# การศึกษาและส่งเสริมการประหยัดพลังงานตามแนวทาง Green Roof

# A Study and Promote Energy Saving for Green Roof

**พีระพงษ์ เพ็ชรพัน[1]*, สุธน รุ่งเรือง[1], ณิชาภา มินาบูลย์[2]**

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.รัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 ม.3 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

[2]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มทร.รัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 ม.3 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

*E-mail address: phiraphong.pha@rmutr.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษาเรื่อง “การศึกษาและส่งเสริมการประหยัดพลังงานตามแนวทาง Green Roof” นี้มีความมุ่งหมายที่จะศึกษาว่าควรใช้มาตรการใดมาส่งเสริมและกำกับดูแลในด้านการบรรเทาภาวะโลกร้อน หลายประเทศจึงออกกฎหมายบังคับอาคารใหม่และอาคารเดิมที่ปรับปรุงใหม่ ให้สร้างหลังคาเขียวโดยกำหนดค่าการเปลี่ยนถ่ายความร้อนทางหลังคา (OTTV) ข้อจำกัดปริมาณการปลดปล่อย $CO^2$ รวมทั้งการใช้ระบบภาษีจูงใจ สำหรับประเทศไทยแม้จะมีกฎหมายกำหนดค่า OTTV ออกมาแล้วตั้งแต่ พ.ศ. 2538 มีการออกข้อบังคับให้เจ้าของอาคารปลูกต้นไม้ใหญ่ในบริเวณโครงการ 1 ต้น ต่อเครื่องปรับอากาศ 1 ตัน ซึ่งปฏิบัติไม่ได้และยกเลิกข้อบังคับนี้ไป ดังนั้น หลังคาเขียว จึงเป็นทางช่วยบรรเทาปัญหาได้อย่างเป็นรูปธรรม หากสามารถใช้บังคับเป็นกฎหมายข้อบังคับได้ โดยการนำผลการศึกษาและส่งเสริมการประหยัดพลังงานตามแนวทาง Green Roof

**คำสำคัญ:** หลังคาเขียว, การประหยัดพลังงาน

**Abstract**

This research to study " A Study and Promote Energy Saving for Green Roof. " in an effort to study whether it should take any measures to promote and oversee the mitigation of global warming. International law set out new buildings and existing buildings are renovated. To create a green roof by the exchange of heat through the roof (OTTV) limits the amount of $CO^2$ emissions, including the use of tax incentives. In Thailand, despite the law OTTV out since 2538 have issued regulations for building owners to plant trees in the project area 1 per 1 ton air conditioning inoperable and repeal regulations to the green roof. it is a concrete way to help alleviate the problem. If you can not enforce a law, regulation. By the study and promotion of energy-saving guidelines Green Roof.

**Keywords**: Green Roof, Energy Saving

## 1. บทนำ

การเจริญเติบโตของเมืองและการก่อสร้างเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร มีผลทำให้พื้นที่เปิดโล่งและมีพื้นที่สีเขียวลดลง ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ หลังคาเปรียบเสมือนเกณฑ์ในการวัดความเจริญที่มีมากขึ้น เมื่อมองจากด้านบนลงมาหลังคาเป็นเหมือนตัวแทนของสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ในขณะที่พื้นที่เปิดโล่งสีเขียว แทนธรรมชาติที่ยังเหลืออยู่ ภูมิทัศน์ดาดฟ้า

หรือสวนหลังคาเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ แต่คำว่าหลังคาเขียว (Green Roof) [1] ซึ่งเพิ่งเริ่มเป็นที่รู้จักในประเทศไทยบ้างแล้วแต่ยังไม่แพร่หลายโดย ทั่วไปทั่วโลกได้ยอมรับแล้วว่าหลังคาเขียวมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการบรรเทาภาวะโลกร้อน ซึ่งหลายประเทศในยุโรปได้ใช้กันมานานและแพร่หลายสู่ประเทศสหรัฐฯ ญี่ปุ่น และสิงคโปร์ [2] ประเทศเหล่านี้ต่างออกข้อบัญญัติบังคับให้มีการใช้หลังคาเขียวมากขึ้น โดยอาศัยกฎหมายควบคุมอาคาร ประเทศไทยมีการจัดภูมิทัศน์หลังคาหรือสวนบนดาดฟ้ามานานพอควร แต่ส่วนใหญ่ทำเพื่อความสวยงามและการใช้สอยเป็นหลัก ไม่ได้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการลดความร้อนที่ผ่านเข้าทางหลังคาเพียงอย่างเดียว แต่สวนหลังคาดังกล่าวก็ทำหน้าที่ประหยัดพลังงานได้เช่นเดียวกับหลังคาเขียว ปัจจุบันยังไม่พบว่ามีโครงการสำคัญใด ๆ ที่ทำหลังคาเขียวเพื่อการนี้โดยตรง แต่อย่างไรก็ดี โครงการขนาดใหญ่บนที่ดินราคาแพง มีการสร้างสวนหลังคากันมาก โดยเฉพาะโรงแรมและที่พักอาศัย เช่น อพาร์ตเมนต์ หรือคอนโดมิเนียม เนื่องจากเป็นการเพิ่มสวนและพักผ่อน ซึ่งบางครั้งมักรวมสระว่ายน้ำ โดยไม่ต้องใช้พื้นที่ที่ระดับดินซึ่งมีราคาแพงมาก

หลังคาเขียวส่วนใหญ่สร้างให้เป็นไปตามข้อบัญญัติท้องถิ่นซึ่งให้ความสำคัญแก่การจัดการการระบายน้ำฝนในพื้นที่ที่ใช้ระบบระบายน้ำรวม (รวมน้ำโสโครก) และ น้ำฝนไว้ในท่อเดียวกัน - combined sewer-storm water systems) ซึ่งน้ำฝนที่มากผิดปกติจะทำให้เกิดน้ำล้นท่อพาของเสียไหลท่วมพื้นที่แล้วไหล ลงสู่ทางน้ำสาธารณะได้ หลังคาเขียวจะช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ไหลตามผิวโดยรวม ทำให้อัตราการไหลจากหลังคาช้าลง ซึ่งพบว่าหลังคาเขียวช่วยรับและหน่วงน้ำได้มากถึง 75% ของปริมาณน้ำฝนปกติที่ตกลงบนหลังคาแล้วจึงค่อยๆปล่อยน้ำกลับคืนสู่บรรยากาศอย่างช้าๆโดยการระเหย ในขณะเดียวกันดินปลูกก็จะช่วยจับมลพิษที่ดูดซับมาโดยฝนไว้ในดิน และยังพบว่าหลังคาเขียวสามารถเพิ่มค่าความเป็นฉนวนของหลังคาได้มากอีกด้วย การศึกษาของศูนย์วิจัยหลังคาเขียวของมหาวิทยาลัยเพนสเตต พบว่าหลังเขียว สามารถยืดอายุขัยการใช้งานของหลังคาให้ยืนยาวไปได้อีก 2-3 เท่า [3] หลังคาเขียวมีคุณประโยชน์หลายประการ ทั้งในด้านประโยชน์ใช้สอยและความสวยงาม และด้านนิเวศวิทยาที่ดูแลแบบปล่อยหรือกึ่งปล่อย ในด้านการบรรเทาภาวะโลกร้อน หลังคาเขียวให้ผลอย่างชัดเจนที่พิสูจน์มาแล้วทั่วโลก หลายประเทศจึงออกกฎหมายบังคับอาคารใหม่และอาคารเดิมที่ปรับปรุงใหม่ ให้สร้างหลังคาเขียวโดยกำหนดค่าการเปลี่ยนถ่ายความร้อนทางหลังคา (OTTV) ข้อจำกัดปริมาณการปลดปล่อย $CO_2$ รวมทั้งการใช้ระบบภาษีจูงใจ นอกจากนี้ หลังจากสหประชาชาติกำหนดมาตรการและวิธีการ “การซื้อขายแลกเปลี่ยนคาร์บอน” (Carbon Trade) เจ้าของอาคารหรือเจ้าของกิจการสามารถนำคะแนนที่ได้จากการลดการปลดปล่อย $CO_2$ ไปแลกเปลี่ยนเป็นเงินกับประเทศอุตสาหกรรมที่ปล่อย $CO_2$ เกินได้ สำหรับประเทศไทยแม้จะมีกฎหมายกำหนดค่า OTTV ออกมาแล้วตั้งแต่ พ.ศ. 2538 มีการออกข้อบังคับให้เจ้าของอาคารปลูกต้นไม้ใหญ่ในบริเวณโครงการ 1 ต้น ต่อเครื่องปรับอากาศ 1 ตัน ซึ่งปฏิบัติไม่ได้และยกเลิกข้อบังคับนี้ไป ดังนั้น หลังคาเขียว จึงเป็นทางช่วยบรรเทาปัญหาได้อย่างเป็นรูปธรรม หากสามารถใช้บังคับเป็นกฎหมายข้อบังคับได้ [4]

ดังนั้นคณะผู้ทำการวิจัยจึงมีความคิดที่จะทำโครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษาและส่งเสริมการประหยัดพลังงานตามแนวทาง Green Roof” โดยให้ความสำคัญในการใช้พลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยพยายามให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ถึงแม้กฎหมายควบคุมอาคารในประเทศไทยมีการจัดภูมิทัศน์หลังคาหรือสวนบนดาดฟ้ามานานพอควรแต่ส่วนใหญ่ทำเพื่อความสวยงามและการใช้สอยเป็นหลักปัจจุบันจะกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานและสิ่งแวดล้อมอยู่บ้าง แต่ยังไม่มีมาตรการบังคับหรือการกระตุ้นปลูกจิตสำนึกให้กับประชาชนในการร่วมมือกันประหยัดพลังงานและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งข้อเสนอแนะในการจัดทำกฎหมายสำหรับ Green Roof ตามนโยบายและยุทธศาสตร์ยังมีไม่มากนัก ดังนั้นจึงควรกำหนดให้ชัดเจนว่าประชาชนจะได้รับประโยชน์อย่างไรจากการก่อสร้าง, ปรับปรุง, ต่อเติม หรือใช้อาคารประเภท Green Roof ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่โยงไปถึงการ บรรเทาภาวะโลกร้อนจากการลดการปลดปล่อย $CO_2$ แล้วนอกจากนี้ ยังมีคุณประโยชน์อื่นหลายประการ เช่น ใช้เป็นสวนพักผ่อน ใช้ปลูกผัก ผลไม้ และไม้ดอก ช่วยกรองมลพิษ และโลหะหนักที่ติดเมล็ดฝนนำขณะตกผ่านอากาศช่วยปลดปล่อย $O_2$ ในขณะที่เก็บกัก $CO_2$ ให้ที่อยู่อาศัยพักพิงของนกและสัตว์ เป็นการส่งเสริมระบบนิเวศในชุมชนเมือง ฯลฯ ช่วยทำให้พื้นโครงสร้างดาดฟ้า และระบบกันซึมมีอายุใช้งานนานขึ้น อีกทั้งช่วยปลูกจิตสำนึกให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานและ

ส่งเสริมให้มีการประหยัดพลังงาน ตามแนวทาง Green Roof ในปัจจุบันมากขึ้น โดยรัฐบาลสามารถนำไปจัดทำนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานได้

**2. แนวคิดของ Green roofs**

โดยภาพรวมผลการทดลองและวิจัย ในต่างประเทศมีเป็นจำนวนมาก แสดงผลการลดภาระการใช้พลังงานในอาคาร สำหรับการอยู่อาศัย และสำนักงานทั่วไปสำหรับ วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้นับว่า ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมของประเทศไทยโดยตรงเนื่องจากการทดลองได้สอดคล้องกับ แนวคิด เรื่อง Green roofs ที่ได้เริ่มแพร่หลายในเชิงเศรษฐกิจ มากกว่าความสวยงามแบบจัดสวน เรื่องการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน โดยทำการศึกษา ความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งเกิดขึ้นจาก อิทธิพลของมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของดินปลูกที่ปกคลุมอาคาร ตลอดจนอิทธิพลตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบ เป็นต้น

“หลังคาเขียว” (Green roof) คือหลังคาของอาคารที่ปิดทับบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยพืชพรรณและดิน หรือเครื่องปลูกอย่างอื่นบนชั้นแผ่นกันน้ำ ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงหลังคาที่ทาด้วยสีเขียว หรือวัสดุมุงสีเขียวใดๆ หลังคาเขียวอาจรวมส่วนประกอบอื่น เช่นแผ่นชั้นกันราก ระบบระบายน้ำและระบบรดน้ำต้นไม้ สวนกระถางที่จัดบนหลังคาซึ่งต้นไม้ปลูกในกระถางอิสระไม่นับเป็น “หลังคาเขียว” ที่แท้จริงในความหมายนี้ แม้จะยังเป็นที่ถกเถียงกันได้อยู่ คำว่า “หลังคาเขียว” อาจใช้กับหลังคาที่ใช้เทคโลโลยี “เขียว” บางรูปแบบ เช่นแผงผลิตไฟฟ้าจากพลังสุริยะด้วยก็ได้ หลังคาเขียวอาจหมายถึงหลังคาแบบอื่น เช่น หลังคานิเวศ (eco-roofs) หลังคามีชีวิต (living roofs) ที่มีเป้าหมายของแนวคิดเดียวกันปัจจุบัน ประโยชน์ของหลังคาเขียวได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรการหนึ่งทางสถาปัตยกรรมและการผังเมืองเพื่อช่วยบรรเทาปรากฏการณ์โลกร้อน

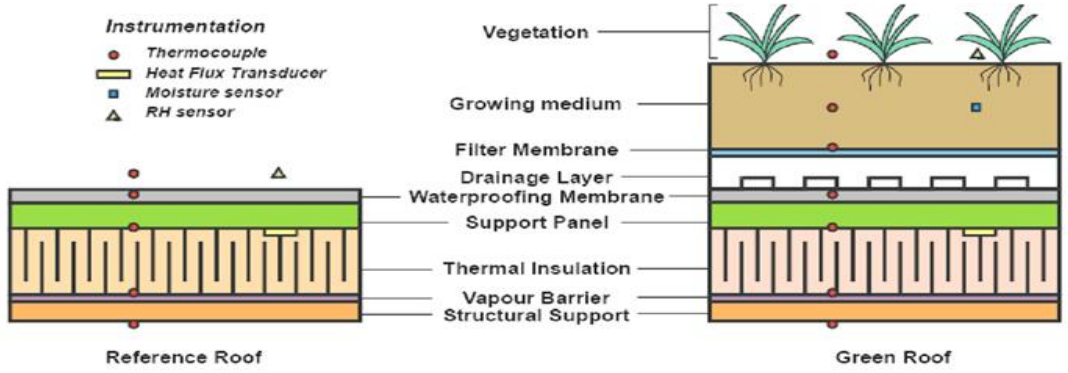
**3.สภาพแวดล้อม**

ดำเนินการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของหลังคา Green Roof โดยคำนึงถึงองค์ประกอบ 3 ประการ คือ อาคาร, สวน และธรรมชาติ การจัดวางผังอาคารต่าง ๆ นอกจากจะให้สัมพันธ์กับทิศทางลม และทางโคจรของดวงอาทิตย์แล้วยังต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม ไม่ทำลายธรรมชาติจนเสียสมดุล เมื่ออาคารมีความสัมพันธ์กับธรรมชาติรอบข้างแล้ว วงจรของระบบนิเวศน์จะทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ทุกองค์ประกอบจะเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน

**รูปที่ 1:** สภาพแวดล้อมของหลังคา Green Roof

**4.วิธีดำเนินการวิจัย**

4.1 ดำเนินการศึกษาการออกแบบโครงสร้างหลังคา Green Roof




**รูปที่ 2:** การศึกษาการออกแบบโครงสร้างหลังคา Green Roof

4.2 ดำเนินการศึกษาปัญหาการรั่วซึมของหลังคา และผลกระทบในปัจจุบัน

**รูปที่ 3:** ปัญหาการท่วมขังของหลังคา Green Roof

4.3 ดำเนินการศึกษาการรับน้ำหนักของหลังคา Green Roof ในการออกแบบหลังคาชนิดต่างๆ

4.4 ดำเนินการศึกษาปริมาณเสียงรบกวนก่อนการมีหลังคา Green Roof และหลังจากมีหลังคา Green Roof สามารถช่วยลดและกรองเสียงรบกวน นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ

4.5 ดำเนินการศึกษาการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและช่วยลดมลภาวะสร้างอากาศบริสุทธิ์ โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับหลังคา Green Roof จากบทความหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนำมาวิเคราะห์

4.6 ดำเนินการศึกษาควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะที่สบายในการติดตั้งหลังคา Green Roof

**5. ผลการวิจัย**

5.1 การศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศทั่วไปในบริเวณหนาแน่นของเมืองและคุณประโยชน์ของหลังคาเขียว

5.1.1 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศทั่วไปในบริเวณหนาแน่นของเมืองที่สูงกว่าส่วนชานเมือง

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศทั่วไปในบริเวณหนาแน่นของเมืองที่สูงกว่าส่วนชานเมืองหรือ หรือที่เราเรียกว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง โดยเฉพาะช่วงบ่ายทำให้อุณหภูมิของเมืองชั้นในที่หนาแน่นสูงกว่าอุณหภูมิชานเมืองและชนบทโดยรอบประมาณ 2 - 4°C เป็นเหตุให้โหลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก มีรายงานวิจัยระบุว่าการลดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศลง 1°C จะทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 และว่าหากคาดฟ้าและหลังคาอาคารต่าง ๆ ในกรุงโตเกียว เป็นหลังคาเขียวร้อยละ 50 จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณวันละ 1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ

5.1.2 คุณประโยชน์ของหลังคาเขียว

คุณประโยชน์หลักของหลังคาเขียวนอกจากเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่โยงไปถึงการบรรเทาภาวะโลกร้อนจากการลดการปลดปล่อย $CO^2$ แล้ว ยังช่วยประหยัดงบประมาณค่าทำความเย็นและความอุ่นได้มากอีกด้วย ประโยชน์สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับหลังคาเขียวในเมืองหนาแน่น คือ การช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงจากหลังคา ซึ่งสร้างปัญหาน้ำฝนท่วมฉับพลัน หลังคาเขียวที่มีดินปลูกและชั้นรองรับหนา 20 ซ.ม. สามารถอุ้มน้ำฝนช่วง 15 นาทีแรกได้ร้อยละ 93.2 – 76.6 – 64.4 และ 54.4 ของปริมาณฝน 25 – 50 -75 และ 100 มม. ประโยชน์สำคัญของหลังคาเขียวถัดมาได้แก่ การลดเสียงรบกวนหลังคาเขียวสามารถลดเสียงรบกวนที่มาจากด้านหลังคาได้ถึงมากร้อยละ 40 เดซิเบล

5.2 ค่าความร้อนผ่านหลังคา (RTT-Roof Thermal Transfer Value)

การตัดความร้อนทางหลังคาจึงช่วยประหยัดพลังงานในอาคารปรับอากาศผันแปรอยู่ประมาณระหว่างร้อยละ 30 – 40 ซึ่งนับว่าประหยัดได้มาก นักวิทยาศาสตร์ประมาณว่าการปลดปล่อย $CO^2$ ทั้งหมดของโลกเกิดจากการเดินทางและการขนส่งประมาณร้อยละ 40 จากการเกษตรและอุตสาหกรรมประมาณร้อยละ 30 จากการทำกิจกรรมและสร้างสิ่งแวดล้อมมนุษย์ (Built Environment) อีกประมาณร้อยละ 30 ดังนั้น หากสามารถตัดความร้อนผ่านหลังคาร่วมกับการใช้ฉนวนความร้อนตามผนังแล้ว อาคารทุกประเภททั่วโลกจะช่วยลดการปลดปล่อย $CO^2$ จากการผลิตกระแสไฟฟ้าลงได้

5.3 แนวทางการปฏิบัติและการใช้กฎหมายเกี่ยวกับหลังคาเขียว

ประเทศพัฒนาแล้วเกือบทุกประเทศ มีการออกกฎหมายควบคุมอาคารเพื่อบังคับให้ประหยัดพลังงานมานานแล้ว ปัญหาโลกร้อนที่ทั่วโลกห่วงใยในปัจจุบัน จึงกลายเป็นปัจจัยผลักดันให้มีการปฏิบัติเกิดขึ้น หลังคาเขียวเป็นวิธีรูปธรรมที่ได้ผลและอยู่ในวิสัยที่ปฏิบัติได้ทันที จึงมีการออกกฎหมายวางกฎเกณฑ์เกี่ยวกับหลังคาเขียว บังคับใช้เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนด้วยการลดการปลดปล่อย CO2 อย่างแพร่หลาย ข้อบัญญัติควบคุมอาคารส่วนใหญ่อาศัยการกำหนดค่าการเปลี่ยนถ่ายความร้อนจากภายนอกสู่อาคารโดยรวมทาง “เปลือกอาคาร” (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) และการผ่านเข้าทางหลังคา (Roof Thermal Transfer Value หรือ RTTV) และค่าความร้อนที่ผ่านเข้าทางหลังคา ทั้งอาคารเก่าและอาคารใหม่ ว่าจะต้องไม่เกิน 25 วัตต์/ตรม. ประเทศไทยออกกฎหมายนี้เมื่อ พ.ศ. 2538 กำหนดค่าตัวเลขไว้ใกล้เคียงกัน บางแห่งอาจจะต่ำกว่าตามการผันแปรของประเภทอาคาร การใช้บังคับกฎหมายนี้และการตระหนักถึงปัญหาโลกร้อนกับการประหยัดพลังงานทำให้การทำหลังคาเขียวแพร่หลายเร็วและมากขึ้น มีการศึกษาทดลองและวิจัยรวมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ที่เบา ราคาถูก และสะดวกในการ ติดตั้ง และดูแลรักษาง่ายว่างจำหน่ายโดยทั่วไป นอกจากการบังคับใช้เป็นกฎหมายแล้ว ยังมีมาตรการเชิงส่งเสริมมาใช้แพร่หลายด้วย องค์กรเอกชนในประเทศสหรัฐฯ คือ “สมัชชาอาคารเขียว” (U.S. Green Building Council) ซึ่งก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2541 ได้พัฒนามาตรฐานการออกแบบอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่เรียกว่า “หลีด” LEED (Leadership in Energy and Environment Design) โดยมีหน่วยงานต่าง ๆ ทั่วโลกเป็นสมาชิกมากว่า 10,000 ราย มีโครงการ “อาคารเขียว” ที่ก่อสร้างตามมาตรฐาน “หลีด” แล้วมากกว่า 14,000 โครงการใน 50 รัฐของสหรัฐฯ และ 30 ประเทศทั่วโลก รวมพื้นที่พัฒนาได้มากถึง 99 ล้านตารางเมตร อาคารเหล่านี้ใช้อาคารเขียวเป็นตัวลดความร้อนที่ผ่านทางหลังคาอาคารที่ได้รับประกาศนียบัตร ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับ สามารถนำคะแนนที่สะสมได้ไปแลกเป็นเงินได้จากโครงการ “ซื้อขายคาร์บอน” (Carbon Emission Trading) กับประเทศที่ยังไม่สามารถลดการปล่อย $CO^2$ ตามข้อตกลงในพิธีสารเกียวโตมาตรา 17 ในอัตราตันละ $14 ซึ่งเป็นปัจจัยเร่งที่สำคัญที่สุดในการทำหลังคาเขียวที่แพร่หลายในปัจจุบัน

**6. สรุปผลการวิจัย**

6.1 Green roofs กับแนวทางการอนุรักษ์โลก

จะพบว่าประเทศในทวีปยุโรป ให้ความสำคัญเกี่ยวกับ Green roofs จะเห็นได้ว่าโครงการใหญ่ระดับประเทศ ต่างมุ่งเน้นให้ความสำคัญกับ Green roofs เป็นหลัก ทั้งนี้เพราะมีประโยชน์มหาศาล เกี่ยวโยงกันและส่งผลดีต่อประชากรของตน

6.2 ความแตกต่างของหลังคาเขียว

คือ หลังคาเขียวแบบลาดเอียง กับ หลังคาเขียวแบบแบนราบ หลังคาเขียวแบบลาดเอียงเป็นแบบตามสถาปัตยกรรม ซึ่งมักเป็นการออกแบบที่ง่ายกว่าแบบแบนราบ ทั้งนี้เนื่องจากหลังคาเอียงน้ำไหลได้ดีกว่า ปัญหาการรั่วซึมเข้าไปในโครงสร้างหลังคาจึงมีน้อยกว่าจึงสิ้นเปลืองค่าป้องกันการซึมและการระบายน้ำน้อยกว่า

6.3 การบรรเทาภาวะโลกร้อนของหลังคาเขียว

หลังคาเขียวมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการลดการใช้พลังงาน จึงเท่ากับเป็นการลดการเผาผลาญพลังงานจากฟอสซิลซึ่งปลดปล่อย $CO^2$ ที่เข้าสู่บรรยากาศซึ่งมีผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น จากการตรวจวัดของหลายแหล่งวิจัยพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาระหว่างกลางเกือบหมดไปโดยสิ้นเชิง สำหรับประเทศเขตหนาว หลังคาเขียวยังทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความอุ่นไม่ให้หนีออกทางหลังคาอีกด้วย นอกจากการลดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นได้มากแล้ว ตัวพืชพรรณเองนอกจากการคาย $O^2$ สู่บรรยากาศแล้วยังดูดซับ $CO^2$ ในบรรยากาศมาสร้างอาหารและตัวต้นจำนวนหนึ่งด้วย

6.4 การศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศทั่วไปในบริเวณหนาแน่นของเมืองและคุณประโยชน์ของหลังคาเขียว

6.4.1 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศทั่วไปในบริเวณหนาแน่นของเมืองที่สูงกว่าส่วนชานเมือง

การลดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศลง 1°C จะทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 และว่าหากคาดฟ้าและหลังคาอาคารต่าง ๆ ในกรุงโตเกียว เป็นหลังคาเขียวร้อยละ 50 จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณวันละ 1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ

6.4.2 คุณประโยชน์ของหลังคาเขียว

นอกจากเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่โยงไปถึงการบรรเทาภาวะโลกร้อนจากการลดการปลดปล่อย $CO^2$ แล้ว ยังช่วยประหยัดงบประมาณค่าทำความเย็นและความอุ่นได้มากอีกด้วย

6.5 ค่าความร้อนผ่านหลังคา (RTT-Roof Thermal Transfer Value)

ความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารเป็นความร้อนจากภายนอกที่ผ่านทาง “เปลือกอาคาร” ได้แก่ ผนังและหลังคาประมาณร้อยละ 60 และเกิดจากระบบการใช้แสงสว่างภายในอาคารประมาณร้อยละ 20 ดังนั้น จะเห็นได้ว่าความร้อนภายนอกที่เข้าทางเปลือกอาคารทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด การปลดปล่อย $CO^2$ ทั้งหมดของโลกเกิดจากการเดินทางและการขนส่งประมาณร้อยละ 40 จากการเกษตรและอุตสาหกรรมประมาณร้อยละ 30 จากการทำกิจกรรมและสร้างสิ่งแวดล้อมมนุษย์ (Built Environment) อีกประมาณร้อยละ 30 ดังนั้น หากสามารถตัดความร้อนผ่านหลังคาร่วมกับการใช้ฉนวนความร้อนตามผนังแล้ว อาคารทุกประเภททั่วโลกจะช่วยลดการปลดปล่อย $CO^2$ จากการผลิตกระแสไฟฟ้าลงได้อย่างมหาศาล

6.6 การก่อสร้างและการดูแลรักษา

ขึ้นอยู่กับประเภทของ หลังคาเขียวที่มีวัตถุประสงค์เชิงเดี่ยว หรือ “ประเภทปล่อย” ปัจจัยหลัก ๆ ที่พึงพิจารณาในการสร้างหลังคาเขียว คือ การรับน้ำหนักของหลังคาหรือดาดฟ้า , น้ำหนักของดินปลูก , การป้องกันการรั่วซึมและการระบายน้ำ , การให้น้ำและการดูแล และพรรณไม้

6.7 ประมาณการราคาค่าก่อสร้างหลังคาเขียว

หลังคาเขียวที่ออกแบบและก่อสร้างถูกต้องจะตกประมาณตั้งแต่ 50 ดอลลาร์สหรัฐ (ในยุโรป) ไปจนถึง 350 ดอลลาร์สหรัฐ (อย่างสูงในสหรัฐ) ต่อตารางเมตร ค่าก่อสร้างมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของหลังคาอาคาร และชนิดของพืชพรรณที่สามารถขึ้นได้ในวัสดุที่อยู่

บนหลังคา ค่าใช้จ่ายบางส่วนอาจขึ้นอยู่กับการดูแลรักษา หลังคาเขียวแบบปล่อยมีค่าดูแลรักษาต่ำแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าจะไม่ต้องดูแล ผลการวิเคราะห์หาตัวเลขเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการจัดการกับวัชพืชที่ไม่ต้องการออกมาโดยประมาณได้ 0.1 นาที/(ตารางเมตร/ปี)

6.8 แนวทางการปฏิบัติและการใช้กฎหมายเกี่ยวกับหลังคาเขียว

6.8.1 แนวทางในการปฏิบัติ

มีการออกกฎหมายวางกฎเกณฑ์เกี่ยวกับหลังคาเขียว บังคับใช้เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนด้วยการลดการปลดปล่อย $CO^2$ อย่างแพร่หลาย ข้อบัญญัติควบคุมอาคารส่วนใหญ่อาศัยการกำหนดค่าการเปลี่ยนถ่ายความร้อนจากภายนอกสู่อาคารโดยรวมทาง “เปลือกอาคาร” (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) และการผ่านเข้าทางหลังคา (Roof Thermal Transfer Value หรือ RTTV) และค่าความร้อนที่ผ่านเข้าทางหลังคา ทั้งอาคารเก่าและอาคารใหม่ ว่าจะต้องไม่เกิน 25 วัตต์/ตรม. ประเทศไทยออกกฎหมายนี้เมื่อ พ.ศ. 2538 กำหนดค่าตัวเลขไว้ใกล้เคียงกัน บางแห่งอาจจะต่ำกว่าตามการผันแปรของประเภทอาคาร การใช้บังคับกฎหมายนี้และการตระหนักถึงปัญหาโลกร้อนกับการประหยัดพลังงานทำให้การทำหลังคาเขียวแพร่หลายเร็วและมากขึ้น มีการศึกษาทดลองและวิจัยรวมทั้งพัฒนาอุปกรณ์ที่เบา ราคาถูก และสะดวกในการ ติดตั้ง และดูแลรักษาง่ายว่างจำหน่ายโดยทั่วไป นอกจากการบังคับใช้เป็นกฎหมายแล้ว ยังมีมาตรการเชิงส่งเสริมมาใช้แพร่หลายด้วย องค์กรเอกชนในประเทศสหรัฐฯ คือ “สมัชชาอาคารเขียว” (U.S. Green Building Council) ซึ่งก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2541 ได้พัฒนามาตรฐานการออกแบบอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่เรียกว่า LEED (Leadership in Energy and Environment Design)

6.8.2 กฎหมายที่บังคับอยู่ในปัจจุบัน สอดคล้องกับหลักการของ Green roofs

การวิเคราะห์กฎหมายที่ใช้บังคับอยู่ในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับหลังคาเขียวว่า มีความสอดคล้องกับหลักการของ Green roofs มากน้อยเพียงใด ให้พิจารณาจากกฎหมาย 2 ฉบับ คือ กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร และกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องเป็นบางส่วนคือ

6.8.2.1 กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

ในเรื่อง Green roofs มีการนำข้อมูลเกี่ยวกับอาคารสูงมาพิจารณาร่วมด้วย โดยมีกำหนดอยู่ในมาตรา 32 ทวิ เป็น ตามมาตรา 32 ทวิ และตามมาตรา 46 ทวิ

6.8.2.2 กฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการไปได้ด้วยดี จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ได้วางไว้ ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา และขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ผู้จัดทำจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] www.epa.gov/owow/nps/facts/point7.htm

[2] www.nature.nps.gov/sustainabillityNews/ /SpningSusNew2005.htm

[3] Laban. Architecture of Laban building. Accessed October 27, 2007.

[4] Building and Construction Authority, 2007, Code on Envelope Thermal Performance for Buildings, Singapore2. ที่มา: www.greengridroof.com