

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบวิชาคณิตศาสตร์ แบบให้แสดงวิธีทำ เรื่อง การบวก ลบ คูณ หาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ตามแนวคิดระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที โดยใช้ระยะเวลาในการทำงานของสมอง และจำนวนขั้นตอนกระบวนการคิดหาคำตอบสำหรับข้อสอบแต่ละข้อเป็นตัววัด และเพื่อศึกษาความตรงของดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที โดยใช้ดัชนีชี้ความยากของข้อสอบตามทฤษฎีการสอบแบบดั้งเดิมเป็นเกณฑ์

ผู้วิจัยได้พัฒนาดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบ โดยได้รวบรวมแนวคิดระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประมวลเป็นกรอบความคิดในการพัฒนาดัชนีดังกล่าว โดยยึดตัวแปร 2 ตัวแปรคือ จำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิด และระยะเวลาที่ต้องใช้ในการคิด มาเป็นหลักในการพัฒนาดัชนีดังกล่าว

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนประถมศึกษา สังกัดคณะกรรมการการประถมศึกษากรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2536 มีทั้งหมด 36 โรงเรียน มีนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ทั้งสิ้น 7,648 คน มีการจัดชั้นเรียนแบบคละความ สามารถและสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้น (multi-stage random sampling) ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 351 คน ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 2 อย่างคือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์เรื่องการบวก ลบ คูณ หาร แบบให้แสดงวิธีทำ ซึ่งประกอบด้วยข้อสอบจำนวน 8 ข้อ

ในการดำเนินการวิจัยนั้น หลังจากที่ได้เสนอสูตรการคำนวณดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบ 2 สูตรแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูล โดยแบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 2 ตอน

คือตอนที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างตารางเทียบหาระยะเวลาในการทำงานของสมองสำหรับแต่ละขั้นตอน ( $IC_1$ ) สำหรับ 2 กลุ่มระดับความสามารถ คือ กลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที โดยใช้ระยะเวลาเป็นตัววัด ( $ICT_1$ ) ส่วนตอนที่ 2 เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที และตรวจสอบความตรงของค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่ทำได้นั้น

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้คำนวณค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ของข้อสอบทั้ง 8 ข้อ ตามสูตรการคำนวณดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบทั้ง 2 สูตรที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น จำแนกตามระดับความสามารถ คือ กลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน โดยได้เป็นค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที 2 แบบ คือ ค่าความซับซ้อนของข้อสอบคำนวณจากจำนวนขั้นตอน ( $ICO_1$ ) และค่าความซับซ้อนของข้อสอบคำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิด ( $ICT_1$ ) และคำนวณหาค่าความยากของข้อสอบตามแนว CTT ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ( $p_1$ ) ของข้อสอบทั้ง 8 ข้อ จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่ของสเปียร์แมน (Spearman Rank Correlation Coefficient :  $r_{sp}$ ) ระหว่างค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอนกับค่าความยากของข้อสอบ ระหว่างค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดกับค่าความยากของข้อสอบ และระหว่างค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิดกับค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดของกลุ่มตัวอย่างทั้งกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน แล้วทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องของเคนดอลล์ (The Kendall Coefficient of Concordance :  $W$ ) ระหว่างค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอน ( $ICO_1$ ) ค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิด ( $ICT_1$ ) และค่าความยากของข้อสอบ ( $p_1$ ) จำแนกตามระดับความสามารถ แล้วทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้สถิติทดสอบ ไคสแควร์ (  $\chi^2$  )

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องการบวก ลบ คูณ หาร ตามแนวคิดระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที (ACT Production System) ปรากฏผลดังนี้

1. ผลการพัฒนาค่าดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบเอ ซี ที ปรากฏผลว่า

1.1 ได้ดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบ 2 แบบ โดยได้เสนอเป็นสูตรการคำนวณ 2 สูตร คือ

1.1.1 สูตรหาค่าดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิดมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$ICO_i = \frac{\sum_{n=1}^N (C_{in} / T_i)}{N}$$

โดยที่

$ICO_i$	คือ	ค่าความซับซ้อนของข้อสอบข้อที่ $i$
$C_{in}$	คือ	จำนวนขั้นตอนที่ผู้สอบคนที่ $n$ ทำได้ สำหรับข้อสอบข้อที่ $i$
$T_i$	คือ	จำนวนขั้นตอนทั้งหมดที่ต้องใช้ สำหรับข้อสอบข้อที่ $i$
$N$	คือ	จำนวนคนสอบทั้งหมด

ศูนย์วิจัยการศึกษาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1.2 สูตรหาค่าดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$ICT_i = \sum_{j=1}^J \{(f_{o,j})(t_{o,j})\}$$

โดยที่	$ICT_i$	คือ	ค่าความซับซ้อนของข้อสอบข้อที่ $i$
	$O_j$	คือ	ขั้นตอนที่ $j$ ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
	$f_{o,j}$	คือ	ความถี่ของขั้นตอนที่ $j$
	$t_{o,j}$	คือ	ระยะเวลาในการทำงานของสมองสำหรับขั้นตอนที่ $j$ (sec.)

1.2 ได้ตารางสำเร็จรูปเพื่อเทียบหาระยะเวลาในการทำงานของสมอง สำหรับแต่ละขั้นตอนการคิด ( $t_{o,j}$ ) เกี่ยวกับการคิดเลขในเรื่อง การบวก ลบ คูณ หาร 2 ชุดคือชุดของตารางเทียบ  $t_{o,j}$  สำหรับกลุ่มเก่ง และสำหรับกลุ่มอ่อน ชุดละ 7 ตาราง ได้แก่ ตารางเทียบ  $t_{o,j}$  เรื่องการบวก ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของ  $t_{o,j}$  เรื่องการบวก ตารางเทียบ  $t_{o,j}$  เรื่องการลบ ตารางเทียบ  $t_{o,j}$  เรื่องการคูณ ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของ  $t_{o,j}$  เรื่องการคูณ ตารางเทียบ  $t_{o,j}$  เรื่อง การทดของการคูณ ตารางเทียบ  $t_{o,j}$  เรื่องการหาร ซึ่งสามารถใช้ในการเทียบเพื่อคำนวณหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาค่าตอบ ( $ICT_i$ ) ของข้อสอบประโยคสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เรื่องการบวก การลบ และการคูณตัวเลขจำนวนเต็มที่มีหลายหลัก ส่วนเรื่องการหารสามารถใช้เทียบหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบประโยคสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ตัวหารเป็นตัวเลขจำนวนเต็มหลักเดียว สำหรับนักเรียนประถมศึกษาปีที่ 5 สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษากรุงเทพมหานคร ทั้งกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อนได้ทันที โดยที่ยังไม่ต้องนำข้อสอบไปทดลองใช้จริง

1.3 ได้ค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_i$ ) ของข้อสอบทั้ง 8 ข้อ โดยจำแนกตามระดับความสามารถ คือกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน ซึ่งค่าความซับซ้อนของข้อสอบแบบนี้สามารถคำนวณหาได้หลังจากนำข้อสอบ

ข้อนี้ ๆ ไปทดสอบกับนักเรียนแล้ว และคำนวณค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิด ( $ICT_p$ ) สำหรับกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อนของข้อสอบ ทั้ง 8 ข้อได้ทันทีที่สร้างข้อสอบเสร็จ โดยที่ยังไม่ต้องนำข้อสอบไปทดลองใช้จริง

2. ผลการตรวจสอบความตรงของดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบ ตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้ง 2 แบบ คือ แบบที่คำนวณจากระยะเวลาการคิด ( $ICT_p$ ) และแบบที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICT_n$ ) ปรากฏว่า ดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้ง 2 แบบ มีความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ (criterion-related validity) สอดคล้องกับสมมุติฐานของการวิจัยทั้ง 2 ข้อ กล่าวคือค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้ง 2 แบบ มีความสัมพันธ์กับค่าความยากของข้อสอบตามแนว CTT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีความสอดคล้องกันระหว่างค่าความซับซ้อนของข้อสอบ ตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้งสองแบบและค่าความยากตามแนว CTT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ทั้งในกลุ่มเก่ง และในกลุ่มอ่อน

### อภิปรายผลการวิจัย

1. จากผลการวิจัยที่ว่า ได้สูตรการหาค่าดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที และตรวจสอบพบว่ามีตรงตามเกณฑ์สัมพันธสอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย ทั้ง 2 ข้อ แสดงว่า มีความตรงสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบได้โดยใช้ได้กับกลุ่มตัวอย่างทุกระดับความสามารถ คือ กลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาคุณภาพของข้อสอบแบบหนึ่งที่แปรผันตามกลุ่มตัวอย่างคล้ายกับแนวคิดทฤษฎีการสอบแบบดั้งเดิม แต่มีการวิเคราะห์ถึงกระบวนการทางปัญญาในสมองโดยละเอียด ซึ่งน่าจะสามารถอธิบายคุณลักษณะของข้อสอบได้ดีขึ้น

2. จากผลการวิจัยที่ว่า ได้ตารางสำเร็จรูปเพื่อเทียบหาระยะเวลาในการทำงานของสมองสำหรับแต่ละขั้นตอนการคิดเกี่ยวกับการคิดเลขในเรื่อง การบวก ลบ คูณ หาร ทั้งสิ้น 2 ชุด ชุดละ 7 ตาราง คือสำหรับกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อนนั้น จะสามารถนำไปใช้ในการเทียบเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบที่เป็นประโยชน์ลักษณะทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การบวก การลบและการคูณตัวเลขจำนวนเต็มที่มีหลายหลักได้ทุกข้อ ส่วนในเรื่องการหารนั้น สามารถใช้ตาราง

ที่สร้างขึ้นนี้เทียบเพื่อคำนวณหาดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบที่เป็นประโยชน์ลักษณะทางคณิตศาสตร์ ที่ตัวหารเป็นตัวเลขจำนวนเต็มหลักเดียวได้ โดยที่การหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบแบบนี้เป็นการคำนวณจากการใช้ระยะเวลาในการทำงานของสมองเป็นตัววัด ( $ICT_1$ ) ซึ่งสามารถหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบทุกข้อได้ทันทีที่เขียนข้อสอบเสร็จ ทั้งสำหรับกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน โดยที่ยังไม่ต้องนำข้อสอบไปทดลองใช้จริง เพียงแต่วิเคราะห์หาโมเดลการคิดหาค่าตอบของข้อสอบข้อนั้น ๆ ตามแนวคิดระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ซึ่งแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ที่ใช้ในการคิดหาค่าตอบ แล้วเทียบหาระยะเวลาที่ใช้ในการคิดของแต่ละขั้นตอน จากนั้นหาผลรวมของระยะเวลาที่ใช้ในการคิดทั้งหมด ก็จะได้เป็นค่าความซับซ้อนของข้อสอบข้อนั้น ซึ่งได้เสนอสูตรการคำนวณไว้แล้ว โดยที่อยู่ภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่ากลุ่มที่จะนำข้อสอบไปใช้นั้น ใช้เวลาในการคิดไม่ต่างจากนักเรียนกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างตารางสำเร็จรูป

ค่าความซับซ้อนของข้อสอบแบบนี้ มีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไป มีหน่วยเป็นวินาที มีค่าขึ้นอยู่กับระดับความสามารถของกลุ่มตัวอย่างเป็นดัชนีตัวหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้เขียนข้อสอบสามารถทราบคุณภาพของข้อสอบได้ทันทีว่า ข้อสอบที่เขียนขึ้นมาแต่ละข้อนั้น มีความซับซ้อนมากน้อยเพียงใด สำหรับกลุ่มเก่งและกลุ่มอ่อน เหมาะกับการนำไปใช้สอบกับนักเรียนกลุ่มใดมากน้อยเพียงใด สามารถเลือกข้อสอบที่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่จะนำไปใช้ได้อย่างมีหลักเกณฑ์ สามารถจัดเรียงข้อสอบจากข้อสอบที่มีความซับซ้อนน้อยไปหาข้อสอบที่มีความซับซ้อนมากได้ทันที อนึ่ง ดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิด ( $ICT_1$ ) นี้ ขึ้นกับจำนวนขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการคิดในแต่ละขั้นตอน และขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของกลุ่มผู้สอบ คือ ระดับความสามารถด้วย ถ้าข้อสอบข้อใดประกอบด้วย ขั้นตอนการคิดหาค่าตอบหลายขั้นตอนก็จะทำให้ข้อสอบข้อนั้นมีความซับซ้อนมาก และถ้าแต่ละขั้นตอนใช้ระยะเวลาในการคิดมากก็ยิ่งจะทำให้ข้อสอบข้อนั้นมีความซับซ้อนมากขึ้น แต่ถ้าข้อสอบข้อใดมีขั้นตอนการคิดหาค่าตอบน้อยขั้นตอน ก็จะทำให้ข้อสอบข้อนั้นมีความซับซ้อนน้อย และถ้าแต่ละขั้นตอนใช้ระยะเวลาในการคิดน้อย ก็ยิ่งจะทำให้ข้อสอบข้อนั้นมีความซับซ้อนน้อยลง สรุป คือ ปริมาณความซับซ้อนของข้อสอบแบบนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิดหาค่าตอบและระยะเวลาที่ใช้ในการคิดของแต่ละขั้นตอนของกลุ่มตัวอย่างด้วย นั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตาม ตารางสำเร็จรูปที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้ สามารถใช้ได้เฉพาะกับประชากรนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนประถมศึกษา สังกัดคณะกรรมการการประถมศึกษากรุงเทพมหานคร เท่านั้น ต้องมีการพัฒนาตารางที่เป็นเกณฑ์ปกติต่อไป

3. จากผลการวิจัยที่ว่า ได้ค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที่ คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_i$ ) ของข้อสอบทั้ง 8 ข้อ โดยจำแนกตามระดับความสามารถ คือ กลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อนนั้น การหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบแบบนี้สามารถใช้หาค่าความซับซ้อนของข้อสอบที่เป็นประโยชน์หลักศาสตร์ เรื่องการบวก ลบ คูณ หาร ได้ทุกข้อ โดยนำข้อสอบข้อนี้ไปสอบกับนักเรียนแล้ววิเคราะห์หาโมเดลการคิดหาค่าตอบซึ่งแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการคิดหาค่าตอบของนักเรียนกลุ่มนั้น จากนั้นคิดหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที่ คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิดมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ตามสูตรที่ผู้วิจัยได้เสนอไว้ ซึ่ง  $ICO_i$  นี้ เป็นดัชนีที่มีค่าแปรผันไปตามคุณลักษณะของกลุ่มผู้สอบ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 4

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที่ คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_i$ ) มีความสัมพันธ์แบบอันดับที่กับค่าความซับซ้อนของข้อสอบ ( $p_i$ ) สูงถึง 0.9862 ทั้งในกลุ่มเก่งและกลุ่มอ่อน เรียกได้ว่า  $ICO_i$  ก็เป็นดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบที่มาจากความยากของข้อสอบด้วย ที่เป็นเช่นนี้เพราะ  $ICO_i$  ได้กำหนดให้คะแนนเต็มของข้อสอบแต่ละข้อมีค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับการหาค่า  $p_i$  ที่ใช้การตรวจระบบ 0-1 และในการหาค่า  $p_i$  นั้นหาได้จากสัดส่วนคนที่ตอบถูกสำหรับข้อสอบข้อที่  $i$  โดยไม่ให้คะแนนบางส่วน ส่วน  $ICO_i$  เป็นสัดส่วนขั้นตอนที่ทำได้ ถ้าทำได้ทุกขั้นตอนก็จะได้ 1.00 คือ ทำถูก เช่นเดียวกับ  $p_i$  ถ้าทำไม่ถูกก็ได้คะแนนบางส่วน คือ ได้คะแนนเท่ากับจำนวนขั้นตอนที่ทำได้หารด้วยจำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ทั้งหมด ( $C_i/T$ ) ดังนั้น  $ICO_i$  จึงเป็นทางเลือกใหม่ของการหาค่าความยากของข้อสอบ โดยที่คิดให้คะแนนกระบวนการที่คิดถูกบางส่วน ด้วยเหตุนี้จึงพบความสัมพันธ์ระหว่าง  $ICO_i$  กับ  $p_i$  มีค่าสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับข้อสอบที่ง่าย ทำให้นักเรียนเกือบทุกคนทำถูก ค่า  $ICO_i$  กับ  $p_i$  จึงให้ผลเหมือนกัน แต่ถ้าหากข้อสอบมีความยากมากขึ้น การให้คะแนนกระบวนการคิดบางส่วนจะแสดงผลชัดเจนขึ้น  $ICO_i$  น่าจะมีความสัมพันธ์กับ  $p_i$  น้อยลงและควรใช้  $ICO_i$  จะเหมาะสมกว่า  $p_i$  โดยการให้คะแนนกระบวนการคิดบางส่วนนี้มีผลดีในเรื่องการวินิจฉัยความบกพร่องของผู้สอบ ได้ดีกว่าการให้คะแนนระบบ 0-1

ดังนั้นแนวคิดในการหาดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที แบบ ICO<sub>1</sub> นี้จึงน่าจะนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจข้อสอบแบบอัตนัย หรือแบบให้แสดงวิธีทำ โดยให้จำนวนขั้นตอนที่ต้องในการคิดหาคำตอบของข้อสอบข้อนั้นเป็นคะแนนเต็มของข้อสอบ แล้วให้ผู้สอบแต่ละคนได้คะแนนในการทำข้อสอบข้อนั้นเท่ากับจำนวนขั้นตอนที่ผู้สอบผู้นั้นทำได้ซึ่งวิธีการตรวจข้อสอบแบบนี้ น่าจะถูกต้องเหมาะสมกับข้อสอบแบบให้แสดงวิธีทำมากกว่า การตรวจให้คะแนนแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ เพราะจะเป็นการกำหนดคะแนนเต็มแก่ข้อสอบแต่ละข้อตามน้ำหนักความซับซ้อนของข้อสอบ หรือเป็นการให้คะแนนตามโมเดลการคิดหาคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อ ข้อสอบข้อใดมีความซับซ้อนของข้อสอบมากหรือจำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิดหาคำตอบมาก (ICO<sub>1</sub> มาก) ก็ น่าจะให้คะแนนเต็มแก่ข้อสอบข้อนั้นมากกว่าข้อสอบข้อที่มีความซับซ้อนของข้อสอบน้อย (ICO<sub>1</sub> ต่ำ)

4. การหาความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาโมเดลการคิดหาคำตอบของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่ม ปรากฏว่าได้โมเดลการคิดหาคำตอบเป็นแบบเดียวกันและสอดคล้องกับโมเดลการคิดหาคำตอบที่ผู้วิจัยเจลาไว้ตามแนวคิดระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ของ Anderson ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการคิดหาคำตอบของข้อสอบคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ลักษณะเรื่องการบวก ลบ คูณ หาร ซึ่งเป็นปัญหาประเภทระบบปิด (closed system) มีคุณลักษณะชัดเจน (distinct) ซึ่งนำไปสู่การแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการคำนวณ (use of algorithms) มีวิธีการ ขั้นตอนในการคิดที่แน่นอน นักเรียนส่วนใหญ่คิดหาคำตอบด้วยวิธีเดียวกันตามหลักสูตรการสอนอันเดียวกันของคณะกรรมการการประถมศึกษากรุงเทพมหานคร ดังนั้น การวิเคราะห์ข้อสอบคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ลักษณะ เรื่อง การบวก ลบ คูณ หาร นี้ จึงสามารถวิเคราะห์เขียนโมเดลการคิดหาคำตอบออกมาได้ทันทีเมื่อเขียนข้อสอบเสร็จ โดยวิเคราะห์ตามแนวคิดระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ของ Anderson แต่ถ้าหากมีการศึกษาวิเคราะห์หาโมเดลการคิดหาคำตอบของข้อสอบเรื่องอื่น ๆ ก็อาจจะได้โมเดลการคิดหลายแบบ ที่แตกต่างกันออกไปตามคุณลักษณะของผู้สอบและประเภทของปัญหานั้น ๆ ก็จะคำนวณหาความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที แบบ ICT<sub>1</sub> ออกมาได้ตามโมเดลการคิดที่วิเคราะห์ได้จากนักเรียนแต่ละกลุ่มนั้น

5. จากผลการวิจัยที่วัดดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้งสองแบบมีความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ (Criterion Related Validity) เพราะพบว่าค่า



ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้ง 2 แบบ มีความสัมพันธ์กับค่าความยากของข้อสอบ ตามแนว CTT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีความสอดคล้องกันระหว่างค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ทั้งสองแบบและค่าความยากตามแนว CTT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้น จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่ระหว่างความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_1$ ) กับความยากของข้อสอบตามแนวเดิม ( $p_1$ ) สำหรับกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน มีค่าสูงถึง 0.9762 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่ระหว่างความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาคำตอบ ( $ICT_1$ ) กับความยากของข้อสอบตามแนวเดิม ( $p_1$ ) มีค่าต่ำกว่า คือ สำหรับกลุ่มเก่งมีค่าเพียง 0.7619 และสำหรับกลุ่มอ่อนมีค่า 0.9286 และเมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่ทั้งสองค่ามีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมดแต่เมื่อเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่แล้ว จะเห็นได้ว่า ทั้งในกลุ่มเก่ง และในกลุ่มอ่อน  $ICO_1$  มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ  $p_1$  สูงกว่า  $ICT_1$  ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าวิธีการคำนวณหา  $ICO_1$  มีความคล้ายคลึงกับวิธีการหาค่า  $p_1$  แต่  $ICO_1$  น่าจะเป็นดัชนีที่ชี้ถึงคุณภาพ คุณลักษณะของข้อสอบได้ดีกว่า  $p_1$  เนื่องจากได้มีการวิเคราะห์ถึงกระบวนการคิด (process) ในสมอง อย่างละเอียดเป็นระบบ ตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ในขณะที่การคำนวณหา  $p_1$  ไม่ได้มีการวิเคราะห์ถึงกระบวนการคิดในสมอง เป็นการพิจารณาเพียงผลลัพธ์ (product) ส่วนการที่  $ICT_1$  มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ  $p_1$  น้อยกว่า  $ICO_1$  นั้น อาจเป็นเพราะวิธีการคำนวณหา  $ICT_1$  ได้มีการพิจารณาวิเคราะห์ถึงกระบวนการคิด (process) ในสมองอย่างละเอียดมาประกอบด้วย ซึ่งมีการนำมาพิจารณาอย่างละเอียดมากกว่าวิธีการคำนวณหา  $ICO_1$  คือ มีการคำนึงถึงทั้งจำนวนขั้นตอนในการคิดหาคำตอบและความซับซ้อนของข้อสอบของแต่ละขั้นตอนย่อยสำหรับแต่ละกลุ่มด้วยโดยวิเคราะห์จากโมเดลการคิดหาคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการคิดของแต่ละขั้นตอน ทั้งค่า  $ICO_1$  และค่า  $ICT_1$  นั้นผันแปรไปตามคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่างคือระดับความสามารถของกลุ่มตัวอย่างนั่นเอง แต่  $ICT_1$  ได้นำเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนมาเป็นตัวถ่วงน้ำหนักด้วย ดังนั้น  $ICT_1$  จึงน่าจะเป็นดัชนีที่ความซับซ้อนของข้อสอบได้ดีกว่า  $ICO_1$  แม้จะเป็นข้อสอบที่ง่ายมากก็ยังพบความสัมพันธ์ที่แตกต่างระหว่าง  $ICO_1$  กับ  $p_1$  และ  $ICT_1$  กับ  $p_1$  และพบว่ากลุ่มเก่งใช้เวลาในการคิดน้อยกว่ากลุ่มอ่อน ถ้าหากข้อสอบยากขึ้น การหาค่า  $ICT_1$  ซึ่งเป็นสูตรที่นำเวลาที่ใช้ในการคิดมาเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก ยิ่งน่าจะเป็นดัชนีที่ความซับซ้อนของข้อสอบที่เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยจะเห็นความแตกต่างของการใช้เวลาระหว่างกลุ่มเก่งและกลุ่มอ่อนมาก

กว่านี้ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง  $ICO_1$  และ  $ICT_1$  ต่างก็มีความสัมพันธ์กับ  $p_1$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าค่าดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คือ  $ICO_1$  และ  $ICT_1$  สามารถชี้ถึงความซับซ้อนของข้อสอบ ทั้ง 8 ข้อได้

ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_1$ ) ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาคำตอบ ( $ICT_1$ ) และความยากของข้อสอบตามแนวเดิม ( $p_1$ ) ทุกค่า คือ ทั้งสำหรับกลุ่มเก่งและกลุ่มอ่อน มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ ค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_1$ ) ค่าความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาคำตอบ ( $ICT_1$ ) และค่าความยากของข้อสอบ ( $p_1$ ) มีความสอดคล้องกัน โดยเฉพาะสำหรับกลุ่มอ่อนให้ผลที่สอดคล้องกันสูงมากถึง 0.9523 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนกลุ่มเก่งก็ให้ผลที่สอดคล้องกันสูงถึง 0.8730 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_1$ ) และดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาคำตอบ ( $ICT_1$ ) มีความตรงตามเกณฑ์สามารถใช้ได้กับกลุ่มตัวอย่างทั้งที่มีระดับความสามารถสูง (กลุ่มเก่ง) และที่มีระดับความสามารถต่ำ (กลุ่มอ่อน) นำจะนำไปใช้เป็นดัชนีตัวหนึ่งชี้ถึงคุณภาพของข้อสอบแต่ละข้อได้ และ น่าจะเป็นดัชนีตัวหนึ่งชี้ไปถึงความยากง่ายของข้อสอบทั้ง 8 ข้อได้ นั่นคือ ถ้าข้อสอบข้อใดมีค่าความซับซ้อนของข้อสอบมาก แสดงว่าข้อสอบข้อนั้นมีความยากมาก และถ้าข้อสอบข้อใดมีค่าความซับซ้อนของข้อสอบน้อยแสดงว่าข้อสอบข้อนั้นมีความยากน้อยหรือเป็นข้อสอบที่ง่ายนั่นเอง

6. จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า สำหรับกลุ่มเก่งนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่ระหว่างดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบแบบ  $ICO_1$  กับ  $ICT_1$  มีค่า 0.6905 และเมื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ ปรากฏว่า ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสำหรับกลุ่มอ่อนมีค่า 0.8810 และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสูตรการหาค่า  $ICO_1$  นั้นอยู่กับตัวแปรจำนวนขั้นตอนการคิดอย่างเดียว แต่สูตรการหาค่า  $ICT_1$  นั้นได้นำตัวแปรระยะเวลาที่ใช้ในการคิดมาถ่วงน้ำหนักด้วย ซึ่งในกลุ่มเก่ง ระยะเวลาที่ใช้ในการคิดอาจเป็นตัวแปรที่มีผลกระทบทำให้ค่าความซับซ้อนเปลี่ยนแปลงไป ไม่สอดคล้องกับ  $ICO_1$

เท่าในกลุ่มอ่อน คือบางขั้นตอนนักเรียนกลุ่มเก่งอาจใช้เวลาในการคติน้อยมาก ในขณะที่นักเรียนกลุ่มอ่อนยังต้องใช้เวลาในการคิดพอสมควร ทำให้อันดับที่เรียงตามค่า  $ICT_1$  ของกลุ่มเก่งแตกต่างจากอันดับที่เรียงตามค่า  $ICO_1$  มากกว่าของนักเรียนกลุ่มอ่อน จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอันดับที่ระหว่าง  $ICO_1$  กับ  $ICT_1$  ของกลุ่มเก่งมีค่าน้อยกว่าของกลุ่มอ่อน ดังนั้นสำหรับกลุ่มเก่งจึงน่าจะใช้สูตรหาค่า  $ICT_1$  ในการหาค่าความซับซ้อนของข้อสอบทั้ง 8 ข้อนี้มากกว่า  $ICO_1$

7. ในกรณีที่ต้องการประมาณค่าความซับซ้อนของข้อสอบอย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงขอเสนอให้ใช้จำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิด ซึ่งได้จากการวิเคราะห์หาโมเดลการคิดหาคำตอบมาเป็นตัวประมาณค่าความซับซ้อนได้โดยโดยไม่ต้องนำข้อสอบไปทดสอบจริงก่อน ดังแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบไว้แล้วในบทที่ 4 โดยพบว่าให้ผลสอดคล้องกัน นั่นคือน่าจะสามารถใช้จำนวนขั้นตอนที่ต้องใช้ในการคิด ( $T_1$ ) ของข้อสอบแต่ละข้อมาประมาณค่าความซับซ้อนของข้อสอบทั้ง 8 ข้อ ได้เพียงพอแล้ว โดยไม่ต้องหาค่า  $ICO_1$  วิธีการนี้แม้จะมีสิ่งกีดขวางและหลักการสมบูรณ์ตามการวัดความซับซ้อนของข้อสอบ แต่ให้ผลสอดคล้องกับค่าความยากของข้อสอบและสะดวกสำหรับนักวัดผลในการหาค่าได้ทันทีที่สร้างข้อสอบเสร็จ โดยวิเคราะห์หาโมเดลการคิดหาคำตอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที อย่างไรก็ดี นักวัดผลควรใช้ดัชนีความซับซ้อนเต็มรูป หรือดัชนีความยากจะให้ผลสมบูรณ์กว่า

### ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้ สามารถแยกได้เป็น 2 ประการคือ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างข้อสอบประโชคนิสัยลักษณะทางคณิตศาสตร์ เรื่องการบวก ลบ คูณ หาร แบบให้แสดงวิธีทำ จำนวน 8 ข้อ ซึ่งเป็นข้อสอบที่ง่ายมาก เนื่องจากสร้างขึ้นโดยยึดตามวัตถุประสงค์พื้นฐานของหลักสูตร ข้อค้นพบเกี่ยวกับดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ค่ารวมจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_1$ ) และดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ค่ารวมจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาคำตอบ ( $ICT_1$ ) นั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

1.1 ใช้สูตรดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิดหาคำตอบ ( $ICT_1$ ) เป็นสูตรหาค่าดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบ และสูตรดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่คำนวณจากจำนวนขั้นตอนการคิด ( $ICO_1$ ) เป็นทางเลือกใหม่ในการคำนวณหาค่าความยากโดยคิดให้คะแนนกระบวนการคิดที่คิดถูกบางส่วน

1.2 สามารถใช้ดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ที่ซึ่งได้พัฒนาขึ้นนี้ เป็นดัชนีตัวหนึ่งที่อยู่ถึงคุณภาพของข้อสอบแบบแสดงวิธีทำ เรื่อง การบวก ลบ คูณ หาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 8 ข้อ และสามารถชี้ไปถึงความยากของข้อสอบทั้ง 8 ข้อได้ นอกจากนี้ดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบที่คำนวณจากระยะเวลาที่ใช้ในการคิด ( $ICT_1$ ) นั้นยังสามารถวิเคราะห์หาค่าได้ทันทีที่สร้างข้อสอบเสร็จ ไม่ต้องนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างก่อนเหมือนการคำนวณหาค่าดัชนีอื่น ๆ ด้วยการใช้ตารางสำเร็จรูป แต่อย่างไรก็ตามตารางสำเร็จรูปดังกล่าว ต้องมีการพัฒนาให้เป็นตารางที่ใช้ได้กว้างขึ้น ในลักษณะของเกณฑ์ปกติ (Norm) ต่อไป

1.3 สามารถนำดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ไปใช้ในการจัดทำแบบฝึกหัดสำหรับนักเรียนได้อย่างเหมาะสม คือ สามารถจัดเรียงข้อสอบแบบให้แสดงวิธีทำเรื่องการบวก ลบ คูณ หาร จากข้อสอบที่มีความซับซ้อนน้อยไปหามากได้ อันจะนำไปสู่การฝึกคิดที่มีประสิทธิภาพและให้ประโยชน์สูงสุดแก่นักเรียนต่อไป

1.4 สามารถนำดัชนีชี้วัดความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ไปใช้ประโยชน์ในการวินิจฉัยข้อบกพร่องของนักเรียนแต่ละคนได้ โดยการวิเคราะห์จุดที่นักเรียนทำผิด ซึ่งจะเป็ประโยชน์ต่อการจัดการสอนซ่อมเสริมแก่นักเรียน เหมาะที่จะใช้กับแบบสอบอิงเกณฑ์ (Criterion - Referenced Test) และข้อสอบแบบแสดงวิธีทำ

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาเพิ่มเติม การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนี  
 คุณภาพของข้อสอบตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับวงการการวัดผลและการวิจัยครั้งนี้เห็นว่า  
 เป็นจุดเริ่มต้นบุกเบิก จึงควรต้องมีการวิจัยที่สามารถสนับสนุนทำให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยว  
 กับดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบ ก่อนที่จะสรุปผลที่แน่นอนและนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางต่อไป  
 ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะว่า

2.1 ควรจะมีการศึกษาเพื่อพัฒนาดัชนีชี้ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการ  
 ผลิตแบบ เอ ซี ที (ACT Production System) โดยใช้ข้อสอบจำนวนมากขึ้น มีความแปรปรวน  
 ของความซับซ้อนมากขึ้นและศึกษาในเนื้อหาวิชาอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ดีเกี่ยวกับดัชนี  
 ชี้ความซับซ้อนของข้อสอบ

2.2 ควรจะมีการศึกษาเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์หรือความสอดคล้องระหว่าง  
 ความซับซ้อนของข้อสอบตามระบบการผลิตแบบ เอ ซี ที ความสามารถของผู้สอบตามทฤษฎีการ  
 สันองตอบข้อสอบ (Item Response Theory : IRT) และความยากของข้อสอบตามทฤษฎี  
 การสอบแบบดั้งเดิม (Classical Test Theory : CTT)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย