

ดัชนีการไหล หรืออัตราการไหลของพลาสติก และความเชื่อถือได้

วารุณี ฟางทวนิช

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

35 หมู่ที่ 3 เทศโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) หรือ อัตราการไหล (Melt Flow Rate, MFR) เป็นการบอกความสามารถในการไหลของพลาสติกหลอมเหลวแบบง่ายๆ มีหน่วยเป็น กรัมต่อ 10 นาที (g/10 min) ซึ่งใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อควบคุมคุณภาพของเทอร์โมพลาสติก วิธีการวัดมีกล่าวในวิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่

- ASTM D 1238: Standard Test Method for Melt Flow Rate of Thermoplastics by Extrusion Plastometer
- ISO 1133: Determination of the Melt Mass-Flow Rate (MFR) and Melt Mass-Flow Rate (MVR) of Thermoplastics

นอกจากนี้ยังมีมาตรฐาน DIN 53735, ISO 292, ASTM D3364, BS278 720A, BS2782 105C

การทดสอบนี้ใช้วัดว่าพอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดการไหลตัวอย่างไร จัดเป็นวิธีหนึ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือการไหลของวัสดุได้ โดยทั่วไปพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีช่วงความสามารถในการไหลแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ต่างกัน เช่น High Density Polyethylene (HDPE) มีเกรดใช้สำหรับกระบวนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้แบบเป่า (blow moulding) หรือแบบฉีด (injection moulding) แต่จะไม่

ใช้ HDPE เกรดเดียวกันกับการขึ้นรูปทั้ง 2 แบบ กระบวนการขึ้นรูปแบบฉีดต้องการวัสดุที่ไหลตัวง่าย (easy flowing) เมื่อหลอมเหลว ในขณะที่กระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าต้องการวัสดุที่ไหลช้ากว่า (stiffer flowing) เมื่อหลอมเหลว ดังนั้นการควบคุม “ความสามารถในการไหล” ของพอลิเมอร์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการขึ้นรูป

เราเรียกเครื่องมือวัดความสามารถในการไหลของพอลิเมอร์นี้ว่า Melt Indexer (MI) และเรียก ผลการวัดที่ได้ว่า Melt Flow Index (MFI) หรือ Melt Flow Rate (MFR) ของพอลิเมอร์ หลักพื้นฐานของการทดสอบนี้เป็นการวัดอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่าน standard die ภายใต้อุณหภูมิ และน้ำหนักกด (load) ตามที่กำหนด ซึ่งขอกกล่าวในขั้นตอนการทดสอบต่อไป

การทดสอบดัชนีการไหลของพลาสติก เริ่มพัฒนาจากวัสดุพอลิเอทิลีน ซึ่งใช้ภาวะการทดสอบที่ 190°C. และน้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม ต่อมาภาวะทดสอบนี้ได้ถูกนำมาใช้กับพลาสติกชนิดอื่นๆ เพื่อศึกษาความสามารถในการไหลของพลาสติกต่างชนิดกัน

ดัชนีการไหลเป็นข้อมูลพื้นฐานของวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก ค่าดัชนีการไหลสูง บ่งบอกว่าวัสดุนั้นมีความหนืดต่ำ (ความสามารถในการไหลง่าย) และเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ในกลุ่มเดียวกัน ค่าดัชนีการไหลต่ำ บอกลึงน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือโครงสร้างมีกิ่งก้าน (branch) น้อย

การไหลตัวของพลาสติกหลอมเหลวมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล กล่าวคือ วัสดุที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ย่อมไหลได้ง่ายกว่าพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือแสดงดังนี้

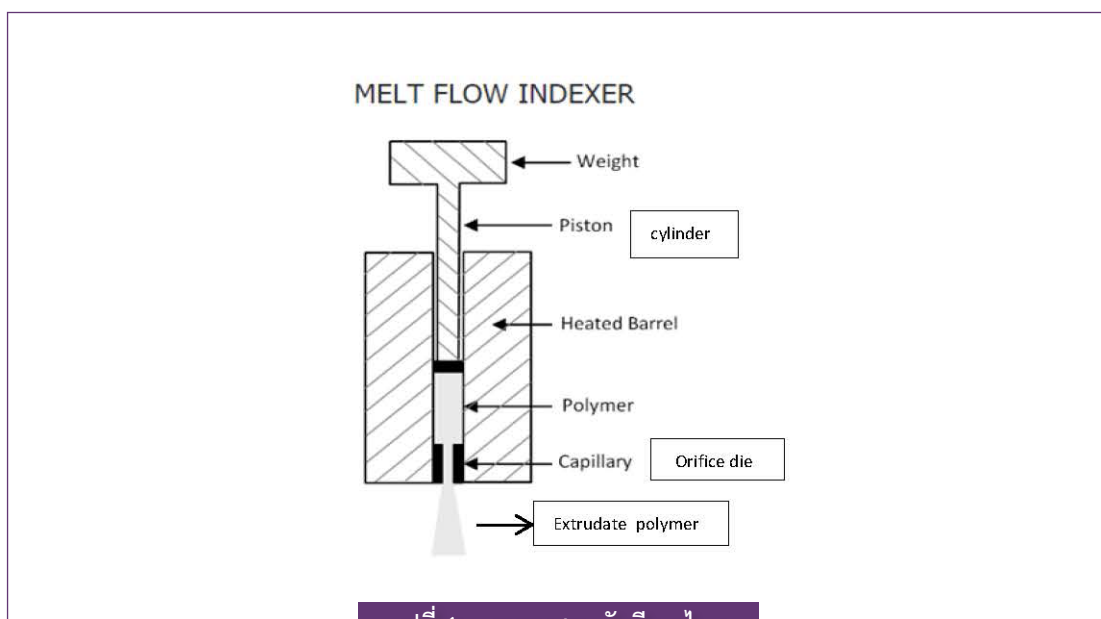
น้ำหนักโมเลกุลต่ำ = ไหลง่าย ดังนั้น ไหลง่าย = ค่าดัชนีการไหลสูง จึงกล่าวได้ว่า
ค่าดัชนีการไหลสูง = น้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือ ค่าดัชนีการไหลต่ำ = น้ำหนักโมเลกุลสูง

ผลการวัดนี้ช่วยบอกความแตกต่างของพอลิเมอร์ที่มีเกรดต่างกัน ปกติพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความต้านทานต่อการไหลได้มากกว่าพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการขึ้นรูปพอลิเมอร์อย่างเด่นชัดนัก นั่นเป็นเพราะกระบวนการผลิตพลาสติกมีส่วนประกอบของสารเติมแต่งอยู่ด้วย ซึ่งสารเติมแต่งมีผลต่อลักษณะเฉพาะในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น stability หรือ flowability ผลของสารเติมแต่งเหล่านี้ ก็ไม่ได้สังเกตได้ง่ายจากค่าดัชนีการไหล ลักษณะเฉพาะทางพฤติกรรมไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวนี้นี้ จึงขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ โดยค่าของตัวแปรก็อาจต่างออกไปจากกระบวนการในระดับสเกลใหญ่ ดังนั้น ค่าดัชนีการไหลที่วัดได้ จึงอาจไม่ได้สัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะเฉพาะในการขึ้นรูปก็ได้

การวัดดัชนีการไหลของพลาสติกเป็นเพียงข้อมูลการวัดค่าหนึ่งๆ เท่านั้น จึงไม่นิยมใช้ค่าดัชนีการไหลทำนายความสามารถในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ เพราะเป็นค่าวัดที่ได้เป็นเพียงจุดเดียว แต่จะเป็นประโยชน์สำหรับการควบคุมคุณภาพ

รวมถึงเปรียบเทียบความคงที่ของสมบัติด้านการไหลของวัสดุแบบ batch to batch นอกจากนี้ยังมีผู้ผลิตบางรายใช้ค่าดัชนีการไหลบอกปริมาณวัสดุรีไซเคิลที่สามารถใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

ขั้นตอนการทดสอบ : ด้วยเครื่องทดสอบดัชนีการไหล (Melt Indexer) เริ่มจากให้ความร้อนจนกระบอก (cylinder) ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด จากนั้นค่อยๆ ใส่ตัวอย่างพลาสติกลงในกระบอก แล้วนำน้ำหนักที่กำหนดวางลงบน piston ภาวะทดสอบที่ใช้อ้างอิงจาก ASTM D1238 ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อพลาสติกหลอมเหลว จากนั้นปล่อยให้ไหลผ่านช่อง die เส้นพอลิเมอร์(extrudate) ที่ไหลออกจาก die ในช่วงแรกให้ตัดทิ้ง เนื่องจากอาจมีฟองอากาศหรือสิ่งสกปรกปะปน ตัดเส้นพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกมาจาก die ตามระยะเวลาที่กำหนด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด และการไหลตัวของพลาสติกชนิดนั้นๆ ปล่อยให้เส้นพอลิเมอร์เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง นำมาชั่งและคำนวณดัชนีการไหล ในหน่วย กรัม/10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. การทดสอบดัชนีการไหล

ตารางที่ 1. ภาวะการทดสอบสำหรับพลาสติกชนิดต่างๆ

วัสดุ	อุณหภูมิ, °ซ.	น้ำหนักกด, กิโลกรัม
Acetals (copolymer and homopolymer)	190	1.05
	190	2.16
Acrylics	230	1.2
	230	3.8
Acrylonitrile-butadienestyrene	200	5.0
	220	10
	230	3.8
Acrylonitrile/butadiene/styrene/polycarbonate blends	230	3.8
	250	1.2
	265	3.8
	265	5.0
Cellulose esters	190	0.325
	190	2.16
	190	21.6
	210	2.16
Ethylenechlorotrifluoroethylene copolymer	271.5	2.16
	271.5	5.0
Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer	297	5.0
Polyamide	235	1.0
	235	2.16
	235	5.0
	275	0.325
	275	5.0
Perfluoro (ethylenepropylene) copolymer	372	2.16

วัสดุ	อุณหภูมิ, °ซ.	น้ำหนักกด, กิโลกรัม
Perfluoroalkoxyalkane	372	5.0
Polycaprolactone	80	2.16
	125	2.16
Polychlorotrifluoroethylene	265	12.5
Polyetheretherketone (PEEK)	400	2.16
Polyether sulfone (PESU)	360	10
	380	2.16
Polyethylene	125	0.325
	125	2.16
	190	0.325
	190	2.16
	190	5
	190	10
	190	21.6
	250	1.2
	310	12.5
	300	1.2
Polycarbonate	265	21.6
	265	31.6
Polymonochlorotrifluoroethylene	230	2.16
	365	5.0
Polypropylene	380	2.16
	190	5.0
Polypropyl sulfone (PPSU)	200	5.0
	230	1.2
Polystyrene	230	3.8

วัสดุ	อุณหภูมิ, °ซ.	น้ำหนักกด, กิโลกรัม
Polysulfone (PSU)	343	2.16
Polyethylene terephthalate (PET)	250	2.16
	285	2.16
Poly (vinyl acetal)	150	21.6
Polyvinyl chloride (PVC), rigid compound ^A	190	21.6
Poly (vinylidene fluoride)	230	5.0
	230	21.6
Poly (phenylene sulfide)	315	5.0
Styrene acrylonitrile	220	10
	230	3.8
	230	10
Styrenic Thermoplastic Elastomer	190	2.16
	200	5.0
Thermoplastic Elastomer-Ether-Ester	190	2.16
	220	2.16
	230	2.16
	240	2.16
	250	2.16
Thermoplastic elastomers (TEO)	230	2.16
Vinylidene fluoride copolymers ^B	120	5.0
	120	21.6
	230	2.16
	230	5.0
A Data has shown that greater repeatability and reproducibility when testing PVC can be obtained using ASTM D3364.		
B Tm = 100°C		

ทำอย่างไรให้ผลทดสอบเชื่อถือได้ จากขั้นตอนการทดสอบอย่างง่ายที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น พอจะเห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีการไหล ได้ดังนี้

1. Preheat time : ควรให้ความร้อน Cylinder ตามระยะเวลาที่กำหนดก่อนเริ่มการทดสอบ เพื่อให้การกระจายอุณหภูมิตลอดผนังของ Cylinder มีความสม่ำเสมอ

2. Moisture : ความชื้นในวัสดุพอลิเมอร์เป็นสาเหตุให้เกิดฟองอากาศในเส้นพอลิเมอร์หลอมเหลว (Extrudate) ที่อาจมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า การชั่งน้ำหนักขึ้น Extrudate ที่ตัดออกมาหลายๆ ชิ้นระหว่างทดสอบ ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ช่วยบอกการมีความชื้นในวัสดุพอลิเมอร์นั้นได้ ดังนั้นความชื้นที่ทำให้เกิดฟองอากาศมีผลต่อน้ำหนักของ Extrudate อย่างมีนัยสำคัญ

3. Packing : เมื่อใส่ตัวอย่างพลาสติกลงในกระบอกที่มีอุณหภูมิตามกำหนดแล้ว ควรอัดตัวอย่างภายใน Cylinder ด้วยแท่งอัดโดยให้แรงอัดกระทำทั่ว เพื่อกำจัดช่องอากาศบริเวณ

ระหว่างเม็ดตัวอย่างพลาสติก และเมื่อแท่ง Piston ถูกกดต่ำลงไปใน Cylinder จะถูกดันให้ปิดแนบกับตัวอย่าง จึงไม่มีอากาศที่เป็นสาเหตุให้ผลการทดสอบผันแปรได้

4. Volume of samples : ปริมาตรตัวอย่างทดสอบใน Cylinder ควรรักษาระดับให้คงที่ไว้ เพื่อให้ผลทดสอบซ้ำไม่ต่างกัน หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวอย่าง จะทำให้ความร้อนที่ส่งมาจากผนัง Cylinder ไปยังตัวอย่างทดสอบเปลี่ยนแปลงได้

นอกจากนี้ ความสะอาดเครื่อง สภาพเครื่องพร้อมใช้งาน การสอบเทียบเครื่อง และความชำนาญของผู้ทดสอบ เป็นปัจจัยสนับสนุนต่อผลการวัดดัชนีการไหลที่ถูกต้อง แม่นยำได้

อย่างไรก็ตาม หากมีข้อสงสัยในผลการวัดดัชนีการไหล เราควรตรวจทาน และปรับปรุงเครื่องมือให้พร้อมใช้งาน รวมถึงพิจารณาปัจจัยต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบ และจัดให้มีการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545. Plastic Testing Seminar, วันที่ 19-20 มิถุนายน, 2545, หน้า 40.

ASTM. 2020. ASTM D 1238 -13 : Standard Test Method for Melt Flow Rate of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. Maryland: ASTM.

Melt Flow Index, 2562. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://polymerdatabase.com/polymer%20physics/elt%20Flow.html>, [เข้าถึงเมื่อ 13 สิงหาคม 2562].

Vishu, H.S., 2007. Handbook of Plastic Technology and Failure Analysis, 3rd ed, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., pp. 177-184.