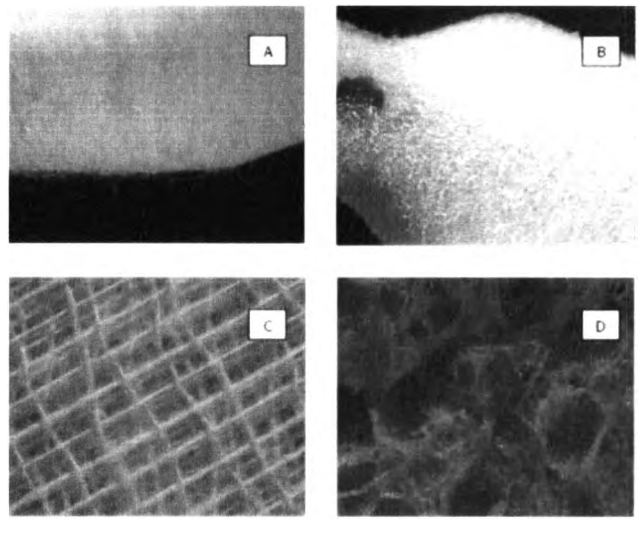
# บทที่ 4
# ผลและวิจารณ์การทดลอง

## 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสวอบและพื้นผิว

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งอุปกรณ์สวอบออกเป็น 4 ชนิด คือ สวอบสำลี สวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลส สวอบลำสีและผ้าก๊อซ เป็นอุปกรณ์แบบดั้งเดิมที่ใช้สวอบบนพื้นผิวในอุตสาหกรรมอาหารและทางการแพทย์ ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543) จากรูปที่ 4.1 สวอบสำลีมีเส้นใยขนาดเล็ก และเรียงตัวอย่างหนาแน่นไม่เป็นระเบียบ ผ้าก๊อซมีเส้นใยขนาดเล็กคล้ายกันแต่เรียงตัวเป็นระเบียบ มีช่องว่างขนาดใหญ่และบางกว่าสวอบชนิดอื่น ฟองน้ำเซลลูโลสทำมาจากเซลลูโลสธรรมชาตินำมาขึ้นรูป (3M Thailand, 2557) ฟองน้ำเซลลูโลสมีรูหลายขนาดและเรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ สวอบโฟมพอลิยูรีเทนเป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้พอลิเมอร์คือ พอลิยูรีเทน (Akutsu et al., 1998) ร่วมกับสารที่ทำให้เกิดฟองทำให้เกิดรู(อโนดาษ์ รัชเวทย์, 2552) สวอบโฟมพอลิยูรีเทนมีรูขนาดเล็กและขนาดใกล้เคียงกัน

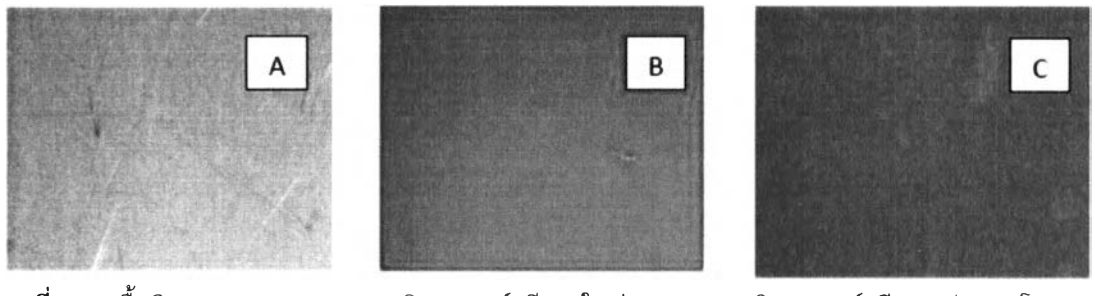



**รูปที่ 4. 1** โครงสร้างของ สวอบสำลี (A) สวอบโฟมพอลิยูรีเทน (B) ผ้าก๊อซ (C) และฟองน้ำเซลลูโลส (D) ด้วยกล้องจุลทรรศน์

พื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บแบคทีเรียแบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้ แผ่นสายพานอาหารพอลิเอสเทอร์ยูรีเทน (PUR) แบบใหม่และเก่าได้จากผู้นำเข้าสายพานและโรงงานผลิตอาหารในประเทศไทยตามลำดับ โรงงานดังกล่าวผลิตอาหารประเภทเนื้อไก่แช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคเพื่อส่งออก ส่วนแผ่นสเตนเลส เกรด 304 พื้นผิว 2B ได้จากโรงงานผลิตเครื่องจักรสำหรับใช้ในโรงงานอาหาร ภายในโรงงานส่วนใหญ่พื้นผิวทั้งสามชนิดนี้จะสัมผัสโดยตรงกับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการผลิต พอลิเอสเทอร์ยูรีเทน หรือ พอลิเอสเทอร์ พอลิยูรีเทน เกิด

จากการผสมกันของ พอลิเอสเทอร์และยูรีเทนแบบโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง (Akutsu et al., 1998) ทำให้มีความเหนียวมากขึ้น สามารถต้านการเกิดรอยถลอกหรือรอยขีดข่วน ทนต่อการยืดหรือฉีกได้ นอกจากนั้นยังทนทานต่อสารเคมีอีกด้วย มักนำมาทำเป็นสายพานลำเลียงอาหาร (Chaturongkasumrit et al., 2011) สเตนเลสหรือเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน โดยมีโครเมียมมากกว่าคาร์บอนซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ($CrO_2$ หรือ passive film) ที่มองไม่เห็นเกาะติดบนผิวหน้า ทำให้ทนทานต่อการกัดกร่อน ถ้าฟิล์มนี้ถูกทำลาย ออกซิเจนในอากาศจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียมและสร้างฟิล์มใหม่ทดแทน ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย และทนทาน (Thai Stainless Steel Development Association)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวสัมผัสอาหาร พบว่า พื้นผิวสเตนเลสเกรด 304 พื้นผิว 2B และพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่มีลักษณะเรียบและแวววาว เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 120x พบรอยขีดและรอยแตกเล็กน้อย ในขณะที่พอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่าสูญเสียความแวววาวและเกิดรอยขรุขระเนื่องจากผ่านการใช้งานและผ่านการทำความสะอาดหลายครั้ง จึงเห็นรอยแตกและหลุมขนาดต่างๆ ตามรูปที่ 4.2



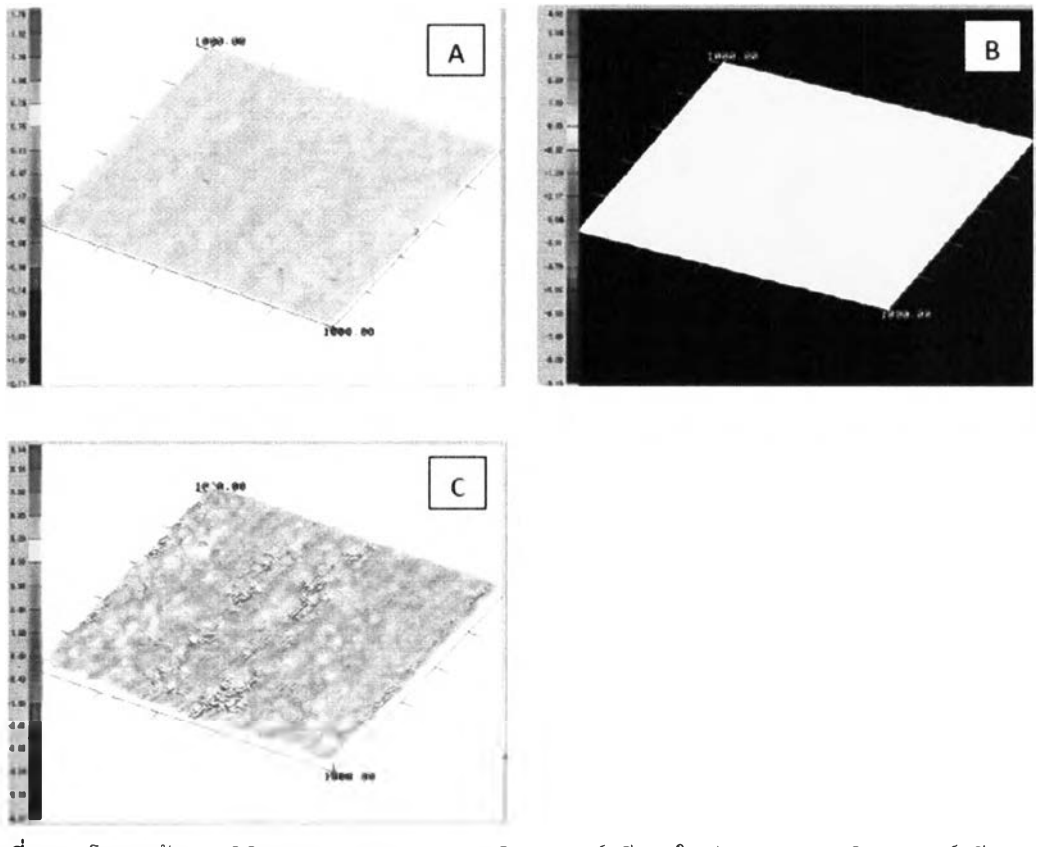

**รูปที่ 4. 2** พื้นผิวของสเตนเลส (A) พอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ (B) และพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่า (C) โดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 120x

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ความขรุขระพื้นผิวสายพานอาหาร

ค่าความขรุขระ (Roughness, Ra) ของผิวสเตนเลส พอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่และเก่า (5 ปี) อยู่ที่ 0.14 ± 0.00 μm 0.05 ± 0.00 μm และ 1.44 ± 0.01 μm ตามลำดับ แสดงว่าผิวของพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่ามีความขรุขระมากกว่าผิวของสเตนเลสและพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ตามลำดับ

โครงสร้างสามมิติของพื้นผิวสัมผัสอาหารแสดงในรูปที่ 4.3 สีเหลืองแสดงถึงพื้นผิวที่ราบแบน พบรูน้อยมากและไม่มีรอยนูนของพื้นผิวสเตนเลสและพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ ในขณะที่สีเขียวและสีฟ้าจากรูปพื้นผิวพอลิยูรีเทนเก่า (5 ปี) แสดงถึงขนาดโพรงที่กว้าง 0 – 200 μm และลึก 0.42 – 9.15 μm จากผลพบว่าการขัดล้างทำความสะอาดสายพานพอลิยูรีเทนและนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้งและเป็นระยะเวลานานจะทำให้ผิวสายพานมีความขรุขระ รอยแตก รอยแยกมากขึ้น เพิ่มโอกาสให้แบคทีเรียสามารถเข้าไปอาศัยและหลบซ่อนได้ (Verran et al., 2008) เพราะแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4

ชนิดนี้มีขนาดเล็กกว่ารูที่เกิดขึ้นบนผิวสายพาน ดังนี้ *E. coli* กว้าง 1 µm ยาว 2 µm (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2009) *S. aureus* มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 µm *S.* Typhimurium มีขนาดกว้างประมาณ 0.6 µm ยาว 1-3µm (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) และ *L. monocytogenes* ขนาดประมาณ 1-2 µm (Bhunia, 2008) ทำให้สามารถมีชีวิตรอดและเพิ่มจำนวนจนเกิดเป็นไบโอฟิล์มได้ (Kumar & Anand, 1998)




**รูปที่ 4. 3** โครงสร้าง 3 มิติ ของสเตนเลส (A), พอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ (B) และพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่า (C)

1312347117

### 4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพจำนวนแบคทีเรียที่ปล่อยออกจากสวอบ

จำนวนแบคทีเรียที่ปล่อยออกจากสวอบ 4 ชนิด คือ สวอบสำลี สวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลส หลังจากการใส่สารละลายแบคทีเรียแต่ละชนิด (*E. coli S. aureus S.* Typhimurium และ *L. monocytogenes*) ปริมาตร 5 log CFU/swab ลงบนสวอบโดยตรง

ผลการทดลองดังตารางที่ พบว่า ประสิทธิภาพการปล่อย *E. coli* จากฟองน้ำเซลลูโลสและสวอบโฟมพอลิยูรีเทนมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) และมากกว่าผ้าก๊อซและสวอบสำลี ตามลำดับ ประสิทธิภาพการปล่อย *S. aureus* จากฟองน้ำเซลลูโลส มีค่ามากกว่าสวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและสวอบสำลี ตามลำดับ ประสิทธิภาพการปล่อย *S.* Typhimurium และ *L. monocytogenes*

จากฟองน้ำเซลลูโลสและผ้าก๊อซมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) และมากกว่า สวอบโฟมพอลิยูรีเทน และสวอบสำลี ตามลำดับ

จำนวนแบคทีเรียเฉลี่ยที่ได้จากสวอบแต่ละชนิดเรียงจากมากไปน้อยมีดังนี้ ฟองน้ำเซลลูโลส มีค่าเฉลี่ย 97.66% สวอบโฟมพอลิยูรีเทนมีค่าเฉลี่ย 97.38% ผ้าก๊อซมีค่าเฉลี่ย 96.79% และสวอบสำลีมีค่าเฉลี่ย 83.5% โดยพบว่าประสิทธิภาพในการปล่อยแบคทีเรียแต่ละชนิดออกจากอุปกรณ์สวอบ คือ ฟองน้ำเซลลูโลส ผ้าก๊อซและสวอบโฟมพอลิยูรีเทนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 94.09 - 99.34% สวอบสำลีที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 80.76-87.17% จากผลการทดสอบนี้พบว่าอุปกรณ์สวอบสามารถกักเก็บแบคทีเรียไว้และปล่อยออกมาได้ไม่หมด จึงมีแบคทีเรียจำนวนหนึ่งที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในภายในสวอบ จากงานของ Rose et al. (2004) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุ สวอบในการกักเก็บสปอร์ของ *Bacillus anthracis* พบว่าสวอบสำลีและสวอบโฟมสามารถปล่อยสปอร์ของ *Bacillus anthracis* ได้เฉลี่ย 93.9% และ 93.4% ค่าเฉลี่ยของสวอบสำลีมีค่ามากกว่าเพราะว่าวิธีการทดสอบแตกต่างกัน โดยใส่สารละลายสปอร์ลงบนสวอบก่อนแล้วนำสวอบไปจุ่มบัฟเฟอร์ ซึ่งแตกต่างกับวิธีการทดสอบของงานนี้ที่จุ่มสวอบลงในสารละลายบัฟเฟอร์ก่อนแล้วจึงนำไปใส่สารละลายแบคทีเรีย ทำให้สวอบสำลีกักเก็บจำนวนแบคทีเรียได้มากกว่า ส่วนสวอบโฟมมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าการทดสอบนี้เพราะว่าการหมุนของสวอบในช่วงขั้นตอน vortex ต่างกัน โดยปกติการ vortex จะใช้แรงเหวี่ยงหัวสวอบเป็นวงกลมภายในหลอด แต่การทดสอบนี้ก้านสวอบโฟมพอลิยูรีเทนจะถูกยึดอยู่ติดกับฝาและเมื่อนำไป vortex หัวสวอบจะสั่นอยู่กลางหลอดซึ่งคาดว่าทำให้แบคทีเรียที่ออกจากหัวสวอบมีจำนวนมากกว่า Moore and Griffith (2007) ศึกษาผลกระทบจากวัสดุสวอบต่อการกักเก็บและปล่อย *E. coli* และ *S. aureus* ออกจากสวอบ พบว่า สวอบสำลีดูดซับสารละลายได้ดีกว่าสวอบชนิดอื่น ดังนั้นจากคุณสมบัติการดูดซับความชื้นดีควรกักเก็บแบคทีเรียไว้ในสวอบได้มากและจำนวนแบคทีเรียที่ได้น่าจะมีปริมาณมาก แต่พบว่าจำนวนแบคทีเรียที่เก็บได้จากสวอบสำลีมีปริมาณน้อยกว่าสวอบชนิดอื่นและพบว่ามีแบคทีเรียส่วนหนึ่งติดอยู่ในเส้นใยสำลี ซึ่งแสดงว่าสวอบสำลีถึงแม้ว่าจะดูดความชื้นได้ดีแต่ถ้าปล่อยแบคทีเรียออกจากสวอบได้ไม่ดีจะส่งผลให้จำนวนที่ได้น้อยลง

จากผลการทดลองพบว่า โครงสร้างของสวอบและคุณสมบัติเส้นใยมีผลต่อการปล่อยแบคทีเรียออกจากอุปกรณ์สวอบ สวอบโฟมพอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น (อโนดาษ์ รัชเวทย์, 2552) ทำให้ดูดซับสารละลายแบคทีเรียและปล่อยแบคทีเรียออกจากสวอบได้ดีใกล้เคียงกับฟองน้ำเซลลูโลสที่ทำจากเซลลูโลสธรรมชาติซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บความชื้นได้ดีเช่นกัน อุปกรณ์สวอบทั้งสองชนิดมีรูขนาดใหญ่ เมื่อใส่สารละลายแบคทีเรียลงบนสวอบ สวอบทั้งสองชนิดสามารถดูดซับสารละลายเชื้อไว้ได้หมดและการปล่อยสารละลายแบคทีเรีย สวอบสำลีและผ้าก๊อซทำจากเส้นใยธรรมชาติ ประกอบด้วยกลุ่มเซลลูโลสที่มี hydroxyl group ที่ชอบจับน้ำและพองตัว (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543) เมื่อใส่สารละลายแบคทีเรียลงบนสวอบที่เปียกด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ฟองน้ำเซลลูโลสและสวอบพอลิยูรีเทนสามารถดูดซับสารละลายเชื้อไว้ได้หมด ในขณะที่สวอบสำลีและผ้าก๊อซดูดซับสารละลายแบคทีเรียได้น้อยเนื่องจากสวอบอิ่มตัวจากสารละลายบัฟเฟอร์แล้ว อย่างไรก็ตาม ผ้าก๊อซมีการดูดซับต่ำ เพราะมีรูขนาดใหญ่และบางที่สุดแต่โครงสร้างนี้เอื้อประโยชน์ให้ปล่อยแบคทีเรียออกจากสวอบได้ดีกว่าสวอบชนิดอื่นๆเช่นกัน ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรีย

ที่ได้สูงกว่าสวอบสำลีที่ดูดซับและปล่อยสารละลายเชื้อออกจากสวอบได้น้อย จำนวนแบคทีเรียที่ได้ต่ำที่สุด Moore and Griffith (2002b) รายงานเปอร์เซ็นต์การปล่อยเชื้อ *Salmonella* spp. ออกจากสวอบ พบว่าสวอบสำลีมีค่า 44.65% และสวอบโฟมมีค่า 45.53% มีค่าต่ำกว่าการทดลองนี้ คาดว่ามีผลมาจากการใช้สารละลายแบคทีเรียจำนวนน้อยกว่าใส่ลงบนสวอบ

จากผลการทดลองที่ได้นี้สนับสนุนว่าโครงสร้างทางกายภาพและลักษณะการดูดซับและปล่อยความชื้นของอุปกรณ์สวอบมีผลต่อจำนวนแบคทีเรียที่ได้จากการใช้เทคนิคสวอบเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวสัมผัสอาหาร

**ตารางที่ 4. 1** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการปล่อยเชื้อแบคทีเรียของสวอบโดยการใส่เชื้อลงบนสวอบโดยตรง

| แบคทีเรีย | ชนิดสวอบ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | สำลี | โฟม | ผ้าก๊อซ | ฟองน้ำ |
| *E. coli* | 87.17 ± 1.41$^{e}$ | 99.34 ± 0.66$^{a}$ | 97.82 ± 0.70$^{a,b}$ | 98.98 ± 0.61$^{a}$ |
| *S. aureus* | 84.43 ± 1.13$^{f}$ | 96.72 ± 1.78$^{b,c}$ | 97.55 ± 1.00$^{a,b,c}$ | 99.07 ± 0.41$^{a}$ |
| *S.* Typhimurium | 80.76 ± 2.42$^{g}$ | 95.71 ± 1.50$^{c,d}$ | 93.85 ± 0.70$^{d}$ | 94.09 ± 0.80$^{d}$ |
| *L. monocytogenes* | 81.62 ± 0.26$^{g}$ | 97.76 ± 1.43$^{a,b,c}$ | 97.94 ± 0.63$^{a,b}$ | 98.49 ± 0.38$^{a,b}$ |
| ค่าเฉลี่ยรวม | 96.79 | 97.38 | 96.79 | 97.66 |

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในตารางที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

การทดสอบทางสถิติแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ข.1-3

### 4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวสัมผัสอาหาร

จุดประสงค์หลักในการรับประกันมาตรฐานความปลอดภัยของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้กับอาหารเพื่อรักษาอายุการเก็บของอาหาร รับประกันสุขอนามัยที่ดี ปราศจากการปนเปื้อนของแบคทีเรียก่อโรค ถึงแม้ว่าภายในกระบวนการผลิตจะใช้ HACCP แต่ยังคงพบแบคทีเรียก่อโรคบนพื้นผิวสัมผัสอาหารหลังการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ ดังนั้นจึงได้มีการนำหลักการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาเข้ามาตรวจสอบในระบบการผลิตด้วย (Legnani et al., 2004) สวอบเป็นเทคนิคหนึ่งที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งการเลือกและนำไปใช้ขึ้นอยู่กับต้องการและบังคับใช้ของแต่ละโรงงาน ในงานวิจัยนี้จึงได้นำปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเก็บแบคทีเรียบนพื้นผิวสัมผัสอาหารด้วยเทคนิคสวอบ เช่น วัสดุสวอบ ชนิดพื้นผิว การสวอบขณะพื้นผิวแห้งและเปียก โดยใช้สารละลายแบคทีเรีย 5 log CFU/coupon ใส่ลงบนผิวสัมผัสอาหาร 3 แบบ (สเตนเลส เกรด 304 พอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่าและใหม่) 2 ขนาด คือแผ่นทดสอบขนาด 10 cm x 10 cm ใช้กับสวอบสำลีและโฟม และขนาด 30 cm x 30 cm ใช้กับผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลส เมื่อใส่สารละลายแบคทีเรียลงบนพื้นผิวทดสอบแล้ว เกลี่ยสารละลายให้ทั่วพื้นผิว จากนั้นใช้อุปกรณ์สวอบเก็บแบคทีเรียขึ้นจากพื้นผิวทันที (พื้นผิวขณะเปียก) หรือปล่อยให้พื้นผิวแห้งก่อนประมาณ 1 ชั่วโมงหรือมองไม่เห็นสารละลายอยู่บนพื้นผิวแล้ว (พื้นผิวขณะแห้ง) จึงใช้อุปกรณ์สวอบเก็บแบคทีเรีย

1312347117

### 4.3.1 จำนวนแบคทีเรียแต่ละชนิดที่เก็บจากพื้นผิว

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนแบคทีเรียแต่ละชนิดที่เก็บได้จากพื้นผิวมีค่าหลากหลายขึ้นอยู่กับแบคทีเรียแต่ละชนิด และพบว่าจำนวนแบคทีเรียแต่ละชนิดที่ได้จากการสวอบขณะพื้นผิวเปียกมีค่ามากกว่าการเก็บในขณะพื้นผิวแห้งโดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ การเก็บ *E. coli* บนพื้นผิวเปียกมีค่าอยู่ในช่วง 77.93–98.54% มากกว่าการสวอบบนพื้นผิวขณะแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 33.85–76.54% การเก็บ *S. aureus* บนพื้นผิวเปียกมีค่าอยู่ในช่วง 79.01–100.78% มากกว่าการสวอบบนพื้นผิวขณะแห้งที่มีค่าอยู่ในช่วง 53.16–78.40% การเก็บ *S.* Typhimurium บนพื้นผิวเปียกมีค่าอยู่ในช่วง 80.09–95.74% มากกว่าการสวอบบนพื้นผิวขณะแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 36.71–74.55% การเก็บ *L. monocytogenes* บนพื้นผิวเปียกมีค่าอยู่ในช่วง 81.61–97.2% มากกว่าการสวอบบนพื้นผิวขณะแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 47.64–77.96% เป็นผลมาจากน้ำซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบคทีเรียมีชีวิตอยู่ เมื่อสารละลายระเหยออกไป ทำให้แบคทีเรียต้องปรับตัวให้อยู่ในสิ่งแวดล้อมภาวะขาดแคลนส่งผลต่อการฉีกขาดของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือเซลล์ตายจากสภาวะขาดน้ำและอาหารได้ (Davidson, Griffith, Peters, & Fielding, 1999) สอดคล้องกับ Moore and Griffith (2007) ที่พบว่าน้ำมีผลต่อการอยู่รอดของแบคทีเรียบนพื้นผิวสเตนเลส โดยใส่สารละลาย *Salmonella* spp. ที่มีจำนวนแบคทีเรียเท่ากัน (3 log CFU/coupon) แต่มีปริมาตรไม่เท่ากัน (12.5 µl และ 100 µl) ลงบนพื้นผิวขนาดเท่ากันเมื่อปล่อยให้แห้งนาน 1 ชั่วโมงพบว่าจำนวนแบคทีเรียไม่ลดลง มีรายงานการวิจัยยังพบอีกว่าในสภาวะที่น้ำและอาหารน้อยหรือไม่มีอาหาร แบคทีเรียแกรมลบมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก (Egwari & Taiwo, 2004; Liao & Shollenberger, 2003) แต่จากการทดลองนี้ไม่พบแนวโน้มความสัมพันธ์ของชนิดแบคทีเรียที่มีผลต่อจำนวนแบคทีเรียที่เก็บได้จากพื้นผิวสัมผัสอาหาร

131234711

### 4.3.2 ชนิดพื้นผิวสัมผัสอาหารที่มีผลต่อการใช้เทคนิคสวอบเก็บแบคทีเรีย

เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวทั้ง 3 แบบขณะพื้นผิวเปียกและขณะพื้นผิวแห้ง ดังนี้ อุปกรณ์สวอบที่เก็บ *E. coli* จากพื้นผิวเปียกได้จำนวนเฉลี่ยมากที่สุด คือ ฟองน้ำเซลลูโลสและสวอบโฟมพอลิยูรีเทน ส่วนสวอบสำลีและผ้าก๊อซเก็บแบคทีเรียได้จำนวนน้อยที่สุด อุปกรณ์สวอบที่เก็บ *E. coli* จากพื้นผิวแห้งได้จำนวนเฉลี่ยมากที่สุด คือ ฟองน้ำเซลลูโลส สวอบโฟมพอลิยูรีเทนและผ้าก๊อซ ส่วนสวอบสำลีเก็บแบคทีเรียได้จำนวนน้อยที่สุด (รูปที่ 4.4) การใช้อุปกรณ์สวอบเก็บ *S. aureus* จากผิวสัมผัสอาหารในขณะพื้นผิวเปียก พบว่า ฟองน้ำเซลลูโลส ผ้าก๊อซและสวอบโฟมพอลิยูรีเทนเก็บแบคทีเรียได้จำนวนมากที่สุด ส่วนสวอบสำลีเก็บ *S. aureus* ได้น้อยที่สุด ในขณะที่พื้นผิวแห้ง ฟองน้ำเซลลูโลสและผ้าก๊อซเก็บแบคทีเรียได้มากที่สุดและ สวอบสำลีเก็บได้น้อยที่สุด (รูปที่ 4.5) การใช้อุปกรณ์สวอบเก็บ *S.* Typhimurium จากผิวสัมผัสอาหาร ในขณะพื้นผิวเปียก พบว่า ฟองน้ำเซลลูโลสและผ้าก๊อซเก็บแบคทีเรียได้จำนวนมากที่สุด ส่วนสวอบสำลีเก็บ *S. aureus* ได้น้อยที่สุด ในขณะที่พื้นผิวแห้ง ฟองน้ำเซลลูโลสและผ้าก๊อซเก็บแบคทีเรียได้มากที่สุดและสวอบสำลีเก็บได้น้อยที่สุด (รูปที่ 4.6) อุปกรณ์สวอบที่เก็บ *L. monocytogenes* จากพื้นผิวขณะเปียกได้จำนวนมากที่สุด คือ ฟองน้ำเซลลูโลส ผ้าก๊อซและสวอบโฟมพอลิยูรีเทน ส่วนสวอบสำลีเก็บได้น้อยที่สุด ในขณะที่พื้นผิวแห้ง ฟองน้ำเซลลูโลสดีที่สุด

และสวอบสำลีเก็บแบคทีเรียได้จำนวนน้อยที่สุด (รูปที่ 4.7) Moore and Griffith (2007) ใช้สวอบสำลีเก็บ *E. coli* จากพื้นผิวสเตนเลสขณะเปียกและขณะแห้ง (1 ชั่วโมง) ได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 74.56% และ 75.46% ต่างกับค่าที่ได้จากการทดลอง อาจมีสาเหตุจากขนาดพื้นผิวทดสอบ (5 cm x 5 cm) ปริมาตรสารละลายแบคทีเรียที่ใส่ลงบนพื้นผิวและวิธีการคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ และใช้สวอบสำลีเก็บ *S. aureus* จากพื้นผิวสเตนเลสขณะเปียกและขณะแห้ง (1 ชั่วโมง) ได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 64.54% และ 76.97% ซึ่งต่างกับการทดสอบนี้ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การเก็บ *S. aureus* บนพื้นผิวเปียกที่ 79.01% และขณะพื้นผิวแห้งที่ 58.63% อาจเป็นเพราะวิธีการทดลองและเทคนิคการสวอบที่แตกต่างกัน รวมถึงการใช้สารลดแรงตึงผิว tween 80 ที่ช่วยในการดึงแบคทีเรียจากพื้นผิวและช่วยแยกกลุ่มเซลล์ของ *S. aureus* ในขณะสวอบ

โดยปกติหลังการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อบนพื้นผิวที่ใช้ในกระบวนการผลิต จะพบแบคทีเรียอยู่บนพื้นผิวประมาณ <2.5 CFU/$cm^2$ (Moore & Griffith, 2007) สาเหตุหนึ่งมาจากลักษณะของพื้นผิว เช่น เมื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้าง 3 มิติของพื้นผิวสเตนเลสจากข้อ 4.1 จะเห็นว่าพื้นผิวมีความขรุขระ มีหลุมที่แบคทีเรียสามารถเข้าไปซ่อนตัวได้ ซึ่งในรูดังกล่าวอาจมีน้ำและสารอาหารอยู่ด้วยช่วยเพิ่มการอยู่รอดของแบคทีเรียได้มากขึ้น จะเห็นได้จากการทดลองนี้ถึงแม้ว่าการปล่อยให้พื้นผิวแห้งประมาณ 1 ชั่วโมง ยังคงสามารถตรวจพบแบคทีเรียได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Moore and Griffith (2002b) แผ่นตัวอย่างควบคุมที่ใส่สารละลายแบคทีเรียลงไปเกลี่ยให้ทั่วและปล่อยให้พื้นผิวแห้งประมาณ 1 ชั่วโมง ยังตรวจพบแบคทีเรียได้แต่มีจำนวนลดลงจากเดิมประมาณ 45% ในงานวิจัยนี้ประสิทธิภาพการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวขณะแห้งลดลงอยู่ในช่วง 33.85-78.40% (เฉลี่ย 60.46%) เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการเก็บแบคทีเรียขณะพื้นผิวเปียก ประสิทธิภาพการเก็บเชื้อที่ลดลงอาจเกิดจากความแห้งที่ทำให้แบคทีเรียที่มีชีวิตลดจำนวนลง (Davidson et al., 1999) นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังพบว่าแบคทีเรียสามารถอยู่รอดบนพื้นผิวขณะแห้งได้ (ประมาณ 1 ชั่วโมง) และสามารถใช้เทคนิคสวอบในการตรวจแบคทีเรียได้

131234711 7

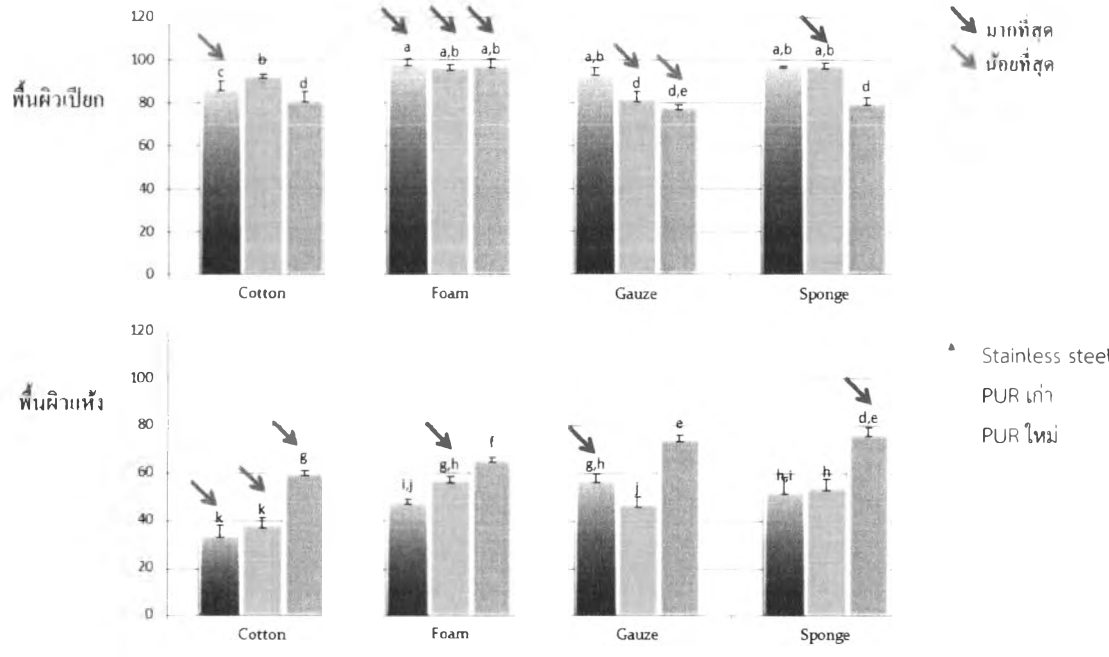
**ตารางที่ 4. 2** เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์จำนวนแบคทีเรียแต่ละชนิดที่เก็บได้จากพื้นผิวขณะเปียกและแห้ง

| | | ชนิดสวอบ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | สำลี | | โฟม | | ผ้าก๊อซ | | ฟองน้ำ | |
| พื้นผิว | แบคทีเรีย | เปียก | แห้ง | เปียก | แห้ง | เปียก | แห้ง | เปียก | แห้ง |
| สเตนเลส | *E. coli* | 86.89 ± 3.46$^{l,g}$ | 33.85 ± 4.17$^{r}$ | 98.54 ± 2.13$^{a}$ | 47.97 ± 1.05$^{p,q}$ | 93.72 ± 2.99$^{a,b,c,d,e,f}$ | 56.92 ± 2.73$^{m,n,o}$ | 97.28 ± 0.23$^{a}$ | 52.32 ± 6.05$^{n,o,p}$ |
| | *S. aureus* | 79.01 ± 4.23$^{h,i}$ | 58.63 ± 3.01$^{m,n}$ | 89.81 ± 2.57$^{b,c,d,e,f}$ | 51.35 ± 0.84$^{o,p}$ | 93.70 ± 4.49$^{a,b,c,d,e,f}$ | 69.74 ± 5.94$^{j,k,l}$ | 96.28 ± 4.04$^{a,b,c}$ | 63.49 ± 4.82$^{l,m}$ |
| | *S.* Typhimurium | 87.88 ± 9.54$^{e,f,g}$ | 41.81 ± 3.82$^{q}$ | 88.38 ± 8.29$^{d,e,f,g}$ | 58.94 ± 1.23$^{m,n}$ | 92.13 ± 4.79$^{a,b,c,d,e,f}$ | 52.40 ± 3.25$^{n,o,p}$ | 89.48 ± 2.46$^{c,d,e,f}$ | 73.22 ± 1.65$^{i,j,k}$ |
| | *L. monocytogenes* | 81.61 ± 2.84$^{g,h}$ | 47.64 ± 4.85$^{p,q}$ | 97.13 ± 0.40$^{a,b}$ | 66.66 ± 2.05$^{k,l}$ | 94.88 ± 0.38$^{a,b,c,d,e}$ | 69.97 ± 1.44$^{j,k,l}$ | 95.41 ± 1.49$^{a,b,c,d}$ | 73.74 ± 2.64$^{i,j}$ |
| PUR (เก่า) | *E. coli* | 92.49 ± 0.76$^{A}$ | 37.85 ± 3.44$^{K}$ | 96.06 ± 1.67$^{A}$ | 56.61 ± 1.86$^{H}$ | 81.58 ± 3.82$^{C,D}$ | 46.72 ± 3.12$^{M}$ | 97.19 ± 1.67$^{A}$ | 53.89 ± 3.82$^{H,J}$ |
| | *S. aureus* | 84.04 ± 0.67$^{C}$ | 53.16 ± 7.17$^{H,I,J}$ | 97.33 ± 2.48$^{A}$ | 66.50 ± 2.25$^{G}$ | 95.86 ± 3.76$^{A}$ | 74.14 ± 1.50$^{D,E,F}$ | 97.08 ± 2.94$^{A}$ | 78.40 ± 3.37$^{C,D,E}$ |
| | *S.* Typhimurium | 80.09 ± 4.51$^{C,D,E}$ | 45.50 ± 4.40$^{J}$ | 90.71 ± 0.50$^{A,B}$ | 52.06 ± 8.04$^{H,I,J}$ | 81.02 ± 8.70$^{C,D}$ | 52.58 ± 9.42$^{H,I,J}$ | 92.33 ± 1.28$^{A}$ | 74.55 ± 10.61$^{D,E,F}$ |
| | *L. monocytogenes* | 84.69 ± 1.07$^{B,C}$ | 50.83 ± 2.57$^{H,I,J}$ | 96.79 ± 0.48$^{A}$ | 68.70 ± 1.51$^{F,G}$ | 95.49 ± 0.58$^{A}$ | 72.74 ± 3.21$^{E,F,G}$ | 96.66 ± 1.38$^{A}$ | 77.96 ± 1.13$^{C,D,E}$ |
| PUR (ใหม่) | *E. coli* | 81.58 ± 3.66$^{g,h,i,j}$ | 60.04 ±0.83$^{l,m}$ | 97.49 ±2.96$^{a}$ | 65.59 ±0.76$^{h,i,j}$ | 77.93 ±1.13$^{c,d,e,f,g}$ | 74.40 ±1.85$^{e,f,g,h}$ | 80.12 ±2.64$^{b,c,d,e,f}$ | 76.54 ±2.80$^{d,e,f,g}$ |
| | *S. aureus* | 84.04 ±0.67$^{b,c,d}$ | 63.31 ±0.76$^{i,j}$ | 97.33 ±2.48$^{a}$ | 66.95 ±2.14$^{h,i,j}$ | 100.78 ±3.28$^{a}$ | 70.78 ±14.93$^{g,h,i}$ | 98.19 ±0.48$^{a}$ | 71.25 ±11.12$^{f,g,h,i}$ |
| | *S.* Typhimurium | 79.77 ±1.43$^{b,c,d,e,f}$ | 36.72 ±4.52$^{n}$ | 87.30 ±0.47$^{b}$ | 44.07 ±2.93$^{n}$ | 85.60 ±0.00$^{b,c}$ | 65.94 ±6.53$^{h,i,j}$ | 95.74 ±4.00$^{a}$ | 58.82 ±14.01$^{j,k}$ |
| | *L. monocytogenes* | 85.65 ±1.80$^{b,c}$ | 52.76 ±3.23$^{k}$ | 96.99 ±2.18$^{a}$ | 70.44 ±0.77$^{e,f,g}$ | 95.33 ±0.94$^{a}$ | 71.98 ±1.42$^{f,g,h,i}$ | 97.20 ±0.75$^{a}$ | 71.72 ±0.72$^{f,g,h,i}$ |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 83.98 | 48.51 | 94.49 | 59.65 | 90.67 | 64.86 | 94.41 | 68.83 |

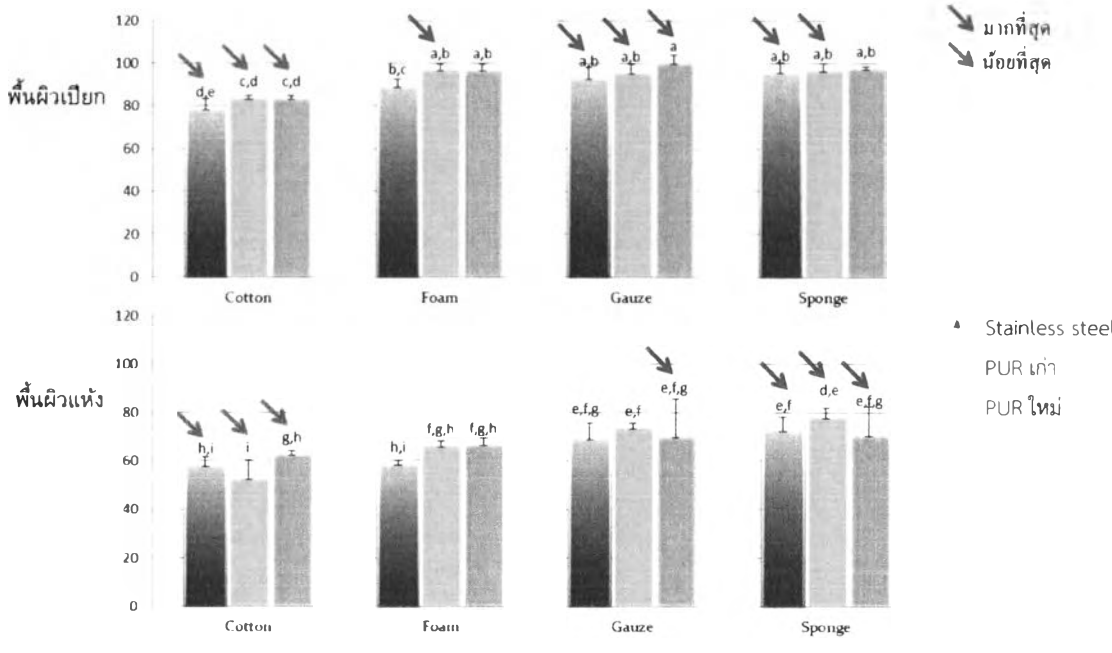
ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในตารางที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบทางสถิติแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ข.4-15

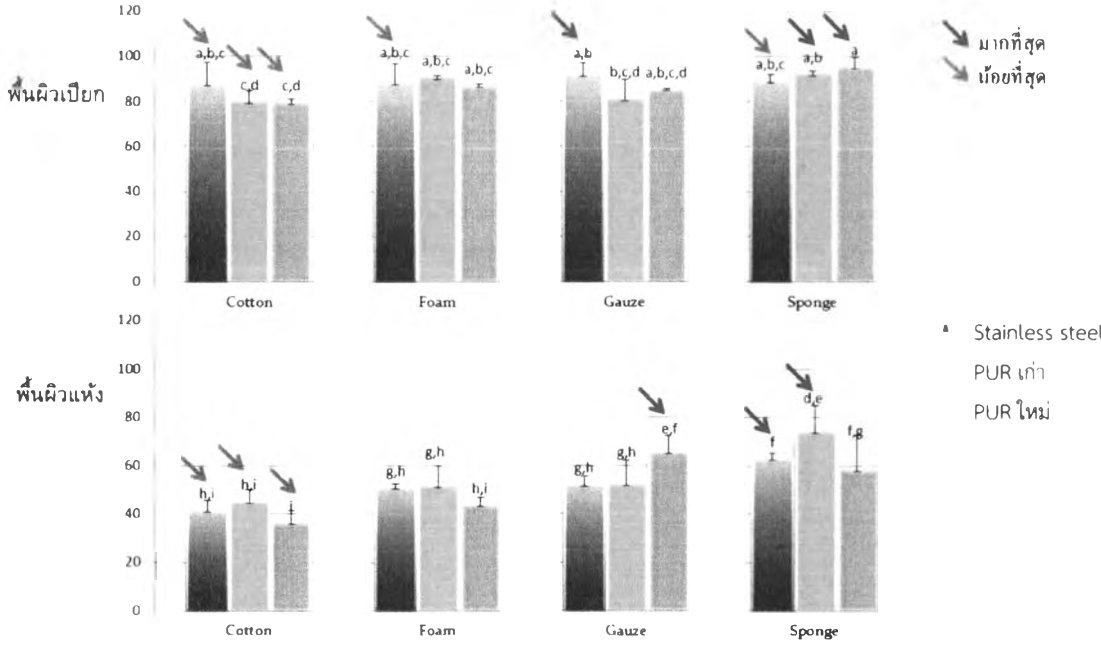



**รูปที่ 4. 4** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บ *E. coli* จากพื้นผิวขณะเปียกและแห้ง

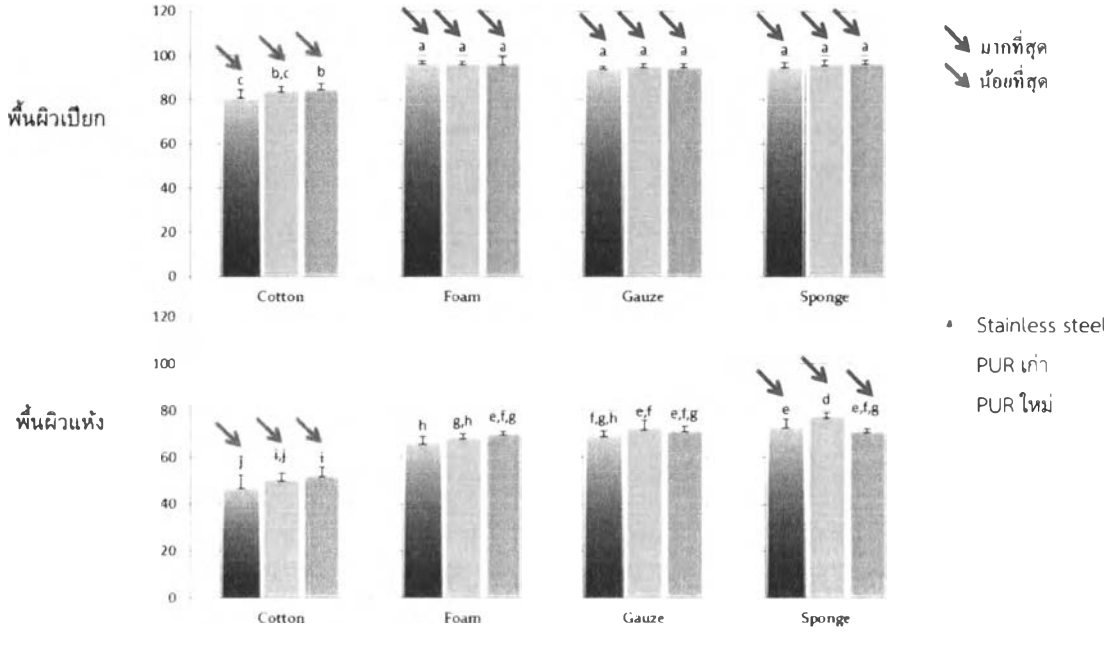



**รูปที่ 4. 5** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บ *S. aureus* จากพื้นผิวขณะเปียกและแห้ง

1312347117




**รูปที่ 4. 6** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บ *S.* Typhimurium จากพื้นผิวขณะเปียกและแห้ง




**รูปที่ 4. 7** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บ *L. monocytogenes* จากพื้นผิวขณะเปียกและแห้ง

**4.3.3 อุปกรณ์สวอบที่มีผลต่อจำนวนแบคทีเรียที่เก็บได้จากพื้นผิวสัมผัสอาหาร**

ผู้ทำการทดลองได้วางแผนการทดลองโดยอ้างอิงให้ใกล้เคียงกับการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมตามที่ U.S. Food and Drug Administration ได้แนะนำการใช้อุปกรณ์สวอบและขนาดพื้นที่ในการเก็บแบคทีเรียบนผิวสัมผัสอาหารหรือสิ่งแวดล้อมภายในโรงงานเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของอุปกรณ์สวอบ สวอบสำลีให้สวอบในพื้นที่อย่างน้อยขนาด 10 cm x 10 cm ส่วนฟองน้ำควรสวอบในพื้นที่อย่างน้อยขนาด 30 cm x 30 cm พื้นที่ในการเก็บแบคทีเรียที่เพิ่มมากขึ้นเพราะปกติแล้วการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อจะต้องกำจัดหรือลดจำนวนแบคทีเรียให้มีน้อยที่สุด ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่การสวอบจึงทำให้มีแนวโน้มที่จะตรวจพบแบคทีเรียก่อโรคที่อาจก่ออันตรายต่อสุขอนามัยของอาหารและความปลอดภัยของผู้บริโภค (Clemons, 2010)

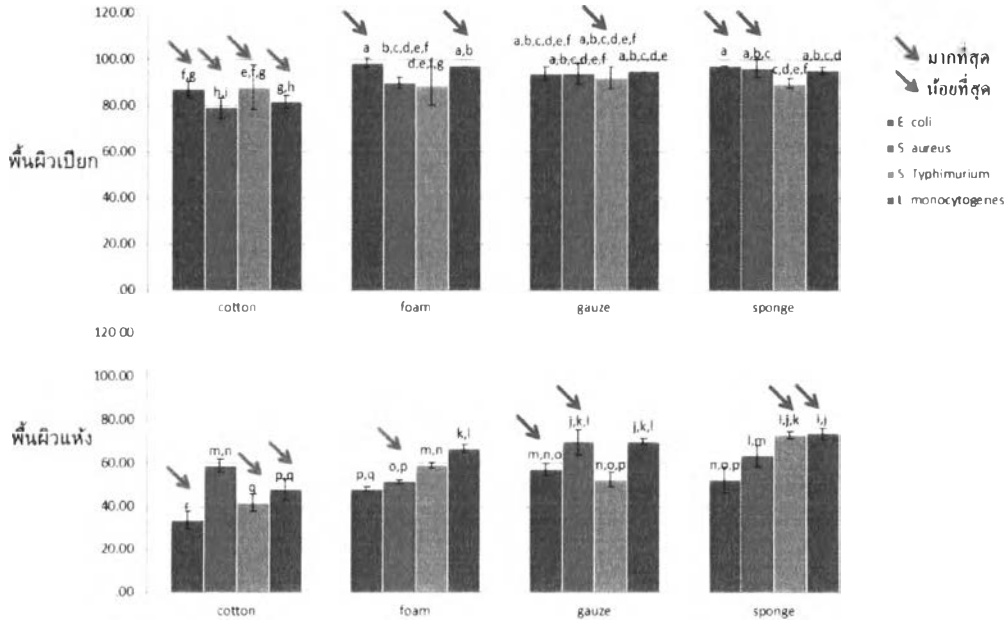
ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวแต่ละชนิด (ตารางที่ 4.3) พบว่าการเก็บแบคทีเรียบนพื้นผิวแต่ละชนิดขณะเปียกมีค่าเฉลี่ยมากกว่าการเก็บแบคทีเรียบนพื้นผิวขณะแห้ง มีค่าเฉลี่ยดังนี้ พื้นผิวสเตนเลสขณะเปียกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 79.01-98.54% ขณะพื้นผิวแห้งมีค่าเฉลี่ย 33.85-73.74% การเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่าขณะเปียกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 80.09-97.08% และขณะพื้นผิวแห้งมีค่าเฉลี่ย 37.85-78.40% การเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ขณะเปียกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 77.93-100.78% และขณะพื้นผิวแห้งมีค่าเฉลี่ย 36.72-76.54% จากผลการทดลอง เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเฉลี่ยของอุปกรณ์สวอบชนิดต่างๆในการเก็บเชื้อจากพื้นผิวขณะเปียกมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพของสวอบที่ได้จากการใส่สารละลายแบคทีเรียลงบนสวอบโดยตรง เพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ในสารละลาย buffered peptone water ในขณะทำการทดลองที่ใช้เวลานานกว่า (Moore & Griffith, 2007) ถึงแม้ว่าจำนวนแบคทีเรียที่เก็บได้จริงจะมีปริมาณน้อยกว่าการใส่เชื้อลงบนสวอบโดยตรงก็ตาม (มีสารละลายอยู่บนพื้นผิวหลังการสวอบเก็บแบคทีเรีย)

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บแบคทีเรียแต่ละชนิดในขณะพื้นผิวเปียกและขณะพื้นผิวแห้ง มีดังนี้ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบการเก็บเชื้อทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวสเตนเลสขณะเปียก พบว่า สวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลสมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนสวอบสำลีมีค่าน้อยที่สุด พื้นผิวสเตนเลสขณะแห้ง ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลสมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด สวอบสำลีมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด (รูปที่ 4.8) เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บเชื้อทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่าขณะเปียก พบว่า สวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลส มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด สวอบสำลีมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด พื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่าขณะแห้ง ฟองน้ำเซลลูโลสมีค่ามากที่สุด และสวอบสำลีมีค่าน้อยที่สุด (รูปที่ 4.9) เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของ สวอบในการเก็บเชื้อทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ขณะเปียก พบว่า สวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลสมีค่ามากที่สุด สวอบสำลีมีค่าน้อยที่สุด พื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ขณะแห้ง ฟองน้ำเซลลูโลสและผ้าก๊อซมีค่ามากที่สุดและสวอบสำลีมีค่าน้อยที่สุด (รูปที่ 4.10)

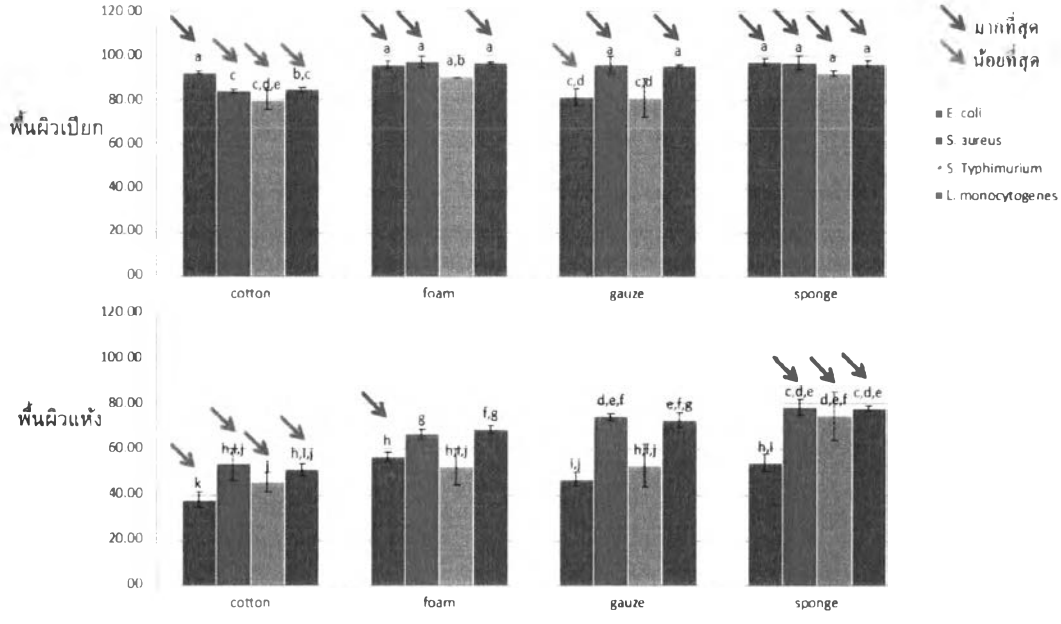
จากผลการทดลอง เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบแต่ละชนิดในการเก็บแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิดมีค่าเฉลี่ยเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ สวอบโฟมพอลิยูรีเทนมีค่าเฉลี่ย 94.49%

ฟองน้ำเซลลูโลสมีค่าเฉลี่ย 94.41% ผ้าก๊อซ 90.67% และสวอบสำลี 83.98% ค่าที่ได้จากการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าที่สวอบได้จริง เนื่องจากมีเซลล์แบคทีเรียบางส่วนที่ยังคงเกาะอยู่กับสวอบหลังจากขั้นตอนตรวจนับจำนวนแบคทีเรียตามที่ได้รายงานไว้ในข้อ 4.3 การใช้อุปกรณ์สวอบทั้ง 3 ชนิด คือ สวอบ โฟมพอลิยูรีเทน ฟองน้ำเซลลูโลสและผ้าก๊อซเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวขณะเปียกมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ในขณะที่ประสิทธิภาพของฟองน้ำเซลลูโลสดีที่สุดในการเก็บแบคทีเรียบนพื้นผิวขณะแห้งเพราะลักษณะโครงสร้างที่หยาบ หนาและขนาดใหญ่ ง่ายต่อการจับและออกแรงสวอบ ขณะสวอบแรงจะถูกส่งผ่านจากมือไปยังสวอบโดยตรงจึงช่วยเพิ่มแรงขัดถูแบคทีเรียออกจากพื้นผิวได้ดีกว่าสวอบสำลีและสวอบโฟมพอลิยูรีเทน เนื่องจากแรงจะถูกส่งผ่านจากมือไปยังก้านสวอบก่อนแล้วจึงจะถึงหัวสวอบ ทำให้ถึงแม้ว่าผู้ทดสอบจะออกแรงขนาดใกล้เคียงกันแต่แรงที่ขัดถูบนพื้นผิวน้อย และผ้าก๊อซที่มีโครงสร้างรูกว้าง ขนาดบางและเส้นใยอ่อนนุ่ม แรงขัดถูน้อยจึงเก็บแบคทีเรียได้น้อยกว่าฟองน้ำเซลลูโลส Gill and Jones (1998) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของพลังงานกลในขณะ สวอบทำให้จำนวนแบคทีเรียที่ได้เพิ่มขึ้นด้วย สวอบสำลีมีประสิทธิภาพการเก็บแบคทีเรียได้ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์สวอบชนิดอื่นเนื่องจากวัสดุสวอบ (เส้นใยฝ้าย) ที่มีลักษณะอ่อนนุ่มดูดน้ำได้ดีและปล่อยน้ำออกจากสวอบได้น้อย ทำให้สวอบอิ่มตัวจากสารละลายบัฟเฟอร์ก่อนนำไปใช้เก็บสารละลายแบคทีเรียบนพื้นผิว (Moore & Griffith, 2002b)

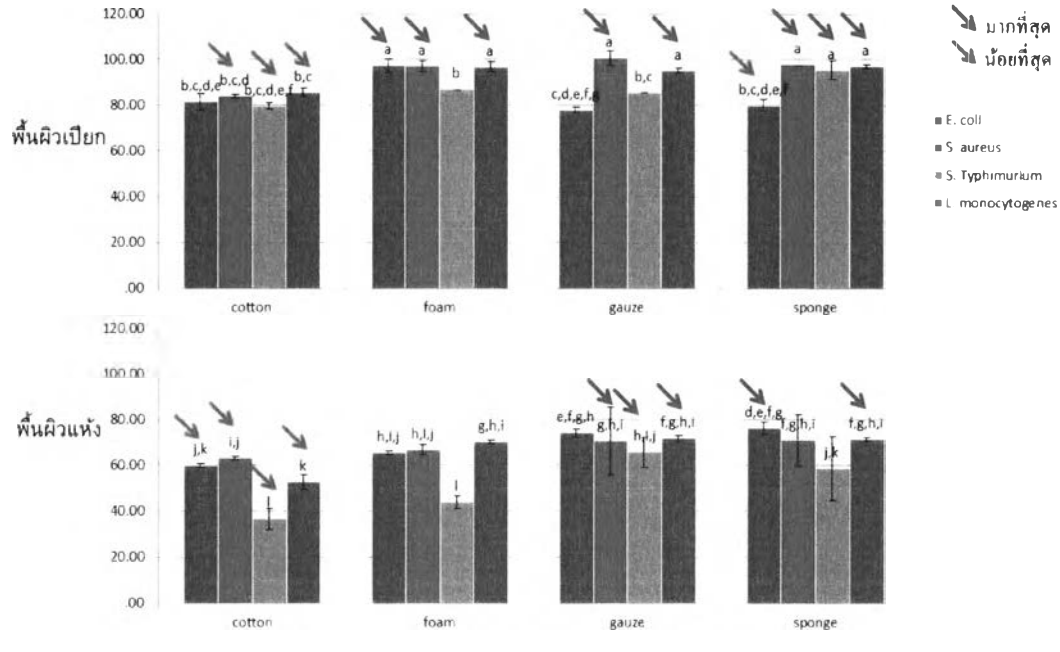
1312347117




**รูปที่ 4. 8** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บเชื้อทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวสเตนเลส




**รูปที่ 4. 9** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บเชื้อทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่า




**รูปที่ 4. 10** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บเชื้อทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่

1312347117

13123471117

**ตารางที่ 4. 3** เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บแบคทีเรียบนพื้นผิวสัมผัสอาหาร

| แบคทีเรีย | พื้นผิว | ชนิดสวอบ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | สำลี | | โฟม | | ผ้าก๊อซ | | ฟองน้ำ | |
| | | เปียก | แห้ง | เปียก | แห้ง | เปียก | แห้ง | เปียก | แห้ง |
| *E. coli* | สเตนเลส | 86.89 ± 3.46$^{b}$ | 33.85 ± 4.17$^{k}$ | 98.54 ± 2.13$^{a}$ | 47.97 ± 1.05$^{g}$ | 93.72 ± 2.99$^{a,b}$ | 56.92 ± 2.73$^{e,h}$ | 97.28 ± 0.23$^{a,b}$ | 52.32 ± 6.05$^{h,i}$ |
| | PUR (เก่า) | 92.49 ± 0.76$^{b}$ | 37.85 ± 3.44$^{k}$ | 96.06 ± 1.67$^{a,b}$ | 56.61 ± 1.86$^{e,h}$ | 81.58 ± 3.82$^{d}$ | 46.72 ± 3.12$^{j}$ | 97.19 ± 1.67$^{a,b}$ | 53.89 ± 3.82$^{h}$ |
| | PUR (ใหม่) | 81.58 ± 3.66$^{d}$ | 60.04 ± 0.83$^{e}$ | 97.49 ± 2.96$^{a,b}$ | 65.59 ± 0.76$^{f}$ | 77.93 ± 1.13$^{d,e}$ | 74.40 ± 1.84$^{e}$ | 80.12 ± 2.64$^{d}$ | 76.54 ± 2.80$^{d,e}$ |
| *S. aureus* | สเตนเลส | 79.01 ± 4.23$^{e,g}$ | 58.63 ± 3.01$^{e,i}$ | 89.81 ± 2.57$^{c,d}$ | 58.94 ± 0.84$^{e,i}$ | 93.70 ± 4.49$^{a,b}$ | 69.74 ± 5.94$^{b,c,d}$ | 96.28 ± 4.04$^{a,b}$ | 73.22 ± 4.82$^{b,c}$ |
| | PUR (เก่า) | 84.04 ± 0.67$^{c,d}$ | 53.16 ± 7.17$^{f}$ | 97.33 ± 2.48$^{a,b}$ | 66.50 ± 1.51$^{d,e,f}$ | 95.86 ± 3.76$^{a,b}$ | 74.13 ± 1.50$^{b,c}$ | 97.08 ± 2.94$^{a,b}$ | 78.40 ± 3.37$^{b,c}$ |
| | PUR (ใหม่) | 84.04 ± 0.67$^{c,d}$ | 63.31 ± 0.76$^{e,f,g}$ | 97.33 ± 2.48$^{a,b}$ | 66.95 ± 2.14$^{d,e,f,g}$ | 100.78 ± 3.28$^{a}$ | 70.78 ± 14.93$^{b,c,d}$ | 98.19 ± 0.48$^{a,b}$ | 71.25 ± 11.12$^{b,c,d}$ |
| *S. Typhimurium* | สเตนเลส | 87.88 ± 9.54$^{A,B,C}$ | 41.81 ± 3.82$^{H,I}$ | 88.38 ± 8.29$^{A,B,C}$ | 51.35 ± 1.23$^{G,H}$ | 92.13 ± 4.79$^{A,B}$ | 52.40 ± 3.25$^{G,H}$ | 89.48 ± 2.46$^{A,B,C}$ | 63.49 ± 1.65$^{E}$ |
| | PUR (เก่า) | 80.09 ± 4.51$^{C,D}$ | 45.50 ± 4.40$^{H,I}$ | 90.71 ± 0.50$^{A,B,C}$ | 52.06 ± 8.03$^{G,H}$ | 81.02 ± 8.70$^{B,C,D}$ | 52.58 ± 9.42$^{G,H}$ | 92.33 ± 1.28$^{A,B}$ | 74.55 ± 10.61$^{D,E}$ |
| | PUR (ใหม่) | 79.77 ± 1.43$^{C,D}$ | 36.71 ± 4.52$^{I}$ | 87.30 ± 0.47$^{A,B,C}$ | 44.07 ± 2.93$^{H,I}$ | 85.60 ± 0.00$^{A,B,C,D}$ | 65.94 ± 6.52$^{E,F}$ | 95.74 ± 4.00$^{A}$ | 58.82 ± 14.01$^{F,G}$ |
| *L. monocytogenes* | สเตนเลส | 81.61 ± 2.84$^{f}$ | 47.64 ± 4.85$^{k}$ | 97.13 ± 0.40$^{a}$ | 66.66 ± 2.05$^{g}$ | 94.88 ± 0.38$^{a}$ | 69.97 ± 1.44$^{g,h,i}$ | 95.41 ± 1.49$^{a}$ | 73.74 ± 2.64$^{N}$ |
| | PUR (เก่า) | 84.69 ± 1.07$^{K,L}$ | 50.83 ± 2.57$^{K,L}$ | 96.79 ± 0.48$^{a}$ | 68.70 ± 1.51$^{f,g}$ | 95.49 ± 0.58$^{a}$ | 72.74 ± 3.21$^{N,O}$ | 96.66 ± 1.38$^{a}$ | 77.96 ± 1.13$^{M}$ |
| | PUR (ใหม่) | 85.65 ± 1.80$^{K}$ | 52.76 ± 3.23$^{R}$ | 96.99 ± 2.18$^{a}$ | 70.44 ± 0.77$^{N,O,P}$ | 95.33 ± 0.94$^{a}$ | 71.98 ± 1.42$^{N,O,P}$ | 97.20 ± 0.75$^{a}$ | 71.72 ± 0.72$^{N,O,P}$ |
| **ค่าเฉลี่ยรวม** | | 83.98 | 48.51 | 94.49 | 59.65 | 90.67 | 64.86 | 94.41 | 68.83 |

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในตารางที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบทางสถิติแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ข.4-15

### 4.4 ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์มแบคทีเรียบนพื้นผิวต่างๆ

แบคทีเรียก่อโรคโดยปกติอาศัยอยู่ในวัตถุดิบก่อนนำเข้ากระบวนการผลิตอาหาร ซึ่งวัตถุดิบมีการสัมผัสกับพื้นผิวในหน่วยการผลิต แบคทีเรียจึงสามารถเข้าเกาะกับพื้นผิวได้เช่นกัน ถ้าขั้นตอนการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อไม่เพียงพอที่จะกำจัดแบคทีเรียก่อโรคได้หมด เซลล์ที่หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวและสามารถปนเปื้อนลงในอาหารที่ปรุงสุกแล้วหรือผลิตภัณฑ์ได้ (Frank, 2001) และจะใช้สารอาหารรอบตัวในการเพิ่มจำนวนจนเกิดเป็นกลุ่มเซลล์ขนาดใหญ่พอที่จะจับเศษซากสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ธาตุอาหารและจุลินทรีย์ชนิดอื่น พร้อมๆกับสร้างสารกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นเมือกเหนียว (Extracellular polymeric substances หรือ EPS) และหลั่งออกมานอกเซลล์เพื่อปกคลุมกลุ่มจุลินทรีย์อีกด้วย เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ไบโอฟิล์ม (Biofilm) ซึ่งยากต่อการกำจัดออกและมักเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร (J.W. Costerton et al., 1987) จำนวนแบคทีเรียมากก็เสี่ยงต่อการปนเปื้อนลงในผลิตภัณฑ์มากเช่นกัน เทคนิคสวอบจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยตรวจหาแบคทีเรียก่อโรคในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

#### 4.4.1 ชนิดพื้นผิวสัมผัสอาหารที่มีผลต่อการเก็บไบโอฟิล์มของแบคทีเรีย

ในการทดลองสร้างไบโอฟิล์มโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารอาหารน้อยแต่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคแต่ละชนิด เมื่อแบคทีเรียอยู่ในสภาวะเครียดต่อสิ่งแวดล้อมจะสร้างไบโอฟิล์มบนแผ่นพื้นผิวแต่ละชนิดขนาด 5 cm x 5 cm เนื่องจากแผ่นตัวอย่างมีขนาดใหญ่ วิธีการนับแบคทีเรียที่อยู่บนพื้นผิวจึงได้ใช้ตัวปาด (scraper) ขูดไบโอฟิล์มออกจากพื้นผิว ซึ่งคาดว่าบนพื้นผิวที่มีความขรุขระมากจะยังคงมีแบคทีเรียหลงเหลืออยู่

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์มของแบคทีเรียจากผิวสัมผัสอาหาร พบว่า ความสามารถของอุปกรณ์สวอบในการเก็บไบโอฟิล์มของแบคทีเรียจากพื้นผิวแต่ละชนิด มีดังนี้ การเก็บไบโอฟิล์ม *E. coli* สวอบโฟมพอลิยูรีเทนเก็บได้จำนวนมากที่สุด สวอบสำลีเก็บได้จำนวนน้อยที่สุด (รูปที่ 4.11) การเก็บไบโอฟิล์ม *S. aureus* ฟองน้ำเซลลูโลสเก็บได้จำนวนมากที่สุด สวอบสำลีได้น้อยที่สุด (รูปที่ 4.12) การเก็บไบโอฟิล์ม *S.* Typhimurium สวอบโฟมพอลิยูรีเทนเก็บได้จำนวนมากที่สุด สวอบสำลีเก็บได้จำนวนน้อยที่สุด (รูปที่ 4.13) การเก็บไบโอฟิล์ม *L. monocytogenes* ฟองน้ำเซลลูโลสเก็บได้จำนวนมากที่สุด สวอบสำลีเก็บได้จำนวนน้อยที่สุด (รูปที่ 4.14) และชนิดของพื้นผิวไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ต่อการใช้อุปกรณ์สวอบเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิว

ในบางงานวิจัยมีความเห็นว่า ลักษณะของเซลล์แบคทีเรีย เช่น พื้นผิวของแบคทีเรีย (แฟลกเจลลา, surface appendage, surface polysaccharides, hydrophobicity) (Houdt & Michiels, 2010) และ interaction ระหว่างแบคทีเรียและพื้นผิว ช่วยให้แบคทีเรียสามารถเกาะกับพื้นผิวได้มากขึ้น (Liu et al., 2004) พื้นผิวที่มี hydrophobicity สูง เช่น ยาง ไนลอน พอลิเอทิลีน แบคทีเรียสามารถยึดเกาะและสร้างไบโอฟิล์มได้เช่นเดียวกับพื้นผิวที่มี hydrophilic เช่น สเตนเลส

แต่แบคทีเรียหลุดออกจากพื้นผิวที่มี hydrophobicity สูงได้ง่ายกว่า (Hyde et al., 1997) ซึ่งปัจจัยต่างๆที่กล่าวมานี้จะนำไปสู่การปนเปื้อนของแบคทีเรียบนพื้นผิวมากขึ้น

**ตารางที่ 4. 4** เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์มบนพื้นผิวแต่ละชนิด

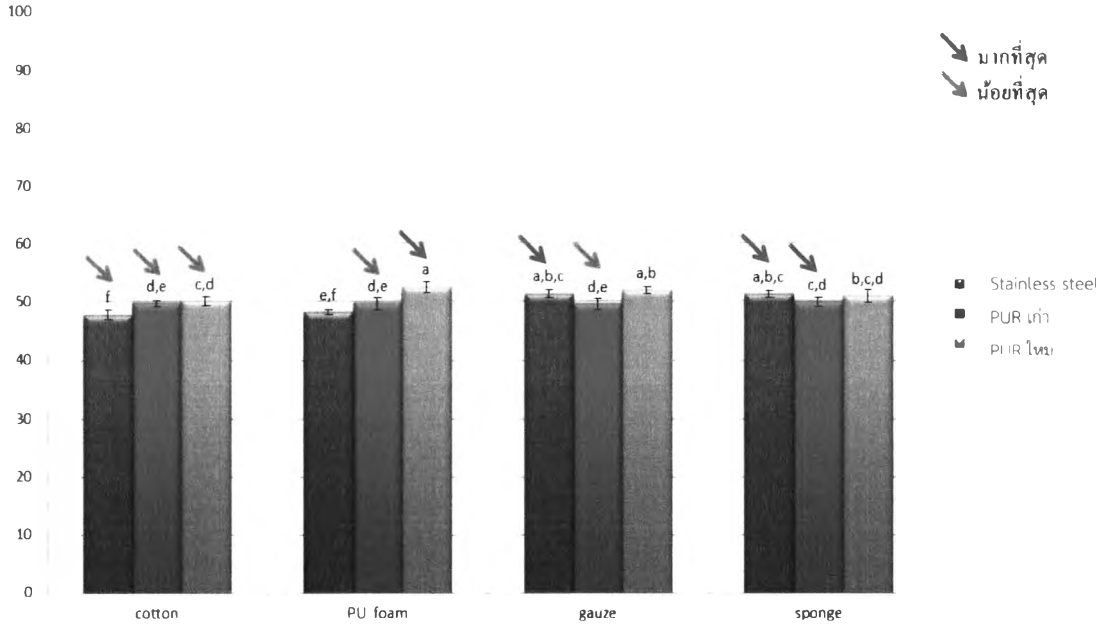
| แบคทีเรีย | พื้นผิว | ชนิดสวอบ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | สำลี | โฟม | ผ้าก๊อซ | ฟองน้ำ |
| *E. coli* | สเตนเลส | 47.83 ± 0.80$^{f}$ | 48.29 ± 0.36$^{e,f}$ | 51.36 ± 0.65$^{a,b,c}$ | 51.30 ± 0.60$^{a,b,c}$ |
| | PUR (เก่า) | 49.73 ± 0.48$^{d,e}$ | 49.73 ± 1.04$^{d,e}$ | 49.64 ± 0.98$^{d,e}$ | 50.00 ± 0.80$^{c,d}$ |
| | PUR (ใหม่) | 50.09 ± 0.73$^{c,d}$ | 52.58 ± 0.93$^{a}$ | 52.02 ± 0.64$^{a,b}$ | 51.01 ± 1.12$^{b,c,d}$ |
| *S. aureus* | สเตนเลส | 49.39 ± 0.17$^{n}$ | 53.44 ± 0.09$^{i}$ | 54.23 ± 0.66$^{h}$ | 54.97 ± 0.56$^{g}$ |
| | PUR (เก่า) | 47.46 ± 0.07$^{o}$ | 50.50 ± 0.21$^{m}$ | 52.04 ± 0.11$^{k}$ | 52.80 ± 0.30$^{j}$ |
| | PUR (ใหม่) | 48.94 ± 0.15$^{n}$ | 51.28 ± 0.16$^{l}$ | 52.59 ± 0.53$^{i,k}$ | 53.55 ± 0.09$^{i}$ |
| *S.* Typhimurium | สเตนเลส | 46.70 ± 0.71$^{F,G,H}$ | 49.98 ± 0.44$^{C,D}$ | 47.04 ± 0.65$^{F,G}$ | 48.51 ± 0.26$^{D,E,F}$ |
| | PUR (เก่า) | 45.10 ± 0.36$^{H}$ | 49.26 ± 0.70$^{D,E}$ | 44.91 ± 0.95$^{H}$ | 47.68 ± 2.05$^{E,F,G}$ |
| | PUR (ใหม่) | 46.19 ± 0.65$^{G,H}$ | 55.16 ± 0.12$^{A}$ | 51.94 ± 1.67$^{B}$ | 51.59 ± 1.65$^{B,C}$ |
| *L. monocytogenes* | สเตนเลส | 48.17 ± 0.09$^{P}$ | 50.19 ± 0.04$^{M,N}$ | 49.98 ± 0.22$^{N,O}$ | 50.99 ± 0.14$^{l}$ |
| | PUR (เก่า) | 48.15 ± 0.09$^{P}$ | 50.37 ± 0.07$^{M}$ | 49.79 ± 0.16$^{O}$ | 51.74 ± 0.11$^{K}$ |
| | PUR (ใหม่) | 47.84 ± 0.06$^{Q}$ | 50.76 ± 0.06$^{L}$ | 52.47 ± 0.30$^{J}$ | 52.86 ± 0.10$^{I}$ |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 47.97 | 50.96 | 50.67 | 51.42 |

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

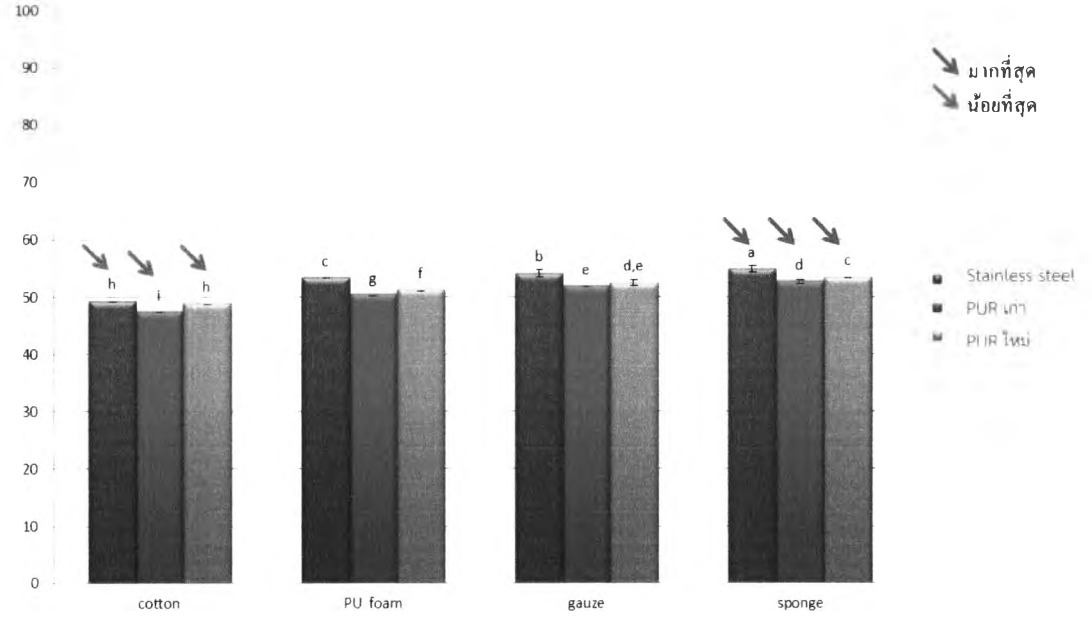
ค่าเฉลี่ยในตารางที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบทางสถิติแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ข.16-15

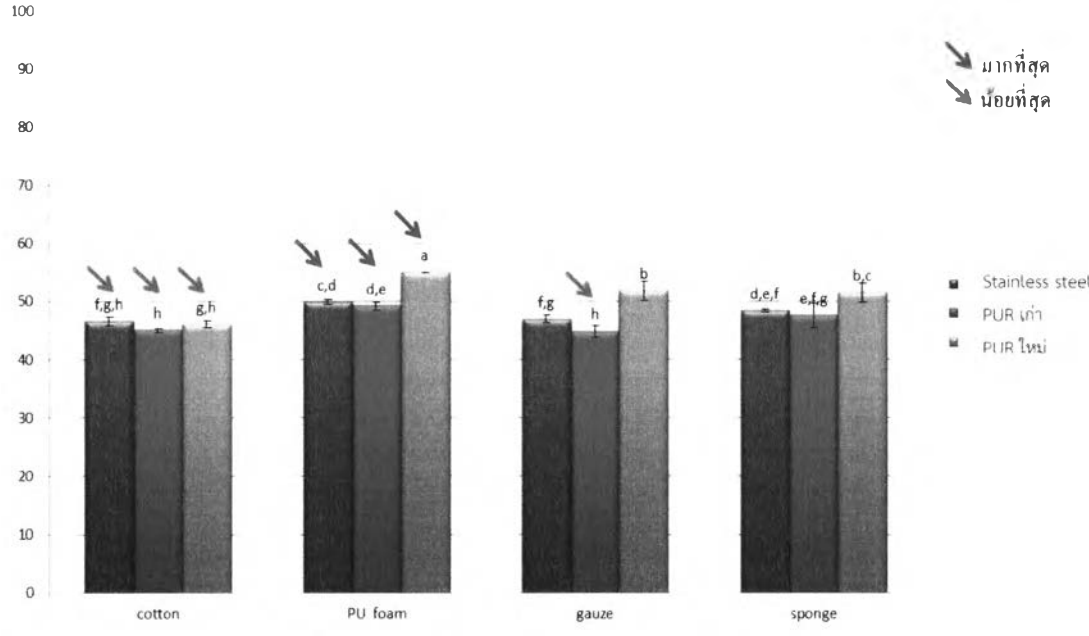
1312347117




**รูปที่ 4. 12** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์ม *E. coli*

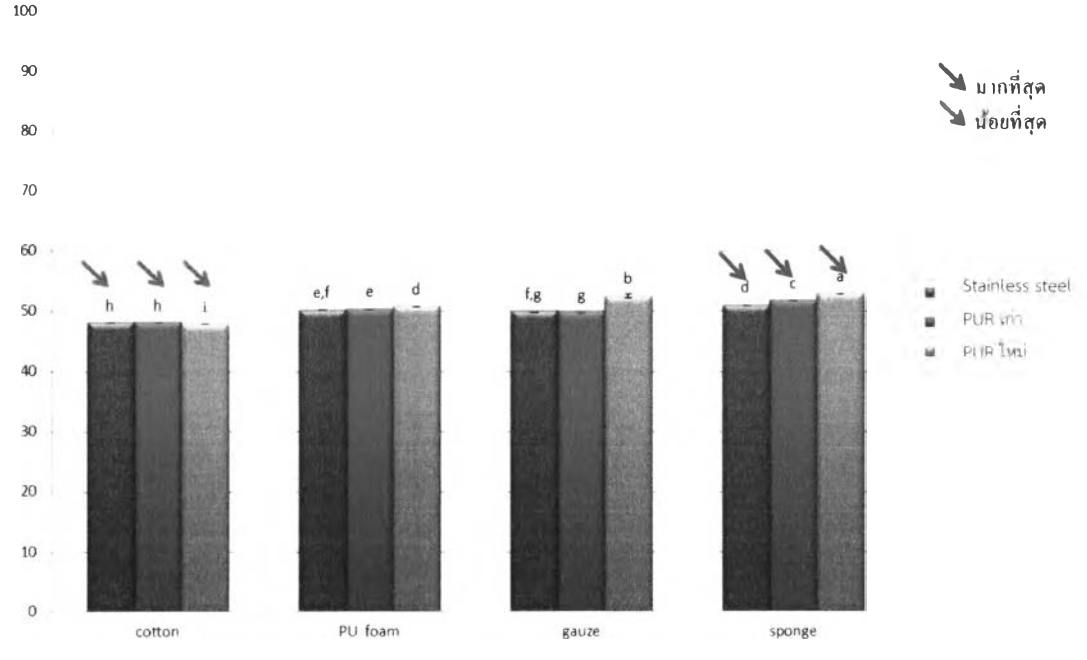



**รูปที่ 4. 11** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์ม *S. aureus*




**รูปที่ 4. 14** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์ม *S.* Typhimurium

1312347117




**รูปที่ 4. 13** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์ม *L. monocytogenes*

**4.4.2 อุปกรณ์สวอบที่มีผลต่อการเก็บไบโอฟิล์มของแบคทีเรียจากพื้นผิวสัมผัสอาหาร**

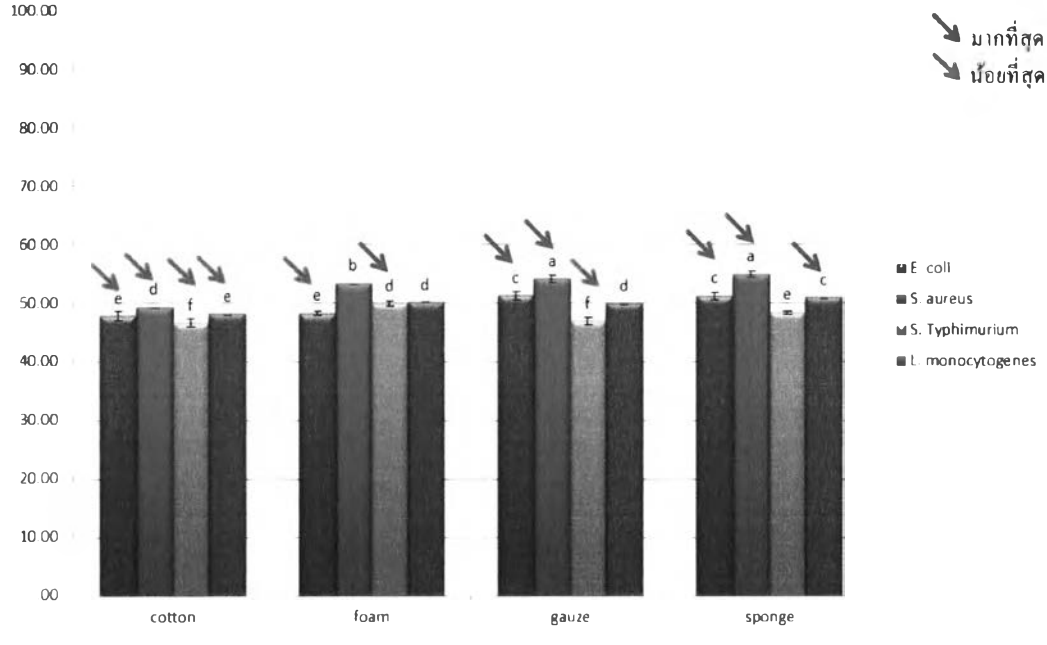
จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวสัมผัสอาหาร พบว่า ฟองน้ำเซลลูโลส สวอบโฟมพอลิยูรีเทน สวอบสำลีและผ้าก๊อซมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 47.68-54.97% 48.29-55.16% 45.10-50.09% และ 48.29-55.16% ตามลำดับ

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บไบโอฟิล์มของแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิดจากพื้นผิวแต่ละชนิด พบว่า สวอบโฟมพอลิยูรีเทน ผ้าก๊อซและฟองน้ำเซลลูโลสมีประสิทธิภาพดีที่สุด สวอบสำลีมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการเก็บไบโอฟิล์มจากพื้นผิวสเตนเลสและพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่า (รูปที่ 15-16) สวอบโฟมพอลิยูรีเทนและฟองน้ำเซลลูโลสมีประสิทธิภาพดีที่สุด สวอบสำลีมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการเก็บไบโอฟิล์มจากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่ (รูปที่ 17) แสดงว่าฟองน้ำเซลลูโลส สวอบโฟมพอลิยูรีเทนและ ผ้าก๊อซมีประสิทธิภาพในการเก็บไบโอฟิล์มได้ดีกว่าสวอบสำลี

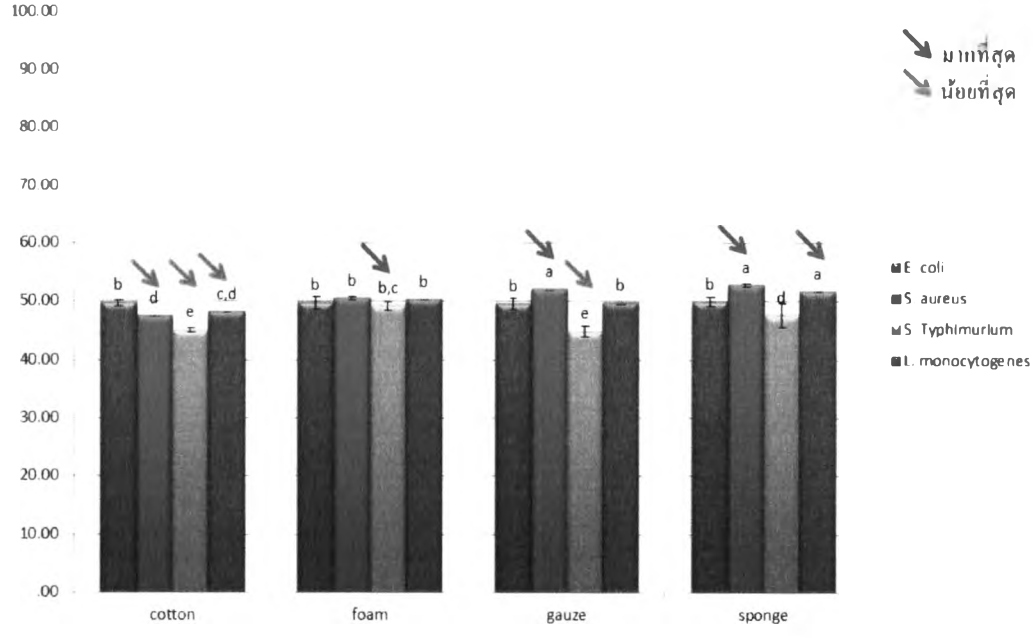
1312347117

ตารางที่ 4. 5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวสัมผัสอาหาร

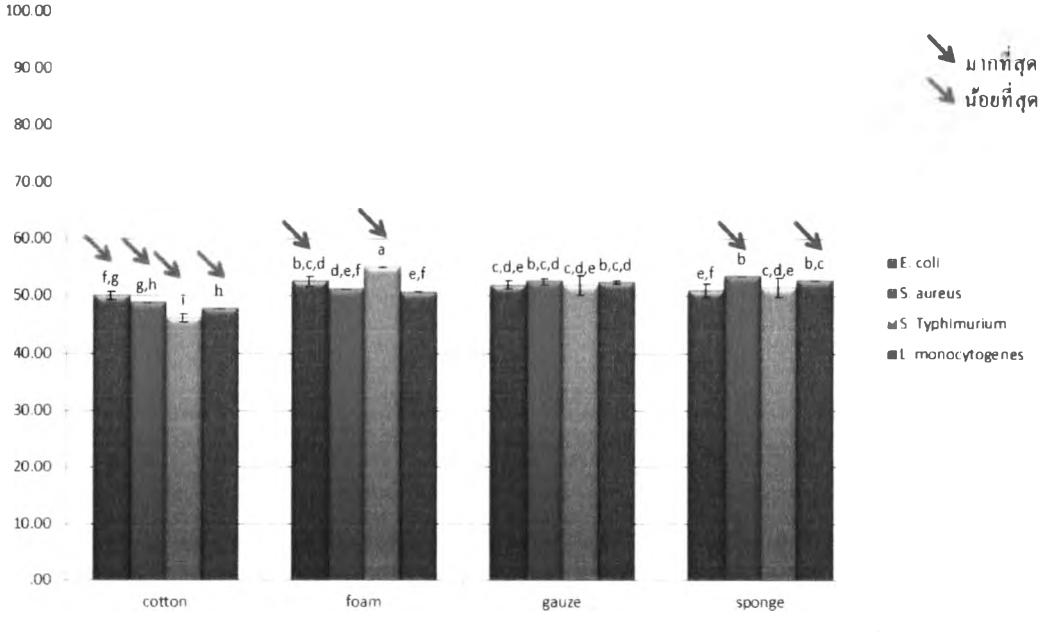
| พื้นผิว | แบคทีเรีย | ชนิดสวอบ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | สำลี | โฟม | ผ้ากอซ | ฟองน้ำ |
| สเตนเลส | *E. coli* | 47.83 ± 0.80$^{e}$ | 48.29 ± 0.36$^{e}$ | 51.36 ± 0.65$^{b}$ | 51.30 ± 0.60$^{b}$ |
| | *S. aureus* | 49.39 ± 0.17$^{d}$ | 53.44 ± 0.09$^{a}$ | 54.23 ± 0.66$^{a}$ | 54.97 ± 0.56$^{a}$ |
| | *S.* Typhimurium | 46.70 ± 0.71$^{f}$ | 49.98 ± 0.44$^{d}$ | 47.04 ± 0.65$^{e}$ | 48.51 ± 0.26$^{e}$ |
| | *L. monocytogenes* | 48.17 ± 0.09$^{e}$ | 50.19 ± 0.04$^{c}$ | 49.98 ± 0.22$^{d}$ | 50.99 ± 0.14$^{c}$ |
| PUR (เก่า) | *E. coli* | 49.73 ± 0.48$^{b}$ | 49.73 ± 1.04$^{b}$ | 49.64 ± 0.98$^{b}$ | 50.00 ± 0.80$^{b}$ |
| | *S. aureus* | 47.46 ± 0.07$^{e}$ | 50.50 ± 0.21$^{c}$ | 52.04 ± 0.11$^{a}$ | 52.80 ± 0.30$^{a}$ |
| | *S.* Typhimurium | 45.10 ± 0.36$^{g}$ | 49.26 ± 0.70$^{d}$ | 44.91 ± 0.95$^{f}$ | 47.68 ± 2.05$^{f}$ |
| | *L. monocytogenes* | 48.15 ± 0.09$^{d}$ | 50.37 ± 0.07$^{c}$ | 49.79 ± 0.16$^{c}$ | 51.74 ± 0.11$^{b}$ |
| PUR (ใหม่) | *E. coli* | 50.09 ± 0.73$^{a,b}$ | 52.58 ± 0.93$^{a,b}$ | 52.02 ± 0.64$^{a,b,c}$ | 51.01 ± 1.12$^{b,c}$ |
| | *S. aureus* | 48.94 ± 0.15$^{c,d}$ | 51.28 ± 0.16$^{b,c}$ | 52.59 ± 0.53$^{a,b}$ | 53.55 ± 0.09$^{a}$ |
| | *S.* Typhimurium | 46.19 ± 0.65$^{f}$ | 55.16 ± 0.12$^{a}$ | 51.94 ± 1.67$^{b,c,d}$ | 51.59 ± 1.65$^{b,c,d}$ |
| | *L. monocytogenes* | 47.84 ± 0.06$^{e}$ | 50.76 ± 0.06$^{b,c}$ | 52.47 ± 0.30$^{a,b,c}$ | 52.86 ± 0.10$^{a,b}$ |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 47.97 | 50.96 | 50.67 | 51.42 |




**รูปที่ 4. 15** เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์มของเชื้อ ทั้ง 4 ชนิด จากพื้นผิวสเตนเลส




**รูปที่ 4. 16** เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์มของเชื้อ ทั้ง 4 ชนิด จากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนเก่า




**รูปที่ 4. 17** เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บไบโอฟิล์มของเชื้อ ทั้ง 4 ชนิด จากพื้นผิวพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนใหม่

**4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสวอบในการเก็บแบคทีเรียก่อโรคและไบโอฟิล์มจากพื้นผิวสัมผัสอาหาร**

เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเฉลี่ยของอุปกรณ์สวอบแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บแบคทีเรียจากพื้นผิวลดลง เพราะลักษณะของพื้นผิวขณะสวอบ (เปียก/แห้ง) ที่มีผลกระทบต่อปัจจัยภายในอื่นๆ เช่น เซลล์แบคทีเรีย และลักษณะพื้นผิว (ข้อ 4.3) ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สวอบในการเก็บไบโอฟิล์มลดลงประมาณ 50% เพราะเซลล์แบคทีเรียรวมกลุ่มกันสร้างไบโอฟิล์มแล้วยากต่อการดึงกลุ่มเซลล์ขึ้นมากเพราะการยึดเกาะบนพื้นผิวของเซลล์ในไบโอฟิล์มแข็งแรงกว่าการยึดเกาะของเซลล์เดี่ยว การล้างทำความสะอาดจึงต้องใช้ร่วมกับการขัดถูเพื่อให้เซลล์หลุดออกจากพื้นผิว (Marshall et al., 1971)

**ตารางที่ 4. 6** เปรียบเทียบช่วงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเฉลี่ยของอุปกรณ์สวอบแต่ละชนิดในการเก็บแบคทีเรียก่อโรค

| อุปกรณ์สวอบ | พื้นผิวเปียก (%) | พื้นผิวแห้ง (%) | ไบโอฟิล์ม (%) |
|---|---|---|---|
| สวอบสำลี | 79.01 - 92.49 | 33.85 - 63.31 | 45.10 - 50.09 |
| สวอบโฟมพอลิยูรีเทน | 87.30 - 98.54 | 47.97 - 70.44 | 48.29 - 55.16 |
| ผ้าก๊อซ | 77.93 - 100.87 | 46.72 - 74.40 | 48.29 - 55.16 |
| ฟองน้ำเซลลูโลส | 80.12 - 98.19 | 52.31 - 78.40 | 47.68 - 54.97 |

**ตารางที่ 4. 7** เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเฉลี่ยของอุปกรณ์สวอบแต่ละชนิดในการเก็บแบคทีเรียก่อโรค

| อุปกรณ์สวอบ | พื้นผิวเปียก (%) | พื้นผิวแห้ง (%) | ไบโอฟิล์ม (%) |
|---|---|---|---|
| สวอบสำลี | 83.98 | 48.51 | 47.97 |
| สวอบโฟมพอลิยูรีเทน | 94.49 | 59.65 | 50.96 |
| ผ้าก๊อซ | 90.67 | 64.86 | 50.67 |
| ฟองน้ำเซลลูโลส | 94.41 | 68.83 | 51.42 |