

## บทที่ 5

### โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการเปรียบเทียบ

#### 5.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบไซโคลนประกอบไปด้วการทำงานหลักๆ 2 ส่วนคือการคำนวณออกแบบไซโคลนและการคำนวณหาค่าลังงานที่ใช้ในพัดลม โดยในแต่ละส่วนจะประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยหลาย โปรแกรมย่อยที่มีหน้าที่การทำงานต่างๆกัน ส่วนรายละเอียดและขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ประกอบไปด้วย

ก) ขั้นตอนการอ่านข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการคำนวณในส่วนของการออกแบบไซโคลนและพัดลม ในขั้นตอนนี้จะเรียกโปรแกรมย่อย READ\_INP สำหรับการอ่านข้อมูลเริ่มต้นของปัญหาจากอินพุทไฟล์

ข) ขั้นตอนการคำนวณนี้จะรับค่าจากโปรแกรมย่อย READ\_INP มาใช้สำหรับการคำนวณ โดยในขั้นตอนนี้แบ่งการคำนวณเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณออกแบบไซโคลนและการคำนวณหาค่าลังงานที่ใช้ของพัดลม

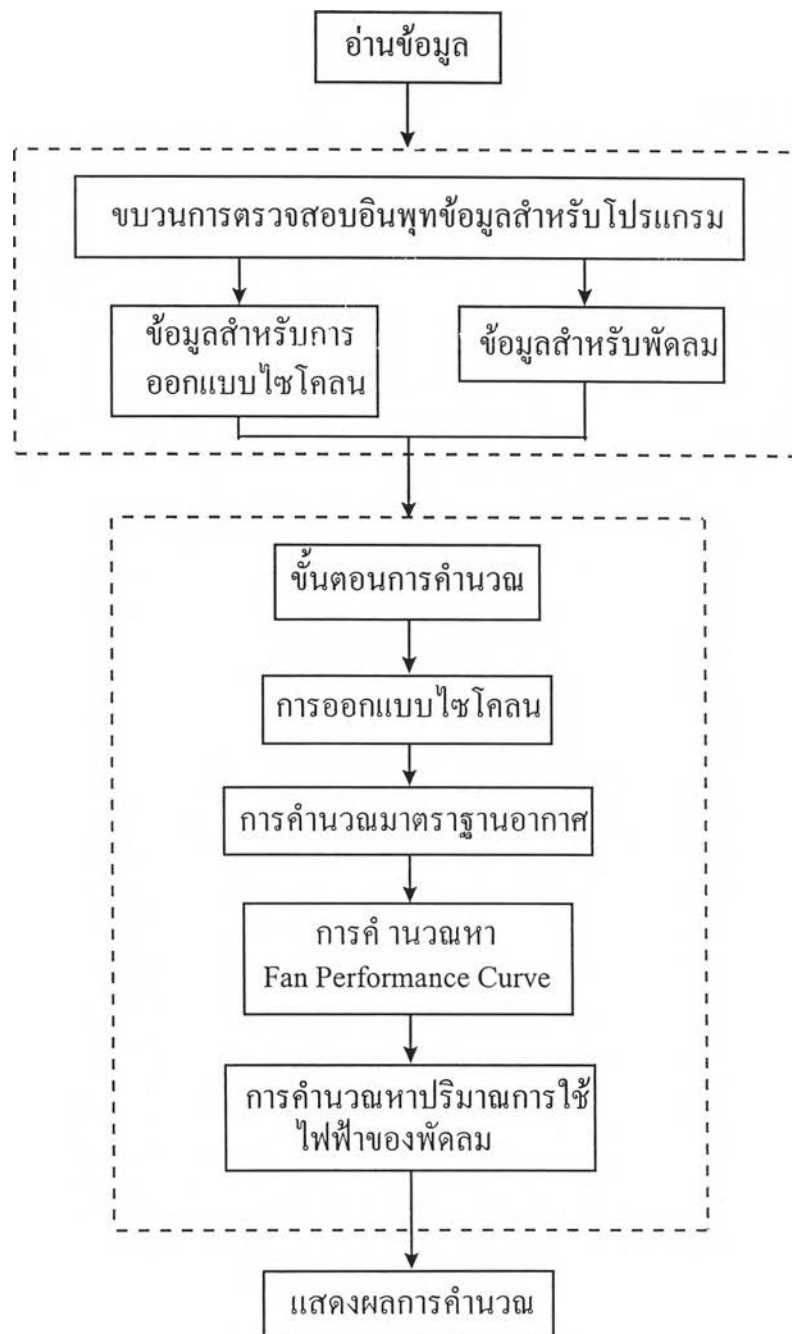
ส่วนการคำนวณออกแบบไซโคลน มีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญคือ

ในส่วนการคำนวณออกแบบไซโคลนสามารถทำได้หลายวิธี โดยการคำนวณนั้นขึ้นอยู่กับอินพุทไฟล์ที่มีอยู่ในเบื้องต้น เมื่อทราบอินพุทไฟล์ว่าประกอบด้วยอะไรบ้างแล้วก็จะนำอินพุทไฟล์นี้มาทำการคำนวณออกแบบไซโคลน ซึ่งในโปรแกรมจะมีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญ 3 ขั้นตอนคือ

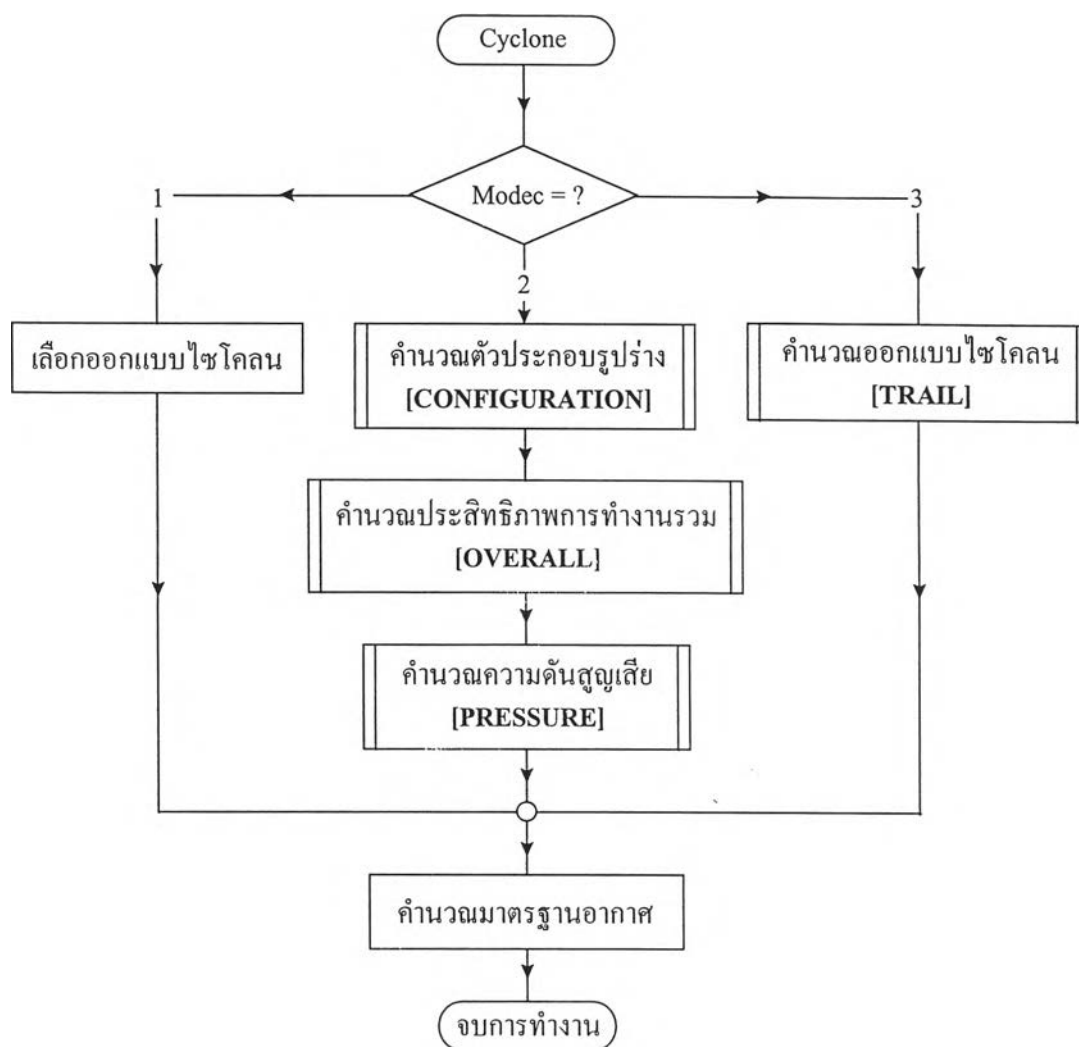
1. การเลือกออกแบบไซโคลนโดยผู้ใช้ ในขั้นตอนนี้จะรับค่าข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจากโปรแกรมย่อย READ\_INP ซึ่งผู้ใช้จะเป็นผู้กรอกข้อมูลที่ต้องการสำหรับการคำนวณได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน, จำนวนของไซโคลน, ประสิทธิภาพการทำงานรวม และความดันสูญเสีย โดยเลือกกรอกข้อมูลสองข้อมูลจากทั้งหมด

2. กำหนดขนาดของไซโคลนโดยผู้ใช้ สำหรับการกำหนดสัดส่วนของไซโคลนนี้จะต้องเป็นไปตามข้อบังคับ(Constraints) ที่กำหนดเพื่อให้ไซโคลนมีประสิทธิภาพการทำงานสูง ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้จำเป็นต้องกรอกข้อมูลไซโคลน ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ความสูงบริเวณทางเข้า, ความกว้างบริเวณทางเข้า, ความยาวของท่อทางออก, เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณทางออก,

ความยาวของทรงกระบอก, ความยาวทั้งหมด และเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณทางออกอนุภาคของไซโคลน ตามลำดับ สำหรับการคำนวณ<sup>(14)</sup>



รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

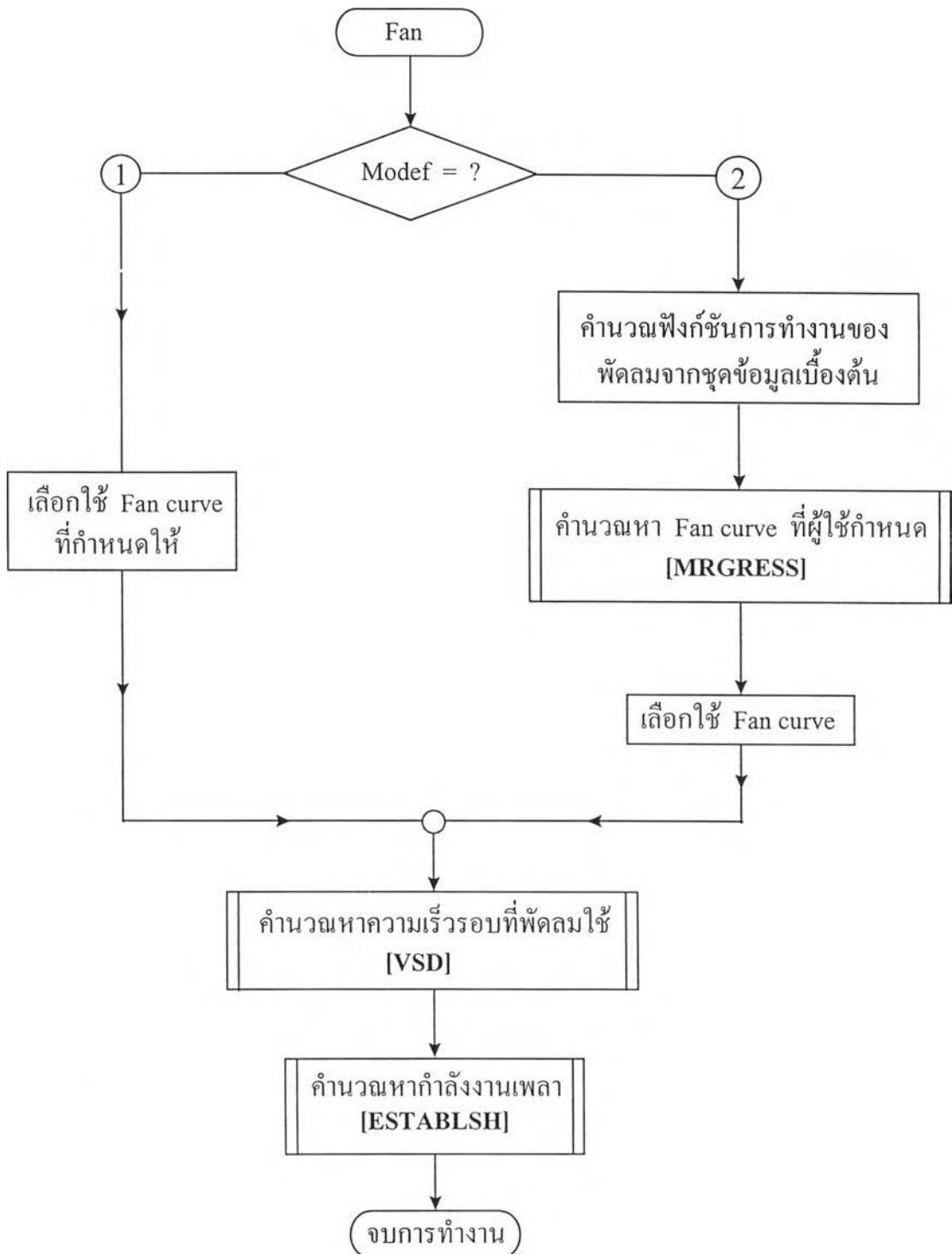


รูปที่ 5.2 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของ การคำนวณออกแบบไซโคลน

3. คำนวณออกแบบไซโคลนให้เหมาะสมกับสภาวะเข้าไซโคลน ในขั้นตอนนี้จะรับค่าข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจากโปรแกรมย่อย READ\_INP คือสภาวะเข้าไซโคลนประกอบด้วย อัตราการไหลเชิงปริมาตร, ความหนาแน่นของอนุภาค, อุณหภูมิ และการกระจายอนุภาค เมื่อเข้าสู่ไซโคลนมาทำการคำนวณด้วยวิธีของ Koch, W.H. and Licht, W.L.<sup>(3)</sup>

ส่วนการคำนวณกำลังที่ใช้สำหรับพัดลม มีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญคือ

ขั้นตอนการคำนวณกำลังงานที่ใช้ในการหมุนเพลลาของพัดลมเพื่อจะเอาชนะค่าความดันสูญเสียภายในท่อลมเนื่องจากการส่งจ่ายผ่านท่อลม ในขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาสมการแสดงสมรรถนะการทำงานของพัดลม(Fan Performce Curve) เพื่อใช้ในการคำนวณหากำลังงานที่ใช้ในพัดลม ในส่วนนี้มีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญสองขั้นตอนคือ



รูปที่ 5.3 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของ Fan performance curve ของพัดลม<sup>(14)</sup>

1. พัดลมที่กำหนดขึ้นภายในโปรแกรมฯ โดยจะมีสมการการแสดงผลสมรรถนะของพัดลมแบบแรงเหวี่ยงศูนย์กลาง(Centrifugal Fan) ชนิดของพัดลมที่นำมาพิจารณาเป็นของ YORK (BI DWDI) ซึ่งในโปรแกรมมีกำหนดไว้ 5 ขนาดคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.25", 13.5", 15", 16.5" และ 18.25" ตามลำดับ

2. พัดลมที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดเอง ในส่วนนี้เป็นการคำนวณหาสมการแสดงผลสมรรถนะของพัดลมตามความต้องการของผู้ใช้ โดยให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของพัดลมจากผู้ผลิตในอินพุทไฟล์ ซึ่งข้อมูลที่ต้องการสำหรับการคำนวณได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด, ความกว้างของใบพัด, พื้นที่ขาออกของพัดลม(Fan-Housing Outlet Area), ความเร็วรอบของพัดลม, อัตราการส่งจ่ายลม, ความดันสถิตที่พัดลมสร้างขึ้น(Static Pressure Gain) และกำลังงานของเพลลา ตามลำดับ

ก) ขั้นตอนการตรวจสอบมลภาวะทางอากาศที่ได้จากไซโคลนที่ทำการออกแบบนี้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพอากาศ(Air Quality Standards) ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงแหล่งที่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศด้วยแสดงในภาคผนวก ค.

ง) ขั้นตอนการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมในระบบส่งจ่ายลมจากกำลังที่ใช้ในการหมุนเพลลาของพัดลม

จ) ขั้นตอนการแสดงผลที่ได้จากคำนวณทั้งในส่วนของไซโคลนและพัดลม

ขั้นตอนที่กล่าวมานี้เป็นขั้นตอนโดยสรุปของการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถเขียนแผนภาพแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 5.1 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้เขียนขึ้นนี้จะอยู่ในภาคผนวก ก. และอินพุทไฟล์แสดงในภาคผนวก ข. และเพื่อความเข้าใจถึงการทำงานของโปรแกรมนี้อธิบายถึงหน้าที่และรายละเอียดของโปรแกรมย่อยที่สำคัญดังต่อไปนี้

โปรแกรมย่อย READ\_INT (Subroutine READ\_INP)

มีหน้าที่ในการอ่านข้อมูลเบื้องต้นของปัญหาภายในอินพุทไฟล์ โดยแบ่งการอ่านข้อมูลภายในอินพุทไฟล์ออกเป็น 2 ส่วน คือข้อมูลสำหรับไซโคลนและข้อมูลสำหรับพัดลม

ข้อมูลของไซโคลนประกอบไปด้วย สัดส่วนของไซโคลน, อัตราการไหลเชิงปริมาตร, ความหนาแน่นจริงของอนุภาค, อุณหภูมิเข้าไซโคลน, การกระจายของอนุภาค, อัตราการไหลของอนุภาค, มาตรการของอากาศของแหล่งกำเนิดแก๊สสกปรก เป็นต้น

ข้อมูลของพัดลมประกอบไปด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด, ความกว้างของใบพัด, พื้นที่ขาออกของพัดลม(Fan-housing outlet area), ความเร็วรอบของพัดลม, อัตราการส่งจ่ายลม, ความดันสถิตที่พัดลมสร้างขึ้น(Static Pressure Gain) และกำลังงานของเพลลาตามลำดับ

#### โปรแกรมย่อย CONFIGURATION (Subroutine CONFIGURATION)

มีหน้าที่ในการคำนวณหาตัวประกอบรูปร่าง(Configuration factor) ของไซโคลน โดยไซโคลนแต่ละชนิดหรือแต่ละสัดส่วนจะมีค่าตัวประกอบรูปร่างที่แตกต่างกัน โดยมีขั้นตอนการทำงาน ของโปรแกรมคือรับค่าอัตราส่วนของไซโคลนมาจากโปรแกรมย่อย READ\_INP มาใช้ในการคำนวณหาตัวประกอบรูปร่างตามวิธีการของ Koch, W.H. and Licht, W.L. <sup>(11)</sup>

#### โปรแกรมย่อย OVERALL\_EFF (Subroutine OVERALL\_EFF)

มีหน้าที่ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานรวมของไซโคลน(Overall Efficiency) โดยมีขั้นตอนการทำงานคือรับค่าที่ได้จากโปรแกรมย่อย READ\_INP และโปรแกรมย่อย TRIAL มาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานรวม โดยประสิทธิภาพรวมนี้จะเป็นฟังก์ชันของประสิทธิภาพย่อย(Grade or Fraction Efficiency) และสัดส่วนมวล(Mass Fraction)

#### โปรแกรมย่อย PRESSURE (Subroutine PRESSURE)

มีหน้าที่ในการคำนวณหาความดันสูญเสียของไซโคลนและตรวจสอบค่าความดันสูญญี่ว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบที่กำหนด โดยมีขั้นตอนการทำงานคือรับค่าจากโปรแกรม TRIAL มาใช้ในการคำนวณโดยมีขั้นตอนการคำนวณเป็นไปตามวิธีการของ Shepherd C.B., and Lapple C.E. พร้อมทั้งตรวจสอบค่าที่คำนวณได้ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข

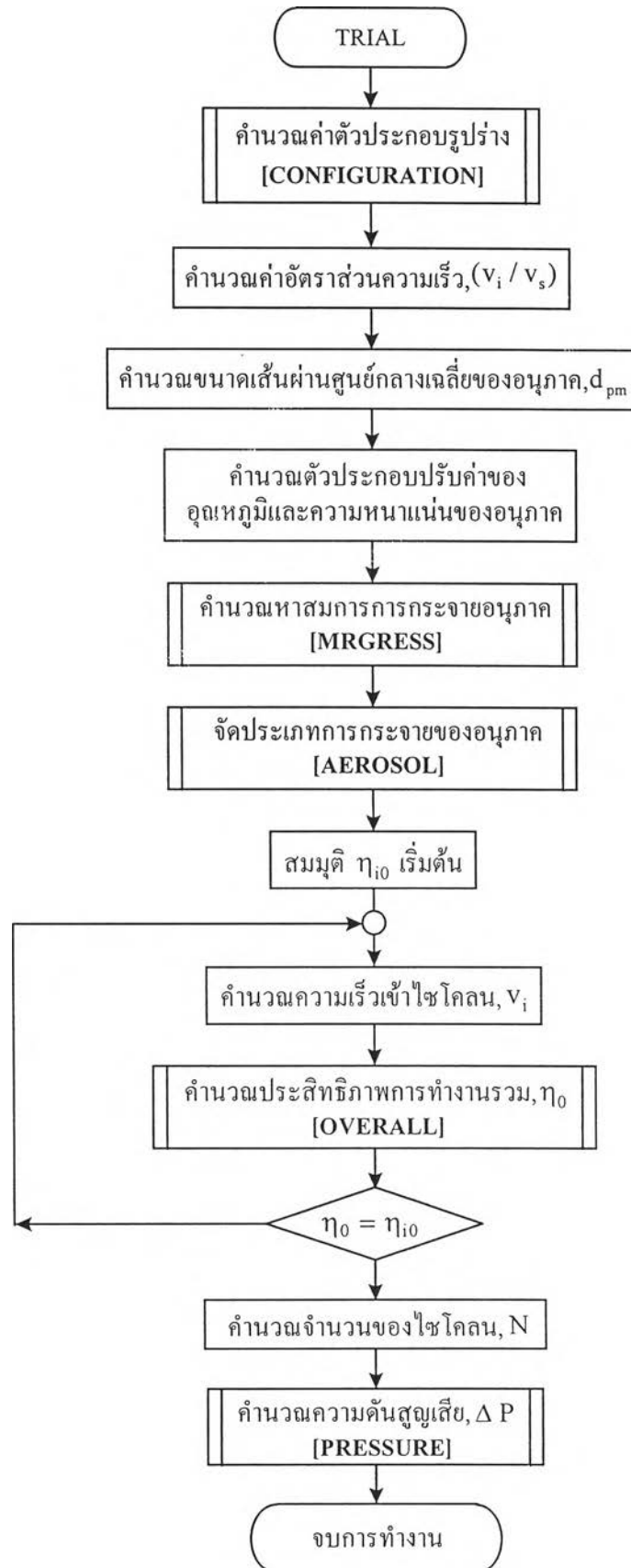
#### โปรแกรมย่อย TRIAL (Subroutine TRIAL)

มีหน้าที่ในการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน, จำนวนของไซโคลน, ประสิทธิภาพการทำงานรวม และค่าความดันสูญเสียของไซโคลน โดยมีขั้นตอนการคำนวณคือรับค่าข้อมูลเริ่มต้นมาจากโปรแกรมย่อย READ\_INP มาทำการคำนวณค่าต่างๆออกมาโดยวิธีการคำนวณเป็นไปตามวิธีของ Koch, W.H. and Licht, W.L.

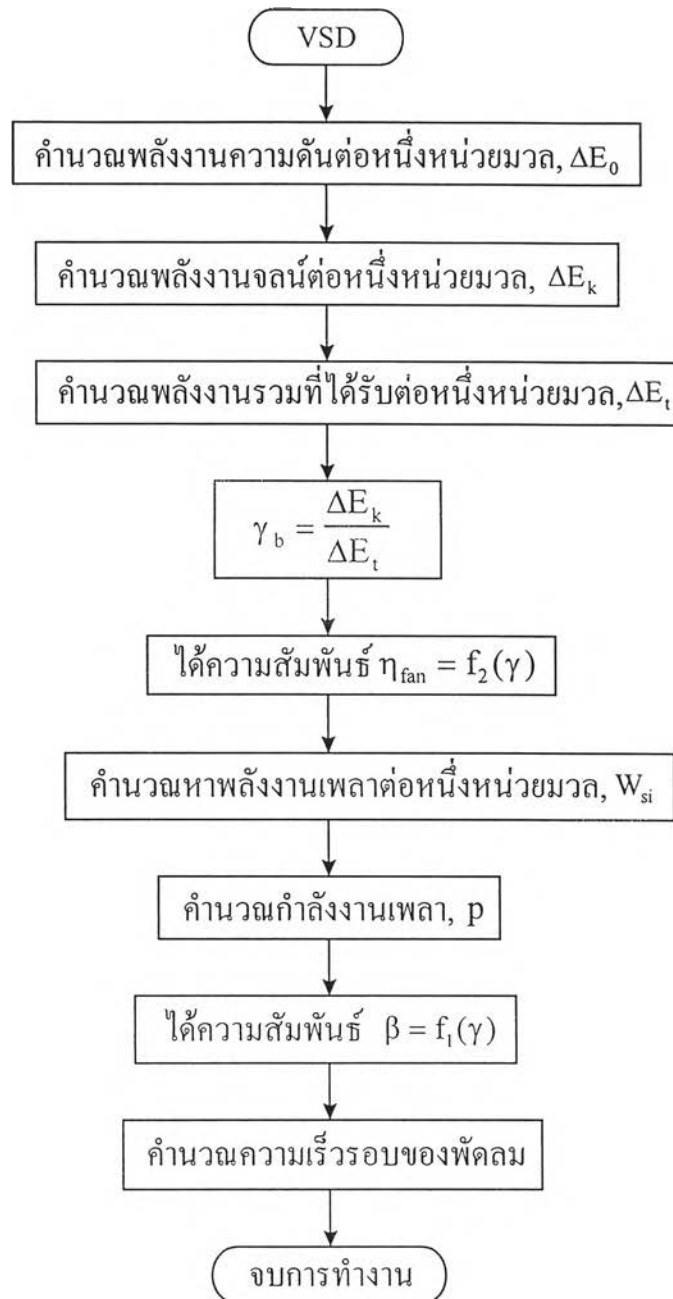
#### โปรแกรมย่อย FAN (Subroutine FAN)

มีหน้าที่ในการคำนวณหาค่ากำลังงานเพลลา(Brake Horse Power) โดยมีแผนผังแสดงลำดับการคำนวณแสดงดังรูปที่ 5.3 สำหรับภายในโปรแกรมเริ่มต้นการทำงานจากการรับเอาข้อมูลเบื้องต้นของพัดลม เพื่อใช้ในการหาสมรรถนะของพัดลม

โปรแกรมย่อย FAN นี้แบ่งได้เป็น 2 ทางเลือกคือขนาดพัดลมที่กำหนดขึ้นในโปรแกรมและขนาดพัดลมที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดเองโดยชุดข้อมูลพัดลมนี้มาจากผู้ผลิต จากนั้นจะนำข้อมูลเหล่านี้มาจำลองฟังก์ชันแสดงสมรรถนะของพัดลมโดยวิธี David K. Eads ซึ่งฟังก์ชันที่ใช้แสดงสมรรถนะของพัดลมในที่นี้คือฟังก์ชันแสดงประสิทธิภาพทางกลของพัดลมและฟังก์ชันหามุมเฉลี่ยของลมทางขาออกของพัดลม



รูปที่ 5.4 แผนผังแสดงลำดับการคำนวณของโปรแกรมย่อย TRIAL

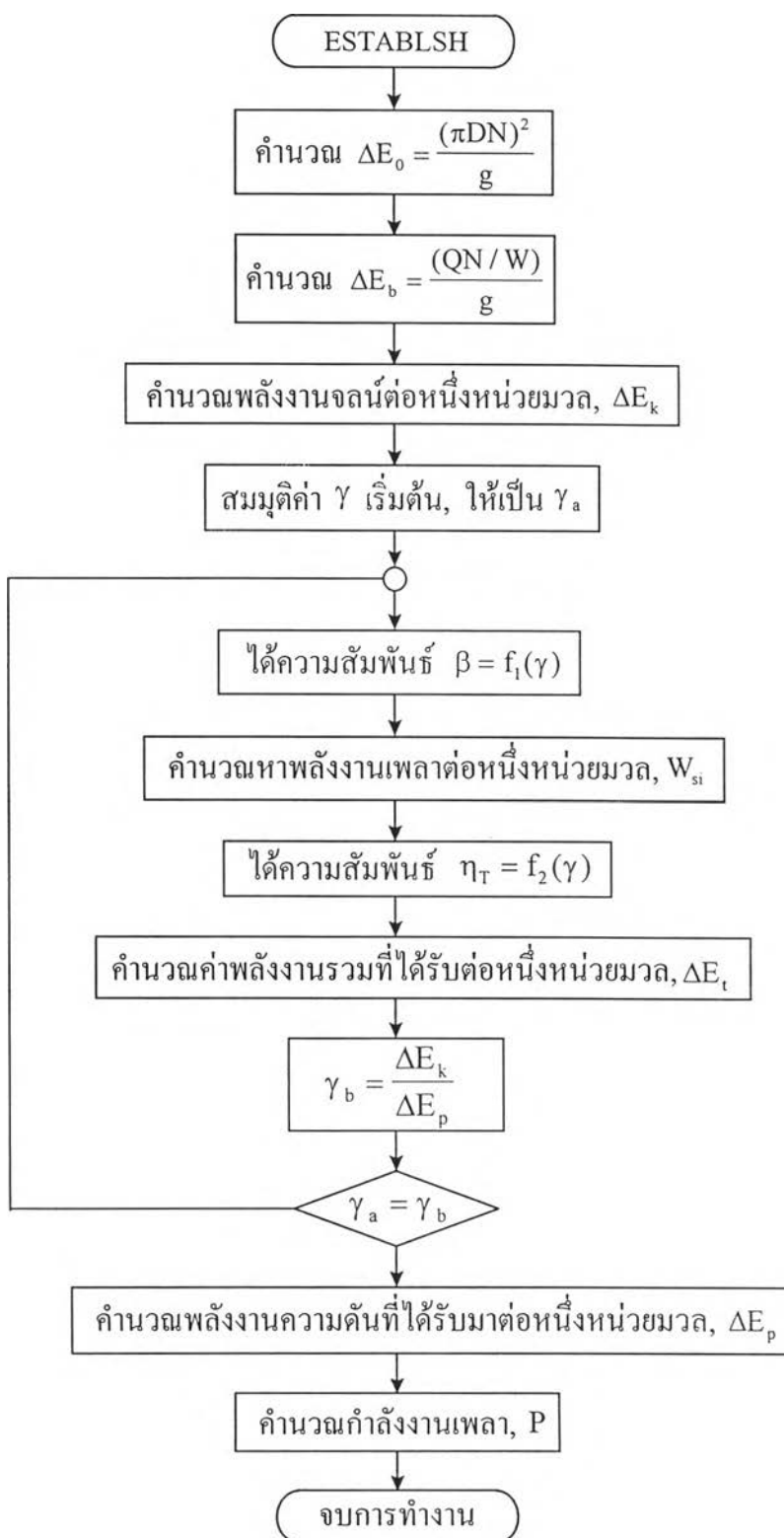


รูปที่ 5.5 แสดงลำดับการคำนวณของโปรแกรมย่อย VSD

โปรแกรมย่อย VSD (Subroutine VSD)

เป็นโปรแกรมย่อยที่มีใช้ในโปรแกรมย่อย FAN ซึ่งมีหน้าที่ในการคำนวณหาค่ากำลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนของใบพัดและความเร็วรอบ โดยมีขั้นตอนการทำงานคือรับเอาฟังก์ชันแสดงประสิทธิภาพทางกลของพัดลมและฟังก์ชันหามุมเฉลี่ยของลมทางออกของพัดลมมาใช้ในการคำนวณสมรรถนะการทำงานของพัดลมตามวิธีการของ David K. Eads<sup>(9)</sup>





รูปที่ 5.6 แสดงลำดับการคำนวณของโปรแกรมย่อย ESTABLISH

#### โปรแกรมย่อย ESTABLISH (Subroutine ESTABLISH)

เป็นโปรแกรมย่อยที่มีใช้ในโปรแกรมย่อย FAN ซึ่งมีหน้าที่ในการคำนวณหาค่ากำลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนของใบพัดและความดันสถิต(Static Pressure Grain) ที่พัดลมสร้างขึ้น โดยมีขั้นตอนการทำงานทำนองเดียวกับโปรแกรมย่อย VSD คือรับเอาฟังก์ชันแสดงประสิทธิภาพทางกลของพัดลมและฟังก์ชันหามุมเฉลี่ยของลมทางออกของพัดลมมาใช้ในการคำนวณสมรรถนะการทำงานของพัดลมตามวิธีการของ David K. Eads

#### โปรแกรมย่อย MREGRESS (Subroutine MREGRESS)

เป็นโปรแกรมย่อยที่มีใช้ในโปรแกรมย่อย FAN มีหน้าที่ในการจัดรูปแบบให้เป็นระบบสมการเชิงเส้นที่ประกอบด้วยตัวแปรต้นหลายตัวโดยวิธีถดถอยแบบหลายเชิง<sup>(15)</sup> (Multiple Linear Regression) เพื่อจำลองเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

#### โปรแกรมย่อย GAUSS (Subroutine GAUSS)

เป็นโปรแกรมย่อยที่มีใช้ในโปรแกรมย่อย MREGRESS มีหน้าที่เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเชิงเส้นสำหรับแก้ระบบสมการเชิงเส้นโดยใช้ระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์<sup>(15)</sup> (Gauss Elimination Method) เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้สำหรับระบบสมการเชิงเส้นโดยทั่วไป โปรแกรมย่อยนี้มีขั้นตอนการทำงานหลักๆ 2 ขั้นตอนคือ

ก) การกำจัดไปข้างหน้า (Forward Elimination) เป็นการเปลี่ยนระบบสมการให้อยู่ในรูปเมตริกซ์จตุรัส ซึ่งจะเป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยค่าศูนย์ตลอดแถวซ้ายของเมตริกซ์

ข) การแทนค่าย้อนกลับ (Back Substitution)

## 5.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณจากโปรแกรม

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการให้ความมั่นใจในการใช้โปรแกรมจะแบ่งได้สองส่วนคือ ผลการเปรียบเทียบในส่วนของไซโคลนกับผลการเปรียบเทียบในส่วนพัดลม

### 5.2.1 การเปรียบเทียบในส่วนของไซโคลน

ในส่วนนี้จะแบ่งการเปรียบเทียบเป็นสามส่วน คือ การเปรียบเทียบโปรแกรมกับการคำนวณของ Koch, W.H. and Licht, W.L. การคำนวณของ Coker, A.K. และผลการทดลอง

ก) การเปรียบเทียบการคำนวณ Koch, W.H. and Licht, W.L.

ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ในส่วนของไซโคลน) กับการคำนวณของ Koch, W.H. and Licht, W.L. โดยไซโคลนที่นำมาพิจารณานั้นเป็นแบบ high efficiency, medium throughput ของ Stairmand และสถานะเข้าไซโคลนที่นำมาพิจารณานั้นประกอบด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ  $6.28 \text{ m}^3/\text{s}$  อัตราการไหลเชิงมวลของซีเมนต์ (Dust Rate) เท่ากับ  $144.87 \text{ g/s}$  ความหนาแน่นของซีเมนต์เท่ากับ  $1.5 \text{ g/cm}^3$  อุณหภูมิเข้าไซโคลนเท่ากับ  $121.1^\circ\text{C}$  และการกระจายอนุภาคของซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการกระจายอนุภาคของซีเมนต์

ขนาดของอนุภาค, $\mu\text{m}$	สัดส่วนมวล, %
> 75	6
75 - 60	2
60 - 40	6
40 - 30	7
30 - 20	12
20 - 15	9
15 - 10	14
10 - 7.5	10
7.5 - 5.0	12
5.0 - 2.5	14
< 2.5	8

ผลการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ส่วนของไซโคลน) กับวิธีการคำนวณของ Koch, W.H. and Licht, W.L. ได้แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการเปรียบเทียบการคำนวณ

	Koch, W.H. and Licht, W.L.	โปรแกรม
จำนวนไซโคลน	4 ตัว	4 ตัว
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลน	0.838 m	0.824 m
ประสิทธิภาพการทำงาน	84.6%	83.5%
ความดันสูญเสีย	78.7 mmH <sub>2</sub> O	78.8 mmH <sub>2</sub> O
ปริมาณซีเมนต์ที่ออกสู่บรรยากาศ	3.55 g / m <sup>3</sup>	3.81 g / m <sup>3</sup>

จากตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ จำนวนไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลน ประสิทธิภาพการทำงาน ความดันสูญเสีย และปริมาณซีเมนต์ที่ออกสู่บรรยากาศโดยโปรแกรมฯจะมีค่าใกล้เคียงกับ Koch, W.H. and Licht, W.L. ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 1.70%, 1.32%, 0.12% และ 7.22% ตามลำดับ

ข) การเปรียบเทียบกับการคำนวณของ Coker, A.K.

ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการคำนวณของ Coker, A.K. โดยมีสภาวะเข้าไซโคลนที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย อัตราการไหลเชิงปริมาตร 14.36 m<sup>3</sup> / s ความหนาแน่นของอนุภาค 1.0 g / cm<sup>3</sup> อุณหภูมิเข้าไซโคลน 110<sup>o</sup>C และขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.81 μm และไซโคลนที่นำมาเปรียบเทียบมีขนาดดังต่อไปนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน, D <sub>c</sub>	6.333 m
ความสูงบริเวณทางเข้าของไซโคลน, a	4.5 m
ความกว้างบริเวณทางเข้าของไซโคลน, b	1.896 m
ความยาวของท่อทางออกไซโคลน, S	3.448 m
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของไซโคลน, D <sub>c</sub>	3.792 m
ความยาวทรงกระบอกของไซโคลน, h	8.552 m
ความยาวทั้งหมดของไซโคลน, H	26.333 m
เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณทางออกของอนุภาค, B	2.533 m

ผลการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณของ Coker, A.K. แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการเปรียบเทียบการคำนวณ

	Coker, A.K.	โปรแกรมฯ
จำนวนไซโคลน	1 ตัว	1 ตัว
ประสิทธิภาพการทำงาน	63.31 %	63.31 %
ความดันสูญเสีย	19.88 cmH <sub>2</sub> O	19.81 cmH <sub>2</sub> O

จากตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบประกอบด้วย จำนวนไซโคลน ประสิทธิภาพการทำงาน ความดันสูญเสีย ระหว่าง Coker, A.K. กับโปรแกรมฯจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยจำนวนของไซโคลนกับประสิทธิภาพที่ได้จะมีค่าเท่ากัน และความดันสูญเสียจะมีค่าความผิดพลาด 0.35 %

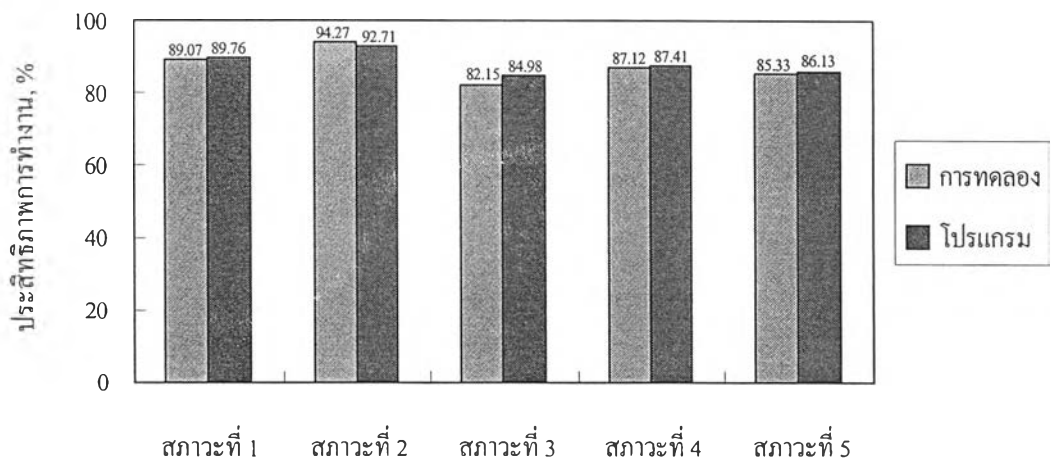
#### ค) การเปรียบเทียบผลการทดลอง

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากโปรแกรมฯ สำหรับสถานะเข้าไซโคลนต่างๆ โดยไซโคลนที่ใช้สำหรับการทดลองนี้มีขนาด 32 cm จำนวน 1 ตัว ไซโคลนนี้เป็นชนิดแก๊สไหลเข้าในแนวสัมผัสและอนุภาคออกในแนวแกนชนิด high efficiency, medium throughput ของ Stairmand

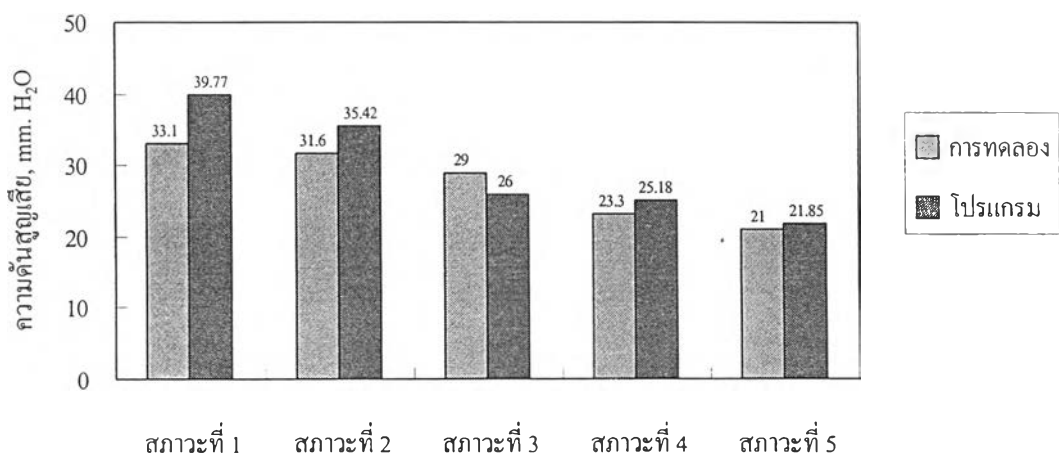
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองสำหรับไซโคลนขนาด 32 cm จำนวน 1 ตัว และการเปรียบเทียบ

ประเภทของ มูลฝอย	อัตราการไหลเชิง ปริมาตร, m <sup>3</sup> / s	อุณหภูมิเข้า ไซโคลน, °C	ผลจากการทดลอง		ผลจากโปรแกรม	
			ประสิทธิภาพ %	ความดันสูญเสีย mmH <sub>2</sub> O	ประสิทธิภาพ %	ความดันสูญเสีย mmH <sub>2</sub> O
ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง	0.1492	224.5	89.07	33.1	89.76	39.77
	0.1435	243.5	94.27	31.6	92.71	35.42
	0.1378	375.38	82.15	29.0	84.98	26.00
	0.1325	346.18	87.12	23.3	87.41	25.18
	0.1259	377.18	85.33	21.0	86.13	21.85
กระดาษ	0.1456	294.16	88.26	31.3	88.18	33.24
	0.1413	310.59	91.22	28.8	88.95	30.37
	0.1387	335.18	78.88	26.3	82.63	28.11
	0.1372	349.96	83.73	24.3	84.22	26.83
	0.1339	376.11	80.96	21.3	82.34	24.51

จากตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับโปรแกรมฯ สำหรับการเผา มูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้งที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรต่างๆ 5 ค่าคือ  $0.1492 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  $0.1435 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  $0.1378 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  $0.1325 \text{ m}^3 / \text{s}$  และ  $0.1259 \text{ m}^3 / \text{s}$  ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดของ ประสิทธิภาพการทำงานคือ 0.8%, 1.7%, 3.4%, 0.3% และ 0.9% ตามลำดับ และค่าความผิดพลาด ความดันสูญเสียคือ 20.2%, 12.1%, 11.5%, 8.1% และ 9.1% ตามลำดับ รูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ความดันสูญเสียกับสภาวะเข้าไซโคลนสำหรับขี้เถ้า บิน (Fly ash) ที่ได้จากการเผาใบไม้กิ่งไม้แห้ง, ใบไม้แห้ง ตามลำดับ

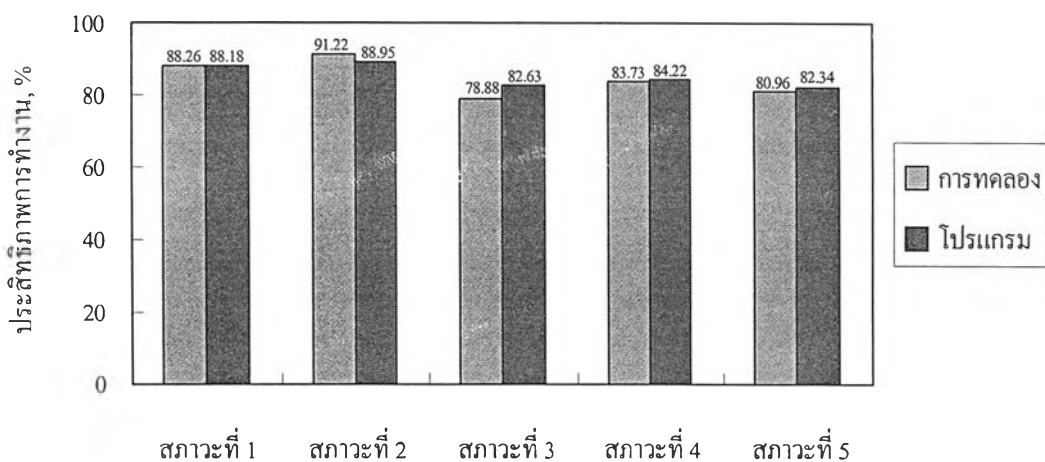


รูปที่ 5.7 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานที่สภาวะต่างๆ สำหรับขี้เถ้าบินที่ได้จากการเผาใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง

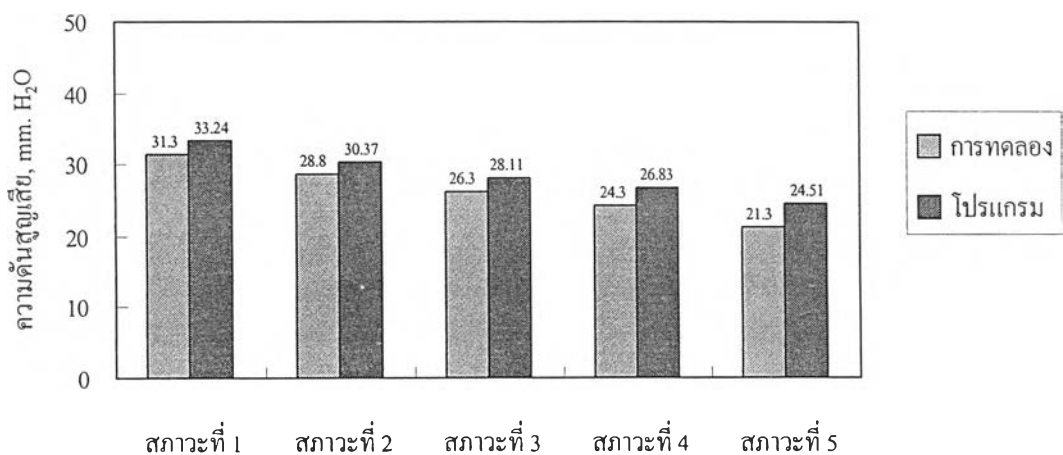


รูปที่ 5.8 กราฟการเปรียบเทียบความดันสูญเสียที่สภาวะต่างๆ สำหรับขี้เถ้าบินที่ได้จากการเผา ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง

จากตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับโปรแกรมฯ สำหรับการเผา  
 มวลฝอยประเภทกระดาษที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรต่างๆ 5 ค่าคือ  $0.1456 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  $0.1413 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  
 $0.1387 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  $0.1387 \text{ m}^3 / \text{s}$  และ  $0.1339 \text{ m}^3 / \text{s}$  ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดของประสิทธิภาพเมื่อ  
 เปรียบเทียบกับโปรแกรมคือ 0.1%, 2.6%, 4.8%, 0.6% และ 1.7% ตามลำดับ และค่าความผิดพลาด  
 ของความดันสูญเสียเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมคือ 6.2%, 5.5%, 6.9%, 10.4% และ 15.1% ตาม  
 ลำดับ รูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ความดันสูญเสียกับ  
 สภาวะเข้าไซโคลนต่างๆ สำหรับซีเมนต์ที่ได้จากการเผากระดาษ ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานที่สภาวะต่างๆ สำหรับซีเมนต์ที่ได้จาก  
 การเผากระดาษ

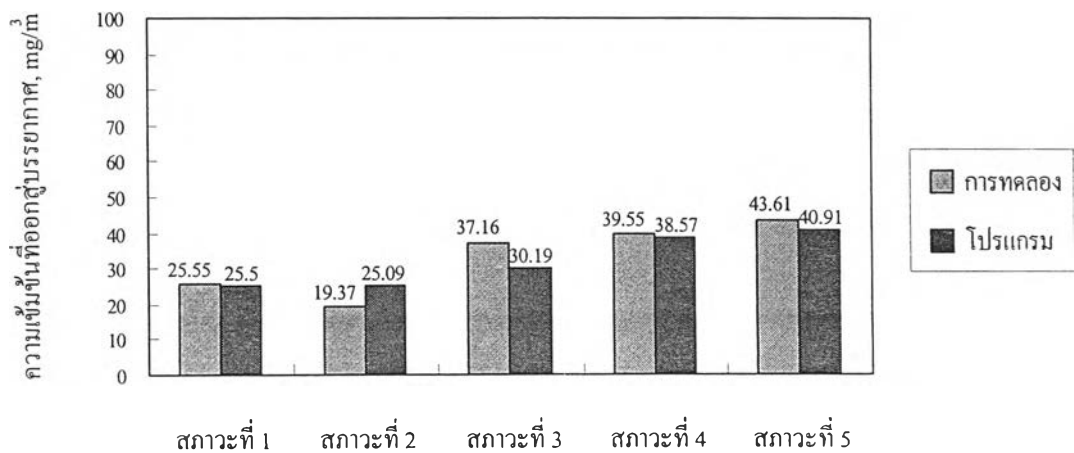


รูปที่ 5.10 กราฟการเปรียบเทียบความดันสูญเสียที่สภาวะต่างๆ สำหรับซีเมนต์ที่ได้จากการเผา  
 กระดาษ

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของความเข้มข้นของซีไธำบินที่ออกสู่บรรยากาศ

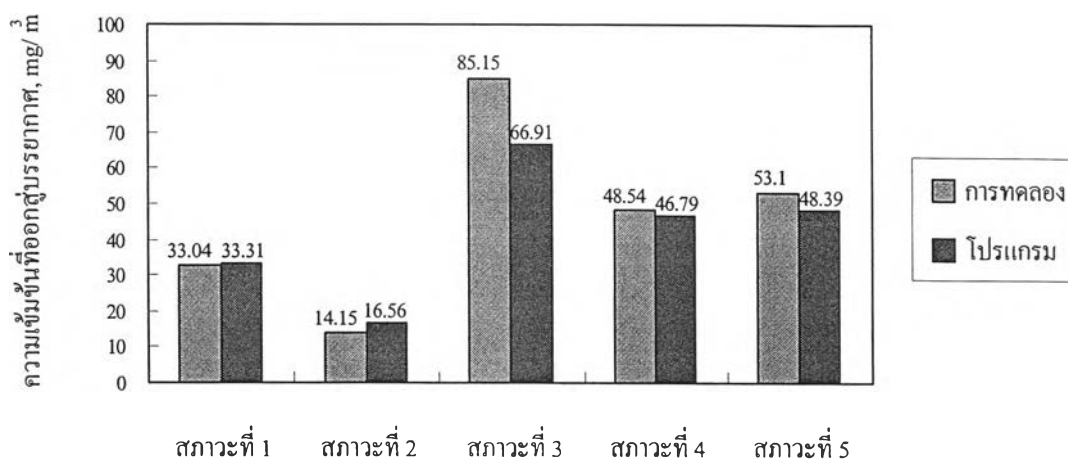
ประเภทของมูลฝอย	อุณหภูมิ	อัตราการไหล	ความเข้มข้นของซีไธำบิน	ความเข้มข้นของซีไธำบิน
	เข้าไซโคลน °C	เชิงปริมาตร m <sup>3</sup> /s	ที่ออกสู่บรรยากาศ, mg/m <sup>3</sup> ( การทดลอง )	ที่ออกสู่บรรยากาศ, mg/m <sup>3</sup> ( โปรแกรม )
กิ่งไม้แห้ง, ใบไม้แห้ง	224.5	0.1492	28.55	28.50
	243.5	0.1435	19.37	25.09
	375.38	0.1378	37.16	30.19
	346.18	0.1325	39.55	38.57
	377.18	0.1259	43.61	40.91
กระดาษ	294.16	0.1456	33.04	33.31
	310.59	0.1413	14.15	16.56
	335.18	0.1387	85.15	66.91
	349.96	0.1372	48.54	46.79
	376.11	0.1339	53.10	48.39

จากภาคผนวก ง. ในตาราง ง.1 มาตรฐานการแพร่กระจายของอนุภาคจะเห็นว่าค่ามาตรฐานการแพร่กระจายสำหรับกรณีการเผาใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และกระดาษจะต้องมีค่าไม่เกิน 400 mg/m<sup>3</sup> และในตารางที่ 5.5 แสดงค่าความเข้มข้นของซีไธำบินที่ออกสู่บรรยากาศที่ได้จากการทดลองและโปรแกรมมีค่าน้อยกว่า 400 mg/m<sup>3</sup> ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอากาศ



รูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ออกสู่บรรยากาศของซีไธำบินจากการเผาใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง





รูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ออกสู่อากาศของซีเมนต์จากการเผากระดาด

จากรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ออกสู่อากาศของซีเมนต์ที่ได้จากการเผาไหม้แห้ง, กึ่งแห้ง และกระดาด จะเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง ส่วนซีเมนต์ที่ได้จากการเผาไหม้แห้ง, กึ่งแห้ง และกระดาด เมื่อผ่านไซโคลนแล้วออกสู่อากาศจะมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่า  $400 \text{ mg/m}^3$  ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอากาศ (ภาคผนวก ง.)

ผลการเปรียบเทียบของโปรแกรมในส่วนของไซโคลนทั้ง 3 แบบคือ ก) การเปรียบเทียบการคำนวณของ Koch, W.H. and Licht, W.L. ข) การเปรียบเทียบการคำนวณของ Coker, A.K. ค) การเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากผลที่ได้แสดงในข้างต้นนั้นจะเห็นว่าผลการคำนวณที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้งสามกรณีมีค่าตอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับที่ค่าวัดได้จริง และในภาคผนวก ค. ได้แสดงการเลือกออกแบบไซโคลนตามประเภทของฝุ่น

### 5.2.2 การเปรียบเทียบในส่วนพัดลม

ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม(ในส่วนพัดลม) กับผลการคำนวณของ David K. Eads และชุดข้อมูลของพัดลมจากผู้ผลิตโดยในที่นี้จะใช้ชุดข้อมูลพัดลมยี่ห้อ YORK (BI DWDI) ในการเปรียบเทียบผลการคำนวณ (ชุดข้อมูลพัดลมที่นำมาประกอบการเปรียบเทียบนี้เป็นพัดลมโค้งหลัง (Backward-curved))

#### ก) การเปรียบเทียบการคำนวณของ David K. Eads

การเปรียบเทียบผลการคำนวณจากโปรแกรม(ในส่วนพัดลม) กับวิธีการของ David K. Eads เพื่อเป็นความมั่นใจในการใช้งานโปรแกรม โดยชุดข้อมูลที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด, ความกว้างของใบพัด, พื้นที่ขาออกของพัดลม (Fan-housing Outlet Area), ความเร็วรอบของพัดลม, อัตราการส่งจ่ายลม, ความดันสถิตที่พัดลมสร้างขึ้น(Static Pressure) และกำลังงานของเพลา ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 แสดงชุดข้อมูลพัดลม

D ,in	W ,in	A ,ft <sup>2</sup>	N ,rpm	Q ,cfm	ΔP ,in H <sub>2</sub> O	P ,hp
98.25	19.65	55.50	104	44,400	0.25	2.53
98.25	19.65	55.50	211	44,400	1.75	15.6
98.25	19.65	55.50	381	122,100	5.00	113.5
98.25	19.65	55.50	660	255,300	12.00	625.0
73	14.6	30.6	182	24,512	0.63	2.86
73	14.6	30.6	241	24,512	1.25	5.83
73	14.6	30.6	541	110,304	2.00	77.82
54.25	10.9	16.9	228	13,536	0.50	1.30
54.25	10.9	16.9	295	16,536	1.00	2.52
54.25	10.9	16.9	1,138	81,216	9.00	166.5
36.5	7.3	7.7	1,583	36,678	6.5	61.7
36.5	7.3	7.7	1,671	36,768	8.5	72.6

จากการคำนวณด้วยวิธีของ David K. Eads ให้ผลการคำนวณดังตารางที่ 5.7 และผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม แสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.7 แสดงชุดข้อมูลพัดลมและผลการคำนวณของ David K. Eads

D, in	W, in	A, ft <sup>2</sup>	N, rpm	Q, cfm	$\Delta P$ , in.H <sub>2</sub> O	P, hp	$\gamma$	$\beta$	$\eta_{fan}$
98.25	19.65	55.50	104	44,400	0.25	2.53	0.137	33.6	0.802
98.25	19.65	55.50	211	44,400	1.75	15.6	0.022	26.4	0.801
98.25	19.65	55.50	381	122,100	5.00	113.5	0.057	30.3	0.899
98.25	19.65	55.50	660	255,300	12.00	625.0	0.099	32.2	0.857
73	14.6	30.6	182	24,512	0.63	2.86	0.060	30.8	0.899
73	14.6	30.6	241	24,512	1.25	5.83	0.031	28.1	0.855
73	14.6	30.6	541	110,304	2.00	77.82	0.287	34.7	0.627
54.25	10.9	16.9	228	13,536	0.50	1.30	0.074	31.4	0.886
54.25	10.9	16.9	295	16,536	1.00	2.52	0.038	28.7	0.881
54.25	10.9	16.9	1,138	81,216	9.00	166.5	0.137	33.1	0.803
36.5	7.3	7.7	1,583	36,678	6.5	61.7	0.181	33.7	0.745
36.5	7.3	7.7	1,671	36,768	8.5	72.6	0.144	33.2	0.793

ตารางที่ 5.8 แสดงชุดข้อมูลและผลการคำนวณของโปรแกรม

D, in	W, in	A, ft <sup>2</sup>	N, rpm	Q, cfm	$\Delta P$ , in.H <sub>2</sub> O	P, hp	$\gamma$	$\beta$	$\eta_{fan}$
98.25	19.65	55.50	104	44,400	0.24	2.49	0.140	33.5	0.799
98.25	19.65	55.50	211	44,400	1.75	15.62	0.022	26.7	0.804
98.25	19.65	55.50	381	122,100	5.00	113.89	0.057	30.6	0.897
98.25	19.65	55.50	660	255,300	12.05	627.01	0.099	32.5	0.858
73	14.6	30.6	182	24,512	0.62	2.84	0.061	30.8	0.896
73	14.6	30.6	241	24,512	1.25	5.80	0.031	28.2	0.859
73	14.6	30.6	541	110,304	1.96	77.74	0.292	34.8	0.620
54.25	10.9	16.9	228	13,536	0.50	1.30	0.074	31.4	0.888
54.25	10.9	16.9	295	16,536	1.00	2.54	0.382	29.0	0.881
54.25	10.9	16.9	1,138	81,216	9.14	168.13	0.136	33.4	0.806
36.5	7.3	7.7	1,583	36,678	6.57	61.95	0.178	34.0	0.749
36.5	7.3	7.7	1,671	36,768	8.61	72.86	0.142	33.2	0.798

ตารางที่ 5.9 เป็นตารางแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณของโปรแกรมกับวิธีการคำนวณของ David K. Eads ในตารางการเปรียบเทียบผลการคำนวณจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของกำลังงานเพลลา,  $\gamma$ , มุมของของไหลที่ออกจากใบพัด, ประสิทธิภาพการทำงานของพัดลม คือ 0.51%, 0.83%, 0.56% และ 0.39% ตามลำดับ

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการเปรียบเทียบการคำนวณของชุดข้อมูลพัดลม

p, hp			$\gamma$			$\beta$			$\eta_{fan}$		
การคำนวณ	โปรแกรมฯ	ค่าผิด พลาด(%)	การคำนวณ	โปรแกรมฯ	ค่าผิด พลาด(%)	การคำนวณ	โปรแกรมฯ	ค่าผิด พลาด(%)	การคำนวณ	โปรแกรมฯ	ค่าผิด พลาด(%)
2.53	2.49	1.6	0.137	0.140	2.2	33.6	33.5	0.3	0.802	0.799	0.4
15.6	15.62	0.1	0.022	0.022	0.0	26.4	26.7	1.1	0.801	0.804	0.4
113.5	113.89	0.3	0.057	0.057	0.0	30.3	30.6	1.0	0.899	0.897	0.2
625.0	627.01	0.3	0.099	0.099	0.0	32.2	32.5	0.9	0.857	0.858	0.1
2.86	2.84	0.7	0.060	0.061	1.7	30.8	30.8	0.0	0.899	0.896	0.3
5.83	5.80	0.5	0.031	0.031	0.0	28.1	28.2	0.4	0.855	0.859	0.5
77.82	77.74	0.1	0.287	0.292	1.7	34.7	34.8	0.3	0.627	0.620	1.1
1.30	1.30	0.0	0.074	0.074	0	31.4	31.4	0.0	0.886	0.888	0.2
2.52	2.54	0.8	0.038	0.382	0.5	28.7	29.0	1.0	0.881	0.881	0.0
166.5	168.13	1.0	0.137	0.136	0.7	33.1	33.4	0.9	0.803	0.806	0.4
61.7	61.95	0.4	0.181	0.178	1.7	33.7	34.0	0.9	0.745	0.749	0.5
72.6	72.86	0.4	0.144	0.142	1.4	33.2	33.2	0.0	0.793	0.798	0.6

ข) การเปรียบเทียบโปรแกรมกับชุดข้อมูลพัดลม

สำหรับการเปรียบเทียบในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกับชุดข้อมูลพัดลม โดยชุดข้อมูลพัดลมที่ใช้ประกอบการเปรียบเทียบจะเป็นยี่ห้อ YORK (BI DWDI) ซึ่งชุดข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบจะเป็นข้อมูลของพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.25", 13.5", 15", 16.5" และ 18.25" ตามลำดับ

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการเปรียบเทียบของพัดลม YORK (BI DWDI) ขนาด 12.25"

Q cfm	N rpm	$\Delta P$ , in H <sub>2</sub> O			p, hp		
		ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)	ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)
2000	1407	0.5	0.48	4.17	0.36	0.38	5.56
2000	1964	2.0	2.03	1.50	1.04	1.05	0.96
2400	1700	0.75	0.72	4.17	0.65	0.67	3.08
2400	2534	3.5	3.80	8.57	2.20	2.23	1.36
2500	2281	2.5	2.38	5.04	1.63	1.64	0.61
3400	2265	1.0	1.08	8.00	1.54	1.61	4.54

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการเปรียบเทียบของพัดลม YORK (BI DWDI) ขนาด 13.5"

Q cfm	N rpm	$\Delta P$ , in H <sub>2</sub> O			p, hp		
		ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)	ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)
1900	1093	0.5	0.45	11.11	0.29	0.29	0.00
2700	2267	3.5	4.06	16.00	2.52	2.57	1.98
2800	1583	1.0	0.91	9.89	0.86	0.88	2.32
3800	2185	2.0	1.80	10.00	2.29	2.31	0.87
4800	2632	2.5	2.31	8.23	4.00	4.05	1.25
5300	2546	1.25	1.49	19.2	3.59	3.75	4.46

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการเปรียบเทียบของพัดลม YORK (BI DWDI) ขนาด 15"

Q cfm	N rpm	$\Delta P$ , in H <sub>2</sub> O			p, hp		
		ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)	ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)
2200	833	0.25	0.25	0.00	0.20	0.22	10.00
3000	1149	0.50	0.45	10.00	0.56	0.57	1.79
3000	1881	3.00	3.56	18.67	2.41	2.48	2.90
3100	1411	1.25	1.13	10.6	1.06	1.06	0.00
4300	1572	0.75	0.80	6.35	1.43	1.48	3.50
4300	1872	2.00	1.79	10.5	2.47	2.47	0.00

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการเปรียบเทียบของพัดลม YORK (BI DWDI) ขนาด 16.5"

Q cfm	N rpm	$\Delta P$ , in H <sub>2</sub> O			p, hp		
		ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)	ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)
3600	995	0.375	0.393	4.80	0.58	0.60	3.45
3800	1602	2.50	2.67	6.80	2.47	2.51	1.62
4400	1197	0.50	0.54	8.00	1.02	1.05	2.94
4400	1886	3.50	3.79	8.29	4.02	4.09	1.74
4800	1349	0.75	0.76	1.33	1.45	1.50	3.45
6900	1827	1.00	1.17	17.00	3.62	3.78	4.42

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการเปรียบเทียบของพัดลม YORK (BI DWDI) ขนาด 18.25"

Q cfm	N rpm	$\Delta P$ , in H <sub>2</sub> O			p, hp		
		ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)	ข้อมูล	โปรแกรม	ค่าผิดพลาด(%)
6000	1394	2.0	1.46	27.00	2.99	2.78	7.03
6800	2203	6.5	6.26	4.70	10.55	10.62	0.66
8000	1998	4.5	3.58	19.56	8.63	8.23	4.64
9200	2241	5.5	4.25	23.73	12.25	11.59	5.49
9200	2111	4.5	3.22	28.5	10.39	9.63	7.41
10800	2455	6.0	4.25	19.20	16.39	15.12	7.75

ตารางที่ 5.10 ถึง ตารางที่ 5.14 แสดงผลการเปรียบเทียบที่คำนวณได้จากโปรแกรมกับชุดข้อมูลพัฒนาของ YORK (BI DWDI) ขนาดสั้นผ่านศูนย์กลาง 12.25", 13.5", 15", 16.5" และ 18.25" ตามลำดับ โดยข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบได้มาจากการสุ่มเลือกมาจากชุดข้อมูลทั้งหมด (ในภาคผนวก ฉ.) จะเห็นว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับที่นำมาจากชุดข้อมูลพัฒนาชื่อ YORK (BI DWDI) ดังนั้นโปรแกรมส่วนนี้สามารถนำไปทำนายการทำงานของพัฒนาได้

สำหรับผลการเปรียบเทียบของโปรแกรมในส่วนพัฒนาทั้ง 2 แบบคือ ก) การเปรียบเทียบผลการคำนวณของ David K. Eads ข) การเปรียบเทียบผลของโปรแกรมกับชุดข้อมูลพัฒนา จากผลที่ได้แสดงในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าคำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ และสอดคล้องกับชุดข้อมูลของพัฒนาที่มีอยู่จริง