

## การเปรียบเทียบแรงลมระหว่างมาตรฐานต่างๆกับข้อมูลการทดลองในอุโมงค์ลม :

## ส่วนที่ 2 การเปรียบเทียบตัวอย่างการคำนวณ

## Wind Load Comparisons among Several Codes with Wind Tunnel Experiment Data :

## Part 2 Comparisons of Numerical Examples

วิโรจน์ บุญญภิญโญ อลงกรณ์ กฤตรัชชนันต์ และ กำร เจนสุขเสรี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

อำเภอ คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120

โทร. 0-2564-3001 ถึง 9 โทรสาร. 0-2564-3010

E-mail : bvirote@engr.tu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยในส่วนที่ 2 นี้ได้เสนอการคำนวณเปรียบเทียบค่าแรงลมที่กระทำกับอาคาร และการตอบสนองของอาคาร โดยใช้วิธีการคำนวณตามมาตรฐานต่างๆจากงานวิจัยในส่วนที่ 1 เปรียบเทียบกับผลการทดลองในอุโมงค์ลม สำหรับค่าซึ่งมีการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ได้แก่ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระชอกของลม ค่าอัตราเร่งสูงสุดของอาคารในทิศทางลม และในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม การบิดของอาคาร หน่วยแรงลมที่กระทำต่ออาคาร หน่วยแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ที่ฐานของอาคาร การคำนวณได้ใช้ตัวอย่างอาคาร 2 อาคารซึ่งมีความสูงเท่ากับ 182.88 เมตร และ 317.5 เมตร สำหรับอาคารที่มีความสูงเท่ากับ 182.88 เมตร นั้นได้ทำการเปรียบเทียบโดยพิจารณาจากความเร็วลมอ้างอิงที่มีค่าแตกต่างกันหลายค่าด้วย

## Abstract

This research part 2 presents comparisons of wind loads and responses of the building by using methods from building codes, standards and wind tunnel experiments presented in part 1 of this research. The specific discussions of their estimations include the gust effect factor, peak acceleration in alongwind, acrosswind, and torsional direction, wind load, base shear, and over-turning moment. The example buildings used in this research are 182.88 and 317.5 m heights. The first building are also compared by consideration of many various reference wind velocities.

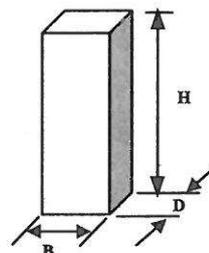
## 1. บทนำ

งานวิจัยในส่วนที่ 1 [บุญญภิญโญ และ คณะ 2548] ได้นำเสนอหลักการ วิธีการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคาร โดยวิธีตาม

มาตรฐานต่างๆ สำหรับงานวิจัยในส่วนที่ 2 นี้ นำเสนอตัวอย่างการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคาร โดยวิธีการตามมาตรฐานต่างๆดังแสดงในงานวิจัยส่วนที่ 1 พร้อมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการคำนวณดังกล่าว กับข้อมูลการทดสอบในอุโมงค์ลม

การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเปรียบเทียบการคำนวณด้วยมาตรฐานต่างๆ [ Zhou et al. 2002; Kareem and Kijewski 1998; Loh and Isymov 1985; คงทรัพย์ และคณะ 2539; ทรงจิตรักษา และ บำรุงกิตติกุล 2540; พันธุ์ชูเชิด และคณะ 2540; กฤตรัชชนันต์ 2545] สำหรับงานวิจัยนี้ได้้นำผลที่ได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานต่างๆมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองในอุโมงค์ลม โดย Kareem and Kijewski [1998] และ Reinhold and Sparks [1980] เพื่อชี้ให้เห็นถึงวิธีการ ข้อดี ข้อเสีย และความถูกต้องของมาตรฐานต่างๆ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้เสนอการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศไทยฉบับใหม่โดยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน และลดความผิดพลาดในขั้นตอนการคำนวณ รายละเอียดการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถดูได้จาก กฤตรัชชนันต์ [2545]

## 2. ตัวอย่างอาคารที่ใช้ในการเปรียบเทียบ



ตารางที่ 1  
คุณสมบัติของตัวอย่างอาคารซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบ

คุณสมบัติของอาคาร	อาคารที่ 1*	อาคารที่ 2**
ความสูงของอาคาร(H) (ม.)	182.88	317.5
ความกว้างของอาคาร (B) (ม.)	30.48	38.1
ความลึกของอาคาร(D) (ม.)	30.48	38.1
ความหนาแน่นเฉลี่ยของมวลอาคาร (กก./ม. <sup>3</sup> )	192.22	192.22
อัตราส่วนความหน่วงของอาคาร	0.010	0.010
อาคารตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศ	กลางเมืองใหญ่	กลางเมืองใหญ่
ความถี่ธรรมชาติของอาคารในทิศทางลม (Hz)	0.2	0.1
ความถี่ธรรมชาติของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม(Hz)	0.2	0.1
ความหนาแน่นเฉลี่ยของมวลอากาศ (กก./ม. <sup>3</sup> )	1.25	1.25

\*ผลการทดลองในอุโมงค์ลมของอาคารที่ 1 อ้างอิงจาก Kareem and Kijewski [1998]

\*\*ผลการทดลองในอุโมงค์ลมของอาคารที่ 2 อ้างอิงจาก Reinhold and Sparks [1980]

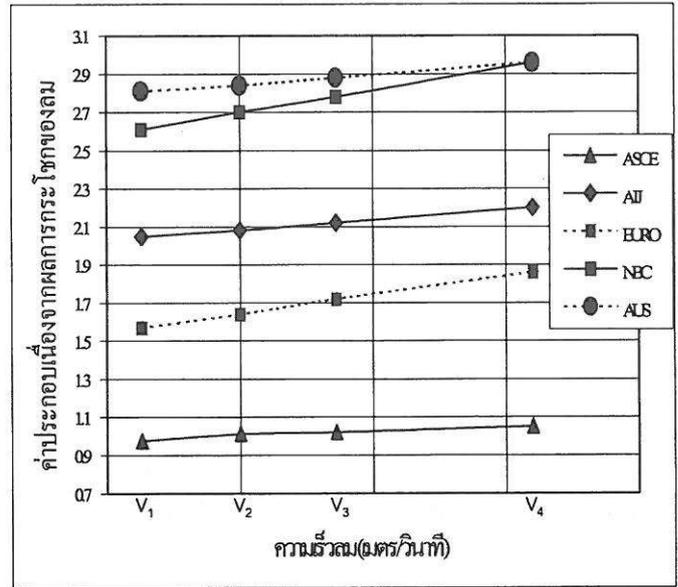
### 3. ความเร็วลมอ้างอิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมอ้างอิง ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดินในสภาพภูมิประเทศแบบโล่ง โดยที่ในมาตรฐานต่างๆ ได้กำหนดวิธีการวัดที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

- มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสำหรับประเทศไทย (ว.ส.ท. 2546 หรือ EIT 2003) ข้อกำหนดการคำนวณแรงลมของประเทศแคนาดา (NBC 1995) และ มาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศออสเตรเลีย (AS 1170-1989) ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 1 ชั่วโมง
- ข้อเสนอแนะการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น (AIJ 1996) และ มาตรฐานการคำนวณแรงลมของยุโรป (Eurocode 1) ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 10 นาที
- มาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศสหรัฐอเมริกา (ASCE7-95) ใช้ค่าความเร็วลมกระโชก ในเวลา 3 วินาที

### 4. การเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลม และการตอบสนองทางพลศาสตร์ของอาคารที่ 1

#### 4.1 ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม



ภาพที่ 1

ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม สำหรับอาคารที่ 1

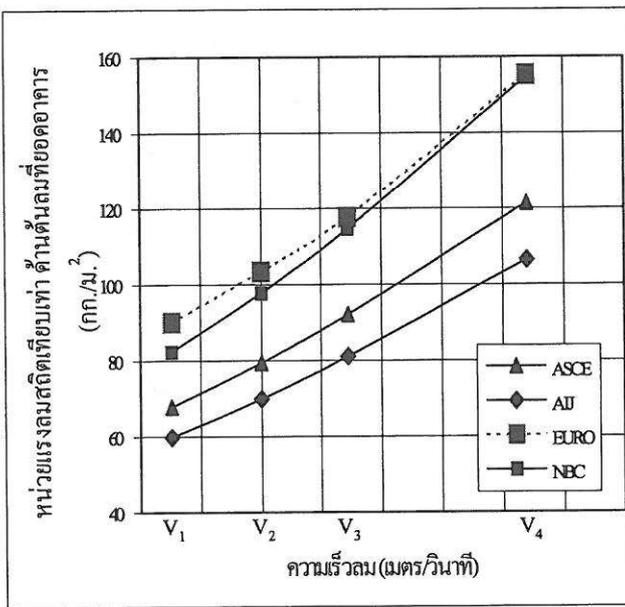
ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม สำหรับอาคารที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม ในทุกมาตรฐานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเร็วลมอ้างอิงมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเร็วลมอ้างอิงเดียวกัน ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม ที่ได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศออสเตรเลีย มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าที่ได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ เนื่องจากความแตกต่างของช่วงเวลาในการวัดความเร็วลมอ้างอิงที่ใช้ มาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศออสเตรเลีย ใช้ความเร็วลมอ้างอิงซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงมีการผันผวนมาก ทำให้ค่าประกอบเนื่องผลการกระโชกของลมมีค่ามาก ในทางตรงกันข้าม มาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ค่าความเร็วลมอ้างอิงซึ่งเป็นความเร็วลมกระโชกในเวลา 3 วินาทีทำให้ลมมีการผันผวนน้อยที่สุดและทำให้ค่าประกอบเนื่องผลการกระโชกของลมมีค่าใกล้เคียง

ตารางที่ 2

ความเร็วลมที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดินในสภาพภูมิประเทศแบบโล่ง (ความเร็วลมอ้างอิง)

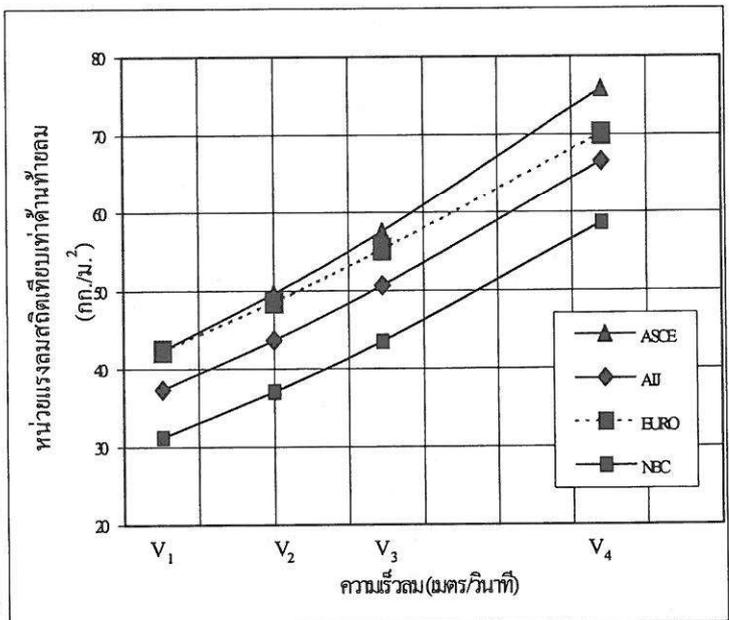
มาตรฐาน	ไทย (EIT 2003) แคนาดา (NBC 1995)	ญี่ปุ่น (AIJ 1996)	สหรัฐอเมริกา (ASCE7-95)	ยุโรป (Eurocode 1)	ออสเตรเลีย (AS1170.2-1989)
วิธีการวัดความเร็วลม	ความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 1 ชั่วโมง	ความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 10 นาที	ความเร็วลมกระโชก 3 วินาที	ความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 10 นาที	ความเร็วลมเฉลี่ยในเวลา 1 ชั่วโมง
ความเร็วลมในช่วงต่างๆ (เมตรต่อวินาที)					
V <sub>1</sub>	20.52	21.96	31.29	21.96	20.52
V <sub>2</sub>	22.00	23.52	33.53	23.52	22.00
V <sub>3</sub>	23.45	25.09	35.76	25.09	23.45
V <sub>4</sub>	26.40	28.25	40.23	28.25	26.40

4.2 หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า



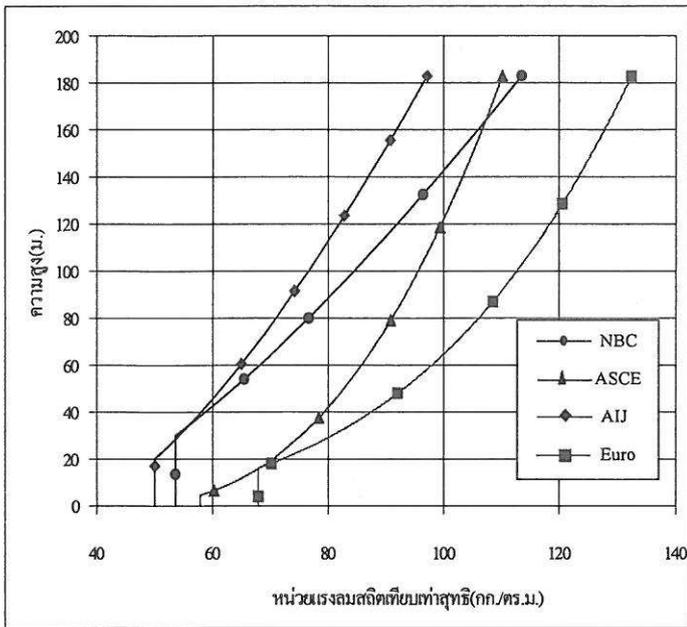
ภาพที่ 2

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ทางด้านคันทันลมที่ยอดอาคารสำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ



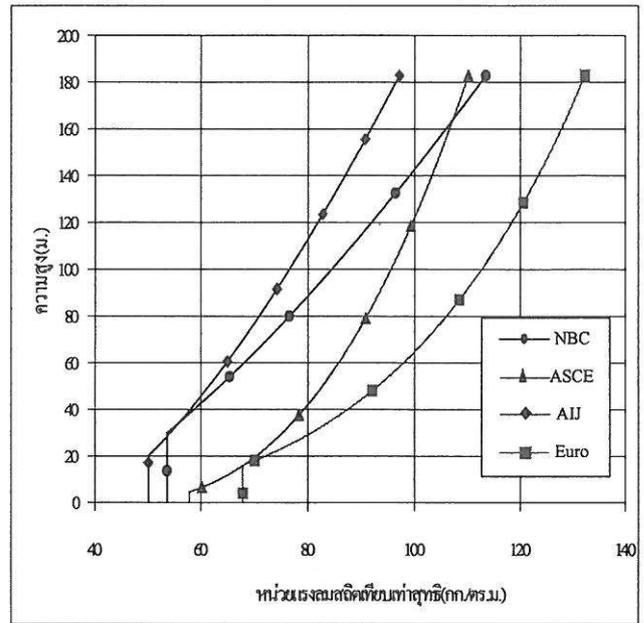
ภาพที่ 3

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ทางด้านท้ายลมที่ยอดอาคารสำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ



ภาพที่ 4

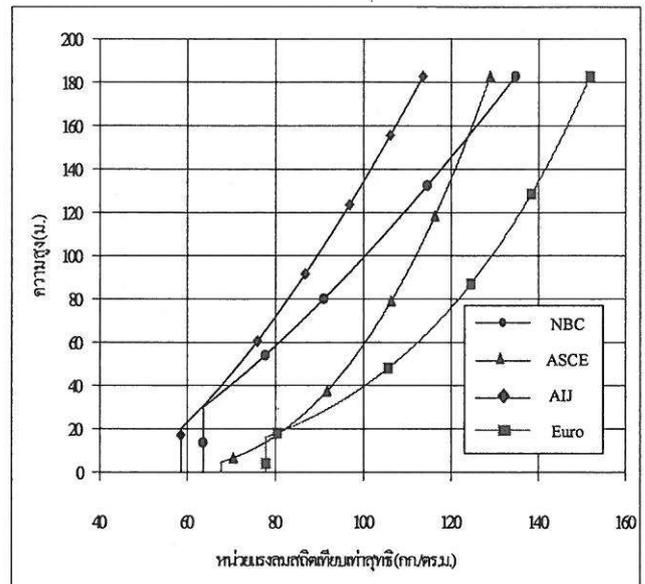
หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ



ภาพที่ 5

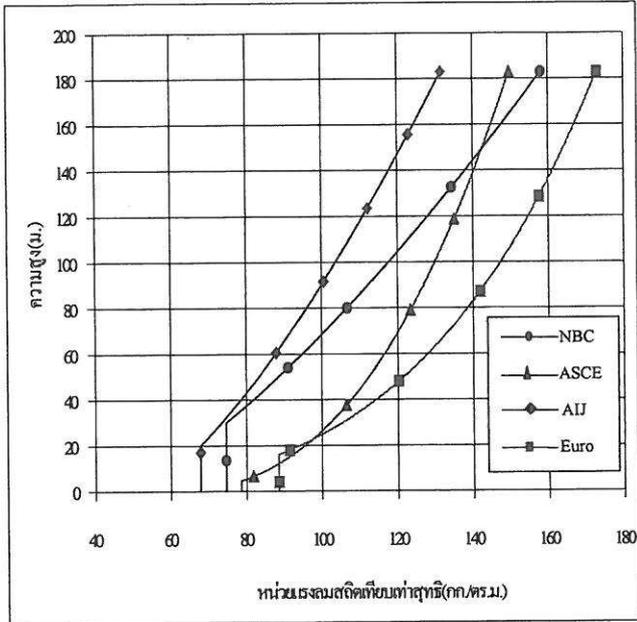
หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมอ้างอิง  $V_1$

ภาพที่ 2-4 แสดงการเปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่ากระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารทางด้านต้นลม ด้านท้ายลม และหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ณ ยอดอาคาร พบว่าค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่ากระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารทางด้านต้นลม (มีค่าแปรผันตามความสูงของอาคาร ในที่นี้คือที่ยอดอาคาร ซึ่งเป็นค่าสูงสุด) ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลมของยุโรป มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับค่าซึ่งได้จากมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากข้อเสนอแนะการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น มีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่ากระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารทางด้านท้ายลม (มีค่าเท่ากันตลอดทั้งความสูงของอาคาร) ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากมาตรฐานอื่นๆ และค่าซึ่งได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสำหรับประเทศไทย หรือข้อกำหนดการคำนวณแรงลมของประเทศแคนาดา มีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิกระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ณ ยอดอาคารนั้น ค่าซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลมของยุโรป มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับค่าซึ่งได้จากมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากข้อเสนอแนะการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น มีค่าน้อยที่สุด



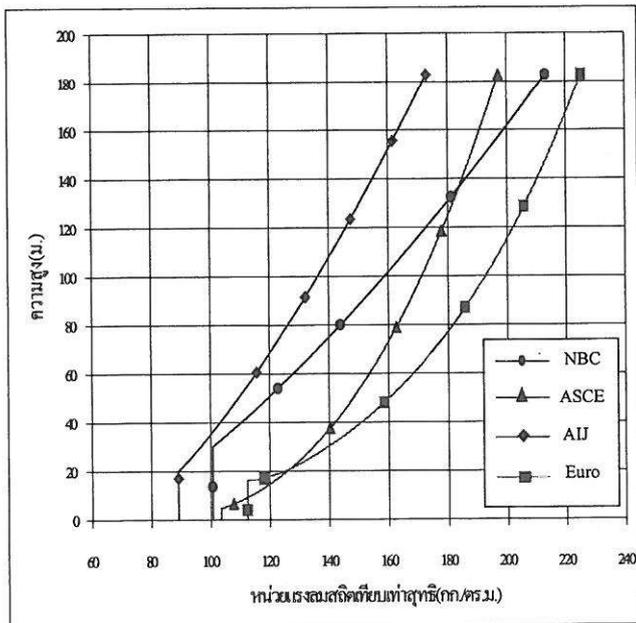
ภาพที่ 6

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมอ้างอิง  $V_2$



ภาพที่ 7

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมอ้างอิง  $V_3$

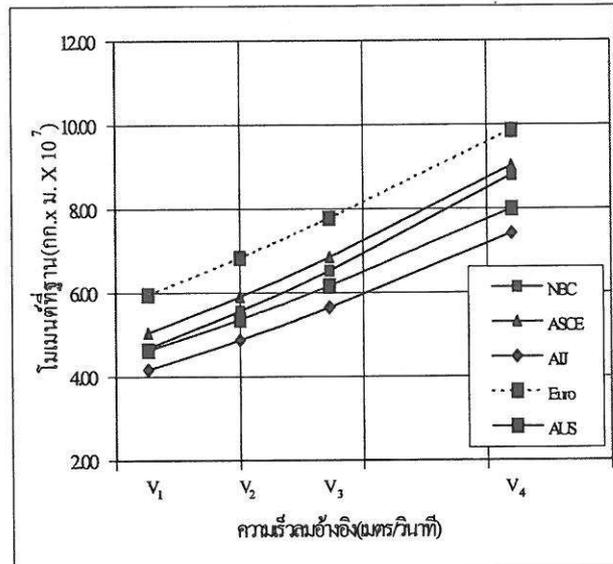


ภาพที่ 8

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมอ้างอิง  $V_4$

ภาพที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารตลอดความสูงของอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ ทั้ง 5 มาตรฐาน

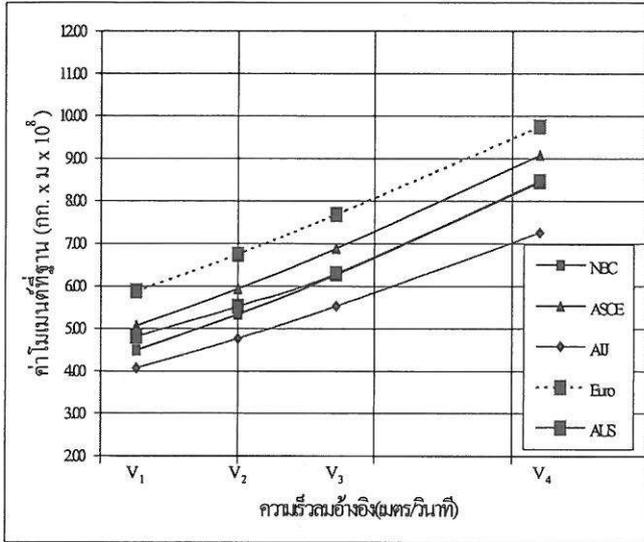
#### 4.3 หน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่ฐาน



ภาพที่ 9

ค่าแรงเฉือนที่ฐาน สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ

ภาพที่ 9 แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนที่ฐานสำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ พบว่า ค่าแรงเฉือนที่ฐาน ที่ได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานต่างๆแปรผันตามความเร็วลมอ้างอิง คือเมื่อความเร็วลมอ้างอิงเพิ่มขึ้น ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่ได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมของยุโรป มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าซึ่งได้จากมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าแรงเฉือนที่ฐานซึ่งได้จากการคำนวณโดยข้อเสนอการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าซึ่งได้จากมาตรฐานอื่นๆ จะสังเกตได้ว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสำหรับประเทศไทย หรือข้อกำหนดการคำนวณแรงลมของประเทศแคนาดา และมาตรฐานการคำนวณแรงลมของประเทศออสเตรเลีย มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด



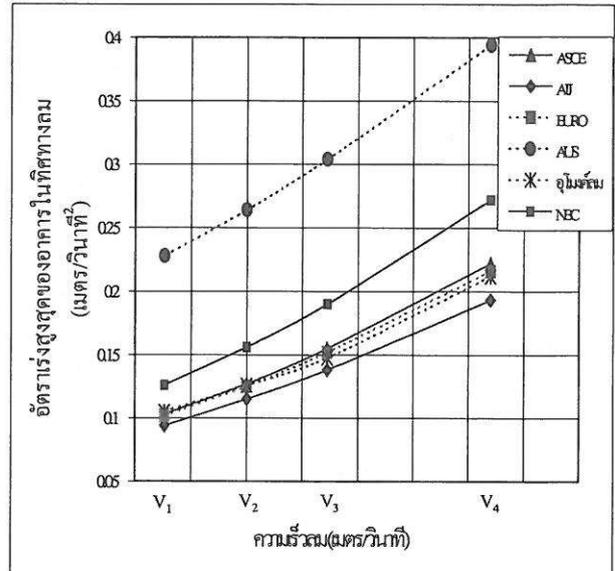
ภาพที่ 10

ค่าโมเมนต์พื้นฐานสำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ

ภาพที่ 10 แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์พื้นฐานสำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ พบว่า ค่าโมเมนต์พื้นฐานที่ได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานต่างๆแปรผันตามความเร็วลมอ้างอิง คือเมื่อความเร็วลมอ้างอิงเพิ่มขึ้น โมเมนต์พื้นฐานที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โมเมนต์พื้นฐานซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมของยุโรป มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าซึ่งได้จากมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าโมเมนต์พื้นฐานซึ่งได้จากการคำนวณโดยข้อแนะนำการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าซึ่งได้จากมาตรฐานอื่นๆ

4.4 อัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางลม

ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบอัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางลม ซึ่งพบว่าอัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางลม ซึ่งได้จากมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่นมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองในอุโมงค์ลม ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาและยุโรป มีค่าใกล้เคียงกันมากเนื่องจากมีพื้นฐานการคำนวณจากทฤษฎีที่คล้ายกัน นอกจากนี้ผลจากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมประเทศออสเตรเลีย มีค่าสูงกว่าผลการทดลองในอุโมงค์ลมเป็นอย่างมาก ค่าที่ได้จากมาตรฐานของประเทศไทยหรือแคนาดามีค่าสูงกว่าผลการทดลองพอสมควร



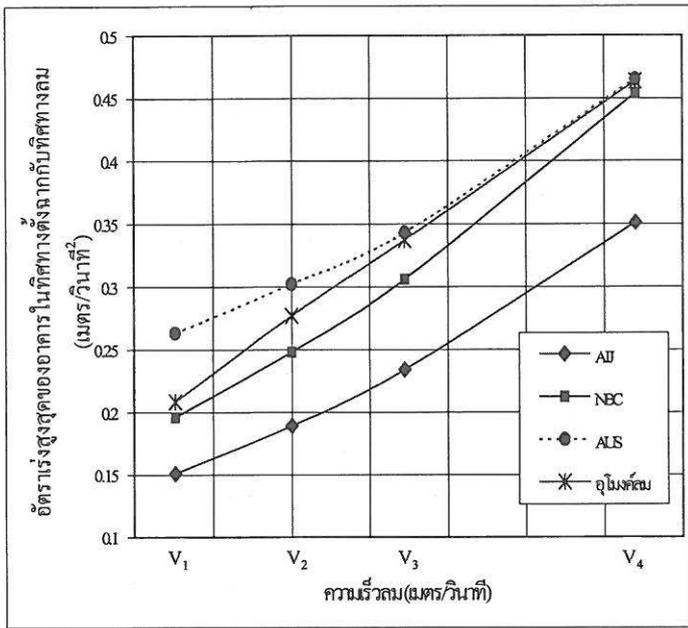
ภาพที่ 11

อัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางลม สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ

ค่าสูงสุดของการตอบสนองทางพลศาสตร์ของอาคารในทิศทางต่างๆ สามารถหาได้จาก การคูณค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของการตอบสนองทางพลศาสตร์ของอาคารในทิศทางนั้นๆ ด้วยค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยเป็นค่าสูงสุด (peak factor) ซึ่งสามารถหาได้จากค่าซึ่งกำหนดในมาตรฐานนั้นๆ สำหรับผลการทดลองในอุโมงค์ลม กำหนดค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยเป็นค่าสูงสุดเท่ากับ 3.5

4.5 อัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม

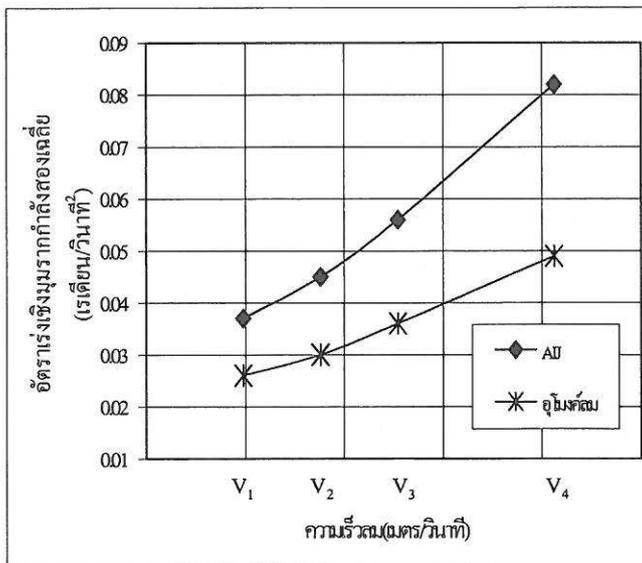
ภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบการเปรียบเทียบอัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ซึ่งพบว่าค่าอัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ซึ่งได้จากมาตรฐานของประเทศไทย แคนาดา และออสเตรเลีย มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลม ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากข้อแนะนำการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานอื่นๆ และน้อยกว่าผลการทดลองในอุโมงค์ลมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 12

อัตราเร็วสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ

4.6 อัตราเร็วเชิงมุมรอกำลังสองเฉลี่ยของอาคาร



ภาพที่ 13

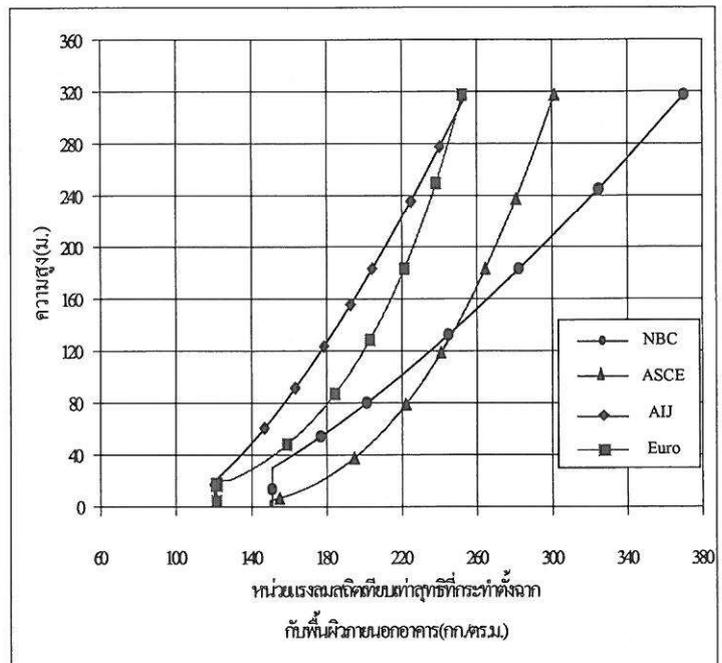
อัตราเร็วเชิงมุมรอกำลังสองเฉลี่ยของอาคาร สำหรับอาคารที่ 1 ณ ความเร็วลมต่างๆ

ภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วเชิงมุมรอกำลังสองเฉลี่ย พบว่าค่าอัตราเร็วเชิงมุมรอกำลังสองเฉลี่ยซึ่งได้จากการคำนวณ

โดยข้อแนะนำการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่น มีค่ามากกว่าผล ซึ่งได้จากการทดลองในอุโมงค์ลม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ค่าจากข้อแนะนำการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่นจะมากกว่าผลการทดลองเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามได้มีการเปรียบเทียบค่าจากข้อแนะนำการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่นกับผลการทดสอบของอาคารจริงๆพบว่าค่าจากการทดสอบอาคารจริงมีค่าน้อยกว่าค่าจากข้อแนะนำการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่นน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

5. การเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลม และการตอบสนองทางพลศาสตร์ของอาคารที่ 2

5.1 หน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่าสุทธิ และการตอบสนองของอาคารที่ 2



ภาพที่ 14

หน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่าสุทธิที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารที่ 2

ภาพที่ 14 พบว่าค่าหน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่าสุทธิที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคารซึ่งได้จากการคำนวณโดยทุกมาตรฐานนั้น มีค่าคงที่ในช่วงความสูงจากพื้นดินจนความสูงเพิ่มขึ้นถึงจุดจุดหนึ่ง ค่าหน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่าจากการคำนวณโดยทุกมาตรฐานจึงเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตรงตามความสูงของอาคาร

ตารางที่ 3

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสูงสุดกระทำต้งฉากกับพื้นผิวภายนอก  
อาคารและการตอบสนองทางพลศาสตร์สำหรับอาคารที่ 2

มาตรฐาน	NBC 1995	ASCE7 -95	AIJ 1996	Eurocode 1	AS1170 -1989	Wind Tunnel Data
ความเร็วลมอ้างอิง (เมตร/วินาที)	26.40	40.23	28.25	28.25	26.40	-
ค่าประกอบเนื่อง จากผลการ กระโชกของลม	3.457	1.294	2.199	2.353	3.110	-
ค่าหน่วยแรงลม สถิตเทียบเท่าด้าน ต้นลม ณ ยอด อาคาร(กก./ตร.ม.)	268.55	185.40	156.57	170.00	-	-
ค่าหน่วยแรงลม สถิตเทียบเท่าด้าน ท้ายลม ณ ยอด อาคาร (กก./ตร.ม.)	101.90	115.87	97.86	82.23	-	-
ค่าหน่วยแรงลม สถิตเทียบเท่า สุทธิ ณ ยอด อาคาร(กก./ตร.ม.)	370.45	301.27	254.43	252.30	-	-
อัตราเร่งสูงสุด ของอาคารในแนว ราบในทิศทางลม (เมตร/วินาที <sup>2</sup> )	0.444	0.362	0.251	0.273	0.440	0.323
อัตราเร่งสูงสุด ของอาคารในแนว ราบในทิศทางตั้ง ฉากกับทิศทางลม (เมตร/วินาที <sup>2</sup> )	1.231	-	1.635	-	1.924	1.648
ค่าแรงเฉือนพื้นฐาน (กก. x 10 <sup>6</sup> )	3.144	3.005	2.305	2.473	1.755	-
ค่าโมเมนต์พื้นฐาน (กก. x ม. x 10 <sup>6</sup> )	5.737	5.192	4.106	4.328	2.957	-

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสูงสุดกระทำต้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร และการตอบสนองทางพลศาสตร์สำหรับอาคารที่ 2 พบว่า

ก. ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลมจากการคำนวณ โดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคาร

ของประเทศไทยหรือแคนาดา มีค่ามากกว่าผลซึ่งได้จากการคำนวณจากมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของสหรัฐอเมริกา มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ

ข. ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสุทธิ ณ ยอดอาคาร จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณของแคนาดา มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของยุโรป มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ

ค. อัตราเร่งสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางลมซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมของสหรัฐอเมริกา มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากกว่ามาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าจากมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับกรออกแบบอาคารของประเทศไทย หรือแคนาดา มีค่ามากกว่าผลการทดลองถึง 37 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าซึ่งได้จากข้อเสนอแนะการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่นกลับมีค่าน้อยกว่าผลการทดลองประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

ง. อัตราเร่งสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลมซึ่งได้จากการคำนวณโดยข้อเสนอแนะการคำนวณแรงลมของประเทศญี่ปุ่นมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากกว่ามาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศไทยและแคนาดา มีค่าน้อยกว่าผลการทดลองถึง 34 เปอร์เซ็นต์

จ. ค่าแรงเฉือนพื้นฐาน ซึ่งได้จากการคำนวณโดยข้อกำหนดการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศไทยและแคนาดา มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของออสเตรเลีย มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ

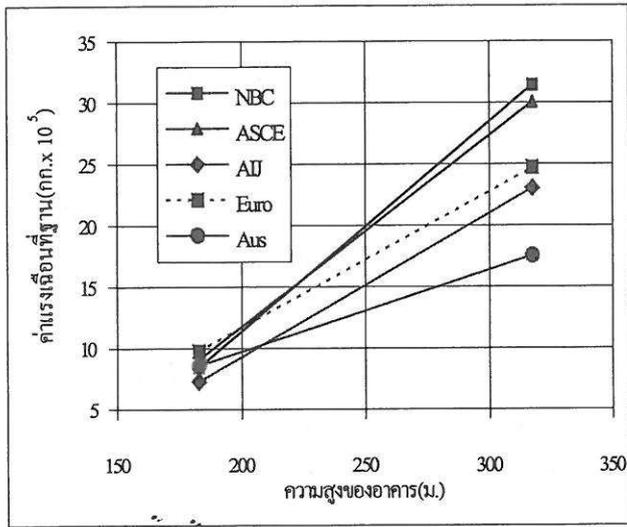
ฉ. ค่าโมเมนต์พื้นฐาน ซึ่งได้จากการคำนวณโดยข้อกำหนดการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศไทยและแคนาดา มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ ในขณะที่ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมของออสเตรเลีย มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ

5.2 การเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนพื้นฐาน และการตอบสนองของอาคารที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าค่าแรงเฉือนพื้นฐานสำหรับอาคารที่ 1 ซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานของประเทศแคนาดา และออสเตรเลียมีค่าซึ่งใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานของยุโรปมีค่ามากที่สุดส่วนค่าซึ่งได้จากข้อเสนอแนะของประเทศญี่ปุ่นมีค่าน้อยที่สุด สำหรับอาคารที่ 2 ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น และยุโรปมีค่าซึ่งใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับค่าจากมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาและแคนาดา มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าซึ่งได้จากข้อกำหนด

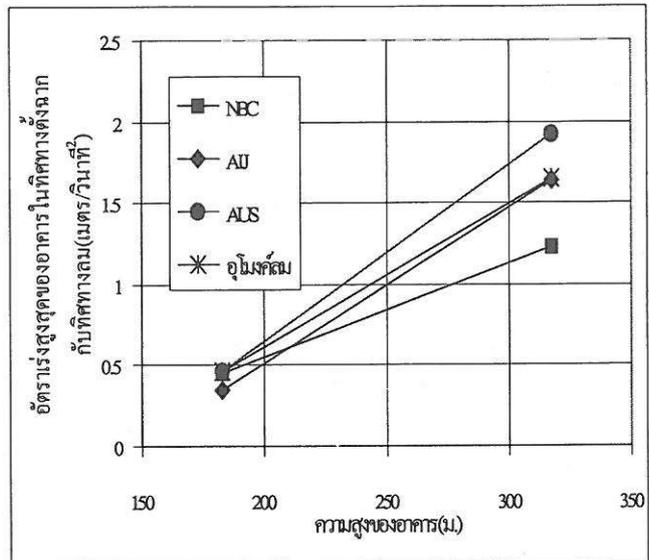
ของแคนาดามีค่ามากที่สุด ส่วนค่าซึ่งได้จากมาตรฐานของออสเตรเลีย มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ

จากการคำนวณ โดยมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรปมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด



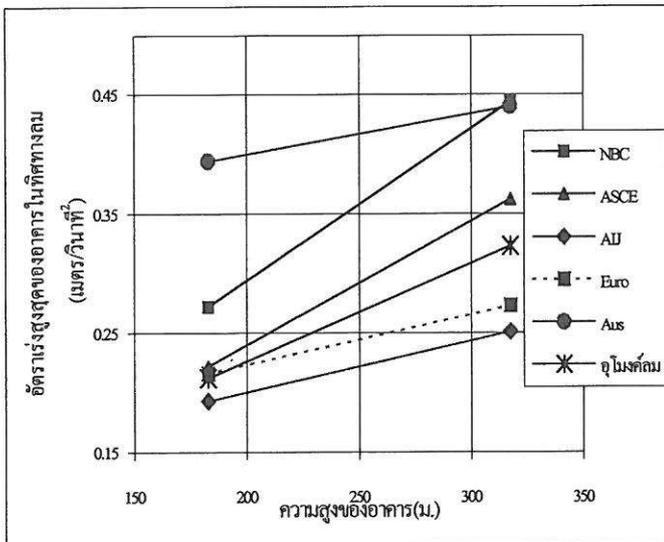
ภาพที่ 15

ค่าแรงเฉือนพื้นฐาน สำหรับอาคารที่ 1 และ 2 ณ ความเร็วลม  $V_4$



ภาพที่ 17

อัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม สำหรับอาคารที่ 1 และ 2 ณ ความเร็วลม  $V_4$



ภาพที่ 16

อัตราแรงสูงสุดของอาคารในแนวราบในทิศทางลม สำหรับอาคารที่ 1 และ 2 ณ ความเร็วลม  $V_4$

จากภาพที่ 16 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราแรงสูงสุดของอาคารในทิศทางลมสำหรับอาคารที่ 1 ซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรปและญี่ปุ่นมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด ในขณะที่สำหรับอาคารที่ 2 ค่าซึ่งได้

จากภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราแรงสูงสุดของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลมสำหรับอาคารที่ 1 ซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศ ไทย แคนาดาและออสเตรเลียมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด สำหรับอาคารที่ 2 ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด

## 6. สรุป

งานวิจัยในส่วนที่ 2 ได้เสนอตัวอย่างการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคารโดยวิธีการตามมาตรฐานต่างๆ พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลม และการตอบสนองของอาคารตัวเดียวกับผลการทดลองในอุโมงค์ลม สามารถสรุปได้ดังนี้

1. มาตรฐานต่างๆมีพื้นฐานมาจากวิธีค่าประกอบจากการกระชอกของลม อย่างไรก็ตาม แต่ละมาตรฐานใช้แบบจำลองในการคำนวณค่าหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศและค่าประกอบเนื่องจากการกระชอกของลมแตกต่างกัน จึงทำให้ผลการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคารมีค่าที่แตกต่างกัน

2. ค่าอัตราแรงสูงสุดของอาคารในทิศทางลมสำหรับอาคารซึ่งมีความสูงประมาณ 200 เมตรซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานของ

ประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรปและญี่ปุ่นมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด ในขณะที่สำหรับอาคารที่มีความสูงประมาณ 300 เมตร ค่าซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรปมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด

3. ค่าอัตราเร่งสูงสุดของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลมสำหรับอาคารซึ่งมีความสูงประมาณ 200 เมตรซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศไทย แคนาดาและออสเตรเลียมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด ในขณะที่สำหรับอาคารที่มีความสูงประมาณ 300 เมตร ค่าซึ่งได้จากมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด

4. มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นเป็นเพียงมาตรฐานเดียวซึ่งมีการคำนวณหาการตอบสนองต่อการบิดของอาคาร

5. ค่าแรงเฉือนที่ฐานสำหรับอาคารที่มีความสูงประมาณ 200 เมตรในสภาพภูมิประเทศแบบกลางเมืองใหญ่ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานของทวีปยุโรป > มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา > มาตรฐานของไทย, แคนาดาและออสเตรเลีย > ข้อเสนอแนะของญี่ปุ่นในขณะที่อาคารที่มีความสูงประมาณ 300 เมตร ค่าแรงเฉือนที่ฐานซึ่งได้จากมาตรฐานของไทยและแคนาดา > มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา > มาตรฐานของทวีปยุโรป > ข้อกำหนดของญี่ปุ่น > มาตรฐานของออสเตรเลีย

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Kareem, A., and Kijewski T. (1998), "Dynamic wind effects: a comparative study of provisions in codes and standards with wind tunnel data", *J. of Wind and Structures.*, Vol.1, pp.77-109.
- Loh, P., and Isyumov, N. (1985), "Comparisons of wind loads on tall buildings and comparisons with code values", *Proc. Of the 5th US Natl. Conf. On Wind Eng.*, Lubbock, Texas
- Reinhold, T.A., and Sparks, P.R. (1980), "The influence of wind direction on the response of a square-section tall building", *J. of Structural Engineering ASCE.*, Vol.106(5), pp.685-698.
- Zhou, Y., Kijewski T., Kareem A. (2002), "Along wind load effects on tall buildings: comparative study of major international codes and standards" *J. of Structural Engineering ASCE.*, Vol.128(6), pp. 788-796.
- ทวิวัฒน์ คงทรัพย์, ทรงฤทธิ์ ชยามันท์ และ ภูมิธ อัสสมงคล (2539) "การคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสูงในประเทศไทย" ปรินญาณิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ประพฤทธิ์ ทรงจิตรักษา และ รัฐพล บำรุงกิตติกุล (2540) "การเปรียบเทียบมาตรฐานหน่วยแรงลม ASCE7-5 และ NBC 1990" ปรินญาณิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พนมกร พันธุ์ชูเชิด, จักรา กวีวรกร และ สุวิทย์ พันธุ์มานะเจริญผล (2540) "การคำนวณเปรียบเทียบแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสูงโดยใช้มาตรฐานของประเทศไทย แคนาดา และญี่ปุ่น" ปรินญาณิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วิโรจน์ บุญญภิญโญ, อลงกรณ์ กฤตรัชตนันต์ และ กัทร เจนศุภเสรี (2548), "การเปรียบเทียบแรงลมระหว่างมาตรฐานต่างๆกับข้อมูลการทดลองในอุโมงค์ลม: ส่วนที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการคำนวณ", บทความต่อเนื่อง

อลงกรณ์ กฤตรัชตนันต์ (2545) "การเปรียบเทียบแรงลมระหว่างมาตรฐานต่างๆกับข้อมูลการทดลองในอุโมงค์ลม", วิทยานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์