

# STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 43 December 2014)

A Joint Publication of the Japan Iron and Steel Federation and  
Japanese Society of Steel Construction

## ฉบับภาษาไทย

วารสารฉบับแปลภาษาอังกฤษของ *Steel Construction Today & Tomorrow* ได้มีการตีพิมพ์ 3 ครั้งต่อปี และมีการจัดส่งทั่วโลกให้แก่ผู้บริหารของบริษัทในทุกภาคอุตสาหกรรมและองค์กรที่เกี่ยวข้อง จุดประสงค์สำคัญในการตีพิมพ์วารสารนี้ก็นำเสนอมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก ตัวอย่างของโครงการก่อสร้างใหม่ ๆ เทคโนโลยีและวัสดุก่อสร้างที่ล้ำหน้า ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างโครงสร้างอาคารและวิศวกรรมโยธา

เพื่อช่วยให้ผู้อ่านชาวไทยสามารถที่จะเข้าใจบทความได้ง่ายขึ้น ได้มีการจัดแปลบทความภาคภาษาไทย และแนบท้ายกับฉบับภาษาอังกฤษ สำหรับรูปภาพ ไดอะแกรมและตารางได้มีการจัดแปลเป็นภาษาไทยเพียงส่วนหัวเรื่อง ผู้อ่านสามารถอ้างอิงกับฉบับภาษาอังกฤษสำหรับเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ถ้าผู้อ่านต้องการทราบศัพท์บรรยายหรือ รายละเอียดทางด้านเทคนิค โปรดอ้างอิงกับบทความภาษาอังกฤษ เช่นเดียวกัน

ฉบับที่ 43 เดือนธันวาคม 2014

---

เนื้อหาพิเศษ: การต้านทานแรงลมของอาคาร	
การเปลี่ยนแปลงของการออกแบบต้านทานแรงลมและการตรวจสอบความต้านทานแรงลมในญี่ปุ่น	1
ความเสียหายที่เกิดจากแรงลมขนาดใหญ่ต่ออาคารและแนวความคิดในการลดระดับความเสียหายนั้น	4
ข้อกำหนดด้านแรงลมในกฎหมายบังคับอาคารของญี่ปุ่น	6
การประเมินระดับความเป็นอยู่พิจารณาตามการสั่นไหวของอาคารจากแรงลม	9
การออกแบบต้านทานลมตามระดับสมรรถนะสำหรับ โครงสร้างในแนวตั้งสูง 300 เมตร	11
รายละเอียดพื้นฐานในการเชื่อมต่อโดยใช้สลักเกลียวกำลังสูง	15
กิจกรรมของ JISF	ปกหลัง

---

ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2014

The Japan Iron and Steel Federation

3-2-10 Nihonbashi-Kayabacho, Chuo-ku, Tokyo 103-0025, Japan

โทรสาร: 81-3-3667-0245

โทรศัพท์ : 81-3-3669-4815

ที่อยู่อีเมล: sunpou@jjsf.or.jp

เว็บไซต์: <http://www.jjsf.or.jp>

(หน้า 1~3)

## การเปลี่ยนแปลงของการออกแบบต้านทานแรงลม และการตรวจสอบความต้านทานแรงลมในญี่ปุ่น

โดย Yasushi Uematsu, Professor, Tohoku University

### การบังคับใช้กฎหมายควบคุมอาคาร

ในญี่ปุ่น ได้มีการบังคับใช้กฎหมายควบคุมอาคารอย่างเป็นทางการเมื่อปี 1950 และถือว่าเป็นกฎหมายแรกที่กำหนดสูตรการคำนวณแรงลมที่นำมาใช้ในการออกแบบอาคาร กฎหมายนี้ได้กำหนดให้การคำนวณแรงลม P โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$P = C \cdot q \cdot A \quad (1)$$

เมื่อ

C = สัมประสิทธิ์แรงลม

A = พื้นที่อาคารหรือพื้นที่ที่ใช้แทนอาคาร (ตารางเมตร)

q = แรงดันจากความเร็วลม (คำนวณโดยใช้สมการ (2))

ในขณะเดียวกัน สัมประสิทธิ์แรงลม C ได้กำหนดไว้ว่า “สัมประสิทธิ์ความดันภายนอก – สัมประสิทธิ์ความดันภายใน” และสัมประสิทธิ์ทั้งสองนี้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้

$$q = 60 \sqrt{h} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (2)$$

เมื่อ

h: ความสูงเหนือระดับพื้นดิน (เมตร)

สูตรสมการนี้อ้างอิงจากความเร็วลมสูงสุดในขณะใดขณะหนึ่ง 63 เมตรต่อวินาทีที่ตั้งตรวจวัดได้ที่ส่วนบนของทาวเวอร์หอคอย (สูง 15 เมตรจากระดับพื้นดิน) ที่ Muroto Meteorological Observatory ช่วงที่เกิดพายุไต้ฝุ่น muroto ในปี 1934 สูตรนี้ได้มีการสมมติให้มีการกระจายตัวในทางตั้งของแรงลมสูงสุดที่ขณะใดขณะหนึ่งเป็นสัดส่วนกับแรงลมที่มีกำลัง  $1/4$  ของความสูงเหนือระดับพื้นและแทนที่ค่าที่ได้จากการวัดนั้น

ตัวเลขกำลังของการกระจายตัวในทางตั้งของแรงลมสูงสุดระหว่างพายุไต้ฝุ่นและแรงลมที่มีกำลังอื่น ๆ มีค่าประมาณ  $1/2$  ของความเร็วลมโดยเฉลี่ยปกติ และดังนั้นตัวเลขยกกำลัง  $1/4$  ที่กำหนดกำลังของความเร็วลมเฉลี่ยปกติถือว่าเป็นประมาณ  $1/2$  ซึ่งเหมาะสมสำหรับสภาพเวลานั้น ซึ่งแท้จริงแล้วไม่ได้สะท้อน

ถึงสภาพที่แท้จริง อย่างไรก็ตามในญี่ปุ่น ยังไม่มีอาคารที่สามารถเรียกได้เต็มทีว่าเป็นอาคารสูงถูกก่อสร้างขึ้น และแทบจะไม่มีอาคารซึ่งแรงลมเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโครงสร้าง ดังนั้นจึงไม่เกิดปัญหานี้มากมายนัก นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์แรงลม C ไม่เพียงแต่เป็นผลที่ได้จากการทดสอบอุโมงค์ลมซึ่งมีเป็นแรงลมที่สม่ำเสมอแต่ยังไม่อาจอ้างอิงกับกระแสลมที่แท้จริงที่มีความไม่สม่ำเสมออย่างถูกต้องได้ นอกจากนี้ พื้นฐานทางสังคม ณ เวลานั้นซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการเกิดสมการ (6) ยังรวมไปถึงปัจจัยเหล่านี้

- ในเวลานั้น เพราะว่าพายุไต้ฝุ่น muroto เป็นพายุขนาดที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนในญี่ปุ่น จึงได้มีการคาดการณ์ไว้ว่า ถ้าค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเช่นนั้นได้ถูกนำมาใช้ การออกแบบอย่างปลอดภัยอาจจะเป็นไปได้ในการต้านทานพายุไต้ฝุ่นในอนาคต
- สิ่งที่แตกต่างกันจากแผ่นดินไหวก็คือพายุไต้ฝุ่นสามารถที่จะคาดการณ์การเกิดได้ในระดับหนึ่ง และดังนั้นจึงสามารถวางมาตรการรับมือพายุไต้ฝุ่นได้ นอกจากนี้ ยังได้พบว่าถึงแม้ค่าที่ใช้กำหนดแรงลมที่ต่ำลงมาได้ถูกนำมากำหนดใช้เพื่อความประหยัด แต่จะไม่เกิดปัญหาใหญ่มากนัก

### การเพิ่มความสูงของอาคารกระตุ้นให้เกิดการพิจารณาวิธีการคำนวณแรงลมขึ้นใหม่

ภายหลังจากที่มีการแพร่หลายของโทรทัศน์ในบ้านเรือนระหว่างช่วงการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในญี่ปุ่น หอคอยสัญญาณโทรทัศน์ขนาดใหญ่ของประเทศหอแรกที่มีความสูง 180 เมตรได้ถูกก่อสร้างขึ้นที่เมืองนาโกยาในเดือนมิถุนายน 1954 ในช่วงที่ทำการออกแบบหอคอยนี้ ความไม่เพียงพอของสมการ (2) ได้ถูกแสดงออกมาให้ปรากฏ เพราะเหตุนี้ค่าการกระจายตัวในแนวตั้งของแรงลมสูงสุดได้ถูกพิจารณาใหม่ซึ่งอ้างอิงกับตัวอย่างการใช้ค่านี้นในประเทศอื่น ๆ และเป็นเหตุให้เกิดสมการขึ้นใหม่ ซึ่งสมมติตัวเลขยกกำลัง  $1/8$  และใช้ในการออกแบบหอคอยทาวเวอร์

$$q = 120 \sqrt[4]{h} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (3)$$

หลังจากการก่อสร้างหอคอยโทรทัศนนาโกยาเสร็จสิ้น ได้มีการตรวจวัดค่าจริงระหว่างการเกิดพายุไต้ฝุ่น ซึ่งค่าจริงที่ได้สอดคล้องกับสมการที่ (3) เพราะเหตุนี้ สมการที่ (3) จึงเป็นส่วนสำคัญที่นำมาใช้ในการก่อสร้างในญี่ปุ่นหลังจากนั้น

ภายหลังจากที่มีการแก้ไขกฎหมายควบคุมอาคารในปี 1963 อาคารสูงขนาดใหญ่อาคารแรกของญี่ปุ่น อาคาร มิตซุย - คาซุมิกากาเอกิ (สูง 36 ชั้นเหนือระดับพื้นดิน ความสูง 156 เมตร) ได้ถูกสร้างขึ้นเสร็จในโตเกียว ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของยุคอาคารสูงในญี่ปุ่น นอกจากนี้ สนามกีฬาในร่มแห่งชาติที่มีส่วนกลางสูง 126 เมตร ก็ได้ถูกก่อสร้างขึ้นสำหรับงานโอลิมปิกเกมส์โตเกียวในปี 1964 ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการก่อสร้างอาคารช่วงยาวในญี่ปุ่น

ในขณะที่ความสูงและช่วงระหว่างเสาของอาคารมีค่าเพิ่มขึ้น ดังที่แสดง ค่าความถี่ธรรมชาติลดลงและแรงกระทำของลมเพิ่มขึ้น เพราะว่าส่วนประกอบของการกำทอน (ผลกระทบจากการกำทอน) ทำให้แรงพลศาสตร์ของอาคารมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อขนาดของอาคารมีขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนองค์อาคารแต่ละชั้นมีค่าลดลงเนื่องจากผลของขนาดอาคาร ในกรณีของอาคารที่มีขนาดเล็ก ผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุก (ตัวอย่างเช่น ค่าหน่วยแรงที่กระทำต่อองค์อาคาร) มีค่าสูงสุดเมื่อค่าความเร็วของลมสูงสุดมีค่ามากที่สุด แต่ในกรณีของอาคารขนาดใหญ่ แรงลมที่กระทำต่อชั้นส่วนของอาคารไม่สามารถมีค่าสูงสุดได้ในทุก ๆ องค์อาคาร และดังนั้น ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกนี้จะไม่ค่าสูงสุดในขณะที่เกิดแรงลมสูงสุด

สืบเนื่องจากแนวความคิดนี้จึงทำให้เกิดความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นถึงผลกระทบของแรงลมที่มีต่อการก่อสร้างอาคาร และนำไปสู่งานวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานของความไม่สม่ำเสมอของแรงลม วิธีการในการทดสอบอุโมงค์ลม และสภาพที่แท้จริงของแรงดันลม การสั่นไหวที่เกิดจากแรงลม และปัจจัยอื่น ๆ

การที่เกิดอาคารสูงจำนวนมากได้กระตุ้นให้ต้องมีการจัดทำวิธีการออกแบบด้านทานแรงลมสำหรับ curtain wall โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อหาวิธีการในการทดสอบความต้านทานแรงลมของแผ่นกระจก และความสามารถในการป้องกันน้ำของ curtain

wall ระหว่างช่วงนั้น ญี่ปุ่นได้เกิดพายุไต้ฝุ่นขนาดใหญ่จำนวนมาก เช่น พายุไต้ฝุ่น ise-bay (1959) และ Muroto ครั้งที่สอง (1961) ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อโครงสร้างหลังคา ผนังภายนอกและองค์อาคารด้านนอกอาคารอื่น ๆ ความเสียหายต่อองค์อาคารด้านนอกเหล่านี้บ่อยครั้งยังเป็นสาเหตุ ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อองค์อาคารหลัก และยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการป้องกันความเสียหายต่อองค์อาคารภายนอกและการออกแบบโครงสร้างที่ปลอดภัย

เพราะเหตุนี้ประกาศฉบับที่ 109 เอกสารกฎหมายแรกที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบด้านทานแรงลมขององค์อาคารประกอบด้านนอก ได้ถูกกำหนดใช้โดยกระทรวงการก่อสร้างเมื่อปี 1971 กฎกระทรวงนี้มีเนื้อหาเน้นไปที่เรื่อง 2 เรื่องนี้คือ

1) แรงลมที่ใช้ในการออกแบบได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามวัสดุหลังคาและ curtain wall ซึ่งได้มีการคำนวณโดยใช้สมการ:

- สำหรับวัสดุหลังคา:  $q = 120\sqrt{h}$  (kg/m<sup>2</sup>) (4)

- สำหรับวัสดุ curtain wall ด้านนอกของอาคารที่มีความสูงกว่า 31 เมตร:

$$q = 60\sqrt{h} \text{ (kg/m}^2\text{) for } h \leq 16 \text{ m} \quad (5a)$$

$$q = 120\sqrt{h} \text{ (kg/m}^2\text{) for } h > 16 \text{ m} \quad (5b)$$

2) อัตราส่วนของแรงลมในด้าน eave หลังคาเย็น verges และส่วนหน้าตัดของมุมผนังได้ถูกกำหนดไว้ ซึ่งสัมพันธ์กับแรงลมที่ใช้ออกแบบได้ตั้งไว้ที่  $C = -1.5$

รูปที่ 1 เป็นผลของการรวมสมการ 5(a) กับสมการ 5(b) เส้นกราฟโค้งของสมการทั้งสองตัดกันที่ความสูง 16 เมตร และค่าที่น้อยกว่าของเส้นโค้งทั้งสองที่แต่ละความสูงได้นำมาเลือกใช้ในการออกแบบแรงลม

รูปที่ 1 การเปรียบเทียบแรงลมที่ใช้ในการออกแบบ

**ความพยายามในการจัดทำวิธีการคำนวณแรงลมที่เหมาะสมขึ้น**

ลมไม่ได้พัดสม่ำเสมอ และความเร็วลมทั่วไปขึ้น ๆ ลง ๆ ทั้ง

ในด้านเวลาและตำแหน่ง ศาสตราจารย์ อัลัน จี คาเวนพอร์ทของแคนาดาเมื่อปี 1967 ได้นำเสนอวิธีการใหม่ที่รู้จักในนามวิธีการผลกระทกของลม (gust loading factor method) (รูปที่ 2) ในการตรวจสอบผลของการขึ้น ๆ ลง ๆ ของแรงลมต่อการสั่นไหวของอาคาร วิธีการนี้มีพื้นฐานมาจากหลักการความน่าจะเป็นและสถิติและนำผลของการประเมินมาใช้ในสูตรเพื่อที่จะคำนวณแรงลม โดยวิธีการนี้ การออกแบบแรงลม P ได้ถูกคำนวณโดยใช้สมการเหล่านี้

$$P = q \times C \times G \times A \quad (6)$$

$$q = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (7)$$

ที่ซึ่ง

U: ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง z เหนือระดับพื้นดิน

G หมายถึง สัมประสิทธิ์การกระทกของลม:

$$G = \frac{\bar{X} + x_{\max}}{\bar{X}} = 1 + g_x \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \quad (8)$$

อย่างไรก็ตาม

$\bar{X}$  : ค่าเฉลี่ย displacement ของอาคารเนื่องจากค่าแรงลมเฉลี่ย

$x_{\max}$ : ค่าสูงสุดของค่า dynamic displacement ของอาคาร

$\sigma_x$  : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับ dynamic displacement ของอาคาร

$g_x$ : Peak factor

เมื่อวิธีการในการคำนวณแรงลมได้ถูกเปรียบเทียบกับข้อบังคับของกฎหมายควบคุมอาคาร สิ่งเหล่านี้จึงมีความชัดเจนก็คือ:

- เมื่อพิจารณาถึงการสั่นสะเทือนจากแรงลม ความเร็วลมที่ขณะใดขณะหนึ่งสม่ำเสมอที่สุดอาจจะไม่ให้น้ำหนักบรรทุกทุกแรงลมที่สูงที่สุดเสมอไป เช่น หน่วยแรง displacement และผลกระทบด้านน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ
- ในอาคารขนาดใหญ่ แรงลมขณะใดขณะหนึ่งเช่น

ความเร็วลมสูงสุดต่อเนื่องไม่ถือว่าการกระทำต่อเนื่องไปทั้งโครงสร้างอาคารทั้งหมด

เพราะเหตุนี้วิธีการคำนวณแรงลมจึงได้ใช้วิธีการทางด้านความน่าจะเป็นและสถิติเพื่อที่จะประเมินผลกระทบต่อน้ำหนักบรรทุกต่ออาคารโดยลักษณะที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ของความเร็วลม และกำหนด " equivalent static wind load ซึ่งเป็นผลกระทบของ " น้ำหนักบรรทุกที่สูงที่สุดการใช้ น้ำหนักบรรทุกทุกแบบค่าคงที่มาใช้แทนในการออกแบบโครงสร้างทั่วไป สามารถนำมาใช้ได้ด้วยการใช้วิธีนี้

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (1) กับสมการ (6) พบว่าในขณะที่สมการ (1) ค่าของแรงลมคิดมาจากความเร็วลมต่อเนื่องสูงสุดในสมการ (6) ค่าที่ใช้สำหรับแรงลมคิดมาจากความเร็วลมเฉลี่ย นอกจากนี้ในขณะที่สมการ (1) ผลของน้ำหนักบรรทุกทุกแบบพลศาสตร์เนื่องจากแรงลมได้นำมาพิจารณาโดยใช้ความเร็วลมขณะใดขณะหนึ่งที่สูงสุด ในสมการ (6) ได้คิดถึงการใช้ ผลของการกระทกของลม G ที่คิดมาจากค่าสูงสุดของการสั่นสะเทือนในอาคาร

การตอบสนองของอาคารไม่ได้ขึ้นอยู่กับเพียงแต่ความเร็วลมแต่ยังขึ้นกับรูปร่างและขนาดของอาคาร เช่นเดียวกับกับความถี่ธรรมชาติ ค่าของ damping และคุณสมบัติอื่น ๆ ของการสั่นไหว ผลกระทบเหล่านี้ทั้งหมดเป็นผลในสมการ G ในกรณีของอาคารขนาดเล็ก อาจจะสรุปได้ว่าผลกระทบต่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเกิดขึ้นที่โมเมนต์ของความเร็วลมต่อเนื่องที่สูงสุด ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของความเร็วลมต่อเนื่องสูงสุดต่อค่าความเร็วลมเฉลี่ยกำหนดให้เป็นสัมประสิทธิ์การกระทกของลม  $G_v$  แรงลมเป็นอัตราส่วนต่อค่ากำลังสองของความเร็วลมและตามสมการ (1) เป็นเช่นเดียวกันกับ  $G = G_v^2$  ในสมการ (6)

อาจจะกล่าวได้ว่าการคำนวณแรงลมโดยใช้สมการ (6) ถือว่าเป็นค่าที่สมเหตุสมผลกว่าการใช้สมการ (1) เพราะเหตุนี้ การใช้สมการ (6) ในการประเมินแรงลมสามารถนำมาใช้ร่วมกับการเตรียมมาตรฐานและข้อกำหนดในหลายประเทศ ในญี่ปุ่น ก็เช่นเดียวกัน วิธีการในการคำนวณแรงลมดังที่กำหนดไว้ในคู่มือสำหรับน้ำหนักบรรทุกและอาคารของสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น ได้ถูกแก้ไขในปี 1981 ตามผลการทดสอบและการสังเกตข้อมูล

และเป็นไปในทางทิศเดียวกันกับวิธีการเสนอโดยศาสตราจารย์ ดาเวนพอร์ท

ดังนั้น เพราะข้อจำกัดหลายข้อได้ถูกแจกแจงออกมาใน คู่มือที่ได้ทำการแก้ไขแล้ว จึงได้มีการแก้ไขอีกครั้งในปี 1993 สำหรับการแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้คือ:

- สมการการคำนวณแรงลมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท: สำหรับโครงสร้างอาคารและสำหรับองค์อาคารประกอบด้านนอกอาคาร เพราะว่าขนาดและลักษณะการสั่นไหวในโครงสร้างหลักอาคารมีความแตกต่างกันกับองค์อาคาร และเนื่องจากการคำนึงถึงความแตกต่างของแรงกระทำของแรงลมบนโครงสร้างหลักอาคารกับองค์อาคารของอาคาร
- ความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบได้พิจารณาถึงความถี่ของการเกิดขึ้นของแรงลมขนาดใหญ่และความปลอดภัยของอาคารระหว่างช่วงอายุของอาคารในพื้นที่นั้น ๆ นั่นคือช่วงคาบการเกิดตามระดับความปลอดภัยที่กำหนดสำหรับอาคาร และอาคารได้ออกแบบตามความเร็วลมที่มีการกำหนดคาบการเกิด ในขณะเดียวกัน ค่าความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบได้ถูกประเมินโดยใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยประจำปี
- ค่าแรงดันจากความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบ  $qH$  ถูกตั้งว่าเป็นแรงดันที่ความสูงอาคารมาตรฐาน  $H$  โดยทั่วไปความ (สูงเฉลี่ยของหลังคาเพราะเหตุนี้ การกระจายในแนวดิ่งของแรงลมได้ถูกพิจารณาเป็นการกระจายตัวตามแนวดิ่งของค่าสัมประสิทธิ์แรงลม (หรือสัมประสิทธิ์แรงดันลม)
- ผลของการในช่วงขณะและการขึ้น ๆ ลง ๆ ของความเร็วลมหรือแรงดันลมได้ถูกประเมินโดยใช้หลักการความน่าจะเป็นและสถิติ ซึ่งมีการแสดงในรูปแบบของการกระชอกของลมที่มีการกำหนดโดยศาสตราจารย์ดาเวนพอร์ท ผลของการกระชอกของลมได้ถูกนำมาใช้ในกรณีอื่น ๆ ที่กว้างกว่า เช่น เป็นสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึง ผลของน้ำหนักบรรทุกแบบพลศาสตร์ของแรงดันลมและแรงลม
- สภาพของแรงลมได้ถูกจัดประเภทตาม ความ "ขรุขระของพื้นเพื่อที่จะสะท้อนถึงผลกระทบต่อองค์ประกอบของลม

ต่อเงื่อนไขสภาพที่กำหนดไว้สำหรับ การกระจายตัวในแนวดิ่ง "การกระจายตัวในแนวดิ่งของ" และ "ต่อความเร็วลมโดยเฉลี่ยกำลังของการเกิดในช่วงขณะของแรงลม"

ภายหลังในปี 2000 ได้มีการแก้ไขกฎมาตรฐานอาคารซึ่งได้กำหนดวิธีการคำนวณแรงลมซึ่งได้นำวิธีการทางความน่าจะเป็นและสถิติมาใช้ เช่นเดียวกันกับที่ใช้หลาย ๆ ประเทศ ถึงแม้ว่าวิธีการที่กำหนดไว้นี้อาจจะมีการทำให้ง่ายขึ้นโดยการกำหนดข้อจำกัดไว้หลายข้อ เช่นการจำกัดความสูงของอาคารที่พิจารณาไว้ที่ 60 เมตรหรือน้อยกว่า วิธีการพื้นฐานที่นำมาใช้ในญี่ปุ่น สำหรับการคำนวณแรงลมเป็นวิธีการที่กำหนดไว้ในข้อแนะนำเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกในอาคาร (1993) สถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น

แผนงานของสถาบันที่จะแก้ไขข้อแนะนำทุก ๆ 10 ปีโดยการคอยเพิ่มเติมข้อมูลใหม่ล่าสุดเรื่อย ๆ การแก้ไขข้อแนะนำในปี 2014 และนำไปตีพิมพ์ในเอกสารการแก้ไขในปี 2015 ในการแก้ไขนี้ เพื่อที่จะให้เกิดความถูกต้องเที่ยงตรงในการคำนวณแรงลมที่ใช้ในการออกแบบ ได้มีการพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ มากมายเช่นผลกระทบของพื้นดินต่อความเร็วลม สัมประสิทธิ์ทิศทางของลมและค่าต่าง ๆ ตามฤดูกาล การสั่นไหวที่ผันแปรของ aerodynamic และการนำไปใช้ผสมกันของแรงลมในหลายทิศทาง นอกจากนี้ การแก้ไขข้อกำหนดนี้ยังได้กำหนดแนวคิดของ fluid dynamics

การเกิดขึ้นของอาคารสูงก่อให้เกิดปัญหาใหม่ ๆ ที่มีได้คาดคิดมาก่อน ในปี 1979 พายุไต้ฝุ่นลูกที่ 20 เข้ามายังพื้นที่โตเกียวโดยที่กำลังของแรงลมทุก ๆ 10 ปีและก่อให้เกิดปัญหาการสั่นไหวของอาคารเนื่องจากแรงลมนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ศูนย์กลางบริเวณชินจูกุ การสั่นไหวในอาคารมิได้ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านโครงสร้างอย่างรุนแรง แต่เพราะว่าช่วงเวลาที่ยาวนานของพายุไต้ฝุ่นและการพัดอย่างต่อเนื่อง ประชาชนจำนวนมากรู้สึกไม่สบายและเกิดอาการเมา เช่นเดียวกันกับเมาเรือ

เพราะเหตุนี้ ปัญหาของการใช้งานของอาคารสูงจึงได้รับความสนใจอย่างยิ่ง ซึ่งนำไปสู่สถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่นในปี 1991 ที่จะออกคู่มือสำหรับการประเมินระดับความใช้งานได้ใน

การสั่นไหวของอาคาร คู่มือนี้ได้ถูกแก้ไขในปี 2004 โดยการนำองค์ความรู้ล่าสุดมาประยุกต์ใช้ ในคู่มือเหล่านี้ ข้อกำหนดในการประเมินระดับการใช้งานอยู่ได้ถูกกำหนดให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งตอบสนองสูงสุดสำหรับค่าความเร็วลมที่มีทุก ๆ 1 ปีและค่าความถี่ธรรมชาติของอาคาร

รูปที่ 2 คำจำกัดความของ Gust Loading Factor (คำแนะนำสำหรับน้ำหนักบรรทุกในอาคาร 1981)

### การประเมินความต้านทานแรงลม

ในเดือนมิถุนายน 1998 กฎหมายควบคุมอาคารได้ถูกแก้ไขซึ่งแนวความคิดในการออกแบบได้ถูกแก้ไขให้เพิ่มเติม การ“ซึ่งยังคงเป็นแนวความคิดพื้นฐานของ”ออกแบบเชิงสมรรถนะการออกแบบ ในการออกแบบอาคาร สภาวะ 3 ประการได้นำมาสมมติเป็นข้อกำหนดคือ ระดับการใช้งาน ความเสียหาย และความปลอดภัย และข้อกำหนดในการออกแบบได้ถูกกำหนดให้สำหรับแต่ละเงื่อนไขในแต่ละสภาวะที่กล่าว ตัวอย่างเช่นข้อกำหนดในการใช้งานสำหรับอาคารสูงจะมีการพิจารณาการสั่นไหวเนื่องจากแรงลม เข้ามา (การสามารถใช้งานอาคารได้) ประเมิน

จากคู่มือสำหรับการประเมินการเข้า เพราะเหตุนี้ครอบครองใช้งานอาคารได้ต่อปัจจัยการสั่นไหวของอาคารดังที่ได้กล่าว ข้อกำหนดในการประเมินความอยู่ได้คือการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งตอบสนองสูงสุดสำหรับความเร็วมุมภายในช่วง 1 ปีและความถี่ธรรมชาติของอาคารส่วนที่มีการคำนวณกำลังรับน้ำหนักในกฎหมายมาตรฐานอาคารกำหนดไว้ว่า เมื่อพิจารณาถึงข้อกำหนดด้านความเสียหาย องค์อาคารจะต้องอยู่ในช่วง elastic เมื่อต้านทานต่อแรงลมขนาดใหญ่ที่นาน ๆ เกินขึ้นที่ ประมาณทุก ๆ 50 ปีและ เมื่อพิจารณาถึงข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัย อาคารจะต้องไม่พังทลายลงมา ถึงแม้เป็นแรงลมที่เกิดขึ้น ทุก ๆ 500 ปี อย่างไรก็ตาม ทั้งคู่มือและกฎหมายควบคุมอาคารมิได้กำหนดระดับความเสียหายขององค์อาคารที่เกิดความเสียหายจากแรงลมอย่างชัดเจน เพราะเหตุนี้ สถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่นได้กำหนดวิธีการ

ออกแบบในคู่มือสำหรับแรงดันลม cladding สำหรับผู้ออกแบบและวิศวกร ซึ่งตีพิมพ์ในปี 2013

■ ■ ■ ■ ■

(หน้า 4~5)

### ความเสียหายที่เกิดจากแรงลมขนาดใหญ่ต่ออาคารและแนวความคิดในการลดระดับความเสียหายนั้น

โดย Hitomitsu Kikitsu, Building Research Institute

### ความเสียหายอย่างรุนแรงต่ออาคารที่เกิดจากแรงลมขนาดใหญ่

เมื่อไม่นานมานี้ ได้พบรายงานความเสียหายจากทอร์นาโดบ่อย ๆ ทั้งในญี่ปุ่นและนอกประเทศซึ่งมีผลกระทบต่อสังคมอย่างมาก ความเสียหายที่เกิดจากทอร์นาโดในหลาย ๆ เมืองของญี่ปุ่นยังคงสามารถจดจำได้ ศูนย์กลางที่ Tsukuba ใน Ibaragi เมื่อปี 2012 (รูปภาพที่ 1) และ Koshigaya ใน Saitama เมื่อปี 2013 ในขณะเดียวกัน ความเสียหายเหล่านี้เกิดจากพายุไต้ฝุ่น แต่ความเสียหายนี้เป็นผลที่ไม่ชัดเจนเนื่องจากขนาดของความเสียหายที่เกิดจากทอร์นาโด (รูปภาพที่ 2-3)

ท่ามกลางโครงสร้างองค์อาคารต่าง ๆ ส่วนที่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายจากแรงลมขนาดใหญ่คือ ส่วนหลังคา ผนังภายนอก ช่องเปิดและส่วน cladding ด้านนอกและอื่น ๆ มาตรการหลัก ๆ ในการป้องกันความเสียหายในอาคารเนื่องจากแรงลมคือการบรรเทาความเสียหายลง

รูปภาพที่ 1 ตัวอย่างของความเสียหายที่เกิดจากทอร์นาโด (Tsukuba ในปี 2012)

รูปภาพที่ 2 ตัวอย่างของความเสียหายที่เกิดจากพายุไต้ฝุ่น (Miyakojima, Okinawa ในปี 2013)

รูปภาพที่ 3 ตัวอย่างของความเสียหายที่เกิดจากพายุไต้ฝุ่น (Miyakojima, Okinawa ในปี 2013)

## แนวความคิดในการบรรเทาความเสียหายต่อ cladding ภายนอกและองค์อาคารอื่น ๆ

### ● สภาวะความเสียหายที่กำหนด

เมื่ออาคารต้องรองรับแรงลมขนาดใหญ่จากพายุไต้ฝุ่น แรงลมที่เกิดจาก turbulence ของการพัดของลมเกิดขึ้นที่ด้านบนของหลังคาและผนัง และส่งผลให้เกิดความดันแบบลบสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณส่วนปลายของหลังคาและผนังด้านข้าง กฎหมายควบคุมอาคารของญี่ปุ่นกำหนดวิธีในการคำนวณแรงดันสูงสุดที่จุดใด ๆ ตามวิธีการนี้ แรงกระทำของ gust ที่เกิดจากการทอร์นาโดสามารถพิจารณาว่าเป็นเช่นเดียวกันกับพายุไต้ฝุ่น อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ไม่เหมือนพายุไต้ฝุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อบริเวณส่วนกลางของทอร์นาโดเข้าใกล้อาคาร แรงที่เกิดขึ้นจากแรงยกขึ้นของอาคารเป็นการเพิ่มความเสียหาย (อ้างอิงกับรูปที่ 1) ซึ่งต้องทำความเข้าใจเป็นอย่างดี

ความเสียหายจากแรงลมสามารถทำความเข้าใจได้ว่าเป็นความเสียหายที่เกิดจากส่วนที่มีความเสี่ยงอยู่ในแนวแรงลมพัดผ่านในอาคาร ความเสียหายส่วนมากสามารถตรวจพบได้ที่ cladding ด้านนอกและองค์ประกอบอาคาร ในการที่จะบรรเทาความเสียหายจากแรงลมเหล่านี้ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องกำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับการออกแบบหลังจากเกิดความเข้าใจถึงแรงลมกระทำต่ออาคารอย่างไรและ ให้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้ข้อกำหนดวัสดุสำหรับ cladding ภายนอกและองค์ประกอบอื่น ๆ

รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของน้ำหนักบรรทุกทุกและแรงภายนอกจากทอร์นาโด

### ● แนวความคิดในการตรวจสอบกำลังวัสดุขององค์อาคาร ภายนอก

เมื่อต้องตรวจสอบกำลังของ cladding ด้านนอกและส่วนประกอบ แนวทางสองทางได้นำมาใช้ก็คือ: การออกแบบโครงสร้างที่มีพื้นฐานจากข้อกำหนดมาตรฐานขององค์อาคาร และการออกแบบโครงสร้างที่มีพื้นฐานจากกำลังวัสดุ

ในวิธีการแรก ความต้านทานแรงดันลมได้พิจารณาจากกา

เลือกใช้ข้อกำหนดมาตรฐาน (ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ ความหนาของแผ่นเหล็ก ฯลฯ) จากแคตตาล็อกผลิตภัณฑ์ตามระดับที่จำเป็นตามน้ำหนักบรรทุกทุกในการออกแบบ และการคำนวณโครงสร้างเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นและความต้านทานแรงลมสามารถตรวจสอบได้อย่างง่ายดาย

ในวิธีการอันหลัง ความต้านทานแรงลมได้ถูกตรวจสอบโดยการคำนวณกำลังที่ยอมให้สำหรับแต่ละองค์อาคารตามผลการทดสอบกำลังวัสดุ (รูปภาพที่ 4) ในวิธีการตรวจสอบนี้ ตัวอย่างเช่นในกรณีหลังคาเหล็กและผนัง จะใช้ค่าเท่ากับ 2.0 หรือมากกว่าสำหรับอัตราส่วนปลอดภัยที่ต้องการในการหาลำดับที่ยอมให้สำหรับองค์อาคารนั้น ๆ

จากผลของการตรวจสอบนี้ จึงต้องมีความระมัดระวังในงานออกแบบเช่น การเพิ่มความหนาแผ่นเหล็กหรือการทำให้ช่องว่างระหว่างสลักเกลียวน้อยลงสำหรับองค์อาคารรองรับ เพื่อที่จะลดความน่าจะเป็นของการเกิดความเสียหาย

นอกจากนี้ มีกรณีมากมายสำหรับอาคารที่ใช้ในการผลิตและอาคารเพื่อการพาณิชย์ซึ่งมีขนาดใหญ่และต้องการความปลอดภัยและการคงไว้ซึ่งความสามารถในการใช้งานของอาคารสำหรับธุรกิจเช่นนี้สามารถทำนายได้ว่ามีลักษณะความเสียหายจากแรงลมได้หลายประเภท เมื่อหลังคาและองค์อาคารภายนอกอื่น ๆ ได้ถูกดึงออกและมีการกระจายตัว ผลของน้ำฝนสาดเข้าสามารถที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารและทำให้ทั้งอาคารไม่สามารถใช้งานได้ ในอาคารที่มีความสำคัญ ซึ่งมีสิ่งอำนวยความสะดวกมากมาย ถึงแม้ว่าโครงสร้างหลักยังไม่เสียหาย แต่เป็นไปได้ว่าหลังคาที่หลุดออกและกระจายตัวและ cladding ด้านนอกอื่น ๆ และส่วนประกอบสามารถเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมากได้

สำหรับการออกแบบต้านทานแรงลมในกฎหมายควบคุมอาคารของญี่ปุ่น ช่วงที่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งประมาณ 50 ปีได้ถูกประมาณเอาไว้ สามารถสรุปได้ว่าความเสียหายจากแรงลมสามารถบรรเทาได้ ตามระดับความสำคัญของอาคาร โดยวิธีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกทุกแรงลมที่เพิ่มขึ้นต่อองค์อาคารด้านนอกซึ่งมีพื้นฐานของระดับที่ผ่านในกฎหมายและทำการ

ตรวจสอบความต้านทานแรงดันลมขององค์อาคารเหล่านี้

ในปัจจุบัน แรงลมของทอร์นาโดไม่ได้พิจารณาถึงในการออกแบบต้านทานแรงลมทั่วไป แต่ได้ถูกพิจารณาว่าแนวความคิดดังกล่าว สามารถบรรเทาความเสียหายที่เกิดจากพายุทอร์นาโดได้เช่นกัน

รูปภาพที่ 4 ตัวอย่างของการทดสอบกำลังสำหรับรอยต่อของหลังคาแบบพับ

● **การแลกเปลี่ยนข้อมูลสำหรับการนำองค์อาคารไปใช้งาน**

เพราะว่าสมรรถนะของส่วน cladding ภายนอกและองค์ประกอบอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ก่อสร้างและผู้ผลิตของอาคารเหล่านี้ ในการที่จะตัดสินใจตรวจสอบโครงสร้างว่าขอบเขตใดเป็นหน้าที่ของผู้ใดยังไม่ชัดเจนนัก เพราะฉะนั้น เป็นสิ่งจำเป็นที่ข้อมูลเกี่ยวกับกำลังและคุณสมบัติอื่น ๆ ขององค์อาคารภายนอกเหล่านี้จะต้องเพียงพอในการแบ่งปันแลกเปลี่ยนในกลุ่มผู้ออกแบบ บริษัทก่อสร้าง และผู้ผลิตชิ้นส่วนตลอดขั้นตอนจากการออกแบบไปจนถึงการก่อสร้าง

นอกจากนี้ การศึกษาถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าความเสียหายเกิดขึ้นบ่อย ๆ เพราะความเสื่อมสภาพขององค์อาคารโครงสร้างและเกิดการเสียดำรงและโดยการใช้วิธีการซ่อมแซมที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับ cladding ด้านนอกและองค์ประกอบอื่น ๆ และวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการบรรเทาความเสียหายแก่องค์อาคารจากแรงลม



(หน้า 6~8)  
**ข้อกำหนดด้านแรงลมในกฎหมายบังคับอาคารของญี่ปุ่น**

โดย Yasuo Okuda, National Institute for Land and Infrastructure Management

**บทนำ**

บทความ (1) ที่นำเสนอกฎหมายและระบบของกฎหมายบังคับอาคารของญี่ปุ่นระบุว่า “จุดประสงค์ของกฎหมายนี้เพื่อที่จะจัดตั้งมาตรฐานอย่างน้อยเกี่ยวกับสถานที่ก่อสร้าง โครงสร้าง การใช้งาน เพื่อปกป้องชีวิต สุขภาพอนามัย และทรัพย์สินสมบัติของชาติ และสุดท้ายเป็นการยกระดับความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของส่วนรวม ดังที่ได้กล่าว กฎหมายบังคับงานก่อสร้างทุกชนิดของอาคารในญี่ปุ่น และกำหนดมาตรฐานอย่างน้อยที่ใช้ในงานก่อสร้างอาคาร

ในปี 2000 ข้อบังคับและกฎหมายควบคุมอาคารได้ถูกแก้ไขอย่างมาก และข้อกำหนดที่เกี่ยวกับแรงลมในข้อบังคับและประกาศเหล่านี้ ได้ถูกแก้ไขด้วยตามข้อเสนอแนะสำหรับน้ำหนักบรรทุกในอาคาร (1993) ที่จัดทำโดยสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น ค่าแรงลมที่นำมาใช้ในกฎหมายในปี 1950 มีค่าเดียวกันทั้งประเทศและไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอด 50 ปีที่ผ่านมา แต่ในการแก้ไขกฎนี้ในปี 2000 ค่าแรงลมได้ถูกแก้ไขเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งและเงื่อนไขประกอบอื่น ๆ ภายหลังจากในปี 2007 ข้อบังคับและกฎหมายควบคุมอาคารได้ยังถูกแก้ไขโดยต้องมีการส่งรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารด้านนอกในการยื่นแบบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่เคยมีมาก่อน

ในขณะเดียวกัน สถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่นได้แก้ไขข้อเสนอแนะประมาณทุก ๆ 10 ปีตั้งแต่เริ่มมีการออกเอกสารเมื่อปี 1981 และฉบับล่าสุดได้กำหนดการตีพิมพ์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2015

ในการกล่าวถึงมาตรฐานและข้อกำหนดของการออกแบบต้านทานแรงลมของอาคารในญี่ปุ่น ข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงลมในกฎหมายมาตรฐานอาคารและข้อเสนอแนะได้ถูกนำเสนอในบทความนี้ นอกจากนี้ยังได้มีการนำเสนอคู่มือต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านแรงลมของกฎหมายควบคุมอาคารที่มีการจัดเตรียมไว้โดยองค์กรต่าง ๆ อีกด้วย

**ข้อกำหนดด้านแรงลมของกฎหมายควบคุมอาคาร**

ในขณะที่ข้อเสนอแนะได้ถูกแก้ไขแทบทุก ๆ 10 ปีโดยสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่นเพื่อสะท้อนถึงความก้าวหน้าของงานวิจัย



ข้อกำหนดด้านแรงลมของกฎหมายควบคุมอาคารมิได้ถูกแก้ไขบ่อยนักตั้งแต่ได้เริ่มนำมาใช้ในปี 1950 อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากที่ได้มีการแก้ไขกฎหมายในปี 1998 (การเริ่มนำการออกแบบตามระดับสมรรถนะในมาตรฐานอาคารมาใช้) การแก้ไขและข้อกำหนดที่ได้จัดตั้งใหม่ได้ถูกกำหนดขึ้นโดยข้อบังคับและข้อชี้แจงอื่น ๆ ในปี 2000 เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้ ข้อกำหนดของแรงลมได้มีการแก้ไขอย่างกว้างขวางตามข้อแนะนำ (1993) สำหรับค่าแรงลมที่มีค่าสม่ำเสมอตลอดทั้งประเทศตามการจัดตั้งกฎหมายในปี 1950 ยังได้มีการกำหนดแรงลมที่ใกล้เคียงขึ้นซึ่งสะท้อนเงื่อนไขของตำแหน่งและข้ออื่น ๆ และ คุณสมบัติของโครงสร้างในอาคารแต่ละอาคาร แนวทางในรายละเอียดเหล่านี้คือการแยกแรงลมสำหรับโครงสร้างหลักและองค์อาคารประกอบภายนอก

- การนำความเร็วลมมาตรฐาน  $V_o$  มาใช้
- ผลของการกระชากของลม
- การจัดการ (ในการคำนวณกำลังวิกฤต) ของระดับน้ำนักบรรทุกทั้งสอง (ข้อกำหนดความเสียหายและข้อกำหนดด้านความปลอดภัย)
- การใช้หน่วย SI
- การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์แรงลม ฯลฯ

### ข้อแตกต่างระหว่างกฎหมายควบคุมอาคารและข้อแนะนำสำหรับน้ำนักบรรทุกในอาคาร

- หลักการพื้นฐานที่นำมาใช้ในกฎหมายควบคุมอาคารและข้อแนะนำสำหรับน้ำนักบรรทุกในอาคาร

ถึงแม้ว่าข้อกำหนดด้านแรงลมที่ใช้ในกฎหมายปัจจุบันมีพื้นฐานมาจากข้อแนะนำ (1993) ยังมีความแตกต่างขึ้นพื้นฐานในเอกสารทั้งสอง เพราะว่ากฎหมายควบคุมอาคารถือว่าถูกต้องตามกฎหมาย การตีความที่แตกต่างจากกฎหมายไม่สามารถเป็นไปได้ นอกจากนี้ ในขณะที่ระดับน้ำนักบรรทุกต่ำสุดได้ถูกกำหนดไว้ การออกแบบใด ๆ ที่ใช้น้ำนักบรรทุกต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดในกฎหมายไม่สามารถยอมรับได้ แต่การออกแบบที่ใช้น้ำนักบรรทุกสูงกว่าถือว่ายอมรับได้ ในทาง

ตรงกันข้ามกัน ข้อแนะนำถือว่าไม่มีพันธะทางกฎหมาย ผู้ออกแบบโครงสร้างสามารถแสดงแนวความคิดและตัวแปรเพื่อทำการออกแบบซึ่งทำให้ผู้ออกแบบงานโครงสร้างสามารถเลือกใช้น้ำนักบรรทุกที่จำเป็น (แรงลมพื้นฐานได้ถูกกำหนดไว้เพื่อช่วยกำหนดแรงลมที่เกิดขึ้นทุก 100 ปี และผู้ออกแบบโครงสร้างสามารถเลือกใช้น้ำนักบรรทุกโดยใช้สัมประสิทธิ์ในการหาค่านี้)

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และตรงกันข้ามกับกฎหมายควบคุมอาคาร ข้อแนะนำถือว่ามิได้มีผลพันธะผูกพันทางกฎหมาย อย่างไรก็ตาม ข้อแนะนำได้ถูกอ้างอิงกับวิธีการประเมินใด ๆ ทางกฎหมายไม่สามารถกระทำได้ เช่นสัมประสิทธิ์แรงลมสำหรับอาคารที่มีรูปทรงพิเศษทางสถาปัตยกรรม แรงลมที่เพิ่มขึ้นที่เกิดจากรูปร่างของพื้นดินหรือการตอบสนองการสั่นไหวของโครงสร้างอาคารสูงที่สูงกว่า 60 เมตร สามารถกล่าวได้ว่าข้อแนะนำช่วยทำหน้าที่ส่วนเสริมให้กับข้อกำหนดด้านแรงลมที่มีไว้ในกฎหมาย

- ข้อแตกต่างของข้อกำหนดทางด้านแรงลมระหว่างกฎหมายควบคุมอาคารและข้อแนะนำสำหรับน้ำนักบรรทุกในอาคาร

### - การแยกแรงลมออกมาสำหรับโครงสร้างอาคารและองค์อาคารประกอบภายนอก

ในขณะที่สัมประสิทธิ์แรงลมได้กระทำทั้งโครงอาคารและองค์อาคารประกอบด้านนอกในกฎหมายมาตรฐานอาคารก่อนที่จะมีการแก้ไขในปี 2000 แรงลมมิได้มีการแยกแยะแจจแจ้งให้แตกต่างกันในทั้งสองประเภทนี้ แต่หลังจากที่มีการแก้ไขในปี 2000 แรงลมสำหรับโครงอาคารและองค์อาคารประกอบด้านนอกสามารถแยกแยะออกได้ชัดเจนยิ่งขึ้นตามแนวทางของข้อแนะนำ ซึ่งได้รวมอยู่ใน ข้อบังคับและประกาศ

แรงลมในโครงอาคารเป็นแรงลมที่กระทำต่อทั้งโครงอาคาร และมีความแตกต่างเนื่องจากทิศทางของลม น้ำนักแรงลมในองค์อาคารประกอบด้านนอกเป็นแรงลมที่กระทำต่อวัสดุหลังคาและองค์อาคารปิดอาคารอื่น ๆ (พื้นที่ประมาณ 1-5 ตารางเมตร) และแสดงค่าสูงสุดเป็นบวกและลบในทิศทางแรงลม

ทุกทิศทาง ดังนั้นค่าแรงลมต่อพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กันคือ น้ำหนักบรรทุกแรงลมในองค์อาคารประกอบด้านนอก  $\geq$  น้ำหนักบรรทุกแรงลมในโครงอาคาร

#### - บทนำของแรงลมมาตรฐาน $V_0$

ก่อนที่จะมีการแก้ไขในปี 2000 กฎหมายมาตรฐานอาคารกำหนดให้ความดันจากแรงลม  $q$  เป็น  $60 \sqrt{h}$  และให้แรงลมมีค่าสม่ำเสมอทั้งประเทศ ภายหลังจากการแก้ไขในปี 2000 ค่าความดันจากแรงลม  $q$  ได้ถูกหาค่าโดยใช้ค่าแรงลมมาตรฐาน  $V_0$  ค่าการกระจายตัวทางตั้งของความเร็วลมตามประเภทการแยกแยะจากความเรียบของพื้นดิน ผลของลมกระโชก และปัจจัยอื่น ๆ และ นอกจากนี้ พิจารณาถึงตำแหน่งและสถานะแวดล้อมอื่น ๆ และลักษณะของโครงสร้างสำหรับแต่ละอาคาร

รูปที่ 1 แสดงค่าความเร็วลมมาตรฐาน  $V_0$  ในญี่ปุ่นซึ่งอยู่ที่ "30-46 m/s ขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดของความเสียหายจากแรงลมตามข้อมูลที่เกิดขึ้นได้จากพายุไต้ฝุ่นและแรงลมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง" ค่า 30- 46 เมตรต่อวินาทีที่หามาจากการแปลงค่าความเร็วลมสูงสุดในแต่ละปีที่วัดโดยสถาบันอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศไปเป็นความเร็วลมที่มีอัตราการเกิดทุก 50 ปี (ความเร็วลมเฉลี่ยใน 10 นาทีที่ความสูง 10 เมตรเหนือพื้นดินที่มีความขรุขระประเภท II) ตัวเลขแสดงให้เห็นถึงความเร็วลมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในเมือง และหมู่บ้านของญี่ปุ่นในปี 2000 ซึ่งมีการแบ่งออกเป็น 9 พื้นที่แยกประเภทโดยระดับความเร็วลม ความเร็วลมมาตรฐานซึ่งได้รับยอมให้ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่สะท้อนออกมาในความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบ

รูปที่ 1 ภาพของความเร็วมมาตรฐาน  $V_0$

#### - การแยกประเภทความขรุขระของพื้นดิน

ในข้อแนะนำ ความขรุขระของพื้นดินที่แต่ละจุดได้ถูกเลือกโดยผู้ออกแบบโครงสร้างจากประเภท 5 ประเภทและรูปถ่ายที่แสดงในตารางที่ 1 โดย judgment ในทางตรงกันข้ามกฎหมายควบคุมอาคารได้แสดงการกระจายตัวทางแนวตั้งของแรงลม (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันกับที่แสดงในข้อแนะนำ แต่ในกฎหมาย

ความขรุขระของพื้นดินสามารถแยกออกเป็น 4 ประเภทตามพื้นที่ต่าง ๆ (ตารางที่ 2) เพื่อที่จะขจัดความไม่ชัดเจนในการแยกประเภทให้มากที่สุด เพราะว่าความขรุขระของพื้นดินประเภท I และ IV ได้กำหนดโดย administrative agencies โดยมีพื้นฐานมาจากกฎหมาย ประเภท II และ III ได้ถูกนำมาใช้ในพื้นที่ส่วนใหญ่ (อ้างอิงกับตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 การแยกประเภทความขรุขระของพื้นดินและสภาพของพื้นดินในข้อแนะนำสำหรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

รูปที่ 2 การกระจายตัวในแนวตั้งของทิศทางแรงลมที่กำหนดโดยกฎหมายควบคุมอาคาร

ตารางที่ 2 การแยกประเภทความขรุขระของพื้นดินที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคาร

#### - ผลกระทบจากการกระโชกของลม

ผลของการกระโชกของลม  $G_f$  ได้ถูกนำเสนอในงานแก้ไขปี 2000 ในกฎหมายเพื่อให้สอดคล้องกับข้อแนะนำ ค่าตัวเลขของผลของการกระโชกของลม  $G_f$  ได้ใช้ตามการจัดประเภทความขรุขระของพื้นดินและความสูงอาคารโดยมีการคิดถึงผลกระทบจากความไม่แน่นอนของแรงลม และขนาดอาคาร และลักษณะของโครงสร้าง ในทางตรงกันข้าม ในวิธีที่ได้นำมาใช้ในข้อแนะนำ ผู้ออกแบบโครงสร้างหาค่าสัมประสิทธิ์การกระโชกของลมโดยพิจารณา ความไม่สม่ำเสมอของแรงลม ขนาดของอาคาร และลักษณะของโครงสร้างโดยใช้สูตรการคำนวณ

#### - การจัดการ (การคำนวณกำลังวิกฤต) ระดับน้ำหนักบรรทุกทั้งสอง (ข้อกำหนดทางด้านความเสียหายและความปลอดภัย)

ก่อนที่จะถูกแก้ไขในปี 2000 กฎหมายมาตรฐานอาคารใช้วิธีการคำนวณหน่วยแรงที่ยอมให้และกำลังในแนวตั้งเพื่อจัดทำระดับน้ำหนักบรรทุก แต่หลังจากที่มีการแก้ไขในปี 2000 กฎหมายได้นำวิธีการคำนวณกำลังวิกฤตมาใช้ การคำนวณกำลังวิกฤตนี้ ได้มีการกำหนด 2 ข้อกำหนดคือด้านความเสียหายและความปลอดภัย และมีการกำหนดระดับน้ำหนักบรรทุกไว้ทั้งคู่สำหรับแรงลม ระดับน้ำหนักบรรทุกทั้งสองคือ 50 ปี และ 500 ปี

และน้ำหนักบรรทุกที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยคือ 1.6 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้สำหรับข้อกำหนดด้านความเสียหาย

#### - การใช้หน่วย SI (ระบบสากลของหน่วย)

ก่อนที่จะมีการแก้ไขกฎหมายควบคุมอาคารในปี 2000 ได้ใช้ระบบ engineering ของหน่วย แต่ภายหลังที่มีการใช้ระบบ SI (ระบบหน่วยสากล) ในมาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่นในปี 1991 SI ได้ถูกนำมาใช้ในกฎหมาย ในระบบหน่วยของ engineering ซึ่งได้เคยมีการใช้งาน ทั้งหมด (kg) และ แรง (kg) ได้ใช้ร่วมกัน แต่บางครั้งทำให้เกิดความสับสน อย่างไรก็ตามในการใช้ระบบ SI มวล (kg) และแรง (N) ได้ถูกแยกออกจากกันอย่างชัดเจน และความสัมพันธ์คือ  $1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \times g$  (ค่าความเร่งตามแรงโน้มถ่วงโลก) = 9.8 นิวตัน เพราะเหตุนี้แรงดันลมซึ่งได้แสดงอยู่เป็น  $\text{kgf/m}^2$  ได้แสดงเป็นหน่วย  $\text{N/m}^2$  และมีค่าตัวเลขประมาณ 9.8 เท่าค่าปกติที่นำมาใช้ในหน่วย SI ในขณะเดียวกัน หน่วย SI ได้ถูกนำมาใช้ในข้อแนะนำในปี 2004

#### - การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์แรงลมและอื่น ๆ

ในกฎหมายมาตรฐานอาคารก่อนการแก้ไขในปี 2000 ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมและค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมได้นำเสนอในรูปแบบตัดสองมิติของอาคาร แต่หลังจากที่มีการแก้ไขกฎหมายในปี 2000 รูปแบบตัดสองมิติได้มีการแก้ไขเป็นสามมิติ ภายหลังจากปี 2008 โครงการปรับปรุงมาตรฐานอาคารเริ่มการทดสอบอุโมงค์ลมและอื่น ๆ เพื่อจัดทำสัมประสิทธิ์แรงลมสำหรับหลังคา hip แผ่นป้ายโฆษณาบนหลังคา porch handrail และองค์อาคารอื่น ๆ ในปี 2013 มันเป็นไปได้สำหรับผู้ออกแบบโครงสร้างที่จะอ้างอิงกับสัมประสิทธิ์ เหล่านี้

#### คู่มือการออกแบบต้านทานแรงลมสำหรับองค์กรต่าง ๆ

ผู้ออกแบบโครงสร้างได้ถูกกำหนดให้ส่งเอกสารรายการคำนวณสำหรับองค์อาคารภายนอก (วัสดุหลังคา ผนังภายนอก ช่องเปิด ฯลฯ) ในขณะที่มีการส่งข้อมูลอาคาร แต่บ่อย ๆ ที่การออกแบบและการติดตั้งขององค์อาคารเหล่านี้ได้ทำตามผู้ที่มีความชำนาญของอาคารนั้น ๆ เมื่อพิจารณาตามเหตุการณ์เช่นนี้

องค์กรที่อยู่ในอุตสาหกรรมองค์อาคารภายนอกได้จัดเตรียมคู่มือที่แสดงดังกล่าว คู่มือเหล่านี้ช่วยผู้ออกแบบโครงสร้าง เจ้าของโครงการและผู้ควบคุมในการยืนยันถึงความต้านทานแรงลมของ

องค์อาคารภายนอกตามข้อกำหนดแรงลมของกฎหมายบังคับอาคาร

#### วัสดุหลังคา

- Japan Roof Tile Industry Association and others: Guideline for Tile Roof Standard Design and Installation (2001)
- NPO Japan Exterior Furnishing Technical Center: Guideline for Decorative Slate Covering for Housing Roof and Roof Wind-resistant Design and Installation (2002)
- Japan Metal Roof Association and Japanese Society of Steel Construction: Steel Sheet Roof Structure Standards SSR2007
- Japan Copper Development Association: Copper Sheet Roof Structural Manual (revised in 2004)
- Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS12, Roofing Work (2004)

#### กำแพงภายนอกอาคาร

- Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS27, Dry Exterior Wall Work (2004)
- Japan Fiber Reinforced Siding Manufacturers Association: Fiber Reinforced-type Siding and Standard Execution (2nd version 2009), Improvement of Housing Quality and Durability and Exterior Wall Ventilation Structure (2001)
- Japan Metal Siding Industry Association: Execution Manual of Japan Metal Siding Industry Association (2008)
- Extrusion Cement Plate Association: Standard Specifications for ECP Execution (2010)
- Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS21 ALC Panel Work (2005)
- Autoclaved Lightweight Aerated Concrete Panel Association: ALC Panel Structure Design Guideline (2004), ALC Thin Panel Design and Construction Guideline (October 2002), ALC Attachment Structure Standards (2004)
- Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS14 Curtain Wall Work (1996)

- Curtainwall Fire Window's Association: Curtain Wall Performance Standards (2006)
- Precast Concrete System Association: Guidance for Design, Precast Curtain Wall Calculation Examples (Temporary revised version)

**ช่องเปิดในอาคาร(ประตู หน้าต่าง และอื่นๆ)**

- Japan Rolling Shutters & Doors Association: Wind Pressure-resistant Strength Calculation Standards for Shutters and Overhead Doors (2003)
- Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS17 Glass Work (2003)

หัวข้อของน้ำหนักแรงลมกระทำต่ออาคารที่นำมาใช้ในญี่ปุ่น ได้ถูกแนะนำโดยการเปรียบเทียบข้อกำหนดแรงลมในกฎหมายมาตรฐานอาคารและคู่มือในการแนะนำน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารของสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น นอกจากนี้ คู่มือสำหรับการออกแบบการต้านทานแรงลมขององค์อาคารภายนอกอาคารที่จัดเตรียมโดยองค์กรนานาชาติ ได้ถูกแนะนำไว้ ณ ที่นี้



**(หน้า 9~10)  
การประเมินระดับความเป็นอยู่พิจารณาตามการสั่นไหวของอาคารจากแรงลม**

โดย *Osamu Nakamura, Wind Engineering Institute Co., Ltd.*

ดังที่ทราบกันว่าลมสามารถทำให้อาคารสั่นไหวได้ เมื่อการสั่นไหวเนื่องจากแรงลมได้เกิดขึ้น จะเกิดความไม่สบาย เวียนหัว เมา และผลกระทบในทางที่ไม่ดีอื่น ๆ ซึ่งนำไปสู่ข้อตำหนิและการเสื่อมสภาพของอาคาร นอกจากนี้ ในกรณีที่อาคารสั่นไหวอย่างรุนแรง ความตื่นตระหนกอาจเกิดขึ้นได้และนำไปสู่ความโกลาหล การสั่นไหวจะรู้สึกได้อย่างไรมีความแตกต่างกันอยู่กับสิ่งแวดล้อมทางสังคมและความอ่อนไหวของผู้คน และไม่สามารถประเมินอย่างเป็นตัวเลขได้ชัดเจน นอกจากนี้ ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการสั่นไหวของอาคาร มีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ในขณะเดียวกัน เมื่อผู้คนรู้ว่าอาคารมีความปลอดภัยถึงแม้ว่าจะสั่นไหว ความรู้สึกไม่สบายจะบรรเทาน้อยลง และ

ความอ่อนไหวต่อการสั่นไหวก็ลดน้อยลง  
หัวข้อหลักในการสนทนาในบทความนี้: อาคารจะสั่นไหวอย่างไรเมื่อเกิดแรงลม ผู้คนจะรู้สึกถึงความสั่นสะเทือนจากแรงลมอย่างไร การสั่นไหวจากแรงลมได้ถูกมองถึงในประเทศต่างๆ และโดยละเอียดแล้วมาตรการในการต้านทานแรงสั่นไหวเนื่องจากแรงลมได้ถูกจัดทำขึ้นในญี่ปุ่น

**การสั่นไหวของอาคารจากแรงลม**

เมื่อแรงลมกระทำส่งผลให้อาคารสั่นไหว แรงสั่นไหวซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแรงลมจะรู้สึกได้ในอาคารเดี่ยว แต่ในอาคารสูง รูปแบบของการสั่นไหวมีความซับซ้อน และเป็นแรงสั่นไหวแบบเคลื่อนตัวประกอบไปด้วยส่วนประกอบแรงทางข้างสองทาง (ตามทิศทางแรงลมและทิศทางขวางแรงลม) และการสั่นไหวทางด้านการหมุนที่เกิดจากแรงบิด ดังนั้น เพราะว่าการสั่นไหวแบบสุ่มเช่นนั้นเป็นผลมาจากแรงภายนอกซึ่งเปลี่ยนความถี่สม่ำเสมอทั้งทางด้านเวลาและพื้นที่ ประกอบไปด้วยความถี่หลาย ๆ ส่วนและไม่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ความถี่ค่าเดียว

อย่างไรก็ตามในอาคารสูงทั่วไป ส่วนประกอบของความถี่ธรรมชาติหลักของการสั่นไหวทางการเคลื่อนตัวมีปรากฏอย่างชัดเจน ในรายละเอียดแล้ว ประวัติของเวลาในอัตราความเร่งซึ่งเป็นเป้าของการประเมินในบทความนี้ สามารถอ้างอิงเป็นการสั่นไหวแบบ harmonic ของค่าความถี่ธรรมชาติหลักและร่วมกับ modulation ดังที่แสดงในตัวอย่างในรูปที่ 1 ในทางปฏิบัติแล้ว การสั่นไหวที่เกิดขึ้นซึ่งประกอบไปด้วยแรงสั่นไหวทางเคลื่อนตัวที่เกิดจากการสั่นไหวแบบ translation และ อย่างไรก็ตาม การสั่นไหวหลักชนิดเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างเป็นทางเลือก และแทบจะไม่เกิด การตอบสนองสูงสุดต่อการสั่นไหวแบบ translation และ torsional ในทั้ง 2 ทิศทาง ที่เกิดขึ้นพร้อมกัน

ด้วยเหตุนี้ ถึงแม้ว่าค่าความเร่งสูงสุดใด ๆ ที่เกิดจากการสั่นไหวสองทาง ทั้งการเคลื่อนตัวและการสั่นไหวจากการบิดที่พิจารณาตามข้อตกลงโดยค่าความเร่งสูงสุด ทั้งในการเคลื่อนตัวและการบิดตัว ไม่มีความแตกต่างมากมายในผลของการประเมินภายหลังเมื่อค่าความถี่ธรรมชาติในทิศทางการสั่นมีค่าแตกต่างกันระดับความเข้าใจของการสั่นไหวแตกต่างกันและเช่นเดียวกัน

การประเมินระดับความเป็นอยู่สามารถทำได้จากพื้นฐานทิศทางการสั่นไหวนี้

รูปที่ 1 ประวัติความเร่งที่ส่วนบนสุดของอาคาร

### ความเข้าใจของการสั่นไหว

ในขณะที่ความเข้าใจและความอ่อนไหวต่อการสั่นไหวซึ่งผูกพันกับ displacement ความเร็ว ความเร่ง jerk และปัจจัยอื่น ๆ เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดสำหรับความรู้สึกความเข้าใจและความอ่อนไหวต่อการสั่นไหว ความเข้าใจของคนและความอ่อนไหวต่อแรงสั่นไหวมีความแตกต่างตามระดับ amplitude ในการประเมิน แต่ เมื่อประเมินระดับความเป็นอยู่ที่เกี่ยวข้องกับแรงสั่นไหวเนื่องจากแรงลม ความเร่งเป็นปัจจัยที่นำมาใช้บ่อย ๆ

ในขณะที่ไม่มีเหตุผลที่เหมาะสมว่าทำไมค่าความเร่งต้องนำมาใช้ประกอบนี้ อาจกล่าวได้ว่าโดยทั่วไป การสั่นไหวมีผลสืบเนื่องมาจากการตอบสนองการรับรู้ของผู้คนต่อการสั่นไหวของพื้น อย่างไรก็ตามการสั่นไหวในอาคารเมื่อนำผลกระทบด้านความเป็นอยู่เข้ามาพิจารณาด้วยว่าเป็นการสั่นไหวแบบคาบเดี่ยวในกรณีส่วนใหญ่ และ displacement ความเร็ว ความเร่ง และ jerk ในความสัมพันธ์อัตราส่วนกับค่าความถี่ ด้วยเหตุนี้ เมื่อแต่ละค่าเหล่านี้ได้นำมาใช้ ผลของการประเมินมีค่าเช่นเดียวกัน

รูปที่ 2 แสดงผลที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งและค่าเฉลี่ย threshold ซึ่งการสั่นไหวได้ถูกตรวจวัด ตัวเลขมีค่ามาจากผลการสำรวจที่ได้มาจากการทดสอบในห้องแล็บและของอาคารจริงเมื่อต้องรองรับแรงลม ในกรณีทั้งสอง ผลได้แสดงว่าค่าเฉลี่ยของการสั่นไหวที่ตั้งไว้มีความคลาดเคลื่อน หรือความน่าจะเป็นถึง 50 % ตัวอย่างเช่นค่าความเร่งสูงสุดประมาณ 5 cm/s<sup>2</sup> ในบริเวณที่มีค่าความถี่ที่ 0.2 Hz ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2 ซึ่งหมายความว่า ผู้คน 50 % รับรู้ถึงการสั่นไหวเมื่อเกิดคลื่นความถี่ที่ 0.2 Hz ที่มีค่าความเร่งสูงสุดที่ 5 cm/s<sup>2</sup>

ได้พบในรูปว่าค่าความสั่นไหวเฉลี่ยระดับ threshold แสดงถึงความแตกต่าง (สัญลักษณ์แตกต่างกันในรูป) ขึ้นอยู่กับองค์การที่ทำการสำรวจ แต่พบแนวโน้มเช่นเดียวกันในการสั่นไหว

threshold ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ ได้แสดงไว้ในรูป ถึงแม้ว่าผลการสำรวจที่ได้จากองค์กรต่างกัน ซึ่งหมายความว่าความถี่ของการสั่นไหวขึ้นอยู่กับความถี่และแนวโน้มได้แสดงไว้ว่าการสั่นไหวจะรับรู้สูงเป็นอย่างมากในบริเวณที่ความถี่ระหว่าง 1-3 Hz

รูปที่ 2 ค่าการสั่นไหวที่ระดับ threshold โดยเฉลี่ย

### ข้อกำหนดในการเข้าใช้พื้นที่ในประเทศต่าง ๆ

ในการจัดการเกี่ยวกับการสั่นไหวในอาคารที่เกี่ยวข้องกับแรงลม ข้อกำหนดระดับการใช้งานสำหรับผู้ใช้อาคารได้มีการตั้งมาตรฐานไว้ในหลายประเทศ รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบของข้อกำหนดสำหรับแต่ละประเทศ ในบางประเทศ ได้มีการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าความเร่งที่นำมาใช้แทนที่จะเป็นค่าสูงสุดของความเร่ง แต่ในรูปนี้ ข้อกำหนดได้แสดงไว้โดยแทนที่ค่าสูงสุด

ข้อกำหนดเหล่านี้ได้ถูกทำให้เป็นมาตรฐานเพื่อที่ความเร่งสูงสุดระหว่างช่วงการเกิดไม่เกินค่าสำหรับความถี่ธรรมชาติของอาคาร อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดของญี่ปุ่นแสดงค่าระดับที่ 10, 30, 50, 70 และ 90 % ของความน่าจะเป็น และการพิจารณาระดับความน่าจะเป็นซึ่งคาบการเกิด 1 ปีได้ตั้งไว้เพื่อเป็นการตัดสินใจของผู้ออกแบบโครงสร้าง อาคารในญี่ปุ่นได้ถูกออกแบบโดยทั่วไปให้มีความน่าจะเป็น 50 % ในข้อกำหนดของออสเตรเลีย หลายช่วงคาบการเกิดได้ถูกกำหนดไว้

ในกรณีของคาบการเกิดที่สั้น การที่จะจัดการกับการสั่นไหวที่เป็นประจำอย่างไรได้นำมาพิจารณาด้วย และกรณีของคาบการเกิดที่ยาว การที่จะต้านทานการสั่นไหวขนาดใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นน้อยก็นำมาพิจารณาด้วย แต่ในการตรวจสอบคาบการเกิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและแนวความคิดของแต่ละประเทศ

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบข้อกำหนดการใช้งานของอาคารสูงในแต่ละประเทศ

## มาตรการต้านทานการสั่นไหวของอาคารจากแรงลม

ในการที่จะบรรเทาการสั่นไหวของอาคารจากแรงลม วิธีการที่จะเพิ่มเติมความแข็งแรงของอาคารได้นำมาใช้ อย่างไรก็ตาม ดังที่แสดงในรูปที่ 2 และ 3 ในโซนความถี่ต่ำประมาณ 1 Hz หรือน้อยกว่า ถึงแม้ว่าการสั่นไหวได้ถูกบรรเทาลงโดยการเพิ่มเติมความแข็งแรงของอาคาร สิ่งนี้ส่งผลให้การเพิ่มความถี่ธรรมชาติ ซึ่งก็เพิ่มความน่าจะเป็นที่การสั่นไหวจะรับรู้ได้และความสามารถในการใช้อาคารไม่สามารถปรับปรุงขึ้นได้ในที่สุด เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาวิธีการซึ่งยกระดับความสมรรถนะ vibration-damping ได้นำมาใช้ในกรณีส่วนใหญ่ ในกรณีนี้ เพราะว่าการสั่นไหวที่รุนแรงต่ำได้ถูกวางเป้าไว้ในการที่จะปรับปรุงระดับความเป็นอยู่ของผู้ใช้อาคาร จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ระบบ damping ซึ่งมีประสิทธิภาพถึงแม้ในโซนที่ค่าความถี่ต่ำ ในปัจจุบัน หลายอาคารสูงได้ถูกก่อสร้างซึ่งมีการติดตั้ง vibration-damping ไว้

ในทางตรงกันข้าม จากมุมมองของการวางแผนสถาปัตยกรรม มีวิธีการที่จะวางแผนผังพื้นที่และตำแหน่งตามการใช้อาคารและค่าความถี่ นอกจากนี้ในการป้องกันทั้งการรับรู้การสั่นไหว การวัดได้ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการแตกหักของผนังกันและองค์อาคารโครงสร้างรองอื่น ๆ และจะป้องกันการสั่นไหวของหน้าต่างและแสงไฟ



(หน้า 11~14)

## การออกแบบต้านทานลมตามระดับสมรรถนะสำหรับ โครงสร้างในแนวตั้งสูง 300 เมตร

โดย kiyooki Hirakawa, Takenaka Cooperation

ABENO HARUKAS (หลังจากนี้เรียกว่า HARUKAS) เป็นอาคารสูงที่สุดของญี่ปุ่น มีความสูง 300 เมตร ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในเดือนมีนาคม 2014 (รูปภาพที่ 1)

สถานที่ก่อสร้างอาคารอยู่ที่ Abeno, Osaka ซึ่งเป็นเมืองสัญลักษณ์ของญี่ปุ่นและนับว่าเป็นเมืองขนาดใหญ่อันดับ 7 ของโลก พื้นที่นี้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงหลังมานี้

HARUKAS เป็นเมืองที่มีความสูงอย่างมากโดยมีพื้นที่โดยรวมประมาณ 212,000 ตารางเมตร โดยมีความสูง 60 ชั้นเหนือระดับพื้น และพื้นที่ดิน 5 ชั้น อาคาร tower มีพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้หลากหลาย: สถานีรถไฟ ห้างสรรพสินค้า พิพิธภัณฑ์ศิลปะ สำนักงาน โรงแรม observatory พื้นที่จอดรถและอื่น ๆ ไม่มีอาคารอื่นใดที่มีขนาดนี้ที่มีการก่อสร้างเหนือสถานีรถไฟไม่ว่าที่ใดในโลก

ญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีความเสี่ยงสูงสุดประเทศหนึ่งกับแผ่นดินไหวและพายุไต้ฝุ่น รายละเอียดสำหรับการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามระดับสมรรถนะได้รวบรวมไว้ใน Ref. 1 บทความนี้เน้นไปที่การออกแบบต้านทานแรงลมตามระดับสมรรถนะสำหรับ HARUKAS ดังแสดงต่อไปนี้

เมื่อลมแรงเป่าไปยังอาคาร Karman vortex เกิดขึ้นในด้าน leeward ของอาคารและยอมให้อาคารเกิดการสั่นไหวในทิศทาง orthogonal กับแรงลม ภาพจำลองได้แสดงในรูปที่ 1 แสดงถึง karman vortex ซึ่งชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของ karman vortex ซึ่งถูกลดลงในกรณีของ HARUKAS (ด้านล่างขวา) เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารสี่เหลี่ยมตัน (ด้านล่างซ้าย)

ลักษณะทางด้าน aerodynamic เป็นคุณสมบัติสำคัญอย่างยิ่งยวดในการออกแบบต้านทานแรงลมสำหรับอาคารสูงที่มีความสูงถึง 300 เมตร อาคารที่มีระยะร่นเช่น HARUKAS เป็นรูปร่างอาคารที่มีสมรรถนะด้าน aerodynamic ที่ยอดเยี่ยมซึ่งมีผลในการลดโมเมนต์ดัดอย่างมีประสิทธิภาพที่กระทำต่ออาคารที่ได้รับผลกระทบโดย Karman vortex

ดังที่แสดงในรูปที่ 2 โครงสร้างด้านบนของอาคารประกอบไปด้วย 3 บล็อกที่มีระยะร่นทางด้านเหนือ บล็อกด้านล่างเป็นห้างสรรพสินค้า บล็อกกลางเป็นสำนักงาน และบล็อกด้านบนสำหรับโรงแรม บล็อกด้านบนมีห้องโถงใหญ่ในส่วนกลาง ส่วนที่อยู่ระหว่างบล็อกและส่วนบนสุดของบล็อกด้านบนเป็นชั้นของโครงเหล็กถัก transfer ในการที่จะยกระดับความแข็งแรงต้านทานแรงด้านข้างและแรงบิดเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และแรงลม โครงถัก outrigger ขนาดใหญ่ได้ถูกติดตั้งในชั้น transfer และบล็อกในส่วนกลาง

Damper 4 ชนิดทั้งหมด ทั้งประเภท viscous และ hysteretic วางอยู่โดยหลักที่มุมทั้งสี่มุมของบล็อกด้านล่าง ประมาณบล็อกส่วนกลางในส่วนตรงกลาง และแถว ๆ ห้องโถงใน บล็อกค้ำบนเพื่อที่จะดูดซับพลังงานที่เข้ามาโดยแผ่นดินไหว หรือแรงลม นอกจากนี้ mass damper 2 ชนิด (AMD และ ATMD) ได้ถูกติดตั้งไว้บนชั้นที่ 56 เพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพการ อาศัยโดยหลักที่โรงแรมในบล็อกส่วนบน การตรวจสอบระดับการ อยู่อาศัยเมื่อรองรับแรงลมจะมีการอธิบายในรายละเอียดต่อไป

โครงสร้างที่แข็งแรงที่ใช้ outrigger และ stud รับแรงเฉือน ช่วยในการลดคาบธรรมชาติของอาคารเพื่อป้องกันการเกิดการ สั่นสะเทือน aerodynamic (การสั่นสะเทือนที่ก่อให้เกิดการ สั่นสะเทือนที่มากกว่า) ซึ่งน่าจะเกิดขึ้นโดยอาคารที่อ่อนตัวที่มี คาบที่สูงกว่า ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ damper ควบคุมการสั่นไหว ยกกระดานสมรรถนะของ damper เพิ่มยับยั้งการสั่นไหวของอาคาร ที่เกิดจากแรงลม และสามารถหยุดการสั่นไหวได้ภายใน เวลาอันสั้น

รูปภาพที่ 1 รูปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือ

รูปที่ 1 รูปของ Karman Vortexes

รูปที่ 2 การจัดเตรียมทางโครงสร้าง

### การออกแบบด้านทานแรงลม

ตารางที่ 1 แสดงค่าความแรงลมในการออกแบบ ข้อกำหนด และอื่นๆ ที่ได้รับการศึกษาในการพัฒนาการออกแบบด้านทาน แรงลมตามระดับสมรรถนะสำหรับอาคารนี้

ตารางที่ 1 สิ่งที่ได้ศึกษาสำหรับการออกแบบด้านทานแรงลม

### การทดสอบอุโมงค์ลม

การทดสอบแรงดันลมได้ถูกกระทำขึ้นเพื่อพิจารณาแรงดันลม ที่กระทำต่ออาคาร ขนาดของโมเดลทดสอบแรงดันลมเพื่อการนี้มี ขนาด 1/500 และขนาดของโมเดลมีรัศมี 700 เมตร (รูปภาพที่ 2) จุดตรวจวัดประมาณ 600 จุดได้ถูกฝังอยู่ในโมเดลเพื่อวัด แรงดันลม

ค่า base shear ได้ถูกคำนวณโดย spectrum modal response analyses โดยใช้เพียงโหมดแรงในการพิจารณา ความสัมพันธ์ระหว่าง base shear ที่ความเร็วลม “ระดับ 2” ตาม ระดับคาบ 500 ปีและมุมของแรงลมดังที่แสดงในรูปที่ 3 ค่า base shear มากที่สุดในด้านเหนือ- ใต้ (Y) ด้านที่แคบของ อาคาร มีค่ามุม 85 องศา ซึ่งแทบจะเป็นตะวันออก - ตะวันตก (X) (รูปที่ 3(b))

รูปภาพที่ 2 การทดสอบอุโมงค์ลม

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง base shear และ wind angle

### การคำนวณแรงลม

แรงลมบนชั้นทั้งหมดเมื่อค่า base shear มีค่าสูงสุดที่มุม wind angle 175 และ 85 องศาในทิศทาง X และ Y ตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแรงแผ่นดินไหว สำหรับ “ระดับ 2”

แรงแผ่นดินไหวที่เกินกว่าแรงลมในพื้นที่ทั้งหมดในทิศทาง X และเกือบทุกชั้นยกเว้นชั้นล่าง ๆ ไม่เกิดขึ้นในทิศทาง Y น้ำหนัก บรรทุกที่รวมน้ำหนักบรรทุกของทั้ง 2 ชนิดได้ถือว่าเป็นน้ำหนัก บรรทุกภายนอกสำหรับการออกแบบหน้าต่าง

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

### การศึกษาการสั่นไหวที่ไม่คงที่จาก aerodynamic

ความเร็วลมที่คลื่นความถี่เกิดขึ้นจาก karman vortex ที่ได้ ถูกคำนวณโดยการวัดแรงดันลมมีค่าเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติ ของอาคาร (0.169 Hz) ในทิศทาง Y คือ in 97.9 m/sec ซึ่งมีค่า มากกว่าเป็น 1.4 เท่าของความเร็วลม (66.6 m/sec.) ซึ่งมีอัตรา การเกิดใหม่ทุก ๆ 500 ปี

ดูเหมือนว่าอาคารนี้มีรูปร่างที่ต้านทานการสั่นแบบ aerodynamic ไม่น่าจะเกิดขึ้น เพราะว่าความลึกของอาคารมีค่า สัมพันธ์กับความสูงอาคารในทิศทาง Y ที่มีพื้นที่รับแรงดันลม มากกว่าตามทิศทาง orthogonal สำหรับทิศทางลม 90 และ 270 องศา

อย่างไรก็ตาม การทดสอบการสั่นไหวแบบ aerodynamic ได้ถูกตรวจสอบโดยพิจารณาถึง upper block บางและมีความเสี่ยงต่อการสั่นไหวแบบปิด การทดสอบใช้โมเดล 5-lumped-mass 3D ซึ่งมีมวลเท่ากัน, eigenvalue และ damping (0.03 สำหรับโหมดการเคลื่อนที่ และ 0.014 โหมดการบิดตัว) เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ (รูปภาพที่3) ดังนั้น สามารถยืนยันได้ว่า aerodynamic unstable vibration ไม่ได้เกิดที่จุดต่ำกว่า 1.2 เท่าของความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบที่มีคาบการเกิดทุก 500 ปี ดังที่แสดงในรูปที่ 5

รูปภาพที่ 3 การทดสอบการสั่นไหว

รูปที่ 5 การทดสอบการสั่นไหว

### การประเมินระดับการใช้งานได้

จะมีโรงแรมในส่วนด้านบนของอาคารนี้ ซึ่งจะต้องมีการทำให้ระดับการใช้งานอย่างสบายโดยการทำให้ค่าตอบสนองของความเร่งน้อยกว่า 3 cm/sec<sup>2</sup> ที่ระดับ H-3011 (ประมาณ 30 % ของผู้อาศัยเกิดความรับรู้การสั่นไหว) โดยมีช่วงการเกิดทุกหนึ่งปี เพื่อการนี้ได้มีการติดตั้ง damper 2 ตัวในชั้น 56 เพื่อลดระดับการตอบสนองของความเร่งในกรณีของแรงลมขนาดใหญ่

Damper 2 ตัวที่ทำงานเมื่อคาบการสั่นมีค่าเช่นเดียวกับคาบธรรมชาติของอาคารซึ่งยาวประมาณ 6 วินาที damper ตัวหนึ่ง (AMD) ในด้านตะวันออกเป็น conventional pendulum damper อีกตัวหนึ่ง (ATMD) ที่ทิศตะวันตกเป็น conventional suspended pendulum รวมกันกับ inverted pendulum เพื่อลดความยาวที่ suspended (2.2 เมตร) และหลีกเลี่ยงการเกินความสูงเพดานดังที่แสดงในรูปที่ 6

การเป็นอยู่ใช้งานของห้องโรงแรมได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยใช้ damper ในด้านแคบ (เหนือ-ใต้, ทิศทาง Y) ของอาคารดังที่แสดงในรูปที่ 7 อย่างไรก็ตามการสั่นไหวในทิศทางด้านกว้าง (ตะวันออก- ตะวันตก; ทิศทาง X) มีค่าต่ำกว่าโดยไม่ต้องใช้ damper

อาคารได้รับการปรับปรุงคุณภาพของการใช้งานโดยการลดความเร่งของการสั่นในทิศทางสั้นลงไปประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อเกิด

แรงลมขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีปริมาณบ่อย ๆ หลายครั้งถึง 10 ครั้งต่อปี

รูปที่ 6 กลไกของ active tuned mass damper

รูปที่ 7 การประเมินความเป็นอยู่ได้ของห้องโรงแรมที่ชั้น 55

รูปภาพที่ 4 ส่วนบนของ HARUKAS

### ข้อสรุปการออกแบบต้านทานแรงลมตามระดับสมรรถนะ

ส่วนนี้แนะนำการออกแบบต้านทานแรงลมตามระดับสมรรถนะของอาคารที่สูง 300 เมตรเป็นแห่งแรกของญี่ปุ่น รูปร่างอาคาร ระบบโครงสร้างและอุปกรณ์ damping หลากหลายได้นำมาใช้รวมกันเพื่อให้ได้ระดับความปลอดภัยที่สูงขึ้นและความสะดวกสบายต่อแรงลม



(หน้า 15~18)

เทคโนโลยีโครงสร้างเหล็ก

### รายละเอียดพื้นฐานในการเชื่อมต่อโดยใช้สลักเกลียวกำลังสูง

โดยคณะวิจัยผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าสำหรับงานก่อสร้างอาคาร, The Japan Iron and Steel Federation

ในการเชื่อมต่อโครงเหล็กโดยการ ใช้สลักเกลียวกำลังสูง วิธีการ 2 วิธีได้นำมาใช้: การต่อแบบแรงเสียดทานและการต่อแบบแรงดึง สลักเกลียวกำลังสูง 2 ชนิดที่นำมาใช้คือ: สลักเกลียว hexagonal กำลังสูง และสลักเกลียวกำลังสูงแบบ torque shear ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการนำไปใช้ เพิ่มเติมต่อสลักเกลียวที่ผลิตโดยใช้วัสดุเหล็กทั่วไป hot-dip galvanized bolt และ สลักเกลียวที่ผลิตโดยใช้เหล็กป้องกันไฟ เหล็ก weathering และเหล็กสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวที่นำมาใช้คือ M16, M20, M22 และ M24 นอกจากนี้ ผู้ผลิตสลักเกลียวบางรายยังมี สลักเกลียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า M26 และ M30

ในปัจจุบัน เกรดของสลักเกลียวกำลังสูงที่นำมาใช้บ่อยครั้ง



ที่สุดในการก่อสร้างอาคารในญี่ปุ่นคือ F10T (กำลังรับแรงดึง 1,000 N/mm<sup>2</sup>) และเกรดของ สลักเกลียวแบบ high-strength hot-dip galvanized bolts คือ F8T (กำลังรับแรงดึง: 800 N/mm<sup>2</sup>). ในอดีตที่ผ่านมา สลักเกลียว F13T (กำลังรับแรงดึง: 1,300 N/mm<sup>2</sup>) ได้ถูกผลิตแต่ภายหลังได้ถูกห้ามจำหน่าย เนื่องจากมีการค้นพบภายหลังในเรื่องการแตกหักภายหลัง นอกจากนี้ เกี่ยวกับมาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (JIS) เกรด F8T, F10T และ F11T (กำลังรับแรงดึง: 1,100 N/mm<sup>2</sup>), การนำ สลักเกลียว F11T มาใช้ได้ถูกห้ามสำหรับส่วนใหญ่ นอกจากนี้ สลักเกลียว F11T มิได้มีการกำหนด กล่าวถึงใน คู่มือในการ ออกแบบและการประกอบติดตั้ง ของรอยต่อสลักเกลียวกำลังสูง ที่มีการยอมรับโดยสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น

ตารางที่ 1 แสดงสลักเกลียวกำลังสูง ซึ่งในปัจจุบันได้รับการ นำไปใช้อย่างทั่วไปในญี่ปุ่น

### ชนิดของสลักเกลียวกำลังสูง

#### ● สลักเกลียว hexagonal กำลังสูง

สลักเกลียว hexagonal กำลังสูงที่ใช้ในการเชื่อมต่อ ผลิตภัณฑ์เหล็กรูปพรรณทั่วไปได้กำหนดไว้ใน JIS: JIS B 1186 (ชุดของสลักเกลียวกำลังสูง หัวนอตและแหวนรองสำหรับรอยต่อ แบบแรงเสียดทาน) และชุด 1 ชุด กำหนดให้มีสลักเกลียว 1 ตัว นอต 1 ตัว และ แหวน 2 ตัว (รูปภาพที่ 1) เหตุผลว่าทำไมสลัก เกลียวได้ถูกกำหนดให้เป็นชุดก็เพื่อให้มั่นใจถึงคุณสมบัติทางกล รูปร่าง และมิติของสลักเกลียว นอต และแหวนที่รวมกันเป็นหนึ่ง ชุด และภายนอก สามารถกำหนดระดับแรงในแนวแกนได้

สลักเกลียว hexagonal 3 ชนิดที่สามารถนำมาใช้ตาม คุณสมบัติทางกลคือ ชนิดที่ 1 (F8T), ชนิดที่ 2 (F10T) และชนิดที่ 3 (F11T) ในชนิดที่ 1 (F8T) ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อไม่ ค่อยดีนักและไม่มีการผลิตที่ได้รับการยอมรับจาก JIS สำหรับ ผลิตภัณฑ์นี้ และในชนิดที่ 3 (11T) จะเกิดการแตกหักภายหลัง เพราะเหตุเช่นนี้ ทั้งสองประเภทของสลักเกลียวเหล่านี้ไม่ได้ นำมาใช้อีก ในปัจจุบัน เพียงชนิดที่ 2 (10T) ที่มีการผลิตใน โรงงานที่ JIS ให้การยอมรับ

นอกจากนี้ สลักเกลียวกำลังสูง hexagonal ยังแยกประเภท เป็นชนิด A หรือ B ตามค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบิดใน ชุดสลักเกลียว

วัสดุเหล็กกล้าที่นำมาใช้ผลิตสลักเกลียวคือ เหล็กคาร์บอนต่ำ ที่มีการเติมโครเมียม(Cr) และโบรอน (B) สำหรับตัวสลักเกลียว เหล็กคาร์บอนสำหรับโครงสร้างนอต และเหล็กคาร์บอนหรือ เหล็กคาร์บอนต่ำที่มีส่วนผสมของแมงกานีส (Mn) หรือ B สำหรับโครงสร้างของแหวน (ตารางที่ 2)

รูปภาพที่ 1 สลักเกลียวกำลังสูง hexagonal 1 ชุด

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของส่วนผสมเคมีของวัสดุเหล็กกล้าที่นำมาใช้ ผลิตสลักเกลียว นอต และแหวนรอง

#### ● สลักเกลียวกำลังสูงแบบ torque shear

สลักเกลียวกำลังสูงแบบ torque shear ได้ถูกกำหนดโดย สมาคมการก่อสร้างเหล็กของญี่ปุ่นใน JSS II 09 สลักเกลียว 1 ตัว นอต 1 ตัว และแหวนรอง 1 ตัวถือว่าเป็น 1 ชุด (รูปภาพที่ 2) และมีเพียงชุดเดียวที่ได้มีการกำหนดใน JSS II 09 คือชนิดที่ 2 (S10T) สลักเกลียวกำลังสูงแบบ torque shear ได้ถูกกำหนดให้เรียกว่าเกรด S10T และมีความแตกต่างจากสลัก เกลียวกำลังสูง hexagonal ที่เรียกว่า F10T

สลักเกลียวแบบ torque shear มีรูปแบบสลักเกลียวที่มีหัว กลมและที่ปลายหมุดส่วนบนของสลักเกลียว ด้วยร่องที่มีการ แยกออก (อ้างอิงกับรูปภาพที่ 2) สลักเกลียวเหล่านี้จะต้องการ แรงในแนวแกนที่ได้จากการขันสลักเกลียวจนกระทั่งส่วนหาง หมุดเกิดการแตกหักและเพื่อสามารถตรวจสอบได้ว่าการขันสลัก เกลียวเสร็จสิ้นลง ในขณะเดียวกัน แรงในแนวแกนที่ใช้ขันที่ ต้องการได้ถูกกำหนดในมาตรฐานสำหรับสลักเกลียวกำลังสูง แบบ torque shear ตารางที่ 3 แสดงค่าแรงดึงที่ต้องการในการ ขันสลักเกลียวที่อุณหภูมิห้อง

เพราะว่า สลักเกลียวแบบ torque shear มิได้มีการตั้งเป็น มาตรฐานใน JIS ผู้ผลิตสลักเกลียวได้รับการยอมรับจาก กระทรวงสาธารณสุข โภค ที่ดิน คมนาคม และการท่องเที่ยวที่จะ ทำการผลิตสลักเกลียวประเภทนี้

## รูปภาพที่ 2 สลักเกลียวแบบ torque shear

### ● สลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized

เพื่อที่จะทำการป้องกันสนิมหรือการผุกร่อนสำหรับองค์อาคารเหล็ก (รูปภาพที่ 3) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเชื่อมต่อสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized ขึ้นส่วนของโครงเหล็ก เพราะว่าสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized มิได้มีการตั้งเป็นมาตรฐานใน JIS และเพราะว่าค่า F (กำลัง) มิได้มีการกำหนดไว้ในกฎหมายควบคุมอาคารของญี่ปุ่น ผู้ผลิตสลักเกลียวได้รับการยอมรับจาก กระทรวงสาธารณสุข โภค ที่ดิน คมนาคม และการท่องเที่ยว ตามข้อกำหนดที่ 37 ในกฎหมายควบคุมอาคาร เพราะเหตุนี้ สลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized จึงถือว่ามีการผลิตตามมาตรฐาน JIS

การชุบ galvanize ทั้งสลักเกลียว น็อตและแหวนรองได้กระทำที่ HDZ255 (มวลของตัวเคลือบ: 550 g/m<sup>2</sup> หรือมากกว่า)

โดยทั่วไปแล้ว กำลังของสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized ได้ตั้งไว้เช่นเดียวกับกับ F8T เมื่อพิจารณาถึงการลดของกำลังและการเกิดการแตกหักภายหลังซึ่งเป็นผลมาจากการชุบเคลือบ galvanize ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของสลักเกลียวกำลังสูง F10T อย่างไรก็ตามสลักเกลียวกำลังสูงที่มีกำลัง F12T ซึ่งมีการผลิตเมื่อเร็ว ๆ นี้ เทคโนโลยีสลักเกลียวกำลังสูงพิเศษได้ถูกนำมาใช้งานแล้ว

หน้าตัดรับแรงเสียดทานหลังจากชุบเคลือบได้ถูกขัดหยาบเพื่อปรับปรุงความหยาบของผิวหน้าให้เป็น 50 ไมครอน Rz หรือสูงกว่า เมื่อใช้วิธีอื่นในการปรับปรุงความหยาบของผิวหน้า การทดสอบ slip strength ได้ถูกทดสอบเพื่อตรวจวัดแรงเสียดทานของผิวหน้า

ตารางที่ 3 แรงดึงสำหรับสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Torque Shear (ที่อุณหภูมิห้อง)

รูปภาพที่ 3 เกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized

### การออกแบบและการเชื่อมต่อสลักเกลียวกำลังสูง

#### ● กำลังที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวกำลังสูง

กำลังที่ยอมให้ที่กำหนดไว้สำหรับการเชื่อมต่อแบบแรงเสียด

ทานและการเชื่อมต่อแบบแรงดึงของสลักเกลียวกำลังสูง (F10T และ S10T) ได้กำหนดไว้ในข้อบังคับของกฎหมายควบคุมอาคาร และกำลังที่ยอมให้ของสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized (F8T) ได้ถูกกำหนดตามการตรวจรับของกระทรวงสาธารณสุข โภค ที่ดิน คมนาคม และการท่องเที่ยว กำลังที่ยอมให้ตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางสลักเกลียวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ที่กำหนดไว้สำหรับสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized (F8T) ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 สามารถหาได้จากสูตร “กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ = 0.40 × Bo (แรงดึงในสลักเกลียวที่ออกแบบไว้)” ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสิ้นไกลเป็น 0.40 ในทางตรงกันข้ามกำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้ที่กำหนดไว้สำหรับสลักเกลียวกำลังสูงแบบ hexagonal และ torque shear (F10T และ S10T) ได้ถูกคำนวณโดยใช้สัมประสิทธิ์การสิ้นไกล 0.45 ในขณะเดียวกัน กำลังรับแรงเฉือนที่ยอมให้และกำลังรับแรงดึงที่ยอมให้สำหรับ F10T และ S10T มีค่าเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ใน มาตรฐานการออกแบบสำหรับโครงสร้างเหล็กของสถาบันสถาปนิกของญี่ปุ่น

ตารางที่ 4 กำลังที่ยอมให้สำหรับสลักเกลียวกำลังสูง

#### ● การทำงานขันเกลียว

การขันสลักเกลียวกำลังสูงมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ : การขันเบื้องต้น → การกำหนดจุด → การขันเกลียวขั้นสุดท้าย ในขณะเดียวกัน ข้อกำหนดวิธีการของการทำงานสำหรับสลักเกลียวกำลังสูงพิเศษเป็นเช่นเดียวกับกับสลักเกลียวกำลังสูง แต่ค่า torque ในตอนแรกสำหรับสลักเกลียวกำลังสูงพิเศษมีค่าแตกต่างจากสลักเกลียวกำลังสูง

#### - การขันเกลียวเบื้องต้น

การขันเกลียวเบื้องต้นสำหรับสลักเกลียวกำลังสูง torque shear และ สลักเกลียวเหล็กสแตนเลสกำลังสูงใช้ค่า torque ในการขันเบื้องต้นดังที่แสดงในตารางที่ 5 ส่วนสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized ใช้ค่า torque ในการขันเบื้องต้นดังที่แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่า torque ที่ใช้ในการขันสำหรับสลักเกลียวกำลังสูง  
ตารางที่ 6 ค่า torque ที่ใช้ในการขันสำหรับสลักเกลียวกำลังสูง  
แบบ Hot-dip Galvanized

#### - การจับตำแหน่ง

หลังจากที่มีการขันเกลียวเรียบร้อยแล้ว ทั้งสลักเกลียว น็อตและ  
แหวนรองของทั้งชุดและองค์อาคารที่เชื่อมต่อได้ถูกจับตำแหน่งไว้

#### - การขันเกลียวสุดท้าย

หลังจากที่ชุดสลักเกลียวได้ผ่านการขันขั้นแรกและจับ  
ตำแหน่งไว้ การขันครั้งสุดท้ายเป็นการหมุนน็อต สลักเกลียว  
hexagonal กำลังสูงถูกขันโดยใช้ค่า torque ที่กำหนดไว้เพื่อให้  
ได้แรงดึงมาตรฐานในสลักเกลียว สลักเกลียวแบบ torque shear  
จะถูกขันโดยใช้ประแจจนกระทั่งเกิดการแตกออกที่ร่อง

การขันสุดท้ายของสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip  
Galvanized และสลักเกลียวสแตนเลสกำลังสูงทำโดยการ  
หมุนน็อต 120 องศาจากจุดที่จับตำแหน่งไว้เดิม

#### - การตรวจสอบ

หลังจากการขันครั้งสุดท้าย ความยาวสลักเกลียวที่เกิน  
ออกมาและการหมุนของ nut ได้ถูกตรวจดูเพื่อยืนยันว่าได้มีการ  
ขันสลักเกลียวหรือไม่ ในขณะเดียวกันสำหรับสลักเกลียวกำลังสูง  
และ สลักเกลียว torque shear กำลังสูงซึ่งมีการขันเกลียวโดย  
วิธีการใช้ torque ให้ได้ระดับแรงดึงในสลักเกลียวมาตรฐานหรือ  
ให้ได้อยู่ใน elastic range องศาของการหมุนหัวสลักเกลียวใน  
ช่วงเวลาสุดท้ายของการขันเกลียวจะแสดงการเปลี่ยนแปลง  
เล็กน้อยขึ้นอยู่กับระดับของการขันสลักเกลียวตอนต้น แต่การ  
เปลี่ยนแปลงจะมีเพียงประมาณ 1/10 ขององศา

ในทางตรงกันข้าม สำหรับสลักเกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip  
Galvanized และสลักเกลียวสแตนเลสกำลังสูงที่มีการขันโดยใช้  
การหมุนของน็อตไปยังจุดที่ใกล้กับกำลังของสลักเกลียว  
การหมุนของน็อตสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 120 องศา (ค่าที่กำหนด  
ของการหมุน) เพราะว่าการ relax ภายหลังจากการขันของสลัก  
เกลียวกำลังสูงแบบ Hot-dip Galvanized และสลักเกลียว  
สแตนเลสกำลังสูงมีค่าสูงกว่าสลักเกลียว hexagonal และสลัก

เกลียวแบบ torque shear ค่าแรงดึงที่ต้องการในการขันเกลียวมี  
ค่าสูงขึ้นไปจนถึงจุดครากของสลักเกลียว

ในกรณีที่พบเห็นได้ว่าทั้งสลักเกลียวและแหวนรองเกิดการ  
หมุนไปด้วยกันและหมุนในแนวแกน ชุดของสลักเกลียวจะถูก  
ทดแทนด้วยชุดใหม่ ในกรณีเช่นนั้น สลักเกลียวที่นำมาใช้แล้วจะ  
ไม่นำมาใช้ใหม่อีก

#### - การควบคุมการขันเกลียว

ในการที่จะตรวจสอบยืนยันว่าหน้าตัดรับแรงเสียดทานได้รับ  
การกระทำอย่างถูกต้องหรือมีการขันเกลียวได้อย่างเหมาะสม  
หรือไม่ จะต้องใช้เอกสารโดยสมาคมก่อสร้างโครงสร้างเหล็กของ  
ญี่ปุ่น “Qualification System for Engineers for Architectural  
High-strength Bolt Joining Control” สำหรับสลักเกลียวกำลัง  
สูงทั่วไป และ “Qualification System for High-strength Bolt  
Execution Engineers” สำหรับสลักเกลียวกำลังแบบ hot-dip  
galvanized และสลักเกลียวสแตนเลสกำลังสูง จากการศึกษา  
ทั้งเอกสารทั้งสองระบบนี้ วิศวกรที่ทำงานด้านการเชื่อมต่อสลัก  
เกลียวกำลังสูงสามารถทำงานเชื่อมต่อสลักเกลียวได้อย่างมี  
คุณภาพ

#### การเปลี่ยนแปลงพัฒนาล่าสุดในสลักเกลียวกำลังสูง

ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น กำลังของสลักเกลียวกำลังสูงได้มีการ  
เพิ่มขึ้นเป็นเกรด F10T (1,000 N/mm<sup>2</sup>) สิ่งนี้มีผลต่อความเสี่ยง  
ที่เกิดขึ้นของการแตกหักภายหลังซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้สลัก  
เกลียวกำลังสูงเกรด F11T หรือสูงกว่านั้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อขนาดและกำลังขององค์อาคารเหล็กได้  
เพิ่มขึ้นในงานก่อสร้างอาคารหลัง ๆ นี้ การนำสลักเกลียว F10T  
ที่ใช้อยู่ทั่วไปมาใช้งานส่งผลให้รอยต่อมีขนาดใหญ่เกินไป และ  
สลักเกลียวที่ต้องใช้เป็นจำนวนมาก เพื่อแก้ไขปัญหา  
จึงมีความต้องการให้รอยต่อสลักเกลียวมีขนาดเล็กลง หรือใช้  
สลักเกลียวกำลังสูงที่มีความแข็งแรงขึ้น ในการตอบโจทย์  
ดังกล่าว ผู้ผลิตสลักเกลียวหลายรายได้ทำการแก้ปัญหาของการ  
แตกหักภายหลังซึ่งเกิดจากการใช้สลักเกลียวที่มีกำลังสูงกว่าและ  
ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์สลักเกลียว torque shear ที่มีกำลังสูงพิเศษ

ที่มีกำลังรับแรงดึง 1,400 N/mm<sup>2</sup> เช่นเดียวกับกับสลักเกลียวชุบ galvanize แบบ hot-dip กำลังสูงพิเศษที่มีกำลังรับแรงดึง 1,200 N/mm<sup>2</sup>

- **สลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear**

สลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear ได้นำมาใช้ในการก่อสร้างจากการพัฒนาของวัสดุเหล็กกล้าที่ต้องการมีการต้านทานการแตกหักภายหลังและเพื่อปรับปรุงรูปร่างของตัวเกลียวซึ่งลดระดับความหนาแน่นของหน่วยแรง รูปภาพที่) 4 (ขนาดรูปร่างและมิติพื้นฐานสอดคล้องกับJSS II 09 สลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear มีค่ากำลังเป็นประมาณ 1.5 เท่าของสลักเกลียวกำลังสูงทั่วไป (F10T) และรอยต่อสลักเกลียวมีขนาดกะทัดรัด ประมาณ 2/3 ของขนาดรอยต่อสลักเกลียวปกติ เพราะเหตุนี้ ผู้ใช้สลักเกลียวประเภทนี้สามารถเห็นประโยชน์จากการใช้สลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear ก็คือลดค่าใช้จ่ายและเวลาการทำงานก่อสร้าง มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดแรงงานในการทำงานสลักเกลียว เพราะเหตุนี้ การใช้สลักเกลียวประเภทนี้จึงมีมากขึ้นในการก่อสร้างอาคารสูงซึ่งต้องใช้ขนาดโครงสร้างที่ใหญ่ ห้างสรรพสินค้าที่มีช่วง span จากเสาถึงเสาที่ยาว และโรงงานผลิตและโกดังสินค้าที่ต้องรองรับน้ำหนักมาก ๆ ตารางที่ 7 แสดงตัวอย่างของสลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear

รูปที่ 4 สลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear ตารางที่ 7 ตัวอย่างของสลักเกลียวกำลังสูงพิเศษแบบ torque shear



(ปกหลัง)

กิจกรรมของ JISF

**การจัดเตรียมเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กในประเทศญี่ปุ่น**  
(รายละเอียดเพิ่มเติมโปรดอ่านฉบับภาษาอังกฤษ)

**การขอความร่วมมือในการสำรวจสำหรับวารสาร Steel Construction Today & Tomorrow**

Steel Construction Today & Tomorrow เป็นวารสารของสมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) และสมาคมการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กแห่งประเทศไทย ซึ่งมีการตีพิมพ์ 3 เล่มต่อปี โดยวารสารนี้เป็นวารสารภาษาอังกฤษที่รวบรวมข้อมูลด้านเทคโนโลยีเกี่ยวกับการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กในญี่ปุ่นไปยังผู้ที่อยู่ในแวดวงก่อสร้างซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในประเทศในเอเชีย

เรากำลังทำการสำรวจแก่ผู้อ่านวารสารตามแผนการตีพิมพ์ทั้งหมด 3 ฉบับในปีงบประมาณ 2014 เป้าหมายหลักก็คือสามารถทำความเข้าใจถึงความต้องการของผู้อ่านเพื่อปรับปรุงวารสารให้ดียิ่งขึ้น โดยแบบฟอร์มในการสำรวจแบ่งเป็น 2 ระบบ

- **ผ่าน JISF เว็บไซต์**

- พิมพ์ JISF และค้นหาเว็บไซต์จากโปรแกรมค้นหา
- คลิกที่แบนเนอร์ในเว็บไซต์ภาษาอังกฤษของ JISF
- คลิกที่แบบสอบถาม

- **แบบสอบถาม**

วารสารได้มีการจัดส่งให้ผู้อ่านเป็นประจำโดยมีการแนบแบบสอบถาม โปรดกรอกรายละเอียดในแบบฟอร์มและแฟกซ์มาที่ +81-3-3667-0245

คำตอบของท่านผ่านแบบฟอร์มการสำรวจผู้อ่านจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุง *Steel Construction Today & Tomorrow* ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อประเทศและอุตสาหกรรมเหล็กของญี่ปุ่น ในการบรรลุเป้าหมายนี้ เราอยากขอให้ท่านให้ความร่วมมือในการส่งแบบสอบถามกลับมายังเราด้วย