วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์เบื้องต้น

บทที่ 7 เส้นใย (Fibers)

http://matches.gr

1. ความหมายของเส้นใย (Definition of fiber)

- มีทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์
- ความยาว/เส้นผ่านศูนย์กลาง $\geq$ 100
- เป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของสิ่งทอ

2. สมบัติของเส้นใย (Fiber properties)

- มีผลโดยตรงต่อสมบัติของสิ่งทอที่ได้จากเส้นใย
- ถูกกำหนดโดยโครงสร้างภายนอก โครงสร้างภายใน และองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

2.1 ความยาวเส้นใย (Fiber length)

- เส้นใยธรรมชาติมีความยาวที่แตกต่างกันขึ้นกับ สภาพดินฟ้าอากาศ น้ำ สารอาหารในดิน แบ่งเป็น

  เส้นใยสั้น (Staple fiber):

  - ขนาดความยาวสั้นๆ
  - วัดในหน่วย มิลลิเมตร เซนติเมตร นิ้ว หรือ ฟุต

เส้นใยสั้น (Staple fiber): (ต่อ)

- เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดเป็นเส้นใยสั้น ยกเว้นใยไหม
- เส้นใยประดิษฐ์จะผลิตเป็นเส้นใยยาวก่อน แล้วจึงนำมาตัดเป็นเส้นใยสั้น

ใยฝ้าย

ใยแก้ว

เส้นใยยาว (Filament):

- มีความยาวในหน่วยเมตร กิโลเมตร หรือ หลา
- ในธรรมชาติมีเฉพาะใยไหมที่เป็นเส้นใยยาว

เส้นใยประดิษฐ์:

- เส้นใยยาว ทดแทนใยไหม
- เส้นใยสั้น ทดแทนขนสัตว์ ใยฝ้าย ลินิน

2.2 ความละเอียดของเส้นใย (Fiber fineness)

- เป็นปัจจัยกำหนดการใช้งานและผิวสัมผัสของสิ่งทอ
- เส้นใยหยาบ ให้ผิวสัมผัสที่กระด้าง
- เส้นใยละเอียด ให้ผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่ม ทิ้งตัวดี

ความละเอียดของเส้นใย ดูจาก

1. ภาคตัดขวางหรือความกว้างของเส้นใย (μ) แต่ไม่นิยมเพราะความกว้างของเส้นใยไม่ค่อยคงที่ตลอดเส้น
2. อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อความยาวของเส้นใย

เทกซ์ (tex): น้ำหนักที่เป็นกรัม ต่อความยาว 1000 เมตร

ดีเนียร์ (denier): น้ำหนักที่เป็นกรัม ต่อความยาว 9000 เมตร

(1/9) denier = 1 tex

ตัวอย่าง: เส้นใยยาว 4500 เมตร หนัก 50 กรัม มีความละเอียดเท่าใด (ตอบเป็นหน่วย denier และ หน่วย tex)

เส้นใยยาว 4500 เมตร หนัก 50 กรัม

ถ้าเส้นใยยาว 1000 เมตร จะหนัก (50*1000)/4500 = 11.11 กรัม

11.11 tex

เส้นใยยาว 4500 เมตร หนัก 50 กรัม

ถ้าเส้นใยยาว 9000 เมตร จะหนัก (50*9000)/4500 = 100 กรัม

100 denier

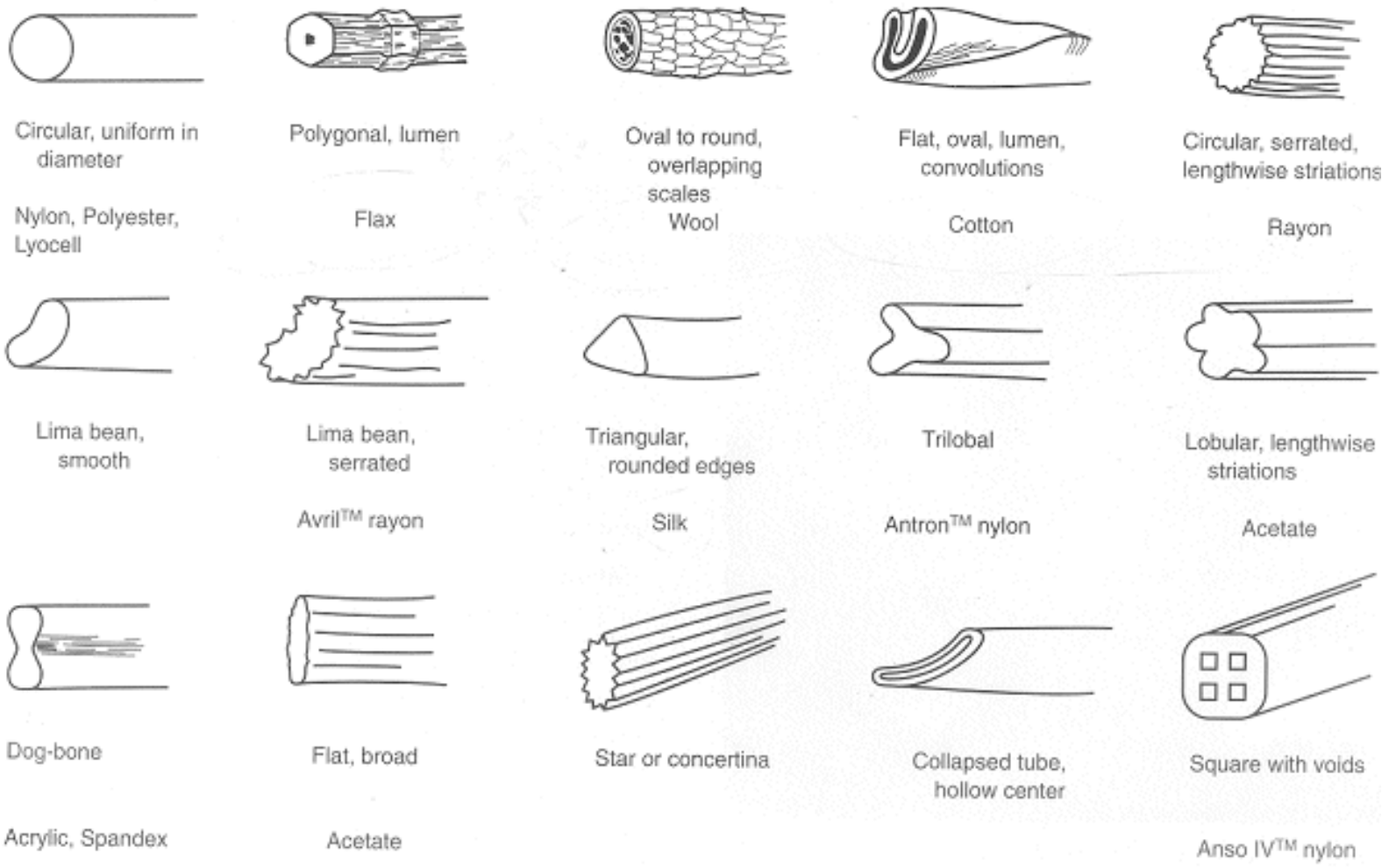
(1/9) denier = 1 tex

เลือกความละเอียดของเส้นใยให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

- เส้นใยสำหรับทอเสื้อผ้า ความละเอียด 1-7 denier
- เส้นใยสำหรับทอพรม ความละเอียด 15-24 denier

2.3 รูปทรงภาคตัดขวางของเส้นใย (Cross-section shape)

ส่งผลต่อความมันวาว ความฟู ความละเอียดอ่อน ผิวสัมผัส ของสิ่งทอที่ได้



http://www.hemptraders.com/v/vspfiles/templates/Jade2/images/textile1.gif

2.4 ความหยิกบนเส้นใย (Fiber Crimp)

- ความหยิกบนเส้นใยเกิดจาก
  - การเรียงตัวในลักษณะหยิกงอตามโครงสร้างโมเลกุล
  - การดัดแปลงรูปร่างของเส้นใยในกระบวนการผลิต
- ช่วยให้เส้นใยเกาะกันแน่นขึ้นเมื่อปั่นเป็นเส้นด้าย
- เพิ่มความสามารถในการคืนตัว
- ทนต่อการขูดขีด
- ดูดซึมน้ำได้ดี ก่อให้เกิดความสบายเมื่อสัมผัสผิว
- <u>แต่</u> ความมันวาวลดลง

http://webpages.charter.net/alpacaatlantic/fiber.htm

$$\text{Crimp ratio} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

l = ความยาวของเส้นใยที่คลายออกจนเป็นเส้นตรง

l_0 = ความยาวของเส้นใยหยิก

http://textilelearner.blogspot.com/2011/07/polyester-fiber-characteristics-of_11.html

2.5 ความแข็งแรงของเส้นใย (Fiber strength)

- เส้นใยต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายและทอเป็นผืน โดยไม่ขาดจากกัน
- เส้นใยธรรมชาติมักมีความแข็งแรงไม่เท่ากัน แม้เป็นเส้นใยเดียวกัน
- ความแข็งแรงของเส้นใย (ความเหนียว)
  - คิดจากปริมาณแรงที่ดึงจนขาดต่อความละเอียดของเส้นใย
  - หน่วย g/denier หรือ g/tex
  - เรียก ความทนแรงดึง ณ จุดขาด หรือ tenacity
- เส้นใยสิ่งทอต้องมี tenacity $\geq$ 2.5 g/denier
- สมบัติของเส้นใยที่ต้องพิจารณาร่วมกับ tenacity คือ ระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break)
- ค่า elongation at break มีความสำคัญมากต่อเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเสื้อยืด บริเวณคอเสื้อ และการยืดของเส้นใยขณะทอ

2.6 ความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้าย (Spinnability)

- เส้นใยธรรมชาติบางชนิดเท่านั้นที่เหมาะจะปั่นเป็นเส้นใย
- เส้นใยที่สามารถนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายได้ต้องมีสมบัติการยึดเกาะ (cohesiveness) ซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของเส้นใย มีร่อง มีเกล็ด บิดเป็นเกลียว เช่น ใยฝ้าย ใยไหม ใยขนสัตว์ ใยประดิษฐ์ที่ทำให้ผิวขรุขระหรือหยิกงอ

2.7 ความสามารถในการดัดงอ (Flexibility)

- เส้นใยที่จะนำไปผลิตเป็นสิ่งทอ ต้องบิดตัวหรือโค้งงอได้โดยไม่หักหรือขาด
- เมื่อปล่อยแรงบิดหรือโค้งงอ สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้
- ส่งผลโดยตรงต่อความทนทาน ความสวยงาม การทิ้งตัว พลิ้วไหว ของเสื้อผ้า
- บ่งบอกความเป็นไปได้ในการทำจีบถาวร พับ หรือจับจีบ
- เส้นใยขนสัตว์มี flexibility สูง จึงมีความทนทาน ทิ้งตัวดี ทำจีบถาวรได้

2.8 สภาพยืดหยุ่น (Elasticity)

- elasticity คือ ความสามารถในการยืดตัวออกเมื่อถูกดึง และหดกลับเมื่อปล่อยแรงดึง
- การคืนตัวจากแรงยืด (Elastic recovery) คำนวณจากร้อยละของความยาวของเส้นใยที่หดกลับเทียบกับความยาวที่ยืดออก

  เช่น ระยะของเส้นใยที่หดตัวกลับ = ระยะของเส้นใยที่ยืดออก

  elastic recovery = 100%
- เส้นใยสแปนเดกซ์ (spandex) เส้นใยขนสัตว์ ใยไหม มีสภาพยืดหยุ่นสูง
- เส้นใยลินิน ปอ ฝ้าย มีสภาพยืดหยุ่นต่ำ
- สภาพยืดหยุ่น มีผลต่อการรักษารูปทรงของเสื้อผ้า
- สภาพยืดหยุ่นดี มีการคงตัวของเส้นใย (dimension stability) สูง เสื้อผ้ารักษารูปทรงได้ดี ไม่ยืดหรือหด ไม่ยับง่าย และทนต่อการขัดถู

2.9 การยืดตัว (Elongation)

- elongation คือ ระยะของการยืดออกตามทิศทางที่ได้รับแรงดึงจนกระทั่งเส้นใยขาด
- นิยมบอกในรูปของ ร้อยละของการยืด (% elongation) เมื่อเทียบกับความยาวเดิมของเส้นใย

เช่น เส้นใยยาว 10 cm ใช้แรงดึงจนขาด วัดความยาวของเส้นใย ณ จุดขาด ได้ 12 cm

$$\% \text{ elongation} = \frac{12 - 10}{10} \times 100 = 20\%$$

สภาพยืดหยุ่น (Elasticity) และ การยืดตัว (Elongation) เป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบผ้าสำหรับผลิตเสื้อผ้าที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น ชุดกีฬา ชุดชั้นใน ถุงน่อง ผ้าบริเวณเข่า ข้อศอก เป็นต้น

3. การจำแนกประเภทของเส้นใย (Definition of fiber)

3.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

3.2 เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fiber)

4. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fiber)

- ศตวรรษที่ 17 Hook อัดรีดของเหลวผ่านรูเล็กๆ และต่อเนื่องเป็นเส้นยาว เมื่อของเหลวเย็นและแข็งตัว ได้เป็นเส้นใย
- ศตวรรษที่ 20 Count de Chardonnet ผลิตเส้นใยจากสารละลายเซลลูโลส
- ค.ศ. 1910 สหรัฐอเมริกาผลิตเรยอนเพื่อการค้า
- ค.ศ. 1925 ผลิตอะซิเตต
- ค.ศ. 1938 ผลิตไนลอน
- 70% ของเส้นใยประดิษฐ์ ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
- 30% ของเส้นใยประดิษฐ์ ได้จากวัตถุดิบที่เป็นธรรมชาติ

เส้นใยประดิษฐ์ที่สำคัญ

ข้อดีของเส้นใยประดิษฐ์เหนือเส้นใยธรรมชาติ: เหนียว ทนทาน คงตัว ไม่ยับง่าย ดูแลรักษาง่าย

แต่ ให้ความสบายในการสวมใส่น้อยกว่า ดูดความชื้นต่ำกว่า นำความร้อนไม่ดี

4.1 ไนลอน (Nylon)

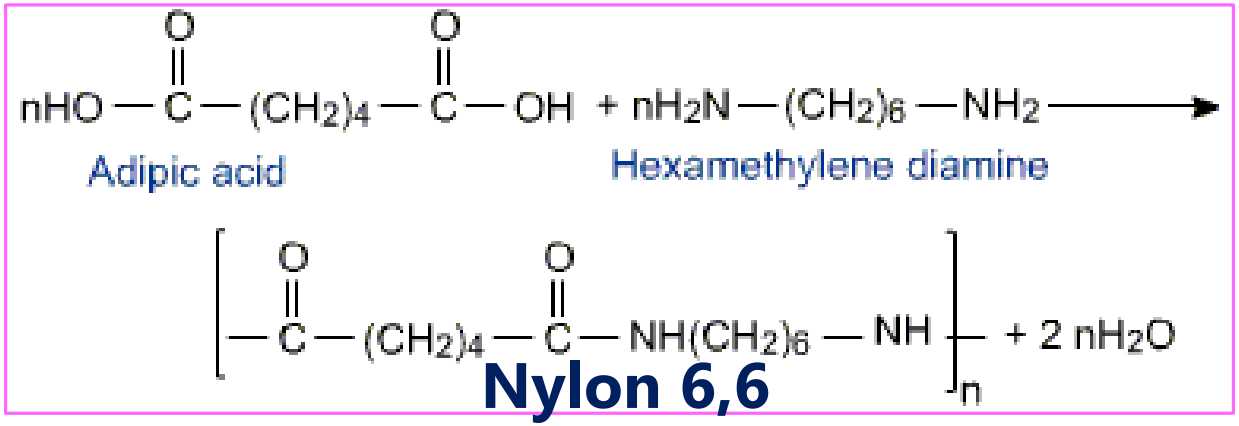
- ไนลอน (nylon) หรือ พอลิเอไมด์ (polyamide) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแรกของโลก
- คิดค้นโดย Dr. Wallace Carothers และบริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา
- Nylon มีหลายชนิด ได้แก่
  - Nylon 6
  - Nylon 6, 6
  - Nylon 11
  - Nylon 12
  - Nylon 6, 10

4.1 ไนลอน (Nylon) (ต่อ)

- Nylon6 และ Nylon 6,6 ผลิตและใช้มากที่สุดมนอุตสาหกรรมสิ่งทอ

<u>การผลิต Nylon 6,6</u>

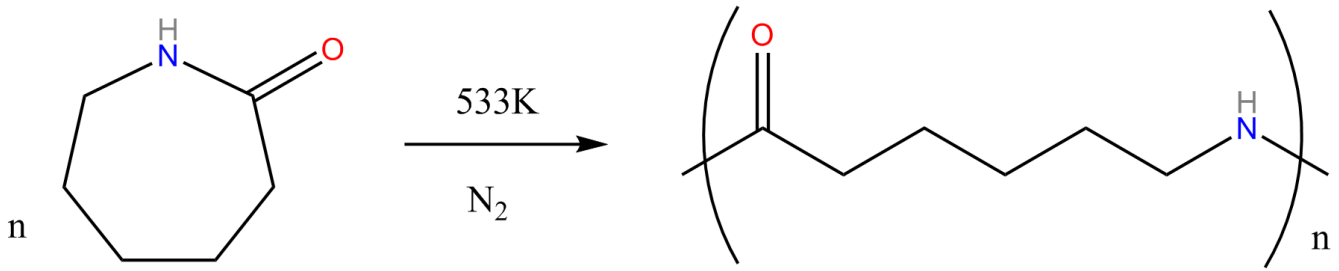
- Nylon 6,6 ใช้ถ่านหิน หรือน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อสังเคราะห์ hexamethylene diamine และ adipic acid
- ปฏิกิริยาระหว่าง hexamethylene diamine และ adipic acid ได้เกลือไนลอน
- พอลิเมอไรเซชันเกลือไนลอนที่อุณหภูมิสูง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ในหม้อความดัน เพื่อกำจัดน้ำออก และได้ Nylon 6,6



- เก็บในรูปของเกล็ดหรือเม็ด เพื่อนำเข้าสู่การขึ้นรูปเป็นเส้นใยต่อไป

การผลิต Nylon 6

- การผลิต Nylon 6 เริ่มจาก cyclohexanone – oxime ที่ได้จากถ่านหิน ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันแล้วเปลี่ยนสภาพไปเป็น carprolactam
- Carprolactam เกิดปฏิกิริยา ring opening polymerization โดยให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายในหม้อที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม
- เก็บในรูปของพอลิเมอร์เม็ด เพื่อนำเข้าสู่การขึ้นรูปเป็นเส้นใย



Carprolactam **Nylon 6**

สมบัติโดยทั่วไปของ Nylon

https://www.tes.com

- มีสีขาว มันวาว (ความมันวาวมีหลายระดับขึ้นกับความต้องการของลูกค้า)
- การลดความมันวาวของไนลอน ทำได้โดยการเติม TiO_2 เข้าไปในเส้นใย
- มีความคงทนสูง

  ไนลอนที่ใช้ทำเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม

  ความทนแรงดึงของเส้นใย ณ จุดขาด 3.0 – 6.0 กรัม/ดิเนียร์

  ไนลอนที่ใช้ทำเข็มขัดนิรภัย ผ้าใบยางรถยนต์

  ความทนแรงดึงของเส้นใย ณ จุดขาด 6.0 – 9.5 กรัม/ดิเนียร์
- ทนต่อการขัดถู มีสภาพยืดหยุ่นสูง
- คืนตัวจากแรงอัดได้ดี ยับยาก

สมบัติโดยทั่วไปของ Nylon (ต่อ)

- ดูดความชื้นได้น้อยมาก ผิวเรียบ เส้นใยชิดกัน เส้นด้ายแน่น ระบายอากาศไม่ดี ทำให้ใส่ไม่สบาย
- แก้ไขโดย ทำให้เป็นเส้นใยหยิก เพิ่มความฟูและผิวสัมผัสที่ดีขึ้น
- Nylon เป็นเส้นใยประเภท Thermoplastic fiber

  - Nylon 6 $T_m = 210^{\circ}C$
  - Nylon 6,6 $T_m = 250^{\circ}C$

- เมื่อ Nylon ถูกเปลวไฟจะหลอมเหลวและหดตัวออกจากเปลวไฟ แล้วค่อยเกิดการติดไฟ กลายเป็นหยด มีกลิ่นฉุน ขี้เถ้าเป็นเม็ดแข็งสีน้ำตาลดำ

การใช้ประโยชน์ Nylon

- Nylon 6 ใช้ทำเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มทั่วไป ทนทาน ยืดหยุ่นสูง รักษารูปทรงได้ดี เคลื่อนไหวร่างกายสะดวก

  - ชุดกีฬา ถุงเท้า ถุงน่อง เสื้อผ้าชั้นในสตรี

  - ทอแบบแน่น: ผ้าร่มกันน้ำ เสื้อกันลม ชุดว่ายน้ำ เสื้อกันฝน ชุดเล่นสกี แจ็คเก็ตกันหนาว

  - พรมปูพื้น ผ้าบุเก้าอี้ ร่มชูชีพ เต็นท์ กระเป๋า ถุงนอน เชือก

- Nylon 6,6 นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

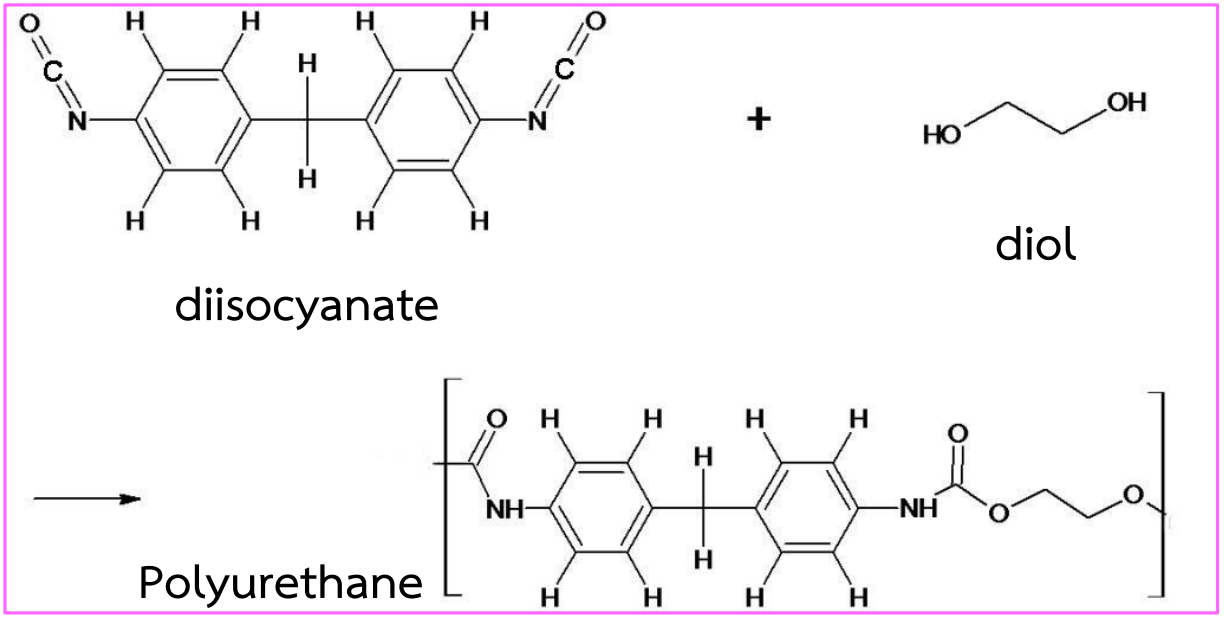
  - ผ้าใบยางรถยนต์ อวน ตาข่าย แปรง เอ็นที่ใช้ในอุปกรณ์กีฬา

4.2 สแปนเดกซ์ (Spandex)

- เป็น elastomer fiber ดึงยืดได้ถึง 450 – 700%
- คืนตัวทันทีที่ปล่อยแรงดึง
- เหมาะกับการทอเครื่องนุ่งห่มที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง โดยเฉพาะบริเวณ เอว สะโพก ศอก เข่า
- การสังเคราะห์:

  Soft segment: ยืดและคลายตัว

  Rigid segment: เพิ่มความแข็งแรง



สมบัติโดยทั่วไปของสแปนเดกซ์

- ความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ
- ความทนแรงดึง ณ จุดขาด 0.6 – 0.9 gpd
- สภาพยืดตัวสูงมาก (450 – 700%) อาจยืดได้ถึง 750% ก่อนขาด
    - การยืดของเสื้อผ้าปกติ 25 – 30%
    - การยืดของเสื้อผ้าที่ต้องการความยืดหยุ่นพิเศษ 30 – 50%
- การคืนตัวจากแรงอัดดีมาก ทิ้งตัวดี ดูดความชื้นต่ำ
- ทนทานต่อแสงแดด การขัดสี การยืดหด เหงื่อไคล น้ำมันจากร่างกาย
- ทำความสะอาดง่าย แต่ควรหลีกเลี่ยงการซักที่อุณหภูมิสูง
- ไม่ควรซักในเครื่องหรืออบแห้งบ่อยๆ เพราจะทำให้เสื่อมสภาพได้ง่าย

การใช้ประโยชน์สแปนเดกซ์

- ใช้ทอเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มที่ต้องการให้รัดกระชับ ยืดหยุ่นได้ดี
- เส้นใยสแปนเดกซ์ที่หุ้มด้วยเส้นใยอื่น เช่น ฝ้าย เรยอน ไนลอน
  - ผลิตเป็นชุดชั้นใน เสื้อแจ็กเก็ต กางแกง ชุดว่ายน้ำ สเตย์ เข็มขัด สายรัด ถุงน่อง

5. การผลิตเส้นใย (Processing of fiber)

มี 3 ขั้นตอนหลัก

1. เตรียมวัตถุดิบ หรือสารละลายตั้งต้น
    - spinning solution
    - spinning dope
    - viscous
    - syrupy dope
    - dope
    - วัตถุดิบอาจเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (เซลลูโลส, โปรตีน) หรือสารเคมีที่ถูกสังเคราะห์อยู่ในรูปเรซินก็ได้
2. อัด dope ผ่านหัวรีดเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง
3. ทำให้เส้นใยอยู่ตัว เกิดจากการระเหย แข็งตัว หรือเย็นตัวของเส้นใย

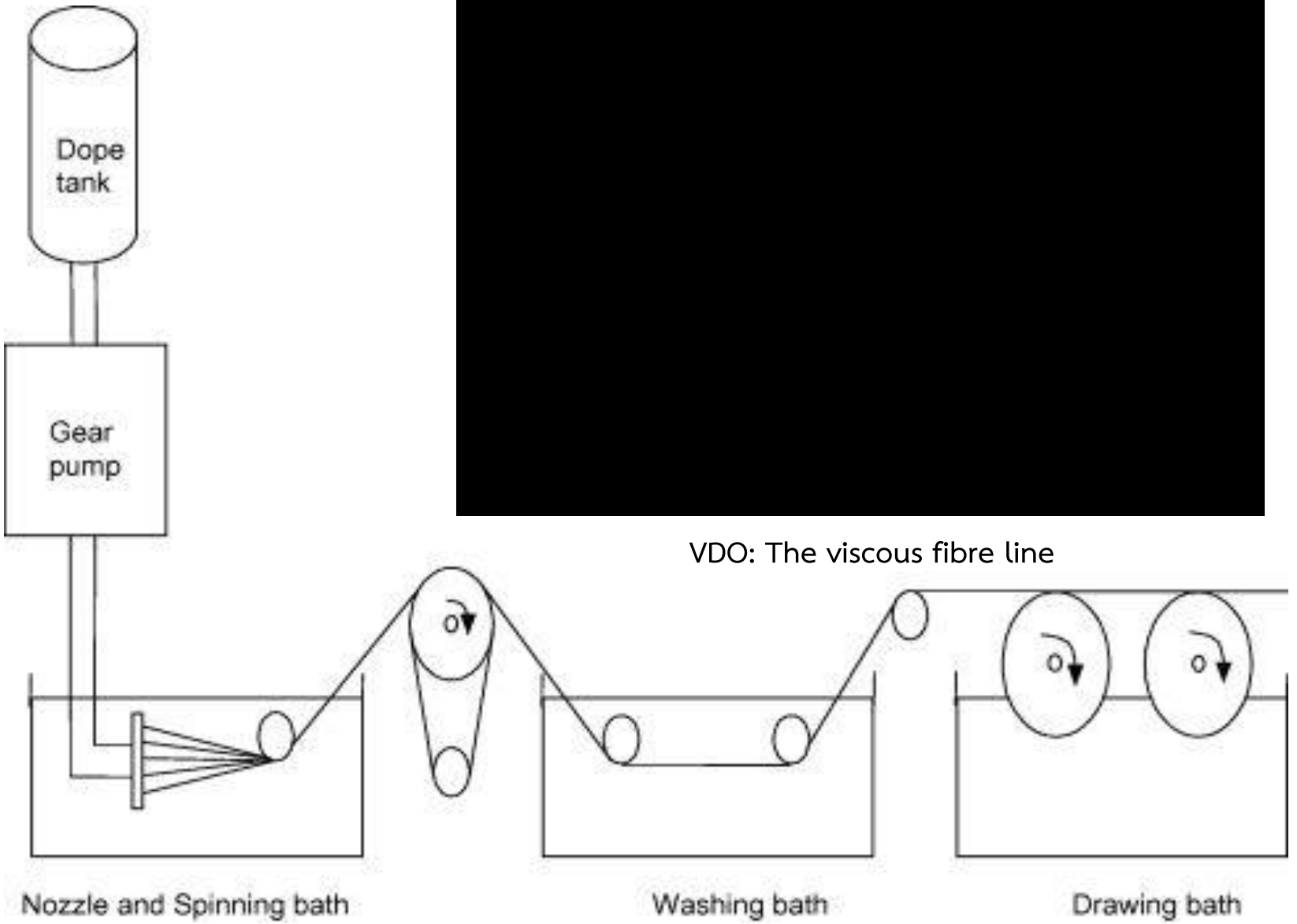
การผลิตเส้นใยมี 3 วิธี

1. การปั่นเส้นใยแบบเปียก (wet spinning or solution spinning)

- วัตถุดิบถูกเปลี่ยนโครงสร้างชั่วคราวด้วยสารเคมี แล้วจึงสร้างตัวกลับขึ้นมาใหม่ เรียกว่า regenerate
- เช่น การผลิตเรยอนจาก เซลูโลส โดยนำเซลลูโลสมาละลาย แล้วทำมห้กลับมาเป็นโครงสร้างของดซลลูโลสอีกครั้งหนึ่ง เรียกว่า regenerated cellulose
- ปั่นเส้นใยให้เป็นเส้นแลงไปในอ่างน้ำหรือสารละลายที่เหมาะสม
- เส้นใยเกิดการแข็งตัวในอ่างสารละลาย

- เส้นใยจะแข็งแรงหลังจากแห้งสนิท
- กระบวนการค่อนข้างซับซ้อน
- ต้องมีการฟอก ล้างเส้นใยภายหลังกระบวนการ เพื่อให้เส้นใยสะอาดก่อนนำไปใช้งาน
- ใช้ในกระบวนการผลิต เรยอน สแปนเดกซ์

VDO: The viscous fibre line



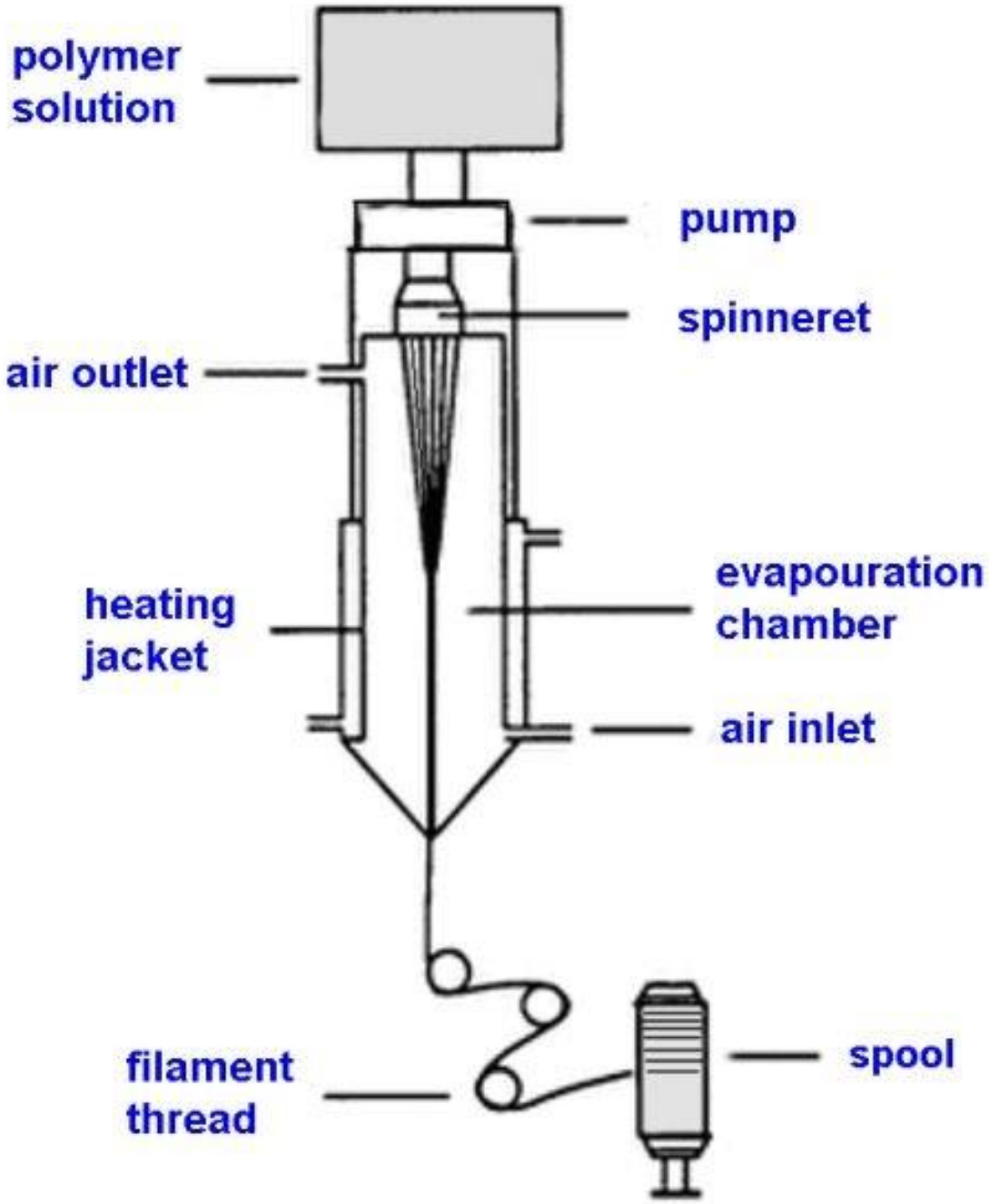
http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/fibre-and-filament-production/dry-spinning/

2. การปั่นเส้นใยแบบแห้ง (dry spinning or solvent spinning)

- มี 3 ขั้นตอนหลัก
    1. ละลายเรซิน (วัตถุดิบ) ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม
    2. ปั่นเส้นใยในกระแสลมอุ่น
    3. ระเหยตัวทำละลายออกเพื่อให้เส้นใยแข็งตัว
- กระบวนการสำคัญของ dry spinning คือ การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม และการกักเก็บตัวทำละลายหลังการระเหยและนำกลับมาใช้ใหม่
- ไม่ต้องมีการล้างเส้นใยหลังกระบวนการผลิต
- ใช้ผลิตเส้นใยอะซิเตท ไตรอะซิเตท อะคริลิก มอดาคริลิก และสแปนเดกซ์

Simulated fur

wig



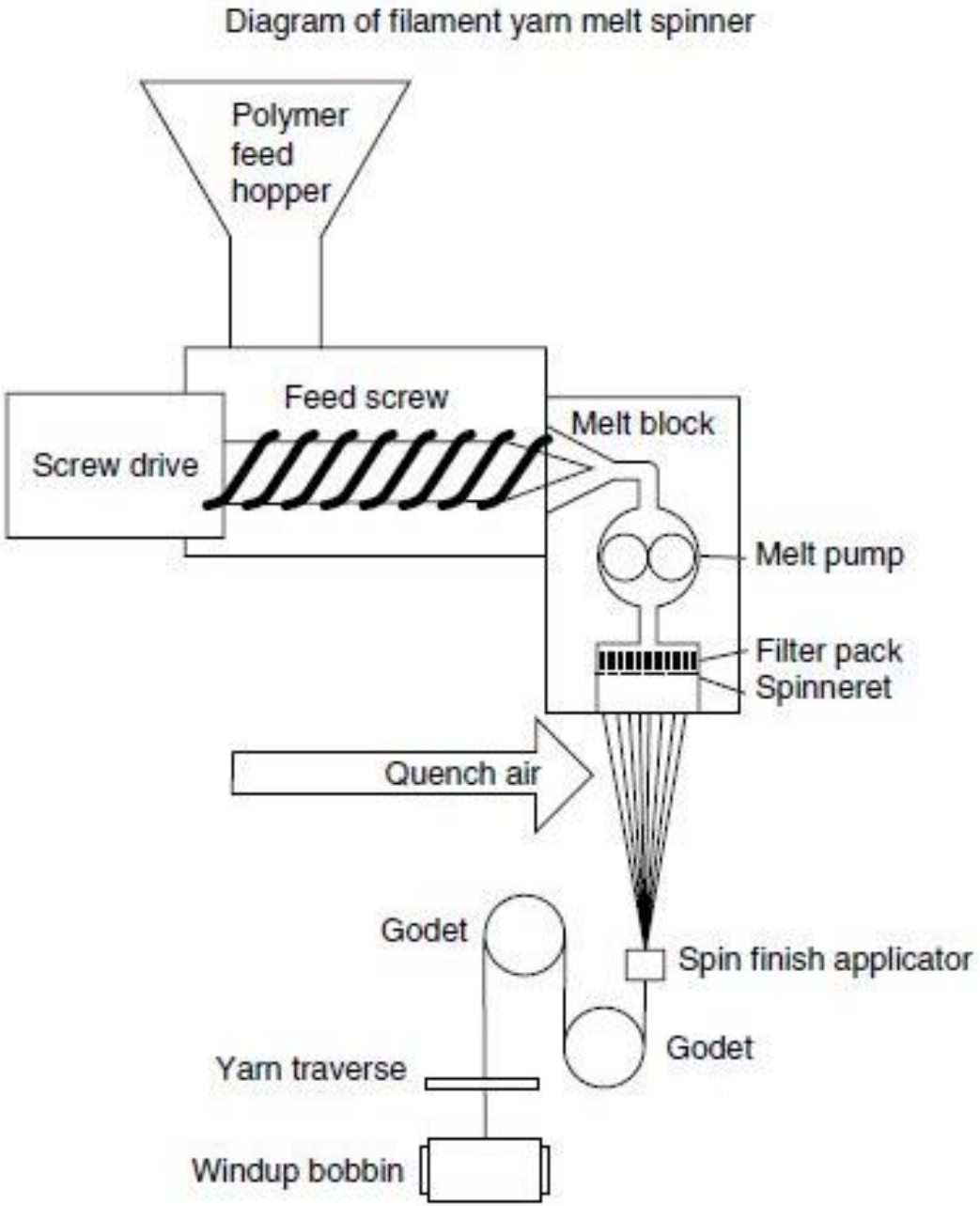
http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/fibre-and-filament-production/dry-spinning/

3. การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (melt spinning)

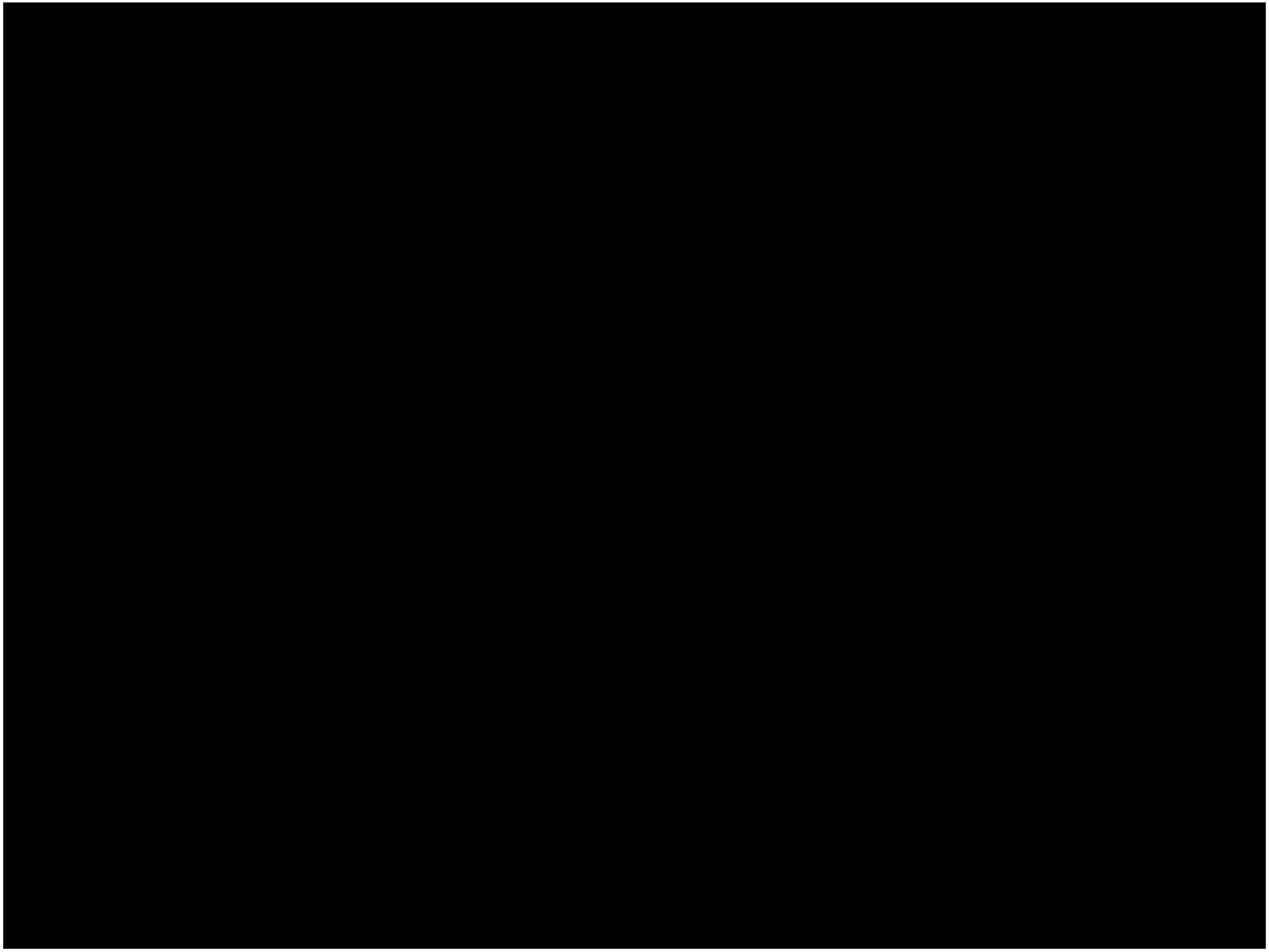
- มีความเร็วในการผลิตสูง เนื่องจากไม่ต้องอาศัยสารละลาย สารเคมี และไม่ต้องล้างเส้นใยหลังการผลิต
- สามารถควบคุมภาคตัดขวางของเส้นใยได้อย่างถูกต้อง
- ใช้ผลิตเส้นใยไนลอน พอลิเอสเทอร์ และเส้นใยกลุ่มโอเลฟิน
- มี 3 ขั้นตอน
  1. วัตถุดิบที่เป็นเรซินถูกหลอมเหลวโดยอาศัยความร้อนในหม้อความดันสูง
  2. ปั่นเส้นใยเข้าไปในบริเวณที่กระแสลมผ่าน (ลมธรรมดาหรือลมร้อน)
  3. เส้นใยเย็นตัวลงและแข็งตัว

Drawing หรือ stretching

- เป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตเส้นใย
- มีผลต่อโครงสร้างภายในและการจัดเรียงตัว (orientation) ของเส้นใย
- มีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของเส้นใย
- มีผลต่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว และความละเอียดของเส้นใย



http://textilearticle.blogsky.com/1390/06/24/post-18/



VDO: Polymer melt spinning