

# STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(ฉบับที่ 34 เดือนพฤศจิกายน 2011)

งานเผยแพร่ร่วมกันของ สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย  
และสมาคมโครงสร้างเหล็กแห่งประเทศไทย  
ฉบับภาษาไทย

หนังสือ Steel Construction Today & Tomorrow ฉบับภาษาอังกฤษได้รับการตีพิมพ์ปีละสามครั้ง และเผยแพร่ไปทั่วโลกให้แก่ผู้บริหารและองค์กรอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องหรือสนใจวัตถุประสงค์หลักของการเผยแพร่คือการนำเสนอมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับงานโครงสร้างเหล็ก ยกตัวอย่างเช่น โครงการก่อสร้างในรูปแบบใหม่ ๆ เทคโนโลยีขั้นสูง สำหรับการก่อสร้างและการเลือกใช้วัสดุ รวมไปถึงข่าวสารในแวดวงงานก่อสร้างอาคารและงานวิศวกรรมโยธา

เพื่อให้ผู้อ่านชาวไทยเข้าใจบทความในนิตยสารฉบับนี้ได้ง่ายขึ้น เราจึงได้จัดทำฉบับภาษาไทยที่มีเฉพาะส่วนของตัวหนังสือ แนบเอาไว้กับฉบับภาษาอังกฤษ ส่วนภาพถ่ายภาพตัวอย่างประกอบและตาราง จะถูกนำมาแสดงไว้ในฉบับภาษาไทยเฉพาะที่เป็นชื่อหรือคำบรรยาย เพราะฉะนั้นในการอ่าน ควรอ้างอิงถึงเนื้อหาของหนังสือฉบับภาษาอังกฤษควบคู่กันไป นอกจากนี้เมื่อต้องการข้อความหรือคำศัพท์ทางเทคนิคที่ถูกต้อง หรือต้องการรายละเอียดทางเทคนิคเพิ่มเติม กรุณาอ้างอิงถึงหนังสือฉบับภาษาอังกฤษ ด้วยเช่นกัน

ฉบับที่ 34 เดือนพฤศจิกายน 2011: สารบัญ

หัวข้อพิเศษ:

งานก่อสร้างสะพานช่วงยาวพิเศษ

เหล็กกล้า: วัสดุที่โดดเด่นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างหลักใน  
โครงสร้างแบบผสมที่มีช่วงยาว \_\_\_\_\_ 1

สกายปาร์ค: หลังคาขนาดใหญ่ โครงสร้างเหล็กวงพาดช่วง  
อาคารสูง 3 หลัง \_\_\_\_\_ 4

สถานีไอซาก้า: หลังคาโดมขนาดใหญ่เหนือชานชาลาสถานี  
\_\_\_\_\_ 8

สถานีรถไฟอาซาฮิกาวา: การออกแบบโครงสร้างอาคาร  
สถานีรถไฟแบบช่วงยาว \_\_\_\_\_ 12

ไอออน ออร์ชาร์ด: โครงสร้างแบบโครงถักเหล็กขนาดใหญ่  
ระหว่างช่วงสถานีเอ็มอาร์ที \_\_\_\_\_ 15

แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ทางทิศตะวันออกของญี่ปุ่น – ข้อเสนอ  
ทางเทคโนโลยีและวิธีการในการซ่อมแซมและก่อสร้างขึ้น  
ใหม่โดยใช้โครงสร้างเหล็ก \_\_\_\_\_ ปกหลัง

ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2011

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

(หน้าที่ 1 – 3)

## เหล็กกล้า: วัสดุที่โดดเด่นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างหลักใน โครงสร้างแบบผสมที่มีช่วงยาว

โดย มาโมรุ คาวากูชิ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ มหาวิทยาลัยไฮเซน

ผู้แทนบริษัทคาวากูชิและเอ็นจีเนียร์

เหล็กกล้ามักจะได้รับการพัฒนาสำหรับนำมาใช้เป็นองค์ประกอบหลักสำหรับโครงสร้างแบบประกอบหรือแบบผสม บทบาทที่สำคัญของเหล็กกล้าคือการทำหน้าที่เป็นองค์อาคารรับแรงดึงเพื่อทำที่สวดจะประกอบเป็นโครงสร้างทั้งหมดที่ถูกต้องตามหลักการ ในลักษณะของการใช้งานร่วมกับวัสดุประกอบประเภทอื่นซึ่งทำหน้าที่เป็นองค์อาคารรับแรงอัด แรงเฉือน หรือแรงดัด ซึ่งจุดที่น่าสนใจคือองค์อาคารวัสดุประกอบที่กล่าวถึงเหล่านี้อาจจะประกอบขึ้นจากวัสดุหลายประเภท ตามหน้าที่การใช้งานที่ได้มีการออกแบบไว้ บทความนี้อธิบายถึงงานออกแบบของผู้เขียนซึ่งได้มีการใช้วัสดุต่าง ๆ เช่น คอนกรีต หินธรรมชาติ ไม้ อลูมิเนียม หรือแม้กระทั่งอากาศมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเหล็กกล้า ซึ่งทำหน้าที่เป็นองค์อาคารรับแรงดึงหลักเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีสัดส่วนที่เหมาะสม และความสวยงามในลักษณะของโครงสร้างช่วงยาว

### โครงสร้างแบบผสมระหว่างเส้นเคเบิล – เหล็กกล้า : โครงสร้างรับแรงดึงแบบ semi-rigid (โยโยกิ สเตเดียม)

โยโยกิสเตเดียมประกอบไปด้วยโครงสร้างส่วนใหญ่ ๒ ส่วน คือโรงยิมเนเซียมที่หนึ่ง และโรงยิมเนเซียมที่สอง หลังคาของโรงยิมเนเซียมทั้งสองได้รับการออกแบบตามหลักการให้เป็นโครงสร้างรับแรงดึง (ดูรูปภาพที่ 1)

โรงยิมเนเซียมหลังแรกได้รับการออกแบบในเบื้องต้นสำหรับกีฬาว่ายน้ำและสเก็ตน้ำแข็งสามารถรองรับผู้ชมได้ 15,000 ที่นั่ง ในอาคารหลังนี้มีระบบโครงสร้างเช่นเดียวกันกับสะพานแขวน (suspension bridge) โดยนำมาใช้สำหรับเป็นโครงสร้างหลักส่วนกลาง สายเคเบิลหลักจำนวนสองเส้น มีความยาวที่ 126 เมตรระหว่างเสาหลักทั้งสอง และ 65 เมตรภายนอกช่วงเสาใน

ส่วนของตัวยึดด้านหลัง ส่วนของค้ำอาคารแบบแขวนที่วางอยู่ตามความยาวของเส้นเคเบิล ประกอบไปด้วยชิ้นเหล็กรูปพรรณซึ่งวางอยู่บนช่วงพื้นที่ระหว่างเสาเคเบิลหลักและส่วนของค้ำอาคารโค้งรอบนอกที่เป็นคอนกรีต รอบ ๆ ที่นั่งอัฒจันทร์ กลุ่มเส้นเคเบิลซึ่งทำหน้าที่ค้ำของค้ำอาคารเหล็กรูปพรรณเหล่านี้ ได้มีการวางตัวอยู่ตามแนวผิวบนหลังคา ซึ่งได้มีการขึงไว้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคาทั้งหมด ในเบื้องต้น ได้มีการวางแผนที่จะใช้เชือกเพื่อสร้างเป็นเครือข่ายเส้นเคเบิลสำหรับการดึงที่ผิวหลังคา แต่ได้ตรวจพบระหว่างการออกแบบว่าผิวหลังคาที่มีการใช้โครงสร้างที่มีคุณสมบัติวัสดุแตกต่างกันไม่เหมาะสมเนื่องจากเหตุผลทางด้านราคา เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ จึงได้มีการใช้ระบบการแขวนแบบ “semi-rigid” สำหรับหลังคานี้ โดยใช้ของค้ำอาคารรับแรงดึงที่มีความสามารถในการต้านทานแรงดัดบางส่วนร่วมกับสายเคเบิลค้ำยัน (อ้างอิงกับรูปที่ 1)

รูปภาพที่ 1 ยิมเนเซียมแรกสำหรับโยโยกิ สเตเดียม

รูปที่ 1 ระบบโครงสร้างของโยโยกิ สเตเดียม

### โครงสร้างผสมระหว่างเหล็ก – คอนกรีต (โตชิกิกรีนสเตเดียม)

โตชิกิกรีนสเตเดียม (รูปภาพที่ 2) ได้สร้างขึ้นในปี 1993 ในเมืองฮัตสึโนมิยะสำหรับการแข่งขันฟุตบอล ในการออกแบบโครงสร้างนี้ ได้มีความพยายามที่ต้องการจะ 1) แสดงส่วนประกอบโครงสร้างที่เป็นเชื่อมต่อนั้นหนึ่งเดียวกัน 2) การใช้ระบบโครงสร้างที่ประกอบสำเร็จในส่วนอัฒจันทร์

รูปภาพที่ 2 หลังคาลอยของโตชิกิกรีนสเตเดียม

ข้อแรกถือเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบให้เกิดบรรยากาศของ “หลังคาลอยอยู่บนพุ่มไม้” ซึ่งเป็นส่วนที่สถาปนิกต้องการสำหรับหลังคาของส่วนอัฒจันทร์หลัก เพราะเหตุนี้โครงสร้างรองรับหลังคาจึงได้ออกแบบให้เป็นลักษณะรับแรงดึงอย่างเดียว ร่วมกับองค์อาคารรับแรงอัดซึ่งมีการเชื่อมต่อกันโดยวิธีการยึดแบบ hinge วิธีนี้ทำให้ได้โครงสร้างที่มีขนาดเล็กและ

เกิดความรู้สึกของ “หลังคาลอย” องค์อาคารรับแรงดึงได้ออกแบบเป็นแท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 32 – 52 มิลลิเมตร และองค์อาคารรับแรงอัดที่เป็นเสาเข็มแบบคอนกรีตอัดแรง งานก่อสร้างนี้อาจจะเรียกได้ว่าเป็นตัวอย่างแรกที่เสาเข็มคอนกรีตได้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรมโดยไม่จำเป็นต้องมีการตกแต่งผิวอีก เสาเข็มคอนกรีตที่ใช้ผลิตจากโรงงานที่มีมาตรฐานสูงทั้งความเที่ยงตรงของขนาด และคุณภาพของวัสดุ นอกจากนี้ ผิวหน้าของเสาเข็มคอนกรีตมีความทึบหนาแน่นละเอียดและลื่น จึงทำให้สามารถใช้เป็นวัสดุตกแต่งทางสถาปัตยกรรมโดยมิต้องมีการตกแต่งผิวอีก

ดังนั้นส่วนฉลิมจันทร์หลักและหลังคาประกอบไปด้วยเสาจำนวน 25 ต้นที่เป็นเสาเข็มแบบลวดอัดแรง และขึ้นส่วนคานคอนกรีตประกอบสำเร็จซึ่งรองรับขึ้นส่วนพื้นข้างบน ในทิศทางตามด้านยาวของอาคาร โครงสร้างได้มีการยึดด้านข้างโดยใช้แท่งเหล็กค้ำยัน และเสาที่อยู่ชิดติดกัน ทำหน้าที่ด้านทานน้ำหนักบรรทุกด้วยกัน

### สะพานผสมระหว่างเหล็ก กับหินธรรมชาติ (สะพานอินาชูส)

สะพานอินาชูส (รูปภาพที่ 3) ได้ก่อสร้างขึ้นเมื่อปี 1994 ที่เมืองเบปโป กิวชู เพื่อให้เป็นสะพานที่นำไปสู่สวนสาธารณะมินามิ – ทาเคอิชิ โคเอเน สะพานมีช่วงความยาว 34 เมตร ในระหว่างการหารือกับนายกเทศมนตรีและคณะทำงานแผนกก่อสร้างของเมือง ผู้เขียนได้ทราบว่าเบปโปมีเมืองเพื่อนบ้านในประเทศจีนชื่อว่าเยนไต ซึ่งส่งออกหินแกรนิตที่มีคุณภาพดีเยี่ยม ผลการทดสอบในห้องแล็บพิสูจน์ว่าหินเหล่านี้มีความแข็งแรงเป็นเยี่ยมและมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการนำมาใช้ในงานโครงสร้าง ผู้แต่งจึงได้นำหินแกรนิตจากเยนไตมาใช้เป็นส่วนประกอบโครงสร้างสำหรับสะพาน สะพานได้รับการออกแบบให้มีรูปร่างโค้งสองด้านเหมือนเลนส์ โดยมีรูปร่างโค้งสำหรับส่วนคอร์คอบนและส่วนคอร์คอบนที่แขวนไว้ด้วยกัน ในการออกแบบโครงสร้างส่วนคอร์คอบนที่เป็นหินแกรนิตทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักและยังทำหน้าที่เป็นพื้นเพื่อให้ผู้คนเดินข้ามสะพานในตัวอีกด้วย

รูปภาพที่ 3 สะพานหินแกรนิตอินาชูส

ดังนั้นส่วนคอร์คอบนประกอบไปด้วยบล็อกของหินแกรนิตที่มีความกว้าง 40 เซนติเมตร และความลึก 25 เซนติเมตรโดยมีความยาวที่แตกต่างระหว่าง 2.6 เมตรจนถึง 3.6 เมตร จำนวน 78 บล็อก ส่วนคอร์คอบนทั้งหมดมีการอัดแรงเพื่อที่จะสร้างความเป็นลักษณะบล็อกเดียวกันของโครงสร้างคอร์คอบนประกอบไปด้วยแผ่นเหล็กที่วางตัวเป็นปล้อง ส่วนคอร์คอบนและคอร์คอบนมีการเชื่อมต่อกันโดยใช้องค์อาคารส่วนเอวซึ่งประกอบไปด้วยท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัดวางตัวให้เป็นรูปแบบปิรามิดคว่ำ ในลักษณะที่ผู้แต่งเรียกว่าโครงถักแบบเปิดส่วนเอว (open-web truss) ซึ่งส่วนเอวของคานไม่ได้ถูกรัดปิดโดยการใช้อองค์อาคารทแยงดังเช่นที่ใช้ในโครงถักทั่วไป จากการพิจารณาที่จะประหยัดโครงสร้างองค์อาคารทแยงและรอยต่อ และข้อดีทางด้านความสวยงามของรูปลักษณะแบบง่าย ๆ ผู้แต่งเชื่อว่าโครงถักแบบเปิดส่วนเอว มีรูปแบบที่สวยงามและมีประสิทธิภาพทางด้านการออกแบบโครงสร้าง สะพานได้รับการตั้งชื่อว่า INACHUS (ชื่อเรียกตามเทพเจ้าแม่น้ำตามเทพนิยายกรีก) ซึ่งมาจากการจัดประกวดตั้งชื่อของประชาชนเมืองเบปโปหลังจากที่สะพานสร้างแล้วเสร็จ

### โครงสร้างประกอบระหว่างเหล็ก – ไม้

- โครงสร้างเหล็ก- ไม้ที่มีการเสริมกำลัง

ไม้เป็นวัสดุตามธรรมชาติซึ่งหมุนเวียนได้ในป่า ไม้เป็นวัสดุที่ค่อนข้างเป็นที่นิยมเนื่องจากทำให้เกิดความรู้สึกที่ดีแก่ผู้ใช้งาน ในทางตรงกันข้าม ไม้มีข้อเสียด้านข้อจำกัดในทางกำลังและความแข็งแรงเมื่อนำมาใช้เป็นโครงสร้าง เพราะเหตุนี้จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะเสริมกำลังแก่องค์อาคารไม้ด้วยวัสดุที่มีกำลังแข็งแรงกว่ามากดังเช่นเหล็ก สะพานบางแห่งได้มีการก่อสร้างโดยหลักการนี้บ้างแล้ว เมื่อไม่นานมานี้ ผู้เขียนได้มีโอกาสในการออกแบบอินิชิสอลล์ ซึ่งสถาปนิกต้องการให้หลังคารองรับด้วยคานไม้ที่บางมาก และเขาได้นำเหล็กเสริมคอนกรีตมาใช้ร่วมกับคานไม้เพื่อให้ได้ตามความต้องการและตามหลักการ (รูปภาพที่ 4) รูปภาพที่ 4 อินิชิสอลล์

- โครงสร้างผสมระหว่างเหล็ก – ไม้

ไม้เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงเท่าเทียมกันทั้งด้านการรับ

แรงดึงและแรงอัด แต่ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อวัสดุภายใต้แรงดึงจะต่ำกว่าเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัด ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างแบบผสมโดยให้ไม่อยู่ในส่วนที่รับแรงอัดจะทำให้ได้โครงสร้างผสมที่ดีกว่า

โรงยิมเนเซียมไอระ (รูปภาพที่ 5) มีความยาว 100 เมตร x 50 เมตรซึ่งสนามกีฬาในด้านบนถูกคลุมไว้ด้วยแผ่นเปลือกไม้แบบโครงสร้างผสม ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นพื้นผิวแบบโค้งเป็นชั้น ๆ มีความหนา 200 มิลลิเมตรและระบบการยึดโยงโดยเหล็กโครงสร้าง แผ่นเปลือกไม้ทำหน้าที่เป็นองค์อาคารรับแรงอัด และยังทำหน้าที่อื่นนอกเหนือจากเป็นองค์ประกอบโครงสร้าง คือทำหน้าที่เป็นวัสดุระบายความร้อน ลดเสียงสะท้อน และเป็นเพดานที่สวยงามให้ความรู้สึกที่ดีแก่ผู้ใช้ด้วย

สถานีฮิวกาชิ Hyuga-shi (รูปที่ 2) เป็นโครงสร้างหลังคาแบบผสมระหว่างเหล็กกับคอนกรีตในรูปแบบที่ซับซ้อนสำหรับใช้เป็นหลังคาคลุมชานชาลาและรางรถไฟบนพื้นที่ขนาด 18 เมตร x 110 เมตร คานไม้แบบที่ยึดเป็นชั้น ๆ ได้ประกอบขึ้นมาในรูปร่างที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานโมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงลมในทิศทางขนาน โดยใช้ร่วมกับเหล็กรูปกล่อง

หลังคาหลักของสถานีโคชิ (รูปภาพที่ 6) มีขนาด 39 เมตร x 60 เมตร ประกอบไปด้วยกลุ่มของโครงสร้างโค้ง (arches) แบบผสมระหว่างเหล็ก – ไม้ในรูปร่างที่ไม่สมมาตร โดยมีส่วนข้างของโครงสร้างเหล็กไปยังทิศทางส่วนปลายของโครงสร้างโค้งนี้ (arches) โครงสร้างชิ้นงานนี้วางอยู่บนที่รองรับคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวด้านทิศเหนือของอาคาร ในขณะที่โครงสร้างโค้ง (arches) ทางด้านทิศใต้วางอยู่บนโครงสร้างรางรถไฟยกระดับ

รูปภาพที่ 5 ไอระสเตเดียม

รูปที่ 2 สถานีฮิวกาชิ

รูปภาพที่ 6 สถานีโคชิ

## สะพานอลูมิเนียมแบบอัดแรง

สะพานภายในอาคารขนาดเล็กเพื่อเชื่อมต่อร้านอาหาร

และส่วนโถงลิฟต์ได้ออกแบบขึ้นมาภายในอาคารแห่งหนึ่งในย่านกินซา (รูปภาพที่ 7) สะพานเป็นสะพานอลูมิเนียม มีความยาว 6 เมตรและความกว้าง 1.7 เมตร อลูมิเนียมได้ถูกเลือกใช้เนื่องจากพื้นผิวที่สวยงาม ไม่เกิดสนิม และแทบไม่ต้องการบำรุงรักษา สะพานทั้งหมดถูกหล่อขึ้นในแบบหล่อเป็นบล็อกเดียว เนื่องจากไม่มีผู้ใดมั่นใจสำหรับการหล่อโลหะอลูมิเนียมผสมในด้านของคุณสมบัติความเหนียวภายใต้แรงดึง จึงมีการใส่แรงดึงจำนวน 300 กิโลนิวตัน มาอัดแรงโดยผ่านแท่งเหล็กจำนวน 2 เส้น ที่จัดเตรียมไว้ภายในหน้าตัดรูปกล่องของสะพานเพื่อหลีกเลี่ยงความเค้นแบบแรงดึงที่จะเกิดขึ้นกับวัสดุอลูมิเนียมในสะพาน

รูปภาพที่ 7 สะพานอลูมิเนียมแบบอัดแรง

## โครงสร้างแบบผสมระหว่างแผ่นเหล็กบาง-อากาศ

ในส่วนที่ได้นำเสนอมานั้น เหล็กได้ถูกนำมาใช้เป็นองค์อาคารรับแรงดึงเท่านั้น ในขณะที่องค์อาคารรับแรงอัดจะเป็นวัสดุอื่น ๆ เช่น คอนกรีต หิน ไม้ และอลูมิเนียม วัสดุอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจและสามารถนำมารับแรงอัดคืออากาศ อากาศไม่สามารถที่จะต้านทานแรงดึงหรือแรงเฉือนได้ แต่มีความต้านทานกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร จากหลักการที่ว่า อากาศไม่ “พังทลาย” หรือ “แตกหัก” ภายใต้แรงอัด จึงเป็นแนวความคิดที่ว่าโครงสร้างแบบผสมอาจจะสามารถใช้เหล็กเพื่อรับแรงดึงและอากาศเพื่อรับแรงอัด ตัวอย่างแรกที่สนับสนุนแนวความคิดนี้ก็คือ โครงหลังคาที่ใช้อากาศช่วยในการรับแรงที่มีพื้นผิวนอกเป็นอลูมิเนียมสำหรับศูนย์กีฬาที่มหาวิทยาลัยดาลเฮาสี ที่เมืองฮาลิแฟกซ์ แคนาดา ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 1979 หลังคามีครอบคลุมพื้นที่ 92 เมตร x 73 เมตรของห้องโถง ซึ่งหลังคามีลักษณะแบนและมีแผ่นเหล็กอลูมิเนียมที่เชื่อมต่อกันหนา 1.6 มิลลิเมตร เป็นพื้นผิวหุ้มไว้

ผู้เขียนได้พัฒนาระบบการใช้แผ่นเหล็กบางเป็นพื้นผิวที่ใช้ใช้อากาศซึ่งสามารถพัฒนานำไปใช้ได้ ไม่เพียงแต่พื้นผิวที่เรียบแต่ยังรวมถึงพื้นผิวที่มีความลึก ระบบนี้อาจจะเรียกว่าเป็นระบบแนวแผ่นยาว (strip) ที่ใช้กำลังของแผ่นโลหะทั้งแผ่นในทิศทางตามยาว แผ่นเหล็กนี้มีความต่อเนื่องตามด้านยาวและมีการ

เชื่อมต่อกันอย่างแน่นหนาที่ส่วนปลาย จึงทำให้มีกำลังต้านทานในทิศทางยาวได้เต็มที่ แต่แนวแผ่นยาวที่อยู่ติดกันไม่ได้เชื่อมต่อหรือมีการเชื่อมต่อกันตามแนวด้านยาวนี้ (อ้างอิงกับรูปภาพที่ 8)

ทฤษฎีของหน้าตัดรูปโดม ซึ่งไม่มีความเค้นในทิศทางเส้นรอบรูปภายใต้การรองรับความดันจากอากาศภายในได้ถูกเปรียบเทียบให้เป็นเสมือนโครงสร้างแบบเปลือกที่อยู่ภายใต้น้ำหนักบรรทุกภายในที่สม่ำเสมอ ผู้เขียนให้ชื่อหน้าตัดว่า “รูปแบบที่บางที่สุดที่สามารถบรรจุอากาศ” และได้นำมาใช้กับโครงสร้างโดมนี้

โดมที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เมตร ได้ก่อสร้างโดยใช้แผ่นเหล็กสแตนเลสความหนา 0.3 มิลลิเมตรเป็นผิว จากการตรวจสอบรูปร่างของโดมพิสูจน์ให้เห็นว่าใกล้เคียงกับทฤษฎี โครงสร้างโดมได้ทดสอบกับแรงลมที่ความเร็วลม 30 เมตร/วินาที โดยไม่เกิดปัญหาแต่อย่างใด

รูปที่ 8 โดมอากาศใช้แผ่นผิวเหล็กบาง

### ข้อสรุป

เหล็กเป็นวัสดุชั้นยอด มีความแข็งแรงในด้านแรงดึงและแรงอัด อีกทั้งมีความคงตัวสูง เหล็กจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อนำมาใช้ในงานในภาวะรับแรงดึง ในขณะที่กำลังรับแรงอัดขึ้นอยู่กับวิธีการรับแรง ซึ่งบ่อยครั้งจำเป็นต้องมีการลดกำลังอย่างมากเพื่อป้องกันการโก่งเดาะ เพราะฉะนั้นเมื่อเราคิดที่จะพัฒนาองค์ประกอบโครงสร้างใหม่ ๆ หรือระบบโครงสร้าง โดยการใช่วัสดุมากกว่า 2 ชนิด วัสดุหนึ่งที่น่ามาไว้รับแรงดึงมักจะเป็นเหล็กเสมอ แต่มีวัสดุมากมายที่สามารถต้านทานแรงอัดหรือแรงเฉือนในบทความนี้ ผู้เขียนพยายามที่จะแสดงวัสดุหลาย ๆ ประเภทที่สามารถนำมาใช้สำหรับงานเหล่านั้นร่วมกับเหล็กซึ่งมักจะทำหน้าที่เป็นองค์อาคารรับแรงดึง วัสดุที่ได้นำเสนอในบทความนี้คือ คอนกรีต หินธรรมชาติ ไม้ อลูมิเนียม หรือแม้กระทั่งอากาศ นอกจากนี้ยังมีวัสดุอีกมากมายที่สามารถใช้งานร่วมกับเหล็กได้เพื่อประกอบเป็นชิ้นส่วนของอาคารหรือระบบโครงสร้างขึ้นใหม่

(หน้าที่ 4-7)

## สกายปาร์ค – หลังคาขนาดใหญ่ โครงสร้างเหล็กวางพาดช่วงอาคารสูง 3 หลัง

โดย ยาซุชิซา มิวา

ผู้จัดการโครงการ ส่วนโครงสร้างเหล็ก บริษัทเจเอฟอี เอ็นจิเนียริง

### รูปแบบของสกายปาร์ค

ดังความหมายของชื่อสกายปาร์ค สกายปาร์คเป็นส่วนหนึ่งของสวนลอยฟ้าที่สร้างบนสวนทาวเวอร์อาคารสูงจำนวน 3 ตึกในประเทศสิงคโปร์ (รูปภาพที่ 1) สกายปาร์คมีความยาวทั้งสิ้น 340 เมตร และความกว้าง 40 เมตร สกายปาร์คซึ่งถือว่าเป็นอาคารสำคัญของเมือง ได้รับเฉลิมฉลองการเปิดเมื่อเดือนมิถุนายน 2010 และในปัจจุบันถือว่าเป็นอาคารที่มีชื่อเสียงท่ามกลางสิ่งก่อสร้างที่อยู่ในความดูแลของบริษัทมารีนเบย์แซนด์พีทีอี จำกัด บริษัทจัดการในประเทศสิงคโปร์

บริษัทร่วมค้าระหว่างบริษัทเจเอฟอีเอ็นจิเนียริง ของญี่ปุ่น กับของนัมเอ็นจิเนียริงและคอนสตรัคชั่นพีทีอี จำกัด ของสิงคโปร์ได้ร่วมกันทำงานและลงนามในสัญญาเมื่อเดือนเมษายน 2008 เพื่อก่อสร้างงานเหล็กสำหรับสกายปาร์ค บริษัทร่วมค้าได้เริ่มการทำงานออกแบบรายละเอียดและแผนการประกอบติดตั้งในทันที ซึ่งในเดือนกรกฎาคม 2009 ได้เริ่มงานก่อสร้างเพื่อให้สามารถเสร็จสิ้นงานประกอบติดตั้งโครงสร้างเหล็กหนักประมาณ 8,000 ตัน ภายใน 9 เดือน

รูปภาพที่ 1 ภาพรวมของสกายปาร์ค

### โครงสร้างของสกายปาร์ค

สกายปาร์คประกอบไปด้วยสะพานโครงถักเหล็กจำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่เชื่อมต่อบนทาวเวอร์โรงแรมจำนวน 3 ทาวเวอร์ (ส่วนทาวเวอร์ 1, 2, 3) สะพานรูปกล่องเหล็ก (box girder bridge) ที่เป็นโครงสร้างแบบคานยื่นตั้งอยู่บนทาวเวอร์ 3



และโครงสร้างเหล็กจำนวน 2 โครงตั้งอยู่ด้านบนของทาวเวอร์ 2 และ 3 (รูปภาพที่ 2) ประกอบเป็นโครงสร้างเดียวกัน โครงสร้างนี้ ได้ก่อสร้างขึ้นเพื่อรองรับแผ่นปิดด้วยการใช้แป

สำหรับสะพานที่เชื่อมต่อระหว่าง 3 ทาวเวอร์นั้น สะพานโครงถักเหล็กได้นำมาใช้เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการ ออกแบบเบื้องต้นซึ่งใช้คานหลักจำนวน 3 ตัวเชื่อมต่อโดยใช้ โครงสร้างคานทางขวาง เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบความโค้ง ของสกายปาร์คและรูปแบบของส่วนทาวเวอร์ซึ่งรองรับโครงสร้าง สะพาน โครงถักจึงมีได้วางขนานกันอีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลง ความสูงของโครงถักเนื่องจากข้อกำหนดทางด้านสถาปัตยกรรม เพื่อความสวยงาม ดังนั้นรูปแบบที่ได้จึงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังที่แสดงในรูปที่ 1

โครงสร้างบนทาวเวอร์ 3 ประกอบไปด้วยคานหลัก จำนวน 3 ตัว ซึ่งคาน 2 ตัวด้านข้างเปลี่ยนรูปแบบจากคานรูปตัว ไอ ( I-Beam ) ไปเป็นคานรูปกล่องตามความยาวและมีการยื่น ออกเป็นโครงสร้างคานยื่นยาว 67.7 เมตร คานหลักมีการรองรับ โดยเสาถาวรรูป w ซึ่งตั้งอยู่บนกำแพงคอนกรีตแผ่นพืดที่รองรับ อาคาร 55 ชั้น ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดของทาวเวอร์ 3 คานหลักบนที่วาง อยู่บนเสารูป w ที่กริด HTL60 และ HTL67 วางอยู่บนที่รองรับ แบบยึดแน่น (fixed bearing) และจุดอื่น ๆ ได้มีการเชื่อมต่อแบบ ยึดแน่นโดยการเชื่อม ในการที่จะรองรับโครงสร้างแบบคานยื่น ลวดอัดแรง ได้ถูกจัดวางไว้ที่ปีกคานส่วนบนภายในคานรูปกล่อง เพื่อที่จะมีการดึงลวดหลังจากที่มีการติดตั้งประกอบคานรูปกล่อง นี้แล้วเสร็จ (รูปที่ 2) วิธีการติดตั้งโครงสร้างเป็นพิเศษแบบอื่น ๆ ก็ ได้นำมาใช้ด้วย เช่นการติดตั้ง tune mass damper น้ำหนัก 5 ตัน ที่ส่วนปลายสุดของโครงสร้างแบบคานยื่น

รูปภาพที่ 2 โครงสร้างทั้งหมดของสกายปาร์ค

รูปที่ 1 หน้าตัดสะพานโครงถักเหล็ก

รูปที่ 2 สะพานรูปกล่องเหล็ก

### การออกแบบสกายปาร์ค

ขณะที่สกายปาร์คเป็นโครงสร้างที่เน้นสถาปัตยกรรม

ลักษณะของโครงสร้างเป็นเช่นเดียวกับกับโครงสร้างสะพาน เพราะเหตุนี้ การออกแบบจึงได้ใช้ตามมาตรฐาน 2 ประเภท – BS5950:2000 มาตรฐานของงานเหล็กในอาคาร (มาตรฐาน อังกฤษสำหรับการออกแบบ การขึ้นรูป และการประกอบติดตั้ง โครงสร้างเหล็ก) และ BS5400:1988 โครงสร้างสะพานเหล็ก คอนกรีต และแบบประกอบ (มาตรฐานอังกฤษสำหรับการ ออกแบบและการก่อสร้างสะพานเหล็ก คอนกรีต และแบบ ประกอบ) สำหรับวัสดุโครงสร้าง ใช้มาตรฐาน S355J ของ BS EN 10025 ผลิตภัณฑ์วัสดุเหล็กรีดร้อนได้นำมาใช้ สำหรับการ ออกแบบชิ้นส่วนรอยต่อต่าง ๆ การออกแบบรอยต่อแบบที่ใช้การ ยึดจับโดยแรงเสียดทานได้ใช้ตามมาตรฐานข้อ “รอยต่อแบบไม่ เลื่อนตัว” ของ BS5950 ซึ่งในรายละเอียดมีการยอมให้หน้าตัด รอยต่อเกิดการเลื่อนตัวในภาวะนั้นน้ำหนักบรรทุกขีดสุด และให้ใช้ การต้านทานน้ำหนักบรรทุกนี้โดยความต้านทานแรงเฉือนของสลัก เกลียวและการต้านทานแรงแบกทานของแผ่นเหล็ก สลักเกลียว ประเภทรับแรงเฉือน โดยการบิด (S10T) ได้ถูกนำมาใช้

ในการออกแบบส่วนรองรับ บริษัท Maurer Sohne GmbH & Co. ของเยอรมันได้รับการว่าจ้างเพื่อช่วยในการ ออกแบบ มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบคือ BS5400 ส่วนที่ 3 ปี 1983

เนื่องจากข้อกำหนดระบุให้โครงสร้างต้องมีความสามารถในการทนไฟได้ 1.5 ชั่วโมง สำหรับพื้นที่ซึ่งอยู่ใน ระยะ 10 เมตรจากส่วนสูงสุดของทาวเวอร์ และสำหรับผิว ภายนอกของทาวเวอร์ สีกันไฟถูกนำมาใช้ทาหน้าตัดในส่วนที่ โครงสร้างไม่มีการปกคลุมผิว และวัสดุพ่น vermiculite ได้นำมาใช้สำหรับส่วนหน้าตัดที่มีการปกปิดด้วยแผ่นปิดภายนอก และองค์อาคารอื่น ๆ

### งานขึ้นรูปและการประกอบติดตั้งโครงสร้างเหล็ก

องค์อาคารโครงสร้างซึ่งเป็นเหล็กประกอบได้รับการขึ้น รูปโดยบริษัทของนมเอ็นจีเนียร์ริงแอนด์คอนสตรัคชั่น ซึ่งเป็นบริษัท ประกอบชิ้นส่วนในประเทศ แล้วขึ้นส่วนโครงสร้างที่แล้วเสร็จจะ ถูกส่งไปยังสถานที่ก่อสร้าง (รูปภาพที่ 3 และ 4)

ในการประกอบติดตั้งโครงสร้างเหล็กบนทาวเวอร์ 1

และ 2 ชั้นส่วนของอาคารแต่ละชั้นจะถูกยกขึ้นโดยใช้ทาวเวอร์  
เครนเพื่อวางตำแหน่งชิ้นส่วนเหล่านี้ตามจุดที่กำหนด องค์กรอาคาร  
สะพานแบบคานรูปกล่องสำหรับทาวเวอร์ 3 สะพานเชื่อมต่อ  
ระหว่าง 2 ทาวเวอร์ และโครงสร้างส่วนคานยื่นออกสำหรับทาว  
เวอร์ 3 เหล่านี้ได้มีการทำการประกอบรวมกันให้เป็นชิ้นส่วนใหญ่  
ที่ระดับพื้นชั้นล่าง ในพื้นที่ด้านข้างส่วนทาวเวอร์และสุดท้ายถูก  
ยกโดยใช้การแจ็คขึ้น ส่วนโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ได้ประกอบขึ้นนี้  
มีจำนวน 3 ชั้น สำหรับคานหลักแต่ละตัวที่เป็นสะพานซึ่งเชื่อมต่อ  
ระหว่างทาวเวอร์ 2 ตัว จำนวน 2 ชั้นสำหรับคานรูปกล่องที่ทาว  
เวอร์ 3 และจำนวน 6 ชั้นสำหรับโครงสร้างแบบคานยื่น ทั้งหมดจึง  
มีชิ้นส่วนใหญ่จำนวน 14 ชิ้นที่มีน้ำหนักรวม 4,000 ตัน ที่ได้มีการ  
ยกและประกอบติดตั้งในช่วง 3 เดือนตั้งแต่เดือนตุลาคม 2009  
จนกระทั่ง 29 ธันวาคม 2009 (ตารางที่ 1)

งานประกอบติดตั้งกระทำโดยวิธีการใช้ strand แจ็คที่  
ประกอบไว้บน gantry frame ที่ติดตั้งอยู่ส่วนบนสุดของทาวเวอร์  
ชิ้นส่วนย่อยถูกยกไปยังความสูงที่ตั้งไว้ที่ 200 เมตร แต่ละชิ้นส่วน  
มีอัตราการยกที่ 15 เมตร/ ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับความเร็วสูงสุด  
ของการเคลื่อนตัวของแจ็ค เป็นช่วงเวลาในการยก 15 ชั่วโมง  
หลังจากที่เสร็จสิ้นการยกชิ้นส่วนแต่ละชั้น ชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูก  
เลื่อนตำแหน่งไปยังจุดที่ต้องการโดยการใช้แจ็คแบบดึงทางด้าน  
ข้าง และทำการลดระดับไปยังตำแหน่งสุดท้ายโดยการปล่อย  
ความดันไฮดรอลิกภายในแจ็คออก (ดูรูปที่ 3 รูปภาพที่ 5 – 8)

ระหว่างการวางแผนยกชิ้นส่วน ได้มีการจัดเตรียม  
ตำแหน่งการประกอบและจุดยกให้มีช่องว่างเมื่อไว้ 1 เมตร เพื่อ  
เป็นการป้องกันชิ้นส่วนที่ถูกยกปะทะกับทาวเวอร์ระหว่างทำการ  
ยกชิ้นส่วน ซึ่งอาจจะมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างเนื่องจาก  
แรงลมปะทะที่มีขนาดความเร็ว 26 เมตร/วินาที ตามที่ได้  
ออกแบบไว้

รูปภาพที่ 3 การขึ้นรูปชิ้นส่วนเหล็กที่ บริษัทของนม

รูปภาพที่ 4 การทดลองประกอบชิ้นส่วนที่ บริษัทของนม

รูปภาพที่ 5 การยกชิ้นส่วนสะพานโครงถักเหล็ก

รูปภาพที่ 6 การเลื่อนชิ้นส่วนสะพานโครงถักเหล็กเข้าไปใน  
ตำแหน่งที่ต้องการ

รูปภาพที่ 7 การยกชิ้นส่วนสะพานรูปกล่องที่ทาวเวอร์ 3

รูปภาพที่ 8 การยกชิ้นส่วนโครงสร้างแบบยื่นที่ทาวเวอร์ 3

รูปที่ 3 ขั้นตอนในการยกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมาก

ตารางที่ 1 ข้อมูลการยกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมาก

## มาตรการด้านความปลอดภัย

เพราะว่างานก่อสร้างสกายปาร์คมีการทำงานอย่าง  
ต่อเนื่องที่ความสูงเกินกว่า 200 เมตร เช่นเดียวกันกับที่ระดับ  
พื้นดินร่วมกับงานอื่น ๆ จึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ  
เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดแก่ผู้ทำงาน หรือสามารถกล่าวได้  
อีกนัยหนึ่งว่าได้มีความพยายามอย่างที่สุดและต่อเนื่องถึง  
มาตรการที่ได้แจ้งให้ผู้ทำงาน ซึ่งหมายถึงคนงาน 450 คนและ  
หัวหน้างาน 70 คน ทราบว่าในช่วงที่มีการทำงาน ให้คนงานและ  
หัวหน้างานทุกคนใส่อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง และให้พก  
กระเป๋าเก็บของเพื่อป้องกันการตกหล่นของเครื่องมือ

คู่มือการทำงานอย่างละเอียด ซึ่งแสดงรายละเอียด  
สำหรับการทำงานแต่ละประเภทได้จัดเตรียมไว้และมีการ  
ตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย คู่มือนี้นอกจากจะได้รับ  
การยอมรับจากทั้งเจ้าของงานและที่ปรึกษาแล้ว ยังได้รับการ  
ตรวจสอบจากผู้จัดการที่เกี่ยวข้องทุกท่านด้วย และหลังจากที่ได้มี  
การสนทนาหารือกัน หัวหน้างานแต่ละท่านต้องทำความเข้าใจ  
กับคู่มือนี้ หลักการควบคุมการบริหารจัดการความเสี่ยงได้นำมา  
ประยุกต์ใช้ในงานโดยการคาดการณ์ถึงอันตรายระดับสูงสุดที่จะ  
เกิดขึ้น

## มาตรการด้านความปลอดภัยที่สูงสุดสำหรับงานที่ ยากลำบาก

สิ่งที่สามารถอ้างอิงว่าเป็นความสำเร็จในการก่อสร้าง  
สกายปาร์คก็คือการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่เช่นนี้ ซึ่งรวมไป  
ถึงเป็นงานก่อสร้างที่ยากลำบาก ไม่ปรากฏอุบัติเหตุอย่างร้ายแรง  
ในช่วงการทำงานกว่า 1 ล้านชั่วโมงของคนงาน สิ่งนี้เกิดจาก  
ความร่วมมือร่วมใจและความพยายามอย่างสูงของหัวหน้างาน  
วิศวกรในประเทศ และเจ้าหน้าที่ชาวญี่ปุ่น ซึ่งเป็นความพยายาม  
ร่วมกันเหนือข้อจำกัดทางด้านวัฒนธรรมและภาษา ในการทำให้

โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โครงการสกายปาร์คยังได้รับรางวัลการออกแบบโครงสร้างเหล็กประจำปี 2010 จากสมาคมเหล็กโครงสร้างของประเทศสิงคโปร์อีกด้วย



## สถานีไอซาก้า – หลังคาโดมขนาดใหญ่เหนือชานชาลาสถานี

โดย ทากายูกิ ยูเมกิ

ผู้จัดการอาวุโส แผนกการก่อสร้าง บริษัทเวสต์เจแปนเรลเวย์

โครงการพัฒนาสถานีไอซาก้าเป็นโครงการต่อเนื่องระยะเวลา 7 ปี ซึ่งได้เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2004 และเสร็จสิ้นเมื่อเดือน พฤษภาคม 2011 ในพิธีการเปิด “เมืองแห่งสถานีไอซาก้า” พื้นที่แห่งใหม่นี้ประกอบไปด้วยส่วนก่อสร้างของสถานีที่มีอาคารตั้งอยู่ด้านทิศเหนือของสถานี 1 อาคาร อาคารที่ตั้งอยู่ทางทิศใต้ 1 อาคาร พื้นที่ชานชาลาใหม่บนสะพานเชื่อมระหว่างอาคารทั้งสอง และหลังคารูปโดม

### รูปแบบของเมืองแห่งสถานีไอซาก้า

พื้นที่ทางด้านเหนือของสถานีไอซาก้า รวมทั้งชานชาลาสินค้ายูเมตะถือว่าเป็นพื้นที่การค้าในเมืองที่ดีที่สุดในญี่ปุ่น และมีการคาดการณ์ในแผนการพัฒนาให้เป็นฐานของการฟื้นฟูพื้นที่คันทันไซ ในปี 2003 เมืองไอซาก้าได้ตีพิมพ์เอกสารชื่อว่า “แผนพัฒนาสำหรับพื้นที่ทางเหนือของสถานีไอซาก้า” ซึ่งกำหนดทิศทางในการพัฒนาเมืองไอซาก้าแบบพื้นฐาน (รูปที่ 1)

เมืองสถานีไอซาก้าได้ถูกกำหนดวางไว้ให้เป็นตัวเชื่อมในการสร้างเมืองในพื้นที่ด้านเหนือของสถานีไอซาก้า ซึ่งได้รับการโปรโมทจากผู้ปกครองเมืองไอซาก้าและองค์กรจัดการบริหารอื่น ๆ รวมถึงองค์กรเอกชนและผู้อยู่อาศัยในบริเวณรอบ ๆ

ในรายละเอียดแล้ว โครงการมีจุดประสงค์พื้นฐานเน้นที่จะปรับปรุงเครือข่ายของประชาชนกับพื้นที่ข้างเคียง เพื่อที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของสังคมแวดล้อมที่ถือว่าเป็นประตูเชื่อมต่อกับไอซาก้าและพื้นที่คันทันไซ รวมถึงเพื่อที่จะปรับปรุงพื้นที่

ให้มีความน่าสนใจร่วมกันกับบริษัทเดินรถไฟอื่น ๆ เป้าที่วางไว้ก็คือการยกระดับขีดความสามารถของพื้นที่สำหรับจะทำหน้าที่เป็นส่วนหลักของสถานีไอซาก้าและพื้นที่รอบ ๆ โดยให้เป้าหมายนี้สอดคล้องกันกับความพยายามของบริษัทเวสต์เจแปนเรลเวย์ ที่จะขยายการเดินรถไฟสายด่วนพิเศษกิวชูและชั้นโยชินกันเซนและยังจะปรับปรุงการเข้าถึงสถานีไอซาก้าจากส่วนเครือข่ายการขนส่งจากเมืองอื่น ๆ ด้วย

รูปที่ 1 แผนสำหรับพื้นที่เมืองไอซาก้าด้านเหนือ

### เป้าหมายพื้นฐานสำหรับโครงการเมืองแห่งสถานีไอซาก้า

โครงการนี้ได้วางเป้าหมายไว้ 4 ประการดังนี้

- การปรับปรุงส่วนพลาซ่าและทางเดิน

ทางเดินทางด้านทิศใต้ – ด้านทิศเหนืออันใหม่ได้กำหนดไว้ในพื้นที่ว่างเหนือทางรถไฟเพื่อให้ได้เส้นการเดินทางที่ไม่ติดขัดและเพื่อความง่ายตายแก่ผู้เดินทางในการเดินทางภายในสถานีและพื้นที่รอบ ๆ ในภายหลัง พลาซ่าจำนวน 8 แห่งได้ก่อสร้างขึ้นภายในสถานีเพื่อเป็นพื้นที่พักผ่อนภายในสถานี (รูปภาพที่ 1)

รูปภาพที่ 1 ส่วนกลางสถานีและทางเดินผ่านที่ได้รับการปรับปรุง

- การปรับปรุงความสะดวกภายในสถานี

ได้มีการใช้หลากหลายวิธีในการปรับปรุงความสะดวกภายในสถานี รวมไปถึงการก่อสร้างพื้นที่ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสารบนสะพานเชื่อมที่ศูนย์กลางของสถานี การปรับปรุงสวนคอนคอร์ตภายในพื้นที่ประตูจำหน่ายตั๋วโดยสารและแนวความคิดสำหรับพื้นที่ซึ่งปราศจากสิ่งกีดขวางทั้งหมด นอกจากนี้ หลังคาโดมขนาดใหญ่ซึ่งมีระยะประมาณ 180 เมตร ทางทิศเหนือไปยังทิศตะวันตกและประมาณ 100 เมตร จากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ ได้ถูกก่อสร้างไว้เหนือระดับชานชาลา (รูปภาพที่ 2)



## รูปภาพที่ 2 หลังคาโดมขนาดใหญ่

### การก่อสร้างอาคารประเด็นด้านทิศเหนือ

เพื่อที่จะเป็นประตูสู่พื้นที่ทางด้านทิศเหนือของสถานีไอซาก้า อาคารใหม่ได้ถูกสร้างขึ้นทางด้านทิศเหนือของสถานีซึ่งอาคารนี้เป็นที่ตั้งของร้านค้าทั่วไป ร้านค้าสินค้าพิเศษ ร้านอาหาร สถานที่ให้บริการและสำนักงาน อาคารนั้นนอกจากจะเป็นพื้นที่ปกติเพื่อใช้งานของสถานีรถไฟแล้วยังให้ใช้เป็นพื้นที่พลาซ่าและพื้นที่อื่น ๆ ที่ผู้คนสามารถร่วมเข้าใช้พื้นที่ได้ (รูปภาพที่ 3)

## รูปภาพที่ 3 อาคารประตูทางด้านทิศเหนือที่ได้สร้างขึ้นใหม่

### การขยายขนาดอาคารประตูทางเข้าด้านทิศใต้

ควบคู่กันไปกับ การปรับปรุงส่วนพลาซ่าของสถานี อาคารประตูทางเข้าด้านทิศใต้ซึ่งเป็นทางเข้าไปยังพื้นที่ด้านทิศใต้ของสถานีไอซาก้าได้ทำการก่อสร้างขยายให้ใหญ่ขึ้น งานก่อสร้างยังได้ช่วยปรับปรุงเส้นการเดินรถไฟและช่วยให้ผู้เดินทางสามารถเดินทางไปยังส่วนรอบ ๆ ของสถานีรถไฟได้สะดวกยิ่งขึ้น

## รูปภาพที่ 4 อาคารประตูทางด้านทิศใต้ที่ได้ขยายใหญ่ขึ้น

### การออกแบบหลังคารูปโดม

เนื่องจากได้รับการออกแบบให้เป็นโครงสร้างซึ่งเป็นสัญลักษณ์สำหรับโครงการเมืองแห่งสถานีไอซาก้า หลังคารูปโดมขนาดใหญ่ที่มีความยาวประมาณ 180 เมตรในด้านทิศเหนือ – ตะวันตกและประมาณ 100 เมตรทางด้านทิศใต้ – เหนือ จึงได้ก่อสร้างที่ระดับเหนือชานชาลาในสถานีไอซาก้า เพื่อให้ได้พื้นที่ของสถานีภายใต้หลังคาที่สะดวกสบายและสวยงามครอบคลุมอาคารประตูทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ของอาคารสถานีที่ตั้งอยู่บนสะพานทางผ่านและชานชาลาสถานี (รูปภาพที่ 5)

หลังคาโดมวางอยู่บนที่รองรับที่ชั้น 12 ของอาคารประเด็นด้านทิศเหนือและโดยโครงถัก (ด้านทิศตะวันออก – เหนือ) ซึ่งเป็นโครงสร้างชานชาลา ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ

โครงสร้างนี้คือโครงถัก 3 มิติแบบพอลิเอทรีน 3 เหลี่ยม (ความยาวทั้งสิ้น 100 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด 600 นิ้ว) ซึ่งโครงถักจำนวน 17 แถวนั้นประกอบเป็นหลังคารูปโดม – ซึ่งอยู่ในรูปแบบทแยงเฉียงโดยมีมุมเฉียงที่สูงที่สุดอยู่ที่ 23 องศาและระดับที่แตกต่างกันสูงสุดที่ 30 เมตร วัสดุปกคลุมหลังคาเป็นแผ่นเหล็กพับและประกอบไปด้วยช่องแสงจำนวน 12 แถวเพื่อให้แสงสว่างแก่พื้นที่ภายใต้หลังคา

เพื่อลดแรงที่อาจจะเกิดจากแผ่นดินไหวอันจะกระทำต่อหลังคาที่มีน้ำหนักรวม 3,500 ตันอย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างแบบที่มีการแยกฐานรากจากโครงสร้าง (base isolation) ได้มีการนำมาใช้ วัสดุ isolator จำนวน 17 ตัว และ damper รูปตัวยู ที่เป็นวัสดุประกอบของยาง (laminated-rubber) ได้ถูกติดตั้งไว้บนหน้าตัดส่วนที่รองรับน้ำหนักที่อาคารประตูด้านทิศเหนือ นอกจากนี้ อุปกรณ์ส่วนรองรับแบบที่สามารถเลื่อนตัวได้ในแนวตั้งฉาก (cross slide) (ที่สามารถเคลื่อนตัวได้ 1 เมตร) และ damper แบบน้ำมันจำนวน 6 ตัว ได้นำมาติดตั้งบนหน้าตัดส่วนที่รองรับน้ำหนักที่โครงถักด้านทิศเหนือ- ตะวันตกเพื่อที่จะลดการถ่ายแรงดันทางข้างที่มากเกินไปยังโครงสร้างด้านล่างระหว่างที่เกิดแผ่นดินไหว (อ้างอิงกับรูปที่ 2)

สำหรับวัสดุปกคลุมหลังคา มีการเคลือบผิวโดยใช้ silicon denatured epoxy resin วัสดุเคลือบผิวชนิดนี้มีประวัติการใช้อย่างแพร่หลายในการก่อสร้างสะพานและไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาบ่อยครั้ง

ในขณะเดียวกัน เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำน้ำฝนจากหลังคาของโครงถักทางทิศ ตะวันออก- ใต้ และ เหนือ – ใต้จะถูกกักเก็บไว้ที่ถังกักเก็บน้ำที่ระดับใต้ดินของอาคารประตูทางด้านเหนือและนำมาใช้เป็นน้ำชะล้างสำหรับห้องสุขา

## รูปที่ 2 รูปแบบของโครงสร้างหลังคารูปโดม

## รูปภาพที่ 5 หลังคาโดม

### การก่อสร้างหลังคารูปโดม

ในการก่อสร้างหลังคารูปโดมนั้นมีความจำเป็นที่

จะต้องทำงานในระหว่างที่สถานีมีการเปิดใช้งานตามปกติ ด้วยเหตุนี้ การทำงานจึงต้องพิจารณาประเภทของงาน ช่วงเวลาการเดินทางไฟและความปลอดภัยของผู้โดยสาร งานก่อสร้างจะใช้เวลาทำงาน 3 ชั่วโมงตั้งแต่หลังจากรถไฟเที่ยวดึกขบวนสุดท้ายจนกระทั่งรถไฟเที่ยวเช้าขบวนแรก ภายใต้ข้อกำหนดที่จำกัดของเวลานี้ วิธีการทำงานจะต้องมีประสิทธิภาพทั้งในการที่จะติดตั้งโครงถักรูปสามเหลี่ยมและงานพื้นผิว โดยต้องให้เสร็จสิ้นในแต่ละส่วนบนหลังคาของอาคารสถานีที่ได้มีการติดตั้งไว้ก่อนบนสะพานคนข้าม และจากจุดที่องค์อาคารประกอบเสร็จได้เลื่อนเข้ามาทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจำนวน 7 ครั้งในแต่ละด้าน เพราะเหตุนี้ หลังคาโดมจึงได้ก่อสร้างเสร็จสิ้นโดยมิได้มีอุบัติเหตุ วิธีการทำงานมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ในช่วงแรก โครงถักจะมีการประกอบที่ระดับพื้นโดยใช้หลังคาที่เป็นพื้นส่วนล่างของอาคารประตูทางด้านทิศเหนือ ซึ่งมีการก่อสร้างในช่วงเวลาเดียวกัน โครงถักแบ่งออกเป็นองค์อาคาร 8 ชิ้น ซึ่งจะมีการประกอบที่ระดับพื้นเช่นเดียวกัน ต่อมาโครงถักจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังอาคารสถานีบนสะพานข้ามซึ่งเป็นจุดที่มีการเชื่อมต่อโครงถัก

เพื่อให้มีพื้นที่ในการก่อสร้างสำหรับเชื่อมต่อโครงถัก bent gantry ได้ถูกติดตั้งบนหลังคาของอาคารสถานีทั้งสองในส่วนปลายด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ซึ่งมีการก่อสร้างก่อนส่วนกลางของอาคารสถานี บนชั้น bent gantry นี้ได้มีการนำองค์อาคารโครงถัก 8 ชิ้นมาเชื่อมต่อกันและในขณะเดียวกัน แผ่นเหล็กทับ กระงะด้านบน วัสดุเคลือบและงานตกแต่งผิวอื่น ๆ จะเสร็จสิ้นเช่นเดียวกัน ในช่วงนี้ งานควบคุมคุณภาพใช้วิธีการตรวจสอบสัมผัส (รูปที่ 3)

ต่อมา โครงถักแต่ละส่วนที่ได้ประกอบเสร็จสิ้นจะนำมาเลื่อนเข้าทางด้านตะวันออกและตะวันตกเป็นจำนวน 7 ครั้ง โดยมีการเพิ่มเติมโครงถักเข้าไปเป็นช่วง ๆ (รูปที่ 4)

โครงถักหลังคาได้เลื่อนตำแหน่งไปยังตำแหน่งที่ต้องการเหนือระดับรางรถไฟโดยใช้เครื่องมือในการเลื่อนตำแหน่งโครงถักโดยการหมุนล้อ (TIRKANK รับน้ำหนักบรรทุกมากที่สุด 200 ตัน) ตามราง girder ที่ชั้น 12 ของอาคารประตูทางเข้าด้านทิศเหนือและบนคานของโครงสร้างด้านทิศตะวันออก - ทิศใต้

(รูปภาพที่ 6) สำหรับเครื่องแจ็คแบบเลื่อนตำแหน่ง เครื่องแจ็คความเร็วสูง แบบมีรูตรงกลาง (แจ็คแบบ 2 ผิว รับน้ำหนักบรรทุกมากที่สุด 70 ตัน) ได้นำมาใช้เพื่องานเลื่อนโครงสร้างให้ได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ระหว่างช่วงรถไฟขบวนสุดท้ายของวันและขบวนแรกของอีกวันหนึ่ง ในขณะเดียวกัน เพื่อที่จะให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมภารกิจตัวและสภาพของโครงถักในระหว่างการทำงานเลื่อนโครงถัก จึงได้มีระบบการวัดควบคุมโครงสร้างระหว่างการทำงานเพื่อปรับปรุงความปลอดภัยในการทำงาน

ท้ายที่สุด ในการนำ bent gantry เข้ามาใช้ในตำแหน่งหลังคาของอาคารสถานีบนสะพานข้าม งานเชื่อมต่อและงานตกแต่งผิวหลังคาจะกระทำบนโครงถัก 3 ตัว (โครงถักจำนวนทั้งสิ้น 17 โครง) ซึ่งไม่ต้องทำการเลื่อนเข้าตำแหน่ง โครงถักเหล่านี้จะประกอบเข้าที่เพื่อปิดพื้นที่อาคารส่วนกลางและเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาโดมหลังเสร็จสิ้น

รูปที่ 3 Bent Gantry

รูปที่ 4 การเลื่อนโครงถัก

รูปภาพที่ 6 การเลื่อนโครงถักหลังคารูปโดม



## สถานีรถไฟอาซาฮิกาวา – การออกแบบโครงสร้างอาคารสถานีรถไฟแบบช่วงยาว

โดย มาโมรุ คาวากูชิ และ ยูชิ อาไซ

บ. คาวากูชิ และวิศวกร

หลังจากที่ได้เริ่มก่อสร้างเมื่อ 15 ปีที่แล้วในปี ค.ศ. 1995 ส่วนแรกของงานก่อสร้างอาคารสถานี เจอาร์ อาซาฮิกาวา ซึ่งรวมไปถึงโครงสร้างส่วนรางรถไฟยกระดับได้แล้วเสร็จเมื่อเดือนตุลาคม 2010 สถานีนี้ได้มีกำหนดที่จะเฉลิมฉลองการเปิดใช้ในเดือนพฤศจิกายน 2011 (รูปภาพที่ 1 และ 2, รูปที่ 1)

รูปภาพที่ 1 แสดงสถานีอาซาฮิกาวา

รูปที่ 1 รูปตัดโครงสร้าง

## ลักษณะโครงสร้าง

หลังคาอาคารสถานีรถไฟอาซาฮิกาวาเป็นโครงสร้างแบบโครงข้อแข็งเหล็กซึ่งวางอยู่บนโครงสร้างทางรถไฟยกระดับคอนกรีตเสริมเหล็ก ความยาวของหลังคาทั้งสิ้น 180 เมตร มีความกว้างประมาณ 60 เมตรและความสูงส่วนที่สูงที่สุด 26.3 เมตร (รูปที่ 2)

เนื่องจากสถานีรถไฟตั้งอยู่ในเมืองอาซาฮิกาวา ฮอกไกโด จังหวัดที่มีหิมะตกหนักในญี่ปุ่น ปัจจุบันในด้านการสะสม หักลบของหิมะจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ นอกจากนี้ยังมีการรณรงค์ให้ใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในส่วนที่อยู่ติดกับแม่น้ำในบริเวณการก่อสร้าง หลังคาของสถานีอาซาฮิกาวาจึงได้วางแผนออกแบบให้เป็นแบบที่สามารถเก็บและรับน้ำหิมะได้

โดยทั่วไปแล้ว ในการก่อสร้างหลังคาอาคารสถานีรถไฟในเมืองฮอกไกโด ข้อกำหนดสำคัญอย่างหนึ่งคือการใช้หลังคาคอนกรีต ซึ่งไม่เพียงจะสามารถรับน้ำหนักหิมะที่หนักซึ่งสะสมทับถมอยู่ในช่วงฤดูหนาวของฮอกไกโดแล้ว ยังสามารถที่จะป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดีอีกด้วย ด้วยเหตุนี้ โครงสร้างซึ่งรองรับหลังคาสถานีจะต้องรองรับน้ำหนักมากและยังต้องต้านทานแรงแผ่นดินไหวเป็นเวลานานอีกด้วย สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือโครงสร้างมีลักษณะเป็นเสาที่ค่อนข้างสั้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ชิดติดกันเป็นจำนวนมาก ได้นำมาใช้รองรับโครงสร้างในอาคารสถานีรถไฟส่วนมากในฮอกไกโด เป็นเหตุให้สถานีรถไฟมีพื้นที่ที่อับแสงและเป็นมุมอับ มุมมองค่อนข้างแคบเพราะถูกบดบัง เพื่อที่จะให้ชาวขาลาสถานีมีการบดบังทัศนียภาพให้น้อยลง ที่สถานีรถไฟอาซาฮิกาวานี้ จึงมีการวางรูปแบบโครงสร้างให้มีการใช้เสาให้น้อยที่สุดเพื่อให้ได้พื้นที่ว่างได้เพดานที่มากขึ้น

เพื่อให้จะได้ตามแปลนโครงสร้างที่ได้วางไว้ จึงจำเป็นที่โครงข้อแข็งรับหลังคาและเสารองรับต้องมีกำลังและความคงตัวสูง ซึ่งได้นำไปสู่การนำโครงถักเหล็กที่มีความลึกที่เพียงพอและเสาประกอบเหล็กแบบที่เรียกว่า เสาเหล็กแบบกิ่ง 4 ต้น (four-branched tubular) มาใช้

โครงข้อแข็งรับหลังคาเป็นโครงถักที่มีส่วนคอร์คอบนและ

ล่างขนานกัน ซึ่งมีการรองรับโดยเสาแบบ four-branched จำนวน 20 ต้นและมีคานที่มีความลึก 3 เมตรในด้าน X และ ด้าน Y หรือบ่งบอกในรายละเอียดก็คือโครงข้อแข็งหลังคาประกอบไปด้วยโครงถักคอร์คอบนและคอร์คอบล่างที่เป็นเหล็กรูปพรรณขนาด H250x250 และตัวยึดทแยงที่เป็นท่อสี่เหลี่ยมเหล็ก (ขนาด 165.2 – 216.3 มิลลิเมตร) (รูปภาพที่ 3) หลังคาได้ถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงในตัวในแนวราบโดยการใช้แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (ความหนา 150 มิลลิเมตร) โครงสร้างด้านนอกของอาคารมีการรองรับโดยใช้เสารูปตัวเอส (H400x200)

รูปภาพที่ 2 รูปภายในสถานีอาซาฮิกาวา

รูปที่ 2 ลักษณะทั่วไปของสถานีอาซาฮิกาวา

## การออกแบบโครงสร้างอาคารสถานีรถไฟ

ในการออกแบบอาคารสถานีรถไฟ จะต้องมีความร่วมมือกันระหว่างวิศวกรโยธาผู้ทำหน้าที่ออกแบบโครงสร้างวางรถไฟยกระดับและวิศวกรโครงสร้างผู้ออกแบบหลังคา

อย่างไรก็ตาม ในแง่ของขั้นตอนลำดับการทำงานตามแผนงานก่อสร้าง การออกแบบโครงสร้างวางรถไฟยกระดับจะต้องแล้วเสร็จและได้เริ่มก่อสร้างก่อนที่จะมีการเริ่มงานออกแบบโครงสร้างหลังคา

จึงเป็นเหตุให้มีความยากลำบากในการออกแบบโครงสร้างของอาคารสถานี เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับแรงปฏิกิริยาที่ฐานเสารองรับหลังคาเป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบโครงสร้างวางรถไฟยกระดับและจะต้องให้ข้อมูลนี้แก่วิศวกรโยธาโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในขั้นตอนการออกแบบ นอกจากนี้ ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ซับซ้อนจากเสารองรับหลังคา จะทำให้เกิดความง่ายตายสำหรับวิศวกรโครงสร้างในการวิเคราะห์เพื่อการออกแบบโครงสร้างสถานีอาซาฮิกาวา ด้วยเหตุนี้ วิศวกรโยธาจึงมีการขอให้วิศวกรโครงสร้างในงานออกแบบโครงสร้างของสถานีอาซาฮิกาวาให้ใช้กฎในสภาพการออกแบบที่ว่า “ความเค้นเนื่องจากแรงดัดไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพของน้ำหนักบรรทุกที่ปลายเสารองรับหลังคา” ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการนำที่รองรับแบบหมุด (cast steel pin bearing) เพื่อเป็นฐานของเสาสี่

## ต้นรองรับหลังคา

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากอุณหภูมิ รอยต่อเพื่อการขยายตัว (จำนวน 2 จุด) ได้กำหนดไว้ในพื้นที่โครงสร้างรางรถไฟยกระดับใต้หลังคา รอยต่อเพื่อการขยายตัวไม่ช่วยในการถ่ายเทความเค้นในทิศทางของรางรถไฟ แต่ยอมให้มีการถ่ายเทความเค้นในทิศทางอื่น ๆ (ดูรูปที่ 3) รอยต่อเพื่อการขยายตัวที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกันนี้ได้มีการกำหนดไว้ในพื้นที่รางรถไฟวิ่ง

รูปที่ 3 การถ่ายแรงเค้นของรอยต่อเพื่อการขยายตัว

## การออกแบบรายละเอียดโครงสร้าง

### ● เสาประกอบกลุ่ม 4 ต้น

รูปที่ 4 และ รูปภาพที่ 4 แสดงเสาประกอบกลุ่ม 4 ต้น องค์อาคารหลักที่ใช้ประกอบเป็นทอสี่เหลี่ยมกลวง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 404.6 x 30 สำหรับโครงสร้างส่วนล่าง และ 404.5 x 16 สำหรับโครงสร้างส่วนบน) องค์อาคารประกอบเป็นทอสี่เหลี่ยมกลวง (ขนาด 165.2 x 9) รูปที่ 5 และรูปภาพที่ 5 แสดงที่รองรับแบบหมุด cast steel pin bearing ที่ใช้เป็นฐานเสา ฐานเสาจะมีการยึดติดกับโครงสร้างรางรถไฟยกระดับโดยสมอยึด (8 x M76)

รูปที่ 4 เสาเหล็กทอสี่เหลี่ยมกลวงประกอบกลุ่ม 4 ต้น

รูปที่ 5 ที่รองรับแบบหมุด cast steel pin bearing

รูปภาพที่ 4 แสดงเสาเหล็กทอสี่เหลี่ยมกลวงที่ประกอบเสร็จสิ้น

รูปภาพที่ 5 ที่รองรับแบบหมุด cast steel pin bearing

### รอยต่อเพื่อการขยายตัว

ในโครงสร้างทางรถไฟยกระดับนั้น รอยต่อเพื่อการขยายตัวได้กำหนดไว้ที่ 2 จุดซึ่งไม่ก่อให้เกิดการจำกัดการเคลื่อนตัวในทิศทางของรางรถไฟดังที่แสดงในรูปที่ 2 ในส่วนของหลังคาเองด้วย รอยต่อเพื่อการขยายตัวซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกันได้กำหนดไว้ที่ตำแหน่งเดียวกันเพื่อให้รอยต่อนี้จะมีการเคลื่อนตัวไปเช่นเดียวกันกับโครงสร้างทางรถไฟยกระดับเพื่อที่จะหลีกเลี่ยง

## ผลเสียที่อาจเกิดขึ้นในหลังคา (รูปที่ 6)

เพื่อที่จะไม่เป็นการยืดรั้งการเคลื่อนตัวในทิศทางแนวแกนระหว่างโครงถัก ได้มีการเจาะรูในทิศทางแนวแกนขององค์อาคารเพื่อที่จะยึดขึ้นส่วนเหล่านี้ด้วยหมุดยึด (เส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร) การออกแบบรายละเอียดการยึดต่อได้ออกแบบให้แรงเค้นในด้านแนวที่แข็งแรง (strong-axis) มีการถ่ายแรงโดยหมุดยึดและแรงเค้นในด้านแนวที่อ่อน (weak-axis) มีการถ่ายแรงโดยใช้ weak-axis shear stopper ซึ่งมีการยื่นออกมาจากส่วนปลายสุดของโครงถักในส่วนที่เป็นคานยื่น (cantilever beam state)

รูปที่ 6 รอยต่อเพื่อการขยายตัวที่ติดตั้งบนโครงหลังคา

## อาคารที่เปิดโล่งและโปร่งแสง

งานสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบโครงสร้างซึ่งได้กล่าวถึงก็คือการก่อสร้างในพื้นที่ของประเทศไทยที่ได้ขึ้นชื่อว่ามีหิมะตกหนักและในเมืองที่มีฤดูหนาวอันยาวนานให้ได้อาคารที่เปิดโล่งและโปร่งแสงซึ่งสามารถรองรับผู้คนได้เป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกัน งานที่สำคัญอีกอันหนึ่งตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมโยธาในงานออกแบบวิศวกรรมโครงสร้างก็คือระบบฐานเสาซึ่งลดความแตกต่างของความเค้นจากแรงดัดในโครงสร้างรางรถไฟยกระดับ เราเชื่อว่าข้อกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับการตอบสนองเป็นที่สำเร็จลุล่วงโดยการที่ใช้ระบบเสาประกอบกลุ่ม 4 ต้นและที่รองรับแบบหมุดนี้ (cast steel pin bearing)



## ไอออน ออร์ชาร์ด – โครงสร้างแบบโครงถักเหล็กขนาดใหญ่ระหว่างช่วงสถานีเอ็มอาร์ที –

โดย เคลวิน เตห์ (ผู้จัดการส่วนควบคุมคุณภาพ) และ คาซุชิ ยามาซิตะ (รองผู้อำนวยการ) บริษัท เพ็นต้า – โอเชียน จำกัด

## บทนำและรายละเอียดโครงการ

ไอออน ออร์ชาร์ด ซึ่งถือว่าเป็นประตูสู่ถนนออร์ชาร์ด

เป็นอาคารที่ได้รับการพัฒนาให้มีสวนโพลีเดียมเพื่อการค้าและส่วนอาคารสูงสำหรับที่อยู่อาศัย (รูปภาพที่ 1)

ไอออน ออร์ชาร์ดเป็นศูนย์รวมสินค้าที่มีชื่อเสียงทั่วโลก เพื่อเป็นร้านค้าที่ครบครันทั้งด้าน flagship แนวความคิดและสไตล์ พื้นที่บนอาคารชอปปิง 8 ชั้นที่ได้ออกแบบอย่างชาญฉลาด – พื้นที่ 4 ชั้นเหนือระดับพื้นดินและอีก 4 ชั้นใต้ระดับพื้นดิน

ไอออน ออร์ชาร์ดนำเสนอประสบการณ์ในการชอปปิงที่ไม่เหมือนใครทั้งในส่วนค้าขาย อาหารและเครื่องดื่ม พร้อมร้านค้าสันทนการต่าง ๆ ซึ่งรวมไปถึงสินค้าหรูหาระดับโลก 6 ยี่ห้อดังที่แสดงสินค้า flagship ในส่วนดูเพล็กซ์ด้านหน้าของถนน ออร์ชาร์ด สินค้าต่างประเทศ แฟชั่นที่นิยมในตลาด ร้านค้าที่มีสไตล์ที่ได้รับเลือกคัดสรรอย่างพิถีพิถัน ตามชื่อเสียงของยี่ห้อและแนวความคิดใหม่ ๆ ของสินค้า นอกจากนี้สินค้าหลากหลายยี่ห้อแล้ว ส่วนโถงอาหารยังนำเสนอประเภทของอาหารจำนวนมากมาย ตั้งแต่อาหารพื้นเมืองจนกระทั่งอาหารนานาชาติ

ไอออนอาร์ท ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำเสนองานศิลป์ใหม่ ๆ และงานมัลติมีเดียให้แก่ลูกค้าระหว่างการชอปปิงและยังได้นำเสนองานศิลปะยุคใหม่และศิลปะร่วมสมัยของสิงคโปร์และเอเชีย รวมทั้งผลงานของศิลปินและนักออกแบบที่มีชื่อเสียงบนพื้นที่จำนวน 5,600 ตารางฟุตสำหรับแกลเลอรีภายในพื้นที่มอลล์ – ถือว่าใหญ่ที่สุดในสิงคโปร์ แกลเลอรีนี้เป็นที่ตั้งของการแสดงผลงานของนานาชาติและนิทรรศการในประเทศประเทศ ผลงานของศิลปิน งานออกแบบและสื่อใหม่ ๆ

ไอออนสกายส่วนชมวิวทัศนียภาพ เป็นที่จัดงานแสดงสินค้าและพื้นที่ขายอาหารและเครื่องดื่ม ไอออนสกายตั้งอยู่ที่จุด แอล 55 และ แอล 56 ที่ความสูง 218 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นจุดสูงสุดบนถนนออร์ชาร์ด ให้โอกาสผู้เข้าชมสามารถมองเห็นมุมมองทั้ง 360 องศาของเมืองสิงคโปร์

ร้านค้ากว่า 330 ร้านค้าตั้งอยู่ในพื้นที่เช่าจำนวน 624,440 ตารางฟุตภายในอาคารสูง 8 ชั้น รวมไปถึงชั้นใต้ดิน 4 ชั้น ชั้น 5 ถึงชั้น 8 เป็นพื้นที่จอดรถและห้องเครื่อง (ระบบเครื่องกลและไฟฟ้า) (รูปที่ 2)

ทางเข้าไอออน ออร์ชาร์ดได้มีการสร้างให้เป็นหนึ่งเดียวกันกับ สถานีรถไฟออร์ชาร์ด เอ็มอาร์ที และเชื่อมต่อกับพื้นที่

ที่พัฒนาอื่น ๆ รอบข้าง ทางเข้าหลักอยู่ที่สถานีออร์ชาร์ดเอ็มอาร์ที ด้านล่าง มอลล์ใต้ดินแห่งใหม่ตรงข้ามถนนแพดเตอร์สันไปยังถนนวิลลอคทำให้เครือข่ายถนนทางเดินเท้าใต้ดินที่แยกถนนออร์ชาร์ด – แพดเตอร์สันแล้วเสร็จสมบูรณ์

ออร์ชาร์ด เรสซิเดนซ์ ซึ่งตั้งชื่อตามตำแหน่งที่ตั้ง เนื่องจากอยู่ในจุดที่เรียกว่าประตูสู่ถนน ออร์ชาร์ด นอกจากนี้ ออร์ชาร์ด เรสซิเดนซ์ยังเป็นอาคารที่สูงที่สุดในถนนออร์ชาร์ด ซึ่งได้รับการยอมรับโดยทางราชการ อพาร์ทเมนต์หรูหราค่าจำนวน 175 ยูนิตที่ตั้งอยู่บนอาคารที่สูงที่สุดของจังหวัดและอาคารที่เด่นที่สุดทางด้านสถาปัตยกรรมนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ผู้อาศัยตระหนักถึงรสนิยมที่มีระดับและความเป็นส่วนตัวท่ามกลางแสงสีของเมือง ออร์ชาร์ดเรสซิเดนซ์ได้สร้างมาตรฐานขึ้นใหม่ในทุก ๆ ด้านของชีวิตความเป็นอยู่ที่หรูหราโดยการออกแบบที่โดดเด่นเพื่อครอบคลุมภาพลักษณ์และตอบสนองลักษณะความเป็นอยู่ให้ดีที่สุด

รูปภาพที่ 1 ภาพรวมของการพัฒนาโครงการ ไอออน ออร์ชาร์ด

รูปภาพที่ 2 ร้านค้ากว่า 300 ร้านตั้งอยู่บนพื้นที่โครงการอาคาร 8 ชั้นรวมไปถึงชั้นใต้ดิน 4 ชั้น

### ความท้าทายในงานก่อสร้าง

ผู้รับเหมาก่อสร้างได้รับมอบหมายงานที่ท้าทายในการที่จะแปรเปลี่ยนสภาพตามจินตนาการของไอออน ออร์ชาร์ดให้เป็นความจริง งานที่ท้าทายเหล่านี้รวมไปถึง

- อาคารที่ตั้งอยู่ส่วนบนและด้านข้างของสถานีเอ็มอาร์ทีที่ใช้งานอยู่ (โดยมีข้อจำกัดทางด้านกราดน้ำหนัก)
- การก่อสร้างถนนด้านใต้อาคารที่จะเชื่อมต่อไปไอออน ออร์ชาร์ดไปยัง ถนนวิลลอคเพลสที่มีการจราจรหนาแน่น (โดยการรักษาจำนวนของเลนวิ่งระหว่างการทำงานโดยการเบี่ยงเลนที่ช่วงการก่อสร้างต่าง ๆ)

### แนวทางในการก่อสร้างและนวัตกรรมใหม่ ๆ

จากข้อจำกัดและข้อกำหนดข้างต้น ทางโครงการจึงมี

แนวทางในการก่อสร้างและนำนวัตกรรมเข้ามาใช้ดังนี้

- การก่อสร้างกำแพงปิด (Diaphragm wall) ได้ออกแบบให้เป็นแบบถาวรสำหรับโครงสร้างชั้นใต้ดินและถนนลอดข้างใต้
- วิธีการก่อสร้างแบบข้างบนลงข้างล่าง (Top-down Construction) ตั้งแต่ชั้นใต้ดิน 1 ลงไปได้นำมาใช้เพื่อที่จะทำให้สามารถก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนใต้ดินได้พร้อมกัน วิธีการนี้ขจัดปัญหาที่ต้องก่อสร้างค้ำยันเหล็กกันดินสำหรับการก่อสร้างชั้นใต้ดินเนื่องจากแผ่นพื้นได้ถูกออกแบบให้สามารถรองรับกำแพงชั้นใต้ดิน ซึ่งเป็นการลดระยะเวลาและวัสดุก่อสร้าง
- โครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ (Mega Truss) ที่มีช่วงโครงถักวางข้ามในระดับที่เหนือสถานีเอ็มอาร์ที ได้นำมาใช้ในการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 8 เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องน้ำหนักบรรทุกของสถานี เสาประกอบขนาดใหญ่ได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อรองรับโครงถักขนาดใหญ่นี้ ซึ่งก็ถูกรองรับด้วยเสาเข็ม Barrette ขนาดใหญ่อีกทีหนึ่ง ซึ่งเสาเข็ม Barrette นี้ได้ถูกก่อสร้างให้เป็นฐานรากและเสารองรับชั้นใต้ดินอย่างถาวร
- โครงสร้างส่วนบนที่เป็นโพเดียมได้ถูกก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างเหล็กและระบบการก่อสร้างแบบพื้นประกอบเหล็ก-คอนกรีต (composite metal deck) ดังนั้นจึงไม่มีการถอดไม้แบบและแผ่นพื้นคอนกรีตก่อสร้างบนแผ่นเหล็ก metal deck ซึ่งเป็นการปรับปรุงด้านความปลอดภัยและลดระยะเวลาการก่อสร้างและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- ส่วนโครงสร้างสูง (Tower) แต่ละชั้นได้ก่อสร้างในกำหนด 6 วันต่อหนึ่งชั้น โดยการใช้กำแพงรับแรงเฉือนแบบหล่อสำเร็จ (precast shear wall) คานและแผ่นพื้นสำเร็จแบบตัน รวมไปถึงบันไดหล่อสำเร็จ ไม้แบบลักษณะแบบ table form จึงไม่จำเป็นต้องใช้ในโครงการซึ่งทำให้งานเปียกภายในอาคารและงานติดตั้งระบบ

เครื่องกลและไฟฟ้าสามารถเริ่มทำงานได้ทันทีหลังจากโครงสร้างแต่ละชั้นแล้วเสร็จ (อ้างอิงกับรูปที่ 1)

รูปที่ 1 แนวทางในการก่อสร้างและนวัตกรรมใหม่ ๆ

### การก่อสร้างโครงถักขนาดใหญ่ของไอออน ออร์ชาร์ด

งานก่อสร้างที่ถือว่าเป็นงานพิเศษในโครงการนี้ก็คือ การก่อสร้างโครงถักขนาดใหญ่ที่มีช่วงยาวพาดข้ามสถานีเอ็มอาร์ที ชั้นตอนในแต่ละช่วงการทำงานที่เกี่ยวกับการก่อสร้างได้กำหนดไว้ดังนี้

- การก่อสร้างเสาเข็ม barrette และการก่อสร้างเสารองรับ
- การก่อสร้างเสารองรับขนาดใหญ่
- การก่อสร้างโครงถักขนาดใหญ่
- การยกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากของโครงถักขนาดใหญ่
- การก่อสร้างแผ่นพื้นประกอบเหล็ก- คอนกรีตแบบ composite metal deck

รูปที่ 2 โครงถักขนาดใหญ่ในตำแหน่งเหนือสถานีเอ็มอาร์ที

### การก่อสร้างเสาเข็ม Barrette และเสารองรับ

เสาเข็ม Barrette และเสารองรับถูกนำมาใช้เพื่อต้านทานลักษณะของน้ำหนักบรรทุกแบบจุดเดียวที่มีค่าสูงจากเสารองรับขนาดใหญ่แต่ละตัว สำหรับโครงถักขนาดใหญ่ และสำหรับส่วนหอคอยสูงที่เป็นอาคารพักอาศัยจำนวน 56 ชั้น

เสาเข็ม barrette มีลักษณะรูปร่างที่ประกอบไปด้วย barrette cages หลาย ๆ อัน คาน barrette ที่เชื่อมต่อระหว่าง cage เหล่านี้ และเสา barrette ที่อยู่ด้านบนของคาน barrette

วิธีการก่อสร้างมีลักษณะคล้ายคลึงกับกำแพงปิดคอนกรีต ก็คือหลังจากการขุดดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการแล้วจะมีการวางเหล็กเสริมคอนกรีตและหล่อคอนกรีตโดยใช้ tremie pipe เพื่อที่จะให้คอนกรีต G50 เต็มเต็มพื้นที่หน้าตัดจากด้านล่างขึ้นมา

โดยทั่วไปความกว้างของเสาเข็ม barrette เป็น 1.5 เมตร ความยาวตั้งแต่ 6 เมตรถึง 9 เมตร และความลึกระหว่าง 43 เมตรถึง 82.5 เมตร ความกว้างของเสาเข็ม barrette ที่ใช้รองรับเสาขนาดใหญ่เป็น 1.5 เมตร โดยที่ความยาวอยู่ระหว่าง 1.5 เมตรถึง 3 เมตร น้ำหนักบรรทุกในการยกชิ้นส่วนอยู่ระหว่าง 50 ตันถึง 135 ตัน ปริมาณคอนกรีตที่ใช้ในแต่ละชิ้นส่วนการหล่ออยู่ระหว่าง 430 ถึง 1,130 ลูกบาศก์เมตร การทดสอบโดยใช้คลื่นเสียงได้ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบว่าไม่มีโพรงหรือช่องว่างในคอนกรีตก่อนที่จะมีการขุดดินออกให้ถึงชิ้นส่วน (อ้างอิงกับรูปที่ 3)

รูปที่ 3 การก่อสร้างเสาเข็ม barrette และเสารองรับ

### การก่อสร้างเสาขนาดใหญ่

เสาโครงสร้างขนาดใหญ่ขนาด 2 เมตร x 2 เมตร, 1.5 เมตร x 2 เมตร และ 1.75 เมตร x 2 เมตร, และ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ซึ่งเป็นแบบเสาประกอบ (Composite column) (เสาแต่ละต้นประกอบไปด้วยเสาเหล็กรูปพรรณ 4 ต้นที่มีน้ำหนัก 162, 202 และ 283 กิโลกรัม/ เมตร) จะถูกติดตั้งยึดอยู่ด้านบนของเสา barrette

เสาขนาดใหญ่นี้ซึ่งมีความยาวถึงชั้น 9 ของอาคารจะถูกแบ่งชิ้นส่วนออกเป็น 3 – 4 ชิ้นส่วนก่อนการประกอบ เสาขนาดใหญ่ต้นที่สูงที่สุดมีระดับสูงประมาณ 37.7 เมตร (รูปภาพที่ 3)

รูปภาพที่ 3 การก่อสร้างเสาขนาดใหญ่

### การประกอบโครงถักขนาดใหญ่

จำนวนโครงถักขนาดใหญ่ทั้งสิ้น 14 ชิ้น เป็นโครงถักที่ยาวและมีน้ำหนักมากที่สุด น้ำหนักทั้งสิ้น 508.93 ตัน และความยาว 75.63 เมตร ที่วางพาดอยู่ระหว่าง เอ็มอาร์ที ส่วนโครงสร้างที่มีน้ำหนักมากที่สุดมีน้ำหนักประมาณ 60 ตันซึ่งมีความยาว 23.73 เมตร

เนื่องจากในปัจจุบันมีโครงสร้างอยู่เหนือเอ็มอาร์ที การประกอบโครงถักขนาดใหญ่นี้ไม่สามารถกระทำได้ที่ระดับพื้น ดังนั้นจึงมีการประกอบแท่นรองรับชั่วคราวและฐานรองรับเสา

ชั่วคราว (เหล็กน้ำหนัก 2500 ตัน) ที่ระดับชั้น 3 (เนื่องจากเป็นข้อกำหนดสำหรับครนเพื่อยกชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก)

โครงถักจำนวน 5 ชิ้นได้มีการประกอบบนแท่นรองรับนี้ และโครงถักที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์รวมทั้งคันที่เกี่ยวข้องได้รับการตรวจสอบก่อนที่จะมีการยกขึ้นประกอบ (อ้างอิงถึงรูปที่ 4 และรูปภาพที่ 4)

รูปที่ 4 การประกอบโครงถักขนาดใหญ่

รูปภาพที่ 4 การประกอบโครงถักขนาดใหญ่ (แท่นรองรับชั่วคราว)

### การยกโครงถักขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก

ผู้เชี่ยวชาญในการยกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากจะทำหน้าที่ในการยกโครงถักที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์จากระดับชั้น 3 ไปยังระดับสุดท้ายที่ชั้น 5 เนื่องจากข้อจำกัดของครน ซึ่งสามารถกระทำได้โดยใช้ระบบยกโดยไฮดรอลิค strand

ส่วนประกอบหลักของระบบการยกแบบไฮดรอลิคนี้คือ ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (ประกอบไปด้วยเครื่องยกไฮดรอลิกแบบรูตรงกลาง hydraulic centre hole jack และสมอยึดส่วนล่างและส่วนบน lower & upper anchorages ซึ่งยึดติดอยู่กับ jack piston) ส่วนของอาคารรับแรงดึง (ประกอบไปด้วยลวดอัดแรง 7 เส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร) ที่ยึดติดกับแท่นน้ำหนัก ปัมไฮดรอลิกและตัวควบคุม

ระหว่างการยก ตัวแจ็คจะมีการยืดออก ทำให้ลวดแต่ละตัวขององค์อาคารส่วนรับแรงดึงถูกจับโดยสมอยึดด้านบนและมีการเคลื่อนตัวไปทางด้านบน ในช่วงต้นของการเคลื่อนตัวในทิศทางลงของ piston ลวดจะถูกจับทันทีโดยสมอยึดด้านล่าง ในขณะที่เดียวกันกับที่สมอยึดด้านบนเปิดขึ้น น้ำหนักบรรทุกจะถูกเคลื่อนย้ายตามขั้นตอนนี้ ขั้นตอนในการยึดจับของส่วนสมอยึดที่เคลื่อนที่ได้แบบเฉพาะนี้ ทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานอย่างสูงสุด (อ้างอิงกับรูปที่ 5 และ 6, รูปภาพที่ 5)

รูปที่ 5 เครื่องมือในการยกโครงถักขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก และขั้นตอนการยก

รูปที่ 6 งานโครงถักขนาดใหญ่ก่อนยกและภายหลังการยก  
รูปภาพที่ 5 งานโครงถักขนาดใหญ่ก่อนยกและหลังยก

### การก่อสร้างแผ่นพื้นประกอบเหล็ก- คอนกรีตแบบ composite metal deck

แผ่นพื้นโครงสร้างเหล็กประกอบเป็นระบบการก่อสร้างที่ผสมผสานกันโดยใช้แผ่นเหล็กที่ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ปกปิดคอนกรีตและช่วยเสริมกำลังแผ่นพื้น โดยแทนที่เหล็กเสริมคอนกรีตรับแรงดึง ระบบการก่อสร้างนี้ได้ใช้แผ่นพื้นโครงสร้างโพเดียมส่วนบนทั้งหมดรวมไปถึงพื้นที่ซึ่งเป็นโครงถักขนาดใหญ่

Steel profiles ได้ถูกยึดติดกับคานารองรับพื้นเหล็กและทำหน้าที่เป็นแท่นรองรับในการทำงานและการจราจรขนย้ายเพื่อให้เกิดสภาพการทำงานที่ดีและปลอดภัยก่อนที่จะมีการวางคอนกรีต หลังจากที่มีการติดตั้ง profile แล้ว ด้านล่างของพื้นสามารถกันน้ำได้และยังมีรูปลักษณะของพื้นผิวที่สะอาดตาอีกด้วย

รูปร่างของตงเหล็กกำหนดระดับของชั้นเหล็กฝั่งอย่างแน่นหนาในคอนกรีต ซึ่งงานที่ต้องทำหลังจากนี้คือการใช้ลวดตาข่ายเชื่อม

ระบบนี้จัดการใช้เหล็กเสริมคอนกรีตและลดการใช้ปริมาณคอนกรีตลงด้วย



(ปกหลัง)

### แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ทางทิศตะวันออกเฉียงของญี่ปุ่น – ข้อเสนอทางเทคโนโลยีและวิธีการในการซ่อมแซมและก่อสร้างขึ้นใหม่โดยใช้โครงสร้างเหล็ก

ในการที่พื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จะฟื้นฟูขึ้นเป็นพื้นที่ที่ปลอดภัย มันเป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องมีการซ่อมแซมและก่อสร้างโครงสร้างขึ้นมาใหม่อย่างเร่งด่วน

เท่าที่ผ่านมาอุตสาหกรรมเหล็กของญี่ปุ่นได้มีความรู้และประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยีและวิธีการในการป้องกันภัยพิบัติ โครงสร้างที่ประหยัด และเหมาะกับสภาพแวดล้อม โดยการใช้องค์ความรู้พื้นฐานนี้มาประยุกต์ใช้ ทางภาคอุตสาหกรรมเหล็ก

นี้คาดการณ์ว่าจะสามารถส่งผลให้ได้อาคารและสาธารณูปโภคที่มีความต้านทานต่อภัยพิบัติ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในการซ่อมแซมและก่อสร้างอาคารทั้งหลายขึ้นใหม่

ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างเหล็กก็คือกำลังต้านทานที่สูงและความสะดวกง่ายตายในการทำงาน ความสะดวกในการขนส่ง ความต่อเนื่องที่คงที่ของวัสดุเนื่องจากการประกอบในโรงงาน และคุณภาพและขนาดชิ้นส่วนที่ถูกต้องและคงที่ในการนำลักษณะเฉพาะที่ดีของเหล็กเหล่านี้มาใช้งาน จะทำให้โครงสร้างเหล็กมีข้อได้เปรียบในการลดเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างเนื่องจาก การลดเวลาการก่อสร้างหน้างาน ในด้านรูปแบบความสวยงามเนื่องจากความมีอิสระในการออกแบบ และการทำให้เกิดพื้นที่ว่างที่ยืดหยุ่น นอกจากนี้ การใช้วัสดุร่วมกันของเหล็กกับ คอนกรีต ไม้และวัสดุอื่น ๆ สามารถทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความประหยัดได้มากขึ้น

เพราะเหตุนี้ สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของญี่ปุ่นได้พัฒนาข้อเสนอทางเทคโนโลยีและวิธีการในการซ่อมแซมและก่อสร้างขึ้นใหม่โดยใช้โครงสร้างเหล็กในโครงการก่อสร้างที่เกิดขึ้น เช่นดังที่จะกล่าวถึง

- การปรับปรุงอาคารต้านทานภัยพิบัติ ประเภทสาธารณะและอาคารที่จำเป็นในภาวะฉุกเฉิน
  - 1 อาคารและส่วนโพเดียมโครงสร้างเหล็กที่จำเป็นในภาวะฉุกเฉินที่ต้านทานแรงแผ่นดินไหวและสึนามิ อาคารที่ใช้ในภาวะฉุกเฉิน
  - 2 อาคารโรงเรียนแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่
- การซ่อมแซมปรับปรุงบ้านเพื่อป้องกันแรงแผ่นดินไหวแบบล่าสุด
- 3 บ้านโครงสร้างเหล็กแบบใช้เวลาก่อสร้างที่สั้นลง
- การปรับปรุงและซ่อมแซมโครงสร้างท่าเรือและโครงสร้างชายฝั่งเพื่อป้องกันแรงแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิ
- 4 การปรับปรุงท่าเรือโดยใช้โครงสร้างเหล็ก
- 5 การเสริมกำลังเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้างท่าเรือ กำแพงต้านทานน้ำทะเล และคันกันน้ำโดยใช้



## โครงสร้างเหล็ก

6 การเสริมกำลังของต่อม่อะพานดินใช้ท่อเหล็กและเข็มพืดเหล็ก

7 การทำกำแพงกันน้ำโดยใช้ท่อเหล็กและเข็มพืดเหล็ก

8 การวัดค่าความเหลว (liquefaction) ของพื้นดินภายในกำแพงกันคลื่น

- การปรับปรุงระบบความปลอดภัยเพื่อที่จะได้มีการตอบสนองได้อย่างรวดเร็วในกรณีการเกิดภัยพิบัติ

9 ศูนย์ปฏิบัติการลอยน้ำในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน (โครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ที่ลอยน้ำได้)