Thesis Title Analysis of Thermal Comfort and Particulate Matter Dispersion in a Classroom under Natural Ventilation

Author Mr. Chanawat Nitatwichit

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee
Asst. Prof. Dr. Yottana Khunatorn — Chairperson
Assoc. Prof. Dr. Chutchawan Tantakitti — Member
Asst. Prof. Dr. Nakorn Tippayawong — Member

ABSTRACT

The main objective of this work is to experimentally and numerically investigate the effect of natural ventilation on thermal comfort and dispersion behavior of particulate matter inside a classroom. In this study, simulation of the flow inside a model room is conducted using CFD technique. Examination of relationship between indoor airflow patterns and thermal comfort and a relationship between indoor airflow patterns with dispersion behavior of particles are performed. Optimal conditions of indoor airflow patterns associated with thermal comfort and indoor air quality due to dispersion of particles are evaluated and recommended. The model room is in accord to a standard-sized classroom specified by Department of General Education (8 m × 8 m). CFDRC^{TM} software is used as a tool with a weather data as a base reference of boundary condition including air velocity, air temperature, relative humidity, and wind direction. Weather data of Chiang Mai during school period is employed as a boundary condition in the modeling. Thermal comfort index, i.e. PMV refers to thermal comfort zone in accordance with the reference method of ASHRAE standard 55 and Thailand comfort chart. Indoor air quality (respirable particle) refers to an Occupational Safety and Health (OSH) standard of working environment of Thailand.

The numerical results of the building model were qualitatively validated with experimental set-up using flow visualization with hydrogen bubble technique. The numerical results of classroom model were verified using measuring data within real classroom. The numerical results were found to agree well with experimental results.

The flow simulation of building domain was performed with prevailing wind to identify a proper strategy of flows around building. Four-storey school building domain had three classrooms in each of 2nd - 4th floor except the ground floor is open space with no wall. Wind speed and directions close to openings were averaged and used to represent the inlet boundary conditions of the classroom domain. Simulated results revealed that the cross orientation of building to wind direction might not always be necessary to obtain thermally comfortable environment in the classroom. Cross ventilating flows through the openings were investigated. The opening discharge coefficients of six different type windows and a door were determined. Wind, stack and combined effects through the openings were characterized and compared for a range of different wind speeds and surface wall temperatures. Results showed that sliding windows gave the highest C_d value among openings considered by stack effect. Casement and side hung (90^O) windows appeared to provide high air exchange rates. Their discharge coefficients ranged between 0.63 and 0.83. As far as combined effects are

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

concerned, buoyancy was found to be significant at low wind speed (0.25 m/s). Acceptable indoor airflow patterns and thermal distributions can be expected in the occupied zone. The findings from this investigation are useful to develop a plan for a natural ventilation strategy of classrooms to enhance thermal comfort levels. A classroom model with a capacity of 32 students is of standard dimensions (8.0 m long × 8.0 m wide × 3.5 m high). The room was equipped with standard school desks and manikins were included in the classroom domain. The simulation was carried out, focusing on a comfortable indoor thermal environment of the occupants. Main inlet flow from openings was not found to affect students directly. However, a comfortable feeling can occur within the occupied zone in winter where ambient temperature was low. At incoming wind speed of 4.0 m/s, mean PMV values were found to range from -0.75 to -0.26. Particle trajectory was determined while entered the openings and flew within the classroom. It was found that low incoming wind speed (0.5 m/s) and stack effects influenced its trajectory. The trajectory that entered through the windows was suppressed and curved down to occupants. Diagonal wind thru the opening brought the particulate matter to occupant, which occupied downstream.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ค่าความสบายเชิงความร้อนและการกระจายตัวของอนุภาคมลสารในห้องเรียนภายใต้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ

ผู้เขียน นายชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ยศธนา คุณาทร ประธานกรรมการ
รศ.ดร. ชัชวาล ตัณฑกิตติ กรรมการ
ผศ.ดร. นคร ทิพยาวงศ์ กรรมการ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทดลอง และจำลองทางคณิตศาสตร์ผลกระทบของการระบายอากาศแบบธรรมชาติต่อความสบายเชิงความร้อนและการกระจายตัวของอนุภาคมลสารภายในห้องเรียน ในการศึกษานี้ใช้การจำลองการไหลของอากาศภายนอกอาคารเรียน และภายในห้องเรียนด้วยการใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องกับค่าความสบายเชิงความร้อนและพฤติกรรมการกระจายตัวของอนุภาคมลสาร แสดงการประเมินค่าและคำแนะนำเพื่อให้ได้มาซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของรูปแบบการไหลของอากาศพร้อมกับได้รับความสบาย และคำนึงถึงคุณภาพอากาศที่ดีภายในห้องเรียนที่มีขนาดมาตรฐานตามแบบของกรมสามัญศึกษาขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล CFDRC^{TM} ถูกใช้สำหรับจำลองการไหลด้วยข้อมูลอากาศมาตรฐานอันประกอบไปด้วย ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และทิศทางลม ข้อมูลอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ในช่วงเปิดภาคเรียนถูกใช้เป็นสภาวะขอบเขตในแบบจำลอง ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนอย่าง PMV ตามวิธีของ ASHRAE มาตรฐาน 55 และชาร์ทความสบายของประเทศไทย ส่วนค่าคุณภาพอากาศภายในห้อง (ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถสูดหายใจเข้าไปได้) อ้างอิงมาตรฐานของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานของประเทศไทย

ผลการจำลองการไหลภายนอกอาคารเรียนถูกสอบเทียบกับผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์การไหลเชิงทัศน์ด้วยเทคนิคการสร้างฟองไฮโดรเจน ส่วนผลการจำลองการไหลภายในห้องเรียนถูกตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลที่ตรวจวัดภายในห้องเรียนจริง ซึ่งพบว่าผลการคำนวณของทั้งสองกรณีมีความสอดคล้องกับผลการทดลองอย่างเป็นที่ยอมรับได้

การจำลองการไหลของแบบจำลองอาคารเรียนด้วยกระแสลมตามฤดูกาล เพื่อหาความเหมาะสมของการไหลรอบอาคารเรียนสี่ชั้น ที่ประกอบด้วยห้องเรียนในชั้นที่สองถึงสี่ แต่มีใต้ถุนโล่ง ความเร็วลมและทิศทางใกล้บริเวณช่องเปิดต่างถูกหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้สำหรับกำหนดเป็นสภาวะขอบเขตสำหรับการจำลองการไหลในแบบจำลองห้องเรียน ผลการจำลองการไหลพบว่าอาคารที่ก่อสร้างขวางทางลมอาจไม่จำเป็นเสมอไปสำหรับความสบายของผู้อยู่อาศัยในห้องเรียน การระบายอากาศแบบไหลผ่านสำหรับช่องเปิดถูกศึกษา สัมประสิทธิ์การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไหลของช่องเปิดหน้าต่างหกแบบกับประตูถูกพิจารณา ผลกระทบของการไหลด้วยแรงลมเพียงอย่างเดียว ด้วยผลของอุณหภูมิแตกต่าง และแบบผสมผ่านช่องเปิดต่างๆ ถูกศึกษาเชิงคุณลักษณะและเชิงเปรียบเทียบในช่วงค่าความแตกต่างของความเร็วลมขาเข้าและอุณหภูมิผนังห้อง ผลการคำนวณในกรณีการไหลเนื่องจากของผลของอุณหภูมิแตกต่าง พบว่าหน้าต่างบานเลื่อนมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด หน้าต่างบานเปิดคู่และบานเปิดเดี่ยวที่เปิดด้วยมุม 90 องศา ให้ค่าอัตราการระบายอากาศสูง สัมประสิทธิ์การไหลอยู่ในช่วง 0.63-0.83 ในกรณีศึกษาการไหลแบบผสมลมกับผลของอุณหภูมิแตกต่าง แรงลอยตัวมีผลกระทบมากที่ความเร็วลมต่ำ (0.25 เมตร/วินาที) รูปแบบการไหลและการกระจายความร้อนที่ยอมรับได้สามารถถูกคาดหวังพบได้ในบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัย การค้นพบจากการศึกษาช่องเปิดนี้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการออกแบบห้องเรียนที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติเพื่อให้ได้รับความสบายมากขึ้น แบบจำลองห้องเรียนที่มีนักเรียนจำนวน 32 คน ด้วยขนาดมาตรฐานกว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 3.5 เมตร ภายในห้องประกอบด้วยโต๊ะและหุ่นจำลองนักเรียนถูกนำมาจำลองการไหล ซึ่งมุ่งเน้นหาค่าความสบายของนักเรียน ผลของการจำลองการไหลพบว่ากระแสลมหลักที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาในห้องเรียนไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อนักเรียน อย่างไรก็ตาม การรับรู้ถึงความสบายสามารถพบได้ในฤดูหนาวที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าต่ำ และที่ความเร็วลมภายนอก 4.0 เมตร/วินาที พบค่าเฉลี่ยดัชนีความสบายอยู่ในช่วง -0.75 ถึง -0.26 เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมลสารถูกศึกษาขณะเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดและไหลในห้องเรียน พบว่าความเร็วลมต่ำ (0.5 เมตร/วินาที) และผลของอุณหภูมิแตกต่างที่สูงมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาค เนื่องจากขณะเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดนั้น เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะถูกกดและโค้งลงสู่ผู้อยู่อาศัยในห้องเรียน ส่วนลมปะทะอาคารแบบทะแยงนำพาอนุภาคมลสารสู่ผู้อยู่อาศัยที่อยู่บริเวณท้ายกระแสการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved