การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบกังหันก๊าซโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่ 1

Analysis of Factors Affecting Gas Turbine Performance of The South Bangkok Combined Cycle Power Plant I

นราพงศ์ พองพรหม
แผนกประสิทธิภาพ 1 โรงไฟฟ้าพระนครใต้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ต.บางโปรง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270
โทร. 02-3830000 ต่อ 2621 โทรสาร 02-3830000 ต่อ 2621 E-mail: narapong@egat.or.th

Naraphong PHONGPOM
Efficiency Section 1, South Bangkok Power Plant, Electricity Generating Authority of Thailand
Bangprong, Muang, Samuthprakarn 10270 Thailand
Tel. 02-383000 Ext. 2621 Fax. 02-3830000 Ext. 2621 Email : narapong@egat.or.th

สัมพันธ์ ไชยเทพ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทร 053-942004 โทรสาร 053-942062 E-mail : sumpun@eng.cmu.ac.th

Sumpun CHAITEP
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Muang, Chiang Mai 50200 Thailand
Tel. 053-942004, Fax. 053-942062, E-mail : sumpun@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมพระนครใต้ชุดที่1 ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ สภาวะอากาศด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ อาทิเช่น เครื่องกรองอากาศ เครื่องอัดอากาศ และเครื่องกังหันก๊าซ เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบที่ทำการศึกษา งานวิจัยนี้ยังได้ทำการพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบกังหันก๊าซเพื่อใช้ในการคำนวณสมรรถนะของระบบตลอดจนการศึกษาหาจุดเหมาะสมในการเดินเครื่อง ซึ่งโมเดลที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายสมรรถนะของระบบกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าร่วมอื่นๆได้

Abstract

This paper presented the results of the study and development of the new analysis technique using for analyze factors affecting gas turbine performance operating at the South Bangkok Combine Cycle Power Plant I. The result found several factors directly affected to the performance of the system. These factors are the ambient condition at inlet compressor, fuel quality, degradation quality of equipments such as air filter, compressor and gas turbine. The research also developed the mathematical model of gas turbine system applying for the system performance calculation as well as to examine best combination setting for the optimum point of the operation. This developed model can also be an alternative tool for predicting performance of any other gas turbine power plant system.

1. บทนำ

สืบเนื่องจากปัญหาการแตกร้าวของชิ้นส่วนกังหันก๊าซทั้งในส่วนของ Turbine Nozzle และ Turbine Bucket ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่ 1 ก่อนครบอายุการใช้งานที่ 48,000 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงรวมทั้งค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาและกาซติน เครื่องของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การจัดการด้านการใช้เชื้อเพลิง การบำรุงรักษาและการเดินเครื่องสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิผล จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ รวมทั้งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานของโรงไฟฟ้า

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่การศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซและก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานของโรงไฟฟ้า ซึ่งมีปัจจัย 3 ด้านที่พิจารณา คือ

(1) สภาวะอากาศด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ
(2) คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
(3) การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หลัก ได้แก่ เครื่องกรองอากาศขาเข้า เครื่องอัดอากาศ และกังหันก๊าซ

การสร้างแบบจำลองสภาพการทำงานของระบบกังหันก๊าซเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซจะสร้างจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกันและส่งผลต่อการทำงานของระบบที่พิจารณาโดยที่การประเมินสภาพการทำงาน จะนำเอาความสัมพันธ์เหล่านี้มาประเมินเพื่อดูสภาพการทำงานของระบบภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

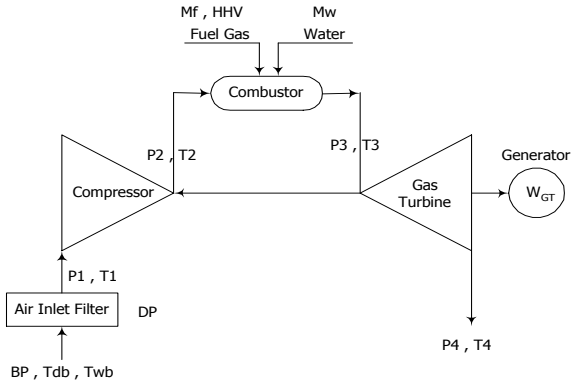
2.1 แบบจำลองระบบกังหันก๊าซ

ระบบกังหันก๊าซที่ทำการศึกษานี้เป็นระบบกังหันก๊าซขนาด 123.4 เมกกะวัตต์ อ้างอิงตาม International Standard Organization (ISO) ที่สภาวะความดันบรรยากาศ 1.013 บาร์ อุณหภูมิอากาศ 15 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขอบเขตของระบบกังหันที่ทำการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย เครื่องกรองอากาศ เครื่องอัดอากาศ ห้องเผาไหม้และกังหันก๊าซ ในการสร้างแบบจำลองสภาพการทำงานของระบบกังหันก๊าซจะสร้างจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกันและส่งผลต่อการทำงานของระบบกังหันก๊าซที่พิจารณา ซึ่งในการประเมินสมรรถนะการทำงานจะนำเอาความสัมพันธ์เหล่านี้มาประเมิน เพื่อดูสภาพการทำงานของระบบกังหันก๊าซภายใต้เงื่อนไขการเดินเครื่องที่แตกต่างกัน

2.2 การประเมินสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

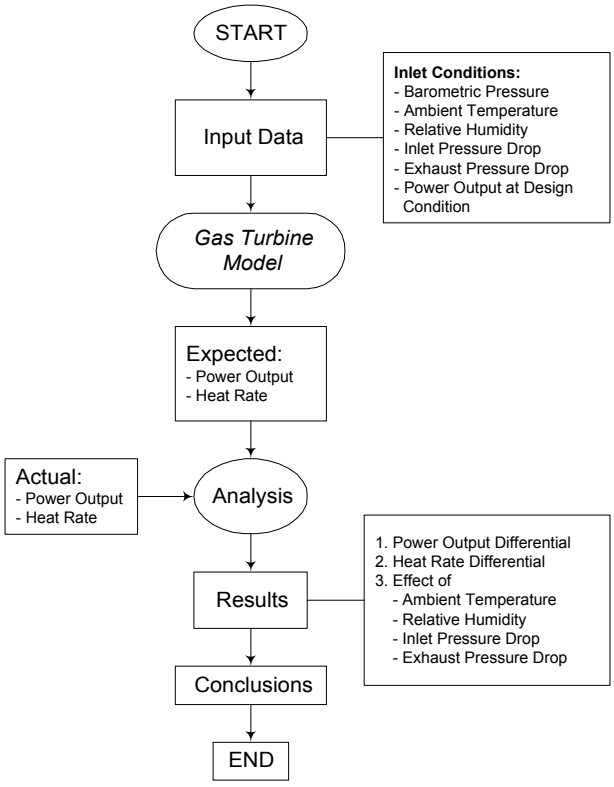
กระบวนการประเมินสมรรถนะระบบกังหันก๊าซเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบดังกล่าว โดยการใช้แบบจำลองระบบกังหันก๊าซแสดงได้ดังรูปที่ 2 ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าโปรแกรม มีดังนี้

(1) ความดันบรรยากาศ
(2) อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 1 ขอบเขตการสร้างแบบจำลองระบบกังหันก๊าซ

(3) ความชื้นอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ
(4) ความดันตกคร่อมเครื่องกรองอากาศ
(5) ความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ
(6) พลังงานไฟฟ้าที่สภาวะออกแบบ



รูปที่ 2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

จากการป้อนข้อมูลดังกล่าวเข้าในโปรแกรมการประเมินสมรรถนะระบบกังหันก๊าซจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะระบบกังหันก๊าซที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณ ได้แก่

(1) พลังงานไฟฟ้าประเมินอ้างอิงที่สภาวะการเดินเครื่องจริง

(2) อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตประเมินอ้างอิงที่สภาวะการเดินเครื่องจริง
(3) ความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าประเมินกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจริง
(4) ความแตกต่างของอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตประเมินกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตจริง
(5) ผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้
- อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ
- ความชื้นอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ
- ความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ
- ความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ

2.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

จากการนำปัจจัยที่มีผลต่อระบบกังหันก๊าซ ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ ความชื้นอากาศ ความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศและความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ ใส่เข้าไปในโปรแกรมการประเมินสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซของแต่ละปัจจัยนั้นผลการคำนวณของโปรแกรมดังกล่าวพบว่า พลังงานไฟฟ้าและอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย

2.2.1 อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ

จากการคำนวณของโปรแกรมประเมินสมรรถนะระบบกังหันก๊าซพบว่าอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซมากที่สุด ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศต่อกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า แสดงได้ดังสมการ

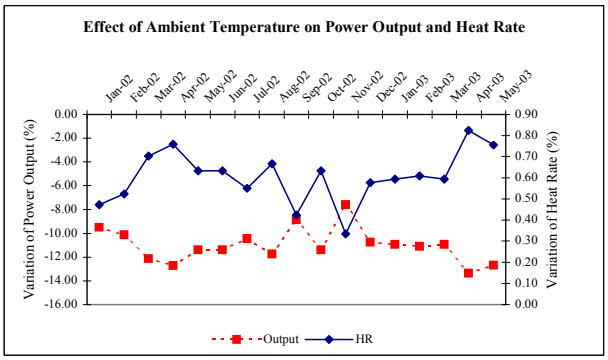
$$PO_{IAT} = -2E\text{-}08 \times IAT^3 + 1E\text{-}07 \times IAT^2 - 0.0063 \times IAT + 1.0939 \quad (1)$$

เมื่อ

PO_{IAT} คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตที่เป็นผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศ (%)

IAT คือ อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ ($^{\circ}$C)

ตามรูปที่ 3 พบว่ากรณีที่อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงและอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิอากาศลดลงส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นและอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตลดลง ซึ่งผลกระทบดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูกาลที่แตกต่างกัน เช่น ฤดูหนาวในเดือนพฤศจิกายน พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้น ขณะที่ในฤดูร้อน เดือนเมษายน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลง



รูปที่ 3 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ ส่งผลกระทบต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตของระบบกังหันก๊าซ แสดงได้ดังสมการ

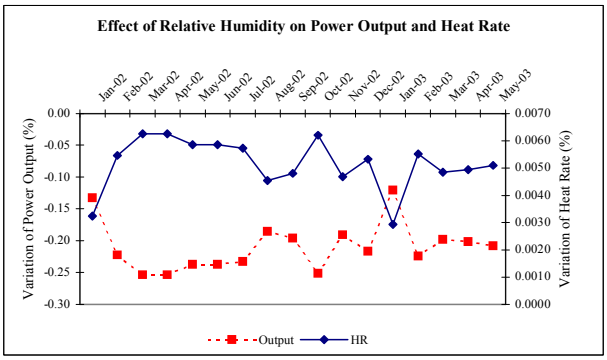
$$PO_{RH} = -0.3333 \times RH^2 - 0.1233 \times RH + 1.0008 \quad (2)$$

เมื่อ

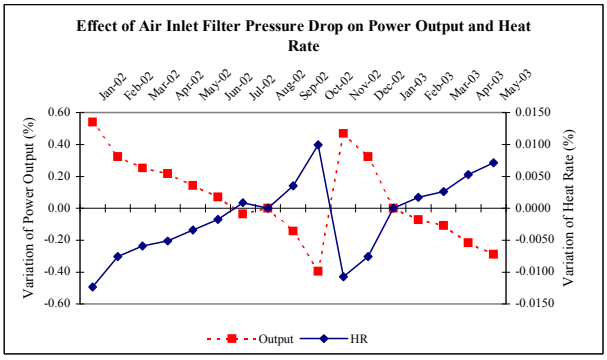
PO_{RH} คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตที่เป็นผลกระทบจากความชื้นสัมพัทธ์ (%)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ (lbwv/lba)

จากผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 4 พบว่าผลกระทบที่เกิดจากค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศลดลงจะส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นและค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตลดลง และเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้นพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงและค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตเพิ่มขึ้น สาเหตุที่ส่งผลเช่นนั้นเนื่องจากว่า อากาศชื้นมีไอน้ำเป็นองค์ประกอบจึงทำให้ความหนาแน่นของอากาศแห้งน้อยกว่าอากาศแห้งที่ไม่มีไอน้ำเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในการเดินเครื่องระบบกังหันก๊าซแบบเพลาเดี่ยวจะเดินเครื่องที่สภาวะความเร็วคงที่ และควบคุมการเดินเครื่องแบบควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ โดยประเมินอุณหภูมิการเผาไหม้จากอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ออกจากระบบกังหันก๊าซ ที่โหมดดังกล่าวค่าเป้าหมายอุณหภูมิก๊าซไอเสียจะคำนวณจากค่าอัตราส่วนอัดความดันอากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้น มวลของอากาศแห้งที่ส่งเข้าห้องเผาไหม้จะลดลง จึงส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลง



รูปที่ 4 ผลกระทบของอัตราส่วนความชื้นอากาศต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ



รูปที่ 5 ผลกระทบของความดันตกคร่อมเครื่องกรองอากาศต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

2.2.3 ความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ

การอุดตันของเครื่องกรองอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศส่งผลให้ความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งตามรูปที่ 5 พบว่าเมื่อความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าออกแบบจะส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงและอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตเพิ่มขึ้น จากผลการวิเคราะห์ยังพบว่าเมื่อความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าออกแบบการลดลงของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงเมื่อเทียบกับการลดลงของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศต่ำกว่าค่าออกแบบ ผลกระทบดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ

$$PO_{IDP} = -2E\text{-}16 \times IDP^3 + 5E\text{-}15 \times IDP^2 - 0.0036 \times IDP + 1.0124 \quad (3)$$

เมื่อ

PO_{IDP} คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตที่เป็นผลกระทบจากความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ (%)

IDP คือ ความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ (in.H_2O)

จากผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 5 พบว่าหลังจากทำการเปลี่ยนเครื่องกรองอากาศ เมื่อค่าความดันตกคร่อมเครื่องกรองอากาศมากกว่าค่าออกแบบจะทำให้สมรรถนะของระบบกังหันก๊าซดีขึ้นคือได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตลดลง

2.2.4 ความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ

การกีดขวางทางไหลไอเสียด้านออกกังหันก๊าซของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องดักเก็บเสียง ใบพัดควบคุมการไหลไอเสียและหม้อต้มไอน้ำเป็นต้น ส่งผลให้เกิดความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ ซึ่งส่งผลกระทบต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิต แสดงดังสมการ

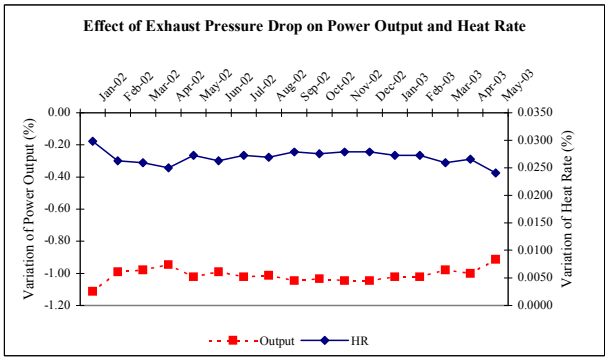
$$PO_{EDP} = -3E\text{-}16 \times EDP^3 + 4E\text{-}15 \times EDP^2 - 0.0011 \times EDP + 1.0053 \quad (4)$$

เมื่อ

PO_{EDP} คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตที่เป็นผลกระทบจากความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ (%)

EDP คือ ความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ(in.H_2O)

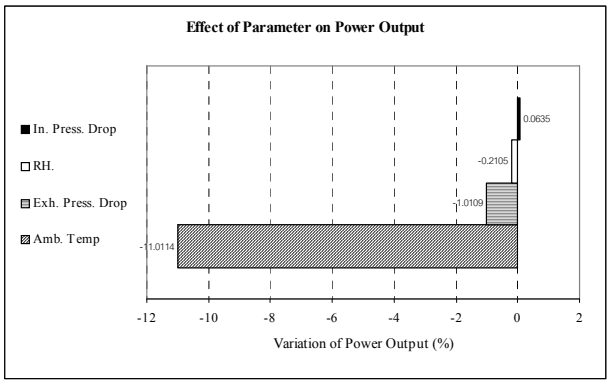
ซึ่งตามรูปที่ 6 เมื่อความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซเพิ่มขึ้นส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงและค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตเพิ่มขึ้นจากผลการวิเคราะห์ผลกระทบจะพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่



รูปที่ 6 ผลกระทบของความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซ

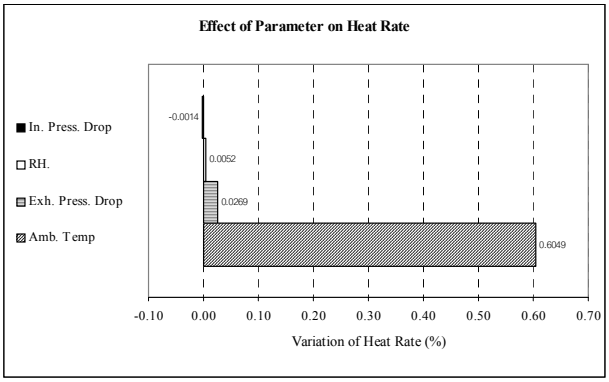
3. สรุป

จากการนำผลการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตและอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึง เดือนพฤษภาคม 2546 มาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำค่าที่ได้มาจัดลำดับผลกระทบที่เกิดขึ้น ตามรูปที่ 7 และ 8 พบว่าปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซมากที่สุด คือ อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ ซึ่งส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 11.0114 % และอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.6049 % ในขณะที่ปัจจัยที่เกิดจากอุปกรณ์ส่งผลกระทบรองลงมา คือ ความดันตกคร่อมด้านออกกังหันก๊าซ



รูปที่ 7 ผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิต

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซน้อยที่สุด คือ ปัจจัยที่เกิดจากความดันตกคร่อมด้านเข้าเครื่องอัดอากาศ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.0635 % และอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.0014 % ซึ่งสาเหตุที่ปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยการเปลี่ยนเครื่องกรองอากาศเมื่อความดันตกคร่อมสูงกว่าค่าออกแบบ ส่วนปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลกระทบต่อสมรรถนะระบบกังหันก๊าซมากที่สุดนั้น ถ้ามีการควบคุมให้คงที่ ณ สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้ระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นถูกจำกัดไปด้วย



รูปที่ 8 ผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิต

4. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้โอกาสและสนับสนุนทุนวิจัย รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความรู้และเป็นที่ปรึกษางานวิจัยอย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] Frank J. Brooks. “GE Gas Turbine Performance Characteristics”, 2000, New York.

[2] Meherwan P. Boyce. “Gas Turbine Engineering Handbook, Gulf Publishing”, 1995, Houston.

[3] Umberto Desideri. (1994). Performance Analysis of Gas Turbines Operating at Different Atmospheric Conditions, ASME Cogen Turbo, Vol.9, pp.485 – 492.