

TODAY & TOMORROW

(No. 58 December 2019)

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

หนังสือ Steel Construction Today & Tomorrow เวอร์ชันภาษาอังกฤษ ถูกจัดพิมพ์ขึ้นปีละ 3 ครั้ง และมีการกระจายไปยังผู้บริหาร บุคลากรของบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรมและองค์กรต่างๆ ทั่วโลก วัตถุประสงค์ของหนังสือนี้คือการนำเสนอถึงมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการโครงสร้างเหล็ก ตัวอย่างโครงการก่อสร้างยุคใหม่ เทคโนโลยีงานก่อสร้างอันทันสมัย และหัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารและงานวิศวกรรมโยธา

เพื่อให้ผู้อ่านชาวไทยสามารถเข้าใจบทความในหนังสือนี้ได้ดียิ่งขึ้น จึงได้มีการดำเนินการจัดเตรียมเวอร์ชันภาษาไทยและแบบเวอร์ชันภาษาอังกฤษในส่วนของรูปภาพวาดและตารางต่างๆ ซึ่งได้ถูกแนบไว้ในตอนท้ายของแต่ละหัวข้อ ทั้งนี้ผู้อ่านควรดูเวอร์ชันภาษาอังกฤษประกอบไปด้วยเพื่อความสมบูรณ์และชัดเจนของเนื้อหา นอกจากนี้หากต้องการอ้างอิงรายละเอียดในเชิงเทคนิค โปรดอ้างอิงจากหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษเป็นหลัก

ฉบับที่ 58 เดือนธันวาคม 2019: สารบัญ

บทความประจำฉบับ: การประเมินผลการรีไซเคิลและวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล็ก	1
ความคิดริเริ่มในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดภาวะโลกร้อนโดยอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่น	1
มาตรฐานวิธีการคำนวณLCI สำหรับผลิตภัณฑ์เหล็กและการพัฒนามาตรฐานในญี่ปุ่น	5
การรีไซเคิลและอนาคตของวัสดุเหล็ก	9
การจัดสัมมนาเหล็กสีเขียว	13
การเปิดตัว ISO20915 ในการประชุมประจำปีของ SEAISI	14
บทความพิเศษ : การออกแบบอาคารเหล็กล่าสุดในญี่ปุ่น (4)	
GINZA KABUKIZA	15

หมายเลขหน้าที่กำกับ อ้างอิงนิตยสารฉบับภาษาอังกฤษ ฉบับที่ 58
ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2019

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@jisf.or.jp

เว็บไซต์: <http://www.jisf.or.jp>

บทความประจำฉบับ:

การประเมินผลการรีไซเคิลและวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล็ก

(หน้า 1 ~ 4)

บทความประจำฉบับ: การรีไซเคิลและการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เหล็ก (1)

แนวความคิดริเริ่มในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและการลดภาวะโลกร้อนโดยอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่น

โดย Hidekazu Matsubara

เลขานุการคณะกรรมการเหล็กอันเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการก่อสร้าง (Secretary, Committee on Environment-friendly Steel for Construction)

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศญี่ปุ่น

ท่ามกลางความวิตกกังวลเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมของโลกที่เพิ่มมากขึ้น รัฐบาลญี่ปุ่นได้จัดตั้งสภารัฐมนตรีเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโลกขึ้นในปี ค.ศ. 1989 ซึ่งได้มีความพยายามในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ พร้อมกับการกำหนดเป้าหมายเพื่อการลดภาวะโลกร้อน โดยได้มีการส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ไปทั่วทั้งประเทศ ในรอบหลายปีที่ผ่านมาได้มีการดำเนินการและเสนอ “ยุทธศาสตร์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว (กลยุทธ์ระยะยาว)” โดยมีกำหนดให้มีการส่งแผนยุทธศาสตร์ภายในปี ค.ศ. 2020 ในข้อตกลงปารีส COP21 ในระหว่างการการประชุม “การประชุมยุทธศาสตร์ระยะยาวของประเทศญี่ปุ่นภายใต้ข้อตกลงปารีส” โดยมีความมุ่งหวังเพื่อใช้เป็นเวทีในการตรวจสอบแผนยุทธศาสตร์ระยะยาวที่เกี่ยวข้องต่างๆ

สำหรับความเคลื่อนไหวในประเทศญี่ปุ่นและต่างประเทศเพื่อสนองตอบต่อเป้าหมายดังกล่าว อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นก็ได้มีการดำเนินการส่งเสริมมาตรการต่างๆ ที่มุ่งบรรเทาภาวะโลกร้อน หนึ่งในมาตรการเฉพาะที่ได้รับการส่งเสริมคือ “แผนดำเนินการเพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่การลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่สังคม” นอกจากนี้ยังมองถึงปัญหาภาวะโลกร้อนที่จะต้องดำเนินการให้เกิดความต่อเนื่องภายหลังปี ค.ศ. 2030 อุตสาหกรรมเหล็กจึงได้จัดทำ “วิสัยทัศน์สำหรับมาตรการระยะยาวเพื่อจัดการภาวะโลกร้อน” หรือ “Vision for Long-term Measures to Treat Global Warming Issues” โดยมุ่งหวังที่จะบรรลุเป้าหมายสุดท้ายคือการผลิต “เหล็กกล้าไร้การปลดปล่อยคาร์บอน”

บทความต่อไปนี้จะนำเสนอความคิดริเริ่มของอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและการลดภาวะโลกร้อน ซึ่งได้รับการส่งเสริมและเป็นแผนการในอนาคตในการช่วยลดภาวะโลกร้อน

มาตรการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมในด้านการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า

สืบเนื่องจากวิกฤตการณ์น้ำมันที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1970 กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นได้พยายามที่จะส่งเสริมให้มีมาตรการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กและเหล็กกล้าในหลายๆ ด้าน ได้แก่ :

- มาตรการปรับปรุงกระบวนการโดยเฉพาะอย่างยิ่งความต่อเนื่องของกระบวนการในการผลิต ตัวอย่างเช่น การนำอุปกรณ์สำหรับการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง
- การใช้ประโยชน์ของก๊าซผลพลอยได้ให้เกิดประสิทธิภาพ ซึ่งก๊าซผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเหล็กและเหล็กกล้าจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่และใช้เป็นพลังงานในการใช้การผลิตเหล็กและเหล็กกล้าครั้งต่อไป

- การนำกลับมาใช้ใหม่ของพลังงานขยะ หรือ waste energy และใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเป็นแหล่งผลิตพลังงาน
- การนำเสนอเทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ (ดูรูปที่ 1)

อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นได้นำเสนอวิธีการการประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า โดยพบว่ามีการใช้พลังงานลดลงประมาณ 30% ในการผลิตเหล็ก 1 ตัน เมื่อเทียบกับระดับการใช้พลังงานในปี 1970 ด้วยเหตุนี้กลุ่มอุตสาหกรรมจึงตระหนักถึงกระบวนการผลิตเหล็กและเหล็กกล้าที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานอย่างสูงสุด (รูปที่ 2)

นอกจากการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพตามที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นยังมีมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ อีกมากมาย หนึ่งในนั้นคือการนำตะกรัน หรือ slag ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเหล็กและเหล็กกล้ามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่างเช่น ซีเมนต์เตาถลุง หรือ blast furnace cement ซึ่งผลิตโดยใช้ตะกรันเตาถลุงเหล็ก หรือ blast-furnace slag ที่สามารถผลิตได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการการบดและเผาที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์โดยทั่วไป ปูนซีเมนต์เตาถลุงจึงมีผลอย่างมากต่อการช่วยป้องกันสิ่งแวดล้อมหรือช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการผลิต

ไม่เพียงแต่การอนุรักษ์สภาพอากาศ กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กยังส่งเสริมการอนุรักษ์คุณภาพน้ำด้วยการจัดเตรียมมาตรการในการลดการปล่อย SOx และ NOx ในโรงงานเหล็กกล้าจากการใช้อุปกรณ์กำจัดก๊าซซัลเฟอร์และไนโตรเจน (desulfurization and denitrification equipment) ทั้งนี้เนื่องด้วยมีการใช้น้ำในโรงงานผลิตเหล็กกล้าปริมาณมากโดยปริมาณน้ำกว่า 90% จะถูกนำกลับมาใช้หมุนเวียนด้วยอุปกรณ์ในการบำบัดคุณภาพน้ำ ดังนั้นประโยชน์จากมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมที่กล่าวถึงในข้างต้นทำให้อุตสาหกรรมเหล็กมีส่วนช่วยในการบูรณะบำรุงสภาพสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

รูปที่ 1 การพัฒนากระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมเหล็กญี่ปุ่น
รูปที่ 2 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อหน่วยระหว่างประเทศในกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็ก

มาตรการบรรเทาภาวะโลกร้อนโดยอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่น

ด้วยความพยายามที่จะเป็นผู้นำที่จะมีกระบวนการในการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในโลก อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นได้วางแผนและดำเนินการในทางปฏิบัติเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน โดยมาตรการเหล่านี้ได้รับการส่งเสริมบนพื้นฐานของ “แผนการดำเนินการเพื่อให้บรรลุการลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่สังคม: ระยะที่ 1 (~ 2020)” ซึ่งดำเนินการในสี่กิจกรรมหลัก: การใช้แนวทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพทั้ง 3 แนวทางคือ -- กระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การแก้ปัญหาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม -- รวมถึงการพัฒนากระบวนการถลุงเหล็กโดยใช้นวัตกรรมในการถลุงเหล็กที่เรียกว่า COURSE50 (การลดคาร์บอนไดออกไซด์ขั้นสูงสุดในการถลุงเหล็กกล้าโดยเทคโนโลยีนวัตกรรมสำหรับCool Earth 50) (ดูรูปที่ 3)

• กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco-process)

กระบวนการการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแสดงให้เห็นถึงวิธีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในโลกดังที่กล่าวถึงข้างต้น ซึ่งได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนในการปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง และเมื่อไม่นานนี้ยังมีความ

พยายามในการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับเตาเผาถ่านโค้กรุ่นใหม่ (next-generation coke oven) และการเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของ อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า (power generation equipment)

• กระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco-solution)

กระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมการประหยัดพลังงานโดยใช้สองแนวทางหลัก แนวทางแรกคือการถ่ายทอดเทคโนโลยีการประหยัดพลังงาน (BAT: best available technology) ซึ่งพัฒนาและนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศไทยไปยังประเทศจีน อินเดีย อาเซียนและประเทศอื่นๆ ที่อุตสาหกรรมเหล็กกำลังบรรลุถึงเป้าหมายในเชิงพัฒนาการที่ส่งผลให้ประสบความสำเร็จอย่างเห็นได้ชัด; และแนวทางที่สองคือการนำกรอบของโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศอย่างมีประสิทธิภาพเช่น “ความร่วมมือระหว่างประเทศเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอันเป็นความร่วมมือที่เรียกว่า Global Superior Energy Performance Partnership (GSEPP)” ซึ่งส่งผลให้อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศไทยได้มีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านแนวทางเหล่านี้ในเวทีระดับโลก (ดูรูปที่ 4)

การศึกษาโดยสำนักงานพลังงานระหว่างประเทศแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมเหล็กในต่างประเทศมีศักยภาพที่ดีในการช่วยประหยัดพลังงาน (รูปที่ 5) ซึ่งสามารถทำได้โดยการแนะนำเทคโนโลยีการประหยัดพลังงานขั้นสูง (เทคโนโลยีส่วนใหญ่พัฒนาขึ้นในญี่ปุ่น) และอุตสาหกรรมเหล็กแห่งญี่ปุ่นจะยังคงพัฒนาและหาทางแก้ไขปัญหาลดสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป

• ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco-products)

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหมายถึงผลิตภัณฑ์เหล็กที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดการด้านสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง ปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและวิธีการอื่นๆ ในขั้นตอนการผลิตโดยยึดหลักในการใช้ประโยชน์สูงสุดเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่นผลิตภัณฑ์ขึ้นปลายที่ผลิตขึ้นโดยการใช้เหล็กสมรรถนะสูงจะมีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะแสดงให้เห็นถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการใช้งาน ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่เหล็กแผ่นสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังรับแรงสูง นับตั้งแต่ปี 1970 ถึงปัจจุบัน กำลังรับแรงดึงประลัย (tensile strength) ที่สูงขึ้นสำหรับเหล็กแผ่นสำหรับการผลิตรถยนต์ได้ถูกผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการและพื้นฐานทางสังคมที่หลากหลายมากขึ้น หรือเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้รถยนต์ที่มีน้ำหนักเบาซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิง เหล็กแผ่นสำหรับผลิตรถยนต์ที่มีกำลังรับแรงสูงกว่าที่ถูกพัฒนาโดยผู้ผลิตเหล็กในประเทศญี่ปุ่นจะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรฐานสากลได้ (ภาพที่ 1)

อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากกำลังรับแรงดึงประลัย (tensile strength) สำหรับการนำไปใช้งานจริงโดยผู้ผลิตเหล็กของประเทศญี่ปุ่นวัดค่าได้เพียง 1/2 หรือ 1/3 ของค่าทางทฤษฎี (ดูรูปที่ 6) ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศไทยจึงมีความมุ่งมั่นไม่เพียงแต่ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีกำลังรับแรงดึงสูงขึ้น แต่ยังสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐานทางสังคมในอนาคตผ่านการพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับยุคต่อไปเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับโครงสร้างพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการใช้ไฮโดรเจนหรือ hydrogen infrastructure และในขณะเดียวกันนี้อุตสาหกรรมเหล็กก็กำลังผลักดันภารกิจที่จะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล็กอีกด้วย

การพัฒนานวัตกรรมในกระบวนการถลุงเหล็ก (innovative iron making process) ได้มีการผลักดันงานวิจัยและพัฒนาที่จะนำไปสู่เป้าหมายสองประการ ประการแรกคือการใช้ประโยชน์จากการลดปริมาณของไฮโดรเจน (hydrogen-reduction) ในแร่เหล็กในกระบวนการถลุงเหล็กด้วยเตาหลอมทรงสูง (blast furnace) ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในกระบวนการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า และประการที่สองคือการริเริ่มโครงการ COURSE50 ที่มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลง 30% ในกระบวนการถลุงเหล็กในเตาหลอมทรงสูง (blast furnace process) ด้วยวิธีการแยกและการนำกลับมาใช้ใหม่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้การนำ COURSE50 มาใช้งานในทางปฏิบัติได้กำหนดเป้าหมายไว้ในช่วงปี 2050

เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตเหล็ก อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศไทยจึงได้ดำเนินการ “แผนดำเนินการเพื่อบรรลุการลดการปล่อยคาร์บอนสู่สังคม: ระยะที่สอง.” หรือ “Implementation Plan to Achieve a Low Carbon Society: Phase II” ในปี 2030 ในแง่ของการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กระยะที่สองนี้ ได้ตั้งเป้าที่จะลดระดับของการปล่อยก๊าซอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการกำหนดเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จโดยใช้วัฏจักรการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-process) กระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-solution) และ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-product) ซึ่งต่อยอดจากสิ่งที่ได้ทำมาแล้วตลอดทั้งระยะที่ 1 (ตารางที่1) ส่วนในด้านการพัฒนากระบวนการที่ส่งเสริมนวัตกรรมใหม่ กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กมีแผนส่งเสริมการพัฒนา ferro coke ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการถลุงเหล็กก่อนเป็นนวัตกรรมใหม่ที่จะช่วยลดการใช้พลังงานนอกเหนือไปจากโครงการ COURSE50

รูปที่ 3 แนวคิดพื้นฐานสำหรับยุทธศาสตร์ระยะยาวเพื่อลดภาวะโลกร้อนของสมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (3-Ecos + การพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมใหม่)

รูปที่ 4 การเปลี่ยนผ่านของโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อสนับสนุนกระบวนการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบศักยภาพในการประหยัดพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กระหว่างประเทศ (2011)

ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์เหล็กที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ 6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล็กกำลังสูง และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในอนาคต

ตารางที่ 1 เป้าหมายสำหรับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดย 3-Ecos ในอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศไทย

มาตรการในอนาคตเพื่อบรรเทาภาวะโลกร้อนของอุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศไทย

เป้าหมายของข้อตกลงปารีสคือ “ต้องควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกินกว่า 2 องศาเซลเซียส จากระดับอุณหภูมิก่อนยุคอุตสาหกรรม (above pre-industrial levels)” จากเป้าหมายดังกล่าวที่วันนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กให้มีนวัตกรรมที่ล้ำสมัยเกินกว่าเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

รวมถึงเทคโนโลยีที่อยู่ในช่วงของการวิจัยและพัฒนาให้ล้ำสมัยมากขึ้น และด้วยสถานการณ์ดังกล่าวทำให้อุตสาหกรรมเหล็กแห่งญี่ปุ่นกำลังพยายามอย่างเต็มที่ในการพัฒนาโครงการ COURSE50 ผลิตภัณฑ์ ferro coke และเทคโนโลยีการถลุงเหล็กอื่นๆ ที่เป็นนวัตกรรมเพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงในปี 2030 และเมื่อเทคโนโลยีเหล่านี้ถูกนำไปใช้งานจริง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติก็คาดว่าจะลดลง 10% จากระดับการปล่อยมลพิษในปัจจุบัน (ไม่รวมถึงกระบวนการที่ช่วยในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการดักจับและจัดเก็บตามวิธีปฏิบัติในปัจจุบัน)

ในปัจจุบันวิธีการใช้เตาหลอมเหล็กทรงสูง (blast furnace method) ยังเป็นวิธีการหลักที่ใช้ในการถลุงเหล็กทั้งในแง่ทางเศรษฐกิจและทางเทคนิค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องส่งเสริมการสร้างเทคโนโลยีการถลุงเหล็กที่มีการปล่อยคาร์บอนต่ำซึ่งตั้งบนสมมติฐานที่ว่าเตาหลอมเหล็กทรงสูงจะยังคงมีการใช้ต่อไปในอนาคต อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ค่อนข้างยากที่จะบรรลุระดับอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกในระยะยาวตามที่กำหนดไว้ในข้อตกลงปารีสด้วยการใช้มาตรการดังกล่าวเท่านั้น ดังนั้นจะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยกว่าเทคโนโลยีที่กำลังวิจัยและพัฒนาอยู่ (อ้างอิงถึง โครงการแนะนำเทคโนโลยีนวัตกรรมใหม่ที่ล้ำสมัยที่สุด แสดงในรูปที่ 7)

ในท้ายที่สุดนี้ด้วยจะมีการใช้ประโยชน์จากความรู้ที่ได้จากการพัฒนาโครงการ COURSE50 และผลิตภัณฑ์ ferro coke เป็นหลัก อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นกำลังมีการส่งเสริมการพัฒนาในหลักสามประการคือ : เทคโนโลยีการถลุงเหล็ก ด้วยวิธีการลดปริมาณของธาตุไฮโดรเจน หรือ hydrogen-reduction ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการถลุงเหล็กปลอดมลพิษ (zero-emissions; CCS (carbon capture and sequestration หรือ การดักจับและการคัดแยกคาร์บอน) ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการถลุงเหล็กจะถูกแยก และจัดเก็บไว้ และการดักจับและการใช้ประโยชน์จากคาร์บอน หรือ Carbon Capture and Utilization CCU ซึ่งจะได้ประโยชน์จากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิต

เนื่องจากไฮโดรเจนที่จะใช้ในกระบวนการถลุงเหล็กแบบการลดปริมาณของธาตุไฮโดรเจน หรือ hydrogen-reduction ไม่เพียงแต่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการถลุงเหล็ก แต่ยังใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์และในภาคส่วนอื่นๆ อีกด้วย เงินทุนที่สำคัญจึงมุ่งพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีและอุปกรณ์เพื่อการผลิตไฮโดรเจนในฐานะที่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับโครงสร้างพื้นฐานทางอุตสาหกรรมและสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการหลักของไฮโดรเจนที่ใช้สำหรับผลิตเหล็ก ซึ่งวัตถุดิบพื้นฐานคือวัตถุดิบที่ไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอน และต้องมีการจัดหาในต้นทุนที่ต่ำและมีเสถียรภาพ ยิ่งไปกว่านั้นในการใช้งานการดักจับและการกักเก็บคาร์บอน หรือ Carbon Capture and Sequestration (CCS) ในทางปฏิบัติจำเป็นที่จะต้องแก้ปัญหาต่าง ๆ นอกเหนือจากงานด้านเทคโนโลยี เช่นการรักษาความปลอดภัยของพื้นที่เก็บคาร์บอนไดออกไซด์, การเปิดกว้างทางสังคม, องค์กรที่ดำเนินโครงการและรับภาระทางการเงิน นอกเหนือจากการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้ได้การขนส่งต้นทุนต่ำ และการจัดเก็บคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก รูปที่ 7 แสดงแผนงานสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ล้ำสมัย

รูปที่ 7 แผนงานเพื่อการพัฒนาด้านเทคนิคสำหรับเทคโนโลยีล้ำสมัย

ความคิดริเริ่มสู่การลดภาวะโลกร้อนอย่างยั่งยืน

อุตสาหกรรมเหล็กแห่งประเทศญี่ปุ่นได้จัดการกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้

จากเทคโนโลยีขั้นสูงดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ในอนาคตเพื่อให้ญี่ปุ่นบรรลุเป้าหมายระยะกลาง (ค.ศ 2030) ตามที่ระบุไว้ในข้อตกลงปารีส กลุ่มอุตสาหกรรมจะส่งเสริม “แผนการดำเนินการเพื่อให้บรรลุการลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่สังคม” อย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันเป้าหมายระยะยาว (หลังปี 2030) ได้กำหนดเป้าหมายในการผลิต “เหล็กกล้าไร้การปลดปล่อยคาร์บอน (zero-carbon steel)” ซึ่งจะช่วยสนับสนุนความคิดริเริ่มสำหรับมาตรการบรรเทาภาวะโลกร้อนในระยะยาวโดยผ่านการส่งเสริมทางด้านผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-products) กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และกระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมด้านการถลุงเหล็ก

Fig. 1 Development of Eco-processes in the Japanese Steel Industry

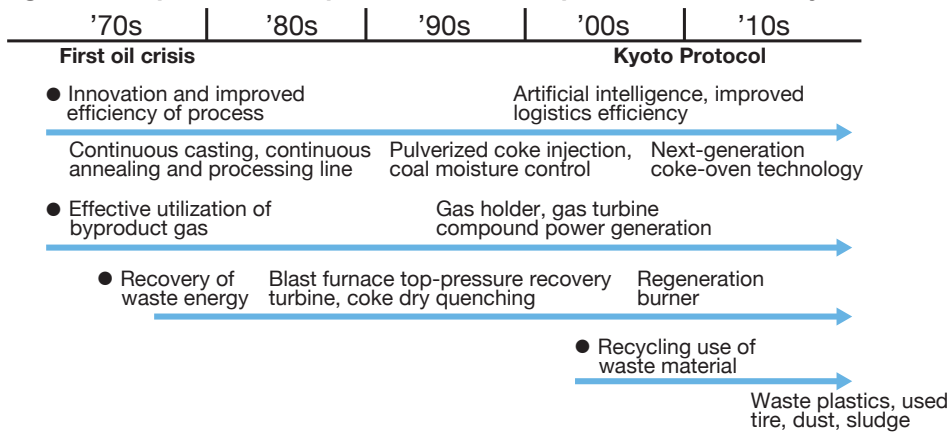
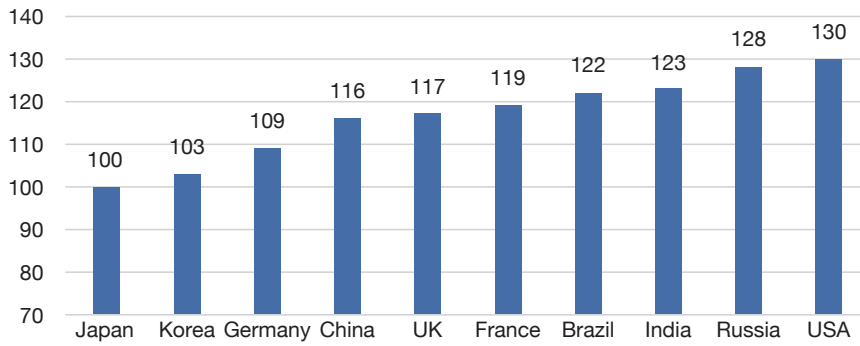


Fig. 2 International Comparison of Unit Energy Consumption in the Steel Industry

Index set Japan as 100 (unit consumption per ton of steel produced)



Source: RITE—Estimate of Unit Energy Consumption for 2015; Conversion to indices by the Japan Iron and Steel Federation

Fig. 3 Basic Concept for Long-term Measure to Mitigate Global Warming in the Japan Iron and Steel Federation (Three ecos+Innovative technology development)

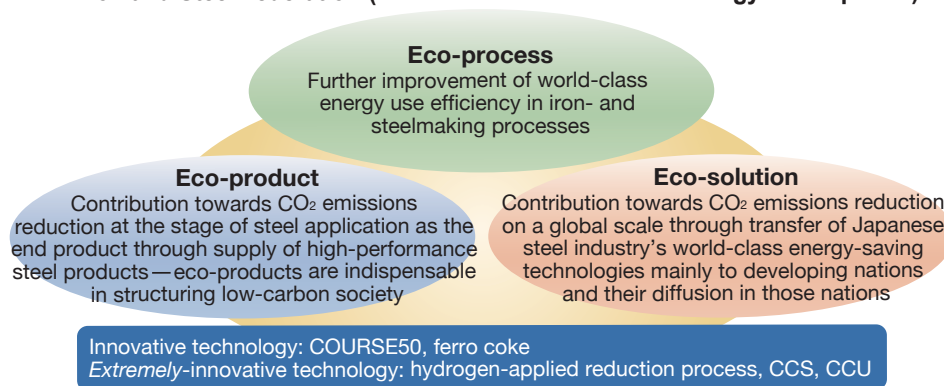


Fig. 4 Transition in International Cooperation Programs to Support Eco-solutions

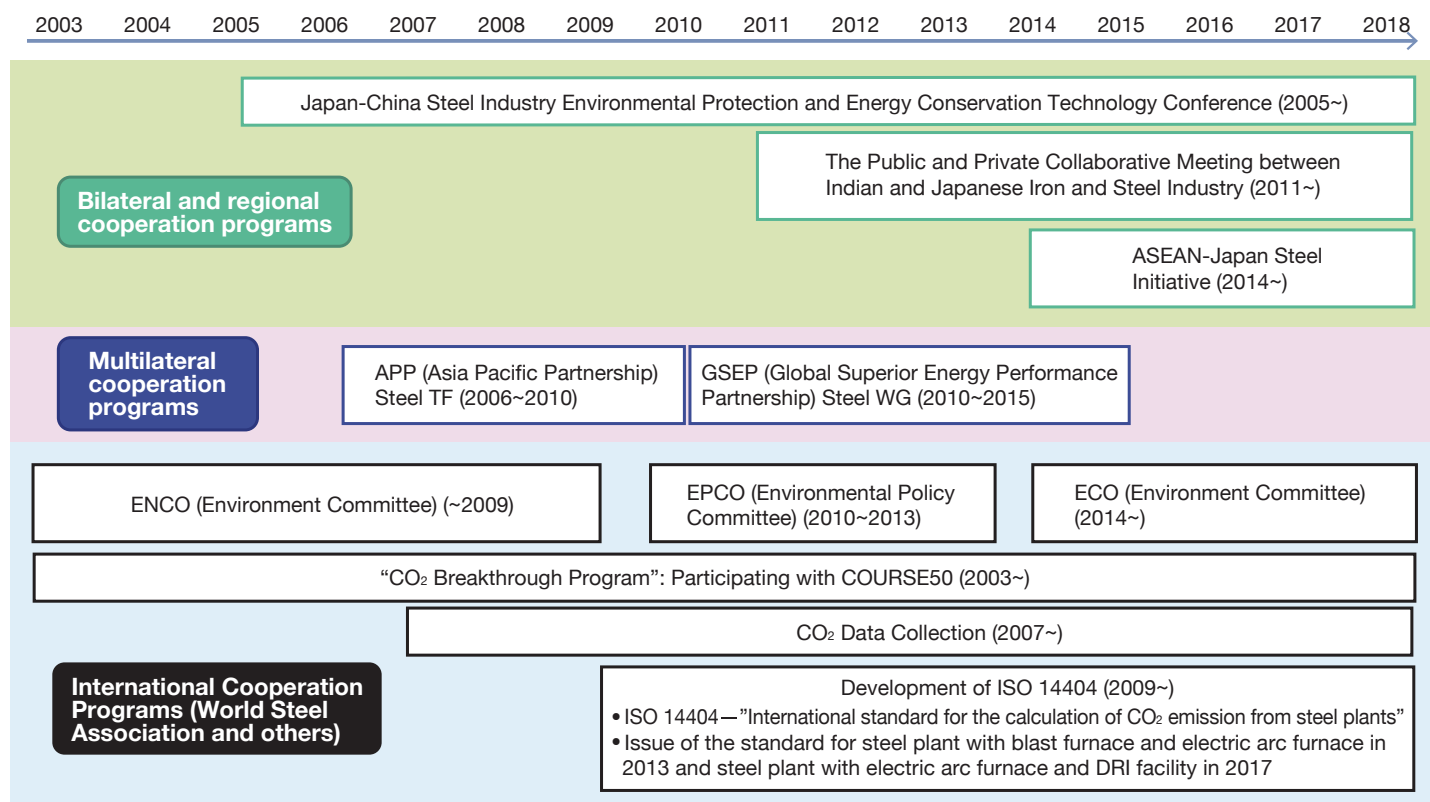
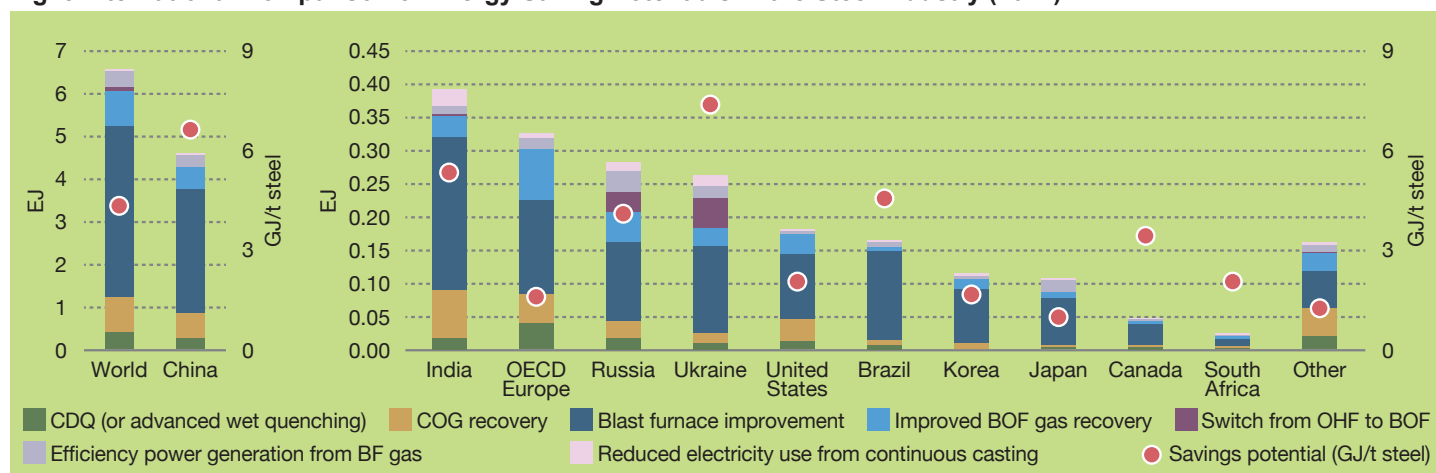


Fig. 5 International Comparison of Energy Saving Potentials in the Steel Industry (2011)



Source: Energy Technology Perspective 2014 of IEA

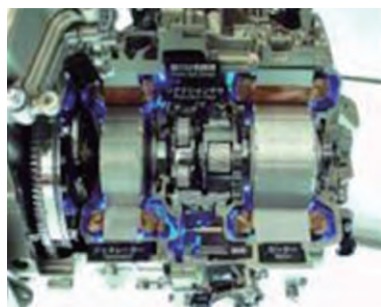


Photo 1 Steel products conducive to reducing CO₂ emissions

● Motors for hybrid and electric vehicles:
Improved fuel efficiency, higher output and downsizing of motors attained by the use of high-efficient, non-oriented electrical steel sheet

● Automobile and industrial machinery parts:
Multi-stepping, downsizing and lighter weight of transmission gears attained by the use of high-strength gear steel→Improved fuel efficiency

Fig. 6 Development of High-strength Steel Products and Future Development Potential

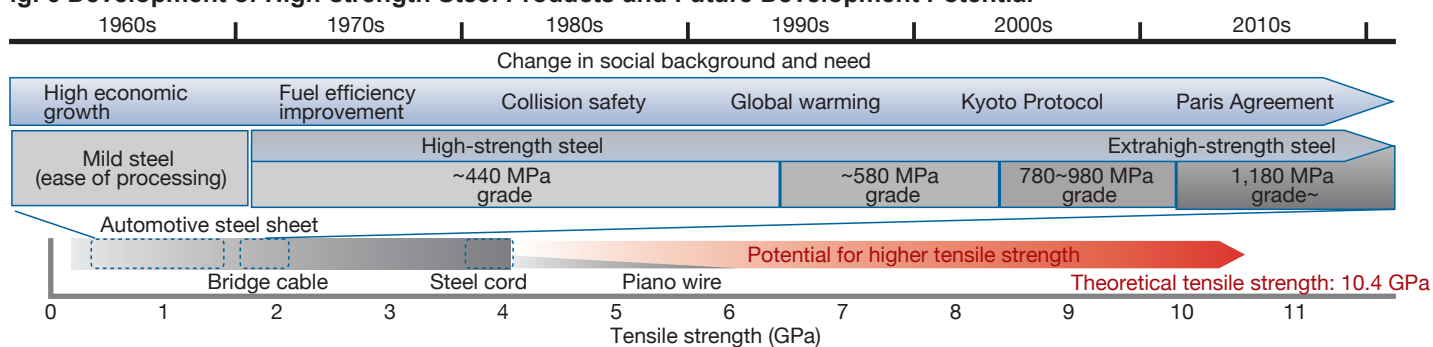
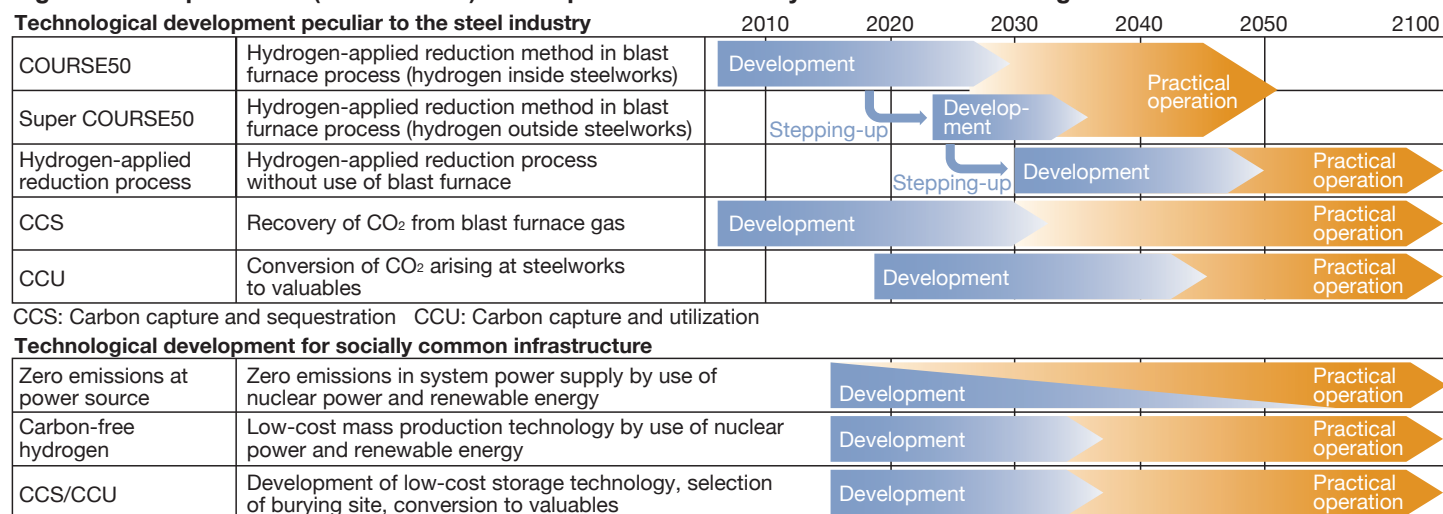


Table 1 Targets for CO₂ Emissions Reduction by the Use of Three Ecos in the Japanese Steel Industry

Implementation of Plan to Achieve Low Carbon Society	Phase I (~2020)	Phase II (~2030)
Eco-process	5,000,000 tons-CO ₂ * (reduction from BAU)	9,000,000 tons-CO ₂ (reduction from BAU)
Eco-solution	70,000,000 tons-CO ₂	80,000,000 tons-CO ₂
Eco-product	34,000,000 tons-CO ₂	42,000,000 tons-CO ₂

*Of the emissions reduction target of 5,000,000 tons-CO₂, while concentrating on the reduction of 3,000,000 tons-CO₂ by means of energy savings and other self-efforts, the emissions reduction attained by the increased collection of plastic wastes and other waste materials compared to the FY2005 collection return is to be counted as the emissions reduction return.

Fig. 7 Roadmap towards (Scenario for) Development of Extremely-Innovative Technologies



(หน้า 5 ~ 8)

บทความประจำฉบับ: การใช้เชื้อเพลิงและการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เหล็ก (2)

มาตรฐานวิธีการคำนวณ LCI สำหรับผลิตภัณฑ์เหล็กและการพัฒนาฐานในประเทศญี่ปุ่น

โดย Tomohisa Hirakawa

**รองประธาน คณะกรรมการด้านเหล็กก่อสร้างเพื่อความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย**

การกำหนดมาตรฐานวิธีการคำนวณ LCI โดยคำนึงถึงผลจากการรีไซเคิล

ในการประเมินผลกระทบด้านสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่ใช้ในชีวิตประจำวันของเรา การที่เราให้ความสนใจเพียงขั้นตอนของการผลิตและการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์อาจไม่เป็นเพียงแนวทางที่สามารถนำไปพิจารณาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างครบถ้วน ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการการขุดวัตถุดิบ การผลิต การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์และการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการทิ้งไปเรียบร้อยแล้ว ซึ่งนั่นคือการประเมินวัฏจักรชีวิตหรือ lifecycle assessment (LCA) อันมีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั่นเอง

ผลิตภัณฑ์เหล็กเกือบทั้งหมดจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยรวบรวมไว้ในรูปของเศษเหล็ก เช่นการนำเศษเหล็กหลังจากกระบวนการผลิตรถยนต์หรือผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่นี้จะเกิดขึ้นซ้ำๆ จนกว่าตัวเหล็กจะสิ้นอายุการใช้งานที่เหลือ เศษเหล็กเหล่านี้จะถูกนำกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นปลายตัวใหม่อีกครั้ง (new end products) โดยทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์หลายๆตัว

ณ ปัจจุบันก็ยังได้มีการจัดทำมาตรฐานเพื่อใช้ประเมินภาระด้านสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของเหล็ก รวมไปถึงมาตรฐานการรีไซเคิลเศษเหล็ก ดังนั้นเพื่อรับมือกับสถานการณ์ดังกล่าวจึงได้มีการนำมาตราฐาน ISO 20915 “วิธีการคำนวณบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต หรือ Life cycle inventory calculation methodology for steel products” และ JIS Q 20915 “วิธีการคำนวณบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต หรือ Life cycle inventory calculation methodology for steel products” (ต่อไปนี้จะเรียกว่า “มาตรฐาน”) มาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินภาระด้านสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตในผลิตภัณฑ์เหล็ก

มาตรฐานดังกล่าวมีต้นแบบมาจากวิธีการคำนวณ LCI ที่จัดทำโดยสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าระหว่างประเทศ (ปัจจุบันคือสมาคมเหล็กโลก หรือ World Steel Association โดยจัดระเบียบวิธีการคำนวณบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (LCI) ขึ้นในปี 1997 ซึ่งคำนึงถึงการรีไซเคิลเศษเหล็กจากผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้าโดยใช้รายงานระเบียบวิธีวิจัย (methodology report) ที่เผยแพร่โดยตัวสถาบันเอง และในปี 2015 สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้เสนอต่อคณะกรรมการเทคนิค ISO TC/17 ในเรื่องมาตรฐานของวิธีการคำนวณ LCI ซึ่งนำไปสู่การจัดทำ ISO 20915 “วิธีการคำนวณบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต หรือ Life cycle inventory calculation methodology for steel products” ในเดือนพฤศจิกายน 2018 และ JIS Q 20915 ที่มีเนื้อหาเหมือนกันกับเนื้อหาของเดือนมิถุนายน 2019

ในขณะที่ยังขอบเขตของระบบเดิม (ช่วงที่ใช้สำหรับการคำนวณ LCI) ที่ใช้วิธีการคำนวณ LCI ครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการการขุดวัตถุดิบไปจนถึงการจัดส่ง

ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขอบเขตของระบบภายในมาตรฐานที่เพิ่งถูกจัดตั้งใหม่นั้นจะครอบคลุมกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่กระบวนการการขุดวัตถุดิบจนถึงกระบวนการขนส่งสินค้า โดยคำนึงถึงผลที่ได้จากการรีไซเคิลจากการนำเศษเหล็กกลับมาใช้ใหม่ (รูปที่ 1) ในกรณีนี้ทำการคำนวณค่า LCI ตามหลักมาตรฐาน ค่า LCI จะได้มาจากการใส่ค่า LCI (B1) ที่เกิดขึ้นจาก scrap input และค่า LCI (B2, ค่าลบ) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกู้คืนเศษเหล็กเข้าไปยังค่า LCI (A) ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการตั้งแต่การขุดวัตถุดิบไปจนถึงการจัดส่งผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 2)

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยและสมาคมเหล็กโลกได้รวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงานของบริษัทที่เป็นสมาชิกอุตสาหกรรมเหล็กทั้งในประเทศและต่างประเทศทั่วโลกเพื่อทำการคำนวณและเผยแพร่ค่าเฉลี่ยของค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนหรือ global warming potential (GWP) ของผลิตภัณฑ์เหล็ก โดยข้อมูล GWP นี้ได้ถูกเผยแพร่ในเว็บไซต์ของทั้งสององค์กรข้างต้น

ในสามบทต่อไปนี้จะมีการแนะนำที่มาและความสำคัญตลอดจนแนวคิดพื้นฐานของมาตรฐาน (The Standard) ดังกล่าว

รูปที่ 1 ขอบเขตของระบบที่ใช้ในการคำนวณค่า LCI

รูปที่ 2 วิธีการคำนวณ LCI ที่ถูกนำมาใช้ในมาตรฐาน JIS Q 20915

ลักษณะเด่นของการรีไซเคิลเหล็ก

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของมาตรฐาน (The Standard) จะขึ้นอยู่กับพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะของผลการรีไซเคิลที่มีต่อผลิตภัณฑ์เหล็ก เมื่อกล่าวถึงข้อดีของเหล็กในแง่ของการรีไซเคิล เราสามารถที่จะมองเห็นข้อดี 5 ประการต่อไปนี้ ซึ่งเป็นการรีไซเคิลแบบครบวงจร (ซึ่งสามารถพบเห็นได้บ่อยครั้งกับทุกๆผลิตภัณฑ์ขึ้นปลาย) ของผลิตภัณฑ์เหล็ก

• ง่ายต่อการคัดแยก

เป็นที่รู้กันดีว่าแม่เหล็กสามารถดึงดูดเหล็กได้ แม้ว่าผลิตภัณฑ์เหล็กจะถูกกำจัดอย่างปะปนกันกับขยะอื่น แต่เราสามารถที่จะคัดแยกเหล็กออกจากขยะชนิดอื่นได้อย่างง่ายดายด้วยการใช้แม่เหล็ก (รูปที่ 3)

• การจัดระเบียบการรีไซเคิลตามกลไกตลาดในเชิงเศรษฐศาสตร์

เศษเหล็กไม่ใช่ของขยะแต่เป็น “สิ่งที่มีค่า” เศษเหล็กจึงได้เข้าไปอยู่ในระบบการค้าทั่วโลกซึ่งเป็นไปตามหลักการของการตลาด (รูปที่ 4)

• ภาระด้านสิ่งแวดล้อมที่ลดน้อยลงในช่วงของการผลิตซ้ำจากเศษเหล็ก

เมื่อสินแร่เหล็ก (iron ore) ได้ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นเหล็ก (from iron to iron) เรียบร้อยแล้ว ในกระบวนการผลิตเหล็กซ้ำในครั้งถัดไป ภาระหรือผลเสียด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการนำเศษเหล็กกลับมาใช้ใหม่ (from steel to steel) จะถูกควบคุมให้ลดน้อยลง (from steel to steel) และยิ่งไปกว่านั้นเหล็กยังสามารถที่จะผ่านกระบวนการผลิตซ้ำได้หลายๆ รอบโดยปราศจากภาระหรือผลเสียด้านสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตซ้ำอีกด้วย (รูปที่ 5)

• การเสื่อมคุณภาพในระหว่างกระบวนการผลิตซ้ำน้อย

ในขั้นตอนของการผลิตซ้ำจากเศษเหล็กให้เป็นเหล็ก สิ่งเจือปนส่วนใหญ่นั้นที่ปะปนอยู่ในเศษเหล็ก สามารถถูกแยกออกเป็นตะกอนและก๊าซได้ (slag and gas) ส่วนสารไม่พึงประสงค์ที่ไม่สามารถแยกออกได้ในระหว่างกระบวนการผลิตซ้ำสามารถทำให้เจือจางได้โดยการเติมเหล็กหลอมเหลว (molten iron) เพื่อให้เหล็กที่ถูกนำไปผ่านกระบวนการผลิตซ้ำยังคงรักษาคุณภาพไว้ (รูปที่ 6)

• ความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กที่หลากหลายจากกระบวนการผลิตซ้ำ

โครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กที่ผ่านกระบวนการผลิตซ้ำจะถูกจัดเรียงโครงสร้างใหม่ในขั้นตอนการหลอมรวมเศษเหล็กขึ้นมาใหม่ (re-melting the scrap) โดยเหล็กที่สามารถนำไปแปรรูปได้เป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดหลากหลายประเภท โดยใช้เทคโนโลยีการควบคุมโครงสร้างทางจุลภาคหรือ microstructure control (รูปที่ 7)

รูปที่ 3 การใช้แม่เหล็กแยกผลิตภัณฑ์เหล็กออกจากเศษวัสดุประเภทอื่นๆ

รูปที่ 4 การรีไซเคิลเศษเหล็กภายใต้ระบบเศรษฐกิจแบบตลาด (Market Economy)

รูปที่ 5 ภาระด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กที่ผ่านกระบวนการผลิตซ้ำ

รูปที่ 6 การควบคุมคุณภาพในระหว่างกระบวนการผลิตซ้ำ

รูปที่ 7 การควบคุมโครงสร้างทางจุลภาคเพื่อให้เกิดคุณสมบัติของเหล็กที่หลากหลาย

การใช้งานร่วมกันของเตาหลอมทรงสูง หรือ Blast Furnace (BF) และเตาอาร์คไฟฟ้า หรือ Electric Arc Furnace (EAF)

วิธีการผลิตเหล็กและเหล็กกล้าสามารถแบ่งได้แบบคร่าวๆ คือ วิธีการหลอมด้วยเตาหลอมทรงสูง (BF) และวิธีการใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (EAF) สำหรับการผลิตเหล็กด้วยเตา BF นั้น เหล็กดิบ (pig iron) ส่วนใหญ่จะถูกผลิตจากสินแร่เหล็ก (iron ore) โดยปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเหล็กหลอมละลาย (molten iron) จะถูกควบคุมด้วยการใช้เตาออกซิเจนพื้นฐาน หรือ basic oxygen furnace (BOF) ส่วนการผลิตเหล็กกล้าด้วยการใช้เตา EAF จะเป็นการนำเศษเหล็ก (steel scrap) เข้ามาหลอมใหม่โดยการใช้ความร้อนด้วยการอาร์คและจะมีการปรับองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการผลิตเหล็กสำหรับการผลิตเหล็กด้วยเตา BF ยังพบกรณีที่มีการนำเศษเหล็กมาใช้เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และการผลิตเหล็กด้วยเตา EAF ก็พบว่ามียหลายกรณีที่น่าเหล็กดิบมาใช้เพื่อช่วยรักษาระดับคุณภาพของเหล็กเช่นกัน (ดูรูปที่ 10)

รูปที่ 8 แสดงการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กทั่วโลกตั้งแต่ปี 2000 โดยใช้เตา BF และเตา EAF จะเห็นว่าการผลิตโดยใช้เตา BF มีความนิยมมากกว่าการใช้เตา EAF และจะสังเกตได้ว่าการผลิตโดยใช้เตา BF สามารถที่จะตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เหล็กได้ เหตุผลคือแร่เหล็ก (iron ore) สามารถขุดหาได้มากตามที่ต้องการ ในขณะที่ปริมาณเศษเหล็ก (steel scrap) จะมีอยู่อย่างจำกัดเนื่องจากปริมาณเศษเหล็กเหลือใช้ยังมีไม่มากพอ

ด้วยวิธีนี้เศษเหล็ก (steel scrap) สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งกับเตา BF และ EAF ในขณะเดียวกันปริมาณการบริโภคเหล็กที่ผลิตขึ้นจากเตา BF และ BOF ก็มีการบริโภคขึ้นอย่างต่อเนื่องในประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างเช่น ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกาและในยุโรปมีค่าอยู่ที่ประมาณ 10 ตันต่อหัว แต่กลับกันปริมาณการบริโภคเหล็กต่อหัวเฉลี่ยทั่วโลกมีค่าประมาณอยู่ที่เพียง 4 ตันเท่านั้น (รูปที่ 9) หากพิจารณาเรื่องความเหมาะสมในด้านของต้นทุนแล้ว เชื่อว่าการผลิตเหล็กด้วยเตา BF และ EAF อันเป็นการผลิตที่มีการบริหารจัดการวัตถุดิบ (จะมีการนำวัตถุดิบที่ได้จากเตาหลอม BF ไปเป็นวัตถุดิบผสมในเตา BAF และในทางกลับกันวัตถุดิบที่ได้จากเตา BAF ก็จะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบผสมในเตา BF ด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการลดต้นทุนด้านวัสดุ) ก็ยังคงจะดำเนินต่อไป ภายใต้การคาดการณ์ที่ว่า การผลิตเหล็กด้วยเตา BF จะมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนให้เกิดการบริโภคเหล็กที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 8 การผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กทั่วโลก (ผลิตภัณฑ์เหล็กจากการใช้เตาหลอมทรงสูง (BF) และวิธีการใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (EAF))

รูปที่ 9 การหมุนเวียนของผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้าในโลก

แนวคิดการคำนวณ LCI สำหรับผลิตภัณฑ์เหล็ก

วิธีการคำนวณบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Inventory (LCI) ของผลิตภัณฑ์เหล็กสามารถอธิบายได้โดยการกำหนดค่า LCI ของสินแร่เหล็ก เป็น Xpr; ค่า LCI ของเศษเหล็ก (steel scrap) เป็น Xre; อัตราการกู้คืนเศษเหล็กเพิ่มอธิบายความแตกต่าง หรือ อัตราการรีไซเคิล (scrap recovery rate) เป็น R และผลผลิตเหล็กกล้าหลอมเหลว (molten steel) ที่ได้จากกระบวนการฟื้นฟูเศษเหล็กเป็น Y หลังจากนั้นทำการสมมติค่า $Xpr = 2.0$ (t-CO₂); $Xre = 0.5$ (t-CO₂); $R = 0.9$ และ $Y = 0.9$ โดยค่าสมมติภายในรูปที่ 10 จะได้มาจากการจำลองผลโดยการแทนค่าด้วยตัวแปรข้างต้นตามลำดับลงในแบบจำลอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงแนวคิดพื้นฐานของ LCI (รูปที่ 10)

คำถามต่อมาคือ แล้วในกรณีที่มีการใช้ทั้งเตา BF และเตา EAF ในการผลิตเหล็กหรือเหล็กกล้า เราจะสามารถคำนวณหาค่า LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็กได้ด้วยวิธีการเช่นใด สมควรหรือไม่ที่เราจะคำนวณค่า LCI ผ่านวิธีแบบใช้เตา BF หรือเตา EAF เพียงวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือควรที่จะคำนวณค่า LCI ด้วยวิธีการคิดแบบเชื่อมโยงกันซึ่งเป็นการรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน อันเนื่องด้วยเหตุผลที่ว่าเศษเหล็กที่ใช้ภายในเตา EAF นั้นย่อมต้องเคยผ่านการถลุงในขั้นตอนของการเปลี่ยนสินแร่เหล็กให้เป็นเหล็กกล้าซึ่งจะต้องผ่านการใช้เตา BF มาแล้วทั้งสิ้น จึงไม่อาจปฏิเสธได้ถึงความสัมพันธ์อย่างระหว่างเตาสองประเภทนี้ ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นไปได้ที่จะเลือกใช้เพียงวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนั้นแล้วทั้งสองวิธีดังกล่าวจึงได้ถูกจับรวมกันกลายเป็นวิธีการแบบเชื่อมโยงกัน จึงมีข้อเสนอแนะหากเราจะหาค่า LCI ของทั้งสองวิธีข้างต้นด้วยการใช้ค่า LCI เฉลี่ยรวมของผลิตภัณฑ์เหล็ก (รูปที่ 11)

ค่า LCI จำเป็นจะต้องถูกคำนวณใหม่ทุกครั้งของการรีไซเคิล เป็นผลให้ในท้ายที่สุดค่าของ LCI จะค่อยๆเขยิบจาก 2.0 (t-CO₂) กลายมาเป็น 0.79 (t-CO₂) ซึ่งภายในมาตรฐาน (The standard) ได้กำหนดให้ค่าสุดท้ายนี้เป็นค่าเฉลี่ยวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 12 มาตรฐานได้ระบุให้ค่าสุดท้ายนี้ (ค่าวงจรชีวิตเฉลี่ย) เป็นค่า LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็ก (รูปที่ 13)

จากแนวคิดพื้นฐานข้างต้น LCI สามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการ $LCI = Xpr - R \cdot Y$ ($Xpr - Xre$) แต่อย่างไรก็ดีปัจจัยด้านการใช้เศษเหล็กไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาร่วมกับสมการดังกล่าวด้วย หรือกล่าวได้ว่า LCI นั้นมีค่าเหมือนกันทุกประการโดยไม่คำนึงว่าจะใช้เตา BF หรือ EAF ในการผลิต โดยที่ค่า LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็กภายในมาตรฐาน (The standards) จะอยู่ในรูปของ $Xpr = A + B1$, $R \cdot Y$ ($Xpr - Xre$) = B2. (รูปที่ 14)

รูปที่ 10 LCI ของวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้า

รูปที่ 11 แนวคิดพื้นฐานของการคำนวณ LCI สำหรับผลิตภัณฑ์เหล็ก (วัฏจักรชีวิตเฉลี่ย)

รูปที่ 12 แนวคิดของการคำนวณ LCI สำหรับผลิตภัณฑ์เหล็กจากการรีไซเคิล

รูปที่ 13 หมายเลขของวัฏจักรชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของ LCI

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง LCIs ที่ได้จากสมการพื้นฐานและที่ได้จากสมการในมาตรฐาน



การทำให้แนวคิดด้าน LCI เกิดการแพร่หลายสู่ผลิตภัณฑ์หลักในญี่ปุ่น

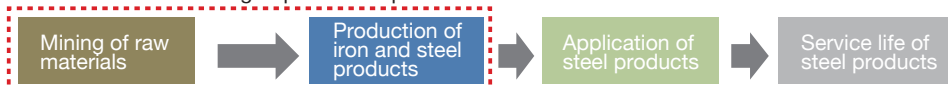
เพื่อที่จะทำให้นักคิดพื้นฐานที่ถูกต้องเกี่ยวกับ LCI เกิดการแพร่หลายสู่ผลิตภัณฑ์หลักภายในญี่ปุ่น สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้ส่งเสริมกิจกรรมที่มุ่งสะท้อนแนวคิดพื้นฐานที่ถูกต้องและสอดคล้องกันกับ JIS Q 20915 ซึ่งระบุไว้ในมาตรฐาน (The Standards) และเอกสารมาตรฐานซึ่งถูกใช้กันทั่วไปในญี่ปุ่น โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากความใส่ใจที่มีต่อผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการก่อสร้างอาคาร ของมาตรฐาน JIS Q 20915 ส่งผลให้เนื้อหาภายในมาตรฐาน JIS Q 20915 ได้รับการตีพิมพ์ให้เป็นแนวทางสำหรับการก่อสร้างอาคารโครงสร้างเหล็กในหนังสือแนวทางการจัดการการก่อสร้างอาคาร หรือ Guideline for the Management of Building Construction (2019) ซึ่งดูแลโดยสำนักเลขาธิการรัฐมนตรีกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยว หรือ The Minister's Secretariat of The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

ยิ่งไปกว่านี้ จากเรื่องของมาตรฐานสิ่งแวดล้อม หรือ Environmental Product Declaration (EPD) ที่มีหลักมาจากมาตรฐาน ISO 14025 ทางสมาคมจึงได้ร้องขอต่อสมาคมการจัดการสิ่งแวดล้อมเพื่อการอุตสาหกรรมญี่ปุ่น หรือ Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI) เพื่อให้วิธีการคำนวณ LCI ตามมาตรฐาน JIS Q 20915 อยู่ภายใต้การประเมินของ EPD ซึ่งได้นำไปสู่การบังคับใช้กฎการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ หรือ Product Category Rules (PCR) เป็นมาตรฐานการประเมินสำหรับ EPD ในเดือนมิถุนายน 2019 ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวจะมีผลบังคับใช้กับผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์หลักทุติยภูมิภายในประเทศญี่ปุ่นด้วย

Fig. 1 System Boundaries Used in LCI Calculation Methodology

Conventional system boundary

From raw material mining to product shipment



System boundary in ISO 20915 and JIS Q 20915

From raw material mining to product shipment in which the recycling effect is taken into account

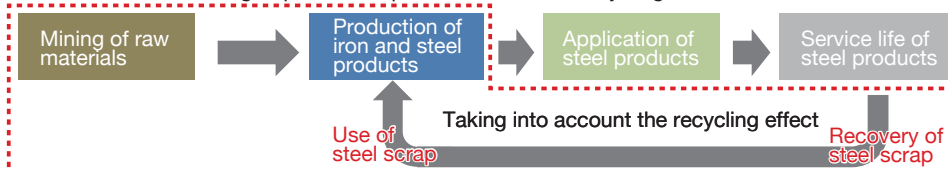
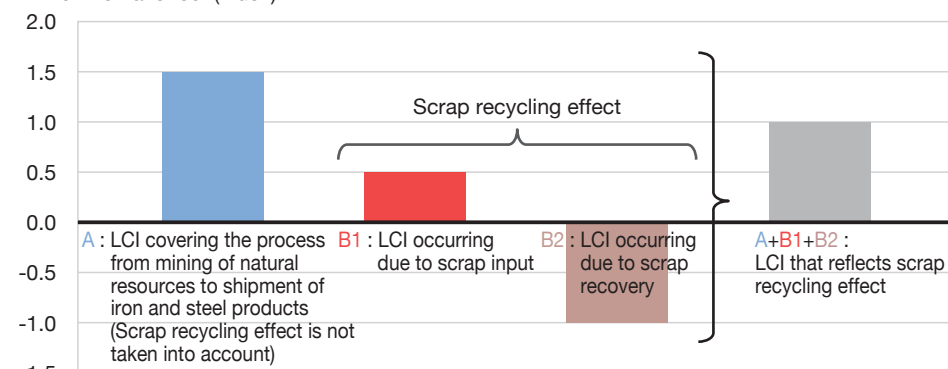


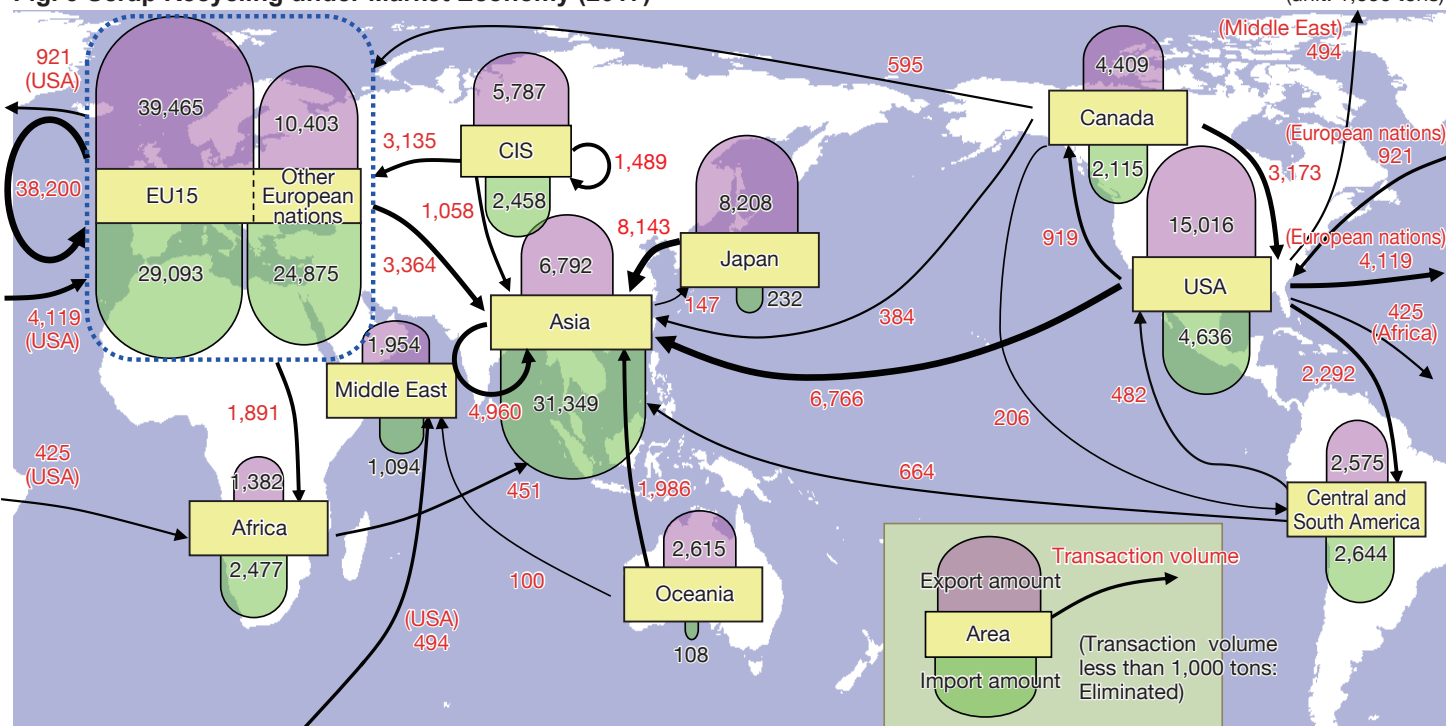
Fig. 2 LCI Calculation Methodology Adopted in JIS Q 20915

Environmental effect (index)



Source: "Fig. 3 Concept of LCI Calculation for Steel Products" in JIS Q 20915

Fig. 3 Scrap Recycling under Market Economy (2017)



Source: International Steel Statistics Bureau, World Steel Association, the Japan Ferrous Raw Material Association

Fig. 4 Environmental Burdens Occurring during Regeneration of Steel Products

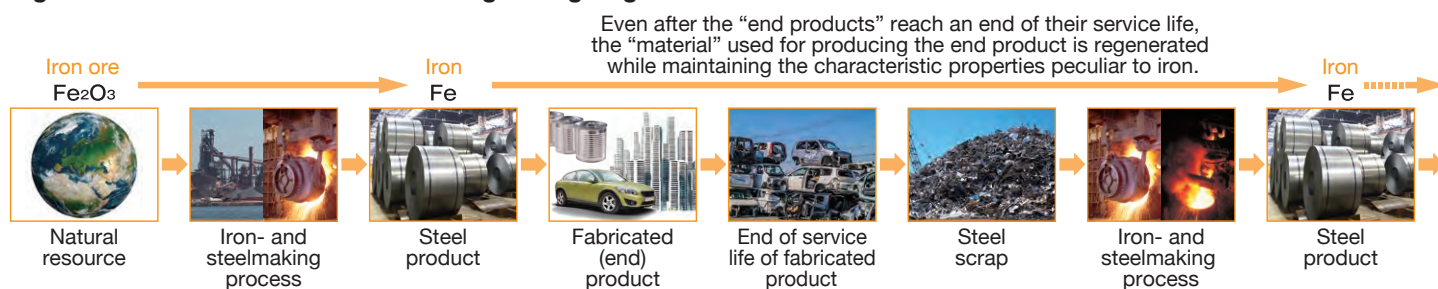
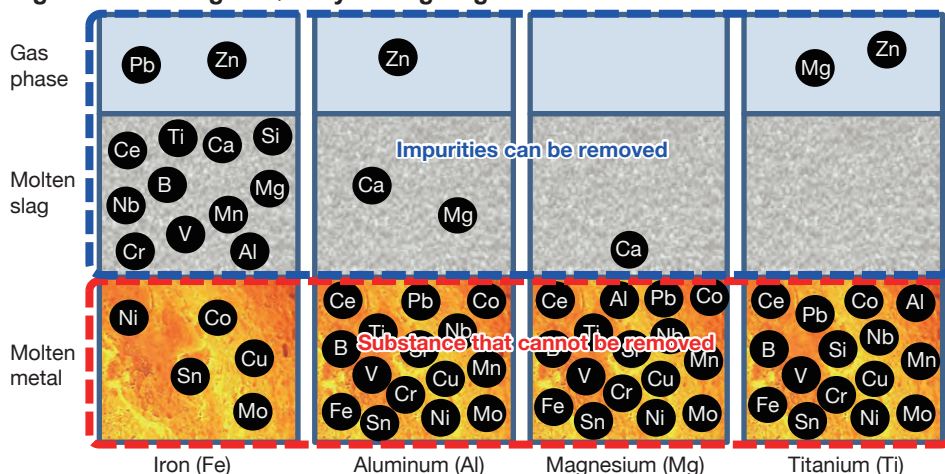


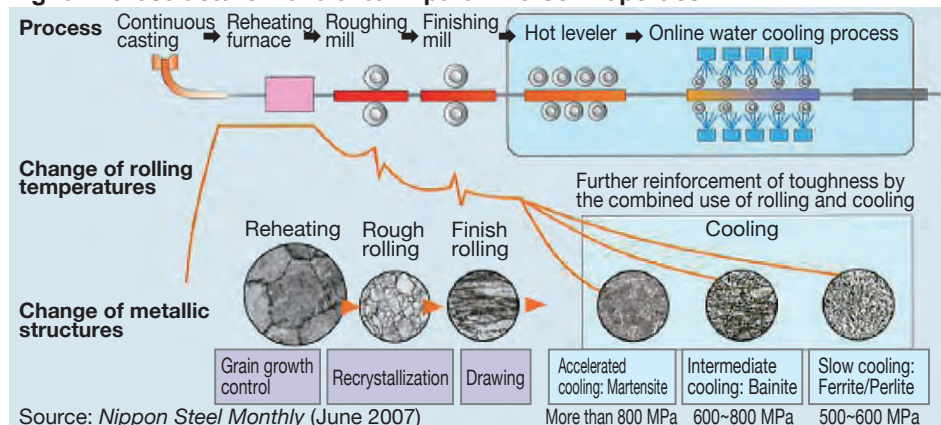
Photo 1 Magnetic separation of used steel products from waste materials
Photo: The Japan Iron and Steel Federation

Fig. 5 Maintaining of Quality during Regeneration



Source: Modification of the “Report 232_269 by Taketo Hiraki et al” submitted at the 23rd Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management (2012)

Fig. 6 Microstructure Control to Impart Diverse Properties



Source: Nippon Steel Monthly (June 2007)

Fig. 7 Production of Steel Products in the World (Steel Products via Blast Furnace Method and Electric Arc Furnace Method)

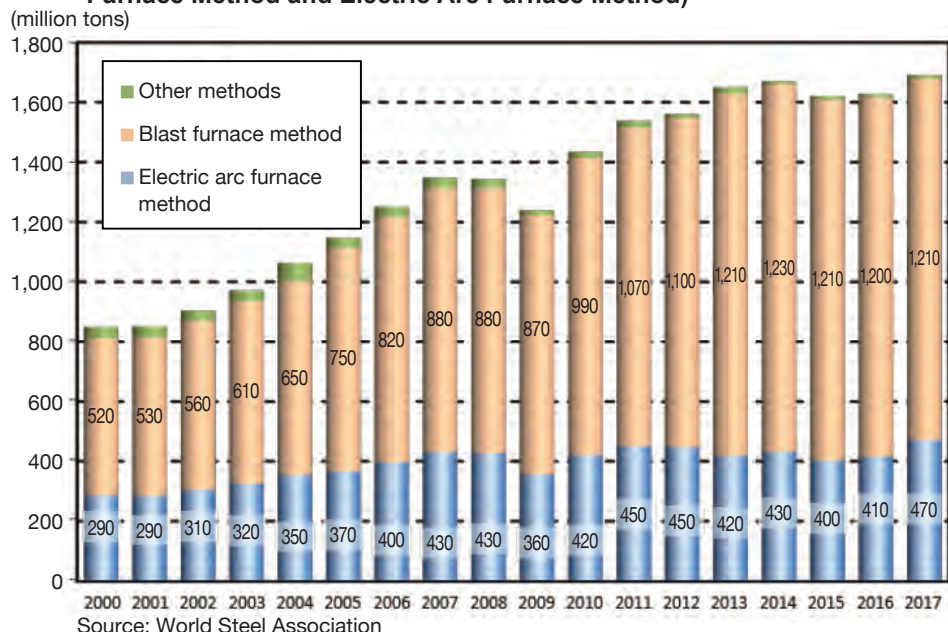


Fig. 8 Circulation of Iron and Steel Products in the World (2018)

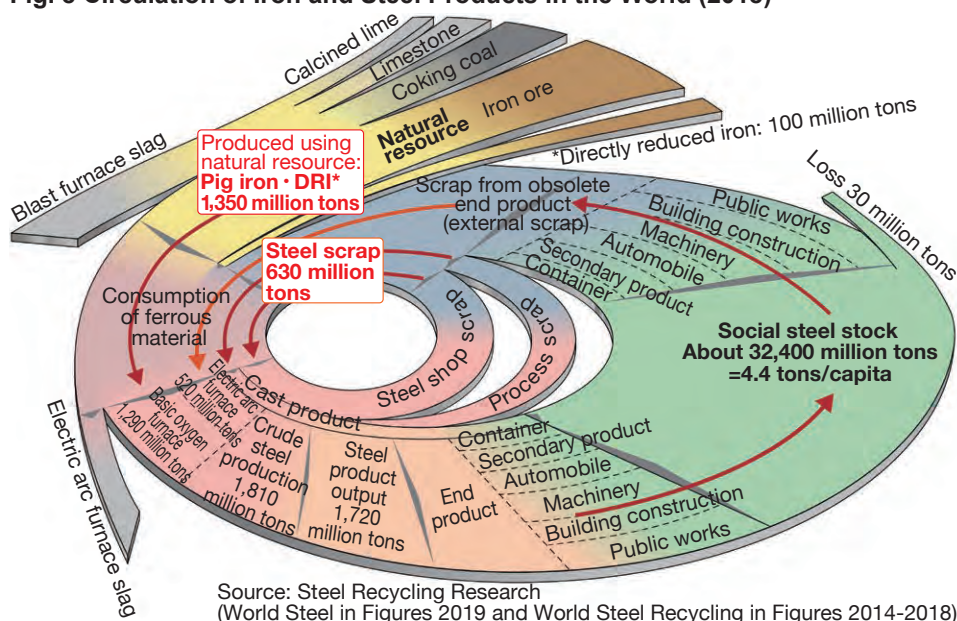


Fig. 9 LCI in Lifecycle of Iron and Steel Products

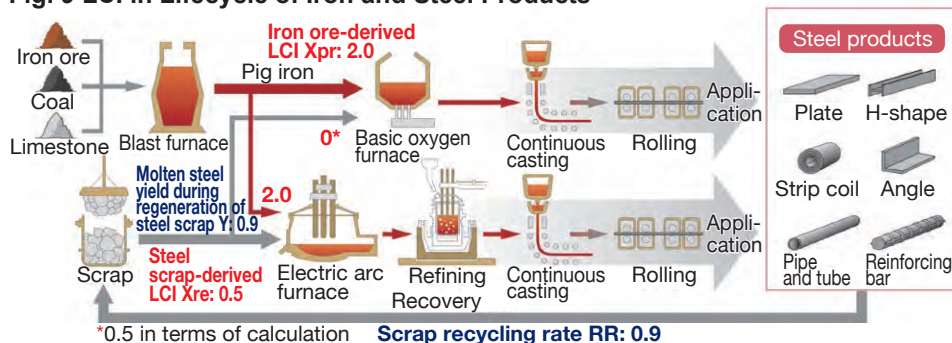


Fig. 10 Concept of LCI Calculation for Steel Products (Lifecycle Average)

$$\text{Average value (t-CO}_2\text{/t)} = \frac{\text{CO}_2 \text{ emissions in steel product lifecycle (t-CO}_2\text{)}}{\text{Lifecycle production of steel products (t)}}$$

Fig. 11 Concept of LCI Calculation for Steel Products Based on Recycling (with recycling)

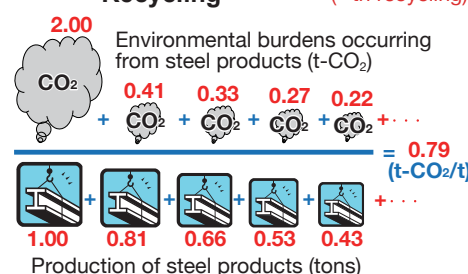


Fig. 12 Number of Lifecycle and Transition of LCI

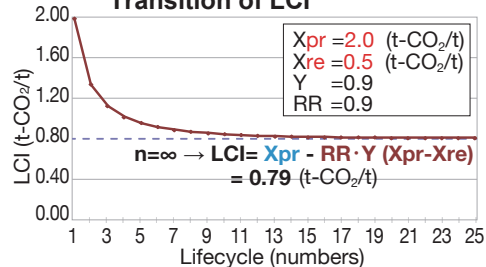


Fig. 13 Relationship of LCIs between Basic Equation and Standards' Equation

$$LCI = X_{pr} - RR \cdot Y \cdot (X_{pr} - X_{re})$$

Diagram showing the relationship between the basic equation and the standards' equation. The basic equation is X_{pr} and the standards' equation is $[A + B1] - [B2]$.

บทความประจำฉบับ: การใช้เชื้อเพลิงและการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เหล็ก (3)

การใช้เชื้อเพลิงและอนาคตของวัสดุเหล็ก

โดย Ichiro Daigo and Pasan Dunuwila

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยโตเกียว

บทนำ

อุตสาหกรรมเหล็กสามารถผลิตเหล็กดิบได้มากกว่า 1.5 พันล้านตันต่อปี นับตั้งแต่ปี 2010 ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมเหล็กสามารถผลิตเหล็กดิบได้ 1.63 พันล้านตันในปี 2017 หากเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆที่ผลิตโลหะแล้ว อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กนับว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก อันเนื่องมาจากความจำเป็นที่จะต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมากในกระบวนการการผลิต ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตเหล็กกล้าโดยการใช้เตาหลอมทรงสูง หรือ Blast Furnace (BF) จะมีประสิทธิภาพสูง แต่การผลิตเหล็กที่จะมีต่อไปในอนาคตยังคงถูกตั้งข้อสงสัยในแง่ของการบรรลุเป้าหมายระยะยาวของข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งมีความตั้งใจที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกภายในปี 2050 ด้วยเหตุนี้ บทความนี้จึงได้เล็งเห็นอนาคตของวัสดุเหล็กจากมุมมองในเรื่องของวัฏจักรชีวิตของวัสดุ (material life cycle) ซึ่งคำนึงถึงผลกระทบตลอดอายุวัสดุที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

มาตรการรับมือภาวะโลกร้อนสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

สถานการณ์การรักษาคาร์บอนที่ต่ำที่สุดของสำนักพลังงานระหว่างประเทศ หรือ International Energy Agency (IEA) คือ RCP 2.6 ซึ่งอนุญาตให้อุตสาหกรรมเหล็กภายใน 40 ปี สามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 112 พันล้านตันได้ โดยนับตั้งแต่ปี 2011 ถึงปี 2050 เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ จึงเป็นการดีที่จะเปลี่ยนกระบวนการต่างๆที่มีประสิทธิภาพต่ำให้เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น โดยการใช้มาตรการรับมืออย่างเช่นการต่ออายุอุปกรณ์ที่ล้าสมัย ดังรูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระดับปฐมภูมิในการผลิตเหล็กดิบของประเทศต่างๆ โดยการใช้เตา BF แบบใช้ออกซิเจน หรือ Basic Oxygen Furnace (BOF) และเตา EAF พบว่าประเทศญี่ปุ่นมีปริมาณการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กที่ต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่าประเทศญี่ปุ่นมีการใช้พลังงานในขั้นตอนของการผลิตเหล็กอย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนากระบวนการทางเทคโนโลยีที่เริ่มขึ้นจากโครงการระดับชาติอย่างโครงการ “CO2Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50 (COURSE 50)” และโครงการ the European Ultra Low CO2 Steelmaking (ULCOS) ซึ่งเคยประสบความสำเร็จในการทำกระบวนการผลิตเหล็กที่มีประสิทธิภาพและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน ดังนั้นประเทศญี่ปุ่นควรจะต้องเดินหน้านำเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆ ในการผลิตเหล็กกล้าที่มีประสิทธิภาพสูง และเผยแพร่เทคโนโลยีและนวัตกรรมดังกล่าวไปสู่ประเทศต่างๆ เพื่อโลกต่อไป แต่หากมองจากจุดยืนของผู้กำหนดนโยบาย ผู้ประกอบการจะต้องไม่ก่อมลภาวะให้เกิดขึ้นกับโลก โดยที่เน้นเพียงแต่การรักษาภาวะแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ของตน โดยผู้กำหนดนโยบายควรจะต้องพิจารณาถึงความผันแปรทางด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่แตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ด้วย

รูปที่ 1 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานต้นกำเนิด (primary energy) ของ

เหล็กจำแนกตามประเทศ (ญี่ปุ่น = 100)

การสต็อกเหล็กและความต้องการเหล็กในอนาคต

มีการเสนอแบบจำลองหลากหลายรูปแบบสำหรับการทำนายความต้องการวัสดุเหล็กในอนาคต หนึ่งในนั้นคือแบบจำลองสมมติฐานความถี่ของการใช้งาน (Intensity of Use (IU) Hypothesis) โดย IU แทนปริมาณการบริโภคโลหะต่อ GDP ดังที่แสดงในรูปที่ 2 แสดงกราฟของ IU โดยเส้นกราฟแสดงออกมาในลักษณะเส้นโค้งระฆังคว่ำเมื่อประชากรมีรายได้ต่อหัวเพิ่มขึ้น แบบจำลองมากมายที่ถูกใช้เพื่อคาดการณ์ความต้องการวัสดุเหล็กและแบบจำลองสมมติฐานแบบ IU สามารถคาดการณ์ไปถึงอนาคตได้จากการวิเคราะห์ความต้องการในอดีตบนอนุกรมเวลา (time series) และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ยังได้มีการเสนอและทำการทดสอบแบบจำลองที่มีรากฐานมาจากเรื่องการสต็อกวัสดุ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวให้แนวโน้มที่ใกล้เคียงเป็นอย่างมากกับกระแสของการบริโภคเหล็ก

อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์เหล็กจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาที่วัสดุเหล็กจะสามารถถูกเก็บไว้อยู่ในสต็อกที่ยังมีการใช้งานอยู่ หรือ in-use stock รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของสต็อกเหล็กในประเทศญี่ปุ่น จากข้อมูลของสต็อกเหล็กจำนวน 1.4 พันล้านตัน จะมีเพียง 1 พันล้านตัน ที่เป็นสต็อกเหล็กที่ยังมีการใช้งานอยู่ หรือ in-use stock ในส่วนของ สต็อกเหล็กของโครงสร้างพื้นฐาน หรือ infra-stock (ตัวอย่างเช่น จำนวนวัสดุเหล็กที่มีอยู่ในโครงสร้างพื้นฐานแบบกึ่งถาวรเช่น เขื่อนกั้นน้ำ (ดูภาพที่ 1) วัสดุอย่างสโมสติกเกลียว ฯลฯ จะถือเป็นส่วนสำคัญของสต็อกเหล็กที่ยังมีการใช้งานอยู่ ส่วนวัสดุส่วนที่เหลือจะถูกกำหนดให้เป็นวัสดุเหล็กที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ เช่นเหล็กที่ถูกทิ้งเป็นซาก (N.B. สต็อกสำหรับทิ้งซาก หรือ obsolete stock (ดูภาพที่ 2) ซึ่งยังมีให้เห็นอยู่ตามสถานที่ต่างๆสำหรับใช้เก็บเหล็กที่ยากต่อการเก็บรวบรวม) และ สต็อกสำหรับวัสดุที่ไม่ใช้งานแล้วแต่ก็ไม่ได้นำไปหลอมผลิตใหม่ หรือ hibernating stocks (N.B. เนื่องจากในอนาคตอาจจะมีการเพิ่มขึ้นของราคาเหล็ก หรือมีการเปลี่ยนแปลงไปของปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นเหล็กประเภท hibernating stock จะยังคงสามารถนำไปหลอมผลิตใหม่ได้เมื่อต้องการ) สต็อกที่ยังมีการใช้งานอยู่ หรือ In-use stock ในประเทศญี่ปุ่นมีจำนวนถึงจุดอิ่มตัวแล้วตั้งแต่ปี 2000 โดยมีรายงานถึงแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันจากประเทศที่พัฒนาแล้ว

จากมุมมองด้านการสต็อกวัสดุ หากพิจารณากราฟเส้นโค้งที่เป็นสมมติฐานแบบ IU ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะสามารถพิจารณาได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงแบบกราฟซิกมอยด์ (sigmoidal curve) (รูปตัว S) ที่มีลักษณะการอิ่มตัวเข้าสู่หาจุดใดจุดหนึ่งบนกราฟเสมอเมื่อสมมติให้จำนวนครั้งของการนำกลับมาผลิตใหม่ มีค่ามากเข้าใกล้อนันต์ โดยจากข้อเท็จจริงที่ว่าด้วย “วัสดุจะถือได้ว่ามีประโยชน์มิใช่เมื่อถูกบริโภคซื้อขายหากแต่เมื่อถูกนำมาใช้งาน” ดังนั้นแล้วเพื่อให้เกิดความสอดคล้องระหว่างวัสดุและผู้ใช้งานตรงกันมากขึ้น จึงขออธิบายปรากฏการณ์นี้ในรูปที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสต็อกวัสดุนอนุกรมเวลา (time-series) ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการใช้วัสดุ และด้วยการประยุกต์ใช้กฎแนวโน้มของความอิ่มตัวซึ่งจะมีลักษณะการอิ่มตัวเข้าสู่หาจุดใดจุดหนึ่งเสมอ จึงได้กำหนดแบบจำลองการขับเคลื่อนด้วยสต็อก หรือ Stock-driven model และเพื่อให้มีความเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้นจึงได้มีการปรับใช้ฟังก์ชัน Logistic และ Gompertz เพื่อพัฒนาแบบจำลองการขับเคลื่อนด้วยสต็อก และสามารถคาดการณ์สต็อกของวัสดุในอนาคตได้

สำหรับแบบจำลองที่ใช้เพื่อทำนายความต้องการวัสดุเหล็กในอนาคต ปริมาณของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวแปรสำคัญในการวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากตารางที่ 1 ตารางสรุปการประมาณการความต้องการในการใช้เหล็กและวัสดุสิ้นเปลืองในปี 2050 และ 2100 เนื่องจากค่าประมาณการเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแบบจำลองและค่าพารามิเตอร์ ซึ่งแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มา ค่าที่ได้จึงแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเศษเหล็กไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการเหล็กในอนาคตได้แม้ว่าในปี 2100 จะมีการคาดการณ์ว่าสัดส่วนของทรัพยากรเหล็กที่ได้มาจากการถลุงสินแร่เหล็ก จะลดลงเหลือ 50% เป็นอย่างมาก ของปริมาณการผลิตเหล็กดิบในปี 2050 และจะมีค่าลดลงเหลือ 30% ในปี 2100 ปัจจุบันมีหลายประเทศและหลายภูมิภาคที่กำลังจะได้รับสถานะ “ประเทศที่พัฒนาแล้ว” ดังนั้นแล้วเหล็กและเศษเหล็กจะยังคงมีการซื้อขายเกิดขึ้นในระดับสากลต่อไป ดังตัวอย่างเช่น เศษเหล็กที่มากเกินไปความต้องการสำหรับประเทศหนึ่งจะถูกแลกเปลี่ยนไปยังประเทศอื่นอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะส่งผลให้ทรัพยากรเหล็กขาดแคลนในที่สุด

รูปที่ 2 แผนภาพแนวคิดของสมมติฐานแบบ IU

รูปที่ 3 แนวโน้มของสต็อกเหล็กในประเทศญี่ปุ่น

ภาพที่ 1. เชื้อเหล็กแบบแยกส่วน (steel slit dam)

ภาพที่ 2 สต็อกสำหรับทิ้งซาก (obsolete stock)

ตารางที่ 1 อุปสงค์ของเหล็กดิบและอุปทานของเศษเหล็กทั่วโลกในปี 2050 และ 2100

การใช้เหล็ก

เหล็กเป็นวัสดุที่ได้รับการยอมรับในด้านการนำกลับมารีไซเคิล คำถามคือเหล็กจะสามารถนำมาใช้งานซ้ำได้กี่ครั้ง? ในรูปที่ 4 เราจะพิจารณาว่าวัสดุเหล็กมีอยู่ในรูปแบบของ เหล็กดิบ ผลิตภัณฑ์เหล็ก ผลิตภัณฑ์เหล็กที่ถูกใช้งานแล้ว เศษเหล็กที่ถูกใช้แล้ว ฯลฯ และสิ่งที่เชื่อมโยงเหล็ก ณ สภาพต่างๆ เหล่านี้ (ดังรูปที่ 4) เข้าด้วยกันก็คือวงจรของการเปลี่ยนสภาพของเหล็กจากสภาพหนึ่งไปเป็นอีกสภาพหนึ่ง (เช่น การเปลี่ยนจากเหล็กไปเป็นเศษเหล็ก) ดังนั้นข้อมูลการส่งต่อหรือการไหลของวัสดุจึงถูกเรียกว่า “ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสภาพ” หรือ State transition probability หากสมมติว่ารูปแบบการใช้เหล็กตามแผนภาพ (การไหลของวัสดุ) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เราจะสามารถใช้แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ หรือ Markov chain model ในการสร้างวิธีการประเมินจำนวนการใช้งานซ้ำโดยเฉลี่ยขึ้นมาได้ โดยจำนวนการใช้งานโดยเฉลี่ยในที่นี้หมายถึงจำนวนครั้งที่มีการใช้เหล็กกับผลิตภัณฑ์ภายในประเทศโดยเริ่มตั้งแต่เมื่อเหล็กยังคงอยู่ในสภาพเริ่มต้น (สินแร่เหล็ก) ซึ่งยังไม่ได้ถูกส่งออกหรือถูกกระจายออกไป (ดูรูปที่ 5) นอกจากนี้เหล็กที่ถูกส่งออกยังสามารถถูกกระจายต่อหรือส่งออกอีกครั้งหลังจากผ่านการใช้งานมาแล้วได้ ในประเทศญี่ปุ่นดังแสดงในรูปที่ 6 วัสดุเหล็กและเศษเหล็กปริมาณมากจะถูกส่งออกในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาพ (state transition) ดังนั้นหากคำนวณจากข้อมูลการไหลของวัสดุจะพบว่า มากกว่า 80% ของเหล็กที่อยู่ในช่วงของการขนส่งจะเป็นเหล็กที่ถูกส่งออกนอกประเทศ หากสมมติว่ารูปแบบการผลิตและรูปแบบการบริโภควัสดุเหล็กในประเทศอื่นๆ มีความคล้ายคลึงกับของประเทศญี่ปุ่น และมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับข้อมูลการไหลของเหล็กในประเทศญี่ปุ่นในปี 2005 แล้ว เราสามารถที่จะคาดการณ์ได้ว่า สำหรับประเทศญี่ปุ่นเหล็กจะถูกใช้งานซ้ำโดยมีตัวเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 ครั้ง และจากการใช้แบบจำลองนี้ในการประเมินอัตราการคงอยู่ (survival rate) ของเหล็กทั่วทั้งโลกตลอดเวลาที่ผ่านมา ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าวัสดุเหล็กประมาณครึ่งหนึ่งที่ถูกผลิตขึ้นใหม่จะยังสามารถถูกใช้งานต่อเนื่องกันได้เป็นเวลามากกว่า 300 ปี โดยเริ่มนับจากวันที่ผลิต นั่นหมายความว่า หลังจากการถลุง

เหล็กเพื่อให้ได้เป็นวัสดุเหล็กออกมาแล้ว วัสดุเหล็กจะสามารถใช้ประโยชน์ได้อีกหลายรุ่นอายุคน โดยอาจจะผ่านกระบวนการผลิตซ้ำกลายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความแตกต่างกันไปกระจายไปยังที่ต่างๆบนโลก

รูปที่ 4. แผนภาพแนวความคิดการเปลี่ยนสภาพในการไหลของวัสดุเหล็ก

รูปที่ 5. แผนผังแนวความคิดการเปลี่ยนสภาพ

รูปที่ 6. ผังการไหลสำหรับ (a) เหล็ก และ (b) เศษเหล็ก (2014, หน่วย: ล้านตัน)

ข้อสรุป

เพื่อที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สังคม มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมเหล็กด้วย ในประเทศที่กำลังพัฒนาวัสดุเหล็กจะยังคงเป็นความต้องการสูงเนื่องจากวัสดุเหล็กเป็นรากฐานของโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อความอยู่ดีของสังคม แม้ว่าเหล็กจะสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ แต่ก็ยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการเหล็กในอนาคตได้อย่างเพียงพอ อันเนื่องมาจากความจำเป็นที่จะต้องลดปริมาณการผลิตเหล็กลงจนถึงปี 2100 อีกทั้งยังถูกคาดหวังให้มีการพัฒนาในเรื่องของการผลิตเหล็กคาร์บอนต่ำอีกประการหนึ่งด้วย



Ichiro Daigo: Associate Professor at Department of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo. He received Ph.D., M.S. and B.E. degrees from Kyoto University. He has developed many analytical models and tools and pioneered research in Industrial Ecology. His achievement has been published in many academic articles and books.



Pasan Dunuwila: Project Researcher, Department of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo. He acquired his B.Eng., M.Eng., and Ph.D. (Engineering) from Toyohashi University of Technology, Japan. His research interests primarily lie on the upliftment of economic, environmental and societal well-being of industries through the tools such as Material Flow Analysis, Material Flow Cost Accounting, and Environmental and Social Life Cycle Assessment. His works have been published in several reputed journals.

Fig. 1. Comparison of Primary Energy Intensity of Steel by Country (Japan = 100)

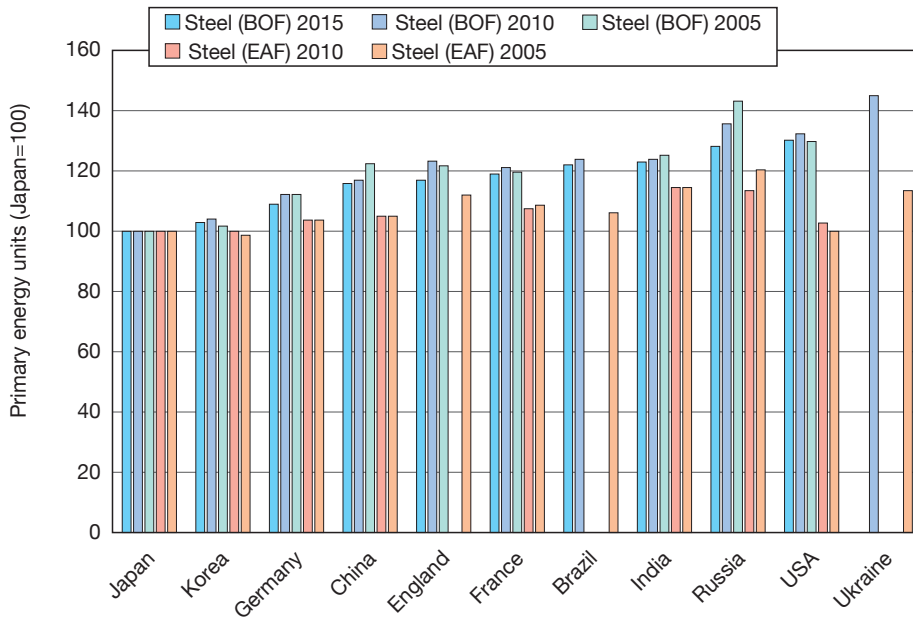


Fig. 2. Conceptual Diagram of IU Hypothesis

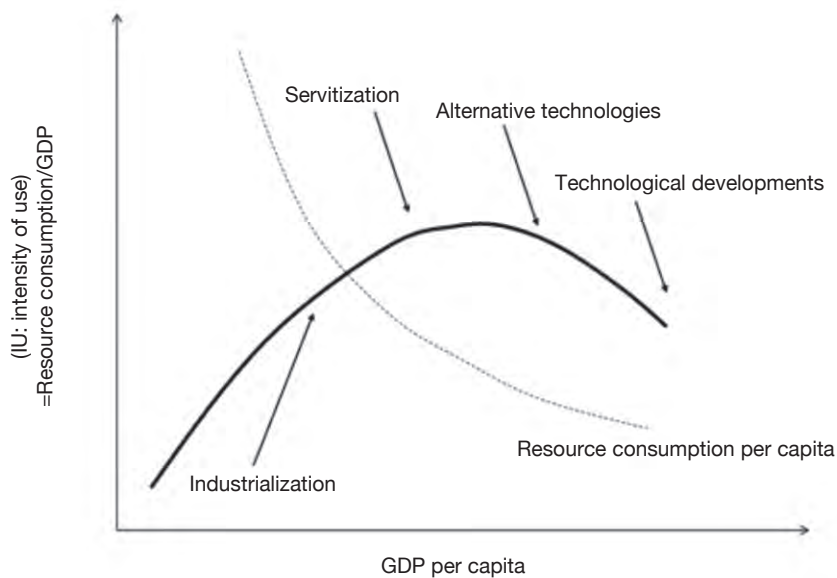


Fig. 3. Trend of Steel Stocks in Japan

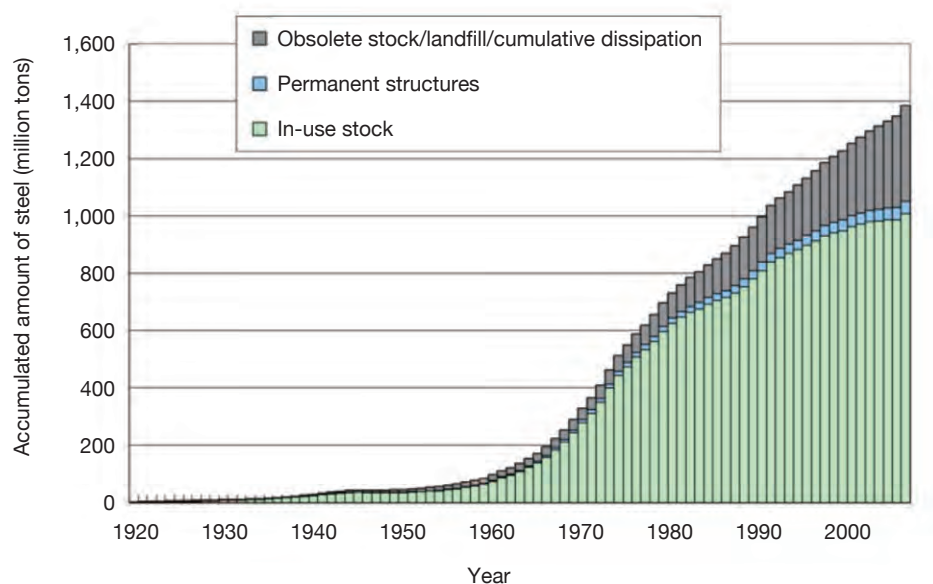


Photo 1 Steel slit dam



Photo 2 Obsolete stock

Table 1 Global Crude Steel Demand and Scrap Supply in 2050 and 2100

(unit: billion tons/year)

	2050		2100		References
	Crude steel demand	Scrap supply	Crude steel demand	Scrap supply	
Pauliuk et al. 2013	2.1	1.0	2.6	1.8	11)
Oda et al. 2013*	2.2	0.9	Not applicable		12)
Morfeldt et al. 2015**	2.1-2.3***	0.5-0.6	2.3-2.6	1.6-1.7	13)

* Reference case;

** Results of scenario demand stagnation in 2050;

*** The results of the three scenarios were denoted as a range

Fig. 4. Conceptual Diagram for State Transitions of Steel-material Flows

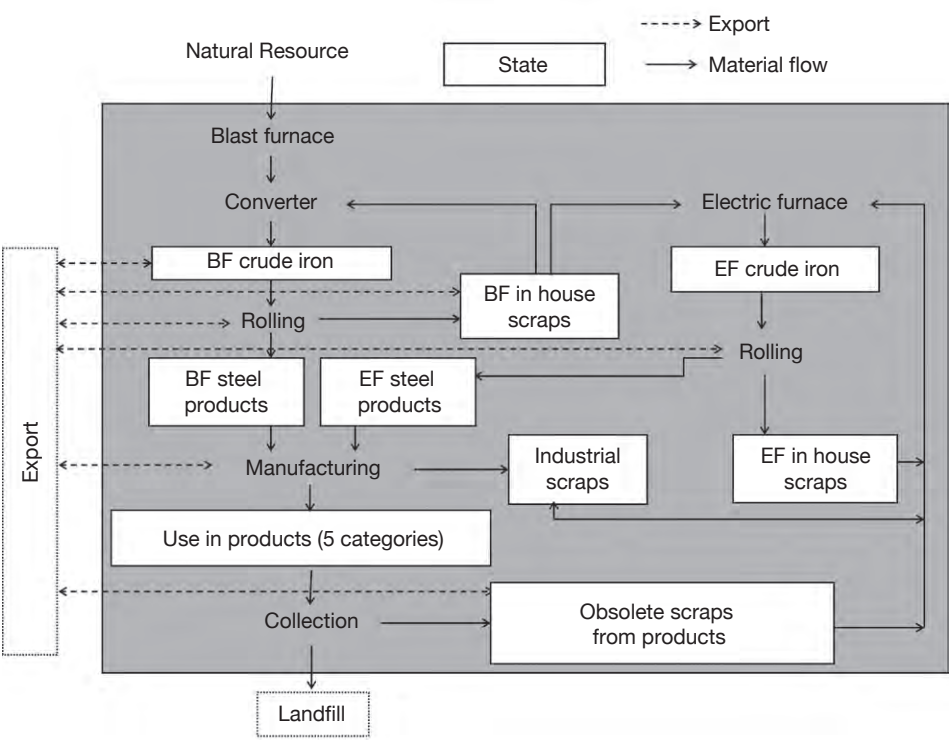


Fig. 5. Conceptual Diagram for State Transitions

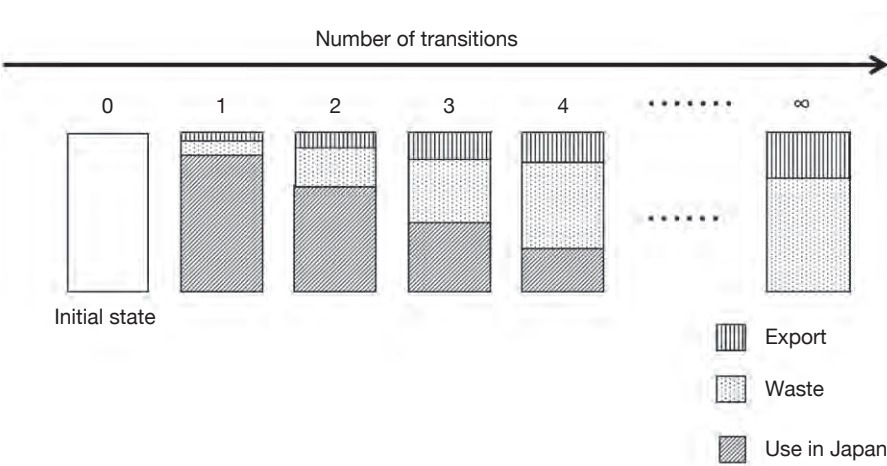
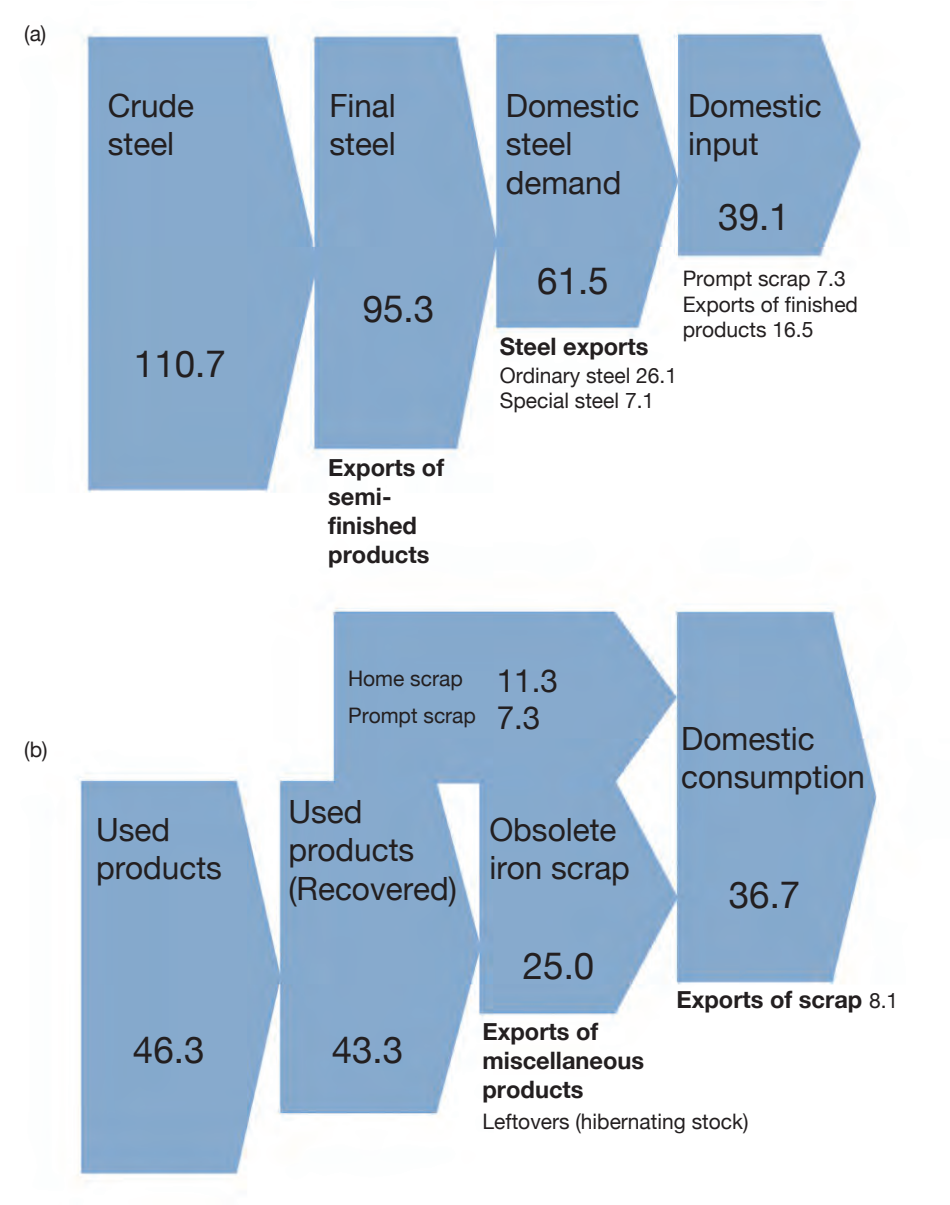


Fig. 6. Flow Chart for (a) Steel and (b) Steel Scrap (2014, Unit: million tons)



(หน้า 13)

บทความประจำฉบับ: การใช้ชีคลและการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เหล็ก (4)
งานสัมมนาเหล็กสีเขียว

คณะกรรมการเหล็กอันเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการก่อสร้าง

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ในฐานะที่เป็นเสาหลักของการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ได้อธิบายถึงวิธีการในการจัดการกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า ในบรรดาคณะกรรมการเพื่อส่งเสริมมาตรการสำหรับการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการเหล็กอันเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการก่อสร้าง มีหน้าที่สนับสนุนการทำการวิจัยในเรื่องการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง เพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อผลิตภัณฑ์เหล็กและจุดเด่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็ก

เพื่อที่จะส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กที่เอื้อต่อการป้องกันภาวะโลกร้อน และเพื่อสร้างเสริมสังคมให้มุ่งเน้นการใช้วัสดุหมุนเวียนและเป็นมิตรกับธรรมชาติ คณะกรรมการจึงได้จัดงานสัมมนาขึ้น โดยมีชื่องานสัมมนาน่าว่า “งานสัมมนาเหล็กสีเขียว” หรือ “Green Steel Seminar” เพื่อผู้ที่ทำงานในสายงานก่อสร้าง โดยจัดขึ้น ณ กรุงโตเกียว ขึ้นเป็นประจำทุกปีนับตั้งแต่ปี 2011 ซึ่งในเดือนพฤศจิกายน 2019 คณะกรรมการก็ได้จัดงานสัมมนาครั้งที่ 9 ณ กรุงโตเกียวอีกครั้งหนึ่ง และได้วางแผนที่จะจัดงานขึ้นที่โอซาก้าเป็นครั้งแรก ในเดือนธันวาคม 2019 ซึ่งเนื้อหาจะมีความคล้ายคลึงกับที่จัดขึ้นในกรุงโตเกียว

งานสัมมนาในครั้งนี้ 9 นี้จัดขึ้นภายใต้หัวข้อหลักคือ “Recent Measures to Improve Social Infrastructure and Lifecycle Assessment: High Environmental Performance Peculiar to Steel Products.” โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 หัวข้อหลักคือ 1.การใช้งานมาตรฐานสิ่งแวดล้อม หรือ Environmental Product Declaration (EPD) 2.ความแตกต่างระหว่างการใช้ชีคลแบบระบบปิดและการใช้ชีคลแบบระบบเปิด 3.ผลสะท้อนของการใช้ชีคลทั้งระบบปิดและระบบเปิดต่อการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Lifecycle Assessment (LCA) และ 4.วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการใช้ชีคลของเหล็ก (ดูตารางด้านล่าง)

หัวข้อการนำเสนอ และ รายชื่อวิทยากรในงานสัมมนา Ninth Green Steel Seminar ครั้งที่ 9 ปี 2019

หัวข้อ	วิทยากร
Application of Environmental Product Declaration (EPD), a Green Label Based on ISO 13025, in Iron and Steel Products	Masayuki Kanzaki Director, LCA Center, Association for Sustainability Management Research
Deference between Closed-type Recycling and Open-type Recycling and Its Reflection in the Lifecycle Assessment of Iron and Steel Products	Ichiro Daigo Associate Professor, Department of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
Lifecycle Assessment Methodology for Iron and Steel Products Making the Most of Their High Recyclability	Hidekazu Matsubara Secretary, Committee on Environment-friendly Steel for Construction, The Japan Iron and Steel Federation
The Steel Ring Connects People with the Earth: Steel's Environmental Performance and Recent Trends in the Japanese Steel Industry's Initiatives to Mitigate Global Warming	Yuuki Yamamoto Chairman, Committee on Environment-friendly Steel for Construction, The Japan Iron and Steel Federation

**A List of Presentation Titles and Presenters
at the Ninth Green Steel Seminar in 2019**

Title	Presenter
Application of Environmental Product Declaration (EPD) in Iron and Steel Products	Masayuki Kanzaki Director, LCA Center, Sustainable Management Promotion Organization
Deference between Closed-type Recycling and Open-type Recycling and Its Reflection in the Lifecycle Assessment of Iron and Steel Products	Ichiro Daigo Associate Professor, Department of Materials Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
Lifecycle Assessment Methodology for Iron and Steel Products Making the Most of Their High Recyclability	Hidekazu Matsubara Secretary, Committee on Environment-friendly Steel for Construction, The Japan Iron and Steel Federation
The Iron Cycle Connects People with the Earth: Steel's Environmental Performance and Recent Trends in the Japanese Steel Industry's Initiatives to Mitigate Global Warming	Yuki Yamamoto Chairman, Committee on Environment-friendly Steel for Construction, The Japan Iron and Steel Federation



*(Reference: Scenes of the 2018
Green Steel Seminar in Tokyo)*



บทความ: การใช้เคลและการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เหล็ก (5)

การแนะนำ ISO20915 ในการประชุมประจำปีของ SEASI

คณะกรรมการยุทธศาสตร์สิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ

สหพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย

สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยจัดงานออกเฉียงใต้ หรือ The South East Asia Iron and Steel Institute (EASI) ได้จัดการประชุมประจำปีขึ้นที่กรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 16 ~ 20 มิถุนายน 2019 ซึ่งคณะกรรมการยุทธศาสตร์สิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศแห่งสหพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย หรือ The International Environmental Strategic Committee of the Japan Iron and Steel Federation ได้ส่ง Dr. Shiro Watakabe ผู้จัดการทั่วไปกลุ่มนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศฝ่ายวางแผนเทคโนโลยีของ JFE Steel Corporation โดยในประชุมใหญ่ประจำปีครั้งที่ 2 นี้ Dr. Shiro ได้ทำการบรรยายแนะนำ ISO20915 ซึ่งได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานโดยองค์การมาตรฐานสากล หรือ International Organization for Standardization (ISO) ในเดือนพฤศจิกายน 2018

นอกจากนี้ Dr. Shiro ยังได้เข้าร่วมการอภิปรายที่จัดขึ้นภายในงานประชุมใหญ่ ครั้งที่ 2 ในหัวข้อหลักเรื่อง “การสร้างมูลค่าในอุตสาหกรรมเหล็กผ่านแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน” อีกด้วย ในช่วงของการอภิปรายนี้ผู้เข้าร่วมจะได้มีโอกาสนำเสนอแนวคิดแบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในมุมมองของตน นายวิกรม วัชรคุปต์ ประธานงานอภิปราย ได้กล่าวแสดงทัศนะเอาไว้ว่า “แต่ละประเทศแต่ละองค์กรต่างก็มีแนวคิดเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียนที่แตกต่างกันไปและถึงแม้ว่าหลายๆประเทศในอาเซียนจะอยู่ในสถานะทางเศรษฐกิจที่ไม่ดีนักมีการนำเข้ามากกว่าการส่งออก แต่ถึงจะเป็นอย่างนั้นก็มีซีอีโอจำนวนไม่น้อยที่พยายามคิดอย่างหนักเพื่อที่จะได้เข้าใจเกี่ยวกับระบบเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน ซึ่งการนำเสนอจาก Dr. Shiro Watakabe และผู้เข้าร่วมคนอื่นๆได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์มากมาย ช่วยให้เราสามารถเข้าใจระบบเศรษฐกิจแบบหมุนเวียนได้ดียิ่งขึ้น”

ในช่วงของการนำเสนอ Dr. Shiro ได้กล่าวเน้นย้ำถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กอยู่หลายครั้ง สุดท้ายเขาสรุปการประชุมโดยเข้าได้กล่าวว่า “มาตรฐาน ISO20915 ช่วยให้การพิจารณาการใช้เหล็กสามารถประเมินได้ดีและชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้ข้าพเจ้าก็จะมีความยินดีเป็นอย่างยิ่ง หากการนำเสนอในครั้งนี้สามารถสร้างความเข้าใจในประเด็นหลักๆ ให้แก่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตลอดจนองค์กรต่างๆ ของประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้”

ในส่วนท้ายสุดของการประชุมได้มีการนำเสนอวิดีโอความยาว 30 วินาทีซึ่งจัดทำโดยสหพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย หรือ JISF ภายใต้แนวคิด “Actually, Steel is Light” โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้คนได้รู้จักการประเมินอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์เหล็ก ซึ่งกลายเป็นเหตุการณ์ที่ถูกตีพิมพ์ในวารสารเหล็กรายใหญ่ของญี่ปุ่นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ในการประชุมครั้งนั้นนอกจาก Dr. Shiro Watakabe แล้ว ยังมี Dr. Nae Hee Han จากสมาคมเหล็กกล้าโลกและ Mr. Yap Chin Seng ซึ่งเป็นผู้ออกใบรับรองสำหรับเหล็กเสริมจากสหราชอาณาจักรประเทศอังกฤษก็ได้มาปรากฏตัวในฐานะผู้ร่วมการอภิปรายอีกด้วย



(หน้า 15 ~ ปกหลัง)

บทความ: การออกแบบอาคารเหล็กล่าสุดในญี่ปุ่น (4)

กิเซ คาบุกิเซ (GINZA KABUKIZA)

—การก่อสร้างอาคารสำนักงานสูงบนพื้นที่เปิดโล่งของโรงละครคาบุกิเซโดยใช้
โครงถักขนาดใหญ่ (mega truss) ณ กึ่งกลางชั้น—

Mitsubishi Jisho Sekkei Inc.

Kengo Kuma and Associates

โรงละครคาบุกิเซ (KABUKIZA) ของย่านกิเซ (GINZA) ในกรุงโตเกียว ได้รับการ
สร้างขึ้นใหม่และให้ชื่อว่า กิเซ คาบุกิเซ (GINZA KABUKIZA) ซึ่งมีสิ่งอำนวยความสะดวก
มากมายประกอบด้วยโรงละครคาบุกิเซแห่งใหม่ อาคารสำนักงานสูง หรือ ที่
รู้จักกันในชื่อตึกคาบุกิเซซึ่งถูกสร้างขึ้นบนโรงละครคาบุกิเซ โดยมีจำนวนชั้นเหนือ
พื้นดินจำนวน 29 ชั้นและชั้นใต้ดินจำนวน 4 ชั้น

พวกเราได้ท้าทายกับความยากลำบาก ด้วยความพยายามที่จะออกแบบและสร้าง
สถาปัตยกรรมที่แปลกใหม่ให้กับสถาปัตยกรรมสไตล์ญี่ปุ่น โดยการใช้โครงถักเหล็ก
อันนำมาสู่ความสำเร็จในการก่อสร้างโรงละครคาบุกิเซตามภาพที่ได้ฝึกฝนไว้ และใน
ขณะเดียวกัน ยังได้มีการผสมผสานเทคโนโลยีโครงถักชั้นสูงเข้าไปอีกด้วย โดยสำหรับ
โครงถักในส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนผ่านระหว่างโรงละครและอาคารสำนักงาน จะมีการ
ใช้โครงถักขนาดใหญ่ (mega truss) ซึ่งถือเป็นเครื่องมือสำคัญที่ทำให้การก่อสร้างใน
ส่วนเปลี่ยนผ่านนี้ให้เป็นไปได้ ซึ่งไม่เพียงแต่จะให้พื้นที่โรงละครที่กว้างแต่ยังช่วยรองรับ
น้ำหนักของอาคารสำนักงานสูงที่สร้างขึ้นบนโรงละครอีกด้วย (ภาพที่ 1 และรูปที่ 1)

ภาพที่ 1 โครงการ กิเซ คาบุกิเซ ซึ่งมีการสร้างอาคารสูงไว้บนโรงละครคาบุกิเซ
รูปที่ 1 ส่วนของโรงละครกิเซ คาบุกิเซ

การสืบสานจิตวิญญาณประวัติศาสตร์ของโรงละครคาบุกิเซ

โครงการ กิเซ คาบุกิเซ (GINZA KABUKIZA) เป็นโครงการบูรณะฟื้นฟูโครงสร้าง
ของโรงละครคาบุกิเซ ซึ่งมีประวัติอันยาวนานกว่า 100 ปี การบูรณะฟื้นฟูในปัจจุบัน
นับเป็นการบูรณะฟื้นฟูครั้งที่ห้าแล้วสำหรับโรงละครคาบุกิเซ โรงละครคาบุกิเซเก่าที่สี่
เดิมสร้างเสร็จในปี 1950 ได้รับการออกแบบโดย Isoya Yoshida สถาปนิกผู้มีชื่อเสียง
ในด้านสถาปัตยกรรมสไตล์ญี่ปุ่น เนื่องจากความกังวลบางอย่าง เช่นความล่าช้า
ความสามารถในด้านทานแผ่นดินไหวที่อาจไม่เพียงพอและการขาดสิ่งอำนวยความสะดวก
สะดวกของโรงละครเก่าที่สี่ จึงจำเป็นต้องมีการบูรณะสร้างขึ้นใหม่เพื่อจัดตั้งที่
เป็นกังวลเหล่านี้ นอกจากนี้ เพื่อที่จะสานต่อคาบุกิอัน ศิลปะการแสดงแบบดั้งเดิมของ
ญี่ปุ่นต่อไป โรงละครคาบุกิเซจำเป็นต้องรักษาความมั่นคงของธุรกิจไว้ดังเช่นก่อนจะ
มีการฟื้นฟูด้วย เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายเหล่านี้ได้ โครงการ กิเซ คาบุกิเซ จึง
ได้รับการสนับสนุนในฐานะโครงการพัฒนาที่มีความซับซ้อน โดยภายในโครงการจะมี
การสร้างอาคารสำนักงานสำหรับให้เข้าชั้นที่โรงละครคาบุกิเซด้วย

เป้าหมายหลักอย่างหนึ่งที่เราพยายามจะทำให้สำเร็จในโครงการ กิเซ คาบุกิเซ นี้
คือการรักษาไว้ซึ่งประวัติศาสตร์ของการแสดงคาบุกิที่ทุกคนรักและชื่นชอบ อีกทั้ง
สมรรถนะใหม่ๆของอาคารที่มาพร้อมกับยุคสมัยจำเป็นจะต้องถูกผสมผสานเข้ากับโรง
ละครคาบุกิเซใหม่นี้ด้วย การบูรณะฟื้นฟูของโรงละครคาบุกิเซที่สี่ได้รับการยอมรับว่า
เป็นการรวบรวมความรู้ด้านการบูรณะฟื้นฟูทั้งหมดมาใช้ ดังนั้นแล้วโรงละครคาบุกิเซที่
ห้าที่ได้ออกใหม่นี้จึงได้ดำเนินการเช่นเดียวกันกับโรงละครคาบุกิเซที่สี่

อย่างไรก็ตามเราคิดว่าเหมาะสมแล้วที่โรงละครคาบุกิเซที่ห้าไม่เพียงแต่จะมี
ความคล้ายคลึงกับโรงละครคาบุกิเซเก่า แต่ยังประสบความสำเร็จในการบรรลุสิ่งที่ทุก
คนเคยมุ่งหวังจากโรงละครคาบุกิเซ ที่สี่ (ดูภาพที่ 2 และ 3 และรูปที่ 2)

ภาพที่ 2 มุมมองแบบเต็มของโรงละครคาบุกิเซแห่งใหม่ที่ออกแบบโดยยึดตามโรง
ละครเก่า

ภาพที่ 3 ที่นั่งภายในโรงละครคาบุกิเซแห่งใหม่ โดยการออกแบบตามแบบโรงละครเก่า
รูปที่ 2 ส่วนของที่นั่งภายในโรงละครคาบุกิเซแห่งใหม่

การทำให้โครงถักเหล็กเกิดการแสดงออกแบบโครงสร้างไม้

โรงละครคาบุกิเซที่สี่มีตัวโครงสร้างเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก อีกทั้ง
ภายนอกของอาคารก็ถูกสร้างด้วยคอนกรีตทั้งหมด อย่างไรก็ตามในโครงการบูรณะ
ฟื้นฟูอาคารสำนักงานสูงจำเป็นต้องถูกสร้างติดไปกับโรงละครเสมือนเป็นอาคาร
เดียวกัน โครงสร้างเหล็กจึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหลักอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้ว่าโรงละคร
คาบุกิเซใหม่จะถูกคาดหวังให้มีหน้าตาตามแบบโรงละครเก่า แต่มันเป็นไปไม่ได้ที่จะใช้
วัสดุชนิดเดียวกันทุกประการในการก่อสร้าง

โดยเฉพาะกับส่วนภายนอกของโรงละครคาบุกิเซใหม่ที่ก่อสร้างด้วยการปูแผ่น
คอนกรีตอัดแรง (precast slabs) บนโครงเฟรมเหล็ก และคอนกรีตเสริมใยแก้ว
น้ำหนักเบา (Lightweight glass fiber-reinforced concrete) ถูกใช้ในส่วนของแป้น
หูช้าง (bracket complex) หรือการที่OLUMIเย็บถูกนำมาใช้กับจันทันที่มีขนาดที่
แตกต่างกันไปอันเนื่องมาจากความโค้งของหลังคา ด้วยวิธีนี้ชิ้นส่วนที่เหมาะสมจะถูกใช้
กับงานแต่ละประเภทอย่างเหมาะสมด้วย

ผู้คนบางกลุ่มมีความกังวลในการที่จะต้องเปลี่ยนมาใช้โครงถักเหล็กในการ
ก่อสร้าง โดยพวกเขากลัวว่าจะมีผลต่อภาพลักษณ์ของโรงละครเก่าที่เป็นโครงสร้าง
คอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete-structured) แต่อย่างไรก็ตามหาก
โครงสร้างทั้งหมดของโรงละครใหม่ถูกสร้างโดยวิธีการขึ้นรูปคอนกรีต หรือ Concrete
forming method ต้นทุนการก่อสร้างจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากและนอกจากนี้โรงละคร
ใหม่ที่เสร็จสมบูรณ์จะไม่สามารถสะท้อนภาพลักษณ์ในแง่ของอาคารโครงสร้างน้ำหนัก
เบาได้

นอกจากนี้การออกแบบสถาปัตยกรรมของโรงละครคาบุกิเซ ยังเป็นการแสดงออก
ถึงสถาปัตยกรรมไม้แบบดั้งเดิมของญี่ปุ่น ด้วยเหตุนี้ระบบโครงเหล็กและระบบการปูพื้น
ด้วยแผ่นคอนกรีตอัดแรง จึงถูกนำมาใช้กับโรงละครใหม่แทนที่จะเป็นระบบคอนกรีต
เสริมเหล็กแบบเดิม ซึ่งดูเหมือนจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากโครงสร้างไม้
จำเป็นต้องถูกประกอบขึ้นด้วยการนำชิ้นส่วนโครงแต่ละชิ้นประกอบเข้าด้วยกัน ด้วย
เหตุนี้วิศวกรโครงสร้างในอดีตผู้ที่ทำการก่อสร้างโรงละครแห่งที่สามและแห่งที่สี่ด้วย
โครงถักคอนกรีตเสริมเหล็ก คงจะประสบปัญหาความยุ่งยากเดียวกันนี้มิใช่น้อย ด้วย
เหตุผลต่างๆดังกล่าวที่เข้ามารองรับในเรื่องของความแตกต่างในด้านตัวเลือกวัสดุของ
โรงละครใหม่ที่แตกต่างออกไปจากโรงละครเก่า และสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีร่วม
สมัย เราจึงมีความมั่นใจว่าการคงไว้ซึ่งแนวคิดทางสถาปัตยกรรมจากโรงละครเก่าสู่โรง
ละครใหม่ ได้บรรลุผลสำเร็จแล้ว

จากโรงละครชั้นล่างสู่สำนักงานชั้นบน

โครงการบูรณะฟื้นฟูโครงสร้างสำหรับโรงละครคาบุกิเซครั้งนี้ทำนี้ จำเป็นต้องม
ีการใช้โครงถักเหล็กเพื่อให้การผสมผสานระหว่างสิ่งอำนวยความสะดวกที่ซับซ้อน คือ

โรงละครและอาคารสำนักงานเป็นไปได้ ซึ่งในส่วนหนึ่งของโรงละครนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกใช้ร่วมกันเพื่อสร้างสถาปัตยกรรมมาจากโครงสร้างหลัก เนื่องจากอาคารสำนักงานสูงถูกสร้างไว้เหนือโรงละครจึงได้มีการนำระบบโครงถักขนาดใหญ่ (mega truss system) เข้ามาเพื่อใช้ก่อสร้างโครงสร้างส่วนในส่วนที่มีการเปลี่ยนผ่านระหว่างโรงละครและอาคารสำนักงานสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงถักขนาดใหญ่ (mega trusses) สองตัวที่ได้ถูกจัดเรียงในชั้นที่ห้าและหกในส่วนที่มีการเชื่อมนี้เพื่อให้ห้องโถงซึ่งมีความสูงสี่ชั้นของส่วนโรงละครไม่มีเสาภายในและเพื่อรองรับน้ำหนักจากเสาทั้งสิบต้นที่ถูกใส่ไว้ทางด้านทิศใต้ (ด้านหน้าโรงละคร) ของอาคารสูง (รูปที่ 4)

นอกจากนี้เพื่อให้การถ่ายโอนน้ำหนักจากโครงถักขนาดใหญ่ไปยังพื้นดินเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ กลไก wall beam mechanism จึงได้ถูกสร้างไว้ในส่วนของชั้นใต้ดินที่สามและสี่เพื่อใช้รองรับน้ำหนักจากโครงถักขนาดใหญ่และกระจายน้ำหนักดังกล่าวไปยังชั้นใต้ดิน

ภายในชั้นที่ห้าของโครงถักขนาดใหญ่ จะประกอบด้วยโรงละครคาบูกิยะและสวนคาตฟา และภายในชั้นที่หกจะเป็นส่วนของห้องเครื่องจักร ด้วยวิธีนี้เครื่องมือและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆของโรงละครและอาคารสำนักงานสูง จะถูกจัดวางไว้ภายในชั้นของโครงถักขนาดใหญ่ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างส่วนของโรงละครและส่วนของอาคารสูงได้อย่างลงตัว ในส่วนแปลนระบบทางสัญจรทั้งหมดของอาคาร ทางเข้าของอาคารสำนักงานได้ถูกแยกจากทางเข้าของโรงละคร โดยผู้ที่ทำงานในอาคารสำนักงานจำเป็นต้องเปลี่ยนลิฟท์จากชั้นล่างไปเป็นลิฟท์สำหรับอาคารสำนักงานสูงที่ชั้นเจ็ดในส่วนของบอลลิสต์ ซึ่งสามารถติดตั้งเข้ากับโครงถักขนาดใหญ่ได้ ดังที่ได้วางแผนไว้

หากมองในด้านของการออกแบบสถาปัตยกรรม ด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ด้านโครงสร้างรวมถึงด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาคาร กิยะ คาบูกิยะ เราคิดว่าเราประสบความสำเร็จในการสร้างส่วนเปลี่ยนผ่านดังกล่าว

รูปที่ 4 โครงสร้างโครงถักขนาดใหญ่ที่ใช้เป็นโครงสร้างของส่วนเปลี่ยนผ่านระหว่างโรงละครและอาคารสำนักงานสูง

การออกแบบต้านแรงแผ่นดินไหว (Seismic Design)

สิ่งสำคัญในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง คืออิทธิพลต่อการต้านแรงแผ่นดินไหวของเสา ซึ่งจะเสายที่อยู่ทางด้านทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ (ด้านหน้าโรงภาพยนตร์) โดยเสาเหล่านี้ถูกติดตั้งขึ้นบนโครงถักขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่มีทิศทางมุ่งไปทางทิศใต้ได้ ในขณะที่เสาทางด้านเหนือของตึกสูงจะถูกติดตั้งขึ้นบนพื้น โดยมีการตรวจสอบอิทธิพลต่อการต้านแผ่นดินไหวด้วยการใช้วิธีการแบบสามมิติและวิธีการอื่นๆซ้ำหลายรอบ เพื่อยืนยันความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวของอาคารทั้งหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารสำนักงานสูง ซึ่งระบบ hybrid response-controlled system ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับโครงสร้างสลายแรงแผ่นดินไหวทั้งแบบ buckling-restrained braces และ viscous oil dampers (รูปที่ 3)

โครงสร้างสลายแรงแผ่นดินไหวแบบ Buckling-Restrained Braces (BRB) ได้ถูกใส่เข้าไปในโครงถักขนาดใหญ่ และดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โครงการบูรณะและฟื้นฟูในปัจจุบันการออกแบบโครงสร้างมีการแนะนำให้ใช้โครงสร้างแบบโครงเฟรม (framing structures) โดยแบ่งประเภทของโครงเฟรม (frame) ไว้อย่างชัดเจน คือ โครงเฟรมที่ใช้สำหรับโรงละครและโครงเฟรมที่ใช้สำหรับสำหรับอาคารสำนักงานสูง ในส่วนการพิจารณาสำหรับโรงละครนั้น เนื่องจากโรงละครจะตั้งอยู่ในแนวราบอีกทั้งยังมีจุดต่อ

จำนวนมาก การออกแบบจึงถูกพิจารณาเพื่อยับยั้งการเสียรูปของตัวโครงเฟรม ให้อยู่ในระดับที่ต่ำที่สุดและโครงเฟรมต้องมีลักษณะแบบอีลาสติกหรือแบบยืดหยุ่น(elastic behaviors) นั่นคือ การออกแบบเพื่อให้ส่วนของโครงถักที่อยู่มากได้โครงถักขนาดใหญ่ ไม่เกิดการเสียรูปแบบพลาสติก (plasticization) และในส่วนการพิจารณาสำหรับตึกสูง คานหลัก (main beam) ได้รับการออกแบบโดยอนุโลมให้การเสียรูปแบบพลาสติกบางชนิดสามารถเกิดขึ้นได้บ้างในช่วงที่เกิดแผ่นดินไหวใหญ่ ทั้งหมดนี้ จึงรับรองได้ว่าโครงถักของโรงละครและของอาคารสำนักงานสูงได้ถูกออกแบบด้วยวิธีที่มีการจัดการอย่างดี

รูปที่ 3 การเสียรูปในแนวแกน x ของโครงถักแบบโครงเฟรม

การใช้โครงถักขนาดใหญ่ (mega trusses) เพื่อรองรับอาคารสูง

โครงถักขนาดใหญ่มีช่วงความยาว (span length) เท่ากับ 38.4 เมตร และความสูง 13 เมตร และมีโครงถักสองโครงตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของอาคารสูง (ด้านหน้าของโรงละครคาบูกิยะ) น้ำหนักระยะยาวในแนวแกน (long-term axial load) จะถูกรองรับด้วยโครงถักขนาดใหญ่สองข้าง ข้างละ 9,000 ตัน นับเป็นโครงถักขนาดใหญ่ระดับสูงที่สุดที่เคยถูกใช้ในอาคารสูงของญี่ปุ่น และเหล็กกล้ากำลังสูง หรือ High-strength steel (SA-440) ถูกนำไปใช้กับทั้งจันทัน (upper chords) ช่อ (lower chords) และ ค้ำยัน (diagonal members) โดยมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 900×900 mm. (รูปที่ 5 และรูปที่ 4)

เนื่องจากโครงถักขนาดใหญ่ถูกประกอบขึ้นด้วยชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ จึงเป็นการยากที่จะยกตัวโครงถักซึ่งถูกประกอบบนพื้นขึ้นไปด้านบนของอาคาร ดังนั้นโครงถักขนาดใหญ่ดังกล่าวจึงถูกประกอบโดยการใช้เสาชั่วคราว โดยการใช้แม่แรงไฮดรอลิก (hydraulic jacks) (รูปภาพ 6) ในการควบคุมระดับ เนื่องจากโครงสร้างที่อยู่ใต้โครงถักขนาดใหญ่คือห้องใต้ดินของโรงละคร จึงได้มีการคาดการณ์ไว้ว่าหากเสาชั่วคราวถูกติดตั้งในโรงละครระหว่างการติดตั้งโครงถักขนาดใหญ่ไว้นานเกินไป จะเป็นอุปสรรคและเพิ่มความยากลำบากสำหรับการก่อสร้างโรงละครในระยะต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องจะตื่อนำเสาชั่วคราวดังกล่าวออกให้เร็วที่สุดหลังจากเสร็จสิ้นการติดตั้งโครงถัก ซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนเป็นพิเศษสำหรับการติดตั้งโครงเฟรมเหนือโครงถักขนาดใหญ่เพื่อใช้สำหรับการปูแผ่นคอนกรีตอัดแรง

การติดตั้งโครงเฟรมเหนือโครงถักขนาดใหญ่ในขณะที่มีการนำเสาชั่วคราวออกไปด้วยพร้อมกัน น้ำหนักของโครงเฟรมจะถูกถ่ายไปยังโครงถักขนาดใหญ่ซึ่งยังไม่เสร็จสมบูรณ์และไม่มีเสาชั่วคราวรองรับ ส่งผลให้โครงเฟรมและโครงถักขนาดใหญ่ เกิดการเสียรูปไปพร้อมกัน และนำไปสู่การออกแบบที่ไม่ลงตัวของโครงเฟรม ซึ่งมีความยุ่งยากในการก่อสร้างจากผลของการเสียรูปเพิ่มเติมเข้ามา

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียรูปดังกล่าว แม่แรงไฮดรอลิกถูกติดตั้งระหว่างฐานของโครงเฟรมเข้ากับด้านบนของโครงถักขนาดใหญ่เพื่อรักษาระดับการโก่งตัวของโครงเฟรมในขณะที่ดำเนินการติดตั้งตัวโครงเฟรมไปพร้อมกัน โดยการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของโครงเฟรมให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดการติดตั้ง (รูปภาพ 7) เสมือนว่าโครงเฟรมถูกประกอบขึ้นบนพื้นดินตลอดเวลา

ภาพที่ 5 โครงถักขนาดใหญ่ความยาว 38.4 เมตรและความสูง 13 เมตรและผลิตโดยใช้เหล็กกล้ากำลังสูง SA440

ภาพที่ 6 แม่แรงไฮดรอลิกใช้สำหรับประกอบโครง

ภาพที่ 7 การวัดการเสียรูปของโครงระหว่างการติดตั้ง

รูปที่ 4 รายละเอียดของการติดตั้งโครงถักขนาดใหญ่

การข้ามข้อจำกัดการใช้งานของโครงสร้างเหล็ก

จากการที่ทั้งนักแสดงคาบูกิและแฟน ๆ ต่างก็มีความรู้สึกที่พิเศษต่อโรงละครคาบูกิ ชะ ทำให้เสียงตอบรับของพวกเขาที่มีต่อโรงละครคาบูกิชะที่ห้า ที่เพิ่งเปิดใหม่นั้นเป็น ความกังวลหลักของพวกเขา แต่ถึงกระนั้นโรงละครคาบูกิชะที่ห้า ก็ได้รับการกล่าวขาน อย่างมาก ในหลายๆครั้งที่ผู้คนจะรู้สึกถึงความไม่ลงรอยกันของโรงละครที่สร้างขึ้นใหม่ ในช่วงแรก แต่ในท้ายที่สุดพวกเขาก็ค่อยๆคุ้นเคยกับมัน โรงละครคาบูกิชะแห่งใหม่ ได้รับการกล่าวขานถึงอย่างมากนับตั้งแต่การบูรณะฟื้นฟูเสร็จสิ้น เราจึงแปลกใจ เล็กน้อยที่โรงละครใหม่ได้รับการตอบรับจากสังคมสูงมากแม้จะเพิ่งเปิดใช้งานได้ไม่นาน

ทั้งนักแสดงคาบูกิ แฟน ๆ และผู้ที่เกี่ยวข้อง ต่างก็มีภาพของโรงละครคาบูกิชะในใจ ถึงตอนนี้พวกเขารู้สึกมีความสุข ที่ประสบความสำเร็จในการบูรณะฟื้นฟูโรงละครคาบูกิ ชะที่ห้าใหม่นี้ จนเป็นที่พอใจของพวกเขา ผู้ชมคาบูกิรวมถึงลูกค้าประจำจำนวนมากมี ความรู้เกี่ยวกับโรงละครคาบูกิชาที่สี่ในอดีตอย่างลึกซึ้ง ซึ่งโรงละครที่ห้าในปัจจุบันก็มี ลักษณะคล้ายกับโรงละครเก่าของพวกเขาอย่างมาก เพียงแค่เปลี่ยนตำแหน่งของร้าน ขายของที่ระลึกของโรงละครไปอยู่ด้านหลังทำให้ผู้ชมบางท่านสับสนเล็กน้อย

ยิ่งไปกว่านั้นมีคนจำนวนไม่น้อยที่ไม่แน่ใจว่าโรงละครปัจจุบันถูกบูรณะฟื้นฟูโดย สร้างขึ้นใหม่ทั้งหมด หรือหากแต่โรงละครแห่งที่สี่นั้นยังคงสภาพสมบูรณ์โดยมีเพียงตึก สูงเพิ่มเข้ามาอยู่ด้านหลังเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีหลายกรณีที่เรากลุ่มถามว่าเป็นความจริง หรือไม่ที่เราได้รื้อโรงละครเก่าออกและสร้างใหม่ทั้งหมด เรายังช่วงเวลาที่ยากลำบากแต่ ถึงกระนั้นโครงการบูรณะและฟื้นฟูก็เป็นที่น่ายินดีอย่างยิ่ง พวกเราเชื่อว่าได้ทำงาน ออกมาเป็นที่น่าพอใจแล้ว ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์จากทีมออกแบบที่มี คุณภาพร่วมกันระหว่างบริษัท Mitsubishi Jisho Sekkei Inc. และบริษัท Kengo Kuma and Associates

ห้องโถงไร้เสาของโรงละครและโครงถักขนาดใหญ่ที่นำมาใช้ในการก่อสร้างโรง ละครคาบูกิชาแห่งใหม่ทั้งหมดนี้สามารถเป็นไปได้ด้วยคุณสมบัติอันหลากหลายของ โครงสร้างเหล็ก ในช่วงแรกของการออกแบบเรามีความกังวลเล็กน้อยเกี่ยวกับเรื่องการ สั่นสะเทือนและเสียงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้โครงสร้างเหล็ก แต่ด้วยการใช้เทคโนโลยี สถาปัตยกรรมแบบร่วมสมัยทำให้ความกังวลเหล่านั้นหมดไป โครงการบูรณะฟื้นฟูครั้งนี้ ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก ด้วยออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่ สามารถเป็นไปได้ จำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติรองรับกับการออกแบบดังกล่าว ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล็กสามารถเข้ามาตอบโจทย์เหล่านี้ได้ บวกกับความพยายามอย่างเต็มที่ เพื่อจะข้ามข้อจำกัดต่างๆของการใช้งานโครงสร้างเหล็ก พวกเราเชื่อและหวังเป็นอย่าง ยิ่งว่าโครงการที่ได้ดำเนินการอยู่นี้สามารถที่จะนำมาใช้เป็นโครงการต้นแบบที่แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้กับระบบโครงสร้างเหล็กในอนาคต (รูป ที่ 8)

ภาพที่ 8 หลังคากระเบื้องแบบดั้งเดิมของโรงละครคาบูกิชาและด้านนอกของอาคาร คาบูกิชาในโครงการ กิชะ คาบูกิชะ ที่เสร็จสมบูรณ์โดยการใช้โครงสร้างเหล็กอย่าง เต็มประสิทธิภาพ



Photo 1 GINZA KABUKIZA, a complex facility building where a high-rise office was installed on the Kabukiza Theatre

Fig. 1 Section of GINZA KABUKIZA

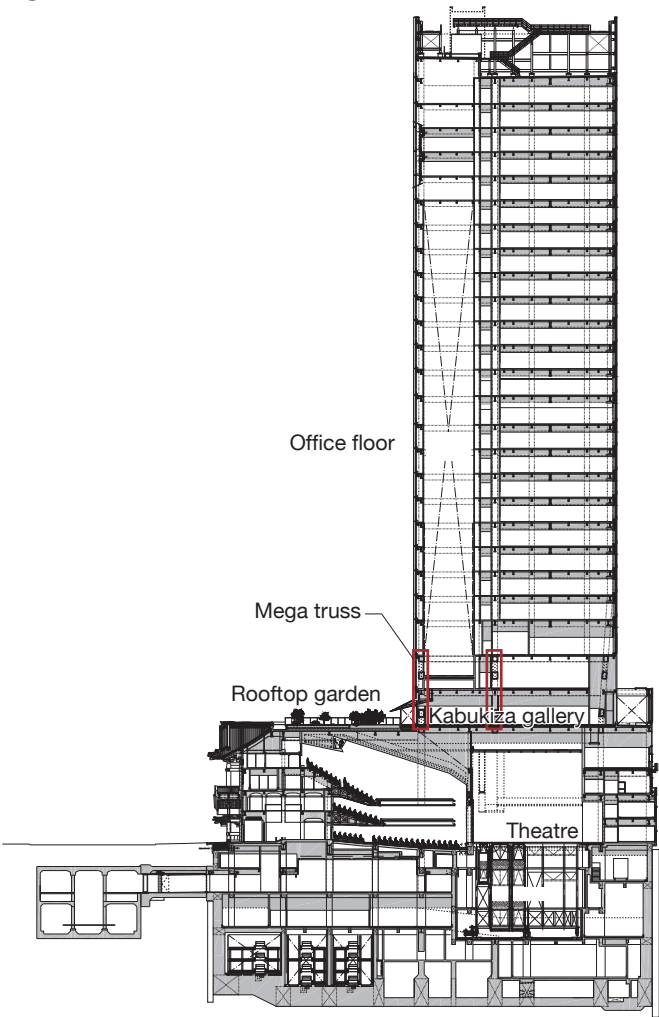


Photo 2 Full view of the new Kabukiza Theatre designed by carrying on the former theatre

Fig. 2 Section of Theatre Seat Section

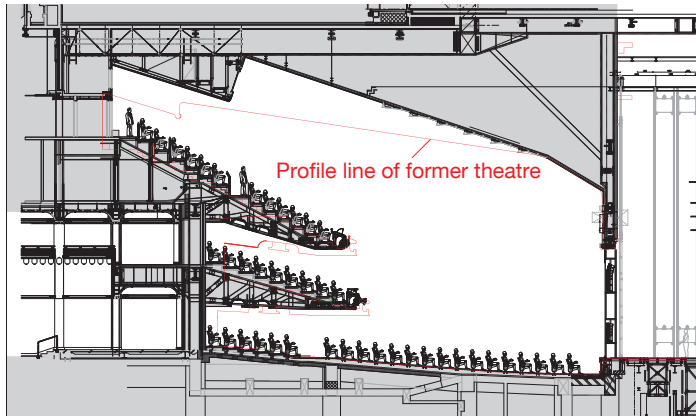


Photo 3 Theatre seats prepared by carrying on the design of the former theatre

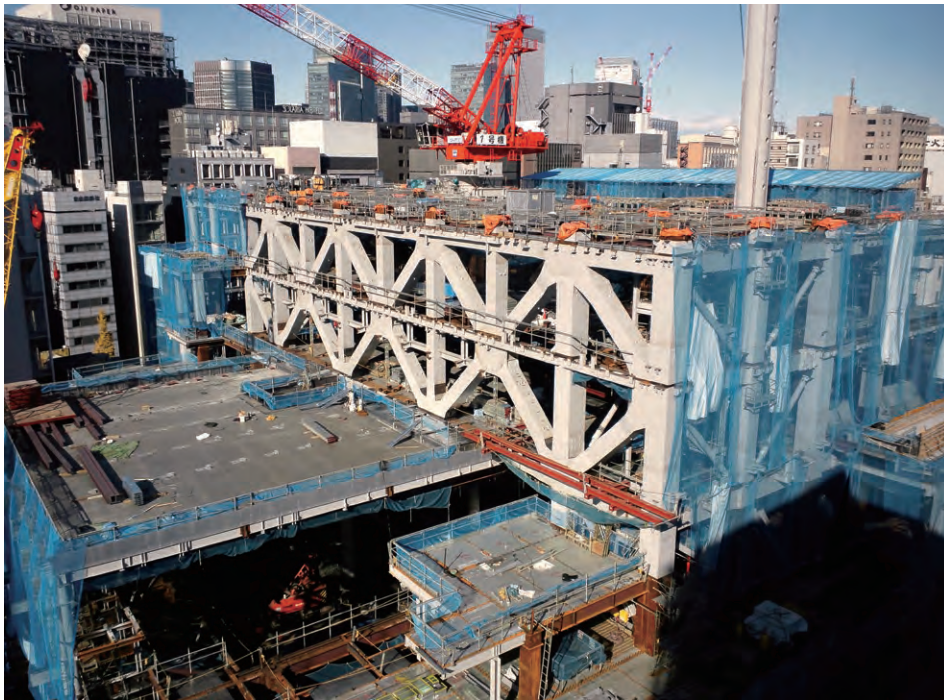


Photo 4 Mega truss structure provided as the switchover structure between the theatre and high-rise office tower

Fig. 3 X-direction Framing Elevation

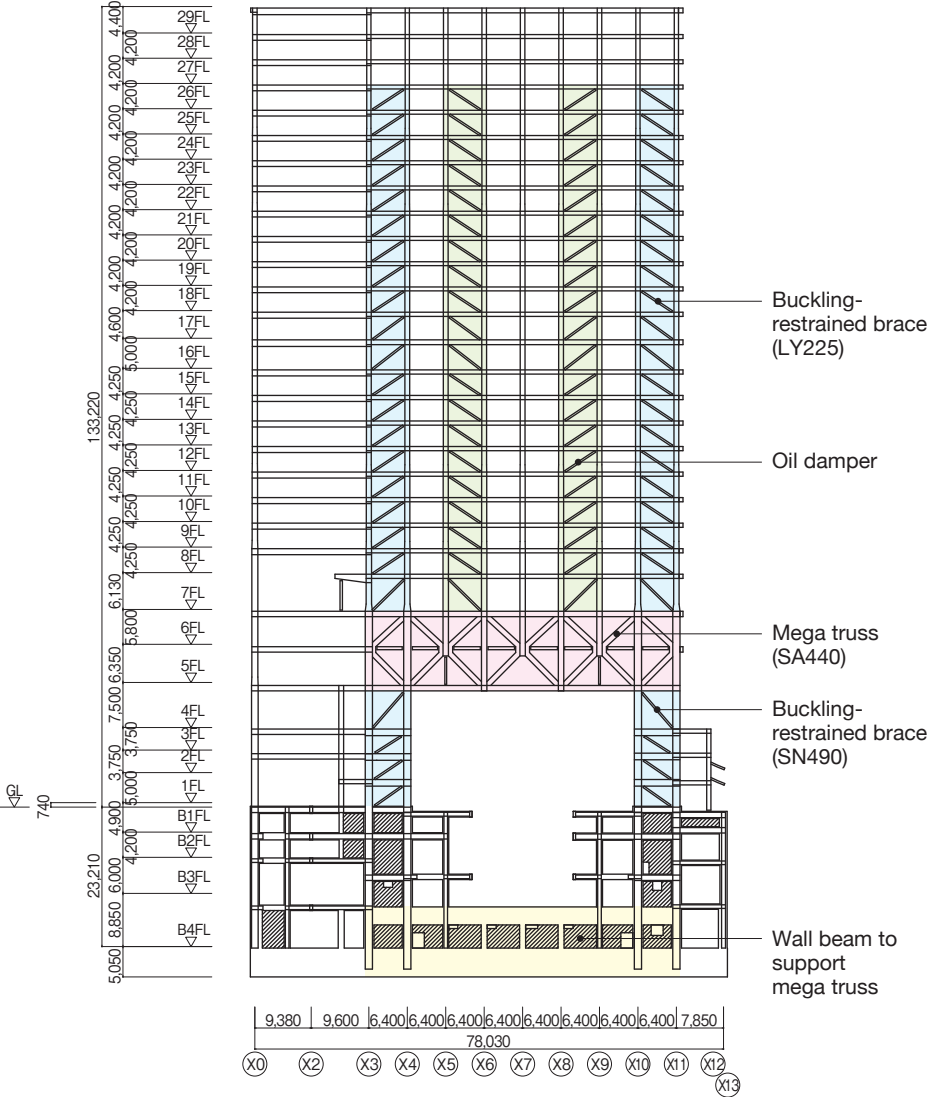


Photo 5 Mega truss with a span of 38.4 m and a height of 13 m and manufactured employing high-strength steel SA440

Fig. 4 Details of Mega Truss Steel Framing

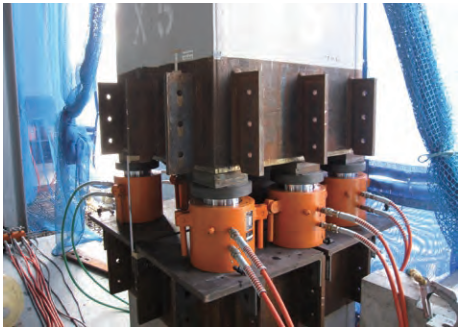
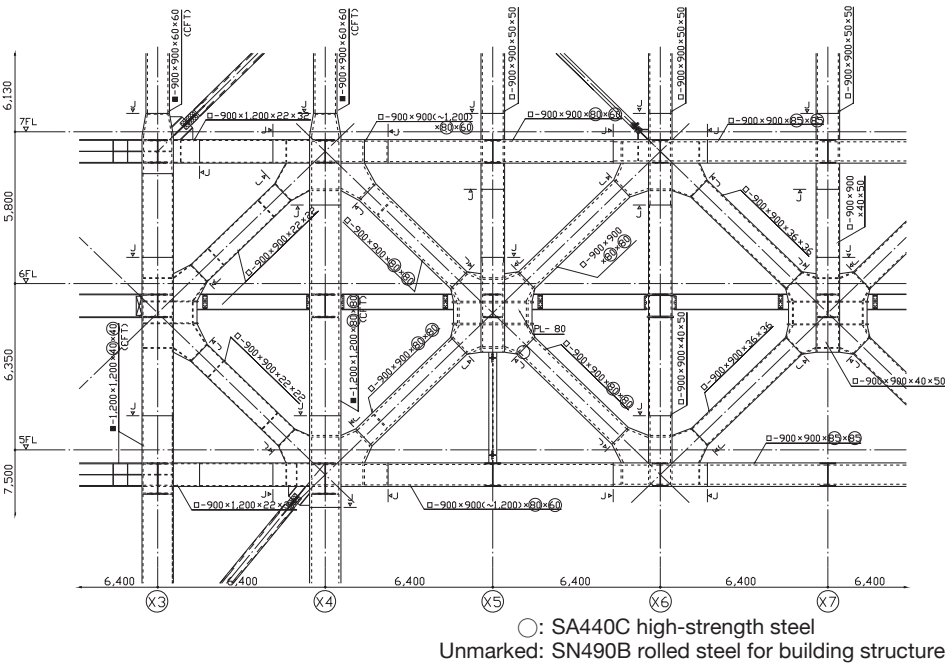


Photo 6 Hydraulic jack used to secure level assembly of frames



Photo 7 Measurement of displacement of frames during installation

Outline of GINZA KABUKIZA Project

Location: Ginza, Chuo-ku, Tokyo

Project owner: KS Building Capital Specific Purpose Company, Kabukiza Theatre

Development: Shochiku Co., Ltd. (trustee)

Main applications: Office, theatre, shop and parking lot

Area: Site area—6,995.85 m²

Building area—5,905.62 m²

Total floor area—93,530.40 m²

Material: Aboveground—Structural steel

Underground—Structural steel and reinforced concrete

Foundation—Reinforced concrete

No. of stories: Four basements, 29 storeys aboveground, two-storey penthouse

Maximum height: 145,500 mm

Design: Mitsubishi Jisho Sekkei Inc., Kengo Kuma and Associates

Structural design: Mitsubishi Jisho Sekkei Inc.

Construction: Shimizu Corporation

Design term: January 2008 to September 2010

Construction term: October 2010 to February 2013

Photo courtesy

Mitsubishi Jisho Sekkei Inc.

Kengo Kuma and Associates

Taisuke Ogawa/Taisuke Ogawa Shashin Jimusho

Mitsumasa Fujitsuka/Helico

Shochiku Co., Ltd.

Kabukiza Theatre



Photo 8 Traditional tile roof of Kabukiza Theatre and vertically-narrow spaced lattice exterior of Kabukiza Building of GINZA KABUKIZA completed by optimized use of steel structure