

# การนำน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์เครื่องยนต์ดีเซล ด้วยการตัดสินใจแบบกลุ่ม

เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์<sup>1,2\*</sup> และ อรรถกร เก่งพล<sup>3,4</sup>

## บทคัดย่อ

การนำผลการวิจัยด้านพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลไปใช้งานจริงต้องคำนึงทั้งด้านสมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม นักวิจัยไม่มีข้อมูลน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลจึงทำให้การตัดสินใจภายใต้เกณฑ์พหุคุณ (multi-criteria decision making) ไม่มีประสิทธิภาพงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีหาน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์เครื่องยนต์ดีเซลที่สำคัญจำนวน 8 ค่า โดยการผสมผสานวิธีการตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เข้ากับวิธีเดลฟาย (Delphi) เพื่อทำการตัดสินใจแบบกลุ่ม (group decision making) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า AHP สามารถเปลี่ยนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง AHP มีการตรวจสอบค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของข้อมูล (consistency ratio) สามารถยืนยันคุณภาพของข้อมูลการศึกษาได้เป็นอย่างดี ในช่วงต้นของงานวิจัย การประเมินน้ำหนักความสำคัญพบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน มีความเห็นที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคเดลฟายเพื่อบริหารจัดการความเห็นที่แตกต่างกันภายในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งพบว่าหลังจากการประเมินน้ำหนักความสำคัญจำนวน 3 ครั้ง ข้อมูลมีแนวโน้มชัดเจนว่าผู้เชี่ยวชาญทุกคนเกิดความเห็นพ้องต้องกัน ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพ, แรงบิด, เข้มวักวันค่า และออกไซด์ของไนโตรเจนมีความสำคัญกับเครื่องยนต์ดีเซลมากถึง 23.67, 20.93, 21.72 และ 10.38% ตามลำดับ ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน, กำลั้ง และคาร์บอนมอนอกไซด์มีความสำคัญน้อยลงตามลำดับ ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ การวิเคราะห์ผล และการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ได้ถูกนำเสนอออกอยู่ในบทความ

**คำสำคัญ :** กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, เทคนิคเดลฟาย, การตัดสินใจแบบกลุ่ม, เครื่องยนต์ดีเซล

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยพลังงานยานยนต์เพื่อสิ่งแวดล้อม, สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>4</sup> ศูนย์วิจัยระบบการจัดการขั้นสูงทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: Chedthawutp@kmutb.ac.th รับเมื่อ 14 ตุลาคม 2556 ตอบรับเมื่อ 27 พฤษภาคม 2557

## Weighting of Diesel Engine's Parameters by Using Group Decision Making

Chedthawut Poompipatpong<sup>1,2\*</sup> and Athakorn Kengpol<sup>3,4</sup>

### Abstract

The applications of alternative fuel in diesel engine must consider both engine output performance and exhaust gas emissions. However, researchers do not have any data of the weight of each parameter. This leads to the low efficiency in multi-criteria decision making. Therefore, this research aims to investigate the weight of eight important diesel engine's parameters by using integrated Analytical Hierarchy Process (AHP) and Delphi technique for group decision making. The investigation shows that AHP can convert specialist's perceptions, which is qualitative data, to quantitative data efficiently. Moreover, consistency ratios are verified and confirm the quality of research data. Evaluation results from eight specialists reveal incongruities in the beginning of the research. Hence, Delphi technique has performed in this study, which aims to manage these disagreements. After 3 rounds of specialist's evaluations, the data shows very apparent trend of the group consensus. The results show that engine efficiency, torque, Particulate Matter (PM) and Oxides of Nitrogen (NO<sub>x</sub>) receive a high significance with the weights of 23.67, 20.93, 21.72 and 10.38%, respectively. While Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Total Hydrocarbon (THC), power and Carbon monoxide (CO) show less importance, respectively. Specialist's evaluations, discussions and weight calculations are also presented.

**Keywords :** Analytical Hierarchy Process, Delphi technique, Group decision making, Diesel engine

---

<sup>1</sup> Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

<sup>2</sup> Automotive Eco-Energy Research Center, Science and Technology Research Institute, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

<sup>3</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

<sup>4</sup> Advanced Industrial Engineering Management Systems Research Center, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

\* Corresponding author, E-mail: chedthawutp@kmutnb.ac.th Received 14 October 2013, Accepted 27 May 2014

## 1. บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทุกประเทศทั่วโลกทำให้อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การศึกษาวิจัยเพื่อหาคำตอบว่าแหล่งพลังงานฟอสซิลจะถูกใช้จนหมดไปในระยะเวลาเท่าใดยังคงให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน แต่เป็นที่เชื่อได้ว่า อัตราการผลิตที่เพิ่มสูงมาโดยตลอดนี้น่าจะใกล้ถึงจุดสูงสุดและจะลดลงอย่างรวดเร็วอันนำมาสู่วิกฤตการณ์ด้านพลังงาน [1-3] สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ผลักดันให้เกิดการศึกษาวิจัยในศาสตร์ของพลังงานทดแทนเพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้งานในยานยนต์ที่ได้รับการสนใจมากเป็นพิเศษ ถึงแม้พลังงานทางเลือกอย่างเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) และแบตเตอรี่ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสะอาดแต่ก็มีความหนาแน่นพลังงาน (energy density) ที่ต่ำและมีต้นทุนสูง การใช้งานให้มีศักยภาพเทียบเท่ากับเชื้อเพลิงของเหลวและก๊าซยังคงต้องได้รับการพัฒนาอีกมาก

ความต้องการน้ำมันดีเซลมีสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่นเนื่องมาจากภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและการขนส่ง การพัฒนาพลังงานทดแทนชนิดนี้จึงเกิดขึ้นมากมาย เช่น น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ น้ำมันปาล์ม น้ำมันสาหร่าย น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง รวมถึงน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว และไขมันสัตว์ เป็นต้น [4] นอกจากนี้ น้ำมันดีเซลยังสามารถผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสของวัสดุจำพวกขยะพลาสติกและยางเหลือใช้ เมื่อวิเคราะห์กระบวนการวิจัยเหล่านี้มักพบว่าเป็นการศึกษาความสัมพันธ์หรือผลกระทบของตัวแปรต้น โดยเฉพาะอัตราส่วนผสมน้ำมันที่มีต่อตัวแปรตาม เช่น สมรรถนะ (performance) และมลพิษ (emissions) เป็นต้น [5-8]

งานวิจัยมักวิเคราะห์และอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแต่กลับพบว่า ขั้นตอนสุดท้ายของการบูรณาการเข้าสู่การนำไปใช้จริงนั้นเกิดขึ้นได้ยาก กล่าวคืองานวิจัยเกือบทั้งหมดไม่สามารถสรุปผลและแนะนำการนำไปใช้ได้จริง อาทิเช่น งานวิจัยของ Dogan [9] ได้ทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไพโรไลซิสผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมเปลี่ยนไป สมรรถนะและปริมาณมลพิษก็เปลี่ยนแปลงไปทั้งมากขึ้นและลดลง แต่งานวิจัยไม่สามารถสรุปผลหรือตอบคำถามได้ว่า อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดคือเท่าใด กรณีเช่นเดียวกันนี้เกิดขึ้นกับงานวิจัยจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยไม่สามารถนำไปสู่การใช้งานจริงได้อย่างสมบูรณ์

ปัญหาที่กล่าวมาเกิดขึ้นเนื่องจากการตัดสินใจว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดคือเท่าใดนั้น ต้องพิจารณาภายใต้เกณฑ์มากมาย เช่น แรงบิด กำลัง ประสิทธิภาพ และมลพิษ ดังนั้น เพื่อเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยในอดีตงานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการให้ความสำคัญ (significance) หรือการให้น้ำหนัก (weight) ของพารามิเตอร์เครื่องยนต์ดีเซล โดยการผสมผสานวิธีการตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เข้ากับเทคนิคเดลฟาย (Delphi) เพื่อการตัดสินใจแบบกลุ่ม ซึ่งผลการศึกษาจะแสดงน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์แต่ละค่าอันทำให้ผู้วิจัยสามารถเสนอแนะหรือตัดสินใจผลการวิจัยได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

## 2. กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และเทคนิคเดลฟาย

พารามิเตอร์สำคัญที่ถูกศึกษาบ่อยครั้งในวิจัยพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วย 2 กลุ่ม

หลัก คือ สมรรถนะและปริมาณมลพิษของเครื่องยนต์ซึ่งประกอบไปด้วย 8 ค่า [9-11] คือ แรงบิด (torque) กำลัง (power) ประสิทธิภาพ (efficiency) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ไฮโดรคาร์บอน (THC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และเขม่า (PM) การประเมินความสำคัญของพารามิเตอร์ต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในศาสตร์ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การประเมินเป็นการใช้ความคิดเห็นและความรู้สึกซึ่งย่อมมีความไม่แน่นอนหรือความไม่สอดคล้องกัน (inconsistency) ประกอบอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้น ในการวิจัยจึงต้องใช้กระบวนการที่มีลักษณะ 3 ประการคือ 1) สามารถเปลี่ยนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นตัวเลขที่สามารถนำไปคำนวณเป็นน้ำหนักความสำคัญได้ในทางคณิตศาสตร์ 2) สามารถตรวจสอบความถูกต้องของการประเมินได้แท้จริง หรือกล่าวคือ เป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบได้ว่าผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินจากองค์ความรู้และความเชี่ยวชาญไม่ได้ประเมินในลักษณะเดาสุ่ม และ 3) ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านมักจะมีความเห็นที่แตกต่างกัน กระบวนการที่เลือกใช้ต้องสามารถบริหารจัดการความแตกต่างดังกล่าวและนำไปสู่ความเห็นพ้องต้องกันของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้

เทคนิค AHP และเดลฟายได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจาก AHP เป็นกระบวนการตัดสินใจที่เปลี่ยนความรู้สึกของมนุษย์ให้กลายเป็นข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (pair wise comparison) [12-13] ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ [14] ให้  $A$  เป็นเมทริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่ ส่วน  $a_{ij}$  เป็นน้ำหนักความสำคัญของการเปรียบเทียบพารามิเตอร์  $a_i$  กับ  $a_j$  ทั้งนี้ ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญให้เป็นตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะได้เมทริกซ์ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

จากนั้น ค่าไอเกนมากที่สุด ( $\lambda_{\max}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1' \\ W_2' \\ \dots \\ W_n' \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\lambda_{\max} = (\sqrt[n]{n}) * \left( W_1'/W_1 + W_2'/W_2 + W_3'/W_3 + \dots + W_n'/W_n \right) \quad (3)$$

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความสำคัญในวิธี AHP [15]

ระดับความสำคัญ	คำนิยาม
1	ทั้ง 2 ปัจจัยมีความสำคัญเท่ากัน
3	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปาน
5	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
7	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
9	ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งสูงที่สุด
2, 4, 6 และ 8	ค่าระหว่างกลางของการตัดสินใจ

ในขั้น ตอน สุดท้าย ความสอดคล้องกัน (consistency) ของการเปรียบเทียบรายคู่ต้องถูกตรวจสอบเพื่อความแน่ใจว่าคำตอบของผู้เชี่ยวชาญมีคุณภาพ ตัวชี้วัดที่ AHP ใช้ก็คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องกันของข้อมูล (consistency index; CI) และค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกัน (consistency ratio; CR) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

โดย  $n$  คือ จำนวนพารามิเตอร์ในการศึกษา

$RI$  คือ ดัชนีความสอดคล้องกันของข้อมูล ทั้งนี้การสุ่มตัวอย่าง (random index) ซึ่งงานวิจัยของ Alonso [14] ได้แสดงรายละเอียดไว้แล้ว

หากค่า  $CR$  ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.1 แสดงว่า ผลการประเมินไม่มีคุณภาพเพียงพอ ผู้เชี่ยวชาญต้องทำการประเมินใหม่จนได้ผลเป็นที่ยอมรับได้ [16] ทั้งนี้ เมื่อผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนเป็นที่ยอมรับได้ ผลเฉลี่ยของทั้งกลุ่มก็จะเป็นที่ยอมรับได้ด้วย [17-18]

เป็นปกติที่ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญย่อมแตกต่างกัน และบ่อยครั้งก็มักมีค่าแตกต่างแบบสุดขีดด้วย (extreme value) กระบวนการวิจัยจึงต้องสามารถจัดการค่าเหล่านี้ให้ลดลงและนำมาสู่ความเห็นพ้องต้องกันของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้ในที่สุด เทคนิคเดลฟายเป็นวิธีที่สามารถรวบรวมความเห็นของทั้งกลุ่มซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพของการตัดสินใจได้เป็นอย่างดี [19-20] เทคนิคนี้ใช้การรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญหลายคนมาวิเคราะห์และส่งข้อมูลทั้งหมดกลับไปสู่ผู้เชี่ยวชาญทุกคนโดยไม่เปิดเผยรายชื่อเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลของตนเองและผู้อื่นแล้วจึงทำการประเมินใหม่อีกครั้ง ข้อมูลจะถูกรวบรวมและส่งกลับไปยังผู้เชี่ยวชาญอยู่เช่นนี้เรื่อยไป จนได้ข้อสรุปของกลุ่ม ซึ่งงานวิจัยในอดีตส่วนมากพบว่ากระบวนการนี้มักจะสำเร็จได้ภายใน 3 ถึง 4 รอบ [21-23]

จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคเดลฟายดูเหมือนเป็นประเด็นที่ไม่สามารถหาข้อสรุปได้ แต่

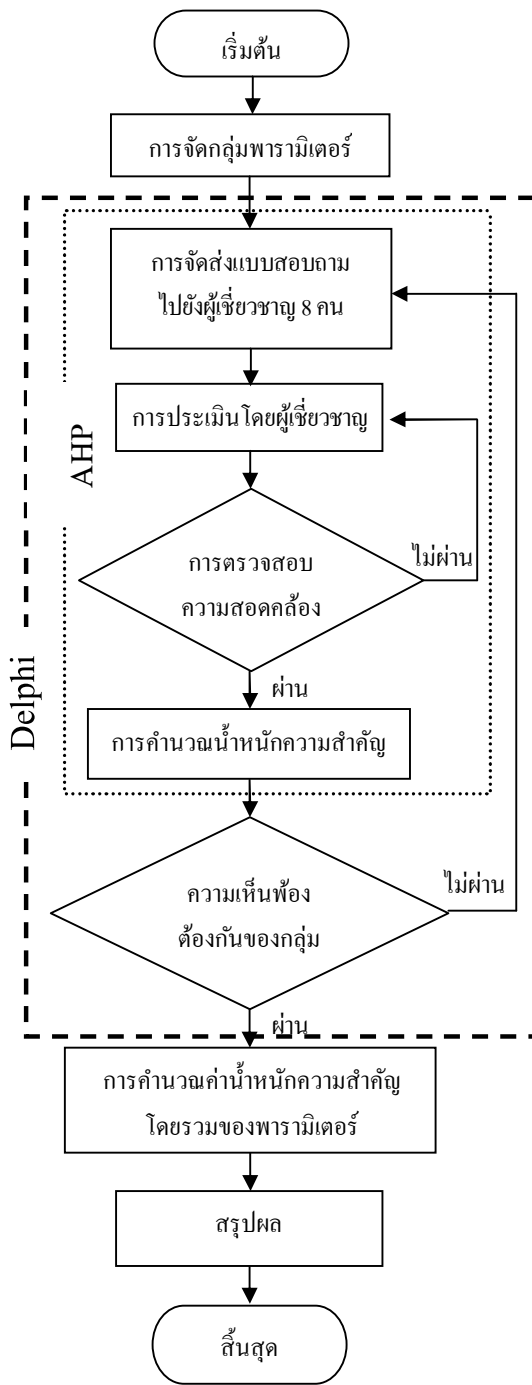
สามารถวิเคราะห์ได้ว่าถ้าจำนวนผู้เชี่ยวชาญน้อยเกินไป การตัดสินใจจะไม่ครอบคลุมและไม่ถือว่าเป็นตัวแทนที่ดี แต่หากจำนวนผู้เชี่ยวชาญมากเกินไป งานวิจัยจะพบปัญหาเรื่องเวลาและการตอบกลับของผู้เชี่ยวชาญที่ควบคุมได้ยาก [21]

งานวิจัยในอดีตได้นำเทคนิค AHP และเดลฟายมารวมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ 1) เทคนิคเดลฟายใช้สำหรับหาเกณฑ์หรือพารามิเตอร์ จากนั้นจึงใช้ AHP ในการหาน้ำหนักความสำคัญ [19, 22-24] และ 2) การนำ AHP เข้าไปอยู่ภายในกระบวนการของเดลฟาย กล่าวคือ ผู้เชี่ยวชาญต้องประเมินด้วย AHP ซ้ำหลายครั้งหลังจากได้ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญคนอื่นในรอบก่อนหน้า [17, 20]

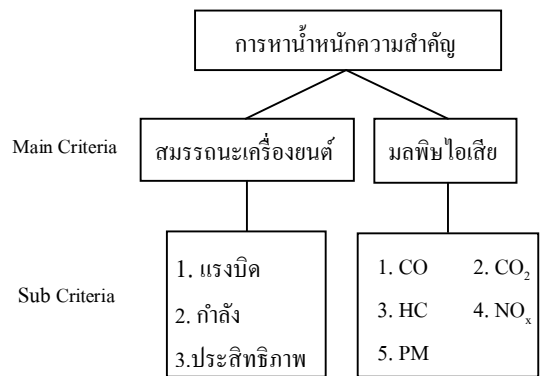
วิธีที่สองใช้จำนวนรอบการประเมินและเวลาที่มากกว่าวิธีแรก แต่เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนรับทราบความคิดเห็นของคนอื่นอยู่ในทุกรอบการประเมิน จึงนับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีแรกอย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีที่สองมาใช้งานวิจัยนี้

### 3. วิธีดำเนินงานวิจัย

พารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่าอันประกอบด้วย แรงบิด, กำลัง, ประสิทธิภาพ,  $CO_2$ , HC,  $NO_x$ , CO และ PM ถูกจัดให้เปรียบเทียบเป็นรายคู่ ดังนั้น ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนต้องเปรียบเทียบทั้งหมด 28 คู่ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว การเปรียบเทียบเช่นนี้กระทำได้ยากมากเนื่องจากผู้เชี่ยวชาญต้องมีความเข้าใจความสำคัญของพารามิเตอร์ครบทั้ง 8 ค่า อีกทั้งการเปรียบเทียบมากถึง 28 คู่ย่อมทำให้ความถูกต้องลดลง Ramanathan และคณะ [18] ได้พบปัญหาเช่นเดียวกันนี้ จึงได้แนะนำให้จัดพารามิเตอร์ออกเป็นกลุ่มก่อนเริ่มกระบวนการ AHP



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 2 ตัวแบบของ AHP สำหรับการหาความสำคัญ

Questionnaire to specialists

Main Criteria	Performance	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Emissions
Sub Criteria: Engine Performance	Torque	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Power
	Torque	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Efficiency
	Power	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Efficiency
Sub Criteria: Emissions	CO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CO <sub>2</sub>
	CO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	THC
	CO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NO <sub>x</sub>
	CO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PM
	CO <sub>2</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	THC
	CO <sub>2</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NO <sub>x</sub>
	CO <sub>2</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PM
	THC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NO <sub>x</sub>
	THC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PM
	NO <sub>x</sub>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PM

รูปที่ 3 แบบสอบถามแก่ผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินด้วย AHP

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิจัย โดยขั้นตอนแรกเป็นการจัดกลุ่มพารามิเตอร์ออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ 1) สมรรถนะเครื่องยนต์ และ 2) มลพิษไอเสีย โดยภายในกลุ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ประกอบด้วยแรงบิด กำลัง และประสิทธิภาพ ส่วนกลุ่มมลพิษไอเสียประกอบด้วย CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> และ PM ดังแสดงในรูปที่ 2

แบบสอบถามได้ถูกส่งให้แก่ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 คน ตามคำแนะนำของ Hallowell และคณะ [25] และ Monica และคณะ [26] ซึ่งคัดเลือกมาจากประวัติการศึกษา การทำ

วิจัยและองค์กรต้นสังกัด แบบสอบถามประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การเปรียบเทียบเกณฑ์หรือพารามิเตอร์หลัก (main criteria) และการเปรียบเทียบเกณฑ์หรือพารามิเตอร์รอง (sub criteria) อีกจำนวน 2 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 3

ผลการประเมินด้วยเทคนิค AHP ของผู้เชี่ยวชาญทุกคนต้องถูกตรวจสอบค่า CR หากอยู่ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ ผู้เชี่ยวชาญต้องประเมินใหม่จนผลยอมรับได้ จากนั้น ผลของทุกคนจะถูกรวบรวมด้วยการหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean) และคำนวณเป็นน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์แต่ละค่า

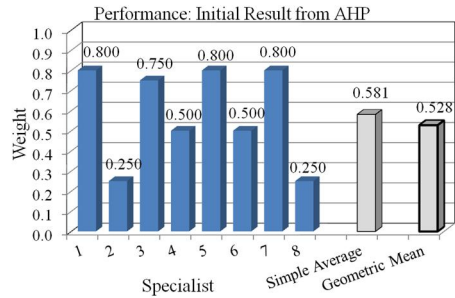
ข้อมูลทั้งหมดนี้ถูกส่งกลับไปยังผู้เชี่ยวชาญทุกคนโดยไม่เปิดเผยรายชื่อเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณาและประเมินใหม่ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้เทคนิคเดลฟาย ทั้งนี้ ในทุกการประเมินของ AHP ค่า CR จะถูกตรวจสอบทุกครั้ง และการประเมินซ้ำแล้วซ้ำอีกจะนำไปจนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง

**4. ผลการวิจัย**

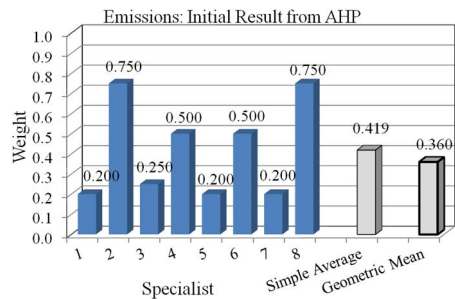
การหาน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์เครื่องยนต์ดีเซลได้ใช้เทคนิค AHP ผสมผสานกับเทคนิคเดลฟายเพื่อให้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นพร้อมกันซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**4.1 ผลการประเมินด้วย AHP ครั้งที่ 1**

ผลการประเมินความสำคัญระหว่างกลุ่ม (สมรรถนะและมลพิษ) ด้วย AHP ครั้งที่ 1 พบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน มีความเห็นที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 หรือมี extreme value เกิดขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิต (simple average) และค่าเฉลี่ยเรขาคณิตซึ่งแตกต่างกันค่อนข้างมาก



(ก) น้ำหนักความสำคัญของสมรรถนะเครื่องยนต์



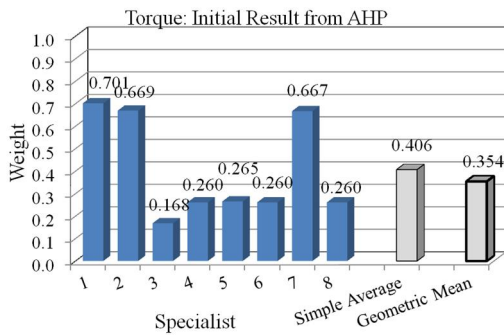
(ข) น้ำหนักความสำคัญของมลพิษไอเสีย

รูปที่ 4 ผลประเมินน้ำหนักของกลุ่มหลักด้วย AHP ครั้งที่ 1

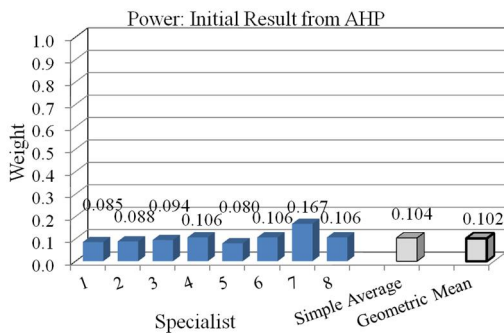
รูปที่ 5 แสดงผลการประเมินความสำคัญของพารามิเตอร์กลุ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วย AHP ครั้งที่ 1 ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่า เครื่องยนต์ดีเซลสามารถสร้างแรงบิดและประสิทธิภาพที่สูง ในขณะที่กำลังมีความสำคัญน้อย อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินยังพบความแตกต่างในลักษณะ extreme value อยู่บ้าง

ส่วนการประเมินความสำคัญภายในกลุ่มมลพิษไอเสียดังแสดงในรูปที่ 6 ยังมีความคิดเห็นที่แตกต่างกันมากพอสมควร ทำให้ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตมีค่อนข้างมากดังแสดงในรูปที่ 6 แต่พบข้อสังเกตคือ NO<sub>x</sub> และ PM ที่มีค่าความสำคัญค่อนข้างสูงและใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เนื่องจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่แตกต่างจาก

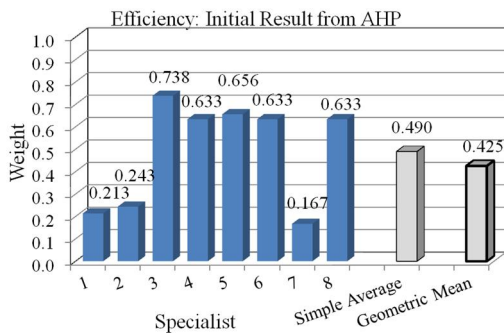
เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและทำให้ปริมาณมลพิษ NO<sub>x</sub> และ PM ของเครื่องยนต์ดีเซลสูงกว่าอย่างชัดเจน [27-28] งานวิจัยจึงมักมุ่งให้ความสำคัญไปที่ NO<sub>x</sub> และ PM ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นโดยรวมของผู้เชี่ยวชาญด้วย



(ก) น้ำหนักความสำคัญของแรงบิดเครื่องยนต์

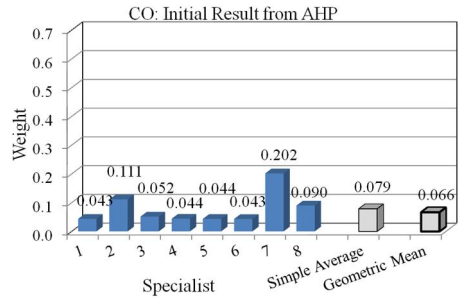


(ข) น้ำหนักความสำคัญของกำลังเครื่องยนต์

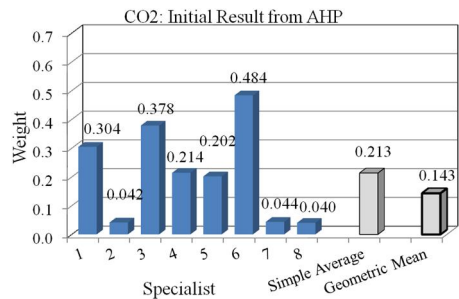


(ค) น้ำหนักความสำคัญของประสิทธิภาพเครื่องยนต์

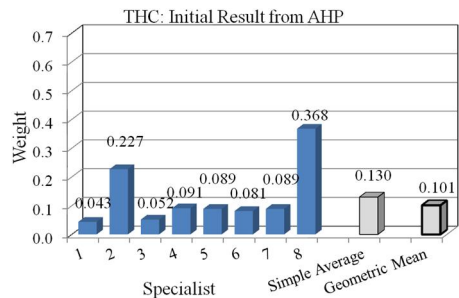
รูปที่ 5 ผลประเมินน้ำหนักของกลุ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วย AHP ครั้งที่ 1



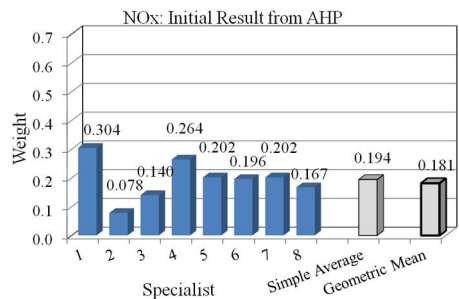
(ก) น้ำหนักความสำคัญของ CO



(ข) น้ำหนักความสำคัญของ CO<sub>2</sub>



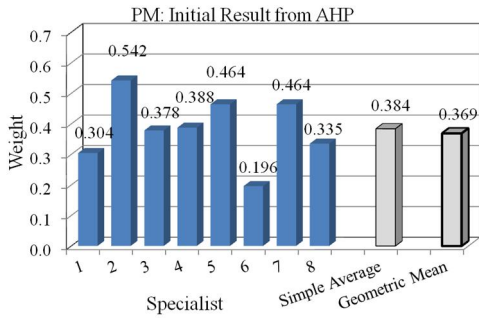
(ค) น้ำหนักความสำคัญของ THC



(ง) น้ำหนักความสำคัญของ NO<sub>x</sub>

รูปที่ 6 ผลประเมินน้ำหนักของกลุ่มมลพิษไอเสียด้วย AHP ครั้งที่ 1 (มีต่อ)





(จ) น้ำหนักความสำคัญของ PM

รูปที่ 6 ผลประเมินน้ำหนักของกลุ่มมลพิษไอเสียด้วย AHP ครั้งที่ 1 (ต่อ)

ผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน ด้วยกระบวนการ AHP ครั้งที่ 1 จากภาพที่ 4 ถึง 6 ได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการประเมินด้วย AHP ครั้งที่ 1

Initial Result from AHP		Simple Average	Geometric Mean	Difference
Main Criteria	Performance	0.581	0.528	0.053
	Emissions	0.419	0.360	0.059
Sub Criteria (Performance)	Torque	0.406	0.354	0.053
	Power	0.104	0.102	0.003
	Efficiency	0.490	0.425	0.065
	CO	0.079	0.066	0.012
Sub Criteria (Emissions)	CO <sub>2</sub>	0.213	0.143	0.070
	THC	0.130	0.101	0.029
	NO <sub>x</sub>	0.194	0.181	0.013
	PM	0.384	0.369	0.015

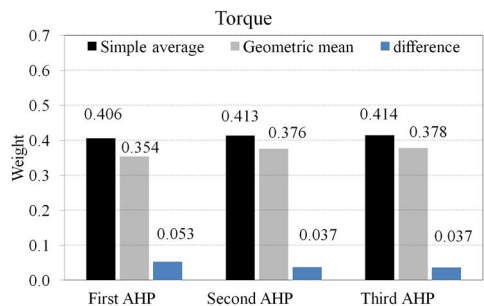
4.2 ผลการประเมินด้วย AHP ครั้งที่ 2 และ 3

การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญเพียงครั้งเดียวประกอบกับค่า extreme value ที่เกิดขึ้นจนทำให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน ผู้วิจัยไม่

สามารถสรุปได้ว่ากลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นพ้องต้องกัน ดังนั้น ข้อมูลทั้งหมดต้องถูกส่งกลับไปให้ผู้เชี่ยวชาญทุกคนตามเทคนิคเดลฟาย

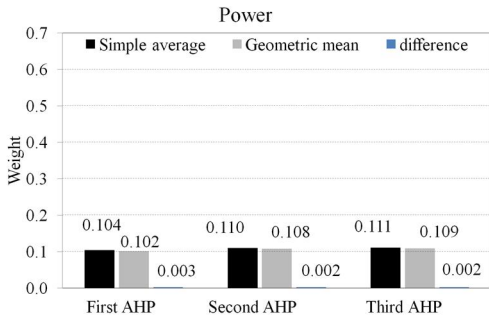
ผู้เชี่ยวชาญทุกคนได้พิจารณาความเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนอื่นและประเมินด้วย AHP ใหม่อีกครั้ง ผลที่ได้จากวิธี AHP ครั้งที่ 2 นี้ ทำให้ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตมีค่าน้อยลงดังแสดงค่าเปรียบเทียบเป็นกราฟแนวนอนในรูปที่ 7 และผลที่ได้จากขั้นตอนนี้ยังพบว่ามี extreme value จากความเห็นผู้เชี่ยวชาญบางคน ดังนั้น ข้อมูลทั้งหมดจึงถูกส่งกลับไปยังผู้เชี่ยวชาญทุกคนอีกครั้งหนึ่งเพื่อประเมิน AHP เป็นครั้งที่ 3

ผลการประเมินครั้งที่ 3 แสดงแนวโน้มชัดเจนว่าผู้เชี่ยวชาญส่วนมากยืนยันความคิดเห็นเดิมทุกประการและมีส่วนน้อยที่ปรับเปลี่ยนความคิดเห็นเพียงเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตมีค่าเข้าใกล้กันมากขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยดังแสดงค่าในตารางที่ 3 หรือสามารถพยากรณ์ได้ว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มคงที่ดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนั้น กระบวนการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจึงสิ้นสุดลง

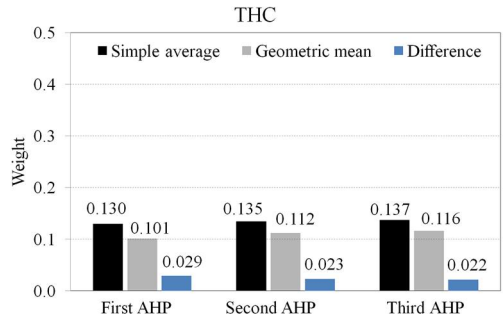


(ก)

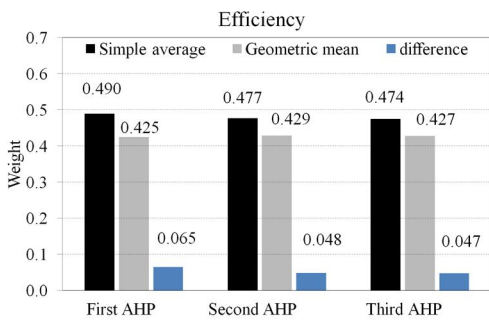
รูปที่ 7 แนวโน้มความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการทำ AHP ทั้ง 3 ครั้ง (มีต่อ)



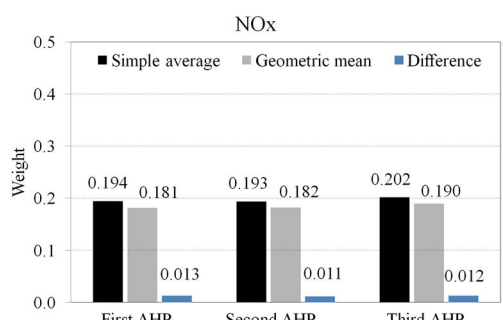
(ข)



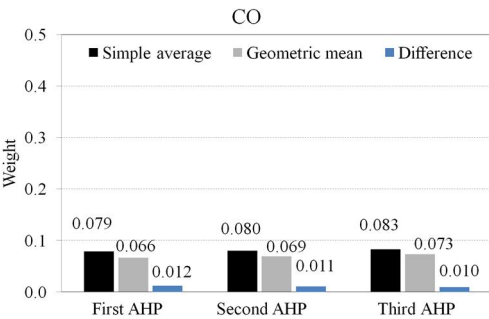
(ค)



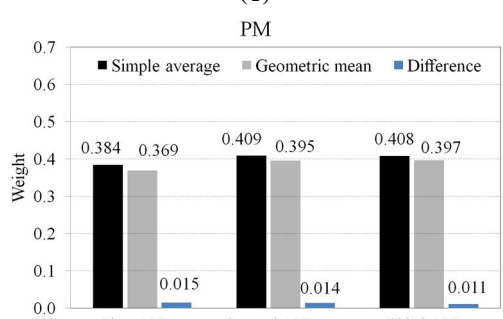
(ง)



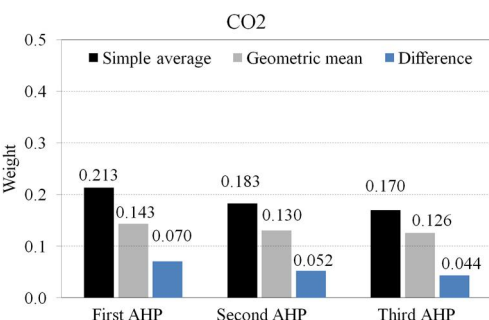
(ฉ)



(ช)



(ซ)



(จ)

รูปที่ 7 แนวโน้มความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการทำ AHP ทั้ง 3 ครั้ง (ต่อ)

ตารางที่ 3 ได้สรุปผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการประเมินด้วย AHP ครั้งที่ 3 ซึ่งเป็นครั้งสุดท้ายของการประเมิน

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการประเมินด้วย AHP ครั้งที่ 3

Initial Result from AHP		Simple Average	Geometric Mean	Difference
Main Criteria	Performance	0.521	0.475	0.046
	Emissions	0.479	0.436	0.043
Sub Criteria (Performance)	Torque	0.414	0.378	0.037
	Power	0.111	0.109	0.002
	Efficiency	0.474	0.427	0.047
Sub Criteria (Emissions)	CO	0.083	0.073	0.010
	CO <sub>2</sub>	0.170	0.126	0.044
	THC	0.137	0.116	0.022
	NO <sub>x</sub>	0.202	0.190	0.012
	PM	0.408	0.397	0.011

น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มและพารามิเตอร์ภายในกลุ่มจะเลือกใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต [15] ของผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน ตารางที่ 4 และ 5 ได้สรุปค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์แต่ละค่าที่ได้จากตารางที่ 3 โดยแบ่งตามกลุ่มเพื่อสะดวกต่อการคำนวณในขั้นตอนถัดไปได้ดังนี้

**ตารางที่ 4** ความสำคัญของพารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่า

กลุ่มสมรรถนะเครื่องยนต์		กลุ่มมลพิษไอเสีย	
พารามิเตอร์	น้ำหนักความสำคัญ	พารามิเตอร์	น้ำหนักความสำคัญ
แรงบิด	0.378	CO	0.073
กำลัง	0.109	CO <sub>2</sub>	0.126
ประสิทธิภาพ	0.427	HC	0.116
		NO <sub>x</sub>	0.190
		PM	0.397
ผลรวมของกลุ่ม	0.897	ผลรวมของกลุ่ม	0.901

**ตารางที่ 5** ความสำคัญของกลุ่มจากกระบวนการ AHP

กลุ่ม	น้ำหนักความสำคัญของกลุ่ม
สมรรถนะ	0.475
มลพิษไอเสีย	0.436
รวม	0.911

**4.3 ผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญโดยรวมของพารามิเตอร์**

หลังจากได้ค่าน้ำหนักความสำคัญจากเทคนิค AHP และเดลฟายเป็นที่เรียบร้อยแล้ว น้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ในตารางที่ 4 ต้องถูกนำมาพิจารณาร่วมกับน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มในตารางที่ 5 เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญโดยรวม (aggregated weight) [18]

น้ำหนักความสำคัญโดยรวมของพารามิเตอร์แต่ละค่า ( $W_i$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) [18]

$$W_i = \left( \frac{p_i}{p^*} \right) \times A \tag{6}$$

โดย  $p_i$  คือ น้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ภายในกลุ่ม

$p^*$  คือ น้ำหนักความสำคัญที่สูงที่สุดภายในกลุ่ม

$A$  คือ น้ำหนักความสำคัญของกลุ่ม

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของแรงบิดโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4 และ 5 ดังนี้

$$W_{torque} = \left( \frac{p_{torque}}{p^*} \right) \times A \tag{7}$$

จากตารางที่ 4  $p_{torque}$  มีค่าเท่ากับ 0.378 และ  $p^*$  คือ น้ำหนักความสำคัญที่สูงที่สุดภายในกลุ่มซึ่งมีค่า

เท่ากับ 0.427 โดย  $A$  คือ น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มสมรรถนะซึ่งมีค่าเป็น 0.475 ดังแสดงในตารางที่ 5 ผลการคำนวณจึงได้ว่า

$$W_{torque} = \left( \frac{0.378}{0.427} \right) \times 0.475 \quad (8)$$

$$W_{torque} = 0.420 \quad (9)$$

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ทั้ง 8 ค่า และน้ำหนักความสำคัญที่ได้รับการปรับค่าให้เป็นน้ำหนักมาตรฐาน (Normalized weight) ซึ่งมีเป็นค่าที่เทียบจากสัดส่วน 100% ดังนี้

**ตารางที่ 6** ความสำคัญของพารามิเตอร์ (เรียงตามลำดับ)

พารามิเตอร์	น้ำหนักความสำคัญ	ค่าความสำคัญที่ได้รับการปรับให้เป็นน้ำหนักมาตรฐาน	
1. ประสิทธิภาพ	0.475	0.2367	(23.67%)
2. แรงบิด	0.420	0.2093	(20.93%)
3. PM	0.436	0.2172	(21.72%)
4. NO <sub>x</sub>	0.208	0.1038	(10.38%)
5. CO <sub>2</sub>	0.138	0.0689	(6.89%)
6. HC	0.127	0.0634	(6.34%)
7. กำลัง	0.121	0.0605	(6.05%)
8. CO	0.081	0.0402	(4.02%)
ผลรวม	1.971	1.000	(100.00%)

### 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่นักวิจัยไม่มีข้อมูลน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลและส่งผลทำให้การตัดสินใจภายใต้เกณฑ์พหุคูณไม่มีประสิทธิภาพงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการหาน้ำหนักความสำคัญของพารามิเตอร์ด้านสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลจำนวน 8 ค่า ซึ่งจะช่วยให้แก่นักวิจัยมี

ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจภายใต้เกณฑ์พหุคูณได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

วิธีที่ใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าวต้องสามารถตอบสนองต่อเงื่อนไขที่สำคัญคือ 1) เป็นวิธีที่สามารถเปลี่ยนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นตัวเลขที่สามารถนำไปคำนวณเป็นน้ำหนักความสำคัญได้ 2) เป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบว่าผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินจากองค์ความรู้และความเชี่ยวชาญอย่างแท้จริง และ 3) กระบวนการที่เลือกใช้ต้องบริหารจัดการความคิดเห็นและนำไปสู่ความเห็นพ้องต้องกันของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้ (Group consensus) ดังนั้น กระบวนการ AHP จึงถูกผสมผสานเข้ากับเทคนิคเดลฟายในงานวิจัยนี้

พารามิเตอร์ทั้ง 8 ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มและถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 คนซึ่งได้รับการคัดเลือกจากคุณวุฒิและประสบการณ์ที่เหมาะสมผลการวิจัยสรุปได้ว่าวิธี AHP สามารถเปลี่ยนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นตัวเลขได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความเห็นที่แตกต่างกันสามารถบริหารจัดการให้เกิดความเห็นพ้องต้องกันได้ด้วยเทคนิคเดลฟายซึ่งสังเกตได้จากความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

จุดด้อยของการนำวิธี AHP เข้าไปรวมอยู่ภายในเทคนิคเดลฟาย คือ ผู้เชี่ยวชาญต้องประเมินแบบสอบถามด้วยวิธี AHP หลายครั้ง ซึ่งใช้เวลาการวิจัยมากและมีโอกาสที่ผู้เชี่ยวชาญจะถอนตัวออกระหว่างการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม การผสมผสาน AHP เข้ากับเดลฟายมีจุดเด่นที่ชัดเจนคือ ผู้เชี่ยวชาญได้รับความเห็นจากคนอื่นโดยไม่เปิดเผยรายชื่อ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีโอกาสพิจารณาปรับเปลี่ยนและเสนอความคิดเห็นได้โดยไม่เกิดความเกรงใจซึ่งกันและกัน ผู้วิจัยจึงเห็น

แนวโน้มของผลการวิจัยได้อย่างชัดเจนและเสร็จสมบูรณ์ได้ภายในการประเมิน 3 ครั้ง

ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพ, แรงบิด, PM และ  $\text{NO}_x$  มีความสำคัญมากถึง 23.67, 20.93, 21.72 และ 10.38% ตามลำดับ ในขณะที่  $\text{CO}_2$ , HC, กำลัง และ CO มีความสำคัญค่อนข้างน้อย ผลการวิจัยนี้สามารถประยุกต์เข้ากับงานวิจัยเครื่องยนต์ดีเซล เช่น การพัฒนาระบบการเผาไหม้ การฉีดเชื้อเพลิง หรือน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนชนิดต่างๆ เป็นต้น โดยผลการวิจัยนี้จะช่วยนักวิจัยในการตัดสินใจเลือกใช้ตัวแปรต้นในระดับที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีหลักเกณฑ์และเหตุผลมากกว่าการประมาณค่าโดยความรู้สึก

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังคงพิจารณาเฉพาะพารามิเตอร์เชิงวิศวกรรมซึ่งเหมาะกับงานวิจัยที่ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเทคโนโลยี แต่หากงานวิจัยเป็นการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ เทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์โดยเพิ่มเติมพารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งน่าจะทำให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติมได้ต่อไป

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Maggio and G. Cacciola, "When will oil, natural gas, and coal peak?", *Fuel*, 98, 2012, pp. 111–123.
- [2] R.W. Bentley, "Global oil & gas depletion: an overview", *Energy Policy*, 30, 2002, pp. 189–205.
- [3] S. Shafiee and E. Topal, "When will fossil fuel reserves be diminished?", *Energy Policy*, 37, 2009, pp. 181–189.
- [4] N. Kumar, Varun and S.R. Chauhan, "Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 2013, pp. 633–658.
- [5] M. Mani, G. Nagarajan and S. Sampath, "An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation", *Fuel*, 89, 2010, pp. 1826–1832.
- [6] M. Mani, G. Nagarajan and S. Sampath, "Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine", *Energy*, 36, 2011, pp. 212–219.
- [7] S. Murugan, M.C. Ramaswamy and G. Nagarajan, "The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines", *Waste Management*, 28, 2008, pp. 2743–2749.
- [8] S. Murugan, M.C. Ramaswamy and G. Nagarajan, "Performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using distilled tyre pyrolysis oil-diesel blends", *Fuel Processing Technology*, 89, 2008, pp. 152–159.
- [9] O. Dogan, M.B. Celik and B. Ozdalyan, "The Effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions", *Fuel*, 95, 2012, pp. 340–346.
- [10] C. Poompipatpong, P. Phuetsaka and P. Triwong, "The effects of transient driving patterns on diesel vehicle emissions", *The Journal of Industrial Technology*, 7, 2011, pp. 10–20. (in Thai)

- [11] C. Poompipatpong and G.H. Choi, “An experimental study of performances in a large diesel engine fuelled with diesel and LNG”, *The Journal of Industrial Technology*, 9, 2013, pp.94-104.
- [12] A. Kengpol, “Design of a decision support system to evaluate logistics distribution network in Greater Mekong Subregion Countries”, *International Journal of Production Economics*, 115, 2008, pp. 388–399.
- [13] A. Kengpol, “Design of a decision support system to evaluate the investment in a new distribution centre”, *International Journal of Production Economics*, 90, 2004, pp. 59–70.
- [14] J.A. Alonso, “Consistency in the Analytical Hierarchy Process: A New Approach”, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14, 4, 2006, pp. 445-459.
- [15] M. pirdashti, M. Omid, H. Pirdashti and M.H. Hassim, “An AHP-Delphi multi-criteria decision making model with application to environmental decision-making”, *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 8, 2011, pp. 3-17.
- [16] L. Xingyu, S. Gequn, W. Haiqiao, and C. Daliang, “Evaluation of diesel engine noise reduction measures based on hierarchy diagnosis”, *Transactions of Tianjin University*, 13, 2007, pp. 205–210.
- [17] M. Tavana, D.T. Kennedy, J. Rappaport and Y.J. Ugras, “An AHP-Delphi group decision support system applied to conflict resolution in hiring decisions”, *Journal of Management Systems*, 5, 2003, pp. 49–74.
- [18] R. Ramanathan, and L.S. Ganesh, “Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: an integrated model using goal programming and AHP”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 29, 1995, pp. 197–218.
- [19] M. Taleai and A. Mansourian, “Using Delphi-AHP method to survey major factor causing urban plan implementation failure”, *Journal of Applied Sciences*, 8, 2008, pp. 2746–2751.
- [20] D.H. Byun, “The AHP approach for selecting an automobile purchase model”, *Information & Management*, 38, 2001, pp. 289–297.
- [21] C.C. Hsu and B.A. Sandford, “The Delphi technique: making sense of consensus”, *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12, 2007, pp. 1–7.
- [22] D.P. Sharma, P.S.C. Nair and R. Balasubramanian, “Analytical search of problems and prospects of power sector through Delphi study: case study of Kerala State, India”, *Energy Policy*, 31, 2003, pp. 1245–1255.
- [23] Q. Zhu, J.T. Du, F. Meng, K. Wu and X. Sun, “Using a Delphi method and the analytic hierarchy process to evaluate Chinese search engines: A case study on Chinese search engines”, *Online Information Review*, 35, 2011, pp. 942–956.

- [24] C.N. Liao, “Supplier selection project using an integrated Delphi, AHP and Taguchi loss Function”, *ProbStat Forum*, 3, 2010, pp. 118–134.
- [25] M.R. Hallowell and J.A. Gambateste, “Quantitative research: application of the Delphi method to CEM research”, *Journal of construction engineering and management*, 2010, pp. 99–107.
- [26] G.M. Monica, G.N. Tomas and A.D. Silvia, “A Combined ANP-Delphi approach to evaluate sustainable tourism”, *Environmental Impact Assessment Review*, 34, 2012, pp. 41–50.
- [27] R.G. Papagiannakis and D.T. Hountalas, “Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression Ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas”, *Energy Conversion and Management*, 45, 2004, pp. 2971–2987.
- [28] P. Vijayabalan and G. Nagarajan, “Performance, emission and combustion of LPG diesel dual fuel engine using glow plug”, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 3(2), 2009, pp. 105–110.