บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟันเป็นอวัยวะที่มีความสำคัญในช่องปาก นอกเหนือจากหน้าที่ในการบดเคี้ยว การพูด หน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือให้ความสวยงาม ซึ่งฟันที่สวยงาม เรียงตัวเป็นระเบียบสีขาว สดใสย่อมส่งเสริมบุคลิกภาพของบุคคลนั้น จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาการรักษารูปแบบต่างๆในฟันที่มีสีผิดปกติซึ่งส่งผลกระทบต่อความสวยงามเช่น การทำครอบฟัน การทำผิวหน้าฟัน (Facial veneers) และการฟอกสีฟันเป็นต้น การทำครอบฟันหรือการทำผิวหน้าฟันสามารถเปลี่ยนสีฟันได้รวดเร็ว และเป็นการเปลี่ยนสีฟันที่ค่อนข้างถาวร แต่มีข้อเสียคือส่วนใหญ่ผู้ป่วยต้องถูกกรอฟัน ทำให้สูญเสียเคลือบฟันและเนื้อฟันบางส่วนไปอย่างถาวรและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงด้วย ส่วนการฟอกสีฟันนั้นสามารถเปลี่ยนสีฟันได้โดยไม่จำเป็นต้องกรอตัดฟัน วิธีการทำไม่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า แต่ต้องใช้เวลานานกว่าและบางกรณีการฟอกสีฟันอาจไม่ประสบผลสำเร็จหรือไม่สามารถสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ป่วยได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

สีของฟัน

สีของฟันโดยธรรมชาติจะแตกต่างกันในแต่ละบุคคล อันเป็นผลมาจากความแตกต่างในส่วนของเนื้อฟัน นอกจากนั้นแล้วสีของฟันยังอาจเปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดความไม่สวยงามขึ้นได้ อันเนื่องมาจากปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน

ปัจจัยภายนอก ได้แก่ การสูบบุหรี่ การรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่ทำให้เกิดการติดสีบนตัวฟัน เช่นชา กาแฟ การอมบ้วนปากด้วยน้ำยาบ้วนปากที่มีคลอเฮ็กซิดีน(Croll 1991)

ปัจจัยภายใน เกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและหลังฟันขึ้นมาในช่องปากได้แก่ โรคทางระบบบางโรคที่มีผลในช่วงการสร้างหน่อฟันเช่นโรคอะมิโลเจเนซิส อิมเพอร์เฟกตา(amelogenesis imperfecta) เกิดจากการสร้างเคลือบฟันที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ผิวเคลือบฟันหลุดออกได้ง่าย จึงเห็นเนื้อฟันซึ่งมีสีเข้มกว่า ฟันจึงมีสีตั้งแต่เหลืองจนถึงน้ำตาล (Kaugars 1991) โรคเด็นติโนเจเนซิส อิมเพอร์เฟกตา (dentinogenesis imperfecta) ซึ่งเกิดจากมีความบกพร่องของเนื้อฟันทำให้การยึดเกาะกับชั้นผิวของเคลือบฟันค่อนข้างอ่อนแอ ผิวเคลือบฟันแตกได้ง่าย เนื้อฟันสึกมากและรวดเร็ว (Kaugars 1991) ฟันจะมีสีตั้งแต่น้ำตาลเหลืองจนถึงน้ำตาลม่วงหรือเทา ฟันตกกระจากการได้รับฟลูออไรด์มากเกินไป(fluorosis) ในช่วงอายุ 4 เดือนถึง 8 ปีซึ่งเป็นช่วงที่มีการสร้างเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยที่ฟลูออไรด์จะไปมีผลต่อการทำงานของอะมีโลบลาส(ameloblast) ทำให้ผิวเคลือบฟันเกิดรูพรุน มีลักษณะตกกระ หรือมีลักษณะเป็นฝ้าขุ่นขาว (Goldstein และ Garber

1995) นอกจากนั้นฟันยังเปลี่ยนสีเนื่องจากการได้รับยาจำพวกเตตราซัยคลิน (tetracycline) มากเกินไปในช่วงอายุ 4 เดือนถึง 8 ปีซึ่งเป็นช่วงที่มีการสร้างเนื้อฟันและเคลือบฟัน โดยที่เตตราซัยคลินจะเข้าไปจับกับแคลเซียมอิออนในไฮดรอกซีอะพาไทท์เกิดเป็นสารเชิงซ้อนแคลเซียมออโธฟอสเฟตเตตราซัยคลิน(calcium orthophosphate-tetracycline complex) ซึ่งจะมีสีตั้งแต่เหลืองเข้ม น้ำเงิน เทา น้ำตาลเข้ม จนกระทั่งสีดำ (Mello 1967) ส่วนฟันที่ได้รับอุบัติเหตุจะเกิดการเปลี่ยนสีเนื่องจากเส้นเลือดภายในเนื้อเยื่อโพรงฟันฉีกขาด เลือดไหลเข้าไปในท่อเนื้อฟัน เม็ดเลือดแดงแตกตัวปลดปล่อยฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งมีเฟอร์รัสอิออนที่จะไปจับกับซัลเฟอร์ทำให้เกิดเฟอร์รัสซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ จึงทำให้ฟันมีสีคล้ำขึ้น (Touati และคณะ 1999) ฟันที่ได้รับการรักษารากฟันแล้วมักจะเกิดการเปลี่ยนสีได้เนื่องจากการกำจัดเนื้อเยื่อที่ตายแล้วออกไม่หมด หรือการกำจัดเฟอร์รัสซัลไฟด์ภายในท่อเนื้อฟันออกไม่หมด รวมทั้งการอุดรากฟันด้วยซิลเวอร์โคนก็มีผลทำให้ฟันเกิดการเปลี่ยนสีได้ (Schmidseder 2000) นอกจากนั้นวัสดุอุดฟันยังทำให้เกิดการเปลี่ยนสีฟันได้เช่น อมัลกัม เป็นต้น (Hattab และคณะ 1999)

ชนิดของสารฟอกสีฟัน

สารฟอกสีฟันที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ มีสูตรทางเคมีคือ H_2O_2 สถานะภาพเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสขมและฝาด มีน้ำหนักโมเลกุล 34.016 สามารถละลายกับน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน คุณสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แสดงในตารางที่ 1 และ 2 Goldstein และ Kiremidjian-Schumacher(1993) ได้ตั้งสมมติฐานว่า ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีเสถียรภาพต่ำ จะสลายตัวให้โมเลกุลของน้ำและออกซิเจนที่ไม่เสถียร (nascent oxygen) ดังภาพที่ 1 ออกซิเจนนี้เป็นสารโมเลกุลเล็กและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในเคลือบฟันและเนื้อฟัน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) กับโมเลกุลสารที่มีสี ซึ่งชั้นนอกสุดของโมเลกุลออกซิเจนประกอบด้วยอิเลคตรอนไม่มีคู่ 2 ตัว (2 unpaired electron) จะเกิดการรวมตัวกับอิเลคตรอนอิสระ 1 ตัวได้ซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide : O_2^-) เมื่อซูเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในปฏิกิริยาฮาร์เบอร์ไวส์ (Haber-Weiss Reaction) ดังภาพที่ 2 จะได้ไฮดรอกซิลเรดิคอล (Hydroxyl radical : OH) ซึ่งจะไปสลายคาร์บอนพันธะคู่ในเม็ดสีที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นกลุ่มไฮดรอกซี (Hydroxy groups) ที่ไม่มีสี (ภาพที่ 3) จึงทำให้ฟันขาวขึ้น

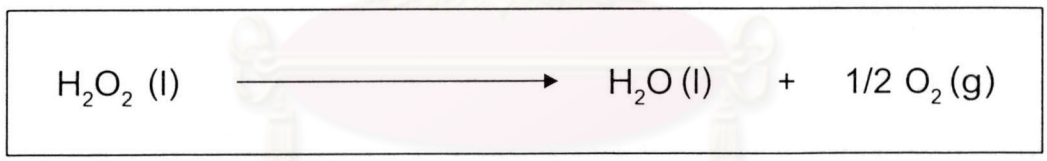
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์กับน้ำ (Weinheins 1998)

Property	Value	
	H_2O_2	H_2O
Melting point (^{o}C)	-0.43	0
Boiling point (101.3 kPa) (^{o}C)	150.2	100
Heat of melting (J/g)	368	334
Heat of vaporization ($Jg^{-1}K^{-1}$)		
At 25 ^{o}C	1519	3443
At boiling point	1387	2258
Specific heat ($Jg^{-1}K^{-1}$)		
Liquid (25 ^{o}C)	2.629	4.182
Gas (25 ^{o}C)	1.352	1.865
Relative density (g/cm^3)		
0 ^{o}C	1.4700	0.9998
20 ^{o}C	1.4500	0.9980
25 ^{o}C	1.4425	0.9971
Viscosity (mPa .s)		
0 ^{o}C	1.819	1.792
20 ^{o}C	1.249	1.002
Critical temperature (^{o}C)	457	374.2
Critical pressure (mPa)	20.99	21.44
Refractive index n_D^{20}	1.4084	1.3330

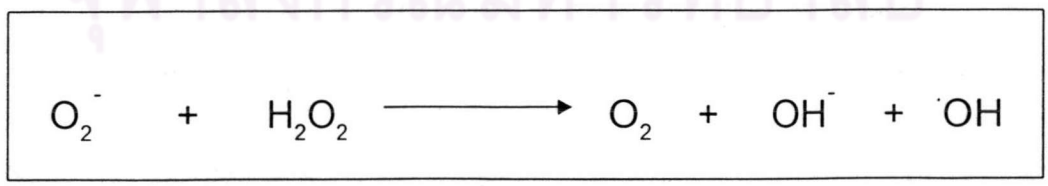
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน (Weinheins 1998)

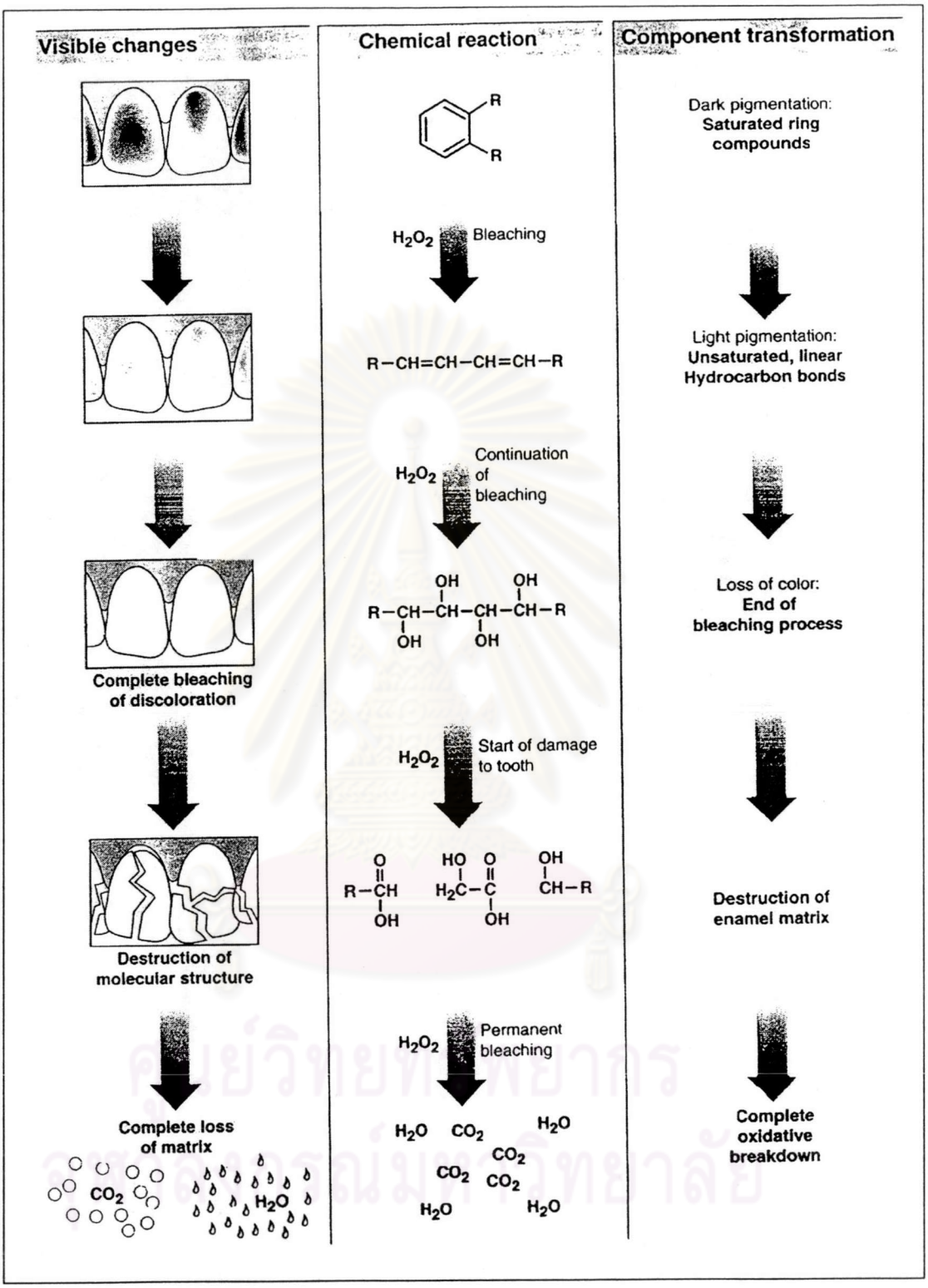
Property	H_2O_2 concentration (wt%)			
	35	50	70	90
Relative density (g/cm^3)				
0 °C	1.1441	1.2110	1.3071	1.4136
20 °C	1.1312	1.1953	1.2886	1.3920
25 °C	1.1282	1.1914	1.2839	1.3867
Viscosity (mPa .s)				
0 °C	1.82	1.87	1.93	1.88
20 °C	1.11	1.17	1.23	1.26
Refractive index n_D^{20}	1.3563	1.3672	1.3827	1.3995
Melting point (°C)	-33	-52.2	-40.3	-11.9
Boiling point (101.3 kPa) (°C)	107.9	113.8	125.5	141.3
H_2O_2 partial pressure (30 °C) (kPa)	0.05	0.11	0.17	0.29



ภาพที่ 1 แสดงปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Weinheins 1998)

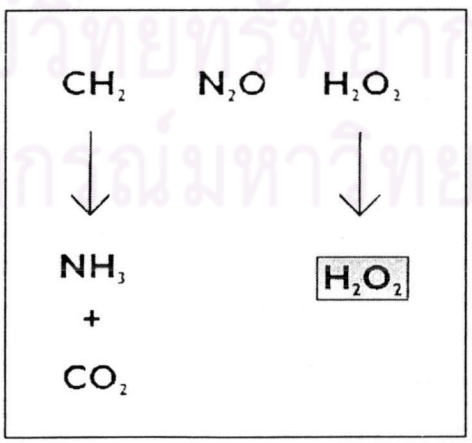


ภาพที่ 2 แสดงปฏิกิริยาฮาร์เบอร์ไวส์รีแอ็คชั่น (Goldstein และ Kiremidjian-Schumacher 1993)

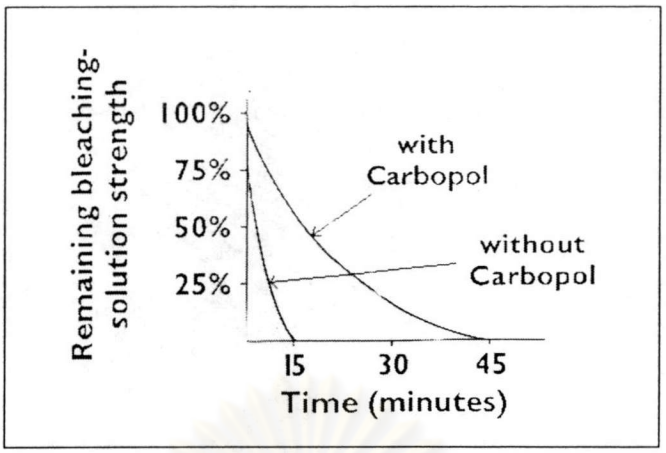


ภาพที่ 3 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารฟอกสีฟัน (Schmidseder 2000)

2. คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ มีสูตรทางเคมีคือ (H_2N-CO- N_2H). H_2O_2 มีน้ำหนักโมเลกุล 94.07 ซึ่งจะแตกตัวให้ยูเรียและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะแตกตัวต่อไปเป็นน้ำและออกซิเจน โดยคาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ในปริมาณ 10 ส่วนจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 3.35 ส่วนและยูเรีย (urea) 6.65 ส่วน ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 3.35 ส่วนจะแตกตัวให้ออกซิเจนอีกครั้งหนึ่ง (Marshall และคณะ 1995) จึงทำให้ในเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่เท่ากัน คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยาให้ออกซิเจนเพียงหนึ่งในสามเมื่อเทียบกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ดังนั้นในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจะใช้เวลานานกว่าการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ส่วนยูเรียที่เกิดขึ้นจะแตกตัวให้แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 4 ซึ่งมีประโยชน์คือทำให้สภาพช่องปากเป็นด่างและช่วยลดระดับคราบจุลินทรีย์ในช่องปากด้วย (Shipman และคณะ 1971) เนื่องจากไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีเสถียรภาพต่ำ มีความไวต่อปฏิกิริยาการสลายตัว ทำให้หมดฤทธิ์ในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นจึงมีการเติมสารคาร์โบพอล (carbopol หรือ carboxypolymethylene polymer) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ชนิดกรดโพลีอะคริลิก (polyacrylic acid polymer) ในสารฟอกสีฟันเพื่อควบคุมปฏิกิริยาให้เกิดช้าลงและออกฤทธิ์ได้นานขึ้น (Haywood 1997a) คาร์โบพอลเป็นเรซินที่ละลายน้ำได้ (water-soluble resin) ซึ่งโดยตัวมันเองจะไม่มีการแตกตัว จึงใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening agent) คาร์โบพอลจะไปลดการแตกตัวของสารฟอกสีฟัน โดยเมื่อจับกับคาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ ทำให้คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ค่อยๆมีการแตกตัวอย่างช้าๆ ดังภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าสารฟอกสีฟันที่ไม่มีคาร์โบพอลจะแตกตัวหมดภายใน 15 นาที ในขณะที่สารฟอกสีฟันที่มีคาร์โบพอลจะแตกตัวหมดภายใน 45 นาที ซึ่งจะแตกตัวช้ากว่าถึง 3 เท่า (Goldstein และ Garber 1993)

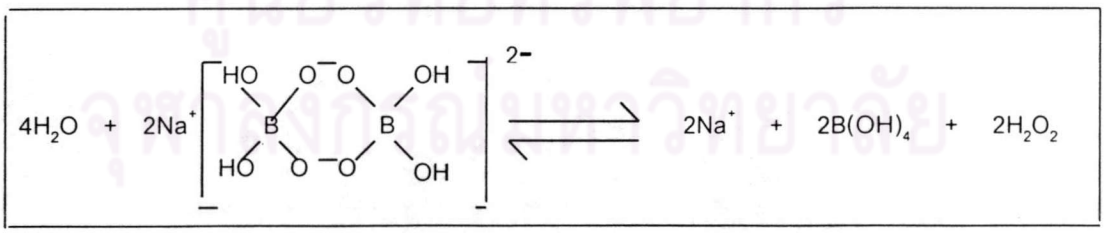


ภาพที่ 4 แสดงปฏิกิริยาการแตกตัวของคาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ (Goldstein และ Garber 1995)



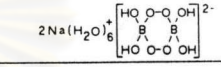
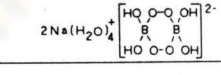
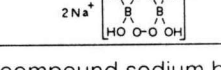
ภาพที่ 5 แสดงความสามารถในการแตกตัวของสารฟอกสีฟันคาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ที่มีและไม่มีคาร์โบพอล (Goldstein และ Garber 1993)

3. โซเดียมเพอร์บอเรท (sodium perborate) เป็นผลึกไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มี 4 รูปคือ โซเดียมเพอร์บอเรทเตตราไฮเดรท (sodium perborate tetrahydrate) โซเดียมเพอร์บอเรทไตรไฮเดรท (sodium perborate trihydrate) โซเดียมเพอร์บอเรทโมโนไฮเดรท (sodium perborate monohydrate) และแอนไฮดรัสโซเดียมเพอร์บอเรท (anhydrous sodium perborate) โดยมีลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 โซเดียมเพอร์บอเรทที่นิยมใช้ในการฟอกสีฟัน คือ โซเดียมเพอร์บอเรทโมโนไฮเดรทเนื่องจากมีการละลายน้ำได้เร็วกว่าและให้ปริมาณออกซิเจนที่มีฤทธิ์มากกว่า (Weiger และคณะ 1994) โซเดียมเพอร์บอเรทโมโนไฮเดรทเมื่อผสมกับน้ำจะสลายตัวให้โซเดียมเมตาบอเรท (sodium metaborate) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Weinheins 1998) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงปฏิกิริยาการสลายตัวของโซเดียมเพอร์บอเรทโมโนไฮเดรท (Weinheins 1998)

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะและคุณสมบัติของโซเดียมเพอร์บอเรทในรูปแบบต่างๆ (Weinheins 1998)

Common name	Historical formulae	Molecular weight	Density (g/cm^3)	Solubility in water at 20°C (g/l)	Active oxygen content (wt%)	IUPAC name and constitutional formula
Sodium perborate tetrahydrate	$NaBO_3 . 4H_2O$ $NaBO_2 . 4H_2O_2 . 3H_2O$	153.9	1.731	23	10.38	Disodium-di-μ-peroxo-bis(dihydroxoborate) hexahydrate 
Sodium perborate trihydrate	$NaBO_3 . 3H_2O$ $NaBO_2 . H_2O_2 . 2H_2O$	135.9	1.86	-	11.8	Disodium-di-μ-peroxo-bis(dihydroxoborate) tetrahydrate 
Sodium perborate monohydrate	$NaBO_3 . H_2O$ $NaBO_2 . H_2O_2$	99.8	0.5-0.6	15	16.0	Disodium-di-μ-peroxo-bis(dihydroxoborate) 
Anhydrous sodium perborate	$NaBO_3$	81.8*	-	-	2.0	No well-defined compound sodium borate-boron oxygen radical (under discussion)

* = Theoretical molecular mass

วิธีการฟอกสีฟัน

วิธีการฟอกสีฟันจำแนกได้เป็น 2 ประเภทตามสถานะของฟันคือ

1. การฟอกสีฟันที่มีชีวิต (vital bleaching) ใช้วิธีการฟอกสีฟันภายนอกตัวฟัน
2. การฟอกสีฟันที่ไม่มีชีวิต (nonvital bleaching) ใช้วิธีการฟอกสีฟันภายในตัวฟันโดยผ่านคลองรากฟัน

การฟอกสีฟันที่มีชีวิต

สารที่ใช้ฟอกสีฟันเริ่มมีบันทึกไว้ตั้งแต่ปี 1877 โดยใช้กรดออกซาลิก (oxalic acid) (Chapple 1877 อ้างถึงใน Goldstein และ Garber 1993) ต่อมามีการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งขณะนั้นเรียกว่าไฮโดรเจนไดออกไซด์ (hydrogen dioxide) (Harlan 1884 อ้างถึงใน Goldstein และ Garber 1993) หลังจากนั้นมีการใช้กรดไฮโดรคลอริก 18 เปอร์เซ็นต์ทาบนผิวเคลือบฟันซึ่งพบว่าทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุ (decalcification) ของเคลือบฟัน (McCloskey 1984) ต่อมาในปี 1989 Haywood และ Heymann ได้เสนอการใช้คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับถาดฟอกสีฟันที่เหมาะกับผู้ป่วยแต่ละรายโดยให้ผู้ป่วยทำเองที่บ้าน ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่ปลอดภัยเนื่องจากใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นต่ำ

วิธีการฟอกสีฟันในปัจจุบันมี 3 วิธีคือ

1. ทันตแพทย์ทำให้ผู้ป่วยในคลินิก (In – office bleaching หรือ Power bleaching) โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการฉายแสงหรือใช้คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับความร้อน(อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส) ซึ่งแสงและความร้อนจะเพิ่มความเร็วของปฏิกิริยาการแตกตัวและการแทรกซึมเข้าผิวฟันของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (McEvoy 1989, Touati และคณะ 1999, Walsh 2000) การฟอกสีฟันด้วยวิธีนี้ทำประมาณ 2-4 ครั้ง (Schmidseder 2000) ซึ่งมีข้อดีคือ ให้ผลรวดเร็ว ทันตแพทย์เป็นผู้กระทำ ผู้ป่วยไม่ต้องทำเอง แต่ข้อเสียคือต้องใช้เวลาในคลินิกค่อนข้างมาก

2. ผู้ป่วยกระทำด้วยตนเองที่บ้านภายใต้การดูแลของทันตแพทย์ (Dentist - home vital bleaching หรือ nightguard vital bleaching) โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1-10 เปอร์เซ็นต์ หรือคาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 10-20 เปอร์เซ็นต์ มีข้อดีคือ ใช้ง่าย ราคาไม่แพง ใช้เวลาในคลินิกน้อย มีความปลอดภัยเนื่องจากใช้น้ำยาที่มีความเข้มข้นต่ำ ผู้ป่วยสามารถทำได้เองที่บ้านในเวลาที่สะดวก โดยจะใช้เวลาในการฟอกสีฟันประมาณ 2-6 สัปดาห์ (Hattab และคณะ 1999, Touati และคณะ 1999) แต่ข้อเสียคือต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วยอย่างดี และเห็นผลค่อนข้างช้า

3. การฟอกสีฟันด้วยตนเองโดยซื้อชุดฟอกสีฟันจากห้างสรรพสินค้า (Over the counter bleaching system) ชุดฟอกสีฟันชนิดนี้จะประกอบด้วยกรดอะซิติก ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

เจลความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์และสารทำให้ฟันขาว (Stanton 1990 อ้างถึงใน Haywood 1992) โดยจะมีถาดฟอกสีฟันซึ่งเป็นถาดมาตรฐาน (standard tray) สำหรับช่องปากบุคคลทั่วไป ไม่มีความพอดีสำหรับช่องปากแต่ละบุคคล จึงอาจทำให้น้ำยาล้นเกินจากถาด ทำอันตรายต่อเหงือกและอวัยวะภายในช่องปากได้ รวมทั้งผู้ป่วยมีโอกาสกลืนน้ำยาลงคอด้วย (Haywood 1997b) และเนื่องจากเป็นการฟอกสีฟันที่ผู้ป่วยทำเอง ไม่ได้อยู่ภายใต้การดูแลของทันตแพทย์ จึงอาจมีโอกาสที่ผู้ป่วยจะฟอกสีฟันเป็นเวลานานเกินไป จนกระทั่งเม็ดสีที่อยู่ภายในฟันถูกกำจัดหมดแล้ว แต่ยังคงฟอกสีฟันต่อจึงอาจมีผลทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของฟันได้ การฟอกสีฟันด้วยวิธีนี้จะใช้เวลาประมาณ 4-6 สัปดาห์ (Haywood 1990 อ้างถึงใน Haywood 1992)

ดังนั้นจึงมีผู้เสนอให้ใช้สองวิธีแรกร่วมกันโดยทันตแพทย์ฟอกสีฟันให้ก่อนตอนเริ่มต้น หลังจากนั้นให้ผู้ป่วยกระทำต่อด้วยตนเองที่บ้าน ซึ่งจะทำให้เห็นผลรวดเร็ว ใช้เวลาน้อยลงเมื่อเทียบกับการให้ผู้ป่วยกระทำเองและมีความปลอดภัยสูง (Garber 1997, McEvoy 1998)

การฟอกสีฟันในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟัน

เริ่มมีมาตั้งแต่ปี 1848 ด้วยการใช้คลอไรด์ออฟไลม์ (chloride of lime) (อ้างถึงใน Goldstein และ Garber 1993) ต่อมามีการแนะนำเทคนิคเพอร์บอเรท (perborate technique) โดยใช้โซเดียมเพอร์บอเรทผสมกับน้ำกลั่น (Spasser 1961 อ้างถึงใน Nutting และ Poe 1967) หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิกเพอร์บอเรทโดยนำมาใช้ร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซ็นต์ในโพรงฟันและปิดไว้เป็นเวลา 3-7 วันเรียกว่าวอร์คกิ้งบลีช (walking bleach) (Nutting และ Poe 1967) ต่อมา Stewart (1965)ได้แนะนำเทคนิกเทอร์โมแคททาไลติก (Thermocatalytic bleaching technique) โดยใช้สำลีชุบไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซ็นต์ ใส่ในโพรงฟันแล้วจี้ด้วยเครื่องมือร้อนๆ ซึ่งมีรายงานพบว่า เทคนิควอร์คกิ้งบลีชและเทคนิคเทอร์โมแคททาไลติกมีประสิทธิภาพในการฟอกสีฟันใกล้เคียงกัน (Freccia และคณะ 1982) ต่อมา Howell (1980) แนะนำการใช้กรดกัดเนื้อฟันด้านในก่อนทำการฟอกสีฟันเพื่อเปิดท่อเนื้อฟัน

ในปัจจุบันการฟอกสีฟันในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันกระทำได้ 2 วิธีคือ

1. เทคนิกเทอร์โมแคททาไลติก โดยใช้ 30-35 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 1.7 (Rotstein และ Friedman 1991, Chng และคณะ 2002) ใส่ในโพรงฟัน แล้วจี้ด้วยเครื่องมือร้อน
2. เทคนิกวอร์คกิ้งบลีช โดยใช้โซเดียมเพอร์บอเรทผสมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5) หรือใช้โซเดียมเพอร์บอเรทผสมกับน้ำกลั่น (มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8.99-10.66) (Rotstein และ Friedman 1991, Weiger และคณะ 1993, Chng, H.K. และคณะ 2002) โดยจะทำซ้ำประมาณ 2-4 ครั้ง แต่ไม่

ควรเกิน 4 ครั้ง เนื่องจากโครงสร้างภายในตัวฟันจะอ่อนแอลง ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดฟันแตกได้ (Schmidseder 2000)

การเปลี่ยนแปลงสีฟัน

ผลของสารฟอกสีฟันต่อการเปลี่ยนแปลงสีฟัน

การเปลี่ยนแปลงสีฟันในฟันปกติมีรายงานว่า สารฟอกสีฟันที่มีความเข้มข้นมากกว่าสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีฟันได้รวดเร็วกว่าสารฟอกสีฟันที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อฟอกสีฟันไประยะเวลาหนึ่งจะพบว่าจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีฟันเพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลเม็ดสีได้แตกสลายไปเป็นโมเลกุลสารไม่มีสีจนหมด จึงทำให้ฟันไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีอีก แต่จะไปมีผลทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ (Kugel และคณะ 1997, Leonard และคณะ 1998, Matis และคณะ 1998, McCaslin และคณะ 1999, Matis และคณะ2000)

การฟอกสีฟันในฟันเตตราซัยคลินเริ่มทำครั้งแรกในปี 1970 โดย Cohen และ Parkins ซึ่งพบว่าการฟอกสีฟันสามารถกำจัดสีของเตตราซัยคลินในระดับ 1 และ 2 ได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ในฟันเตตราซัยคลินระดับ 3 จะมีสีขาวขึ้นและลดแถบสีลงเท่านั้น (Jordan และ Boksman 1984, Sadan และ Lemon 1998, Fiedler และ Reichl 2000) ซึ่งในกรณีฟันเตตราซัยคลินระดับ 3 ได้มีการแนะนำให้ทำผิวหน้าฟันเพื่อปิดสีของฟัน (Anitua และคณะ 1990, Shin และ Summitt 2002)

การเปลี่ยนแปลงสีฟันในฟันที่รักษารากมีรายงานว่า การฟอกสีฟันเทคนิกวอร์คกิ้งบลีชด้วย 35 เปอร์เซนต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ผสมกับโซเดียมเพอร์บอเรทมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ 35 เปอร์เซนต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเพอร์บอเรทอย่างใดอย่างหนึ่งเนื่องจากจะมีการแตกตัวให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่า (Warren และคณะ1990) ซึ่งการใช้โซเดียมเพอร์บอเรทที่เตรียมขึ้นใหม่ร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่เตรียมขึ้นใหม่ด้วยจะให้ผลสำเร็จมากกว่าการใช้ โซเดียมเพอร์บอเรทหรือไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่เตรียมไว้นานแล้ว (Ho และ Goerig 1989, Hardman และคณะ 1985) เนื่องจากพบว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะสูญเสียความสามารถในการออกซิไดซ์ลงครึ่งหนึ่งเมื่อมีอายุมากกว่า 6 เดือน (Hardman และคณะ 1985)

ผลของสารฟอกสีฟันต่อสีของวัสดุอุดฟัน

การเปลี่ยนแปลงสีของเรซินคอมโพสิตมีรายงานว่า 10 เปอร์เซ็นต์คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเรซินคอมโพสิต (Monaghan และคณะ 1992a) แต่ในขณะ

ที่ 35 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และ 35 เปอร์เซ็นต์คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ ทำให้เรซินคอมโพสิตเกิดการเปลี่ยนแปลงสีโดยมีความสว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งกลไกของสารฟอกสีฟันต่อเรซิน คอมโพสิตนั้นยังไม่มีรายงานที่แน่ชัด คาดว่าอาจเกิดจากการแทรกซึมของสารฟอกสีฟันไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับส่วนแมทริกซ์ (matrix) ของเรซินคอมโพสิต ทำให้เรซินคอมโพสิตมีความสว่างขึ้น (Monaghan และคณะ 1992b, Cullen และคณะ 1993, วิภาดาและวนิตดา 2000)

การคืนกลับของสีฟันภายหลังการฟอกสีฟัน

การคืนกลับของสีฟันภายหลังการฟอกสีฟันจะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ซึ่งมีรายงานพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสีฟันน้อยมาก โดยไม่พบการเปลี่ยนสีฟันภายหลัง 13-54 เดือนถึงร้อยละ 73-92 (Haywood และคณะ 1994,Leonard และคณะ 1999) ในขณะที่ Howell (1981) พบว่าประมาณร้อยละ 50 ของฟันที่ฟอกสีแล้วจะเกิดการเปลี่ยนสีภายหลังจากฟอกสีไปแล้วประมาณหนึ่งปี ซึ่งผลทางคลินิกที่ไม่ถาวรนี้มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สาเหตุและระยะเวลาของการเปลี่ยนสี สิ่งแวดล้อมที่ฟันได้รับหลังจากฟอกสีฟัน การติดสีภายนอกจากการใช้ยา แรงจากการบดเคี้ยวและปัจจัยที่ทำให้เกิดการสึก เป็นต้น(Brown 1965, Howell 1981, Rotstein และคณะ 1993)

ผลกระทบของการฟอกสีฟัน

ผลต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟัน

อาการที่อาจเกิดได้หลังจากฟอกสีฟันได้แก่การเสียวฟันเล็กน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยอาการจะเป็นอยู่เพียงระยะเวลาหนึ่งแล้วหายไป (Haywood และ Heymann 1991, Haywood 1992) แต่อาการเสียวฟันสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากเพอร์ออกไซด์และอิออนของยูเรียซึ่งเป็นสารที่ได้จากการแตกตัวซึมผ่านเข้าไปในเคลือบฟันและเนื้อฟัน ซึ่งจะเกิดขึ้นเฉพาะบางคนเท่านั้น (Haywood 1992, Haywood และ Heymann 1991) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สารฟอกสีฟันไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟัน (Cohen 1976, Cohen และ Chase 1979, Robertson และ Melfi 1980, Seale และคณะ 1981, Baumgartner และคณะ 1983, Goldstein และ Kiremidjian-Schumacher 1993, Goldstein 1997, Nathanson 1997) แต่มีผลลดการทำงานของเอ็นไซม์บางชนิดในโพรงฟันได้ (Bowles และ Thomson 1986, Bowles และ Burns 1992, Glickman และคณะ 1992)

ผลต่อเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปากและทางเดินอาหาร

การฟอกสีฟันทำให้เกิดการระคายเคืองและแผลถลอกของเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปาก ซึ่งเกิดได้จากความไม่แนบสนิทพอดีของถาดฟอกสีฟัน ทำให้สารฟอกสีฟันไปสัมผัสกับเนื่อเยื่อ ทำให้

เกิดการระคายเคือง (Leonard และคณะ 1997) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1-3 เปอร์เซ็นต์สามารถทำให้เกิดการระคายเคืองของเนื้อเยื่อ ยิ่งกว่านั้นถ้าสัมผัสติดต่อกันเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อที่รุนแรงเพิ่มขึ้น มีอาการเจ็บเมื่อสัมผัสแผล เยื่อบุหลุดลอก เนื้อเยื่อมีสีแดง บางตำแหน่งมีเนื้อเยื่อตายมีลักษณะเป็นปื้นขาว สามารถขูดเยื่อสีขาวนี้ออกได้ (Martin และคณะ 1968, Dorman และ Bishop 1970, Rees และ Orth 1986) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาทดลองในหนูพบว่า การได้รับสารฟอกสีฟันเข้าสู่ร่างกายจากการกลืนอาจก่อให้เกิดภาวะผลพิษฉับพลัน (acute toxic) อาจถึงตายได้ (Cherry และคณะ 1993)

ผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของแผ่นคราบจุลินทรีย์ที่ผิวฟันและน้ำลาย

Leonard และคณะ(1994a,b) พบว่า 10 เปอร์เซ็นต์ คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลายเพิ่มขึ้นในช่วง 15 นาทีแรก (จาก 6.81 $\pm$ 0.11 เป็น 7.32 $\pm$ 0.27) และจะกลับเข้าสู่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ปกติในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง และยังพบว่าทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของแผ่นคราบจุลินทรีย์ที่ผิวฟันเพิ่มขึ้น (จาก 6.31 เป็น 6.83) อย่างมีนัยสำคัญในช่วง 2 ชั่วโมงแรกด้วย ซึ่งเกิดจากการปลดปล่อยของแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาการแตกตัวของยูเรียทำให้น้ำลายมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้แผ่นคราบจุลินทรีย์ที่ผิวฟันมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นด้วย หลังจากนั้นความเป็นด่างจะลดลงเนื่องจากคุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของน้ำลาย ที่รักษาความเป็นกรด-ด่างในช่องปากให้คงที่

ผลของสารฟอกสีฟันต่อวัสดุอุดฟัน

ผลของสารฟอกสีฟันต่อความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตมีรายงานว่า 35 เปอร์เซ็นต์คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ทำให้ความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตลดลง และเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดพบว่า เรซินคอมโพสิตมีผิวขรุขระเพิ่มขึ้น โดยอาจเกิดจากการที่สารเพอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นน้ำและออกซิเจนแล้วไปกระตุ้นการแตกตัวของเรซินคอมโพสิต (hydrolytic degradation) (Baily และ Swift 1992, วิภาดาและวนิตดา 2000)

ค่าความทนแรงดึงยึด (bond strength) ระหว่างเรซินคอมโพสิตกับเคลือบฟันและเนื้อฟันที่ถูกฟอกสีแล้วมีรายงานว่ามีค่าต่ำลง เนื่องจากมีออกซิเจนตกค้างจากขบวนการฟอกสีฟันและละลายอยู่ในน้ำของเคลือบฟันและเนื้อฟัน ไปยับยั้งขบวนการแข็งตัว (polymerization) ของเรซินคอมโพสิต (Cvitko และคณะ 1991, Haywood 1992, McGuckin และคณะ 1992b, Stokes และคณะ 1991, Cullen และคณะ 1993, Garcia-Godoy และคณะ 1993, Hisamitsu และ Toko 1993 อ้างถึงใน ชัยวัฒน์และคณะ 1996b, Barghi และ Gkodwin 1994, Dishman และคณะ

1994, Ben-Amar และคณะ 1995) นอกจากนั้นยังพบว่า สารฟอกสีฟันทำให้เกิดการรั่วซึมตามขอบของโพรงฟันที่บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต (Crim 1992, Barkhordar และคณะ 1997, Shinohara และคณะ 2001) แต่ไม่มีผลไปเพิ่มการรั่วซึมตามขอบของแควิตี้คลาส V ในฟันที่บูรณะด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน (ชัยวัฒน์และคณะ 1996a) ซึ่งการรั่วซึมนี้อาจเป็นผลจากการหดตัวของกลาสไอโอโนเมอร์เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ (Polymerization shrinkage) (Erickson และ Glasspoole 1994 อ้างถึงใน ชัยวัฒน์และคณะ 1996a) การหดตัวเนื่องจากการระเหยออกของน้ำจากวัสดุบูรณะ รวมถึงการหดตัวและขยายตัวของวัสดุและเนื้อฟันขณะผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Chandwani และคณะ 1993)

ผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฟัน

ผลของสารฟอกสีฟันต่อความแข็งผิวของฟันพบว่าการฟอกสีฟันเทคนิกวอร์คกิ้งบลีชด้วย 30 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 มีผลทำให้ค่าความแข็งผิวทั้งของเคลือบฟันและเนื้อฟันลดลง ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์มีผลต่อทั้งอินทรียสารและอนินทรียสารของฟัน โดยน่าจะเกิดการเปลี่ยนสภาพสารคอลลาเจน (collagen denaturation) ในอินทรียสาร และเกิดการละลายอนินทรียสาร (acidic demineralization) ในขณะที่โซเดียมเพอร์บอเรทใน 30 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ไม่มีผลต่อค่าความแข็งผิวทั้งของเคลือบฟันและเนื้อฟันเนื่องมาจากความเป็นด่างของส่วนผสม (ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8)(Lewinstein และคณะ 1994) นอกจากนั้นยังพบว่าการฟอกสีฟันภายนอกด้วย 10 เปอร์เซ็นต์คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์ไม่มีผลต่อค่าความแข็งผิวของเคลือบฟันและเนื้อฟันเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวจะมีปริมาณน้อย (Haywood และคณะ 1990, Murchison และคณะ 1992, Shanon และคณะ 1993, McCracken และ Haywood 1995)

ผลต่อความทนทานต่อการแตกหัก (fracture toughness) พบว่า 10 เปอร์เซ็นต์คาร์บาไมด์เพอร์ออกไซด์มีผลทำให้ค่าความทนทานต่อการแตกหักของผิวเคลือบฟันลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนทานต่อการสึกกร่อน (abrasive resistance) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอินทรียสารของเคลือบฟัน (Kalili และคณะ 1991, Seghi และ Denry 1992) นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า ^{22}Na สามารถซึมผ่าน (permeability) บนผิวเคลือบฟันได้เพิ่มขึ้นเมื่อผิวเคลือบฟันสัมผัสกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเกิดการสึกกร่อนและการละลายของผิวเคลือบฟัน (Arwill และคณะ 1969 อ้างถึงใน Seghi และ Denry 1992)

ผลต่อลักษณะพื้นผิวฟัน

ผลต่อลักษณะพื้นผิวเคลือบฟันพบว่า สารฟอกสีฟันทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กและการละลายตัวของเคลือบฟันที่ไม่สม่ำเสมอ (Titley และคณะ 1988a, Torneck และคณะ 1990, Bitter 1992, McGuckin และคณะ 1992a, Ben-Amar และคณะ 1995, Lee และคณะ 1995, Ernst และคณะ 1996, Josey และคณะ 1996, Zalkind และคณะ 1996, Hegedus และคณะ 1999) ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า เกิดจาก ไฮโดรเจนเพอร์ ออกไซด์ ไปกำจัดตะกอนอินทรีย์ที่เกิดขึ้น แมทริกซ์อินทรียสาร (organic matrix) ของเคลือบฟัน รวมทั้งแร่ธาตุจากพื้นผิวของเคลือบฟันบริเวณที่มีแร่ธาตุต่ำ (hypomineralized area) ซึ่งสารฟอกสีฟันที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะทำให้ผิวเคลือบฟันขรุขระมากกว่าสารฟอกสีฟันที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า (Lee และคณะ 1995, Oltu และ Gurgan 2000) แต่ในขณะที่ Haywood และคณะ (1990) และ Shanon และคณะ (1993) กลับไม่พบความแตกต่างทางคลินิก และทางกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด ซึ่งในการทดลองของ Haywood และคณะ (1990) ได้มีการแช่ฟันในน้ำลายเทียม ซึ่งมีส่วนประกอบของ 1 เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ส่วนการทดลองของ Shanon และคณะ (1993) ได้มีการแช่ฟันในน้ำลายมนุษย์ซึ่งต่างจากการทดลองอื่นที่ใช้น้ำเกลือหรือน้ำกลั่น จึงสันนิษฐานได้ว่าอาจเกิดการเสริมแร่ธาตุกลับเข้าไปใหม่ (remineralization) บนผิวเคลือบฟัน

ผลต่อลักษณะพื้นผิวเนื้อฟันพบว่า ทำให้เนื้อฟันพรุน และจะพรุนมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับกรดด้วย (Titley และคณะ 1988b) นอกจากนี้ยังพบว่าสารฟอกสีฟันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเคลือบรากฟันด้วย (Zalkind และคณะ 1996)

ผลต่อโครงสร้างของฟัน

มีรายงานการละลายของรากฟันบริเวณคอฟัน (external cervical root resorption) ที่สัมพันธ์กับการฟอกสีฟันภายในตัวฟัน (Freccia และคณะ 1982, Lado และคณะ 1983 , Cvek และ Lindvall 1985 , Fuss และคณะ 1989, Trope 1997) ซึ่งกลไกการเกิดการละลายของรากฟันยังไม่สามารถบอกได้แน่นอน Harrington และ Natkin (1979) สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากการแทรกซึมของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ผ่านท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) ส่วนราก โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (cementoenamel junction) ไปสู่เยื่อปริทันต์ซึ่งอยู่ใต้ต่อเยื่อบุผิวเชื่อมต่อ ทำให้เกิดการอักเสบของเอ็นยึดปริทันต์และเกิดการตายของเคลือบรากฟัน เป็นผลทำให้เกิดการละลายของรากฟันบริเวณคอฟัน ซึ่งสมมติฐานนี้ได้รับการสนับสนุนโดย Koulaouzidou และคณะ (1996) ซึ่งพบว่า ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์สามารถแทรกซึมผ่านผิวรากฟันได้ 294-7350 นาโนโมลขึ้นกับชนิดของรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน นอกจากนี้ 30 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเนื้อฟันและเคลือบราก

ฟัน ซึ่งทำให้ส่วนประกอบของฟันละลายง่ายขึ้น (Rotstein และคณะ 1992) และการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์นานกว่า 4 สัปดาห์ไม่มีผลต่อเคลือบฟัน แต่มีผลทำให้เนื้อฟันและเคลือบรากฟันเกิดการสึกกร่อน อันเนื่องมาจากการสูญเสียทางปริมาตรของโครงสร้าง (Wandera และคณะ 1994) ส่วน Holmstrup (1988) พบว่าไม่เกิดการละลายของรากฟันบริเวณคอฟันเมื่อใช้โซเดียมเพอร์บอเรทร่วมกับน้ำกลั่นเมื่อมีการติดตามผลเป็นระยะเวลา 3 ปี ดังนั้น จึงมีผู้แนะนำให้ใช้โซเดียมเพอร์บอเรทร่วมกับน้ำกลั่นโดยเพิ่มจำนวนครั้งของการฟอกสีฟัน ซึ่งจะให้ผลเทียบเท่ากับการใช้โซเดียมเพอร์บอเรทร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เพื่อเป็นการเลี่ยงการเกิดการละลายของรากฟัน (Ho และ Goerig 1989, Rotstein และคณะ 1993)

Bowles และ Ugwuneri (1987) ได้ทำการทดลองวัดปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่แทรกซึมจากผิวฟันเข้าสู่โพรงฟัน โดยที่ 30 เปอร์เซนต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะวัดได้ 25.4 ±8.5 ไมโครกรัม (0.508 เปอร์เซ็นต์) ส่วน 10เปอร์เซนต์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะวัดได้ 5.8 ± 2.6 ไมโครกรัม (0.166 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ระยะเวลาการสัมผัสของสารกับผิวฟัน และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของสารฟอกสี (McEvoy 1989, Adibfar และคณะ 1992, Cooper และคณะ 1992, Weiger และคณะ 1994, Dahlstrom และคณะ 1997)

องค์ประกอบของเคลือบฟันและเนื้อฟัน

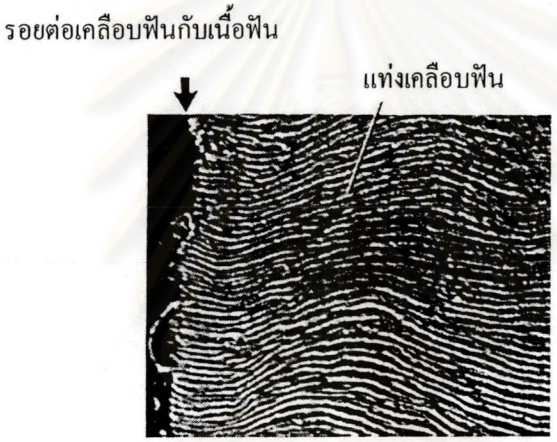
เคลือบฟัน

เคลือบฟันประกอบด้วยอนินทรียสาร (inorganic) อินทรียสาร (organic) และน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4 อนินทรียสารที่เป็นส่วนประกอบหลักคือแคลเซียม (calcium) และฟอสฟอรัส (phosphorus) ซึ่งประกอบกันอยู่ในรูปของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทท์ (hydroxyapatite crystal : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) ที่มีขนาดและรูปร่างที่ต่างกันเป็นจำนวนมากเรียงตัวในโครงสร้างเป็นแท่งเรียกว่าแท่งเคลือบฟัน (enamel rod หรือ enamel prism) ซึ่งจะตั้งฉากจากรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันออกมาที่ผิวเคลือบฟัน (Roth และ Clames 2000) ดังภาพที่ 7 ในแต่ละบริเวณจะมีขนาดของแท่งเคลือบฟันไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์อะมีโลบลาสต์ (ameloblast) ที่ทำหน้าที่สร้างแท่งเคลือบฟัน (Simmelinh 1995, Lundeen และคณะ 1995) การเรียงตัวของแท่งเคลือบฟันจะโค้งเป็นคลื่น บริเวณหนึ่งในสามส่วนทางด้านบดเคี้ยวจะมีทิศทางเฉียงเข้าหาร่อง (groove) และรอยบุ๋ม (pits) ของฟัน บริเวณกลางฟันจะทอดแนวนอน บริเวณคอฟันสำหรับฟันแท้จะทอดแนวนอนและเฉียงลงไปทางรากฟัน (Klyvert 1991) ส่วนอินทรียสารของเคลือบฟันจะประกอบด้วยโปรตีนและไขมัน ซึ่งสร้างจากเซลล์อะมีโลบลาสต์ (ameloblast cells) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเคลือบฟันมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) มากในแง่ของโครงสร้างและองค์ประกอบ

นอกจากนี้ Carvalho และคณะ (2000) พบว่าค่าความทนแรงดึงของเคลือบฟันจะขึ้นอยู่กับทิศทางการเรียงตัวของผลึกภายในแท่งเคลือบฟัน โดยแนวที่ขนานกับแท่งเคลือบฟันจะมีค่าความทนแรงดึงมากกว่าแนวที่ตั้งฉากกับแท่งเคลือบฟัน

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบของเคลือบฟันและเนื้อฟัน (Nikiforuk 1985, Annusavice 1996)

	Inorganic		Organic		Water	
	wt%	vol%	wt%	vol%	wt%	vol%
Enamel	95-98	86	1-2	2	4	12
Dentin	70	50	18	30	12	20

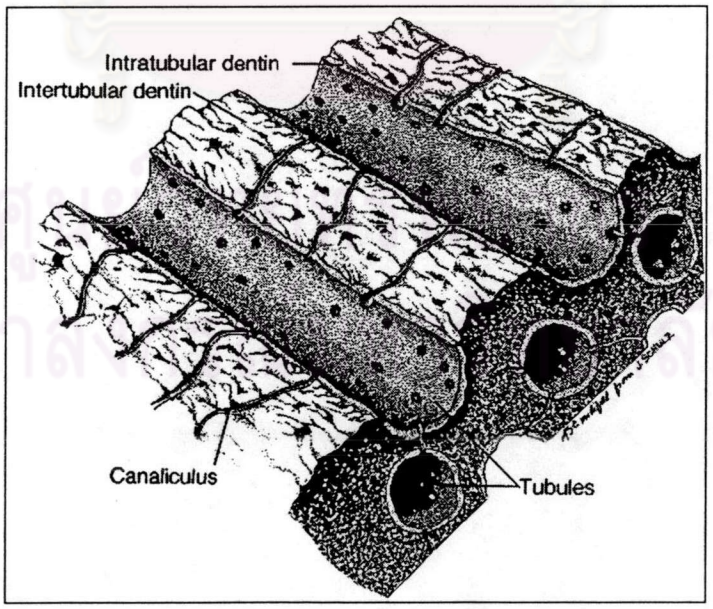


ภาพที่ 7 แสดงภาพถ่ายแท่งเคลือบฟันจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราดภายหลังการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน (x 2000) (Simmelinh 1995)

เนื้อฟัน

เนื้อฟันจัดเป็นเนื้อเยื่อแข็งที่มีชีวิต ประกอบด้วยเซลล์พิเศษที่ทำหน้าที่เฉพาะได้แก่ โอดอนโตบลาสต์ (odontoblast) ซึ่งจะยื่นเข้าไปในท่อเนื้อฟันและมีการสะสมแร่ธาตุขึ้นเป็นผลึกไฮดรอกซีอะปาไทท์ซึ่งเป็นส่วนอนินทรียสารมีผลทำให้ชั้นเนื้อฟันมีความแข็งแรงมากกว่ากระดูก แต่น้อยกว่าเคลือบฟัน (Torneck 1998) ท่อเนื้อฟันจะทอดจากด้านใกล้โพรงประสาทไปตั้งฉากกับบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน ซึ่งจะโค้งเป็นรูปตัวเอส (s) บริเวณตัวฟัน และยืดเป็นเส้นตรงบริเวณรากฟัน ท่อผลึกของอะปาไทท์จะทอดตามความยาวของเส้นใยคอลลาเจน ซึ่งจะพันกันเป็นตาข่าย (network) ทำให้การเรียงตัวของผลึกมีลักษณะไม่แน่นอน (Torneck 1998, Roth และ Clames 2000) อินทรียสารส่วนใหญ่ได้แก่ เส้นใยคอลลาเจนชนิดที่ 1 (collagen type I) แต่ละเส้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.05-0.2 ไมครอน มีแถบไขว้ (cross band) ห่างกันประมาณ

640 อังสตรอม รวมกันเป็นมัด โครงสร้างของเนื้อฟันจะมีลักษณะเป็น เนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) และเนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin หรือ intratubular dentin) ดังภาพที่ 8 ซึ่งจะไม่เท่ากันในแต่ละบริเวณดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณใกล้กับรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟันจะมีเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ และมีเนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟันประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่บริเวณเนื้อฟันที่ใกล้โพรงประสาทฟันจะมีเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์และมีเนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟันประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ (Pashley 1989) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟันจะมีการสะสมแร่ธาตุมาก แต่มีอินทรียสารน้อย ส่วนเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันจะมีอินทรียสารเป็นเส้นใยคอลลาเจนชนิดที่ 1 มากแต่มีอะปาไทท์น้อย(Miller 1954, Blake 1958) โดยพบว่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสเฟต (โดยน้ำหนัก)ในเนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟันมีค่า 1 : 2.14 และในเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันมีค่า 1 : 2.10 Garberoglio และ Brannstrom 1976 และ Pashley 1989 พบว่าในเนื้อฟันปกติ ขนาดของท่อเนื้อฟันจะขึ้นอยู่กับระยะทางจากโพรงประสาทฟันและอายุ โดยเมื่ออายุมากขึ้น จะมีการสร้างเนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟันมากขึ้น ทำให้จำนวนของท่อเนื้อฟันลดลง (Carrigan และคณะ 1984, Holland 1994) ดังนั้นเนื้อฟันจึงเป็นเนื้อเยื่อที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogenous) ซึ่งมีผู้พบว่าค่าความทนแรงดึงจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของท่อเนื้อฟัน โดยค่าความทนแรงดึงจะมีค่าสูงสุดเมื่อดึงในแนวตั้งฉากกับท่อเนื้อฟัน (Lertchirakarn และคณะ 2001)



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟันและเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน (Simmelinh 1995)

ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อเนื้อฟัน เนื้อฟันที่อยู่รอบท่อเนื้อฟันและเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันกับระยะทางจากโพรงประสาทฟันในฟันมนุษย์ (Garberoglio และ Brannstrom 1976)

Distance from pulp(mm)	Number of tubules per cm^2	Radius of tubules(μm)	Percent of surface area		
			Tubules	Peritubular	Intertubular
Pulp	4.5×10^6	1.25	22.1	66.3	11.6
0.1-0.5	4.3×10^6	0.95	12.2	36.6	51.2
0.6-1.0	3.8×10^6	0.80	7.6	22.9	69.4
1.1-1.5	3.5×10^6	0.60	4.0	11.9	84.2
1.6-2.0	3.0×10^6	0.55	2.9	8.5	88.6
2.1-2.5	2.3×10^6	0.45	1.5	4.4	94.2
2.6-3.0	2.0×10^6	0.40	1.0	3.0	96.0
3.1-3.5	1.9×10^6	0.40	1.0	2.9	96.2

เนื่องจากเคลือบฟันและเนื้อฟันมีองค์ประกอบและโครงสร้างแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง จึงมีผลให้เคลือบฟันและเนื้อฟันมีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกันหลายประการ สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของเคลือบฟันและเนื้อฟันของฟันมนุษย์ (Marshall และคณะ 1997)

Properties	Enamel	Dentin	Peritubular dentin	Intertubular dentin
Proportional limit (MPa)	70-350	100-190	-	-
Compressive strength (MPa)	95-450	230-370	-	-
Young's modulus (GPa)	9-90	10.1-19.3	29.8	17.7-21.1
Shear strength (MPa)	90.2	36-138	-	-
Tensile strength (MPa)	8-35	31-104	-	-
Flexural strength (MPa)	60-90	245-280	-	-
Microhardness (GPa)	3.2-4.4	0.25-0.8	-	-
Nanohardness (GPa)	3.1-3.4	-	2.3-2.5	0.13-0.51

ฟันวัว (Bovine teeth)

ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับฟันมนุษย์ การใช้ฟันมนุษย์เป็นซับสเตรต (substrate) ย่อมเป็นสิ่งที่เหมาะสมที่สุด (Causton 1987) แต่เนื่องจากฟันมนุษย์มีขนาดเล็กและยากในการจัดหาและการเตรียมชิ้นตัวอย่าง จึงมีการนำฟันวัวซึ่งจัดหาได้ง่ายและมีขนาดใหญ่กว่ามาใช้ในการทดลองแทน (Rueggeberg 1991) การศึกษาเปรียบเทียบทางกายวิภาคพบว่า ฟันของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้งหมดมีลักษณะสำคัญเหมือนกัน (Nakamichi และคณะ 1983, Leicester 1949, Fujita 1957, Suga และคณะ 1971 อ้างถึงใน Nakamichi และคณะ 1983) นอกจากนี้ Moriwaki และคณะ 1968 พบว่า เคลือบฟันของฟันวัวจะมีขนาดของผลึกใหญ่กว่าและมีตำหนิแลตทิซ (lattice defect) มากกว่าเคลือบฟันของฟันมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากฟันวัวมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งก่อนและหลังฟันขึ้น ส่วน Glimcher และคณะ (1964) พบว่าโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเคลือบฟันของฟันมนุษย์และฟันวัวเป็นชนิดเดียวกัน นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าเนื้อฟันส่วนตัวฟันของฟันวัวจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันใหญ่กว่าของฟันมนุษย์ และยังพบว่าบริเวณส่วนกลางของชั้นเนื้อฟันในฟันวัวจะมีปริมาณท่อเนื้อฟันมากกว่าบริเวณพื้นผิว (Nakamichi และคณะ 1983) ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายของท่อเนื้อฟันและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันในฟันมนุษย์แสดงตามตารางที่ 7 ส่วนในฟันวัวแสดงตามตารางที่ 8 ซึ่งจะพบว่าทั้งฟันวัวและฟันมนุษย์จะมีความหนาแน่นของท่อเนื้อฟันในบริเวณส่วนลึกของเนื้อฟันมากกว่าบริเวณส่วนกลางของเนื้อฟัน ดังนั้นเนื้อฟันวัวและเนื้อฟันมนุษย์จึงมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนั้นยังมีรายงานพบว่าค่าความทนแรงดึงของเนื้อฟันวัวมีค่าประมาณ 72-91 เมกกะปาสคาล (Sano และคณะ 1994a, Tonami และคณะ 1996, Tonami และ Takahashi 1996) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางการเรียงตัวของท่อเนื้อฟัน โดยค่าความทนแรงดึงจะมีค่าสูงสุดเมื่อดึงในแนวขนานกับท่อเนื้อฟัน และมีค่าต่ำสุดเมื่อดึงในแนวตั้งฉากกับท่อเนื้อฟัน (Inoue และคณะ 2002)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนของท่อเนื้อฟันต่อตารางมิลลิเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันในบริเวณเนื้อฟันส่วนตัวฟันของฟันมนุษย์ (Schilke และคณะ 2000)

Author(s)	Number of investigated teeth	Number of dentinal tubules per mm^2		Diameter of dentinal tubules (μm)	
		Deep layer	Middle layer	Deep layer	Middle layer
Ketterl (1961)	11 i	61000	34000	3.98	3.09
Schug-Kosters and Ketterl (1973)	-	64000	-	3.96	-
Tronstad (1973)	14 i	60000	-	2-3	< 0.5
Garberoglio and Brannstrom (1976)	1 i, 24 p, 5 m	43000(22000 - 59000)	35000(21000 – 47000)	1.9(1.0 - 2.3)	1.2(0.9 – 1.5)
Carrigan et al.(1984)	6 i	44243	-	-	-
Pashley et al.(1985)	5 m	82900	-	-	-
Fosse et al.(1992)	4 p	51368 ± 8900	39694 ± 7511	-	-
Olsson et al.(1993)	5 m	43400 ± 16200	30900 ± 18200	-	-
Dourda et al.(1994)	13 m	48000 ± 9800	37000 ± 9000	-	-
Mjor and Nordahl(1996)	1 i, 2 c, 8 p, 2 m	22000(18000 ± 26000)	18000(13000 ± 23000)	-	-
Present study	30 m	21343 ± 7290	18781 ± 5855	2.90 ± 0.22	2.65 ± 0.19

(- หมายถึงไม่มีรายงาน, i หมายถึงฟันตัดกลาง, c หมายถึงฟันเขี้ยว, p หมายถึงฟันกรามน้อย, m หมายถึงฟันกราม)

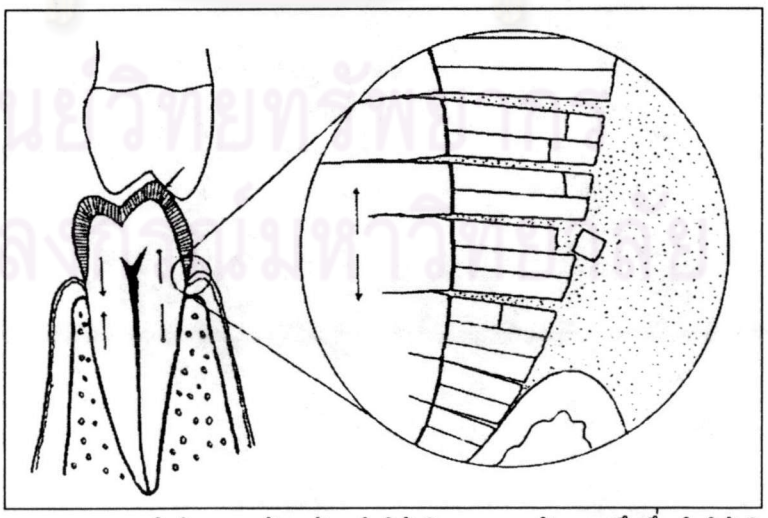
ตารางที่ 8 แสดงจำนวนของท่อเนื้อฟันต่อตารางมิลลิเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันในบริเวณเนื้อฟันส่วนตัวฟันและส่วนรากฟันของฟันวัว (Schilke และคณะ 2000)

Author(s)	Number of investigated teeth	Number of dentinal tubules per mm^2		Diameter of dentinal tubules (μm)	
		Deep layer	Middle layer	Deep layer	Middle layer
Tagami et al. (1989)	7 i, crown	30381 ± 7269	-	1.8 ± 0.3	-
Esser et al. (1998)	6 m, crown	34800 ± 14.142	17500 ± 3612	3.5 ± 1.2	3.0 ± 0.5
Present study	30 i, crown	20980 ± 4198	17310 ± 2140	3.50 ± 0.33	2.85 ± 0.18
Hanes et al. (1991)	10 i, root	-	22100 ± 4200	-	1.34 ± 0.36
Esser et al. (1998)	6 m, root	47000 ± 5554	24000 ± 4123	-	2.0 ± 0.4
Present study	30i, root	23738 ± 4457	23760 ± 2453	3.23 ± 0.30	3.10 ± 0.33

(- หมายถึงไม่มีรายงาน, i หมายถึงฟันตัดกลาง, m หมายถึงฟันกราม)

แรงกระทำต่อฟัน

แรงที่ระบบบดเคี้ยวกระทำต่อตัวฟัน ทำให้เกิดความเค้นต่อตัวฟันขึ้น 3 รูปแบบ คือ ความเค้นจากแรงกด (compressive stress) ความเค้นจากแรงดึง (tensile stress) และความเค้นจากแรงเฉือน (shear stress) เมื่อการสบฟันอยู่ในสภาพสมดุล แรงต่างๆที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายทอดลงไปตามแนวแกนของฟันและกระจายออกไปตามผลึกในผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน การเปลี่ยนรูปของผลึกเหล่านี้จึงเกิดน้อยมาก แต่ถ้าการสบฟันไม่อยู่ในสภาพสมดุล เช่น ในกรณีการสบฟันผิดปกติ การเปลี่ยนรูปของผลึกเหล่านี้จึงเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ถ้าการสบฟันไม่อยู่ในสภาพสมดุลเช่น ในกรณีการสบฟันผิดปกติ กรณีที่มีการขบเน้นฟัน หรือกรณีของการนอนกัดฟัน แรงที่กระทำต่อฟันจะเป็นแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งจะทำให้ตัวฟันโค้งงอและเกิดความเค้น 2 รูปแบบขึ้นที่ฟัน คือ ความเค้นจากแรงกด จะเกิดบนด้านตรงข้ามกับแรงกระทำ และความเค้นจากแรงดึงจะเกิดบนด้านที่มีแรงมากระทำซึ่งตัวฟันทางด้านนี้จะถูกยืดออก ความเค้นเหล่านี้จะเกิดมากที่สุดที่จุดหมุน (fulcrum) ของแนวแรง ซึ่งก็คือบริเวณคอฟัน (Goel และคณะ 1991, Thresher และ Saito 1973 อ้างถึงใน ชัยวัฒน์ 1997) และเนื่องจากเคลือบฟันและเนื้อฟันทนทานต่อความเค้นจากแรงกดได้ดีกว่าความเค้นจากแรงดึง (Bowen และ Rodriguez 1962, Celik และ Aydinlik 1991, Spears และคณะ 1993, Marshall และคณะ 1997) จึงเกิดการแยกของผลึกเคลือบฟันในด้านที่โค้งเนื่องมาจากความเค้นจากแรงดึง จากนั้นน้ำและสารโมเลกุลเล็กๆ ก็จะซึมเข้าไปแทรกอยู่ตามรอยแยกเหล่านั้น ทำให้ผลึกของเคลือบฟันไม่สามารถกลับมายึดกันด้วยพันธะเคมีได้ดีดังเดิม ถ้าฟันได้รับแรงในลักษณะนี้ต่อไปเรื่อยๆ รอยแยกเล็กๆเหล่านี้จะขยายตัวออกไปจนเกิดเป็นรอยร้าวและเกิดการปริแตกในเคลือบฟันหรือเคลือบรากฟันและเนื้อฟันในที่สุด (Lee และ Eakle 1984) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงแรงกระทำในแนวด้านข้างทำให้เกิดความเค้นแรงดึงซึ่งทำให้เกิดการแยกของผลึกเคลือบฟันและเนื้อฟัน (Lee และ Eakle 1984)

การวัดค่าความทนแรงดึง

ISO TR 11405 ได้แนะนำวิธีการหาค่าความทนแรงดึงยึดของฟันกับวัสดุ แต่พบว่าเป็นวิธีที่ไม่สามารถแสดงความบกพร่อง (defect) ที่เกิดขึ้นในชิ้นตัวอย่างได้ ดังนั้น Nakabayashi และคณะในปี 1998 ได้เสนอวิธีมินิดัมเบล (Miniaturized dumbbell-shaped test) ซึ่งดัดแปลงมาจาก Japanese Industrial Standard (JIS) ที่ใช้ในการทดสอบค่าความทนแรงดึงของพลาสติก (Japanese Industrial Standard K-6911, ISO 527-1 และ ASTM D638-95) ซึ่งพบว่าการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะทำให้เกิดการกระจายของแรงดึงใน 2 ทิศทางที่สม่ำเสมอกัน ทำให้เกิดแรงเค้นบริเวณส่วนที่แคบที่สุด ดังนั้นจึงใช้ทดสอบหาความบกพร่องในเนื้อของวัสดุหรือในส่วนยึดต่อ (bonding interface) ได้ดี

จากปริทัศน์วรรณกรรมทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า สารฟอกสีฟันมีผลต่อฟันและอวัยวะที่เกี่ยวข้องในช่องปากในลักษณะต่างๆกัน แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานถึงการฟอกสีฟันในคลินิกร่วมกับการให้ผู้ป่วยฟอกสีฟันต่อที่บ้านในแง่ของผลต่อความทนแรงดึงของเคลือบฟันและเนื้อฟัน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

อนึ่งการวิจัยนี้ใช้วิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการ (in vitro) ดังนั้นสภาพแวดล้อมของชิ้นงานตัวอย่าง จึงมีความแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงบางอย่างในช่องปาก เช่น ความมีชีวิตของฟัน องค์ประกอบของน้ำลายเทียม อุณหภูมิและความชื้น อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการพิจารณาเลือกวิธีการรักษาที่เหมาะสมในคลินิก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย