

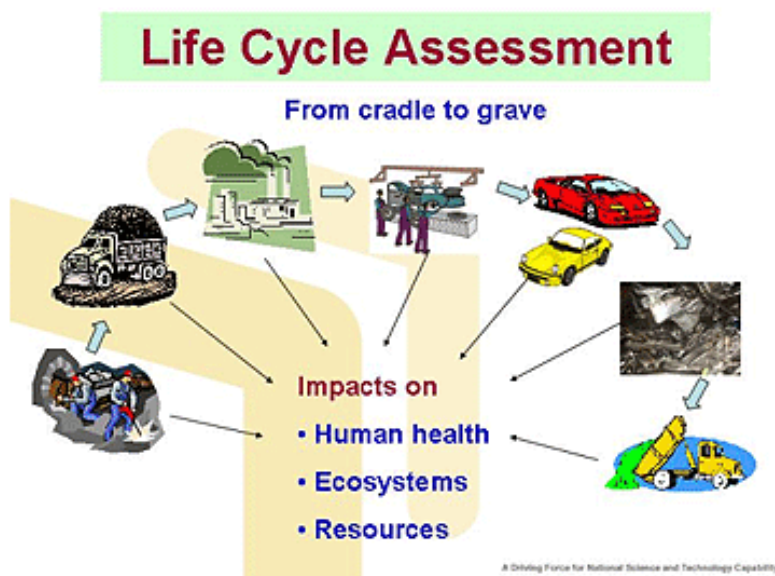
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment)

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำมาใช้ใหม่ (Recycle) หรือการใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ทิ้งหลังจากการใช้งาน ซึ่งเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยศึกษาปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ และของเสียจากกระบวนการต่างๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ที่กระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพของชุมชนและระบบสิ่งแวดล้อมโลก เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด



ภาพที่ 2.1

การพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave)

(ที่มา: http://www2.mtec.or.th/th/special/ecodesign2008/lca_funda.html)

มีผู้ให้นิยามของการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA ไว้มากมาย ยกตัวอย่างดังนี้

“เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การตัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก” ซึ่งถูกนิยามโดย สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (Society of environment toxicology and chemical: SETAC

(ที่มา: คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์, สสท., หน้า 1)

“เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” ซึ่งถูกนิยามไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 โดย องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO)

(ที่มา: คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์, สสท., หน้า 1)

การประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA มีความซับซ้อนกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากการศึกษา LCA ไม่ได้มองเฉพาะการปล่อยสารพิษออกมาเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงผลกระทบต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของโลก เช่น การเกิดภาวะเรือนกระจกที่ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น โดยการศึกษา LCA จะเน้นผลเชิงปริมาณของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และใช้ข้อมูลผลกระทบนั้นมาพิจารณาเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของภาคอุตสาหกรรม และแนวทางการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของภาครัฐและภาคเอกชน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

LCA ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ในทุกกิจกรรม (Environmental loads)
2. การประเมินและหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้น (Environmental impacts)
3. การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA เกิดขึ้นตั้งแต่ในปี ค.ศ. 1970 โดยเป็นผลมาจากวิกฤติพลังงานและนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่างๆ และเริ่มมีผู้ให้ความสนใจ LCA มากขึ้นในปี ค.ศ. 1980 เนื่องจากภาครัฐของประเทศต่างๆ ได้นำผลการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น และในปัจจุบัน LCA ยิ่งเป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้น เพราะ LCA ถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรต่างๆ มากมาย เช่น การส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative ของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) และการออกอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชุด ISO14040 ขององค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) เพื่อกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับเป็นความรู้และแนวทางในการศึกษา LCA

สำหรับประเทศไทย ได้มีการเผยแพร่ความรู้ด้าน LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี 2540 โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเริ่มจากการสัมมนาหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม (Thailand Business Council for Sustainable Development: TBCSD) และในต้นปี 2545 เกิดการรวมกลุ่มของผู้ที่สนใจด้าน LCA ของประเทศไทย (Thai LCA Forum/Network) เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ความรู้ และเผยแพร่กิจกรรมต่างๆ ผ่านเว็บไซต์ <http://doi.eng.cmu.ac.th/Thailca>

หน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดัน LCA ในประเทศไทย ได้แก่

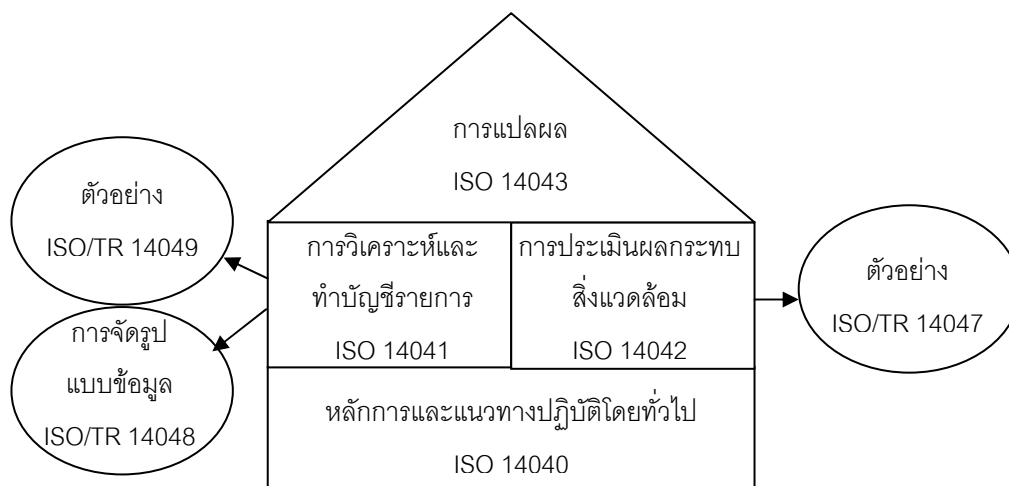
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

LCA เป็นวิธีการศึกษาที่มีความซับซ้อน ต้องใช้ฐานข้อมูลจำนวนมาก และเป็นวิทยาการใหม่ที่คนไทยยังไม่มี ความเข้าใจมากนัก อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยจำเป็นต้องทำความเข้าใจและผลักดันให้เกิดการศึกษาด้าน LCA ให้มากขึ้นโดยเร็ว เพื่อเตรียมรับแรงกดดันจากการทำการค้ากับสหภาพยุโรป (EU) เนื่องจากสหภาพยุโรปกำลังออกนโยบายสินค้าครบวงจร (Integrated Product Policy: IPP) ซึ่งต้องการให้ผู้ผลิตพิจารณาว่าสินค้าชนิดต่างๆ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรบ้าง ตลอดวัฏจักรชีวิต (Product Life Cycle Approach)

2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) กับอนุกรมมาตรฐาน ISO14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือ LCA ได้ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) ISO14000 เพื่อใช้เป็นแนวทางด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังนี้

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14041 – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
- ISO 14042 – Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCIA)
- ISO 14043 – Life cycle assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
- ISO/TR 14047 – Life cycle assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO/TR 14048 – Life cycle assessment – LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- ISO/TR 14049 – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

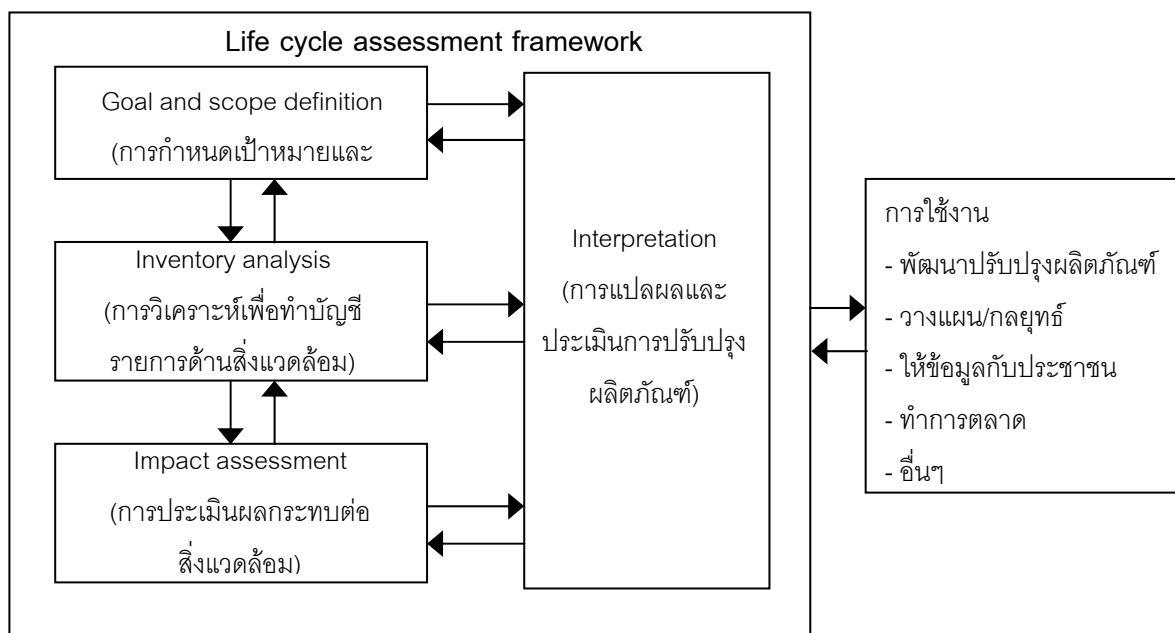


ภาพที่ 2.2

ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต
(ที่มา: คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์, สสท., หน้า 13)

2.1.4 วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

ISO 14040 – 14043 ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้



ภาพที่ 2.3

ขั้นตอนการดำเนินงาน LCA

(ที่มา: International Standard ISO 14040:2006(E), หน้า 8)

ขั้นที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

1.1) เป้าหมายของการศึกษา

ในการทำ LCA สิ่งแรกที่จะต้องทราบคือเป้าหมาย ซึ่งหมายถึงสิ่งที่ต้องการศึกษา รวมถึงการประเมินว่าวิธีวิเคราะห์วิธีใดสามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้บ้าง วิธีที่ใช้ในการศึกษา เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ ดังนั้นการกำหนดเป้าหมายควรมีความชัดเจน เพื่อให้สามารถสรุปผลได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

1.2) ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาเป็นตัวกำหนดสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์และศึกษา การกำหนดขอบเขตอาจแสดงโดยใช้แผนภาพการไหลของวัสดุและพลังงาน ซึ่งจะแสดงลำดับขั้นของกิจกรรมต่างๆ ตั้งแต่การนำวัสดุและพลังงานเข้าสู่ระบบ รวมถึงการปล่อยของเสียและพลังงานออกมา ซึ่งการกำหนดขอบเขตการศึกษานี้จะมีผลกระทบโดยตรง ต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาดังนั้นควรกำหนดรายละเอียดของขอบเขตที่เพียงพอ เข้าใจง่าย มีประโยชน์และสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา ควรประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่ศึกษาและหน่วยการทำงาน (Functional unit)
- การกำหนดตัวแปร (Parameter) ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายในการทำ LCA
- การกำหนดขอบเขตของเวลาในการดำเนินการ และเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบผลิตภัณฑ์
- การปันส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

สิ่งสำคัญในการกำหนดขอบเขตของการศึกษา

- ควรระบุหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ที่ต้องการศึกษาอย่างชัดเจน และสอดคล้องกับเป้าหมายที่ตั้งไว้
- กำหนดหน่วยวัดหน้าที่การทำงาน (Functional unit) เพื่อใช้ในการวัดผลลัพธ์การทำงานของผลิตภัณฑ์ ให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน โดยการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต้องคำนวณต่อหนึ่งหน่วยวัด เช่น การผลิตกระป๋องอลูมิเนียม 1 กระป๋อง และจำนวนน้ำมัน 1 ลิตรสำหรับรถยนต์ เป็นต้น

- กำหนดปริมาณอ้างอิง (Reference flow) เพื่อใช้ในการคำนวณหาสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ
- ขอบเขตของระบบ (System boundary) คือ กระบวนการย่อย ผังการไหลของวัตถุดิบและพลังงาน จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม
- คุณภาพของข้อมูล ต้องครอบคลุมถึงรายละเอียดต่างๆ คือ ช่วงเวลาและระยะเวลาของการเก็บข้อมูล ที่มาของข้อมูล และสถานะในการได้มาของข้อมูล

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์วัฏชีรายการ (Life cycle inventory analysis)

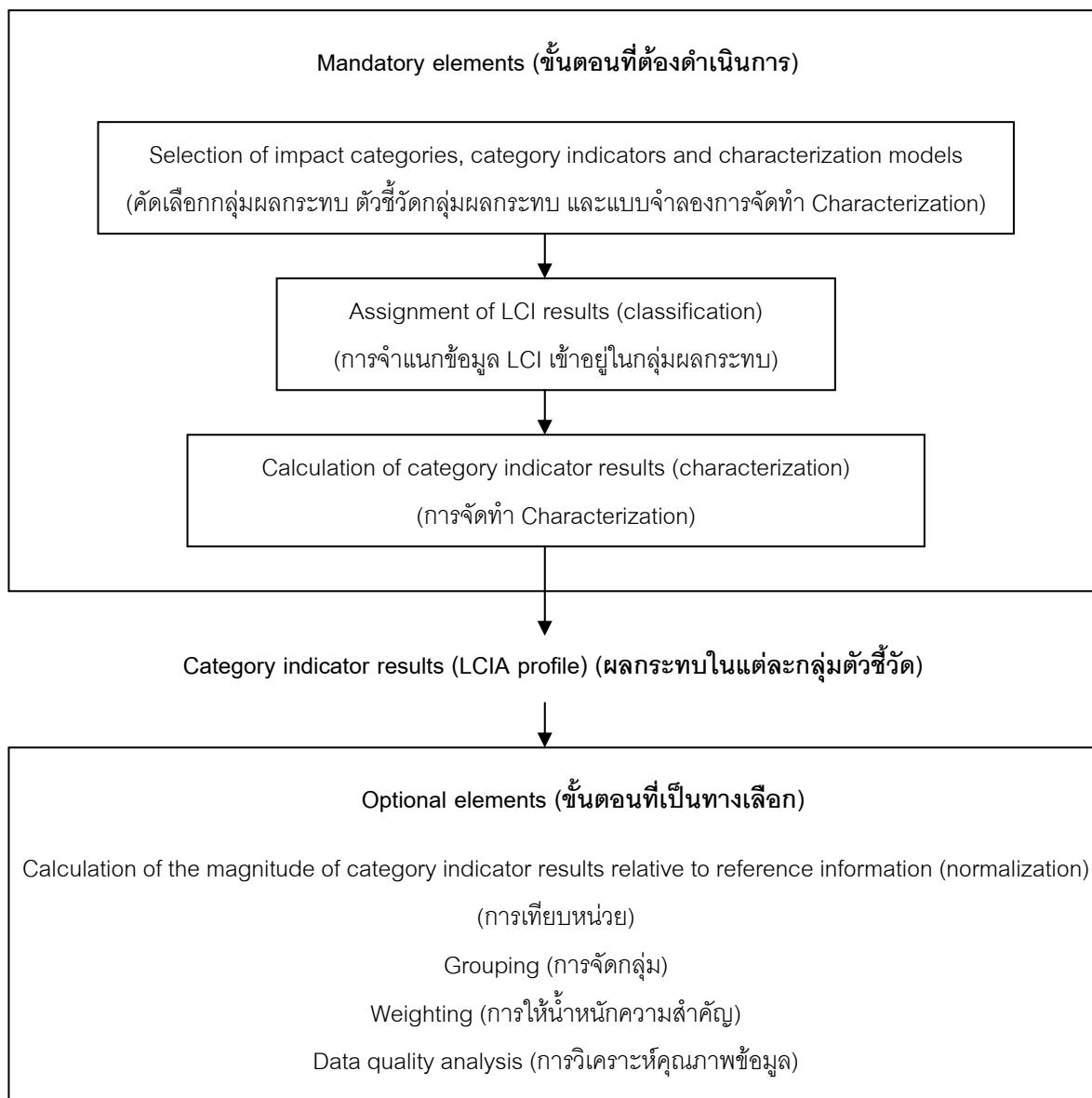
การวิเคราะห์วัฏชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ โดยพิจารณาทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ การปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกใช้ในขั้นตอนการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ขั้นที่ 3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment)

หลังจากการวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ (LCI) ซึ่งทำให้ทราบข้อมูลการใช้ทรัพยากร และการปล่อยของเสียหรือสารเข้าและขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด และนำข้อมูลที่ได้มา ประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment: LCIA) โดยการ จำแนก จัดกลุ่ม และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ หรือ LCIA ตามที่กำหนดในมาตรฐาน 14042

- 1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact category)
- 2) การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (Category indicators)
- 3) การคัดเลือกแบบจำลองการทำ Characterization (Characterization models)
- 4) การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (Classification)
- 5) การทำ Characterization
- 6) การเทียบหน่วย (Normalization)
- 7) การจัดกลุ่ม (Grouping)
- 8) การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)
- 9) การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis)



ภาพที่ 2.5

ขั้นตอนการทำ LCIA

(ที่มา: International Standard ISO 14042:2000(E), หน้า 3)

3.1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Impact category)

เป็นการจำแนกว่าสิ่งที่ต้องการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร และเกิดขึ้นจากกระบวนการใด โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหารายการ (LCI) มาวิเคราะห์เพื่อจำแนกผลกระทบของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมด

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการทำ LCIA แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. ผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint category) เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง เช่น การที่โอโซนถูกทำลาย ทำให้เกิดช่องโหว่ของโอโซน
2. ผลกระทบปลายทาง (Endpoint category) เป็นผลกระทบที่ทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น เมื่อโอโซนถูกทำลาย รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถเข้าสู่ผิวโลกได้ ทำให้มนุษย์มีผิวหนังไหม้ เหี่ยวก่อนวัย เกิดมะเร็งผิวหนัง พืชผลทางการเกษตรและสัตว์ทะเลลดลง

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่นิยมนำมาใช้ในการจำแนก ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)
- การทำให้โลกร้อน (Global warming)
- การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone depletion)
- การสิ้นเปลืองทรัพยากร (Resource depletion)
- การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (Photochemical oxidation)
- การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและน้ำ (Acidification)
- การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษในมหาสมุทร (Aquatic ecotoxicity)
- ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Nutrification)

3.2) การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (Category indicators)

เป็นการคัดเลือกตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ หลังจากคัดเลือกประเภทกลุ่มผลกระทบที่ต้องการศึกษาแล้ว โดยต้องมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และประเภทของผลกระทบที่เลือกไว้

3.3) การคัดเลือกแบบจำลองการทำ Characterization (Characterization models)

แบบจำลองการทำ Characterization เป็นแบบจำลองสำเร็จรูปสำหรับการแปลงค่าสารแต่ละตัวให้เป็นตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแบบจำลองนี้มีมากมายและมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกแบบจำลองมาใช้งานควรพิจารณาถึงความแพร่หลายของแบบจำลองนั้น เช่น แบบจำลอง IPCC Model เป็นต้น

3.4) การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (Classification)

เป็นการนำข้อมูลสารเข้าและสารขาออกที่ได้จาก LCI มาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบ ซึ่งในกลุ่มผลกระทบหนึ่งๆ อาจมีสารเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัว ที่เป็นปัจจัยสำคัญก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสารบางตัวก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า 1 ประเภท ดังนั้นในการจำแนกผลกระทบของสารประเภทนี้ จึงต้องพิจารณากลไกการเกิดผลกระทบ เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แบ่งได้ 2 ชนิดดังนี้

1. ผลกระทบคู่ขนาน เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ซึ่งในการคำนวณหาผลกระทบต้องทำทั้ง 2 ด้านพร้อมกัน
2. ผลกระทบแบบอนุกรมหรือแบบต่อเนื่อง เป็นการเกิดผลกระทบที่ไม่พร้อมกัน จึงต้องใช้เทคนิคการปันส่วนมาประกอบการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้น

3.5) การทำ Characterization

เป็นการนำข้อมูลปริมาณสารต่างๆ จากการทำ LCI มาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา โดยแปลงค่าสารแต่ละตัวให้เป็นตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.6) การเทียบหน่วย (Normalization)

เป็นการพิจารณาว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรเมื่อมองในภาพรวม หรือเป็นการนำค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการทำ Characterization มาเปรียบเทียบกับปริมาณทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด หรือเทียบต่อจำนวนประชากร 1 คน

3.7) การจัดกลุ่ม (Grouping)

เป็นการนำผลจากการเทียบหน่วยมาจัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ทำให้วิเคราะห์ได้ว่ากลุ่มใดมีความรุนแรงที่สุด ซึ่งปกติมักแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- 1) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์
- 2) ผลกระทบต่อระบบนิเวศ
- 3) ผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากร

3.8) การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

ขั้นนี้เป็นการเปรียบเทียบว่า กลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญที่สุด ให้น้ำค่าแฟกเตอร์ความสำคัญ (Weighting factor) มาคูณกับผลที่ได้จากการทำ Normalization

การให้น้ำหนักความสำคัญในการประเมิน LCIA ทำได้ 2 แบบคือ

- 1) Theme oriented เป็นการนำกลุ่มผลกระทบที่ได้จากการทำ Characterization มาทำการประเมินเป็นคะแนนเดียว โดยนำระยะห่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่า

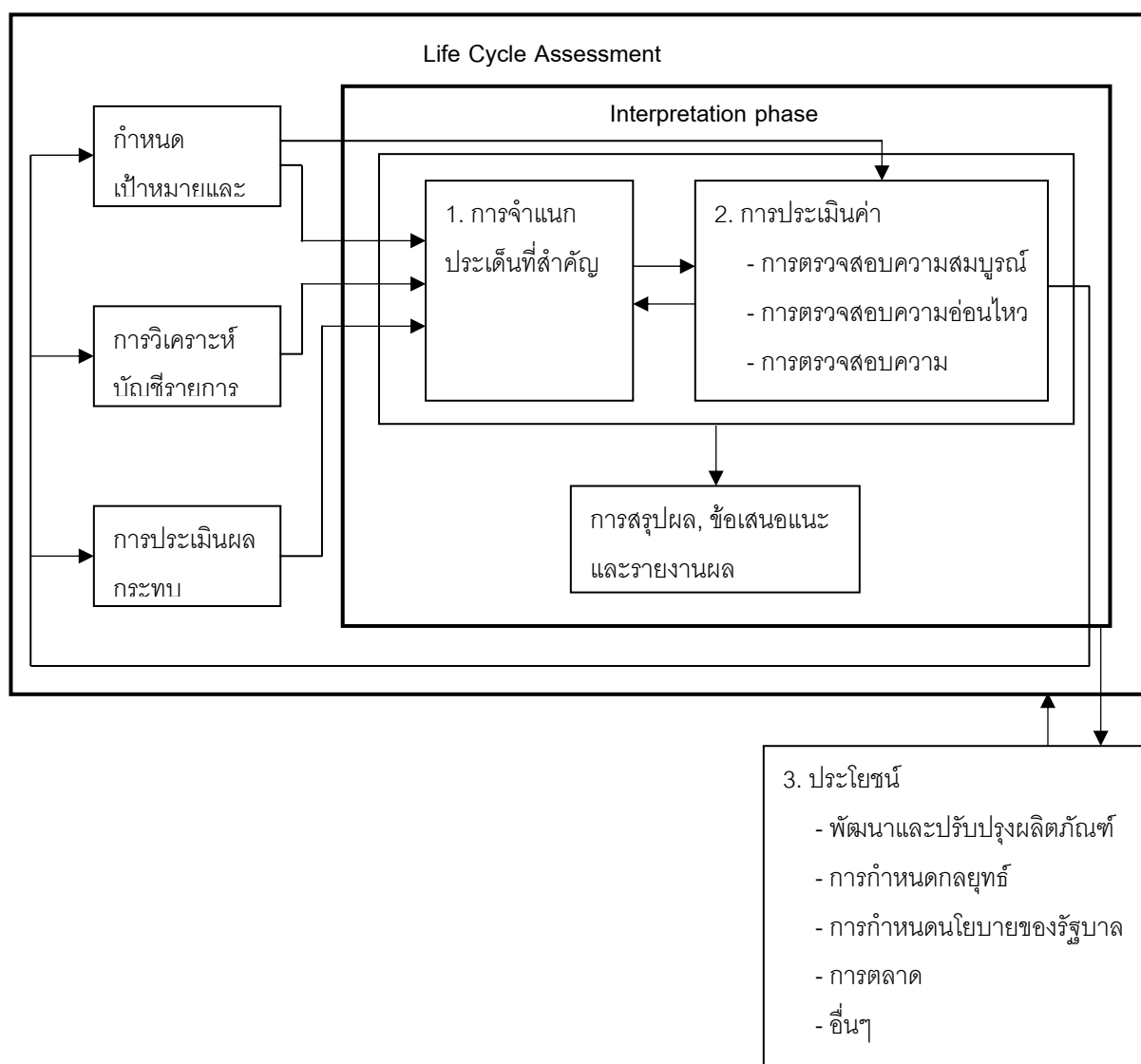
เป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (Distance to target) มาคูณปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละด้าน

วิธี Eco Indicator (ตัวชี้วัดทางนิเวศน์) ซึ่งพัฒนาขึ้นในประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นตัวอย่างวิธีคิดแบบ Distance to target ที่เป็นการนำกลุ่มผลกระทบจาก Characterization มาทำการเทียบหน่วย (Normalization) และให้น้ำหนักความสำคัญโดยการประเมินเป็นคะแนนเดียว

- 2) Damage oriented หลังจากทำ Characterization จะมีการพิจารณาผลกระทบปลายทาง เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น และให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละด้านของกลุ่มผลกระทบนั้น เพื่อประเมินเป็นคะแนนเดียว

ขั้นที่ 4 การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากการทำบัญชีรายการ (LCI) และผลลัพธ์จากการประเมินมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ ที่มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การแปลผลการศึกษา มีความสัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ ในการศึกษา LCA ดังรูป



ภาพที่ 2.6

ความสัมพันธ์ระหว่างการแปรผลกับส่วนอื่นๆ ในการศึกษา LCA

(ที่มา: International Standard ISO 14043:2000(E), หน้า 4)

2.1.5 โปรแกรมสำเร็จรูป

โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการจัดการข้อมูลและตัวเลขที่มีจำนวนมากๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของทั่วโลกได้ ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA แสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2.1

โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน

โปรแกรมสำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
SimaPro 5.1	Pre' Consultants	เนเธอร์แลนด์
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมนี
TEAM 3.0	Ecobilan	ฝรั่งเศส
LCAiT	Chalmers	สวีเดน
KCL-Eco	KCL	ฟินแลนด์
Umberto 4.1	Ifu / ifeu	เยอรมนี
EcoPro	EMPA, sinum	สวิตเซอร์แลนด์
Boustead	Boustead	อังกฤษ
NIRE-LCA	NIRE / AIST	ญี่ปุ่น*
JEMAI-LCA	JEMI	ญี่ปุ่น*

*มีเฉพาะภาษาญี่ปุ่น

(ที่มา: คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์, สสท., หน้า 15)

2.2 เลนส์สายตา (Ophthalmic lens)

2.2.1 ความรู้เรื่องดวงตา

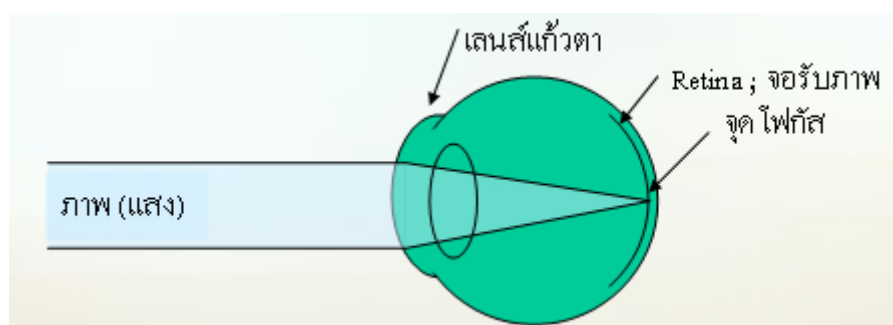
80% ของข้อมูลที่เข้ามาในสมองของมนุษย์เรานั้น เป็นข้อมูลที่ผ่านมาจากดวงตา หรือ การรับรู้ผ่านการมองเห็นและข้อมูลกว่า 50% ที่สมองเราจัดการนั้น ถือได้ว่าเป็นข้อมูลที่มาจากการรับรู้ผ่านการมองเห็นอีกด้วย ข้อมูลที่เห็นได้ด้วยดวงตา สำหรับมนุษย์เรานั้นแล้ว ถือเป็นเรื่องสำคัญเป็นอย่างมาก แต่ในทางกลับกัน มนุษย์เรานั้น กลับไม่ค่อยให้ความสำคัญในสิ่งนี้สักเท่าไร

ดวงตาของมนุษย์เรานั้น เปรียบไปแล้ว ก็มีโครงสร้างการทำงานเหมือนกันกับ กล้องถ่ายรูป คือ เลนส์รับภาพที่มีหน้าที่การทำงานเหมือนกันกับเลนส์ของกล้อง ทำให้แสงที่เข้ามาภายในดวงตา เกิดการหักเหของแสง และสะท้อนไปยังฟิล์มที่เรียกว่า เรตินา (ประสาทรับภาพภายในตาทำหน้าที่รับภาพ) เพื่อแสดงผลออกมาเป็นภาพให้เห็น และเลนส์รับภาพนี้สามารถปรับตัวมันเองให้มีความหนาและบางได้ ซึ่งตรงนี้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการหักเหของแสง จุดประสงค์ก็เพื่อปรับโฟกัสให้ภาพไปตกอยู่บนเรตินาได้พอดี โครงสร้างการทำงานตรงนี้ เหมือนกันกับการทำงานของ

Auto focus ในกล้องถ่ายรูป แต่ทว่าในกรณีที่เลนส์รับภาพไม่สามารถปรับจุดโฟกัสได้ถูกต้อง แต่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งของเรตินา ก็จะทำให้การเห็นภาพมัวหรือไม่ชัดเจน ตรงนี้เอง ที่เราเรียกกันว่า สายตาสั้น สายตายาว หรือ สายตายาวในผู้สูงอายุ เป็นต้น

สายตาสั้น

คือสายตาสั้นที่เลนส์ตาไม่จำเป็นจะต้องทำการเพ่ง (Accommodation) ก็สามารถที่จะทำให้ภาพที่ตกกระทบลงบนเรตินา ไม่ว่าภาพนั้นจะอยู่ใกล้สักเท่าไรก็ตาม โดยที่จุด focus ก็จะไม่มีการคลาดเคลื่อน สำหรับผู้ที่มีปัญหาสายตาสั้น สายตายาว และ สายตาเอียงนั้น เกิดจาก จุดโฟกัสที่คลาดเคลื่อนไม่ตกลงบนเรตินา จึงทำให้ การหักเหของแสงผิดปกติ ส่วน สายตายาวของผู้สูงอายุนั้น เกิดจากการปรับโฟกัสของเลนส์รับภาพ ไม่สามารถที่จะทำงานได้ดังเดิม จึงทำให้เกิดความผิดปกติที่การปรับโฟกัสนั่นเอง (กำลังเพ่งของดวงตาในผู้สูงอายุลดลง)



ภาพที่ 2.7

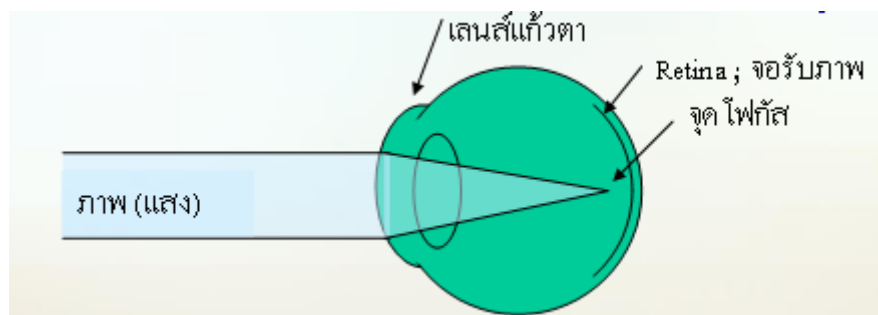
การรับภาพของสายตาสั้น
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

สายตาสั้น

เป็นอาการที่เกิดจากลูกตามีความยาวเกินไปหรือเกิดจากความสามารถในการปรับโฟกัสของเลนส์ รับภาพและกระจกตาที่มากเกินไป ทำให้การโฟกัสของภาพที่รับมา ตกอยู่ก่อนถึงเรตินา เมื่อมองวัตถุที่อยู่ไกลจึงไม่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน สายตาสั้นเป็นอาการผิดปกติทางสายตา ที่พบเห็นทั่วไป และจะ พบมากในผู้ที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานานๆ และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน

สาเหตุการเกิดสายตาสั้น มี 2 แบบคือ

- 1) เกิดจากความผิดปกติของเลนส์ตา คือ เลนส์ตานูนมากกว่าปกติ ทำให้มีกำลังขยายมาก โฟกัสจึงรวมกันก่อนถึงเรตินา แสงที่ตกบนจอภาพเป็นแสงที่กระจายออก ทำให้การมองภาพไม่ชัด
- 2) เกิดจากความยาวของลูกตาผิดปกติ คนบางคนมีความยาวของลูกตาผิดปกติ ทำให้โฟกัสของแสงรวมกันไม่ถึงเรตินา แสงที่ตกบนจอภาพเป็นแสงที่กระจายออก ทำให้การมองภาพไม่ชัด



ภาพที่ 2.8

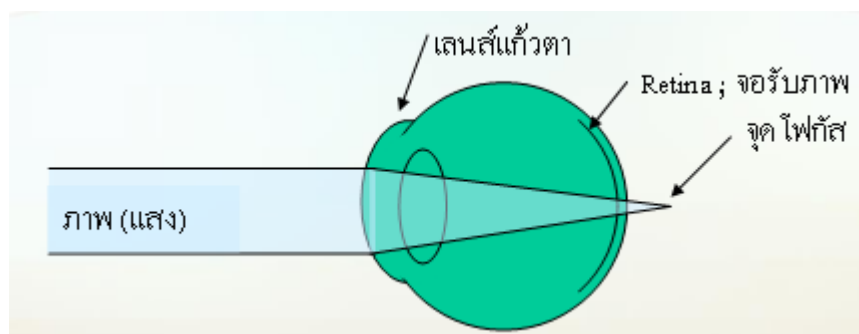
การรับภาพของสายตาสั้น
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

สายตายาว

สายตายาว เป็นอาการที่เกิดจากลูกตาสั้นเกินไป หรือเกิดจากความสามารถในการปรับโฟกัสของเลนส์รับภาพและกระจกตาที่มีน้อยเกินไป ทำให้การโฟกัสภาพที่รับมา ตกอยู่หลังเรตินา สำหรับผู้ที่สายตายาวไม่มากในผู้ที่อายุยังน้อย จะยังสามารถมองเห็นภาพได้อย่างเป็นปกติ แต่เนื่องจากว่า ขณะที่ตาจับทั้งภาพระยะใกล้และภาพระยะไกล สายตาจะใช้กำลังเพ่งอย่างมากในการปรับภาพที่รับมา เพื่อให้เห็นเป็นภาพปกติ จึงทำให้รู้สึกอ่อนล้าทางสายตา ซึ่งอาการผิดปกตินี้ ยากที่จะตรวจพบ เพราะไม่สามารถตรวจพบได้โดยการวัดสายตาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

สาเหตุการเกิดสายตายาว มี 2 แบบคือ

- 1) เกิดจากความผิดปกติของเลนส์ตา คือ เลนส์ตาแบนราบกว่าปกติ ทำให้มีกำลังขยายน้อย โฟกัสจึงรวมกันในจุดที่เลยเรตินา
- 2) เกิดจากลูกตาสั้นผิดปกติ คนบางคนมีลูกตาสั้นผิดปกติ ทำให้โฟกัสของแสงรวมกันในตำแหน่งที่เลยเรตินา แสงที่ตกบนจอภาพไม่ใช่โฟกัส ทำให้การมองภาพไม่ชัด



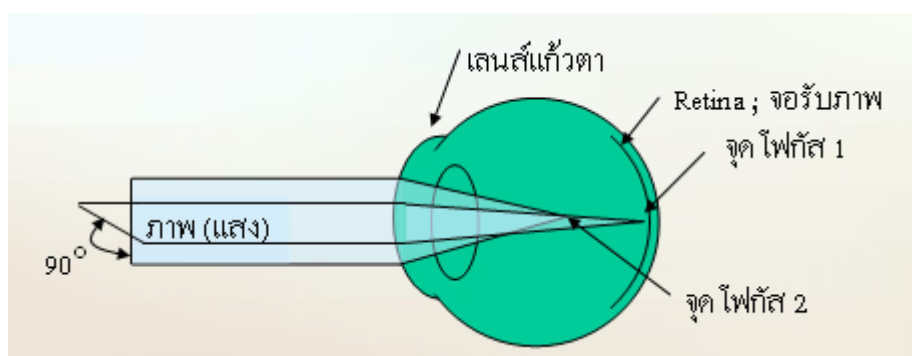
ภาพที่ 2.9

การรับภาพของสายตายาว

(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

สายตาเอียง

สายตาเอียง เกิดจากรูปร่างที่ผิดปกติของกระจกตาหรือของเลนส์รับภาพ ที่เบี้ยวเอียงไปในทิศทางแนวขวางหรือไม่ก็ทิศทางแนวตั้ง ทำให้การโฟกัสภาพที่รับมา ตกผิดตำแหน่งจากเรตินาไปทางแนวนอนหรือแนวตั้ง ดังนั้นเมื่อมองวัตถุ ภาพที่เห็นจะไม่ชัดหรือภาพมีการยืดออก หรือบางกรณีจะมองเห็นจุดโฟกัสเป็นเส้นหรือเป็นรูปวงรี ซึ่งอาการสายตาเอียงสามารถเกิดได้ทั้งกับผู้ที่มีสายตาสั้นและสายตายาวได้ด้วย



ภาพที่ 2.10

การรับภาพของสายตาเอียง

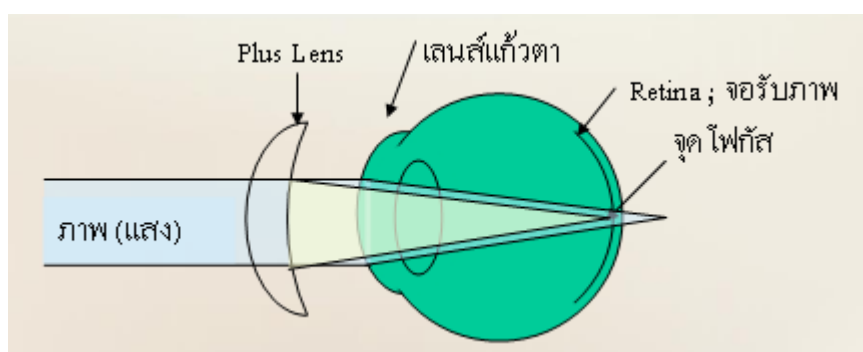
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

2.2.2 ชนิดของเลนส์

บริษัทผู้ผลิตเลนส์สายตาได้คิดค้นเลนส์สายตาชนิดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ ลักษณะการใช้งานของผู้ใช้ และขีดความสามารถในการใช้งานก็แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

เลนส์นูน

เลนส์นูน หรือเลนส์บวก (Plus lens) หมายถึงเลนส์ที่มีผิวเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลม การหักเหของแสงจากทุกๆ แนว จะรวมที่จุดโฟกัสจุดเดียว แบบรูปกรวย และแนวของจุดรวมแสง (Optical center) จะอยู่ที่ส่วนหนาที่สุดของเลนส์ จุดโฟกัสจะอยู่หลังเลนส์ เลนส์ชนิดนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ปัญหาสายตายาว เพื่อให้การรวมตัวของแสงรวมตัวกันสั้นเข้ามาเพื่อให้จุดโฟกัสตกบนจอภาพพอดี จึงทำให้การมองภาพเห็นชัดเป็นปกติ



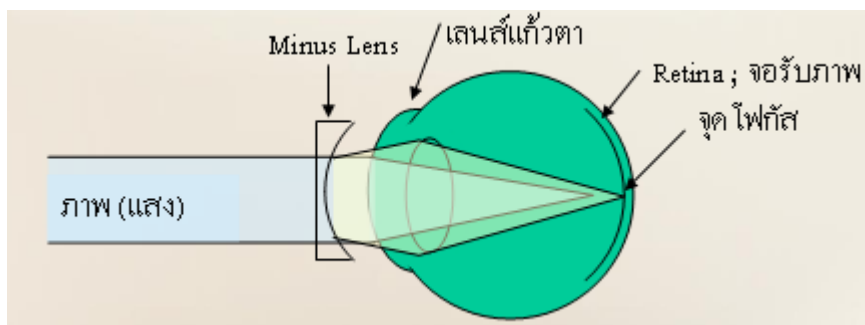
ภาพที่ 2.11

การใช้เลนส์นูนในการแก้ปัญหาสายตายาว

(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

เลนส์เว้า

เลนส์เว้า หรือเลนส์ลบ (Minus lens) หมายถึงเลนส์ที่มีผิวเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลมเว้าเข้า มีคุณสมบัติในการกระจายแสงออกทุกทิศทาง และแนวแกนของจุดรวมแสง (Optical center) จะอยู่ส่วนที่บางที่สุดของเลนส์ จุดโฟกัสจะอยู่หน้าเลนส์ เลนส์ชนิดนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ปัญหาสายตาสั้น เพื่อให้การรวมตัวของแสงกระจายออกไปรวมตัวที่จอภาพพอดี จึงจะทำให้การมองภาพเห็นชัดเป็นปกติ



ภาพที่ 2.12

การใช้เลนส์เว้าในการแก้ปัญหาสายตาสั้น
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

เลนส์ทรงกระบอก

เลนส์ทรงกระบอกหรือเลนส์ TC หมายถึงเลนส์ที่มีความโค้งของผิวเป็นส่วนหนึ่งของทรงกระบอก และเป็นเลนส์ที่มีสภาวะของแสงที่ผ่าน จะไม่รวมเป็นจุดเดียวกัน แต่จะแยกเป็นแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่ง 2 แนวนี้จะต้องตั้งฉากกันเสมอ และจุดรวมแสงของแต่ละแนวจะแยกเป็นจุดใดจุดนั้น แต่อยู่ในแกนของจุดรวมแสง (Optical center) เดียวกัน และค่าความแตกต่างของกำลังขยายของทั้ง 2 แนว ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของผิวความโค้งของทรงกลมแต่ละแนว

เลนส์ทรงกระบอก ยังแยกออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

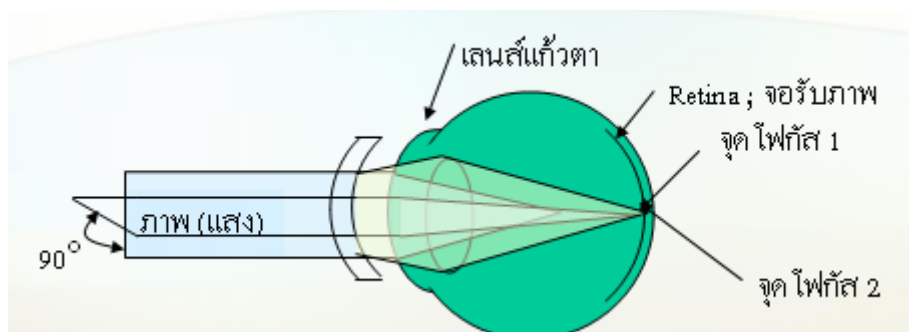
1. เลนส์นูนทรงกระบอก

เลนส์นูนทรงกระบอก เป็นเลนส์ที่มีผิวโค้งเป็นส่วนหนึ่งของทรงกระบอก มีคุณสมบัติในการรวมแสง เช่นเดียวกับเลนส์นูน แต่ลำแสงจะแยกเป็นแนวตั้งและแนวนอน และแสงแต่ละแนวจะมีจุดโฟกัสคนละตำแหน่งกัน แต่อยู่ในแกนของจุดรวมแสง (Optical center) เดียวกัน

2. เลนส์เว้าทรงกระบอก

เลนส์เว้าทรงกระบอก เป็นเลนส์ที่มีผิวโค้งเป็นส่วนหนึ่งของทรงกระบอกที่เว้าเข้า มีคุณสมบัติในการกระจายแสง เช่นเดียวกับเลนส์เว้า แต่ลำแสงจะแยกเป็นแนวตั้งและแนวนอน และแสงแต่ละแนวจะมีจุดโฟกัสคนละตำแหน่งกัน แต่อยู่ในแกนของจุดรวมแสง (Optical center) เดียวกัน

การแก้ปัญหาคอนที่มีสายตาเอียงนี้ต้องใช้เลนส์ทรงกระบอก (TC lens) อาจเป็นเลนส์นูนทรงกระบอก หรือเลนส์เว้าทรงกระบอก ขึ้นอยู่กับปัญหาของสายตา



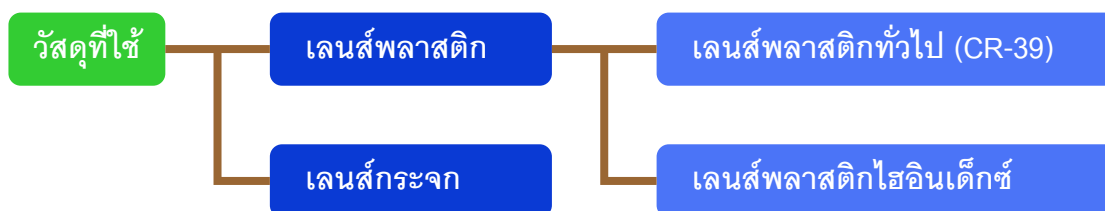
ภาพที่ 2.13

การใช้เลนส์ทรงกระบอกในการแก้ปัญหาสายตาเอียง

(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

2.2.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตเลนส์

วัสดุที่ใช้ทำเลนส์ที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ กระຈก (Mineral) และพลาสติก (Hard resin) โดยที่ปัจจุบันวัสดุในการทำเลนส์พลาสติกมีหลายชนิด โดยได้รับการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ให้เป็นเลนส์ที่มีขนาดบางลงกว่าเดิม น้ำหนักเบา และทนทานยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.14

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตา

(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

เลนส์กระຈก (Mineral lens)

เลนส์กระຈก เป็นเลนส์ในสมัยเริ่มแรกของการใช้แว่นตา ข้อดีของเลนส์กระຈก คือ มีความใสกว่าเลนส์พลาสติกทำให้การมองเห็นชัดเจนกว่า ทนต่อรอยขีดข่วน เพราะมีผิวที่แข็งกว่าเลนส์พลาสติก ไม่เปลี่ยนรูปหรือเสียทรงตามสภาวะแวดล้อม มีอายุการใช้งานยาวนาน แต่เลนส์กระຈกก็มีข้อเสียตรงที่มีน้ำหนักมาก ขาดความยืดหยุ่นและไม่ทนต่อแรงกระแทก หากกระทบกระเทือนอาจเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าเลนส์พลาสติก แม้ว่าเลนส์กระຈกจะมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องการทนต่อรอยขีด

ช่วง แต่เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาการเคลือบผิวเลนส์พลาสติกให้มีคุณสมบัติทนต่อรอยขีดข่วนได้ดีใกล้เคียงกับคุณสมบัติของเลนส์กระจกจึงทำให้ความนิยมเลนส์กระจกลดน้อยลง

เลนส์พลาสติก (Hard Resin)

เลนส์พลาสติกทั่วไป (Hard Resin CR-39)

เลนส์พลาสติกทั่วไป เป็นเลนส์พลาสติกที่มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง สวมใส่สบาย ตา พกพาสะดวก หลายหลากสี สามารถทำสีเลนส์ได้หลากหลาย จึงสามารถใช้กับแต่ละบุคลิกของแต่ละบุคคล และแฟชั่นที่แต่ละบุคคลชื่นชอบ สามารถเคลือบผิวเลนส์ ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ และมีราคาถูกจึงทำให้เลนส์ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

เลนส์พลาสติกที่มีการหักเหของแสงสูง (Hi-Index)

เลนส์พลาสติกที่มีการหักเหของแสงสูงหรือเลนส์พลาสติก Hi-index คือเลนส์พลาสติกที่มีความหนาของเลนส์บางกว่าเลนส์พลาสติกธรรมดา เนื่องจากเป็นเลนส์ที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงสูง (1.6 หรือมากกว่านั้น) และเนื่องจากเนื้อเลนส์ Hi-index ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เลนส์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีคือ ขนาดที่บางลง ทำให้น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่แตกหักง่าย ทนความร้อนได้สูงกว่าเลนส์พลาสติกโดยทั่วไป เลนส์ Hi index นี้ ยิ่งเลนส์ที่มี Index สูง ราคาจะยิ่งสูงตามไปด้วย แต่เนื่องจากมีค่า Abbe Number ต่ำกว่า กระจกหรือเลนส์พลาสติกธรรมดา จำนวนแสงจะผ่านเลนส์ได้น้อยกว่า จึงมักต้องมีการเคลือบผิวเลนส์กันแสงสะท้อน (Anti-Reflection Coating)

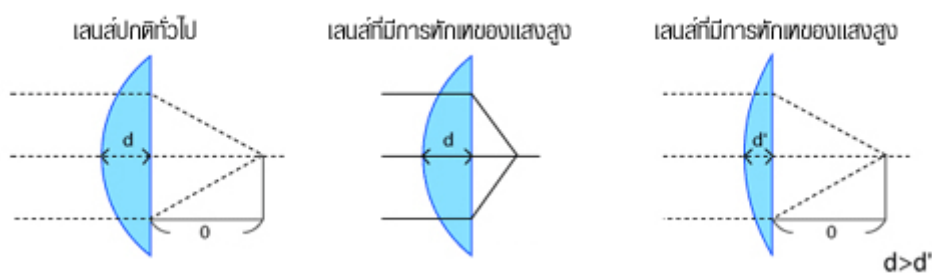
ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้วัสดุ

1) ดัชนีหักเหของแสง (Index of Reflection)

เมื่อแสงตกกระทบบัววัตถุ จะเกิดการหักเหของแสง ซึ่งเรียกว่าอัตราการหักเหของแสง ยิ่งวัสดุที่ใช้ผลิตเลนส์มีอัตราการหักเหของแสงสูง (Hi index) เลนส์ก็จะยิ่งมีความบางมากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า ดัชนีการหักเหของแสง เป็นปัจจัยกำหนดความหนาบางของเลนส์

$$\text{ค่าดัชนีหักเหของแสงของเลนส์กระจก} = 1.523$$

$$\text{ค่าดัชนีหักเหของแสงของเลนส์พลาสติกทั่วไป} = 1.498$$

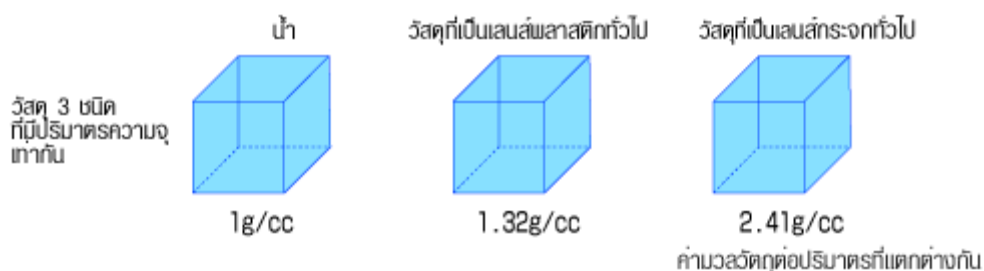


ภาพที่ 2.15

ความหนาของเลนส์ที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

2) ค่าความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะ คือ การเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่แตกต่างกัน ที่มีปริมาตรความจุเท่ากัน แต่วัสดุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าจะเบากว่า แต่ในวัสดุที่มีความความถ่วงจำเพาะเท่ากันนั้น วัสดุที่มีอินเดกซ์สูงกว่าจะเบากว่า

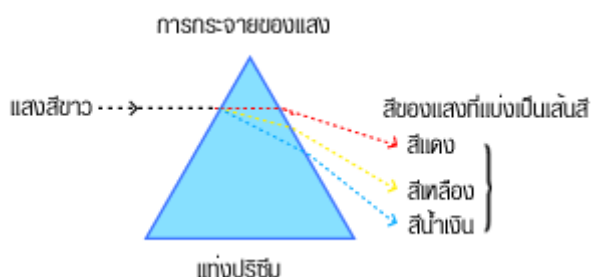


ภาพที่ 2.16

คำนวณวัตถุต่อปริมาตรของน้ำ เลนส์พลาสติก และเลนส์กระจก
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

3) ค่า Abbe (Abbe Number)

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านผ่านแท่งปริซึม จะเกิดแถบ 7 สี ความกว้างของแถบสีนี้คือ การเลือนของสี หรือ เรียกกันง่าย ๆ ว่า การกระจายของสี ปริมาณการกระจายของสีนี้ เรียกว่า ค่า Abbe วัสดุที่มีค่า Abbe มาก หมายถึงมีการกระจายของสีน้อย จะทำให้เลนส์ก่อให้เกิดภาพที่มีความคมชัดแสงและสีไม่ผิดเพี้ยน หรือกล่าวได้ว่า ค่า Abbe ปัจจัยสำคัญในการกำหนดความคมชัดของภาพโดยทั่วไปแล้ว เลนส์พลาสติกไฮอินเดกซ์อาจจะมีค่า Abbe ต่ำกว่าเลนส์พลาสติกทั่วไป



ภาพที่ 2.17

การกระจายของแสง
(ที่มา: โรงงานกรณีศึกษา)

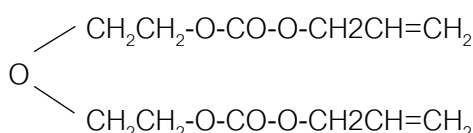
2.2.4 วัสดุหลักสำหรับการผลิตเลนส์พลาสติกทั่วไป (Hard Resin CR-39)

Diethylene glycol bis (allyl Carbonate) หรือ CR-39

Diethylene glycol bis (allyl Carbonate) หรือชื่อทางการค้า CR-39 เป็นผลิตภัณฑ์ของ PPG Industries ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Columbia Chemical Co., Inc. ให้กับแผนกเคมีของ PPG Industries CR เป็นตัวย่อของคำว่า Columbia Resin

การสังเคราะห์ CR-39

CR-39 เป็น Thermoset resin ที่ได้มาจากระบวนการ Polymerization ของ Diethylene glycol bis allyl carbonate (ADC) โดยมี Diisopropyl peroxydicarbonate (IPP) เป็น Catalyst ซึ่ง Allyl groups เป็นตัวทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Cross linking) เป็นพอลิเมอร์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2-16 และมีคุณสมบัติต่างๆ แสดงในตาราง 2-2



ภาพที่ 2.18

โครงสร้างทางเคมีของ CR-39 Resin

(ที่มา: W.R. Dial; 1955)

ตารางที่ 2.2
คุณสมบัติของ CR-39 Resin

Molecular weight	274.6
Specific gravity, 20 °C / 4 °C	1.143
Reflective index	1.4503
Surface tension, dyne/cm	35
Viscosity, cp at 25 °C	9
Boiling point, °C	160
Melting point, °C	-4 ~ 0
Flash point, °C	177

(ที่มา: W.R. Dial; 1955)

ประโยชน์ของ CR-39

CR-39 เป็นพอลิเมอร์พลาสติก ที่มีความใส แสงสามารถส่องผ่านได้ แต่ช่วงของแสงเหนือม่วง (Ultraviolet) ไม่สามารถผ่านได้ มีน้ำหนักเบาเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำหนักกระจก ทนต่อการขีดข่วน ทนต่อตัวทำละลาย ทนต่อสารเคมี และมีดัชนีหักเหต่ำกว่ากระจกเล็กน้อย CR-39 จึงเหมาะสำหรับเป็นวัสดุในการผลิตเลนส์แว่นตา เลนส์แว่นตากันแดด แว่นตานิรภัย โล่กันภัย และในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการใช้ CR-39 Resin หุ้มถังเชื้อเพลิงของเครื่องบิน เนื่องจาก CR-39 สามารถปะสานตัวเองได้ เมื่อถูกการโจมตีทางอากาศ อีกทั้งยังสามารถใช้ในการตรวจจับสนามแม่เหล็กได้

2.2.5 กระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติก

ผลิตภัณฑ์เลนส์แว่นตาพลาสติก มีหลายชนิดให้ผู้บริโภคได้เลือกใช้ ตามความต้องการของผู้บริโภค โดยผลิตภัณฑ์หลักๆ มี 3 ชนิดคือ

1) เลนส์พลาสติกชนิดหล่อ (Cast lens)

กระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกชนิดนี้ เป็นกระบวนการหล่อ (Casting process) ซึ่งหลังจากกระบวนการหล่อ สามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานได้เลย โดยเลนส์ชนิดนี้มีราคาถูกที่สุด

2) เลนส์พลาสติกชนิดเคลือบผิวแข็ง (Hard coat lens)

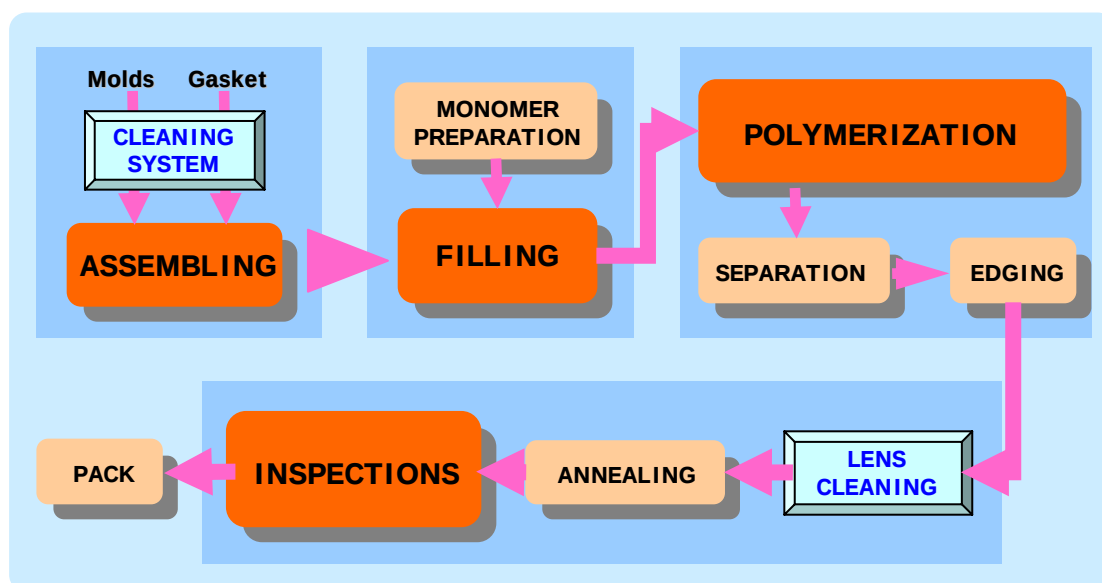
หลังจากผ่านกระบวนการหล่อ สามารถนำผลิตภัณฑ์เลนส์พลาสติกชนิดหล่อมาทำการเคลือบผิวแข็งด้วยกระบวนการเคลือบผิวแข็ง (Hard coating process) เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการขีดถู ทนสารเคมี และเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทกให้กับเลนส์ได้ดียิ่งขึ้น

3) เลนส์พลาสติกชนิดเคลือบผิวกันแสงสะท้อน (Anti-reflective coat lens)

การเคลือบกันแสงสะท้อนหลังจากเคลือบผิวแข็ง ด้วยกระบวนการ AR coating process จะทำให้ไม่เกิดเงาสะท้อนเมื่อสวมใส่ และเห็นภาพที่คมชัดยิ่งขึ้น และยังช่วยป้องกันรอยขีดข่วนได้ดียิ่งขึ้น

2.2.5.1 กระบวนการหล่อ (Casting process) เลนส์แว่นตาพลาสติก

การหล่อเลนส์แว่นตาพลาสติก เป็นการนำสารผสมที่เป็นของเหลว (Monomer solution) เดิมเข้าไปในแม่แบบกระจก (Monomer filling) ที่ประกอบด้วย แม่แบบด้านบน (Upper mold) และแม่แบบด้านล่าง (Lower mold) ซึ่งเป็นส่วนที่กำหนดค่าสายตา (Optical power) ของเลนส์โดยมีวงแหวนพลาสติก (Plastic gasket) เป็นตัวกำหนดความหนาของเลนส์ จากนั้นนำเข้าอบด้วยความร้อนเพื่อให้สารผสมที่เป็นของเหลวเกิดการ Polymerization ออกมาเป็นของแข็งหรือเลนส์แว่นตา และทำการเจียรขอบเลนส์เพื่อลบความคม (Edging) จากนั้นนำเลนส์แว่นตาที่ผ่านการเจียรขอบแล้วมาอบอ่อน (Annealing) เพื่อขจัดความเค้นตกค้าง (Residual stress) ตรวจสอบคุณภาพ (Inspection) ของเลนส์ และบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในซอง (Packing)

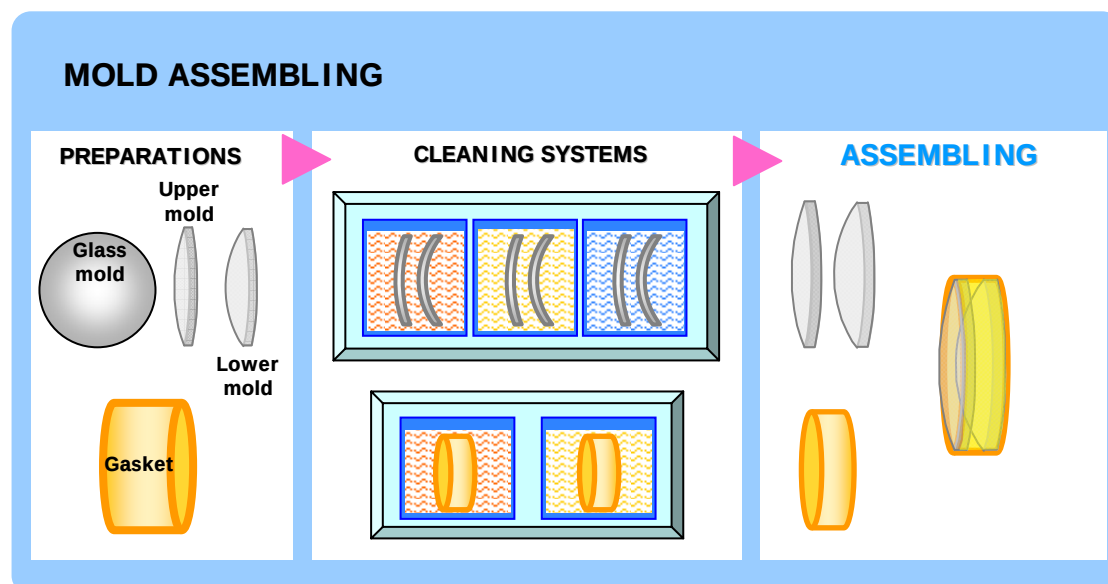


ภาพที่ 2.19

กระบวนการหล่อเลนส์แว่นตาพลาสติก

กระบวนการหล่อเลนส์แว่นตาพลาสติก

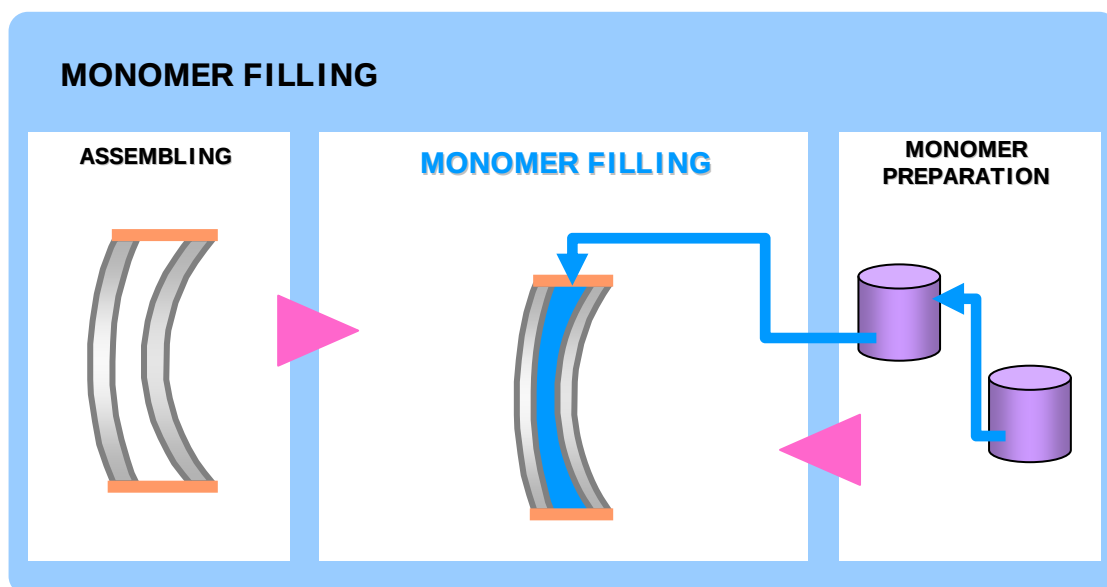
1. การประกอบแม่แบบกระจก (Mold assembling)



ภาพที่ 2.20

การประกอบแม่แบบกระจก

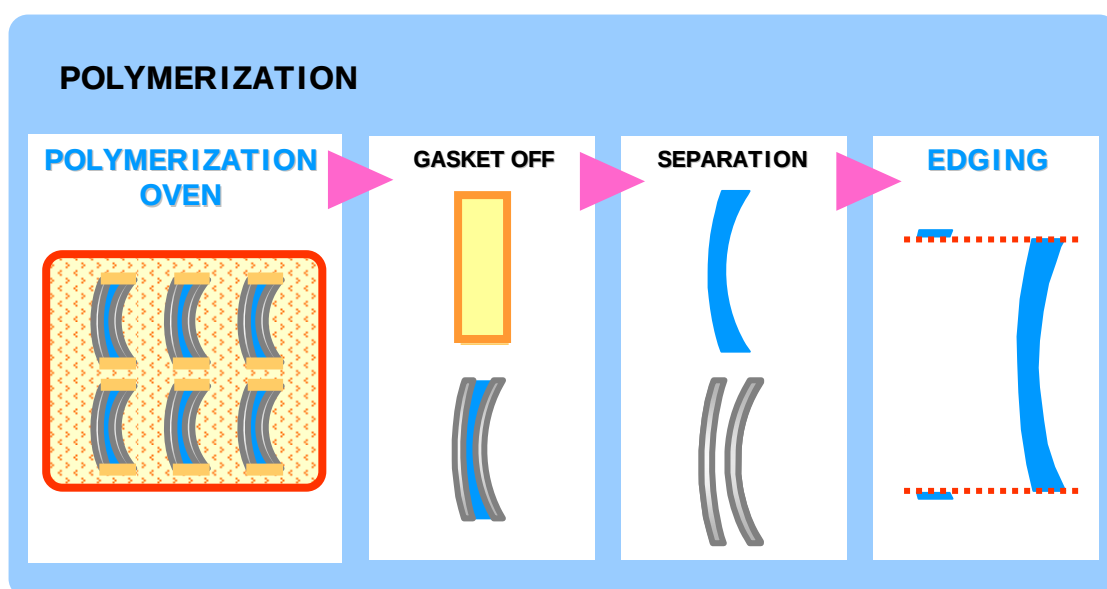
2. การเติมสารผสมที่เป็นของเหลวเข้าสู่แม่แบบกระจก (Monomer filling)



ภาพที่ 2.21

การเติมสารผสมที่เป็นของเหลวเข้าสู่แม่แบบกระจก

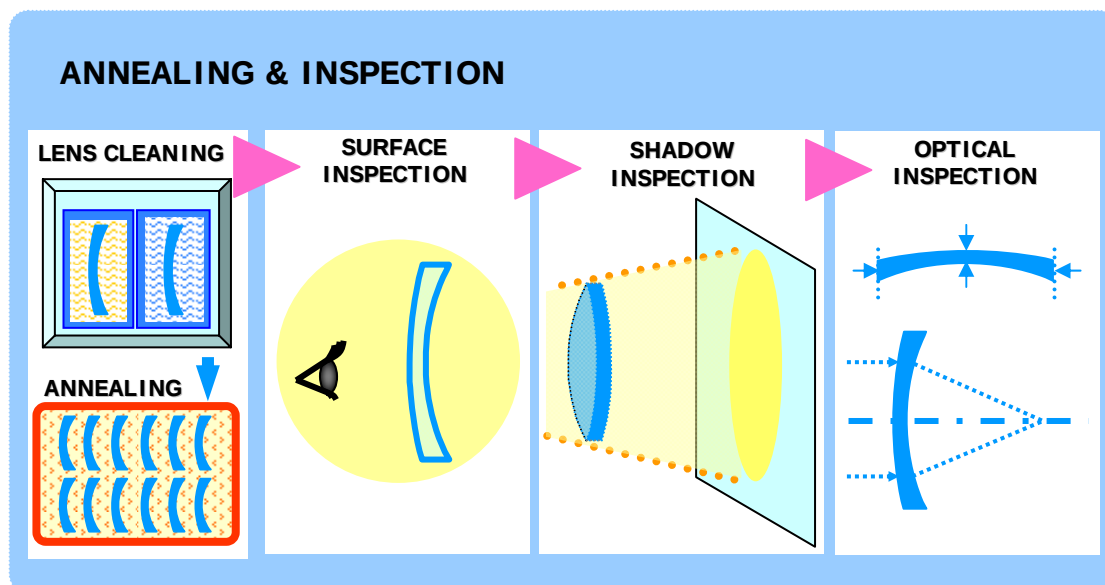
3. การอบด้วยความร้อนและการเจียรขอบเลนส์ (Polymerization and Edging)



ภาพที่ 2.22

การอบด้วยความร้อนและการเจียรขอบเลนส์

4. การอบอ่อนและการตรวจสอบ (Annealing and Inspection)

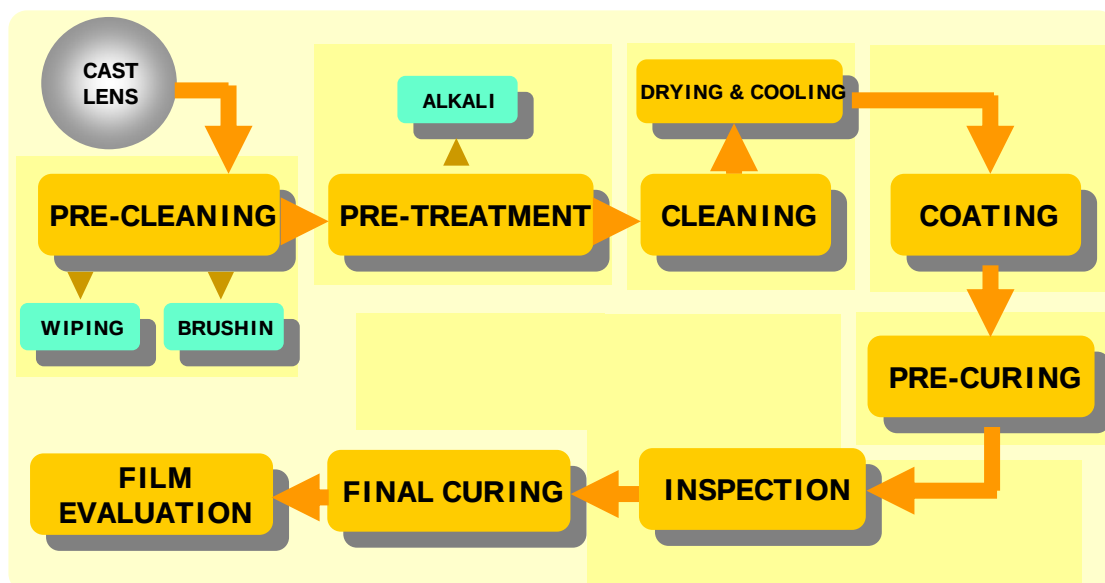


ภาพที่ 2.23

การอบอ่อนและการตรวจสอบ

2.2.5.2 กระบวนการเคลือบผิวแข็ง (Hard Coating process)

เป็นกระบวนการเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยการเคลือบสารเคมีลงบนเลนส์หล่อ (Cast lens) และอบให้ความร้อนเพื่อให้สารเกิดการแข็งตัวและยึดติดกับเลนส์หล่อ จากนั้นนำเลนส์แว่นตาที่ผ่านการเคลือบผิวแข็งแล้วมาตรวจสอบคุณภาพ (Inspection) ของเลนส์ และอบให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มเคลือบ (Film evaluation) และบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในซอง (Packing)

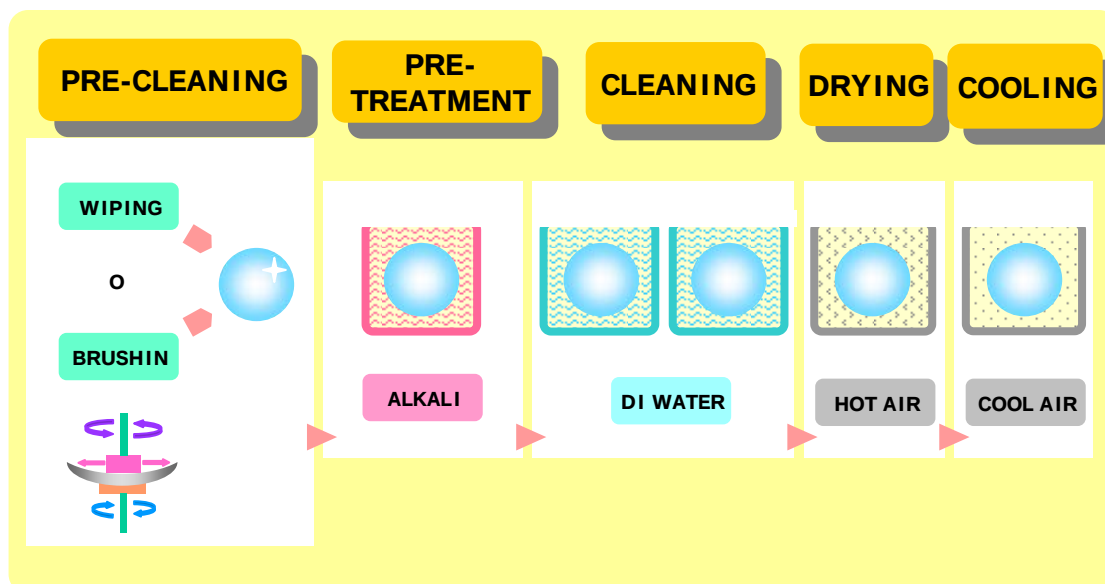


ภาพที่ 2.24

กระบวนการเคลือบผิวแข็งเลนส์แว่นตาพลาสติก

กระบวนการเคลือบผิวแข็งเลนส์แว่นตาพลาสติก

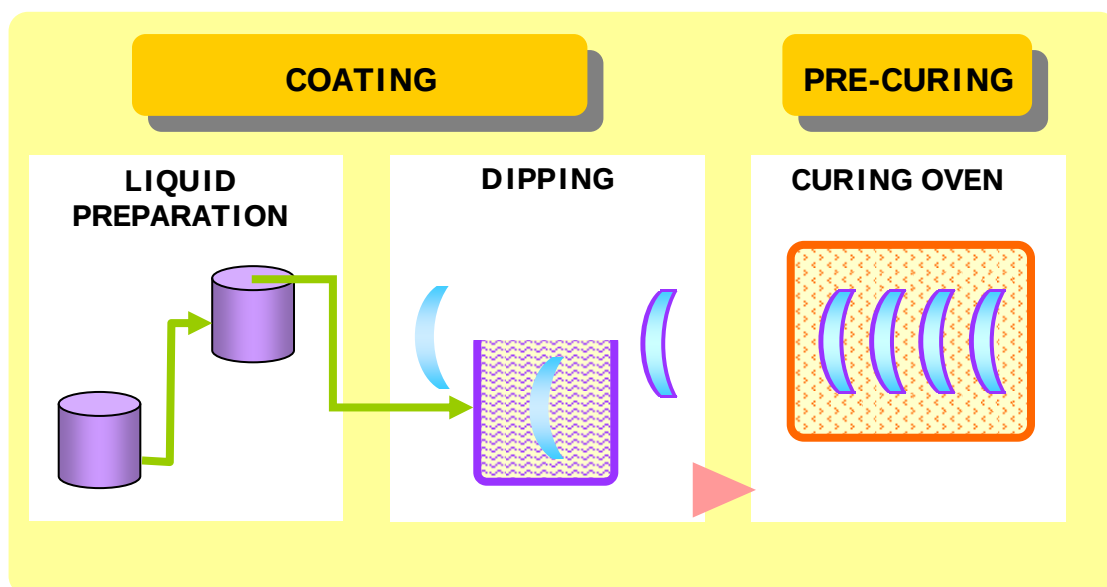
1. การเตรียมผิวหน้าเลนส์ก่อนการเคลือบผิวแข็ง



ภาพที่ 2.25

การเตรียมผิวหน้าเลนส์ก่อนการเคลือบผิวแข็ง

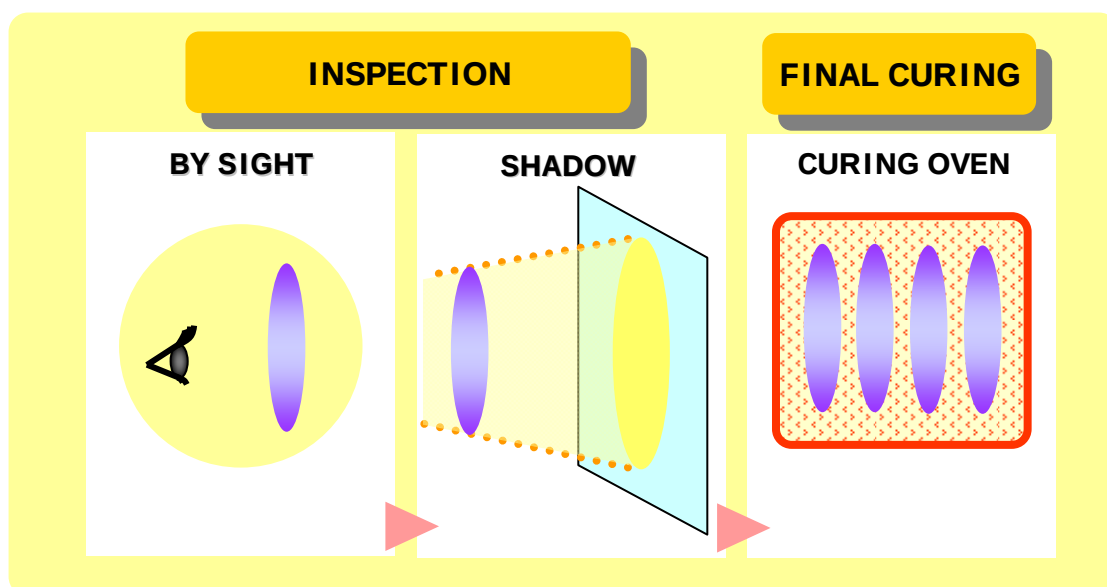
2. การเคลือบผิวแข็ง (Coating) และการอบให้ความร้อน (Pre-curing)



ภาพที่ 2.26

การเคลือบผิวแข็งและการอบให้ความร้อน

3. การตรวจสอบคุณภาพของเลนส์ (Inspection) และการอบครั้งสุดท้าย (Final curing)



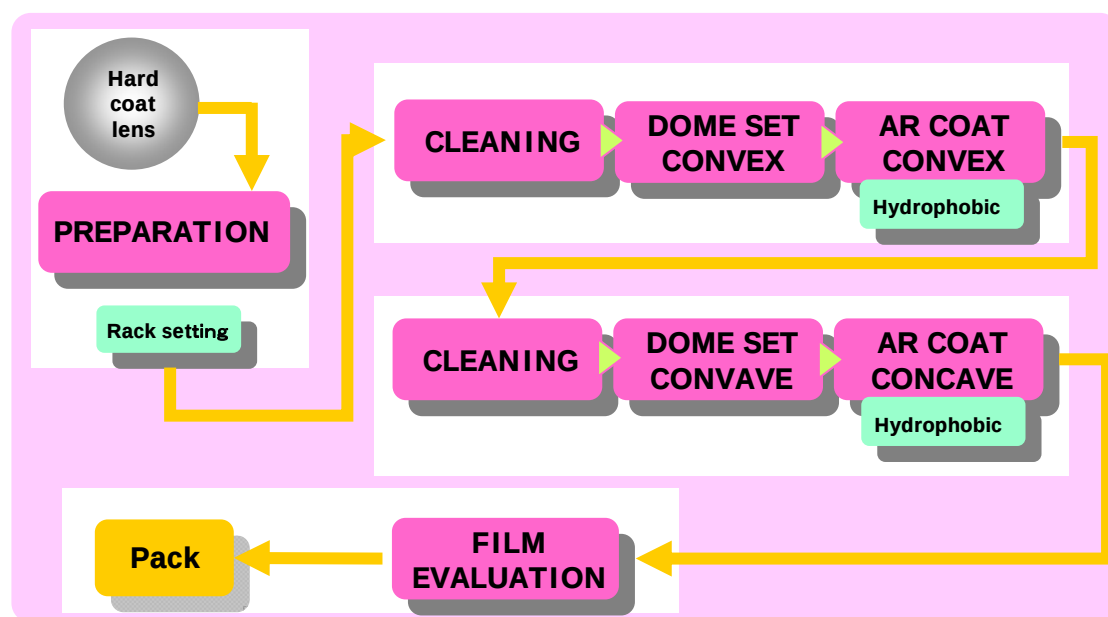
ภาพที่ 2.27

การตรวจสอบคุณภาพและการอบครั้งสุดท้าย

4. ทำการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มเคลือบ (Film evaluation) และบรรจุเลนส์ลงในซอง (Packing)

2.2.5.3 กระบวนการเคลือบผิวกันแสงสะท้อน (Anti-reflective coating process)

เป็นกระบวนการเคลือบผิวเลนส์ด้วยสารอินทรีย์เพื่อให้เลนส์มีคุณสมบัติในการส่งผ่านแสงเพิ่มขึ้น การสะท้อนของแสงลดลง โดยการเคลือบสารเคมีลงบนเลนส์ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวแข็ง (Hard coat lens) มาแล้ว จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มเคลือบ (Film evaluation) และบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในซอง (Packing)

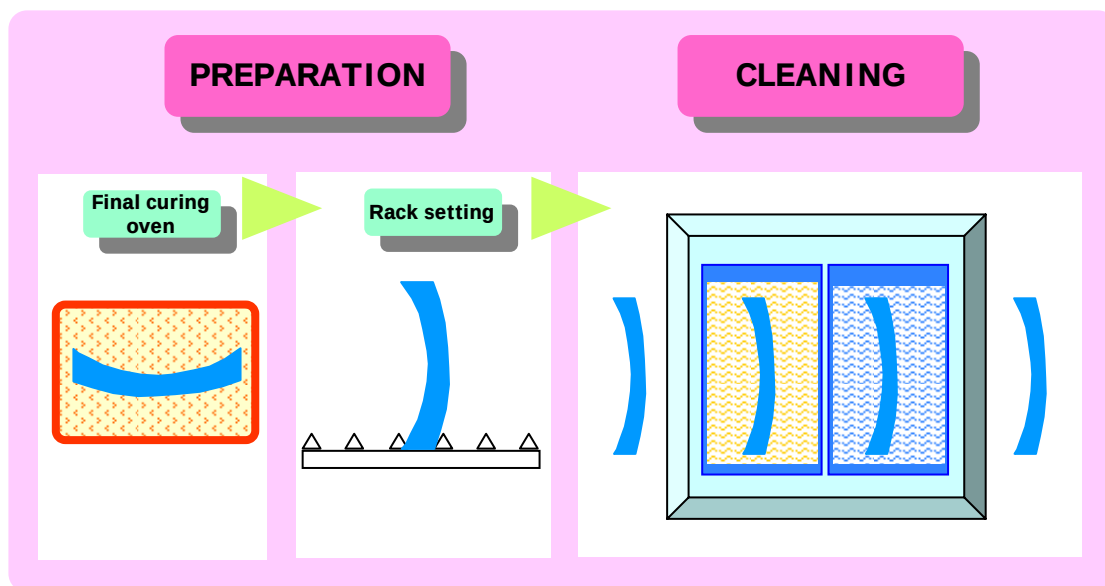


ภาพที่ 2.28

กระบวนการเคลือบผิวกันแสงสะท้อน

กระบวนการเคลือบผิวกันแสงสะท้อน

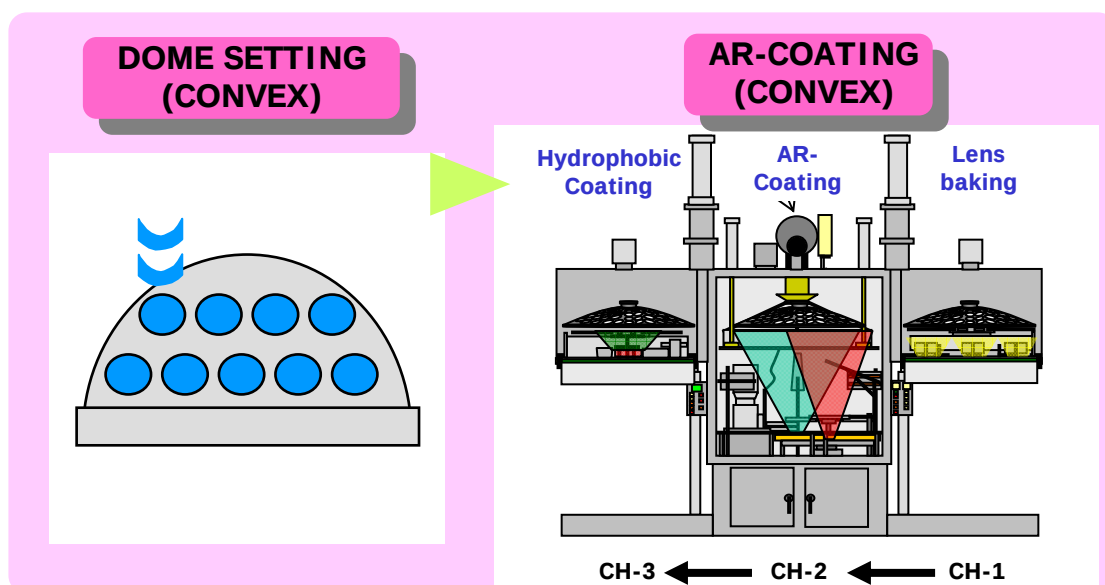
1. การเตรียมเลนส์ก่อนการเคลือบผิวกันแสงสะท้อน



ภาพที่ 2.29

การเตรียมเลนส์ก่อนการเคลือบผิวกันแสงสะท้อน

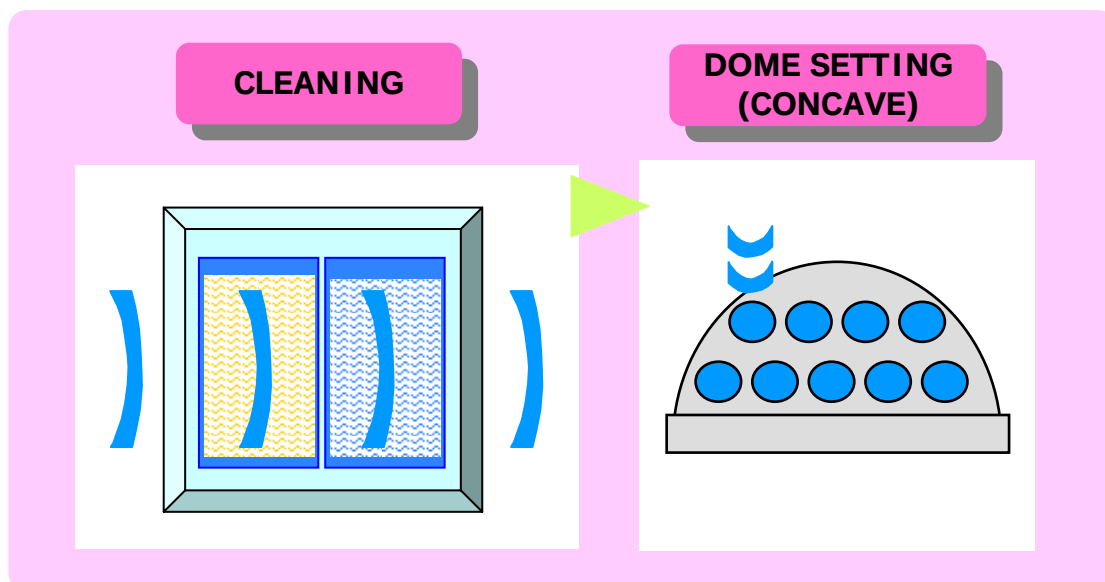
2. การจัดเลนส์ลงโดม (Dome setting) เพื่อทำการเคลือบผิวด้านนูน (AR-Coating (Convex)) และเคลือบกันน้ำ (Hydrophobic coating)



ภาพที่ 2.30

การจัดเลนส์ลงโดมและการเคลือบผิวด้านนูน

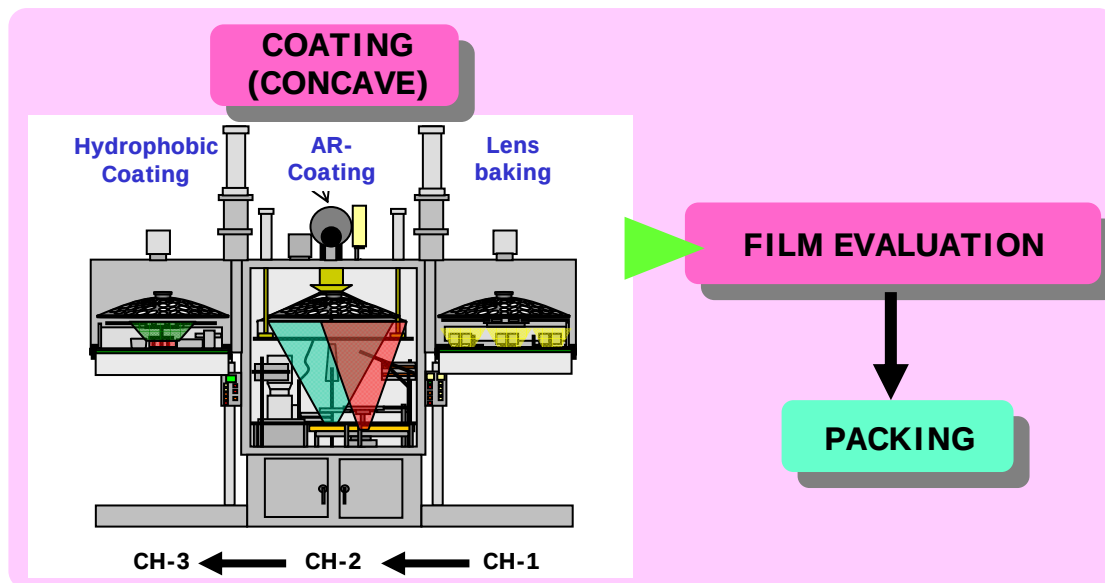
3. ทำความสะอาดเลนส์ (Cleaning) และจัดเลนส์ลงโดมเพื่อเคลือบผิวด้านเว้า



ภาพที่ 2.31

การทำความสะอาดและการจัดเลนส์ลงโดม

4. การเคลือบผิวด้านเว้า (AR-Coating (Concave)) เคลือบกันน้ำ (Hydrophobic coating) จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มเคลือบ (Film evaluation) และบรรจุเลนส์ลงในซอง (Packing)



ภาพที่ 2.32
การเคลือบผิวด้านเว้า