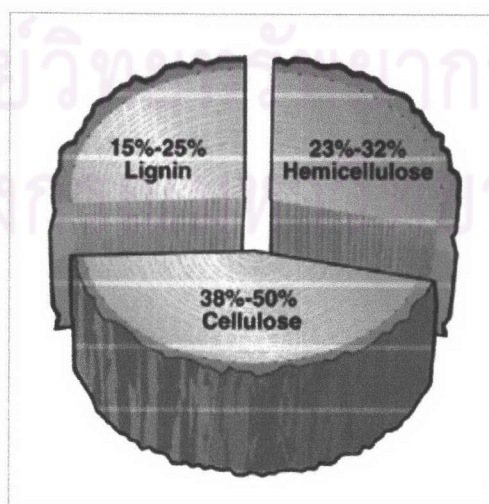


บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

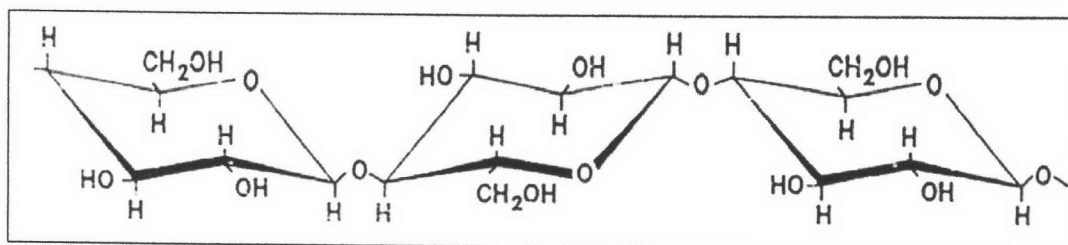
2.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นสารประกอบชีวภาพที่มีปริมาณมาก เซลลูโลสในธรรมชาติจะอยู่ร่วมกับสารประกอบชีวภาพชนิดอื่นๆ เช่น ในเนื้อไม้เซลลูโลสจะอยู่กับลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และสารประกอบอื่นๆ (รูปที่ 2.1) (Palonen, 2004) เซลลูโลสสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย เช่น อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ (Buchert and Heikinheimo, 1998) อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมอาหาร (Kennedy, Phillips and Williams, 1990) ฯลฯ เซลลูโลสมีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยย่อยของ D-glucose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glucosidic เรียงตัวกันเป็นเส้นตรงอย่างเป็นระเบียบ (รูปที่ 2.2) โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบไปด้วยกลูโคสอย่างน้อย 15 หน่วย จนถึงประมาณ 10,000-14,000 หน่วย (Cowling and Kirk, 1976) แต่ละโมเลกุลของเซลลูโลสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนที่อยู่ในวงแหวนของโมเลกุลถัดไป และเชื่อมต่อกันระหว่างสายเซลลูโลสที่ขนานกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 กับออกซิเจนที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของ D-glucose ในอีกสายหนึ่งซึ่งจะทำให้สายเซลลูโลสเรียงตัวขนานกันอย่างมีระเบียบเป็นโครงสร้างผลึก (crystalline cellulose) และโครงสร้างผลึกเหล่านี้จะมารวมกันเป็นโครงสร้างที่เรียกว่าไมโครไฟบริล (microfibril) (รูปที่ 2.3) (Zabriskie, Qutabuclidin and Dowing, 1980; Sasaki, 1982)

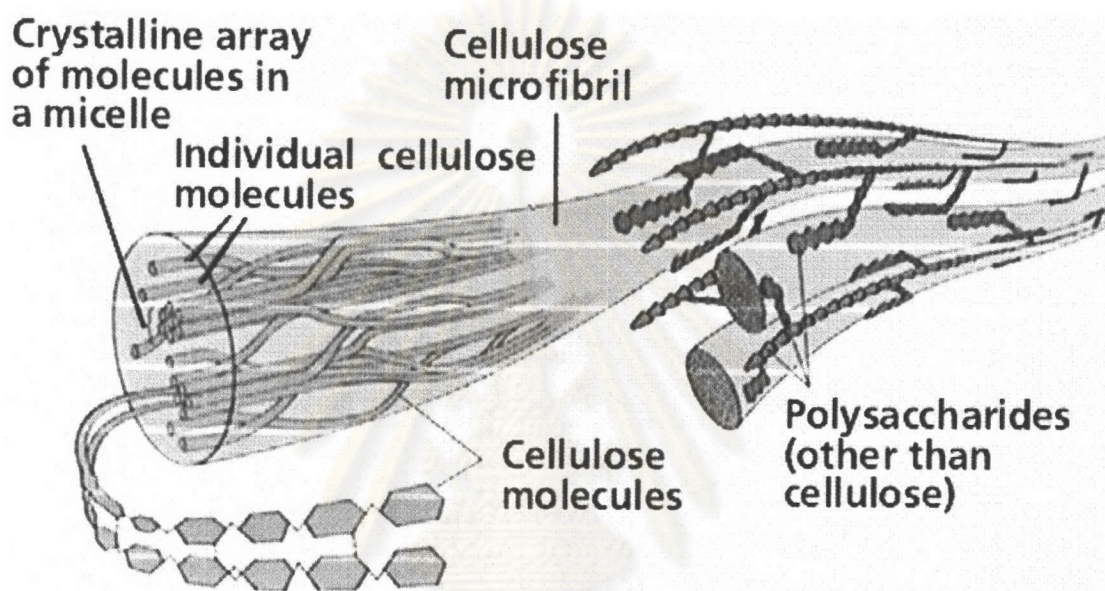


รูปที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ที่พบในเนื้อไม้

(ที่มา: U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy. 2006)



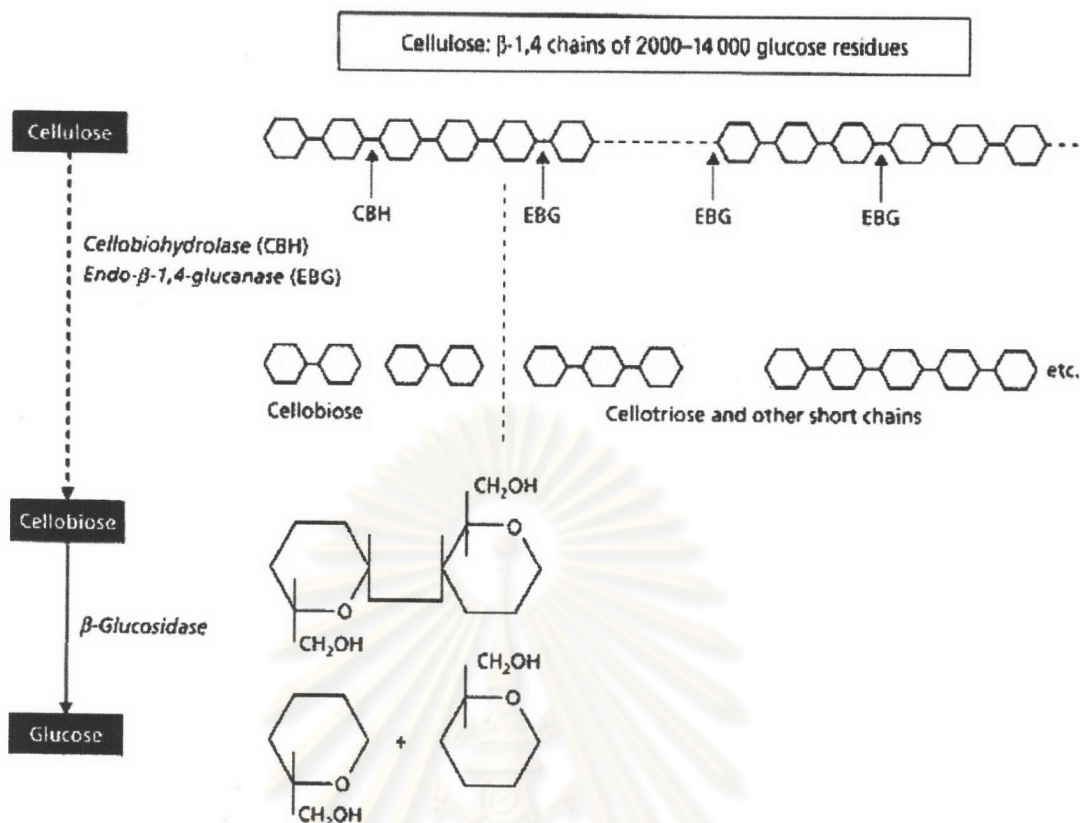
รูปที่ 2.2 หน่วยย่อยของเซลลูโลส (ที่มา: Winkelmann, 1992)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส (ที่มา: Purves, Orians and Heller, 1994)

2.2 เซลลูเลส (Cellulase)

การศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเซลลูเลสเริ่มขึ้นโดย Reese Ralph และ Hillel (1950) (Montenecourt, 1983) โดยพบว่าเซลลูเลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ทำงานร่วมกันในการย่อยสลายเซลลูโลส คือ 1) endo-1,4- β -glucanase (EC 3.2.1.4) ทำหน้าที่ย่อยสลาย amorphous cellulose และอนุพันธ์ต่างๆ ของเซลลูโลส เช่น carboxymethyl cellulose (CMC) โดยย่อยสลายพันธะ β -1,4-glycosidic แบบสุ่ม ได้เป็นเซลลูโลสสายสั้นๆ จำนวนมาก 2) cellobiohydrolase (EC 3.2.1.91) ทำหน้าที่ย่อยสลาย crystalline cellulose และ amorphous cellulose โดยการตัดพันธะ β -1,4-glycosidic ที่ปลาย nonreducing ได้ผลผลิตเป็นเซลโลไบโอส (cellobiose) ซึ่งเป็นกลูโคส 2 โมเลกุลที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic และ 3) β -D-glucosidase (EC 3.2.1.21) ทำหน้าที่ตัดพันธะ β -1,4-glycosidic ระหว่างเซลโลไบโอสให้เป็นกลูโคสโมเลกุลเดี่ยว (Michael and Lars, 1988) (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 การทำงานของเซลลูเลสในการย่อยสลายเซลลูโลส (ที่มา : Daecon, 1997)

2.3 การผลิตเซลลูเลส

เซลลูเลสเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ (Arja and Pirkko, 2002; Buchert and Heikinheimo, 1998) อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมยา การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตเซลลูเลสได้แก่

1) จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตเซลลูเลส การผลิตเซลลูเลสในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้จุลินทรีย์ในการผลิต เนื่องจากเป็นแหล่งในการผลิตที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เจริญเติบโตง่าย สามารถผลิตเซลลูเลสได้ในปริมาณมาก จุลินทรีย์ที่คุณสมบัติในการผลิตเซลลูเลสได้แก่ *Clostridium* spp. *Aspergillus* spp. *Trichoderma* spp. ฯลฯ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.1 โดยเฉพาะเชื้อรา *Trichoderma reesei* มีการศึกษาวิจัยและนำไปผลิตเซลลูเลสมากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตเซลลูเลสที่มีประสิทธิภาพดี (Pokorny et al., 1990)

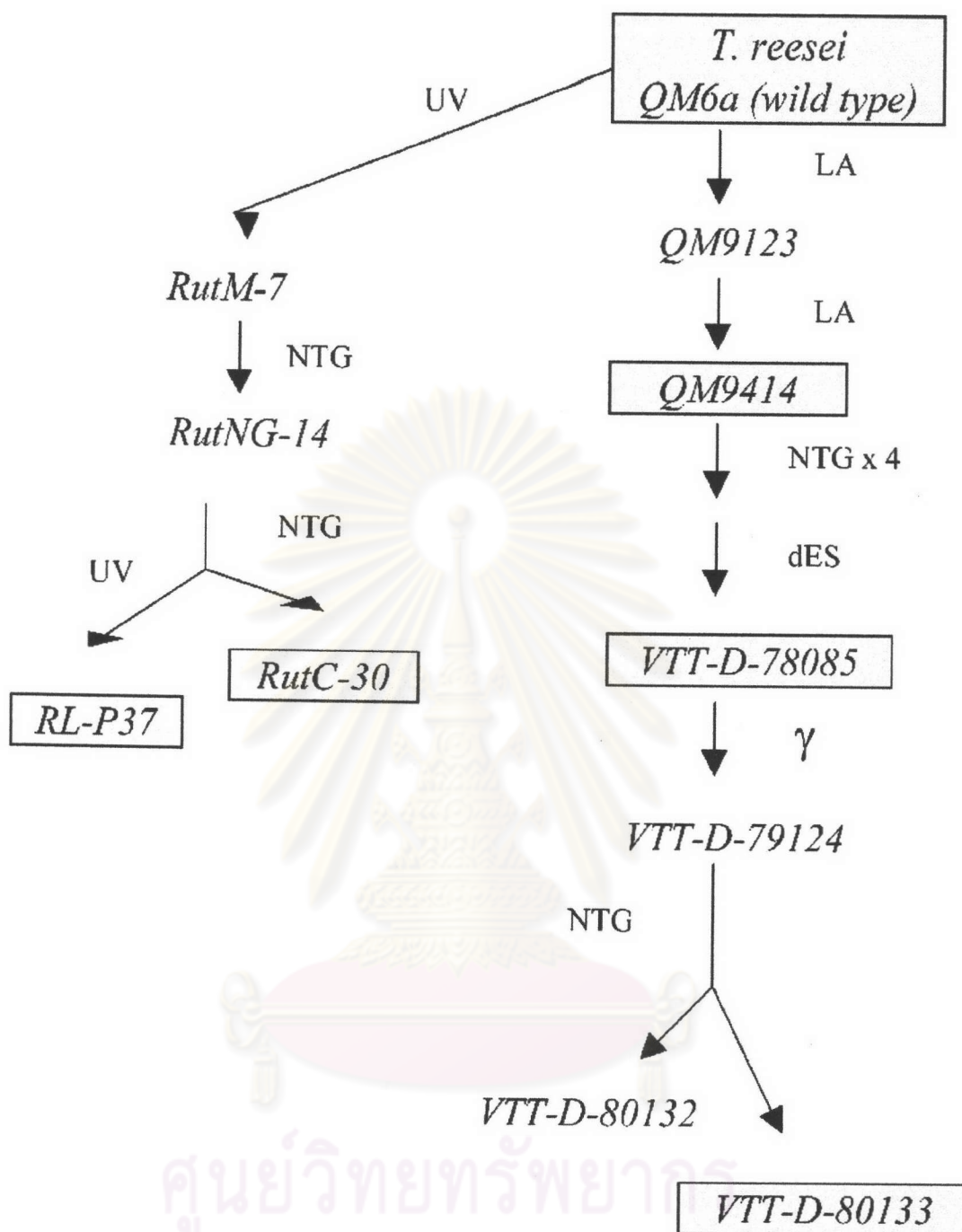
ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเซลลูเลสได้ (cellulolytic microorganisms)

| จุลินทรีย์ | แหล่งที่มา |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Aspergillus niger</i> | Hurst <i>et al.</i> , 1977 |
| <i>Aspergillus fumigatus</i> | Stewart <i>et al.</i> , 1983 |
| <i>Aspergillus terreus</i> | Garg and Neelakantan, 2004 |
| <i>Bacteroides succinogenes</i> | Russell, 1987 |
| <i>Bacteroides cellulosolvens</i> | Murray, 1986 |
| <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> | Buchanan and Gibbons, 1974 |
| <i>Clostridium thermocellum</i> | Thomas and Zeikus, 1981 |
| <i>Fomitopsis parustris</i> | Yoon and Kim, 2005 |
| <i>Fusarium solani</i> | Wood, 1971 |
| <i>Micromonospora chalconae</i> | Malfait, Godden and Penninckx, 1984 |
| <i>Morchella conica</i> | Manzoni and Cavazzoni, 1994 |
| <i>Neocallimastix frontalis</i> | Wilson and Wood, 1991 |
| <i>Penicillium funiculosum</i> | Rao and Mishra, 1984. |
| <i>Penicillium pinophilum</i> | Wood and McCrae, 1986 |
| <i>Ruminococcus flavefaciens</i> | Linden and Shiang, 1991 |
| <i>Trichoderma asperum</i> | Semenov <i>et al.</i> 1996 |
| <i>Trichoderma koningii</i> | Wood and McCrae, 1978 |
| <i>Trichoderma reesei</i> | Pokorny <i>et al.</i> , 1990 |

ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเซลลูเลสได้ (cellulolytic microorganisms) (ต่อ)

| จุลินทรีย์ | แหล่งที่มา |
|-----------------------------------|--|
| <i>Trichoderma pseudokoningii</i> | Nadalini Pizzirani-Kleiner and Carmona, 1999 |
| <i>Trichoderma viride</i> | Peitersen, 1975 |

เนื่องจาก *T. reesei* เป็นเชื้อราที่มีความสามารถในการผลิตเซลลูเลสได้ดี และนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเซลลูเลส จึงได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ของ *T. reesei* ให้สามารถผลิตเซลลูเลสได้ดียิ่งขึ้น (Gadgil *et al.*, 1995) โดยเริ่มจาก *T. reesei* ที่คัดแยกครั้งแรกได้โดย U.S. Army Natrick Laboratories, Natrick, MA, USA ได้ถูกนำมาปรับปรุงสายพันธุ์เป็น *T. reesei* QM6a (wild type) และจาก *T. reesei* QM6a นี้ก็ได้มีการปรับปรุงสายพันธุ์ขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งได้สายพันธุ์ต่างๆ อีกหลายชนิด ดังรูปที่ 5 (Stals *et al.*, 2004) โดยเฉพาะ *T. reesei* QM9414 และ Rut C-30 เป็นสายพันธุ์ที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาและผลิตเซลลูเลสค่อนข้างมาก (Liming and Xuelieng, 2004; Juhasz *et al.*, 2004; Wen Liao and Chen, 2005)



รูปที่ 2.5 แผนผังแสดงการปรับปรุงสายพันธุ์ *T. reesei* (ที่มา : Stals et al., 2004)

*หมายเหตุ : LA: linear accelerator; dES: diethyl sulfate; NTG: N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine; UV: ultraviolet light; γ : gamma irradiation.

2) แหล่งคาร์บอน เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ แหล่งคาร์บอน ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น กลูโคส เด็กซ์โตรส แมนโนส กาแล็กโตส ฯลฯ สารประกอบอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ฯลฯ ในการผลิตเซลลูเลสจะใช้เซลลูโลสเป็นแหล่งคาร์บอน เซลลูโลสมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (α -cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) รวมถึงแหล่งเซลลูโลสในธรรมชาติ เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว ฝ้าย ลำลี ฯลฯ (Liming and Xuelieng, 2004) การเลือกใช้แหล่งคาร์บอนขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ผลิตเซลลูเลส รวมถึงจุดประสงค์ของการผลิตด้วย การผลิตเซลลูเลสที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงจะใช้เซลลูโลสบริสุทธิ์ เช่น แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นต้น ถ้าเป็นงานในระดับอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตเซลลูเลสจำนวนมาก จะนิยมใช้แหล่งคาร์บอนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว มันสำปะหลัง เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้ มีราคาถูก และหาได้ง่ายกว่าเซลลูโลสบริสุทธิ์ จึงนิยมนำมาผลิตเซลลูเลสมากกว่าเซลลูโลสบริสุทธิ์

3) แหล่งไนโตรเจน จุลินทรีย์มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 8-10 ของน้ำหนักแห้งของเซลล์ แหล่งไนโตรเจนแบ่งออกเป็น 2 ชนิดที่สำคัญคือ 1) แหล่งอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย กลีโอะแอมโมเนีย เป็นต้น 2) แหล่งอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ กรดอะมิโน โปรตีน ยูเรีย เป็นต้น ปริมาณและการเลือกใช้ชนิดของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการผลิตเซลลูเลส เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.2 จุลินทรีย์บางชนิดเจริญได้ดีในอินทรีย์ไนโตรเจน และจุลินทรีย์บางชนิดเจริญได้ดีในอนินทรีย์ไนโตรเจน (สมใจ ศิริโชค, 2544)

ตารางที่ 2.2 การเลือกใช้ชนิด และปริมาณของไนโตรเจนในการผลิตเซลลูเลสโดยเชื้อราชนิดต่างๆ

| แหล่งไนโตรเจน | ปริมาณที่ใช้ (% w/v) | เชื้อรา | แหล่งที่มา |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ยูเรีย | 0.3 | <i>Trichoderma reesei</i> QM 9414 | Krishna et al., 2000 |
| น้ำแช่ข้าวโพด | 5 | <i>Aspergillus niger</i> KK2 | Kang et al., 2004 |
| เปปโตน | 0.75 | <i>Trichoderma reesei</i> | Reczey et al., 1996 |
| NH_4NO_3 | 5 | <i>T. reesei</i> | Busto, Ortega and Mateos-Perez, 1996 |
| | 6 | <i>T. reesei</i> | Ortega, Busto and Perez-Mateos, 2001 |
| | 1 | <i>Aspergillus niger</i> | Jecu, 2000 |

ตารางที่ 2.2 การเลือกใช้ชนิด และปริมาณของไนโตรเจนในการผลิตเซลล์โดยเชื้อราชนิดต่างๆ (ต่อ)

| แหล่ง ไนโตรเจน | ปริมาณที่ใช้ (% w/v) | เชื้อรา | แหล่งที่มา |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| NH ₄ NO ₃ | 0.25 | <i>A. fumigatus</i> | Dahot and Noomrio, 1996 |
| | 0.14 | <i>Trichoderma</i> sp. | Vlaev <i>et al.</i> , 1997 |
| | 0.5 | <i>T. reesei</i> Rut C30 | Domingues <i>et al.</i> , 2000 |
| | 0.2 | <i>T. reesei</i> Rut C30 | Xiao-Bin, Yun and Koo, 1999 |
| KNO ₃ | 0.1 | <i>Pestalotiopsis versicolor</i> | Rao and Mithal, 1983 |

4) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญต่อการผลิตเซลล์ เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.3 ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการผลิตเซลล์จึงมีความสำคัญอย่างมาก

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์โดยเชื้อราชนิดต่างๆ

| เชื้อรา | อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C) | แหล่งที่มา |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| <i>Aspergillus niger</i> | 28 | Gokhale Patil and Bastawde, 1991 |
| <i>Aspergillus niger</i> Z10 | 40 | Coral <i>et al.</i> , 2002 |
| <i>Fomitopsis palustris</i> | 70 | Yoon and Kim, 2005 |
| <i>Myriococcum albomyces</i> | 45 | El-Gindy, 1991 |
| <i>Neocallimastix</i> sp. | 50 | Lowe Theodorou and Trinci, 1987 |
| <i>Penicillium echinulatum</i> | 55 | Camassola <i>et al.</i> , 2004 |
| <i>Thermomonospora curvata</i> | 45 | Stutzenberger, 1972 |
| <i>Trichoderma reesei</i> PC-3-7 | 50 | Nogawa <i>et al.</i> , 1997 |

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสำคัญต่อการผลิตเซลล์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างใน

ตารางที่ 2.4 ดัชนีการเลือกใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างจึงต้องคำนึงถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตเซลล์

ตารางที่ 2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์โดยเชื้อราชนิดต่างๆ

| เชื้อรา | ค่าความเป็นกรด-ด่าง | แหล่งที่มา |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| <i>Aspergillus niger</i> | 3.0-5.5 | Gokhale Patil and Bastawde, 1991 |
| <i>Aspergillus niger</i> Z10 | 3.0-9.0 | Coral <i>et al.</i> , 2002 |
| <i>Fomitopsis palustris</i> | 4.5 | Yoon and Kim, 2005 |
| <i>Myriococcum albomyces</i> | 5.0-6.0 | El-Gindy, 1991 |
| <i>Neocallimastix</i> sp. | 5.5-6.0 | Lowe Theodorou and Trinci, 1987 |
| <i>Penicillium echinulatum</i> | 4.0-5.0 | Camassola <i>et al.</i> , 2004 |
| <i>Thermomonospora curvata</i> | 4.5 | Stutzenberger, 1972 |
| <i>Trichoderma reesei</i> PC-3-7 | 4.0 | Nogawa <i>et al.</i> , 1997 |

2.4 การวัดเซลล์แอกทิวิตี

การวัดเซลล์แอกทิวิตี เป็นการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเซลล์ วิธีในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่หลายวิธี ซึ่งวิธีวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ DNS method (Miller, 1959) และ Somogyi-Nelson method (Nelson, 1944; Somogyi, 1951) วิธี DNS Method เป็นวิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สะดวกและรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ความเข้มข้นมากกว่า 100 μg (Wood and Bhat, 1988) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือสามารถถูกรบกวนจากปัจจัยอื่นๆ ได้ง่าย เช่น ความเข้มข้นของซัลเฟต ความบริสุทธิ์ของเอนไซม์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม ทำให้ผลการวิเคราะห์อาจจะไม่แม่นยำเท่าที่ควร (River *et al.*, 1984) ส่วนวิธี Somogyi-Nelson method สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ความเข้มข้นช่วง 5-100 μg เท่านั้น (Wood and Bhat, 1988) แม้ว่าจะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่สะดวกน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธี DNS method แต่เป็นวิธีที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง (Breuil and Saddler, 1985)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยวิธี DNS method และ Somogyi-Nelson method เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีโดยการวัดค่าสี (colorimetry) (Somogyi, 1951; Mandels and Sternberg, 1976) วิธี DNS method เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับ 3,5-dinitrosalicylic acid ที่อุณหภูมิ 90°C ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง เกิดเป็น 3-amino, 5-nitrosalicylic acid ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง มีคุณสมบัติดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm ได้มากที่สุด (Miller, 1959) โดยความเข้มของสีจะแปรผันโดยตรงตามความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ ถ้าสารละลายตัวอย่างมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์มาก จะให้สีน้ำตาลแดงเข้ม และในทางกลับกัน ถ้าสารละลายตัวอย่างมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์น้อยจะให้สีเหลืองอ่อน วิธี Somogyi-Nelson method เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับสารละลาย alkaline-copper และ color reagent คือ arsenomolybdate reagent ทำให้สารละลายมีสีเขียว ถ้าสารละลายตัวอย่างมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์มากจะให้สีเขียวเข้ม และในทางกลับกันถ้าสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์น้อยจะให้สีเหลืองอ่อน (Nelson, 1944) จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยการใช้วิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี อ่านค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งการวัดเซลล์แสงแอกทิวิตีโดยวิธี DNS method จะอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm (Ghose, 1987) และการวัดเซลล์แสงแอกทิวิตีโดยวิธี Somogyi method จะอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm (Somogyi, 1951)

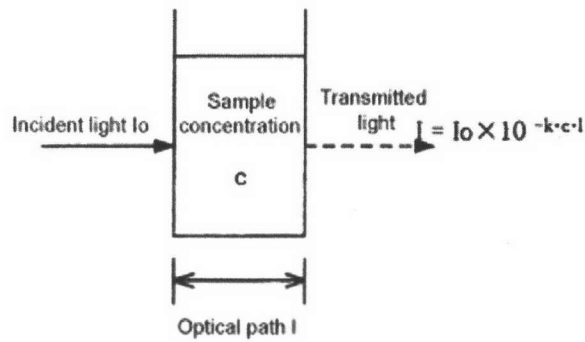
การคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เป็นการวัดค่าสีของสารละลายโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีหน้าที่วัดการส่งผ่านของแสง (transmitted) ตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (รูปที่ 2.6) นั่นคือ ค่าการดูดกลืนแสงสามารถคำนวณได้จากปริมาณความเข้มแสงที่ผ่านเข้า และออกจากสารละลายตัวอย่าง ดังสมการ

$$\text{Light Absorbance (A)} = \log \frac{I_0}{I}$$

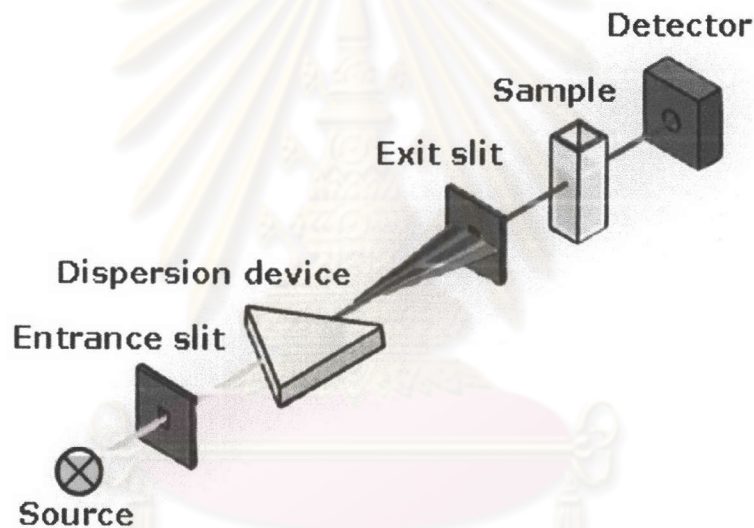
$$\text{Light Transmission (T)} = \frac{I}{I_0}$$

โดยกำหนดให้ I_0 = ความเข้มแสงเข้า

I = ความเข้มแสงออก



รูปที่ 2.6 การอ่านค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
(ที่มา : Global environment center foundation, 1997)

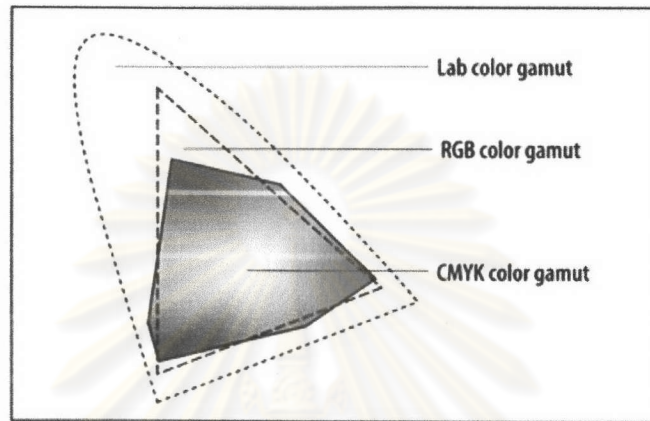


รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
(ที่มา : Global Medical Instrumentation, 2006)

2.5 การวัดเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบวัดประมวลผลทางภาพ

การนำระบบวัดประมวลผลทางภาพ (image processing technique) เข้ามาใช้ในการวัดค่าสี โดยใช้กล้องดิจิทัลบันทึกภาพในคู่แสงที่ควบคุมสภาพแสงให้คงที่ แล้วนำไปแปลงข้อมูลภาพเป็นค่าสีแทนการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Pointer, 2000; Luo *et al.*, 2002; Hansuebsai, Krisda and Pungrassamee, 2003) ซึ่งกล้องดิจิทัลใช้หลักการวัดการสะท้อนแสง (reflected) ของสารละลายตัวอย่าง ข้อดีของการวัดค่าสีด้วยวิธีวัดการสะท้อนแสงคือ เป็นการวัดค่าสีจากทุกทิศทาง ดังนั้นค่าสีที่ได้จะมีค่าถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น ภาพที่ได้จาก

กล้องดิจิทัลนั้นจะอยู่ในระบบสี RGB คือแม่สี 3 สี แดง เขียว น้ำเงิน (Red Green Blue) ซึ่งจะต้องนำมาคำนวณโดยโปรแกรม DIB Color Measurement Software ให้อยู่ในระบบ CIE ได้ค่าสัมประสิทธิ์สี $L^* a^* b^*$ เนื่องจากระบบสี CIE $L^* a^* b^*$ เป็นระบบสีที่ให้ค่าสีเป็นอิสระจากอุปกรณ์ (device independent colors) ดีกว่าระบบสี RGB ที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ (device dependent colors) ดังรูปที่ 2.8 (Computing science, Simon Fraser University)



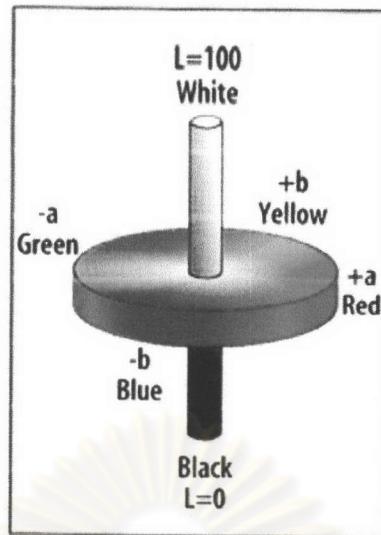
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบระบบสี CIE $L^* a^* b^*$ RGB และ CMYK
(ที่มา : Computing science, Simon Fraser University)

การที่ระบบสี CIE $L^* a^* b^*$ มีความละเอียดของสีมากกว่าระบบสีอื่นๆ เนื่องจากระบบสี CIE $L^* a^* b^*$ เป็นระบบสีที่ประกอบไปด้วยค่าแสงและสีต่างๆ ดังนี้ (รูปที่ 2.9)

Lightness คือค่าระหว่างความสว่าง-ความมืด (Luminance) มีค่าระหว่าง 0-100 คือ ถ้าภาพมีความสว่างมากค่า L จะมีค่าใกล้ 0 และถ้าภาพมีความมืดมาก ค่า L จะมีค่าใกล้ 100

ค่าสัมประสิทธิ์สี a^* คือค่าระหว่างสีแดง-เขียว (red-green) ถ้าภาพมีโทนสีแดงมากจะมีค่า a^* เป็น + และถ้าภาพมีโทนสีเขียวมาก จะมีค่า a^* เป็น -

ค่าสัมประสิทธิ์สี b^* คือค่าระหว่างสีเหลือง-ฟ้า (yellow-blue) นั่นคือถ้าภาพมีโทนสีเหลืองมากจะมีค่า b^* เป็น + และถ้าภาพมีโทนสีฟ้ามากจะมีค่า b^* เป็น -



Lab model

รูปที่ 2.9 แผนผังแสดงระบบสี CIE L a*b*

(Computing science, Simon Fraser University)

การนำเอาระบบประมวลผลทางภาพ เข้ามาใช้ในการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้ โดยการนำเอาสารละลายที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส มาถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล เปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน จากนั้นนำรูปที่ได้ไปอ่านค่าสีในระบบ CIE L a*b* นำค่าสีที่ได้มาคำนวณปริมาณน้ำตาลกลูโคส และนำไปคำนวณค่าเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย