รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจน รัตนไพศาล. 2522. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: บริษัทไทยวัฒนาพานิช จำกัด.

บัญชา ธนบุญสมบัติ. 2540. จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด : ประตูสู่โลกระดับจุลภาค. วารสารเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุ (MTEC) 8: 56-60.

สมรตรี วิถีพร. 2525. ไดเรกบอนด์. เอกสารรวบรวมวรรณคดีที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวิทย์ ปุณณะชัยยะ และ เดโช ทองอร่าม. 2538. กระบวนการทางภาพและการวิเคราะห์ภาพสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM image processing and analysis). วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี 5(1): 21-48.

ภาษาอังกฤษ

Abdullah, M.S.B. , and Rock, W.P. 1996. The effect of etch time and debond interval upon the strength of metallic orthodontic brackets. Br J Orthod 23(2): 121-124.

Andreasen, G.F. , and Chan, K.C. 1981. A hazard in direct bonding bracket-A case report. Quintessence Int 12(6): 569-571.

Årtun, J. , and Bergland, S. 1984. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. Am J Orthod 85(4) : 333-340.

Avery, J.K. , and Steele, P.F. , eds. 1994. Oral development and histology, 2nd ed. pp. 228-240. New York: Thieme Medical Publishers, Inc.

Bennett, C.G. , Schoen, F.J. , and Going, R.E. 1979. Alterations of the enamel surface following direct-bonded bracket therapy. J Pedod Winter; 3(2): 99-113.

Bennett, C.G. , Shen, C. , and Waldron, J.H. 1984. The effects of debonding on the enamel surface. J Clin Orthod 18(5): 330-334.

Betteridge, M.A. 1979. Boning of orthodontic attachments. Its use and technique. Br Dent J 147(6): 162-164.

Bhad, W.A. , and Hazarey, P.V. 1995. Scanning electron microscope study and shear bond strength measurement with 5% and 37% phosphoric acid. Am J Orthod Dentofacial Orthop 108(4): 410-414.

Bowen, R.L. 1962. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica binder resin consisting of the reaction product of bis-phenol and glycidyl acrylate. United States Patent Office, Pat. No 3: 066, 112. cited in Moin, K., and Dogon, I.L. 1977. Indirect bonding of orthodontic attachment. Am J Orthod 72(3): 261-275.

Braver, G.M. , and Termini, D.J. 1972. Bonding of bovine enamel to restoration resin: effect of pretreatment of enamel. J Dent Res 51(1): 151-160.

Brown, C.R.L. , and Way, D.C. 1978. Enamel loss during orthodontic bonding and subsequent loss during removal of filled and unfilled adhesives. Am J Orthod 74(6): 663-671.

Brudevold, F.A. , Gardner, D.E. , and Smith, F.A. 1956. The distribution of fluoride in human enamel. J Dent Res 35(3): 420-429.

Buonocore, M.G. 1955. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 34(6): 849-853.

Burapavong, V. , Marshall, G.W. , Apfel, D.A. , and Perry, H.T. 1978. Enamel surface characteristics on removal of bonded orthodontic brackets. Am J Orthod 74(2): 176-187.

Buzzitta, V.A. , Hallgren, S.E. , and Powers, J.M. 1982. Bond strength of orthodontic direct-bonding cement-bracket systems as studied in vitro. Am J Orthod 81(2): 87-92.

Carstensen, W. 1993. Clinical effects of reduction of acid concentration on direct bonding of brackets. Angle Orthod 63(3): 221-224.

Cohl, M.E. , Green, L.J. , and Eick, J.D. 1972. Bonding of clear orthodontic brackets using an ultraviolet-sensitive adhesive. Am J Orthod 62(4): 400-411.

Cueto, E.I. , and Buonocore, M.G. 1967. Sealing of pits and fissures with and adhesive resin: its use in caries prevention. J Am Dent Assoc 75(1): 121-128.

Daft, K.S. , and Lugassy, A.A. 1974. A preliminary study of orthodontic treatment with the use of directly bonded brackets. Am J Orthod 65(4): 407-418.

de Menezes, L.F.S. , and Chevitrese, O. 1994. Sealant and resin viscosity and their influence on the formation of resin tags. Angle Orthod 64(5): 383-388.

Dickinson, P.T. , and Powers, J.M. 1980. Evaluation of fourteen direct-bonding orthodontic bases. Am J Orthod 73(6): 631-639.

Diedrich, P. 1981. Enamel alterations from bracket bonding and debonding: A study with the scanning electron microscope. Am J Orthod 79(5): 500-522.

Diedrich, P. 1983. Bracket-Adhesive technic. (German) Karl Hanser Verlag, München. cited in Startmann, U. , Schaarschmidt, K. , Wegner, H. , and Ehmer, U. 1996. The extent of enamel surface fractures. A quantitive comparison of thermally debonded ceramic and mechanically debonded metal brackets by energy dispersive micro-and image-analysis. Eur J Orthod 18(6) : 655-662.

Eversoll, D.K. , and Moore, R.N. 1988. Bonding orthodontic acrylic resin to enamel. Am J Orthod Dentofacial Orthop 93(6): 477-485.

Fields, H.W. 1982. Bonded resins in orthodontics. Pediatr Dent 4(1): 51-60.

Fischer-Brandies, H. and Monsces, M. 1993. Enamel damage depending on the method of bracket removal. (German) Fortschritte der Kieferorthopädie 54(4): 143-147.

Fitzpatrick, D.A. , and Way, D.C. 1977. The effects of wear, acid etching, and bond removal on human enamel. Am J Orthod 72(6): 671-681.

Fox, N.A. , McCabe, J.F. , and Buckley, J.G. 1994. A critique of bond strength testing in orthodontics. Br J Orthod 21(1): 33-43.

Garberoglio, R. , and Cozzani. G. 1979. In vivo effect of oral enviroment on etched enamel : A scanning electron microscopic study. J Dent Res 58(9): 1859-1865.

Goldstein, J.I. , et al. 1992. Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis, 2nd ed. pp. 395-545. Newyork: Plenum Press.

Gorelick, et al. 1978. Bonding. Part 2. Interview by Sidney Brandt. J Clin Orthod 12(11): 761-778.

Gorelick, A.J. , et al. 1979. Bonding/ the state of arts. A national survey. J Clin Orthod 13(1): 39-53.

Gross, J.D. , Retief, D.H. , and Bradley, E.L. 1984. An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part II Microleakage studies. J Prosth Dent 52(6): 786-789.

Gwinnett, A.J. , and Buonocore, M.G. 1965. Adhesives and caries prevention. A preliminary report. Br Dent J 119(Jul): 77-80.

Gwinnett, A.J. , and Matsui, A. 1967. A study of enamel adhesives. Arch Oral Biol 12(12): 1615-1620.

Gwinnett, A.J. 1971. Histologic changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents. Arch Oral Biol 16(7): 731-738.

Gwinnett, A.J. , and Gorelick, L. 1977. Microscopic evaluation of enamel after debonding: Clinical application. Am J Orthod 71(6): 651-665.

Hermsen, R.J. , and Vrijhoef, M.M.A. 1993. Loss of enamel due to etching with phosphoric or maleic acid. Dent Mater 9(5): 332-336.

Hillson, S. 1996. Biochemistry of dental tissues. In Dental anthropology. pp. 217-335. Cambridge: The Press Syndicate of the University of Cambridge.

Howell, S., and Weekes, W.T. 1990. An electron microscope evaluation of the enamel surface subsequent to various debonding procedures. Aust Dent J 35(3) : 245-52.

Jones, M. 1980. Enamel loss on bond removal. Br J Orthod 7(1): 39.

Johnson, N.W. , Poole, D.F.G. , and Tyler, J.E. 1971. Factors affecting the differential dissolution of human enamel in acid and EDTA. A scanning electron microscope study. Arch Oral Biol 16(4): 385-396.

Jordan, R.E. , Suzuki, M. , Gwinnett, A.J. , and Hunter, J.K. 1977. Restoration of fractured and hypoplastic incisors by the acid-etch technique: A three-year report. J Am Dent Assoc 95(4): 795-803.

Katona, T.R. 1997. Stresses developed during clinical debonding of stainless steel orthodontic brackets. Angle Orthod 67(1): 39-46.

Kinami, H. , et al. 1988a. Studies on the supression of remaining resin on the tooth surfaces in debonding of orthodontic brackets. Part 1. Destruction behaviors of adhesion system. J Osaka Univ Dent Sch 28(December): 171-187.

Kinami, H. , et al. 1988b. Studies on the supression of remaining resin on the tooth surfaces in debonding of orthodontic brackets. Part 2. Correlation between bracket base form design and remaining resin on the tooth surfaces. J Osaka Univ Dent Sch 28(December): 189-98.

Kinch, A.P. , et al. 1989. A clinical study of amount of adhesive remaining on enamel after debonding, comparing etch times of 15 and 60 seconds. Am J Orthod Dentofacial Orthop 95(5): 415-421.

Kitamura, H. , Oda, M. , and Hess, J.A. 1992. In D.C.G. Hacke (ed.), Color atlas of human oral histology pp. 52-69. St. Louis: Ishiyaku Euro America, Inc.

Koch, G. , and Friberger, P. 1971. Fluoride content of outermost enamel layers in teeth exposed to topical fluoride application. Odontol Revy 22: 351-62.

Koch, G. , and Peterson, L.G. 1972. Fluoride content of enamel surface treated with a vanish containing sodium fluoride. Odontol Revy 23: 437-446.

Maijer, R. , and Smith, D.C. 1981. Variables influencing the bond strength of metal orthodontic bracket bases. Am J Orthod 79(1): 20-34.

McGuinness, N.J.P. 1992. Prevention in orthodontics-A review. Dent Update 19(4):168-175.

Meister, R.E. 1985. A comparison of enamel detachments after debonding between Unitek' s "Dynalok" bracket and a foil-mesh bracket: A scanning electron microscope study. Am J Orthod 88(3) : 226. Research abstracts.

Mellberg, J.R. , Nicholson, C.R. , and Law, F.E. 1972. Fluoride concentrations in deciduous tooth enamel of children chewing sodium fluoride tablets. J Dent Res 15(Mar-Apr): 551-554.

Miura, F. , NaKagawa, K. , and Masuhara, E. 1971. New direct bonding system for plastic brackets. Am J Orthod 59(4): 350-361.

Miura, F. , NaKagawa, K. , and Ishizaki, A. 1973. Scanning electron microscope studies of the direct bonding system. Bull Tokyo Dent univ 20: 245-260. cited in Council on Dental Material, Instrument, and Equipment. J Am Dent Assoc 105(November 1982): 844-850.

Newman, G.V. 1964. Bonding plastic orthodontic attachments to tooth enamel. J New Jersey D Soc 35(May-June): 346-358. cited in Newman, G.V. 1969. Adhesion and orthodontic plastic attachments. Am J Orthod 56(6): 573-588.

Newman, G.V. 1965. Epoxy adhesives for orthodontic attachments: progress reports. Am J Orthod 51(12): 900-912.

Newman, G.V. , and Sharpe, L. H. 1966. On the wettability of tooth surfaces. (preliminary investigation). J New Jersey D Soc 37(March) : 289-293. cited in Newman, G.V. 1969. Adhesion and orthodontic plastic attachments. Am J Orthod 56(6): 573-588.

Newman, G.V. 1969. Adhesion and orthodontic plastic attachments. Am J Orthod 56(6): 573-588.

Newman, G.V. 1978. A posttreament survey of direct bonding of metal brackets. Am J Orthod 74(2): 197-206.

O' Brien, K.D. , Watts, D.C. , and Read, M.J.F. 1988. Residual debris and bond strength-Is there a relationship? Am J Orthod Dentofacial Orthop 94(3): 222-230.

Oliver, R.G. 1988. The effect of different methods of bracket removal on the amount of residual adhesive. Am J Orthod Dentofacial Orthop 93(3): 196-200.

Oliver, R.G. , and Howe, G.S. 1989. Scanning electron microscope appearance of the enamel / composite / bracket areas using different methods of surface enamel treatment, Composite mix and bracket loading. Br J Orthod 16(1): 39-46.

Oliver, R.G. , and Griffiths, J. 1992. Different techniques of residual composite removal following debonding- time taken and surface enamel appearance. Br J Orthod 19(2): 131-137.

Panighi, M. , and G'Sell, C. 1993. Effect of the tooth microstructure on the shear bond strength of a dental composite. J Biomed Mater Res 27(8): 975-981.

Pre'vost, A.P. , Fuller, J.L. , and Peterson, L.C. 1984. Composite and intermediate resin tag formation in acid-etched enamel: A scanning electron microscopy evaluation. J Prosthet Dent 52(2): 204-207.

Proffit, W.R. , and Fields, H.W. 1993. In R.W. Reinhardt (ed.), Contemporary orthodontics, pp. 342-373. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.

Pus, M.D. , and Way, D.C. 1980. Enamel loss due to orthodontic bonding with filled and unfilled resins using various clean-up techniques. Am J Orthod 77(3): 269-283.

Regan, D. , Noort, R.V. , and O'Keeffe, C. 1990. The effects of recycling on the tensile bond strength of new and clinically used stailess steel orthodontic brackets: an in vitro study. Br J Orthod 17(2): 137-145.

Regan, D. , LeMasney, B. , and Noort, R.V. 1993. The tensile bond strength of new and rebonded stainless steel orthodontic brackets. Eur J Orthod 15(1):125-135.

Retief, D.H. , and Dreyer, C.J. 1967. Epoxy resin for bonding orthodontic attachment to tooth. J Dent Assoc S Afr 22(November): 338-346.

Retief, D.H. 1974. Failure at the dental adhesive etched enamel interface. J Oral Rehabil 1(3): 265-284.

Retief, D.H. , and Denys, F.R. 1979. Finishing of enamel surface after debonding of orthodontic attachments. Angle Orthod 49(1): 1-10.

Retief, D.H. 1991. Standardizing loboratory adhesion tests. Am J Dent 4(5):231-236.

Reynolds, I.R. 1975. Letter: 'Composite filling material as adhesive in orthodontics. Br Dent J 138(3) : 83.

Reynolds, I.R. , and Von Fraunhofer, J.A. 1976. Direct bonding of orthodontic attachments to the teeth: the relationship between adhesive bond strength to gauge mesh size. Br J Orthod 3(2) : 91-95.

Rossouw, P.E. , and Terblanche, E. 1995. Use of finite element analysis in assessing stress distribution during debonding. J Clin Orthod 29(11): 713-716.

Sandison, R.M. 1981. Tooth surface appearance after debonding. Br J Orthod 8(4): 199-201.

Sheykholeslam, Z. , and Brandt, S. 1977. Some factors affecting the bonding of orthodontic attachments to tooth surface. J Clin Orthod 11(11): 734-743.

Silverstone, L.M. 1974. Fissure sealants: Laboratory studies. Caries Res 8(1) : 2-26.

Silverstone, L.M. , et al. 1975. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. Caries Res 9(5): 373-387.

Simmelink, J.W. , Nygaard, V.K. , and Scott, D.B. 1974. Theory for the sequence of human and rat enamel dissolution by acid and by EDTA: A correlated scanning and transmission electron microscope study. Arch Oral Biol 19(2): 183-197.

Simonsen, R.J. 1978. Fissure sealant: deciduous molar retention of colored sealant with variable etch time. Quintessence Int 9(5): 71-77.

Sinha, P.K. , Nanda, R.S. , Duncanson, M.G. , and Hosier, M.J. 1995. Bond strengths and remnant adhesive resin on debonding for orthodontic debonding techniques. Am J Orthod Dentofacial Orthop 108(3): 302-307.

Soetopo. , Beech, D.R. , and Hardwick, J.L. 1978. Mechanism of adhesion of polymers to acid-etched enamel. Effect of acid concentration and washing on bond strength. J Oral Rehabil 5(1): 69-80.

Startmann, U. , Schaarschmidt, K. , Wegner, H. , and Ehmer, U. 1996. The extent of enamel surface fractures. A quantitive comparison of thermally debonded ceramic and mechanically debonded metal brackets by energy dispersive micro-and image-analysis. Eur J Orthod 18(6) : 655-662.

Ten Cate, A.R. 1994. Enamel structure. In D.Ladig (ed.), Oral histology: development, structure, and function, 4th ed. pp. 239-256. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.

Thompson, R.E. , and Way, D.C. 1981. Enamel loss due to prophylaxis and multiple bonding / debonding of orthodontic attachments. Am J Orthod 79(3): 282-295.

Tyler, J.E. 1976. A scanning electron microscope study of factors influencing etch patterns of human enamel. Arch Oral Biol 21(12): 765-769.

Wang, W.N., Meng, C. L., and Tarng, T. H. 1997. Bond strength: A comparison between chemical coated and mechanical interlock bases of ceramic and metal brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 111(4): 374-381.

Weatherell, J.A. , Robinson, C. , and Hallsworth, A.S. 1971. Microanalytical studies on single sections of enamel. In Fearnhead, R.W. , and Stack, M.V. , (eds.), Tooth enamel, II, pp. 103-107. Bristol: John Wright & Sons. Ltd.

Williams J.K. , Cook, P.A. , Issacson, K.G. , and Thom, A.R. , eds. 1995. Finishing procedure. In Fixed orthodontic appliance, pp. 123-129. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Zachrisson, B.U. 1977. A post-treatment evaluation of direct bonding in orthodontics. Am J Orthod 71(2): 173-189.

Zachrisson, B.U. , and Brobakken, B.O. 1978. Clinical comparison of direct versus indirect bonding with different bracket type and adhesives. Am J Orthod 74(1): 61-78.

Zachrisson, B.U. , and Årtun, J. 1979. Enamel surface appearance after various debonding technique. Am J Orthod 75(2): 121-137.

Zachrisson, B.U. 1985. Bonding in orthodontics. In T.M. Graber and B.F. Swain (eds.), Orthodontics : Current principle and techniques, pp. 485-5. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.

Zachrisson, B.U. 1994. Bonding in orthodontics. In T.M. Graber and Jr.R.L. Vanarsdall (eds.), Orthodontics : Current principle and techniques. 2nd ed. pp. 542-626. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.

Zarrinnia, K. , Eid, N.M. , and Kehoe, M.J. 1995. The effect of different debonding techniques on the enamel surface : An in vitro qualitative study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 108(3): 284-293.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 4 ข้อมูลแสดงปริมาณของแอดฮีซีฟเรซินที่เหลือบนผิวเคลือบฟันภายหลังจากการถอดแบรกเกตด้วยแรงเฉือนและแรงปอก ประเมินตามค่า ARI

ปริมาณของแอดฮีซีฟเรซินที่เหลือบนผิวเคลือบฟันตามค่า ARI	จำนวนฟันที่ได้จากการถอดแบรกเกตด้วยแรงต่างๆ (ซี่)	
	แรงเฉือน	แรงปอก
0	48	9
1	8	8
2	1	27
3	3	16
รวม	60	60

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณผิวเคลือบฟันที่ติดอยู่บนแอดฮีซีฟเรซินภายหลังจากการถอดแบรกเกตด้วยแรงเฉือน เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวของแอดฮีซีฟเรซินที่ติดอยู่บนฐานแบรกเกตทั้งหมด

ค่า ARI	ตัวอย่าง	ปริมาณผิวเคลือบฟัน (ร้อยละต่อหน่วยพื้นที่)	
		ภายหลังการถอดแบรกเกตด้วยแรงเฉือน	ภายหลังการถอดแบรกเกตด้วยแรงปอก
0	1	53.19	24.47
	2	57.97	20.75
	3	54.43	20.86
	4	53.45	19.62
	5	52.32	18.81
1	1	49.41	16.46
	2	48.41	12.45
	3	37.63	15.07
	4	46.24	12.92
	5	48.88	17.78
2	1	42.06	6.18
	2	-	10.51
	3	-	13.39
	4	-	5.76
	5	-	14.81

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอดฮีซีฟเรซินที่เหลือบนผิวเคลือบฟันภายหลังจากการถอดแบรกเกตด้วยแรงเฉือนและแรงปอก ประเมินตามค่า ARI ด้วยสถิติวิเคราะห์ไคสแควร์ จากเครื่องคอมพิวเตอร์

Chi-square test

	Value	df	Asymp. Sig (2-tailed)
Pearson Chi-Square	59.772	3	.000
Likelihood Ratio	62.250	3	.000
Linear-by-Linear Association	51.221	1	.000
N of Valid cases	120		

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน สัมประสิทธ์ของความแปรปรวน และสัมประสิทธ์การกระจายของปริมาณการสูญเสียผิวเคลือบฟันเมื่อเทียบกับปริมาณของแอดฮีซีฟเรซินที่ติดอยู่บนฐานแบรกเกต ภายหลังจากการถอดแบรกเกตด้วยแรงเฉือน และแรงปอก ในกลุ่มที่มีค่า ARI เท่ากับ 0 และ 1 จากเครื่องคอมพิวเตอร์

		การถอดแบรกเกตด้วยแรงเฉือน		การถอดแบรกเกตด้วยแรงปอก	
		ARI=0	ARI=1	ARI=0	ARI=1
N (statistic)		5	5	5	5
Maximum statistic		57.97	49.41	24.47	17.78
Minimum statistic		52.32	37.63	18.81	12.45
Mean	statistic	54.27	46.11	20.90	14.94
	std. error	.9838	2.188	.9689	1.017
Standard Deviation		2.1998	4.8934	2.1665	2.2734
Variance		4.839	23.945	4.694	5.168
Coefficient of Variation		4.05	10.61	10.38	15.19

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณการสูญเสียผิวเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับปริมาณของแอดฮีซีฟเรซินที่ติดอยู่บนฐานแบรกเกต ภายหลังจากการถอดแบรกเกต ด้วยแรงเฉือน และแรงปอก ในกลุ่มที่มีค่า ARI เท่ากับ 0 และ1 ด้วยสถิติที จากเครื่องคอมพิวเตอร์

T-test

การเปรียบเทียบการสูญเสียผิวเคลือบฟันระหว่างการใช้แรงเฉือนและแรงปอก		t-test for Equality of Means						
		t	df	Sig (2-tailed)	Mean Diff.	Std. Error Diff.	95% Confidence interval of the mean	
							lower	upper
ARI=0	Equal variance assumed	24.167	8	.000	33.3700	1.3808	30.1859	36.5541
	Equal variance not assumed	24.167	7.998	.000	33.3700	1.3808	30.1857	36.5543
ARI=1	Equal variance assumed	12.921	8	.000	31.1780	2.4130	25.6136	36.7424
	Equal variance not assumed	12.921	5.650	.000	31.1780	2.4130	25.1837	37.1723

ตารางที่ 9 แสดงการหาอัตราส่วนของธาตุต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรืองแบบอีดีเอส

ตัวอย่างที่	element	Spect. type	Inten. Corrn.	Std. Corrn.	Element %
1	C K	ED	0.165	1.00	14.27
	O K	ED	0.309	1.00	33.00
	Na K	ED	0.770	1.00	0.76
	Si K	ED	1.025	1.00	0.40
	P K	ED	1.031	1.00	16.39
	Cl K	ED	0.814	1.00	1.46
	Ca K	ED	1.007	1.00	33.71
	Total				100.00
2	C K	ED	0.183	1.00	14.38
	O K	ED	0.315	1.00	34.02
	Na K	ED	0.870	1.00	0.64
	Si K	ED	1.132	1.00	0.21
	P K	ED	1.031	1.00	16.02
	Cl K	ED	0.818	1.00	1.09
	Ca K	ED	1.120	1.00	33.64
	Total				100
3	C K	ED	0.154	1.00	12.59
	O K	ED	0.379	1.00	34.87
	Na K	ED	0.775	1.00	0.52
	Si K	ED	1.256	1.00	20.38
	P K	ED	1.469	1.00	9.81
	Cl K	ED	0.822	1.00	1.25
	Ca K	ED	1.254	1.00	20.58
	Total				100.00

ตารางที่ 9 แสดงการหาอัตราส่วนของธาตุต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรืองแบบอีดีเอส (ต่อ)

ตัวอย่างที่	element	Spect. type	Inten. Corrn.	Std. Corrn.	Element %
4	C K	ED	0.165	1.00	15.13
	O K	ED	0.309	1.00	35017
	Na K	ED	0.867	1.00	0.52
	Si K	ED	1.295	1.00	0.27
	P K	ED	1.436	1.00	15.47
	Cl K	ED	0.725	1.00	0.99
	Ca K	ED	1.387	1.00	32.45
	Total				100.00
5	C K	ED	0.283	1.00	11.92
	O K	ED	0.116	1.00	36.13
	Na K	ED	0.692	1.00	0.72
	Si K	ED	1.131	1.00	0.55
	P K	ED	0.958	1.00	16.12
	Cl K	ED	0.792	1.00	2.01
	Ca K	ED	1.142	1.00	32.55
	Total				100.00

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธ์ของความแปรปรวน และสัมประสิทธ์การกระจายของอัตราส่วนระหว่างธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส

N (statistic)	5
Mean	2.08
Standard Deviation	0.04
Variance	0.0013
Coefficient of Variation	0.02

ภาคผนวก ข

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (บัญชา ธนบุญสมบัติ, 2540; Goldstein และคณะ, 1992)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ช่วยในการมองเห็น โดยใช้ส่องดูวัตถุขนาดเล็กให้เห็นลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของตัวอย่างในลักษณะสามมิติ ข้อมูลที่ได้เป็นผลจากอันตรกิริยาระหว่างสิ่งที่ใช้ตรวจสอบ กับสิ่งที่ได้รับการตรวจสอบ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีจุดเด่นที่สำคัญในการนำมาใช้งาน 3 ประการคือ ให้ภาพที่มีความชัดลึกสูง (high depth of field) มีความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดสูง (high spatial resolution) และสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น ระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรืองแบบ EDS หรือแบบ WDS (wavelength dispersive spectrometer) เพื่อให้ข้อมูลเชิงเคมี

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron source) ที่ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าในสภาพสูญญากาศ มีเลนส์รวมแสง (condenser lens) ทำหน้าที่บีบลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวยเพื่อให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง และมีเลนส์วัตถุทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนให้ไปตกกระทบกับผิวของตัวอย่าง จากนั้นลำแสงรูปกรวยจะถูกบังคับด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชุดควบคุมการกวาดภาพ (scanning coil) ให้เคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวนอนและแนวตั้งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมคล้ายกับการกวาดภาพบนจอโทรทัศน์ ในขณะเดียวกันจะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electrons) ขึ้นและถูกรวบรวมโดยอุปกรณ์วัดสัญญาณ (collector and scintillator) และเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ผ่านท่อนำแสงไปยังเครื่องขยายแสง (photomultiplier tube) แล้วส่งต่อไปยังหลอดภาพ ปรากฏขึ้นเป็นสัญญาณภาพบนจอรับภาพ (cathode ray tube)

นอกจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวและเป็นสัญญาณที่นำมาสร้างภาพแล้ว ยังมีสัญญาณแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนและสสาร เช่นอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (backscattered electron) ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมี และลักษณะโทโปกราฟฟี (topography) ของพื้นผิว รังสีเอกซ์ (X-ray) ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบ โดยเป็นองค์ประกอบสำคัญในวิธีการวิเคราะห์ธาตุแบบ EDS และ WDS เป็นต้น

กระบวนการทางภาพและการวิเคราะห์ภาพสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (สุวิทย์ ปุณณะชัยยะ และ เดโช ทองอร่าม, 2538)

การวิเคราะห์ภาพสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยายและความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของภาพสูงมาก วิธีดั้งเดิมในการวิเคราะห์เป็นผลจากการตรวจวัดโดยใช้สายตาประกอบกับเครื่องมือในการการวัดเพื่ออ่านรายละเอียดบนภาพที่ได้ ซึ่งมักให้ความไม่สม่ำเสมอและไม่แน่นอน เนื่องจากสายตาไม่สามารถแยกความเปรียบต่างของภาพ และรูปลักษณะตามบริเวณต่างได้ชัดเจน เพราะมักขึ้นกับการตัดสินใจที่ใช้ความรู้สึกจากการมองเห็น ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ได้สูง ต่อมาได้มีวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ ทำให้รูปแบบการวิเคราะห์รายละเอียดภาพและกระบวนการทางภาพได้รับการปรับปรุงให้สอดคล้องกัน และมีสมรรถนะในการทำงานสูงขึ้น คือสัญญาณภาพจากระบบกวาดความเร็วต่ำ (low speed scan) ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่อยู่ในรูปของสัญญาณอะนาลอก (analog signal) จะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (digital signal) และบันทึกไว้ในหน่วยความจำ ก่อนนำเข้ากระบวนการทางภาพเพื่อปรับแต่งรายละเอียดของภาพโดยการกรองสิ่งรบกวน และมีการขดเชยสัญญาณให้มีความเปรียบต่างของภาพดีขึ้นทำให้ได้ภาพในระบบเชิงตัวเลขที่มีความคมชัด พร้อมที่จะทำการวิเคราะห์รายละเอียดโดยเทคนิคการประมวลผลด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งให้ความสะดวกและเพิ่มความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์สูง ผลจากการปรับปรุงกระบวนการเก็บภาพยังทำให้สามารถศึกษาบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์บนผิวของชิ้นตัวอย่างได้เป็นเวลานาน โดยชิ้นตัวอย่างไม่ถูกทำลายจากผลของลำอิเล็กตรอนอีกด้วย

ในด้านการวิเคราะห์ภาพได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยได้ปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ รวมทั้งการวิเคราะห์รายละเอียดภาพ เช่น การคำนวณพื้นที่ การนับจำนวนอณุภาค การวัดความกลมของอณุภาค การวัดความหนาแน่นตลอดจนการจำแนกความแตกต่างของสัณฐานของรูปวัตถุ เป็นต้น เพื่อนำมาใช้เพิ่มสมรรถนะการตรวจวัดและการวิเคราะห์รายละเอียดของภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การทำงานของวิธีการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ประกอบด้วยการกระตุ้นลำอิเล็กตรอนให้ตกลงบนชิ้นตัวอย่าง เพื่อให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนและสสารในชิ้นตัวอย่าง โดยอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ตกลงบนชิ้นตัวอย่างจะผ่านเข้าไปใกล้นิวเคลียสของปรมาณู และชนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรใกล้นิวเคลียส เช่นวงโคจร K และ L ให้หลุดออกไป ได้อิเล็กตรอนที่ถูกชนหลุดออกไปคืออิเล็กตรอนทุติยภูมิ และเกิดที่ว่าง (vacancy) ขึ้นในวงโคจรนั้น ทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรถัดไปซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเข้ามาแทนที่ พร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ และเป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุนั้นๆ ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์จะสนใจเฉพาะรังสีเอกซ์ของอิเล็กตรอนวงนอกไปยังวงโคจรในชั้น K และ L เท่านั้น เพราะรังสีเอกซ์ของวงโคจรในชั้นอื่นๆ มีพลังงานต่ำเกินไป

การวิเคราะห์รังสีเอกซ์เฉพาะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของธาตุในแต่ละจุดบนชิ้นตัวอย่าง โดยมีรูปแบบการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์เป็นจุด (point analysis)

ลักษณะเฉพาะของสัญญาณอิเล็กตรอนทำให้เกิดภาพที่มีความคมชัด เนื่องจากความเปรียบต่าง (contrast) ที่เกิดขึ้นในหลายรูปแบบตามชิดของสัญญาณอิเล็กตรอนที่เลือกใช้ ในกรณีที่ภาพให้ข้อมูลละเอียดมากจนเป็นจุดเล็กๆ เรียกว่าการวิเคราะห์เป็นจุด และสามารถบ่งบอกชนิดและปริมาณของธาตุที่มาประกอบกันเป็นจุดในบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ได้

2. การวิเคราะห์ตามแนวเส้นตรง (line analysis)

เป็นการศึกษาการกระจายของธาตุตามแนวเส้น โดยอิเล็กตรอนจะลากผ่านแนวเส้นที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วปรากฏเป็นเส้นกราฟและภาพแสดงธาตุที่สนใจออกมา

3. การวิเคราะห์แบบแผนที่ (mapping analysis)

เป็นการศึกษาการกระจายของธาตุต่างๆ บนชิ้นตัวอย่างด้วยการทำแผนที่รังสีเอกซ์ โดยลำอิเล็กตรอนจะกวาดบนพื้นผิวของตัวอย่าง สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากรังสีเอกซ์เฉพาะจะปรากฏบนจอภาพเป็นจุดสว่างตรงกับจุดตกกระทบของลำอิเล็กตรอน เมื่อลำอิเล็กตรอนกวาดต่อไปจนหมดพื้นที่บนชิ้นตัวอย่างแล้ว จุดสว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนภาพคือแผนที่รังสีเอกซ์ของธาตุที่กำลังวิเคราะห์

รูปแบบการวิเคราะห์ภาพด้วยเทคนิคการประมวลผลข้อมูลภาพด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยขั้นตอนการรับข้อมูลภาพ เข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพและการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ โดยมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1. การปรับแต่งคุณภาพของภาพ (image processing) เป็นการเสิมและปรับระดับสีเทาของภาพให้มีความเปรียบต่างของภาพดีขึ้น รวมทั้งปรับแต่งรายละเอียดของภาพให้มีความคมชัดขึ้น

2. การตัดต่อภาพ (image editing) คุณภาพของภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ผ่านการปรับแต่งคุณภาพของภาพแล้วจะมีความชัดเจน สามารถตัดสินได้ด้วยสายตาว่า รูปวัตถุที่ปรากฏบนรายละเอียดภาพนั้นแยกจากกันหรือเชื่อมติดต่อกัน แต่การวิเคราะห์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์นั้นถ้าจุดภาพมีความต่อเนื่องกันเพียงเล็กน้อย คอมพิวเตอร์จะแปรผลว่ารูปวัตถุนั้นเป็นรูปเดียวกัน ดังนั้นก่อนที่ภาพจะเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพจำเป็นต้องได้รับการตัดต่อภาพให้สมบูรณ์เสียก่อน

3. การคัดเลือกข้อมูลภาพ (selection) เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์รายละเอียดภาพโดยอาศัยกระบวนการตัดต่อภาพที่เหมาะสมกับการวัรายละเอียดของภาพ

4. การวิเคราะห์ผลตามหลักสถิติ (statistical analysis) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิเคราะห์ภาพ คือการนำผลการวัดจากขั้นตอนการคัดเลือกข้อมูล และการวัดรายละเอียด เข้าสู่การประเมินผลตามหลักสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยลักษณะการกระจายของข้อมูล ความแปรปรวนและความน่าเชื่อถือของข้อมูล รวมทั้งรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาให้ทราบด้วย

ประวัติผู้วิจัย

นางพาชื่น ทิพย์สุนทรชัย (ตัณฑโลหะ) เกิดวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2510 ที่จังหวัดอำนาจเจริญ สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 ปัจจุบันรับราชการที่โรงพยาบาลบุรีรัมย์ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์