



พอลิเมอร์



ผศ.ดร.อรุณี คงดี
สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อบรมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ โลก ดาราศาสตร์ และ
อวกาศ วันที่ 9 – 13 พค. พ.ศ. 2554

พอลิเมอร์เกี่ยวข้องกับ
ชีวิตประจำวัน

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
ของพอลิเมอร์



หัวข้อของพอลิเมอร์

- ความหมายของพอลิเมอร์
- ประเภทของพอลิเมอร์
- ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์
- การอ่านชื่อพอลิเมอร์
- ลักษณะการใช้งานของพอลิเมอร์

ความหมายของพอลิเมอร์

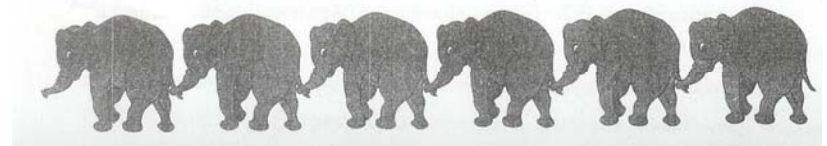
polymer

มาก

meros =
ส่วน/หน่วย

พอลิเมอร์ หมายถึงสารโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันมาต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์

Hey! Look.
We're making
a poly(elephant)



monomer

หนึ่ง

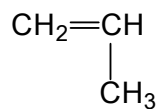
meros =
ส่วน/หน่วย

มอนอเมอร์

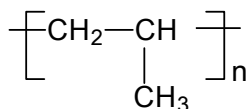


กระบวนการ
พอลิเมอไรเซชัน

พอลิเมอร์



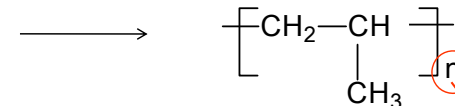
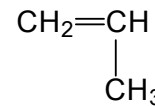
polymerization



มอนอเมอร์
โมเลกุลเล็ก

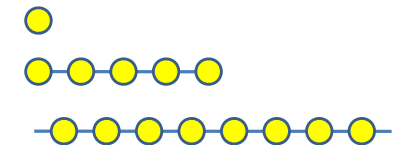
พอลิเมอร์
โมเลกุลใหญ่

5



ค่าอันดับการพอลิเมอไรเซชัน
(degree of polymerization)
กำหนดความยาวและน้ำหนักโมเลกุล
ของสายโซ่พอลิเมอร์

n	น้ำหนักโมเลกุล
1	42
5	5x42 = 210
100	100x42 = 42,000



6

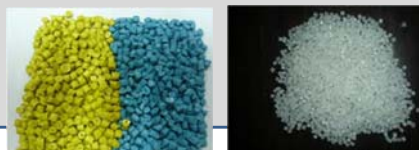
ประเภทของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ แบ่งออกเป็นหลายประเภทตามวิธีการจำแนก
การจำแนกตามแหล่งที่มา

1. พอลิเมอร์ธรรมชาติ
มีอยู่แล้วในธรรมชาติ (พืช
และสัตว์) มนุษย์ดัดแปลง
เอามาใช้ประโยชน์
ไหม ฝ้าย ปอ น้ำยาง



2. พอลิเมอร์สังเคราะห์
สังเคราะห์ขึ้นมาใช้ทดแทน
พอลิเมอร์ธรรมชาติ
พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน
พอลิสไตรีน ไนลอน



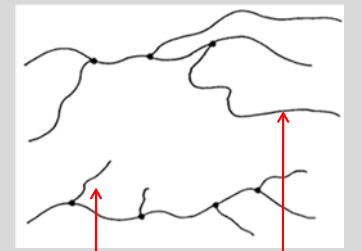
7

จำแนกตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล

1. พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น
(linear polymer): เป็นเส้น ไม่มีกิ่ง



2. พอลิเมอร์แบบกิ่งก้าน
หรือสาขา (branched polymer):
มีกิ่งก้านหรือสาขาแยกออกจาก
สายโซ่หลัก



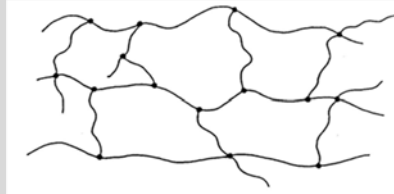
สายโซ่หลัก?

สาขาสั้น

สาขายาว

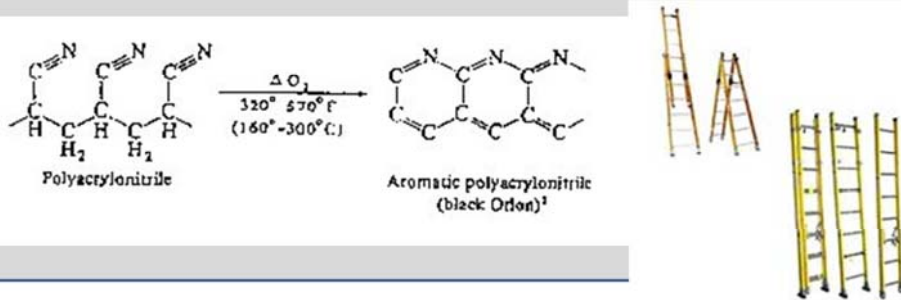
8

3. พอลิเมอร์แบบ**ร่างแห**
หรือ**เชื่อมขวาง** (network or crosslinked polymer) โมเลกุลเกิดการเชื่อมขวางเป็นร่างแห

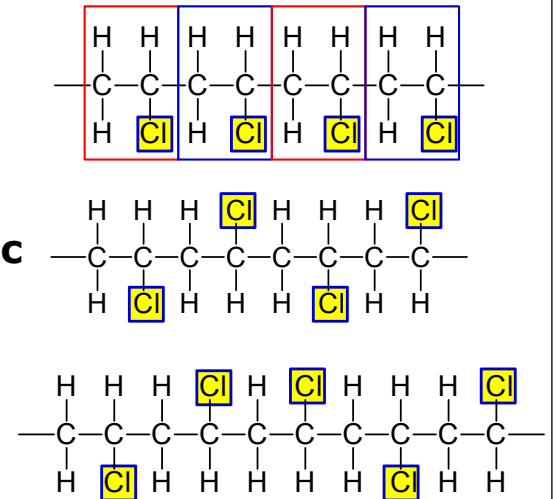
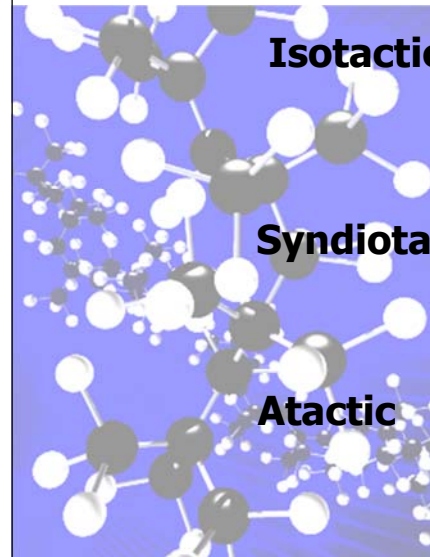


สายโซ่หลัก?

4. พอลิเมอร์แบบ**ขั้นบันได**
(ladder polymer) เป็นวงปิดในสายโซ่หลัก



linear polymer จาก vinyl polymer มีหมู่ R มาต่อได้ 3 แบบ



10

จำแนกตาม**จำนวน**
ชนิดของหน่วยซ้ำกัน
ในโมเลกุล

2. **Copolymer**

รวม

ในโมเลกุลพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันมากกว่าหนึ่งชนิด

1. **Homopolymer**

เหมือน

ในโมเลกุลพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันเพียงชนิดเดียว

11

โฮโมพอลิเมอร์

มอนอเมอร์	พอลิเมอร์
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	$[\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)]_n$
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$	$[\text{CH}_2-\text{CH}(\text{Cl})]_n$
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	$[\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}=\text{CH}_2)]_n$
$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ และ $\text{HO}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	$[\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}]_n$

พอลิเมอร์จากปฏิกิริยาแบบเติม

พอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการควบแน่น

12

โคพอลิเมอร์

ชื่อพอลิเมอร์	โครงสร้าง
ยางสไตรีน-บิวทาไดอิน (styrene-butadiene rubber, SBR)	
ยางบิวทิล (butyl rubber)	
อะครีโลไนไทรล์-บิวทาไดอิน-สไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS)	

ลักษณะการจัดเรียงตัวของหน่วยซ้ำกันในโคพอลิเมอร์

โคพอลิเมอร์	ลักษณะหน่วยซ้ำกัน
โคพอลิเมอร์แบบ สุ่ม (random copolymers)	~AAABBABBBBBAAABAABBABBB~
โคพอลิเมอร์แบบ สลับ (alternating copolymers)	~ABABABABABABABABABA~
โคพอลิเมอร์แบบ บล็อก (block copolymers)	~AAAAAAAAABBBBBB~ หรือ ~AAAAABBBBBBCCCCC~
โคพอลิเมอร์แบบ กราฟท์ (graft copolymer)	

จำแนกตามกลไกของปฏิกิริยา

การเกิดพอลิเมอร์

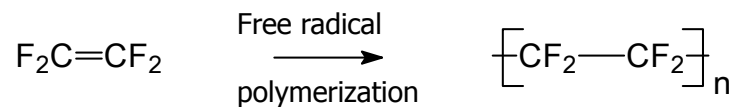
พอลิเมอร์โซ่แบบเดิม หรือแบบลูกโซ่

พอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการควบแน่น/แบบขั้น

1. พอลิเมอร์โซ่แบบเดิมหรือแบบลูกโซ่

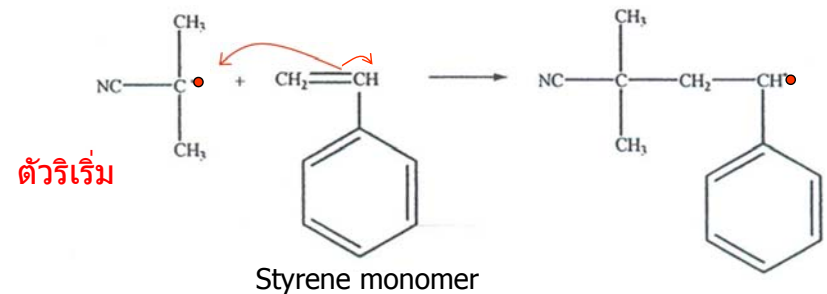
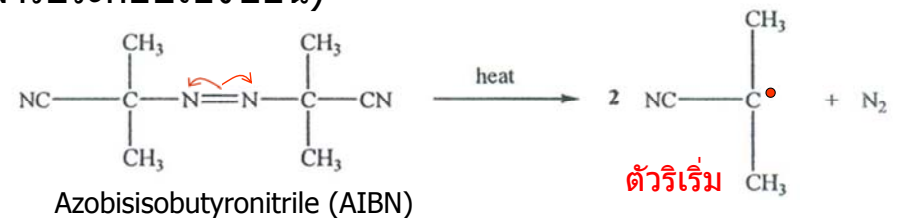
(addition/chain polymerization):

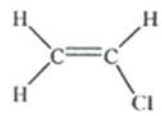
เกิดจากมอนอเมอร์ที่มี C=C เช่น ไวนิลมอนอเมอร์



กลไกของปฏิกิริยาแบบเดิม แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

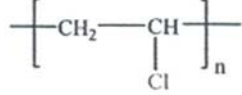
1. ขั้นริเริ่ม (initiation step): เกิดตัวริเริ่มที่ว่องไว (reactive) เช่น อนุมูลอิสระ แคทไอออน แอนไอออน และโคออร์ดิเนชัน (สารประกอบเชิงซ้อน)



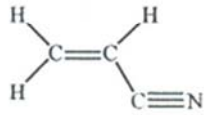


Vinyl chloride

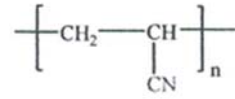
เห็นสูตรมอนอเมอร์
บอกสูตรพอลิเมอร์
ได้?



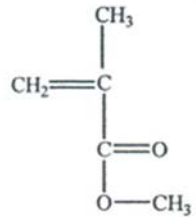
Polyvinyl chloride



Acrylonitrile



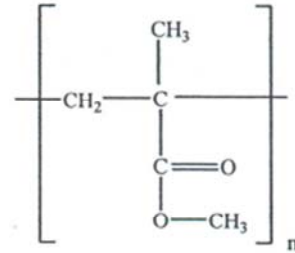
Polyacrylonitrile



Methylmethacrylate

พินระคู่ 1 พินระ

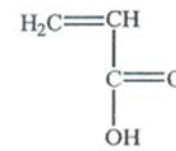
เห็นสูตรพอลิเมอร์
บอกสูตรมอนอเมอร์
ได้?



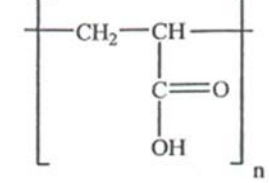
Poly(methylmethacrylate)

ไม่มีพินระคู่

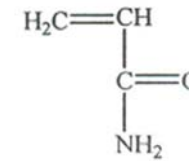
21



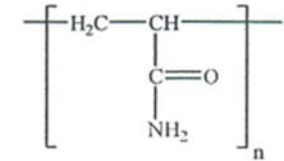
Acrylic acid



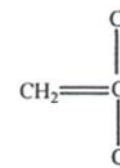
Poly(acrylic acid)



Acrylamide

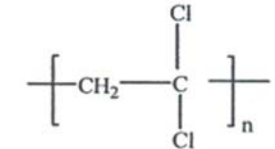


Polyacrylamide



Vinylidene chloride

พินระคู่ 1 พินระ

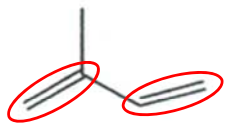


Poly(vinylidene chloride)

ไม่มีพินระคู่

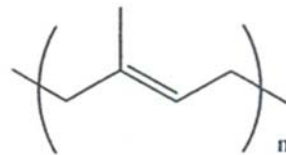
22

Diene polymers



diene

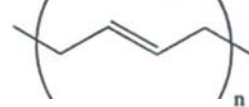
Isoprene



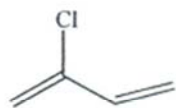
1,4-Polyisoprene



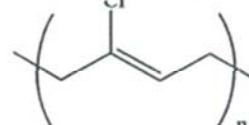
Butadiene



Polybutadiene



Chloroprene



Polychloroprene

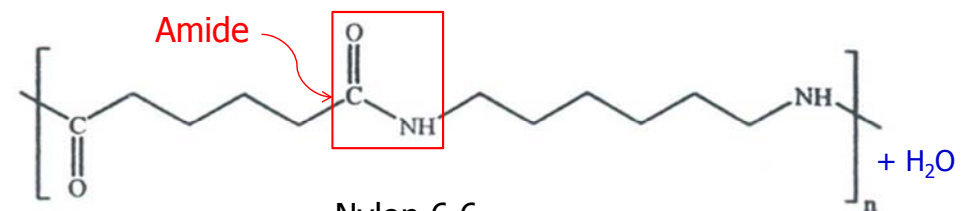
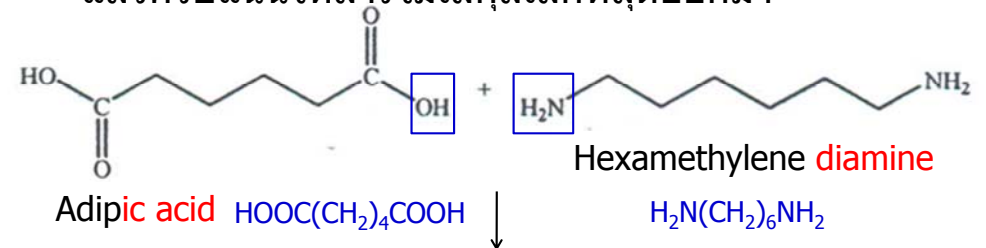
พินระคู่ 2 พินระ

พินระคู่ 1 พินระ

23

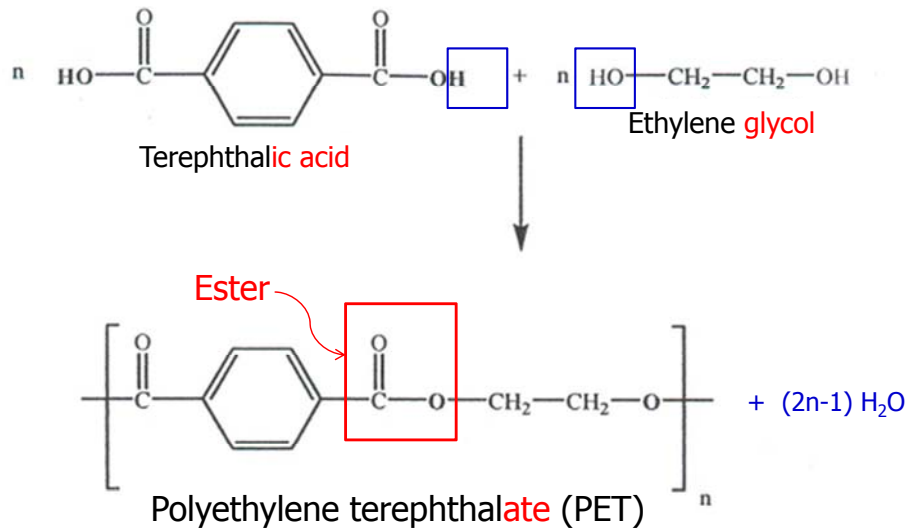
2. พอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการควบแน่น/แบบขั้น

เกิดจากการทำปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์
แล้วควบแน่นให้สารโมเลกุลเล็กหลุดออกมา

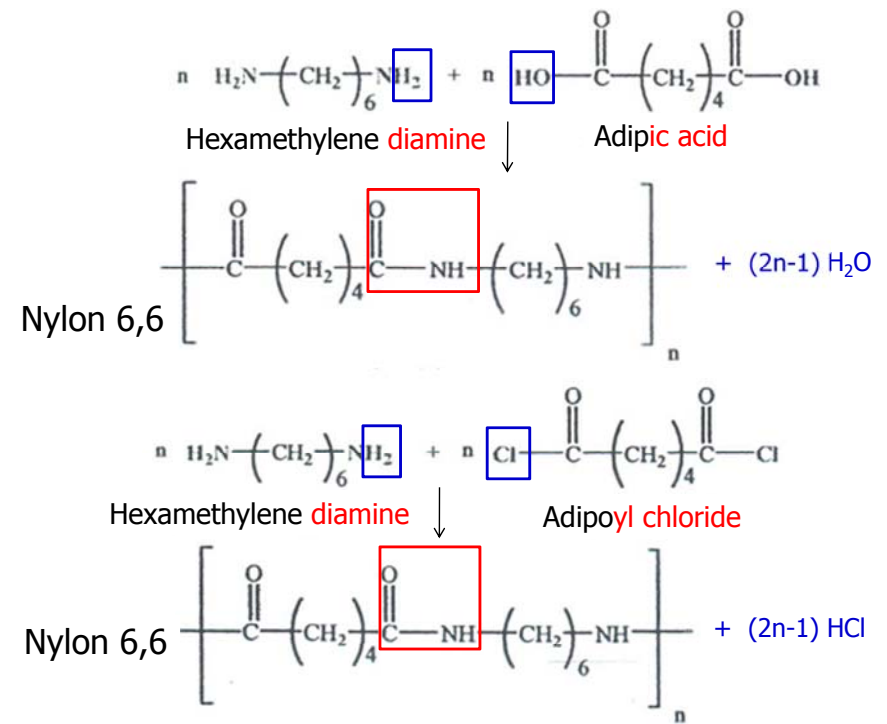


Nylon 6,6
หรือ poly(hexamethylene adipamide)

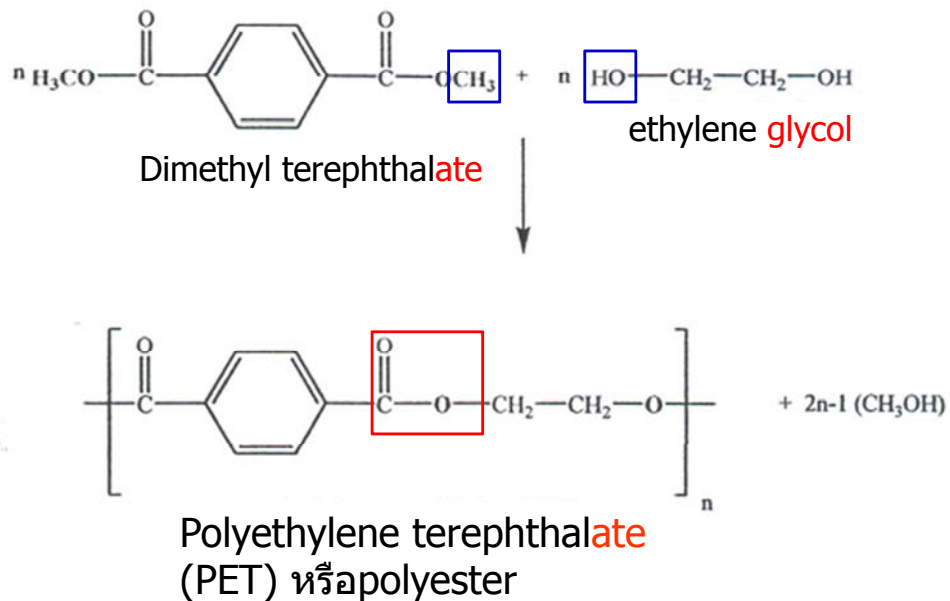
24



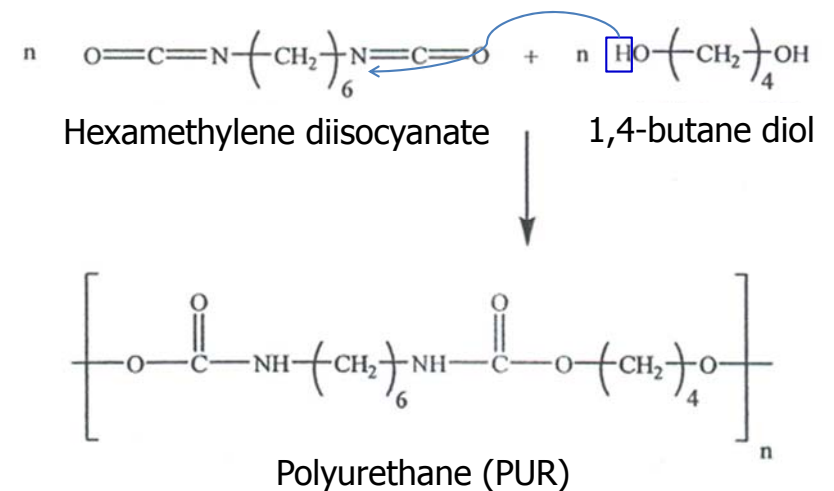
25



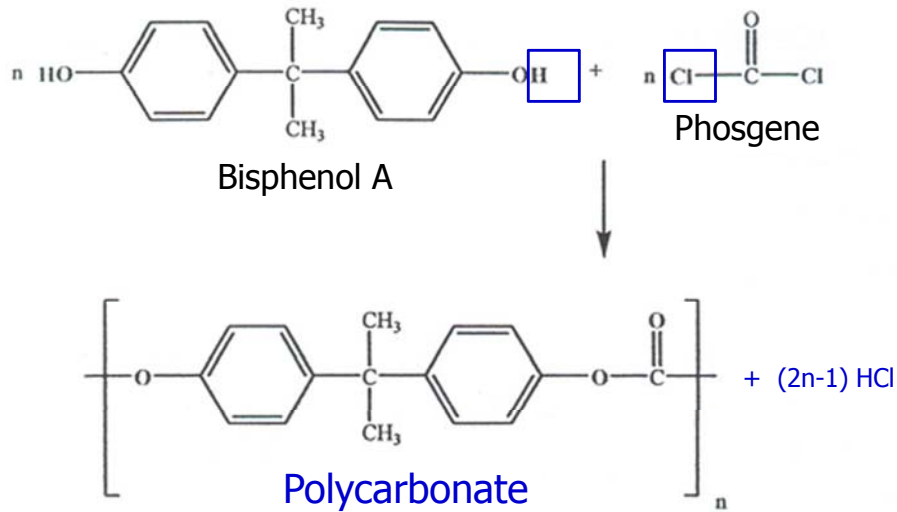
26



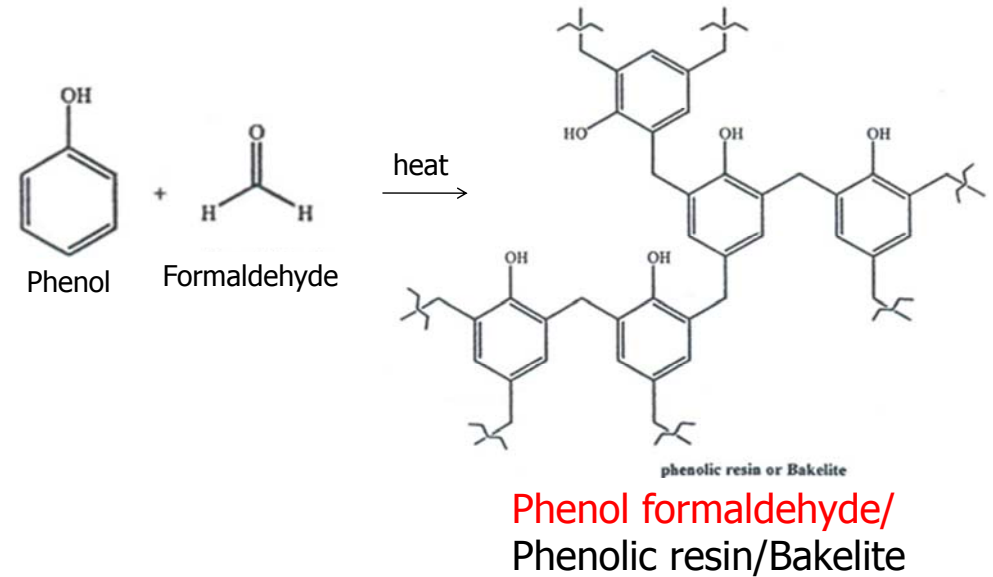
27



28



29



30

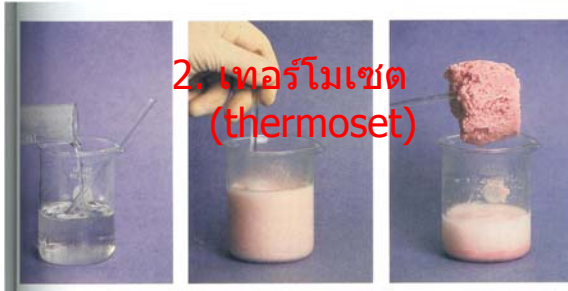
จำแนกประเภทของพอลิเมอร์ตาม พฤติกรรมที่ได้รับความร้อน

1. เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic)



โมเลกุลพอลิเมอร์ไหลได้
เนื่องจากความร้อน และ
ความร้อนทำให้พอลิเมอร์
หลอมเหลวขึ้นรูปใหม่
(recycle) ได้

2. เทอร์โมเซต (thermoset)



ความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็น
พอลิเมอร์แข็ง เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย
ความร้อนที่ให้เพิ่มอีก ไม่ทำให้พอลิเมอร์
หลอมเหลวแต่เกิดการขาดออก
ของโมเลกุล

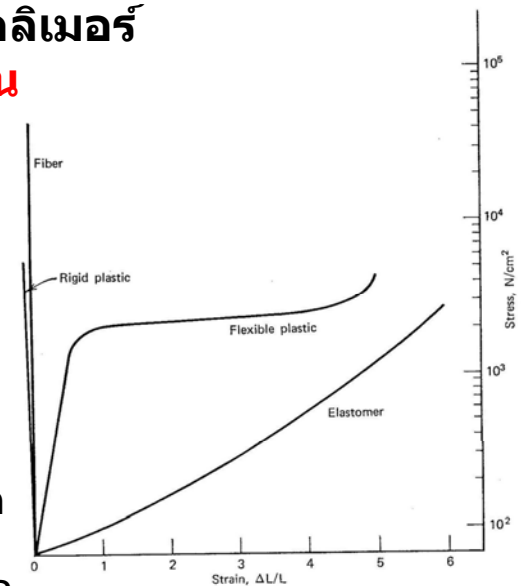
จำแนกประเภทของพอลิเมอร์ ตามลักษณะการใช้งาน

- พลาสติก
- เส้นใย
- อีลาสโตเมอร์
- สีและกาว

พลาสติกที่สำคัญ

↓
เทอร์โม-
พลาสติก
PET, PE,
PVC, PP, PS

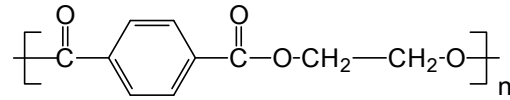
↓
เทอร์โมเซต
PF, UF, MF,
Epoxy, PUR



32

พอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลต

Polyethylene terephthalate (PET)

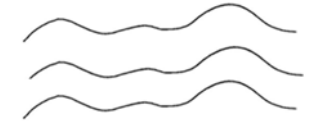
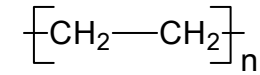


สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-แข็ง	-ชิ้นส่วนในเครื่องจักร
-ใส	-ชิ้นส่วนในเครื่องใช้ไฟฟ้า
-ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี	-ขวดน้ำ ขวดน้ำมันพืช
-เป็นฉนวนที่ดี	-ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ
-รีไซเคิลได้	-ขวดน้ำยาล้างจาน
	-เฟอร์นิเจอร์
	-ริ้วบ้าน

33

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

High Density Polyethylene



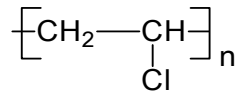
สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ยืดหยุ่น	-ถุงหิ้ว ขวดน้ำดื่ม
-ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี	-ถังน้ำ
-รีไซเคิลได้	-ขวดใส่น้ำยาซักผ้า
	-ลังพลาสติก
	-ไม้เทียมทำรั้ว และม้านั่งสนาม



34

พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

Polyvinylchloride

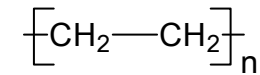


สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-แข็งแรง	-ท่อน้ำ ข้อต่อ
-ทนสารเคมี	-กรอบประตูหน้าต่าง
-ทำหลายสี	-ประตู่
-ทนน้ำ	-กระเป๋าน้ำหนักร้อยยาง
-รีไซเคิลได้	-หุ้มเบาะรถยนต์
	-เสื้อกันฝน

35

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

Low Density Polyethylene



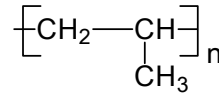
สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ยืดหยุ่น	-ถุงเย็น
-เหนียว	-อาหารแช่แข็ง
-ไม่มีสี	-ถุงดำใส่ขยะ
-ไม่มีกลิ่น	-ถุงหิ้ว
-รีไซเคิลได้	-ถังขยะ
	-กระเบื้องปูพื้น
	-แท่งไม้เทียม



36

พอลิพรอพิลีน (PP)

Polypropylene

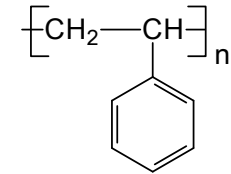


37

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ความยืดหยุ่นสูง	-ตู้วิทยุ โทรทัศน์
-ทนความร้อนได้สูง (140 °C)	-ถุงร้อนใส่อาหาร
-ทนสารเคมี	-ขวดใส่เครื่องปรุง
-รีไซเคิลได้	อาหาร

พอลิสไตรีน (PS)

Polystyrene



38

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ขึ้นรูปง่าย	-โฟม (กล่อง จาน ถ้วย)
-พิมพ์สีและลายได้ ทนสารเคมี	-ขวดใส่เครื่องปรุงอาหาร
-ใช้งานได้ในช่วง-10 ถึง 80°C	
-รีไซเคิลได้	

หลัก 3R
(4R)



REPAIR



39

Phenol formaldehyde (PF, Phenolic resin)

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-แข็งแต่เปราะ	-ด้ามจับหม้อ
-ทนความร้อนที่ 200 °C	-ด้ามจับหุกระทะ
-โครงสร้างเป็นร่างแห	-ถาดบรรจุสารเคมี



Urea formaldehyde (UF)

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-แข็งแต่เปราะ	-สวิทช์ ปลั๊กไฟ
-ทนความร้อน เป็นฉนวน	-ถ้วยชาม
-โครงสร้างเป็นร่างแห	พลาสติก
- ทนน้ำมัน	



40

Malamine formaldehyde (MF)

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-แข็งแต่เปราะ	-ฟอร์ไมกา
-ทนความร้อน เป็นฉนวน	-ถ้วยชาม
-โครงสร้างเป็นร่างแห	พลาสติก



41

Epoxy

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ตัวเชื่อมประสาน	-กาว
-ทนน้ำ ทนสารเคมี	-หุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า
-เป็นฉนวน	เช่น หม้อแปลงไฟ
-โครงสร้างเป็นร่างแห	

Polyurethane (PUR)

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ตัวเชื่อมประสาน	-เบาะเก้าอี้
-ทนน้ำ ทนสารเคมี	-โฟมในตู้เย็น
-เป็นฉนวน	-ส่วนประกอบเรือ
-โครงสร้างเป็นร่างแห	



42

2. เส้นใย (Fibers)

1. เส้นใยธรรมชาติ ได้จากธรรมชาติ เช่น ป่าน ฝ้าย ไหม ขนแกะ



2. เส้นใยประดิษฐ์

- **เส้นใยสังเคราะห์** ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น ไนลอน พอลิเอสเตอร์ เส้นใยแก้ว อะคริลิก เคฟลาร์ เส้นใยคาร์บอน
- **เส้นใยรีเจนเนอเรต** เป็นเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือเคมี (ปรุ้งแต่ง) เช่น เซลลูโลสอะซิเตต วิสคอสเรยอน เทนเซลล์

43

เส้นใย

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-ปั่นเป็นเส้นด้ายได้	-เครื่องนุ่งห่ม
-ขึ้นรูปเป็นผ้าได้	-เครื่องนอน
	-เฟอร์นิเจอร์
	-ส่วนประกอบในรถยนต์



44

3. อีลาสโตเมอร์ (Elastomer/Rubber)

สมบัติ

- เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เมื่อมีแรงกระทำ
- คืนตัวสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดให้แรง

สาเหตุของการสังเคราะห์ยาง

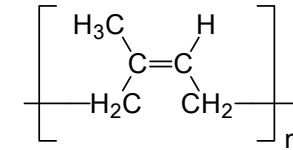
- ขาดแคลนยางธรรมชาติในสมัยสงคราม
- ราคายางไม่แน่นอน
- ความต้องการยางสมบัติพิเศษ เช่น ทนน้ำมัน ทนความร้อน

ประเภทของยาง

1. ยางธรรมชาติ ได้จากธรรมชาติ เช่น ยางพารา
2. ยางสังเคราะห์ ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พอลิไอโซพรีน ยางบิวทาไดอีน

ยางธรรมชาติ (Natural rubber)

cis-1,4-polyisoprene



ไม่มีขั้ว

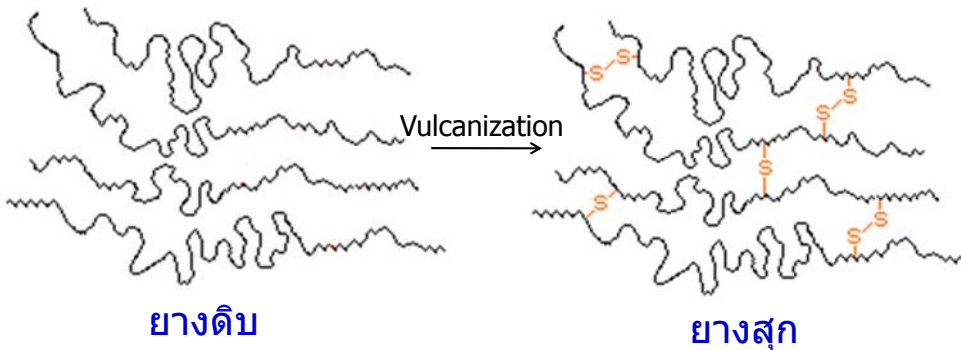
สมบัติ

- ไม่มีขั้ว ละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน เบนซีน
- เกิดผลึกได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- สมบัติทางเชิงกลสูง (ทนต่อแรงดึง การฉีกขาด การขีดสี)
- ไม่ทนความร้อน สภาพภูมิอากาศ

ผลิตภัณฑ์

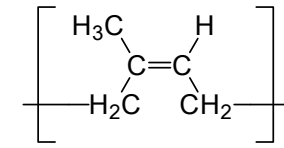
- ยางรถยนต์
- พื้นรองเท้า
- ท่อยาง
- สายพานลำเลียง
- ฟองน้ำ
- ถุงมือยาง ลูกโป่ง

Vulcanization เป็นการเชื่อมขวางโมเลกุลยางด้วยซัลเฟอร์



ยางสุกหรือยางคงรูป เพิ่มสมบัติการทนความร้อน ความยืดหยุ่น ไม่ละลายในตัวทำละลาย จะแค่บวมตัว (swell)

ยางไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene)



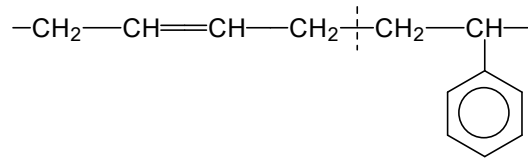
สมบัติ

- ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ziegler-Natta
- โมเลกุลมีความเป็นระเบียบ
- สมบัติทางเชิงกลต่ำกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย
- คุณภาพสม่ำเสมอ มีสีขาว

ผลิตภัณฑ์

- ยางหุ้มนม
- อุปกรณ์การแพทย์

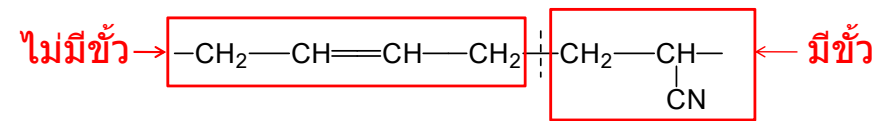
ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (SBR)



สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (ขาดความเป็นระเบียบ)	-สายพาน
-MW ไม่สูงมาก ควบคุมความหนืดได้ง่าย	-พื้นรองเท้า
-ทนการขีดสีดีกว่ายางธรรมชาติ	-ท่อยาง
-ทนต่อแรงดึงได้น้อยกว่ายางธรรมชาติ	-ผลิตภัณฑ์ยางทาง การแพทย์

49

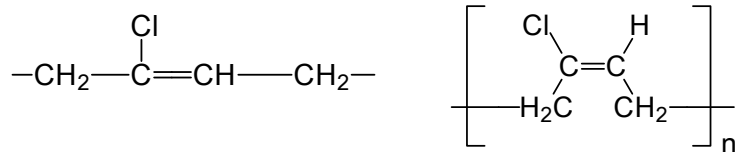
ยางไนไตรล์ (Nitrile Butadiene Rubber, NBR)



สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-มีไนไตรล์ 20-50% จึงเป็นยางมีขั้ว	-ปะเก็นน้ำมัน
-ทนต่อน้ำมัน ตัวทำละลายไม่มีขั้ว	-โอริง
-ทนต่อแรงดึงต่ำ (ไม่มีผลึก)	-ยางเชื่อมต่อ
-ความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับยาง SBR	-สายพาน ท่อลำเลียง น้ำมัน

50

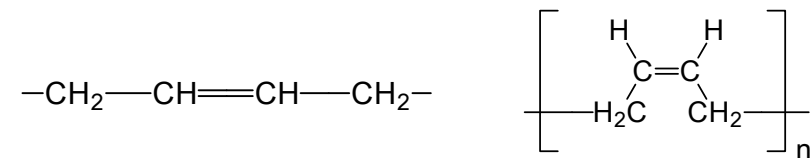
ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber, CR)



สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-โมเลกุลมีความเป็นระเบียบ	-ยางซีล
-ตกผลึกได้ ความทนต่อแรงดึงสูง	-ท่อยางเสริมแรง
-ความทนต่อการฉีกขาดสูง	-ยางพันลูกกลิ้ง
-ความทนต่อการขีดสูง	-สายพานยาง ยางกันกระแทก
-ทนน้ำมัน สภาพอากาศ ไม่ติดไฟ	ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา

51

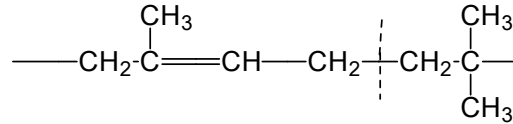
ยางบิวทาไดอีน (Butadiene Rubber, BR)



สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-โมเลกุลมีความเป็นระเบียบ	-ยางซีล
-ตกผลึกได้ ความทนต่อแรงดึงสูง	-ท่อยางเสริมแรง
-ความทนต่อการฉีกขาดสูง	-ยางพันลูกกลิ้ง
-ความทนต่อการขีดสูง	-สายพานยาง ยางกันกระแทก
-ทนน้ำมัน สภาพอากาศ ไม่ติดไฟ	ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา

52

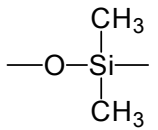
ยางบิวไทล์ (Butyl Rubber, BR)



สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-โมเลกุลมีความเป็นระเบียบ	-ยางซีล
-ตกผลึกได้ ความทนต่อแรงดึงสูง	-ท่อยางเสริมแรง
-ความทนต่อการฉีกขาดสูง	-ยางพันลูกกลิ้ง
-ความทนต่อการขีดถูสูง	-สายพานยาง ยางกันกระแทก
-ทนน้ำมัน สภาพอากาศ ไม่ติดไฟ	ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา

53

ยางซิลิโคน (Silicone Rubber, Q)



สมบัติ	ผลิตภัณฑ์
-โมเลกุลประกอบด้วย Si และ O	-ชิ้นส่วนเครื่องบิน
-ที่ใช้กันมากที่สุด คือ dimethylsiloxane	-ฉนวนหุ้มสายเคเบิล
-ความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง	-ชิ้นส่วนรถยนต์
-ทนต่อสภาพอากาศ ความร้อน	-สายพานยาง ยางกันกระแทก
-สมบัติเชิงกลต่ำและไม่ทนกรดต่าง และตัวทำละลาย	-ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา

54

แบ่งพอลิเมอร์ตามการนำไปใช้ประโยชน์

1. พลาสติก**โภคภัณฑ์** (commodity application):

ผลิตและใช้กันเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่เป็นเทอร์โมพลาสติก เช่น PE PP PVC PS PET

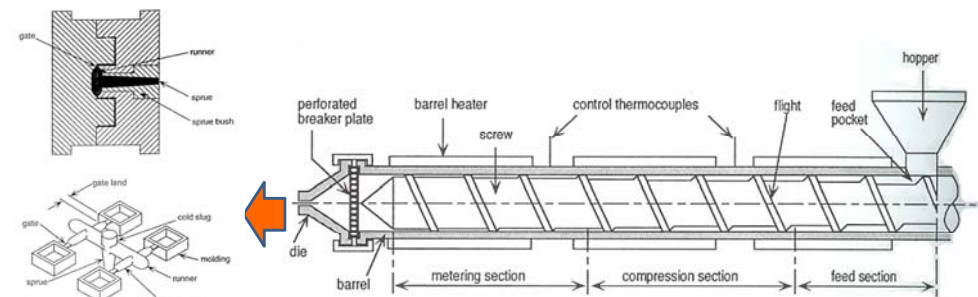
2. พลาสติก**วิศวกรรม** (engineering application):

ผลิตและใช้เฉพาะด้านที่ต้องการสมบัติเชิงกลสูง เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องบิน ยานอวกาศ งานโครงสร้าง หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

55

คุณสมบัติเด่นของพอลิเมอร์เหนียววัสดุอื่น

- ☀ สามารถขึ้นรูปได้ง่าย
- ☀ ขึ้นรูปที่ซับซ้อนได้
- ☀ ทำให้มีสีสันทัดตามต้องการ
- ☀ น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรง
- ☀ ทนต่อสารเคมีและการกัดกร่อน
- ☀ พอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่นำความร้อน
- ☀ พอลิเมอร์ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสมบัติของพอลิเมอร์ขึ้นกับโครงสร้างของมัน



56

พลาสติกกับสิ่งแวดล้อม

พลาสติกทำให้เกิดปัญหาขยะล้นเมือง เนื่องจาก

- ❖ พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย
- ❖ พลาสติกคือพอลิเมอร์ซึ่งมีโมเลกุลยาว ย่อยสลายยากในธรรมชาติ



เรียนรู้นอกห้องเรียน

Visit : <http://www.kodung.com/play?vid=Y8kwEjbfBh3O9rC>

กบนอกกะลา ตอนพลาสติก นวัตกรรมเปลี่ยนโลก

<http://video.mthai.com/player.php?id=9M1186251149M0>

กบนอกกะลา ตอนยางรถยนต์

www.science.mju.ac.th/chemistry