บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ำ

น้ำ มีสูตรทางเคมี คือ H_2O เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ และมีความจำเป็นต่อโรงงานอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ โดยแหล่งน้ำธรรมชาติมักได้จากแหล่งน้ำบนผิวดิน (surface water) และแหล่งน้ำใต้ผิวดิน (ground water) ซึ่งแหล่งน้ำบนผิวดินจะได้มาจากน้ำฝนตกลงบนพื้นและไหลรวมกับแม่น้ำ ลำคลอง ซึ่งจะเป็นแหล่งน้ำจืด และจะนำมาผ่านการกรองและฆ่าเชื้อเป็นน้ำประปาและแหล่งน้ำใต้ดินเกิดจากฝนตกและซึมลงไปชั้นใต้ดิน ทำให้เกิดการสะสมอยู่ใต้ดิน และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมักมีการปนเปื้อนได้ค่อนข้างง่าย จึงจำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้น้ำที่มีมาตรฐานและคุณภาพ เพื่อนำไปใช้ต่อไป (กาญจน์พิมล ฤทธิเดช และคณะ, 2547, น.2)

2.1.1 สิ่งเจือปนในน้ำ

สิ่งที่เจือปนในน้ำอาจอยู่ในรูปของไอออน โลหะ อนุภาค หรือแม้แต่สารเคมีอินทรีย์ ส่วนใหญ่แล้วมี ดังนี้ (Barbara kneen, Ann Lemley and Linda wagenet, 2005)

(1) ไอออนและโลหะ ได้แก่ arsenic (As), aluminium (Al), barium (Ba), bicarbonate (HCO_3^-), cadmium (Cd), calcium (Ca), carbonate (CO_3^{2-}), chloride (Cl), chromium (Cr), copper (Cu), fluoride (F), iron (Fe), lead (Pb), magnesium (Mg), manganese (Mn), mercury (Hg), nitrate / nitrite (NO_3/NO_2), potassium (K), radium (Ra), selenium (Se), silver (Ag), sodium (Na), sulfate (SO_4^{2-}) และ zinc (Zn)

(2) อนุภาค ได้แก่ asbestos

(3) สารเคมีอินทรีย์ ได้แก่ benzene, trichloroethylene, dichlorobenzene และ carbon tetrachloride toluene

(4) จุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส สาหร่าย หรือ ยีสต์

2.1.2 ชนิดของน้ำ

แบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 ได้แก่ น้ำบาดาล หรือน้ำผิวดิน เป็นน้ำที่ยังไม่มีการเตรียม (untreated)

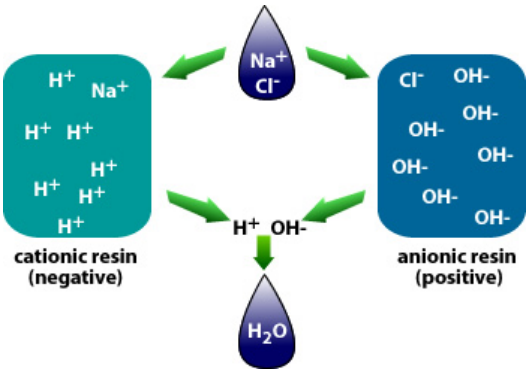
ระดับที่ 2 ได้แก่ น้ำดื่ม และน้ำประปา ซึ่งมีระดับความกระด้างของน้ำต่างๆ กัน โดยจะมีการเติมคลอรีนเพื่อควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

ระดับที่ 3 ได้แก่ purified water ซึ่งเป็นน้ำที่ไม่มีการเติมสารอื่นลงไป และปราศจากคลอรีน อาจจะได้จากการกลั่น (distillation) กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ (reverse Osmosis) และการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) หรือกระบวนการ deionization

ระดับที่ 4 เป็นน้ำที่คุณภาพเข้มงวดที่สุด มีคุณสมบัติความบริสุทธิ์ของ purified waterแต่จะเป็นน้ำที่ปราศจาก pyrogens ดังนั้นในการเตรียม การเก็บ หรือการนำไปใช้ ต้องไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสาร pyrogens (กาญจน์พิมล ฤทธิเดชและคณะ, 2547, น.8)

2.1.3 น้ำ DI (Deionized water)

DI water เป็นน้ำ type II ในระบบ ASTM (American Society for Testing and Materials คือ สมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี) ซึ่งเป็นน้ำที่ผลิตโดยกระบวน deionization ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange process) โดยใช้เรซินเป็นตัวกรอง โดยตัวเรซินจะมีไอออนประจุบวก (H^+) และไอออนประจุลบ (OH^-) เมื่อไอออนที่เป็นตัวปนเปื้อนในน้ำผ่านตัวเรซินจะเกิดการแทนที่ด้วยไอออน H^+ หรือ OH^- จึงทำให้น้ำที่ได้มาไม่มีไอออนเหลืออยู่ มีความบริสุทธิ์สูงเพราะหลงเหลืออยู่เพียงโมเลกุลของน้ำเท่านั้น จึงถือได้ว่าน้ำ DI เป็นน้ำบริสุทธิ์ (purifiled water) และโดยส่วนใหญ่แล้ว น้ำ DI จะใช้เป็นตัวทำละลายในการเตรียมสาร (ชูชาติ อาริจิตรานุสรณ์, 2544, น.328)



ภาพที่ 2.1 กระบวนการ Deionization

ที่มา : http://www.tdsmeter.com/img/deionization_graphic.jpg

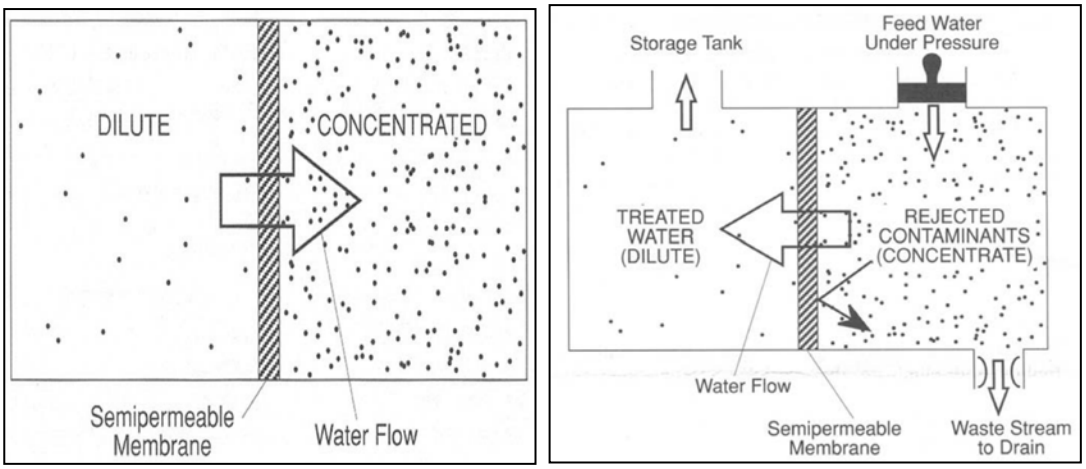
ตารางที่ 2.1 แสดงค่ากำหนดมาตรฐานของ Reagent Grade Water ในระบบ ASTM (American Society for Testing and Materials)

Standard specification for Reagent Grade Water				
Parameter	**Type I**	**Type II**	**Type III**	**Type IIII**
Electrical Conductivity Max. (μS/cm @ 25°C)	0.056	1.0	0.25	5.0
Electrical Resistivity Min. (MΩ-cm @ 25°C)	18.0	1.0	4.0	0.2
pH @ 25°C	-	-	-	5.0-8.0
TOC max. μg/l	100	50	200	no limit
Sodium max. μg/l	1	5	10	50
Silica max. μg/l	3	3	500	no limit
Chloride max. μg/l	1	5	10	50

ที่มา : American Society for Testing and Materials D1193-91. (1991). Standard Specification for Reagent Water. ASTM

2.1.4 น้ำ RO (Reverse Osmosis)

น้ำ RO คือ น้ำที่ได้จากการผ่านกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ตรงกันข้ามกับกระบวนการออสโมซิส (osmosis) โดยจะเป็นกระบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (เยื่อกึ่งซึม) และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำ กล่าวคือ น้ำที่ปนเปื้อนจะมีความเข้มข้นมาก และน้ำสะอาดจะมีความเข้มข้นเจือจางกว่า กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับอาศัยความดันที่สูงกว่าความดันออสโมซิส ดันให้น้ำไหลผ่านเยื่อกึ่งซึมในทิศทางตรงกันข้าม (reverse osmosis) โดยกระบวนการออสโมซิสเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อกำจัดไอออน กำจัดความกระด้างของน้ำดิบ แต่ไม่สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากน้ำออกไปได้ทั้งหมด น้ำที่ได้จากกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ประมาณ 5-7 (ชูชาติ อาริจิตรานุสรณ์, 2544, น.328)



A B

ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบกระบวนการออสโมซิส (ภาพ A) กับกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ (ภาพ B)

ที่มา : Barbara kneen Ann Lemley and Linda wagenet. (2005). *Reverse Osmosis treatment of Drinking Water*. Cornell Cooperative Extension, College of Human Ecology.

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท

มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท			
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)**
ทางกายภาพ	สี (colour)	ฮาเซนยูนิต (Hazen)	20
	กลิ่น (odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมกลิ่นคลอรีน)
	ความขุ่น (turbidity)	ซิลิกาสเกลยูนิต (silica scale unit)	5
	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	-	6.5 - 8.5
ทางเคมี	ปริมาณสารทั้งหมด (total soilds)	mg/l	500
	ความกระด้างทั้งหมด (total hardness) (คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	mg/l	100
	สารหนู (As)	mg/l	0.05
	แบเรียม (Ba)	mg/l	1.0
	แคดเมียม (Cd)	mg/l	0.005
	คลอไรด์ (Cl คำนวณเป็นคลอรีน)	mg/l	250
	โครเมียม (Cr)	mg/l	0.05
	ทองแดง (Cu)	mg/l	1.0
	เหล็ก (Fe)	mg/l	0.3
	ตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.05
	แมงกานีส (Mn)	mg/l	0.05

มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท			
	ปรอท (Hg)	mg/l	0.002
	ไนเตรด (NO_3-N คำนวณเป็นไนโตรเจน)	mg/l	4.0
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)**
ทางเคมี	ฟีนอล (Phenols)	mg/l	0.001
	ซิลิเนียม (Se)	mg/l	0.01
	เงิน (Ag)	mg/l	250
	ซัลเฟต (SO_4)	mg/l	250
	สังกะสี (Zn)	mg/l	5.0
	ฟลูออไรด์ (F) (คำนวณเป็นฟลูออรีน)	mg/l	1.5
	อะลูมิเนียม	mg/l	0.2
	เอบีเอส (Alkylbenzene Sulfonate)	mg/l	0.2
	ไซยาไนต์	mg/l	0.1
ทางจุลินทรีย์	โคลิฟอร์ม (Coliform)	MPN/100 ml.	2.2
	อี.โคไล (*E.Coli*)	MPN/100 ml.	ไม่พบ
	จุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค (Disease-causing bacteria)	MPN/100 ml.	ไม่พบ

ที่มา : ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 24 กันยายน 2524 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 108 ตอนที่ 61 ลงวันที่ 2 เมษายน 2534

2.1.5 น้ำแร่ (Mineral Water)

น้ำแร่ธรรมชาติจะได้จากแหล่งน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ และมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นส่วนประกอบจำนวนมาก จะไม่นำไปฆ่าเชื้อ และมีจุลินทรีย์ธรรมชาติอยู่ แต่จะนำไปกำจัดเหล็ก กำมะถัน สารหนู และไม่ควรทำให้แร่ธาตุที่สำคัญในน้ำแร่เปลี่ยนแปลงไป น้ำแร่จะมีแร่ธาตุต่างๆ มากมายดังนี้ chlorine, bicarbonate, phosphorous, sulphur, sodium, potassium, calcium, magnesium, iron, fluorine, selenium, silicon, vanadium, iodine, zinc และcopper (Catherine Ferrier, 2011, p.6-8)

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำแร่ ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2543

มาตรฐานคุณภาพน้ำแร่			
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)**
ทางกายภาพ	สี	-	ใสสะอาด
	ความขุ่น	-	ไม่มีตะกอน
ทางเคมี	ทองแดง	mg/l	1
	แมงกานีส	mg/l	2
	บอเรต (โดยคำนวณเป็นโบรอน)	mg/l	5
	สารหนู (โดยคำนวณเป็นสารหนูทั้งหมด)	mg/l	0.05
	แบเรียม	mg/l	1
	แคดเมียม	mg/l	0.003
	โครเมียม (โดยคำนวณเป็นโครเมียมทั้งหมด)	mg/l	0.05
	ตะกั่ว	mg/l	0.01

มาตรฐานคุณภาพน้ำแร่			
	ปรอท	mg/l	0.001
	ซิลีเนียม	mg/l	0.05
	ไนเตรต (โดยคำนวณเป็นไนเตรต)	mg/l	50
	พลวง	mg/l	0.005
	นิเกิล	mg/l	0.02
การตรวจพบสารปนเปื้อน	ไซยาไนด์	mg/l	0.07
	ไนไตรต์ (โดยคำนวณเป็นไนไตรต์)	mg/l	0.02
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)**
การตรวจพบสารปนเปื้อน	โพลีคลอริเนต เตดไบพีนีล (polychlorinated biphenyls)	mg/l	ไม่พบ
	สารลดการตึงผิว (surface active agents)	mg/l	ไม่พบ
	น้ำมันแร่ (mineral oil)	mg/l	ไม่พบ
ทางจุลินทรีย์	โพลีนิวเคลียร์อะโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (polynuclear aromatichydrocarbons)	mg/l	ไม่พบ
	ตรวจพบแบคทีเรียชนิด โคลิฟอร์ม โดยวิธี MPN (most probable number of coliform organism)	MPN/100 ml.	2.2

มาตรฐานคุณภาพน้ำแร่			
	แบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*)	MPN/100 ml.	ไม่พบ
	จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	MPN/100 ml.	ไม่พบ

ที่มา : ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. (2543). มาตรฐานคุณภาพน้ำแร่

2.1.6 น้ำประปา

น้ำประปา คือ น้ำที่ผลิตได้โดยการผ่านกระบวนการบำบัดน้ำด้วยสารเคมี และการใช้สารตกตะกอน สารเคมีที่ใช้จะเป็นสารฆ่าเชื้อโรค หรือสารที่เกิดจากการฆ่าเชื้อโรค เช่น คลอรีน คลอรีนได-ออกไซด์ โมโนคลอรามีน หรือ คลอรามีน และมักจะตกค้างอยู่ในระบบสูบจ่าย และเมื่อคลอรีนทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำดิบ ทำให้เกิดสารตกค้างที่ไม่ต้องการได้ และการใช้สารตกตะกอนในกระบวนการการผลิตน้ำประปา จะใช้อลูมิเนียม และเกลือของเหล็ก เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต โพลี-อลูมิเนียมคลอไรด์ หรือ เฟอริคซัลเฟตในการบำบัดน้ำ (World Health Organization, 2004)

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง ตามค่าแนะนำ WHO 2011 (guideline value)

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา			
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่าแนะนำ WHO 2011 (guideline value)**
ทางจุลินทรีย์	แบคทีเรียชนิด อีโคไล (*E. coli*)	100 ml	ไม่พบ
ทางกายภาพ	สีปรากฏ (apperance colour)	true colour unit	15
	ความขุ่น (turbidity)	NTU	4
	รส และ กลิ่น (taste and odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5 - 8.5

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา			
ทางเคมี	สารหนู (arsenic)	mg/l	0.01
	แคดเมียม (cadmium)	mg/l	0.003
	โครเมียม (chromium)	mg/l	0.05
	ไซยาไนด์ (cyanide)	mg/l	0.07
	ตะกั่ว (lead)	mg/l	0.01
	ปรอท (inorganic Mercury)	mg/l	0.006
	เซเลเนียม (selenium)	mg/l	0.01
	ฟลูออไรด์ (fluoride)	mg/l	0.7
	คลอไรด์ (chloride)	mg/l	250
	ทองแดง (copper)	mg/l	2
	อะลูมิเนียม (aluminium)	mg/l	0.9
มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา			
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่าแนะนำ WHO 2011 (guideline value)**
ทางเคมี	โซเดียม (sodium)	mg/l	200
	ซัลเฟต (sulfate)	mg/l	250
	สังกะสี (zinc)	mg/l	3
	ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (total dissolved solids)	mg/l	1000
	ไนเตรทในรูปไนเตรท (nitrate as NO_3^-)	mg/l	50
	ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (nitrite as NO_2^-)	mg/l	3

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา			
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่าแนะนำ WHO 2011 (guideline value)**
	ไตรคลอโรอีทีน (trichloroethene)	mg/l	0.02
	เตตราคลอโรอีทีน(tetrachloroethene)	mg/l	0.04
	ไมโครซีสติน-แอลอาร์ (microcystin-LR)	mg/l	0.001
สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (pesticides)	อัลดรินและดิลดริน (aldrin/dieldrin)	µg/l	0.03
	คลอเดน (chlordane)	µg/l	0.2
	ดีดีที (DDT)	µg/l	1
	สอง,สี่-ดี (2,4-D)	µg/l	30
	เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์ (heptachlor and heptachlor epoxide)	µg/l	0.03
สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (pesticides)	เมททอกซิคลอ (methoxychlor)	µg/l	20
	เพนตาคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol)	µg/l	9
ไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes) sum of the ratio	คลอโรฟอร์ม (chloroform , $CHCl_3$)	mg/l	0.3
	โบรโมไดคลอโรมีเทน (bromodichloromethane , $CHBrCl_2$)	mg/l	0.06

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา			
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย (units)**	**ค่าแนะนำ WHO 2011 (guideline value)**
	ไดโบรโมคลอโรมีเทน (dibromochloromethane , $CHBr_2Cl$)	mg/l	0.1
	โบรโมฟอร์ม (bromoform, $CHBr_3$)	mg/l	0.1
กัมมันตภาพรังสี (radioactive)	ความแรงรวมรังสีแอลฟา (gross alpha activity)	Bq/l	0.5
	ความแรงรวมรังสีเบต้า (gross beta activity)	Bq/l	1

* ความขุ่นไม่มีผลต่อคุณภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ

** 1 mg = 1,000 µg/l

ที่มา : World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality, 3rd ed.,. Geneva: WHO

2.2 โพลิเมอร์ (polymer)

โพลิเมอร์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอเมอร์ (monomer) เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ (chain) ที่เรียกว่า การเกิดโพลิเมอร์ (polymerization) ซึ่งจำนวนมอนอเมอร์ในสายโซ่ เรียกว่า ระดับขั้นการเกิดโพลิเมอร์ (degree of polymerization) ภายในเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์เพียง 30-100 หน่วย เรียกว่า โอลิโกเมอร์ (oligomer) สามารถทำให้เกิดโพลิเมอร์ได้ 3 ชนิด ได้แก่

1. โพลิเมอร์เชิงเส้น (linear polymer) โพลิเมอร์จะเชื่อมต่อกันด้วยมอนอเมอร์ในสายโซ่เป็นเส้นตรงยาว

2. โพลิเมอร์กิ่ง (branched polymer) โพลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่เชื่อมกันแตกเป็นกิ่งก้าน จะประกอบไปด้วยสายโซ่หลักเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นและแตกกิ่งก้านออก

3. โพลิเมอร์เชื่อมโยงข้าม (crosslinked polymer) โพลิเมอร์จะมีโพลิเมอร์เชิงเส้นเป็นสายโซ่หลัก และเกิดการเชื่อมโยงข้ามโดยสายโซ่รองของมอนอเมอร์หลายหน่วยจนเกิดโครงข่ายขึ้น

โพลิเมอร์ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่

1. โพลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymers) เป็นโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เช่น กลุ่ม carbohydrate (glucose, sucose และ cellulose) หรือได้จากการขับของเหลวจากพืช (plant exudate) เช่น สารสกัดจากเมล็ด (seed extract) สารสกัดจากสาหร่ายทะเล (seaweed extract) และการหมัก (fermentation) ของจุลินทรีย์บางชนิด โพลิเมอร์กลุ่มนี้เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) และในสายโซ่โพลิเมอร์มีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล

2. โพลิเมอร์ธรรมชาติดัดแปร (modified natural polymers) คือ การดัดแปรสายโซ่หลักของ โพลิเมอร์โดยการเติมหมู่แทนที่ เช่น การดัดแปรเซลลูโลส ก็จะได้อนุพันธ์ของเซลลูโลส (cellulose derivatives) ที่มีทั้งคุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ขึ้นอยู่กับหมู่แทนที่ที่เติมเข้าไป เมื่อเติมหมู่ไฮโดรคาร์บอนเข้าไปในโครงสร้างเซลลูโลสทำให้โพลิเมอร์มีความชอบน้ำลดลง ไม่สามารถที่จะพองตัวได้ ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมหมู่ไฮดรอกซิลจะทำให้โพลิเมอร์มีความชอบน้ำมากขึ้น เช่น ethyl cellulose, hydroxyethyl cellulose และ carboxy methyl cellulose (CMC)

3. โพลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymers) คือ การเตรียมได้จากโพลิเมอร์โดยตรง เช่น polyvinyl pyrrolidone (PVP) ได้จากการเกิดโพลิเมอร์ n-vinyl-2-pyrrolidone และยังมี polyacrylic acid, polyvinyl alcohol และ carbomer เป็นต้น (ธเนศ พงศ์จรรยากุล, 2555, น.1-2)

โพลิเมอร์ไม่ว่าจะเป็นที่ได้จากการสังเคราะห์หรือได้จากธรรมชาติก็เป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย โพลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 104-106 ซึ่งทำให้โพลิเมอร์ส่วนใหญ่มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีและละลายได้ยากหรือไม่ละลายเลย อย่างไรก็ตามที่บอกว่าโพลิเมอร์ไม่เป็นพิษต่อร่างกายไม่ได้หมายความว่า โพลิเมอร์เป็นสารเคมีที่ไม่เป็นพิษ โดยโครงสร้างทางเคมีของโพลิเมอร์บางชนิดมีความเป็นพิษต่อร่างกายได้

ชนิดของเจลโพลิเมอร์ แบ่งได้ 2 ชนิด

1. ชนิดของประจุ

1.1 เจลที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral gel)

1.2 เจลที่เป็นประจุบวก (cationic gel)

1.3 เจลที่เป็นประจุลบ (anionic gel)

1.4 เจลที่มีทั้งประจุลบและประจุบวก (amphoteric gel)

2. ชนิดของโพลิเมอร์

2.1 homopolymer network

2.2 comopolymer network

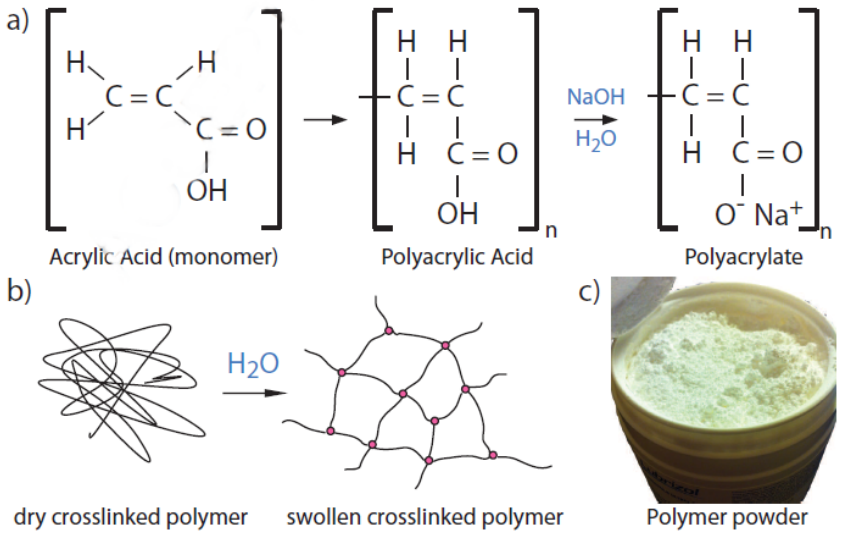
2.3 multipolymer network

2.4 Interpenetrating polymer network

Carbopol (Carbomer)

Carbopol เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymers) เป็น hydrophilic polymer หรือโพลิเมอร์ที่ชอบน้ำ ซึ่งจะกระจายตัวและพองตัวได้เป็นอย่างดีในน้ำ เป็นโพลิเมอร์ชนิดที่ต้องทำการ neutralizer ด้วยเบส เช่น NaOH และtriethanolamine (TEA) เป็นต้น จะขึ้นรูปเนื้อเจลมีคุณสมบัติการไหลแบบ pseudoplastic (Laura Gilbert, Céline Picard, Géraldine Savary, Michel Grisel, 2013)

ประโยชน์ของ carbopol เป็นสารก่อเจล หรือสารให้ความข้นหนืด ที่มีให้ความหนืดสูงเมื่อใช้ในปริมาณความเข้มข้นน้อย มีความคงทนต่อสารประกอบตัวอื่นในตำรับ มีคุณสมบัติในการยึดติดกับผิวได้เป็นอย่างดี มีความคงตัวหรือคงทนต่ออุณหภูมิ และให้เนื้อสัมผัสที่ดี อ่อนโยนต่อผิว (T. V. Romankoa, Yu. I. Murinova, and V. G. Romanko, 2009, p.1488)



ภาพที่ 2.3 รูป A การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของ polyacrylic acid กับ ด่าง(NaOH)

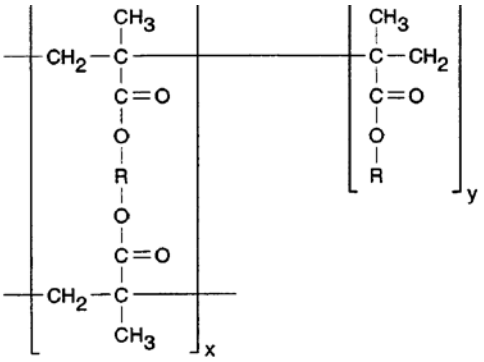
รูป B แสดงโครงสร้างโพลิเมอร์ ขณะแห้ง และเมื่อโดนน้ำ (H_2O) โครงสร้างโพลิเมอร์จะบวม หรือพองตัว

รูป C แสดงลักษณะของผงโพลิเมอร์

ที่มา : E. Di Giuseppe, F. Corbi, F. Funiciello, A. Massmeyer, T.N. Santimano, M. Rosenau, A. Davaille. (2014). *Characterization of Carbopol hydrogel rheology for experimental tectonics and geodynamics.* Tectonophysics. 1-41

Acrylate copolymer

acrylate copolymer เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymers) โดยจะเป็น copolymer ของ 2 มอนอเมอร์ หรือมากกว่า 2 มอนอเมอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย acrylic acid, methacrylic acid และ esters ซึ่งสารก่อเจลที่เป็นประจุลบ (anionic gel) และเป็นโพลิเมอร์ชนิดที่ไม่ต้องทำการ neutralizer และโพลิเมอร์ชนิดนี้สามารถซึมลงสู่ผิวได้เป็นอย่างดี และล้างทำความสะอาดได้ง่าย โดยปริมาณที่ใช้ในตำรับเครื่องสำอางจะอยู่ที่ประมาณ 2.5 – 6% หรือมากสุดที่ 7.5 – 25% (M. Jassal and P. Bajaj, 2001, p.2-10)



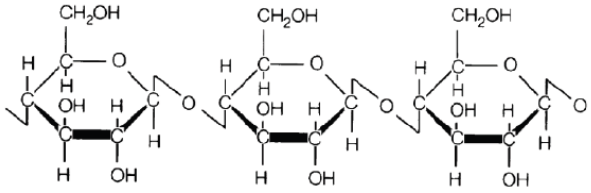
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของ acrylate copolymer

ที่มา : Monice Zondlo. (2002). final report on the safety assessment of acrylate copolymer and 33 related cosmetic ingredients, *International journal of toxicology*, 21, 1-50

2.3 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของผนังเซลล์ และจัดเป็นโพลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งประกอบไปด้วย กลูโคส (β-D-glucose) ที่เชื่อมกันเป็นสายโซ่ตรงที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 ของโมเลกุลของกลูโคส ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิติก ซึ่งโครงสร้าง

ของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบทำให้มีความเป็นผลึกสูง โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ (ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, น.9)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส

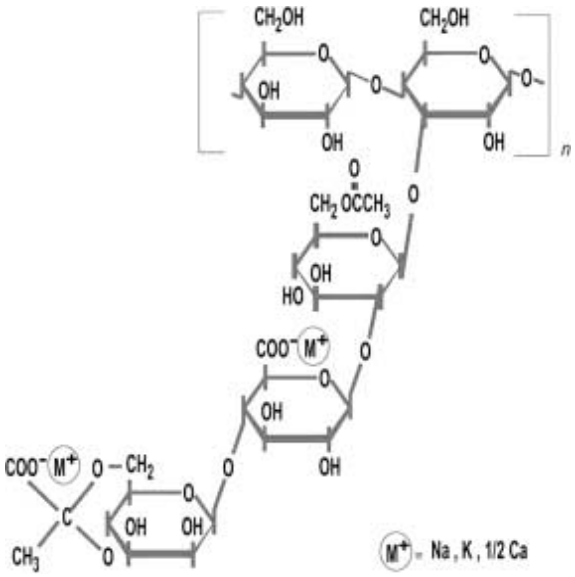
ที่มา : ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ. การสกัด และประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากชานอ้อย ผักตกชวา และธูปฤษี. คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ซึ่งในอุตสาหกรรมยาได้มีการนำสารกลุ่มเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสมาใช้เป็นสารปรุงแต่งยา เพื่อทำหน้าที่ เป็นสารเพิ่มปริมาณ (filler) สารยึด (binder) และสารก่อฟิล์ม (film forming agent) โดยตัวอย่างของอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ใช้ในทางเภสัชกรรม เช่น carboxy methyl cellulose (CMC), methyl cellulose (MC) และ hydroxyl ethyl cellulose (HEC) (ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, น.9)

เซลลูโลส มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือค่อนข้างขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ประกอบไปด้วย fibrous particle อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ที่เรียกว่า fibrous bundle โดยจะมีส่วนประกอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนผลึก (crystalline region) และส่วนอสัณฐาน (amorphous region) และยังสามารถแบ่งเซลลูโลสได้ 3 ชนิด คือ แอลฟา เบต้า และแกมมาเซลลูโลส (ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, น.10)

Xanthan gum

xanthan gum ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ ชนิดที่ใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ Xanthomonas compestris เป็น heteropolysaccharide ที่มี glucose mannose และ glucuronic acid ในอัตราส่วน 2.8:3:2 มีหมู่อะซิติลร้อยละ 4.7 และกรดไพรูวิกประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำตาล glucose ต่อกับ mannose ด้วยพันธะ β-1,4 และ mannose ที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลัก ซึ่งต่อด้วยพันธะ 1,2 หรือ 1,3 ส่วน glucuronic acid ต่อกันด้วยพันธะ β-1,2



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ xanthan gum

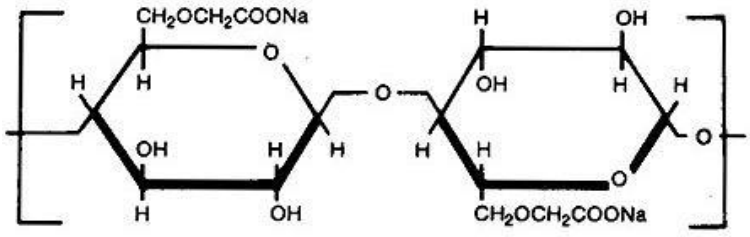
ที่มา : Karin Born, Virginie Langendorff and Patrick Boulenguer. (2005) . *Xanthan*. biopolymer online, 11, 259-291

xanthan gum มีความหนืดสูง และมีความคงตัวสูงทนต่อความร้อน ความหนืดของ xanthan gum จะมีความคงที่แม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปในช่วง 0-100 °C และ xanthan gum มีคุณสมบัติการไหลแบบ pseudoplastic (thixotropic) xanthan gum ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทางอาหารและยา เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัวเพื่อไม่เกิดการแยกชั้นในผลิตภัณฑ์ และ xanthan gum ยังใช้เป็นสารเพิ่มความ ข้นหนืดซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวได้ดี (Alan Imeson**,** 1997)

xanthan gum ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร และยา โดยในอุตสาหกรรมทางยา รวมไปถึงทางเครื่องสำอาง เช่น ครีม เจล โลชั่น สารแขวนลอย ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เป็นต้น โดยจะใส่ในตำรับประมาณ 0.1-1%(w/w) ซึ่ง xanthan gum จะทำหน้าที่เป็นสารให้ความข้นหนืด และเป็นตัวที่เพิ่มความคงตัวให้แก่อิมัลชั่น เพื่อไม่ให้เกิดการแยกชั้น หรือเสียความคงตัว (F.GarcõÂa-Ochoa, V.E. Santosa, J.A. Casasb, E. GoÂmeza, 2000)

Carboxy methyl cellulose (CMC)

โพลิเมอร์ธรรมชาติดัดแปร (modified natural polymers) ซึ่งก็คือโพลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิ-เมทิล (ปิยพร ร่มแสง และคณะ, 2555, น.1)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของ sodium carboxymethylcellulose

ที่มา : ปิยพร ร่มแสง และคณะ. CMC biopolymer**.** สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

CMC มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ โดยเป็นสารก่อให้เกิดเจลทางด้านเภสัชกรรม เป็นต้น (ปิยพร ร่มแสง และคณะ, 2555, น.1)

2.4 ตำรับเจล (gel formulation)

รูปแบบผลิตภัณฑ์กึ่งแข็ง อาจประกอบด้วยอนุภาคของสารอนินทรีย์ขนาดเล็กแขวนลอยอยู่หรือประกอบด้วยโมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่ถูกแทรกซึมโดยของเหลว (ปลื้มจิตต์ โรจนพันธุ์, 2537, น.39)

ศักดิ์ชัย ฟูสกุล ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การพัฒนาสูตรตำรับ alcohol gel” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารให้ความหนืด (carbopol 940) และนำมาพัฒนาเป็นตำรับ alcohol gel โดยจะทำการปรับปริมาณสารให้ความข้นหนืด และ humectants รวมทั้งหมด 6 ตำรับ เพื่อหาตำรับที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดจากการศึกษาความคงตัว โดยวิธี freeze-thaw cycle

เจลแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. Inorganic gel คือ มีอนุภาคของสารอนินทรีย์ขนาดเล็กแขวนลอยอยู่

2. Organic gel และ jelly คือ มีโมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดใหญ่แทรกอยู่ภายในของเหลวแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

2.1 Single-phase system คือ สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ กระจายอย่างสม่ำเสมอ จะมีแรง van der Waal เชื่อมโยงโมเลกุลอยู่ทำให้เกิดเป็น crystalline และ

amorphous region ทำให้โมเลกุลไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เจลที่ได้จะมีความเป็นเนื้อเดียวกันตลอด (homogenous) เช่น carbomer และ gum

2.2 Two-phase system คือ สารอินทรีย์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่หรืออนุภาคขนาดเล็กมารวมกันก็จะกลายเป็น floccules แสดงให้เห็นว่าระบบตำรับเจลนี้มีความคงตัวไม่ดี แต่สามารถกระจายตัวใหม่อีกได้ แสดงว่าเจลตำรับนี้มีคุณสมบัติเป็น thixotropic คือ ถ้าตั้งทิ้งไว้ก็จะอยู่ในรูปแบบกึ่งของแข็งกึ่งของเหลว แต่เมื่อมีแรงมากระทำก็จะกลายเป็นของเหลว (homogeneity) (ปลื้มจิต โรจนพันธุ์, 2537, น.39-40)

ประโยชน์ของเจล

เจล มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายทั้งทางเภสัชกรรมและทางเครื่องสำอาง อาทิเช่น ยาผิวหนัง และในทางเครื่องสำอาง สามารถทำได้หลากหลายชนิด เช่น แชมพู น้ำหอม ยาสีฟัน และผลิตภัณฑ์สำหรับจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

2.5 การเสื่อมสภาพของตำรับเจล

การเสื่อมสภาพของตำรับเจลสามารถเกิดได้ทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ ทางจุลชีววิทยา ซึ่งต่างก็มีความเชื่อมโยงกัน แต่จะเน้นเรื่องของความคงตัวของลักษณะทางกายภาพของเจล

การหดตัว (syneresis) เจลหลายชนิดเมื่อหดตัวในขณะที่ตั้งทิ้งไว้ มันจะมีของเหลวแทรกตัวอยู่ออกมาบนผิวของเจลและโดยปกติจะเกิดเมื่อมีความเข้มข้นของโพลิเมอร์ลดลง และขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลท์

คุณสมบัติการไหล (rheology) เจลมีการไหลแบบ pseudoplastic เมื่อมีแรงกวนหรือเขย่า ความหนืดจะลดลงเทได้สะดวก เมื่อเก็บไว้นานๆ เจลไม่ควรเปลี่ยนความหนืดแม้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

2.6 การศึกษาความคงตัวแบบสภาวะเร่ง

ในการศึกษาการเก็บสภาวะปกติที่เกิดขึ้นจริงอาจใช้เวลาศึกษานานนับปี ดังนั้น จึงมีการทดสอบ ผลแบบสภาวะแบบเร่งเพื่อร่นระยะเวลาในการทดสอบโดยมีปัจจัยกำหนด เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงการเขย่าหรือกวน เป็นต้น

ประโยชน์ของการศึกษาสภาวะเร่ง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาตำรับก่อนออกสู่ท้องตลาด เพื่อใช้ในการคัดเลือกตำรับที่ดีและยังช่วยคาดคะเนอายุของตำรับได้

2.6.1 การศึกษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ การเก็บตำรับไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการแยกชั้น ถ้าตำรับไม่มีความคงตัวที่ดีอาจเกิดการแยกชั้นและตกตะกอนได้

2.6.2 การศึกษาในการเก็บที่อุณหภูมิต่ำสลับสูง (freeze-thaw cycle) คือ การนำตำรับไปไว้ในที่อุณหภูมิต่ำนาน 48 ชั่วโมง สลับกับอุณหภูมิสูง อีก 48 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ การศึกษาด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนขนาดอนุภาคของเจล ซึ่งอาจเกิดการหดตัวหรือแยกชั้น

2.6.3 การศึกษาในสภาวะที่โดนแสง แสงมักเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการซีดหรือจางในตำรับ สีกลิ่นอาจเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือ ความใส ความขุ่นของเนื้อเจลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2.6.4 การศึกษาในสภาวะที่มีความชื้น คือ ความชื้นมีผลต่อความคงตัวทางฟิสิกส์ เคมี และจุลชีววิทยา ผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่ความชื้นแตกต่างกัน อาจมีผลต่อการแตกตัวของฟิล์มที่เคลือบ

2.6.5 การศึกษาการเขย่า คือ การกวนจะมีผลต่อตำรับเจล ทำให้อนุภาคชนกันมากขึ้น และเป็นการลดความหนืดของตำรับเจล ทำให้สามารถดูความคงตัวของตำรับเจล

2.6.6 การศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิห้อง คือ การเก็บตามรูปแบบอุณหภูมิปกติ เป็นการทดสอบความคงตัวของตำรับที่อุณหภูมิประมาณ 23-35°C

2.6.7 ศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิสูง คือ การนำตำรับเจลมาทำการศึกษาที่สภาวะเร่ง ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ที่อุณหภูมิ 37°C 40°C 45°C หรือ 50°C และจะทำการทดสอบเป็นเวลา 1 2 และ 3 เดือน หรืออาจมากกว่า จะทำให้ตำรับเจลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการแยกชั้นได้เช่นกัน และอาจมีผลต่อความหนืดของตำรับเจล

2.7 เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี

2.7.1 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ภาพที่ 2.8 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
ที่มา: http://www.worldoftest.com/sites/default/files/WFX-200_210.jpg

หลักการของเครื่อง AAS

AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ วิเคราะห์โดยอาศัยกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกัน (แม้น อมรสิทธิ์และคณะ, 2552)

การจำแนกธาตุชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นจำเพาะของอะตอมของธาตุ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยๆ ได้เป็นอย่างดี และเครื่อง AAS ยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ไม่น้อยกว่า 70 ชนิด ในสารตัวอย่างเกือบทุกชนิด ตัวอย่างธาตุที่สามารถวิเคราะห์ได้ ได้แก่ Cu, Zn, Cd, Sb, Bi, Fe, Co, Mn, Ni, Ag, Au, Pb, Ca, Sn, As, Ge, Se, Te, Ru, Os, Ir, Al, Si, Be, Sr, Ba, P, S, silicon ฯลฯ

รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และกมณชนก วงศ์สุขสิน ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และการอุปโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมาโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำบาดาล โดยใช้เครื่อง AAS แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Fe Mn Cu และ Zn ตามลำดับ

2.7.2 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR spectrometer)

ภาพที่ 2.9 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR spectrometer)
ที่มา : http://www.azom.com/images/equipments/EquipmentImage_865.jpg

หลักการของเครื่อง FTIR spectrometer

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิดได้ เทคนิค FTIR มีความไว ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบน้อยกว่าเทคนิคอื่นๆ ซึ่งเทคนิคนี้เป็นวิธีการทาง infrared spectroscopy ที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของสสารในช่วงความถี่ของแสงที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด การวิเคราะห์โครงสร้างสารอาศัยการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันของแต่ละโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนแสงช่วงคลื่นอินฟราเรดที่แตกต่างกันโดยช่วง wave numbers 4000 – 1500 cm^{-1} จะเป็นช่วงที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุล เช่น –OH, C=O, N-H, CH_3 เป็นต้น และในช่วง wave numbers 1500 – 4000 cm^{-1} เป็นช่วง the fingerprint region ซึ่งจะมีลักษณะของสเปคตรัมที่เฉพาะเจาะจงของสารแต่ละตัว แต่เนื่องจากจะมีจุดพีคเกิดขึ้นค่อนข้างเยอะ ดังนั้น การวิเคราะห์สเปคตรัม ช่วงนี้ค่อนข้างยาก เทคนิคนี้สามารถช่วยในการจำแนกชนิดของโพลิเมอร์ได้ ดังนั้น จึงนิยม ใช้เทคนิคนี้ในการตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้าง และองค์ประกอบของโมเลกุลรวมกับเทคนิคอื่นๆ (แม้น อมรสิทธิ์และคณะ, 2552)

พัชร์ชานันท์ ไชยวรรธ์ณ, วิศวัฒน์ สกุลศักดิ์นิมิตร, เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล และพรเพ็ญ อาทรกิจวัฒน์ ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การสังเคราะห์ฟิล์มพอลิยูรีเธนจากน้ำมันสกัดของเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์ของมอนอเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมอนอเมอร์ที่ทำการสังเคราะห์ คือ diazo-cardanol และ diazo-phenol ซึ่งสามารถยืนยันโครงสร้างได้ด้วยเทคนิค FTIR