# บทที่ 4

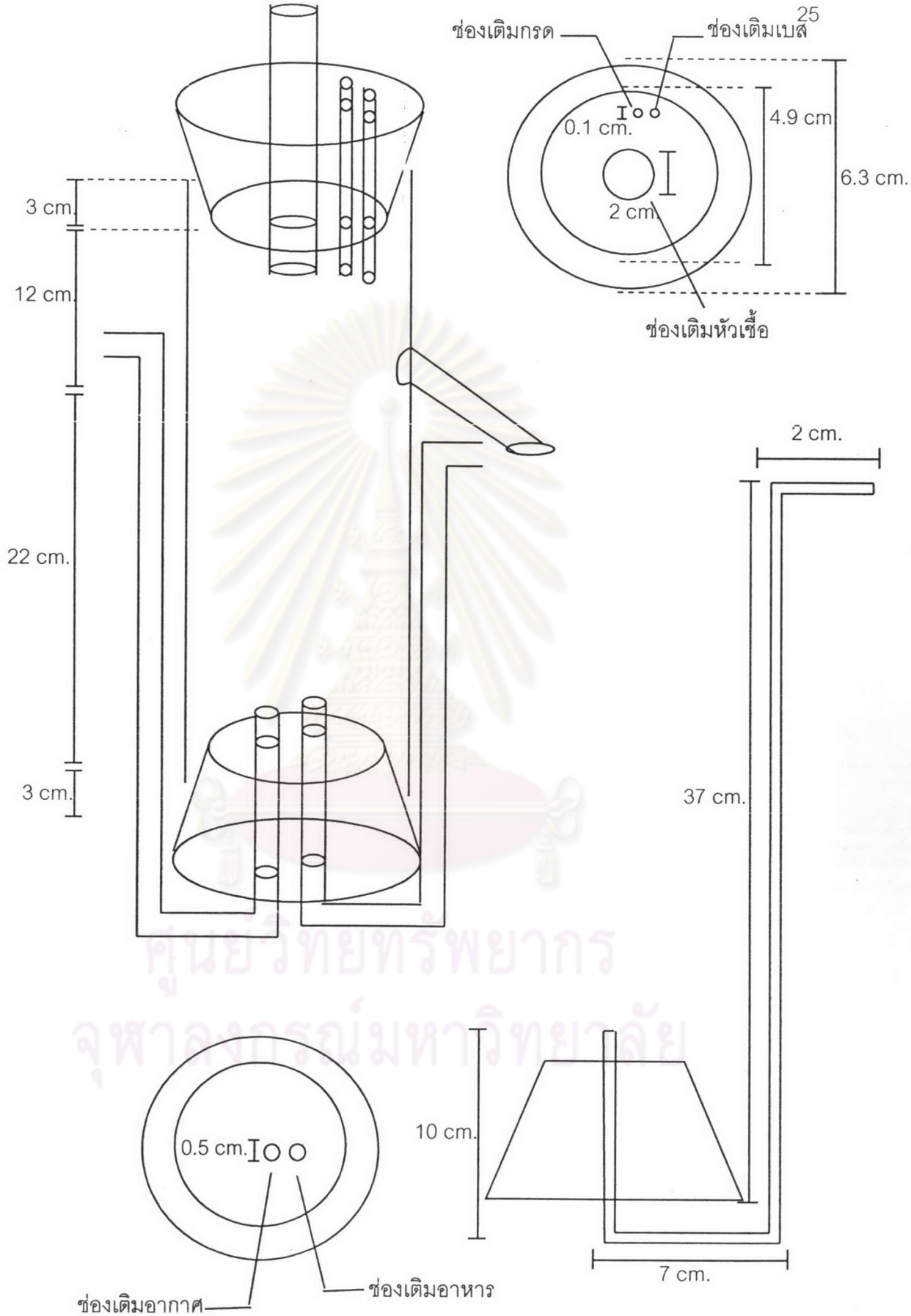
# ผลการทดลอง

## 4.1 การประดิษฐ์แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์สำหรับผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์

ได้ทำการประดิษฐ์แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ขนาด 0.5 ลิตร โดยใช้ท่ออะคลิลิค ( acrylic ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.4 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และปิดปลายทั้งสองข้างด้วยจุกยางเบอร์ 20 เจาะรูด้านข้างของท่ออะคลิลิคดังรูปที่ 4.1 ให้เป็นทางสำหรับให้ผลผลิตออกมาเมื่อทำการผลิตแบบต่อเนื่อง ( continuous production ) ที่ตำแหน่งความสูง 25 เซนติเมตรจากปลายด้านล่าง

ทำการเติมอากาศและอาหารลงในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นในระหว่างการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยปั๊มอากาศและอาหารผ่านท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่เสียบท่อผ่านจุกยางด้านล่างของคอลัมน์ส่วนซ่องสำหรับเติมหัวเชื้อ ( inoculum port ) ก็ใช้ท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เสียบผ่านจุกยางด้านบนของคอลัมน์ และใช้ปลายเข็มฉีดยาขนาด 0.2 เซนติเมตร เป็นช่องทางสำหรับเติมกรด เบสโดยเจาะรูผ่านจุกยางทางด้านบนสองรู ( รูปที่ 4.1 )

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




**รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างและขนาดของส่วนประกอบต่าง ๆ ของถังปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้น**

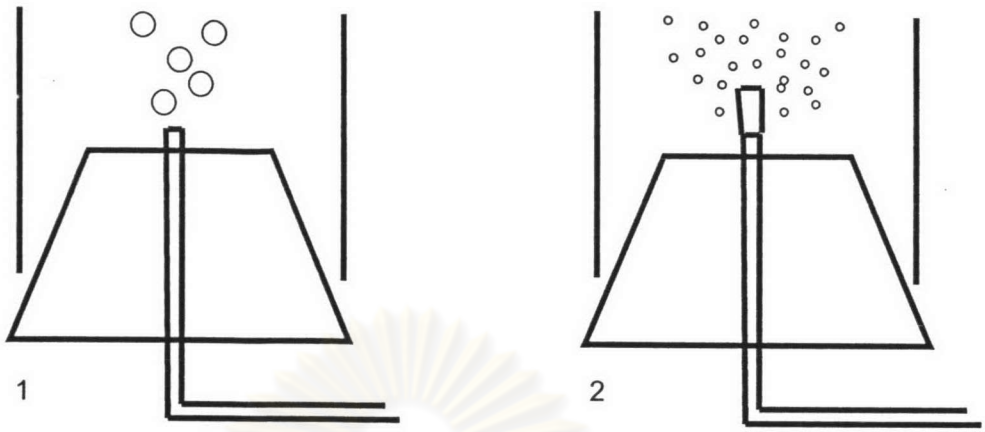
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบความสามารถในการทนความร้อนของแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยการนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 121 องศาเซลเซียส, 110 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แม้จุดหลอมเหลวของอะคลิลิคคือ 130 องศาเซลเซียส แต่เมื่อนำแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นไปนึ่งที่อุณหภูมิ 121 และ 110 องศาเซลเซียส พบว่าท่ออะคลิลิคที่นำมาสร้างเป็นแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์นั้นโค้งงอและบิดเบี้ยว ( ตารางที่ 4.1 ) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะท่อในส่วนล่างต้องรับน้ำหนักจากส่วนบนและเมื่อโดนความร้อนทำให้ท่ออ่อนตัวขึ้นทำให้รับน้ำหนักไม่ไหวจึงงอ แต่พบว่าจุกยางที่นำมาปิดรูทั้งสองข้างของคอลัมน์และท่ออะลูมิเนียมที่นำมาใช้นั้นยังอยู่ในสภาพปกติ ในขณะที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ท่ออะคลิลิคยังคงสภาพเป็นปกติอยู่ได้ ดังนั้นการฆ่าเชื้อ ( sterilization ) แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ก่อนทำการผลิตจึงทำโดยนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 3-4 ครั้งก่อนที่จะนำมาใส่อาหารสำหรับผลิต

**ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของส่วนประกอบที่นำมาสร้างเป็นแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์หลังจากที่ทำการนึ่งที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที**

| อุณหภูมิ ( องศาเซลเซียส ) เวลา 15 นาที | ลักษณะหลังการนึ่ง | | |
|---|---|---|---|
| | ท่ออะคลิลิค | ท่ออะลูมิเนียม | จุกยาง |
| 100 | ปกติ | ปกติ | ปกติ |
| 110 | โค้งงอ | ปกติ | ปกติ |
| 121 | โค้งงอ | ปกติ | ปกติ |

เมื่อทดลองเป่าอากาศลงในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นผ่านทางท่ออะลูมิเนียมพบว่าฟองอากาศที่ผ่านออกมาจากท่อมีลักษณะเป็นฟองขนาดใหญ่ ทำให้การละลายของออกซิเจนในคอลัมน์นั้นไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงทำการนำเอาหัวทรายสำหรับให้อากาศในตู้ปลามาสวมเชื่อมต่อกับท่ออะลูมิเนียมสำหรับให้อากาศทำให้เมื่อให้อากาศจะทำให้อากาศแตกเป็นฝอยและละลายในน้ำได้ดีขึ้น




**รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของฟองอากาศที่ออกมาจากท่อให้อากาศก่อนต่อพ่วงด้วยหัวทราย ( 1 ) และหลังต่อพ่วงด้วยหัวทราย ( 2 )**

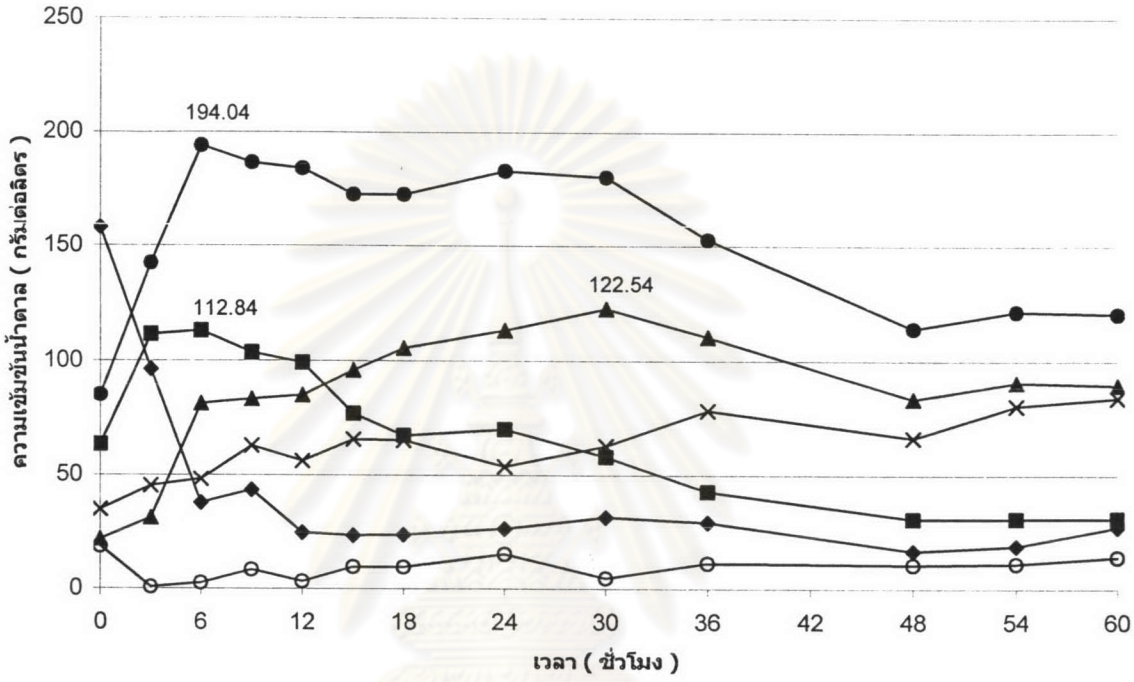
## 4.2 การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้น

### 4.2.1 ) การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์โดย *Penicillium* sp. H12

ใช้หัวเชื้อ *Penicillium* sp. H12 ที่เลี้ยงในอาหารสำหรับเลี้ยงหัวเชื้ออายุ 18 ชั่วโมง เติมลงในคอลัมน์ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ให้มีปริมาตรรวม 500 มิลลิลิตร แล้วทำการผลิตโดยใช้น้ำตาลเริ่มต้น 250 กรัมต่อลิตร ให้อากาศด้วยอัตราการให้อากาศ 1 vvm. ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเป็น 5.0 ( วีระพงษ์ พรประสาทผล, 2545 ) แล้วทำการผลิตเป็นเวลา 60 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างทุก 3 และ 6 ชั่วโมง ดังแสดงในรูป 4.3

จากการทดลองพบว่า 9 ชั่วโมงแรกน้ำตาลซูโครสจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วพร้อมกับมีฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดเคสโตส ( kestose ) เพิ่มขึ้นมาอย่างรวดเร็ว เมื่อเคสโตสเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 6 ก็เริ่มลดลง ปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดนีสโตส ( nystose ) ก็เพิ่มขึ้นพร้อมกับที่น้ำตาลซูโครสลดลงจนคงที่ในชั่วโมงที่ 12 และตลอดช่วงการผลิตจะมีการสะสมของน้ำตาลกลูโคส ( glucose ) เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอและมีน้ำตาลฟรักโตส ( fructose ) สะสมในอัตราที่ต่ำกว่ากลูโคสมากโดยพบว่าน้ำตาลซูโครสลดลงและคงที่ในชั่วโมงที่ 12 และเมื่อทำการพิจารณาปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ผลิตได้พบว่าสามารถผลิตเคสโตสได้สูงสุด 112

กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 6 ผลิตนีสโตสได้สูงสุด 122.54 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 30 และผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงสุด 194.04 กรัม ต่อลิตรในชั่วโมงที่ 6 ( รูปที่ 4.3 )




**รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้สูงสุดเมื่อทำการผลิตด้วยสายใยที่ได้จากการเลี้ยงหัวเชื้อ** *Penicillium* sp. H12 **อายุ 18 ชั่วโมง ( ◆= ซูโครส, ■= เคสโตส, ▲= นีสโตส, ×= กลูโคส, ○= ฟรักโตส, ●= ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวม )**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.2.2) ผลของอัตราการให้อากาศและปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นต่อการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้น**

การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์มีหลายปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อการผลิตและในขั้นตอนนี้ได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอัตราการให้อากาศและปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นซึ่งอาจจะมีผลต่อการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์โดยเปลี่ยนอัตราการให้อากาศจาก 1 vvm. เป็น 0.2 vvm.และเปลี่ยนปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยยังคงใช้ปริมาตรรวมในการผลิต 500 มิลลิลิตร ควบคุมค่าความเป็นกรด ด่างที่ 5.0 และใช้เวลาผลิต 60 ชั่วโมงเช่นเดิม ซึ่งได้ออกแบบการทดลองโดยแบ่งสภาวะที่ใช้ในการทดลองเป็น 4 สภาวะดังต่อไปนี้

**4.2.2.1) ใช้อัตราการให้อากาศ 1 vvm. และใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร**

ในสภาวะนี้พบว่าสามารถผลิตเคสโตสได้สูงสุด 112.84 กรัมต่อลิตร ที่ชั่วโมงที่ 6, ผลิตนีสโตสได้สูงสุด 122.54 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 30 และผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงสุด 194.04 กรัมต่อลิตร ( รูปที่ 4.4 ) ในชั่วโมงที่ 6

**4.2.2.2) ใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm. และใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร**

เมื่อเปลี่ยนอัตราการให้อากาศจาก 1 vvm. เป็น 0.2 vvm.โดยยังใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรพบว่าสามารถผลิตเคสโตสได้สูงสุด 127.05 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 3 ผลิตนีสโตสสูงสุดในชั่วโมงที่ 24 โดยผลิตได้ 104.95 กรัมต่อลิตร และผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดได้ 184.53 กรัมต่อลิตร ( รูปที่ 4.4 ) ในชั่วโมงที่ 6 ด้วย

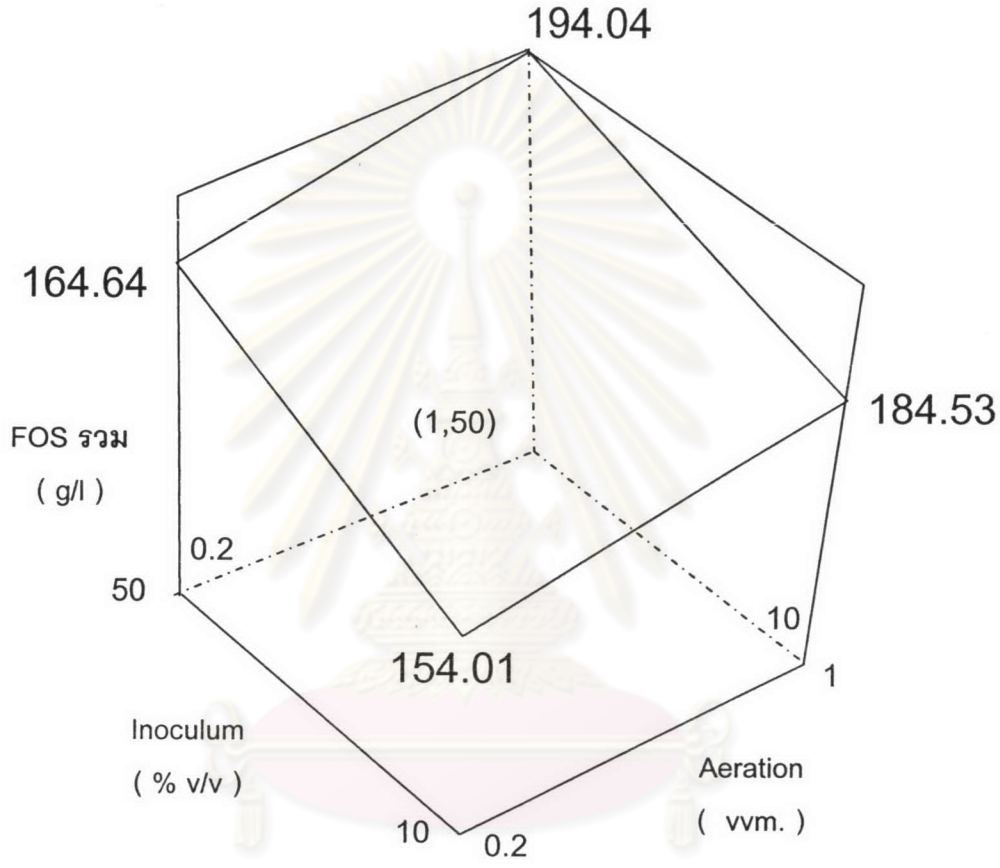
**4.2.2.3) ใช้อัตราการให้อากาศ 1 vvm. และใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร**

เมื่อทำการลดปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าสามารถผลิตเคสโตสได้สูงสุด 106.40 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 18 ผลิตนีสโตสได้สูงสุด 97.09 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 60 และสามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงสุด 164.64 กรัมต่อลิตร ( รูปที่ 4.4) ณ ชั่วโมงที่ 30

**4.2.2.4) ใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm. และใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร**

สุดท้ายเมื่อลดปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและใช้อัตราการอากาศ 0.2 vvm.พบว่าสามารถผลิตเคสโตสได้สูงสุด 113.48 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 18 ผลิตนีสโตสสูงสุดได้ 87.95 กรัมต่อลิตร ที่ชั่วโมงที่ 54 และสามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงสุด 154.01 กรัมต่อลิตร ( รูปที่ 4.4) ในชั่วโมงที่ 30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

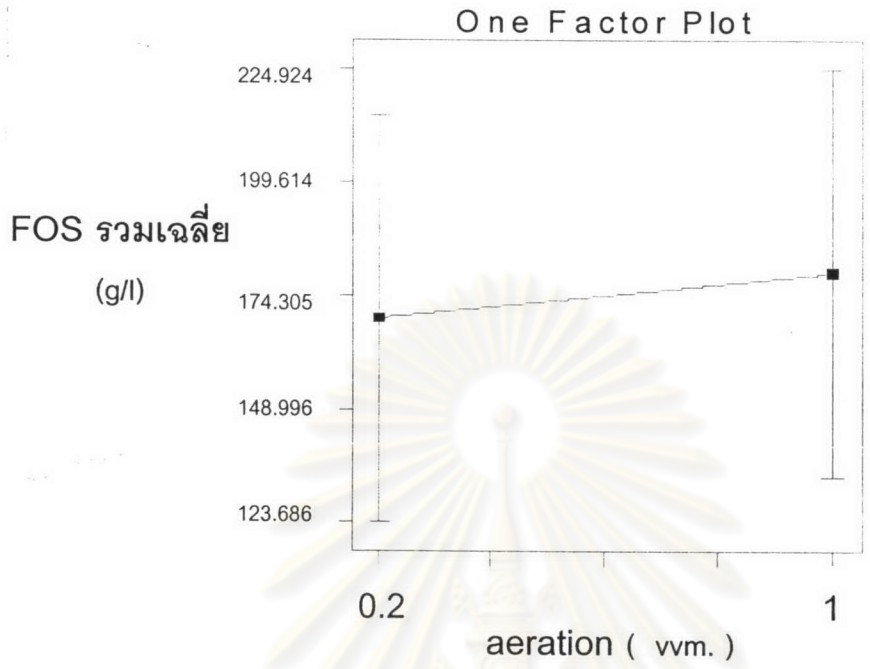



**รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ผลิตได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นและอัตราการให้อากาศ**

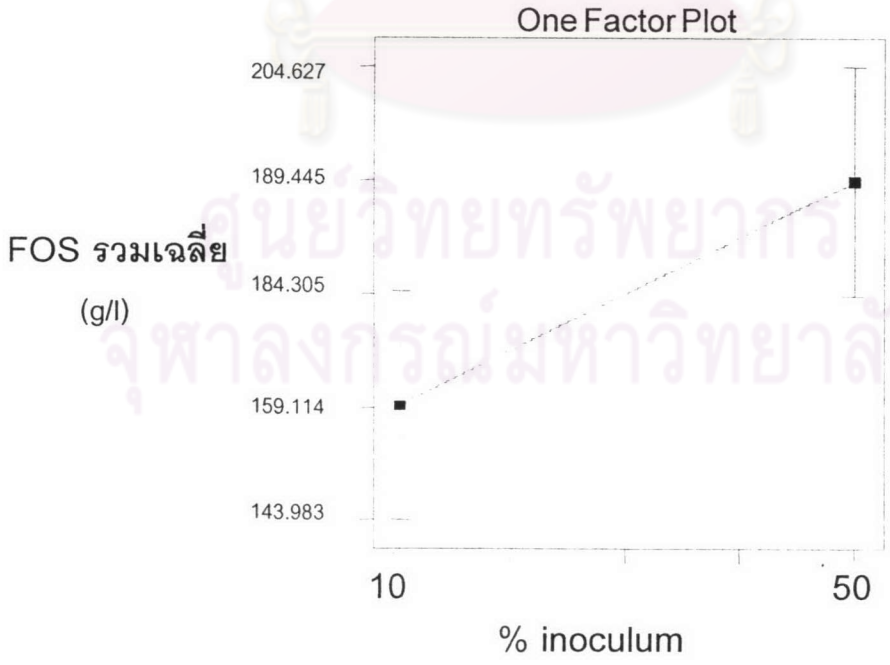
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาทั้งสี่การทดลองจะพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อากาศ หรือปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้รวมไปถึงปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดและอัตราการผลิตด้วย ซึ่งในที่นี้จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้เพื่อใช้ในการศึกษาผลของอัตราการให้อากาศและปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นต่อการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟทรีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งจากการเปรียบเทียบสภาวะทั้งสี่ที่ทำการทดลองพบว่าสภาวะที่สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงที่สุดคือเมื่อใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.โดยผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดได้ 194.04 กรัมต่อลิตร ส่วนในสภาวะที่ใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.จะทำให้ผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้ต่ำที่สุดคือ 154.01 กรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการลดปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะทำให้ปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อากาศจาก 1 vvm.เป็น 0.2 vvm.ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ผลิตได้ไม่มากนัก

เมื่อพิจารณาปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการให้อากาศจาก 1 vvm. เป็น 0.2 vvm.โดยหาค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกันแล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยใช้ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ก็พบว่าปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ผลิตได้นั้นไม่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ( รูปที่ 4.5 ) และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยนำค่าเฉลี่ยของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และค่าเฉลี่ยของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดเมื่อใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมาเปรียบเทียบกัน ( รูปที่ 4.6 ) แล้วหาค่าความต่างทางสถิติก็พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน



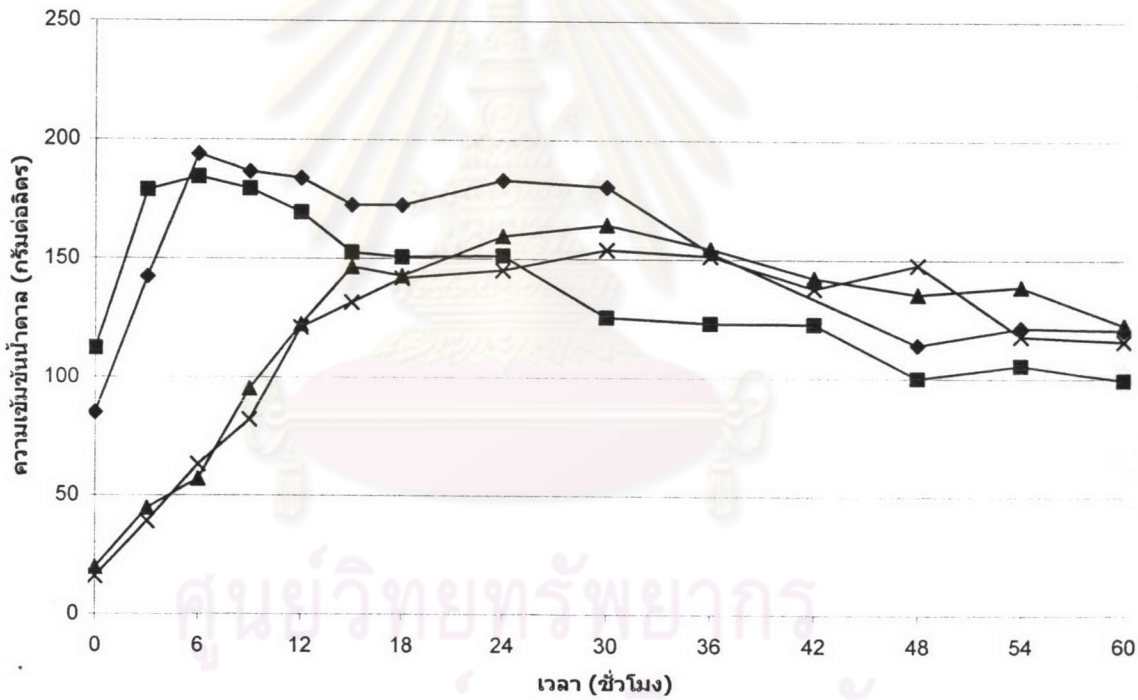

**รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.และ 1 vvm.**




**รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แม้ว่าผลของอัตราการให้อากาศและปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นจะไม่ให้ผลที่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อสังเกตค่าความแตกต่างของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมเฉลี่ยเมื่อใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก็ยังมีความแตกต่างกันอยู่มาก ( 30.32 กรัมต่อลิตร) ( รูปที่ 4.6 ) และที่หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก็ใช้เวลาที่ใช้ในการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ให้ได้ปริมาณสูงสุดนานกว่าการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ( รูปที่ 4.7 ) ดังนั้นจึงควรหาปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นสำหรับผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงและใช้เวลาในการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงสุดใกล้เคียงกับการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมากที่สุด




**รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นและอัตราการให้อากาศ**

**◆= หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 1 vvm.**

**■ =หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.**

**× =หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.**

**▲= หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 1 vvm.**

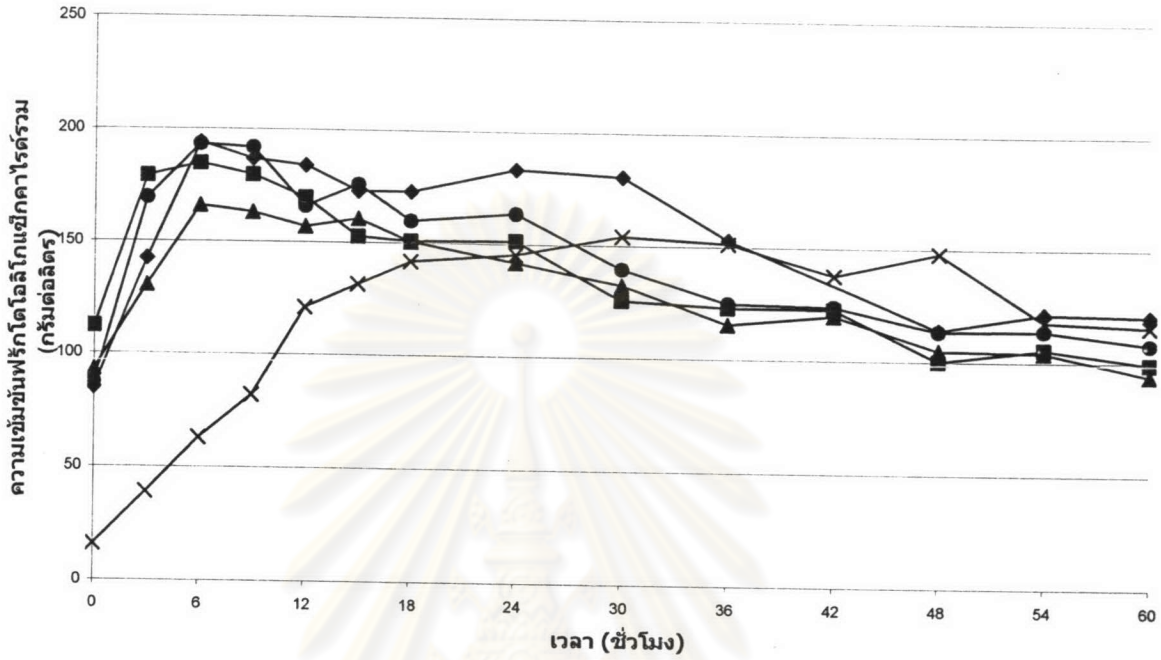
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ) การหาปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองหาปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้นที่ทำให้สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ปริมาณสูงและมีความเร็วในการผลิตใกล้เคียงกับการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ทำการทดลองโดยแบ่งสภาวะสำหรับทำการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์เป็น 4 สภาวะ ด้วยการแปรผันปริมาณของหัวเชื้อ *Penicillium* sp. H12 เริ่มต้นที่จะใช้ในการผลิตเป็น 10 เปอร์เซ็นต์, 30 เปอร์เซ็นต์, 40 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ แล้วทำการผลิตโดยให้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 250 กรัมต่อลิตร อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.และทำการควบคุมค่าความเป็นกรด ด่างเริ่มต้นเป็น 5.0 หลังจากทำการทดลองผลิตในแต่ละสภาวะแล้วพบว่าที่หัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงที่สุดคือ 193.30 กรัมต่อลิตร ส่วนที่หัวเชื้อเริ่มต้น 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดได้ 154.01, 165.82 และ 184.53 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ( ตารางที่ 4.2 ) โดยที่หัวเชื้อเริ่มต้น 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรนั้นผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดได้ในชั่วโมงที่ 6 ส่วนหัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 30 ( รูปที่ 4.8 )

จากผลการทดลองที่ได้จึงต้องทำการพิจารณาเลือกระหว่างหัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากทั้งสองสภาวะไปทำการเปรียบเทียบกับปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ได้จากการผลิตโดยใช้อัตราการให้อากาศ 1 vvm.และปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีความใกล้เคียงกับปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมจากการผลิตโดยการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและใช้อัตราการให้อากาศ 1 vvm.มาก ( ปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุด 193.30 และ 194.04 กรัมต่อลิตร ) ดังนั้นการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.ก็สามารถผลิตฟรักโตโอลิแซ็กคาไรด์ได้เทียบเท่ากับการใช้หัวเชื้อ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร




รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหัวเชื้อเริ่มต้น

◆= หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 1 vvm.

■ = หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.

●= หัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.

▲= หัวเชื้อเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.

×= หัวเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

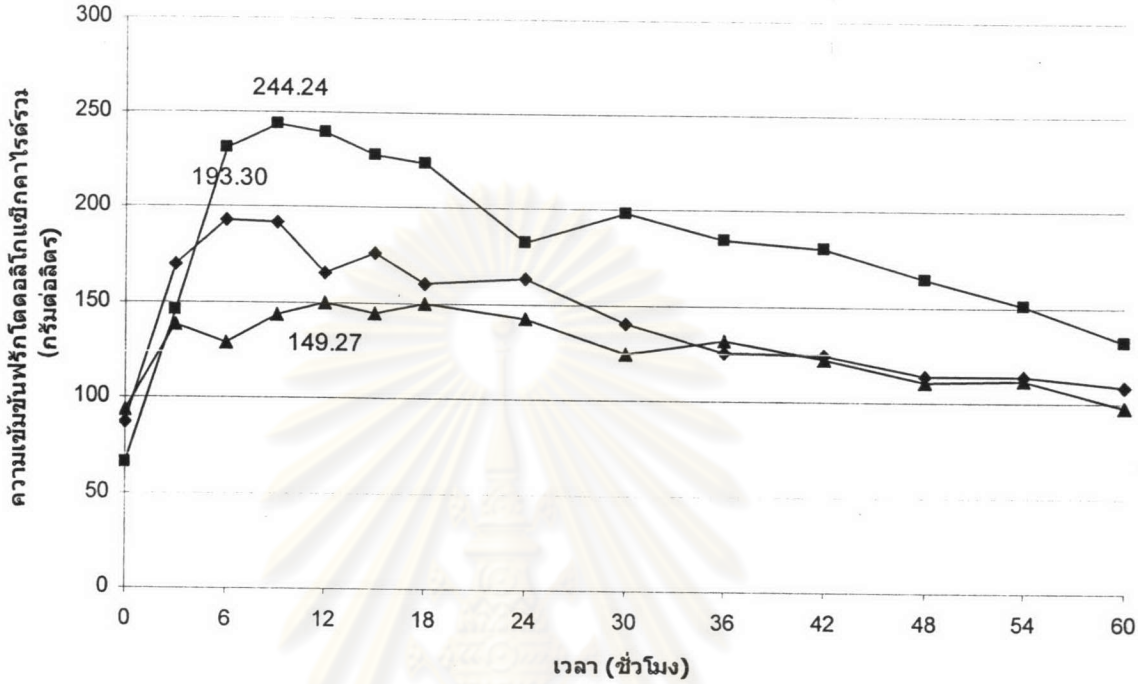
**ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้น**

| สภาวะที่ใช้ในการผลิต (หัวเชื้อเริ่มต้น – อัตราการให้อากาศ ) | ปริมาณ FOS รวมสูงสุด ( กรัมต่อลิตร ) |
|---|---|
| 10 เปอร์เซ็นต์ – 0.2 vvm. | 154.01 |
| 30 เปอร์เซ็นต์ – 0.2 vvm. | 165.82 |
| 40 เปอร์เซ็นต์ – 0.2 vvm. | 193.30 |
| 50 เปอร์เซ็นต์ – 0.2 vvm. | 184.53 |
| 50 เปอร์เซ็นต์ – 1 vvm. | 194.04 |

**4.2.4 ) การหาปริมาณของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นสำหรับการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้น**

จากการทดลองในขั้นก่อนหน้านี้สรุปได้ว่าปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นในการผลิตที่เหมาะสมคือ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้อัตราการให้อากาศในคอลัมน์ 0.2 vvm.และควบคุมค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเป็น 5.0 และในการทดลองขั้นนี้จะเป็นการหาความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยจะทำการแปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นเป็น 200, 250 และ 300 กรัมต่อลิตร แล้วทำการผลิตโดยใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และควบคุมค่าความเป็นกรด ด่างเริ่มต้นเป็น 5.0 ภายหลังจากที่ได้ทำการผลิตเป็นเวลา 60 ชั่วโมงพบว่า ที่ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 300 กรัมต่อลิตร สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้สูงที่สุดคือ 244.24 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 9 ส่วนที่น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 200 กรัมต่อลิตร จะสามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดได้ 149.27 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 12 ส่วนการใช้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 250 กรัมต่อลิตร สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดได้ 193.30 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 6 ( รูปที่ 4.9 )

จะเห็นว่าที่สภาวะในการผลิตเดียวกันเมื่อใช้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 300 กรัมต่อลิตร จะทำให้ได้ผลผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงที่สุดดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้นเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร ในการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้น




รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อใช้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 200 กรัมต่อลิตร (▲), 250 กรัมต่อลิตร (◆) และ 300 กรัมต่อลิตร (■),

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.3 การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้วิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง** ( continuous production )

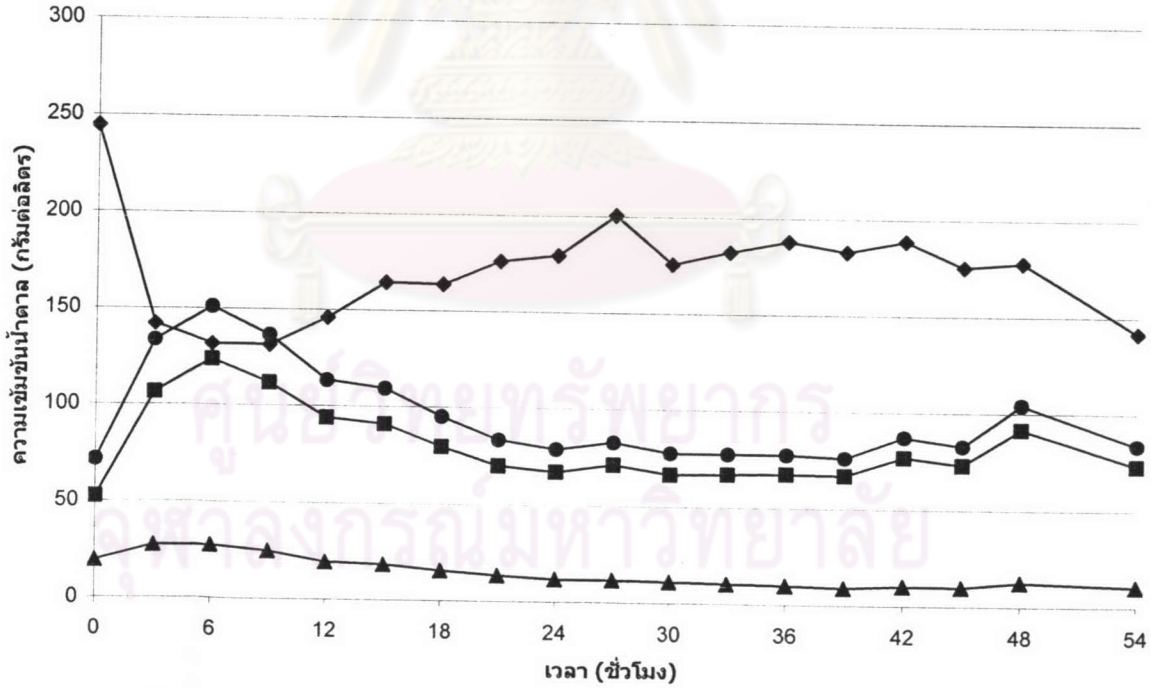
เมื่อได้สภาวะสำหรับผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นสำหรับการผลิตจากการทดลองที่ผ่านมาในขั้นต้นแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้นั้นมาใช้ในการทดลองผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องในการทดลองต่อไปนี้

หัวเชื้อ *Penicillium* sp. H12 อายุ 18 ชั่วโมง 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรถูกเติมลงในอาหารสำหรับผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ปริมาตรรวม 500 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 300 กรัมต่อลิตร ให้อากาศเข้าในคอลัมน์ด้วยอัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.และควบคุมค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้น 5.0 โดยเมื่อทำการผลิตไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วจึงเริ่มเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร ลงในคอลัมน์อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการเติม 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ต่อไปอีกเป็นเวลา 51 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าใน 3 ชั่วโมงแรกจะมีการใช้น้ำตาลซูโครสอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับการผลิตแบบแบทช์ ( batch ) และหลังจากนั้นเมื่อทำการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร ลงไปอย่างต่อเนื่องในชั่วโมงที่ 3 แล้วพบว่าจะมีการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ทั้งเคสโตสและนีสโตสเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ส่งผลให้ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมเพิ่มขึ้นด้วยจนถึงในชั่วโมงที่ 6 แล้วจากนั้นทั้งเคสโตส, นีสโตส, และฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมจึงค่อย ๆ ลดลงมาและเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 21 ( รูปที่ 4.11 ) โดยหลังจากชั่วโมงที่ 21 พบว่ามีการผลิตเคสโตสและนีสโตสด้วยอัตราคงที่ 72.00 และ 10.86 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับและมีการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมคงที่เฉลี่ย 82.86 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และเหลือน้ำตาลซูโครสคงที่เฉลี่ย 178.94 กรัมต่อลิตร ( ตารางที่ 4.3 )

จากการทดลองจะพบว่าถึงแม้ว่าจะทำให้มีการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์คงที่ได้แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้นั้นลดลงอย่างมากก่อนที่จะคงที่ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าอาจจะเนื่องมาจากการที่มีเซลล์ของ *Penicillium* sp. H12 ส่วนหนึ่งสูญเสียไปเนื่องจากไหลออกไปพร้อมกับผลผลิตในขณะที่ทำการผลิตแบบต่อเนื่อง เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียเซลล์ในขณะที่ทำการผลิตจึงได้ทำการใช้ฟองน้ำมาปิดรูที่ผลผลิตจะไหลออกจากทางด้านในเพื่อให้เซลล์ที่จะไหลออกมานั้นติดอยู่กับฟองน้ำในขณะที่ทำการผลิตแบบต่อเนื่องแล้วจึงทดลองทำการผลิตอีกครั้งโดยใช้ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น, ปริมาณน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นและสภาวะเดิมแต่ใช้ปริมาตรเริ่มต้น 250 มิลลิลิตร และเมื่อทำการผลิตไปได้ถึงชั่วโมงที่ 3 ก็ทำการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร ลงในคอลัมน์ด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยไม่มีการปล่อยให้ผลผลิตออกมาจากคอลัมน์จนถึงชั่วโมงที่ 9 จึงทำการปล่อยผลผลิตให้ออกจากคอลัมน์โดยทำการทดลองไปจนถึงชั่วโมงที่ 54 จากการทดลองพบว่าน้ำตาลซูโครสลดลงอย่าง

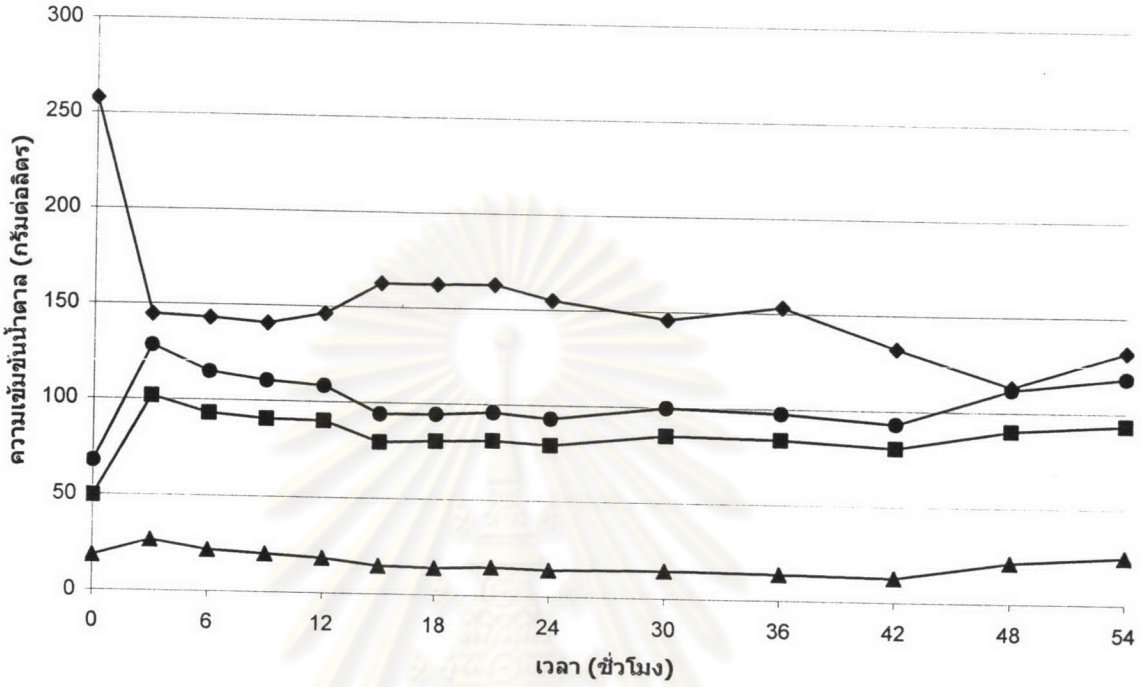
รวดเร็วและการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ทั้งเคสโตส, นีสโตสและฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวม นั้นจะเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3 และหลังจากทำการเติมน้ำตาลซูโครสอย่างต่อเนื่องในชั่วโมงที่สาม แล้วฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ผลิตได้ก็ค่อย ๆ ลดลงจนเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 15 ( รูปที่ 4.11 )โดยมีอัตราการผลิตเคสโตสคงที่เฉลี่ย 83.70 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง อัตราการผลิตนีสโตสคงที่เฉลี่ย 16.02 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมคงที่เฉลี่ย 99.73 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง โดยมีน้ำตาลซูโครสเหลือคงที่เฉลี่ย 146.47 กรัมต่อลิตร ( ตารางที่ 4.3 )

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการป้องกันไม่ให้เซลล์หลุดออกจากคอลัมน์จะทำให้สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ด้วยอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ( จาก 82.86 เป็น 99.73 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ) และเข้าสู่จุดที่ผลิตน้ำตาลได้คงที่เร็วกว่าการปล่อยให้เซลล์หลุดออกไป ( จากที่ในชั่วโมงที่ 21 เป็นชั่วโมงที่ 15 ) แสดงว่าการที่ผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ลดลงในการทดลองผลิตในขั้นต้นนั้นส่วนหนึ่งมีผลมาจากการสูญเสียเซลล์ไปในระหว่างการผลิตแบบต่อเนื่อง




**รูปที่ 4.10 แสดงรูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย *Penicillium* sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่อง**

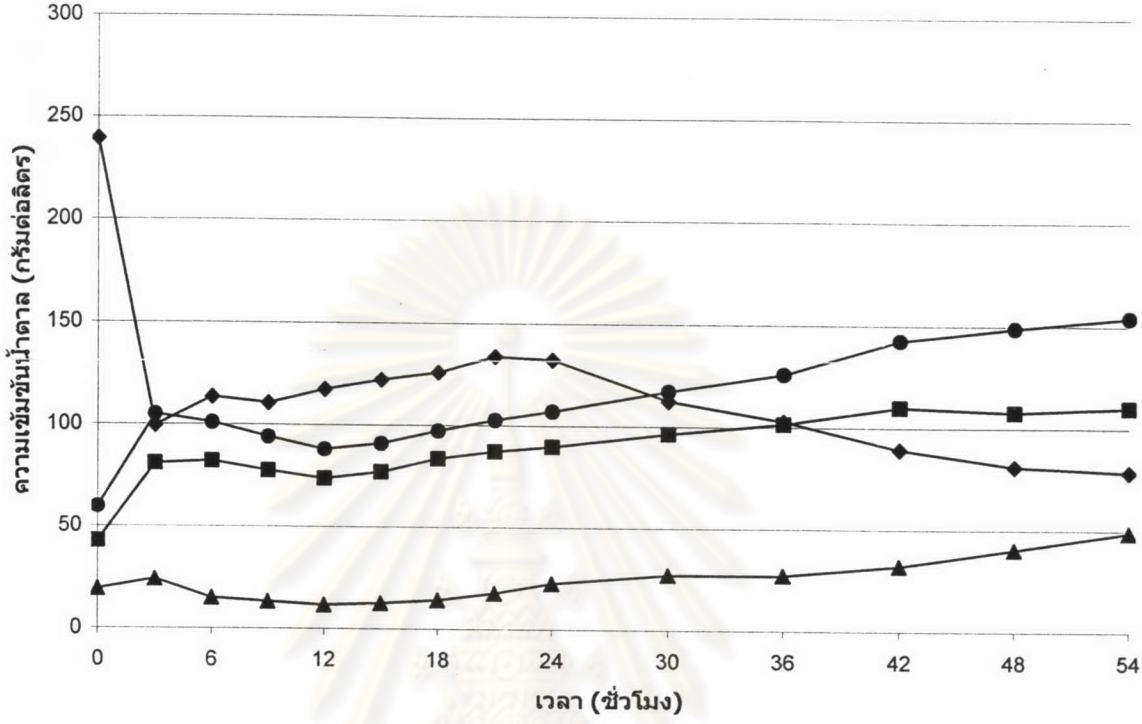
**( ◆= ซูโครส, ■= เคสโตส, ▲= นีสโตส, ● = ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวม )**




รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย *Penicillium* sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่องโดยมีการป้องกันเซลล์ของเชื้อราหลุดออกมากับผลผลิต ( ◆= ซูโครส, ■= เคสโตส, ▲= นีสโตส, ● = ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวม )

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องที่ผ่านมาพบว่าถึงแม้จะมีการป้องกันไม่ให้สูญเสียเซลล์ของเชื้อราขณะที่ทำการผลิตแล้วก็ยังผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ในปริมาณที่ไม่มากเท่าที่ควรซึ่งก็อาจจะเป็นเพราะการที่ทำการเติมน้ำตาลเพียงอย่างเดียวลงในคอลัมน์เป็นเวลานานนั้นทำให้เชื้อราขาดธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญทำให้ไม่สามารถเจริญได้ตามปกติส่งผลให้ผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ไม่มาก ซึ่งหากมีการเติมธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของ *Penicillium* sp. H12 ลงไปในคอลัมน์ขณะที่มีการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์อย่างต่อเนื่องด้วย คาดว่าน่าจะทำให้ผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำการทดลองผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องโดยนอกจากจะมีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ของเชื้อราในระหว่างการผลิตแล้วยังทำการเติมธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของ *Penicillium* sp. H12 ในระหว่างการผลิตอย่างต่อเนื่องด้วย โดยใช้หัวเชื้อ *Penicillium* sp. H12 อายุ 18 ชั่วโมง 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในอาหารสำหรับการผลิตให้ได้ปริมาตรรวม 250 มิลลิลิตร ใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 300 กรัมต่อลิตร และเริ่มทำการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร พร้อมกับแร่ธาตุอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ในชั่วโมงที่ 3 ของการทดลองโดยมีการควบคุมค่าความเป็นกรด ด่าง เริ่มต้นเป็น 5.0 ภายหลังจากการผลิตเป็นเวลา 54 ชั่วโมง พบว่าหลังจากที่มีการเติมน้ำตาลซูโครสพร้อมกับแร่ธาตุอย่างต่อเนื่องในชั่วโมงที่ 3 ปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้จะลดลงจนถึงในชั่วโมงที่ 12 เช่นเดียวกับการผลิตโดยมีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ของเชื้อรา แต่หลังจากนั้นปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 54 ก็ยังไม่คงที่เหมือนกับการผลิตโดยมีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ของเชื้อรา โดยพบว่ายังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่า 150 กรัมต่อลิตร ( รูปที่ 4.12 ) ซึ่งทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าการผลิต ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีการเติมธาตุอาหารร่วมกับน้ำตาลซูโครสอย่างต่อเนื่องนี้จะเริ่มมีการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์อย่างคงที่ในชั่วโมงที่เท่าไรแต่ทำให้ทราบว่าเมื่อมีการเติมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อ *Penicillium* sp. H12 ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในระหว่างการผลิตจะทำให้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์อย่างต่อเนื่องได้อีกและพบว่าค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการผลิตโดยมีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ของเชื้อราและมีการเติมธาตุอาหารในระหว่างการผลิตมีค่า 3.172 กรัม ในขณะที่น้ำหนักเซลล์แห้งของเชื้อราเมื่อทำการผลิตโดยป้องกันไม่ให้สูญเสียเซลล์ของเชื้อราขณะที่ทำการผลิตเพียงอย่างเดียวมีค่า 1.146 กรัมเท่านั้น



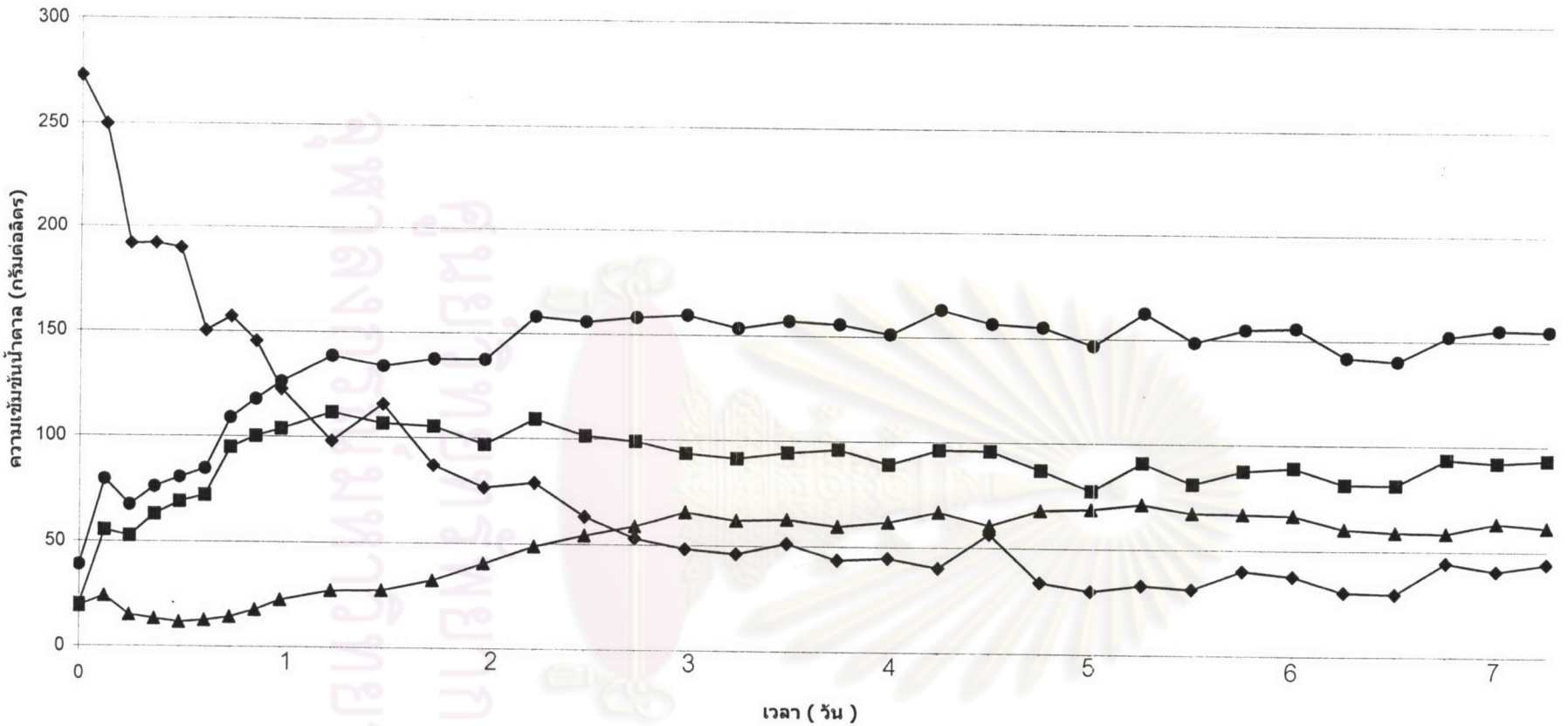

รูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย *Penicillium* sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่องโดยมีการเติมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อ *Penicillium* sp. H12 ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในระหว่างการผลิตและมีการป้องกันเซลล์ของเชื้อราหลุดออกมากับผลผลิต ( ◆= ซูโครส, ■= เคสโตส, ▲= นีสโตส, ● = ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวม )

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 แล้วจะเห็นได้ว่าฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ผลิตได้รวมถึงน้ำตาลซูโครสนั้นยังมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงต่อไปยังไม่ถึงจุดที่คงตัวโดยฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกส่วนน้ำตาลซูโครสก็ยังมีแนวโน้มที่จะลดลงอีกจึงได้ทำการทดลองการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องโดยมีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ในระหว่างการผลิตและมีการเติมแร่ธาตุลงในคอลัมน์ระหว่างการผลิตอีกครั้งโดยเพิ่มระยะเวลาการผลิตเป็น 7 วันเพื่อหาช่วงเวลาที่การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์คงที่ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเริ่มมีการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมคงที่ในชั่วโมงที่ 54 ด้วยอัตราการผลิตเฉลี่ย 154.09 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง เริ่มผลิตเคสโตสคงที่ในชั่วโมงที่ 66 ด้วยอัตราการผลิตเฉลี่ย 90.06 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และเริ่มผลิตนีสโตสคงที่ด้วยอัตราการผลิต 63.99 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ในชั่วโมงที่ 72 โดยเริ่มมีปริมาณซูโครสเหลือคงที่ในชั่วโมงที่ 72 ปริมาณเฉลี่ย 40.27 กรัมต่อลิตร ( รูปที่ 4.15 และตารางที่4.4 ) ดังนั้นจะเห็นว่าการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องโดยมีการเติมธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับ *Penicillium* sp. H12 ลงไปด้วยจะทำให้สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ต่อเนื่องได้ด้วยอัตราการผลิตสูงที่สุดและมีน้ำตาลซูโครสคงเหลือเฉลี่ยน้อยที่สุดด้วยเนื่องจากเชื้อราสามารถเจริญได้เต็มที่และสามารถใช้วิธีนี้ผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ต่อเนื่องได้อย่างน้อย 7 วัน ( รูปที่ 4.13 )

**ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ขณะที่ทำการผลิตแบบต่อเนื่องโดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นเมื่อใช้วิธีการผลิตที่ต่างกัน**

| วิธีการผลิต | อัตราการผลิต FOS เฉลี่ยหลังจากเริ่มผลิตได้คงที่ ( กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ) | | | ปริมาณซูโครสเหลือคงที่เฉลี่ย ( กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|
| | เคสโตส | นีสโตส | FOS รวม | |
| ไม่มีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ระหว่างการผลิต | 72.00 | 10.86 | 82.86 | 178.94 |
| มีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ระหว่างการผลิต | 83.70 | 16.02 | 99.73 | 146.47 |
| มีการป้องกันการสูญเสียเซลล์ระหว่างการผลิตและเติมแร่ธาตุในขณะผลิต | 90.06 | 63.99 | 154.09 | 40.27 |




รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย *Penicillium* sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วันโดยมีการเติมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อ *Penicillium* sp. H12 ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในระหว่างการผลิตและมีการป้องกันเซลล์ของเชื้อราหลุดออกมากับผลผลิต

( ◆= ซูโครส, ■= เคสโตส, ▲= นีสโตส, ● = ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวม )

**4.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจน ($K_La$) ของแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยวิธีซัลไฟต์ออกซิเดชั่น** ( Sulphite Oxidation Method )

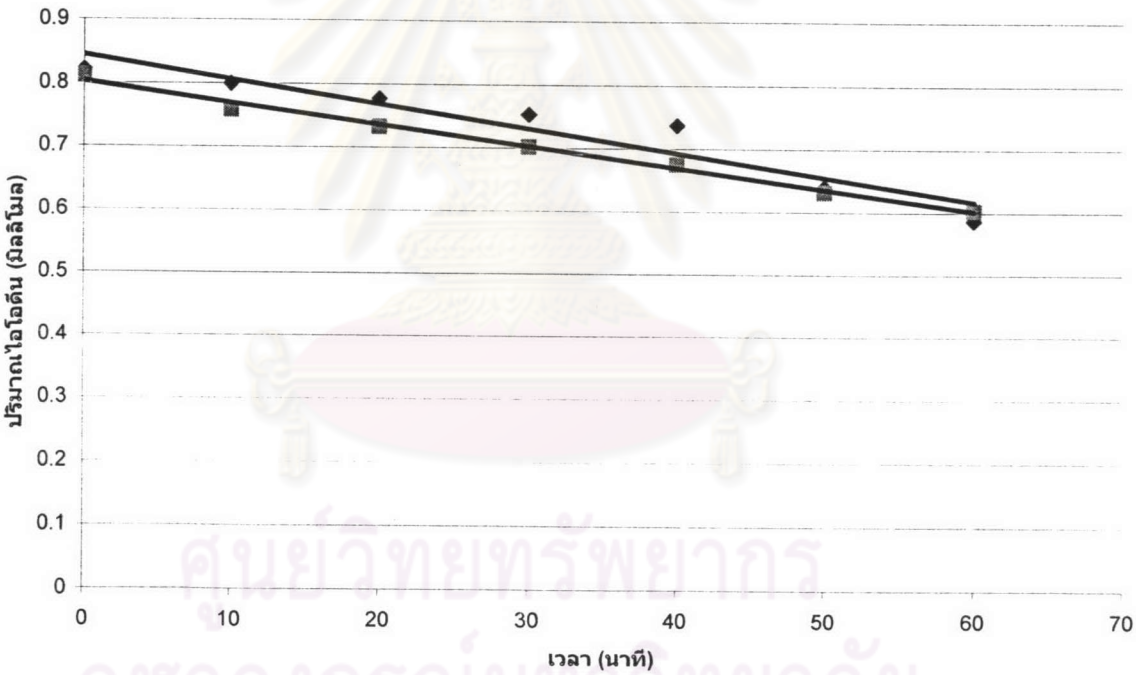
ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจน ( $O_2$ ) โดยผสมโซเดียมซัลไฟต์ ( $Na_2SO_3$ ) 5 เปอร์เซ็นต์กับน้ำกลั่นแล้วเทลงในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นและปรับอัตราการให้อากาศเป็น 0.2 และ 1 vvm. โดยใส่คอปเปอร์ไอออน ( $Cu^{2+}$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเก็บตัวอย่างทุก ๆ 10 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มาทำการไตรเตรทหาปริมาณโซเดียมซัลไฟต์ที่เหลือไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในคอลัมน์ด้วยไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว

เมื่อทำการไตรเตรทตัวอย่างที่เก็บได้จากคอลัมน์ที่เวลาต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณโซเดียมซัลไฟต์ที่เหลือทั้งเมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 และ 1 vvm. ด้วยไอโอดีน ( $I_2$ ) ความเข้มข้น 0.03 นอร์มอล โดยมีน้ำแป้ง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรเป็นสารอินดิเคเตอร์ ( indicator ) พบว่าปริมาณของไอโอดีนที่ใช้ลดลงเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้นดังแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของไอโอดีนในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการไตเตรทหาปริมาณของโซเดียมซัลไฟต์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์เมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm. และ 1 vvm.**

| อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm. | | | อัตราการให้อากาศ 1 vvm. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| เวลา ( นาที ) | ปริมาณไอโอดีน | | เวลา ( นาที ) | ปริมาณไอโอดีน | |
| | มิลลิลิตร | มิลลิโมล | | มิลลิลิตร | มิลลิโมล |
| 0 | 50.8 | 0.8128 | 0 | 51.3 | 0.8208 |
| 10 | 47.4 | 0.7584 | 10 | 50.0 | 0.8 |
| 20 | 45.8 | 0.7328 | 20 | 48.6 | 0.7776 |
| 30 | 43.9 | 0.7024 | 30 | 47.1 | 0.7536 |
| 40 | 42.2 | 0.6752 | 40 | 46.1 | 0.7376 |
| 50 | 39.5 | 0.632 | 50 | 40.0 | 0.64 |
| 60 | 37.7 | 0.6032 | 60 | 36.7 | 0.5872 |

และเมื่อนำปริมาณของไอโอดีนที่ใช้ไตรเตรทมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโอดีนที่ใช้กับเวลาเมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 และ 1 vvm. พบว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.ได้ค่าความชัน 0.034 ส่วนที่อัตราการให้อากาศ 1 vvm. มีความชัน 0.038 ( รูปที่ 4.14 ) จากนั้นนำค่าความชันที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจนของแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นพบว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจน 0.08 มิลลิโมลของออกซิเจนต่อลิตรต่อชั่วโมง ส่วนที่อัตราการให้อากาศ 1 vvm. มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจน 0.09 มิลลิโมลของออกซิเจนต่อลิตรต่อชั่วโมง




**รูปที่** 4.14 **แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโอดีนที่ใช้ในการไตรเตรทหาปริมาณของโซเดียมซัลไฟต์ในแอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ( ◆= อัตราการให้อากาศ 1 vvm., ■= อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm.)**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย