# บทที่ 2

# ทฤษฎี

การศึกษางานวิจัยทางด้านวิธีการนำแสงสว่างธรรมชาติจากภายนอกอาคารมาให้ความส่องสว่างภายในอาคาร เพื่อประหยัดพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และลดปริมาณความร้อนด้วยวิถีธรรมชาติ การเลือกใช้พลังงานให้เหมาะสมจะช่วยลดภาระในส่วนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยรวมลงได้ (Chummanee et al, 2005) ดังนั้นการออกแบบวิธีการนำแสงสว่างธรรมชาติจากภายนอกอาคารมาให้ความส่องสว่างภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพสูงได้ จะต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

(1) ทฤษฎีทางด้านพฤติกรรมของแสง

(2) ทฤษฎีทางด้านความส่องสว่าง

(3) ทฤษฎีทางด้านแสงสว่างธรรมชาติ

(4) ทฤษฎีทางด้านสภาพท้องฟ้า

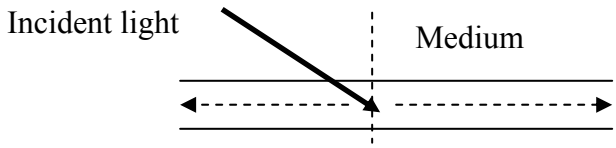
(5) ทฤษฎีทางด้านการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง

## 2.1 ทฤษฎีทางด้านพฤติกรรมของแสง

สามารถแบ่งได้ดังนี้

### 2.1.1 การดูดซึม (Absorption)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางหรือวัตถุใดๆ โดยพลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 การดูดกลืนแสง

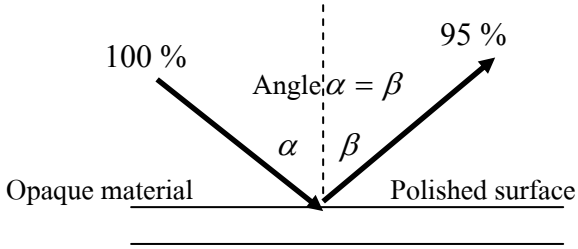
(Source: Stein and Reynolds, 1992)

### 2.1.2 การสะท้อน (Reflection)

เป็นพฤติกรรมแสงที่ตกกระทบบนตัวกลาง และสะท้อนตัวออก โดยความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

(1) การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specula reflection)

เป็นลักษณะที่แสงกระทบลงบนตัวกลางที่มีลักษณะทึบแสง ซึ่งมีพื้นผิวลักษณะราบเรียบสม่ำเสมอ ทำจากกระจกสะท้อนหรือวัสดุขัดมันแล้วสะท้อนกลับ ตามทฤษฎีการสะท้อนแสงจะมีมุมตกกระทบ( $\alpha$ ) เท่ากับมุมสะท้อน ( $\beta$ ) (Pornnimitra, 1996) แสดงดังรูปที่ 2.2



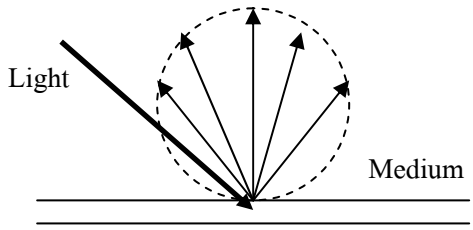

รูปที่ 2.2 การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา

(Source: Pornnimitra, 1996)

(2) การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection)

เป็นลักษณะที่แสงกระจายตัวออกเมื่อกระทบถูกผิวของวัตถุตัวกลาง เช่น แผ่นพลาสติกใส หรือแผ่นผิวหยาบขัดมัน จะทำให้แสงที่สะท้อนออกมาแล้วกระจายไปในหลายทิศทาง ซึ่งการสะท้อนแบบกระจายนี้จะแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

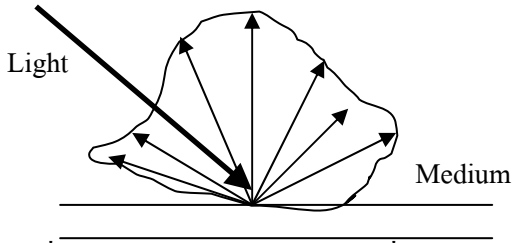
แบบที่ 1 คือ วัตถุนั้นมีลักษณะผิวไม่เรียบแบบสม่ำเสมอ จะเกิดเป็นการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งแสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายโดยรอบทิศทางในมุมสะท้อน และความส่องสว่างที่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 2.3




รูปที่ 2.3 การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์

(Source: Stein and Reynolds, 1992)

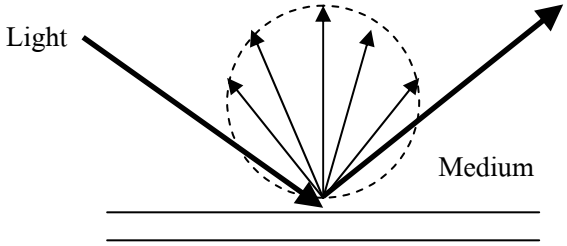
แบบที่ 2 คือ วัตถุมีลักษณะที่มีผิวไม่เรียบแบบไม่สม่ำเสมอ (Semi diffuse surface) จะเกิดเป็นการกระจายแบบกระจัดกระจาย โดยแสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายไปรอบทิศทางในมุมสะท้อน และความส่องสว่างที่ไม่เท่ากัน (Whitehead et al, 1984) แสดงดังรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 การสะท้อนแบบกระจายกึ่งสมบูรณ์

(Source: Whitehead et al, 1984)

แบบที่ 3 คือ วัตถุมีลักษณะผสมผสานระหว่างผิวไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอกับผิวสะท้อนแบบกระจกเงา ทำให้แสงที่สะท้อนมีการกระจายแสงแบบการสะท้อนกึ่งมีทิศทาง ซึ่งแสงสะท้อนแบบนี้เป็นลักษณะของการสะท้อนแสงโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.5




รูปที่ 2.5 การสะท้อนแบบกระจกเงา

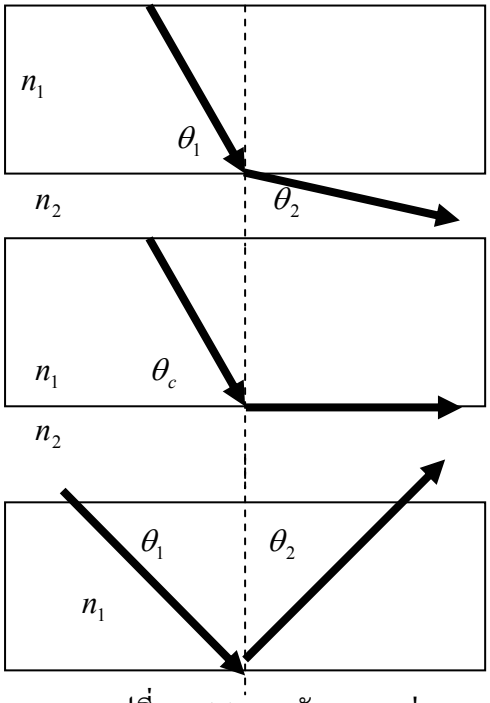
(Source: Stein and Reynolds, 1992)

**2.1.3 การส่องผ่าน (Transmission)**

แสงตกกระทบทางด้านหนึ่งของตัวกลางสื่อ หรือวัตถุ ซึ่งสามารถทะลุผ่านไปยังอีกด้านได้ แต่แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน และสะท้อนกลับ โดยทั่วไปทิศทางของแสงก่อนจะส่องผ่านตัวกลางมีทิศเดียวกับแสงหลังทะลุผ่านตัวกลาง

**2.1.4 การหักเหแสง (Refraction)**

เมื่อแสงส่องผ่านตัวกลางที่มีผิวเรียบจะทำให้เกิดการหักเห หรือเปลี่ยนแปลงทิศทางแสงในขณะที่เดินทางทะลุผ่านตัวกลางขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง (Jenkins and Kubie, 2004) เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน และลำแสงแต่ละตัวกลางจะมีความเร็วแตกต่างกัน โดยความถี่ของคลื่นแสงมีค่าคงที่เมื่อแสงหักเหผ่านตัวกลาง 2 ชนิด ถ้ามุมตกกระทบน้อยแสงก็จะทะลุผ่านตัวกลาง ถ้าแสงตกกระทบมีค่ามากขึ้นถึงค่าหนึ่งแสงก็จะไม่ผ่านตัวกลาง และไม่มีการสะท้อนกลับ สำหรับมุมที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่ามุมวิกฤต และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต (Shao et al. 1997) แสงตกกระทบจะสะท้อนกลับ โดยไม่ผ่านตัวกลางแสดงดังรูปที่ 2.6




(ก) กรณี $n_1 > n_2$
มุม $\theta_1$ มีค่าน้อย แสงจะผ่านตัวกลางที่น้อย และหักเห

(ข) กรณี $\theta_c$ เป็นมุมวิกฤต แสงจะไม่หักเห หรือสะท้อน

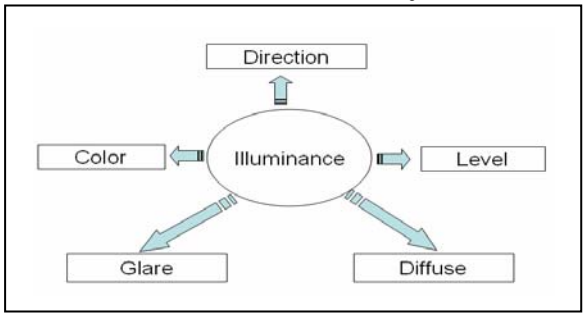
(ค) กรณี $\theta_1 > \theta_2$
$\theta_1$ มากเกินไปแสงสะท้อนกลับ

รูปที่ 2.6 (ก) การหักเหแสงผ่านทะลุตัวกลาง (ข) การหักเหแสงที่ค่ามุมวิกฤต (ค) การสะท้อนแสงกลับเมื่อมุมตกกระทบมากกว่าวิกฤต

(Source: Shao et al, 1997)

**2.1.5 แสงบาดตา (Glare)**

แสงที่เข้าตาแล้วทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุที่สังเกตได้หรือมองได้ยาก ซึ่งสามารถแบ่งแสงบาดตาออกเป็น 2 แบบ คือ แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ เกิดจากการที่มีแสงมาเข้าตามาก และแสงบาดตาแบบสามารถมองเห็นได้ ดังนั้นความส่องสว่างระหว่างพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่สังเกตเป็นปัจจัยหลักต่อการทำให้เกิดความไม่สบายตาในการมอง หรือมีความส่องสว่างมากจนเกินไปไม่สามารถเห็นวัตถุนั้นได้ (Lam and Li, 1999) โดยเป็นอัตราส่วนความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งาน สำหรับแสงที่ดีควรมีคุณสมบัติดังแสดงดังรูปที่ 2.7




รูปที่ 2.7 คุณสมบัติของคุณภาพแสงที่ดี

แสงที่มีคุณภาพดีต้องมีความส่องสว่างมากพอ และมีความสม่ำเสมอของแสงหรือการกระจายแสงที่ดี เพื่อให้เห็นวัตถุนั้นได้ชัดเพราะถ้าความส่องสว่างมากพอแต่ส่องสว่างในทิศทางที่ไม่ถูกต้องก็มองวัตถุได้ไม่ชัด และแสงสว่างต้องไม่ทำให้เกิดแสงบาดตาตามมาด้วย

**2.2 ทฤษฎีทางด้านความส่องสว่าง**

ความส่องสว่างของวัตถุเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบ และสะท้อนแสงเข้าสู่ดวงตา ถ้าความส่องสว่างของวัตถุเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความสามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดเจนขึ้น โดยความส่องสว่างภายในอาคารมีความสำคัญสองประการ คือ ประการที่หนึ่งการให้แสงสว่างเพื่อใช้งานได้สะดวก สบาย หมายถึง ต้องมีระดับแสงสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่ทำงานได้โดยไม่ต้องทำให้เพ่งสายตามากเกินไป และประการที่สองการให้แสงเพื่อให้เกิดความสวยงามโดยอาศัยความมีศิลป์ในตัว ดังนั้นการส่องสว่างของพื้นที่ต่าง ๆ ในอาคารมีหลักเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน IES

| Locality | Illuminating (lux) |
|---|---|
| Public spaces | 30 |
| Simple orientation for short visits | 50 |
| Working spaces where simple visual tasks are performed | 100 |
| Performance of visual tasks of high contrast and large size | 300 |
| Performance of visual tasks of high contrast and small size, or visual tasks of low contrast and large size | 500 |
| Performance of visual tasks of low contrast and small size | 1000 |
| Performance of visual tasks near threshold | 3000 to 10,000 |

(Source: IESNA Lighting Handbook, 2000.)

**2.3 ทฤษฎีทางด้านแสงสว่างธรรมชาติ**

โดยสภาพที่ตั้งของประเทศไทยมีตำแหน่งอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง (Latitude) ที่ 5 ถึง 21 องศาและเหนือเส้นแวง (Longitude) ที่ 97 และ 106 องศาตะวันออก ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สภาพโดยทั่วไปท้องฟ้าจะมีเมฆมาก และมีแสงสว่างของดวงอาทิตย์ที่ปริมาณค่อนข้างสูง การแผ่รังสีโดยตรงมาก และรังสีกระจายจากเมฆปานกลาง

แสงธรรมชาติ (Daylighting) เป็นแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ การที่ใช้คำว่า Daylighting นั้นเนื่องมาจากดวงอาทิตย์จะให้แสงสว่างแก่พื้นผิวโลกในช่วงเวลากลางวันทั้งแสงที่มาโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และจากการสะท้อนของแสงภายในท้องฟ้าที่ปกคลุม

ไปด้วยชั้นของบรรยากาศ ได้แก่ ไอน้ำ ฝุ่นละออง และก๊าซชนิดต่างๆ ซึ่งปริมาณของคุณภาพแสงที่เกิดขึ้นนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ตั้งบนพื้นผิวโลกขึ้นอยู่กับระดับของเส้นรุ้ง (Latitude) มุม Altitude, มุม Azimuth ที่กระทำกับดวงอาทิตย์ รวมทั้งฤดูกาล และเวลาในแต่ละวัน

แสงจากดวงอาทิตย์ หรือที่เรียกว่าแสงขาวเป็นแสงชนิดเดียวที่มีพลังงานคลื่นแสงครบทุกช่วงคลื่น ทำให้วัตถุที่ถูกแสงอาทิตย์สาดส่องจะมีสีเป็นธรรมชาติที่สุด หรือไม่ผิดจากความจริง อีกทั้งแสงจากธรรมชาติเป็นแสงที่ให้ประสิทธิภาพลูเมนสูงเท่ากับ 105 ถึง119 ลูเมนวัตต์ ตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณแสงที่เกิดขึ้น คือ สภาพของท้องฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ระดับความส่องสว่างที่เข้าสู่ภายในอาคารแตกต่างกัน และมีปัจจัยอื่นๆที่สำคัญ ดังนี้ ขนาดของช่องรับแสง หรือหน้าต่าง ค่าการส่องผ่านแสงผ่านวัสดุ ค่าการสะท้อนแสงของกระจก ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายในอาคาร ค่าการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความส่องสว่าง

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาใช้งานจะต้องมีการพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นการออกแบบ เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่ไม่สามารถแก้ไขได้ภายหลังจากการสร้างอาคารเสร็จแล้ว อีกทั้งพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มีทั้งผลดี-เสียต่อสภาวะความสบายของผู้ใช้อาคาร อาจทำให้เป็นการนำความร้อน และการสะสมความร้อนภายในอาคาร โดยการเพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารอีกด้วย หรือส่งผลต่อความสบายตาในการมองเห็น จากความรู้สึกต่อแสงสว่างในอาคาร

**2.4 ทฤษฎีทางด้านสภาพท้องฟ้า (Sky conditions)**

ความส่องสว่างของท้องฟ้านั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่ง ทำให้ปริมาณแสงธรรมชาติที่ได้จากดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย อีกทั้งประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่สภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยทั่วไปแล้วสภาพท้องฟ้าจะมีเมฆปกคลุมมากรวมถึงปริมาณ ฝุ่น ควัน หรือไอน้ำ ทำให้มีผลต่อความส่องสว่างท้องฟ้าแตกต่างกับไปตามช่วงเวลาของแต่ละวัน และฤดูกาล ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

(1) สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast sky เป็นสภาพท้องฟ้าที่ไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้ โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป

(2) สภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งแบบมีเมฆปกคลุมไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์หรือท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุม

(3) สภาพท้องฟ้าแบบ Partly cloudy sky เป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนปกคลุม 30 ถึง70 เปอร์เซ็นต์มีความแปรปรวนของระดับความส่องสว่างสูง

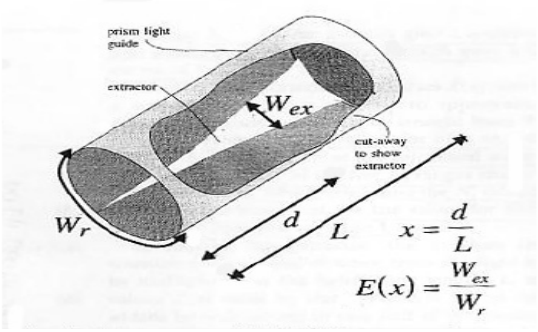
**2.5 ทฤษฎีทางด้านการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง**

ปัจจุบันมีอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ และมีการสร้างอาคารลงสู่ใต้ดินจำนวนหลายชั้นเกิดขึ้นจำนวนมาก การก่อสร้างคำนึงถึงผลประโยชน์ทางด้านธุรกิจสูงสุดเป็นหลัก ทำให้ความส่องสว่างเข้าสู่ตัวอาคารไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลัก คือ การนำเสนอเทคนิคการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในส่วนที่ระดับความส่องสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งานพื้นฐาน ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารด้วยการใช้ระบบท่อนำแสงนั้นถือว่าเป็นการแก้ปัญหาการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร แต่ระบบท่อนำแสงนั้นสามารถนำแสงมากระจายสู่พื้นที่ด้านในหรือรอบ ๆ ห้องได้อย่างทั่วถึงเนื่องจากเป็นการกระจายแสงทางด้านบนของห้อง ความส่องสว่างต่ำสุดของพื้นที่ภายในอาคารทั้งหมดไม่ควรน้อยกว่า 0.8 และลักษณะของพื้นที่ทำงานที่ไม่จำเป็นต้องมีความส่อสว่างสม่ำเสมอ ควรจะมีความส่องสว่างไม่แตกต่างกันเกิน 1/3 ระหว่างความส่องสว่างโดยรอบพื้นที่ทำงานกับบริเวณบนพื้นที่ และลักษณะพื้นที่ทำงานข้างเคียงไม่ควรมีความส่องสว่างต่างกันมากกว่า 5: 1

การออกแบบท่อนำแสงจะเป็นการนำแสงธรรมชาติจากภายนอกเข้าสู่อาคาร โดยคำนึงถึงลักษณะตำแหน่งการใช้งาน และทิศทางการติดตั้งท่อนำแสง เพื่อให้มีความส่องสว่างที่เหมาะสมและสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ทั้งยังช่วยลดภาระการทำความเย็นของอาคาร ซึ่งจะต้องมีการป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และคำนึงถึงความเข้มของแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการให้ความสว่างแก่อาคารแต่ละวัน แต่ละฤดูกาลจะมีค่าแตกต่างกันไป โดยปริมาณแสงที่ประสิทธิภาพสูง คือ แสงที่มาจากทางด้านบนของอาคาร ซึ่งมากกว่าแสงที่มาจากทางด้านข้าง แต่นอกจากแสงดวงอาทิตย์จะให้ประโยชน์ในเรื่องแสงสว่างแล้ว ในทางกลับกันแสงก็เป็นตัวที่นำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารด้วยเช่นกัน ดังนั้นหลักการพื้นฐานในการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดคือ การที่นำแสงเข้าสู่ตัวอาคารโดยหลีกเลี่ยงการใช้แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากสามารถลดปริมาณความร้อนที่มากับรังสีความร้อน (Infra- red) และแก้ปัญหาเรื่องของความจ้าแสงหรือแสงบาดตา (Glare) ซึ่งทำให้สายตาของคนไม่สามารถปรับการมองเห็นได้ทัน จึงต้องนำแสงเข้าสู่อาคารในลักษณะของแสงตกกระทบหรือแสงกระจายทางอ้อม สำหรับโครงสร้างท่อนำแสงมีการสะท้อนแสงแตกต่างๆกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบท่อนำแสง และมุมของดวงอาทิตย์ ดังต่อไปนี้

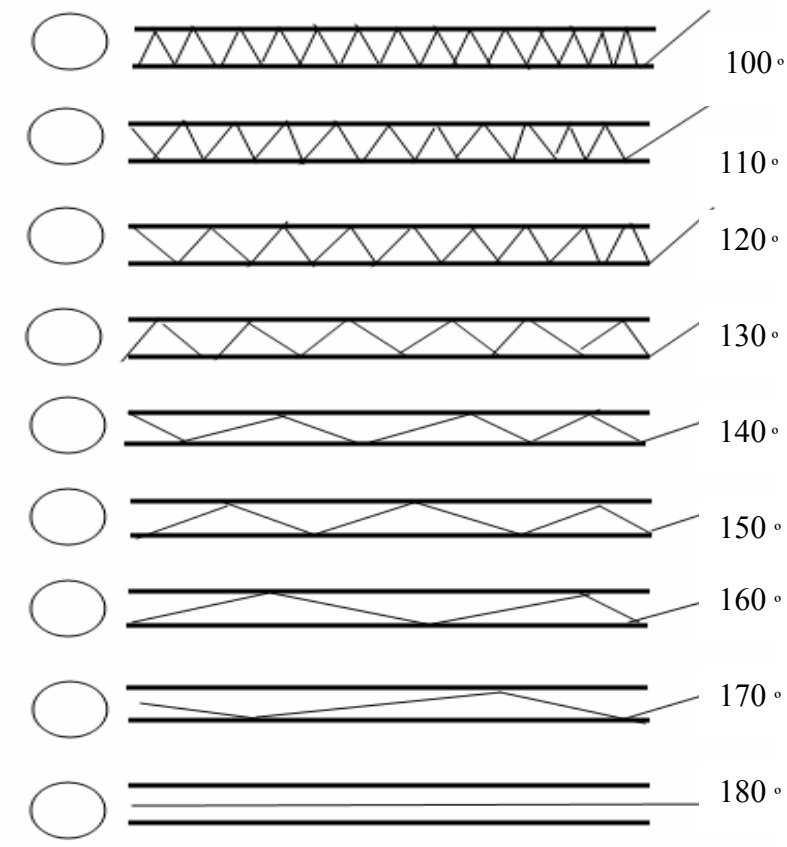
(1) ท่อนำแสงแบบทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง (Whitehead et al, 1998) มีการปาดมุมเอียง เพื่อช่วยในการสะท้อนแสงลงสู่พื้น โดยการสะท้อนแสงผ่านผนังท่อที่ขนานกันจะทำให้ความส่องสว่างกระจายลงสู่พื้นมากที่สุด ซึ่งท่อนำแสงแบบนี้สามารถรับปริมาณแสงได้มาก

และมีจำนวนสะท้อนภายในท่อน้อย เนื่องจากท่อมีความกว้างและสูง แสดงดังรูปที่ 2.8 สำหรับลักษณะสะท้อนแสงขึ้นกับมุมตกกระทบแสง แสดงดังรูปที่ 2.9




รูปที่ 2.8 ท่อนำแสงแบบทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง

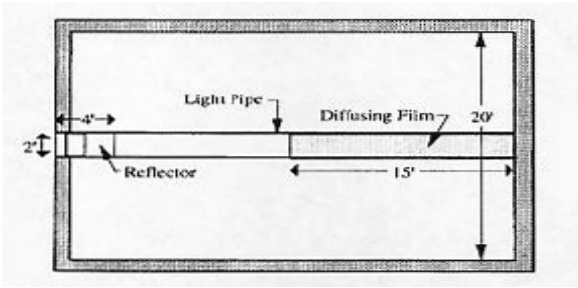
(Source: Whitehead et al, 1998)




รูปที่ 2.9 ลักษณะการสะท้อนแสงของท่อนำแสงแบบทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง

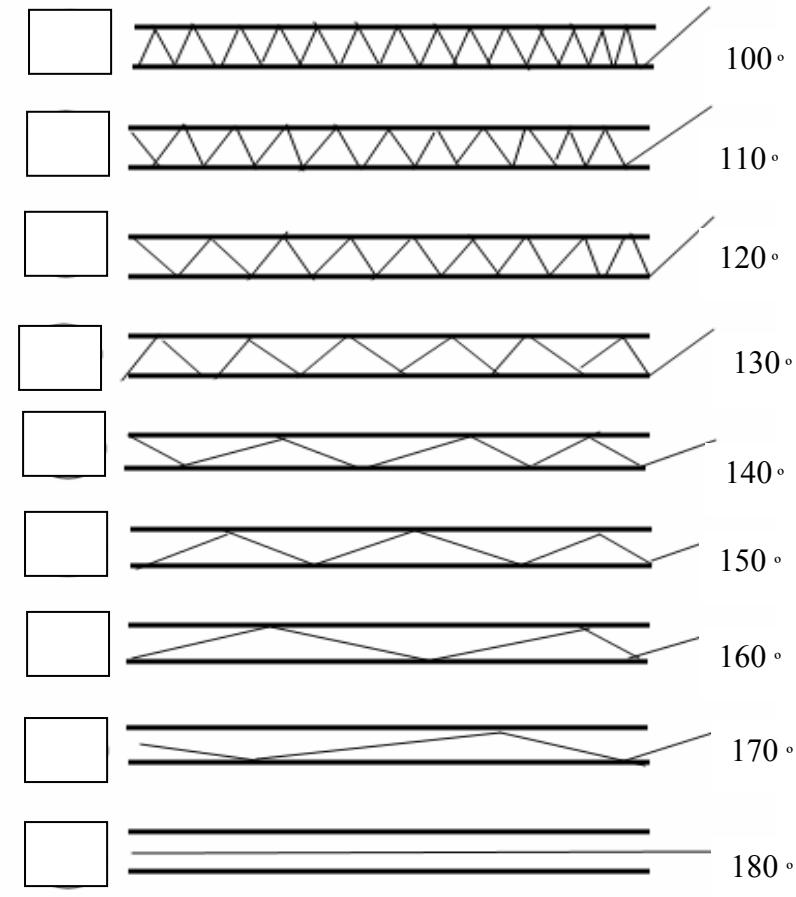
จากรูปที่ 2.9 พบว่า แสงจะมีการสะท้อนจำนวนหลายครั้งในจังหวะการสะท้อนที่สม่ำเสมอ เมื่อแสงทำมุมตกกระทบน้อยภายในท่อ และมีจำนวนตกกระทบผนังภายในจำนวนน้อยลง เมื่อมุมของแสงเพิ่มขึ้น

(2) ท่อนำแสงแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง (Beltrán et al, 1997) มีการสะท้อนแสงผ่านผนังท่อขนานกัน และมีมุมตกกระทบแสงแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา สำหรับท่อนำแสงแบบนี้สามารถรับปริมาณแสงได้น้อยกว่าแบบที่ 1 และมีจำนวนการสะท้อนภายในท่อมากกว่า เนื่องจากมีความสูงน้อยกว่าจากการเปรียบเทียบจากเส้นรอบรูป แสดงดังรูปที่ 2.10 และ 2.11




รูปที่ 2.10 ท่อนำแสงแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง

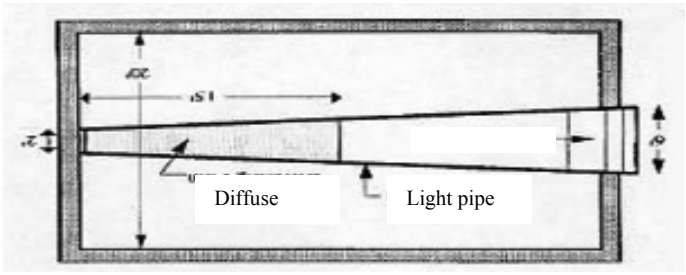
(Source: Beltrán et al, 1997)




รูปที่ 2.11 ลักษณะการสะท้อนของท่อนำแสงแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง

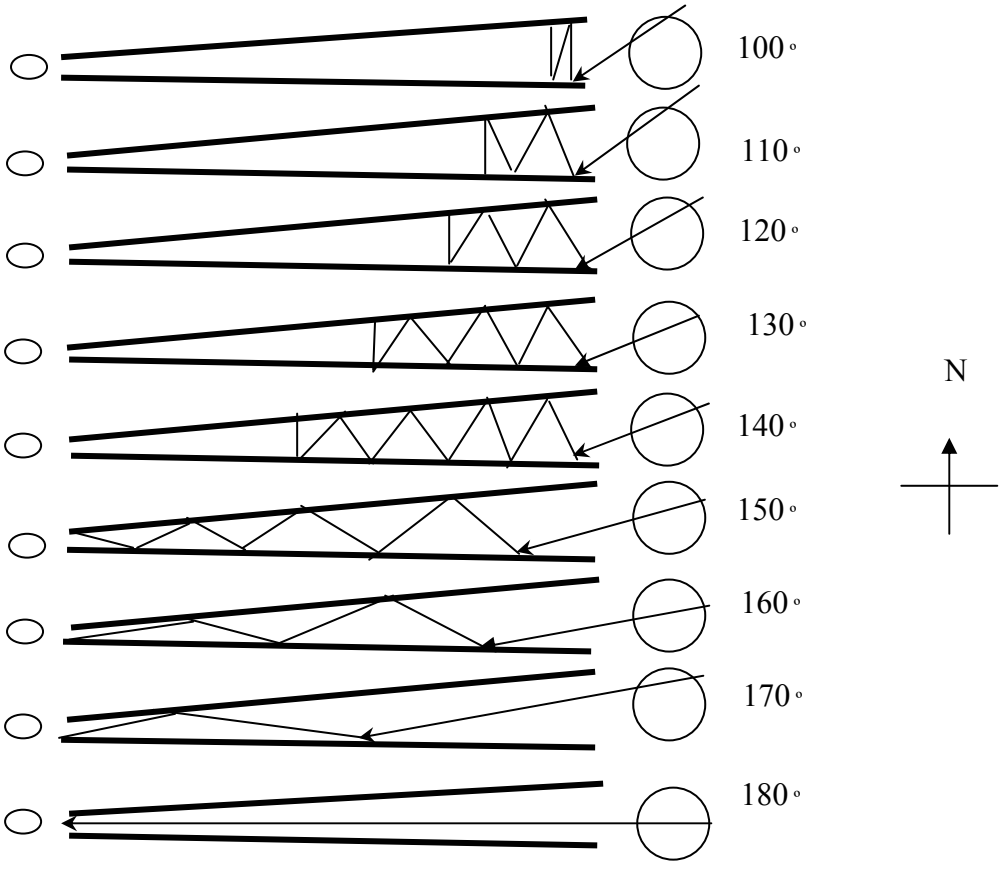
จากรูปที่ 2.11 พบว่า แสงจะสะท้อนภายในท่อจำนวนหลายครั้ง เมื่อมุมตกกระทบน้อยและมีจำนวนการตกกระทบผนังภายในท่อจำนวนน้อยลง เมื่อมุมกระทบแสงเพิ่มขึ้น สำหรับท่อนำแสงแบบนี้จะใช้วัสดุในการสร้างมากว่าท่อนำแสงแบบทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง

(3) ท่อนำแสงแบบกรวยปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก (Runcharoen , 1999) การสะท้อนแสงท่อนำแสงแบบนี้ที่มีผนังท่อเอียงลาดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ไปเล็ก ซึ่งท่อนำแสงลักษณะนี้รับปริมาณแสงได้มาก แต่นำแสงได้น้อยเนื่องจากมีผนังท่อเอียงลาดมากเกินไป แสดงดังรูปที่ 2.12 สำหรับลักษณะการสะท้อนแสงขึ้นกับมุมตกกระทบแสง แสดงดังรูปที่ 2.13




รูปที่ 2.12 ท่อนำแสงแบบกรวยปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก

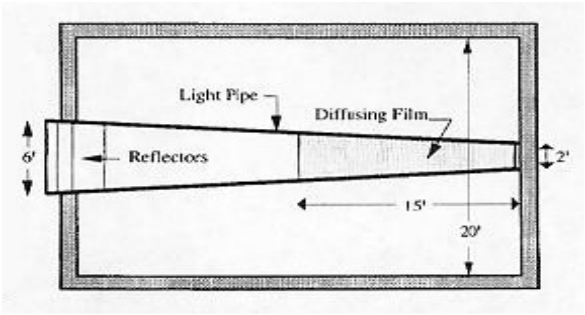
(Source: Runcharoen , 1999)




รูปที่ 2.13 ลักษณะมุมตกกระทบของท่อนำแสงแบบกรวยปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก

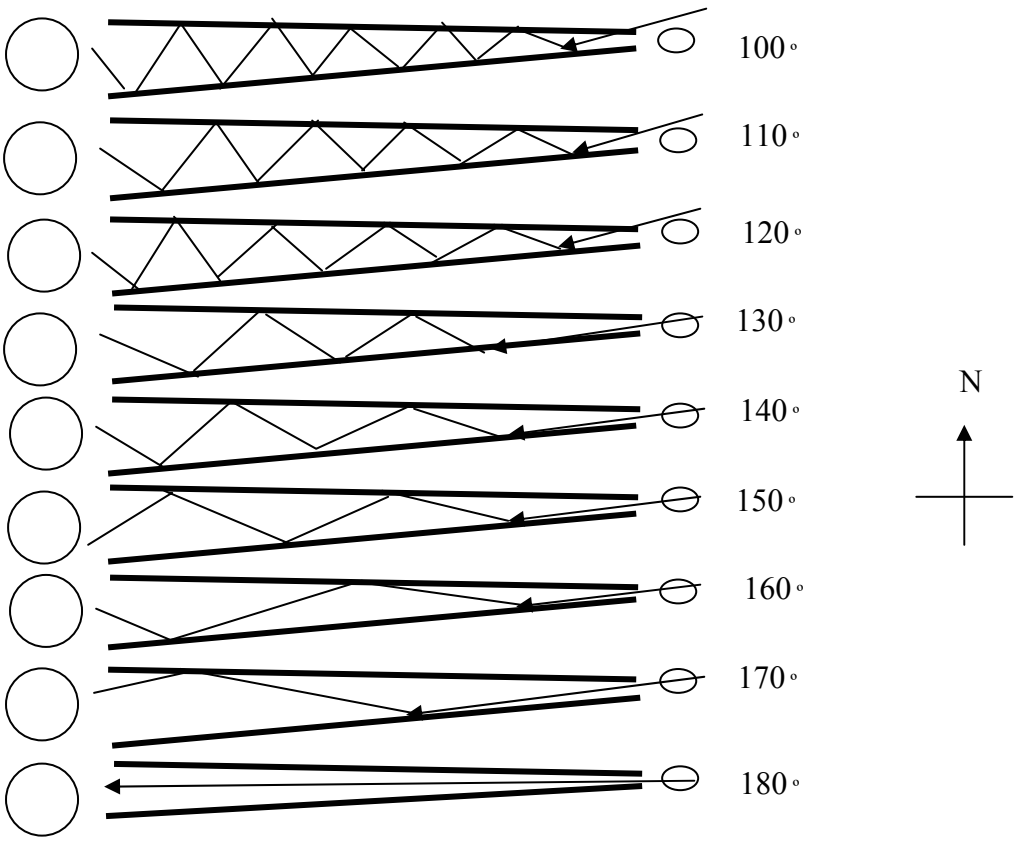
จากรูปที่ 2.13 พบว่า แสงจะสะท้อนในช่วงระยะสั้นๆ โดยสะท้อนกลับไปกลับมา ทำให้แสงไม่สามารถสะท้อนออกสู่ปลายท่อนำแสงได้ และเมื่อมุมกระทำของแสงเพิ่มขึ้นเกิน 150 องศาแสงจึงจะสามารถออกสู่ปลายท่อนำแสงได้

(4) ท่อนำแสงแบบกรวยปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก (Runcharoen , 1999) การสะท้อนแสงท่อนำแสงแบบนี้มีผนังท่อเอียงลาดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กไปใหญ่ ซึ่งท่อนำแสงลักษณะนี้รับปริมาณแสง และนำแสงได้น้อย เนื่องจากช่องเปิดรับแสงมีขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.14 สำหรับลักษณะการสะท้อนแสงขึ้นกับมุมตกกระทบแสง แสดงดังรูปที่ 2.15




รูปที่ 2.14 ท่อนำแสงแบบกรวยปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก

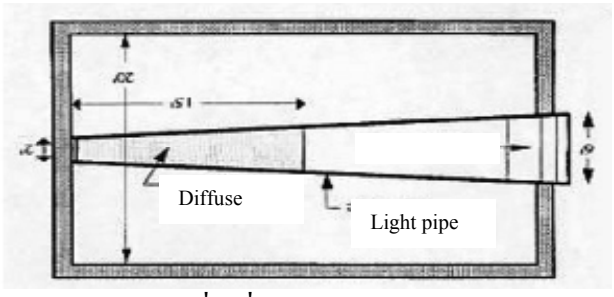
(Source: Runcharoen , 1999)




รูปที่ 2.15 ลักษณะมุมตกกระทบของท่อนำแสงแบบกรวยปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก

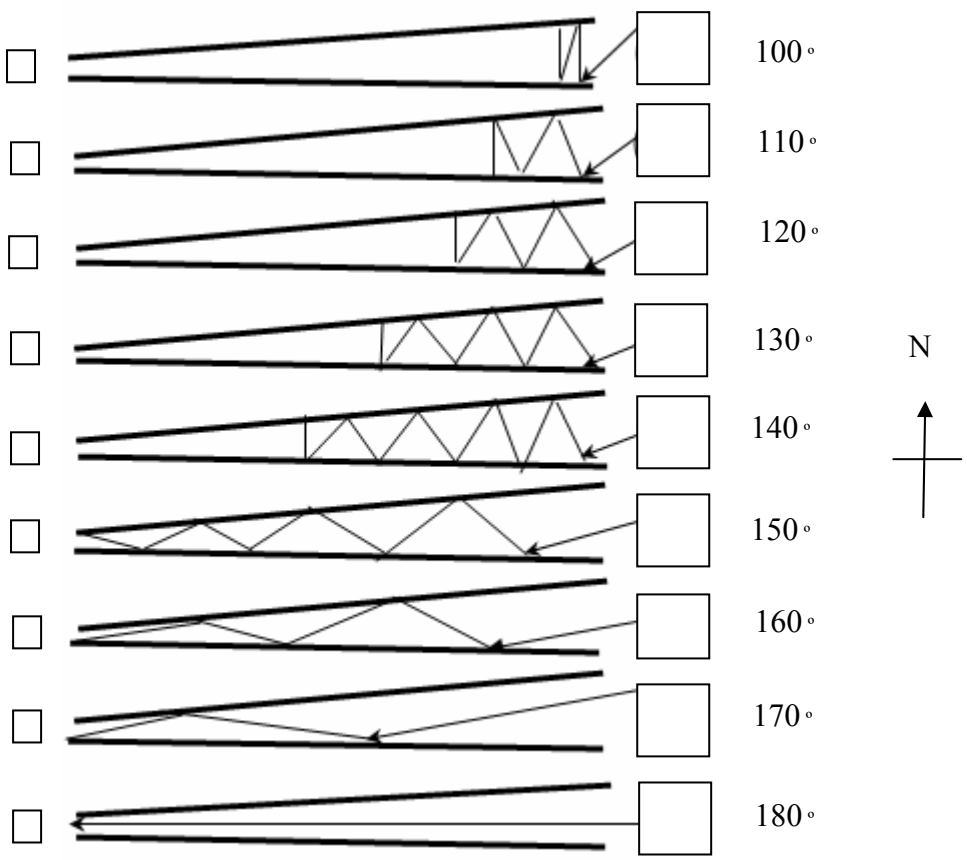
จากรูปที่ 2.15 พบว่า มุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าน้อยแสงสะท้อนในช่วงระยะสั้นๆ ทำให้มีจำนวนสะท้อนหลายครั้ง แต่จะเปลี่ยนไปในช่วงการสะท้อนที่ยาวขึ้นเมื่อมุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะมีจำนวนการสะท้อนภายในท่อน้อยลง

(5) ท่อนำแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก (Hien and Chirarattananon , 2004) ซึ่งการสะท้อนแสงท่อนำแสงแบบนี้มีผนังท่อเอียงลาดจากปลายท่อขนาดใหญ่ไป เล็ก ซึ่งท่อนำแสงลักษณะนี้นำแสงได้น้อย เนื่องจากท่อนำแสงปาดมุมเอียงมากเกินไป แสดงดังรูปที่ 2.16 สำหรับลักษณะการสะท้อนแสงขึ้นกับมุมตกกระทบแสง แสดงดังรูปที่ 2.17




รูปที่ 2.16 ท่อนำแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก

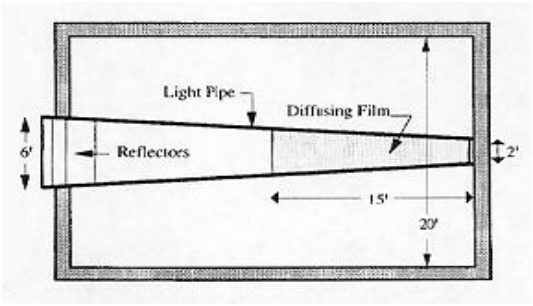
(Source: Hien and Chirarattananon , 2004)




รูปที่ 2.17 มุมตกกระทบท่อนำแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก

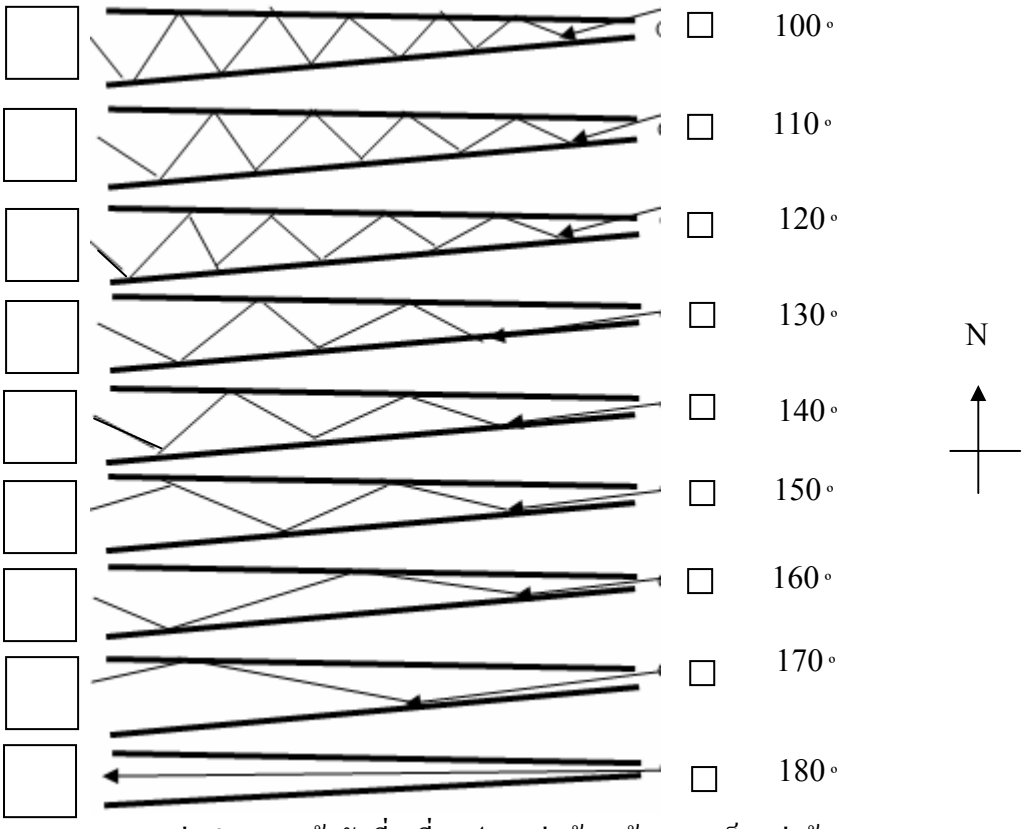
จากรูปที่ 2.17 พบว่า แสงจะสะท้อนในช่วงระยะสั้นๆ โดยจะสะท้อนกลับไปกลับมา ทำให้แสงไม่สามารถสะท้อนออกสู่ปลายท่อนำแสงได้ และความลาดเอียงมีผลต่อปริมาณการนำแสง สำหรับมุมกระทำของแสงเพิ่มขึ้นเกิน 150 องศา แสงสามารถออกสู่ปลายท่อนำแสงมาก แต่ท่อนำแสงแบบนี้จะใช้วัสดุในการสร้างมากว่าท่อนำแสงทรงกระบอกปลายท่อด้านเข้าขนาดใหญ่กว่าด้านออก

(6) ท่อนำแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก (Beltrán et al, 1997) การสะท้อนแสงผ่านผนังท่อเอียงลาดจากขนาดเล็กไปใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.18 ซึ่งท่อนำแสงลักษณะนี้จะรับปริมาณแสงน้อย จึงทำให้ปริมาณแสงที่ออกปลายท่อมีน้อย สำหรับลักษณะการสะท้อนแสงขึ้นกับมุมตกกระทบแสง แสดงดังรูปที่ 2.19




รูปที่ 2.18 ท่อนำแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก

(Source: Beltrán et al, 1997)




รูปที่ 2.19 มุมตกกระทบของท่อนำแสงหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก

จากรูปที่ 2.19 พบว่า มุมตกกระทบแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าน้อยแสงจะสะท้อนในช่วงระยะสั้นๆ ทำให้มีจำนวนสะท้อนหลายครั้ง สำหรับการเปลี่ยนไปในช่วงสะท้อนที่ยาวขึ้นเมื่อมุมตกกระทบของแสงดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น และมีจำนวนสะท้อนน้อยลง แต่ท่อนำแสงแบบนี้จะใช้วัสดุในการสร้างมากว่าท่อนำแสงทรงกระบอกปลายท่อด้านเข้าขนาดเล็กกว่าด้านออก

**2.6 สรุป**

ในบทที่ 2 นี้ได้เสนอในส่วนทฤษฎีของการนำแสงสว่างธรรมชาติจากภายนอกอาคารมาใช้งานภายในอาคารที่สัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ทางด้านท้องฟ้า และพฤติกรรมของแสง เพื่อการกำหนดรูปแบบและออกแบบการนำแสงธรรมชาติมาใช้งาน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ท่อนำแสงแบบทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียงมาทดลอง เนื่องจากท่อนำแสงแบบนี้สามารถรับปริมาณความส่องสว่างจะดวงอาทิตย์ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นรอบรูปเท่ากัน และมีจำนวนการสะท้อนแสงภายในท่อน้อยกว่าท่อนำแสงแบบอื่นๆ และการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงมีลักษณะสะท้อนที่ดีตลอดเวลา