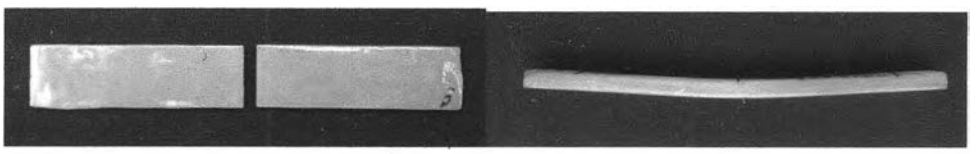
บทที่ 4
ผลการศึกษา

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 1

ก. ผลการทดสอบกำลังดัดขวาง

จากการศึกษา พบว่าชิ้นงาน Meliodent® มีการแตกหักหลังทำการทดสอบกำลังดัดขวาง ส่วนชิ้นงาน Vitaflex® ทำการ Load หัวกดพบว่าวัสดุแอ่นลงมาเรื่อยๆจนวัสดุชนกับฐานข้างล่าง แล้วเด้งออกจากคานแต่วัสดุไม่แตกหัก (รูปที่ 29) ดังนั้นไม่สามารถคำนวณค่ากำลังดัดขวางของ Vitaflex® ได้แต่สามารถคำนวณค่ามอดุลัสการโค้งงอ และบันทึกค่าแรงกด (นิวตัน) ณ ตำแหน่งที่วัสดุแอ่นจากระนาบปกติลงมาที่ความลึก 5 มิลลิเมตร ณ จุดกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง ทำการเปรียบเทียบค่ากำลังดัดขวาง ค่ามอดุลัสการโค้งงอ ของวัสดุทั้งสองชนิดได้ดังตารางที่ 6 ส่วนตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบแรงที่ตำแหน่งที่มีการแอ่นจากระนาบปกติ 5 มิลลิเมตรของวัสดุทั้งสอง



ก ข

รูปที่ 29 ก. แสดงชิ้นงาน Meliodent® ที่แตกตรงกึ่งกลางชิ้นงาน

ข. แสดงชิ้นงาน Vitaflex® โค้งงอแต่ไม่หักหลังสิ้นสุดการทดสอบ

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังดัดขวาง และ ค่ามอดุลัสการโค้งงอของไนลอน (Vitaflex®) กับ เรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (Meliodent®)

ชิ้นที่	Flexural strength (MPa)		Flexural modulus (MPa)	
	Vitaflex®	Meliodent®	Vitaflex®	Meliodent®
1	ไม่สามารถหาค่าได้	61.72	412.85	1856.13
2	ไม่สามารถหาค่าได้	65.06	508.44	2009.71
3	ไม่สามารถหาค่าได้	64.12	527.06	1962.16
4	ไม่สามารถหาค่าได้	62.15	486.31	2145.41
5	ไม่สามารถหาค่าได้	59.82	448.75	2149.07
Mean ± SD	**ไม่สามารถหาค่าได้**	62.57±2.07	476.68±46.08	2024.50±125.09

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบแรงที่ตำแหน่งที่มีการแอ่นจากระนาบปกติ 5 มิลลิเมตรของทั้งสองวัสดุ

ชิ้นที่	Force required to 5 mm. deflection (N)	
	Vitaflex®	Meliodent®
1	14.27	45.62
2	13.96	47.61
3	13.89	49.06
4	16.63	48.68
5	14.27	48.60
Mean ± SD	14.60±1.15	47.91±1.39

เมื่อพิจารณาตารางที่ 6 พบว่าค่า Flexural modulus ของ Vitaflex® น้อยกว่า Meliodent® อย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ แสดงถึง Meliodent® มีความแข็งที่อ (stiffness) มากกว่า Vitaflex® และเมื่อพิจารณาตารางที่ 7 พบว่าที่ตำแหน่งที่วัสดุแอ่นลงมา 5 มิลลิเมตร Vitaflex® ใช้แรงเพียง 14.60 ± 1.15 นิวตัน สามารถทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งแตกต่างจาก Meliodent® ที่ใช้แรงถึง 3.28 เท่า (47.91 ± 1.39 นิวตัน) แสดงให้เห็นว่า Vitaflex® มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) ได้ง่ายกว่า Meliodent® ที่มีความแข็ง (rigid) มากกว่า รวมถึงพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองกำลังดัดขวางพบว่า Vitaflex® ไม่เกิดการแตกหักเหมือน Meliodent® เพียงแต่เกิดการโค้งงอของชิ้นงาน

ข. ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง

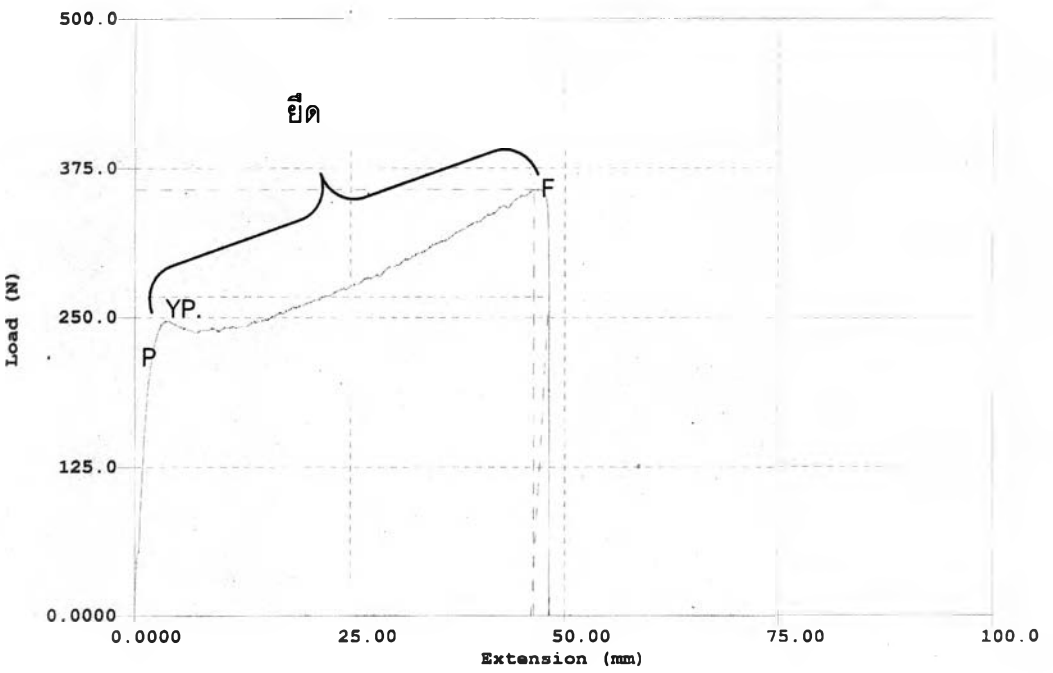
จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ากลุ่มทดสอบของ Meliodent®และ Vitaflex® มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ ตำแหน่งที่ขาด ค่าความต้านทานแรงดึง และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ ตำแหน่งที่ขาด และ ค่าความต้านทานแรงดึงของทั้งสองวัสดุ

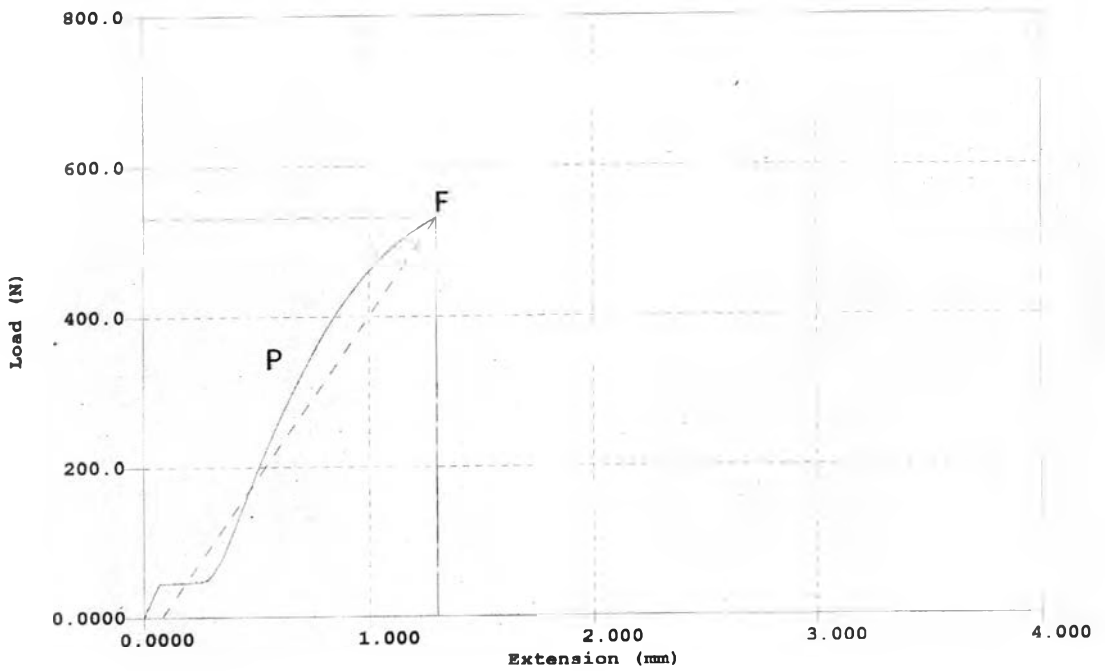
ชิ้นที่	Percentage Elongation at break		Tensile strength (MPa)	
	Vitaflex®	Meliodent®	Vitaflex®	Meliodent®
1	307.30	0.54	38.47	64.33
2	239.80	3.04	34.55	44.08
3	237.70	3.01	38.86	51.54
4	257.00	3.18	41.06	39.06
5	299.60	6.09	37.89	54.22
Mean ± SD	268.28±33.08	3.17±1.97	38.17±2.35	50.65±9.72

เมื่อพิจารณาตารางที่ 8 พบว่าความต้านทานแรงดึงของ Meliodent® มีค่ามากกว่า Vitaflex® อย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ แสดงให้เห็นว่า Meliodent® มีความแข็งแรงในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากกว่า Vitaflex® แต่ Meliodent ® มีความเปราะมากดูได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ ตำแหน่งที่ขาดมีค่าน้อยกว่า Vitaflex® อย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

เมื่อพิจารณารูปที่ 30 จะเห็นว่าชิ้นงาน Vitaflex® เมื่อค่อยๆดึงพบว่าชิ้นตัวอย่างมีการยืดในอัตราคงที่กับแรง จนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่ง (จุด P) คือขีดยืดปฏิภาคเป็นจุดสุดท้ายที่อัตราการยืดจะคงที่กับแรง หลังจากนั้นอัตราการยืดจะเร็วกว่าแรง เมื่อใช้แรงดึงต่อไปอีกเล็กน้อยคือขีดยืดหยุ่นซึ่งจะอยู่เหนือขีดยืดปฏิภาค พบว่าชิ้นงานจะยืดเล็กน้อยแต่ถ้าเอาแรงออก ชิ้นงานสามารถหดกลับให้มีความยาวเท่าเดิมได้ ขีดยืดหยุ่นเป็นจุดสุดท้ายที่วัสดุรับน้ำหนักได้โดยมีการยืดหดตัวไม่ถาวร เมื่อเลยขีดนี้วัสดุจะมีการยืดหดตัวที่ถาวร ส่วน จุด YP คือ จุดคราก (Yield Point) จุดที่แรงทำให้เกิดการยืดตัวเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้เพิ่มแรง และเมื่อเพิ่มแรงไปเรื่อยๆเหนือจุดครากจนถึงจุด F จะเกิดการขาดของชิ้นงาน ในขณะที่รูปที่ 31 กราฟของ Meliodent® จะไม่มีจุดคราก แสดงถึงวัสดุมีการแตกหักเลยจึงได้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ ตำแหน่งที่ขาดมีค่าต่ำมาก

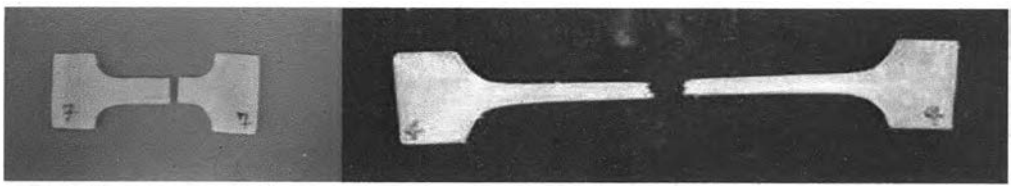


รูปที่ 30 กราฟแสดงแรงดึงกับการยืดตัวของ Vitaflex®



รูปที่ 31 กราฟแสดงแรงดึงกับการยืดตัวของ Meliodent®

หลังการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่า Meliodent® มีการแตกหักตรงๆ แสดงว่าวัสดุมีความเปราะมากกว่า Vitaflex® ที่มีการยืดยาวของชิ้นงานและบริเวณรอยขาดตรงปลายเป็นกรวยที่ยอดเป็นมุมแหลมและมีสีขาวเนื่องจากมีความเค้นบริเวณที่ฉีกขาดสูง (รูปที่ 32) สรุปได้ว่า Vitaflex® มีความเหนียวมากกว่า Meliodent®



ก. ข.

รูปที่ 32 ก. แสดงการยืดจนขาดของ Meliodent® หลังผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ข. แสดงการยืดจนขาดของ Vitaflex® หลังผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ตอนที่ 2

ก. ผลการทดสอบการเปลี่ยนสี

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ากลุ่มทดสอบของ Rodex® และ Vitaflex® มีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนสี (ΔE) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 แสดงค่า ΔE ของ Vitaflex® เมื่อแช่ในสารละลายสีต่างๆในระยะเวลาที่ต่างกัน

สารละลายสี / ระยะเวลา	น้ำกลั่น	สีน้ำเงิน	สีแดง	สีเหลือง	ชา	กาแฟ
1 อาทิตย์	1.45±0.28	1.41±0.39	1.29±0.43	1.57±0.52	1.53±0.29	2.87±0.47
2 อาทิตย์	1.77±0.26	2.05±0.51	1.65±0.33	1.99±0.61	2.27±0.28	4.84±0.80
1 เดือน	2.11±0.27	2.10±0.66	1.93±0.32	2.45±0.71	2.78±0.25	5.50±0.72
2 เดือน	2.15±0.37	2.09±0.53	2.26±0.39	2.46±0.40	2.72±0.30	5.62±0.72
3 เดือน	2.16±0.38	1.89±0.54	2.3±0.41	2.46±0.37	2.80±0.40	5.67±0.67
6 เดือน	2.54±0.34	2.52±0.74	2.58±0.42	3.07±0.4	3.13±0.42	5.67±0.62

ตารางที่ 10 แสดงค่า ΔE ของ Rodex® เมื่อแช่ในสารละลายสีต่างๆในระยะเวลาที่ต่างกัน

สารละลายสี / ระยะเวลา	น้ำกลั่น	สีน้ำเงิน	สีแดง	สีเหลือง	ชา	กาแฟ
1 อาทิตย์	1.57±0.73	1.09±0.30	1.25±0.58	1.47±0.53	1.63±0.44	1.17±0.24
2 อาทิตย์	1.72±0.43	1.41±0.32	1.50±0.53	1.97±0.44	1.99±0.36	1.58±0.19
1 เดือน	2.02±0.32	1.91±0.25	2.03±0.40	2.32±0.62	2.31±0.20	1.93±0.19
2 เดือน	2.14±0.35	2.14±0.32	2.22±0.45	2.64±0.51	2.48±0.24	2.26±0.18
3 เดือน	2.20±0.38	2.05±0.33	2.22±0.41	2.55±0.37	2.55±0.23	2.30±0.30
6 เดือน	2.30±0.23	2.11±0.40	2.20±0.33	2.57±0.31	2.69±0.30	2.31±0.35

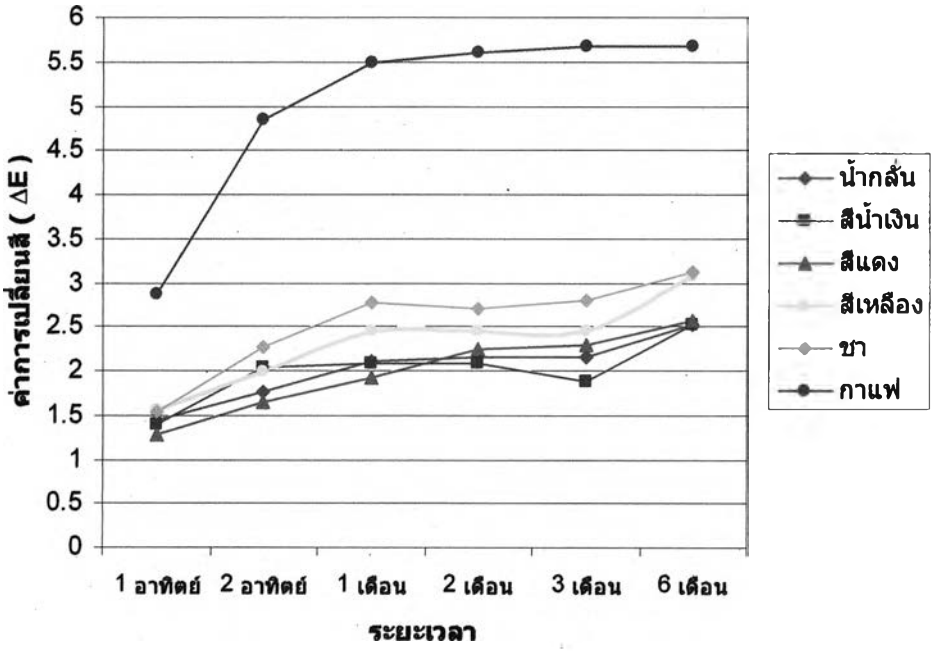
สำหรับ Vitaflex® เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 9 และ รูปที่ 33 พบว่าชิ้นตัวอย่างที่แช่ในกาแฟให้ผลการติดสีมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม ในทุกช่วงเวลาและสีจะเข้มขึ้นเมื่อแช่นานขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่มที่แช่ในชาจะให้ผลการติดสีมากรองลงมา ทั้งนี้การติดสีของกลุ่มนี้จะเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนจบการศึกษา นอกจากนี้พบว่าทุกกลุ่มของ Vitaflex® ที่แช่สารละลายสีต่างๆจะติดสีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ซึ่งชิ้นตัวอย่างจะติดสีเหลืองมากขึ้นรองจากกาแฟและชา อย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เดือนที่ 1 จนจบการศึกษา ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่แช่ในสีแดงจะติดสีเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เดือนที่ 1 จนจบการศึกษา โดยกลุ่มสีแดงติดสีรองจากกลุ่มสีเหลือง สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่แช่ในน้ำกลั่นมีการเปลี่ยนสีอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เดือนที่ 1 จนสิ้นสุดการศึกษา ซึ่งค่าการเปลี่ยนสี รองลงมาจากสีแดง และสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดผลการศึกษาพบว่าสีน้ำเงินมีการติดสีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม ซึ่งการติดสีที่เพิ่มขึ้นของสีน้ำเงินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเดือนที่ 6 กับตอนเริ่มต้น

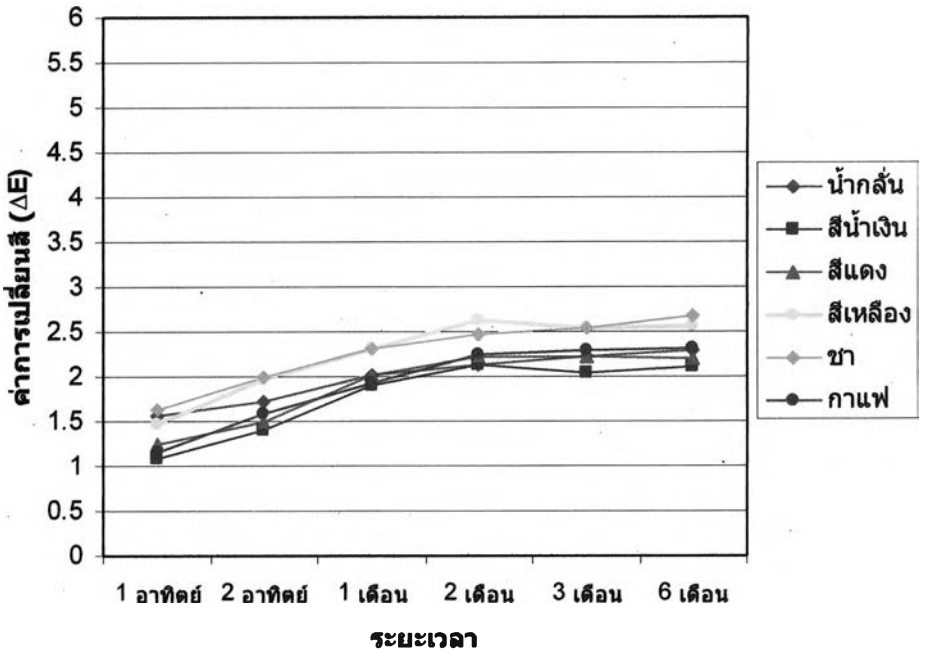
เมื่อพิจารณากลุ่ม Rodex® จากตารางที่ 10 และรูปที่ 34 พบว่า ชา และสีเหลืองมีการติดสีใกล้เคียงกันในช่วง 3 เดือนแรกแต่เมื่อสิ้นสุดการศึกษาพบว่าชาติดสีมากกว่าสีเหลือง แต่ไม่มีความแตกต่างในการติดสีระหว่างชาและสีเหลือง รองลงมาคือ กาแฟ สีแดง น้ำกลั่น ตามลำดับ และสารละลายที่ติดสีน้อยที่สุด คือ สีน้ำเงิน โดยกลุ่มที่แช่ในชาจะติดสีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น และติดสีเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เดือนที่ 1 จนสิ้นสุดการศึกษา ส่วนกลุ่มที่แช่สีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินจะติดสีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น โดยจะติดสีเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่เดือนที่ 1 จนสิ้นสุดการศึกษา ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่แช่กาแฟจะติดสีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น และติดสีเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนสิ้นสุดการศึกษา สำหรับ น้ำกลั่น จะติดสีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 3 จนจบการศึกษาจะเห็นการเปลี่ยนสีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่าในสัปดาห์แรก Vitaflex® ที่แช่กาแฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีที่เพิ่มมากขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Rodex® ที่แช่ในกาแฟตลอดระยะการศึกษา - Vitaflex® ที่แช่ในชามีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปและเห็นการเปลี่ยนสีของวัสดุทั้งสองที่แช่ในชาแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเดือนที่ 1 และเดือนที่ 6 ส่วน Vitaflex® ที่แช่ในน้ำกลั่น สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง จะติดสีเพิ่มขึ้นช่วงแรกเมื่อระยะเวลาผ่านไปการติดสีเริ่มคงที่ และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Rodex® ที่แช่น้ำกลั่น สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง เมื่อจบการศึกษาพบว่า Vitaflex® ที่แช่ในกาแฟ ชา และสีเหลือง มีการติดสีมากขึ้นและ

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ Rodex® ที่แช่ในกาแฟ ชา และสีเหลือง ($p<0.05$) ส่วน Vitaflex® ที่แช่ใน น้ำกลั่น สีแดง และสีน้ำเงิน พบการติดสีเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ Rodex® ที่แช่ในน้ำกลั่น สีแดง และสีน้ำเงินตามลำดับ



รูปที่ 33 กราฟแสดงค่า ΔE ของ Vitaflex® เมื่อแช่ในสารละลายสีต่างๆในระยะเวลาที่ต่างกัน



รูปที่ 34 กราฟแสดงค่า ΔE ของ Rodex® เมื่อแช่ในสารละลายสีต่างๆในระยะเวลาที่ต่างกัน

ในกลุ่มของ Vitaflex® พิจารณาจากตารางที่ 11 พบว่าค่า NBS Unit ของกลุ่มที่แช่ในกาแฟเริ่มมีการเปลี่ยนสีที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าตั้งแต่สัปดาห์แรก และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดการศึกษา ส่วนกลุ่มที่แช่ในสารละลายสีต่างๆในกลุ่มที่เหลือ พบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนสีที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป โดยชิ้นตัวอย่างจะติดสีเข้มเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อพิจารณา Rodex® จากตารางที่ 12 พบว่าค่า NBS Unit ของกลุ่มที่แช่ชา สีเหลือง และน้ำกลั่นเริ่มสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาเปล่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนสิ้นสุดการศึกษา โดยน้ำกลั่นมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นด้วยตาเปล่าน้อยกว่าชา และสีเหลือง กลุ่มที่เหลือคือ Rodex® ที่แช่กาแฟ สีแดง และสีน้ำเงินเริ่มมีการเปลี่ยนสีที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าตั้งแต่เดือนแรกจนสิ้นสุดการศึกษา

เมื่อใช้ค่า NBS Unit ที่มีค่าตั้งแต่ 1.5 ถึง 3 ในการพิจารณาการเปลี่ยนสีที่เริ่มเห็นได้ด้วยตาเปล่า ของทั้งสองวัสดุพบว่าทุกสารละลายสีที่แช่ใน Vitaflex® เริ่มสามารถเห็นการเปลี่ยนสีได้ด้วยตาเปล่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ในขณะที่ทุกสารละลายสีที่แช่ใน Rodex® เริ่มสามารถเห็นการเปลี่ยนสีได้ด้วยตาเปล่าตั้งแต่เดือนที่ 1 นอกจากนี้พบว่าวัสดุทั้งสองชนิดที่แช่ในสารละลายทุกอย่างเมื่อสิ้นสุดการศึกษา มีค่า NBS Unit ไม่เกิน 3 ซึ่งทำให้เริ่มสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้

ด้วยตาเปล่า ยกเว้น Vitaflex® ที่แช่ในกาแฟที่มีค่า NBS Unit เกิน 3 ทำให้เห็นการเปลี่ยนสีที่ชัดเจนและในทางคลินิกไม่สามารถยอมรับการเปลี่ยนสีของ Vitaflex® ที่แช่ในกาแฟได้

ตารางที่ 11 แสดงค่า NBS Unit ของ Vitaflex® เมื่อแช่ในสารละลายต่างๆในระยะเวลาที่ต่างกัน

สารละลายสี / ระยะเวลา	น้ำกลั่น	สีน้ำเงิน	สีแดง	สีเหลือง	ชา	กาแฟ
1 อาทิตย์	1.33	1.30	1.19	1.44	1.41	2.64*
2 อาทิตย์	1.63*	1.89*	1.52*	1.83*	2.09*	4.45+
1 เดือน	1.94*	1.93*	1.78*	2.25*	2.56*	5.06+
2 เดือน	1.98*	1.92*	2.08*	2.26*	2.50*	5.17+
3 เดือน	1.99*	1.74*	2.12*	2.26*	2.58*	5.22+
6 เดือน	2.34*	2.32*	2.37*	2.82*	2.88*	5.22+

ตารางที่ 12 แสดงค่า NBS Unit ของ Rodex® เมื่อแช่ในสารละลายต่างๆในระยะเวลาที่ต่างกัน

สารละลายสี / ระยะเวลา	น้ำกลั่น	สีน้ำเงิน	สีแดง	สีเหลือง	ชา	กาแฟ
1 อาทิตย์	1.44	1.00	1.15	1.35	1.5	1.08
2 อาทิตย์	1.58*	1.3	1.38	1.81*	1.83*	1.45
1 เดือน	1.86*	1.76*	1.87*	2.13*	2.13*	1.78*
2 เดือน	1.97*	1.97*	2.04*	2.43*	2.28*	2.08*
3 เดือน	2.03*	1.89*	2.04*	2.35*	2.35*	2.12*
6 เดือน	2.12*	1.94*	2.02*	2.36*	2.47*	2.13*

หมายเหตุ NBS Unit : ตั้งแต่ 0 ถึง 0.5 Trace (เห็นการเปลี่ยนแปลงสีในปริมาณน้อยมาก)

ตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.5 Slight (เห็นการเปลี่ยนแปลงสีในปริมาณน้อย)

ตั้งแต่ 1.5 ถึง 3 * Noticeable (เริ่มสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาเปล่า)

ตั้งแต่ 3 ถึง 6 + Appreciable (เห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้อย่างชัดเจน)

ข. ผลการทดสอบความแข็งผิวเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าค่าความแข็งผิวเฉลี่ย (VHN) ของชิ้นงาน Vitaflex® เมื่อผ่านกระบวนการขัดแต่งตามปกติมีค่า 5.1 ± 0.24 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า Rodex® (15.49 ± 0.49) ถึง 3 เท่า

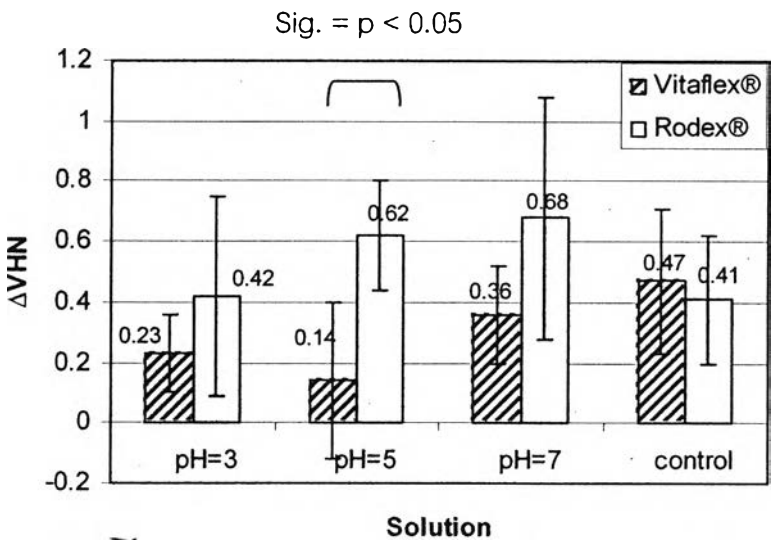
นำค่าความแข็งผิวเฉลี่ยหลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ [VHN (After)] ลบด้วยค่าความแข็งผิวเฉลี่ยก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ [VHN (Before)] ได้ค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ย [ΔVHN] ซึ่งถ้าค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยเป็นบวก หมายความว่าวัสดุมีความแข็งผิวมากขึ้นกว่าเดิม แต่ถ้าค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยเป็นลบ หมายความว่าวัสดุมีความแข็งผิวลดลง คือนิ่มลง

เมื่อพิจารณาตารางที่ 13 และรูปที่ 35 พบว่า Vitaflex® ที่แช่ในสารละลายทุกกลุ่มมีค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้น โดยพบว่าชิ้นตัวอย่างที่แช่ในน้ำดื่ม (กลุ่มควบคุม) มีค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 และ pH=3 ตามลำดับ ส่วนค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ กลุ่มที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 โดยพบว่า Vitaflex® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=3, 5, 7 และน้ำดื่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน Rodex® มีค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้นจากเดิมเช่นเดียวกับ Vitaflex® แต่มีค่ามากกว่า โดยพบว่า Rodex® มีค่าความแข็งผิวเพิ่มมากขึ้นทุกกลุ่มโดยกลุ่มที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 มีค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 และ pH=3 ตามลำดับ และกลุ่มที่มีค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยน้อยที่สุดคือกลุ่มน้ำดื่มโดยพบว่า Rodex® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=3, 5, 7 และน้ำดื่มไม่มีความแตกต่างกันของความแข็งผิวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ

นำค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ยแต่ละกลุ่ม มาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two way ANOVA) พบว่าวัสดุสองชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์แต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่ามีชนิดของวัสดุและชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์อย่างน้อย 1 คู่ที่ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นดู Post Hoc Tests โดยใช้ Tamhane พบว่า Rodex® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH= 5 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Vitaflex® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH= 5 ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 13 แสดงค่าความแข็งผิวเฉลี่ยของวัสดุ Vitaflex® และ Rodex® ก่อนแช่ (VHN (Before)) หลังแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ (VHN (After)) รวมถึงค่าผลต่างความแข็งผิวเฉลี่ย (ΔVHN)

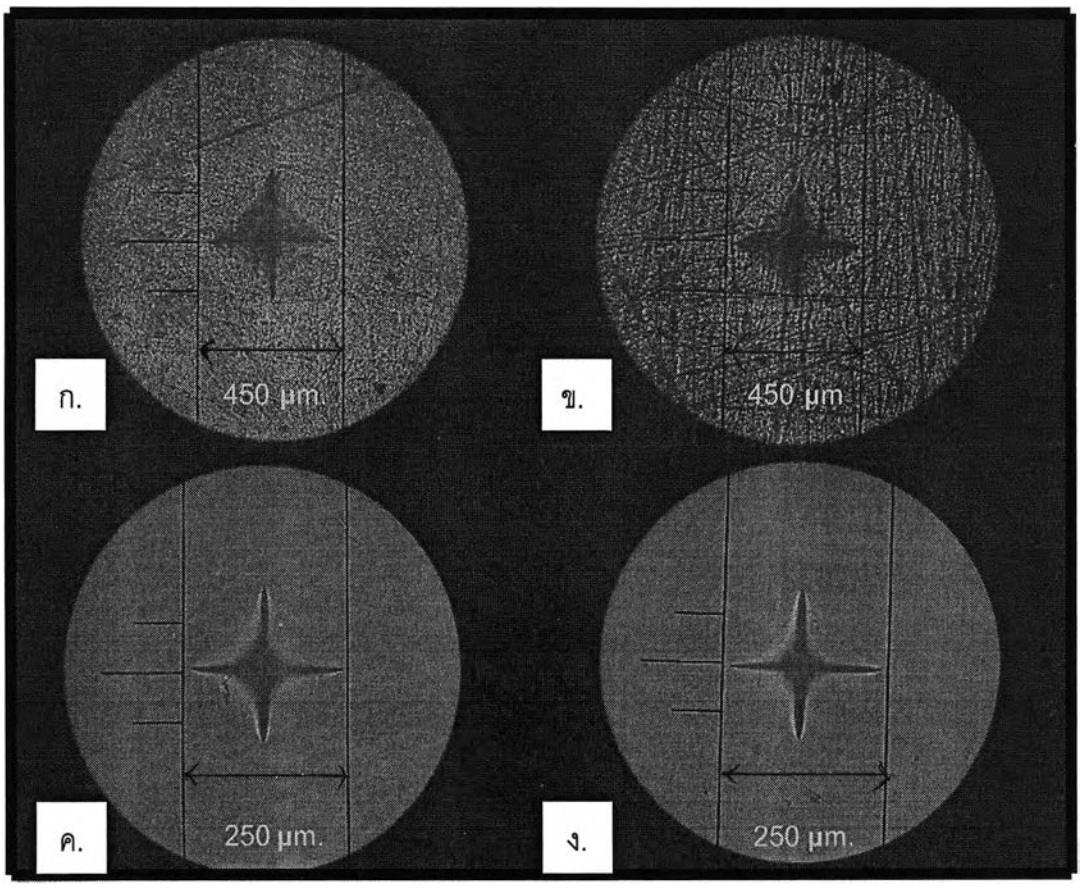
Solution	Material	Mean ± SD of VHN (Before)	Mean ± SD of VHN (After)	Mean ± SD of ΔVHN
pH=3	Vitaflex®	5.22± 0.12	5.45±0.18	0.23±0.13
	Rodex®	15.68±0.48	16.10±0.37	0.42±0.33
pH=5	Vitaflex®	5.08±0.29	5.22±0.18	0.14±0.26
	Rodex®	15.18±0.29	15.81±0.37	0.62±0.18
pH=7	Vitaflex®	5.12±0.23	5.49±0.23	0.36±0.16
	Rodex®	15.54±0.57	16.21±0.31	0.68±0.40
Water (control)	Vitaflex®	4.96±0.25	5.44±0.19	0.47±0.24
	Rodex®	15.57±0.49	15.98±0.38	0.41±0.21



รูปที่ 35 แผนภูมิแสดงค่าผลต่างของความแข็งผิวเฉลี่ยของวัสดุ Vitaflex® เปรียบเทียบกับ Rodex® เมื่อแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์

จากรูปที่ 36 ถึง 39 แสดงการเปรียบเทียบผลของรอยกดความแข็งผิวของวัสดุทั้งสองชนิดก่อนและหลังแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH=3, 5, 7 และน้ำดื่ม โดยพบว่าทั้งสองวัสดุมีรอยกดหลังแช่สารละลายทุกชนิดมีขนาดใหญ่กว่าก่อนแช่สารละลายทุกชนิด และถ้าใช้กำลังขยายเท่ากันจะพบว่ารอยกดของ Vitaflex® จะมีลักษณะบานและใหญ่กว่า Rodex® (รูปที่ 40)

สรุปการทดลองได้ดังนี้คือ Vitaflex® มีความแข็งผิวน้อยกว่า Rodex® หลังการขัดแต่งตามปกติ และ ผลของ pH ที่มีต่อทั้งสองวัสดุ คือ pH ทำให้ค่าความแข็งผิวของแต่ละวัสดุเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับวัสดุเดียวกัน และการเพิ่มขึ้นของความแข็งผิวทั้งสองวัสดุไม่เท่ากัน โดยค่าความแข็งผิวเฉลี่ยของ Rodex ® มากกว่า Vitaflex® ทุกสารละลายยกเว้นกลุ่มที่แช่น้ำดื่ม และพบว่า Rodex ® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 ให้ค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ Vitaflex® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=5

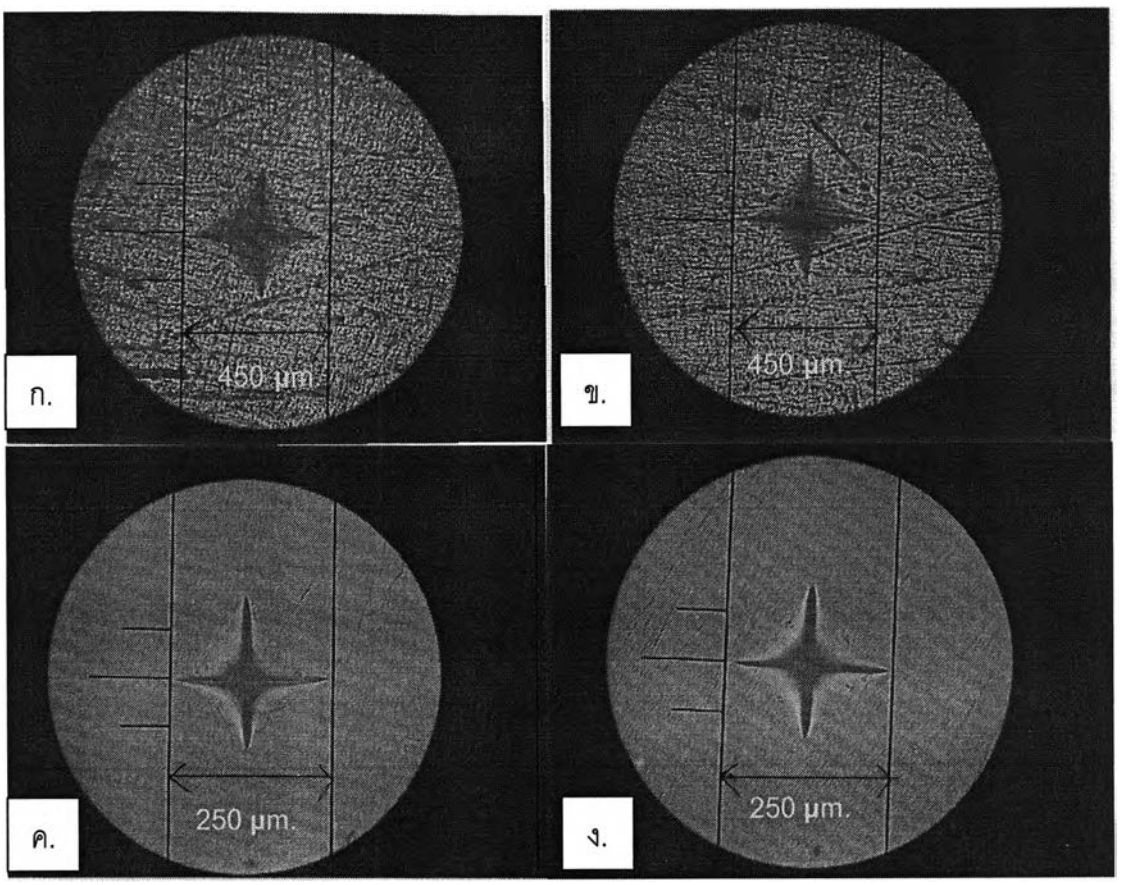


รูปที่ 36 ก. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ข. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ค. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ง. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

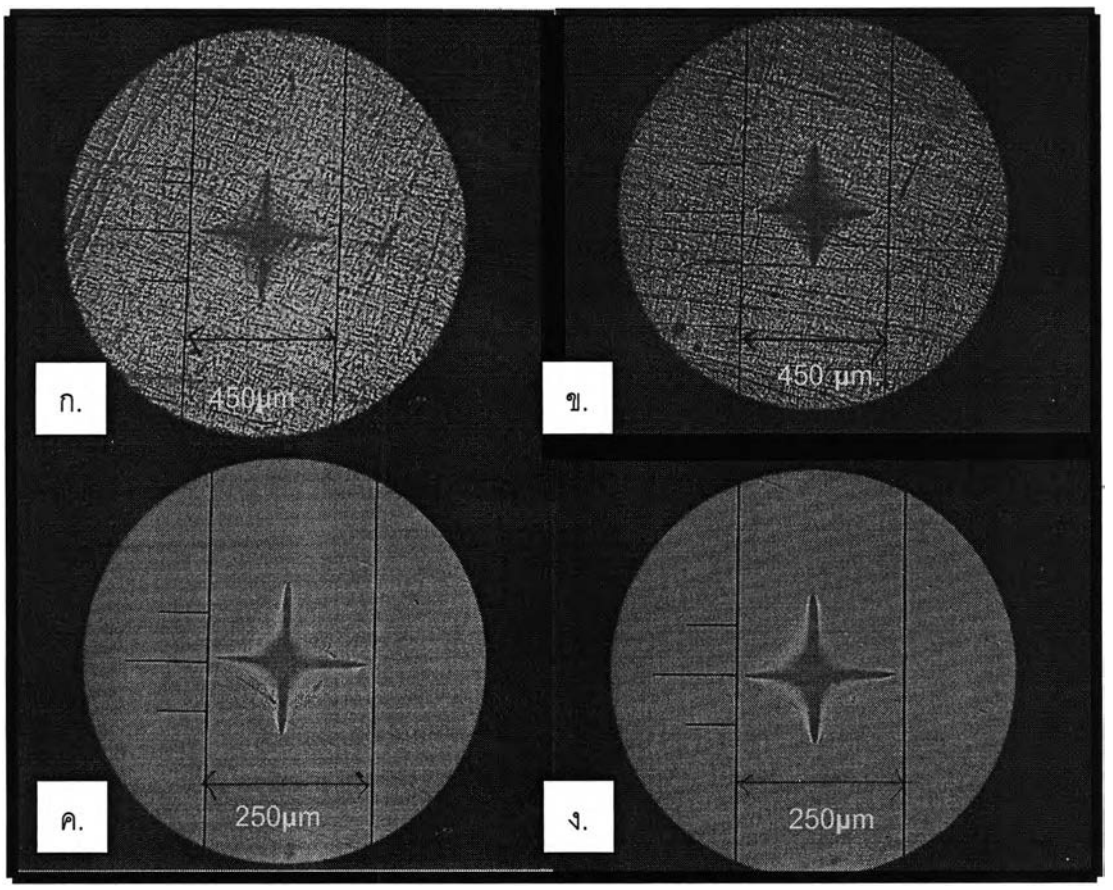


รูปที่ 37 ก. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ข. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ค. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ง. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

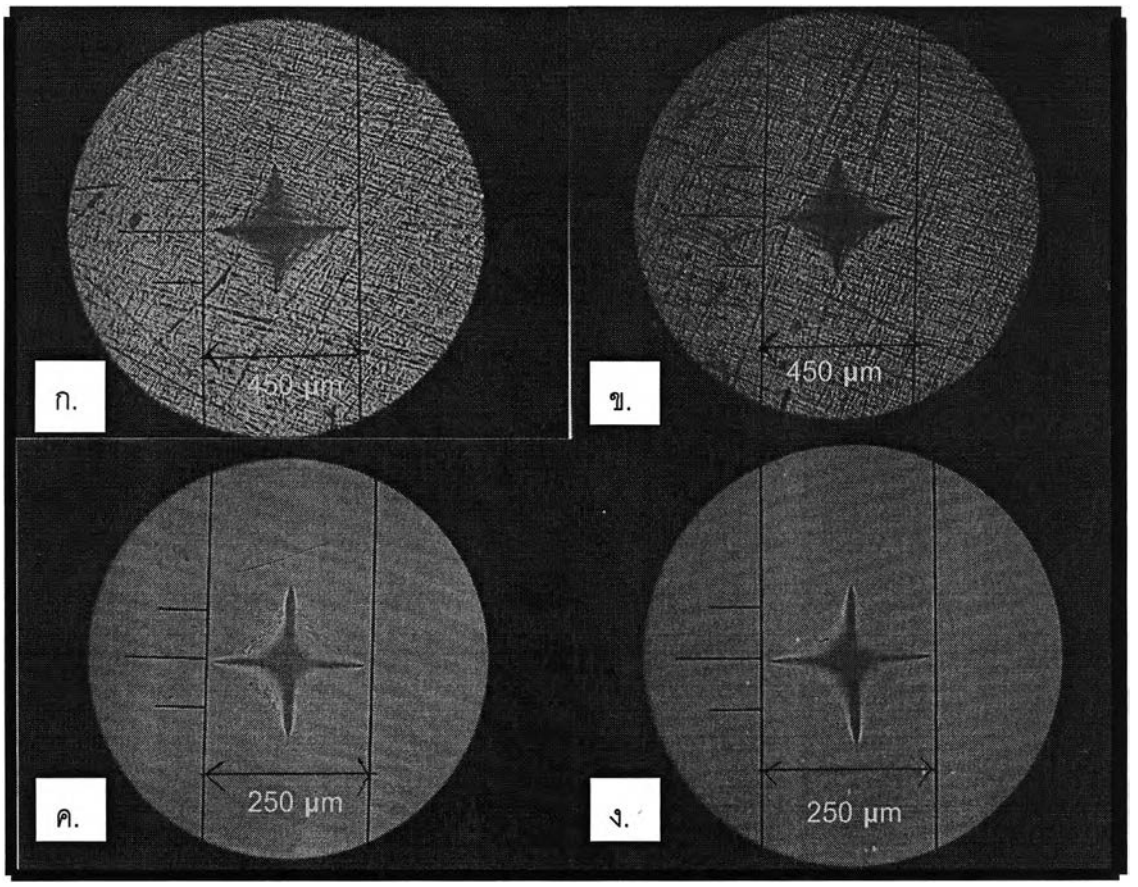


รูปที่ 38 ก. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ข. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ค. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ง. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

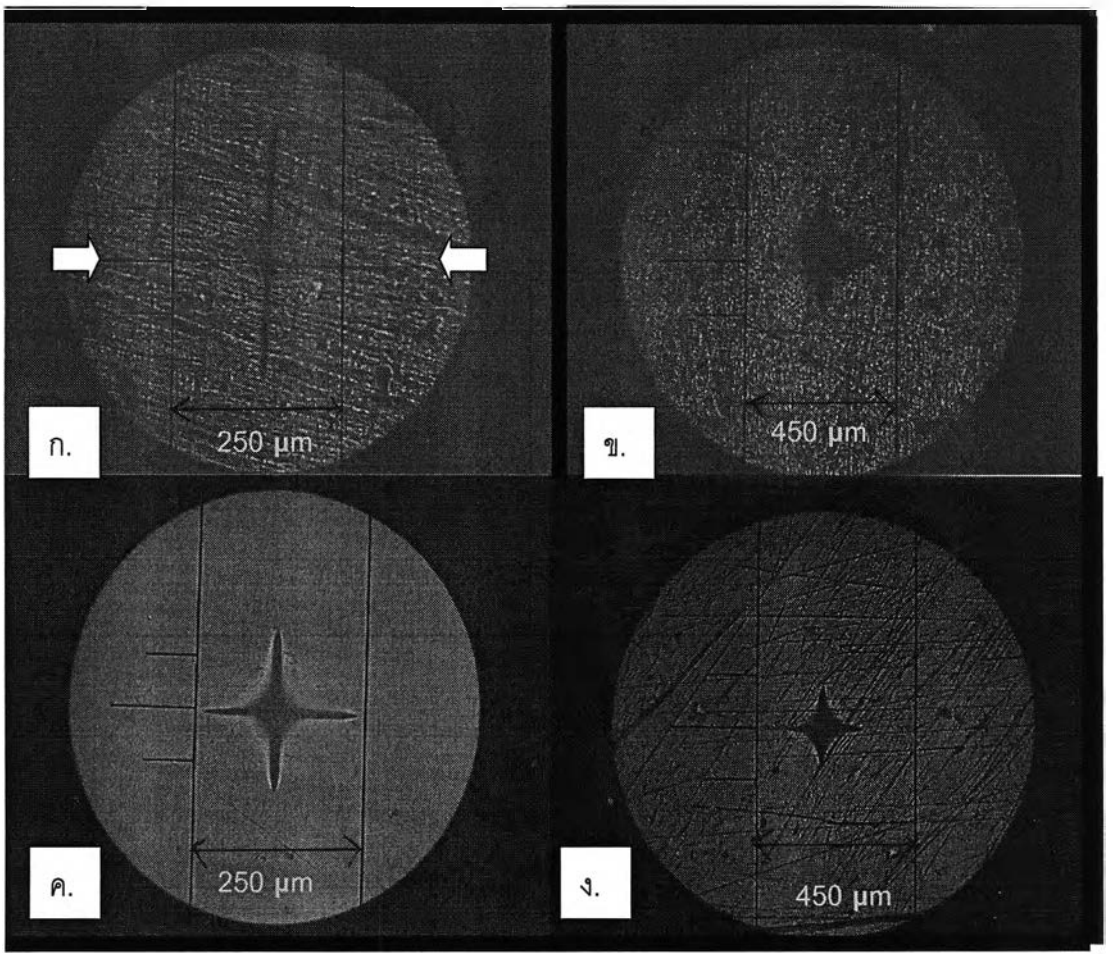


รูปที่ 39 ก. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® ก่อนแช่น้ำดื่ม ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ข. แสดงภาพรอยกดของ Vitaflex® หลังแช่น้ำดื่ม ที่ได้จากการ ทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ค. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® ก่อนแช่น้ำดื่ม ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ง. แสดงภาพรอยกดของ Rodex® หลังแช่น้ำดื่ม ที่ได้จากการทดสอบความแข็งผิว ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 40 ก. แสดงรอยกดความแข็งผิวของ Vitaflex® ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ข. แสดงรอยกดความแข็งผิวของ Vitaflex® ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ค. แสดงรอยกดความแข็งผิวของ Rodex® ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ง. แสดงรอยกดความแข็งผิวของ Rodex® ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ค. ผลการทดสอบความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ผล พบว่าค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดของชิ้นงาน Vitaflex® เมื่อผ่านกระบวนการขัดแต่งตามปกติ มีค่า Sa = 0.18 ± 0.041 μm ซึ่งมีค่ามากกว่า Rodex® (Sa = 0.08 ± 0.027 μm) ถึง 2.25 เท่า ซึ่งค่าความหยาบ Sa นี้ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับ Ra ของการศึกษานำร่อง (ภาคผนวก) คือ ไนลอนมีความหยาบมากกว่าเรซินอะคริลิก

นำค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดหลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ [Sa (After)] ลบด้วยค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ [Sa (Before)] ได้ค่าผลต่างความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมด (ΔSa) ซึ่งถ้าค่าผลต่างความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดเป็นบวก หมายความว่าวัสดุมีความหยาบของพื้นผิวมากขึ้นกว่าเดิม แต่ถ้าค่าผลต่างหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดเป็นลบ หมายความว่าวัสดุมีความหยาบของพื้นผิวลดลง (เรียบขึ้น)

จากตารางที่ 14 และรูปที่ 41 พบว่า Vitaflex® มีค่าผลต่างความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมด (ΔSa) เพิ่มมากขึ้นทุกกลุ่ม แปลว่าหยาบขึ้นทุกกลุ่ม โดยกลุ่มที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 พบว่ามีค่าความหยาบเฉลี่ยมากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่ม pH=7 และ น้ำดื่ม รองลงมาคือกลุ่มที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 และ กลุ่มที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 ตามลำดับสำหรับกลุ่มที่แช่ในน้ำดื่ม (กลุ่มควบคุม) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดน้อยที่สุดทั้งนี้มีความแตกต่างจากกลุ่ม pH=7 น้อยมาก

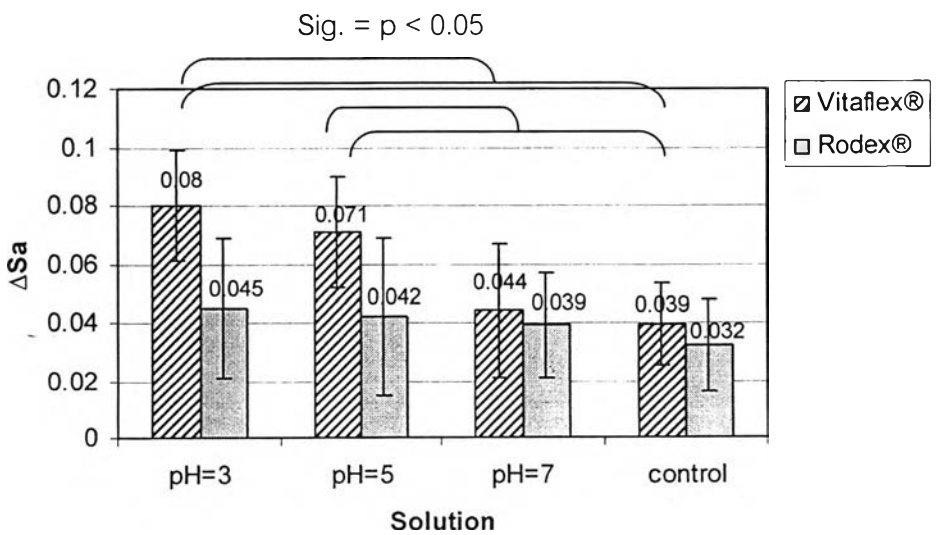
เมื่อพิจารณา Rodex® พบว่ามีค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากเดิมเช่นเดียวกัน โดยพบว่า Rodex® ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 มีค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่แช่ในน้ำดื่มมีค่าน้อยที่สุดโดยทุกสารละลายที่แช่ใน Rodex® มีค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดไม่แตกต่างกัน

นำผลต่างของความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดในทุกกลุ่ม มาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two way ANOVA) พบว่าวัสดุสองชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าสารละลายแต่ละชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นดู Post Hoc Tests โดยใช้ Bonferroni พบว่า Rodex® ไม่แตกต่างกันในทุกสภาวะคือกรดสามารถกัดกร่อนพื้นผิวทำให้เกิดความหยาบเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนแช่ ในขณะที่กรด

สามารถกัดกร่อนพื้นผิวของ Vitaflex® ทำให้เกิดความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดย Vitaflex® ที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 และ Vitaflex® ที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=5 มีความหยาบเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ Vitaflex® ที่แช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=7 และ Vitaflex® ที่แช่น้ำดื่ม ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 14 แสดงค่า Sa ก่อนแช่และหลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ รวมถึง ΔSa ของทั้งสองวัสดุ

Solution	Material	Mean ± SD of Sa (Before)	Mean ± SD of Sa (After)	Mean ± SD of ΔSa
pH=3	Vitaflex®	0.182± 0.037	0.261±0.036	0.080±0.019
	Rodex®	0.064±0.018	0.109±0.015	0.045±0.024
pH=5	Vitaflex®	0.197±0.053	0.268±0.052	0.071±0.019
	Rodex®	0.087±0.025	0.130±0.035	0.042±0.027
pH=7	Vitaflex®	0.172±0.037	0.217±0.044	0.044±0.023
	Rodex®	0.100±0.019	0.140±0.022	0.039±0.018
Water (control)	Vitaflex®	0.165±0.033	0.204±0.039	0.039±0.014
	Rodex®	0.082±0.034	0.115±0.034	0.032±0.016

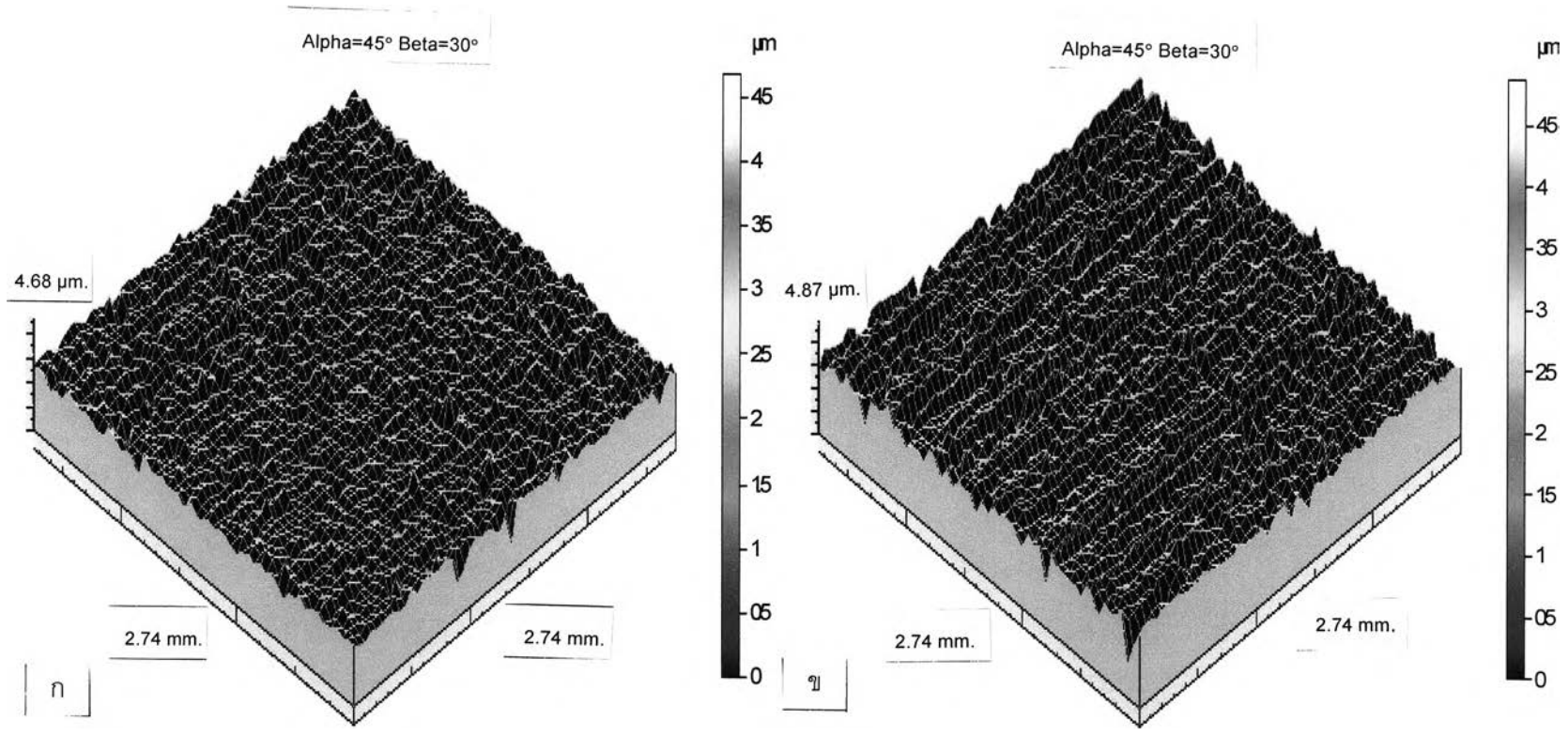


รูปที่ 41 แผนภูมิแสดงค่า ΔSa ของสองวัสดุเมื่อแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์

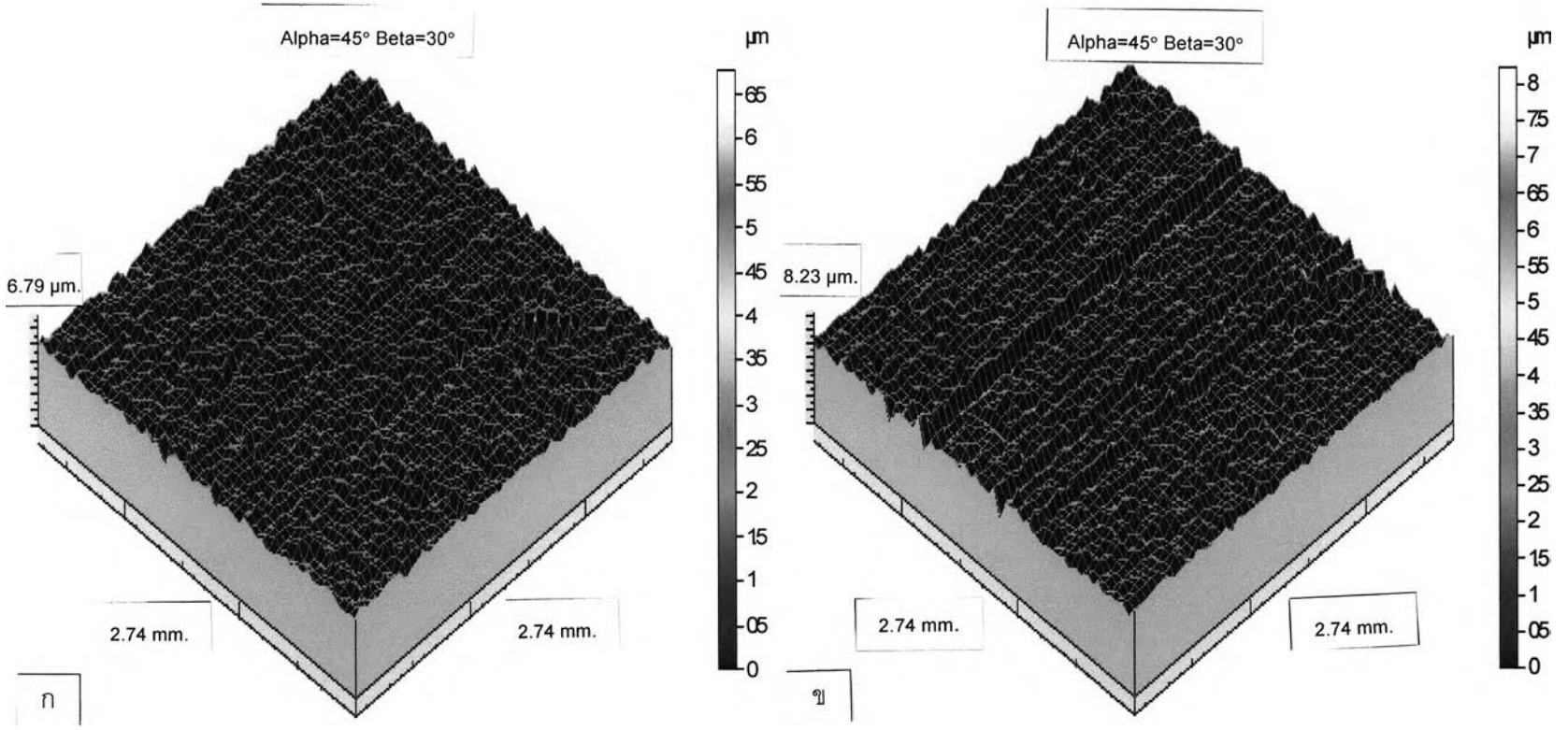
เมื่อพิจารณาตารางที่ 14 พบว่าค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมด หลังแช่สารละลายทุกชนิดของ Vitaflex® มีค่ามากกว่า 0.2 µm. ในขณะที่ Rodex® มีค่าน้อยกว่า 0.2 µm. แสดงถึงชิ้นตัวอย่างมีโอกาสเกิดคราบแบคทีเรียมาสะสม

เมื่อประเมินค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทั้งหมดได้แล้วเครื่อง profilometer สามารถแปรผลเป็นรูปภาพสามมิติ แสดงความหยาบของพื้นผิว โดยรูปภาพจะแสดงระดับความสูงและต่ำของพื้นที่ด้วยสี โดยพื้นที่ที่มีระดับความสูงมากที่สุดจะแสดงสีขาว รองลงมาคือสีแดง สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า สีน้ำเงิน ตามลำดับ และพื้นที่ที่ระดับต่ำสุดคือ สีดำ ในรูปที่ 42 ถึง 45 คือชิ้นงาน Vitaflex® ก่อนและหลังแช่สารละลายต่างๆ สำหรับรูปที่ 46 ถึง 49 คือชิ้นงาน Rodex® ก่อนและหลังแช่สารละลายต่างๆ การที่รูปแสดงหลายเฉดสีเช่นพื้นที่ที่มีสีแดง สีเหลือง สีเขียวแสดงให้เห็นว่ารูปนั้นมีพื้นที่หลายระดับซึ่งจะมีความหยาบและค่า Sa มากกว่าพื้นที่ที่มีเฉดสีที่น้อยกว่าเช่นพื้นที่ที่มีสีเหลือง สีเขียว นอกจากนี้รูปภาพยังแสดงถึงลักษณะของพื้นผิว ซึ่งจะทำให้เห็นว่าลักษณะการที่พื้นผิวของชิ้นงานถูกกัดกร่อนในลักษณะเช่นไร โดยในรูปที่ 42 และ 43 พบว่า Vitaflex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH=3 หรือ pH=5 มีการกัดกร่อนของพื้นผิวมากคือมีหลายสีในรูปภาพและมีความลึกของการกัดกร่อนมากกว่าก่อนแช่ ส่วน Vitaflex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH=7 หรือ น้ำดื่ม (รูปที่ 44 และ 45) มีการกัดกร่อนน้อยจนแทบจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งในเรื่องเฉดสีและความลึกของการถูกสารละลายบัฟเฟอร์กัดกร่อน

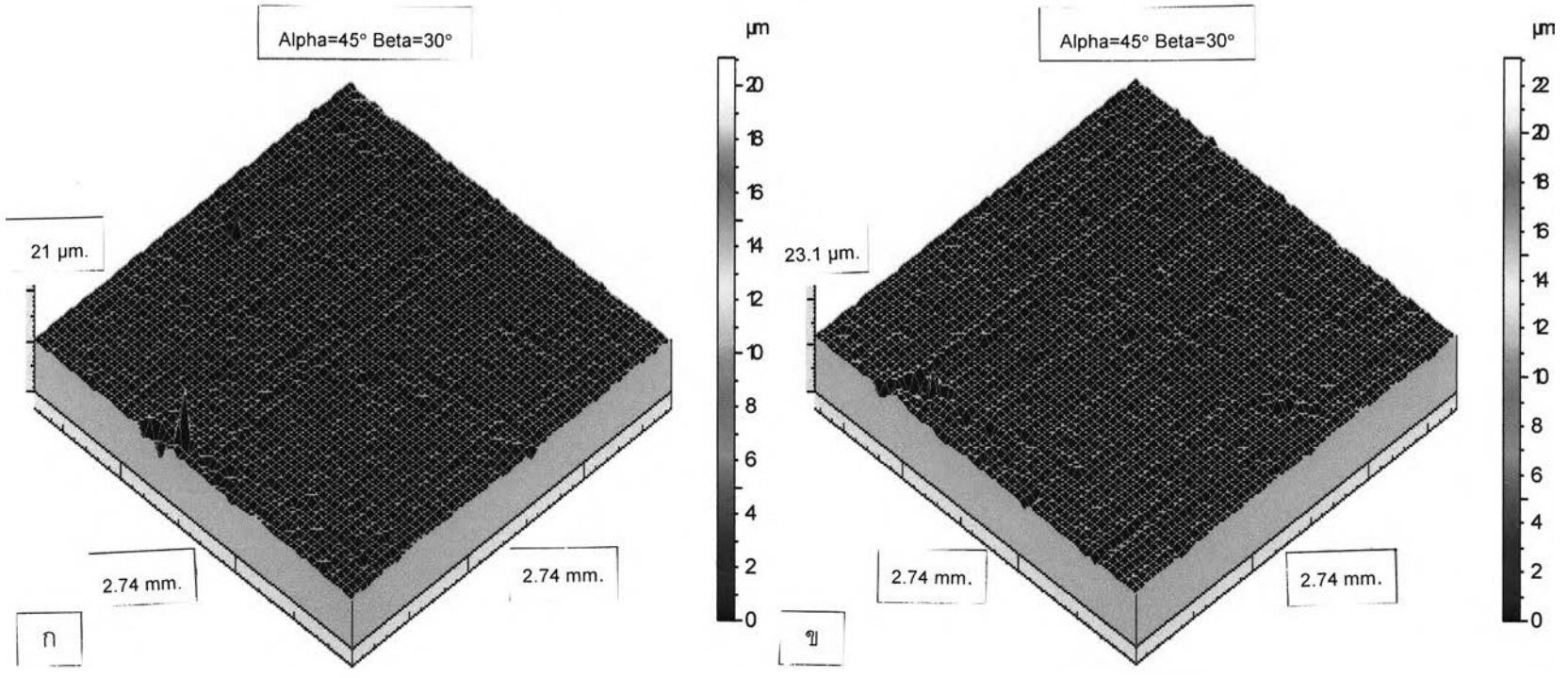
เมื่อพิจารณาในรูปที่ 46 และ 47 พบว่า Rodex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH =3 หรือ pH=5 มีการกัดกร่อนของพื้นผิวคือมีหลายเฉดสีในรูปและมีความลึกของการกัดกร่อนมากกว่า Rodex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH=3 หรือ pH=5 ส่วน Rodex® หลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH=7 หรือ น้ำดื่ม มีการกัดกร่อนน้อยมากจนแทบจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งในเรื่องเฉดสีและความลึกของการถูกสารละลายบัฟเฟอร์กัดกร่อน เมื่อเปรียบเทียบกับ Rodex® ก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH=7 หรือ น้ำดื่ม (รูปที่ 48 และ 49)



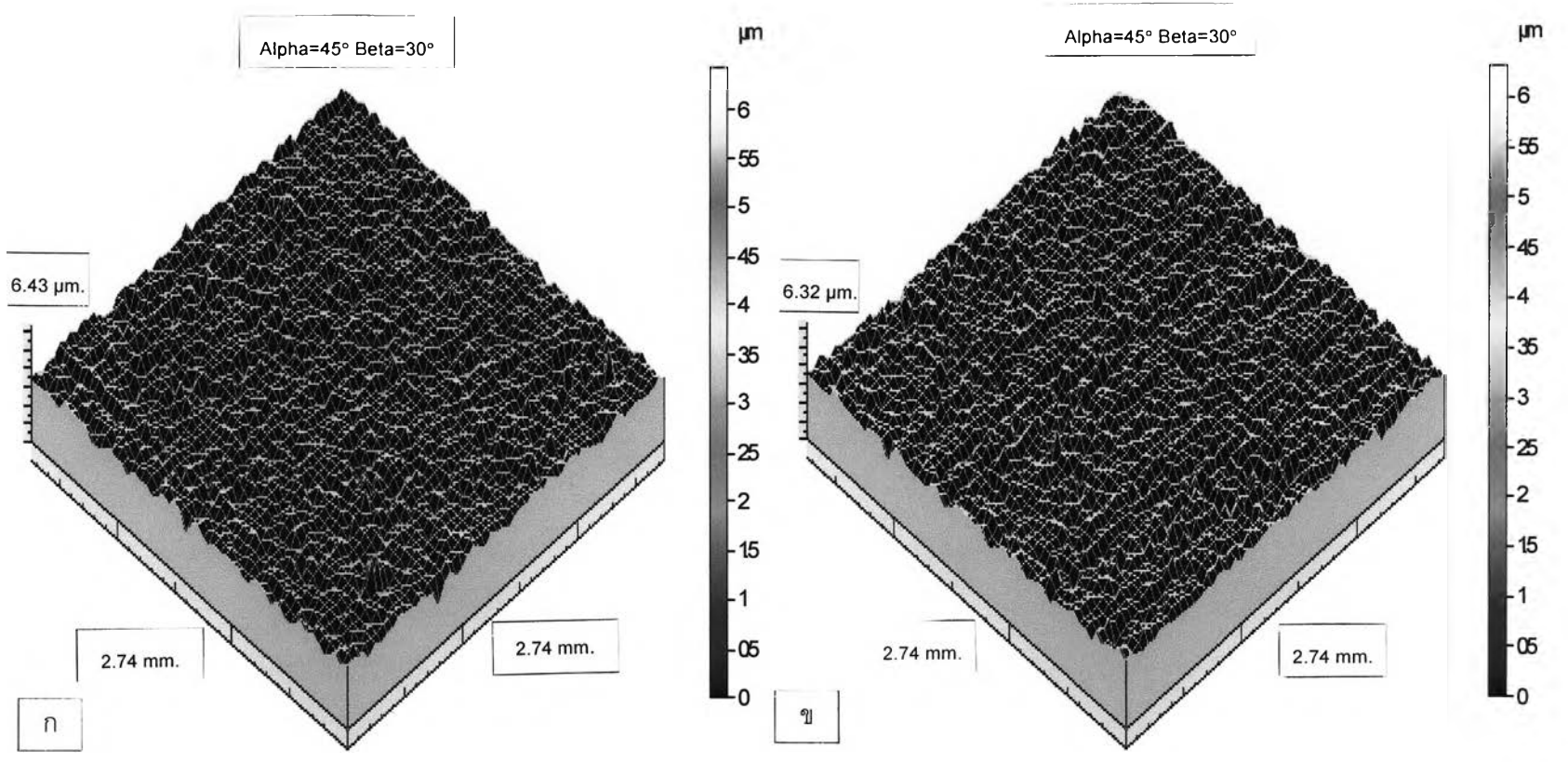
รูปที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ 3 มิติ จากเครื่อง profilometer ของ Vitaflex ® ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 3



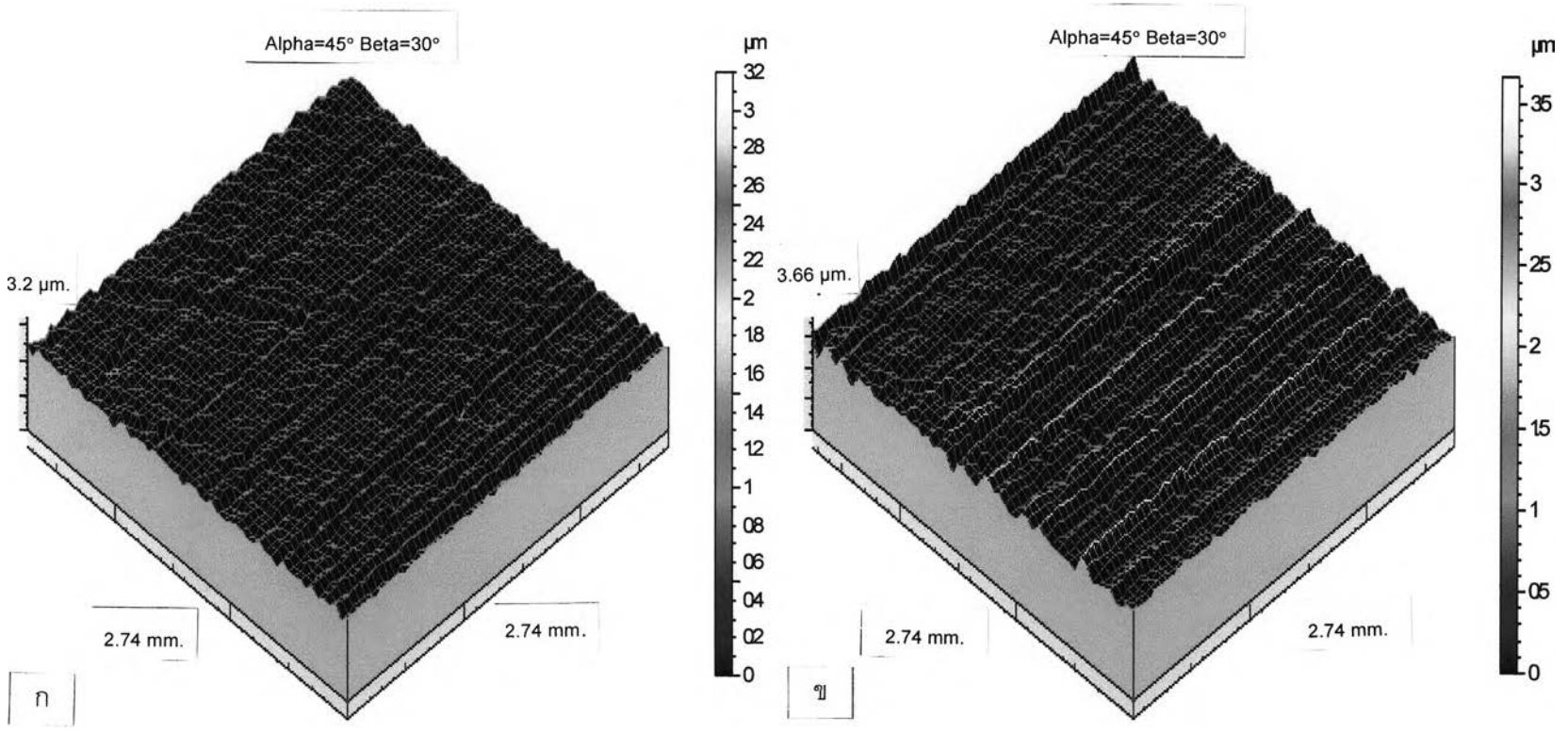
รูปที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ 3 มิติ จากเครื่อง profilometer ของ Vitaflex ® ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 5



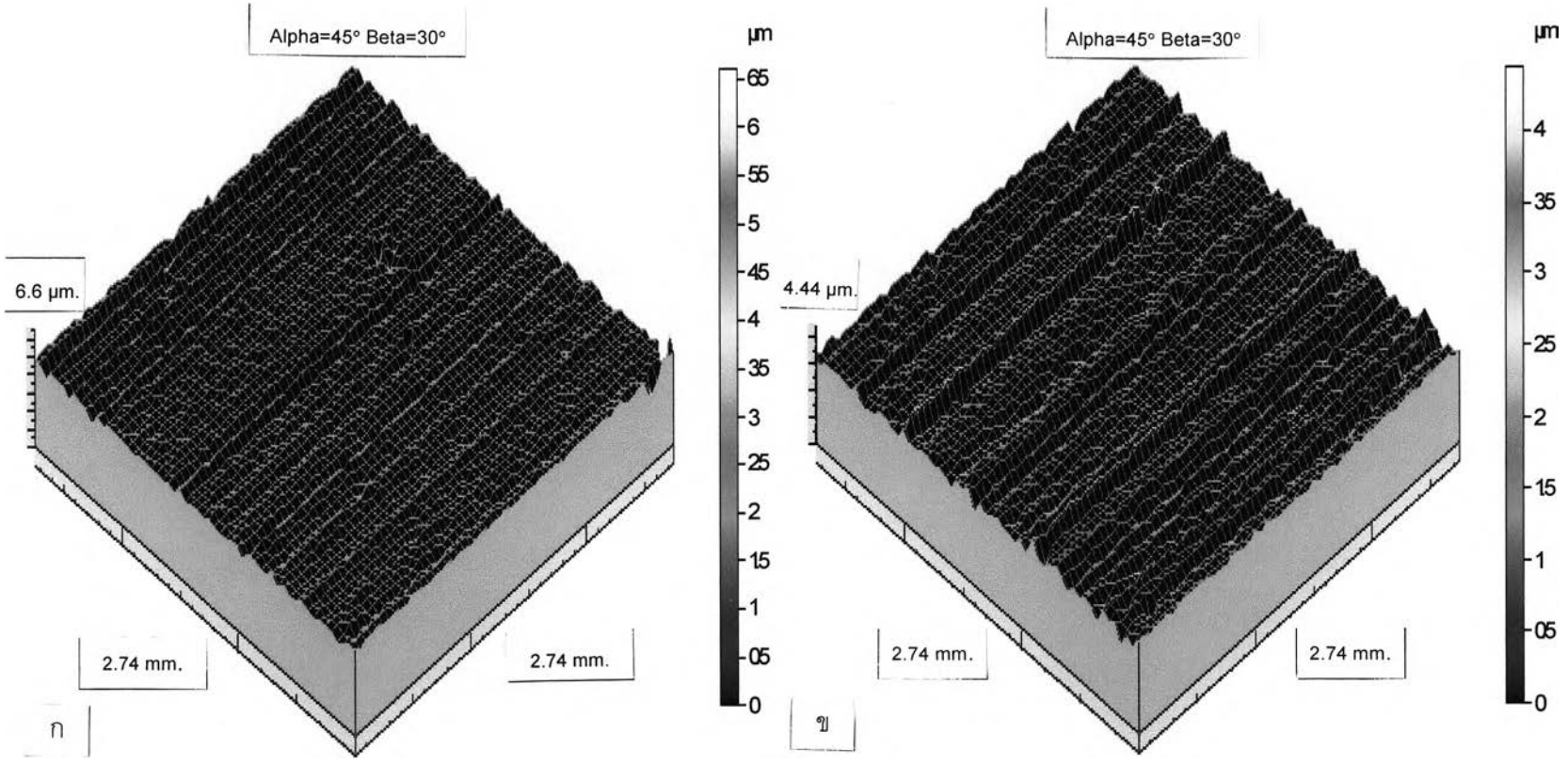
รูปที่ 44 **แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ** 3 **มิติ จากเครื่อง** profilometer **ของ** Vitaflex ® **ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในสารละลายบัฟเฟอร์** pH = 7



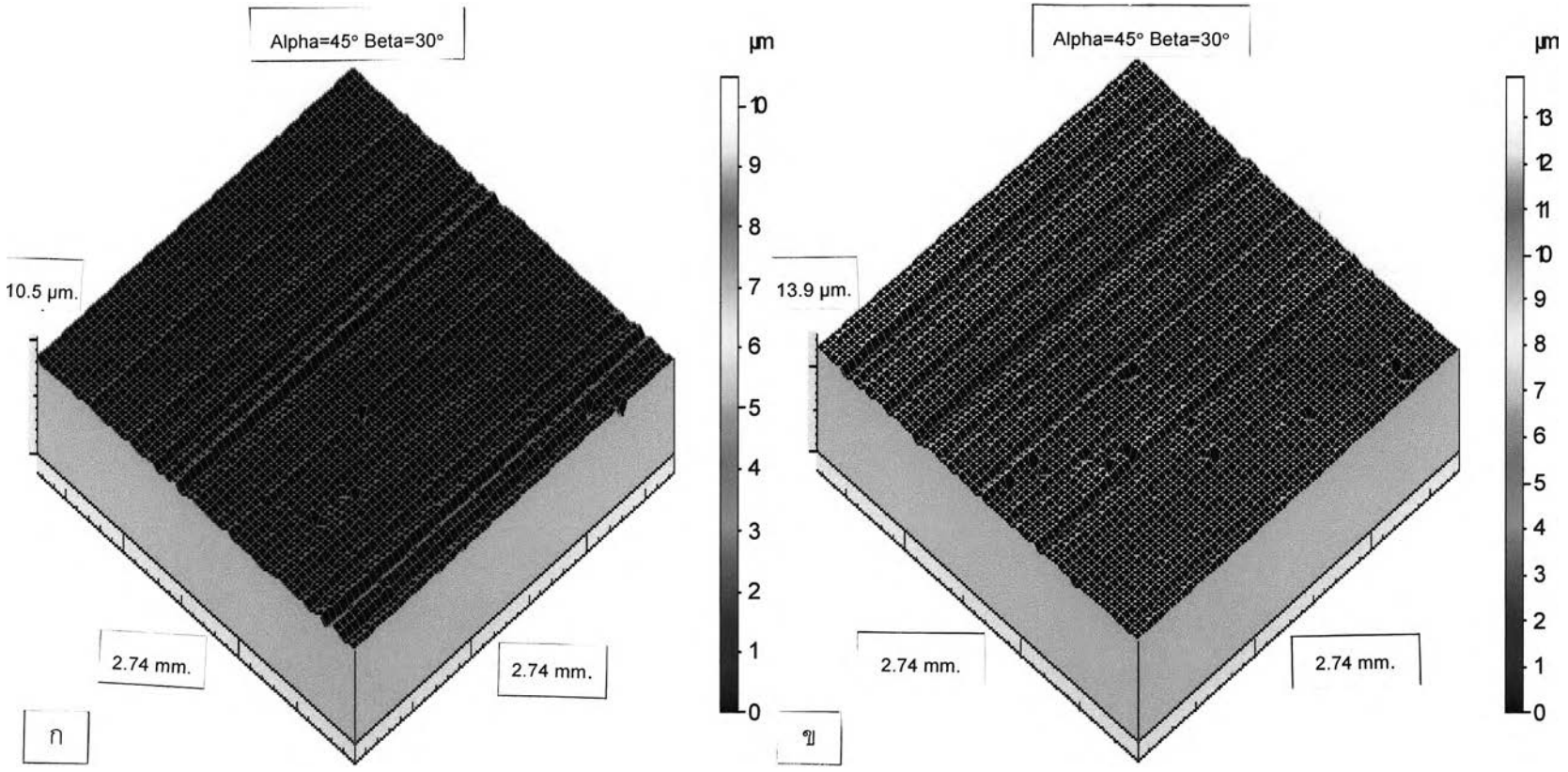
รูปที่ 45 **แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ** 3 **มิติ จากเครื่อง** profilometer **ของ** Vitaflex ® **ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในน้ำดื่ม**



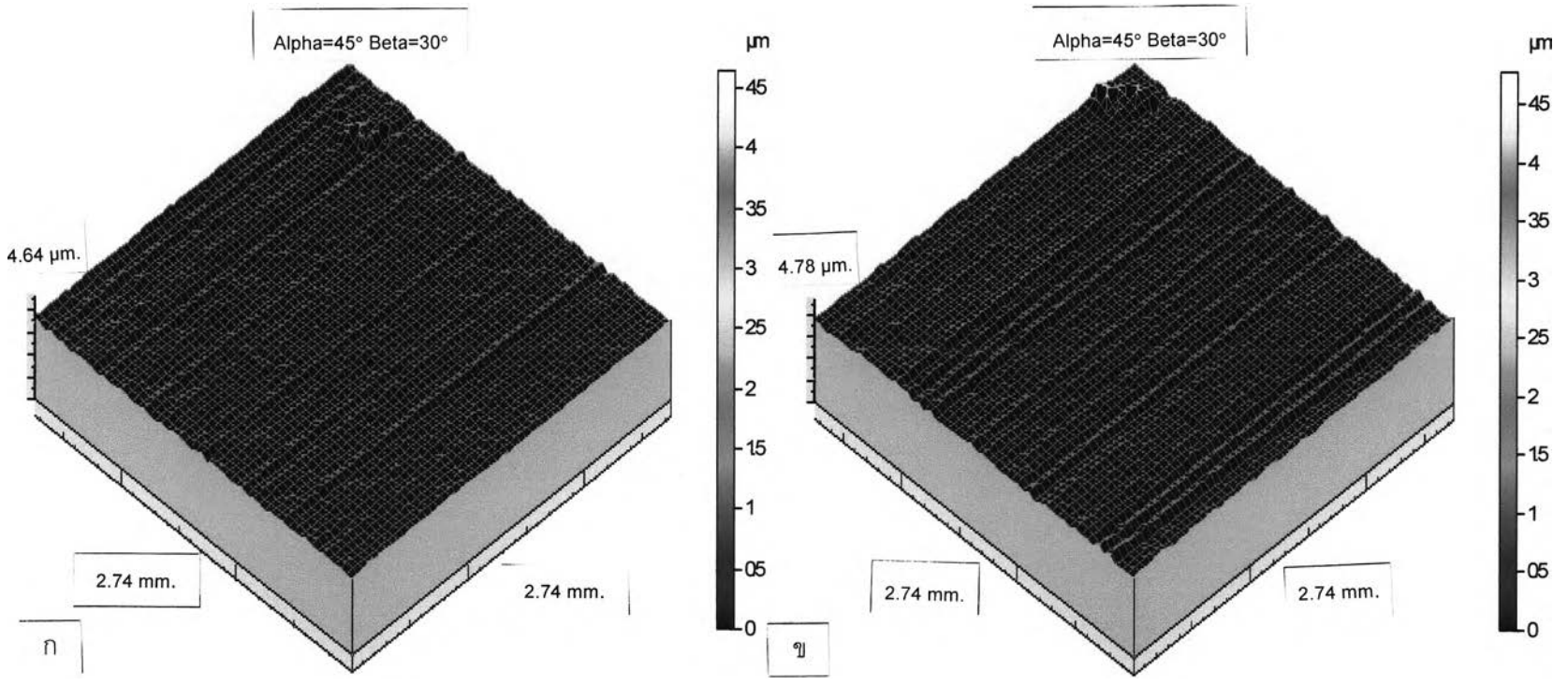
รูปที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ 3 มิติ จากเครื่อง profilometer ของ Rodex ® ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 3



รูปที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ 3 มิติ จากเครื่อง profilometer ของ Rodex ® ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 5



รูปที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ 3 มิติ จากเครื่อง profilometer ของ Rodex ® ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 7



รูปที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบรูปความหยาบของพื้นผิวแบบ 3 มิติ จากเครื่อง profilometer ของ Rodex ® ก่อนแช่ (ก.) และหลังแช่ (ข.) ในน้ำดื่ม