บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของ QCM เมื่อใช้วัดปริมาณเซลล์

วิทยานิพนธ์นี้ได้สร้างระบบการตรวจวัดจำนวนเซลล์โดยใช้ตัวตรวจวัดแบบ QCM โดยได้ทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อเสถียรภาพต่อตัวตรวจวัด QCM ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ของ QCM เนื่องจากอุณหภูมิทั้งในอากาศ และสารละลายเลี้ยงเซลล์ พบว่าในอากาศ QCM จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์เทียบกับอุณหภูมิได้เท่ากับ -9Hz/°C ในขณะที่นำมาใช้กับสารละลายเลี้ยงเซลล์พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อตัดตัวแปรการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ของ QCM เนื่องจากความหนืดและความหนาแน่นของน้ำแล้ว พบว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เรโซแนนซ์เทียบกับอุณหภูมิ มีค่าเป็นลบ และหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์เทียบกับอุณหภูมิได้เท่ากับ -11 Hz/°C

2) การเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์เนื่องจากการเกิดคลื่นตามยาว (longitudinal wave) พบว่าคลื่นตามยาวนี้จะสะท้อนที่ผิวน้ำ และเกิดการแทรกสอดทำให้ความเครียดที่ผิวของ QCM เปลี่ยนตามลักษณะการแทรกสอด และได้ทำการทดสอบโดยวัดการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ในขณะที่มีการควบคุมการระเหยของน้ำ และไม่ควบคุมการระเหยของน้ำ พบว่าในขณะที่ไม่มีการควบคุมการระเหยของน้ำจะเกิดการแกว่งของความถี่เรโซแนนซ์เป็นรูปไซน์ตามการแทรกสอดของคลื่นตามยาว แต่หากควบคุมการระเหยของน้ำจะพบว่าความถี่เรโซแนนซ์มีค่าค่อนข้างคงที่ จากนั้นได้ทำการทดลองวัดปริมาณเซลล์เทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เปลี่ยนแปลง พบว่า ผลตอบของความถี่เรโซแนนซ์ต่อปริมาณเซลล์ มีค่าเพิ่มขึ้นตรงข้ามกับทฤษฎีของทั้ง Sauerbrey และ Kanazawa และ มีการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ไม่เท่ากันในแต่ละการทดลอง แต่จากผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าผลตอบของความถี่เรโซแนนซ์กับปริมาณเซลล์ในแต่ละครั้งให้ผลการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อทำการแปรค่าความเข้มข้นของเซลล์พบว่าการเพิ่มความถี่เรโซแนนซ์ในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าสัมพันธ์กับปริมาณเซลล์ ซึ่ง การเพิ่มของความถี่เรโซแนนซ์นี้สันนิษฐานว่ามาจาก 1) การที่เซลล์มีลักษณะที่เกาะยึดกับผิวไม่ดีซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความถี่ไม่ลดลงตามที่ควรเป็น 2) การเพิ่มความเครียดที่ผิวของ QCM ทำให้เกิดการเพิ่มความถี่เรโซแนนซ์ โดยได้ทำการทดลองใช้ผงอะลูมินา (Al_2O_3) ใส่ลงไปในห้อง (chamber) แทนที่เซลล์ โดยให้ผงอะลูมินาคลอบคลุมทั้งผิวของ QCM พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในเชิงบวกคล้ายกัน ซึ่งการเพิ่มความเครียดที่ผิวนี้เป็นตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มความถี่เรโซแนนซ์

การวัดปริมาณเซลล์ด้วยวิธีการตรวจวัดแบบ QCM มีทั้งข้อดีและข้อเสียในการนำมาตรวจวัดปริมาณเซลล์โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีต่างๆ ได้แก่ เฮมาไซโตมิเตอร์(hemacytometer) สเปคโตรโฟโตมิเตอร์(spectrophotometer), คูลเตอร์เคานเตอร์ (coulter counter) หรือ โฟลไซโตมิเตอร์(flow cytometer) พบว่าแม้เครื่องมือเหล่านี้จะสามารถตรวจวัดปริมาณเซลล์ได้อย่างแม่นยำ แต่เครื่องมือเหล่านี้ไม่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังไม่สามารถหาช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเซลล์ได้เช่นเวลาที่เซลล์ลงเกาะ ลักษณะการเกาะของเซลล์กับพื้นผิว และเครื่องมือบางชนิดยังมีราคาแพงมากอีกด้วย

สำหรับตัวตรวจวัดแบบ QCM นี้เป็นตัวตรวจวัดที่มีราคาถูก และมีความไวสูง แต่เนื่องจากการวัดมีตัวแปรหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ต้องมีการควบคุมระบบให้มีความเสถียรภาพ นอกจากนี้การวัดเซลล์แต่ละชนิดก็ให้ผลได้ไม่เหมือนกัน โดยไม่มีสูตรหรือสมการการคำนวณที่แน่นอนในเซลล์แต่ละชนิด ต้องทำการสร้างกราฟอ้างอิงขึ้นมาก่อนแล้วจึงใช้ผลที่ได้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์กับปริมาณเซลล์ แต่หากพิจารณาถึงข้อดีของ QCM พบว่า QCM สามารถตอบสนองต่อขั้นตอนกระบวนการต่างๆของเซลล์ได้เป็นอย่างดี เช่น การตรวจลักษณะการเกาะของเซลล์ในแต่ละครั้ง ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าเซลล์ที่ได้มีคุณภาพดี หรือไม่ โดยหากใช้วิธีอื่นๆ ในการวัดเซลล์อาจไม่ทราบได้ว่าเซลล์ที่ใช้ในการทดลองมีความสมบูรณ์เพียงใด

	วิธีการตรวจวัดเซลล์				
	QCM	Hemacyto meter	spectrophoto meter	coulter counter	flow cytometer
วัดจำนวนเซลล์ได้อย่างแม่นยำ	×	Δ	Δ	o	o
วัดจำนวนเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง	o	×	×	×	×
ราคา	o	o	Δ	×	×

o ดี Δ ปานกลาง × ไม่ดี

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการวัดจำนวนเซลล์ด้วยวิธีต่างๆ