

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล

4.1 ผลและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคภายใน และภายนอกอาคาร

จากการเก็บข้อมูลอนุภาคของโรงเรียนวัดศรีดอนชัย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งในการศึกษาทำการเก็บข้อมูลที่ชั้น 4 ของอาคารเรียนที่ระยะสูงจากพื้นดินประมาณ 13 เมตร โดยค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการเก็บข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 สำหรับความเข้มข้นเฉลี่ยของอนุภาคภายนอกและภายในอาคารตามลำดับ สำหรับช่วงวันที่มีการทำงาน (Workday) และในตารางที่ 4.3 และ 4.4 สำหรับความเข้มข้นเฉลี่ยของอนุภาคภายนอกและภายในอาคารตามลำดับ สำหรับช่วงวันที่หยุดสุดสัปดาห์ (Weekend) และรูปที่ 4-1 (ก) แสดงผลของจำนวนอนุภาคที่ทำการวัดภายในและภายนอกอาคารในช่วงที่มีการจราจรคับคั่งและช่วงที่มีการจราจรเบาบาง พบว่าจำนวนอนุภาคมีค่าสูงในช่วงเช้า (07.00 -08.00 น.) โดยมีค่าจำนวนอนุภาคภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.33×10^8 , 5.37×10^7 , 4.48×10^6 , 1.02×10^6 และ 4.39×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าจำนวนอนุภาคภายในอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.50×10^8 , 3.70×10^7 , 2.41×10^6 , 4.12×10^5 และ 2.86×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่ช่วงบ่าย (15.00-22.00 น.) มีค่าจำนวนอนุภาคภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.35×10^8 , 5.02×10^7 , 6.17×10^6 , 1.20×10^6 และ 5.68×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าจำนวนอนุภาคภายในอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.59×10^8 , 3.53×10^7 , 3.13×10^6 , 5.66×10^5 และ 3.63×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร ที่ช่วงขนาดของอนุภาค 0.3-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.5, 2.5-3.5 และ 3.5-5.0 ไมครอน ตามลำดับ สำหรับวันที่มีการทำงาน โดยที่จำนวนอนุภาคจะมีจำนวนลดลงในช่วงที่มีการจราจรเบาบาง (09.00 – 14.00 น. และ 23.00 -06.00 น.) ซึ่งพบว่ามีค่าลดลง 2 เท่า ของช่วงที่มีการจราจรคับคั่ง จากรูปพบว่าเมื่อจำนวนอนุภาคภายนอกอาคาร มีค่าเพิ่มขึ้นจำนวนอนุภาคภายในก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือจำนวนอนุภาคภายนอกอาคารมีผลต่อจำนวนอนุภาคภายในอาคาร โดยที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (Supermicron) ในช่วงที่มีการจราจรคับคั่งจะมีปริมาณสูงอย่างเห็นได้ชัดหากเทียบกับอนุภาคนขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (Submicron) เนื่องจากอนุภาคนขนาดใหญ่มีค่าการฟุ้งกระจายสูงกว่าอนุภาคนขนาดเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thatcher and Layton (1995) ที่พบว่าการทำกิจกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเดินหรือการทำความสะดวกจะไม่มีผลต่อการฟุ้งกระจายของอนุภาคนขนาดเล็ก

จากรูปที่ 4-1 (ข) จำนวนอนุภาคภายนอกจะมีค่าสูงในช่วง 15.00 – 16.00 น. โดยมีค่าจำนวนอนุภาคภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.24×10^8 , 1.04×10^8 , 4.92×10^6 , 7.71×10^5 และ 3.08×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และในช่วงเวลา 18.00 - 22.00 น. มีค่าจำนวนอนุภาคภายนอกอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 4.10×10^8 , 6.30×10^7 , 6.14×10^6 , 9.22×10^5 และ 5.92×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีการจราจรคับคั่งสำหรับวันหยุดสุดสัปดาห์ ส่วนจำนวนอนุภาคภายในอาคารมีปริมาณสูงในช่วง 18.00 – 20.00 น. ซึ่งมีค่าจำนวนอนุภาคภายในอาคารโดยเฉลี่ย เท่ากับ 3.09×10^8 , 4.33×10^7 , 4.11×10^6 , 7.65×10^5 และ 4.87×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีการจราจรสูงและมีควันจากการทำอาหารภายนอกอาคารส่วนเวลา 23.00 – 14.00 น. จำนวนอนุภาคภายในอาคารไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเนื่องจากไม่มีกิจกรรมเกิดขึ้นภายในอาคารส่วนภายนอกอาคารการจราจรก็ไม่มากนัก ส่วนสาเหตุที่เวลา 03.00 น. ค่าความเข้มข้นของอนุภาคมีค่าสูงอาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการจราจรเบาบาง ทำให้ผู้ขับขี่รถใช้ความเร็วในการขับขี่สูงทำให้เพิ่มการฟุ้งกระจายของอนุภาค จากการศึกษาของ Martin et al. (2004) พบว่าในช่วงที่มีการจราจรสูงค่าความเข้มข้นของอนุภาคจะมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Morawska et al. (2002) ที่ว่าความเข้มข้นของอนุภาคจะมีค่าสูงในช่วงเช้าและช่วงเย็นซึ่งเป็นเวลาที่มีการจราจรคับคั่งสำหรับวันทำงานและช่วงกลางวันสำหรับวันหยุดสุดสัปดาห์

ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บข้อมูลภายใต้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ โดยขณะทำการเก็บข้อมูลมีการเปิดประตูและหน้าต่างเอาไว้ตลอดเวลา และทำการวัดค่าความเร็วลมเพื่อนำไปหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Exchange Rate) จากการศึกษาพบว่าค่าความเร็วลมที่วัดได้สำหรับวันทำงานมีค่าเท่ากับ 0.36 และ 0.30 m/s สำหรับกลางวันและกลางคืนตามลำดับ ส่วนในวันหยุดสุดสัปดาห์มีค่าความเร็วลมเท่ากับ 0.32 และ 0.28 m/s สำหรับกลางวันและกลางคืนตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4-1 พบว่า ในช่วงเวลาที่มีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูง อาจเนื่องมาจากการที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำ ทำให้ความสามารถในการระบายอนุภาคจากภายในออกสู่ภายนอกอาคารลดลง จากการศึกษาของ Weschler and Shields (2003) พบว่าเมื่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Exchange Rate) ลดลง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วน Zhu et al. (2005) พบว่าเมื่อความเร็วลมน้อยประสิทธิภาพการเจือจางของอนุภาคในอาคารจะน้อยตามไปด้วย

การแทรกซึม (Penetration) ของอนุภาคจากภายนอกเข้ามายังภายในอาคาร ทำให้ความเข้มข้นภายในอาคารมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นภายนอกอาคาร แสดงในรูปที่ 4-1 นอกจากนี้พบว่าเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นค่าความสัมพันธ์จากการแทรกซึมจะมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากอนุภาคขนาดใหญ่มีการตกตะกอนที่สูงกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งตรงกับการศึกษาของ

Blondeau et al. (2005) ที่ว่าเปอร์เซ็นต์ของการเคลื่อนที่ของอนุภาคจากภายนอกอาคารเข้ามาภายในอาคารมีค่าลดลงเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น และความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น และจากการศึกษาของ Abt et al. (2000) พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายนอกมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคาร โดยพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึม ระหว่าง 0.38 – 0.94 สำหรับอนุภาคขนาด 0.02-0.5 ไมครอน และ 0.12 -0.53 สำหรับอนุภาคขนาด 0.7 – 10 ไมครอน ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมจะมีค่าลดลงเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น

จากข้อมูลที่ได้เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Paired-T-Test (แสดงในภาคผนวก จ) เมื่อกำหนดให้ระดับนัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 0.05 โดยทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคภายในและภายนอกอาคารห้องเรียนในช่วงขนาดต่าง ๆ ในเวลา 24 ชั่วโมง ของวันที่มีการทำงาน และวันหยุด พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในและภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์กัน และสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน หรือทิศทางบวก นั่นคือถ้าความเข้มข้นของอนุภาคภายนอกอาคารมีค่าเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (1997) ที่ว่าระดับของก๊าซและละอองลอยภายในอาคารมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับระดับของก๊าซและละอองลอยภายนอกอาคาร

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นภายนอกอาคาร (Workday)

ขนาด (ไมครอน)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (Particle/m ³)		
	Mean	SD	Median
0.3-0.5	268,148,546	96,718,933	235,941,969
0.5-1.0	38,893,281	21,318,646	28,477,612
1.0-2.5	3,534,051	2,850,755	2,677,108
2.5-3.5	780,901	547,020	581,730
3.5-5.0	360,298	203,128	305,477

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นภายในอาคาร (Workday)

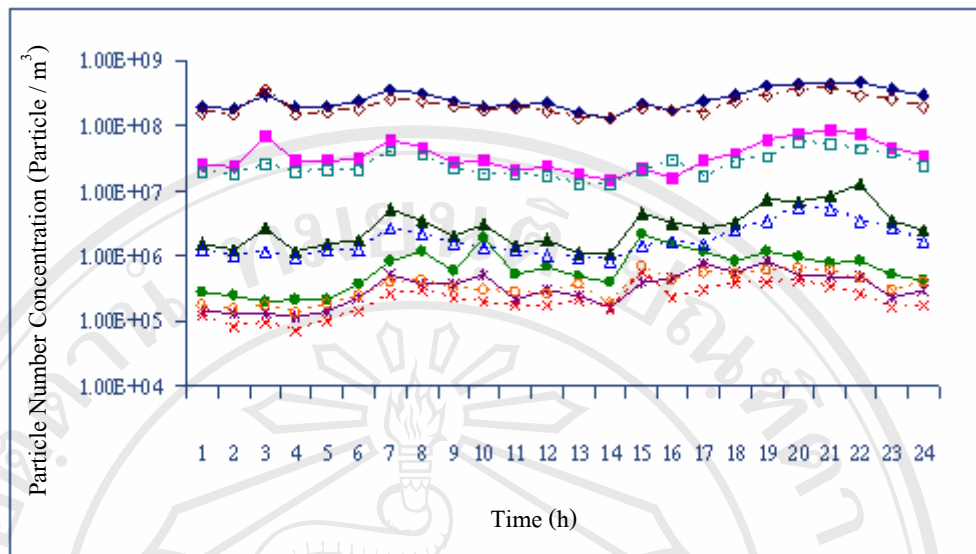
ขนาด (ไมครอน)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (Particle/m ³)		
	Mean	SD	Median
0.3-0.5	214,364,680	75,611,337	176,362,753
0.5-1.0	26,691,423	12,317,330	20,818,866
1.0-2.5	2,002,177	1,292,378	1,411,665
2.5-3.5	368,441	170,225	320,573
3.5-5.0	232,725	123,616	194,507

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นภายนอกอาคาร (Weekend)

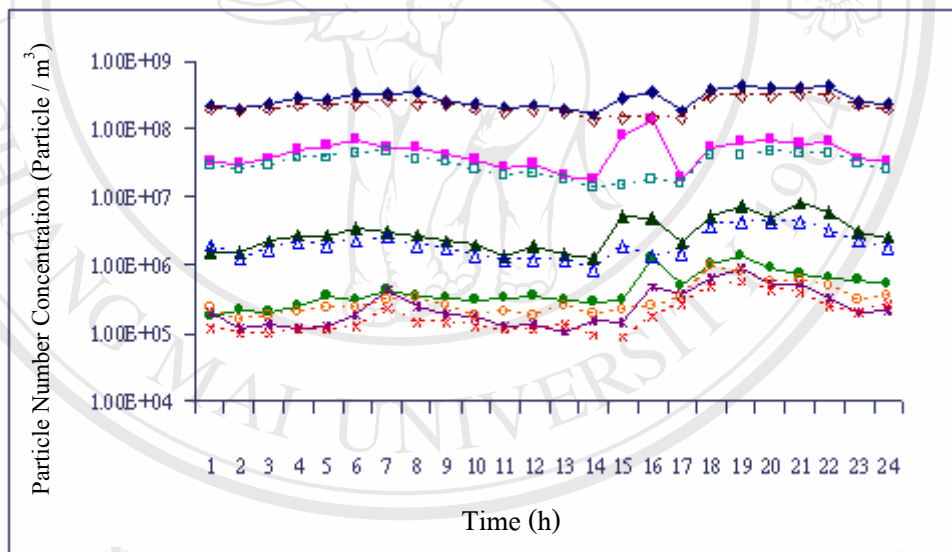
ขนาด (ไมครอน)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (Particle/m ³)		
	Mean	SD	Median
0.3-0.5	287,064,921	82,917,028	259,283,664
0.5-1.0	48,541,946	24,704,068	40,862,074
1.0-2.5	3,254,671	1,863,100	2,236,514
2.5-3.5	491,801	329,125	323,973
3.5-5.0	281,745	206,978	182,193

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นภายในอาคาร (Weekend)

ขนาด (ไมครอน)	ความเข้มข้นเชิงจำนวน (Particle/m ³)		
	Mean	SD	Median
0.3-0.5	219,790,775	58,481,513	235,914,031
0.5-1.0	303,152,186	11,002,220	32,520,676
1.0-2.5	2,134,863	1,070,639	1,732,555
2.5-3.5	325,520	205,518	236,079
3.5-5.0	199,415	133,053	141,123



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคที่ได้จากการสูดดมตัวอย่างภายในและภายนอกอาคาร (ก) workday (ข) weekend เมื่อกำหนดให้

- ◆ Outdoor 0.3-0.5
 ■ Outdoor 0.5-1.0
 ▲ Outdoor 1.0-2.5
 ◆ Outdoor 2.5-3.5
- ✱ Outdoor 3.5-5.0
 ◇ Indoor 0.3-0.5
 □ Indoor 0.5-1.0
 △ Indoor 1.0-2.5
- ◇ Indoor 2.5-3.5
 ✱ Indoor 3.5-5.0

4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารที่ได้จาก การสุ่มตัวอย่างกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษานี้ได้นำผลของความเข้มข้นภายนอกอาคารมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคาร สำหรับอนุภาคแต่ละขนาดสมการที่แสดงค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารคือ สมการที่ (2.15) ค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารอยู่ในสภาวะที่ไม่คงที่ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของอนุภาคอยู่ในสภาวะคงที่และกำหนดให้ค่าเนื่องจาก การสูญหายของอนุภาค ($\dot{V}_{\sin k}$) และค่าอัตราการเกิดอนุภาคที่มีสาเหตุมาจากภายในอาคาร ($\dot{V}_{source}$) มีค่าเป็นศูนย์ เพราะค่าความเข้มข้นในส่วนนี้ถือว่ามีความน้อยมากสมการที่ (2.15) ที่นำมาใช้จึงลดรูปเหลือเพียง

$$C_i = \left(\frac{RL_p A_p}{(a + K) V} \right) \quad (4.1)$$

ในสมการ (2.15) ค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในห้องที่เกิดจากการแพร่กระจายเข้ามาจากภายนอกอาคารมีค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความยุ่งยากในการคำนวณจึงได้นำเอาสมการที่ (2.16) มาใช้ในส่วนนี้แทน แต่เนื่องจากในสมการทั้งสองนี้หน่วยของความเข้มข้นที่ใช้ต่างกันจึงได้ทำการแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยเดียวกันตามมาตรฐานของ ASHRAE แล้วจึงนำมารวมกันจะได้ว่า

$$C_i = \frac{C_o \times \dot{v}}{\dot{v} + rV} + \left(\frac{RL_p A_p}{(a + K) V \times 6} \right) \times 10^6 \quad (4.2)$$

โดยในการศึกษาครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารเมื่อใช้ค่า a ที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับค่า a ที่ได้จาก CFD มาทำการพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารที่ใช้ค่า a จากการเก็บข้อมูลจะให้ค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารที่ใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารที่ได้จากการเก็บข้อมูลมากกว่า

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้

a หาได้จากสมการที่ (2.14) มีค่าเท่ากับ 6.36 h^{-1} และ a ที่ได้จาก CFD มีค่าเท่ากับ 5.56 h^{-1}

L_p มีค่าเท่ากับ $100 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ (Thatcher and Layton, 1995)

r ได้จากสมการที่ (2.13) มีค่าเท่ากับ 3.7 h^{-1} และ 2.3 h^{-1} สำหรับ

Workday และ Weekend ตามลำดับ

$\dot{v}$ มีค่าเท่ากับ $1,422 \text{ m}^3/\text{h}$

เมื่อ ค่า R และค่า K หาได้ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราการตกตะกอน และการฟุ้งกระจายของอนุภาค

Particle size range (μm)	Particle deposition loss rate (h^{-1})	Resuspension rate (h^{-1})
0.3 – 0.5	0.0	9.9×10^{-7}
0.5 – 1.0	0.0	4.4×10^{-7}
1.0 – 5.0	0.5	1.8×10^{-5}
5.0 – 10	1.4	8.3×10^{-5}
10 – 25	2.4	3.8×10^{-4}
> 25	4.1	3.4×10^{-5}

ที่มา : Thatcher and Layton (1995)

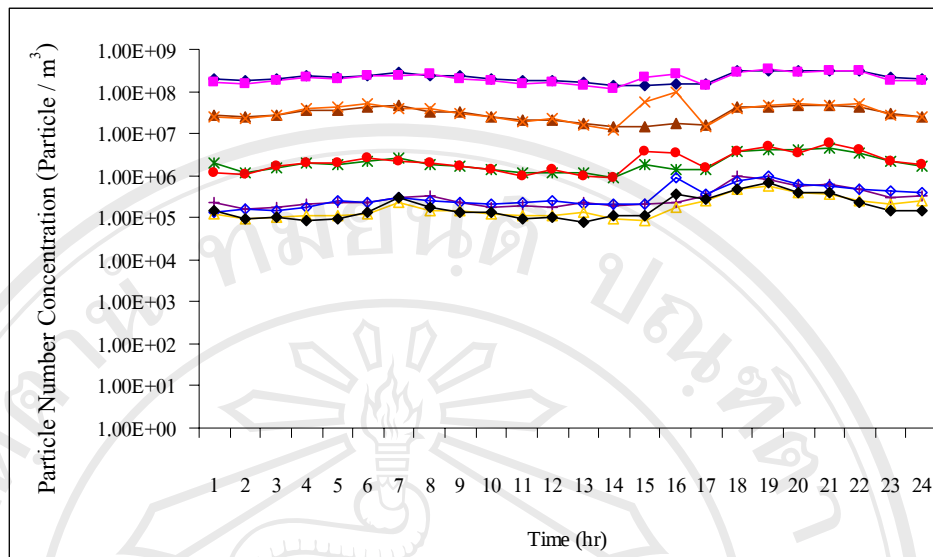
จากการศึกษาของ Matson (2005) ที่ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในที่อยู่อาศัย พบว่าในช่วงเวลา 10.00 – 12.00 น. และ 14.45 – 16.00 น. ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการเก็บข้อมูลมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 34 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการทำกิจกรรมภายในอาคารทำให้อนุภาคภายในอาคารมีค่าสูงขึ้นจากการฟุ้งกระจาย และแบบจำลองนี้มีค่าความแตกต่างประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ weekend และ 28 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ workday

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าจำนวนอนุภาคที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มของข้อมูลไปในทิศทางเดียวกันและค่าจำนวนอนุภาคมีค่าใกล้เคียงกัน (ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง) ยกเว้นในช่วงเวลา 15.00 – 17.00 น. ที่จำนวนอนุภาคจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสูงกว่าค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลถึง 4 เท่า สำหรับช่วง weekend ดังแสดงในรูปที่ 4-2 (ก) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นำข้อมูลของอนุภาคจากภายนอกมาคิดซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวความเข้มข้นภายนอกมีค่าสูงอันเนื่องมาจากการจราจรที่สูงทำให้จำนวนอนุภาคที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงตามไปด้วยส่วนในรูปที่ 4-2 (ข) พบว่า ในช่วงเวลา 15.00 – 17.00 น. ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการเก็บข้อมูลมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทาง

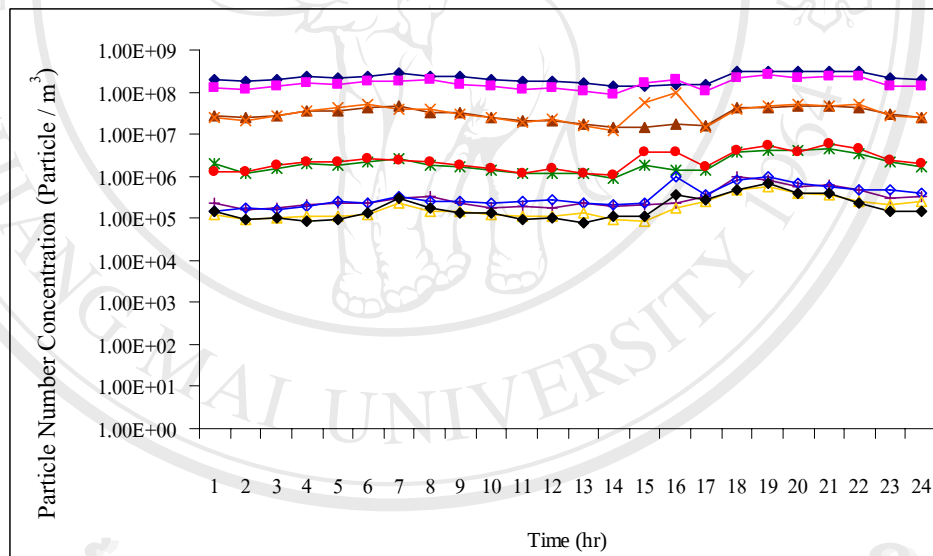
คณิตศาสตร์ 1 เท่า อาจเนื่องมาจากการฟุ้งกระจายของอนุภาคภายในอาคาร ซึ่งเป็นผลของกิจกรรมที่กระทำเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นเวลาที่กำลังเลิกเรียนเด็กมีการเดินไปมาและมีการกวาดขยะทำให้ฝุ่นที่อยู่บนพื้น ฟุ้งกระจาย แต่สาเหตุที่อนุภาคนขนาดใหญ่มิค่าความแตกต่างมากกว่าอนุภาคนขนาดเล็กเนื่องมาจากอนุภาคนขนาดใหญ่มิการฟุ้งกระจายที่สูงกว่าอนุภาคนขนาดเล็ก เป็นไปตามการศึกษาของ Lefcoe and Inculet (1975) ซึ่งพบว่าอนุภาคนขนาด Supermicron จะมีอัตราการฟุ้งกระจายสูงกว่าอนุภาคนขนาด Submicron



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



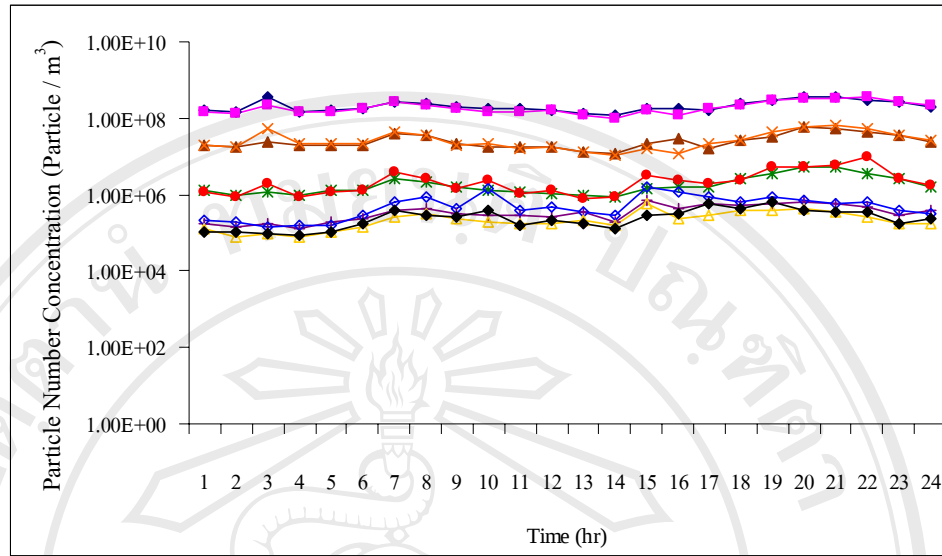
(ก)



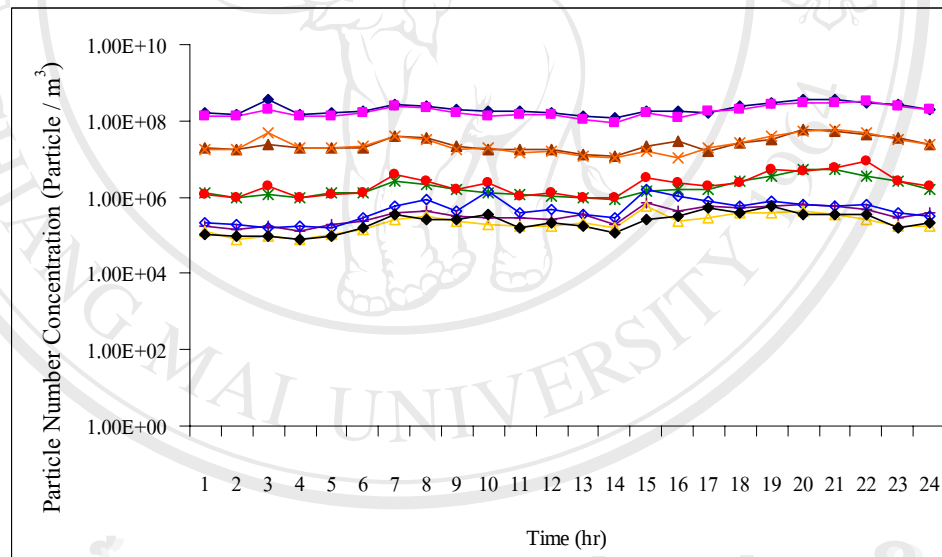
(ข)

รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคภายในอาคารที่ได้จากการ
 สุ่มตัวอย่างกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในช่วง weekend (ก) อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ
 จากการเก็บข้อมูล (ข) อัตราแลกเปลี่ยนอากาศจากการ CFD เมื่อ

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| ◆ Ci จากการเก็บข้อมูล ขนาด 0.3-0.5 | ■ Ci จากการคำนวณ ขนาด 0.3-0.5 |
| ▲ Ci จากการเก็บข้อมูล ขนาด 0.5-1.0 | × Ci จากการคำนวณ ขนาด 0.5-1.0 |
| * Ci จากการเก็บข้อมูล ขนาด 1.0-2.5 | ● Ci จากการคำนวณ ขนาด 1.0-2.5 |
| + Ci จากการเก็บข้อมูล ขนาด 2.5-3.5 | ◇ Ci จากการคำนวณ ขนาด 2.5-3.5 |
| △ Ci จากการเก็บข้อมูล ขนาด 3.5-5.0 | ● Ci จากการคำนวณ ขนาด 3.5-5.0 |



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคภายในอาคารที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในช่วง workday (ก) อัตราแลกเปลี่ยนอากาศจากการเก็บข้อมูล (ข) อัตราแลกเปลี่ยนอากาศจากการ CFD เมื่อ

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| ◆ C_i จากการเก็บข้อมูล ขนาด 0.3-0.5 | ◆ C_i จากการคำนวณ ขนาด 0.3-0.5 |
| ▲ C_i จากการเก็บข้อมูล ขนาด 0.5-1.0 | × C_i จากการคำนวณ ขนาด 0.5-1.0 |
| * C_i จากการเก็บข้อมูล ขนาด 1.0-2.5 | ● C_i จากการคำนวณ ขนาด 1.0-2.5 |
| + C_i จากการเก็บข้อมูล ขนาด 2.5-3.5 | ◇ C_i จากการคำนวณ ขนาด 2.5-3.5 |
| △ C_i จากการเก็บข้อมูล ขนาด 3.5-5.0 | ● C_i จากการคำนวณ ขนาด 3.5-5.0 |

4.3 ผลและการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของอนุภาคภายในต่อภายนอกอาคาร

จากรูปที่ 4-4 (ก) พบว่าค่า อัตราส่วนความเข้มข้นของอนุภาคภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O) ในช่วง Daytime มีค่าน้อยกว่า ช่วง Nighttime เนื่องจากช่วง Nighttime มีการจราจรที่สูงกว่าทำให้มีการฟุ้งกระจายของอนุภาคที่สูงกว่า ส่วนสาเหตุที่อนุภาคในช่วงขนาดที่ใหญ่ขึ้นมีค่าอัตราส่วนภายในต่อภายนอก ลดลงเพราะไม่มีการฟุ้งกระจายของอนุภาคเกิดขึ้นภายในอาคาร เนื่องจากเป็นวันหยุดไม่มีคนอาศัยอยู่ภายในอาคาร จากการศึกษาของ Branis et al. (2005) พบว่าค่าอัตราส่วน I/O ของอนุภาคขนาด 10 ไมครอน ในช่วง Weekend มีค่าเท่ากับ 0.56 และ 0.50 สำหรับ ช่วง Nighttime และ Daytime ตามลำดับและในรูปที่ 4-4 (ข) พบว่าอัตราส่วน I/O ในช่วง Daytime ของอนุภาคในช่วงขนาด 0.3 – 0.5 และ 0.5 – 1.0 ไมครอน มีค่าสูงถึง 0.822 และ 0.826 ตามลำดับ แต่เมื่อช่วงขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น อัตราส่วน I/O มีค่าลดลง แล้วกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออนุภาคมีช่วงขนาด 3.5 – 5.0 ไมครอน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณอนุภาคขนาด 1.0 – 2.5 ไมครอน และ 2.5 – 3.5 ไมครอน มีความแตกต่างกันมากหากเทียบกับค่าจำนวนอนุภาคภายนอกอาคาร แต่สาเหตุที่อัตราส่วนของ I/O ในช่วงขนาด 3.5 – 5.0 ไมครอน มีค่าสูงอาจเกิดมาจากการฟุ้งกระจายของอนุภาคเนื่องจากกิจกรรมที่กระทำภายในห้อง ซึ่งจากการศึกษาของ Morawska et al. (2001) พบว่ายิ่งอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นอัตราการฟุ้งกระจายก็จะสูงขึ้นเนื่องจากการฟุ้งกระจายของอนุภาคภายในอาคารเนื่องจากกิจกรรมที่กระทำ ส่วนในช่วง Nighttime ค่าความเข้มข้นของอนุภาคในช่วงขนาด 0.3 – 0.5 ไมครอน มีค่า อัตราส่วน I/O สูง และมีค่าลดลงเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากในช่วง Nighttime ภายในอาคารไม่มีคนอาศัยอยู่ทำให้ไม่เกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาค รูปที่ 4-4 (ก) พบว่าสำหรับวันหยุด ในช่วงเวลากลางคืน จะมีค่าอัตราส่วนของ I/O สูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนมีค่าความเร็วลมต่ำกว่าในช่วงเวลากลางวัน ส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Exchange Rate) และอัตราการแทรกซึม (Penetration Rate) เกิดขึ้นน้อย คือ อนุภาคจากภายนอกมีอัตราการแทรกซึมเข้ามายังภายในห้องได้น้อยและในขณะเดียวกันอนุภาคจากภายในก็ออกไปยังภายนอกอาคารได้น้อยเช่นกัน ทำให้ค่าความเข้มข้นภายในอาคารในช่วงกลางคืนมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูง ส่งผลให้ค่า I/O ในช่วงเวลากลางวันมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลากลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhu et al. (2005) ที่ว่าเมื่อความเร็วลมน้อยประสิทธิภาพการเจือจางของอนุภาคในอาคารจะน้อยตามไปด้วย ทำให้ค่า อัตราส่วน I/O มีค่าสูง และจากการศึกษาของ Jones et al. (2000) พบว่าค่าอัตราส่วน I/O มีค่าต่ำกว่า 1 สำหรับบ้านที่มีการทำอาหารน้อย และบ้านที่มีการใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับการระบายอากาศวิธีอื่น ๆ

ตารางที่ 4.6 อัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายในต้อภายนอกอาคาร (Workday)

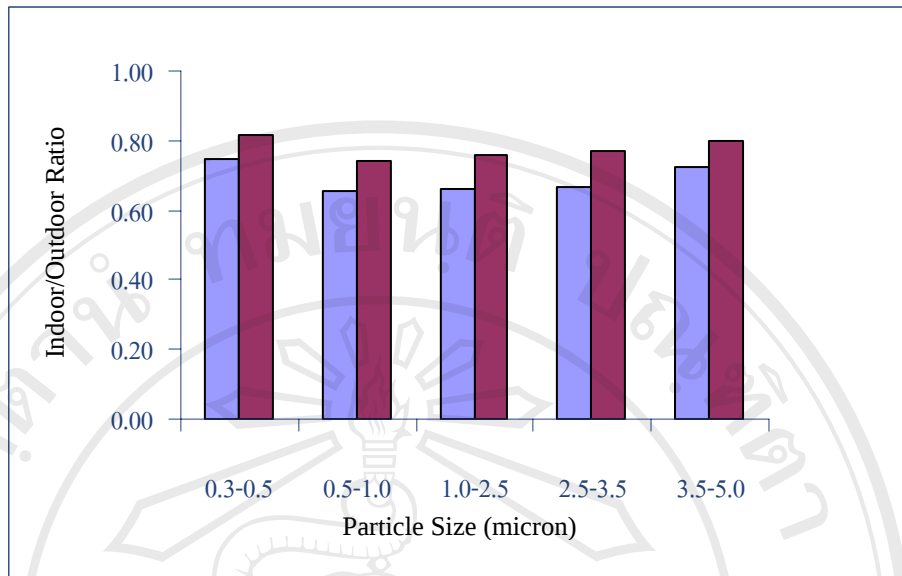
ขนาด (ไมครอน)	I/O Ratio		
	Mean	SD	Median
0.3-0.5	0.813	0.132	0.793
0.5-1.0	0.745	0.248	0.694
1.0-2.5	0.648	0.175	0.823
2.5-3.5	0.568	0.193	0.872
3.5-5.0	0.691	0.221	0.720

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายในต้อภายนอกอาคาร (Weekend)

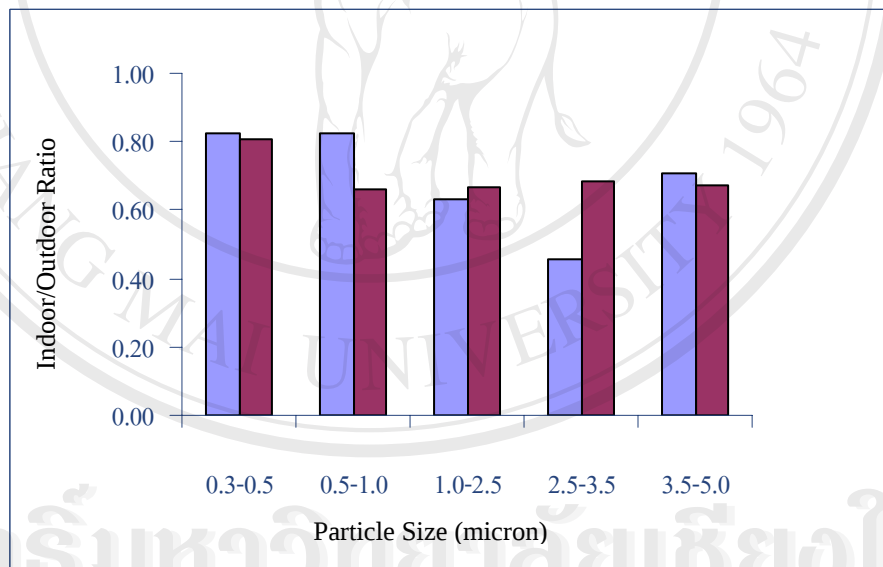
ขนาด (ไมครอน)	I/O Ratio		
	Mean	SD	Median
0.3-0.5	0.782	0.123	0.818
0.5-1.0	0.699	0.183	0.725
1.0-2.5	0.708	0.187	0.649
2.5-3.5	0.720	0.201	0.522
3.5-5.0	0.761	0.203	0.826

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบอัตราส่วนภายในต้อภายนอกอาคารในช่วงกลางวันและกลางคืน

I/O	Daytime		Nighttime	
	Workday	Weekend	Workday	Weekend
PM _{0.3-0.5} in/PM _{0.3-0.5} out	0.822	0.748	0.805	0.816
PM _{0.5-1.0} in/PM _{0.5-1.0} out	0.826	0.657	0.664	0.741
PM _{1.0-2.5} in/PM _{1.0-2.5} out	0.632	0.659	0.665	0.758
PM _{2.5-3.5} in/PM _{2.5-3.5} out	0.455	0.668	0.681	0.772
PM _{3.5-5.0} in/PM _{3.5-5.0} out	0.708	0.724	0.673	0.797



(ก)



(ข)

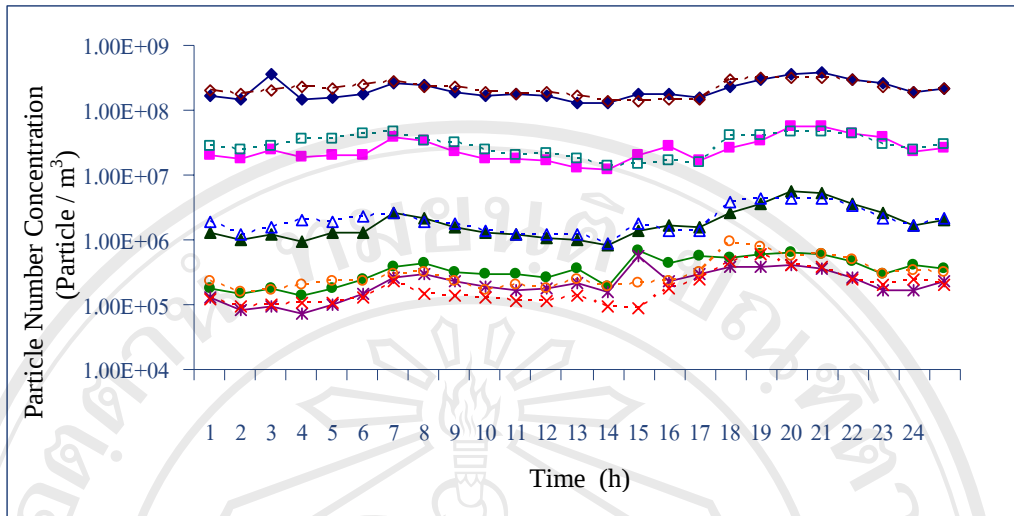
รูปที่ 4-4 การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างจำนวนอนุภาคภายในและภายนอกอาคาร

(ก) weekend (ข) workday เมื่อ Daytime Nighttime

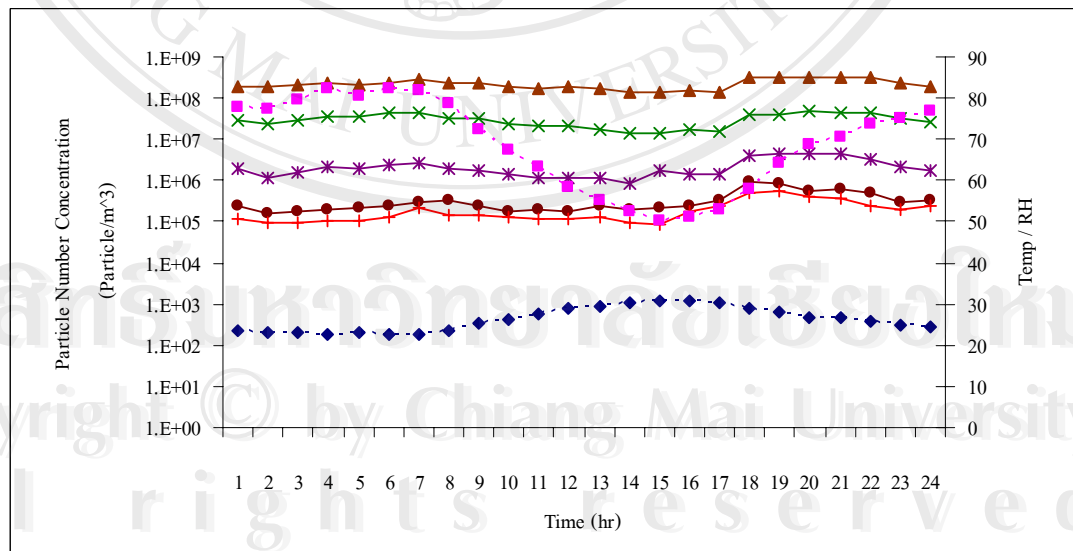
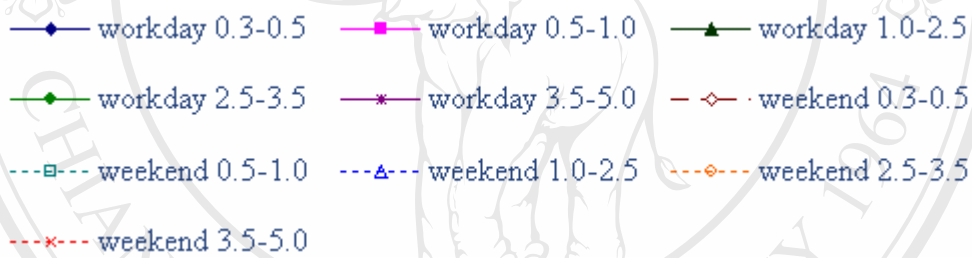
4.4 ผลและการวิเคราะห์การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารในช่วง **workday** กับ **weekend**

จากรูปที่ 4-5 พบว่าค่าความเข้มข้นภายในอาคาร ระหว่างเวลา 15.00 – 16.00 น. จำนวนอนุภาคของ **workday** มีค่ามากกว่า **weekend** เนื่องจากในช่วงนี้เด็กกำลังเลิกเรียนมีการเดินไปมาภายในห้อง และมีการทำความสะอาดห้องเกิดขึ้น แต่สาเหตุที่ในเวลา 08.00 – 14.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่มียุติการพักอยู่ในห้องเรียนแต่อนุภาคมีค่าไม่แตกต่างกับในช่วง **weekend** เพราะในช่วงนี้เด็กมีการนั่งเรียนปกติ จะมีการเดินไปมาเพียงเล็กน้อยจึงไม่ทำให้เกิดจำนวนอนุภาคเพิ่มขึ้นมากนัก จากการศึกษาของ Thatcher and Layton (1995) พบว่าการทำกิจกรรมปกติทั่ว ๆ ไปจะมีผลต่อการฟุ้งกระจายของอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป และจากการศึกษาของ Lefcoe and Incullet (1975) พบว่าการเดินและการทำความสะอาดไม่มีผลกระทบต่อความเข้มข้นของอนุภาคที่ขนาด Submicron

รูปที่ 4-6 และ 4-7 เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าลดลง แสดงว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์แปรผันตรงกับค่าอุณหภูมิ และในขณะเดียวกันเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงค่าความเข้มข้นของอนุภาคก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออากาศแห้งการฟุ้งกระจายของอนุภาคในอากาศจะมีค่าสูง เมื่อนำค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และค่าความเข้มข้นของอนุภาคไปทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยวิธี Paired-T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคมีความสัมพันธ์กับค่าของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ อย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือ เมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าลดลง และเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงค่าความเข้มข้นของอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น

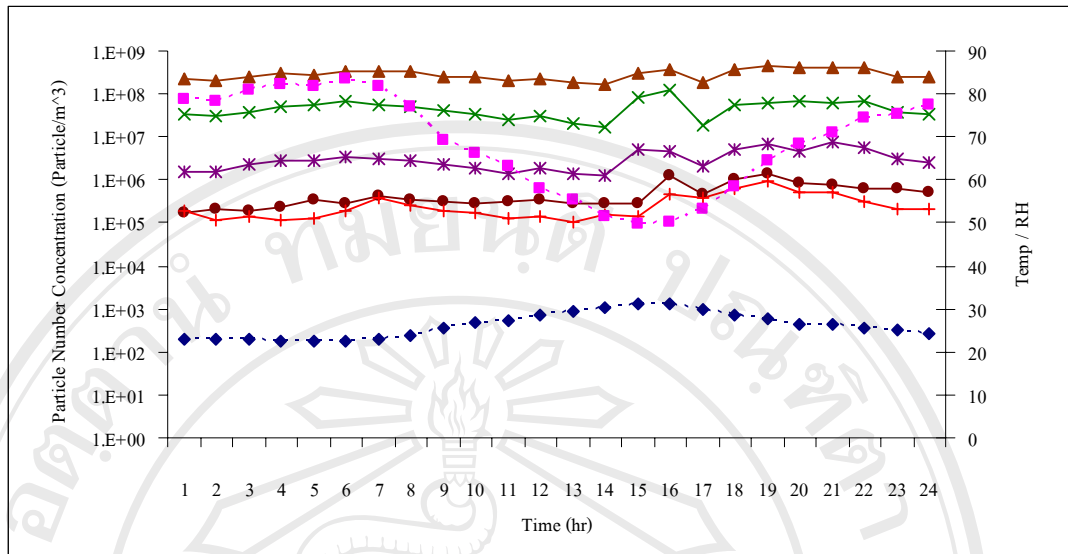


รูปที่ 4-5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างในช่วง workday และ weekend ภายในอาคาร เมื่อกำหนดให้



(ก)

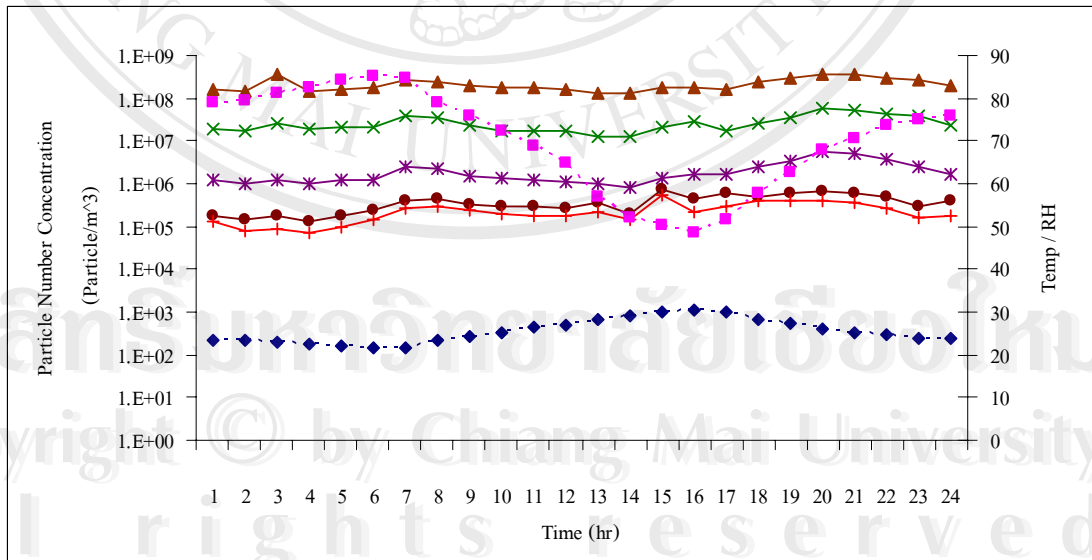
รูปที่ 4-6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนของอนุภาคในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์



(ข)

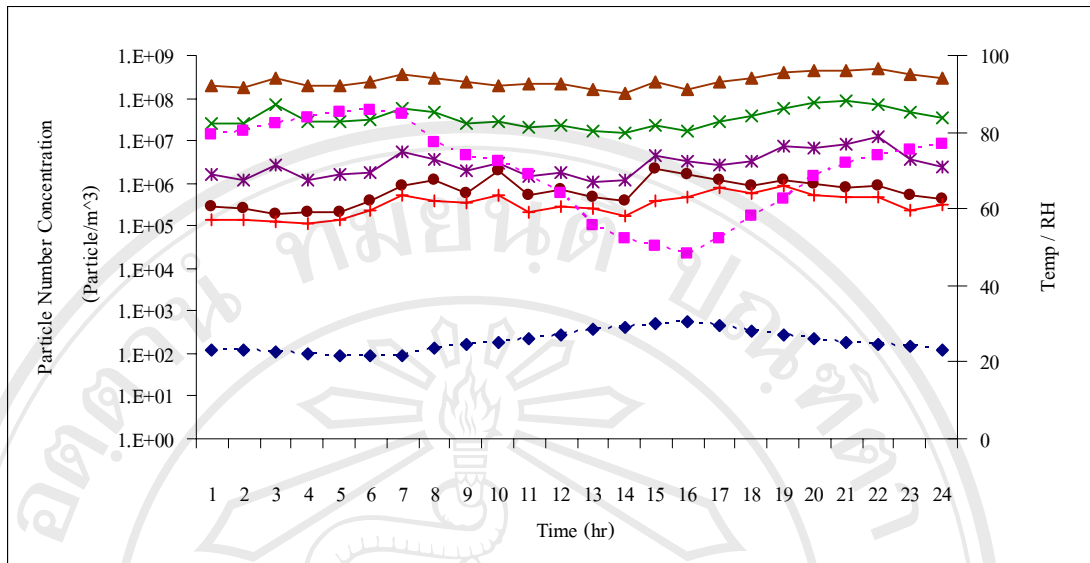
รูปที่ 4-6 (ต่อ) การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนของอนุภาคในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ เมื่อ (ก) ภายในอาคาร (ข) ภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้

▲ PM 0.3-0.5 × PM 0.5-1.0 * PM 1.0-2.5 ◆ PM 2.5-3.5
 + PM 3.5-5.0 -◆- Temp -■- RH



(ค)

รูปที่ 4-7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนของอนุภาคในช่วงวันทำงาน



(ข)

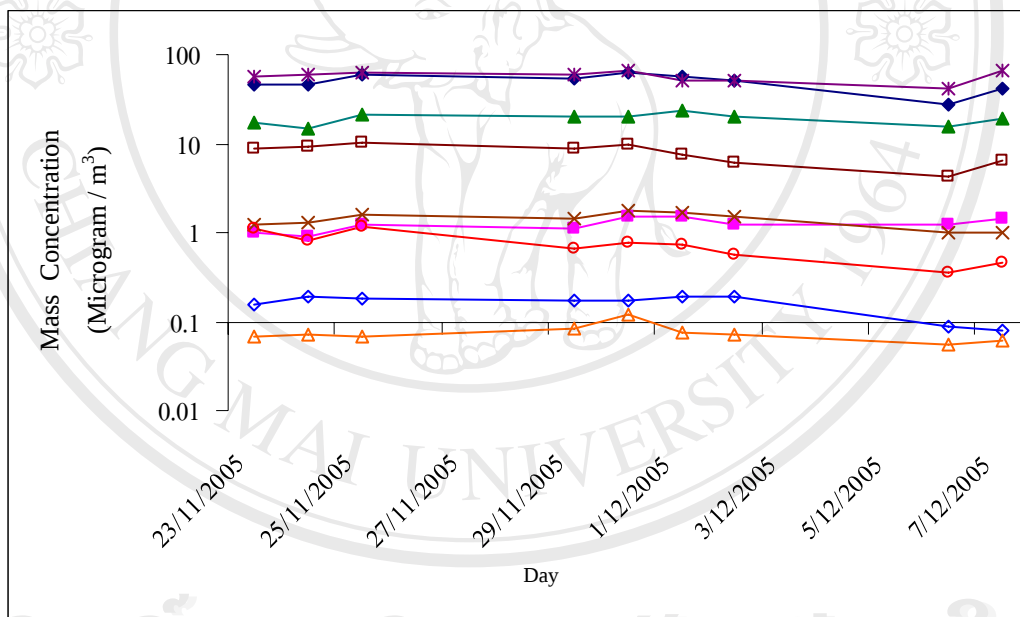
รูปที่ 4-7 (ต่อ) การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนของอนุภาคในช่วงวันทำงาน เมื่อ (ก) ภายในอาคาร (ข) ภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้



4.4.1 ผลและการวิเคราะห์การเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับค่ามลพิษที่ได้จากสถานีวัดคุณภาพอากาศรายวัน ณ โรงเรียนยุพราช จ.เชียงใหม่

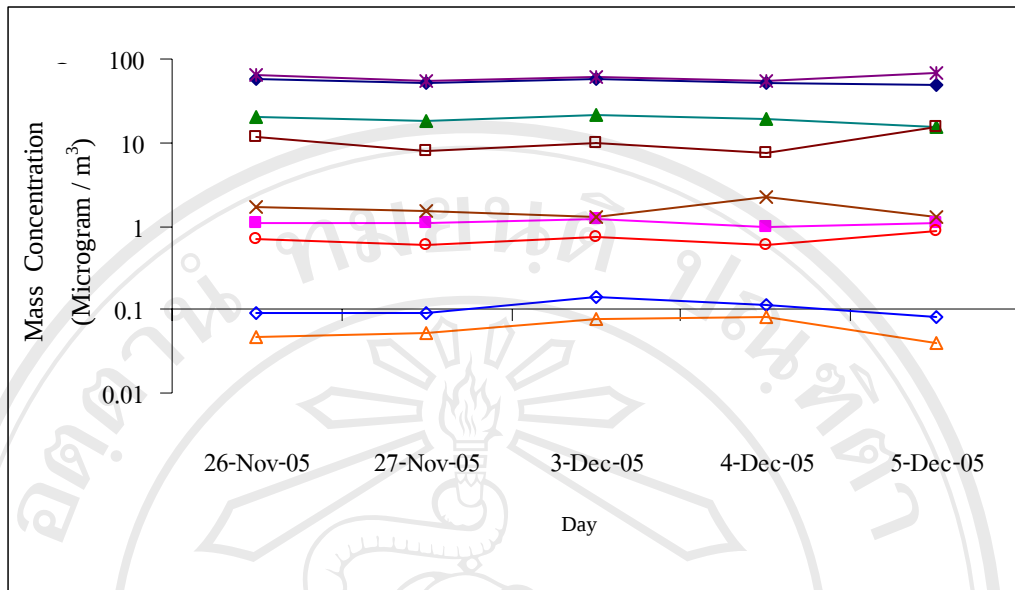
จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าความเข้มข้นที่วัดได้ทั้งภายในและภายนอกอาคารจะมีค่าสูงในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่งเนื่องมาจากอนุภาคบางส่วนเกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และนอกจากนี้ก๊าซต่าง ๆ ก็ถือเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กด้วยโดยที่ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ คือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อนำค่าที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้มาทำการแปลงหน่วยให้เป็นหน่วยเดียวกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศรายวัน ณ โรงเรียนยุพราช จ. เชียงใหม่ ตามมาตรฐาน ASHRAE จากนั้นนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4-8 พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากสถานีตรวจวัดของโรงเรียนยุพราชกับค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มความเข้มข้นของอนุภาคที่เหมือนกัน นั่นแสดงว่าวิธีการวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี

สามารถให้ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่เดียวกันปริมาณก๊าซต่าง ๆ ที่ตรวจพบจากสถานีตรวจวัดโรงเรียนยุพราชก็มีแนวโน้มเหมือนกับค่าความเข้มข้นของอนุภาคโดยก๊าซส่วนใหญ่ที่ตรวจพบเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของรถ ดังนั้นหากในสถานีตรวจวัดของโรงเรียนยุพราชมีค่าก๊าซต่าง ๆ เกิดขึ้นเป็นไปได้ว่าที่สถานที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ก็น่าจะมีก๊าซดังกล่าวเกิดขึ้นด้วยเพราะหากเปรียบเทียบปริมาณการจราจรของสถานีตรวจวัดโรงเรียนยุพราชกับสถานที่ที่ทำการเก็บข้อมูลจะพบว่า สถานที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะมีปริมาณการจราจรสูงกว่าจึงน่าจะเป็นไปได้ว่าปริมาณของก๊าซต่าง ๆ ที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดโรงเรียนยุพราชน่าจะมีในสถานที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับจากการศึกษาของ Morawska et al.(2002) ที่ว่าในช่วงเวลาที่จำนวนอนุภาคมีค่าสูงอันเนื่องมาจากการจราจรค่าของก๊าซ CO และ NO_x ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย



รูปที่ 4-8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาค ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างกับที่ได้จากสถานีตรวจวัดโรงเรียนยุพราช ในช่วง workday เมื่อ

◆ PM10 ◆ CO ◆ NO2 ◆ SO2 ◆ PM0.3-0.5
 ◆ PM0.5-1.0 ◆ PM1.0-2.5 ◆ PM2.5-3.5 ◆ PM3.5-5.0



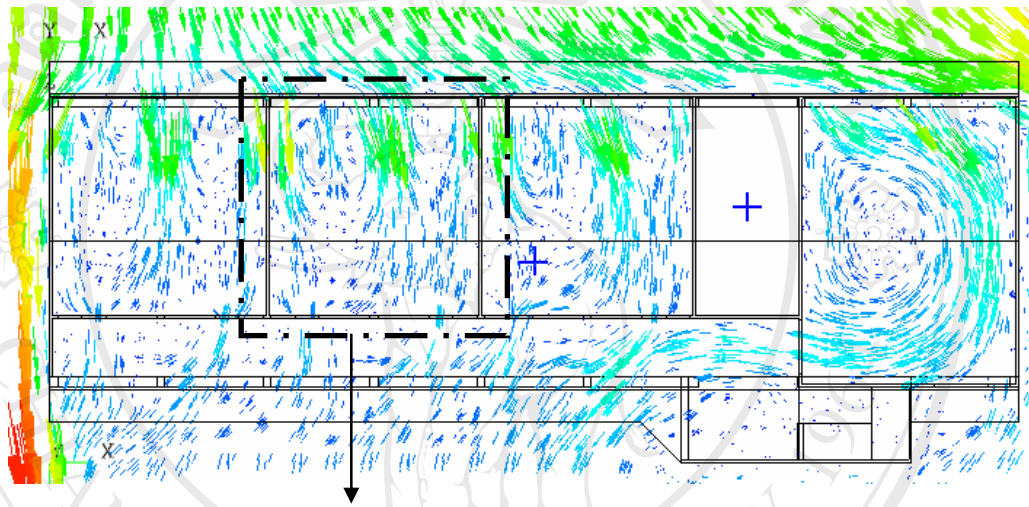
รูปที่ 4-9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาค ที่ได้จากการสูดตัวอย่าง กับที่ ได้จากสถานีตรวจวัด โรงเรียนยุพราชในช่วง weekend เมื่อ

◆ PM10 ■ CO ▲ NO2 ✕ SO2 * PM0.3-0.5
 □ PM0.5-1.0 ◇ PM1.0-2.5 ◆ PM2.5-3.5 ▲ PM3.5-5.0

4.5 ผลและการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของของไหลภายในอาคาร

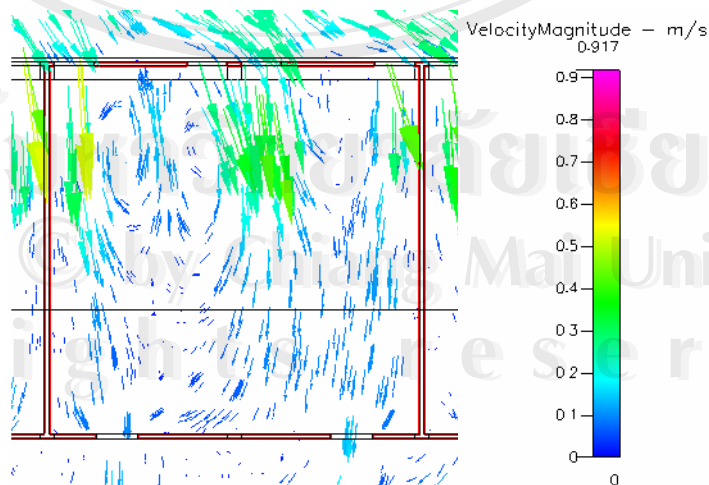
จากการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของของไหลภายในอาคาร โดยของไหลที่ทำการศึกษาในที่นี้ คืออากาศ ในการศึกษา นำเอาค่าความเร็วลมที่ได้จากการวัดค่าจากสถานที่ทำการเก็บข้อมูล มาใช้ในการวิเคราะห์หาลักษณะการกระจายตัวของอากาศภายในห้องโดยวิธีการทางพลศาสตร์ของไหล โดยลักษณะการกระจายตัวของอากาศแสดงในรูปที่ 4-10 และ 4-11 ในการศึกษาได้ทำการจำลองสภาวะต่าง ๆ ให้มีค่าความเร็วลมและทิศทางลมใกล้เคียงสภาวะจริงมากที่สุด โดยทำการกำหนดให้ลมที่พัดเข้าหาอาคารทำมุม 70 องศา กับตัวอาคารและที่ความเร็วลัพท์เท่ากับ 0.25 เมตรต่อวินาที ได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศที่ระดับความสูง 1.3 เมตร จากพื้นห้องพบว่าที่ระดับความสูงนี้ลมที่ไหลเข้ามาภายในห้องจะไหลเข้ามาทางหน้าต่างและมีค่าความเร็วไหลเข้าค่อนข้างสูงกว่าบริเวณอื่นโดยมีค่าความเร็วลมประมาณ 0.2-0.3 เมตรต่อวินาที ในขณะที่กลางห้องค่าความเร็วลมมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.1-0.2 เมตรต่อวินาที ลักษณะของลมที่ไหลเข้ามาภายในห้องเรียนจะเกิดการหมุนวนขึ้นในบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างและที่บริเวณหลังห้องจะมีการหมุนวนเกิดขึ้นมากกว่าบริเวณหน้าห้อง นั้นแสดงว่าที่บริเวณดังกล่าวมีการอัดตัวของอากาศทำให้บริเวณนี้

มีการระบายอากาศน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นที่ไม่มีการหมุนวนของอากาศ และหากมีอนุภาคไหลเข้ามาพร้อมกับอากาศที่ไหลเข้ามาในห้อง ในบริเวณที่เกิดการหมุนวนของอากาศจะมีอนุภาคสะสมอยู่มากกว่าบริเวณอื่นที่อากาศมีการถ่ายเทที่ดี เมื่อทำการพิจารณาตรงบริเวณทางออกพบว่าอากาศมีอัตราเร็วขาออกค่อนข้างต่ำ พอ ๆ กับอากาศภายในห้อง แสดงว่าการถ่ายเทอากาศที่บริเวณทางออกมีค่าน้อย การที่อากาศที่อากาศผ่านเข้ามาในห้องมีค่าความเร็วของอากาศลดลง เนื่องจากแรงเสียดทานและการหมุนวนของอากาศที่เกิดขึ้น การที่ความเร็วอากาศบริเวณทางออกมีค่าต่ำอาจส่งผลให้อนุภาคไหลออกจากห้องในปริมาณน้อยหากเทียบกับปริมาณที่ไหลเข้ามาภายในห้อง



ดังแสดงในรูปที่ 4.11

รูปที่ 4-10 สนามความเร็วของอากาศภายในอาคาร



รูปที่ 4-11 สนามความเร็วของอากาศภายในห้องเรียน