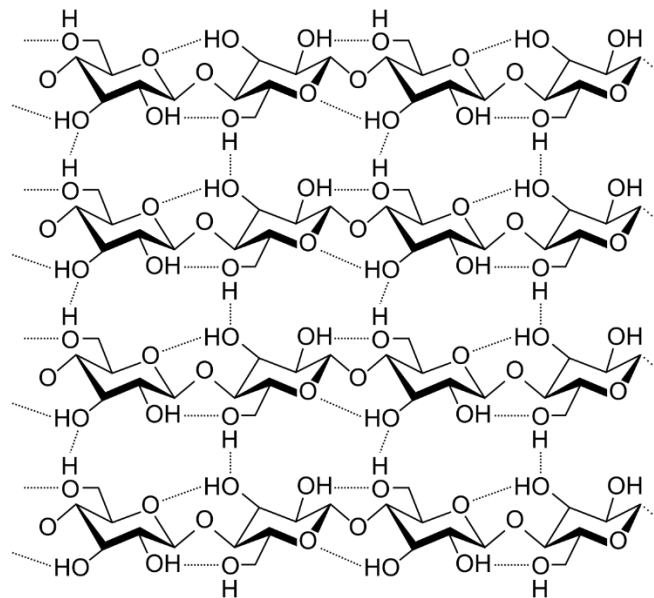


## บทที่ 32 รายละเอียดข้อมูลสารเคมีชีวภาพประเภท เซลลูโลส (Cellulose)

### 1. ข้อมูลทั่วไป

เซลลูโลส (Cellulose) มีสูตรโมเลกุลคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สำหรับโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก มาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งปีต้า-1,4 ( $\beta$  (1-4 glycosidic bond)) ได้เป็นสายยาวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสกว่า 1,000 - 10,000 โมเลกุล<sup>[1,2]</sup> ที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ แสดงดังภาพที่ 1 โดยเซลลูโลสจะมีหน่วยซ้ำที่เรียกว่าเซลโลไบโอส (Cellobiose) และทุกๆ หน่วยที่สองของกลูโคสที่ต่อกันในโมเลกุลของเซลลูโลสจะสามารถหมุนได้ 180 องศา เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลกลูโคส ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรง มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูง และไม่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป<sup>[3,4,5]</sup>



ภาพที่ 1 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส<sup>[6]</sup>

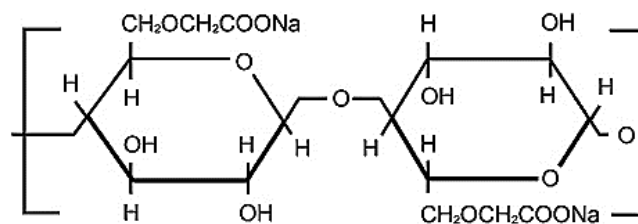
เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้ในเซลล์พืชและแบคทีเรีย สำหรับผนังเซลล์พืช (Plant cell wall structure) เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช หรือเส้นใยพืช (Vegetable fibers) จะประกอบด้วยโครงสร้างพอลิเมอร์ 3 ชนิดคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน หรือที่เรียกว่าลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) โดยปริมาณเซลลูโลสในพืชนอกจากจะขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตและสายพันธุ์ของพืชแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดพืช เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด ต้นมันสำปะหลัง ล้วนมีปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่แตกต่าง

กัน แสดงดังตารางที่ 1 โดยเซลลูโลสมักอยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลสและเพกทิน เพื่อทำหน้าที่เสริมสร้างโครงสร้างของลำต้นและกิ่งก้านพืชให้มีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้เซลลูโลสจัดเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ และไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์กระเพาะเดี่ยว <sup>[7]</sup>

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในสารชีวมวล <sup>[8]</sup>

ชีวมวล	ส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลสภายในพืช (%)		
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ฟางข้าว	32.1	24.0	12.5
ฟางข้าวสาเลี	30.5	28.4	18.0
ชานอ้อย	33.4	30.0	18.9
ซังข้าวโพด	45.0	35.0	15.0
ต้นปาล์ม	37.14	30.59	22.32
ต้นมันสำปะหลัง	32.2	13.85	26.96

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose : CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ประเภทพอลิเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยสารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากการตัดแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ทำให้มีหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิลเข้ามาแทนที่โครงสร้างเดิม ดังภาพที่ 2 ซีเอ็มซีหรืออนุพันธ์ของเซลลูโลสทั่วไปสามารถเตรียมได้จากเยื่อเซลลูโลสที่มีปริมาณเซลลูโลสคุณภาพสูงหรือแอลฟาเซลลูโลส (Alpha cellulose) โดยซีเอ็มซีจะถูกนำไปใช้เป็นสารคงสภาพ สารเพิ่มความหนืดเพื่อช่วยในการยัดติดหรือใช้เป็นสารเคลือบผิว ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การชักฟอก กาว กระดาษ อาหารและยา เป็นต้น <sup>[9]</sup>



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส <sup>[10]</sup>

## 2. กระบวนการสังเคราะห์

เซลลูโลสเป็นสารประกอบที่สามารถพบได้ในพืชหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั่วไป เช่น ฟางข้าว ใบปาล์ม ใบสับปะรด ต้นกก เปลือกทุเรียน เป็นต้น ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นและพัฒนาวิธีการสังเคราะห์เซลลูโลสออก

จากสารชีวมวลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ โดยทางคณะผู้จัดทำได้ยกตัวอย่างวิธีการสกัดหรือสังเคราะห์เซลลูโลสจากเสี้ยนใยมะพร้าวและจากแบคทีเรียมาในหัวข้อดังต่อไปนี้

## 2.1 การผลิตเส้นใยเซลลูโลสจากเส้นใยมะพร้าว (Coir fibers)

ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากเส้นใยมะพร้าวด้วยกระบวนการทางเคมี จะเริ่มจากการใส่เส้นใยมะพร้าวลงในไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อน้ำหนัก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กวนตลอดเวลา แล้วจึงล้างเส้นใยที่ได้ด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้เส้นใยเซลลูโลสเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งเส้นใยนี้สามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ (Composite material) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทำให้วัสดุมีน้ำหนักเบา <sup>[11]</sup>

## 2.2 การสังเคราะห์เซลลูโลสจากแบคทีเรีย <sup>[12]</sup>

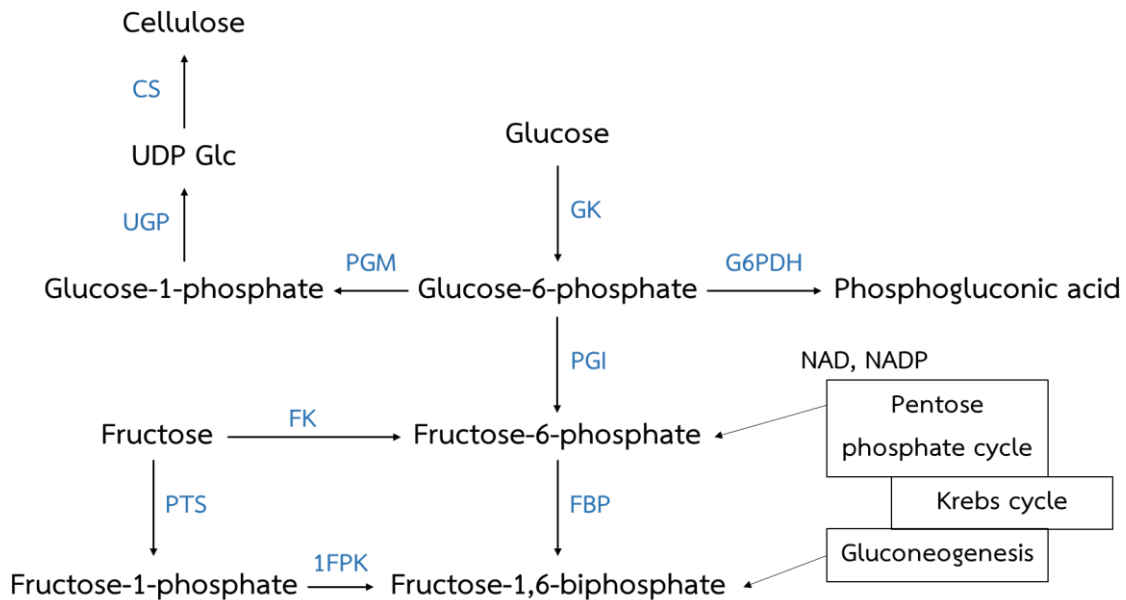
สำหรับเซลลูโลสที่ผลิตจากแบคทีเรียจะเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ มีโครงสร้างระดับนาโนที่ไม่ซ้ำกัน มีความบริสุทธิ์สูง มีความเป็นผลึกสูง มีความมั่นคงและเสถียรภาพทางเคมีสูง โดยโครงสร้างของเซลลูโลสจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแบคทีเรีย เช่น Aerobacter, Achromobacter, Gluconacetobacter, Azotobacter, Alcaligenes เป็นต้น แสดงข้อมูลโครงสร้างของเซลลูโลสดังตารางที่ 2 นอกจากนี้เส้นใยเซลลูโลสจากแบคทีเรียจะมีค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) สูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ 30-40 % สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีโครงสร้างพื้นฐานแบบไมโครไฟบริล (Micro fibrils) คือ การที่สายโซ่พอลิเมอร์เชื่อมกันอย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลนั่นเอง <sup>[12,13]</sup>

ตารางที่ 2 โครงสร้างของเซลลูโลสที่ผลิตจากแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ <sup>[12]</sup>

สกุล	โครงสร้างของเซลลูโลส
Acetobacter	แผ่นผ้าเคลือบเซลล์ประกอบด้วยเส้นใยคล้ายริบบิ้น
Achromobacter	เส้นใย
Aerobacter	เส้นใย
Rhizobium	เส้นใยขนาดสั้น
Agrobacterium	เส้นใยขนาดสั้น
Alcaligenes	เส้นใย

กระบวนการสังเคราะห์เซลลูโลสจากแบคทีเรียโดยใช้แหล่งคาร์บอนในการผลิต เป็นการเปลี่ยนสารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน เช่น กลูโคส ไซโลส ซูโครส กลีเซอรอล ไปเป็นสารตัวกลางที่สามารถเข้าสู่เมทาบอลิซึมหลักให้กลายเป็น Uridine Diphosphoglucose (UDP-Glucose) เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเซลลูโลส โดย

ขั้นตอนการสังเคราะห์เซลลูโลสจะเริ่มจากการเปลี่ยนกลูโคส ไปเป็น Glucose-6-phosphate (G-6-P) โดยใช้เอนไซม์ Glucose hexokinase (GK) จากนั้น G-6-P จะถูกเปลี่ยนไปเป็น Glucose-1-phosphate (G-1-P) ด้วยเอนไซม์ Phosphoglucomutase (PGM) แล้ว G-1-P จะถูกเปลี่ยนไปเป็น UDP-Glucose ด้วยเอนไซม์ Glucose-pyrophosphorylase (UGP) จากนั้นจะนำ UDP-Glucose ที่เตรียมได้มาต่อกันเป็นสายโซ่ของเซลลูโลส แสดงปฏิกิริยาดังภาพที่ 3 [12]



ภาพที่ 3 วิธีการสังเคราะห์เซลลูโลสจากแบคทีเรีย พัฒนาจาก [12]

### 3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

#### 3.1 บริษัทผู้ผลิต Cellulose

3.1.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Cellulose ภายในประเทศ

บริษัทผู้ผลิต	ที่อยู่	เบอร์	ประเทศ	Website
บริษัท เอฟเอ็มซี เค มิคัล (ประเทศไทย) จำกัด	500/15 หมู่ 3 ต.ตาสีทรี อ.ปลวกแดง จ.ระยอง 21140	03-8998 320	ไทย	<a href="http://www.fmc.com/">http://www.fmc.com/</a>
บริษัท สยาม เซลลูโลส จำกัด	เลขที่ 1 ถ.ปูนซิเมนต์ ไทย แขวงบางซื่อ เขต บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800	03- 4615000	ไทย	-

## 3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Cellulose ในต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Alier SA	C/Diputació 238 5 <sup>o</sup> 8 <sup>a</sup> Barcelona, Barce lona 08007	933 042 860	Spain	<a href="http://www.aliersa.com/ALIER/ALIER/Inicio.html">http://www.aliersa.com/ALIER/ALIER/Inicio.html</a>
Gibaplast di Barbieri Giovanni & C. Sas	11, Via Carducci Giosue - 21045 Gazzada Schianno (VA)	0332 873120	Italy	<a href="https://www.gibaplast.eu/">https://www.gibaplast.eu/</a>
Svenska Cellulosa Aktiebolaget SCA (publ)	Klarabergsviadukten 63 Stockholm, 10123	+46 60 19 30 00	Sweden	<a href="http://www.sca.com">www.sca.com</a>
Shanghai bichain industrial chemical Co., Ltd.	Bldg 7, Lane 646, Fulian Road, Baoshan District, Shanghai, 201906	+86-21- 6687-9755	China	<a href="http://www.bichain.com/">http://www.bichain.com/</a>
Cellulose eldorado austria GMBH	Schwertgasse 2/Top Xviii Wien, Wien, 1010	+43- 15322407	Austria	<a href="http://www.eldoradobrasil.com.br/">http://www.eldoradobrasil.com.br/</a>
International cellulose corperation	12315 Robin Blvd. Houston, TX 77045	(713) 433- 6701	USA	<a href="http://www.spray-on.com/">http://www.spray-on.com/</a>
CLEXTRAL	1 rue du Colonel Riez 42702 Firminy	+33(0)4 77 40 31 31	France	<a href="http://www.clextral.com/">http://www.clextral.com/</a>
Zhicheng Cellulose Co., Ltd.	Industrial Road No. 45, Jinzhou City, Hebei Province, China Dalian, Liaoning	86-311- 84445774	China	<a href="http://www.zhichenggroup.com.cn">http://www.zhichenggroup.com.cn</a>

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Chongqing longfar industrial Co., Ltd.	4/ F., No.69 Changjiang Yi Lu, Yuzhong District, Chongqing 400014	+86-23- 63671062	China	<a href="http://www.cqlongfar.com/">http://www.cqlongfar.com/</a>
N Shashikant & Co.	No.3, Indira niwas, Peru baug, Aarey road, Goregaon east, Mumbai-400063, Maharashtra	+91- 804807755 6	India	<a href="http://www.nescoglobal.com/">http://www.nescoglobal.com/</a>
Drenik Ltd.	Radnička cesta 52, 10 000 Zagreb	+385 1 618 22 19	Croatia	<a href="http://drenik-zg.com/en/">http://drenik-zg.com/en/</a>
Shinhigh international Co., Ltd.	10134,6th Street, Suite L, Rancho Cucamonga, CA 91730	909-466- 0880	USA	<a href="http://www.shinhigh.us/">http://www.shinhigh.us/</a>
CFF GmbH & Co. KG	Arnstädter Str. 2, 98708 Gehren	+49 (0) 36783- 882-0	Germany	<a href="http://www.cff.de/de/">http://www.cff.de/de/</a>
SIGMA-ALDRICH	2 Science Park Drive #05-01/12 Ascent Building 118222	+65 6593 4660	Singapore	<a href="https://www.sigmaaldrich.com/singapore.html">https://www.sigmaaldrich.com/singapore.html</a>
FMC Corporation	2929 Walnut Street Philadelphia, PA 19104	+215-299- 6000	USA	<a href="http://www.fmc.com/">http://www.fmc.com/</a>
Frenchem biotek, Ltd.	19 <sup>th</sup> Fortune Building, 359 <sup>th</sup> Hongwu road, Nanjing 210002, Jiangsu 210000	+86-25- 8421 8888	China	<a href="http://www.fenchem.com/">http://www.fenchem.com/</a>

### 3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Cellulose

#### 3.2.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Cellulose ภายในประเทศ

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
บริษัท บี โอ ที จำกัด	243,245,247 ซอย พัฒนาการ1 ถนน พัฒนาการ แขวงสวน หลวง กรุงเทพฯ 10250	(+662)319 2641		<a href="http://botthailand.com/TH/casing/cellulose-casing.html">http://botthailand.com/TH/casing/cellulose-casing.html</a>
บริษัท เอฟเอ็มซี เคมีคัล (ประเทศไทย) จำกัด	500/15 หมู่3 ต.ตาสีทึบ อ.ปลวกแดง จ.ระยอง 21140	03-8998 320	ไทย	<a href="http://www.fmc.com/">http://www.fmc.com/</a>
บริษัท อดิตยา เบอรัลล่า เคมีคัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด	77 หมู่ 6 ซอยสุขาภิบาล 1 ถนนปู่เจ้าสมิงพราย ต.สำโรงใต้ อ.พระประ แดง จ.สมุทรปราการ 10130	02- 7485722		<a href="http://www.adityabirla.com/thai/Businesses/profile/abcl_thai">http://www.adityabirla.com/thai/Businesses/profile/abcl_thai</a>
บริษัท ซิกมา-อัลดริช (ประเทศไทย) จำกัด	อาคารเดอะพรอมาเนด ชั้นจี ห้องเอบีซี 2/4 ถนน วิทยู แขวง ลุมพินี เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	02-655 2227	ไทย	-

#### 3.2.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Cellulose ในต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Janestic Co., Ltd	Room 1-1205 4th building of Dinghao Square, No.44 South Industrial Road, Shandong, Jinan	86-0531- 68657639	China	<a href="http://janestic.en.made-in-china.com/">http://janestic.en.made-in-china.com/</a>

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Eurosanex S.L.	Polígono Industrial Castilla. Esquina Vial 2, Vial 5, 46380 Chestre	+34 962 51 04 07	Spain	<a href="http://www.eurosanex.com/">http://www.eurosanex.com/</a>
LYZASER, S.L.	P.I. Plaza, Turiaso, 27, NAVE B-33, 50197 Zaragoza, Zaragoza	685 040 400	Spain	<a href="http://www.lyzaser.es/">http://www.lyzaser.es/</a>
Prolimsur Malaga S.L.	Calle Hermanas Bronte, 56, 29004 Málaga	+34 95210 5762	Spain	<a href="http://www.prolimsur.com/">http://www.prolimsur.com/</a>
Tianjin Xinzheng Lianyi Chemicals Co., Ltd.	18 Jingu Road, Jinnan District, Tianjin China, Shijiazhuang, Hebei	-	China	-
Shanghai bichain industrial chemical Co., Ltd.	Bldg 7, Lane 646, Fulian Road, Baoshan District, Shanghai, 201906	+86-21- 6687-9755	China	<a href="http://www.bichain.com/">http://www.bichain.com/</a>
Jining Fortune Biotech Co., Ltd.	Shandong, Zhanghuang Industrial Zone, Yutai, Jining City, Shandong Province	86-537- 6176789	China	<a href="http://www.sdfchem.com">http://www.sdfchem.com</a>
Aditya birla group	11 <sup>th</sup> Floor – 1101 & 1102 OCEAN, Opp. Vadodara Central Mall, Vikram Sarabhai Marg, Vadiwadi, Vadodara 390 023 Gujarat	+91 265 6171200- 201	India	<a href="http://www.birlacellulose.com/">http://www.birlacellulose.com/</a>



Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Shenzhen Dieckmann Technology Development Co., Ltd.	2 Floor, 3 Buiding Matuan Nake Place, 2-10 South of Jinlong Road, Pingshan New District, Shenzhen, Guangdong, 518172	86-755-28961872	China	<a href="http://szdieckmann.en.made-in-china.com/">http://szdieckmann.en.made-in-china.com/</a>
Agrosyn Impex Daman	Agrosyn Impex Shamik Patel (Proprietor) G-5, Yogeshwar Krupa, Khariwad Nani Daman, Daman-396210, Daman& Diu, India	+91 99987 66647	India	<a href="http://agrosyn.co.in/">http://agrosyn.co.in/</a>
Ankit Pulps And Board Pvt Ltd.	39/2, Bhilgoan, Kamptee Road,, Nagpur, Maharashtra 441002	+91 712 204 1029	India	<a href="http://www.celluloseanakit.com/">http://www.celluloseanakit.com/</a>
SIGMA-ALDRICH	2 Science Park Drive #05-01/12 Ascent Building 118222	+65 6593 4660	Singapore	<a href="https://www.sigmaaldrich.com/singapore.html">https://www.sigmaaldrich.com/singapore.html</a>
Qingdao Kaineng Chemical Co., Ltd.	Qingdao World Trade Center, Qingdao, Shandong, 266000	86-532-85910592	China	<a href="http://kaineng-group.en.made-in-china.com/">http://kaineng-group.en.made-in-china.com/</a>
Fooding Group Limited	Room 1903, 759 South Yanggao Road, Pudong, Shanghai, 200127	86-21-50321522	China	<a href="http://www.chinafooding.com/">http://www.chinafooding.com/</a>

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Tengzhou Tuoliduo Industrial & Trade Co., Ltd.	The South side of Chunteng Road in Tengz, Tengzhou, Shandong	86-6- 325981168	China	-
Triveni Interchem Pvt. Ltd.	134, Pancharatna Char Rasta, G.I.D.C., Vapi, Gujarat 396195	+91 260 661 8618	India	<a href="http://www.triveniinterchem.com/">http://www.triveniinterchem.com/</a>

#### 4. การประยุกต์ใช้ Cellulose ในอุตสาหกรรม

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อไม้ และสามารถพบได้ในส่วนอื่นๆ ของพืชได้ด้วย โดยสามารถนำเซลลูโลสมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เช่น อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ แสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

##### 4.1 ผลิตภัณฑ์ทดแทนจากเอทานอล

เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการเปลี่ยนพืชเป็นแป้งและน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ (อ่านรายละเอียดและกระบวนการผลิตเอทานอลได้ในเรื่องเอทานอลชีวภาพ) แต่เนื่องจากแป้งและน้ำตาลเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการผลิตอาหารทำให้อาจมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการบริโภค ดังนั้นเซลลูโลสจึงอีกเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอล เนื่องจากเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของพืชที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ มีกระบวนการผลิตคล้ายแป้ง แต่แตกต่างกันที่เอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายเซลลูโลสคือเอนไซม์เซลลูโลส ซึ่งผลิตได้จากจุลินทรีย์ เช่น รา เห็ด แบคทีเรีย <sup>[14]</sup>

เอทานอลที่ผลิตได้จากเซลลูโลส หรือที่เรียกว่าเซลลูโลซิเอทานอล (Cellulosic ethanol) หรือลิกโนเซลลูโลซิเอทานอล (Lignocellulosic ethanol) เป็นการนำส่วนประกอบต่างๆ ของพืช ทั้งลำต้น ก้าน ใบ หรือส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เช่น ชากต้นไม้ เศษไม้ เศษหญ้า ฟางข้าว มาผลิตเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากในช่วงการเติบโตของพืชจะมีการสะสมพลังงานจากดวงอาทิตย์ไว้ในรูปพลังงานเคมีของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นเมื่อนำเซลลูโลสมาผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้เป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นนำน้ำตาลกลูโคสมาผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ เช่น *Saccharomyces cerevisiae*, *Zymomonas mobilis* เพื่อเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ประเภทเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์กว่า 95% เพื่อใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินหรือน้ำมันดีเซลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆ แต่กระบวนการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสยังมีความซับซ้อนและมีต้นทุนสูง จึงอาจยังไม่เป็นที่นิยมในระดับอุตสาหกรรมและเชิงการค้า <sup>[15,16,17]</sup>

## 4.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

เซลลูโลส นอกจากจะพบได้ในพืช ธัญพืชและผักใบเขียวแล้ว ยังพบได้ในชานอ้อยและใบสับปะรดอีกด้วย สำหรับประเทศไทยซึ่งจัดว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีทั้งใบสับปะรดที่เหลือหลังจากการเก็บเกี่ยวสับปะรด และมีอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลจากชานอ้อย ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตเส้นใยเซลลูโลสจากชานอ้อยและใบสับปะรด เช่น ไลโอเซลล์ (Lyocell) แอซิเตด (Acetate) ไตรแอซิเตท (Triacetate) เรยอน (Rayon) เป็นต้น การนำเส้นใยประดิษฐ์ที่ได้จากเซลลูโลสธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอถือว่าเป็นนวัตกรรมที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกด้วย<sup>[26]</sup> ดังเช่น เรยอน เป็นเส้นใยประดิษฐ์ชนิดแรกที่ประกอบด้วยเซลลูโลสที่นำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อใช้เลียนแบบไหมให้มีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม เป็นมันวาวคล้ายไหม สวมใส่สบาย สำหรับแอซิเตดและไตรแอซิเตทเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยที่แอซิเตดมีความทนทานต่อการกัด ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการซักแห้งและทนต่อการขึ้นรา จึงนิยมนำไปผลิตเป็นผ้าม่านห้องน้ำ ในขณะที่ไตรแอซิเตดมีความทนต่อแสงแดดจึงนิยมผลิตอุปกรณ์ที่ใช้งานกลางแจ้ง หรืออาจผสมแอซิเตดและกับเส้นใยชนิดอื่น เช่น ผสมแอซิเตดกับเรยอนจะช่วยเพิ่มรักษารูปทรง ลดการยับของผ้า เป็นต้น<sup>[27]</sup>

## 4.3 อุตสาหกรรมพลาสติก

อุตสาหกรรมการแปรรูปทุเรียนจะก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทั้งเปลือกทุเรียนและเม็ดทุเรียนในปริมาณมากกว่าเนื้อทุเรียนที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ดังนั้นจึงมีหลากหลายความคิดและงานวิจัยเพื่อนำเปลือกทุเรียนและเม็ดทุเรียนมาใช้ประโยชน์ สำหรับเม็ดทุเรียนมีปริมาณกว่า 20-25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และในเม็ดทุเรียนจะมีแป้ง (Starch) เป็นองค์ประกอบมากถึง 56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง<sup>[18]</sup> ดังนั้นจึงสามารถนำเม็ดทุเรียนมาผลิตแป้งเพื่อใช้ในการผลิตฟิล์ม แต่ฟิล์มที่ได้นั้นจะเปราะและมีการดูดซับน้ำสูง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการเติมสารตัวเติม เช่น เส้นใยธรรมชาติ เซลลูโลส เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มแป้ง ดังเช่นงานวิจัยของวารินทร์ พิมพาและคณะ ได้มีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตแป้งจากเม็ดทุเรียนและใช้นาโนเซลลูโลสเป็นสารตัวเติม (Durian seed starch/cellulose nanoparticle (DSS/CN) composite films) และเตรียมฟิล์มคอมโพสิต DSS/CN ผสมกับโปแตสเซียมซอร์เบท ให้เป็นฟิล์มแอททิฟสำหรับบรรจุอาหารที่มีคุณสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging) เพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าของเม็ดทุเรียนที่นับว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พัฒนานวัตกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์ถนอมอาหารที่ย่อยสลายได้และปลอดภัยต่อผู้บริโภค<sup>[19]</sup>

เปลือกทุเรียนนับว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปทุเรียนที่มีปริมาณมากกว่าเม็ดทุเรียน ดังนั้นหากสามารถนำเปลือกทุเรียนมาใช้ประโยชน์ได้จะก่อให้เกิดมูลค่ามหาศาล โดยในปัจจุบันได้มีการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกหรือฟิล์มที่มีคุณสมบัติย่อยสลายจากเปลือกทุเรียน เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีสาร CMC ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ สำหรับขั้นตอนการผลิตฟิล์มจากการอบเปลือกทุเรียนที่ถูกหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วจึงสกัดเปลือกทุเรียนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จนได้เป็นเส้นใยเซลลูโลสน้ำตาล จากนั้นนำไปล้างเพื่อกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจะได้เป็นเส้นใย CMC สีขาว ก่อนนำไปบดและอบแห้งจะ

ได้ผง CMC เพื่อใช้ในการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ต่อไป นอกจากนี้อาจมีการเติมสารตัวเติมลงในกระบวนการผลิต เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มได้ด้วย ถึงแม้ว่าการผลิตฟิล์มจากเปลือกทุเรียนจะมีหลายขั้นตอน ได้ฟิล์มที่ไม่แข็งแรง ไม่คงทน แต่ฟิล์มที่ได้จะมีคุณสมบัติละลายน้ำและมีการดูดซึมความชื้นได้ดี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปริมาณขยะ<sup>[20]</sup> จากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการนำสาร CMC ที่ได้จากเปลือกทุเรียนมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มผงชา กาแฟ ที่สามารถละลายน้ำได้<sup>[21,22]</sup>



ภาพที่ 4 ซองชา กาแฟที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน<sup>[22]</sup>

การศึกษาปริมาณเซลลูโลสจากของเหลือทิ้งจากพืช เช่น ชานอ้อย ชังข้าวโพด กาบมะพร้าว ก้านกล้วย กากปาล์ม ใบคะน้า ใบสับปะรดและผักตบชวา พบว่ามีปริมาณเซลลูโลสเท่ากับ 41.255, 39.352, 35.556, 33.856, 33.082, 26.782, 26.702 และ 24.372 ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยของวิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ จึงเลือกสังเคราะห์แผ่นฟิล์มชีวภาพจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากชานอ้อย โดยเริ่มจากการเติมผงเซลลูโลสลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% จากนั้นเติมสารละลายกรดคลอโรอะซิติกในสารละลายไอโซพริลแอลกอฮอล์ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วจึงแยกเอาส่วนหนืดออกมาจากส่วนใส แล้วเติมเมทานอลลงไป จะได้ CMC เป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นผสม CMC กับแป้งมันสำปะหลัง แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยการนำสารละลายที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงลอกแผ่นฟิล์มออกมา<sup>[23]</sup>

#### 4.4 อุตสาหกรรมอาหารและยา

เซลลูโลส เป็นสารประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่พบได้ในผนังเซลล์พืช ธัญพืชและผักใบเขียวทั่วไป ดังนั้นการรับประทานพืชผักเหล่านี้จะได้รับเซลลูโลสเข้าสู่ร่างกายด้วย โดยที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้เหมือนกับสัตว์กินพืชที่อาศัยแบคทีเรียในกระเพาะอาหารเป็นตัวย่อยสลายเซลลูโลส เพื่อให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วจึงขับถ่ายออกมาในรูปของเส้นใยอาหาร แต่การรับเซลลูโลสเข้าสู่ร่างกายมนุษย์จะช่วยให้การดูดซึมน้ำ ทำให้อุจจาระอ่อนนุ่มและระบบขับถ่ายเป็นปกติ ช่วยป้องกันโรคท้องผูกและโรคริดสีดวงทวารได้ ดังนั้นเซลลูโลสจึงจัดว่าเป็นสิ่งจำเป็นต่อร่างกายที่ต้องรับประทานเป็นประจำ นอกจากนี้ในพืชและผักใบเขียวยังมีทั้งวิตามินและเกลือแร่ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่ร่างกายต้องการอีกด้วย<sup>[24]</sup>

สำหรับอุตสาหกรรมยา สามารถนำเซลลูโลสมาทำเป็นแผงบรรจุยาหรือที่เรียกว่าเซลโลเฟน (Cellophane) หรือผ้าพันแผลได้ เนื่องจากเซลลูโลสมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกระดาษ มีลักษณะเป็นพลาสติก แต่ไม่มีสมบัติของพลาสติก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ดังนั้น ก่อนนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องเคลือบด้วยเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากเซลโลเฟนมีคุณสมบัติป้องกันก๊าซออกซิเจน และกลิ่นได้ดี แต่มีความไวต่อความชื้นง่ายทำให้เกิดการหดและขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น และจะเปราะเมื่ออากาศแห้งหรือเย็น ทำให้มีข้อจำกัดทางการใช้งาน ดังนั้นจึงนิยมเคลือบเซลโลเฟน ด้วยไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) หรือพีวีซี (Polyvinyl chloride) ความหนาประมาณ 0.01 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันความชื้นและช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการปิดผนึก (Seal) [25]



ภาพที่ 5 เซลโลเฟน [25,26]

## 5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

ความต้องการเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขีดจำกัด ทำให้หลายประเทศจำเป็นต้องแสวงหาและสร้างแหล่งพลังงานทดแทนขึ้นมาใหม่ เพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน ลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปัญหาภาวะโลกร้อน เช่น ไบโอดีเซล เอทานอลชีวภาพ เมทานอลชีวภาพ เป็นต้น ถึงแม้ว่าการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสจะยังไม่เป็นที่นิยมในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากต้องใช้ต้นทุนสูง แต่กว่า 7 ปีที่ผ่านมา ทางบริษัท Praj Industries Limited ได้ทุ่มงบประมาณกว่า 30 ล้านดอลลาร์สหรัฐในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสและได้ก่อตั้งโรงงานชีวภาพแบบครบวงจรเป็นแห่งแรกในประเทศอินเดีย เพื่อใช้ผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสหรือของเสียทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยมีกำลังการผลิตเอทานอลมากกว่า 1 ล้านตันต่อปี [28]

การประกวดนวัตกรรมในงานสุดยอดไอเดียนวัตกรรมจากเด็กไทย ที่มีชื่อว่า นวัตกรรมความคิด พลิกชีวิตสู่นาคต ประจำปีค.ศ. 2016 ได้มีการส่งผลงานเกี่ยวกับการผลิตแผ่นพลาสติกปิดแผลจากเซลลูโลสอ้อยเข้าประกวดและได้รางวัลชนะเลิศ ซึ่งแผ่นพลาสติกปิดแผลนี้พัฒนามาจากธรรมชาติ 100% โดยอาศัยการดึงเอาเอนไซม์น้ำตาลสดจากต้นอ้อยมาผสมกับแบคทีเรียเซลลูโลสเพื่อใช้ผลิตไฮโดรเจนเอปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะให้มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ สามารถดูดซับของเหลวได้ดี ป้องกันการติดเชื้อ ลดรอยแผลเป็น และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ [29,30]

### เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภาวดี ผลประเสริฐ. (2557). การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22, 5: 641-649.

- [2] Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148.
- [3] บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.[Online]. Available from: <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0658/03chapter2.pdf>
- [4] วัสดุเหลือใช้มวลชีวภาพ. [Online] 2011. Available from: <https://www.slideshare.net/tony2010/9789740328322>
- [5] อุษารัตน์ รัตนค่านวน. (2557). การเตรียมเซลลูโลสตัดแปรที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรภายใต้พลังงานไมโครเวฟ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [6] Cellulose. [Online] 2017. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>
- [7] โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์. [Online] 2012. Available from: <http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/files/2.รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร.pdf>
- [8] พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์. (2554). การผลิตเอทานอลจากเหง้ามันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [9] ปิยพร รมแส และคณะ. “CMC biopolymer”. สาขาวิศวกรรมอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมและการเกษตร คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] Carboxy methyl cellulose. [Online] 2006. Available from: <http://www.sinokem.com/products/carboxy-methyl-cellulose/>
- [11] ทศพร ศรีวรกุล และคณะ. (2559). การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากเส้นใยมะพร้าวด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรง. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 3, 5: 206-216
- [12] นันทรัตน์ พุกษาพิทักษ์ และคณะ. (2558). การผลิตเซลลูโลสจากน้ำคั้นยอดปาล์มน้ำมันโค่นทิ้งเพื่อการปลูกใหม่โดยเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 086. มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [13] Cai, Z., & Kim, J. (2010). Bacterial cellulose/poly (ethylene glycol) composite: characterization and first evaluation of biocompatibility. *Cellulose*, 17(1), 83-91.
- [14] Cellulose Ethanol...ทางเลือกใหม่ของการผลิตเอทานอลในอนาคต. [Online] 2016. Available from: <http://www.exim.go.th/doc/research/article/10586.pdf>
- [15] Inno ok: เกาะติดพลังงานทดแทน ‘เอทานอลจากเซลลูโลส’. [Online] 2007. Available from: <http://www.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=9510000069882>
- [16] การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส. [Online] 2009. Available from: [http://www.doa.go.th/biotech/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=135](http://www.doa.go.th/biotech/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=135)

- [17] ชัยนันท์ นิवासวงษ์ และเฉลิม เรื่องวิริยะชัย. (2555). การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 40, 4: 1073-1088.
- [18] Pimpa, W., Pimpa, C., & Junsangsree, P. (2012). Development of biodegradable films based on durian seed starch. In *Advanced Materials Research* (Vol. 506, pp. 311-314). Trans Tech Publications.
- [19] วารินทร์ พิมพา. (2557). การสังเคราะห์คอมโพไซด์แป้งเม็ดทุเรียน-อนุภาคนาโนเซลลูโลสและประสิทธิภาพของการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [20] อิศราภรณ์ โฉ่นารายณ์. แผ่นฟิล์มจากเปลือกทุเรียน ลดปัญหาขยะ รักษาสิ่งแวดล้อม. สำนักงานคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 1-5.
- [21] แผ่นฟิล์ม..เปลือกทุเรียน ลดปัญหาขยะ รักษาสิ่งแวดล้อม. [Online] 2012. Available from: <http://www.thairath.co.th/column/eco/capable/12182>
- [22] ชองชา-กาแพ ละลายน้ำ จากเปลือกทุเรียน. [Online] 2013. Available from: <https://www.thairath.co.th/content/edu/348825>
- [23] วิทวัส จิรัฐพงศ์ และกฤษณเวช ทรงธนศักดิ์. (2554). การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 21
- [24] เซลลูโลส...ดีอย่างไร. [Online] 2011. Available from: [http://herbalssak.blogspot.com/2011/12/blog-post\\_1447.html](http://herbalssak.blogspot.com/2011/12/blog-post_1447.html)
- [25] วัสดุที่ใช้ในการทำแผงบรรจุยา. [Online] 2015. Available from: <http://www.เครื่องบรรจุแคปซูล-เครื่องอัดแคปซูล.com/สาระความรู้เครื่องแพ็คยา—เครื่องบรรจุยา/วัสดุที่ใช้ในการทำแผงบรรจุยา.html>
- [26] White color and cellophane paper packing medical PBT high elastic bandage. [Online] 2017. Available from: [https://www.alibaba.com/product-detail/White-color-and-cellophane-paper-packing\\_607487822.html](https://www.alibaba.com/product-detail/White-color-and-cellophane-paper-packing_607487822.html)
- [27] เสวนา “เซลลูโลสประดิษฐ์” เส้นทางใหม่ของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย. [Online] 2016. Available from: [http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/04/smt\\_25590404\\_1](http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/04/smt_25590404_1)
- [28] Praj ตั้งโรงงานสาธิตผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส. [Online] 2017. Available from: <http://www.aeif.org/2016/article/3911.html>
- [29] พลาสติกรีไซเคิลจากเซลลูโลสอ้อย สุดยอดไอเดียนวัตกรรมจากเด็กไทยต่อยอดพืชเศรษฐกิจ Bio Economy. [Online] 2017. Available from: <https://www.brandbuffet.in.th/2017/03/mitrphol-innovator-award-2016-winners/>

- [30] สัมภาษณ์ 3 ไอเดียนวัตกรรมเด็กไทยไม่ธรรมดา! ใน Mitr Phol Bio Innovator Awards 2016 นวัตกรรมจากพืชเศรษฐกิจไทย. [Online] 2017. Available from: <https://www.iurban.in.th/inspiration/mitrpholbioinnovatorawards2016/>