็ง ที่เรารู้จักกันดีก็คือ อาคาร World Trade Center ที่นิวยอร์ก ซึ่งถูกทำลายลงโดยผู้ก่อการร้าย ได้นำเครื่องบินโดยสารโบอิง 767 2 ลำ ซึ่งมีขนาดใหญ่บรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิงเต็มถัง บินพุ่งชนอาคารทั้ง 2 หลัง ในส่วนบน โดยในครั้งนั้นเสาโดยรอบ

ประมาณ 2 ใน 3 ถูกแรงกระแทกทำลายลงและความร้อนจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส แต่ด้วยความแข็งแรงของระบบโครงท่อข้อแข็งทำให้อาคารสามารถยืนหยัดอยู่ได้ถึงกว่า 40 นาที ก่อนที่โครงสร้างซึ่งเป็นเหล็กจะอ่อนตัวลงจากความร้อนของเพลิงที่ลุกไหม้อยู่และพังทลายลงมาในที่สุด

อาคารสูงพิเศษที่มีขนาดพื้นที่มาก มักจะใช้ระบบโครงท่อข้อแข็งหลายวงมาต่อรวมกัน ซึ่งจะเรียกว่าระบบโครงท่อข้อแข็งรวม (Bundled Tubed Frame) ซึ่งจะเห็นได้จากอาคาร Sears Tower ที่ชิคาโก ที่ครองความเป็นอาคารที่สูงที่สุดในโลกมานานกว่า 25 ปี อาคารนี้มีระบบโครงท่อข้อแข็งถึง 9 วง ต่อรวมกันเป็นลักษณะ 3 แถว แถวละ 3 วง แล้วลดหลั่นลงในชั้นบนจนเหลือเพียงวงเดียวในส่วนที่สูงที่สุด

ในอาคารสูงพิเศษบางอาคารจะใช้ระบบโครงสร้างรับแรงด้านข้างหลายแบบผสมกัน เช่น อาคารไบหยก 2 จะใช้ทั้งระบบโครงท่อข้อแข็ง ร่วมกับโครงยึดทะแยงและผนังรับแรงเฉือน ทั้งนี้ด้วยเหตุที่มีพื้นที่อาคารจำกัด ถ้าใช้ระบบโครงสร้างรับแรงด้านข้างระบบเดียวจะไม่เพียงพอที่จะรับแรง

งานสถาปัตยกรรมสำหรับอาคารสูงพิเศษ

ในปัจจุบันโครงการอาคารสูงพิเศษได้รับการออกแบบให้มีรูปแบบแปลกตาทันสมัย โดยที่โครงสร้างของอาคารก็เป็นไปตามระบบโครงสร้างดังได้กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้สิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบสถาปัตยกรรมของอาคารสูงพิเศษก็คือคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในอาคาร โดยคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ มวล ทั้งนี้เพราะวัสดุที่เข้ามาประกอบไม่ว่าจะเป็นผนัง พื้น ฝ้า ถ้ามีมวลมาก ฐานรากก็ย่อมต้องรับน้ำหนักมากขึ้นด้วย ซึ่งจะเป็นผลให้ราคาก่อสร้างสูงขึ้น และอาจทำให้ชั้นดินเบื้องล่างไม่สามารถรับน้ำหนักรวมของอาคารได้

ดังนั้น วัสดุมวลเบาต่างๆ มีบทบาทสำคัญในอาคารสูงพิเศษ อาทิเช่น อิฐมวลเบา ผนังเบาชนิดต่างๆ หรือแผ่นบุรอบอาคารแบบ Aluminium Composite เป็นต้น

ในยุคปัจจุบัน ระยะเวลาการก่อสร้างเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งผู้ออกแบบจะต้องคำนึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารสูงพิเศษ ขึ้นส่วนสำเร็จรูปจึงมีความจำเป็นมากขึ้น เพราะนอกเหนือจากการที่ช่วยร่นระยะเวลาการก่อสร้างแล้ว ยังจะช่วยให้เนื้องานมีคุณภาพดีตามที่กำหนดได้เนื่องจากมีการผลิตจากโรงงานที่มีการควบคุมคุณภาพ

งานวิศวกรรมระบบสำหรับอาคารสูงพิเศษ

สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งสำหรับอาคารสูงพิเศษ คือระบบภายในอาคารซึ่งต้องคำนึงถึงในสามประการคือ ความสะดวกสบาย ความปลอดภัย และความประหยัด การขนส่งภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ลิฟต์ความเร็วสูง ประกอบกับการจัดการที่ดีจะช่วยให้สามารถขนถ่ายผู้โดยสารรวมถึงสิ่งของต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันได้มีการติดตั้งลิฟต์สองชั้นในอาคารสูงพิเศษใหม่ๆ บางอาคารซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพื้นที่ที่จะต้องทำปล่องลิฟต์ลงไปได้

การประหยัดพลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในปัจจุบัน ในหลายประเทศได้มีการกำหนดเรื่องการประหยัดพลังงาน Carbon Footprint และการก่อสร้างอาคารสีเขียว (Green Building) เป็นตัวชี้วัดของผู้ประกอบการต่างๆ ทำให้อาคารสมัยใหม่ต้องให้ความสำคัญกับเรื่องเหล่านี้

การก่อสร้างอาคารสูงพิเศษคงจะมีขึ้นอย่างต่อเนื่อง รูปลักษณะของอาคารและวัสดุอันทันสมัยก็จะมีการนำมาใช้ แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการออกแบบก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีอย่างยั่งยืนของเราทุกคน

