บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 จากการศึกษาทฤษฎีและเทคนิคต่าง ๆ ในการออกแบบอาคารเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและการควบคุมเสียงภายในอาคาร พบว่า มีตัวแปรจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและการควบคุมเสียงภายในอาคาร แต่ตัวแปรที่มีอิทธิพลที่สามารถจัดเป็นหมวดหมู่ มีดังนี้

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกับการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ประกอบด้วย

1. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบเปลือกอาคาร
   1.1 ระบบเปลือกอาคารในส่วนของเป็นผนัง
      - กรณีผนังทึบ
      - กรณีผนังผสม (Composite Wall)
      - กรณีผนังเปิดช่องเปิด (ประตู หน้าต่างหรือช่องแสง)
   1.2 การรั่วซึมของเสียงจากระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง
2. กลุ่มตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร
   - กรณีบริเวณที่ตั้งอาคารเป็นพื้นที่โล่ง
   - กรณีบริเวณที่ตั้งอาคารมีองค์ประกอบที่เป็น แผงกั้นเสียง
3. กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกับการควบคุมเสียงภายในอาคารประกอบด้วย

1. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับระดับความดันเสียงภายในห้อง
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับ Reverberant Sound ภายในห้อง
   2.1 Reverberation Time
   2.2 รูปร่างของห้อง (Shape of room)

5.1.2 การศึกษาแนวทางในการสร้างดัชนี (Index) เพื่อใช้ประเมินค่าเสียงสำหรับโรงเรียนระดับประถมศึกษาโดยแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินเกี่ยวกับการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและการประเมินเกี่ยวกับการควบคุมเสียงภายในอาคาร ในการประเมินผู้ศึกษาได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักที่ใช้เป็นตัวคูณของตัวแปรแต่ละกลุ่มและกำหนดค่าระดับของตัวแปรต่าง ๆในแต่ละส่วน ดังนี้

- การกำหนดค่าน้ำหนักเพื่อเป็นตัวคูณของตัวแปรแต่ละกลุ่ม

ส่วนที่ 1 การประเมินค่าการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร	ค่าน้ำหนัก	ตัวคูณ
1. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบเปลือกอาคาร	63	12.60
1.1 ระบบเปลือกอาคารในส่วนผนัง		
- กรณีผนังทึบ		
- กรณีผนังผสม (Composite Wall)		
- กรณีผนังมีช่องเปิด		
1.2 การรั่วซึมของเสียงจากระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง	7	1.40
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร	20	4.00
- กรณีบริเวณที่ตั้งอาคารเป็นพื้นที่โล่ง		
- กรณีบริเวณที่ตั้งอาคารมีแผงกั้นเสียง		
3. กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการดูดซับเสียงของผิวภายในห้อง	10	2.00
คะแนนรวมในส่วนที่ 1	100	

ส่วนที่ 2 การประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในอาคาร	ค่าน้ำหนัก	ตัวคูณ
1. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับระดับความดันเสียงภายในห้อง	70	14.00
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับ Reverberant Sound ภายในห้อง	27	5.40
2.1 Reverberation Time		
2.2 รูปร่างของห้อง (Shape of room)	3	0.60
คะแนนรวมในส่วนที่ 2	100	

- การกำหนดค่าระดับของกลุ่มตัวแปรต่าง ๆ

ส่วนที่ 1 การประเมินค่าการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

1. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบเปลือกอาคาร	ค่าระดับ
1.1 การประเมินค่าระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง	
STC น้อยกว่า 25	1
STC ตั้งแต่ 25 แต่น้อยกว่า 30	2
STC ตั้งแต่ 30 แต่น้อยกว่า 35	3
STC ตั้งแต่ 35 แต่น้อยกว่า 45	4
STC ตั้งแต่ 45 ขึ้นไป	5
1.2 การประเมินค่าการรั่วซึมของเสียงจากระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง	
ประตู-หน้าต่างบานเกล็ดปรับมุม	1
ประตู-หน้าต่างบานเปิดชนิดวงกบและกรอบบานไม้	2
ประตู-หน้าต่างบานเลื่อนชนิดวงกบและกรอบไม้	2
ประตู-หน้าต่างบานเฟี้ยมชนิดวงกบและกรอบไม้	2
ประตู-หน้าต่างบานเปิดชนิดวงกบและกรอบอลูมิเนียม	3
ประตู-หน้าต่างบานเลื่อนชนิดวงกบและกรอบอลูมิเนียม	3
ประตู-หน้าต่างบานเฟี้ยมชนิดวงกบและกรอบอลูมิเนียม	3
ผนังผสมกระจกที่มีวงกบไม้ หรืออลูมิเนียม (ไม่ได้Seal)	4
ผนังผสมกระจกที่มีวงกบไม้ หรืออลูมิเนียม (Seal)	5

2. การประเมินค่าในส่วนขององค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร	ค่าระดับ
ระดับเสียงรบกวนตั้งแต่ 80 เดซิเบล (เอ) ขึ้นไป	1
ระดับเสียงรบกวนตั้งแต่ 70 แต่น้อยกว่า 80 เดซิเบล (เอ)	2
ระดับเสียงรบกวนตั้งแต่ 60 แต่น้อยกว่า 70 เดซิเบล (เอ)	3
ระดับเสียงรบกวนตั้งแต่ 52 แต่น้อยกว่า 60 เดซิเบล (เอ)	4
ระดับเสียงรบกวนน้อยกว่า 52 เดซิเบล (เอ)	5

3.	การประเมินค่าเกี่ยวกับการดูดซับเสียงของผิวภายในห้อง	ค่าระดับ
	ระดับเสียงที่ลดลงน้อยกว่า 0 เดซิเบล (เอ)	1
	ระดับเสียงที่ลดลงตั้งแต่ 0 แต่น้อยกว่า 2 เดซิเบล (เอ)	2
	ระดับเสียงที่ลดลงตั้งแต่ 2 แต่น้อยกว่า 4 เดซิเบล (เอ)	3
	ระดับเสียงที่ลดลงตั้งแต่ 4 แต่น้อยกว่า 6 เดซิเบล (เอ)	4
	ระดับเสียงที่ลดลงตั้งแต่ 6 เดซิเบล (เอ) ขึ้นไป	5

ส่วนที่ 2 การประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในอาคาร

1.	การประเมินค่าเกี่ยวกับระดับความดันเสียงภายในห้อง	ค่าระดับ
	ระดับความดันเสียงน้อยกว่า 45 เดซิเบล (เอ)	1
	ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 45 แต่น้อยกว่า 50 เดซิเบล (เอ)	2
	ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 50 แต่น้อยกว่า 55 เดซิเบล (เอ)	3
	ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 55 แต่น้อยกว่า 60 เดซิเบล (เอ)	4
	ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 60 แต่น้อยกว่า 65 เดซิเบล (เอ)	5
2.	กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับ Reverberant Sound ภายในห้อง	ค่าระดับ
2.1	การประเมินค่าเกี่ยวกับ Reverberation Time ภายในห้อง	
	RT น้อยกว่า 0.45 วินาที และRT มากกว่า 0.95 วินาที ขึ้นไป	1
	RT ตั้งแต่ 0.45 แต่น้อยกว่า 0.50 และRT ตั้งแต่ 0.90 แต่น้อยกว่า 0.95 วินาที	2
	RT ตั้งแต่ 0.50 แต่น้อยกว่า 0.55 และRT ตั้งแต่ 0.85 แต่น้อยกว่า 0.90 วินาที	3
	RT ตั้งแต่ 0.55 แต่น้อยกว่า 0.60 และRT ตั้งแต่ 0.80 แต่น้อยกว่า 0.85 วินาที	4
	RT ตั้งแต่ 0.60 แต่น้อยกว่า 0.80 วินาที	5
2.2	การประเมินค่าในส่วนรูปร่างของห้อง	
	รูปวงกลม (Circular)	1
	รูปวงรี (Oval shape)	2
	รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square)	3
	รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular)	4
	รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid) และรูปพัด	5

5.1.3 ผลรวมคะแนนทั้งหมดที่ได้จากการประเมินในส่วนที่ 1 ยิ่งมีคะแนนมากแสดงว่าอาคารมีศักยภาพสูงในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกและผลรวมคะแนนทั้งหมดที่ได้จากการประเมินในส่วนที่ 2 ยิ่งมีคะแนนมากแสดงว่าอาคารมีศักยภาพสูงในการควบคุมเสียงภายในอาคาร เพื่อสะดวกต่อการนำไปอ้างอิงเมื่อได้คะแนนจากการประเมินแล้วได้กำหนดค่าระดับออกเป็น 5 ระดับ ตามช่วงระดับคะแนนและความหมายของแต่ระดับมีดังนี้

คะแนนที่ได้จากการประเมิน	ค่าระดับที่ได้	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2
ตั้งแต่ 20 แต่น้อยกว่า 30 คะแนน	1	อาคารมีความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก (Noise Control) ในระดับต่ำที่สุด	ความสามารถในการควบคุมเสียงภายในอาคาร (Sound Control) ในระดับต่ำที่สุด
ตั้งแต่ 30 แต่น้อยกว่า 50 คะแนน	2	อาคารมีความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกในระดับค่อนข้างต่ำ	ความสามารถในการควบคุมเสียงภายในอาคาร ในระดับค่อนข้างต่ำ
ตั้งแต่ 50 แต่น้อยกว่า 70 คะแนน	3	อาคารมีความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกในระดับปานกลาง	ความสามารถในการควบคุมเสียงภายในอาคารในระดับปานกลาง
ตั้งแต่ 70 แต่น้อยกว่า 90 คะแนน	4	อาคารมีความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกในระดับค่อนข้างสูง	ความสามารถในการควบคุมเสียงภายในอาคารในระดับค่อนข้างสูง
ตั้งแต่ 90 คะแนนขึ้นไป	5	อาคารมีความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกในระดับสูงที่สุด	ความสามารถในการควบคุมเสียงภายในอาคาร ในระดับสูงที่สุด

5.1.4 เมื่อนำแบบประเมินไปทดสอบประเมินโรงเรียนสมาคมสตรีไทย ซึ่งเป็นโรงเรียนระดับประถมศึกษาที่ใช้ระบบการก่อสร้างทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า โรงเรียนสมาคมสตรีไทยได้ค่าระดับ 1 ในส่วนที่ 1 หมายความว่า อาคารเรียนกรณีศึกษามีศักยภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารในระดับต่ำสุดและได้ระดับ 4 ในส่วนที่ 2 ซึ่งหมายถึงการควบคุมเสียงภายในมีศักยภาพค่อนข้างสูง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าระดับและค่าคะแนนของแต่ละกลุ่มตัวแปรเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง พบว่า ควรปรับปรุงผนังด้านที่รับเสียงโดยตรงโดยเปลี่ยนพื้นที่หน้าต่างให้เป็นผนังทึบและอุดรอยรั่วซึมของเสียงตามจุดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มค่าความเป็นฉนวนกันเสียงให้กับผนัง

ส่วนการทดสอบประเมินข้อมูลห้องเรียนรวมของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นห้องเรียนรวมที่ใช้ระบบปรับอากาศ พบว่า ห้องเรียนที่ศึกษามีศักยภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารในระดับปานกลางซึ่งจัดในระดับที่ 3 และมีศักยภาพในการการควบคุมเสียงภายในค่อนข้างต่ำ ซึ่งจัดในระดับ 2 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าระดับและค่าคะแนนของแต่ละกลุ่มตัวแปรเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง พบว่า ควรลดช่วงเวลาการเดินทางของ Reverberant Sound ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยการติดวัสดุดูดซับเสียงที่มีค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียง 0.80-0.85 ตามผนังหรือฝ้าเพดานส่วนหลังห้องเรียนและอุดรอยรั่วซึมของเสียงตามวงกบประตู หน้าต่างเพื่อลดระดับเสียงรบกวนที่เข้ามาภายในห้องเรียน

อย่างไรก็ตามการใช้แบบประเมินก็อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินได้ ในกรณีค่าคะแนนที่ได้จากการประเมินใกล้กับค่าคะแนนข้างใดข้างหนึ่งที่อยู่ระหว่างช่วงคะแนนที่ได้กำหนดเพื่อให้ค่าระดับ เช่น อาคารเรียนหลังที่หนึ่งได้คะแนนจากการประเมิน (ในส่วนที่ 1 หรือส่วนที่ 2) เท่ากับ 49.00 คะแนน ได้ค่าระดับ 2 ในขณะที่อาคารเรียนหลังที่สองได้คะแนนจากการประเมินเท่ากับ 50.00 คะแนน ได้ค่าระดับ 3 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าคะแนนดิบของทั้งสองอาคารเรียน พบว่า อาคารเรียนทั้งสองมีศักยภาพใกล้เคียงกันมาก เพราะมีค่าคะแนนดิบแตกต่างกันเพียง 1 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 แต่อาคารเรียนหลังที่หนึ่งได้ค่าระดับ 2 และอาคารเรียนหลังที่สองได้ค่าระดับ 3 ซึ่งหมายความว่า อาคารเรียนทั้งสองมีศักยภาพที่แตกต่างกันมาก

ดังนั้น แบบประเมินที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้นในการประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงแก้ไขแบบประเมินให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเพื่อสร้างแบบประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษาในครั้งนี้ เป็นการรวบรวมตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกและการควบคุมเสียงภายในอาคารเรียนให้ใกล้เคียงมากที่สุด เพื่อให้แบบประเมินที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและเที่ยงตรงในการนำไปใช้งานในเงื่อนไขที่เหมาะสม แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการศึกษาอยู่หลายประการ เช่น ยังขาดเอกสารที่ใช้เป็นข้อมูลเพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับระดับกำลังเสียงรบกวน

จากสภาพแวดล้อมสำหรับเขตกรุงเทพมหานคร และเครื่องมือวัดเสียงเพื่อประกอบในการศึกษาไม่ครบถ้วน ฯลฯ ดังนั้น ผู้ทำการศึกษามีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจจะทำการศึกษาครั้งต่อไป ดังนี้

1. ในการศึกษาเพื่อการกำหนดค่าน้ำหนักของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นตัวคูณยังไม่ครอบคลุม ครบถ้วน โดยเฉพาะกลุ่มตัวแปรย่อยที่เกี่ยวกับองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร เช่น กรณีการลดระดับเสียงรบกวนจากการพูนดิน การใช้หญ้าหรือพืชคลุมดินช่วยลดระดับเสียงรบกวนและกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับสัดส่วนของห้องเรียน
2. การกำหนดตัวคูณที่ใช้ในการประเมิน โดยการพิจารณาจากแนวความคิดในการออกแบบอาคารเรียนเพื่อการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกและการควบคุมเสียงภายในอาคาร ซึ่งอาจพิจารณาการกำหนดตัวคูณด้วยวิธีการอื่น ๆ เพิ่มเติม เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื่น การออกแบบอาคารเรียนที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ โดยทั่วไปอาคารเรียนควรมีช่องเปิดที่เหมาะสมเพื่อการระบายอากาศ แสงสว่าง ฯลฯ ดังนั้น อาจมีการศึกษาด้วยการวัดค่าระดับเสียงรบกวนจากอาคารเรียนกรณีศึกษาหลาย ๆ อาคาร เพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการหาค่าน้ำหนักของตัวแปรต่าง ๆ
3. ปัจจุบันแหล่งกำเนิดเสียงจากสภาพแวดล้อมมีจำนวนมากและมีการกระจายแบบไร้ทิศทาง ดังนั้น การกำหนดเสียงรบกวนเพื่อใช้ในการประเมิน ควรรวบรวมแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อการใช้อาคารเรียนที่จะทำการประเมินแล้วทำการวัดเปรียบเทียบระดับกำลังเสียงรบกวนแต่ละประเภท จากนั้นนำค่าระดับกำลังเสียงรบกวนที่มากสุดมาศึกษาต่อไป