

## พฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอมโพสิต Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง และไฟไหม้

### Performance study of composite metal decks With openings under combined sustained loading and fire

สมฤทัย คงระกำ<sup>1</sup> เวนนี่ ฤกษ์สโมสร<sup>2</sup> วิศรุต ฤกษ์สโมสร<sup>3</sup> ภักจิรา ออซัย<sup>4\*</sup> และ ทนงศักดิ์ อิ่มใจ<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช

\*Corresponding author; E-mail address: thanongsak\_im@wvu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอมโพสิต Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟไหม้ สำหรับคอนกรีตที่ใช้ทับบนแผ่นพื้น Metal deck จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมดาทั่วไป และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากเศษคอนกรีตย่อย ซึ่งมันส่งผลดีในด้านการใช้วัสดุทดแทน ทั้งในด้านคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตผสมจากมวลรวมจากเศษคอนกรีตขึ้นอยู่กับกำลังของเศษคอนกรีต การให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟไหม้ โดยการตรวจวัดระหว่างเวลากับอุณหภูมิ และการเฝ้าระวังการให้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทนไฟ ประกอบด้วยคุณสมบัติของคอนกรีต ประกอบด้วย ประเภท และ คุณสมบัติของพื้นเหล็ก คานเหล็ก การยึดรั้ง และ พฤติกรรมเชิงประกอบ(Composite Action) การเกิดไฟไหม้ในแต่ละครั้งจะมีอุณหภูมิ 600°C - 1000°C โดยเหล็กภายในอาคารสามารถหลอมละลายภายใต้อุณหภูมิ 1500°C

คำสำคัญ: แผ่นเหล็กม้วนชนิดบาง, ระบบพื้นคอมโพสิต, แผ่นเหล็กโครงสร้าง, น้ำหนักบรรทุกคงค้าง, ไฟ, คอนกรีตผสมวัสดุย่อย, ภาวะใช้งาน

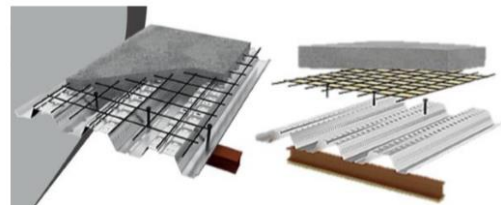
#### Abstract

This paper examines the load-bearing behavior of metal deck composite decks with openings under sustained loads and fire. For concrete used to be poured over metal decks, metal decks are divided into 2 groups: concrete using general aggregate and concrete using aggregate from digested concrete. which has a positive effect on the use of alternative materials Both in terms of strength properties of concrete mix from aggregate from concrete rubble depends on the strength of concrete crumbs. Payload sustained and fire by measuring between time and temperature and deflection with the load remaining. which factors affect the fire resistance rate Consists of concrete properties including type and properties of steel floors, steel beams, anchoring and composite action. Each fire has a temperature of 600 °C - 1000°C. Indoor steel can be melted under high temperature. 1500°C

Keywords: Thin coiled steel sheet, Composite floor, Steel metal deck, Sustained Loading, Fire, Recycled aggregate concrete, Serviceability

#### 1. คำนำ

ในปัจจุบันนั้นการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีการขยายตัวมากอย่างต่อเนื่อง จากจำนวนประชากร และการขยายเมืองเพิ่มมากขึ้น โดยการก่อสร้างโครงสร้างอาคารคอนกรีตประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญคือ พื้น เสา และ คาน สำหรับในตัวแผ่นพื้นที่อาคารนิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายคือ แผ่นพื้น Metal Deck ผลิตจากเหล็กชุบสังกะสีรีดขึ้นรูปและมีปุ่มนูน กระจายอยู่ตามสันของแผ่น ปุ่มนูนเป็นเหมือนตัวยึดเกาะไม่ให้แผ่นพื้นเหล็กกับคอนกรีตไถลตัวออกจากกัน ซึ่งตัวแผ่น Metal Deck นั้นเป็นทั้งแม่แบบ และ เหล็กเสริมไปในตัว จึงลดการใช้เหล็กเสริมมากกว่างานพื้นแบบอื่น โดยแผ่น Metal Deck สามารถใช้กับโครงสร้างเหล็ก และ โครงสร้างปูน [1] ซึ่งช่วยเร่งระยะเวลาการก่อสร้าง โดยจะนำเศษคอนกรีตย่อยทดแทนมวลรวมจากธรรมชาติ (Recycled aggregate concrete, RAC) มาผสมกับคอนกรีตแล้วเททับแผ่น Metal Deck ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างการก่อสร้างระบบพื้น Metal deck [2]

ระบบโครงสร้างอาคารถูกออกแบบไว้รองรับแรงกระทำจากภายนอก เช่น แผ่นดินไหว หรือ พายุ แต่ยังไม่มีการค้นคว้า หรือ วิจัยที่เพียงพอสำหรับการเกิดอัคคีภัย ซึ่งไฟนั้น จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความรุนแรงในการทำความเสียหายให้กับโครงสร้าง แต่ความรุนแรงของไฟไหม้ในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากตัวแปรที่ควบคุมการลุกไหม้ของไฟนั้นแตกต่างกันไป เช่น ปริมาณเชื้อเพลิง ประเภทของเชื้อเพลิง ปริมาณออกซิเจนในพื้นที่ ลักษณะพื้นที่ และ ปริมาตรของบริเวณที่เกิดไฟไหม้ จึงทำให้เกิดแนวคิดในการกำหนดอุณหภูมิของไฟมาตรฐานขึ้น เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้าง และเป็นแบบจำลองไฟมาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดอัตราการทนไฟของโครงสร้างแบบต่างๆ เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และสามารถเปรียบเทียบกันได้ ตัวอย่างอุณหภูมิไฟมาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM E119 [3] และ ISO 834 [4]

ระบบพื้นและหลังคาเหล็ก ประกอบด้วยคานเหล็กที่รองรับพื้น หรือ หลังคาคอนกรีต โดยอาจมีการใช้แผ่นเหล็ก(Metal Deck) เป็นแบบหล่อคอนกรีต

RCA หรือ Recycled Concrete Aggregate คือ มวลรวมคอนกรีตจากการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Concrete Aggregate) ซึ่งได้มาจากคอนกรีตที่แตก หรือ จากคอนกรีตที่ได้มาจากการรื้อ ทำลายสิ่งก่อสร้าง [5] เป็นการลดใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติ และ นำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ โดยคุณภาพของคอนกรีตที่ได้ต่างจากคอนกรีตปกติที่ใช้หินจากธรรมชาติหรือไม่อย่างไร เป็นประเด็นที่ศึกษาวิจัยกันมาหลายสิบปีแล้ว โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป และ จีน โดยปกติเศษคอนกรีตเก่าจะมีสิ่งปนเปื้อน หิน และ มอร์ตาร์ เป็นส่วนประกอบ ทำให้มีความแข็งแรง และความเสถียรน้อยกว่าหินธรรมชาติ นอกจากนี้เศษคอนกรีตเก่าจะมีความพรุนที่มากกว่าหินธรรมชาติ ทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่า เป็นผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเก่าแทนมวลรวมหยาบจะต่ำกว่าคอนกรีตปกติ จากผลการศึกษากำลั้งรับแรงอัดของ RCA ในหลายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 10-30 ขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของเศษคอนกรีตเก่าซึ่งมาแทนที่มวลรวม แต่บางงานวิจัยกลับพบว่ากำลังอัดของ RCA ไม่ได้ด้อยกว่ากำลังอัดของคอนกรีตปกติเลยถ้าออกแบบสัดส่วนผสมโดยคำนึงถึงปริมาณมอร์ตาร์ที่ติดอยู่กับเศษคอนกรีตเก่า ผลการทดลองที่ไม่เป็นในทิศทางเดียวกันนี้ทำให้ภาคอุตสาหกรรมไม่มั่นใจการนำ RCA ไปใช้งานโครงสร้าง เช่น คาน เสา และ กำแพงการใช้ RCA อยู่ในงานถนนเป็นส่วนใหญ่

ถึงแม้จะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตสด และ คอนกรีตแข็งตัวของ RCA แต่การศึกษายุทธศาสตร์ทางโครงสร้างของพื้นที่ทำจาก RCA ยังให้ข้อมูลค่อนข้างจำกัด และผลการทดลองที่ได้ยังคงขัดแย้งกัน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีคอนกรีตละวัสดุก่อสร้างได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้สมบัติทางกลของคอนกรีตได้รับการปรับปรุงและพัฒนาไปมาก ประกอบกับการทดสอบพฤติกรรมทางโครงสร้างของพื้นที่ทำจาก RCA ในช่วง 10 ปีหลังได้ให้ผลเป็นไปในทางบวก และ บ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการนำ RCA ไปใช้กับพื้นที่ร่วมกับระบบ Metal deck ในอาคาร

ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้ไฟไหม้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง เป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าระบบพื้น Metal deck สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัด และแรงเฉือนในภาวะขีดสุดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามข้อมูลวิจัยทางโครงสร้างนี้มีอยู่อย่างจำกัด อย่างไรก็ตามจึงต้องมีการพิจารณาประสิทธิภาพในภาวะการใช้งาน เช่น การรับน้ำหนักแผ่นพื้นคอมโพสิต Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง ขณะเกิดไฟไหม้ [6-9] การเสถียรเนื่องจากอิทธิพลของการวิบัติ [10] เพื่อสร้างความมั่นใจในการใช้เศษคอนกรีตเก่าร่วมกับสมการที่ใช้ออกแบบในปัจจุบัน ซึ่งค่ากำลังเหล่านี้องค์ของอาคาร RCA จะต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีที่กำหนดไว้ในสมการออกแบบของมาตรฐานการออกแบบของสมาคมคอนกรีตแห่งสหรัฐอเมริกา (ACI) [11,12] ซึ่งเป็นแม่แบบมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเริ่มเหล็กในประเทศไทย ผลที่ได้จากการทดสอบนี้จะใช้เป็นแนวทางให้ภาคอุตสาหกรรมหันมาสนใจการผลิตคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเก่าแทนหิน และประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างอาคารบ้านเรือนในอนาคตได้อย่างมั่นใจต่อไป จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ได้มีการศึกษาวิจัยวัสดุและการผลิตคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเก่าแทนหิน ดังแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การผลิตคอนกรีตที่ใช้เศษคอนกรีตเก่าแทนมวลรวม [13]

จากความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาประสิทธิภาพการนำเศษคอนกรีตย่อยมาทดแทนมวลรวมจากธรรมชาติ โดยนำมาผสมกับคอนกรีตสำหรับเทพื้นระบบ Metal deck ให้เป็นระบบพื้นคอมโพสิตชนิดบางสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างอาคารใหม่ โดยใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพ ราคาต้นทุนต่ำ สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว และใช้วัสดุที่มีราคาถูกสามารถหาได้ภายในประเทศ

## 2. วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยเรื่องพฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น Metal Deck พฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอมโพสิต Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง และไฟไหม้ โดยทำการวิจัยระหว่างมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และบริษัท เอสพีที ดีไซน์แอนด์ซัพพลาย จำกัด มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- ได้ผลการทดสอบอิทธิพลของการรับน้ำหนักพื้น Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้ไฟไหม้และภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง ของพื้นคอมโพสิต
- ได้แนวทางการออกแบบระบบพื้นแผ่นเหล็กพื้นโครงสร้างผสมคอนกรีตจากการย่อยที่พัฒนาขึ้นในโครงการ

## 3. วิธีการศึกษา

ในการทดสอบลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา จะแบ่งเป็น 10 ตัวอย่าง เป็น NA (Natural Aggregate) 5 ตัวอย่าง ขนาด 15\*15 เซนติเมตร ประกอบด้วย NA-1C คือ Natural Aggregate ที่มีช่องเปิดรูปทรงระบอก 1 รู, NA-2C คือ Natural Aggregate ที่มีช่องเปิดรูปทรงระบอก 2 รู, NA-1R คือ Natural Aggregate ที่มีช่องเปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1 รู, NA-2R คือ Natural Aggregate ที่มีช่องเปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 รู และ RCA (Recycled Aggregate Concrete) ) 5 ตัวอย่าง ขนาด  $\phi 15$  เซนติเมตร ประกอบด้วย RCA-1C คือ Recycled Aggregate Concrete ที่มีช่องเปิดรูปทรงระบอก 1 รู, RCA-2C คือ Recycled Aggregate Concrete ที่มีช่องเปิดรูปทรงระบอก 2 รู, RCA-1R คือ Recycled Aggregate Concrete ที่มีช่องเปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1 รู, RCA-2R คือ Recycled Aggregate Concrete ที่มีช่องเปิดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 รู

ซึ่งจะแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแผ่นเหล็กบาง (Metal deck) และวัสดุแห่งคอมโพสิตสำหรับใช้ทำเหล็กตะแกรง และทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตสำหรับเทพื้นคอนกรีตโดยใช้หินจากตามธรรมชาติ (NA 100% คือ Natural Aggregate) และเศษคอนกรีตเก่า (RCA 100% คือ Recycled Aggregate Concrete)

ระยะที่ 2 เป็นการทดสอบการบรรทุกน้ำหนักของแผ่นพื้นตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง แบ่งเป็นหินจากตามธรรมชาติ (NA 100% คือ Natural Aggregate) จำนวน 5 ตัวอย่าง และหินจากเศษคอนกรีตย่อย (RCA 100% คือ Recycled Aggregate Concrete) โดยทำการทดสอบให้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง โดยพิจารณาค่าน้ำหนักบรรทุก กรณี พื้นที่ใช้งานประเภทสำนักงาน [11] (Live load = 250 กก./ตร.ม.) และไฟ โดยให้น้ำหนัก

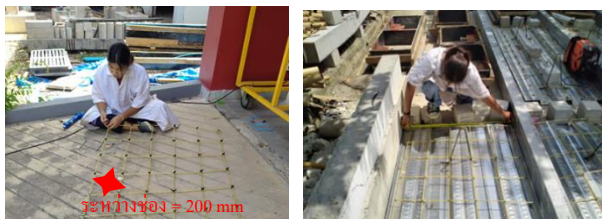
บรรทุกคงค้างครบ 250 kg/m<sup>2</sup> และทำการวัดการแอ่นตัว หลังจากนั้นปล่อยให้ไฟเพื่อวัดอุณหภูมิและการแอ่นตัว เป็นเวลา 120 นาที (2 ชั่วโมง)

ระยะที่ 3 ทำการจำลองแบบจำลอง Finite-element แบบ nonlinear Computational Fluid dynamic เพื่อจำลองการถ่ายเทความร้อน ผ่านช่องเปิด

### 3.1 รายละเอียดแผ่น Metal deck และวัสดุแท่งคอมโพสิตสำหรับเหล็กตะแกรง

แผ่นพื้นผลิตจากแผ่นเหล็กบาง เรียกว่า Metal deck ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความหนา = 0.8 มม. มีขนาดความกว้างxยาว = 1000x2200 มม. ผลิตโดยบริษัท เอสพีที ดีไซน์แอนด์ซัพพลาย จำกัด มีค่ากำลังดึงคราก  $F_y = 275$  MPa, ค่ากำลังดึงประลัย  $f_{Fu} = 337$  MPa, ค่า Elastic modulus = 210 GPa, และ Elongation = 2.5% ได้จากค่าเฉลี่ยของทดสอบการดึงของตัวอย่างตัดจากส่วนที่เป็นแผ่นตรง จำนวน 6 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM A370 [14] ลักษณะทางกายภาพของ Metal deck ผลิตจากเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized Steel) ที่ได้คุณภาพ มีปุ่มนูน (Embossment) กระจายอยู่ที่สันของแผ่น ปุ่มนูนนี้จะเปรียบเสมือนตัวยึดเกาะไม่ให้แผ่นพื้น Metal Deck กับ คอนกรีตไหลตัวออกจากกัน ทำให้พื้นมีความแข็งแรง รับน้ำหนักได้ตามมาตรฐาน

ในส่วนของเหล็กตะแกรง (wire mesh) ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุคอมโพสิตแบบแท่ง ( $G_{FRP}$  rod) มีขนาด 4 มม. และมีค่ากำลังดึงประลัยเฉลี่ย ( $f_{Fu}$ ) 700 MPa ค่า Elastic modulus ( $E_{FRP}$ ) = 43 GPa และมี Ultimate strain ( $e_{Fu}$ ) = 1.5% ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่าง จำนวน 9 ตัวอย่าง ของตามมาตรฐาน ACI 440.3R [15] รูปที่ 3 แสดงการเตรียมแท่งคอมโพสิตเป็นตะแกรงมีระยะห่างระหว่างช่อง = 200 มม. และติดตั้งวัสดุแท่งคอมโพสิตในแบบหล่อ ก่อนเทคอนกรีต



รูปที่ 3 การเตรียมแท่งคอมโพสิตเป็นตะแกรง (ข้าย) และติดตั้งวัสดุแท่งคอมโพสิตในแบบหล่อ ก่อนเทคอนกรีต (ขวา)

### 3.2. การผลิตเศษคอนกรีตย่อยทดแทนมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

การผลิตเศษคอนกรีตย่อยทดแทนมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ใช้เครื่องย่อยคอนกรีต WU CRM-01 พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ให้กำลังโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถผลิตเศษคอนกรีตย่อย 5-20 มม. มีอัตราการผลิต 1-3 ตัน/ชม. [16] การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ตามมาตรฐาน ASTM C39 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC Type I) โดยคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ กำหนดให้มีกำลังรับแรงอัดระบุ 28 MPa ส่วนผสมคอนกรีตต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม ของคอนกรีต ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของส่วนผสมสำหรับแต่ละตัวอย่างที่นทดสอบ และตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบและละเอียด และภาพเศษคอนกรีตย่อยแทนมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

โดยมีการทดแทนมวลรวมจากธรรมชาติ (ทดแทนทรายและหิน) ทั้งหมดด้วยเศษคอนกรีตย่อย 100%

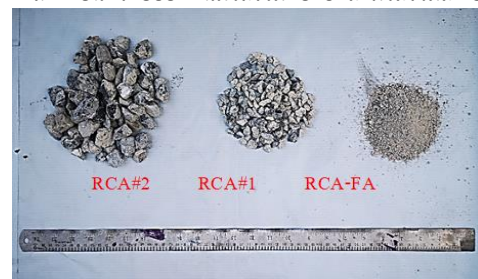
ตารางที่ 1 การออกแบบส่วนผสมต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม สำหรับกำลังอัดระบุ 28 MPa

Proportion (kg)	% Replacement for fine (FA) and coarse aggregates (RCA)	
	RCA0%	RCA100%
Cement	100	100
Water	42.6	42.6
Natural fine aggregate, FA (ทราย)	302.3	0
RCA for fine aggregate (RCA-FA)	0	302.3
Natural Coarse aggregate, NA (หิน)	339.2	0
Recycled aggregate (RCA)	0	339.2
Super plasticizer	0.2	0.2
w/c ratio	0.43	0.43
Slump (mm)	75	91

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบและละเอียด และภาพเศษคอนกรีตย่อยแทนมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

Physical properties	RCA #2	RCA #1	RCA-FA
Max size (mm)	20.9	18.6	0.075
Specific gravity	2.78	2.70	2.63
Water absorption (%)	1	1	1.2
Fineness modulus	7.6	7.4	3.51
Impact value (%)	13.4	13.6	-
Crushing value (%)	22.6	23.12	-
Residual mortar (%)	32.4	31.2	-

ภาพแสดงคอนกรีตย่อยแทนมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด



คุณสมบัติของคอนกรีตที่มีส่วนผสมจากมวลรวมธรรมชาติ และคอนกรีตที่มีส่วนผสมจากเศษคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 3 ตัวอย่างผลจากการทดสอบหาค่าเฉลี่ยจากประเภทละ 6 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยสำหรับคุณสมบัติคอนกรีตคือค่ากำลังอัดจากตัวอย่างรูปทรงกระบอก ( $f_{c,cy}$ ) ค่ากำลังอัดจากตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ( $f_{c,cu}$ ) ค่ากำลังดึง ( $f_t$ ) และ ค่ากำลังแรงดึงตัดจากตัวอย่างคาน ( $f_b$ ) แสดงในตารางที่ 3

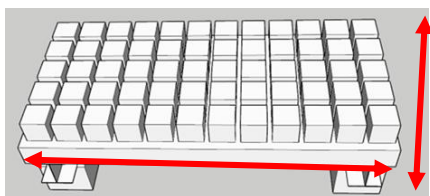


ตารางที่ 3 คุณสมบัติส่วนผสมคอนกรีตสำหรับพื้น

Values	RCA0%	RCA100%
$f_{c,ov}$ (Mpa)	31.6	28.3
$f_{c,cu}$ (Mpa)	37.9	32.9
$f_t$ (Mpa)	3.1	3.9
$f_b$ (Mpa)	4.7	4.0

3.3. การตรวจวัดประสิทธิภาพโดยการให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟไหม้

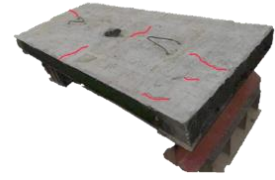
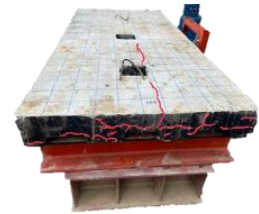
การศึกษาประสิทธิภาพการให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟไหม้ ระยะที่ 2 เป็นการให้น้ำหนักบรรทุกแบบคงค้างและไฟ โดยพิจารณาค่าน้ำหนักบรรทุก กรณี พื้นที่ใช้งานประเภทสำนักงาน (น้ำหนักบรรทุกจร = 250 กิโลกรัม/ตร.ม.) โดยใช้ลูกบาศก์ขนาด 0.15\*0.15\*0.15 เมตร ในการทดสอบนี้ ใช้ก้อนลูกบาศก์ทั้งหมด 60 ก้อน ดังรูปที่ 4 น้ำหนักแต่ละก้อน ประมาณ 8.2-8.4 กิโลกรัม เท่ากับน้ำหนักบรรทุกรวม 502 กิโลกรัม หรือคิดเป็นน้ำหนักแผ่กระจาย = 251 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยใช้อุปกรณ์วัดการอ่านตัวแบบดิจิตอล (Digital Dial Gauge) ของบริษัท IGAGING รุ่น IGA-35-128 [17] (อ่านค่าความละเอียดได้ 0.001 มิลลิเมตร) สามชุดถูกติดตั้งที่บริเวณบนกลางแผ่นพื้นทดสอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการอ่านตัวของแผ่นพื้น และติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิในการวัดอุณหภูมิ จำนวน 2 ตัวที่ด้านบนและด้านล่างแผ่น และ เครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ตัว บนแผ่นพื้นในเนื้อคอนกรีตของตัวอย่าง เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ระหว่างแผ่น Metal deck และพื้นคอนกรีต การกำหนดขั้นตอนการทดสอบ สำหรับการตรวจวัดประสิทธิภาพการให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟไหม้ กำหนดให้แผ่นพื้นทดสอบวางอยู่บนฐานรับรอง ทำการบันทึกอุณหภูมิและการอ่านตัวเป็นเวลา 120 นาที



รูปที่ 4 วางน้ำหนักบรรทุกคงค้างจำนวน 60 ก้อน



รูปที่ 5 การทดสอบให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟ [18]



รูปที่ 6 ตัวอย่างการเกิดรอยร้าวหลังจากการทดสอบ



ก.ก่อนการทดสอบให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟ



ข.การหลุดของแผ่น Metal deck

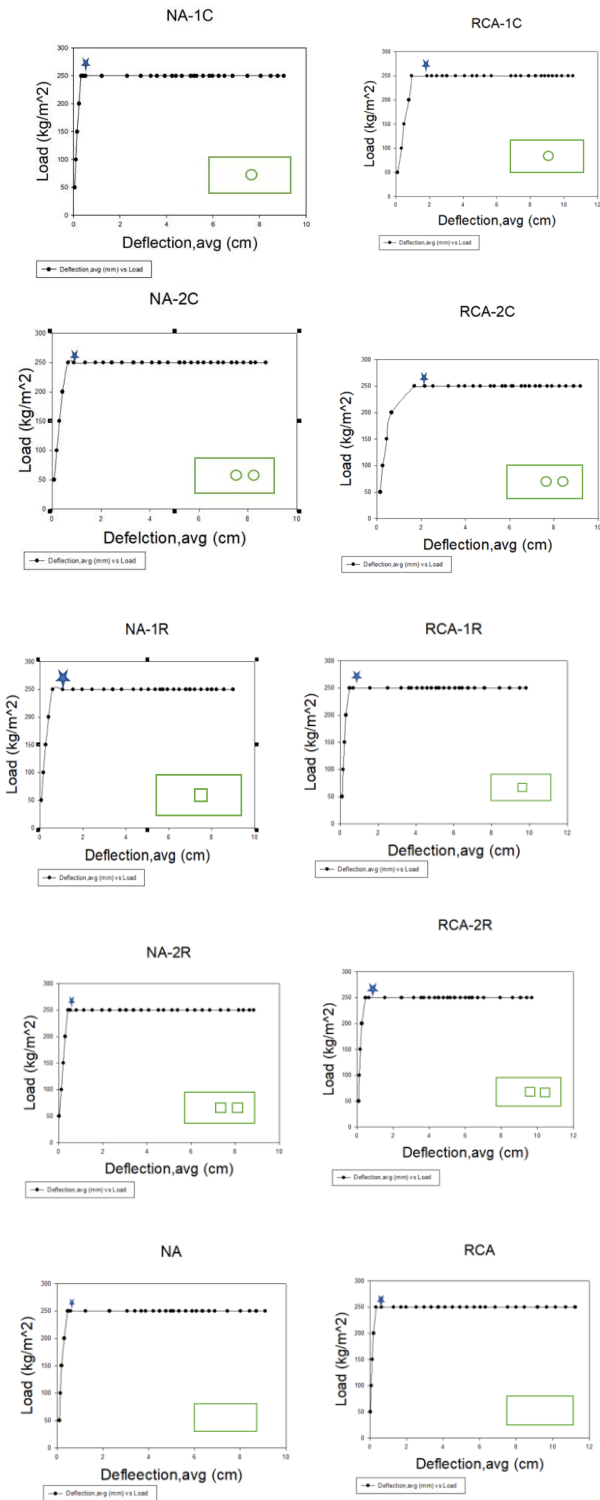
รูปที่ 7 หลังจากการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟ

4. ผลการศึกษา

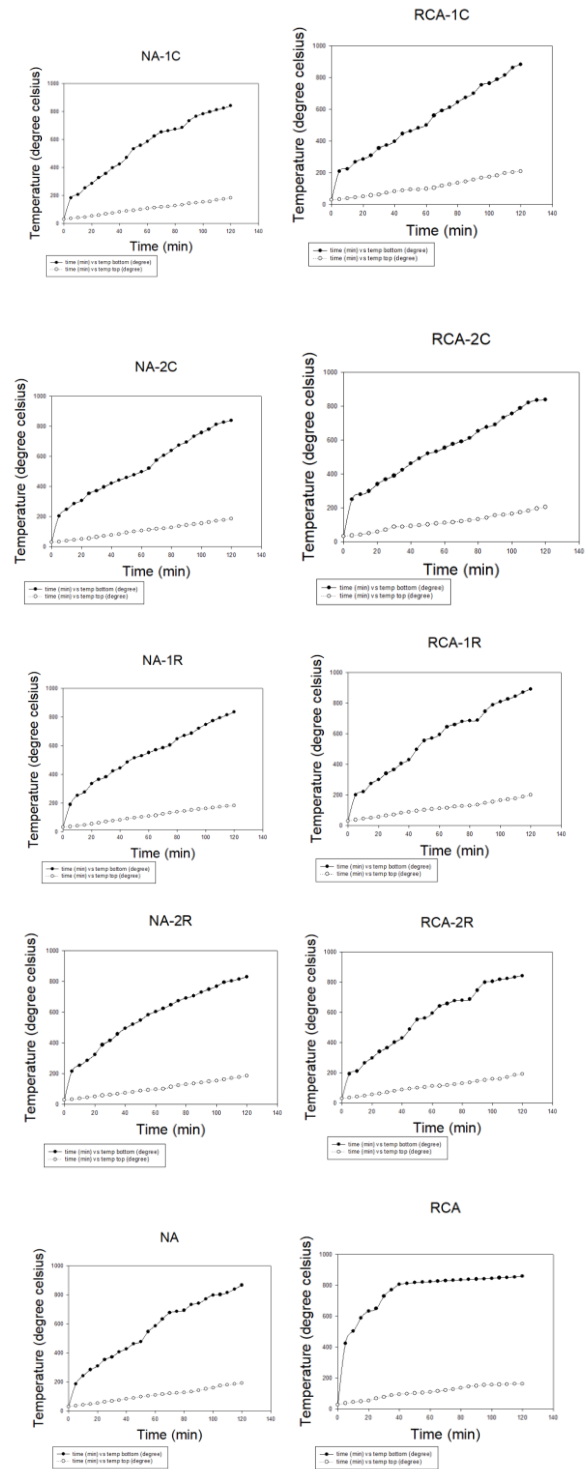
4.1 การให้น้ำหนักบรรทุกคงค้างและไฟ

จากการทดสอบแผ่น Metal deck ผสมคอนกรีตจากมวลรวมตามธรรมชาติและจากเศษคอนกรีต พบรอยร้าวของคอนกรีตบริเวณด้านข้างแผ่นพื้นและด้านบนบนแผ่น ความกว้าง 0.1-0.2 มม. โดยจะเกิดรอยร้าวบริเวณด้านบนและด้านข้างหลายๆจุด ดังแสดงในรูปที่ 6 และทำให้เกิดการหลุดของแผ่น Metal deck ออกจากพื้นคอนกรีต ความกว้างประมาณ 6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคงค้าง



4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิขณะทำการทดสอบของ NA และ RCA

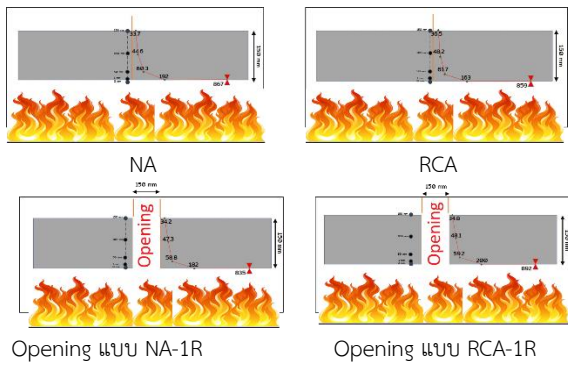


\*รูปดาว หมายถึง เริ่มวัดการแอ่นตัวพร้อมปล่อยไฟ

รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักบรรทุกคงค้างของ NA และ RCA (100%)

รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิขณะทำการทดสอบของ NA และ RCA (100%)

4.4 กราฟแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต จำนวน 4 ตัวอย่าง แบบไม่มีช่องเปิดและมีช่องเปิด

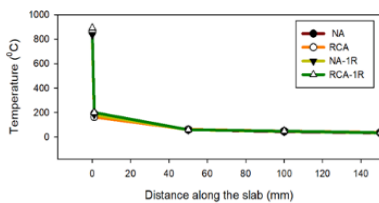


Opening แบบ NA-1R

Opening แบบ RCA-1R

รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต

จากการวัดอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีตที่บริเวณในเนื้อคอนกรีตและด้านใต้แผ่น Metal deck จะสังเกตได้ว่ากราฟจะมีการลดลง ของอุณหภูมิ ภายในเนื้อคอนกรีต เนื่องจากอุณหภูมิจากไฟ เข้าถึงเนื้อคอนกรีตด้านในได้ยาก เกิดจากการที่มีแผ่นพื้น Metal deck ภายใต้อคอนกรีตมีการบังไฟ จึงทำให้ไฟไม่สามารถเข้าถึงในเนื้อคอนกรีตได้ยากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเปรียบเทียบให้ศึกษาในกรณีคอนกรีตแบบตันและแบบที่มีช่องเปิด ดังรูปที่ 11



Distance along the slab (mm) ตามความหนาของพื้น 150 mm

รูปที่ 11 การวัดอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต

หลังจากนั้นจะสังเกตได้ว่ามีอุณหภูมิของ T1-T5 ซึ่ง T1 จะเป็นอุณหภูมิด้านล่างแผ่น Metal deck อุณหภูมิจะสูงสุด และจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิ ประมาณ 34 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 10 และ 11

$$T = 31.875x^2 - 273.8x + 613.5 \quad \text{RCA-1R}$$

$$R = 0.9511$$

$$T = 27.525x^2 - 238.17x + 542.57 \quad \text{NA-1R}$$

$$R = 0.9542$$

$$T = 22.4x^2 - 196.1x + 461.3 \quad \text{RCA}$$

$$R = 0.9634$$

$$T = 30.2x^2 - 260.46x + 586.56 \quad \text{NA}$$

$$R = 0.9621$$

รูปที่ 12 ศึกษาความสัมพันธ์ตัวอย่างเปรียบเทียบของ NA และ RCA แบบไม่มีช่องเปิดและมีช่องเปิด

T คือ อุณหภูมิ

x คือ ระยะจากรูปที่ 11

R คือ สหสัมพันธ์ ถ้า r เข้าใกล้ 1 แสดงว่า ตัวแปร X Y นั้นมีความสัมพันธ์กันมากและมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ X มีค่ามาก Y จะมีค่ามากด้วย ถ้า R ค่าใกล้ -1 แสดงว่า ตัวแปร X Y นั้นมีความสัมพันธ์กันมากเช่นกัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ X มีค่ามาก Y จะมีค่าน้อย หรือ X มีค่าน้อย Y จะมีค่ามาก แต่ถ้า X Y มีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R จะเข้าใกล้ 0

จากความสัมพันธ์สมการ จะสังเกตเห็นว่ากราฟมีการลดลง ซึ่งความชันสูงสุดจะเป็นสีเขียว คือ RCA เห็นได้ว่าความชัน จะต่างกัน 5-7% เมื่อเทียบกับ NA หรืออีกมุมหนึ่งกล่าวได้ว่าการใช้ RCA สามารถป้องกันความร้อนได้ 5-7% ได้อีกด้วย

## 5. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบแผ่นพื้น Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้ำและไฟไหม้ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. จากการทดสอบแผ่นพื้น Metal deck เห็นได้ว่าจะสามารถนำวัสดุมวลรวมจากเศษคอนกรีตเก่า (RCA100%) และ หินจากมวลรวมธรรมดา (NA100%) ใช้ในงานพื้นประเภทสำนักงานหรือออฟฟิศได้ (Live load = 250 กก./ตร.ม.)

2. ผลการทดสอบตัวอย่างการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักจากแผ่นพื้น Metal deck ที่มีช่องเปิดภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้ำและไฟไหม้ พบว่าแบบมีช่องเปิดแผ่น Metal deck ได้มีการทรุดตัวช้ากว่าแบบไม่มีช่องเปิด เนื่องจากแบบมีช่องเปิดสามารถระบายไฟออกได้

3.จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า การใช้ RCA สามารถป้องกันความร้อนจากไฟได้เทียบเท่ากับ NA ได้เช่นกัน

## กิตติประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการประกวด Structural Steel Improvement for Young Engineers (SSI 4YE 2022) บริษัทสหวิริยาสตีล อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) และทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการเสริมสร้างศักยภาพและขับเคลื่อนความร่วมมือเชิงยุทธศาสตร์ระหว่างประเทศระดับภูมิภาคและพหุภาคี กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ตามสัญญาเลขที่ อว

0211.3/ว827 คณะวิจัยขอขอบคุณบริษัท เอสพีที ดีไซน์ แอนด์ ซัพพลาย จำกัด ที่อนุเคราะห์แผ่นพื้น Metal deck สำหรับการทดสอบในโครงการวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Fisher, J. W. (1970). Design of composite beams with formed metal deck. *Engineering J, Am Inst Steel Constr.*
- [2] Fisher, J. W., "Design of composite beams with formed metal deck," *Engineering J, Am Inst Steel Constr*, 1970.
- [3] Ahmed, G. N., & Hurst, J. P. (1995). Modeling the thermal behavior of concrete slabs subjected to the ASTM E119 standard fire condition. *Journal of Fire Protection Engineering*, 7(4), 125-132.
- [4] Lu, J., Liu, H., & Chen, Z. (2018). Behavior of welded hollow spherical joints after exposure to ISO-834 standard fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 140, 108-124.
- [5] Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and structures*, 33(9), 574-580.
- [6] Elsawaf, S. A., & Hassan, M. M. Behaviour of structural sub-assemblies of steel beams with openings in fire conditions. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 148, pp. 627-638, 2018.
- [7] Lamont, S., & Usmani, A. S. Possible 'panel instability' in composite deck floor systems under fire. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 59, no. 11, pp. 1397-1433, 2003.
- [8] Bennetts, I. D., & Thomas, I. R. Design of steel structures under fire conditions. *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol. 4, no. 1, pp. 6-17, 2002.
- [9] Elsawaf, S. A., & Hassan, M. M. Behaviour of structural sub-assemblies of steel beams with openings in fire conditions. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 148, pp. 627-638, 2018.
- [10] Self, W. *Dr Mukti and other tales of woe*. A&C Black, 2013.
- [11] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 2011.
- [12] ACI Committee 440, ACI 440.2R-08: "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 76, 2008.
- [13] Ajdukiewicz, Andrzej, and Alina Kliszczewicz, "Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC," *Cement and concrete composites*, vol. 24, no. 2, pp. 269-279, 2002.
- [14] ASTM A370-12. "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, 2012.
- [15] ACI, A. (2004). 440.3 R-04: Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, Farmington Hills, USA.
- [16] Setkit, M., Leelatanon, S., Imjai, T., Garcia, R., & Limkatanyu, S. (2021). Prediction of Shear Strength of Reinforced Recycled Aggregate Concrete Beams without Stirrups. *Buildings*, 11(9), 402.
- [17] iGaging. *Digital Dial Indicator*, 2020. Available from: [incrementaltools.com/iGaging\\_Digital\\_Dial\\_Indicator\\_p/iga-35-128.htm](http://incrementaltools.com/iGaging_Digital_Dial_Indicator_p/iga-35-128.htm) [Accessed 10 June 2020].
- [18] Mäkeläinen, P., & Ma, Z. Fire resistance of composite slim floor beams. *Journal of constructional steel research*, vol. 54, no. 3, pp. 345-363, 2000.