



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมดุลงของแร่ธาตุซิลิกอนในคน :
การศึกษานำร่องเพื่อพิสูจน์ความแปรปรวนในการขับแร่ธาตุซิลิกอน
เทียบกับการบริโภค

โดย สุพรรณิ พฤกษา และคณะ

สิงหาคม 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนในคน :
การศึกษานำร่องเพื่อพิสูจน์ความแปรปรวนในการขับแร่ธาตุซิลิกอน
เทียบกับการบริโภค

ผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. สุพรรณิ พฤกษา | สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |
| 2. อติทยา ศิริวิญญานนท์ | สังกัดมหาวิทยาลัยมหิดล |
| 3. ราวิน จักดาวชิง | สังกัดมหาวิทยาลัยแคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ |
| 4. โจนนาธาน พาวเวลล์ | สังกัดมหาวิทยาลัยแคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนในคน สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อติทยา ศิริภิญญานนท์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ดร. ราวิน จักดาวงษ์ และศาสตราจารย์ ดร. โจนนาธาน พาวเวลล์ จาก ศูนย์วิจัย Medical Research Council-Human Nutrition Research (MRC-HNR) มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ ในการให้คำแนะนำปรึกษาการทำวิจัยตลอดทั้งโครงการ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในน้ำใจครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สตีฟ คินเรต ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเลสเตอร์ ประเทศแคนาดา ดร. ปีเตอร์ วินซ์ปี ศูนย์วิจัย MRC-HNR มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ และคุณนาถ ภูวงศ์ผา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเอื้อเฟื้อเป็นอย่างดีในการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน

ขอขอบคุณ ห้องพยาบาล อาคารวิทยาการ และ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ห้องทดลอง Elsie Widdowson Laboratory มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทำวิจัยและวิเคราะห์ตัวอย่างวิจัย

ขอขอบคุณอาสาสมัคร และพยาบาลวิชาชีพ ที่เสียสละเวลาและให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างเลือด ปัสสาวะและอุจจาระ ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เสถียรนพเกล้า ภาควิชาโภชนวิทยา มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกด้านในงานวิจัย ตลอดจนการให้กำลังใจในการทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงบทบาทแร่ธาตุซิลิกอนต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ การวิจัยต่อไปเพื่อพิสูจน์ความสำคัญของแร่ธาตุซิลิกอนอาจต้องใช้ในการทดลองในอาสาสมัครที่ได้รับแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่างๆ และให้แร่ธาตุซิลิกอนไอโซโทป 29 เสริมในการประมาณภาวะสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอน ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออก เทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนในรูปออร์โธซิลิซิ กแอซิด เพื่อให้ทราบความแปรปรวนของสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนก่อนการศึกษาดังกล่าวโดยใช้ไอโซโทป โดย ทำการคัดเลือกอาสาสมัครจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย และแบ่งกลุ่มอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 6 คน กลุ่มแรกบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม จำนวน 0.50 ลิตร (กลุ่มทดลอง) ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งนั้นบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 0.50 ลิตร (กลุ่มควบคุม) ทั้งสองกลุ่มได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดการทดลอง โดยผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างเลือด ปัสสาวะและอุจจาระ 48 ชั่วโมงภายหลังบริโภค และ 24 ชั่วโมงก่อนการบริโภค และทำการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้เครื่องไอซีพีอีเอเอส

ผลการวิจัยพบว่า ระดับ ความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นจากค่าพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการบริโภค โดยพบระดับความเข้มข้นสูงสุดอยู่ระหว่าง ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 2 หลังจากนั้นระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนเริ่มที่จะลดลงอย่างรวดเร็วสู่ระดับความเข้มข้นพื้นฐาน และพบว่าการบริโภคน้ำ กลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ทำให้ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 57.04 ± 9.48 ของปริมาณ แร่ธาตุ ซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภค โดย เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 0-3 ชั่วโมง ภายหลังการบริโภค การบริโภคน้ำกลั่นเสริมแร่ธาตุซิลิกอนยังทำให้ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมง เพิ่มขึ้น กว่าค่าพื้นฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 39.90 ± 9.37 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภค เมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภค เสริม (28.89 มิลลิกรัม) พบว่าร้อยละ 96.34 ± 5.79 ของปริมาณที่บริโภคเป็นปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง สรุปได้ว่าแร่ธาตุซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภคถูกขับออกภายใน 24 ชั่วโมง แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นปริมาณดังกล่าวเป็นแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคเข้าไปทั้งหมดหรือมีการแลกเปลี่ยนกับแร่ธาตุซิลิกอนที่สะสมอยู่ในร่างกาย ทั้งนี้พบว่ามีความแปรปรวนของสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนต่ำ ทำให้สามารถทดสอบต่อไปได้ด้วยการศึกษาดังกล่าวโดยใช้ซิลิกอนไอโซโทป

Abstract

Accumulating the evidence suggests a role for silicon (Si) in optimal connective tissue health. Further proof of its importance may be provided by studies involving imposed depletion followed by ^{29}Si challenge to estimate metabolic balance. These studies are expensive. We then sought to determine the balance in excretion of Si versus intake after the ingestion of Si in the form of orthosilicic acid to establish the variance of Si balance prior to conducting the isotope-based balance study. Human volunteers were recruited from Loei Rajabhat University. There were divided into two groups of six. The first group ingested 0.50 L ultra high purified (UHP) water supplemented with Si (28.89 mg; test group). The other group ingested 0.50 L UHP water alone (control group). Both groups received a standard diet throughout the study period. Blood samples and total urine and faeces were collected over 48 h post-dose period and 24 h beforehand and analysed for Si by ICP-OES.

The result showed that serum Si concentration in the test group increased significantly above baseline following the ingestion, with peak Si concentration observed 1 to 2 h post-ingestion. Thereafter, serum Si concentrations began to drop rapidly back towards baseline concentrations. In addition, the ingestion of UHP water supplemented with Si led to a significant increase in 24 h urinary excretion of Si. This accounted for 57.04 ± 9.48 of the ingested dose. The peak increase in Si output was at 0-3 h post-dose. The ingestion of UHP water supplemented Si also led to a significant increase in faecal excretion of Si in the 24 h post-dose collection compared to baseline. This accounted for 39.90 ± 9.37 of the ingested dose. Of the supplemental Si dose ingested (28.89 mg) 96.34 ± 5.79 was recovered from urinary and faecal excretion over the 24 h post-dose period in the test group. In conclusion, the ingestion of soluble dose of Si results in the same quantity being excreted within 24 h. It is currently not known if this all originated from the dose solution or if there was some exchange with the body Si pool but, given the low variance in the these Si balance data, isotopic studies are now merited.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1	บทนำ
	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา
	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย
	4
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย
	5
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
	5
	1.5 นิยามศัพท์
	5
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
	7
	2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแร่ธาตุซิลิกอน
	7
	2.2 แหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญของร่างกายมนุษย์
	15
	2.3 แร่ธาตุซิลิกอนในอาหารและเครื่องดื่ม
	19
	2.4 การดูดซึมและการขับถ่ายแร่ธาตุซิลิกอน
	27
	2.5 การศึกษาสมดุลของสารอาหาร
	34
	2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
	40
บทที่ 3	วิธีการดำเนินวิจัย
	48
	3.1 รูปแบบการวิจัย
	48
	3.2 อาสาสมัครที่ใช้ในการวิจัย
	50
	3.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
	51
	3.4 วิธีดำเนินการวิจัย
	52
	3.5 การวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน
	57
	3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย
	60

	เรื่อง	หน้า
บทที่ 4	ผลการวิจัย	61
	4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มอาสาสมัคร	61
	4.2 ระดับชีรั่มชิลิกอนภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอน	63
	4.3 ระดับแร่ธาตุชิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอน	65
	4.4 ระดับแร่ธาตุชิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอน	68
	4.5 สมดุลของแร่ธาตุชิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุชิลิกอนที่ร่างกายได้รับ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอน	70
บทที่ 5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	73
	5.1 สรุปผลการวิจัย	73
	5.2 อภิปรายผลการวิจัย	75
	5.3 ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม		81
ภาคผนวก		94
	ภาคผนวก ก	95
	ภาคผนวก ข	100
	ภาคผนวก ค	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ประชากรแต่ละประเทศบริโภค	16
2.2	แหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายได้รับ	19
2.3	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร	21
2.4	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในเครื่องดื่ม	26
3.1	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน ¹ ในอาหาร ที่อาสาสมัครได้รับตลอดการทดลอง	55
3.2	สถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอซีพีโออีเอส	59
4.1	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทั่วไปของอาสาสมัครในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม	62
4.2	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)	66
4.3	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)	69
4.4	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภค และค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขับแร่ธาตุซิลิกอนและสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอน ภายใน 24 ชั่วโมง หลังบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างออร์โธซิลิสิกแอซิด	8
2.2	ภาพลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณที่เพียงพอในรูปของโซเดียมเมตตะซิลิเกต (ภาพซ้ายมือ) และลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณต่ำ (ภาพขวามือ)	11
3.1	แผนภูมิการทดลอง	49
4.1	ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของระดับซีรัมซิลิกอนภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม) ในอาสาสมัครจำนวนกลุ่มละ 6 คน ลูกศรหนาแสดงถึงช่วงเวลาการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ลูกศรบางแสดงถึงช่วงเวลาที่ได้รับโภชนาการเช้า กลางวัน และเย็น	63
4.2	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ ซีรัมซิลิกอน และเวลา ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)	65
4.3	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง ; แ่งทีบ) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม; แ่งลายเส้น)	67
4.4	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละของระดับแร่ธาตุซิลิกอน ในปัสสาวะที่เพิ่มขึ้นภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)	68
4.5	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณและร้อยละของการเพิ่มระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)	70

บทคัดย่อ

งานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงบทบาทแร่ธาตุซิลิกอนต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ การวิจัยต่อไปเพื่อพิสูจน์ความสำคัญของแร่ธาตุซิลิกอนอาจต้องใช้ในการทดลองในอาสาสมัครที่ได้รับแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่างๆ และให้แร่ธาตุซิลิกอนไอโซโทป 29 เสริมในการประมาณภาวะสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอน ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออก เทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนในรูปออร์โธซิลิซิ กแอซิด เพื่อให้ทราบความแปรปรวนของสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนก่อนการศึกษาดังกล่าวโดยใช้ไอโซโทป โดย ทำการคัดเลือกอาสาสมัครจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย และแบ่งกลุ่มอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 6 คน กลุ่มแรกบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม จำนวน 0.50 ลิตร (กลุ่มทดลอง) ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งนั้นบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 0.50 ลิตร (กลุ่มควบคุม) ทั้งสองกลุ่มได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดการทดลอง โดยผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างเลือด ปัสสาวะและอุจจาระ 48 ชั่วโมงภายหลังบริโภค และ 24 ชั่วโมงก่อนการบริโภค และทำการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้เครื่องไอซีพีอีอีเอส

ผลการวิจัยพบว่า ระดับ ความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นจากค่าพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการบริโภค โดยพบระดับความเข้มข้นสูงสุดอยู่ระหว่าง ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 2 หลังจากนั้นระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนเริ่มที่จะลดลงอย่างรวดเร็วสู่ระดับความเข้มข้นพื้นฐาน และพบว่าการบริโภคน้ำ กลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ทำให้ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 57.04 ± 9.48 ของปริมาณ แร่ธาตุ ซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภค โดย เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 0-3 ชั่วโมง ภายหลังการบริโภค การบริโภคน้ำกลั่นเสริมแร่ธาตุซิลิกอนยังทำให้ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมง เพิ่มขึ้น กว่าค่าพื้นฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 39.90 ± 9.37 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภค เมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภค เสริม (28.89 มิลลิกรัม) พบว่าร้อยละ 96.34 ± 5.79 ของปริมาณที่บริโภคเป็นปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง สรุปได้ว่าแร่ธาตุซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภคถูกขับออกภายใน 24 ชั่วโมง แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นปริมาณดังกล่าวเป็นแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคเข้าไปทั้งหมดหรือมีการแลกเปลี่ยนกับแร่ธาตุซิลิกอนที่สะสมอยู่ในร่างกาย ทั้งนี้พบว่ามีความแปรปรวนของสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนต่ำ ทำให้สามารถทดสอบต่อไปได้ด้วยการศึกษาดังกล่าวโดยใช้ซิลิกอนไอโซโทป

Abstract

Accumulating the evidence suggests a role for silicon (Si) in optimal connective tissue health. Further proof of its importance may be provided by studies involving imposed depletion followed by ^{29}Si challenge to estimate metabolic balance. These studies are expensive. We then sought to determine the balance in excretion of Si versus intake after the ingestion of Si in the form of orthosilicic acid to establish the variance of Si balance prior to conducting the isotope-based balance study. Human volunteers were recruited from Loei Rajabhat University. There were divided into two groups of six. The first group ingested 0.50 L ultra high purified (UHP) water supplemented with Si (28.89 mg; test group). The other group ingested 0.50 L UHP water alone (control group). Both groups received a standard diet throughout the study period. Blood samples and total urine and faeces were collected over 48 h post-dose period and 24 h beforehand and analysed for Si by ICP-OES.

The result showed that serum Si concentration in the test group increased significantly above baseline following the ingestion, with peak Si concentration observed 1 to 2 h post-ingestion. Thereafter, serum Si concentrations began to drop rapidly back towards baseline concentrations. In addition, the ingestion of UHP water supplemented with Si led to a significant increase in 24 h urinary excretion of Si. This accounted for 57.04 ± 9.48 of the ingested dose. The peak increase in Si output was at 0-3 h post-dose. The ingestion of UHP water supplemented Si also led to a significant increase in faecal excretion of Si in the 24 h post-dose collection compared to baseline. This accounted for 39.90 ± 9.37 of the ingested dose. Of the supplemental Si dose ingested (28.89 mg) 96.34 ± 5.79 was recovered from urinary and faecal excretion over the 24 h post-dose period in the test group. In conclusion, the ingestion of soluble dose of Si results in the same quantity being excreted within 24 h. It is currently not known if this all originated from the dose solution or if there was some exchange with the body Si pool but, given the low variance in the these Si balance data, isotopic studies are now merited.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ซิลิกอน (Silicon : Si) ถือเป็นแร่ธาตุที่สำคัญในทางชีววิทยา และ/หรือจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ได้แก่ ไดอะตอม ฟองน้ำ และพืชหลายๆ ชนิด (Hildebrand, et al., 1997 : 688-689 ; Epstein, 1999 : 641-664 ; Uriz, Turon, and Becerro, 2000 : 299-309 ; Ma, Yamaji, and Mitani-Ueno, 2011 : 377-385) อย่างไรก็ตามบทบาทของแร่ธาตุซิลิกอนในคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยังไม่ปรากฏเป็นที่แน่ชัด แม้ว่าจะมีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารที่ชาวตะวันตกบริโภคเป็นประจำก็ตาม (เฉลี่ยวันละ 20.00-50.00 มิลลิกรัม) (Pennington, 1999 : 97 ; Van Dyck, et al., 1999 : 541-544 ; Jugdaohsingh, et al., 2002 : 887 ; McNaughton, et al., 2005 : 813) แร่ธาตุซิลิกอนที่พบอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติทาง(ชีว)เคมีที่จำกัด และจากหลักฐานการวิจัยก่อนหน้านี้ยืนยันว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กๆ และมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ อันได้แก่ ออร์โธซิลิกแอซิด (Orthosilicic acid : $\text{Si}(\text{OH})_4$) ซึ่งออร์โธซิลิกแอซิดสามารถถูกขับออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็วทางระบบทางเดินอาหาร โดยไม่มีบทบาทหน้าที่ทางชีววิทยาใดๆ ต่อร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Nielsen, 1991 : 2661)

อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยจำนวนมากที่พิสูจน์ว่าแร่ธาตุซิลิกอนมีบทบาทสำคัญต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Calomme and Berghe, 1997 : 153 ; Reffitt, et al., 2003 : 127 ; Jugdaohsingh, et al., 2004 : 297 ; Jugdaohsingh, 2007 : 99-110 ; Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 545) ถึงแม้ว่าบทบาท/หน้าที่ที่แท้จริงของแร่ธาตุซิลิกอนยังไม่เป็นที่แน่ชัด งานวิจัยจำนวนมากพบว่า แร่ธาตุซิลิกอนอาจเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของเซลล์ต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์และ/หรือเสถียรภาพของส่วนประกอบของโครงสร้างเนื้อเยื่อภายนอกเซลล์ ได้แก่ โปรตีนคอลลาเจน และการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Jugdaohsingh, 2007 : 99-110 ; Jugdaohsingh, Kinrade, and Powell, 2008 : 45-55) นอกจากนี้บางงานวิจัยพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนเกี่ยวข้องกับ

การสะสมของแร่ธาตุในกระดูก (Seaborn and Nielsen, 1994 a : 1, 1994 b : 151, 2002 a : 239 ; Izu, et al., 2006 : 279 ; Bae, et al., 2008 : 157) และช่วยในการยับยั้งการสลายของเซลล์กระดูก (Nielsen, 2002 : 1231 ; Calomme, et al., 2006 : 227 ; Kim, et al., 2013 : 105)

ช่องทางหลักที่แร่ธาตุซิลิกอนจะเข้าสู่ร่างกาย ได้แก่ การดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหาร โดยปริมาณการดูดซึมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ธาตุซิลิกอน (Jugdaohsingh, 2007 : 103) ในแหล่งอาหารจากพืชแร่ธาตุซิลิกอนจะอยู่ในรูปของไฟโตไลติซิลิกา (Phytolithic silica) ซึ่งประมาณ ร้อยละ 41.00 ของแร่ธาตุซิลิกอนจะสามารถถูกย่อยและดูดซึมได้ที่ระบบทางเดินอาหาร ส่วนในน้ำดื่มแร่ธาตุหรือเครื่องดื่มต่างๆ แร่ธาตุซิลิกอนจะอยู่ในรูป ของออร์โธซิลิสิกแอซิด ซึ่งอย่างน้อยร้อยละ 50.00 ของแร่ธาตุซิลิกอนจะถูกดูดซึมที่ระบบทางเดินอาหาร (Reffitt, et al., 1999 : 141 ; Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944) โดยจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดและขับออกทางไต ภายใน 6-8 ชั่วโมงหลังการบริโภค ซึ่งการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมและการขับแร่ธาตุซิลิกอนออกทางปัสสาวะเท่านั้น (Calomme, et al., 1998 : 228 ; Van Dyck, et al., 1999 : 541 ; Jugdaohsingh, et al., 2002 : 887-892 ; Sripanyakorn, et al., 2004 : 406-407, 2009 : 825-829 ; Li, et al., 2010 : 44 ; Jugdaohsingh, Sripanyakorn, and Powell, 2013 : 1024) มีงานวิจัยเพียงเรื่องเดียวที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระซึ่งได้ทำการศึกษานี้เมื่อ 35 ปีที่แล้ว อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาผลของใยอาหารต่อสมดุลของแร่ธาตุ (Kelsay, et al., 1979 : 1876) นอกจากนี้ยังไม่มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่เหลือจะไปไหน ซึ่งอาจจะถูกเก็บไว้ในเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย ถูกขับออกทางอุจจาระ หรือถูกดูดซึมอย่างช้าๆ จากการทดลองพบว่าหลังการฉีดซิลิกอนไอโซโทป -31 ให้หนูทดลอง แร่ธาตุซิลิกอนจะถูกขับออกทางปัสสาวะร้อยละ 77.00 และมีบางส่วนกระจายอยู่ตามอวัยวะต่างๆ ได้แก่ ไต ตับ ปอด หัวใจ ผิวหนัง กล้ามเนื้อ และอวัยวะ (Jugdaohsingh, 2007 : 104) และการศึกษาวิจัยในคนโดยให้บริโภคน้ำซิลิกอนไอโซโทป -32 พบว่าร้อยละ 36.00 ถูกดูดซึมและขับออกทางปัสสาวะ (Popplewell, et al., 1998 : 177) แต่ไม่ทราบว่าปริมาณที่เหลือมีการคงอยู่ตามเซลล์ต่างๆ หรือไม่ และไม่มีการวัดปริมาณของแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกขับออกทางอุจจาระ

นอกจากนี้ยังพบว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนระดับต่ำ ร่างกายจะมีการสงวนรักษาแร่ธาตุซิลิกอนไว้ (Jugdaohsingh, et al., 2008 : 596, 2009 : 1019) ดังนั้นเพื่อเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับแร่ธาตุซิลิกอนและเพิ่มหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของแร่ธาตุซิลิกอนในคน จึงควรมีการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้ไอโซโทป ภายหลังการบริโภคอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำ เพื่อพิสูจน์การกักเก็บแร่ธาตุในเซลล์ภายหลังการบริโภคและพิสูจน์ว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคและถูกดูดซึมที่ระบบทางเดินอาหารนั้นไปแทนที่แร่ธาตุซิลิกอนในเซลล์บางส่วนหรือไม่ หรือเพียงแค่ไหลผ่านระบบทางเดินอาหารเท่านั้น

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการศึกษาสมดุลของสารต่างๆ โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารที่ขับออกทางอุจจาระและปัสสาวะ (และ/หรือเมตาโบไลต์) กับปริมาณสารที่บริโภคถือเป็นวิธีที่ยุ่งยาก (Baer, et al., 1999 : 242) การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอุจจาระต้องอาศัยความพยายามเป็นอย่างมาก เนื่องจากการทำงานของระบบทางเดินทางอาหารแต่ละคนแตกต่างกัน และอาจมีการคั่งของสารบริเวณเยื่อเมือกเกิดขึ้นได้ อันจะส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในการศึกษา ประกอบกับการแบ่งวิเคราะห์ตัวอย่างแยกเป็นส่วนๆ และชนิดของตัวอย่างที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

สำหรับการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนในคนนั้นอาจจะบอกถึงการรักษาสสมดุลของแร่ธาตุนั้นน้อยมาก แม้ว่าวิธีการวิเคราะห์จะเที่ยงตรงหรือถูกต้องเพียงใด ถ้าซิลิกแอซิดไหลผ่านระบบทางเดินอาหาร โดยไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์หรือไม่ถูกเมตาโบไลต์ ค่าร้อยละการคืนกลับของแร่ธาตุซิลิกอนหรือปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่บริโภคจะเป็นร้อยละ 100.00 ในทางตรงกันข้ามถ้าซิลิกแอซิดถูกนำมาใช้ประโยชน์หรือถูกเมตาโบไลต์ ค่าร้อยละการคืนกลับของแร่ธาตุซิลิกอนอาจจะเป็นร้อยละ 100.00 ถ้าอาสาสมัครที่ทดสอบนั้นมีแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ในภาวะที่สมดุล หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายเต็มเปี่ยม (Si replete) อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวจะช่วยบ่งบอกได้ว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนนั้นมีมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอน โดยวิธีการใช้ไอโซโทป และ/หรือการศึกษา สมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยให้อาสาสมัครที่ได้รับแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำๆ (Si deplete) เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ในช่วงก่อนเริ่มการทดลองให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริม เนื่องจากเป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

สูงและใช้เวลาในการศึกษามาก และยังช่วยในการพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าระดับของแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของร่างกายในการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ทราบความแปรปรวนของการขับแร่ธาตุซิลิกอน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้วิธีไอโซโทป ซึ่งทำให้ทราบถึงความสามารถในการกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนของร่างกายมนุษย์ภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนและการสะสมของแร่ธาตุซิลิกอนในเขตร่างกายที่อาจช่วยอธิบายถึงบทบาทและความจำเป็นของแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายมนุษย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน

1.2.2 วัตถุประสงค์รอง

1.2.2.1 เพื่อศึกษาระดับซีรั่มซิลิกอน ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน

1.2.2.2 เพื่อศึกษาระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะและอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน

1.2.2.3 เพื่อศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกาย บริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม ในรูปของออร์โธซิลิสิกแอซิด ในอาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรง อายุระหว่าง 18-23 ปี ที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากงานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ทราบความแปรปรวนของการขับแร่ธาตุซิลิกอน อันจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาศูนย์กลางของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้วิธีไอโซโทป ซึ่งทำให้ทราบถึงความสามารถในการกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนของร่างกายมนุษย์ภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน และการสะสมของแร่ธาตุซิลิกอนในเซลล์ และที่สำคัญผลของการศึกษานี้อาจช่วยอธิบายถึงบทบาทและความจำเป็นของแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายมนุษย์ต่อไป

1.5 นิยามศัพท์

1.5.1 สมดุลของแร่ธาตุซิลิกอน หมายถึง ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค

1.5.2 แร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออก หมายถึง ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระ

1.5.3 แร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค หมายถึง ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายได้รับทางปาก

1.5.4 ออร์โธซิลิสิกแอซิด หมายถึง แร่ธาตุซิลิกอนในรูปของ โมโนซิลิสิกแอซิด หรือสารประกอบซิลิกอนอย่างง่ายที่มีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ เป็นรูปที่พบบ่อยในแหล่งน้ำธรรมชาติ และร่างกายเราสามารถดูดซึมไปใช้ได้

1.5.5 น้ำกลั่นบริสุทธิ์ หมายถึง น้ำที่ปราศจากสิ่งเจือปนทุกชนิด

1.5.6 อาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน หมายถึง อาหารที่จัดเตรียมโดยนักวิจัย เพื่อให้อาสาสมัครรับประทานตลอดระยะเวลาที่เข้าร่วมการทดลอง และมี ค่าเฉลี่ยปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน 24.02 มิลลิกรัม/วัน

1.5.7 ความแปรปรวน หมายถึง การกระจายของกลุ่มข้อมูลการขับถ่ายแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังต่อไปนี้

- 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแร่ธาตุซิลิกอน
- 2.2 แหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญของร่างกายมนุษย์
- 2.3 แร่ธาตุซิลิกอนในอาหารและเครื่องดื่ม
- 2.4 การดูดซึมและการขับถ่ายแร่ธาตุซิลิกอน
- 2.5 การศึกษาสมมูลของสารอาหาร
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแร่ธาตุซิลิกอน

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแร่ธาตุซิลิกอน

แร่ธาตุซิลิกอนเป็นธาตุเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้สัญลักษณ์ธาตุว่า “Si” มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 28.00 และจัดเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างโลหะกับอโลหะ พบมากเป็นอันดับสองในเปลือกโลกรองจากธาตุออกซิเจน (Sjöberg, 1996 : 51 ; Exley, 1998 : 139 ; Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 544 ; Price, Koval, and Langford, 2012 : 1) ซึ่งโดยปกติจะไม่พบแร่ธาตุซิลิกอนอยู่เดี่ยวๆ แต่จะรวมตัวกับ ธาตุออกซิเจนอยู่ในรูปของ ซิลิกา (Silica) มีสูตรทางเคมีคือ “SiO₂” หรือเรียกว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) เมื่อซิลิกา รวมตัวกับธาตุโลหะจะเกิดเป็นสารประกอบซิลิเกต (Silicate) โดยมีสูตรทางเคมีคือ Si_aO_bX_c โดย X เป็นธาตุโลหะที่มีไอออนบวก ได้แก่ อลูมิเนียม แมกนีเซียม ไฮโดรเจน เป็นต้น ซิลิเกตที่พบบ่อยในชีวิตประจำวัน ได้แก่ แก้วและทราย ซึ่งมีไฮโดรเจนเป็นไอออนบวก (Martin, 2007 : 94)

Frantz, et al., 2008 : 617) ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป แร่ธาตุซิลิกอนในรูปของสารละลาย โอลิโกเมอร์ซิลิกา (Oligomeric silica) มีคุณสมบัติที่สามารถรวมตัวได้เป็นอย่างดีกับธาตุ อลูมิเนียม สามารถลดการดูดซึมของธาตุอลูมิเนียมในระบบทางเดินอาหาร ทำให้สามารถลดพิษ ของอลูมิเนียมได้ (Edwardson, et al., 1993 : 211 ; Taylor, Jugdaohsingh, and Powell, 1997 : 8852 ; Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944 ; Domingo, et al., 2011 : 41)

จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่มีรายงานที่เกี่ยวข้องกับพิษของแร่ธาตุซิลิกอนจากการ บริโภคซิลิกอนในรูปของแร่ธาตุและสารอินทรีย์ทั้งในคนและสัตว์ ยกตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Aguilar, et al. (2009 : 1) ไม่พบภาวะเป็นพิษในหนู ที่ได้รับแร่ธาตุซิลิกอนมากกว่า 1000 เท่า ของปริมาณแร่ธาตุที่บริโภคปกติ อย่างไรก็ตามสำหรับผู้ป่วยที่บริโภคแร่ธาตุซิลิกอนจากแหล่ง ผลิตภัณฑ์ยา ได้แก่ ยาลดกรดที่มีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงๆ เป็นเวลานานๆ (3.00 กรัม/วัน เป็นเวลาถึง 40 ปี) พบว่าก่อให้เกิดก้อนนิ่วที่ไต (Haddad and Kouyoumdjian, 1986 : 70) แต่เหตุการณ์ดังกล่าวพบค่อนข้างน้อยมาก จะเห็นได้ว่ายังไม่มีรายงานพิษของการ บริโภคแร่ธาตุซิลิกอนในบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรง (Price, Koval, and Langford, 2013 : 1)

2.1.2 แร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายมนุษย์

ในร่างกายวัยผู้ใหญ่ มีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบประมาณ 1.00-2.00 กรัม ซึ่ง มากเป็นอันดับที่สามในบรรดาแร่ธาตุที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณน้อย (Trace element) รอง จากแร่ธาตุเหล็กและแร่ธาตุสังกะสี (Sripanyakorn et al., 2005 : 223 ; Jugdaohsingh, et al., 2007 : 100 ; พิสมัย กุลกาญจนาธร, 2556 : 1) โดยความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอนในเซลล์ เนื้อเยื่อต่างๆ มีความแตกต่างกัน ในหนูพบแร่ธาตุซิลิกอนสูงสุดบริเวณกระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ต่างๆ ได้แก่ ผิวหนัง เล็บ ผม หลอดคอ เอ็น และหลอดเลือดแดงใหญ่ แต่จะพบน้อยบริเวณ เนื้อเยื่ออ่อน ทั้งนี้ เนื่องมาจากแร่ธาตุซิลิกอนรวมตัวกับไกลโคซามิโนไกลแคน (Glycosaminoglycan) และสารประกอบโปรตีนของเนื้อเยื่อดังกล่าว (Carlisle, 1997 : 611-615 ; Jugdaohsingh, 2007 : 103-104) ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นเช่นเดียวกับที่พบในคน

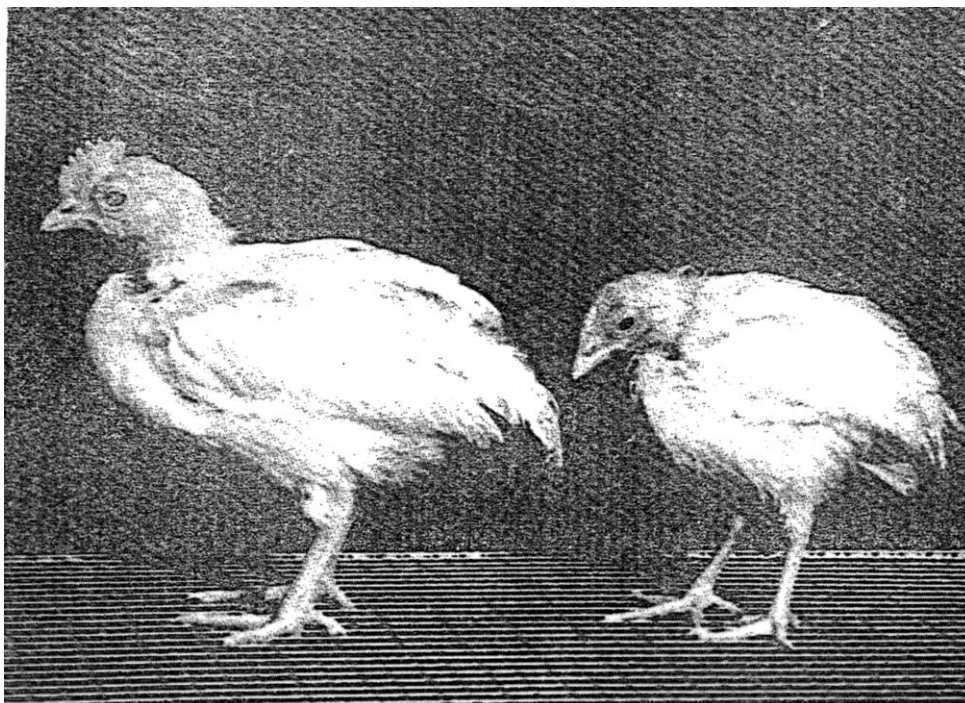
ในซีรัมของคนจะพบแร่ธาตุซิลิกอนในรูปของโมโนซิลิเกต (Monosilicate) โดยจะ พบความเข้มข้นเฉลี่ย 500.00 ไมโครกรัม/ลิตร โดยที่ระดับความเป็นกรดต่างในสภาวะที่สิ่งมีชีวิตมี การปฏิบัติหน้าที่ปกติ โมโนซิลิเกตจะเท่ากับอนุภาคซิลิสิกแอซิด และจะคงอยู่ในระบบไหลเวียน

แม้ว่าความเข้มข้นเพิ่มสูงมากเป็น 200 เท่า นอกจากนี้แร่ธาตุซิลิกอนจะอยู่อิสระ ไม่รวมตัวกับ โปรตีนในเลือด (Wapnir, 1990 : 286 ; Perry and Keeling-Tucker, 1998 : 181 ; Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 544) Van Dyck, et al. (2000 : 25) รายงานว่าระดับของซีรัม ซิลิกอนสูงสุดในกลุ่มทารกและกลุ่มคนที่มีอายุระหว่าง 1-18 ปี โดยมีค่ากลางซีรัมซิลิกอน เท่ากับ 194.00 ไมโครกรัม/ลิตร ในขณะที่ผู้ใหญ่ถึงผู้สูงอายุ (19-60 ปี) มีค่ากลางของซีรัมซิลิกอน เท่ากับ 119.00 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าต่ำกว่าระดับที่รายงานจากการศึกษาที่ผ่านมา ทั้งนี้อาจ เนื่องมาจากเป็นการวัดระดับซีรัมซิลิกอนในช่วงที่มีการงดน้ำงดอาหาร เช่นเดียวกับผลการศึกษา ของ Reffitt, et al. (1999 : 144) และ Jugdaohsingh, et al. (2002 : 890) เป็นที่น่าสนใจว่า ความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนสูงสุดในทารก อายุ น้อยกว่า 1 ปี ซึ่งมีค่าซีรัมซิลิกอนอยู่ระหว่าง 343.00-689.00 ไมโครกรัม/ลิตร และมีค่าต่ำสุดในหญิงตั้งครรภ์ ซึ่งมีค่า ซีรัมซิลิกอน อยู่ระหว่าง 33.00-43.00 ไมโครกรัม/ลิตร ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากหญิงตั้งครรภ์ต้องการแร่ธาตุซิลิกอน เพื่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของตัวอ่อนในครรภ์มารดา (Van Dyck, et al., 2000 : 25) อย่างไรก็ตามผลการวิจัยล่าสุดไม่พบความแตกต่างระหว่างระดับซีรัมซิลิกอนในหญิงตั้งครรภ์กับ หญิงวัยเจริญพันธุ์ แต่พบว่าระดับซีรัมซิลิกอนในทารกสูงกว่ามารดา ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าทารก ต้องการแร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณที่สูงสำหรับพัฒนาการของกระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Jugdaohsingh, et al., 2013 : 2009)

2.1.3 ประโยชน์ของแร่ธาตุซิลิกอนต่อความแข็งแรงของกระดูก

ประโยชน์ของแร่ธาตุซิลิกอนต่อความแข็งแรงของกระดูกถูกพบครั้งแรกในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา โดยการศึกษาวิจัยของ Carlisle (1972 : 619-621) ที่พบว่าลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มี แร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณที่เพียงพอในรูปของโซเดียมเมตาสิลิเกต (Sodium metasilicate) ทำให้ เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของลูกไก่เกือบร้อยละ 50.00 เมื่อเทียบกับลูกไก่ที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มี แร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำ ส่งผลให้ลูกไก่มีลักษณะเตี้ยและมีการเจริญเติบโตของกระดูกช้ากว่าปกติ ได้แก่ เส้นรอบวงขาเล็กลง คอว์เท็กซ์บางลง กระดูกขาหักง่าย ตลอดจนมีกะโหลกศีรษะที่ผิดปกติ จงอยปาก ชิด เล็ก และหักง่าย ดังภาพที่ 2.2 เช่นเดียวกับศึกษาของ Schwarz and Milne (1972 : 333-334) ที่พบความผิดปกติของกะโหลกศีรษะของหนูทดลองที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มี

แร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำ ทั้งสองงานวิจัยดังกล่าวเป็นงานวิจัยแรกเริ่มที่สนับสนุนให้เกิงานวิจัย
ต่างๆ จำนวนมาก จำแนกได้ดังนี้



ภาพที่ 2.2 ภาพลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณที่เพียงพอในรูปของโซเดียม
เมตาซิลิเกต (ซ้ายมือ) และลูกไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณต่ำ (ขวามือ)
ทิมมา (Carlisle, 1997 : 604)

2.1.3.1 ผลของแร่ธาตุซิลิกอนต่อความแข็งแรงของกระดูกในเซลล์เพาะเลี้ยง เนื้อเยื่อ

ในการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเซลล์กระดูกอ่อนและปลายกระดูก
ทั้งสองด้านของกระดูกหน้าแข้งของลูกไก่ พบว่าแร่ธาตุซิลิกอนเพิ่มการสังเคราะห์โครงสร้างโปรตีน
ของกระดูก (Bone matrix) ทั้งที่เป็นโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) และไม่ใช่โปรตีนคอลลาเจน
รวมทั้งเพิ่มการทำงานของเอนไซม์โพรลิลไฮดรอกซีเลส (Prolyl hydroxylase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่
ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจน โดยจำเป็นสำหรับปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันสำหรับเรซิดิว
ของโพรลีนในช่วงการปรับแต่งหลังการแปลรหัสของโปรคอลลาเจน (Carlisle, 1997 : 611-615)

ส่วนในการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเซลล์สร้างกระดูกหรือเซลล์
ออสทีโอเบลาสต์ (Osteoblast) และเซลล์สลายกระดูกหรือเซลล์ออสทีโอคลาส (Osteoclast) ของ

หนู พบว่าแร่ธาตุซิลิกอนในรูปสารละลายโซเดียมเมตะซิลิเกตช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของทั้ง เซลล์ออสทีโอเบลาสต์ และเซลล์ออสทีโอคลาส (Maehira, et al., 2008 : 446)

สำหรับเซลล์ออสทีโอเบลาสต์ของคน พบว่าการให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริมในรูปของซีโอไลต์เอ (Zeolyte A) 0.10-100.00 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ในเซลล์เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของกระดูกโปรงและเซลล์เอ็มจี-63 (MG-63) ทำให้เพิ่มจำนวนเซลล์กระดูกมากขึ้น ร้อยละ 62.00 ถึง 270.00 เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ อัลคาไลน์ฟอสฟาเทส (Alkaline phosphatase) ร้อยละ 50.00 ถึง 310.00 และเพิ่มการหลั่งโปรตีนที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการสะสมเกลือแร่ หรือออสทีโอคาลซิน (Osteocalcin) ร้อยละ 100.00 (Brady, et al., 1991 : S139 ; Keeting, et al., 1992 : 1281-1289) ซึ่งทั้งเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเทสและโปรตีนออสทีโอคาลซิน มีความสำคัญต่อขบวนการสะสมแร่ธาตุในกระดูก (Stein, Lian, and Owen, 1990 : 3111 ; Whyte, 1994 : 122) นอกจากนี้แร่ธาตุซิลิกอนในรูปของ ออร์โธซิลิซิกแอซิด ที่ระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับสภาวะในเซลล์ ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจนชนิดที่หนึ่ง (Type I collagen) ร้อยละ 40.00 ถึง 80.00 เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ อัลคาไลน์ฟอสฟาเทส และโปรตีนออสทีโอคาลซิน ร้อยละ 40.00 ในเซลล์ไลน์ออสทีโอซาร์โคมา (Human osteosarcoma cells) เซลล์เอชซีซี 1 (HCC1) เซลล์ไฟโบรบลาสต์ของผิวหนัง และเซลล์จากไขกระดูกในชั้นสโตรมาล (Reffitt, et al., 2003 : 127) จะเห็นได้ว่าแร่ธาตุซิลิกอนช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตเต็มที่ของเซลล์ออสทีโอเบลาสต์ และช่วยสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจนอันจะนำไปสู่การเกิดนิวเคลียสสำหรับการสะสมแร่ธาตุในสารองค์ประกอบนอกเซลล์ (Endo, 1987 : 563 ; Loty, et al., 2001 : 231-239) ซึ่งขบวนการสะสมแร่ธาตุในกระดูกดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าไม่มีการสร้างโปรตีน คอลลาเจน (Stein, Lian, and Owen, 1990 : 3111-3123 ; Heaney, Dowell, and Wolf, 2002 : 786-788) ผลการวิจัยล่าสุดได้พิสูจน์ว่าแร่ธาตุ ซิลิกอนช่วยการสร้างกระดูกโดย ช่วยในการเจริญเติบโตเต็มที่ของเซลล์ออสทีโอเบลาสต์โดยการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ อัลคาไลน์ฟอสฟาเทส การแสดงออกของยีนโปรตีนคอลลาเจนชนิดที่ 1 และการแสดงออกของโปรตีนออสทีโอคาลซินให้สูงขึ้นกว่าปกติ อันจะส่งผลต่อการสะสมปริมาณแร่ธาตุในกระดูก ต่อไป (Varanasi, et al., 2012 : 325 ; Kim, et al., 2013 : 105)

2.1.3.2 ผลของแร่ธาตุซิลิกอนต่อความแข็งแรงของกระดูกในสัตว์ทดลอง

หนูทดลองที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำจะมีปริมาณความเข้มข้นของแร่ธาตุแคลเซียมในกระดูกต้นขาต่ำกว่าหนูที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณที่เพียงพอ (Seaborn and Nielsen, 1994 a : 1, 1994 b : 151, 2002 a : 239) รวมทั้งจะพบไฮดรอกซีโปรตีนในกระดูกหน้าแข้งน้อยกว่าด้วย (Seaborn and Nielsen, 2002 b : 251) Neilsen (2002 : 1231) กล่าวว่าหนูที่ขาดแร่ธาตุซิลิกอนจะพบอัตราการสลายเซลล์กระดูกสูงกว่าหนูที่ได้รับแร่ธาตุซิลิกอนในปริมาณที่เพียงพอ โดยผลดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณการมีรังไข่ที่สมบูรณ์ จึงเป็นไปได้ว่าผลของแร่ธาตุซิลิกอนอาจเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนเพศ

ส่วนในหนูทดลองที่ถูกตัดรังไข่และให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริมในรูปของสารละลายโมโนเมทิลไตรโซลานอล (Monomethyl trisilanol) 1.00 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1.00 กิโลกรัม เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าสารละลายซิลิกอนดังกล่าวไม่เพียงแต่เพิ่มพื้นที่ผิวเซลล์สร้างกระดูกหรือเซลล์ออสทีโอเบลาสต์ อัตราการสร้างกระดูก และการสะสมแร่ธาตุที่กระดูกบริเวณส่วนของกระดูกยาวที่ใกล้กับส่วนปลายของกระดูกหน้าแข้ง แต่แร่ธาตุซิลิกอนยังช่วยลดจำนวนและพื้นที่ผิวของเซลล์สลายกระดูกหรือเซลล์ออสทีโอคลาสต์ ส่งผลให้เพิ่มปริมาณของกระดูกเนื้อโปร่งในหนูที่ถูกตัดรังไข่เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Hott, et al., 1993 : 174) เช่นเดียวกับหนูทดลองที่ถูกตัดรังไข่และให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริมในรูปของโซเดียมเมเตซิลิเกต 50.00 มิลลิกรัม/อาหาร 100.00 กรัม เป็นเวลา 1 เดือน แร่ธาตุซิลิกอนไม่เพียงยับยั้งการสลายเซลล์กระดูกเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มความยาวของกระดูกต้นขาเมื่อเทียบกับหนูในกลุ่มควบคุม (Rico, 2000 : 53) ส่วนการเสริมแร่ธาตุซิลิกอนในรูป โคลีนสเตาบิไลซ์ ออร์โธซิลิสิกแอซิด (Choline-stabilized orthosilicic acid : ch-OSA) ช่วยในการป้องกันการสลายเซลล์กระดูกต้นขาบางส่วนในหนูที่ถูกตัดรังไข่ (Calomme, et al., 2006 : 227) นอกจากนี้การเสริมแร่ธาตุซิลิกอนในหนูทดลองที่ถูกตัดรังไข่และมีภาวะแคลเซียมต่ำทำให้ความหนาแน่นของกระดูกเพิ่มมากขึ้นโดยแร่ธาตุซิลิกอนช่วยลดการสลายเซลล์กระดูก (Kim, et al., 2009 : 239) โดย Bae, et al. (2008 : 157) พบว่าการให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริมในหนูทดลองที่ถูกตัดรังไข่ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้งอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแร่ธาตุซิลิกอนส่งผลโดยตรงต่อการขนย้ายแร่ธาตุแคลเซียม และ/หรือการสะสมของแร่ธาตุในกระดูก หรือแร่ธาตุซิลิกอนอาจจะส่งผลต่อขบวนการ

สะสมแร่ธาตุในกระดูกโดยส่งผลโดยตรงต่อการสร้างไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ซึ่ง Kokubo, et al. (2001 : 111-186) กล่าวว่าไว้ว่ากลุ่มไฮดรอกซิล (Si-OH) ช่วยสร้างนิวเคลียสผลึกสำหรับอะพาไทต์โดยรวมตัวกับแคลเซียมไอออนเพื่อที่จะสร้างแคลเซียมซิลิเกตแบบไม่เป็นผลึก จากนั้นซิลิเกตไอออนจะถูกแทนที่ด้วยฟอสฟอรัสไอออนเพื่อสร้างแคลเซียมฟอสเฟตแบบไม่เป็นผลึกที่มีสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสเฟตใกล้เคียงกับสัดส่วนของอะพาไทต์ของกระดูก $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$

ในลูกไก่พบว่าการเสริมแร่ธาตุซิลิกอน 135.00 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1.00 กิโลกรัม/ 2 วัน ในรูปของสารละลาย โคลิโนสตาปีโลซ์ ออร์โธซิลิกแอซิด ทำให้เพิ่มระดับของซีรัมแคลเซียม และเพิ่มปริมาณแร่ธาตุในกระดูก ร้อยละ 8.00 รวมทั้งเพิ่มความหนาแน่นของกระดูกที่กึ่งกลางลำกระดูกและกระดูกยาวส่วนปลาย ร้อยละ 4.00 ถึง 5.00 และเพิ่มความหนาแน่นของกระดูกสะโพก ร้อยละ 6.00 (Calomme, et al., 2002 : 292)

ส่วนในม้าพบว่าการเสริมแร่ธาตุซิลิกอนทำให้ลดการบาดเจ็บของกระดูกม้า อันเนื่องมาจากการแข่งขันในช่วงสุดท้ายของการแข่งขันสี่ช่วง (Nielsen, et al., 1993 : 562) และช่วยเพิ่มระดับของแร่ธาตุซิลิกอนในซีรัมและในน้ำนม และเพิ่มระดับโปรตีนออสทีโอแคลซินในกระดูก นอกจากนี้การเสริมแร่ธาตุซิลิกอนยังช่วยในการลดการทำลายโปรตีนคอลลาเจนอีกด้วย (Lang, et al., 2001 : 2627)

ในลูกวัวพบว่าการเสริมแร่ธาตุซิลิกอนในรูป ออร์โธซิลิกแอซิด ลงในน้ำดื่ม (0.30 มิลลิกรัม /น้ำหนักตัว 1.00 กิโลกรัม) วันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 23 สัปดาห์ ทำให้มีความเข้มข้นของปริมาณโปรตีนคอลลาเจนในผิวหนังชั้นหนังแท้สูงกว่ากลุ่มควบคุม และพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างซีรัมซิลิกอนกับความเข้มข้นของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนคอลลาเจนที่ชื่อว่าไฮดรอกซีโพรลีนในกระดูกอ่อน (Calomme and Berghe, 1997 : 153)

2.1.3.3 ผลของแร่ธาตุซิลิกอนต่อความแข็งแรงของกระดูกในคน

งานวิจัยแรกเริ่มในผู้ป่วยโรคกระดูกพรุน พบว่าการให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริม โดยการรับประทานโมโนเมตริลไดรไฮดรอกซิล 5.50 มิลลิกรัม/วัน เป็นเวลา 20 วัน หรือโดยการฉีด 5.50 มิลลิกรัม/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 เดือน ช่วยในการเพิ่มปริมาณกระดูกเนื้อโปร่งเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Schiano, et al., 1979 : 7) และโดยการฉีด 50.00 มิลลิกรัม 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของกระดูกต้นขาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

(Eisinger and Clairet, 1993 : 247) เช่นเดียวกับ Spector, et al. (2005 : S172) ที่พบว่า การให้แร่ธาตุซิลิกอนในรูปของโคลินสเตาปีไลซ์ ออร์โธซิลิสิกแอซิดในผู้ป่วยที่มีมวลกระดูกต่ำและมีภาวะกระดูกพรุน จะมีแนวโน้มการเพิ่มของตัวบ่งชี้อัตราการสร้างกระดูก (Bone formation markers) เมื่อเพิ่มขนาดของโคลินสเตาปีไลซ์ ออร์โธซิลิสิกแอซิด และพบการเพิ่มขึ้นของมวลกระดูกอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มผู้ป่วยที่ได้โคลินสเตาปีไลซ์ ออร์โธซิลิสิกแอซิด 6.00 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jugdaohsingh, et al. (2004 : 297) ที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหารที่บริโภคกับความหนาแน่นของกระดูกสะโพกภายหลังที่ได้ปรับปรุงปัจจัยอื่นร่วมด้วยในผู้ใหญ่ชายและหญิงวัยก่อนหมดประจำเดือน แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในหญิงวัยหมดประจำเดือน ซึ่งล่าสุด Macdonald, et al. (2012 : 681) พบว่าระดับฮอร์โมนเอสโตรเจนในร่างกายอาจจำเป็นต่อเมตาบอลิซึมของแร่ธาตุซิลิกอนในการสร้างความแข็งแรงของกระดูก อย่างไรก็ตามยังคงต้องการงานวิจัยในการพิสูจน์ต่อไป

2.2 แหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญของร่างกายมนุษย์

ร่างกายเราได้รับแร่ธาตุซิลิกอนจากหลายๆ แหล่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 อาหาร

อาหารถือเป็นแหล่งสำคัญแหล่งใหญ่ที่สุดสำหรับ ร่างกายมนุษย์ จากการศึกษาวิจัยพบว่า ปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนของชาวอเมริกัน เฉลี่ยประมาณวันละ 20.00-50.00 มิลลิกรัม (Pennington, 1991 : 97 ; Uthus and Seaborn, 1996 : 2452S ; Jugdaohsingh, et al., 2002 : 890 ; Price, Langford, and Liporace, 2012 : 145) ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณที่ชาวยุโรปบริโภค (19.00-31.00 มิลลิกรัม/วัน) ได้แก่ ผู้ที่อาศัยอยู่ใน ประเทศอังกฤษ ฟินแลนด์ และเบลเยียม (Varo and Koivistoinen, 1980 : 166 ; Bowen and Peggs, 1984 : 1228 ; Van Dyck, et al., 2000 : 25-32 ; Robberecht, et al., 2009 : 4777) เป็นที่น่าสนใจว่า ปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนสูงในประเทศแถบเอเชีย ได้แก่ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีนและประเทศอินเดีย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยปริมาณการบริโภคอยู่ระหว่าง 129.00-204.00 มิลลิกรัม/วัน (Chen, et al., 1994 : 199 ; Anusuya, Bapurao, and Paranjape, 1996 : 152) ดังสรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ประชากรแต่ละประเทศบริโภค

ประเทศ	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภค	กลุ่มตัวอย่างที่เก็บข้อมูล (ที่มา)
สหรัฐ-อเมริกา	25.00 ± 11.40 มิลลิกรัม/วัน (หญิง)	อายุ 26-63 ปี (Jugdaohsingh, et al., 2002 : 890)
	33.10 ± 19.40 มิลลิกรัม/วัน (ชาย)	
	24.20 ± 9.50 มิลลิกรัม/วัน (หญิง)	อายุ 67-95 ปี (Jugdaohsingh, et al., 2002 : 890)
	29.60 ± 14.80 มิลลิกรัม/วัน (ชาย)	
	23.90 ± 0.20 มิลลิกรัม/วัน (ต่ำสุด 14.00, สูงสุด 21.00)	อายุ แรกเกิด-70 ปี (Food and nutrition board institute of medicine, 2000 : 530, 670)
อังกฤษ	18.90 มิลลิกรัม/วัน (หญิง)	อายุ 25-30 ปี (Pennington, 1991 : 115)
	40.00 มิลลิกรัม/วัน (ชาย)	
	23.30 ± 7.50 มิลลิกรัม/วัน (ต่ำสุด 5.70, สูงสุด 59.40)	ในหญิงอายุ 45-54 ปี (Macdonald, et al., 2012 : 682)
	30.80 มิลลิกรัม/วัน	ไม่ได้ระบุ (Bowen and Peggs, 1984 : 1228)
	18.60 ± 4.60 มิลลิกรัม/วัน	หญิงอายุมากกว่า 60 ปี (McNaughton, et al., 2005 : 813)
เบลเยียม	18.60 ± 8.50 มิลลิกรัม/วัน (ต่ำสุด 9.10, สูงสุด 42.80)	ไม่ได้ระบุ (Robberecht, et al., 1999 : 4777)
ฟินแลนด์	29.30 มิลลิกรัม/วัน	ไม่ได้ระบุ (Varo and Koivistoinen, 1980 : 166)
จีน	128.90 ± 46.20 มิลลิกรัม/วัน (ต่ำสุด 56.40, สูงสุด 166.30)	ไม่ได้ระบุ (Chen, et al., 1994 : 197)
อินเดีย	143.00 ± 29.40 มิลลิกรัม/วัน (เมือง) 204.00 ± 58.60 มิลลิกรัม/วัน (ชนบท)	ไม่ได้ระบุ (Anusuya, Bapurao, and Paranjape, 1996 : 149)

สำหรับประเทศไทยยังไม่ทราบความต้องการและปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน (ลักษณะ อินทร์กลับ, 2543 : 150) โดยผลจากการศึกษาวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่าปริมาณการบริโภคแร่ธาตุในเพศชายสูงกว่าในเพศหญิง (Pennington, 1991 : 97 ; Jugdaohsingh, et al., 2002 : 890) และพบว่าเด็กทารกอายุต่ำกว่า 1 ปี (43.40-51.30 มิลลิกรัม/วัน) มีปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนสูงกว่าเด็กอายุระหว่าง 1-3 ปี (15.30-15.50 มิลลิกรัม/วัน) โดยปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหารเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ปี จนกระทั่งถึงอายุ 19-30 ปี จากนั้นปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Food and nutrition board institute of medicine, 2000 : 670) เป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มปริมาณการบริโภคของแร่ธาตุซิลิกอนคล้ายกับการเพิ่มความหนาแน่นของมวลกระดูก นั่นคือความหนาแน่นของมวลกระดูกจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น และเพิ่มถึงระดับสูงสุดที่อายุ 20-30 ปี (Rodan, Raisz, and Bilezikia, 2002 : 1275-1289) อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ควรแนะนำให้บริโภคต่อวันควรเป็นเท่าไร แต่จากการประมาณการปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนในหนึ่งวันนำไปสู่ข้อเสนอแนะว่าในแต่ละวันเราควรบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน 10.00-25.00 มิลลิกรัม (Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 545)

2.2.2 ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในรูปเม็ด แคปซูล และสารละลาย เป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งที่ประชาชนสนใจบริโภค ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่สำคัญ ได้แก่ แซลิโคล (ชาภูนา ประเทศเยอรมันนี) ซิลิกา คอมเพล็กซ์ (ฮอลแลนด์ แอนด์ บาร์เรต สหราชอาณาจักร) ไบโอซิล (ไบโอ-มิน อรอล เอ็นวี ประเทศเบลเยียม) โอเชียนนิค ซิลิกา (โซลกา วิตามินและ เฮอร์บ ประเทศสหรัฐอเมริกา) ซิลิกาพลัส (ฟาร์มาฟูด ประเทศเนเธอร์แลนด์) โมโนเมตซิล ไชเลนไทรอัล (แอลแอล อาร์-จี 5 ประเทศไอร์แลนด์) เป็นต้น (Wickett, et al., 2007 : 499 ; Sripanyakorn, et al., 2009 : 825) จากการศึกษวิจัยพบว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนจาก ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่สามารถดูดซึมไปใช้ได้สูงเทียบเคียงกับอาหาร ได้แก่ โมโนเมตซิล ไชเลนไทรอัล รองลงมาคือ ไบโอซิล หรือ โคลีนสตาปีไลซ์ ออร์โธซิลิกแอซิด (Sripanyakorn, et al., 2009 : 825) โดยพบว่าภายหลังการบริโภค โคลีนสตาปีไลซ์ ออร์โธซิลิกแอซิด 10.00 มิลลิกรัม/วัน เป็นเวลา 9 เดือน ส่งผลให้ระดับของแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้น (Wickett, et al., 2007 : 499)

2.2.3 ผลิตภัณฑ์ยา

ผลิตภัณฑ์ยาเป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนอีกแหล่งหนึ่ง เนื่องจากนิยมใช้แร่ธาตุซิลิกอนในรูปซิลิเกตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ยาลดกรด เช่น อลูมิเนียมไตรซิลิเกต แมกนีเซียมไตรซิลิเกต เป็นต้น และยาแก้ท้องเสีย เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต แมกนีเซียมซิลิเกต เป็นต้น (Dobbie and Smith, 1982 : 14-15)

2.2.4 ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ถือเป็นแหล่งแร่ธาตุที่ร่างกายได้รับอีกแหล่งหนึ่ง แม้จะมีปริมาณน้อยมากก็ตาม ได้แก่ การใส่ท่อซิลิโคนเพื่อใช้ในการล้างไต การใส่วัสดุลงไปในร่างกายเพื่อทดแทนหรือซ่อมแซมเนื้อเยื่อ กระดูก หรือฟัน (Hosokawa and Yoshida, 1990 : 373 ; D'Haese, et al., 1995 : 1838 ; Evans and Baldwin, 1997 : 1459)

2.2.5 เครื่องสำอาง

เครื่องสำอาง เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่ใช้แร่ธาตุซิลิกอนในรูปของซิลิเกตเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น แชมพู ครีม ยาสีฟัน เป็นต้น แต่เนื่องจากซิลิเกตดังกล่าวเป็นอนุภาคและไม่สามารถถูกย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงได้ ส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่มีในเครื่องสำอางนั้นถูกดูดซึมเข้าสู่ทางผิวหนังได้น้อยมาก (Jugdaohsingh, 2007 : 102)

2.2.6 อื่นๆ

นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เราอาจได้รับแร่ธาตุซิลิกอนจากฝุ่นทราย ฝุ่นหิน ฝุ่นถ่านหิน ฝุ่นแป้ง อย่างไรก็ตามปริมาณที่ได้รับจากแหล่งดังกล่าวนี้มีน้อยมาก เมื่อเทียบกับประชากรซึ่งมีจำนวนมาก (Jugdaohsingh, 2007 : 102) โดยสามารถสรุปแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนได้ดังตารางที่ 2.2

เท่าที่ผ่านมายังไม่มีรายงานที่เกี่ยวข้องกับพิษของแร่ธาตุซิลิกอนเมื่อบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหารมากเกินไป (Chen, et al., 1994 : 196-201) นอกจากนี้การบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนในรูปออร์โธซิลิกแอซิดยังมีความปลอดภัยทั้งในสัตว์และคนเนื่องจากยังไม่มีรายงานผลข้างเคียงจากการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนดังกล่าว (Calomme and Berghe, 1997 : 153 ; Reffitt, et al., 1999 : 141 ; Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944)

ตารางที่ 2.2 แหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายได้รับ

แหล่งแร่ธาตุซิลิกอน	ระดับของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายสัมผัส
ดิน	28.00% ของฝุ่นโลก
ฝุ่น	ไม่มีข้อมูล
น้ำ	0.80-35.00 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำจืด 0.001-0.30 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำทะเล 0.20-14.00 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำประปา 4.00-40.00 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำแร่
อาหาร	13.00-62.00 มิลลิกรัม/วัน ในอาหารตะวันตก 143.00-204.00 มิลลิกรัม/วัน ในอินเดีย 139.00 มิลลิกรัม/วัน ในจีน
วัตถุเจือปนอาหาร	$\leq 2.00\%$ ของน้ำหนักอาหาร
ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	0.02-60.00 มิลลิกรัม/ลิตร หญ้าหางม้า 9.00-17.00 มิลลิกรัม/กรัม
ยา	ยาลดกรด แมกนีเซียมไตรซิลิเกต 250.00 มิลลิกรัม/กรัม ยาแก้ท้องเสีย อลูมิเนียม/แมกนีเซียมซิลิเกต (80.00%)
เครื่องสำอาง ผงซักฟอก	ไม่มีข้อมูล
การฝังอุปกรณ์ทางการแพทย์ในเนื้อเยื่อ	

ที่มา (Jugdaohsingh, 2007 : 100)

2.3 แร่ธาตุซิลิกอนในอาหารและเครื่องดื่ม

2.3.1 แร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร

อาหาร เป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญที่ร่างกายเราได้รับ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีรายละเอียดของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารดังกล่าวได้มาจากแหล่งธรรมชาติ และจากการที่มีดินติดมาบนเปลือกของพืชผัก รวมทั้งจากวัตถุเจือปนในอาหาร

ทั้งนี้แหล่งอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูงจะพบ มากในอาหารประเภทพืช มากกว่าเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์จากนม (Pennington, 1991 : 97-118 ; McNaughton, et al., 2005 : 805-809 ; Powell, et al., 2005 : 805-809 ; Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 544) เนื่องจากพืชบางชนิดมีการดูดซึมและสะสมแร่ธาตุซิลิกอนจากดินและน้ำในดิน ซึ่งจะรวมเข้ากับส่วนประกอบโครงสร้างของพืชทำให้ลำต้นแข็งแรง (Epstein, 1999 : 647-648) โดยทั่วไปพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเป็นพืชที่มีการสะสมแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญ ได้แก่ ธัญพืชต่างๆ ทำให้ธัญพืชมีปริมาณของแร่ธาตุซิลิกอนสูง อันได้แก่ โอ๊ต บาร์เลย์ ข้าว ข้าวสาลี ข้าว ถั่ว ข้าวขัดขาว เป็นต้น รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากธัญพืชพบว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนสูงด้วย ได้แก่ อาหารเข้าที่ทำจากธัญพืช (7.79 $\pm$ 6.31 มิลลิกรัม/100.00 กรัม) ขนมปัง/แป้งทำอาหาร (2.87 $\pm$ 1.60 มิลลิกรัม/100.00 กรัม) บิสกิต (1.56 $\pm$ 0.56 มิลลิกรัม/100.00 กรัม) พาสต้า (1.11 $\pm$ 0.47 มิลลิกรัม/100.00 กรัม) เป็นต้น (Jugdaohsingh, 2007 : 101)

ส่วนในผัก มีแร่ธาตุซิลิกอนโดยเฉลี่ย 1.79 $\pm$ 2.42 มิลลิกรัม/100.00 กรัม โดยพบมากใน ถั่วแขก ผักโขม ผักสลัดรวม ผักชี ส่วนผักชนิดหัว ได้แก่ แครอท บีทรูท และหัวไชเท้า แม้ว่าจะมีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนค่อนข้างสูง ปริมาณแร่ธาตุจากพืชดังกล่าวถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารเพื่อไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าที่พบในถั่วแขก

ผลไม้ พบแร่ธาตุซิลิกอนน้อยมาก ยกเว้น กล้วย สับปะรด มะม่วง มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนสูง ประมาณ 2.00-4.77 มิลลิกรัม/อาหาร 100.00 กรัม อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในกล้วยนั้นถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแร่ธาตุซิลิกอนที่มีอยู่ในกล้วยไม่อยู่ในรูปที่สามารถถูกย่อยได้ (Sripanyakorn, et al., 2009 : 832)

ในผลไม้แห้งและถั่ว เมล็ดแห้งต่างๆ เป็นแหล่งอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณสูง ได้แก่ อินทผารัม มีแร่ธาตุซิลิกอนประมาณ 16.61 มิลลิกรัม/อาหาร 100.00 กรัม ลูกเกด มีแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ระหว่าง 10.00-14.00 มิลลิกรัม/อาหาร 100.00 กรัม ส่วนถั่วเมล็ดแห้งต่างๆ พบปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ ถั่วเมล็ดแบน ถั่วแดงแห้ง ถั่วเหลืองแห้ง ถั่วดำ ถั่วชิกพี เม็ดมะม่วงหิมพาน ถั่วปากอ้า ถั่วบราซิล และถั่วลิสง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอาหารดังกล่าวมีปริมาณการบริโภคไม่มากเท่าไร (Jugdaohsingh, 2007 : 102)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร

รายการอาหาร	จำนวนตัวอย่างอาหาร	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน	
		มิลลิกรัม/ส่วน อาหาร	มิลลิกรัม/ 100.00 กรัม
ธัญพืชและผลิตภัณฑ์			
รำข้าวโอ๊ต	2 ช้อนโต๊ะ (14.00 กรัม)	3.27	23.36
รำข้าวสาลี	2 ช้อนโต๊ะ (14.00 กรัม)	1.54	10.98
ข้าวกล้อง (สุก)	1 จาน (120.00 กรัม)	4.51	3.76
ข้าวขาว (สุก)	1 จาน (120.00 กรัม)	1.06-2.34	0.88-1.95
ข้าวหอมมะลิ (สุก)	1 จาน (120.00 กรัม)	0.92	0.77
แป้งสาลี	1 ช้อนโต๊ะ (20.00 กรัม)	0.86	4.29
อาหารเข้ากราโนล่า (ข้าวโอ๊ตผสมถั่ว ผลไม้ แห้ง และน้ำผึ้ง)	3 ช้อนโต๊ะ (60.00 กรัม)	7.35	12.25
อาหารเข้าที่ทำจากโอ๊ต	2 ช้อนโต๊ะ (30.00 กรัม)	3.42	11.39
อาหารเข้ามูสลี่ (ข้าวโอ๊ตผสมผลไม้แห้ง และถั่ว)	½ ถ้วย (50.00 กรัม)	2.80	5.59
อาหารเข้าที่ทำจากรำข้าว	1 ถ้วย (30.00 กรัม)	1.45	4.82
คอร์นเฟลกเคลือบถั่วและ น้ำผึ้ง	1 ถ้วย (30.00 กรัม)	0.93	3.10
คอร์นเฟลก	1 ถ้วย (30.00 กรัม)	0.56	1.88
พาสต้า	220.00-230.00 กรัม	1.43-3.63	0.62-1.58
แป้งสาลี	1 ช้อนโต๊ะ (20.00 กรัม)	0.86	4.29
ขนมปังโฮลวีท	1 แผ่นใหญ่ (36.00 กรัม)	2.20	6.17
ขนมปังโฮลวีทก้อนกลม	1 ก้อน (48.00 กรัม)	1.80	3.75
ขนมปังข้าวกล้อง	1 ก้อน (45.00 กรัม)	1.68	3.73

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร (ต่อ)

รายการอาหาร	จำนวนตัวอย่างอาหาร	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน	
		มิลลิกรัม/ส่วน อาหาร	มิลลิกรัม/ 100.00 กรัม
ธัญพืชและผลิตภัณฑ์			
ขนมปังข้าวกล้อง	1 ก้อน (45.00 กรัม)	1.68	3.73
ขนมปังขาว	1 แผ่นใหญ่ (36.00 กรัม)	0.64	1.79
ครัวซองต์	1 อัน (60.00 กรัม)	1.37	2.29
บิสกิตเคลือบช็อคโกแลต	2 ชิ้น (36.00 กรัม)	0.88	2.44
บิสกิต	2 ชิ้น (30.00 กรัม)	0.53	1.76
บิสกิตไส้ครีม	2 ชิ้น (14.00 กรัม)	0.25	1.05
แครกเกอร์	2 ชิ้น (14.00 กรัม)	0.19	1.34
ผลไม้			
อินทผารัมแห้ง	3 ชิ้น (45.00 กรัม)	7.47	16.61
ลูกเกดแห้ง	-	-	10.00-14.00
กล้วย	1 ผลกลาง (100.00 กรัม)	4.77	4.77
มะม่วง	1 ผลกลาง (150.00 กรัม)	3.00-4.73	2.00-3.15
แคนตาลูป	1 ชิ้น (100.00 กรัม)	3.19	1.82
สับปะรด	1 ชิ้นใหญ่ (80.00 กรัม)	3.14	3.93
ส้มคลีเมนไทน์	1 ผลกลาง (60.00 กรัม)	1.51	2.52
สตอเบอรี่	10 ผล (120.00 กรัม)	1.19	0.99
ลูกพรุน	6 ผล (60.00 กรัม)	0.70	1.16
ลูกพีช	1 ผลกลาง (100.00 กรัม)	0.70	0.64
องุ่น	1 พวง (100.00 กรัม)	0.49	0.49
แอปริคอต	1 ผลกลาง (40.00 กรัม)	0.44	1.11
ราสเบอรี่	15 ผล (60.00 กรัม)	0.39	0.65

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร (ต่อ)

รายการอาหาร	จำนวนตัวอย่างอาหาร	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน	
		มิลลิกรัม/ ส่วนอาหาร	มิลลิกรัม/ 100.00 กรัม
ผลไม้ (ต่อ)			
อะโวคาโด	½ ลูก (50.00 กรัม)	0.32	0.64
แอปเปิ้ล	1 ผลกลาง (100.00 กรัม)	0.21	0.21
ลูกพลัม	1 ผลกลาง (55.00 กรัม)	0.14	0.25
กีวี	1 ผลกลาง (60.00 กรัม)	0.13	0.22
แบลคเบอร์รี่	10 ลูก (50.00 กรัม)	0.12	0.23
ลูกแพร์	1 ผลกลาง (160.00 กรัม)	0.03	0.02
ฝรั่ง	½ ผล (175.00 กรัม)	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้
ส้มเกลี้ยง	1 ผลกลาง (160.00 กรัม)	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้
ส้มแมนดาริน	1 ผลกลาง (100.00 กรัม)	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้
ผัก			
ถั่วแขก (ต้ม)	1 ถ้วย (90.00 กรัม)	7.86	8.73
ผักโขม (ต้ม)	2 ช้อนโต๊ะ (80.00 กรัม)	4.10	5.12
แตงกวา	1 ลูก (60.00 กรัม)	1.52	2.53
ผักสลัดชนิดต่างๆ ผสมกัน	1 ถ้วย (80.00 กรัม)	1.14	1.76
บรอกโคลี (ต้ม)	1 ถ้วย (85.00 กรัม)	0.66	0.78
กะหล่ำปลี	1 ถ้วย (90.00 กรัม)	0.48	0.53
เมล็ดข้าวโพดกระป๋อง	125.00 กรัม	0.48	0.38
มะเขือม่วง (ต้ม)	½ ลูก (130.00 กรัม)	0.38	0.29
มันเทศ (ต้ม)	2 หัวกลาง (130.00 กรัม)	0.35	0.27
ผักกาดหอม	1 ถ้วย (30.00 กรัม)	0.33-0.83	1.11-2.78
ปืทรูท	4 ชิ้น (40.00 กรัม)	0.32	0.79

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร (ต่อ)

รายการอาหาร	จำนวนตัวอย่างอาหาร	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน	
		มิลลิกรัม/ ส่วนอาหาร	มิลลิกรัม/ 100.00 กรัม
ผัก (ต่อ)			
ต้นหอม	1 ต้น (10.00 กรัม)	0.24	2.43
ผักชี	½ ซ่อนโตะ (2.00 กรัม)	0.17	8.42
มันฝรั่ง (ต้ม)	1 หัว (50.00 กรัม)	0.17	0.34
หัวไชเท้า	5 ชิ้นกลาง (40.00 กรัม)	0.16	0.39
ดอกกะหล่ำ (ต้ม)	1 ถ้วย (60.00 กรัม)	0.13	0.22
เซอเรรี่	1 ต้น (30.00 กรัม)	0.09	0.29
พริกยักษ์	1 ถ้วย (85.00 กรัม)	0.09-0.12	0.22-0.29
เห็ด	3 หัว (30.00 กรัม)	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้
มะเขือเทศ	1 ผลกลาง (85.00 กรัม)	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้
หอมใหญ่	½ ผล (30.00 กรัม)	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้
ถั่วเมล็ดแห้งและผลิตภัณฑ์			
ถั่วแดงแห้ง (ต้ม)	1 ซ่อนโตะ (70.00 กรัม)	0.80	1.14
ถั่วเมล็ดแบน (ต้ม)	1 ซ่อนโตะ (40.00 กรัม)	0.78-1.77	1.95-4.42
ถั่วเหลืองแห้ง (ต้ม)	2 ซ่อนโตะ (60.00 กรัม)	0.71	1.19
ถั่วดำ (ต้ม)	2 ซ่อนโตะ (60.00 กรัม)	0.69	1.15
ถั่วปากอ้า (สุก)	2 ซ่อนโตะ (120.00 กรัม)	0.46	0.38
ถั่วชิกพี (ต้ม)	1 ซ่อนโตะ (35.00 กรัม)	0.27	0.76
เม็ดมะม่วงหิมพาน (อบ)	1 ซอง (25.00 กรัม)	0.15	0.60
ถั่วบราซิล (อบ)	1 ซอง (20.00 กรัม)	0.06	0.28
ถั่วลิสง (อบ)	1 ซอง (25.00 กรัม)	0.06	0.24
เต้าหู้	1 ก้อน (60.00 กรัม)	1.78	2.96

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร (ต่อ)

รายการอาหาร	จำนวนตัวอย่างอาหาร	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน	
		มิลลิกรัม/ ส่วนอาหาร	มิลลิกรัม/ 100.00 กรัม
ขนมขบเคี้ยว			
มันฝรั่ง	1 ซอง (30.00 กรัม)	0.41	0.47
ชีสค็อกแลตนม	1 อัน (50.00 กรัม)	0.51	1.01
ข้าวโพดอบกรอบ	1 ซอง (50.00 กรัม)	2.22	4.44
นมและผลิตภัณฑ์			
เนยแข็ง	1 แผ่นหนา (40.00 กรัม)	0.19	0.47
เนยอ่อน	1 แผ่นหนา (40.00 กรัม)	0.16	0.39
นมพร้อมมันเนย	1 แก้ว (200.00 ซีซี)	0.14	0.07

ที่มา (Powell, et al., 2005 : 805-809)

2.3.2 แร่ธาตุซิลิกอนในเครื่องดื่ม

น้ำแร่เป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งที่ร่างกายเราได้รับ โดยพบว่ามีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ระหว่าง 2.40-14.60 มิลลิกรัม/ลิตร หรือเฉลี่ย 5.50 ± 3.30 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งความเข้มข้นของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในน้ำแร่นี้ขึ้นอยู่กับธรณีวิทยาของพื้นที่ในภูมิประเทศนั้นๆ โดยน้ำที่ไหลผ่านหินในยุคเก่า จะมีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนน้อยกว่าน้ำที่ไหลผ่านแหล่งน้ำที่มีหินยุคใหม่ ซึ่งมีความเป็นด่างและมีอัตราการกัดกร่อนสูง ล่าสุดพบว่าน้ำแร่บางชนิดจากประเทศมาเลเซียและฟิจิ ได้แก่ น้ำแร่สปริตเซอร์ (Spritzer) และน้ำแร่ฟิจิ (Fiji) ตามลำดับ มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนสูงมาก เฉลี่ยประมาณ 30.00-40.00 มิลลิกรัม/ลิตร (Jugdaohsingh, 2007 : 101) แร่ธาตุซิลิกอนยังพบในเครื่องดื่มที่มีนมเป็นส่วนประกอบ เฉลี่ยประมาณ 1.30 ± 1.40 มิลลิกรัม/100.00 มิลลิลิตร รองลงมาคือ ชา กาแฟ น้ำผลไม้ และน้ำประปา ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 นอกจากนี้เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ได้แก่ เบียร์ ถือเป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนอีกแหล่งหนึ่ง เพราะทำมาจากการเคี้ยวข้าวบาร์เลย์ที่ยังไม่ผ่านการขัดสีจนเปื่อย จากการศึกษาวิจัยพบว่า

โดยเฉลี่ยแล้วเปียร์มีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ ประมาณ 19.20 ± 6.60 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้พื้นที่ภูมิศาสตร์และชนิดของเปียร์ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอนในเปียร์

(Sripanyakorn, et al., 2005 : 223, 2009 : 825) รองลงมาคือไวน์ และไวน์หวาน โดยพบแร่ธาตุซิลิกอนเฉลี่ย 1.24-1.35 มิลลิกรัม/100.00 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตามเป็นที่ตระหนักว่าเปียร์และไวน์เป็นเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ การบริโภคมากเกินไปทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในเครื่องดื่ม

รายการเครื่องดื่ม	ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน (มิลลิกรัม/100.00 กรัม)	ช่วงแร่ธาตุซิลิกอน (มิลลิกรัม/100.00 มิลลิลิตร)
เครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์		
น้ำประปา (n=11)	0.37 ± 0.13	0.10-0.61
น้ำแร่/น้ำใต้ดิน (n=14)	0.55 ± 0.33	0.24-1.46
ชา/กาแฟ (n=6)	0.51 ± 0.28	0.24-0.86
น้ำผลไม้ (n=11)	0.38 ± 0.53	0.05-1.50
น้ำโซดา/คาร์บอนเนต (n=6)	0.15 ± 0.04	0.10-0.19
เครื่องดื่มที่มีนมเป็นส่วนประกอบ (n=6)	1.30 ± 1.40	0.20-3.96
เครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์		
เปียร์ (n=76)	1.92 ± 0.66	0.90-3.94
ไวน์ (n=3)	1.35 ± 0.85	0.68-2.31
ไวน์หวาน (n=2)	1.24 ± 1.26	-
สุรา/วิสกี้ (n=11)	0.13 ± 0.04	0.06-0.20

ที่มา (Jugdaohsingh, 2007: 102)

2.3.3 ชนิดของแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารและเครื่องดื่ม

โดยทั่วไปเราจะพบ แร่ธาตุซิลิกอนในแหล่งอาหารจากพืชในรูปของไฟโตไลติกซิลิกา โดยไฟโตไลติกซิลิกาจะทำปฏิกิริยากับน้ำแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง กลายเป็นออร์โธซิลิสิกแอซิด ในระบบทางเดินอาหารของเรา (Jugdaohsingh, et al., 2000 : 892) ส่วนในน้ำดื่มหรือเครื่องดื่มต่างๆ เราจะพบ แร่ธาตุซิลิกอนในรูปของออร์โธซิลิสิกแอซิด (Bellia, Birchall, and Roberts, 1994 : 235 ; Casey and Bamforth, 2010 : 784) ซึ่งเป็นรูปของแร่ธาตุซิลิกอนที่สามารถถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ที่ระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุซิลิกอนในรูปของซิลิกา ในวัตถุเจือปนอาหาร อย่างไรก็ตามแร่ธาตุซิลิกอนดังกล่าวถูกดูดซึมได้น้อยมาก (Price, Koval, and Langford, 2013 : 1)

2.4 การดูดซึมและการขับถ่ายแร่ธาตุซิลิกอน

2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการดูดซึมและการขับถ่าย

2.4.1.1 การดูดซึมสารอาหาร เป็น ขบวนการที่ผลผลิตขั้นสุดท้ายของการย่อย ถูกนำเข้าสู่ระบบไหลเวียนและระบบน้ำเหลือง เพื่อนำไปยังเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย ภายหลังการบริโภคอาหาร ประมาณ 3-4 ชั่วโมง ร่างกายเราต้องมีการดูดซึมเอาสารอาหารต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ โดยการดูดซึมส่วนใหญ่จะเกิดที่ บริเวณลำไส้เล็ก ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซึมของอวัยวะต่างๆ ในระบบทางเดินอาหารขึ้นอยู่กับลักษณะของเยื่อบุผิว พื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึม ความสามารถในการซึมผ่านของสาร และความเข้มข้นของสารภายนอกและภายในเซลล์เยื่อบุผิว โดยสารที่ซึมผ่านได้ดีและมีความเข้มข้นแตกต่างกันมากจะดูดซึมได้ดี นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของอาหาร ขนาดของโมเลกุลของสาร ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในบริเวณที่ถูกดูดซึม และความผิดปกติของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อย จะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมด้วย โดยมีกลไกในการดูดซึมของสารอาหารเข้าสู่ระบบไหลเวียนดังนี้ (ชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว, 2541 : 244-246 ; สิริพันธุ์ จุลรังษะ, 2550 : 45-46)

1) การแพร่แบบธรรมดา (Passive diffusion) เป็นการแพร่ของสารจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ โดยผ่านทางรูหรือช่องของเยื่อเซลล์ ส่วนใหญ่จะเกิดกับสารที่มี

ขนาดเล็ก ได้แก่ น้ำ สารที่ละลายน้ำได้ ไขมันโมเลกุลเล็กๆ ส่วนการแพร่ของไอออน จะแพร่จาก ไอออนประจุบวกไปยังด้านที่มีประจุลบ และไอออนที่มีประจุลบจะแพร่ไปยังด้านที่มีประจุบวก

2) การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Carrier facilitated passive diffusion)

เป็นการแพร่ของสารจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำโดยอาศัยตัวพา จึงทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าการแพร่แบบธรรมดา ส่วนใหญ่จะเกิดกับสารโมเลกุลใหญ่ ซึ่งไม่สามารถผ่านผนังเซลล์แบบ การแพร่ธรรมดาได้ ได้แก่ สารอาหารประเภทโปรตีน

3) การขนส่งแบบแอคทีฟ (Active transport) เป็นการแพร่ของสารจาก

ความเข้มข้นต่ำไปความเข้มข้นสูงหรือแพร่ไปยังด้านที่มีประจุชนิดเดียวกัน โดยต้องอาศัยพลังงาน จากอะดีโนไตรฟอสเฟต หรือเรียกว่า เอทีพี (Adenotriphosphate : ATP) ในการแพร่ ได้แก่ การ ดูดซึมสารอาหารประเภท คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนบริเวณลำไส้เล็ก

4) พิโนไซโทซิส (Pinocytosis) เป็นการดูดซึมโดยอาศัยวิธีการห่อหุ้มสาร

เข้าไปในผนังเซลล์ลำไส้ ซึ่งจะผ่านการขบวนการสร้างและสลายโดยเอนไซม์ภายในเซลล์ดูดซึม เพื่อเข้าสู่ระบบไหลเวียนต่อไป การดูดซึมโดยวิธีนี้เกิดกับสารโมเลกุลใหญ่มาก ซึ่งพบเฉพาะในเด็ก อ่อนหลังคลอด

นอกจากนี้สารอาหารบางตัวอาจจะถูกดูดซึมผ่านทางช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือที่เรียกว่า พาราเซลล์ลาร์ (Paracellular) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำ ความเข้มข้นของสารอาหาร และขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดซึม (Gropper, Smith, and Groff, 2005 : 46) โดยการดูดซึมผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ มักจะพบสำหรับการเคลื่อนที่ของสารที่มีโมเลกุล ขนาดเล็ก อิเล็กโตรลัยท์ และน้ำ

2.4.1.2 ระบบการขับถ่าย เป็นระบบที่ช่วยในการขับของเสียออกจากร่างกาย ซึ่ง

ของเสียดังกล่าวมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ สารที่เป็นพิษต่อร่างกายและสารที่มีปริมาณมากเกินไปเกินความต้องการ โดยร่างกายจะมีการขับของเสียออกมาทั้งในรูปของแข็งคืออุจจาระ ของเหลวคือปัสสาวะ และเหงื่อ และแก๊สคือลมหายใจ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2550 : 49-53) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การขับของเสียทางอุจจาระ อาหารที่ผ่านการย่อยและไม่สามารถดูดซึม

ได้ จะถูกดึงน้ำในขณะที่ผ่านลำไส้ส่วนโคลอนทำให้เหลือแต่กากอาหารเคลื่อนไปเก็บไว้ในลำไส้ตรง ซึ่งเป็นที่พักกากอาหารไว้จนกว่าจะถึงเวลา ที่กำจัดออก โดยลำไส้ใหญ่จะหดตัวแบบวงแหวนให้

อาหารเคลื่อนไปอย่างช้าๆ และเมื่อผ่านเข้าสู่ลำไส้ตรงจะบีบไล่อ่างรุนแรง ทำให้รู้สึกอยากถ่าย โดยเฉลี่ยจะเกิดขึ้นวันละประมาณ 2-3 ครั้ง ซึ่งเวลาที่เกิดขึ้นอยู่กับความเคยชินของแต่ละบุคคล ในแต่ละวันจะมีกากอาหารผ่านเข้าลำไส้ใหญ่ประมาณ 0.50 ลิตร และจะถูกดูดน้ำกลับให้เหลือเพียง 0.10-0.15 ลิตร เพื่อรอการขับถ่าย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับถ่ายอุจจาระของแต่ละบุคคล ได้แก่ ปริมาณน้ำในอุจจาระ โยอาหารซึ่งช่วยในการอุ้มน้ำไว้ส่งผลให้อุจจาระอ่อนนุ่มถ่ายสะดวก และน้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวซึ่งช่วยในการกระตุ้นการทำงานของลำไส้ นอกจากนี้ภาวะทางจิตใจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการขับถ่าย เช่น ถ้าตื่นเต้น อาจทำให้ลำไส้เคลื่อนไหวมากขึ้น และมีการขับถ่ายมากขึ้น เป็นต้น

2) การขับของเสียออกทางปัสสาวะ ไตทำหน้าที่ในการกรองของเสียออกจากร่างกายและขับออกทางปัสสาวะ โดยของเสียส่วนใหญ่ที่ไตขับออก ได้แก่ ของเสียที่ได้มาจากเมตาบอลิซึมของโปรตีน เช่น ยูเรีย เป็นต้น รวมทั้งสารที่มีปริมาณมากเกินไปเกินความต้องการของร่างกายจะถูกขับออกทางไตด้วย ในแต่ละวันจะมีน้ำผ่านเข้าไต ประมาณ 167.04 ลิตร ซึ่งไตจะดูดกลับประมาณ 165.60 ลิตร ส่วนที่เหลือจะถูกไปเก็บไว้ที่กระเพาะปัสสาวะ เมื่อใดก็ตามที่มีปัสสาวะคั่งในกระเพาะปัสสาวะประมาณ 0.25 ลิตร จะเกิดการกระตุ้นปลายประสาททำให้รู้สึกปวดปัสสาวะขึ้น โดยวันหนึ่งๆ เราจะมีปัสสาวะเฉลี่ยประมาณ 1.20-1.40 ลิตร

3) การขับของเสียออกทางเหงื่อ เป็นการระบายความร้อนออกจากร่างกาย และมีการขับน้ำและแร่ธาตุบางตัวออกมาด้วย ได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม กรณิที่ร่างกายมีความเข้มข้นของของเหลวสูง ร่างกายจะมีการปรับตัวโดยการรับน้ำเข้ามาเพื่อทำให้ความเข้มข้นของของเหลวดังกล่าวเจือจางลง อย่างไรก็ตามการรับน้ำเข้ามามักกล่าวเป็นการเพิ่มเนื้อที่ จึงจำเป็นต้องมีการขับน้ำออกมาเป็นเหงื่อ ซึ่งการขับเหงื่อเกิดขึ้นตลอดเวลาโดยขึ้นกับปริมาณความชื้นในอากาศ ถ้าอากาศมีความชื้นสูงจะมีการขับเหงื่อออกมาน้อย ขณะที่อากาศมีความชื้นต่ำจะขับเหงื่อออกมามาก

4) การขับของเสียออกทางลมหายใจ โดยน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายไม่ต้องการแล้ว จะถูกลำเลียงไปยังปอด ผ่านหลอดลม และขับออกจากร่างกายทางจมูก ซึ่งเกิดขึ้นตลอดเวลา อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ถูกขับออกจากร่างกายทางลมหายใจดังกล่าวมีปริมาณค่อนข้างน้อย

2.4.2 การดูดซึมและการขับถ่ายแร่ธาตุ

2.4.2.1 หลักการดูดซึมและการขับถ่ายแร่ธาตุ ภายหลังจากบริโภคอาหาร แร่ธาตุอาจมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างขบวนการย่อย แต่โดยส่วนใหญ่แล้วแร่ธาตุไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง (Whitney and Rolfes, 2005 : 81) ส่วนหนึ่งของปริมาณแร่ธาตุจากอาหารจะถูกดูดซึมและผ่านเข้าระบบการไหลเวียนเลือด ขณะที่แร่ธาตุส่วนที่ไม่สามารถดูดซึมได้จะถูกขับออกทางอุจจาระ ส่วนหนึ่งของแร่ธาตุที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดจะผ่านเข้าสู่เนื้อเยื่อในร่างกาย และอีกส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางปัสสาวะ นอกจากนี้แร่ธาตุส่วนที่ผ่านเข้าสู่เนื้อเยื่อบางส่วนจะถูกขับไปที่ลำไส้ผ่านทางน้ำดีหรือสารคัดหลั่งของระบบทางเดินอาหาร โดยปริมาณแร่ธาตุส่วนใหญ่จะถูกขับออกทางอุจจาระ และส่วนน้อยจะถูกดูดซึมกลับเข้าระบบทางเดินอาหาร อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ธาตุดังกล่าวมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นปริมาณแร่ธาตุที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือปริมาณแร่ธาตุจากอาหารที่ถูกดูดซึมและคงไว้ในร่างกาย (Sandtröm, et al., 1993 : 82)

2.4.2.2 ขบวนการดูดซึมแร่ธาตุโดยเยื่อบุลำไส้และการขนส่งแร่ธาตุผ่านผนังเยื่อบุลำไส้ มีทั้งแบบการขนส่งผ่านเซลล์โดยตรงโดยใช้พลังงานหรือที่เรียกว่าแบบแอกทีฟ (Transcellular active transport) และการขนส่งผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ (Paracellular transport) โดยอาศัยขบวนการแพร่ (Passive transport) ส่วนใหญ่แร่ธาตุจะถูกดูดซึมแบบอาศัยขบวนการแพร่ โดยปริมาณแร่ธาตุจะผ่านเข้าสู่เซลล์มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของแร่ธาตุ ความเข้มข้นของแร่ธาตุภายนอกและภายในเซลล์ ขนาดโมเลกุลของแร่ธาตุ ขนาดและจำนวนช่องว่างที่แร่ธาตุผ่าน ซึ่งการดูดซึมแร่ธาตุแบบผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์เกิดขึ้นตลอดลำไส้เล็ก ส่วนการดูดซึมแร่ธาตุแบบผ่านเซลล์โดยตรง มีขั้นตอนของการดูดซึม 3 ขั้นตอน คือ ผ่านเยื่อหุ้มด้านหน้าเซลล์หรือบริชบอร์ดอร์ (Brush border) ของเยื่อบุลำไส้ เข้ามาอยู่ในเซลล์ แพร่ผ่านข้ามไซโตพลาสซึม และผ่านออกเยื่อหุ้มด้านหลังและด้านข้างเซลล์ (Basolateral membrane) โดยอาศัยพลังงานในการผ่านออก มาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์เพื่อแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยหรือท่อน้ำเหลืองต่อไป (วิลเลียมส์, 2543 : 120)

2.4.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ สภาวะที่ทำให้แร่ธาตุอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจะทำให้ร่างกายดูดซึมแร่ธาตุนั้นได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้าสภาวะนั้น

ทำให้แร่ธาตุอยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ จะทำให้ความสามารถของร่างกายในการดูดซึมแร่ธาตุนั้นลดลง นอกจากนี้ความเป็นกรดในระบบทางเดินอาหาร และความสามารถในการย่อยโปรตีนออกจากแร่ธาตุ จะส่งผลให้ร่างกายดูดซึมแร่ธาตุได้ง่ายด้วย (ชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว, 2541 : 297)

2.4.3 การดูดซึมและการขับแร่ธาตุซิลิกอน

การดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนที่ระบบทางเดินอาหารถือเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่เข้าสู่ร่างกายที่สำคัญ โดยพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และผลิตภัณฑ์ยาสามารถถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งแร่ธาตุซิลิกอนในรูปของโมโนเมอร์หรือออร์โธซิลิสิกแอซิดเป็นรูปที่ร่างกายเรานำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายที่สุด

สำหรับแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารได้มีการศึกษาทดลองแล้วพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนในรูปของไฟโตไลติกซิลิกาสามารถถูกย่อยให้อยู่ในรูปของออร์โธซิลิสิกแอซิดก่อนที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้ (Reffitt, et al., 1999 : 147 ; Jugdaohsingh, et al., 2000 : 948 ; Sripanyakorn, et al., 2005 : 223) โดยพบว่าระดับของแร่ธาตุซิลิกอนในซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังบริโภคอาหารที่มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนสูง เช่น ธัญพืช ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ถั่วแขก ลูกเกด เป็นต้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 41.00 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคถูกขับออกทางปัสสาวะภายใน 6 ชั่วโมง (Jugdaohsingh, et al., 2002 : 892) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Li, et al. (2010 : 44) พบว่าน้ำดื่มที่เป็นน้ำแร่ที่มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ในระดับสูงสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายเราอยู่ในรูปอิสระ ไม่จับรวมกับโปรตีน ส่งผลให้ความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอนในพลาสมาลดลงและถูกขับออกทางปัสสาวะอย่างรวดเร็ว (Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 544) โดยแท้จริงแล้วปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารมีความสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกขับออกทางปัสสาวะ ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุซิลิกอนถูกกรองได้ง่ายโดยกลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่ไต เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์กับ พลาสมาโปรตีนดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร ส่วนใหญ่จึงถูกขับออกภายใน 8 ชั่วโมงหลังการบริโภค (Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944, 2002 : 887 ; Sripanyakorn, 2005 : 40 ; Sripanyakorn, et al., 2005 : 223) ดังนั้นปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะจึงเป็นตัวบ่งชี้

ที่ดีสำหรับการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน (Reffitt, et al., 1999 : 141 ; Van Dyck, et al., 1999 : 541)

Sripanyakorn, et al. (2009 : 825) พบว่าแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกดูดซึมได้ง่ายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์จะอยู่ในรูปของโมโนเมอร์ซิลิเกต และแร่ธาตุซิลิกอนจะถูกดูดซึมได้ลดลงเมื่อซิลิเกตที่เป็นอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ เปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มากขึ้น โดยพบการดูดซึมของแร่ธาตุซิลิกอนสูงสุดใน ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โมโนเมทิลไตรโซลานอล และเครื่องดื่มเปียร์ที่ปราศจากแอลกอฮอล์ คิดเป็นร้อยละ 64.00 ตามมาด้วยถั่วแขก ร้อยละ 44.00 สารละลายออร์โธซิลิสิกแอซิด ร้อยละ 43.00 และโคลีนสเตาปีไลซ์ ออร์โธซิลิสิกแอซิด ร้อยละ 17.00 ขณะที่ผลิตภัณฑ์ยาแมกนีเซียมไตรซิลิเกตบีพี ถูกดูดซึมได้เพียงร้อยละ 4.00 และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารซิลิกาคอมเพล็กซ์ ถูกดูดซึมได้เพียงร้อยละ 1.00 เท่านั้น โดยระดับการเพิ่มขึ้นสูงสุดของซีรัมซิลิกอนแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โมโนเมทิลไตรโซลานอล และถั่วแขก พบระดับซีรัมซิลิกอน เพิ่มขึ้นสูงสุดครึ่งชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภค สารละลายออร์โธซิลิสิกแอซิดและเครื่องดื่มเปียร์ที่ปราศจากแอลกอฮอล์ เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.5 ชั่วโมงภายหลังการบริโภค ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โคลีนสเตาปีไลซ์ และออร์โธซิลิสิกแอซิด เพิ่มขึ้นสูงสุด 2 ชั่วโมงภายหลังการบริโภค และผลิตภัณฑ์ยาแมกนีเซียมไตรซิลิเกต บีพีเพิ่มขึ้นสูงสุด 4 ชั่วโมงภายหลังการบริโภค จะเห็นได้ว่าการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนจากผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและยาลดกรด ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีและจุลศาสตร์การละลายของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ภายหลังผ่านเข้าไปสู่ระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนในรูปของโอลิโกเมอร์ซิลิสิกแอซิด (Oligomeric silicic acid) ซึ่งมีคุณสมบัติในการจับกับธาตุออลูมิเนียมได้เป็นอย่างดี ไม่สามารถถูกดูดซึมได้ที่ระบบทางเดินอาหารของคน (Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944) สรุปได้ว่าการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนไปใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของแร่ธาตุซิลิกอน (Calomme, et al., 1998 : 228 ; Van Dyck, et al., 1999 : 543)

2.4.4 กลไกการดูดซึมของแร่ธาตุซิลิกอน

แม้จะได้มีการพิสูจน์แล้วว่าแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหาร น้ำ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และยา สามารถถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ แต่กลไกการดูดซึมของแร่ธาตุซิลิกอนดังกล่าวยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่ามีกระบวนการอย่างไร มีการกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนไว้ในเซลล์ (Gropper, Smith, and

Groff, 2009 : 544) หรือมีการแลกเปลี่ยนกับแร่ธาตุซิลิกอนที่สะสมอยู่ในร่างกายก่อนถูกขับออกทางปัสสาวะเช่นเดียวกับที่เกิดในฟอสเฟตหรือไม่ (Berndt and Kumar, 2007 : 341-359) มีความเป็นไปได้ที่แร่ธาตุซิลิกอนอาจจะถูกดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กตอนต้น เนื่องจากผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้อย่างรวดเร็ว และปริมาณที่ถูกดูดซึมส่วนใหญ่ถูกขับออกทางปัสสาวะภายใน 3 ชั่วโมง ประกอบกับลำไส้เล็กตอนต้นเป็นบริเวณที่มีการดูดซึมของสารอาหารมากที่สุด Jugdaohsingh (2007 : 103) กล่าวว่าแร่ธาตุซิลิกอนอาจถูกขนส่งผ่านเซลล์โดยตรงโดยใช้พลังงาน หรือขนส่งผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์โดยอาศัยขบวนการแพร่ ทั้งนี้ยังต้องการงานวิจัยในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงต่อไป อย่างไรก็ตามสำหรับสิ่งมีชีวิตชั้นต้นที่แร่ธาตุซิลิกอนมีความสำคัญต่อโครงสร้าง เช่น ฟองน้ำ พบว่าขบวนการดูดซึมของแร่ธาตุซิลิกอนเกี่ยวข้องกับตัวช่วยในการขนส่งโซเดียมไบคาร์บอเนตซิลิสิกแอซิด โดยพบซีดีเอ็นเอ (Complementary deoxyribonucleic acid : cDNA) ของฟองน้ำดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับซีดีเอ็นเอของตัวช่วยในการขนส่งโซเดียมไบคาร์บอเนตซิลิสิกแอซิดในคน (Schröder, et al., 2004 : 665)

2.4.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน

ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนในคนมีอะไรบ้าง จากรายงานวิจัยพบว่าปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน มีดังนี้

2.4.5.1 รูปแบบหรือโครงสร้างทางเคมีของแร่ธาตุซิลิกอนในอาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารและยาที่บริโภค โดยแร่ธาตุซิลิกอนที่มีโครงสร้างทางเคมีอย่างง่าย ได้แก่ โมโนเมอร์ซิลิสิกจะสามารถถูกดูดซึมได้ง่ายกว่าแร่ธาตุซิลิกอนที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีโครงสร้างทางเคมีใหญ่กว่า (Sripanyakorn, et al., 2009 : 825)

2.4.5.2 ความสามารถในการย่อยสารประกอบซิลิกอนให้อยู่ในรูปของสารละลายในระบบทางเดินอาหาร (Gropper, Smith, and Groff, 2005 : 496 ; Martin, 2007 : 94)

2.4.5.3 โยอาหาร โดยพบว่าปริมาณการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนในอาสาสมัครที่มีสุขภาพดีที่ได้รับอาหารที่มีโยอาหารสูงจะต่ำกว่าอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่มีโยอาหารต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน 1.40 มิลลิกรัม/วัน สำหรับอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่มีโยอาหาร

สูง และ 8.40 มิลลิกรัม/วัน สำหรับอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่มีใยอาหารต่ำ (Kelsay, et al., 1979 : 1876 ; Solomons, 1984 : 285)

2.4.5.4 สารอาหารประจุบวก โดยพบว่าสารอาหารประจุบวกส่งผลต่อการดูดซึม แร่ธาตุซิลิกอน โดยเมื่อรวมตัวกับแร่ธาตุซิลิกอนจะทำให้เกิดเป็นซิลิเกตที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ เช่น แคลเซียมซิลิเกต หรืออะลูมิเนียมซิลิเกต เป็นต้น (Reffitt, et al., 1999 : 141) สอดคล้องกับการศึกษาของ Carlisle (1986 : 123-139) ที่พบว่าแร่ธาตุซิลิกอนส่งผลต่อกระดูกในหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารแคลเซียมต่ำมากกว่าหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารแคลเซียมสูง

2.4.5.5 โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายเราต้องการปริมาณน้อย ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ใช้ในการกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันในร่างกาย (วินัส ลิฟท์กุล , สุภาณี พุทธเดชาคุ้ม , และณอมขวัญ ทวีบุรณ , 2545 : 200) เนื่องจากโมลิบดีนัมมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับซิลิเกต และสามารถจับกับโลหะ เช่น ทองแดง กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำได้ (Wapnir, 1990 : 287)

2.4.5.6 เพศ อายุ และฮอร์โมนต่างๆ แม้จะมีรายงานว่าเพศ อายุ และฮอร์โมนต่างๆ ส่งผลต่อการดูดซึมของแร่ธาตุซิลิกอนในสัตว์ (Gropper, Smith, and Groff, 2009 : 544) แต่อย่างไรก็ตามอายุและเพศไม่มีความสัมพันธ์กับการดูดซึมและการขับแร่ธาตุซิลิกอนในคน (Jugdaohsingh, Sripanyakorn, and Powell, 2013 : 1024)

2.5 การศึกษาสมดุลของสารอาหาร

2.5.1 หลักการทั่วไปในการศึกษาสมดุลสารอาหาร

เป็นที่ยอมรับว่าผู้ที่มีสุขภาพดีที่ได้รับสารอาหารที่เพียงพอสามารถคงไว้ซึ่งสมดุลของสารอาหารเหล่านั้นได้ นั่นคือปริมาณสารอาหารที่ขับออกจะเท่ากับปริมาณสารอาหารที่บริโภคเข้าไป หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าปริมาณสารอาหารที่บริโภคและขับออกเท่ากัน บุคคลนั้นจะอยู่ในภาวะที่มีสารอาหารสมดุล หรือบุคคลนั้นได้รับอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ถ้าปริมาณสารที่ขับออกมากกว่าปริมาณสารที่บริโภค จะส่งผลให้ร่างกายอยู่ในภาวะเสียสมดุล (Negative balance) ในขณะที่ปริมาณสารที่ขับออกน้อยกว่าปริมาณสารที่บริโภค จะส่งผลให้อยู่ในภาวะสมดุลเป็นบวก (Positive balance) นั่นคืออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้น มี

การเจริญเติบโตและน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น มีการสร้างเนื้อเยื่อ และมีการสะสมสารอาหารไว้ในร่างกายอย่างเต็มเปี่ยม โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อสมดุลของร่างกายดังกล่าว ได้แก่ ปริมาณอาหารที่บริโภค การออกกำลังกาย ยา โรคประจำตัว รวมทั้งสภาวะของร่างกาย เช่น อยู่ในวัยที่เจริญเติบโต ตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตร

สำหรับพลังงานและสารอาหารบางตัว ได้แก่ โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และน้ำ การวัดสมดุลของพลังงานและสารอาหารทำให้เข้าใจการดูดซึมและชีวประโยชน์ การศึกษาสมดุลของพลังงาน ในโตรเจน และน้ำ ยังบ่งบอกถึงภาวะทางกายภาพของบุคคลนั้น อย่างไรก็ตามการศึกษาสมดุลของสารอาหารบางอย่างก็ไม่มีประโยชน์อะไร ได้แก่ โพแทสเซียม กรดแพนโทธีนิก และวิตามินเค ซึ่งร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้จากแบคทีเรียในลำไส้ จึงไม่สามารถศึกษาสมดุลของสารอาหารดังกล่าวได้

การศึกษาสมดุลของสารอาหารจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเพื่อหาความต้องการของสารอาหารที่ควรบริโภคในหนึ่งวัน โดยการทำให้กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาอยู่ในภาวะที่เสียสมดุล จากการให้กลุ่มตัวอย่างบริโภคอาหารที่มีสารอาหารที่ต้องการทดสอบในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จากนั้นทำการให้สารอาหารทดสอบเสริมเข้าไปจนทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุล และเข้าสู่ภาวะสมดุลบวกที่มีการสะสมสารอาหารนั้นในเนื้อเยื่อและมีการบริโภคสารอาหารนั้นเกินกว่าปริมาณที่ร่างกายต้องการในหนึ่งวัน อย่างไรก็ตามวิธีการศึกษาดังกล่าวเป็นวิธีที่ต้องใช้ ความสะดวกถี่ถ้วนและเวลาในการศึกษา การวัดปริมาณสมดุลอย่างถูกต้องจะต้องวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารอาหารที่บริโภคและปริมาณสารอาหารที่ขับออกทางทั้งปัสสาวะ อุจจาระ และทางอื่นๆ เช่น ลมหายใจ อากาศ ผิวน้ำ ทางเหงื่อ และสารคัดหลั่งต่างๆ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นการวัดปริมาณการขับสารอาหารต้องใช้ความพยายามอย่างสูง เนื่องจากต้องมีการควบคุมตัวแปรอย่างรัดกุมและกระทำในในหน่วยปฏิบัติการวิจัยเกี่ยวกับการเผาผลาญอาหาร (Baer, et al., 1999 : 243)

2.5.2 การคำนวณสมดุลของสารอาหาร

โดยทั่วไปแล้วสมดุลของสารอาหารสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณสารอาหารที่บริโภคกับปริมาณสารอาหารที่ขับออก (Garrow, James, and Ralph, 2000 : 137) ดังนี้

สมดุลของสารอาหาร = ปริมาณสารอาหารที่บริโภค – ปริมาณสารอาหารที่ขับออก

ส่วนความสามารถในการย่อยอาหารแท้จริงสามารถคำนวณได้จากข้อมูลการศึกษา สมดุลของสารอาหารนั้น โดยหมายถึงสมดุลของสารอาหารที่แสดงในรูปร้อยละของปริมาณที่บริโภค ดังนี้

ความสามารถในการย่อย = ปริมาณสารอาหารที่บริโภค-(ปริมาณสารอาหารที่ขับออกทั้งหมด- ปริมาณสารอาหารที่สังเคราะห์ในร่างกายที่ขับทางอุจจาระ)/ปริมาณที่บริโภค

อย่างไรก็ตามการแยกสารอาหารที่ไม่ถูกดูดซึมออกจากสารอาหารที่สังเคราะห์ในร่างกายเป็นเรื่องยาก จึงนิยมวัดความสามารถในการย่อยอาหารที่ปรากฏ และไม่ต้องคำนึงถึง ปริมาณสารที่สังเคราะห์ในร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดปริมาณพลังงานในอาหาร

2.5.3 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการศึกษาสมดุลของสารอาหาร

การศึกษาสมดุลของสารอาหารที่สำคัญควรมีการควบคุมตัวแปรก่อความที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสมดุลของสารอาหาร นั้นได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมและวัดปริมาณสารที่บริโภคและขับออกอย่างถูกต้อง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสมดุลที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นความผิดพลาดของการประมาณสารอาหารที่บริโภคมากเกินไปหรือการประมาณสารอาหารที่บริโภคน้อยกว่าความเป็นจริงเพียงเล็กน้อยจะส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณสมดุลของสารอาหาร นั้นเพิ่มขึ้นได้ ความผิดพลาดที่สำคัญที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ ความผิดพลาดในการประมาณปริมาณอาหารบริโภค และความผิดพลาดในการประมาณการขับสารอาหารออกจากร่างกาย ดังจะกล่าวในรายละเอียดแยกในหัวข้อถัดไป

2.5.4 ความผิดพลาดในการประมาณปริมาณอาหารบริโภค

นักวิเคราะห์หรือนักวิจัยจะต้องระมัดระวังความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นกับ ปริมาณสารอาหารที่บริโภคและขับออก (Baer, et al., 1999 : 244) ดังนี้

2.5.4.1 การวัดและการควบคุมอาหารที่บริโภค ปัจจัยหลักของการวัดปริมาณ

สมดุลของสารอาหารคือความถูกต้องในการวัดปริมาณสารอาหารที่บริโภค การวัดปริมาณสารอาหารที่น้อยกว่าความเป็นจริงอาจส่งผลให้เกิดสมดุลลบได้ ขณะที่ประมาณปริมาณการบริโภคมากกว่าความเป็นจริงจะส่งผลให้เกิดการแปลผลเป็นสมดุลบวก นอกจากนี้การควบคุม

อาหารที่บริโภคถือเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการศึกษาสมดุลของสารอาหาร เนื่องจากอาหารที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่ออัตราการดูดซึมของสารอาหารนั้นได้ จึงควรให้กลุ่มตัวอย่างที่จะทดสอบ และกลุ่มควบคุมได้รับอาหารที่เหมือนกันมากที่สุดยกเว้นสารอาหารที่ต้องการทดสอบ ถ้ากลุ่มตัวอย่างบริโภคอาหารที่ปราศจากการควบคุม จะส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาด ในการประมาณ ปริมาณสารอาหาร อันเนื่องมาจากความแปรปรวนของส่วนประกอบอาหารที่บริโภคในแต่ละวัน ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากความหลากหลายของสารเคมีในอาหารและ น้ำหนักของอาหารที่บริโภค ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีการเตรียมเฉพาะจะเป็นการลดความแปรปรวนดังกล่าวได้ ถ้าอาหารมีความแปรปรวนสูงหรือไม่สามารถทราบความแปรปรวนได้ อาจต้องซื้ออาหารปริมาณมากๆ จากแหล่งใดแหล่งหนึ่งและเก็บตัวอย่างอาหารดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์ ปริมาณสารอาหารนั้นๆ

2.5.4.2 การเตรียมอาหาร การเตรียมอาหารสำหรับการศึกษาสมดุลของ

สารอาหารควรมีความถูกต้องมากที่สุด เนื่องจากสมดุลของสารอาหารคำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่บริโภคทั้งหมดกับปริมาณที่ขับออกทั้งหมด ทั้งนี้วิธีที่จะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการเตรียมอาหารเพื่อศึกษาสมดุลของสารอาหาร ได้แก่ การเลือกชนิดอาหารที่มี ปริมาณของสารอาหารคงที่ การคำนวณสารอาหารโดยใช้ตารางคุณค่าอาหารตามลักษณะของอาหาร (สุก หรือดิบ) และการประเมินการสูญเสียสารอาหารทุกครั้งที่มีการขนย้ายอาหาร เช่น ย้ายอาหารจากตู้เก็บอาหารไปใส่ในภาชนะทำกับข้าว ไปโต๊ะเสิร์ฟ และไปเสิร์ฟให้ผู้บริโภค เป็นต้น นอกจากนี้ยังควรต้องมีการระวังการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมในการศึกษาสารอาหารจำพวกแร่ธาตุ ที่ร่างกายเราต้องการปริมาณน้อย ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องครัว น้ำที่ใช้ปรุงประกอบอาหาร ตลอดจน อุปกรณ์ที่ใช้เสิร์ฟ ต้องให้แน่ใจว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารอาหารที่ต้องการทดสอบ รวมทั้งต้องมั่นใจว่ากลุ่มตัวอย่างบริโภคอาหารที่จัดเตรียมไว้ให้จนหมด ไม่เหลือค้างไว้ ซึ่งทำได้โดยการอธิบาย ให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจก่อนเริ่มทำการศึกษาสมดุลของสารอาหารว่าต้องรับประทานอาหารที่เตรียมไว้ให้จนหมด รวมทั้งมีการตรวจสอบงานที่กลุ่มตัวอย่างบริโภคว่าไม่มีอาหารเหลืออยู่

2.5.4.3 การรับประทานอาหารนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในการศึกษาสมดุล ของ

สารอาหาร ถือเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นได้ในช่วงเริ่ม แรกของการศึกษา เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เริ่ม

ปรับตัว หรืออาจเนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างรู้สึกหิวจากการที่บริโภคอาหารที่น้อยกว่า อาหารปกติที่เคยบริโภคในชีวิตประจำวัน

2.5.5 ความผิดพลาดในการประมาณการขับสารอาหารออกจากร่างกาย

ปัสสาวะและอุจจาระเป็นช่องทางหลักในการขับสารอาหารออกจากร่างกาย อย่างไรก็ตามสารอาหารบางตัวอาจมีช่องทาง การขับออกช่องทาง อื่นที่ต้องนำมาคำนวณด้วย เพื่อให้มีความถูกต้องมากที่สุด เช่น แร่ธาตุโซเดียม การสูญเสียโซเดียมทางเหงื่อถือเป็นช่องทางหลักอีกช่องทางหนึ่งที่ต้องนำมาคำนวณปริมาณการขับแร่ธาตุโซเดียมออกจากร่างกาย โดยสามารถสรุปได้ดังนี้ (Baer, et al., 1999 : 245)

2.5.5.1 การเก็บตัวอย่างอุจจาระ ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อการขับอุจจาระเป็นช่องทางหลักในการขับสารอาหารที่เราสนใจออกจากร่างกาย ได้แก่ สารอาหารโมเลกุลใหญ่ และแร่ธาตุบางชนิด เราสามารถเก็บอุจจาระใส่ในภาชนะพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้ง หรือใส่ในถุงพลาสติก และควรเก็บตัวอย่างอุจจาระดังกล่าวไว้ในกระติกน้ำแข็งชั่วคราว กรณีที่สารอาหารที่ต้องการศึกษาไม่ถูกทำลายได้ง่าย หรือเก็บไว้ในภาชนะเก็บความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้งกรณีที่สารอาหารที่ต้องการศึกษาถูกทำลายได้ง่ายจนกว่าจะนำไปเตรียมตัวอย่างและเก็บไว้ในห้องแช่แข็งก่อนทำการวิเคราะห์ ความเย็นจากการเก็บตัวอย่างอุจจาระไว้ในกระติกน้ำแข็งชั่วคราว อาจไม่เพียงพอในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามอาจยกเว้นได้สำหรับการศึกษาสารอาหารบางตัว ได้แก่ โยอาหาร และไขมัน จะเห็นได้ว่าสารอาหารสามารถเปลี่ยนแปลงได้ภายหลังการขับออกมาและก่อนการเก็บตัวอย่างเข้าห้องแช่แข็ง

เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอุจจาระขึ้นอยู่กับเมนูอาหารและอัตราการไหลผ่านของอาหาร ถ้าเมนูอาหารไม่เปลี่ยนแปลงมากในแต่ละวันสามารถเก็บตัวอย่างอุจจาระได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ หลังจากปรับตัวให้เข้ากับเมนูอาหาร อย่างไรก็ตามแม้ว่าเมนูอาหารจะไม่เปลี่ยนแปลงมาก ก็ยังมีความแปรปรวนทางกายภาพในขบวนการดูดซึมและขับออก จึงควรเก็บอุจจาระที่เป็นผลมาจากการรับประทานเมนูอาหารที่ต้องการทดสอบนั้นๆ ให้ครอบคลุม

ช่วงเวลาระหว่างการเคลื่อนไหวของลำไส้และปริมาณของสารอาหารในแต่ละการเคลื่อนไหวแตกต่างกัน ส่งผลให้สมดุลของสารอาหารที่ขับออกทางอุจจาระกว้างไปมาได้ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต และแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการปริมาณน้อย จึงอาจใช้ตัวบ่งชี้ที่

ไม่มีฤทธิ์ทางยาในการทำสัญลักษณ์เพื่อบ่งบอกช่วงเวลาการเก็บอุจจาระ เช่น โพลีเอทโธลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) หรือสีที่ไม่เป็นอันตรายในรูปของแคปซูล อย่างไรก็ตามสีดังกล่าวเมื่อคลุกเคล้ากับอุจจาระที่ถูกขับออกบางครั้งไม่สามารถมองเห็นได้ (Pak, et al., 1980 : 793 ; Turnlund, et al., 1989 : 870) และเป็นเรื่องยากมากที่จะพิสูจน์ว่าเราเก็บตัวอย่างอุจจาระไม่ครบในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาสมดุลของสารอาหาร ซึ่งการเก็บตัวอย่างอุจจาระไม่ครบดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการประมาณค่าสมดุลของสารอาหารที่มีปริมาณการดูดซึมน้อยมาก

2.5.5.2 การเก็บตัวอย่างปัสสาวะ โดยทั่วไป ของเสียที่ร่างกายขับออกทางปัสสาวะ ได้แก่ ยูเรีย สารที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอื่นๆ เกลือแร่ที่มากเกินไปเกินความต้องการ วิตามิน และแร่ธาตุบางตัว (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ , 2550 : 52) ดังนั้นการเก็บตัวอย่างปัสสาวะทั้งหมดจึงจำเป็นสำหรับการศึกษาสมดุลของสารอาหารหลายชนิด อย่างไรก็ตามการเก็บปัสสาวะจำนวนทั้งหมดดังกล่าวถือเป็นเรื่องที่ยากในการดำเนินชีวิตประจำวันของเรา จึงต้องเก็บตัวอย่างปัสสาวะในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งการตรวจสอบปัสสาวะในแต่ละช่วงเวลาหรือการสุ่มตรวจปัสสาวะนั้นมีประโยชน์ในการทดสอบว่าพลังงานและอาหารที่บริโภคทั้งหมดเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายหรือไม่ โดยในส่วนของการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของสารอาหารจะ นิยมเก็บปัสสาวะ 24 ชั่วโมง (ภารดี เต็มเจริญ, นัยนา บุญทวีวัฒน์ และชุติมา ศิริกุลชยานนท์, 2547 : 57)

อย่างไรก็ตามความแปรปรวนในปริมาณการขับปัสสาวะของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนภายในกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบด้วย ในคน ไทยที่มีสุขภาพดีทั่วไป โดยเฉลี่ยจะขับปัสสาวะประมาณ 1.20-1.40 ลิตร หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่แต่ละคนบริโภค (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ , 2550 : 52) ในการเก็บตัวอย่างปัสสาวะจึงต้องจัดภาชนะเพื่อใส่ปัสสาวะให้เพียงพอ และภายหลังเก็บตัวอย่างปัสสาวะให้เก็บไว้ในกระติกน้ำแข็งหรือภาชนะเก็บความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้ง สำหรับการเก็บ ตัวอย่างปัสสาวะเพื่อศึกษาสมดุลไนโตรเจน ต้องมีการทำให้เป็นกรดโดยการเติมกรดไฮโดรคลอริกลงในปัสสาวะ เพื่อป้องกันการสูญเสียแอมโมเนียจากยูเรีย เพราะถ้ามีการสูญเสียแอมโมเนียจะทำให้เกิดสมดุลบวกไม่จริงได้

โดยทั่วไปแล้วการบ่งบอกความผิดพลาดจากการเก็บปัสสาวะไม่ครบเป็นเรื่องยาก วิธีหนึ่งที่สามารถพิสูจน์ความผิดพลาดได้ คือการใช้พาราอะมิโนเบนโซอิก (Para-amino-

benzoic) เป็นตัวบ่งชี้ของช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างปัสสาวะ (Jakobsen, Pedersen, and Ovesen, 2003 : 138) นอกจากนี้ยังสามารถประเมินได้จาก ครีอาตินิน ซึ่งโดยปกติจะ ถูกขับออกตามสัดส่วนของมวลกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามการขับครีอาตินินในแต่ละวันมีความแปรปรวนประมาณ ร้อยละ 5.00-10.00 ขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อสัตว์ที่บริโภค ซึ่งอาจทำให้ความถูกต้องของการใช้ครีอาตินินในการประเมินการเก็บตัวอย่างปัสสาวะลดลง (Drion, Fokkert, and Bilo, 2013 : A6230)

การตรวจสอบว่ากลุ่มตัวอย่างบริโภคอาหารตามที่กำหนดครบหรือไม่สามารถตรวจสอบได้จากการทดสอบสภาพการเกิดออสโมติก ซึ่งขึ้นอยู่กับสารประกอบในอาหารนั้นๆ ได้แก่ ไนโตรเจน โซเดียม โพแทสเซียม ถ้าสภาพการเกิดออสโมติกนั้นน้อยกว่าค่าที่คาดไว้แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างไม่ได้รับประทานอาหารครบตามที่กำหนด ถ้าได้ค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างรับประทานอาหารนอกเหนือจากที่กำหนด (Baer, et al., 1999 : 245) อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมีความถูกต้องน้อยและใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างปัสสาวะหลายวัน

2.5.5.3 แหล่งอื่นๆ ของการขับสารอาหาร นอกเหนือจากปัสสาวะและอุจจาระ ยังมีช่องทางที่ร่างกายเราจะสูญเสียสารอาหารต่างได้ ได้แก่ ทางเลือด การบาดเจ็บ ประจำเดือน การเจาะเลือด) เหงื่อ ลมหายใจ น้ำตา น้ำลาย ผม และผิวหนัง โดยส่วนใหญ่แล้วการสูญเสียจากช่องทางดังกล่าวมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและสามารถวัดได้ยาก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกาย บริโภคที่ผ่านมามีการค้นพบประโยชน์ของแร่ธาตุซิลิกอนพบว่าส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเฉพาะปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายเราดูดซึมและขับออกทางปัสสาวะดังนี้

Bellia, Birchall, and Roberts (1994 : 235) ทำการศึกษาผลการดื่มเบียร์ที่มีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ 16.8 0 กรัม ต่อการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุซิลิกอนในอาสาสมัครจำนวน 6 คน พบว่าความเข้มข้นของพลาสมาซิลิกอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายใน 1 ชั่วโมงหลังการบริโภค และร้อยละ 42 .00-75.00 ของแร่ธาตุซิลิกอนถูกขับออกทางปัสสาวะ โดยขับออกสูงสุดในช่วง 8 ชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภค

Calomme, et al. (1998 : 228) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนจาก ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหลายๆ ประเภท ในอาสาสมัครอายุระหว่าง 22-34 ปี จำนวน 14 คน เป็นชาย 6 คน หญิง 8 คน โดยแต่ละ การทดสอบ ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร จะมีช่วงเวลาหยุดพัก 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าซีรัมซิลิกอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติตั้งแต่ชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภค สตาบิไลซอร์โรซิลิกแอซิด (54.00 ± 19.00 ไมโครกรัม/ลิตร) 4 ชั่วโมงภายหลังการบริโภค สารละลายควคุม (23.00 ± 11.00 ไมโครกรัม/ลิตร) เฮอร์บอลซิลิกา (37.00 ± 14.00 ไมโครกรัม/ลิตร) และ 8 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคซิลิกแอซิดในรูปคอลลอยด์ (36.00 ± 12.00 ไมโครกรัม/ลิตร) มีเพียงพื้นที่ได้กราฟความสัมพันธ์ของซีรัมซิลิกอนกับเวลาและระดับของแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะของสตาบิไลซอร์โรซิลิกแอซิดเท่านั้นที่แตกต่างจากสารละลายควคุม และพบความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟของซีรัมซิลิกอนกับความเข้มข้นของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ซึ่งบ่งบอกว่าแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคเข้าไปนั้นส่วนใหญ่ขับออกทางไต

Van Dyck, et al. (1999 : 541) ทำการศึกษา เกี่ยวกับความสามารถของร่างกายในการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนไปใช้ประโยชน์จากอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 3 ชนิด ใน อาสาสมัครหญิงที่มีสุขภาพดี จำนวน 1 คน อาสาสมัครบริโภคอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูงถึง 45.00 มิลลิกรัมเป็นเวลา 31 วัน ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารชนิดเม็ดจากหญ้าหางม้าอบแห้งหรือซิลิกาฟอสประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 23.00 มิลลิกรัม เป็นเวลา 7 วัน และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารซิลิกอนในรูปสารละลายโคลีนกลีเซอรอล หรือเรียกว่าไบโอซิล ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 10.00 มิลลิกรัม เป็นเวลา 7 วัน โดยให้บริโภคอาหารปกติเป็นเวลา 4-6 วันก่อนบริโภคอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารดังกล่าว และทำการวัดระดับของซีรัมซิลิกอนและแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภค ผลการศึกษาพบว่าภายหลังการบริโภคอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูง ระดับของซีรัมซิลิกอนและแร่ธาตุซิลิกอน ในปัสสาวะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอาหารปกติ ภายหลังการบริโภค ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารซิลิการะดับของซีรัมซิลิกอนไม่เพิ่มขึ้นแต่แร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ภายหลังการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารไบโอซิลทั้งระดับของซีรัมซิลิกอนและแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสปีชีส์ส่งผลต่อความสามารถของร่างกายในการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนไปใช้ประโยชน์

Reffitt, et al. (1999 : 144-145) ทำการศึกษาการดูดซึมและการขับซิริลิกแอซิดในอาสาสมัครอายุ 24-31 ปี จำนวน 5 คน เป็นเพศชาย 3 คน เพศหญิง 2 คน โดยให้บริโภคน้ำดื่มเสริมออร์โธซิริลิกแอซิด 0.60 ลิตร ที่มีความเข้มข้นของแร่ธาตุซิริลิกอน 55 .00 มิลลิกรัม/ลิตร และเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะก่อนและหลังการบริโภคเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุซิริลิกอน โดยใช้เครื่องไอซีพีโออีเอส (ICP-OES : Inductively coupled plasma–optical emission spectrometry) ผลการศึกษาพบว่า ภายหลังจากบริโภคน้ำดื่มเสริมออร์โธซิริลิกแอซิด ซิริลิกอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบระดับซิริลิกอนขึ้นสูงสุดในนาที่ที่ 60 และ 84 ภายหลังจากการบริโภค จากนั้นซิริลิกอนลดลงอย่างรวดเร็วสู่ค่าพื้นฐาน และพบพื้นที่ใต้กราฟของซิริลิกอนคิดเป็นร้อยละ 16.00 ± 6.00 ของปริมาณแร่ธาตุซิริลิกอนที่บริโภค โดยการประมาณค่าปริมาณพลาสมาเท่ากับ 2.46 ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับของแร่ธาตุซิริลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ภายหลังจากการบริโภค โดยพบระดับสูงสุดภายใน 8 ชั่วโมงหลังการบริโภค คิดเป็นร้อยละ 49.30 ± 15.20 ของปริมาณที่บริโภค และมีอัตราการของการขับแร่ธาตุซิริลิกอนทางปัสสาวะประมาณ 82.00-96.00 มิลลิกรัม/นาที่

Jugdaohsingh, et al. (2000 : 947) ได้ทำการศึกษาความสามารถของร่างกายในการดูดซึมแร่ธาตุซิริลิกอนไปใช้ประโยชน์จาก สารละลาย โอลิโกเมอร์ซิริลิกและโมโนเมอร์ซิริลิกในระบบทางเดินอาหารของอาสาสมัครชาย 3 คน และหญิง 2 คน โดยสัปดาห์แรกให้อาสาสมัครบริโภคสารละลายโอลิโกเมอร์ซิริลิก 0.60 ลิตร และในสัปดาห์ที่ 3 ให้อาสาสมัครบริโภคสารละลายโมโนเมอร์ซิริลิก 0.60 ลิตร ซึ่งสารละลายทั้งสองมีแร่ธาตุซิริลิกอนเป็นส่วนประกอบ 34.00 มิลลิกรัม ภายหลังจากการบริโภคผู้วิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะและเลือดเพื่อวิเคราะห์ หาปริมาณแร่ธาตุซิริลิกอนโดย เครื่องไอซีพีโออีเอส ผลการศึกษาพบว่าระดับของซิริลิกอนและแร่ธาตุซิริลิกอนในปัสสาวะไม่มีการเปลี่ยนภายหลังการบริโภคสารละลายโอลิโกเมอร์ซิริลิก ขณะที่ภายหลังการบริโภคสารละลายโมโนเมอร์ซิริลิก ระดับของซิริลิกอนและแร่ธาตุซิริลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าแร่ธาตุซิริลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นร้อยละ 53.20 ± 8.50 ของปริมาณที่บริโภค จะเห็นได้ว่าแร่ธาตุซิริลิกอนในรูปโอลิโกเมอร์ซิริลิกไม่สามารถถูกย่อยหรือดูดซึมได้ที่ระบบทางเดินอาหาร

Jugdaohsingh, et al. (2002 : 887-892) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนในอาสาสมัครชาย 4 คน หญิง 4 คน อายุเฉลี่ย 29.5 ± 7.40 ปี โดยทำการศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนสำหรับอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูง ได้แก่ ข้าวเจ้า ถั่วแขก ลูกเกด โดยเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะก่อนการบริโภคน้ำและภายใน 6 และ 9 ชั่วโมงภายหลังการบริโภค และศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนสำหรับอาหารที่เป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญสำหรับชาวอเมริกัน โดยการเก็บปัสสาวะก่อนและหลังการบริโภคน้ำอาหารดังกล่าวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าอาสาสมัครมีค่าซีรัมซิลิกอนพื้นฐาน 7.5 ± 3.10 ไมโครโมล/ลิตร และเพิ่มสูงกว่าค่าพื้นฐานภายหลังการบริโภคน้ำอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูง โดย ระดับของซีรัมซิลิกอน ขึ้นสูงถึงระดับสูงสุด 100-120 นาที่ภายหลังการบริโภค ทั้งนี้พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอนในช่วง 6 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำคิดเป็นร้อยละ 7.0 ± 1.70 ของปริมาณที่บริโภค นอกจากนี้ยังพบระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการบริโภคน้ำอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูง โดยปริมาณแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นใน 6 ชั่วโมงแรก คิดเป็นร้อยละ 38.2 ± 10.90 และ 3 ชั่วโมงหลังคิดเป็นร้อยละ 4.7 ± 3.70 ของปริมาณแร่ธาตุที่บริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำอาหารที่เป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่สำคัญสำหรับชาวอเมริกันพบว่า ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.0 ± 34.00 หลังการบริโภคน้ำพืชและผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ได้แก่ ข้าว อาหารเข้าซีเรียล ขนมปังโฮลวีท พาสต้า และเพิ่มขึ้นร้อยละ 50.00-86.00 สำหรับน้ำแร่ ส่วนในผักผลไม้แร่ธาตุซิลิกอนถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้น้อยยกเว้น ถั่วแขกและลูกเกด และเป็นที่น่าแปลกใจว่ากล้วยซึ่งมีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนสูง (5.44 มิลลิกรัม/100.00 กรัม) ร่างกายสามารถถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ เพียงร้อยละ 2.10 ± 1.20 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากแร่ธาตุซิลิกอนในกล้วยอยู่ในรูปที่ไม่สามารถถูกดูดซึมมาใช้ประโยชน์ได้ หรืออาจถูกดูดซึมได้ช้า นั่นคือหลัง 6 ชั่วโมงของการบริโภค นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารกับระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ($r = 0.50$, $p \text{ value} = 0.01$)

Sripanyakorn, et al. (2004 : 406-407) ได้ทำการศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนในสารละลายออร์โทซิลิกแอซิดและเปียร์ ในอาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรง อายุเฉลี่ย 25.00 ± 7.00 ปี โดยให้บริโภคสารละลายออร์โทซิลิกแอซิด ที่ประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 21.50 มิลลิกรัม หรือเปียร์ที่ประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 22.5 0 มิลลิกรัม และเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะภายใน 6

ชั่วโมงหลังการบริโภค เพื่อวิเคราะห์ ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนด้วยเครื่องไอซีพีโออีเอส ผลการศึกษาพบว่าระดับซีรัมซิลิกอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการบริโภคสารละลายออร์โธซิลิกแอซิด และเปียร์ โดยพบค่าสูงสุดของซีรัมซิลิกอน 613.00 ± 95.00 ไมโครกรัม/ลิตร ที่ 1 ชั่วโมงหลังการบริโภคสารละลายออร์โธซิลิกแอซิด และ 713.00 ± 121.00 ไมโครกรัม/ลิตร ที่ 1.5 ชั่วโมงหลังการบริโภคเปียร์ และพบแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นร้อยละ 44.90 ± 9.40 ภายหลังการบริโภคสารละลายออร์โธซิลิกแอซิด และร้อยละ 55.00 ± 9.70 ภายหลังการบริโภคเปียร์ ซึ่งสูงกว่าสารละลายออร์โธซิลิกแอซิด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของแอลกอฮอล์ต่อการเพิ่มปริมาณปัสสาวะภายหลังการบริโภคเปียร์ งานวิจัยเรื่องนี้แสดงให้เห็นว่าแร่ธาตุซิลิกอนในเปียร์สามารถถูกดูดซึมได้ที่ระบบทางเดินอาหารและอยู่ในรูปของโมโนเมอร์

Sripanyakorn, et al. (2009 : 825-829) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และยา ในอาสาสมัคร อายุระหว่าง 19-40 ปี จำนวน 32 คน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มบริโภคอาหารหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 2 ชนิด แต่ละชนิดเว้นระยะห่าง 1 สัปดาห์ กลุ่มแรกถูกสุ่มให้บริโภคสารละลายออร์โธซิลิกแอซิด (21.50 มิลลิกรัม ซิลิกอน) หรือ เครื่องดื่มเปียร์ปราศจากแอลกอฮอล์ (22.90 มิลลิกรัม ซิลิกอน) 0.66 ลิตร กลุ่มสองถูกสุ่มให้บริโภคกล้วย (13.60 มิลลิกรัม ซิลิกอน) หรือถั่วแขกต้ม (26.10 มิลลิกรัม ซิลิกอน) 0.25 กิโลกรัม กลุ่มสามถูกสุ่มให้บริโภคสารละลายโคลีนออร์โธซิลิกแอซิด (20.00 มิลลิกรัม ซิลิกอน) ในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 0.20 ลิตร หรือ แมกนีเซียมไตรซิลิเกต ปีพี (200.00 มิลลิกรัม ซิลิกอน) 12.40 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ให้ครบ 0.20 ลิตร และกลุ่มสุดท้ายถูกสุ่มให้บริโภคสารละลายโมโนเมติลไฮเลนไดรอล (6.90 มิลลิกรัม ซิลิกอน) หรือ คอลลอยด์ ซิลิกา (0.78 กรัม ซิลิกอน) 60.00 มิลลิลิตร โดยสารละลายทดสอบ 4 ชนิดสุดท้ายให้ตามขนาดสูงสุดที่แนะนำให้บริโภค ผลการศึกษาพบว่าซีรัมซิลิกอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการบริโภคสารละลายออร์โธซิลิกแอซิด (p value < 0.0001) เปียร์ปราศจากแอลกอฮอล์ (p value < 0.0001) ถั่วแขกต้ม (p value = 0.04) สารละลายโคลีนออร์โธซิลิกแอซิด (p value < 0.0001) แมกนีเซียมไตรซิลิเกต ปีพี (p value < 0.0001) สารละลายโมโนเมติลไฮเลนไดรอล (p value < 0.0001) และ คอลลอยด์ ซิลิกา (p value < 0.0001) โดยพบระดับสูงสุดภายในครึ่งชั่วโมงหลังการบริโภค สารละลายโมโนเมติลไฮเลนไดรอลและถั่วแขก 1.5 ชั่วโมงหลังการบริโภค

สารละลายออร์โทซิลิสิกแอซิดและเบียร์ปราศจากแอลกอฮอล์ 2 ชั่วโมงหลังการบริโภคสารละลาย โคลินออร์โทซิลิสิกแอซิดและคอลลอยด์ล ซิลิกา และ 4 ชั่วโมงหลังการบริโภคแมกนีเซียมไตรซิลิเกต ปีพี ทั้งนี้ระดับซีรัมซิลิกอนยังคงสูงที่ 6 ชั่วโมงหลัง การบริโภคคอลลอยด์ล ซิลิกา และแมกนีเซียม ไตรซิลิเกต ปีพี นอกจากนี้ระดับแร่ธาตุ ซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการ บริโภคอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและยาทุกตัวยกเว้นกล้วย คิดเป็นร้อยละ 64.00 ± 5.30 หลัง การบริโภคสารละลายโมโนเมตริลไซเลนไดรอล ร้อยละ 60.10 ± 0.80 หลังการบริโภคเครื่องดื่ม เบียร์ปราศจากแอลกอฮอล์ ร้อยละ 43.60 ± 14.90 หลังการบริโภคถั่วแขกต้ม ร้อยละ 43.10 ± 3.90 หลังการบริโภคสารละลายออร์โทซิลิสิกแอซิด ร้อยละ 16.50 ± 6.70 หลังการบริโภค สารละลายโคลินออร์โทซิลิสิกแอซิด และร้อยละ 3.70 ± 0.60 ภายหลังการบริโภคแมกนีเซียมไตร ซิลิเกต ปีพี และพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารและผลิตภัณฑ์ที่ บริโภคกับพื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอน ($r = 0.82$, $p \text{ value} < 0.0001$)

Li, et al. (2010 : 44) ทำการศึกษาการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนจากน้ำบาดาล ใน อาสาสมัครหญิงหลังหมดประจำเดือน จำนวน 17 คน โดยสุ่มให้บริโภคน้ำกลั่นที่มีแร่ธาตุซิลิกอน ปริมาณต่ำ หรือน้ำบาดาลที่มีแร่ธาตุซิลิกอนสูง (86.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซิลิกา/วัน) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่บริโภค น้ำบาดาล ดังนั้นน้ำดื่มขูดจากน้ำบาดาลจึงถือเป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่เราสามารถบริโภคได้อีก แหล่งหนึ่ง

Jugdaohsingh, Sripanyakorn, and Powell (2013 : 1024) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซึมและการขับแร่ธาตุซิลิกอนระหว่างอาสาสมัครชายหนุ่มและชายอาวุโส และระหว่าง อาสาสมัครหญิงวัยเจริญพันธุ์และหญิงวัยหมดประจำเดือน จำนวนทั้งสิ้น 26 คน ภายหลังการ บริโภคสารละลายออร์โทซิลิสิกแอซิด ซึ่งมีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ 17.40 มิลลิกรัม โดยทำ การเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะก่อนและหลังการบริโภคเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และวิเคราะห์ระดับ แร่ธาตุซิลิกอนด้วยเครื่องไอซีพีโออีเอส ผลการศึกษาพบว่าค่าพื้นฐานซีรัมซิลิกอนและระดับแร่ธาตุ ซิลิกอนในปัสสาวะของอาสาสมัครอาวุโส (51-66 ปี) มีค่าสูงกว่าอาสาสมัครหนุ่มสาว (20-47 ปี) แต่ไม่พบความแตกต่างของการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน อัตราการกำจัดแร่ธาตุซิลิกอนจากซีรัม และ การขับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอน

ณ ชั่วโมงที่ 6 หลังการบริโภคในกลุ่มอาวุโสสูงกว่ากลุ่มหนุ่มสาว และมีค่าเฉลี่ยการขับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะภายหลังการบริโภค คิดเป็นร้อยละ 45.00 ของปริมาณที่บริโภค

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่เป็นงานที่ ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซึมและการขับแร่ธาตุซิลิกอนออกจากปัสสาวะ มีงานวิจัยเพียงเรื่องเดียวที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกจากปัสสาวะและอุจจาระซึ่งได้ทำการศึกษาเมื่อ 35 ปีที่แล้ว อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาผลของใยอาหารต่อสมดุลของแร่ธาตุ ได้แก่ งานวิจัยของ Kelsay, et al. (1979 : 1876) ที่ทำการศึกษาผลของใยอาหารจากผักและผลไม้ต่อสมดุลของแร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และซิลิกอน ในอาสาสมัครชาย อายุระหว่าง 37-58 ปี จำนวนกลุ่มละ 6 คน กลุ่มแรกบริโภคอาหารที่มีใยอาหารปริมาณสูง และกลุ่มที่สองบริโภคอาหารที่มีใยอาหารปริมาณต่ำเป็นระยะเวลา 26 วัน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่กลุ่มใยอาหารสูงบริโภคมี ปริมาณมากเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มใยอาหารต่ำ ร้อยละ 58.00 และ 60.00 ของแร่ธาตุซิลิกอนถูกขับออกจากปัสสาวะ และอุจจาระ ในกลุ่มใยอาหารต่ำตามลำดับ และร้อยละ 35.00 และ 97.00 ของแร่ธาตุซิลิกอนถูกขับออกจากปัสสาวะ และอุจจาระ ในกลุ่มใยอาหารสูงตามลำดับ โดยมี ค่าเฉลี่ยของสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนติดลบทั้งสองกลุ่ม ทั้งนี้กลุ่มใยอาหารสูงมีสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนติดลบมากกว่ากลุ่มใยอาหารต่ำ

นอกจากนี้ยังไม่มียานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนส่วนที่เหลือภายหลังจากการดูดซึมและขับแร่ธาตุซิลิกอนออกจากร่างกายจะไปไหน ซึ่งอาจจะถูกเก็บไว้ในเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย หรืออาจจะถูกดูดซึมซ้ำ จากการวิจัยในสัตว์ทดลองพบว่า หลังการฉีดซิลิกอนไอโซโทป-31 ให้หนูทดลอง จะพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนจะถูกขับออกจากปัสสาวะร้อยละ 77 .00 และมีบางส่วนกระจายอยู่ตามอวัยวะต่างๆ ได้แก่ ไต ตับ ปอด หัวใจ ผิวหนัง กล้ามเนื้อ และอวัยวะ (Jugdohsingh, 2007 : 104) รวมทั้งการศึกษาวิจัยในคนโดยให้บริโภคซิลิกอนไอโซโทป-32 ที่มีค่าครึ่งชีวิตหรือค่าที่บ่งบอกระยะเวลาที่ระดับไอโซโทปลดลงไปครึ่งหนึ่ง 150 ปี ในอาสาสมัครชาย อายุ 59 ปี โดยใส่ลงในน้ำดื่ม 0.10 ลิตรและให้อาสาสมัครบริโภค และทำการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนในซีรัมและปัสสาวะเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า การดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนเกิดขึ้นภายใน 2 ชั่วโมงหลังการบริโภค และร้อยละ 36 .00 ของแร่ธาตุซิลิกอนถูกขับออกจากปัสสาวะ โดยร้อยละ 90.00 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออก จะถูกขับออกภายใน 2.7 ชั่วโมง

หลังการบริโภค ส่วนที่เหลือร้อยละ 10 .00 ถูกขับออกภายใน 1.3 ชั่วโมงหลังการบริโภค ทั้งนี้ แร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกขับออกอย่างรวดเร็วในช่วงแรกอาจเป็นแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกเก็บไว้นอกเซลล์ ขณะที่แร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกขับออกช้าช่วงหลังอาจเป็นแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกดูดซึมและนำเข้าไปในเซลล์ก่อนขับออก อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบว่าปริมาณที่เหลือมีการคงอยู่ตามเซลล์ต่างๆ หรือไม่ และไม่มีการวัดปริมาณของแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกขับออกทางอุจจาระ (Popplewell, et al., 1998 : 177) นอกจากนี้การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า ถ้าร่างกายอยู่ในภาวะที่ขาดแร่ธาตุซิลิกอน ร่างกายจะมีการลดปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะเพื่อกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนไว้ในเนื้อเยื่อ (Jugdohsingh, et al., 2008 : 596) เช่นเดียวกับที่เกิดในแร่ธาตุแคลเซียม (นัยนา บุญทวีวัฒน์ , 2553 : 273)

ดังนั้นเพื่อเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับแร่ธาตุซิลิกอนและเพิ่มหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของแร่ธาตุซิลิกอนในคน จึงควรมีการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้ไอโซโทป ภายหลังการบริโภคอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำ เพื่อพิสูจน์การกักเก็บแร่ธาตุในเซลล์ภายหลังการบริโภค และพิสูจน์ว่าปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคถูกดูดซึมที่ระบบทางเดินอาหารนั้นไปแทนที่แร่ธาตุซิลิกอนในเซลล์บางส่วนหรือไม่ หรือเพียงแค่ไหลผ่านระบบทางเดินอาหารเท่านั้น อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้ววิธีการศึกษาสมดุลของสารต่างๆ โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารที่ขับออกทางอุจจาระและปัสสาวะ กับปริมาณสารที่บริโภคถือเป็นวิธีที่ยุ่งยาก (Baer, et al., 1999 : 242) และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงควรมีการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายได้รับ เพื่อทราบความแปรปรวนของสมดุลแร่ธาตุซิลิกอนก่อนที่จะมีการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้ไอโซโทป ซึ่งทำให้ทราบถึงความสามารถในการกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนของร่างกายมนุษย์ภายหลังการบริโภค แร่ธาตุซิลิกอนและการสะสมของแร่ธาตุซิลิกอนในเซลล์ รวมทั้งอาจช่วยอธิบายถึงบทบาทและความเป็นพิษของแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายมนุษย์ต่อไป

บทที่ 3

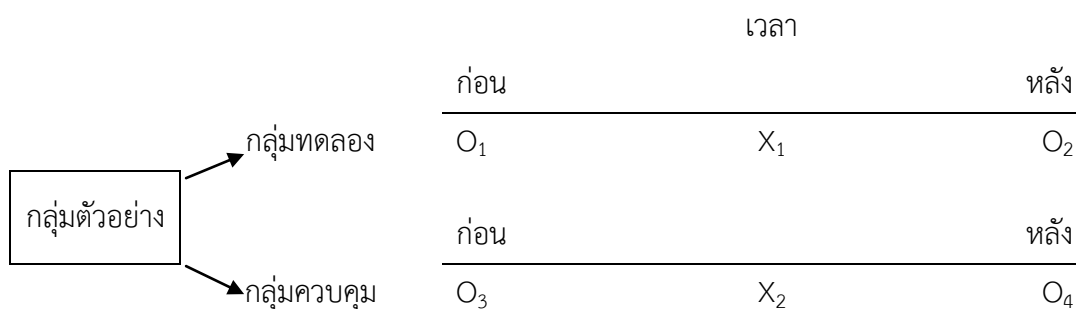
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา สมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบ กับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนดำเนินการ วิจัย เป็นลำดับดังนี้

- 3.1 รูปแบบการวิจัย
- 3.2 อาสาสมัครที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
- 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย
- 3.5 การวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน
- 3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองแบบมีกลุ่มขนาน (Parallel groups design) โดยผู้วิจัยแบ่งกลุ่มอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 6 คน โดยแต่ละกลุ่มจะมีสัดส่วนของจำนวนเพศชายและหญิงที่เท่ากัน มีอายุและค่าดัชนีมวลกายที่ใกล้เคียงกัน กลุ่มแรกจะถูกสุ่มให้บริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เรียกว่ากลุ่มควบคุม (Control group) ส่วนกลุ่มสองจะถูกสุ่มให้ได้รับ น้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในรูปออร์โทซิลิสิกแอซิด ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม โดยกลุ่มนี้เรียกว่ากลุ่มทดลอง (Experimental group) โดยทั้งสองกลุ่มได้รับอาหารที่ปรับให้เป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดระยะเวลาการเข้าร่วมการทดลอง และมีแบบแผนการวิจัยดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิการทดลอง

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

O₁ หมายถึง การวัดระดับซีรัมซิริโคนก่อนเริ่มการทดลอง การวัดแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะชั่วโมงที่ 0-12 และ 12-24 ก่อนการทดลอง และการวัดแร่ธาตุซิริโคนในอุจจาระชั่วโมงที่ 0-24 ก่อนการทดลองในกลุ่มทดลอง

O₂ หมายถึง การวัดระดับซีรัมซิริโคนชั่วโมงที่ 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 24 และ 48 หลังการทดลอง การวัดแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะชั่วโมงที่ 0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-24, 24-36 และ 36-48 หลังการทดลอง และการวัดแร่ธาตุซิริโคนในอุจจาระชั่วโมงที่ 0-24 และ 24-48 หลังการทดลองในกลุ่มทดลอง

O₃ หมายถึง การวัดระดับซีรัมซิริโคนก่อนเริ่มการทดลอง การวัดแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะชั่วโมงที่ 0-12 และ 12-24 ก่อนการทดลอง และการวัดแร่ธาตุซิริโคนในอุจจาระชั่วโมงที่ 0-24 ก่อนการทดลองในกลุ่มควบคุม

O₄ หมายถึง การวัดระดับซีรัมซิริโคนชั่วโมงที่ 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 24 และ 48 หลังการทดลอง การวัดแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะชั่วโมงที่ 0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-24, 24-36 และ 36-48 หลังการทดลอง และการวัดแร่ธาตุซิริโคนในอุจจาระชั่วโมงที่ 0-24 และ 24-48 หลังการทดลองในกลุ่มควบคุม

X₁ หมายถึง การให้น้ำ กลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิริโคน 28.89 มิลลิกรัม จำนวน 0.50 ลิตร ในรูปของออร์โทซิลิสิกแอซิด ในกลุ่มทดลอง

X₂ หมายถึง การให้น้ำ กลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 0.50 ลิตร ในกลุ่มควบคุม

3.2 อาสาสมัครที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ลักษณะของอาสาสมัคร

อาสาสมัครที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีคุณสมบัติดังนี้

3. 2.1.1 เป็นบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรง มีอายุระหว่าง 18-23 ปี
3. 2.1.2 มีภาวะการทำงานของไตปกติ โดยประเมินการทำงานของไตจากการวัดค่าระดับซีรัมครีเอตินีน (Serum creatinine) ค่าปกติในเพศชายอยู่ระหว่าง 0.90-1.30 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เพศหญิง 0.60-1.10 มิลลิกรัม/เดซิลิตร
3. 2.1.3 ไม่ใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ เช่น สารสกัดจากต้นฮอสเซเทล (Horsetail) หรือหญ้าหางม้า ซิลิกาคอมเพล็กซ์ (Silica complex) ไบโอซิล (Biosil) เป็นต้น
3. 2.1.4 ไม่ใช้ยาที่มีแร่ธาตุซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ ยาแก้โรคกระดูก เช่น แมกนีเซียมไตรซิลิเกต อลูมิเนียมไตรซิลิเกต เป็นต้น ยาแก้ท้องเสีย ได้แก่ แมกนีเซียมซิลิเกต อลูมิเนียมซิลิเกต เป็นต้น
3. 2.1.5 ไม่มีโรคประจำตัว หรือประวัติการเจ็บป่วยเรื้อรัง
3. 2.1.6 ถ้าเป็นเพศหญิงต้องไม่ตั้งครรภ์ หรืออยู่ระหว่างการให้นมบุตร และต้องอยู่ในช่วงครึ่งแรกของรอบเดือนที่มีระดับฮอร์โมนเพศหญิงต่ำ เพื่อป้องกันผลของฮอร์โมนที่อาจส่งผลต่อการดูดซึมและขับแร่ธาตุซิลิกอน (Macdonald, et al., 2012 : 681)
3. 2.1.7 ยินดีให้ความร่วมมือในการวิจัย

3. 2.2 จำนวนอาสาสมัคร

การคำนวณ จำนวน กลุ่ม อาสาสมัครที่ใช้ในงานวิจัย ครั้งนี้ ผู้วิจัย ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab 16 (Minitab Inc. (trial version) , State College, PA, USA) ในการคำนวณจำนวนตัวอย่าง สำหรับการศึกษาความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างสองกลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) เท่ากับ 90% ความนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance) ที่ระดับ 0.05 ความแปรปรวนที่ใช้ในการคำนวณครั้งนี้ใช้

ความแปรปรวนของข้อมูลการขับแร่ธาตุทางปัสสาวะ เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการศึกษา เกี่ยวกับการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน (Jugdaohsingh, et al., 2002 : 892) โดยกำหนดค่าความแปรปรวนของการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Sripanyakorn, et al., 2004 : 406) เท่ากับ ร้อยละ 9.40 และกำหนดค่าความแตกต่างของร้อยละของการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน เท่ากับ 20 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างสำหรับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมอย่างน้อยกลุ่มละ 6 ราย

3.2.3 ขั้นตอนการคัดเลือกกลุ่มอาสาสมัคร

3.2.3.1 ภายหลังโครงการผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ผู้วิจัยประชาสัมพันธ์เชิญชวนอาสาสมัครที่สนใจเข้าร่วมโครงการ ผ่านบอร์ดประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย และทำการคัดเลือกอาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรงดี ตามเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น จำนวน 14 คน เป็นชาย 7 คน หญิง 7 คน มีอายุอยู่ระหว่าง 18-23 ปี อย่างไรก็ตามภายหลังการเข้าร่วมโครงการอาสาสมัครจำนวน 2 คน ถอนตัวจากการเข้าร่วมโครงการเนื่องจากเป็นลมในช่วงการเก็บตัวอย่างเลือด

3.2.3.2 ผู้วิจัยชี้แจงและให้เอกสารแก่อาสาสมัคร เพื่ออธิบายอาสาสมัครถึงขั้นตอนการเข้าร่วมและรายละเอียดที่อาสาสมัครต้องทำในระหว่างเข้าร่วมโครงการ ประโยชน์หรือผลที่จะได้รับจากการมีส่วนร่วมในงานวิจัย และเปิดโอกาสให้ อาสาสมัครซักถามและทำความเข้าใจก่อนเข้าร่วมโครงการ รายละเอียดดังภาคผนวก ก

3.2.3.3 อาสาสมัครลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการ ตามเอกสารดังภาคผนวก ข ทั้งนี้อาสาสมัครสามารถบอกเลิกการเข้าร่วมโครงการได้ทุกเมื่อ โดยไม่ต้องชี้แจงเหตุผลให้ผู้วิจัยทราบ

3.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุเครื่องแก้วตลอดการศึกษา เพื่อป้องกันการปนเปื้อนแร่ธาตุซิลิกอน (Sripanyakorn, et al., 2004 : 82) โดยมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ดังนี้

3.3.1 น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Ultra high purify water: UHP water) จากบริษัทแลบสแกน เอเชีย จำกัด (Labscan Asia Co., Limited) กรุงเทพมหานคร

3.3.2 สารละลายโซเดียมซิลิเกต เตรียมโดยศาสตราจารย์ ดร. สตีเฟน คินเรต์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเลคเฮด ประเทศแคนาดา

3.3.3 สารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน (1.00 กรัม/ลิตร ซิลิกอน) จากบริษัทเมอร์คจำกัด (Merck Limited) เมืองฟูล สหราชอาณาจักร

3.3.4 กรดไนตริก (65% (w/v) HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (37%) เกรดงานวิเคราะห์ (Analytical grade: A.R. grade) จากอาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด (RCI Labscan Limited) กรุงเทพมหานคร

3.3.5 หลอดโพลีพรอปไพลีน ขนาด 15.00 มิลลิลิตร และ 50.00 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างเลือด ซีรัม ปัสสาวะ และอุจจาระ จากอัลเกย์ แลบบอราทอรี โปรดักต์ จำกัด (Elkey Laboratory Products (UK) Limited) เมืองเบซิงส์โตรค สหราชอาณาจักร

3.3.6 ขวดโพลีพรอปไพลีน ขนาด 30.00 มิลลิลิตร และ 2.00 ลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างปัสสาวะ จากวิตีบิวอาร์ อินเตอร์เนชั่นแนล (VWR International) เมืองฟูล สหราชอาณาจักร

3.3.7 เข็มที่ใช้แทงหลอดเลือดดำส่วนปลายเพื่อเก็บตัวอย่างเลือด ขนาด 1.20 x 45.00 มิลลิเมตร และกระบอกฉีดยา ขนาด 10.00 มิลลิลิตร สำหรับเก็บตัวอย่างเลือด มาจากบริษัทนิโปร จำกัด (Nipro Corporation Limited) พระนครศรีอยุธยา

3.3.8 ปีเปตสเทอไรล์ ขนาด 3.50 มิลลิเมตร ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างซีรัม ปัสสาวะและอุจจาระที่ผ่านการย่อย จากไกรเนอร์ ไบโอวัน จำกัด (Greiner Bio-One Limited) เมืองสโตนเฮาส์ สหราชอาณาจักร

3.3.9 ปีเปตทูป ขนาด 0.10 ถึง 1.00 มิลลิลิตร มาจากบริษัทไฮคอน ไบโอเม็ด (Hycon Biomed Corporation Limited) กรุงเทพมหานคร

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้ดำเนินการตามแนวทางจริยธรรมการทำวิจัยในคนตามหลักสากลของปฏิญญาเฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) และผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนของมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.4.1 การเตรียมน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

ผู้วิจัยจัดเตรียมน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน ในรูปของออร์โธซิลิสิกแอซิด 0.50 ลิตร ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม ในเช้าวันทดลองก่อนให้อาสาสมัคร บริโภค โดยการเจือจาง สารละลายโซเดียมซิลิเกต (1.58 โมล ซิลิกอน/ลิตร หรือ 45.72 กรัม ซิลิกอน/ลิตร) ลงในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ให้ความเข้มข้นของน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน ที่ 2.06 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 57.78 มิลลิกรัม/ลิตร และปรับสภาพให้เป็นกลางที่ระดับ pH 7.20 ด้วย กรดไฮโดรคลอริก ทั้งนี้ค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุ ซิลิกอนดังกล่าวนี้ผู้วิจัยได้ยืนยันโดยการวัด ด้วย เครื่องไอซีพีโออีเอส

3.4.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3.4.2.1 หนึ่งวันก่อนการทดลอง ผู้วิจัยให้อาสาสมัครเก็บปัสสาวะทุก 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บอุจจาระ 24 ชั่วโมง ลงในภาชนะที่ผู้วิจัยจัดให้ เพื่อเป็นค่าพื้นฐานของ ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะและอุจจาระก่อนดำเนินการวิจัย

3.4.2.2 ผู้วิจัยให้อาสาสมัครงดน้ำดื่มและอาหารเป็นเวลา 22.00 น. ในคืนวันก่อนการ ทดลอง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแร่ธาตุซิลิกอนจากอาหารที่บริโภคในวันก่อนการทดลอง

3.4.2.3 วันแรกของการทดลอง ผู้วิจัยนัดหมายให้อาสาสมัครมาที่ห้องพยาบาล อาคารวิซญาการ ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย เวลา 08.00 น. โดยผู้วิจัยให้อาสาสมัครไป ปัสสาวะและถ่ายอุจจาระครั้งสุดท้ายและเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1 ก่อนเริ่มดำเนินการ วิจัย จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง และ พยาบาลวิชาชีพทำการ แหวงเข็มที่หลอดเลือดดำ ส่วนปลายเพื่อสอดใส่หลอดเลือดสวนคาไว้ที่หลอดเลือดสำหรับเก็บตัวอย่างเลือดและไม่ให้อาสาสมัคร ต้องเจ็บหลายครั้ง

3.4.2.4 พยาบาลวิชาชีพทำการเก็บตัวอย่างเลือด 10.00 ซีซี จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างห่างกัน 5 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าพื้นฐานของระดับ ซีรัม ซิลิกอน

3.4.2.5 ภายหลังเก็บตัวอย่างเลือดดังกล่าว อาสาสมัครกลุ่มควบคุมจะได้รับน้ำ กลั่นบริสุทธิ์ 0.50 ลิตร และอาสาสมัครกลุ่มทดลองจะได้รับน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน

0.50 ลิตร โดยผู้วิจัยกำหนดให้อาสาสมัครบริโภคให้หมดเร็วที่สุด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10 ถึง 15 นาที

3.4.2.6 ภายหลังจากการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน พยาบาลวิชาชีพทำการเก็บตัวอย่างเลือด 10.00 มิลลิลิตร ทุก 30 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้น ทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และที่ชั่วโมงที่ 9, 12, 24, และ 48

3.4.2.7 นอกจากนี้ภายหลังจากการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน อาสาสมัครจะต้องเก็บปัสสาวะและอุจจาระ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ดังนี้

1) ในการเก็บปัสสาวะ อาสาสมัครจะเก็บปัสสาวะใส่ในภาชนะที่ทราบ น้ำหนักที่ผู้วิจัยจัดให้ ทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ได้แก่ 08.00-11.00 น., 11.00-14.00 น., 14.00-17.00 น. และ 17.00-20.00 น.) จากนั้นทุก 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ได้แก่ 20.00 น. วันแรกของการทดลอง ถึง 08.00 น. วันที่สองของการทดลอง, 08.00 น. วันที่สองของการทดลอง ถึง 20.00 น. วันที่สองของการทดลอง, 20.00 น. วันที่สองของการทดลอง ถึง 08.00 น. วันที่สามของการทดลอง) โดยเพศหญิงจะมีภาชนะให้ปัสสาวะใส่ก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่าง

2) ในการเก็บอุจจาระ อาสาสมัคร จะเก็บใส่ในภาชนะที่จัดให้ ทุก 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ได้แก่ 08.00 น. วันแรกของการทดลอง ถึง 08.00 น. วันที่สองของการทดลอง, 08.00 น. วันที่สองของการทดลอง ถึง 08.00 น. วันที่สามของการทดลอง)

3.4.3 อาหารมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง

ตลอดระยะที่อาสาสมัครเข้าร่วมการทดลอง อาสาสมัครทั้ง 12 คน จะได้รับอาหาร ชนิดเดียวกันทั้งมื้อเช้า กลางวัน และเย็น ทั้งวันก่อนการทดลอง วันแรกและวันที่สองของการทดลอง โดยกำหนดให้อาสาสมัครทั้งชายและหญิงได้รับ อาหารชนิดเดียวกันในแต่ละมื้อ เพื่อให้ได้ ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารบริโภคเท่ากัน นอกจากนี้การควบคุมประเภทและชนิดของอาหาร มาตรฐานในระหว่างที่อยู่ในช่วงการทดลองยังเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาในการวิเคราะห์ ตัวอย่างอุจจาระ (เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ , 2553 : 40) โดยปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารดังกล่าว คำนวณจากค่าอ้างอิงจากงานวิจัยของ Pennington (1991 : 97-118) และ Powell, et al. (2005 : 804-812) และจากการวิเคราะห์ในห้องทดลอง (น้ำดื่ม) ซึ่งพบว่ามีค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนเท่ากับ 24.02 ± 0.23 มิลลิกรัม/วัน ตลอดทั้งการทดลองดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน¹ ในอาหาร ที่อาสาสมัครได้รับตลอดการทดลอง

มื้ออาหาร	รายการอาหาร	วันก่อนการทดลอง ³	วันแรกของการทดลอง	วันที่สองของการทดลอง
เช้า	ข้าวผัดหมู/ไก่ น้ำส้มคั้น น้ำดื่ม ²	6.78	7.70	7.34
กลางวัน	ข้าวมันไก่ น้ำดื่ม ² โยเกิร์ต เค้ก	7.59	7.33	9.01
เย็น	ข้าวผัดคะน้าหมู/ไก่ เมลลอน น้ำดื่ม ²	9.93	7.43	7.97
	รวมปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนใน 1 วัน	24.29	23.86	23.91

¹ คำนวณจากค่าอ้างอิง Pennington (1991 : 97-118) และ Powell, et al. (2005 : 804-812)

² วิเคราะห์โดยไอซีพีโออีเอส ได้ความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอน 0.67 มิลลิกรัม ซิลิกอน/ลิตร

³ วันก่อนการทดลองเป็นค่าพื้นฐานซึ่งดำเนินการ 24 ชั่วโมงก่อนบริโภคน้ำกลั่นเสริมแร่ธาตุซิลิกอน

รายละเอียดของอาหารที่บริโภคตลอดช่วงเวลาที่เข้าร่วมการทดลองสำหรับอาหารเช้าที่บริโภค ได้แก่ ข้าวผัดหมู หรือไก่ น้ำส้มคั้น และน้ำดื่ม มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ระหว่าง 6.78–7.70 มิลลิกรัม โดยอาสาสมัครบริโภคเวลาประมาณ 08.00 น. ในวันก่อนการทดลองและวันที่สองของการทดลอง และประมาณ 12.30 น. ในวันแรกของการทดลอง อาหารกลางวันที่บริโภค ได้แก่ ข้าวมันไก่ น้ำดื่ม โยเกิร์ต และเค้ก มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ระหว่าง 7.33-9.01 มิลลิกรัม โดยอาสาสมัครบริโภคเวลาประมาณ 12.30 น. ในวันก่อนการทดลองและวันที่สองของการทดลอง และประมาณ 16.30 น. ในวันแรกของการทดลอง และอาหารเย็น ได้แก่ ข้าวผัดคะน้าหมูหรือไก่ เมลลอน และน้ำดื่ม มีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ระหว่าง 7.43-9.93 มิลลิกรัม โดยอาสาสมัครบริโภคเวลาประมาณ 18.30 น. ในวันก่อนการทดลองและวันที่สองของการทดลอง และประมาณ 20.30 น. ในวันแรกของการทดลอง ทั้งนี้ในวันแรกของการทดลองอาสาสมัครบริโภคอาหารเช้า กลางวัน และเย็น ซ้ำกว่าปกติ เนื่องจากต้องบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่

เสริมแร่ธาตุซิลิกอน โดยได้รับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในวันแรกของการทดลอง 23.86 มิลลิกรัม ดังตารางที่ 3.1

3.4.4 การเก็บตัวอย่างการทดลอง

3.4.4.1 การเก็บตัวอย่างซีรัม ภายหลังการเก็บตัวอย่างเลือด จากอาสาสมัครใส่ในหลอดโพลีพรอปไพลีน ผู้วิจัยตั้งหลอดเลือดทิ้งไว้อย่างน้อยประมาณ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เลือดแข็งตัว (Clotted blood) จากนั้นนำตัวอย่างเลือดไปปั่นแยกซีรัมโดยเครื่องปั่น (Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Germany) ที่ 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที และผู้วิจัยทำการแยกซีรัมใส่หลอดโพลีพรอปไพลีนหลอดใหม่ ส่วนหลอดเลือดที่ซีรัมแยกตัวไม่สมบูรณ์ผู้วิจัยใช้ปิเปตเฉี่ยเบาๆ แล้วนำไปปั่นแยกอีกรอบ หลังจากนั้นจะทำการ เก็บรักษา ซีรัม ไว้ที่ห้องแช่แข็ง อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในซีรัม

3.4.4.2 การเก็บตัวอย่างปัสสาวะ ภายหลังเก็บตัวอย่างปัสสาวะผู้วิจัยทำการชั่งน้ำหนักและคำนวณ ปริมาณปัสสาวะโดยประมาณความหนาแน่นเท่ากับ 1.00 จากนั้นผู้วิจัยเขย่ากระป๋องปัสสาวะให้ตะกอนที่อยู่ก้นขึ้นมาแขวนลอยเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บตัวอย่างปัสสาวะดังกล่าวจำนวน 0.01 ลิตร ลงในขวดโพลีพรอปไพลีน และเจือจางด้วย กรดไนตริกแอซิดเข้มข้น 0.70% (v/v) ในอัตราส่วน 1.00 ต่อ 1.00 เพื่อลดอัตราการตกตะกอน ในช่วงการเก็บรักษา (Burden, Powell, and Thompson, 1995 : 259) และเก็บรักษาตัวอย่างปัสสาวะที่เจือจางดังกล่าว ไว้ในตู้เย็นที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ

3.4.4.3 การเก็บตัวอย่างอุจจาระ ผู้วิจัยมอบกระโถนที่ทราบน้ำหนักแก่อาสาสมัคร เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างอุจจาระ ภายหลังที่อาสาสมัครทำการเก็บตัวอย่างอุจจาระของตนเอง อาสาสมัครทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักของอุจจาระ จากนั้นทำการผสมอุจจาระให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ไม้พายไม้เล็กๆ คนให้เข้ากัน และเก็บตัวอย่างอุจจาระบางส่วนลงในขวดโพลีพรอปไพลีนขนาด 0.05 ลิตร และผู้วิจัยทำการเก็บรักษาตัวอย่างอุจจาระดังกล่าวไว้ให้ตู้แช่แข็งที่ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอาสาสมัครบางส่วนไม่สามารถขับอุจจาระได้ทุกวัน ในช่วงที่เข้าร่วมการทดลอง เนื่องจากถ่ายไม่ออก ผู้วิจัยจึงรายงานผลการวิจัยเฉพาะปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออก 24 ชั่วโมงแรก ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

3.5 การวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างซีรัม ปัสสาวะ และอุจจาระ

3.5.1.1 การเตรียมตัวอย่างซีรัม ก่อนทำการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนผู้วิจัยนำหลอดซีรัมที่แช่แข็งไว้มาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) จนซีรัมละลาย เขย่าซีรัมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องเขย่าสาร (MS-1, IKA works (ASLA), Sweden) จากนั้นผู้วิจัยทำการเจือจางซีรัมด้วยสารละลายกรดไนตริกแอซิดเข้มข้น 0.25% (v/v) ในอัตราส่วน 1.00 ต่อ 4.00 ส่วน โดยใช้ไมโครปิเปต (Jencons, United Kingdom) ในการดูดซีรัมที่เป็นเนื้อเดียวกัน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดโพลีพรอปไลีน และเติมกรดไนตริกแอซิดที่ระดับเข้มข้น 0.25 % (v/v) 4.00 มิลลิลิตรลงไป และเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยโดยใช้เครื่องเขย่าสาร

3.5.1.2. การเตรียมตัวอย่างปัสสาวะ ก่อนทำการวิเคราะห์ผู้วิจัยนำตัวอย่างปัสสาวะที่เจือจางแล้วใส่ในตู้อบ (ULE500, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน เพื่อละลายตะกอนที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเก็บรักษา (Burden, Powell, and Thompson, 1995 : 259) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ผู้วิจัยนำตัวอย่างปัสสาวะดังกล่าวตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) จนตัวอย่างปัสสาวะเย็นลง และทำการเขย่าตัวอย่างปัสสาวะให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนทำการวิเคราะห์

3.5.1.3 การเตรียมตัวอย่างอุจจาระ ก่อนทำการวิเคราะห์ผู้วิจัยนำตัวอย่างอุจจาระที่แช่แข็งไว้มาละลายที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) จากนั้นผู้วิจัยนำตัวอย่างอุจจาระไปชั่งตัวอย่างละ 0.25-0.50 กรัม ใส่ในหลอดโพลีพรอปไลีน เติมกรดไนตริกแอซิดเข้มข้น 65% (w/v) 5.00 มิลลิลิตร กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับเข้มข้น 30-40 % (v/v) 5.00 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งย่อยจนหมด หลังจากนั้นผู้วิจัยนำสารละลายตัวอย่างอุจจาระที่ย่อยแล้วจำนวน 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดโพลีพรอปไลีน แล้วเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 5.00 มิลลิลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากันดี และนำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอน

3.5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ผู้วิจัยทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานในการวัดระดับแร่ธาตุซิลิกอนให้มีเมทริกซ์ (Matrix) ที่เหมือนตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ดังนี้

3.5.2.1 สารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ซีรัมซิลิกอน ผู้วิจัยทำการเจือจางตัวอย่างซีรัมที่เก็บก่อนดำเนินการทดลองของอาสาสมัครทุกคนตามข้อ 3.5.1.1 จากนั้นนำมารวมเข้าด้วยกันในขวดโพลีพรอปไพลีน เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่าสาร และใช้ซีรัมที่เจือจางดังกล่าวในการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ซีรัมซิลิกอนที่ระดับความเข้มข้นความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.25 และ 0.50 มิลลิกรัม/ลิตร

3.5.2.2 สารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ผู้วิจัยนำตัวอย่างปัสสาวะที่เก็บก่อนดำเนินการทดลองของอาสาสมัครทุกคน จำนวนตัวอย่างละ 10.00 มิลลิลิตร ใส่รวมเข้าด้วยกันในขวดโพลีพรอปไพลีน นำมาเจือจางตามรายละเอียดในข้อ 3.4.4.2 และ 3.5.1.2 และใช้ตัวอย่างปัสสาวะที่ได้เจือจางดังกล่าวในการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะที่ระดับความเข้มข้นความเข้มข้น 0.00 , 1.00, 10.00 และ 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร

3.5.2.3 สารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ เนื่องจากผู้วิจัยทำการเจือจางตัวอย่างปัสสาวะที่ย่อยแล้วด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ผู้วิจัยจึงใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระที่ระดับความเข้มข้นความเข้มข้น 0.00, 1.00, 10.00 และ 20.00 มิลลิกรัม/ลิตร

3.5.3 การเตรียมสารละลายไร้สิ่งตัวอย่างหรือแบลงค์

ผู้วิจัยเตรียมสารละลายไร้สิ่งตัวอย่าง หรือเรียกว่า แบลงค์ (Blank) โดยใช้ น้ำกลั่นบริสุทธิ์และนำไปผ่านขบวนการเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ดังรายละเอียดในข้อ 3.4.4 และ 3.5.1 ตลอดจนใช้อุปกรณ์ชนิดเดียวกัน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ให้แน่ใจว่าผลการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอนที่เกิดขึ้นไม่มีการปนเปื้อนใดที่เกิดจากสารละลายหรือการปนเปื้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ แต่เกิดจากสิ่งที่เราต้องการศึกษา

3.5.4 เครื่องมือและสถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน

ภายหลังเก็บรวบรวมและเตรียมตัวอย่างครบทั้งหมด ตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์หาระดับ แร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้เครื่องไอซีพีโออีเอส (ICP-OES : Inductively couple plasma optical emission spectrometry, Perkin Elmer Optima model 2100 DV) ที่ความยาวคลื่น 256.611 นาโนเมตร โดยมีสถานะเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เนบิวไลเซอร์

แบบครอสโฟลว์ (Cross flow nebulizer) ถึงสเปรย์ของสารตัวอย่างแบบไซโคลน (Cyclonic spray chamber) อัตราการไหลของเนบิวไลเซอร์ ประมาณ 8.00 ลิตร/นาที่ พื้นที่ของพีค (Peak area) 7.70 พอยท์ ช่วงเวลาในการวิเคราะห์แร่ธาตุซิลิกอน ประมาณ 20 วินาทีต่อการวิเคราะห์ ตัวอย่าง 1 ครั้ง และอัตราการไหลของตัวอย่าง ประมาณ 2.00 มิลลิลิตร/นาที่ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอซีพีโออีเอส

สภาวะ	ค่าที่กำหนด
1. Nebulizer	Cross flow
2. Spray chamber	Cyclonic type
3. Nebulizer flow rate	0.80 l/min
4. Sample flow rate	2.00 ml/min
5. Integration times	20 seconds/analysis/element
6. Peak area	7.70 points

นอกจากนี้มีการควบคุมคุณภาพภายในห้องปฏิบัติการโดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานทุกๆ 9-13 ตัวอย่าง กรณีที่สารละลายมาตรฐานมีค่าเกินค่าที่กำหนด ผู้วิจัยจะทำการปรับค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอนให้คงที่และสม่ำเสมอ ความถูกต้องของเครื่องมือคำนวณได้จากการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในซีรัม 2-4 ตัวอย่าง จำนวน 6 ครั้ง การวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ 5 ตัวอย่าง จำนวน 3 ครั้ง และการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ จำนวน 2-3 ตัวอย่าง จำนวน 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งวิเคราะห์ค่าแร่ธาตุซิลิกอนในวันที่ต่างกัน ได้ค่าความถูกต้องของเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในซีรัม $98.33 \pm 5.80\%$ ความถูกต้องของเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ $104.78 \pm 8.54\%$ และความถูกต้องของเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ $101.85 \pm 0.12\%$ ทั้งนี้ไม่มีสารอ้างอิงมาตรฐานสำหรับแร่ธาตุซิลิกอนที่ได้รับการรับรองโดยดำเนินการที่ถูกต้องทางวิชาการ ผู้วิจัยจึงทำการหาค่าร้อยละการคืนกลับของสารส่วนที่เติมลงไป (% Recovery) โดยการ

เดิมสารมาตรฐานซิลิกอนที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างซีรัม ปัสสาวะ และอุจจาระ และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุซิลิกอนในตัวอย่างดังกล่าว ได้ค่าร้อยละการคืนกลับของสาร ส่วนที่เติมลงไปดังนี้ $108.14 \pm 9.51\%$ สำหรับตัวอย่างซีรัม (จำนวน 3 ตัวอย่าง) $101.81 \pm 4.82\%$ สำหรับตัวอย่างปัสสาวะ (จำนวน 3 ตัวอย่าง) และ $104.09 \pm 0.14\%$ สำหรับตัวอย่างอุจจาระ (จำนวน 3 ตัวอย่าง)

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.6.1 พื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับ ซีรัมซิลิกอนและเวลา (Area under the curve : AUC) ซึ่งคำนวณหาได้จากระดับ ซีรัมซิลิกอนทั้ง 13 จุดเวลา ใน 48 ชั่วโมง , 12 จุดเวลา ใน 24 ชั่วโมง , 11 จุดเวลา ใน 12 ชั่วโมง , 9 จุดเวลา ใน 6 ชั่วโมง และ 7 จุดเวลา ใน 4 ชั่วโมง โดยใช้สูตร The Linear Trapezoidal Rule (Abramowitz and Stegun, 1972 อ้างใน Conway, et al., 2006 : 1910-1914)

3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิตินอนพาราเมตริก เนื่องจากอาสาสมัครมีจำนวนน้อย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอน และการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนตามลำดับ ใช้สถิติ Mann-Whitney Rank Test และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุซิลิกอนก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มการทดลอง ใช้สถิติ Wilcoxon Sign Rank Test โดยวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คำนวณสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Windows เวอร์ชัน 13.00 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบ กับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายได้รับ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริม แร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน เนื่องจากผลการวิเคราะห์ ซีรัมซิลิกอน แร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะและอุจจาระ และสมมูลของแร่ธาตุ ไม่มีความแตกต่าง ระหว่างอาสาสมัครเพศชายและหญิง ประกอบกับจำนวนกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อย ผู้วิจัยจึง นำเสนอข้อมูลผลการวิจัยในภาพรวมของทั้งเพศชายหญิง โดยการนำเสนอผลการวิจัยโดยแบ่ง ออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มอาสาสมัคร

ส่วนที่ 2 ระดับซีรัมซิลิกอน ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน

ส่วนที่ 3 ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

ส่วนที่ 4 ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

ส่วนที่ 5 สมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกาย ได้รับ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มอาสาสมัคร

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มอาสาสมัครที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีรายละเอียดดังแสดงในตาราง ที่ 4.1 โดยอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการวิจัยในกลุ่มควบคุมมีอายุระหว่าง 18 ถึง 23 ปี และมีอายุ เฉลี่ย 21.21 ± 1.92 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 55.10 ± 7.28 กิโลกรัม สูงเฉลี่ย 163.33 ± 9.50 เซนติเมตร มีค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ย 20.62 ± 1.66 กิโลกรัม/ตารางเมตร และระดับซีรัมครีอาตินิน เฉลี่ย 0.92 ± 0.15 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ส่วนอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการวิจัยในกลุ่มทดลองมีอายุ

ระหว่าง 19 ถึง 22 ปี และมีอายุเฉลี่ย 21.03 ± 1.27 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 56.43 ± 6.56 กิโลกรัม สูงเฉลี่ย 165.00 ± 7.99 เซนติเมตร มีค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ย 20.76 ± 2.47 กิโลกรัม/ตารางเมตร และระดับซีรัมครีอาตินินเฉลี่ย 0.88 ± 0.15 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ทั้งนี้ลักษณะทั่วไปของกลุ่มอาสาสมัครทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

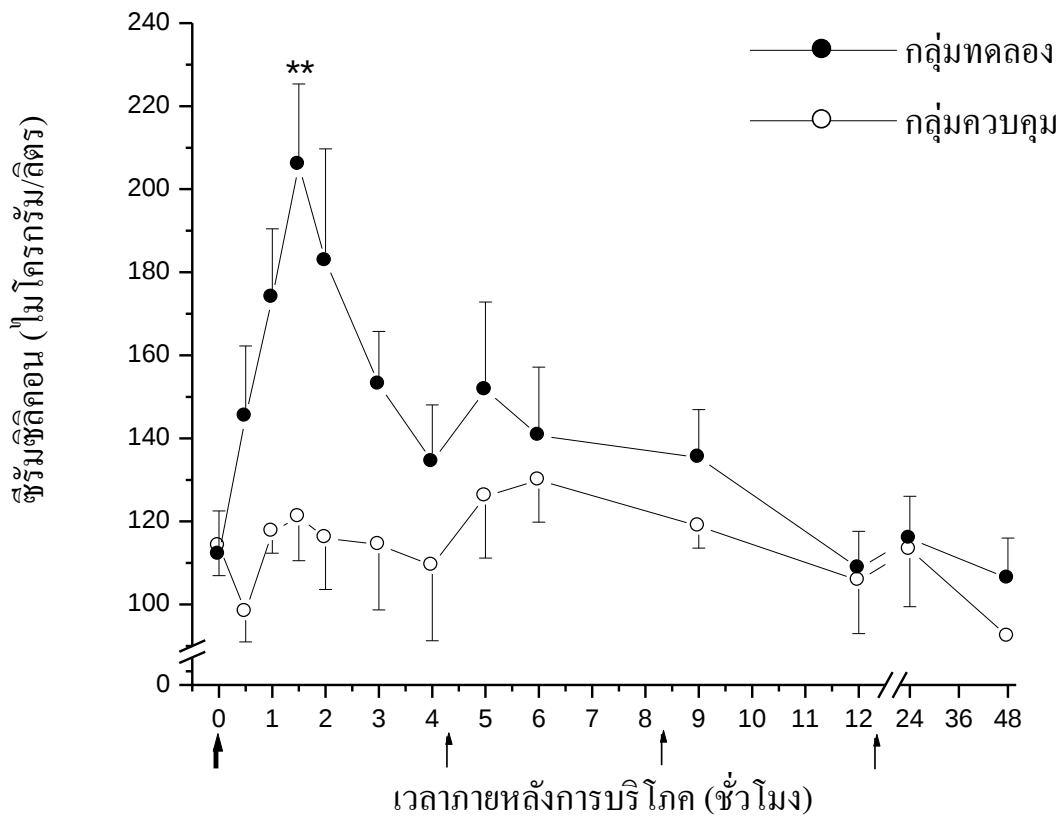
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทั่วไปของอาสาสมัครในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ลักษณะทั่วไปของ อาสาสมัคร	กลุ่มควบคุม (ชาย 3 คน หญิง 3 คน)	กลุ่มทดลอง (ชาย 3 คน หญิง 3 คน)	p value
อายุ (ปี)	21.21 ± 1.92 (Min.=18.10, Max.=23.10)	21.03 ± 1.27 (Min.=19.00, Max.=22.00)	0.94
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	55.10 ± 7.28 (Min.=45.20, Max.=65.40)	56.43 ± 6.56 (Min.=50.00, Max.=66.80)	0.82
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	163.33 ± 9.50 (Min.=155.00, Max.=176.00)	165.00 ± 7.99 (Min.=157.00, Max.=176.00)	0.49
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตาราง เมตร)	20.62 ± 1.66 (Min.=18.11, Max.=22.73)	20.76 ± 2.47 (Min.=18.17, Max.=24.95)	0.94
ซีรัมครีอาตินิน ¹ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	0.92 ± 0.15 (Min.=0.80, Max.=1.10)	0.88 ± 0.15 (Min.=0.80, Max.=1.10)	0.70

¹ ระดับซีรัมครีอาตินินปกติ: ชาย 0.90-1.30 มิลลิกรัม/เดซิลิตร, หญิง 0.60-1.10 มิลลิกรัม/เดซิลิตร

4.2 ระดับซีรัมซิริคก่อนภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิริคก่อน

ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยพื้นฐานความเข้มข้นของซีรัมซิริคก่อนการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิริคก่อนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกัน (p value = 0.82) โดยพบว่าค่าพื้นฐานความเข้มข้นของซีรัมซิริคก่อนในกลุ่มทดลองเท่ากับ 111.99 ± 25.83 ไมโครกรัม/ลิตร (ค่าต่ำสุด 83.05 ไมโครกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 148.07 ไมโครกรัม/ลิตร) และค่าพื้นฐานความเข้มข้นของซีรัมซิริคก่อนในกลุ่มควบคุมเท่ากับ 114.06 ± 17.41 ไมโครกรัม/ลิตร (ค่าต่ำสุด 84.77 ไมโครกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 130.01 ไมโครกรัม/ลิตร) ดังภาพที่ 4.1

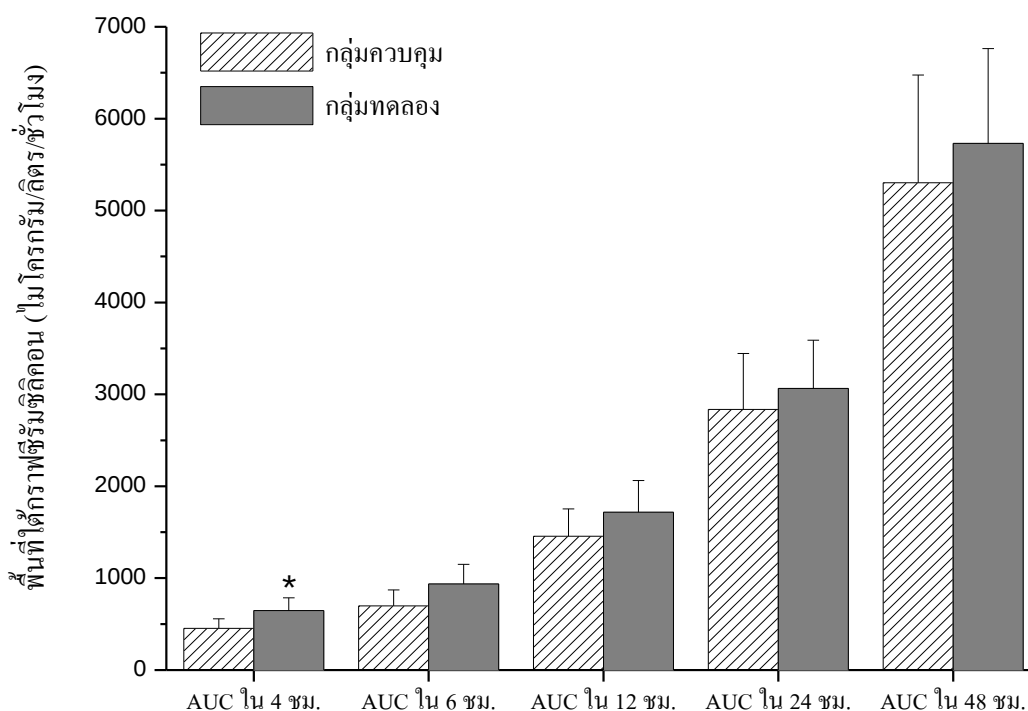


ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของระดับซีรัมซิริคก่อนภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิริคก่อน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิริคก่อน (กลุ่มควบคุม) ในอาสาสมัครจำนวนกลุ่มละ 6 คน ลูกศรหนาแสดงถึงช่วงเวลาการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิริคก่อน ลูกศรบางแสดงถึงเวลาที่บริโภคอาหารเช้า กลางวัน และเย็น ** p value = 0.009

ภายหลัง การบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน พบว่า ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มควบคุมที่บริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนคงอยู่ใกล้เคียงกับ ค่าพื้นฐานตลอดระยะเวลาการทดลอง ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน โดยพบระดับความเข้มข้นสูงสุดอยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 2 ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอน และมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 205.87 ± 47.71 ไมโครกรัม/ลิตร (ค่าต่ำสุด 133.62 ไมโครกรัม/ลิตร และค่าสูงสุด 249.55 ไมโครกรัม/ลิตร) ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \text{ value} = 0.009$) หลังจากนั้นระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนเริ่มที่จะลดลงสู่ระดับความเข้มข้นพื้นฐาน ดังภาพที่ 4.1

อย่างไรก็ตามการบริโภคอาหารเช้าชั่วโมงที่ 4.5 และอาหารกลางวันชั่วโมงที่ 8.5 ทำให้ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนในกลุ่มทดลองยังคงไว้เหนือค่าพื้นฐาน เช่นเดียวกับกลุ่มควบคุม ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนสูงกว่าค่าพื้นฐานภายหลังการบริโภคอาหารดังกล่าวจนถึง ชั่วโมงที่ 12 ดังภาพที่ 4.1

นอกจากนี้จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับ ซีรัมซิลิกอนและเวลา (Area under the curve: AUC) ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ดังภาพที่ 4.2 ผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอนภายใน 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง หลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอน ก่อนการบริโภคอาหารเช้า หรือภายใน 4 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลองสูงกว่า พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอนหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \text{ value} = .04$) โดยมีค่าพื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอนในกลุ่มทดลองเท่ากับ 647.77 ± 137.30 ไมโครกรัม/ลิตร/ชั่วโมง (ค่าต่ำสุด 458.95 ไมโครกรัม/ลิตร/ชั่วโมงและค่าสูงสุด 818.89 ไมโครกรัม/ลิตร/ชั่วโมง) และพื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอนในกลุ่มควบคุมเท่ากับ 453.00 ± 104.15 ไมโครกรัม/ลิตร/ชั่วโมง (ค่าต่ำสุด 319.41 ไมโครกรัม/ลิตร/ชั่วโมง และค่าสูงสุด 630.42 ไมโครกรัม/ลิตร/ชั่วโมง)



ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับซีรัมซัลิกอนและเวลา ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซัลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซัลิกอน (กลุ่มควบคุม) * p value = .04

4.3 ระดับแร่ธาตุซัลิกอนในปัสสาวะภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซัลิกอน

ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยพื้นฐานของปริมาณแร่ธาตุซัลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงของกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลอง (p value = 0.94) โดยค่าเฉลี่ยพื้นฐานของปริมาณแร่ธาตุซัลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงของกลุ่มควบคุมเท่ากับ 12.48 ± 2.26 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 9.72 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 15.31 มิลลิกรัม) และกลุ่มทดลองเท่ากับ 12.93 ± 2.85 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 9.11 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 16.34 มิลลิกรัม) ดังตารางที่ 4.2

จะเห็นว่าระดับแร่ธาตุซัลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงไม่เปลี่ยนแปลงมากภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซัลิกอนในกลุ่มควบคุม โดยพบระดับแร่ธาตุซัลิกอนในปัสสาวะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.34 ± 2.48 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 11.36 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 18.21

มิลลิกรัม) ขณะที่ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงเพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าพื้นฐาน และสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value = 0.002) โดยมีค่าเฉลี่ยระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเท่ากับ 29.41 ± 3.55 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 25.44 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 35.78 มิลลิกรัม)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)

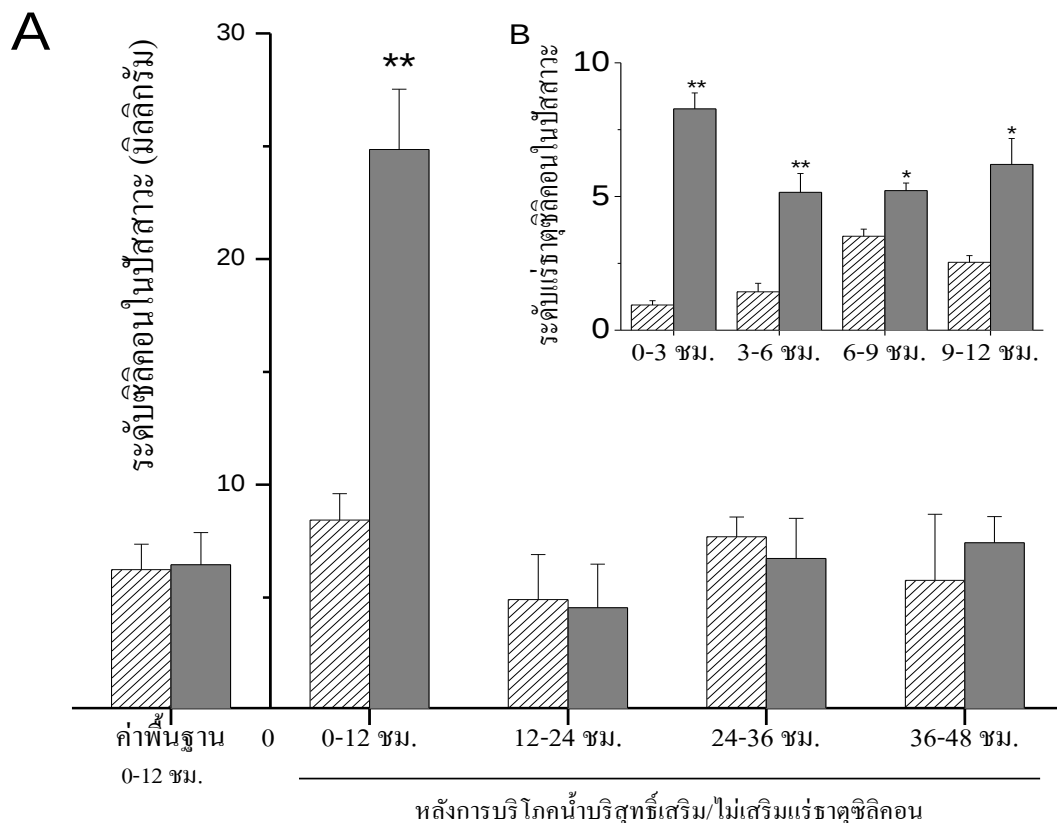
ตัวอย่างปัสสาวะ ที่เก็บ	ระดับซิลิกอนในปัสสาวะ (มิลลิกรัม/24 ชม.)		p value
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	
ค่าพื้นฐาน	12.48 ± 2.26 (Min.=9.72, Max=15.31)	12.93 ± 2.85 (Min.=9.11, Max=16.34)	0.94
ชั่วโมงที่ 0-24	13.34 ± 2.48 (Min.=11.36, Max=18.21)	29.41 ± 3.55 (Min.=25.44, Max=35.78)	0.002**
ชั่วโมงที่ 24-48	13.46 ± 2.45 (Min.=8.89, Max=15.73)	14.17 ± 2.68 (Min.=10.31, Max=17.62)	0.82

หมายเหตุ ** p value ≤ 0.01

เมื่อวิเคราะห์แยกในแต่ละช่วงเวลาพบว่าแร่ธาตุซิลิกอนเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 12 ชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภค น้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (24.86 ± 2.67 มิลลิกรัม) ดังภาพที่ 4.3A โดยพบระดับแร่ธาตุซิลิกอนสูงสุดที่ 0-3 ชั่วโมงภายหลังการบริโภค (8.28 ± 1.46 มิลลิกรัม) ดังภาพที่ 4.3B

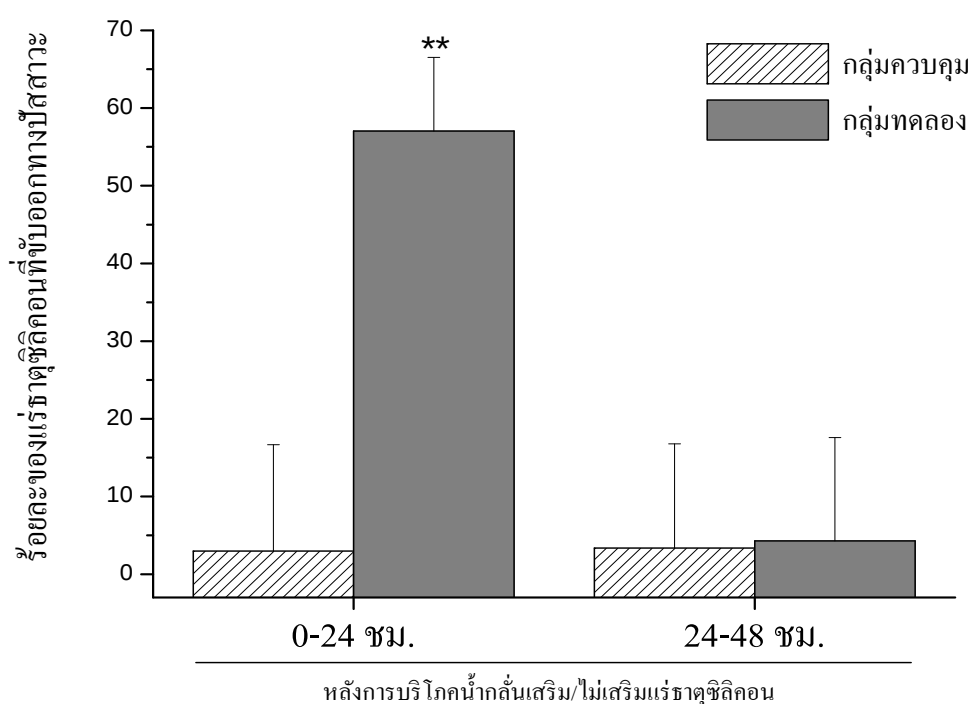
เช่นเดียวกับซีรัมซิลิกอน ภายหลังการบริโภคอาหารเช้าชั่วโมงที่ 4.5 และอาหารกลางวัน ชั่วโมงที่ 8.5 ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะของกลุ่มทดลองยังคงไว้เหนือค่าพื้นฐาน (ภาพที่

4.3B) ทั้งในตัวอย่างปัสสาวะชั่วโมงที่ 6-9 และตัวอย่างปัสสาวะชั่วโมงที่ 9-12 โดยผลดังกล่าวพบในกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกัน ส่วนระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในตัวอย่างที่เหลือ ได้แก่ ตัวอย่างปัสสาวะชั่วโมงที่ 12-24 ชั่วโมงที่ 24-36 และชั่วโมงที่ 36-48 จะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกับค่าพื้นฐาน ทั้งสองทดลองและกลุ่มควบคุม ดังภาพที่ 4.3A



ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง ; แท่งทึบ) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม; แท่งลายเส้น) ** p value =0.002, * p value =0.009

เมื่อพิจารณาปริมาณการเพิ่มขึ้นของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมง หลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน โดยหาค่าพื้นฐานของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ พบว่ามีปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value = 0.002) คิดเป็นร้อยละ 57.04 ± 9.48 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภค (ค่าต่ำสุดร้อยละ 49.86 และค่าสูงสุตร้อยละ 71.00) ดังภาพที่ 4.4 หรือ ประมาณ 16.48 ± 2.74 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 14.40 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 20.51 มิลลิกรัม)



ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะที่เพิ่มขึ้นภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม) ** p value = 0.002

4.4 ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยพื้นฐานของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระก่อนการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างกัน (p value = 0.82) โดยค่าเฉลี่ยพื้นฐานของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระของ

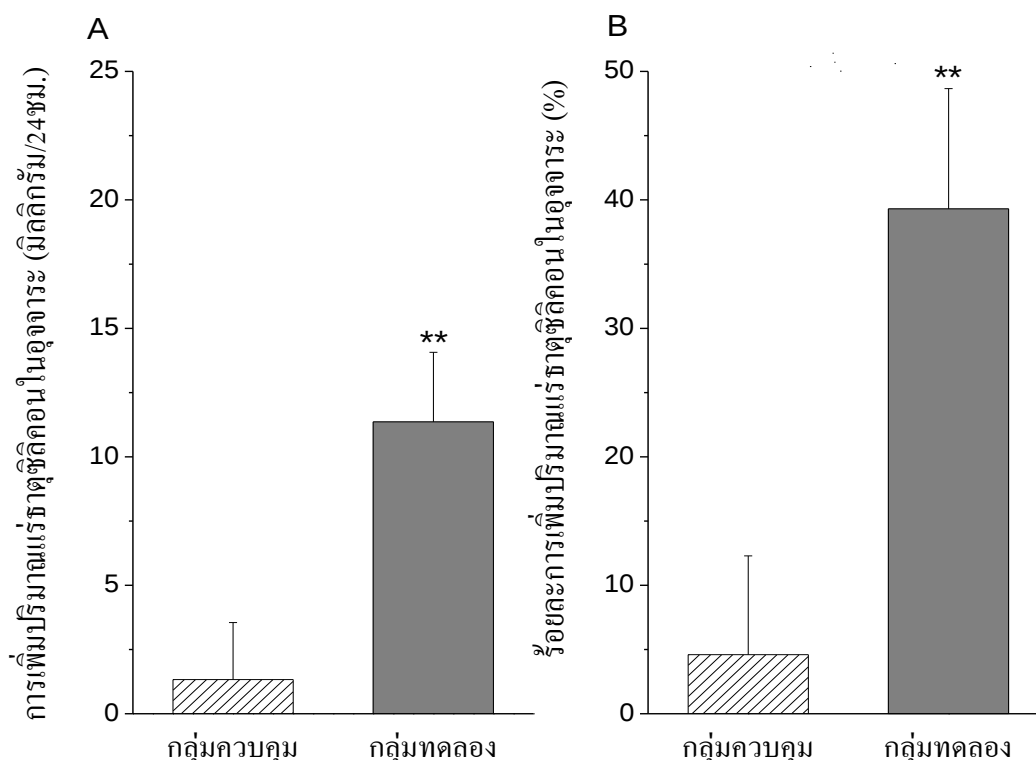
อาสาสมัครกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 9.50 ± 1.41 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 7.99 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 11.48 มิลลิกรัม) และในกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 9.35 ± 2.01 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 6.68 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 11.47 มิลลิกรัม) ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)

ตัวอย่าง อุจจาระที่เก็บ	ระดับซิลิกอนในอุจจาระ (มิลลิกรัม/24 ชั่วโมง)		p value
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	
ค่าพื้นฐาน	9.50 ± 1.41 (Min.=7.99, Max=11.48)	9.35 ± 2.01 (Min.=6.68, Max=11.47)	0.82
ชั่วโมงที่ 0-24	10.74 ± 1.41 (Min.=8.74, Max=12.02)	19.96 ± 4.58 (Min.=14.31, Max=25.53)	0.002**

หมายเหตุ ** p value ≤ 0.01

ค่าเฉลี่ยของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงของอาสาสมัครในกลุ่มควบคุมภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยพื้นฐานของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ (9.50 ± 1.41 vs 10.74 ± 1.41 , p value = 0.25) ขณะที่ค่าเฉลี่ยของการขับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงของอาสาสมัครในกลุ่มทดลองภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนเพิ่มสูงขึ้น และสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (10.74 ± 1.41 vs 19.96 ± 4.58 , p value = 0.002) ดังตารางที่ 4.3 โดยปริมาณการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระดังกล่าว เท่ากับ 11.36 ± 2.71 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 7.6 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 14.91 มิลลิกรัม) หรือคิดเป็นร้อยละ 39.90 ± 9.37 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภค (ค่าต่ำสุดร้อยละ 26.41 และค่าสูงสุดร้อยละ 51.61) ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณและร้อยละของการเพิ่มระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม) ** p value = 0.002

4.5 สมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายได้รับ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มควบคุม เท่ากับ 23.77 ± 1.94 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 21.62 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 26.95 มิลลิกรัม) คิดเป็นร้อยละ 99.64 ± 8.12 ของปริมาณที่บริโภค (ค่าต่ำสุดร้อยละ 90.62 และค่าสูงสุดร้อยละ 112.94) ขณะที่ปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง เท่ากับ 50.02 ± 4.98 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 43.93 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 55.68 มิลลิกรัม) คิดเป็นร้อยละ 94.83 ± 9.44 ของปริมาณที่บริโภค (ค่าต่ำสุดร้อยละ 83.28 และค่าสูงสุด ร้อยละ 105.55) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภค และค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขับแร่ธาตุซิลิกอนและสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอน ภายใน 24 ชั่วโมง หลังบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มทดลอง) และไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน (กลุ่มควบคุม)

สมดุลแร่ธาตุซิลิกอน	กลุ่มควบคุม (n=6)	กลุ่มทดลอง (n=6)	p value
ปริมาณซิลิกอนที่บริโภค			
ซิลิกอนเสริม (มก.)	-	28.89	
ซิลิกอนในอาหารที่ บริโภค (มก.)	23.86	23.86	
ปริมาณซิลิกอนที่ บริโภคทั้งหมด (มก./24 ชม.)	23.86	52.75	
การขับแร่ธาตุซิลิกอน			
ซิลิกอนในปัสสาวะ (มก./24 ชม.)	13.34 ± 2.48 (Min.=11.36, Max=18.21)	29.41 ± 3.55 (Min.=25.44, Max=35.78)	0.002**
ซิลิกอนในอุจจาระ (มก./24 ชม.)	10.74 ± 1.41 (Min.=8.74, Max=12.02)	19.96 ± 4.58 (Min.=14.31, Max=25.53)	0.002**
ปริมาณการขับซิลิกอน ทั้งหมด (มก./24 ชม.)	23.77 ± 1.94 (Min.=21.62, Max=26.95)	50.02 ± 4.98 (Min.=43.93, Max=55.68)	0.002**
สมดุลแร่ธาตุซิลิกอน (มก.)	0.09 ± 1.94 (Min.=-3.09, Max=2.24)	2.73 ± 4.98 (Min.=-2.93, Max=8.82)	0.49

หมายเหตุ ** p value ≤ 0.01; มก. หมายถึง มิลลิกรัม; ชม. หมายถึง ชั่วโมง

เมื่อเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคเสริม (28.89 มิลลิกรัม) พบว่า 27.83 ± 1.67 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด 25.58 มิลลิกรัม และค่าสูงสุด 29.53 มิลลิกรัม) หรือร้อยละ 96.34 ± 5.79 ของปริมาณที่บริโภค (ค่าต่ำสุดร้อยละ 88.55 และค่าสูงสุดร้อยละ 102.21) เป็นปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง

ส่วนสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.09 ± 1.94 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด -3.09 และค่าสูงสุด 2.24) ในอาสาสมัครกลุ่มควบคุมที่บริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน และเท่ากับ 2.73 ± 4.98 มิลลิกรัม (ค่าต่ำสุด -2.93 และค่าสูงสุด 8.82) ในอาสาสมัครกลุ่มทดลองที่บริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ดังตารางที่ 4.4

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ร่างกายบริโภค ภายหลังจากบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน ผู้วิจัยจึงขอสรุปและอภิปรายผลการวิจัย รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยครั้งนี้และการทำวิจัยในครั้งต่อไปไว้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองแบบมีกลุ่มขนาน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมมูลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังจากบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยผู้วิจัยแบ่งกลุ่มอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 6 คน โดยแต่ละกลุ่มมีสัดส่วนของจำนวนเพศชายและหญิงที่เท่ากัน มีอายุและค่าดัชนีมวลกายที่ไม่แตกต่างกัน กลุ่มแรกถูกสุ่มให้บริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เรียกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนในกลุ่มสองถูกสุ่มให้ได้รับ น้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ในรูปออร์โธซิลิสิกแอซิด ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม โดยกลุ่มนี้เรียกว่ากลุ่มทดลอง อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกอนเฉลี่ย 24.02 ± 0.23 มิลลิกรัม/วัน

ผลการศึกษาระดับซีรัมซิลิกอนพบว่าภายหลังจากบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มควบคุมที่บริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนคงอยู่ใกล้เคียงกับ ค่าพื้นฐานตลอดระยะเวลาการทดลอง ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นจากค่าพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบระดับความเข้มข้นสูงสุดอยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 2 ภายหลังจากบริโภค หลังจากนั้นระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วสู่ระดับความเข้มข้นพื้นฐาน อย่างไรก็ตามการบริโภคอาหารชั่วโมงที่ 4.5 และชั่วโมงที่ 8.5 ทำให้ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนยังคงระดับไว้เหนือค่าพื้นฐานทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เมื่อคำนวณ พื้นที่ใต้กราฟซีรัม

ซิลิกอนพบว่าพื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอน ก่อนการบริโภคอาหารเช้า หรือภายใน 4 ชั่วโมงหลังการบริโภค น้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลองสูงกว่า พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิลิกอน หลังการบริโภค น้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะพบว่าค่าเฉลี่ยพื้นฐานของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกขับออกทางปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงของกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลอง โดยระดับของแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงไม่เปลี่ยนแปลงมากภายหลังการบริโภค น้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ขณะที่ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 57.04 ± 9.48 ของปริมาณซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภค โดยพบว่า ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 12 ชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง และเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 3 ชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ส่วนผลการศึกษาระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระพบว่าค่าเฉลี่ยพื้นฐานของระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงของอาสาสมัครทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงเพิ่มสูงขึ้นและมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 39.90 ± 9.37 ของปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภค

ผลการศึกษาโดยรวมยังพบว่าปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มควบคุม คิดเป็นร้อยละ 99.64 ± 8.12 ของปริมาณที่บริโภค ขณะที่ปริมาณการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง คิดเป็นร้อยละ 94.83 ± 9.44 ของปริมาณที่บริโภค เมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภค (28.89 มิลลิกรัม) พบว่าร้อยละ 96.34 ± 5.79 ของปริมาณที่บริโภคเป็นปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 ระดับแร่ธาตุซิลิกอนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าค่าเฉลี่ยพื้นฐานของซีรัมซิลิกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 83.05 และ 148.07 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาของ Reffitt, et al. (1999 : 141) และ Sripanyakorn, et al. (2004 : 406) ที่พบค่ากลางซีรัมซิลิกอน 147.00 ไมโครกรัม/ลิตร และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.00 ± 38.00 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ และการศึกษาของ Van Dyck, et al. (2000 : 25) ที่ทำการศึกษาระดับซีรัมซิลิกอนในชาวเบลเยียมทุกกลุ่มอายุ และพบระดับแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ระหว่าง 96.00-113.00 ไมโครกรัม/ลิตร (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 115.00 ± 51.00 ไมโครกรัม/ลิตร) ในผู้ใหญ่ชาย และ 100.00-151.00 ไมโครกรัม/ลิตร (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 126.00 ± 73.00 ไมโครกรัม/ลิตร) ในผู้ใหญ่หญิง นอกจากนี้ Reffitt, et al. (1999 : 127) และ Sripanyakorn, et al. (2005 : 406) ยังพบว่าระดับแร่ธาตุซิลิกอนขึ้นสูงสุดที่ 60-90 นาทีภายหลังการบริโภคโมโนเมอริกซิลิซิกแอซิด ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ที่พบ ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นจากค่าพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน โดยพบระดับความเข้มข้นสูงสุดอยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 2 ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน สอดคล้อง กับ Popplewell, et al. (1998 : 177) ที่พบว่าการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนเข้าสู่ระบบไหลเวียนจะสมบูรณ์ภายในสองชั่วโมงแรกของการบริโภค ทั้งนี้เนื่องมาจากการเสริมแร่ธาตุซิลิกอนในรูปของออร์โธซิลิซิกแอซิดในน้ำกลั่นดังกล่าว เป็นรูปที่สามารถถูกดูดซึมได้ง่ายที่ระบบทางเดินอาหาร (Sripanyakorn, et al., 2009 : 830)

ส่วนการบริโภคอาหารเช้าชั่วโมงที่ 4.5 และอาหารกลางวันชั่วโมงที่ 8.5 ที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของซีรัมซิลิกอนในกลุ่มทดลองยังคงไว้เหนือค่าพื้นฐานนั้น อาจเนื่องมาจากอาหารที่อาสาสมัครบริโภคสามารถย่อยและดูดซึมได้ ดังที่ Jugdaohsingh, et al. (2002 : 892) ได้กล่าวไว้ว่าแร่ธาตุซิลิกอนที่พบในอาหารสามารถถูกย่อยให้อยู่ในรูปสารประกอบซิลิกอน อย่างง่ายหรือรูปของโมโนเมอริก และถูกดูดซึมได้ที่ระบบทางเดินอาหาร เช่นเดียวกับ Li, et al. (2010 : 44) ที่พบว่าน้ำดื่มแร่ธาตุบรรจุขวดเป็นแหล่งแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกดูดซึมได้ง่ายในคน

นอกจากนี้การวิจัยนี้พบว่า พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิริโคน เฉพาะช่วงเวลาก่อนการบริโภคอาหารเข้า หรือภายใน 4 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิริโคนในกลุ่มทดลองที่สูงกว่า พื้นที่ใต้กราฟซีรัมซิริโคน หลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุซิริโคนในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวแร่ธาตุซิริโคนที่เสริมในน้ำกลั่นบริสุทธิ์สามารถถูกดูดซึมเข้าระบบไหลเวียนได้ทำให้ระดับของซีรัมซิริโคนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Sripanyakorn, et al., 2009 : 830) และหลังจากช่วง 0-4 ชั่วโมงกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม บริโภคอาหารที่เหมือนกันทำให้ผลการวิจัยนี้ไม่พบความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟในช่วงเวลาอื่น

5.2.2 ระดับแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิริโคน

ผลจากการวิจัยพบว่าปริมาณแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 57.04 ± 9.48 ของปริมาณซิริโคนที่อาสาสมัครกลุ่มทดลองบริโภคถูกขับออกทางปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิริโคน ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา ดังเช่นการศึกษาของ Bellia, Birchall, and Roberts (1994 : 235) พบว่าร้อยละ 42.00-75.00 ของแร่ธาตุซิริโคนถูกขับออกทางปัสสาวะภายใน 8 ชั่วโมง หลังการบริโภคเครื่องดื่มเปียร์ และอีกหลายๆ งานวิจัยที่ผลการศึกษาพบว่าประมาณร้อยละ 50.00 ของแร่ธาตุซิริโคนถูกขับออกทางปัสสาวะภายใน 8 ชั่วโมง หลังการบริโภคสารละลายออร์โธซิลิสิกแอซิด (Calomme, et al., 1998 : 228 ; Reffitt, et al., 1999 : 141 ; Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944, 2013 : 1024 ; Sripanyakorn, et al., 2004 : 403, 2009 : 825)

โดยปริมาณแร่ธาตุซิริโคนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 12 ชั่วโมงแรก ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิริโคนในกลุ่มทดลอง และเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 3 ชั่วโมงแรกภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิริโคน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าแร่ธาตุซิริโคนที่อาสาสมัครบริโภคในงานวิจัยครั้งนี้ อยู่ในรูปออร์โธซิลิสิกแอซิด ซึ่งเป็นสารประกอบซิริโคนที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลประจุเป็นกลาง (Neutrally charged molecule) สามารถถูกดูดซึมได้ง่ายที่ระบบทางเดินอาหาร (Sripanyakorn, et al., 2009 : 830) สอดคล้องกับการศึกษาของ Popplewell, et al. (1998 : 177) ที่ทำการศึกษาดูดซึมและการขับแร่ธาตุ

ชิลิกอนโดยใช้รังสีไอโซโทป และพบว่าเวลาครึ่งชีวิตของการขับแร่ธาตุชิลิกอนภายหลังการบริโภคน้ำชิลิกอนไอโซโทป เท่ากับ 2.7 และ 11.3 ชั่วโมง

5.2.3 ระดับแร่ธาตุชิลิกอนในอุจจาระ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอน

ผลการวิจัยพบว่าภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมแร่ธาตุชิลิกอนในรูปแบบของ ออร์โธซิลิกแอซิด มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแร่ธาตุชิลิกอนในอุจจาระ คิดเป็นร้อยละ 39.90 ± 9.37 ของปริมาณแร่ธาตุชิลิกอนที่บริโภค ผลดังกล่าวบ่งบอก ว่าปริมาณแร่ธาตุชิลิกอนจากน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุชิลิกอน ที่อาสาสมัครบริโภคสามารถถูกดูดซึมได้ ประมาณร้อยละ 60.70 ± 9.37 ซึ่งสอดคล้องกับการประมาณจากการขับแร่ธาตุชิลิกอนทางปัสสาวะในรอบ 24 ชั่วโมง ภายหลังการบริโภคแร่ธาตุชิลิกอนเสริมดังกล่าว ($57.04 \pm 9.48\%$) การประมาณปริมาณการขับแร่ธาตุชิลิกอนทางปัสสาวะดังกล่าว ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวแล้วข้างต้น ที่พบว่าปริมาณแร่ธาตุชิลิกอนที่บริโภคสามารถถูกดูดซึมได้ประมาณร้อยละ 50.00-60.00 ภายหลังการบริโภคโดยคำนวณได้จากการเก็บตัวอย่างปัสสาวะ 6 ชั่วโมง หรือ 8 ชั่วโมง (Bellia, Birchall, and Roberts, 1994 : 227 ; Calomme, et al., 1998 : 228 ; Reffitt, et al., 1999 : 141 ; Jugdaohsingh, et al., 2000 : 944, 2013 : 37 ; Sripanyakorn, et al., 2004 : 403, 2009 : 825) ดังนั้นจากการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า การขับแร่ธาตุชิลิกอนทางปัสสาวะสามารถเป็นดัชนีวัดปริมาณการดูดซึมของแร่ธาตุชิลิกอนภายหลังการบริโภคแร่ธาตุชิลิกอนได้ และ การเก็บตัวอย่างปัสสาวะ 0-6 ชั่วโมง หรือ 0-8 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคแร่ธาตุชิลิกอน เพียงพอสำหรับการศึกษาปริมาณการดูดซึมแร่ธาตุชิลิกอนจากอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือสารละลายทดสอบต่างๆ ทั้งนี้แหล่งแร่ธาตุชิลิกอนดังกล่าวอาจใช้เวลาในการย่อยที่แตกต่างกัน (Jugdaohsingh, et al., 2013 : 37)

5.2.4 สมดุลของแร่ธาตุชิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุชิลิกอนที่ร่างกายได้รับ ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอน

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการขับแร่ธาตุชิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระในรอบ 24 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ไม่เสริมแร่ธาตุชิลิกอนในกลุ่มควบคุม คิดเป็นร้อยละ 99.64 ± 8.12 ของปริมาณที่บริโภค ขณะที่ปริมาณการขับแร่ธาตุชิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระ

ในรอบ 24 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง คิดเป็นร้อยละ 94.83 ± 9.44 ของปริมาณที่บริโภค เมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภคพบว่าร้อยละ 96.34 ± 5.79 ของปริมาณที่บริโภคเป็นปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมงหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มทดลอง ปริมาณที่ขับออกนี้เป็นถือเป็นปริมาณทั้งหมดที่ร่างกายเราดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนได้หรือไม่มันยังคงต้องพิสูจน์ต่อไป ด้วยรูปแบบการทดลองที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามเพื่อให้ร่างกายได้รับแร่ธาตุซิลิกอนภายในร้อยละ 5 .00 ของปริมาณที่บริโภค เมื่อเทียบกับความแปรปรวนประมาณร้อยละ 6 .00 ดังกล่าวข้างต้น ถือว่าเป็นค่าที่ดีกว่าที่คาดไว้เมื่อเทียบกับความซับซ้อนของขบวนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างปัสสาวะและอุจจาระ (Mertz, 1987 : 1811-1813 ; Baer, et al., 1999 : 242) โดยปกติแล้วจากการศึกษาทดลองต่างๆ แม้กระทั่งการศึกษาโดยใช้สารกัมมันตภาพรังสี จะพบว่าปริมาณสารที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระเมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภค จะได้ประมาณร้อยละ 80 .00 หรือต่ำกว่า และอย่างน้อยกว่า ปริมาณคืนกลับของการทดสอบในสัตว์ทดลอง (Roffey, et al., 2007 : 17 ; Palacios, et al., 2013 : 1014-1019) ผลจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ค่าร้อยละของปริมาณสารที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระเมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภคสูงกว่าปริมาณที่กล่าวไว้ข้างต้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถของไตในขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะที่ดี และการไม่มีปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างแร่ธาตุซิลิกอนและซีรั่มโปรตีน (D’Haese, et al., 1995 : 1838-1844 ; Reffitt, et al., 1999 : 141)

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระเมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภคจะเป็นร้อยละ 100 .00 ก็ต่อเมื่อ (1) เมตาบอลิซึมของแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายได้เกิดขึ้นแต่อาสามัครมีแร่ธาตุซิลิกอนอยู่ในภาวะที่สมดุล นั่นคือมีแร่ธาตุซิลิกอนเต็มเปี่ยม หรือ (2) แร่ธาตุซิลิกอนไม่มีหน้าที่ทางชีวภาพ ดังนั้นเมตาบอลิซึมของแร่ธาตุซิลิกอนจึงไม่เกิดขึ้นเลย การศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าทฤษฎีไหนคือคำตอบที่ถูกต้องแต่คาดการณ์ว่าน่าจะเป็นทฤษฎีแรก เนื่องจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาในสัตว์ทดลองพบว่า สัตว์ทดลองที่ขาดแร่ธาตุซิลิกอนจะมีการกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนไว้โดยลดปริมาณการขับออกทางปัสสาวะเพื่อคงปริมาณแร่ธาตุดังกล่าวไว้ในเนื้อเยื่อ (Jugdaohsingh, et al., 2008 : 596) อย่างไรก็ตามการที่จะพิสูจน์ทฤษฎีดังกล่าวในคนนั้น ต้องทำการศึกษาในกลุ่มอาสามัครที่อยู่ในภาวะเสียสมดุลของแร่ธาตุ

ซิลิกอน นั่นคือให้อาสาสมัครได้รับแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำๆ เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ในช่วงก่อนเริ่มการให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริม เป็นต้น การเสริมแร่ธาตุซิลิกอนในกลุ่มอาสาสมัครดังกล่าวน่าจะส่งผลให้มีการขับแร่ธาตุซิลิกอนออกมาน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มที่บริโภคปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่เพียงพอ และจะมีแร่ธาตุซิลิกอนค้างในร่างกายปริมาณเพิ่มมากขึ้นเพื่อเติมเต็มแร่ธาตุซิลิกอนให้สมดุล นอกจากนี้ผลจากการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ไม่สามารถบอกได้ว่าปริมาณแร่ธาตุที่ขับออกมานั้นเป็นปริมาณแร่ธาตุที่เราบริโภคเข้าไปจริงๆ และไม่มีการแลกเปลี่ยนกับแร่ธาตุซิลิกอนที่สะสมอยู่ในร่างกาย ดังเช่นที่เกิดขึ้นกับแร่ธาตุฟอสเฟต (Berndt and Kumar, 2007 : 341-359) การที่จะทราบได้นั้นต้องศึกษาโดยใช้ไอโซโทป ในการจำแนกส่วนของแร่ธาตุซิลิกอนที่อาสาสมัครบริโภคเข้าไปออกจากแร่ธาตุซิลิกอนสะสมอยู่ในร่างกาย อย่างไรก็ตาม การใช้ไอโซโทป ^{31}Si และ ^{32}Si ซึ่งเป็นรังสีไอโซโทป จะทำให้ร่างกายต้องสัมผัสกับรังสี ซึ่งมีเวลาครึ่งชีวิตที่สั้นที่สุดเท่ากับ 157 นาทีหรือยาวที่สุดเท่ากับ 153 ปี จึงควรใช้ ^{29}Si ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสรังสีดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ^{29}Si ดังกล่าวสามารถพบได้ในสภาวะปกติทั่วไป โดยพบประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณ ออร์โธซิลิเกตแอซิด ในเซลล์ร่างกาย ดังนั้นการศึกษามวลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้ไอโซโทปเสถียรเช่นเดียวกับการวิจัยครั้งนี้จึงมีความเป็นไปได้ ประกอบกับการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอซีพีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Inductively coupled plasma-mass spectrometry) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ ^{28}Si และ ^{29}Si ในตัวอย่างทางชีวภาพ (Koller, et al., 2013 : 24) ทำให้มั่นใจว่ามีความเป็นไปได้เพื่อที่จะบอกแหล่งของแร่ธาตุที่ขับออกจากร่างกายว่าเป็นแร่ธาตุที่บริโภคเข้าไปทั้งหมดหรือมีบางส่วนที่ได้แลกเปลี่ยนกับแร่ธาตุซิลิกอนที่สะสมในร่างกายแล้วถูกขับออกมา การหาคำตอบดังกล่าวและการหาปริมาณแร่ธาตุที่ค้างอยู่ในร่างกายภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน ในอาสาสมัครที่ อยู่ในภาวะที่ร่างกายต้องการแร่ธาตุซิลิกอน โดยการให้อาสาสมัครได้รับแร่ธาตุซิลิกอนปริมาณต่ำๆ เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ในช่วงก่อนเริ่มการให้แร่ธาตุซิลิกอนเสริมเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องศึกษา เพื่อให้เข้าใจเมตาบอลิซึมของแร่ธาตุซิลิกอนในคน โดยการออกแบบการทดลองสมดุลซิลิกอนไอโซโทปอย่างรัดกุม ทั้งในอาสาสมัครที่ทำให้อยู่ในภาวะที่ต้องการซิลิกอนและอาสาสมัครที่อยู่ในภาวะที่มีแร่ธาตุซิลิกอนที่สมดุล การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเลือกกลุ่มอาสาสมัครที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมากที่สุดเพื่อลดปัญหาความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามการออกแบบการทดลองแบบ Cross-

over design ถือเป็นรูปแบบการทดลองที่สามารถลดความแปรปรวนระหว่างอาสาสมัครแต่ละคน สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแร่ธาตุซิลิกอนได้เป็นอย่างดี (Jugdaohsingh, et al., 2013 : 37) ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรจะมีการออกแบบการทดลองแบบ Cross-over design เพื่อลดความแปรปรวนที่อาจจะเกิดขึ้นดังกล่าว

สรุป จากการวิจัยนี้ การขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะและอุจจาระสามารถวัดได้อย่างถูกต้องด้วยความแปรปรวนระหว่างกลุ่มตัวอย่างประมาณร้อยละ 6.00 ในกลุ่มอาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรงที่คาดว่าจะมีภาวะแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายที่อยู่ในภาวะสมดุล และพิสูจน์ให้เห็นว่าการขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะเป็นการวัดการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอนที่ถูกต้อง อีกทั้งให้ข้อมูลที่สนับสนุนว่าการศึกษาสมดุลซิลิกอนโดยใช้ไอโซโทปสามารถทำการศึกษาได้ในอาสาสมัครที่ทำให้อยู่ในภาวะที่ต้องการซิลิกอนและภาวะที่มีแร่ธาตุซิลิกอนที่สมดุล เพื่อให้เข้าใจการรักษาคุณภาพของซิลิกอนอันจะเป็นหลักฐานชี้ชัดสำหรับการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุซิลิกอนโดยคนต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้

ในการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการการดูดซึมแร่ธาตุซิลิกอน สามารถใช้การขับแร่ธาตุซิลิกอนทางปัสสาวะสามารถเป็นดัชนีวัดปริมาณการดูดซึมของแร่ธาตุซิลิกอนภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอนได้ โดยสามารถเก็บตัวอย่างปัสสาวะ 6 ชั่วโมง หรือ 8 ชั่วโมงภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้ไอโซโทปในอาสาสมัครที่ทำให้อยู่ในภาวะที่ต้องการซิลิกอนและภาวะที่มีแร่ธาตุซิลิกอนที่สมดุล เพื่อที่จะอธิบายแหล่งของแร่ธาตุที่ขับออกจากร่างกายว่าเป็นแร่ธาตุที่บริโภคเข้าไปทั้งหมด หรือมีบางส่วนที่ได้แลกเปลี่ยนกับแร่ธาตุซิลิกอนที่สะสมในร่างกายแล้วถูกขับออกมา โดยควรออกแบบการทดลองแบบ Cross-over design

บรรณานุกรม

- ชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว. (2541). **สรีรวิทยาทางเดินอาหาร**. กรุงเทพฯ : บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นอล
พับลิเคชั่น จำกัด.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์. (2553). **ชีวเคมีทางโภชนาการ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เจริญมั่นคงการ
พิมพ์.
- พิสมัย กุลกาญจนาธร. (2556). **ผลิตภัณฑ์เสริมแร่ธาตุที่พบน้อยแต่จำเป็น**. ค้นเมื่อ 26 ธันวาคม
2556, จาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/thai/knowledgeinfo.php?id=104>
- เพ็ญศรี ทองนพเนื่อ. (2553). **การวิเคราะห์ตัวยาในชีวสาร**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- เพียงใจ สาตะรักษ์-อึ้งสกุล. (2540). **โภชนศาสตร์พื้นฐาน**. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ภารดี เต็มเจริญ , นัยนา บุญทวีวัฒน์ , และชุติมา ศิริกุลชยานนท์. (2547). การประเมินภาวะ
โภชนาการ. ใน คณะกรรมการกลุ่มปรับปรุงชุดวิชาโภชนศาสตร์สาธารณสุข.
(บรรณาธิการ). **โภชนศาสตร์สาธารณสุข หน่วยที่ 8-15. (หน้า1-85)**. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ลักขณา อินทร์กลับ. (2543). **โภชนศาสตร์เชิงชีวเคมี วิตามิน เกลือแร่ และใยอาหาร**. กรุงเทพฯ :
มีเดียการพิมพ์.
- วิไล โอนมะศิริ. (2543). **เมตาบอลิซึมและโภชนาการ**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วินัส ลิฬหกุล , สุภาณี พุทธเดชาคุ้ม , และณอมขวัญ ทวีบุรณ์ . (2545). **โภชนศาสตร์ทางการ
พยาบาล**. กรุงเทพฯ : บริษัท บุญศิริการพิมพ์ จำกัด.
- สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. (2550). **โภชนาการเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ. : สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Aguilar, F. and others. (2009). Scientific opinion: Monomethylsilanetriol added for nutritional purposes to food supplements. **European Food Safety Authority Journal**, 950 : 1–12.
- Anusuya, A., Bapurao, S., and Paranjape, P.K. (1996). Fluoride and silicon intake in normal and endemic fluorotic areas. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 10 : 149-155.
- Bae, Y.J., and others. (2008). Short-term administration of water-soluble silicon improves mineral density of the femur and tibia in ovariectomized rats. **Biological Trace Element Research**, 124 (2) : 157-163.
- Baer, D.J. and others. (1999). Compartmental modeling, stable isotopes, and balance studies. In B.H. Dennis, A.G. Ershow, E. Obarzanek, and B.A. Clevidence (Eds.), **Well-controlled diet studies in humans, A practical guide to design and management**. pp. 238-254. Washington, DC : The American Dietetic Association.
- Bellia, J.P., Birchall, J.D., and Roberts, N.B. (1994). Beer : A dietary source of silicon. **The Lancet**, 343 : 235.
- Bowen, H.J.M. and Peggs, A. (1984). Determination of the silicon content of food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 35 : 1225-1229.
- Berndt, T. and Kumar, R. (2007). Phosphatonins and the regulation of phosphate homeostasis. **Annual Review of Physiology**, 69 : 341-359.
- Brady, M. C., and others. (1991). Zeolite A stimulates proliferation and protein synthesis in human osteoblast-like cells and the osteosarcoma cell line MG 63. **Journal of Bone Mineral Research**, 6 : S139.
- Burden, T.R., Powell, J.J., and Thompson, R.P.H. (1995). Optimal accuracy, precision and sensitivity of inductive coupled plasma optical emission spectrometry:

- bioanalysis of aluminium. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, 10 : 259-266.
- Calomme, M.R. and Berghe, D.A.V. (1997). Supplementation of calves with stabilized orthosilicic acid effect on the Si, Ca, Mg and P concentration in serum and the collagen concentration in skin and cartilage. **Biological Trace Element Research**, 56 : 153-165.
- Calomme, M.R., and others. (1998). Absorption of silicon in healthy subjects. In P. Collery, P. Brätter, V. Negretti De Brätter, L. Khassanova, and J.C. Etienne. (Eds.), **Metal Ions in Biology and Medicine**, pp. 228-232. Paris : John Libbey Eurotext.
- Calomme, M., and others. (2006). Partial prevention of long-term femoral bone loss in aged ovariectomized rats supplemented with choline-stabilized orthosilicic acid. **Calcified Tissue International**, 78 (4) : 227-232.
- Carlisle, E.M. (1972). An essential element for the chick. **Science**, 178 : 619-621.
- _____. (1986). Silicon as an essential trace element in animal nutrition. In D. Evered and M. O'Connor (Eds.), **Silicon Biochemistry Ciba Foundation Symposium 121**, pp. 123-139. Chichester, UK : John Wiley and Sons.
- _____. (1997). Silicon. In B.L. O' Dell and R.A. Sunde (Eds.), **Handbook of nutritionally essential mineral elements**. pp. 603-618. New York : Marcel Dekker Inc.
- Casey, T.R. and Bamforth, C.W. (2010). Silicon in beer and brewing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 90 (5) : 784-788.
- Chen, F., and others. (1994). Estimates of trace element intakes in Chinese farmers. **Community and International Nutrition**, 124 : 196-201.

- Conway, R.E., and others. (2006). Serum iron curves can be used to estimate dietary iron bioavailability in humans. **Journal of Nutrition**, 136 (7) : 1910-1914.
- D'Haese, P.C., and others. (1995). Increased silicon levels in dialysis patients due to high silicon content in the drinking water, inadequate water treatment procedures, and concentrate contamination : A multicentre study. **Nephrology Dialysis Transplantation**, 10 : 1838-1844.
- Dobbie, J.W. and Smith, M.J. (1982). Silicate nephrotoxicity in the experimental animal : The missing factor in analgesic nephropathy. **Scottish Medical Journal**, 27 : 10-16.
- Domingo, J.L., Gómez, M., and Colomina, M.T. (2011). Oral silicon supplementation: an effective therapy for preventing oral aluminum absorption and retention in mammals. **Nutrition Review**, 69 (1) : 41-51.
- Drion, I.L., Fokkert, M.J., and Bilo, H.J. (2013). Considerations when using creatinine as a measure of kidney function. **Ned Tijdschr Geneeskd**, 157 (38) : A6230.
- Edwardson, J.A, and others. (1993). Effect of silicon on gastrointestinal absorption of aluminium. **The Lancet**, 342 : 211-212.
- Eisinger, J. and Clairet, D. (1993). Effects of silicon, fluoride, etidronate and magnesium on bone mineral density : A retrospective study. **Magnesium Research**, 6 : 247-249.
- Endo, A. (1987). Potential role of phosphoprotein in collagen mineralisation-an experimental study *in vitro*. **Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi**, 61 : 563-575.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 91 : 11-17.

- _____. (1999). Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 50 : 641-664.
- Evans, G.R.D. and Baldwin, B.J. (1997). From cadavers to implants : Silicon tissue assays of medical devices. **Plastic and Reconstructive Surgery**, 100 : 1459-1463
- Exley, C. (1998). Silicon in life : A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, 69 : 139-144.
- Food and nutrition board institute of medicine. (Ed.). (2000). **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, magnesium, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc**. Washington, DC : National academic press.
- Frantz, N.Z., and others. (2008). Effect of dietary nutrients on osteochondrosis lesions and cartilage properties in pigs. **American Journal of Veterinary Research**, 69 (5) : 617-624.
- Garrow, J.S., James, W.P.T., and Ralph, A. **Human nutrition and dietetics**. 10th ed. London : Churchill Livingstone.
- Gropper, S.S., Smith, J.L., and Groff, J.L. (2005). **Advance nutrition and human metabolism**. United State of America : Thomson Wadsworth.
- Haddad, F.S. and Kouyoumdjian, A. (1986). Silica stones in humans. **Urologia interntionalis**, 41 (1) : 70-76.
- Heaney, R.P., Dowell, M.S., and Wolf, R.L. (2002). Estimation of true calcium absorption in men. **Clinical Chemistry**, 48 : 786-788.
- Hildebrand, M, and others. A gene family of silicon transporters. **Nature**, 1997, 385 : 688-689.

Hosokawa, S. and Yoshida, O. (1990). Silicon transfer during haemodialysis.

International Urology and Nephrology, 22 : 373-378.

Hott, M., and others. (1993). Short-term effects of organic silicon on trabecular bone in mature ovariectomised rats. **Calcified Tissue International**, 53 : 174-179.

Izu, A., and others. (2006). Silicon intake to vertebral columns of mice after dietary supply. **Biological Trace Element Research**, 113 (3) : 297-316.

Jakobsen, J., Pedersen, A.N., and Ovesen, L. (2003). Para-aminobenzoic acid (PABA) used as a marker for completeness of 24 hour urine : Effects of age and dosage scheduling. **European Journal of Clinical Nutrition**, 57 (1) : 138-142.

Jugdaohsingh, R. (2007). Silicon and bone health. **Journal of Nutrition Health and Aging**, 11 (2) : 99-110.

Jugdaohsingh, R., Kinrade, S.D., and Powell, J.J. (2008). Is there a biological role for silicon. In P. Collery, P. Bratter, V. Negretti De Bratter, L. Khassanova, J.C. Etienne (Eds.), **Metal ions in biology and medicine**, pp. 45-55. Paris : John Libbey Euro Text.

Jugdaohsingh, and others. (2000). Oligomeric but not monomeric silica prevents aluminium absorption in human. **American Journal of Clinical Nutrition**, 71 : 944-949.

_____. (2002). Dietary silicon intake and absorption. **American Journal of Clinical Nutrition**, 75 : 887-893.

_____. (2004). Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and pre-menopausal women of the Framingham Offspring cohort. **Journal of Bone and Mineral Research**, 19 : 297-307.

- _____. (2008). Increased longitudinal growth in rats on a silicon-depleted diet. **Bone**, 43 (3) : 596-606.
- _____. (2013). Serum silicon concentrations in pregnant women and newborn babies. **British Journal of Nutrition**, 110 : 2004-2010.
- Kelsay, J.L., Behall, K.M., and Prather, E.S. (1979). Effect of fibre from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 32 : 1876-1880.
- Keeting, P.E., and others. (1992). Zeolite A increases proliferation, differentiation, and transforming growth factor production in normal adult human osteoblast-like cells *in vitro*. **Journal of Bone and Mineral Research**, 7 : 1281-1289.
- Kim, M.H. and others. (2009). Silicon supplementation improves the bone mineral density of calcium-deficient ovariectomized rats by reducing bone resorption. **Biological Trace Element Research**, 128 (3) : 239-247.
- _____. (2013). Effects of silicon on osteoblast activity and bone mineralization of MC3T3-E1 cells. **Biological Trace Element Research**, 152 (1) : 105-112.
- Kokubo, T., and others. (2001). Process of calcification on artificial materials. **Zeitschrift Fur Kardiologie**, 90 : 111-186.
- Koller D, and others. (2013). Optimization of operative conditions for the determination of silicon concentrations in *in vitro* and *ex vivo* biological matrices by DRC-ICP-MS. In **European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry**, p 24. February 10-15, 2013. Poland : Krakow.
- Lang, K.J., and others. (2001). Supplemental silicon increases plasma and milk silicon concentrations in horses. **Journal of Animal Science**, 79 (10) : 2627-2633.

- Li, Z., and others. (2010). Absorption of silicon from artesian aquifer water and its impact on bone health in postmenopausal women : A 12 week pilot study. **Nutrition Journal**, 14 (9) : 44.
- Loty, C., and others. (2001). Bioactive glass stimulates *in vitro* osteoblast differentiation and creates a favorable template for bone tissue formation. **Journal of Bone and Mineral Research**, 16 : 231-239.
- Ma, J.F., Yamaji, N., and Mitani-Ueno, N. (2011). Transport of silicon from roots to panicles in plants. **Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences**, 87 : 377-385.
- Macdonald, H.M., and others. (2012). Dietary silicon interacts with oestrogen to influence bone health : Evidence from the Aberdeen Prospective Osteoporosis Screening Study. **Bone**, 50 (3) : 681-7.
- Maehira, F., and others. (2008). Effects of soluble silicon compound and deep-sea water on biochemical and mechanical properties of bone and the related gene expression in mice. (2008). **Journal of Bone Mineral Metabolism**, 26 (5) : 446-55.
- Martin, K.R. (2007). The chemistry of silica and its potential health benefits. **Journal of Nutrition, Health and aging**, 11 (2) : 94-98.
- McNaughton, S.A., and others. (2005). Dietary silicon intake in post-menopausal women. **British Journal of Nutrition**, 94 (5) : 813-817.
- Mertz, W. (1987). Use and misuse of balance studies. **Journal Nutrition**, 117 : 1811-1813.
- Neilsen, F.H. (2002). Silicon nutrition affects urinary and plasma indications of bone and connective tissue metabolism. In M. Anke, R. Müller, U. Schäfer, and M.

- Stoeppler. (Eds.), **Macro and Trace elements**, pp. 1231-1237. Schubert-Verlag : Leipzig.
- Pak, C., and others. (1980). A simple and reliable method for calcium balance using combined period and continuous fecal markers. **Metabolism**, 29 : 793-796.
- Palacios, C., and others. (2013). Magnesium retention from metabolic-balance studies in female adolescents : Impact of race, dietary salt, and calcium. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 97 : 1014-1019.
- Pennington, J.A.T. (1991). Silicon in foods and diets. **Food Additives and Contaminants**, 8 : 97-118.
- Perry, C.C. and Keeling-Tucker, T. (1998). Aspects of the bioinorganic chemistry of silicon in conjunction with the biometals calcium, iron and aluminium. **Journal of Inorganic Biochemistry**, 69 : 181-191.
- Popplewell, J.F., and others. (1998). Kinetics of uptake and elimination of silicic acid by a human subject : A novel application of ^{32}Si and accelerator mass spectrometry. **Journal of Inorganic Biochemistry**, 69 : 177-180.
- Powell, J.J. and others. (2005). A provisional database for silicon content of foods in the United Kingdom. **British Journal of Nutrition**, 94 : 804-812.
- Price, C.T., Koval, K.J., and Langford, J.R. (2013). Silicon : A review of its potential role in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. **International Journal of Endocrinology**, 2013 : 316783 (6 pages).
- Price, C.T., Langford, J.R., and Liporace, F.A. (2012). Essential nutrients for bone health and a review of their availability in the average North American Diet. **The Open Orthopaedics Journal**, 6 : 143-149.

- Reffitt, D.M., and others. (1999). Silicic acid : Its gastrointestinal uptake and urinary excretion in man and effects on aluminium excretion. **Journal of Inorganic Biochemistry**, 76 : 141-147.
- _____. (2003). Orthosilicic acid stimulates collagen type I synthesis and osteoblastic differentiation in human osteoblast-like cells *in vitro*. **Bone**, 32 : 127-135.
- Rico, H., and others. (2000). Effect of silicon supplement on osteopenia induced by ovariectomy in rats. **Calcified Tissue International**, 66 : 53-55.
- Robberecht, H., and others. (2009). Dietary silicon intake in Belgium : Sources, availability from foods, and human serum levels. **Science of the Total Environment**, 407 (16) : 4777-4782.
- Rodan, G.A., Raisz, L.G., and Bilezikian, J.P. (2002). Pathophysiology of osteoporosis. In J.P. Bilezikian, L.G. Raisz, and G.A. Rodan. (Eds.), **Principles of bone biology**, pp. 1275-1289. California : Academic press.
- Roffey, S.J., and others. (2007). What is the objective of the mass balance study? A retrospective analysis of data in animal and human excretion studies employing radiolabeled drugs. **Drug Metabolism Reviews**, 39 : 17-43.
- Sandström, B., and others. (1993). Methods for studying mineral and trace element absorption in humans using stable isotopes. **Nutrition Research Reviews**, 6 (1) : 71-95.
- Schwarz, K. and Minle, D.B. (1972). Growth-promoting effects of silicon in rats. **Nature**, 239 : 333-334.
- Schiano, A., and others. (1979). Silicium, tissu osseux et immunité. **Revue du Rhumatisme**, 46 (7-9) : 483-486.

- Schröder, H.C., and others. (2004). Silica transport in the demosponge suberites domuncula : Fluorescence emission analysis using the PDMPO probe and cloning of a potential transporter. **Biochemical Journal**, 381 : 665-673.
- Seaborn, C.D. and Nielsen, F.H. (1994 a). Dietary silicon affects acid and alkaline phosphatase and ⁴⁵Ca uptake in bone of rats. **The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine**, 7 : 1-11.
- _____. (1994 b). Effect of germanium and silicon on bone mineralisation. **Biological Trace Element Research**, 42 : 151-164.
- _____. (2002 a). Dietary silicon and arginine affect mineral element composition of rat femur and vertebra. **Biological Trace Element Research**, 89 : 239-250.
- _____. (2002 b). Silicon deprivation decreases collagen formation in wounds and bone, and ornithine transaminase enzyme activity in liver. **Biological Trace Element Research**, 89 : 251-261.
- Sjöberg, S. (1996). Silica in aqueous environments. **Journal of non-crystalline solids**, 196 : 51-57.
- Solomons, N.W. (1984). The other trace minerals : Manganese, molybdenum, vanadium, nickel, silicon, and arsenic. In N.W. Solomons and Rosenberg, I.H. (Eds.), **Absorption and malabsorption of mineral nutrients**. pp. 269-295. New York : Alan R Liss.
- Spector, T.D., and others. (2005). Effect of bone turnover and BMD of low dose oral silicon as an adjunct to calcium/vitamin D3 in a randomized placebo-controlled trial. **Journal of bone mineral research**, 20, S172.
- Spritzer. (2556). **What is OSA**. ค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2556 , จาก <http://www.osa.com.my/index/what.html>.

- Sripanyakorn. (2005). **Silicon absorption and bone health**. London : University of London.
- Sripanyakorn, S., and others. (2004). The silicon content of beer and its bioavailability in healthy volunteers. **British Journal Nutrition**, 91 : 403-409.
- _____. (2005). Dietary silicon and bone health. **Nutrition Bulletin**, 30 (3) : 222-230.
- _____. (2009). The comparative absorption of silicon from different foods and food supplements. **British Journal Nutrition**, 102 (6) : 825-34.
- Stein, G.S., Lian, J.B., and Owen, T.A. (1990). Relationship of cell growth to the regulation of tissue-specific gene expression during osteoblast differentiation. **Faseb Journal**, 4 : 3111-3123.
- Taylor PD, Jugdaohsingh R, and Powell JJ. (1997). Soluble silica with high affinity for aluminium under physiological and natural conditions. **Journal of American Chemistry Society**, 119 : 8852-8856.
- Turnlund, J. and others. Copper absorption and retention in young men at three levels of dietary copper by use of stable isotope ⁶⁵Cu. **American Journal of Clinical Nutrition**, 49 : 870-878.
- Uriz, M.J., Turon, X., and Becerro MA. (2000). Silica deposition in demosponges : Spiculogenesis in crambecrambe. **Cell and Tissue Research**, 301 : 299-309.
- Uthus, E.U. and Seaborn, C.D. (1996). Deliberations and evaluations of the approaches, endpoints and paradigms for dietary recommendations of the other trace elements. **Journal Nutrition**, 126 : 2452S-2459S.
- Van Dyck, K., and others. (1999). Bioavailability of silicon from food and food supplements. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, 363 : 541-544.

- _____. (2000). Indication of silicon essentiality in humans : Serum concentration in Belgian children and adults, including pregnant women. **Biological Trace Element Research**, 77 : 25-32.
- Varanasi, V.G., and others. (2012). Si and Ca individually and combinatorially target enhanced MC3T3-E1 subclone 4 early osteogenic marker expression. **Journal of Oral Implantology**, 38 (4) : 325-336.
- Varo, P. and Koivistoinen, P. (1980). Mineral element composition of Finish foods : XII. General discussion and nutritional evaluation. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Supp 22, 166-171.
- Wapnir, R.A. (1990). **Protein nutrition and mineral absorption**. Florida : CRC press.
- Whitney E., and Rolfes, S.R. (2005). **Understanding nutrition**. 10th ed. California : Thomson Wadsworth.
- Whyte, M.P. (2002). Hypophosphatasia : Nature's window on alkaline phosphatase function in man. In J.P. Bilezikian, L.G. Raisz, and G.A. Rodan (Eds.), **Principles of bone biology**. pp. 1229-1248. California : Academic press.
- Wickett, R.R., and others. (2007). Effect of oral intake of choline-stabilized orthosilicic acid on hair tensile strength and morphology in women with fine hair. **Archives of Dermatological Research**, 299 (10) : 499-505.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เอกสารแนะนำอาสาสมัคร

เอกสารแนะนำอาสาสมัคร

ชื่อโครงการ: การศึกษาสมดุลของซิลิกอน นในคน

ชื่อผู้วิจัย: ดร. สุพรรณณี ศรีปัญญากร

สถานที่ปฏิบัติงาน: ห้องพยาบาล ตึกวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย หมายเลข

โทรศัพท์ที่ติดต่อได้สะดวก 0897103984, 042-835223-8 ต่อ

41141-3 โทรสาร 042-813061

เนื้อหาสาระของโครงการวิจัยและความเกี่ยวข้องกับอาสาสมัคร

เหตุผลและความจำเป็นที่ต้องการทำการวิจัย

ปัญหาโรคกระดูกพรุนถือว่าเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนชาวไทย โดยวิธีการรักษาที่ดีที่สุดคือการป้องกันไม่ให้เกิดภาวะกระดูกพรุนขึ้น ซึ่งการป้องกันที่ดีควรเริ่มตั้งแต่วัยเด็ก โดยการทำให้กระดูกมีความแข็งแรงมากที่สุด ทั้งนี้มีสารอาหารหลายชนิดที่ช่วยให้กระดูกแข็งแรง แร่ธาตุซิลิกอนเป็นสารอาหารตัวหนึ่งที่พบว่าส่งผลต่อการสร้างความแข็งแรงของกระดูก โดยแหล่งอาหารแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ ธัญพืชต่างๆ (เช่น บาร์เลย์ โอ๊ต ข้าว ข้าวสาลี ข้าว เป็นต้น) ผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี (เช่น อาหารเข้าที่ทำจากธัญพืช แป้งทำอาหาร ขนมปัง บิสกิต พาสต้า เป็นต้น) และน้ำแร่ธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบในผักบางชนิด ได้แก่ ถั่วฝักยาว ผักโขม ผักชนิดหัว เป็นต้น ซึ่งประมาณร้อยละ 50 ของแร่ธาตุซิลิกอนที่บริโภคจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหาร และขับออกทางปัสสาวะภายใน 4-8 ชั่วโมงหลังการบริโภค อย่างไรก็ตามไม่มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณของซิลิกอนที่เหลือจะไปไหน ซึ่งอาจจะถูกเก็บไว้ในเซลล์ต่างๆของร่างกาย อาจจะถูกขับออกทางอุจจาระ หรืออาจจะถูกดูดซึมเข้า ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาถึงกลไกการดูดซึมและการขับถ่ายซิลิกอนในรูปแบบที่สมดุลในคน เพื่อให้เข้าใจกลไกการดูดซึมและขับถ่ายซิลิกอน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายขับออกเทียบกับปริมาณแร่ธาตุซิลิกอนที่ร่างกายบริโภค ภายหลังการบริโภคน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เสริมและไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน 28.89 มิลลิกรัม ในอาสาสมัครที่ได้รับอาหารที่ปรับเป็นมาตรฐานเดียวกัน

วิธีการศึกษาโดยสังเขป

ถ้าท่านตัดสินใจที่จะเข้าร่วมการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ท่านจะถูกสุ่มให้อยู่หนึ่งในสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มหนึ่ง เป็นกลุ่มที่ได้รับน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 500 ซีซี และกลุ่มสอง เป็นกลุ่มที่ได้รับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 500 ซีซี โดยในการเข้าร่วมการศึกษาวิจัยครั้งนี้ท่านจะต้องมาพบผู้วิจัยเป็นจำนวน 3 ครั้ง ณ ห้องพยาบาล อาคารวิทยาการ ชั้นสอง มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย รวมเป็นเวลาระยะ 3 วัน (ได้แก่ วันที่ 1, วันที่ 2, และวันที่ 3) โดยหนึ่งวันก่อนการทดลองและในช่วงขณะทำการทดลอง อาสาสมัครจะต้องบริโภคอาหารที่มีตามที่ทีมผู้วิจัยจัดให้ ได้แก่ ข้าวราดผัดหมู /ไก่ ข้าวมันไก่ ข้าวผัดคะน้าหมู น้ำส้มคั้น โยเกิร์ต เมลลอน แอปเปิ้ล น้ำดื่ม เป็นต้น นอกจากนี้ในคืนก่อนมาพบผู้วิจัยครั้งแรกอาสาสมัครจะต้องงดน้ำงดอาหาร หลังเที่ยงคืน พร้อมทั้งปัสสาวะให้เรียบร้อยภายหลังตื่นนอนตอนเช้าก่อนมาพบผู้วิจัย เวลา 08.00 น. ของวันทดลองวันแรก อาสาสมัครจะได้รับการชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง จากนั้นพยาบาลวิชาชีพจะทำการแทงเข็มเข้าทางเส้นเลือดดำที่ข้อพับแขนด้านใน เพื่อเก็บตัวอย่างเลือดเป็นจำนวน 4 ซ้อนชา หรือประมาณ 20 ซีซี ถ้าอาสาสมัครถูกสุ่มให้อยู่ในกลุ่มหนึ่ง อาสาสมัครจะได้รับน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 500 ซีซี ถ้าอาสาสมัครถูกสุ่มให้อยู่ในกลุ่มสอง อาสาสมัครจะได้รับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน จำนวน 500 ซีซี โดยจะต้องดื่มให้หมดภายใน 15 นาที หลังจากนั้นพยาบาลวิชาชีพจะเก็บตัวอย่างเลือด 2 ซ้อนชา หรือประมาณ 10 ซีซี ทุกครึ่งชั่วโมงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และที่ชั่วโมงที่ 12, 24 และ 48 หลังดื่มน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสริม/ไม่เสริมแร่ธาตุซิลิกอน โดยตลอดระยะเวลาการทดลองอาสาสมัครจะต้องเก็บปัสสาวะและอุจจาระในภาชนะที่กำหนด และรับประทานอาหาร ตามที่ทีมผู้วิจัยจัดให้ ทั้งนี้ อาสาสมัครจะอยู่ในห้องพยาบาลเฉพาะวันแรกของการทดลองเท่านั้น นอกจากนี้ 1 วันก่อนวันทดลองผู้วิจัยจะต้องเก็บปัสสาวะและอุจจาระลงในภาชนะที่จัดให้ และนำมาส่งให้ทีมผู้วิจัยตามกำหนด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นทั้งต่ออาสาสมัครและต่อผู้อื่น

ผลที่ได้จากการวิจัยจะทำให้ทราบความแปรปรวนของการขับแร่ธาตุซิลิกอน อันจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาสมดุลของแร่ธาตุซิลิกอนโดยใช้วิธีไอโซโทป ซึ่งทำให้ทราบถึงความสามารถในการกักเก็บแร่ธาตุซิลิกอนของร่างกายมนุษย์ภายหลังการบริโภคแร่ธาตุซิลิกอน และการสะสมของแร่ธาตุซิลิกอนในเซลล์ และที่สำคัญผลของการศึกษานี้อาจช่วยอธิบายถึงบทบาทและความจำเป็นของแร่ธาตุซิลิกอนในร่างกายมนุษย์ต่อไป

ความเสี่ยงหรือความไม่สบายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับอาสาสมัครในการเข้าร่วมการศึกษาวิจัย

การเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ อาจทำให้เกิดเลือดออกใต้ผิวหนัง บริเวณที่แทงเข็มเจาะเลือด อย่างไรก็ตามโอกาสที่จะเกิดปัญหาดังกล่าวมีน้อยมากและไม่เป็นอันตรายร้ายแรง ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดปัญหาได้โดยให้พยาบาลวิชาชีพผู้มีความเชี่ยวชาญในการเจาะเลือดเป็นผู้ดำเนินการ ในกรณีที่เกิดปัญหาเลือดออกภายใต้ผิวหนัง ทางผู้วิจัยจะการรักษาพยาบาลโดยไม่คิดมูลค่า นอกจากนี้การเข้าร่วมการศึกษาวิจัยอาจทำให้เกิดความไม่สะดวกในการพกกระป๋องปัสสาวะและอุจจาระ ส่วนน้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ เสริม/ไม่เสริมแร่ธาตุ ซิลิกอนจะถูกเตรียมตามวิธีที่ได้กำหนดไว้ในงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งได้ทดลองมาแล้วว่าเป็นขนาดที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย กรณีที่มีข้อมูลความเสี่ยงใหม่เกิดขึ้นทางผู้วิจัยจะทำการแจ้งให้อาสาสมัครทราบข้อมูลใหม่ในทันที

ขอบเขตการดูแลรักษาความลับของข้อมูลต่างๆ ของอาสาสมัคร

บันทึกที่ระบุข้อมูลส่วนบุคคลของอาสาสมัครจะได้รับการเก็บรักษาเป็นความลับ และจะไม่เปิดเผยข้อมูลเหล่านี้แก่สาธารณชนเกินขอบเขตที่กฎหมายและ หรือระเบียบกฎหมายอนุญาต/ในการตีพิมพ์ผลการวิจัย ข้อมูลส่วนบุคคลของอาสาสมัครจะยังคงเก็บรักษาเป็นความลับ

ผู้กำกับดูแลการวิจัย ผู้ตรวจสอบการวิจัย IRB/IEC และหน่วยงานควบคุมระเบียบกฎหมาย จะได้รับการอนุญาตให้ตรวจสอบเวชระเบียนต้นฉบับอาสาสมัครโดยตรง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีดำเนินการวิจัยทางคลินิกและ หรือข้อมูลอื่น ๆ โดยไม่ละเมิดสิทธิของอาสาสมัครในการรักษาความลับเกินขอบเขตที่กฎหมายและระเบียบกฎหมายอนุญาตไว้ ทั้งนี้โดย

การลงนามในเอกสารใบยินยอม อาสาสมัครหรือผู้แทนโดยชอบธรรมของอาสาสมัครอนุญาตให้บุคคลต่างๆ ข้างต้นมีสิทธิตรวจสอบเวชระเบียนต้นฉบับของอาสาสมัครโดยตรง

การถอนตัวจากโครงการวิจัย

การเข้าร่วมโครงการวิจัยของอาสาสมัครเป็นไปโดยความสมัครใจและอาสาสมัครสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวออกจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่มีผลกระทบต่อประโยชน์ที่อาสาสมัครพึงได้รับ หรือสิทธิที่พึงได้รับตามกฎหมาย

บุคคลที่อาสาสมัครติดต่อได้สะดวก กรณีมีเหตุจำเป็นหรือฉุกเฉิน

ดร. สุพรรณิ ศรีปัญญากร 234 สาขาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ถ. เลย์-เชียงคาน , อ. เมือง, จังหวัด เลย, รหัสไปรษณีย์ 42000 โทรศัพท์: 042-835224-8 ต่อ 41505 , โทรศัพท์มือถือ: 081-7103984 โทรสาร: 042-835342

ภาคผนวก ข

ใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยของอาสาสมัคร

ใบยินยอมด้วยความสมัครใจ

การวิจัยเรื่องการศึกษาสมดุของซิลิกอนในคน

วันที่ให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตรายหรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยหรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดและมีความเข้าใจดีแล้ว

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่างๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบังซ่อนเร้น จนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้และเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้โดยสมัครใจและการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคที่ข้าพเจ้าจะได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าเป็นความลับและจะเปิดเผยได้เฉพาะสรุปผลการวิจัยหรือการเปิดเผยข้อมูลต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสนับสนุนและกำกับดูแลการวิจัยเท่านั้น

ผู้วิจัยรับรองว่าหากเกิดอันตรายใดๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่คิดมูลค่าและจะได้รับการชดเชยรายได้ที่สูญเสียไประหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนเงินทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นและรายละเอียดเกี่ยวกับการรักษาพยาบาลหรือเงินชดเชยดังกล่าว ข้าพเจ้าสามารถติดต่อได้ที่ ดร. สุพรรณิ ศรีปัญญากร สาขาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ถ. เลย์-เชียงคาน อ. เมือง จังหวัดเลย 42000 โทรศัพท์: 089-7103984 โดยบุคคลที่รับผิดชอบเรื่องนี้เป็นคือ ดร. สุพรรณิ ศรีปัญญากร สาขาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ถ. เลย์-เชียงคาน อ. เมือง จังหวัดเลย 42000 โทรศัพท์: 089-7103984

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....)

ลงนาม.....ผู้วิจัย

ลงนาม.....พยาน

ลงนาม.....พยาน

ภาคผนวก ค
ประวัติของผู้ทำวิจัย

ประวัติของผู้ทำวิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) ดร . สุพรรณณี (ศรีปัญญากร) พฤกษา

ชื่อ – สกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Supannee (Sripanyakorn) Pruksa

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

สังกัด สาขาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

หมายเลขโทรศัพท์ 042-835223-8 ต่อ 5105

โทรสาร 042-811143 โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089-710-3984

E-mail : sripanyakorn@yahoo.com

ประวัติการศึกษา พยบ. (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยมหิดล

สม. (สาธิตสุขศาสตร์ เอกโภชนวิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล

Ph.D. (Nutrition) King's College London, UK

Post-doctoral fellow (Nutrition) King's College London, UK

ประวัติการทำงาน 2549-ปัจจุบัน อาจารย์สาขาอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

2550-2552 ประธานสาขาอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

2552-ปัจจุบัน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

ประวัติผลงานตีพิมพ์

- 1) Pruksa S, et al. (2014). Silicon balance in human volunteers; a pilot study to establish the variance in silicon excretion versus intake. *Nutrition and Metabolism*. 11 : 4.
- 2) Jugdaohsingh R, Pruksa S, and Powell J. (2013). Silicon Absorption and Excretion is Independent of Age and Sex in Adults. *British Journal of Nutrition*. Sep ; 110 (6) : 1024-30.
- 3) Jugdaohsingh R, Anderson SH, Lakasing L, Sripanyakorn S, Ratcliffe S, Powell JJ. (2013). Serum silicon concentrations in pregnant women and newborn babies. *British Journal Nutrition*. May ; 23 : 1-7.

- 4) Sripanyakorn S, et al. (2012). Nutrition promotion for school children in Banpakyang primary school at Thalee district, Loei province, Thailand. In *Proceedings of International Conference on Food Science and Nutrition 2012* pp 984-995. April 2-4, 2012. Malaysia : School of food science and nutrition, University Malaysia Sabah.
- 5) Supanee Sripanyakorn. (2011). Comparison of self-care and dietary intake of controlled and uncontrolled type II diabetes at Nadindam subdistrict, Loei province. *Research and Development Journal, Loei Rajabhat University*, 6 (18) : 100-110.
- 6) Sripanyakorn S, et al. (2009). The comparative absorption of silicon from different foods and food supplements. *British Journal of Nutrition*. Sep ; 102 (6) : 825-34.
- 7) Sripanyakorn S, et al. (2009). Moderate ingestion of alcohol is associated with acute ethanol-induced suppression of circulating CTX in a PTH-independent fashion. *Journal of Bone Mineral Research*. Aug ; 24 (8) : 1380-1388.
- 8) มนฤดี นามวงศ์ โยชิน สุริยพงศ์ และสุพรรณ ศรีปัญญากร. (2551, กุมภาพันธ์-พฤษภาคม). การพัฒนาการดำเนินงานสุขาภิบาลอาหารในถนนปลอดภัย ตามมาตรฐานอาหารสะอาดรสชาติอร่อย กรณีศึกษาถนนอาหารเทศบาลเมืองเลย. *วารสารสุขาภิบาลอาหาร*, 11 (2) : 15-20.
- 9) Tucker KL, Jugdaohsingh R, Powell JJ, Qiao N, Hannan MT, Sripanyakorn S, Cupples LA, Kiel DP. (2009). Effects of beer, wine, and liquor intakes on bone mineral density in older men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*. Apr ; 89 (4) : 1188-1196.
- 10) Jugdaohsingh R, O'Connell M, Sripanyakorn S, and Powell JJ. (2006). Moderate Alcohol Consumption and Increased Bone Mineral Density: Potential Ethanol and Non-ethanol Mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*. 65 : 291-310.
- 11) Sripanyakorn S, et al. (2005). Dietary silicon and bone health. *Nutrition Bulletin*. 30 : 222-230.
- 12) Sripanyakorn S, et al. (2004). The silicon content of beer and its bioavailability in healthy volunteers. *British Journal of Nutrition*. 91 : 403-409.

2. ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

- 2.1 ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) ดร . ราวิน จักดาวชิง
 ชื่อ – สกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Ravin Jugdaohsingh
 ตำแหน่งปัจจุบัน Senior Investigator Scientist
 สังกัด Micronutrient Unit, Medical Research Council-Human
 Nutrition Research, University of Cambridge, Fulbourn Road,
 Cambridge, CB1 9NL, UK. โทรศัพท์: +44 122 342 6356
 E-mail : Ravin.Jugdaohsing@mrc-hnr.cam.ac.uk
 ประวัติการทำงาน 1999-2006 Research Fellow and Senior Scientist,
 St Thomas hospital, King's College London
 2007-current Senior Investigator Scientist
 ความชำนาญพิเศษ เคมีและชีวเคมีของแร่ธาตุซิลิกอน ผลของแร่ธาตุซิลิกอนต่อสุขภาพ
 บทบาทและกลไกของแร่ธาตุซิลิกอนในอาหารต่อเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน
 ปฏิสัมพันธ์และผลกระทบของแร่ธาตุซิลิกอนนาโน
 ประวัติผลงานตีพิมพ์ มีผลงานตีพิมพ์ด้านแร่ธาตุซิลิกอนและออลูมิเนียม กว่า 30 เรื่อง ที่
 เว็บไซต์ www.researchgate.net/profile/Ravin_Jugdaohsingh/Publications
- 2.2 ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) ดร . โจนนาธาน พาวเวลล์
 ชื่อ – สกุล (ภาษาอังกฤษ) Professor Dr. Jonathan Powell
 ตำแหน่งปัจจุบัน Head of Department (Cellular and Molecular Science)
 สังกัด Micronutrient Unit, Medical Research Council-Human
 Nutrition Research, University of Cambridge, Cambridge,
 CB1 9NL, UK. โทรศัพท์ : +44 122 342 6356 E-mail :
 Jonathan.Powell@mrc-hnr.cam.ac.uk
 ประวัติการทำงาน 1995-2002 Honorary Lecturer, Department of Gastrointestinal
 Research, Rayne Institute, St Thomas Hospital, London, UK

ประวัติการทำงาน 1998 Visiting Assistant Professor, University of California, California, USA
 1999-2002 Senior Lecturer in Nutrition at King's College London, UK
 2003-2010 Head of Section and Director of Studies
 2011-current Head of Department (Cellular and Molecular Science)
 ความชำนาญพิเศษ ชีววิทยาและชีวเคมีของแร่ธาตุ โดยเฉพาะโมเลกุลขนาดเล็ก
 ขบวนการดูดซึมและการควบคุมระดับเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร
 การพัฒนาอนุภาคนาโนซิลิกาเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และโภชนาการ
 โรคโครน โรคลำไส้อักเสบ และโรคกระดูกพรุน
 ประวัติผลงานตีพิมพ์ มีผลงานตีพิมพ์ กว่า 100 เรื่อง
 ที่เว็บไซต์ www.mrc-hnr.cam.ac.uk/people/jonathan-powell/

- 2.3 ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) ดร . อติทยา ศิริภิญญานนท์
 ชื่อ – สกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Atitaya Siripinyanond
 ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 สังกัด ห้อง C218B ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
 ถ พระราม 6 กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ : +66(0)2-201-5129
 E-mail : scasp@mucc.mahidol.ac.th
 ประวัติการทำงาน 2539-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 ความชำนาญพิเศษ การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์แยกขนาดอนุภาคในระดับนาโนและไมโครเมตร
 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแยกแบบไหลภายใต้สนามร่วมกับเทคนิค
 ทางสเปกโทรสโกปี (Inductively Coupled Plasma Spectroscopy)
 และการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพในการ
 วิเคราะห์ปริมาณและรูปฟอร์มของธาตุ เป็น JAAS International
 Advisory Board วารสาร Journal of Analytical Atomic Spectrometry
 ประวัติผลงานตีพิมพ์ มีผลงานตีพิมพ์ 14 เรื่อง ที่เว็บไซต์ <http://chemistry.sc.mahidol.ac.th/people/faculty/atitaya-siripinyanond/>