

การกระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์จากรถยนต์ในลานจอดรถใต้ดิน : กรณีศึกษาโรงแรมลีการ์เดนส์พลาซ่า

Diffusion of carbon monoxide from automobiles in an underground car park : Case study of Lee Gardens Plaza Hotel

วสันต์ จันทา^{1*} พีระพงศ์ ทิมสกุล²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

โทร 0-7428-7036 โทรสาร 0-7421-2893 อีเมล san_engineer01@hotmail.com * perapong.t@psu.ac.th

Wasan Jeentada^{1*} Perapong Tekasakul²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University Hat Yai, Songkhla 90112

Tel: 0-7428-7036 Fax: 0-7421-2893 E-mail: san_engineer01@hotmail.com * perapong.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบการไหลและการกระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินของโรงแรมลีการ์เดนส์พลาซ่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา โดยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลและทำการทดลองวัดค่าระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดิน ที่ตำแหน่งต่าง ๆ 8 ตำแหน่ง จากผลการตรวจสอบการจำลอง พบว่าค่าระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากการจำลองและจากการวัดค่ามีค่าแตกต่างกันไม่เกิน ± 5 ppm และจากผลการจำลองในบริเวณตำแหน่งที่ 3, 4, 5, 7 และ 8 จะมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์สูง เนื่องจากในบริเวณตำแหน่งที่ 3, 4 และ 5 ไม่มีท่อระบายอากาศและบริเวณตำแหน่งที่ 7 และ 8 ติดตั้งท่อระบายอากาศอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในบริเวณนั้น จากผลการวิจัยนี้จะนำไปสู่การปรับปรุงการระบายอากาศที่เหมาะสมในอนาคต

Abstract

Airflow pattern and carbon monoxide (CO) diffusion in an underground car park of Lee Gardens Plaza Hotel Hat Yai Songkhla investigated by using a computational fluid dynamics (CFD) technique. Experimental measurement of CO concentration at 8 positions was conducted to verify the modeling. Results show a good agreement in which the error was within ± 5 ppm. It was found that concentration of CO was higher than the limit at positions 3, 4, 5, 7 and 8. This is attributed to a poor ventilation system. At positions 3, 4 and 5, there were no ventilating ducts, while the positions 7 and 8 were situated far away from the

ducts. Therefore a proper ventilation is needed to reduce the concentration of CO to the limit.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้รถยนต์เป็นยานพาหนะจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมา ในลานจอดรถยนต์ใต้ดินก็เป็นอีกสถานที่หนึ่งที่เกิดปัญหากับมลพิษทางอากาศ เมื่อมีรถยนต์เข้าหรือออกจากลานจอดรถยนต์ใต้ดินก็จะปล่อยแก๊สไอเสียออกมา แก๊สไอเสียนี้จะประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นแก๊สที่ส่งผลอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรงกับผู้ที่ทำงานและเข้าหรือออกบริเวณลานจอดรถยนต์ใต้ดิน เนื่องจากแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ไปลดความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนของเลือดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายเพราะแก๊สนี้จะไปรวมตัวกับสารฮีโมโกลบิน (Hb) ซึ่งเป็นสารหนึ่งที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่นำออกซิเจนจากปอดไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายกลายเป็นสารคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (COHb) โดยปกติแล้วร่างกายของคนเราต้องการออกซิเจนไปรวมตัวกับสารฮีโมโกลบินกลายเป็นสารออกซีฮีโมโกลบิน (O_2Hb) เพื่อส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย และในบริเวณที่มีสารออกซีฮีโมโกลบินเนื้อเยื่อก็จะได้รับออกซิเจน [1] เมื่อมนุษย์หายใจเอาแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์เข้าสู่ปอดแก๊สนี้จะสามารถรวมตัวกับสารฮีโมโกลบินในเลือดได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 240 เท่า [2] ทำให้การขนถ่ายออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกายไม่เพียงพอส่งผลให้เกิดอาการ วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ หน้ามืด คลื่นไส้ อาเจียนและอาจถึงตายได้ถ้าได้รับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในปริมาณมาก [3] จากสาเหตุนี้จึงมีมาตรฐานที่ใช้สำหรับการระบายอากาศของพื้นที่ภายในอาคารที่มีคนใช้งานเพื่อควบคุมและ

ปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารให้ถูกต้องและตรงกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน โดยกำหนดให้ทุกพื้นที่ในอาคารต้องมีการระบายอากาศได้อย่างต่อเนื่องระหว่างที่มีการใช้งานในอาคาร เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ สำหรับการระบายอากาศที่จ่อตรงภายในอาคารภายในที่จ่อตรงต้องมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ไม่เกิน 35 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ (ppm) นานต่อเนื่องเกิน 1 ชั่วโมง และต้องไม่เกิน 120 ppm ไม่ว่าเวลาใดๆ โดยตรวจวัดที่ระดับความสูงจากพื้น 0.90 ถึง 1.20 เมตร [4] จากอันตรายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์และมาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพของอากาศภายในอาคาร ทำให้ต้องมีการศึกษาคุณภาพของอากาศในลานจอดรถใต้ดินเพื่อป้องกันไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ การระบายอากาศในลานจอดรถใต้ดินเกิดจากการติดตั้งระบบท่อระบายอากาศซึ่งระบบท่อระบายอากาศจะดูดอากาศในลานจอดรถแล้วปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศข้างนอกเพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในลานจอดรถ ระบบท่อระบายอากาศนี้จะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม [5] และพัดลมระบายอากาศก็จะต้องมีอัตราการระบายอากาศที่เพียงพอเพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่เหมาะสม

การจำลองการแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินได้มีผู้วิจัยหลายกลุ่มที่ทำการศึกษารื่องนี้ Duci และคณะ [6], Xue และ Ho [7], Papakonstantinou และคณะ [8] และนราวุฒิ และคณะ [9] ได้ศึกษาการกระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินเพื่อหาการระบายอากาศที่เหมาะสม แต่ผู้วิจัยกลุ่มที่กำหนดสมการการไหลของอากาศมีสภาวะคงที่ (steady state) ไม่มีการนำผลที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จากการทดลองจริง

ในงานวิจัยนี้เป็นศึกษาการกระจายตัวของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการเข้าหรือออกของรถยนต์ในลานจอดรถใต้ดินตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์ของโรงแรมสิการ์เดนสัพลาซ่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งเป็นโรงแรมขนาดใหญ่ที่สุดใน อ.หาดใหญ่ และมีปริมาณรถเข้ามาจอดเป็นจำนวนมาก โดยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลและได้ทำการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองที่ได้จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล

2. ทฤษฎี

การจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ศึกษาลักษณะการไหลและการกระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินของงานวิจัยนี้อยู่ภายใต้สมมติฐานดังนี้คือ 1. การไหลของอากาศมีสภาวะคงที่ (steady state) 2. อากาศมีความหนืดและความหนาแน่นคงที่ 3. การไหลของอากาศเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) 4. ลักษณะการไหลของอากาศเป็นการไหลแบบ 3 มิติ สมการสำหรับการไหลที่นำมาประยุกต์ใช้ประกอบด้วย สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) สมการพลังงาน (Energy Equation) และสมการนำพาสปีชีส์ (Species Transport Equation) ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของของไหลจะใช้ระเบียบวิธี

finite volume และวิธี SIMPLE algorithm ซึ่งรายละเอียดและรูปแบบของแต่ละสมการมีดังนี้

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

เมื่อ $\mathbf{u}$ คือ เวกเตอร์ความเร็ว (m/s) และ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g}$$

เมื่อ p คือ ความดันสถิต (Pa), $\mathbf{g}$ คือ ค่าแรงดึงดูดของโลก (m/s²) และ μ คือ ค่าความหนืด (kg/m.s)

สมการพลังงาน (Energy Equation)

$$\rho C_p \nabla \cdot (\mathbf{T} \mathbf{u}) = k \nabla^2 T - p \nabla \cdot \mathbf{u} + q$$

เมื่อ q คือ อัตราการกำเนิดพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (kW/m³), k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) และ T คือ อุณหภูมิของอากาศ (K)

สมการนำพาสปีชีส์ (Species Transport Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} Y_i) = -\nabla \cdot \mathbf{J}_i$$

เมื่อ Y_i คือ สัดส่วนโดยมวลของสปีชีส์ i และ $\mathbf{J}_i$ คือ ฟลักซ์การแพร่ของสปีชีส์ i

สำหรับการไหลที่เป็นแบบปั่นป่วน ค่าฟลักซ์หาได้จาก

$$\mathbf{J}_i = -\left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \nabla Y_i$$

เมื่อ $D_{i,m}$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่สำหรับสปีชีส์ i ในของผสม, Sc_t คือ ค่า Schmidt number, $\mu_t / \rho D_t = 0.7$ โดยที่ μ_t คือ ความหนืดแบบปั่นป่วน (kg/m.s) และ D_t คือ สภาพการแพร่แบบปั่นป่วน

ในการไหลแบบปั่นป่วนของการจำลองการแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินได้เลือกใช้แบบจำลอง standard $k-\varepsilon$ โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\nabla \cdot (\rho k \mathbf{u}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + \left[\mu_t P(\mathbf{u}) - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \mathbf{u} \right] - \rho \varepsilon$$

$$\nabla \cdot (\rho \varepsilon \mathbf{u}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu_t P(\mathbf{u}) - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \mathbf{u} \right] - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

โดยที่

$$P(\mathbf{u}) = \nabla \mathbf{u} : (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{u} (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)$$

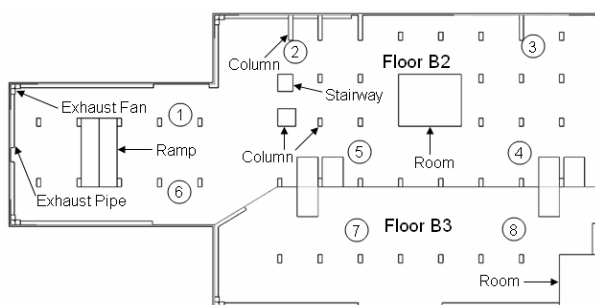
$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$$

ค่า C_{1e} , C_{2e} , C_{μ} , σ_k , σ_e มีค่าเท่ากับ 1.44, 1.92, 0.09, 1.0 และ 1.3 ตามลำดับ [10]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวัดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินใช้อุปกรณ์ Portable multi - gas detector (Aim, DO – 10108 – 56) ใช้ช่วงเวลาในการเก็บค่าแบบ Ho และคณะ [11] และ Chow และคณะ [12] ซึ่งเก็บค่าทุกๆ 15 นาที ทำการวัดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 8 ตำแหน่ง (รูปที่ 1) เพื่อนำผลการทดลองมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองที่ได้จากวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล ในการทดลองได้เริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 15.00 – 16.00 น. จากนั้นทำการจำลองการแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ด้วยโปรแกรม Fluent version 6.3.26 โดยใช้เครื่อง PC, Pentium (R) 4, CPU 2.66 GHz, RAM 2.00 GB

แบบจำลองเป็นแบบ 3 มิติ มีขนาดตามความยาว 112 m ความกว้าง 56 m ความสูงชั้น B2 เท่ากับ 2.30 m และความสูงชั้น B3 เท่ากับ 3.60 m ในชั้น B2 มีจำนวนรถที่จอดอยู่ 85 คัน ชั้น B3 มีจำนวนรถที่จอดอยู่ 31 คัน แบบจำลองมีพัดลมดูดอากาศ 10 ตัว แต่ละตัวมีอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 3200 CFM พิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์เป็นแหล่งปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ [7] โดยแต่ละคันปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ $2.799 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ [8] ต่อความยาวที่รถวิ่ง 1 m และใช้เงื่อนไขในแต่ละช่วงเวลา 15 นาที มาเป็นข้อมูลในการจำลอง

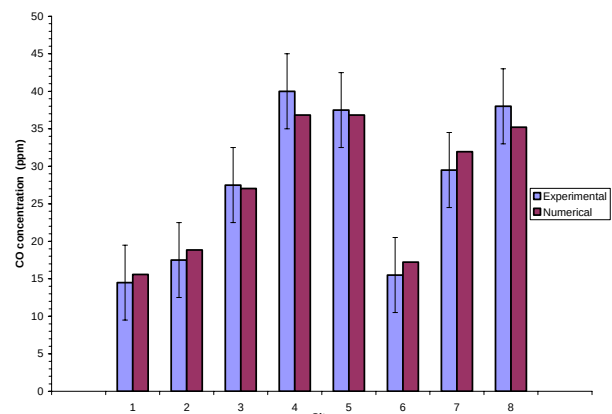


รูปที่ 1 ตำแหน่งการตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินของโรงแรมลีการ์เดนส์พลาซ่า (Top View)

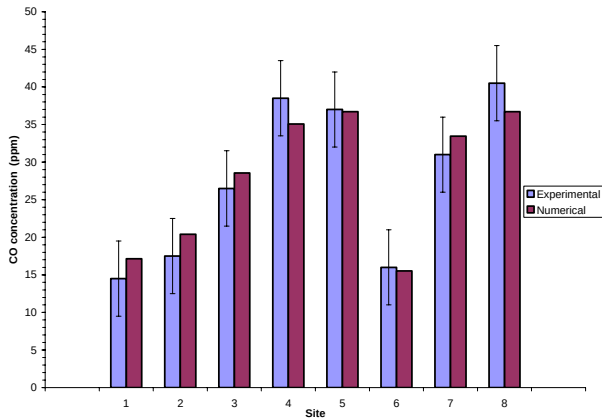
4. ผลการจำลองและวิเคราะห์ผลการจำลอง

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองด้วยวิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลกับการวัดค่า ใน 8 ตำแหน่งที่ความสูง 1.2 เมตร (รูปที่ 1) ของแต่ละช่วงเวลา 15 นาที ตั้งแต่เวลา 15.00 – 16.00 น. พบว่า ค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากการจำลองโดยวัดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในตำแหน่งเดียวกันกับการทดลองมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน $\pm 5 \text{ ppm}$ ดังแสดงในรูปที่ 2 – 5

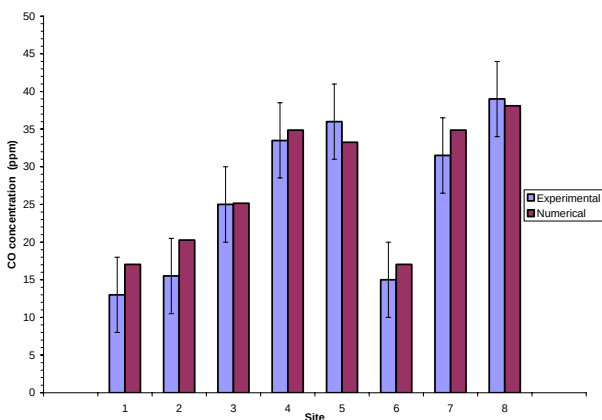
การแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินจากการจำลอง ใน 8 ตำแหน่ง ของชั้น B2 กับ B3 ของช่วงเวลา 15.00 – 15.15 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6 – 7 จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง 3, 4, 5, 7 และ 8 มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงเกินมาตรฐาน (35 ppm) ในเกือบทุกช่วงเวลา เนื่องจาก ตำแหน่งที่ 3, 4 และ 5 เป็นบริเวณของชั้น B2 ซึ่งบริเวณนั้นไม่มีท่อบายอากาศทำให้มีความเร็วในการไหลของอากาศต่ำ การสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงสูง ตำแหน่งที่ 7 และ 8 เป็นบริเวณของชั้น B3 บริเวณนี้ไม่มีท่อบายอากาศแต่ตำแหน่งการติดตั้งท่อบายอากาศอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ส่วนตำแหน่งที่ 1, 2 และ 6 มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำ เนื่องจาก ตำแหน่งที่ 1 กับ 6 อยู่ใกล้กับทางเข้าหรือทางออกของลานจอดรถใต้ดินและตำแหน่งที่ 2 อยู่ใกล้กับช่องทางของบันได ซึ่งบริเวณนี้มีการไหลของอากาศเข้ามาในลานจอดรถใต้ดินทำให้มีความเร็วในการไหลของอากาศสูงการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงต่ำ ดังนั้น บริเวณที่มีการไหลของอากาศต่ำจะเกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงและในบริเวณที่มีการไหลของอากาศสูงบริเวณนั้นก็จะเกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำ เนื่องจากบริเวณที่มีการไหลของอากาศนั้นอากาศจะพัดพาเอาความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ไปด้วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากผลการทดลองนี้ทำให้รู้ถึงลักษณะการแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์เข้าหรือออกลานจอดรถใต้ดินของโรงแรมลีการ์เดนส์พลาซ่า



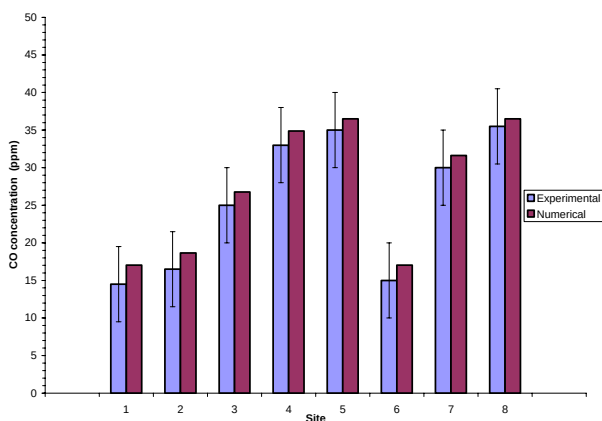
รูปที่ 2 เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง ใน 8 ตำแหน่งของช่วงเวลา 15.00 - 15.15 น.



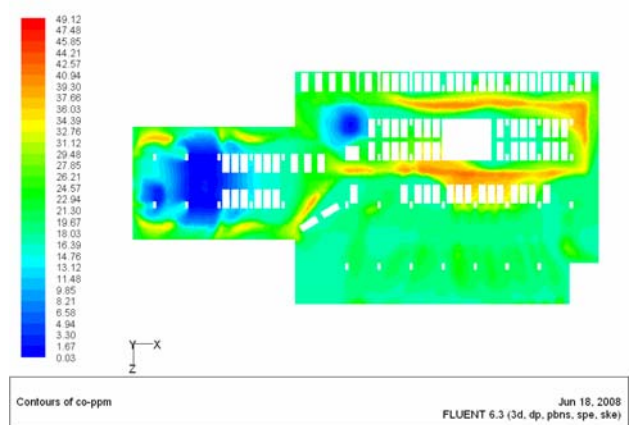
รูปที่ 3 เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง
ใน 8 ตำแหน่งของช่วงเวลา 15.15 - 15.30 น.



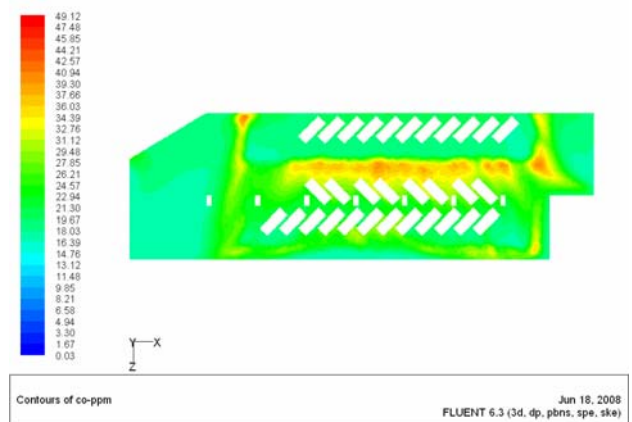
รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง
ใน 8 ตำแหน่งของช่วงเวลา 15.30 - 15.45 น.



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง
ใน 8 ตำแหน่งของช่วงเวลา 15.45 - 16.00 น.



รูปที่ 6 การแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถ
ใต้ดินในช่วงเวลา 15.00 - 15.15 น. (ชั้น B2)



รูปที่ 7 การแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถ
ใต้ดินในช่วงเวลา 15.00 - 15.15 น. (ชั้น B3)

5. สรุป

จากผลการจำลองทำให้ทราบถึงบริเวณที่เกิดการสะสมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในลานจอดรถใต้ดินของโรงแรมลีการ์เดนส์ พลาซ่า คือ ในบริเวณตำแหน่งที่ 3, 4, 5, 7 และ 8 จะมีค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงเกินมาตรฐาน (35 ppm) จากผลการจำลองนี้จะนำไปสู่การติดตั้งท่อระบายอากาศที่เหมาะสมและอัตราการระบายอากาศที่เพียงพอกับลานจอดรถใต้ดินแห่งนี้ เพื่อลดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงแรมลีการ์เดนส์พลาซ่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการให้ใช้สถานที่และศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานภาคใต้ อ.เมือง จ.สงขลา ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. Bateman, D. N., 2007, "Carbon monoxide", *Medicine*, Vol. 35, pp. 604 – 605.
2. World Health Organization Geneva, 1999, "Environmental Health Criteria for Carbon monoxide".
3. World Health Organization Regional office for Europe, 2000, "Carbon monoxide".
4. Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage, 2006, "Standard for Air - conditioning and Ventilation Systems", EIT 03003-05.
5. Yaziz, M. I., and Yen, A. W. P., 1989, "Effects of ventilation and air temperature on pollution levels in underground car parks", *Water Air and Soil Pollution*, Vol. 44, pp. 375-385.
6. Duci, A., Papakonstantinou, K., Chaloulakou, A., and Markatos, N., 2003, "Numerical approach of carbon monoxide concentration dispersion in an enclosed garage", *Building and Environment*, Vol. 39, pp. 1043 – 1048.
7. Xue, H., and Ho, J. C., 2000, "Modelling of Heat and Carbon Monoxide Emitted from Moving Cars in an Underground Car Park", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 101-115.
8. Papakonstantinou, K., Chaloulakou, A., Duci, A., Vlachakis, N., and Markatos, N., 2003, "Air quality in an underground garage: computational and experimental investigation of ventilation effectiveness", *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 933–940.
9. นราวุฒิ นิยมแสง, มานะ อมรกิจบำรุง, และชนิด สวัสดิ์เสวี, 2550, "ระบบระบายอากาศในที่จอดรถใต้ดิน", การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมไบฮอกสกาย กรุงเทพฯ.
10. Launder, B.E., and Spalding, D.B., 1974, "The numerical computation of turbulent flows", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 3, pp. 269.
11. Ho, J. C., Xue, H., and Tay, K. L., 2003, "A field study on determination of carbon monoxide level and thermal environment in an underground car park", *Building and Environment*, Vol. 39, pp. 67 – 75.
12. Chow, W. K., Wong, L. T., and Fung, W. Y., 1996, "Field Study on the Indoor Thermal Environment and Carbon Monoxide Levels in a Large Underground Car Park", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 333-343.
13. Krarit, M., and Ayari, A., 2001, "Ventilation for Enclosed Parking Garages", *ventilation, ASHRAE Journal*.
14. Schwela, D., Zali, O., and Schwela, P., 1997, "Motor Vehicle Air Pollution", *World Health Organization*.