โครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสูญเสียผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันโดยกระบวนการทางเคมีจากสารเคมีสัมผัสกับฟัน มีลักษณะทางคลินิกที่สำคัญคือ พบแอ่งลักษณะคล้ายถ้วยบนตัวฟัน ผิวเรียบ และมักไม่สัมพันธ์กับการสบฟัน ในฟันที่อุดด้วยอะมัลกัม การสูญเสียผิวฟันจะทำให้เกิดลักษณะพิเศษคือเสมือนว่ามีการยกตัวของอมัลกัมอันเนื่องมาจากการสึกของผิวฟันรอบอมัลกัม โดยทั่วไปถ้าผู้ป่วยมีการสึกของผิวเคลือบฟันมากจนถึงเนื้อฟัน ผู้ป่วยจะเกิดอาการเสียวฟันได้ (Gandara and Truelove, 1999) ซึ่งกลไกการเสียวฟันนั้นเนื่องจาก เมื่อสารเคมีที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 5.5 สัมผัสกับผิวฟัน ผิวฟันเกิดการละลายของแร่ธาตุ โดยส่วนผิวเคลือบฟันเกิดการละลายส่วนที่เรียกว่าแกนปริซึม (prism core). ทำให้เกิดโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (honey comb) สำหรับส่วนเนื้อฟันนั้น ถ้ามีการละลายของแร่ธาตุจนท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) มีขนาดใหญ่ และปรากฏส่วนเนื้อฟันระหว่างท่อ (intertubular dentin) ขึ้น จะทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการเสียวฟัน (Lupi-Pegurier, *et al.*, 2003)

สารเคมีที่สัมผัสกับผิวฟันและทำให้ผิวฟันสึกกร่อนมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง และมาจากทั้งภายในและภายนอกร่างกาย โดยสารเคมีจากภายในร่างกายได้แก่ กรดจากกระเพาะอาหาร ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ผู้ป่วยอาเจียนบ่อยอันเนื่องมาจากความผิดปกติของระบบประสาทร่วมกับร่างกาย (psycosomatic) ได้แก่ ผู้ป่วยโรคบูลิเมีย (bulimia) และอะนอเร็กเซีย (anorexia) หรือผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร ทำให้สำรอกอาหารพร้อมทั้งกรดในกระเพาะอาหารกลับออกมาในช่องปากอีกครั้ง ได้แก่ โรคแกสโทรอินเทสทินอลรีฟลักซ์ (gastrointestinal reflux) เป็นต้น (Verrett, 2001; Lupi-Pegurier, *et al.*, 2003) สำหรับสารเคมีที่มาจากภายนอกร่างกายนั้น มีทั้งกรดในอากาศและกรดในอาหาร เครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดอาทิเช่น น้ำอัดลม น้ำผลไม้บางชนิด เช่น น้ำส้ม น้ำมะนาว (Grippo and Simring, 1995) รวมถึงยาที่รับประทานเข้าไป (Lussi and Schaffner, 2000) โดย Rytomaa และคณะ (1988) ได้ศึกษาความลึกของการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันอันเนื่องมาจากการสัมผัสกับเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรด และนม พบว่า เครื่องดื่มที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4 จะทำให้สูญเสียผิวเคลือบฟัน และการศึกษาของ West Hughes และ Addy (2001) ซึ่งศึกษาผลความเป็นกรดด่างของอาหารต่อการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างยิ่งน้อย การสูญเสียผิวเคลือบฟันจะเพิ่มมากขึ้น

เมื่อมีการสึกรุนแรงจนถึงชั้นเนื้อฟัน ผู้ป่วยมักมาพบทันตแพทย์ด้วยอาการเสียวฟัน การบูรณะฟันให้ผู้ป่วยเพื่อสามารถใช้บดเคี้ยวได้ดังเดิมเป็นสิ่งจำเป็น และเพื่อป้องกันการลุกลามอันอาจก่อให้เกิดพยาธิสภาพตามมา ในกรณีที่ฟันสึกรุนแรงมาก อาจต้องบูรณะด้วยการครอบฟัน ไม่ว่าจะเป็นครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน หรือครอบฟันเซรามิกล้วน

ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนเป็นครอบฟันที่ใช้มานาน และมีการใช้งานประมาณร้อยละ 80 ของครอบฟันทั้งหมด โดยพอร์ซเลนที่ใช้เคลือบบนโลหะคือ เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน ประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 64 อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 18 โพแทส (K_2O) และโซดา (Na_2O) ร้อยละ 8-10 เพื่อควบคุมการขยายตัว วัฏภาคผลึกประกอบด้วยเฟลด์สปาร์ส่วนที่ไม่ละลาย (undissolved feldspar) ลูไซต์ และอะลูมินา (Milleding *et al.*, 1999) โดยมีผลึกลูไซต์ร้อยละ 17-25 เฟลด์สปาทิกพอร์ซแลนมีค่ากำลังดัดขวาง (flexural strength) ต่ำประมาณ 60-70 เมกะปาสคาล (MPa) (Giordano, 1996)

อย่างไรก็ตาม ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนมีข้อด้อยที่สำคัญคือ โครงโลหะภายในจะลดการส่องผ่านของแสง ทำให้ฟันแลดูไม่เป็นธรรมชาติ อีกทั้งทำให้ขอบเหงือกดำจากการกัดกร่อนของโลหะ และผู้ป่วยบางคนแพ้โลหะ (Rosenblum and Schulman, 1997) ดังนั้นจึงมีความพยายามในการทำครอบฟันพอร์ซเลนปราศจากโลหะ หรือครอบฟันเซรามิกล้วน แต่เนื่องจากเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนนั้นไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะทำครอบฟันเซรามิกล้วนได้ โดยเฉพาะในตำแหน่งที่มีแรงจากการบดเคี้ยวมาก จึงได้มีการพัฒนาพอร์ซเลนที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดย McLean และ Hughes (1965) ได้พัฒนาอะลูมินัสพอร์ซเลนจากเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน โดยแทนที่ควอทซ์ด้วยอะลูมินาร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนัก เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มความแข็งแรงของพอร์ซเลน และสามารถทำเป็นครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลน ซึ่งมีความสวยงามโดยไม่ต้องมีโครงโลหะภายใน และอะลูมินัสพอร์ซเลนมีค่ากำลังดัดขวางเพิ่มขึ้นถึง 100-130 เมกะปาสคาล (Giordano, 1996)

ครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลนประกอบด้วยสามส่วน ส่วนแรกคือส่วนแกนที่มีความแข็งแรงสูง ประกอบด้วยอะลูมินาร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อน (coefficient of thermal expansion) ประมาณ 7.95×10^{-6} /°C ส่วนนี้มีค่ากำลังดัดขวางประมาณ 130-150 เมกะปาสคาล ส่วนที่สองและสามคือพอร์ซเลนเคลือบฟันและพอร์ซเลนเนื้อฟัน ซึ่งทำจากแก้วบอโรซิลิเกต (borosilicate) ที่มีอะลูมินาร้อยละ 5-10 เป็นส่วนที่ให้สีและความโปร่งแสงแก่ตัวครอบฟันพอร์ซเลน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนประมาณ 7.5×10^{-6} /°C ดังนั้นเมื่อมีการเย็นตัวของครอบฟันพอร์ซเลน ส่วนพอร์ซเลนเคลือบฟันจึงอยู่ใต้แรงเค้นอัดและสามารถต้านทานต่อรอยแตก ทำให้ครอบฟันพอร์ซเลนมีความแข็งแรงขึ้น (McLean, 1967) ในปัจจุบันครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลนมีการพัฒนา โดยเพิ่มปริมาณของอะลูมินาในส่วนแกนครอบฟันให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของครอบฟัน ภายใต้เครื่องหมายการค้าชื่ออินซิแรม (In-Ceram; Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) ซึ่งพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1988 โดย Michael Sadaun ที่เมืองปารีส ประเทศฝรั่งเศส

อินซิแรมมีองค์ประกอบสำคัญสองส่วน คือ อะลูมินา และแก้วแมกนีเซียม โดยผงอะลูมินาละลายในน้ำที่ปราศจากอิออน (deionized water) และใส่สารทำให้กระจาย (dispersing agent) คือโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) (Giordano, 1996; McLean, 1991) เรียกว่า สลิป (slip) ถูกทาบนแม่แบบยิปซัม (gypsum die) ส่วนน้ำจะถูกดูดเข้าสู่แม่แบบยิปซัม จึงเหลืออะลูมินาอัดแน่น

อยู่บนแม่แบบ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 99.56 โดยน้ำหนัก (Palletire, *et al.*, 1992) ส่วนนี้เป็นส่วนแกนของครอบฟัน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ในระหว่างกระบวนการเผานี้อะลูมินาจะหลอมเข้าด้วยกันและเกิดการหดตัวร้อยละ 0.3 ซึ่งให้ความเสถียรภาพ และต้านทานต่อการบิดเบี้ยวในระหว่างเผาของพอร์ซเลนเคลือบในกระบวนการต่อไปได้ และการที่แม่แบบมีการหดตัวจากส่วนแกนนี้ ทำให้สามารถดึงส่วนแกนออกได้โดยไม่ทำให้บริเวณขอบเกิดความเสียหาย จากนั้นทาส่วนแก้วแลนทานัมอะลูมิโนซิลิเกต (lanthanum aluminosilicate: La Al_2O_3 SiO_2) ที่ผสมกับน้ำลงบนส่วนแกน โดยแลนทานัมจะลดความหนืดของแก้ว ช่วยแทรกซึมและเพิ่มความโปร่งแสงให้แก่อินซิแรม แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง ซึ่งส่วนแก้วจะหลอมตัวและแทรกซึม (infiltrate) เข้าไปในช่องว่างระหว่างอะลูมินา โดยกระบวนการแคปิลลารี (capillary action) จากนั้นกำจัดแก้วส่วนเกินด้วยเม็มกรอกากเพชรหรือผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 35-50 ไมครอน ความดัน 3-6 บาร์ (0.3-0.6 เมกะปาสคาล) และขั้นตอนสุดท้ายคือการตกแต่งรูปร่างของชิ้นงานด้วยอะลูมินัสพอร์ซเลนเคลือบฟันและเนื้อฟันบนส่วนแกน ให้ถูกต้องตามลักษณะกายวิภาค (Probster and Diehl, 1992; Sorensen, Knode and Torres, 1992; Giordano, 1996)

อินซิแรมใช้ในงานครอบฟันหน้าและฟันหลัง รวมทั้งสะพานฟันหน้า ซึ่งมีรายงานค่ากำลังดัดขวางสูงที่สุดคือ 384.50 $\pm$ 40.01 เมกะปาสคาล (Kanchanatawewat, *et al.*, 1997) และมีความแนบสนิทบริเวณขอบ 24 ไมครอน สำหรับครอบฟัน และ 58 ไมครอน สำหรับสะพานฟัน (Sorensen, *et al.*, 1990; 1991) อีกทั้งมีค่าแรงดึงที่สูงกว่าพอร์ซเลนชนิดอื่น 3-4 เท่า (Seghi, *et al.*, 1990; Giordano , *et al.*, 1995) นอกจากนี้ มีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 98.4 จากการใช้งานในช่วง 24-44 เดือน (ค่าเฉลี่ย 37.6 เดือน) (Scotti, 1995)

พอร์ซเลนที่มีลูไซต์ปริมาณสูง (high leucite porcelain) มีชื่อทางการค้าว่า ไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress; Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Lietenchstein) เป็นอีกระบบหนึ่งที่พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1988 โดย Wohlwend และ Scharer แห่งมหาวิทยาลัยซูริค (University of Zurich, Dental School, Department of Crown and Bridge Prosthodontics and Dental Materials) ร่วมกับบริษัท Ivoclar ประเทศลิคเทนสไทน์ (Dong, *et al.*, 1992) โดยในปัจจุบันมีทั้งเอ็มเพรสวัน (Empress 1) และเอ็มเพรสทู (Empress 2)

เอ็มเพรสวันมีส่วนประกอบพื้นฐานของเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน ที่มีองค์ประกอบต่อไปนี้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Holand and Frank, 1994) คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 59.0-63.0 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 19.0-23.5 โพแทสเซียมออกไซด์ร้อยละ 10.0-14.0 โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 3.5-6.5 โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) ร้อยละ 0.0-1.0 ซิลิเนียมไดออกไซด์ (CeO_2) ร้อยละ 0.0-1.0 แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ (CaO) 0.5-3.0 แบเรียมออกไซด์ (BaO) ร้อยละ 0.0-1.5 และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 0.0-0.5 ซึ่งส่วนประกอบพื้นฐานเหล่านี้จะถูกหลอมเข้าด้วยกัน จากนั้นให้ความร้อน

เพื่อเริ่มต้นการเกิดนิวเคลียส และการเกิดผลึก โดยกลไกการควบคุมการเกิดผลึกที่ผิว (controlled surface crystallization) ในกระบวนการนี้การเกิดนิวเคลียสจะเริ่มต้นที่ขอบเกรน แล้วขยายจากผิวเข้าสู่ส่วนกลางของพอร์ซเลน (Holand, and Frank, 1994) จากนั้นทำให้เย็นลงแล้วบดเป็นผง นำมาเติมสารสี ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescences) สารคงสภาพและแอดดิทีฟ (additives) แล้วอัดเป็นก้อนที่เรียกว่า อินกอต (ingot)

หลังจากนั้นนำอินกอตมาเผาอีกครั้งในช่วงอุณหภูมิประมาณ 900-1,200 องศาเซลเซียส ในช่วงที่ให้ความร้อนนี้จะเกิดผลึกลูไซต์ (leucite crystal: $K_2O\ Al_2O_3\ 4SiO_2$) ในแก้วแมทริกหรือวัฏภาคแก้ว ขนาดประมาณ 1-3 ไมครอน ปริมาณร้อยละ 40-55 โดยปริมาตร (Mackert and Russel, 1996; Milleding *et al.*, 1999) ผลึกลูไซต์เป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้เอ็มเพรสด้วยกลไกสองประการคือ ประการแรกเกิดจากความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนระหว่างลูไซต์กับแก้วแมทริกซ์ โดยลูไซต์มีค่าเท่ากับ 20-25 x 10^{-6} /°C ในขณะที่แก้วแมทริกมีค่าน้อยกว่า 10 x 10^{-6} /°C ซึ่งการที่ลูไซต์มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนที่แตกต่างกับแก้วแมทริก ทำให้ส่วนของลูไซต์เกิดความเค้นดึง และในส่วนของแก้วแมทริกเกิดความเค้นอัด ความเค้นอัดที่เกิดขึ้นนี้สามารถต้านต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักได้ ประการที่สอง ในกระบวนการอัดด้วยความร้อน (heat press) ในห้องปฏิบัติการ ผลึกลูไซต์มีการเรียงตัว และกระจายตัวในส่วนของแก้วแมทริกเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เพิ่มความต้านทานการแตก (Dong, *et al.*, 1992; Mackert and Russell, 1996; Mutobe, Murayama and Kataoka, 1997) เอ็มเพรสวันใช้ในงานอุดฝัง (inlays) อุดครอบ (onlays) วีเนียร์ (veneer) และครอบฟันหน้า

อย่างไรก็ตามจากข้อจำกัดของเอ็มเพรสวันที่มีความแข็งแรงต่ำ ใช้งานได้เพียงครอบฟันหน้า ไม่สามารถใช้งานครอบฟันหลังหรือสะพานฟันได้ เอ็มเพรสทู (Empress 2; Ivoclar Vivadent AG) จึงถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1998 เพื่อใช้งานสะพานฟันหน้าถึงฟันกรามน้อย และครอบฟันหลัง เอ็มเพรสทู ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนโครงสร้างเป็นลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate framework: $Li_2O\ 2SiO_2$) ซึ่งมีผลึกลิเทียมไดซิลิเกตรูปเข็ม (needle shaped) ยาวประมาณ 0.5-4 ไมครอน (Holand, 1998) ประมาณร้อยละ 60 โดยปริมาตรเชื่อมต่อกัน ช่วยเพิ่มกำลังดัดขวางได้ถึง 350 เมกะปาสคาล (Holand, 1998) ส่วนที่สองคือส่วนปกคลุมส่วนโครงสร้าง (layering) (IPS Eris; Ivoclar Vivadent AG) ซึ่งมีส่วนประกอบ(ร้อยละโดยน้ำหนัก) คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 60.0-72.0 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 2.0-8.0 โพแทสเซียมออกไซด์ร้อยละ 10.0-23.0 แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.0-10.5 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ร้อยละ 8.5-20.0 ลิเทียมไดออกไซด์ร้อยละ 1.0-5.0 ฟอสฟอรัสเพนทะออกไซด์ร้อยละ (P_2O_5) 0.5-6.0 และฟลูออไรด์ไอออนร้อยละ 0.1-1.0 (Schweiger *et al.*, 1999) โดยส่วนประกอบพื้นฐานเหล่านี้จะถูกหลอมเข้าด้วยกัน จากนั้นให้ความร้อนเพื่อเริ่มต้นการเกิดนิวเคลียส และการเกิดผลึก โดยกลไกการควบคุมการเกิดผลึกแบบปริมาตร (controlled volume crystallization)

กระบวนการนี้ผลึกเริ่มต้นจากแคลเซียมอิออน ฟอสฟอรัสเพนทะออกไซด์ และฟลูออไรด์อิออน จะถูกควบคุมเพื่อให้เกิดผลึกฟลูออแอพพาไทต์ หรือฟลูออโรแอพพาไทต์ (fluorapatite or fluoroapatite: $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) ขนาดยาวประมาณ 0.3-5 ไมครอน เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1-0.3 ไมครอน (Jana Holand and Vogel, 1994) ปริมาตรน้อยกว่าร้อยละ 5 (Isgro *et al.*, 2005) ซึ่งเข้ากันได้กับส่วนโครงสร้างลิเทียมไดซิลิเกต แตกต่างจากเอ็มเพรสวันที่เป็นผลึกลูไซต์ ผลึกฟลูออแอพพาไทต์ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางแสง ได้แก่ ความโปร่งแสง ความสว่าง และการกระเจิงแสงให้ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ทำให้ชิ้นงานมีความสวยงามมากยิ่งขึ้น

โดยทั่วไปพอร์ซเลนเป็นวัสดุทางทันตกรรมที่เฉื่อยต่อการการทำปฏิกิริยา เข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อในช่องปาก และทนต่อกรดหรือสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดส่วนใหญ่ ด้วยเหตุผลดังกล่าวพอร์ซเลนจึงเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการบูรณะฟันในช่องปาก อย่างไรก็ตามกรดบางชนิดเกิดปฏิกิริยากับพอร์ซเลนได้ อาทิเช่นกรดไฮโดรฟลูออริก กรดอะซิติก หรือกรดซิตริกในผลไม้รสเปรี้ยวเช่น ส้ม มะนาว มะม่วง สับปะรด เป็นต้น กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดที่ถูกแนะนำให้ใช้ปรับสภาพผิวพอร์ซเลนเพื่อการยึดติดสำหรับซ่อมแซมพอร์ซเลนที่แตกหัก (Horn, 1983; Guler *et al.*, 2006) ในขณะที่กรดอะซิติกเป็นกรดที่ใช้ทดสอบการละลายของพอร์ซเลนตามมาตรฐาน ISO 6872 (ISO, 1995) แม้ว่ากรดอะซิติกเป็นกรดอ่อน แต่เนื่องจากกรดอะซิติกมีคุณสมบัติคีเลท (chelating effect) ในการจับกับอัลคาไลน์อิออนเพื่อสร้างเป็นสารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ (soluble complexes) (Milleding *et al.*, 1999) จึงทำให้พอร์ซเลนกร่อนได้เร็ว และพอร์ซเลนละลายในกรดอะซิติกความเข้มร้อยละ 4 ใกล้เคียงกับการละลายในน้ำลาย (Anusavice, 1992) ส่วนกรดซิตริกนั้นเป็นกรดที่พบในผลไม้รสเปรี้ยวหรือเครื่องดื่ม อาทิเช่น มะม่วง สับปะรด (Hughes *et al.*, 2000; Lussi Jaeggi and Zero, 2004) ซึ่งอาจมีผลต่อสภาพผิวของพอร์ซเลนเมื่อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงสภาพผิวหรือการเสื่อมของพอร์ซเลนเป็นผลจากปัจจัย 3 ประการกล่าวคือ ประการแรกได้แก่ ปัจจัยของพอร์ซเลน ประกอบด้วยองค์ประกอบของวัฏภาคผลึกเมื่อเปรียบเทียบกับวัฏภาคแก้ว โครงสร้างและความหนาแน่นของวัฏภาคผลึก สัดส่วนปริมาตรของวัฏภาคผลึก ขนาดเกรนของวัฏภาคผลึก และสภาวะบริเวณพื้นผิวของพอร์ซเลน (McCracken, 1992) ประการที่สองคือสภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารตัวกลางที่พอร์ซเลนแช่อยู่ และประการสุดท้ายคือปัจจัยทางกายภาพได้แก่ อุณหภูมิ เวลา พื้นที่ผิว และลักษณะของสารตัวกลางที่มาสัมผัสกับพอร์ซเลนว่าเป็นลักษณะแช่หรือไหลผ่าน (static or dynamic nature) (Anusavice and Zhang, 1997; White, 1992) ซึ่งผลจากปัจจัยเหล่านั้นทำให้พอร์ซเลนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวจาก 2 กระบวนการคือ การแลกเปลี่ยน (leaching or exchange) ระหว่างไฮโดรเนียมอิออน (H_3O^+) ในสารตัวกลางกับอิออนบวก (modified cations or alkali ions) ในพอร์ซเลนได้แก่ โซเดียมอิออน โปแทสเซียมอิออน และลิเทียมอิออน ซึ่งเป็นอิออนหลักที่เป็นตัวแลกเปลี่ยน (Milleding Karlsson and Nyborg, 2003) โดยปฏิกิริยานี้เป็นกระบวน

การหลักเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารตัวกลางน้อยกว่า 5 และการทำลาย (etching) โครงร่างซิลิกาของพันธะไซลอกเซนระหว่างซิลิกอนและออกซิเจน (Si-O-Si) โดยปฏิกิริยานี้เป็นกระบวนการหลักเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารตัวกลางมากกว่า 9 ผลจากกระบวนการเหล่านี้ทำให้พอร์ซเลนลดความแข็งแรงลง พื้นผิวขรุขระส่งผลให้ฟันคู่สบสึกมากขึ้น (Anusavice and Zhang 1997; Charles 1958) และทำให้แผ่นคราบจุลินทรีย์สะสมมากยิ่งขึ้น (Quirynen *et al.*, 1990; Castellani *et al.*, 1996) นอกจากนี้ผลการกร่อนทำให้เกิดฟิล์มอินทรีย์ (organic films) บนผิวพอร์ซเลน ซึ่งมีผลลดการกร่อนของพอร์ซเลนโดยลดการแพร่ผ่านของแร่ธาตุ (Milleding Haraldsson and Karlsson, 2002) ได้เมื่อเวลาผ่านไป

การศึกษาเกี่ยวกับการละลายของธาตุออกจากพอร์ซเลนแต่ละชนิดมีหลายการศึกษา Milleding และคณะ (1999) ศึกษาการกร่อนของพอร์ซเลน 7 ชนิดได้แก่ เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (Vita Omega) อะลูมินัสพอร์ซเลน (Vitadur Alpha) พอร์ซเลนที่มีลูไซต์ปริมาณสูง (IPS-Empress) พอร์ซเลนจุดหลอมเหลวต่ำ (Duceram LFC) พอร์ซเลนที่มีลูไซต์ขนาดเล็ก (Procera AllTitan) พอร์ซเลนเคลือบ (Procera AllCeram) และแกนอะลูมินาแบบกลึงและขัด (Al_2O_3 core material milled and polished) ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มร้อยละ 4 ตามมาตรฐาน ISO 6872 โดยวัดความหยาบผิว (Sa Ssk Scx และ Sdr) และตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่า Vita Alpha มีความหยาบผิวเพิ่มขึ้นมากที่สุด แกนอะลูมินาแบบกลึง Vita Alpha Vita Omega และ IPS-Empress พบความหยาบผิวหลังจากแช่ในกรดอะซิติกมากกว่า Duceram LFC Procera AllTitan Procera AllCeram และแกนอะลูมินาแบบขัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เนื่องจากมีปริมาณวัฏภาคผลึก (ผลึกลูไซต์) มากกว่า และพบว่าการเสื่อมของพอร์ซเลนนอกจากขึ้นอยู่กับปริมาณวัฏภาคผลึกแล้ว รูปร่างและขนาดของผลึกลูไซต์ที่เล็กกว่ามีผลให้พอร์ซเลนเสื่อมน้อยกว่า ดังนั้น IPS-Empress ซึ่งมีผลึกลูไซต์ที่มากกว่าแต่เล็กกว่าจึงกร่อนน้อยกว่า Vita Alpha และ Vita Omega

ต่อมาในปี 2002 Milleding Haraldsson และ Karlsson ได้ศึกษาเปรียบเทียบการละลายของแร่ธาตุจากพอร์ซเลน 8 ชนิดได้แก่ พอร์ซเลนที่มีลูไซต์ปริมาณสูง (IPS-Empress) เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (Vita Omega) อะลูมินัสพอร์ซเลน (Vitadur Alpha) พอร์ซเลนจุดหลอมเหลวต่ำ (Duceram LFC) พอร์ซเลนที่มีลูไซต์ขนาดเล็ก (Procera AllTitan) พอร์ซเลนเคลือบ (Procera AllCeram) อิตเตรียสแทบิไลซ์เซอร์โคเนียเซรามิก (Denzir) และแกนอะลูมินาร้อยละ 99.7 (Procera alumina core) ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มร้อยละ 4 ตามมาตรฐาน ISO 6872 กับน้ำปราศจากอิออน (Milli-Q) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุพบว่า ในสารละลายกรดอะซิติกและน้ำปราศจากอิออน ธาตุที่ละลายออกมามากได้แก่ โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม ซิลิกอน และอะลูมิเนียม และไม่พบความแตกต่างระหว่างการละลายของธาตุจากพอร์ซเลนทั้ง 8 ชนิด สอดคล้องกับการศึกษาต่อมาของ Milleding Karlsson และ Nyborg (2003) ซึ่งศึกษาธาตุบริเวณพื้นผิวของพอร์ซเลน 8 ชนิดเดียวกันด้วย ESCA

(Electronic Spectroscopic for Chemical Analysis) เมื่อแช่ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มร้อยละ 4 ตามมาตรฐาน ISO 6872 กับน้ำปราศจากอิออน (Milli-Q) ผลพบว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างการละลายของธาตุจากพอร์ซเลนทั้ง 8 ชนิด

Jakovac และคณะ (2006) ศึกษาการละลายของโซเดียมอิออน โปแทสเซียมอิออน อะลูมิเนียมอิออน และซิลิกอนอิออนจากเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (IPS Classic) อะลูมินัสพอร์ซเลน (Vitadur Alpha) ฟลูออแอพพาไทต์พอร์ซเลนและลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิก (IPS Empress2) ตามมาตรฐาน ISO 6872 พบว่า เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนพบโซเดียมอิออน อะลูมิเนียมอิออน และซิลิกอนอิออนละลายออกมามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 อะลูมินัสพอร์ซเลนพบโปแทสเซียมอิออนละลายออกมามากที่สุด ในขณะที่ฟลูออแอพพาไทต์พอร์ซเลนและลิเทียมไดซิลิเกตเซรามิกพบธาตุละลายออกมาน้อยที่สุด

ในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับการสึกกร่อนส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่ผลต่อตัวฟัน (ten Cate and Imfeld, 1996; Bell, *et al.*, 1998; Edwards, *et al.*, 1999; Eisenburger, Addy and Hughes, 2001) ในขณะที่ผลต่อวัสดุบูรณะฟันที่ใช้บูรณะในผู้ป่วยที่มีฟันสึกโดยเฉพาะพอร์ซเลนนั้นยังไม่มีการศึกษามากนัก มีเพียงการศึกษาดังที่กล่าวมาซึ่งเป็นการศึกษาการละลายของธาตุออกจากพอร์ซเลน โดยทดสอบด้วยสารละลายกรดอะซิติกตามมาตรฐาน ISO 6872 ในขณะที่ผลต่อคุณสมบัติอื่นอาทิเช่น ความแข็งผิว ความหยาบผิว และผลของกรดชนิดอื่นที่มีในผลไม้หรืออาหารต่อพอร์ซเลนซึ่งมีผลต่อการใช้งานทางคลินิกยังไม่มีการศึกษามากนัก ดังการศึกษาของ Demirhanoglu และ Sahin (1992) ที่ศึกษาผลของกรดซิตริกความเข้มร้อยละ 2 ต่อความหยาบพื้นผิวของเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (VITA VMK 68) ที่เคลือบผิว 2 แบบ (overglaze and autoglaze) โดยแช่ไว้ 4 (เทียบเท่ากับเวลา 1 ปี) และ 8 ชั่วโมง (เทียบเท่ากับเวลา 2 ปี) ผลที่ได้พบว่า กรดซิตริกความเข้มร้อยละ 2 ไม่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 สอดคล้องกับการศึกษาของ Demirel และคณะ (2005) ที่ศึกษาผลของกรดซิตริกความเข้มร้อยละ 2 ต่อความหยาบพื้นผิวของพอร์ซเลนที่มีลูไซท์ปริมาณสูง (IPS Empress) เมื่อแช่ 8 ชั่วโมง (เทียบเท่ากับเวลา 2 ปี) พบว่า ไม่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 เช่นกัน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาทั้ง 2 นี้ใช้เวลาทดสอบ 8 ชั่วโมง เทียบเท่ากับเวลาในช่องปาก 2 ปี ซึ่งค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานจริงในช่องปาก และยังไม่มีการศึกษาใดที่อธิบายผลของผลไม้รสเปรี้ยวต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอร์ซเลนประกอบกับพฤติกรรมการบริโภคของประชากรในภาคใต้ที่นิยมรับประทานอาหารหรือผลไม้รสเปรี้ยว ซึ่งหากพอร์ซเลนมีการสัมผัสกับอาหารหรือผลไม้เหล่านั้น อาจทำให้คุณสมบัติของพอร์ซเลนเปลี่ยนแปลงและอาจนำสู่ความล้มเหลวของการบูรณะฟันได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรมีการศึกษาผลของผลไม้รสเปรี้ยวเหล่านี้ต่อคุณสมบัติของพอร์ซเลน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอร์ซเลน 4 ชนิด ได้แก่ เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน อะลูมินัสพอร์ซเลน พอรซ์เลนที่มีลูไซท์ปริมาณ

สูง และฟลูออแอพพาไทต์พอร์ซเลน ซึ่งเป็นพอร์ซเลนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เมื่อแช่ในน้ำผลไม้รสเปรี้ยว และเปรียบเทียบผลการกัดกร่อนจากน้ำผลไม้รสเปรี้ยวต่อพอร์ซเลน 4 ชนิด เพื่อเป็นข้อมูลหนึ่งที่ช่วยตัดสินใจทางคลินิกในการบูรณะฟันเพื่อรักษาผู้ป่วยที่มีปัญหาฟันสึก อีกทั้งเป็นองค์ความรู้ในการสอนนักศึกษาทันตแพทย์ทั้งระดับก่อนและหลังปริญญา เป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันการลุกลามของฟันสึก เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในการบูรณะฟันผู้ป่วยฟันสึกที่เหมาะสม และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยขั้นต่อไปในอนาคต